

# 論文 拡張された修正圧縮場理論による各種断面を有するコンクリート 充填鋼管極短柱のせん断耐力の検討

松本 豊\*1・栗原 和夫\*2・上原 修一\*3

**要旨** : RC はり部材の断面解析に適用できるように拡張された修正圧縮場理論の解析モデルを用いて、円形および長方形断面 CFT 極短柱のせん断耐力の求解を試みた。得られた解析結果と既往の円形および長方形断面 CFT 極短柱せん断実験結果との比較により、本解析モデルの CFT 極短柱のせん断耐力解析への適用性を検討した。また、本解析モデルを用いて CFT 極短柱の最大耐力時のせん断力-曲げモーメントおよび軸力比関係について検討した。さらに、円形断面 CFT 極短柱を正方形断面 CFT 極短柱へ置き換えてせん断耐力評価を行う置換断面法の適用の可能性を検討した。

**キーワード** : CFT 極短柱, 円形断面, 長方形断面, せん断耐力, 修正圧縮場理論, 置換断面

## 1. はじめに

せん断スパン比が 1.0 以下であるコンクリート充填鋼管柱（以下、CFT 極短柱と呼ぶ）のせん断耐力の算定には、2008 年改定版のコンクリート充填鋼管構造設計施工指針<sup>1)</sup>（以下、CFT 指針と呼ぶ）の終局耐力算定式が用いられている。しかしながら、円形断面 CFT 極短柱の場合は「円形断面無筋コンクリート柱のせん断耐力式に関しては、実験的あるいは解析的研究は行われておらず、今後の検討課題である。」と述べられている。

一方、正方形断面は、崎野らの曲げせん断実験<sup>2)3)</sup>により曲げ耐力に達することなくせん断破壊が生じたと報告されているが、長方形断面についての実験は、殆ど行われておらず構造性能、破壊性状については未解明な部分が多いものと考えられる。なお、長方形断面については、2016年の建築学会大会のパネルディスカッションにおいても、「長方形断面の実験的研究は、若干あるものの材料強度や幅厚比の範囲は限定的であり検証を行うには十分ではない」と報告<sup>4)</sup>された。

そこで、中原らは円形および長方形断面 CFT 極短柱の繰返し載荷実験<sup>5)~10)</sup>を実施し、せん断挙動に関する性状を示すと共に、CFT 指針の計算値と実験値との比較により、終局せん断耐力式の適用性について述べている。

著者らは、Vecchio らにより柱・はり部材の断面解析に適用できるように拡張された修正圧縮場理論<sup>11)</sup>の解析モデル(以下、本解析モデルと呼ぶ)を用いて、円形および正方形断面 CFT 極短柱の曲げせん断耐力について解析を行い、本解析モデルの CFT 短柱のせん断耐力解析への適用性について限られた範囲ではあるが、検討を行った<sup>13)14)</sup>。しかし、円形および長方形 CFT 極短柱の既往実験が少ない為、本解析モデルの円形および長方形 CFT 極短

柱への適用性の検証については十分ではない。また、自由度が高い構造計画を可能にするために、CFT 極短柱のせん断耐力を明確にすることは重要な要因の一つである。

本論は、円形断面 22 試験体<sup>5)6)</sup>と長方形断面 19 試験体<sup>7)~10)</sup>を新たに加えて、本解析モデルの円形および長方形断面 CFT 極短柱のせん断耐力への適用性を検討する。また、CFT 極短柱の最大耐力時のせん断力と曲げモーメントとの関係を、せん断スパン比( $M/QD$ )および軸力比( $N/N_0$ )をパラメータにして、本解析モデルにより検討を行う。ここで、RC 円形断面のせん断耐力を求めるには、直接円形断面からせん断耐力を求められない。したがって、設計においては、円形断面を等断面積の正方形に置換する設計法<sup>12)</sup>(以後、置換断面法と呼ぶ)を用いて求めている。

そこで、円形断面 CFT 極短柱のせん断耐力評価の一提案として、置換断面法の適用範囲を CFT 極短柱に拡張し、その適用の可能性についても検討する。

## 2. 解析モデルの CFT 極短柱の断面解析への拡張

本解析モデルは、RC 部材断面を薄い矩形の層に分割し各々の層が一様なせん断応力、軸応力の作用を受ける RC 要素とみなして修正圧縮場理論を適用し、曲げモーメント、せん断力および軸力を受ける RC 部材の断面解析に適用可能な積層のモデルに拡張されたものである。本解析モデルを用いて CFT 極短柱の断面解析を行うために、図-1 に示すように CFT 極短柱の断面を矩形の層に分割し、コンクリートには拘束効果を考慮する必要がある。本解析では、解の収斂が安定した 18 層に分割した。

