

断面コアにCFTを有するSRC柱の耐震性に関する実験的研究

宇都宮大学 学生員 ○野口大智 山口敬也 正会員 藤倉修一
正会員 Nguyen Minh Hai フェロー会員 中島章典

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、損傷を橋脚基部に設けた塑性ヒンジ部に限定し、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、設計地震動を越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。実際に、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。

そこで著者らは、RC柱の高性能化を目的として、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RC柱の断面コアにコンクリート充填鋼管柱(CFT)を配置したSRC柱(以下、新型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、鋼管外部のコンクリートが損傷を受けてもCFTで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柱および新型SRC柱、さらに新型SRC柱の中心に配置したCFT柱の3体の柱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柱の基本的力学特性を確認するとともに鋼管による柱の崩壊防止への有効性を検証した。

2. 正負交番载荷実験

(1) 実験供試体

図-1に本実験に使用した新型SRC柱、CFT柱の諸元を示す。RC柱、新型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3.1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。新型SRC柱およびCFT柱に用いる鋼管は、径120mm、肉厚1.6mm、降伏強度は280N/mm²である。鋼管の全長は、新型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/mm²、新型SRC柱で37.6N/mm²、CFT柱で39.6N/mm²である。

(2) 実験方法

本実験では、23.0kN分の鋼板を供試体上に載し柱基部に0.19N/mm²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载荷実験を行った。また载荷パターンは図-2に示すように、RC柱および新型SRC柱では1 δ_y ~5 δ_y を3回、6 δ_y 、7 δ_y を2回、8 δ_y から終局までを1回ずつ载荷し、CFT柱では0.5 δ_y 、1 δ_y ~4 δ_y を3回、5 δ_y 、6 δ_y を2回、7 δ_y から終局までを1回ずつ载荷した。なお、降伏変位 δ_y 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

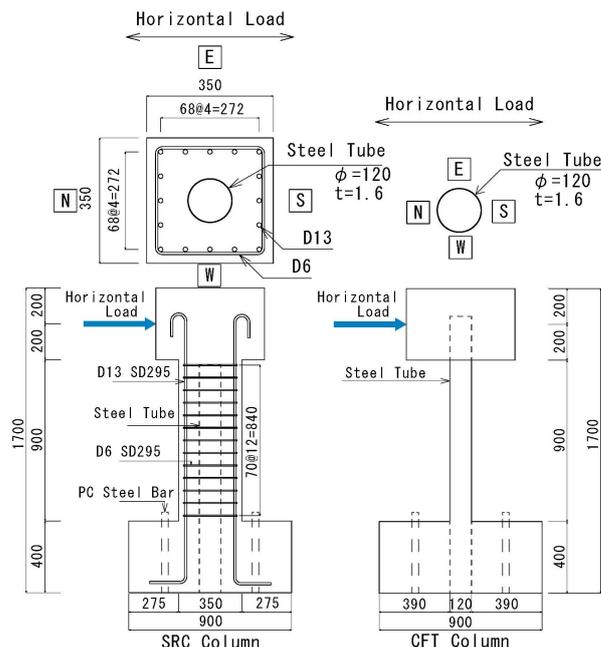


図-1 新型SRC柱、CFT柱

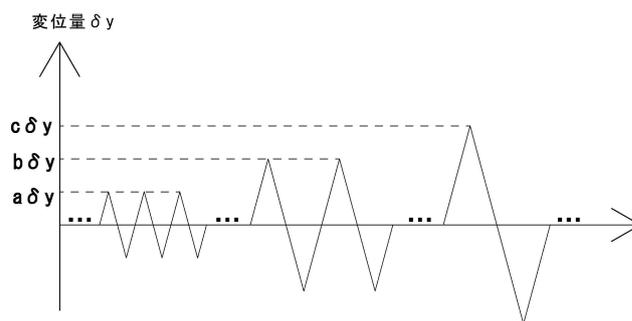


図-2 载荷パターン

おおそ降伏ひずみに達したときの载荷位置における水平変位と定義した。RC柱の1 δ_y は4.0mm、新型SRC柱の1 δ_y は4.8mm、CFT柱の1 δ_y は13mmとした。载荷方向は図-1に示すNS方向で、S面が圧縮を受ける時を正载荷、N面が圧縮を受ける時を負载荷とし、N面を正载荷面、S面を負载荷面とした。実験では、ロードセルで水平荷重、変位計で载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。

3. 実験結果

(1) 耐力および変形性能

RC柱と新型SRC柱の荷重-変位関係の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载荷点までの高さに対する载荷点の水平変位の比である。また、図-5の負载荷において点線で示されている部分は、負载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から、RC柱は正载荷時で最大荷重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

