

中径間橋梁の動的耐震設計

九州大学大学院教授

大塚久哲 編

土木学会西部支部

中径間橋梁の耐震性向上に関する研究委員会 著

登録	平成12年8月25日
番号	第 48025 号
社団法人	土木学会
附属	土木図書館

九州大学出版会

まえがき

平成8年の道路橋示方書の改訂により、複雑な地震時挙動をするアーチ橋、斜張橋、吊橋などの橋梁に対しては、動的解析によって耐震設計を行うこととなったが、どのような設計規範でこの種の橋梁を動的設計していくかについては、具体的記述が少なく、今後の研究に待つところが大きい現状である。

また、阪神大震災の教訓から、昭和55年以前の示方書によって設計されたRC橋脚に対する耐震補強はほぼ実施されたようであるが、震度法で設計された地震時挙動の複雑なアーチ橋や斜張橋が、新道路橋示方書の地震荷重に対してどの程度の耐震安全性を有するかは明らかではない。今後、個別の橋梁に対して補強の必要性を検討していかなくてはならないが、非線形動的解析手法そのものに関しても信頼できる知見が乏しい状況である。

そこで、土木学会西部支部では平成9年度から、『中径間橋梁の耐震性向上に関する研究委員会』（委員名別掲）を発足させ、上記の問題点に関して実務者の参考になりうる設計資料を作成すべく鋭意、検討を行ってきたが、ほぼ3年を経過し、一応の成果も得られたので、橋梁の設計に携わる技術者や、大学等において耐震設計を学んでいる学生にも広く利用していただけるように、それらを1冊にまとめた次第である。

今後の、この種橋梁の動的耐震設計に役立ててもらえれば、委員一同望外の喜びである。

平成12年1月吉日

土木学会西部支部
中径間橋梁の耐震性向上に関する研究委員会
委員長 大塚久哲

目次

第1編 委員会の研究内容と成果の概要

第1章 本委員会の目的と経緯	1
第2章 対象橋梁の種類	1
第3章 解析条件	1
第4章 主な検討項目	2
4.1 対象橋梁の地震時挙動の解析	2
4.1.1 動的非線形解析	2
4.1.2 静的解析法の適用性	2
4.2 耐震性能向上に関する検討	2
4.3 橋梁種別ごとの検討項目	2
4.3.1 コンクリート橋	2
4.3.2 鋼橋	2
第5章 本委員会の主な成果	3
5.1 コンクリート橋	3
5.2 鋼橋	3
第6章 今後の課題	4
参考文献	4

第2編 コンクリートラーメン橋

第2-1編 不等橋脚を有する5径間連続ラーメン橋

第1章 概要	5
第2章 対象橋梁の構造諸元	5
第3章 非線形動的解析法の検討	7
3.1 解析モデルおよび解析条件	7
3.2 非線形動的解析方法	7
3.3 非線形領域のモデル化の違いによる応答比較	9
3.4 上部構造の履歴モデルの検討	12
3.5 減衰定数の評価	14
3.6 積分方法の検討	14
3.7 ベンチマークテスト	15
第4章 静的解析法：push-over 解析	18
4.1 解析条件	18
4.2 解析結果	18
第5章 橋台部免震構造の採用検討	19
5.1 解析条件	19
5.2 動的解析結果	19
第6章 まとめ	21
参考文献	22

第2-2編 3径間コンクリートラーメン橋

第1章 概要	23
--------	----

第2章 橋梁概要および解析モデル	23
第3章 固有値解析	25
第4章 非線形動的解析	25
4.1 骨格曲線	26
4.2 非線形履歴特性の選定	27
4.3 解析手法	28
4.4 解析結果	28
4.4.1 変位・加速度の比較	28
4.4.2 曲げモーメントおよび曲率の比較	28
第5章 上部構造の補強に関する検討	32
5.1 基本ケースの設定	32
5.2 外ケーブルによる補強の検討	33
5.3 鋼板接着による補強	35
第6章 まとめ	36
参考文献	36

第3編 コンクリートアーチ橋

第1章 概要	37
1.1 検討の目的	37
1.2 橋梁の概要	37
1.3 橋梁諸元	38
1.3.1 構造寸法図	38
1.3.2 鋼材配置図	38
1.4 解析概要	39
第2章 基本条件	40
2.1 座標値	40
2.2 初期断面力	40
2.3 断面定数	41
2.4 減衰	41
2.5 曲げモーメントー曲率計算	42
第3章 モデル化の検討	43
3.1 概要	43
3.2 非線形部材のモデル化の検討	43
3.2.1 解析の目的	43
3.2.2 解析モデル	43
3.2.3 非線形特性	43
3.2.4 解析結果	44
3.3 支承部結合条件の検討	52
3.3.1 解析の目的	52
3.3.2 検討モデル	52
3.3.3 解析結果	53
3.4 2方向同時加震に関する検討	57
3.4.1 検討概要	57
3.4.2 M- θ モデルによる検討	57
3.4.3 ファイバーモデルによる検討	58
3.4.4 解析結果	59
3.4.5 考察	63
3.5 まとめ	64