鋼管により拘束されたコンクリートの強度とその時のひずみおよび応力-ひずみ関係には崎野らの提案式

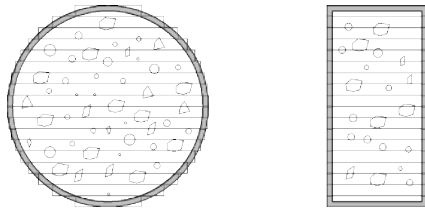
\*1 久留米工業大学准教授 建築・設備工学科 博士(工学) (正会員)

\*2 崇城大学名誉教授 工博

\*3 久留米工業大学教授 建築・設備工学科 博士(工学) (正会員)

15),16)を採用した。鋼管は横拘束筋の間隔をゼロと考えて鋼管と鋼材量を等しくした等価拘束筋に置換した。

本解析モデルでは、ひずみの適合条件として鋼管とコンクリートのひずみが同じであるとしているので、これらの間にはずれが生じないと仮定する。また、ひび割れたコンクリートの圧縮強度には、それと直交方向のコンクリートの主引張ひずみの関数で表わした圧縮強度低減係数 $\beta$ <sup>17)</sup>を乗じ、鋼管のひずみ硬化係数は1/1000とした。なお、本解析モデルの詳細は文献 11),17),18)を参照して頂きたい。



円形 CFT

長方形 CFT

図-1 解析モデル

### 3. コンファインドコンクリートについて

コンクリートが圧縮力を受けて横方向に拡がることを横拘束筋あるいは鋼管などで拘束すると、コンクリートの強度と靱性が上昇する。このように拘束されたコンクリート、すなわちコンファインドコンクリートの強度、その時のひずみおよび応力-ひずみ関係は多くの研究者により各々の式が提案<sup>15), 16), 19) ~ 22)</sup>されている。

#### 3.1 コンクリートの強度推定式

本研究では、円形および長方形鋼管により拘束されたコンクリートの強度を以下に示す式(1)、式(2)を用いた。これらの式は、前述した文献 15), 16)の崎野らの提案式であり、式中の記号の詳細は文献を参照して頂きたい。

$${}_c\sigma_{CB} = {}_c\sigma_B + k \cdot \sigma_r \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\epsilon_{co}}{\epsilon_o} = \begin{cases} 1 + 4.7 \cdot (K - 1) & , K \leq 1.5 \\ 3.35 + 20 \cdot (K - 1.5) & , K > 1.5 \end{cases} \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、

- ${}_c\sigma_B, \epsilon_o$  : コンクリートシリンダーの圧縮強度、ひずみ
- ${}_c\sigma_{CB}, \epsilon_{co}$  : コンファインドコンクリートの圧縮強度、ひずみ
- $k$  : 拘束係数 (円形:  $k=4.1$  角形:  $k=23$ )
- $K$  : コンファインドコンクリートの強度上昇  
( $= {}_c\sigma_{CB} / {}_c\sigma_B$ )
- $\sigma_r$  : 鋼管の拘束による側圧

円形<sup>15)</sup> : 
$$\sigma_r = \frac{2 \cdot \alpha t_s \cdot \sigma_y}{(D - 2 \cdot t)}$$

- $\alpha t$  : 横拘束用鋼管の板厚 ( $\alpha=0.19$ )
- $\sigma_y$  : 鋼管の降伏応力
- $t$  : 鋼管の板厚  $D$  : 鋼管の幅

長方形<sup>16)</sup> : 
$$\sigma_r = \frac{1}{2} \cdot \rho_h \cdot \sigma_{hs} \cdot \frac{t}{(D - 2 \cdot t)}$$

- $\rho_h$  : 鋼管の体積比
- $\sigma_{hs}$  : 鋼管の降伏応力
- $t$  : 鋼管の板厚  $D$  : 鋼管の幅

### 3.2 コンクリートの応力-ひずみ関係

本研究では、コンファインドコンクリート強度時の応力-ひずみ関係を以下に示す式(3)を用いた。

$$\frac{\sigma_c}{{}_c\sigma_{CB}} = \frac{A \cdot X + (D - 1) \cdot X^2}{1 + (A - 2) \cdot X + D \cdot X^2} \cdot \beta \quad \dots \dots \dots (3)$$

