

阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会 研究報告会

フォーラム「大震災の教訓を活かすために」

〈東京会場 配布資料〉

平成9年1月22日

主催：土木学会

資 料 目 次

開催主旨

○部会報告

設計技術検討部会	- 1
施工技術検討部会	- 39
防災システム検討部会	- 49

○パネル討論会：Part I 「こう活かせる……大震災の教訓－耐震設計編」

兵庫県南部地震の教訓は耐震技術に生かされつつあるか？

東京工業大学工学部土木工学科教授 川島 一彦 -71

阪神・淡路大震災の教訓を活かそう

(財)沿岸開発技術研究センター理事長 野田 節男 -75

兵庫県南部地震の教訓を耐震設計に生かすために

(財)鉄道総合技術研究所・構造物技術開発事業部部長 西村 照彦 -77

耐震設計技術の高度化に如何に対応すべきか？

日本技術開発(株)土木本部副本部長 佐伯 光昭 -81

○パネル討論会：Part II 「こう活かせる…大震災の教訓－復旧工事・防災システム編」

大震災の教訓を生かす

西日本旅客鉄道(株)建設工事部次長 西川 直輝 -85

受注者の立場から

清水建設(株)土木本部設計第一部部長 藤田 親 -87

地震防災情報システム(DIS/Earthquakes)の整備について

国土庁防災局震災対策課課長 岡山 和生 -89

防災システムの立場から

名古屋工業大学社会開発工学科教授 山本 幸司 -91

開催主旨

阪神・淡路大震災対応技術特別研究委員会（委員長 廣田良輔土木学会副会長）は平成7年10月に発足し、委員会での検討を重ねると共に、三つの部会を設け、

- （1）耐震設計法の改訂に実務者が的確に対応するにはどのような課題があるか、
- （2）復旧・復興工事にあたり現場はどのような苦勞をし、どのような課題を残したか、
- （3）地震発生時にどのような危機管理がおこなわれ、今後どのようなシステムの改善を図ればよいか、

などの疑問に答えるための調査研究を行ってまいりました。

このたび、当研究委員会はフォーラムを開催し、多くの方々にこれまでの活動をご報告するとともに、パネル討論を行って、今後の大地震に対応する具体的な方策のあるべき姿についてご意見を伺い、共に議論することと致しました。

この資料の前半、すなわち「部会報告要旨」の部分は、当研究委員会が3部会に分かれて調査研究した成果を中間的にとりまとめたものです。各位から忌憚ないご批判を頂いて内容の充実を図り、今後取りまとめる委員会報告に反映したいと考えております。資料の後半は、パネル討論会に登壇し話題提供していただくパネリストの方々に、ご発言の要旨を取りまとめていただいたものです。パネル討論の際に大変参考になるかと存じます。

なお、同じフォーラムを2月13日に大阪で開催いたします。部会報告の部分は東京と同じになりますが、パネリストには関西在住の次の方々が登壇される予定です。

大阪会場でのパネリスト

- PART-1 稲垣紘史（沿岸開発技術研究センター）
園田恵一郎（大阪市立大学工学部）
友永則雄（建設技術研究所）
丸山忠明（大阪市建設局土木部）
- PART-2 安藤嘉茂（神戸市復興本部総括局）
出口正義（阪神高速道路公団工務部）
畑 昭雄（大林組神戸支店土木工事部）
松井 保（大阪大学工学部）

敬称略、アイウエオ順

設計技術検討部会報告

内容

部会活動の概要

1. 提言を設計実務に適用する場合の手法と課題の検討
 - 1.1 入力地震動
 - 1.2 橋梁
 - 1.3 堤防・河川構造物
 - 1.4 地中構造物
 - 1.5 港湾施設
 - 1.6 地盤・土工
2. 耐震設計の高度化への対応状況の調査
3. 耐震設計の高度化に備える施策の提案
 - 3.1 設計技術者の役割
 - 3.2 設計技術者の技術力向上に関する施策
 - 3.3 設計品質向上に関する施策

設計技術検討部会報告

部会活動の概要

設計技術検討部会は、「土木学会の第二次提言を設計実務に適用するための具体的な対応方法案と課題を検討し、耐震設計の高度化に備える施策を提案する」ことを目的に活動を続けている。部会長は佐伯光昭（日本技術開発㈱土木本部副本部長）、メンバーは建設コンサルタント18名、総合建設業（ゼネコン）5名、メーカー2名の計25名からなる部会である。部会は平成7年11月28日に第1回目を、その後3ヵ月に2回のペースで、これまでに計8回開催している。

「第二次提言」の内容が耐震設計そのものに言及し、かつ多岐に渡るため、構造種別と入力地震動の計6つのワーキンググループを設け、昨年の秋までの間、「提言を設計実務に適用する場合の手法と課題」の検討を行った。提言の内容は、設計実務上、様々な変更を求めるものであるが、各種構造物に共通して、次の大きな課題を投げかけている。

- ①レベル2地震動に対し損傷過程に立ち入った解析を行って設計すること
- ②合理的な耐震設計および耐震補強を行うために、構造物の重要度に応じた耐震性の要求水準を定めること

課題の①は、どの構造種別においても、ビッグプロジェクトでは、提言が求めるものに近い耐震検討が既に行われており、基本的には対応可能であるものの、一般の構造物に対する設計では、実務上の対処が難しいと考えられる膨大で詳細な設計データや高度な解析技術を必要とすることである。さらに、これらの解析方法や条件の設定方法が、実現象を常に近似できるまでに確立しておらず、今後さらに、被災事例や実験結果のシミュレーションからのフィードバックを重ねていく必要があることである。

課題の②は、レベル2の地震動に対する、全国の膨大な既存不適格の構造物の耐震補強と今後の新設構造物の耐震設計を、限られた財源で合理的に進めていくために避けて通れない課題である。また社会基盤施設が国民の税金や利用料金で建設・維持されることを考えると、投資効果と耐震性の要求水準に社会的な合意形成が求められるであろうし、震災が地域住民の生活や経済活動に重大な影響を与えることを考えると、地域防災計画に従った重要度が最優先されるべきであろう。

各ワーキンググループでは、これらの課題と付随する問題の検討を行い、後述の第1章にまとめた。ただし、課題の②については、まだ部会の中で十分醸成していない状況にあるため、ここでは総括的な記述にとどめ、最終案は今後まとめる予定の報告書に掲載することとした。

また、これらの活動と併せて「耐震設計の高度化への対応状況の調査」としてアンケート

トを行い、設計実務に携わる多くの会社の状況と、土木学会等に求める要望を把握した。

最後に、これらの2つの活動の結果を受けて、「耐震設計の高度化に備える施策の提案」をすべく、3つの分科会を再編成し、検討を進めている。第3章にその中間段階での結果を報告する。

1. 提言を設計実務に適用する場合の手法と課題の検討

1.1 入力地震動

(1) 活断層タイプの地震の設計実務へ適用する意義

①設計対象構造物の建設地点に脅威となる活断層を精度よく同定し、かつ損傷過程を評価できる解析手法を用いることにより、安全性の高い構造物を合理的に設計することが可能になる。

②構造物の重要度を適切に評価し、レベル2地震動により設計する構造物を絞り込むことにより、合理的な費用分担により耐震性の高い社会基盤施設を建設することが可能になる。

③一般市民に対して、耐震設計の持つ意義、すなわち地震動の強さと当該構造物の耐力、地盤の安定といった不確定性の強い要因を扱う工学的意思決定問題であることを知らしめることも必要である。構造物の一般的な供用期間に比べて再現期間の極めて長い活断層タイプの地震動をどのように扱うべきかについて、リスクとコスト（社会的負担）とを関連付けて議論を深めることは有意義である。

(2) レベル2地震動を一般構造物に適用する場合の課題

i) 活断層の同定について

①規模の大きい内陸直下の活断層型地震の発生間隔は、一般に海洋型巨大地震に比べ長く、構造物の耐用年数から考えると想定地震として考えずらいこと。

②活断層の存在の特定も不十分であり、未確認のものも含めれば、どれをどう想定すればよいか不明確である。

③仮に活断層を特定して構造物への影響として地震動を設定する場合、活断層から地震動を予測する手法は確立されたものはない。これに加え、活断層の諸元（断層パラメータ）の設定には種々の判断が必要であり、精度のよい予測を行うためには高度な技術が要求される。

④地中構造物のような、線または面状に連続して敷設される施設にとっては、断層からの距離、方向が異なる。また、場合によっては活断層を横切ることも生じる。このように活断層が同定できたとしても、これらの要因を考慮した地震動を設定するのは設計実務上困難である。

⑤通常の公共インフラストラクチャー（原子力発電施設を除く）の設計を行うに当たって、

当該地域の活断層の活動状況の調査を行ってその性質を明らかにすることは重要であり、施設の重要度、地域特性に応じた調査のレベルを規定して実施することが望まれる。活断層の同定については、地域毎の調査と調査資料の蓄積が必要であることから、地域を代表する大学等に委員会を設置し、新規調査および調査資料の蓄積を図る方法を提案したい。

ii) 解析方法について

①レベル2地震動で構造物を設計することは、解析手法と表裏一体であり損傷過程を考慮できる解析手法の適用が必要不可欠となる。橋梁のように震度法・地震時保有水平耐力法・線形動的解析法・非線形動的解析法とある程度解析手法が確立している分野の場合、地中線状構造物のように活断層を横切るような施設の場合、河川堤防・港湾施設・土構造物のように耐震設計として震度法がメインで構造物の設計というより地盤の安定性の方に大きなウエイトがある場合で各々で耐震設計法・評価法が異なる必要があるが、それらは現時点で確立されたものがなく、今後の研究開発を要するものがほとんどである。設計実務者として現実的に対応できるように段階的に解析法のレベルを上げていく必要がある。

iii) 重要度と構造物建設費用について

①提言では、レベル1・2の2段階の地震動を想定して耐震設計することを求めたが、構造物の中にはこれまでレベル1地震動に対してすら耐震設計がなされていないものもある。したがって、レベル2地震動ですべての構造物を対象に設計すると、その建設費用はこれまでと比べ莫大なものとなる。

②レベル2地震動の適用範囲について、構造物の重要度を考慮して保有すべき耐震性を定める必要がある。重要度は、構造物が損傷を受けた場合に人命に与える影響度合い、避難・救援・救急活動と二次災害防止活動に与える影響度合い、地域の生活機能と経済活動に与える影響度合い、都市機能の早期復旧に与える影響度合いおよび復旧の難易度の4点を総合して決定するよう提言している。このように構造物の耐震性の水準をどう設定するかは、利用者および周辺住民の生命と生活に密接に関わっているため、彼らに対して社会基盤施設の耐震性の水準の考え方について情報公開し、地域住民との合意形成が必要と考えられる。基準に従って設計施工しておれば十分ということではなく、どの施設がどこまでの耐震性を有しているかについて、明らかにする努力が求められる。

③レベル2地震動自体も、特定できるものは現時点では非常に限られており、特定できない場合には、ある想定で大きさを設定せざるを得ず、レベル2地震動で設計された構造物はすべて安全性が確保されているとは限らないことを知らしめる必要がある。

④ある構造物の耐震性の水準を決定する場合、その構造物のみの重要度で決定されるものではなく、関連する社会基盤施設全体のシステムとしての重要度を前提にする必要があり、各関連機関の連携・基準の統一化が必要となる。

1.2 橋梁

平成7年兵庫県南部地震では、多くの橋梁構造物に甚大な被害が生じた。橋梁の破壊により、十数名の尊い人命も失われた。また、橋梁の倒壊が緊急車両の通行や復旧、経済活動を妨げたとも指摘されている。新幹線の高架橋は、新幹線が営業を開始する前ということで人命を失うことはなかったが、もし営業が開始されていたら、その事故は想像を絶するものであったろうと指摘されている。

従来、我が国の橋梁の耐震設計は、設計水平震度0.2~0.3という慣性力を静的に作用させ発生応力度を許容応力度以下に留めておけば、たとえ設計水平震度よりも大きな地震力が作用した場合でも、その塑性変形能力によって大規模な地震にも耐えうると思われてきた。しかし、平成7年兵庫県南部地震における橋梁の被害は、実際に作用する最大級の地震力に対してどこまでの塑性変形ならば橋梁としての機能を失わずいられるかを照査する必要があることを示唆している。

設計技術検討部会では、損傷過程に立ち入って耐震性能を照査する方法の基本的な考え方の骨子を作成するとともに、平成7年兵庫県南部地震以後、橋梁分野で急激にその実施件数が増している非線形性を考慮した動的解析について次のような検討を行ったが、後述の設計技術力向上のための施策の提案に向け、引き続き検討を行っている。

①設計現場における動的解析の現状と課題

②非線形性を考慮した動的解析の問題点と運用方法

弾性応答で2gという地震力に対して弾性設計することは、経済性や立地条件から考えて非現実的である。今後は、非弾性域の耐震性能を照査する方法や、塑性変形能力を向上させる構造細目の充実が望まれる。平成8年12月に(社)日本道路協会から発刊された道路橋示方書・同解説V耐震設計編は、ここで検討された基本的な考え方や事項の多くが、既に具現化された形で提示されている。

橋梁を構成する橋脚、基礎構造、支承・落橋防止構造と、橋梁システムとしてのレベル2地震動に対する耐震設計の基本的な考え方(案)と、それを行う上で、現状の技術で対応可能な事項と、今後の研究課題を整理した。

(1)RC橋脚

従来、RC橋脚の耐震設計では、弾性域における地震時挙動を把握することに主眼を置き、レベル2地震動に対する損傷仮定に立ち入った耐震性能の照査が必要な場合には、地震時保有水平耐力照査が実施されていた。地震時保有水平耐力照査の対象は、一本柱形式のRC橋脚に限定され、ラーメン橋脚、ラーメン橋、アーチ橋のような不静定構造については一般に省略されていた。しかし、支持地盤が十分に固く橋脚高さの低い一本柱形式のRC橋脚を除けば、地震時の挙動が複雑であり、地盤を含めた橋梁全体の非線形を把握して耐震安全性を評価するためには、非線形動的解析が必要である。非線形動的解析が必要

な場合としては、塑性ヒンジが複数生じると予測される構造、あるいは塑性ヒンジの生じる箇所が特定できない構造であって、基本的に、不静定構造物の設計では非線形動的解析を行う必要があると考えられる。

R C 橋脚の耐震設計法に関する今後の研究課題について、非線形動的解析の精度向上のための項目、構造細目に関する項目、耐震設計法の合理化に関する項目に分けて以下に述べる。

i) 非線形動的解析の精度向上のための項目

① R C 部材の復元力特性のモデル化

- ・複合荷重下の復元力特性
- ・軟化域（ポストピーク域）での解析モデルの精度向上
- ・曲げ剛性の低下に伴うせん断耐力の低下のモデル化
- ・動的荷重下のせん断耐力に及ぼす寸法効果の影響

② P C 部材の復元力特性のモデル化

- ・橋梁の主桁のような非対称箱けた断面の復元力特性

③ 非線形動的解析手法の整備・普及

- ・非線形解析手法の解析精度の検証と適用時の解析に関わる安全係数の検討

ii) 構造細目に関する項目

- ・帯鉄筋や中間帯鉄筋のフック長・形状等の細目
- ・鉄筋の組立・コンクリートの打設・締固めの面から施工しやすい配置方法

iii) 耐震設計の合理化に関する項目

- ・耐震性能の合理的な評価指標の確立

(2) 鋼製橋脚

鋼製橋脚は、座屈現象という限界状態に関する実験が多数行われて来ており、その成果は、基準耐荷力曲線という形で設計に反映されてきている。しかし、R C 橋脚と異なり平成7年兵庫県南部地震で被害が生じるまでは、鋼製橋脚の被害例はなかったために、その耐震性能の向上を目的とした繰り返し載荷実験や振動台実験が行われる事は少なかった。

現状の技術で対応可能な事項は、許容応力度法ベースでの断面設計とR C 橋脚の分野で確立された地震時保有水平耐力法に、鋼製橋脚の非線形性（耐力特性、変形性能）を加味して照査を行うことと、鋼製橋脚の塑性変形能力を高めるための構造細目の充実である。

今後の研究課題を以下に示す。

- ① 許容損傷順序と許容損傷モードの明確化
- ② 局部座屈や残留変形をどの程度まで許容するか
- ③ 基礎～地盤系の変形をどの程度まで考慮するか
- ④ 弾塑性解析ツールの精度向上と実用化
- ⑤ 弾塑性解析による設計法、照査法の確立

⑥強度を上げずに変形能を高める構造細目

⑦耐震性能に優れた鋼材の開発

⑧既設橋脚の耐震補強の度合の評価（橋脚を強くすると、相対的に他が弱くなる）

(3) 基礎構造

基礎構造物は、上部構造や橋脚躯体に比較して被災後の調査、復旧等の困難性を考慮すると大きな損傷を許容することは合理的ではない。このような観点から、基礎構造物については、基礎の応答塑性率が各基礎形式の支持特性を考慮に入れた制限値を超えないこと、転倒等を生じないこと、残留変位を含め過大な変位を生じないことが必要となる。さらに、基礎を構成する各部材が所要の耐力を有する必要がある。また、基礎の安定を計る上で周辺地盤の安定は極めて重要であり、液状化や地盤流動の可能性およびその影響を慎重に評価する必要がある。

レベル2地震動に対する損傷過程に立ち入った耐震性能の照査において現状の技術で対応可能な事項について以下に述べる。

i) レベル2地震による液状化の判定法と設計への反映法

レベル2地震動に対する地盤液状化の判定は、地震時に地盤水平面内に生じるせん断応力の不規則性、および液状化強度に及ぼす応力の繰り返し特性を考慮する必要がある。簡易な手法として累積損傷度理論の概念を取り入れた判定法があるが、詳細な検討は地盤の有効応力応答解析を用いて行うのが望ましい。

設計時に液状化の影響を考慮する手法は、平成2年道路橋示方書に代表されるように地盤の変形に係わる定数（変形係数 E_0 、地盤バネ k 値等）を低減することを基本とし、基礎の水平方向の安定にのみ配慮している場合が多い。地震時における間隙水圧の上昇は、地盤強度に影響を与えることは知られており、せん断弾性波速度 V_s 、杭の周面摩擦力度 f なども含める必要がある。特に、直接基礎において一般に用いられている全般せん断破壊を元にする鉛直方向の極限支持力算定式への影響を解明する必要がある。

ii) 地震時地盤変位の影響（応答変位法の採用）

軟弱地盤では地震時に軟弱層が基盤に対し大きな相対変位を生じる。また、地盤の深さ方向土層構成が一樣でない場合（中間に軟弱層や液状化層を挟む場合等）には、変位の高次モードによる影響が無視できなくなり深さ方向に複雑な変位性状を示す。これらによる影響は近年の被災調査研究やその解析から、キネマテックな相互作用による影響として明らかにされている。

基盤部材の耐力に地盤変位の影響等が無視できない場合（一般に杭基礎形式が多い）に、所要の安全性を有していることを照査する必要がある。基礎の作用する断面力は主に上部構造の慣性力応答にともなう作用力と地盤変位による影響とを足しあわせることになるが、構造物と地盤との振動特性および慣性力と地盤変位との位相差を考慮する必要がある。

iii) 地盤流動の影響

地盤流動が予想される場合は、その影響を水平力等により適切に評価して基礎が所要の機能を満足するかを照査しなければならない。照査は、構造物の重量に起因する慣性力の影響と地盤流動の影響を同時に作用させることを基本とするが、両者の最大応答を作用させるのではなく、地盤流動の影響が生じる時刻における構造物の重量に起因する慣性力の影響を作用させる。

iv) 基礎の耐力を評価できる安定計算方法

一般に、橋梁の基礎形式として次のようなものがある。

- ①直接基礎
- ②杭基礎
- ③ケーソン基礎
- ④鋼管矢板基礎
- ⑤地中連続壁基礎

各基礎型式の安定計算方法は、①＝極限地盤反力法、②＝弾性地盤反力法、③および⑤＝複合地盤反力法、④＝（非線形）弾性地盤反力法を採用している場合が多い。また、④の大型基礎に採用されている薄肉断面からなる仮想井筒の三次元解析（一般に、「土研方式」と呼称）は③および⑤と同じ複合地盤反力法であり、地盤反力度に上限値を設けた限界状態設計手法の考え方が取り入れられている。これより、③～⑤は地盤に係わる非線形性を考慮する設計手法を採用しており、基礎の耐力評価方法とし準用することができるが、①および②は地盤に係わる非線形性を考慮できる設計手法の採用が必要となる。

今後の研究課題を以下に示す。

- ①地盤反力係数の評価（特に、水平および鉛直方向せん断バネ）
- ②地盤反力度の上限値と三次元効果
- ③基礎施工方法による影響の反映方法
（特に、設計上の分類と施工方法の分類が異なる場合に重要）
- ④基礎の降伏耐力の評価
- ⑤転倒に対する復元力の評価（特に、直接基礎形式の場合）

(4) 支承・落橋防止構造

レベル2地震動に対しては、他の橋梁構成部材と同様、支承・落橋防止構造にもある程度の損傷を許容するのが合理的である。その場合、支承・落橋防止構造の構造形式にもよるが、支承部にも相当量の変形量が発生する事になり、大規模橋梁等については支承・落橋防止系をモデル化して動的解析を行うのが望ましいと考えられる。特に変形性能の高い支承・落橋防止構造を採用した場合は、下部工の応答値に与える影響も大きいと予想されるので、この点からも動的解析の実施が有効と考えられる。同様な理由により、免震支承を採用した場合についても動的解析の実施が望ましい。

現状の技術で対応可能な事項を以下に示す。

- ①ゴム沓とダンパーを用いた免震システム
- ②連続桁橋等における地震力分散システム

- ③支承の水平力支持機構と鉛直力支持機構の分離
- ④地震後の輸送機能を確保するための鉛直力支持機構の補助装置の設置
- ⑤落橋防止構造への緩衝効果の付加
- ⑥支承及び落橋防止構造取付部の補強

今後の研究課題を以下に示す。

- ①エネルギー吸収能力に優れた落橋防止構造の開発と設計手法の確立
- ②支承や落橋防止構造における許容塑性率の設定（輸送機能を確保できる損傷レベル）
- ③支承の設計地震力の明確化（橋脚の塑性化とのバランス）
- ④ゴム沓とダンパーを用いた免震システムの適用の拡大と低コスト化

(5) 橋梁システム

橋梁システムの耐震性能照査は、橋梁システムとしての地震時挙動の把握とその照査が重要なテーマとなる。地震時挙動の把握は、橋梁システムが複数の非線形要素から構成されているため、非線形動的解析によらなければならない。その際、各構成要素の非線形モデルは、必ずしも各要素毎の耐震性能の照査で用いた非線形モデルによる必要はなく、解析目的と非線形化の度合いを考慮してバランスの良い解析モデルを作成すれば良い。これは、橋梁システムを対象とした非線形動的解析では、一部の構成要素のみ精緻なモデルを用いても、他の構成要素が技術的に粗いモデルしか用いることができない場合、その解析モデルより得られる解の信頼性は、その粗いモデルの精度によって決まるからである。

橋梁は、建築物と異なり線状構造物である。よって、地形や各基礎位置での地盤条件が大幅に異なる場合は、入力地震動や解析モデルにその影響を考慮する必要がある。

橋梁システムとしての耐震性能をどのように評価（照査）するかは、今後の研究を待たなければならない。当面は、橋梁全体系の解析モデルより得られた応答値が、各要素毎の許容値以内にあるかを比較することになる。橋梁システムとしての耐震性能を評価するという観点に立った場合は、各要素の塑性化の度合いや損傷の発生順序、桁間の相互作用等の全体系モデルでなければ得られない項目に関する評価（照査）も重要である。今後、橋脚の耐震補強が進み橋脚の剛性と強度が増すと、橋脚よりも杭基礎が先に降伏し、地震のエネルギーが杭頭の塑性ヒンジ化によって吸収されて杭基礎に思わぬ損傷が生じる恐れがある。このような場合も、橋梁システムとしての地震時挙動の把握が必要となる。

橋梁システムの損傷過程に立ち入った耐震性能の照査は、各構成要素の非線形モデルの精度等を問題にしなければ、橋梁全体系の非線形動的解析は現状の技術で可能である。しかし、その解が全体系の地震時挙動を忠実に表現しているかは疑問が残るところである。だから、非線形動的解析は信用ならないという意見も極端である。現状の技術では、大型振動台の加振能力、橋梁構造物を対象とした地震観測体制の不備を考えると、非線形動的解析は我々が手にしているツールの中で、最も精度が高いものの一つである。

最も問題となるのは、各構成要素の非線形モデルを用いてバランスの良い全体系解析モ

デルを作成し、かつ解析結果を評価できる技術者の数が少ないことである。

今後の研究課題を以下に示す。

- ①橋梁を構成する各要素の耐力と変形性能のバランスを考慮した耐震設計法の確立
- ②固定支承の破壊による桁落ち、桁間衝突等を再現できる簡易な非線形モデルの開発
- ③集中的な地震観測による全体系としての地震時挙動の解明
- ④橋梁システムとしての許容できる損傷（アセプタブルダメージ）の明確化
- ⑤橋梁システムとしての地震時挙動の視覚化技術の実用化

橋梁システムとしての耐震性能の照査フローを、図-1.2.1に示す。

1.3 堤防・河川構造物

(1) 構造物毎の耐震設計の現状と対応方針

堤防・河川構造物に対する耐震設計の現状を整理すると、次のようになる。いずれの場合も、今後、レベル2の地震時の挙動を把握する必要がある、損傷過程に立ち入った非線形解析を精度良く行い、重要度に応じた要求水準を合理的に設定することが鍵となる。

i) ダム

現状では、第四紀断層を避けて計画されており、震度法ではあるがレベル1に対する耐震設計が行われている。兵庫県南部地震後の非線型動的解析（基礎岩盤の想定最大加速度250gal）により、現行設計法で設計されたものの安全性が確認されている。フィルダムも同様の非線型動解で解析をしているが、安全性の評価基準が確立していない。また、第四紀断層の特定方法と予測される地震動の規模の評価方法を、より高度化させる必要がある。

ii) 河川堤防

自立式特殊堤と高規格堤防は、レベル1に対する耐震設計が行われているが、一般の河川堤防の土堤は地震を考慮していない。既存堤防の延長が膨大であることから、重要度と危険度を十分に踏まえた対応が必要である。例えば、特殊堤は隅田川に見られる様に家屋が密集した所、背面に石油タンク等の構造物が位置する所などに建設される場合が多く、被災時の二次災害を大きくする可能性がある。逆に高規格堤防は、法勾配が緩傾斜であるため壊滅的破壊に至りにくい。また、標準的な堤防でも、0m地帯については二次災害を防止するための耐震設計が必要であるが、一般的な区間では、復旧しやすい構造物であるという特徴を活かし、損傷することを前提にすみやかな復旧が可能なマニュアルを準備しておくなどの対策が考えられる。

iii) 河川構造物

堰・樋門・樋管・水門・排水機場などの河川構造物は、震度法によりレベル1に対する耐震設計は行われている。しかし、地震直後の津波に対する防潮水門や、上水道の取水・下水排水等ライフラインに直結する施設として重要度が大きいため、レベル2の地震に対

