土木構造物の地震被害研究の現状と課題

大 町 達 夫*

Current State of Research on Earthquake Disaster Mitigation for Civil Engineering Structures

Tatsuo OHMACHI *

Abstract

Based on Proceedings of the Japan Society of Civil Engineers, JSCE, Earthquake Engineering Symposium, recent trends of research in this field are analyzed statistically. The area attracting the most attention is, for example, earthquake ground motion and soil characteristics. On the whole, most topics presented in recent symposiums we are closely related to serious damage caused by the 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) earthquake. Following the 1995 earthquake, JSCE issued three separate times proposals to improve the earthquake resistance of civil engineering structures, which is summarised here. Among various items covered by the proposals, very strong near-field ground motion, known as Level 2 earthquake motion, needs to be considered in earthquake resistant designs. To take Level 2 earthquake motion into consideration, a performance-based design is a common concept that should be applied to all types of civil engineering structures made with steel, concrete and/or soil.

Key words : civil engineering structure, JSCE Proposal, 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) earthquake, performance-based design

キーワード：土木構造物，土木学会提言，1995年兵庫県南部地震，性能設計

I. はじめに

土木構造物は，道路，鉄道，港湾，トンネル，ダムなど多種多様であることや，社会性ないし公共性が強いことが特徴と言える。そして公共構造物は，人々の税金で建設されるものが多いから，たとえ大地震であっても崩壊あるいは修復できないような破損は許されない（家村，1999）し，一方で税金を無駄に使うような，安全性が過剰に高く不経済な構造物を建設することも許されない。近年はコスト削減の要請が格別強いので，安全で

経済的な土木構造物をいかに建設し保守管理するかは，従来にまして重要な課題となっている。そして当然，現状の土木構造物の地震災害研究には，阪神・淡路大震災で一気に噴出した問題が色濃く反映している。

小文の表題は，本特集号を企画された編集委員会から筆者に与えられたものであるが，表題に忠実であるためには上記の事項をバランスよく記述することが望ましい。しかし紙数の制限もあるので，ここではコスト削減に関する課題の比重を軽くし，その代わりに阪神・淡路大震災で噴出した

* 東京工業大学大学院総合理工学研究科

* Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology

図 1 地震工学発表会における発表件数の推移。

Fig. 1 Number of presentations made during the JSCE Earthquake Engineering Symposiums.

課題に加えて、その後の被害地震による課題等にも触れることとする。

それにしても後述のように、当分野の研究は現在、百花繚乱とも言えるほど多彩である。多数の研究者が参加する大型研究プロジェクトにしても、科学研究費補助金による「都市直下地震」は4年間続けられて2000年3月に終了した(第15回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会, 2001)が、日米共同研究(亀田, 1999)は継続中であり、科学技術振興調整費による「地震防災・破壊メカニズム」(土木学会土木技術推進機構, 2000)やEQTAP (Earthquake Disaster Mitigation Research Center, 2000)なども継続中である。したがって、これらまで含めて関連分野全体を広く見渡し、研究の現状を要領よく紹介するのは困難と割り切って、主として土木学会とその周辺での近況を重点的に紹介することとする。

II. 土木分野における地震工学研究の現状

1) 現状分析

2001年8月に札幌で第26回「地震工学研究発表会」が開催された。この会は、土木学会の常置委員会の一つである地震工学委員会(前身の耐震工学委員会が1997年4月に名称変更)が2年ごとに開催しているもので、今回は372編の研究発表と2件の特別講演、4件のパネルディスカッションが行われた。

最近10回の「地震工学研究発表会」(土木学会, 1981~2001)における研究発表件数の推移を図1に示す。20年間の推移は必ずしも単調ではないが、ほぼ直線的ないし指数関数的に増加し、今回の発表件数は20年前に比べると約4倍である。この間における国内の主な被害地震も同図中に示してあるが、被害地震の多寡によらず、発表件数が着実に増加しているのは当該分野の研究者数が絶えず増加してきたことや、研究内容が多様化ないし複雑化したことを反映しているものと思われる。なお図1において、兵庫県南部地震が起きた1995年の発表件数が落ち込んでいるのは奇異に感じられるが、1996年1月に土木学会主催の「阪神淡路

図 2 最近の地震工学研究発表会で扱われている課題の傾向。

Fig. 2 Trend of research topics presented during the recent JSCE Earthquake Engineering Symposium.

