コンクリート充填円形鋼管柱の弾塑性曲げ性状

その2 径厚比の影響と拘束効果を考慮した曲げモーメントー曲率関係の評価方法

FLEXURAL BEHAVIOR OF CONCRETE FILLED CIRCULAR STEEL TUBULAR COLUMNS
SUBJECTED TO MONOTONIC BENDING MOMENT UNDER CONSTANT AXIAL LOADPart 2 Influence of diameter to wall thickness ratio and methods of estimating
bending moment-curvature relationships

蜷川利彦*, 石出一郎**, 崎野健治***

Toshihiko NINAKAWA, Ichiro ISHIDE and Kenji SAKINO

In part1, influence of the confinement effects and residual stresses in steel tube upon inelastic flexural behavior of concrete filled circular steel tubular columns is described. In part2, the influence of diameter to wall thickness ratio are discussed making use of uniform bending tests results. In addition, analytical methods for estimating bending moment-curvature relationships which can predict the experimental results more accurately than the method proposed in part1. Analytical results nearly coincident with experimental results. Therefore, it can be said that these methods are effective to estimate deformation characteristic of concrete filled circular steel tubular columns which are subjected to axial load and bending.

Keywords: Concrete filled circular steel tubular column, Confinement effect, Uniform bending test, Deformation Characteristic, Diameter to wall thickness ratio
コンクリート充填円形鋼管柱, 拘束効果, 等曲げ実験, 変形性状, 径厚比

1. 序

前報(その1)¹⁾では、コンクリート充填円形鋼管柱(以下CFT柱と呼ぶ)の耐力・変形性状に及ぼす拘束効果や残留応力の影響について述べた。本論では、径厚比を実験変数とした実験結果を用いて、柱の弾塑性性状に及ぼす径厚比の影響について議論するとともに、実験結果をより忠実に評価できる断面の曲げモーメントー曲率関係の解析方法を提案する。解析結果を実験結果と比較してその妥当性を検証するとともに、この比較や解析仮定の設定等の考察を通して軸力と曲げを受ける柱における拘束効果について考察し、今後取り組んで行くべき残された問題点について述べる。

2. 試験体および実験概要

本論で検討に用いる試験体は、著者らが行った鋼管の径厚比を実験変数とした実験シリーズの試験体で、その1で用いた試験体とは異なる。これは耐力・変形性状に及ぼす径厚比の影響を議論するためであるが、解析結果の検証に用いる試験体を増やすことによって、解析方法の信頼性をより高める意味も含んでいる。実験では、その1と同様に、モーメント勾配・加力スタブによる拘束やせん断力の影響を小さくして、より正確な曲げ性状を把握するために、一定軸力下における等曲げ実験を行っている。試験体および実験結果の一

覧を表1に示す。各径厚比($D/t=25, 41, 65$)について、軸力比 N/N_0 が0.3と0.6の2レベルで実験を行った。また、同一試験体の中心圧縮実験も併せて行った。試験体の形状・寸法は、径厚比以外はその1と同一である。鋼管はSTK400材(ただし、 $D/t=65$ の鋼管のみ、STK400材を切削加工して製作した)で、全て残留応力除去焼鈍が施されている。焼鈍後の1号試験片の引張試験によって得られた鋼材の機械的性質を表2に示す。引張試験結果および中空鋼管短柱の圧縮実験結果は、明確な降伏点と降伏棚を持つ同様な性状を示しており、焼鈍によって残留応力はほとんど除去できていると判断した。これらの応力ーひずみ(軸力ー軸ひずみ)関係については文献2を参照されたい。充填コンクリートのシリンダー強度は33.4MPaである。加力装置および測定装置は、軸力載荷用の球座に蒲鉾形球座を用いたこと以外はその1と同一である。

各試験体の拘束効果の評価は、その1と同様に、文献3、文献4に示す中心圧縮力を受けるCFT短柱の相互拘束作用を考慮した弾塑性解析結果によって得られた、鋼管の降伏応力 σ_v に対するひずみ硬化開始時の周方向応力(拘束力) σ_θ の比 α_v 、軸方向応力 σ_z の比 β_v によった。各試験体の α_v 、 β_v の値を表3に示すが、 α_v の値は径厚比によって異なり、径厚比が大きくなるほど大きな値となっている。

* (株)日本設計九州支社構造設計部 工修

** (株)竹中工務店 工修

*** 九州大学工学部建築学科 教授・工博

Structural Engineering Dept., Kyushu Branch, Nihon Sekkei Inc.
Takenaka Corporation, M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kyushu University, Dr. Eng.