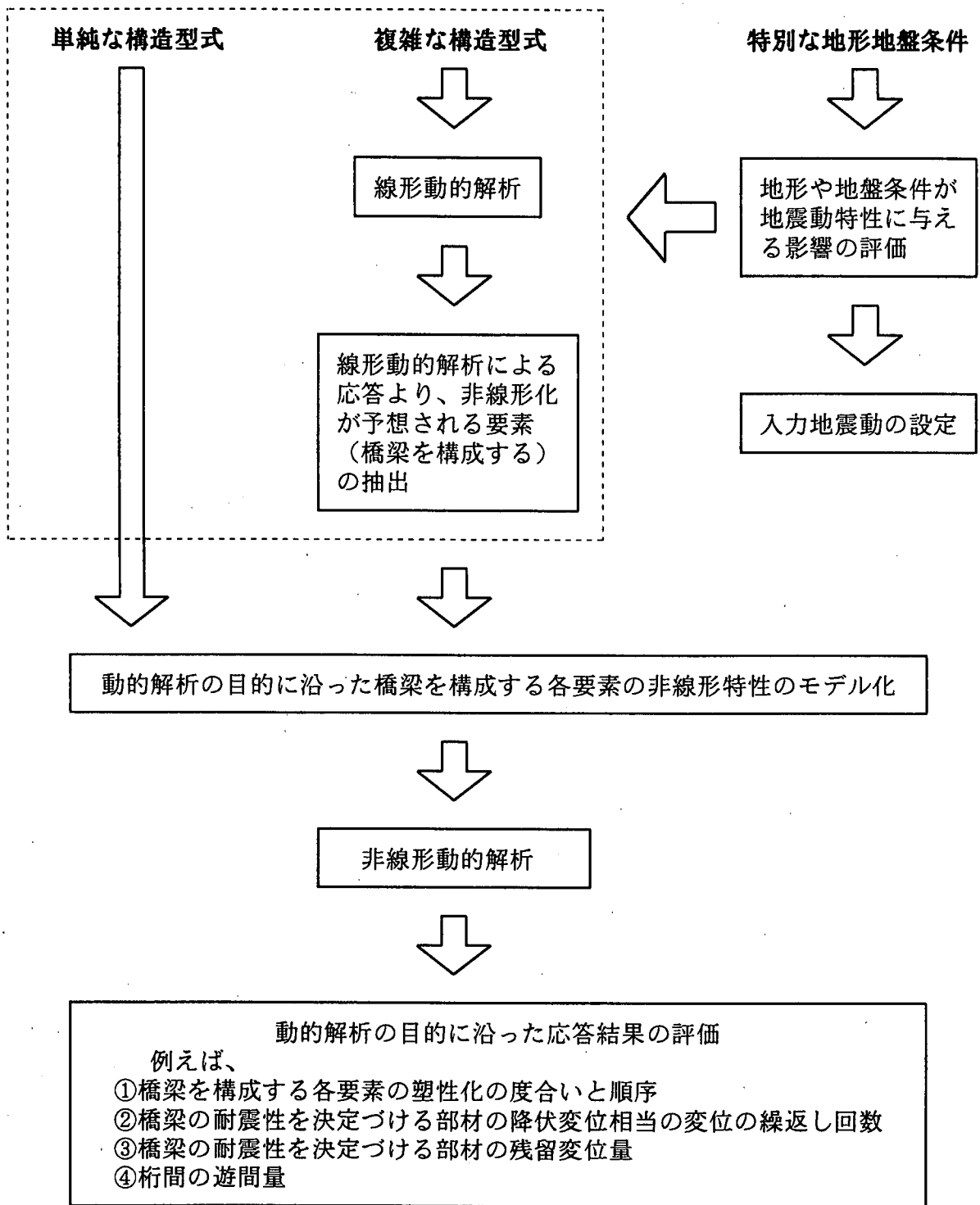


図-1.2.1 損傷過程に立ち入った耐震性能の照査フロー：橋梁システム

する配慮が必要である。

(2) レベル2地震対応設計法の適用に関する課題

i) 河川堤防

当面、適用可能な耐震性評価法は、表-1.3.1~1.3.3（河川構造物地震対策技術委員会報告書/H8.3より）のようなもので、円弧すべり法による安全率と被災事例に基づく変形予測法を組み合わせる用いることになる。

従来の円弧すべり法や自立式特殊堤の力の釣り合いによる安定計算法は、計算が容易で、滑るか否かに対して適用性を有するものの、損傷過程に立ち入って被害程度を評価できる手法ではない。堤防の耐震性能として要求される「構造物の被害により河川水による堤内浸水等の二次災害を起こさないこと」を確認するためには、変形量を予測できる手法を用いる必要がある。

解析的に変形量を予測する手法には、FEMによる残留変形解析や最小エネルギー原理に基づく地震時永久変形解析などがある。ここでは、これらの詳細に触れないが、いずれも、常に実現象を近似できるまでの、モデル化や条件の設定方法が確立しておらず、被災事例や実験から変形量を求めて、解析結果との対比を通し、妥当な判断が得られるような設計情報の蓄積を行うことが必要である。また、ごく一般的な堤防に対しても、多くの入力データを必要とする高度な解析を行うことは、設計実務上得策でなく、基礎的な設計データから、パターン化などにより変形量を概算できるような方法を模索することが望まれる。例えば、表-3.3のように安全率と変形量の関係がある精度で対応付けられれば、有用である。

ii) 河川構造物

防潮水門は、地震後の津波にその機能が必要とされる施設であり、レベル2地震時に対する耐震性が強く求められるが、津波そのものの設計荷重が非常に大きいため、レベル2地震自体には十分耐えられると考えられる。

土以外の構造物に対しては、橋梁に用いるモデル化や解析手法が適用可能であるが、ゲートや上屋の影響で1質点系ならないものや、樋門・樋管など堤体との相互作用が強く現れるもの、機能を維持するための機電設備の耐震性確保など、設計法に注意が必要である。

1.4 地中構造物

(1) 側方流動に対する検討方法

i) 現状

液状化の判定と浮き上がりに対する安全性の照査方法は規定されているものの、側方流動に関して規定した基準類は存在しない。

しかし、側方流動が地中構造物の災害の主たる要因になりうること、液状化層厚や地表

表-1.3.1 河川構造物の耐震設計で考慮する地震力

	土堤	自立式構造の特殊堤	水門・樋門
構造物の機能	<ul style="list-style-type: none"> 計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造（堤内の浸水防御）。 	<ul style="list-style-type: none"> 計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造（堤内の浸水防御）。 	<ul style="list-style-type: none"> 計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造（堤内の浸水防御）。 取水, 排水, 防潮, 津波侵入防止などの設置目的に応じた機能
現行の地震力	<ul style="list-style-type: none"> 地震力を考えていない。 	<ul style="list-style-type: none"> 慣性力を考慮 ($k_{ho}=0.2$)。 	<ul style="list-style-type: none"> 慣性力を考慮 ($k_{ho}=0.2$)。（門柱, 胸壁, 翼壁について）
地震被害特性	<ul style="list-style-type: none"> 沈下を伴う大きな被害は液状化を伴っている。 ただし、過去の大地震に対しても堤防高の25%は残留。 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊堤本体の被害（沈下, 目地の開き, 傾斜）はわずか3事例 全てに液状化が見られている。 2事例は施工年が古く、地震力を考慮した設計を行っているかどうかは不明。 	<ul style="list-style-type: none"> 機能を失うような被害は4事例のみ。 事例は施工年が古く、地震力を考慮した設計を行っているかどうかは不明。 周辺では液状化が見られている
復旧の難易	<ul style="list-style-type: none"> 土構造物であり復旧が比較的容易。 概ね2週間で緊急復旧終了。 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺のスペースが無く、早期の復旧は困難。 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート構造物であり早期の復旧は困難。 ただし、小口径樋門について土のうや角落し, 排水ポンプ等の対応により最低限の機能確保は可能な場合もある。
確保すべき耐震性	<ul style="list-style-type: none"> 浸水等による二次災害の防御（最低限の機能の確保） 		
	<ul style="list-style-type: none"> 地震により壊れない堤防を目標とするのではなく、壊れても二次災害を起こさない。 	<ul style="list-style-type: none"> 多少の変形は許容するものの浸水による二次災害をさせないように地震力に対して、所要の安全性を有する構造。 	<ul style="list-style-type: none"> 多少の変形は許容するものの浸水による二次災害をさせないように地震力に対して、所要の安全性を有する構造。
地震力の当面の考え方	<ul style="list-style-type: none"> 河川水の状況により浸水被害（二次災害）の可能性のある堤防については、液状化を考慮した設計を行う。地盤条件によっては慣性力も考慮する。 液状化に対して $k_{so}=0.15$ 慣性力 $k_{ho}=0.2$ 	<ul style="list-style-type: none"> 二次災害防止の観点から、現行の慣性力を考慮するとともに地盤に対する液状化を考慮する。 慣性力 $k_{ho}=0.2$ 液状化 $k_{so}=0.15$ 	<ul style="list-style-type: none"> 二次災害防止の観点から、現行の慣性力を考慮するとともに地盤に対する液状化を考慮する。 慣性力 $k_{ho}=0.2$ 液状化 $k_{so}=0.15$
将来	<ul style="list-style-type: none"> 河川構造物の変形に対する解析手法や耐震性評価手法などの進展を踏まえ、検討する。 		

〔河川構造物地震対策技術委員会報告書／平成8年3月より引用〕

表-1.3.2 土構造物の耐震性評価法の特徴

手法	手法の概要	入力データ	評価項目 (出力)	備考
被害事例に基づく 変形予測法	種々の条件に対する安定計算結果に基づき、任意の地盤条件・外力条件に対する地震時安全率を図表から算出。 安全率から天端の沈下量を推定。	<ul style="list-style-type: none"> 堤体形状 地層構成 堤体・地盤定数 地震力 地下水位 	<ul style="list-style-type: none"> 被害形態 (パターン) 被害程度 (沈下量) 	<ul style="list-style-type: none"> 安定計算を簡便化 簡便な概略点検用の手法 対策工法の評価は不可
円弧すべりによる 安定計算法	円弧すべり計算。 過剰間隙水圧と慣性力は別々に作用させる。	<ul style="list-style-type: none"> 堤体形状 地層構成 堤体・地盤定数 地震力 地下水位 	<ul style="list-style-type: none"> 安全率 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的簡便であるが、変形の予測不可 構造物系の対策工法の評価は不可
FEMによる 残留変形解析 (有効応力法) (全応力法)	初期応力解析、地震応答解析、累積変形特性試験に基づく見かけせん断剛性率 G' を算出し、静的自重変形解析により地震後の永久変形量を求める。(土研方式の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 堤体形状 地層構成 堤体・地盤定数 動的変形特性 地震動 地下水位 他 (土研方式の場合)	<ul style="list-style-type: none"> 地震後変形量 	<ul style="list-style-type: none"> 累積変形特性試験等、動的土質試験が必要 力学的に正統な方法であるが、入力データが多く、費用、時間がかかる。 対策工法の評価が課題
最小エネルギー 原理に基づく 地震時永久変形 解析	液状化層の水平変位が正弦曲線状に分布すると仮定し、地盤のひずみエネルギーと位置エネルギーを求め、全ポテンシャルが最小になるときの変形量を求める。	<ul style="list-style-type: none"> 堤体形状 地層構成 堤体・地盤定数 液状化特性 地震動 地下水位 他 	<ul style="list-style-type: none"> 地震後変形量 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的簡便に変形量の推定が可能 対策工法の評価が課題

表-1.3.3 堤防天端の沈下量(上限値)と地震時安全率の関係

地震時安全率 F_{sd}		沈下量(上限値)
$F_{sd}(kh)$	$F_{sd}(\Delta u)$	
$1.0 < F_{sd}$		0
$0.8 < F_{sd} \leq 1.0$		(堤高) $\times 0.25$
$F_{sd} \leq 0.8$	$0.6 < F_{sd} \leq 0.8$	(堤高) $\times 0.50$
—	$F_{sd} \leq 0.6$	(堤高) $\times 0.75$

注) $F_{sd}(kh)$: 慣性力のみを考慮した円弧滑りの安全率

$F_{sd}(\Delta u)$: 過剰間隙水圧のみを考慮して円弧滑りの安全率

の傾斜から沈下量や永久変形量を算定し、被害状況と結びつけた研究、液状化層の動水圧に関する研究などが2～3存在する。

ii) 対応方法案

実務設計の流れは、図-1.4.1の手順が想定できる。この場合の各項目に対応した具体的な課題および問題点等は表-1.4.1のように整理できる。

これらの研究成果を受け、合理的な設計法を確立していくことが重要であるが、これには相当の時間が必要であり、現状での対応は、これまでの調査・研究成果を踏まえ埋設管では弾性床上の梁モデルで取り扱うことが一般的な手法方法と考えられる。これらの設計条件となる荷重（変位量、分布形状）および地盤ばね等は、既往の研究成果をもとに設定する。ただし、側方流動が構造物諸元に大きく影響する場合は、詳細な地盤調査（地盤の非線形特性などの把握）を実施し、既往提案の数値解析手法により解析的な検討を実施するのが望ましい。

iii) 今後の課題

前述の表-1.4.1を参照。

(2) レベル2の地震時の設計方法

i) 現状

トンネルや管路の縦断方向には、継手で対処できる場合が多いので、本検討では横断方向に着目し、さらに大被害のあったRC矩形断面を対象に検討した。

阪神・淡路大震災発生以前に公開されている基準・指針類で、地中構造物の横断方向の耐震設計が必須となっているものは、レベル1地震動に対しても地下駐車場のみであり、レベル2地震動に対しては原子力屋外重要土木構造物以外にない。

ただし、大震災でのRC矩形断面地中構造物の被害分析結果および大震災以後に発行された基準・指針類を基に、レベル2地震動の耐震設計法をまとめることが可能である。

ii) 対応方法案

従来より設計基準等で採用されてきた応答変位法を基本とし、地震荷重の設定方法として、1次元地盤の地震応答解析による詳細法と設計用速度応答スペクトルによる簡易法を用いることが可能である。耐震設計のフローを図-1.4.2に示す。

a. 地盤の地震応答解析

応答変位法の地震荷重を1次元地盤の地震応答解析より求める場合には、対象とする地盤が液状化するかどうかにより、全応力動的等価線形解析法か、有効応力動的非線形解析法のいずれかを用いる。

b. 応答変位法による耐震計算

①地震荷重の算定

レベル2地震動に対する応答変位法の地震荷重は、1次元地盤の地震応答解析結果か、設計用速度応答スペクトルのいずれかの方法により求める。水平地震力による地震荷重と

表-1.4.1 研究項目と解決すべき課題等

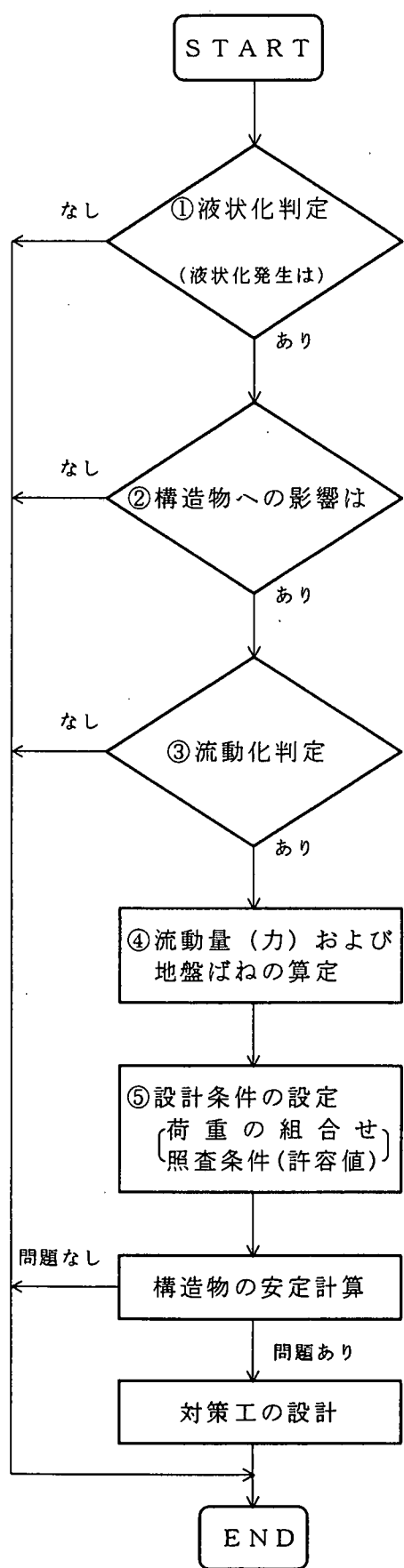


図-1.4.1 側方流動を考慮した設計の手順

研究項目	解決すべき課題および問題点
① 液状化判定	<ul style="list-style-type: none"> 地震動外力 液状化強度 判定法
② 構造物への影響度 ③ 流動化判定	<p>【構造物への影響】</p> <ul style="list-style-type: none"> 護岸等からの離れ 埋設位置(表層非液状化層、液状化層中) <p>【流動化判定】</p> <ul style="list-style-type: none"> 液状化層厚、程度および発生深度 地形、地層構成および護岸等形状・形式 <p>健全時 → 不完全液状化時 → 完全液状化時 (土質材料) → (土質～液体) → (液体)</p>
④ 流動量(力)と地盤ばねの算定	<p>【流動量】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地盤流動量と流動圧発生メカニズムの解明(非液状化層、液状化層) 構造物形式・形状との関連; 幅の影響(nB)、形状係数or杭力係数 <p>【地盤ばね】</p> <ul style="list-style-type: none"> 液状化層、軟化層、非液状化層の区分(速度効果や液状化強度の違いの考慮必要)
⑤ 設計計算法	<ul style="list-style-type: none"> 地盤流動と慣性力との重量? 地盤流動作用時の安全性照査基準
⑥ 対策工の設計	<ul style="list-style-type: none"> 対策工の安全性の確認(設計法) 構造物への影響検討

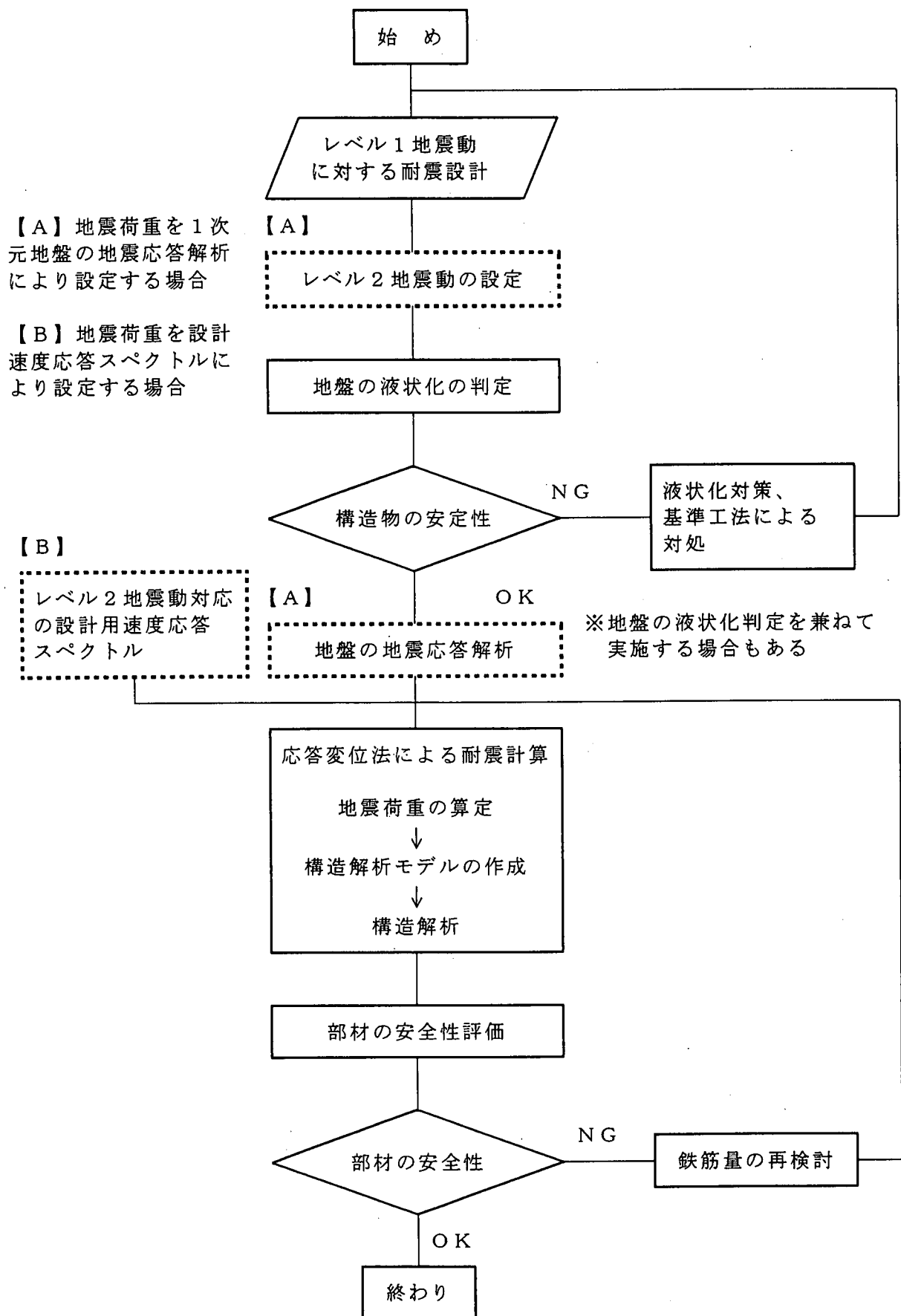


図-1.4.2 地中構造物横断方向のレベル2地震動対応の耐震設計フロー

しては、地盤の応答変位、地盤の周面せん断力、躯体および負載重量の水平慣性力、内容水の動液圧、である。液状化を考慮した地中構造物の耐震計算法は今後の課題であるが、地震荷重としては過剰間隙水圧が加わる。鉛直地震力による地震荷重は、必要に応じて考慮するものとする。

②構造解析モデルの作成

構造物の材料特性としては、曲げモーメント～曲率関係を等価線形モデルまたは非線形履歴モデルで表わす。地盤ばねは、有効拘束圧と地震時に発生する地盤のひずみレベルに応じたせん断剛性を用いて求め、必要に応じて側面の引っ張りカット等の非線特性を取り入れる。FEMモデルを用いて、地盤と構造物を同時に解くモデルもよい。

③構造解析

レベル2地震動に対する応答変位法の構造解析は、等価線形解析または逐次非線解析により行う。

c. 部材の安全性評価

部材の安全性は改訂されたコンクリート標準示方書「耐震設計編」等の限界状態設計法の考え方によるものとする。レベル2地震動に対しては、耐震性能2（地震後に機能が短時間で回復でき、補強を必要としない）か、耐震性能3（地震によって構造物全体系が崩壊しない）のいずれかの耐震性能を、構造物の重要性等により選択する。

iii) 今後の課題

①レベル2地震動対応の応答変位法における地震荷重の設定法、構造物および地盤の非線形モデル等の個々の要素について考慮方法、地盤の液状化を考慮した地震荷重の設定法、が重要な課題となる。

②限界状態設計法により構造物の安全性を評価する際に重要となるのが、構造物の限界状態であり地中構造物の種別ごとにその重要度に応じてレベル2地震動対応の終局限界状態を設定し、耐震性能2あるいは耐震性能3のいずれかに該当するかを判定する必要がある。さらに、耐震性能3について評価法を確立することが重要である。

(3) 断層や地表のずれを横切る場合の対応策

i) 現状

現行の各種設計基準等には、断層や地盤のずれに対する規定はない。水道施設耐震工法指針・解説に「地層の変化界等の地盤が不安定で危険な場所はできるだけ避ける」とあるものの、どの基準等も地盤沈下等を想定したもので、断層部を通過する場合の具体的な設計については触れていない。

断層と地下構造物に関する海外を含む文献の調査では、丹那トンネル・稲取トンネル等の事例についての報告がある。断層が横断することにより生じたトンネルのずれの事例や観測結果、断層モデルを適用し地盤の地震時の変位応答を算定したものなどがある。パイプラインについては、断層を横断する水道管の具体的な設計例の紹介、被害事例と応急対

策、ネットワークとしての信頼性の検討などがあった。

断層そのものについては、断層の定義、種類や特徴、発見・認定方法、活動度の分類、日本における活断層の分布等について知ることができる。

ii) 対応方法案

a. 地表またはトンネルに現れるずれ量

過去の地表の断層変位量は水平方向の方が垂直方向の変位量よりも大きいものが多く、最大値は水平方向約2.3m、垂直方向約1.5mである。阪神・淡路大震災においては、塩屋川トンネルで8cm程度のずれが生じたが、他の地下構造物の断層による被害はほとんどなかった。丹那トンネルでは最大2m、稲取トンネルでは最大73cmのずれを生じた事例が報告されている。また、クリープ的に常時ずれているものがあり、アメリカのBay Area Rapid Transitトンネルで年間約6～8mm(6～8m/千年)のずれ量が観測されている。

したがって、対象構造物が断層を横断する場合の想定ずれ量は、その活断層の過去の活動記録や現状の観測記録より推定されるべきであるが、千年で約1～2m程度と思われる。

b. 構造物側の対応方法

断層のずれ量は千年単位で評価されるものであり構造物の耐用年数との開きが大きく、また、メートルオーダーのずれ量に対して耐え得る構造とするのも技術的・経済的に困難であるから、その施設の重要度を十分検討する必要がある。

断層を横断する構造物の設計手順の基本的な考え方を、図-1.4.3に示した。設計思想としてはレベル2地震動に対する耐震性能を求め、また、対応策としてはライフラインに求められる、幹線の設定・多ルート化・ブロック化の推進・代替手段の採用等システム面からの対策を取り入れる必要がある。

また、具体的な対応策を検討するために、断層横断部における地下構造物の対応策の例を調査した。変位を吸収する可撓性の例、強度の増加、損傷時の機能確保、代替手段、ソフト面などに分類され、整理できる。

(c) 今後の課題

対策方法案は、設計上断層を考慮して実施されたものから、アイディアレベルまでであるが、いずれも断層が実際にずれてその機能を検証したものはなく、断層の位置、ずれ量を含めて、今後の研究・開発を待たなければならない。

