

# 鋼管の端部定着力を考慮した鋼管コンクリート部材の終局曲げ耐力評価

— 新しい場所打ち鋼管コンクリート杭の開発 —

# THE EVALUATION OF ULTIMATE BENDING STRENGTH OF CONCRETE FILLED STEEL PIPE CONSIDERING ANCHOR STRENGTH AT END OF THE PIPE

— Development of new type of the cast in place concrete pile with outer steel pipe —

石川一真 — \* 1 本間裕介 — \* 1  
岸田慎司 — \* 2

Kazuma ISHIKAWA — \* 1 Yusuke HOMMA — \* 1  
Shinji KISHIDA — \* 2

キーワード:

鋼管コンクリート部材, 終局曲げ耐力, 場所打ち鋼管コンクリート杭, 一般化累加強度式

Keywords:

Concrete filled steel pipe, Ultimate bending strength, Cast in place concrete pile with outer steel pipe, General superposition method

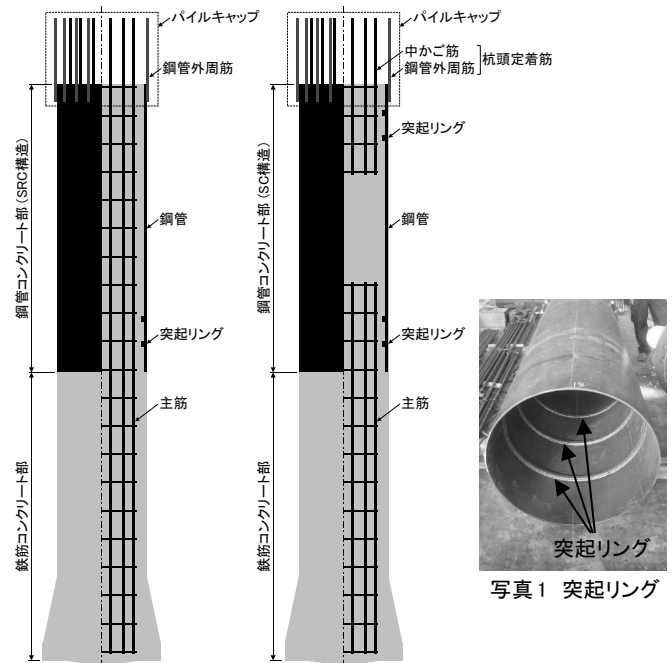
The cast in place concrete pile with outer steel pipe is a pile enhanced earthquake resistance by using a steel pipe at upper of the pile. We developed the new type of the pile. The flat steel pipe and concrete are anchored by shear cotters mounted at end of the pipe. The ultimate bending strength of this pile is evaluated by the general superposition method which is considered the influence of anchor strength by the shear cotters. The proposal design method was applied to this test of some specimens which have different anchor strength.

## 1. はじめに

場所打ち鋼管コンクリート杭とは、場所打ちコンクリート杭の上部を鋼管巻きとした杭であり、地震時に大きな曲げモーメントやせん断力が作用する部分に鋼管を使用することで耐震性を高めた杭である。また、鋼管巻きとすることで杭径を細くできるため、掘削残土量やコンクリート使用量が少なく、環境負荷の低減に貢献している。

しかし、従来の場所打ち鋼管コンクリート杭<sup>1),2)</sup>には、鋼管とコンクリートとの一体性を高めるために、内面全部にスパイラル状のリップの付いた特殊な鋼管<sup>3)</sup>が用いられており、鋼管の納期や価格の面で不都合があった。この問題を解決する為に、リップ等を有しない一般的な鋼管を使用し、鋼管内面の端部に溶接成型突起<sup>4)</sup>を付ける場所打ち鋼管コンクリート杭<sup>5)</sup>が開発されている。しかしこの方法は、溶接成型突起の加工に特別な装置を必要とし、汎用性に欠ける面があった。

そこで筆者らは、溶接成型突起に替えて平鋼を丸め加工したもの（以下、突起リング 写真1参照）を隅肉溶接で鋼管に取り付けることにより汎用性を高め、さらに設計方法を工夫することにより突起リングを必要としないタイプも有する新しい場所打ち鋼管コンクリート杭を開発した。杭の概要図を図1に示す。鋼管コンクリート部（図1参照 鋼管鉄筋コンクリート(SRC)構造の場合と鋼管無筋コンクリート(SC)構造の場合がある。）の終局曲げ耐力は、鋼管端部の突起リングの量、すなわち鋼管とコンクリートとの定着力を考慮した設計式で評価することとし、定着力を変えた試験体の曲げ試験によって設計式を実験的に検証したのでここに報告する。



(a) SRC 構造 (b) SC 構造  
図1 場所打ち鋼管コンクリート杭の概要

## 2. 鋼管コンクリート部の終局曲げ耐力の設計方法

### 2.1 先行研究

鉄骨コンクリート部材の終局曲げ耐力は、鉄骨とコンクリートとの付着が無くても、鉄骨端部において鉄骨とコンクリートとが定着されていれば、一般化累加強度式<sup>6)</sup>で求められる終局曲げ耐力まで

<sup>1)</sup> ジャパンパイル(株) 博士(工学)  
(〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町2-1-1)  
<sup>2)</sup> 芝浦工業大学工学部建築学科 教授・博士(工学)

<sup>1)</sup> JAPAN PILE Corporation, Dr. Eng.

<sup>2)</sup> Prof., Dept. of Architecture, Shibaura Institute of Technology, Dr. Eng.

