

3. 構造物の重要度と想定地震の考え方

3.1 土木学会提言の想定地震動に対する重要度の考え方

土木学会は、1995年1月17日に発生した「阪神・淡路大震災」で多くの犠牲者をみたことおよび多くの土木構造物に多大な被害が発生したことの重要性を痛感し、耐震基準の見直し等、耐震設計の今後について基本方針を検討し、その調査研究の成果として、1995年5月23日に「土木構造物の耐震設計基準等に関する提言」(第一次提言)を、1996年1月10日に「土木構造物の耐震設計基準等に関する第二次提言」として公表してきた。これらの提言では、設計入力地震動、耐震設計法、耐震診断と耐震補強ならびに地域防災計画の各分野での諸問題の基本的課題の検討を行うことを明示し、それらを具体化するための諸方策を示し、広い視点からの地震防災性向上の基本方針および学術的見地から望まれる事項について取りまとめている。

第一次提言の骨子として、i)構造物の耐震性能は、二段階の地震動強さを想定して照査する；ii)構造物の挙動は、構造物の重要度を考慮して決定する；iii)震害に照らし合わせた耐震設計基準の見直し、既存構造物の早期補強、基準見直しのための研究開発の促進が挙げられる。また、第一次提言をさらに具体化した第二次提言では、i)強い地震動であるレベル2地震動の設定は、同定した活断層から発生する地震動の予測に基づく；ii)レベル2地震動を受ける構造物では、損傷を前提とするなど合理的な耐震設計法を確立する；iii)適切な優先順位に基づいた補強の実施ならびに新設構造物と同等な耐震性能の確保；iv)総合的な地震防災性の向上をはかり、地震災害アセスメントなどによる都市・地域防災計画の見直しの検討が述べられている。これらの提言で注目すべき点は、構造物の重要度を耐震設計に強く反映させたことで、この重要度は、i)構造物が損傷を受けた場合、人命・生存に与える影響の度合い、ii)避難・救済・救援活動と二次災害防止活動に与える影響の度合い、iii)地域の生活機能と経済活動に与える影響の度合い、iv)都市機能の早期復旧に与える影響の度合いおよび復旧の難易度等、を総合して決定するとしている。

しかし、設計用入力地震動は、本来、上記の重要度を考慮して当該構造物の所有者や建設責任者が自己の責任において設定すべきものであり、設定された地震動が一定の地域内に建設されるさまざまな構造物に対しても整合性を保つために何らかの統一の見解が必要であるとし、レベル2地震動とは、構造物の耐震設計に用いる入力地震動で、現在から将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動であるべきとの考えがまとまりつつある。また、一方では、構造物の応答特性に立脚すれば、レベル2地震動を対象構造物の耐震性能に対して最大級の深刻な影響を及ぼす可能性が強い地震動とも言い換えることが出来る。したがって、レベル2地震動は、内陸直下型および海溝型地震の活動履歴、活断層の分布状況や活動度などの調査資料結果、当該地点およびその周辺における地盤の状況、強震観測事例など利用可能な関連資料を十分活用して設定するものとしている。

さらに、耐震設計を行う場合、地震動の強さのレベルは複数設定されることが多いため、例えば現行の各種基準ならびに学会提言のレベル1およびレベル2地震動において、これらのレベルを発生頻度や非超過確率、あるいは予想される被害程度と対応させて明確に表現する必要性がある。特に、レベル1地震動は、構造物の使用性を損なわない程度の地震動とするが、それを供用期間中に1～2度程度発生する確率をもつ地震動と見なしうる妥当性に欠いており、今後の性能照査型設計への移行を前提とした場合には、それを具体化することは、緊要な課題であるとも示している。

結果的に、構造物の重要度とも関連付け、いかにレベル2地震動の強度レベルを最大級レベルの地震動の範囲内で具体化するかの手法が不可欠となる。そこで、土木学会では第二次提言以降も上記の諸問題に対しては継続的な議論がなされ、新たな提言へと結びつけるための努力がなされてきた。この第三次の提言の方向は、おおよそ以下の通りとなろう。

