

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：13904

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18152

研究課題名(和文) 高強度鋼CFT柱と場所打RC杭をPC鋼棒で緊結したペンシルビル構造システムの開発

研究課題名(英文) Development of a pencil building structure using the high strength steel CFT columns and the RC piles tightened by the PC steel bars

研究代表者

林 和宏 (Hayashi, Kazuhiro)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：40725636

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高強度鋼CFT柱と場所打RC杭をPC鋼棒で緊結した、ペンシルビル構造システムの開発をめざしたものである。

研究では、1：超高強度鋼H-SA700を用いたCFT柱部材の開発と、2：PC鋼棒緊結セルフセンタリング型ペンシルビルの地震応答性状の検討、の2点を具体的な研究課題と定めた。
高強度鋼CFT柱は、十分な耐震性能を有していた。また、開発したセルフセンタリング型ペンシルビルの復元力特性は、提案した各種算定法から精度良く評価できた。

研究成果の概要(英文)：This research developed a pencil building structure using the high strength steel CFT columns and the RC piles tightened by the PC steel bars.

In the study, the following two points were set as research subjects. I. Development of a new CFT columns using ultra high strength steel H-SA700. II. Earthquake response behaviour of pencil building structure with self-centering system using the PC steel bars.

The new CFT columns using ultra high strength steel H-SA700 possessed sufficient seismic performance. Moreover, the restoring force characteristics of the developed pencil building structure with self-centering system could be evaluated from proposed design formulas.

研究分野：建築構造

キーワード：超高強度鋼 CFT柱 PC鋼棒 セルフセンタリング 場所打RC杭 損傷 極限応答 終局状態

1. 研究開始当初の背景

国土が狭い日本では、都市部の過密化に伴い、建築物の高層化に対するニーズが一層高まっている。なかでも、幅に対して高さの割合が大きい細長い建物(通称、ペンスルビル)については、商業用建築物として社会的要求が極めて高い一方、耐震性能の面からは設計が困難とされてきた。

2. 研究の目的

本研究は、近年わが国で開発された高強度系素材を建築構造物に適用することにより、耐震性能に優れたペンスルビルを実現する機構の開発と、その耐震性能の検証と設計法を誘導する。本研究は、建築構造物に開発された超高強度鋼「H-SA700」を用いた CFT 柱部材の開発と、当該 CFT 部材を用いた上部架構と基礎部を PC 鋼棒によって緊結した提案ビルの地震応答性状に関する検討を中核とし、主として構造実験を中心とした研究を展開する。

3. 研究の方法

本研究は、提案ペンスルビルの実現に向けて、(1)超高強度鋼を用いた CFT 柱部材の開発、(2)PC 鋼棒緊結式ペンスルビルの地震応答性状に関する検討、を具体的な研究課題と定め、延べ3年間で研究の結果を図った。

このうち(1)については、研究初年度の平成27年度に縮小試験体を用いた静的載荷実験を実施した。(2)については、上部構造と下部構造を PC 鋼棒で緊結した縮小試験体の静的載荷実験を平成28年度に、実験等に基づいた提案ビルの変形性状検討と、地震応答解析による耐震性能検証を平成29年度に実施した。

4. 研究成果

(1) 超高強度鋼「H-SA700」を用いた CFT 柱部材の開発

建築構造物用超高強度鋼「H-SA700」は、通常軟鋼の3倍近い降伏応力を有する反面、破断伸びが半分程度に留まるなど、やや脆性的な性質を示す。研究では、H-SA700 鋼を用いた CFT 柱部材の耐震性能と終局状態を実験的に検証するとともに、耐力評価法(復元力特性評価)を提案した。

試験体は、H-SA700 鋼を用いた超高強度鋼試験体が3体、SM490 鋼を用いた通常軟鋼試験体が2体の、計5体を準備した。実験変数は、上記の鋼材種に加え、断面形状(円形と角形)、導入軸力比(導入軸力 N と部材降伏軸力 N_0 の比 $n=0, 0.25$)の3項目である。図1に試験体の立面概要を示す。試験体の CFT 柱部は、円形、角形とも鋼管径 D を150mmとし、板厚 $t=6\text{mm}$ の H-SA700 鋼板もしくは SM490 鋼板を冷間成形によって円形および溝形に加工し、軸方向の溶接によって鋼管とした。なお、材料試験に基づく H-SA700 の降伏応力 σ_y は 788MPa であり、

