

中間および先端に拡径部を有する場所打ちコンクリート工法の開発

DEVELOPMENT OF CAST-IN-PLACE CONCRETE PILE WITH ENLARGED BASE AND INTERMEDIATE NODE

田口 智也*¹, 金子 治*², 佐野 大作*¹
 Tomoya TAGUCHI, Osamu KANEKO and Daisaku SANO

This report shows the result of construction test in situ and formulation of the bearing capacity for cast-in-place concrete pile with enlarged base and intermediate node construction method. The following results were obtained.

1. Construction method defined and construction management method was confirmed to be satisfactory construction is possible the management reference value.
2. This paper formalizes the support force that takes into account the influence of installation interval ratio of the enlarged diameter portion and expansion ratio.

Keywords : Cast-in-Place concrete pile, Construction Method, Bearing Capacity

場所打ちコンクリート杭, 施工法, 支持力

1. はじめに

筆者らは中間および先端に拡径部を有する場所打ちコンクリート工法(以下, 本工法)について, 拡径部の形状や配置間隔が支持力特性に及ぼす影響について検討するための遠心載荷試験, 原位置における実大の施工試験によって施工性および品質の確認を行うとともに, 遠心載荷試験結果の検証を目的とした鉛直載荷試験を実施してきた¹⁾。

本報では, 原位置で実施した施工試験の結果と,

一連の載荷試験に基づく支持力の評価について報告する。

2. 工法の概要

本工法は, 支持性能の向上のため, 軸中間部にも拡径部(節部)を設ける場所打ちコンクリート杭工法である。図-1 に形状と各部の名称を示す。中間拡径部の掘削は, 拡底杭と同じ掘削バケットを用いて上部掘削を行った後に, スライムの沈殿を防ぐため

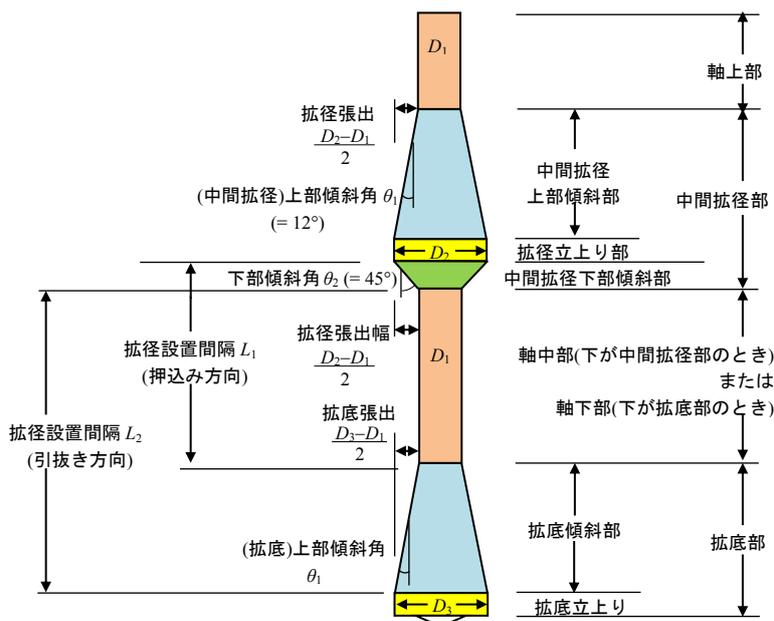


図-1 本工法の形状と名称



写真-1 中間拡径上部掘削機



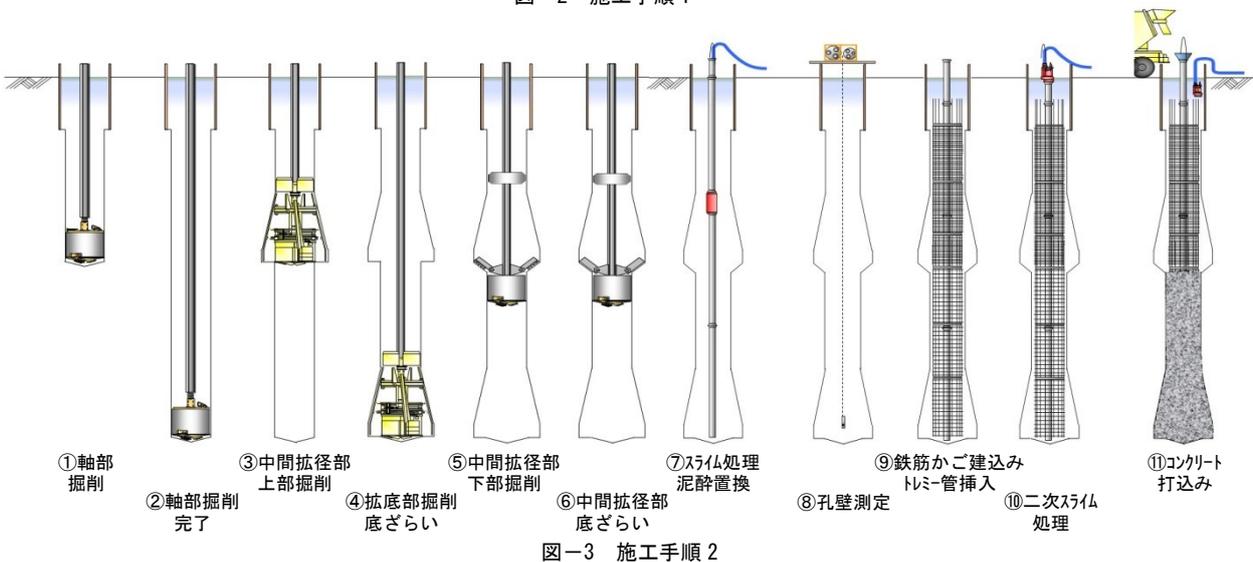
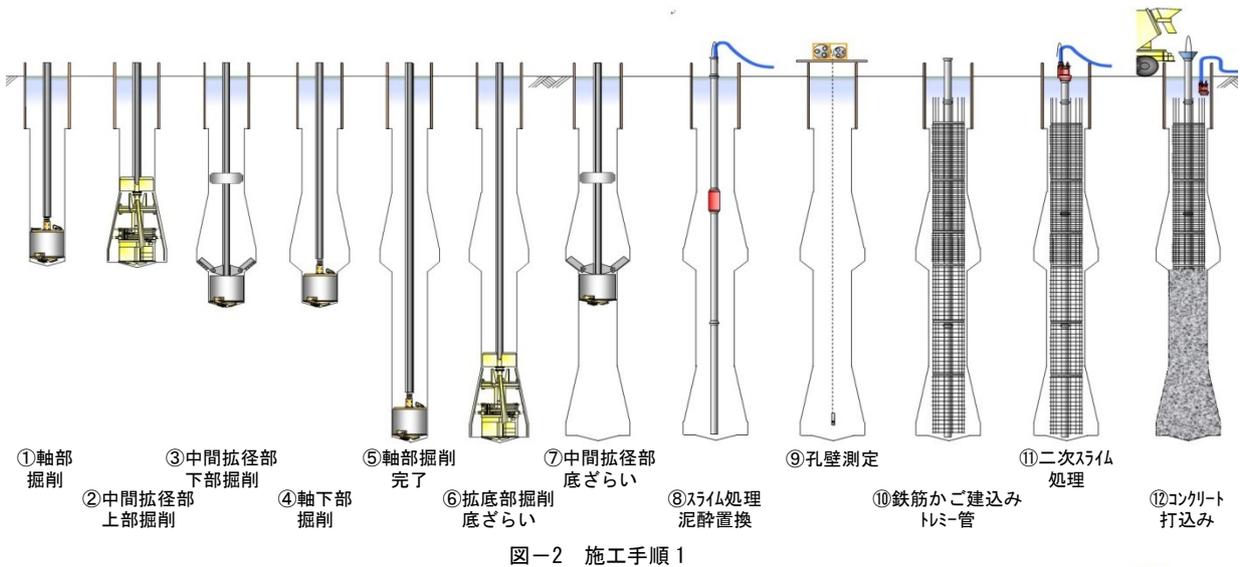
写真-2 中間拡径下部掘削機

*1 戸田建設開発センター 修士(工学)

*2 戸田建設開発センター 工学修士

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.

Research and Development Center, TODA CORPORATION, M.Eng.



の傾斜（45度）を設ける下部掘削を別の掘削バケットで行う。掘削機を写真-1、写真-2に示す。この2つのバケットを使い分けることで、地盤条件に応じて軸部と中間拡径部の施工順序を入れ替えることや拡径部上下で軸径を変えることが可能となる。

2.1 施工手順

施工手順図を図-2および図-3に示す。本工法は、地盤条件、施工上の制約条件等から中間拡径部を先行して掘削するケース(施工手順1)と軸部掘削完了後に中間拡径部を施工するケース(施工手順2)を想定しており、施工方法の確認を行っている。どちらの施工手順でも施工可能である。なお、施工効率は手順2

の方が高いが、砂礫や比較的緩い砂質土層など孔壁崩壊の可能性が高い地盤では施工手順1による。

2.2 中間拡径部スライム処理

本工法は、拡底部の掘削完了後、中間拡径部下部掘削バケットの拡大翼に取り付けたスクレーパによってスライムを掻き落とす方式である。スクレーパと掘削バケットは一体構造になっていることから、スライムを孔底まで沈降させることなく、直接バケット内に落とし込むことが可能である。スクレーパの拡翼状況は、深度計および流量計のモニター画面で所定の油量を確認する(写真-3,4)。拡底部は拡底バケットにて掘屑を除去し、次に水中ポンプにて孔底から安定液と共にスライムを吸い上げ、良好な安定液と置換する。なお、施工試験では砂分率を3%以下の安定液と置換した。以上の施工プロセス管理を行うことで残存スライム量を0mmとすることにした。



写真-3 管理装置(流量計)



写真-4 スクレーパ取付け

3. 施工試験

3.1 掘出し調査

掘出し調査を実施した試験杭概要を表-1および図

表-1 掘出し試験杭の仕様

軸部径 (mm)	中間拵径 (mm)	杭天端深度 (m)	杭先端深度 (m)	配筋
1,000	1,500	GL-0.45	GL-13.25	主筋 12-D35



写真-5 試験杭掘出し状況

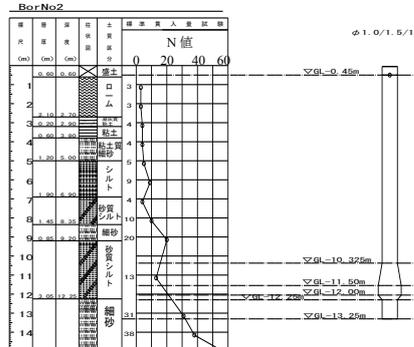


図-4 掘出し試験杭概要

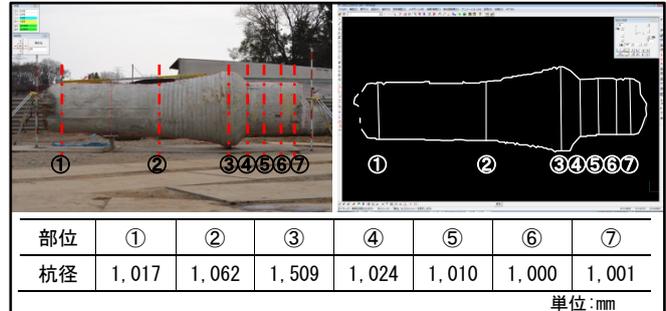


図-5 形状測定結果

表-2 中間拵径下部傾斜角度およびスライム計測結果

計測項目	部位			
	北面	東面	南面	西面
中間拵径下部傾斜角度 (°)	44.5	42.8	47.1	43.0
スライム厚さ (mm)	0.0	0.0	0.0	0.0



写真-6 スライム調査状況

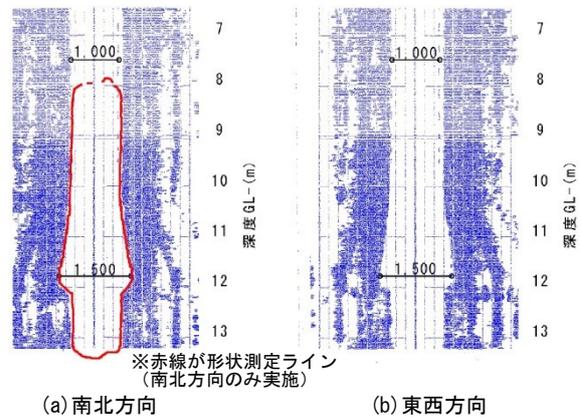


図-6 形状測定結果 (超音波孔壁測定)

図-4 に示す。掘出しは深礎工法で行い、揚重機の能力から2分割して地上に揚重した。掘出し状況を写真-5 に示す。杭体は、杭径、中間拵径部の形状について調査を実施した。

また、中間拵径部下部スライム堆積状況は地上で行えるように、掘削時に土を数 cm 残した状態で吊り上げた。

(1) 形状測定

形状測定は、中間拵径部を含む下部のみデジタルカメラによる2次元写真測量²⁾及びトータルステーションを使用して実施した。測定結果を図-5、超音波孔壁測定結果を図-6、中間拵径部下部傾斜角度を表-2 に示す。写真形状測定した結果(南北方向)は重ね図として示す。掘り出した試験杭の杭径は設計寸法を上回ることで、超音波孔壁測定結果と概ね等しいことを確認した。

(2) スライム厚さ

スライム調査状況を写真-6 に示す。スライム厚さは、中間拵径部下部に付着した土砂を取り除き目視でスライムの有無を調査したが、確認出来なかった(表-2)。

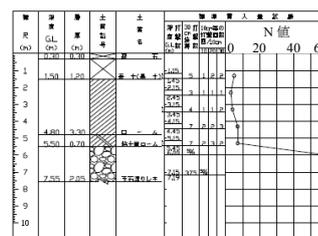


図-7 試験地盤概要

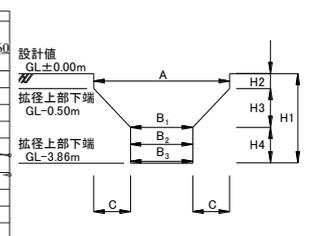


図-8 測定項目

表-3 掘削形状測定結果

計測項目	計画値	実測値 (mm)				
		東西方向		南北方向		
拵径上部径	A	4,800	4,990	4,990		
軸下部径	B ₁		2,240	2,240		
	B ₂	2,200	2,230	2,230		
	B ₃		2,250	2,250		
拵径張出幅	C	1,300	東: 1,350 西: 1,350	南: 1,350 北: 1,350		
掘削長	H ₁	3,860	3,990	3,995	3,990	3,990
拵径上部立上り高さ	H ₂	500	535	545	540	540
拵径下部傾斜部高さ	H ₃	1,300	1,360	1,340	1,340	1,350
軸下部長さ	H ₄	2,060	2,095	2,110	2,110	2,100

3.2 掘削試験

本工法の適用範囲のうち最大拡径による中間拡径部の掘削試験を実施した。試験杭の軸部径は2.2m、拡径径は4.8m、掘削長は3.86mである(拡径比2.18, 拡径率4.56)。試験地盤を図-7に示す。なお、施工は手順1で実施した。

掘削および一次スライム処理後に、拡径径、中間拡径部下部傾斜角、立上り部高さ、張出幅など、掘削形状の測定を行った。測定項目を図-8に、測定結果を表-3に示す。本工法で規定した施工方法、施工管理方法により最大径4.8mにおいても、管理基準値を満足する掘削形状で掘削可能であること、下部掘削バケットの拡径翼に取り付けたスクレーパにより中間拡径下部のスライム処理が可能であることが確認できた。

4. 遠心載荷試験に基づく中間拡径部の支持力評価

中間拡径部の支持力機構について、遠心載荷試験結果に基づく評価を行う。既往の研究^{3)~5)}では支圧法、せん断法、摩擦法の3つの評価法が提案されている。本工法では上部傾斜角は12°、下部傾斜角45°としており、上部傾斜部での引抜き抵抗については摩擦抵抗が卓越、下部傾斜部での押し込み抵抗では支圧抵抗が卓越するものと考えられる。そこで押し込み方向では傾斜の影響を考慮した支圧に基づく支持力評価および支圧による地盤の影響範囲について、引抜き方向では傾斜部が摩擦応力度に及ぼす影響(傾斜を考慮した支持力評価)および摩擦応力度の影響範囲について、遠心載荷試験結果¹⁾から検討した。なお、せん断法については地盤中のせん断破壊面の形成(せん断高さ)を実験結果から検証することは困難であると判断し、本検討では除外した。また、ここでは、中間拡径部に対して荷重方向側に位置するひずみの分布形状¹⁾から中間拡径部の影響の有無を判断し、影響範囲を設定した。