ここで、

$$A = \frac{E_c \cdot \epsilon_{co}}{{}_c\sigma_{CB}}, \quad X = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}}, \quad \beta = \frac{1.0}{0.62 - 0.38 \cdot \frac{\epsilon_1}{\epsilon_{co}}}$$

- $\sigma_c, \epsilon_c$  : コンファインドコンクリートの応力度、ひずみ
- $D$  : 応力-ひずみ関係の下り勾配係数
- $\beta$  : コンクリートの圧縮強度低減係数
- $E_c$  : コンクリートの弾性係数  $\epsilon_1$  : 主引張ひずみ

## 4. 解析

### 4.1 破壊モードの本解析上の定義

本論文における破壊モードに関しては、本解析結果での破壊状況を検討した結果、一般に言われている、せん断破壊、曲げ破壊の他に、曲げせん断破壊、曲げ圧縮破壊を加えた計4種類を下記のように定義した。

(1) せん断破壊 : S

せん断スパン比が小さい極短柱に多く、鋼管の中央部の周方向ひずみが降伏ひずみに達してその降伏領域が拡がる。それに伴い圧縮側の軸方向ひずみも降伏ひずみに達して増大し、さらには圧縮側のコンクリートが圧縮強度に達してその領域が拡がり計算が収斂しなくなる場合。

(2) 曲げ破壊 : M

せん断スパン比が極短柱より大きい短柱に多く、軸力比に相当する初期軸力の導入により、鋼管の圧縮側の軸方向ひずみが降伏ひずみに達してその降伏領域が拡がる。引張側も降伏ひずみに達すると共に、圧縮側のコンクリートが圧縮強度に達した後その領域が拡がる。あるいは周方向の鋼管のひずみが中央部より少し引張側部分を中心にして降伏に達した後計算が収斂しなくなる場合。

(3) 曲げせん断破壊 : MS

曲げ破壊とせん断破壊の各々の破壊性状が降伏領域の拡がりとともに、重なり合う領域も拡がり、これらの破壊形式を明確に区別できない場合。

(4) 曲げ圧縮破壊 : MC

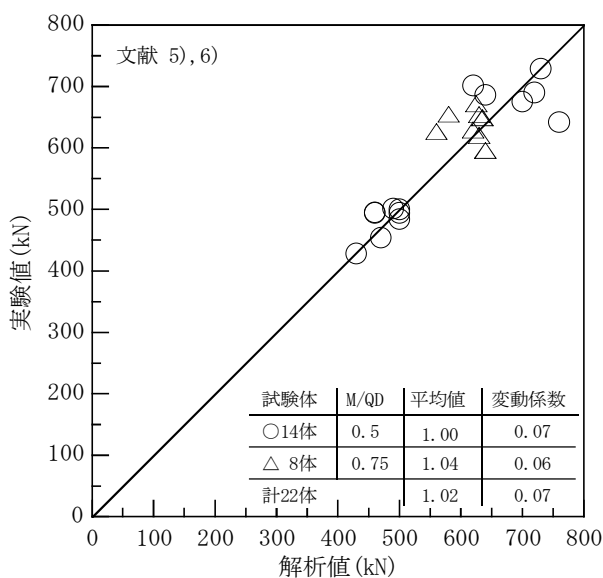
初期軸力の導入だけで鋼管全域の軸方向ひずみが降伏ひずみとなる。この状態に、曲げモーメントMとせん断力Qを漸増させると鋼管が降伏するだけでなく圧縮側のコンクリートも圧縮強度に達してその領域が拡がり計算が収斂しなくなる場合。

#### 4.2 既往実験結果と本解析結果の比較

本解析モデルの円形および長方形断面 CFT 極短柱の曲げせん断耐力解析への適用性を検討するため、円形および長方形断面 CFT 極短柱の本解析結果と既往曲げせん断実験結果との最大耐力の比較を行った。比較に用いた CFT 極短柱の既往実験試験体は、円形断面が文献 5)、6) の 22 体、長方形断面が文献 7)~10) の 19 体の計 41 体である。これらの試験体をせん断スパン比  $M/QD$  で各々区分すると、円形断面では  $M/QD=0.5$  が 14 体<sup>5)</sup>、0.75 が 8 体<sup>6)</sup>であり、長方形断面では  $M/QD=0.5$  が 2 体<sup>7),8)</sup>、0.6 が 10 体<sup>9),10)</sup>、0.65<sup>7),8)</sup>、0.67<sup>10)</sup>が各々 2 体、1.0 が 3 体<sup>7),8)</sup>である。試験体断面の諸寸法は、長方形断面の柱幅  $b$ 、柱せい  $D$  : 75~200 mm、円形断面の直径  $\phi$  : 160.2~166.3 mm、幅厚比  $D/t$ 、径厚比  $\phi/t$  : 23.4~200 である。また、軸力比: 0.0~0.48、鋼管の降伏強度: 194.17~542.0 MPa、コンクリートの圧縮強度: 19.89~65.8 MPa の範囲であった。なお、文献に記載されている試験体の破壊モードは、円形および長方形断面とも全てせん断破壊 S であった。

