

SRC ラーメン橋脚の耐震安全性照査法に関する研究

東北大学大学院 学生員 ○ 内藤 英樹
 東北大学大学院 正会員 秋山 充良
 東北大学大学院 フェロー 鈴木 基行

1. はじめに

近年、工期短縮や耐震性の優位さから土木分野においても鉄骨鉄筋コンクリート（以下、SRC）構造の適用が増えてきた。しかし、一般的な土木構造物が有する断面諸元などを想定した SRC 構造の実験的、解析的研究は少なく、特に、弾塑性地震応答特性や塑性変形能などの評価が行われていないため、RC 構造などに比べ、その耐震安全性照査法が十分に確立されていない現状にある。

そこで本研究では、SRC 1 層ラーメン橋脚の面内方向を対象に、プッシュオーバー解析とエネルギー一定則を用いた耐震安全性照査法の適用性を検討する。

2. 解析条件

(1) 解析モデル

解析対象は図-1 に示す SRC1 層ラーメン橋脚である¹⁾。図-1 に示されるように、柱の上下端部（柱 1～4）の塑性ヒンジ領域をファイバー要素によりモデル化した。ファイバーモデルに用いるコンクリートの応力-ひずみ曲線は、かぶりコンクリートと帯鉄筋による拘束効果が生じるコアコンクリートに分けてモデル化した²⁾。また、軸方向鉄筋の応力-ひずみ曲線には、加藤ら³⁾により提案された座屈モデルを導入した²⁾。鉄骨部はコンクリートの拘束効果から局部座屈の影響を考慮せず、応力-ひずみ曲線は完全弾塑性型のモデルを用いた²⁾。なお、鉄筋および鉄骨の履歴則は、Menegotto-Pinto モデルとした。

(2) 解析対象 1 層ラーメン橋脚

著者らは、SRC 断面から軸方向鉄筋を除いた鉄骨コンクリート断面の曲げ耐力 M_{sc} と、鉄骨を除いた鉄筋コンクリート断面の曲げ耐力 M_{rc} の比として定義した M_{sc}/M_{rc} がおよそ 1.5 以上のとき、軸方向鉄筋の座屈後も SRC 柱は致命的な耐力低下が生じず、さらに大きな塑性変形に耐えることを確認している²⁾。そこで、 M_{sc}/M_{rc} を指標として、表-1 に示す鉄骨鉄筋比を変えた 2 つの SRC1 層ラーメン橋脚、橋脚 R と橋脚 S を設計した。なお、橋脚 R と橋脚 S の保有水平耐力を等しくするため、各断面の終局曲げモーメントは概ね同じ値となるようにし、鋼材比についても同程度となるよう配慮した。

3. 解析結果

橋脚 R および橋脚 S に対して、橋脚天端位置に強制変位を与えたプッシュオーバー解析の結果をそれぞれ図-2 および図-3 に示す。図中の降伏および座屈発生は、各塑性ヒンジ領域（柱 1～4）における最外縁位置の軸方向鉄筋の降伏および座屈発生を示している。このプッシュオーバー解析結果に対して、橋脚としての降伏変位 δ_y は、4 つの塑性ヒンジ領域のうち最初に降伏が生じる点を初降伏点とし、原点と初降伏点を結んだ直線が最大荷重に達する変位とした。終局変位 δ_u は、最大荷重の 80% 耐力を保持する最大変位（定義 1）、もしくは 4 つの塑性ヒンジ領域全てに座屈が発生するときの変位（定義 2）とした。これら降伏変位 δ_y および終局変位 δ_u の定義に対して、道路橋示方書⁴⁾と同様に安全係数 1.5 を見込んだ許容塑性率を表-2 に示す。橋脚 R では、定義 1 と定義 2 で概

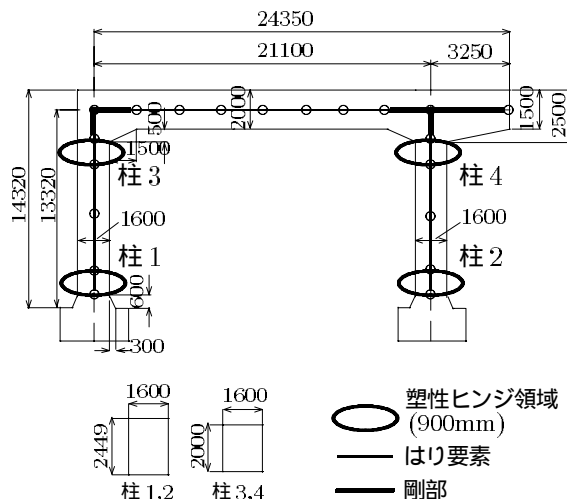


図-1 解析対象橋脚

Key Words : SRC1 層ラーメン橋脚, ファイバー解析, エネルギー一定則, 非線形動的解析, 軸方向鉄筋の座屈

連絡先: 〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06 TEL: 022(217)7449 FAX: 022(217)7448