大震災に関する学術講演会」(阪神・淡路大震災調査報告編集委員会, 1996)が開催され 116 編の研究発表があったので,これを加算すると 1995 年の落ち込みは解消する。

近年における研究の重点を概観するため,最近 3 回の「地震工学研究発表会」での発表内容を 12 分野に分類して図示すると図 2 のようになる。「地震

動および地盤特性」「土の動物的物性と地盤安定性」「耐震設計および耐震設計基準」「地盤・構造物系の相互作用」の 4 分野の人気の比較が高い。これらの 4 分野で扱われているキーワードを数個ずつ紹介すれば,「地震動および地盤特性」では,地震動特性,強震動予測,表層地盤の増幅特性,サイスミックゾーニング,断層運動による地盤変位,液状化地盤の側方流動などである。また,「土の動物的物性と地盤安定性」では,液状化特性,液状化判定,液状化対策,土構造物の地震時変形評価などであり,液状化関連が多い。「耐震設計および耐震設計基準」では,設計地震動,耐震性能,性能設計,耐震設計法,落橋防止装置などが目立つ。さらに「地盤・構造物系の相互作用」では,地震時土圧,地中構造物,杭基礎,岸壁,盛土沈下などである。これらが多いのは,1995 年兵庫県南部地震以降の被害地震で浮上した重要課題の解決が緊要であることと符合している。

2) 設計体系の転換と多彩な研究課題

上記の現状分析では,研究発表件数の推移や近年の重点分野を紹介したが,耐震設計ないし地震防災という観点から,背景となるシナリオについて若干の解説をしておく必要がある。

一般に耐震設計は,想定した外力(地震動)に対して構造物の応答を推定し,要求される性能水準が満足されているかどうかを照査する,という手順で行われる。そして従来,ほとんどの土木構造物の耐震設計では,たとえば地震外力として重力の 0.2 倍程度の水平力(設計水平震度 0.2 程度)を採用し,構造物の地震時挙動を弾性範囲内に限定することを前提に,静力学的に算定される構造材料の応力が降伏応力より低く設定された許容応力以下であることを確認することによって性能を照査する等の過程が詳細に仕様書に規定されていた。このような設計方式は,仕様設計あるいは許容応力度設計と呼ばれ,懇切丁寧な仕様書に従って誰でも容易に設計できる利点はあるが,すぐれた設計者の創意工夫が活かしにくいという欠点がある。しかしもっと重要な点は,この方式には本質的な矛盾と限界があることが明白になってきたことである。たとえば,大半の構造物は単一材

が降伏し塑性領域に入った途端に構造全体が瞬間的に崩壊するわけではない。また、この方式で合理的な構造設計ができる地震外力を逆算すると実際に観測されている強震動よりも遥かに弱い地震動となり、真に強大な地震動に対しては設計不可能な構造物がある。さらに構造物の機能から見れば、地震後に若干の塑性変形が残留しても問題にならない場合もあり、それを地震被害と見なすよりも、当初から多少は塑性変形を許容して設計する方が、経済的で安全性の高い設計が可能となる。

1968年十勝沖地震や1971年サンフェルナンド地震で鉄筋コンクリート（RC）柱がせん断破壊によって脆くも崩壊した悲劇が契機となって、脆性破壊を防止し構造物に靱性、すなわち塑性域での粘り強い変形性能を与えることが耐震設計の目標とされるようになった。構造物がすぐれた靱性を有していれば、強大な地震力に対しても崩壊という最悪の事態は避けることができる。こうした考えは弾塑性耐震設計法として体系化され（家村，1999），1990年の道路橋示方書（日本道路協会，1990）にも一部導入された。

