

# 場所打ちコンクリート杭用引張軸力対応型杭頭半固定工法の開発

## Development of Semi-rigid Connections for Cast-in-place Concrete Pile Heads to Resist Tensile Forces

吉川 清峰<sup>\*1</sup> 川上 義人<sup>\*1</sup> 堀田 潔<sup>\*1</sup>  
Kiyomine Yoshikawa Yoshito Kawakami Kiyoshi Hotta

### 【要旨】

10社共同開発によって、場所打ち杭コンクリート杭用の引張軸力対応型杭頭半固定工法(キャプテンパイル工法)を実用化した。本工法は場所打ち杭を対象とした杭頭接合法であり、杭頭を半固定化することによって杭頭の応力を低減し、耐震性能の向上を実現するものである。本工法は適用範囲が広く、在来工法に比較して品質、コスト、工期の全てにおいて利点を有している。本工法は、2005年12月に(財)日本建築センターの一般評定(BCJ 評定・FD0230-01)を取得した。

【キーワード】 場所打ち杭 杭頭接合法 杭頭接合部 杭頭半固定

### 1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、杭基礎を用いた建物の杭頭部に多くの損傷が発生し、その中には上部構造に被害が生じなくても結果的に壊さざるを得なかった建物が相当数あると言われている。この地震を契機に杭体の損傷回避の必要性が広く認識され、その後新しい杭頭接合法の研究開発が行われるようになった。その中で2004年、鹿島建設、奥村組、五洋建設、戸田建設、飛島建設、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、高周波熱錬の10社は、場所打ち杭コンクリート用の引張軸力対応型杭頭半固定工法(キャプテンパイル工法)の共同開発に着手し、2005年12月に(財)日本建築センターの一般評定(BCJ 評定・FD0230-01)を取得した。

本報では、このキャプテンパイル工法(以下、本工法)の概要を述べる。

### 2. 工法の概要

#### 2.1 概要

本工法は場所打ち杭を対象とした杭頭接合法であり、杭とパイルキャップ(フーチング)を一体化させないことにより、杭頭接合部を固定端とピン端の中間的な接合状態(半固定接合)としたものである。

図-1に示すような杭とパイルキャップが一体化している在来工法は、杭頭が固定されており、地震時の応力は杭頭のみ集中する(図-2)。一方本工法は、杭頭が固定とピンとの中間的な状態(半固定)となり、負担の大きい杭頭の応力が低減される。逆に元々負担の小さい杭中間部の応力は増大するが、杭頭と杭中間部で応力負担の均等化を図ることにより、耐震性能の向上を実現するものである。

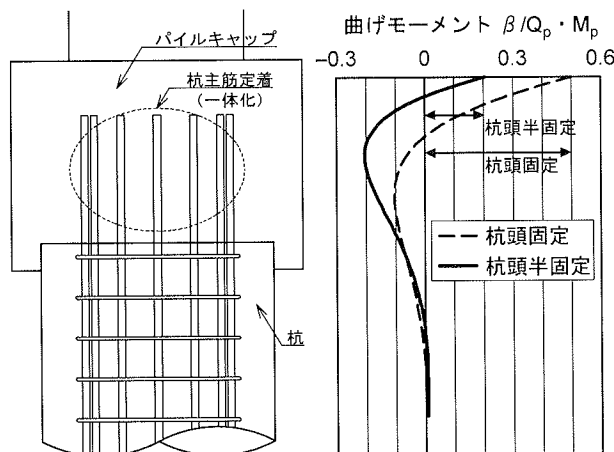


図-1 在来工法(杭頭固定)

図-2 曲げモーメント図

#### 2.2 杭頭接合タイプと構成要素

本工法には杭頭の接合タイプとして表-1に示す4種

類があるが、これらは引張定着筋の有無、絞り部の有無で分けられる。引張定着筋と絞り部が共にあるタイプ I の概要図を図-3に示す。また以下に、引張定着筋、絞り部等、本工法に特有な構成要素について述べる。