SM490 の 387MPa に比べ2倍以上の弾性変形能力を持つ。一方、破断伸びは 15%と、SM490 の半分程度に止まる。各試験体は、導入軸力を一定に維持するよう鉛直ジャッキをコントロールしつつ、水平方向に正負交番漸増繰り返し変形を与えた。

図2に H-SA700 鋼試験体2体の曲げモーメント-部材変形角関係を示す。図中の実線は正負交番繰り返し載荷実験結果、破線は提案復元力特性である。実験より、超高強度鋼

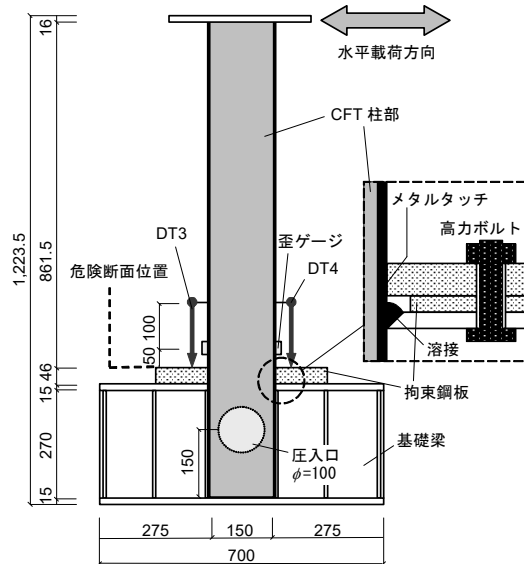


図1 CFT 試験体立面概要 (単位: mm)

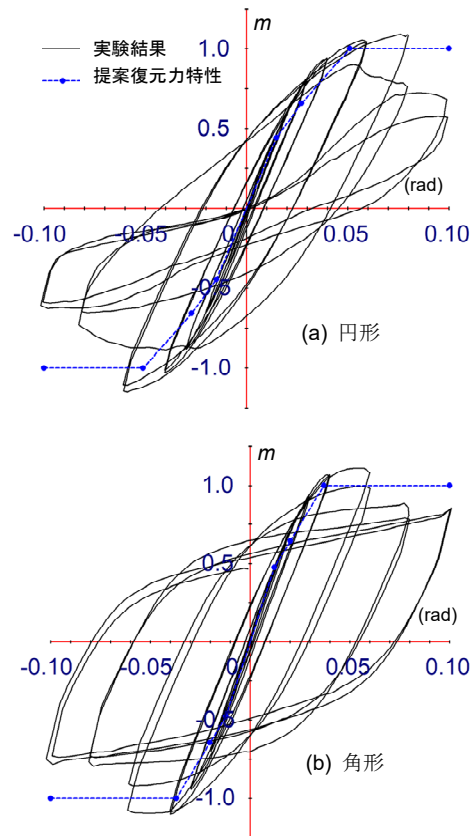


図2 H-SA700 鋼 CFT 試験体の曲げモーメント-部材変形角関係

H-SA700 を鋼管に用いた CFT 柱は、通常軟鋼を用いた場合と同様に、一般化累加強度理論に基づき算定した部材最大曲げ耐力に至るまで、鋼材の破断など脆性的な破壊は発生せず安定的な履歴挙動を示す。また、提案復元力特性は、実験結果を精度良く評価できている。

