

想定を超える地震力作用時に崩壊しない SRC 橋脚

High resistant SRC column for beyond design basis earthquake

宇都宮大学 地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科 准教授 藤倉修一

(研究計画ないし研究手法の概略)

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震の発生により橋梁構造物は甚大な被害を受け、それ以降道路橋の耐震設計では地震時保有水平耐力法が主流となっている。地震時保有水平耐力法により、柱基部に設けた塑性ヒンジ部に損傷を限定し、予期しない損傷モードの発生を抑える設計法に変わった。これは、想定した設計地震動が作用した場合には有効であるが、設計地震動を超える地震が作用した場合には崩壊する可能性もあり得る。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震において、想定外の地震や津波によって構造物に壊滅的な被害が生じたことから、設計での想定を越えた事象への対応を考慮する危機耐性の概念が検討されている。そこで、設計想定以上の地震動が作用しても崩壊しないための構造として鉄筋コンクリート柱(以下、RC柱)の断面コア部にコンクリート充填鋼管柱(以下、CFT柱)を配置した鉄骨鉄筋コンクリート柱(以下、SRC柱)を提案する。鋼管により鋼管内部のコアコンクリートの破壊を防ぎ、鋼管外側のコンクリートが損傷を受けてもCFT柱が橋の自重などを支持し崩壊を防ぐシステムである。

本研究では、道路橋示方書に基づいて設計したRC柱、SRC柱およびCFT柱の3体の橋脚模型に対して正負交番载荷実験を行った。これらの実験結果を比較することによって、SRC橋脚の基本的力学特性を確認するとともに鋼管によるじん性の向上、残留変位の低減、橋脚の崩壊防止への有効性を検証した。

2. 正負交番载荷実験

2.1. 実験供試体

図-1に本実験に使用したSRC柱およびCFT柱の諸元を示す。RC柱はSRC柱から鋼管を除いた柱で、RC柱とSRC柱は同じ配筋とした。RC柱およびSRC柱の断面寸法は350mm×350mmの正方形断面で、供試体高さは1700mm、有効高さは1100mm、せん断スパン比は3.14である。軸方向鉄筋はD13(SD295)を68mm間隔で16本、帯鉄筋はD6(SD295)を70mm間隔で配置した。軸方向鉄筋比は1.65%、帯鉄筋比は0.65%である。引張試験によって求めた軸方向鉄筋の降伏強度は362N/mm²、帯鉄筋の降伏強度は361N/mm²である。SRC柱およびCFT柱に用いる鋼管は、

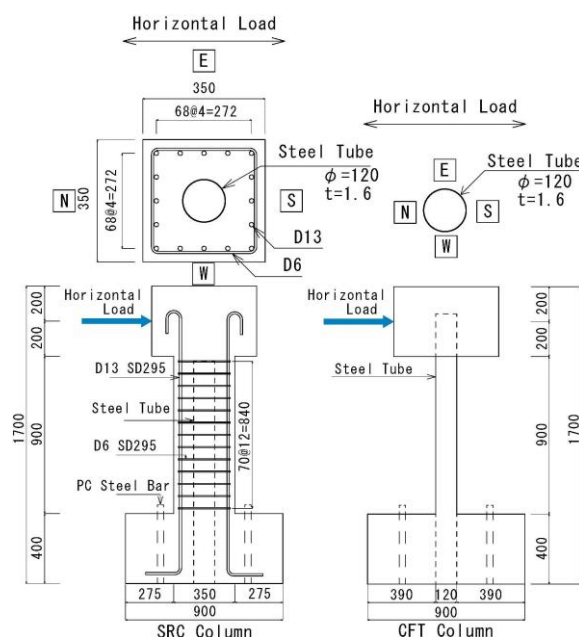


図-1 SRC柱、CFT柱

径 120mm，肉厚 1.6mm，降伏強度は 280N/mm^2 である．鋼管の全長は，SRC 柱において 1270mm，CFT 柱において 1580mm であり，いずれも供試体の底面から配置した．また実験当日におけるコンクリートの圧縮強度は，RC 柱で 38.6N/mm^2 ，SRC 柱で 37.6N/mm^2 ，CFT 柱で 39.6N/mm^2 である．