達することが実験的にも解析的にも確認されている<sup>7)</sup>。また辻ら<sup>8),9)</sup>は、鉄骨とコンクリートとの付着がない状態で、鉄骨端部の定着力が変化した場合に部材の終局曲げ耐力がどのように変化するかを数理塑性理論に従って検討し、一般化累加強度式の適用範囲を明確にするとともに、適用が不可能な場合にはどのような設計式を用いれよいかを検討している。

そこで、今回開発した杭の鋼管コンクリート部の終局曲げ耐力は、辻らの研究<sup>8),9)</sup>を参考にして、鋼管端部における鋼管とコンクリートとの定着力の影響を考慮した設計式で評価することとした。以下に、鋼管コンクリート部の終局 N-M 曲線の描画方法を示す。

## 2.2 鋼管端部における鋼管とコンクリートとの定着力

鋼管下端における鋼管とコンクリートとの定着は、鋼管内面に取り付けた突起リングによって行う。鋼管上端の定着は、鋼管内面の突起リングおよび鋼管外周に取り付けた杭頭定着筋（鋼管外周筋）によってパイルキャップを介して行うものとする。なお、開発した場所打ち鋼管コンクリート杭の上端は、上部構造との間で荷重伝達できるようにパイルキャップに剛接合することにしており、鋼管外周筋と中かご筋を併用する場合（図 2 の各概要図の左側の場合）は鋼管上端の突起リングの支圧耐力が中かご筋の断面耐力以上となるように設計する。また、鋼管内面とコンクリートとの付着力および摩擦力は、設計上見込まないものとする。これは、使用する鋼管が内面にリブ等を有しない一般的な鋼管であること、および杭の施工時に鋼管内に安定液を満した状態でコンクリートを打設することを考慮したためである。

これより、鋼管端部の終局定着力 ( $sN_{bU}$ ) と鋼管の終局軸力 ( $sN_{cU}$ ,  $sN_{tU}$ ) との関係について、以下のように定める。

$$sN_{bU} = \min (r_o N_{tU} + z_t N_U, z_b N_U) \quad (1)$$

タイプ①：完全定着  $-sN_{bU} \leq sN_{tU}$ ,  $sN_{cU} \leq sN_{bU}$

タイプ②：不完全定着  $sN_{tU} < -sN_{bU}$ ,  $sN_{bU} < sN_{cU}$

タイプ③：定着なし  $sN_{bU} = 0$

ここで、

$sN_{bU}$  : 鋼管端部の終局定着力 (N)

$r_o N_{tU}$  : 鋼管外周筋が引張力のみを受ける場合の終局引張耐力(N)(正值)

$z_t N_U$  : 鋼管上端の突起リングの終局時設計用支圧耐力 (N)

$z_b N_U$  : 鋼管下端の突起リングの終局時設計用支圧耐力 (N)

$sN_{cU}$  : 鋼管が圧縮力のみを受ける場合の終局圧縮耐力 (N)

$sN_{tU}$  : 鋼管が引張力のみを受ける場合の終局引張耐力 (N) (負値)

## 2.3 終局 N-M 曲線の描画方法

鋼管コンクリート部 (SRC 構造および SC 構造) の終局曲げ耐力は、鋼管 (S) の終局曲げ耐力と鋼管内の鉄筋コンクリート (RC) およびコンクリート (C) の終局曲げ耐力とを累加して求める。(図 2 参照) その際、鋼管 (S) の終局曲げ耐力は、鋼管端部の定着のタイプに応じて次のように定める。

- タイプ①の場合、鋼管 (S) の終局曲げ耐力は  $sN_{tU}$  から  $sN_{cU}$  の全範囲とする。
- タイプ②の場合、鋼管 (S) の終局曲げ耐力は  $-sN_{bU}$  から  $sN_{bU}$  の範囲に制限される。
- タイプ③の場合、鋼管 (S) は曲げモーメントにのみ抵抗し、その終局曲げ耐力は M 軸上の直線で表される。

累加した耐力線は、鋼管 (S) の耐力線の原点を鉄筋コンクリート (RC) およびコンクリート (C) の耐力線に乗せ、移動して得られる包絡線で表される。なお、鋼管コンクリート部が SC 構造の場合、鋼管と下部の鉄筋コンクリート部の主筋との間で荷重伝達する必要から、鋼管下端に必ず突起リングが付く。よって、SC 構造でタイプ③のケースは存在しない。終局曲げ耐力の設計式の詳細を付録 1 に示す。

## 3. 鋼管コンクリート部の終局曲げ耐力の実験的検証

### 3.1 試験概要

前章で述べた設計方法を検証するために、鋼管上端をパイルキャップを模したスタブに完全定着とし、鋼管下端の定着力を変化させた試験体を用いて、スタブ（パイルキャップ）直下における鋼管コンクリート部の終局曲げ耐力を確認することにした。

試験体の仕様を表 1 に示す。試験体は、鋼管コンクリート部の構造、鋼管下端の定着状態および軸力をパラメータとした 7 体である。試験体の製作図面を図 3 に示す。外径 1000 mm の部分 (A 断面)

