

杭径比の大きな新しい「多段拡径場所打ちコンクリート杭工法」の開発と一般工法評定の取得

平井 芳雄・若井 修一・中島 正人・青木 雅路

常時及び地震時に基礎に大きな荷重が作用する場合、連続地下壁杭に代わる高支持力場所打ち杭として、多段拡径場所打ちコンクリート杭工法を開発した。本杭工法は、軸部に高拡底率（拡径部と軸部の面積比で最大5.2、杭径比では最大2.3）の節部を設けた多段拡径形状とすることで鉛直支持力と引抜き抵抗力を向上させ、杭体に高強度コンクリートを用いることにより杭の高耐力化を図った。また、新たに開発した掘削バケットを含めた施工方法に関して、(財)日本建築センターの工法評定を取得するにあたり、原位置での実大施工試験を実施した。実際に地中に構築した杭を掘出し、杭形状や杭体コンクリートの施工品質を確認し、施工方法の妥当性を検証した。

キーワード：場所打ち杭，施工，掘削機械，コンクリート，掘削試験，掘出し調査

1. はじめに

近年の超高層オフィスや集合住宅のように建物の高層化・重量化に伴い、常時及び地震時に基礎に大きな荷重が作用する建物が増加している。このような建物の基礎に、連続地下壁杭に代わる円形断面の高支持力場所打ち杭として、図-1に示すような軸部に節部を設けた多段拡径場所打ちコンクリート杭（以下、多段拡径杭）工法を開発した。本報告では、開発工法の概要の紹介とともに、本工法の施工方法及び施工管理法について、(財)日本建築センターの工法評定の取得にあたり実施した実大施工試験結果について紹介する。

2. 工法概要

多段拡径杭工法は、杭先端部と軸部に高拡底率（節部と軸部の面積比で最大5.2、杭径比では最大2.3）の節部（拡底部及び中間拡径部）を設けた多段拡径形状の場所打ちコンクリート杭工法である（図-1）。多段拡径形状とすることにより杭の鉛直支持力と引抜き抵抗力を向上させ、杭体に高強度コンクリート（設計基準強度の上限が60 N/mm²）を用いることにより杭の高耐力化を図っている。

従来のアースドリル工法にはない高拡底率の場所打ち杭を構築するために新たに開発した掘削バケットを図-2に示す。図-2(a)は中間拡径部掘削時、図-2(b)は拡底部掘削時の掘削バケットを示している。

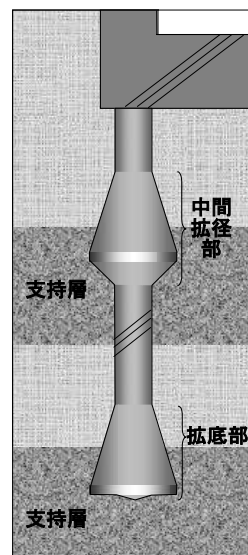


図-1 多段拡径杭



(a) 中間拡径部掘削時



(b) 拡底部掘削時

図-2 掘削バケット

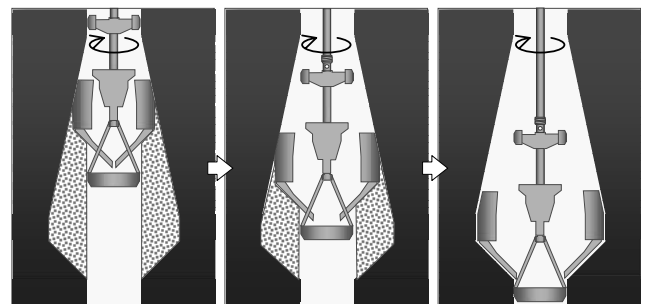


図-3 中間拡径部の掘削方法

る。

本工法の施工手順を図-4に示す。中間拡径部掘

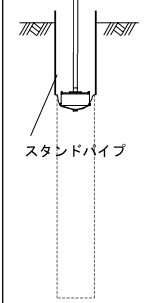
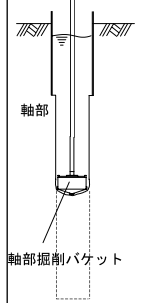
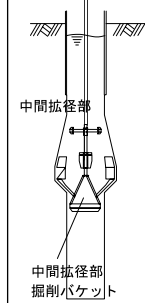


