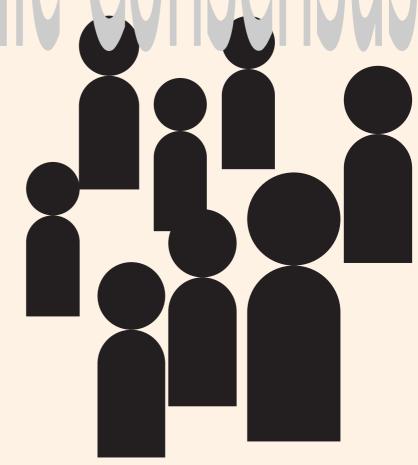
性能設計体系における

## 合意形成・評価手法に関する研究小委員会報告書

Task Committee on Public Consensus-making and its Evaluation in Performance-based Design

土木学会構造工学委員会 Dec.2003



### 性能設計体系と合意形成・評価

モノを作るにあたって、「こんどはどのようなモノを作ろうか」と考えるだろう。考えている人が技術者であるならば、直接図面を描いたり、計算したりしたものによって、「どのような」を表現する。しかし、素人は、「落ち着いたもの」とか「安心できる」などの形容詞か、「あの に似た」などの表現法しか持ち合わせない。このように、素人と玄人には表現法に違いがある。土木構造物は、公共構造物であり、国民のお金を使って作られる。使用者であり、購入者は国民である。国民は、ここでいうところの素人であり、ユーザーであり、顧客である。

性能設計は、Performance Based Design の訳語であるが、日本語的な語感として、構造物の総合性能を構成する要素、すなわち要求性能を選択肢の中から選択し、決定することのように解することができる。すなわち、設計の最上流部で「どのようなもの」を決定する作業を意味する。

しかるに、国民と技術者には「どのような」を表現する技量に違いがあるのであるから、この技量 差を超えてお互いの意思を確認し合う作業が必要であり、それは合意形成以外のなにものでもない。

一方、構造設計の成果物は、施工を具体化するものであり、曖昧さは許されない、極めて専門技術的な情報媒体である。よって、設計の具体化過程において合意形成事項が十分に反映されないものへと変化する可能性があり、この点を素人が判断することはできない。よって、専門技術者の評価が必要である。これらの一連の流れによって構成されるモノ作りを性能設計体系と呼ぶ。

性能設計体系への移行は、設計過程の最上流部において価値観の多様性を認める「自由化」の流れである。多様性および自由度の増加は時代の要請であり、ニューパブリックマネージメント(NPM)の流れに沿うものである。

しかし、土木構造物は、その形状や予算規模、性能の差異が与える影響の大きさ、共用期間の長期性などが他の生産物とは大きく異なるため、その要求性能の意志決定と、国民の持つ価値の多様性とは対局にあるものと考えられてきた。そのため、突然に自由化された体系を採用するに足る十分な技法と経験があるとは言い難い。すなわち、性能設計を可能にする技法・技術の早急な開発が求められている。

本研究委員会に集ってくださった委員の方々は、設計について、あるいは性能設計について、ひとかたならぬ意見や経験をお持ちの方々である。この2年間の意見交換やワーキング活動を通じて、確認できた方向性を要約すると、前述のようなものとなる。あまり具体的でない感もあるが、考え方の機軸と方向性が見出せたことは大きな一歩とも言える。

なお、この2年間、活動を支えて頂いた委員の方々、報告書の作成に協力してくださった方々、ならびに活動の機会を与えて頂いた土木学会構造工学委員会に、厚く感謝申し上げる次第である。

性能設計体系における合意形成・評価に関する研究小委員会 委員長 防衛大学校建設環境工学科 香月 智

### 委員会名簿

委員長

香月 智 防衛大学校 システム工学群 建設環境工学科

幹事長

赤石沢 総光 東京電力(株) 技術開発研究所 建設技術 G (2002.4-2003.3) 吉田 郁政 東電設計(株) 第二土木本部地盤・構造部 (2003.4-2004.3)

幹事委員

荒木 義則 中電技術コンサルタント(株) 河川部

須藤 敦史 (株)地崎工業 土木技術部

千々岩 浩巳 第一復建(株) 技術第一本部 構造部

恒川 裕史 (株)竹中工務店 技術研究所 先端研究開発部中村 秀明 山口大学 工学部 知能情報システム工学科 廣瀬 彰則 中央復建コンサルタンツ(株) 総合第一本部 松島 学 香川大学 工学部 安全システム建設工学科

委 員

秋山 充良 東北大学 工学研究科 土木工学専攻

阿部 雅人東京大学 工学系研究科 社会基盤工学専攻荒川 雅生香川大学 工学部 信頼性情報システム工学科池田 憲二独立行政法人 北海道開発土木研究所 構造部

石田 良平 大阪府立大学 大学院工学研究科 機械系

伊藤 壮一 NKK 技術開発本部

伊藤 則夫 (有)シー・エー・イー

井面 仁志 香川大学 丁学部 信頼性情報システム丁学科

蛯沢 勝三 (財)原子力発電技術機構 原子力安全解析所 耐震解析室

大幢 勝利 独立行政法人 産業安全研究所 建設安全研究部 梶田 幸秀 防衛大学校 システム工学群 建設環境工学科

川口 有一郎 明海大学 不動産学部

佐々木 義裕

菊池 英明 ハ千代エンジニヤリング(株) 東京事業部 水工部

北原 武嗣 群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 倉本 和正 国土交通省 国土技術政策総合研究所 危機管理技術研究センター砂防研究室

鹿島建設(株) 土木設計本部 設計技術部

佐藤 尚次 中央大学 理工学部 土木工学科

白木 渡 香川大学 工学部 信頼性情報システム工学科

杉本 博之 北海学園大学 工学部 土木工学科 杉山 郁夫 日建設計シビル 名古屋事務所

高田 毅士 東京大学 工学系研究科 建築学専攻

高橋 秀 日本工営(株) 中央研究所 総合技術開発部

谷口 修 五洋建設株式会社 技術研究所 都市再生グループ

近田 康夫 金沢大学 工学部 土木建設工学科

辻岡 信也 清水建設(株) 土木本部設計部

続石 孝之 パシフィックコンサルタンツ(株) 交通技術本部構造部橋梁1G

中村 一平 金沢工業大学 土木工学科

中山 弘隆 甲南大学 理工学部 情報システム工学科

丹羽 信弘 中央復建コンサルタンツ株式会社 橋梁系グループ

長谷川 明 八戸工業大学 工学部 環境建設工学科

平田 京子 日本女子大学 家政学部 住居学科

広兼 道幸 関西大学 総合情報学部

古川 浩平 山口大学 工学部 社会建設工学科

古田 均 関西大学 総合情報学部

本城 勇介 岐阜大学 工学部 社会基盤工学科

松井 謙二 独立行政法人 土木研究所 構造物研究グループ

松原 雄平 鳥取大学 工学部 土木工学科

松保 明憲 阿南工業高等専門学校

丸山 収 武蔵工業大学 工学部 都市基盤工学科

三雲 是宏 (株)ニュージェック 総合計画・環境部 情報技術室

三原 徹治 九州共立大学 工学部 土木工学科

森本 浩之 (株)建設技術研究所 大阪支社 情報技術部

保田 敬一 (株)ニュージェック 総合計画・環境部 情報技術室

安田 登 東京電力(株) 技術開発研究所 建設技術 G

山本 広祐 (財)電力中央研究所 材料構造部

横田 弘 独立行政法人 港湾空港技術研究所 構造強度研究室

(五十音順)

出筆協力者

鈴木 誠 清水建設(株) 社会基盤技術センター

吉田 初雄 福島社会保険事務局指導医療官

### 委員会活動経過概要

回	年月日	場所	講演者	講演/活動
1	H14.4.16	土木学会	日建設計シビル	環境負荷低減型土木構造物設計ガイドラインに
			杉山郁夫氏	おける性能設計の考え方
			香月委員長	本小委員会における活動方針
				活動方針の概要決定/WG長決定
2	H14.6. 7	上郷	香川大学	合意形成の枠組みの一案と課題
		森の家	松島 学先生	
			山口大学	Less Conflictive Solution と AL 委員会活動との
			中村秀明先生	対応と課題
			東京大学	建築分野の性能設計の現状と課題
			高田毅士先生	
				ワーキンググループの委員決定・方針概定
3	H14.7.24	東京電力	武蔵工業大学	国際的原則に基づく性能設計のあり方
		技研	星谷 勝先生	
				合意形成に関するフリーディスカッション
4	H14.10.31	地崎工業	原子力発電	地震下での原子力施設の確率的耐震安全性評価
			技術機構	
			蛯沢勝三氏	^ <del>-</del>
	TT45 4 04	1 -1-24 4	→+n 1 ××	合意形成に関する討議 / WGごとの討議
5	H15.1.31	土木学会	京都大学	信頼構築のために
			渡部・幹先生	
			日本女子大学	社会のニーズを反映した性能設計の構築に向け
			□ 平田京子先生 ■ 第一復権コンサル	て-ユーザーの要望する目標耐震安全性レベル-
			第一後権コンル   千々岩浩巳氏	他分野含む性能設計基準類の比較検討の試み
			144/101	WG活動
6	H15. 4.2	土木学会	 明海大学	マップロション マップロション マップロション マップロション マップ
	1115. 4.2	エハテム	川口有一郎先生	産のリスク分析ー
			香川大学	感性工学による住民参加手法の提案
			井面仁志先生	
			711111000	委員会の報告書および設計工学シンポジウムへ
				の活動方針概定
7	H15.6.13	舞洲野外	北海道開発土研	北海道における直轄橋梁マネージメントシステムにつ
		活動セン	池田憲二氏	いて
		ター	鹿島建設	包括設計コードによる性能設計体系の考え方
			佐々木義裕氏	成业工学的工注 L 2 再子业处八七十年
			香川大学	感性工学的手法による要求性能分析技術
			白木渡先生	田小ははははおいているかけし西古州が八七によってけ
			中央復建コンサル 廣瀬彰則氏	現状技術情報の組み合わせと要求性能分析による新技   術の創出
8	H15.6.13	徳島大学	香川大学	吉野川第十堰問題の歴史的経緯と概要
	1110.0.10	1/0/H/1/	河原能久先生	LATINIA   CELLING VAITEX H JWTW± C IN/PY
			. 3,53,555 (7022	活動成果報告書および設計工学シンポジウムへの活動
				決定

### 目 次

- 第1章 性能設計体系の枠組(香月)
  - 1.1 緒 言
  - 1.2 性能設計体系の目的と成立要件
  - 1.3 契約行為としての性能設計体系
  - 1.4 合意形成過程
  - 1.5 要求性能の技術情報化
  - 1.6 設計過程
  - 1.7 評価・表示過程
  - 1.8 活動方針

### 第2章 合意形成と要求性能決定(松島)

- 2.1 合意形成と要求性能の概略 (松島)
- 2.1.1 合意形成の必要性
- 2.1.2 合意形成の方法
- 2.1.3 合意形成の道具
- 2.1.4 合意形成すべき対象者
- 2.1.5 要求性能
- 2.2 要求性能の数値化と評価
- 2.2.1 地震時の損傷評価の一般市民と専門家の違い(松島・須藤)
- 2.2.2 住民との合意形成とその評価法(井面)
- 2.2.3 社会的に要求される耐震安全性レベルの確率的評価(平田)
- 2.3 発注時の要求性能と性能表示(須藤)
- 2.3.1 性能規定発注方式の概要
- 2.3.2 トンネル建設プロジェクトにおける性能規定発注方式
- 2.3.3 性能規定発注方式における工事の施工について

### 第3章 合理的な設計手法(中村)

- 3.1 ニューラルネットワークを用いた土石流発生予測システム (荒木)
- 3.1.1 はじめに
- 3.1.2 土石流発生予測モデルの構築
- 3.1.3 入力データの組合せに対する検討
- 3.1.4 降雨継続時間毎の土石流のリアルタイム発生予測への適用
- 3.1.5 おわりに
- 3.2 多目的最適化手法の適用(杉本)
- 3.2.1 まえがき
- 3.2.2 多目的計画問題

- 3.2.3 満足化トレードオフの改良について
- 3.2.4 改良型満足化トレードオフ法の特色
- 3.2.5 離散変数の場合の GA の利用
- 3.3 自己組織化特徴マップ(SOM)の適用(近田・広瀬・伊藤・中谷)
  - 3.3.1 はじめに
  - 3.3.2 自己組織化特徴マップ (SOM)
  - 3.3.3 SOM の学習アルゴリズム
  - 3.3.4 SOM の設定値
  - 3.3.5 学習設定
  - 3.3.6 耐震設計への適用
  - 3.3.7 まとめ
- 3.4 感性工学を用いた景観設計技法(白木・保田)
- 3.4.1 はじめに
- 3.4.2 合意形成における代替案作成の位置づけ
- 3.4.3 感性アンケート調査
- 3.4.4 感性評価の分析
- 3.4.5 感性 DB を用いた支援システムの構築手順
- 3.4.6 検証および考察
- 3.4.7 おわりに

### 第4章 評価システム(吉田)

- 4.1 はじめに
- 4.2 いくつかの分野における評価機関・評価方法の現状について
- 4.2.1 土木分野の評価期間の概観(保田)
- 4.2.2 建築分野の評価期間の概観(高田)
- 4.2.3 会計検査について(保田・佐々木)
- 4.2.4 米国の会計監査におけるピアレビュー (Peer Review) ついて (保田・佐々木)
- 4.2.5 医療における Informed Concent について (吉田初雄)
- 4.2.6 医療技術の評価について(吉田初雄)
- 4.2.7 新薬開発に関る審査システム(吉田初雄)
- 4.2.7 新薬開発に関わる審査システム(秋山)
- 4.2.8 自動車分野について(保田)
- 4.3 建設分野の保有性能の評価法の例
- 4.3.1 技術基準の国際動向(辻岡・鈴木誠)
- 4.3.2 仮設構造物の評価の現状 (大幢)
- 4.3.3 新工法採用における性能評価に一事例について (木の川高架橋)(佐々木)
- 4.3.4 土木(トンネル)構造物における性能規定発注と性能評価・確認の一例(須藤)

- 4.4 目標安全性レベルの設定について
- 4.4.1 目標信頼性指標の決め方について(赤石沢・吉田)
- 4.4.2 原子力分野における目標安全性レベル設定思想と合意形成(辻岡・蝦沢)
- 4.4.3 リスク分担原則による信頼性指標の求め方(香月)
- 4.4.4 ライフサイクルコスト最小化の考え方に基づく目標信頼性指標(吉田・赤石沢)
- 4.5 まとめ(吉田)

### 第5章 性能設計例(広瀬・荒木)

- 5.1 橋梁用合理化支承の開発例(広瀬)
- 5.1.1 支承一般
- 5.1.2 支承設計上の状況変化
- 5.1.3 ゴム支承設計上の問題点
- 5.1.4 支承に求められる要求性能
- 5.1.5 支承部の要求性能を整理した合理化支承の事例
- 5.2 河川護岸の設計(荒木)
- 5.2.1 はじめに
- 5.2.2 検討内容
- 5.2.3 おわりに

第6章 課 題(松島)

### 1章 性能設計体系の枠組

### 1.1 緒 言

性能設計という言葉は、語感からすると二通りの解釈が成り立つ、その一つは、「構造物に要求する性能を設計する」ということであり、他方は、「要求性能に基づいて設計する方法」ということである。そもそもの語源が、Performance Based Design であることに鑑み、「性能照査型設計法」、「性能規定型設計」、「性能明示型設計」などといろいろな言葉も用いられているようである。このように多様な呼称が現れることは、未だ「性能設計」の体系が確定されていないことの現れであると思われるいくつかの組織で、性能設計の具体化について検討しているようであるので、いずれその詳細が統一的に定義され

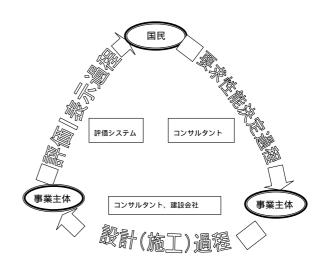


図-1.1 性能設計体系の過程サイクル

ることであろうが,委員会の趣旨からして,定義を曖昧なままにして活動を行うことは不要な混乱を招くため,仮の定義を行い,その定義をもとに活動を行うことにした.また,その仮の定義に問題があると思われる場合には,そのことを学会員に意見として報告することとした.その結果,図-1.1に示す過程サイクルによって形成されるものを性能設計体系と定義づけた.以下に,その趣旨を詳述する.

### 1.2 性能設計体系の目的と成立要件

性能設計体系を導入することによって得られる効果,すなわち目的は以下のものである.

構造物の有すべき性能を、技術知識の希薄な一般ユーザーに明示すること

ISO に代表される国際標準化への対応

新技術の公正な参入環境の創出

コスト低減

これらは、自動車産業が自動車の生産能力と需要に制約の大きい時代の少品種大量生産時代から、生産技術が成熟し、量的な需要が飽和に達した後の多品種少量生産時代へ移行しつつある時に経験したことと類似しており、土木産業が国内的かつ国際的に成熟したことを前提とする限り、避けることのできない通過過程であると考えられる。よって、先駆者に学ぶと同時に土木産業の性質を考慮してこれを達成できるノウハウを育成する必要がある。

しかし,その目的の一つ一つが単純なノウハウでは達成できないトレードオフ問題を内包しており,その達成には以下のような必要要件がある.

### (1)高い倫理性

以下に述べる要件が成立したとしても,専門知識を有する技術者が専門知識を有しない一般

市民と直接的に対話して構造物の有する性能を論ずる限り,技術者もしくはその共同体がわずかでも悪意を抱けば,市民を騙すことは容易であろう.特に,供用期間が他の生産物に比して極端に長い土木構造物においては,要求性能が達成されていたか否かが具体的に確認することが困難な性能が多く存在するため,この罠に陥る可能性が大きい.しかし,結果として我々の子孫がその代償を払うことになるので,後世から嘲笑われることのないよう技術者同士の倫理観を高く維持していることが必要である.

### (2)整合性ある要求性能の区分

市民との対話は、専門技術的な知識を有しないので、なるべく言葉による性能表現をもとに議論されるべきである。しかし、言語の持つ表現力は極めて雄大であり、一方では曖昧であり、相互に重複するものが多い。このため、個々人の有する言語定義は、多くの場合相互に一致することはない。これは、集団で要求性能を決定しようとする際には、徒に議論を発散する方向へ導くことになり、有意義な結果をもたらすことが期待できない。例えば、構造物の有する安全性と信頼性は、同じように聞こえるが決して同じものではない。車の性能を例に取ると、時速 60km で衝突しても人命が失われないように設計するよりも、時速 80km で同様の性能が得られるように設計している方がより安全な車を開発していることになる。しかし、時速 80km の目標値に対して、これといった確認実験も行わずに適当な解析で設計を行う場合に比べて、時速 60km であっても、堅実に確認実験を行い、要求性能が達成されていることを確認している方が信頼性の高いことになる。このような曖昧さに由来する混乱を避ける最も有効な方法は、現実的な構造物を具体的に作って例示しながら議論することが望ましいが、土木構造は規模が大きいため不可能である。このため、次善の策として対話に入る前に、議論するべき要求性能の区分を明確にしておく必要がある。

### (3)数値目標化の普遍性

市民との間で、言語によって交わされた約束が、具体的な設計目標に数値化される際に、公正さが失われると正常な技術競争が成立しないし、産業全体としての信頼性を喪失する。例えば、同一使用目的で同一材料を用いた構造物が、「載荷後に通常の使用を可能にする」という要求性能を具体化した場合に、一方ではひび割れが一本も入らない弾性応答を限界とするのに対して、他方では、ひび割れが多く入っていても良いとするのでは、技術的にみて公正とはいえないであるう。このような問題は、高架橋の地震後における緊急車両の通行能力の問題など、身近な問題として多種多様に存在するにも関わらず、十分にコンセンサスを得られたものがあるとは言い難い、また、そのような身勝手な解釈が許されることが知られると産業分野全体の信用を喪失してしまうことは明白である。

### (4)国際的説明責任に対応可能な透明性

ここで論じている性能設計体系は、従来の材料安全率を基準とした許容応力度設計法や、既 往の経験的見解に基づく仕様的な制限事項を記述したマニュアル的な設計法の対極にある、ISO やユーロコードが、構造物の標準的な限界状態を設定したうえで設計法を論ずる限界状態設計 法に比しても,限界状態の設定自体を個々の構造物ごとに対話的に設定することを前提としている点がやや異なる.すなわち,地域の技術力,調達力,文化などの特色を反映した設計を行う方法を論じているので,できあがる製品において国際標準化とは異なる方向性を有する.しかし,その設計過程の考え方および論理性が国際標準に適合していることが,重要である.その際,個々の構造物や構造材料ごとに制定される国際標準規格(ISO)もさることながら,構造設計の全般を規定した ISO2394「構造物の信頼性に関する原則」は,その精神において性能設計に準ずるところも多くあるので,この精神に逸脱しないことが需要である.いずれ,設計コードを作る際のガイドラインとなるような「Code for code writers」「:括設計コード」のようなものが作成されるであろう.これに準じた手続きを行うことが必要である.

### (5)公正な技術評価システム

実績は,なにものにも代え難い信頼性の裏付けである.よって,既存技術に優位性があることは否定できない事実である.一方で,新技術の開発無くして,より高いレベルでの要求性能に対する対応や廉価調達の可能性は期待できない.この新技術に対して,公正かつ信頼性ある方法で,その提案する技術がいかなるレベルで標榜する性能を達成できるかを判定するシステムが必要である.

### (6)技術的不完全対応と進化のシステム

人間は、神ではないので、いかなる技術にも不完全さが包含されている。よって、誠意をもって約束を守る、すなわち、要求性能を達成できるように実行したとしても、時間を経て環境の変化や評価技術の進展によって、不完全であったことが発見される可能性は十分にある。その場合、担当者の責任追及に汲々として、発展的な対応を議論できないシステムでは、いわゆる「角を矯めて牛を殺す」ように、保守的で腐朽したシステムを醸成することになる。自動車産業にあるリコール制度のように、透明性を確保したうえで、不要な責任追及を行うことなく、適正な対応策が消費者に与えられる制度を築くことが、産業分野全体の技術を進化させる基礎となる。

### (7)成熟した技術環境

設計という作業は、行き着くところ、「要求を明確に分析」し、「要求を満足する具体策を探索」することである。この際、具体策の探索とは、数学的にエレガンスな手法論もあろうが、単純にいうと代替案を試行錯誤的に代入して、最も望ましいものを探すことにほかならない。この極めて単純な行為をもって、1から6に述べた高度な要件を達成するには、まず、代替案となるべき技術が多種多様に存在することが必要である。すなわち、周辺分野の製造・施工技術において高度な工業化が進んでいることが必要である。続いて、多種多様な代替案から適正なものを瞬時のうちに選択するには、人間系による選択ではなく、コンピュータ技術を駆使した高度な設計技術が必要である。

以上の全てについて検討することは,残念ながら本委員会の目的から大きく逸脱している.本委員会では,要件のうちの(2),(3),(5),(6)に焦点をあてて,合意形成および評価手法という枠組みの中

で,その現状と課題について報告する ものである.

# 1.3 契約行為としての性能設計体系

示方書というマニュアルに基づいた 設計に慣れ親しんでいるうちに忘れ去 られた本来の設計行為が目指すべきも のを我々に気づかせてくれたのは, Vision 2000 の提示した性能マトリク ス(図-1.2)であろう.この最も重要

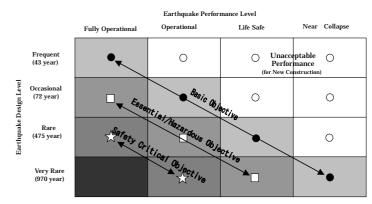


図-1.2 性能マトリクス (Vision 2000)

な意義は、その提言の趣旨にあるように、技術的知識背景を有しないオーナーに対して、構造技術者が「その構造物がどのような性能を有するように設計するのか」という問題を、共通に対話できる言語の範囲で合意形成できる手法を例示した点にある。すなわちいまから作る構造物の性能について、これから取り交わす約束(契約)の根拠を与えるものである。具体的な契約は、詳細な仕様を定めた契約書となることは今まで通りであっても、その要約書のようなものである。このように設計行為を取り巻く契約行為を、一般の自動車や家屋を例に考えると、以下のような手順となる。

どのようなものを購入したいのかを決定(要求性能の決定)

要求性能を具体化した仕様の合意(契約)

作成したものが契約に基づく仕様を満足し,要求性能を満足していることの確認

家屋や自動車のように,購入者が私的な個人においてなされるこの一連の契約行為を,市民を代表して調達行為を事業主体が代行する土木構造物に当てはめて,再整理したものが図-1.1に示す性能設計体系の過程サイクルである,すなわち,

公共構造物の真のオーナーは,市民(国民)であることに鑑みて,いかなる性能を有するものを調達するかについて,事業主体と市民との間で合意形成がなされる.(要求性能決定過程:合意形成過程)

合意された要求性能は,言語表現であるので,これを,設計技術者に公正に条件提示するために数値化された目標性能に変換する過程(要求性能決定過程:技術情報化過程)

数値目標を達成できる具体的設計代替案の導出と選定(設計過程)

設計に基づく施工,時として設計変更を含む(施工過程)

設計代替案の照査方法に含まれる不確定性(信頼性の評価)(評価過程)

施工過程に含まれる要求性能達成度の信頼度評価(評価過程)

評価結果を踏まえた調達構造が有する性能の市民への報告(表示行為)

以下に,各過程の概要について述べる.

### 1.4 合意形成過程

土木構造物の設計過程には,要求性能を設計する(決定する)段階と, 決定された要求性能に基づいて具体的に構造物の有する諸元を設計する 過程の二つがある.

工業製品開発では,前者は「コンセプトデザイン」などという言葉で表現し,近年では極めて重要な位置づけが与えられている.有名な話としては,ウォークマンが「スピーカーのない携帯カセットデッキ」という概念を提示した際のエピソードがある.しかし,土木構造物においては,あまり親しみのある概念ではないのか,構造物の「要求性能を決定する」ということが具体的にどのようなものかについて技術者の間で明確な共通認識が存在するとは言い難い.

性能設計の過程は,市民と事業主体 との間で行われる「建設される構造物 に求める要求」,すなわち,要求性能決 定過程から始まる.これは,市民と事 業主体との合意形成という一種の契約 である ただし 要求性能決定過程は,

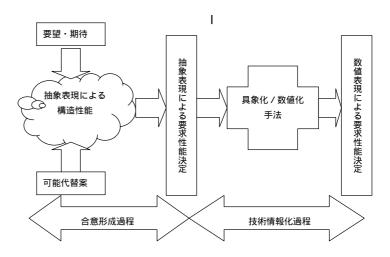


図-1.4.(1) 要求性能決定過程の入・出力

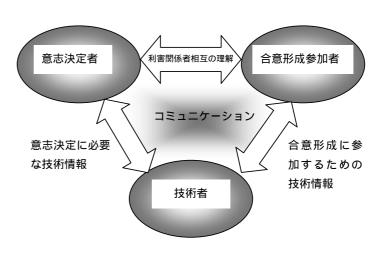


図-1.4.(2) 合意形成の仕組み

図-1.4.(1)に示すように,市民との契約の始まりであるとともに,設計技術者への契約基本条件の設定過程でもあるため,合意形成過程に続いて,曖昧な表現による混乱や不公正を避けるために,技術情報化過程がある.

市民と事業主体との間に交わされる構造物への要求性能の合意形成については,低環境負荷土木構造物設計ガイドラインに示されているように,図-1.4.(2)に示すような,事業主体(意志決定者),市民(合意形成参加者)および技術者による良好なコミュニケーションがなされる必要がある.しかし,公共構造物の設計において,このような取り組みが行われた経験が少ないために,多種多様な問題点が山積み状態であると言っても過言ではない.問題点を大きく区分すると,

意志決定者,合意形成参加者,および技術者の具体的な形態は,どのような組織や実体が適切であるのか.

コミュニケーションの議題の提示と個々の問題に対する総意の判定方法

技術情報をどのような区分原理で,どの程度専門的に与えるのか.などの技術者の具体的な役割などになる.

発案のあり方から見た手法の最右翼は、事業主体でたたき台を作成し、それを説明する方法が考えられる。これは、従来の土木構造物の多くにおいて採られてきた手法であり、既往の設計示方書はこの方法に対応して作られてきたとも言える。すなわち、構造物の保有すべき性能は、暗黙のうちに設計計算手法における各種係数の中に包含されている。このため、設計に要する時間は短縮できるが、一方では、地方語との特殊性は考慮しづらいし、市民に対して構造物の有する性能を明示することが難しいなどの問題点がある。

他方の考え方は,市民の代表たる合意形成参加者がたたき台を作るものである.しかし,土木構造物のように規模が大きく,他種類の構造要素が複雑

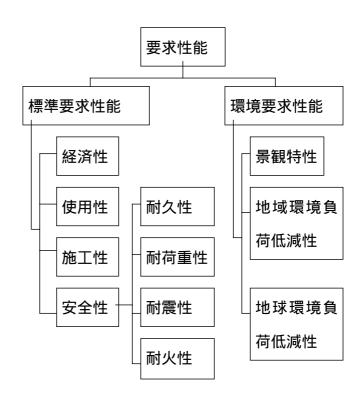


図-1.4.(3) 要求性能の階層分析

に構成要素として存在し,環境や経済的影響範囲が広いものに対して,専門知識を有しない合意形成 参加者が合理的な案を作成できるとすることは無理がある.

よって,図-1.4.(2)における技術者は,前述の両翼案の中庸をいく合意形成過程を形成するように 役割を演ずる必要があることになる.このためには,かなり円熟したコミュニケーション技術と意志 決定者および合意形成参加者の双方から信頼を得るに足る適切な技術情報を遅疑逡巡することなく提 示する能力が必要であろう.

構造物の要求性能を議論する際には、どのような区分原理で論ずるかという問題は、コミュニケーション技術を支える重要な問題である。低環境負荷土木構造物設計ガイドラインによると、図-1.4.(3)に示すような階層分析を提示している.これは、一般の構造物を対象としたものであり、構造物の種類に応じた階層分析が必要であろう.また、図-1.2に示した性能マトリクスは、良くできているといっても、図-1.4.(3)に示した性能区分の中で、単に安全性能の中の一つに過ぎない.他の性能についてどのような荷重区分があるのか.また、耐震性能も含めて限界状態の言語表現がこのような区分で土木構造物の限界状態として市民に受け入れられるのか、などの問題は未検討なままである.

### 1.5 要求性能の技術情報化

図-1.5に示すような,言語表現によって決定された要求性能を具体的に達成できると判定する数値目標に変換する作業を,ここでは「要求性能の技術情報化」と呼ぶものとする.この点に関しての研究や既存技術が存在していないため,現時点において,工学的に非常に難解な問題である.特に安全性能に関する要求性能は,同じ言語表現であっても,使用材料によって,具体的な目標値は異なるものであるが、異材料間において公正な信頼性を有した数値目標に変換する手法を開発する必要がある.

ここで,異種材料,異種工法間において公 平な数値目標を設定することは,容易なこと ではない.よって,各種材料もしくは工法ご とに解釈・分析した数値を用いる場合が多い. 既存の知識や技術の蓄積を活用する観点から は,やむを得ないことであるが,まずは,言 語の要求性能を分析し,数値目標に置換する 考え方を統一し,異種材料・工法間での情報 交換を可能にし,引いては,全てに共通する 数理的な処理方法を確立する必要がある.

# 震度6に対して,倒壊しない SRC RC NEW a=3°3.5°4.0°?

### 1.6 設計過程

設計過程は,技術情報化された要求性能 を満足する構造緒元(形状,断面,材料)を 探索することである.設計過程の出力は,得

図-1.5 要求性能の技術情報化

られた構造緒元と要求性能を満足することの確認(照査)結果が示されている.ここで,性能設計体系の特徴としては,次のような点が掲げられる.

### 要求性能を満足することの確認(照査)手法を限定しない

従来の設計示方書では,構造物の応答計算法が示されており,その応答計算法に従った計算結果が許容値以内にあることを確認していたが,これを限定しない.これにより,多様な研究によって日々進歩する解析技術を導入した設計照査が可能になる.

### 要求性能分析の上位規定の優先

要求性能の技術情報化においては、時として材料や工法の前提情報を暗黙のうちに設定して数値情報化が行われることや、新材料や新技術では数値情報化されたものが存在しない場合があることに鑑みて、常に詳細化される以前の要求性能、すなわち、上位規定を尊重する姿勢が重要である。すなわち、下位規定に対して適切な照査ができない場合においても、門戸を閉ざさないシステムとすることが、新技術の育成を促進するからである。しかし、その場合の数値目標が、既存技術を同様な水準で要求性能を満足することを確認する必要があり、この点においても、前述の異種材料・工法間で統一された要求性能の技術情報化手法を整備することが重要である。

このような原則的な特徴に基づいて、次のような新しい設計技術環境が育成される、

### 最適設計技術の利用

性能設計体系を導入する目的の一つにコスト縮減がある.また,多様な価値観に対する対応もある.市民の要求は,大きく2つに分類される.すなわち,これを越えてはならないという制約的要求(弾性応答すること,転倒しないことなど)と,できる限りこのようにあってほしいとい

う希望的要求性能(コストを安く,美しくなど)である.これは,包括的に見て,制約的要求を守りながら希望的要求を最大化するという最適設計問題に帰結される.さらに,市民との対話により要求性能が個別に異なることや,時として議論の推移によって時々刻々と要求性能の重みが変化することを前提とするならば,適切な設計解を求めるには,コンピュータパワーの援用を避けることはできない.

### 簡易応答計算法

照査方法が自由化され,最適化手法を用いることが常態化した産業分野(例えば自動車産業)では,照査方法に用いる応答計算法に代わる簡易応答計算手法(例えば,応答局面法など)を用いた設計計算法が盛んに用いられている.些細なことのようであるが,最後の照査段階で精密な応答計算を用いて照査すればよいことと,前述のように,要求性能自体が遷ろうことに対応して軽快に設計を行うためには,簡便な応答計算手法の開発は重要なこととなる.

### 1.7 評価・表示過程

性能設計体系は,対極的に見て設計作業の自由化とも言える.自由な競争社会は,公正な評価によって支えられる.構造物の種類,材料,地域特性によって照査方法の信頼度評価が異なるようでは,公正な競争は望むべくもなく,やがて公共構造物の購入者である市民にとって不利益な構造物の取得を繰り返すことになる.また,市民との対話によって形成された要求性能がどのように達成されたかについて分かり易い表示を行うことは,一品生産で個別性の強い土木構造物の情報を全国規模で開示することになり,対極的なフィードバックが可能である.さらに,維持補修における意志決定にて,新設時の要求性能が明示されていることは妥当な意志決定を導くうえで極めて重要な情報となるであるう.このような観点から,評価・表示過程では,以下のような方向性が必要である.

### 確率的評価手法

ISO2394 に定めるように,材料や構造種別に共通の信頼性評価技術は確率的なアプローチを持って論じられ,かつ構成されるべきである.しかし,長い間一部の専門家による判断のもとによって作られたプリミティブな設計法のうえに築かれた社会環境において,厳密な確率計算手法を導入するには,データ収集の問題から始まって,あまりにも多くの問題が山積されている.

### 実験的照査法

どのような解析手法においても多くの前提や仮定が存在し、さらに非線形解析では解析結果の唯一性を保証することが困難であるなどの理由から、実験的に照査する方法が好まれる場合がある.しかし、多くの土木構造物では、規模があまりにも大きいため、縮小モデルが用いられたり、部分的な要素試験に置換されたりする場合が多い.また、例え実物大の実験であっても、荷重のランダム性を考慮できるほど、十分なケースについて実験を行うことはできない.よって、実験と解析の長所を生かした相互補完的な照査方法もしくは照査体系が必要である.

照査結果の分かりやすい表現法(説明能力)

評価過程は,性能設計体系で間口を広げた融通性と設計過程の自由化によるリスクを全て負うため,極めて緻密で専門的な過程になると考えられる.しかし,表示の目的は,改めて評価された結果を市民にわかるように報告することにある.これは,単に要求性能を列挙して,「達成されました」をオーム返しすることであってはならない.すなわち,裏付けとなった技術者の専門性を感じさせつつ,市民に容易に理解可能な表現技術が求められるので,新しい表現技術を開発しコミュニケーション能力を高める必要がある.

### 1.8 活動方針

前述のように性能設計体系は広い概念であり、未だ確定されていない部分が多いので、委員会の活動が発散することを避けるため、以下のような活動の前提や方針を定めたうえで活動を行った.

まず,前提事項として次の事項を設定した.

建設実施は決定された後の構造性能の合意形成を取り扱う

要求性能を満足する解法について制約を設けない体系を前提として議論する性能の区分原理は、環境負荷低減型土木構造物設計ガイドラインをベースとする体系に対する議論とともに、その中に内在する問題点を解決する技法を提案する続いて 次のようなワーキンググループに区分した活動を行った.

要求性能WG

合意形成に適用可能な手法の提示

設計法WG

新しい設計技法の意義と例示

評価法WG

論理矛盾を起こさない評価手法/システム

調査WG

他分野の状況 (建築・鋼構造・RC・JR・自動車) および事例

### 第2章 合意形成と要求性能

### 2.1 合意形成と要求性能の概要

### 2.1.1 合意形成の必要性

今まで、役所の In House エンジニアは、技術者として何がよいのかを自分で判断することで仕事を進めてきたと考えられる。今まで、役所は、市民の代わりに仕事を代行して行い、市民のためにできるだけ早くサービスを行うことで、信頼を得ることを目標にしてきたと考えられる。この方法は、高度成長期の時代にあっては、優れた方法であり、何よりもスピードが必要な時代であった。さらに、東海道新幹線の建設、黒四ダムなどのように誰もが費用効果を計算するまでもなく得られる構造物が数多く存在してきたことも大きな理由であったと考えられる。しかしながら、高度経済成長が終わり、安定期になった現代で今までのやり方に無理が数多く生じてきなと判断できる。

なぜ合意形成が必要となって来たのかの理由を次に示す。

- 1) B / C の効率的なプロジェクトが数少なくなってきている。
- 2) 市民の評価が多様化してきており、説明責任を求められる。このようなことは、安全と安心の違いとも取れる。安全とは文字通り構造物が安全であるが、対象の市民には認知されていない状況をさす。安心とは、対象の市民が安全を認知する状況をさし、今必要とされているのはまさに安心の状況ではないだろうか。
- 3) 社会資本が数多くストックされるようになったことから、ライフサイクルコストを考えた運用が必要になってきた。

このような背景を考えると、合意形成は意思決定者、つまり役所と市民、つまりNGO、利害関係者との合意をどのように行うかにかかっている。合意形成での問題点は何であろうか?たとえば、火葬場の設置問題を考えよう。火葬場はすべての人に必要な公共施設であり、どんな人に聞いても「必要である」と答えるであろう。しかし、「自分の家の近所に建つのはいやだ」と答えるであろうことは簡単に想像できる。このように合意形成における総論賛成・各論反対の社会的なジレンマに陥るのである。土木事業における合意形成は、私的な行為とは違い、公共事業であり、公的な視点で判断する必要がある。健全な合意形成は、どのように上記のジレンマを克服して行くかであり、総論賛成・各論反対の心情をどのように公的な立場で考えるかである。公的な問題に私的な各論を持ち出せば、合意形成は必ず破綻するであろう。総論で賛成ならば、各論でも賛成すべきであり、総論反対ならば各論反対であるべきであり、そのような議論が可能となる土俵の構築が必要となる。この土俵の構築が、土木技術者に課せられた新たな問題であると考えられる。

### 2.1.2 合意形成の方法

合意形成をどのような方法で行うのか? 合意形成での技術水準、経済性を説明する。しかし、現実の合意形成は、コンサルタントがお膳立てをし、役所の代行を行うのが普通である。合意形成をする場合安全性をどのように表現し、合意形成を図るのであろうか?何をもつて合意を図るのであろうか。たとえば、原子力発電プラントを建設するとしよう。必ず、地域住民から反対意見が出るであろう。それは、「安全に対する不安」であり、電気事業者は「原子力発電プラントがいかに安全であるか」を説明する必要がある。山岸らによると、信頼の概念は図-2.1.(1)のように説明され

ている。ここで注目すべきことは、信頼は「能力に対する期待」と「意図に対する期待」の2つの 合意があって成り立つということである。

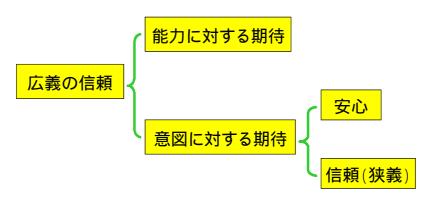


図-2.1.(1) 信頼の概念分類

言い換えると、前者は「安全」であり、後者は「安心」とも言える。前者は、システムが安全であることを技術者が認知することで、従来から行われてきている。後者は、システムが安全であることを説明し、一般の人に認知することである。技術者は、前者に対しては敬意を払ってきたが後者には払ってきたとは言いがたい。

原発検査記録改ざん問題を考えてみよう。電力会社側には、運転を止めると数千万から数億円の損失が発生し、収益優先の姿勢が見られた。さらに、原子力政策(プルサーマル計画)への批判の高まりを抑えたいとの機運もあったものと考えられる。このような背景から改ざん行為が日常化し、本来目的と照らして自らの行為の重要性・危険性を省みる機会がなかった。改ざん行為がばれた場合の社会的インパクトの大きさを考えた「リスク」を過小評価していたことになる。まさか知られないだろうと考えていたことで、知られてしまうと相手に「安心・信頼を与えるという善良さが欠如」したことになり、意図に対する期待を裏切ったことになる。

### 2.1.3 合意形成の道具

土木構造物での合意形成は、一般にどのようにリスクを分散し、その費用を誰が分担するかにある。リスク容認に対して、岡本は、次の3つに大別できるとしている。

専門的判断方式

リスク過程解析方式

リスク-利益分析方式

専門化方式とは、さまざまな特定のリスク受容にかかわる判断方式を一般化した方式である。リスク管理を最も理解しているのは、専門的な技術のトレーニングを受けた技術者である。彼らは、職人芸としてリスク管理のノウハウを持っている。専門家の判断要素として、 論理的基準、 質の基準、 専門的基準である。今まで我々は、技術者の論理的基準を信じることによって社会的合意が得られるものと考えてきたが、社会要求の多様化に耐えられなくなってきたと考えられる。すなわち、この方法は、技術者と一般市民の合意形成には向かないと考えられる。

リスク過程解析方式とは、ある特定のリスクが現実に起こるのは、どのような事故とどのような

事故が起こり、どのフェール・セーフが機能しない場合であるか、リスクの生起過程を具体的に想定し、リスク受容の妥当性を分析する方式である。リスクは、どのような場合でも、そのリスクが現実のものとなるかという事象の連鎖を理論的に考えてみることができる。リスクを評価し、事象の連鎖がどの程度起こりにくいかを評価する方法をリスク過程の解析方法という。その典型的な方法がフォールト・ツリーによる分析である。

リスク-利益分析方式は、あるリスクを容認することによって得られる利益(たとえば、経済的利益)とそのリスクの危険度(たとえば、期待死亡者数)を独立に分析し、リスク受容の妥当性をその兼ね合いから判断するものである。われわれの社会はすでに多くのリスクを受容している。受容の経緯は、それぞれのリスクごとに固有の背景があり、それぞれ異なっているはずである。しかし、そこには何かしら社会的認知のパターンがあり、その利益とリスクとのバランスが要約されていると考えられる。つまり、多くのリスクの便益を分析し、それが社会的に認知されてきたかを見ることで、許容できるリスクかどうかを判断する方法である。

合意形成過程では双方が理解しやすい表現方法を使う必要がある。専門技術者は、工学的用語で説明し、工学的量を用いて説明する、一般の市民は、日常の言葉しかわからないために、その間には工学的なギャップが生じてしまう。たとえば、「500 年に一度生じる最大応答加速度 800gal に耐えるようにじん性率 4.0 まで許容できる。」といっても、何のことか一般の市民にはわからない。この工学量や専門用語を避けて、「500 年に一度起こるような大きな時震度も大きな被害はあるが倒壊はしない。」と答えれば一般市民でも理解できるようになる。このような合意形成には、言葉の表現方法に図-2.1.(2)のような流れがあり、このように日常用語による表現を工学量の表現に変えてゆく必要がある。

言葉で合意形成を行おうとするが、言葉では合意ができるのであろうか?合意形成者の間で、合意を図るには数値に置き換える必要がある。言葉による合意は、名詞が物を指し、形容詞が物の評価を意味する。形容詞は、人間の感情や心理的な大きさを表し、これにより各自意思決定をしている。数学で用いられている 1.0 であるとか 2.0 などは、かなりはっきりした評価に対して、形容詞で表される「大きい」、「小さい」の表現はかなりあいまいなものになる。図-2.1.(3)に尺度のあいまいさについて説明する。

### 日常用語による表現

構造物の要求性能を一般人にも理解 できるような表現により明確化する。



### 工学用語による表現

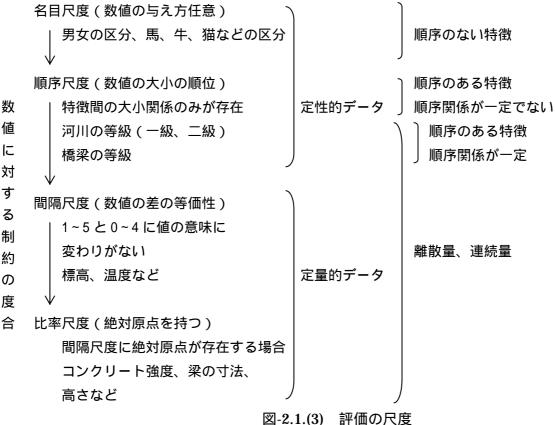
日常用語による要求を技術的に 記述する。



### 工学量による表現

工学用語による要求の適否を工学的 指標を用いて判断する。

図-2.1.(2) 性能の表記方法



図に見られるように、下になるほど定量的な表現になるが、土木での合意形成はどちらかという とあいまいな尺度で評価することが迫られている。

### 2.1.4 合意形成すべき対象者

本文では、建設が決まっており、どんなものを建設すればよいかを議論するときの合意形成を考えるものとする。合意形成すべき対象は、誰と誰なのか?構造物の種類により、受益者と損害者とが一致するものと、相反するものがある。たとえば、砂防ダム、河川公園などは受益者と損害者が一致する。砂防ダムを建設することで、下流の被害が防ぐことができ、建設することでの被害者はいない。このような場合の合意形成は、どんなダムを建設するかで期待被害と費用とのトレードオフの問題で比較的簡単である。しかし、吉野川の第十堰のように上流部の住民と下流部の住民の利害が相反するものもある。このような場合、市民の意見を聞くことが合意形成の結果であれば、堰を建設しないことになり、洪水が起こったときの国の責任はどうなるのであろうか、また、洪水が起こったときに被害を受ける下流の市民の合意形成はどうなるのであろうか。合意形成が誰と誰との間で行うのか難しい問題である。

さらに、どこまで合意をするかという問題がある。たとえば、河川施設をどうするかなどは、比較的最終的な内容まで合意を見ることができる。しかし、耐震問題のように鉄筋量や形状をどうするなどの決定などの専門的な問題が多い場合は、設計の環境条件などの入り口までを合意すればいいのかもしれない。

### 2.1.5 要求性能

Vision 2000 などで示された性能マトリクスが提案されているのは良く知られている。このマトリクスは、具体的な地域、地震、構造物などを例として述べているのではなく、単に抽象的な概念を説明するために用いられているものである。この性能マトリクスの重要性が認識されたのは、ノースリッジ地震などで被害を受けたビルのオーナー(非技術者)と設計技術者との間で双方が理解し合える設計ポリシーに関する情報交換方法の必要性が建物の設計では高まったことに起因している。

道路橋示方書をはじめ、わが国の土木構造物の設計基準が性能設計に移行している理由は、1995年に発足したWTO(世界貿易機構)第6条の技術仕様で、次のことが記述されています。

### 第6条 技術仕様

技術仕様が国際貿易に障害をもたらしてはならない。

技術仕様は性能を基準とする。

すなわち、加盟国政府によって調達される土木構造物は国際規格に基づいた技術基準等によらなければ国際協力違反となる。このために土木構造物も性能設計に移行している。

建設省が実施した総合プロジェクトによると、性能マトリクスを用いることを前提としているわけではないが、「要求性能」と「目標性能」という二つの用語を用いてそれらの役割を説明している。すなわち、「要求性能」はオーナーや市民など非技術者に対して、その建築物の保持する、または保持すべき条件を平易な表現で一般性の中にその建築物の持つ個別性を配慮できるように規定されるものであり、いわゆる「説明責任」として具備すべきものとしての役割を担っている。一方、「目標性能」は、設計技術者が要求性能を満たすように設計するに当たって、要求性能の持つ曖昧性を取り除いたいわゆる技術者間の要求情報を記述したものとなっている。「性能評価」過程において、「限界値」を与える根拠となるため技術情報としての具体性を持ち合わせる必要がある。た

とえば、「震度 6 の地震時に層間変形角が部材材質に応じた塑性許容回転角を超過しない」などの表現であろう。このように、目標性能には、ある程度設計対象となる構造物の特性(RC か、SRC かなど)を考慮した設定となるため、性能設計の企図する「可能な限りの使用規定排除」「代替設計案の促進」を阻害する可能性もある。このような矛盾条件をクリアしつつ、「要求性能」を確実に達成するためには、巧妙な技法を確立する必要がある。前記総合プロジェクトでは、これを「目標性能設定の原則」と呼ぶ手法または過程としているが、未だその具体的な方策は検討中であるとしている。

近年、設計法の高度化として限界状態設計法、性能設計法へと移行しつつある。設計法の規定の変化は、何をもたらすのであろうか?現行設計法による仕様規定と性能規定の違いを比較して表-2.1に示す。従来の許容応力度設計法では、安全率や重要度係数により構造物の設計目標を概念的には理解できるが、目的を定量的に評価し皆の合意を図ることは難しい。これに対して性能規定にすると、照査方法で自己選択、自己責任にゆだねられることより、合意形成した結果を評価に盛り込むことが可能である。

以上の検討は、構造物の使用者がプライベートユースである建築構造を主対象とした議論であり、オーナー、使用者、購入主体、管理責任主体に特殊性を有する公共構造物に対する固有性は、一切勘案されていないものである。しかし、十分に一般性を持った原則論でもあることに鑑みて、Vision 2000 や建築基準法の性能設計体系の精神を継承しつつ、道路橋の公共性を考慮した性能マトリクス(表示法)の意義と具備すべき要件は、以下のように考えられる。

	仕様規定	性能規定		
目標	概念的	明確		
照査方法	規定的	自己選択		
責任	公的保証	自己責任		
経済性	過大になりやすい	最適化が図りやすい		

表-2.1 仕様規定と性能規定

### 一般市民に対して

一般市民に対する「性能マトリクス」の意義は、「説明責任」を果たすことにある。震災を案ずる市民に対し、「0.2G の水平荷重に対して許容応力度を満足するように設計している」、「第一種地盤の地震スペクトルを用いて、許容じん性率を満足するように設計している」などという技術者にしかわからない説明技法を廃して、この構造の設計時の要求性能は、「震度 4 までの地震に対しては、通常の使用が可能であるように設計している」、「震度 4 を越えて 6 までの地震に対しては、一時期復旧作業のため使用を停止することもあるが、周辺に対して人命や不動産の損傷を与えないように設計している」といった一般市民に理解しやすく、かつ誤解の生じない表現で表すことが必要である。また、要求性能を明示することによって、「非達成性能」を暗黙のうちに示すことも重要な意義である。すなわち、先の例で言うならば「震度 5 においては通常通り供用を再開できることは保証しない」ことを明示している。

### 設計技術者に対して

設計技術者に要求性能マトリクスを示すことの意義は、代替設計案の促進にある。振動制御技術の発達が今後期待される現状技術の動向から鑑みるに、同一の要求性能を満足する要素技術の組み合わせが、多数存在する時代となる。橋梁設計の要求性能が耐震性のみではないことから、性急に廉価技術を特定して、可能設計技術の選択範囲を限定することは、広い目で見て高価な買い物をすることになる。一方、要求性能表現の曖昧さが、具体的な設計作業の到達レベルを曖昧にすることのないように目標性能導出の方法が確立されていなければならない。また、目標性能導出の方法に対して、整合性ある要求条件を示していなければならない。具体的設計作業が部分係数法による限界状態設計手法をとるものとすれば、部分係数決定時に必要な情報として、「その要求性能をどのレベルの信頼性で達成すべきか」について示されなければならない。

### 事業主体に対して

社会構造の変遷や利用技術の発達など、事業環境の変遷に対して軽快に設計技術を対応させることが可能となる。公共事業では、事業主体が設計のコードライターとなることが多いが、一貫・整合性ある設計哲学の継承が可能となる。一方、今後訴訟型社会へ進展することと、土木構造物の供用期間が長いことを勘案すると、供用後数十年を経て起きた震災において、設計時の過失責任を争う機会が多くなる可能性がある。その場合、明示された要求性能が法律技術的にみて問題がないようなシステムとする必要がある。

### 2.2 要求性能の数値化と評価

### 2.2.1 地震時の損傷評価の一般市民と専門家の違い

### (1) 概要

地震は繰り返し起る。しかもそれぞれの地域に固有の再現期間を持って生じる。南海地震では、巨大地震が 100 年ないしは 300 年ごとに発生していることが歴史から明らかである。一方、構造物の耐用期間は、50 年から最大でも 500 年程度であり、対象とする構造物によっては、想定される巨大地震に遭遇しないことも考えられる。本章では、構造物が地震に遭遇した時に、どの程度の被害を受けることを許容できるのかを耐用期間との関係からアンケートを用いて求めている。アンケート対象者は、主婦のような一般的な地震工学に対してほとんど知識を持たない人たちと専門家を選んだ。このように一般市民と専門家を選んだのは、専門家が今まで地震時の要求性能を決めてきたが、一般市民はどのように考えているのかを見るためであり、一般市民と専門家の要求性能に対する乖離を調べようとするものである。アンケートは、被害のスケッチを見せて、比較をする耐用年数を答えてもらうようにした一対比較法(AHP手法)を用いた。

### (2) 対象構造物と被害

対象を平均的な都市交通に用いられるコンクリート構造のラーメン橋脚(下部構造)の性能マトリックスの限界状態について一般市民の感性と要求性能と再現期間の関係を求める. 例えば、表-2.2.(1)に示すように設計レベルを中小地震動、レベル の地震動、レベル の地震動とし、その時の性能として、二次部材の返状、弾性限界、弾塑性挙動による変形などを考える.このような変状が一般市民にとってどのような感覚を持っているのかをアンケート調査により定量的に求め、性能マトリックスを構築する.アンケートで問題となるのは、どのような言葉と数値を結び付けていくのかを調べるものである.対象の被害をスケッチで示し、アンケートに答えてもらった。アンケートでは各被害状況が使用限界状態であるとか修復限界状態であるとかはわからないようにした。図-2.2.(1)~2.2.(3)は、各被害状況をスケッチした図であり、表-2.2.(1)の使用限界状態、修復限界状態、修復限界状態に対応するものと想定して、作製した。各図の特徴は、橋脚では塗装のはがれ、局部座屈、残留変形を考え、2次部材の変状は、雨どいの変状状態に注目してスケッチを作製した。表-2.2.(2)に各変状状態を説明する。アンケートでは、表-2.2.(2)の記述も合わせて説明した。

限界状態	使用限界状態	修復限界状態	終局限界状態	
地震動	中小地震動	レベル の地震動	レベル の地震動	
被害状況	二次部材の変状	弾性限界	弾塑性挙動	

表-2.2.(1) 限界状態と被害状況

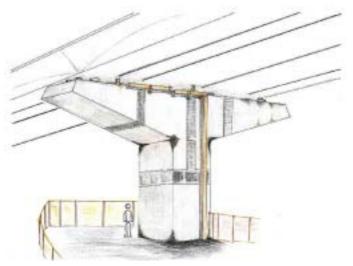


図-2.2.(1) 橋脚の被害 A (使用限界状態)

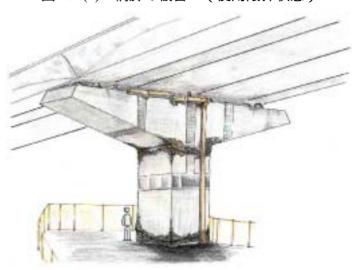


図-2.2.(2) 橋脚の被害 B (修復限界状態)

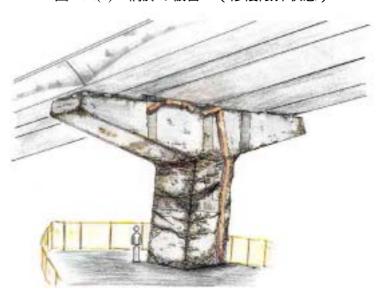


図-2.2.(3) 橋脚の被害 C (終局限界状態)

表-2.2.(2) 各図と被害状況

被害	限界状態	記述				
A	使用限界状態	・橋脚の表面の塗装が一部はがれる。				
		・排水口のパイプがずれ、その機能が失われる。				
В	修復限界状態	・排水口のパイプがずれ、その機能が失われる。				
		・橋脚の上下部の一部に、座屈(鉄板が曲がる)が見られる。				
С	終局限界状態	・橋脚の座屈がいたる所で見られ、30cmの大きな永久変位が見				
		られる。				
		・排水のパイプがはずれそうになる。				

### (3) 一対比較による再現期間の帰属度の決定方法

損傷を許容できる地震の再現期間は、構造物の設計条件を設定するにあたり考慮するものの、あいまいな概念であり、専門家の間でも議論されている内容であり、一般市民に至ってはその情報の概念すらないのが現状である。このようにこの値を定量的に答えてもらうことは困難である。しかし、2つの年数(例えば、10年と50年)を示し、一方の年数が他方の年数よりもどの程度その被害を許容できうる地震の再現期間の年数であるかを答えてもらうことは、再現期間の年数そのものを答えてもらうよりははるかに容易であろう。本研究では、一対の数値の比較を複数準備したアンケート用紙に解答を依頼し、得られたアンケート結果に前節で説明した一対比較法を適用している。一対比較法で得られる重要度は、アンケートに用いた数値が、被害を許容できうる地震の再現期間の年数にどの程度近いかを示すものであるがゆえ、ここでは帰属度と呼ぶことにした。

目安となる年数を決めるにあたり、被害 A を 10 年、被害 B を 50 年、被害 C を 100 年~200 年として、その値を中心として対数的に等距離になるように 7 つの目安となる年数を設定した。最大値は、一般土木構造物の耐用期間は 50 年~100 年であることを考慮し、被害 A は耐用期間内に必ず発生するであろう最大を 70 年として表-2.2.(3) のように設定した。被害 B は、耐用期間内に発生する可能性が大きい年数として、最大 200 年を設定した。同様に、被害 C は、最大 1000 年とした。表-2.2.(3) の数値を取り出し、どちらのほうがどれだけ適しているかを表-2.2.(4) のような表現で聞き、その妥当な評価に丸をつけてもらうようにした。表中の文章は、表-2.2.(4) の数値に評価され、一対比較値となる。表-2.2.(5) にアンケート用紙の例を示す。年数の並びは、恣意的にならないようにランダムに並べた。

表-2.2.(3) 各被害状況と設定した目安値

被害	限界状態	目安となる年数		
A	使用限界状態	10年,20年,30年,40年,50年,70年		
В	修復限界状態	30年,50年,70年,100年,150年,200年		
С	終局限界状態	50 年,70 年,100 年,200 年,500 年,1000 年		

表-2.2.(4) 一対比較値

評点	表現			
1	同じくらい。			
3	一致度が高い。			
5	かなり一致している。			
7	絶対に一致している。			

### (4)アンケート調査の解析結果

学生 15 名が答えたアンケート調査結果を用い、一対比較により各人の解答に対する帰属度を求めた。得られた結果から各人のアンケート結果の整合性を調べるために、整合比 C.I.を求めた。全体的に見て、整合性は悪く、本研究では、整合比が 0.2 を超える結果は精度が悪いと定義し、以降の解析には採用しなかった。

次に、幾何平均を求める。幾何平均は、アンケート調査から得られた各人の一対比較値 a<sup>(n)</sup>ik

の幾何平均値  $a_{ik} = \sqrt{\prod_{n=1}^{n=m} a_{ik}}^{(n)}$  を求めることで、行列 E の各要素を求め、それを固有値解析す

ることで得られる。アンケート結果から求められた帰属度関数の幾何平均の分布を図-2.2.(3)(a)~(c)に示す。図に見られるように各帰属度関数は大きくばらつく。特に、問1のように損傷が小さい場合の再現期間に関する答えのばらつきは大きい。

次に、求められた各被害を許容できうる地震の再現期間の年数の帰属度から再現期間の年数を求める手法を検討する。再現期間の年数 T は、各被害を許容できうる地震の再現期間の年数 D 年数の帰属度 D を考慮し、重心を求めることから式(2.2.1)のように定義される。

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{7} E_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^{7} w_i}$$
(2.2.1)

ここで、 $E_i$  はアンケート調査の目安値、 $w_i$  は  $E_i$  に対する帰属度である。さらに、この値のあいまい度  $S_T$  を式(2.2.2)のように定義する。

$$S_{T}^{2} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^{m} \{ (E_{i} - T) \cdot w_{i} \}$$
 (2.2.2)

 $S_T$ の持つ意味は、再現期間の年数 T に対するあいまい度を示す指標であり、大きくなるほど再現期間の年数 T について確信を持たないことを意味する。

図-2.2.(4)(a) ~ (c)に各問いの再現期間の平均値とあいまいさの関係を示す。同図中には、幾何平均の再現期間とあいまいさも示してある。式(2.2.1)を使って求められた再現期間を表-2.2.(6)に示す。

表-2.2.(6) 学生による再現期間

	再現期間	状態
問 1	41 年	使用限界状態
問 2	84 年	修復限界状態
問3	203 年	終局限界状態

問 地震が発生し、図のような被害が発生した。このような被害が発生した時に、 何年に一度ぐらいなら天災だとしてあきらめることができますか?

次の年数のうち、どちらが妥当であるかを比較して、その妥当程度に印をつけてください。

30年	絶対に 一致している し	かなり 一致している 	一致度が 高い 	同じ〈らい 	一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 」	50年
20年	絶対に 一致している 	かなり 一致している 	一致度が 高い 	同じ〈らい 	一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	10年
70年	絶対に 一致している L	かなり 一致している 	一致度が 高い 	同じ〈らい 	一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	50年
40年	絶対に 一致している 	かなり 一致している 	一致度が 高い 	同じ〈らい 	一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	10年
10年	絶対に 一致している 	かなり 一致している 	一致度が 高い 	同じ〈らい 	一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	70年
30年	絶対に 一致している 	かなり 一致している 	一致度が 高い 	同じ〈らい 	一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	40年
20年	絶対に 一致している L	かなり 一致している 	一致度が 高い <u></u>		一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	70年
20年	絶対に 一致している 	かなり 一致している 	一致度が 高い 		一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	30年
50年	絶対に 一致している 	かなり 一致している 	一致度が 高い 	同じ(らい 	一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	40年
30年	絶対に 一致している L	かなり 一致している 	一致度が 高い 	同じ〈らい 	一致度が 高い 	かなり 一致している 	絶対に 一致している 	10年

問1 幾何平均

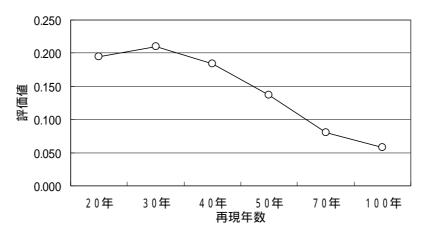


図-2.2.(3)(a) 幾何平均による帰属度関数 (使用限界状態)

問2 幾何平均

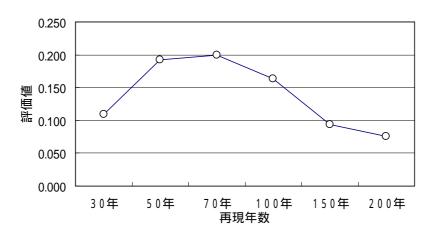


図-2.2.(3)(b) 幾何平均による帰属度関数(修復限界状態)

問3 幾何平均



図-2.2.(3)(c) 幾何平均による帰属度関数 (終局限界状態)

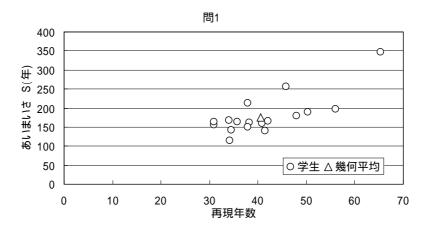


図-2.2.(4)(a) あいまいさ S と再現期間の関係 (使用限界状態)

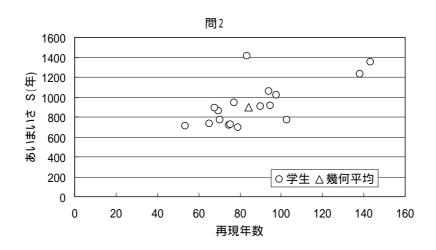


図-2.2.(4)(b) あいまいさSと再現期間の関係(修復限界状態)

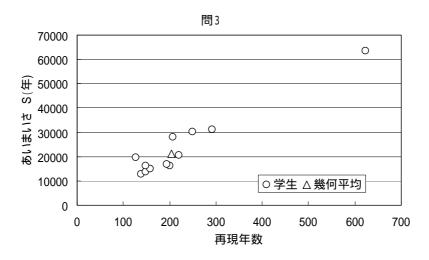


図-2.2.(4)(c) あいまいさ S と再現期間の関係 (終局限界状態)

### 2.2.2 住民との合意形成とその評価法

### (1)概 要

PI 先進国であるアメリカでは, PI の進め方の基本的な考え方として,総意(コンセンサス)ではなく,十分に説明を受けての合意(インフォームド・コンセント)を求めている.その基本原則として,事業の計画に影響を受けるすべての人を加えて議論するという全員参加の意識,異なる考え方を持つ人たちとの相互理解,さらに,質の高い情報開示の必要性,最後に住民からのフィードバックの意思決定過程への組み込みを掲げている¹).PI による意思決定を実施する場合の最も重要な第一歩は,意思決定プロセスの設定であるとしている.このように,欧米型の PI では,意思決定に至るプロセスが重要視され,各プロセスを周到に実施することに重点が置かれ,欧米型の合理主義の考え方が反映されたものとなっている.

一方,長町は,住民参加型の人間工学や感性工学的な観点からもっと住民サイドに立った PI の 定義として,「住民の参加に基づいて,住民の意向が政府の意向と一緒になって統合され,その地 域の質,生活のレベルが上がること,政府がそのためのサポートをすること」を提案している.

著者らは平成 10 年度から土木学会四国支部の PI に関する研究に関わってきた.その調査研究の過程で,日本における PI の方法としては,プロセス重視の欧米型の PI 方式をそのまま導入するのではなく,日本人の感性にあった合意形成プロセスを考えるべきではないかという観点から,住民参加型感性工学(Participatory Kansei Engineering)に基づいた PI 手法の開発とその手法を用いた公共事業の進め方について検討してきた 2)3)4)5).本論文では,日本における PI 事業実施に際して,地域住民との合意形成を図る方法の一つとして,感性工学による方法を提案する.

### (2)感性工学と設計法

感性工学とは, "感性と工学とを結びつける技術", "人間の感性を分析しそれを商品の設計に取り込むことにより,人に喜びと満足をもたらす商品づくりを工学的に行う技術<sup>6)</sup>"と定義されている.

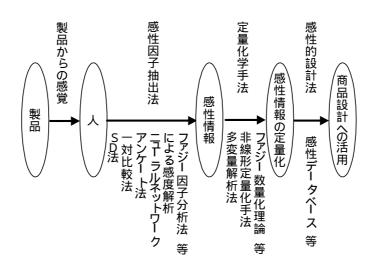


図-2.2.(5) 商品設計への感性の取り込み

商品を設計する場合,機能からの設計要求に感性からの設計要求に加えて,顧客の商品に対して抱く感性を取り入れた次元の違う複合的な設計要求を同時に満たす必要がある.感性工学では,このような顧客が商品に対して有する感性情報(イメージやニーズ)を設計要求に取り込むために図-2.2.(5)に示すような手順を用いる<sup>7)</sup>.