- ① 土木構造物の耐震安全性・信頼性の向上を図るにあたって、個々の構造要素やその集合体より形成される構造系としての耐震性能を向上するだけではなく、システム全体、公共インフラストラクチャー全体、ひいては、都市システム全体としての機能性が、地震時にも著しく損なわれることのないように、十分に配慮されなければならない。
- ② レベル2地震動への対応においては、ハード的な対策とシステム的な対策をバランス良く組み合わせることにより、それぞれが相互補完的な役割を果たすことが重要である。それが実現されていることを確認するため、「地震時システム・パフォーマンスの照査」を行うことが望ましい。
- ③ 耐震性能決定の基本的考え方としては、i)レベル1地震動に対して、基本的にはいずれの新設構造物においても「無被害レベル」の耐震性能を要請することは、現時点での技術的及び社会経済的条件を前提としたシビルミニマムの要求とみなされる。ii)レベル2地震動に対する新設構造物の耐震性能は、その施設の重要度に応じて決定する必要がある。その際、施設の重要度は、施設を取り巻く種々の地域的条件や施設の利用条件などに応じて、費用便益分析の考え方を基礎において決定すべきである。iii)既設構造物については、耐力劣化・既存不適格等の問題が存在し、レベル1地震動に対する「無被害レベル」までの耐震補強が急務である。しかし、現実問題としては予算と時間が限られており、新設構造物と同様、対象施設・構造物を適切に選定するための客観的かつ定量的な決定方法が必要である。

このように、土木構造物の耐震安全性は、個々の構造要素もしくは構造物の耐震性の確保にとどまらず、地震を受ける都市全体の機能、地域の機能を前提としたより総合的防災システム作りへと移行している。すなわち、力学的には（ハード的な対策として）、構造要素～構造系の性能規範に関連して、「レベル1地震動」と「レベル2地震動」のそれぞれに対して、所定の耐震性能（使用性、安全性、修復性、損傷度など）および照査項目（保有耐力、残留変形、ひび割れ幅など）を定めることに加え、ソフト的にも（システム的な対策として）、システム全体～公

共インフラストラクチャー全体～都市システム全体として各地震動レベルに対して保持すべき性能規範に対する許容被害（外力レベルと施設重要度により定められる許容損傷度）に基づき、それらをバランス良く組み合わせることが必要とされ、そこでは当然ながら構造物の重要度に基づいた社会基盤施設の安全性確保の体系化が至急の課題と挙げられている。

しかし、重要度に基づいた構造物の耐震化によって得られる（不確定な）損害回避の利得は、構造物の耐震性能や対象とする地震動の大きさや発生確率、その構造物の置かれた地域条件や施設の利用条件、あるいは交通施設などでいえばネットワークの特性などに依りて大きく変化し、耐震化のための費用も地震動の大きさや構造物に要求する耐震性能などによって少なからず変化することは明らかである。したがって、限られた資源を有効に活用していくためには、新設構造物の設計時に要求する耐震性能も、耐震化によって期待される損害回避の社会的利得と、耐震化に必要な費用との比較考量に基づき、状況に応じて決定することが必要となる。結果的に、提言で示すべき方向は、構造物の保有すべき耐震性能が、施設の重要度を考慮して決定すべきであるとし、この重要度のランクは、各分野毎に工学的経験に基づいて決定せざるを得ないのが実状と考えられる。したがって、上記の考え方に立つならば、施設の重要度、言い換えれば構造物の耐震性能は、上述のような施設の置かれた種々の条件や、対象とする地震動の大きさと発生確率などに依りて、費用便益分析の考え方を基礎に置いて合理的に決定していく方法を今後確立し実務に反映していくことが必要であり、特に、大きな地震動は構造物に被害をもたらす可能性が非常に高い反面、発生頻度が低く、このようなレベル2地震動では、構造物の要求耐震性能を慎重に決定することが必要であるとの認識が広まりつつある。

したがって、今後は、設計地震動を適切に設定できるよう、①耐震化投資とその下でカストロフィが生じない地震強度の最大値との関係、②カストロフィの回避に関する地域住民の選好、③シビルミニマム水準、などに関する知見の蓄積が必要であり、このための研究を推進する必要があると示唆されている。