図-2(a)と(b)は、円形および長方形断面の既往実験結果と本解析結果とを比較したものである。図中に耐力比(実験値/解析値)の平均値および変動係数を示した。

これらの図から分かるように、円形断面および長方形断面の耐力比の平均値は、各々 1.02 および 1.00 で、変動係数は各々 0.07 および 0.06 となる。これより、両断面とも本解析結果と実験結果との差は小さく、本解析モデルによる CFT 極短柱の解析結果は実験結果を概ね捉えていると言える。なお、解析結果の破壊モードは円形および長方形断面とも S であった。これより、解析結果と実験結果の破壊モードは、大きな違いはないと言える。



(a) 円形断面の比較

#### 4.3 最大耐力時の Q-M 関係の検討

円形および長方形断面 CFT 極短柱のせん断性状に、影響を及ぼす要因と考えられるせん断スパン比  $M/QD$  について、本解析により得られた最大耐力時のせん断力  $Q$  と曲げモーメント  $M$  との関係を用いて検討する。

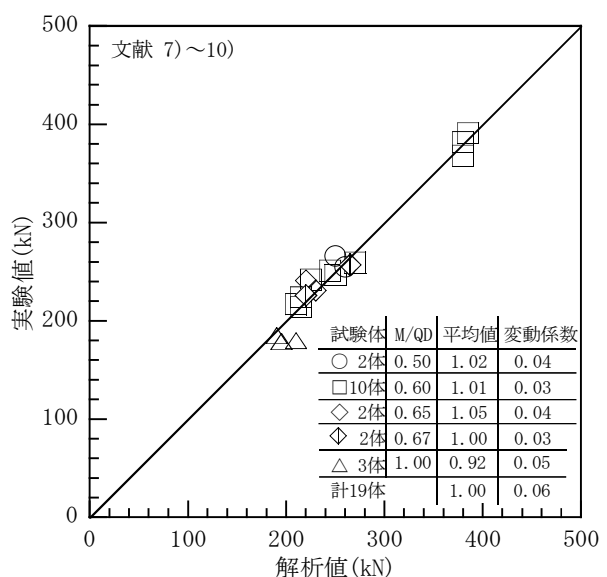
図-3(a)および(b)は、最大耐力時のせん断力  $Q$  と曲げモーメント  $M$  との関係について、せん断スパン比  $M/QD$  をパラメータにして各々表わしたものである。解析例として、文献 5) の円形断面の N71-66-30 および文献 9) の長方形断面の R150-20 の試験体諸元を用いた。なお、図中の数値は  $M/QD$  の値である。

これらの図より、円形および長方形断面の最大耐力時のせん断力  $Q$  は、同時に作用する曲げモーメント  $M$  の影響を受け、 $M/QD$  が大きくなるにつれてせん断力が小さくなった。文献 11)、13)においても、RC 梁および柱部材を対象に最大耐力時のせん断力  $Q$  と曲げモーメントの関係の検討を行っており、同様な曲線となることを報告している。また、この曲線上にせん断破壊と曲げ破壊の境界領域である曲げせん断破壊が存在し、本解析例の場合は、円形、長方形断面ともに  $M/QD=1.0$  近傍にあった。