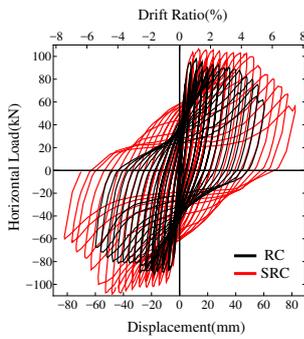


図-3 履歴曲線の比較

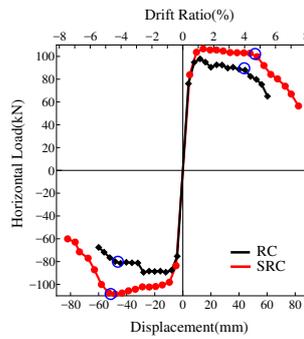


図-4 包絡線の比較

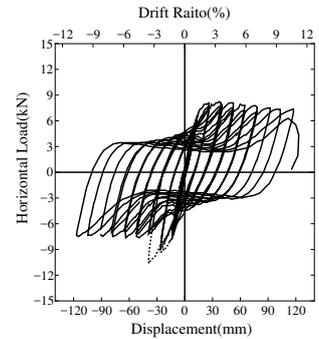


図-5 履歴曲線 (CFT 柱)

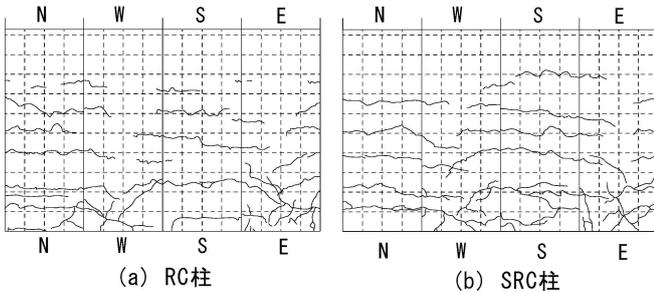


図-6 損傷状況 (7δ_y)

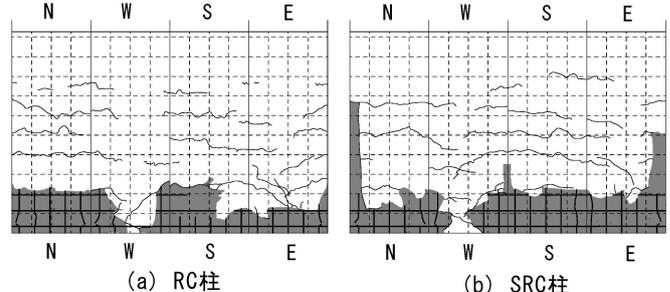


図-7 損傷状況 (実験終了時)

ていた荷重が低下し始めた。一方、新型 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 柱や新型 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。

新型 SRC 柱の耐力が RC 柱の耐力よりも 10% 程度大きい、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と考えられる。変形性能について RC 柱と新型 SRC 柱を比較すると、新型 SRC 柱の方が 20% 程大きな変位まで耐力を保つことができ、変形性能が高いといえる。これは、先に述べた CFT 柱の結果からもわかるように、CFT 自体の変形性能が高く、その効果により新型 SRC 柱の変形性能が向上したと考えられる。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から終局変位までの差は、RC 柱で 16mm、新型 SRC 柱で 28.8mm と新型 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、RC 柱が 15δ_y 載荷時、新型 SRC 柱が 17δ_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 10δ_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。

(2) 損傷状況

7δ_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 87.5mm 間隔のメッシュを記入してある。両供試体とも 7δ_y までにはひび割れの進展、かぶりコンクリート剥落の兆候が生じ、8δ_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橋脚基部から 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橋脚基部から 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がみられなかった。

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した。正載荷面においては、橋脚基部から約 80mm 位置で軸方向鉄筋のはらみ出しがみられ、それに伴う帯鉄筋のはらみ出しも確認された。新型 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 柱と同様に橋脚基部から約 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みられた。RC 柱では正載荷面で橋脚基部から 180mm 位置まで、負載荷面で橋脚基部から 200mm 位置までのコアコンクリートが圧壊しており、新型 SRC 柱では正載荷面で橋脚基部から 180mm 位置まで、負載荷面で橋脚基部から 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、新型 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ることがわかる。

4. まとめ

1. RC 柱のコアに鋼管を配置することによって柱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、変形性能の向上がみられた。
2. 鋼管を断面コアに有する新型 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. 新型 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。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・解説，2012.3.
- 2) 忍田祥汰，白井裕太，藤倉修一，NGUYEN MINH HAI，中島章典：基部に鋼管を有する RC 橋脚の耐震性に関する実験的研究，第 73 年次学術講演会講演概要集，I-486，2018.9.