(2) 上部構造と下部構造を PC 鋼棒で緊結した縮小試験体の静的载荷実験

大型建物を対象に、高弾性要素 (PC 鋼棒) で上部構造と下部構造を緊結した場合の耐震性能を実験的に検証した。試験体は計 6 体とした。図 3 は実験中の試験体全景写真を示す。試験体架構は 1 層高さ 800mm の 3 層構造 (実大スケールの 1/4 相当) で、柱は外径 150mm の超高強度二重鋼管中空 CFT 柱で、内側鋼管内に PC 鋼棒を内蔵している。载荷装置の都合上、本研究が想定する大型建物全層を再現することが困難であったため、試験体は建物架構下 3 層のみを再現し、上部構造の質量は PC 鋼棒への初期張力導入で再現した。実験変数は PC 鋼棒に導入する初期張力、上部構造から下部構造への水平外力伝達機構、エネルギー消費機構の 3 点とした。各試験体は、架構頂部に接続した水平ジャッキによって、水平方向に正負交番漸増繰り返し変形を与えた。

図 4 に試験体のモーメント-架構回転角関係の一例を示す。図は実験結果を実線で、提案復元力特性評価式を破線で示す。当該架構



図 3 PC 鋼棒緊結試験体の载荷風景

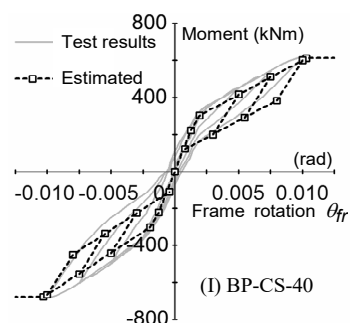


図 4 荷重-変形関係 (実験結果と提案評価式の比較)

は安定した履歴挙動を示しており、その耐震性能は概ね提案評価式で評価できている。

(3) 提案ビルの地震応答解析

提案建物全体の保有耐震性能と地震応答性状検討に向けて、時刻歴応答解析を実施した。対象建物の断面諸元については、日本建築学会 コンクリート充填鋼管構造設計施工指針の付録に記載された「設計例」を参考にした。解析には、立体地震応答解析プログラム STERA_3D (<http://www.rc.ace.tut.ac.jp/saito/software.html>) を使用した。解析モデルは地上 12 階建て、最高高さ 57.9m の CFT 造で、各種構造部材を線材で模擬した。解析で使用する地震波は、JMA_Kobe (NS 成分), ElCentro (NS 成分), 八戸 (EW 成分) 位相の 3 種類とし、最大地動速度を 25kine, 50kine, 75kine となるよう調整した。減衰は初期剛性比例型とし、減衰定数は 1 次, 2 次とも 2%とした。

図 5 は、時刻歴応答解析における最大加速度、最大層間変形角、残留変位の高さ方向の分布の一例 (JMA_Kobe 波 75kine) を示す。図中の紫 ▼ は柱部材に超高強度鋼 H-SA700 鋼を適用したモデル、黒 ● は通常軟鋼 SM490 を適用したモデルである。なお、両者の耐力を同一にするため、H-SA700 鋼モデルの断面寸法は、SM490 モデルの 8 割程度 (鋼材量では 7 割程度) としている。解析では、提案建物が JMA_Kobe 波 75kine という極大地震下でも崩壊に至らず、最大変形量が概ね 1/100 程度に留まっていることがわかる。また、H-SA700 鋼を用いたモデルは、使用した鋼材量が約 1.5 倍の通常軟鋼モデルと遜色のない耐震性能を実現できている。

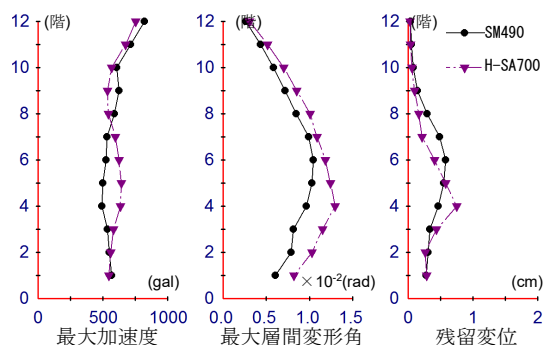


図 5 動的解析結果 (JMA-Kobe NS 位相 75kine)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① K. Skalomenos, K. Hayashi, R. Nishi, H. Inamasu, M. Nakashima : Experimental Behavior of Concrete-Filled Steel Tube Columns Using Ultra-High Strength Steel, Journal of Structural Engineering, ASCE,

Vol. 142, No. 9, 2016. 09., DOI: 10.1061/
(ASCE)ST.1943-541X.0001513.