1.5 港湾施設

i) レベル2の地震時の設計手法の現状

阪神・淡路大震災以前では「港湾の施設の技術上の基準・同解説」により、震度法による構造物全体系の安定検討と、許容応力度法による躯体断面の検討を行っている。

震災後に出された通達（港湾の施設の耐震設計に係わる当面の措置について：1995.11.1

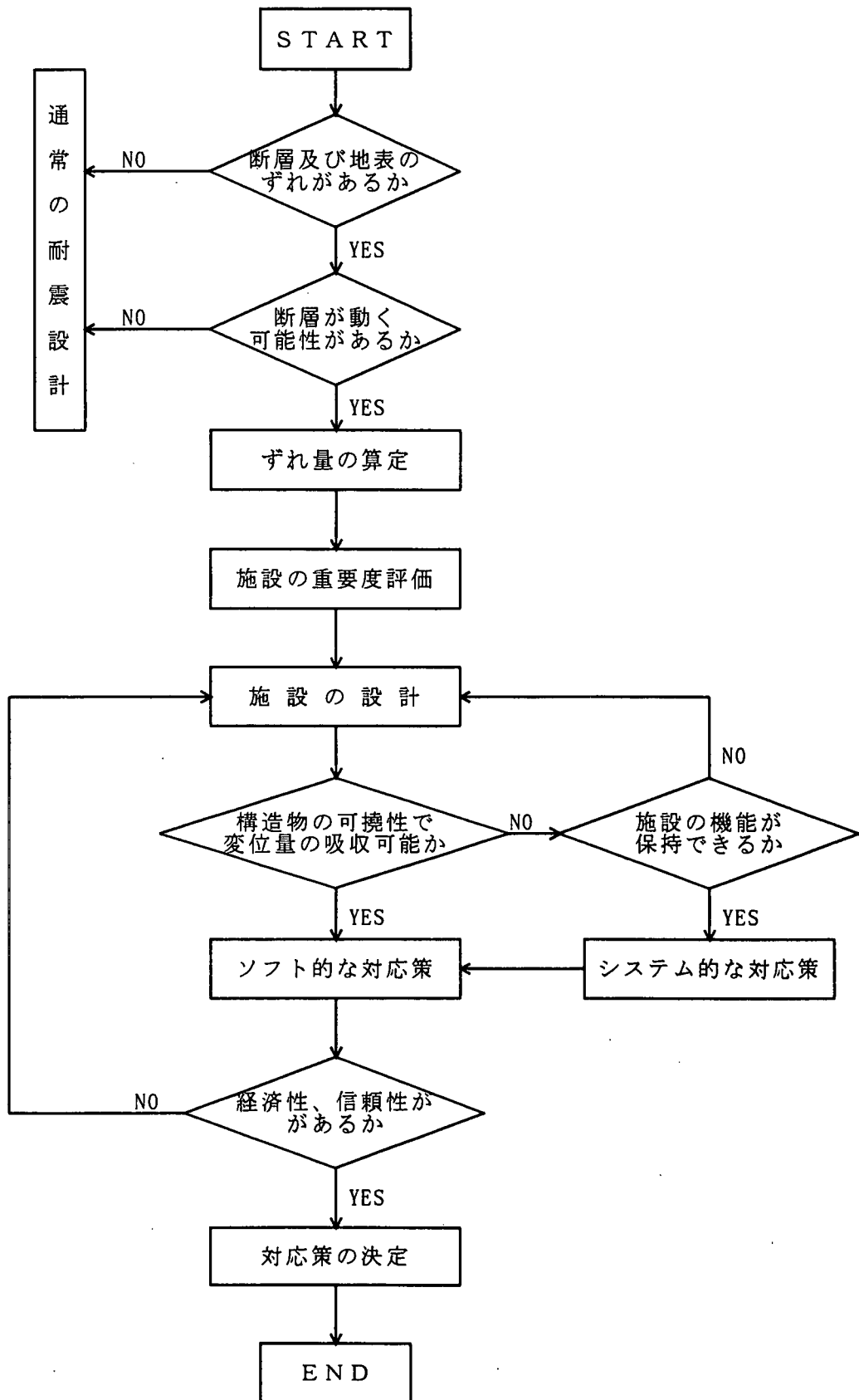


図-1.4.3 断層を考慮した設計手順

7)で、直下型地震を対象としたレベル2地震動への対応として、ポートアイランドで観測された実測波形を基盤に入力し、地盤の地震応答解析による地表面加速度を震度に換算して、震度法により設計を行うことが示された。

これらの設計法と第2次提言との関係を、表-1.5.1にまとめた。

ii) 対応策案

レベル2地震動に対する耐震強化岸壁の設計は、岸壁としての機能を確保することを目標として、震度法を用いて許容応力度設計を行い、設計された構造物の変形や耐力を後述のいくつかの方法で照査する方法で行われる。神戸港のケーソン式岸壁の被害から、設計外力以上の力が作用した場合、ケーソンは滑動することによりエネルギーを消散させ、構造物本体が損傷を受けることは基本的にはないものと判断されるため、上記の手法は、ケーソン式岸壁などの重力式構造物に関しては合理的な方法であると考えられる。

なお、ケーソン本体の滑動や沈下は、構造物背後の埋立地盤および置換え地盤の軟化が大きく影響したものと考えられているため、設計検討によりこれらの地盤が軟化しケーソンの変形により機能低下が想定される場合は、地盤改良・土圧低減等の種々の対策を行って、変形量を所定の範囲内に押さえる必要がある。

変形照査の検討方法は、既往の被害事例に基づく解析方法・地震応答解析・模型振動実験などを用いることができる。既往の被害事例に基づく解析方法では、各種の港湾構造物ごとの被害程度と入力地震動の関係や解析精度に関するデータの蓄積が継続的になされているが、予測精度の向上を図るためにも今後も引き続き種々のデータの蓄積が望まれる。地震応答解析の方法としては、FLUSHに代表されるような全応力度法とFRIPのような過剰間隙水圧の上昇を考慮した有効応力度法など、各種の方法がある。解析対象の構造形式・地盤状況・入力地震動の大きさなどの条件を考慮して解析手法を選択することになる。模型振動実験は、大型振動台・遠心載荷装置の整備が図られ、従来に比べ実現象に近い状況の振動実験が可能となってきた。

iii) 今後の課題

解析手法に関しては、実地震動による被害の解析、模型振動実験の数値シミュレーション解析などが精力的になされ、解析精度の向上が図られているが、今後も入力パラメータの決定手法をはじめとして各種の項目に関する一層の研究が望まれる。また種々の港湾構造物の被害と実験結果に関するデータそのものの蓄積も必要である。

1.6 地盤・土工

(1) 盛土の被害と対策

i) 現状

阪神・淡路大震災では、各種の盛土や土留めなどの土構造物も被害を受けた。被害の形

表-1.5.1 第2次提言と現行設計法の比較

	第2次提言	港湾基準	通 達
入力地震動	<ul style="list-style-type: none"> ・地域毎に活断層を固定し震源メカニズムに基づいて設定 ・兵庫県南部地震記録をもとに標準的地震動を作成 ・プレート境界に発生する巨大地震の地震動特性に関する研究 	<p>設計震度規定の中で「地震の活動度, 地震動の特性, 地震における地震動の増幅度等の調査により設計震度を精度よく定めることができる場合にはその他を用いてもよい。」という設計方針がある</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・兵庫県南部地震のポートアイランドで観測した実測波形を用いる. ・最大加速度の水平成分67.9Gal, 鉛直成分187Gal. ・活断層と岸壁法線の方向性は考慮しない.
保有すべき耐震性能	レベル1, レベル2	規定なし	耐震強化岸壁ではレベル2に対応
設計法	損傷過程にまで立ち入って耐震性能を照査	震度法	震度法
変 形	原位置観測や実験により評価方法や耐震性向上方法について研究の促進	な し	地震時の変形状態を検討する場合は, 既往の被害事例に基づく解析方法, 地震応答解析, 模型振動実験などを用いる.
側方流動	メカニズムと流動量の予測法に関する研究を促進	な し	水際の橋脚等の基礎については, 前面の護岸の挙動や構造を考慮して設計
液 状 化	<ul style="list-style-type: none"> ・沖積層または埋立土層で礫を多く含む土についても液状化判定の対象 ・高密度, 低繰返し回数のもとでの液状化強度の適切な評価 ・均等係数の高い土の静的および動的変形強度特性についての研究の進展 	<p>判定方法</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ステップ1 粒度によって液状化する可能性のある土層を含む地盤かどうかの判定を行う. 可能性がなければこのステップで終了する. ・ステップ2 各土層の等価N値と等価加速度により判定を行う. 	<ul style="list-style-type: none"> ・設計対象地震に対し, 液状化を発生させないよう必要があれば液状化対策を行う. ・上記の設計地震波により応答計算から液状化の判定に必要な各土層のせん断応力を求める. ・液状化の予測・判定法は基本的には従来どおり. ・粒度・N値法における粒度範囲の検討および液状化しないとする土層の等価N値の上限の設定は, 釧路沖地震の液状化対策の効果の実績, 兵庫県南部地震の液状化発生の実状等を参考にする.

態は盛土の崩壊・変形、法面崩壊、地すべり、土留め壁の変形・倒壊などである。鉄道や道路盛土の被害は年代の古い施設や締め固めの充分でない盛土に集中して発生する傾向がみられた。また、造成地においては、丘陵部での斜面崩壊と海岸埋立地の液状化による被害がみられた。斜面崩壊はすべり面の液状化による大規模で高速な運動を伴う地すべりと埋没した原地形に沿って盛土部が移動する緩慢で継続的な地すべりおよび液状化による盛土の流動化に区分される。

ii) 対応方法案

道路や鉄道の盛土では被害が比較的小さく、復旧も早かった。特に良く締め固めた盛土は軟弱地盤上にあっても変状が小さかった。全体に、盛土や擁壁は壊滅的崩壊に到らない粘りを示したといえる。また、ジオテキスタイルなどによる補強土擁壁も高い耐震性を示した。したがって、液状化対策が充分に行なわれ、土の強度を考慮して適切に施工された土構造物であれば、レベル2地震動に対しても、多少の損傷は許すが早期復旧が可能という条件を満足することはできると考えられる。

iii) 今後の課題

既設の古い施設について耐震点検を実施して靱性を評価する簡易な手法を確立し、重要度に応じて耐震性の改善をはかっていく必要がある。また、軽量盛土や補強土盛土などの耐震性について地震時応答特性の予測なども含めた検討を行ない、被害の予測と効果的な対策手法を確立する必要がある。

(2) レベル2地震動に対する耐震設計手法

i) 現状

土構造に関する現行の基準指針類を調査した結果、特殊な場合を除くと、基本的には耐震設計を行わなくともよいことになっていることがわかった。また、耐震設計を行う場合には、震度法による円弧すべり法による安定解析を行い、安全率で盛土の安定性を評価する方法が示されている。安定解析に用いる設計震度は、レベル1地震動に対応するもののみであり、レベル2地震動まで規定している基準類はなかった。

ii) 対応方法案

第二次提言では、レベル2地震動に対して土構造物が要求される耐震性能は以下の3点に要約される。

- ①重要度の高い区間の土構造物は、それらが支持する構造物や周辺の諸施設に重大な被害を及ぼさないこと
- ②被災地への緊急輸送路の確保を目的とする重要施設は、その所期の機能を維持すること
- ③その他の一般区間については、周辺に二次災害等の悪影響を及ぼさないこと

①の支持構造物に重大な被害を及ぼさないことに関しては、土構造物は、規模の大小は別として、沈下や亀裂・陥没等の地盤変状が発生することを前提として、基礎の強化など構造物の側で適切な対処方法を講ずることができれば、土構造物が大きく流動（移動）し

たりバラバラになってしまうような状態にならない限り、支持構造物に重大な被害は発生しにくく、また周辺の諸施設へ重大な被害を及ぼす可能性は小さいと考えられる。

②は、流動や崩壊が発生しなければ、ある程度の地盤変状は迅速に復旧可能であるので、短時間に復旧できることを前提とすれば、所期の機能は維持できると考えられる。

③についても、①と同様、周辺に対する悪影響と考えると、流動や崩壊が起これなければ、要求は満足できると考えられる。

以上の第二次提言に唱われている耐震性能を満足するためには、基本的には、盛土が大きく流動したりバラバラに崩壊したりして、上部の構造物が転倒したり、崩壊土砂が敷地外に流出して、二次的な被害が発生しないようにすればよいと考えられる。

既往の震害事例によれば、流動や大きな崩壊が発生しやすいのは、基礎地盤や盛土内で液状化が発生する場合と地山または基盤が傾斜している地盤が多いといわれている。

地震動の継続時間は有限であるので、流動または変形も有限にとどまると考えられ、その変形量が許容できるものであるならば、対策は必要ないといえる。従って、流動や大きな崩壊が起きやすい重要区間の土構造物は従来の安全率で安定性を評価する方式ではなく、変形量で支持構造物や周辺への影響の度合いを定量的に評価する合理的であると考えられる。一方、液状化の可能性がなく、地山や基盤の傾斜のない地盤上の土構造物の場合は従来の耐震設計法の考え方に従ってよいと思われる。

図-1.6.1に土構造物のレベル2地震動を考慮した耐震設計の考え方に関するフローチャートを示す。このフローでは、①検討対象区間（範囲）の土構造物の重要度分類を行い、耐震設計が必要な区間を抽出する。②地盤・地形調査に基づいて液状化解析などを行い、地震時に流動や大きな崩壊の可能性のある地形・地盤条件の区間を抽出する。③この区間に関しては、地震時残留変形解析を行って地震後に残留する変形量を推定し、対策工の必要性を検討する。④流動や大きな崩壊が起こる可能性の小さな区間については、円弧すべり面法による安定解析を行い、対策工の有無を検討する、という手順となっている。

iii) 今後の課題

①地震時残留変形解析については、各種の研究事例や最近実施された河川堤防の耐震点検マニュアルに示されているような、被害想定パターンに応じて、沈下量を推定する簡易なものもある。どのような方法を用いて解析するかは今後の問題であるが、2種類程度の解析手法は用意しておく必要があるだろう。すなわち、広い範囲を対象として危険区間を抽出するのに使えるような簡易な手法と、対策の有無や対策工の設計のために用いるやや詳細な手法の2種類である。

②流動の可能性の小さい土構造物の安定性の検討に用いる安定解析方法は、原則的には従来のものでよいと考えられるが、地震動レベルが大きくなると、地盤の強度なども従来用いられているような静的強度ではなく、繰り返し特性を考慮した土の強度（動的強度）を採用する必要がある。また安定解析に用いる設計震度は、土構造物の場合、他の構造物よ

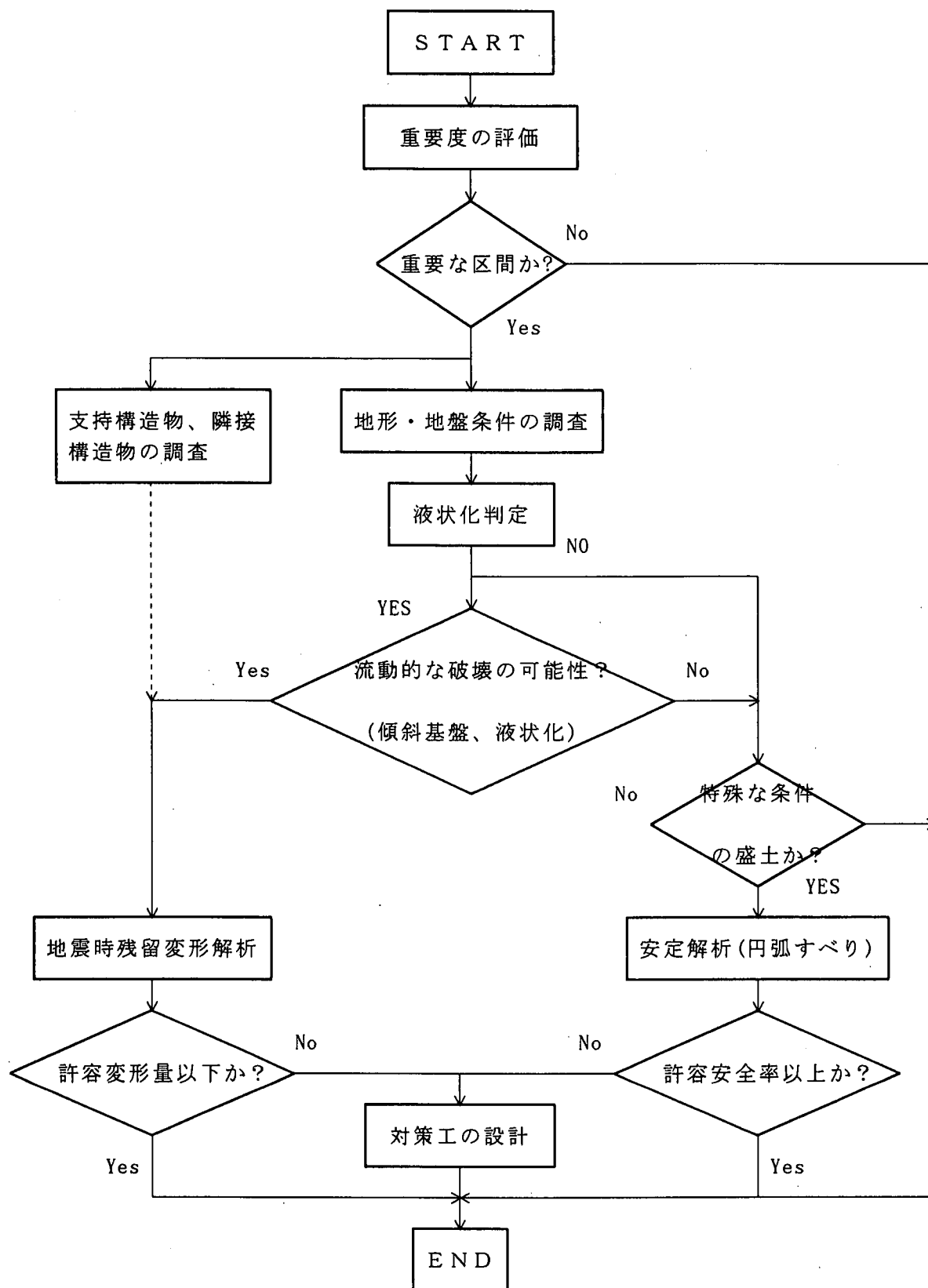


図-1.6.1 レベル2地震動を考慮した土構造物の耐震設計フロー

りも小さい値が用いられている。レベル2に対応した設計震度として、どのような値を設定すべきか今後の検討課題といえる。

安定性の検討の場合にも検討のレベルに応じて解析方法を使い分ける必要がある。例えば、危険区間抽出には従来の震度法による円弧すべり面法を、震度法では判断が難しい場合や対策のための詳細な検討には有限要素法などによって地震時応力を算定し、その応力分布を用いて円弧すべり解析を行う方法などである。

(3) 液状化判定法と対策の考え方

i) 現状

地盤の液状化判定法に関しては、現在ほとんどすべての構造物の設計基準類に取り入れられている。これらの基準類の判定方法には粒径や細粒分の影響は取り込まれているものの、阪神・淡路大震災で問題となった礫質土を対象とした判定方法や液状化に伴う地盤流動の予測方法が示されているものはない。

また、液状化判定に用いる最大加速度または設計震度は、すべてレベル1地震動相当のものであり、レベル2地震動に対応したものはない。

一方、液状化対策工法に関してもレベル1相当の地震動を用いた液状化判定に基づいた設計が行われており、レベル2相当の大きな地震動にも耐えうる設計とはなっていない。

ii) 対応方法案

第二次提言では、レベル1地震動に対しては、構造物基礎の場合、従来の設計方法と同じく、原則的には地盤改良等で液状化しないようにすること、レベル2地震動に対しては、地盤改良による液状化防止を目指しているが、それが不可能な場合には、沈下や側方流動など、液状化が構造物に及ぼす悪影響を小さいものに抑えて、重大な損傷が発生しないようにすることが唱われている。また、地中構造物の場合には、線状構造物であるので、単体の構造物のように地盤改良による液状化防止等の対策は困難であるが、液状化による悪影響を押さえて、構造物に重大な損傷が生じないようにすることとなっている。

現行設計法における液状化の考え方と比較すると、レベル1地震動に関しては、現行設計法の考え方と変わっていないと考えられる。レベル2地震動に対する液状化検討の大きな違いは、液状化に伴う地盤流動（側方流動）の予測と、それが構造物に及ぼす影響の検討を取り入れたことである。地盤流動に関しては、未だ研究途上の問題であるが、今後、重要性が益々高まると予想される湾岸埋立地などでは、不可欠な検討項目であるので、関連研究の進展によって検討・予測方法が確立され、設計へ早期に導入されることが必要と考えられる。

iii) 今後の課題

第二次提言に対応した液状化判定・評価手法を確立するためには、次のような検討課題がある。

a. 液状化判定方法

レベル2地震動のような大きな地震動に対応した液状化判定手法を確立する上で必要な検討課題は、大きな地震動に対応するものとして、①やや密な地盤の強度評価、②地震動の等価繰返し回数の配慮、液状化判定の対象とする土質に関しては、従来、液状化しにくいとされてきた礫質土等の均等係数の高い土の液状化強度の予測方法の確立などである。

b. 地盤流動

地盤流動に関しては、研究の歴史が新しく、まだ設計手法として確立された技術とはなっていない。大きな検討課題としては次の2点が挙げられる。

- ①地盤流動の可能性および流動量の予測手段
- ②地盤流動が構造物に及ぼす影響の検討方法

2. 耐震設計の高度化への対応状況の調査

「第二次提言」で示された耐震設計技術の高度化への対応を調べるために、民間企業を対象としてアンケート調査を行った。「第二次提言」に示された耐震設計技術の高度化に備える関連企業の対応状況や発注者や土木学会に対する要望を把握するために、できるだけ具体的に調べるために、次の項目を対象とした。

- ①当該企業の属性：資本金、技術者数、対象技術分野
- ②「第二次提言」に示された耐震設計技術の高度化への感想
- ③耐震設計技術の高度化に対する企業努力の内容
- ④動的解析の実績、生産方式、対応可能な技術者数
- ⑤発注者や土木学会に対する要望や期待など
- ⑥その他

配布先は全162社、その内訳は建設コンサルタンツ会社108社（構造設計に関連する建設コンサルタント各登録部門のTOP20）、総合建設業28社（土木学会土木施工委員会参加29社の内、舗装会社1社を除く）、鋼橋メーカー代表17社およびPC橋梁施工会社代表9社である。回答は上記職種、それぞれ、81社、26社、17社および4社の合計128社であった。

回収率は、同じく75%、93%、100%、44%であり、全体で79%でこの種の調査としては高い値を示した。これは、阪神・淡路大震災における土木構造物の深刻な被害状況の衝撃の大きさを物語るものである。

主な質問事項に関するアンケート結果について、全体、設計の立場（コンサルタント会社）、施工・製作の立場（建設会社、橋梁メーカー）の三つの立場から整理を行った。

【注：以下、文章中の強調文字は、アンケートの質問項目を示す。】

(1) 「第二次提言」に示された耐震設計技術の高度化への感想

設計の立場、施工・製作の立場ともに、耐震設計技術の差別化の進行と対応能力の相違が顕在化すると、耐震設計技術の高度化に対して何らかの対策の必要性を感じているとで

全体の約7割を占めており、それほど大きな傾向の違いは見られない。設計、施工・製作に係わらず、耐震設計技術の高度化への対応には敏感になっていることがわかる。

耐震設計技術の差別化の進行が自社の競争力を高めるチャンスと判断するについても、両者ともほぼ同じ割合になっている。

(2) 耐震設計技術の高度化に対する企業努力の内容

設計の立場と施工・製作の立場で職種の違いが現れている。

設計の立場で目立つのは、耐震部門の新設・強化、動的解析などの解析ソフトの購入(予定を含む。)および、社内勉強会の開催である。

施工・製作の立場では、耐震性向上のための新しい工法や技術開発の割合が高くなっている。動的解析などの解析ソフトの購入は、施工・製作の立場においても最も占める割合が高くなっている。

動的解析などの解析ソフトの自社開発の割合に着目すると、設計の立場よりも施工・製作の立場の方が占める割合が大きくなっている。これは、会社の規模の違いによるものと思われる。

(3) 動的解析の実績と手法・生産方式・対応可能な技術者数

動的解析の実績と手法、生産方式について、平成7年兵庫県南部地震以前の3ヶ年の状況と地震以降の状況について質問した。

①動的解析の実績については地震前の3ヶ年では、年間1~2件のものが全体で半分弱、次いで実績無しが25%弱、5~10件が18%余り、10件以上が10%強となっている。

設計の立場では、実績無しの比率が約30%と施工・製作会社の3倍弱になっているのに対し、年間10件以上とするものでは設計が施工・製作の約50%増となっている。年間1~2件のものでは逆に施工・製作が設計の1.5倍となっていることが注目される。

地震後については、全体、設計、施工・製作とも数十件以上とするものの割合が地震前に比べて、1.5~2倍程度増加している。また、実績無しが同じく2/3強に減少し、全般的に実施の機会が増加していることがわかる。

②動的解析の手法については、地震前は、全体、業種別とも線形動的解析が約75%を示しているのに対し、地震後には非線形動的解析を何らかの形で含むものが全体、業種別とも約60%となり、線形動的解析のみが30%弱に大きく減少している。これは、「第二次提言」を受けた復旧設計や耐震補強設計の機会が増加しているからと想像される。

③動的解析の生産方式については、地震前後では若干、社内対応の割合が増加しているものの職種による違いが目立つ。すなわち、設計の立場では、原則社内で行うとするものが、30%強となっているのに対し、施工・製作の立場では約60%を占めている。

原則として社外に委託するとの回答が設計の立場では地震前後で20%弱から約24%に増えているのに対し、施工・製作の立場では、逆に、約22%から18%強に減少していることも注目される。

④動的解析に対応可能な技術者数については、通常の手法に対応可能な者と高度な技術力を必要とする問題に対応可能な者とに分けて整理する。図-2.1には、通常の手法に対応可能な技術者の数を整理した結果を示す。

通常の手法に対応しうる技術者数は、設計の立場で約60%が10人未満であるのに対し、施工・製作の立場ではその比率が50%弱となっている。また、10～19人の割合については設計で約15%、施工・製作でその二倍強の32%余りと逆の傾向になっている。

高度な技術力を有する技術者の数については、業種の違いはそれほどではなく、1～4人が60～65%強、5～9人が20%前後、となっている。但し、10～19人とするものでは、設計の立場で約10%であるのに対し、施工・製作の立場では13%余りとその違いが目立つ。これは会社の規模の違いによるものと思われる。

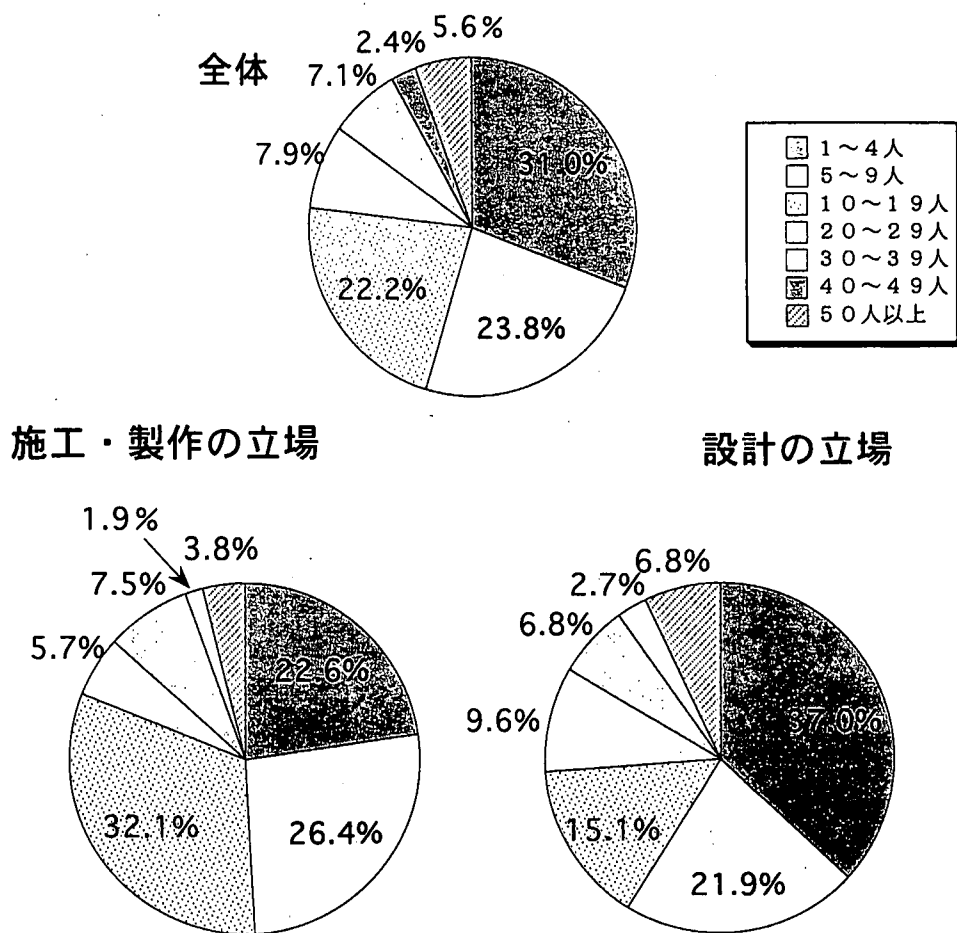


図-2.1 通常の手法による動的解析を行う技術者数

(4) 発注者や土木学会に対する要望や期待など

全体で眺めてみると最も高い割合を占めるものは、設計や施工技術の高度化、複雑化に対する正当な代価の要求である。次いで、土木学会に対して耐震設計の実務書の企画・出

版そしてセミナーの企画・開催となっている。

設計の立場では、セミナーの企画・開催や耐震工学の教育機会の増大の要望が高く、施工・製作の立場では、フルターンキーによる発注形態への変更の要望や耐震設計基準の改訂による成果の差は小さいものが良いとする意見の割合が大きくなっている。