人間の感性データを収集・抽出する方法として、 感性工学では SD (Semantic Differential)法がよく用いられているが、 他に一対比較法、 評定尺度法等様々な方法が用いられている $^{7}$ ).

感性情報の抽出により得られたデータには,個人差や測定のばらつきが含まれており,データの特徴を分析するためには統計処理が必要となる. 感性工学では,データ間の多次元的な特性を明らかにし,感性情報とデザイン要素の結びつきを定量化するために,主として多変量解析が用いられる.

感性工学手法を取り入れた製品設計は,自動車,衣料,住宅,ロボット等様々な分野において用いられ,設計支援システムが構築されている.公共事業においても東京都江戸川区の親水公園<sup>8)</sup>,福井県九頭竜川の鳴鹿大堰<sup>9)</sup>などに感性工学的手法の設計への導入が行われている.

白木の研究グループでも,5,6年前から感性工学の橋梁構造物の景観評価・設計への応用について研究 10,11)を実施し,既にその有効を確認している.

今後の展開としては,ニューラルネットワーク,人工知能,ファジー論理,ジェネティクアルゴリズム,バーチャルリアリティ等の新しい情報技術の進歩とともに,これらの技術と感性工学を組み合わせた手法が,設計に取り入れられて行くことが予想される.

- (3)住民参加型感性工学による PI の考え方
- a)行政の行動原理とPIの考え方

感性工学的手法が広く適用されつつある商品開発では、図-2.2.(6)に示すように顧客のニーズ(感性)を十分把握して商品を開発することが要求される.このような「顧客 感性 商品」といった感性を介在させた商品開発のフローを、住民参加による公共構造物の設計等に置き換えたものが巣



図-2.2.(6) 顧客ニーズ(感性)の把握による商品開発



図-2.2.(7) 地域住民と設計等による建造物の具現化との関係

図-2.2.(7)である.

商品開発においては,顧客の感性を物理量として計量的に表現し,どのように商品のイメージを具現化するかが要求される.このため,顧客と商品との間のインターフェイス(顧客の感性)が極めて重要である.公共事業における地域住民と建造物の具現化との関係についても同様のことがいえる.

土木事業では、価値観、風土、歴史・文化、環境といった地域の諸条件を考慮のうえ、生活の質(QOL: Quality of Life )の向上が達成されなければならない、公共事業は生活の質的向上に資するために行われるべきであることは自明であるが、これが事業者のみの了解事項であってはならない、各種公共事業は地域住民の生活の質的向上のために実施されるという基本的考えが住民に広く理解されることが大切である。すなわち、事業者が立案しようとしている構想の必要性・必然性を住民に理解してもらうと同時に、住民との対話において、事業が風土、歴史・文化、環境等にも十分に配慮されて実施されているということを理解してもらう必要がある。

PI 実施においては,事業者(行政)と住民とが連携・協同しているか,地域の課題を解決するといった目標を住民も認識しているかが重要である.そのためには,どの段階でどのような情報を,どのような場で発信すればよいかなど,個別具体的に検討すべき点は多い.

その1つに行政のとるべき行動原理がある.その基本的な行政がとるべき行動原理 <sup>12)</sup>としては,以下の10項目が挙げられる.

誰が責任者なのか、誰が窓口なのかなどを明らかにし、住民とは常に接しておく、

計画案を確定的に考えない、住民の意見に柔軟に対応できるようにする、

計画変更は許容する、計画変更の意見には積極的に支援し対応する、

住民にはどのようなグループがあるのかを見いだす.

リーダー格の住民を見いだす.リーダーを育成・指導する.

学習プロセスを設けてグループを育成し,課題解決に向けた連携を促進する.

行政は黒子に徹し,事務局役として気持ちよく動く.

住民を説得するのではなく,共通の課題へ参画させる.

行政の専門知識を住民にわかりやすく伝える.

住民とともに計画・設計を決定するというプロセスを重視する.

b)住民参加の心理学に基づく PI の考え方

地域住民の感性を把握し, PI を実施する場合に必要な住民心理 10 の原則  $^{12)}$ を以下に示す.事業者はこの原理を事業のどの段階においても常に考慮しなければならない.

押し付けの原理:人は人から命令されたり、押し付けられることを嫌う、

保守の原理:人は変化を好まない.

ノルムの原理:人は,ノルム(規範)に基づいて行動する.

自我関与の原理:人は人格への取込みで自己への関係を意識する.

自主性の原理:人は自ら考えたことを実行する.

参加の原理:参加は自我関与を強化する.

責任の原理:参加は責任感を強める.

思考の原理:参加することでアイデアが膨らむ.

連帯の原理:参加は仲間との連携を呼ぶ.

満足の原理:自我関与・責任感などが喜び・満足に結びつく.

### c)参加型感性工学による事業の進め方

参加型感性工学の考え方に基づいて PI 事業を進めて住民との合意形成を図っていくプロセスが,著者の一人である長町によって提案され住民参加の手順及び参加の程度をはかる尺度として,表 -2.2.(7)のように,理解度 1 (情報提供),理解度 2 (疑問解消),理解度 3 (自我関与),理解度 4 (アイデア提供),理解度 5 (変化をつくる)の 5 段階の基準が示されている  $^{12}$  .

この基準を用いれば, PI の達成度が確認ででき, PI による事業を進めていく上で非常に有効である. PI の達成度評価については, (5)で述べる.

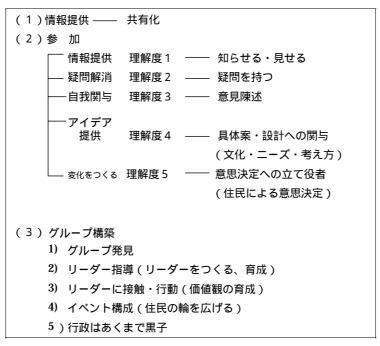


表-2.2.(7) 参加型感性工学の考え方

### (4)公共事業における合意形成プロセス

### a)PI による合意形成の重要性

公共事業とは,国民,地域住民が豊かな生活を送るために必要な道路,港湾,空港,河川等の社会資本整備事業をいう.その事業によって恩恵(場合によっては被害)を被るのは国民であり,地域住民である.従って,公共事業を進めるにあたっては,国民,地域住民の意見を反映することは重要である.しかし,わが国のこれまでの公共事業の進め方をみると官主導で進められてきた傾向が強い.

最近,公共事業への PI の重要性が指摘され,わが国においても実施のための検討が進められている.しかし,事業の目的,規模,内容,場所,期間等多岐にわたり,一律に扱えないという問題があり,PI の実施マニュアルの作成が困難で,本格的な実施まで至っていない.

PIによる合意形成の効果は,住民が自ら事業の計画・実施に参画することによって,事業に対し

て責任を持つことになり、それによって喜びや満足感が生まれ事業そのものに愛着がわいてくることである.そのためには、住民サイドに立ち、人間尊重の立場で、住民の自主参加を促す PI による合意形成の実施が重要である.

b)PI による合意形成の進め方

# ・成功するポイント

PI による合意形成を成功させるための行政側の考え方として重要な点は,住民サイドに立った PI の実施が公共事業の本来の目的である,地域住民の生活の質を向上させることにつながるという認識をまずトップが持ち,その考え方を職員全員に浸透させることである.

そして,住民サイドに立った PI を実施するに際しては,「行政の行動原理」及び「住民参加の心理学」を踏まえて検討することが重要である.その際には,過去に実施された事業について,住民サイドに立った PI の合意形成という観点から再評価を行い,問題点を抽出することから始めるのが成功するポイントである.

## ・参加型感性工学手法

PIによる合意形成を成功させるためには、それを進める活動の中に必ず住民を巻き込むことである。これを参加という。何かを変革・変更する際に、関係者抜きでプランを立てても、当事者に受け入れられないことが多い。ところが、当事者もそのプランに参加し問題点を明らかにしたり意見を述べたりするチャンスがあると、変更されたプランを気持ちよく受け入れる。その上、事業が実施される地域のことを一番知っているのも住民であるから、PIによる合意形成のプロセスにおいて立案される改善案や解決案がより良いものになることが期待できる。

このような方法を「参加型感性工学手法」という.これらは,以下に示す5つのプロセスをたどる <sup>13)</sup>.

PI による合意形成を進めるプロジェクトに当事者である住民に参加してもらう.

PI による合意形成を進めるための基本的な知識として人間工学や感性工学を関係者全員で勉強する.

人間工学や感性工学的なツールを使って過去に実施された事業の問題点を明らかにする.

問題点の解決案を,事業を実施した当事者の職員,地域住民とともに検討する.

改善案を決定する.

# ・組織づくり

最初に手がけることは PI による合意形成を進めるための母体の組織づくりである. つまり, プロジェクト・チームの結成を行う. プロジェクト・チームに加わるメンバーとしては次のような人たちが考えられる.

#### 1)全体の統括をする窓口事務部門

PI は行政全般に係わる問題であるので,全部門に通じるような部門が望ましい.総務部,企画部等が適任である.

### 2)地域住民の参加

PI の主役である地域住民の参加は不可欠である .地域を代表する組織のリーダーに参加してもらうことが望ましい .

# 3)当該事業の専門家の参加

実施する事業の専門家の参加は不可欠である.

4)事業を実施する工事事務所の参加

事業を実施する工事事務所の参加も不可欠である . PI 事業を実施するには工事事務所の管理者・ 監督者,そして現場担当者等の参加が必要である .

5)その他関連部門の参加

PI の問題であるので, 広報課, 企画課の参加が必要である.許される場合は, 学識経験者の参加も必要である.

・推進のプロセス

住民のサイドに立った PI による合意形成を進める具体的なステップは,次のとおりである 13).

1) 第1ステップ 体勢づくり

事業主体として住民サイドに立った PI による事業を行うことを決定する.

・トップの理解、職員の理解が必要

プロジェクト・チームの編成

- ・PI の実施を現実に実行していくグループを編成する.そのためにも関係部署の協力と共同歩調が不可欠である.とくにモデル事業として PI を実施する際には,その事業を担当する部署の職員たちの了解と認識が重要である.
- ・前項の組織作りで示したメンバーを配置してプロジェクトチームを編成する.
- ・このプロジェクト・チームの編成は,トップ及び部門長の承認事項であることを徹底する. PIによる合意形成事業実施の推進キャンペーン
- ・住民サイドに立った PI による公共事業を実施することを宣言し,全庁的な雰囲気作りをする. マスコミ,職場報,朝礼などあらゆる媒体を有効活用する.
- 2 ) 第 2 ステップ モデル事業決定と現状分析 モデル事業の決定
- ・まずモデル事業で成功させ、そのノウハウを全事業に普及・展開する、
- ・そのためには,「PI が必要な事業」,「比較的事業集約的なもの」,「全国的に見て標準的な事業」のような条件を満たす事業を,モデル事業として選ぶ.

PI 実施による合意形成の考え方と進め方の説明と役割分担の決定

・プロジェクト・チームの各メンバーに対して, PI による合意形成のねらい, 考え方, 進め方, 人間工学や感性工学の知識, その手法等について勉強会を行い, 十分に説明する.また, 各自の役割分担も決定する.

現状分析

- ・図-2.2.(8)に示す参加型感性工学による PI 事業の進め方に基づいて,住民へ提供する情報はどのようなもので,どの段階でどのような方法で流すのか,これまでのどのような対応の仕方に問題があったのか等の問題点が明らかになる.
- ・実際に対応してきた職員に対して、現状での問題点を聴取する、
- ・調査分析の手段としては,これまで問題が発生した事業を分析することが効果的である.
- 3)第3ステップ PIによる合意形成と小集団活動 総合的分析
- ・これまで問題が発生した事業をいくつかの調査手法により分析した結果を整理する.それぞれの

結果から考えられる問題点を洗い出し,それぞれの関連性を検討する.

・それらの問題点は,それらをどうすれば改善でき,今後実施する事業がどのようにすれば住民サイドに立った形で実施できるかについて検討する.

小集団活動による問題分析

- ・検討結果を,現場の職員,住民に見せ,実態と比較検討してもらう.この場合,参加型計画手法である PCM(プロジェクト・サイクル・マネッジメント) 14)等の手法を用いて分析する.
- ・検討結果の内容から問題点の整理を行う.

## 実施案の検討

- ・現場の職員レベルでも実施できる案を検討する.
- ・実施案を住民の事業への参加のレベル(理解度)に応じて、「情報提供方法」、「疑問解消方法」、「自我関与方法」、「アイデア提供方法」、「意志決定方法」に整理しておく.

実施案をプロジェクト・チームで調整

- ・「問題点」 「実施案」のプロセスをプロジェクト・チームとともに再検討する.
- ・全庁的な立場から実施案の見直しをする.

実施案の作成

- ・プロジェクト・チームと地域住民との調整後の実施案をまとめる.
- 4) 第4ステップ PI による合意形成事業の試行,実施,フォローアップ 実施案の試行
- ・決定した実施案を試行・チェックする. 試行しながら不都合な部分などを改善する. PI による合意形成事業の実行
- ・すべての試行で不都合がないことを確認した後,モデル事業について PI による合意形成事業を本格的に実行する.
- ・作成したされた実施案をモデル地域で住民に参加のもとに実施する. フォローアップ
- ・PI による合意形成事業を実施したモデル事業について,その成果を確かめる.マニュアルの作成
- ・全庁的に PI 事業を実施するために PI による合意形成マニュアルを作成する.

### (c)グループ構成

作成した PI による合意形成マニュアルをもとに全庁的な形で PI 事業を展開する場合,事業の重要性,問題点,進捗状況等を常に把握でき,住民と最も良く接し応対する立場にある工事事務所の職員による小集団(グループ)の構築が重要である.彼らが,地域の文化,歴史,風土を知り,地域住民の感性一番良く理解しているので,事業の改善への意見やアイデアが提供できる.それらの意見をもとに,マニュアルの改善を図ることができる.

グールプの構築においては,事業を実施する組織内のグループだけでなく,地域住民側のグループの構築も重要である.日頃から地域の文化,歴史,風土を理解し,地域の QOL を高めるために活動しているグループを把握しておく必要がある.グループがない場合は,地域のリーダーとなる人を育て,そのリーダーを中心にグループを構築していくことが重要である.そのようなグーループは,地域の QOL を向上させるために何をなすべきかについて良く理解しているので,事業に関

#### 図- PI 達成度の評価尺度

│理解度1: │知らせる	十分な情報が繰り返し提供されているか.
Mode	事業主体側と住民側とが情報を共有することができているか.
	情報を提供するとともに , 年齢層・階層別にイベント・見学会
	を開催するなどして理解を深めているか.
理解度2: 問題意識を醸成す る	引き続き適切な情報が提供されているか. 現状に対する問題 ,公共事業の必要性など ,シンポジウム等を 通じて関心を高めているか.
理解度3: 積極的な関与を促す	様々な場を活用して現状の課題や事業に対する意見や要望を 求めているか . 意見・要望が住民に還元されているか . 公共事業に対する主体的な係わりが高揚されているか .
理解度4: 関与をさらに強化 する	住民によるコンペや小中学生のスケッチ等の参加手段を工夫しているか. 具体的なアイデア提供の機会を設け,設計段階への参加意識が強化されているか.

する意見やアイデアの提供が期待できる.また,事業の必要性を住民に広く伝えてもらうことが期待できる.

### (5)PI の達成度評価

### a)達成度の評価尺度

PIによる合意形成プロセスにおいては,行政と住民との密接な関わりが不可欠である.住民参加を促すための適切な場をどのように設けるか,また,情報をどの段階でどのような内容について提供すればよいか,さらに,住民の意向をどのように集約し,これらを住民にどのように還元すればよいか等といった方法論の検討が重要である.

ここでは,香川県東部に位置する大内白鳥地区国道 11 号バイパス整備事業 <sup>2)3)</sup>を対象として,公 共事業の住民参加のあり方について行った事例調査をもとに,参加型感性工学の考え方に沿って図 - に示すような評価尺度を定めた.なお,評価尺度は,表-2.2.(7)に示す参加型感性工学の考え方 に基づいた PI による合意形成の進め方の手順(理解度 1~5)ごとに定めている.

### b)国道バイパス整備計画の PI の達成度評価

図-I で定めた評価尺度を用いて,大内白鳥地区国道 11 号バイパス整備事業の計画段階での達成度評価を行った.対象とした事業は,バイパス路線選定といった計画初期の段階から PI の積極的な導入が検討されたもので,「街づくり・道づくり検討会」を設置して検討が進められてきた.従って,ここでは,上で示した尺度の内,「理解度 1:知らせる」,「理解度 2:問題意識を醸成する」,「理解度 3:積極的な関与を促す」に注目し,検討会方式による PI のあり方を評価し,その結果抽出された留意事項について,それぞれ図-,図-,図-,図-にまとめた.

### c)PI 達成度評価のためのチェックリスト

図-2.2.(9)の PI 達成度の評価尺度は理解度という基準を用いているので PI の達成度が確認でき、PI による合意形成を実施する上で非常に有効な尺度である。著者らの研究グループでは、図-の評価尺度と人の心理や行動から見た図-に示す PI における合意形成の達成度のチェックリスト 5)

# 図-II 「理解度1:知らせる」における評価

国道バイパス整備をはじめ多くの公共事業は行政の役割であるといった"行政依存"が強いなかにあって, 住民参加の意義,役割を明確に伝えることが重要である.

その場合,住民参加方式が採られている他地区の事例や PI の状況をわかりやすく伝える必要がある.同時に,地方自治体の担当者も住民参加の理念やあり方について十分な理解が求められる.

<u>住民が自ら知ろうとする意識を高めるためにも,事業主体は"黒子"となる必要がある.しかし,求められる情報をいつでも提示できるようにしておくことが大切である.</u>

その場合,専門用語はわかりやすく記述するなど,提示資料の表現は住民の興味がわくようにする必要がある.

<u>国道バイパスにより地域が変わるという視点は重要である</u>.まちづくりに関連づけて検討することで住民の関心を促すことができる.

誰もが認識していると予想されることについても、討論の開始にあたっては再度確認する必要がある、

<u>地域に関する情報を広く収集し,事業主体側と住民側とで情報を共有するためには,メンバー構成も重要である</u>.メンバーに女性を加えることで,女性の視点での話題提供が期待できる.検討会メンバーとして,自治会代表者等も考えられる.メンバー選出に当たっては,事前にルールを整備する必要がある.公募制を採るなども考えられる.

<u>検討会メンバー以外の住民の傍聴を促進するために</u>,開催日を土日にするなど,参加しやすいように配慮する必要がある.

# 図- 「理解度2:問題意識を醸成する」における評価

検討会で検討する内容は常に伝えるとともに,資料も前もって配布しておくことが重要である.このことによって,道路整備に対する日常的な問題意識が高まり,意見や要望の準備も可能となる.

<u>バイパス整備に限定せず,事業計画プロセス,事業評価システムなどについても伝えることが重要である</u>.こ のことによって,問題意識が多面的に広がる.

<u>路線選定のみの議論では,住民の関心や興味が十分引き起こせない.</u>状況が許せば,バイパス構造や植樹計画なども検討事項に盛り込む.

検討会メンバーが自らの問題として考え,参加の意識を高めるために,報告書のとりまとめにも関与することが効果的である.これにより,参加の満足感が得られることになる.バイパス整備と街づくりを関連づけるとしても,全体像としてのまちを議論するのは容易でない.

街づくりをいくつかのテーマに絞ったうえで議論することが望ましい.

<u>街づくりの議論に関しては,不利益を被る市民も参加する必要があろう.</u>これにより,検討会メンバーの共通理解につながる.

### 図- 「理解度3:積極的な関与を促す」における評価

<u>地域(検討会メンバーが属している母体組織)での情報の波及や議論を推進するために,検討会資料のダイジェスト版を製作し,広く活用することが必要である</u>

その場合,それぞれの組織では何を話題にするのかを明確にし,住民が議論に出席したくなるような働きかけや動機づけが必要である.

地方自治体の住民との日常的な対話が重要である .PI を実践するとしても突然実施すると住民が戸惑う場合も予想される . 検討会メンバー以外の住民も意見を述べることに慣れる場を提供することが第一である .

<u>住民参加方式で計画を進めることを繰り返し PR する必要がある</u>とくに,地方自治体の広報誌だけでは不十分である.理解しやすいリーフレットを製作するなどして,様々な手段によって PR する必要がある.

各種団体の例会,地域行事の場を活用し,アンケートを実施することも有効である.アンケートは意向把握の 手段であるが,情報提供の手段でもある.また,集計後のアンケートは住民に還元する必要がある.

を作成した.これは,事業担当者がA:「十分な取り組みをした」,B:「取り組みをした」,C:「取り組みが少なかった」,D:「取り組みをしなかった」,E:「取り組み不明」の5つの評価ランクに

従って記入するものである.このチェックリストは大局的な視点から PI プロセスの骨格をチェックする.ことには十分有効であるが,チェックする側の感性,価値観に左右され,一律の評価が得ることができないことが問題視されている.そこで,図- に示すチェックリストを骨子として,理解度と各段階のマトリクスの中にどのような項目が入るかを,四国地方で行われてきた公共事業のPI 事例リストアップ 109 件の内ヒアリング調査を行った 15 事例に対する回答 27 件を対象に検討を行い作成したチェックリストの一例を図-VI に示す.なお,紙面の都合上図- には,理解度 1 の場合のチェックリストしか示していないが,同様なリストを理解度 1 から理解度 5 まで作成している.

図- において,第 1 段階における"いつ情報提供したか"という項目では,各理解度毎に様々な回答形式があったので,解りやすくするため理解度毎の代表的な回答をもとにまとめた."どんな情報を提供したか"という項目では,ヒアリング調査の結果,理解度  $1 \sim 2$  理解度  $1 \sim 2$  までは,その理解度における代表的な回答をまとめてチェック項目とし,理解度  $1 \sim 2$  は記述形式とした."誰に提供したか"という項目では回答にあまり差がなかったので理解度  $1 \sim 2$  理解度  $1 \sim 2$  まで共通のチェック項目としている.

第 2 段階の情報提供の場は,ほぼ理解度 1 ~ 理解度 5 まで共通しているが,各理解度毎に特有なチェック項目も取りいれている.場の設置回数を設けたのは,住民の理解の程度を大きく捉えることができるからである.

第3段階でのチェック項目は各理解度の意図を反映するように,理解度2では "疑問の解消",理解度3では "意見の有無",理解度4では "アイデアの有無"理解度5では "意思決定の有無"を各理解度の段階においてチャック項目として加えた形式になっている."フィードバック"のチェック項目は理解度による違いが余り無いため,有効であると考えられる項目を理解度1~理解度5まで共通とした

図- 人の心理や行動から見た PI 達成度のチェックリスト

長町によるPIの 原理	【第1段階】 意識 情報提供 やきっかけ 行動 きっかけ	[第2段階] 意識 理解する場 の有無 行動 行動の場 の有無	[第3段階] 意識 理解による 意識の変化 行動 行動の結 果
<b>理解度1:</b> 情報提供 - 見せ る・知らせる	【情報提供·きっかけ】	【情報提供の 場】	【フィードバック】
<b>理解度2:</b> 疑問解消 - 疑問 を持つ・歩み寄る	【疑問解消の情報提供・きっかけ】	【疑問·質問の 場】	【疑問の解消】 【フィードバック】
<b>理解度3:</b> 自我関与 - 意見 陳述·議論参加	【意見議論のた めの情報提供・ きっかけ】	【意見·議論の 場】	【意見の有無】 【フィードバック】
<b>理解度4</b> : アイデア提供 - 具体案・設計へ の関与	【アイデア募集 の情報提供・きっ かけ】	【アイデア募集 の場】	【アイデアの有無】 【フィードバック】
<b>理解度5:</b> 変化をつける - Self-Designing	【参加者による 意志決定のための 情報提供・きっか け】	【PI参加者の意 志決定の場】	【意志決定の有 無】 【フィードバック】

図- 理解度1のチェックリスト

長町による PIの原理	【第1段階】 意識 情報提供やきっかけ 行動 きっかけ	【第2段階】 意識 理解する場の有無 行動 行動の場の有無	【第3段階】 意識 理解による意識の変化 行動 行動の結果
<b>理解度1</b> : 情見せる けい		( )回	【フィードバック】・「理解度 - 1」の取り組み結果の情報をPI参加者に提供する手段資料(ワークショップ便り,パンフレットなど)を郵送 ・ 意間・

また,チェックリストの有効性を検討するため,四国地方で実施された公共事業例を数例選出し,考案したチェックリストによる評価を行った.評価対象事例としては,四国地方の PI 事例調査中で事業数の多い都市および地方計画,公園緑地,複数の事業の組み合わせ例のヒアリング調査データベース<sup>5)</sup>を用い,チェックリストの各項目にチェックを記入し,その有効性を検討してみた.その結果,"四国地方の市民参加型公共事業の進め方に関する調査研究平成13年度報告書<sup>5)</sup>"において,事業の PI 達成度評価が評価者によりばらつくとの報告がなされているが,本研究で提案しているチャックリストを用いることにより,PIによる合意形成事業計画時における事業担当者による事前のセルフチェックやヒアリング調査時における評価を客観的事実において評価することが可能となり,評価のばらつきを解消するために,十分に有効であること考えられる.しかし,チェックリストの評価結果を反映した定量的に評価法については、今後の課題である.

# (6)まとめ

著者らの研究グループでは,数年前から四国地域で実施された公共事業の事例調査を行い,PIによる合意形成の在り方という観点からの評価を試みてきた.そして,公共事業を進めていく上でどのような形で住民が意思決定のプロセスに関わっていくべきかについて検討してきた.現時点での結論は,地域の文化,歴史,風土によって育まれた住民の感性を取り入れた日本独自の PI による合意形成実施システムを作ることである.地域住民の感性を取り入れた意思決定システムを構築す

るためには,参加型感性工学の考え方に基づいた方法が考えられる.

本研究では,住民参加型感性工学に基づいた 公共事業の進め方について検討し,PIによる 合意形成の進め方に関して一般的な方向性を 示すことが出来た.

次のステップとしては,具体的な事例ごとに現場サイドでPIによる合意形成事業を実施していくための実施マニュアル(ガイドライン)の作成が上げられる.本研究で示した(3)項から(5)項の内容は,住民参加型で公共事業を進めていくための基本的な考え方,手順についてまとめたもので,その内容がそのまま公共事業におけるPIによる合意形成実施マニュアル(PIによる合意形成ガイドライン)の骨子になる.

PIによる合意形成実施マニュアルの作成に あたっては,まずこれまで各地で実施されて

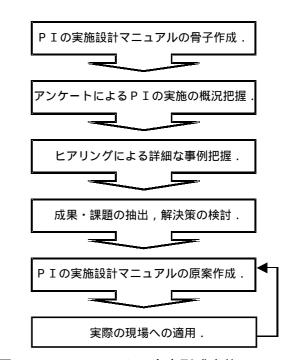


図-2.2.(8) PI による合意形成実施マニュアル 作成に向けた手順

きた数多くの事業例を事業種別にアンケートやヒアリングを実施して詳細に調査し,その事例調査によって明らかになった課題を抽出し,その解決策を検討することにより,PIによる合意形成実施マニュアルの原案を作成するという手順(図-2.2.(8)参照)が必要である.これについては,現在検討中である.

#### 参考文献

- 1)朝日新聞社:東京都市交通シンポジウム基調講演, "米国における PI の意義と課題", 平成 2000年 11月 29日付け新聞記事(18面).
- 2) (社)土木学会四国支部社会資本問題研究委員会:四国地方における社会資本整備の進め方に関する事例研究と課題(平成10年度成果報告書),1999年5月.
- 3) (社)土木学会四国支部社会資本問題研究委員会:四国地方における社会資本整備の進め方に関する調査研究(平成11年度成果報告書),2000年3月.
- 4) (社)土木学会四国支部社会資本問題研究委員会:四国における市民参加型公共事業の進め方に関する調査研究(平成12年度成果報告書),2001年3月.
- 5)(社)土木学会四国支部社会資本問題研究委員会:四国における市民参加型公共事業の進め方に関する調査研究(平成13年度成果報告書),2002年3月.
- 6)長町三生:感性工学のおはなし,日本規格協会,1995年.
- 7) 矢川元基, 吉村忍, 松田聡浩: 感性と設計, 培風館, 1999年5月.
- 8) (株) 地域環境計画: News Letter, Vol. 10, pp4-5, 1997 年 12 月.
- 9) 風土工学研究会:風土工学への招待,山海堂,2000年4月.

- 10) 白木 渡・野田英明・長町三生・松原雄平・安達 誠:アーチ橋の感性データベースの構築と その景観評価への応用,構造工学論文集, Vol. 45A, pp. 553 560, 1999 年 3 月.
- 11) 保田敬一・白木 渡・安達 誠・三雲是宏・堂垣正博:感性工学手法による桁橋の景観評価・ 設計に関する一考察,土木学会論文集,No.665/-49,pp.103-116,2000年12月.
- 12) (社)土木学会四国支部社会資本整備の進め方研究会香川WG:香川地区における PI 導入による 社会資本整備事例調査とその評価, p.45, 1999.
- 13)長町三生:アドバイザーのための職務再設計,(財)高年齢者雇用開発協会.
- 14) 河野清,山中英生,大谷英人他: PI プロジェクト立案への PCM ワークショップ手法の適用に関する研究,四国地方における社会資本整備の進め方に関する調査研究業務委託(平成 11 年度)業務委託成果報告書,土木学会四国支部社会資本問題研究委員会,pp.167~195,2000.

# 2.2.3 社会的に要求される耐震安全性レベルの確率的評価

### 2.2.3(1) 目標耐震性レベルに対するユーザーニーズの把握状況

構造安全性能に対して建物ユーザーの要望を把握する研究はあまり進んでいないのが実状である。 そのため専門家は目標耐震性レベルに対するユーザーニーズを把握する機会がない。

これまでに行われた研究として,ユーザーの要望から構造安全性にアプローチしたものには久木・石川 <sup>1)</sup>があり,設計者などの専門家を調査したものに日本建築学会設計荷重理論小委員会の調査 <sup>2)</sup>がある。定性的な安全意識は建設省総プロでアンケート調査が行われた <sup>3)</sup>。しかし,構造安全性レベルについての社会的要望を解明したものはみられない。

従来安全性指標とそのレベルは,専門用語を用いて専門家間で議論されてきたが,本来は社会がそのレベルを決めるべきものである。歴史的経緯をふまえながら,人命の損失状況や,建物損失がもたらす経済的影響,それらを基にした社会の要請を指標としてレベルが定まっていく。これらの要因をふまえた構造安全性レベルの既往の設定手法は,キャリブレーションに基づくもの,バックグラウンドリスクに基づくもの,社会的要求に基づくもの,効用理論に基づく最適レベルを算出するものの4種類に大別される40。

本研究は社会的要求に位置づけられ,社会と安全性レベルについて直接対話し,合意を形成するための新しい手法を提案し,設計者がユーザーと指標を共有しながら設計建物の耐震安全性レベルを大枠的に決定できるようにすることをねらいとしている。まず個別建物においてどのくらいの構造安全性レベルをユーザーが要求しているかを定量的に把握するための手法を考究し,この手法を用いて社会で望まれている目標耐震安全性レベルを確率的に評価することを試みる。

### 2.2.3(2) 信頼性解析を用いた個別建物の安全性レベルの評価手法

# (1)ユーザーの要望を表すための設計指標の模索

設計時に,設計者は曖昧な言葉で表されるユーザーの要望を理解し,それを目標安全性レベルとして設計に反映することが必要になる。また経済的な条件に偏りがちなユーザーに対して,設計結果について分かりやすく説明することも求められる。しかし現状では,ユーザーに直接分かるような建物の耐震安全性レベルを表す設計指標は模索段階であり,専門家とユーザーとで共有できる指標は明確でない。これまでに行った調査結果では,ユーザーは現在のところ,指標を震度階で表現するのが最も分かりやすいと考えていることが分かった 5)。ただし,ユーザーは震度階を理解していても,震度いくつの時に被害程度がどうなるかという関係については,よく理解していない場合がみられる 5)。

また社会は普段から安全性レベルに大きな関心を寄せているわけではないために,ユーザーはコストを具体的に意識しないと現実的な安全性レベルをとらえられない傾向にある <sup>6)</sup>。したがって定量評価に当たって現実的な要望を取り出すには,レベル上昇にともなってコストが必要になることを認識してもらうことが重要である。

これらの点を考慮しつつ,ユーザーのもつ金額と安全性レベルの関係イメージを取り出すことができれば,ユーザーの要望する目標構造安全性レベルを「住宅建設に支出する金額」から指標化できる。そこで,ユーザーの希望する支出金額で得られる実際の建物耐力を設計指標にして,建設地で基準期間中に想定される地震外力に対する目標耐震安全性レベルを信頼性解析によって求める手法を提案す

る。支出金額は実際に住宅を建てる際には具体的指標になるため,ユーザーが設計時点で金額を標準価格に対してどのくらい多く出すかを要望することによって,設計者に目標安全性レベルの要望が分かることになる。

# (2)信頼性指標と全壊確率の算出

2次モーメント法を用いて,各ユーザーの要望する建物の耐震安全性レベルを算出する。図 2.2. (9)にそのフローを示す。ユーザーが自分の希望する土地に住宅(一戸建または集合住宅)を建設する場合を想定する。耐震安全性レベルは設計指標に直結する信頼性指標( )で算出する。

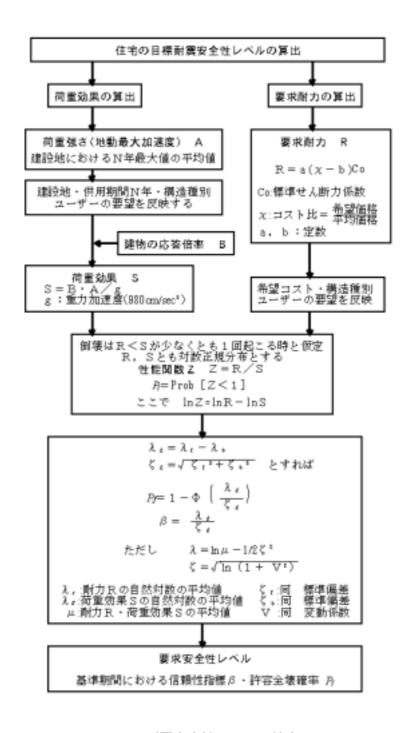


図 2.2.(9) 耐震安全性レベルの算出フロー

建物耐力の確率変数を R , 地震による荷重効果の確率変数を Sとする。荷重効果はユーザーの希望建設地における基準期間中の地震による最大加速度応答とする。 Rと Sは独立の対数正規分布と考え,住宅の全壊は Sが Rを少なくとも 1 回上回る時,つまり 1 階での応答が建物耐力を超える時に起こると仮定する。ここで,性能関数 Z = R / Sとおくと,この時の住宅の全壊確率 P は次式で表される。

$$P_{i} = Prob \left[ Z < 1 \right] \tag{2.2.3}$$

ここでR, Sは対数正規分布であり,次式が成り立つ。

$$\ln Z = \ln R - \ln S \tag{2.2.4}$$

R , Sの自然対数の平均値を  $\Gamma$  ,  $\Gamma$  , 標準偏差を  $\Gamma$  ,  $\Gamma$  とすれば  $\ln Z$ は正規分布になる。  $\ln Z$  の平均値  $\Gamma$  と標準偏差  $\Gamma$  は ,

$$z = r - s \tag{2.2.5}$$

$$z = \frac{1}{r^2 + s^2}$$
 (2.2.6)

で与えられる。ここで、

$$= \ln \mu - 1/2$$
 <sup>2</sup>  $\mu$ : 平均値 (2.2.7)

$$= \overline{\ln(1+V^2)} \qquad V: \overline{\otimes}$$
 (2.2.8)

したがって,

となり,許容全壊確率 P.および信頼性指標が求められる。

# 2.2.3.(3)ユーザーの要望に基づく建物の安全性レベルの試算

安全性レベルの算出データとして,市民対象のアンケート結果(表 2.2.(8))を用いる。この調査は全国の女性585名に対するもので,男女を対象にした同様の調査でもコストと性能の関係イメージについては類似の結果が出ており,性別による結果の差異はあまりないと判断し,構造安全性をあまり身近にとらえることのない女性層に質問したものである。アンケート調査は,ユーザーに住宅を想定してもらい,専門知識を必要としない平易な形で回答できるようにした。基礎調査30回の結果5-9)を基に,信頼度の高い回答が得られるよう配慮した問題構成とした。年齢構成と居住地は図2.2.(10)である。アンケート結果の詳細は文献10)を参照されたい。

18 2.	代 2.2.(0) ブブブ I - 門旦の1M安									
調査名	調査	調査								
調査時期	1999年6~7月	1999年8月								
対象者	女子大学生	一般女性								
世代	10~20代	10~70代								
居住地域	東京近県	全国								
回収数	208	377								
問題構成	性能表示および耐震安 意識と要望 , 属性問題 調査 に問題を付加し	から構成.調査 は								

表 2.2.(8) アンケート調査の概要

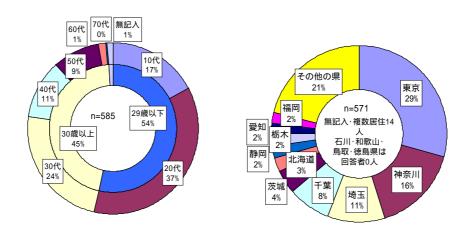


図 2.2.(10) 回答者の年齢構成と居住地

# (1) ユーザーのもつ安全性レベルと支出金額のイメージ

今回の調査データより,住宅価格と安全性レベルの関係に対するユーザーの現状イメージは,図 2.2.(11)のような結果になることが分かった。このイメージはこれまでの調査で男女を対象にした場合も傾向は類似する <sup>9)</sup>。図中のA点は住宅の平均的な価格であり,その 10%割増した点がB点である。結果からは,回答者の多くは価格と安全性には線形関係があるとイメージしており,安全性にはある程度上限があるという認識をもっていることが分かる。

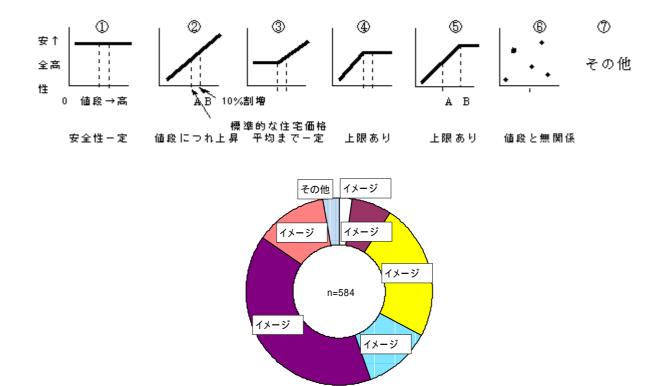


図 2.2.(11) 住宅価格と耐震安全性レベルの関係イメージ

同時に平均価格(A点)の時に住宅が耐えられる震度と,B点の価格を支払った時に住宅が耐えられる震度を質問した。「耐えられる震度」のイメージを統一するため,これは「被害は出ても倒壊しない状態」であると説明した。ユーザーへの浸透度を考えて旧震度階を用いた。震度階では震度7を超えるものはありえないが,専門知識をもたないユーザーのイメージそのものを取り出すために,質問で「震度7より大きい」という範囲も設定した。 のイメージはB点を上限と考え,その時の震度と上限となる価格をそれぞれ回答してもらった。

平均的な価格の住宅は震度 5 に耐えられるという回答が最も多い(図 2.2.(12))。建築基準法では,耐用年限中に一度遭遇するかもしれない程度の大地震に対する人命保護を目標としており,これを震度 6 強~7程度と想定しているが 11),耐えられる震度という場合はもっと低い震度を回答者が想定していることが分かる。このようなユーザーのイメージを聞き,各自のイメージにおいて震度と各自の支出金額の関係を定量的に評価し,その支出金額で得られる建物の安全性レベルを算出した。

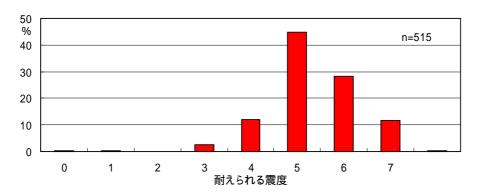


図 2.2.(12) 標準的な価格の住宅が耐えられる震度

#### (2) 要求耐力の算出

信頼性指標 の評価に必要な住宅耐力の算出方法は,具体的には以下のようになる。ユーザーのイメージに基づく要望を抽出するため,各自の抱く「耐えられる震度と価格の関係」イメージ図(図2.2.(11))を用いて,ユーザーのイメージと自分が支払う住宅コストを質問しておき,そのコストで得られる実際の建物耐力を設計者が算出する。耐力は標準せん断力係数 *Co* の関数とする。

各耐力を,図 2.2.3.3 における各イメージに対応する関係式を用いて算出した。たとえばユーザーがレベルとコストに線形性があると認識している場合,希望コストで得られる耐力は平均価格に対するコスト比と標準せん断力係数 Co の線形式から求められる。その傾きは「建設費と標準せん断力係数 Co はほぼ線形関係にあり、Co が 2 倍になると建設費は約 10% アップする」という試算結果が報告 12 されていることから,この値を用いる。したがって標準せん断力係数 Co で表される要求耐力 R とコスト比との関係は,下式のようになる。

b: 木造一戸建 0.923, 非木造一戸建 0.843, 非木造集合住宅 0.842

コスト比とは図 2.2.(11)の横軸,すなわち各自の希望する住宅コストと平均価格(100%)の比である。ただし(9)式の線形関係は,2次設計の標準せん断力係数が 0.5~2.5 の範囲で成立する(木造を除く全構造種別)とされるが,全構造種別でそれを超える範囲でも同じ関係が成り立つと仮定した。

次に,構造種別を考慮した住宅耐力を算出するため,住宅に多い木造一戸建,非木造一戸建,非木造集合住宅の3モデルを設定する。具体的には木造一戸建とは軸組工法住宅,非木造とはRC造を想定しており,集合住宅は設計用加速度応答スペクトルが最大となる領域(平坦部分)に該当する建物高さ(4~9階建程度)とする<sup>13)</sup>。

次に(9)式におけるコスト比1の場合のR, つまり平均価格で得られる各モデルの建物耐力は,現行基準に基づく標準的建物がもつ終局限界状態の標準せん断力係数Coとする。つまり各モデルの復元力特性において終局限界時の最大層間変形角を1/30(木造),1/50(非木造)とおき,エネルギー一定則を用いて初期剛性の傾きをもつ完全弾性体の標準せん断力係数に置換する。この時木造はバイリニアモデル,非木造一戸建・集合住宅はトリリニアモデルを想定し,RCの初期剛性はひび割れ以前の剛性とした(図 2.2.(13))。どのモデルも最も層間変形角の大きい階で評価し,Ai分布を用いて,標準せん断力係数の値に換算した。

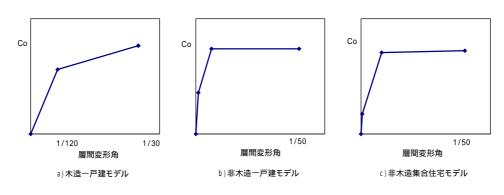


図 2.2.(13) 各建物モデルの復元力特性

建物モデル諸元を表 2.2.(9)に示す。木造一戸建モデルは建築基準法相当の壁量をもつ木造住宅の実大振動実験に基づく動的復元力から算出した終局耐力としての Co である  $^{14}$ )。一方,非木造一戸建は文献  $^{15,16}$ ),非木造集合住宅は文献  $^{17}$ によった。非木造一戸建・非木造集合住宅は,実施設計では復元力特性をあまり求めないためにデータ数が少なく,各モデルの特徴を表すような類似用途の標準的建物の復元力特性を用いた。非木造は一戸建・集合住宅とも静的増分解析による復元力からの算出であるが,静的復元力と動的復元力がそれほど変わらないことから  $^{18,19}$ ),この値を用いた。終局状態を考慮した標準的建物の耐力は,木造一戸建で Co 0.80,非木造一戸建 1.63,非木造集合住宅 1.64 となる。

な 2.2. (a) 産物 こ ブル 間 ル									
モデル	想定建物	標準的な 建物の <i>Co</i>	耐力の 変動係数	加速度 応答倍率					
木造一戸建	軸組2階建	0.80	0.4	1.5					
非木造一戸建	R C 3 階建	1.63	0.5	2.1					
非木造集合住宅	R C4~9 階建	1.64	0.5	2.5					

表 2.2.(9) 建物モデル諸元

注:加速度応答倍率は標準地盤での値

これを用いて,標準せん断力係数とコスト比の線形関係式により求められる各ユーザーの要望耐力 Rを,図 2.2.(13)の耐力の確率分布の平均値  $\mu$  とする。また,耐力の変動係数 V は実在建物の変動係数 じ関する調査結果  $^{20,21)}$ から,構造種別ごとに値を設定した(表 2.2.(9))。なお,これらの値は大枠的に表した耐力レベルであり,精度としては粗いが,ユーザーの曖昧な要望の精度には適合しているものと考えている。

### (3) 荷重効果の算出

荷重効果 Sは,ユーザーが希望する建設地の地震活動度を確率分布の当てはめにより考慮して,住宅の供用期間(N年)中に推定される地震動強さ(地動最大加速度)を都道府県単位で評価し,これに住宅の応答倍率を乗じた最大加速度応答として算出する  $^{22,23}$ 。次に重力加速度で除して,応答せん断力係数とする。供用期間は各自の要望を反映できるようにした。

地動最大加速度 Aの N年最大値の平均値  $\mu$  s・変動係数 V sは ,松村により算出された全国の基盤速度 の 50 年最大値のマップを利用して,都道府県ごとの N年最大値の平均値と変動係数に換算した。この 全国の基盤速度の 50 年最大値マップは,統計期間 400 年データを用いた極値 型分布(Weibull 分布)での推定結果である  $^{24}$  。

50 年最大値から N年最大値の平均値・変動係数への換算は,限界状態設計指針(案)<sup>25)</sup>の方法にならった。すなわち,50 年最大値分布における平均値・変動係数が対数正規分布に従うと仮定して,N年最大値分布の99%点と50%点を推定し,その平均値をμsと考えた。

また,基盤速度を地動最大加速度へ変換するため,荷重指針  $^{13)}$ と同様に,基盤速度  $V_{o}$ と標準地盤における地動最大加速度  $A_{o}$ の関係を次のように考える。

$$A_0 = 30 \ V_0$$
 (2.2.12)

建設地は第 種地盤と考え,地盤種別補正係数 GA = 1.2 を乗じた。

$$A = 1.2 A_{o}$$
 (2.2.13)

次にN年最大値の平均値Aに構造種別ごとの加速度応答倍率B(表 2.2.(9))を乗じて重力加速度gで除し,荷重効果Sを算出した。ここで,建物の加速度応答倍率Bと地動加速度Aは独立とし,応答倍率は一定値とする。変動係数も同様に全国マップから求めた。

$$S = B \cdot A / g \quad (g = 980 \text{cm/sec}^2)$$
 (2.2.14)

このようにして算出した耐力と荷重効果の平均値・標準偏差をそれぞれ(2.2.10)式に代入すれば, を求めることができる。

#### 2.2.3.(4)社会的に要望される目標信頼性指標

今回の調査データを一例として,この手法に基づき社会的に要望される目標安全性レベルを評価してみる。各回答者の希望建設地・構造種別・供用期間・コストの要望をそのまま用いて図 2.2.3.1 に沿って算出した を建物モデルごとにまとめたのが図 2.2.(14)である。これは,各自の希望する供用期間に対するものである。この図では,全構造種別における の平均値は 2.4 になる。基準期間を 50年で統一して算出した場合もこの結果と同じになり,分布の形状は多少異なるが,構造種別ごとの平均値も同じになる。すなわち基準期間を 50年とした場合,木造一戸建の目標信頼性指標 は,平均で 2.5,非木造一戸建の場合の は 2.4,R C 集合住宅では 2.0 となる。図のように,要望はかなり裾野

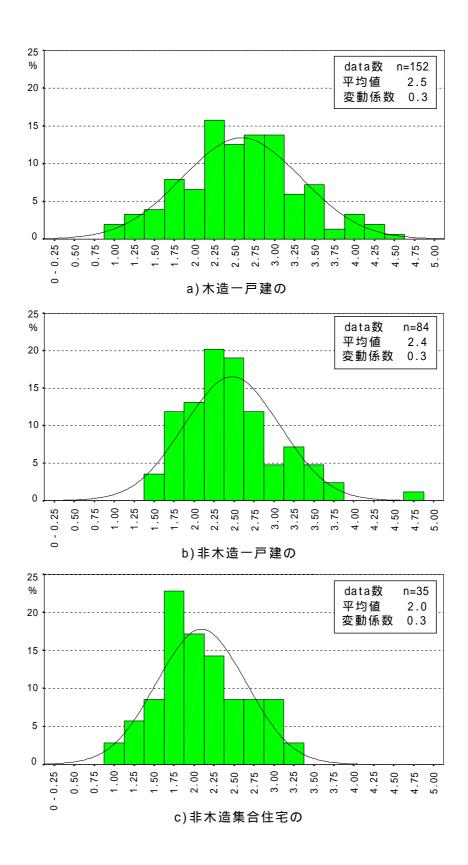


図 2.2.(14) 希望供用期間を反映した構造種別ごとの信頼性指標

の広い分布となっている。木造の要求安全性レベルが若干他のモデルよりも高く,集合住宅が低くなっているが,集合住宅に対しては,算出可能人数が少ないことの影響が考えられ,構造種別を問わず要望レベルは大体同程度と解釈できる。

基準期間 50 年の場合の について回答全体を集計したものが図 2.2.(15)である。社会的に要望される耐震安全性レベルは,全構造種別の合計で 2.4 が平均値である。許容全壊確率では,8×10<sup>-3</sup>に相当する。

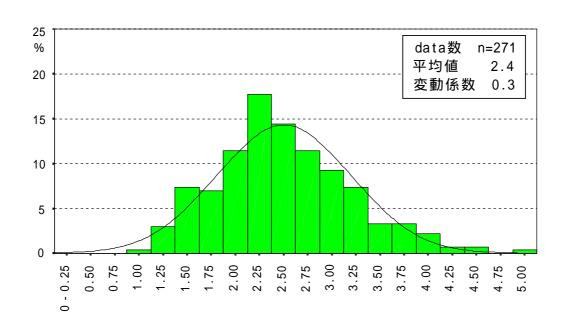


図 2.2.(15) 基準期間 50 年とした場合の全回答の要求安全性レベル

この結果に最も影響を及ぼしているパラメータは,ユーザーの希望する支出金額であった。希望支出金額の範囲をみると,性能レベルを標準よりも上げるために費やすコストは多くが 100~110%程度であった。またその上限は 140%程度であると推定される。

### 2.2.3.(5)まとめ

性能設計では,ユーザーと設計者とが対話しながら要求性能が確認され,両者の合意に基づき目標性能が決定される。ユーザーの要望は設計者に伝えられ,設計者は要望レベルを標準レベルに照らし合わせて設定することになるが,目標耐震安全性レベルに関しては,これまで社会と専門家との間で対話がほとんど行われてこなかった。

本研究では、社会に受け入れられる性能設計を構築するため、ユーザーのもつコストと性能レベルのイメージや支出金額を利用し、各ユーザーの要望する個別建物の設計レベルを確率的に評価する手法を提案した。 はユーザーに直接理解できる指標とはいいにくいが、建物全体の危険性を一元的に表現できる指標であり、許容全壊確率などで分かりやすくユーザーにフィードバックすることも可能である。またこの手法に基づいて社会的に要望される耐震安全性レベルの現状を定量的に評価することを試みた。

ユーザーの要望の抽出手法,耐震安全性レベルの表示方法などには,まだ多くの議論が必要だが, 今後はこうしたユーザーニーズを反映した評価手法が望まれる。

現段階ではユーザーの知識は少なく、安全性レベルを決定できるほどの知識は持ち合わせていないともいえる。しかしながら、分かりやすい指標を用いてユーザーとのコミュニケーションが早期になされるべきであり、専門家が社会に伝えづらかった「どんな建物にも危険性はある。生命・財産を守りながら、危険性をどの程度に抑えるか」という設計目標についての対話が行われることが望まれる。

# 参考文献

- 1) 久木章江,石川孝重:住宅の構造安全に居住者が求める性能およびその水準に関する研究,日本建築学会構造系論文集,第513号,pp.51~58,1998年11月.
- 2) 神田順ほか 16 名: 荷重・構造安全性についてのアンケート調査, 日本建築学会構造系論文報告集, 第433号,pp.73~81,1992年3月.
- 3) 青木義次,他 14 名:建設省総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発」要求性能調査SWG報告書 アンケートによる意識調査,建設省建築研究所・建築研究振興協会,平成10年3月.
- 4) 建設省総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発」平成7年度・8年度報告書,建設省建築研究所・日本建築センター・国土開発技術研究センター,平成8年3月・平成9年3月.
- 5) 平田京子,石川孝重:耐震安全性レベルの表現方法に関するアンケート調査-ユーザーとコミュニケーションする性能設計法の実現を目指して-,日本建築学会関東支部研究報告集(構造),pp.53~56,1998年度.
- 6) 石川孝重,平田京子,松本晴子:一般居住者の意識に基づく構造安全意識の抽出手法;一般居住者の意識に基づく耐力・外力と信頼性指標の試算-目標構造安全水準の確立に関する研究(その1;2) - ,日本建築学会関東支部研究報告集(構造),pp.113~120,1994年度.
- 7) 平田京子,石川孝重:ユーザーの要望する耐震安全性レベル-社会的ニーズから要求安全性レベル を探る-,日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)(構造),pp.19~20,1999年9月.
- 8) 平田京子,石川孝重:社会が求める構造安全性レベルの定量的評価に向けて-信頼性設計手法に基づく居住者アンケートの論理構築-,日本建築学会関東支部研究報告集(構造),pp.5~8,1997年度.
- 9) 平田京子: 一般居住者が要望する構造安全性レベルに関する信頼性理論に基づくアンケート,日本 女子大学大学院紀要 家政学研究科・人間生活学研究科,第4号,pp.69~76,1998年.
- 10)平田京子,石川孝重:ユーザーの要望をふまえた性能表示と構造安全性能のあり方に関する調査 その1 住宅の性能表示に対するユーザーの要望;その2 耐震安全性レベルに対するユーザーの要望 ,日本建築学会関東支部研究報告集(構造), pp.57~64, 1999 年度.
- 11)日本建築センター編:建築物の構造規定 建築基準法施行令第3章の解説と運用-1997年版,日本建築センター,第3版,平成10年5月1日.
- 12)神田順ほか:最適信頼性に及ぼす経済要因の影響評価,日本建築センター平成5年度研究助成報告書,1994年5月.
- 13)日本建築学会:建築物荷重指針・同解説,日本建築学会,第3版,1993年6月20日.

- 14)木造住宅実大振動実験報告書,日本住宅・木材技術センター,平成8年10月.
- 15)中村友紀子,引田智樹,梅村恒,坂上実,工藤一嘉,壁谷澤寿海,南忠夫:1997年鹿児島県北西部 地震による被害建物の地震応答解析,第2回都市直下地震災害総合シンポジウム,pp.227~230, 1997年.
- 16)梅村魁:鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法,技報堂出版,1版,1980年6月30日.
- 17)神田順:損失費用モデルを用いた最適信頼性に基づく設計用地震荷重,1998年6月(東京大学および企業との共同研究成果報告書).
- 18) 志賀敏男:大学講座 建築学構造編 第2巻 構造物の振動,共立出版,初版,昭和51年6月25日.
- 19)最相元雄,赤星靖:鉄筋コンクリート部材の動的復元力に関する実験的研究 その 1. 曲げ降伏型 部材の動的載荷実験,日本建築学会九州支部研究報告,第 29 号,pp.245~248,昭和 61 年 3 月.
- 20)シンポジウム「設計荷重の考え方」資料,日本建築学会設計荷重理論小委員会,pp.44~48,1989 年4月.
- 21) 小野瀬順一:鉄筋コンクリート造建物の耐力分布と被害分布,第6回日本地震工学シンポジウム (1982) 講演集,pp.2081~2088,1982年12月.
- 22) 松村和雄, 牧野稔: 地震動の再現期間値と鉄筋コンクリート造建物の破壊確率の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国), 構造 , pp.171~172, 1990年10月.
- 23)日本建築学会:地震荷重 その現状と将来の展望,日本建築学会,p.41,第1版,昭和62年11月20日.
- 24) 松村和雄,清家規:極値分布の当てはめによる地震危険度解析,九州大学工学集報,第67巻,第1号,pp.41~47,平成6年1月.
- 25)日本建築学会:建築物の限界状態設計指針(案)第1版,日本建築学会限界状態設計法小委員会, 1999年4月.

# 2.3 発注時の要求性能と性能表示

### 2.3.1 性能規定発注方式の概要

性能規定発注方式は,表-2.3.(1)に示すように構造物の使用材料や構造形式などを指定する従来の仕様規定方式と異なり,当該構造物に必要とされる強度・耐久性などの機能や性能のみを規定するものである.

表-2.3.(1) 仕様規定と性能規定の比較

仕様規定発注方式

性能規定発注方式

144.0 00-2-11.-

- ・構造断面諸元
- ・主要使用材料諸元
  - ・材料等の規格
- ・一部施工機械の規格

発注者による規定内容

- ・構造物に求める性能
  - ・確認方法

- ・材料,機械等の調達方法
  - ・施工スケジュール
  - ・協力会社の選定など



受注者の裁量内容

- ・構造の設計方法の選定
  - ・使用材料の決定
  - ・使用機械の選定



技術の有効活用(受注者)
技術開発・コスト縮減

また,性能規定発注方式では当該構造物の使用材料や施工方法などについて設計あるいは受注者からの提案を積極的に受けるものであり,以下に示す基本的特徴を有している.

# 【長 所】

- a)性能を規定できれば、設計や施工にとらわれずに発注できる.(発注者)
- b)施工管理を軽減できる.(発注者)
- c)保有技術が発揮できる.(施工者)
- d)コスト縮減・技術開発のインセンティブとなる.(施工者)

## 【課題】

- a)性能を完全に規定することが難しい構造物もある.(発注者)
- b)規定性能の検査が難しい.(発注者)
- c)不具合リスクが大きい.(施工者)

しかし,性能規定方式における一般の公共(特に土木)構造物への適用(発注)は難しいとされており,海外においても舗装工事など限られた構造物への採用事例がほとんどである.

そこで,本節では国際的にも数少ない適用事例である高速鉄道や分水路トンネル建設プロジェクトで採用された性能規定発注方式の概要を紹介する.

2.3.2 トンネル建設プロジェクトにおける性能規定発注方式

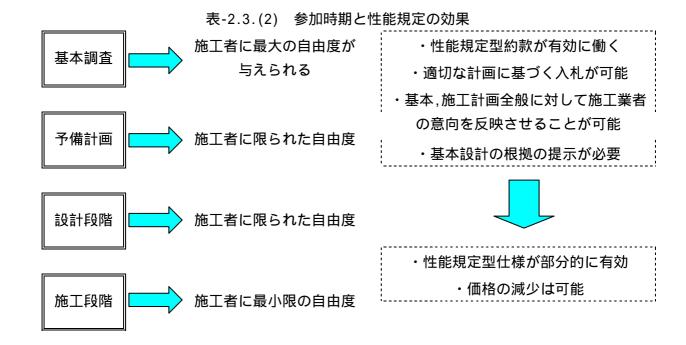
土木(トンネル)構造物の性能規定発注方式において、発注者は基本調査に基づいた地山に関する

データ,トンネルの断面構成に関する基本設計(地山等級ごとの掘削方法・支保工形式あるいは覆工 厚など)を提示するとともにトンネルの要求性能を指定(性能指示書)している.

これを参考に応札者は指定された構造物の性能を満足するように技術提案を行い合理的な設計・施工・コストに関する資料を見積金額とともに提示するものである.

# 2.3.2(1) 基本概念・責任分担と入札契約方式

(1)基本的な概念と責任の分担:各建設プロジェクトにおける性能規定発注方式の基本概念は,初期段階から施工者を積極的に参加させることにより生産性の向上とコスト削減を図る"Functional Performance Specification"と呼ばれる契約方式を採用しており,その効果は表-2.3.(2)に示すように施工者のプロジェクトへの参加時期が早いほど効果が発揮されると言われている.



ここで一般的に性能規定発注方式は、発注者のリスクを軽減して請負者にリスクを押し付けるような印象を持たれているが、不確定要因の多い土木構造物特にトンネル構造物の建設においては、発注者は地質・岩盤・湧水情報(トンネルのような地下構造物では外力および目標・保有性能の一部のようなもの)のすべての提供を保証し、施工者は計画・施工についての責任すべてを負うことで双方公平なリスク分担を行っている点が重要である.

したがって,提供された地質・岩盤・湧水情報が施工中の現状と異なる場合の責任は,基本的に発注者が負うことになる.

(2)契約形態:性能規定発注方式では契約形態"Lump Sum"(総価契約)が基本とされているが、トンネルのような特殊な構造物については、特に地質・湧水等の不確定要因およびリスクを有しているため、工事の総価と地山(地質)等級ごとの掘削単価による併用契約がプロジェクトを円滑に進めるために必要である。また工事代金の企業者からの支払はプロジェクトの進捗に併せて行われる(1ヶ月もしくは3ヶ月ごとの出来高払い)のが一般的である.

(3)従来方式との相違事項:性能規定発注方式の契約を最大限に発揮するためには,以下に示す事項を留意することが必要である.

発注者の要求事項が明確であること.

予備計画段階から施工者を積極的に参加させる.

計画・設計・施工に必要な精度の高い(地山状況など)データを提供すること.

計画・施工に関するリスクは基本的に施工者,地質に関するリスクは基本的に発注者が負う.

性能指示は機能・性能面(用途・機能・費用・工期)のみを規定した性能指示書(発注者が作

成)により行われる.

発注者・設計会社・監査会社・施工者が一体となりプロジェクトを遂行すること、

2.3.2(2)発注時における構造物の性能記述について

一般的に比較的金額の大きい公共事業では国際競争入札が採用されているが、その細部では個々の国の状況によって若干異なる入札方式が採用されるのが現状である。ここで、性能規定型発注方式を採用する事業は、その規模や金額が比較的大きいため、事業資金・技術面で定められた基準(予備審査を含む)を満足した企業(もしくは企業体)に入札資格を与えている(指名競争入札に近い)のが現状である。

- (1)発注者の提供資料(設計条件と性能記述)
- トンネル建設工事において公募時に発注者が提供する資料の概要は以下である.
- a)基本調查資料

構造物のリストと計画申請用の基本設計

地質および山岳地形の特徴などを記述した報告書および想定湧水量

- b)一般性能指示書(Appendix 参照)
- c)トンネル概算費用資料

地山等級別の掘削単価

湧水増加による追加費用

作業休止補償費

d)特別契約条件(契約変更について)

ここで,施工中に地山等級の変更が伴った場合(発注者が提示した地質や湧水量と異なり監査スタッフと協議),契約時の地山等級ごとの掘削単価を基本として工事の全体金額が変更される.

(2)応札者の提供資料(技術的提案と工事金額)

工事入札時に応札者が提供する資料は以下である.

a)性能記述書類

過去の実績に基づく施工計画とそれらの根拠となる詳細設計を含む技術提案書

具体的には、提供された地質データに基づき地山条件および湧水量を判断し、掘削方法・地山等級・ 支保パターン・工程および構造的な変更・VE 提案などを計画・設計する。

地山等級別の掘削単価.湧水量増加による追加掘削費用および作業休止補償費

トンネル概算費用の算出根拠資料として提供された様式に単価を記入して提出する.

b)入札.価格

性能記述者類(技術提案書・掘削単価表)に基づいて包括的総価を提出する.(総価・単価入札)

c)建設プロジェクトにおける資金計画

プロジェクト全体の資金運用計画とともに入札企業(もしくは企業体)の財務状態をまとめた書類を提出する.

(3)予定価格および落札者の決定

建設プロジェクトの予定価格は無い場合もあるが、基本的に発注者は計画申請用の基本設計により落札採点用の標準的な価格を設定するのが一般的である.

また落札者の決定は、学識経験者および所轄・関連部署から構成される技術評価チームによる評価と

発注者から提示した基本設計図面より標準的な価格評価が基本的になされ決定される。ここで採点基準 (たとえば点数配分や算定式)は事前に公表され、採点結果は入札後すべて公開されるのが一般的である。

## 2.3.3 性能規定発注方式における工事の施工について

工事契約後のプロジェクトに対するリスクは,基本的に施工計画を初めとしてあらゆるものについて施工者側にあるが以下は協議事項である.

### (1)地質・湧水に関するリスクおよび設計変更

地質および湧水に関するリスクは基本的に発注者の責任であり、地盤が予想以上に悪い場合や湧水量が予想以上に多い場合など、契約時に提示された条件と実際が異なった場合には、監査スタッフと協議の上変更がなされる。なお、変更協議が進まない場合には、地質調査の専門会社やコンサルタンツなどの第三者の審査により判定される。

### (2)要求性能の確認(検査)

通常は発注者の専門家により行われる.具体的には二次覆工前に認可された支保パターン(吹付けコンクリート厚,ロックボルト長さ・本数)と施工状況を検査して承認される.なお規定を満足しない場合には、詳細な規定により補修を行わなければならない.

### (3)その他

地山が悪い場合の工事遅延は、3 ケ月から 6 ヶ月程度認められ、遅延に対するペナルティーは契約金額の 0.025%/日程度が設定されている.

また構造物の保証期間は3年~5 年程度設定され,請負金額の 5%程度を銀行保証として差し出さなければならない.保障期間に何らかの問題が生じた場合には,補修後さらに保障期間が据え置かれる.期間中に何もなければ保証は終わり,保証金は戻ってくる.

ここで双方に意見が対立した場合には,第三者機関によって,原因の審査がなされる.

【Appendix :トンネル建設プロジェクトにおける一般性能指示書の事例(抜粋)】

### 1)一般事項

- ・地質データの正当性は発注者の責任である.
- ・トンネルの施工方法の選択および施工区分の設定は受注者の責任である.

# 2)掘削工程

- ・掘削工程は受注者が計画する.
- ・掘削工程が遅れそうな場合、発注者の要請により受注者は工程短縮を実施する義務がある.

#### 3)排水計画

・受注者は排水量の予想および実績を記録し、入札資料で申告された基準湧水量と対比すること.

### 4)トンネル建設

掘削

### a.掘削方法

- ・掘削方法(機械、爆破、併用)の選択は、地山状況に適応するように受注者が行うこと
- ・爆破計画は専門家により受注者が行い、発注者の承認を行うこと
- b.地山等級分類(上下半別の進行長)

- ・受注者は切羽状況と力学的解析により安全対策を決定し実行すること
- ・地山等級と進行長は発注者の同意が必要である
- ・地山等級の変更が必要な時、受注者は発注者に証明すること
- ・承認された地山等級は厳守すること
- c.支保部材およびその厚さ

受注者によって予め決められる支保部材厚は、以下の条件を満足すること

- ·内空変形余裕量=0cm , ·覆工厚さ 30cm
- ·吹付けコンクリート厚さ 15cm
- d.予想不可能で不可避の地山等級の追加および崩落等について
- 以下のような地山等級の増分のみ補償される
- ·インバート·アーチ·側壁の支保されない範囲に発生する場合
- ·崩落体積量つまり空洞幅×1進行長×平均空洞深さ(30cm)を超える場合
- e.切羽および断面検測と処理
- ・切羽は受注者が1発破ごとに検査.記録すること
- ・作成した記録は発注者に提出すること
- ・吹付けコンクリートは 3cm までの断面突出物については覆エコンクリートの最低厚さが 30cm 以上あれば処理する必要はない.

