

軸方向鉄筋および H 形鋼の局部座屈を考慮した SRC 橋脚の地震応答解析

東北大学 正会員 ○内藤 英樹
東北大学 正会員 秋山 充良
東北大学 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

鉄骨鉄筋コンクリート (以下, SRC) 構造は, 施工の合理化と高い耐震性能を同時に可能とすることから, 近年, 橋梁上部工・下部工への適用が増加している. しかし, 現行の設計規準¹⁾では, 降伏荷重を維持する最大変位点を終局と定義するなど, 設計時の限界変形量と損傷レベルとの関係に力学的根拠は乏しい.

著者ら²⁾は, 正負交番荷重を受ける SRC 柱に対し, i) かぶりコンクリートの剥落 (以下, かぶり剥落) を修復限界, ii) H 形鋼の局部座屈を終局限界とする 2 つの限界状態を新たに定義し, これらの変形性能評価法を提示した. 本研究では, 参考文献 2) の変形性能評価法を用いて, 2 層式 SRC ラーメン橋脚の試設計を行い, 橋脚部位に許容する損傷レベルと橋脚全体系の応答変位との関係を検討する. また, 多質点系モデルのファイバー解析とバイリニア型履歴則を用いた 1 質点系モデルとの比較を行い, 両者の整合性を検討する.

2. 解析モデルの概要

(1) 1 質点系モデル (バイリニアモデル)

橋脚を 2 次元はり要素でモデル化し, 1 方向漸増載荷による静的非線形解析から復元力モデル (荷重-変位関係) のスケルトンカーブを定める. ここで, 図-1 に示すモーメント-曲率関係の部材降伏点 (Y_b 点), かぶり剥落点 (M 点), H 形鋼の座屈発生点 (U 点) でのモーメントと曲率の値, および塑性ヒンジ部の要素長は参考文献 2) から算定する. そして, この静的非線形解析から得られる橋脚全体系の荷重-変位関係に対して, バイリニアモデルを履歴則とした復元力モデル (荷重-変位関係) を用いて時刻歴応答解析を行う. 動的解析は Newmark β 法を用いて, 時間刻みは 1/200 秒, 減衰係数は 5% とした.

(2) 多質点系モデル (ファイバーモデル)

本研究では, ファイバー解析を詳細モデルと位置づける. 解析モデルは, 参考文献 2) と同様とし, 塑性ヒンジ部の曲率が図-1 の M 点 (かぶり剥落点) に達したときに, 軸方向鉄筋の座屈モデルやかぶりを除去することによって, 曲げ耐力の低下を考慮した. 時刻歴応答解析は, 上記の 1 質点系モデルと同様とした.

3. 2 層式 SRC ラーメン橋脚の部位に許容される損傷レベルの設定と地震応答性状

1 質点系モデルによる 2 層式 SRC ラーメン橋脚の試設計を行った. 橋脚の概略図と部位に許容される損傷レベルの設定を図-2 に示し, その橋脚諸元を表-1 に示す. なお, 設計地震動は, 道路橋示方書³⁾のレベル

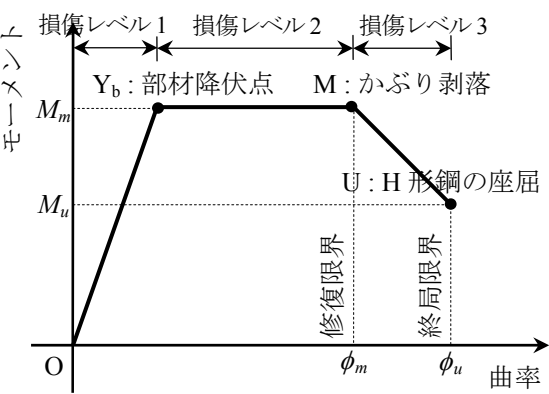


図-1 モーメント-曲率関係

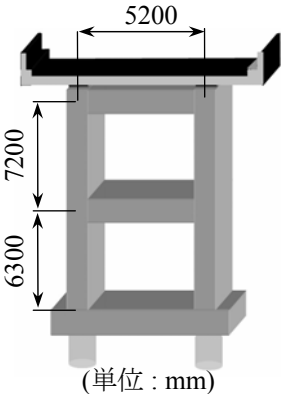


図-2 解析対象の橋脚

	構造物の耐震性能	部位	部材の損傷レベル
FP1	II	柱	2
		中層はり	2
FP2	III	柱	2
		中層はり	3

耐震性能 II: 地震後に補修を必要とするが, 構造物の機能を早期に回復できる.

耐震性能 III: 地震によって構造物全体系が崩壊しない.