- ② 林和宏・西亮祐・稲益博行：超高強度鋼を用いたコンクリート充填二重鋼管柱部材の曲げ変形性能に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 38, No.2 pp.1165-1170, 2016.07.
- ③ K. Hayashi, R. Nishi, H. Inamasu : Proposal of a New Structural Member Using a Recently Developed High Strength Material, International Journal of Structural and Civil Engineering Research, Vol. 5, No. 3 pp.168-174, 2016.08., doi: 10.18178/ijscer.5.3.168-174
- ④ 林和宏・稲益博行：PC 鋼棒と中空 CFT 柱を用いたセルフセンタリング機構の耐震性能，日本建築学会構造工学論文集，Vol. 63B pp. 181-188, 2017. 03.
- ⑤ 八森渉・林和宏・田村修次・齊藤大樹：乾燥砂地盤-RC 系杭-建物系の極限応答に関する遠心場振動実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 39, No. 2 pp. 817-822, 2017. 07.
- ⑥ 林和宏・田村修次：遠心載荷実験におけるコンクリート系杭の損傷挙動と建物の地震応答，日本建築学会構造系論文集，第 740 号 pp.1633-1640, 2017. 10.
- ⑦ K. Hayashi, W. Hachimori, S. Kaneda : Seismic Performance of Concrete Filled Steel Tube Column Building using Ultra High Strength Steel H-SA700, International Journal of Structural and Civil Engineering Research, Vol. 7, No. 2 pp.92-98, 2018.05., doi: 10.18178/ijscer.7.2.92-98
- ⑧ K. Hayashi, K. A. Skalomenos, H. Inamasu, Y.B. Luo : Self-Centering Rocking Composite Frame using Double-Skin Concrete-Filled Steel Tube Columns and Energy Dissipating Fuses in Multiple Locations, Journal of Structural Engineering, ASCE, accepted, 2018.

[学会発表] (計 7 件)

- ① K. Hayashi, R. Nishi, H. Inamasu : Proposal of a New Structural Member Using a Recently Developed High Strength Material, The 2016 3rd International Conference on Civil and Urban Engineering, Amsterdam, Netherlands, 2016.03.
- ② 八森渉・林和宏・田村修次・齊藤大樹：鉄筋コンクリート杭に支持された建物の極限応答に関する遠心場振動実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，Vol. C-1, pp. 691-692, 2016. 08.
- ③ 八森渉・林和宏・田村修次・齊藤大樹：遠心載荷装置を用いた乾燥砂-RC 杭-建物

系の振動破壊実験，地盤工学研究発表会，No. 51, pp.1313-1314, 2016.09.

- ④ K. Hayashi, Y. Luo, R. Nishi, H. Inamasu, M. Nakashima : Experimental Study On Cyclic Behaviors And Restoring Force Characteristics Of Concrete Filled Steel Tube Columns Using Ultra-High Strength Steel, Proc. the 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, 2017.01.
- ⑤ S. Kaneda, K. Hayashi, W. Hachimori, S. Tamura, T. Saito : Failure Behavior of Concrete Pile and Super-Structure Dynamic Response as a Result of Soil Liquefaction during Earthquake, AIP Conference Proceedings, Vol. 1892, Issue1, No. 020016, 2017. 10.
- ⑥ 八森渉・林和宏・金田吾将・田村修次・齊藤大樹：遠心載荷装置を用いた大径鉄筋コンクリート杭の静的水平繰り返し載荷実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，Vol. C-1, pp. 605-606, 2017. 08.
- ⑦ K. Hayashi, K. A. Skalomenos, H. Inamasu : Seismic Performance of a Controlled-Rocking Concrete-Filled Steel Tube/Moment Resisting Fram, Proc. the 16th European Conference on Earthquake Engineering, Thessaloniki, Greece , 2018.06.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 和宏 (HAYASHI, Kazuhiro)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40725636

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし