

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15134

研究課題名（和文）水平2方向荷重を受けるCFT柱の繰り返し変形性能評価法と履歴モデルの構築

研究課題名（英文）Development of Evaluation Method of Cyclic Deformation Capacity and Hysteretic Model of CFT Columns Subjected to Bi-directional Horizontal Loads

研究代表者

石田 孝徳 (Ishida, Takanori)

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・准教授

研究者番号：80746339

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）：CFT柱の水平2方向挙動は複雑であることから、まず、構成要素である角形鋼管柱に着目し、載荷振幅を主たる実験変数とした載荷実験を実施した。実験結果より、振幅が耐力劣化挙動に及ぼす影響、および、安定した挙動を示す限界点を局部座屈が発生する領域のフランジの軸縮み量により特定できることを解明した他、その限界点に至るまでの繰り返し変形性能評価法を構築した。

次いで、小振幅下におけるCFT柱の水平2方向の載荷実験を行った。実験結果より、CFT柱が安定した挙動を示す限界点は角形鋼管柱と同じ手法で特定できること、その限界点に至るまでの繰り返し変形性能に及ぼす水平2方向荷重や載荷振幅の影響を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、これまで実験例が極めて少ない、小振幅下で水平2方向荷重を受けるCFT柱の繰り返し載荷実験を系統的に実施し、有用な実験データを蓄積することができた。また、載荷振幅と水平2方向荷重が局部座屈による耐力劣化挙動に及ぼす影響を、局部座屈が発生する領域の軸縮み量に基づき詳細に分析した点、さらに、不安定な挙動を示す起点である安定限界をその軸縮み量により特定できることを解明した点は、独創性かつ新規性のある研究成果である。さらに、現時点では角形鋼管柱についてのみであるが、局部座屈の軸縮み量に着目することで、破壊現象を陽に考慮した新たな観点による繰り返し変形性能の予測法を構築することができた。

研究成果の概要（英文）：Cyclic loading tests of square hollow section (SHS) steel column were conducted as the fundamental study on CFT columns subjected to horizontal bi-directional loads. From the experimental results, the influence of the loading amplitude on the strength deterioration behavior was clarified and the limit point showing stable behavior (hereafter, the stability limit) can be specified by the amount of axial contraction of the flange in the region where local buckling occurs. Furthermore, a prediction method of the cyclic deformation capacity to the stability limit was developed.

Cyclic loading tests of CFT columns subjected horizontal bi-directional small amplitude loads were carried out. From the experimental results, it was clarified that the stability limit of CFT columns can also be identified by the same method as the SHS column, and the influence of the horizontal bi-directional load and the loading amplitude on the cyclic deformation capacity up to the stability limit.

研究分野：建築構造

キーワード：CFT柱 角形鋼管 小振幅 水平2方向載荷 局部座屈 破断 耐力劣化

1. 研究開始当初の背景

超高層鋼構造建物に多く用いられるコンクリート充填鋼管柱 (CFT 柱) に関するこれまでの多くの研究では、構面内挙動を対象としている。一方、地震荷重下では建物は3次元に挙動し、柱には軸力と水平2方向荷重が作用するが、このような荷重条件において CFT 柱の剛性・耐力の劣化開始時点やその後の挙動がどの程度変化するかはわかっていない。そのため、設計の想定を上回る地震動を超高層建物が受ける場合に、水平1方向入力と水平2方向入力でどの程度損傷が変化するかを適切に評価できず、平面骨組による設計で見込むべき安全率が曖昧となっている。また、近年では、南海トラフ等を震源域とする長周期地震動の発生が危惧されており、高層建物では小振幅の多数回繰り返しに対する部材の安全性検証が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、角形断面の CFT 柱の水平2方向挙動に着目し、水平2方向の載荷履歴と載荷振幅を主なパラメータとした繰り返し載荷実験を行う。実験結果に基づき、水平2方向荷重や載荷振幅による影響で、CFT 柱の復元力特性の劣化性状がどのように変化するかを解明するとともに、水平2方向荷重下における繰り返し変形性能の評価法を構築する。さらに、水平2方向荷重および載荷振幅が復元力特性の劣化性状に及ぼす影響を反映できる履歴モデルを構築することで、超高層建物の3次元地震応答予測の高度化を図る。

