

4 まとめと今後の研究課題

要旨

耐震設計研究WGの研究成果の概要をまとめるとともに、鋼製橋脚の耐震設計法の確立に対する提言を述べる。また、いまだ解明されていない力学的挙動およびそれらの評価法に関連して、今後の研究課題を示す。最後に、本研究WGの研究成果を関連論文リストとしてまとめる。

4.1 耐震設計WGで得られた新たな知見

4.1.1 研究活動の概要

本WGでは、土木構造物、特に、鋼製橋脚を対象とした巨大地震に対する耐震設計法の開発に重点を置いた調査研究を進めてきた。平成6年までの主要な研究項目は、下記のようなものである。

- ①土木鋼構造物に多用されている薄肉補剛構造物およびコンクリートの中詰めした薄肉構造物の繰り返し弾塑性挙動の解明および耐震設計法の開発、
- ②高ダクティリティ（高エネルギー吸収能）または免震構造物の開発、
- ③厚肉無補剛構造物と薄肉補剛構造物の耐震性からみた経済性の比較、
- ④鋼製橋脚定着部の耐震性の検討、
- ⑤既設構造物耐震性診断法と補強法

各年度における具体的な研究内容は以下の通りである。

[平成4年度]

- ①片持柱タイプの鋼製橋脚および橋脚アンカー部の強度と変形性能に関する実験的・理論的検討を行った。
- ②実験的検討は、基礎データを得ることを主目的として、構造物の静的繰り返し載荷実験を主体に行った。
- ③地震応答を評価するためハイブリッド地震応答実験（仮動的実験）も試験的に導入した。
- ④理論的検討では、静的載荷実験結果を基に構築した簡易復元力モデルを用いた1自由度系鋼製橋脚、および有限要素法による多自由度系鋼製橋脚を対象とした地震時の弾塑性応答を評価した。
- ⑤鋼部材の繰り返し変形下の挙動を詳細に検討する目的で、鋼素材の繰り返し弾塑性構成則（修正2曲面モデル）の開発を行った。

[平成5・6年度]

- ①実験的研究ではハイブリッド地震応答実験を主体に行い、手法の誤差評価・整備、レベル2a地震動に対する応答性状、および中詰めコンクリートの効果などについて検討した。
- ②橋脚アンカー部のモデルについて単調載荷および繰り返し載荷実験を行った。いずれの載荷実験においても、設計強度に比べ著しく大きな耐力（約2.8倍）を有し、現行の設計法では十分に安全であることが分かった。
- ③橋脚部の地震時保有水平耐力照査で用いる耐力レベルと実際の耐荷力との関係の詳細に検討することにより、アンカー部のより合理的な設計が可能であることを示した。
- ④実験結果の蓄積を基に、初年度に検討してきた耐震設計法の細部の議論を行った。特に、鋼製橋脚の最大耐力、変形能、および地震応答の数値的解法における諸条件（初期不整、応力－ひずみ関係、復元力特性、地震波形、および安全性・使用性の照査基準）などを整理した。
- ⑤変断面橋脚柱の弾塑性時刻歴応答等から吸収エネルギーの部材内分布、および最適な部材剛度比などの理論的検討を行った。
- ⑥補剛薄肉構造と厚肉構造との経済性の比較検討を載荷実験をベースとして検討した。

このような状況下、平成7年1月17日に兵庫県南部地震が起き、阪神・淡路一帯が未曾有の大被害を受けた。本WGメンバーは鋼構造委員会メンバーと共同で現地調査を行い、「鋼構造物の安全性の調査報告－阪神大震災における鋼構造物の被害報告と今後の耐震設計について－」を作成した。

土木鋼構造物の被害には全壊・倒壊したものから、激震にも関わらず耐震性が十分に発揮されたものまで、地盤状態および地震動の大きさと方向などの各種の複合原因によってもたらされたさまざまなものが見られた。例えば、鋼道路橋を例として取り上げれば、以下のようなものである。

