

SRC 橋脚の破壊形態と耐力の推定に関する解析的検討

並川賢治¹・崎濱秀仁²・溝口孝夫³・土屋智史⁴・臺原直⁵・矢部正明⁵

¹首都高速道路公団 計画部 第一計画課 課長補佐 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1)

E-mail:namikawa@mex.go.jp

²首都高速道路公団 東京建設局 建設第二部 設計第二課 課長補佐 (〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-6-2)

E-mail:sakihama@mex.go.jp

³首都高速道路公団 工務部 設計技術課 班長 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1)

E-mail:mizoguchi@mex.go.jp

⁴株式会社コムスエンジニアリング 代表取締役 (〒113-0031 東京都文京区根津 2-20-1-701)

E-mail:satoshi@comes.co.jp

⁵株式会社長大 構造事業部 構造防災室 (〒305-0812 茨城県つくば市東平塚730)

E-mail:daihara-n@chodai.co.jp, yabe-m@chodai.co.jp

鉄骨と鉄筋およびコンクリートからなる複合構造であるSRC橋脚の破壊形態や耐力および変形性能を合理的に求めることができる実用性の高い設計式はまだなく、何れの設計基準も実験的事実に基づいて鉄骨材や鉄筋の構造細目を規定することにより、破壊形態を曲げ損傷型に誘導したり、設計基準に規定される設計式で耐力や変形性能を安全側に評価できるとしている。しかし、1995年兵庫県南部地震以前に設計・建設されたSRC橋脚は、鉄骨材の配置等が現在の設計基準と異なるため、レベル2地震動に対する照査に必要な曲げ耐力やせん断耐力を設計基準に規定された耐力式だけから求めることはできない。本報告は、RC構造用に開発された2次元非線形有限要素法による解析コードを用いて、SRC橋脚の破壊形態や耐力および変形性能をどの程度精度良く求めることができるかを検討するために、(財)鉄道総合技術研究所で実施されたSRC柱の繰返し載荷実験をシミュレーションした結果について報告する。

Key Words : concrete encased steel bridge columns, shear strength, flexural strength, seismic retrofit

1. はじめに

図-1は、大黒ふ頭と扇島間にある鶴見航路をまたぐ1面吊りの3径間連続鋼斜張橋である鶴見つばさ橋の主塔基部を表したものである。主塔基部は、主桁や主塔柱を受けるための鋼製横梁構造の下方部からケーソン頂版までの間に存在する鉄筋コンクリートで巻き建てた鋼殻部と高さ約20mの中空SRC構造などからなっている。鶴見つばさ橋では、図-1に示す八角形断面を有する中空のSRC構造であるSRC橋脚の耐震補強を合理的に行うことを目的に、その破壊形態と耐力を各種設計基準に示された耐力式と既往の実証的研究成果およびRC構造の専用解析コードWCOMDの解析結果を用いて総合的に評価している。

本報告は、東京大学コンクリート研究室で開発され、RC構造物の載荷実験等に対する再現性において実績がある2次元有限要素解析コードWCOMD¹⁾を用いて(財)鉄道総合技術研究所で実施されたSRC柱の繰返し載荷実験²⁾のシミュレーションを行い、WCOMDのSRC柱への適用性を検討したものである。