2.2. 実験方法

本実験では，23.0kN 分の鋼板を供試体に上載し，柱基部に 0.19N/mm^2 の軸応力を作用させた状態で，油圧ジャッキを用いて水平力を変位制御で与えることによって正負交番載荷実験を行った．載荷パターンは図-2 に示す．RC 柱および SRC 柱では $1\delta y \sim 5\delta y$ を 3 回， $6\delta y$ ， $7\delta y$ を 2 回， $8\delta y$ から終局までを 1 回ずつ載荷し，CFT 柱では $0.5\delta y$ ， $1\delta y \sim 4\delta y$ を 3 回， $5\delta y$ ， $6\delta y$ を 2 回， $7\delta y$ から終局までを 1 回ずつ載荷した．なお，降伏変位 δy は，柱基部付近における最外縁軸方向鉄筋ひずみ又は引張側鋼管ひずみがおおよそ降伏ひずみに達したときの載荷位置における水平変位と定義した．RC 柱の $1\delta y$ は 4.0mm，新型 SRC 柱の $1\delta y$ は 4.8mm，CFT 柱の $1\delta y$ は 13mm とした．載荷方向は図-1 に示す NS 方向で，S 面が圧縮を受ける時を正載荷，N 面が圧縮を受ける時を負載荷とし，N 面を正載荷面，S 面を負載荷面とした．実験では，ロードセルで水平荷重，変位計で載荷位置での水平変位，ひずみゲージで軸方向鉄筋，帯鉄筋および鋼管のひずみを測定した．

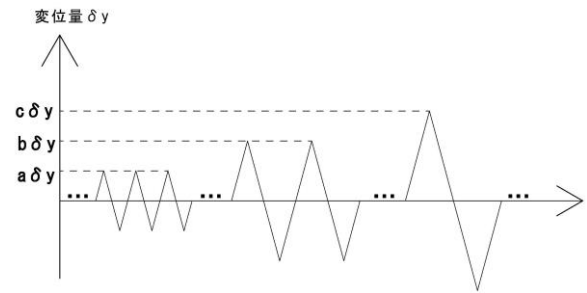


図-2 載荷パターン

(実験調査によって得られた新しい知見)

3. 実験結果

3.1. 耐力および変形性能

RC 柱および SRC 柱における荷重-変位履歴曲線の比較を図-3 に，包絡線の比較を図-4 に，CFT 柱の履歴曲線を図-5 に示す．ここで，ドリフト比とは柱基部から載荷位置までの高さに対する載荷位置における水平変位の比である．また，図-5 の負載荷において点線で示した部分は，負載荷時に意図せずジャッキを下から支えていた部分があったため参考値として点線で示してある．図-3，4 に示すように，RC 柱では正載荷時で最大荷重は 97.8kN であり，ドリフト比が約 4.0%程度で，最大荷重付近で安定していた荷重が低下し始めた．一方，SRC 柱は正載荷時で最大荷重 106.7kN であり，ドリフト比が約 4.8%で安定していた荷重が低下し始めた．CFT 柱では図-5 より，正載荷時で最大荷重 8.2kN であり，ドリフト比が 10%を越えても最大荷重付近で安定しており，RC 柱や SRC 柱とは単純には比較できないが，変形性能が高いと考えられる．SRC 柱の耐力が RC 柱の耐力よりも 10%程度大きいのが，これは，鋼管を配置することにより耐力が増加したためである．変形性能について RC 柱と SRC 柱を比較すると，SRC 柱の方が 20%程大きな変位まで耐力を保ち変形性能が高い．これは CFT 柱の結果から確認したように，CFT 柱自体の変形性能が高く，SRC 柱の変形性能に寄与したと考えられる．また，図-4 より，正載荷時の安定していた荷重が低下し始める変位（青丸）から終局変位までの差は，RC 柱で 16mm，SRC 柱で 28.8mm と，SRC 柱は RC 柱と比べて最大荷重の低下から終局に至るまでの変位が大きくより粘り強く崩壊に至りにくい構造である．各供試体の終局状態については RC 柱が