- ①橋軸直角方向の地震動により上部構造が支承からはずれて、下部構造に直接座したり、各種支承部の一部もしくは全部が飛び散ったり、支点近傍の対傾構・横構に局部的変形が生じたりした。
- ②桁端部をつなぐ落橋防止装置の強度および変形能の不足にともない橋桁が落下したり、また同装置を介して隣接する橋桁同士の衝突により落橋を起こしたり、または伸縮継手が損傷したりした。
- ③鋼製橋脚のフランジ補剛板の曲げ圧縮により局部座屈が生じた。その結果、橋脚は大きく傾斜した。ラーメン橋脚の横はりのウェブ板にもせん断座屈による斜張力場の局部座屈がみられた。また、大きな局部座屈変形により、亀裂を生

じた円形断面橋脚柱もみられた。

- ④ ラーメン橋脚隅角部の応力集中部には、局部変形がほとんど見られない亀裂が発生したり、隅角部で、完全に破断の生じた脚柱も見られた。
- ⑤ 高力ボルト継手でのすべりにともないペンキが剥がれた。
- ⑥ 基礎工周辺地盤の側方流動により下部構造が移動し、上部構造が落橋した。

このように多様な損傷モードが観測され、本研究WGの重要性が一層高まった。

阪神・淡路大震災から得た貴重な教訓は数多くあるが、そのうち橋梁構造物に関する主要な教訓を列挙すると以下のようなになる。

- 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る必要があること。
- 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（ハイブリッド地震応答実験を含む）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、機能保持をも重視した鋼橋の総合的耐震設計法の検討を行い、指針の作成を行った。

4.1.2 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、短時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。

4. 2 今後の研究課題

4.2.1 橋梁の地震時挙動

(1) 鋼製橋脚

- ① 本 WG で検討してきたコンクリート充填および無充填鋼製箱型断面橋脚の終局耐震設計法の細部の整合性を高めるため一層の基礎データ収集を図る。
- ② パイプ断面橋脚の地震時保有水平耐力照査法の確立のため耐荷力・変形能等の基礎データの収集を図る。

- ③ 逆し型・ラーメン型などの多様な形式の鋼製橋脚についての検討を行う。
- ④ 終局耐震設計法の信頼性を高めるためには鋼製橋脚の損傷度と残存強度との関係を "Damage Index" 等により定量化し、橋脚の終局状態との対応付けを進める。
- ⑤ 橋脚の断面を構成する板・シェル要素の局部座屈特性を考慮して、解析的に履歴曲線を得る手法の開発を進める。
- ⑥ 復元力モデルを解析的に構築する手法を開発し、簡便に終局状態までの地震応答解析を可能とする。
- ⑦ 提案耐震設計指針を普及させるため第 I 編・I-10 に示したような地震時保有水平耐力照査法の標準電算プログラムを、基礎の変形を考慮したり、免震支承の変形を考慮するなど、より一般化する。
- ⑧ 弾塑性時刻歴応答解析の標準プログラムを整備する。
- ⑨ その他の研究課題として、
 - ・溶接部の低サイクル疲労の検討
 - ・水平 2 方向地震動と鉛直地震動を同時に受ける橋脚の動的立体挙動の解明
 - ・コンクリート部分充填橋脚に対する寸法効果（大型供試体と小型供試体の挙動の相違）および中詰めコンクリートの強度の影響の検討
 - ・免震支承を持つ鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験の実施
 - ・振動台実験とハイブリッド地震応答実験の結果の比較の検討

(2) 基礎・橋脚アンカー部

- ① 基礎構造物の工事費の総工事費に占める割合が高いこと、および補修が極めて困難であることを考えると、基礎の損傷を許容した設計は現実的でないと考えられる。
- ② 橋脚およびアンカー部の耐力が、基礎構造物の設計へ多大な影響を及ぼすことを考えると、基礎部の終局限界状態を明らかにし、その許容耐力の評価法および信頼性を明らかにする必要がある。また、上部構造のみでなく橋脚、アンカー部および基礎も含めた構造システムとしてバランスのとれた耐力・変形能配分を検討すべきである。
- ③ 現設計では、アンカー部を完全剛結と仮定し、アンカー部でのエネルギー吸収等を考慮するに至っていない。建築構造物にみられる柱脚やはり-柱接合部のエネルギー吸収部材としての活用を考えると、第 II 編・II-3 で示したように鋼製橋脚のアンカー部にエネルギー吸収能を期待することは十分可能と思われる。そのためには、アンカー部の構成要素であるアンカーボルト、アンカープレートおよびリブプレートなどの荷重分担特性を解明する必要がある。
- ④ アンカー部の静的・動的解析を可能とするためにも、第 I 編・I-5 で提案したアンカー部の復元力モデルの検証および信頼性を高める研究が必要である。