表1 杭頭接合タイプ

タイプ	絞り部	
	あり	なし
引張定着筋	あり	I
	なし	II
		III
		IV

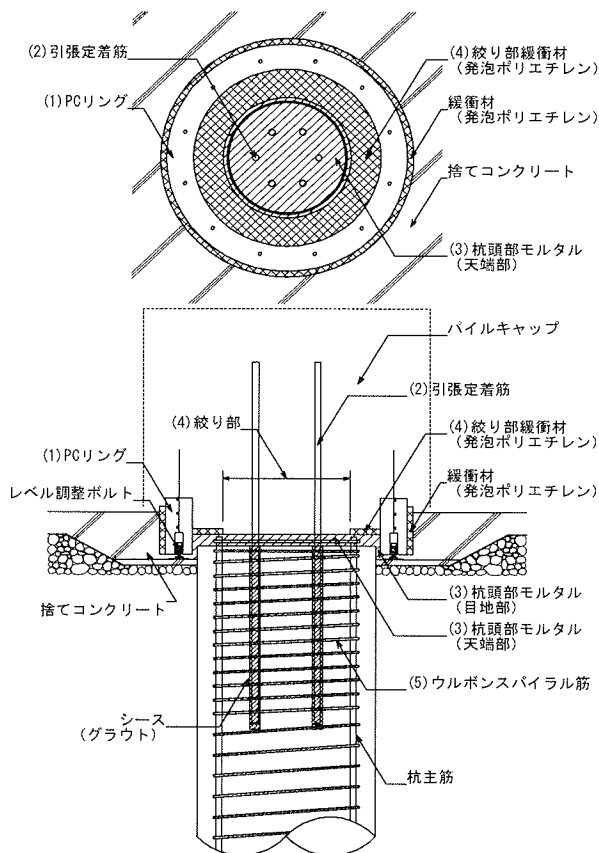


図-3 概要図 (タイプ I, シース方式)

(1) PC リング

杭頭部に被せるプレキャストコンクリート製のリング状の部材で、杭体と上下方向に重なりを有することにより、杭のせん断力を負担する。

(2) 引張定着筋 (タイプ I, II のみ)

杭に作用する引張力に抵抗させるため、杭頭の中央部に配置する鉄筋である。施工上、杭体への定着方式としてシース方式と先付け方式の2つがある。

(3) 杭頭部モルタル

杭頭部のはつり後、杭天端のレベル出しを兼ねた杭天端モルタル及び PC リングと杭体の隙間を埋める目地モルタルがある。これとは別に、引張定着筋をシース方式とした場合には、シースグラウト材 (無収縮高強度モル

タル) がある。

(4) 絞り部緩衝材 (タイプ I, III のみ)

杭頭の回転を容易にするために、杭頭接合部にドーナツ状の緩衝材 (発泡ポリエチレン) を設置して、杭頭の断面を縮小させる。この縮小した内側の断面を絞り部という。絞りあり (タイプ I, III) は絞りなし (タイプ II, IV) に比べて、一般的に杭頭の固定度が低くなる。

\* 杭頭曲げモーメントの、杭頭固定時の曲げモーメントに対する比率を表す。0 から 1 の間の値を示し、杭頭固定のときに 1、杭頭ピンのあるときに 0 となる。

(5) ウルボンスパイラル筋

本工法は杭頭がパイルキャップと一体化していないことから、杭頭部のコンクリートをより強固に拘束する必要がある。また杭頭接合部を半固定化することにより杭頭の曲げモーメントは低減するが、せん断力は変化しない。杭頭部のコンクリートを拘束し、杭のせん断耐力を高めるために、杭頭から杭径の 5 倍までの範囲は原則的にウルボンスパイラル筋を用いる。

