

鉄筋を挿入した角形CFT柱部材の曲げせん断実験

堀 伸輔・岩岡 信一^{*1}・岡村 喜吉・成瀬 忠・古宮 嘉之^{*2}・能瀬 泰延^{*2}

Experiment on Column of Concrete Filled Steel Tube Built in Reinforcing Bars

Shinsuke HORI, Shinichi IWAOKA, Kiyoshi OKAMURA, Tadashi NARUSE, Yoshiyuki KOMIYA, Yasunobu NOSE

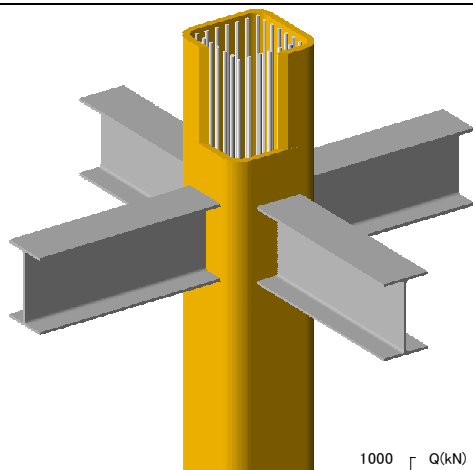


図-1 架構イメージ

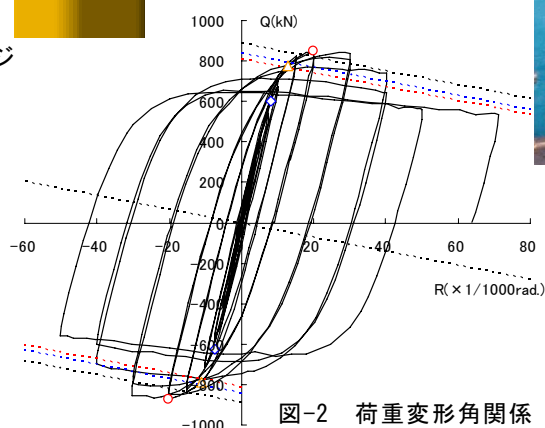


図-2 荷重変形角関係

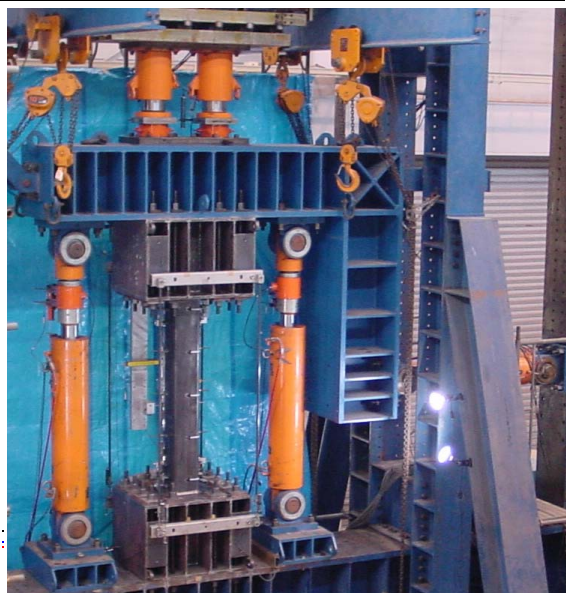


図-3 載荷状況

研究の目的

近年、建築構造物では高層化、大型化が進み、下層階では高軸力が作用するため柱部材が大断面化している。高軸力柱に対する構造として CFT 柱があるが、軸力の増大に伴う材料の高強度化、鋼管厚の増大などの傾向がある。そこで CFT 柱の内部に挿入した鉄筋に、軸力、曲げ耐力を負担させる事により鋼管板厚を薄くすることを検討した。鉄筋挿入型の CFT 柱部材の研究はこれまでも発表されているが不明な点が多く、鉄筋を挿入した CFT 柱部材の設計方法は確立されていない。鉄筋挿入型 CFT 柱の曲げせん断実験を行うことで、その構造性能を明らかにすることを目的とする。

技術の説明

コンクリート強度 100N/mm^2 の高強度コンクリートを用いた CFT 柱部材に鉄筋を挿入することにより、鋼管の板厚を低減すること、鉄筋により曲げ耐力の増加・軸力負担を見込む設計が可能となる。

