

1. 概 説

1.1 検討実施の背景と目的

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年あまりを経過した。直接的な被害額はおよそ十兆円にも達し、間接的な損害までも含むと少なくともその2～3倍に及ぶのではなかろうか？このうち各種ライフライン施設を含む土木構造物については2兆円を優に超える額の被害が生じたのである。

土木構造物の被害では、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従来の被災体験に無い状況が明らかにされた。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すこととなった。

このような被害は既存不適格の構造物に多く発生したことが明らかにされつつある。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に欠陥のあった箇所、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、ある程度予測し得た現象として、鋼製橋脚の損傷、液状化に伴う流動の影響、基礎杭の損傷などがある。落橋防止構造の破損形態については、遺憾ながら地震前には想定することは難しかったのではなかろうか？

設計技術検討部会においては、このような広範かつ深刻な被災状況に鑑み、土木学会の「耐震基準等に関する第二次提言」（以下、「第二次提言」と略）を受けた各種構造物の耐震設計法の高度化に設計実務者が備えるための具体的な方策を調査・検討し、提案することを目的に、部会長（佐伯光昭：日本技術開発（株））以下建設コンサルタント企業 18名、総合建設業 5名、メーカー 2名の総勢25名のメンバーが精力的な活動を実施してきた。

当部会で取り上げた課題は次の通りである。

- I. 「第二次提言」を設計実務に適用する場合の手法と課題の整理
- II. 耐震設計の高度化への対応状況の調査
- III. 耐震設計の高度化に備える施策の検討

以下、これらの事項に関する取組みの方法と得られた結果の概要を述べる。成果を取りまとめるに当たっては、阪神・淡路大震災後、二年経過した時点で東京と大阪で開催された当委員会の活動中間報告を目的とした「大震災フォーラム」の際のパネル討論会の話題提供者と聴衆からの意見、討議の内容も参考にさせていただいた。

1.2 「第二次提言」を設計実務に適用する場合の手法と課題の整理

本節で扱う事項については、「第二次提言」の内容が耐震設計そのものに言及し、かつ多岐にわ

たるため、構造種別と入力地震動からなる六つのワーキンググループを設け、それぞれ作業を実施した。提言の内容は設計実務上、質的に大きく変更を求めるものとなっており、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合理的な耐震設計及び耐震補強を行うために、構造物の重要度の合理的な分類・設定方法を確立することおよび重要度に応じた耐震性の要求水準（耐震性能）を定めること。

①については、どの構造種別においても、ピックプロジェクトでは「第二次提言」が求めるものに近い耐震検討が行われてきており、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、実務上の対処が困難な膨大で詳細な設計データや高度な解析技術が必要とされる。さらに、これらの解析方法や条件の設定方法が、実現象を常に近似しうるまでに、現状では確立されていないので、今後引き続き、被災事例や実験結果に対するシミュレーション解析などのデータを蓄積していくことが重要である。

このような観点から、a. 入力地震動、b. 橋梁、c. 地中構造物、d. 河川構造物、e. 港湾構造物、f. 地盤・土工、それぞれを対象に「第二次提言」を設計実務に反映させていくための解析・計算手法、安全性の照査基準などについて、これまでに明らかにされている文献ならびに技術資料類を検索した。その結果、設計実務に反映しうるものの抽出、整理を行い、設計に従事する技術者に対して有用と考えられる情報を整理するとともに、現状での課題を取りまとめた。

また、②については、レベル2地震動に対する、今後の新設構造物の耐震設計と全国の膨大な既存不適格の構造物に対する耐震補強計を、限られた財源の中で合理的に行っていくために避けては通れない課題と考えられる。震災が地域住民の生命を脅かすばかりでなく、震後の生活や経済活動にも重大な影響を与えることを考えると、地域防災計画の内容と整合の取れた重要度を設定することが必要である。

ここでは、これらの認識に立脚した①で対象にした5種類の構造物それぞれに対して、それらの機能および震後に要求もしくは期待される役割そしてシステムとしての耐震安全性の余裕度、復旧の難易度などを勘案した重要度の現状での考え方を整理・提案した。社会基盤施設が国民の税金や利用料金で建設、維持・更新されることを考えると耐震性の確保・向上に向けて、適正な投資水準に関する社会的合意形成を早急に図ることが必要と考えられる。そのために、各管理者は施設もしくは構造物の重要度と耐震性能の確保水準の関係を明確に定めるべきであろう。