第4章 橋軸方向の検討	65
4.1 概要	65
4.2 固有値解析	65
4.3 時刻歴応答解析	65
4.3.1 解析結果	65
4.3.2 安全性の評価	74
4.3.3 考察	74
第5章 橋軸直角方向の検討	78
5.1 概要	78
5.2 固有値解析	78
5.3 時刻歴応答解析	78
5.3.1 解析結果	78
5.3.2 安全性の評価	88
5.3.3 考察	88
第6章 まとめ	91
参考文献	92

第4編 コンクリート斜張橋

第1章 はじめに	93
第2章 橋梁概要とモデル化の検討	94
2.1 橋梁概要	94
2.2 解析モデルの検討	94
2.3 解析モデル妥当性の検討	97
第3章 材料非線形特性	97
3.1 軸力を一定とした非線形モデル	97
3.2 軸力変動を考慮した非線形モデル	98
3.3 ファイバーモデルの非線形特性	98
第4章 解析モデルの名称	100
第5章 入力地震動	100
第6章 初期断面力の設定	101
第7章 解析パラメータの設定	103
7.1 積分時間間隔の影響	103
7.2 減衰定数の違いによる影響	104
7.3 継続時間の違いによる影響	104
第8章 1方向非線形モデルの検討	108
8.1 橋軸方向加震時の検討	108
8.1.1 最大応答値の比較	108
8.1.2 時刻歴応答波形の比較	109
8.2 橋軸直角方向加震時の検討	115
8.2.1 最大応答値の比較	115
8.2.2 時刻歴応答波形の比較	118
8.3 まとめ	124
第9章 2方向非線形モデルの検討	124
9.1 最大応答値の比較	124
9.1.1 最大応答変位	124
9.1.2 最大応答断面力	126
9.1.3 最大応答値分布	126

9.2	時刻歴応答波形の比較	128
9.2.1	応答変位波形	128
9.2.2	曲げモーメント波形	128
9.3	M- Φ 履歴曲線の比較	128
9.3.1	M _y - Φ_y 履歴曲線	128
9.3.2	M _z (x)- Φ_z (x)履歴曲線	129
9.4	まとめ	129
第10章	耐震補強策の検討	138
10.1	補強モデルの検討	138
10.2	拘束条件および入力地震動	138
10.3	主桁の設定条件	138
10.4	斜材および外ケーブルの設定条件	139
10.5	補強前モデルの解析結果	139
10.5.1	橋軸方向加震	139
10.5.2	橋軸直角方向加震	143
10.6	補強モデルの解析結果	145
10.7	せん断力照査	149
10.7.1	応答せん断力	149
10.7.2	せん断補強の検討	149
10.8	まとめ	151
第11章	まとめ	151
	参考文献	151

第5編 鋼ラーメン橋

第1章	鋼製ラーメン橋の非線形挙動推定の現状	153
1.1	動的応答解析の現状	153
1.2	静的設計法の現状	153
1.3	各企業体における耐震設計の現状	154
第2章	力学モデル	155
2.1	全体系のモデル化	155
2.2	部材要素の復元力モデル	156
2.3	ファイバーモデル	157
2.4	減衰定数	157
第3章	モデル1, 2の非線形時刻歴解析	158
3.1	解析モデルの構造諸元	158
3.2	解析モデル	159
3.3	非線形材料特性	160
3.4	入力地震動	160
3.5	解析結果	160
3.6	まとめ	166
第4章	モデル3の非線形時刻歴解析	169
4.1	解析モデルの構造諸元	169
4.2	ベンチマークテスト	173
4.3	各種復元力モデルによる非線形動的解析	174
4.4	減衰定数の評価方法	182
4.5	ファイバーモデルによる非線形動的解析	184
第5章	静的設計法の適用性	186

5.1	push-over 解析とエネルギー一定則の適用	186
5.2	構造系の終局状態	188
5.3	動的解析との比較	189
第6章	まとめおよび今後の課題	190
参考文献		190