3. 研究の方法

鋼・コンクリートの合成構造である CFT 柱の水平2方向挙動は、耐力劣化域における挙動も含めると相当複雑であることが想定される。そこで研究の端緒として、構成要素である角形鋼管柱(中空断面)の小振幅下における構面内挙動について、載荷実験結果に基づき分析を行う。次いで、小振幅下における CFT 柱の構面内挙動および水平2方向挙動に関する載荷実験を行い、角形鋼管柱に関する検討で得られた知見を基に、耐力劣化挙動や繰り返し変形性能を調査する。

(1) 角形鋼管柱(中空断面)の小振幅下での繰り返し載荷実験

試験体は冷間ロール成形角形鋼管(BCR295)であり、図1に示すように、試験体の両端部はエンドプレートに完全溶込み溶接されている。実験は片持ち柱形式で行い、一定軸力下で変位制御により載荷した。本実験のパラメータは、幅厚比 $B/t(=19.4\sim 33.3)$ 、軸力比 $P/P_y(=0.15\sim 0.35)$ 、せん断スパン比 $L/B(=3.0\sim 7.0)$ 、載荷履歴(単調、一定振幅(1.0~2.5 θ_{pc})、変動振幅)とした。ここに、 θ_{pc} は軸力を考慮した全塑性モーメントに対応する弾性部材角の計算値である。主な計測項目であるが、試験体端部の曲げモーメント M と部材角 θ を計測したほか、図1に示すように、局部座屈が発生する領域におけるフランジ板要素の材軸方向変形 δ_b (以下、局部座屈変形) を計測した。

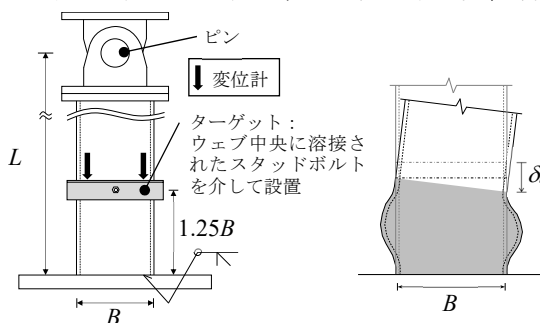


図1 試験体と局部座屈変形 δ_b の計測

(2) CFT 柱の小振幅下での水平2方向繰り返し載荷実験

試験体は材長 1800mm の CFT 柱であり、両端部はエンドプレートに完全溶込み溶接されている。鋼管(BCR295)の幅 B は 200mm であり、板厚 t は 6mm と 9mm の2種類を用意した。一方、充填コンクリートは設計基準強度を 50N/mm² とした高強度コンクリートとした。

実験は、図2に示すように逆対称曲げの載荷形式とし、一定軸力下で変位制御により水平方向の載荷を行った。主な計測項目であるが、 x (短径)方向、 y (長径)方向それぞれの試験体端部の曲げモーメント xM 、 yM ならびに部材角 $x\theta$ 、 $y\theta$ を計測した。また、上述の角形鋼管柱の実験と同様に局部座屈変形 δ_b を計測した。

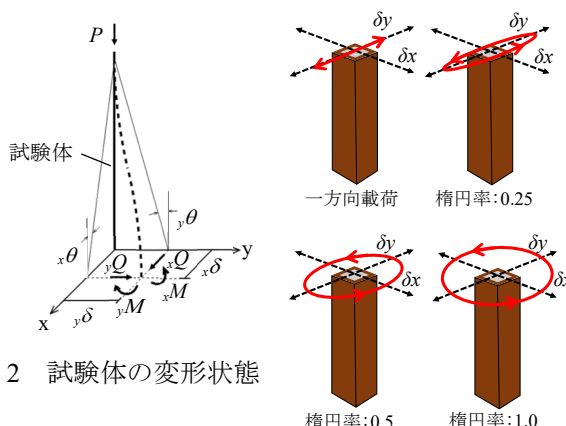


図2 試験体の変形状態

本実験では、鋼管幅厚比 B/t 、軸力比 P/P_y 、変位振幅および水平2方向の楕円率を実験パラメータとした。 B/t は、板厚を変えることで 22.2、33.3 の2種類を用意した。 P/P_y は 0.3、0.5 の2種類とした。水平面内の載荷履歴は図3に示すように、水平1方向および楕円による水平2方向載荷とした。変位振幅は一定とし、 θ/θ_{pc} として 1.0、1.5、2.0、2.5 の