⑤新素材，高機能鋼材などを用いた新しいアンカー構造の検討が望まれる。

(3) 落橋防止装置

①限界状態を明確にするとともに橋梁システム全体を考慮した落橋防止策を検討すべきである。

②上部構造の3次元的挙動，特に，橋軸直角方向の地震動に対する落橋防止装置の挙動，機能，および構造を検討すべきである。

③各種落橋防止装置（PCケーブル，連結板など）の役割分担と常時挙動に対する設計時の構造的取り扱いを明確化する必要がある。同時に，エネルギー吸収能力のある装置の開発が不可欠である。

④桁がかり長を大きくするなど落橋防止装置を不用とする構造の開発も進めるべきである。

(4) 支承

①落橋防止装置と同様で，限界状態の明確化および橋梁システム全体を考慮した支承構造の検討，および橋軸直角方向・上下方向の地震動に対する合理的な支承の設計法の検討が必要である。

②橋脚の損傷度を制御できる免震支承の設計法の開発が必要である。

③橋軸直角方向にも有効な免震支承の開発を行う。

④阪神・淡路大震災以後，鋼製の支承に代えて，ゴムまたは免震支承を採用する方向にあるが，ゴム支承に上下動が作用する場合の挙動は，上部構造の支持点数が少ないこと，および空間的に広がっていることから，詳細な検討が必要である。

⑤通常の使用時の振動，伸縮継手および桁端の構造への配慮をすべきである。

⑥死荷重・活荷重を別々の支承で支持するような機能分散型のマルチ支承の開発など，新しい上部工の支持構造の検討も将来的な課題である。

(5) 上部構造

①阪神高速道路では，RC床板に変えて鋼床板で復旧を行っているが，単純桁を連続化し，さらに鋼床板にして軽量化した場合の耐震性能向上への寄与度を明確化する必要がある。

②上・下部工の一体構造化による耐震性能向上についても検討すべきである。

③上部構造の地震時の振動に関連して，伸縮継手と連結部との構造ディテール，および橋桁同士の衝突・上揚力等による影響を明らかにする必要がある。さらに，桁端および中間支点部での作用地震力に抵抗するための有効な構造ディテールの検討を進めるべきである。

(6) 橋梁システム

①上部，下部，基礎，支承および落橋防止装置など橋梁構造物全体を総合的に考

え、バランスのとれた耐震設計法を開発していく必要がある。

- ②メカニカルヒューズの考え方を取り入れた耐震設計法を提案したが、ヒューズとして壊す部材・部品および複数個ある場合その壊す順序の選択基準をさらに明確にする必要がある。
- ③兵庫県南部地震の教訓として高速道路網のライフラインとしての機能保持の重要性が再認識されたが、地震後の橋梁システムとしての機能保持に対して落橋防止装置および支承の設計荷重、および許容移動量の明確化を進めるべきである。このような検討をベースに、連続桁、連結桁と単純桁の得失、固有周期が大きく異なる異種橋梁間の相互作用および連結部構造などについてさらに検討すべきである。

4.2.2 橋梁の地震時挙動の評価法

(1) 実験手法

- ①静的実験およびハイブリッド地震応答実験の双方に対して、例えば、ECCSのガイドラインのように実験手法を標準化する必要がある。
- ②今後は、地震時挙動を直接かつ精度よく表現できるハイブリッド地震応答実験が好ましいと考えられる。しかし、ハイブリッド地震応答実験は、静的実験以上に実験システムの精度チェックを行う必要があり、弾性自由振動実験による剛性・減衰などのチェックを基本とした精度チェック手順を標準実験プログラムに盛り込む必要がある。
- ③ハイブリッド地震応答実験において、粘性定数の定め方が不明確である。この問題を、振動台実験に対する結果との比較を通じて解決する必要がある。
- ④兵庫県南部地震では、速度の速い地震動が観測されたが、ひずみ速度が鋼構造物とりわけ溶接部の低サイクル疲労による割れに与える影響を調査研究する必要がある。そのために、実時間で行うハイブリッド地震応答実験（リアルタイムスードダイナミック実験）を行うのが望ましい。
- ④これまで、縮小モデル化に難点があるため振動台実験があまり行われてこなかった。しかし、載荷能力の高い大型振動台の建設を要請するとともに、寸法効果にあまり影響されない土木鋼構造物の動的挙動を小型振動台で調べるため、相似則の検討、および動的効果の詳細な検討などの研究を推進すべきである。
- ⑤供試体間のばらつきを配慮するために、これまでに行われた載荷実験結果のデータベース化をさらに進め、誤差の許容範囲の設定を明確にする必要がある。