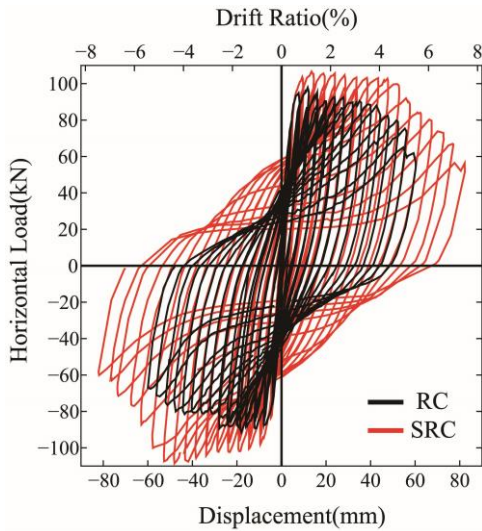


図-3 履歴曲線の比較

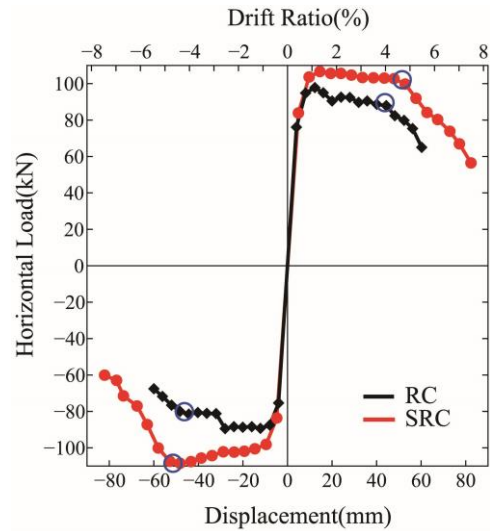


図-4 包絡線の比較

15 δ y 載荷時、SRC 柱が 17 δ y 載荷時に正載荷面の軸方向鉄筋が破断し荷重が大幅に低下したため実験終了となった。CFT 柱では 10 δ y 載荷時に正載荷面の鋼管が破断し、大幅に荷重が低下したため実験終了となった。

3.2. 損傷状況

RC 柱と SRC 柱の損傷状況について、7 δ y 載荷終了時のひび割れ状況を図-6 に、実験終了時のひび割れ状況とコンクリート剥落状況を図-7 に展開図として示した。各供試体には縦横 87.5mm 間隔のメッシュを記入してある。両供試体とも 7 δ y まではひび割れの進展、かぶりコンクリート剥落の兆候が生じ、8 δ y 載荷時にかぶりコンクリートの剥落が生じた。

図-6 においてひび割れ分布を比較すると、両供試体ともひび割れは柱基部から 700mm 位置までの区間で発生している。また、両供試体ともひび割れの発生は柱基部から 175mm 位置までの区間に集中しており、同じようなひび割れ分布であった。以上のことから、ひび割れの発生から進展、かぶりコンクリート剥落の兆候が生じる損傷段階では大きな差はなかった。

次に、各供試体の実験終了時の損傷状況について、図-7 より、RC 柱では正載荷面 (N 面) および負載荷面 (S 面) での損傷が大きく、かぶりコンクリートだけでなくコアコンクリートの破壊も確認された。正載荷面においては、柱基部から約 80mm 位置で軸方向鉄筋がはらみ出し、それに伴う帯鉄筋のはらみ出しも確認された。SRC 柱の実験終了時の損傷についても RC 柱と同様に、正載荷面および負載荷面での損傷が大きくコアコンクリートも損傷を受けている。また軸方向鉄筋も RC 柱と同様に、柱基部から約 80mm 位置で大きくはらみ出しており、帯鉄筋のはらみ出しも確認された。RC 柱では正載荷面で柱基部から 180mm 位置まで、負載荷面で柱基部から 200mm 位置までのコアコンクリートが圧壊