## 施工方法

- a.一般事項
- ・支保工は全体でアーチを形成すること
- 以下に挙げる措置は設計最低限の要求である
- ・地山掘削過程と関連する安全対策,措置時期と保護手段の選択は受注者が自らの責任で静力学的な算定と認可された施工計画・方法に基づいて地山状況や地質調査の結果を考慮して行うこと
- ・実施された支保工はすべて記録し、記録資料は発注者に提出すること
- b.吹付けコンクリート
- ・品質検査の証明は発注者に提出すること
- ・添加剤・急結剤の追加は最小限にし,飲料水保護地域ではアルカリ分の少ないセメント(BE 剤は付加)を使用すること
- ・吹付けコンクリートにひび割れが生じた場合,原因を解明し,状況によっては適切な措置をとること(ただし吹付けコンクリートは構造上最低 15cm の厚さを確保すること)
- ・吹付けコンクリートの構造上最低限の鉄筋はコンクリート用金網を使用する.金網の継ぎ目は両方の網目が一部重なるように使用すること
- c.ロックボルト
- ・ロックボルトの定着は、すぐに固まるロックボルトモルタルを使用し、遅くとも切羽(中心部)後方 2 進行長分行う.ロックボルトは少なくとも 150kN の耐力を有するものを使用すること
- ・ロックボルトはできるだけ放射状に設置し、全体の表面配列を考慮すること
- ・ロックボルトの支圧板は球形に形成し、頭部は覆工コンクリート断面の中に突出させないこと
- ·上,下半部は 3m<sup>2</sup>つきロックボルト(L=4.00m)1 本.

# d.アーチ支保工

- ·切羽に対する支保工離れ最大 2.0~3.0m である
- ・アーチ支保工の間隔は通常進行長により決まる
- e.先受け工
- ・この措置は受注者が必要に応じて吹付け直後にアーチ天端の最低 120°の範囲に渡って行い,先受け間隔は最大 30cm である.
- ・先受けを行う必要性は発注者に対して岩盤くさびあるいは土被りから想定される緩み荷重を算出して 証明すること
- f.切羽面の安全策
- ・切羽面は核残し、d 7cm の吹付けコンクリート(金網不使用、金網使用、ロックボルト固定)で保護は地山状況で判断されるが、この措置は受注者が必要に応じて掘削直後に実施する、状況によっては加背割りをさらに分割する.
- g.上半脚部の安全策

h.上半インバート部の支保

- ・上半において吹付けコンクリートはアーチ面の領域で地山に強固に固定されることを保証すること
- ・静力学的な必要に応じて受注者は上半インバートを計画・施工し、最低厚さは 15cm である.
- i.特別対策
- ・切羽の安全性を高め、地表面の沈下あるいは変形を防止するために、地山状況・土被りに応じて特別対策(たとえば AGF、薬液注入、パイプルーフなど)を計画し、実施すること

#### 覆エコンクリート

- a.一般事項
- ・覆工コンクリートは防水性を有し、さらに現状に応じて水圧耐久構造とすること
- ・地下水位が地山内で復元されるので覆エコンクリートは地圧の他に起こりうる最大水圧に対しても算定する。それに応じて目地部も密にかつ水圧に耐えうるように形成されること
- ・コンクリートのひび割れを減少されるために、覆エコンクリートと吹付けコンクリートのせん断力を最小限にすること
- b.作業区間とコンクリート打設長
- ・覆エコンクリート作業あるいは鉄筋組立て作業は、吹付けコンクリートに対する要求が適切であると証明された後に施工される.
- ・最大ブロック長さは防水コンクリートの場名は 10.00m であり,防水シートの最大施工長さは 12.50m である.
- c.コンクリートに課せられる要求事項
- ・コンクリートは規格に遵守しなければならない。
- ·坑口部では入口から最低 200m の長さで,高度の凍結抵抗性を持つコンクリートを施工する.
- d.鉄筋コンクリート
- ・鉄筋のかぶりは.通常 c=6cm.最低 c=4cm である.
- e.型枠
- ・型枠の表面滑らかにし、3cm 程度面取りをすること
- f.打継部
- ·打継目の防水構造として厚さ 20cm の止水板(面積重量 25kg/m²)を使用する.

- g.アーチ天端のグラウチング
- ・天端の全体的グラウチングを計画・実施すること
- h.コンクリートの後処理
- ·0.2mm 以上と漏水性のひび割れは,基準に従って充填すること 開削部

開削工法で、トンネル坑口区間ならびに低土被り部を建設する場合

- ・内空断面はトンネル断面と同等とする.
- ・開削トンネルは地形断面を考慮して埋戻される.
- ・埋戻し材料は品質証明を提示し、転圧する.

ボーリング作業

・以下の目的で行うボーリングは受注者によって必要に応じて計画・施工される.

地質·地山·地下水位調查,水抜削孔,地山補強

注入作業

- ・地山改良・補強と湧水に対する充填を目的とする注入は受注者によって地山の状況によって行う。 空洞箇所の充填
- ·既知空洞(例えば採鉱作業で出来た空洞)は現場で探査·記録され計画に従って充填されること 5)坑口部
  - ・坑口部のコンクリート・鉄筋・型枠・打継部形成並びに充填にはトンネル覆エコンクリートの場合のよう に申告項目が内容に即して適用される.

# 6)防水工

- ・計画手続きから要求事項(例えば飲料保護地域など)などを基準に準じておこなう.
- ・防水シートは工場製作され、接合部は現場で密度と力学強度を検査すること.

## 【参考文献】

1) Neubaustrecke Koln-Rhein/Main Brucken und Tunnel (Die Bahn), DB bau Project Gmbh.

# 第3章 合理的な設計手法

近年,厳しい財政状況の中で,公共事業に対してさまざまな批判がなげかけられている.社会資本が十分に整備されていなかった時代の公共事業は,事業を実施することが住民の生活水準の向上に直結しており,何故この公共事業が必要かを,住民にことさらに説明する必要はなかった.しかしながら,現在は,社会資本がある程度充実し,また住民の価値観が多様化しており,単なる生活水準の向上だけでは,受け入れられなくなっており,何故この公共事業が必要かを住民に十分説明し,合意を得る必要がある.設計においても,単に許容値を満足しているだけでは,受け入れられず,何故この設計案が良いのかを十分に説明できなければならない.

何故この設計案が良いのかを説明するためには,ユーザニーズを設計に反映されることはもちろん,複数の多様な価値基準からの設計案の提示,設計代替案の迅速な提示,設計代替案の評価・分析などが大切である.

そこで,本章では,合意形成ための合理的な設計手法の紹介を行っている.3.1節では,土砂災害を対象に,設計の前段階として,ニューラルネットワークを用いて土石流の発生を合理的に予測する手法について紹介している.3.2節では,工学的な設計問題は,必然的に多数の制約条件と複数の工学的価値基準から構成される,いわゆる多目的計画問題となることから,この問題を遺伝的アルゴリズム(GA)を用いて解く方法について紹介している.さらに,3.3節では,橋梁下部工の耐震設計を対象に,設計代替案の分析・評価に自己組織化特徴マップ(SOM)を使った事例を紹介している.最後に,3.4節では,多様化する住民のニーズや価値観を設計に反映する方法として,感性工学に基づいた景観設計技法について紹介している.

# 3.1 ニューラルネットワークを用いた土石流発生予測システム

#### 3.1.1 はじめに

自然災害の中でも土砂災害は,梅雨時期や台風の季節になると毎年全国各地で発生している.一般に土砂災害には,土石流(debris-flow),地すべり,がけ崩れ,河川への土砂流出等が考えられる.中でも,土石流は,谷や斜面に貯まった土・石・砂礫などが梅雨や台風などの集中豪雨による水といっしょになって,一気に流れ出してくるので,破壊力が大きく,また速度も速いため,大きな被害をもたらすことがある.

土石流の発生とその予測に関する既往の研究は,累積雨量<sup>1)</sup>や実効雨量<sup>2)</sup>を用いた土石流の発生限界降雨に関しては,従来から種々の方法が提案されており,建設省方式の警戒・避難基準雨量の設定<sup>3)</sup>は,一部で実用に供されている.しかしながら,非常に安全側の基準となり,空振り率が大きくなることもあり,避難勧告の発令や解除等の実用面で課題が残されている.最近では,警報の発令や避難指示に対する的確性向上の研究<sup>4)</sup>も行われている.

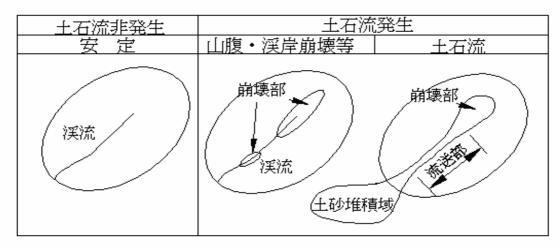


図 3.1.(1) 土石流発生状況の模式図

土石流の流出解析には,単位図法,タンクモデル法<sup>5)</sup>をはじめ多くの手法が提案されているが,土石流は現象が複雑でかつ精度のよいデータが少ないため流出解析による信頼性の高い手法はいまだに確立されていない.

ニューラルネットワーク(neural network)を用いた土石流の発生予測では,森山ら<sup>6)</sup>,平野<sup>7)</sup>により火山性土石流の発生予測が行われており,ある程度良好な結果が得られている.しかしながら,雲仙普賢岳の火山性土石流を対象としているため,地形・地質条件としては比較的均一とみなされる条件下で行われている.また,降雨データのみを用いた検討となっており,複雑な地形条件からなる自然渓流に対する検討は行われていない.

そこで本研究は,過去に幾度も土石流災害に見舞われている広島県北西部地域(山県郡加計町およびその周辺)を対象として,パターン認識に優れるニューラルネットワーク®を用いて,素因となる地形要因と誘因となる降雨要因の組み合わせにより最適な評価モデルの検討を行った.また,渓流毎に土石流の発生をリアルタイムで予測する評価システムを構築した.

# 3.1.2 土石流発生予測モデルの構築

広島県北西部地域では,過去に幾度も土石流災害に見舞われており,特に昭和63年7月の土石流災害により大きな被害<sup>9)</sup>を被った.渓流の崩壊状況は,図3.1.(1)の土石流発生状況の模式図に示すように,まったく変化のない安定した渓流,小規模な山腹斜面崩壊や渓岸崩壊は発生したが土石流にならなかった渓流,また土石流の発生した渓流があり,渓流の形態変化としては,安定・山腹斜面崩壊・土石流の3つのタイプに分類することができる.しかしながら,山腹斜面崩壊や土石流の発生した渓流には,その中間的な被害形態を示す渓流が存在していることを考慮すると土石流と山腹斜面崩壊を明確に分離することは困難であるため,本研究では,これらを土石流の発生渓流として扱う.また,土石流の発生形態は,渓流の谷次数によって変化する.2次谷以上の渓流では,土石流の発生が本流や支流から発生することがあり,土石流の発生現象が複雑になるた

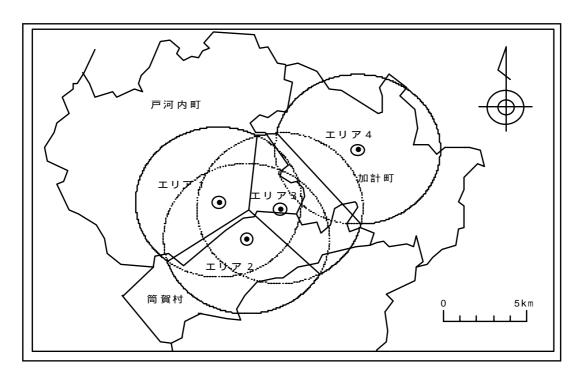


図 3.1.(2) 降雨観測所位置とエリア区分

観測	対	象降雨	発生降雨における 対象渓流数						
エリア	発生	非発生	合計	発生	非発生	合計			
1	1	4	5	1	13	14			
2	1	2	3	2	0	2			
3	1	2	3	9	32	41			
4	2	3	5	2	70	72			
				22	50	72			
合計	5	11	16	36	165	201			

表 3.1.(1) 観測エリア毎の渓流数

め,ここでは,1次谷を対象とする.また,2次谷以上の渓流は,1次谷に再分割して取り扱うものとする.

図3.1.(2) に本研究で対象とした地域の降雨観測所の位置とエリア区分を示す.降雨の影響範囲は,雨量観測所を中心として半径 5 km<sup>10)</sup>のエリアを設定し,エリア内において降雨は一定であると考えた.また,雨量観測所間の距離が 5 km以内でエリアの重複する渓流は最も近い雨量観測所に含まれるものとして取り扱った.表3.1.(1) に,観測エリア毎の 1 次谷の渓流数と対象降雨数を示す.表3.1.(1) より対象降雨数は,発生降雨5個,非発生降雨11個の計16個の一連続降雨で,対象渓流数は,129渓流の内36渓流から土石流の発生が確認されている.ここで,一連続降雨は前後に24時間以上の無降雨期間があるひとまとまりの降雨として定義<sup>3)</sup>する.

ニューラルネットワークでは,素因となる地形要因と誘因となる降雨要因を入力データとして土石流の発生予測モデルを構築する.

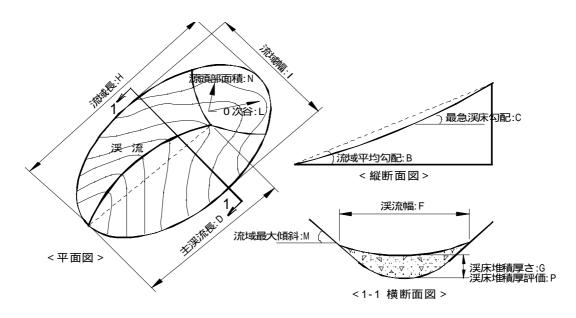


図 3.1.(3) 地形要因模式図

表 3.1.(2) 地形・降雨要因と検討ケ・ス

				データ	検討ケース									
			要 因11)	種類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Α	水系模様											
	渓	В	流域平均勾配(゜)											
地		С	最急渓床勾配(°)											
		D	主渓流長(km)	数										
		Ε	流域面積(km²)											
		F	渓流幅(m)											
形		G	渓床堆積厚さ(m)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	流	Н	流域長(km)											
		ı	流域幅(km)											
		J	流域形状比	値										
要		K	谷深比											
	斜	L	0次谷の数											
		M	流域最大傾斜(゜)											
	面	N	源頭部面積(km²)											
因	流域	0	渓床危険度評価	X										
		Р	渓床堆積厚評価											
	評価	Q	降雨集中度評価	分										
	短期	R	時間雨量(mm/h)											
		S	積算雨量(mm)											
降		Т	有効雨量(mm)	数										
	長期	U1	実効雨量(半減期12hr)											
雨		U2	実効雨量(半減期24hr)											
		U3	実効雨量(半減期48hr)											
要	時間	٧	降雨継続時間(hr)											
		W	有効時間(hr)											
因		Χ	有効雨量強度(mm/h)	値										
	変動	Υ	降雨重心											
		Z	有効降雨重心											

# (1) 地形・地質要因の設定

土石流発生の素因となる地形・地質要因のうち地形要因には、図3.1.(3) の地形要因模式図から、表3.1.(2) に示す地形要因<sup>11)</sup>を用いる.ここで、降雨集中度評価(要因Q)は、図3.1.(4) に示すように流域の平面形状と谷の発達状況から降雨の集中度をランク1~5まで区分し、ランクが高くなるほど降雨集中度は高くなり危険になると評価したも

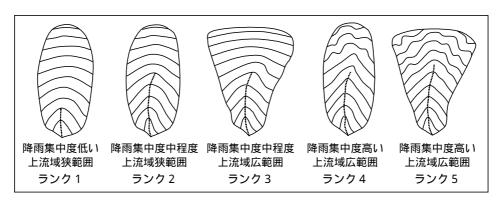


図 3.1.(4) 降雨集中度評価

のである.これらの要因は,渓床堆積厚さに関する要因G,Pを除いて,いずれも地図より読み取ることが出来る要因である.

また、地質要因は、表土層の土質特性(砂質土、粘性土等)により、特に粘土分含有率が多いと誘因となる降雨量が多くならないと土石流化しにくい傾向を示すことなど、土石流の発生や流出形態等に影響<sup>12)</sup>を与えると考えられる。このため、本研究では広島県北西部に広く分布している風化花崗岩からなる渓流を対象とした。

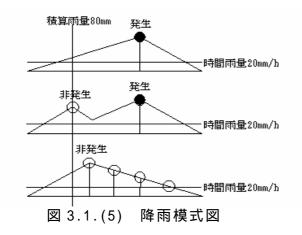
# (2) 降雨要因の設定

降雨要因<sup>11)</sup>には,降雨の特徴を表すために表3.1.2 に示すように,それぞれ降雨の短期,長期,時間,変動の4つの指標と11の降雨要因を考えた.

降雨要因の抽出において,一連続降雨から降雨要因を抽出する方法は,図3.1.(5) の降雨模式図に示すように,発生降雨については,土石流の発生時刻において要因を抽出し,発生データとして用いる.ここで,土石流の発生推定時刻<sup>9)</sup>は,地元住民による土石流の前兆現象や発生状況の目撃証言等から推定された土石流の発生時刻と降雨の時間雨量のピーク値がほぼ一致しているため,時間雨量のピーク値を土石流の発生時刻として取り扱った.また,非発生降雨については,1時間毎の全ての降雨データを学習させると,非発生データの数が多くなり,ニューラルネットワークの学習効率も悪くなる.そのため,建設省方式の警戒避難基準雨量の設定において対象となる非発生降雨量<sup>3)</sup>を参考にして,ここでは,時間雨量のピーク以降の変化点において積算雨量80mm以上で時間雨量20mm/h以上となる要因を抽出し,非発生データとして用いる.さらに,無降雨状態では,非発生であるため降雨要因=0を非発生データとして加える.

# (3) ニューラルネットワークのモデル化

ニューラルネットワークのモデル化においてNNモデルの基本構造は,モデルの学習において比較的単純な構造とするのが良く,むやみに複雑にするとかえって逆効果となることが著者らの研究<sup>13)</sup>において示されているため,ここでも,図3.1.(6) に示すように,入力層,中間層,出力層の3層からなる階層型ネットワークモデルを用いる.一般に階層型ネットワークモデルは,パターン認識<sup>14)</sup>に優れているとされており,現象の複雑な土石流の発生・非発生の予測において,地形要因や降雨要因を入力データとし土石流の発生・非発生を出力する入出力関係を一つのパターンとして扱うのに適した問題と



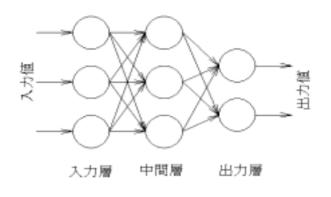


図 3.1.(6) 階層型ネットワーク

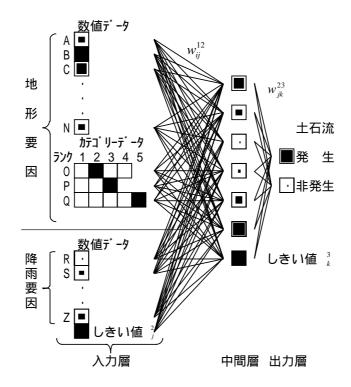


図 3.1.(7) 3 層階層型ニューラルネットワークモデル

# 考えられる.

本研究で用いるNNモデルは、図3.1.(7) に示すように地形要因と降雨要因の組み合わせを考えたモデルとする、図3.1.(7) のモデルでは、入力層は、地形要因と降雨要因から構成され、要因の種類によって数値ニューロンとカテゴリーニューロンの2種類からなっている。

NNモデルを構成する1つのニューロンは,その出力が【0】~【1】までの値であるため,数値ニューロンでは,データの最大値が【1】になるように基準化して用いる.また,カテゴリーニューロンは,該当するランクのニューロンを【1】とする.また,中間層のニューロンは6個とし,出力層のニューロンは,土石流の発生,非発生の2個のニューロンを設定している.

学習のアルゴリズムは,誤差逆伝播学習則 (error back propagation 以下, BPと言

う)を用い、入力層の地形・降雨要因を入力データとし、出力層の土石流の発生・非発生の関係を学習させる.このとき、発生データであれば発生ニューロンの出力【1】、非発生ニューロンの出力【0】を理想出力値として与える.逆に、非発生データであれば発生ニューロンの出力【0】、非発生ニューロンの出力【1】として与える.

また,入力層と中間層には,各層全てのニューロンに出力【1】を送るしきい値のためのニューロンを設けることにより, B P の過程で各層間の重み ( $w_{ij}^{12}, w_{jk}^{23}$ ) としきい値 ( $\theta_{ij}^{2}, \theta_{k}^{3}$ ) を同時に修正していく手法 $^{13}$ を用いている.

学習の収束条件は式(1)において最小二乗誤差E=0.001または,最大10,000回の反復学習を行った.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i} (v_i^N - \hat{v}_i)^2$$
 (3.1.1)

ここで,

E:最小二乗誤差,  $v_i^N$ :実際の出力値(出力信号), $\hat{v}_i$ :理想出力値(教師信号)また,ニューロンの入出力関数は式(2)に示すシグモイド関数(パラメータ $u_0$ =1.0)とした.

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-x/u_0)}$$
 (3.1.2)

ここで f(x): ニューロンの出力値 f(x): 入力値 f(x): パラメータ

ニューラルネットワークのモデル化では,入力データを教師データと試験データに分けて,教師データにより学習したモデルを用いて,未学習の試験データに適用するという方法<sup>13)</sup>がよく用いられている.しかし,本研究においては,NNモデルを用いて渓流の地形要因と降雨要因を組み合わせ,リアルタイムでの発生予測を試みるものであり,リアルタイムでの学習は行っていない.学習に用いたのは,図3.1.(5)の降雨模式図に示した降雨要因抽出点のデータのみであり,その他の点におけるデータは未学習データとなっている.そのため,教師データと試験データの分離が難しい上,表3.1.(1)に示したように,土石流の発生降雨は,非発生降雨に比べて少ないこと,また,発生降雨の観測エリア内の全ての渓流から土石流が発生するわけではないこと,さらに前述の地形要因と降雨要因の組み合わせを考えると,土石流の発生データ数は,非発生データ数と比べて非常に少なくなる.このため,構築したNNモデルの試験には,学習データを含む全てのデータに対してリアルタイムで土石流の発生予測を行う.

NNモデルの判断は、出力層における土石流の発生・非発生を判断するニューロンの 出力値において、出力値が【0.5】以上を示す大きい方のニューロンをニューラルネットワークの判断とする、また、出力【1】に近いほどニューラルネットワークの判断の 確信度が高いことを表しており、発生ニューロンと非発生ニューロンの出力値の関係は、

	表 3.1.(3) 字笛テ-ダに刈りるNNモテルの正脌率と収来状况											
	検討ケー	-ス	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		発 生	20/36	20/36	21/36	21/36	22/36	20/36	22/36	26/36	33/36	30/36
確	確信度 (%)		55.6	55.6	58.3	58.3	61.1	55.6	61.1	72.2	91.7	83.3
0.5	以上の	非発生	736/736	736/736	736/736	736/736	736/736	736/736	736/736	736/736	736/736	736/736
正	解率	(%)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
		全 体	756/772	756/772	757/772	757/772	758/772	756/772	758/772	762/772	769/772	766/772
		(%)	97.9	97.9	98.1	98.1	98.2	97.9	98.2	98.7	99.6	99.2
収	最大学	習回数	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
束	最小	発 生	0.445	0.369	0.417	0.416	0.389	0.444	0.389	0.278	0.084	0.127
状	二乗	非発生	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
況	誤差	全 体	0.021	0.018	0.019	0.019	0.018	0.021	0.018	0.013	0.004	0.006

表 3.1.(3) 学習デ - タに対する N N モデルの正解率と収束状況

それぞれの出力値の合計が【1】となっている.図3.1.(7) では,入力データに対して ニューラルネットワークは,土石流が発生すると判断している.

### 3.1.3 入力データの組合せに対する検討

土石流の発生は、地形要因と降雨要因の組合せによって決まってくる、地形要因には、地形図や現地調査により求まる数値データとこれらの数値データから流域の状況を評価したカテゴリーデータがある、また、降雨要因には、短期、長期、時間、変動の4つの指標がある、これらの要因の中で、どの要因が土石流の発生に影響を与えるかについて、入力データの組合せを考えた検討を行う、

入力データの組合せは、地形要因を中心に土石流の引き金となる降雨要因を変化させて、表3.1.(2) に示すような10通りの検討ケースを考えた、従って、10通りの入力データに対してそれぞれNNモデルを再構築した、また、入力データがニューラルネットワークに与える影響は、土石流の発生・非発生の正解率と学習回数や最小二乗誤差による収束状況により評価する、

表3.1.(3) に学習データに対するNNモデルの正解率と収束状況を示す.検討ケース1~6は,地形要因には数値データ,降雨要因には6つの降雨指標による組合せを行い,それぞれ図3.1.(7) のネットワーク構造によりモデル化を行った.表3.1.(3) より,検討ケース1~6の中で,検討ケース5の正解率が最も高くなり,発生データ61.1%,非発生データ100%,全体で98.2%となった.この時の降雨要因は,時間雨量(要因R),実効雨量(半減期24h)(要因U2),降雨継続時間(要因V),降雨重心(要因Y)の4要因である.また,モデルの収束状況は,最大学習回数10,000回で最小二乗誤差0.018となった.

検討ケース7~10は,前述の検討で正解率が最も高くなった検討ケース5の降雨要因に着目し,地形要因に数値データだけでなく流域評価要因としてのカテゴリーデータも加えた場合,さらに降雨要因の数を減少させた場合の検討を行った.検討ケース7は,検討ケース5と比べて正解率や最小二乗誤差が同じになり,地形要因に流域評価のカテゴリーデータを加えたことによる影響は表れていない.検討ケース8~10は,検討ケース5と比べて,全てのケースにおいて正解率が高くなり,最小二乗誤差も減少している.特に,検討ケース9の正解率が最も高くなり,発生データ91.7%,非発生データ100%,全体で99.6%となり,地形要因にカテゴリーデータを加えることにより発生データに対す

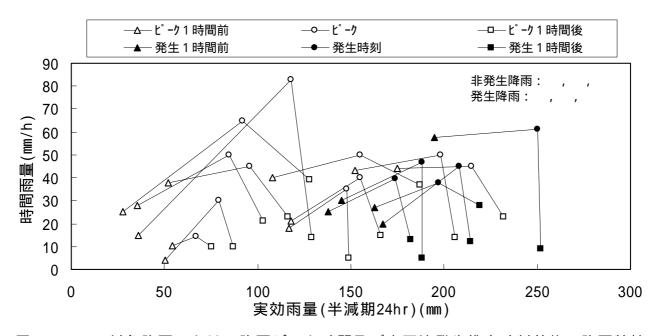


図 3.1.(8) 対象降雨における降雨ピ-ク時間及び土石流発生推定時刻前後の降雨特性

る正解率が大幅に改善された.この時の地形要因は,数値データとカテゴリデータを含む全要因,降雨要因は,時間雨量(要因R),実効雨量(半減期24h)(要因U2),降雨重心(要因Y)の3要因である.また,モデルの収束状況は,最大学習回数10,000回で最小二乗誤差0.004となった.

### 3.1.4 降雨継続時間毎の土石流のリアルタイム発生予測への適用

前節で構築した最良のNNモデルを用いて,図3.1.(5)の降雨模式図に示した降雨要因抽出点における学習データとそれ以外の未学習データを含む全てのデータに対して,各渓流の降雨継続時間毎のリアルタイムにおいて土石流の発生予測を行い,NNモデルの適用性について検討する.

土石流の発生は、誘因となる降雨の影響を強く受けており、降雨量が小さければ全ての渓流で土石流は発生しないが、降雨量が大きくなると発生渓流と非発生渓流に分かれる.そこで、本研究で扱った降雨の特性を図3.1.(8)に示す.図3.1.(8)は、土石流の発生降雨については、発生推定時刻を含む前後3時間( :発生1時間前, :発生推定時刻, :発生1時間後)の時間雨量と実効雨量(半減期24hr)を示し、非発生降雨については、時間雨量のピーク時刻を含む前後3時間( :ピーク1時間前, :ピーク時間, :ピーク1時間後)の時間雨量と実効雨量(半減期24hr)を示している.また、観測エリア毎の降雨を降雨番号で示した.図3.1.(8)より、発生降雨は右側に非発生降雨は左側に分布しているものの、その境界は不明瞭である.また、発生降雨の中にも発生渓流と非発生渓流が存在していることを考慮すると土石流の発生は、降雨要因だけでなく地形要因の影響も受けていると考えられる.

渓流毎のリアルタイム発生予測の結果を表3.1.(4) に示す.表3.1.(4) は,本研究で対象とした全ての渓流と全ての降雨を用いて降雨継続時間毎に各渓流での土石流の発生 予測をNNモデルで行い,発生渓流については,発生推定時刻に正しく認識できたもの,

	観測エリア		1			2		(	3		4			
降		陷	雨番号	1-1,1-2, 1-3,1-4	1-5	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2, 3-3	4-1	4-3	4-2,4-4, 4-5	合計
雨	至	生	・非発生	非発生	発生	非発生	非発生	発生	発生	非発生	発生	発生	非発生	
	発 :	生	NN判断/実測	0/0	0/1	0/0	0/0	2/2	8/9	0/0	2/2	21/22	0/0	33/36
渓			正解率(%)	•	0.0	-	-	100.0	88.9	-	100.0	95.5	-	91.7
	非発:	生	NN判断/実測	14/14	13/13	2/2	1/2	0/0	30/32	41/41	54/70	37/50	72/72	491/523
			正解率(%)	100.0	100.0	100.0	50.0	-	93.8	100.0	77.1	74.0	100.0	93.9
流	全(	体	NN判断/実測	14/14	13/14	2/2	1/2	2/2	38/41	41/41	72/72	72/72	72/72	524/559
			正解率(%)	100.0	92.9	100.0	50.0	100.0	92.7	100.0	77.8	80.6	100.0	93.7

表 3.1.(4) 渓流毎のリアルタイムでの土砂崩壊の発生予測の結果

非発生渓流については,一連続降雨中の全ての期間で非発生を正しく認識できたものを分子に,実測値を分母にして正解率で示している.ここで,降雨番号1-5,2-3,3-1,4-1,4-3 は,土石流の発生降雨であり,その他は,非発生降雨である.

表3.1.(4) より,発生降雨におけるNNモデルによる予測は,発生予測渓流数と実測された渓流数の比(33/36)より,91.7%の高い正解率となった.また,各発生降雨について発生渓流別に見ると,誤判断を示したのは,どれも1渓流程度であった.それに対して各発生降雨で崩壊が発生しなかった非発生渓流での予測は,降雨番号4-1,4-3においてそれぞれ77.1%,74.0%とやや正解率は低くなったものの,降雨番号1-5,3-1では,それぞれ100%,93.8%と高い正解率となった.

一方,非発生降雨については,ニューラルネットワークの判断は,降雨番号2-2の非発生降雨で1渓流で誤判断しているものの,その他の非発生降雨では,全ての渓流に対して100%の高い精度で正しい判断が行われている.

このように,ニューラルネットワークは,土石流の発生予測において,どの渓流からいつ発生するかを精度良く判断することができる.

次に,降雨の連続的な変化に伴うNNモデルの発生確信度の変化の一例を図3.1.(9)に示す.図3.1.(9)では,代表的な降雨波形として,短期降雨,中間的な降雨(台形,三角形),長期降雨を用いて代表的な発生渓流または非発生渓流のNNモデルの発生確信度のリアルタイム判断結果を例示する.

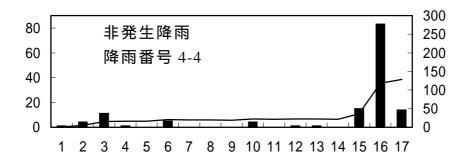
図3.1.(9) より,(a)短期降雨として,降雨番号4-4の非発生降雨の例を示す.NNモデルは,時間雨量80mm/hの時点においても発生確信度は0.0となり,全ての降雨継続時間において正しい判断をしている.

- (b)中間的な降雨(台形)では,降雨番号3-1の発生降雨を一例として示す.発生渓流No.16では,降雨継続11時間から発生確信度が高くなり始め,発生推定時刻(印)である降雨継続14時間において発生確信度1.0となっている.また,非発生渓流の代表例として非発生渓流No.1を示すが,他の非発生渓流も渓流No.1と同様に全てのリアルタイムの判断において発生確信度が0.0を示した.
- (c)中間的な降雨(三角形)では,降雨番号4-3の発生降雨を例として示す.発生渓流 No.14は,降雨継続12時間から発生確信度が高くなり始め,降雨継続13時間に発生確信 度1.0を示し,発生推定時刻(印)の1時間前に土石流の発生の危険性を示している.

また,非発生降雨No.6では,全ての降雨継続時間において発生確信度が0.0となった.

(d)長期降雨では,降雨番号4-1の発生降雨の例を示す.発生渓流No.34では,降雨継続52時間の発生推定時刻(印)において発生確信度が1.0となっている.また,降雨量が減少するにつれて,降雨継続56時間から発生確信度が低下し,降雨継続59時間で発生確信度が0.0となり,降雨継続67時間でやや発生確信度が上昇した.また,非発生渓流No.2は,全ての降雨継続時間において非発生と正しく判断している.

このようにNNモデルは,降雨要因の特徴と渓流の地形特性をうまく捕らえて予測しており,土石流のリアルタイム発生予測に対して有効¹¹)であることが示された.



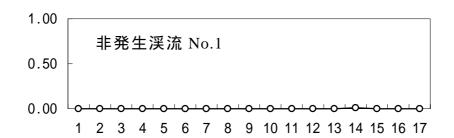
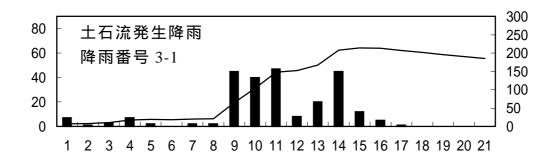
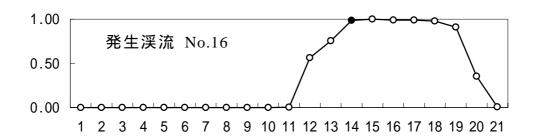


図-3.1.(9)(a) 短期降雨波形の一例





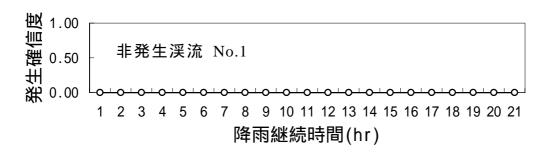
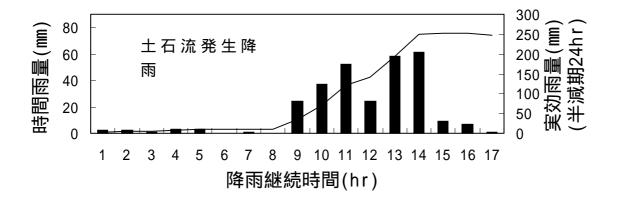
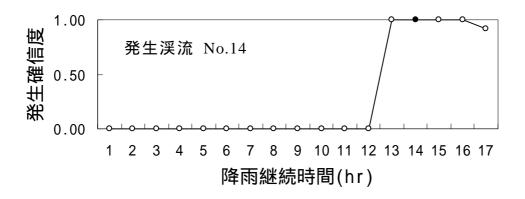


図-3.1.(9)(b) 中間的な降雨波形(台形)の一例





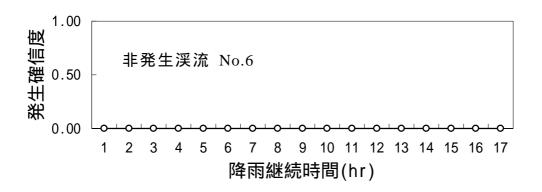
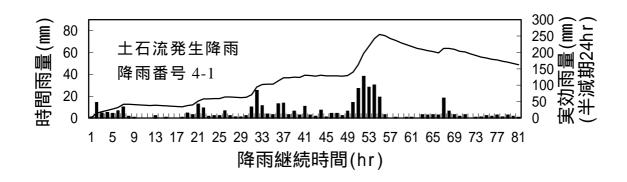
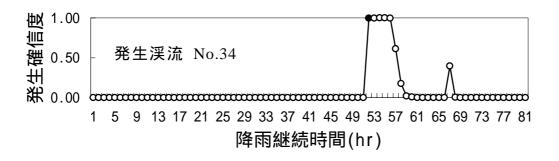


図-3.1.(9)(c) 中間的な降雨波形(三角形)の一例





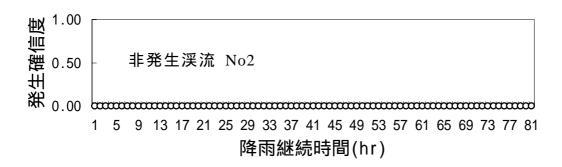


図-3.1.(9)(d) 長期降雨波形の一例

#### 3.1.5 おわりに

本研究では,ニューラルネットワークを用いて豪雨に伴う土石流の発生予測をリアルタイムで行い,ニューラルネットワークの特性について検討した.以下に結論を列挙する.

- 1) ニューラルネットワークを用いた土石流の発生予測は、学習データに対して発生データ91.7%、非発生データ100%と高い正解率が得られた、また、ニューラルネットワークのモデル構築に用いた要因は、本研究で提案している全地形要因と時間雨量、実効雨量(半減期24hr)、降雨重心の3つの降雨要因が重要であることが示された、
- 2) 構築したNNモデルを用いて土石流の発生をリアルタイムで予測した結果,NNモデルは,降雨特性と渓流の地形特性をうまく捕らえて予測できることが確認された.なお本研究の結果は,ある限られた地域に対してモデル化を行っているため,地形データや降雨データには,その地域の特徴が表れている.また,地質要因も風化花崗岩に限定して取り扱っているため,他の地域や他の地質に適用するには,再度システムを構築する必要がある.また,ニューラルネットワークは,学習機能を備えているため,今後さらに土石流の発生や非発生のデータを追加することによりモデルの性能は,改善されていくと考えられる.

### 参考文献

- 1) 芦田和男,高橋保,沢井健二:土石流の危険度の評価方法に関する研究,京都大学防 災研究所年報,第21号,B-2,pp.423-440,1978.
- 2) 鈴木雅一,小橋澄治:がけ崩れ発生と降雨の関係について,新砂防, Vol.34, No.2(121), pp.16-26, 1981.
- 3) 建設省河川局砂防部砂防課:土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案),1984.
- 4) 藤井恒一郎,久保田哲也,奥村武信:土石流発生警報の発令及び避難指示の的確性向上に関する研究,新砂防, Vol.47, No.2(193), pp.35-42, 1994.7.
- 5) 鈴木雅一,福義宏,武居有恒,小橋澄治:土砂災害発生の危険雨量,新砂防,110, pp.1-7,1979.
- 6) 森山聡之,平野宗夫,上松泰介,川原恵一郎,白川朋道:ニューラルネットワークを 用いた土石流発生予測について,水工学論文集,第36巻,pp.705-708,1992.2.
- 7) 平野宗夫:土石流の発生とその予測,土木学会論文集 No.486/ -22, pp.1-7, 1994.3.
- 8) 中野馨: ニューロコンピュータの基礎, pp.52-60, コロナ社, 1990.6.
- 9) 広島県土木建築部砂防課:県北西部の災害メカニズム調査報告書,1989.3.
- 10) 建設省土木研究所砂防部砂防研究室:土石流の警戒・避難基準雨量の設定に関する研究,土木研究所資料,pp.9-11,1985.3.
- 11) 荒木義則,古川浩平,松井範明,大木戸孝也,石川芳治,水山高久,: ニューラルネットワークを用いた土石流危険渓流における土砂崩壊のリアルタイム発生予測に関する研究,土木学会

- 論文集 No.581/ -37, pp.107-121, 1997.12.
- 12) 山下祐一,石川芳治,草野慎一:土石流発生源の崩壊地の土質特性,新砂防, Vol.44, No.5(178), pp.19-25,1992.1.
- 13) 荒木義則,鈴木昌次,宮崎智司,日永田雅司,古川浩平,中川浩二: ニューラルネットワークを用いたNATM施工時の支保パターン選定構造のモデル化に関する研究,土木学会論文集No.522/ -28,pp.143-153,1995.9.
- 14) 矢川元基:ニューラルネットワーク, pp.191-196, 培風館, 1992.5.

# 3.2 多目的最適化手法の適用

## 3.2.1 まえがき

従来の設計においては、往々にして何をどうしたいかという工学的価値基準は明示化されず、どちらかというとその(行為としての)設計のための種々の条件を満足する設計解(許容設計)を得ることに重点がおかれている.しかし、それらの条件が形成する設計空間は、必ずしも唯一の設計解を示す(許容設計の空間が極めて狭くなればあり得る)わけではなく、無数のパラメータの組合せによる設計からなる有限、無限の設計空間となるのが一般的であり、なんらかの工学的価値基準が設定されなければ設計解は決められないのが一般である.その意味で、従来においても何らかの工学的価値基準は明示されないだけで暗黙のうちに設定されていたと考えられる.

性能設計が期待通りに定着すれば、そのような工学的価値基準は必然的に明示されるであろうし、それは複数設定されるのが一般となるであろう、コスト最小化は当然のように重要な工学的価値基準であり、安全性、あるいは環境に関わる要求もコストとのかかわりにおいて、工学的価値基準として要求事項に含まれる。

設計問題は,必然的に多数の制約条件と複数の工学的価値基準から構成されることになると考えられる.このような問題を多目的計画問題という.ここでは,連続量のための満足化トレードオフ法,その改良法,および離散量を扱うGAにおいてパレート解集合を示す方法について簡単に説明する.

今まで,多目的計画問題を解くための手法がいくつか提案されている.

その中の一つに目標計画法(Goal Programming)がある.これは与えられたターゲットに対し最も近い解を見出そうとするものであり,構造最適設計への応用が斎藤¹),鈴木²)らにより報告されている.しかしこの手法は,目的関数が多い場合には,適切な重みの設定が難しく,いわゆるモグラたたきの現象が生じる危険性がある.また,あらかじめ与える目標が甘過ぎれば,それ以上の改善が望めないという欠点もある.

そこで,このような問題を改善し,効率良く設計を行うための手法として.中山により満足化トレードオフ法が提案された<sup>3)</sup>.この手法では.多目的最適化問題を1目的の補助的スカラー化問題に変換し,これを最適化することによりパレート解を求めるため,既存の1目的最適化のための数理最適設計支援システムの利用が可能となる.

しかし、この満足化トレードオフ法では、一般に複数回のトレードオフが要求される.トレードオフの過程そのものは、設計者が設計の環境を理解する上でも、またより良い設計を追求する上でも重要な過程である.しかし、大規模な構造システムの最適化などにおいては、1 回の構造解析でもかなりの計算時間がかかり、1 回の最適化計算とほぼ同数の構造解析を必要とするトレードオフはできるだけ少なくしたいという事情がある.満足化トレードオフ法においては、各目的関数に対してそれぞれの希求水準を設定する.トレードオフは、補助的最適化によって得られた解において、与えられた希求水準に対するある目的の達成度が低いために行われる.ここでは、トレードオフの段階における達成度に対する要求は、ある程度先験的に設計者が持っていると考え、満足度パラメータを導入した.これにより、初期のパレート解にその要求を反映させることができ、トレードオフの回数を減少できると考えた.

離散的な要因を含む設計問題のために遺伝的アルゴリズム(GA)の応用が盛んに行われている. 一般には1目的の問題に利用されるが,目的関数を各設計解の目的関数の値の相対的な関係に取ることにより,パレート解集合を求めることができる. 多目的計画問題における GA の利用についても最後に簡単に説明する.

## 3.2.2 多目的計画問題

まず.多目的計画問題 (multi-objective problem) は一般に次のように定義される.ただし,すべての目的関数についての最小化を前提とする.

目的関数: 
$$(f_1(\{X\}), f_2(\{X\}), \dots, f_r(\{X\})) \to \min$$
 (3.2.1)

設計変数: 
$${X} = {X_1, X_2, \dots, X_n}$$
 (3.2.3)

ここで, $f_i(\{X\})$ はr個の目的関数, $g_j(\{X\})$ はm 個の制約条件式, $\{X\}$ は設計変数である.前記のように,多目的最適化問題においては,同時に複数の目的を最小にするような解は一般には存在しない.ある目的を改善するためには,必ず他の目的を犠牲にしなければならないという設計の集合をパレート解(Pareto solution)と呼んでいる.また.意志決定者がある目的を改善するためには,他の目的をどの程度犠牲にしなければならないかという点について検討を行うことを,トレードオフ分析という.多目的最適化問題では,パレート解上で本人の価値規準に応じてトレードオフ分析を繰り返しながら,如何に設計を吟味していくかが設計者にとっての大きな問題となる.

## 3.2.3 満足化トレードオフ法の改良について

ここでは,まず(1)で従来型の満足化トレードオフ法を簡単に説明し,次に(2)で改良型手法について具体的な改良部分について説明する.

## (1)満足化トレードオフ法<sup>3)4)</sup>

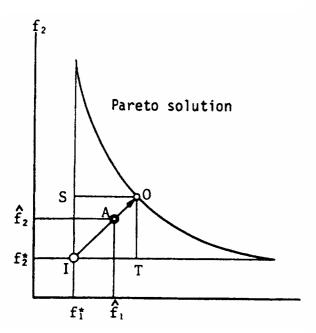
満足化トレードオフ法においては,式(3.2.1)~(3.2.3)の多目的最適化問題のパレート解を求めるために,次に示す補助的スカラー化問題が解かれる.

目的関数: 
$$Z \rightarrow \min$$
 (3.2.4)

$$w_i(f_i(\{X\}) - f_i^*) - Z \le 0$$
  $(i = 1 \sim r)$  (3.2.6)

設計変数:
$${X} = {X_1, X_2, \dots, X_n}$$
 (3.2.7)

ただし, 
$$w_i = \frac{1}{\hat{f}_i - f_i^*}$$
  $(i = 1 \sim r)$  (3.2.8)



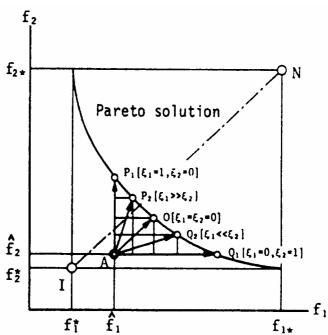


図3.2.(1) 満足化トレードオフ法

図3.2.(2) 改良型満足化トレードオフ法

ここで,式(3.2.6)中における $w_i$ は目的関数  $f(\{X\})$ の重みを表し,式(3.2.8)のように表される. $\hat{f}_i$ は希求水準(aspiration level)と呼ばれ,目的関数iはこの程度の値であれば満足できるという希望値として与えられる. $f_i^*$ は理想点(ideal point)と呼ばれ,目的関数iの十分小さく理想的な値として与えられる.

満足化トレードオフ法においては、理想点との距離としてチェビシェフ距離と等価なスカラ化関数を最小化している.この関係を 2 目的問題の場合について示したのが図 3.2.(1)である.図中 A が希求水準、I が理想点を示している.得られる解はパレート解の 1 つであり、チェビシェフ距離の等高線 SOT とパレート解曲線との接点 O となる.

この手法で多目的最適化問題を取り扱うに当り,設計者は,あらかじめ各目的関数について希求水準,理想点を与える.満足化トレードオフ法の大きな特徴として,この 2 点の設定により各目的に対する重みが式(3.2.8)により自動的に設定される.この時, $w_i \left( f_i(\{X\}) - f_i^* \right)$ は目的関数i の理想点への正規化された非達成度と見ることができ,目的関数間の次元の差や数値のオーダーの違いに特別の注意を払う必要がないことになる.

# (2)改良型満足化トレードオフ法5)

満足化トレードオフ法においては,得られたパレート解を見て,各目的関数の希求水準に対する達成度の過不足によりトレードオフが行われた.以下に説明する改良型手法においては,得られるパレート解に設計者が先験的に持っている各目的関数の達成度への要求が反映されるように,補助的スカラー化問題の定式化を修正することを試みた.それは,以下のように定式化される.

目的関数:
$$Z \rightarrow \min$$
 (3.2.10)

$$w_i(f_i(\{X\}) - \hat{f}_i) - (1 - \xi_i)Z \le 0 \qquad (i = 1 \sim r)$$
 (3.2.12)

設計変数: 
$$\{X\} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$$
 (3.2.13)

ただし, 
$$w_i = \frac{1}{f_{i^*} - f_i^*}$$
  $(i = 1 \sim r)$  (3.2.14)

改良型では従来型のものに比べ.新しく $\xi_i$ , $f_{i}$ の2つのパラメーターが追加された. $\xi_i$ は満足度パラメーターと呼ばれ,これは目的関数iの希求水準 $\hat{f}_i$ に対する達成度を調節するためのバラメ・タ・で,0~1の間の実数値が与えられる. $f_{i}$ は最悪点(nadir point)と呼ばれ,理想点とは逆に目的関数iの考えられる最大値として与えられる.

最悪点は,次元の異なる各目的関数を非達成度というものに無次元化するために,理想点と共に用いられるものである.式(3.2.8)を用いる満足化トレードオフ法と比べて,重み $w_i$ の値がトレードオフの過程でも変わらないのが特徴である.これらの関係を 2 目的問題の場合について示した概念図が図 3.2.(2)である.図中,点 N が新たに追加された最悪点である.

まず最初に設計者が与える満足度パラメーターを  $\xi_1 = \xi_2 = 0$  とした場合を仮定する .この時 , チェビシェフ距錐の等高線とパレート解曲線との接点 0 が最適解となる .

次に $\xi_1=1$ ,  $\xi_2=0$ の場合を考える.この時,式(3.2.12)において.i=1に対応する制約条件は,目的関数 1 が $\hat{f}_1$ 以下であるという制約条件式に置き換えられる.したがってこの場合には希求水準 $\hat{f}_1$ を満たすように,解は点 A より  $f_2$  軸に平行に移動して決定されることになる(点  $P_1$ ).また逆に, $\xi_1=0$ , $\xi_2=1$ であれば,解は A 点より  $f_1$  軸に平行に移動して,希求水準 $\hat{f}_2$  を満たすように決定される(点  $Q_1$ ).

したがって, $\xi_i$ を $\mathbf 0$ から $\mathbf 1$ の間で与えれば,解はその中間を探索することになる. $\xi_1 > \xi_2$ であれば,最適解は希求水準 $\hat f_1$ に重みを置いた設計(点 $\mathbf P_2$ ),逆に $\xi_2 > \xi_1$ であれば,希求水準 $\hat f_2$ に重みを置いた設計(点 $\mathbf Q_2$ )となる.

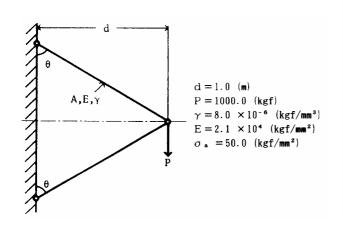
結局  $\xi_i$  を与えるということは,1回の計算の結果を検討する前に,初期の段階でトレードオフ分析とほぼ同じ意味の操作をしていることになり,これらを適当に与えることにより以後のトレードオフの回数を少なくさせたり,あるいはトレードオフを行わなくても,設計者の満足のいくパレート解が得られることが期待される.

次に満足度パラメーターの効果を例題により具体的に説明する.

### 3.2.4 改良型満足化トレードオフ法の特色

ここでは,これまで述べてきた改良型満足化トレードオフ法についての基礎的な事項について, 数値計算を行いその特色について説明する.

図3.2.(3)示すような2部材トラスを考える.この設計問題は,以下のように定式化される.



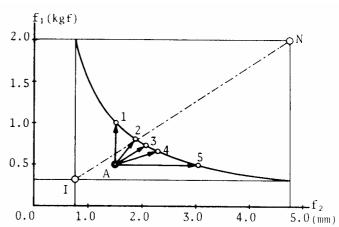


図 3.2.(3) 2 部材トラス(壁掛け問題)

図 3.2.(4) による設計の変化

表 3.2.(1) 参考点の設定

	理想点	希求水準	最悪点
f <sub>l</sub> :重量(kgf)	0.320	0.500	2.000
f <sub>2</sub> : 変位(mm)	0.762	1.500	4.762

表 3.2.(2) 数值計算結果(図 3.2.(4))

case	$\xi_1$	$\xi_2$	$f_1$ (kgf)	$f_2$ (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	$\sin \theta$
1	0.0	1.0	1.016	1.500	44.61	0.703
2	0.0	0.5	0.810	1.882	35.65	0.704
3	0.0	0.0	0.736	2.074	3.2.10	0.720
4	0.5	0.0	0.664	2.296	29.36	0.708
5	1.0	0.0	0.500	3.048	21.85	0.699

目的関数: 
$$f_1 = \frac{2dA\gamma}{\sin\theta}$$
 (3.2.15)

$$f_2 = \frac{Pd}{2AE\sin\theta\cos^2\theta} \tag{3.2.16}$$

制約条件: 
$$g_1 = \frac{P}{2A\cos\theta} - \sigma_a \le 0$$
 (3.2.17)

$$g_2 = A - 125\sin\theta \le 0 \tag{3.2.18}$$

設計変数: 
$$0 \le A \le 125$$
,  $0 \le \sin \theta \le 1$  (3.2.19)

目的関数には,部材全重量 $(f_1)$ および荷重載荷点における鉛直方向変位 $(f_2)$ ,また制約条件には部材応力に関する条件 $(g_1=\sigma-\sigma_a\leq 0)$ と,重量が 2.0(kgf)以内となるための断面積の条件( $g_2$ )を課している.設計変数には部材断面積 A ( $mm^2$ ).および壁と部材とのなす角 sin をとっている.

この問題では理想点, 最悪点は pay-off table を求めることにより容易に設定できる.表 3.2.(1)

に,それらの値および今回設定した希求水準の値を示す.

満足度パラメーターに 5 種類の組み合わせを与えて計算した結果を,表 3.2.(2)および図3.2.(4)に示す.

まず case - 3 について両方の満足度パラメーターを 0.0 に設定した場合には 解は I-N 直線と平行に探索されていることが分かる.次に case - 1 と case - 5 について,一方のパラメーターを 1.0 に設定した場合にはそれぞれの希求水準を満たした設計になっていることが分かる.また, case - 2 と case - 4 について一方のパラメーターを 0.0 に対して 0.5 と多少大き目に設定した場合,それぞれの希求水準に重みを置いた設計となっている.

この結果より,補助的スカラー化問題の最適化の前に,特定の目的関数に対して,あらかじめ 設計者の要求度合いに応じて満足度パラメーターを与えれば,ある程度その要求に近い設計が得 られることが分かる.

満足度パラメーターは,複数の目的関数の内,ある目的関数の希求水準に対しての達成度が設定される場合のみ $0 < \xi \le 1$ の値を設定する.したがって,特に達成度が設定されない場合はすべて0とする.この場合は,すべての目的関数は同等に扱われ.希求水準が厳しい場合は.それぞれの目的関数は,同程度に達成されないことになる.

一方,一般の構造設計においては,設計者は希求水準に対する達成度の希望をあらかじめ持っている場合も当然想定される.もし,ある目的関数の希求水準に対して,この程度には達成して欲しいという要求があれば,それを満足度パラメーターとして与えることができる.

この値は,目的関数の単位,オーダーに関係なく,0~1の無次元量であることが大きな特徴である.前記のように,1であれば必ず達成され,0.7の場合は,0.6の場合よりも達成度は高いという単純な論理であるため,先験的に達成度に対する絶対的あるいは相対的な希望がある場合には,目標計画法における重みの設定よりは容易ではないかと考えられるものである.

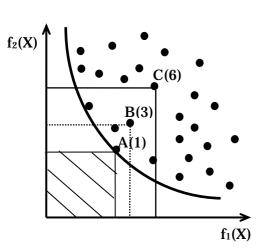
## 3.2.5 離散的変数の場合の G A の利用<sup>6)</sup>

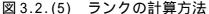
多目的計画法の手続きは,扱う変数が連続変数であれば,今まで説明したように,パレート解の一つを求めその解を逐次吟味する手法と定義できる.その時,パレート解の全容は一般には表示されない.ところが,離散変数を扱う遺伝的アルゴリズム(GA)では,多目的最適化問題を構成する複数の目的関数の相対的な位置関係を新たな目的関数とすることにより,パレート解を表示することが可能となる.

その目的関数は,例えば次式で表される.

目的関数: 
$$\sum_{i=1}^{N} R_i$$
 (3.2.20)

ここで,N は人口サイズであり, $R_i$ は設計iのランクの値である.ランクは,図 3.2.(5)の設計 A,B,C の横に括弧書きしているように,各設計を目的関数の空間上にプロットし, $f_1$ , $f_2$ 共に(2目的の場合)その設計の値よりも少ない設計の数に 1 を加えて得ることが出来る.





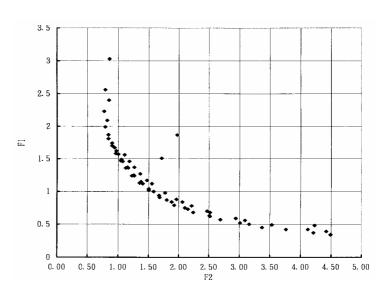


図3.2.(6) 壁掛け問題の多目的GAの結果

上記の目的関数の設定以外の計算は,通常の GA の計算と同じである.最良の設計解を表示する 代わりにすべての設計解を表示することによりパレート解を得ることができる.

前節の壁掛け問題に対して上記の多目的 GA を適用した結果を図 3.2.(6)に示した.

多目的 GA の計算において,今回はランク付けという比較的単純な目的関数を用いたが,目的関数の設定は検討の余地があると思われる.

### 参考文献

- 1)斎藤・堀井・依田:非線形目標計画法よるトラスの多目的最適化,土木学会第 45 回年次学 術講演会論文集 I 第 46 号, pp. 394-395.1990.
- 2 ) Suzuki,S.& Matuda,S. : STRUCTURE / CONTROL DESIGN SYNTHESIS OF ACTIVE FLUTTER SUPRESSION SYSTEM BY GOAL PROGRAMMING, AIAA-90 3325 CP, 1990.
- 3)中山弘隆: 多目的計画に対する満足化トレードオフの提案,計測自動制御学会論文集, Vol. 20, pp. 29-35, 1984.
- 4) 古川・井上・中山・石堂:多目的計画法を用いた斜張橋の架設時精度管理システムに関する研究,土木学会論文集第 374 号/I-6,1986.
- 5)亀廼井・杉本・中山:構造最適設計のための改良型満足化トレードオフ法に関する研究,土 木学会論文集 441 号/I-18, pp.117-126,1992.
- 6) 坂和正敏・田中雅博:遺伝的アルゴリズム,朝倉書店,1995.

# 3.3 自己組織化特徴マップ(SOM)の適用

### 3.3.1 はじめに

橋梁の耐震設計分野への信頼性理論の適用については、地震動の不確定さや橋の変形性能の 算定法の精度が不十分であることから、今後十分な研究が必要とされているところである<sup>1),2),3)</sup> . 一方で、耐震設計の実務に着目して、信頼性理論、確率論的手法あるいは最適設計手法の考え 方を用いた、設計作業の軽減もしくは意思決定の一部を肩代わりさせようとする研究が進んでいる<sup>4),5)</sup> .

橋梁下部工の耐震設計における入力条件と解との関係は非線形応答であり,厳密に最適解を得るためには,多様なパターンに対する試行錯誤が必要である.一般には,その多くの部分を熟練した技術者の経験と勘に頼って省略している場合が多く,得られた解の完成度は,技術者の能力に左右されやすいものとなっている.

また,ひとたび完了した設計結果に対して,その結果がどの程度要求性能を満足しているものであるかを客観的に検証することも容易でない.このことは,次期設計手法である性能設計への移行においても大きな障害となりうる問題である.

このような背景から,設計段階における解候補あるいは一定の段階に進んだ設計結果の,経済性,耐震性などに代表される要求性能に照らした評価をより簡単に,そして短時間に確認できるシステム構築の必要性が高まっている.

ここでは,既存設計事例群の分析・学習結果との視覚的な比較検討による,新たな設計代替案の分析・評価に自己組織化特徴マップ(SOM)<sup>6)</sup>の適用を試みる.

SOM は財政分析 <sup>7)</sup>,情報分析 <sup>8)</sup>,健康診断 <sup>9)</sup>など広汎に応用され,土木工学分野への適用例としては,橋梁保守点検問題への適用例 <sup>10)</sup>のほか,斜面崩壊予測問題 <sup>11)-13)</sup>,地盤性状の空間分布推定問題 <sup>14)-16)</sup>への適用例などがある.

# 3.3.2 自己組織化特徴マップ(SOM)<sup>6),17)</sup>

自己組織化特徴マップ (SOM: Self-Organizing feature Map)は,1988年にコホーネンによって提唱された教師なし学習アルゴリズムである.

ヒトの脳の大脳皮質には感覚情報の解析,運動の組織化などの様々な知的行動の複雑な作業が行えるように特殊化された部分がある.これらは感覚野と呼ばれ,各感覚野には対応する感覚器官の配置を表すマップがある.SOM は感覚運動現象の脳へのマッピングを模したニューラルネットワークモデルである.

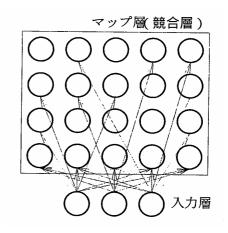


図 3.3.(1) SOM の概念

SOM のネットワークはデータを入力する入力層と,入力したデータを元にマップが形成される 競合層の 2 層から構成されている.図 3.3.(1)は SOM の基本的な構造を示したものである.各 層にはニューロンが存在し,入力層と競合層のすべてのニューロンは結合されている.そして, 入力層と競合層の結合重みを介して学習データが記憶される.同じ層同士のニューロン間には 結合はない、競合層の次元数には特に制限はないが,一般には視覚的に表現しやすい  $1\sim2$  次元が多く用いられている.

SOM の最大の特徴はパターン間の関係構造を明らかにできることである.SOM における学習による重みの更新は,学習データ(入力データ)と最も類似する競合層上のニューロンを勝者ニューロンとし,この勝者ニューロンおよびその近傍傾城の重みを学習データに近づけることで,結果として次に提示されるデータが提示前の学習データと似ていれば前のデータの近傍ニューロンが勝者ニューロンとして選ばれやすくなり,異なったデータなら逆に前のデータの近傍ニューロンは勝者ニューロンとして選ばれにくくなる.この操作を繰り返すことにより,学習が終わった後には類似したデータが寄り集まったマップが得られる.そして,データ同士の類似性は競合層に形成されたマップ上の近さの関係に写され,学習が終了した後,マップを観察することによりデータ間の関係やデータ群の特徴を理解することができる.教師付き学習と異なり,学習時に教師値を与えていないので、純粋に入力データの分布状況をそのまま反映したマップが形成される.このため,SOM はパターン分類やパターン認識の分野で特に優れていると考えられている.

#### 3.3.3 SOM の学習アルゴリズム

SOM の学習アルゴリズムの特徴は,競合に勝ち残ったニューロンだけではなく,その近傍に位置するニューロンをも含めて集団で学習が行なわれることである.SOM の学習アルゴリズムをまとめると次のようになる.

step1.ネットワークの初期化

入力層とマップ層間のコードブックベクトルの初期値を, 乱数を用いて小さな値にする. step2.入力ベクトルの入力

入力層に入力ベクトル×を入力する.

$$X = [ _{1}, _{2}, ..., _{n}]^{T} R^{n}$$
 (3.3.1)

step3.コードブックベクトルと入力ベクトルの距離(ユークリッド距離)の計算

上の入力ベクトルに対するマップ層のノード i のコードブックベクトルは , 式(3.3.2)で示される .

$$m_i = [\mu_{i1}, \mu_{i2}, ..., \mu_{in}]^T R^n$$
 (3.3.2)

マップ層で各ノードのコードブックベクトルと入力ベクトルとのユークリッド距離を計算する.

$$x - m_i = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (_{j} - \mu_{ij})^2}$$
 (3.3.3)

step4.ユークリッド距離が最小となるノードの選択

この競合によって選択されたノードを勝者ノードとし,添字cによって表す.

$$x - m_c = min\{x - m_i\}$$
 (3.3.4)

step5. コードブックベクトルの更新

勝者ノードとその近傍のノードのコードブックベクトルが,式(3.3.5)により更新される.

$$m_i(t+1) = m_i(t) + h_{ci}(t) [x(t) - m_i(t)]$$
 (3.3.5)

ここでt=0,1,2,...は整数,すなわち離散時間座標である.

 $h_{ci}(t)$ は近傍関数である.緩和過程では,関数 $h_{ci}(t)$ は非常に中心的な役割をする.すなわち,格子点上に定義される平滑カーネルとして振る舞う.近傍関数は収束するために, t のとき, $h_{ci}(t)$  0である必要がある.普通 $h_{ci}(t)$  =  $h(r_c - r_i_t)$ であり,ここで $r_c$  R  $^2$ と $r_i$  R  $^2$ はそれぞれの配列の中でノード c と i の位置ベクトルである.  $r_c$  -  $r_i$  が増加するにつれて h 0 になる. $h_{ci}$ の平均幅と形は,データ点群にあうように"弾性表面"の"かたさ"を定義する.近傍関数は次の二つの選択が可能である.

バブル関数

$$h_{ci} = \begin{cases} (t) & i & N_c \\ 0 & i / N_c \end{cases}$$
 (3.3.6)

ガウス関数

$$h_{ci} = (t) \cdot exp\left(-\frac{r_c - r_i}{2^{-2}(t)}\right)$$
 (3.3.7)

ここで、 $N_c$ は近傍集合 , (t)は学習率係数 (0 < (t) < 1)である  $.N_c$ の半径と . (t)は , 両方とも時間とともに普通単調減少する . . (t)は関数の幅のことであり , . の半径に相当する . また . (t)は次の二つが選択可能である .

線形関数(linear function)

$$(t) = (0) \left( 1.0 - \frac{t}{r \, l \, en} \right) \tag{3.3.8}$$

時刻反比例型関数(inverse-time type function)

$$(t) = (0)\frac{C}{C + t}$$
  $C = \frac{100.0}{100.0}$  (3.3.9)

は学習回数であり, (0)は学習率係数の初期値である. (t)は最初の約1000ステップは,1に近い値で開始しその後単調に減少させるべきである.すると初期期間で重みの順序づけが行われ残りのステップは,微調整のために使われるからである.ただし最初の段階で,どのような学習率係数が最適であるかというのははっきりとしていない.なぜなら近傍集合の大きさもそれにより変化し,状況を複雑にするからである. t は先ほども述べたが,離散時間座標であり最終的には と等しくなる.また $N_c$  の半径,すなわち (t) は次式で示される.

$$(t) = 1.0 + ((0) - 1.0) - t$$
 (3.3.10)

(0)は初期近傍サイズとして設定する.

近傍集合 $N_c = N_c(t)$ の大きさの選択は, $N_c(0)$ つまり最初の近傍集合をかなり広い範囲にとり,時間とともにしだいに縮小させていく.このことにより,学習の進行とともに粗調整から微調整へと変化させていくことができる.また $N_c(0)$ の値をあまりに小さい値にすると,マップの全体的な学習が行われないためである. $N_c$ の初期半径,すなわち (0)はマップ全体の直径の半分より大きくしてもよい.

step6.step.2に戻る

以上のことを学習回数で指定した数だけ繰り返す.

# 3.3.4 SOMの設定値

自己組織化特徴マップ(SOM)の有効性を検証するために,鉄筋コンクリート橋脚の柱断面に着目し,橋脚の高さを変化させたデータの作成を試みた<sup>18),19)</sup>.対象とした橋脚の高さ(H)は9.0m, 10.0m,11.0m,橋脚幅は10.0mである.なお,上部構造については,高架橋として一般的な支間長25.0mの多径間連続PC中空床版橋を想定している.

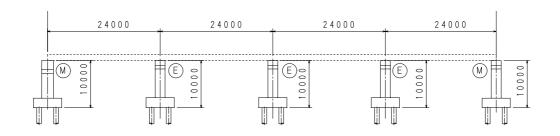


図 3.3.(2) 対象橋梁の概略図 (H=10m の場合)

なお,具体的に本研究のデータとして用いた橋梁モデルの設計条件のうち,すべてのデータについての共通条件を表3.3.(1)に示す.