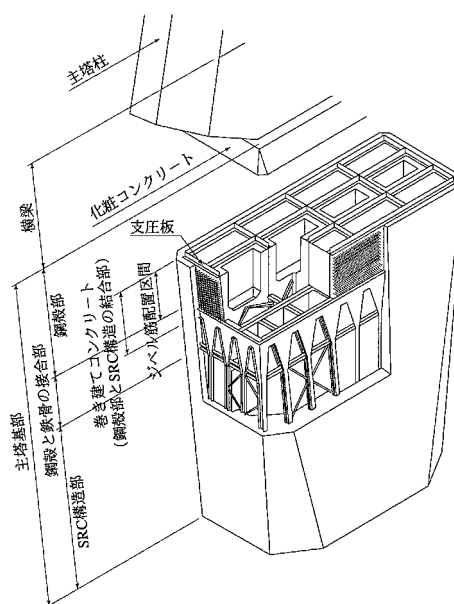


図-1 鶴見つばさ橋の主塔基部

た鋼材平面要素を奥行き方向にサンドイッチ状に配

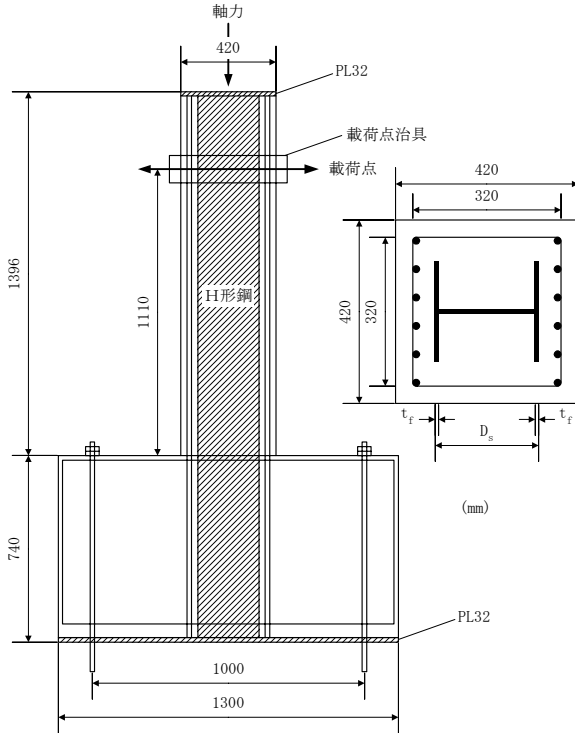


図-2 SRC 供試体概略図²⁾

2. 検討対象とした実験と供試体

検討の対象とした実験は、(財)鉄道総合技術研究所で実施されたSRC柱の繰返し載荷実験²⁾である。文献2)では、せん断補強鉄筋比、鋼材比、鉄骨鉄筋比および鋼材強度をパラメータとして16体の供試体を対象に繰返し載荷実験が行われているが、ここでは、軸力比、鉄骨鉄筋比、鋼材強度等ができるだけ鶴見つばさ橋のSRC橋脚に近い2つの供試体G-3、G-5を検討対象とした。図-2は供試体の概略図、図-3は荷重の載荷ステップを示したものである。

図-4は実験より得られた荷重-変位関係を、写真-1は終局時の損傷状況を示したものである。図より、G-3供試体は最大耐力以後の耐力低下が緩やかなのに対して、G-5供試体は最大耐力以後の耐力が急激に低下していることがわかる。文献2)によれば、G-3供試体は曲げ損傷、G-5供試体は曲げせん断損傷と報告されている。写真からも、G-3供試体よりもG-5供試体の方が大きな損傷が生じていることがわかる。

3. SRC柱の繰返し載荷実験のシミュレーション

図-5は、SRC柱のモデル化を概念的に示したものである。図に示すようにSRC柱は、ゾーニング手法に基づいてRC要素と無筋要素に加え、H鋼を模擬し

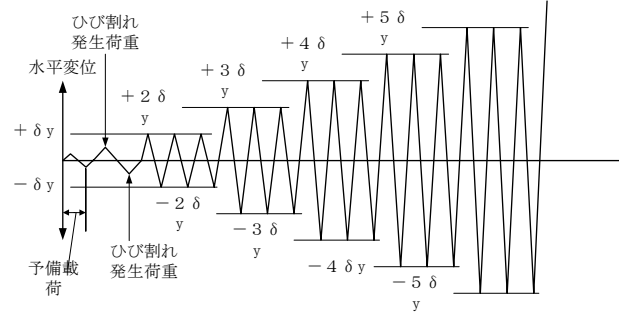
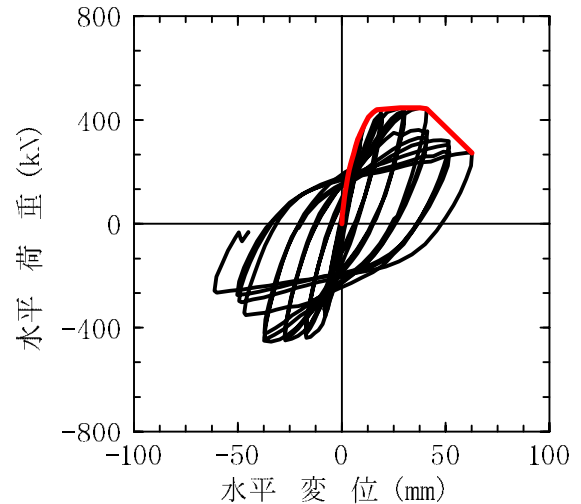
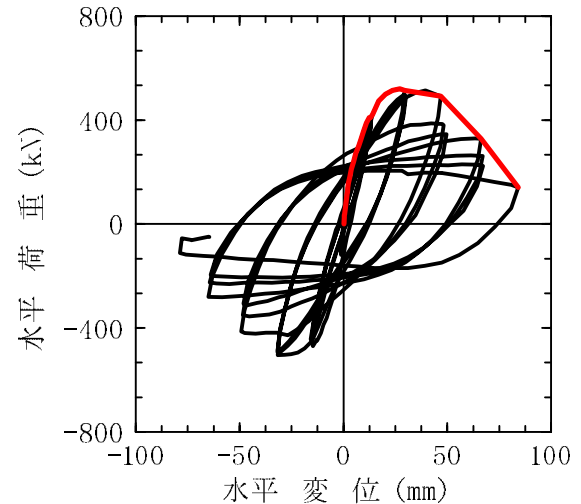