1995年兵庫県南部地震に見舞われ、直下地震による極めて強い地震動に対する安全性が耐震設計に求められた。しかも時代はちょうど規制緩和の渦中にあり、構造物に要求される性能を明確に規定し、設計過程の細部は設計者の裁量にまかせるべきだという設計方式、すなわち性能設計への転換が提唱されていた。性能設計では構造物に要求される性能（安全性レベル）、たとえば構造物の機能維持、補修可能な損傷、非崩壊大損傷などに対応する限界状態が明確にされなければならない。また強大な設計地震動に対する構造物の応答を的確に推定するためには、材料の降伏限界を超えた非線形領域での荷重～変位関係（あるいは応力～ひずみ関係）を把握する必要がある。また、耐震性能を照査するためには、有限変形から崩壊に至る非線形挙動を高精度で解析できる手法も不可欠となる。

要するに、現在は従来の仕様設計（許容応力度設計）の時代から新たな性能設計（限界状態設計）の時代への転換点に位置している。性能設計を実

図 3 1995年兵庫県南部地震で倒壊した高速道路高架橋。

Fig. 3 Elevated expressway collapse caused by the 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) earthquake.

現するために解決すべき研究課題は非常に多い。前掲の研究発表課題のほとんどは、新たな設計体系を確立する上での要素という側面が強く、その意味で相互関連性も極めて強いように思われる。

III. 阪神・淡路大震災が提起した課題

1) 被害の特徴

1995年兵庫県南部地震では、多種多様な土木構造物が未曾有の大被害を受けた。

震源域内を走る道路や鉄道のほとんどの橋梁は、鋼製、鉄筋コンクリート製とも、弾性域を大きく越えて塑性変形し、倒壊に至ったものも少なかった。とりわけ阪神高速3号神戸線の神戸市東灘区深江本町付近のピルツ構造区間は、鉄筋コンクリート橋脚がせん断破壊し、約650mにわたって無惨に北側へ倒壊して、この震災の象徴的存在となった（図3参照）。海岸や河川の近くでは、地盤が液状化した影響によって橋脚が変位・傾斜し、橋桁が落下する被害も多発した。

また液状化した地盤の沈下や水平移動によって、岸壁や護岸などの港湾施設、石油や高压ガスの貯槽や配管系などの危険物施設、上下水道や電力施設などライフライン系の埋設管路や各種施設が深刻な被害を受けた。さらに神戸高速鉄道の大開駅では、開削工法で建設された鉄筋コンクリート製函型断面の地下駅舎で、地下鉄の上下線を仕切る

図 4 1995 年兵庫県南部地震で陥没した地下鉄駅舎。

Fig. 4 Subway station collapse caused by the 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) earthquake.

中柱が圧壊し開削トンネルの上部スラブが陥没する（図 4 参照）という、前代未聞の被害が発生した。

多数の土木構造物が甚大な被害を受けた中で、いわゆる耐震強化岸壁や大ダムなど、被害をほとんど受けなかった構造物もあった。これらは、直下地震に直撃され強い地震動を受けても、対応によっては被害を免れることが可能であることを示唆するものとして、土木技術者や研究者に一縷の光明を与えた。

2) 土木学会の第一次提言（土木学会，1996）

阪神・淡路大震災で未曾有の被害が発生したことを踏まえ、土木学会は 1995 年 3 月に「耐震基準等基本問題検討会議」を設置して作業を進め、同年 5 月には次のような内容を骨子とする第一次提言を発表した。

- (1) 構造物の耐震性能は、供用期間内に 1～2 度発生する確率をもつ強さ（レベル 1）と、発生確率は低いが断層近傍域で発生するような極めて激しい強さ（レベル 2）の 2 段階の地震動を想定して照査する。
- (2) これらの地震動を受けたときに構造物が保有すべき耐震性能は、その構造物の重要度（人命への影響や避難・救済・救急活動、生活機能や経済活動、復旧などへの影響度）を考慮して定める。

