

# コンクリート充填鋼管柱のジャケット継手部の 終局強度評価

依田 照彦<sup>1</sup>・遠藤 学史<sup>2</sup>・堀地 紀行<sup>3</sup>・保坂 鐵矢<sup>4</sup>・杉本 一朗<sup>5</sup>・勝尾 伸一<sup>6</sup>

<sup>1</sup>フェロー 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

<sup>2</sup>学生員 工修 早稲田大学大学院 理工学研究科建設工学専攻 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

<sup>3</sup>正会員 工博 国士舘大学教授 工学部土木工学科 (〒154-8155 東京都世田谷区世田谷4-28-1)

<sup>4</sup>正会員 工博 日本鉄道建設公団 設計技術室 (〒100-0014 東京都千代田区永田町2-14-2)

<sup>5</sup>正会員 新日本製鐵(株) 技術開発本部 (〒293-8511 千葉県富津市新富20-1)

<sup>6</sup>正会員 日本シビックコンサルタント(株) 技術研究部 (〒116-0013 東京都荒川区西日暮里2-26-2)

The purpose of this paper is to present a mechanical behavior of a recently developed jacket type connection and to predict the ultimate strength of concrete-filled tubular steel columns with the jacket type connection with a view to the reparability of the columns. Experimental study indicates that the mechanism of load transfer is characterized by a combination of bond and confinement friction between the grout and the steel surfaces, and the stiffness change of the grout concrete. Numerical results of load-displacement relationships are compared with those of the experimental results. It follows from this comparison that the grout concrete around the inner steel pipe plays a key role in the prediction of ultimate strength of jacket type connections.

**Key Words:** concrete filled tubular steel column, ultimate strength, jacket joints

## 1. はじめに

コンクリート充填鋼管は高い耐震性を有する構造であることが注目され、土木分野においても柱や杭に数多く採用されている。特に、コンクリート充填鋼管を用いた柱は強度とじん性に富んでいる点で有利である<sup>1)~6)</sup>。しかしながら、一度大地震で損傷を受けると補修が難しいことも事実である。本研究は、コンクリート充填鋼管柱の接合部を溶接なしで連結したとしても、柱の耐力を十分確保できる継手構造を、施工性の向上と補修のし易さの面から検討したものである。すなわち、鋼管の接合部において溶接の代わりに主部材となる円形鋼管外径より小さな円形鋼管を内鋼管として設置した後に内鋼管の内外にコンクリートを充填し、円形鋼管を一体化させたジャケット式継手構造を補修し易い鋼管柱と位置づけ、載荷実験により力学的挙動を調べ、実験値と解析値を比較検討することにより、合理的な継手構造の可能性を模索している。