実験ケース一覧を表-4に示す。遠心載荷試験による杭の摩擦抵抗から逆算した杭の軸部に作用する代表的な水平土圧分布について、押し込み方向の結果を図-9に、引抜き方向の結果を図-10に示す。

押し込み方向の中間拡径部直下の軸部では、軸力の増加に伴い、中間拡径部の支圧の影響と考えられる水平土圧の増大が認められる。中間拡径部の影響を受ける範囲は、拡径下部傾斜部下端から拡径張出幅の1.5倍程度(図中の実線、図中の破線は拡径部立上り部下端から1×拡径部径)と考えられ、拡径比が大きいほど水平土圧の値は大きい。したがって、押し込み方向の中間拡径部の支持力は、主に支圧により負担されると考えられることから、支圧法に基づいて評価できる。なお、一般に軸部の支持力は杭の周りの長さとの関係で表わされている⁶⁾ことから、これと整合させるため負担荷重を中間拡径下部傾斜部の側面積により換算、整理する(摩擦法)。

一方、引抜き方向の中間拡径部・拡底部直上の軸部では、中間拡径部および拡底部の影響と考えられ

表-4 遠心載荷試験ケース一覧

No.	拡径径(m)	拡径比	拡径設置間隔(m)	拡径設置間隔比	杭形状
1	2.2	2.2	—	—	拡底のみ
2-1	2.2	2.2	7.03	11.7	中間拡径 + 拡底
2-2			4.80	8.0	
3-1	2.2	2.2	4.63	7.7	
3-2			2.40	4.0	
4-1	2.2	2.2	3.33	5.5	
4-2			1.10	1.8	
5-1	2.8	2.8	10.54	11.7	
5-2	2.8	2.8	7.20	8.0	
6-1			2.93	11.7	
6-2	1.5	1.5	2.00	8.0	

※No.-1: 引抜き方向, No.-2: 押し込み方向

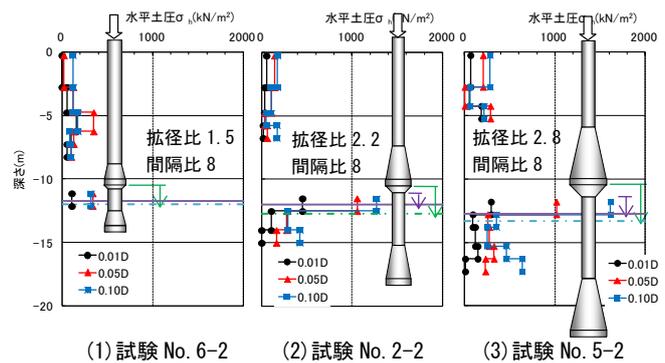


図-9 水平土圧分布(押し込み方向)

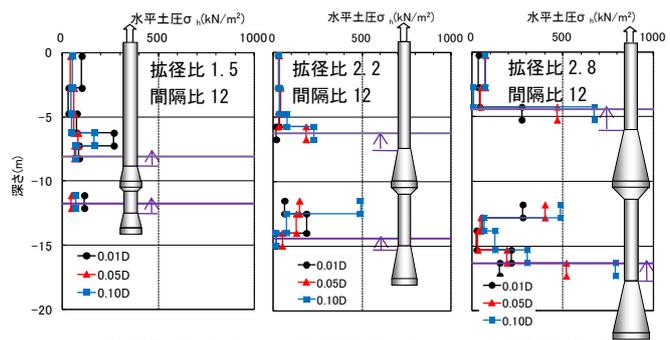


図-10 水平土圧分布(引抜き方向)

る水平土圧の増加が認められるが、押し込み方向と比較するとその値は1/2以下と小さく、支圧の影響は小さいと判断される。したがって負担荷重を中間拡径(拡底)上部傾斜部の側面積による摩擦に基づいて評価する。なお、中間拡径部の影響を受ける範囲は、拡径部上部傾斜部上端から拡径張出幅の1.5倍程度である。