(3) 震害の状況に照らして現行の耐震基準を見直す。

(4) 既存構造物に必要な補強を早急に推進する。

(5) 基準の見直しに必要な研究開発を促進する。

このように第一次提言では、今後の耐震設計の基本方針として、レベル 1 とレベル 2 の異なる強さの地震動を用いる、いわゆる 2 段階設計法と性能規定型設計法が提唱された。

3) 第二次提言（土木学会，1996）

1996 年 1 月には、第一次提言の内容を詳細に示すとともに、さらに広い視点から社会の地震防災性を向上させるための基本方針を新たに加えた第二次提言が公表された。これを要約すると、次のようである。

- (1) 土木構造物の耐震性能の照査に用いるレベル 2 地震動については、脅威となる活断層を同定しその破壊過程を想定して地震動を評価することを基本とする。
- (2) レベル 2 地震動を受けた場合、構造物が損傷することを前提として、その程度に立ち入って耐震性能を照査する。このための合理的な耐震設計法を確立しなければならない。
- (3) 一次および二次の 2 段階の耐震診断を行って、補強を必要とする構造物を選び、適切な優先順位に基づいて補強を行う。なお、目標とする耐震性能は新設構造物と同等とする。
- (4) 土木構造物の耐震性能の強化と併せて、計画等の面から総合的な地震防災性の向上を図るとともに、地震災害アセスメント制度の導入や、都市、地域の計画基準の見直し等を検討すべきである。

4) 第三次提言（土木学会，2000）

上述した 2 回にわたる提言の内容は、震災後の復旧過程で実務に適用され、一連の改訂基準に反映する努力も払われたが、多くの課題が未解明のまま残されていた。そのため、1996 年 9 月に「土木構造物の耐震設計に関する特別委員会」が組織され、レベル 2 地震動、鋼構造物、コンクリート構造物、地盤の液状化、土構造物、などの分科会で各課題の検討が進められ、その成果が 2000 年 6 月に第三次提言としてまとめられた。それを要約

すれば、次のようになる。

(1) 地震に強い社会基盤システムの構築

①土木施設の耐震安全性の向上を図るにあたっては、個々の構造要素や構造系だけでなくシステム全体、ひいては都市システム全体としての機能性に配慮する必要がある。

②レベル 1 地震動に対する耐震性能は、基本的にどの構造物も無被害であることが要請される。

③レベル 2 地震動に対する耐震性能は、費用便益分析を基礎として決定すべきである。この場合、損害回避便益を評価するだけでは不十分であり、被害のカタストロフィックな効果も適切に評価する必要がある。