図-3 SRC 柱の交番載荷実験における載荷ステップ²⁾



(1)G-3 供試体 (曲げ損傷)



(2)G-5 供試体 (曲げせん断破壊)

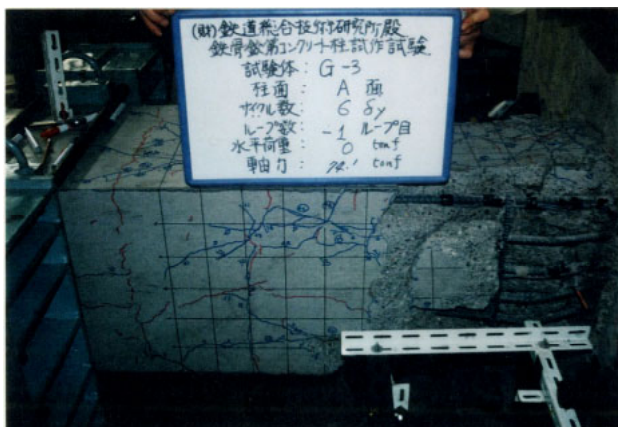
図-4 SRC 柱の繰返し載荷実験より得られた荷重-変位関係

置した重ね合わせ要素でモデル化した。モデル化の仮定を以下に列举する。

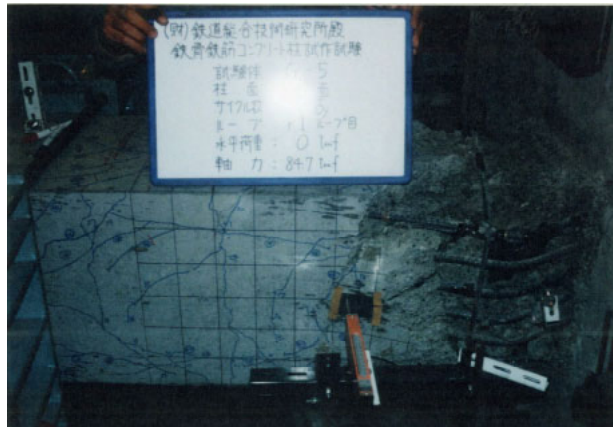
- ・ H鋼は鋼材平面要素を用い、H鋼とコンクリートの付着は無視した。
- ・ 鉄筋の配置に応じてRC要素と無筋要素を用い、