一方、日本建築学会においても阪神・淡路大震災以後、「建築および都市の防災向上に関する提言」として、数度にわたり提言を示してきた。例えば、第三次提言においては、地震動の設定において i) 震源特性などを取り入れた設計用地震動の設定が必要で、地震動の増幅特性、地震マイクロゾーニングマップの整備が必要である、ii) 地震活動度を明示できる客観的指標を設定し、しかも社会に受け入れられるレベルまで高める、iii) 強震観測体制を強化し、データの充実と公開を推進するなどが、述べられている。また、出来る限り最新の知見を取り入れた合理的な地震動の設定方法を採用すべきとあり、さらに安全のレベルを分かりやすく示した耐震メニューを別途提案している。特に、地震動の強度としては、5段階のレベルを想定し、予想される構造物の被害とも関連付け、構造物に要求される耐震等級を明確にしている。建築基準法は最低基準を示したものであり、それ以上の性能を持った構造物を建設するために、この地震動の強度の選択は、構造物の重要度を、建築主と設計者の共通認識に基づき選定されると考えても良い。

3.2 道路橋示方書などの現行の示方書の想定地震動に対する重要度の考え方

1995年1月17日に発生した「阪神・淡路大震災」が、各種構造物に関東大震災以来、最大の被害を引き起こした結果、国内の各種耐震設計基準の見直しがなされてきた。例えば、道路橋示方書においては、地震直後には「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会」が設置され、被災メカニズムの究明、地震動特性の解析が実施され、1995年2月27日には「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様（復旧仕様）」が通知されるとともに、その後も継続審議され、1996年12月には、耐震設計編の改訂作業が終了し、提示されるに至った。同様に、鉄道構造物等の耐震設計基準についても、1998年10月に改訂が実施された。

ここで、改訂された道路橋示方書における橋梁の耐震設計は、橋の重要度に応じて必要とされる耐震性能を確保することを目標として行うこととされている。すなわち、重要度が標準的な橋（A橋）と特に重要度が高い橋（B橋）とに分類し、大きな強度を持つ地震動に対して、A橋では、致命的な被害を防止し、B橋では、限定された損傷に留めるとしている。ここでは、橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな地震力（レベル2地震動）として、発生頻度の低いプレート境界型の大規模な地震動に加え、発生頻度が極めて低い内陸直下型地震動とをそれぞれタイプIおよびタイプIIとして定義しているが、それらを定量的に表す指標は何ら提示されておらず、過去の最大クラスの地震動が採用されているのが現状である。一方、橋のA/B橋としての分類は、橋が、地震後の避難路としての役割、救助・救急・医療・消火活動および避難者への緊急物資の輸送路として非常に重要な役割を担っているため、道路種別および橋の機能・構造に応じて決定されるとしている。未知のどのような地震動に対してもその重要度に応じて橋を安全に設計することは現状では制約があり、道路ネットワークのリダンダンシーを高めたり、早期に復旧できる体制整備や技術開発などの推進が奨励されてはいる。しかし、この重要度の定義は、非常に不明確で、それを定量的に表す手段は提供されていない。

一方、耐震性能の照査を具体化する手法として、道路橋示方書では震度法もしくは地震時保有水平耐力法による耐震設計法を原則としているが、橋の応答を支配する振動モードが複数個ある場合、それらが静的解析結果と異なる場合、エネルギー一定則等、計算上の仮定に基づく誤差が不確定の場合においては、動的解析結果に基づき適切に設計すべきとしている。ここで、静的解析による設計結果の照査を目的とした動的解析は、耐力および塑性率（最大応答変位）を対象に、一般に3波形程度の入力地震動に対する平均値を基準にすることとなるが、動的解析結果が小さい時は、震度法である保有耐力照査法による設計結果を基本とするとしている。

ところが、長大橋を対象とした本州四国連絡橋公団の基準では、個々の構造物の重要性においてランク付けがなされているのではなく、例えば「耐震設計基準」（瀬戸大橋関連）、「明石海峡大橋耐震設計要領」（明石海峡大橋のみ）等のように個別の基準によって耐震性の検討がなされている。また、一般橋では、道路橋示

方書に準じて、地盤種別により入力地震動を加速度応答スペクトルで規定しているが、本四架橋では、第一種地盤相当の地盤（ $V_s=800\text{m/s}$ 程度）の上面に基準とする加速度応答スペクトルに適合した地震加速度波形を入力して、各基礎ごとの設計用地震波形を求めて、設計に使用されてきた。強地震動においても、上記と同様である。また、道路橋の示方書に基づく一般橋では、水平2方向の地震動入力は別々に入力して別々に照査するが、本四架橋では、上部構造に対して橋軸及び橋軸直角方向の解析を行い、応答値の小さい方に2/3の重みを考慮した自乗和平方根で応答値を評価し、照査が行われている。ASSHTOでは、直行する2方向の内、影響の大きい方向が100%、影響の小さい方向を30%とスケールし、それらを単純に足し合わせることで照査が行われているところもあり、今後の検討課題と考えられる。