主な結論

高強度コンクリートを用い、鉄筋を挿入した角形 CFT 柱部材の曲げせん断実験を行った結果、柱部材の終局曲げ耐力は、新都市指針による拘束効果を考慮したコンクリート強度を使用し、平面保持を仮定した断面解析を行うことで、おおむね評価が可能であることが確認できた。

*1 本店 CM推進部

*2 本店 建築エンジニアリング・設計部

鉄筋を挿入した角形 C F T 柱部材の曲げせん断実験

堀 伸 輔 岩 岡 信 一 *1
 岡 村 喜 吉 成 瀬 忠
 古 宮 嘉 之 *2 能 瀬 泰 延 *2

要 旨

近年、建築構造物は高層化、大型化が進み、下層階では高軸力が作用するため柱部材が大断面化している。高軸力柱に対する構造として CFT 柱があるが、軸力の増大に伴う材料の高強度化、鋼管厚が増大する傾向がある。そこで筆者らは CFT 柱の内部に挿入した鉄筋に、軸力、曲げ耐力を負担させる事により鋼管板厚を薄くすることを検討した。CFT 構造に対する設計は、新都市指針¹⁾、SRC 規準²⁾、CFT 設計指針³⁾などにより可能であるが、鉄筋を挿入した柱部材の設計方法は確立されていない。鉄筋挿入型の CFT 柱部材の研究はこれまでも発表されているが構造性能に不明な点が多い。そこで鉄筋挿入型 CFT 柱の曲げせん断実験を行い、その結果から耐力評価法を検討した。本件級の結果、平面保持を仮定した断面解析により、鉄筋を挿入した CFT 柱部材の曲げ耐力の評価が可能であることが確認できた。

キーワード C F T / 鉄筋 / 柱部材 / 角形 / 曲げせん断実験

目 次

- | | |
|---------|---------|
| 1. はじめに | 3. 実験結果 |
| 2. 実験計画 | 4. おわりに |

EXPERIMENT ON COLUMN OF CONCRETE FILLED STEEL TUBE INSTALLED WITH REINFORCING BARS

Shinsuke HORI	Shinnichi IWAOKA
Kiyoshi OKAMURA	Tadashi NARUSE
Yoshiyuki KOMIYA	Yasunobu NOSE

Synopsis:

Recently, Buildings have become extremely taller and more massive. These require large section of column due to their long period high axial force loaded on the columns of lower story. As to structure to bear to that high axial force, CFT column is one of the promising structures, the materials of which becoming stronger and the steel tubes thicker. In order to reduce the thickness of steel tube, we examined the installing of reinforcing bars within concrete which might share a certain portion of axial force and flexure moment. On the one hand, structural design for standard CFT column are instituted in Guideline of Association of New Urban Housing Technology, SRC design code and CFT design code, on the other hand, that of CFT column in use of reinforcing bars is not established yet. In addition, most of reported studies on CFT column with reinforcing bars have some controversial discussions. These circumstances surround CFT column with reinforcing bars have made us initiate study on it by way of structural test subject to flexural shear load resulting in examining estimation of innate strength.

From conclusions of our study, we have confirmed that it is reliable to estimate the flexural strength of column which is installed with reinforcing bars by analysis of cross section in assumption of plane section.

*1 本店 CM推進部

*2 本店 建築エンジニアリング・設計部

1. はじめに

近年の建築構造物では高層化, 大型化が進み, 下層階では高軸力が作用するため柱部材が大断面化している. 高軸力柱に対する構造として CFT 柱があげられるが, 軸力の増大に伴い材料の高強度化, 鋼管厚の増大などの傾向がある. そこで筆者らは CFT 柱の内部に挿入した鉄筋に, 軸力, および曲げ耐力を負担させる事により鋼管板厚を薄くすることを検討した. 鉄筋挿入型の CFT 柱の研究⁴⁾⁵⁾はこれまでもあるが構造性能に不明な点が多い. 本報告では鉄筋挿入型 CFT 柱の曲げせん断実験を行い, 耐力評価, および変形性能について検討した結果を報告する.

2. 実験計画

2.1 試験体

試験体は CFT 造建物の下層階の中柱および隅柱を想定した 8 体を計画した. 表-1 に各試験体の諸元を, 図-1 に試験体の形状・柱脚部断面詳細を示す. 試験体の形状は $\square$ -250×250mm, 充填コンクリートは $F_c=100\text{N/mm}^2$ とした.