図3 水平面内の載荷履歴

4種類とした。なお、水平1方向荷重については、単調荷重も実施している。ここで、 θ_{pc} は軸力を考慮した1軸曲げを受けるCFT柱の全塑性曲げ耐力 M_{pc} に(文献1)の短柱の終局曲げ耐力に相当)対応する弾性部材角の計算値である。また、楕円荷重における上記の振幅は、楕円の長径で制御した。楕円率は楕円の長径に対する短径の比として表し、0.25、0.5、1.0の3種類とした。

4. 研究成果

(1) 小振幅下における角形中空鋼管柱の耐力劣化挙動と繰り返し変形性能評価

① 耐力劣化挙動

本実験では、局部座屈が発生した試験体と、繰り返し荷重の疲労によって鋼管角部の溶接止端部を起点に亀裂が生じ、最終的にフランジ全面が破断した試験体の2種類の破壊モードが観察された。本報告では、局部座屈により終局状態に至った試験体について述べる。

最大耐力と局部座屈変形 δ_b の推移を図4に例示する。左から単調荷重、一定振幅の振幅が大きい順にグラフを並べている。単調荷重とした試験体では、縦軸に局部座屈変形 δ_b 、横軸に試験体端部の曲げモーメント M を示している。一定振幅の試験体では、左縦軸に δ_b 、右縦軸に M 、横軸に繰り返し回数 N を示しており、正側の荷重領域を例に、各サイクルの最大曲げモーメントおよび除荷開始時における局部座屈変形をプロットしたものである。また、単調荷重とした試験体の最大耐力到達時の局部座屈変形 $\delta_{b,cr}$ を灰色破線で示す。一定振幅の試験体では、繰り返し回数が小さな領域では急激な耐力劣化や局部座屈変形の進展は見られず、安定した挙動を示しているが、灰色破線で示した $\delta_{b,cr}$ に到達した時点を目印として、耐力劣化が顕著になり、局部座屈変形が急激に進展していることがわかる。そこで、繰り返し荷重を受ける試験体の δ_b が、 $\delta_{b,cr}$ に到達した時点を目印として安定限界と定義する。

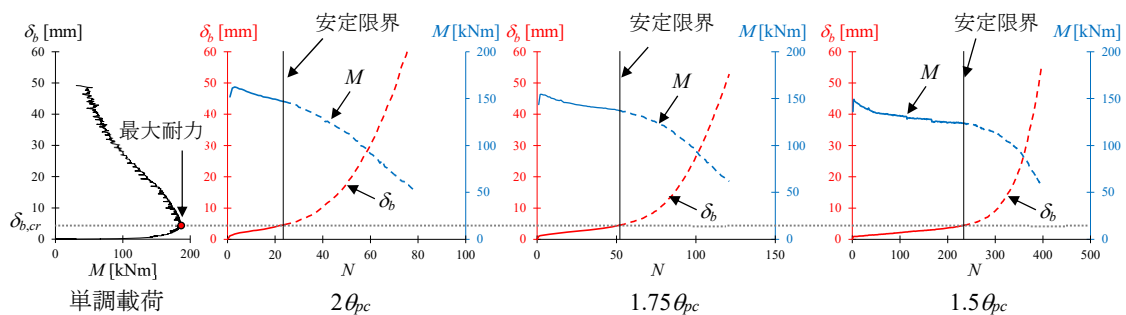


図4 ピーク荷重および局部座屈変形の推移と安定限界 ($B/t=19.4, P/P_y=0.3, L/B=4.9$)

