

# 杭頭半固定工法（キャプテンパイル工法）の開発と適用

## Development and Application of semi-rigid Connections for Pile Head

坂田 光史*	濱砂 俊治*
Mitsufumi Sakata	Toshiharu Hamasuna
舟塚 玄知**	鹿籠 泰幸***
Haruyoshi Funatsuka	Yasuyuki Shikamori
武内 義夫****	新井 寿昭****
Yoshio Takeuchi	Toshiaki Arai

### 要 約

杭頭とフーチングを剛に接合する在来工法による杭基礎の場合には、杭頭部に地震時応力が集中することから、大規模地震時の杭頭部被害が報告されている。このような被害を防止する方策のひとつとして、杭頭接合部の固定度を緩和させて杭頭部に応力が集中しないようにすることが考えられる。

今回、地震時の杭頭部引張抵抗に対する機能を有し、杭頭部の接合断面縮小による効率的な半固定化も実現させ、さらに地震時における杭頭部の損傷回避に対しても有効な場所打ちコンクリート杭用の杭頭半固定工法を10社共同で開発した。

本報では、開発した杭頭半固定工法（キャプテンパイル工法）の概要と、埼玉県に建設中の共同住宅に適用した結果について報告する。

### 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. キャプテンパイル工法の概要
- § 3. 建物・地盤概要
- § 4. 設計概要
- § 5. 施工および品質管理結果
- § 6. おわりに

### § 1. はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では、杭頭部での杭体損傷が多数発生した。損傷状態を直接確認できる上部構造物に対して、杭は地中に存在することから損傷状態を把握することが困難となる。杭の損傷を調査するためには、高度な調査技術や評価方法が必要となる。また、杭の被害が原因で建物が傾斜すると、その補修復旧のための技術的難度が高いうえ、費用もかさむ。

このようなことから、杭基礎の地震時応力低減や地盤変形への追従性向上を図り、杭体特に杭頭部の損傷を防

止する目的で、杭頭の固定度を緩和する杭頭接合工法が多数提案され、実用化されている<sup>1)</sup>。

今回開発した杭頭半固定工法（以降、キャプテンパイル工法 略称：CTP工法と称す）は、地震時の杭頭部引張力抵抗に対する機能を有し、杭頭部の接合断面縮小による効率的な半固定化も実現させた場所打ちコンクリート杭用の杭頭半固定工法であり、地震時における杭頭部の損傷回避に対して有効である。

CTP工法は、鹿島建設が開発したキャプリングパイル工法<sup>1)</sup>（以降、略称：CP工法と称す）に引張抵抗機能を付加し、大口径まで適用可能とした工法である。構造実験や施工性試験を実施して設計・施工システムを確立し、2005年12月に財団法人日本建築センターの一般評定（BCJ評定-FD0230-01）を取得した。

### § 2. キャプテンパイル工法の概要<sup>2)</sup>

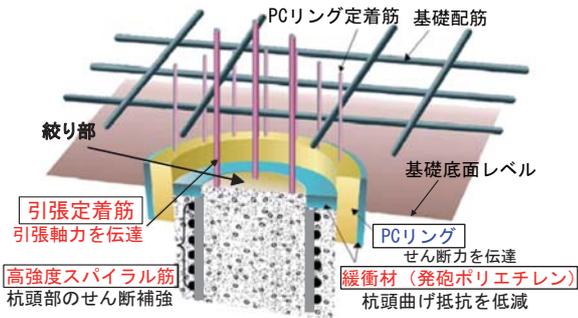
CTP工法の概念図を図-1に示す。CTP工法は、プレキャストコンクリート製のリング（以降、PCリングと称す）を杭頭に被せ、杭と基礎とを接合する工法である。このPCリングを介して地震時に生じる上部構造物からのせん断力を杭に伝達させる。杭頭の中央部には必要に応じて引張定着筋を配置し、杭に作用する引張力に抵抗させる。また、杭天端に環状の緩衝材を設置することで、杭

