

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

山口 敬也¹・野口 大智²・藤倉 修一³・NGUYEN Minh Hai⁴
・中島 章典⁵・浦川 洋介⁶

¹学生会員 宇都宮大学大学院 地域創生科学研究科（〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2）

²非会員 オリエンタル白石（株） 東京支店（〒135-0061 東京都江東区豊洲5-6-22）

³正会員 PhD 宇都宮大学准教授 地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科
（〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2）

⁴正会員 博（工） 宇都宮大学助教 地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科
（〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2）

⁵フェロー会員 工博 宇都宮大学教授 地域デザイン科学部 社会基盤デザイン学科
（〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2）

⁶正会員 博（工） オリエンタル白石（株）本社 技術本部（〒135-0061 東京都江東区豊洲5-6-52）

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震における道路橋の被害を受けて、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、塑性ヒンジ部のみに塑性化を限定し、塑性ヒンジ部以外の部分には塑性化が起これないようにすることにより、予期した損傷モードに収めることが可能になった¹⁾。しかしながら、2011年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、設計を越えた事象への対応を考慮する「危機耐性」の概念が提案されている²⁾。鉄筋コンクリート（以下、RC）柱の場合、現行の設計基準で設計された柱に想定以上の地震力が作用した場合、柱内部のコアコンクリートが破壊され、崩壊する可能性もあり得る。そこで、設計地震動を越える地震動が作用しても崩壊することのない新たな柱の開発が必要である。

本研究では、「危機耐性」の考え方を踏襲して想定以上の地震力が作用しても崩壊しない新形式の柱として、RC柱断面コア部にコンクリート充填鋼管（以下、CFT）柱を有する鉄骨鉄筋コンクリート（以下、SRC）柱を提

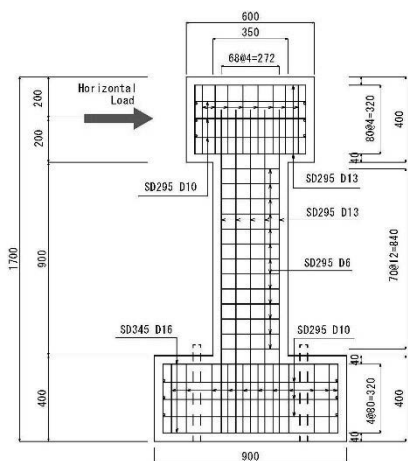
案する。提案するSRC柱は、鋼管が鋼管内部のコアコンクリートを守ることにより柱の崩壊を防ぎ、鋼管はコンクリートによって拘束されているため座屈することなく大変形まで耐力を保つことができる。

本研究では、提案構造のSRC柱供試体に加え、比較のためのRC柱供試体も作製し、正負交番載荷実験を行った。実験により、提案するSRC柱の基本的な力学特性を把握するとともに、RC柱断面コア部に鋼管を配置することによるじん性の向上、残留変位の低減効果および崩壊防止への有効性を検証した。

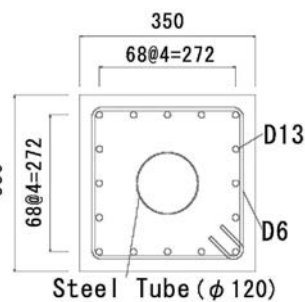
2. 実験供試体および実験方法

(1) 実験供試体

SRC柱供試体の配筋図を図-1に示す。RC柱供試体は道路橋示方書³⁾に基づいて耐力等を算出し設計・製作し、SRC柱供試体は、RC柱供試体と同じ配筋のまま、断面コア部に鋼管を配置した。RC柱およびSRC柱の断面寸法は350mm×350mmの正方形で、供試体高さ1700mm、有効高さ1100mm、せん断スパン比3.14である。SRC柱に用いた鋼管は外径120mm、肉厚1.6mmである。引張試験



(a) 側面図



(b) 断面図

図-1 実験供試体配筋図 (SRC柱)