2.3 杭頭接合部の力の伝達

杭頭接合部の力の伝達は以下の通りである (図-4)。

(1) 軸力

圧縮力はパイルキャップから杭頭接合面を介して、杭へ直接伝達される。引張力は引張定着筋によりパイルキャップから杭に伝達される。

(2) せん断力

圧縮軸力時には、杭頭接合面の接合面摩擦により伝達される要素もあるが、引張軸力時には期待できない。このため設計上は、全て PC リングが負担して伝達する。

(3) 曲げモーメント

杭頭接合面に生じる付加圧縮力及び引張定着筋の引張力で伝達される。

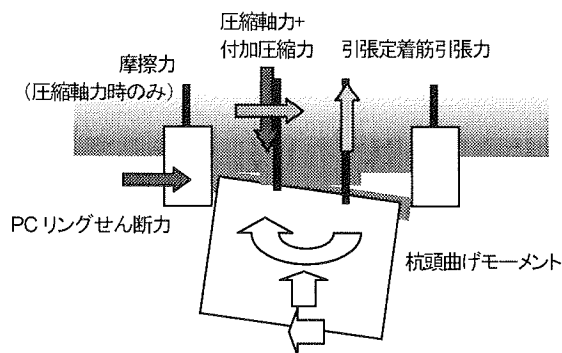


図-4 杭頭接合部の力の伝達メカニズム

## 2.4 適用範囲

### (1) 対象とする建物

本工法を採用する場合の、建物についての制限は特にない。すなわち、

1. 建物規模 (階数・面積)
2. 建物形状 (整形・不整形)
3. 構造種別 (S造・RC造・SRC造等)

については何ら制限を設けない。

### (2) 対象とする杭工法

本工法で対象とする杭仕様は以下の通りである。

1. 杭種：場所打ちコンクリート杭及び場所打ち鋼管巻きコンクリート杭
2. 杭径：800mm～3000mm
3. 杭体コンクリート設計基準強度： $F_c \geq 21\text{N/mm}^2$

### (3) 本工法以外の杭頭接合工法との併用

同一建物の杭頭工法として、本工法と在来一般工法を併用することができる。

## 3. 設計概要

### 3.1 設計フロー

本工法の設計フローを図-5に示す。本工法の要点である杭頭接合部の評価は、点線で囲んだ部分である。

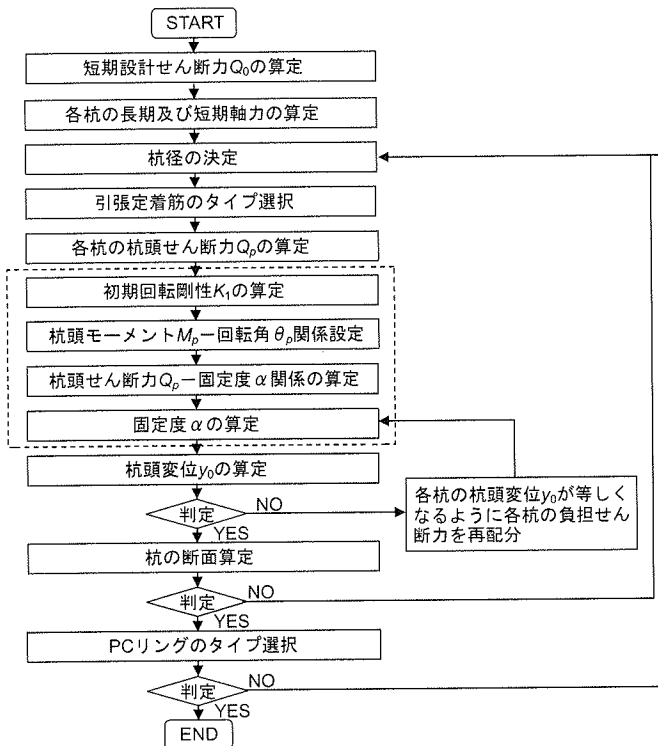


図-5 設計フロー

## 3.2 杭頭固定度の評価方法

### (1) 杭頭の回転ばねモデル

杭頭回転特性は、図-6に示すような杭頭曲げモーメント  $M_p$  と回転角  $\theta_p$  の関係により表す。

- $K_1$  : 杭頭接合部の初期回転剛性
- $K_2$  : 杭頭接合部の2次回転剛性
- $M_1$  : 離間時曲げモーメント
- $M_y$  : 降伏時曲げモーメント
- $M_u$  : 終局時曲げモーメント
- $\theta_1$  : 離間時回転角
- $\theta_y$  : 降伏時回転角
- $\theta'_y$  : 終局時回転角
- $\theta_u$  : 限界回転角