なお,設計パラメータの変更範囲は実際に使用できると思われる設計データの範囲に限定している. 表3.3.(2)に変更の範囲を示す.

また,構造細目上の前提条件として次の与条件 を設定した<sup>20)</sup>.

- ・主鉄筋は2段以下とする
- ・主鉄筋の間隔は,125mmもしくは250mmとする
- ・帯鉄筋および中間拘束筋の鉄筋径は,主鉄筋径 を上回らない
- ・場所打ちくいの設計径および鉄筋本数は変更しない

以上の条件の下,抽出されたデータに対して, 静的照査法による耐震性能1(レベル1地震動)なら びに耐震性能2(レベル2地震動)における照査項目 全てについての判定を行う.

これらの項目のうち一つでも条件を満たしていない項目が存在するデータはNoのデータ(Nデータ) として扱い,すべての条件を満たしているデータのみYesのデータ(Yデータ)として用いることにする.

SOMの学習に用いたデータの数を表3.3.(3)に示す.

表3.3.(1) 対象橋脚の設計条件

	• •
構造形式	張出し式橋脚
基礎構造	場所打ちくい
	( 1.0m,L=19m)
支承条件	地震時水平反力分散方式ゴム支承
地盤種別	種地盤
コンクリ	ck = 24N/mm <sup>2</sup>
ート材料	CK - 24N/IIIII
鉄筋材料	SD345

表 3.3.(2) 比較ケースの設計変数

設計変数	抽出ケース	ス	種類
柱断面寸法	1.5×3.0,	1.5×3.5,	11
	1.5×4.0,		
(m)	1.8×3.0,	1.8×3.5,	
	1.8×4.0,		
	2.1×2.5,	2.1×2.7,	
	2.1×3.0,		
	2.5×2.5, 2.5×3.0		
軸方向鉄筋	D25 , D29 , D32 , D3	8 , D51	5
帯鉄筋・	D16 , D19 , D22 , D2	5	4
中間拘束筋			

表3.3.(3) 使用データ数

橋脚の高	Yデータ数	Nデータ	合計
さ		数	
9.0m	22	26	48
10.0m	38	20	58
11.0m	11	18	29

#### 3.3.5 学習設定

効果的なシステムを構築するため,SOM の学習結果に影響を与える可能性のある要因として以下について検討した.

- 1)学習回数の増減
- 2)近傍領域の設定
- 3) 入力項目の選択
- 4) 学習項目順序の変更
- 5)入力データ順序の変更

## 1)学習回数

学習回数の影響を評価するため,500回,1000回,1500回,2000回と学習回数を変化させ, 結果を比較した.

図3.3.(3),図3.3.(4)にはそれぞれ学習回数500回と学習回数2000回の結果を表示した.

マップ中の大円はデータが分類・配置されるべき位置を示しており,小円は隣接して配置されたデータ間の空間的距離の大きさをその濃淡で表している.

これらの図は,出力されたマップに対し,視覚的に隣接するニューロン間のベクトル距離が大であると判断できる部分に境界(図中実線)を設定し,主観的にグループ分けをした結果をオーバーレイしたものであり, ~ の大きく5つのグループに分別している.

図3.3.(3),図3.3.(4)を比較することにより,まず学習回数500回~2000回間のマップの変化はそれほど大きく現れてはいないことがわかる.いくつかのデータの中には学習回数の変化によって他のグループに移動するものがあるのではないかと考えられたがそのようなデータはなく,いずれの図においても同じグループに分類された.また, ~ のグループの現れた場所についても,同様に左上に のグループが現れ,そして右回りに , , のグループが現れており,中心に のグループが位置している.

自己組織化特徴マップでの学習を行う設定はニューロンの初期重みベクトルがランダム設定に なっているために学習を行うたびに異なるマップが表示されるが,学習回数を増加させた時の

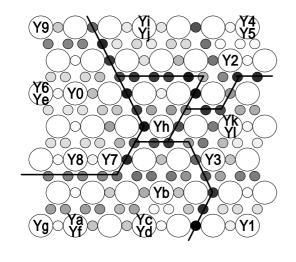


図 3.3.(3) 学習回数 500 回

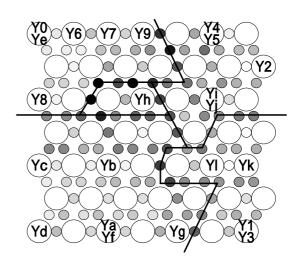


図 3.3.(4) 学習回数 2000 回

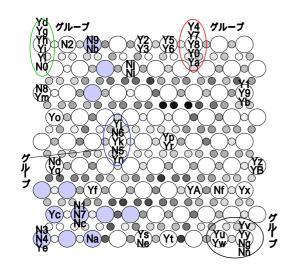


図3.3.(5) 初期近傍領域10(最終近傍領域1)

これらの事例より,グループ同士の入れ替えは行われるが,グループ内の要素の入れ替えは行われておらず,学習回数が500回~2000回の間では学習回数の大小によって自己組織化特徴マップが影響を受けることはほとんど無いといえる.

## 2)初期近傍領域

つぎに,初期近傍領域についての最適環

図3.3.(6) 初期近傍領域6(最終近傍領域1)

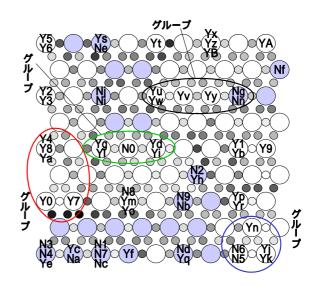


図3.3.(7) 初期近傍領域2(最終近傍領域1)

境を検索する.学習開始時の近傍領域を初期近傍領域と呼び,ここでは初期近傍領域が10(図3.3.(5)),6(図3.3.(6)),2(図3.3.(7))の時のマップを表示した.

ここで注目すべき点としてはグループ とグループ である.まず,グループ に関して見てみると図3.3.(5)では1つのニューロン上にYj,N6,Yk,N5,Ynの5つのデータが固まっており,図3.3.(6)ではNデータとYデータが分離された状態でニューロン上に現れている.また,グループ も同様に図3.3.(5)ではYとNのデータが混在して現れているのに対し,図3.3.(6)以降ではYデータ,Nデータに分類されてニューロン上に現れている.

つぎに , グループ を見てみると図3.3.(5) , 図3.3.(6)までは1つのニューロン上にY4 , Y7 , Y8 , Y0 , Yaのデータが現れているが , 図3.3.(7)では3~4のニューロン上に別れて現れている . グループ に関しても と同じような結果が得られた .

以上の結果より、初期近傍領域の値は と のグループから出た結論として初期近傍領域は6 以下の方がうまく分類できているといえる.また、それぞれのデータの配置によるグループ分けを行う際、データがバラバラに表示されるのではなく、ある程度グループ化されて表示されることが望ましい.そこで、今回の初期近傍領域を変化させた結果、初期近傍領域が大きいほ どグループ化される傾向を見ることができたため にできるだけ初期近傍領域を大きく設定した方が 好ましい.

以上の検討によれば,今回の事例では初期近傍 領域の設定値としては6前後が最適であるといえる. 3)入力項目の順序

入力項目の順序変更とは自己組織化特徴マップで学習を行う際,入力する項目のみの順序を変えることである.

図3.3.(3)に示したマップデータの入力項目の順序変更を行って学習したものが図3.3.8である.図3.3.(8)のマップも図3.3.(1)同様に5つのグループ分けを行った.

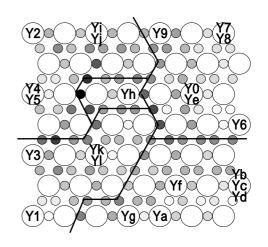


図3.3.(8) 入力項目順序変更後

この結果から見て,まず表示されたデータの名前であるが,両方のマップとも同じグループに 分類され,図3.3.(3)と図3.3.(8)で異なったグループに表示されたデータは存在しない.

次に、 ~ のグループの配置についてであるが、中心の 配置はほぼ同様であるのに対し、他の ~ のグループは異なった位置に表示されている。この学習結果の原因としてあげられることは、学習開始時のニューロンの重みの設定である。学習開始時の各ニューロンの重みべクトルの設定は学習開始時に乱数で設定され、学習が開始される時点で決定する。そのために、新しい学習を行うたびに異なった重みベクトルを各ニューロンは保持するわけである。

よって,最初に学習が行われたデータがどの位置のニューロンを勝者ニューロンにするかによって,入力データのグループの形成される位置が決定される.

図3.3.(8)では図3.3.(3)と比べるとグループの配置が変化しているが,その変化は入力データ項目の順序に起因してマップの表現形状が変更されたのみであり,その学習・分類結果に影響していないことが明らかである.

### 3.3.6 耐震設計への適用例

## 1)既存設計データの分析

図3.3.(9)には,SOMにより既存のYデータのみを対象として学習・出力されたマップが,入力データの特徴をどのように分類しているかの分析を行った結果を示す.

最も顕著な分類結果は、橋軸方向主鉄筋段数によるものであり、 , は2段 , , は1段となっている.つぎには断面寸法に関する分類が行われており、特に と のグループではその影響が大きくみられた. と のグループでは直角方向主鉄筋段数によってグループ

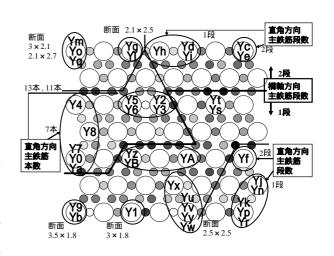


図 3.3.(9) 既存設計橋脚の主要入力データ

の中でも分けられている.さらに, のグループでは直角方向主鉄筋本数によって分類されている部分も存在した.

以上の結果から,データ分類に影響する入力項目(設計パラメータ)の重要度は,橋軸方向主 鉄筋段数,橋軸直角方向主鉄筋段数と断面寸法の順に大きいことが判明した.さらに影響する 項目としては橋軸方向,橋軸直角方向の主鉄筋の径があげられ,これ以下の細部の項目につい ては影響をみることができなかった.

## 2) 力学的影響の分析

既存のYデータの耐震性能1ならびに耐震性能2による安全性の判定結果に着目し,各判定項目ごとの決定度として以下の比率を定義する.

## 耐震性能1(レベル1地震動)

- ・コンクリートの圧縮応力度(。)と許容応力度(。)の比率
- ・鉄筋の引張応力度( ๑)と許容応力度( ๑๑)の比率
- ・せん断応力度()とせん断許容応力度(。)の比率

## 耐震性能2(レベル2地震動)

- ・タイプ の地震動に対する慣性力(k)と地震時保有水平耐力(Pa)との比率
- ・タイプ の地震動に対する慣性力(k)と地震時保有水平耐力(Pa)との比率

各設計データごとに,耐震性能1における6項目の決定度の中で最大の項目を図3.3.(10)に示した.また,耐震性能2についても同様に4項目の中で決定度が最大となる項目を図3.3.(11)に表示した.ここで,各ラベルの先頭文字,kは橋軸方向,tは橋軸直角方向をそれぞれ表す.

これらの図の中で最も特徴が現れているのは図3.3.(11)である.耐震性能2ではタイプ 地震動とタイプ 地震動の2つの項目が存在するが,タイプ の地震動に関してはマップに表示されることがほとんど無かった.これは,本研究で取り扱った標準的な規模の橋脚においては,ほとんどの場合でタイプ 地震動による判定項目で決定されることが一般的であることによる.

また,橋軸方向(k)と橋軸直角方向(t)のマップの配置をみると橋軸方向が左下に固まって現れていることが分かる.これは橋軸方向の耐力が橋軸直角方向の耐力よりも低い設計データが集まっているためである.

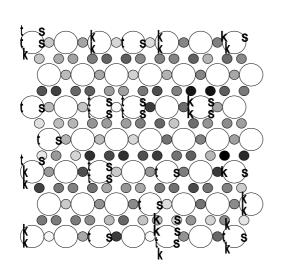


図3.3.(10) 耐震性能1による分類

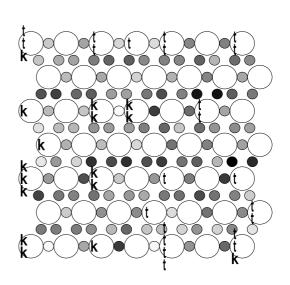


図3.3.(11) 耐震性能2による分類

入力したデータには橋脚の設計に用いた各部材の断面寸法や鉄筋量が主な項目であり,耐震性能2の判定式に含まれる慣性力や地震時保有水平耐力は入力していない.

しかしながら,図3.3.(11)ではその比率の関係が明らかに現れている.このことはSOMによって,入力されたデータからデータ同士の特徴をつかみ,学習を重ねることによりグループ化された結果であり,設計結果の力学的な特徴による分類がマップ上で行われたことになる.

#### 3.3.7 まとめ

本研究では,自己組織化特徴マップ(SOM)を用いて,あらかじめ準備した鉄筋コンクリート橋脚の設計データを分類し,得られた特徴マップを新たな設計・検証活動の支援ツールとして利用するための可能性について検討した.また,その具体的な設計支援への適用可能性を示し,その有用性を確認した.

検討の結果,鉄筋コンクリート橋脚柱の耐震設計にSOMを適用する場合の,最適なデータ学習 環境については以下の知見が得られた.

- ・学習回数によるSOMのマップの影響は500回以上の場合,ほとんど影響しない.
- ・入力項目の順序変更と入力データの順序変更で,現れる影響はほとんどない.
- ・初期近傍領域の設定は6前後,最終近傍領域の設定は1が最適である.

現状の橋梁下部工設計データは非常に多様で,かつ各データ間の相関が複雑であるため,これまでそのままの形で最適設計手法を適用することは困難と考えられていた.一方で,SOMのアルゴリズム自体は複雑でなく,SOMを利用して多くの設計データを蓄積し学習・分析することで,対象データの直接入力していない力学的な特徴にまで踏み込んだ判定が可能となることを確認した.

許容範囲に入った解が一つ得られれば、それ以上良い解を探索する努力は実務では難しいが、既存の設計事例や、得られたひとつの解の周辺解をSOMを用いて検討することにより、その代替案を比較的容易に探索できると考えられる。

さらに、性能照査型設計への移行に伴い,要求事項が多様化,複雑化することが想定される中で,さまざまな要求性能を満足させることになるが,SOMを援用し設計事例の特徴を分類することにより,要求性能の変化に対応する解の比較的容易な探索が実現できる.

今後,具体的な支援システム構築に向け,SOMを用いる際の標準的なパラメータの値や得られたマップを分析する際の指標を得るために,より多様な設計データを用いた分析事例の蓄積が課題である.

#### 参考文献

- 1) 川島一彦(監訳), M.J.N.Priestley, F.Seible, G.M.Calvi:「橋梁の耐震設計と耐震補強」, 技報堂出版, pp.31-32, 1998.4
- 2) 秋山充良,松中亮治,土井充,鈴木基行:「地震時保有水平耐力法により設計されたRC橋脚の耐震安全性のばらつきに関する確率論的考察」,土木学会地震工学委員会,第4回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集,pp.7-12,2000.12

- 3) 大住道生,運上茂樹,足立幸郎,星隈順一:「道路橋の耐震信頼性評価に関する研究」,土 木学会地震工学委員会,第4回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集,pp.13-16,2000.12
- 4) 山田 善一:「耐震構造設計論」,京都大学学術出版社,pp.181-190,1997.
- 5) 杉本博之,村部剛史,朝日啓太,古川浩平,高久達将:「鋼製橋脚の最適耐震設計法の一試み」,土木学会地震工学委員会,第4回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集,pp.251-256,2000.12
- 6) T.Kohonen著, 高徳・岸田・藤村 訳:「自己組織化マップ」, シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社, 1996.6
- 7) 柴田愛子,坂井優:政府の移転支出の配分構造-公正と効率の支点から,第17回ファジーシンポジウム講演論文集,pp.321-324,2001.9.
- 8) 窪野哲光:自己組織化マップ型情報検索インタフェースの検討,第15回ファジーシンポジウム講演論文集,pp.327-330,1996.6.
- 9) 池田佳弘,徳高平蔵,藤村喜ク朗,馬庭芳郎:WEB技術を使った自己組織化マップによる各種解析システムの構築,第3回自己組織化マップ(SOM)研究会2002講演論文集,pp.91-94,2002.3.
- 10) 近田康夫, 広瀬智士, 城戸隆良:「SOM/LVQを援用した橋梁点検データの見直し」, 構造工学論文集, Vol.44A,pp.503-510, 1998.3
- 11) 白木渡,松保重之,宮下英明,伊藤則夫:「自己組織化特長マップ(SOM)による斜面崩壊予 測システム」,構造工学論文集, Vol.44A,p.453-459, 1998.3
- 12) 伊藤則夫,白木渡,今井慈朗,井面仁志,石川浩:「自己組織化特長マップを用いた斜面崩壊予測システムの高精度化に関する研究」,第15回ファジーシステムシンポジウム講演論文集,pp.335-338,1999.6
- 13) 伊藤則夫,白木渡:「斜面崩壊予測システムへのSOM·CPNの応用」,第6回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集,pp.17-22,1999.12
- 14) 伊藤則夫,白木渡,安田登:「自己組織化特長マップを用いた地盤性状の空間分布推定法」, 構造工学論文集,VoI45A,pp.487-492,1999.3
- 15) 今井慈朗,白木渡,伊藤則夫,井面仁志,石川浩:「種種の物性地の空間分布推定問題への自己組織化特長マップの応用」,第15回ファジーシステムシンポジウム講演論文集,pp.319-322,1999.6
- 16) 伊藤 則夫:「自己組織化ニューラルネットワークを用いた地盤特性値の空間分布推定手法 に関する研究」,金沢大学博士論文,2000.
- 17) Neural Net Assistant Ver.1.3.1, 有限会社シー・エー・イー.
- 18) 廣瀬 彰則,近田 康夫:「道路橋RC橋脚設計へのSOMの援用に関する研究」,構造工学論 文集, Vol.47A, pp.219-225, 2001.3.
- 19) 廣瀬 彰則:「橋梁計画・設計問題への人工生命技術の応用に関する研究」,金沢大学博士論文,pp.67-114,2002.
- 20) 日本道路協会:「道路橋示方書( 耐震設計編)・同解説」,2002.

# 3.4 感性工学を用いた景観設計技法

#### 3.4.1 はじめに

厳しい財政状況の中で、公共事業に対する国民の目が一層厳しいものになっていきている.このような中で公共事業を進めていくためには、まず住民の視点からみた事業の必要性を評価すことが重要である.また、公共事業の別の側面として、機能性・経済性優先の進め方に対する反省から、地域の個性や人々の感性を生かした住民参加型の地域づくりに資する土木事業が求められている.その結果、事業の進め方として、住民参加による手法が増加してきている.

住民参加型で事業を進める場合には、公聴会やワークショップなど、関係者の意見を聞く場が多く開催される。その時に提示する事業実施案は、行政機関や設計者などで作成されることが多いが、多様化する住民のニーズや価値観の変化を事業実施案に十分に反映できているとはいい難いのが現状である。

何故住民のニーズや価値観を事業実施に生かせていないのであろうか、その理由として,以下の2点が挙げられる。

- ・ 多様なユーザニーズを把握できていないため,それを設計案として反映させるための良い アイデアが出てこない.
- ・ ユーザニーズを設計に反映させるためのツールがなく,デザイン要素の変更とそれに伴う 評価の違いをその場で表示できないため,即時性がない.

この対策として,以下の2つ対応が考えられる.

- ・ デザインコンセプトからそれを実現するための複数の意見やイメージが重み付きで設定でき、その結果としてデザイン要素の感度が出力されるようなシステムを構築する.
- ・ デザイン要素を部分的に変化させた場合の評価が瞬時で表示されるシステムを構築する. 具体的には、住民のさまざまな意見に対してどのデザイン要素が変更されたのか、どのデザイン 要素が評価に影響を及ぼすのかが特定できるように,対象構造物の写真と一緒に変更箇所が瞬時 に表示されるようなシステムを構築することを考える.

著者らの研究グループでは,橋梁構造物の設計に住民の意見を反映しやすくすることを目的として,商品開発などで実績のある感性工学手法に着目し,桁橋やアーチ橋などを対象として,学生や橋梁技術者などが橋梁に対して抱いている感性とデザイン構成要素との関係を分析し,その適用に関する研究を行ってきた  $^{1)\sim4}$ . また,その結果を整理して感性 DB を構築している.感性 DB とは,設計者が実際に設計を行う際に,簡単に閲覧でき,感性評価システムを利用できるように,形容詞や画像,因子分析結果,数量化 類によるスコアなどを整理し,コンピュータ上で利用できるようにしたものである.図 3.4.(1) に感性 DB の構成を示す.

感性 DB を用いた著者らの研究として,アーチ橋 3)と河川護岸 5)がある.アーチ橋については,アンケート結果や写真などを基に感性 DB を構築し,平均得点とカテゴリスコアの比較,イメージ形容詞に合致する写真が表示できるアーチ橋の景観参照システムを構築している.同様に,河川護岸についても感性評価実験により四国地方の一般住民および河川管理者が,河川護岸に対して抱く感性を把握し,四国地方の河川景観についての感性 DB を構築している.このように,感性 DB を何件か構築してきたが,構造物・施設の計画・設計や既存の構造物や施設の再評価など

に有効に活用できる実務レベルでの感性評価・設計システムの開発までには至っていないのが現状である.

ここでは、最も架橋数が多く、比較設計案としても良く用いられる桁橋を対象に、住民参加型事業において実務レベルで有効に活用できるシステムの構築について考える.まず、実際に設計に係わっている橋梁技術者および実際の利用者の一部である学生が要求する感性を、感性工学手法をベースにして分析・評価し、それらを感性 DB 化する.その感性 DB を用いて、既存の桁橋の再評価ならびに今後の桁橋の設計に有効に活用できる実務レベルでの感性評価・設計システムを構築することを試みる.これにより、住民の立場に立った住民参加による社会資本整備が有効に実施されることが期待できる.

ここで計画している土木構造物の感性 DB の構築と景観評価・設計システムが実用化できれば, 行政の担当者と設計技術者またはデザイナーの数名で決定されていた構造物のデザインに,地域 の住民が主体的に参加でき,人々の感性に合った親しみのもてる構造物の建設が可能となる.

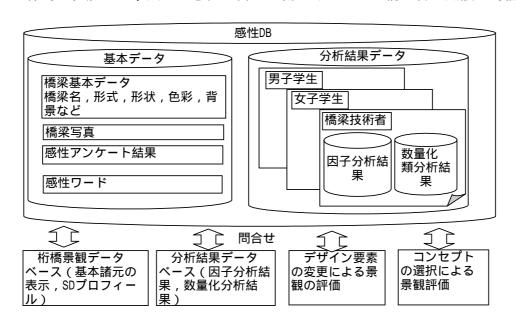


図 3.4.(1) 感性 DB の構成

## 3.4.2 合意形成における代替案作成の位置づけ 6)

合意形成とは,グループまたはメンバー間で意志決定・行動を行う際の提携や譲り合いに至る意志の疎通および意見の調整を図るコミュニケーションのプロセスである.これまでの社会資本整備事業では,計画の策定段階や評価の段階で市民参加による方法はあまり取り入れられてこなかったのが現実である.一般的には,事業の意志決定は,事業主体によって行われるべきであるが,図 3.4.(2)に示すように,計画の策定段階から意見収集という形で市民参加による合意形成は可能であると考えられる.

また、社会資本整備の場合は、構想から計画、設計、施工、運用、維持管理といった各段階でそれぞれの合意形成の内容が異なるので、その違いに留意する必要がある。市民参加における参加者の関わりは、行政主導型、行政市民一体型、第3者組織主体型に分類できる。現在のPI(パブリックインボルブメント)方式は行政主導型に分類できる。

合意形成の手法には,メディア活用型,体験型,討議型に分類できるが,これらの利点や課題を理解した上で,適宜選択もしくは組み合わせて活用する必要がある.

合意形成の基本ステップは , 合意形成に向けての調整 , 市民参加の準備 , 合意形成の実施 , 意志決定と公表 , 市民参加の継続という段階で実施される .

ここでは,前述の合意形成ステップの中や図 3.4.(2)で示される意見交換や意志決定に関する議論の場で必ず提示される代替案をどのように作成していくかについて検討する.この代替案を提示しての議論・評価は重要で,提示した代替案が参加している市民の意向とは異なった場合,再度代替案を作成してから合意形成の場を開催しなければならない.すなわち,合意形成段階で提示する代替案は,参加している関係者が満足する案でないと手戻りが発生する.そのためにも,学生,主婦,設計者,管理者など様々な評価主体がどのような評価を行っているのかを事前に把握し,その意向にそった代替案を提示することが重要となる.

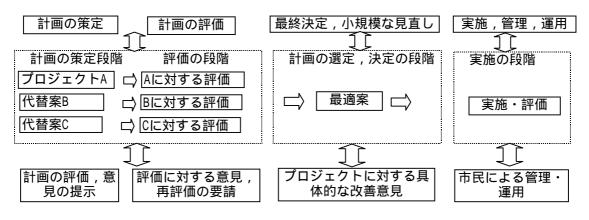


図 3.4.(2) 事業における市民参加の例

## 3.4.3 感性アンケート調査 4)

## (1) 実験方法

アンケートを実施するにあたって、5 段階の SD (Semantic Differential)尺度を用いた。SD 法は測定方法として十分な客観性、信頼性、妥当性、敏感性を備え、かつ、多様な被験者や概念を持つ様々な領域においても適用可能であるといわれている  $^{7}$  .

# (2) 被験者

評価者は,関西大学工学部土木工学科の学生で,1年生と4年生の合計40名,および橋梁設計技術者14名を対象にした.学生の内訳は,男子学生20名および女子学生20名である.評価者としては実際に利用するユーザーを選ぶことが重要であるが,利用者は年齢,性別,職種,居住地区などによっても分類でき,研究段階ではこれら多種多様な人々を対象とする必要はないと判断した.

#### (3) 対象橋梁と評価写真

評価対象となる実物の橋梁を見せて評価させることが最も望ましいが,物理的に不可能である.そこで,実物と写真とはよく似た感性を与えることが証明されているため<sup>7)</sup>,本項では便法として写真を使用した.

評価対象となる橋梁の選択であるが、被験者に判断し易いものを選定する必要があることと写

真が見やすくとれていること,全体的な構図の統制がとれていることなどから,橋梁雑誌として橋梁年鑑 $^{8}$ を選定した.なお,橋梁年鑑は視点場が統一されていないなど,評価用あるいはデザイン検討用の写真としては問題がある.その対策としてできるだけ多くの写真を収集し,その中から,橋梁色や下部工形式,周りの風景のバリエーション等がバランス良く含まれる写真だけを選定し,最終的に $^{90}$  枚にまとめた.それらの写真から,できるだけ被験者に見やすい大きさの評価用写真( $^{4}$  サイズ横)を作成した.

ここでは、構図や視点場が異なった写真を用いて評価を行っている。実際の利用者の視点場は、その多くが限定されたものであり、まれにしか見ることのないような視点場からの写真ではその評価も変わってくる。ここでは利用者の限定された視点場からの写真だけでなく全ての視点場からの写真をアンケートに用いて分析を行っている。この理由として、構図や視点場による評価への影響を定量的に把握することであり、既往の研究でも視点場の相違によるその評価への影響に関してはほとんど言及されていない。ここでは後述する数量化理論 類による分析結果より、視点場による影響を偏相関係数という形で載せてある。数量化理論 類により算出された各イメージ形容詞ごとのスコアを利用することにより、各アイテムのカテゴリをどの程度変化させれば評価がよくなるか、または悪くなるかがわかることから、景観設計業務に有効活用できると考えられる。

### (4) 感性ワード

桁橋の景観に対するイメージを表現する形容詞として,43 個の形容詞対を用いた.図3.4.3 にSD アンケート調査票を示す.

## (5) 実験方法

アンケートは,写真数と評価項目が比較的多かったために,実験方法も工夫している.講義室に配置した机の上に写真を並べ,被験者には自由に歩き回ってもらい自分のペースでアンケート調査が行えるように配慮した.長時間に渡るアンケートは,疲れを引き起こし,評価に影響を与えることが予想されるが,各自疲れてきたと判断した場合は,適宜休憩をとり,時間制限を設けずに自分のペースでアンケートできるようにした.アンケート後に 評価に際して写真のどういうところ(色,形など)を見たのか, 自分なりの評価基準(美しい:形に重点を置いているなど), わかりにくい(評価しづらい)形容詞を別紙に記入してもらい,正確な評価ができているかどうかを再確認した.

### 3.4.4 感性評価の分析

収集した感性アンケート結果をもとに,SD プロフィールの作成,因子分析および数量化理論類による分析を行った.以下に,感性 DB で使用する感性とデザイン要素との結合について検討した数量化理論 類による分析結果を示す.

#### (1) 感性とデザイン要素との結合

数量化理論 類とは、質的な要因に関する情報に基づいて量的に測定された外的基準の値を説明するための方法である、橋梁の風景に大きな影響を与えると考えられるデザイン要素を抽出し、それらの要素が各イメージ形容詞(感性)に対してどのような影響を及ぼすのかを数量化理論類を用いて分析した。

1	女性的な	男性的な
2	若々しい	若々しくない
3	安定感のある	安定感のない
4	自然な	人工的な
5	実用的な	実用的でない
6	直線的な	曲線的な
7	日 続けな モダンな	クラシックな
8		
	都会的な	田園的な
9	しゃれた	しゃれていない
10	存在感のある	存在感のない
11	親しみやすい	よそよそしい
12	美しい	美しくない
13	風景に溶け込んでいる	風景に溶け込んでいない
14	すっきりとした	ごみごみした
15	暖かみのある	暖かみのない
16	印象的な	印象的でない
17	バランスの取れた	バランスの取れていない
18	素材感のある	素材感のない
19	ゆとりのある	ゆとりのない
20	立体感のある	立体感のない
21	飽きのこない	飽きのくる
22	機能的な	機能的でない
23	ソフトな	八一ドな
24	可愛い	ハー る 可愛くない
25	重量感のある	可复くない 重量感のない
26	上品な	上品でない
27	丈夫な	丈夫でない
28	豪華な	豪華でない
29	地域性を含んだ	地域性を含んでいない
30	日本的な	日本的でない
31	洗練された	野暮な
32	カラフルな	カラフルでない
33	優美な	優美でない
34	遊び心のある	遊び心のない
35	個性的な	個性的でない
36	風格のある	風格のない
37	象徴的な(シンボリックな)	象徴的でない
38	開放感のある	圧迫感のある
39	芸術的な	芸術的でない
40	快適な	不快な
41	調和のとれた	調和のとれていない
42	ダイナミックな	ダイナミックでない
43	がましい 好ましい	タイプこうり 好ましくない
40	X) & UVI	刈みひくない

図 3.4.(3) アンケート調査票

## a) アイテム / カテゴリ表

数量化理論 類を用いるためにはまずアイテム / カテゴリ表を作成する必要がある.ここでいうアイテムとは,橋種や橋梁の色,背景,下部工形式などの桁橋の景観美に影響するデザイン要素に関する項目のことであり,カテゴリとは,下部工形式ならば張出し式や壁式といった各デザイン要素項目の分類を意味している.そこで,桁橋の景観に影響があると考えられるアイテムを選択し,それに対するカテゴリを決定して表にした.この表により各橋梁写真が要素に分類されたわけであり,数量化理論 類による分析の際の入力データとなる.

## b) 数量化理論 類による分析

作成したアイテム・カテゴリ表とイメージ形容詞との関係を明らかにするために,各写真の評価の平均値を入力データとし,数量化理論 類を用いて解析した.解析は,被験者ごとに 43 個のイメージ形容詞全てで実施した.図 3.4.(4)に "美しい"を対象にし,橋梁技術者において数量化理論 類により分析した結果を載せる.

第1因子 「美しい‐美しくない」 重相関係数 = 0.70712655 0.5 -0.5 0.0 カテゴリ レンジ スコア 偏相関係数 アイテム 等断面 変断面 直線桁 曲線桁 0.0323 0.0252 0.0059 1. 主桁形状 -0.019 0.1805 0.1798 0.0320 2.平面形状 -0.1478 0.2103 0.326 -0.0736 0.0402 アイホ゛リ -0.0110 3.桁の色彩 -0.0375 0.252 -0.0208 0.3749 0.3468 -0.2061 0.1407 4. 高欄の色彩 0.0903 -0.0470 張出式 柱式 長方形 0.2566 0.4146 -0.0294 0.1285 5.下部工形状 0.0135 -0.2861 0.3568 0.2298 0.4238 6.下部工断面 躯形 小判 0.0270 0.2448 0.2994 -0.1673 -0.0126 0.0392 7. 橋脚数 4 0.1320 -0.0470 壁 0.2821 0.3087 0.1981 縦枝 横枝 8.高欄形式 0.005 -0.1106 有り 0.3110 0.2178 -0.1307 9.排水管 無し有り 0.0871 0.0362 0.0299 0.0086 10. 照明柱 -0.0213 11.検査路, 0.0836 0.0725 -0.0604 0.0121 添架物 0.4237 0.3249 <u>-0.1336</u> 12.視距離 0.1913 側面 斜側方 13. 視線入射 0.2078 0.3121 -0.2878 方向 0.0243 0.3450 0.3290 上 水平 0.1711 14. 視点高さ -0.1579 0.0358 0.3846 山岳平地 0.3306 15.風景 0.1552 河川 -0 . 1754 0.1825 0.1863 -0.0365 16.背景(上 0.1468 層)の色彩 -0.039 0.0166 0.4136 0.5016 -0.0938 <u>照茶</u> 青 灰, 17. 背景(下 -0.0300 層)の色彩 0.4078 -0.0118 0.0310 0.0305 0.0236 18. クリアラ -0.0069ンス 0.0008 有り無し 0.1014 0.0926 -0.077219.並列橋 0.0154 20. 障害物の 0.2872 0.2139 -0.1355 0.0784 有無

図 3.4.(4) 数量化理論 類による解析結果(橋梁技術者)

### 3.4.5 感性 DB を用いた支援システムの構築手順

## (1) カテゴリ変更に伴う評価シミュレーション

詳細設計段階および維持管理段階での利用方法として必要になるのが,カテゴリ変更に伴う評価シミュレーションである.詳細設計段階では,デザインを決定する上で,どのデザイン要素を変えれば評価がどのように変わるかを試行錯誤で行わなければならない.この際に有用になるのがカテゴリ変更に伴う評価シミュレーションである.各アイテムに該当するカテゴリを選択することで,必要なイメージ形容詞の得点が即座に得られることである.詳細設計を進めていく上で修正は頻繁に発生するし,計画設計段階,維持管理段階を問わず,部分的にカテゴリを変更した場合の再評価を要求されることもしばしば発生する.このような場合でも本シミュレーションを使用することで,変更により評価が良くなるのか悪くなるのかが瞬時に判断できる.土木構造物は建造後の期間が数十年以上と非常に長いため,設計段階で例えば周辺環境と調和していた構造物も,年数が経てば周辺が変化することにより設計で意図していたコンセプトと合致しなくなる.さらに,数十年が経過すれば,住民のニーズや価値観も変化してくるものと予想されるため,適当な時期にリニューアルを図らないと設定したデザインコンセプトに合致しなくなる.このため,背景や橋梁の構成要素を変化させるカテゴリ変更に伴う評価シミュレーションが有効になると考えられる.

カテゴリ変更に伴う評価シミュレーションの計算の手順を図 3.4.(5)以下に示す.まず,被験者(1.女子学生,2.男子学生,3.橋梁技術者)を選択し,各アイテム(1~20)ごとに該当するカテゴリを選択する(合計 60). 例えば,図 3.4.(5)の下線で示すように,主桁形状は変断面,平面形状は直線桁,桁の色彩は青で,障害物の有無は無しというように選択をする.次に,式(3.4.1)により,形容詞ごとに選択したカテゴリ×スコアを計算する.

$$sum(i) = \sum_{j=1}^{43} score(i, j) \times sel\_category(j)$$
 (3.4.1)

ここで,

sum(i): 各形容詞ごとのスコアの合計 (i=1~43)

score(i,j):数量化 類により計算された各被験者ごとのカテゴリスコア( $i=1 \sim 43, j=1 \sim 60$ )

 $sel\_category(j)$ :選択したカテゴリ  $(j=1 \sim 60)$ 

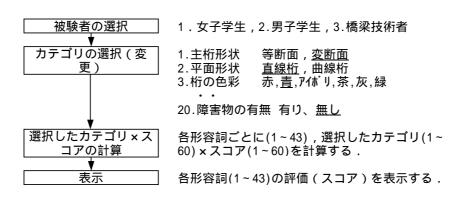


図 3.4.(5) カテゴリ変更による評価のフローチャート

# (2) デザインコンセプトに合致した橋梁とスコアの表示

計画段階で最初に設定するデザインコンセプトは,景観設計の基本となる重要な要素であるが, デザインコンセプトに合致した橋梁案を提示することは容易ではない. 例えば,"美しい"と" 調和のとれた "," 地域性のある "という 3 つのコンセプトを満足させるためには各デザイン要素 をどのように設定して代替案を作成すればよいかを支援してくれるツールがないとその作成は 困難である、被験者を変えた場合にはどうなるのか、さらに、"地域性のある"というコンセプ トに2倍の重みを設定した場合はどうなるのかなど様々な要求に答える必要がある、このような 要求を満足させるために、複数のデザインコンセプトを重み付きで設定し、カテゴリスコアを表 示できれば、そのスコアの点数の高いカテゴリを見ながらデザイン要素を決定することができる、 設定した複数のデザインコンセプトから算出されるカテゴリの合計値を橋梁ごとに算出し、その カテゴリ合計値の降順あるいは昇順に橋梁を表示できれば、設定した複数のデザインコンセプト に合致する橋梁の例を見ながら代替案の作成ができる .点数の高いアイテム/カテゴリを見るだけ でなく、実際の橋梁写真を見ながら代替案の作成ができることが特徴である.さらに、降順ある いは昇順に橋梁を並べることで、よく合致する橋梁とあまり合致しない橋梁とを並んで見ること ができる.すなわち、良い例だけでなく悪い例までも見ることができることが特徴である.この 悪い例というのは重要で、最低限デザインコンセプトに合致しない橋を作らないためにも、この 悪い例の表示は有効であると考える.

計算の手順を以下に示す.被験者(1.女子学生,2.男子学生,3.橋梁技術者)を選択し,設定するデザインコンセプトを重み付きで設定する.例えば,美しい(重み=1),調和のとれた(重み=1),地域性のある(重み=2)というように設定する.次に,式(3.4.2)により,選択したコンセプト×カテゴリスコアを計算する.

$$item\_sum(i) = \sum_{i=1}^{43} score(j,i) \times sel\_keiyoshi(j)$$
(3.4.2)

ここで,

item\_sum(i): コンセプトの重み合計(i=1~60)

score(j,i): 数量化 類により計算された各被験者ごとのカテゴリスコア $(j=1 \sim 43, i=1 \sim 60)$   $sel_keiyoshi(j)$ : 選択したコンセプトの重み $(j=1 \sim 43)$ 

次に,橋梁基本データ(アイテム/カテゴリ分類)に式(3.4.2)で算出したコンセプトの重み合計を乗じて,スコア合計を計算する.

$$score\_sum(i) = \sum_{k=1}^{60} item\_sum(k) \times bridge(i,k)$$
(3.4.3)

ここで,

score\_sum(i): 各橋梁ごとのスコア合計 (i=1~90)

bridge(i,k):アイテム/カテゴリ分類した橋梁基本データ(i=1~90,k=1~60)

最後に,算出した各橋梁ごとのスコア合計を基に,橋梁を降順あるいは昇順に並べ替える.

このコンセプト選択によるスコアと橋梁表示のフローチャートを図 3.4.(6)に示す.

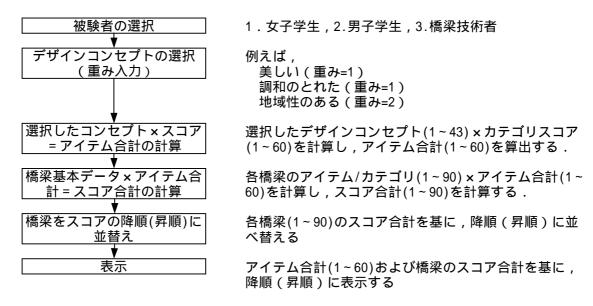


図 3.4.(6) コンセプト選択によるスコアと橋梁表示のフリーチャト

# 3.4.6 検証および考察

構築したシステムを用いて,実際の橋梁景観設計例に適用し,その出力結果の設計への反映方法および妥当性を検証した.

## (1) 橋梁諸元

検証対象とする橋梁の諸元は表 3.4.(1)のとおりである.

本橋梁は,形式選定の段階から景観に配慮し,架橋地点の景観的特性や上位計画などから基本理念や景観コンセプトを設定した.その設定した景観コンセプトより,上下部工の形状,細部処理(下部工,色彩,橋面など)を決定した.図3.4.(7)に基本理念と景観コンセプトを示す.

橋梁名	K橋
架橋位置	大阪府富田林市
道路規格	第3種3級
設計速度	V=50km/h
橋格	一等橋(TL-20)
橋長	230.000m
上部工形式	鋼4径間連続非合成鈑桁 2連
下部工形式	壁式橋脚(逆台形)
支間割(m)	29.20+2@29.60+29.20+27.40+3@27.80
有効幅員	車道:16.0~13.0m,歩道:3.0m
斜角	A1:82.5°, a2:71.0°, P1 ~ P7:76.5°
横断勾配	車道:1.5%,歩道:2.0%片勾配
縦断勾配	1.44%-1.779%-0.34%
適用示方書	道路橋示方書・同解説 平成2年2月

表 3.4.(1) 対象橋梁の諸元

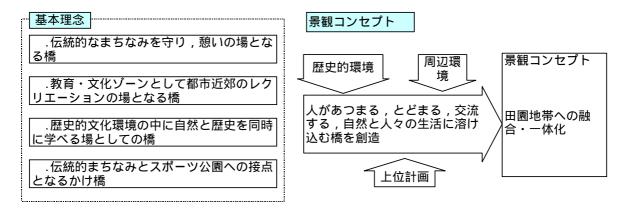


図 3.4.(7) 基本理念と景観コンセプト

## (2) コンセプトからデザイン要素への転換

基本理念から導かれる景観コンセプトは、例えば K 橋のように、"田園地帯への融合・一体化"という文章で表現されることが多い、この背景に基本理念があり、歴史的環境、周辺環境などが関連している。K 橋の第 1 次イメージ形容詞では、基本理念と景観コンセプトに出てくる単語を43 項目の用意したイメージ形容詞対(図 3.4.(3) 参照)に展開した。例えば、田園地帯を"都会的な・田園的な"へ、周辺環境・一体化を"風景に溶け込んだ・風景に溶け込んでいない"に、融合を"調和のとれた・調和のとれていない"に展開した。

設定した 43 個のイメージ形容詞は,過去の橋梁の景観設計事例を参考にし,デザインコンセプトとしてよく用いられるものを選定している.

設定したデザインコンセプトから,具体的なイメージ形容詞として,"美しい(+1)","調和の とれた(+1)","風景に溶け込んだ(+1)","都会的な(-1)"の4項目を第1次のイメージ形容詞 として設定した.括弧内の数字は入力する重みである."美しい"という形容詞は,デザインコ ンセプトに含まれないことが多い.この理由として , " 美しい " は全てのコンセプトを包含する 総合的指標として用いられることと ," 美しい "をイメージしないような橋梁は景観設計の前提 から外れることなどによる.一方、"美しい"を総合的指標とみて、第1次の前の第 0 次として 重みを2以上とする方法ももちろん考えられるが,ここでは考慮していない.この理由として," 美しい"は総合的指標であるがゆえに,デザインコンセプトの上位項目として重みを大きくする と,"美しい"が強調されすぎてデザインコンセプトとして設定したイメージが評価に効いてこ ないためと考える.ただし,美しいの重みを他の形容詞の重みと比較してどの程度にすれば良い のかは,設計条件によっても変わってくると考えられ,今後の課題である.都会的なというのは, コンセプトにある田園地帯のイメージの逆を想定しているために重みとして負の数字としてい る. さらに, 本橋梁の場合, "力の流れやすい形"というイメージが別途景観委員会より指示が あり , 力の流れやすい形から展開したイメージ形容詞として ," すっきりした ( 0.5 )" ," バランス の取れた(0.5)"," ダイナミックな(0.5)" を第 2 次のイメージ形容詞として設定した.これら の第2次のイメージ形容詞は重みを0.5に設定している.この理由として,デザインコンセプト から導かれる第1次のイメージ形容詞の重みを基準とし,第2次のイメージ形容詞はその他の条 件から派生するために重みを半分の 0.5 とした、これらの 7 つのイメージ形容詞と重みをシステ

ムに入力し,デザイン要素への転換を図った.表 3.4.(2)には設定したイメージ形容詞と重みの一覧を示す.

表 3.4.(2) 設定するイメージ形容詞

	No	形容詞	重み		No	形容詞	重み
第1次	8	都会的な	-1	第2次	14	すっきりとした	0.5
イメージ形容詞	12	美しい	1	イメージ形容詞	17	バランスの良い	0.5
	13	風景に溶け込んだ	1		42	ダイナミックな	0.5
	41	調和のとれた	1				

# 表 3.4.(3) イメージ形容詞に合致するスコア(各被験者毎)

設定した形容 美しい (+1) ", "調和のとれた (+1) ", "風景に溶け込んだ (+1) ", "都会的な (-1) 詞と重み "すっきりした (0.5) ", "バランスの取れた (0.5) ", "ダイナミックな (0.5) "

<u> </u>	" すっきりし	<u> 」た(0.5)",</u>	<u>" バランスの耶</u>	(れた(0.5) "	<u>," ダィ</u>
アイテム	カテゴリ	女子学生	男子学生	橋梁技術者	K橋
主桁形状	等断面	-0.0801588	0.03787775	-0.01256885	
土州が仏	変断面	0.2633788	-0.1244556	0.0412978	
	直線桁	0.00470565	-0.06245345	0.08909595	
平面形状	曲線桁	-0.02176355	0.28884745	-0.41206845	
				-0.3403882	
	<u>亚</u>	-0.29883935	-0.35441945		
	目ってぶり	-0.13266935	0.04701755	0.08897905	
桁の色彩	アイボリ	0.086217	0.0404172	0.1648023	
	余	<i>0.63102505</i>	-0.10231975	0.07563335	
	灰	-0.418316	-0.31817935	<i>0.39827055</i>	
	緑	0.3823384	0.56954435	0.0889411	
	灰	-0.0735454	-0.8034951	-0.8109584	
古棚の各必	茶	-0.31016605	0.00453895	0.2818263	
高欄の色彩	Á	0.32902085	0.69851885	0.46999325	
	緑	-1.1657486	-1.10400985	-0.17678895	
	張出式	0.1929638	0.17708835	-0.0729502	
下部工形状	柱式	-0.0096542	0.20549145	0.5402958	
	長方形	-0.38330005	-0.39708095	-0.1238475	
	逆台形	-0.39536325	-1.0571037	-1.029601	
	円形	-0.21469975	-0.801134	0.2581615	
下部工断面	躯形	-0.68471485	-0.5968075	-0.8148992	
	小判	0.3150022	0.4061316	0.26481875	
	1基	-0.7484736	-0.09980205	-0.8478547	
	2基	-0.0342417	0.06205105	-0.16652345	
橋脚数	3基	0.29142165	0.24908245	0.3131563	
11-512-4 224	<del>0星</del> 4基	-0.1522586	0.39143935	0.62904475	
	<del>7年</del> 5基以上	0.16821575	-0.34940475	-0.21007195	
	壁				
高欄形式 高欄形式	<u> </u>	-0.21369935	0.0515496	0.5639976	
同懶形式	縦桟	0.09555655	-0.13462035	-0.0138961	
	横桟	0.00633655	<i>0.1231671</i>	-0.28305605	
排水管	有り	-0.06770695	<i>0.22553335</i>	-0.170812	
םיניזונ	無し	<i>0.045138</i>	-0.1503556	<i>0.11387465</i>	
照明柱	有り	-0.08409715	-0.05013665	-0.01688835	
ボヤカイエ	無し	0.2070087	0.1234133	0.0415714	
検査路 添架物	有り	0.01268105	-0.06300985	-0.48839015	
快且焰_/亦未彻	無し	-0.0025362	0.01260205	0.09767795	
⇒D D⊏☆A	近景	-0.2521947	-0.60794545	-0.5956043	
視距離	中景	0.36125185	0.87084105	0.85316305	
	側面	-0.0713046	-0.73803305	-0.98609965	
視線入射方向	斜側方	0.00601375			
	<u> </u>		0.0622438	0.08316515	
カトウナ	도 -	0.5860776	0.9724105	0.6047416	
視点高さ	水平	0.22860985	0.143589	-0.29354045	
	<b>\</b>	-0.56136735	-0.7218856	-0.1086395	
	山岳	<i>0.57383085</i>	0.15710535	0.39773975	
風景	平地	0.2520736	<i>0.2858112</i>	<i>0.453879</i>	
	河川	-0.55239765	-0.3866177	-0.68597085	
	白	0.1868608	-0.06073735	-0.17710485	
北星の女が L甲		0.15015835	0.02022715	0.55694205	
背景の色彩_上層	<u>緑</u> 青	-0.0773515	0.05403085	-0.15757185	
	皋	-0.26625695	-0.3546068	0.23363765	
	緑	-0.05077325	-0.01720705	-0.2248052	
背景の色彩_下層	<u>黒茶</u> 青	-0.26276425	-0.54645115	-0.22942455	
	<u> </u>	0.88124905	1.3648756	1.58823145	
	灰白	0.08053115	0.3638714	-0.18065525	
	大	0.00932495	<i>0.791313</i>	-0.00807205	
クリアランス	中	0.1137913	0.0093081	<i>0.0175241</i>	
	小	-0.29926695	-0.5891587	-0.03929615	
並列橋	有り	-0.2325789	-0.37290555	-0.50394345	
31ビグリ作向	無し	0.04651585	0.0745812	0.1007888	
	有り	-0.2022146	-0.48567175	-0.42463235	
障害物の有無	無し	0.11707155	0.28117835	0.2458399	
	, O		0.20111000	5.2700000	

表 3.4.(3)には,7 つのイメージ形容詞と重みを前述の式(3.4.2),(3.4.3)に入力した結果,イメージ形容詞に合致するカテゴリ/スコアが出力された結果を,各被験者ごとにまとめたものを示す.検討対象とした K 橋がどのアイテム/カテゴリに合致するかを表中の K 橋の欄に 印で示している.検討段階では様々な案を提示したが,この 印は最終案でのアイテム/カテゴリを表している.表中の数字が斜体になっているのは,各アイテム間での最大値をとるカテゴリを表している.

表 3.4.(3)は,選択したイメージ形容詞とその重みに対する各アイテム/カテゴリの感度を,被験者ごとに表したものである.すなわち,デザインコンセプトに対するデザイン要素と被験者の感度を表現している.表 3.4.(3)を見ることで,被験者ごとにデザイン要素の変化とその評価の違いが把握できる.以下に表 3.4.(3)の結果について考察する.

主桁形状は,K 橋では等断面と変断面とを比較して最終的に鋼重にもそれほど大差がなかったため変断面に決定した.表 3.4.(3)の結果から,女子学生と橋梁技術者とが変断面を支持しているが,男子学生は等断面を支持している.特に女子学生が支持している変断面のスコアが高いことと橋梁技術者も変断面を支持していることから,最終案の選択は妥当であったといえる.このように,被験者ごとに評価に差が出る場合は,別途比較検討を行って決定するのが望ましいといえ,実際の K 橋の検討時でもそのように行っている.

平面形状は, K 橋の平面線形が直線であり,右折斜線の関係で車道幅員を橋梁中央部で絞っている形としているものの,曲線桁にする理由はない.被験者ごとにスコアが直線桁と曲線桁とでばらついているものの,女子学生と橋梁技術者とが直線桁を支持していることから,直線桁という選択は妥当であるといえる.

桁の色彩は,意見の分かれる個所である.女子学生は茶色,男子学生は緑,橋梁技術者は灰色を支持している.被験者ごとに評価に差が出る場合は,別途比較検討を行って決定するのが望ましい.実際に K 橋では,比較検討を行って決定している.大阪府の「道路付属構造物色彩マニュアル(歩道橋)」に準じて,架橋地点の地域区分から,灰色がかったピンク,黄色がかったアイボリ,灰色がかった緑,明るい灰青の4つの色彩を選定し,カラーパースを作成して,学識経験者や関係者に意見を聞いて,最終的には明るい灰青と決定した.表 3.4.(3)の色彩のカテゴリ分類は赤,青,アイボリ,茶,灰,緑というように,データ数の関係もあって,分類の数を多くできない.したがって,2 色が混じった色である灰色がかった緑というような色彩は緑というように分類している.ピンクを赤系と考えると,選定した 4 つの色彩は表 3.4.(3)の 6 つの分類に全て合致する.青色を選定したのが発注者側の意見であるとすると,発注者という被験者分類は本システムには入っていないため,今後アンケートなどから分析結果を追加することが課題であるといえる.ここで,今後塗装塗り替えを実施する際に,被験者全員の評価を上げるためには,平均値が最も高くなる緑に桁の色彩を変更することで可能になる.

高欄の色彩は、被験者全員が白を支持している.K橋の高欄はデザイン高欄で3案ほど比較したが、いずれも色は白系統であったことから、この結果は妥当であるといえる.

下部工形状は,女子学生が張出式を支持,男子学生と橋梁技術者とが柱式を支持している.実際の K 橋でも,正面形状(直線変化,曲線変化,曲線の組み合わせ),梁と壁の厚さ(変化,同一),梁と壁の先端形状(単円,八角形)などの代替案を作成し,比較検討を行った.最終的に

は、デザインコンセプトである"力の流れやすい形"という考えから、逆台形に決定した.ここで分類している下部工形状は張出式、柱式、長方形、逆台形の4種類である.張出式は梁があるタイプ、柱式は梁部がほとんどなく橋脚高さが高いタイプ、長方形は梁部が全くないタイプ、逆台形は長方形の基部を絞ったタイプであり、下部工断面(円形、矩形、小判)とも関係する.厳密に全ての橋脚をこの4種類に分類することは難しいが、逆台形のスコアがいずれの被験者でも最も低い値となっている.逆台形の形状は河川内橋梁ではよく用いられるが、逆台形のデータの評価が他の要因が原因で低くなったことなどが理由と考えられる.

下部工断面は,被験者全員が小判形を支持している.K 橋は河川内の橋梁であり,河川構造令に準拠して下部工断面は一義的に小判形に決定される.

橋脚数は, K 橋では P1~P7 橋脚まで 7 基ある.女子学生が 3 基を支持, 男子学生と橋梁技術者とが 4 基を支持している.橋脚数は支間割の検討段階では有効であるが, 桁橋で 230mの橋長を 3 径間, 4 径間あるいは 5 径間という案は, 構造的にも経済的にも比較案としては成り立たない.実際の K 橋でも,河川内の橋梁は桁高制限や基準径間長など河川構造令の規定から制約を受ける.低水路内の橋脚のバランスなどから, 6 径間と 8 径間とを比較検討して, 最終的に 8 径間に決定している.したがって, 各被験者の支持するカテゴリと最終系とが異なるがやむを得ないと考える.

高欄形式は、橋梁技術者が壁タイプを支持しているものの、女子学生は縦桟形式を、男子学生は横桟形式を支持している K 橋は構造上両側歩道形式のため 高欄も歩行者専用タイプとなり、車道と防護策とが隣接する壁形式は K 橋では採用されない . K 橋でも、高欄は代替案による比較検討を行った . このことは、被験者で意見が分かれていることからも妥当な処置であるといえる . 最終的には、高欄の間に照明の支柱を設置したため、縦桟形式をベースにして上部の梁が照明支柱を支持するように横桟の太いビームにした . 縦桟と横桟の両方のイメージを結果的に反映させたことになる . このようにデザイン案を検討する場合にも、被験者ごとのスコアを意識することにより、よりイメージに近い案が作成できると思われる .

排水管では,男子学生が有りを,女子学生と橋梁技術者が無しを支持している.排水管の有る無しは,写真上で排水管が見えるか見えないかで分類している.すなわち,排水管があっても桁の間に収まっていれば見えないと分類される.K 橋の場合,流末処理と両側に歩道があるため,排水桝から続く排水管を桁の間に設置せざるをえず,したがって,分類上排水管は無しということになる.これも構造上からやむを得ない.

照明柱では各被験者の意見と結果とが食い違った.K 橋では,交差点や連続歩道があり,照明は基準上から必要との判断で設置すると決定した.全ての被験者の意見が設置しないを支持しているものの,結果的に照明を設置したために,評価が下がってしまっているがこれはやむを得ない.実際の K 橋においては,照明柱は様々な代替案を検討した.本システムのカテゴリ分類が有りと無ししかないために,設置しないという出力結果になっている.照明注などの付属物は,単独でデザイン案を作成して検討されることが多いが,複数のイメージ形容詞からデザイン案を選定する場合,利用者の感性としては,照明柱がない方がコンセプトにあっているという意見も貴重である.

検査路と添架物は,各被験者で意見が分かれている.K.橋では,検査路は設置しておらず,添

架物も水道管や電力管などを設置したが,排水管と同じように,桁間に設置したために,写真では見えないようになり,無しという分類になった.ここでも,意見が分かれているため,別途比較検討を行って決定するのが望ましいといえるが,添架物は歩道下に通すという制約のため,桁間に設けざるを得なかった.

視距離,視線入射方向,視点高さは構図に関する要素である.表 3.4.(3)からは,視距離が中景,視線入射方向が斜側方,視点高さが上からという,全ての被験者が一致した意見である.この構図からの評価が最もよいということで,表3.4.(3)の K 橋の該当欄はそのように設定している.橋を見る場合,様々な視点が存在するが,景観検討する段階での構図(視距離,視線入射方向,視点高さ)は,本来視点場が設定されて初めて決まるものである.K 橋では橋長が比較的長く,真横から見る視点は存在しないこと,あまり近景の場合は橋全体を見ることができないこと,周辺が田園地帯であり,橋を見下ろすような標高の高い視点場が周辺には存在しないことなどから,被験者の意見は妥当な結果であるといえる.この結果の利用方法としては,どのような視点場で橋梁を見れば評価が高くなるかという視点場の設定などに使える.構図はデザイン要素と関係なく,その前段に位置するものであり,データの収集や分析は,構図ごとに実施するのが望ましい.しかし,ここでは,アンケートの制約などから橋梁数は構図ごとに分類するほど多くはないので,実施していない.構図ごとのデータの収集とアンケート,その分析が今後の課題である.

風景は、女子学生が山岳地、男子学生と橋梁技術者が平地を支持している.風景の分類は、背景に山が迫っている場合には山岳地、水が少しでも見えている場合には河川、それ以外は平地としている.したがって、明らかに河川内の橋梁であっても、写真で水が見えていない場合には河川とは分類しないし、山が写っている場合でも遠くの方にある場合は山岳地とは分類しない.被験者の意見は、河川の評価が全体的に低い.逆に、山岳や平地では全体的に評価は高い.デザイン案を検討する段階では、低水路部にある程度水が流れている状態で案を作成するため、その案では水が見えている状態にある.したがって、検討段階では K 橋は河川という分類になるが、低水路でも常時にはそれほど水は流れておらず、時間が経過すれば堆砂や草などにより、中景から見た場合、水は見えなくなる.したがって、供用後時間が経過すれば平地という分類に該当する可能性もあり、評点はよくなると思われる.

背景の色彩は、桁橋の水平ラインより上部の色彩と下部の色彩とに分類した.複数の色がある場合は占める面積の多い部分の色を採用している.桁より上層の色彩は被験者ごとに意見が分かれている.周辺は田園地帯で、遠くにようやく山が見えるような状態の K 橋は、上層の色彩は空と遠くの山ということになり、天候や季節によって変化する.被験者の意見が分かれるのも当然であるが、天候や季節の変化までは配慮できないので、最大公約数的な意見で案を作成せざるを得ない.例えば、空の色は白と青の中間ぐらい、山の緑はやや濃くするなどの配慮が必要となる.下層の色彩も同じことが言えるが、被験者の意見で下層の色彩が青の評価が異常に高いというは、水が存在することであると考えられる.水に写った空の青色が好印象を与えていると考えられ、構図の下の部分に青色を配置することは評価が高くなるという事実は貴重な意見である.今後、デザイン案を作成する場合の参考になると思われる K 橋の場合は、下層の色彩を灰白としたが、低水路部の水の割合よりも高水路部の公園(土砂)部分が多くの面積を占めたためである.

クリアランスでは意見が分かれているが,クリアランスが小の場合は全体的にスコアが低い.

河川を横断する橋梁を計画する場合,クリアランスは,H.W.L と余裕高から道路線形を決定することが多い.河川構造令からの制約も多く,河川断面が決まるとクリアランスにはほとんど自由度がないのが現状である.

並列橋は,被験者全員が無しという意見を支持している.K 橋の場合も並列する橋はなく,問題はない.

障害物の有無は,目障りとなるようなブロック積みや崖崩れ,建設資材などが山積み状態である場合などが該当する状態であるとしたが,K 橋では該当するものは存在せず,障害物は無しと設定した.被験者の意見も全て無しという支持である.

河川構造令や他の制約などから決まるようなデザイン要素も多くあるが、被験者ごとに意見が異なるデザイン要素もあるのが事実である.各被験者、特に実際の利用者が高い評価としているデザイン要素を参考にして代替案を作成すれば、合意形成時の意思決定の効率化につながると期待できるし、完成後の評価も高くなると考えられる.部分的には良くても全体のバランスも重要である.その際に、選択したデザイン要素のスコア合計の高い橋の写真を見ることは全体のイメージの把握につながると考えられる.

### (3) デザイン要素の変更に伴う評価

橋梁の細部構造の検討段階に移ると、比較案を作成するためにも各デザイン要素を変化させた場合の評価の違いを把握する必要がある。表 3.4.(3)に示す K 橋のデザイン要素を入力にして、評価を実施した。細部構造検討の段階およびリニューアルの段階で最も多く用いられるであろう桁の色彩変更の場合で、被験者を変えて各形容詞の評価がどのように変化するのかをみた。その結果を表 3.4.(4)に示す。

表 3.4.(4) 桁の色彩を変化させた場合の評価(3被験者の平均値)の変化

番号				桁の	色彩		
号	形容詞	赤	青	アイボリ	茶	灰色	緑色
	都会的な					0.57989	
	美しい	0.147788	0.175922	0.113702	0.234134	0.441063	-0.00876
13	風景に溶け込んでいる	0.336856	0.465031	0.494867	0.651932	0.39002	0.774841
14	すっきりとした	0.286096	0.562443	0.400127	0.433832	0.604574	0.426853
17	バランスの取れた	0.206641	0.292116	0.298328	0.289614	0.391537	0.236186
41	調和のとれた	0.224171	0.356676	0.389638	0.422897	0.367865	0.306583
42	ダイナミックな	-0.30117	-0.37029	-0.33492	-0.49571	0.025846	-0.42941
	選択した形容詞の重み合計	0.911562	1.243886	1.339923	1.444223	1.130036	1.589719

(-8+12+13+41)\*1+(14+17+42)\*0.5

表 3.4.(4)では,表 3.4.(2)で設定した 7 つのイメージ形容詞について,桁の色彩を変化させて得られた評価値に重みを乗じて被験者ごとにその重みつき表価値の総和を計算した.表 3.4.(2)で得られた 7 つのイメージ形容詞に合致するスコアとの比較を試みた.その結果を表 3.4.(5)に示す.この比較結果より,表 3.4.(3)から得られたスコアと桁の色彩を変化させて得られた重みつき評価値の総和とは値は一致しないが,順位(感度)は一致しており,デザイン要素の変更に伴う評価は妥当な結果であることがわかる.

表 3.4.(5) 桁の色彩を変化させた場合の重み付き評価の合計値の比較

			表 3.4.3に。	とり算	表 3.4.4より	り算出
			出されたス		した評価部	
				順位		順位
		赤	-0.29883935	5	1.38589805	5
		青	-0.13266935	4	1.55206805	4
女子学生		アイボリ	0.086217	3	1.7709544	3
X ] T T		茶	0.63102505	1	2.31576245	1
		灰	-0.418316	6	1.2664214	6
		緑	0.3823384	2	2.0670758	2
	桁の色彩	赤	-0.35441945	6	1.0213823	6
		青	0.04701755	2	1.4228193	2
男子学生		アイボリ	0.0404172	3	1.41621895	3
)) ] <del>_</del>		茶	-0.10231975	4	1.273482	4
		灰	-0.31817935	5	1.0576224	5
		緑	0.56954435	1	1.9453461	1
		赤	-0.3403882	6	0.3274044	6
		青	0.08897905	3	0.75677165	3
橋梁技術者		アイボリ	0.1648023	2	0.8325949	2
旧不识的		茶	0.07563335	5	0.74342595	5
		灰	0.39827055	1	1.06606315	1
		緑	0.0889411	4	0.7567337	4

デザインコンセプトを設定してイメージ形容詞に既に展開している場合,デザイン要素の変更に伴う評価は,表 3.4.(3)の被験者ごとのイメージ形容詞に合致するスコア一覧表を見れば感度までが把握できる。すなわち,現在桁の色は青色であるが,緑色に変更することで,スコアの合計値(評点)が上昇する。このことは,表 3.4.(3)の桁の色彩欄および表 3.4.(4)の選択した形容詞の重み合計を見ることで把握できる。3 被験者の平均値を採用する場合,現在の青色よりもアイボリあるいは茶色にすることも考えられる。表 3.4.(4)より,ダイナミックに関する評価点が低い理由として,視点高さが下の場合のスコアが高いことから,K橋での視点高さが上という設定は評価が低くなったためと考えられる。ダイナミックさは,桁の色が灰色の場合にスコアが高くなることが表 3.4.(4)よりわかる。しかし,桁の色を灰色にした場合,ダイナミックさの評点は上がるが,都会的なという評点が下がるため,選択した形容詞の重み合計は1.2439から1.13へと逆に下がってしまう。

もう一歩進んだ使い方として,リニューアルデザインへの適用が考えられる.供用後数十年が経過すると周辺の環境が大幅に変化し,当初に設定したデザインコンセプトに合致しなくなることが予想される.当初は田園地帯として計画したものが,用途変更による住宅化によって都市化に進むことなどは,よくある話である.この場合,当初設定した都会的という形容詞の-1という重みを+1に変更することも考えられる.そうなると,表3.4.4より桁の色彩は灰色が選択されることになる.

桁橋の場合,主桁形状や平面形状,橋脚数,排水管,検査路,添架物,視距離,視点高さ,視線入射方向,クリアランスなどはそうそう変更されることはない.周辺の環境が大幅に変化した場合,デザインコンセプトも当然変更がなされてしかるべきものと考えると,表3.4.4から評価が高くなるような形容詞を選択して,デザインコンセプトを逆に設定することを試みることも可能である.

桁橋の場合,既往の研究より,イメージ形容詞に影響している景観要素として,橋面工の影響が大きいとされている.しかし,ここではデザイン高欄や親柱,モニュメント,橋詰広場,デザイン照明,舗装の色,歩道舗装種類などはその区分をしていない.橋面工には多くの種類があることも事実であるが,今後の課題である.

#### 3.4.7 おわりに

ここでは,感性工学に基づいた景観設計技法について示した.具体的には,合意形成段階での Quick Response を目指した桁橋の景観設計を対象として,それを支援するシステムの開発を感性 工学に基づいた景観設計技を用いて行った.まず,基礎となるニーズの検討,設計支援となる出力方法の検討などを経て,それらを基に景観設計支援システムの構築を行った.以下,得られた成果をまとめる.