実験変数は鋼管の幅厚比 ($B/t=15.6, 27.8$), 挿入鉄筋の有無, 軸力の載荷方法 (一定圧縮軸力: 0.3Ncu , 引張圧縮変動軸力: 圧縮 0.55Ncu ~引張 -0.24Ntu), (Ncu : 圧縮軸耐力, Ntu : 引張軸耐力), 挿入鉄筋の連続の有無 (カットオフ, 重ね継手, 連続), 加力方向 (面内水平方向, 柱断面に対して 45° 方向), 鉄筋の配列 (角形, 円形) とした.

No. 1 は通常の CFT 柱で鋼管の幅厚比は $B/t=15.6$ である. No. 2 は No. 1 において柱頭柱脚部分に鉄筋を挿入し, 曲げ耐力の負担を期待した試験体で, 鉄筋挿入の基本試験体である. 鉄筋はカットオフ ($35d$, d : 鉄筋呼び径) し, 柱の中央部分では連続していない. No. 3 は No. 2 において 45° 方向加力とした. No. 4 は No. 2 において変動軸力載荷とした. No. 5 は No. 2 において挿入鉄筋を柱中央部で連続させて変動軸力載荷とし, カットオフした試験体との違

いを確認する. No. 6 は No. 5 において挿入鉄筋を円形配置とし, 柱中央で重ね継ぎ手 ($20d$) にして, 鉄筋の軸力伝達性能を確認する. No. 7 は No. 2 において鋼管の幅厚比を $B/t=27.8$ とし, 幅厚比の違いによる影響を確認する. No. 8 は No. 7 において, 挿入鉄筋を柱中央部にも配筋し変動軸力とした試験体である. 中心部に挿入した鉄筋は柱中央部で重ね継ぎ手 ($20d$) とし, 軸力の負担と最大耐力後の耐力劣化の低減を期待した.

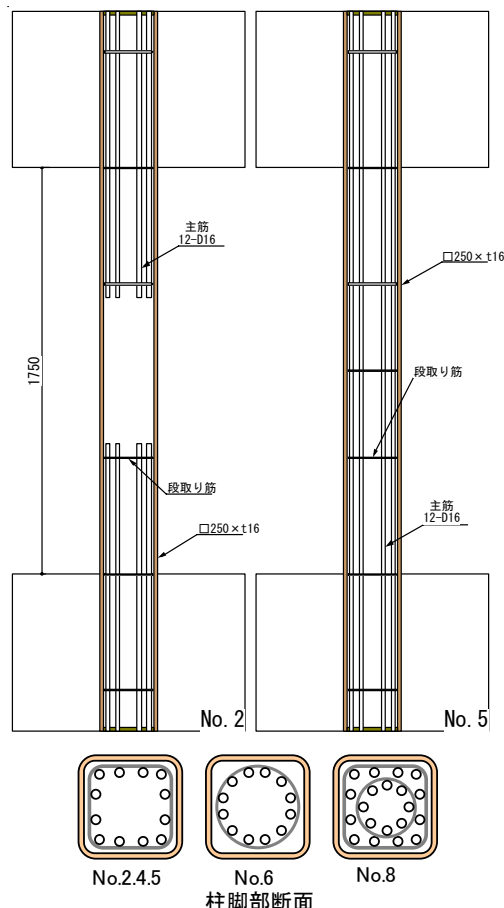


図-1 試験体形状

表-1 試験体諸元

			No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
実験変数	幅厚比 (B/t)		15.6						27.8	
	挿入鉄筋		無	有						
	載荷軸力		－	不連続 カットオフ35d			連続	重ね継手 20d	不連続 カットオフ35d	芯筋のみ 重ね継手
	加力方向		一定			変動(圧縮・引張)			一定	変動
	鉄筋配列		－	角形				円形	角形	角形＋ 円形(芯筋)
柱内法高さ(せん断スパン比)			mm		1750 (3.5)					
鋼管	幅・せい	mm	□-250×250							
	板厚	mm	16						9	
コンクリート	種類(基準強度)	N/mm ²	BCR295 (295N/mm ²)							
	圧縮強度	N/mm ²	100							
鉄筋	種類		－	SD390を熱処理により強度調整						
	径		－	12-D16						
載荷軸力比	圧縮 (cN/Ncu)		0.30			0.55			0.30	0.55
	引張 (cN/Ntu)		－			-0.24			－	-0.24