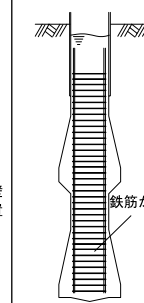
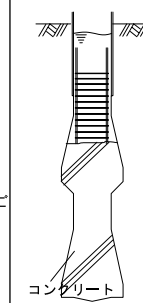
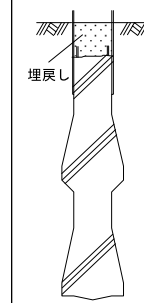
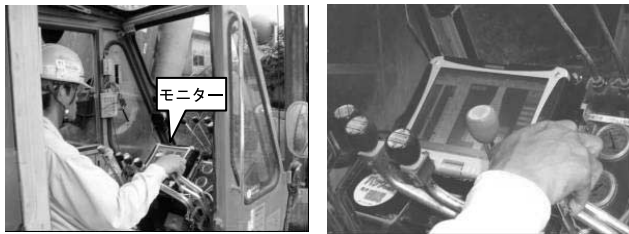
施工概要								
施工手順	①杭心出し ②スタンドパイプ ③アースドリル掘削機の据付	④軸部掘削	⑤中間拡径部掘削	⑥拡底部掘削 ⑦1次スライム処理	⑧中間拡径部のスライム処理 ⑨中間拡径部のスライム測定 ⑩孔壁測定	⑪鉄筋かご建込み ⑫トレミー管建込み ⑬2次スライム処理	⑭コンクリート打設	⑮埋戻し ⑯スタンドパイプ

図-4 施工手順



(a) 掘削機操縦室内 (b) モニター設置状況

写真-1 掘削管理装置 (モニター)

削, 中間拡径部のスライム処理及びスライム測定が通常の場所打ち杭の施工にはない特徴的な工程である。中間拡径部の掘削方法を図-3に示す。中間拡径部を鉛直方向に数回に分けて掘削するため、掘削バケットの深度と深度に対応する拡翼量の管理が重要となる。そのため、掘削バケットの深度と拡翼量の検出装置及び掘削機操縦室内のモニター (パソコン内蔵, 写真-1) から構成される専用の施工管理装置を掘削機に搭載している (図-5)。オペレーターはモニター画面 (図-6) で計画掘削形状と掘削状況をリアルタイムに確認しながら作業を行うことができる。

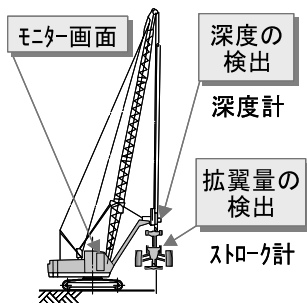


図-5 深度と拡翼量の検出装置

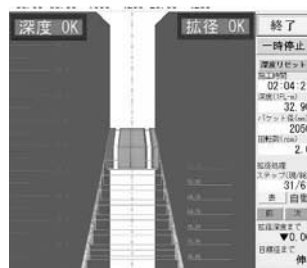


図-6 モニター画面表示例

3. 各種性能確認試験

多段拡径杭工法の工法評定時に実施した各種性能確認試験における主な試験項目及び試験方法を表-1に示す。ここでは、杭体の掘出し調査を実施した試験杭の実大施工試験及び掘出した杭体に関する調査結果について示す。

(1) 実大施工試験

施工試験を実施した地盤を図-7(a)に示す。地盤構成はGL-6mまで埋土層, ローム層, 粘性土層であり, それ以深はGL-15m付近で貝殻を含む細砂層である。地下水位はGL-5mである。試験杭は軸部径1,200mm, 中間拡径部径・拡底部径2,700mm (拡底率5.1), 掘削長15mの多段拡径杭である (図-7(b))。掘削は, 軸部の掘削においては既往のドリリングバケットを用い, 中間拡径部及び拡底部の掘削においては, 新たに開発した専用の掘削バケットを用いた。掘削は軸部, 中間拡径部, 拡底部の順に行った。