鉄筋とコンクリートの付着は考慮した。

ードが現れているが、曲げせん断損傷したG-5供試

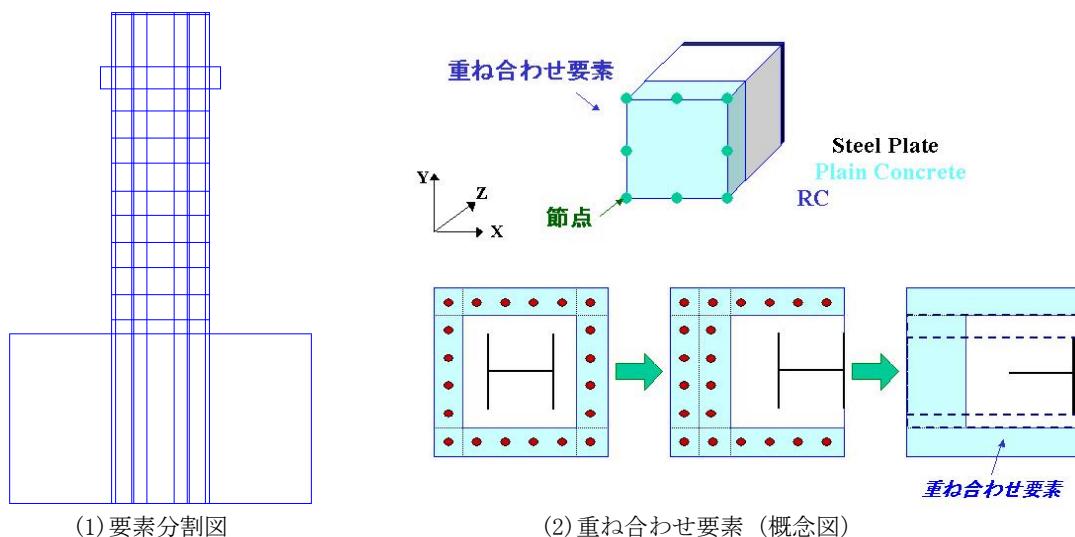


(1)G-3 供試体（曲げ損傷）



(2)G-5 供試体（曲げせん断破壊）

写真-1 SRC 柱の繰返し載荷実験より得られた荷重－変位関係



(1)要素分割図

(2)重ね合わせ要素（概念図）

図-5 検討対象とする SRC 柱のモデル化

- ・ 柱基部に接合要素を用い、主鉄筋の抜け出しを考慮した²⁾。
- ・ コンクリート圧縮軟化曲線は、要素寸法に拠らず一定とした。

解析は、SRC柱の上部に軸力を加えて初期状態を作成した後に、図-3に示すように変位制御によって交番載荷した。

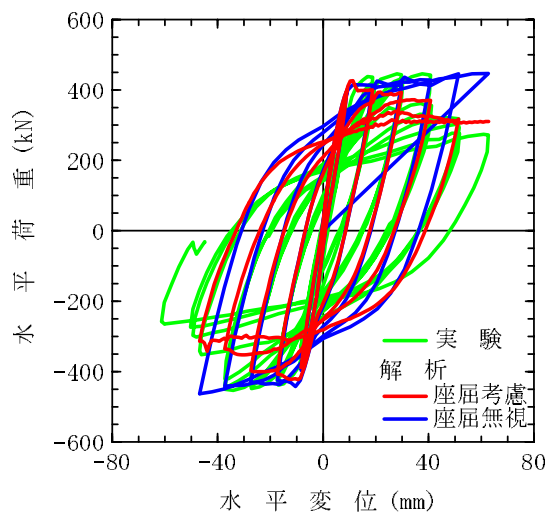
図-6は解析と実験より得られた荷重－変位関係を比較したものである。図中、座屈考慮は、鉄筋の座屈とかぶりの剥落を考慮した解析である。図より、鉄筋の座屈とかぶりの剥落を考慮した解析であれば、荷重－変位関係は、曲げ損傷したG-3供試体と曲げせん断損傷したG-5供試体とも解析は実験にほぼ近い結果が得られることがわかる。

図-7は、解析より得られたひびわれの発生状況と変形（5倍で表示）状態を示したものである。曲げ損傷したG-3供試体の解析結果には、曲げ損傷のモ

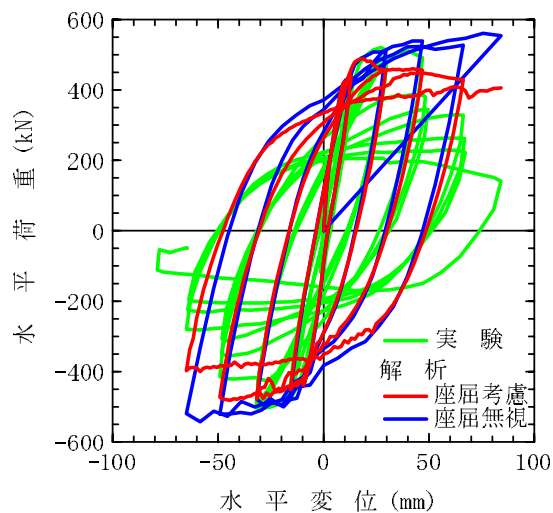
体の解析結果には、明確なせん断損傷モードは現れていない。これは、H鋼のせん断抵抗に対する寄与分が大きく、奥行方向に節点を共有する2次元解析では、コンクリート部に対してせん断変形を実際よりも小さく評価しているからと考えられる。しかし、損傷程度は、解析結果においてもG-3供試体よりもG-5供試体の方が大きな損傷が得られており、実験結果と整合していることがわかる。