④構造物の耐震性能向上に必要な費用やその負担方法を国民に平易に明示するとともに、地震災害による損害の補償責任を明確にして社会的合意を得る必要がある。

(2) 耐震設計に用いるレベル 2 地震動の評価

①レベル 2 地震動は、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もつ地震動とする。

②レベル 2 地震動の評価に際しては、震源断層の破壊過程や地盤条件などに多くの不確実性が残されていることを十分認識するとともに、適切な地震動予測手法を適用する。

③マグニチュード 6.5 程度の直下地震が起こる可能性に配慮し、これによる地震動をレベル 2 地震動の下限とする。

④レベル 2 対象地震は単一に限定せず、複数を選定してもよい。また同一地点でも、構造物の動的力学特性の相違によって対象地震が異なることもありうる。

(3) 地盤の液状化と側方流動への対処

①地盤の液状化の判定においては、細粒分含有率や礫分、レベル 2 地震動の強さや繰り返し回数、初期の静止土圧などの影響を適切に評価する必要がある。

②液状化による地盤沈下量を精度よく予測し、これが構造物に与える影響を適切に評価する必要がある。

③液状化による地盤の水平移動（側方流動）のメ

カニズムや予測手法、防止方法、構造物に対する影響などについて、研究を一層推進する必要がある。

(4) 鋼構造物および RC 構造物の耐震設計

①これらの構造物の耐震性能は、安全性を考慮した終局限界と復旧性を考慮した損傷限界によって照査される。前者は変形限界で、後者は残留変位で評価される。

②変形性能の算定に用いる弾塑性有限変位解析の精度向上と適用範囲の拡大、および構造物の変形性能向上のための材料開発が必要である。

③大型・実大実験を通じて、複雑な構造物の構造系全体としての耐震性能を把握し、解析手法の精度向上を図ることが必要である。

(5) 土に関わる構造物の耐震設計

①構造物全体系の耐震性能を照査するためには、上部構造－地盤連成系の非線形挙動を観測、実験、数値解析により明らかにする必要がある。

②液状化や側方流動が基礎構造に与える影響を解明し、設計の合理化を図る必要がある。

③開削トンネルの地震応答は周辺地盤の地震時挙動に支配されるので、その耐震性能は周辺地盤の耐震安定性を含めて検討することが重要である。

④レベル 2 地震動に対する抗土圧構造物の耐震設計のため、地震時挙動観測や大型模型実験などを通じて合理的な地震時土圧算定法および土圧低減工法の開発が必要である。

⑤レベル 2 地震動に対する盛土やダムの耐震性能を照査するため、動的塑性変形を精度よく予測できる手法の開発が必要である。

(6) 耐震診断および耐震補強

①構造物基礎や地中構造物の地震による損傷の程度（健全度）および上部構造への影響度を適切に診断する手法の開発が必要である。

②液状化対策が施されていない建設年代の比較的古い埋立地については、老朽化護岸の補強、改修、護岸近接構造物の補強を促進する。

③経済的理由により耐震補強が進んでいない多数の産業施設については、公共資金の投入などインセンティブ向上の方策を早急に構築する必要

がある。

(7) 研究の促進と新技術の開発

- ①レベル2地震動の評価手法、鋼構造やRC構造物の非線形領域での動的挙動や終局強度の推定手法、さらに土に関わる構造物の残留変位の推定手法などについては、まだ多くの未解決の課題が残されている。そのため、兵庫県南部地震後に改訂された耐震基準は暫定的なものと位置付けるべきであり、今後も改訂を行う必要がある。
- ②レベル2地震動に対して土木構造物の耐震性能を合理的に照査するためには、実大規模の実験的研究の推進が必要である。
- ③地震時における構造物の安全性および性能の向上を図るため、新構造形式や新材料の開発を進め、実構造物への積極的な適用を図るべきである。

このように第三次提言では、広い視野から多数の課題が挙げられている。各課題は兵庫県南部地震での被災状況を踏まえた適切なものであるが、実現は今後に委ねられたものが多い。

IV. 断層変位に対する安全性確保

1) 近年の被害地震と特徴

1999年8月17日にはトルコでコジャエリ地震(M7.4)が、同年9月21日には台湾で集集地震(M7.6)が発生した。これらの地震では、地表に顕著な断層変位が出現したため、地震断層上にあった構造物は強制的せん断変位による大被害を受けた。

台湾集集地震の地震断層は低角逆断層で、南投県西部から台中県中央へと北上し、豊原市で北東へ折れて大甲溪を横断した。この横断地点にあった埤豊橋は、左岸アバットメントが断層変位により移動したため、橋桁の端部が橋脚を踏み外して落下し、河道には落差数mの滝が出現した。さらに地震断層は、終端付近で複雑に分岐し、逆断層の一部が大甲溪の右岸から河道に再度出現し石岡ダムの直下を通過したため、このコンクリートダムには約7.6mの段差が生じて決壊した(図5参照)。石岡ダムは1974年に着工し、1977年に竣

図5 1999年台湾集集地震で決壊した石岡ダム。

Fig. 5 Shih-Kang Dam collapse caused by the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake.