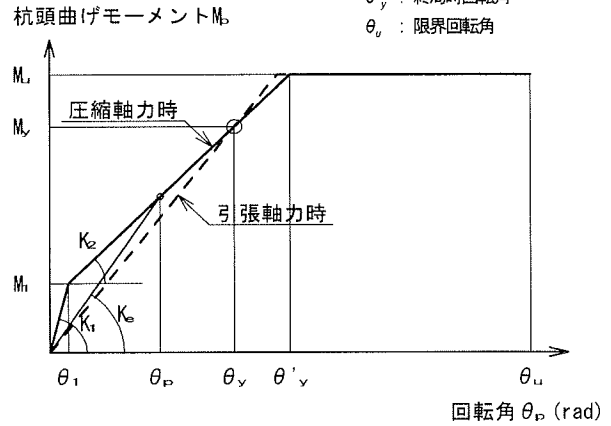


図-6 杭頭曲げモーメント  $M_p$  と回転角  $\theta_p$  の関係

圧縮軸力時には実線のような3折れ線となるが、引張軸力時には破線のような2折れ線となる。以下、3折れ線を規定するパラメータの算定方法について示す。

#### a) 初期回転剛性 $K_1$

$K_1$  は絞り部が離間するまでの初期回転剛性で、図-7に示すパイルキャップ、PCリング内コンクリート、杭体の各部分における回転剛性  $K_p$ 、 $K_c$ 、 $K_b$  を用いて式1により算定する。

$$K_1 = \frac{1}{1/K_p + 1/K_c + 1/K_b} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $K_x = \frac{E_x I_x}{H_x}$  ( $x = p, c, b$ )

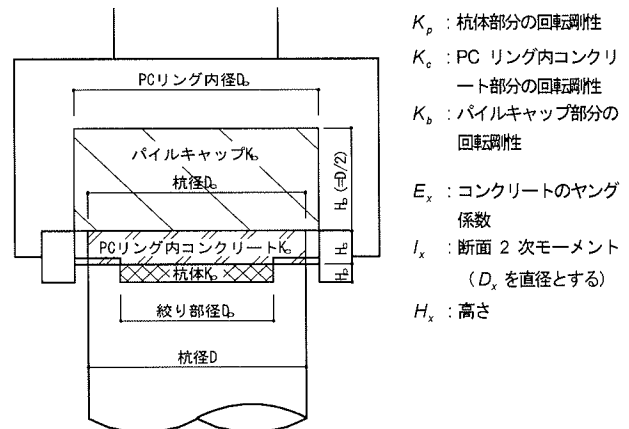


図-7 初期回転剛性の評価範囲

各部分の径は、絞り部からパイルキャップへ圧縮応力

が広がることを想定し、図-7のように仮定した。また評価するパイルキャップの高さ  $H_b$  は、杭頭接合部の構造性能を確認するために実施した曲げせん断実験結果との対応が良い高さであった杭径の 1/2 とする。

b) 離間時曲げモーメント  $M_1$

離間時曲げモーメント  $M_1$  は絞りに引張応力が発生しない最大モーメントであり、式2で算定する。

$$M_1 = N_p \frac{\nu D}{8} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 $N_p$  は杭頭軸力、 $D$  は杭径、 $\nu D$  は絞りに部径であり、 $\nu$  は絞り係数を表す。

c) 降伏時曲げモーメント  $M_y$  及び降伏時回転角  $\theta_y$

降伏時曲げモーメント  $M_y$  は、下記 1~4 を仮定した塑性曲げ理論に基づいて算定する。

1. 断面形状は、絞りに部径を直径とする円形断面とする。
2. 降伏時曲げモーメント  $M_y$  は、コンクリートの圧縮応力が  $0.85 F_c$  に達した時、または引張定着筋の降伏時の曲げモーメントのうち、小さい方の値とする。
3. コンクリートの応力度-ひずみ関係は e 関数法によりモデル化する<sup>2)</sup>。ただし最大強度は、杭体、杭頭部モルタル、パイルキャップの設計基準強度のうち、最小の値とする。
4. 引張定着筋の応力度-ひずみ関係は降伏点を折点とするバイリニアモデルとする。

降伏時回転角  $\theta_y$  は、ヒンジ領域で曲率一定と仮定して、 $M_y$  時の曲率  $\phi_y$  を用いて式3で算定する。

$$\theta_y = \phi_y \nu D \dots\dots\dots(3)$$

d) 終局時曲げモーメント  $M_u$  及び限界回転角  $\theta_u$

終局時曲げモーメント  $M_u$  は  $M_p - \phi_p$  関係の最大曲げモーメントとし、限界回転角  $\theta_u$  は実験で確認した 0.04rad とする。