なお、上述した①および②の内容については、広範かつ多岐にわたるので詳細については以下の2章の内容を参照されたい。

1.3 耐震設計の高度化への対応状況の調査

次に示す2項目の調査を実施した。

- a. 耐震設計の高度化への民間企業の対応状況
- b. 耐震設計基準類の改訂動向

このうち、a. については民間企業 162社（建設コンサルタンツ会社 108社、総合建設業 28社、橋梁製作・施工会社 26社）を対象にアンケート調査を行った。回答は 128社からあり、回答率は 79%と、この種の調査としては異例の高い値を示した。これは、耐震設計技術の高度化への対応をどのように行うかについての関心が高いことを意味するものであろう。これらの結果の主な内容を以下にまとめる。

- ・従来から動的解析の実績が多い企業では、耐震設計の高度化にも対処しようと考えている。しかしながら、それは設計を主たる生業とする企業では数社にとどまる。
- ・従来、あまり動的解析の経験が多くなかった企業も、今回の地震以降「第二次提言」を受けて耐震設計の高度化に対処するため、社内勉強会、プログラムの購入・開発などの 自助努力を積極的に進めているところが多い。
- ・このような自助努力を進める際に、適切かつ実用的な情報の提供や教育・研修の機会の創出を土木学会に強く望んでいる。
- ・設計基準類のあり方については、基本的な考え方を規定して設計者の自由裁量の範囲を拡げるよりも、細かく規定してあまり設計者による差がでない方がよいとする意見が上 回った。
- ・耐震設計の高度化に伴う報酬の発注者側への見直しの要望が割合としては最も高かった。

次いで、b. については、上述した 5 種類の構造物に対して主な施設を対象に関連情報収集を行うとともに、必要に応じて各関係機関の担当者から聞き取り調査を行った。

道路橋示方書・同解説については平成 8 年 12 月に V. 耐震設計編が、本年 1 月末には同じく IV. 下部構造編が公刊されたところである。上・下水道施設については今年 3 月にはそれぞれ耐震設計の規定が改定されることとなっている。共同溝、港湾および鉄道施設の耐震設計規定については平成 9 年度内に改訂されるとのことである。これらはすべて、「第二次提言」を受け二段階の地震動の強さが考慮されることとされており、当部会の成果が設計実務者にとって役に立つことが期待される。

1.4 耐震設計の高度化に備える施策

耐震設計が高度化するに伴い、これまでとは異なる対応が必要となる。耐震設計に関するパラダイムシフトにどのように対処して行くべきかが問われることになったのである。このための要因には種々考えられるが、ここでは次の三つの観点からそれぞれ分科会を構成して検討を行った。

- ①設計技術者の役割
- ②設計技術者の技術力向上に関する施策
- ③設計品質向上に関する施策

このうち①については、社会基盤施設を整備する立場としての役割として経験 10~15 年程度の技術者を対象に高度化する耐震設計技術に対処するための課題・役割を整理するとともに、大地震直後に望まれる協力・支援内容について調査・検討した。

その結果、前者については次の諸事項をとりまとめた。

- ・「第二次提言」の内容を理解し、阪神・淡路大震災のみならず内外の既往の地震被害の状況をよく把握し、専門家としてふさわしい知識や技術の修得に努める。
- ・耐震工学の最新の情報に目を向け、関連情報の把握と実務設計面への適用可能性について注意を払う。
- ・耐震構造計画の重要性を認識し、具体の実践に努めるほか、業務の遂行に当たり積極的なリーダーシップを発揮する。
- ・耐震設計基準類の解釈・運用を弾力的かつ適正に行うとともに発注者に対してわかりやすく説明を行い、理解を促すように努める。業務の遂行に当っては積極的に技術課題の発見、抽出に努め、設計の中間段階にあっても必要な追加調査や試験などの内容について進んで発注者に提案する姿勢で臨む。
- ・総合的判断を身につけるよう自己研鑽に励むとともに若手技術者に対して適切な教育と指導を行う。