耐震設計基準の性格として設計者の自由度を望む意見が両業種とも8%弱と少ないことは興味深い結果である。

(1)～(4)までの調査結果を踏まえて、設計技術検討部会が本来対象としている、設計の立場についての調査結果に関するまとめと考察を行う。

現状での対応能力であるが、平成7年兵庫県南部地震以前の動的解析に関する調査結果をみると、年間10件以上の動的解析を実施してきた会社は12%しかないことがわかる。「第二次提言」では非線形動的解析が基本となっているが、構造物の地震応答を決定づける、構造物の固有振動特性と地震動の関係等は線形動的解析を数多く実施することにより得られるものであり、平成7年兵庫県南部地震以前と同様な感覚で（何の自助努力もせずに）いると、耐震設計の高度化に対応できない会社が多数出てくることがわかる。このような現状は、各社においても認識されているようであり、「第二次提言」や自助努力に関する調査結果からもその様子が伺える。当然、平成7年兵庫県南部地震以前から動的解析の実施件数が多い会社は、地震以後においてもその数は多く、耐震設計の高度化は他社との差別化のチャンスとしている会社も数社ある。

土木学会への要望としては、耐震設計に関する実務書の刊行やセミナーの実施が多く、何をどう勉強して良いかがわからない会社が多いようである。これは、平成7年兵庫県南部地震以前の動的解析の実績を考えると当然かもしれない。

発注者への要望としては、耐震設計の高度化にともなう設計作業量の増加に伴う発注金額の増加に関する要望が最も多かった。

設計基準に関しては、細かく規定して欲しいが、基本的な考え方のみを規定して欲しいを上回った。

今回のアンケート結果を設計の立場を対象に総合的に評価すると、次の3点を上げることができる。

- ①従来から、動的解析の実績が多い会社は、耐震設計の高度化にも対応できる。しかし、その数は、数社にとどまる。
- ②従来、あまり動的解析を行って来なかった会社も、耐震設計の高度化に対応すべく、勉強会、プログラム開発等の自助努力を進めている最中である。
- ③自助努力を進める上で、適切かつ実用的な情報の提供を土木学会に望んでいる。

3. 耐震設計の高度化に備える施策の提案

3.1 設計技術者の役割

(1) 背景と目的

阪神・淡路大震災の反省から、安全で安心できる社会環境の創出、公共施設および構造物の計画・調査・設計および維持更新の必要性に関する社会的な認識（地域防災計画の見直しや耐震設計の高度化、既存不適格の構造物の耐震補強の推進など）が急速に高まった。

最近の社会情勢、たとえば財政状態の悪化や高齢・少子社会の到来、産業の空洞化などによる将来動向に対して、規制緩和や行財政改革の実施が必要であるとの見解が世論の大勢となっている。この中で公共事業のあり方に対する批判的見解が多く識者から指摘されている。これを受けて、建設省など関連省庁では、事業の効率的遂行に関する方策の推進、CMや建設費の縮減方策の検討などの積極的な取り組みが為されているところである。

このような対応は防災対策への投資や支出の増加に対して、負の要因となる可能性も考えられる。また、時間の経過とともに阪神・淡路大震災の記憶が薄れ、上述した膨らみかけた災害軽減対策の必要性の議論が冷静になりつつあることも事実であろう。

一方では、最近の社会の動きの特徴として、PCやEWSおよび高性能ソフトの普及やINTERNETの活用などによる高度情報化の一層の促進とそれらによる設計生産現場への波及効果は大きいものがある。

このような状況の中で専門職業人としての設計技術者に期待される役割を、改めて整理・検討し、具体的に提案することを目指している。

(2) 社会基盤施設を整備する立場として求められる役割

ここでは経験10～15年程度以上のキャリアを有する設計技術者を想定し、高度化する耐震設計法に対処するための課題・役割について以下に整理した結果をまとめる。

①「第二次提言」の内容を理解し、阪神・淡路大震災ばかりでなく内外の既往の地震被害の状況を把握し、専門家としてふさわしい新しい知識や技術の修得を積極的に図る。

②研究の進展の著しい耐震工学の成果に目を向け、関連情報の把握と実務設計面への適用可能性について関心を払う。

③業務の遂行に当たっては次の事項に留意すべきである。

- ・サイトの地形、地盤そして構造全体系の観点から耐震安全性の確保を念頭に置いた構造計画を適切に行うとともに地盤調査計画を含む合理的なマネジメントと課題の発見とそれらの解決、成果の照査に積極的なリーダーシップを発揮すること

- ・耐震設計基準類の適用に当たっては、表現の背景・前提を十分理解して、その趣旨をわきまえ適切に解釈し、耐震設計の基本を誤ることの無いよう弾力的に配慮、運用すること

- ・高度情報化社会における設計の陥穽、すなわち、計算・解析万能に対する注意喚起を行

うことのできる総合的判断力を身につけるように研鑽するとともに若手技術者に対する適切な教育、指導を行うこと

・発注者に対しては、耐震設計の重要性、基準等の基本的な内容とそれらの背景・前提についてわかりやすく説明を行い、理解を促すよう努めること

(3) 大地震直後の望まれる協力・支援内容

首都圏や大阪などの広域的な都市域にレベル2地震動が生じた場合を想定する。阪神・淡路大震災の状況から考えると地震直後には相当な混乱が生じることが想定される。このような場合、設計技術者として何ができるかを考える。当人が地震の発生時に①被災地域内に居た場合、②被災地域から離れたところに居て地震の影響を受けない場合の二つの状況に加えて、さらに会社・自宅・出張先もしくは外出先に居た場合のつごう6ケースに分類される。

現在検討中であるが、基本的には、本人が安全でかつ家族・親族の安全が確認された後、住民または国民の義務として個人の立場で行うボランティアと、会社や組織に所属する専門家の立場で大きな責任を伴いながら行う行為とに分かれるであろう。

3.2 設計技術者の技術力向上に関する施策

(1) 概要

第2次提言の内容と設計実務の現状との間には、多くの解決すべき課題があるのが実情である。中でも特に重要な事項は、地震時の動的な挙動と、レベル2地震動の作用時に考慮すべき限界状態（変形形態および程度、損傷の許容水準など）を具体的に設定することや、動的解析を適切に行い、設計に反映させることである。

しかしながら、従来では、震度法による許容応力度設計法が慣用的に用いられてきたこともあって、発注者および実際の設計業務を行うコンサルタントの中で、これらの要求にただちに対応しうる能力や経験を有する者は残念ながら極めて少ない状況にある。

このような状況にある設計実務に携わる技術者の耐震設計に関わる問題発見、解決処理能力の向上を図るために、土木学会として講じられる施策を検討した結果、次のことが効果的と考えられる。

①耐震設計および動的解析について平易に解説した実務書の企画

②セミナー、講習会などの開催企画

これらの企画にあたっては、今後、設計実務面で実施される機会が増加するものと思われる動的解析の精度確保のための方策についても含むことが肝要であり、そのための着目すべき要因についても整理した結果をまとめている。

(2) 耐震設計および動的解析に関する実務書の企画

基本コンセプトを次のように考えた。

- ①実務書は、入門書と実践書（中級編）の2本立てとする。
- ②入門書は、動的解析について全く知識がない技術者を対象とし、動的解析の基本について理解できるように、平易に分かりやすい表現を用いて記述する。
- ③実践書は、ある程度動的解析について素養がある技術者を対象とし、留意点を明示し技術者が実務を行う場合の参考書的、マニュアル的なものとする。構造物を構成する各要素の非線形特性（挙動と破壊モードおよび構造諸元との関係）を理解して貰うとともに、設計で用いる解析手法によって、その非線形性をどこまで再現でき、何が再現できないかを理解して貰うこととする。さらにその解析手法により設計された構造物の耐震性をどのように照査するかセンスを実例を通して理解して貰う。
- ④取り扱う対象構造物は、橋梁（地上構造物）、地中構造物（RCボックスカルバート、シールド）、地盤とする。
- ⑤解析法についてはレベル1地震、レベル2地震に対応したものを述べる
- ⑥入門書の内容
橋梁技術者で変形法を詳細に知らなくても、平面フレーム解析等により設計しているのが現状であり、ましてや動的解析法について詳細に理論を説明しても大半の技術者には理解しづらく、途中で挫折し結局その本が難しすぎると諦めてしまう。従って動的解析の理論については既存の参考文献を紹介し、本書は、入力定数（地震動、材料定数、減衰定数、地盤定数）、解析結果の見方、評価法について具体的に述べるものとし、技術者が実際に動的解析のプログラムを用いて解析できるように工夫をする。
- ⑦阪神・淡路大震災で得られた新しい知見をできる限り盛り込む。

(3) セミナー・講習会などの開催企画

期 間：セミナーは合宿制で3～5泊程度、講習会は1日

対象者：①入門編：設計経験者2～3年程度であり震度法以外の耐震設計を全く行っていない人

②中級編：震度法以外の耐震設計をある程度行っている人

③上級編：動的解析の経験がある人

講 師：コンサルタント、建設会社の設計実務担当者

内 容：①入門編：耐震設計の基礎（語句、手法、動性etc）・道路橋示方書の内容

②中級編：一般的な1次元、2次元の動解

③上級編：有効応力解析、非線形解析（コンピュータによる動的解析の実行についても、可能性を検討する）

(4) 動的解析の精度確保のための方策

動的解析の精度確保のためには下記に示す3つの要素が各々精度を確保する必要がある。

i) 解析ツールの解析法の妥当性の向上について

線形動的解析においては解析方法の相違が解析結果の精度に及ぼす影響度合いは比較的

少ないが、非線形動的解析においてはせん断の非線形の取扱い、軸力変動の影響の取扱い等により、解析結果は全く異なったものになってしまう。実務設計で動的解析を用いて設計および照査を行うには、解析結果に対してあるレベル以上の妥当性がなければならない。現在使用可能なプログラム、および将来開発されてくるプログラムについて、ブラインドテストおよびベンチマークテスト等により信頼性のある解析ツールを設計の場に提供する必要がある。

ii) 材料定数の精度向上

解析ツールがほぼ妥当との評価を受けたものであったとしても、次に問題になってくるのが解析に用いる材料定数の設定である。線形解析においてすら材料定数の相違により、結果は当然異なってくる。非線形解析においてはさらに不確定な定数が増加してくるためより一層材料定数の設定が重要になってくる。用いるべき諸定数についてある程度明確なものと、まだ不明確なものを情報を公開し、不明確なものについてはどこまで解っていてどこから解らないのか知らしめる必要がある。ブラックボックス化されることは極力さけるべきである。

iii) 担当技術者の能力向上

これまで、設計技術者は設計基準に従ってマニュアルまたは計算例に従って設計してきたが、動的解析に関してはそのような基準、マニュアルはまだ完備されている状態ではなく、各技術者が各種の文献により技術習得をしている状態である。解析方法各種の材料定数に関する知識を身につけていることが必要で、使用する解析ツールの設定条件をよくわきまえて、適切な材料定数を入力して始めて精度の高い解析結果が得られる。

3.3 設計品質向上に関する施策

(1) 目的

耐震設計の高度化を達成するためには、設計技術の向上が必要であるとともに、その技術を如何に有効に機能させるかということが要請される。これを具体化するためには、技術者や企業の能力の向上とともに、それらを有効に発揮させるためのシステムが同時に改善されることが肝要である。すなわち、耐震設計の高度化のためには、技術の開発、技術を駆使する側の能力の向上、それを支えるシステムの改善が車の両輪のごとく推進されなければならないと考えられる。

ここでは、前述の3つの柱のうち、システムの改善に焦点を当て、設計品質の向上という切口から検討を行なって、その施策を提案することを試みようとするものである。

(2) 現状の分析

i) 作業および内容の概要

耐震業務を実施する際の発注から成果提出までの流れとそこで用いられている手段の中

で、耐震設計の高度化を達成するについて、どのような問題があるのかを分析する。また、企業や技術者、個人の能力を有効に発揮させるためには、どのような点が欠けているかということ进行分析する。

ii) 具体的な結論のイメージ

a. 発注（段階）における問題点

契約約款等、契約行為に係る制度上の現状を検討する。また、先に実施されたアンケート結果を検討し、受注する側の現状について問題点を明らかにする。

- ①現状では耐震技術の実行能力がコンサルタントすべてに一律ではない。
- ②連続性のある構造物を分割して設計の発注を行うと、耐震設計の合理的な実施の妨げとなることが考えられる。
- ③著作権や知的所有権が確保されないシステムとなっているため、耐震技術の開発意欲を削いでいる。

b. 業務実施段階における問題点

設計共通仕様書や設計の手引きなど業務実施に関わる様々な規定において、耐震設計を推進するためには何が欠けているか、すなわち耐震に関する規定がどの程度に扱われているかの実情を把握する。

- ①例えば、建設省の「設計業務共通仕様書」に耐震に関する項目がない。
- ②耐震が意識されていないため、例えば、建設省関連の調査・設計業務実績データを登録した情報システムである「TECRIS」においても耐震のKey Wordがない。

c. 品質保持に関する問題点

- ①耐震検討・設計に関するチェック、レビューを充実させる必要があり、そのためには耐震問題に造詣の深い総合的技術力を有する照査担当技術者を充てる必要がある。

d. その他の問題点・現状

- ①耐震設計に対する意識が単なる荷重の問題としてとらえられてきたため、技術的分野全体で希薄であった。
- ②耐震技術に関する評価が、いわば縁の下の力持ちのようなものであるため、技術者の関心を引きつけ難い面がある。
- ③種々の構造物の設計の一部として耐震は入っていたが、耐震技術という分野の意識がややもすると欠けていた感がある。

(3) 問題点の分類と改善策

問題点の分析を踏まえ、改善のための課題を整理、分類する。また、それに対する改善策を述べる。問題点については次の3つの側面に分類される。各々の課題ごとの改善案・アイデアとしては、現時点で例えば次のものが考えられる。

i) 技術者へのインセンティブの付与

- ①技術士制度の改善（耐震に関する設問などを各部門で義務づける。）

- ②技術力の評価と表彰（優秀な耐震技術の評価と、それを社会に示す方策の提案）
- ③著作権や知的所有権の付与（技術検討成果の公表を容易ならしめ、社会的貢献への努力を広くPRする。）

ii) 品質管理システム活用の充実

- ①耐震設計の高度化に応じた歩掛りの改訂
- ②レビュー、チェックシステムの整備（チェック、レビューのフロー、項目、内容の程度）
- ③ベンチマークテストの実施による耐震設計・解析関連ソフトの精度の確保
- ④設計レビューとしてのチェックシステムの導入（設計計算対応ソフトでは計算途中段階の出力や最終結果の出力項目等が簡単に選定できるシステムを導入し、解析結果のチェックが容易にできるソフトを開発する）
- ⑤教育・研修制度の充実（大学や公的機関との共同研究や国内および海外留学制度の充実・活用）

iii) 業務発注システムの改善

- ①応答解析、地盤の液状化や流動化といった技術的課題のある業務について、プロポーザル方式の積極的採用、およびプロポーザルの内容を正當に評価しうる透明性の高いシステムの整備
- ②橋梁を例にとると、地盤の調査計画および結果の吟味を含み、連続性のある構造では広範囲の全体系としての耐震をも考慮する構造計画を発注するようなシステムへの変更
- ③技術評価制度の見直し、あるいは設計者の創意工夫と適切に評価しうるような発注システムの構築
- ④共通仕様書等の改訂（耐震に関する条項の追加など）

(4) 改善案実行のための問題点と現状での実現性の検討と施策の提言

上記(3)で提案された改善案を実行するための問題点や解決のための手段、実施可能性を検討・評価し、現時点で有効かつ実現性のある施策を提言する。また、その他の改善案についても将来の方向性を提案する。

施工技術検討部会報告

内容

1. 部会活動の概要
2. 復旧工事の実状と課題
3. 今後の対応

施工技術検討部会報告

1. 部会活動の概要

施工技術検討部会は、「施工実務にたずさわる民間土木技術者の立場から、震災・耐震対応の施工技術に関する内容について調査、分析、検討する」ことを目的に活動を続けている。部長は菊池禎二（大林組）、メンバーは、総合建設業（ゼネコン）11名、建設コンサルタント 3名、鋼橋メーカー、PC関連建設業、管メーカー各1名、全体で18名からなる部会である。部会は平成7年12月25日に第1回目を、その後月1回程度のペースで開催している。

阪神・淡路大震災の発生から、2年が経過し、震災復旧工事のうち、主要なものはほぼ終了した。各分野の新しい耐震基準も固まりつつあり、新基準による既設構造物の補強工事および新設工事も、これから本格化するものと思われる。

これまでに実施された復旧工事を施工技術の面から見てみると、いずれの現場も工期が最優先されるため、その時、すぐに入手できる資機材を用いて、その現場の環境条件に合った安全、確実な施工法で実施されている。したがって、施工技術的に目新しいもの、参考になるものは、それ程多くない。しかし、これから本格化する補強工事および新設工事においては、要求仕様がよりきびしくなることから、良いものを早く、安く提供するために、これから施工技術に係わる技術開発も進展するものと思われる。

一方、復旧工事においては、施工技術よりもむしろ、電気、ガス、上下水道等生活関連のライフラインと鉄道、道路等の交通網が未曾有の大被害を受けた中での工事という施工環境の違いによる影響が大きく、様々な問題点が露呈された。

そこで、施工技術検討部会では大震災の教訓を生かすために、復旧工事を対象にその実状と課題を調査し、今後の対応をまとめて見たので、ここにその概要を報告する。

2. 復旧工事の実状と課題

(1) 調査対象会社

土木学会土木施工研究委員会参加のゼネコン 28 社

(2) 調査時期

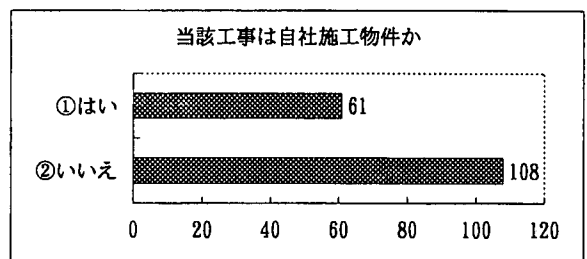
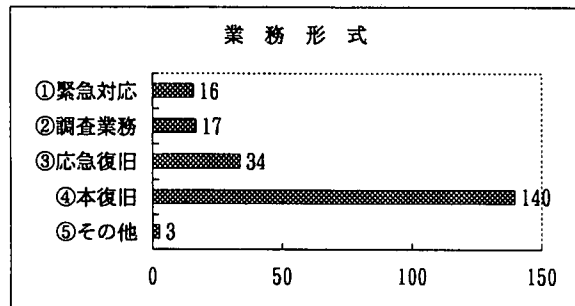
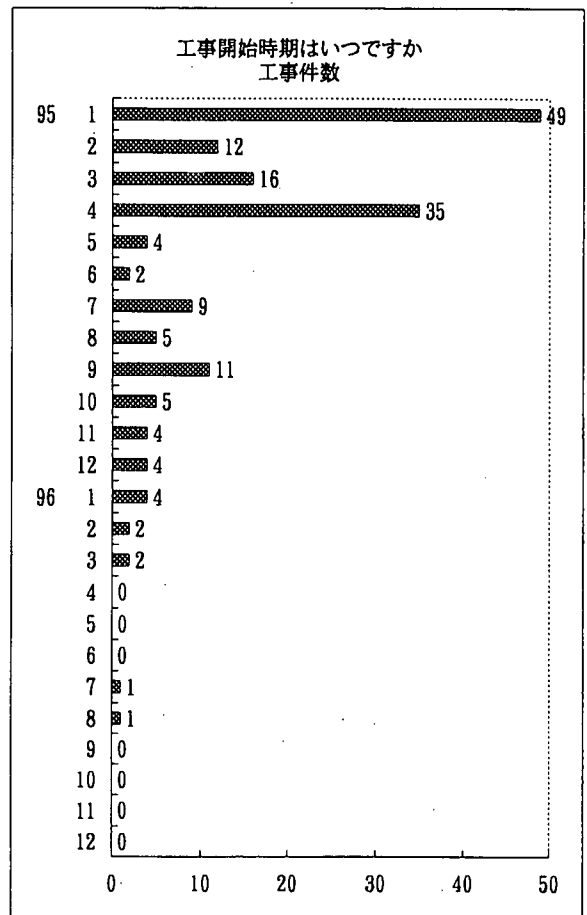
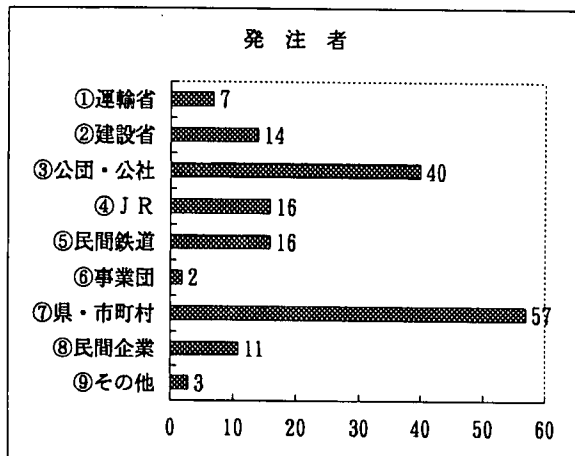
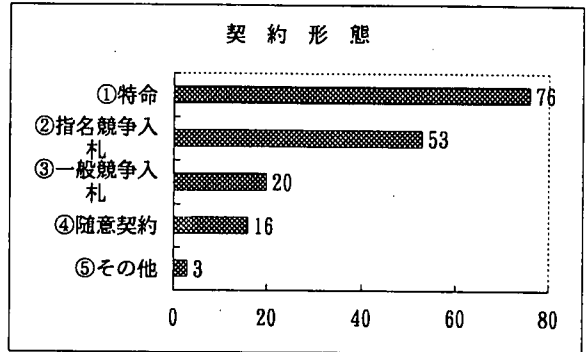
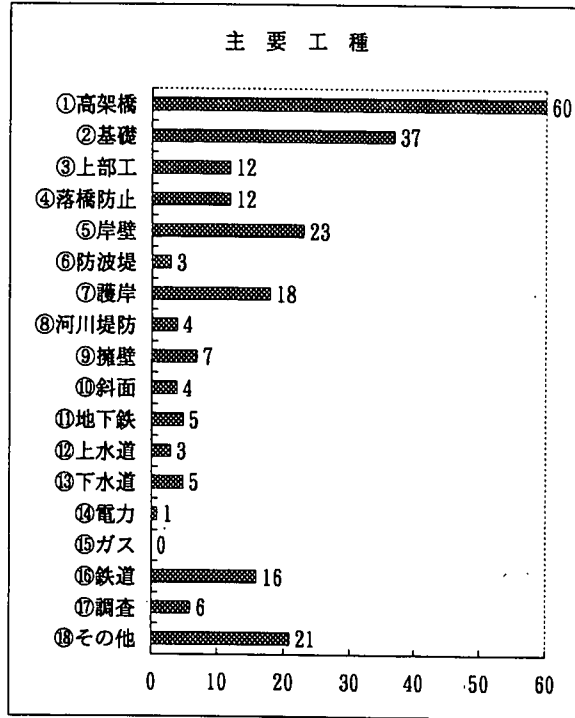
平成8年7月～10月

(3) 調査方法

ヒアリング 15 件

アンケート 166 件

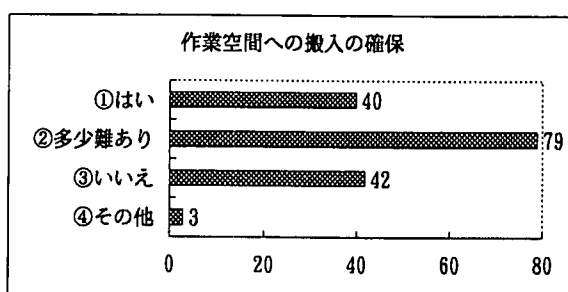
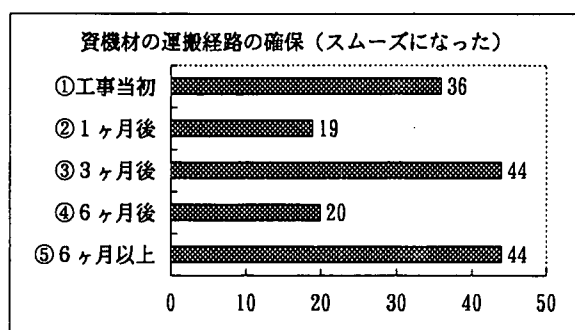
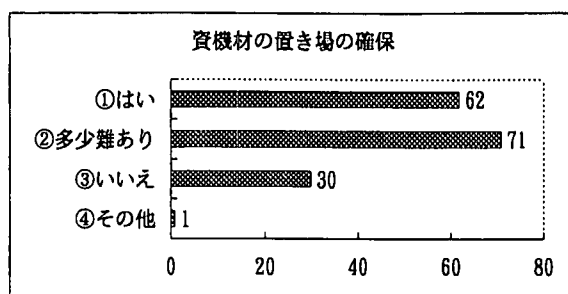
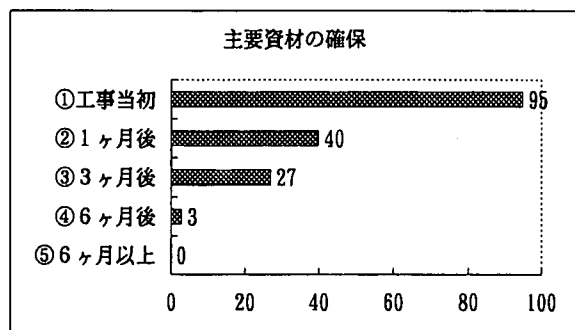
(4) 工事の種類 (アンケート分)