\* 関東（支）草加松原団地（出）

\*\* 建築設計部構造課

\*\*\* 技術研究所技術研究部

\*\*\*\* 技術研究所技術研究部建築技術研究課



図一1 CTP 工法概念図

表一1 CTP 工法のタイプ

		絞り	
		有り	無し
引張定着筋	有り	タイプⅠ	タイプⅡ
	無し	タイプⅢ	タイプⅣ

頭とフーチングの接合面の断面を縮小して（以降、絞りと呼ぶ）半固定状態とすることにより、杭頭に集中する地震時の応力を緩和できるので、杭材の損傷を軽減できるだけでなく、杭や基礎梁等の断面縮小化によるコスト低減が図れる。

CTP 工法では、設計条件に応じて表一1 に示すように、杭頭とフーチングの接合面の絞りの有無、引張定着筋の有無を選択できる（ただし、タイプⅣはCP 工法となる）。引張定着筋の杭体側への定着方法には、シース方式（あらかじめ杭の鉄筋かごに設置しておいたシース内に、引張定着筋を杭頭処理後に挿入する方式）と先付け方式がある。フーチング側への定着方法には、定着金物を用いた機械式定着工法も可能としている。

CTP 工法の杭頭接合部における力の伝達<sup>2)</sup> は、以下の通りである。なお、杭頭接合部とは絞りの有無に関わらず、杭とフーチングが接する接合部を表す。

① 軸力

圧縮力はフーチングから杭頭接合面を介して、杭に直接伝達される。引張力は引張定着筋によりフーチングから杭に伝達される。

② せん断力

軸力が圧縮軸力の場合には、接合面摩擦により伝達される要素もある。しかし、引張軸力の場合には摩擦を期待できないことから、杭の負担せん断力は全てPC リングで負担する。

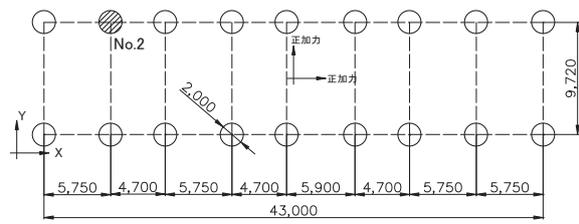
③ 曲げモーメント

杭頭面の曲げモーメントによって発生する付加圧縮力および引張定着筋の引張力で伝達される。

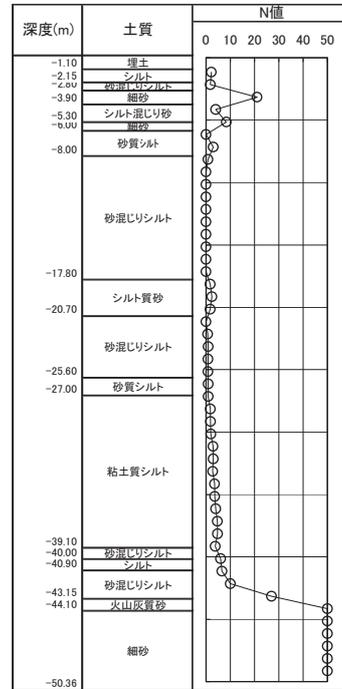
§ 3. 建物・地盤概要

3-1 建物概要

本計画は、9階、12階、14階の3棟からなる共同住宅



図一2 杭伏図



図一3 地盤柱状図

である。

工事名称：草加松原団地（建替）第1期先工区第2住宅  
建設工事

工事場所：埼玉県草加市松原一丁目1299-1外

発注者：独立行政法人都市再生機構埼玉地域支社

設計：西松建設株式会社一級建築士事務所

施工：西松・浅沼建設工事共同企業体

主用途：共同住宅

建築面積：1,289.10 m<sup>2</sup>

延床面積：11,934.97 m<sup>2</sup>

階数：地下0階・地上9/12/14階

最高高さ：42.1 m(14階)