表1 試験体および耐力一覧

実験計画					実験結果		解析結果							
試験体名	軸力比 N/No	鋼管径 D (mm)	板厚 t (mm)	径厚比 D/t	σ_y (MPa)	σ_{Bt} (MPa)	曲げ耐力		M- ϕ 解析における曲げ耐力				一般化累加強度における曲げ耐力	
							実験値		モデル1		モデル2		拘束効果無視	
							Φ D	exMu (kN-m)	Φ D	anMu1 (kN-m)	Φ D	anMu2 (kN-m)	c1Mu0 (kN-m)	exMu (kN-m)
C65-3	0.3	162.8	2.52	64.6	329	33.4	3.33	34.0	0.80	30.5	3.28	35.5	32.2	1.06
C41-3		165.2	4.07	40.6	323		2.87	49.5	0.78	42.2	5.03	49.6	44.6	1.11
C25-3		165.2	6.72	24.6	354		1.66	73.0	0.93	63.5	6.03	74.5	67.5	1.08
C65-6	0.6	162.8	2.52	64.6	329	33.4	2.17	32.3	0.50	21.6	2.28	32.9	26.5	1.22
C41-6		165.2	4.07	40.6	323		2.11	41.9	0.55	28.5	3.78	44.1	34.6	1.21
C25-6		165.2	6.72	24.6	354		2.35	62.0	0.60	40.6	5.28	62.7	49.3	1.26

N: 荷重軸力 No: 単純累加軸圧縮強度 ($No = sA \cdot \sigma_y + cA \cdot \sigma_B$) sA: 鋼管断面積, cA: コンクリート断面積

σ_y : 鋼管の降伏応力度 (引張試験) σ_B : コンクリートのシリング強度 Φ D (x10⁻²rad): 曲げ耐力時の曲率

曲げ耐力は以下に示す値とする

実験値: 引張側もしくは圧縮側フランジの材軸方向ひずみがひずみ硬化開始時ひずみ ϵ_{st} (表2参照)に達した時の曲げモーメント

M- ϕ 解析: 最大曲げモーメント

モデル1、モデル2についてはその1)¹⁾を参照されたい。

図1 曲げ耐力の計算値と実験値の比較

この α_u 、 β_u の値を用いてその1と同じ方法により求めた曲げ耐力の計算値(M-N相関曲線)と実験値の比較を図1(a)(b)(c)に示す。曲げ耐力の実験値は、鋼管の材軸中央位置の圧縮縁または引張縁の軸方向ひずみ(ひずみゲージの測定値)が引張試験におけるひずみ硬化開始時ひずみ ϵ_{st} (表2参照)に達した時の曲げモーメントとした。各径厚比において、実験値と拘束効果を考慮したM-N相関曲線はよく対応しており、拘束効果(α_u 、 β_u)の値はほぼ適切に評価できているといえる。

3. 軸力と曲げを受けるCFT柱の拘束効果

その1では、拘束効果を見逃したモデル1と、鋼管を軸方向応力(軸力・曲げモーメント)を負担する鋼管とコンクリートの横拘束に働く鋼管とに分離することで拘束効果を簡単に取り入れたモデル2を用いて、曲げモーメント-曲率関係(以後、M- ϕ 関係と呼ぶ)の解析を行い、実験結果と比較することにより変形性状に及ぼす拘束効果の影響等について検討を行った。しかし、この2つのモデルでは無拘束域(モデル1)から拘束域(モデル2)への移行区間のM- ϕ 関係の決定方法の曖昧さや相互拘束作用の説明に問題が残された。M- ϕ 関係の実験結果をより忠実に評価するためには、軸力と曲げを受ける柱の拘束効果のメカニズムについてより深く考察する必要がある。軸力と曲げを受けるCFT柱に期待できる拘束効果は、(本質的に異なる)次の2つが考えられる。

①圧潰した充填コンクリートの体積膨張を鋼管が拘束することによって生じる曲げ圧縮側における拘束効果。コンクリートは三軸圧縮応力状態となり、圧縮強度・靱性が向上する。鋼管には円周方向に引張応力が生じるため、軸方向圧縮強度は減少する(引張側の軸方

