

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：27101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06303

研究課題名(和文) 高強度CFT長柱の疲労ならびに余裕度評価法の開発

研究課題名(英文) Development of the evaluation method of fatigue property and safety margin of the slender CFT columns with high strength materials

研究代表者

城戸 将江 (KIDO, MASAE)

北九州市立大学・国際環境工学部・准教授

研究者番号：10453226

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：高強度鋼材を用いたCFT柱が一定変位振幅繰り返し載荷を受ける場合の、耐力劣化挙動について構造実験ならびに文献調査によって検討を行った。建築構造用高強度H-SA700鋼材を用いた場合で、CFT指針における長柱の範囲となる座屈長さ・断面せい比が16程度の場合、変位振幅が部材角2%で100サイクル繰り返しでも荷重の低下はほぼ生じなかった。解析的研究により、終局耐力、応力状態の検討を行った。CFT柱の終局耐力に関する解析的研究を行い、全塑性モーメントを発揮できる解析変数を明らかにした。また、短期許容耐力に達した時にコンクリートのみならず鋼管が降伏している解析変数の範囲があることを示した。

研究成果の概要(英文)：Strength deterioration behavior of a CFT column subjected to the lateral load with constant displacement were discussed by the experimental study and literature survey. Strength of CFT column made of the high strength steel H-SA700 whose effective length - depth ratio is 16 did not decrease after 100 cycle loading, even though the displacement amplitude rotation angle was 2%. By the analytical study, the ultimate strength, the lateral stiffness and the stress condition of CFT columns were examined. The analytical parameters with which CFT columns exerts the full plastic moment were shown. Ranges of the analytical parameters with which CFT columns yield when the allowable strength was reached were shown.

研究分野：構造工学

キーワード：鋼・コンクリート合成構造 長周期地震動 終局耐力 耐力劣化 高強度鋼材

1. 研究開始当初の背景

コンクリート充填鋼管(以後 CFT)構造は、現在では大多数の超高層建物に利用されている。すでに多くの実績があり、完成されつつある構造と考えられているが、南海トラフを震源とする巨大地震発生と、それによる長周期地震動への懸念や高強度鋼材の実用化といった状況の変化により、これまで検討されてこなかった新たな重要な課題が生まれている。2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、震源から離れた東京や大阪でも高層建築物が長時間揺れ続けるといった現象が生じた。

長周期地震動に関する研究としては、近年、鉄骨造超高層建物の安全検証方法の検討が行われている(例えば、1)長周期地震動に対する鉄骨造超高層建物の安全性検証の検討その1~その33, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011~2014)。これらの内、2014年度は CFT 柱についても繰返し実験が行われており、振幅が徐々に増加する正負漸増繰返し載荷、長周期地震動を想定した一定振幅下の繰返し載荷が実施され、地震応答解析結果から、CFT 柱の損傷評価手順が提案されている。

また、CFT 長柱の疲労特性について、角形 CFT 長柱の塑性域での疲労特性を予測するために、既往の研究成果と線形累積損傷則により疲労評価する手法が提案されている(2) 福元敏之: コンクリート充填角形鋼管長柱の疲労特性, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 694 号, pp.2229-2235, 2013.12)。この文献では、CFT 長柱に関する一定振幅載荷や変動振幅繰返し載荷の実験資料が僅少であり、これらの資料蓄積により広範囲な疲労特性評価法を検討することが今後の課題として挙げられている。

このように、長周期地震動に対しては長時間繰返し載荷を受ける柱の疲労による損傷評価法の提案が必要である。しかし、これらの文献では H-SA700 のような比較的最近開発された高強度鋼材は範囲に含まれていないため、CFT 柱に高強度鋼材を用いるためには、特に長柱への長周期地震動の影響を明らかにすることが必要である。

一方で、高強度鋼材を用いた CFT 柱の実験も行われてきている。代表者らは、現在高強度鋼材を用いた角形鋼管柱が一定軸力のもと繰返し漸増載荷を受ける構造実験を行っている。載荷プログラムは、正負漸増繰返し載荷であり、部材角を 0.25% ずつ増やして載荷を行った。コンクリートを充填した場合としていない場合を比較すると、コンクリートを充填しなかった場合は、局部座屈の発生とその進展により部材角が 4.0% を超えたところで耐力が急激に低下した。局部座屈により軸力が保持できない状況になった。一方、コンクリートを充填した CFT の場合は局部座屈は発生したがその進展は小さく、4.5% を超えた際に、柱脚の溶接部から亀裂が進展し耐力が急激に低下した。これは、溶接には適さ

ないとされている高強度鋼材を用い、柱脚部を溶接したためであると考えている。しかし、軸力は低下しておらず軸方向力は保持できていた。これは、CFT 柱の大きな利点であり、層崩壊といった人命にかかわる建物の崩壊を避けることができる。高強度鋼材は一般に降伏比が高いため弾性設計を行うことが前提となっているが、想定外の荷重が作用した場合の設計を考えておくことは必須である。したがって、塑性化後の構造性能を明らかにしておくことは重要で、柱脚部が多少損傷を受けたとしても軸力保持できる、あるいは破壊までの余裕度が明らかになっていれば、設計の際にこの CFT の利点を考慮して建物に組み込むことが可能になり、建物の冗長性向上につながる事が期待できる。

さらに、細長い柱には座屈現象に対する考慮が必要である。先に示した文献1)では L/D は 15 のものが最大で 1 体のみにとどまっておき、文献2)でも述べられている通り、今後もさらに細長い柱の実験資料の蓄積は重要である。細長い柱の場合は曲げ座屈現象に対する考慮が必要で、鋼管では局部座屈発生が柱の構造性能に影響を及ぼす。また、これまで述べたように長周期地震動のように繰返し荷重を受ける場合は疲労の問題について考慮する必要がある。

柱の細長さ、鋼管の局部座屈、疲労の問題、高強度鋼材特有の問題(降伏比高、溶接性難)、崩壊(降伏)後の部材特性を総合的に勘案して研究を行い、これらの問題が複合的に存在する場合における CFT 長柱の構造性能を明らかにする必要があると考えている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、長周期地震動を受ける場合を想定し、繰返し長時間荷重を受ける高強度鋼材を用いた CFT 柱の問題点を、文献調査、構造実験に基づき明らかにし、CFT 長柱の、疲労、不安定現象、高強度鋼特有の問題を考慮できる耐力および保有性能評価法を提案することである。実験的研究により、耐力、疲労による損傷とそれによる耐力低下率、溶接があまり適さないとされている高強度鋼材を用いることで生じる特有の損傷(亀裂)を明らかにする。研究期間では、高強度 H-SA700 鋼材を用いた CFT 柱が一定変位振幅繰返し載荷を受ける場合の実験と既往の文献調査との比較検討を行った。また、耐力劣化性状評価において必須となる CFT 柱の終局耐力、損傷評価に必要な短期許容耐力時の応力状態について解析的研究を行った。

3. 研究の方法

(1) 実験および文献調査

収集した実験資料

代表者らはこれまでに、軸力比 n 、振幅(部材角 R)、座屈長さ・断面せい比 l_k/D を実験変数として実験を実施してきており、系統的な実験資料が収集できている。また、高強度鋼

材 H-SA700 鋼材を用いた試験体を製作し、一定変位振幅繰り返し载荷を実施している。これらの研究成果と他の研究者らが実施してきた高強度鋼材（590N 級鋼材）を用いた実験的研究がある。まず、H-SA700 鋼材を用いた実験について述べ、その後高強度鋼材を用いた場合の一定変位振幅繰り返し载荷の文献調査の結果について述べる。