② 安定限界に至るまでの繰り返し回数の予測法の構築

本研究では、図5に示すように、局部座屈変形の推移のモデル化に基づき、安定限界に至るまでの繰り返し回数 N_{cr} の予測法を構築する。図中の縦軸は局部座屈変形、横軸は繰り返し回数である。黒色実線は図4と同様に、一定振幅の繰り返し荷重を受ける場合の代表的な局部座屈変形の推移を示している。荷重開始から最初の除荷開始時点(初期1/4サイクル)における δ_b の増分には、局部座屈領域の曲げによる回転成分と断面重心における軸縮み成分の両方が含まれる。ここで、初期1/4サイクルにおける局部座屈変形を $\delta_{b,0}$ とする。一方、これ以降の1サイクルあたりの δ_b の増分は、初期1/4サイクルにおける増分よりも小さい。これは、一定の部材角振幅を与えていることから、局部座屈変形を計測している断面の回転成分は前後のサイクルでほぼ一定となり、1サイクルあたりの増分のほとんどは断面重心における軸縮み成分のみになるためである。また、初期1/4サイクル以降の1サイクルあたりの δ_b は、 $\delta_{b,cr}$ に至るまで概ね一定であることもわかる。そこで、初期1/4サイクル以降の1サイクルあたりの δ_b は、 $(\delta_{b,cr} - \delta_{b,0})/N_{cr}$ で一定であると仮定する。以上の分析に基づくと、①初期1/4サイクルにおける局部座屈変形 $\delta_{b,0}$ 、②単調荷重の試験体が最大耐力に至った時点での局部座屈変形 $\delta_{b,cr}$ 、③初期1/4サイクル以降の1サイクルあたりの局部座屈変形 $(\delta_{b,cr} - \delta_{b,0})/N_{cr}$ の3つの変数を予測できれば、安定限界に至るまでの繰り返し回数 N_{cr} を予測できる。従って、本研究では実験結果に基づき①~③の回帰式をそれぞれ求め、これらを組み合わせることで、式(1)で表される安定限界に至るまでの繰り返し回数の予測式を構築した。

$$N_{cr(cal)} = \frac{\left(\frac{10.23}{\alpha_e} - 2.86 \right) \left(1 + \frac{1}{1.03\alpha_e \cdot L/B - 8.66 \frac{\theta}{\theta_{pc}}} \right)}{0.0079 \left(\frac{\theta}{\theta_{pc}} \right)^{5.36}} \quad (1)$$

ここに、 α_e : 基準化等価幅厚比²⁾

N_{cr} の予測値 $N_{cr(cal)}$ と実験結果 $N_{cr(exp)}$ との比較を図6に示す。両者は概ね対応しており、式(1)によりパラメータによらず統一的に予測できることがわかる。なお、Miner則³⁾とRain-flow法⁴⁾を組み合わせることで、変動振幅下の N_{cr} を予測できることを確認している。