#### 4.4 最大耐力時の Q-N/No 関係の検討

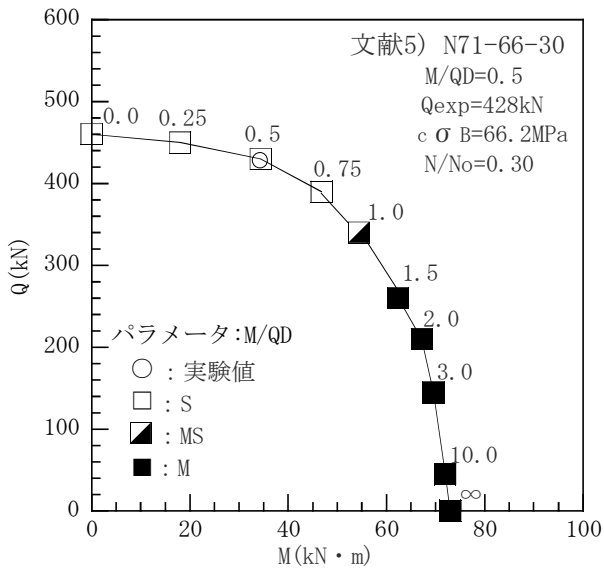
円形および長方形断面 CFT 極短柱のせん断性状に影響を及ぼす要因と考えられる軸力比  $N/No$  について、本解析により得られた最大耐力時のせん断力  $Q$  と軸力比  $N/No$  との関係を用いて検討する。

図-4(a)および(b)は、曲げせん断破壊の領域と考えられるせん断スパン比  $M/QD$  が 1.0 と 0.75 について、最大耐力時のせん断力  $Q$  と軸力比  $N/No$  との関係を各々表したものである。解析例として、4.3 節と同じ文献 5) の円

