

土木構造物の耐震基準等に関する「第二次提言」

社団法人土木学会

1996.1.10

本 文

はじめに

わが国は、常に自然災害の危険性にさらされている。一方で、自然に対するわれわれの知識は限られている。われわれは自然に対して謙虚であるとともに、防災機能、環境の保持、経済性のバランスのもとに、国土、地域、および都市づくりを考えることの重要性を再度認識する必要がある。

阪神・淡路大震災の甚大な被害は、高度な社会基盤施設と稠密な人口分布をもつ大都市の直下に発生した大地震に対し、主として、1) 構造物の耐震性の不足、2) 市街地構造および都市機能システムの不備、3) 被災後の危機管理の不備、の3種類の問題に起因しており、これらの問題は互いに強く関連している。本来、ある規準の下で建設された構造物が絶対に破壊しないと断定することはできない。また構造物の直接的被害はなくても、火災などによる間接的被害も発生しうる。したがって、構造物の耐震性能の強化とあわせて、より広い観点から総合的な地震防災性の向上が図られるべきである。

そのためには、耐震設計基準のもとで構造物を建設する技術のみでは十分ではなく、設計における地震力を上回る超過地震力への対応も必要となる。限られた財源、構造物や土地利用の改変に伴う困難等、様々な制約条件の中で、未知の超過地震力に対応することになる。この対応は、指針となるべき絶対的な論理的決定根拠が存在しないがゆえに、国民の価値観に依存する意思決定に基づくこととなる。

阪神・淡路大震災は、過去の震災の記憶の風化と、そのことの危険性を改めて示した。さらに人口の都市への集中、社会施設の高度化が進む現在、以前にも増して地震が与える重大な被害と影響を強く考慮しなければならないことを示した。

社会の現状と将来に向けて、防災に関わる国民の価値観ないし意識は、教育や啓蒙、訓練等によって絶えず磨き高められていなければならない。

このような地震災害を繰り返さないために最も重要なことは、徹底した震災原因の解明が行われることである。そのために、地震動の観測記録や構造物被害の調査結果に関する情報に基づいた関係分野の技術者および研究者による横断的かつ広範囲な検討が必要であり、早急に促進されなければならない。

土木学会では、平成7年5月に第一次提言を発表して以来、提言内容の深度化を目的として4つの分科会を組織して検討作業を続けてきた。第一次提言は、わが国の地震防災力を高める各方面の努力のなかで、真剣に受け止められ有効に活用されている。これを踏まえて二次提言では、より広い観点からの地震防災性向上の基本方針を新たに加えるとともに、第一次提言で示した土木構造物耐震性能の強化のための諸方策をより詳細に示している。第二次提言は、土木学会が学術的見地より望ましいと考える事項をとりまとめたものであり、今後の研究開発を待たなければならない事項が含まれている。今後、関係各機関が地震防災対策を立案する上で本提言が有効に活用されることを期待する。

1. 耐震性能照査で考慮すべき地震および地震動

1.1 震源断層近傍域での地震動を考慮することの必要性

兵庫県南部地震によって、多くの土木構造物が大きな被害を受けた。兵庫県南部地震は大都市近傍の内陸活断層の活動により引き起こされたが、マグニチュード7級の地震による震源断層近傍の地震動の問題は、従来の耐震基準等では取り入れられていなかった。兵庫県南部地震により、最大加速度約 8 m/s^2 、最大速度約 1 m/s 、最大変位 $30 \sim 50 \text{ cm}$ の強い地震動が震源断層近傍の広い範囲で観測されたことはわが国初の経験であり、弾塑性設計が導入される以前の地上構造物や、比較的安全とされてきた地中構造物に対して、想定外の地震外力として作用したことが被害を大きくしたものと考えられる。一方、最新の耐震技術により建設された構造物が大被害を免れ、震源断層近傍域の強い地震動への工学的な対処が可能であることも多くの事例によって示された。

個々の活断層について見れば、その活動の再現期間は千年のオーダーに及ぶとされ、それが大都市圏を直撃することによる被害は典型的な低頻度巨大災害である。これを人間活動の時間スケールで表現すると、50年間の発生確率が5%程度であることと等価であり、このような低い発生確率の災害のもとで、土木構造物にいかなる耐震性能を保持させるかという観点から戦略的な判断がなされるべ

きである。さらに、強震観測による定量的な資料が得られる以前の時代を含めれば、過去においてマグニチュード 7 以上の内陸型地震により大きな被害を被った例が少なくないことは一次提言でも述べたところであり、全国のどこかでという観点に立てば、このタイプの地震も看過できない発生確率を持つと考えられる。このことから、兵庫県南部地震の経験を今後に生かすためには、現行の耐震設計の枠組みに加えて、内陸の断層破壊に起因する断層近傍の地震動の影響を、耐震設計に取り入れることが必要である。