(2) 解析手法

- ①動的解析の精度を高めるために、実験結果と繰り返し弾塑性有限変位解析結果を利用して鋼製橋脚およびコンクリート部分充填鋼製橋脚の簡易でしかも高精度の復元力モデルの開発を引き続き行う必要がある。

- ②繰り返し弾塑性有限変位解析では、第Ⅱ編・Ⅱ-10に示したような、精確に繰り返し弾塑性挙動を表現できる構成則を用いることが不可欠である。
- ③新規開発プログラムの精度チェックのため、ベンチマーク問題を作成すべきである。特に、動的複合非線形解析では、採用する汎用構造解析プログラム間の解析結果の差が大きいため、プログラムの検証が可能な実験あるいは解析データを数多く収集する必要がある。
- ④周期の短い橋脚に対しては、地盤－基礎構造の相互作用を考慮した動的解析が必要となるので、その標準プログラムの整備も進める必要がある。
- ⑤構造物の複雑化にともない三次元的な立体解析が不可欠になると考えらる。また、桁同士の衝突なども考慮できるプログラムの整備も必要である。

(3) 耐震診断・耐震補強

- ①耐震診断については、"Damage Index"が構造物の損傷度を表す指標として信頼性があるものができれば、動的解析などにより診断および健全度評価は十分可能である。
- ②非破壊検査法の確立、構造物の常時振動のモニターおよびそれに基づく異常の検知システムなど、通常の維持管理のための点検作業に準ずるガイドラインを構築する必要がある。
- ③耐震補強の事例集としてデータベース化を早急に行うべきである。特に、設計図書管理および収集機能を高める整備が必要である。
- ④耐震補強の種々の新技術の開発に取り組むべきである。

4.2.3 橋梁の耐震設計法に関連した課題

(1) 無損傷設計法

- ①橋脚および基礎の無損傷設計は、限られた制約条件の中で技術的な問題が生じ、経済に非常に難しいと思われる。
- ②社会的な負担を考え、構造物の機能の重要性、および最悪のシナリオの発生頻度などからの社会的なコンセンサスの確立が必要である。これは、設計モデルと実構造物との差、地震波の不確定性などにより、レベル L2b の設計では、安全性の評価が不十分となるためである。ただし、免震・制振技術の適用により無損傷設計の可能性がある。

(2) 弾塑性設計法

- ①本 WG で提案した終局・機能保持耐震設計法を普及させるためには、基礎データの蓄積が不可欠で、特に、機能保持限界状態を精度良く評価できる弾塑性設計法を確立する必要がある。
- ②塑性変形に期待する場合、実際に近い復元力モデルを用いた時刻歴応答解析に

基づき非線形応答スペクトルを確立すべきである。

- ③動的応答解析の信頼性を高めるため、現実的な復元力モデルの開発を進めるべきである。
- ④コンクリート部分充填鋼製橋脚あるいは比較的厚肉の鋼製橋脚に対しては、固有周期のかなり大きな領域（おおむね、弾性加速度応答スペクトルが一定の領域）までエネルギー一定則を用いることが出来るので、現行の保有水平耐力照査法を適用すればよい。しかし保有水平耐力照査法では、橋の多スパン化等により、今後、多自由度のモード解析が中心となり、一般的な構造物への適用を可能とするため、その適用性を十分検討するとともに適用範囲を明確化する必要がある。
- ⑤上下動を考慮する場合の弾塑性設計法の適用方法を具体化する必要がある。
- ⑥エネルギー一定則、あるいは変位一定則によると過度の安全側評価となってしまう可能性があるため、より一般的な許容塑性率を考慮した必要強度スペクトルの確立が将来的に有望である。しかし、その応用に際しては、設計時に用いる地震波形設定の妥当性を確認する上で、地震波に含まれる波形の時間変動特性と周波数特性が構造物の弾塑性応答に及ぼす影響を定量的に評価する必要がある。

