

土木学会 鋼構造新技術小委員会

耐震設計研究ワーキング

最終報告書

－ 概 要 版 －

平成 8 年 5 月 3 1 日

2. 耐震設計に関する研究

2.1 研究目的

大地震に対する土木鋼構造物の耐震設計法はまだ確立されておらず、現行道路橋示方書・V耐震設計編（平成2年）においては、中小地震を対象とした許容応力度設計法（震度法）が規定されているのみである。このような現状に鑑み、本WGでは、土木鋼構造物とくに鋼製橋脚を対象として、耐震性能向上のための新技術および大地震に対する耐震設計法の開発などに重点を置いて研究を行ってきた。

平成6年度までの本WGの主要な研究課題は以下のようであった。

- ① 薄肉補剛鋼製橋脚およびコンクリート部分充填鋼製橋脚の繰返し弾塑性（準静的）挙動の解明
- ② 鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験による動的挙動の解明
- ③ 高ダクティリティー鋼製橋脚の開発のための新技術
- ④ 鋼製橋脚の終局耐震設計法の開発
- ⑤ 厚肉構造物と薄肉構造物との耐震性からみた経済性の比較、
- ⑥ 鋼製橋脚アンカー部の耐震設計法の検討、
- ⑦ 既設構造物の耐震性診断法と補強方法

これらの研究により、鋼製橋脚の耐震設計法の骨格が固まった時点で平成7年兵庫県南部地震が発生した。この地震はそれまでに想定していた地震動（建設省土木研究所レベル2地震動）をはるかに上回るもので、土木鋼構造物にも甚大な被害をもたらした。同時に、それまで検討してきた耐震設計法の再検討を余儀なくさせられた。この地震は数多くの教訓を我々に残したが、それらの中で重要と思われる点は下記であろう。

- ① 橋梁の耐震設計は、上部、下部および基礎構造物さらに、支承および落橋防止装置などを含めて1つの構造システムとして総合的に考えて行う必要があること。
- ② 主要幹線高架橋については、震災後も人命救助および災害復旧用の車両が通行できるだけの機能を維持できる設計が必要であること。
- ③ 静的解析に基づく耐震設計法には限界があり、構造物の真の地震時挙動を求めするためには、動的解析あるいは動の実験が必要であること。
- ④ 直下型地震が大都市を襲った場合の構造物の耐震設計法の検討が必要であること。

平成7年度では、これらの教訓を踏まえ、終局限界状態のみならず、損傷を短

期間で補修可能な程度にとどめ、機能保持を図る総合的耐震設計法の検討を行い、指針案の作成を行った。

2.2 研究内容与方法

耐震設計WGの最終報告書の内容は、2編に分かれている。各編の主要な内容は以下のものである。詳細は、本文および「4. まとめと今後の研究課題」を参照されたい。

[第I編 鋼橋の終局・機能保持耐震設計指針の考え方]

- (1)土木学会の耐震基準等に関する第1次提言（平成7年5月）および第2次提言（平成8年1月）を踏まえ、鋼橋の終局限界状態および機能保持限界状態を同時に考えた新しい耐震設計指針（終局・機能保持耐震設計法と称する。）を提案している。
- (2)提案設計指針は、橋脚、橋脚アンカー部、支承、および落橋防止装置をカバーしている。ただし、基礎については触れていない。
- (3)提案設計指針は静的解析に基づく方法（地震時保有水平耐力照査法）を主体にしているが、弾塑性時刻歴応答解析による照査法についても触れている。
- (4)提案設計指針の理解の助けとなるため、本WG等の研究で得た鋼橋の地震時挙動に関する知見を分類・整理し、鋼橋の耐震性向上策について提案している。
- (5)既存構造物の補強方法に関する試案を解説している。
- (6)提案耐震設計を実施する場合に必要な鋼製橋脚の弾塑性有限変位解析の電算プログラムを開発し、その使用法を例題を用いて解説している。

この編の読者対象は、主として設計実務家および示方書作成母体であり、多くの部分は条項と解説のスタイルで記述されており、そのままの形で設計示方書として採択可能である。

[第II編 鋼橋の耐震設計のための新技術と基礎データ]

- (1)当WGの課題の研究を通して得られた新技術と基礎的なデータの蒐集。
- (2)阪神・淡路大震災の被害の総括と復旧状況についての解説。
- (3)鋼製橋脚の準静的実験およびハイブリッド地震応答実験手法、ならびに実験結果の評価法および実験結果の総括。
- (4)鋼製橋脚アンカー部の繰り返し載荷実験（準静的実験）および落橋防止装置の急速載荷実験の結果の総括。
- (5)鋼橋の弾塑性地震応答解析の手法、橋脚の復元力特性の提案、および応答解

析結果の評価法.