1.2 設計地震動の体系への影響

第一次提言では、土木構造物の耐震性能の照査で考慮する地震動として、構造物の供用期間内に 1～2 度発生する確率を有する地震動、および陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震や直下型地震による地震動のように供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度を持つ地震動、の二段階を考えることが示されている。この考え方は、現行の耐震設計の一部ではすでに取り入れられており、それぞれ、レベル 1 地震動、レベル 2 地震動として位置づけられている。これらの地震動の耐震設計における目的と性格は以下の通りである。

(1) レベル 1 地震動は、原則として、それが作用しても構造物が損傷しないことを要求する水準を示す。

(2) レベル 2 地震動は、きわめて希であるが、非常に強い地震動を定式化したもので、構造物が損傷を受けることを考慮して、その損傷過程にまで立ち入って、構造物の耐震性能を照査する水準を示す。

レベル 1 地震動は、弾性設計手法と組み合わせて用いられており、静的荷重または弾性動的解析用の地震動として設定されている。土木構造物は多種・多様であり、構造種別ごとに、その特性を反映した設計法の体系とノウハウが、多くの経験の蓄積の上に発達してきており、これを尊重するのが適当である。

一方、レベル 2 地震動を現行の設計体系において考慮する場合には、標準的地盤における弾性応答で 1 G の設計地震動を考慮するなどの形で扱われているが、兵庫県南部地震で経験された強い地震動から、震源断層近傍域で発生する強震動を対象としたレベル 2 地震動の再評価が要請されている。以上の理由により、本章ではレベル 2 地震動の問題に限定して提言する。

さらに、内陸直下地震に特有の問題として、地震断層のずれによる相対変位が地表面にまで達し、構造物が断層を横断する場合がある。断層の正確な位置の特定が困難な場合があること、また線状構造物では断層を避けて通れない場合があることなど、現代の科学技術ではその対処が困難な場合が多く、今後の研究・開発を待たなければならない。

1.3 レベル2地震動の考え方

レベル2地震動は以下の考え方に従って設定する。

(1) 内陸活断層によるレベル2地震動は、活断層に関する地質学的情報、地殻変動に関する測地学的情報、地震活動に関する地震学的情報を総合的に考慮して、地域ごとに脅威となる活断層を同定するとともに、その震源メカニズムを想定することにより定めることを基本とする。このため、その工学的方法の確立に向けて努力が傾注されるべきである。

(2) 兵庫県南部地震を契機として、わが国では現在、上記の地球科学的研究が精力的に進められている。しかし、内陸活断層による地震の再現期間、その規模や地震動の特性の予測の精度は、耐震設計の基礎とするにはなお不十分なことが多い。このため、活断層の情報から直接地震動を定めることができない場合には、兵庫県南部地震等の断層近傍の強震記録をもとに震源断層の近傍で予想される標準的な地震動を作成して、レベル2地震動の基礎とする。

(3) 関東地震のような、陸地近傍で発生する大規模なプレート境界地震による震源域の地震動は、内陸活断層による震源断層近傍の地震動とは異なる特性を持つと予想される。この型の地震による強震記録が存在しないため、現状では地震動の特性については多くの不明な点が残されている。このため、プレート境界で発生する巨大地震による地震動に関する研究を進める必要がある。

1.4 レベル2地震動の表現形式

レベル2地震動の表現形式は以下の通りとする。

(1) レベル2地震動は、基本的に損傷制御の概念に基づく耐震設計に用いられるものであるから、地震動の動的特性を端的に示す表現で示されるべきで、応答スペクトル、または時刻歴地震波形で表すのが適切である。

(2) 地震動を与える地盤レベル

1) 基盤岩における地震動：レベル2地震動は、基盤岩において設定することを基本とする。兵庫県南部地震では、地盤構造の不整形性が地震動の局所的な増幅効果に大きな影響があったこと、また表層地盤の動的な非線形特性や砂質地盤における軟化現象が地震動の増幅特性に大きな影響を与えたことなどが指摘されている。こうした現象を評価して地震動を規定するためには、ここで定義する基盤岩より上部の三次元的な地層構造の情報を考慮することが不可欠であり、地形・地盤条件に関する情報の充実と研究開発の推進が急務である。

2) 工学的基盤面における地震動：工学的基盤面における地震動は、当該基盤面における地震記録の分析、上記の手法の活用および以下に述べる地表面の地震

動の逆解析などにより設定する。

3) 地表面における地震動：基盤岩および工学的基盤面での観測記録が少ない現状では、それらの面での地震動を規定できない場合も多いと考えられるので、当面は強震記録の裏付けがある地表面で地震動を設定する。