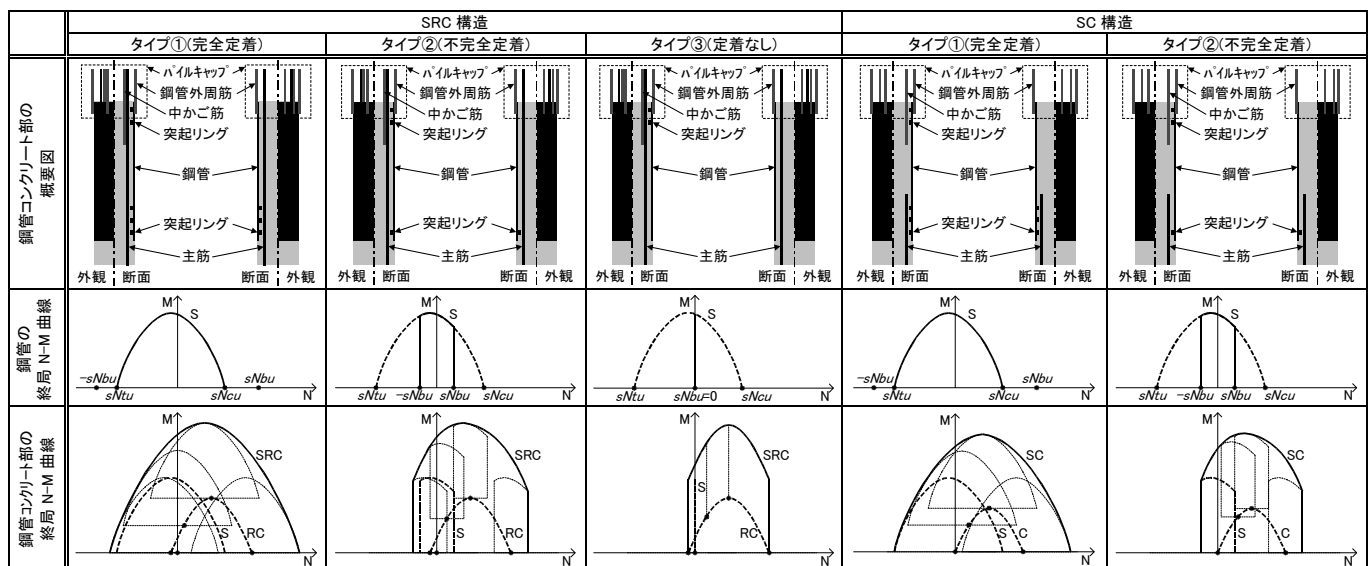


図 2 鋼管コンクリート部の仕様と終局 N-M 曲線

表 1 試験体の仕様

試験体 No.	鋼管コンクリート部の構造	鋼管上端の定着状態	鋼管下端の定着状態	定着に関するタイプ	軸力 N (kN)	スタブの鋼管	鋼管外周筋	鋼管コンクリート部の鋼管	鋼管コンクリート部の配筋	突起リング板厚 $t_s \times$ 段数 $n$	鉄筋コンクリート部の配筋	コンクリート強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	
1	SRC 構造	完全定着	完全定着	タイプ①	0	$\phi 1000$ mm $t_s=9$ mm SKK490	22-D38 SD345	$\phi 800$ mm $t_s=9$ mm SM490	6-D25 SD345 PCD <sup>*</sup> =549mm $\rho_s=0.6\%$	12mm $\times$ 3	6-D25 SD345 PCD <sup>*</sup> =549mm $\rho_s=0.6\%$	27	
2			不完全定着	タイプ②	0					4.5mm $\times$ 1			
3			定着なし	タイプ③	0					—			
4			定着なし	タイプ③	2000					—			
5	SC 構造	完全定着	完全定着	タイプ①	0					—			12mm $\times$ 3
6			不完全定着	タイプ②	0					—			4.5mm $\times$ 1
7			不完全定着	タイプ②	2000					—			4.5mm $\times$ 1

※PCD: 配置直径

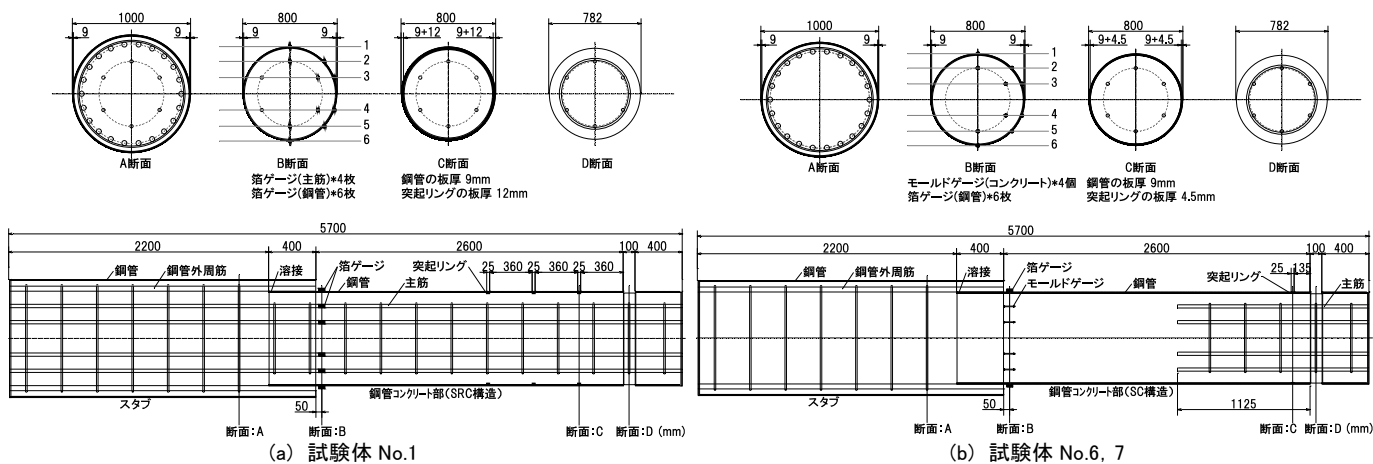


図 3 試験体図面

表 2 コンクリートの材料強度

試験体 No.	設計基準強度 $F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
1~4	27	32.6	2.5	23.7
5~7	27	36.5	2.6	22.7

表 3 鋼管および鉄筋の材料強度

	材質	実測板厚 (mm)	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
鋼管 $\phi 800$ $t_s=9$	SM490	8.5	405.7	521.8	199.9
主筋 D25	SD345	—	370.3	557.1	196.0
鋼管外周筋 D38	SD345	—	384.8	577.2	197.6

