

橋梁システムの動的解析と耐震性

平成12年4月

(社)土木学会鋼構造委員会
鋼構造物の耐震検討小委員会

(社)鋼材倶楽部 委託

(社)日本鋼構造協会次世代土木鋼構造研究特別委員会
橋梁システムと耐震性小委員会

登 録	平成12年12月15日
番 号	第 48148 号
社団 法人	土 木 学 会
附属	土 木 図 書 館

橋梁システムと耐震性小委員会 委員名簿

委員	阿部 雅人	東京大学
//	池内 智行	鳥取大学
//	磯江 暁	川崎重工業(株)
//	岩熊 哲夫	東北大学
//	岩崎 雅紀	(株)横河ブリッジ
//	運上 茂樹	建設省土木研究所
//	岡本 政信	住友金属工業(株)
//	○奥井 義昭	埼玉大学
//	川神 雅秀	大日本コンサルタント(株)
//	川端 規之	新日本製鐵(株)
//	後藤 芳顯	名古屋工業大学
//	小長井一男	東京大学
//	櫻井 信彰	新日本製鐵(株)
//	田嶋 仁志	首都高速道路公団
//	田中 祐人	川崎製鉄(株)
//	○津村 直宜	日本鋼管(株)
//	中島 章典	宇都宮大学
//	西川 和廣	建設省土木研究所
//	野中 哲也	ヤマト設計(株)
//	濱崎 義弘	(株)神戸製鋼所
//	深谷 茂弘	(株)長大
//	◎藤野 陽三	東京大学
//	松田 宏	日本電子計算(株)
//	○山口 栄輝	九州工業大学
オブザーバー	小野 潔	建設省土木研究所
//	寺山 徹	建設省土木研究所 (平成9年度)
//	林 昌弘	建設省土木研究所 (平成10~11年度)

◎印：委員長，○：幹事

橋梁システムの動的解析と耐震性

目 次

1 序	1
1.1 はじめに	1
1.2 報告書の内容	4
2 橋梁の非線形動的解析の現状	5
2.1 橋梁全体系解析の概要	5
2.2 上, 下部構造のモデル化	10
2.2.1 上部構造	10
2.2.2 下部構造	14
2.2.3 支承	20
2.3 基礎・地盤のモデル化	30
2.3.1 道路橋示方書の手法と課題	30
2.3.2 多点入力モデル	32
2.3.3 S Rモデル	37
2.3.4 遠方(自由)地盤の変形の算定	42
2.4 非線形はり要素	46
2.4.1 接線剛性マトリクス	46
2.4.2 $M\phi$ 要素	48
2.4.3 ファイバー要素	49
2.5 鋼材の弾塑性モデル	51
2.5.1 塑性論の基礎	51
2.5.2 鋼材の繰返し塑性モデル	55
2.6 減衰の取扱い	69
2.6.1 比例減衰の設定法	69
2.6.2 異なる減衰マトリクスをもつ系の減衰性能の比較例	71
2.6.3 弾塑性地震応答解析時の減衰の取り扱いについて	73
3 動的解析モデルの精緻化に向けて	76
3.1 動的相互作用を考慮した基礎・地盤モデル	76
3.1.1 自由地盤の応答 $\{u^f\}$ の応答解析	77
3.1.2 有効入力地震動 $\{u^f\} + \{u^s\}$ の評価	81
3.1.3 群杭頭部の剛性の評価	84
3.1.4 解析例	91
3.1.5 基礎近傍の非線形性の取り扱い	99