(5) アンケート結果

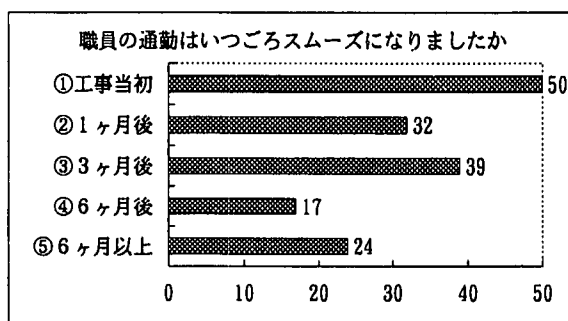
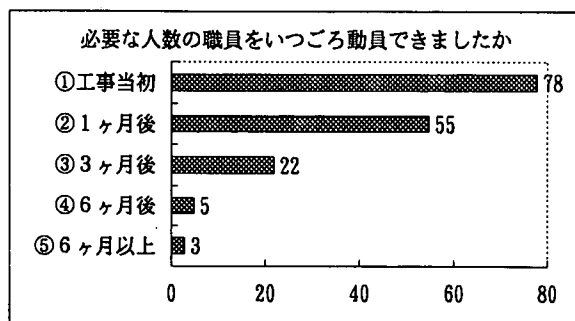
1) 資機材の調達

資機材は、全国規模で調達したのではほぼ対応できたが、搬入路、仮置場、作業空間の状態が悪く、予定通りいかなかった。

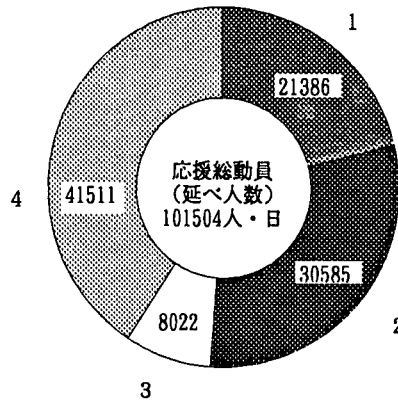


2) 人材の調達

宿舍、通勤、食事、トイレ等、劣悪な環境ながら、人数的にはほぼ対応できたが、被災地が東京、大阪の場合のバックアップ体制は考えておく必要がある。



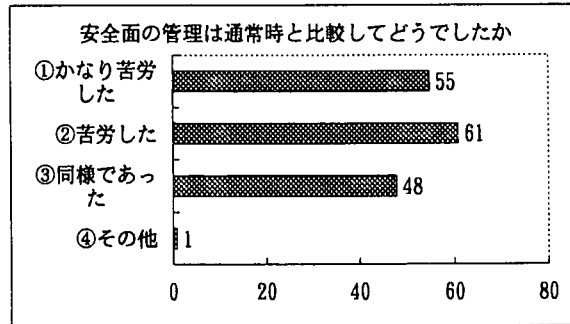
土木工事の復旧工事で、調査、設計、施工に要した職員の
応援総動員数（はじめの3ヶ月）



- 1 本社・首都圏からの応援総動員（延べ人数）調査・設計・技術系職員
- 2 本社・首都圏からの応援総動員（延べ人数）施工系職員
- 3 以外からの応援総動員（延べ人数）調査・設計・技術系職員
- 4 以外からの応援総動員（延べ人数）施工系職員

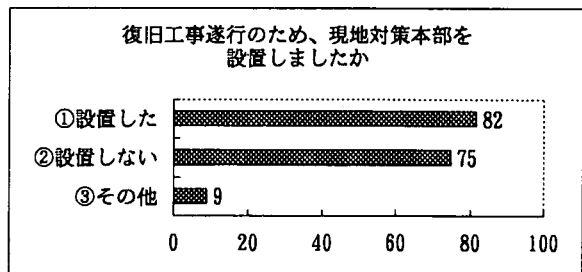
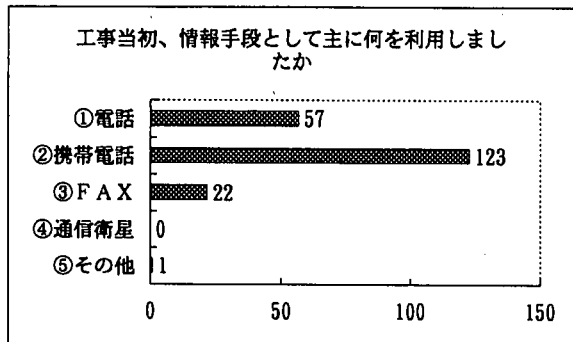
3) 安全面の管理

劣悪な環境で苦勞している。



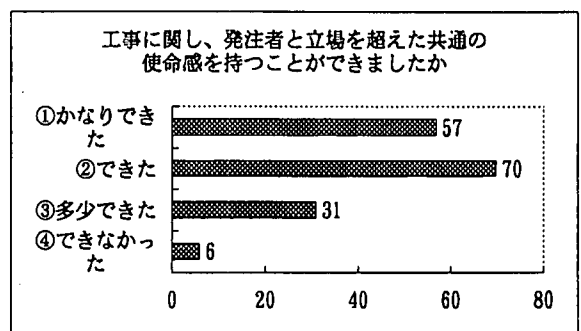
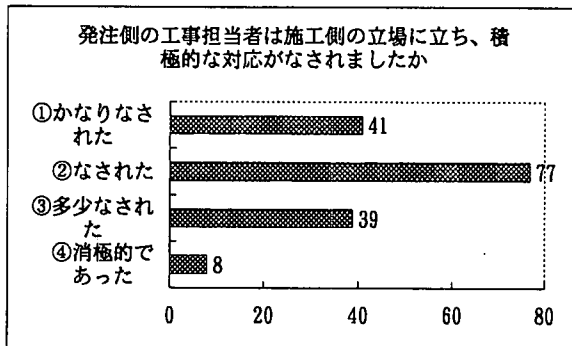
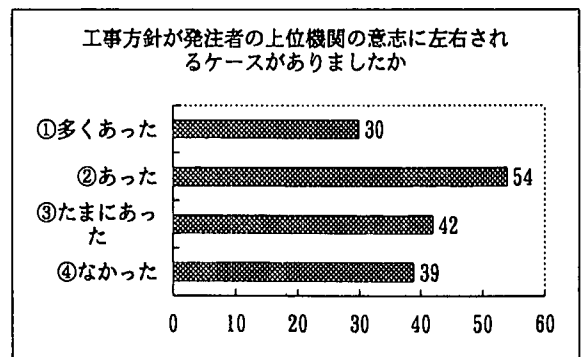
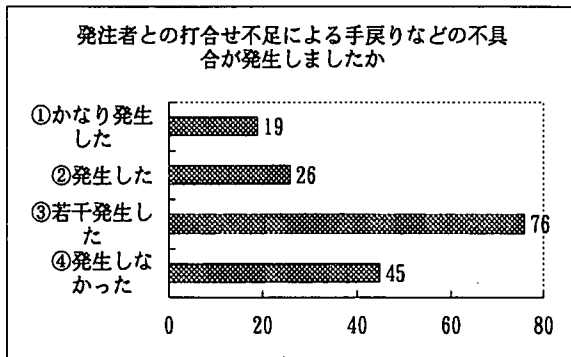
4) 情報の伝達・収集

携帯電話とFAXが主体。なかなかつながらず混乱した。



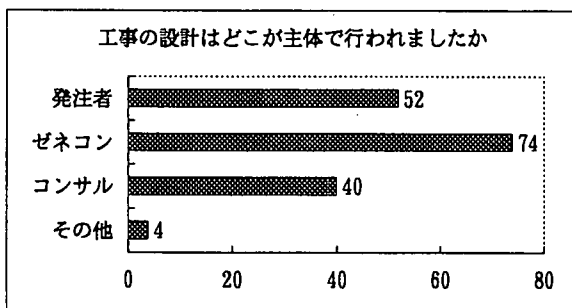
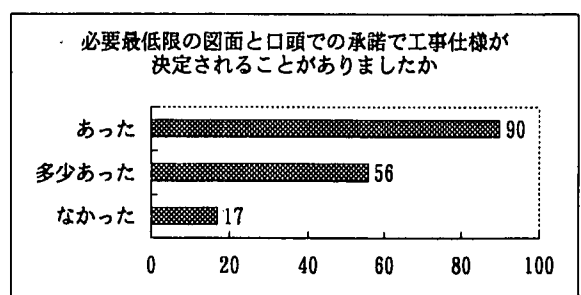
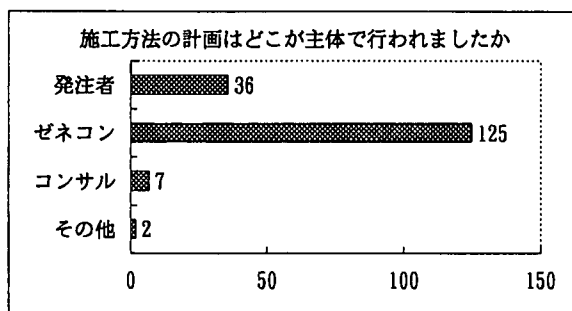
5) 発注者との折衝

工事方針が発注者の上位機関の意志に左右されるケースが多かった。



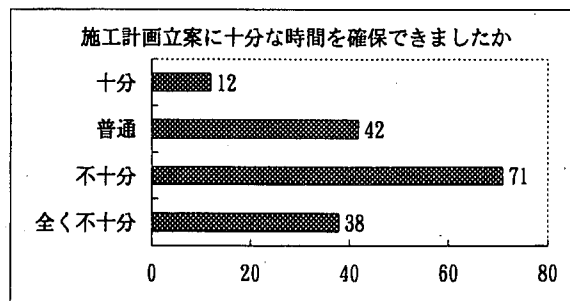
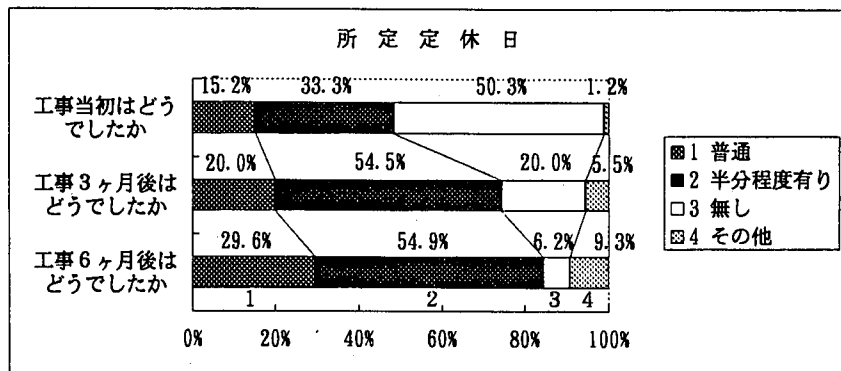
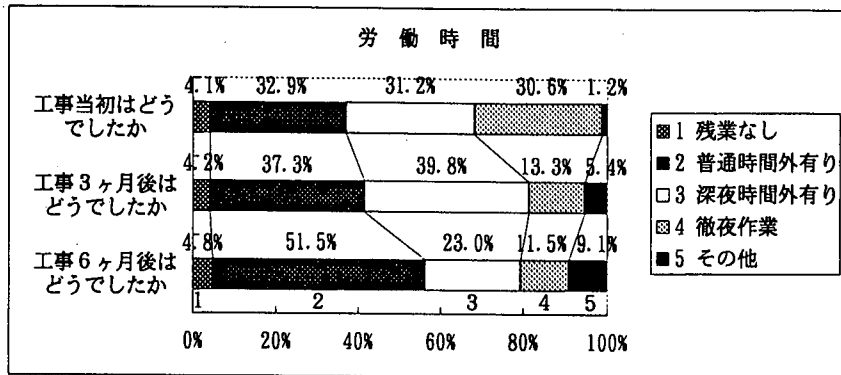
6) 復旧方法の立案・変更の経緯

至急段取りできる資機材を使って、現場の環境条件に合った施工方法を提案しなければならないケースがほとんどだった。



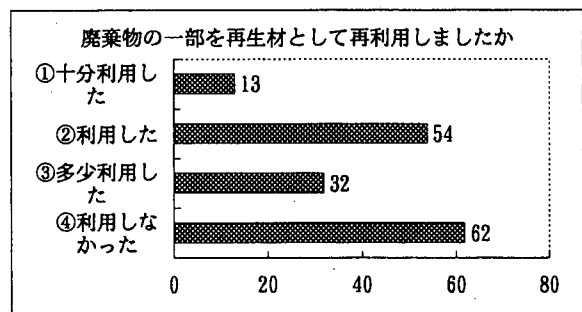
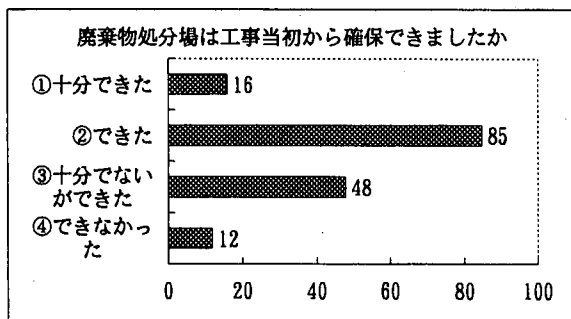
7) 工期・労働時間

どの工事でも工期が厳しく、1日24時間2交代の昼夜作業も多かった。



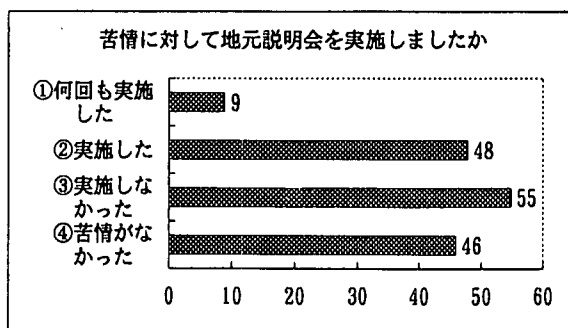
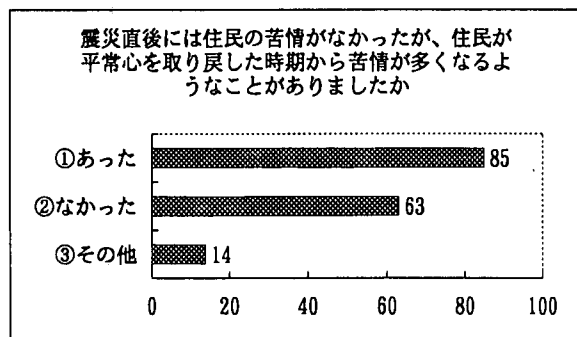
8) 廃棄物処理

廃棄物処分場は工事当初から確保できていた。コンクリートガラを敷き均し材として再利用した。



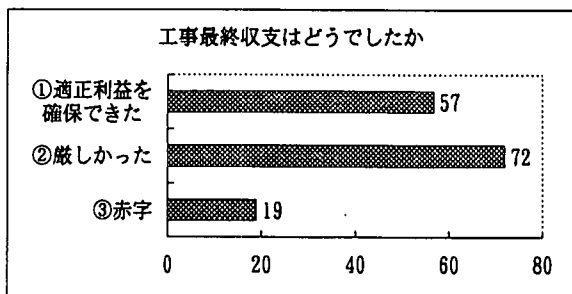
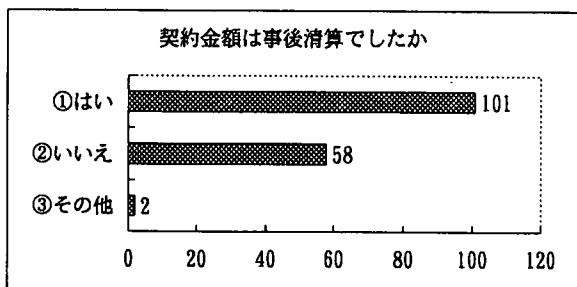
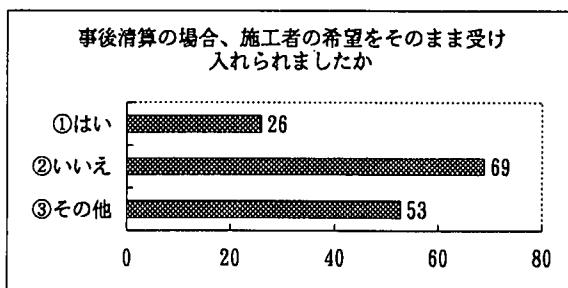
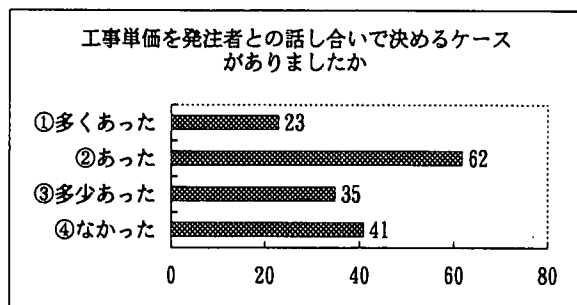
9) 周辺環境

住民の苦情は被災直後はなかったが、2ヶ月後頃から多くなってきた。



10) 工事費の収支

半分以上の現場で、工事単価を発注者との話し合いで決めており、工事費も事後精算しているが、内容的に実態を認めてもらっていない場合が多い。



3. 今後の対応

今回の震災復旧工事の経験を踏まえて、我々、土木技術者が今後の大震災後の復旧工事を円滑に行うために事前に準備、実行しなければならないことは、大きく4つに分けられる。

- ①施工技術のマニュアル化
- ②積算、発注方法の特例化
- ③非常時体制の整備
- ④ライフライン復旧優先順位の調整

それぞれについて、もう少し具体的に内容を整理してみると、次のようになる。

(1) 施工技術のマニュアル化

- ①既設構造物のデータベース化
- ②損傷度調査技術のマニュアル化
- ③被災度診断技術のマニュアル化
- ④仮設を含め、復旧工事施工技術のマニュアル化
- ⑤解体技術のマニュアル化

(2) 積算・発注方法の特例化

- ①2次災害への配慮、廃材の処理等を含めた応急復旧工事用積算基準の作成
- ②本復旧工事用積算基準の作成
- ③事後精算システムの構築
- ④早期（設計前）発注システムの構築
- ⑤一括（設計・施工，地区別）発注システムの構築

(3) 非常時体制の整備

- ①権限の委譲、担当部の一元化等を含めた早期復旧体制の整備
- ②他工事の工期延伸等を含めた復旧工事支援システムの構築
- ③資機材の早期供給体制の整備
- ④専用回線等を含めた情報ネットワークシステムの構築

(4) ライフライン復旧優先順位の調整

- ①復旧工事用運搬路優先的確保の調整
- ②電気，水道，ガス等の復旧優先順位の調整
- ③道路復旧優先順位の調整

これらの実施にあたっては、官と民があるいは、企業者と請負者が、持てる知恵を出し合って、一致協力することが重要である。

防災システム検討部会報告

内容

1. 部会活動の概要
2. 民間建設部門の復旧支援活動と教訓
3. ライフライン部門の復旧活動と教訓
4. 災害時の相互協力、情報システムのあり方

防災システム検討部会報告

1. 部会活動の概要

防災システム検討部会は、「突発災害対処・危機管理における民の役割、官民の協力システムのあり方に関わる事項を検討する」ことを目的に活動を続けている。部会長は山本幸司（名古屋工業大学教授）、メンバーは、総合建設業（ゼネコン）9名、建設コンサルタント2名、電力、通信、ガス、水道、鉄道事業関係各1名、全体で17名からなる部会である。部会は平成8年1月22日に第1回目を、その後月1回程度のペースで開催している。なお、「防災システム」とは、見方によってはきわめて広範囲な内容を指す用語と考えられるが、反面、漠然とした言葉である。そのためこの用語の定義に捕らわれず、参加した部会メンバーがテーマに沿ってできること、すべきことを整理し、次のような内容に焦点を当てることとした。

①民間建設部門の復旧支援活動と教訓

阪神大震災の経験から、建設会社や建設コンサルタントが復旧支援にどのように貢献できるかを検討する。また、復旧支援の経験の中でどのような課題があったかを整理し、今後の教訓をまとめる。本部会の総合建設業や建設コンサルタントのメンバーの大半は、土木学会建設マネジメント委員会阪神淡路大震災特別分科会（主査：山本幸司名古屋工業大学教授）が平成7年度に実施した「阪神淡路大震災における社会基盤施設の復旧・復興に関する調査」に参加した。したがって、その活動で行ったアンケート調査結果を本テーマの検討に活用する。また、建設コンサルタント協会、日本建設業団体連合会（日建連）の調査、メンバー各社のデータ等を参考とする。

②ライフライン部門の復旧支援活動と教訓

市民の日常生活を支える電気、ガス、水道、電話、鉄道は、震災後の復旧が最も急がれた分野の1つである。それぞれの事業体の復旧活動は各事業体の今後の教訓になるばかりでなく、その他の公共施設の早期復旧活動の参考になる。それぞれの事業体はすでに震災復旧に関する詳細な調査報告をまとめており、それらの資料を検討に役立てることとした。なお、この検討部会では電気、ガス、水道、電話、鉄道を、ライフライン部門と総称している。下水道が含まれてないこと、鉄道は通常は交通インフラ分野に含まれるなど、厳密な意味では問題があるが、市民の日常生活に密接に関わる分野という意味で、便宜上ライフライン部門という呼び方を用いることとした。なお、道路分野は事業主体が複数で管理運営方法が複雑なこともあり対象に含めなかった。

③災害時の相互協力、情報システムのあり方

復旧活動を効率的に進めるには、官官、官民、民民、事業者間などがお互いに協力し合うことが重要である。したがって、建設分野を中心とした相互協力の教訓的な事例を整理

する。また、効率的な連携に不可欠な災害時の情報システムのあり方を検討する。これらの検討において特にデータ収集は行っていないが、①②の検討からの教訓や多くの震災関連の文献に示された事例を参考にすることとした。

2. 民間建設部門の復旧支援活動と教訓

2.1 建設会社の支援内容

日本建設業団体連合会（日建連）が法人会員60社に対して行った調査から、ボランティアや無償提供の形で行った支援を示す。

対象期間 平成7年1月17日～3月17日までの2ヶ月間

回収率 90%（対象60社中、57社の解答）

（1）実施事項（表－1参照）

建造物の点検、倒壊物の解体・片づけ、補強等の応急処置、など

（2）人材の派遣（表－2参照）

1日8時間労働を1名として算出した全社トータル延べ人数 643千名

（3）建設関連の提供物品（表－3参照）

建設資機材、車両、船舶など

その他、市民や団体の支援活動と同様な、義援金・見舞金の提供、飲料水・食料などの提供を行った。

2.2 復旧工事の教訓

建設マネジメント委員会が建設会社の56事業体へアンケート調査した結果から一部を引用する。

（1）災害復旧のための組織と技術者について

- ① 全国的な組織を背景に全社的な動員体制をとり、新たな組織を作って対応した所が多い。この組織は、復旧工事の中心となったばかりでなく、発注者のパートナーとして、調査・計画・設計などの協力を行った（図－1参照）。
- ② 大部分の事業所で技術者の不足に悩み、これは約3ヶ月間続いた（図－2参照）。

□組織、技術者についての良かった点、改善点（自由意見から抜粋）

- ・震災発生と同時に全国の支社、支店が技術社員他の応援体制を組織し、多くの復旧作業に絶大な効果があった。震災発生直後から1週間ぐらいは、情報入手および連絡に相当混乱したが当社災害対策本部組織でほとんど対応できた。
- ・緊急復旧工事では企業先（施主）の指示命令系統が複雑で調整に時間を要した。
- ・震災直後に設置した組織および復旧のために動員した技術者ではあるが、復旧工事の重大性を痛感し

で使命感が生まれ、指揮系統にも違和感はなかった。

- ・ 応援の職員が短期間で交代するため、引継等で無駄が多かった。
- ・ 電話回線がパンクして連絡が取れなかった。予備回線など一考が必要。
- ・ 組織の技術者は全国の支店からの応援部隊であったが、責任分担を決めることにより迅速に工事を進められたと思う。若手技術者が多く、復興のためと皆ががんばり、バイタリティーあふれる組織であったと思う。

(2) 調査活動について

- ① 応急復旧のための調査の時期は7日以内が過半数を占めた。調査方法は、目視で概要を把握し、段階的に詳細な調査へ進んだ(図-3参照)。
- ② 調査は、二次災害の可能性の把握、応急対策の策定、被害程度の把握を目的とする場合が多かった(図-4参照)

□調査活動について良かった点、改善点(自由意見から抜粋)

- ・ 改善すべき点：無理な調査報告書の提出期限
- ・ 発注者側の指示が早くでた。調査内容についての指示が不統一であった。
- ・ 調査目的を事前に明確にし、被害程度の評価に個人差が出てこないようにすべき。
- ・ 基準点、基準高さが不明なため、相対的な測量しかできなかった。
- ・ 土中にある鋼管杭の健全度調査手法がない。
- ・ 社内における調査マニュアルの策定とその普及が必要。
- ・ あらゆる専門部署を活用して調査することができた。

(3) 復旧工事の実施に関し

- ① 資機材確保および労働者確保が非常に難しかったことを約70%の事業所で訴えており、その期間は震災後2ヶ月続いた。特に困難であったのは、最初の1ヶ月であった。資機材確保の傷害となったのは、資機材の不足もあったが、交通渋滞の影響が大きかった(図-5参照)。また、労働者不足の主な理由として、労働者の不足、通勤困難、宿舍不足があげられる。
- ② 約80%の事業所で健康管理が、70%の事業所で作業環境が不良であった。理由として、徹夜作業の連続、粉塵内作業、危険な競合作業が多かったことがあげられる。大規模な震災のため、復旧の緊急性が労働者の健康と作業環境、安全に優先せざるを得なかったことがうかがえる。

2.3 建設コンサルタントの復旧支援活動

建設コンサルタンツ協会調査(平成7年1月17日~3月16日の2月間について)

(1) 救援・復旧等の要請

建設コンサルタントが協力要請を受けた事業者は、建設省、運輸省、県、市町村、公団、民間鉄道等であり、道路系、港湾系、鉄道系の各種公共土木構造物等の救援・復旧に関わる調査・設計に対応した。要請先からの対象物件を各部門に分け、要請状況をコンサルタントが支援した延べ会社数は表-4のようになる。

(2) 復旧支援活動への対応

建設コンサルタントは事業者の要請に応え、地震直後から2月間で延べ32,500人が従事し、次のような支援活動を実施した。

- ・発注者からの要請による緊急要員提供、現況調査、復旧検討、被災額算出
- ・ボランティア活動
- ・建設コンサルタント協会からの要請による調査
- ・自社設計構造物を対象とした自主的被災調査

被災直後からの活動状況を建設コンサルタンツ協会が支援した総技術者数より整理すると図-6のような推移となっている。2月には毎日約800人が、2月15日には最大940人が支援に参加した。

(3) 復旧支援活動の内容

建設マネジメント委員会の阪神淡路大震災特別分科会に参加したコンサルタント4社の資料を整理すると、建設コンサルタントが発注者の要請で行った協力として、表-5のような活動例があげられる。

3. ライフライン部門の復旧活動と教訓

(1) 復旧活動の流れ

都市直下型の阪神淡路大震災によるライフライン関連の被害は、そのライフライン部門の特徴により差はあるものの、過去に経験したことのない規模であった。各ライフライン部門は、施設の復旧が被災者の救援活動に直結するため、施設の機能回復を最優先に応急復旧に努めた。各部門の被害と復旧状況（施設の応急的な機能回復）を利用者から見れば、大まかには以下のものであった（図-7～11参照）。