掘削完了時の超音波孔壁測定結果を図-7(c)に示す。測定結果より, 軸部径, 中間拡径部径及び拡底部径とも計画寸法 (中間拡径部・拡底部においては設計径+100mm) を満足していることを確認した。

拡底部のスライム処理は掘削バケットによる底ざらい及び水中ポンプを用いた吸引により行い, 中間拡径部のスライム処理は水中ポンプを用いた吸引により行った。スライム処理後のスライム堆積量の確認は, 拡底部においては重錘付き検尺テープを用いて行い, 中間拡径部においては電気比抵抗センサー¹⁾を用いて行った。掘削完了後, 鉄筋かごを建込み, コンクリートを打設した。コンクリートは設計基準強度60N/mm²

表一 主な試験項目 (一:本報では結果を省略)

確認項目	試験項目	試験方法	(1)節	(2)節
掘削施工性	掘削速度	施工時間・土量の記録	—	—
	土砂取込み量	目視による土砂取込み調査	—	—
軸部の形状・寸法	鉛直精度	超音波孔壁測定装置	○	—
	軸部径	掘出し調査	○	—
	掘削深度	検尺	○	—
中間拡径部・拡底部の形状・寸法	中間拡径部径・拡底部径	超音波孔壁測定装置, 掘出し調査	○	○
	上部・下部傾斜角		○	○
	立上り部高さ		○	○
	立上り部下端深度		○	○
安定液性状	比重	マッドバランス	—	—
	粘性	ファンネル粘度計	—	—
	pH	pH 測定器	—	—
	砂分率	砂分率測定器	—	—
スライム処理	中間拡径部スライム堆積量	電気比抵抗スライム測定器, 掘出し調査	—	—
	拡底部スライム堆積量	検尺, 掘出し調査	—	—
コンクリート打設施工性	打設速度	施工時間・打設量の記録	○	—
	鉄筋かぶり厚	掘出し調査	—	—
	スランプフロー	スランプコーン	○	—
コンクリート品質	空気量	空気量測定器	○	—
	コンクリート温度	温度計	○	—
	塩化物量	塩化物量測定器	○	—
	圧縮強度, 静弾性係数	標準養生・コア抜き供試体の圧縮試験	—	○

考えられる流動性を確保するため、試し練り時に実施したL型フロー試験²⁾結果を参考に調合条件を設定した。受入れ時の試験結果(打設中に3回実施)を表一2に示す。コンクリートの打設は一般の場所打ち杭と同様にトレミー管を用いて行った。単位時間あたりの打設量は23.2 m³/hであり、一般の場所打ち杭のコンクリート打設と比べ施工性に著しい違いは見られない。高強度コンクリートであっても、通常の施工法及び施工効率でコンクリートの打設が可能であることを確認した。

表二 コンクリートの受入れ時の試験結果

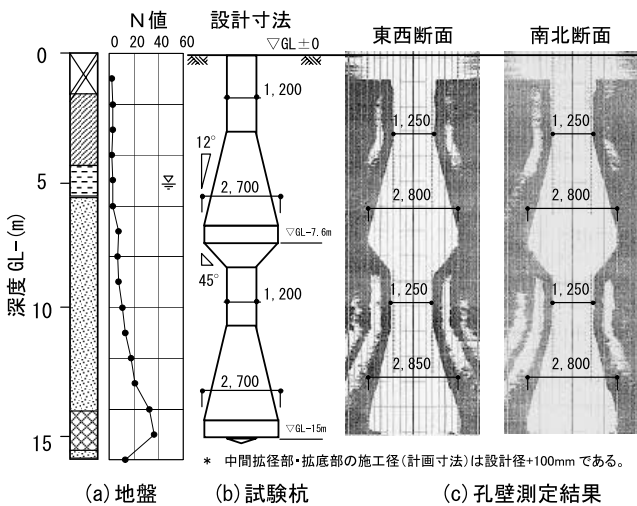
試験項目	設計値	管理値	試験結果		
			No.1	No.2	No.3
スランプフロー(cm)	60	60 ± 10	63.0 × 62.0	64.0 × 63.0	59.0 × 57.0
空気量(%)	2.0	2.0 ± 1.5	1.6	1.7	2.7
コンクリート温度(℃)	—	35 以下	21.0	21.0	21.0
塩化物含有量(kg/m ³)	—	0.2 以下	0.032	0.032	0.032