表-2 鉄筋の力学的特性

鉄筋径(材質)	降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	降伏ひずみ ×10 ⁻⁶	ヤング係数 kN/mm ²
D16 (SD390 焼入れ)	623	687	3405	195

表-3 鋼管の力学的特性

材質	試験体	板厚 mm	降伏点 N/mm ²	降伏ひずみ ×10 ⁻⁶	ヤング係数 kN/mm ²	伸び %
BCR295	No.7,8	8.7	397	3840	218	40.0
	No.1,2,4	16.2	408	4160	187	46.0
	No.3	15.7	415	4070	200	46.0
	No.5,6	16.1	409	4130	190	47.0

降伏点は0.2%オフセット法による

表-4 コンクリートの力学的特性

試験体	材令	圧縮強度 N/mm ²	圧縮強度時 ひずみ度 ×10 ⁻⁶	ヤング係数 kN/mm ²
No.1	34日	89.6	2900	40.0
No.2	41日	91.9	計測せず	
No.3	53日	97.6	3010	42.0
No.4	60日	105.1	3250	40.2
No.5	63日	101.6	3240	40.8
No.6	75日	104.3	3070	44.2
No.7	48日	95.1	3000	41.6
No.8	69日	102.4	3060	42.1

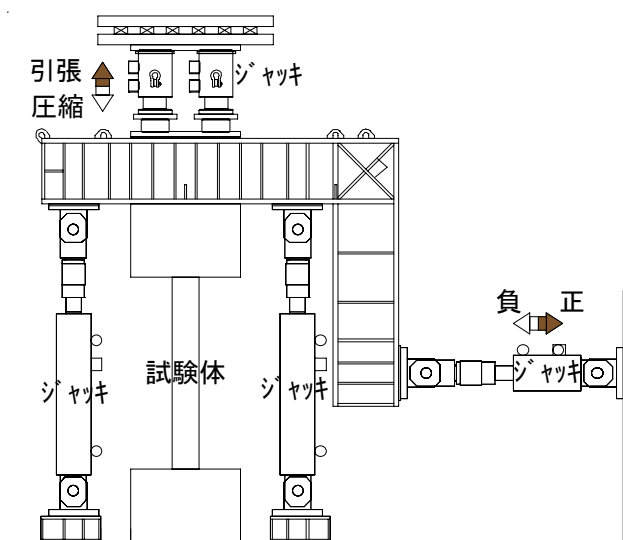


図-2 荷重装置

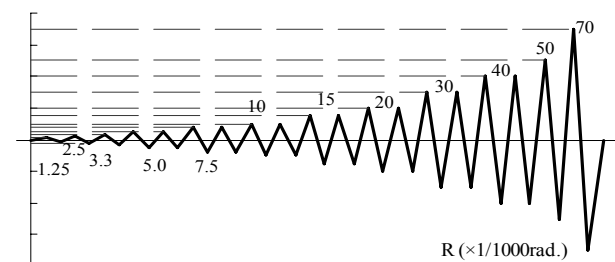


図-3 荷重スケジュール

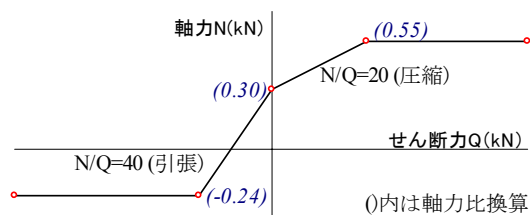


図-4 変動軸力

2.2 使用材料

実験に使用した材料について、表-2 に鉄筋、表-3 に鋼管、表-4 にコンクリートの力学的特性を示す。

2.3 荷重方法

図-2 に荷重装置を示す。軸力は試験体上部に設置した 2 台の 3000kN ジャッキおよび、試験体両側の鉛直方向に設置した 2 台の 1200kN ジャッキにより荷重した。せん断力は、柱試験体高さの中央位置に設置した 1200kN ジャッキにより正負交番の繰り返し荷重を行った。