表2 鋼材の機械的性質(引張試験結果)

t (mm)	σ_y (MPa)	σ_u (MPa)	σ_y / σ_u (%)	EL. (%)	ϵ_{st} (%)
2.52	328.5	445.1	73.8	25.4	1.90
4.07	322.6	438.9	73.5	23.9	1.51
6.72	353.5	459.8	76.9	21.4	1.63

注) t: 鋼管板厚 σ_y : 降伏応力度 σ_u : 引張強さ
EL.: 破断伸び ϵ_{st} : ひずみ硬化開始時ひずみ

表3 解析に用いる α_u 、 β_u の値(拘束効果の評価)^{3), 4)}

D/t	α_u	β_{uc}	β_{ut}
64.6	0.40	0.74	1.14
40.6	0.29	0.82	1.11
24.6	0.19	0.89	1.08

注) α_u : 曲げ耐力時の鋼管の周方向引張応力の降伏応力に対する比 $=\sigma_{su}/\sigma_y$
 β_{uc} : 曲げ耐力時の圧縮側鋼管の軸方向応力の降伏応力に対する比 $=\sigma_{su}/\sigma_y$
 β_{ut} : 曲げ耐力時の引張側鋼管の軸方向応力の降伏応力に対する比 $=\sigma_{su}/\sigma_y$

向強度は逆に増大する)。

②引張力を受ける鋼管が、弾塑性領域それぞれのポアソン比に従って半径が小さくならうとするのを、(引張りひ割れのために材軸応力を負担しなくなった)充填コンクリートが拘束することによって生じる曲げ引張側における拘束効果。コンクリートは二軸圧縮応力状態となり、鋼管には円周方向に引張応力が生じるために軸方向引張強度は増大する(圧縮側の軸方向強度は逆に減少する)。

以後、①と②の拘束効果をそれぞれ圧縮側の拘束効果および引張側の拘束効果と呼ぶことにするが、両者では拘束するものとされるものの関係が逆転しており、メカニズムが本質的に異なる。拘束効果の定量的把握を試みたこれまでの研究^{5), 6)}は、主として圧縮側の拘束効果について着目したものである。引張側の拘束効果について

は、著者らが文献7において検討を行なって、大まかな性状を明らかにしている。

以上のように軸力と曲げを受ける柱では、その影響の大小は別として圧縮側と引張側、2つのメカニズムが異なる拘束効果が同時に生じていると考えられる。よってM- ϕ 関係をより厳密に評価するためには、これらを同時に考慮した解析を行う必要がある。しかし、これは非常に複雑な問題となる。本論では圧縮側または引張側の拘束効果、それぞれについて単独に着目してM- ϕ 関係を評価する解析方法を提案する。提案する方法では、拘束効果の評価をモデル2のように鋼管を2つに分離して行うのではなく、モデル1とモデル2の移行区間である拘束効果が始まり安定するまでの鋼管の応力状態を既往の研究を参考にして仮定することによって、M- ϕ 関係を連続的に評価する。

4. 曲げ圧縮側の拘束効果を元にした曲げモーメント-曲率関係の評価方法

(1) 中心圧縮力を受ける柱における拘束効果

曲げ圧縮側の拘束効果を元にした断面の連続的なM- ϕ 関係の解析方法(以後、モデル3と呼ぶ)に用いる仮定の妥当性を示すために、まず中心圧縮力を受ける柱の軸力-軸ひずみ関係の解析方法について簡単に触れる。この方法は既に著者らが文献8で発表しているので、詳細はそれを参照されたい。

モデル3では、著者らが行った弾塑性解析^{3) 4) 11)}の結果や、既往の研究に報告されている $\sigma_s/\sigma_y - \epsilon_z$ 関係に関する実験結果を参考にして、鋼管の応力状態を軸方向圧縮ひずみ ϵ_z の関数として図2のように仮定する。即ち、 ϵ_z が無拘束コンクリートの一軸強度時ひずみ ϵ_o に達するまでは鋼管は一軸応力状態($\sigma_s = 0$, モデル1の状態)であるとする。鋼管の周方向引張応力 σ_s の大きさは ϵ_z が ϵ_o に達すると急激に増大し、 ϵ_z がひずみ硬化開始時ひずみ ϵ_{st} となると収束する(モデル2の状態、収束値は表3の α_u の値とする)と仮定する。モデル1とモデル2の移行区間の $\sigma_s/\sigma_y - \epsilon_z$ 関係は4次関数としたが、この曲線(関数)に物理的な意味はなく、H. K. Sen⁶⁾、福田ら⁹⁾が行った実験で得られたひずみ測定値を元にした $\sigma_s/\sigma_y - \epsilon_z$ 関係の弾塑性解析結果などを参考にしながら、荷重-変形関係の解析結果が実験結果になるべく合致する様に定めたものである。鋼管の軸方向応力 σ_z と ϵ_z の関係はvon Misesの降伏条件を用いて σ_s から導く。ひずみ硬化は、図2に示すように軸方向応力のみで表わしている。