(3) 免震・制振設計

- ①地盤振動を上部工に伝えないよう完全に地盤と切り離す構造形式が理想であるが、磁力等により構造物を浮かす以外の方法はなく、現実には不可能である。
- ②能動的な外力を加えて地震力を相殺するアクティブ制振が考えられるが、コストおよび非常時に的確に作動するかどうかの信頼性には疑問が残る。
- ③信頼性といった観点から、履歴ダンパー・粘性ダンパーなどの使用を前提とした免震設計が現実的と考えられる。しかし、常時挙動と大地震時の性能の信頼性を評価するため今後一層の基礎データの蓄積が不可欠である。
- ④このような特殊装置を取り付けた橋梁の地震時挙動を解析するにあたり、力学性状を表現できる力学モデルの構築を行う必要がある。
- ⑤免震・制振に関連したその他の研究課題をまとめると以下のようである。
 - ・免震設計および制振設計による損傷制御設計法の確立
 - ・剛性および減衰の性能保証（品質管理）の明確化
 - ・反力分散機能を有する装置の開発
 - ・温度依存しない履歴ダンパーの開発
 - ・メンテナンスフリーな特殊装置の開発およびその定期点検法の確立
 - ・このような特殊装置を構造物に取り付ける際の、その周辺部の構造詳細の検討。

4.2.4 将来展望

(1) 鋼製橋脚

- ① 有効なエネルギー吸収部材・構造形式の開発を今後一層進めるべきであるが、静定構造物の場合、局部座屈の発生によって耐荷力の低下が起こる可能性がある。建築空間上の問題がなければ、一本柱の鋼製橋脚は避けて、不静定次数の高いラーメン橋脚を採用するのがよい。
- ② 鋼製橋脚は、経済性、簡便さからコンクリートを部分的に基部に充填し、充填部上部にダイアフラムを設ける方法が、現在の所、最も合理的であると考えられる。市街地の橋脚基部には車両衝突防護のためにコンクリートが部分的に充填されるので、ダイアフラムを設けるなどの少しの手当で済む。
- ③ 既設橋脚の補強の場合には、コンクリート充填により橋脚の水平耐荷力が基礎の耐荷力を上回る場合もあるので、橋脚の耐荷力を上げないで変形能のみを向上させるために、鋼のみでの補強法を確立する必要がある。そのためには、縦方向補剛材剛比を大きくする、ダイアフラム（あるいは横方向補剛材）間隔を小さくすることなどが有効である。

(2) 鋼橋全般

- ① 橋梁システムとして機能保持設計を推進するための総合的研究が必要であると考えられる。大学の研究者だけでは不十分であり、実務者および行政担当者を含め、詳細にわたる討議が必要である。
- ② メカニカルヒューズの考えは有力だが、壊す順序を各構造形態に対して規定する必要がある。しかし、最終崩壊までにメカニカルヒューズを幾つも想定する場合、崩壊過程における構造形式の変化などを十分に考慮した解析・評価が必要と思われる。
- ③ メカニカルヒューズとしては2～3個程度が合理的であると思われる。その点、ヒューズの所在をはっきりさせた免震構造は将来性があると考えられる。
- ④ 現行の橋梁設計では、上部工および下部工の設計・施工に携わる技術者が、お互いに設計のための情報交換はするものの、橋梁全体をどうすべきかといった観点から、それぞれの設計・施工を総合的に進められる体制ではない。今後、下部工－支承－上部工を一体として設計・施工できる技術者の養成と体制づくりが不可欠であろう。

4.3 耐震設計WG関連論文リスト

- [1] 土木学会・鋼構造委員会(1995)：阪神大震災における鋼構造物の被害報告と今後の耐震設計について。
- [2] 深山大介・中島章典(1994)：高架橋鋼製橋脚の橋軸直角方向固有周期特性に関