基礎構造：場所打ちコンクリート杭（拡底杭）

9階：φ1,500（拡底径φ2,000～2,100）10本

12階：φ1,700（拡底径φ2,200～2,400）16本

14階：φ2,000（拡底径φ2,500～2,800）18本

14階建物の杭伏図を図一2 に示す。

3-2 地質・地形概要

周辺の地質は、第四紀更新世の砂質土層が基盤を構成し、この上位に更新世の粘性土層、完新世の沖積粘性土層および沖積砂質土層が、概ね水平に堆積している。

地盤柱状図を図-3に示す。表層は盛土であり、以下に沖積砂質土層、沖積粘性土層、洪積粘性土層、洪積砂質土層と続く。洪積砂質土層まではN値が0~10と低く、GL-40m以深の洪積砂質土層でN値50以上となる。地下水位は高く、地震時には液状化が生じる恐れがある。杭の支持層は、N値50以上の細砂層である。

§ 4. 設計概要

本計画では、場所打ち鋼管コンクリート杭からCTP工法を用いた場所打ちコンクリート杭への変更を検討した。ここでは、代表して14階建物を中心に報告する。

CTP工法の設計にあたって、上部構造物の変形角や地盤の液状化等を考慮して、杭頭回転角のクライテリアを短期時に1/200以下、終局時に1/100以下とした。なお、CTP工法では、構造実験（曲げせん断実験）結果から、杭頭回転角が1/25まで耐力低下しない安定した復元力特性を有することが、明らかとなっている<sup>3)</sup>。

CTP工法の設計フロー<sup>2)</sup>を図-4に示す。引張定着筋

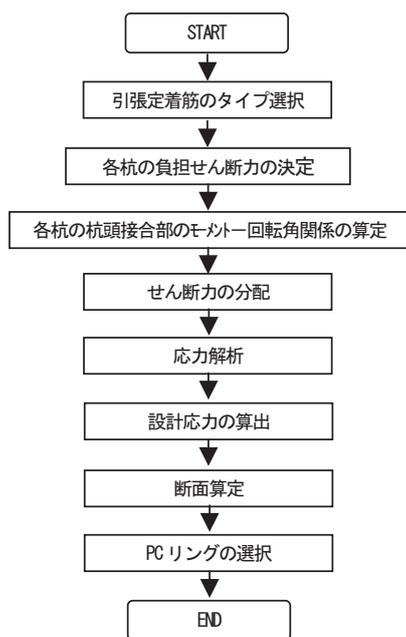


図-4 設計フローの概要

本数は終局時の引抜力を基準として決定するが、正加力時、負加力時と正負の軸力が作用した際の固定度、ひいては各杭の応力のばらつきが小さくなるように、各杭の軸力変動を考慮する必要がある。本計画では杭頭回転角も考慮して、引張定着筋本数を適宜調整しながら絞りの有無を検討し、表-1に示すタイプIIを採用した。

CTP工法では、構造実験<sup>3)</sup>によって妥当性を確認した杭頭曲げモーメントと回転角の関係<sup>4)</sup>を用い、各杭の杭頭変位が同一となるように、負担せん断力を再配分する。

杭の応力解析に用いた地盤定数を表-2に示す。これらの地盤定数を用いて水平地盤ばねを算出し、液状化による剛性低下と水平変位による剛性低下を考慮した。

代表的な杭（図-2の杭No.2）の終局時の曲げモーメント分布を図-5に示す。図中には、図-2に示した杭No.2の桁方向（以降、X方向と称す）の正・負加力時と張間方向（以降、Y方向と称す）の正・負加力時の曲げモーメント分布を、それぞれ示している。X方向の正加力時には引張側となり固定度は0.62、負加力時には圧縮側となり固定度は0.69であった。一方、Y方向の正加力時には圧縮側となり固定度は0.77、負加力時には引張側となり固定度は0.45であった。これらの曲げモーメント分布を包含するように、断面算定を行った。