押し込み方向の支圧法および摩擦法に基づいた負担荷重とNsの関係を図-11に示す。なお、N値は、多くのFL法が導かれる過程で利用されているMeyerhof式⁷⁾を用いて、実験から求まる相対密度と上載圧から算定した。Nsの算定範囲については、図-11および図-12中に併記している。負担荷重とNsの関係から、支圧法では負担荷重/Ns=55~89、摩擦法では負担荷重/Ns=39~63が得られた。

引抜き方向の摩擦法に基づいた負担荷重とNsの関係を図-12に示す。図-12中には、中間部のない拡底杭の結果も併記している。負担荷重とNsの関係から、負担荷重/Ns=5~19が得られた。

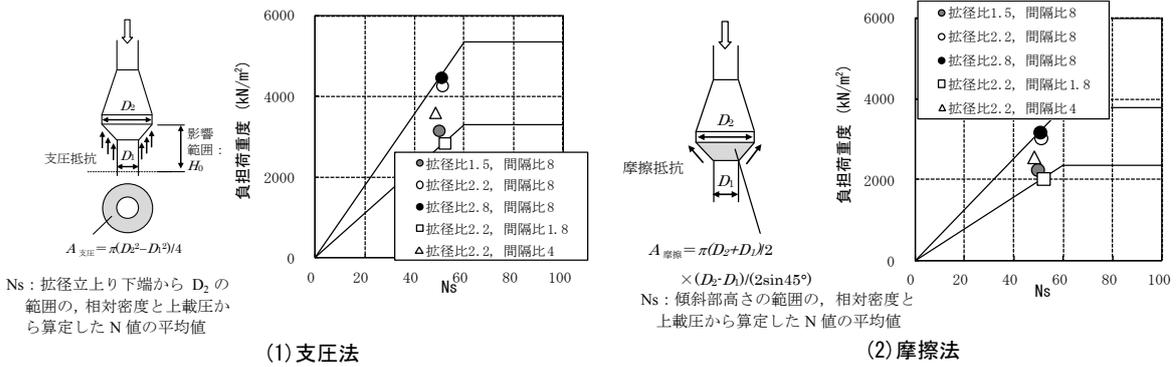


図-11 負担荷重量と Ns 関係 (押し込み方向)

5. 拡径間隔および拡径比の影響を考慮した支持力評価

5.1 支持力評価の方針と影響要因

拡径部を有する杭の支持力特性の評価にあたっては 3. に示すように、拡径部の傾斜部分における押し込み支持力または引抜き抵抗の負担機構を拡径張出し部のリング状の投影面積分の支圧ではなく、傾斜部の側面における摩擦抵抗として定式化する。

支持力特性の定式化にあたっては、以下に示す 3 つの要因について、これらをパラメータとした遠心載荷試験を行ってその影響を定量的に把握した上で、原位置載荷試験により検証することとした。

- 1) 拡径比(軸径 D_1 と拡大径 D_2 の比)の影響
- 2) 設置間隔比 (拡径部の設置間隔 L_2 と拡径張出幅 $(D_2-D_1)/2$ との比)の影響
- 3) 地盤強度(N 値または一軸圧縮強度 q_u)の影響

5.2 押し込み支持力の評価

(1) 拡径比の影響

中間拡径部(下部傾斜部)における押し込み方向の支持力は砂質土のみを対象として検討する。

図-13 に拡径比をパラメータとした遠心載荷試験から得られた押し込み方向の負担荷重量/ N_s (N_s : 拡径部平均 N 値)と拡径比の関係を示す。図に示すように拡径比が大きくなると支持力が増加する傾向が見られる。しかし、既往の研究では拡径比が増えると支持力は小さくなることが報告されている⁸⁾。そこで拡径比による補正は行わず、低減係数 η_1 (拡径比による支持力の低減)は一律に 1.0 として、実験の下限値により支持力を評価することが適切であると判断した(図-13 中の実線)。