表 4 鋼管端部の定着力など

試験体 No.	鋼管の終局引張耐力 $sN_{tu}$ (kN)	鋼管の終局圧縮耐力 $sN_{cu}$ (kN)	鋼管外周筋の終局引張耐力 $rsN_{tu}$ (kN)	突起リングの終局支圧耐力 $sbN_u$ (kN)
1	-9261	7632	9651	12445
2				1571
3				0
4				0
5				12691
6				1602
7				1602

がパイルキャップを模したスタブであり、外径 800 mm の部分 (B 断面) が鋼管コンクリート部 (SRC 構造または SC 構造) である。スタブに接する側が杭の上部となる。本試験の目的は鋼管コンクリート部の終局曲げ耐力の確認であるので、スタブが先行破壊しないようにスタブも SRC 構造とした。鋼管コンクリート部の鋼管内面には、コンクリートとの付着力および摩擦力を削ぐために、グリスを塗布し、その上にフィルムを貼った。また、鋼管下端から突出している鉄筋コンクリート部 (D 断面) の外径は 782 mm とし、鋼管 (厚さ 9 mm) の断面がコンクリートに接しないようにした。これらより、鋼管下端における鋼管とコンクリートは、突起リングのみによって定着される。

図中には、ひずみゲージの取付位置も示してある。鋼管と主筋には、箔ゲージを貼付した。SC 構造の試験体 (No.5~7) は、コンクリート部分にモールドゲージを埋め込んだ。

### 3.2 使用材料の強度と鋼管端部の定着力

試験体に用いたコンクリートおよび鋼材の材料試験結果を表 2, 3 に示す。材料試験結果を用いて、鋼管端部の定着力や鋼管の終局軸力などを求めた。これらを表 4 に示す。突起リングの終局支圧耐力 ( $sbN_u$ ) は、吉川ら<sup>10,11)</sup>の鋼管内コンクリートの押抜試験結果に、

新たにデータを追加して得た支圧耐力算定式 (付録 2, だだし式中の安全係数  $\alpha$  には 1.0 を代入) を用いて求めた。鋼管の終局軸力 ( $sN_{cu}$ ,  $sN_{tu}$ ) と鋼管外周筋の終局引張耐力 ( $rsN_{tu}$ ) および突起リングの終局支圧耐力 ( $sbN_u$ ) との大小関係より、全ての試験体で鋼管上端は完全定着となっており、鋼管下端については、試験体 No.1, 5 は完全定着、No.2, 6, 7 は不完全定着、No.3, 4 は定着なしとなっている。

### 3.3 加力および計測方法

試験体への軸力導入方法および加力方法を図 4 に示す。軸力 2000 kN の試験体の場合、試験体両端に配置した桁を 4 本の PC 鋼棒で繋ぎ、センターホールジャッキで PC 鋼棒を緊張することにより、試験体に軸力を導入した。加力は、試験体の両端を支点で支え、中央付近を加力する単純梁形式の载荷で行った。よって、杭頭部の曲げモーメントが最大となり、杭下方 (図の右方) に向かって曲げモーメントが漸減する。同図には、変位測定位置も示してある。変位計①~③は試験体のたわみを測定し、変位計④⑤は鋼管下端からの鉄筋コンクリート部の拔出量 ( $\delta_x$ ) を測定する。