①電力

- | | |
|---------|--------------------------|
| 地震直後 | ：約260万戸の停電 |
| 当日 7:30 | ：約100万戸の停電に減少 |
| ↓ | ：重要施設、防災拠点等には発電機車による応急送電 |
| 1/23 | ：応急送電完了 |

- ②ガス : 約86万戸の供給停止
 ↓ : 重要施設、防災拠点には代替エネルギー（LPG等）の供給
 3/10 : 激震地域を除く80%の復旧
 4/11 : 復旧完了
- ③通信 : 約30万回線のサービス中断
 1/18午前 : 全交換機のサービス回復
 ↓ : 特設公衆電話、臨時FAXの設置
 1/31 : 応急復旧完了
- ④上水道 : 約140万戸の断水
 ↓ : 給水車等による応急給水
 4/17 : 復旧完了
- ⑤鉄道 : 不通区間約640km（大阪～神戸間の主要3線の不通を含む）
 ↓ : 代替バスの運行
 2/20 : 乗り換えによる東西の交通が回復
 5ヶ月後 : 復旧完了

（2）各事業部門の震災の特徴

地震発生の直後にすべての部門で災害対策本部が設置され、復旧に向けた体制づくりが素早く行われた。一方、電力、ガスなどのライフラインの主要な施設（拠点施設）は大きな被害を受けることはなく、応急復旧に際して重要な役割を果たした。

電力については、地震直後に数カ所の火力発電所が停止したにも関わらず、従来から電力供給設備の多重化を図ってきたことが早期の応急送電を可能にし、他電力からの応援受電には至らなかった。

ガスについては、低圧導管に被害が集中したものの、中圧導管の被害は小さく、主要設備には被害は発生しなかった。なお、導管への水や土砂の流入が応急復旧を困難にした。

通信については、古い管路や架空ケーブルに多くの被害が発生したが、主要施設や鉄塔が受けた被害は軽微であったため、短期間でのサービス回復が可能であった。ただし、地震当日には通常ピーク時の約50倍、翌日でも約20倍という利用の集中が生じ、交換機による自動規制が頻繁にかかる状態となった。このように、災害時に利用が極端に増加するのは通信サービスの特徴であろう。

上水道については、2、3の貯水施設と取水施設が大きな被害を受けたが、その他の主

要施設の被害は軽微であった。しかし、管路の被害が大きく、応急給水によるサービスに頼らざるを得なかった。

ライフラインの管や線と異なり、鉄道は重厚長大な構造物であり、地震による被害は甚大であった。とくに東西につながる主要幹線が寸断された影響は大きく、復旧は困難を極めた。しかし、復旧に至るまでは不通区間で代替バスを運行することによって交通機関としての役割を果たした。

(3) 外部からの応援

復旧活動の中で他組織からの応援も有効に機能したようである。

電力については、応援融通受電には至らなかったが、復旧作業に当たり、他電力や協力会社からも多大な応援も得ている。また、応急復旧に先立って実施した重要施設や防災拠点に対する応急送電に際して、他電力からの発電機車の応援を受けている。

ガスについては、1月18日には(社)日本ガス協会に応援要請を行い、第1次から第4次までの応援隊の支援を受け、復旧隊と復旧フォロー隊を合わせて、修繕隊15隊の体制を整えた。

通信については、NTTが全国組織であるため、1月には現地の要員3000人に加え全国から1日4000人平均の動員を行い、2～3月の本復旧においては協力会社を含め2万人を動員している。

上水道については、市町村の事業体中心の復旧活動であったが、日本水道協会の協力を軸にして、他地域の水道事業体からの支援が特段の支障もなく進められた。

鉄道の場合、JR西日本については、鉄道総研やJR各社からの人的支援や代替バスの提供を受けた。復旧工事に当たっては、施工業者の協力により施工範囲を可能な限り拡大させることで迅速な施工が図られた。表-6は被災地以外の鉄道関係者が被災した鉄道事業者に行った復旧体制のための支援である(運輸省鉄道局監修「よみがえる鉄路」より)。

(4) 今後の取り組み

各ライフライン部門は、過去の震災の経験から、これまでも災害時の体制づくりや技術的な改善に向けて取り組みをすすめてきた。しかし、今回の都市直下型地震の教訓を踏まえ、新たな課題の取り組みを開始している。非常災害時に備えた社内体制の整備や復旧体制については、いずれの部門でも見直しが行われ、都市直下型の震災に対応可能な対策本部のあり方、社員の召集方法、基準等が検討されている。

電力(関西電力)では災害に強い都市に対応するため、電力供給拠点の分散化の推進、電力供給システムの多系統化の拡大、電力供給システムの地域単位での自立化の導入などの取り組みを進めている。また、地震時の情報通信の混乱を避けるため、情報通信ネットワークの拠点の分散化や伝送ルート分散化の検討を行っている。

ガス（大阪ガス）では、地震時の被害の軽減のため、マイコンメーター、耐震管・継手の普及を促進させるほか、ガス漏れ検知の精度向上、排水技術の開発などに取り組んでいこうとしている。

通信（NTT）では、災害時の輻輳を緩和し、被災者の安否等緊急不可欠な情報の伝言蓄積および読み出しが可能なボイスメールシステムの開発と導入を進めている。また、「ポータブル衛星通信システム」を使った特設公衆電話、緊急時に停電が発生した場合の交換機からのコマンド投入による通話の無料化などを行うこととしている。

水道（日本水道協会）では、震災の経験を踏まえ、施設の重要度を考慮した耐震強化を進めていく。また、水道事業者間の相互応援体制の確立を図ることや、事業者個々も事前に調整しておくべき事について、特別調査委員会を設けて検討し、実践的な内容としてとりまとめ具体的に取り組んでいる。

鉄道では、新たな耐震設計手法が確立されるまでの当面の処置として、緊急耐震補強計画をとりまとめ、高架橋柱じん性対策や落橋防止対策を進めている。また、JR西日本では早期地震検知警報システム（ユレダス）の山陽新幹線への導入を進めている。

4. 災害時の相互協力、情報システムのあり方

4.1 災害時の相互協力事例、試み

- ① 兵庫県南部地震の直後から市民レベルでのボランティアとともに、全国の都道府県や市町村から支援の手がさしのべられた。大阪府、大阪市をはじめ近隣自治体からも、一刻を争う事態の中で多数の応援が得られた。医療班や土木、建築の専門職を始め、福祉、商工労働、農林のそれぞれの専門分野の職員など、他府県から兵庫県内への派遣職員の数、1日最大4500人、3月末までの累計では19万6,400人にも達した。
- ② 全国の各自治体相互間の「広域防災協定」については、首都圏や関東甲信越、中部地方ではすでに締結されており、非常災害時の協力が約束されていたが、兵庫県をはじめとした近畿府県 には、こうした協定は結ばれていなかった。今回の災害を体験して、こうした広域的な協力関係の早期確立と、その実効性を確立するための組織の必要性が改めて痛感され、近畿ブロック知事会議で「近畿広域防災機構」の創設が提案された。
- ③ 神戸市は東京都や横浜市などの政令指定各都市との間に「十三大都市災害時相互応援に関する協定」を結んでいる。これは国を通さずに自治体どうしが結ぶ相互援助協定である。この協定に沿って十二都市は様々な支援策をとったが、立ち上がりの時期や内容にはばらつきが見られた。被災都市の要請を受け、食料、医療などの物資や人員を提供するが、費用は原則として被災都市の負担となっている。自治省の要請で出動する消防隊や警察官はこの協定には含まれない。
- ④ 被災都市が他の都市に応援を求める際は、物資の数量や職員の職種、人員を伝えな

ればならない。今回この「要請」が求める側にも、求められる側にも大きな壁になった。このような「要請主義」の弊害を排除すべく、平成8年春に関東4都県および3都市の首長会において、「要請」手続きを経ず、派遣側の独自の判断に基づく応援派遣活動の展開が可能になるような協定の見直しが行われた。

- ⑤ 西宮市、芦屋市、宝塚市を含めた阪神間の七市一町は、十三都市協定と同様の相互応援協定を結んでいるが、現実には、加盟各市が被害を受けて役に立たなかった。
- ⑥ 神戸市では、大手ゼネコンなど56社で構成する「神戸市安全協力会」は神戸市地域防災計画に、「災害対策要員」として位置づけられている。その会則に、「天災等不測の事態に対処するための協力機関となる」とある。すでに震災当日から、建物の被害調査、緊急物資の運搬などに「ボランティア出動」しており、解体撤去工事の発注に際しても「協力会」が工事の振り分けなど神戸市に協力した。
- ⑦ 東京墨田区では、地元企業の行動が行政を動かし、区の防災体制がより強力なものになりつつある。墨田区と墨田区内の建設業者で組織する墨田建設産業連合会は「災害時の工作協力隊の派遣に関する協定」を締結し、災害時に道路障害物の撤去や仮設住宅の設営、被災家屋の応急復旧、水防活動を官民が協力して行うことになった。
- ⑧ 横浜市も震災後に建設業界との災害協定を強化した。市は横浜建設業協会、神奈川建設業協会横浜支部の二団体と結んでいる「作業隊協定」を見直し、従来は市の要請を受けて市内の業者が「作業隊」として集合していたが、大地震の際に十分対応できるよう、震度5以上の地震が起きた場合、業者が独自の判断で担当区域を巡回し、道路や橋の復旧、人命救助に取り組めるようにした。また、県建設業協会と新たに「支援隊協定」を締結し、市外の業者や大手ゼネコンにも復旧活動に参加してもらうようにした。これにより、道路や橋、建築物の補修・解体やがれきの撤去などに必要な資機材、人員を全国から迅速に調達する体制を整えた。

4.2 効果的な連携を進めるための情報システムなあり方

大地震が発生したとき、緊急対応により被害を軽減するには、官民が一体となった「防災システム」の構築が望まれる。この「防災システム」の核として、情報の発信、受信、処理、分析を行うための「情報システム」が重要である。部会としては、このような「情報システム」のイメージと具備すべき要件をまとめたいと考えている。現時点では具体的な検討に入っていないので、この度の震災の教訓と取り組みの例（資料調査による）を紹介するにとどめる。

- ① 阪神大震災における被災情報の収集と伝達過程における問題点と課題（表－7参照）
- ② 各自治体、事業者の防災情報に関する取り組み（表－8参照）

表一 建設会社の支援内容 [実施した事項]

建設 関 連	①建造物の点検 56社	②倒壊物の解体・片付け 49社	
	③補強等応急処置 48社	④解体アドバイス 44社	
	⑤障害物の撤去 44社	⑥復旧計画への参画 44社	
	⑦建造物の復旧 39社	⑧仮設物の設置 36社	
	⑨地滑り箇所土砂運搬 14社	⑩残土等処分地管理 10社	
	⑪法律・税の相談 1社	⑫電気水道設備チェック 1社	
	⑬水道復旧 1社		

	その他	①緊急支援物資の輸送 53社	②人命救助 19社
		③交通整理 13社	④遺体の運搬 13社
⑤避難誘導 10社		⑥医者・看護婦の移送 4社	
⑦ゴミ収集 1社		⑧救援物資仕訳 1社	
⑨炊き出し 1社		⑩シート養生 1社	

表一 2 建設会社の支援内容 [人材の派遣]

※1日8時間労働を1名として算出

[合計人数(643,682)名]

{従業員(237,758)名}

{作業員(405,924)名}

自 社 の 員	①土木系技術者 [90,242名]	②建築系技術者 [83,200名]
	③事務系社員 [27,450名]	④研究職の社員 [17,345名]
	⑤設備系技術者 [10,922名]	⑥機械系技術者 [6,094名]
	⑦重機オペレーター [1,895名]	⑧その他 [610名]

協 力 作 業 社 員	①土木作業員 [194,375名]	②建築作業員 [55,831名]
	③重機オペレーター [44,314名]	④ダンプ運転手 [36,962名]
	⑤ガードマン [28,485名]	⑥土木系技術者 [24,557名]
	⑦建築系技術者 [11,371名]	⑧船員 [5,938名]
	⑨潜水工 [2,237名]	⑩その他 [1,854名]

表一 3 建設会社の支援内容 [建設関連の提供物品]

建設関連の提供物品について(全社トータルで)

※重機は稼働1日を1台として算出

重 機	①ダンプ [35,888台]	②バックホー(ユンボ等) [11,418台]
	③乗用車 [9,441台]	④解体機(フラ、7t等) [7,441台]
	⑤ライトバン [7,375台]	⑥移動式クレーン(クレーン式) [6,551台]
	⑦トラック [6,295台]	⑧ユニック車 [5,614台]
	⑨はつり機械等 [5,262台]	⑩高所作業車 [3,478台]
	⑪照明車 [3,299台]	⑫バス(マイクロ含む) [3,111台]
	⑬給水車(飲料用) [3,000台]	⑬船舶 [2,777台]
	⑮重機運搬車 [2,653台]	⑮ブルドーザー等 [2,305台]
	⑰給水車(工専用) [1,942台]	⑰クレーン等(⑥以外) [1,675台]
	⑱クラッシャー [1,158台]	⑱タイヤ加圧機(クレーン式) [898台]
	⑲診断、計測、通信車等 [568台]	⑲ロティゲイブル(クレーン式) [520台]
	⑳7.5tトラック [399台]	㉑ポンプ車 [257台]
	㉒グレーダー [236台]	㉒フェリーバージ [197台]

	そ の 他	①ビニールシート [195,454枚]
③土嚢 [176,030袋]		④トラロープ [67,050m]
⑤合板 [65,435枚]		⑥碎石 [32,410m ³]
⑦バリケード [31,875枚]		⑧連絡用バイク [25,001台]
⑨木材 [17,925m ³]		⑩カラーコーン [7,795本]
⑪防寒衣 [7,629着]		⑫自転車 [5,481台]
⑬仮設トイレ [3,677棟]		⑬アスファルト合材 [2,621トン]
⑮工具類(コップ、のり) [2,542個]		⑮発電機 [1,753台]
⑰水槽 [1,498個]		⑰仮設建物 [1,317棟]
⑱ハンキ、フェンブロック等 [1,308個]		⑱水中ポンプ [722台]
㉑ガス切断機 [658個]		㉑切断機(チェーン等) [73個]
㉒消化器 [50個]		㉒電気温水器 [20台]
㉔コンプレッサー [7台]		㉔シャワーユニット [3個]

Ⅲ-1 震災復旧の組織の構成と役割について

ここでは、実際に復旧工事に従事した組織についてお答えください。(工事事務所等を含めた組織) なお、差し障りなければ組織表を添付してください。

1.1 震災復旧組織の設置についてお答えください。新設の場合は、設置期間を記入してください。

- ① 既設
 ② 新設 (設置期間)

1.2 震災復旧組織の役割についてお答えください。

- ① 全体 ② 調査 ③ 計画
 ④ 設計 ⑤ 調達 ⑥ 工事

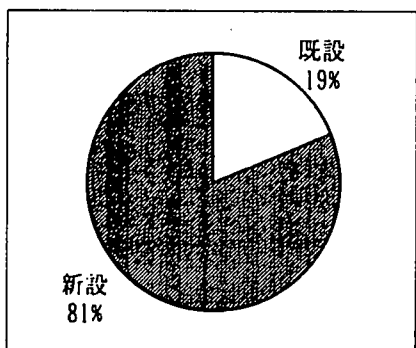
1.3 復旧組織の技術者は十分確保されましたか。

- ① 十分足りた ② 不足 ③ 非常に不足

1.4 復旧組織の技術者の不足した時期はいつごろまでですか。

- ① 震災～1ヶ月 ② 1ヶ月～2ヶ月
 ③ 2ヶ月～3ヶ月 ④ 3ヶ月以上

1.1 解答



1.2 解答

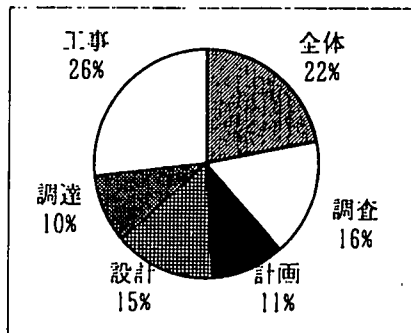
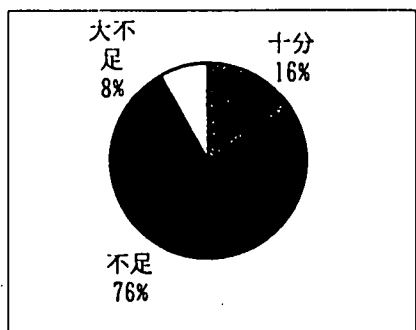
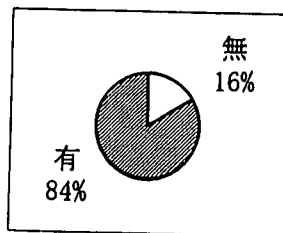


図-1

1.3 解答



1.4 解答



(有の内訳)

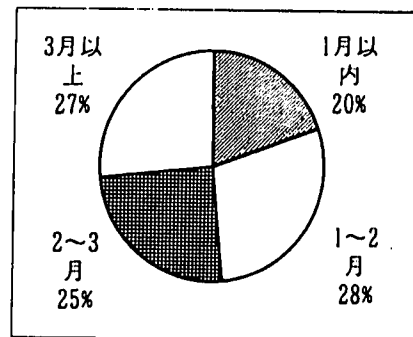


図-2

Ⅲ-2 復旧のための調査活動について

被害調査や救護活動のための調査は含まず、復旧のために実施した調査に限定してお答えください。複数の回答があった場合には、可能であれば比率も示してください。

2.1 復旧のための調査件数を各復旧内容（応急OR本復旧）ごとにお答えください。

応急復旧（ 件） 本復旧（ 件）

2.2 調査時期について各復旧内容（応急OR本復旧）ごとにお答えください。

		応急復旧	本復旧
① 1日以内	② 1～7日以内		
③ 7日～1ヶ月以内	④ 1ヶ月以上		

2.3 調査方法について各復旧内容（応急OR本復旧）ごとにお答えください。

		応急復旧	本復旧
① 目視調査	② 試験調査		
③ 調査工事	④ その他（ ）		

2.4 調査実施者について各復旧内容（応急OR本復旧）ごとにお答えください。

		応急復旧	本復旧
① 発注者	② 発注者と共同		
③ 自分の組織	④ 他の民間業者		

2.5 調査目的について各復旧内容（応急OR本復旧）ごとにお答えください。

		応急復旧	本復旧
① 二次災害可能性の把握			
② 応急対策の策定			
③ 被害の程度の把握			
④ 対策優先順位の決定			
⑤ 復旧計画の策定			
⑥ その他（ ）			

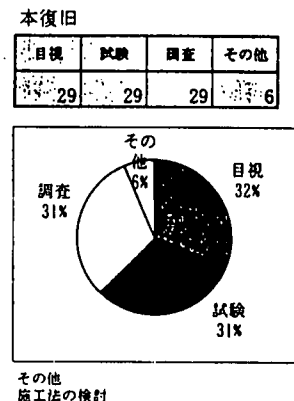
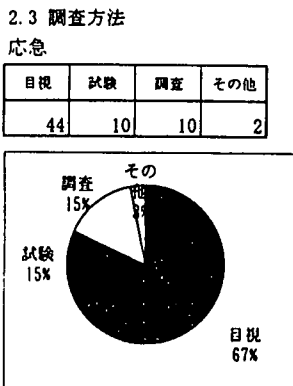
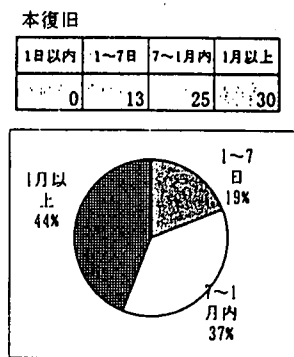
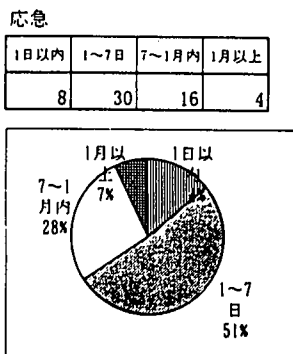
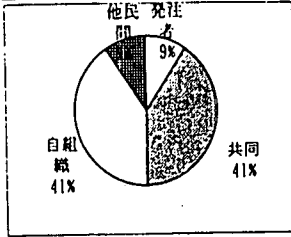


図-3

2.4 調査実施者

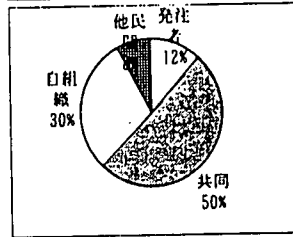
応急

発注者	共同	自組織	他民間
6	26	26	6



本復旧

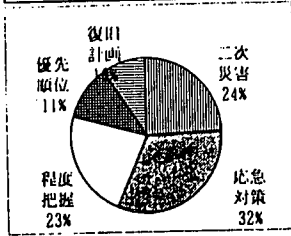
発注者	共同	自組織	他民間
9	39	23	6



2.5 調査目的

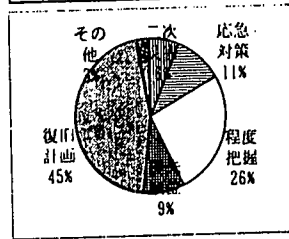
応急

二次災害	応急対策	程度把握	優先順位	復旧計画	その他
28	37	26	13	11	0



本復旧

二次災害	応急対策	程度把握	優先順位	復旧計画	その他
7	12	29	10	51	3



(その他) 工法決定及び詳細設計の条件把握
復旧工事による変動応力の影響計画
施工法の検討

図-4

4.10 資機材の確保は順調に行われましたか。また、1または2（困難）を選択した時はその理由および時期をお答えください。

資機材の確保

順調 普通 困難

5 4 3 2 1

(困難だった理由)

① 資機材の不足 ② 運搬車両の不足 ③ 交通渋滞

④ その他 ()

(困難だった時期)

① 震災～1ヶ月 ② 1ヶ月～2ヶ月

③ 2ヶ月～3ヶ月 ④ 3ヶ月以上

4.11 労働者は確保されましたか。また、1または2（不足）を選択した時はその理由および時期をお答えください。

労働者の確保

十分 普通 不足

5 4 3 2 1

(不足だった理由)

① 労働者の不足 ② 交通渋滞による通勤困難

③ 作業員宿舎の不足 ④ その他 ()

(不足だった時期)

① 震災～1ヶ月 ② 1ヶ月～2ヶ月

③ 2ヶ月～3ヶ月 ④ 3ヶ月以上

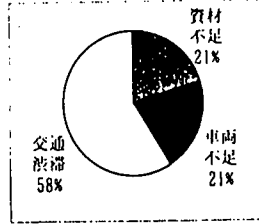
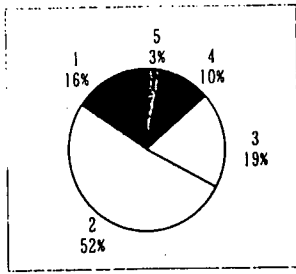
4.10 資機材の確保

難易度

5	1	3	2	1
2	6	11	30	9

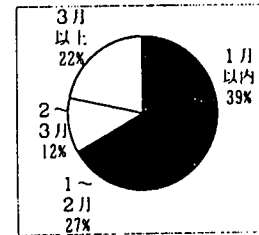
理由

資材不足	車両不足	交通渋滞	その他
15	15	43	0



時期

1月以内	1~2月	2~3月	3月以上
20	14	6	11

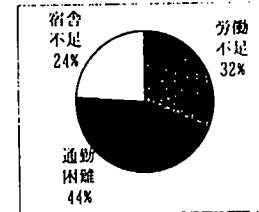
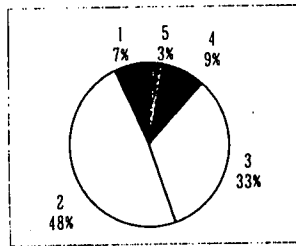


4.11 労働力の確保

5	4	3	2	1
2	5	19	28	4

理由

労働不足	通勤困難	宿舍不足	その他
20	28	15	0



時期

1月以内	1~2月	2~3月	3月以上
19	14	11	4

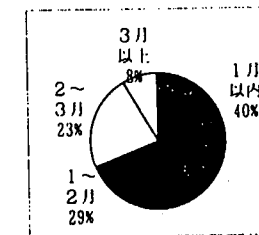


図-5

表-4 建設コンサルタントへの支援要請

(平成7年1月17日~3月16日の期間、
建設コンサルタンツ協会のみ)

道路系	建設省	延べ 855社
	縣市町村	延べ 1272社
	公団その他	延べ 710社
	小計	延べ 2837社(75.9%)
港湾系		延べ 436社(11.6%)
鉄道系		延べ 466社(12.5%)
合計		延べ 3739社(100%)

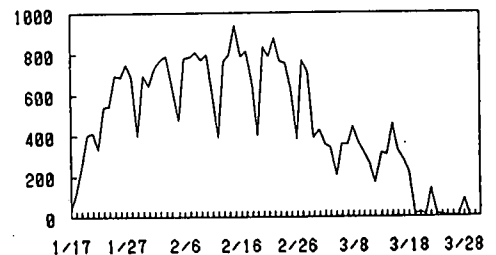
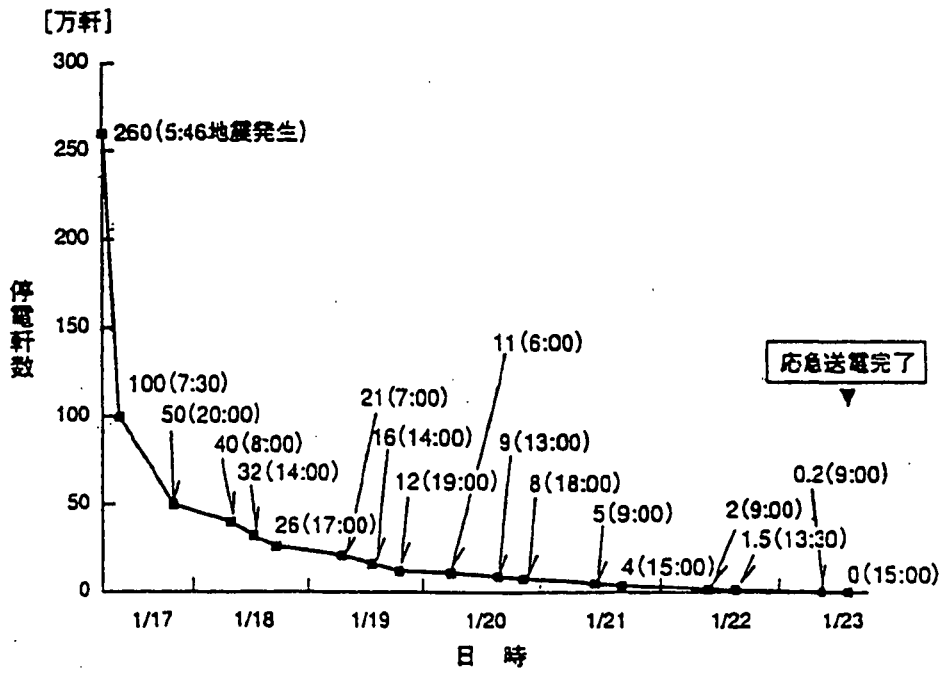


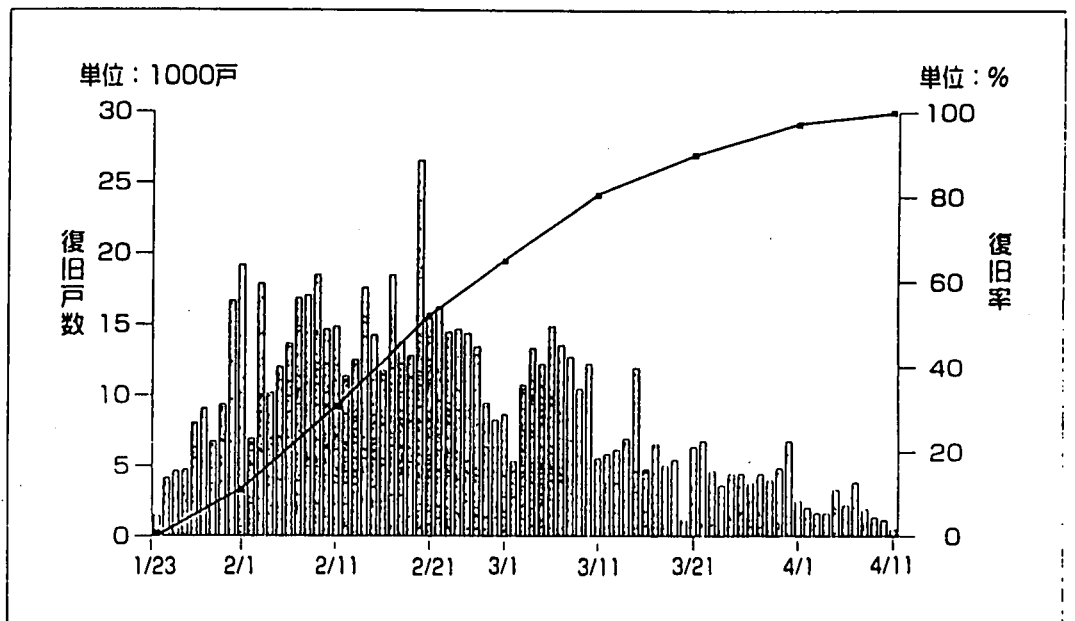
図-6 支援技術者数の推移 (建設コンサルタンツ協会)

表-5 建設コンサルタントの支援内容の例（協力要請への対応）

<p>復旧・復興 計画関連</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・災害に伴う道路計画のための交通量推計 ・緊急輸送ルート確保と代替ルートの情報システム化計画 ・まちづくりのための災害被害調査と対策検討 ・災害復旧の既往事例収集と計画手順検討 ・復興都市交通計画 ・都市計画道路復興推進調査 ・復興都市計画図書作成 ・災害に強い道路網計画等
<p>道路関係</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・落橋の危険性判断および復旧・補強検討と設計 ・落橋の危険性が高い橋梁の計測調査と緊急対策検討 ・橋梁下部工の損傷に伴う暫定補強と復旧対策 ・陥没道路の復旧対策
<p>鉄道関係</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物被災状況調査 ・架道橋倒壊、桁落下等に対する復旧対策・復旧工法の検討 ・駅舎の復旧改良案検討 ・既往構造物の耐震照査および安全性確認、対策検討 ・復旧工法別騒音比較検討
<p>河川、港湾 上下水道等</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・河川護岸被害状況調査 ・水門等被害に伴う設計 ・港湾施設の被害状況調査 ・港湾構造物の修復設計 ・上下水道供給処理施設等の被害状況調査 ・地滑り崩壊被害調査および対策 ・地滑りによる家屋復旧対策



図一七 停電件数の時間推移 (関西電力)



図一八 復旧作業進捗状況 (大阪ガス)

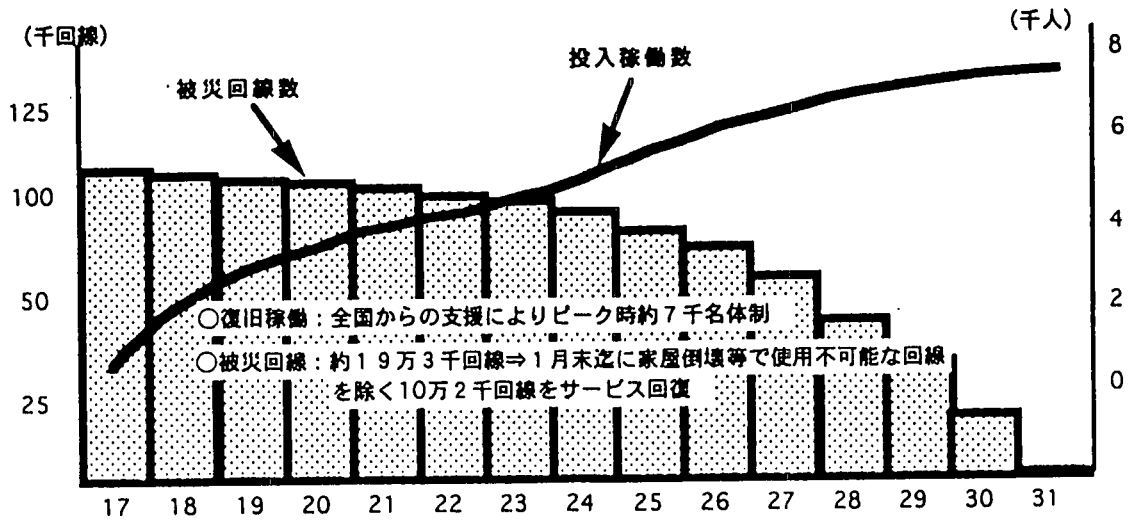


図-9 災害回線復旧状況と復旧稼働 (NTT)

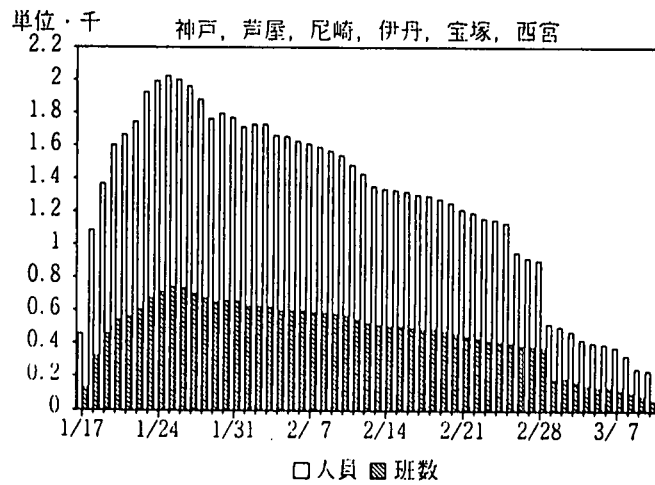


図-10 応急給水体制 (上水道6事業者)

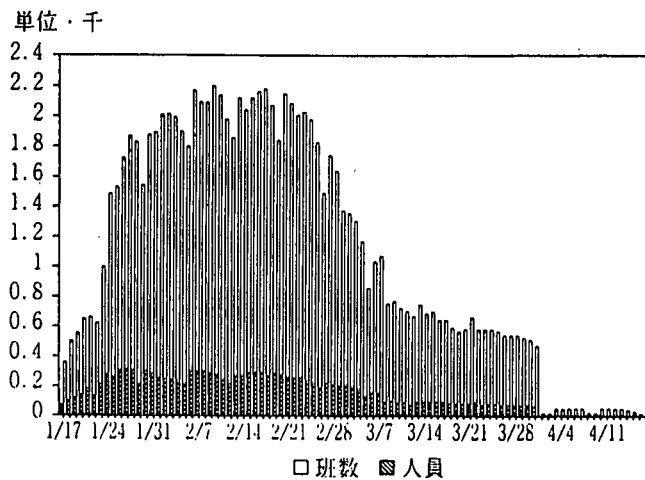


図-11 応急復旧体制 (上水道6事業者)

表-6 鉄道の復旧体制への支援(被災地外の鉄道関係者の支援)

支援団体	対象事業者	期間	派遣人数	支援内容
鉄道公団	阪神電鉄	1/26~3/31	3名	御影駅~岩屋駅間の復旧計画
	神戸高速	1/24	2名	トンネル調査
		1/25~2/10	10名	復旧工事
		2/13~2/17	6名	
		2/18~3/31	4名	
	4/1~	4名(最大6名)		
神鉄	1/25~	3名	有馬線3か所のトンネル状態調査	
北神急行	1/24	3名	北神トンネル調査	
	1/31, 2/14	2名	補修工事	
鉄道総研 *災害復旧支援本部を設置 (1/17~10/30)	JR 東海	1/17~18	3名	被災状況調査, 復旧対策等支援
	JR 西日本	1/18~4/7	ピーク時21名	施設関係者を中心に派遣, 復旧対策等支援
	JR 貨物	1/18~26	3名	橋りょうの被害について調査, 復旧対策等支援
	山陽電鉄	3/18 他	2名	アーチ橋の復旧に関する技術的指導
JR 東日本	JR 西日本	1/19~21	14名	土木12名, 電気2名を派遣し, 被災調査等復旧対策支援
		1/23~3/1 2/9~3/30	土木4~11名 建築1~3名	土木・建築分野等の復旧対策支援
JR 東海	JR 西日本	1/24~4/12	4名	施設・電気関係者を派遣し, 復旧支援本部を設置, 請負業者派遣, 資材調達
		2/6~3/3	2名	電気関係者を派遣し, 復旧調査・計画・設計に関する支援
JR 北海道	JR 西日本	1/26~	土木3名	技術指導, 業務支援等
JR 九州	JR 西日本	3/1~	土木5名他	技術指導(新幹線衝撃振動試験)等
北急	阪急	1/26~5/31	土木1名	主に西宮高架橋の復旧計画, 設計
能勢電鉄		1/20~25	軌道2名	分岐器の提供, 調査, 敷設等
大阪市交	神戸市交	1/20 1/24~27 1/31~2/3 2/7~10 2/9 2/14~17 2/21~24 2/24	土木4名 土木5名 土木2名 土木2名 電気3名 土木2名 土木3名 建築・電気5名	トンネル内の被害状況調査と復旧工事計画の策定
神戸市交	神戸高速	1/17~10/11	5名	連立工事のため派遣されていた職員がそのまま復旧工事を担当
東京都	神戸新交通	2/22~8/10	3名	ポートアイランド線の復旧工事監督(インフラ部)
大阪府		2/22~8/10	3名	六甲アイランド線の復旧工事監督(インフラ部)
本四架橋公団		1/23~29	6名	インフラ部の調査

表一七 被災情報の収集と伝達過程における問題点と課題

	問題点	具体的な事例	課題
防災情報運用面	<p>阪神・淡路大震災では、京阪阪神地区において過去に大きな地震被害に対す経験が少なく、大地震に対する備えや行政側の対応組織がなかったため予測を超える震度、被害に対しての危機管理が不十分であった。</p> <p>情報連絡体制や危機管理に関する運用面、組織を動かす人の動向等に問題点があった。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・都道府県地域防災計画は、震度5を想定して作成されているが今回の地震は、計画の範疇を越えたものであった ・防災責任者や情報源となる職員自身が被災し、情報収集や対策本部の設置が遅れた。 ・中央省庁は、情報枯渇の状態であり官公庁間や中央、地元間の情報連絡ルートが貧弱でうまく機能しなかった。 ・官公庁間や連絡体制、縦割り行政の弊害により、救助活動依頼に迅速な対応ができなかった。 ・被災地からの情報伝達に時間がかかりすぎた。 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域防災計画の見直し ・情報連絡ルートの見直し ・防災情報源となる人材の確保や配置 ・民間及びボランティアによる情報収集等を有効活用した情報収集の汎用性確保
防災情報システム面	<p>現状の防災情報システムが電話回線に依存しており、地方自治体の行政機関や中央官庁は、情報収集に遅れをとった。</p> <p>各関連機関が互いに情報共有していないことや防災情報処理能力の設定、構築方法に問題があった。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・被災地への安否確認電話が集中し、受信規制がかかり電話がかかりにくくなった。 ・火災の発生件数が多い、防災情報システムの処理能力を越えた。 ・行政機関と防災関係機関（防衛庁、海上保安庁、気象庁）との情報連絡ルートが十分でなかったため、緊密な情報伝達ができなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・緊急時の情報ルートを確保するための専用回線の確保 ・防災情報システムの処理能力の見直し ・情報共有のためのシステム作り ・民間の情報システムの有効利用 ・独自に開発されている防災情報システム統合や連携システムの構築
防災情報ハード面	<p>情報通信インフラは、とう道管路によって地中化された通信ケーブルの被害率は低かったものの、架空線となっているもの中心に不通となり、地震への弱さをさらけ出した。</p> <p>無線を利用したシステムにおいても地上側の影響から機能しないケースも発生し、災害に対する設備やバックアップの問題点が表面化した。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・震源地直近の測候所の地震計が故障し、災害の初期情報の発信が不可能であった。 ・被害の大きかった震源地付近での地震の測定データが通信回線の障害発生により、情報発信が行えなかった。 ・電話が通じない（回線の輻輳、交換機の故障、非常電源の故障）ため、被害情報の収集ができなかった。 ・無線通信設備も自家発電電源、アンテナの故障等で使用不能であった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・災害発生に対して、強度的に耐え得る情報通信設備の構築 ・無線通信ネットワークによる回線確保 ・有線通信ネットワークの二重化、ループ化、地中化などによる被災率の低減 ・通信用電源の防災対策とバックアップ

表一 8 自治体等の防災情報に関する事例

東京都	都内各所に地震計を設置、防災無線を通じて震度を把握し、大きな被害を受けた場所を想定する体制を整備していく。防災行政無線や、警察・消防の通信網が未整備などところの整備、貴整備箇所は、2重3重のバックアップを目指す。
川崎市	平成6年度より稼働している震災対策支援システム端末点の増設及びシステムの改良を行う。あらかじめ入力してある市内全域の地質・建築物・人口等のデータに地震発生後に関知した地震のデータを総合して、直ちに被害規模や被災箇所の概要を把握して、初動対応についての判断指針を示す。
柏市	通信機能に特徴がある。地域防災無線を平成4年7月に設置し、電話回線が不通になった場合に備えている。市役所を基地局にデパートビルを中継局として、柏警察など防災関連機関、NTT、東京電力などの生活関連機関と無線機を通じて市内410ヶ所を結んでいる。これとは、別に防災行政無線も63基備えている。
千葉県	震災時に有線回線が破壊され通信が途絶えたことを想定し、県内75市町村に防災行政無線の設置を計画、その整備率は、平成5年3月末で94%に達している。これらの行政無線の通信回線を利用して、情報を一元管理できる新しい総合防災情報システムの整備を進めている。
京都市	大地震発生直後に被害状況を的確に把握するため、コンピューターや通信衛星を利用した「震災対策支援システム」や「災害情報画像伝達システム」の整備等を計画している。
仙台市	市などとの情報通信連絡体制の整備のため、市内に衛星通信地球局および高所監視カメラ設備を整備予定。
公益事業者	鉄道事業者におけるユレガスや東京ガスのシグナル等の地震発生後の事後対策に主眼をおいたシステム

パネル討論会：Part I
「こう活かせる……大震災の教訓——耐震設計編」

兵庫県南部地震の教訓は耐震技術に生かされつつあるか？

東京工業大学工学部土木工学科
教授 川島一彦

兵庫県南部地震で未曾有の大被害を生じ、社会的にも土木構造物の耐震技術に対して大きな関心を集めた。昭和23年の福井地震以後、わが国では1,000人を超す犠牲者を生じた大震災は起こっていなかったが、耐震工学の進歩によりこうした被害はもう起こらないだろうという考え方を兵庫県南部地震は一気に吹き飛ばしてしまった。

大正14年の北但馬地震（死者428名）をかわきりにそれからの23年間に着目すると、その2年後には北丹後地震（死者2,925名）、さらにその2年後には北伊豆地震（死者272名）、13年後には鳥取地震（死者1,083名）、その2年後には三河地震（死者2,306名）、その3年後には福井地震（死者3,769名）と6回のマグニチュード6.8～7.3の直下型地震が起こり、さらにこの間に三陸津波地震（死者3,064名）、東南海地震（死者1,223名）、南海地震（死者1,330名）と3回の海洋性巨大地震も起こっている。死者は累計16,400名に達し、まさにこの間に日本列島は大揺れに揺れたわけである。

しかし、昭和23年の福井地震のあとには結果としてパンチのある地震は起こっていなかった。最近では、北海道で釧路沖地震（M7.8）、南西沖地震（M7.8）、東方沖地震（M8.1）と立て続けに3回の巨大地震が起こったが、被害はさしたることがなく、巨大地震といってもこんなものかという気持ち国民にも広まっていた直後に兵庫県南部地震が生じたわけである。6310名もの犠牲者を伴う地震が生じるとは、誰が想像したであろうか。昭和23年福井地震の後にも、昭和59年には長野県西部地震が起こり、御嶽山に大規模な山腹崩壊を生じ、自然の猛威の一端をかいま見せたが、幸い被災地が神戸のような大都市圏ではなかったことから、限定された被害に止まった。

このように見ていくと、昭和23年の福井地震以後の地震被害の少なさは、大都市圏にパンチのある元気のいい地震が起こらなかつただけという幸運に起因しているといってもよいかもしれない。そうであるならば、日本全国至る所で兵庫県南部地震と同じ被害が生じる潜在的可能性を持っているわけであるから、耐震技術の向上に向けて従来の数倍の努力を払っていかなければならない。次の地震が起こったとき、また、「手抜き工事のせいだ」、「いい加減な設計をしているからだろう」などといわれることには耐えられない。

道路橋示方書の改訂が平成8年末に行われるなど各機関において地震後の対応がなされているが、こういう努力だけではまだ十分ではない気がする。以下には、耐震技術とそれを支える周辺状況の中で、今後取り組んでいくことが必要と考えられる項目を示すこととする。体系的ではないことは、最初にお断りしておきたい。

- 1) 耐震設計のコンセプトの明確化と危機感を持った設計体制を
 - a) 設計地震、設計地震力とは何かを含めて、どういう状態に向けて耐震設計しているのかを明確にする必要がある。
 - b) 現状の技術的、経済的制約の下では、地震対策に限界があることを国民にはっきり言うていく必要がある。いままで、「関東地震の際の東京程度の地震動に崩壊しない」という暗黙の目標が、「関東地震にもつ」、「どんな地震にもびくともしない」と言わされてきた。今後、これが「兵庫県南部地震にもつ」から「どんな地震にもつ」と言わされるようでは、将来、国民の信頼を失うであろう。
 - c) 構造物の設計に携わる技術者が、きちんとした設計をしないとあのようなすさまじい被害が生じるという危機感を持って、設計に臨む必要がある。

- 2) 震度法の呪縛から抜け出し、地震外力、耐震計算、部材の動的耐力（じん性）の3者ともにより事実に近い地震時保有水平耐力法に基づく設計体系の構築
 - a) プリ・コンピュータ時代の震度法の役割は大きかったが、ポスト・コンピュータ時代になってから、震度法は技術の進歩を阻害してきた。全体を組み替えないと、個々の新しい要素技術が、組み込めなかった
 - b) 設計者からすさまじい地震力に配慮するイメージーションを奪ってきた。
 - c) 何故、0.2~0.3 の設計震度で許容応力度法により設計しておけば大地震に対しても耐えると言ってきた経験的事実が崩壊した現在、何故安全かが説明できない。
 - d) 地震時保有水平耐力法による道路橋の耐震設計では、斜張橋の主塔やアーチ橋の弦材に塑性ヒンジの発生を許しても全体系の崩壊につながらないのか、ラーメン橋脚では柱とはりのいずれに塑性ヒンジを持って行くべきなのかと、いろいろな疑問が投げかけられている。こうした問題点を一つ一つ解決していく方向に向かわなければ今後の耐震技術の向上はないであろう。こうした問題を認識することを妨げてきた従来の震度法からの脱皮が必要である。

- 3) 耐震設計により多くの関心と時間を振り向け、優秀な技術者の投入を
 - a) 上部構造偏重の設計体系から抜け出す必要がある。上部構造の設計に比較すれば、これだけの被害が生じ、社会的に高い関心を集めているにしては、耐震設計はあまりに簡単な計算で対応させられ過ぎてきた。耐震設計により多くの関心と時間を振り向け、優秀な技術者を投入しなければ、到底兵庫県南部地震のようなすさまじい地震に耐える構造物を造ることはできない。
 - b) 地震時保有水平耐力法は当然として、動的解析もきちんと実施し、兵庫県南部地震のような地震でも弱点部はないかに関心を払いながら慎重な設計をしていくことを可能とする体制が重要。
 - c) 動的解析の入力と出力は旧石器時代のままだ。設計の主流に組み込んでおくことを前提とした徹底的なコンセプトの変換が必要。

4) 耐震技術者の地位の向上

a) 設計コンサルタンツの中で、耐震技術グループは“特殊な”動的解析等を実施する特殊なグループとして扱われ、設計の主流は上部だ、下部だ、コンクリートだ、スチールだと物別に縦断され、耐震技術をあまり知らないという体制を変えていく必要がある。基本計画や概略設計の段階から耐震性の向上に配慮したものとしておかないと、詳細設計にはいつてからいくら動的解析を実施しても手遅れである。現状では耐震技術の知識が乏しいグループが基本計画や概略設計を扱っており、耐震技術グループの立場をもっと強化し、早い段階から耐震性に対する配慮を組み込む必要がある。

b) もっといえば、設計という行為にはいる前の路線選定や土地利用計画の策定段階においても耐震構造の素養のある技術者が活躍できる体制を構築する必要がある。

5) 技術士制度に耐震のカテゴリーを設けるべき

耐震技術の重要性を考慮すると、技術士に“耐震”のカテゴリーを設けるべきである。現状は、鋼構造、コンクリート構造、港湾、河川、道路といった、物別になりすぎている。耐震のような横並びの部門がなくて、技術の硬直化を招いている。

6) 耐震工学を大学の必修科目に

河川工学や水理学は氾濫に対する体系的な知識を必修科目として教えているのに、耐震工学は選択科目にしかなっていなかったり、構造力学、土質力学等の中で断片的にしか教えていない大学が大部分である。耐震工学の素養を持った人間をもっと大幅に強化する必要がある。

7) 設計、施工、維持管理に対する官庁技術力の向上が必要

直営体制から設計、施工を切り離した後、官庁技術者の技術力は確実に低下の一途をたどっており、発注者側と受注者側が意見を戦わせながらいい施設、構造物を造りあげていくという土壌が失われている。現状では、耐震性向上のために何が必要かを判断できる技術者が官庁側にどれだけいるか疑わしい。計画偏重で、官庁自体が設計、施工、維持管理技術を大事にしているようには見えない。自ら手を下さない限り技術力が低下するのは当然であり、直営モデル事業の実施等、設計、施工、維持管理に対する官庁技術力の向上が必要である。

8) 震災対策に関する官学の技術開発体制の強化を

震災対策に関する研究開発、技術開発は、民間投資がしにくい分野であり、官学の積極的な貢献が必要な分野である。現状の官庁、学の研究投資には、こういう視線がかけているのではないか？

阪神・淡路大震災の教訓を活かそう

話題提供メモ

(財) 沿岸開発技術研究センター 野田節男

A. 耐震基準（港湾分野）の改訂に向けて

* 設計地震および地震動

直下型地震、レベル2地震動の採用

* 港湾構造物の耐震性能の目標

レベル1、レベル2地震動に対する目標耐震性能

港湾構造物の特徴（線でなく点、土構造物、水中にある、人的被災は少、etc.）

建設費 vs 耐震性、遭遇確率、Acceptable Seismic Risk 等に関する社会的コンセンサス

* 構造物・地盤の耐震設計

強震時における震度法の適用性、残留変形照査法の実用化、許容変形量の定量化

液状化予測法の高精度化、地盤の側方流動の影響、廉価な地盤改良工法

構造物・地盤の全体系の耐震性評価

* 既存構造物の耐震性評価

残存耐力評価法、耐震補強法の開発

* 新形式構造の開発

ケーソン式その他の構造形式、耐震強化岸壁

* システムとしての港湾の耐震性

岸壁、荷役機械、上屋、荷捌き場、アクセス施設等を含むバランスのとれた耐震性

B. 技術力の向上等

* 発注者の技術力の向上

施設整備計画の段階から耐震センスが必要、基準の盲目的適用の回避

* 耐震設計法、ツールの開発・公開

産学官の協力による効率的開発および活用、液状化による構造物被害予測プログラム(FILIP)の公開

* 新技術の開発

パイロット工事、民間技術評価制度等により新技術の積極的採用

* 設計受注者の技術力の向上

性能規定設計法への対応、マニュアルの安易な適用でない魅力あるプロポーザル

兵庫県南部地震の教訓を耐震設計に生かすために

(財) 鉄道総合技術研究所
構造物技術開発事業部
担当部長 西村 昭彦

1. はじめに

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、社会・経済の中核である近畿圏の大都市を直撃し、未曾有の大被害を引き起こした。鉄道構造物においても新幹線の高架橋の落橋をはじめとして地下鉄構造物の崩壊など甚大な被害を受け、自然災害の脅威を改めて思い起こさせると同時に、耐震構造のあり方についての見直しの必要性を認識させる結果となった。

鉄道構造物の耐震設計法はこれまで主として震度法が用いられてきた。これは構造物の重量に設計震度という係数を乗じて求めた慣性力を水平方向に静的に作用させて構造物の安定や部材の安全性を照査する方法であり、この照査には許容応力度法が用いられた。

鉄道構造物の耐震設計にこの震度法が導入されたのは昭和初期であり、耐震設計法はその後構造物が被害を受ける毎に改良されてきたが、基本は変わらなかった。この設計法に用いる設計水平震度は0.2程度の値が用いられてきたが、これは許容応力度法を前提としているため、構造系や部材の靱性および設計上の安全率等により大地震にも耐えられると考えられていた。

鉄道橋梁では新潟地震で落橋が発生して以来今回の兵庫県南部地震まで構造物の崩壊などの大被害は発生していないことから、震度法を用いて設計された橋梁は、過去の大規模な地震によく耐えてきたといえる。しかし、兵庫県南部地震は構造物に甚大な被害をもたらした。耐震設計法がいまだ完全でないことを教えてくれた。

現在、各機関において被害原因の究明、新しい耐震設計法の作成など兵庫県南部地震に対する精力的な対応が行われている。鉄道関係でも新しい耐震設計法に取り組んでいるのでその概要を私見も混じえて紹介する。

2. 今後の耐震設計法

兵庫県南部地震により地震力、構造計算法、安全性の照査法の耐震設計を構成する3要素の見直しが迫られている。今後の耐震設計法では、設計で想定すべき地震動、表層地盤の影響、震度法に代わる設計法、確保すべき耐震性能等を検討する。

2.1 鉄道構造物が目標とすべき耐震性能

今後の耐震設計では鉄道構造物が保有すべき耐震性能を明確に示すこととする。どの程度の地震動に対してどの程度の被害を生じるか、限界状態をどこに設定するか、列車の走行安全性はどうかなどについて示さなければならない。すなわち、これらは構造物の重要度および耐震設計において想定する地震動の強度あるいは地形・地質等の地盤条件を総合的に考慮して決定されるものである。また鉄道構造物の重要度は、構造物の損傷度が人命に与える影響の度合い、社会や周辺等への影響度、列車の運行速度や列車本数、被害が生じた場合の復旧の難易度等を考慮して決定する。