(2) 拡径部設置間隔比の影響

図-14 に設置間隔比をパラメータとした遠心載荷試験から得られた負担荷重量/ N_s と設置間隔比の関係を示す。負担荷重量/ N_s は設置間隔比 8.0 で基準化している。設置間隔比が 8.0 を下回ると支持力が低下する傾向が見られたので、図-14 に示す実験結果に基づいて低減係数 η_2 (設置間隔比による支持力の低減)を(1)式のように、設置間隔比 4.0 では 8.0 に比べて 15%低減する直線とした。

$$\eta_2 = 1.0 - 0.0375[8.0 - L_2 / \{(D_2 - D_1) / 2\}]$$

$$4.0 \leq L_2 / \{(D_2 - D_1) / 2\} < 8.0 \quad (1)$$

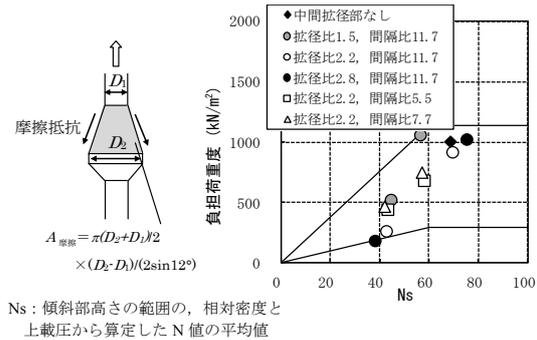


図-12 負担荷重量と Ns 関係 (引抜き方向)

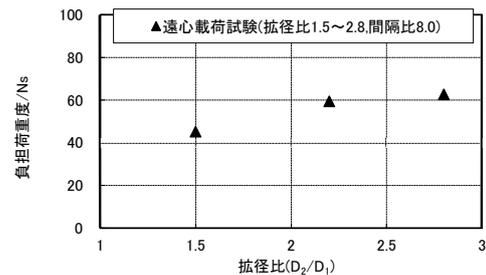


図-13 負担荷重量/ N_s と拡径比の関係 (押し込み時)

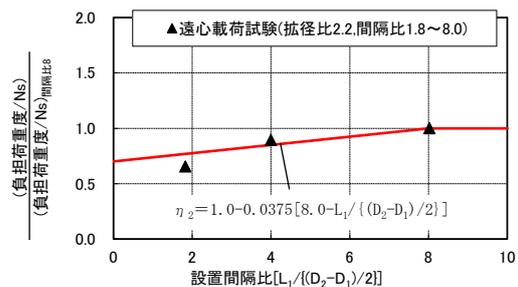


図-14 負担荷重量/ N_s と設置間隔比の関係 (押し込み時)

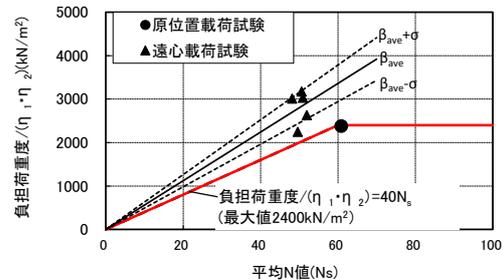


図-15 負担荷重量 $q/(\eta_1 \cdot \eta_2)$ と N_s の関係 (押し込み時)

なお、設置間隔が小さくなれば低減も大きくなると考えられるが、設置間隔が極端に小さくなることを避けるために最小設置間隔比は 4.0 とする。

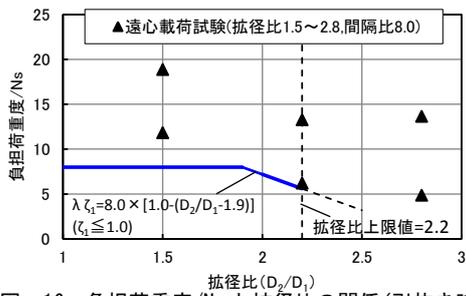


図-16 負担荷重/Ns と拡径比の関係(引抜き時)

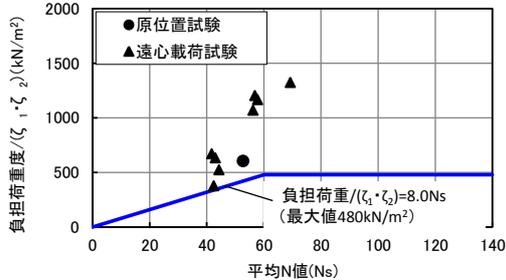


図-18 負担荷重 $q/(\zeta_1 \cdot \zeta_2)$ と N_s の関係(引抜き時)

