

耐震構造の目標と課題

—兵庫県南部地震から1年を経て—

Task Towards Earthquake-Resistant Structures

構造工学委員会・構造工学論文編集小委員会

平成8年4月10日(水)・京大会館にて行われた土木学会・日本建築学会共催による第42回構造工学シンポジウムにおいて標記のパネルディスカッションが、シンポジウム担当者である藤野陽三(東京大学, 土木)・上谷宏二(京都大学, 建築)の司会のもとで開催された。パネリストとして建築・土木から各3名ずつ、鋼構造・基礎構造・コンクリート構造の各分野に関連して、話題提供がなされた。

井上一朗(大阪大学建築学科)：新耐震設計以降に設計された冷間成形角形鋼管柱のラーメン構造物では、小規模のものを除くと、工場溶接の接合部の約3%、現場溶接の約8.5%が何らかの被害を受け、それらは主に溶接端部の破断や割れ、スカラップ底を起点とする母材の破断に分けられる。したがって、スカラップの形状の検討、溶接の品質管理等は今後の重要な課題である。ところで、破断に代表される脆性破壊は、引張応力の作用、欠陥の存在、低靱性の全てが満たされたときに生じるが、温度、ひずみ速度、予ひずみ、板厚の影響についてはまだ定量的には不明である。また、接合部でのひずみ速度や、必要な塑性変形能力は、入力エネルギーから予測することができる。じん性の向上には、材質、ディテールの形、溶接品質などが関係し、生産ラインとの関連に配慮した改良型スカラップの検討などが必要である。

西川和廣(建設省土木研究所)：現行の耐震設計では、小さめに設定した地震荷重に対して、構造物の強度評価に十分な余裕を見込んで、安全な設計が行われてきた。今後、弾性応答で2Gに対応するため強度および靱性評価に対しても十分な精度が要求される。鋼製橋脚の耐震設計では、基準の改訂が耐震性の改善につながっていないことが問題である。脚基部に局部座屈が生じても安定した履歴性状が得られ、終局状態には至っていない。しかし、箱断面の角部のふくらみモード、円形断面の座屈波形の局所化などは、脆性的な破

壊形態である。耐力・変形性能を向上させるコンクリート充填工法は有効であるが、既存橋脚では基部の耐力との関係で、耐力を上げずに変形性能のみを向上させる補強法を早急に考案する必要がある。現在、箱型断面に対する角補強、円形断面に対する2重鋼管化・縦リブ取り付けにより脆性的破壊を防止し、十分な耐力およびじん性を確保する一方、車両の通行に支障をきたさない範囲内に残留変形を制限し、基礎には損傷を生じさせない設計思想を基本に、道路橋示方書の改訂を進めている。

吉田望(佐藤工業中央技術研究所)：基礎の破壊については、まだ調査の段階であるが、その原因としては、上部からの慣性力、地盤変状、斜面の変位等が挙げられる。地盤変状の原因は、地震動、液状化とそれに伴う側方流動、沈下がある。ポートアイランドでは変位は30cm程度と考えられる。また、液状化に伴う側方流動は護岸付近で数mであり、100~200m程度の内陸部にまでその影響が及んでいる。直接基礎の被害では、支持地盤あるいはその下方が液状化したかが被害の程度に影響し、アスペクト比も関係している。杭基礎では、慣性力によるフーチング直下の被害、液状化や側方流動が原因と考えられる地層の境界付近の被害などがある。鋼管杭の大きな被害は見つかっていない。今後の課題として、液状化の発生による構造物を支持する受動的な役割から、構造物に外力として作用する主動的な役割への移

行、被害に与える非液化化層の影響、地盤改良の地震動への影響など、また限界状態設計法の確立に向けた課題として、液化化に伴う上部構造への免震効果の利用、非破壊調査法の開発、基礎構造の被害と上部構造の挙動の相互作用などがある。