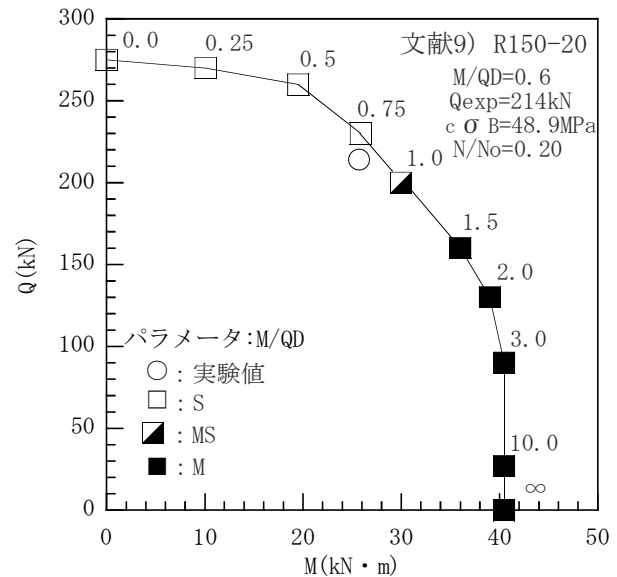


(b) 長方形断面の比較

図-2 既往実験結果と本解析結果との比較

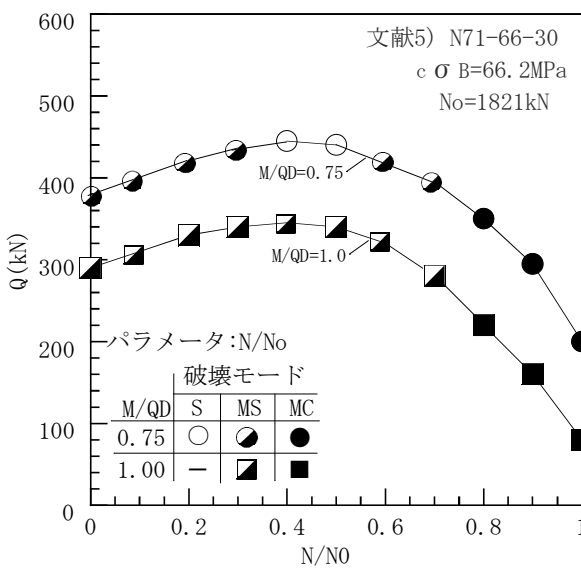


(a) 円形断面

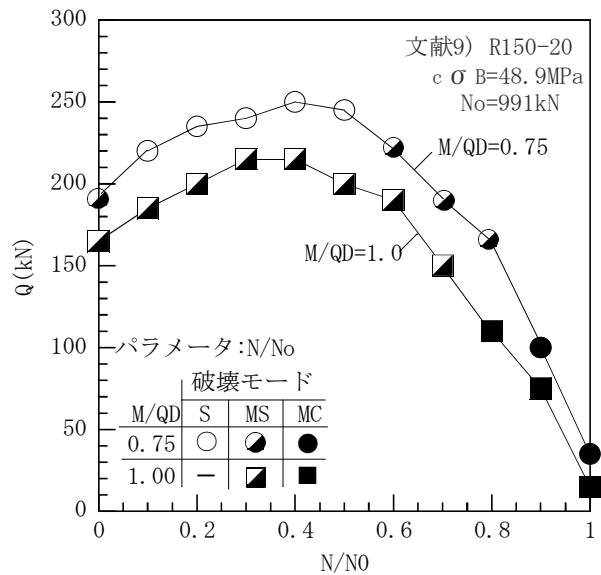


(b) 長方形断面

図-3 Q-M 関係



(a) 円形断面



(b) 長方形断面

図-4 Q-N 関係

形断面の N71-66-30 試験体諸元および文献9)の長方形断面の R150-20 試験体諸元を用いた。

これらの図より分かるように、円形および長方形断面の最大耐力時のせん断力  $Q$  は、軸力  $N$  の影響を受け  $Q-N/No$  関係が共に放物線的な曲線となり、最大耐力時のせん断力  $Q$  は軸力比  $N/No$  が 0.4~0.5 近傍で最も大きくなった。この理由は、コンファインド効果の影響によるもので、軸力の増加に伴いコンクリート強度が上昇した結果、最大耐力時のせん断力も上昇したと考えられる。また、本解析による円形および長方形断面の  $Q-N/No$  関係において、せん断スパン比  $M/QD$  が 0.75 と 1.0 とを比較すると、 $M/QD$  が 0.75 の場合のせん断力  $Q$  は、軸力比の

全領域において  $M/QD$  が 1.0 の場合に比べて大きくなり、 $M/QD$  が大きくなれば最大耐力時のせん断力  $Q$  が小さくなる事が分かる。なお、本解析による破壊モードとしては、 $M/QD=0.75$  の場合、円形断面では軸力比  $N/No$  が 0.4~0.5 で、長方形断面では 0.1~0.5 の領域でせん断破壊が生じたが、 $M/QD=1.0$  の場合は円形および長方形断面ともにせん断破壊は生じなかった。

## 5. 置換断面法の検討

### 5.1 置換方法

本研究における円形断面 CFT 極短柱の正方形断面への置き換えは、図-5 に示すように、円形断面の鋼管部分

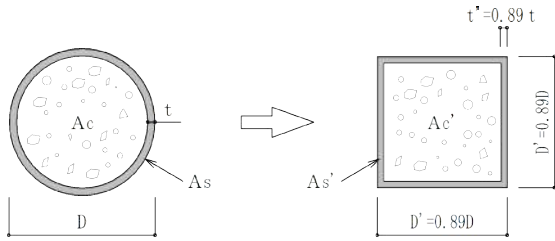


図-5 置換方法の模式図

表-1 断面構成諸元

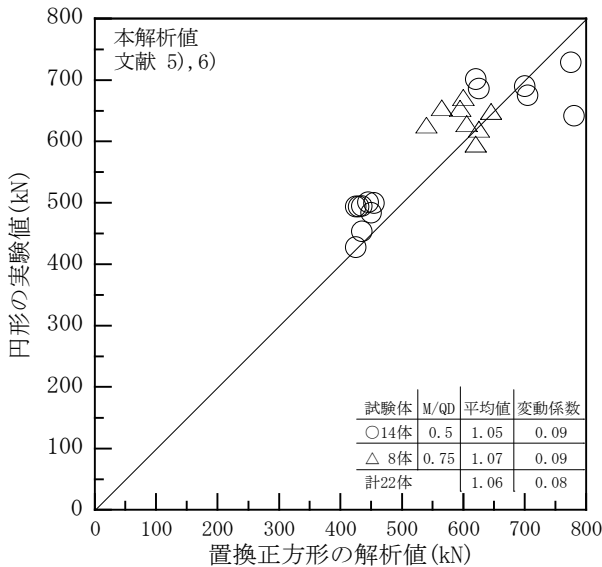
断面構成諸元	断面形状	円形	置換正方形
CFTの全断面積		A	A' (= A)
鋼管の断面積		As	As' (= As)
充填コンクリートの断面積		Ac	Ac' (= Ac)
断面せい		D	D' (= 0.89D)
鋼管の肉厚		t	t' (= 0.89t)
幅厚比		D/t	D'/t' (= D/t)

と充填コンクリート部分の断面積  $A_s$ ,  $A_c$  を正方形断面の断面積  $A_s'$ ,  $A_c'$  と等断面積にし、円形断面と置換正方形断面の幅厚比が同じとなるようにした。円形断面と置換正方形断面の構成諸元を表-1 に示す。また、本解析における置換正方形断面のコンクリート強度には、円形断面のコンファインドコンクリートの強度を用いた。なお、置換正方形断面は、全せいが円形断面の直径より小さくなるので、せん断スパン比  $M/QD$  が円形断面より大きくなる。