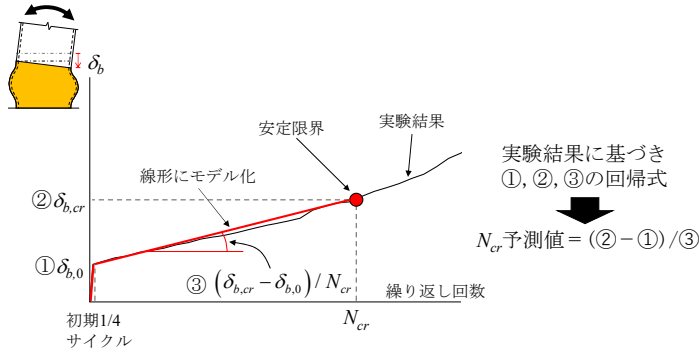


図5 安定限界に至るまでの繰り返し回数 N_{cr} の予測法の概念

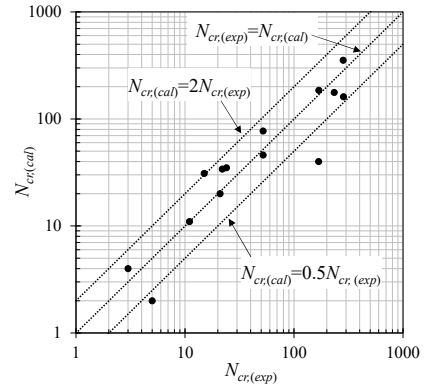


図6 予測値と実験結果との比較

(2) 小振幅の水平2方向荷重を受けるCFT柱の繰り返し変形性能評価

①破壊モードと初期数サイクルにおける履歴挙動

本実験では、全試験体24体中22体において局部座屈の発生が見られた。一方、載荷振幅が $1\theta_{pc}$ と小さい試験体において、溶接止端部における延性亀裂の進展に伴う破断が生じたが、千サイクル程度まで顕著な耐力の劣化は見られなかった。

次に、初期2サイクルにおける荷重-変形関係を、 $B/t=22.2$ 、 $P/P_y=0.3$ 、 $\theta/\theta_{pc}=1.5$ を例に図7に示す。図の縦軸は試験体下端の曲げモーメント M であり、横軸は部材角 θ である。図は、水平1方向荷重を含め、楕円率による違いを比較している。なお、図中の黒実線、赤実線は、それぞれ y (長径) 方向の $_yM-y\theta$ 関係、 x (短径) 方向の $_xM-x\theta$ 関係を表している。また、灰色破線は文献1)による全塑性耐力 M_{pc} と弾性剛性 K_e の計算値を示す。いずれの試験体も、計算値と概ね対応した弾性剛性を発揮し、 y 方向の曲げモーメントは概ね全塑性耐力に到達している。また、繰り返しに対して安定した履歴曲線を描いている。水平1方向荷重から楕円率が大きくなると、短径方向の曲げモーメントは増大するが、長径方向の曲げモーメントには大きな違いは見られないことがわかる。図7に示した各試験体 ($B/t=22.2$ 、 $P/P_y=0.3$ 、 $\theta/\theta_{pc}=1.5$) について、 x 方向の曲げモーメント $_xM$ と y 方向の曲げモーメント $_yM$ の関係からなる荷重軌跡を図8に示す。それぞれの曲げモーメントは全塑性耐力 M_{pc} で除している。図中には、文献1)より算出した軸力と2軸曲げを受ける角形CFT柱の全塑性耐力相関曲線を黒色破線で示している。また、灰色実線は、長径を1.0、楕円率を各試験体に与えた水平面内の荷重履歴と対応させた楕円であり、与えた変形軌跡の形状と対応する。楕円率を0.25、0.5とした試験体の荷重軌跡は、水平2方向荷重による変形軌跡の形状と概ね対応している。一方、楕円率1.0の正円では、特に45°方向において荷重軌跡は変形軌跡の形状のやや内側をたどっていること、また、文献1)より算出した全塑性耐力相関曲線と概ね対応していることがわかる。

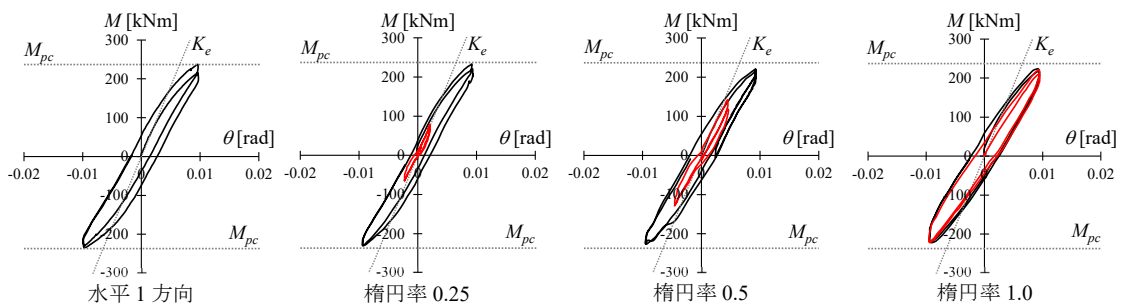


図7 荷重-変形関係 ($B/t=22.2$ 、 $P/P_y=0.3$ 、 $\theta/\theta_{pc}=1.5$)