想定される試験体の曲げモーメント図を図 5 に、変形図を図 6 に示す。図中には、曲げモーメント (M) の算出式、および杭頭部の

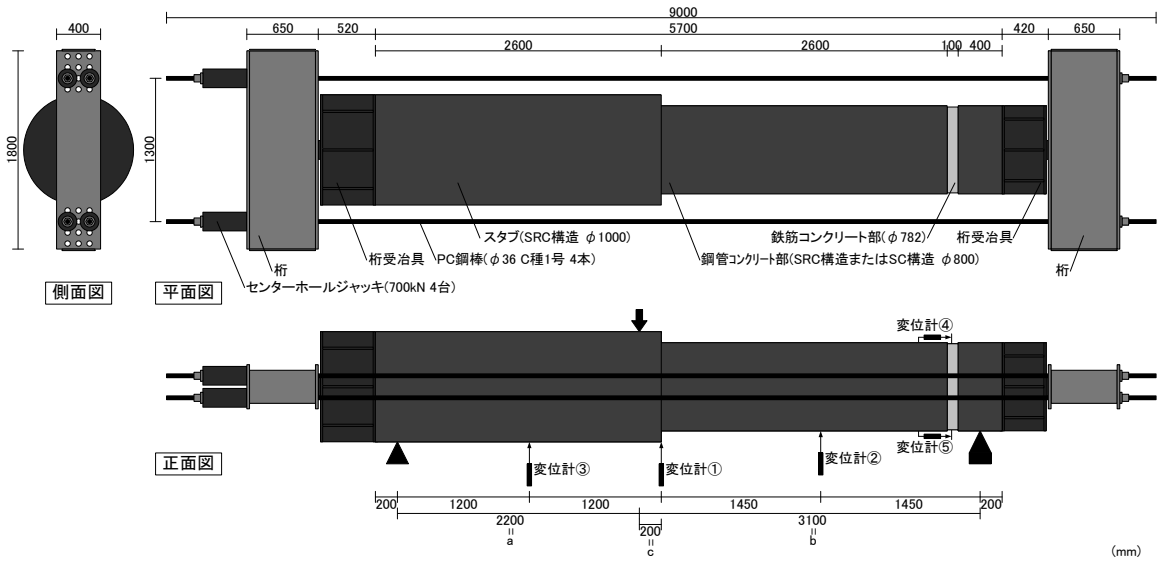


図4 曲げ試験の加力方法

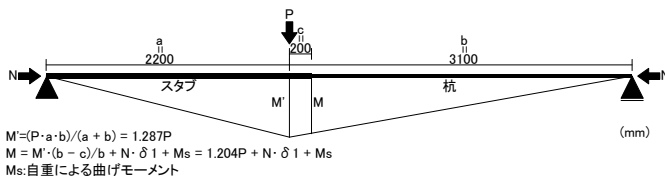


図5 曲げモーメント図

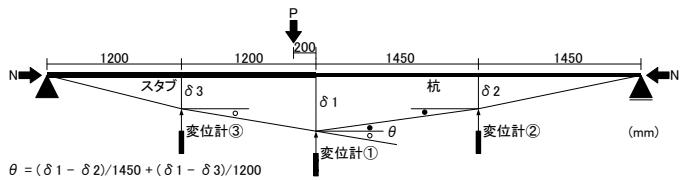


図6 変形図

変形角 ( $\theta$ ) の算出式も併記した。

荷重方法は一方向繰返し荷重とし、終局曲げモーメントの設計値までは荷重制御、それ以降は変位制御とした(図7参照)。基準変位 ( $1\delta_y$ ) は、終局曲げモーメント(設計値)の1サイクル目の変位計①の値である。

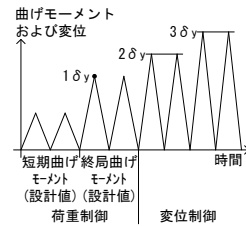


図7 加力パターン

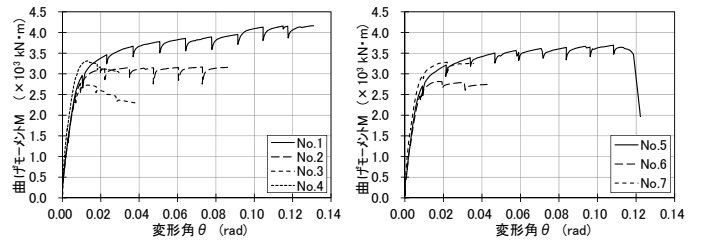


図8 曲げモーメント-変形角関係

ここで、終局曲げモーメントの設計値とは、試験体に用いた材料の規格値に基づいて求めた値であり、後述する計算値とは表2, 3に示した材料試験結果に基づいて求めた値である。

### 3.4 試験結果

#### (1) 曲げモーメント-変形角関係, 変形角-拔出し量関係, ひずみ分布

各試験体の曲げモーメント  $M$ -変形角  $\theta$  関係の骨格曲線を比較した図を図8に、各試験体の変形角  $\theta$ -拔出し量  $\delta_x$  関係の骨格曲線を比較した図を図9に示す。ここで、鋼管下端からの鉄筋コンクリート部の拔出し量 ( $\delta_x$ ) は変位計④と⑤の平均値で表した。また、試験体 No.1, 2, 3 の  $\theta = 0.03$  rad 時における B 断面のひずみ分布を図10に、試験体 No.5 の最終破壊状況を写真2に示す。

これらの図および写真より、以下の事がわかる。

- 図8において、鋼管下端を不完全定着とした試験体 No.2, 6, 7 は、 $0.02$  rad 以降は曲げモーメントがほぼ一定になった。完全定着とした No.1, 5 は、 $0.02$  rad 以降も曲げモーメントが増大した。定着なしの No.3, 4 は  $0.01$  rad 付近で曲げモーメントのピークを迎え、その後耐力低下した。
- 図9において、試験体 No.1, 5 は、 $0.1$  rad 以上まで荷重しても、拔出し量は  $3$  mm 程度であった。鋼管下端を不完全定着とした No.2, 6, 7、および定着なしとした No.3, 4 は、変形角の増大に比例して拔出し量も増加した。同一な変形角の時と比較する

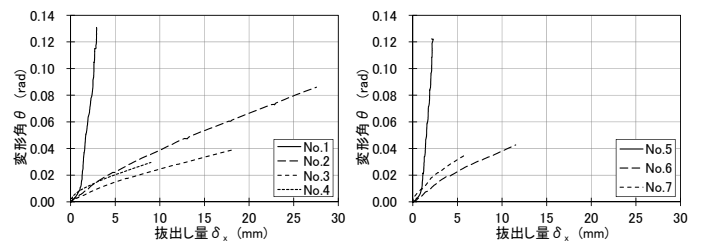


図9 変形角-拔出し量関係

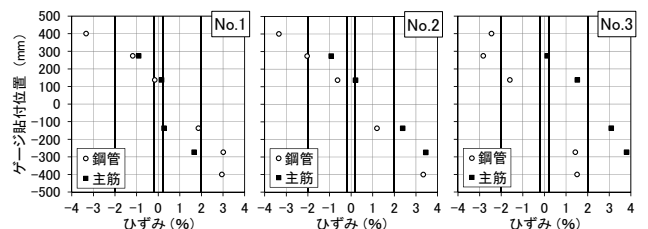
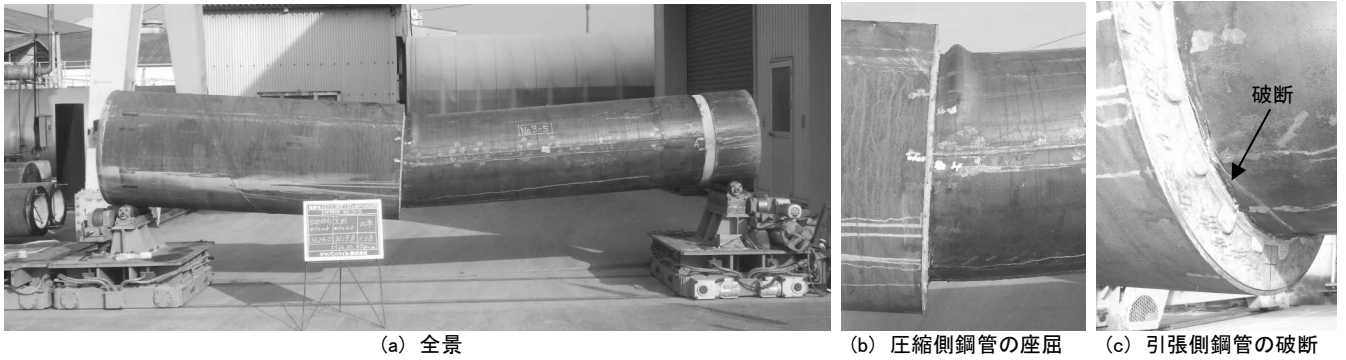