コンファインドコンクリートの応力 $\sigma - \epsilon$ 関係 ϵ はその1と同じ崎野・孫モデル^{10) 11)}を用いる。このモデルは横補強筋量が一定で変化しない場合のモデルであるが、本論ではコンクリート充填鋼管柱を横補強筋量が変化する場合の問題として取り扱い、以下に示す手法を繰り返すことによって各ひずみレベルにおけるコンクリートの軸方向応力を求める。①各軸方向ひずみにおける α_u の値を図2により定める。②その α_u の値を崎野・孫モデルに代入し、その拘束力下におけるコンファインドコンクリートの $\sigma - \epsilon$ 曲線を求める。③この $\sigma - \epsilon$ 曲線における、各軸方向ひずみに対応する応力がコンクリートの軸方向応力となる。

なお、高張力鋼の鋼管に低強度コンクリートを充填した時のように、無拘束コンクリートの一軸強度時ひずみが鋼管の一軸降伏ひず

図2 曲げ圧縮側の拘束効果を元にした鋼管の応力状態(モデル3)

図3 解析で得られたコンクリートの応力-ひずみ関係(中心圧縮柱 D/t=41 モデル3)

図4 解析結果と実験結果の比較(中心圧縮柱 モデル3)

みより小さい場合は、鋼管が弾性状態のうちに拘束作用が生じることになり、本方法を直接適用することはできない。

図4に2節で述べた試験体の軸力-軸ひずみ関係の解析結果を実験結果と併せて示す。図中の○印は解析において周方向応力が生じ始めた点であり、▽印は周方向応力が一定になるとした点である。即ち○印まではモデル1と同じであり、▽印以降は(ひずみ硬化を考慮した)モデル2と同じ結果となる。移行区間(○印と▽印の間)は連続したスムーズな曲線でつなぐことができている。解析結果は実験結果をほぼ評価できているが、その対応は径厚比によって若干異なり、径厚比が大きい場合に降伏以後、特に大変形時において、耐力を過大評価する傾向がある。この理由としては、表3の値が拘束効果を過大に評価していることや鋼管の局部座屈の影響等が考え

図5 曲げ圧縮側の拘束効果を元にしたM-φ解析の結果 (C41-3 モデル3)

られる

(2) 曲げモーメント-曲率関係の解析方法

前節で述べた軸力-軸ひずみ関係の解析方法を応用して、断面分割法により断面のM-φ関係を連続的に解析する方法を提案する。曲げを受ける柱断面にはひずみ勾配が生じ、断面内の応力・ひずみ分布は一様でなくなる。断面内の塑性化の程度も異なる。よって、M-φ解析においては前節で述べた仮定に加え、新たな仮定を設ける必要がある。また、その1で示したモデル2の解析結果は、ひずみ硬化を無視したために変形時において実験結果との対応が悪かったが、モデル3では(ひずみ硬化を考慮して)この点の改善も行う。新たに設けた仮定を以下に示す。

- 1) 鋼管の周方向引張応力 σ_θ は、断面内(各ファイバー)で一様とし、コンクリートの圧縮縁の軸方向ひずみと σ_θ の関係を中心圧縮柱の場合(図2)と同じとする。

断面内における σ_θ の変化状況についての研究はなく、この仮定が正しいことは証明されていないが、この仮定を用いれば横方向の力の釣り合い上で鋼管とコンクリートの付着力を必要とせず、解析が簡便になる。また、各ファイバーのコンクリートの拘束力は同じとなり、拘束コンクリートの応力-ひずみ関係を設定する上でも明快である。加えてモデル2との連続性も保たれる。一方、圧縮縁は最も塑性化が早い所であるので、この仮定により拘束効果の影響の現れ方を最も早く評価していることになる。