H-SA700 鋼材を用いた実験の概要

一定軸力 N と繰返し水平力 Q を受けるコンクリート充填角形鋼管柱が一定変位振幅を受ける場合の耐力劣化挙動を明らかにする目的で、上記の荷重条件を代表するモデルとして、図 1 に示す材長 L で一端固定、他端自由の片持ち柱を想定し、曲げせん断実験を計画した。軸力比 n は 0.3、変位振幅は $R=2\%$ とした。表 1 に試験体を示す。繰返し回数は、100 サイクルを限度として実施した。

試験体の形状および寸法を図 2 に示す。鋼管は H-SA700 の板厚 $t=6\text{mm}$ の鋼板をコの字に曲げ、それらを溶接して角形とした断面のものを使用した。なお、H-SA700 の角部の曲げ寸法は、図(c)に示すように内径の半径 R を 12mm としている。

鋼管の上側には、厚さ 25mm のエンドプレートを溶接した。また、試験体下部にはスタブを設け、スタブと鋼管は隅肉溶接で溶接した。試験体の長さ L は、スタブ上面からピン位置まで 1025mm である。コンクリート充填鋼管構造設計施工指針における区分では、長柱に対応する。コンクリートの充填は、図 2(b) に示したコンクリート注入口より行き、エンドプレート表面と充填コンクリートが同一面になるようキャッピングを施した。

材料特性を調べるため、引張試験、コンクリート圧縮試験を行った。引張試験は板材より切り出した JIS5 号試験片により 3 片ずつ行った。引張試験の結果を表 2 に、引張試験片による代表的な応力 ひずみ関係を図 3 に示す。また 0.2% オフセット法により降伏耐力

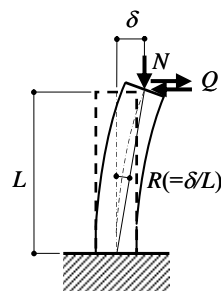


図 1 荷重条件

表 1 試験体

試験体名称	材質	n	$c\sigma_B$ (N/mm^2)	
1	HSA-L-03C-LP	H-SA700	0.3	55.8

n : 軸力比 ($=N/N_0$, $N_0=A \cdot s\sigma_y + cA \cdot c\sigma_B$, A : 鋼管断面積, $s\sigma_y$: 鋼管降伏強さ, cA : コンクリート部分断面積, $c\sigma_B$: コンクリート圧縮強度)

$s\sigma_y$ を求めた。

コンクリートの設計基準強度 F_c は $54\text{N}/\text{mm}^2$ とした。スランプフローの実測値は $47 \times 44\text{cm}$ であった。コンクリート圧縮強度を表 1 に、代表的な応力 - ひずみ関係を図 4 に示す。

载荷装置を図 5 に示す。鉛直方向に 1500kN の油圧ジャッキを、水平方向に 500kN の油圧ジャッキを取り付け、ロードセルにて荷重の測定を行う。変位の測定は、ピン位置で水平変位を測定する水平方向変位計 2 台と試験体の伸びあるいは縮みを測定する鉛直方向変位計 2 台で行う。

実験結果

水平力 Q を、水平ジャッキに取り付けたロードセルにより測定された値と軸力ジャッキのロードセルで測定された値の水平分力を足し合わせて求めた。図 6 に水平力 Q - 部材角 R 関係を示す。また、実験終了後の試験体の全体写真を図の右に示している。図中の点線は初期剛性を示している。