1.5 地震動に関するその他の研究・開発課題

(1) レベル2地震動の適用範囲：レベル2地震動の適用範囲については兵庫県南部地震等の観測記録の分析や解析的手法による研究を促進する必要がある。対象とする断層を明確に同定することが困難な場合には、構造物の重要度、保有すべき耐震性能などにより、その適用範囲を慎重に検討すべきである。この場合、工学的な研究のみならず地球科学分野の最新の知見を反映させた学際的な研究を進展させる必要がある。

(2) 上下動の影響：兵庫県南部地震において、構造物の損傷・破壊過程に対する地震動の三次元的影響、特に上下方向地震動の影響に対して注意が向けられ、その解明の努力が精力的に行われた。これまでのところ、主要な土木構造物の破壊に上下動が主因となったとの結果は出されていない。地震動の三次元的な性質が構造物の破壊過程に与える影響に関する詳細な研究は今後も継続されるべきである。耐震設計における上下動の影響を従来と異なる観点から扱うべきか否かについては、今後の耐震技術の高信頼度化への議論として位置づけ、必要となれば上下動に関する設計入力地震動が改めて議論されるべきである。

2. 耐震設計法

2.1 提言の前提条件

本章では、レベル2の地震動に対して、土木構造物が保有すべき耐震性能と耐震設計法について述べる。

土木構造物は、橋梁・ダムなどの地上構造物、岸壁・堤防・盛土などの土構造物、トンネル・埋設管路などの地中構造物、および橋梁・タンクなどの各種基礎構造等、極めて多種であり、かつ地盤条件や構成材料も多様であるため、これら多種・多様な構造物が保有すべき耐震性能を一律に論ずるのは困難である。

それぞれの構造物の耐震設計法等の見直しに当たっては兵庫県南部地震による被害レベルの異なる構造物の被害原因の究明を十分行い、その結果を反映させることが重要であり、引き続き詳細な検討が実施されなければならない。このため、地上構造物、地下鉄・埋設管路などの地中構造物、および盛土・基礎などの地盤・基礎構造物の3つに大別して記述する。

2.2 地上構造物 (橋梁) が保有すべき耐震性能と耐震設計

(1) レベル1 地震動に対する耐震性能

- ・全ての構造物を対象とし、損傷が発生させないことを原則とする。このため地震時の動的応答が弾性限界を超えないものとする。

(2) レベル2 地震動に対する耐震性能

- ・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、地震後比較的早期に修復可能であることを原則とする。このため、構造物の最大の地震応答が許容される塑性変形もしくは極限耐力の限界を超えないものとする。

- ・上記以外の構造物は損傷して修復不可能となっても、構造物全体系が崩壊しないことを原則とする。このため、地震応答が終局の変形を超えないものとする。

- ・上記で言う構造物の重要度は一次提言で示したように、1) 構造物が損傷を受けた場合に人命・生存に与える影響の度合い、2) 避難・救援・救急活動と二次災害防止活動に与える影響の度合い、3) 地域の生活機能と経済活動に与える影響の度合い、を考慮して決定される。

(3) 地上構造物の耐震設計における留意事項と研究・開発課題

- ・レベル1 地震動に対する構造物の動的応答を評価するに当たっては、線形応答スペクトルや時刻歴地震波形を用いた弾性解析を行い、また必要に応じて、上下動を含めた三次元的な影響を検討することが望ましい。

- ・レベル2 地震動に対する構造物の動的応答の評価に当たっては、弾塑性時刻歴応答解析を実施するのが望ましいが、等価線形化解析法、許容塑性率に基づく設計スペクトルの活用などより簡便な方法を用いることも出来る。

- ・不静定次数の低い構造物については、特にレベル2 地震動に対する保有耐力の確認を厳格に実施する必要がある。このため、各種の弾塑性解析手法の精度を載荷実験の結果との比較等により検討しておくのが望ましい。

- ・不静定次数の高い構造物については、鋼あるいはコンクリート構造物を問わず、損傷過程を考慮した終局変形性能の解析を行うのが望ましい。

- ・鋼構造物については、一部の構造物を除いて許容応力度法のための設計で、保有耐力や変形性能の照査が実施されていない。今後の耐震設計に当たっては、鋼構造物であってもこれらの照査を実施すべきである。特に変形性能を増大させるための断面構成あるいは、断面内応力の制限等についての研究開発を進める必要

がある。

- ・周期の短い構造物の地震応答は、基礎—地盤系の非線形領域の動的相互作用の影響を大きく受けるため、この影響を設計に取り入れるための研究を推進すべきである。このための簡便な手法として、動的相互作用の効果を全体構造系の長周期化と減衰定数の増大として耐震設計に取り入れられるような手法が考えられる。