荷重スケジュール(図-3)は変形角(以下 R) $R=\pm 1.25, \pm 2.5, \pm 3.3/1000\text{rad.}$ で各 1 サイクル、 $R=\pm 5, \pm 10, \pm 15, \pm 20, \pm 30, \pm 40/1000\text{rad.}$ で各 2 サイクル後、 $R=\pm 50/1000\text{rad.}$ 、 $R=+70/1000\text{rad.}$ まで荷重する計画とした。また変動軸力荷重の荷重ルールを図-4 に示す 軸力(N)－せん断力(Q)関係に従って荷重した。

3. 実験結果

図-5 に全 8 試験体のせん断力(Q)－変形角(R)関係を、図-6 には軸方向変形(δv)－変形角(R)を軸力の荷重方法に分けて示す。図中には実験による鋼管の降伏、鉄筋の降伏および最大耐力をプロットした。また、平面保持仮定の曲げ解析による計算値を示す。写真-1 に $R=-40/1000\text{rad.}$ の 1 サイクル目での柱脚の破壊状況写真を示す。

3.1 破壊経過

定圧縮軸力の No.1, No.2, No.3 試験体は、ほぼ同等の破壊性状を示した。鋼管、鉄筋 (No.1 試験体を除く) の順に圧縮降伏し、 $R=20/1000\text{rad.}$ サイクルで最大耐力を示した。最大耐力後に柱頭柱脚の局部座屈が確認され、 $R=30/1000\text{rad.}$ サイクル以降、局部座屈が顕著になり徐々に耐力が低下したが、脆性的な破壊には至っていない。挿入鉄筋なしの No.1 は No.2 と比較して最大耐力後の耐力低下は小さいが、履歴ループに大きな違いは確認出来なかった。また、 45° 方向荷重の No.3 は $R=40/1000\text{rad.}$ の繰り返しサイクル以降の耐力低下がやや大きかった。鋼管が薄く幅厚比の大きい No.7 試験体は、 $R=7.5/1000\text{rad.}$ サイクルで鋼管が圧縮降伏し、

R=10/1000rad. サイクルで柱頭柱脚に局部座屈が確認された。R=15/1000rad. サイクルで鉄筋が圧縮降伏し、その後、徐々に局部座屈が顕著になった。R=+20/1000rad. , R=-15/1000rad. で最大耐力を示した。R=30/1000rad. サイクルから軸方向変形が急激に大きくなるとともに、急激な耐力低下を示し、変形性能が他の試験体と比較し低かった。

変動軸力载荷の No. 4, No. 5, No. 6 試験体は、ほぼ同様の破壊性状を示した。圧縮軸力側は R=+10/1000rad. サイクルまでに柱頭柱脚の鋼管、鉄筋の順に圧縮降伏し、R=+15/1000rad. で最大耐力を示した。R=+20/1000rad. サイクルで柱頭柱脚に局部座屈が確認され、R=+30/1000rad. 以降、鋼管の局部座屈が顕著になり急激に耐力低下を示した。引張軸力側は R=-15/1000rad. サイクルまでに鋼管、鉄筋の順に引張降伏し、R=-20/1000rad. サイクルで鋼管が圧縮降伏した。R=-30/1000rad. (No. 5 は R=-40/1000rad.) で最大耐力を示した。その後、R=-50/1000rad. まで徐々に耐力低下した。鉄筋の接続条件による違い、主筋の配筋形状による違いは確認されなかった。No. 8 試験体の圧縮軸力時は R=+10/1000rad. サイクルまでに柱頭柱脚の鋼管、鉄筋の順に圧縮降伏し、最大耐力を示し、繰り返しのサイクルで柱頭柱脚の局部座屈が確認された。R=+15/1000rad. サイクル以降局部座屈が顕著になり急激に耐力低下を示した。引張軸力時は R=-

15/1000rad. までに鋼管の引張、鉄筋の引張、鋼管の圧縮の順に降伏した。R=-30/1000rad. で最大耐力を示した後、徐々に耐力低下した。他の変動軸力試験体と比較し最大耐力時の変形角が小さく、圧縮側での最大耐力後の耐力低下が激しかった。

3.2 軸方向変形(δv)－変形角関係(R)