工している。集集地震以前の活断層地図によれば、震源断層となった車籠埔断層は今回の地震断層と豊原市の南側では走向も位置もほぼ一致しているが、豊原市で北東に折れることなく北上するものとして描かれており、石岡ダムの直下を通過する活断層は未知であったと見受けられる。実際、現地の技術者も、本ダムの調査設計時にも、着工して基礎掘削をしたときも、この断層の存在には気づかなかったと語っていた。

2000年10月に発生した鳥取県西部地震は、内陸部に伏在する震源断層が発生源であった。震央近くにあった賀祥ダムでは、ダムの上部で2051 gal、下部で531 galという大きな最大加速度が観測されたが、ダム本体には地震による損傷はなかった。しかし、ダムの強震記録を積分すると、北方へは20 cm以上、西方と上方へはそれぞれ数cmの残留変位が算出され(大町・小島, 2001)、それを裏付けるように貯水位は地震直後に6 cmの急低下を示していた(大町・村上, 2001)。

2) 地表地震断層への対応策

わが国では、従来、地震断層による地表の食違い変位に対して技術的な対応で構造物の安全性を確保するのは、実際上不可能と考えられてきた。そのため、大規模なダムは活断層を避けて建設されてきた。また近年、地表地震断層による災害を未然に防ぐために、市街地では活断層周辺の土地

図 6 活断層上に建設されているニュージーランドのクライドダム。

Fig. 6 Clyde Dam in New Zealand constructed over an active fault.

利用を法律で規制する「活断層法」を制定すべきであるという議論が展開されている。

一方、世界中には、活断層がダムを横断した場合にもダムを決壊から守り、万一決壊しても大量な貯水を急激に流下させないなどの技術的工夫を施して、活断層上に建設されたダムが幾つか実在する。ニュージーランドのクライドダム（図 6）はその一例であり、高さ 102 m の重力式コンクリートダムの中央断面付近にスリップジョイントを設置して、活断層の予想ずれ変位 20 cm に対して、水平ずれ 2 m、鉛直ずれ 1 m まで対応できる設計となっている (Hatton *et al.*, 1991)。集集地震で決壊した石岡ダム（図 5）も、決壊部分は震災記念として保存され、残りの部分は修復して再利用されている。

地表地震断層に対する安全性確保に関して、現実的で合理的な対応策が要請されているが、わが国では活断層法やクライドダムの基本思想は専門家の間でも議論が十分煮詰まっていない。現状の科学技術のレベルから考えて、地表地震断層の発生位置や破壊様式、相対変位（ずれ）量などを地震前に正確に予測するのはかなり困難なことや、断層近傍では断層変位だけでなく強い地震動に対する配慮も不可欠と思われるが、その実態が十分把握できていないなど、信頼できる基礎資料が乏しいことが主な理由であろう。

そのような状況を踏まえ、土木学会地震工学委員会には「断層進展およびこれに直接関連する被害研究小委員会」が設置されている。ここでは、活断層の形態および地下深部から浅部へかけての堆積構造が、地表地震断層の出現位置と変位量に与える影響の調査、地表地震断層による構造物の破壊形態の解明、人命・生存に影響が少ない破壊様式の検討、復旧・復興が容易な構造形式の選定および広域に広がるライフラインシステムの代替性と早期復旧に関する研究が扱われている。

3) レベル 2 地震動との類似性と対応策

ところで発生頻度や不確定性、発生に伴う被害の程度などの面で、地表地震断層とレベル 2 地震動には類似性ないし共通性がある。したがって、地表地震断層への対応策を考える場合にも、レベル 2 地震動に関する提言が大いに参考になると考えられる。

先に紹介したように、レベル 2 地震動は、地域ごとに脅威となる震源断層を同定しその破壊メカニズムを想定するとともに、対象地点の地盤特性などを考慮して設定され、種々の対策を立案する基礎とされる。この方針にならえば、地震断層に対してもまず脅威となる断層を同定するとともに対象サイトの地質条件等を考慮して地盤変位を推定し、それをもとに有効な対策を検討すべきであり、地震断層とサイトの特性に無関係な一律的な対策は望ましくない。言うまでもなく、堆積地盤と岩盤とでは断層変位に対する追従性や変形性は異なるし、活断層の変位特性や調査状況にしても断層ごとに多様性があると思われる。また同じ断層変位に対しても、対象構造物の形状や剛性によって被災程度は異なるし、構造物の重要度によって要求される性能も異なるとすれば、これらも勘案する必要がある。