図10  $\theta = 0.03$  rad 時における B 断面のひずみ分布

と、不完全定着より定着なしの方が拔出し量が大きく、軸力が入ると拔出し量が小さくなる傾向がある。

- 図10では、曲げモーメント-変形角関係において試験体 No.1, 2, 3 の曲げモーメントに差異が現れた領域として、 $\theta = 0.03$  rad 時のひずみ分布を比較した。図中には鋼管の材料試験から得られ



(a) 全景 (b) 圧縮側鋼管の座屈 (c) 引張側鋼管の破断

写真 2 試験体 No.5 の最終破壊状況

た降伏ひずみ (0.2 %) とひずみ硬化が始まるひずみ値 (2 %) も縦線で示した。図 10 より以下の事がわかる。まず、No.1, 2, 3 のどの試験体も、ほぼ全断面で降伏しており、設計式で仮定している全断面の塑性化が確認できる。また、主筋のひずみ分布は、No.1 では鋼管のひずみ分布に比較的近いが、定着力が小さい試験体ほど全体的に引張側にシフトしており、鋼管のひずみ分布から離れている。これより、鋼管と鉄筋コンクリートの挙動は、No.1 では一体的であるが、No.2 および 3 では分離的であることが推測できる。さらに、鋼管のひずみ分布から、定着力が大きい試験体ほど、B 断面内においてひずみ硬化域に入った鋼管面積が大きいことがわかる。

④ 破壊形状に着目すると、全ての試験体において、圧縮側鋼管が局部座屈した (写真 2(b))。また試験体 No.5 は、引張側鋼管が幅約 50 cm に渡って破断した (写真 2(c))。

(2) 終局曲げ耐力の検証

試験結果の一覧を表 5 に示す。これには、終局曲げモーメントの設計値と計算値、実験値、およびこれらの比率を示した。ここで、終局曲げモーメントの実験値とは、試験で得られた最大の曲げモーメントである。また、図 11 では、終局 N-M 曲線 (計算値) のグラフ上に実験値をプロットした。これらの図表および (1) に示した結果より、以下の事がわかる。

- ① 終局曲げモーメントの設計値に対する実験値の比率は、1.15~1.45 と十分大きな値になっている。
- ② 計算値に対する実験値の比率は、鋼管下端を完全定着とした試験体 No.1, 5 は 1.34 および 1.28 と大きい。しかし、その他の試験体の比率は 1.05~1.10 であり、実験値と計算値はよく接近している。
- ③ 試験体 No.1, 5 は、引張側鋼管がひずみ硬化を起こしたために、大変形まで曲げモーメントが増加し続けたと考えられる。一方、本稿で示した鋼管コンクリート部の設計式では、鋼管のひずみ硬化を考慮していないため、No.1, 5 については安全側の評価となった。
- ④ 以上より、本稿で示した鋼管コンクリート部の設計式は、本実験の範囲においては、実用上問題ないと判断できる。

4. まとめ

従来の場所打ち鋼管コンクリート杭には、内面全部にスパイラル状のリップの付いた鋼管など特殊な鋼管が使用されてきた。筆者らは内面に突起を持たない一般的な鋼管を使用し、必要に応じて鋼管内

表 5 設計値および計算値と実験値との比較

試験体 No.	鋼管下端の定着状態	軸力 N (kN)	終局曲げモーメント (kN・m)			比率	
			設計値	計算値	実験値	実験値/設計値	実験値/計算値
1	完全定着	0	2879.3	3099.9	4163.4	1.45	1.34
2	不完全定着	0	2695.8	2921.9	3166.1	1.17	1.08
3	定着なし	0	2329.2	2488.1	2727.5	1.17	1.10
4	定着なし	2000	2840.8	3022.0	3314.0	1.17	1.10
5	完全定着	0	2629.8	2878.2	3691.0	1.40	1.28
6	不完全定着	0	2388.4	2634.9	2816.8	1.18	1.07
7	不完全定着	2000	2861.7	3133.8	3282.9	1.15	1.05

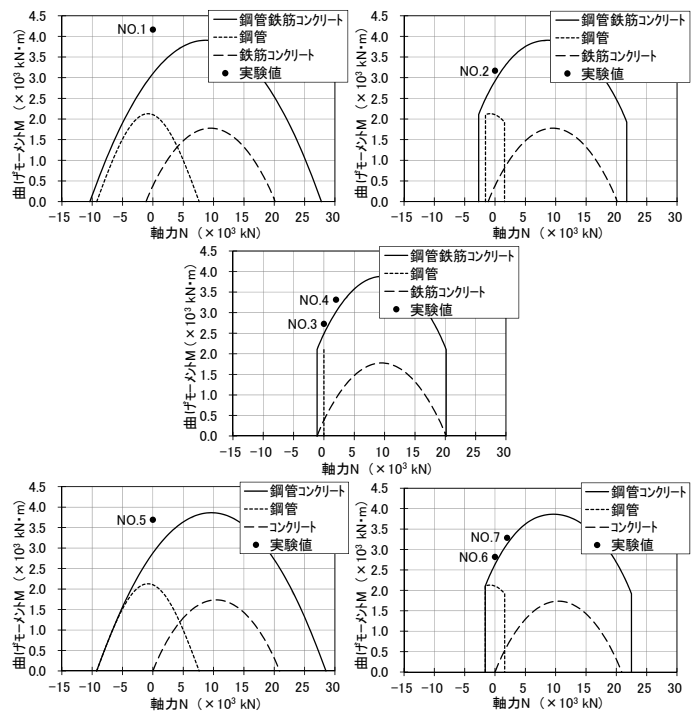


図 11 終局 N-M 曲線 (計算値) と実験値

面の端部に突起リングを取り付ける新しい場所打ち鋼管コンクリート杭を開発した。

鋼管コンクリート部の終局曲げ耐力については、これまで理論のみが提唱されていた評価方法を採用し、鋼管とコンクリートとの定着力の影響を考慮した設計式で評価することにした。そして、鋼管端部の定着力を変えた試験体を用いて曲げ試験を行い、設計式を実験的に検証した。その結果、本実験の範囲においては、採用した設計式が実用に足ることを確認できた。今後は、実験条件を変えてデータを集積し、設計式の検証を進めたい。