- 2) 鋼管の各ファイバーの軸方向応力 σ_z は、弾性域においては板厚方向の応力を零とした平面応力状態のフックの法則、鋼管に降伏が発生して軸方向ひずみが引張試験時のひずみ硬化開始ひずみ ϵ_{sy} に達するまでは、von Misesの降伏条件および完全塑性体の構成則に従うものとして求める。
- 3) 鋼管の各ファイバーの軸方向ひずみ ϵ_z が ϵ_{sy} を越えると、軸方向応力と軸方向ひずみの関係は図2に従うものとする。

実際、鋼管は二軸応力状態にあるので ϵ_{sy} より小さな軸方向ひずみでひずみ硬化が開始すると考えられ、周方向応力もひずみ硬化により強度が上昇すると考えられる。よって、この解析仮定は厳密さに欠けている。しかしながら、本解析ではモデルの簡便性に配慮して、軸方向ひずみが引張試験時のひずみ硬化開始ひずみ ϵ_{sy} に達した時にひずみ硬化が開始する²²⁾ものとし、また、鋼管のひずみ硬化は軸方向応力のみに考慮した(図2において $\lambda=0$ として引張試験で得られたひずみ硬化による耐力上昇を圧縮側または引張側の降伏応力に上乗せしている)。鋼管の周方向応力のひずみ硬化の影響

(a) 鋼管

(b) コンクリート

図6 各ファイバーの応力の解析結果(C41-3 モデル3)

については、曲げを受ける場合は縁ファイバーから徐々にひずみ硬化に入っていくため、断面内で一様と仮定した拘束力としてひずみ硬化を評価するのはかなり難しい問題となるため、これを無視した。これらの仮定により、本解析はひずみ硬化の影響を実際よりもやや小さく評価していることになる。

図5にD/t=41, N/No=0.3の試験体のモデル1、モデル2、モデル3の解析結果を実験結果をとともに示す。モデル3ではモデル1とモデル2の移行区間を連続的にスムーズな曲線で評価できており、実験結果との対応はよい。また、ひずみ硬化を考慮しているため、大変形時の実験結果との対応もモデル2より改善されている。図6(a)(b)には各ファイバーの鋼管およびコンクリートの応力-ひずみ関係を示す。鋼管の中央部(圧縮側)では降伏前に周方向応力が発生するため、降伏前に軸方向剛性が若干下っており、軸方向応力は σ_{sy} に達していない。図7(a)(b)には各試験体のモデル3の解析結果を実験結果とともに示す。両者は全ての径厚比、軸力比でよく対応しており、中心圧縮力を受ける柱(図4)でみられた径厚比の大きい試験体での対応の悪さはみられない。ただし、曲率 $\phi D=0.5\sim 1\%$ 程度において、実験結果の曲げモーメントが解析結果を上回る現象がみられ、これは径厚比が小さく軸力比が高い場合に顕著である。この理由として、①中空鋼管短柱の圧縮実験²⁾でも確認された降伏点の存在、②コンクリートの引張応力の負担・テンションスチーピング、③M-φ関係の実験結果において曲げモーメントMは材軸中央断面の値(最大値)とし、曲率 ϕ は検長間の平均曲率で表現しているが、実際は軸力により若干モーメント勾配が生じるために解析よ

図7 解析結果と実験結果のM-φ関係の比較(モデル3)

りも曲率が小さめに評価されること、④本論で用いたコンファインドコンクリートの応力-ひずみ関係モデル(崎野・孫モデル)が注1で述べたように圧縮強度発揮時に剛性を過小評価する特性等が考えられる。