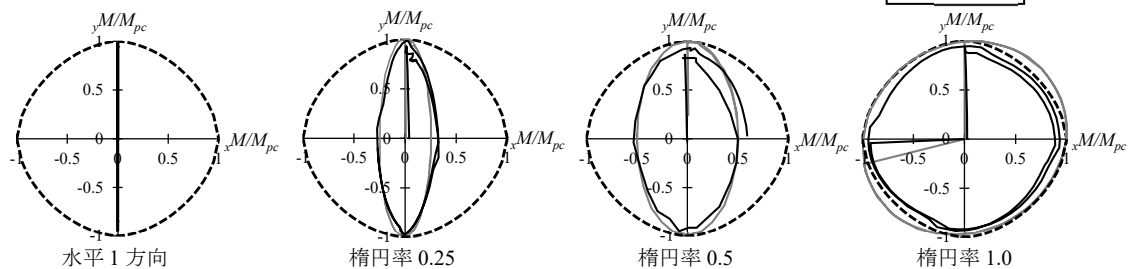


図8 荷重軌跡 ($B/t=22.2$ 、 $P/P_y=0.3$ 、 $\theta/\theta_{pc}=1.5$)

②耐力劣化挙動

長径方向の荷重振幅ごとに、楕円率が異なる試験体の各サイクルのピーク荷重の推移を図9に示す。図の縦軸は各サイクルでのピーク荷重、横軸はサイクル数 N である。なお、図中の赤破線は後述する安定限界後の挙動である。水平1方向荷重と楕円率0.25とした試験体のピーク荷重の推移は同様であるが、振幅を $2\theta_{pc}$ とした試験体では、むしろ水平1方向荷重とした試験体のほうが楕円率0.25とした試験体よりもピーク荷重の低下度合いが若干大きくなっている。これは、荷重制御の都合により、楕円率0.25とした試験体の実際の荷重振幅が、目標とした振幅である $2\theta_{pc}$ よりも小さかったことが一因として考えられる。一方、楕円率を0.5以上とした試験体では、楕円率が大きくなるにつれてピーク荷重の低下度合いは明瞭に大きくなっていることがわかる。

次に、局部座屈変形 δ_b の推移を図10に示す。図の縦軸は各サイクルの除荷開始点における δ_b 、横軸はサイクル数である。なお、図中の灰色破線は、単調荷重とした試験体の最大耐力到達時における局部座屈変形 $\delta_{b,cr}$ であり、赤色破線は、繰り返し荷重を受ける試験体の局部座屈変形が $\delta_{b,cr}$ に到達した以降の挙動を示している。図10より楕円率の大きな試験体ほど δ_b の増加度合いが大きくなる傾向がある。ただし、図10(b)に示す楕円率0.25とした試験体の δ_b は、水平1方向荷重とした試験体のものよりも増加度合いが緩やかとなっている。これは、上述のように、楕円率0.25とした試験体の実際の荷重振幅が目標振幅よりも小さかったことが一因として考えられる。また、いずれの試験体についても、 $\delta_{b,cr}$ に到達するあたりから δ_b が急増し、角形鋼管柱における結果と同様の傾向を示すことがわかった。一方、前出の図9に示すように、角形鋼管柱とは異なり、耐力劣化の度合いが $\delta_{b,cr}$ 到達後に急激に増加する傾向は見られなかった。本研究では、耐力劣化だけでなく、柱部材の材軸方向縮みも重要な損傷評価指標であることから、CFT柱についても、顕著な材軸方向変形の起点となる、局部座屈変形が $\delta_{b,cr}$ に到達した時点安定限界と定義する。

③繰り返し変形性能

安定限界に至るまでの繰り返し回数 N_{cr} に及ぼす荷重振幅、楕円率の影響を調査する。 $N_{cr}-\theta/\theta_{pc}$ 関係を図11に示す。縦軸、横軸はいずれも対数軸となっている。水平1方向荷重における N_{cr} は振幅が大きくなるほど小さくなり、 $N_{cr}-\theta/\theta_{pc}$ 関係は対数軸上で概ね線形となっている。また、荷重振幅ごとにみると、楕円率が大きくなるにつれて N_{cr} は低下することがわかった。ただし、図9,10でも示したように、楕円率が小さな範囲（楕円率0.25）では、その影響は小さくなる傾向にある。さらに、式(1)で算出される水平1方向荷重における角形鋼管柱の N_{cr} の予測値も図中の赤色破線で示す。安定限界に至るまでの繰り返し変形性能は、CFT柱のほうが角形鋼管柱よりも高いことがわかった。