これらを考慮すると鉄道構造物の耐震性能は例えば次のようになる。

重要な構造物および早期復旧が必要な構造物は、損傷が発生したり、塑性変形が残留しても、地震後早期に修復可能であることを原則とする。このため、最大の地震応答が許容される塑性変形もしくは許容される耐力の限界を超えないことを目標とする。それ以外の構造物は損傷して早期の修復が不可能となっても、構造物全体系が崩壊しないことを原則とする。このため地震応答が終局変形もしくは終局耐力を越えないことを目標とする。

2.2 新しい耐震設計法

耐震設計法については以下に示す課題を検討する。なお、この中にはまだ解析に用いる手法が完全には確立されていないものもあり、すべての項目に満足できる解答が得られるとは考えていないが、現在学識経験者等からなる委員会を設けて検討しており、できるだけその成果を取り込みたい。

①設計計画を重視した設計法

構造物が耐震的に優れた性能を持つための重要な要素の1つとして、地形、地質の特徴を考慮した構造形式の選定がある。軟弱地盤では過去の地震でも、多くの構造物が沈下や傾斜、大きな水平移動などの被害を生じている。また近年の研究によれば表層地盤の不整形性が地震動の増幅に大きな影響を及ぼすことも指摘されている。そこで変形を生じやすい軟弱地盤では相対変位が生じないような構造としたり、上部工が地盤変位の影響を受けにくい構造とする、また、不整形地盤において複数の橋脚が存在する場合は、各橋脚の剛性の配分に注意するなど構造計画においての配慮が重要であることを明確にし、全体系で解析するなどの設計法の必要性を記述する。

②設計に考慮する地震動の検討

兵庫県南部地震においては非常に大きな加速度が観測されたが、過去の地震においても兵庫県南部地震を上回る地震動が記録されている。したがって、過去の地震波形記録を基に、断層解析などを参考にして耐震設計に用いる地震動を定める。

③地盤の評価法の検討

構造物に作用する地震動は表層地盤の特性および地形の影響を強く受ける。そこで設計では設計基盤面での地震動を与え、地盤条件に応じ地震応答解析を行って、構造物に入力する地震動を決定する。一方、兵庫県南部地震でも液状化に伴う地盤の側方流動で基礎が被害を受けておりこれに対する検討を行う。

④耐震設計法の検討

構造物の耐震性能を評価するには精度のよい構造物の挙動の算定法が必要である。そこで、耐震設計法はこれまでの静的な方法から動的解析を主体とする方法とする。

兵庫県南部地震では橋梁ばかりでなく開削トンネルも大きな被害を受けたが、その耐震設計法は応答変位法を用いるのがよいと考えられ、その適用について検討する。

⑤部材の抵抗特性の検討

兵庫県南部地震の被害解析等から、部材はせん断破壊先行型を避けるべきであることが判明した。部材は構造物の重要度を考慮して、その保有すべき耐震性能あるいはその被害程度（靱性率）を決定すべきであり、その方法を検討する。また耐震性能のさらなる向上も図るための方策についても検討を行う。

⑥免震・制振構造の検討

これまで鉄道は免震構造についてあまり採用しなかった。これは、免震構造が沓の変形で地震エネルギーを吸収する方式が主体であったため、桁の変位が大きくなり列車の走行安全性が危惧

されたためである。しかし変形に配慮した構造も考えられることから、免震構造の導入についても検討する。

2.3 耐震設計法の難易度と設計技術者

設計法は、それを使う実務者にとって、明解でわかりやすいものとするのが重要であり、できるだけ簡易な方法とするとともに、条文も平易に記述することが理想であるが、規定を確定的に記述すると、設計技術者の創造力を奪う可能性がある。したがって今後は設計法のメニューを示し、設計技術者が自由裁量できる範囲を多くしたい。またコンピューターが発達した現在、手法をいたずらに易しくするように努力するのではなく、多少複雑でも、より精度よく構造物の挙動を現せる手法を検討し、採用したいと考えている。そのためには設計ツールの開発が必要で、設計基準を作成する機関が開発するのは当然であるが、民間の力もおおいに発揮されるべきである。したがって、今後は設計法の多様化とツールの開発状況等により設計技術者によって設計に差がでることも考えられ、設計技術者の努力も必要となる。さらに、コンサルタント間の競争も始まり、設計レベルの向上も図れると考えている。

3. 施工と維持管理

構造物が耐震性能を確保するためには、設計だけでなく良好な施工が必要である。したがって、設計上要求される材料の品質や強度を確保すべき入念な施工がなされるべきである。とくに、兵庫県南部地震の際に指摘された事項例えばコンクリートの打ち継ぎ目などの施工には注意を払うべきであり、施工会社の技術向上も必要となろう。

また、施工には、材料・気象条件・作業条件等によりある程度ばらつきは避けられないが、高品質の構造物を確保するため、施工性にも十分配慮して材料の選定や構造系式の選定など、施工を意識した設計を行うことも重要である。

さらに、完成後も設計時の耐震性能をできるだけ確保するため、材料の劣化等の状況を把握するための必要な点検・検査と、機能等が低下したとき、時期を逸しない所要の補修等を行うことも重要であり、その方策あるいは体制についても検討する必要がある。

4. 耐震補強

阪神・淡路大震災の被害の特徴は、高架橋の柱、開削トンネルの中柱等のコンクリート構造物が、激しい地震動によりせん断破壊を起こし、高架橋の落橋や開削トンネル駅の崩壊に到らしめたものであった。また土構造物も過去の地震と同様に多くの被害を受けた。

兵庫県南部地震程度の地震は日本全国どこでも起こり得る可能性があるといわれており、古い構造物の多い鉄道構造物は被害を受ける可能性が高く、今後の耐震補強が重要な問題となる。したがって耐震性能の診断手法、経済的、かつ効率的な耐震補強法の開発が必要となる。補強工事等が困難な構造物等については、被害を受ける可能性を考慮して、地震後の早期復旧体制や機能の代替性の整備などソフト面で対処するのがよい。

また、鉄道は線状に種々の構造物が連なるシステムであり、耐震強化の困難な構造物や箇所もある。したがって、耐震構造を考える場合は、個々の構造物を強化することのみを考えるのではなく、被害を受けた場合の復旧のための方策を考えるなど、システムとしての耐震性の向上も大切である。

耐震設計技術の高度化に如何に対応すべきか？

パネル討論会：Part 1「こう生かせる……大震災の教訓——耐震設計編」資料

日本技術開発(株)

佐伯 光昭

1. まえがき

六千有余名の尊い人命が犠牲となり、高密度に発達した大都市の地震災害に対する脆さを露呈させた阪神・淡路大震災から早くも2年を経過した。土木構造物の被害では、特に、高架橋の橋脚の損傷による橋体の崩壊や落橋防止構造の損壊による桁の落下、液状化に起因する地盤流動の発生による基礎杭の損傷や下水処理場の各種施設の被災、RC中柱のせん断破壊による地下鉄躯体の崩壊などが人々に衝撃を与えた。また、上・下水道、都市ガスなどのライフライン施設の広範囲にわたる被害は、復旧までに長い期間を要し、住民の生活に大きな支障をもたらした。

ここでは、これらの被害の教訓・課題を改めて整理し、設計実務に関わる建設コンサルタントを初めとする民間技術者の立場から、土木学会「第二次提言」を受けた耐震設計基準類の改訂に伴う技術の高度化への対応策および設計成果の品質向上に関する課題と改善策を取りまとめる。

2. 阪神・淡路大震災の教訓と課題

既存不適格の構造物に被害が集中したことは明らかである。すなわち、RC橋脚の主鉄筋段落とし部、地下鉄のRC中柱など構造細目を含む耐震性能の欠陥のあった箇所、裏込めや基礎地盤の置換砂の液状化の影響を受けた港湾の護岸および埋設管の被害がこの範疇に入るものと考えられる。この他、予測し得た現象として、鋼製橋脚の損傷、液状化に伴う地盤流動の影響、基礎杭の損傷などがある。なお、落橋防止構造の破損の形態については不意を突かれたものと考えられる。

これらの被害の多くについては、地震動の強さが想像を超えるものだったことも与っていたが、現在の知見によれば、当時の設計規定にも原因があったと考えられている。問題は補強の必要性を知らながら、予算の制約の中で事業実施上の優先度の判断から補強の実施が遅れていたことにあると思われる。これまで、大きな地震のたびに予見し得なかった被害が生じると言われてきていたが、今回の震災では、最近までの耐震工学の進展により、被災の形態をある程度予測できたものが多くなったとも言えるのではなかろうか。

今後の課題として、①建設から STOCK への時代への移行を見据えた供用中の構造物に対する耐震診断・補強の合理的な推進計画と実践 ②強震動に対する粘りのある構造物の必要性とそれを満たす合理的設計法の開発 が挙げられる。さらには今後の高齢・少子社会の到来、産業構造の変化などと国や地方公共団体の財政状況を考えると、直下型地震のような極低頻度の自然現象に対する防災投資の適正水準に関する社会的合意を得ることも緊要な社会的課題と考えられる。

3. 耐震設計技術の高度化への実務サイドの対応

「第二次提言」では All in One方式の震度法から、国際的にも通用する設計目標・方針、二段階の設計地震動に対応した限界状態、照査基準が明確となる設計法への移行を推奨してしている。これにより、設計技術者も耐震設計に対する認識の転換が迫られている。今後、改訂される各種の施設的设计基準類の使い方も考え直すことが要求されよう。これまでの、どちらかというマニュアル的な見方ではなく、より良いものを創造するため設計技術者が創意・工夫や大局的な判断を行う際の指針・方向性を得るために用いるものと考えらるべきであろう。

従来の規定では地震荷重を決めることに重点が置かれていたが、これからは地震時の応答を支配する固有周期自体が構造諸元によって変わるCLOSED SYSTEMであること、レベル-2地震動に対しては、地盤を含めて局部的に塑性化することを考慮した非線形挙動を把握することが必要となるなど新たな概念を理解しなければならない。また、設計計画段階から周辺の地形・地盤の状況を考慮し、地盤と構造物全体系の地震時の動的挙動・限界状態をイメージした比較案の検討と最適形式の抽出が重要なポイントとなる。

このためには、耐震設計に関する基礎的な理解が必要である。従来の専門分野を固定した方針を改め、設計技術者の育成計画(Career Development Program)の中に耐震設計技術の修得を義務づけることも考えられる。類似構造物の既往の震害状況や耐震工学の研究成果を積極的に把握させ、構造全体系の観点からの耐震構造計画立案、耐震上の問題点の指摘および解決能力を実際の業務遂行を通して身につけるようなシステムを構成する必要がある。

一方でパソコンの普及により、若年技術者層が高度な解析・演算を担当することへの指導、例えば、①レベル-2地震動に対する塑性化を考慮した設計法や非線形動的解析へなどの基本的理解と結果の評価・考察能力の研鑽 ②入力条件、特に基礎の設計法の高度化とバランスの取れた地盤定数(せん断定数 C 、 ϕ と変形係数 E 、せん断弾性波速度 V_s 等)の吟味・設定能力のトレーニング なども必要である。

こうした取組みの成否は、指導する熟練技術者の研鑽とリーダーシップ、受ける側の設計技術者自身の新たな専門領域に対する興味、修得への熱意と努力にかかっていることは論を俟たない。

4. 設計成果の品質向上に関する課題と改善策

公共事業の設計発注も昨年1月のWTO協定に基づいて透明性・客観性・競争性が要求され、成果の品質向上と工費の縮減が重要な課題となっている。ここでは、2.で述べた内容に加えて、前者に関わる課題と改善策について要望を含めた提案をまとめる。

① 設計基準類に改訂に対する要望：長年、震度法に慣らされてきた実務者に対して、高度化する耐震設計の趣旨、ねらいを理解しやすいように解説することが必要である。また、近い将来、本格的に移行するであろう限界状態設計法と関連の深い性能設計の概念を明確にしておくためにも、耐震性能を満たすための方策について、幅広い観点から技術的判断をしやすいように解説することが望ましい。解説文中には採用する手法・条件などの根拠や既往の国内外の類似の調査・研究の成果との位置づけを明らかにし、関連成果などを含めた参考文献として利用者の研鑽の便に供することが望まれる。この他、基準類の作成に当たっては、中間段階で設計実務に携る経験豊かな技術者の意見も広く参考にされたい。

② 人材の育成・技術力やインセンティブの向上：大学における振動学・耐震工学の教育の質的拡大と充実や 土木学会での研修、セミナー等の開催や耐震設計に関する実務解説書の出版、さらには耐震設計技術者を評価要因に加えた技術士試験制度（選択科目もしくは出題方式など）の改善が考えられる。また、円滑な事業の進捗には、これらに加えて発注者側の技術者に対する耐震設計に関する研修の制度化も必要である。

③ 各種構造物に共通な耐震設計のPHILOSOPHYの提示とそれに基づく各種構造物の規定内容の統一化：耐震設計法の理解を容易にさせるため、例えば、土木学会制定のコンクリート標準示方書に相当する共通耐震設計指針（仮称）の企画・出版とその内容を踏まえた各種構造物に共通な手法の統一を図ることが望まれる。

④ 発注者側への要望：良質な成果を生み出すためには、設計現場を魅力ある、活感性にあふれたものにし、技術力の適正な評価による自由な競争原理に基づく発注システムの整備が必要である。それには、企業および技術者の関連業務の実績と能力の評価に用いるデータベースに耐震関連の項目を含める等の改善を加えて積極的な活用を図ること、技術力の適正な評価が成し得るプロポーザルによる発注方式を採用する機会を増やすこと、発注時期の平準化を進めることなどの施策が必要と考えられる。なお、当然ながら、設計手法の高度化・複雑化に伴う歩掛りの見直し、特に、計画検討や比較設計段階でのフィーの増加も望まれる。

5. あとがき

以上、設計実務の立場から耐震設計法の高度化への対応策について考えてきた。「第二次提言」の内容は、特に発注者や設計技術者にはいわばコペルニクス的転回を迫るものである。これには企業努力に加えて技術者個人が自らの研鑽に主体的に取り組む必要があること、発注者も良質な成果の創造には新しい耐震設計法の理解が必要であり、制度上も改善すべき事項が多くあることを指摘した。また、設計技術者のインセンティブ向上には耐震設計技術者の理解度を評価要因に加えた技術士の試験制度の改善や新たな技術の修得には土木学会の支援が必要なことも明らかにした。

最近の公共事業のあり方や構造物の耐震安全性への社会的関心の高まりの中で、公共社会資本の整備、維持・更新に参画する設計技術者の使命は最終的には国民のためにあるということを認識する必要がある。わが国およびその周辺に放出される地震のエネルギーは全世界の約 10%にも達すると言われている。国民の安全の確保と安心できる社会の整備のために、設計技術者は、耐震設計の新たな展開に対して積極的に取り組むことと併せて、これまでの、ややもすると指示されたことに対処する体質から、積極的に問題を指摘し、解決して行く責任ある信頼される存在となるように自らの意識と発想の転換を求められていることを自覚すべきである。

最後に、蛇足ではあるが筆者の考える緊急を要する課題を以下に示しておく。

- 極低頻度の内陸直下型地震に対する公共事業の防災投資の適正水準に関する社会的合意形成
- 再現期間 150～200 年程度の太平洋のプレート境界に発生する M8 級の巨大地震に対する震源域近傍に位置する地域の耐震設計および補強対策の基本方針の策定
- 地域防災計画の想定地震と耐震基準類に規定される設計地震入力の関係の整理
- 耐震補強を見据えた構造物の重要度の適切な分類と補強事業計画の基本方針・戦略の提案

パネル討論会：Part II

「こう活かせる……大震災の教訓－復旧工事・防災システム編」

「大震災の教訓を生かす」

西日本旅客鉄道K. K. 西川 直輝

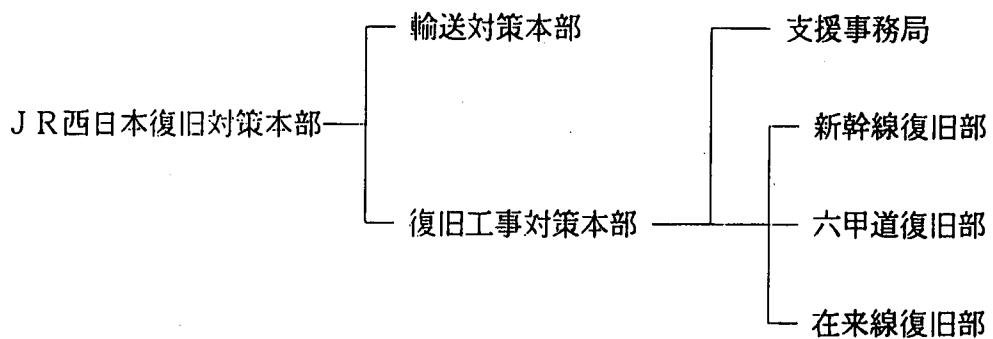
○経過 H.7.1.17 大震災発生

- 1.18 不通区間のうち新幹線は、京都以東と姫路以西
東海道・山陽本線は、尼崎以東と西明石以西を運転再開

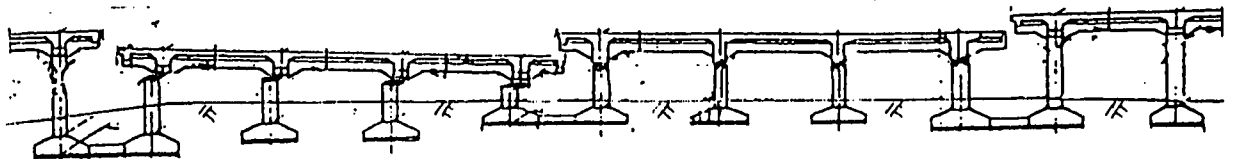
復旧工事完成の区間を順次運転再開

- 4.1 六甲道駅付近高架橋の復旧工事完成に伴い、在来線全線運転再開
- 4.8 新幹線全線運転再開

○組織



○記憶



1. 対策本部が最初に直面する課題
2. 復旧に対する技術的共通認識
3. 「どんな事があっても、決して現場を止めない」
4. 競合工事、他の技術分野まで踏み込んだ理解の必要性
5. スローガン

パネル討論会—Part II「こう活かせる・・・大震災の教訓—復旧工事・防災システム編
受注者の立場から

清水建設（株） 藤田 親

1 震災後の職員の動員と今後の対応

右図は、建設業者26社の調査・設計・技術系職員の震災直後から3ヶ月間の動員数を示す。これによると、1社あたり約3、900人が動員されたことがわかる。

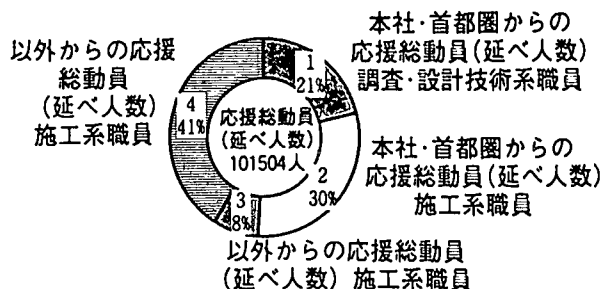


図-1 調査設計技術職員の動員数

しかもその内約50%以上が

本社・首都圏からの動員であり、将来大震災が首都圏に発生した場合の対応について大きな課題を示している。

2 救助体制・生活環境・復旧物資・情報通信について

震災後、まず求められるものが上記4つである。職員の安否確認から始まって被災者に必要となる救助物資については、各社とも支店からの迅速な対応もあって多くの課題を残したものの対応は出来ていたという報告が多かった。しかし、生活環境については、特に宿舍・食事・衛生面では極めて劣悪環境を強いられた。一般の被災者を思うとき当然とは言うものの、震災発生時期が夏期になった場合、更に悪い事態も予測され震災対策を立てる上では重要な課題である。

復旧工事に必要となる資機材及び労務関連の調達については、交通渋滞による調達時間の問題、一部の仮設材や重機械の大幅な不足と労務関連の高騰以外には特に大きな問題は無かったように報告されている。しかし、これらはその殆どが各社の企業努力によるところが大きかったが、今後これらを事前に準備する場合には限界があり、官民一体となったシステムの構築が望まれる。

情報通信についても、発生1週間後になってようやく携帯電話の活躍が見られた。しかし、今後これらへの期待は極めて危険であり、専用回線・衛星通信等の設置に加え、空・陸からの輸送手段の確保に関する対応も避けられないテーマである。

3 復旧工事中の安全管理について

橋梁工事や鉄道高架工事の支保工の下で、余震の続く中極めて危険な状態で作業は続けられ、しかも昼夜連続での作業の割には重大災害が報告されなかった。これは、自分の身は自分で守るといふ安全の基本と日頃からの安全対策の成果が現れた事に加え、復旧に対する使命感・緊張感に負うところも大きかったと考える。しかし、一方ガードマンの教育不足の声が多く現場から聞かれたことは今後検討が必要である。

4 発注者からの方針提示と協議について

JHやJRの復旧方針が極めて早く建設業者に示されたことは、各事業者が今後検討を進める上の大きな示唆になろう。特にJRにおいては、宮城沖地震の実績等も含めて鉄道土木技術の継承が

再認識された事と思われる。

しかし、一部の地方自治体も含めた発注者には、上位機関との協議により方針の遅れ、変更が生じるなどで資機材の手配等に大きな混乱が生じたのも事実である。

各事業者におかれては、重要度・経済性等に応じた復旧指針の整備と、特に管理者間の体制づくりが施工業者からの最も強い要望事項である。

5 復旧技術と新耐震基準に伴う施工技術の問題について

復旧工事において特殊技術が不足したために大きな問題が発生したという報告は少なかった。しかし、被害調査技術や地下探査技術の簡易で汎用性のある技術の開発を望む声も多く聞かれた。また、コンクリートの解体技術については、近隣被災者や作業員の環境への影響等を考慮した場合、静的破碎や高能率切断技術等を施工業者自身が開発し、保有しておくことが責務であると考ええる。

一方、耐震基準の強化を考えた場合、施工上の対応についても大きな問題を含んでいると考える。変形性能強化を考えた橋脚・高架等において、新設の場合には配筋の高密度化、既設の場合には鋼板巻立てや炭素繊維シートによる補強方法等が考えられ、比較的施工性も含めて対応は容易である。しかし、重力式構造物（ケーソン等）や地中構造物（地下鉄、共同溝等）については設計基準のレベルアップによる影響が大きく、従来の延長線上では解決できない設計・施工上の問題が生じ、コスト・規模共に大型化し対応は極めて困難になると考える。

この場合、建設業者においては変形性能強化に対応した簡便な補強技術や配筋の合理化等の技術改善が急がれる。そして重力式構造物や地中構造物については、発注者や設計事務所とも協力して新しい構造形式の開発や施工のための技術開発を進めていかなければならないと考える。

6 復旧工事の設計・施工に関して

図-3は今回の調査で170件の工事の内43%が施工業者によって設計が行われていた事が分かる。設計施工の場合、

①設計期間の有効利用、手戻りの削除による工期の短縮 ②資機材の早期手配と経済性 ③実体と合うため施工性安全性に優れる等の利点が上げられる。

緊急時における発注方式について設計・施工方式の採用を含めて従来の規制に拘らない発注者・設計事務所・施工業者の有機的な関係の整備が強く望まれる。

7 最後に

今回の災害復旧工事は、予定工期より早く竣工できた工事が多かったと報告されている。この要因は発注者と受注者が一体となって使命感に燃えたことによるところが大きいと考える。我々は、「疲れたが、やりがいのある貴重な経験をさせて貰った」と言う実感が残ったものの、この辛い経験は今回だけにして、2度と繰り返さないように努めることが我々に課された課題であると考ええる。

図-2
工事方針が発注者の上位機関の意志に左右されるケースがありましたか。

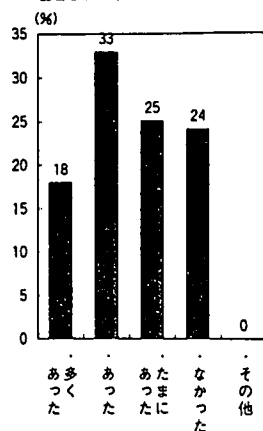
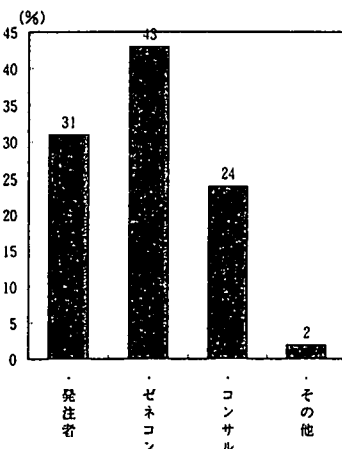


図-3
工事の設計はどこが主体で行われましたか。



地震防災情報システム（DIS / Earthquakes）の整備について

国土庁防災局震災対策課長 岡山 和生

I 背景

- I-1 阪神・淡路大震災の経験を踏まえて
- I-2 新たな防災体制の基本的枠組みとGIS
- I-3 高度情報化社会への気運

II 地震防災情報システム（DIS / Earthquakes）のコンセプトと整備の現況

- II-1 システムのコンセプト
- II-2 システム整備の現況

III 地震被害早期評価システム（EES）の運用開始

- III-1 システム開発のねらい
- III-2 システムの構成と評価方法
- III-3 各推計プロセスのロジックの概要
 - III-3-1 推計の概要
 - III-3-2 木造建築物倒壊棟数の推計
 - III-3-3 非木造建築物倒壊棟数の推計
 - III-3-4 建築物倒壊による人的被害の推計

III-4 運用

IV 今後の課題

防災システムの立場から

名古屋工業大学 山本 幸司

1. 民間建設部門の復旧支援活動とその教訓

- ・民間建設部門（建設会社とコンサルタント会社）が、震災直後に行ったボランティア活動
- ・その後の応急復旧ならびに本復旧で果たした役割
- ・その際の問題点とそれから得られた教訓

2. ライフライン部門の復旧支援活動とその教訓

- ・甚大な被害を受けたライフライン（ここでは上水道、ガス、電気、通信、鉄道を対象）各社が、震災直後に行ったボランティア活動
- ・その後の応急復旧ならびに本復旧で果たした役割
- ・その際の問題点とそれから得られた教訓

3. 民間建設部門とライフライン部門によるボランティア活動

- ・民間建設部門ならびにライフライン部門が震災直後にとった行動の分析を通して明らかとなった企業レベルでのボランティア活動

4. 「防災システム」とその核としての「情報システム」構築の必要性

- ・震災時に緊急対応し、被害を軽減するための、官民が一体となった「防災システム」を構築することの必要性
- ・情報の発信・受信、処理・分析を行うための「情報システム」が「防災システム」の核として機能すべきであることの指摘
- ・アメリカ、韓国等の防災組織、防災システムの概要について述べ、我が国として「防災システム」を構築していく上で参考となる事項の指摘

5. 「情報システム」を核とする「防災システム」の理想像

- ・「防災システム」の理想像と具備すべき機能の概要
- ・「情報システム」の理想像と具備すべき機能、及び「防災システム」との関係

6. 土木学会の「災害緊急対応部門会議」の活動経過

- ・緊急災害発生時に、土木学会としての中立性を確保しつつ、緊急調査団の派遣等に即応するシステムの構築に取り組んでいる「災害緊急対応部門会議」の概要