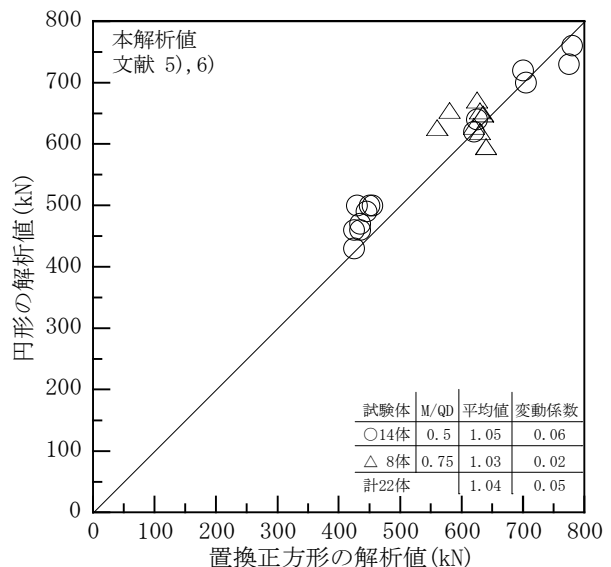
### 5.2 既往実験結果および円形断面解析値との比較

本節では、円形断面を等断面積の正方形断面へ置き換えてせん断耐力評価を行う置換断面法の適用の可能性を、置換正方形断面の本解析モデルによる解析結果の比較により検討する。

図-6 (a) および (b) は、円形断面の実験結果および解



(a) 円形断面の実験結果との比較



(b) 円形断面の解析結果との比較

図-6 解析結果との比較

析結果と置換正方形断面の解析結果とを比較したものである。図中に耐力比(円形断面/置換正方形断面)の平均値および変動係数を示した。また、同図 (a) には置換正方形断面の、同図 (b) には円形断面の本解析により得られた破壊モードは、全てSである。

これらの図より、円形断面の実験結果および解析結果と置換正方形断面の解析結果との耐力比の平均値は、各々1.06 および 1.04 で、変動係数は 0.08 および 0.05 であり、置換正方形断面の解析結果は円形断面の実験結果および解析結果との差が若干あるものの概ね円形の実験値および解析値を捉えている。さらに、同図 (a) の円形断面と同図 (b) の置換正方形断面の解析結果の破壊モードは同じSとなっていることが分かる。

以上より、本解析結果は、円形断面と置換した正方形断面の解析結果を比べると殆ど差は少なく、円形断面に比べて計算が簡便と思われる正方形断面により、せん断耐力の評価を行う置換断面法の適用の可能性はある。

## 6. まとめ

拡張された修正圧縮場理論の解析モデルを用いて、円形および長方形断面のCFT極短柱のせん断耐力の求解を試み、本解析モデルによるCFT極短柱の曲げせん断耐力解析の適用性を検討した。次に、本解析モデルを用いて、CFT極短柱の最大耐力時のせん断力と曲げモーメントとの関係およびせん断力と柱軸力との関係について検討した。最後に、CFT極短柱の円形断面を等断面積の正方形断面へ置き換えてせん断耐力評価を行う置換断面法の適用性を検討した。

限られた範囲ではあるが、本検討により得られた結果をまとめて以下に示す。

- 1) 本解析モデルによる CFT 極短柱の解析結果は、円形および長方形断面ともに差が若干あるものの、概ね実験結果を捉えている。従って、本解析による円形および長方形断面 CFT 極短柱のせん断耐力の予測が可能と考えられる。
- 2) 限られた範囲であるが、本解析による円形および長方形断面 CFT 極短柱の最大耐力時のせん断力は、同時に存在する曲げモーメントの影響を受け、せん断スパン比が大きくなるにつれて小さくなった。また、これらの関係は曲線を示し、この曲線上のせん断破壊と曲げ破壊の境界領域を解析的に求めることが可能であった。
- 3) 限られた範囲であるが、本解析による円形および長方形断面 CFT 極短柱の最大耐力時のせん断力は、同時に存在する軸力  $N$  の影響を受け、 $Q-N/No$  関係がともに放物線的な曲線を示した。また、最大耐力時のせん断力  $Q$  は、コンファインド効果の影響で軸力比  $N/No$  が 0.4~0.5 近傍で最も大きくなった。
- 4) 円形断面と置換した正方形断面の解析結果は殆ど差がなく、せん断スパン比の違いによる差も殆どなかった。これより、円形断面 CFT 極短柱を正方形断面へ置き換えてせん断耐力の評価を行う置換断面法の適用の可能性はある。