- ・構造物の耐震性を向上させるために免震・制震技術など新しい技術を積極的に導入すべきである。免震構造は比較的短周期構造物の変形性能と減衰性の増大を可能とし、エネルギー吸収機構を含む制震構造は長周期構造物の減衰性の増大を可能とする。

2.3 地中構造物が保有すべき耐震性能と耐震設計法

周辺地盤の地震時の変位・変形挙動と安定性が地中構造物の耐震設計の基本である。シールドトンネルや開削トンネルなどの大断面を有する地中構造物の耐震設計では、周辺地盤の地震時の変位の平面のみならず深さ方向を含めた三次元的分布、小断面の埋設管では管路線上の地震時の変位分布が重要である。したがって表層地盤の地震応答を十分に把握することが必要である。また、地盤の液状化やこれに起因して発生する地盤の側方流動は地中構造物の耐震性に大きな影響を与えるため、耐震設計にあたっては地盤の安定性を十分検討しなければならない。

(1) 保有すべき耐震性能

- ・レベル1地震動に対しては構造物の機能が維持されるものとする。レベル2地震動に対しては、構造物が損傷しても機能に重大な支障が発生せず、かつ短期間での復旧が可能な範囲内での損傷に留めるものとする。

(2) 可撓性構造等の採用

- ・レベル2地震動に対しても地中構造物が所要の耐震性能を保持するため、可撓性を高めるための構造および材料を積極的に採用することが望ましい。また、構造部材の脆性的な破壊を防ぐための適切な構造細目を採用して一部の構造部材の破壊が全体的な破壊に繋がることのないようにしなければならない。

(3) ライフラインシステムの計画

- ・線または面状に敷設される上・下水道、電気、ガス、通信等のライフラインはレベル2地震動に対し、当該地域の地形・地盤条件および都市計画等を考慮して、幹線ライフラインについては機能を維持するよう計画し、適切な構造を選択

する必要がある。経済性、地盤状況等によりこれが困難である場合、災害時に必要な機能を維持し、早急な復旧を可能とする様、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。

(4) 地震断層を横切る地中構造物

・活断層の位置が明確に知らされている場合には、その位置での地中構造物の大断面化、二重化、可撓化、構造物と内部施設の絶縁化などの対策が考えられるが、技術的に困難な場合があるので、システムとしての代替性などのソフト面からの対策も併せて考慮する必要がある。

2.4 地盤および構造物基礎の耐震性能と耐震設計

(1) 構造物基礎の耐震性能

・レベル1地震動に対して上部および地中構造の機能を維持することを構造物基礎の耐震性能の目標とする。液状化発生の可能性がある地盤に関しては、地盤改良により液状化を発生させないことを一応の原則とするがそれが困難な場合には基礎構造の工夫や強化により上部構造の機能を保持できるようにする。

・レベル2地震動に対しては、上部および地中構造に重大な損傷が発生しないことを耐震性能の目標とする。地盤改良による液状化防止が困難な場合には、地盤の側方流動や沈下により基礎に過大な変位が発生し、上部構造に重大な被害が生じないように、基礎構造の強化や構造全体系の見直しを行うものとする。

(2) 岸壁、堤防および盛土の耐震性

・岸壁・堤防等は延長距離が長く、ある程度の損傷は復旧が容易であるということを経済的に見ると、全延長にわたって同じレベルの耐震性を持たせることは、経済的に見て妥当な方策と考えにくい。重要度の高い区間に対して、重点的に耐震性を強化するという施策を採用することが望ましい。

・レベル1地震動に対して、重要度の高い区間の岸壁、堤防、擁壁、盛土はその構造物自体の機能を維持すると同時に、地震後も当初の設計条件を保持するものとする。その他の一般区間については、周辺に悪影響を及ぼさない軽度の損傷は許容するが短期間に復旧が可能で、全体系としての機能が早急に回復できることを耐震性能の目標とする。

・レベル2地震動に対して、重要度の高い区間の岸壁、堤防、擁壁、盛土はそ

れらが支持する構造物や周辺の諸施設に重大な被害を生じさせないことを耐震性能の目標とする。なお、被災地への緊急輸送路の確保を目的とする重要施設(たとえば、耐震性強化岸壁)は、レベル2地震動に対して、その所期の機能を維持することを耐震性能の目標とする。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を目標とする。