## 2. 静的載荷試験

### (1) 載荷試験モデル

供試体概略図、断面図を図-1、図-2に示す。

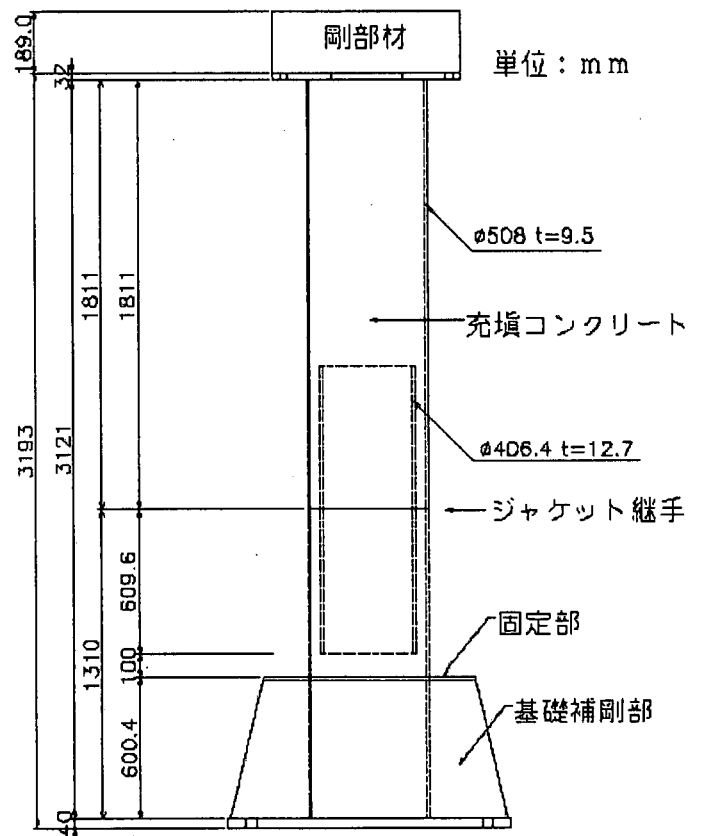


図-1 供試体概略図

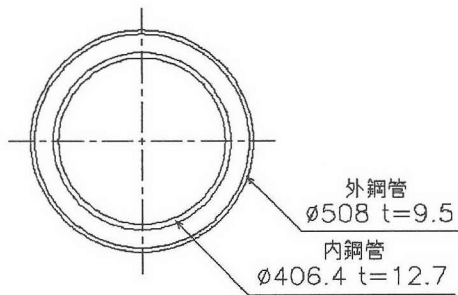


図-2 試験体断面図

載荷試験に用いた鋼管の供試体断面諸元、材料試験結果を表-1、表-2に示す。

表-1 供試体断面諸元

鋼管サイズ (mm)	外鋼管 φ508 t=9.5	内鋼管 φ406.4 t=12.7
断面積	148.8 mm <sup>2</sup>	157.1 mm <sup>2</sup>
断面2次モーメント	46200 mm <sup>4</sup>	30500 mm <sup>4</sup>
断面係数	1820 mm <sup>3</sup>	1500 mm <sup>3</sup>

表-2 鋼材の材料試験結果

品種	材質	試験片寸法 (mm)	降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)
φ508×9.5	STK400	9.11	327.3	461.6
φ406.4×12.7	STK400	12.26	520.2	612.3

載荷試験に用いたコンクリートの配合、各種試験値を表-3、表-4に示す。

表-3 充填コンクリートの配合設計

設計基準強度	30 MPa
水セメント比	45.0%
細骨材率	43.8%
水	172 kg/m <sup>3</sup>
セメント	382 kg/m <sup>3</sup>
細骨材	754 kg/m <sup>3</sup>
粗骨材	1004 kg/m <sup>3</sup>
混和剤	0.955 kg/m <sup>3</sup>

表-4 コンクリートの各種試験結果

品質試験	スランプ	18.5cm
	空気量	4.8%
	温度	18.0℃
強度試験	圧縮強度	39.9 MPa
	割裂強度	2.72 MPa
	静弾性係数	31.81 GPa
	ポアソン比	0.206

注：試験値は、載荷試験日の値を示す。

## (2) 載荷試験結果

### a) 水平荷重の載荷方法

載荷水平力は地震時のじん性を確認することを目的として正負の交番載荷とした。図-3に使用した荷重載荷装置を示す。降伏変位 ( $\delta y$ ) は、最下段断面 (固定部から25mmの位置)、またはその一段上の断面 (固定部から125mmの位置) の外鋼管の最大維ひずみ発生箇所から、中心角にして45度の位置に取り付けたゲージの軸方向引張ひずみが降伏ひずみに達したときとした。なお、鋼材の降伏ひずみは鋼材の材料試験結果から求めた降伏応力度 (0.2%永久ひずみが残る応力度) を鋼材の弾性係数で除した値とした。

実験は  $\delta y$  の振幅で正負のサイクルを3回繰り返す、その後  $2\delta y$  からは1サイクルづつとし、ジャッキ容量の最大変位まで繰り返した。また、供試体の軸方向圧縮力は常に100 kNとなるように調整した。