また、鉄道構造物等に対する耐震設計基準では、原則としてi)新幹線鉄道および大都市旅客鉄道の構造物、ii)開削トンネルなど被害が生じた場合の復旧が困難な場合を重要度の高い構造物としている。ここで、原則としてとあるのは、これらの構造物以外に鉄道事業者が重要と判断する構造物について、耐震性能を向上させることを妨げないためである。この構造物の重要度は、構造物の設計耐用期間内に発生する確率は低いが、非常に強い地震動として想定されているレベル2地震動(L2地震動)に対して構造物に要求される耐震性能の指標と関連があり、重要度の高い構造物は、耐震性能IIを満足するものとして定義されている。なお、耐震性能IIとは、地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できることを指す。この対象とする地震動においては、基盤で設定した地震動を用いて、表層地盤の応答計算を行い、構造物に入力すべき地震動を算定し、レベル1地震動(L1地震動)も含めて二つのレベルの地震動が定義されている。L1地震動とは、構造物の設計耐用期間内に数回発生する確率を有する地震動として扱われている。道路橋の耐震設計法とは異なり、鉄道構造物の耐震設計においては、構造物の応答値の算定には、動的解析手法によることを原則とし、一部の土構造物のみに震度法による静的解析法の適用も許容している。

このような定義の下での設計地震動は、建設地点での地震活動度、断層情報、地盤条件、既往の地震観測結果等を考慮して定められ、その基本的特性を弾性加速度応答スペクトルで表されている。地震の規模として、マグニチュード8クラスのプレート境界での巨大地震を想定したスペクトルI、一方では、マグニチュード7程度の内陸型地震などを想定したスペクトルII、加えて、断層モデルにより作成するスペクトルIIIからなる。

3.3 重要度決定におけるリスクアナリシスおよび費用便益手法の適用性

重要な構造物は耐震性を一段と向上させなければならないが、そのためには費用がかかる。社会資本を最も効率的に運用するためには、すべての構造物に等しい安全性を持たせることが最適解なのではなく、重要度を考えることによって社会全体のコストを最小にすることが必要となる。かくして重要度とコストとは密接な関係にあり、重要度を表す指標としてコストを用いることも1つの手法であ

ろう。この分野の研究手法としてリスクアナリシスや費用便益手法があり、以下にこれらに基づいた考え方を説明する。ただし、あくまで1つの考え方の提示であり、広く学会や市民のコンセンサスを得るためには、今後の研究が必要である。

3.3.1 地震のリスクマネジメント

(1) リスクとコストおよび重要度

数百年に一度とはいえ、社会基盤に甚大な被害を及ぼす地震災害をリスクとしてとらえ、科学的、合理的な対処、管理を行い社会全体の損失の最小化を計ることは当然といえる。ここでリスクとは経済観念上の不確実な損失発生の機会をいう（その原因となる地球の断層は hazard, 地震による構造物等の破損、崩壊は peril）。したがって地震のリスクマネジメントは地震にかかわる事前事後の広範な社会経済分析を含み、単に構造物の重要度のみに応用されるものではないが、リスクマネジメントの中心的分析手法であるリスクアナリシスによって構造物の重要度を定量化する道は開ける。

[篠塚,1995]によれば、「地震リスクマネジメント(Seismic Risk Management, SRM)では地震に伴う Risk をコストとしてとらえ、これを定量化することを目指す。Risk は、施設の性能あるいは安全性を示す指標であり、定量化された被害想定と解釈することもできる。」としている。さらに Risk は、定義された損傷の発生確率 P とその損傷に伴う損失 C の積で表現され、期待損失で求められる。様々な被害形態を損傷モードと呼び、可能性のあるモードをすべて考える。したがって Risk(R) は、次式で示される。

$$R = \sum (P_i \times C_i) \quad (3.1)$$

ここで i は損傷モードを表し、 P_i, C_i はその損傷モードに対応するものである。

[青木,1998] は上式のリスクを構造物の重要度と直接的に関係づけ、「構造物の重要度は、それが機能を失ったときの全損失コストの大小から決定できる」としている。簡単に言えば「その構造物が破壊したとき、社会的影響や損害が大きいほどその構造物は重要」ということになる。すなわち

$$\begin{aligned} \text{全損失コスト } C_{TL} &= \sum (P_i \times C_i \times n) \\ \text{重要度} &= \alpha C_{TL} \end{aligned} \quad (3.2)$$

ここに P_i は事象 i の発生確率、 C_i は事象 i の1日当たりの損失コスト、 n = 機能喪失期間(日)、 α はコストを重要度に変換する係数である。

コスト C は a) 人命の損失、b) 構造物の費用、c) 構造物機能損失に伴う社会的損失の和からなる。

- a) 人命の損失は過去の事故の補償額を参考にし、その数倍の一人1～2億円とする。人命の貨幣価値換算には異論があるかも知れないが、文献[土木学会, 1995]にも提案されており、限定的に用いることは社会的に浸透しつつある。

- b) 構造物の費用は全損した場合、減価償却した後の現存価値・補修して使用可能な場合、補修費。
- c) 構造物機能停止に伴う社会的損失は例えば（高速道路の通行料） \times （交通量）が目安になるが、通行不能による他の社会活動の損失コストも当然含むべきである。

高速道路の事例として以下が考えられる。

- 1) 部品を組立工場へ運搬するトラック（組立工場そのものが被災した場合は論外であるが、部品到着の遅延による組立作業停止に伴う全損失コスト）
- 2) 商用、会議に出張中の乗用車（商用、会議に不参加の損失コスト）
- 3) 行楽への乗用車（リラックスの時間が逆に心理的ストレス増加に伴う精神償）

新幹線鉄道の場合の事例として、上記 2), 3)「乗用車」の代わりに「乗客」と置き換えればよいが、例えば商用の場合、乗客だけでなく、当然相手がいる、その業務に影響を及ぼす。これらは社長、重役、平社員によっても異なり、復旧期間によっても損失コストは異なる。

これらのコスト算出は高い精度で出すことは難しくとも、全く困難ともいえず、各種調査機関（三菱総研、保険会社等）に相当額の調査費を出せばある程度の調査結果が得られるであろう。このような調査を誰が行うかも含めシステムアナリシスを考えるなら、民間保険機関が行う方が、少なくとも土木の構造工学研究者が行うよりはるかに効率的であろう。

(2) 震災直後の異常時でのコスト

阪神大震災で既に見てきたように、大地震による震災直後の混乱や秩序回復過程での構造物の機能価値は、平常時とは異なり、特別大きなものとなる。したがって地震時のようなリスクアナリシスにおいては特にコストの時間的変動に配慮する必要がある。都市内高速道路を例に、損失コスト変動を時系列的に以下のように分けて考えてみる。なお、以下の数値自体は例示であり、それほど意味をもつものではない。

- 1) 震災後、数時間～24時間以内： 人命救助、消火のための救急車両の通行の維持が重要。都市内高速道路のような最重要構造では最低限、緊急車両の通行ができなければならない（一般車は人為的に交通制限される）。例えば、人命に直接関係する消防車、救急車は1台、1回通行につき1億円と計算する。
- 2) 震災後、3日以内： 食料、衣類等の生活用物資、主要道路、ライフライン復旧用工事車両の通行。車両1台1回通行につき10万円～50万円の通行料相当（実際は取らなくとも、あるいは一般車からは50万円取ると予め決めておいてもよい）
- 3) 震災後、3、4週間以内： 一般交通施設、重要公共建築物等の復旧工事用車両の通行復旧。通常料金の20倍。
- 4) 震災後、3ヶ月以内。この道路を必要とする車両のために、あるいはこの道

路を通らなくてもあまり支障のない車両を排除するために、通常料金の約2倍。以上のように地震災害では、震災直後の損失コストについて、特別な配慮が必要で、現実に阪神大震災では、通常考えられない莫大な額の緊急予算発動が行われたことは周知の通りである。