[参考文献]

1)日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計ガイドブック，2012.10

2)山田哲，秋山宏，桑村仁：局部座屈を伴う箱形断面部材の劣化域を含む終局挙動，日本建築学会構造系論文報告集，第444号，pp.135-143，1993.2

3)Miner MA：Cumulative damage in fatigue，J Appl Mech，12(3)，pp.A159-A164,1945.9

4)遠藤達雄，松石正典，光永公一，小林角一，高橋清文：「Rain Flow Method」の提案とその応用，九州工業大学研究報告(工学)，No.28，pp.33-62，1974.3

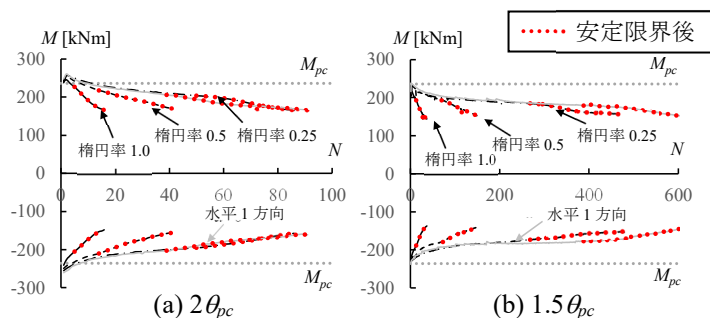


図9 各サイクルの最大耐力の推移 ($B/t=22.2, P/P_y=0.3$)

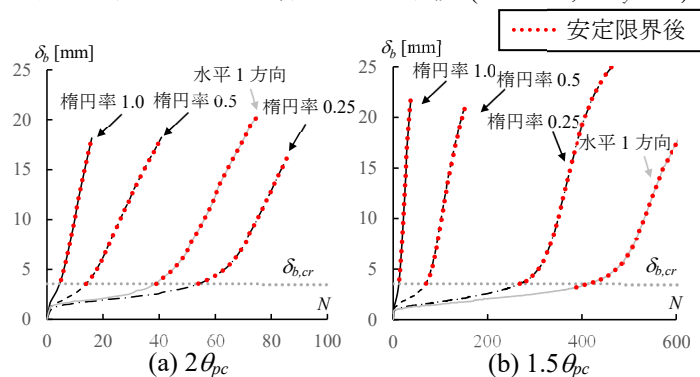


図10 局部座屈変形 δ_b の推移 ($B/t=22.2, P/P_y=0.3$)