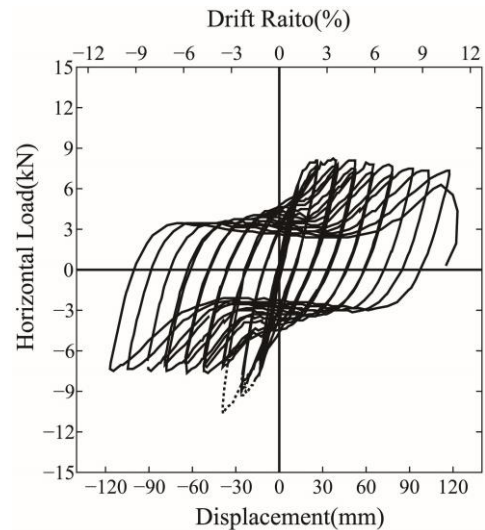


図-5 履歴曲線 (CFT 柱)

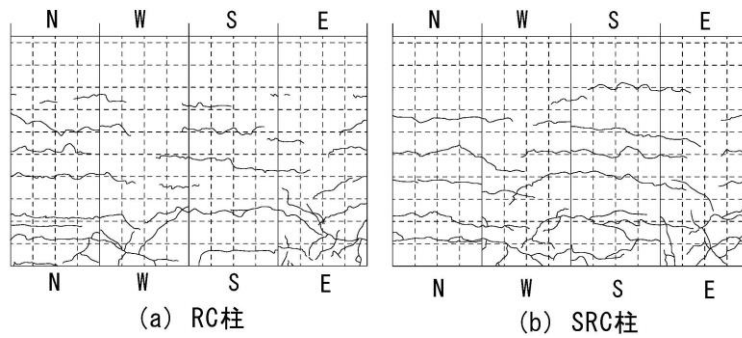


図-3 損傷状況(7 δ y)

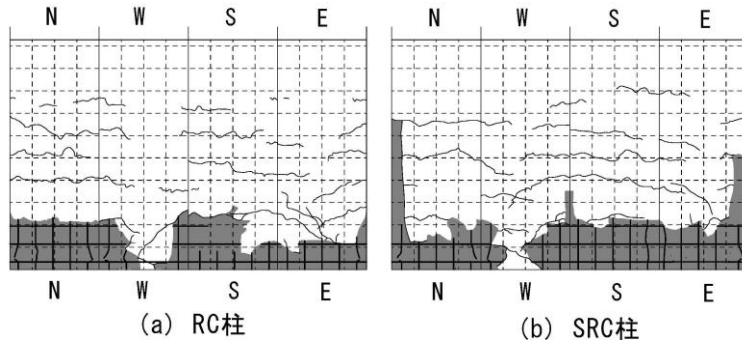


図-4 損傷状況(実験終了時)

しており、SRC 柱では正載荷面で柱基部から 180mm 位置まで、負載荷面で柱基部から 190mm 位置までのコアコンクリートが圧壊しているのが観察された。

以上の結果から、終局変位が RC 柱では 60mm、SRC 柱では 81.6mm と差はあるが、両供試体における終局時の塑性ヒンジの形成状況はほぼ一致していた。

4. まとめ

- 1) RC 柱のコア部に鋼管を配置することによって供試体の最大荷重が増加し、RC 柱と比べて 20%程大きな変位まで最大荷重をほぼ保つことができ、変形性能の向上が確認された。
- 2) 鋼管を断面コア部に有する SRC 柱は、最大荷重の低下から終局に至るまでの変位が大きく、RC 柱よりも粘り強く、崩壊に至りにくい構造である。
- 3) SRC 柱と RC 柱のひび割れや終局時の塑性ヒンジの形成状況はほぼ同じであり、RC 柱の断面中心に鋼管を配置しても損傷状況に大きな違いはなかった。

(発 表 論 文)

1. 藤倉修一，山口敬也，野口大智，NGUYEN Minh Hai，中島章典，浦川洋介：断面コア部に CFT を有する SRC 橋脚の耐震性能に関する研究，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），2020.（搭載決定）
2. 藤倉修一，山口敬也，野口大智， Nguyen Minh Hai，中島章典，浦川洋介：断面コア部に CFT を有する SRC 橋脚の耐震性能に関する研究，第 39 回地震工学研究発表会，A13-1495，2019.10.
3. 山口敬也，藤倉修一，野口大智， Nguyen Minh Hai，中島章典：断面コア部に CFT を有する SRC 柱の耐震性に関する実験的研究，土木学会第 74 回年次学術講演会講演概要集，I-80，2019.9.