定圧縮軸力载荷の 4 試験体においては、通常の CFT 柱の No. 1 試験体と比較し、鉄筋挿入型の基本試験体 No. 2 は軸変形が小さかった。また、45° 方向载荷の No. 3 は基本試験体と比較し軸変形が小さかった。幅厚比の大きい No. 7 試験体は他の試験体と比較し、最大耐力後、早期に大きく変形した。

変動軸力载荷の 4 試験体において、主筋の接続条件の異なる No. 4, No. 5 試験体に違いは確認されなかった。また、配筋が円形の No. 6 試験体にも大きな違いは確認されなかった。幅厚比の大きい No. 8 試験体も他の変動軸力試験体と比較しても、軸変形に大きな違いは確認されなかった。また、引張軸力载荷時は、いずれの 4 試験体も R=-30/1000rad. を超えたところで、圧縮側の軸方向変形が戻らず縮み側の変形となった。

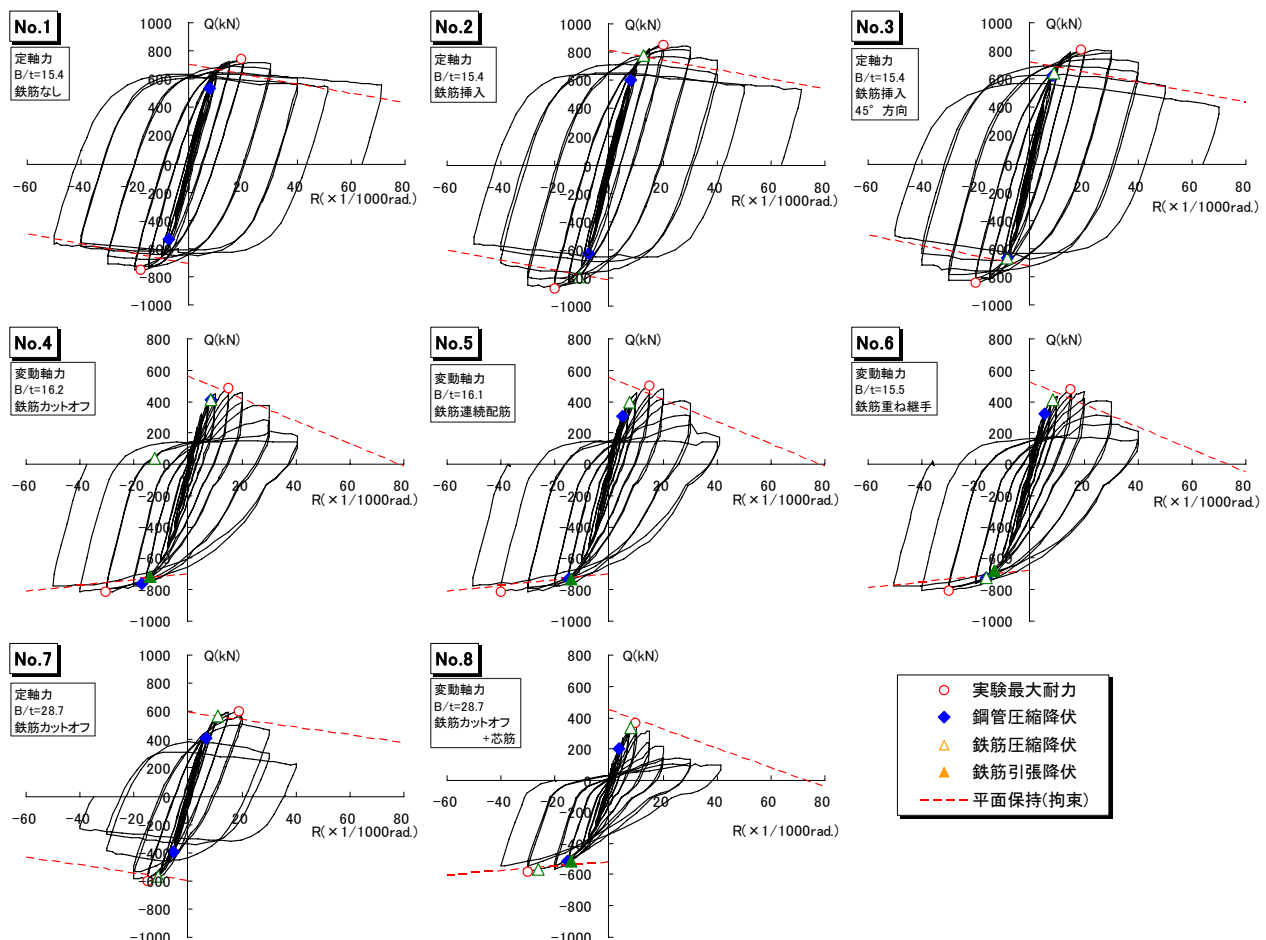


図-5 せん断力(Q)－変形角(R)関係