謝辞

芝浦工業大学の大庭玄揮氏、およびジャパンパイル株式会社、丸五基礎工業株式会社、株式会社ジオダイナミック、菱建基礎株式会社の関係者には、実験の実施にあたりご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 耐震杭協会 技術委員会：耐震場所打鋼管コンクリート杭の特性，施工実績および施工例，基礎工，Vol.19, No.12, pp.36-42, 1991.12
- 青木健三：場所打ち鋼管コンクリート杭，基礎工，Vol.38, No.11, pp.84-89, 2010.11
- 日本規格協会：附属書 A（規定）突起付き単管の品質規定，JIS A 5525 鋼管ぐい，pp.12-14, 2009.6
- 増田敏聡，浅野昌志：突起付き鋼管の製造方法，特許第 4000166 号，2007.10
- 阿部幸夫：STBC-SR 場所打ち鋼管コンクリート杭，基礎工，Vol.37, No.8, pp.78-81, 2009.8
- 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，2014.1
- 福知保長，雑喉良介：付着のない鉄骨コンクリート柱の曲げ耐力について，日本建築学会構造系論文報告集，No.363, pp.78-85, 1986.5
- 辻 文三，菅原まりも：合成断面柱の曲げ終局耐力—累加強度式による考察—，日本建築学会近畿支部研究報告集，pp.85-88, 平成 2 年度
- 辻 文三，若林 實，菅原まりも：合成断面柱の終局曲げ強度と累加強度式，構造工学論文集，Vol.37B, pp.427-435, 1991.3
- 吉田 映，菅 一雅，吉川那穂，服部主将，今井康幸：場所打ち鋼管コンクリート杭に用いる突起リングの支圧耐力（その 1：押抜試験概要），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，pp.495-496, 2013.8
- 吉川那穂，菅 一雅，吉田 映，服部主将，今井康幸：場所打ち鋼管コンクリート杭に用いる突起リングの支圧耐力（その 2：支圧耐力の評価），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，pp.497-498, 2013.8

付録 1 鋼管コンクリート部の終局曲げ耐力算定式

i) 鋼管端部の終局定着力を  $sN_{bU}$  とし、鋼管の終局軸力 ( $sN_{tU}$ ,  $sN_{cU}$ ) との大小関係により、鋼管端部の定着状態を以下に示す 3 種類に区別する。

$$sN_{bU} = \min (r_{oa}N_{tU} + z_tN_U, z_bN_U) \quad (付 1)$$

タイプ①：完全定着  $-sN_{bU} \leq sN_{tU}$ ,  $z_tN_U \leq sN_{bU}$

タイプ②：不完全定着  $sN_{tU} < -sN_{bU}$ ,  $sN_{bU} < sN_{cU}$

タイプ③：定着なし  $sN_{bU} = 0$

ii) 鋼管コンクリート部の終局曲げ耐力は、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（2014）」に準拠し、次式により算定する。

$$N_U = c_c N_U + s N_U + m N_U \quad (付 2)$$

$$M_U = c_c M_U + s M_U + m M_U \quad (付 3)$$

iii)  $cN_U$ ,  $cM_U$ ,  $sN_U$ ,  $sM_U$  は、日本建築学会「コンクリート充填鋼管構造設計施工指針（2008）」に準拠し、次式により算定する。

$$cN_U = (\theta_n - \sin \theta_n \cdot \cos \theta_n) c D^2 \cdot c \sigma_{cB} / 4 \quad (付 4)$$

$$cM_U = \sin^3 \theta_n \cdot c D^3 \cdot c \sigma_{cB} / 12 \quad (付 5)$$

$$sN_U = \left\{ \beta_1 \cdot \theta_n + \beta_2 (\theta_n - \pi) \right\} \left( 1 - \frac{s t}{s D} \right) s D \cdot s t \cdot s \sigma_Y \quad (付 6)$$

$$sM_U = (\beta_1 + \beta_2) \sin \theta_n \frac{(1 - s t / s D)^2}{2} s D^2 \cdot s t \cdot s \sigma_Y \quad (付 7)$$

ただし、タイプ②の場合  $sN_U \leq -sN_{bU}$  では  $sN_U = -sN_{bU}$ ,  $sM_U = sM_{bU1}$   
 $sN_{bU} \leq sN_U$  では  $sN_U = sN_{bU}$ ,  $sM_U = sM_{bU2}$

タイプ③の場合  $sN_U = 0$ ,  $sM_U = sM_{bU0}$  とする

ここに、 $\theta_n = \cos^{-1}(1 - 2x_n / cD)$  (付 8)

$$c \sigma_{cB} = F_c + 0.78 \cdot \frac{2s t}{s D - 2s t} \cdot s \sigma_Y \quad (付 9)$$

$$\beta_1 = 0.89, \quad \beta_2 = 1.08$$

iv)  $mN_U$ ,  $mM_U$  は、主筋を断面積の等しい仮想薄肉鋼管に置換して、日本建築学会「鋼構造塑性設計指針（2010）」に準拠し、次式により算定する。