上部構造物からの慣性力が杭頭に作用した場合、一様

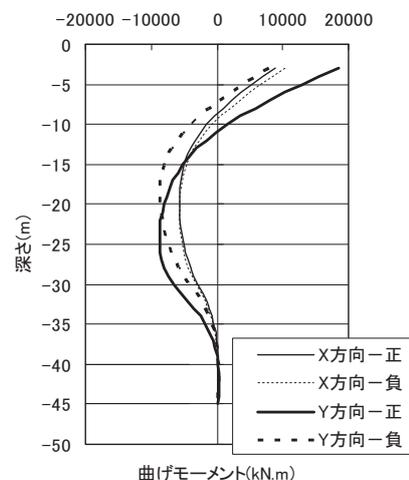


図-5 杭の曲げモーメント分布（終局時）

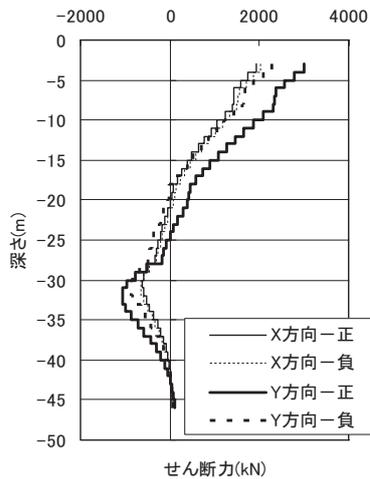
表-2 地盤定数

層 No.	土質	深度 (m)	層厚 (m)	平均 N 値	変形係数 E0 (MN/m <sup>2</sup> )	液状化低減係数	備考
1	細砂	6.11	6.11	11	7.70	0.235	*3
2	砂質シルト	8.11	2.00	—	2.20	0.140	*1
3	砂混じりシルト	17.91	9.80	—	2.20	1.000	*1
4	シルト質砂	20.81	2.90	2.3	1.60	0.270	*3
5	砂混じりシルト	27.11	6.30	—	2.20	1.000	*1
6	粘土質シルト	43.26	16.15	—	16.20	1.000	*2
7	細砂	46.70	3.44	50	35.00	1.000	*3

\*1 孔内水平載荷試験平均値を採用

\*2 一軸圧縮試験平均値を採用

\*3 E=0.7Nの相関式より設定



図一六 杭のせん断力分布（終局時）

地盤中の杭の曲げモーメント分布は、在来工法の杭頭固定接合では杭頭部で最大値が卓越する。一方、杭頭半固定接合では杭頭部の曲げモーメントは緩和されるが、地中部の曲げモーメントが増加する。一様地盤中の杭を考えた場合、固定度が0.41の場合に杭頭部と地中部の曲げモーメントが等しくなる<sup>5)</sup>。後述する図一六に示したように、固定度が大きいほど負担するせん断力は大きくなることから、合理的な設計とするためには、杭頭部と地中部の曲げモーメントの関係を考慮する必要があり、固定度のばらつきが極力小さくなるような配慮が必要となる。

杭 No. 2 のせん断力分布を図一六に示す。杭頭部で最大値が生じており、Y方向の正加力時（圧縮側で固定度0.77）で最も負担せん断力が大きくなる。杭頭から5D（D：杭径）の範囲は、耐震安全性を考慮して高強度スパイラル筋を用いた<sup>6)</sup>。

PCリングは3ランク（N, S1, S2）の耐力が設定されており<sup>2), 7)</sup>、各杭が負担するせん断力に応じて選択した。

## § 5. 施工および品質管理結果

### 5-1 施工方法

CTP工法の施工手順を以下に示す。

① 鉄筋かごの組立・シースの設置（写真一1、写真一2）

鉄筋かごの組立は、一般の場所打ちコンクリート杭と同様である。本工事では無溶接工法<sup>8)</sup>を採用した。引張定着筋はシース方式で施工することから、あらかじめシースを設置した。