第6編 鋼アーチ橋

第1章	概要	191
1.1	検討の項目および目的	191
1.1.1	固有値解析	191
1.1.2	線形動的解析	191
1.1.3	M- ϕ 弾塑性モデルの設定	191
1.1.4	非線形動的解析	192
1.1.5	耐震安全性の照査	192
1.2	検討の手順	192
第2章	解析対象橋梁および解析モデル	193
2.1	解析対象橋梁	193
2.2	解析モデル	193
2.3	入力条件	193
2.3.1	動的解析	193
2.3.2	入力地震波	194
2.3.3	減衰定数の設定	196
第3章	固有値解析	196
3.1	縦桁・RC床版剛性の評価	196
3.2	固有値の解析モデルおよび解析法	196
3.3	各プログラムの解析結果	197
3.4	実橋における固有値の計測値	198
3.5	固有振動数の解析値と測定値の比較	198
第4章	自重解析	200
第5章	線形動的解析	201
5.1	軸力の応答倍率	201
5.2	塑性化する可能性のある部材の判定	202
第6章	弾塑性モデルの設定	203
6.1	軸力変動バイリニアモデル	203
6.2	鋼製断面の終局ひずみの定義	203
6.3	3種類の弾塑性モデル	204
第7章	非線形動的解析と簡便照査法	205
7.1	各最大最小応答値の比較	205
7.2	3種類のモデルによる履歴応答曲線の比較	208
7.3	3種類モデルの弾塑性応答特性の比較	209
7.4	簡便照査法の一提案	210
第8章	耐震安全性の照査	211
第9章	3方向同時入力の解析結果	212
第10章	結論	213
参考文献		213

第7編 鋼斜張橋

第1章 はじめに	215
第2章 解析対象橋梁	216
第3章 解析モデルおよび解析条件	218
3.1 標準モデル	218
3.2 地盤ばねモデル	218
3.3 主塔部3支承モデル	220
3.4 チューンドマスダンパーモデル	220
3.5 統合モデル	221
3.6 解析条件	223
第4章 解析プログラムの比較	223
4.1 固有値解析	223
4.2 線形地震応答解析	227
4.2.1 着目点および着目部材	227
4.2.2 解析条件	227
4.2.3 解析結果	227
4.3 非線形地震時刻歴応答解析	232
4.3.1 着目点および着目部材	232
4.3.2 解析条件	232
4.3.3 解析結果	232
第5章 解析結果	236
5.1 標準モデルと地盤ばねモデルの解析結果比較	236
5.1.1 固有振動数	236
5.1.2 加速度, 変位	236
5.1.3 断面力	237
5.2 標準モデルと主塔部3支承モデルの解析結果比較	238
5.3 標準モデルとTMDモデルの解析結果比較	239
5.4 統合モデル解析結果	240
5.4.1 変位・加速度	240
5.4.2 断面力	243
5.5 入力地震波の違いによる解析結果比較	245
5.5.1 変位・加速度	245
5.5.2 断面力	247
第6章 補強対策案の検討	249
6.1 支承免震化	249
6.1.1 復元力特性のモデル化	249
6.1.2 解析結果1(支承軸力の時刻歴応答)	250
6.1.3 解析結果2(補強効果)	250
6.2 落橋防止構造	253
6.2.1 落橋防止構造モデル	253
6.2.2 落橋防止構造のモデル化	253
6.2.3 解析結果	253
第7章 まとめ	257
参考文献	258

第8編 水管橋

第1章 はじめに	259
第2章 水管橋の特徴	259
2.1 水管橋の形式	259
2.1.1 独立水管橋	259
2.1.2 添架水管橋	260
2.2 水管橋と道路橋の違い	260
第3章 水管橋の地震被害例	260
3.1 兵庫県南部地震の地震被害	260
3.1.1 独立水管橋の地震被害	260
3.1.2 添架水管橋の地震被害	261
3.2 日本海中部地震	261
3.3 宮城県沖地震	261
第4章 解析および実験対象の水管橋	265
4.1 三角トラス形式水管橋 (A水管橋)	265
4.2 ランガー形式水管橋 (B水管橋)	265
4.3 斜張形式水管橋 (C, D水管橋)	265
4.3.1 C水管橋	266
4.3.2 D水管橋	266
第5章 水管橋の振動実験	267
5.1 振動計測	267
5.1.1 測定の概要	267
5.1.2 記録波形の解析	267
5.1.3 波形解析の結果	270
5.2 振動特性のまとめ	270
5.2.1 固有振動数	270
5.2.2 減衰定数	271
第6章 解析方法	271
6.1 入力地震動	271
6.2 解析プログラム	271
第7章 三角トラス形式水管橋の動的挙動	273
7.1 解析モデル	273
7.2 解析結果と考察	273
7.2.1 上部工断面力	275
7.2.2 応答加速度	275
7.2.3 支承部反力	275
7.2.4 支承部および伸縮管の変位	276
7.3 まとめ	276
第8章 ランガー形式水管橋の動的挙動	277
8.1 解析モデル	277
8.2 解析結果と考察	277
8.2.1 上部工断面力	278
8.2.2 応答加速度	278
8.2.3 支承部反力	282
8.2.4 支承部および伸縮管の変位	283
8.3 まとめ	283

第9章 斜張形式水管橋の動的挙動	284
9.1 解析モデル	284
9.2 解析結果と考察	284
9.2.1 上部工断面力	288
9.2.2 応答加速度	289
9.2.3 支承部反力	290
9.2.4 支承部および伸縮管の変位	291
9.3 まとめ	291
第10章 まとめ	291
謝辞	292
参考文献	292
あしがき	293

委員一覧