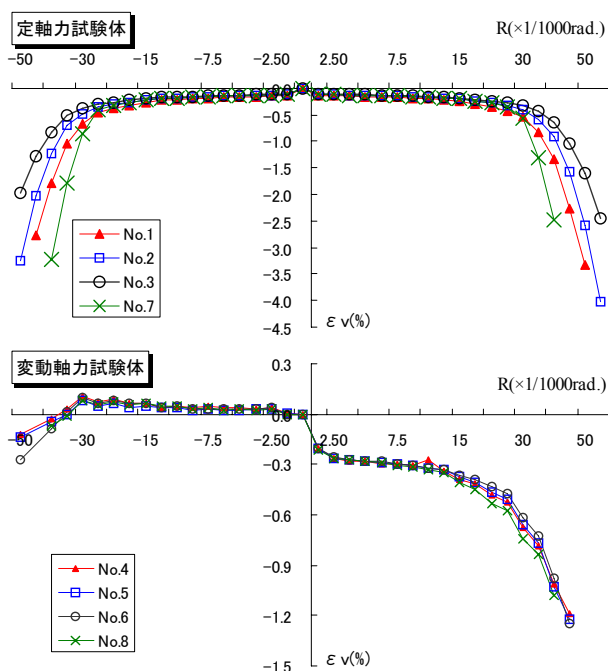


図-6 軸方向変形(δv)－変形角(R)関係

3.3 鉄筋のひずみ分布

挿入鉄筋の連続・不連続による違い、および配筋形状による構造的な違いを確認する試験体 No. 4 (カットオフ)、No. 5 (連続)、No. 6 (重ね継手・円形) の鉄筋のひずみ分布を図-7 に示す。図中柱断面図にて赤丸 (No. 6 柱頭側は青丸) で示した位置の主筋の正側荷重ピーク時のひずみを示し、重ね継手 No. 6 試験体の柱頭側の鉄筋のプロットを塗りつぶしとした。主筋の圧縮側のひずみをマイナスとし、主筋の降伏ひずみを破線で合わせて示す。

No. 6 試験体の柱脚側においては、柱主筋が重ね継手で、柱芯に寄った配筋となっているために、他の 2 体と比較し、引張側へのひずみが小さくなってはいるが、鉄筋の連続性、重ね継手の違いによるひずみ分布の差に大きな違いは観られない。また、主筋の配筋形状による大きな違いも観られない。