(3) 地盤、構造物基礎、岸壁、堤防および盛土の耐震設計における留意事項と研究・開発課題

・礫が多く含まれた土でも砂質のマトリクス部分がある割合で存在すれば、この部分の密度、細粒分含有率、透水係数などの条件によっては液状化の可能性が生ずると考えられる。したがって、沖積層または埋立土層で礫を多く含む土についても、液状化判定の対象とするなどの改善を図るべきである。

・近年 比較的密な砂質土の液状化強度が精密に調べられ、標準貫入試験の N 値が 20 程度を越えると地盤の液状化強度は急激に増大することが明かにされている。また、震源域の地震動のように繰り返し回数が少ない場合には液状化強度が増大することが判明してきている。このような最近の知見を考慮し、高密度、低繰り返し回数のもとでの液状化強度を適切に評価できるよう基準等を改訂する必要がある。

・マサ土のような礫、砂、シルトからなる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は未解明の問題が多く、この分野の研究の進展が望まれる。

・液状化による地盤の側方流動発生メカニズムと流動量の予測法に関する研究を促進する必要がある。

・側方流動を生ずる地盤内に設置された杭、ケーソンや埋設管等の挙動に関しては未知の点が多く残されている。この点の知見を考慮した基礎や管路の設計法を早急に確立するために、研究・開発の促進が必要である。

・岸壁、堤防、盛土、擁壁の地震時の挙動には未解明の点が多い。このため原位観測やモデル実験等を通して地震時に発生する沈下や変形量等の評価手法や耐震性の向上方法についての研究・開発の促進が必要である。

3. 耐震診断と耐震補強

3.1 耐震診断

(1) 耐震診断の基本方針

- ・既存土木構造物の耐震診断は、概略的な方法による一次診断とより詳細な方法による二次診断によって行う。

- ・一次診断においては、阪神・淡路大震災による土木構造物の被害の実体を踏まえて診断の対象構造物を選定し、建設年代、準拠示方書、概略な構造特性および地盤条件等より、耐震補強を必要とする構造物および二次診断による耐震性能の詳細検討を必要とする構造物を抽出する。

一次診断では第一次提言で示された構造物の重要度に影響を与える諸要因〔1) 構造物が損傷を受けた場合に人命生存に与える影響の度合、2) 発災後の避難・救援・救急活動と二次災害防止に影響を与える度合、3) 地域の生活機能と経済活動に影響を与える度合〕に加えて、構造物が構成するシステム機能の代替性、建設時からの条件の変化等を考慮する。

- ・二次診断は、一次診断により耐震性能の詳細検討が必要と判断された構造物を対象とし、設計図書、地盤条件をもとに、レベル1地震動およびレベル2地震動に対して所要の耐震性能を有しているか否かを診断し、補強を必要とする構造物を抽出する。二次診断では、「構造物が損傷して修復不可能であっても崩壊しないこと」を構造物の耐震性能の最低限の目標とする。

二次診断では、必要に応じて対象構造物の現場計測、試験および地盤条件等の調査を行い、想定地震動強さに対する耐震性能を再設計や数値解析等により評価する。

(2) 耐震診断のためのデータベースの整備

- ・一次診断の円滑な実施のため、既存土木構造物に関するデータベース（準拠示方書等、建設年代など）の整備が急務である。

- ・建設年代が古く、構造物等に関するデータが不明な場合については、一次診断においてなるべく厳しい側の診断となるように配慮し、二次診断において必要な現場調査や各種試験を行って耐震診断に必要なデータの収集に努める。

(3) 構造系としての耐震性能

- ・耐震補強の対象とする構造部位の抽出にあたっては、補強が構造物の全体系としての耐震性能に与える影響を十分に考慮する必要がある。

(4) システムとしての地震防災性

- ・耐震補強の対象とする構造物の抽出にあたっては、それらの構造物が構成するシステム全体の地震防災性の効果的な向上を考慮する必要がある。

3.2 耐震補強

(1) 耐震補強の基本方針

- ・既存土木構造物の耐震補強においては、新設構造物と同様、レベル1地震動およびレベル2地震動の二種類を考慮する。この場合、補強の対象となる構造物の供用期間は原則として新設構造物と同等とする。

- ・耐震補強において目標とする耐震性能は新設構造物と同等とすることを原則とする。すなわち、新設構造物と同様に、構造物の重要度と耐震補強において想定するレベル1およびレベル2の地震動の発生確率を考慮することにより補強の目標とする耐震性能を設定する。

- ・既存土木構造物の中には耐震性能レベルを新設と同等に引き上げることが施工性あるいは経済性の観点から困難な場合が考えられる。このような場合には、構造物の重要度を十分に勘案したうえで、地震後の早期復旧体制や機能の代替性の整備などによるソフト面の対策を講ずる必要がある。また、撤去・新設も視野に入れた検討も必要である。