表-1 2層式 SRC ラーメン橋脚の諸元

	部位	断面幅×高さ (mm)	鋼材比 (%)	帯鉄筋	軸力 (MPa)	固有周期 (sec)
FP1 橋脚	上柱, 下柱	800×800	6.68	D16@150	2.5	0.58
	中層はり	700×1000	4.64	D16@300	0	
FP2 橋脚	上柱, 下柱	800×800	6.68	D16@150	2.5	0.62
	中層はり	700×1000	3.01	D16@300	0	

表-2 時刻歴応答解析の結果 (3波の平均値)

		部材の変形性能		ファイバー解析			1 質点系モデル		
		かぶり剥落 時曲率 ϕ_m ($\times 10^{-5}/\text{mm}$)	H 形鋼の座 屈時曲率 ϕ_u ($\times 10^{-5}/\text{mm}$)	最大応 答変位 (mm)	最大応 答曲率 ($\times 10^{-5}/\text{mm}$)	損傷 レベル	最大応 答変位 (mm)	最大応 答曲率 ($\times 10^{-5}/\text{mm}$)	損傷 レベル
FP1	下柱	3.24	5.38	213	2.04	2	208	1.85	2
	上柱				1.47	2		0.88	2
	中層はり				2.65	2		2.26	2
FP2	下柱	3.24	5.38	259	2.55	2	241	1.85	2
	上柱				1.82	2		1.20	2
	中層はり				3.90	3		3.26	3

2 地震動 (II 種地盤) の標準波形 3 波とした。復旧性に配慮した耐震性能 II の FP1 橋脚では, 柱と中層はりのいずれにもかぶり剥落を許容しない。これに対して, FP2 橋脚では, FP1 橋脚と同じ柱の断面を用いたが, 中層はりの曲げ耐力を FP1 橋脚の 4 割程度に低下させ, かぶり剥落後の塑性変形を許容した。

Type II-II-1 地震波を入力したファイバー解析による動的解析の結果として, 橋脚天端の応答変位図と部位のモーメント-曲率関係をそれぞれ図-3 と図-4 に示す。復旧性に配慮した FP1 橋脚では, 柱と中層はり損傷レベル 2 に抑えられており, 橋脚天端の最大応答変位も小さい。また, FP2 橋脚でも, 中層はりの両端には大きな塑性変形が生じてかぶりコンクリートが剥落したが, FP1 および FP2 橋脚はいずれも道路橋示方書³⁾の残留変位の許容値を満足した。なお, 表-2 に示すファイバー解析と 1 質点系モデルの比較では, 3 波平均の最大応答変位のみの評価に限れば, 1 質点系モデルでもファイバー解析の結果を概ね再現できた。

4. まとめ

2 層式 SRC ラーメン橋脚の耐震設計では, 復旧性を重要としない場合に限り, 橋脚全体系に過大な応答変位や残留変位を生じさせずに, 中層はりなどの特定部位にかぶり剥落後の大きな塑性変形を許容した設計も可能であることが示された。また, バイリニア型履歴則を用いた 1 質点系モデルの解析でもファイバー解析と同様の動的解析の結果が得られた。

謝辞 本研究は, 土木学会 平成 17 年度 吉田研究奨励賞によって行われました。ここに謝意を表します。

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 1999。 2) 内藤英樹, 白濱永才, 秋山充良, 高田真人, 鈴木基行: H 形鋼の局部座屈に着目した SRC 柱の靱性能評価に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol.62, No.4, pp.698-712, 2006。 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2002。

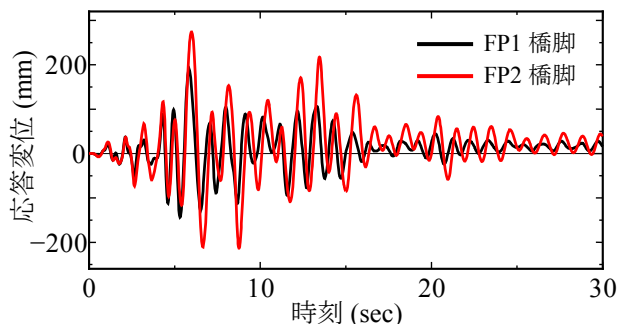


図-3 ラーメン橋脚の応答変位図

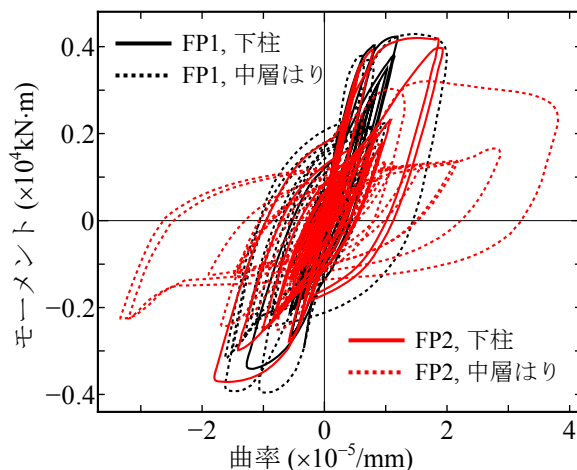


図-4 ラーメン橋脚のモーメント-曲率関係