3.2	各種鋼製橋脚モデルの精度と適用限界	102
3.2.1	各種解析法の現状	102
3.2.2	数値計算例による検討	104
3.2.3	数値解析による検討のまとめ	117
3.3	支承・落橋防止システムのモデル化	121
3.3.1	ゴム系免震支承の精緻な履歴モデル	121
3.3.2	すべり支承・摩擦のモデル化	124
3.3.3	破壊を考えた金属支承のモデル化	125
3.3.4	衝突と落橋防止システムのモデル化	128
4	各種プログラムによる高架橋の非線形動的解析	133
4.1	解析プログラムの機能比較	133
4.2	解析モデル	137
4.2.1	モデル橋の構造概要	137
4.2.2	モデル化の基本方針	137
4.2.3	構造諸元	140
4.2.4	M- ϕ モデルの詳細	149
4.2.5	ファイバーモデルの詳細	150
4.3	非線形動的応答解析の比較	151
4.3.1	プログラム間の比較	151
4.3.2	入力地震波による比較	159
4.4	サブストラクチャー法による解析	161
4.4.1	具体的な解析手順	161
4.4.2	各種プログラムによる解析結果	163
4.4.3	道路橋示方書の方法との比較	168
4.5	全体系と単柱の応答比較	175
4.6	ファイバーモデルの適用範囲に関する検討	184
5	橋梁システムの地震応答特性の把握	189
5.1	上路式鋼アーチ橋の地震時面内終局挙動	189
5.1.1	はじめに	189
5.1.2	解析条件	190
5.1.3	解析結果と考察	196
5.1.4	まとめ	207
5.2	曲線橋(1) 一大規模地震時における最悪地震入力方向の簡易推定法	209
5.2.1	はじめに	209
5.2.2	曲線ラーメン橋の解析例	209
5.2.3	まとめ	224

5.3	曲線橋 (2) —曲率半径の影響—	225
5.3.1	はじめに	225
5.3.2	解析モデル	225
5.3.3	解析結果および考察	226
5.3.4	まとめ	231
5.4	曲線橋 (3) —コヒーレンスを用いた最悪地震入力方向の推定法—	233
5.4.1	はじめに	233
5.4.2	コヒーレンスに基づく最悪地震入力方向の推定法	233
5.4.3	直線橋を用いた提案法の精度評価	235
5.4.4	曲線橋に対する最悪地震入力方向の推定	239
5.4.5	まとめ	243
5.5	曲線橋 (4) —負反力に関する検討—	245
5.5.1	はじめに	245
5.5.2	解析条件	246
5.5.3	静的弾塑性解析	248
5.5.4	動的解析	250
5.5.5	まとめ	254
5.6	逆L形橋脚を有する高架橋 (1) —橋軸方向復元力特性と地震時終局挙動—	255
5.6.1	はじめに	255
5.6.2	ねじりと曲げせん断変形を考慮した逆L形鋼製橋脚の解析法	255
5.6.3	逆L形鋼製橋脚を持つ連続高架橋システムの解析モデル	259
5.6.4	現行の設計法に基づく単一橋脚モデル	261
5.6.5	橋軸方向水平荷重による全体モデルと単一橋脚モデルの復元力特性	262
5.6.6	橋軸方向の地震力を受ける場合の動的応答特性	265
5.6.7	汎用有限要素解析プログラムによる検討	270
5.6.8	まとめ	277
5.7	逆L形橋脚を有する高架橋 (2) —ゴム支承の影響—	279
5.7.1	はじめに	279
5.7.2	解析対象	279
5.7.3	解析概要	281
5.7.4	解析結果	281
5.7.5	まとめ	289
6	高架橋システムの耐震性に関する検討	290
6.1	感度解析と部分構造モデルの妥当性の検討	290
6.1.1	はじめに	290
6.1.2	解析条件	290
6.1.3	基本モデルでの時刻歴応答解析	291
6.1.4	設計パラメータと感度の計算方法	292

6.1.5	応答変位，残留変位及び最大変位に関する感度の計算	293
6.1.6	感度解析結果のまとめ	299
6.1.7	最大塑性ひずみの分布	300
6.1.8	まとめ	302
6.2	支承条件の差異が連続高架橋システムの地震応答性状に及ぼす影響	304
6.2.1	はじめに	304
6.2.2	対象とする高架橋システムの概要	304
6.2.3	高架橋システムの大地震時応答性状	309
6.2.4	支承取り替えが大地震時応答性状に及ぼす影響	321
6.2.5	まとめ	317
6.3	2方向免震を考えた高架橋の応答	321
6.3.1	はじめに	321
6.3.2	モデル高架橋の概要	321
6.3.3	モデル橋の動的解析	322
6.3.4	まとめ	323