(2) 優先順位

- ・耐震補強の優先順位は、前述した構造物の重要度に加え、地域における地震発生の切迫度等を考慮して決定する。さらに、優先順位の決定にあたっては、構造物が構成するシステム全体の地震防災性向上に与える影響度合と経済性をも併せて考慮することが重要である。

- ・優先順位の決定に際しては、その根拠を明確にしておく必要がある。

(3) 耐震補強の方法

- ・耐震補強の方法は、施工性、安全性、経済性、周辺環境に与える影響度および維持管理の容易性を考えて選定されなければならない。このため、構造特性や現場環境に適合した新工法の開発や新材料の活用を積極的に行う必要がある。

(4) 補強構造物の耐震性能評価

- ・補強された構造物の耐震性能は定量的な方法によって評価する。このためには必要に応じて実物大の試験、数値解析および地震観測等を行って評価方法の妥当性を検証する必要がある。特に新工法や新材料を用いる場合には耐震性能の評価方法に関する十分な検証が必要である。

- ・補強された構造部位の耐震性能の評価にとどまらず、構造系としての耐震性

能および他の荷重系に対する安全性も評価する必要がある。

・補強構造物が構成するシステムとしての地震防災性の向上の度合いについても評価する必要がある。

(5) 維持管理・補修

・補強された構造物は新設構造物と同等に綿密な定期的点検を必要とする。必要があれば地震観測や各種計測等を行い、目標とした耐震性能が保持されていることを確認する。

3.3 耐震診断および耐震補強に関する今後の研究・開発課題

(1) 構造物の特性に応じた耐震診断技術の開発

・土木構造物は多種・多様であるため、耐震診断の手法は構造物の特性に即したものでなければならない。既に開発されている診断技術を活用し、さらに必要な研究・開発を行って、それぞれの土木構造物に対して合理的で適切な耐震診断法を確立する必要がある。

・一次診断法は多くの土木構造物を対象とするため、なるべく簡易で経済的な方法とすることが必要である。二次診断法は既存構造物が保有する耐震性能を適切に評価する方法でなければならない。このため、最新の実験・試験技術および数値解析技術を活用することが必要である。

(2) 耐震補強技術の開発

・わが国全域で考えれば耐震補強を必要とする土木構造物は相当数に達するもの考えられる。また、多くの場合、構造物を供用しながら耐震補強工事を施工することが要求されるため、施工時間、施工スペースが制限され、かつ振動・騒音などに対する周辺環境からの規制条件も厳しくなると考えられる。このため、それぞれの土木構造物の特性にもとづいて、これらの諸条件を満たした適切な耐震補強技術を開発することが急務である。

(3) 設計図書等に関するデータベースの構築

・設計図書等に関するデータベースの構築は、適切かつ合理的な耐震診断と耐震補強にとって不可欠な要件であるとともに、地震後の被災構造物の復旧においても極めて重要である。このため、土木構造物を所管する関係各機関はデータベースの構築と整備に関する必要な研究・開発を積極的に行う必要がある。

4. 地震防災性の向上に向けて

4.1 土地利用および施設の適切な配置による面的な地域安全性の向上

(1) 地震災害アセスメント制度の導入

わが国の都市の多くは、道路、公園等のオープンスペースがきわめて少なく、また住宅地では狭い街路、少ない緑、林立する電柱に象徴されるように、インフラストラクチャーの整備はきわめて不十分と言わなければならない。

加えて宅地は狭小であり、そこには耐震性能を保持しない、いわゆる既存不適格の建物が密集している。これらの地域では防災性はもちろん快適性においても先進諸国のそれと比べて極めて劣るものであり、その改善は我が国の抱える最大の都市問題である。

これらの地域においては長年月がかかると思われるが、今後根本的な再整備が必要である。そのために以下に述べる「地区災害アセスメント制度」の導入が必要である。

(1) 幹線および補助幹線道路、小河川等で区切られた一つの小ブロックを地区単位とし、この地区ごとにその自然条件、インフラストラクチャー条件、住宅条件の3つの要素から災害安全度を評価する。

(2) 自然条件には、地形・地質条件、地盤条件等を、インフラストラクチャー条件には、道路、公園、消火栓等を、さらに住宅状況には、建物構造、階数、築年数等を考慮する。

(3) それぞれの項目はそれぞれの地区の実態や住民の価値観に基づいて重みを付け、地区ごとに総合評価し、公表する。

(4) これらの分析のために地理情報システム(GIS)を活用する。

このような分析・評価を行い、公表することによって各地区が自らの地区の置かれた状況を正しく理解し、またその状況が地価に反映されることになる。このことが地区改善への誘導策となり、住民自らの発意によって改善事業が励起されることになる。