(2) 杭頭固定度の算定

杭頭の固定度が  $\alpha$  であるような半無限長の杭の、杭頭曲げモーメント  $M_p$  と回転角  $\theta_p$  はそれぞれ式4、式5により表される。

$$M_p = \frac{Q_p}{2\beta} \alpha \dots\dots\dots(4)$$

$$\theta_p = \frac{Q_p}{2EI\beta^2} (1-\alpha) \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 $Q_p$  は杭頭せん断力、 $\beta$  は杭の特性値である。

等価剛性  $K_e$  は式6で表され、式4、式5から固定度  $\alpha$  は式7となる。

$$K_e = \frac{M_p}{\theta_p} \dots\dots\dots(6)$$

$$\alpha = \frac{K_e}{K_e + EI\beta} \dots\dots\dots(7)$$

式7の等価剛性  $K_e$  は、図6から式8、式9、式10で表される。

$$K_e = K_1 \quad (0 < \theta_p \leq \theta_1) \dots\dots(8)$$

$$K_e = (K_1 - K_2) \frac{\theta_1}{\theta_p} + K_2 \quad (\theta_1 < \theta_p \leq \theta'_y) \dots\dots(9)$$

$$K_e = (K_1 - K_2) \frac{\theta_1}{\theta_p} + K_2 \frac{\theta'_y}{\theta_p} \quad (\theta'_y < \theta_p) \dots\dots(10)$$

式7に式8、式9または式10を代入して、さらに式5を代入すると、杭頭せん断力  $Q_p$  と固定度  $\alpha$  の関係を求めることができる。図-8に  $Q_p - \alpha$  関係の一例を示す。

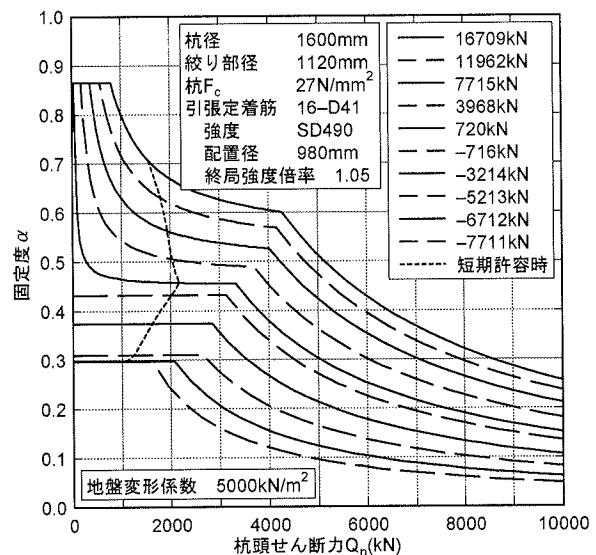


図-8 杭頭せん断力  $Q_p$  と固定度  $\alpha$  の関係

設計時には、杭径や軸力の異なる建物各杭において、杭頭変位  $y_0$  が等しくなるように図-8の  $Q_p - \alpha$  関係上で収斂計算を行い、各杭の杭頭が負担するせん断力  $Q_p$  と固定度  $\alpha$  を定める。なお杭頭変位  $y_0$  は式11で表される。

$$y_0 = \frac{Q_p}{4EI\beta^3} (2-\alpha) \dots\dots\dots(11)$$

3.3 PCリングの選択

PCリングは、杭径ごとに、短期許容せん断力の異なる3種類がある。杭頭せん断力  $Q_p$  に応じて選択する。

## 4. 施工概要

### 4.1 施工手順

引張定着筋の杭体側への定着方式には、シーす方式(写真-1)と先付け方式(写真-2)の2方式がある。こ



写真-3 施工手順

こではシーす方式の場合の施工手順を写真3によって示す。

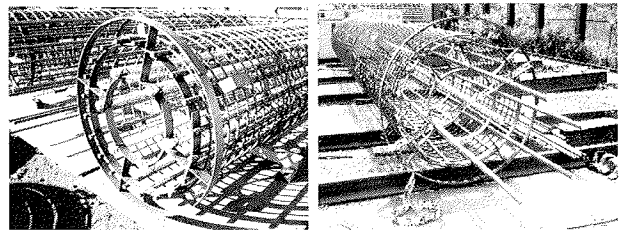


写真-1 シーす方式 写真-2 先付け方式

①から④においては、①のシーすまたは引張定着筋の取り付けを除き、通常の杭工事の工程と変わらない。しかしシーす方式は鉄筋が突出していないため、杭頭処理(③、④)が容易であり、工期短縮が可能となる。