- する一考察, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第1部(B), pp.1666-1667.
- [3] 深山大介・中島章典・大塚久哲・鈴木基行・佐藤貴志(1995): 鋼製橋脚の弾塑性挙動の実験と解析の比較検討, 土木学会第50回年次学術講演会講演概要集第1部(A), pp.48-49.
- [4] 藤野陽三・伊藤義人・大賀宏行(1995): 第2次調査団道路グループ報告, 阪神大震災震害調査緊急報告会資料, pp.63-72.
- [5] 伊藤義人・宇佐美勉・森下邦宏(1995): ハイブリッド実験による鋼製橋脚の激震時挙動, 第23回地震工学研究発表会講演概要集, pp.599-602.
- [6] Kumar,S. and Usami, T.(1994): A Note on the Evaluation of Damage in Steel Structures under Cyclic Loading, *Journal of Structural Engineering, JSCE, Vol. 40A*, pp.177-188.
- [7] 葛 漢彬・宇佐美勉・戸谷和彦(1994): 繰り返し荷重を受けるコンクリート充填鋼柱の強度と変形能に関する研究, *構造工学論文集, Vol.40A*, pp.289-300.
- [8] 葛 漢彬・宇佐美勉(1995): コンクリートを部分的に充填した鋼箱形断面柱の終局強度と変形能に関する解析的研究, *土木学会論文集, No.508/I-31*, pp.1-12.
- [9] 葛 漢彬・宇佐美勉・才塚邦宏・伊藤義人(1995): コンクリート部分充填鋼製橋脚の強度と変形能, 第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文, pp.113-118.
- [10] Goto, Y. and Obata, M.(1994): Design Practice and Behavior of Steel Bridge Pier Base Connections in Japan, in *Semi-Rigid Behavior of Civil Engineering Structural Connections, Proc. of the 2nd state of the art workshop, COST C1*, pp.225-234, Oct.26-28, Prague.
- [11] 後藤芳顯・日比幸一・上條崇・藤原英之・小畑誠(1995): アンカーフレーム杭方式による鋼脚柱定着部の繰り返し載荷実験, *構造工学論文集, Vol.41A*, pp.1137-1143.
- [12] Goto,Y.・Fujiwara,H. and Kamijo,T.(1995): Effect of Column Base Restraint on Overall Stability of Frame-Type Bridge Piers, *Proc. of 4th PSCC, Vol. 1*, pp. 573-580, Singapore.
- [13] 後藤芳顯・上條崇・藤原英之・小畑誠(1996): 鋼製橋脚定着部の終局挙動とそのモデル化に関する考察, *構造工学論文集, Vol.42A*, (掲載予定)
- [14] 水谷慎吾・宇佐美勉・青木徹彦・伊藤義人・岡本隆(1996): パイプ断面鋼圧縮部材の繰り返し弾塑性挙動に関する実験的研究, *構造工学論文集, Vol.42A*, pp.105-114.
- [15] 中島章典・倉西茂(1994): レベル2地震に対する鋼製橋脚の基本応答性状, *構造工学論文集 Vol.40A*, pp.227-234.
- [16] 中島章典・工藤宏生(1995): 圧縮軸力を受ける変断面上端支持柱の動的強度