図からわかるように、ほとんど荷重の低下

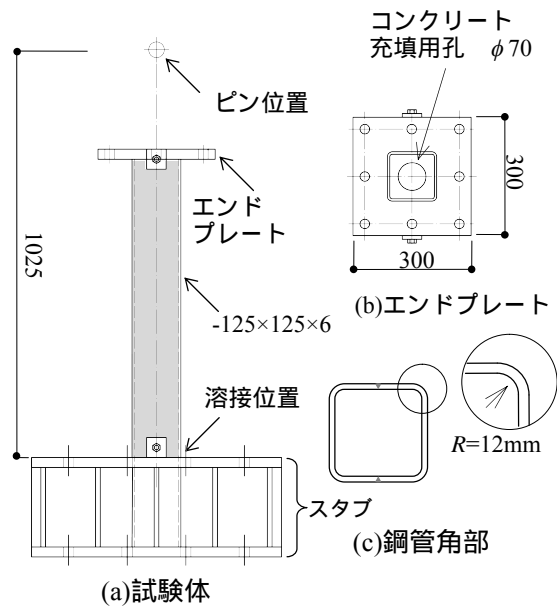


図 2 試験体形状

表 2 引張試験結果

	E (N/mm^2)	$s\sigma_y$ (N/mm^2)	σ_u (N/mm^2)	降伏比 ($s\sigma_y/\sigma_u$)
H-SA700	205227	685	779	0.88

E : ヤング係数, $s\sigma_y$: 降伏耐力, σ_u : 引張強さ

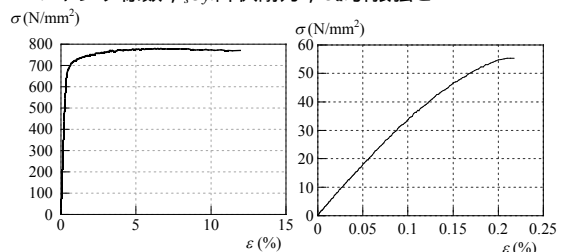


図 3 鋼材の応力 - ひずみ関係

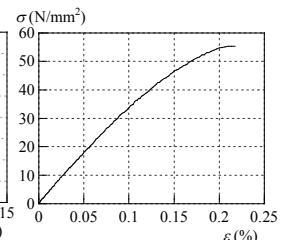


図 4 コンクリートの応力 - ひずみ関係

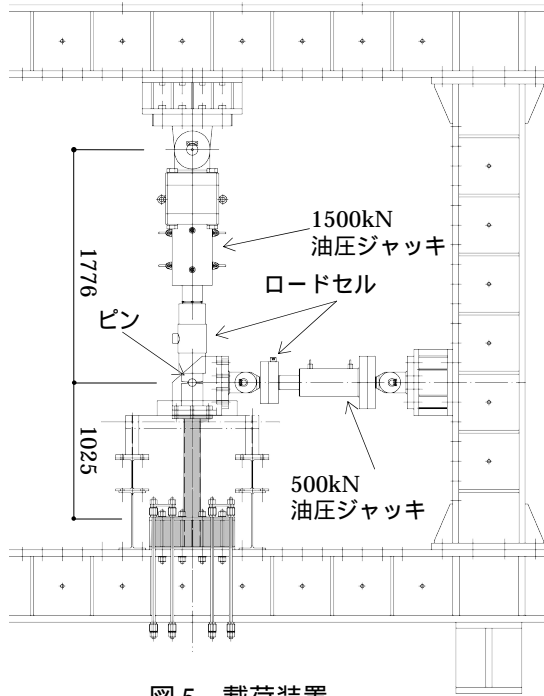


図5 荷装置

は見られなかった。また、終局耐力計算値(全塑性モーメント)には到達していなかった。

図7に軸縮み ε -部材角 R 関係を示す。軸縮みは、試験体柱脚ウェブ両面に貼り付けたひずみゲージ(スタブより62.5mmの高さに貼り付け)の値である。サイクル数が増えるにしたがって、軸縮み量が増加する傾向が見られた。水平力 Q は低下しなかったが、繰返し荷重を受ける過程で、充填コンクリートが損傷し軸縮みが増加したものと考えられる。実験後の試験体柱脚部分を図7右に示す。図によれば、局部座屈も発生しておらず損傷がないことがわかる。

文献調査

これまでに、一定軸力あるいは変動軸力を受ける長周期地震動を想定した一定振幅下でのCFT柱の構造実験が行われ、その中で、繰返し回数と耐力低下の関係が示されている(3)長周期地震動に対する鉄骨造高層建物の安全性検証の検討その27~その31, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2014)。本節では、 ε で示した実験結果と、既往の研