## 謝辞

本研究において、長崎大学 中原浩之教授に貴重な助言を頂きました。また、文献 5)~10) の貴重な実験結果を使用させて頂きました。ここに記して謝意を表します。

## 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施工指針，pp.54-60，pp.244-246，2008
- 2) Tomii, M. and Sakino, K. : Experimental Studies on Concrete Filled Square Steel Tubular Beam Columns Subjected to Monotonic Shearing Force and Constant Axial Force, Transactions of AIJ, No. 281, pp81-90, 1979
- 3) Sakino, K. and Ishibashi, H. : Experimental Studies on Concrete Filled Square Steel Tubular Short Columns Subjected to Cyclic Shearing Force and Constant Axial Force, Transactions of AIJ, No. 353, pp. 81-89, 1985
- 4) 日本建築学会：CFT 構造計算規準化に向けて一長周期地震動も考慮した規準一，2016 年度日本建築学会大会（九州）構造部門(SCCS)，pp. 18-25, 2016. 8
- 5) 中原浩之，津村竜次：コンクリート充填円形鋼管短柱のせん断挙動に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，No703，pp1385-1393，2014
- 6) 日根居亮佑，津村竜次，窪寺弘顕，中原浩之：a/D=0.75 の円形 CFT 柱水平加力実験（その 1，その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），pp1541-1544，2013
- 7) 富松輝彦，柳井雄斗，中原浩之，窪寺弘顕：繰返しせん断力を受ける長方形 CFT 短柱のせん断破壊実験（その 1，その 2），日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），pp1393-1396，2015
- 8) 中原浩之，富松輝彦：長方形断面を有する CFT 柱のせん断性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 37, No. 2, pp1033-1038, 2015
- 9) 陳瑞涵，中原浩之，富松輝彦，窪寺弘顕，武田良太，大野敦弘：長方形と正方形断面をもつ CFT 短柱のせん断性状に関する実験的研究（その 1，その 2），日本建築学会研究報告九州支部，第 55 号，pp561-568，2016
- 10) 陳瑞涵，中原浩之，大野敦弘：せん断破壊が先行するコンクリート充填鋼管短柱の弾塑性性状，日本建築学会研究報告九州支部，第 56 号，pp517-520，2017
- 11) Vecchio, F. J. and Collins, M. P. : Predicting the Response of Reinforced Concrete Beams Subjected to Shear Using Modified Compression Field Theory, ACI Structural Journal, May-June, pp. 258-268, 1988
- 12) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1990，pp.106-116
- 13) 松本豊，栗原和夫，林美貴：拡張された修正圧縮場理論による RC 円形断面柱のせん断耐力の検討，コンクリート工学年次論文集，Vol. 31, No. 2, pp. 715-720, 2009
- 14) 松本豊，栗原和夫，大嶺斎，島津勝：拡張された修正圧縮場理論によるコンクリート充填鋼管短柱のせん断耐力についての検討，構造工学論文集，Vol. 60B, pp. 73-80, 2014. 3
- 15) 蛭川利彦，崎野健治，小松慎二，石出一郎：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, No. 2, pp. 1307-1312, 1996
- 16) 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，No461，pp95-104，1994
- 17) Vecchio, F. J. and Collins, M. P. : The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, Proceedings V. 83, No. 2, Mar. -Apr. , pp. 219-231, 1986
- 18) 中村光，檜貝勇：拡張した修正圧縮場理論による RC はり断面のせん断耐荷力評価，土木学会論文集，No490，V-23，pp. 157-166，1994. 5
- 19) 崎野健治，孫玉平：コンファインド高強度コンクリートの中心圧縮性状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. 15, No. 2, pp. 713-718, 1993
- 20) Mander, J. B. Priestley, N. and Park, R. : Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, ASCE, Vol. 114, No. 8, pp. 1804-1826, 1989
- 21) 中塚侑，阪井由尚，中川裕史，鈴木計夫：高強度材料による円形コンファインドコンクリートの強度・変形特性 コンファインドコンクリートの強度・変形特性に関する研究（その 1），日本建築学会構造系論文集，No. 483，pp. 129-138，1996
- 22) 中塚侑，阪井由尚，中川裕史：コンファインドコンクリートの強度・変形特性推定式コンファインドコンクリートの強度・変形特性に関する研究（その 2），日本建築学会構造系論文集，No. 505，pp. 93-99，1998