- (1)合意形成段階でのQuick Response を目指した桁橋の景観設計支援システムに必要な機能を整理した.また,感性 DB の概念およびその構築した感性 DB を景観設計業務でどのように反映させるかを整理した.
- (2)景観設計を支援するために,カテゴリ変更に伴う評価シミュレーションおよびデザインコンセプトに合致した橋梁例と評価に影響の大きいアイテムの表示方法を提案した.
- (3)本景観設計支援システムを実橋の景観設計例に適用した結果,設定したデザインコンセプトから展開されるイメージ形容詞と重みから計算される被験者ごとのカテゴリスコアの妥当性およびデザイン案作成時の反映方法を確認した.また,デザイン要素の変更に伴う評価が可能なことを確認した.

最近,公共事業への住民参加(PI)の必要性が叫ばれているが,専門家でない住民の意見をどのような方法でどの程度取り込んでいくかが課題である.ここで提案した感性工学を用いた景観設計技法がPI推進の有効な一手段となることが,ここで得られた成果により明確になるとともに,今後の公共事業のあり方を示唆する成果が得られることが期待される.この成果は他の土木構造物(アーチ橋や斜張橋など他の形式の橋梁,ダム,港湾施設,河川構造物など)にも十分適用可能である.

多工種にわたる構造物に対する多くの被験者の感性をとりこんだ感性 DB の構築が実現したとき、これまでできなかった住民参加による合意形成が可能となる. さらにこの感性 DB はライフサイクルの中でも特に期間の長い維持管理段階において、今後必要となる資産の有効利用を目指した Asset Management を支援するための DB となることが期待される.

最後に,ここで示した景観設計支援システムをより実用的にするために,解決すべき課題を以下に列挙する.

- (1)供用期間の長い維持管理段階で,変化する住民のニーズや価値観をどのようにして収集し,施設の有効利用を図るために感性 DB として反映させていくか,アンケートの方法や施設の価値向上のための施策なども含めて考えていく必要がある.
- (2)様々な感性をシステムに反映していくためにも,発注者やデザイナーあるいは多様な被験者について感性アンケートを実施し,システムに取り込んでいく必要がある.

#### 参考文献

- 1) 保田敬一,白木 渡,堂垣正博,河津圭次郎,安達 誠:桁橋の景観評価・設計への感性工学 手法の適用に関する研究,構造工学論文集,Vol.45A,pp.543-551,1999.3.
- 2) 白木 渡,野田英明,長町三生,松原雄平,安達 誠:アーチ橋の感性データベースの構築とその景観評価への応用,構造工学論文集,Vol.45A,pp.553-560,1999.3.
- 3) (社)土木学会 中国支部 ちゅうごく土木未来委員会 感性工学手法に基づく土木構造物の評価・設計システムに関する研究小委員会:感性工学手法に基づく土木構造物の評価・設計システムに関する研究(中国地方における土木の今後のあり方に関する調査) 平成 10 年度報告書, 1999.3.
- 4) 保田敬一,白木 渡,安達 誠,三雲是宏,堂垣正博:感性工学手法による桁橋の景観評価・設計に関する一考察,土木学会論文集,No.665/ -49,pp.103-116,2000.12.
- 5) 白木 渡, 松原行宏, 米田和外, 安達 誠: 四国地方における河川景観の感性データベースの構築, 2002 年度土木情報システム論文集, Vol.11, pp.17-26, 2002.10.
- 6) (社)土木学会コンサルタント委員会 市民合意形成小委員会:合意形成プロデュース ~ コンサルタントの新しい役割~,pp5-40,2003.6.
- 7) 長町三生:感性工学,海文堂,1989.
- 8) (社)日本橋梁建設協会:橋梁年鑑,昭和62年~平成5年

## 第4章 評価システム

#### 4.1 はじめに

本章では評価システムと題して,新技術に対する評価機関と要求性能に対する評価方法について考えてみたい.そもそも第三者による評価はなぜ必要なのだろうか.土木学会誌平成14年6月号では特集「合意形成論」が掲載されており,大変興味深い議論が行われている.これらの記事を参考に評価機関の意義を考えてみたい.渡部は信頼を勝ち得るためには意図と能力の両方に対して期待に応える必要があると述べている.以下,原文を引用する.

土木事業に限らず合意形成を妨げるものは信頼性の欠如である.信頼は図 4.1(1)に示すように,能力に対する期待と意図に対する期待に分けられる.能力に対する期待については,住民のある程度の理解と専門家による推薦(お墨付き)の組み合わせが必要となる.一方,意図に対する期待は,相手には自分を欺くつもりなどないだろう,という期待である.結局のところ人々は「なぜその人がそのようなことをいうのか」という糸口を用いて判断している.政策実施の当事者あるいは利害関係がある者が政策評価を行っても,人々はその結果を信じないだろう.第三者機関が求められる理由がここにある.

ここに、合意形成から考えた評価機関の意義が明確に述べられているように思う.能力に対する期待は専門的知識の高さ、高度な専門能力に対するものであり委員会等によるいわゆる専門家のお墨付きで答えられるものかもしれない.しかし、それだけでは信頼は得られない.意図に対する信頼がなければどんなに高度な理論を駆使した説明を試みても、素人をややこしい理論でごまかそうとしているという印象を与えてしまうかもしれない.

渡部によると広義の信頼は安心と狭義の信頼からなる、狭義の信頼は「相手が自分をだませる状況にあってもだまさないだろう」という期待であり、安心は「相手が自分をだませる状況にない」ことによる期待である、例えば、商品を購入したときに「30日間返品保証」があれば安心が得られる、

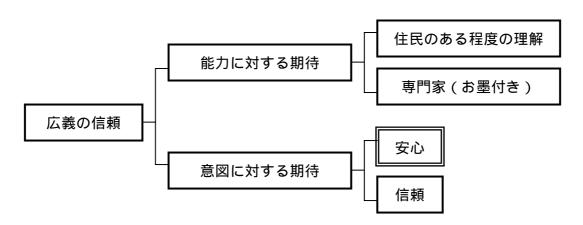


図 4.1(1) 信頼の概念分類(土木学会誌平成14年6月号 渡部幹より,一部追記)

商品の購入であれば,返品保証によって十分な安心が得られ販売者に対する信頼も育っていくかもしれないが,生命に関わるような医療技術であればどうだろうか.「治療に失敗したら全額返済」と言われても,なかなか納得はできないだろう.同様にして,一般にひとたび事故が発生するとインパクトが大きい土木・建築構造物ではどうだろうか.どのような機関が,どのような評価をすることで市民の信頼を勝ち得ることができるのだろうか.これはとても難しい問いかけである.とても小委員会の小さなワーキングで結論できるような問題ではないが,WGメンバーや委員会外の協力者にそれぞれの立場から書いて頂いたものをまとめることで報告書としたい.

まずは、4.2 節でいくつかの分野における新技術に対する評価の現状を探ってみた.ついで 4.3 節では建設分野における評価法、特に安全性に対する評価法について概観し、4.4 節で目標 とする安全レベルの決め方について述べ、4.5 節でまとめとする.第4章に関する目次を執筆者とともに再掲する.このように多くの委員の方、また委員会外の協力者に執筆をいただき、報告書を作成した.一読頂ければわかるように必ずしも統一のとれた内容とはなっていない. 主査の力不足もあるが、あえてあまり統一を図らなかった面もある.今後も時間をかけて議論を重ねてい・く必要がある難しいテーマであることから、あまりまとめることを意識せずに各執筆者に自由に書いて頂いた.

## 4.2 いくつかの分野における評価機関・評価方法の現状について

#### 4.2.1 土木分野の評価機関の概要

現状の土木構造物の中で性能規定として発注できるものは,舗装,防護柵,橋梁程度である.表 4.2.1(1)に国土交通省所管全土木事業のうち工事工種体系の分類 <sup>1)</sup>と整備状況を示すが,ほとんどの工種が性能規定型としての発注にはまだなっていないのが現状である.したがって,性能を評価する機関もほとんど存在しない.

将来的に性能設計体系に移行した場合,その性能設計が規定を満足しているかを誰がどのようにして判断するのかが重要になる.要求性能を満足するために新技術を用いた場合など,検証方法が確立されていないこともある.専門の認証機関が要求性能を満足しているかどうかを判断し,評価することになるが,発注者代表の組織あるいは第3 者機関,産官学で構成する機関というように,その認証機関の構成,あるいは,認証のスピードアップ,新技術の所有権なども問題点としてあげられる.この認証機関と発注者,受注者の関係 $^{2}$ を図 $^{2}$ 0を図 $^{2}$ 1.1(1)に示す.

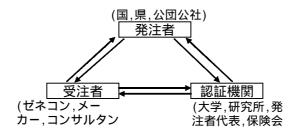


図4.2.1(1) 受発注者と性能評価機関との関係

それぞれの関係は以下のとおりである2).

みなし仕様か目標性能の達成技術の提案

VE 提案

目標性能の明確化

VE 制度,総合評価制度

機能回復措置(保険制度)

認証技術の提示,提供

発注者=認証機関

産官学で構成する第3者機関

発注機関の代表者(AASHTOなど)

検証ができる機関(土木研究所,大学など)

保険会社

新技術の審査

要求性能の妥当性確認

新技術の認証

認証技術の審査,提示,提供

表 4.2.1(2)に現在民間の開発した建設関連技術の技術審査と証明を行う機関の一覧を示す.

表 4.2.1(1) 土交通省所管全土木事業 工事工種体系の分類と整備状況

第 1 分野 河川	事業会	- 12 4.2 公明	事業区分	主工小争来 工争工性仲分( 工事区分	カカ頬と霊俑が近	有無
第 1 分野   河川   河川   河川   京   京   議理   文   文   文   京   京   京   京   京   京   京	<del>ず未</del> ん	/J ±J	サ来位力 しがまり			
接種門   種管   × × × × × × × × × × × × × × × × × ×	第1公邸	श्चाम		気担・雑岩		
横門・樋管	ᅒᄓᇪᄞ	7-1711		未促 设什 ———————————————————————————————————		
水門   × × ×   ×				/久/未   編門 . 編答		
理				水門		
指決機場						
水路トンネル   ×   ×				_		
京正か・床固め   ×   ×						
河川維持修繕   河川維持   × × ×   河川修繕   河川維持   × × ×   河川修繕   × × × ×   河川修繕   × × × × × ×   河川修繕   × × × × × ×   河川   ※ × × × × ×   河東堰   ※ × × × ×   河東堰   ※ × × × ×   河東   ※   ※ × × ×   ※   河東   ※   ※   ※   ※   ※   ※   ※   ※   ※						
第2分野       海岸       海岸整備       堤防・護岸 × × × × × × × × × × × × × × ※ ※ ※ ※ ※			 			
## 第 2 分野 海岸 海岸整備						
次理・人工岬       ×       ×         海域堤防       ×       ×         養浜       ×       ×         海岸維持・海岸修繕       ×       ×         砂防・地すべり対策       沙防を持       ×       ×         砂防・地すべり対策施設維持修繕       沙防修繕       ×       ×         砂防修繕       ×       ×       ×         第4分野       グム建設       コンクリートダム       ×       ×         ダム       芝生       フィルダム       ×       ×         ダム管理       ×       ×       ×       ×         第2分管理       ×       ×       ×       ×         第2公管理       ×       ×       ×       ×         第2公管理       × </td <td>笠っ 八服</td> <td>海岸</td> <td>。 海岸較<i>供</i></td> <td>                                     </td> <td></td> <td></td>	笠っ 八服	海岸	。 海岸較 <i>供</i>			
実場・人工岬       ×       ×         海域堤防       ×       ×         海岸維持修繕       次       ×         砂防・地すべり対策       砂防・地すべり対策施設維持修繕       ×       ×         砂防・地すべり対策施設維持修繕       かの防・地すべり対策施設・対験維持修繕       ×       ×         が防・地すべり対策施設・対験維持修繕       かの防・地すべり対策施設・対験を持続       ×       ×         が防・地すべり対策施設・対験維持修繕       本       ×       ×         がの防・地すべり対策施設・対験維持修繕       本       ×       ×         がの防・地すべり対策施設・対験維持修繕       本       ×       ×         がの防・地すべり対策施設・対験に持く       本       ×       ×         がの防・地すべり対策施設・対験に持く       本       ×       ×         第4分野       グム       本       ×       ×         第2日       グム       本       本       ×	(第 2 万 野)	/母/干	/母序登補	近   で		
海岸維持修繕       ×       ×         海岸維持修繕       ×       ×         海岸維持修繕       ×       ×         砂防・地すべり対策施設維持修繕       砂防維持       ×       ×         砂防・地すべり対策施設維持修繕       砂防維持       ×       ×         砂防修繕       ×       ×       ×         ダム       フィルダム       ×       ×         ダム管理       ンクリートダム       ×       ×         道路新設・改築       道路改良       ×       (箇流で規定)       ×         横梁上部       (道流で規定)       ×       ×         コンクリート橋上部       (道流で規定)       ×       ×         「カンイル(矢板)       ×       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×       ×         エンオル(矢板)       ×       ×       ×         エンカリートシェッド       ×       ×       ×         エンカリートシェッド       ×       ×       ×         東線共同溝・キャブ       ボーヤブ       ボーヤ       ボーヤ         道路維持修繕・雪寒       ボーヤ       ×       ×         道路維持修繕・雪寒       ボーヤ       ×       ×         連続       ボーヤ       ×       ×         重線共同溝・ボーヤ       ボース       ×       ×         重線共同       ×				次保		
大型   日本   日本   日本   日本   日本   日本   日本   日						
海岸維持修繕       海岸維持・海岸修繕       ×       ×         砂防・地すべり対策施設維持修繕       次       ×       ×         砂防・地すべり対策施設維持修繕       砂防維持       ×       ×         砂防維持       ×       ×       ×         ダム建設       コンクリートダム       ×       ×         ブイルダム       ×       ×       ×         ダム管理       道路改良       ×       (道示で規定)       ×         道路新設・改築       道路表       ×       (道示で規定)       ×         「協業上部       (道示で規定)       ×       ×         コンクリート橋上部       (道示で規定)       ×       ×         トンネル(矢板)       ×       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×       ×         上のカートシェッド       ×       ×       ×         地下駐車場等       ×       ×       ×         共同溝       ×       ×       ×         道路維持修繕・雪寒       道路維持       ×       ×         道路維持       ×       ×       ×         道路維持       ×       ×       ×         直路維持       ×       ×       ×         直路維持       ×       ×       ×         直路維持       ×       ×       ×						
第3分野       砂防・地すべり対策施設維持修繕       水       ×			海岸维特修维	<b>食</b>		
一次	笠っ八昭	7/\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\		/ サド紙付・ / サド10 語		
割面対策       ×       ×         砂防・地すべり対策施設維持修繕       砂防修繕       ×       ×         ダム建設       コンクリートダム       ×       ×         ブイルダム       ×       ×       ×         第5分野       道路       道路放良       ×       (防護柵)         通路新設・改築       通路改良       ×       (防護柵)         構築上部       (道示で規定)       ×         コンクリート橋上部       (道示で規定)       ×         格潔上部       (道示で規定)       ×         トンネル(矢板)       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×         通路大学       ×       ×         地下積断步道       ×       ×         地下駐車場等       ×       ×         ボーキャブ       直路修繕       ×       ×         道路維持修繕・雪寒       道路修繕       ×       ×         道路維持修繕・雪寒       ×       ×       ×         道路維持       ×       ×       ×         第6分野       公園       公園緑地整備・改修       ※       ×         近野な       ×       ×       ×         直路修繕       ×       ×       ×         道路修繕       ×       ×       ×         近路       ※       × <t< td=""><td>  毎3万野</td><td>1少12万</td><td>1がり・地9个リ刈束</td><td></td><td></td><td></td></t<>	毎3万野	1少12万	1がり・地9个リ刈束			
砂防・地すべり対策施設維持修繕       砂防修繕       ×       ×         第 4 分野       ダム建設       コンクリートダム				<u> </u>		
設維持修繕       砂防修繕       ×       ×         ダム       ブム建設       コンクリートダム       ×       ×         ダム管理       ×       ×       ×         第5分野       道路       道路新設・改築       道路改良       ×       (防護柵)         植装上部 コンクリート橋上部 トンネル(NATM) トンネル(NATM) トンネル(NATM)       ×       ×       ×         トンネル(NATM) トンネル(大矢板) コンクリートシェッド 地下積断歩道 地下積断歩道 地下駐車場等 ・×       ×       ×         共同溝・キャブ       共同溝 地下駐車場等 ・×       ×       ×         第6分野       公園       公園緑地整備・改修       基盤整備 道路修繕 道路 ・×       ×       ×         第6分野       公園       公園緑地整備・改修       本       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         近路       ×       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         近路       ※       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         第7分野       ×       ×       ×         第7分野       ×       ×			7小7た サルナ ベルカナケナケ			
第 4 分野       ダム管理       × <td< td=""><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></td<>						
第5分野       道路       次       ×       ×       ×       ×       (防護柵)         舗装       ×       (道示で規定)       ×       (道示で規定)       ×       ×       (道示で規定)       ×	ᅉᄼᄼᄼ	H I				
第5分野       道路       道路新設・改築       道路改良       × (防護柵)         橋梁上部       (道示で規定)       ×         コンクリート橋上部       (道示で規定)       ×         橋梁下部       (道示で規定)       ×         トンネル((ANTM)       ×       ×         トンネル(大板)       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×         地下積断歩道       ×       ×         地下駐車場等       ×       ×         共同溝・キャブ       世間溝       ×       ×         道路維持修繕・雪寒       道路修繕       ×       ×         道路維持       ×       ×       ×         電線共同溝       ×       ×       ×         道路維持       ×       ×       ×         電線       ×       ×       ×         直路維持       ×       ×       ×         が設路       ×       ×       ×         第6分野       公園緑地維持管理       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         近路地       ※       ×       ×         近路       ※       ×       ×         東京       ×       ×       ×         大       ※       ×       ×      <		グム	ダム建設	コングリートダム		
第5分野       道路新設・改築       道路改良 舗装 福梁上部 コンクリート橋上部 (道示で規定) 本 (道示で規定) 本 トンネル(NATM) トンネル(矢板) コンクリートシェッド ※ ※ ・ 本 ・ 世下駐車場等 ・ 本 ・ 世下駐車場等 ・ 本 ・ 本 ・ 世下財車場等 ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 道路維持修繕・雪寒       *       *         共同溝・キャブ 共同溝 道路維持修繕・雪寒       連路修繕 金線共同溝 を 電線共同溝 を 電線共同溝 を を ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 本 ・ 本			₩ 1 *******	ノイルダム		
舗装       ×         (道示で規定)       ×         コンクリート橋上部       (道示で規定)       ×         橋梁下部       (道示で規定)       ×         トンネル(NATM)       ×       ×         トンネル(矢板)       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×         地下横断歩道       ×       ×         大同溝       ×       ×         電線共同溝       ×       ×         直路維持修繕・雪寒       道路修繕       ×       ×         道路維持       ×       ×       ×         第6分野       公園       公園緑地整備・改修       ×       ×         第6分野       公園       公園緑地整備・改修       ×       ×       ×         第7分野       下水道       管路       ×       ×       ×         下水道施設整備       ×       <	55 F // 117	\ <del>\\</del> 105		\ <del>\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\\</del>		
橋梁上部       (道示で規定)       ×         コンクリート橋上部       (道示で規定)       ×         橋梁下部       (道示で規定)       ×         トンネル(NATM)       ×       ×         トンネル(KATM)       ×       ×         トンネル(KATM)       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×         地下横断歩道       ×       ×         地下駐車場等       ×       ×         大同溝       ×       ×         電線共同溝       ×       ×         富寨       ×       ×         第6分野       公園緑地整備・改修       ×       ×         「方沙ドコート整備       ×       ×         大方分野       下水道施設整備       ×       ×         下水道施設整備       ×       ×       ×         近路       ×       ×       ×         東壁整備       ×       ×       ×         京の場外地維持管理        ×       ×         下水道施設整備       ×       ×       ×         東京       ×       ×       ×         東京       ×       ×       ×         東京       ×       ×       ×         東京       ×       ×       ×         東京 <td>男 5 分對</td> <td>坦路</td> <td>直路新設・改築</td> <td></td> <td></td> <td>(沙護柵)</td>	男 5 分對	坦路	直路新設・改築			(沙護柵)
第6分野       公園緑地維持管理       (道示で規定)       ×         1ンクリート橋上部 (道示で規定)       ×       ×         (道示で規定)       ×       ×         トンネル(NATM)       ×       ×         トンネル(矢板)       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×         地下横断歩道       ×       ×         地下駐車場等       ×       ×         大同溝       ×       ×         電線共同溝       ×       ×         宣路維持修繕・雪寒       道路修繕       ×       ×         直路維持       ×       ×       ×         市設修繕       ×       ×       ×         本       ×       ×       ×         第6分野       公園       ×       ×         第7分野       下水道       管路       ×       ×         「水道施設整備       ×       ×       ×         東京       ×						
橋梁下部 トンネル(NATM) トンネル(矢板)       (道示で規定) × × × × スカノクリートシェッド ・ スカー・ ・ 地下駐車場等 ・ 大同溝 ・ 大同溝 ・ 大田市 ・ 大同溝 ・ 大田市 ・ 大田市 						
トンネル(NATM)       ×       ×         トンネル(矢板)       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×         地下横断歩道       ×       ×         共同溝・キャブ       共同溝       ×       ×         電線共同溝       ×       ×         道路維持修繕・雪寒       道路修繕       ×       ×         道路維持       ×       ×       ×         雪寒       ×       ×       ×         第6分野       公園緑地整備・改修       ×       ×       ×         施設整備       ×       ×       ×         がランドコート整備       ×       ×       ×         自然育成       ×       ×       ×         第7分野       下水道       管路       ×       ×         下水道施設整備       ×       ×       ×         小丁水道施設維持       ×       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×       ×         小丁水道施設維持       ×       ×       ×         小丁水道施設維持       ×       ×       ×         小丁水道施設維持       ×       ×       ×         本       ×       ×       ×         本       ×       ×       ×         本       × <td></td> <td></td> <td></td> <td>コングリート橋上部</td> <td></td> <td></td>				コングリート橋上部		
トンネル(矢板)       ×       ×         コンクリートシェッド       ×       ×         棚製シェッド       ×       ×         地下駐車場等       ×       ×         共同溝・キャプ       共同溝       ×       ×         電線共同溝       ×       ×         直路維持修繕・雪寒       道路修繕       ×       ×         道路維持       ×       ×       ×         雪寒       ×       ×       ×         第6分野       公園緑地整備・改修       ×       ×       ×         が設整備       ×       ×       ×         がごシンドコート整備       ×       ×       ×         自然育成       ×       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×       ×         「水道施設整備       ×       ×       ×         東京       ×       ×       ×       ×       ×       ×       ×       ×       ×       ×       ×       ×       ×       ×				<b>信采下部</b>		
第 5 分野       下水道施設整備       エスタリートシェッド スター・スター・スター・スター・スター・スター・スター・スター・スター・スター・						
編製シェッド 地下積断歩道 地下駐車場等       × × ・ 						
第7分野       下水道施設維持管理       ***********************************				コングリートシェット		
地下駐車場等       ×       ×       ×         共同溝・キャブ       共同溝       ×       ×         電線共同溝       ×       ×         道路維持修繕・雪寒       道路維持       ×       ×         雪寒       ×       ×       ×         第6分野       公園緑地整備・改修       ×       ×       ×         施設整備       ×       ×       ×         がらりとしている。       が見を構作       ×       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×       ×         小水道施設整備       ×       ×       ×         小水道施設整備       ×       ×       ×         小水道施設整備       ×       ×       ×         下水道施設維持       ※       ×       ×         小水道施設維持       ※       ×       ×         下水道施設維持       ※       ×       ×         下水道施設維持       ※       ×       ×         小水道施設維持       ※       ×       ×         中域       ※						
共同溝・キャブ       共同溝						
電線共同溝       ×       ×         道路維持       ×       ×         雪寒       ×       ×         第6分野       公園       公園緑地整備・改修       ×       ×         植栽       ×       ×         施設整備       ×       ×         グランドコート整備       ×       ×         自然育成       ×       ×         公園緑地維持管理       ×       ×         下水道施設整備       ×       ×         小型場・ポンプ場       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×			# <b>D</b> # + •			
道路維持修繕・雪寒       道路維持       ×       ×         宣寒       ×       ×         第6分野       公園緑地整備・改修       基盤整備       ×       ×         施設整備       ×       ×       ×         グランドコート整備       ×       ×       ×         自然育成       ×       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         下水道施設整備       ×       ×       ×         近理場・ポンプ場       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×			共向溝・干ヤフ			
道路維持       ×       ×         雪寒       ×       ×         第6分野       公園緑地整備・改修       基盤整備       ×       ×         植栽       ×       ×       ×         施設整備       ×       ×       ×         グランドコート整備       ×       ×       ×         自然育成       ×       ×         公園緑地維持管理       ×       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         下水道施設整備       ×       ×       ×         小理場・ポンプ場       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×			)			
第6分野       公園       公園緑地整備・改修       基盤整備       ×       ×         植栽       ×       ×       ×         施設整備       ×       ×       ×         グランドコート整備       ×       ×         自然育成       ×       ×         公園緑地維持管理       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         下水道施設整備       ×       ×         小理場・ポンプ場       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×			退路維持修繕・当寒			
第6分野       公園       公園緑地整備・改修       基盤整備       ×       ×         植栽       ×       ×       ×         施設整備       ×       ×       ×         グランドコート整備       ×       ×         自然育成       ×       ×         公園緑地維持管理       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       ×       ×         下水道施設整備       ×       ×         処理場・ポンプ場       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×						
植栽       ×       ×         施設整備       ×       ×         グランドコート整備       ×       ×         自然育成       ×       ×         公園緑地維持管理       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       管路       ×       ×         処理場・ポンプ場       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×	66 C // M2	ᄼᅜᆖ				
施設整備       ×       ×         グランドコート整備       ×       ×         自然育成       ×       ×         公園緑地維持管理       ×       ×         第7分野       下水道施設整備       管路       ×       ×         処理場・ポンプ場       ×       ×         下水道施設維持       ×       ×	吊 6 分野	公園	公園緑地整備・改修			
グランドコート整備     ×     ×       自然育成     ×     ×       公園緑地維持管理     ×     ×       第7分野     下水道施設整備     管路     ×     ×       処理場・ポンプ場     ×     ×       下水道施設維持     ×     ×						
自然育成     ×     ×       公園緑地維持管理     ×     ×       第7分野     下水道施設整備     管路     ×     ×       処理場・ポンプ場     ×     ×       下水道施設維持     ×     ×						×
公園緑地維持管理       x       x         第7分野 下水道       下水道施設整備       管路       x       x         処理場・ポンプ場       x       x         下水道施設維持       x       x						×
第7分野     下水道施設整備     管路     ×     ×       処理場・ポンプ場     ×     ×       下水道施設維持     ×     ×			A 12 /2 14 /2 14 /2	目然育成		
処理場・ポンプ場     ×     ×       下水道施設維持     ×     ×	77 - 11	- 1.54		AC DA		
下水道施設維持                ×	第7分野	ト水道	ト水迫施設整備		×	×
				処埋場・ボンブ場	×	×
		<u> </u>				

(財)建設物価調査会:土木工事積算基準マニュアル<平成13年度版>, pp.32,2001.6.30.より引用

## 表 4.2.1(2) 認定機関と対象技術<sup>2)</sup>

			2.1(2) 認定機関と対象技術 <sup>2)</sup>
認定機関	窓口	対象技術	適用
			国土交通省所管の国土計画、地方計画、都市計画、河川、砂防、海
開発技術研究	部	法	岸、道路等にかかわる事項で、次に掲げる建設技術を対象としてい
センター			<b>వ</b> 。
			┃・調査、計画、設計、施工もしくは管理の方法に関する共通技術、ま ┃
			たは、調査、設計、施工もしくは管理に関する総合技術
			なお、建設機械、建設材料、計測管理であっても、これらを用いた施
財団法人土木	技術審査	土木系材料	国土交通省所管の土木系材料(二次製品を含む)およびその利用技術で
研究センター		技術	あり、例えば下記の分野の建設技術を対象としている。
			・コンクリート関係,アスファルト関係,鋼材関係,地盤材料関係,
			高分子材料関係,その他
財団法人日本	企画調整	建設情報技	国土交通省所管にかかわる事項に関する建設技術についての"情報技
建設情報総合		術	術 "を対象としている。
センター		""	
社団法人日本	技術盟発	測量技術	国土交通省所管の土地の測量にかかわる技術で、測量手法及び測量
測量協会測量		W1=1VII1	データ処理システムの開発など、新しい測量に関する様々な技術を対
技術センター			象としている。
	研究第三	建設機械化	国土交通省所管事業(河川、道路等)の機械化施工にかかわる事項で、
建設機械化協		技術	次のいずれかに該当する技術を対象としている。
会建設機械化	   ロト	ניוין אַנ	・建設・設備・器具等の開発、改良、製作、運用、管理等に関する技
研究所			「一姓以「以倫」留兵寺の開光、以及、表下、建市、自年寺に関する」   術
財団法人ダム	<b>世</b> 統第二	ダム建設技	
技術センター		が	
財団法人日本			  建築物及び工作物の新たな施工技術にかかわるもので、次のいずれか
	用光部		
建築センター			に該当する技術を対象としている。
建築技術研究			・施工の方法にかかわる技術 - #### 17.5 #### 17.5 #### 17.5 #### 17.5 ##### 17.5 ##### 17.5 ##### 17.5 ####################################
所以上海祭	<u>^</u>	術	・機械、設備、器具、材料にかかわる技術
			新たに開発された既存の建築物の保全技術にかかわる事項で、次のい
保全センター	部	保全技術	ずれかに該当する技術を対象としている。
			・調査、設計、施工、管理等の技術
D4 F21 \ 1 7 th	A = +n	7.h. (7.\. 1.\. 1.\. 1.\. 1.\.	・機械、設備、器具または工事材料の製造
財団法人砂	企画部	砂防技術	
防・地すべり			
技術センター			
財団法人道路	企画部		舗装、法面・傾斜、橋梁、トンネル等の道路本体、植栽(緑化)および
保全技術セン		術	道路情報管理施設、休憩施設等の道路付属物などの保全に関して、安
ター			全性の確保、耐久性の向上、環境の改善、供用性(機能性)の改善を目
			的とする、工法、機械、設備、器具、材料、製品にかかわる技術を対
			象としている。
財団法人下水	技術部	下水道技術	
道新技術推進			
機構			
	普及振興	先端建設技	建設省所管の建設事業にかかわるニューフロンティア開発技術、メカ
建設技術セン		術	トロニクス、バイオテクノロジー等の先端的技術で、次のいずれかに
ター			該当する技術を対象としている。
			・調査、設計、施工、管理等の技術
			・機械、設備、器具、材料等の開発・利用技術
財団法人都市	研究第一	都市緑化技	
緑化技術開発		術	
機構	HI-	'''	
財団法人日本	研究第一	地図調製技	
地図センター		術	
地図研究所	HIT	,,,	
-0PM 7671	I	I	

#### 4.2.1(1) 自動車用防護柵

防護柵については,日本道路協会の防護柵設置基準<sup>3)</sup>のなかに,試験法が記載されているので, それにそって試験が行われる.防護柵の性能評価機関としては今のところ(財)土木研究センター しかない.試験装置が唯一国土技術政策総合研究所にあることから,土木研究センターで行って いるのが現状である.表 4.2.1(3)に自動車防護柵の性能と評価方法を示す.

	要求項目	評価項目	性能	評価方法	判定方法	評価機関
		車 両 の 逸 脱 防止性能	強度性能:種別に応じた衝撃 度による衝突で,防護柵が突 破されないこと . 変形性能:衝突時の車両の最 大侵入量が,種別に応じて規 定値以下であること .		衝突 < 柵強度 変形量 < 許容値	
自動車防護柵	衝突に対 する安全 性	乗員の安全 性能	車両衝突時の人体に与える衝突加速度(瞬間値)が衝突速度の区分別に評価基準値未満であること。	実車衝突試験 (新しく開発し た場合) <注記>参照	衝突加速度 < 許容値	道路管理者
<del>                                    </del>		車 両 の 復 元 誘導性能	衝突後,車両は横転などをせず,車両の離脱速度,離脱角度が規定値を満たすこと.	く注記2多思	衝突速度×0.6 < 離脱速度 衝突角度×0.6 > 脱角度	
		構成部材の 飛散防止性 能	衝突時の防護柵の構成部材が 大きく飛散しないこと		飛散部材の量・飛散状況 第三者への影響がない程度 かの判断を実験実施者の経験 に基づいて行われる	

表 4.2.1(3) 自動車防護柵の性能と評価方法

なお,標準仕様により製作された防護柵は,実車試験が不要である(車両用防護柵性能確認試験方法 日本道路協会より).また,性能確認試験の方法は,建設省道路局道路環境課長通達「車両用防護柵性能確認試験方法について」によって行う.

また,橋梁用ビーム型防護柵については,上記通達に別添される設計方法に準拠している防護柵であれば,構成部材の静荷重試験による性能確認をして,実車試験に代えることができる.

## 4.2.1(2) 橋梁

橋梁では,2002年3月に改訂された道路橋示方書<sup>4)</sup>では基準の性能規定化,耐久性の向上に関する既定の強化などを主な内容とする改訂が行われた.

これまでの道路橋示方書は仕様規定型で、材料や設計計算方法などが仕様として細かく規定されていた。仕様規定型の基準では新技術や新工法が採用されにくく、技術の発展の障害になること、また、これらの仕様が国際通商の障壁になるおそれのあることが以前から指摘されていた。性能既定型の基準は、これまでのような仕様ではなく、構造物に要求される性能を照査することを規定するものである。要求性能を満足することが確認できれば、新技術や新工法の採用が可能となり、コスト縮減や工期短縮など技術開発を促進することができるようになる。

改訂された道路橋示方書では,その規定が求める要求性能を明確にし,それを明示することにしている.ただし,性能を明示するだけでは具体的な設計ができないため,現行の仕様を「みなし仕様」として併記し,従来からの設計も適用できるようにしているのが特徴である.

具体的な例として,直接基礎の基礎底面地盤のせん断抵抗力に関する規定を以下に示す.

#### <現行>

せん断抵抗力は地盤調査,土質試験の結果を十分に検討して,式(8.3.2)により求めるものとする.

Hu=c<sub>B</sub>Ae+Vtan <sub>B</sub>

(8.3.2)

#### < 改訂 >

基礎底面のせん断抵抗力は,地盤条件を十分考慮して求めるものとする.式(10.3.2)により基礎 底面地盤のせん断抵抗力を求めた場合には,これを満足するとみなしてよい.

Hu=c<sub>B</sub>Ae+Vtan <sub>B</sub>

(10.3.2) (現行式と同じ)

したがって,従来と同じ式を用いてせん断抵抗力を算出することも可能であるし,適用性が確認できれば地盤条件を十分に考慮した上で他の理論式や算定式を用いることも可能である.

このように,今回の改訂では性能規定にはなっているが,そのなかに具体的な性能の評価方法が記載されていないことから,仮に性能発注が行われる場合は評価体制や評価方法は,前述のみなし仕様の適用あるいは個別対応となる.学識経験者の検討委員会で行う場合があるのが実態である.

#### 4.2.1(3) 舗装

アスファルト舗装要綱 <sup>6</sup>では,舗装に要求される性能(役割)として快適性,安全性,環境性をあげている.また,機能の維持のために耐久性が必要としている.

(社)日本道路建設業協会では ,舗装に求められる機能として表 4.2.1(4)のようにまとめている . http://www.dohkenkyo.or.jp/menu/hosou/search/selectframe.html

機能	物性機能	走行機能	環境機能
項目	耐流動性		騒音低減
	耐摩耗性		振動低減
	耐荷重性	ハイドロプレーニング抑制	地下水の涵養
	耐ひび割れ性	すべり抵抗性	リサイクル
	耐油性	凍結抑制	地球の温暖化抑制
	排水性	防眩抑制	景観創生
	弾力性		ヒートアイランド化抑制
	不透水性		
	透水性		

表 4.2.1(4) 装に求められる機能

舗装工事の性能既定発注が試行された背景としては、従来の道路舗装工事における発注では、標準的な仕様を発注者が定め、受注者はこれに従い施工を行っていた。この仕様発注方式は、広く標準的な性能を確保する上では有効な方式であったが、一方で新技術の開発や普及の促進に繋がりにくいという面もあった。このため、発注者は必要とされる性能のみを規定し、材料、施工方法等の仕様については受注者の提案を受ける発注方式を試行的に導入することとした。この性能既定発注方式は、従前よりも受注者の技術力、工夫を活かしやすいことから、新技術の開発による品質・性能の向上や長期的にはコスト縮減にも寄与するものと期待される。

建設省関東地方建設局では,平成10年度発注する工事の中から,一般国道15号の大森本町1

丁目舗装修繕工事と一般国道 357 号の八潮 4 丁目舗装修繕工事を性能規定方式を導入する試行工事として選定した <sup>7)</sup>.これらの工事では,施工場所が市街地の幹線道路であることから,道路構造による環境対策の一環として,自動車騒音の低減効果が期待される排水性舗装を施工することとした。この試行工事では,排水性舗装施工後の騒音測定値を規定して発注し,材料の選定,施工方法等については受注者が提案を行い,発注者が提案を適正と認めた上で施工することとしたのが特徴である.性能の評価は公的な機関によることとし,施工直後及び1年後に規定した性能が満足されない場合は受注者が回復処置を行うこととしている.

以下,性能既定発注された工事の概要,規定項目,施工時の評価結果について紹介する.

## (a) 建設省(東京国道工事事務所)<sup>2)</sup>

大森本町1丁目舗装修繕工事

工事内容:アスファルト舗装工事(10 車線,延長 378m),排水工事,区画線工事

工期:平成11年3月10日~平成11年11月19日

施工者:日本道路(株) 契約金額:約1億9400万 八潮4丁目舗装修繕工事

工事内容:アスファルト舗装工事(4 車線,延長 950mのうち 500mを性能規定),排水工事,区画線工事

工期:平成11年3月19日~平成12年2月26日

施工者:世紀東急工業(株)契約金額:約2億6250万

表 4.2.1(5) 要求性能と評価基準,評価機関(建設省)

要求性能	評価項目	評価方法	評価基準値	評価機関
安全性	平坦性	舗装試験法便覧の3mプロ	各車線ごとに 2.4mm以内	「公的な機関
		フィルメーター試験方法		による」とさ
	排水性	排水性舗装技術指針に基	現場透水試験で 1,000ml/15 秒以上	れ ,(財)道路保
		づく試験方法		全技術センタ
耐久性	耐塑性変	舗装試験法便覧のホイー	動的安定度が 4,000 回/mm 以上	ーが受託
	形	ルトラック試験方法		
環境性	騒音値	騒音測定車(RAC 車)によ	騒音測定車で特殊タイヤ音を各車線ごとに測	
		る測定.走行速度 50km/h	定し,全車線の平均値が <b>89dB(A)(</b> L <sub>Aeq</sub> )以下	
			1 年後に全車線の平均値が 90dB(A)(L <sub>Aeq</sub> )以下	

工事の特徴としては,以下のとおりである.

- ・「アスファルト舗装工事共通仕様書」,「アスファルト舗装要綱」を契約図書としていない .
- ・評価方法は,騒音値以外は,現行の発注形態による舗装工事においても管理に用いられる試験方法である.
- ・騒音値の規定は,環境騒音(官民境界)での排水性舗装の実測平均値である 3dB(A)(LAeq)の低減を目標としたが,規定化できなかった.
  - ・平成10年9月30日環境庁告示の「環境基準」で用いられる測定方法とは異なる,騒音測定

車(RAC車)による測定とした.

・騒音測定車による測定値は,通常の舗装の平均値=98dB(A)(LAeq),排水性舗装の平均値 =89dB(A)(LAeq).

この性能既定発注工事の結果としては、完成時の騒音値は、大森本町1丁目舗装修繕工事で88.3dB, 八潮 4 丁目舗装修繕工事で 87.2dB で,89dB の既定値をクリアした.どちらの工事も,アスファ ルト混合物の骨材の粒径を小さくすることで騒音低下をはかったとのことである.

今後は,性能既定発注の件数を増加させていく予定であり,MCI(Maitenance Control Index)値 の規定などの新しい試みも検討されている.

## (b) 日本道路公団<sup>2)</sup>

東九州自動車道 宮河内舗装工事

工事内容:アスファルト舗装工事(上り線の走行,追越2車線,延長6233mのうち約2000mを 性能規定)

工期:平成11年2月26日~平成12年2月20日

施工者:日本道路・松尾舗道 JV

契約金額:

表 4.2.1(6) 要求性能と評価基準,評価機関(日本道路公団)

要求性能	評価項目	評価方法	評価基準値	測定頻度	評価機関
安全性	すべり抵抗	JHS221-1992	BPN が 60 以上	200m 間隔	竣工時,3年
	値	JHS222-1992	μ(80)が 0.35 以上	5 点/km	後:受注者立会
			3 年後に μ(80)が 0.25 以上		いのもとで発注
	平坦性	JHS220-1992	土木部 5cm/km 以下	各車線毎 OWP	者(JH)が行う .
			構造物部 8cm/km 以下		1 年度 ,2 年後:
	排水機能	JHS233-1992	現場透水試験で 10 秒/400ml 以下	100m 間隔 OWP	発注者(JH)が行
			3年後に16秒/400ml以下		う.
耐久性	わだち掘れ	JHS225-1992	3 年後に 7mm 以下	100m 間隔	

工事の特徴としては,以下のとおりである.

- ・「土木工事共通仕様書」、「舗装施工管理要領」の適用を除外した.
- ・排水機能,わだち掘れ量の規定は,一般地域の軽・中交通量路線における追跡調査結果から 規定した.
- ・すべり抵抗値は、使用材料によってはすべり摩擦の低下が懸念されるため現行の管理目標値 にて規定した.
  - ・評価方法は,現行の発注形態による舗装工事においても管理に用いられる試験方法である.
- ・施工実績より,排水機能の低下はおおむね3年で低下傾向が緩やかになるため性能規定期間 を3年とした.これにより瑕疵担保期間を現行の1年より3年に伸張した.
  - ・工事費は完了払いとした.
- ・性能規定を満足しない場合の扱いは,責の帰属を両者協議の上決定し,原因が受注者の責に 帰する場合には修補請求,修補に代え損害賠償請求,あるいは修補とともに損害賠償請求を行う.

## <4.2.1 参考文献>

- 1) (財)建設物価調査会:土木工事積算基準マニュアル<平成 13 年度版>, pp.32, 2001.6.30.
- 2) 鋼橋技術研究会: 鋼橋の性能設計研究部会 報告書, pp.21-27, pp.161-164, 2000.6.
- 3) (社)日本道路協会:防護柵の設置基準・同解説,1998.11.
- 4) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説,2002.3.
- 5) 福井次郎: 道路橋示方書 下部構造編改訂の概要,基礎工,pp.2-4,2002.5.
- 6) (社)日本道路協会:アスファルト舗装要綱,1992.12.
- 7) http://www.mlit.go.jp/road/press/press0/990224-1.html

## 4.2.2 建築分野の評価機関の概要

## 4.2.2(1) 建築基準法改定の背景と第三者評価機関の役割

1998年 6 月に建築基準法が改定された.実に5 0 年ぶりの大改定である. その改定のポイントは以下の3点である<sup>1)</sup>.

- a) 建築確認等手続きの合理化
- b) 建築規制内容の合理化
- c) 建築規制の実効性の確保

上記のうち , 「第三者評価機関」に関係するのは主にa) , b) である . 文献  $^{1)}$  に従って , これらについて以下に概説する .

建築物を設計・建設する場合には、必ずその建築物が建築基準法に適合しているかどうかを確認して、適合すると判断された場合にのみ、建設が許可される仕組みになっている。従来は、基準法に適合するかどうかの判断は、特定行政庁の「建築主事」が行うものであった。平成8年度の統計によると建築着工件数年間約110万件に対して、建築主事1人当り年間600件も処理しなければならない必要があり、実質的には、十分な実施体制でない状況が続いていた。この業務を「建築確認」と呼ぶ、建築確認手続きの円滑遂行を行うために、建築主事が今まで行ってきた確認業務において、新たに必要な審査能力を備える公正中立な民間機関(指定確認検査期間)も本業務が行えるようにしたことが改定のポイントとなっている。そして、官民の役割分担を見直し、業務の一部の民間開放をねらいとしたものである。

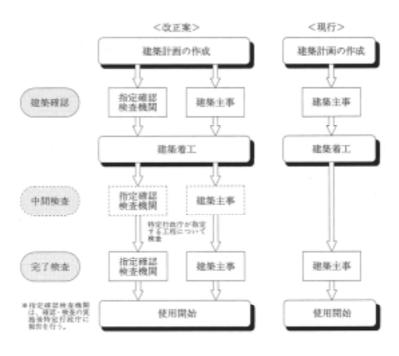


図4.2.2(1) 建築確認・検査手続きの流れの比較

図4.2.2(1)に,建築確認・検査手続きの流れを,改正前と後で分かりやすく示した<sup>1)</sup>.この図より,改定前には,建築計画の確認および建築着工後の検査は全て建築主事が実施するものであったが,改定後には,確認および検査のプロセスを建築主事以外にも新しい指定確認検査機関が関わることになった.また,今まで建築施工中の中間検査は実施されてこなかったが,昨今の建築物の施工不良,施行ミス等が多発することに鑑み,中間検査を新しく設けるようになり,指定確認検査機関が担当するようになった.

次に,新しく設けられた指定確認検査機関の指定要件について少し説明する.文献<sup>1)</sup>によると,指定確認検査機関は,非営利法人,営利法人どちらでもよく,都道府県知事あるいは,建設大臣等が,確認検査機関の確認・検査品質の確保,中立性,公正性の確保を明記した以下の指定基準に照らして指定することになっている.

- 1)確認検査員(建築基準適合判定資格検定合格者)が一定数以上いること,
- 2)役職員の構成が業務の公正な実施に支障をおよぼすおそれがないこと,
- 3)確認等の業務以外の業務を行うことによって業務が不公正になるおそれがないこと 等.

この指定確認検査機関により,建築主のニーズに即した建築確認・検査サービスの提供が可能となることが期待されている.また,行政は,監査,違反建築,処分等の間接コントロールを中心とすることにより,新制度の実効性を確保できるものと期待されている.

c)の建築規制内容の合理化に関する改定のポイントは,建築基準法の仕様規定から性能規定への新しい基準体系の導入があげられる.この基準法全体の体系の見直しにより,改正前の硬直化した確認ルート以外の新しい確認ルートが設けられ設計の自由度の拡大を期待したものである.図4.2.2(2),4.2.2(3)は改定前と後における,構造規定の違いを示したものである.改定前は,特殊な構造を持つ建築物以外に対しては,図中左の構造規定を採用し建築主事が確認することになっており,超高層ビルや特殊な構造物に対しては,基準法を適用せずに,いわゆる例外規定扱いとして個別確認を行っていた.改定後は図4.2.2(3)に示すように,従来の確認ルート以外にいくつかのルートが設けられるようになった.図中の一番右側のルートの特別な検証法では,個別に民間機関(指定性能評価機関)の評価を行って,国土交通大臣の認定を得るルートがある.ここにおいても民間活用が図られている.これにより,民間の高度な技術審査能力を公正中立な審査体制を有する国内外の指定性能認定機関の活用が期待されている.

## 4.2.2(2)第三者評価機関の現状

本節では,4.2.2(1)に示した第三者評価機関として,指定確認検査機関および指定性能評価機関の 現状について報告する.

基準法の改定が1998年6月,施行が1999年5月ということで,それ以降,日本全国に指定確認検査機関が数多くできた.表4.2.2(1)は,指定者が国土交通大臣,地方整備局長,都道府県知事によって,指定を受けた機関の分類を示したものである.2003年9月現在のものであり,全国で92機関が指定

を受け,確認・検査業務に携わっている.

			•	
指定者	株式会社	公益法人	その他	合計
国土交通大臣	7	6	0	13
地方整備局長	11	0	2	13
都道府県知事	23	39	4	66
合計	41	45	6	92

表4.2.2(1) 指定確認検査機関の指定状況(2003年9月現在)

注)公益法人:財団法人,社団法人,その他:有限会社,学校法人,特定非営利法人

これだけの数の機関が指定を受ける背景には,建設件数が依然多い状況にあり,年代とともに建築主事の確認業務が減りつつある.2001年度では,全国の建築確認件数75万件のうち,約21%が指定確認検査機関によるとの報告がある.

指定確認検査機関の数は,4.2.2(1)の指定基準により,年ごとに確認検査員数が増えると予想されることからさらに増える見込みである.

指定性能評価機関については,現在(平成15年7月末)において,全国で18の機関(財団法人,社団法人,株式会社)が登録されている.これらの機関は,評価区分が異なっており,各機関の専門分野に応じて評価対象が定められている.例えば,超高層建築物の構造安全性に関する性能評価については,(財)日本建築センター,(財)ベターリビング,(財)日本建築総合試験所,(株)日本イーアールアイが指定性能評価機関として認定されている.

指定確認検査機関および指定性能評価機関の現状については,(財)建築行政情報化センターの HP(http://www.basic.or.jp/)に掲載されている.

#### 4.2.2(3) 第三者評価機関の現状の課題

指定確認検査機関という今までにない業態が基準法改正の結果,新しく生まれたことから,当初はいるいろな混乱が生じたのも事実である.課題としては文献<sup>2)</sup>に指摘されているが,まとめると以下のようになる.

出来て間もない制度や組織であるので,一定数の資格者(確認検査員)を確保できずにトラブルに至ったケースもある.また,建築主や設計者からは,建築確認が以前に比べてスムーズに実施できるようになったこと,建築確認の期間が短縮された,との肯定的な評価もあり,確認業務を民間解放したメリットがある程度出てきている.

第三者機関の公正中立性の確保については,絶対の方法があるわけでないが,第三者性を担保する要件として,業務に当たる者に,その企業全体の経営者の指揮権が及ばないような組織構造にするとか,外部監査などの仕組みを取り入れる等が行われている.

民間と行政の役割分担については、建築物単体の確認は良いとして、街全体を規制する集団規定の確認については、行政が介入すべきとの意見がある、また、指定確認検査機関の確認結果と行政の判

断とが食い違った場合などの対応の問題点も指摘されている.

表4.2.2(1)に示すように,複数の民間確認検査機関ができたことにより,各機関間で良い意味でも悪い意味でも競争原理が働くようになった.良い面としては,今まで確認業務は行政しか担当していなかったことにより,確認申請者,建築主に対する「サービス」という意味は薄かったが,民間機関が実施するようになり,これらの顧客に対するサービスという概念が生まれてきたこと,検査業務の技術的品質の向上が生まれる土壌が育ってきたことも見のがせない.また,反面,民間としての利益確保も重要な事項であり,確認検査業務に関する料金を低くし,確認業務を短期間で実施する機関が業務が増えているという実態もある.確認業務が「早くて」,「安くて」かつ「品質が高い」ことが理想と考えるが,前二者にしか重点が置かれないならば大問題である.

昨今の建設業の景気低迷の中で,ゼネコン,設計事務所などは中高年層のリストラが依然進んでいる.一定の年齢層になれば,たとえ,力量のある技術者であってもリストラ対象となる.こんな時代において,指定確認検査期間,指定性能評価機関は,これらのベテラン技術者の格好の再就職先である.これらの機関は,一流の技術者を一朝一夕に育てることができず,多くのベテラン技術者達が再度活躍できる場を提供していることも事実である.

#### 4.2.2(4) まとめ

建設業界では,第三者評価がようやく動き始めた.上述したように,課題は決して少なくないが,少なくとも以前よりは良い状況に向かっていると考えている.指定確認機関の,ひいては,技術者個人の「技術力」が問われる時代であり,そうした環境が整いつつあるような気さえする.競争原理も決して悪いものでなく,良い意味での技術者個人々々の切磋琢磨が期待されているのであり,また,この新しい制度をそのように方向付けてゆくことが今後一層重要になろう.

### 4.2.2 参考文献

- 1) 建設省住宅局建築指導課監修,改正建築基準法(2年目施行)の解説,新日本法規,平成12年7
- 2) 日本建築学会建築法制委員会 ,「確認・検査の民間開放(建築基準法施行体制の改変)を考える」 ,2003年度日本建築学会大会 研究懇談会資料 , 2003.9
- 3) (財)建築行政情報化センターホームページ(http://www.basic.or.jp/)

#### 改正前の構造規定の概要

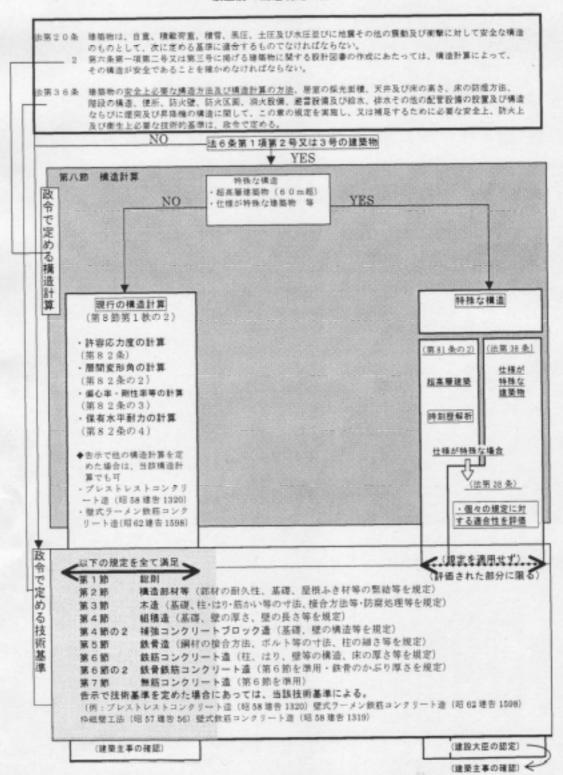


図4.2.2(2) 改正前の構造規定の概要

#### 改正後の構造規定の概要

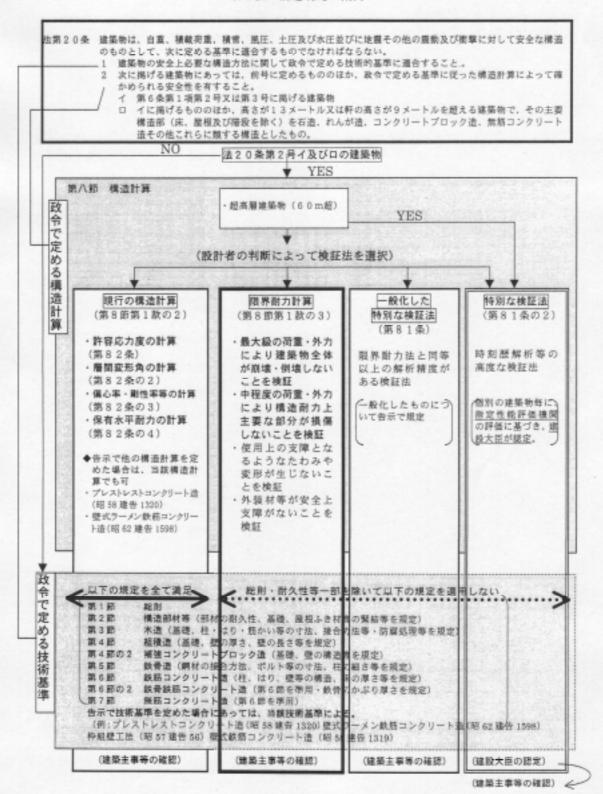


図4.2.2(3) 改正後の構造規定の概要

#### 4.2.3 会計監査について

#### 4.2.3(1) はじめに

各国とも、行政改革、規制緩和、公共部門の改革などを行って自国で進行する政治不信の解消に努めているが、高齢化社会に対応する福祉という名目で国民の租税負担を増大させている。一方、公金(public money)である予算がどのような価値を発揮したかという「Value for Money(VFM)」に対しての関心が高まっている。そのため、行政府活動を予算の側面から事後的に検査する機関である各国の最高会計検査機関に対して、政策の有効性を検査する役割がますます求められている。

わが国の会計検査院に対しても,正確性・合規性といったこれまでの伝統的な基準だけでなく,経済性(economy),効率性(efficiency),有効性(effectiveness)のいわゆる3つのE,あるいは,政府プログラムの結果の評価,支出に見合った価値の実現などの規準を含めた拡大された検査(expanded scope audit)基準による会計検査を実施する必要性が各方面から求められている.

## 4.2.3(2) 日本の会計検査院 1)

日本国憲法第 90 条は、「国の収入支出の決算は、すべて毎年会計検査院がこれを検査し、内閣は、次の年度に、その検査報告とともに、これを国会に提出しなければならない、会計検査院の組織および権限は、法律でこれを定める。」と規定しており、これを受けて昭和 22 年に制定された会計検査院法は「会計検査院は、内閣に対し独立の地位を有する。」と定め、会計検査院が内閣に対して独立の地位を有する憲法上の機関であることを規定している。

会計検査院は明治 13 年太政官達第 18 号によって設置され,その後,明治 22 年発布の帝国憲法のもとで憲法に定められた機関となり,以後 60 年の間,天皇に直属する独立の官庁として財政監督を行った.昭和 22 年,日本国憲法の制定に伴い,現行の会計検査院法(昭和 22 法 73)が公布施工され,その地位,組織,権限の各面で,大幅な改革と強化が行われている.

会計検査院は検査官会議と事務総局とから成っている.検査官会議は3人の検査官で構成されており,検査官は衆・参両議院の同意を経て内閣が任命し,天皇がこれを認証する.また,検査官会議の議長は院長で,院長は検査官の互選に基づいて内閣が任命することとされている.検査官会議は会計検査院の意志決定機関であって,事務総局を指揮監督し,検査を受けるものの決定,検査報告の議決,職員の任免など,重要事項について意志決定を行うこととされている.

#### 4.2.3(3) 会計検査の観点 2)

平成元年度決算検査報告をみると,その第1章第1節は「検査の概況」となっていて,会計検査院の一年間の検査の実績の概要が記述されているが,その中に「検査の観点」という見出しがあり,次のように書かれている.

「検査の観点には、次のような多角的な側面がある、

決算の表示が予算執行の状況を正確に表現しているかという正確性の側面 会計経理が予算や法律,政令などに従って適正に処理されているかという合規性の側面 事業が経済的,効率的に実施されているか,つまり,より少ない費用で実施できないか,同 じ費用でより大きな成果が得られないかという経済性・効率性の側面 事業が所期の目的を達成し効果を上げているかという有効性の側面」

この「検査の観点」の記述は、会計検査院が検査上の視点をどこに置いているかを明らかにするために昭和57年度決算検査報告から設けられたものである。ここでは、会計検査が正確性、合規性、経済性・効率性、有効性という4つの観点から行われていることが示されている。このうち、経済性(Economy)、効率性(Efficiency)、有効性(Effectiveness)の観点からの検査が、その頭文字をとって「3E検査」といわれていることは既に知られている(図4.2.3(1)参照)。

# 検査の観点

#### 検査は、広い視野に立って多角的な観点から行われています。

近年、行政改革などによる効率的な行財政の執行が強く求められています。そうした 状況の中で、正確性、合規性はもとよりですが、経済性・効率性及び有効性の観点から の検査の重要性が高まっています。

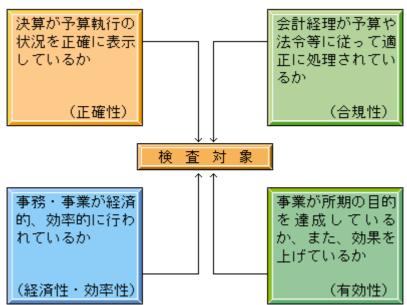


図 4.2.3(1) 会計検査の観点

上述のように、検査報告に(検査の観点)の記述がなされるようになったのは昭和 57 年度決算検査報告からであり、 正確性、 合規性、 経済性・効率性、 有効性という4つの観点が検査報告に書かれたのもそのときが初めてである.しかし、これは、こうした検査の観点がその時点から採用されたことを示すものではない.また、検査の観点は、当初からこの4つの観点がとられていたわけではなく、時代とともに、正確性、合規性から経済性・効率性へ、さらには有効性へ、すなわち「合規性から3 Eへ」と展開してきたものであるといわれている.

昭和 30 年代半ばまでの会計検査は、個々の収入支出、たとえばある工事について、出来高が契約書、設計書、仕様書に定められたとおりであるかどうか検討するというような合規性 (Regularity)の観点からの検査が中心であり、これに経済性の検討を加えて、不当事項として検査報告に掲記して報告するというものであった、昭和 30 年代の後半からは、不当事項の数がか

なり減少したこともあって,検査も個々の収入支出を超えた制度そのものについての検討にまで及ぶようになり,会計検査院法第 34 条の規定に基づく会計経理の是正改善の処置要求および同法第 36 条の規定に基づく法令,制度又は行政に対する改善の処置要求が数多くなされるようになった.また,昭和 50 年度決算検査報告からは「特に掲記を要すると認めた事項」いわゆる「特記事項」が掲記されるようになった.これに伴い,検査の観点も,従来の合規性,個々の収入支出に係る経済性から,プロジェクトレベルにおける経済性,効率性へ,さらには有効性の追求にまで至ることになったといわれている.

検査報告の記述上は明らかではないが、経済性・効率性が「個々の事業が経済的、効率的に実施されているか」といわれるように個々の事業のレベルのものとしてとらえられているのに対して、有効性は「事業全体が所期の目的を達成し効果を上げているか」と、事業全体のレベルでとらえられているのも、その背景には、経済性・効率性から有効性へと検査の観点が拡大し、それに対応して検査の対象も個々の会計経理のレベルからプロジェクトレベルへ、更にプログラムレベルへと拡大してきたとの考え方があると思われる。その結果、検査報告掲記事項の検査の観点別の分類をみると、合規性が多数を占めるのは当然であるが、有効性の観点に分類されているものはごく少数で、しかもプロジェクトレベル以上の事例のみが分類されているのが特徴である。

このように,現行の会計検査は決算が予算執行の状況を正確に表示しているか(正確性), 会 計経理が予算や法令などに従って適正に処理されているか(合規性), 事業が経済的,効率的に 実施されているか(経済性,効率性),事業が所期の目的を達成し効果を上げているか(有効性), といった観点から行われている.会計検査院はこうした会計検査を限られた検査要員で,最も効 率的かつ効果的な検査を実施し,よりよい検査結果を得るためには計画的検査が必要であるとし て,1981 年に「検査計画に関する基本方針」を策定し,更に 1986 年以降,「検査計画の策定に関 するガイドライン」を定め,当該年次の検査計画はこれに基づいて策定することとしている.1981 年の検査計画においては、(a)費用対効果、合理性等に関する検査、(b)事業運営に関する検査、(c) 財政投融資に関する検査 , および(d)会計経理の基本に関する検査を基本方針としており , このよ うな姿勢はその後も継承されている.近年では,特に規模の大きいプロジェクトに関しては長期 的視点に立っての評価を試みる試みたり、補助事業に関する制度を取上げ、その合理性、適合性、 必要性等の検討を中心的な課題として検査を進めるなど,会計検査のあり方も国の財政事情や経 済運営の実状を反映するような姿勢がうかがわれる.このような会計検査における積極的な姿勢 はそれなりに評価されるが、具体的な検査業務は現行の制度の枠内で実施せざるを得ないのが実 情である.例えば,公共事業に関係のある行政事務や事業内容について具体的な検査の対象とな るものを列挙すると次の通りである.

補助金や貸付金は、その目的や条件に従っているか、

工事,物品購入,請負作業などの契約額は適正か,予定価格の積算は適切か.

工事の計画や設計,物品の購入計画や仕様,作業の実施計画などを適切に行い,事業を経済的 に実施しているか.

工事が設計どおりに施工されているか,物品が仕様どおりに納入されているか.

造成した用地,建設した施設,設置した設備が,事業目的どおり使用され,効果を上げているか.

長年継続している事業で,当初の目的を既に達成済みのものや,社会情勢の変化により,意義 の薄れたものはないか.

これは要するに,検査の主要な対象は個別案件の契約,設計,仕様,施工などにおかれており, プロジェクト全体の合目的性,合理性あるいは経済効果をその主要な検査対象として取り上げる には到っていないようである.

#### 4.2.3(4) VFM への移行

近年,VFM(Value for Money)という言葉がよく用いられるようになってきた.VFMとは,国民の税金に対して最も価値の高いサービスを提供するという考え方で,PFIの基本原則の一つであるとされる.PFIにおけるVFMの達成とは,サービス水準が同じならば従来に比べて公共の負担するコストが低減する,もしくは従来と同等のコストでサービス水準が向上することを意味する <sup>3)</sup>.すなわち,PFIの事業期間全体における投下費用(Money)と期待できる効果(Value)との最適な組み合わせを意味する.これは,同一目的の2つの事業を比較したとき,

同一の経費の下で、より質の高いサービスを提供する

同一水準のサービスである場合は、より低い経費で提供する

方が,高い VFM を達成したことになる<sup>4)</sup>. 図 4.2.3(2)に VFM のイメージ図 <sup>5)</sup>を示す.

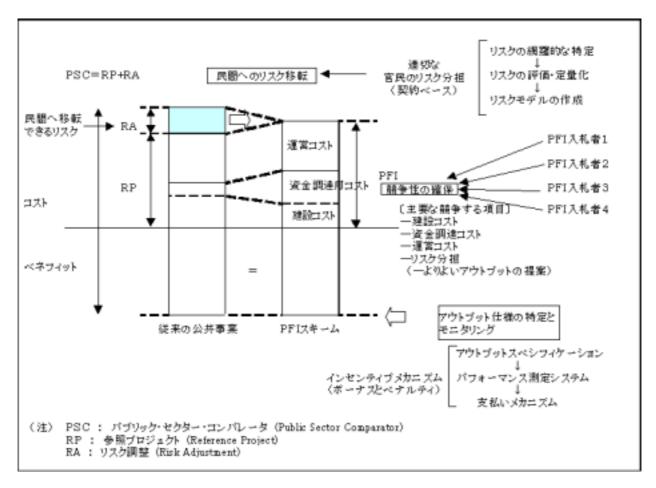


図 4.2.3(2) VFM のイメージ図 5)

公共側のコストは,全事業期間の財政支出額を適正な割引率で現在価値に換算したものを用いる.社会資本整備のプロジェクトで PFI 方式の採用を検討する際は, VFM の検証が求められる. 検証の結果 VFM が達成されない場合は, PFI 事業として実施すべきではないとされる.

VFM の最大化を図るためには,公共サービス調達の各局面において,民間事業者がもつ技術,経営ノウハウ,リスク管理能力を最大限に発揮することが重要であり,それにより事業の効率性と質の向上を図ることが可能となる.そのためには,VFM の基本原理ともいえる表 4.2.3(1)の仕組みを踏まえて,PFI 事業の実施に当たる必要がある<sup>4)</sup>.

リスク最適配分	公共サービス調達に伴うリスクとその分担主体を明確化すること
アウトプット仕様の	公共は計画責任を負うことから調達しようとする公共サービスのア
特定	ウトプットを特定し、民間が負った経営責任を果しているかどうか
	を、その特定したアウトプット指標をモニタリングすることにより
	確認すること
成果主義(業績連動	モニタリング結果から業績に見合った支払いと動機付けを行うこと
支払)	
市場競争原理(競争	VFMを担保するための「競争性の確保」を図ること
入札)	

表 4.2.3(1) VFM の基本原理 <sup>4)</sup>

なお.内閣府に置かれた PFI 推進委員会では,2001 年 7 月に,「VFM に関するガイドライン」  $^{60}$ を公開した.その中で,VFM 評価の基本定な考え方を次のように述べている.このように,現在は VFM を PFI における評価指標として使用する動きが主流となっている.

「VFM」(Value For Money)とは,一般に,「支払に対して最も価値の高いサービスを供給する」という考え方である.同一の目的を有する 2 つの事業を比較する場合,支払に対して価値の高いサービスを供給する方を他に対し「VFM がある」といい,残りの一方を他に対し「VFM がない」という.

公共施設等の整備等に関する事業を PFI 事業として実施するかどうかについては, PFI 事業として実施することにより, 当該事業が効率的かつ効果的に実施できることを基準としている. PFI 事業として実施することが公共部門が自ら実施する場合に比べて VFM がある場合, 効率的かつ効果的に実施できるという当該基準を満たす. したがって, PFI 事業としての実施を検討するに当たっては, VFM の有無を評価することが基本となる.