- 特性, 第44回応用力学連合講演会, pp.179-180.
- [17] 中島章典・山崎正治・深山大介(1995): 兵庫県南部地震による高架橋橋脚の損傷についての一考察; 第23回地震工学研究発表会講演概要, 土木学会耐震
- [18] Nakajima, A and Kuranishi, S. (1995): Dynamic Inelastic Behavior of Steel Bridge Pier under Strong Earthquake, International Colloquium European Session, Stability of Steel Structures, Preliminary Report, Vol.2, pp.345-351.
- [19] Nakajima, A. and Kuranishi, S. (1996): Does Vertical Motion in the Great Hanshin Earthquake Have Influence on Local Buckling of Steel Bridge Pier?, International Colloquium European Session, Stability of Steel Structures, Final Report (in press).
- [20] 永田和寿・渡邊英一・杉浦邦征・宇都宮智昭(1995): 基礎-構造物系の非線形動的相互作用に関する研究, 第23回地震工学研究発表会講演概要集, pp.473-476.
- [21] 永田和寿・渡邊英一・杉浦邦征(1995): 基礎-構造物系の非線形動的相互作用に関する研究, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.593-602.
- [22] Obata, M., Goto, Y., Matsuura, S. and Fujiwara, H. (1996): Ultimate Behavior of Tie Plates at High-Speed Tension, J. of Struct. Engng., ASCE, Vol. 122, No. 4 (to appear).
- [23] 才塚邦宏・伊藤義人・木曾英滋・宇佐美勉(1995): 相似則を考慮したハイブリッド地震応答実験手法に関する研究, 土木学会論文集, No.507/I-30, pp.179-190.
- [24] 才塚邦宏・宇佐美勉・木曾英滋・伊藤義人(1995): コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験, 構造工学論文集, No.41A, pp.277-288.
- [25] 才塚邦宏・宇佐美勉・鈴木森晶・伊藤義人(1996): 兵庫県南部地震で観測された地震波を用いたハイブリッド地震応答実験による鋼製橋脚の激震時挙動, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.551-558.
- [26] 鈴木森晶・宇佐美勉・竹中潔史(1995): 鋼製橋脚モデルの静的および準静的挙動に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.507/I-30, pp.99-108.
- [27] 鈴木森晶・宇佐美勉(1995): 軸圧縮力と横力を受ける箱形断面鋼片持柱の強度と変形能に関する解析的研究, 構造工学論文集, No.41A, pp.265-276.
- [28] 鈴木森晶・宇佐美勉(1995): 繰り返し荷重下における鋼製橋脚モデルの強度と変形能の推定式に関する研究, 土木学会論文集, No.519/I-32, pp.115-125.
- [29] 鈴木森晶・宇佐美勉・才塚邦宏(1995): 鋼製橋脚の弾塑性地震応答解析, 第23回地震工学研究発表会講演概要集, pp.481-484.
- [30] Usami, T., Itoh, Y. and Fukumoto, Y. (1994), "Experimental Database on Structural Stability," Proc. of 1994 SSRC 50th Anniversary Conf., SSRC, Lehigh, pp.359-373.

- [31] 宇佐美勉・北田俊行・後藤芳顕・伊藤義人(1995)：鋼製橋脚の統一的地震時保有水平耐力照査法の提案，第23回地震工学研究発表会講演概要集，pp.679-682.
- [32] 宇佐美勉・才塚邦宏・木曾英滋・伊藤義人(1995)：ハイブリッド地震応答実験による鋼製橋脚の強震時挙動，土木学会論文集，No.519/I-32，pp.101-113.
- [33] 宇佐美勉・鈴木俊光・伊藤義人(1995)：実橋脚をモデル化した基部を有するコンクリート充填鋼柱のハイブリッド地震応答実験，土木学会論文集，No.525/I-33，pp.55-67.
- [34] 宇佐美勉・鈴木森晶・Iraj H. P. Mamaghani・葛 漢彬(1995)：コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案，土木学会論文集，No.525/I-33，pp.69-82.
- [35] 宇佐美勉・鈴木森晶・葛 漢彬(1995)：鋼・コンクリート合成橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案，第3回合成構造の活用に関するシンポジウム講演論文集，pp.119-124.
- [36] 渡邊英一・杉浦邦征・宇都宮智昭・北根安雄・南莊淳(1994)：強度と変形性を考慮した鋼箱型橋脚柱の合理的断面設計，第9回日本地震工学シンポジウム pp.1471-1476.
- [37] Watanabe,E., Sugiura,K., Utsunomiya,T. and Ohta,M.(1995): Rational Design of Stiffened Plated Structures, Proc. of the Fifth Symposium on Plasticity and its Current Applications, pp.487-490.
- [38] 鈴木基行・大塚久哲・佐藤貴志(1995)：鋼製橋脚の模型実験に基づく耐震性評価に関する考察，第23回地震工学研究発表会講演概要集，pp.603-606.
- [39] 川島一彦・中島燈・佐藤貴志・鈴木基行・大塚久哲(1995)：鋼製橋脚のダクティリティー評価に関する実験的研究，鋼構造年次論文報告集，第2巻，pp.41-46.