さらに、住民からの改善への要求に対して、行政は計画案の作成や財源的な助成などにおいて様々な支援制度を作り、従来の都市再開発事業、土地区画整理事業などの制度と組み合わせながら地区改善を進めるべきである。

(2) 都市・地域計画および各種施設の計画基準の点検と改訂

都市・地域計画において、従来より防災安全性は重要な計画目標の一つであったが、地域防災計画との連携が十分に行われていたとはいえない。

道路、公園等の都市施設は、幹線道路から補助幹線道路、区画道路に至る体系や広域公園から近隣公園に至る体系のように、本来、その施設規模およびサービス圏域による階層的体系をなすべきものである。わが国の都市の場合、この体系が十分確保されておらず、個々の施設の規模、配置共に不足していることは前述のとおりであるが、それらの計画基準の改善・拡充の必要性が従来より議論されてきた。それに加えて、被災時を考慮した最低限かつ緊急に確保すべき、避難・救援用道路、オープンスペース等をはじめとする各種都市施設の計画基準が整備されているとは言えない。地震防災性向上の観点から、都市・地域計画および各種施設の計画基準の点検と改訂を行なうことが必要である。この計画基準は、上記アセスメントを実行する上での、評価の尺度ともなるべきものである。

4.2 災害時の危機管理体制の改善による被害拡大の阻止

被災後の救援の遅れや、火災等への対応等災害時の危機管理体制の不十分さが被害の拡大をもたらした。被害拡大の阻止方策としては、平常時からの体制整備と訓練、被災時の状況把握、情報伝達、救助・救援活動の各段階があり、それぞれに関し以下の改善が必要である。

(1) 各種防災情報の統合活用：複数の政府機関、各自治体、民間企業等で災害情報の収集と伝達のシステム構築がすすめられつつあるが、それぞれのシステムは必ずしも十分調整されていない。それらの整合性確保と、災害時の一元的活用を前提とするシステム設計を行い、かつ防災訓練等を通じてその機能の十分な確認をしておくこと。

(2) 災害管理の論理構築：避難する人々の車両と救援車両の優先度、あるいは空からの散水による消防活動の是非等の例にみられるように、ある選択が被害を拡大する可能性と、逆により大きい被害を防ぐ可能性の間の厳しい選択が非常時には必要となる。平常時には社会的に受け入れ難いような非常時の論理（災害管理の論理）の導入の是非と社会的合意形成について検討し、状況に応じた対応方針を設定しておくこと。

(3) 防災訓練の改善：大震災時には公的救援活動の能力を越えて被害が拡大し

得ることから、避難と火の元対策中心の訓練からコミュニティとしての救援体制を含めた被災時の行動のあり方についての訓練にその内容を変え、また設定されたシナリオに従って行われる従来の防災訓練（シナリオ演習型）から、さまざまな予想しない状況の発生への対応を訓練する内容（シナリオ欠陥発見型）に転換すること。

（４）防災専門家の養成：地震災害が稀な現象であることから、過去の震災の教訓を継承し、持続的に整合性ある防災対策を実施していくためには、専門家が必要であることは明らかであるが、担当者の平常時の業務量や定期的な人事移動体制は専門家の養成および配置になじまず、専門的知識を得た頃には他の部署へ配置転換されるという状況となりがちであった。高位の意思決定者を含め防災専門家の養成とその業務内容の再構築および組織内での位置づけが適切になされ、専門的ノウハウの常備体制が確立されること。

4.3 既存構造物補強費用と災害復興費用の負担ルールの明確化

社会基盤施設の耐震性レベル、既存構造物の補強工事期間、被災後の復興計画の決定には、それらに要する費用の大きさと、その財源負担のルールが大きな評価要因となる。それぞれの負担費用に対し、効果が評価され、補強、復興計画が決定されることが原則であるが、次のような価値観に関連する事項が存在する。

1) 阪神・淡路大震災のように被災地のみでは負担の限界を遥かに超える費用を要する反面、地域を限定するとその被害発生確率は極めて小さく、かつその時期が不確かであること。

2) 被害が経済的被害にとどまらず、人命や安心感等心情的領域に及ぶものであること。

3) 安全性向上のための投資増加は、新たなプロジェクトに対する予算を減ずることとなり、安全性向上効果とそれ以外の社会経済的効果の相対的評価を必要とすること。

防災投資による被害軽減効果を定量的に評価することは重要であり、4.1のアセスメントと併せて実施することが必要である。その効果は防災対策の相対的な社会経済的効率を定める基準となり得る。ただし、保険や官民の多くの防災投資事例から明らかなように、防災投資額を被害軽減額の期待値より大きくとる場合が多く、想定していた以上の超過外力への対応も含め、防災投資のレベルは国民