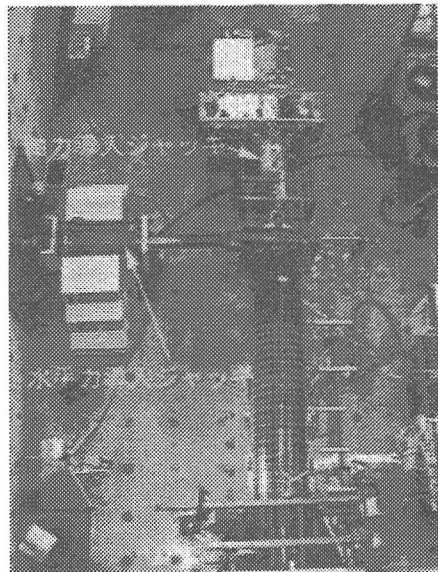


図-3 使用荷重載荷装置

### a) 荷重-変位曲線

図-4に実験終了時の載荷水平力と載荷点水平変位の関係を示す。

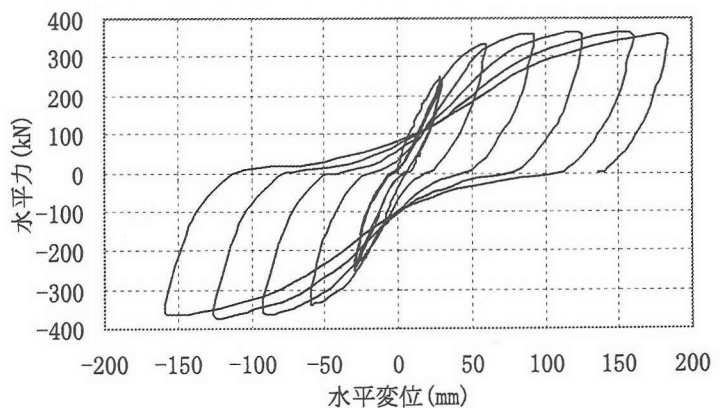


図-4 載荷水平力と載荷点水平変位曲線

図-5 に実験終了時の状況、図-6 に継手部の破壊状況を示す。

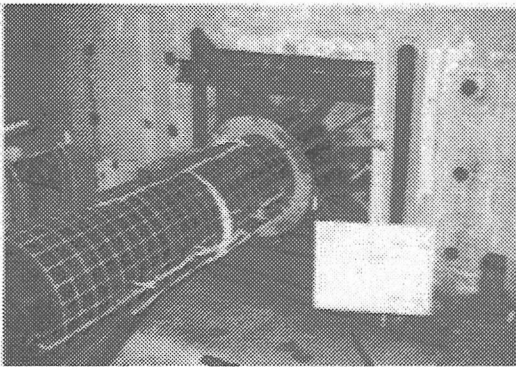


図-5 実験終了状況

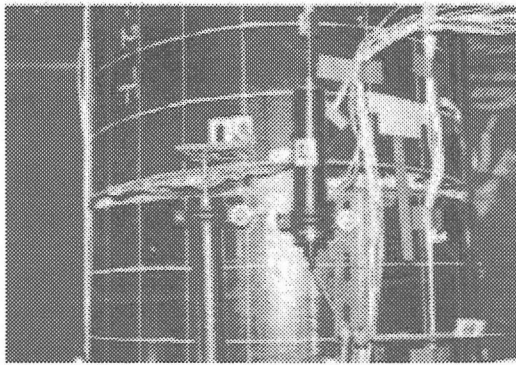


図-6 継手部の破壊状況

実験結果によれば、変位が増加しても柱下端部に座屈が発生することなく、継手部下側外鋼管の円周方向の変形のみが進行していた。実験終了時においては、内鋼管下端部の充填コンクリートの崩壊はかなり進行しているが、上端部のコンクリートは比較的健全であった。また、外鋼管スリット位置から上部の円周方向ひずみは実験終了時においても降伏ひずみに達していなかった。

### 3. FEM解析

#### (1) FEM解析モデル

解析モデルのモデル化は以下のように行った。主管（外鋼管）およびジャケット管（内鋼管）は4節点低減積分厚肉シェル要素、充填コンクリートは8節点低減積分ソリッド要素を用いてモデル化した。材料特性値には実験で得られた値を用いた。鋼管とコンクリートの接触部では節点を共有させている。一方、荷重載荷時に内鋼管とコンクリートが剥離することを考慮し、内鋼管と接触しているコンクリートの剛性は初期値の10分の1に落としている。さらに、スリットの位置ではコンクリートの崩壊が著しいことを考慮し、内鋼管内のコンクリートは剛性のみを100分の1、外鋼管と内鋼管の間のコンクリート部分はソリッド要素を除き、代わりに圧縮力だけを伝達するバネ要素を用