一方、後者については、首都圏などにレベル2地震動が生じた状態を想定し、地震が発生した直後に設計技術者として何を協力しうるかについて検討した。基本的には本人、家族の安否や財産の安全が確保された後にどのような対応が為し得るか？という問題である。そのような大地震がいつ起きて、その際にどこに本人が居るかということが重要なファクターとなる。被災地においてしかも自宅あるいは出先の場合には、地震直後から少なくとも1日程度は企業人としての行動が困難となることも想定される。その際の行動のパターンには、

- * 完全にボランティアとして自己責任に基づいて行動し、被災情報を当該地域の警察もしくは災害対策本部に通報・連絡する場合
 - * 予め企業が、例えば建設省の各地方建設局、地方公共団体の土木関係の災害担当部署に自社が保有する技術者の専門とする技術分野、資格などを登録しておいて、発災時に当該技術者が域内にいた場合には直後の状況を災害担当部署に通報・連絡するシステムを整備しておく場合
- の二つの形態が考えられる。前者では危険の際の保証が個人に帰することもあって、後者のシステムを整備しておくことが望ましい。現在、建設省では（定年）退職者を対象にした「防災エキスパート」制度の他、民間技術者を対象にした「宅地危険度判定士」の制度の活用方を進めているが、大地震時には広域の多種多様な構造物に対しては、このような対処のみでは必ずしも十分とは言えない状況に遭遇することも考えられるので、上述した民間からの支援に対する管理者側の早急な整備の推進が望まれる。

次に、②の設計技術者の技術力向上に関する施策については、従来から慣用されてきた震度法に加えて、レベル2地震動に対する損傷過程に立入った保有耐力もしくはじん性を考慮した設計法も適用することとなるため、基礎学問として塑性論や振動論、エネルギー論などの修得が避けて通れない。このためには、設計実務に従事する技術者の自助努力が必要なことは言うまでもないが、土木学会が積極的にこれを支援することが必要である。

具体的には、1.3に触れた民間企業に対して行ったアンケートの結果でも多くの意見を集めているように、

①耐震設計や動的解析について平易に解説した実務書の企画・出版

②研修セミナーや講習会の定期的な企画・開催

が有効と考えられ、それらの基本的なフレームについて具体の項目を含む構想案を提示した。この他、上述した基礎学問の教育については大學土木教育の問題として考える視点も重要であり、耐震工学の指導も含めて、それらの実施方策について積極的に検討することも必要である。

③の設計品質向上に関する施策については、これまでの実際の設計作業のプロセスおよび発注者との接触を通して考えた結果、次の三つの制度上の改革・改善が必要と考えるに至った。すなわち、

a. 技術者へのインセンティブの付与

b. 品質管理システム活用の充実

c. 業務発注システムの改革・改善

の三項目である。

このうち、a. の技術者へのインセンティブの付与については、優れた技術の発揮に対する表彰・顕彰制度の充実、知的所有権などの付与そして技術士制度の改善が、技術者個人の研鑽に極めて有効であろう。特に、技術士試験に関しては、従来からの建設部門の選択科目の中に耐震や地震防災に関する設問を増やすばかりでなく、新たにこれらの分野を選択科目の一つに加えることが、悲惨な阪神・淡路大震災の教訓を次世代の設計技術者へと受継がせるためにも強く望まれる。

b. の品質管理システム活用の充実については特に耐震設計に関わる内容について、動的なセンスのある経験豊かな技術者によるレビューが不可欠であり、高度情報化のツールを駆使したチェックシステムの導入による単純ミスの防止に努める必要がある。また、近い将来、土木構造物にも本格的な導入が考えられている性能規定設計の適用を想定した合理的な設計生産システムの整備も併せて進めておくべきである。

c. の業務発注システムでは設計業務の早い段階から、すなわち比較設計や基本設計の段階から耐震構造計画を組入れた発注システムへの変更、動的解析や免震設計あるいは地盤の液状化やそれに伴う流動現象などの技術的課題が想定される業務にあっては、プロポーザル方式の積極的採用などの改革・改善が必要である。このためには、併せて既存の設計業務業績評価システムに含まれるデータベースに耐震や地震防災に関する業務分類を追加するとともに技術者個人の実績・能力を適正に評価し、入札価格ではなく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制度の実現が強く待たれるところである。

併せて、耐震設計技術の高度化に伴う作業の質的向上および量の増加に対しては適切な業務報酬に関する見直しも必要である。