(2) 掘出し調査

コンクリート打設後、約50日の養生期間を置いて、試験杭を掘出した。杭の掘出し状況を写真一2に示す。杭はライナープレート(φ5,000mm)を用いた深礎工法により掘出した。揚重機の揚重能力から、試験杭は掘削孔内で5分割して地表に揚重した。掘出した杭体について、杭径、中間拡径部・拡底部の形状・寸

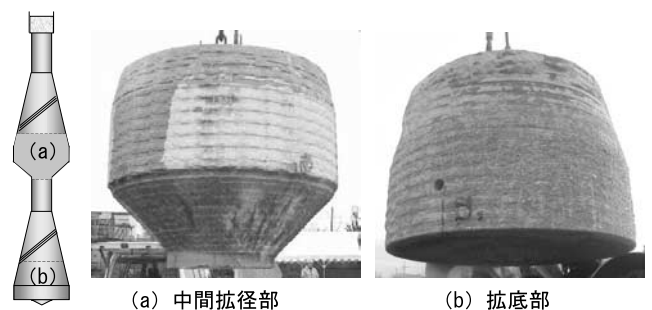


写真一2 杭体の掘出し状況(深礎工法)



図一7 地盤・試験杭及び超音波孔壁測定結果

(呼び強度68 N/mm²), 水セメント比28.8%, 普通ポルトランドセメントを用いた高強度コンクリートである。混和剤として高性能AE減水剤を用いた。高強度コンクリートを場所打ち杭に適用するにあたり重要と

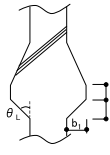


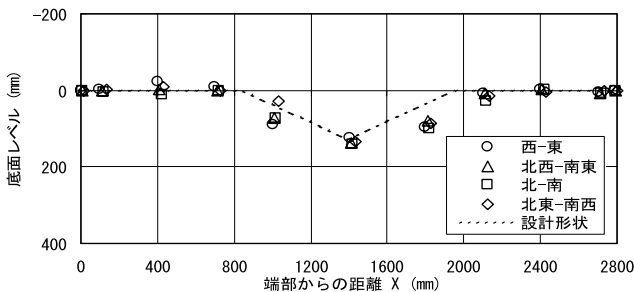
写真一3 掘出した杭体

法等の調査を実施した。

中間拡径部及び拡底部の形状・寸法の調査結果を表一3及び図一8にそれぞれ示す。表一3, 図一8より, 中間拡径部及び拡底部の底面の寸法は設計寸法にほぼ等しいことがわかる。杭体の掘出し状況を写真一3に示す。写真一3より, 中間拡径部及び拡底部の外周端部においても, スライムや掘削土の巻き込み等による断面の欠損等は見られず, コンクリートが密実に充填されていることがわかる。以上より, 本工法の施工法及び施工管理法により, 所定の形状・寸法の中間拡径部及び拡底部を構築できると考えられる。

表一3 形状調査結果 (中間拡径部)

	中間拡径部下部傾斜部			中間拡径部立上り高さ h ₁ (mm)	備考
	高さ h (mm)	幅 b ₁ (mm)	下部傾斜角 θ ₁ (°)		
設計値	750	750	45	950	
計測結果	東面	760	750	44.6	
	西面	860	820	43.6	
	南面	860	790	42.6	
	北面	830	805	44.1	

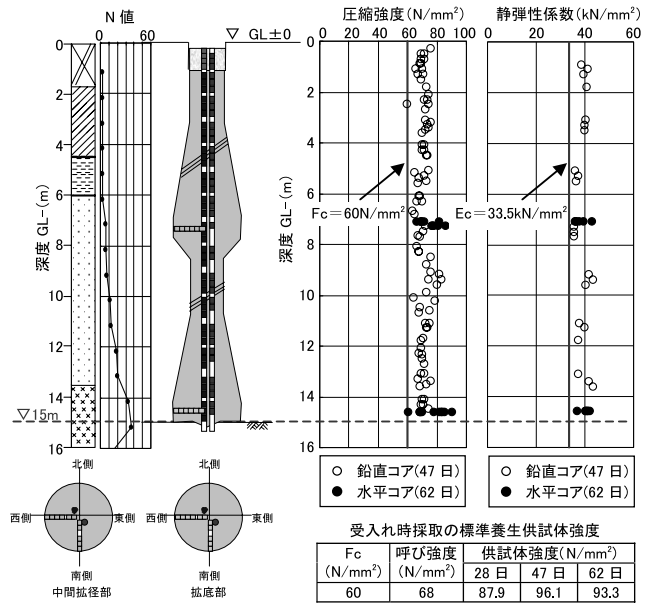


図一8 形状調査結果 (拡底部)

