

土木学会 鋼構造新技術小委員会

最終報告書 (耐震設計研究)

平成8年5月31日

| | |
|------------|-----------------|
| 登 録 | 平成 9 年 3 月 19 日 |
| 番 号 | 第 44775 号 |
| 社 団 法 人 | 土 木 学 会 |
| 附 属 | 土 木 図 書 館 |

耐震設計WGの構成員

| | | |
|----|------|---------------------|
| 主査 | 宇佐美勉 | 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 |
| 委員 | 家村浩和 | 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 |
| 〃 | 伊藤義人 | 名古屋大学理工科学総合研究センター |
| 〃 | 北田俊行 | 大阪市立大学工学部土木工学科 |
| 〃 | 杉浦邦征 | 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 |
| 〃 | 中島章典 | 宇都宮大学工学部建設学科 |
| 〃 | 後藤芳顕 | 名古屋工業大学工学部社会開発工学科 |
| 〃 | 鈴木森晶 | 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 |
| 〃 | 大塚久哲 | 建設省土木研究所地震防災部耐震研究室 |
| 〃 | 柄川伸一 | 首都高速道路公団工務部設計技術課 |
| 〃 | 堀江佳平 | 阪神高速道路公団工務部設計課 |

委託者側（*印担当幹事兼務）

| | | |
|----|-------|------------------------------|
| 委員 | 安波博道 | 新日本製鐵（株）鉄鋼研究所鋼構造研究開発センター |
| 〃 | *岡本 隆 | NKK基盤技術研究所都市工学研究部 |
| 〃 | 水谷慎吾 | NKK基盤技術研究所都市工学研究部 |
| 〃 | 橋本修身 | 川崎製鐵（株）鋼構造研究所土木建材研究室 |
| 〃 | 才村幸生 | 住友金属工業（株）建設エンジニアリング事業本部建設技術部 |
| 〃 | 加藤 稔 | （株）神戸製鋼所機械研究所振動音響研究室 |
| 〃 | 寺田昌弘 | 新日本製鐵（株）鉄鋼研究所鋼構造研究開発センター |

目 次

| | |
|------------------------------------|-----|
| 1. 研究目的 | 1 |
| 2. 研究内容与方法 | 2 |
| 3. 研究成果 | 3 |
| [第 I 編 鋼橋の終局・機能保持耐震設計指針の考え方] | |
| I - 1 土木構造物の耐震設計の基本的枠組み | 5 |
| 1.1 耐震設計法の変遷と兵庫県南部地震の教訓 | 5 |
| 1.2 耐震設計に関する土木学会の提言 | 6 |
| I - 2 鋼橋の地震時挙動 | 10 |
| 2.1 研究の現状 | 10 |
| 2.2 鋼製橋脚の準静的及び動的基本性状 | 11 |
| 2.3 鋼製橋脚の耐震性能を支配するパラメータ | 18 |
| 2.4 鋼製橋脚の強度と変形能 | 31 |
| 2.5 鋼製橋脚の終局限界状態及び機能保持限界状態 | 32 |
| I - 3 提案耐震設計指針の基本的考え方 | 35 |
| 3.1 概説 | 35 |
| 3.2 想定地震動 | 37 |
| 3.3 構造システムとしての橋梁の耐震性 | 38 |
| 3.4 提案終局・機能保持耐震設計指針の考え方 | 40 |
| 3.5 付録一橋脚の機能保持（使用性）限界値 | 47 |
| I - 4 鋼製橋脚 | 51 |
| 4.1 地震時保有水平耐力照査および機能保持照査法 | 51 |
| 4.2 動的解析法 | 79 |
| I - 5 橋脚アンカー部 | 89 |
| 5.1 基本方針 | 89 |
| 5.2 アンカー部の力学モデル | 90 |
| 5.3 アンカー部の構造細目 | 94 |
| 5.4 レベル1地震動に対する照査 | 95 |
| 5.5 レベル2地震動に対する照査 | 95 |
| 5.6 アンカー部の挙動を考慮した橋脚の地震時保有水平耐力の照査 | 96 |
| 5.7 レベル2の地震動に対するアンカー部の限界状態 | 98 |
| I - 6 支承 | 101 |
| 6.1 基本方針 | 101 |
| 6.2 ゴム支承の耐震設計 | 102 |
| 6.3 免震支承の耐震設計 | 102 |
| I - 7 落橋防止装置 | 104 |
| 7.1 基本方針 | 104 |
| 7.2 一般 | 106 |
| 7.3 可動支承部における移動制限装置 | 106 |
| 7.4 桁端から下部構造頂部縁端までの長さおよびかけ違い部の桁の長さ | 107 |

