

研究討論会・鋼構造物の震災被害

福本 喟士*

Yuhshi FUKUMOTO

阪神・淡路大震災は土木鋼構造物にも多くの被害をもたらした。高架橋、大スパン橋梁をはじめ多くの鋼構造物に多種多様な被害パターンが残された。鋼構造委員会では土木学会全体の震災調査活動のうち、鋼構造物を調査対象とした「鋼構造震災調査特別小委員会」を設置し、広く網羅した土木鋼構造物の被害の実態について正確に整理、分析、記録する作業を担っている。本研究討論会では、特別小委員会の調査活動の中間報告的な内容を持たせ、震災調査に深く関わってきた話題提供者を中心に、会場からの参加者も含めて鋼構造物にみる大震災の教訓、今後の鋼構造物の耐震設計や耐震補強の在り方等について熱心な討論を行った。

渡邊英一（京都大学）：高架橋の鋼製橋脚の被害の事例を示し、このような被害は世界的に見て初めての経験であるといえる。被災例から、1) 大きな水平地震力による交番曲げを受けた箱形および円形断面の局部座屈破壊、2) 衝撃的な作用力によるラーメン隅角部脆性破壊、3) 低サイクル疲労に分類出来る。また、阪神高速道路5号湾岸線の大型橋梁の損傷事例を示した。旧河川敷、軟弱な沖積層上の基礎の支持力の観点から、軽量の鋼製橋脚が建設されてきている。構造物の耐震設計では個々の部材の強度を独立に確保するのみでなく、液状化など周囲の地盤条件と全体系の強度・変形能を考慮したバランスのとれた設計により、構造系の余裕度を確保することが望まれる。

宇佐美 勉（名古屋大学）：鋼製橋脚の終局耐震設計に関する研究の歴史は浅く、大地震に対する照査法はまだない。このような現状にもかかわ

らず阪神高速道路3号神戸線、5号湾岸線だけでも総計306本の鋼製橋脚が建設され、このうち1割強が被災した。しかし、地震動の巨大さを考えれば総じてよく耐えたと考えてよい。今回の地震の特色として比較的短周期（1秒以下）の橋脚の損傷は、5号湾岸線（III種地盤）より3号神戸線の地盤（I、II種地盤）が大きかった事実があり、このことは橋脚の地震応答解析によって実証している。神戸海洋気象台地震波（I種地盤）は東神戸大橋地震波（III種地盤）に比べて細長比が比較的小さい短周期橋脚にとっては非常に厳しい地震波である。細長比パラメータ $\lambda=0.3$ の橋脚は固有周期が0.52秒であるが、この橋脚はほぼ倒壊していると考えてよい。 $\lambda=0.4$ では局部座屈は発生するが、荷重低下率はほぼ5%で復元力はまだ十分あり、補修すれば再使用が可能な損傷である。それより長い橋脚には損傷はほとんど見られないと考えてよい。

三木千壽（東京工業大学）：経験したさまざまな損傷のうち、溶接、疲労、破壊に関係する損傷事例および検討すべき問題点について述べた。一般国道43号の岩屋高架橋と阪神高速道路の建石高架橋の鋼製橋脚の角溶接部は部分溶け込み溶接と内面すみ肉角溶接からなり、破壊の原因は溶接サイズの不足によるものか破面解析によって今後に明らかになる。部材に対する終局状態としての許容変形量とその際に角継手は何を要求するかが今後の検討となる。阪神高速道路脇浜地区の橋脚の隅角部にみられたき裂は塑性ひずみの繰り返しによる低サイクル疲労のき裂と考えられる。ハーバーハイウェーの橋脚隅角部に見られたぜい性的なき裂は低サイクル疲労から始まっていると思われるが、き裂破面が補修優先のためすでに観察