表-1 橋脚 R および橋脚 S に与えた断面諸元

		鉄骨鉄筋比 ^{*1)}	鋼材比 (%) ^{*2)}	モーメント (×10MNm)			M_{sc}/M_{rc}
				M_{sc}	M_{rc}	M_u	
橋脚 R	柱 1, 柱 2 の断面	0.81	4.81	2.04	2.80	4.07	0.73
	柱 3, 柱 4 の断面	0.88	4.60	1.95	2.58	3.79	0.76
橋脚 S	柱 1, 柱 2 の断面	2.98	4.58	3.18	1.63	4.07	1.95
	柱 3, 柱 4 の断面	3.51	4.42	3.10	1.43	3.81	2.17

* 1) 鉄骨鉄筋比 = (鉄骨の断面積) / (鉄筋の断面積), * 2) 鋼材比 = (鉄筋と鉄骨の断面積の和) / (コンクリート有効断面積)

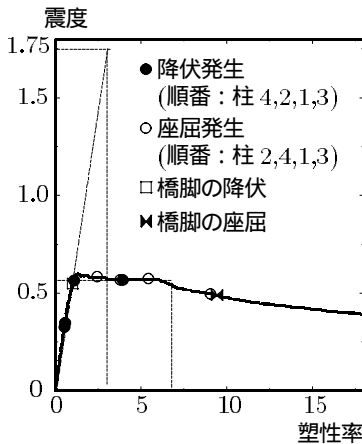


図-2 静的解析 (橋脚 R)

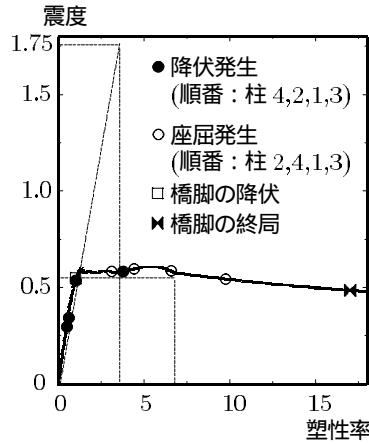


図-3 静的解析 (橋脚 S)

表-2 エネルギー一定則の妥当性

	許容塑性率		応答塑性率	
	定義 1	定義 2	エネルギー一定則	動的解析
橋脚 R	6.8	6.4	5.8	3.9
橋脚 S	11.8	7.0	5.8	3.7

ね等しい許容塑性率となるのに対し、橋脚 S では両定義による許容塑性率が大きく異なる。これは、前記した通り、鉄骨を十分に有する橋脚 S では、軸方向鉄筋の座屈による耐力低下量が小さいためである。しかし、被災後の復旧の観点からは、橋脚 S であっても、定義 2 に従い許容塑性率を設定することが望ましい。なお、この場合には、橋脚 R と橋脚 S の持つ変形性能は同等であると評価されることになるが、設計上考慮する安全係数と同じく、想定した以上の地震動が作用した場合などに備えるため、橋脚 S のような鉄骨鋼材量を有した設計にする必要があると考える。

次に、道路橋示方書に規定されるタイプ II 地震動 (II 種地盤) に対する非線形動的解析、および図-2 と図-3 に示されるように、定義した橋脚の降伏点から、完全弾塑性型の骨格曲線を仮定したエネルギー一定則に基づき橋脚天端位置の最大応答変位を算定した。結果を表-2 に示す。エネルギー一定則から推定される応答塑性率は動的解析の結果に対して安全側の評価を与えており、その精度は RC 橋脚を対象とした場合と概ね同程度であると思われる。このように、SRC ラーメン橋脚も、一般的に行われている RC 橋脚と同様の手順に従い耐震設計することは可能であり、本研究で定義した降伏および終局変位から計算される許容塑性率がエネルギー一定則により推定される応答値以下となるように設計を行えば、十分な耐震安全性を確保できる。

4. まとめ

SRC1 層ラーメン橋脚の面内方向を対象に、プッシュオーバー解析とエネルギー一定則により推定される応答塑性率と非線形動的解析の結果を比較した。その結果、エネルギー一定則による応答塑性率は、断面の有する鉄骨鉄筋比の比率に関わらず動的解析結果に対して、十分安全側に評価されることを確認した。

今後は、より多くの地震動や構造物の固有周期などをパラメータとした解析も行い、SRC 構造の特性を考慮した耐震安全性照査法を構築していく必要がある。

参考文献

- 1) 村田二郎監修：鉄骨鉄筋コンクリート土木構造物の設計，オーム社，1976.
- 2) 秋山充良，林寛之，内藤英樹，鈴木基行：繰返し荷重を受ける SRC 柱の荷重－変位関係に関する解析的研究，構造工学論文集，Vol.47A，pp.1453-1463，2001.
- 3) 加藤大介：鉄筋コンクリート部材の主筋の座屈性状に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，第 436 号，pp.135-143，1992.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，1996.