5. 曲げ引張側の拘束効果を元にした曲げモーメント-曲率関係の評価方法

(1) 中心引張力を受ける柱の拘束効果

著者らは文献7で中心引張力を受けるCFT柱の既往の実験結果および解析結果より、鋼管に図8に示す二軸引張応力状態を想定して、鋼管の軸方向引張強度を降伏時に1.07倍($\alpha_s=0.16$, $\beta_s=1.07$)、終局時は1.10倍($\alpha_u=0.25$, $\beta_u=1.10$)に割り増すことを提案した。これを元に引張力を受けるCFT柱の軸方向ひずみと鋼管の応力状態を仮定したものが図9である。圧縮力を受ける場合と異なり、初期応力時から鋼管に周方向引張応力 σ_θ (相互作用)が生じる。鋼管降伏時から終局時までは σ_θ と軸方向ひずみの関係を線形関係、その後の σ_θ は一定値と仮定した。 σ_θ が一定となる時の軸方向ひずみは、文献7で示す解析において軸方向ひずみが1~2%程度になると応力状態が安定することより、前節のモデル3と合わせて ϵ_{sx} とした。このひずみの大きさや α_u の値の大きさや変化状況、径厚比の影響等については十分に明らかにされておらず、これらは今後の課題である。また、引張力を受ける場合よく問題となるコンクリートによるテンションスチフニングは、文献7で用いた実験結果において確認されているが、本解析では考慮していない。

図8 文献7で定めた引張力を受けるCFT柱の鋼管の応力状態

図9 曲げ引張側の拘束効果を元に定めた鋼管の応力状態(モデル4)

(2) 曲げモーメント-曲率関係の解析方法

前節で述べた引張側の拘束効果を元にして、連続的な断面のM-φ関係の解析方法(以後モデル4と呼ぶ)を提案する。解析仮定は、鋼管の周方向引張応力 σ_θ を鋼管の引張縁の軸方向ひずみで制御し、鋼管の応力と軸方向ひずみの関係を図9とすること以外はモデル3と同じである。モデル3では α_u の値を径厚比によって変化させたが、前節で述べたようにモデル4では径厚比に関わらず α_u の値を一定($\alpha_u=0.25$)とする。

曲げ引張側の拘束効果は軸力比が小さい(引張領域の大きい・中立軸位置が浅い)場合により支配的になると考えられるので、その1で用いた軸力比0.0の試験体(CCA0, D/t=41)について、モデル1、モデル2、モデル4の解析結果を実験結果とともに図10に示す。図11(a)(b)には各ファイバーの鋼管およびコンクリートの応力-ひずみ関係を示す。小変形時にはモデル1の解析結果と大差なく、初期応力状態における σ_θ の存在はM-φ関係にさほど影響を与えないといえる。降伏後はモデル4とモデル2の解析結果はほとんど同じとなっている。これは、モデル2において軸方向応力負担用の圧縮強度を下げて引張強度を上げたことが、引張側の拘束効果を元に仮定した鋼管の応力状態と類似しており、 α_u の値もほぼ同じであるためと考えられる。また、実験結果が解析結果を上回る理由としては、前節で挙げたものと同じ理由が考えられる。図12には、2節で述べた各試験体のモデル4の解析結果を実験結果と併せて示す。軸力比が0.3の場合、解析結果は実験結果をほぼ評価できており、モデル3の解析結果ともほぼ同じ結果となっている。D/t=41, D/t=

図10 曲げ圧縮側の拘束効果を元にしたM-φ解析の結果 (CMA0 モデル4)

図11 各ファイバの応力の解析結果(CMA0 モデル4)

65の柱では、モデル3で用いた α_c の値(それぞれ $\alpha_c=0.29, 0.40$)と隔たりがあるにも関わらずモデル3の解析結果を若干下回る程度の結果となっているのは、中立軸位置が比較的浅く^{1,2)}圧縮側コンクリートの断面積が小さいため、それが柱のM-φ関係に与える影響が小さいためである。一方、軸力比が0.6の場合はD/t=65の試験体では解析結果は実験結果をかなり過小評価している。これは $\alpha_c=0.25$ とモデル3で用いた $\alpha_c=0.40$ よりも小さいのに加え、中立軸位置が深くなるために引張縁の軸方向ひずみが大きくなり、解析上は拘束効果が十分に発揮されないためである。これは、軸力比が高い場合には曲げ圧縮側の拘束効果が支配的であることを示している。

図12 解析結果と実験結果のM-φ関係の比較(モデル4)

6. まとめ

コンクリート充填円形鋼管柱が軸力と曲げモーメントを受ける場合、鋼管とコンクリートの相互拘束作用の結果、鋼管に周方向応力が生じる。本論では、鋼管の周方向応力の影響を考慮に入れた断面の曲げモーメント-曲率関係の解析方法を提案した。さらに、解析結果を実験結果と比較することにより、曲げ変形状に及ぼす拘束効果や径厚比の影響等について考察を行った。