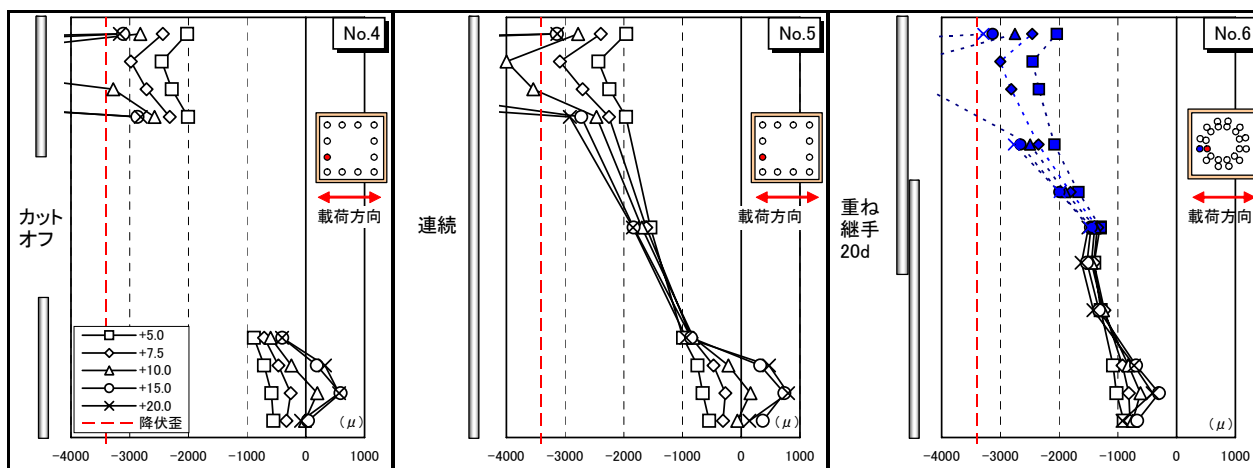


図-7 鉄筋のひずみ分布

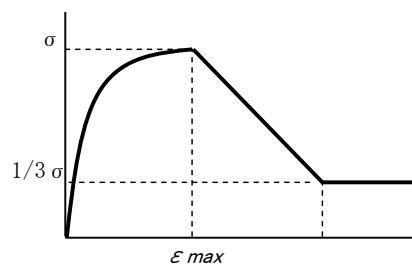


図-8 コンクリートのモデル化

表-5 計算値と実験値の比較

定軸力	No.1	No.2	No.3	No.7
正(圧縮軸力)	1.17	1.15	1.25	1.10
変動軸力	No.4	No.5	No.6	No.8
正(圧縮軸力)	1.07	1.12	1.15	0.94
負(引張軸力)	1.08	1.06	1.10	1.04
実験値/計算値				

3.4 実験結果と計算値の比較

表-5 に実験結果と平面保持を仮定した曲げ解析による計算値との比較を示す。計算に用いたコンクリート強度は式(1)に示す新都市指針¹⁾による拘束効果を考慮した強度を用いた。鋼材のモデルはバイリニアとし、コンクリートは ϵ_{max} を 0.3% とした三次曲線でモデル化した (図-8)。計算値は P- δ 効果を考慮した。

実験による最大耐力の計算値に対する比は、比較的幅厚比の大きい No. 8 の正側荷重圧縮軸力側で 0.94 と計算値を若干下回る結果となった。幅厚比 (B/t) が 27.8 と大きく、高圧縮軸力 ($N/N_c = 0.55$) となる場合での、設計時の軸力制限を行うなどの検討が今後必要である。その他の試験体では、最大耐力の計算値に対する比が 1.04 ~ 1.25 であり、おおむね曲げ耐力の評価が可能であることが確認できた。

$$F_c = F_c + K_r (t/B)^2 \cdot \sigma_y \quad (N/mm^2) \quad (1)$$

$K_r = 21$, σ_y : 鋼材降伏強度,

$t/B \leq 1/21$ $B/t \leq 21$ の角形鋼管柱は $B/t = 21$ として算定



No. 1



No. 2



No. 3



No. 4



No. 5



No. 6



No. 7



No. 8

写真-1 破壊状況写真(R=-40/1000rad. 1 回目)

4. おわりに

鉄筋を挿入した角形 CFT 柱部材の曲げせん断実験を実施した結果、以下のことが分かった。

- 1) 柱部材が圧縮軸力及び引張軸力下で、鉄筋の連続・不連続、および重ね継手を用いた場合、配筋の形状が異なる場合も、最大耐力及び変形性能に大きな差は観られない。
- 2) 拘束効果を考慮したコンクリート強度を用い、平面保持を仮定した曲げ解析により、鉄筋を挿入した CFT 柱部材の曲げ耐力をおおむね評価可能であることが確認できた。

参考文献

- 1) 社団法人 新都市ハウジング協会：「コンクリート充填鋼管(CFT)造技術基準・同解説の運用及び計算例等」,2005.
- 2) 日本建築学会：「コンクリート充填鋼管構造設計施工指針」，日本建築学会，1997 年.
- 3) 日本建築学会：「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」，日本建築学会，2001 年.
- 4) 荒井 他：鉄筋内蔵型鋼管コンクリート構造に関する実験的研究（その 2 柱の曲げせん断実験概要），日本建築学会学術講演梗概集，C-1，pp.1201-1202，2003.
- 5) 今井 他：鋼管で囲んだ高強度鉄筋コンクリート柱（RCFT 構造）（その 3 角形柱の構造実験），日本建築学会学術講演梗概集，C-1，pp.1153-1154，2001.