VFM を評価する要素としては,上記 のとおり,「支払」と「サービスの価値」の2つがあるが,基本方針においては,「支払」は,事業期間全体を通じた公的財政負担の見込額の現在価値であり,「サービスの価値」は,公共施設等の整備等によって得られる公共サービスの水準である.

本ガイドラインにおいては、公共が自ら実施する場合の事業期間全体を通じた公的財政負担の見込額の現在価値を「PSC」(Public Sector Comparator)といい、PFI 事業として実施する場合の事業期間全体を通じた公的財政負担の見込額の現在価値を「PFI 事業の LCC」(LCC: Life

Cycle Cost)ということとする.

PFI 事業に関する VFM の評価を行うに当たり,公共部門自らが実施する場合と PFI 事業として実施する場合の公共サービス水準をどのように設定するかによって評価の際の比較方法が異なる.同一の公共サービス水準の下で評価する場合,VFM の評価は PSC と PFI 事業の LCC との比較により行う.この場合,PFI 事業の LCC が PSC を下回れば PFI 事業の側に VFM があり,上回れば VFM がないということになる.

一方,公共サービス水準を同一に設定することなく評価する場合,PSC と PFI 事業の LCC が 等しくても PFI 事業において公共サービス水準の向上が期待できるとき PFI 事業の側に VFM がある.また,PFI 事業の LCC が PSC を上回っても,その差を上回る公共サービス水準の向上が PFI 事業において期待できれば,PFI 事業の側に VFM があるといえる.ただし,この場合においては,期待できる公共サービス水準の向上が何らかの方法により PSC や PFI 事業の LCC と同一の尺度で定量化できることが前提条件となる.

特定事業の選定の段階においては、民間事業者の計画がまだ明らかになっていないことから、公共サービス水準を同一に設定した上で PSC と PFI 事業の LCC をそれぞれ算定し、これらを比較することが基本となる.この場合、上記 に従い、VFM の有無を評価する.なお、PSC と PFI 事業の LCC に差が見られない場合には、他の要素も考慮した上で、法の趣旨に照らし当該事業を PFI 事業で実施すべきかどうかを評価するのが適当である.

一方,民間事業者の計画が具体的に明らかとなった段階においては,当該計画の公共サービス水準を評価し,これを VFM の評価に加えることができる.この場合においては,上記 及び に従い,VFM の有無を評価する.

## 4.2.3(5) 英国の VFM 検査 <sup>7),8)</sup>

英国の決算システムは、政策を評価・分析するプログラムを導入した点で注目できる。

英国では,プログラム評価を「VFM (Value For Money)検査」と呼んでおり,「支出に見合った価値」が実現できているかどうかを分析するものである.

National Audit Office (NAO = 会計検査院) は VFM 検査を 1983 年国家会計検査法第 6 条に economy, efficiency and effectiveness (経済性,効率性,有効性)の視点で検査を行うこととして規定した.

それぞれ何を意味するのかが年次報告で紹介されている.

経済性:コストを最小化すること.つまりより少なく支出すること.

効率性:財サービスなどの成果と使われる資源との関係で,最大の成果を出したか,あるいは資源を最小化したか.つまりよりうまく使ったか.

有効性:政策意図と実際の成果の関係で,政策意図を実際の成果はどの程度達成したか.つまりより賢く支出したか.

VFM 検査は,この三つの観点から個別政策を評価・分析しようとするものである.

NAO が発足してから 13 年余りであるが ,VFM 検査についてはプログラム毎に報告書の形で下院に提出されている .当初は 20 件程度であったが ,近年は年間約 50 件の報告書を提出している .

GAO が年間 1000 件を優に超える報告書を出しているのと比較すると,件数的にはかなり少な

い.しかし, VFM 検査を実施することで, NAO は二つの効果があるとしている.一つは,指摘された具体的事項を改善するという個別効果である.もう一つは VFM 検査があることで,行政が VFM(支出に見合った価値)を意識して行政を行うという,より一般的な効果である.

NAO によれば,前者の個別効果によって,1995 年度については算出できた分だけで約2億3 千万ポンド(460億円)の節約になったという.後者の効果については定量化できないが,行政 に対して大きな影響を及ぼしているという.

#### <4.2.3 参考文献>

- 1) 赤塚雄三:プロジェクトの事後評価に関する考察,会計検査院,会計検査研究第3号,1991.3.
- 2) 岡村 肇:会計検査の観点について 社会的公正性・公平性と会計検査 ,会計検査院,会計検査研究第4号,1991.9.
- 3) http://www.kna.co.jp/npm/vfm.shtml
- 4) http://www.pref.yamanashi.jp/kikaku/seisaku/pfi/vfm-s.html
- 5) 大住荘四郎:行政経営の基礎知識 50,
- 6) 総務省: VFM ( Value For Money ) に関するガイドライン, 2001.7.27
- 7) http://www02.so-net.ne.jp/~kanagawa/kensa07.html
- 8) 仲井富:『調査と情報』ISSUE BRIEF NUMBER 295 Mar.17.1997

## 4.2.4 米国の会計監査におけるピアレビュー(Peer Review)について

## 4.2.4(1) ピアレビューとは

ピアレビュー(Peer Review)とは企業の財務諸表を監査する会計事務所が,同業他社の監査内容を定期的にチェックし監査品質に問題がないかどうかをお互いに確認するものである.ピアレビューは米国会計業界の品質維持活動として実施されており,監査の品質を維持・向上させる活動の中で最も重要なものの一つに位置付けられている.米国の会計事務所は,3年に1度ピアレビューを受けることが義務付けられている.

本節では,設計以外の分野における評価の一例として,米国監査業界のピアレビューについて紹介する.

#### 4.2.4(2) 米国の会計監査

米国の会計監査は,監査基準書(GAAS: Generally Accepted Auditing Standards)に準拠して行われる.監査基準書(GAAS)は会計士の職業者団体である米国公認会計士協会(AICPA: American Institute of Certified Public Accountant)が定めた基準書に,監督省庁である SEC(Security Exchange Committee)がお墨付きを与えたものである.監査基準書は,AICPAにおいて常に更新・見直しが図られており,最近ではエンロンの会計不祥事を受けて見直しがなされた.

会計監査は、独立した公認会計士(CPA: Certified Public Accountant)が公開企業(Publicly Held Company)が公表する財務諸表に誤りや虚偽記載がないかを確認するものであり、投資家などの利害関係者が誤った財務諸表によって不利益を蒙らないよう行われる。米国では、企業の財務諸表は財務会計基準審議会(FASB)が設定した規則(GAAP: Generally accepted accounting principle)に準拠する必要がある。会計士は主に以下の評価を行い財務諸表が適正かどうかを検証する。

財務諸表上の金額及び開示を裏付ける証拠を試査によって評価する.

経営者が採用した会計原則や経営者が行った重要な会計見積りを評価する.

財務諸表全体の表示を評価する.

## 4.2.4(3) ピアレビューの仕組み

ピアレビューは 1970 年代の一連の会計不祥事を受けて 1977 年に設立された.しかし,この時点ではあくまで自発的なものであり,実施するかどうかは会計事務所の判断に任されていた.ピアレビューが実効力を持つようになるのは,ほとんど全ての会計事務所に対して実施が義務つけられた 1990 年以降である.

ピアレビューを行う監査会社は,他社の監査業務をサンプル的に抽出し,監査品質に問題がないかどうかを確認する.ここで監査品質に問題がある状態とは以下のような状態を指す.

#### <監査品質に問題がある状態>

監査人が「財務諸表は問題が無い」という意見を出した直後に被監査企業が破綻する.

監査人が被監査会社の財務状態に関する危険信号を十分に検討せず,またそれについて監督省 庁に適切な報告を行わない. 自己の業務についての文書記録を適切に取っていない、

ピアレビューは,以下の観点で同業他社の監査内容を確認する.

#### <ピアレビューでの確認内容>

会計事務所の会計及び監査実務に対する品質管理システムが包括的かつ相互に適合するよう設計されているかどうかを確認する

会計事務所は SEC 監査業務部会の会員資格要件を満たすよう職業基準を設けなければならない. ピアレビューでは,職業基準が遵守されていることを合理的に保証するため,会計事務所の品質 管理上の方針・手続きの文書化,専門スタッフへの通知と遵守状況について確認する

ピアレビューは,以下の3種類の実施チームによって行われる.

<ピアレビューの実施チーム>

自己のピアレビューにおいてすでに無限定適正(監査品質上問題なし)の判断を受けた公認会 計士事務所

米国公認会計士協会(AICPA)が指名したチーム

その他,権限を与えられた公認会計士事務所

実施チームは,公表されている基準及びガイドラインに準拠してピアレビューを行い報告書を作成する.ピアレビュー報告書では,レビューの範囲,品質管理システムの特徴の記述,問題の所在に関する意見が示される.

実施チームは、問題があると判断した場合、被レビュー会社に対して問題を指摘したコメントレターを提出する。被レビュー会社は、コメントレターで指摘された改善事項に対して、すでに講じられた対策、今後講じられることが予定されている措置、レビューチームの結論に同意しない理由等について文書で回答する。また、被レビュー会社は、SEC 監査業務部会のピアレビュー委員会に対し、ピアレビュー報告書、コメントレター、回答書を提出し、SEC 監査業務部会・ピアレビュー委員会では、是正措置について検討する。しかし、これまで、ピアレビューによって是正措置が勧告されたのは、ごく少数に留まっている。

## 4.2.4(4) まとめ

ピアレビューは, 個々の案件に対する活動ではなく,監査を行う監査会社あるいは公認会計士に対して実施される確認行為であること, 監督省庁ではなく同業他社が実施主体であること(つまり業界の自主的な品質管理活動であること)の特徴がある.ピアレビューは,監査内容の妥当性・品質を業界の自主規制メカニズムによって保とうとする仕組みであり,現状では非常にうまく機能しているとされる.このような仕組みは,構造物設計の世界では実施されていないが,性能設計体系において設計の自由度が増す中で,品質を確保する活動の一形態として今後参考にすべき点があると考えられる.

#### 4.2.5 医療におけるInformed Consentについて

Informed Consent (以下 IC)とは医療行為を行う際に必要な「十分な説明と患者(被験者)の同意」であり、医師と患者の関係のありかたを意味する.最近、医療行為において患者の同意を得ることは医師の義務とされ、日常の診療に定着しつつある.しかし、IC は単なる同意だけではなく、様々な患者の権利(医師の義務)を認める概念が含まれている.医療において患者は「専門的な知識が無いため、治療法の選択を医師にゆだねる」従属的な存在ではなく、「十分な説明を聞き、ライフスタイルに合った選択を自らが行う」主体的な存在である.患者の権利とは主体的な人間としての権利であり、医師はその主体性を尊重しなければならない.ここには従来とは異なった、新しい医師と患者の関係がある.歴史的経過、文明の進歩と疾病構造の変化、社会の変化の3点からICを含め今後の医師と患者のありかたについて考えてみたい.

## 4.2.5(1) 臨床試験における IC

IC の歴史には,臨床試験における IC と,日常診療における IC の2 つの流れがある.臨床試験における被験者の権利に関しては,第2次世界大戦終結後1945年から1946年に行われたニュルンベルク裁判で,ニュルンベルク綱領が制定された.ナチスの行った反人道的な人体実験を二度と繰り返さないため,「被験者に対する十分な説明と自由意志による参加」,「社会的公益性」,「実験の中断に関する被験者の自由」等の理念がかかげられた.

### ニュルンベルク 綱領

- 1) 被験者の自発的な同意が絶対に欠かせない.これは被験者が,同意を与える法的能力をもっていること,強制がない状況で,自由な意志で選択できること,実験内容を十分に理解していることを含む.
- 2) 他の方法では得られない,社会のためになる成果が上がらなければならない..
- 3) 動物実験と自然の経過に関する知識に基づいていなければならない.
- 4) 不必要な身体的・心理的苦痛を避けなければならない.
- 5) (実験者本人が被験者になる場合を除き)死や障害をひきおこすと行う前からわかる 実験はしてはいけない.
- 6) リスクが利益を上回ってはいけない.
- 7) 適切な準備と設備がなければならない.
- 8) 科学的に資格がある実験者が行わなければならない.
- 9) 被験者はいつでも自由に実験を中断できなければならない.
- 10) 被験者に傷害・死が生じると予測できる場合,実験者はいつでも実験を中断する用意がなければならない。

(土屋孝志インターネット講座「人体実験の倫理学」第 3 回ナチス・ドイツの人体実験とニュルンベルク・コード より引用)

IC の概念からこの綱領を見ると、「自発的な同意」、「実験内容を十分に理解していること」、「被験者はいつでも自由に実験を中断できる」等の重要な文言が含まれている。このニュルンベルク 綱領を土台として、1964 年、世界医師会は「ヘルシンキ宣言」副題(ヒトを対象とする生物医学的研究に携わる医師への勧告)を採択した、臨床試験を、治療を目的とする(被験者の利

益につながる可能性がある)試験と治療を目的としない(被験者の利益につながる可能性がない)試験に分け,治療を目的としない試験では文書による被験者の同意を求めた.そしてこの宣言は,第52回世界医師会(WMA)総会(2000年 英国,エジンバラ)において医学の進歩や社会状況の変化に対応するため,主として以下のような修正を受け,副題は(ヒトを対象とする医学研究の倫理的原則)と改められた.

- 1) 研究の進歩にともない臨床的研究と非臨床的研究の区別が困難となったため,区別を削除した.
- 2) ヒトを対象とする臨床研究に,個人を特定できるヒト由来の材料及び個人を特定できるデータの研究を含めた(組織やゲノムに関する研究も宣言の対象とした).
- 3) 医師の責務として,被験者の健康,生命に加え「プライバシー及び尊厳を守ること」 が追加された.
- 4) 被験者に提供すべき情報として,資金の出所,あり得る利害対立,研究者の制度上の提携関係を加えた.
- 5) 試験計画の文書化と一般公開を求めた.
- 6) 利害関係者から独立した倫理審査委員会による試験計画の審査と承認,モニター.
- 7) 試験結果の公表(資金提供,利害関係者,提携機関等を含む).

このような国際的な流れの中,わが国では治験に関し新 GCP (Good Clinical Practice)法「医薬品の臨床試験の実施の基準に関する省令」を制定し,IC の文書化,治験審査委員会の機能拡大,被験者の保護などを強化した.

IC のもう一つの流れは日常の診療における IC である.アメリカで 1960 年代に始まった一般市民の権利運動の中で,医療における患者の権利を主張する運動が始まり,1973 年には全米病院協会による「患者の権利章典」が制定された.そこには次のような患者の権利が記載されている.

- 1) 良質の医療を受ける権利
- 2) 自己の受ける医療に関して知る権利(主治医が誰であるか,診断,治療,予後,診療体制,関連医療施設など)
- 3) 治療を拒否する権利
- 4) 自己のプライバシーについてあらゆる配慮を求める権利
- 5) 臨床試験への参加を拒否する権利
- 6) 医療費の請求書に関し説明を受ける権利

さらに 1983 年「アメリカ大統領委員会・生命倫理総括レポート・医療における意思決定」において、IC について医療、生命倫理、法学の専門家によりそれまでの広範な概念がまとめられた。そこでは、IC とは「患者は自らの価値観に基づいて、受ける医療の内容を決める権利を有するという考え方」と定義され、そのために必要な情報の提供を受ける権利が保障された。また、意思決定能力を欠いた患者の利益保護のため、第三者による決定や倫理委員会等の設置が求められた。一方、世界医師会は患者の権利に関し、1981 年「リスボン宣言」を採択した(1995 インドネシア・バリにて修正)。この宣言の主な特徴として、1)医師、医療機関の選択の自由、他の医師の意見を求める権利、2)検査及び治療に関する自己決定権、3)自分に関する情報を知る権利(診療録の開示を含む)、知らされない権利、4)死後も含めた個人的情報の保護、5)人道的なターミナルケ

アーを受ける権利,6)宗教的支援を受ける権利,などがあげられる.患者の価値観や人間としての尊厳を重視することを考えれば宗教的支援を受ける権利は当然であるが,明記されたことの意味は大きい.また,このリスボン宣言で「知らされない権利」が記載された.「知る権利」,「決定する権利」は文字通り権利であり義務ではない.知りたくない患者,治療方針の決定を医師に委ねる患者を否定すべきではない.

## 4.2.5(2) 文明の進歩と疾病構造の変化

医師と患者の関係は変化し、治療方針の決定権は医師から患者に移行しつつある.この変化の理由の一つとして、村上陽一郎氏(国際基督教大学院教授)は日本医学会 100 周年記念講演のなかで、社会における疾病構造の変化をあげた.あるイギリスの疫学者は、社会における文明の発展程度と疾病構造の関係について、次のような仮説を立てた.文明の第 1 段階にある社会では主たる死因は消化器感染症で、文明の発展に伴い、第 2 段階は呼吸器疾患、第 3 段階は生活習慣病、第 4 段階は社会的不適合(精神障害)と変化する、というものである.実際 WHO の 2001 年報告によると、地域別の全障害に占める精神障害の割合は、アメリカとヨーロッパが 43%で、アフリカの 18%に比べかなり高い値を示した.日本では、明治時代はコレラや赤痢などの消化器感染症が蔓延し、その後は結核や肺炎の呼吸器感染症、そして昭和 26 年以降は悪性新生物や心・脳血管障害の生活習慣病が死亡原因の上位を占めている.また、日本での自殺者も平成 13 年度は30251 人と死因の 7 位を占め、増加の傾向がみられる.このような疾病構造の変化は、医師と患者の関係にどのような変化をもたらしたか.

感染症においては、治療の目的は病原体の除去と明確であり、抗生物質の開発によりその治療 成績は飛躍的に向上した.薬剤による治療効果は大きく他の治療法は少ないため、患者が自己決定権を行使し治療法を選択する余地はほとんどない.少し乱暴に言うと、患者の疾患に対する理解がなくとも治療は影響を受けない.しかし、生活習慣病はどうであろうか.高血圧、糖尿病などは治る疾患ではなく死ぬまで治療の対象となる.治療の目標は治癒ではなく、合併症を予防しQOLを高めること、生存期間を延ばすことにある.悪性新生物に関しても、一つのがんを克服して長生きをしていると他の癌が発生する率が高く、全身の定期的な観察が必要である.このように、生活習慣病の治療には体重のコントロール、食生活の改善、服薬の継続など患者の日常生活が密接にかかわってくる.治療には患者の協力が不可欠であり、医師は病気の説明を十分におこない患者の理解を得る必要がある.感染症と異なり、生活習慣病の治療は患者の理解がなくては成り立たず、治療を行う主体は医師というよりむしろ患者自身である.このように治療対象となる疾病構造の変化が、医師と患者の関係に影響を与えたことは間違いない.

#### 4.2.5(3) 社会の変化

最近,科学領域で最近注目されている PUS(Public Understanding of Science)「市民の科学理解」という言葉がある.一般市民が科学的専門知識を理解し,科学技術政策の意思決定に参加するという行為を意味する.英国学士院や全米科学財団では一般市民を対象に科学教育や啓蒙活動をおこない,科学技術研究への予算の重点的配分について理解を求めた.また住民運動では,専門家と協力して専門的知識を得ることにより政策決定に参画しようとしている.日本では電力政

策と原子力発電に関し様々な公聴会,集会などが開催されているが,これも PUS を深める活動の一環である.このような活動の背景には,高度情報化社会により一般市民も必要に応じて専門的な情報を得ることができるようになったこと,知識や情報量において専門家との差が少なくなってきたこと,また民主主義の定着により,高度に専門的な科学技術的政策といえども一般市民の理解がなくては実施できなくなったことなどがあげられる.

一方,医学や医療における PUS は専門性が高く特殊な領域であるため Public Understanding of Medical Science(PUMS)という言葉が使われる.しかし,基本的には PUS と変わりはない.最近の各学会は学術集会の際に一般市民を対象とした講演や集会を開催することが多くなった.また,医学情報や研究結果をインターネット上に公開するなど,情報の公開に積極的である.社会において医学的新技術(臓器移植,生殖医療,遺伝子治療など)をどのように用いていくか,一般市民も参加した議論が活発に行われるようになった.このような社会背景を考えると,患者自身による治療方法の選択と,そのために必要な情報の提供を医療者側が行うことは当然のことである.

## 4.2.5(4) おわりに

文明の発達が、医師から神や牧師としての役割を消し去り、新たな医師と患者のあり方を生み出した.今、科学技術の進歩により多くの市民が様々な分野の専門家として生活をしている.このような現代社会においては、人々は知的にも成熟し、専門外の分野に対しても理解、判断が可能となっている.このような人々が患者として医師に求めるものは何か?自分の病気はどのような根拠によりどう診断されたか、どのような治療法がありどの程度の効果を期待できるか、治療がうまくいかない場合はどのような経過をたどるのか、などの疑問に対する答えである.そして、良質の治療技術である.その場限りの安心や安らぎを与えるような対応は必要としない.患者は自己のおかれた状況を知り、自らを決定する主体的存在である.

#### Informed Consent に関わる略史

1947年 Nuremberg Code

1964 年 第 18 回 WMA 総会「ヘルシンキ宣言」

(ヒトを対象とする生物医学的研究に携わる医師への勧告)

1973年 アメリカ病院協会「患者の権利章典に関する宣言」

1981 年 第 52 回 WMA 総会「患者の権利に関するリスボン宣言」

1983年 米国大統領委員会報告書「医療における意思決定」

1997年 日本,新GCP施行(厚生省令第28号).1998年より全面施行

2000 年 第 52 回 WMA 総会ヘルシンキ宣言エジンバラ修正(英国)

(ヒトを対象とする医学研究の倫理的原則)

#### 4.2.6 医療技術の評価について

今年4月から健康保険の自己負担率は加入者本人も3割となり健康保険の財政に対する国民の関心が高まっている。一方,情報公開の流れの中で医療事故に関するニュースも頻繁に報道されており,厳しい環境の中で医療機関は患者のニーズに答えられる良質な医療の提供と,経済効率を加味した病院の運営を要求されている。このような状況において医療の質に対する客観的な評価が必要になり,1995年に旧厚生省及び日本医師会等により財団法人「日本医療機能評価機構」が設立された。その目的は「医療機関の第三者評価を行い医療機関が質の高い医療サービスを提供していくための支援を行うこと」である。本機構の審査結果において,評価が概ね標準的な水準以上であれば認定病院として評価される。2003年4月現在909病院が認定を受けた。将来的にはこの評価によって医療機関に支払われる医療費に格差を設ける構想もある。その評価項目を以下に示す。

- 1.病院組織の運営と地域における役割
- 2.患者の権利と安全の確保
- 3.療養環境と患者サービス
- 4.診療の質の確保
- 5. 看護の適切な提供
- 6.病院運営管理の合理性

上記 6 項目はさらに細分類されているが,病院の管理運営に対する評価が主であり,医療の技術評価に関する項目は乏しい.現状では医療機関の技術評価は困難であるようだ.しかし,医療とは「疾病の治療及び苦痛の軽減を目的とした,医学的知識と技術に基づいた行為」であり,その質は1)医学の進歩に基づいた知識と技術,2)精神的及び物理的に快適な療養環境,3)病状の十分な説明と自己決定権の尊重,の3点において評価されるべきである.このように医療において重要な要素のひとつ「医学的知識と技術」がどのような方法で評価されているか,医療機関の評価とは別に考えてみる.

#### 4.2.6(1) 「腰痛治療のガイドライン」の記事から

今年5月10日,医事新報(一般医家向け雑誌)の質疑応答に「腰痛治療のガイドラインとその取扱い」が掲載されていた.質問は,「1994年に米国で作成された腰痛治療に対するガイドラインの現状・評価について」で,その答に興味を持ったのでその要旨を記す.

1994 年に米国で発刊された「成人の急性腰痛に対する診療ガイドライン」は腰痛に対する EBM(Evidence-Based Medicine)に基づいた世界最初のガイドラインであり,その内容に関し て大きな反響と議論を巻き起こした.議論になったポイントのいくつかを紹介する. 運動療 法の概念を支持した.従来は「安静」を支持していたことを考えると 180 度の転換である. 「いかさま療法」とみなさていた脊椎マニピュレーションを勧めている.整形外科の立場から

見ると驚天動地の事件である. EBM の視点からみると従来のほとんどの治療法は有効性が 立証されていないことを指摘しており,この点については整形外科医を中心に大きな戸惑いと 激しい反発を巻き起こした.一方,このガイドラインの構成自体にも多くの批判も寄せられた. 代表的なものは「治療の勧告は,臨床医で合意を得ている治療基準(吉田注釈:歴史的な経過の中で臨床医の間では合意が得られているものの,その有効性を示す客観的な根拠がない治療法)と,信頼できるとは限らない文献に基づいて構成されていることが少なくない」という批判である.裏を返せばその程度の内容でしか勧告できなかったほど,信頼性をもった証拠により有効性が立証されている治療法は少ないということである.また,診療ガイドラインの勧告が「有効」と「無効」で割り切って捕らえられ誤解を招いた点もある.正しくは「現時点では有効性が立証されていない」と解釈されるべきである.「最近このガイドラインに対する批判が高まっている」とのご質問であるが,内容自体への批判ではなく,「ガイドラインの取扱い」と「医療の進歩に伴った改定の遅れ」に対してであると筆者は認識している.

以上のような要旨であった.ごく一般的にみられる疾患である「腰痛症」に対し,信頼性をもった証拠により有効性が立証されている治療法が少ないというのは驚きである.しかし,考えてみるとわが国では腰痛症に対して鍼,灸,マッサージ等,多くの民間療法が行われている.その理由は医学的に有効な治療法が確立されていないからであろう.医療の現場では有効性の確立した治療と確立していない治療(効くか効かないかわからない治療)が混在しているのが現状である.では,医学的に有効な治療法とはどのような評価を経て確立し,一般化していくのだろうか.

## 4.2.6(2) 治療法の有効性は?

最近使われている解熱剤はよく効き、その解熱効果に疑問はない.しかし、高熱の患者に対する解熱剤の投与は患者にとって有益か、との疑問に対する答えは簡単ではない.解熱派は「高熱は非生理的状態なので平熱に戻すべき」と主張するが、一方では「発熱は生体の防御反応であり、むやみに下げるのは良くない」との考えもある.いずれの考えもうなずけるがそれは考え方であり、真実であるとはかぎらない.この疑問の解決には統計学的手法を用いた疫学的調査が必要となる.発熱患者を解熱剤使用群と不使用群の2群に分け、治癒までの期間、患者の快適度、副作用、死亡率等に関し比較する方法である.解熱剤投与の有効性は?・・・現時点では根拠となるデータに乏しいため、結論を出せない.

## 4.2.6(3) 臨床試験

上記の如く医学上の様々な問題点について結論を出すために患者を対象とした実験が行われており、これを臨床試験という、現在、多くはランダム化比較試験(randomized controlled trial:RCT)という手法がとられており 対象者の群別(random に群別されるため、対象者は群を選択できない)、各群に異なった介入(治療、予防等)、結果の観察(治癒までの期間、苦痛度、生存率、罹患率等)、統計学的解析、の4段階からなる、乳がんに関する事例を挙げる、以前はがんの発生した乳房を全部切除する乳房切除術が標準であったが、約15年前にイタリアのミラノがん研究所から術式に関する論文が発表された、乳がん患者を2群に分けた、1群は乳房切除術、他の群は乳房温存手術(がんを含めた乳房の部分切除で、やや変形はするが、乳房は残る)を行った、両群の術後生存率を比較した結果、差はないという結果

であった.その頃,他の医療機関でも同様の臨床試験が行われており,まもなくその結果も公表された.それら複数のデータの Meta-analysis(幾つかの研究を総合して量的な解析を行う手法)によって,乳がんにおける乳房温存手術と乳房切除術は生存率において差がないと結論された.現在日本においても乳房温存手術は標準化している.新たな術式をこのような短期間に全世界に広げたのは,evidence level の高いデータであった.あと1例.アメリカで 1989年に Physicians'Health Study がおこなわれた.22,000人の健康な男性医師を random に2群に割り振った.1 群はアスピリンを投与し,もう一群はプラセボ(偽薬:薬理効果がない)を投与した.5年間経過観察しその間における心筋梗塞の発生を観察した.アスピリン群で有意に発症が低率であった.「アスピリンは心筋梗塞の発生を予防する」との結論を得た.現在も世界中で多施設の共同による多くの RCT が進行中である(差の検出力を高めるためには sample 数を増やす必要があるため).

## 4.2.6(4) 被験者(患者)の権利

日本においては、患者をランダムに群別化することに抵抗感があり RCT はあまり普及しなかったが、最近その医学的意義が認識され、多くの臨床試験が進行中である。しかし、この試験は患者を対象とするため、被験者の保護が重要な課題となる。臨床試験に関し患者の人権を守るため、1964年世界医師会によるヘルシンキ宣言「ヒトを対象とする医学研究の倫理的原則」が採択された。

「医学の進歩は,最終的にはヒトを対象とする試験に一部依存せざるを得ない研究に基づくものであるが,被験者の福利に対する配慮は科学的及び社会的利益よりも優先されなければならない」としており,被験者の権利を重視した32項目から成る.その要点を以下に記す.

- 1. 臨床試験の医学的, 倫理的な妥当性.
- 2. 試験内容の公表と,第三者機関による妥当性の審査.
- 3. 被験者に対する説明(目的,方法,期待される利益,起こり得る危険等)
- 4. 被験者の自由意志による参加と,参加を撤回する権利の保障.

#### 4.2.6(5) EBM(Evidence-Based Medicine)

直訳すると「根拠(証拠)に基づいた医療」である.RCT は信頼できる結論に至る可能性が高いため世界中で行われるようになった.このような状況を背景に,1991年,カナダのマクマスター大学 Guyatt 教授により EBM(Evidence-Based Medicine)が提唱された.集団に対する疫学的調査結果等の科学的なデータを基に,個々の症例への対応を決める医療の様式」と定義され,以下の4つのステップからなる.

- 1) 臨床上の疑問点の整理:例えば胃がんの場合,治療法をどうするか.手術,抗がん剤,何もしない,その他の方法は.それぞれの方法による生存率,合併症,苦痛はどうか.
- 2) 文献の検索:現在,多くのデータが電子化されており, CD-ROM やインターネット等で容易に入手できるようになった.それぞれの疑問に対する文献を検索する.
- 3) 文献の批判的吟味:文献に対する信頼度の評価を行う.偶然性やバイアス・交絡因子で説

明しうる余地が小さいものほど,信頼度のランクは高くなる(エビデンスが強いという).バイアス・交絡因子をもっとも小さくできるデザインは RCT なので,RCT で得られた結論を最も高く評価する.文献はその信頼度によりランク付けされるが,一般的に用いられている米国医療政策研究局(Agency for Health Care Policy and Research: AHCPR)のevidence 分類を示す. a が最も信頼度が高く, が最も低い.

a: 複数のランダム化比較試験のメタアナリシス

(Evidence obtained from meta-analysis of randomized controlled trials)

b:ランダム化比較試験

(Evidence obtained from at least one randomized controlled trials)

a:よくデザインされた非ランダム化試験

(Evidence obtained from at least one well controlled study without randomization)

b:よくデザインされた準実験的研究

(Evidence obtained from at least one other type of well designed quasi-experimental study)

: 比較研究や相関研究,症例対象研究など,よくデザインされた非実験的記述的研究 (症例報告など)

(Evidence obtained from well designed non-experimental descriptive studies ; such as comparative studies, correlation studies and case control studies)

: 専門家委員会の報告や権威者の臨床経験

(Evidence obtained from expert committee reports or opinions and/or clinical experience of respected authorities)

<Bias> :バイアスとは、「標本から得られる結論に誤差を与える因子」、研究対象に都合の良い患者ばかりを選んでしまう「選択バイアス」や、観察者の予断が混入する「観察者バイアス」などがある、選択バイアスを避けるために行われるのが症例を群別する際の無作為割り付け(randomization)であり、観察者バイアスを除くために行われるのが盲検化(blinding)で、二重盲検(被験者、観察者とも被験者の群別を知らされない)、三重盲検(被験者、観察者に加え解析者も知らされない)等がある。

< Meta-analysis > :幾つかの研究を総合して量的な解析を行う手法.総説 review article と似ているが量的な評価(統合したデータに対する統計学的解析)を含むところが異なる.

4)患者に対する適合性の判断:患者の精神的,身体的また社会的状況を踏まえ,文献にて検索した治療法から患者に受け入れられる方法を選択する.この場合,医師と患者間のコミュニケーションが重要となる.各治療法に関する文献の検索・評価は Science の部分であり,患者に適合した治療法の選択は医師の臨床的技量に基づく Art の部分といえる.

## 4.2.6(6) 医療におけるパターナリズムと患者の自己決定権

パターナリズムとはラテン語 Pater (父親)を語源とし「温情主義」、「父権主義」と訳されている。医療においては、「専門知識をもった医師が患者に適した治療法を善意により決めること」を意味する。最近重視されている患者の「自己決定権」に対立する言葉として、否定的な意味に使われることが多い。かつて医療は治療の方針を決める際に主治医の裁量権が広く認められ、医師の経験と権威が重視された。決定の根拠となる科学的なデータが不足していたためであろう。近年、RCT という臨床試験により多くのデータが集積されつつある。そして、そのデータを用いる EBM という医療の手法が定着しつつある。また、情報の公開という社会的な流れの中で、医療情報は医師の独占物ではなく全ての人に公開すべきとの考えが一般化してきた。このような状況下で、治療法を決定する際、患者は医師から各治療法の効果、副作用等のデータを基に説明を受け「ご自分で治療法を選択してください」と言われることが増えている。自己決定権を尊重した治療法の選択である。しかし、患者が適切な選択にいたるには、幾つかの条件が必要となる。医師による正確な情報の提供、患者の正しい理解、冷静な判断等。そして医師には、患者が適正な選択をできるように援助する責任があるが、このような援助もパターナリズムの一種といえる。時代の変化に対応した新しいパターナリズムが要求されている。

#### 4.2.7 新薬開発に関る審査システム

## 4.2.7(1) はじめに

新薬の開発には、常に一定のリスクを伴う、ある患者が新薬を利用した直後に副作用があらわれる場合もあれば、長期間の服用により、数年後に副作用で苦しまれる方々がいる。この副作用があるからこそ、新薬の承認には長い時間が必要となり、安全性と有効性を天秤にかけ、その判断がなされている。この新薬の開発に伴い実施される安全性・有効性の審査システムは、土木構造物の性能設計体系の構築に際し、参考になる点が幾つかある。それは、新薬の開発は、土木構造物に関るものと共通の難しさを抱えているからである。例えば、新薬の使用に伴う副作用には、その治験時に予見できないものもあり、服用の数年後に不幸にも患者が死亡するケースがある。副作用の程度によっては、社会全体に非常に大きな負の影響を与える可能性もある。一方、性能設計体系の構築に伴い、新材料・新構造の技術開発が促進された場合にも、新薬の副作用と同じく、それらを用いて設計・施工された構造物の耐用期間内に出現する可能性のある全ての危険性を予見することは期待できないし、予見できたとしてもその危険性を確率的にゼロにすることは不可能である。構造物がある限界状態を超える事象が生起したときには、地域社会全体に甚大な被害を与える可能性もある。

新薬の開発は,このような背景があるにも関らず,凄まじい勢いで進められている.そこでは,予見できない副作用が出た場合の責任の取り方や賠償システムが整備されており,また,新薬の承認を得るまでに製薬会社が行う必要のある実験,治験の流れが実によく体系化されている点に注目しなければならない.今回は,このような新薬の開発に関る審査システムを調査した.

#### 4.2.7(2) 調査事項その1 (新薬の有効性と安全性の判断)

治験時には新薬の有効性と安全性を確認し、その結果を基に、新薬の承認の是非は判断される.しかし、有効性と安全性はある意味相反の関係にある.例えば、大変有効であるけれども、その反面、副作用が強く、投薬した場合、100人に1人死亡する可能性があるなどである.では、どのような判断基準により新薬は承認されるのであろうか?その判断基準は定量化されているのであろうか? 勿論、これは、その新薬が対象とする病気の重篤度にもよる.花粉症対策の薬による副作用で死亡することは社会的に容認されないだろう.一方、末期の重症の患者であれば、100人に90人死亡しても10人が起死回生を図れるのなら容認されることもあると思われる.有効性がある、安全性がある、との判断を誰が、どのように判定するのかを調査した.

医薬品は、厚生労働省の医薬品医療機器審査センター(以下、審査センター)にて審査されている (ホームページ(http://www.nihs.go.jp/pmdec/youkoso.htm)参照).審査は、審査センターのチーム (医師、薬剤師、生物統計家等10名程度)が行い、重要な問題は、薬事・食品衛生審議会から指名された委員(専門委員)とで協議(専門協議)する。審査のシステムもホームページにて公開されている (http://www.nihs.go.jp/pmdec/fig4.htm).

有効性と安全性のバランスが審査のポイントになるが、その判断は個々の品目によって異なる.その 効能効果の対象となる疾患において、有効な既存薬があるかどうかにより審査の承認は左右される. 有効な既存薬がなければ、多少の副作用が出ても、それなりの効果が期待されれば承認される可能性 が高い.また、有効性の証明が確かなものでなくとも、安全性に問題がなければ、他に薬がないから との理由で承認される場合も見られる.抗がん剤では、他の分野よりも、ある程度重篤な副作用の発 現は容認されているようである.

逆に,いくつかの既存薬が存在する場合,既存薬に比べて,例えば有効性は同程度,安全性で劣るような医薬品は承認されない.最近は,既存薬に比べて,有効性,安全性とも同程度なものも承認が難しくなっているようである.既存薬に比べて,有効性と安全性のどちらか一方は最低限同程度を担保し,もう一方で既存薬よりも優れていることが必要である.

治験中の新薬(治験薬という)の投与期間に患者に起こった好ましくないイベントを「有害事象」と言う.これには,交通事故なども含まれている.審査の際には治験で起こった「有害事象」すべてを報告しなければならない.治験薬と有害事象との因果関係を主治医が評価し,「因果関係を否定できるもの」以外が「副作用」と定義される.したがって,副作用には「因果関係不明」も含まれることになる.副作用による「死亡」が1例でもあると絶対に新薬が承認されないというわけでもない.しかし,その医薬品との因果関係が明確で「死亡」するような場合は,有効性の大きさとの兼ね合いにもよるが,承認される可能性はかなり低くなるようである.

ある特定の背景をもった患者にのみ副作用が出る場合などは,それらの患者には使わないように制約を設けたり,ある検査値が規定値以上になると投薬を中止させたりするなどの使用制限が設けられる.この使用制限は,最近の審査では厳しくなる傾向にあり,どんな分野の医薬品でも,副作用の発現を最小限に抑えるよう「適正使用」のための措置がとられる.

## 4.2.7(3) 調査事項その2(副作用の検討期間)

治験時には比較的短期間の服用による副作用しか検討できないように感じる.しかしながら,10年,20年後になって,副作用が出る場合も十分に考えられる.治験時に,このような長期的に生じるかもしれない副作用に対してどのような検討がなされているのかを調査した.

基礎試験(非臨床試験)の段階で,毒性試験として一般毒性,生殖発生毒性(胎児への影響),遺伝毒性(遺伝子の突然変異等への影響),がん原性(発がんの可能性),依存性(麻薬中毒等のように禁断症状が出ないか),抗原性(薬物アレルギーを起こさないか),局所刺激性(外用剤の皮膚への影響)が調べられる.また,薬物動態試験として,他の薬物との相互作用や,薬物代謝酵素への影響を薬理試験として,薬力学的薬物相互作用,安全性薬理試験(目的臓器以外への薬効発現の有無)が調べられている.

これらの基礎試験のうち,特に重要な幾つかの試験を終了してから,臨床試験が開始される.基礎試験で大きな問題がある開発物質は臨床試験に進めないため,この時点で開発中止となる.臨床試験では副作用情報の収集だけでなく,基礎試験や類薬の副作用発現状況から何らかの副作用発現が危惧される場合は臨床薬理試験を行い,ヒトでのメカニズムを調べる.また,生活習慣病治療薬など長期投与が想定される医薬品には,1年以上の長期投与試験が義務付けられる.

このように,承認申請の段階から,長期的にみた副作用の検討が行われているが,臨床試験は症例数が限られること,また,治験では比較をするために患者背景を揃えることから,あらゆる背景をもった患者に投与できず,市販後も安全対策がとられる.

医薬品の市販後の安全対策はPMS (Post Marketing Surveillance:市販後調査)と言われる.PMSには「副作用・感染症報告制度」「再審査制度」「再評価制度」がある.「副作用・感染症報告制度」では,外国で発生した副作用も含め,承認後に発生した副作用を調査し,厚生労働省に報告す

ることが薬事法で義務付けられている.その副作用の重篤度,既知/未知により,報告方法は15日報告(副作用を知ってから15日以内),30日報告,年次報告に分けられる.厚生労働省は,その報告を,薬事・食品衛生審議会と協議し,添付文書を改訂させたり,医療機関に安全性情報を伝達したり,「緊急安全性情報(ドクターレター)」を出す.

## 4.2.7(4) 調査事項その3(製薬会社の免責)

「調査事項その2」にも関連するが,予見できなかった副作用に対し,製薬会社はその責任を免責される法整備はあるだろうか?また,「予見できた」「予見できなかった」などの判断は誰が行うのであろうか?製薬会社の免責に関し調査した.

厚生労働省管轄の特殊法人「医薬品副作用被害救済・研究振興調査機構」(以下,「医薬品機構」) (http://www.kiko.go.jp参照)に副作用救済制度がある.医薬品を適正に使用したにもかかわらず副作用による一定の健康被害が生じた場合に,医療費等の給付を行い,これにより被害者の救済を図ろうというものである.販売する企業からの拠出金により成り立っている.

前述のとおり,医薬品の副作用は,基礎試験・臨床試験結果,同じ薬理作用の類薬の副作用等からみて可能性のあるものは審査の段階で検討されている.したがって,承認までに考えられないものは「予見できない」副作用とみなされる.補償するかしないかは,予見できたかどうかではなく,因果関係があるかどうかが論点になるようである.厚生労働省は,その健康被害が医薬品の副作用によるものかどうか,医薬品が適正に使用されたかどうかなど,薬事・食品衛生審議会(副作用被害判定部会)に意見を聴いて判定を行う.

救済給付の対象にならない場合は,次のとおりである.

- ・ 法定予防接種を受けたことによるものである場合(任意に予防接種を受けたことによる健康被害は対象となる).
- ・ 医薬品の製造業者や販売業者などに損害賠償の責任が明らかな場合
- ・ 救命のためやむを得ず通常の使用量を超えて医薬品を使用したことによる健康被害で、その発生が予め認識されていた等の場合
- ・ がんその他の特殊疾病に使用される医薬品で厚生労働大臣の指定するもの(対象除外医薬品)等 による場合
- ・ 医薬品の副作用のうち軽度な健康被害や医薬品の不適正な使用によるものである場合

また,医薬品にはPL(製造物責任)法も対象になる.その他の補償に関する法律まで調査することはできなかった.救済制度以外で,副作用被害に対してどのくらいの補償をするのかは,企業と当事者の交渉(裁判を含む)によるようである.

#### 4.2.7(5) まとめ

土木構造物は,許容し得る危険確率(リスク)の範囲内で,建設中および供用中に予想される全ての外的作用に対し,所用の安全性・耐久性および使用性を満足する必要がある.土木構造物の機能の低下は,地域社会生活に大きな支障を与えるため,高い安全性レベルが要求されるのは当然のことであり,新材料,新技術を土木構造物に適用するに際しては,特別の注意が払われるべきである.しかし,例えば,耐震設計を念頭に置くと,兵庫県南部地震を経験し,また,東海,東南海などの今後の巨大

地震に対処するためには,従来の枠組みを越えた新たな超高性能耐震構造の開発も求められる.これら超高性能耐震構造には,高耐力構造,高靭性構造,および高免震構造などに関心が集められており,橋梁など土木構造物の地震時の損傷や破壊リスクを大きく低減することが期待されている.このような魅力ある新材料,新構造形式が開発された後,それを迅速に実用化するための審査システム作りは欠かすことができない.

要求される安全性レベルの問題,また,ひとたび被害が生じることによる社会全体への影響の大きさなど,他の工業製品にはない特殊な事情を抱える土木構造物でのこのような審査システム作りに際し,今回調査した新薬開発に関る審査システムには参考になる点が多い.薬もまた,高い安全性レベルが求められ,副作用などがあらわれた際の被害が社会全体に甚大な影響を与えるなど類似の背景を共有しているからである.新薬の承認を得るために必要な実験,治験の流れ,さらには不幸にも副作用が生じた際の賠償システムなど,新薬開発を積極的なものとする手順,ルールが整備されている.これが,同様な事情を抱えているにも関らず,新薬の開発を凄まじい勢いで進めることを可能とする一役を担っていることは間違いない.

土木構造物の性能評価に関る過程には,このような単純な比較で表わせない理由があることも理解されるが,性能設計体系の本格的な導入に備え,他業界を参考とした,新材料・新技術の開発を積極的に促しうるような審査システム作りの議論を進める必要があると考える.

## 謝辞

ここで提示した調査結果は,前述した厚生労働省の医薬品医療機器審査センターのホームページ,および数社の製薬会社の技術研究所研究員と製薬販売会社の方々への聞き取りにより得た情報をまとめたものです.業務ご多忙の中,調査にご協力頂きました方々に,この紙面をお借りして厚くお礼申し上げます.

#### 4.2.8 自動車分野について

自動車は長い年月をかけて開発・改良されてきた我々が最も身近に感じる商品の一つである.その性能には様々なものがあって,一般的にカタログに書かれている自動車の性能というのは,自動車諸元(車両重量,ホイールベース,トレッド,ロードクリアランス,オーバーハング,ラゲッジスペース,キャビンスペース,室内寸法,室内高,室内長,前面投影面積),あるいは走行性能(最高出力,最大トルク,最大登坂能力,最小回転半径,パワーウエィトレシオ,空気抗力係数,10・15 モード燃費,60 キロ定地燃費,エンジン性能曲線,走行性能曲線(走行性能線図),制動距離,操縦性安定性)といったものである.ユーザーはこのカタログスペックを比較してどれを購入するかを決める.これらの数値を算出するためにメーカーは様々な性能試験を行っている.その試験方法の一覧を表 4.2.8(1)に載せる.

評価項目		評価方法	評価	
加速性能		発進加速試験 etc	停止状態から一定速度に達するまでの所要時間	
動力	登坂性能	急坂路試験 etc	種々勾配路面における発進能力・登坂能力	
性能	最高速度性能	最高速度試験	連続して安定走行可能な最高速度	
	燃費性能	燃費消費試験	使用燃料 1 リットルあたりの走行距離 km	
だ行性能	ยย	だ行性能試験	ころがり抵抗係数・空気抵抗係数・だ行距離・走行抵抗	
制動性能		制動性能試験	制動距離・ブレーキの性能比較	
旋回性能		定常円旋回試験・操蛇力試験 過渡性能試験	操舵力や外乱に対する車両の応答特性	
タイヤ性能		タイヤ性能試験	  耐久性・操縦安定性	
振動・乗り心地・騒音性 能		振動乗り心地試験・騒音試験	振動・車内騒音・道路交通騒音	
衝突安全性能 実車循		実車衝突試験・衝突模擬試験	衝突形態・タイヤ痕跡	

表 4.2.8(1) 評価項目と評価方法

一方,走行性や環境性など指定機関で定められた基準を満足するための評価機関も存在する. 主に安全性,環境性,快適性,機能性についてである.その評価項目と評価方法,評価機関の一 覧を表 4.2.8(2)に載せる.

近年,環境への関心の高まりから,環境情報を積極的に公開する動きがみられる.燃費,排出ガス,騒音などの自動車の環境性能は法律によって基準が定められているが,必ずしもすべての車両の環境性能は同じレベルではない.我が国における燃料消費,CO2 排出および大気汚染に占める自動車の割合は比較的大きく,少しでも環境負荷の少ない自動車を購入したいというユーザーの要望に応えるために,その比較・選択のための情報を提供している.環境情報以外の車両説明は各社が提供しているカタログ等を参照すれば記載されている.各自動車メーカーは,日本自動車工業会がとりまとめた記載要領に従い,燃料消費率(10-15 モード燃費,60 km/h 定地燃費,CO2 排出量),エアコン冷媒使用量(フロンの種類と使用量),排出ガス,鉛使用量,騒音,リサイクルの情報を提供している。9.

表 4.2.8(2) 評価項目と評価方法,評価機関の一覧

	要求項目	評価項目		評価方法	評価機関
	安全性	衝突安全性 ブレーキ性能 予防安全性能		衝突安全性能 (乗員傷害)試験 プレーキ性能試験	自動車事故対策センター
自動車	環境性 地球環対する性		大気汚染の防止 オゾン層の保護 リサイクル 鉛の削減 水質保全 環境に関する情報の公開	七都県市指定基準 京阪神 6 府県市低 Nox 車指定基 準 etc	七都県市低公害車指定制度 京阪神 6 府県市低低 Nox 車指定制度
中快適性		室内環境に対する性能	室内空気の清浄化 抗菌仕様 断熱、紫外線カット 室内への視線遮断	抗菌性能試験 SIAA マーク etc	抗菌製品技術協議会
	機能性			発進加速試験、急坂路試験 etc だ行性能試験 定常円旋回試験、走過渡性能試	JIS JASO(自動車技術者 協会規格) JAMA(日本自動車工
		旋回性能   タイヤ性能		験 etc タイヤ性能試験	業会) 自動車技術会 etc

## <4.2.8 参考文献>

- 1) 自動車の走行性能と試験法 茄子川捷久・宮下義孝・汐川満則 山海堂
- 2) OSA 自動車事故対策センター URL http://www.osa.go.jp
- 3) 大阪府公害監視センター URL http://www.epcc.pref.osaka.jp
- 4) 七都県市首脳会議環境問題対策委員会大気保全専門部会 HP http://www.station.nttls.co.jp
- 5) 抗菌製品技術協議会 URL http://www.kohkin-siaa.com
- 6) 日本自動車工業会 URL http://www.jama.or.jp
- 7) (社)自動車技術界 URL http://www.jsae.or.jp
- 8) (財)自動車検査登録協力会 URL http://plaza13.mbn.or.jp
- 9) 日本自動車工業会 URL http://www.jama.or.jp/eco/eco\_car/info/index.html

## 4.3 建設分野の保有性能の評価法の例

## 4.3.1 技術基準の国際動向

各種技術基準の動向の特徴を大胆にまとめると,限界状態の直接的照査と安全余裕度の定量的評価ではないだろうか.すなわち,確率的定量化を伴った限界状態設計法の方向にあると思う.こうした観点を含めて ISO や EuroCode の動向を述べてみたい.

### 4.3.1(1) 国際標準(ISO)

#### (1) ISO/TC98

ISO(国際標準化機構)は,物質およびサービスの国際交換を容易にし,知的,科学的,技術的および経済的活動の分野の協力を助長させるために,また世界的な標準化およびその関連活動の発展開発を図ることを目的として,1947年2月23日に発足した非政府間国際機関である.電気分野を除くあらゆる分野の標準化を推進しており,産業界では無視できないものとなっている.

「構造物の設計の基本」に関する ISO/TC98 は ,JISC(日本工業標準調査会)から委託を受けた建築・住宅国際機構が国内審議団体として活動している. TC98 は ,材料に関係なく ,「構造物の設計の基本」の規格化(用語と記号 ,荷重 ,力 ,作用および変形の限界も含む)を行うことを目的としている.全体として構造に係わる基本的な信頼性要求の研究および調整を行い ,関連した TC と連携して信頼性に対する共通の取り組みの準備のために必要な材料(鋼材 ,石 ,コンクリート ,木材など)を含む検討を行っている.

TC98 の現状の組織は,SC1(用語と記号:幹事国オランダ),SC2(構造物の信頼性の原則:幹事国ポーランド),SC3(荷重・力・作用:幹事国日本)の3つに実質的に分かれている.これに対して日本は,「ISO3010:構造物への地震作用」と「ISO13822:既存構造物の評価」のWGの幹事国となって規格をまとめ,発行した.

この他, SC2/WG1 で検討されていた土木・建築構造物の設計の基本に関する国際標準として ISO2394「構造物の設計に関する一般原則」は,TC98 国内分科会の中で対応しており,最新版(第3版)<sup>(1</sup>は1998年6月に発行され,日本規格協会から邦訳版が出版されている.

欧州では金融をはじめとした地域統合の動きから 構造物の設計法も90年代に入ってEurocode として統一化されようとしている.これらの作業の中で,ISO2394 が考慮されていくのは自然なことであろう.また,一部の国では構造物設計に地震が大きく影響することになるだろう.そこで,日本を中心としてISO3010 が制定され,現在ISO23469 の規格案がまとめられている.

ここでは 構造物の設計の基本に関する規格である ISO2394 と ISO3010 について ,また ISO23469 の 2003 年 7 月現在の状況を紹介する.

#### (2) ISO2394: 構造物の設計に関する一般原則

ISO2394 は,土木・建築構造物の使用・建設に関する設計規則のための共通の基礎を定めている.特に各国において,耐用期間中の材料特性と構造物の技術的・経済的条件に従って,規格・設計法を作成する委員会に利用されることを意図したものである.これは,構造物設計の地域規格(たとえば Eurocodes)にとっての共通の基礎を規定するものであり,概念的な特徴を有している.ISO2394 は,1973年に初版が作成され,1986年の第2版を経て,現在が第3版である.最初

は部分係数形式が示され,続いた第 2 版と追補では,附属書(Annex)により具体的な確率論的手法が記述された.最新版では,附属書が参考(informative)として明記され,その内容も充実してきている.これらには,ヨーロッパの JCSS(Joint Committee on Structural Safety)の Working Document の成果が反映されており,特に構造信頼性に基づいた設計法が導入されていることが要点である.最新版は,1 章から 10 章の本文と,参考の目的である A から H の附属書からなっており,以下に荷重指針作成にあたっての関連事項を簡単にまとめる.なお,ISO では荷重という表現ではなく,作用という表現が一般的である.

この国際規格は 種々の作用を受ける構造物の信頼性を検証するための一般原則を示している. 信頼性は設計供用期間を通して構造物の性能と結び付けて考慮されるものであり,この原則は構造物の全体,構造要素および基礎の設計に適用することができる.また建設工程の各段階や既存構造物についてもあてはまる.ただし,国内法規制に適合できない条項は採用する必要がないなど,法的強制力のあるものではない.

耐久性と維持管理の項に供用期間が示されていることが特徴である。耐久性は信頼性の要求を満たすための必要な条件であり、環境に曝される構造物と構造要素に適切な維持管理がなされ、その設計供用期間中の使用に適用できるようにすることが必要がある。このように供用期間が示されたことにより、荷重の特性値や設計値の定義に影響を与えることも考えられる。

限界状態には終局と使用の2つのカテゴリーがある.この設計状況として,持続的状況,過渡的状況,偶発的状況があり,考慮すべき作用には,構造物に作用する集中あるいは分布した力学的力の集合(直接的作用)と構造物への強制または内部拘束による変形の原因となるもの(間接的作用)の2種類がある.これらの作用を時間的に大きさが変動することにより分類をすると,永続作用(G),変動作用(Q),偶発作用(A)となる.また,空間変動により分類すると固定作用と自由作用,構造物の応答により分類すると静的作用と動的作用となる.環境的影響も荷重作用と同様に扱え,特に時間的変動性に関しては,構造材料の劣化など構造物の安全性や使用性に影響するので,特に時間的変動性に関して,永続,変動,偶発といった分類が可能である.

解析モデルは,関連する作用および環境的影響を考慮したもので,限界状態に至るまでの構造物およびその挙動を表現し,適切に簡略化したものである.作用モデル,荷重効果を与える構造モデル,荷重効果に相当する耐力モデルに区分することができる.ここで,作用モデルとは,作用の大きさ,部位,方向,継続時間等の種々の特性を表わし得るものである.考慮する特性の間に相互作用が存在する場合もあり,時には作用と構造物の応答間に相互作用がある場合もある.また,構造物の動的応答は作用の大きさ,位置,方向の急激な変動によって生じるが,構造要素の剛性や耐力の突然の変化も動的挙動を起こすこともある.荷重が統計的に記述されているなら,構造物の応答も統計的に表わされ,基準期間に限界状態を超過する確率が計算される.この基準期間は,一般に供用期間などが規定できない構造物を設計するとき,荷重の代表値(特性値)を決めるために必要とされる.実務レベルを考え,部分係数による設計法が推奨されている.部分係数による設計法で重要となることは,荷重や材料特性の代表値の定義である.特に設計値とは明確に区別しなければ,安全性余裕を確保する部分係数との不整合がおきる.このことが現行の設計法で欠落しており,安全性余裕を定量的に評価できない大きな理由の1つと考えられる.

### (3) ISO3010:構造物の設計の基本 - 構造物への地震作用

IS03010 は,1988年に作成され,現在5年ごとの見直しを受けて,ISO/TC98のワーキンググループ(主査:石山祐二,北大)が担当して2001年に第2版が出版された(主査:石山祐二,北大). TC98に関連するこの規格も,設計基準の作成者のためのものである.地震作用についても,基本的な原則についてまとめたものであり,特定構造物を対象としたものではない.このような方針は,改訂案においても基本的に変わっていない.そのため,本文の改訂はあまり行われず,附属書を充実させることが改訂の中心となった.適用範囲は建築物,塔,煙突やこれらと類似の構造物で,土木構造物には基本原則を部分的に参照できる.以前は土木構造物に対しても基本的に適用できるという表現であったものを,基本原則を部分的に参照できるという表現に変更している.また,ISO3010は,上位規格であるISO2394「構造物の信頼性に関する一般原則」,ISO3898「同一表記と一般記号」,ISO8930「同一同義語リスト」に100%準拠している.

全ての地震に対して構造物を完全に守ることは経済的に不可能なため,起こるかも知れない大地震動に対しては構造物の崩壊を防止し人命を守り(終局限界状態),使用期間中に起こるであるう中地震動に対しては構造物の被害を許容限界以内に納める(使用限界状態)ことを目標にしている.そのため,地震動に関しては2段階設計となっている.

地震作用は変動作用または偶発作用として取り扱う.構造物は終局限界状態に対する変動作用の設計値によって照査される.使用限界状態は,終局限界状態を用いて間接的に照査されるか,使用限界状態に対する変動作用を用いて直接的に照査される.偶発地震作用は,地震活動が低い地域の構造物に対して,その構造ロバスト性の要求に対して考慮される.以前は大地震動が偶発作用,中地震動が変動作用とされていたが,両地震とも変動作用とし,偶発作用については地震作用を通常考えない地震活動の低い地域で考慮するように変更されている.

設計用の地震作用を決定するには,地域の地震活動,地盤条件,構造物の動的特性,構造物の 用途に応じた重要度,地震動の空間的変動などの点を考慮する必要がある.

等価静的解析による地震作用の評価には,従来の地震力を与える式の他に地震層せん断力を与える式の追加と,理解が容易でかつ曖昧さの少ない記号への変更をされているが,土木構造物に対してこのような記述が,建築のための規格と写ることになった.

動的解析を行う際には,実際の構造物を表す適切なモデルの構築と地震活動度と地盤条件を考慮した適切な地震動または設計用応答スペクトルを考慮することが重要である.通常の動的解析として,線形または等価線形系に対しては応答スペクトル解析,線形または非線形系に対しては時刻歴解析がある.一般に,サイトに対する設計用応答スペクトルを作成する.このスペクトルは適切な減衰に基づくべきであり,降伏後に予想される変形量と復元力特性にも注目する必要がある.設計用応答スペクトルは平滑化されたものとする.応答スペクトル解析において,最大応答値は卓越する振動モードの応答に対して2乗和の平方根(SRSS)で通常評価する.また,時刻歴応答解析には数個の地震動記録が必要であり,模擬地震動を用いても良い.両者とも地震動は確率過程として考える.各々の限界状態に対して,地震活動度,地盤条件,歴史地震の再現期間,活断層までの距離,予知誤差,構造物の供用期間などを考慮して適切な地震動を定める.

### (4) ISO23469: 地盤基礎構造物への地震作用

地震荷重の国際規格である ISO3010 の適用範囲は建築物や類似の構造物に限られており,ライフライン施設のような地盤中の構造物やダム・堤防などの土構造物を対象としたものではない.そのため,「地盤基礎構造物への地震作用」WG が 2001 年に発足し(主査:井合 進,京大),現在,WG としての規格案 ISO/WD23469 を作成している.この国際規格は,専門的な知識を有する設計技術者および基準策定関係者が,地盤基礎構造物の設計に用いる地震作用を定める際に遵守する一連の指針である.なお,「地震作用」とは,従来の基準類で用いている「地震荷重」の概念を一般化したもので,地盤の変位や液状化による影響などを含んでいる.

この規格で対象とする地盤基礎構造物には,地中構造物(埋設トンネル,ボックスカルバート,パイプライン,地下貯蔵施設),基礎(浅い基礎,深い基礎,地価連続壁),擁壁(擁壁,係船岸), 桟橋,土工構造物(アースダム,ロックフィルダム,盛土),重力式ダム,タンク,埋立地や廃棄物処分場が含まれる.これらの地盤基礎構造物の地震時挙動は,地盤変位による影響が著しい点で,地上に建設される構造物とは異なる点が多い.特に,地盤-構造物の相互作用や液状化の影響が主要事項となり,設計における取扱いが容易でない事項も多いため,これらの事項を一連の枠組みに沿って組織的に提示することをねらっている.

地盤基礎構造物の耐震性能規格は幅広いのが特徴である.地盤基礎構造物の被害の影響が小さく補修が容易な場合,地盤基礎構造物の破壊や崩壊などが許容されることもある.特に重要な施設や緊急防災施設などの主要部分を構成する地盤基礎構造物では,地震時および地震後も所期の機能が発揮される状態を保つことが必要となる.そのため簡易法から詳細法まで地盤基礎構造物の種々の解析法を網羅しており,専門的知識を有する設計技術者が,これらの解析法の中から,対象とする地盤基礎構造物の耐震性能評価に最適な方法を選択できるようにしている.

規格案の構成は9章からなり,1~4章に適用範囲・用語などの一般事項を,5~9章に地盤基礎構造物への地震作用を決定する際の指針を示している.またこの規格案では,地震作用を決定する際に,2段階の手順を採用することとしている(5章).第1段階では,地震作用を決定する際の基本変数を決定する(6章).基本変数には,地震動,地震にともなって発生する液状化や地盤流動,断層変位などがある.第2段階では,第1段階で求めた基本変数を基に,地盤基礎構造物への地震作用を求める(7~9章).第2段階においては,地盤-構造物の相互作用の解析上の取扱いが中心である.解析法は,等価静的/動的解析への分類(8章/9章)と簡易/詳細法への分類との組合せによる.

地盤基礎構造物への地震作用をどのように設定するかは,解析モデルによって異なる.この考え方は,既に広く受け入れられているものではあるが,一つの設計体系の中で地盤・構造物系に対する種々の解析法と地震作用とを組織的に提示する上で特に重要であり,基本的枠組みとして用いられている.

地盤基礎構造物の設計では,商用利用,公共利用,防災利用などに対する耐震設計のための要求性能を,地震時あるいは地震後の機能に基づいて,以下のとおり設定する.

- 地震時および地震後の使用性:構造物は許容変形内,社会.産業活動への影響軽微,機能 維持もしくは経済的復旧可能
- 地震時および地震後の安全性:人的被害,資産被害の最小化,社会的重要施設の機能維持, 構造物は非崩壊

これらの要求性能に基づいて,基準地震動を以下のとおり設定する.

- 地震使用性照査地震動:対象構造物の設計期間内に発生する確率がある程度の地震動
- 安全性照査地震動:発生する確率は低いが非常に強い地震動

また,開発途上国などを含む世界の実情や地盤基礎構造物に関する今後の耐震設計の方向性にも 配慮し,耐震設計を実施しない場合の容認,修復限界の概念の導入,1段階設計の容認といった 一般化を計っている.

地盤基礎構造物の地震作用の設定に先立って、地震八ザード解析により基本となる地震動を定める.この際、地震使用性照査地震動は確率論的解析により、また、安全性照査地震動は、確率論または確定論的解析によることとし、活断層が近傍に位置する場合に、確定論的解析によることができるとしている.ここに、確定論的解析とは、シナリオ地震に基づく地震動評価法を意味するもので、地震の発生確率を考慮しない点を除けば、シナリオ地震から地震動を評価する際に含まれる不確定性については評価するものである.地震八ザード解析には、経験的方法、半経験的方法、理論的方法、複合的方法など、種々の方法があるが、これらは、構造物の重要度と建設地点周辺の活断層や地質構造に関する情報に応じて選択する.

かつては,既往最大地震動を設計地震動としたり,想定地震のマグニチュードと距離減衰式を 用いた設計地震動の設定が用いられたりした時期があり,このような簡易的手法のことを確定論 的手法とよんでいた.その後,地震ハザード解析に確率論的手法が導入され,グーテンベルグ・ リヒターによるマグニチュードと発生頻度の関係などをもとに設計地震動を設定する手法が広 く用いられるようになった.確率論,確定論的地震ハザード解析として,過去には,このような 簡易手法の相互比較の議論がなされていた時期があった.

その後,断層近傍の地震動に関する研究が進み,広域データに基づくグーテンベルグ・リヒターの関係に見られるランダム事象モデルと対照的に,検討対象領域を断層近傍に絞りこむことにより,地震動発生の規則性が明らかになることがわかってきた.また,強地震動予測手法として,断層アスペリティーなどを含む発震機構や伝播経路特性を考慮した半経験的グリ・ン関数法など,断層近傍の地震動の特徴を詳細に考慮できる手法が開発されてきた.そのため,規格の作成にあたって確率論,確定論の議論は,地震動予測に関するこのような新たな研究動向を踏まえた上で,展開されている.

安全性照査地震動の評価においては,確率論的解析の適用性に関して,種々の問題点が指摘されている.このような現状においては,上位規格にはISO2394構造物の信頼性に関する一般原則があるが,一律に確率論的解析の適用を強制することは難しいと思われる.幅広い関係技術者・研究者間での議論を積重ねつつ,慎重な検討を続けている.

#### 4.3.1(2) 地域規格(Eurocodes)

## (1) 目的とコード体系

Structural Eurocodes(ユーロコード,以下 EC)は EU(欧州連合)を中心に,域内の構造物設計に適用することを目的として,CEN(欧州規格委員会:欧州内での産業界における資材,製品および設計の一貫した規格を策定するために設置された)が 20 余年の歳月をかけて検討してきたものである.EC制定の目的をまとめると,以下のようなものである.

- 1. 建築および土木構造物の設計に関して,地盤ならびに構造に関する一連の基準を制定する.
- 2. EU によって合意された必須の要求項目を制定する.
- 3. 構造物に対して調和のとれた技術基準を作成する.

EU の政治的目的は,土木・建築の設計・施工のための欧州市場が本物かどうかを確かめるために,15ヶ国のヨーロッパ諸国で異なった技術的ルールの調和をはかることであった.現在,各国の基準は固有の安全率を規定しているため,構造物の安全性レベルはヨーロッパで異なっている.すなわち,安全性の定義が異なっているために安全性レベルは一定ではないということである.このような背景から,EC では確保すべき安全性を明確にするため,土木・建築の設計法に部分安全係数形式による限界状態設計法を採用している点をあげることができる.ここで,EN 化のためには EU 内で選挙を必要とし,投票権は各国の人口比となっていることが興味深い.

EC は, CEN の中の専門委員会 TC250 で担当され,構造物ごとに 9 つの分科委員会で Eurocode 1~ Eurocode 9 として検討されている. ただし,以前は Eurocode 1 の中に含まれていた設計の基本(Basis of design)は, Eurocode 0 として独立している. 以下にそのタイトルを示す.