4. 結論

RC構造物の載荷実験に対する再現性において実績がある2次元有限要素解析コードWCOMDのSRC構造への適用性を検討するために、（財）鉄道総合技術研究所で実施されたSRC柱の繰返し載荷実験結果のシミュレーションを行った。曲げせん断損傷したG-5供試体の損傷モードに明確なせん断損傷は現

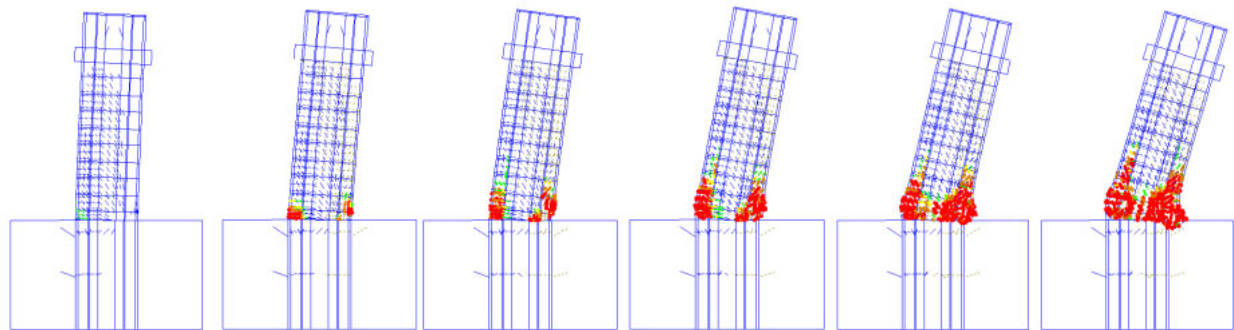


(1) G-3 供試体 (曲げ損傷)

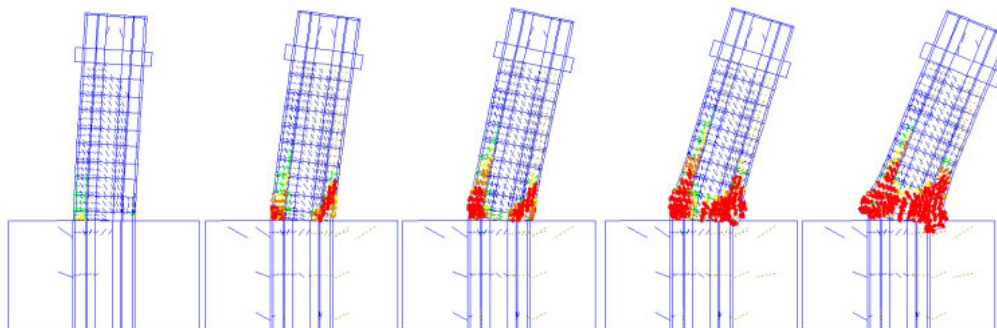


(2) G-5 供試体 (曲げせん断破壊)

図-6 SRC 柱の繰返し載荷実験と WCOMD より得られた荷重-変位関係の比較



(1) G-3 供試体 (曲げ損傷: $1\delta_y \sim 6\delta_y$)



(2) G-5 供試体 (曲げせん断破壊: $1\delta_y \sim 5\delta_y$)

図-7 WCOMD より得られた損傷状況 (ひびわれと変形)

れなかったが、G-3、G-5の両供試体とも最大耐力付近までの荷重-変位関係は、WCOMDでも実用上十分な精度でその挙動を追跡できることがわかった。また、G-3供試体よりもG-5供試体の方が大きな損傷が生じている点も、WCOMDと実験で整合していることがわかった。

以上より、WCOMDによって、SRC橋脚の耐力や破壊形態を実用上十分な精度で推定できるといえる。

謝辞：WCOMDのSRC構造への適用性の検討に用いたSRC柱の載荷実験結果は、(財)鉄道総合技術研究所鋼・複合構造研究室室長の村田清満博士からご

提供頂いたものである。また、SRC橋脚のせん断耐力の検討にあたっては、東京大学教授前川宏一先生のご指導を受けた。ここに、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) K.Maekawa, A.Pimanmas and H.Okamura: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, Spon Press, London and New York, 2003.
- 2) 村田清満, 池田学, 川井治, 瀧口将志, 渡邊忠朋, 木下雅敬: 鉄骨鉄筋コンクリート柱の変形性能の定量評価に関する研究, 土木学会論文集, No.619, pp.235-251, 1999.

(2003. 10. 12 受付)