松井保（大阪大学土木工学科）：被災が著しい高架構造の基礎では、場所打ち杭の基礎が多くを占めている。杭基礎では、杭頭部に被害が集中しているが、杭深部における柔らかい地層と固い地層の境界・鉄筋の段落し部・発生曲げモーメントの比較的大きな部位でもクラックを生じている。山側の自然地盤の杭基礎の被害は、海側の埋め立て地盤のそれより軽微であり、被害の地域性（地盤差）が強い。また、橋脚の残留変形は、地盤の水平変位に比例し、今後、側方流動を受ける杭、すなわち受動杭を考慮して設計に取り入れる必要がある。一方、上部・下部工で地震力・設計法の違いもあるため構造物を一つのシステムとしてとらえ被害を検討し、今後の耐震設計に反映すべきである。また、護岸の変形と橋脚の残留変形にも相関があり、管理行政機関が異なるため設計法の系統性に欠点がある。なお、被災群杭の残存耐力を載荷実験および解析により検討したところ、耐力には顕著な差は見られず、変形能に多少の低減が見られたのみであった。今後、周辺地盤に拘束された損傷杭の補修方法・耐力評価法に関して検討する必要がある。

野村設郎（東京理科大学理工学部建築学科）：RC構造物では、被害調査の結果、ピロティーおよび中間層での層破壊、ガス溶接・継手の破壊、階段等付属物を含む雑壁の取り扱い、柱・はり接合部の被害が問題となった。また、取り組むべき緊急課題としては、既存不適格構造物の取り扱い、設計法の見直しが挙げられる。今後の1つの流れである性能設計法では、目標性能の多様化、使用性能の定義、保有性能の判定方法、品質管理、品質保証が問題となる。それと関連して、構造設計者、意匠設計者、施工者、使用者の耐震教育の見直し（建築教育）が重要である。現在では、施工者（責任者、作業員）の意識が表に出な

いことが問題であり、技術の伝達の問題、プレキャスト化などによって人的要因によるマイナス面の解決など多くの問題がある。今後の設計法では、外力はレベル3まで、耐力評価から変形（機能性）評価へ移行する。また、変形制限は再使用の必要性からも生じる。日本での性能評価の例では、外力を固定して損傷で分類したものがある。一方米国では、パフォーマンスのランクと地震の大きさを2つの軸と重要度別の直線を引いた例がある。

丸山久一（長岡技術科学大学建設系）：ピルツ橋の崩壊の主たる原因は、せん断耐力の不足と考えられ、設計荷重を越える外力に対してはねばりに乏しい構造物となっていた。また、帯鉄筋端部および軸方向鉄筋の段落とし部での定着など配筋詳細の不備も原因と考えられる。しかし、現行の設計基準では、上記の点は十分考慮されている。今後の耐震設計に関しては、性能規定型へ変更が望まれる。コンクリート委員会で検討している耐震設計では、想定する地震動のレベルとして従来の地震荷重レベルと今回の地震荷重レベルの2種類を考えている。一方、限界状態としては、無損傷状態（補修は不要）、短期間で機能回復な状態（補強は不要）および全体的な崩壊に至らない状態の3ランクを考慮している。限界状態1に対しては耐力で抵抗させるため断面力で照査を行い、限界状態2・3では、曲げ破壊を先行させ、十分な靱性（靱性値8～10程度）を確保するため、例えば、せん断耐力比（設計せん断力／曲げ降伏・終局時のせん断耐力）で照査する（2以上）。前述の耐力・靱性が確保できるよう構造細目についても十分な注意を促す必要がある。

話題提供の後、ダンパー使用の可能性、新耐震設計法の信頼性、構造物全体を捉えた設計法・耐震評価法、非破壊検査法、既存不適格構造物の取り扱いについて活発な議論がなされた。

参加者は、200名を越え、盛会のうちに終了した。土木・建築が抱える共通の問題、固有の問題が明らかにされるとともに今後のやるべきことが多い事を認識させるものであった。

（文責：京都大学 杉浦邦征・大崎 純）