* フェロー Ph.D. 工博 大阪大学教授 工学部土木工学科

出来なくなっている。円柱橋脚中間部のき裂はいわゆる提灯座屈した断面が脆性的に破壊した事例である。塑性ひずみ履歴が鋼材の破壊じん性におよぼす影響やそれに対するひずみ速度の影響についての検討は今後に残される。橋梁の安全性の面から施工時のマンホールを溶接で埋め戻した部分、多くの沓、伸縮継手の脆性的に破壊している損傷には今後の改善が必要である。ここで扱う損傷については、外力、変位、ひずみおよびそれらの速度といった外的要因の推定と破面解析からの破壊発生伝播のメカニズム、発生原因、それから推定される応力やひずみなどの両面から必要である。原因究明がなされない限り補強対策も困難となる。

川島一彦（東京工業大学）：鋼製橋脚に地震被害が生じたのは今回が世界最初である。何らかの被害を受けた鋼製橋脚は阪神高速、名神、中国道、国道をあわせて合計370基、このうち大きな被害を生じたのは16基といわれている（建設省調べ）。建設省の復旧仕様によれば「鋼製橋脚では、水平地震力により面板の面外方向の座屈が生じると、上載荷重に対する耐荷力が低下したり、最大耐力以降の剛性の低下が著しいので、履歴吸収エネルギーが期待しにくい場合もある」、当面の措置として「鋼製橋脚では中埋めコンクリートを充填する等により、必要なじん性を確保する」としている。1971年サンフェルナンド地震を契機としてニュージーランドや米国では許容応力度設計からじん性設計へ移行、ヨーロッパでもこの方向に向けて実用化の段階にある。我が国の道路橋では平成2年以降、RC橋脚に対して実務的にじん性設計を取り入れた段階である。今後、震度法は地震時保有水平耐力法に移行する際の初期値決定の道具として用いられるだろう。地震外力がはっきりしないなかでの耐震設計には余裕のある変形性能を有する鋼製橋脚の開発が求められる。

坂井藤一（川崎重工業）：今回の震災では、建築物や橋梁に比べ、他の鋼構造物の被害はそれほど顕著ではない。ただし、埋立地の岸壁に設置されたコンテナクレーンには、全壊1基を含む55

基に被害が発生した。これらは、地盤の液状化により岸壁のケーソンが移動し、強制変位を受けて、脚の脱輪・折れ曲がりを受けたものである。タンクの被害は、当初LPGタンクの漏洩事故が報じられたが、その後石油タンク等にも200を越す被害があることが判明している。このうち、基礎・地盤関係を除いて、本体に損傷を生じたものはそれほど多くない。損傷モードは、典型的な象の足型座屈やアンカー引抜けなどである。新基準適用タンクでは、損傷皆無であり、設計震度を大きくし、基礎等施工に配慮を加えたことの効果と見られる。

西川和廣（建設省土木研究所）：鋼製橋脚の補強方法の条件として、（1）じん性の向上が期待できる、（2）応答、基礎への影響を考慮して剛性および耐荷力の大幅な上昇がない、（3）コスト面で問題がない、（4）現場での施工に重大な困難が生じない、（5）施工後、断面寸法的美観など、周囲への影響が小さい、等をあげている。鋼製橋脚の保有水平耐力を確保する耐震設計法の提案に向けて、現在、土木研究所では大がかりな載荷実験を行っており、耐震性能の向上と補強対策法の確立を目指している。

以上の話題提供後、会場から実験的に今回のような地震動による構造部位のき裂を再現することの困難さが指摘され、実験方法についての議論があった（中村〔電研〕、堀川〔阪大溶研〕）山川〔SMIエンジ〕、石川〔防大〕、振動と衝撃（波動の伝播）の区別の必要性の指摘（竹宮〔岡大〕）、三次元振動実験、震度法と今後の耐震設計（吉田〔東工大〕、依田〔早大〕）等の議論があった。

今回の研究集会では鋼製橋脚を対象とする話題が多く占めた。鋼構造の有利さを生かしたねばりを耐震に取り入れる設計法、補強法の確立が早く望まれる。設計時に想定される構造物の挙動や要求性能と現地に残された構造物の破壊・損傷状況、実際挙動との対比から、設計挙動と実際挙動の両者の開きをなくし、構造物の安全性を高める限界状態設計法への移行が直ちに必要とされる。