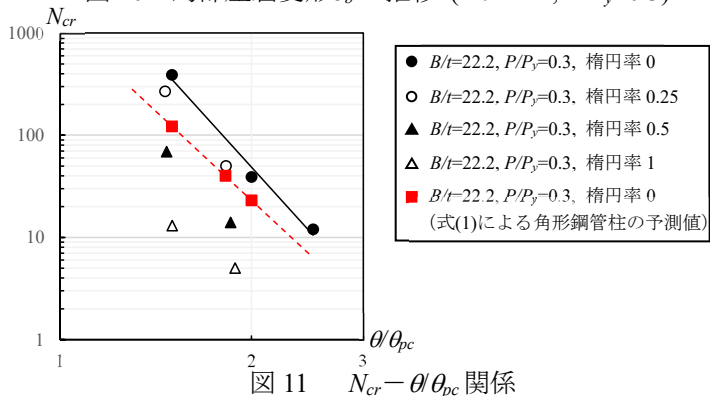


図11 $N_{cr}-\theta/\theta_{pc}$ 関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yang Dong, Takanori Ishida, Shunsuke Tamada, Shoichi Kishiki, Satoshi Yamada	4. 巻 28
2. 論文標題 Experimental Study on Deterioration Behavior of SHS Columns under Cyclic Small Amplitude Loading	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 874-882
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ishida Takanori, Dong Yang, Kishiki Shoichi, Yamada Satoshi, Hasegawa Takashi	4. 巻 252
2. 論文標題 Cyclic behaviors of SHS columns subjected to small amplitude loading	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Engineering Structures	6. 最初と最後の頁 113611～113611
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.engstruct.2021.113611	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Y. Dong, T. Ishida, S. Kishiki, S. Yamada, T. Hasegawa	4. 巻 29
2. 論文標題 Low Cycle Fatigue performance of SHS Columns Subjected to Small Amplitude Loading	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 鋼構造年次論文報告集	6. 最初と最後の頁 318-327
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件／うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Takanori Ishida, Satoshi Yamada
2. 発表標題 Hysteretic Behavior of SHS Steel Columns Subjected to Small Amplitude Loading History
3. 学会等名 17th World Conference on Earthquake Engineering (17WCEE) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田孝徳, ドンヤン, 玉田俊介, 吉敷祥一, 山田哲, 長谷川隆
2. 発表標題 Cyclic Behavior of SHS Columns Subjected to Small Amplitude Loading Part 1 Test Plan and Outline of Test Results
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 ドンヤン, 玉田俊介, 石田孝徳, 吉敷祥一, 山田哲, 長谷川隆
2. 発表標題 Cyclic Behavior of SHS Columns Subjected to Small Amplitude Loading Part 2 Investigation of strength deterioration behavior due to local buckling
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 玉田俊介, ドンヤン, 石田孝徳, 吉敷祥一, 山田哲, 長谷川隆
2. 発表標題 Cyclic Behavior of SHS Columns Subjected to Small Amplitude Loading Part 3 Evaluation of cyclic deformation capacity
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 神谷勇成, 石田孝徳, 吉敷祥一, 山田哲, 薩川恵一
2. 発表標題 小振幅塑性変形を受ける角形鋼管柱の繰り返し履歴挙動に関する解析的研究
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yang Dong, Takanori Ishida, Shunsuke Tamada, Shoichi Kishiki, Satoshi Yamada, Takashi Hasegawa
2. 発表標題 Cyclic behavior of SHS columns under small inelastic cycles Part 1 Cyclic loading tests with shear span ratio of 7.0 and experiment database
3. 学会等名 2020年度日本建築学会関東支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yang Dong, Takanori Ishida, Shunsuke Tamada, Shoichi Kishiki, Satoshi Yamada, Takashi Hasegawa
2. 発表標題 Cyclic behavior of SHS columns under small inelastic cycles Part 2 Prediction of deformation capacity to the stability limit
3. 学会等名 2020年度日本建築学会関東支部研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takanori Ishida, Satoshi Yamada
2. 発表標題 Deterioration Behavior of SHS Steel Columns subjected to Small Amplitude Loading History
3. 学会等名 The 16th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC16) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yang Dong, Takanori Ishida, Shoichi Kishiki, Satoshi Yamada, Takashi Hasegawa
2. 発表標題 Cyclic behaviors of SHS columns subjected to small inelastic cycles
3. 学会等名 11th International Symposium on Steel Structures (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takanori Ishida, Yang Dong, Kazumasa Mogi, Shoichi Kishiki, Satoshi Yamada, Takashi Hasegawa
2. 発表標題 Low Cycle Fatigue Performance of SHS Columns Subjected to Small Amplitude Loading Part 1 Test plan and summary of test results
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazumasa Mogi, Yang Dong, Takanori Ishida, Shoichi Kishiki, Satoshi Yamada, Takashi Hasegawa
2. 発表標題 Low Cycle Fatigue Performance of SHS Columns Subjected to Small Amplitude Loading Part 2 Investigation on low cycle fatigue life
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yang Dong, Takanori Ishida, Kazumasa Mogi, Shoichi Kishiki, Satoshi Yamada, Takashi Hasegawa
2. 発表標題 Low Cycle Fatigue Performance of SHS Columns Subjected to Small Amplitude Loading Part 3 Investigation on strength deterioration
3. 学会等名 日本建築学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------