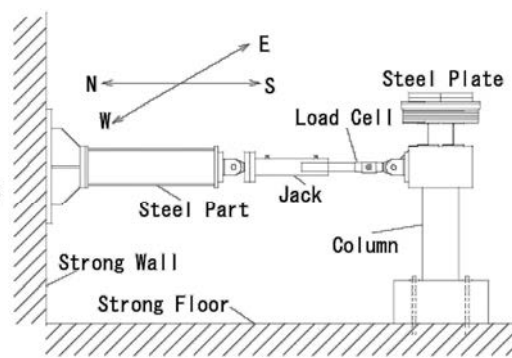
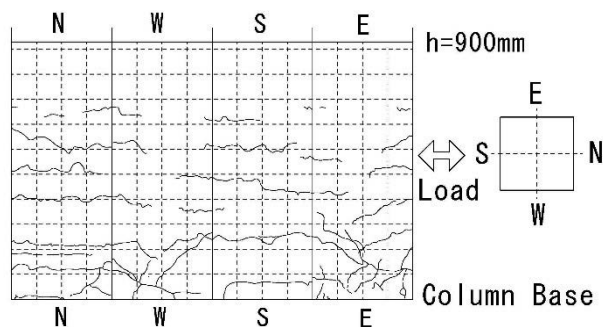
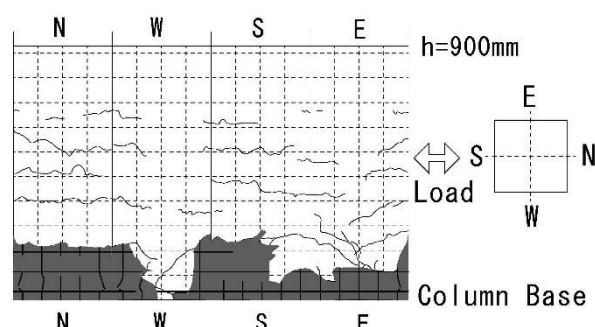


図-2 荷重状況

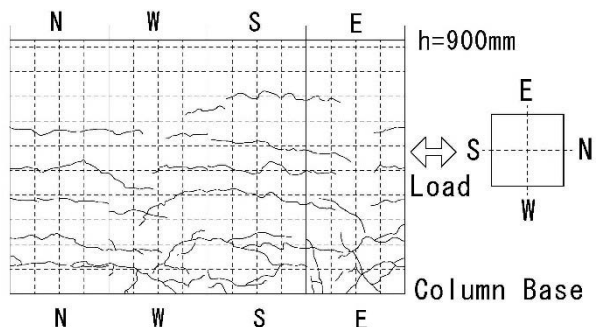


(a) 7 δ_y 荷重終了時

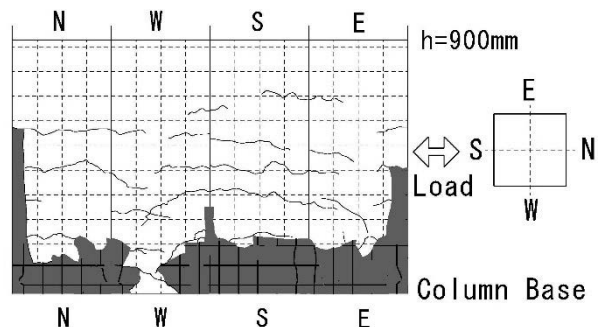


(b) 実験終了時(15 δ_y)

図-3 RC柱損傷図



(a) 7 δ_y 荷重終了時



(b) 実験終了時(17 δ_y)

図-4 SRC柱損傷図

によって求めた降伏強度は軸方向鉄筋，帯鉄筋および鋼管で，それぞれ362N/mm²，361N/mm²，280N/mm²である．実験当日における柱躯体部のコンクリートの圧縮強度はRC柱およびSRC柱で，それぞれ38.6N/mm²，37.6N/mm²である．

(2) 実験方法

荷重状況を図-2に示す．降伏変位 δ_y は柱基部付近の最外縁軸方向鉄筋ひずみが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． δ_y はRC柱およびSRC柱で，それぞれ4.0mm，4.8mmである．正負交番繰り返し載荷によるパターンは1 δ_y ～5 δ_y では同じ変位を3サイクル，6 δ_y ，7 δ_y では2サイクル，8 δ_y から終局に至るまでは1サイクルずつとした．23.0kN分の鋼板を供試体に上載することで0.19N/mm²の軸心力度を作用させ，その状態で油圧ジャッキを用いて正負交番載荷を行った．図-2に示すように載荷方向はNS方向で，S面側が圧縮となる場合を正載荷，N面側が圧縮となる場合を負載荷と定義