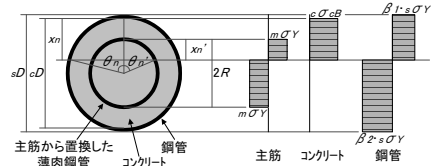
$$mN_U = (2\pi R - 4\theta_n' R) m t \cdot m \sigma_Y \quad (付 10)$$

$$mM_U = (4R^2 m t \cdot \sin \theta_n') m \sigma_Y \quad (付 11)$$

ここに、 $\theta_n' = \cos^{-1}(1 - 2x_n' / 2R)$  (付 12)

$$x_n' = R - \left( \frac{cD}{2} - x_n \right) \quad (付 13)$$

- $mA$  : 全主筋断面積 (mm<sup>2</sup>)
- $cD$  : 充填コンクリートの径 (mm)
- $sD$  : 鋼管の外径 (mm)
- $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $M_U$  : 部材の終局曲げ耐力 (N・mm)
- $cM_U$  : 充填コンクリートの終局曲げ耐力 (N・mm)
- $mM_U$  : 主筋の終局曲げ耐力 (N・mm)
- $sM_U$  : 鋼管の終局曲げ耐力 (N・mm)
- $sM_{bU0}$  :  $sN_U = 0$  の場合の鋼管の終局曲げ耐力 (N・mm)
- $sM_{bU1}$  :  $sN_U = -sN_{bU}$  の場合の鋼管の終局曲げ耐力 (N・mm)
- $sM_{bU2}$  :  $sN_U = sN_{bU}$  の場合の鋼管の終局曲げ耐力 (N・mm)
- $N_U$  : 部材の終局軸方向力 (N)
- $cN_U$  : 充填コンクリートの終局軸方向力 (N)
- $mN_U$  : 主筋の終局軸方向力 (N)
- $r_{oa}N_{tU}$  : 鋼管外周筋が引張力のみを受ける場合の終局引張耐力 (N) (正值)
- $sN_U$  : 鋼管の終局軸方向力 (N)
- $sN_{bU}$  : 鋼管端部の終局定着力 (N)
- $sN_{cU}$  : 鋼管が圧縮力のみを受ける場合の終局圧縮耐力 (N)
- $sN_{tU}$  : 鋼管が引張力のみを受ける場合の終局引張耐力 (N) (負値)
- $z_bN_U$  : 鋼管下端の突起リングの終局時設計用支圧耐力 (N)
- $z_tN_U$  : 鋼管上端の突起リングの終局時設計用支圧耐力 (N)
- $R$  : 鋼管の中心から仮想薄肉鋼管の板厚中心までの距離 (mm)
- $mt$  : 主筋から置き換えた仮想薄肉鋼管の厚さ (mm) (=  $mA / (2\pi R)$ )
- $st$  : 鋼管の板厚 (mm)
- $x_n$  : コンクリートの圧縮縁から中立軸までの距離 (mm)
- $x_n'$  : 仮想薄肉鋼管の板厚中心から中立軸までの距離 (mm)
- $\theta_n$  : 鋼管とコンクリートからなる円形断面において、中立軸位置を定める角度 (°)
- $\theta_n'$  : 鉄筋から置換した仮想薄肉鋼管断面において、中立軸位置を定める角度 (°)
- $c\sigma_{cB}$  : 円形鋼管の拘束効果を考慮した充填コンクリートの圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $m\sigma_Y$  : 主筋の降伏応力度 (基準強度) (N/mm<sup>2</sup>)
- $s\sigma_Y$  : 鋼管の降伏応力度 (基準強度) (N/mm<sup>2</sup>)



付図 1 終局時の応力分布

付録 2 突起リングの支圧耐力算定式

鋼管内部に取り付けた突起リングの支圧耐力は、下式で求めたものとする。

$$z_tN_U, z_bN_U = a \cdot \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot F_c \cdot A_{z1} \cdot n \quad (付 14)$$

$z_bN_U$  : 鋼管下端の突起リングの終局時設計用支圧耐力 (N)

$z_tN_U$  : 鋼管上端の突起リングの終局時設計用支圧耐力 (N)

$a$  : 安全係数  $a = 0.8$

$\alpha$  : 鋼管の拘束力の影響を表す係数

$$\alpha = 782 (sDt/st)^{-1.17} \quad [51.2 \leq sDt/st \leq 208.6] \quad (付 15)$$

$\beta$  : 突起リングが 2 段以上場合の杭軸方向のあきの影響を表す係数

$$\beta = 0.274 (d/t_z)^{0.380} \quad [5.6 \leq d/t_z \leq 30.0] \quad (付 16)$$

ただし、突起リングが 1 段の場合は、 $d/t_z = 30$

$\gamma$  : コンクリート設計基準強度の影響を表す係数

$$\gamma = 20.4 F_c^{-0.827} \quad [18 \leq F_c \leq 60] \quad (付 17)$$

$F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_{z1}$  : 突起リング 1 段の支圧面積 (mm<sup>2</sup>)

$$A_{z1} = \pi t_z (D_i - t_z) \quad (付 18)$$

$n$  : 突起リングの段数  $[0 \leq n \leq 4]$

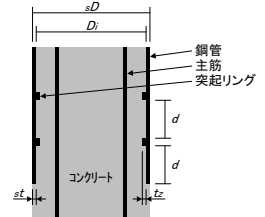
$sD$  : 鋼管の外径 (mm)

$D_i$  : 鋼管の内径 (mm)

$st$  : 鋼管の板厚 (mm)

$t_z$  : 突起リングの板厚 (mm)

$d$  : 突起リングのあき (mm)



付図 2 鋼管下端の状態

[2015 年 1 月 31 日原稿受理 2015 年 3 月 31 日採用決定]