試験杭からのコア抜き供試体について圧縮強度試験を実施した。コア抜き位置及び圧縮強度の試験結果を図一9に示す。鉛直方向のコア抜きは杭のほぼ中心位置で2ヶ所実施した。水平方向のコア抜きは中間拡径部及び拡底部について, それぞれ東西・南北方向の2方向, 計4ヶ所実施した。圧縮試験数は鉛直方向81個, 水平方向22個の計103個である。そのうちの33個について静弾性係数を測定した。図には, 設計基準強度 F_c 及び, F_c を 60 N/mm², 単位体積重量 γ を 24 kN/m³ と仮定して, 式 (1)³⁾ より算出した静弾性係数 E_c (= 33.5 kN/mm²) も示している。

$$E_c = 33.5 \times (\gamma / 24)^2 \times (F_c / 60)^{1/3} \quad (1)$$

図一9より, 試験杭の圧縮強度はいずれも設計基準強度 (60 N/mm²) を上回ることで, 静弾性係数は式 (1) より算出した値と比べてやや大きい値であること



図一9 鉛直・水平コア供試体の圧縮強度試験結果

を確認できた。以上より, 本工法の施工法及び施工管理法により, 所定のコンクリート品質を確保した場所打ちコンクリート杭を構築できるものと考えられる。

4. まとめ

多段拡径場所打ちコンクリート杭工法の概要と評定取得にあたり実施した原位置における実大試験杭の施工試験及び掘出し調査の結果を示した。

なお, 実大施工試験結果は, 現在投稿中の論文⁴⁾の一部をまとめたものである。

【謝辞】

最後になりましたが, 評定にあたりご指導を賜りました(財)日本建築センター基礎評定委員会の皆様に深く感謝の意を表します。

J|C|M|A

《参考文献》

- 小豆畑, 田村, 井上, 藤井, 杉村他: 電気比抵抗法を用いた原位置造成杭の品質評価に関する研究 (その1~7), 地盤工学研究発表会講演集, Vol.2, pp.1665-1678, 1997.
- 米澤他: 高強度コンクリートのワーカビリティに関するL型フロー試験法に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.1, pp.171-176, 1989.
- 日本建築学会編: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, p.38, 1999.
- 平井・若井・中島・青木: 多段拡径場所打ちコンクリート杭工法の研究 (その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1, pp.575-580, 2007.

[筆者紹介]



平井 芳雄 (ひらい よしお)
 株竹中工務店 技術研究所
 建設技術研究部 地盤基礎部門
 主任研究員



若井 修一 (わかい しゅういち)
 株竹中工務店 技術研究所
 建設技術研究部 地盤基礎部門
 研究員



中島 正人 (なかしま まさと)
 株竹中工務店 大阪本店
 建築技術部
 技術担当



青木 雅路 (あおき まさみち)
 株竹中工務店 エンジニアリング本部
 土壌環境部門
 マネージャー

建設の機械化／建設の施工企画 2004年バックナンバー

平成16年1月号(第647号)～平成16年12月号(第658号)

1月号(第647号) ロボット技術特集	5月号(第651号) リサイクル特集	9月号(第655号) 維持管理特集	■体裁 A4判 ■定価 各1部840円 (本体800円) ■送料 100円
2月号(第648号) 地震防災特集	6月号(第652号) 海外の建設施工特集	10月号(第656号) 環境対策特集	
3月号(第649号) 地下空間特集	7月号(第653号) 安全対策特集	11月号(第657号) 除雪技術特集	
4月号(第650号) 行政特集	8月号(第654号) 情報化施工特集	12月号(第658号) 新技術・新工法特集	

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>