(3) 鉄道構造物の特殊性

時速 250km もの高速で走行する新幹線列車が地震に遭遇すれば、大惨事となり、多くの人命が失われることは想像に難くない。ユレダスが作動したとしても、列車が低速になるまでの間に、線路支持構造物のわずかな変形が、人命という大損失コストを生む可能性がある。現在のような過密ダイヤで、1列車 1600 人ほぼ満席の状態、なお長い走行距離による震源域をカバーする状態（発生確率が大きくなる）では地震被害（損失コスト）は非常に大きいものとなろう。構造物の動的応答だけでなく、車両の走行安全性などの大きな問題をかかえており、鉄道構造物の特殊性は今後の検討課題であろう。

(4) 重要度と破壊形式、補修方法

重要度の大きな構造物が機能停止すれば社会的な損失は大きいため、早期に復旧できる破壊モードが望ましい。千年に一度レベルの大きな地震に対しては部分的な破壊を許す設計を認めざるを得ないため、様々な破壊モードを想定し、補修方法等の検討を行っておく必要がある。例えば鋼製橋脚の場合、箱形断面ではリブ間の座屈は全体強度上はあまり問題なく、表面から鋼板をあてて溶接すれば地震直後から通常どおり使用できる [青木ら, 2000], [金本ら, 2000]。一方、RC橋脚のせん断破壊では水平保有耐力があったとしても、撤去せざるを得ず、数ヶ月もの長期間かけて再建されことになる。

3.3.2 費用便益手法の適用 [金本ら, 2000]

公共事業で、その費用と社会的便益を貨幣タームで表して比較し、その事業の効率性を測定する分析手法を費用便益手法という。私企業では投資、利潤等が厳密に計算され社会経済活動が自ずと効率的に行われているのに対し、一般道路や堤防、ダムなどでは市場で取り引きされないから、費用や社会的便益の精密なる評価が行われにくく、社会的に大きな浪費を生みやすい。そこで公共事業についても費用、社会的便益の評価を行おうとするのがこの手法であるが、公共事業によっては便益を把握することが困難なものも多く、また将来の価値変動や公平性に問題があるとされている。しかし、このような試みを進めることの方が社会的利益ははるかに大きい。

リスクアナリシスが危険状態発生時の損失コストに焦点を当てて分析を行うのに対して、費用便益手法における費用は、通常の使用状態における初期コスト、維持管理コスト、そして、せいぜい環境への負のコスト等を考慮するだけである。もちろん広い意味での費用便益分析では、極大地震のような異常時での損失コストを含めることは可能であるが、現在までのところ、地震災害損失コストを含め

た費用便益分析は一般的には行われていない。

しかしながら国レベルの規模の社会基盤整備には、費用便益手法が一般的に行われ始めており、建設省が公共投資効果の分析基準を策定するために、平成9年に委員会を発足させ、翌年「社会資本整備に係わる費用効果分析に関する統一運用指針（案）」[建設省，1998]をまとめている。これによると大規模プロジェクトでは採択の着工準備段階での費用対効果分析の実施を検討している。本論で問題となる費用については、建設費，維持管理費を参入し，その他に主要な費用がある場合には，その旨明記することとしている。

構造物の重要度との関わりについては，地震発生時の社会全体経済活動の損失も含めた全損失コストを算出する必要があり，前述のリスクアナリシスの手法を費用便益手法に含めて論ずるのが理想である。費用効果分析は我が国で始められたばかりであり，今後の発展に期待するところである。

3.4 納税者の支払い意志を考えた重要度決定法 [石田，1998]，[大熊，1998]

納税者は税金によってなされる公共投資に対して納得できる説明を求めることができる。しかしながら現在の我が国で，納税者の支払い意志を直接的に確認した事業計画がなされる状況は従来からないではないが [大熊，1998]，理想とはほど遠く，せいぜい地方自治の行うローカルな計画に対して，住民参加の道がある程度である [石川，1997]。また税金についても，国税，地方税があり，国家的レベルの建設事業に対しては，数千万人の納税者の直接的意志を確かめることは現実的ではなく，その代表者たる学識経験者等を含めた委員会や公聴会によって民意を汲み取ることが現実的方法であろう。

構造物の重要度に民意を反映させる一つの方法として，「その構造物に対して，あなたならいくら税金を支払いますか」というアンケートを行う方法(CVM)が考えられる。しかしながらこれにもいくつかの問題点がある。国全体の事業，例えば国費の投ぜられる第2東名高速道に対して，北海道や九州の住民に対してこのようなアンケートをとったとして，果たして意味のある結果が得られるであろうか。アンケート結果のバイアスの問題，情報公開の仕方など，まだ多くの検討課題が残されており，今後の研究が待たれる。