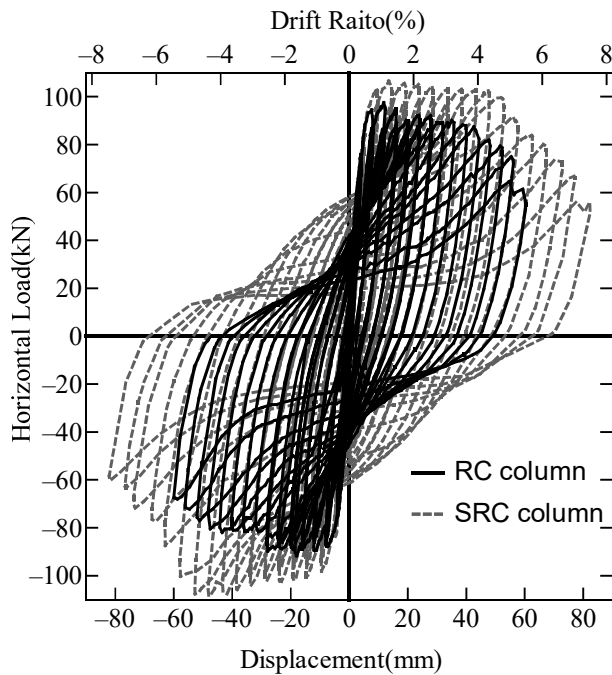


図-5 水平変位－水平荷重の履歴曲線

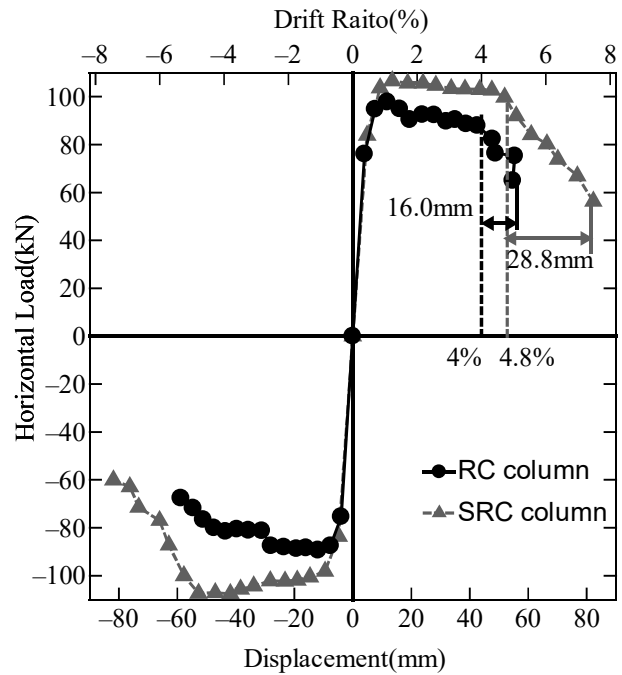


図-6 履歴曲線包絡線

した。計測は水平荷重をロードセルで、載荷位置における水平変位を変位計で、軸方向鉄筋および鋼管に発生するひずみをひずみゲージで測定した。

3. 損傷状況

RC柱とSRC柱の損傷状態を比較するために、7 δ y載荷終了時および実験終了時の損傷状況をそれぞれ図-3および図-4に展開図として示す。なお、展開図には縦横87.5mm間隔のメッシュを記入している。

両供試体ともに1 δ y～7 δ yの載荷において、ひび割れの発生および進展、さらにかぶりコンクリート剥落の兆候が観察された。その後、8 δ y以降で、かぶりコンクリートの剥落が確認され、最終的にRC柱では15 δ y載荷時、SRC柱では17 δ y載荷時に正載荷面側で軸方向鉄筋が破断し、大幅に水平荷重が低下したため実験を終了した。

RC柱の損傷の進展については図-3(a)より、かぶりコンクリートが剥落する前の損傷状況では、柱基部から175mm高さまでの範囲にひび割れが集中している。その後かぶりコンクリートが剥落し始め、実験終了時では図-3(b)より、正載荷面で柱基部から190mm高さまでの範囲で、負載荷面では柱基部から250mm高さまでの範囲でかぶりコンクリートの剥落が生じた。また、コアコンクリートは圧壊しており、柱基部から約80mm高さでは軸

方向鉄筋のはらみ出しが生じ、それに伴う帯鉄筋のはらみ出しも確認された。

SRC柱の損傷の進展については図-4(a)より、RC柱と同様に、かぶりコンクリートの剥落が生じる前までは柱基部から175mm高さまでの範囲にひび割れが集中している。実験終了時の損傷状況では図-4(b)より、正載荷面では柱基部から210mm高さまでの範囲で、負載荷面では柱基部から220mm高さまでの範囲でかぶりコンクリートの剥落が生じた。また、RC柱と同様に、コアコンクリートの圧壊および軸方向鉄筋のはらみ出しが確認された。

両供試体の損傷状況を比較すると、ひび割れ分布は概ね一致している。また、終局変位に差はあるが、両供試体の実験終了時の塑性ヒンジの形成状況は概ね一致していることが確認された。