- (6) 局部座屈を考えた鋼構造物の繰り返し弾塑性解析のための構成則, および数値解析結果と実験結果との比較.
- (7) 無損傷耐震設計の可能性の検討.
- (8) 断面形状の相違による鋼製橋脚の経済性比較.

読者対象は, 主として研究者, およびさらに深く勉強しようとする設計実務家である. いづれの内容も, 土木鋼構造物の耐震性能を解析的および実験的にさらに検討する場合に参考になるものと思われる.

2.3 耐震設計WGの提言

(1) 想定地震動

- ① 提案設計指針で想定している地震動は, レベル1 (L1), レベル2a (L2a), およびレベル2b (L2b) の3つである.
- ② L1地震動は中地震で, 現行道路橋示方書の震度法で用いられている地震動, L2a地震動は海洋型の大地震で, 上記示方書の鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力照査で用いられている地震動である.
- ③ L2b地震動は内陸型直下大地震で, 活断層, 地盤特性および地形特性などの情報を考慮した地震動を用いることが望ましい. しかし, 実際には復旧仕様(案)のように兵庫県南部地震で観測された3種類の地盤の地震動 (I種地盤: 神戸海洋気象台NS成分, II種地盤: JR鷹取駅NS成分, およびIII種地盤: 東神戸大橋N168E成分) を使う.
- ④ ただし, 局地的にはさらに大きな地盤振動を発生させる直下型大地震も起こり得る. 従って, 活断層などの地盤情報を取り入れた地震動を考慮することは非常に重要であり, 今後の耐震設計法の整備と同時に検討されるべきである.

(2) 土木構造物に要求される耐震性能

- ① L1地震動に対しては, 現行設計基準と同様に構造物は損傷しない.
- ② L2地震動に対しては, 重要土木構造物については, 損傷を起こすものの, 短期間で補修可能な範囲内(機能保持範囲内)にとどめる.
- ③ 構造物をその重要度に応じ3種類 (R1, R2, および R3構造物) に分類し, それぞれに対して許容される損傷度を規定して設計を行うのがよい.
- ④ R1構造物は最重要路線にある構造物で, L2b地震でも数日で復旧できる程度の損傷を許容し, 機能を保持させる構造物.
- ⑤ R2構造物は重要路線にある構造物で, L2a地震動では数日で復旧可能だが, L2b地震に対しては2週間から2カ月の復旧期間出来る程度の損傷を許容し, 機能を保持させる構造物.

- ⑥ R3構造物は一般の構造物で、L2a地震に対しては2週間から2カ月の復旧期間を許容して機能保持させるが、L2b地震に対して橋としての機能は失うものの崩壊はしない程度の損傷を許す構造物。

(3)耐震設計指針の基本方針

- ① L1地震動に対しては現行の許容応力度設計法（震度法），L2a地震動に対しては変形能を基にした地震時保有水平耐力照査法，そしてL2b地震動に対しては弾塑性時刻歴応答解析法を行うのを基本とする。
- ② ただし，実用的な見地から，当面は，L2b地震動に対しても保有水平耐力照査法で代用することもできる。
- ③ 機能保持の照査は，地震時の最大応答変位および地震終了後の残留変位に制限を設けることにより行う。
- ④ 荷重の評価においては，当面は加速度ベースの評価を行うが，将来的には，速度またはエネルギーベースの評価も取り入れることも考える。
- ⑤ 構造物サイドでは，今後，複合構造化を進め，免震・制振技術の確立および適用，さらに高機能鋼材を活用してリダンダンシーの高い構造的な対応を進めるべきである。