より住民の直接的利益を反映しやすい地方自治の問題に対しても，同様な問題がある。例えば，「住民の意思の尊重は基本的に望ましいことであるが，狭い地区からの発想のみに振り回されるのはその地域全体の利益に反する結果を生みやすい」，「住民の行動は基本的にはエゴイスティックであり，行動が活発な旧住民，議員と行政とのしがらみなどにより，合理的な施策が進められない」，「地域住民に左右されやすいことが地方自治行政の陥りやすい問題点の一つ」等の指摘 [川上，1984] がある。

我が国で，民意を反映させた合理的施策を行うためには，アンケート等に答えるすべての国民が，自分の属する地域ばかりでなく，社会全体のあり方を常に考える習慣の形成が必要である。そのためには行政側からも基本計画および各段階での各種の情報公開や，計画を選択した理由等の説明，議論の場の提供等が必要

になる。

なお世論調査を構造安全性レベルに結びつけた研究に、[石川，1997][平田，1997]らの研究があり，アンケートにより各自の支出できる金額と建築物の倒壊に対して4段階の安全性レベルや，アンケート結果から信頼性指標 β 比の置き換えまでした結果を示している。

3.5 今後の検討課題

(1) 費用対効果分析の限界

土木構造物のような社会資本整備では，公共投資の効率性が求められる．ある選択ないし決定に対して，国民に対してその根拠を明確に示すことが理想である．この理想に近づけるために，投資費用やその効果，便益を数量化して判断結果を示す必要があるが，ここにも様々な問題がある．例えば，「社会資本整備に市場評価が必要か?」，「人の命を金銭で計れるか?」，「コスト評価可能な要因のみで評価しているのか?」，「費用対効果分析は効率性を考えているが，公平性に配慮しなくていいのか?」など．これに対して，小林は文献[小林，1999]の中で比較的市民にわかりやすい言葉でこれらの問題のいくつかを解説している．

「人の命の価値」のみならず，「地震に対する不安感」，などのようにコスト換算しにくいものでも，何らかの方法で数量化する必要がある．これに対してはデータ精度の粗密は問わず，現段階での諸条件下で，大胆に数量化するしか手はなく，全体のフレームワークを作り上げた上で，その後の議論や情報の収集によって改善を繰り返すのがよいと考えられる．また費用便益分析手法そのものも現段階で成熟したものとは言えず，今後の展開が望まれる．

(2) 日本人的特性と政策決定

阪神大震災後に，非常に多くの人々の日夜の努力によって短期間に復旧が進められた．この時，あるいはその後にも，耐震補強等に莫大な公共予算が投下されたはずであるが，このような状況下では，必ずしも費用対効果の検討が十分になされないにもかかわらず，マスコミも誰も文句を言わない．

一般に西欧諸国に比べ日本人は情緒的といわれる．国民の感情に訴えた政治家の意見が通りやすいと言えるかも知れない．こうしたあいまいさや日本人的国民合意が政策決定を行うことは，リスクアナリシスや費用便益手法のような数理科学的，いわばドライな割り切り方と相容れない側面があることが確かであろう．

例えば人の命の価値を等しくすると，大都会で多くの人に被害を与える構造物と人の少ない田舎の構造物とでは自ずと重要度，安全度に差が生じる．これは頭で理解できても，田舎の人は感情的に納得できまい．政治的に決着を付けるとすれば，田舎の構造物での都会と同程度の安全率となり，日本全体でこれをやれば，震災時の生命の損失，投資効率は明らかに社会全体としては不利となる．これは田舎の構造物に対する若干の割り増し係数を用いたとしても，トータルコストミニマムの原則に従わざるを得まい．「人の命は都会の人も田舎の人も同じ程度に

高い」ということを説得するほかない。数理科学的な分析によって、重要度に差が生じるとすれば、こうした人間的側面の配慮、国民にわかりやすい説明が必要になろう。

なお、本章では構造工学の分野では聞き慣れない用語が多く現れるため、以下に、文献[金本, 2000]より抜粋、加筆した用語解説を示す。

割引率： 一般に、将来に受け取ったり支払ったりするものの金銭価値は、現在の金銭価値より低くなるため、将来にわたって生じる費用、便益について、ある基準時点（通常現在）での価値に割り戻すための率。（例）割引率を年 r とするとき、現在の 100 万円は 1 年後には $100/(1+r)$ 万円の価値しかない。