さらに第三次提言では、 $M6.5$ 程度の直下地震にも配慮することとし、これによる地震動をレベル 2 地震動の下限とすることを述べているが、これにならば活断層が知られていない場所でも、鳥取県西部地震のような伏在断層による地盤変位に配慮することが必要となる。

ここに述べた提案は、レベル 2 地震動関連事項

からの類推による単なる思いつきに過ぎない。今後、綿密な検討によって、真に有効な対策が早期に確立されることが望まれる。

V. あとがき

1995年兵庫県南部地震では、実にさまざまな土木構造物が、想像を絶する甚大な被害を受けた。これらの構造物へ入力した地震動が、設計で想定されていたよりも格段に強大であることが、その主たる原因であった。それでは地震工学者にとって、そのような強さの地震動は未知であったかと言えば、そうではなかった。過去の直下地震による被害の逆解析から兵庫県南部地震で経験したような地震動強さは推定されていたし、何よりも近年の強震観測で重力加速度(1g)を越す地震動加速度が何回も観測されていることを多くの地震工学者は知っていた。しかし、その知識を耐震設計に反映させる努力を躊躇させたのは、入力地震動(外力)の急激なレベルアップは耐震設計の体系全体に影響することであり、その全体の枠組みを変更することなしには不可能なこと、そしてその変更は途方もない大事業であることを察知していたためと思われる。

阪神・淡路大震災による悲惨な被害は、非常に残念ではあったが、我々同世代の専門家は、この震災を天与の機会として最大限活用し、将来に役立つ耐震設計体系の構築という大事業を遂行する責任と義務を負っている。この大事業が、順調に進捗して早期に完成し、次の大震災までに実効があがることを願わずにいられない。

小文では、最近の土木地震防災分野における課題の全貌を概観するのに最適と考え、土木学会の3回にわたる提言の概要を紹介した。原文の内容をなるべく忠実に紹介しようと努力したが、大幅に

簡略化したため、本来の趣旨を十分伝えられなかったり、誤解を与える表現となっていることを危惧している。提言の原文を参照され、筆者の過誤等をご教示いただければ幸甚である。

文 献

- 第15回「大学と科学」公開シンポジウム組織委員会編(2001):ここまでわかった都市直下地震. クバプロ, 176p.
- 土木学会(1981-2001):第16回~26回地震工学研究発表会講演概要.
- 土木学会(1996):耐震基準等に関する提言集.
- 土木学会(2000):土木構造物の耐震設計法等に関する第3次提言と解説.
- 土木学会土木技術推進機構(2000):構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究. 地震防災・破壊メカニズムニューズレター, 第7号.
- Earthquake Disaster Mitigation Research Center (EDM)(2001):3rd Multi-lateral Workshop on Development of Earthquake and Tsunami Disaster Mitigation Technologies and their Integration for Asia-Pacific Region, EDM Technical Report No. 11, 192p.
- 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会(1998):阪神・淡路大震災調査報告2~8巻.
- Hatton, J.W., Foster, P.F. and Thomson, R. (1991): The influence of foundation conditions on the design of Clyde Dam. *Trans. 17 ICOLD* (17th International Commission on Large Dams), Q. 66, R.10, 3, 157-178.
- 家村浩和(1999):極限地震動に対する要求性能と設計法のあり方—耐震設計から先端技術に応用した免震・制震設計へ—. 土木学会論文集, No.623/VI-43, 1-8.
- 亀田弘行(代表)(1999):平成10年度「都市地震災害の軽減に関する日米共同研究」報告書. 京都大学防災研究所, 192p.
- 日本道路協会(1990):道路橋示方書・同解説 V耐震設計編.
- 大町達夫・小島直之(2001):2000年鳥取県西部地震時における賀祥ダムの強震記録について. 第26回地震工学研究発表会講演論文集, 333-336.
- 大町達夫・村上 敦(2001):賀祥ダムの水位記録に見られる鳥取県西部地震の影響. 第26回地震工学研究発表会講演論文集, 337-340.

(2001年8月30日受付, 2001年10月15日受理)