- EN1990 Eurocode 0: Basis of design (設計の基本)
- EN1991 Eurocode 1: Essential actions (設計に必須の作用)
- EN1992 Eurocode 2: Design of concrete structures (コンクリート構造物の設計)
- EN1993 Eurocode 3: Design of steel structures (鋼構造物の設計)
- EN1994 Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures (鋼・コンクリート合成 構造物の設計)
- EN1995 Eurocode 5: Design of timber structures (木構造物の設計)
- EN1996 Eurocode 6: Design of masonry (石造構造物の設計)
- EN1997 Eurocode 7: Geotechnical design (地盤設計)
- EN1998 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance (耐震構造設計)
- EN1999 Eurocode 9: Design of aluminum alloy structures (アルミニウム合金構造物の設計)

ここでは, Eurocoad 0, 7, 8 について紹介する.

#### (2) Eurocode 0

Eurocode 0 は構造物の設計の基本を定めたものであり,信頼性に関する原則と要求項目を規定するものである.部分係数に関する規定もここにまとめられている.ISO と CEN はウィーン協定を締結していることからもわかるように結びつきは強く,EC も ENV から EN になった段階で,ISO 規格化をめざすと言われている.それだけ,ISO2394 と Eurocode 0 は非常に類似した内容となっている.設計の基本に関して述べられている Eurocode 0 (ECO)に関して EN1990 のドラフト(1999年5月20日版)をもとに,その内容をまとめる.ECO は,構造物の安全性や使用性に関する原則と要求項目を規定するものであり,設計と照査に対する基本と構造物の信頼性に関するガイドラインを示すものである.

ECO に示された規定からいくつかを抜粋し、その特徴をまとめる、一般事項として、施工時や一時的な構造、あるいは補助的な構造物の設計にも適用されるが、特殊な構造物(例えばダムやトンネル)に関しては完全に網羅しておらず、個々の設計手順に従うべきである、また、変形が

進むにつれて,直接作用(direct action,後述するが,ENでは外力を作用(action)という言葉で表現している)が変化する場合の構造物の設計も完全には網羅していない.また規準は,「原則」(principles)と「適用規則」(application rules)の2つからなり,前者は特記事項がない限り規定を変更することはできない.ENの規定は,次の前提のもと制定されている.

構造系の選定や構造設計は適切な資格と経験を備えた者 (appropriately qualified and experienced personnel)によりなされる.施工は,適切な技術と経験を備えた者によってなされる.適切な監督と品質管理が施工中に実行される.建設に用いられる材料と製品は, ENs1990-1999 に規定されているものとして使われる.構造物は設計条件に従って使用され,適切に維持される.設計は, ENs の規定中の要求事項を満たしている.

設計で考慮する状態(Design situation)は、ISO2394 と同様に過渡的状態(設計上の耐用年数と比較して非常に短い期間に生ずる状態で,しかもその生起確率の高いもの),持続的状態(耐用年数と同じオーダーの期間に生ずる状態),偶発的状態(構造物にとって異常な状態、火事,爆発,衝撃,局所的な破壊など)と地震時(地震の発生に伴う異常時)を想定している.そこで終局限界状態と使用限界状態に対して設計を行う.終局限界状態は,崩壊や構造的破壊が該当し,構造物や人間に対する安全性に関わるものであり,構造的崩壊の直前の状態は,簡便のため,崩壊とみなす.また,構造物やその一部の安定性の喪失,過度の変形による破壊,破断,メカニズム(崩壊機構)への移行,支持機構や基礎の安定性の喪失,疲労や他の時間依存効果による破壊などに対しての検討を必要とする.使用限界状態に対しては,構造物や構造要素の使用性,人間の快適性,外見などに関する要求事項の検討を行う.各プロジェクト毎にクライアントとの合意に基づくべきである.外見,構造物の機能性(機械やサービスの機能を含む),仕上げや非構造要素に影響を及ぼす変形や変位,人々に不快感を与えたり,構造物の機能の有効性を制限する振動,疲労や他の時間依存効果による損傷などに対しても検討を行う.これは,不可逆的なものと可逆的なものとに分類される.

EC では、荷重と言う表現に代わり、「作用(action)」という言葉が用いられている.作用は、直接作用と間接作用とに分類される.直接作用は構造物に与えられた荷重、間接作用は温度変化、湿度の変動、不同沈下や地震などで生じた変形や加速度である.また作用効果(action effect)とは、内力、モーメント、応力、ひずみなどを示す.作用としては、永続作用、変動作用、偶発作用、地震作用が想定されている.地震作用や雪による作用は、場所に応じて偶発作用とも変動作用ともみなすことができる.永続作用の特性値は、平均値をとる場合と上限、下限値を採用する場合とがある.

終局限界状態の照査を4種類に再構成しなおしている.その定義は以下のとおりである.

● EQU: 剛性構造と考えたときの平衡状態

● STR : 施工材料の強度が影響する構造物の破壊や過度の変形

● GEO: 抵抗となる土や岩の強度が重要となる地盤の破壊や過度の変形

● FAT : 構造および構造部材の疲労破壊

建物に対する長期および短期設計状態における作用に適用する部分係数は,各タイプごとに附属書 A1 に示されている.

### (3) Eurocode 7

Eurocode 7 (EC7)は、Part1: General rules 、Part2: Design assisted by laboratory testing 、 および Part3: Design assisted by field testing の 3 つの Part から構成されている . Eurocode 0 (EC0)の規定がほぼ固まってきたことに対応して、EC7 でも EC0 のコンセプトとの整合化が急ピッチで進められている EC7-1 に関しては、1996年9-10月、ロンドン ISE(Institute of Structural Engineers)にて ISSMGE/TC20 主催、同 TC23 と ERTC10(Application of Eurocode7)後援による国際ワークショップ(International Workshop on Eurocode7- Towards Implementation)が開催された。これは EC7 に関する構造技術者と地盤技術者間の議論の場として設定されたものであるが、地盤技術者からも EC7 に関して相当の質問、異議が展開されている.最新 EC7 ドラフトの Design Approach 1,2,3 も既にこのとき独・仏の間では準備されていた.EC7-1 の 3 つの大きな協議事項として特性値(Characteristic value)の評価法、部分係数法である.

異なる材料間の構造設計の調和が Eurocodes の最大の特徴の一つであるが,構造設計と地盤設計において,構造材料と地盤材料の自重に関する荷重係数  $\gamma_m$  に食い違いが見られた.すなわち, ECO での Case B ( $\gamma_m$  =1.35)の提案に対して,EC7 を担当する CEN/TC250/SC7 では"地盤自重は荷重とともに,抵抗にも係わる問題"として,Case C ( $\gamma_m$  =1.0)を追加した.しかし,その結果, 実務における二つの Case の組み合わせは保守的(不経済)な設計になる Case B&C 問題が発生した. このような EC7 内での複数のアプローチ問題と ECO と EC7 の整合性の不一致から,EC7 の設計法がユーザーの立場からすれば分かりづらいものになっていた.20 年の歳月を費やしてきた地域規格 EC であっても,意見の一致をみないものが存在しているのが現状である.

現在の最新ドラフト<sup>3)</sup>では,ケースからアプローチやセットに変更され,STR と GEO に関して,各アプローチに共通の照査式を本文に載せている.ただし,共通の式では各アプローチの特性,違いが分かりづらいので,各アプローチ固有の式を部分係数値を定めた附属書 A に記述されている.また,どのアプローチを用いるかは,NAD(National Application Document)により各国の判断で決めることができるというものである.

EC7 の Part1 は prEN1997-1 として EN ドラフトが審議されている段階であるが, Part2&3 は prEN1997-2(新 Part2: Design assisted by testing)として審議されている. 一方, ENV1997-2, -3 から切り離された「手順」の方は CEN/TC が担当することになった. 新たにこの活動を担当することになったものが, CEN/TCxyz(Geotechnical Investigation and Testing)である.

## (4) Eurocode 8

耐震に関しては Eurocode  $8(EC8)^4$  で規定されているので,ECO にはあまり地震のことは規定されていない.これは欧州の大部分が「地震」とは無関係であることによる.部分係数や特性値の決め方にしても,耐震に関するものは EC8 で独自に決められている.ただし,EC8 は,耐震設計に限定される付加的な位置付けであり,基本はあくまでも ECO である.一方,ECO と EC8 との関係は ISO2394 と  $ISO3010^2$  の関係に類似している.それは,設計法の基本原則を記述した ISO2394 には耐震規定が含まれず,それは ISO3010 に別途規定してあるということだと解釈される.

EC8 は,原子力発電所や大型ダム等の近隣住民への影響の大きい構造物を除く全ての構造物を 対象とした耐震設計編となっている.基本要件として,地震地域の構造物は適正な信頼性を持っ て破壊防止と被害制限の 2 つの要件を満足するように,設計・施工するものとする. 破壊防止 要件は、設計地震力に対して局部的または全般的な破壊なしに耐えうる(地震発生の後でも構造物の健全性および余裕ある荷重支持能力を保有している)ように構造物の設計・施工を行うものとする。また被害制限要件は、設計地震作用よりも発生確率の高い地震に対して、被害発生による使用制限(それによる被害額は構造物自体の費用に比べてひどく割高となる)のない状態にとどめる構造物の設計・施工を行うものとする。信頼性の各種レベルは、表 4.3.1(1)に示すように考慮する地震作用あるいは対応する作用荷重を重要度係数 γ,で補正して求める。

农 · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
重要度 カテゴリー	条件	重要度係数γ <sub>i</sub>	
I	地震動に対して完全無被害の構造物 病院,消防署,発電所等	1.4	
II	想定した被害に留めることが要求される構造物 学校,市庁舎,教会,公共建造物等	1.2	
III	他のカテゴリーに属さない通常の構造物	1.0	
IV	公共の安全性に対してあまり重要でない構造物	0.8	

表 4.3.1(1) 構造物の重要度(建築)

対象とする限界状態として,終局限界状態と使用限界状態の 2 つを検討するものとする.EC8では,終局限界状態は,構造物の崩壊,あるいは人命の安全を危険にするような構造損傷に結びつく状態と定義される.構造物は規定する抵抗力および靭性をもつことを照査するものとし,抵抗力および靭性は構造物の非線形応答の程度に関係し,これは応答低減係数 qの値で決められる.使用限界状態は,特定の使用条項を守れない状態に対応する被害発生に結びつく状態と定義される.市民保護のために重要となる構造物では,適正な再現期間に対する地震活動に対して当該施設の使用性に関する機能を保持するために,十分な抵抗力と靭性の確保を照査するものとする.

耐震設計では,全体的な靭性挙動をさけるために,脆性的な破壊やすぐに不安定となる現象はさける.このため,キャパシテイデザインを採用している.構造細目は,繰返し荷重下で所用の力を伝達し,エネルギーの逸散を行う耐力を保持できるように配慮するものとする.また基礎は,上部構造からの作用をできるだけ均等に地盤へと伝えるために,基礎は適正な剛性を有するものとする.一般に,一つの構造物には一つの形式の基礎を用いるが,動的に独立した系ではこの限りではない.地盤は,地震作用に及ぼす局地的な地盤条件の影響は 3 種類の地盤条件(A,B,C)を考慮して取り入れるものとしている.

地震荷重として,基礎構造の耐震設計における地震動は,再現期間 475 年に対応した地盤加速度による地震発生確率・発生規模の地域別補正を地震動についての設定と上部構造物の重要度カテゴリーのレベルに対応した設計条件に基づいている.地震荷重は弾性応答スペクトル,パワースペクトルまたは時刻歴により表されている.

## 4.3.1 参考文献

- 1) ISO: ISO2394, General principles on reliability for structures, 1998.
- 2) ISO: ISO3010, Bases for design of structures Seismic actions on structure, ISO/TC98/WG1 N53, 1999.
- 3) CEN: Eurocode 7, Geotechnical design Part 1: General rules, Draft prEN 1997-1, 2002.
- 4) CEN: Eurocode 8, Design provisions for earthquake resistance structures Part 1-1: General rules Seismic actions and general requirements for structures, ENV 1998-1-1, 1994.

## 4.3.2 仮設構造物の評価の現状

仮設構造物を建設工事等で使用する場合には,その計画や構造について労働安全衛生規則等により 法的に様々な制約を受けるが,その中で評価に関するものとして,仮設構造物の工事に関する計画の 届出(計画届)と,仮設構造物を構成する部材に対する構造規格について述べることとする.

まず,工事の計画時においては,表4.3.2(1)に示す大きさの型枠支保工,架設通路,足場を使用する場合,労働安全衛生法により労働基準監督署長に当該工事について計画届を行わなければならない.その際,これらの工事の計画には,実務経験3年以上を有する一級土木施工管理技術士や労働大臣の定める研修を終了した者等,有資格者が参画しなければならないこととされている.なお,一定規模以上の構造物を施工する場合等においても,労働基準監督署長(あるいは建設する構造物の規模等に応じて厚生労働大臣)に計画届を行う必要がある.この場合,仮設構造物のみならず,工事全体に対する計画届となる.

計画届が行われた場合,労働基準監督署で審査が行われる.その際,労働安全衛生規則等の法令や命令を満足している構造であるか,十分な強度を有しているか,あるいは各地域で定めた安全基準を満足しているか等を書類によりチェックすることが主となる.その審査の結果,労働基準監督署長は工事を差し止めたり,当該計画を変更すべきことを命ずることができるため,ある程度の強制力を持つ.

また,これらの仮設構造物の内,型枠支保工に使用するパイプサポートや鋼管足場等については, 構造規格により各部材の材料や寸法が細かく規定されている.構造規格では,各部材ごとに試験治具 や加力方法等,強度試験の方法も細かく規定されており,材料や寸法が適合してこの試験をパスした ものが厚生労働省の規格品となる.これらの構造規格品を用いて,労働安全衛生規則等に従って組み 立てた仮設構造物は,所定の強度を持つという考え方である.

なお,これらの規格品の認定自体は,主に社団法人仮設工業会で行われているが,構造規格に適合しない部材も数多くあるため,仮設工業会が独自の認定基準を作って構造規格を補っている.このような認定は計画届と密接に関係しており,仮設工業会の認定品を使用していれば,改めて強度計算や強度試験を行わなくても計画届審査が通りやすくなっている.

以上の法規制を簡単に要約すれば,足場や型枠支保工等で計画届が必要とされる場合においては, 有資格者が工事の計画をしてその安全性を労働基準監督署で審査し,構造規格(または仮設工業会の 認定基準)に適合する部材を使用して計画どおりに組み立てた場合に安全であるというものである.

表4.3.2(1) 計画の届出をすべき仮設構造物(労働安全衛生規則別表第7より抜粋)

機械等の種類		事項	図画
型枠支保工	1.	打設しようとするコンクリー	組立図及び配置図
(支柱の高さが3.5m以上のものに限る.)		構造物の概要	
	2.	構造,材質及び主要寸法	
	3.	設置期間	
足場	1.	設置箇所	組立図及び配置図
│(つり足場、張出し足場以外の足場にあっ	2.	種類及び用途	
は,高さが10m以上の構造のものに限る	3.	構造,材質及び主要寸法	
架設通路	1.	設置箇所	平面図,
│(高さ及び長さがそれぞれ10m以上のもの	2.	構造,材質及び主要寸法	組立図及び配置図
に限る.)	3.	設置期間	

実際に,このように組み立てられた仮設構造物の倒壊災害はほとんど発生しておらず,計画届どおりに組み立てられていなかったため倒壊したものが多い.

このように、計画届や構造規格は仮設構造物の倒壊防止に大きく寄与してきたと考えられる.しかし、これらの法規制についてはいくつかの問題点も存在する.まず、仮設構造物の計画時には計画届審査が行われるが、実際に組み立てられたものについてチェックする機構がないという点である.このため、計画者が現場の状況を把握せずに審査を通すためだけに計画届を出してしまうことがあり、実際に現場で対応できないあるいは作業性の悪い構造であったため、上述したように計画届と違う構造になり仮設構造物が倒壊した事例もある.

また,労働基準監督署で行われる計画届審査は,あくまで法的に問題ない構造であるかの書類審査であり,仮設構造物の性能自体を評価しているわけではないという点である.これは,計画届の対象が足場や型枠支保工だけではなく,化学設備の設置等,多岐の分野にわたっているためであり,時間的,あるいは能力的な制約によりそれほど安全性を評価できないためである.

このような状況から,強度がはっきりとしている構造規格品を用いた仮設構造物は審査に通りやすいが,それ以外の特殊なものは担当官が安全性を評価できないため審査を通すのが非常に大変になり,新しい製品を開発することが阻害されていた.例えば,非常にコストが安く安全な足場を開発したとしても,構造規格品を使用していない場合には届け出の度に強度試験や強度計算を行って安全性を証明しなければならず,非常に手間がかかってしまう.このため,規格品を使った方がトータルで考えるとコスト面で有利になっていた.

そこで、前述したように仮設工業会では新しい製品に対して独自の認定基準を作り構造規格を補ってきた.しかし、認定を数多く行うことには限界があるため、現在ではこのような認定制度の適用を受けない製品についても、部材単体あるいは仮設構造物全体のシステムとしての安全性を評価する承認制度を行っている.承認制度は、承認審査委員会の下、対象とする製品に対し強度試験を行い組立方法や許容荷重を定めることにより、その製品の性能を仮設工業会が承認するというものである.例えば、斜材を入れた場合には許容荷重が何kN、入れない場合には何kNという具合に性能を評価するものである.この承認制度を受けたものについては、認定品を使用した場合と同様に、改めて強度計算や強度試験を行わなくても計画届審査が通りやすくなっており、新しい製品が開発しやすくなっている.

しかしながら,この承認制度もただ単にお墨付きを与えるだけになってしまう可能性があり,適切な評価が行われない恐れがある.現在,厚生労働省では構造規格に変わるものとして性能規格のようなものについて検討している最中であるが,より公正な評価方法を確立し,計画届審査や組み立て後の評価も含め第三者機関が仮設構造物の安全性を評価できるようにすることが望まれる.

## 4.3.3 新工法採用における性能評価の一事例について(木ノ川高架橋)

### 4.3.3(1) 概要

性能設計においては、性能達成の方法が原則として自由であり、設計者は設計案が要求性能を満足することを実験や解析等を交えて証明することができる、性能設計は新技術・新工法の提案に有利な環境であり、発注者に対して新しい技術提案を行う機会が増えることを意味している、これまでのように設計基準に示された照査方法に縛られないため、設計技術力が問われる時代であると考えられる、

新技術・新工法の採用に当たっては,技術の実現性と信頼性について提案側の十分な事前検討が必要であることは言うまでもないが,提案された設計案を評価する仕組みの確立が急務であるとされている.そもそも,性能設計の利点は,構造物設計を性能で規定することにより,設計の合理化ひいてはコストダウンを可能にする点にあるため,この利益を発注者・受注者が現実に享受するためには,性能を評価するための仕組み作り(体制,費用分担など)に関して議論を尽くすべき点が多い.

そこで本節では,国道 42 号線那智勝浦道路 木ノ川高架橋において,国内で実績のない鋼・コンクリート複合トラス橋を採用した際の性能評価の実際について紹介する.

## 4.3.3(2) 木ノ川高架橋工事

平成 12 年 12 月に公示された木ノ川高架橋工事は,国土交通省では初めて上下部工一式の「設計・施工一括発注方式」を採用した工事である.公示の際発注者から規定されたのは,橋長,道路規格,有効幅員,活荷重などの基本性能のみであり,応札者側はコンクリート系の橋梁であれば橋梁形式・径間数などを自由に設定することが許された.入札の結果,国内では実績のないコンクリート上下床版と鋼管トラスウェブを組合せた「鋼・コンクリート複合トラス橋」が採用された.

近年,コスト縮減の観点から,構造の合理化ならびに施工の省力化を目的として,鋼とコンクリートのそれぞれの長所を取り入れた複合構造橋梁の開発が盛んであり,鋼・コンクリート複合トラス橋(以下,複合トラス橋)はその1つである.複合トラス橋は,PC箱桁橋のウェブを鋼トラス斜材に置き換え,上下床版をプレストレストコンクリート構造としたものであり,主桁の軽量化による基礎・下部構造への負担軽減,工期の短縮,景観性の向上の点で優れた形式である.

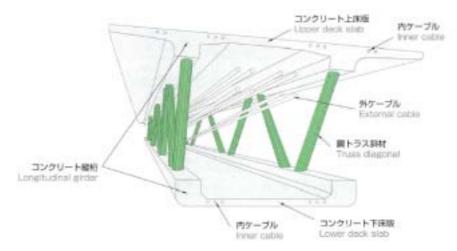


図 4.3.3(1) 鋼・コンクリート複合トラス橋

## 4.3.3(3) 性能評価のための仕組み

鹿島建設によって当該工事に提案された複合トラス形式は,フランスに類似事例が数橋あるのみで 国内には実績がないものであった.そこで,性能評価のための以下の附帯条件を満足することが発注 者より求められた.これら附帯条件が当該工事における性能評価の仕組みとなった.

> 設計段階での学識経験者を含む技術検討委員会の設置 外部コンサルタントの設計照査 実物大試験の実施(格点部)

## (1)設計段階での学識経験者を含む技術検討委員会の設置

設計段階において,発注者である国土交通省の関係者,学識経験者を含む技術検討委員会が立ち上げられた(委員長:三木東工大教授).技術検討委員会は,新形式である複合トラス橋が耐久性を含む所定の性能を満たしているかについて確認することを中心に審議を行った.計3回実施された委員会では,設計・施工全般について審議がなされ,特に海岸に近い設置環境を鑑み耐久性について多くの時間が割かれた.審議の結果として受注者提案に対していくつかの変更が加えられた.また,受注者と技術検討委員会の議論の中から,鋼製ボックスと鋼管との溶接方法や鋼管とコンクリートの境界部防水などの点で新たな工夫が取り入れられた.より合理的な設計のために技術検討委員会は機能したと評価されている.

#### (2)外部コンサルタントの設計照査

受注者が実施した設計について外部コンサルタントが照査を行い,設計の妥当性について確認した. 照査は当該形式の橋梁構造に精通した外部コンサルタント(米国パーソンズ社)によって行われた.

なお,当該コンサルタントは,設計条件の設定,解析方法など設計全般についての概括的な審査を行った に過ぎず,解析などを介しての設計計算自体の妥当性検証は行っていない.

## (3)実物大試験の実施(格点部)

当該形式の重要部位である床版と鋼管トラスとの結合部については,受注者である鹿島建設が 1/2 モデルによる耐力テストをすでに完了していたが,実物大模型による疲労試験及び静的載荷試験が附帯条件として求められた.実験では,格点部の耐疲労・終局耐荷性能の確認に加えて,施工時に近い条件のもとでコンクリートの充填性,鋼管斜材と鋼管ボックスの溶接性などの確認を行った.本試験は,鹿島建設の技術研究所で実施した.

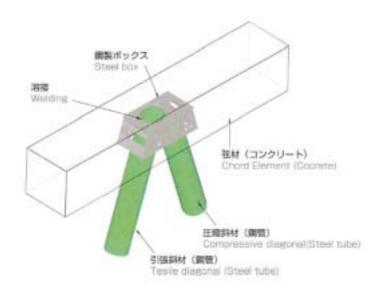


図 4.3.3(2) 鋼製ボックス構造概要図

## 4.3.3(4) まとめと課題

本事例は「設計・施工一括発注方式」としての初めての試みであったが、発注者・受注者の良好なコミュニケーションのもとで附帯条件を含む全ての条件を満たし予定通り竣工に至った。本事例は、新しい構造形式や工法を評価する際の一実績として今後の参考となるものである。この実績・経験をより生かすためには、発注者側、受注者側の課題を今一度整理する必要があると思われる。実際、設計段階において、発注者・受注者の間に附帯条件の程度や詳細において認識の相違があったことは否めないようである。附帯条件について契約時により具体的にしておくこと、また費用の分担等についても入札時に明確にすることが必要であると考えられる。

性能設計の本格的な普及・定着のためには,発注者・受注者両者が性能設計のメリットを享受できるような仕組みについて,実例を踏まえて今後さらに議論していく必要がある.

## 4.3.3 参考文献

- 1) 木村・本田・山村・山口・南:那智勝浦道路木ノ川高架橋の設計,橋梁と基礎,2002.10.
- 2) 三木:わが国初の鋼管トラスウエブ PC 橋 那智勝浦道路木ノ川高架橋 ,土木学会誌 Vol.88 No.5 pp.40-43, 2003.5.

4.3.4 土木 (トンネル)構造物における性能規定発注と性能評価・確認の一例 4.3.4(1) はじめに

公共構造物における性能規定発注方式は,原則的に当該構造物に必要とされる強度・耐久性などの機能や性能のみを規定するものであるため様々な利点を有しているが,実際の工事発注および施工に際して以下に示す課題も生じている.

## 【課題】

- a) 工事規模・種類および施工者の技術水準などの要因が複雑に関係するため,施工者の 選抜・選定が難しい.(発注者)
- b) 工事規模・種類が多種多様であるため,規定された性能の評価・検査が難しい.(発注者)
- c) 施工された構造物において不具合・暇庇リスクが大きい.(施工者)

そこで,本節では採用件数は少ないがトンネル建設プロジェクトで適用された性能規定発注 方式における施工業者の選定および施工された構造物における性能評価・検査の一例を紹介 する.

## 4.3.4(2) 性能規定発注方式における工事入札について

## (1)入札参加資格と審査方法および基準

まず応札者は会社の規模(資本金・売上高・従業員数)と工事実積に関する書類を提示して工事もしくはプロジェクトにおいて施工が出来得ることを証明し、この書類を基に応札可能業者の審査が行われている.

ここで性能規定型発注方式はその規模や金額が比較的大きいため,事業資金・技術面で定められた基準を満足した企業(もしくは企業体)に入札資格を与えている(指名競争入札に近い)のが現状である.

その後,参加資格が得られた応札者が入札時に提示する資料は以下である.

#### a)性能記述書類

過去の実績などに基づく施工計画とそれらの根拠となる詳細設計を含む技術提案書 具体的には,提供された地質データに基づき地山条件および湧水量を判断し,掘削方法・地山 等級・支保パターン・工程および構造的な変更・VE 提案などの計画・設計書.

地山等級別の掘削単価,湧水量増加による追加掘削費用および作業休止補償費トンネル概算費用の算出根拠資料として提供された様式に単価を記入して提出する.

#### b)入札価格

性能記述者類(技術提案書・掘削単価表)に基づいて包括的総価を提出する.(総価・単価入札)

c)建設工事もしくはプロジェクトにおける資金計画

工事もしくはプロジェクト全体の資金運用計画とともに入札企業(もしくは企業体)の財務状態をまとめた書類を提出する.

### (2) 予定価格および落札者の決定

建設工事もしくはプロジェクトの予定価格は基本的にはないが,発注者は計画申請用の基本設計により落札採点用の標準的な価格を設定する.

また落札者の決定は,学識経験者から構成される技術評価チームによる評価と発注者からの 提示図面より標準的な価格評価が基本的になされ決定される.ここで採点基準(たとえば点数 配分や算定式)は事前に公表され,採点結果は入札後すべて公開されている.

## (3)契約形態

性能規定発注方式では契約形態 "Lump Sum"(総価契約)が基本とされているが,特殊な構造物については特に地質・湧水等の不確定要因およびリスクを有しているため,工事の総価と地山(地質)等級ごとの掘削単価による併用契約がプロジェクトを円滑に進めるために必要である.

## 4.3.4(3) 施工責任および要求性能の確認(検査)について

工事契約後の工事およびプロジェクトに対するリスクは,基本的に施工計画を初めとして あらゆるものについて施工者側にあり,完成した構造物における要求性能の確認は発注者に あるが,以下は協議事項となっている.

## (1)地質・湧水に関するリスクおよび設計変更について

地質および湧水に関するリスクは基本的に発注者の責任であり、地盤が予想以上に悪い場合や湧水量が予想以上に多い場合など、契約時に提示された条件と実際が異なった場合には、 監査スタッフと協議の上変更がなされる、なお、変更協議が進まない場合には、地質調査の専門会社やコンサルタンツなどの第三者の審査により判定される。

## (2)要求性能の確認(検査)および暇庇について

基本的に発注者の専門家により行われる.具体的には二次覆工前に認可された支保パターン(吹付けコンクリート厚,ロックボルト長さ・本数)と施工状況を検査して承認される.なお規定を満足しない場合には,詳細な規定により補修を行わなければならない.

#### (3)その他

地山が悪い場合の工事遅延は3ケ月から6ヶ月程度認められ,遅延に対するペナルティーは契約金額の0.025%/日程度が設定されている.

施工された構造物の保証期間は3年~5年程度設定され,請負金額の5%程度を銀行保証として差し出さなければならない.また保障期間に何らかの問題が生じた場合には,補修後さらに保障期間が据え置かれる.期間中に何もなければ保証は終わり,保証金は戻ってくる.ここで双方の意見が対立した場合には,第三者機関によって,原因の審査がなされている.

## 4.3.4(4) まとめ

以上,性能発注方式の一例を概観して,公共(土木)構造物における性能発注方式を適用させるために必要な条件を以下に示す.

発注者と施工者の責任分担(リスクシェア)が明確であること

変更などに関する明確な基準を定めること

発注者と施工者のトラブルを回避するために,公正な判断を行うことができる第三者機関が存在すること

性能評価は第三者機関より行われ、その評価結果により施工者が保障される仕組みがあること

これらの条件を満足するためには、性能を照査する技術(非破壊検査など)や評価システムの確立、また落札できなかった応札者に対して性能記述書類作成費用を補償する仕組みを考えるなどが必要であると考えられる.

## <4.3.4 参考文献 >

1) Neubaustrecke Koln-Rhein/Main Brucken und Tunnel (Die Bahn), DB bau Project Gmbh.

## 4.4 目標安全性レベルについて

安全性は構造物の性能の中でも中心的な項目であり、構造物が保有する安全性、逆に考えるとリスクを的確に理解する(市民にしてもらう)ことは合意を形成する上でも大変重要なポイントである.

本節では目標安全性レベルの決め方について概観する.

## 4.4.1 目標信頼性指標の決め方について

建設省総合技術開発プロジェクト<sup>1)</sup>では、性能水準の設定において考慮すべき重要なものとして、「建築物の使用期間に生じる総費用」、「建築構造以外のものに見られるリスクの現状」、「これまでに経験的に作られてきた構造物の性能」、「荷重・外力と構造性能についての確率論的な評価」をあげている、本報告書では目標信頼度設定のための考え方として以下の3つに注目して述べる、表 4.4.1(1)にその特徴をまとめて示す、

ライフサイクルコストに基づく目標信頼度の設定 現状のリスクに基づく目標信頼度の設定 既設構造物の安全性に基づく目標信頼度の設定

表 4.4.1(1) 目標信頼度設定のための考え方

A TITLE TO THE TANK A TITLE TO THE TENT OF				
目標信頼度設定方法		目標信頼度設定の考え方の概要		
	総費用の最小化	期待消費用が最小となるときの安全水準が最適であるとする.		
ライフサイクル   コストに基づく   目標信頼度の設	リスクの低減に要する投資 効果のバランス	リスクを低減させるための費用に対するリスクを低減さ せた効果の比(投資効果)から最適な安全水準を定める.		
定	総効用(便益)の最大化	構造物の耐用期間中の総効用を,正常時に構造物から得られる効果と被災したときの損失の差分として考え,総効用から建設費を差し引いたものが最大となるときの安全水準が最適であるとする.		
	事故や災害の統計量に基づ く方法	事故や災害に関する統計データに基づいて各種のリスク を算出し,これらを参考にして構造物の安全水準を定める.		
	他のリスクとの相対比較に よる方法	各種リスクを相対的に比較して、構造物のリスクをある水 準以下に定める。		
現状のリスクに 基づく目標信頼 度の設定	標信頼 リスク認知・リスクの社会	各種リスクに対する社会的な受容性や人々のリスク認知をアンケート結果等から統計学的手法を用いて分析し、それらのリスクとの対応付けを行うことにより、構造物の安全水準を定める.		
	リスクと便益のバランスを 考慮した方法	各種リスクと便益との関係に着目して、構造物の安全水準を定める、「社会は一定の便益を得るために、その便益の多さに見合ったリスクを覚悟して行動している」という社会選考行動分析における仮説に基づいた考え方.		
既設構造物の安全性に基づく目標信頼度の設 定		既設構造物のキャリブレーション.従来から長い間用いられてきている設計法に基づいて作られた構造物の安全水準は、社会的に受容されているとみなす.		

## 4.4.1(1)ライフサイクルコストに基づく目標信頼度の設定

供用期間中における期待費用が最小となるときの安全性が最適な安全水準と考え,目標信頼度を設定する考え方がある.一般に,構造物の期待総費用 LCC は,初期建設費 C<sub>1</sub>,供用期間中の被害の発生確率 P<sub>4</sub>,被害額 C<sub>4</sub> から次式で評価される.

$$C_T = C_I + P_f \cdot C_f$$

さらに,目的に応じて維持管理コストや便益なども加える場合もある.

一例として,橋脚モデルを対象として LCC 最小化に基づき目標信頼度の設定を行った例を以下に示す.

### 4.4.1(2) 現状のリスクに基づく目標信頼度の設定

構造物の性能に係わるリスクを,自動車事故や火災,自然災害など,社会生活の中に背景として存在している各種の潜在的なリスクと比較して,目標信頼度を設定しようとする考え方がある.こうした潜在リスクによる方法は以下のように分類することができる.

事故や災害の統計量に基づく方法

他のリスクとの相対比較による方法

リスク認知・リスクの社会受容性を考慮した方法

リスクと便益のバランスを考慮した方法

#### (1)事故や災害の統計量に基づく方法

文献調査した統計量をまとめて表 4.4.1(2)に示す.なお,リスクの受容性は,人によって異なるものであり,必ずしも同表が当てはまるものではないが,ここではリスクの一例として示した.

表 4.4.1(2) 事故や災害の統計データに基づく バックグランドリスク <sup>2)~6)</sup>

分 類	内容	リスク(人/年)
身の回りで比較的頻繁に起こりうるもので、比較的受容出来ると考えられるも	転倒による救急搬送 2)	1 × 10 <sup>-3</sup>
のと、比較的文件出来ると考えられるもの	交通事故による負傷 3)	7 × 10 <sup>-3</sup>
	自然災害による死亡⁴	1 × 10 <sup>-6</sup>
現実的に起こり得るもので、受容出来な いと考えられるもの	交通事故による死亡 5	8 × 10 <sup>-5</sup>
	火災による死亡 2)	1 × 10 <sup>-5</sup>
極めてまれに起こり得るもので、自分に は起こらないと考えられるもの	有毒動植物との接触に よる死亡 <sup>®</sup>	4 × 10 <sup>-7</sup>

## (2)他のリスクとの相対比較による方法

この方法は各種リスクを相対的に比較して、ある水準以下に信頼度を設定しようとするものである. 我が国では、1997年のベンゼンの環境基準設定に際して、どれぼどの発ガンリスクであれば受容可能であるかという検討が行われた.そして、生涯にわたりその物質に継続的に暴露された人がそれによって生涯のうちにガンになるリスクが  $10^{-5}$ 程度であれば受容可能であろうとされた.この判断には、人がその他の要因により受けるリスクの程度や諸外国における環境リスクの受容可能性に関する考え方として、図 4.4.1(1)に示すリスクが参考にされた.

Individual	T1 1 4.*		
1	Relative	Familiar Sorces in USA	. <u>.</u>
Risk of Death	Scale of Risk	(Population Averages)	Japan
(annual)	リスクの相対	(Lawless et al., 1984)	日本の例
年間死亡リスク	スケール	身近なリスク源(人口平均値)	
1.0-		-Risk of Dying(Eventualy)	
	Very High Risk	いつかはおこる結果としての	
	非常に高いリスク	死亡リスク	-
10-1-	91 H11-141 > > 1 >		
	High Risk		
10-2-	高いリスク	  -Disease(all)すべての病気	
10	[rd v - > > v >	Discusciany Coshian	·
		  -Heart Disease 心疾患	-Cancer がん
	•	-Cancer NA	-Heart Disease 心疾患
10-3-		Cancer N*/O	Tieart Disease 心疾感
10 %		-Auto Accident 自動車事故	
	Medium		C · · · · · · · · · · · ·
	High Risk	-Suicide 自殺	-Suicide 自殺
10-4-	中程度の	-Homicide Victim	-Auto Accident 自動車事故
	やや高いリスク	1	-Drowing 溺死
,		-Drowing 溺死	
10-5		-Firearms Accident	-Homicide Victim
10		ピストル等による事故	殺人事件の被害者
V V	Medium	-Accidental Electrocution	
	Low Risk	不虚の感覚死	-Accidental Electrocution
10-6-	tow Kisk 中程度の	-Tornado 竜巻	不慮の感電死
		-Lightning 落雷	-Venomous String or Bite
	やや低いリスク	-Venomous String or Bite	有毒動物の刺傷・咬傷
10-7-		有毒動物の刺傷・咬傷	
			-Lightning 落雷
	Low Risk	-Botulism Poisoning	-Firearms Accident
10-8-	低いリスク	ボツリヌス中毒	ピストル等による事故
10-9-			
		to the second second	
10-10			
	Negligible		A A
10-11-	Hazard	-Smallpox 天然痘	
	無視できる		:
	ほどの有害物		
10-12			

図 4.4.1(1) 各種死因による死亡リスクの比較 7)

# (3)リスク認知・リスクの社会的受容性を考慮した方法

この方法では,各種のリスクに対する社会的な受容性や人々のリスク認知を分析して,日常的に遭遇するリスクとの対応付けを行うことにより,目標信頼度を検討する.

階層分析法(Analytic Hierarchy Process:AHP)を用いて,死亡リスクの非受容性を定量化し,社会のリスク受容性の心理的影響因子を考慮した検討結果を図4.4.1(2)に示す<sup>8)</sup>.この結果には,原子力分野の安全目標は,社会の受容レベルより低いが,環境・衛生分野の安全基準は社会の受容レベルより高いことが示されている.

また,一般の人々や専門家に対するアンケートを行い,各種リスクと人々のリスク認知との関係から目標信頼度を設定しようとする検討もある.

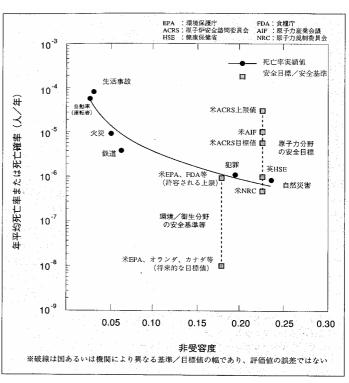


図 4.4.1(2) 日常的に遭遇するリスクの大きさと 安全目標・基準との比較<sup>8)</sup>

## (4)リスクと便益のバランスを考慮した方法

各種のリスクと便益との関係に着目して,構造物の安全水準を定めようとする考え方であり,「社会は一定の便益を得るために,その便益の多さに見合ったリスクを覚悟して行動している」という社会選考行動分析における仮説に基づいている.この仮定のもとに,各種のリスクに伴う行動を,そのリスクレベルと便益との相対関係で位置付けるものである.

この考え方に基づいた例を図 4.4.1(3)に示しているが,図中において,直線で示されている境界の上側は非受認リスクを示しており,境界の下側が受認リスクとなる.また,便益の代わりに,破壊に伴う損失や,死亡者数を用いているものもある.

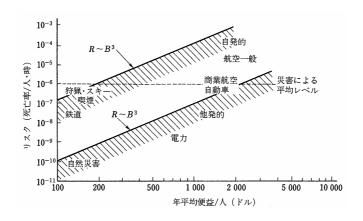


図 4.4.1(3) リスクと便益との関係 9)

## 4.4.1(3)国内外基準・文献に示されている目標信頼度や安全水準

国内外の設計基準やガイドラインを文献調査し,目標信頼度設定の考え方やその特徴,並びに示されている数値について調べた.表4.4.1(3)に調査結果をまとめて示す.

表 4.4.1(3) 国内外基準・文献による目標信頼度・安全水準のあり方に関する調査結果

			,	
対 象	代表的な 基準類・機関等	考え方・特徴	調査結果	
構造設計	ANS A58 <sup>10)</sup> 海洋構造物 <sup>11)</sup> 鋼構造限界状 <sup>12)</sup>	これまでに経験的に作られてきた構造 物の性能を考慮	・1 年間当たりの目標信頼度 (終局限界状態) =3~5	
悔 垣 設 前   に関 する   安全性の	Iネルギー施設 <sup>13)</sup> DOE Standard	荷重・外力と構造性能についての確率 論的な評価に基づく	・供用期間内の目標信頼度(終 局限界状態)	
基準	CIRIA <sup>14)</sup>	構造以外のものに見られるリスクの現 状を考慮	=1~4 ・期間 50 年の目標信頼度(使	
	ISO2394	構造物の使用期間に生じる総費用を考 慮	用限界状態) = <b>0</b> <sup>15)</sup>	
	NRC*1 ACRS*2 IAEA*3	単位運転期間当たりのシビアアクシデント(炉 心損傷)の発生確率量	10-5/炉年~10-4/炉年	
原子力発電所に関	NRC	事故による急性死亡リスクや癌死亡リスクと の相対比較	急性死亡リスクの 0.1%程度	
する提案・規制	ACRS	単位線量の被爆,急性死亡,癌死亡を コストに換算	急性死亡 1 人当たり \$500 万 癌死亡 1 人当たり \$100 万	
環境・衛生 分野に関する する基準・規制	米国環境保護庁	生涯年数(通常 70 年)における癌や免疫 系の疾病による死亡確率に相当する, 水,空気,規制物質の摂取量	10 <sup>-8</sup> /年~10 <sup>-6</sup> /年 (基準値に相当する死亡リスク)	

<sup>\*1</sup> Nuclear Regulatory Commission,

<sup>\*2</sup> Advisory Committee on Reactor Safeguards.

<sup>\*3</sup> International Atomic Energy Agency.

## < 4.1.1 参考文献 >

- 1) 建設省総合技術開発プロジェクト,「新建築構造体系の開発」総合報告書,1998.3.
- 2) 東京消防庁,東京都消防庁統計書平成10年,1999.
- 3) 総務庁統計局,日本の統計,1998.
- 4) 防災に関してとった措置に概況,第145回国会(常会)提出(平成9年度災害発生状況)
- 5) 警察庁,過去10年間の死者数の推移(平成元年~平成10年).
- 6) 厚生省大臣官房統計情報部,平成9年人工動態統計,1997.
- 7) 加藤順子, リスクの社会的受容とコミュニケーション, 安全工学 Vol.38 No.3, pp.152-160, 1999.
- 8) 古屋俊輔,技術システムにおける安全目標のあり方-リスク受容性の評価に基づく安全目標の検討-,三菱研究所所報 28 号,pp.158-183,1995.
- 9) 火力・電力土木構造物への信頼性設計適用研究,東京電力研究会報告書, 1987.3.
- 10) Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58, 1980. 6.
- 11) Det Norske Veritas, Structural Reliability Methods, Classification Notes, No.30.6, 1991.
- 12) 日本建築学会,鋼構造限界状態設計規準(案)・同解説,1990.
- 13) R.C.Murray, et al., DOE Natural Phenomenal Hazards Design and Criteria, Proc. of the 5<sup>th</sup> Symposium on Current Issues Related to Nuclear Power Plant Structres, Equipment and Piping, Orlando, Florida, 1994. 2.
- 14) Construction Industry Research and Information Association (CIRIA), Rationalisation of Safety and Serviceability Factors in Structural Codes, Report63, 1977.
- 15) Ontario Highway Bridge Design Code (OHBCD), 1991.

### 4.4.2 原子力分野における目標安全性レベル設定思想と合意形成

日本の総発電量の約三分の一は原子力発電による.平成15年には原子力発電所の一斉点検による稼働停止に伴い,電力供給に対する不安が社会現象となるほどに現在のわが国は原子力に大きく依存している.一方,原子力の安全性に対する国民の不信感は深く,電力会社並びに原子力関係機関は100%起こることはないとは言い切れない事故への不安を払拭すべく,十分な安全性を持って発電所の建設や運用を行っていることを強調し,これを国民への十分な説明としてきた.

ところがこの40年以上もの間,安全性に関して確率論をはじめとした様々な手法による検証は行われてきたが,利害関係者とのコンセンサスが取れた明確な「安全目標」を持たずに原子力を利用してきた.「事故は100%起こらない」ことが建前であったため,リスクレベルの議論自体がタブー視されていたのも理由の一つであろう.しかしいかに発生確率が小さいとはいえ事故の際には住民への被害が甚大であり,とても管理者のみで責任を負える問題ではない.明確な安全目標および想定されるリスクの説明を行う責任(accountability)に対する同意が必要のはずである.そして明確なクライテリアのもとで定量的な安全目標を示して初めて国民との同意は成り立ち得る.

## 4.4.2(1) 各国の「無視し得るリスクレベル」

欧米では明確な安全目標を設定し、国民への説明責任を果たしている。国民が許容できるリスクレベルはその国民性や環境などにより違いがあるため、それらを十分に反映したリスクレベルの設定が必要である。ここに、欧米におけるリスクレベル<sup>1)</sup>の設定例を紹介する。

## (1) アメリカでの取り組み

スリーマイル島事故後の 1986 年に ,原子力規制委員会(NRC)により安全目標が定められた 「原子力発電所の存在は個人リスクを有意に増加させない . 社会リスクは代替発電技術と同等以下であって ,既存の社会リスクを有意に増加させない」という安全確保の理念を与える定性的安全目標と ,この目標の達成度を評価するための基準である「急性死亡およびがん死亡リスクの増加は他の要因によるリスクの 0.1%を超えない」という定量的安全目標から構成される .

## (2) イギリスでの取り組み

リスクの受認可能性(Tolerability of Risk: TOR)という概念が採用されている.安全(広く受容される)か安全でない(受容されない)の間にグレーゾーンを考え,リスクがその領域にあれば,安全性向上策を実施するための費用を考慮した上で,そのリスクが合理的に実行可能な限り低く(As Low As Reasonably Practicable: ALARP)なっていると判断されれば受け入れることになる.

● 広く受容される領域:10-6以下

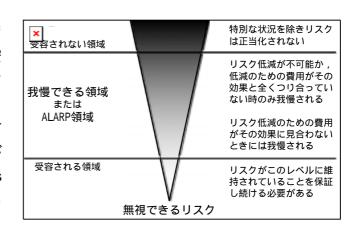


図 4.4.2(1) リスク受容可能性

● 我慢できる領域(既設): 10-4以下

● 我慢できる領域 (新設): 10<sup>-5</sup>以下

## 社会リスクの我慢できる領域の基準

● 多数の死者を伴う:10<sup>-4</sup>以下(可能であれば2.0×10<sup>-5</sup>以下)

## (3) オランダでの取り組み

オランダでは早くから国民との合意形成に向けての努力が行われ,公衆のリスク認知およびリスクの受容性が考慮されてきた.

- ALARP 原則を通じての望ましいリスク低減は個々の活動により変わりえるため,あるレベルを一律に設定しても有用とは言えない
- 単一施設に対する個人死亡リスクは 10-6 程度/年
- 社会リスク(集団の死亡リスク)少なくとも 10 人が死亡する事故の発生頻度は 10<sup>-5</sup>/年以下に制限されるべきで,急性死亡者数が n 倍に増加する場合には頻度は 1/n²倍に下げられるべき

このリスク基準は法令に取り入れられ,許認可にあたっての適合性の確認がなされている.なお,危険物質の仕様,貯蔵,生産および輸送,空港の使用の各分野に置いても,同様なリスク基準の策定が進められている.

## (4)国際的な取り組み

国際原子力安全諮問グループ(INSAG)では総合的な安全目標として「放射線ハザードに対して効果的な放射線防護策を確立・維持することにより個人,社会および環境を防護すること」,補助的な安全目標として「技術的安全目標」を示している.

具体的には,既存原発の重大な炉心損傷頻度は約 10<sup>-4</sup>,将来炉は約 10<sup>-5</sup>,短期的な敷地外対応策を必要とする早期大規模放出の可能性は少なくともこの 1 0 分の 1 に低減するものとしている.ただし,INSAG の安全目標は国際原子力機関(IAEA)の国際基準には明確に取り入れられていない.その理由として,安全目標を規定する目的は,原子力施設に係わるリスクを国際的慣例に照らして,国の適切な機関が受け入れ可能と考えたレベルまで低減することにあり,達成すべき安全目標は国の状況に応じ規定もしくは承認される必要がある,としている.

欧米各国の取り組みにおいて注目すべきは、ALARP 原則に則って許容できるリスクレベルをコストとのバランスを考慮して決定している点である。安定した電力供給というメリット、万が一の事故というリスク、そのリスクを回避するためのコスト、そのリスクの大きさに見合う補償など、全てを広い視野で考慮しなくては妥結点が見つからず、メリットとリスクの両面を議論の対象とすることによりはじめて住民は中立の立場で議論に参加することが可能になる。この際、専門家による確かな情報や、確率で表現されたリスクを住民が理解できるブレイクダウンした情報が必要である。いずれの安全目標も定量的な無視できるリスクの目安として、一般的な日常生活

における様々なリスクより十分に小さいリスクを与えている.

## 4.4.2(2) 専門家と住民の温度差

万一の事故の際には被害が甚大となる原子力分野では特に,住民との意思の疎通と同意が必要となる.ところが,本質ではない部分で専門家と住民の間に大きな温度差が発生し,それが意思の疎通を阻害する例は多い.ここに一例を挙げる.

通常,専門家は事故が如何に起きないか,つまり事故の起こる前のことばかり説明しようとするが,住民の興味は事故が起きたその後のことである.現実には事故が起こる可能性は大変小さく,専門家は事故の確率を口にしながら実害のある事故が起きるとは考えていない.その考えの裏付けから,住民に対しては安全を強調している.様々な小さなトラブルも正常範囲内の変化という認識で処理し,実際にも対応可能な想定範囲内の出来事に過ぎない.

ところが住民側は専門家にとっての小さなトラブルの意味が分からない.そのため,通常の状態以外の状態になった場合,あらゆるトラブルを同一視し,常に最悪のシナリオを想定する傾向がある.専門家はどのようなトラブルであっても,専門家の守備範囲として内々に処理するのではなく,現状と対策,そして考えられる影響を誤解なく住民に説明しなければならない.

竹内 $^{2)}$ は以上の例にあるような専門家と住民の温度差に関して,以下のような要因があるとした.

- 1.金銭で補償できないリスク(人命の危機)が存在する.
- 2.確率と現実の事象を結びつけるものは、「確率が十分小さい場合は、その事象は起こらない」 というものだけである、また、その「十分」の基準は、対象者によって変わる。
- 3. 事後に「結果の平等」を得ることが重要である.

一般に事故などの偶然的と思われる確率は何人かの関係者の互いに独立した行動がたまたまぶつかったことによって起こることが多い、そうなるとそのような事故に対して「責任」があるのは誰かという問題が起こる。全ての関係者に責任があると言えるし、別の考え方によれば誰にも責任はないと言える。後者の考え方を取れば結局被害者が「不運」だったということに終わってしまう。しかしそれでは社会的に「公正でない」と思われることが多いだろう。現実には自動車事故でも公害問題でも、「不運」を分配する形で関係者が賠償責任を負うことが通例になっている。一般的に個人より企業、或いは弱い立場にあるより強い立場にある人、より主体的に関わった人のほうがより多くの部分を負うことになるのも社会的公正の観点からは正当である。またそこで社会的な保険が入る場合もあるが、それは「不運」を社会的に広く分配することを意味する。なお、「不運の分配」は全体としての社会的公正の問題であって、個々の行為に対する倫理的判断の問題ではない。ここで分配の対象としている「不運」とは、故意や過失による「罪」とは異なるものである。原子力発電所での事故に関しても「結果の平等」が重要であり、不運の分配があるならそれがどのようなものなのかを明白にしなければならない。

4. 犠牲になることを納得させる何かが必要である.

責任を ,確率を言い訳にして逃れることは許されない ,つまり決定は技術的問題ではなく , 政治的な問題である . どのような手続きにより決定し ,責任を誰が取るのかを明確にするこ とが重要である.

関係者の民主的話し合いによる決定は政治的決定に用いられるものであり,安全目標の決定などの「専門家の科学的判断」がそれにゆだねられるような曖昧なことがあってはならない.

5. 事実を偏りなく正確に伝えるのが難しい.

「多数の事故に至らないトラブル(incidence)が発生すると,一定の割合で小事故(accident)が生じ,多数の小事故が起きると大事故(catastrophe)が発生する」

重要なことはトラブルが起きるか起きないかではなく、起きたトラブルを如何に小事故に発展させないよう有意義な処理を行っているかである.判断者は自らの技術レベルの過信、あるいは面倒さからごまかしの入った誤った処理をしてはならない.また、トラブルの発生そのものが大事故に直接つながるものであるかのような報道の仕方は誤解を生むものであり、望ましくない.

6. 反対派と推進派の信頼関係が構築できていない.

原子力反対派の中にはとにかく原子力は危険だということを一方的に強調して、小さい危険と大きい危険を区別することなく、原子力関係者や技術者に対する不信感を煽る傾向があった.これに対して原子力技術者の一部には、自分たちは一方的な悪意的中傷の被害者であり、よけいな情報を出すことはかえって誤解を作られるだけであって、素人の人たちは専門家のやることをただ信じてくれて良いのだと考える傾向が生じた.双方が相手側に対する基本的な不信感を抱き、自分たちが被害者の立場に置かれているという心理状況に陥っているように見える.

7. 最終的な判断は専門家による科学的判断ではなく,責任主体を明確にするための政治的判断であること.

スウェーデンなどではいわゆる「脱原発」も「脱原発の中止」も国民的合意の基で政治的 決定としてなされている.責任は国,さらに言うなら「政治」にあり,「国民に安全を保証 する」立場を忘れてはならない.国民に対するエネルギー供給の方法として,あらゆる発電 方式が様々なリスクを背負いながらも一定のエネルギー供給量を確保しなくてはならない 中で,どのような政策をとるかは全くの政治的決定である.これは責任主体がはっきりしな い技術的専門家達の科学的判断だけで行われてはならない.

8. 合意形成に対して社会が未熟であること.

リスクを含む社会的行為の決定について,完全に合理的な,あるいはどのような立場・意見・信条などとも無関係な「中立的な科学的」判断というものはあり得ないことを前提にし,その上でなおかつ一人一人が真剣に多くの専門家の意見を聞き,主体的に判断して決定を下すプロセスに加わることができることが民主的社会におけるリスク問題にかかわる合意形成のルールであること,そうして人々に対して責任を持って具体的な行動計画を提示し,人々の賛成を求めることが政治的指導者の義務であること,この二つが大原則である.

これら全ての要因が重要であることは疑いないが,この難しい問題に対してどのような第一歩 を踏み出せばよいのであろうか.

それは責任に対する専門家・住民双方の意識の向上ではないだろうか、倫理観や個人の価値観

の違いなどの根本的に解決が難しい問題とともに,合意形成に至らない大きな要因として物事の一面(主にメリット)しか説明したがらない専門家と,隠された一面に不信感を持つ住民との平行線が挙げられる.これは責任の所在が不明確であることに他ならない.長年の議論のとおり,簡単に解決できる問題ではないことは承知の上でこの責任の所在について私見を述べておきたい.

政治的な責任者は必要だが,実際に被害が生じたときにその責任者が取れる責任には限度がある.専門家・住民ともに合意形成に係わる以上,関係者全員が責任を持つ必要がある.専門家が取るべき責任は偽り無き事実や判断材料(これには管理上の人為的ミスの可能性も含むだろう),そして適切な代替案を住民に提供しなかったことに対して発生するものであり,その責任に対する賞罰は明確にすべきである.しかし,それに対して住民が判断した結果起きる事故については住民自身の責任であることを住民が自覚しなければならない.それができない専門家には原子力発電所を管理し,利益を得る権利はなく,住民には原子力発電所のメリットを享受する権利はないといって良いだろう.専門家も住民も,全てのメリットとリスクが自分自身のものであることを明確に自覚しなくてはならない.

また、対話形式が二者間であることも問題の一つである。客観的な情報と判断力を持つ第三者、例えばNPOといった団体が専門家と住民の話し合いを冷静に推し進めるための重要な役割を担うことに大きな期待を持っている。

#### 4.4.2 参考文献

- 1) 内閣府原子力安全委員会 安全目標専門部会:「原子力は,どれくらい安全なら,十分なのか」, 2002.
- 2) 竹内啓:「民主社会の安全問題~リスク管理における合意形成」,内閣府原子力安全委員会, 2002.
- 3) 長坂寿久: 「オランダモデル」, 日本経済新聞社, 2000.

# 4.4.3 リスク分担原則による目標信頼性指標の決め方

# 4.4.3(1) 緒言

目標信頼性指標は、信頼性を基礎とする構造設計の核となる重要な因子であり、例えば、level 信頼設計法における部分係数を決定する場合の、重要な基本因子である、従来の研究においては、目標信頼性指標は既往の設計法との整合性をとって決定する、いわゆるコードキャリブレーションを用いて、具体的な数値を決定するものとされてきた、しかし、Vision2000<sup>1)</sup>の性能マトリクスにおいて、荷重の大きさが再現期間という確率的な表現を用いていることや、ISO2394 の付録において、構造物の重要度の応じた参考値が示されていることなど、より明確に確率的な意義においてその大きさを決定する手法が必要となってきた、それ以上に、構造物のオーナーと、その建造にあたる者との間でその構造物の有するべき安全性の要求性能について合意形成することが重要となってきた、そこで、本研究では、性能設計法における要求性能を決定する上で、重要な役割を果たすと考えられる性能マトリクスで与えられる荷重の生起頻度に対応しつつ、構造物の設計者(事業主体)が、自ら負うリスクを基準として目標指標を決定する手法を提案するものである、

# 4.4.3(2) 性能マトリクスの意義と要件

図4.4.3(1)は、Vision 2000で示された性能マトリクスの一例である。さらに、図4.4.3(2)は、図4.4.3(1)における通常の構造物への要求性能群を構造の持つ弾塑性抵抗力~変形関係に投影して、各要求性が弾塑性応答のいくつかの構造物の弾塑性応答における状態変化点に対応していることを示したものである。これらの図は、具体的な地域、地震、構造物などを例として述べているのではなく、単に抽象的な概念を説明するために用いられているものである。この性能マトリクスの重要性が認識されたのは、ノースリッジ地震などで被害を受けたビルのオーナー(非技術者)と設計技術者との間で双方が理解し合える設計ポリシーに関する情報交換方法の必要性が高まったことに起因している<sup>2)</sup>・

## **Fully Operational** Operational Life safe Near collapse **Frequent** $\bigcirc$ $\bigcirc$ $\bigcirc$ (43 years) Basic Objective Occasional $\bigcirc$ (72 years) Zardous Ob Rare $\bigcirc$ (475 years) Very Rare (970 years)

#### **Earthquake Performance Level**

図 4.4.3(1) 性能マトリクスの例

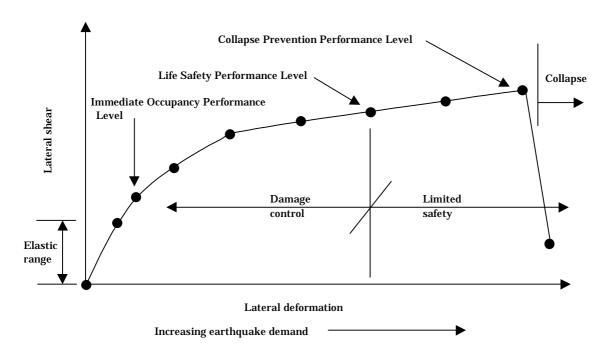


図 4.4.3(2) 多段階限界状態の例 (Vision 2000)

図 4.4.3(3)は ,旧建設省(現国土交通省)が実施した総合プロジェクトによる建築構造設計体系 3)~6) の設計フローである.ここでは,性能マトリクスを用いることを前提としているわけではないが,「要 求性能」と「目標性能」という二つの用語を用いてそれらの役割を説明している. すなわち,「要求性 能」はオーナーや市民など非技術者に対して、その建築物の保持する、または保持すべき条件を平易 な表現で一般性と同時にその建築物の個性を配慮できるように規定されるものであり,いわゆる「説 明責任」として具備すべきものとしての役割を担っている.一方,「目標性能」は,設計技術者が要求 性能を満たすように設計するに当たって、要求性能の持つ曖昧性を取り除いたいわゆる技術者間の要 求情報を記述したものとなっている.この規定は,図4.4.3(3)に示すフローの最後にある「性能評価」 過程において、「限界値(許容値)」を与える根拠となるため技術情報としての具体性を持ち合わせる 必要がある.たとえば、「震度6の地震時に層間変形角が指定された塑性許容回転角を超過しない」な どの表現であろう.このように,目標性能には,ある程度設計対象となる構造物の特性(RCか,SRC かなど)を考慮した設定となるため,性能設計の企図する「可能な限りの使用規定排除」「代替設計案 の促進」を阻害する可能性もある.このような矛盾条件をクリアしつつ,「要求性能」を確実に達成す るためには,巧妙な技法を確立する必要がある.前記総合プロジェクトでは,これを「目標性能設定 の原則」と呼ぶ手法または過程としているが,未だその具体的な方策は検討中であるとしている3). 本節で扱う性能マトリクスは、まさに検討を要する「目標性能設定の原則」に直接リンクする問題で あり,その巧妙さに応じて使用性の良否が決定づけられる.

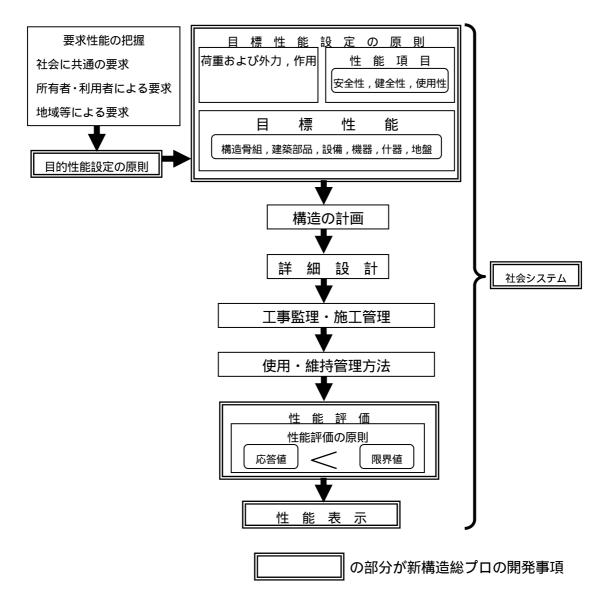


図 4.4.3(3) 性能を基準とした建築構造設計体系における設計のフロー

ただし,前述の問題分析は,構造物の使用者がプライベートユースである建築構造を主対象とした議論であり,オーナー,使用者,購入主体,管理責任主体に特殊性を有する公共構造物の特殊性,一切勘案されていないものである.しかし,これらは一般性のある原則論でもあることに鑑みて,Vision 2000 や建築基準法の性能設計体系の精神を継承しつつ,道路橋の公共性を考慮した性能マトリクス(表示法)の意義と具備すべき要件は,以下のように考えられる.

#### 一般市民に対して

一般市民に対する「性能マトリクス」の意義は、いわゆる「説明責任」を果たすことにある.震災を案ずる市民に対して、「0.2G の水平荷重に対して許容応力度を満足するように設計している」、「第一種地盤の地震スペクトルを用いて、許容じんせい率を満足するように設計している」などという技術者にしかわからない説明技法を廃して、この構造の設計時の要求性能は、「震度4までの地震に対し

ては,通常の使用が可能であるように設計している」、「震度4を越えて6までの地震に対しては,一時期復旧作業のため使用を停止することもあるが,周辺に対して人命や不動産の損傷を与えないように設計している」といった一般市民に理解しやすく,かつ誤解の生じない表現で表すことが必要である.

また,要求性能を明示することによって,「非達成性能」を暗黙のうちに示すことも重要な意義である.すなわち,先の例で言うならば「震度5においては通常通り供用を再開できることは保証しない」ことを明示している.

#### 設計技術者に対して

設計技術者に要求性能マトリクスを示すことの意義は、代替設計案の促進にある.振動制御技術の 発達が今後期待される現状技術の動向から鑑みるに、一つの要求性能を満足する要素技術の組み合わ せが、多数存在する時代となる.橋梁設計の要求性能が耐震性のみではないことから、性急に廉価技 術を特定して、可能設計技術の選択範囲を限定することは、広い目で見てコストパフォーマンスの悪 い買い物をすることになる.

一方,要求性能表現の曖昧さが,具体的な設計作業の到達レベルを曖昧にすることのないように目標性能導出の方法が確立されていなければならない.また,目標性能導出の方法に対して,整合性ある要求条件を示していなければならない.本報告にあるように,具体的設計作業が部分係数法による限界状態設計手法をとるものとすれば,部分係数決定時に必要な情報として,「その要求性能をどのレベルの信頼性で達成すべきか」について示されなければならない.

#### 事業主体に対して

社会構造の変遷や利用技術の発達など,事業環境の変遷に対して軽快に設計技術を対応させることが可能となる.公共事業では,事業主体が設計のコードライターとなることが多いが,一貫・整合性ある設計哲学の継承が可能となる.

一方で,今後訴訟型社会へ進展することと,道路橋の供用期間が長いことを勘案すると,供用後数十年を経て起きた震災において,設計時の過失責任を争う機会が多くなる可能性がある.その場合,明示された要求性能が法律技術的にみて問題がないようなシステムとする必要がある.

#### 施工業者に対して

施工時の設計変更を行う際に,性能マトリクスを明示していることは,代替案が橋梁システムの保持すべき性能を阻害することがないように技術判断を下すことができるため有用である.一方では,要求性能と目標性能導出の原則が曖昧であると,無用な設計変更を過剰に行って,システムの要求性能が高い信頼性で達成できないことを看過する契約システムを構築する可能性もある.このためにも,で示した要件と同様に,要求性能表現と目標性能の導出が十分な整合性を持って実行できるシステムでなければならない.

## 4.4.3(3) 提案する性能マトリクス表示法の概要

前述の性能マトリクスの意義および具備すべき要件を勘案したうえで,本研究で提案する性能マトリクスの表示方法は,以下のような概要に従うものとする.

性能マトリクスの縦軸となる地震の設計基準頻度を選択可能にする.また,リスク開示情報を与えるため基準頻度と供用期間中の超過確率および外挿設定の関係を明らかにする.

性能マトリクスの横軸となる性能区分については,供用停止区分,使用者の人的・物的損失レベル区分および周辺への人的・物的損失レベル区分を導入する.

目標性能(部分係数)導出の基準とするために,各要求性能(地震頻度と達成性能の組み合わせ) ごとに要求性能を達成できない場合の許容確率を同時に示すシステムとする.

性能マトリクスを上部構造,基礎構造,橋脚および落橋防止システムに区分して与える表示システムとする.

以上の概要をふまえた上部構造への要求性能マトリクスの一例を図4.4.3(4)に示す.

基準	■供月	月期	間 5 0	達成レベル						
年										
	再	現	供用		供用性能			人命	の安全性	
	期	待	期間		(修復性)	)				
	年数	女	中超	完全供	数週間	数ヶ月停	使	用者	使用	者以外
地			過確	用用	停止	止				
震			率							
動				無修復	要修復	大修復	無	生	無	生
の						または	被	命	被	命
レ						再建築	害	確	害	確
ベ								保		保
ル	72		50%							
	年			Pra= 1 %						
	475	<u> </u>	10%							
	年				Pra=5%		1 %		1 %	
	975	5	5%							
	年					Pra= 10%		1 <b>0</b> %		
	500	00	1%							
	年									10%

Pra:設定地震動以下の地震動に対して,要求性能を満足しない確率の許容値

図 4.4.3(4) 非達成許容確率情報を含む要求性能マトリクスの一例

#### 4.4.3(4) 設定地震動レベル

要求性能マトリクスの表示において,縦軸となる地震動レベルの表示方法は,市民に対して理解しやすい表現であると同時に,要求性能を越えた地震に対しては指定達成レベルが確保されない可能性があることを認識できる表現方法である必要がある.図4.4.3(4)で示した提案例では,975年に一度の地震レベルという表現を示すことで,どの程度稀な地震を想定しているかを示すと同時に,供用期

間中にそれを越える地震動が発生する可能性が 5%程度あることを示している.暗黙のうちに,50年のうちには,数ヶ月間の通行不能な被害を受ける可能性が 5%もあることを示している.市民との説明責任を果たすために,超過確率を示す方がよいのかについては,検討の必要がある.