感度分析： 費用効果分析を行うために使用する要因（変数 x_i ）に、それぞれの不確かさに応じた幅のある値を与え、その結果がどのように変動するかを観察することにより、対象とするプロジェクトの算出値（関数 $y(x_i, \dots)$ ）にどのような影響を与えるかを調べる。すなわち $\partial y / \partial x_i$ の値を調べ、 y の変動を知る。

消費者余剰： 消費者がある財を消費するとき、そのために支払ってよいと考える最高支払い意志額と、実際に支払った金額との差分をいう。消費者が得る正味の効用（満足）を金銭換算したもの。

CVM： アンケート等を用いて評価対象資本に対する支払い意志額を住民等に尋ねることで、対象とする財などの価値を金額で評価する方法

参考文献

[自治大学校研究部, 1976] 自治大学校研究部編集：住民参加と行政，第一法規出版，昭和 51 年 3 月

[川上, 1984] 川上秀光編著：地方の時代の地方自治・Ⅲ，都市政策の視点，学陽書房，昭和 59 年 2 月

[南方, 1993] 南方哲也，：リスクマネジメントの基礎理論，晃洋書房，1993 年 4 月

「篠塚, 1995」 篠塚正宣：基調講演「地震リスクマネジメント」，緊急シンポジウム 大震災と企業の危機管理，講演テキスト，日刊工業新聞社，平成 7 年 3 月，pp.11-12

[青木, 1995] 青木徹彦：“機能損失に基礎をおいた鋼構造物設計法の概念”，第 44 回応用力学連合会，平成 7 年 1 月。

「土木学会, 1995」 土木学会，“構造物の破壊時コストの明確化と設計問題における意志決定”，一阪神大震災の提起する構造物のコストと安全性の問題一，平成 7 年度土木学会全国大会研究討論会資料，1995 年 9 月

- [石川ら, 1997] 石川孝重, 平田京子: 社会的合意を得た構造安全性の構築, その3合意レベルの形成主体, 日本建築学会学術講演概要集(関東)1997年9月
- [平田ら, 1997] 平田京子, 石川孝重: 社会的合意を得た構造安全性の構築, その4意識調査をふまえた合意の指標化に対する試案, 日本建築学会学術講演概要集(関東)1997年9月
- [青木, 1998] 青木徹彦: 構造物の重要度に関する2, 3の考察, 土木学会第53回年次学術講演会, 平成10年10月, pp.732-733
- [建設省, 1998] 建設省, 「社会資本整備に係わる費用効果分析に関する統一運用指針(案)」, ホームページ <http://www.moc.go.jp/policy/shishin.htm>
- [小林, 1999] 小林潔司: 費用対効果分析の理念と限界, シリーズ特集21世紀の社会資本を造る, 第2回, 土木学会誌, 1999, 2月 pp.25-28
- [石田, 1999] 石田東生, “社会資本整備における合意形成と参加のあり方”, シリーズ特集21世紀の社会資本を造る, 第6回社会資本整備における合意形成のあり方, 土木学会誌, Vol.85, Jun 1999, pp.12-14
- [大熊, 1999] 大熊久夫, “道路整備の合意形成”; シリーズ特集21世紀の社会資本を造る, 第6回社会資本整備における合意形成のあり方, 土木学会誌, Vol.85, Jun 1999, pp.15-17
- [青木ら, 2000] 青木徹彦, 山田将樹, 林幸司, “地震時破壊後に補修した橋脚モデルの耐震載荷実験と耐震設計の考え方, 鋼製橋脚の非線形数値解析と耐震設計に関する論文集, 土木学会・鋼構造委員会, pp.101-106, 2000
- [鈴木ら, 2000] 鈴木森晶, 青木徹彦, 野村和宏, “簡易補修後鋼製ラーメン橋脚の耐震性能に関する実験的研究, 土木学会, 構造工学論文集, 2000年4月.
- [金本, 2000] 金本良嗣他, “費用便益分析にかかわる経済学的基本問題, 社会資本整備の費用便益分析に係わる経済学的基本問題研究会, ホームページ <http://e-server.e.u-tokyo.ac.jp/~kanemoto/bc/Fundmt.htm>, 東京大学, 2000.