

フォーラム「大震災の教訓を生かすために」

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傷による桁の落下、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らうか。

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の設計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の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