表3 比較する試験体

No.	試験体	$s\sigma_y$	$c\sigma_B$	$R(\%)$	n	$N_{90\%}$
1	MM-14M-C1	490	64.8	1	0.3	80
2	HH-14M-C1	590	104	1	0.3	421
3	HH-14M-C2	590	109	1.5	0.3	94
4	HH-14M-C3	590	109	2	0.3	17
5	HH-14M-VL1	590	105	1	0.15 ~0.45	132

$s\sigma_y, c\sigma_B$ の単位は、N/mm²

$N_{90\%}$: 荷重が最大荷重の90%に低下した時のサイクル数

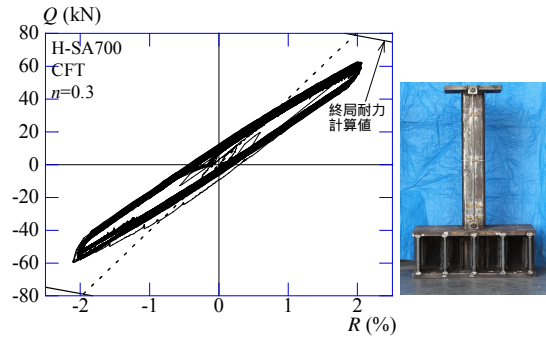


図6 せん断力 Q -部材角 R 関係図

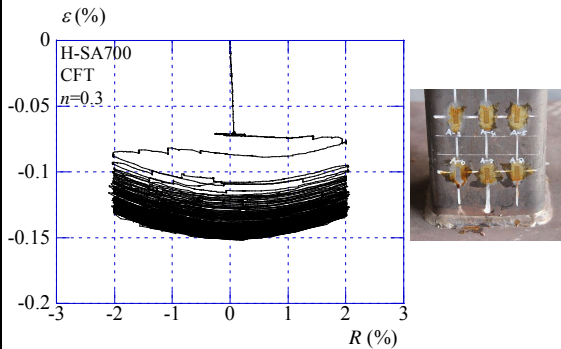


図7 軸縮み ε -部材角 R 関係図

究の試験体パラメータとの関連を示すこととする。

CFT試験体に使用されている材料強度の組み合わせは、490N級鋼材とFc60, 590N級鋼材とFc100コンクリートである。パラメータが近い試験体と比較してみる。今回の軸力比0.3, 一定振幅の部材角2%と同じ実験は590N級鋼材とFc100の組み合わせの中に一体のみ存在した(表3中No.4 HH-14M-C3)。しかし、その試験体は柱頭・柱脚における圧縮フランジの局部座屈変形の進行およびそれともなう充填コンクリートの損傷で荷重低下しており、90%荷重低下したときの繰返し回数 $N_{90\%}$ は17回であった。No.4試験体の座屈長さ・断面せい比 l_k/D は8でありCFT指針の中柱に対応する。

次に、 $N_{90\%}$ 時繰返し回数が80回以上の試験体を探してみたところ、4体存在した。それらの試験体のパラメータおよび $N_{90\%}$ 時繰返し回数を表3(試験体No.4以外)に示す。試験体の幅厚比はすべて $D/t=20$ で、軸力比もほぼ同様であるが、部材角が1%もしくは1.5%であり本実験の2%と異なっていた。また、 l_k/D は8であった。

実験により、高強度鋼材を用いた場合は部材角 $R=2\%$ という比較的大振幅であっても、座屈長さ・断面せい比 l_k/D が16程度の長柱であれば100サイクル繰返しても耐力劣化を生じなかった。これは、高強度材料を用いたことと長柱であったため弾性部材角が大きくなったことによると考えられる。