| | | |
|----------------------------|--------------------------|-----|
| 7.5 | 橋軸直角方向への移動制限装置 | 107 |
| 7.6 | エネルギー吸収装置 | 107 |
| 7.7 | 落橋防止装置 | 111 |
| I-8 | 変形性能が向上できる構造細目 | 112 |
| 8.1 | 断面形状 | 112 |
| 8.2 | 断面の幅厚比制限 | 116 |
| 8.3 | 補剛材の剛比と配置方法 | 117 |
| 8.4 | 合成断面・複合構造の採用 | 119 |
| 8.5 | 溶接部 | 122 |
| 8.6 | 断面急変部（応力集中部） | 123 |
| 8.7 | 細長比の低減 | 123 |
| 8.8 | 高次不静定構造物 | 124 |
| 8.9 | 軸圧縮力を低減した部材の採用 | 125 |
| 8.10 | ラーメン隅角部の構造の工夫 | 126 |
| I-9 | 既存構造物の補強方法 | 128 |
| 9.1 | はじめに | 128 |
| 9.2 | 既存鋼製橋脚の補強方法（案） | 128 |
| 9.3 | 箱形断面鋼製橋脚の補強に関する繰り返し実験の概要 | 130 |
| 9.4 | 基部への部分コンクリート詰めによる補強実験 | 133 |
| I-10 | 鋼製橋脚の弾塑性有限変位解析用標準プログラム | 136 |
| 10.1 | プログラムの概要 | 136 |
| 10.2 | プログラムのデータ入力および出力形式 | 138 |
| 10.3 | 使用方法 | 145 |
| [第Ⅱ編 鋼橋の耐震設計のための新技術と基礎データ] | | |
| Ⅱ-1 | 阪神・淡路大震災における鋼橋の被害の総括と復旧 | 148 |
| 1.1 | はじめに | 148 |
| 1.2 | 阪神高速道路の建設と道路橋耐震設計の変遷 | 148 |
| 1.3 | 鋼製橋脚の被災統計 | 150 |
| 1.4 | 鋼製橋脚の個別の被害 | 152 |
| 1.5 | 震災から得た教訓 | 156 |
| 1.6 | 復旧の基本方針 | 156 |
| 1.7 | 鋼構造物の再構築 | 157 |
| 1.8 | 鋼構造物の補修・補強 | 158 |
| Ⅱ-2 | 実験手法の標準化 | 172 |
| 2.1 | はじめに | 172 |
| 2.2 | 準静的実験法 | 174 |
| 2.3 | 載荷プログラムの標準化 | 178 |
| 2.4 | 相似則を考えたハイブリッド地震応答実験手法 | 179 |
| Ⅱ-3 | 実験結果の総括 | 182 |
| 3.1 | はじめに | 182 |
| 3.2 | 鋼製橋脚 | 183 |

| | | |
|--------|-------------------------------------|-----|
| 3.3 | 強度および変形能の推定式 | 188 |
| 3.4 | 振動台実験 | 215 |
| 3.5 | 橋脚アンカー部 | 223 |
| 3.6 | 耐震連結装置 | 238 |
| II - 4 | 地震応答解析およびハイブリッド実験用標準地震波 | 245 |
| 4.1 | はじめに | 245 |
| 4.2 | 兵庫県南部地震の地震波形の特徴と他の地震波形の比較 | 246 |
| 4.3 | 地震記録データの補正方法 | 256 |
| 4.4 | 模擬地震動と構造物の弾塑性応答 | 259 |
| 4.5 | おわりに | 263 |
| II - 5 | 動的弾塑性解析手法と結果 | 264 |
| 5.1 | はじめに | 264 |
| 5.2 | 実験結果に基づく一般化復元力モデル(2パラメータモデル)を用いた解析法 | 265 |
| 5.3 | 基礎-構造物系の非線形動的相互作用 | 278 |
| 5.4 | 鋼材およびコンクリート材料の繰返し応力-ひずみ関係を用いた解析法 | 285 |
| 5.5 | おわりに | 300 |
| II - 6 | 鋼製橋脚の損傷度評価 | 301 |
| 6.1 | 鋼製橋脚の損傷の特徴 | 301 |
| 6.2 | 限界状態と損傷度評価 | 304 |
| 6.3 | 鋼製橋脚の損傷の検証 | 307 |
| 6.4 | まとめ | 312 |
| II - 7 | 鋼製橋脚の耐震性能向上の新技術 | 314 |
| 7.1 | 鋼製橋脚の耐震性向上の新技術 | 314 |
| 7.2 | 鋼板接着による既設鋼製橋脚の耐震補強法 | 317 |
| II - 8 | 無損傷耐震設計法による橋脚の設計 | 320 |
| 8.1 | 現行の道路橋示方書に従った基礎の無損傷設計例 | 320 |
| 8.2 | 復旧示方書に従った基礎の無損傷設計例 | 326 |
| 8.3 | 橋脚の無損傷設計例 | 328 |
| II - 9 | 断面形状の相違による鋼製橋脚の経済性比較 | 336 |
| 9.1 | 鋼製橋脚の強度と変形性能を支配する構造パラメータ | 336 |
| 9.3 | 厚肉少補剛断面を有する橋脚の試設計 | 337 |
| 9.4 | 薄肉重補剛構造の実験的検討 | 342 |
| 9.5 | まとめ | 352 |
| II -10 | 鋼材の繰返し弾塑性構成則とその応用 | 354 |
| 10.1 | 序論 | 354 |
| 10.2 | 修正二曲面モデルの概要 | 354 |
| 10.3 | はり一柱の弾塑性有限変位解析 | 356 |
| 10.4 | 板の弾塑性有限変位解析 | 360 |
| 10.5 | 鋼製橋脚の弾塑性有限変位解析 | 366 |
| 10.6 | まとめ | 369 |

| | |
|------------------------|-----|
| 4. まとめと今後の研究課題 | 372 |
| 4.1 耐震設計 WG で得られた新たな知見 | 372 |
| 4.2 今後の研究課題 | 375 |
| 4.3 耐震設計 WG 関連論文リスト | 381 |