4. 耐力および変形性能

各供試体の水平荷重-水平変位関係の履歴曲線を図-5に示す。RC柱では正載荷時に最大荷重は97.8kNであり、ドリフト比が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柱は正載荷時に最大荷重は106.7kNであり、ドリフト比が4.8%程度で、安定していた荷重が低下し始めた。SRC柱の耐力がRC柱より10%程度大きい、これは鋼管を配置したためである。

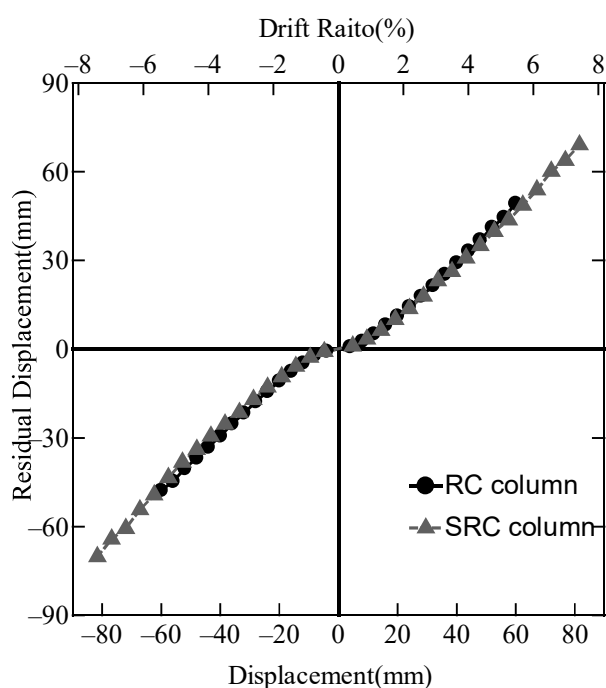


図-7 水平変位-残留変位関係

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%程度大きな変位まで耐力を保つことが確認され、変形性能が高いと考えられる。

各供試体の履歴包絡線を図-6に示す。正載荷時の安定していた荷重が低下し始める変位から実験終了までの差はRC柱およびSRC柱で、それぞれ16mm、28.8mmとなり、SRC柱はRCと比較してより高いじん性を有し、崩壊に至りにくい構造である。

各供試体の水平変位-残留変位関係を図-7に示す。残留変位は、各変位振幅の1サイクル目で水平荷重を除荷した際に0kN時に計測された水平変位と定義する。図-7より、SRC柱とRC柱の残留変位は概ね一致することが確認された。実験では鋼管のひずみも計測しており、SRC柱の柱基部付近の鋼管ひずみが、2 δ_y 載荷時に降伏ひずみを超え、5 δ_y 載荷時には9000 μ 程度のひずみが確認されており、鋼管が大きく非線形領域に入ったため、残留変位の低減効果が得られなかったと考えられる。

5. 結論

本研究では、想定以上の地震力が作用しても崩壊しない新形式の柱として、RC柱断面コア部にCFTを有したSRC柱を提案した。提案したSRC柱およびRC柱に対して正負交番載荷実験を行うことで、SRC柱の基本的な力学

特性、じん性の向上、残留変位の低減効果および崩壊防止への有効性の検証を行った。本研究より得られた結論を以下に示す。

- (1) RC柱とSRC柱のひび割れの進展状況および塑性ヒンジの形成状況は概ね一致しており、RC柱断面コア部に鋼管を配置しても損傷状況に大きな違いは確認されなかった。
- (2) 鉄筋量が同じ場合、断面コア部に鋼管を配置することによって耐力は増加し、SRC柱はRC柱と比べて大きな変位まで最大荷重付近で耐力を保つことが確認された。またSRC柱は、最大荷重付近の低下から終局に至るまでの変位が大きく、RC柱より高いじん性を有し、崩壊に至りにくい構造である。
- (3) RC柱およびSRC柱の残留変位に大きな差はみられなかった。これは、SRC柱の鋼管ひずみより、柱基部付近において鋼管が早期に降伏し、期待していた残留変位の低減効果が得られなかったと考えられる。

本研究では基本的な力学特性を明らかにするために正負交番載荷実験を行ったが、今後は振動実験等の動的載荷実験による動的特性の検証が必要である。

謝辞：本実験の実施に際し、オリエンタル白石（株）の正司明夫氏、渡瀬博氏から多大なるご支援を頂いた。ここに記して厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 川島一彦：地震時保有耐力法の開発経緯，第10回地震時保有耐力法に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.1-11，2007。
- 2) 本田利器，秋山充良，片岡正次郎，高橋良和，野津厚，室野剛隆：「危機耐性」を考慮した耐震設計体系—試案構築に向けての考察—，土木学会論文集 A1，Vol.72，No.4，I_459-I_472，2016。
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説，2012。