② 鉄筋かごの建込・コンクリート打設（写真一3）

コンクリート打設時にトレミー管が接触してシースを損傷させないように、シースの位置を示すトレミー管用のガイドを、事前に鉄筋かごに取り付けた。

③ 杭頭処理（写真一4、写真一5）

杭頭処理は、一般の場所打ちコンクリート杭の場合と同様である。しかし、シース方式を採用したことにより、



写真一1 鉄筋かごの組立



写真一2 無溶接工法



写真一3 コンクリート打設



写真一4 杭頭処理前



写真一5 杭頭処理後



写真一六 PCリングの設置



写真一七 目詰用モルタル



写真一八 引張定着筋挿入



写真一九 杭頭モルタル打設



写真一〇 基礎配筋状況

杭頭の余盛りコンクリートをはつる際に軸方向鉄筋の突出がないことから、施工が早く簡易であった。杭頭処理に際しては、シース頭部の損傷やシース内部への異物の混入がないように留意して施工した。

④ PCリングの設置（写真一六）

製作工場より搬入したPCリングを、クレーンを用いて所定の位置に設置した。PCリングの高さ方向のレベル調整は、リング下面に設置してある調整用ボルトにて行った。設置後、PCリング下面の空隙を確保するために、PCリング下面の内側および外側に硬練りのモルタルを盛り（写真一七）、杭頭部に打設するモルタルやフーチングのコンクリートがPCリング下面に入り込まないようにした。

⑤ 引張定着筋の設置・モルタル打設（写真一八）

シース内に無収縮グラウトを充填した後に、引張定着筋を挿入した。

⑥ 杭頭部モルタルの打設（写真一九）

杭頭部にはせん断に配慮して高強度スパイラル筋を1.5巻設置した後に、杭天端レベルの調整を兼ねて杭頭部にモルタルを打設した。杭頭部モルタルは、シース内に充填したモルタルと同様の仕様（ $F_c = 36 \text{ N/mm}^2$ 以上）とした。

最後に、緩衝材（発泡ポリエチレン）をPCリング外周部に設置した。本計画では表一に示したタイプⅡを採用したことから、杭頭部緩衝材は設置していない。

フーチングおよび基礎梁の配筋状況を写真一〇に示す。

5-2 品質管理結果

CTP工法では、表一に示す施工管理基準、表二に示す充填モルタルの品質管理値を定めている<sup>8)</sup>。表一に示した許容差は、設計値に対して許容できる誤差範囲であり、許容値は施工結果に対して許容できる誤差範囲である。

これらの管理基準に対する9階、12階、14階建物の施

表一 CTP工法施工管理基準

管理項目	測定対象	許容差 (mm) 【許容値 (mm)】
シース設置位置	X・Y方向 2点間距離	±20
シース天端レベル	X・Y方向 4点計測	±5 【-25~-15】
杭主筋天端レベル	全数	±20 【-40~-0】
杭整形後と PCリングのあき寸法	X・Y方向 4点計測	±20 【30~70】
PCリング正規天端レ ベル高さとのレベル差	X・Y方向 各2箇所	±20
PCリングの左右天端 レベル差	X・Y方向	10 【0~10】
引張定着筋の定着寸法	全数	±50

表一四 充填モルタルの品質管理値

種類	測定時期	測定項目	品質管理値
シースグラウト材	フレッシュ時	J <sub>14</sub> ロート試験	メーカー仕様による【参考値：8±2(sec)】
シースグラウト材 杭頭部モルタル	硬化後	材齢 28 日（4 週）強度	36N/mm <sup>2</sup> 以上

表一五 施工精度測定結果

管理項目	測定結果【許容差 (mm)】		
	9 階建物	12 階建物	14 階建物
シース設置位置（設計値±）	1	0	1
シース天端レベル（設計値±）	-1	-1	-1
杭主筋天端レベル（設計値±）	-21	-20	-19
杭整形後と PC リングの あき寸法（最小～最大）	46～54	46～55	44～55
PC リング正規天端レベル高さ とのレベル差（最小～最大）	-1～2	-3～1	-1～1
PC リングの左右天端レベル差	1	1	1
引張定着筋の定着寸法 （設計値±）	10	9	12