(2) CFT柱終局耐力に関する検討

両端ピン支持されたCFT柱の解析
鋼構造限界状態設計指針の耐力評価にな

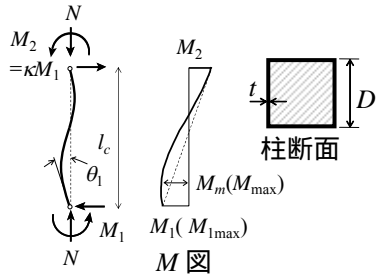


図8 解析モデル

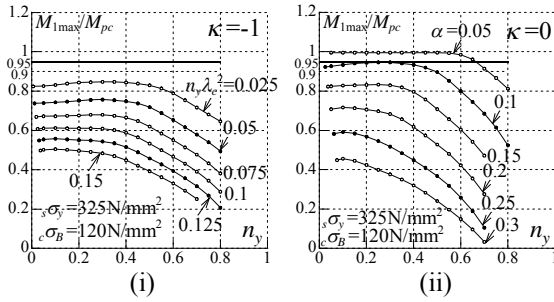


図9 $M_{1max}/M_{pc} - n_y$ 関係

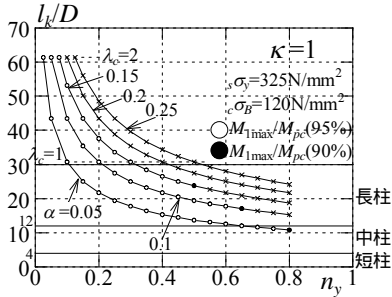


図10 $l_k/D - n_y$ 関係

らって、CFT柱の耐力が全塑性モーメントを期待できる軸力比、細長比、材端曲げモーメント比の範囲を検討した。

図8に示す解析モデルに対して次の解析変数に対して解析を行った。軸力比 n_y 、細長比 λ_c については、式(1)右辺の α の値を変数とした。

$$n_y \cdot \lambda_c^2 = \alpha(1+\kappa)(1)$$

α の値は、 $\alpha = 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3$ とした。軸力比 n_y を 0.05 程度 ~ 0.8 とし、式(1)より軸力比 n_y および α に対応する細長比 λ_c を算定した。細長比 λ_c は 2 以下で解析を行った。 κ は材端曲げモーメント比で、等曲げ ($\kappa = -1$) の場合は、式(1)の右辺の値は $M_2/M_1 (= \kappa) = -0.5$ の場合の α の値と同じ $n_y \lambda_c^2$ の値とした。すなわち、 $n_y \lambda_c^2 = \alpha/2$ とした。

解析で用いる鋼管の断面は局部座屈の影響が少ない幅厚比を考え、正方形角形鋼管 - 250×12 とし、降伏応力度 σ_y は 325, 440N/mm²、コンクリート圧縮強度 $c\sigma_B$ は 60, 90, 120N/mm² とした。ここでは、 $\sigma_y=325$ N/mm², $c\sigma_B=120$ N/mm² について示す。

解析結果

図9に $M_{1max}/M_{pc} - n_y$ 関係を示す M_{1max} は、図8に示す材端曲げモーメント M_1 の最大値

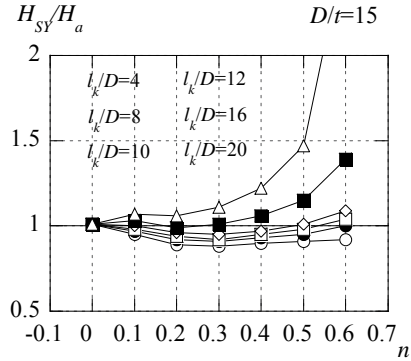


図11 H_{SY}/H_1 の値

で、 M_{pc} は軸力を考慮した全塑性モーメントである。図中には $M_{1max}/M_{pc} = 0.95$ の直線も示している。図 (i), (ii) は材端曲げモーメント比 κ の値がそれぞれ -1, 0 の場合を示す。