の価値観に基づく社会的選択の問題となる。

また、その財源についても、阪神・淡路大震災に対処するための立法措置および財政的施策が講じられたが、時間的制約もあり議論が十分とはいえず、施設間の整合性、各種ルールの論理性、合意形成等に関し再検討の余地は大きい。ここに改めて、復旧・復興財政、既存施設の補強費用負担についてのルールの確立が必要である。

(1) わが国特有の財源制度確立による復興の促進体制：わが国のどの地域も潜在的に大震災の危険性を有するものの、その発生確率は小さい。このため、安全性の向上投資、被災に備えた保険的支出、被災時の復旧・復興費用負担のどれに関しても個別地域での対応は極めて難しい状況にある。このような状況は欧米諸国をはじめとするほとんどの国と異なっていることから、地震国として、わが国独特の復興財政システムを構築する。

基本的には国民が全員で、かつ世代間で分担して社会基盤施設の復旧・復興のための財源を負担せざるを得ないが、その分担、および負担方式については、各施設の管理主体と負担ルールの関連、国・自治体・受益者の負担論理と分担、復興国債や特別増税あるいは強制地震保険等の特別財源、既存予算比率の大幅組み替えによる財源確保をはじめとして、さまざまな論議が存在する。これらの論議を集約し、大震災に速やかに対応できる財政システムを制度化する。

(2) 防災投資レベルに関する国民的合意：設計基準の見直しによる耐震安全性向上のための工事費増加と経済性の問題について、納税者の立場からの論議を積極的に行い、21世紀を迎え、高福祉・高負担などの社会状況を踏まえた防災投資についての国民的合意を得る努力が必要である。

(3) 既存施設の補強費用に関する負担ルールの確立：国、地方自治体、公社、公団、民間公益事業主体、管理主体による各種施設の補強費用負担のあり方についても、検討の余地は大きい。特に、民間公益事業主体や第三セクター等については、事業主体決定時に今回のような大災害は想定されておらず、そのため新設時の建設費用負担ルールをそのまま適用すると、早急に行うべき補強を遅らせる危険性も存在する。上記1)と同時に、この費用負担についても国民、地域住民、施設利用者の財源負担割合、世代間の負担割合、および被災地住民や利用者の負担能力等を勘案したルール構築を促進する。

土木学会 地震工学委員会 地震防災技術普及小委員会 名簿

委員長 後藤 洋三 (株)大林組 技術研究所 土木第5研究室
幹事長 佐伯 光昭 日本技術開発(株)環境防災事業部 理事・事業部長
副幹事長 田中 努 (株)オリエンタルコンサルタンツ 本社 技術統括部

■第1WG

主査 田中 努 <前掲>
委員 岩本 利行 (株)クボタ 鉄管事業部 鉄管研究部
委員 清宮 理 早稲田大学理工学部土木工学科
委員 草野 直幹 鹿島建設(株)エンジニアリング本部 企画部
委員 友永 則雄 (株)建設技術研究所 東京支社 道路本部・技術第四部
委員 橋本 至 北海道開発コンサルタント(株)橋梁部
委員 水谷 善行 (株)奥村組 技術本部 技術開発部
幹事 泉 博允 (株)篠塚研究所 技術部長
幹事 田蔵 隆 清水建設(株)技術研究所 地下技術研究部
幹事 森本 巖 基礎地盤コンサルタンツ(株)技術部地震防災室

■第2WG

幹事・主査 小川雄二郎 国際連合地域開発センター 防災計画主幹
委員 岩本 利行 <前掲>
委員 大角 恒雄 日本公営(株)中央研究所 情報システム部 耐震設計担当
委員・幹事 大野 春雄 攻玉社工科短期大学 土木工学科
委員・幹事 河田 恵昭 京都大学防災研究所 巨大災害防災センター
委員 佐藤 紘志 防衛大学校 土木工学教室
委員 橋本 隆雄 (株)千代田コンサルタント 都市計画部設計一課
委員 長谷川弘忠 (株)建設企画コンサルタント 環境技術本部 耐震技術室
委員 目黒 公郎 東京大学生産技術研究所

ご注意 当該出版物の内容を複製したり他の出版物へ転載するような場合は、必ず土木学会の許可を得て下さい。

実務者のための耐震設計入門

平成10年7月27日 第1版・第1刷発行

編集者 〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目無番地 地震工学委員会
委員長 土岐 憲三
発行者 〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目無番地 社団法人 土木学会
三好 逸二

発行所 社団法人 土木学会
〒160-0004 東京都新宿区四谷一丁目無番地
電話 03-3355-3441(代表) FAX. 03-5379-0125