PCリングの設置(⑤)は杭周辺の捨てコンレベルの精度に依存するが、PCリングの下部に調整ボルトがあり、レベルの調整が可能である。またPCリング外側の緩衝材を荷吊り前に取り付けているが、設置後としてもよい。

⑥から⑫は引張定着筋の設置及び最終仕上げ状況であり、⑤を加え本工法に特有の工程であるが、半日程度の作業である。

### 4.2 施工管理基準

本工法におけるシーす、杭主筋、PCリング、引張定着筋の施工精度管理値は表-2による。その値を超えるものは工事監理者、設計監理者と協議の上、補強等の対策を講じる。

5 現場で実施した実大施工実験では、表-2の管理基準に規定する施工精度が確保できることを確認している。

表-2 施工管理基準

		測定対象	測定時期	許容差 (mm) [許容値 (mm)]	許容差を超えた場合の対策
シーすまたは引張定着筋	シーす設置位置または引張定着筋設置位置	X,Y方向 2点間距離	杭鉄筋組立時	±20	位置修正
	シーす天端レベル (シーす方式のみ)	X,Y方向 4点測定		±5 [-25~15]	位置修正
杭主筋	天端レベル	全数	杭頭処理後	±20 [-40~0]	>0 主筋カット <40 監理者協議
PCリング	杭整形後とPCリングとのあき寸法	X,Y方向 4点測定	PCリング設置時	±20 [10~50]	位置修正
	PCリング正規天端高さとのレベル差	X,Y方向 2点間距離		±20	監理者協議
	PCリング左右の天端レベル差	X,Y方向		10 [0~10]	位置修正
引張定着筋	引張定着筋の定着寸法	全数	モルタル充填前後	±50	<50 監理者協議

## 5. まとめ

10 社共同開発の、場所打ちコンクリート杭用の引張軸力対応型杭頭半固定工法（キャプテンパイル工法）の概要について述べた。

本工法は、杭頭を半固定化することによって杭頭の応力を低減し、耐震性能の向上を実現するものである。さらに応力の低減によって、一般的には杭体の他、基礎、基礎梁の断面も縮小でき、工費を削減することができる。また本工法特有の工程があるものの、それに要する期間は短く、数量減少に伴う作業量減少や施工性向上分を考えると、工期短縮への寄与も可能である。

以上のように本工法は、在来工法に比較して品質、コスト、工期の全てにおいて利点を有しており、上部構造を選ばない適用範囲の広さと、設計施工案件はもちろん施工案件の VE 提案にも採用できる幅広い使用場面があることから、今後は場所打ちコンクリート杭工法の標準工法として普及していくものと考えられる。

## 【参考文献】

- 1) 梅野岳, 場所打ちコンクリート杭の杭頭処理と接合法, 基礎工, pp.26-29, 2005.2
- 2) 秦ほか, 杭頭半固定接合部の圧縮実験, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.1431-1432, 2006.7
- 3) 宮田ほか, 杭頭半固定接合部に用いるリング部材のせん断抵抗, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.1427-1428, 2006.7
- 4) 新井ほか, 杭頭半固定接合部に用いる定着筋の引抜試験, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.1429-1430, 2006.7
- 5) 吉松・横松・宮田・大塚・鴨川・堀越・吉川・森・西村ほか, 場所打ち杭用杭頭半固定工法の開発 その 1 ~その 9, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1, pp.349-366, 2006.9

**Summary** A semi-rigid connections method for cast-in-place concrete pile heads to resist tensile forces was put to practical use by joint development. This connecting method can mitigate the stress of pile heads, thereby improving their seismic performance. It is applicable to a wide range of structures. Judging from quality, cost and construction period, this method has advantages over conventional methods. It was granted a certificate by The Building Center of Japan.

**【Keywords】** cast-in-place pile, construction method of pile head connection, pile head connection, semi-rigid connection