鋼管の周方向応力の大きさを定量的に評価するモデルとしては、曲げ圧縮側における拘束作用のメカニズムに基づくモデルと曲げ引張側の拘束作用のメカニズムに基づくモデルの2つのモデルを検討した。後者のモデルを用いた解析結果は、軸力比が高く径厚比が大きい場合には実験結果と対応せず、軸力比が低い場合には前者のモデルを用いた解析結果と大差ない。したがって、前者のモデルを用いる解析法が、コンクリート充填円形鋼管柱の変形状を評価する上で有用であるといえる。しかしながら、このモデルについてもその妥当性については十分に証明されたとは言い難く、今後の実験的および解析的研究が望まれる。

[注1] 崎野・孫モデルではコンファインドコンクリートの σ - ϵ 関係は無拘束コンクリートと同じ形の曲線式(関数)で表現し、始源剛性(ヤング係数)は無拘束コンクリートと同じとして、圧縮強度発揮時(ピーク時)のひずみを拘束力に応じて増大させているため、図3、図6(b)に見られるようにピーク前の剛性が無拘束コンクリートより小さくなる現象が生じる。実際はコンファインドコンクリートの方が剛性は高いと考えられるため、この点は崎野・孫モデルの持つ欠点であると考えられる。以下にその1で崎野・孫モデルについて示した図9を再掲する。

[注2] 著者らが行った横方向の拘束作用を(鋼管の2軸応力状態におけるひずみ硬化も)考慮した中心圧縮力を受ける柱の弾塑性解析結果^{3) 4) 11)}において、ひずみ硬化開始時の軸方向ひずみが引張試験により得られたひずみ硬化開始時ひずみとほとんど変わらない結果を得ている。

参考文献

- 1) 蛭川利彦・崎野健治・石出一郎：コンクリート充填円形鋼管柱の弾塑性曲げ性状その1，日本建築学会構造系論文報告集，1997年. 10
- 2) 石出一郎・蛭川利彦・崎野健治ほか：コンクリート充填円形鋼管柱の耐力に関する実験的研究－径厚比を実験変数とした実験結果－，日本建築学会中国・九州支部研究報告，第10号，pp. 709～712，1996年3月
- 3) 蛭川利彦ほか：コンクリート充填円形鋼管柱の弾塑性性状に関する研究(その1)～(その3)，日本建築学会大会学術講演梗概集C-1，pp. 1735～1738，1996. 9
- 4) 崎野健治・蛭川利彦・小松慎二：中心圧縮力を受けるコンクリート充填円形鋼管短柱の弾塑性解析，構造工学論文集，Vol. 43B，pp. 573～579，1997. 3
- 5) たとえば，加藤勉：曲げと圧縮をうけるコンクリート充填鋼管柱の耐力，変形能力，日本建築学会構造系論文報告集，第477号，1995. 11，pp. 157～166
- 6) Sen, H.K. : Triaxial effects in concrete-filled tubular steel columns, A thesis presented for the degree of Ph.D. in the University of London, 1969.7
- 7) 蛭川利彦ほか：引張力を受けるコンクリート充填円形鋼管柱の拘束効果，構造工学論文集，Vol. 43B，pp. 597～602，1997. 3
- 8) 石出一郎・蛭川利彦・崎野健治：コンクリート充填円形鋼管柱の拘束効果を考慮した荷重変形関係の解析，日本建築学会大会学術講演梗概集C-1，1997. 9
- 9) 福田浩司ほか：コンクリート充填60キロ級高張力鋼管の軸圧縮挙動(その1)(その2)，日本建築学会大会学術講演梗概集C，pp. 1799～1780，1993. 9
- 10) 崎野健治，孫玉平：直線型横補強材により拘束されたコンクリートの応力-ひずみ関係，日本建築学会構造系論文集，第461号，1994. 7，pp. 95～104
- 11) 蛭川利彦ほか：コンクリート充填円形鋼管柱の中心圧縮性状に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 18, No2，pp. 1307～1312，1996. 7
- 12) 石出一郎・蛭川利彦・崎野健治：コンクリート充填円形鋼管柱の弾塑性性状に関する研究－拘束効果を考慮した荷重変形関係の解析－，日本建築学会九州支部研究報告第36号，pp. 541～544，1997. 3

(1997年7月8日原稿受理，1998年1月6日採用決定)