表一六 充填モルタル品質管理結果（J<sub>14</sub> ロート試験結果）

	測定結果（平均流下時間【sec】）
9 階建物	9.0
12 階建物	8.1
14 階建物	7.3

工精度測定結果を表一五に、充填モルタルの品質管理結果を表一六および表一七に示す。

いずれの建物でも、施工精度は非常に良く、全ての管理項目に対して許容値以内に納まっていることを確認した。また、充填モルタルの圧縮強度は、品質管理値の 36 N/mm<sup>2</sup> を大きく上回る 50 N/mm<sup>2</sup> 以上が確保されていることを確認した。

## §6. おわりに

本報では、CTP 工法の概要と共同住宅に適用した施工および品質管理結果について述べた。品質管理結果から定められた管理基準で施工ができ、所定の品質が確保されていることを確認した。

CTP 工法は、杭頭に集中する地震時応力を緩和できるため、杭材の損傷を軽減できる耐震性能に優れている。また、杭や基礎梁のコンクリートや鉄筋の使用量を削減できるだけでなく、建設汚泥や残土の排出量を削減できる、環境負荷にも優れた工法である。

CTP 工法は、鹿島建設、奥村組、五洋建設、戸田建設、飛鳥建設、西松建設、長谷工コーポレーション、松井建設、三井住友建設、高周波熱錬による共同で開発した工法であり、財団法人日本建築センターより一般評定 (BCJ

表一七 充填モルタル品質管理結果（圧縮強度試験結果）

	9 階建物	12 階建物	14 階建物
施工日	9/25	10/4	10/24
材齢 (日)	28	28	28
No.1 (N/mm <sup>2</sup> )	53.1	55.8	49.0
No.2 (N/mm <sup>2</sup> )	56.1	56.8	50.2
No.3 (N/mm <sup>2</sup> )	55.8	55.8	51.2
平均 (N/mm <sup>2</sup> )	55.0	56.1	50.1

評定-FD0230-01) を取得した。

現在、共研構成会社を中心にキャプテンパイル協会を設立し、工法の普及と技術の向上に努めている。

## 参考文献

- 1) 例えば、宮田章、吉松敏行：キャプリングパイル (CP) 工法の開発と施工事例，基礎工，Vol. 33，pp. 86-88，2005.
- 2) 吉松、伊勢本、西村、山浦、許斐、魚住：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その 1 開発背景と工法概要，日本建築学会学術講演梗概集，pp. 349-350，2006. 9.
- 3) 横松、舟木、金子、中岡、武内、小林：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その 2 杭頭接合部の曲げせん断実験，日本建築学会学術講演梗概集，pp. 351-352，2006. 9.
- 4) 宮田、村田、加藤、青山、吉川、舟木：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その 3 杭頭回転ばねモデル，日本建築学会学術講演梗概集，pp. 353-354，2006. 9.
- 5) 堀越、村田、保井、秦、今西、加藤：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その 6 固定度に及ぼす軸力や引張定着筋量の影響，日本建築学会学術講演梗概集，pp. 359-360，2006. 9.
- 6) 高周波熱錬株式会社：場所打ちコンクリート杭のせん断補強筋としてウルボンを使用する工法 設計指針・同解説 BCJ 評定-FD0157-01，平成 16 年 4 月.
- 7) キャプテンパイル協会：キャプテンパイル工法 設計・施工マニュアル，2006. 4.
- 8) 秋重博之：場所打ちコンクリート杭の無溶接工法の開発，基礎工，Vol. 33，pp. 68-71，2005.
- 9) 西村、小林、武内、吉川、丹羽、加藤：場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その 9 品質管理，日本建築学会学術講演梗概集，pp. 365-366，2006. 9.