いた。このときバネ要素の圧縮域の荷重-変位関係はバイリニア型とし、降伏荷重に達した後は一定値とした。また、外鋼管のスリット(10mm)において接触時の力の伝達機構を評価するためにそれらのスリットにバネ要素を用いた。このバネは引張には抵抗せず、接触してから圧縮力のみを伝達するという特徴を持っている。

柱天端に付加質量をマス要素で与え、基礎補剛部を完全固定、上端を自由端とし、応力が集中すると思われる箇所（柱下端、継手部、内鋼管上下端部）は密に要素分割を行った。

図-7と図-8はそれぞれ解析モデルの概略図、メッシュ分割図である。解析では鋼の応力-ひずみ関係にはバイリニア型を用い、コンクリートの応力-ひずみ関係にはコンクリート標準示方書の応力-ひずみ曲線を折れ線で近似したものを用いた。ただし、ひずみ硬化領域での最終勾配は一定としている。

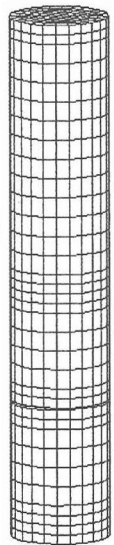
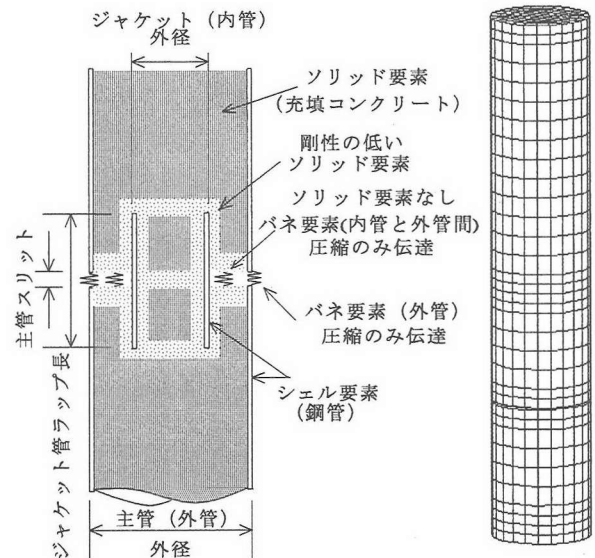


図-7 解析モデル概略図 図-8 メッシュ図 (基礎補剛部を除く)

#### (2) 解析手法

柱天端において鉛直方向に一定軸力N (100kN) を与え自重解析を行い、柱天端が水平方向に17.5cm変位するまで荷重を漸増させてプッシュオーバー解析を行った。解析では、材料非線形性、幾何学的非線形性を考慮したRiks法を用い、非線形つり合い方程式を解いている。数値計算には汎用有限要素法コードABAQUS (Version5.8) を用いた。

### 4. 実験結果と解析結果との比較

#### (1) FEM解析モデル

図-10に実験で得られた荷重-変位曲線の包絡線と解析で得られた水平荷重-水平変位曲線を示す。

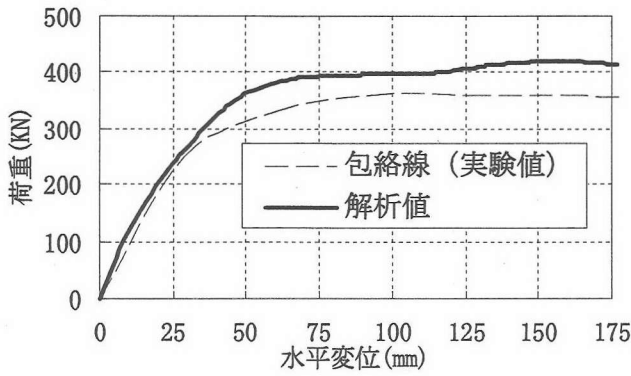


図-10 荷重-変位曲線

初期剛性がよく整合している原因としては、解析において内鋼管と接触するコンクリートの剛性を低く設定し、スリット付近のコンクリートをバネ要素で表していることの影響が大きいと思われる。降伏後の挙動も実験値、解析値ともによく似た傾向を示している。水平変位が118mmになった時点で解析値の荷重が増加に転じているが、これは外鋼管のスリット部に設けたバネ要素の働きで鋼管同士が接触したため剛性が増したものである。