一方,事業主体者として 975 年再現確率の地震動を設計に用いたとしても,それを越える地震動が 50 年間に 5%もあることは十分に理解した上で,性能マトリクスを示す必要がある. 50 年間に 5%を 単純に頻度として正確に表現することは困難であるが,1000 年に一度と言われる阪神大震災クラスの 地震動であっても,決して「自分の残りの人生においてもう起こることはない」とは言いずらいレベル設定であることは理解しておく必要がある. すなわち,事業主体としては十分に地震動レベルの確率的な理解をしておく必要がある.よって,以下に地震動レベル設定の確率的背景を述べる $^{7}$ .

一般的に,地震動の発生がランダムである(周期性がない)とすると,N年間に超過確率pの荷重の再現期間 Tは,次式で表される.

$$T = \frac{1}{\left\{1 - \left(1 - p\right)^{1/N}\right\}}$$
 (4.3.1)

さらに ,地震荷重の年最大荷重の分布が極値 I 型の分布関数( グンベル分布 )に従うものとすると , 荷重 Xへの超過確率  $p_i$  は , 次式で与えられる .

$$p_{I} = 1 - F_{X}(X) = \frac{1}{T}$$
 (4.3.2)

ただし,

$$F_X(X) = \exp\left\{-\alpha(X - \beta)\right\}$$
(4.3.3)

ここで, $F_X(X)$ :グンベル分布累積確率分布関数, $\alpha$ , $\beta$ :スケールパラメータであり,X の平均値  $\mu_X$  と標準偏差  $\sigma_X$  と次の関係がある.

$$\mu_{X} = \beta + \frac{\gamma}{\alpha} \tag{4.3.4-a}$$

$$\sigma_{X} = \frac{\pi}{\alpha \cdot 6^{0.5}} \tag{4.3.4-b}$$

ただし, :オイラーの定数(=0.577215).

以上の関係を用いて,供用期間中の超過確率と供用期間をパラメータとした地震動の再現期間を表 4.4.3(1)に, 同様にグンベル分布の超過確率を表4.4.3(2)に示す.表4.4.3(1)より, 橋梁の設定供用 期間を50年よりも大きく設定すると再現期間は非常に大きな年数となるため市民への説明情報とし て相応しいか否かについては検討を要する.一方で鋼橋では,100 年を越えて供用に耐えているもの が数多いことから鑑みて,基準供用期間を50年とすることにも抵抗がある.さらに,超過地震の発生 確率は 50%, 10%, 5%といった決して小さなものではないことも十分に考慮する必要がある. 文献 7)に よると, 日本道路協会・橋梁委員会・限界状態設計法分科会・荷重検討班での検討では, 50 年超過確 率 10%のレベルの荷重値を「最大値に相当する特性値」と位置づけて既存の荷重値との整合性を検討 したとある <sup>7),8)</sup>.

表 4.4.3(2)に示した超過確率をみると,これは思ったほど小さな数値ではなく,10%といったレベ ルでの数値が議論される構造安全性評価における確率分野においては,あまり違和感を覚えない.し かし,現在までに蓄積され利用可能な年間最大値データが数10年のオーダーであることを鑑みると, きわめて外側の外挿域で推定される値となることも十分に理解しておく必要がある.

	表 4.4.3(1)	設計用地震動の再現期間T
供用期間		基準供用期間(N年)

供用期間	基準供用期間(N年)				
中超過確	5 0	7 5	100	1 5 0	
率					
р					
5 0 %	7 2	1 0 8	1 4 5	2 1 7	
	(75)	(110)	(150)	(220)	
1 0 %	4 7 5	7 1 2	9 5 0	1 4 2 4	
	(500)	(700)	(1000)	(1500)	
5 %	9 7 5	1 4 6 0	1950	2920	
	(1000)	(1500)	(2000)	(3000)	
1 %	4975	7 4 6 0	9950	1 4 9 2 0	
	(5000)	(7500)	(10000)	(15000)	

表 4.4.3(2) 設計用地震動のグンベル分布関数での超過確率 p

供用期間中		基準供用	用期間(N年	)
超過確率	5 0	7 5	1 0 0	1 5 0
р				
5 0 %	1.38E-2	9.20E-3	6.19E-3	4.61E-3
1 0 %	2.11E-3	1.40E-3	1.05E-3	7.02E-4
5 %	1.02E-3	6.85E-4	5.13E-4	3.42E-4
1 %	2.01E-4	1.34E-4	1.00E-4	6.70E-5

# 4.4.3(5) リスク分担の考え方

図4.4.3(1)には、Vision2000で示された構造物の耐震性能マトリクスを示している.マトリクスの横軸(列)は,構造物の有する限界状態が示されている.これに対して,縦軸(行)には,限界状態に対応する地震の大きさを示しており,その際,大きさを再現期間で示している.例えば,72年に一度の地震というのは,50年の供用期間中に50%の超過確率と対応するものである.このように,確率と対応した荷重の表現が示されると,あたかも許容破壊確率を示しているかのように感じられるが,以下に述べる理由で 構造物の破壊確率と要求性能に示される荷重の超過確率とは異なるものである.図4.4.3(5)に荷重と抵抗のばらつきと限界状態の関係を示す.

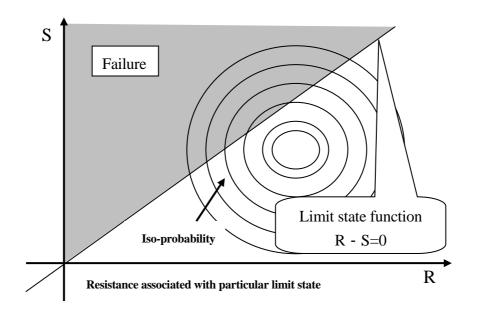


図4.4.3(5) Probability destiny and limit state function

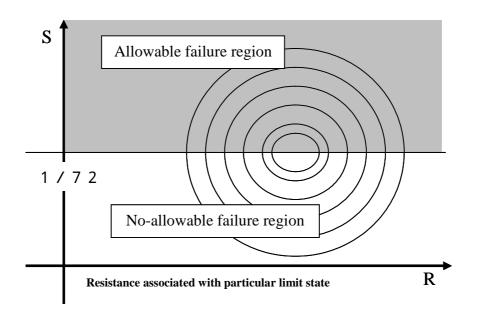


図 4.4.3(6) Risk share in contract

性能マトリクスで指定したある限界状態に関する抵抗を R とすると , R を決定する要因はばらつきや不確定性を有するため , 平均値の回りにある生起確率分布に従うばらつきを有する . 同様に , 荷重(効果)についてもばらつきがある . 仮にばらつきがせき確率分布に従うならば , 図 4.4.3(5)のように , 荷重と抵抗の平均値を中心とする楕円状の等確率分布線が得られる . 構造物が破壊するとは , この抵抗力が荷重に対して小さい場合に生起するので , その限界状態式は次式によって与えられる .

$$Z = R - S = 0 (4.3.5)$$

また,その破壊確率は,次式のように示される.

$$P_f = P(Z < 0) (4.3.6)$$

ところで,性能マトリクスを用いて,オーナーと72年に一度の地震に対して,使用限界を保つものと契約を取り交わしたものとすると,オーナーは,図4.4.3(7)に示す破壊領域のリスクを了承したことになる.

図 4.4.3(5) と図 4.4.3(6) を見比べると, 明らかに破壊領域が一致していない. すなわち, 契約と事実の間にずれがあり, これによって次のような, 齟齬と隠れたオーナーの利得と設計者のリスクが生じている.

- a) オーナーが破壊することを了承した荷重において抵抗が十分で破壊しない確率:これは,オーナーが知らずして得られる利得となる.
- b) オーナーが破壊することを了承しない荷重において抵抗が不足して破壊する確率:  $(P_r)$ これは, 契約上設計者の保証責任となる事象である.一方で,設計者が自身の責任において許容値を決定 できる確率とも考えられる.

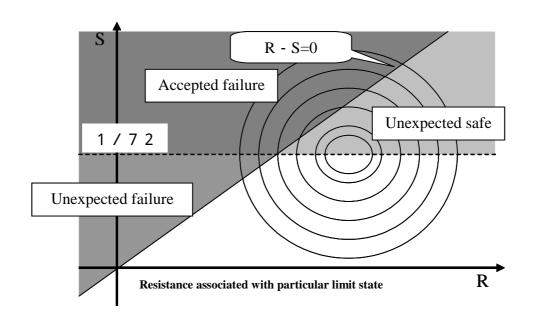


図 4.4.3(7) Designer's risk region

そこで,本研究ではこの第2項の確率を非達成確率と呼ぶものとし,この設計者が負うものと決心したリスクに対応する許容値を許容非達成確率 $P_{ra}$ として,与えるものとする.その際,与えられた許容非達成確率に対応する信頼性指標の求め方について提案する.

非達成確率を厳密に計算することは,モンテカルロ法などの手法が必要であるが,設計を完全に終了するまで,厳密な限界状態式は与えることはできない.よって,厳密に $P_r$  を計算する手法を基にして,信頼性指標を求めることは,実用性にかける.そこで,システム信頼性解析法による安全側の近似計算法を利用する.図 4.4.3(8)に示すように,真の限界状態線と,オーナーの合意に達した荷重のみの指定に対応する限界線の交点において,真の限界線に直交する線を引くと,この直交線と真の破壊線とは非相関的な限界線となるので,二つに共通する事象の確率 $P_m$  が次式によって求められる.

$$P_{m} = \Phi(-\beta_{T})\Phi\left(\frac{\beta_{s} - \rho\beta_{T}}{\sqrt{1 - \rho^{2}}}\right)$$
(4.3.7)

ここで, $\Phi$ :正規分布に従う累積確率関数, $eta_2$ :オーナーが了承した荷重に対する超過確率に対する指標,ho:真の破壊線と荷重のみに関する破壊線の相関係数(仮定する).

本来の条件では, $P_r$ が $P_{ra}$ より大きくなるように信頼性指標を求めるべきであるが,明らかに $P_m$ は常に $P_r$ より大きいので, $P_m$ が $P_{ra}$ と同じになるように信頼性指標を求めるものとする.よって,非達成許容確率と目標信頼性指標との関係は,次式を満足する. $\beta_T$ を収束計算によって求めれば,設定が可能である.

$$\Phi(-\beta_T)\Phi\left(\frac{\beta_s - \rho\beta_T}{\sqrt{1 - \rho^2}}\right) = P_{ra}$$
(4.3.8)

表 4.4.3(3) に計算結果の一例を示す.事実上,妥当性のある信頼性指標が得られることがわかった.

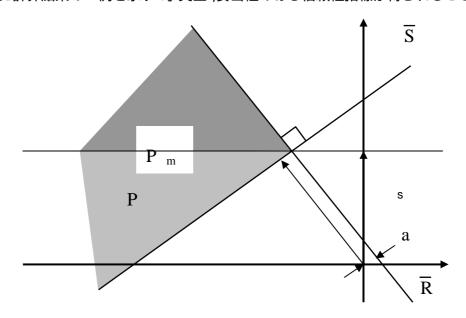


図 4.4.3(8) Computation for shared risk

# 表 4.4.3(3) 目標信頼性指標

# (a) 破壊限界状態と荷重限界との相関係数 =0.707 (45°) の場合

(上段:信頼性指標 下段:破壊確率)

		非達成許容確率 (Pra)			
		1 %	5 %	1 0 %	
許容期間中	5 0 (%)	1 . 2 7	0.76	0.48	
設定荷重に対		(1.01E-01)	(2.23E-01)	(3.16E-01)	
する荷重の超	1 0 (%)	1.99	1 . 4 3	1 . 1 1	
過確率		(2.32E-02)	(7.68E-02)	(1.32E-01)	
	5 (%)	2 . 1 2	1 . 5 3	1 . 2 0	
		(1.71E-02)	(6.34E-02)	(1.15E-01)	

# (b) 破壊限界状態と荷重限界との相関係数 =0.866(30°)の場合

(上段:信頼性指標 下段:破壊確率)

			非達成許容確率(Pra	Pra)		
		1 %	5 %	1 0 %		
許容期間中	5 0 (%)	0.89	0.55	0.35		
設定荷重に対		(1.87E-01)	(2.92E-01)	(3.64E-01)		
する荷重の超	1 0 (%)	1 . 8 1	1.36	1 . 1 0		
過確率		(3.52E-02)	(8.62E-02)	(1.35E-01)		
	5 (%)	2.00	1 . 5 0	1 . 2 1		
		(2.30E-02)	(6.63E-02)	(1.13E-01)		

# (c) 破壊限界状態と荷重限界との相関係数 =0.966(15°)の場合

(上段:信頼性指標 下段:破壊確率)

		非達成許容確率(Pra)			
		1 %	5 %	1 0 %	
許容期間中	5 0 (%)	0.50	0.30	0.19	
設定荷重に対		(3.10E-01)	(3.82E-01)	(4.23E-01)	
する荷重の超	1 0 (%)	1 . 5 8	1 . 3 1	1 . 1 3	
過確率		(5.73E-02)	(9.51E-02)	(1.30E-01)	
	5 (%)	1 . 8 4	1 . 5 1	1 . 2 5	
		(3.29E-02)	(6.54E-02)	(1.05E-01)	

## 4.4.3 参考文献

- 1) SEAOC Vision 2000: Performance based Seismic engineering of buildings, 1995.4
- 2) 本城勇介:限界状態設計法による基礎構造物モデル設計コードの提案, 海外調査報告書,平成10年度科学技術研究費補助金基礎研究(B)(1),課題番号10555163,平成11年3月
- 3) 藤谷秀雄:性能を基盤とした新構想設計体系 建築における発想 ,土木学会誌, Vol.83, pp.36-39,1998.1
- 4) 日本建築センター・(財)国土開発技術センター:「新建築構造体系の開発」平成7年度報告書, 1996.3
- 5) 建設省建築研究所・(財)日本建築センター・(財)国土開発技術センター:「新建築構造体系の開発」平成8年度報告書,1997.3
- 6) 建設省:建設省総合技術開発プロジェクト「新建築構造体系の開発」報告書,1998.8
- 7) 佐藤尚次,藤田宗久,白木渡,香月智,中村孝明:設計基準における安全性確保の考え方,構造工学論文集,Vol.43A,pp.493-504,1997.3
- 8) 日本道路協会橋梁委員会限界状態設計法分科会荷重検討班:限界状態設計法分科会荷重検討班第一次報告書,1986,第2次報告書,1982.

#### 4.4.4 ライフサイクルコスト最小化の考え方に基づく目標信頼性指標

#### 4.4.4(1) はじめに

これまでに述べてきたように,構造物の目標安全水準の決め方についてはいくつかの考え方があり,例えばライフサイクルコスト(以降,LCCと記述する)に基づく方法,現状の社会がもつ様々なリスク(バックグラウンドリスク)に基づく方法,これまでに建設されてきた構造物の保有信頼度に基づく方法(キャリブレーション),などがある.

構造物の耐震安全性に関する合意形成を行う上で性能マトリックスは有益な表現方法として注目されている.性能マトリックスは設計地震動レベルと耐震性能レベルの関係,いわゆる多段階耐震設計法の考え方を示した図であり,SEAOC の Vision2000<sup>1)</sup> , 土木学会コンクリート標準示方書 <sup>2)</sup>など国内外の様々な規準にその考えが取り入れられている.しかし,これら規準の多段階耐震設計法における設計地震動レベルの設定根拠は必ずしも明確ではない.また,これらの性能マトリックスは設計地震動レベルと限界状態(耐震性能レベル)の関係を示したものであり,限界状態が保証される信頼性レベルは陽な形では示されていない.耐震設計における安全性水準は ,図 4.4.4(1)に示すように設計地震動レベル及び耐震性能レベルの他に信頼性レベルも加えた3つの軸で考える必要がある.これら3つの軸は互いに密接に関連しており,例えば,設計地震動レベルを上げても信頼性レベル(安全率や部分係数)を下げれば,設計される構造物の実質的な安全性水準は変わらないことになる.

本報告書では構造が単純な RC 橋脚を対象として , LCC 最小の観点に基づく性能マトリックスの目標信頼度の決め方について一例を示す .

# 4.4.4(2) LCC 最小化に基づく性能マトリックスの目標信頼度の考え方

本報告書では LCC を初期建設コストと地震リスクの和として定義する .地震リスクは供用期間中に地震によって損傷が発生する確率と,損傷が発生した場合に生じる影響を経済価値換算した量である損傷時コストの積で表される.

図 4.4.4(2)に示すように,保有耐震性能を横軸,コストを縦軸とすると,初期建設コストは右上がり,地震リスクは右下がりとなり,その和である LCC には通常最小値が存在する.その時の耐震性能が LCC 最小の意味で目標とすべき耐震性能(安全性レベル)となる.本報告書では耐震性能として,使用限界を超えるが補修が可能なレベルである耐震性能1と再構築が必要となるレベルである耐震性能1と再構築が必要となるレベルである耐震性能2の2種類を考えているため,図 4.4.4(3)に示すように LCC は3つの項,初期建設コスト,リスク1,リスク2の和として求められる.

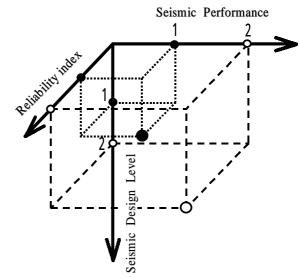


図 4.4.4(1) 安全性に関する 3 つの軸

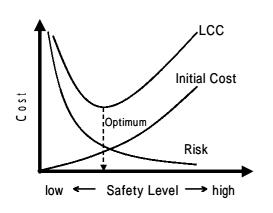


図 4.4.4(2) LCC 最小による 目標安全性レベルの概念

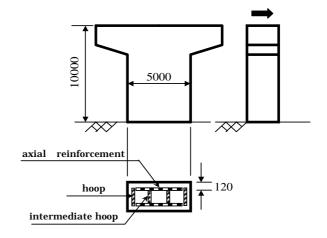


図 4.4.4(4) 例題とした橋脚モデル

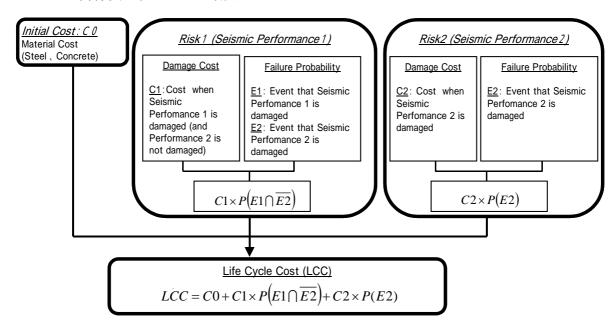


図 4.4.4(3) LCC 算定における 3 つの項

本報告書では図 4.4.4(2)の横軸にあたる構造物の耐震性能を限界加速度で表すこととする.限界加速度は限界状態が損なわれる最小の加速度振幅レベルと定義する. すわなち,設計地震動の加速度レベルを大きくしていった場合に,安全率が 1.0 を最初に下回った加速度振幅レベルが限界加速度である. 本報告書では耐震性能を表す軸として耐震性能 1,2 の 2 つを考慮しており,これを限界加速度 L1,L2 とし,図 4.4.4(2)と同様の図を 2次元平面上にプロットするとLCC に関するコンターマップ(後述の図 4.4.4(10))を求めることができる.このコンターマップ最小点から LCC 最小の意味での最適な耐震性能レベルを議論する.一度限界加速度に関するコンターマップを求めておけば,それを基に任意の目標信頼度 に対する設計地震動レベルや,逆に所与の設計地震動レベルに対する最適な信頼性レベルを検討することができー般性をもった議論ができる.

表 4.4.4(1) 不確定変数の平均と変動係数

	Random variable	Design value	Mean	Coefficient of variation(%)	Distribution form
te	Compressive strength(kgf/cm²)	240.0	310.0	4.0	normal distibution
Concrete	Tensile strength(kgf/cm²)	0.50f <sub>ck</sub> <sup>2/3</sup>	0.58f <sub>c</sub> <sup>2/3</sup>	9.3	normal distibution
පි	Elastic modulus(kgf/cm²)	$40,000f_{ck}^{-1/3}$	40,000f <sub>c</sub> <sup>1/3</sup>	12.0	normal distibution
Steel	Yield strength(kgf/cm <sup>2</sup> ),SD295	3,000	3,700	5.0	normal distibution
Ste	Elastic modulus(kgf/cm²)	$2.10 \times 10^6$	$1.95 \times 10^6$	1.0	normal distibution
error	Bending strength		1.0 × CV	10.0	logarithmic- normal distibution
Calculation	Toughness ratio		1.2 × CV	51.0	logarithmic- normal distibution
_	Shear strength		1.0 × CV	8.0	logarithmic- normal distibution
others	Steel-covering (cm)	12.0	12.5	6.0	normal distibution
ot	Pier Width (m)	5.0	5.05	3.0	normal distibution



fc: Mean of Compressive strength (Concrete)

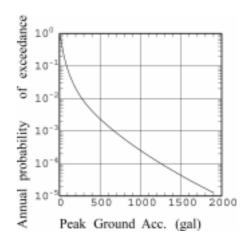
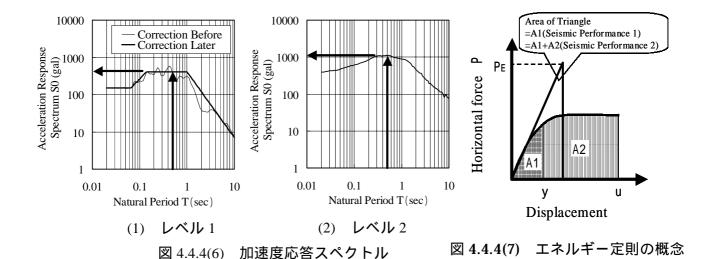


図 4.4.4(5) 地震危険度曲線



# 4.4.4(3) 検討条件と限界加速度の算定法

#### a) 検討条件

検討対象とした RC 橋脚モデルを図 4.4.4(4)に示す.橋脚高さは 10m,橋軸直角方向の橋脚幅は 5m とした.コンクリートは呼び強度が 24N/mm², 鉄筋は SD295 とした.かぶり等のその他の条件,不確定要因も含め表 4.4.4(1)にまとめて示す.限界状態は,土木学会コンクリート標準示方書に示されている耐震性能 1 及び耐震性能 2 を採用する.耐震性能 1 では曲げ耐力及びせん断耐力照査,耐震性能 2 では変形性能照査を行う.照査の断面方向は橋軸方向とし,照査位置は一般に橋脚で最も塑性化するのが早い橋脚基部とする.

モデル地点は東京湾沿岸とした.対象地点の地震危険度曲線 4)を図 4.4.4(5)に示す.耐震性能 1 を照査する場合にはレベル 1 地震動 (袖ヶ浦波,最大加速度 150gal,千葉県東方沖地震,1987)を,耐震性能 2 を照査する場合にはレベル 2 地震動 (ラ・ウニオン波,最大加速度 390gal,メキシコ地震,1985)を用いることとする.それぞれの加速度応答スペクトルを図 4.4.4(6)に示す.

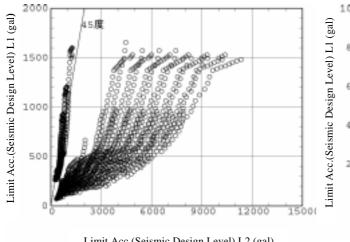
CV: Calculation value

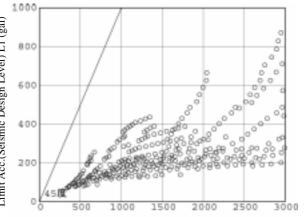
表 4.4.4(2) 設計変数の定義域

Design Variables	Plans
Pier Width (Bridge axial direction)	0.3m ~ 12.7m (10cm intervals)
Axial reinforcement	D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, D25W, D29W, D32W (A Symbol 'W': Double-Arrangement of Bar)
Hoop, Intermediate hoop	D6, D10, D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32

表 4.4.4(3) 初期コストモデル

Model Number	Initial Cost (c <sub>0</sub> )
1	$x_0 + x_1 a_1 + x_2 a_2$
2	$x_0 + x_1 \log(a_1) + x_2 \log(a_2)$
3	$x_0 + x_1 a_1 + x_2 a_2 + x_3 a_1 a_2$
4	$x_0 + x_1 \log(a_1) + x_2 \log(a_2) + x_3 \log(a_1) \log(a_2)$
5	$x_0 + x_1 a_1 + x_2 a_2 + x_3 a_1 a_2 + x_3 a_1^2 + x_4 a_2^2$
6	$x_0 + x_1 log(a_1) + x_2 log(a_2) + x_3 log(a_1) log(a_2) + x_3 (log(a_1))^2 + x_4 (log(a_2))^2$
7	$x_0 + x_1 a_1 + x_2 a_2 + x_3 a_1 a_2 + x_3 a_1^2 + x_4 a_2^2 + x_5 a_1 a_2$
8	$x_0 + x_1 \log(a_1) + x_2 \log(a_2) + x_3 \log(a_1) \log(a_2) + x_3 (\log(a_1))^2 + x_4 (\log(a_2))^2 + x_5 \log(a_1) \log(a_2)$





Limit Acc.(Seismic Design Level) L2 (gal)

Limit Acc.(Seismic Design Level) L2 (gal)

# (1) 全設計案

(2) パレート解

図 4.4.4(8) 各設計案の限界加速度

# b) 限界加速度の算定方法

非線形のプッシュオーバー解析に基づき,設計案に対して限界加速度 L1,L2 を算定する.限 界加速度の算定手順を以下に示す.

- 1) 橋脚上部構造の慣性力の作用位置に水平力を漸増させプッシュオーバー解析を実施する. 解析は非線形解析とする.これにより,上部構造の慣性力の作用位置における水平力 Pと 水平変位 の関係が得られる.
- 2) 耐震性能 1 及び耐震性能 2 の各破壊モードに対して図 4.4.4(7)に示す破壊ポイントを算定 する.耐震性能1は降伏変位 ν,耐震性能2は終局変位 μに達する時点が破壊ポイント となる.
- 3) エネルギー一定則 5) の考え方に基づき,耐震性能 1,2 に対して橋脚が破壊に至るときの

加速度レベルを逆算する . 図 4.4.4(7)に示すように耐震性能 1 は P- 曲線の面積 A1, 耐震性能 2 は面積 A1+A2 に等しい面積の三角形をそれぞれ作成し ,その三角形の頂点の弾性応答水平力  $P_E$ (耐震性能  $1: P_{EI}$ , 耐震性能  $2: P_{E2}$ )を算定する . さらに ,  $P_E$ を等価重量 Wで除して震度  $K_E$ (耐震性能  $1: K_{EI}$ , 耐震性能  $2: K_{E2}$ )に換算する .

- 4) 橋脚モデルの固有周期 T に対応する加速度応答スペクトル  $S_0$ (耐震性能  $1:S_{01}$ , 耐震性能  $2:S_{02}$ )を算定する .このとき用いるスペクトルの耐震性能 1 は袖ヶ浦波を ,耐震性能 2 はラ・ウニオン波を用いる . 図 4.4.4(6)では固有周期 0.5 秒の場合を例示している .
- 5) 図 4.4.4(6)に示した応答スペクトルの最大加速度はそれぞれ 150~gal, 390~gal であることを考慮すると,限界加速度  $A_{base}$  は次式で求めることができる.

耐震性能 1: 
$$A_{base1} = (K_{E1} \times 980) \times 150 / S_{01}$$
 (4.3.9)

耐震性能 2: 
$$A_{base2} = (K_{E2} \times 980) \times 390 / S_{02}$$
 (4.3.10)

# 4.4.4(4) 設計案の設定

## (1) 設計変数の組み合わせ

設計変数として表 4.4.4(2)に示す橋脚躯体幅(橋軸方向),軸方向鉄筋及び帯鉄筋(中間帯鉄筋 含む)の3つを考え,その組み合わせから設計案を設定した.表中記号Wは二段配筋を表す. 橋軸直角方向の橋脚幅は5mで固定条件とした.

基本的には表 4.4.4(2)の組み合わせ全てを考えるが,土木学会コンクリート標準示方書に基づく最小・最大鉄筋量の規定を満足するように,鉄筋量に応じて躯体幅の取りうる範囲を一部狭めた.限界加速度の検討対象となる設計案の数は全部で4,365 個となった.

# (2) 限界加速度の算定と設計案の抽出

上記 4,365 個全てについて限界加速度の算定を行った.その結果を図 4.4.4(8)(1)に示す.これらの設計案は現実に行われる設計から考えると不適切なものを多く含んでいるため,それらについて排除する.

# 1)せん断破壊型の設計案の排除

図中 45° ライン付近の設計案はせん断破壊型の設計案であるが,現実の設計では曲げ破壊先行となるよう設計を行うため,通常は許されない.

# 2)極端に固有周期が長い設計案の排除

構造物の固有周期が極端に長周期となる設計案が含まれているが,これらは道路橋示方書 - 耐震設計編 5 で規定されている残留変位の照査式を満足しない.

# 3)非経済的な設計案の排除

設計案のなかには所定の限界状態,条件は満たしているものの非経済的な設計案も含まれている.そこで,耐震性能1,2の限界加速度と初期コストに関するパレート解以外を排除した.パレート解を選ぶことはある耐震性能を満たす設計案の中で一番経済的な設計案を選んでいることに相当する.

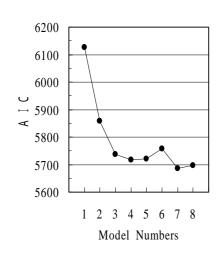


図 4.4.4(9) 初期コストモデルに関する 情報量基準 AIC

表 4.4.4(4) 最適な設計地震動レベル

					L 1		
			low '	←	importance	-	high
			1.0	2.0	2.5	3.0	4.0
		10.0	100 以下	138	363		
	W	10.0	760	760	947		
	<b>▶</b> low	15.0			363	400	
	'	15.0			1133	1133	
L 2	nce	20.0		363	363	475	550
	importance ⊢	20.0		1320	1320	1320	1320
	įmį.	25.0					550
	<b>\</b>	25.0					1507
	high	30.0			363		
	h	30.0			1507		

Upper: L1- Seismic Design Level

Lower: L2- Seismic Design Level

Seizeric Denign Level L. 7 (gal.) 1000 Initial Cost Range of Plans Saismic Design Level L. 1 (gal) 1000 Riskt Seismic Design Lavel L 1 (gal) eismic Design Level L 2 (gal) Risk 2 Seiseic Design Lavel L. 1 (gal) Seismic Design Level L.2 (gal) 3000 (4) 100

図 4.4.4(10) 初期コスト,リスク1,リスク2, LCC に関する等高線図

以上の条件を満たす設計案に対する限界加速度分布を図 4.4.4(8)(2)に示す . 全部で 305 個の設計案が抽出された .

# 4.4.4(5) LCC コンターマップ

# (1)初期コストのモデル化

抽出された 305 個の設計案について初期建設コストの算定を行った.さらに,これらのデータをもとに初期コスト  $C_0$ を 2 種類の限界加速度  $a_1$ ,  $a_2$  の関数としてモデル化した.仮定した関数形を表 4.4.4(3)に示す.全部で 8 つのモデルを仮定した.表中の  $x_0$  から  $x_5$  は係数である.各関数形に対して上記 305 個のデータに対する重回帰分析を行い,各係数を算定し,それぞれについて情報量規準 AIC を算定し適合度の比較を行った.その結果を図 4.4.4(9)に示す.同図より AIC 値が最小となるモデル 7 を採用することとした.

# (2)LCC コンターマップの作成

上記初期コストに加え,リスク 1,2 が求められれば LCC を算定することができる.リスク 算定には損傷確率が必要となり,損傷度曲線と地震危険度曲線(図 4.4.4(5))から求めることができる.損傷度曲線は表 4.4.4(1)に示す不確定要因を考慮したモンテカルロシミュレーションなどの信頼性解析によって求めることができる.図 4.4.4(8)(2)に示す全ての設計案(305 個)について信頼性解析を行い,損傷度曲線を設定することが望ましいが、計算時間が膨大になる.そこで,代表的な 9 つの設計案についてモンテカルロシミュレーションを行い損傷度曲線の分布形状や変動係数を調べたところ,分布形状は比較的安定しており,変動係数は耐震性能 1 が 5-15%,耐震性能 2 が 25%~30%程度であった.そこで,本報告書では耐震性能 1,2 の損傷度曲線が対数正規分布に従うと仮定し、4.2 で算定した限界加速度を中央値、変動係数は 15%,30%とした.

以上の条件より,選択された設計案全305ケースについて,初期コスト,リスク1,リスク

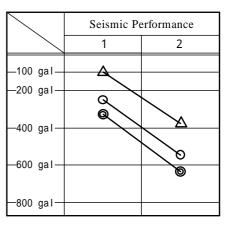
2 を算定して LCC コンターマップを算定した .一例として ,供用期間 50 年 ,割引率 4% , 損傷時コストは耐震性能 1 が初期コストの 2.5 倍 ,耐震性能 2 は初期コストの 15 倍として計算を行った結果について ,初期コスト , リスク 1 , 2 , LCC それぞれに関するコンターマップを図 4.4.4(10)に示す .設計案が分布している .すなわち , この太線の外側は外挿領域となる . コンターマップの最小点が LCC 最小の意味で最も好ましい設計地震動レベル , すなわち耐震安全性レベルを表している .

# (3)最適な設計地震動レベルあるいは目標 信頼度

構造物の重要度は損傷度コストで考慮することができる.耐震性能 1 については損傷度コストを初期コストの 1 倍から 4 培,耐震性能 2 については 10 倍から 30 培として LCCが最小となる限界加速度を算定した.その結果を表 4.4.4(4)に示す.重要度が高くなるに従い LCC が最小となる限界加速度,すなわち目標耐震性能が高くなっていることがわかる.ここで求められた限界加速度は条件付き

表 4.4.4(5) 設計地震動の最大加速度が L1=150gal, L2=446gal の場合の最適な目標 信頼性指標

Importance	L1 (150gal)	L2 (446gal)
low	-0.56	1.82
medium	5.92	3.18
high	7.73	3.70



△ Importance: low
O Importance: medium

O Importance: high

図 4.4.4(11) 目標信頼性指標 , = 2.5 の 場合の最適な設計地震動レベル

を 0 としたときの最適な設計地震動レベルを表していると解釈することができる. 次に対象地点におけるレベル 1 ,レベル 2 の設計地震動の最大加速度が 150gal,  $446gal^{4)}$ であ る場合の最適な信頼性レベルについて検討する.このときの最適な条件付き信頼性指標 は LCC コンターマップ最小値から得られた限界加速度 L1, L2 より次式で求められる.

$$=(ln(Li) - ln(Si))/$$
 (4.3.11)

ここで,

Li: 耐震性能 i に対する最適限界加速度レベル

*Si*: 耐震性能 *i* に対する設計地震動レベル(*i*=1 あるいは 2)

 $^{2}=ln(1+$   $^{2})$ 

: 損傷度曲線の変動係数 (耐震性能 1:0.15,耐震性能 2:0.30)

例として表 4.4.4(4)に示す耐震性能 1 と耐震性能 2 の損傷時コストの組み合わせのうち,(2.0,10.0)を重要度小,(2.5,15.0)を重要度中,(3.0,20.0)を重要度大として最適な を求めた.その結果を表 4.4.4(5)に示す.

次に,条件付き を 2.5 と固定した場合について,重要度ごとの最適な設計地震動レベル Si (i=1,2)を逆算した.

$$Si = exp(ln(Li) - ) \tag{4.3.12}$$

算定された最適な設計地震動レベルを図 4.4.4(11)に示す.当然のことながら重要度の大きさに 応じて最適な設計地震動レベルも大きくなっていることがわかる.これらの結果は LCC マップの最小値から得られており,LCC 最小化の意味において最適な条件付き信頼性指標 あるい は設計地震動レベルを表している.

#### 4.4.4(6) まとめ

本報告書では,LCC 最小化に基づく目標信頼度の設定手法の例として,RC 橋脚を対象に性能マトリックスにおける最適な設計地震動レベルあるいは目標信頼度について試算を行った. LCC には重要度や地震危険度,コスト,供用期間などの情報が含まれており,本報告書で示した方法ではこれらの情報を総合的に考慮して最適な性能マトリックスを定量的に示すことができる.

しかし,LCC の評価には地震危険度の評価や各種不確定性評価,損傷時コストなど,定量化が難しい要因が多く,結果には曖昧さが伴うことに注意する必要がある.目標信頼度の設定に際してはバックグラウンドリスクや既存構造物のキャリブレーションなど総合的に検討を行い,コンセンサスの得られる値を時間をかけて決めていく必要がある.考え方や各種パラメタの定量化に関してコンセンサスが得られるようになってくれば,本手法を用いて定量的で合理的な,よりアカウンタビリティーの高い設計が可能になると期待している.

# < 4.4.4 参考文献 >

- 1) SEAOC, Performance Based Seismic Engineering of Bridges, Final report, Part-1: Interim Recommendations, (1995)
- 2) 土木学会,コンクリート標準示方書[耐震設計編](平成8年制定), (1996)
- 3) 吉田郁政・赤石沢総光・高橋淳夫・安田登,多段階耐震設計法における安全性水準に関する 基礎研究 - RC ボックスカルバートを対象として - , JCOSSAR2000, (2000)
- 4) 土木学会,LNG 地下タンク躯体の構造性能照査指針,コンクリートライブラリー98, (1999)
- 5) (社)日本道路協会,道路橋示方書・同解説 耐震設計編, pp.59-66, (1996.12)

# 4.5 まとめ

4.2.1 で紹介したように土木分野では性能発注の事例はまだ多くはないが,舗装の騒音など客観的に性能評価が可能な分野から性能発注が進められている.性能設計を広く実現していくためには,やはり客観的な評価の方法,仕組みが重要であることが伺える.建築分野では 4.2.2 で述べられているように第三者評価に対して民の活力の導入が進められており,まだ試行錯誤的な面もあるが,その効果も現れ始めている.こうした第三者評価の方法として,4.2.3,4.2.4 で述べた会計監査,特に米国会計監査におけるピアレビューは大変示唆に富んだ仕組みではないだろうか.ピアレビューは,いわゆるお上からトップダウンで監視する,評価する,指導する,ではなく,同業者による相互監視であり,しかもある種の評価機関である会計事務所自体に対する評価という点も興味深い.

他分野における評価として,医療,新薬開発,自動車についても 4.2.5 から 4.2.8 に紹介をして頂いた.4.2.5 では医療分野における患者の医師の関係について informed consent の観点から書いてただいた.評価機関という意味では必ずしも関係はないが同意形成という観点からは興味深い.また,医療分野では性能規定,客観的評価というのは当然との印象を持っていたのだが,最近になり客観的根拠に基づいた医療(EBM, Evidence-Based Medicine)という概念が広がりを見せているというのは意外な気がした.また,4.2.5,6 の執筆者と雑談のなかで,医療分野における新医療技術はおよそ次のようなステップで広まっていくという話を聞いた.

- 1.病院内の倫理委員会で審議され,認可されると患者の同意のもと試験的治療が行われる.
- 2. 学会で新技術が発表される
- 3.いい技術は広まる.
- 4.保険の対象になる.

広く不特定多数の相互監視のもと技術が育ち,最後に保険の対象(行政からのお墨付き)となる点が興味深い.新薬開発は製薬会社の営利企業としての利益追求と副作用が生命に直結するという大変デリケートな分野である.そうした分野での認可,保証の仕組みは,直接的に建設分野に取り込めるものではないにせよ,多くの示唆を含んでいるように思う.

自動車産業については、評価機関はあるものの拘束条件や認可というよりはユーザーに対する性能表示としての意味が強い.自動車は数も膨大,かつ消費者の間でも安全性を含めた性能に対する意識は高いため、技術に対する十分なフィードバックが自然にかかっているように感じる.また、安全性が不十分な製品を世の中に送り出すと、企業倫理が疑われ消費者から手痛いペナルティーを課せられることになり、いい加減な技術は自動的に淘汰されているのかもしれない.自動車やその他数量が膨大な工業製品の新技術に対する評価は、こうした消費者からの自然なフィードバックが最も好ましい形態であるように思う.

しかし,市民からの有効なフィードバックがかかりにくいような,土木構造物や大型の建築物,高度専門技術などは事情が異なり,最低限の安全性を保証するなんらかのチェック機構が必要となる.同意形成という観点から考えた評価機関としては,評価できる専門性の高さはもちろんのこと,第三者としての当事者との利害関係がないことが重要である.つまり,4.1で

のべた渡部のいうところの「安心」(欺いても得をしない仕組み,欺くと損をする仕組み)を与える評価機関であることが必要である.申請者と利害関係のある人間は評価を行うべきではないし,利害関係が生じない仕組みを作る必要がある.

評価機関のあり方を考える上で「情報公開」といういのは大変重要なポイントであると思う. 密室の中での評価では決して同意を得ることはできない. しかも,早い段階からの情報公開が重要であり,市民から要請されて公開に踏み切るようでは,過去の事例を眺めてもこじれることが多いように思う. 利害関係のない第三者による評価,早い段階からの情報公開,評価の過程の公開,場合によっては相手に決定権を与える,などがポイントとなるかもしれない.

また,単に市民に迎合するだけではならないとも思う.社会全体あるいは次の世代の利害も考えた誠実さが必要であると思う.土木学会誌平成14年6月号の特集「合意形成論」の中で渡部は「信頼醸成のパラドックス」として「信頼を得ることを目的としても信頼を得ることはできない.市民に迎合することでは信頼は勝ち得ない.」と述べている.もっと広い意味での誠実さが必要である.おそらく同じ意味のことをこの特集号の中でもそれぞれの執筆者が述べていると思う.

西部「 歴史の良識 」

藤井「*自らの総論賛成,各論反対の心情を捨て,相手にも公共心を要求する*」 岡田「*技術的な観点から合理性を諄々と説く専門家の役割も重要だ*」

医学の分野ではラテン語 Pater (父親)を語源としたパターナリズムという言葉があるそうである(4.2.6 参照)、「専門知識をもった医師が患者に適した治療法を善意により決めること」を意味し、最近重視されている患者の「自己決定権」に対立する言葉として、否定的な意味に使われることが多いらしい、しかし、父親的であることはむしろ必要ではないだろうか、父親という例えが適切であるかは疑問があるが、専門家としての責任を放棄することなく、市民に迎合することなく、専門家としての良識に従い主張することが、渡部のいう信頼醸成に繋がると思う、

4.3,4.4 節ではやや技術的な面,あるいは事例を報告して頂いた.これらについては特にまとめを書く必要もないように思う.土木・建築構造物に関する安全性の照査方法として,安全性の定量的評価を伴う限界状態設計法は世界的動向である.安全性の定量化という意味で確率論がどこまで有効か,特に低頻度事象に対する有効性についてはまだまだ議論の余地が多分にあるが,基本的方向性としての確率的限界状態設計法には異論がないであろう.

それぞれの視点から書いて頂いた報告書であるため統一性に欠けるが,そもそもテーマ自体が非常に大きく無理に結論をまとめることにも意味がないと考えている.新技術の評価,その評価技術,同意形成のための性能評価を考える上で,なんらかの視点,きっかけを与えることができれば,本 WG の目的は十分に達成されたと思う.最後に,頼りない主査のもと,多くの方々から報告書作成に献身的に協力をいただいたことを感謝したい.

# 5章 性能設計例

#### 5.1橋梁用合理化支承の開発例

## 5.1.1 支承一般

従来,橋梁用支承は上部構造が直接支える様々な荷重作用を下部工に伝達するとともに,上部構造の温度変化や様々な荷重作用による水平,回転変位を吸収する機能を有するものであり,表 5.1(1)に示すような形式がある.

材料	鋼製						ゴム	RC
名称	線支承	支承板 支承 (BP 沓)	ピン 支承	ピボッ ト支承	ローラ 一支承	ロッカ 一支承	分散支承 免震支承	メナ ーゼ
支承条件	・固定 ・可動	・固定・可動	・固定	・固定	・可動	・可動	・固定 ・可動 ・分散	・固定

表 5.1(1) 支承の種類

## 5.1.2 支承設計上の状況変化

兵庫県南部地震以降,橋梁の支承を取り巻く環境は劇的に変化した.特に鋼製支承においては支承機能の要である「ピン」の破断や「ローラー」の逸脱,移動制限装置の損傷が目立ち,あってはならない桁の落下や転倒を引き起こしている.一方で,それ以前では比較的小規模な橋梁で用いら

れることが多かったゴム支承ではこのような目立った被災がなかったことから,その緩衝性に期待が集まり,支承に占めるゴム支承のシェアは圧倒的なものとなっている.また,ゴム支承が多用されるようになった背景の一つとしては連続桁における一点固定橋脚の被災が大きかったこと,震災直後に公布された「復旧仕様」や道路橋示方書改訂に伴って設定された耐震設計レベルへの対応性から多支点をゴム支承のせん断弾性を利用した水平反力分散方式が一般化したことにも起因している.平成8年に改訂された道路橋示方書耐震

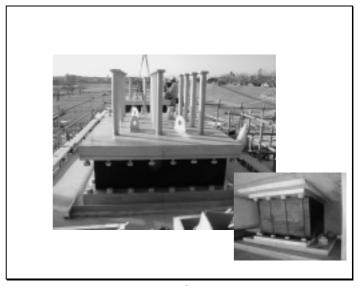


図 5.1.(1) ゴム支承の一例

設計編に「鋼製支承は、衝撃的な地震力に対して損傷を受けやすく、大きな地震力により支承が破壊した場合には、予期せぬ挙動を示すことがある。さらに、従来の構造による可動支承の場合には変位を許容するための遊間が十分にとれない場合があり、一般的に想定した方向の変位にしか対応できない。こうしたことから、ゴム支承やエネルギー吸収性の免震支承の採用が望ましい。」と示された(注:平成14年改訂版では,性能設計への移行を目指す観点からこの記述が抹消されてい

# る.) ことがこの流れに拍車をかけるものとなった.

# 5.1.3 ゴム支承設計上の問題点

兵庫県南部地震以前のゴム支承は,橋梁下部工天端に直接置かれたいわゆる「ゴムパッド」であり上部工とも機械的に結合されていないものが主流であった.このため,震災時には設計値を凌駕する水平せん断力が作用したものの支承本体と上・下部工との摩擦抵抗力がそれを下回ったため,支承位置が「ずれる」ことで惨事に至ったケースが少なかったものと考えられる.

しかしながら,震災以降の示方書改訂で支承本体のせん断弾性と減衰特性を積極的に利用して構造 全体の固有周期を長周期化することで巨大な地震エネルギーに対する構造物の応答特性を操作し ようとする耐震設計(地震時水平反力分散構造,免震構造など)が主流となったことから,上・下 部工間を接合する支承が「ずれる」ということは許されるものでなく,大地震時に支承部に作用す る水平せん断力に対して抵抗できる機械的な接合装置が取り付くこととなった.

大地震時には直接じん性を高めることとなった下部構造の性能のみでなく,上・下部工に機械的に 固定され,自身が大きく変形することでエネルギーを消費し,構造系に作用する地震応答を下げる ゴム支承本体の性能が耐震設計上の中心的な着眼点となっている.

一方で,ゴム支承本体の構造寸法は表 5.1.(2)に示す照査項目に対して決定されるが,支承本体の地震時せん断変形量 e max には道路橋示方書ならびに道路橋支承便覧等により概ね次のような許容限界が示されており,これと支承本体の構造寸法との関係については次式のような関係がある.

照査項目	決定項目	照查内容	
鉛直力	ゴムの平面寸法	圧縮応力度・応力振幅 < a	
水平移動量 ゴムの有効厚		せん断ひずみ < a	
回転変形	平面寸法・有効厚	回転ひずみ<圧縮ひずみ <	

表 5.1.(2) ゴム支承寸法の決定と照査項目の関係

	e max	2.5	$t_{\rm e}$	(5.1.1)
さら	に			
	В	4.0	$\mathbf{t}_{\mathbf{e}}$	(5.1.2)
ここに	_			

te : ゴム支承の弾性ゴム単層厚

B : ゴム支承の幅

式 (5.1.1), (5.1.2) からも明らかなとおり,構造全体の地震応答を低減させるために長周期化を図ろうとすると,特殊な減衰装置を組み込まない限り必然的に  $e_{max}$  の増大は避けられず,その結果 B が増大し,支承は大型化する.支承の大型化はそのせん断剛性を大きくしてしまうため,目的とする長周期化のためにせん断剛性の低下を図ってさらに  $t_e$ を大きくする必要が生じる.この繰り返しによって支承は肥大化の一途をたどる.

この設計過程を実際の橋梁設計の流れに取り入れたフローを図 5.1.(2)に示す.

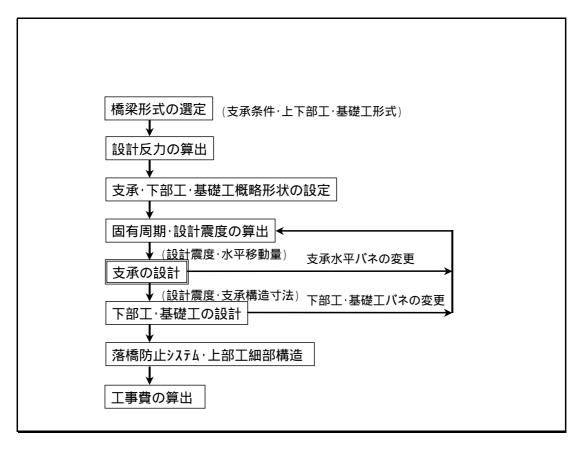


図 5.1(2) 橋梁耐震設計の流れ

実際の設計作業においては、構造全体の最適化をねらって図 5.1.(2)のフローに従った試行錯誤が繰り返されることとなるが、多くの場合ではこの過程よって支承の肥大化を招くこととなり、結果としてゴム支承に要する工事費が巨大な橋脚本体の工事費に匹敵するような事態にも至って、昨今の建設コスト縮減対策の一環としても支承の合理化が喫緊の課題となっている。

### 5.1.4 支承に求められる要求性能

道路橋示方書 耐震設計編,第15章解説には,支承に求められる要求性能として『上部工から伝達される荷重を確実に下部構造に伝達する性能,活荷重,温度変化等による上部構造の伸縮や回転に追随し,上部構造と下部構造の相対的な変位を吸収する性能が必要とされる。(途中省略)支承部は,地震時に上部構造に作用する慣性力を下部構造に確実に伝達できるものでなければならない。このため,レベル1地震動及びレベル2地震動により生じる地震力に対して,支承部の性能を確保するように設計することを基本とした。』と示されている.

このような支承に対する要求性能に基づき設計者は必要な検討を行って最適な支承構造を選定することとなるが,この要求性能は設計段階のみを想定しているものではない.たとえば,以下のような場合についても支承の要求性能が十分に果たされなくなっている状態と考えるべきである.

## 鋼製支承の場合

- 鋼材の腐食による摩擦力の増大が原因で不静定拘束力が発生している 橋梁構造本体の損傷につながる恐れ
- 施工誤差により支承の遊間などのばらつきが大きい 想定した地震時慣性力が複数の支承に均等に作用しない 支承システム等の局部的な破壊につながる

#### ゴム支承の場合

ゴム本体の総厚が大きくなる交通振動等の誘発構造部材の疲労損傷につながる

また,これからの橋梁耐震設計手法・技術の発展性を考えていく上で,支承部に求められる要求性能はより高度かつ広範囲に及ぶものとなる.これからの支承部に求められる要求性能のイメージを図5.1.(3)に,またその具体的な機能の分類を図5.1.(4)に示す.

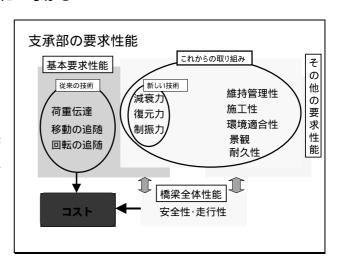


図 5.1.(3) 支承部への総合的な要求性能

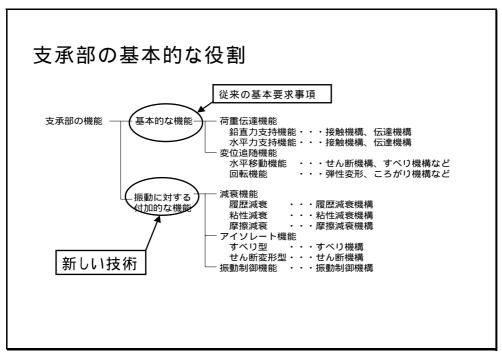


図 5.1.(4) これからの支承部が担うべき基本的な役割

図 5.1.(4)に示した新しい技術とは,従来のゴム支承に求められていた線形的な追随性ではなく, その材料の持つ非線形性によるエネルギー減衰効果をねらうものであり,地震時等におけるその代 表的な履歴特性としては,図 5.1.(5)のようなものがあげられる.

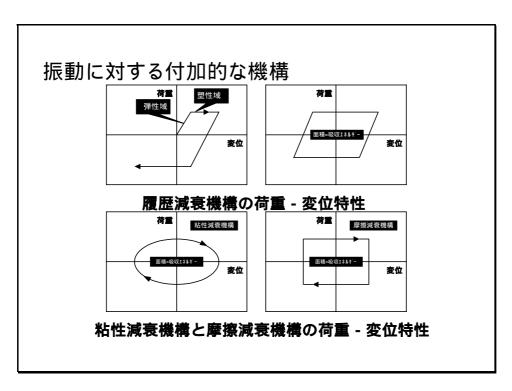


図 5.1.(5) 支承部の新技術が対象とする履歴特性の例

# 5.1.5 支承部の要求性能を整理した合理化支承の事例

今日の橋梁耐震設計においては,構造系全体での耐震性確保の観点から,「連続桁化」と地震時水平力が一固定支点に集中することを避けて多支点の弾性固定を目指す「地震時水平反力分散構造」の採用が一般化している.この場合先に述べているとおり,設計に際しては支承の合理化(ゴム支承の肥大化の防止)が大きなテーマとなる.

従来の支承設計の着眼点は ,表 5.1.(2)に示しているとおり鉛直(反)力 ,回転変形(局部的圧縮変形) , 水平移動量を照査項目としていたが , 地震時水平反力分散方式における支承設計においては , 下部 構造の非線形性能と協働させて地震時水平反力を適切に複数の下部構造に分担させることが重要 となる .

この場合 ,支承肥大化のメカニズムは以下のとおりである。

支承の平面寸法(初期値 A<sub>0</sub>)は鉛直反力を支承の許容圧縮応力度で除して求められる.

支承の厚さ(初期値:to)は鉛直反力と上部構造の回転変形による,支承本体の局部 圧縮ひずみで決定される.

地震時水平反力分散方式に伴って,構造全体を対象とした応答解析の結果,支承に発生する水平せん断変形量  $e_{max}$ が算出される.

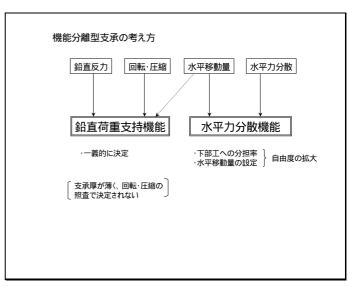


図 5.1.(6) 機能分離支承の考え方

式(5.1.1)により,ゴム支承厚 te を増大させる( $t_0$ の見直し,増厚) 式(5.1.2)により,平面寸法幅 B を増大させる( $A_0$ の見直し,増幅) ゴム支承の回転ひずみが大きくなり,圧縮ひずみの増大を図ってゴム厚の増加が必要になる. (表 5.1.(2))

支承の水平せん断変形量がさらに増大する. 以下を繰り返す.

このメカニズムによって支承が肥大化する原因は,支承本体に同時に鉛直荷重支持機能と水平反力分散機能を課していることにある.合理化支承として提案された「機能分離型支承」とは,この二つの機能(要求性能)を整理分割してそれぞれ単独の部品で対応しようとするものである.(図5.1.(6))

この支承システムの概念図を図 5.1.(7)に示すが,鉛直荷重支持機能と水平反力分散機能それぞれを分担する別個の部品で構成されたシステムであり,基本的に鉛直荷重支持機能を担う荷重支持板

は鉛直反力と回転変位によってほぼ一義的に定めることができる.

また、水平反力分散機能についても専用の分散バネ部材(この事例では横置きのゴム部材)を設けることで下部工の耐震性に見合った細かな調整を図ることができ、構造全体の耐震性に関する自由的で、構造全体の耐震性に関する自由的で、でき、構造全体の耐震性に関するものに拡大された構造となっているではなく、それぞれの要求性能を分解整理し、ゴム支承の肥大化につながる試行錯誤の解析過程を縮減することで、設計期間の短縮につながるはかりでなく、建設コストの軽減につながる技術として注目されている。

図 5.1.(8)は,本システムを採用した 実施例の高架下から見たイメージパー スである.

自動車専用道路の PC 多径間連続中空床版橋(1支間長=25.0m)に適用した事例であり、一般的な(Bタイプ)水平反力分散方式ゴム支承を採用した場合に比べて、支承コストを 30%低減させることに成功した事例である.

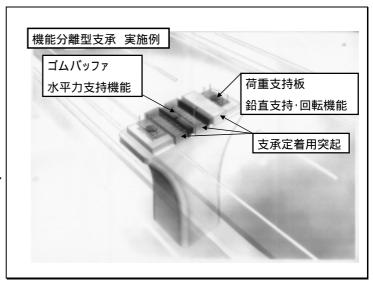


図 5.1.(7) 機能分離支承の実施例

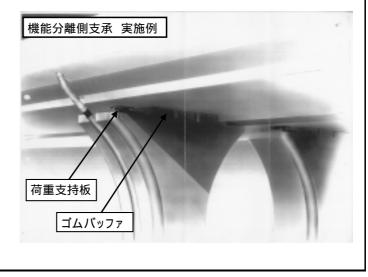


図 5.1.(8) 機能分離支承の実施例

最近では,この形式の荷重支持板とその上に置かれるすべり板との間の摩擦によるエネルギー消費を減衰として解析に取り込むことにより,より合理的な耐震設計法を実現しようとする研究が進められている.

# 5.2 河川護岸の設計

#### 5.2.1 はじめに

対象となったH市I河川の流域周辺は,旧市街地近郊に位置し,昭和50年代以降急激な都市化の進展のため,洪水流出量増加に伴う河積拡大を目的とした従来工法による河川改修計画がなされていた.しかし,平成2年11月には「多自然型川づくりの推進」について旧建設省河川局から通達が出され,環境に配慮した河川改修に大きく転換され当該河川も,平成9年に改修計画が見直されることとなった.

検討事例は,見直しの機会に住民参加による「ふれあいあふれる川づくり検討会」を開催し, そこでの討議を基に,多自然型河川整備計画を立案したものである.検討会は9月から1月まで 毎月1回,計5回実施した.第1回では,河川改修に馴染みのない地元住民も抵抗なく参加でき るという観点から基本的な事業説明に重点をおき,第2,3回では河川の現地調査や河川に関す る勉強会などイベントを通じて交流を深め,第4,5回で具体的な河川整備の構想案の検討およ び作成を行った.ここでは,河川改修における住民参加の一手法を合意形成過程に重点を置いて 紹介するものである.

#### 5.2.2 検討内容

住民参加型河川改修の検討は,図5.2.(1)検討フローに従って実施した.合意形成には,特に地元意見の集約が重要であり,そのためには地域との信頼関係の構築が前提となり,正しい情報が提供され,住民に理解され,情報の共有が図れなければならないと考えた.

#### (1)検討会の事前準備

検討会メンバーの選出が,最も重要と位置付け取り組んだ.現在河川空間利用に対する意識は高まっているものの,実際は,日常的な河川利用が皆無な対象河川において,直接関心があるのは,洪水や除草等維持管理に係る沿川住民と地権者である.彼らの協力は,事業推進に不

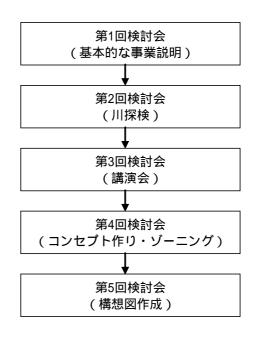


図 5.2.(1) 検討フロー

可欠であるが,河川空間は公共空間であり,特定利用者のみでなく,メンバーは広く一般市民から公募することで,地域全体の中での河川整備のあり方を議論することとした.募集方法は町内の回覧版・新聞記事・TVラジオの紹介等を検討したが,町づくりの一貫とした趣旨を記載した広報誌によった.参加者の範囲は,対象河川流域内の学区14町内となり,子供を含め男女約60名の応募を得た.

#### (2)第1回検討会(基本的な事業説明)

河川改修に馴染みのない地元住民の導入期として,基本的な事業説明に重点をおき初回の検討会を開催した。事前に用意した参加者名簿を基に,6~7名を単位とする9グループに行政・コンサルタント・学識経験者等が加わった。河川改修事業を従来の行政主導型でなく,住民参加型事業とすることの理解を得ることから始めた。信頼関係を築くために,正しい情報を十分提供することが大切と考え,河川に関する法制度・条例・事業計画概要・水理条件等の説明を行った。この時点で参加者は,未だ立場を十分理解できず,雰囲気は従来の事業説明調の行政主導的であった。しかし終会間近かでは概ね事業の進め方を納得し,全員で次回には川探検イベントの実施を決定した。

# (3)第2回検討会(川探検)

現地観察の目的は、整備に反映させる地域資源の発見と、利用面での構造的なチェック・評価と考えられる。検討会メンバーが現地で同じ作業をすることで、相互に協同体の意識も生まれる。実際に川を調査し、改修後も残したい点、改善したい点を明確にするため、各グループに提供したインスタントカメラで自由に写真撮影してもらい、現地踏査後の議論に利用した(集会所に戻る間に回収現像)。生物や植物あるいは歴史風土に見識の深い学識経験者にも参画してもらい、河川周辺や河川内の動植物を採取し、併せて簡便なCODパックテストを用いて現状水質を調査した。子供達の参加で作業は活気を帯び、川で遊んだ思い出話の年配者は、多自然型河川整備の先導者となった。心配した動植物の採取は予想外の結果で、都市近郊にあって多くの生物が生息していることは、参加者皆の驚きであった。採取したもの(捕獲した魚類とカニは後に放流)を持ち帰り、全員が確認することで、改めて自然が身近に存在することを再認識し、未だ多くの自然が残っていることに安心もした。これを契機に河川に対する興味が増し、さらに環境に配慮した河川改修に対する住民意識の動機付けとなった。

#### (4)第3回検討会(講演会)

周辺の自然と歴史を学ぶため,各々の学識経験者による講演を行った.現地にはヒメハルゼミを始め多くの貴重な生物が生息していること,ホタルの生育環境のためには河岸天端に低木が必要なこと,等の示唆を得た.一方,当地が明治時代に下駄の産地であったこと,等の地域の歴史に関する講演は,年配者達に極めて好評で参加意欲向上に奏効した.さらに,河川技術に関する勉強会も行い,当所で何が出来て,何が出来ないかを明らかにしたことも,後の検討会の議論において有効であった.

# (5) 第4回検討会(コンセプト作り・ゾーニング)

第4回から改修方針の討議となった.残したいもの・創り出したいものとして,ホタル・並木・洗場・木橋・水車・瀬・淵・小滝・植生・空石積等,場所指定で60余りの具体的な意見が得られ,各グループは用意した図面上に整備案を記入した.地元としてやるべき事という視点では,工事実施中のホタル飼育・河川清掃・花壇栽培等の主体的な意見が次第に多くなった.総括として,課題・資源毎に整理し,水辺整備の目標について全体の意思統一を図った.下流は,親水性

に重点をおく「生活の水辺ゾーン」、中流は、ホタルの生息を生かす「ホタルゾーン」、上流は、周囲の田園風景から「田園ゾーン」とするコンセプトを得た.

# (6)第5回検討会(構想図作成)

第4回で決定したコンセプトを基にゾーニングした計画図面の素案を各グループに配布し,この上に具体的な対策や工法を描き込み,全体討議により最終成果となる構想図を作成した.コンサルタントは,市民と行政の間に立ち,意思疎通の通訳者でもある.専門用語を極力用いず,分りやすい言葉・絵・図表を提供することが討議の上で極めて重要であることも確認できた.

構想図作成は,市民とアドバイザー(行政・コンサル・学識経験者)との作業であったが,日頃計画設計に接することない市民は,いつの間にか立派なプランナーになっていた.各グループで計画案を発表する時の充実した笑顔は忘れられない.

#### 5.2.3 おわりに

現在は,河川法の改正に伴い,河川流域の全体構想策定(河川整備計画等)は,委員会・協議会等,地域の代表者,学識経験者の意見を反映させる方式が定着しつつある.その中で,流量計画や河道計画等の基本的事項は専門家によって検討され,住民の意見の反映はアンケート等により行われる場合が多い.

検討事例は法改正以前であり,また準用河川といった小規模な改修計画であったため,委員会 方式とはならなかった.しかし,小規模であるが故の利点を生かし,直接的に住民の参加を得る ことができた.この結果,住民合意のもとでの河川整備構想を作成することができたと考えてい る.

今日,公共事業の執行に際し,いかに住民と合意形成を図っていくかが問われている.地域に限定した対応や住民ひとりの行き届いた細かい対応と,公平性・公正性はややもすると相反する面が含まれている.しかし社会は,情報公開と住民の参加を強く望んでおり,それは増々広がってきている.

# 第6章 今後の課題

ノースリッジ地震などの被害を契機に構造物の限界状態を規定した、いわゆる性能設計体系が登場してきた。これは、カルフォルニア構造工学者協会が、1995年に発表した建築物の耐震設計法の報告書が起源となっている。ヨーロッパでもISO2394に見られるように、構造設計法の性能設計法の体系が構築されようとしている。このような設計法が要求していることは、構造物の要求性能をどのように満足させるかということを陽に記述することである。性能設計は、荷重の規定、構造物の重要度、目標性能、性能表示、評価項目の決定、評価方法、評価値の設定などが必要となり、あとは設計者の自由裁量となる。このような設計法の場合、今までの仕様規定の設計法と異なり、自己責任が基本となるために、実用化にはいろいろな制約が存在することになる。土木学会コンクリート標準示方書でも、設計法が限界状態設計法に移行して10年以上経つのに、未だに許容応力度設計法がほとんどの実務設計を占めており、上記の制約が大きいことを物語っている。

本小委員会は、平成14年度より今まで2年間研究を進めてきた。本小委員会では、性能規定 に設計法を導入するための制約を緩和するために、従来の設計体系において個別に培われてきた 最適技法および信頼性解析技法の研究などを取り入れた性能照査型設計体系の各意思決定体系 の各意思決定段階における数理技術の検討・分析を行ってきた。具体的には、 有用な性能表現力、言語表現化された性能と設計技術者へ与える具体的数値目標性能の整合性、 多様な代替案を掲示するための、最適な解の迅速な掲示方法、 構造物のライフサイクルでの 不確実性を考慮した性能評価などを検討してきた。今までに、小委員会を8回開催しており、そ の成果を中間報告書として12月中にまとめ、構造工学シンポジウムを開催し、広く社会に流布 する予定である。しかしながら、現状の日本での基準類を見る限りでは、性能照査型設計法を導 入して設計体系が構築された設計法はあまり見られない。今後の課題は、どのようにして本小委 員会で得られた知見を実用的な性能規定の設計法に導入するかである。本小委員会は、幸いにも あと2年間残されており、具体的な構造物を選択することで、世の中に性能規定型の設計法の有 効性を広く広めることを目的にした。具体的には、土木構造物への性能照査型設計の設計法の具 体的な応用を主眼として活動を行う。風力発電用鉄塔構造物をひとつの例として、実用的性能設 計手法の適用を考える。風力発電用鉄塔構造物は、上部は鋼構造、基礎は地盤の問題と定着など のコンクリートの問題と全ての土木の構造物を含んでいる。そのため、本委員会の構成員が、全 て活躍することができる。さらに、風力発電用鉄塔構造物のように小さな市場に、このような性 能設計を適用することで、性能規定型設計法の突破口になればと願うものである。