等曲げ ($\kappa = -1$) の場合は、 $n_y \lambda_c^2 = 0.025$ の場合でも、 M_{1max} は全塑性モーメント M_{pc} の90%の耐力も期待できない。 $\kappa = 0$ の片曲げの場合では「0.05 領域」で $n_y = 0.65$ の条件で M_{1max} は全塑性モーメント M_{pc} の95%の耐力を發揮できる。0.05 領域とは、式(1)において $\alpha = 0.05$ としたときに条件を満たす領域のことである。

図10に座屈長さ l_k と断面せい D の比 - 軸力比 n_y 関係を示す。また、 $\kappa = 1$ の逆対称曲げの場合でコンクリート圧縮強度 $c\sigma_B$ の値が 120N/mm² の場合である。 $l_k/D = 30$ の直線はCFT 指針における適用範囲での座屈長さ断面せい比の上限を示す。また、 $l_k/D = 4, 12$ の境界線も示す。 M_{1max} が全塑性モーメント M_{pc} の95%の耐力を發揮している点を白丸印 (○)、90%の耐力を發揮している点を黒丸印 (●) で示す。

図10より「0.05 領域」では $n_y = 0.75$ の条件で M_{1max} は M_{pc} の95%の耐力を發揮できる。また、「0.1 領域」では $n_y = 0.6$ の条件で M_{1max} は M_{pc} の95%の耐力を期待できる。

(3) CFT柱短期許容耐力と変形の関係

片持ち柱形式のCFT柱の解析

図1と同様に、水平力 H と一定軸力 N が作用している、片持ち柱形式の長さ L の角形CFT柱を対象とする。短期許容耐力時の水平力と鋼管降伏時の水平力の関係を、座屈長さ・断面せい比 l_k/D 、軸力比 n 、幅厚比 D/t を変数として示し、これら変数の影響を示すとともに、短期許容耐力時に鋼管が降伏している変数の範囲を示す。CDC法を用いて、水平力 H -部材角 R 関係を求め、短期許容耐力に達した時の水平力を H_a 、鋼管が降伏した時の水平力を H_{SY} としてこれらと比較する。

解析結果

図11に軸力比 n と解析により得られた H_{SY}/H_a の関係を、座屈長さ・断面せい l_k/D をパラメータとして示す。 $H_{SY}/H_a < 1$ のとき、短期許容耐力に達するよりも先に鋼管が降伏し、 $H_{SY}/H_a > 1$ のとき鋼管の降伏よりも先に短

期許容耐力に達する。図 11 からわかるように、短期許容耐力に達したとき、鋼管が降伏している場合もあることがわかる。

また、 l_k/D の値が大きくなるにつれて H_{Sy}/H_a の値が大きくなる。これは、 l_k/D が大きくなると短期許容耐力の値が小さくなるためだと考えられる。また、CFT 指針の長柱の範囲である $l_k/D=16, 20$ のとき、 H_{Sy}/H_a の値は 0.99 ~ 2.62 であり、 H_{Sy}/H_a の値は、 $l_k/D=16, n=0.2$ の場合を除いて、いずれの軸力比においても 1 より大きい値となった。このように長柱の範囲では短期許容耐力に達したとき鋼管はほとんどの場合降伏していない。

4. 研究成果

本研究課題の成果をまとめると次のようになる。

建築用高強度鋼材 H-SA700 を用いた CFT 柱が一定変位振幅を受ける場合の実験結果と、490N 級鋼材と Fc60 コンクリート、590N 級鋼材と Fc100 コンクリートを用いた場合の実験結果を比較し、最大荷重より荷重が 90%低下した時の繰り返し回数と実験変数の関係について検討した。H-SA700 鋼材を用いた場合は部材角 $R=2\%$ という比較的大振幅であっても、座屈長さ・断面せい比が 16 程度の長柱であれば 100 サイクル繰り返しても耐力劣化を生じないことが分かった。