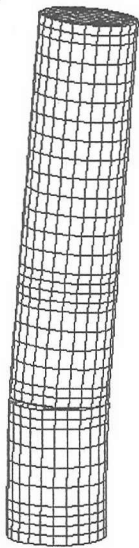


図-11 全体変形図  
(水平変位17.5cm)

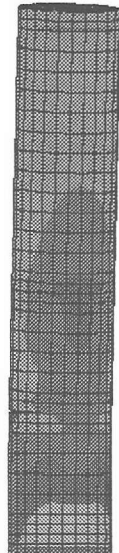


図-12 外鋼管(圧縮側)  
の主応力

図-11はプッシュオーバー解析後の変形図である。柱基部においては鋼製柱に見られるような座屈は外鋼管では見られないが、スリット近傍での変形は大きい。しかしながら、外鋼管スリット下側で円周方向のひずみが一部塑性域に入るものの、上側では塑性ひずみは観察されなかった。実験でも同様のことが観察された。図-12は外鋼管の主応力分布図を表している。外鋼管のスリット部に設けたバネ要素により、スリット上部の応力を下部に伝達していることが観察できる。図-13は内鋼管の変形図および塑性ひずみ分布である。内鋼

管はスリットのある位置で大きく変形している。このため、塑性ひずみもその近傍に集中している。全体的な力学挙動は内鋼管とその周りのコンクリートの剛性に依存していることが分かる。充填鋼管柱の全体変形が大きい割には、内鋼管の塑性ひずみがそれ程大きくならないことと損傷の大部分が内鋼管下端部のコンクリートであることから、柱の形状を元に戻し損傷したコンクリート部分に部分充填を施し、鋼板巻き付け等の補強を行えば、柱としての再利用が可能になると思われる。

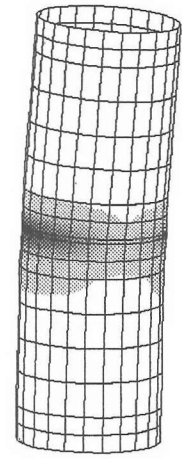


図-13 内管の変形図  
(塑性ひずみ分布)

## 5. まとめ

- ① 終局限界状態においては充填コンクリート鋼管の外鋼管は、ジャケット部より下部で若干塑性ひずみが見られるが、上部では塑性域まで達することはなく、コンクリートが充填されていない鋼製柱で見られるような外鋼管全体の座屈現象は観察できなかった。このことよりジャケット継手部の十分な変形性能が確認できたものと思われる。
- ② 実験値と解析値の比較から、本論文で提案した解析モデルの妥当性についても確認できた。
- ③ 繰り返し挙動時の履歴曲線から判断する限り、ジャケット継手の損傷後の補修はコンクリートの再充填と鋼板あるいはFRPシートの巻き付けにより容易に行えると考えられる。

## 参考文献

- 1) 遠藤学史, 堀地紀行, 保坂鐵矢, 依田照彦: 充填鋼管ジャケット継手構造の静的挙動に関する数値解析的研究, 第28回関東支部技術研究会講演論文集, I-21, pp. 42-43, 2001.
- 2) 依田照彦, 堀地紀行, 保坂鐵矢, 勝尾伸一: コンクリート充填鋼管柱の隅角部の終局強度評価について, 第1回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集, c-10, pp. 125-128, 2000.
- 3) 築嶋大輔, 野澤伸一郎, 鷹野秀明, 木下雅敬: コンクリート充填鋼管柱のソケット式接合部の耐力評価について, 土木学会第52回年次講演会, Vol.224, pp.448-449, 1997.
- 4) 鷹野秀明, 石橋忠良, 木下雅敬, 鎌田則夫: 柱と杭をコンクリート充填鋼管とした接合部の実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.18, No.2, pp.1301-1306, 1996.
- 5) 沖本真之, 木下雅敬: 異径コンクリート充填鋼管差し込み継手の実験及び解析について, 土木学会第50回年次講演会, I-203, pp.246-247, 1995.