終局耐力について検討を行い、全塑性モーメントを發揮できる解析変数を明らかにした。

短期許容耐力に達した時に鋼管が降伏している解析変数の範囲があることを示した。

これまで、ほとんど行われていなかった H-SA700 鋼材を用いた CFT 柱が一定変位振幅繰り返し载荷を受ける場合の構造性能について示すことで、高強度鋼材の設計法確立につながる実験資料を蓄積できた。

さらに、構造性能として基本となる耐力、剛性に関する検討が不十分で、設計の際の懸念事項となることが分かり、解析的手法を用いて終局耐力、さらには設計の際に指標となる短期許容耐力時に鋼管が降伏しているか否か、またそのときの剛性低下状況について示すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 13 件)

原口 将行, 城戸 将江, 津田 惠吾: コンクリート充填角形鋼管柱の終局耐力評価について - 材端曲げモーメント比を変化させた場合 -, 日本建築学会九州支部研究報告, 査読無, 第 57 巻, pp.637-640, 2018.3

原口 将行, 城戸 将江, 津田 惠吾: 角形 CFT 柱の曲げモーメント拡大係数について, 日本建築学会九州支部研究報告, 査読無, 第 57 巻, pp.641-644, 2018.3.

原口 将行, 城戸 将江, 津田 惠吾: 弾性柱の曲げモーメント拡大係数評価式の提案, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 25 巻, pp.774-781, 2017.11

半田 遼, 劉 懋, 城戸 将江, 津田 惠吾: 角形 CFT 柱の短期許容耐力時における鋼管応力について, 鋼構造年次論文報告集, 査読有, 第 25 巻, pp.806-812, 2017.11

半田 遼, 城戸 将江, 劉 懋, 津田 惠吾: Effect of Strain-Stress Relationship of Steel Tube on the Initial Stiffness of Square CFT Columns, Proc. of ISEC-9, 査読有, 2017.7 (doi: 10.14455/ISEC.res.2017.173)

原口 将行, 城戸 将江, 津田 惠吾: Ultimate Strength of Concrete Filled Square Steel Tubular Beam-Columns, Proc. of ISEC-9, 査読有, 2017.7 (doi: 10.14455/ISEC.res.2017.174)

城戸 将江, 津田 惠吾, 原口 将行: 曲げ座屈するコンクリート充填鋼管圧縮材の耐力評価, 日本建築学会構造系論文集第 82 巻, 査読有, Vol.735, pp.753-763, 2017.5

半田 遼, 劉 懋, 城戸 将江, 津田 惠吾: 角形 CFT 柱の初期剛性に及ぼす鋼材の応力-ひずみ関係の影響, 鋼構造年次論文報告集第 24 巻, 査読有, pp.88-94, 2016.11

原口 将行, 城戸 将江, 津田 惠吾: コンクリート充填角形鋼管柱の終局耐力評価について, 鋼構造年次論文報告集第 24 巻, 査読有, pp.80-86, 2016.11

吉田 キカ, 城戸 将江, 津田 惠吾: Study on initial stiffness of square CFT columns subjected to horizontal and constant axial forces, Proc. of 11th Pacific Structural Steel Conference, 査読有, pp.734-740, 2016.10

〔学会発表〕(計 1 件)

半田 遼, 城戸 将江: 角形 CFT 柱の許容耐力と降伏耐力ならびに初期剛性に及ぼす鋼材の応力-ひずみ関係の影響, 日本建築学会大会学術講演, 2016.8 月 24-26 日, 発表会場福岡大学 (福岡県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

城戸 将江 (KIDO, Masae)
北九州市立大学・国際環境工学部・准教授
研究者番号: 1 0 4 5 3 2 2 6

(2) 研究分担者

津田 惠吾 (TSUDA, Keigo)
北九州市立大学・国際環境工学部・教授
研究者番号: 5 0 1 1 2 3 0 5

劉 懋 (LIU, Mao)
徳山工業高等専門学校・土木建築工学科・助教
研究者番号: 4 0 7 7 9 7 0 8