(3) 支持力特性の定式化

図-15 に、拡径比および設置間隔比による影響を踏まえて評価した負担荷重 $q/(\eta_1 \cdot \eta_2)$ と N_s との関係を示す。原位置試験結果を追記して示す。遠心載荷試験 5 ケースで負担荷重 $q/(\eta_1 \cdot \eta_2) = \beta \cdot N_s$ とした場合における β の平均値(=56.0) ± σ (標準偏差 $\sigma=7.0$) を考慮したラインも示した。

原位置試験の結果は遠心載荷試験に比べて小さいが、拡底部の下方に砂質シルトが存在するなどの条件下での試験であったことが理由に考えられる。

遠心載荷試験では平均 ±1.0 × 標準偏差を考えた場合、1 ケースのみがその範囲を下回る。また、原位置試験の結果も遠心載荷試験の下限値に近く、これら全ての結果の下限値となる、支持力係数 $\beta=40$ を採用した。先行工法 ($\beta=75$)⁹⁾ と比較すると、1/2 程度となっているが、これは載荷試験を実施した層が細砂層のみのため、小さくなったと考えられる。

5.3 引抜き支持力の評価

(1) 拡径比の影響

図-16 に拡径比をパラメータとした遠心載荷試験から得られた引抜き方向の負担荷重/Ns と拡径比の関係を示す。引抜きでは、拡径比が大きくなると負担荷重/Ns は低下する傾向が明らかに見られる。そこで、拡径比 1.9 の値を基準とし、(2)式のように拡径比 1.9 を超えた場合について低減係数 ζ_1 によって支持力係数 λ を下式で低減する。

$$\zeta_1 = 1.0 - (D_2/D_1 - 1.9) \quad 1.9 < D_2/D_1 \leq 2.2 \quad (2)$$

なお、拡径比 2.8 までの実験を実施しているが、施工性を考慮して上限は 2.2 とした。

(2) 拡径部設置間隔比の影響

図-17 に設置間隔比 12.0 で基準化した負担荷重/Ns と設置間隔比の関係を示す。ここから(3)式のように

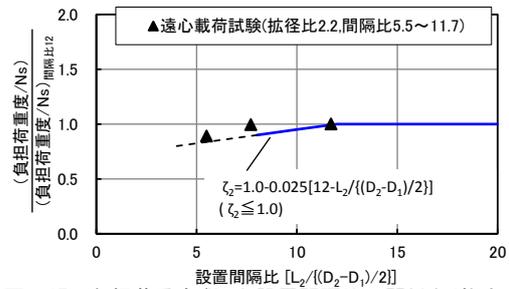


図-17 負担荷重/Ns と設置間隔比の関係(引抜き時)

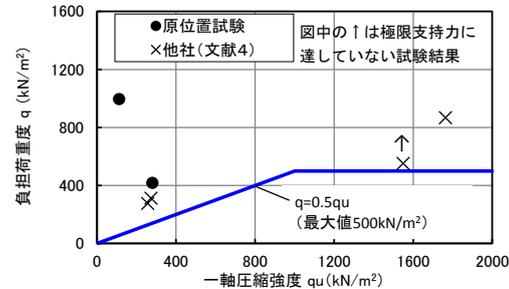


図-19 負担荷重 q と q_u の関係(引抜き時)

に低減係数 ζ_2 によって支持力係数 λ を下式で低減する。

$$\zeta_2 = 1.0 - 0.025 \times (12 - L_2 / \{(D_2 - D_1) / 2\}) \quad 8.0 \leq L_2 / \{(D_2 - D_1) / 2\} < 12.0 \quad (3)$$

設置間隔比 12.0 は遠心載荷試験で標準とした間隔比(=11.7)より設定した。設置間隔比が 12.0 を下回ると支持力が低下する傾向が見られ、その低下特性から ζ_2 を定式化した。ただし、拡径部の設置間隔が極端に小さくなることを避けるために最小設置間隔比は 8.0 とした。

(3) 支持力特性の定式化(砂質土)

遠心載荷試験および原位置試験から、拡径比および設置間隔比による低減を考慮した負担荷重 $q/(\zeta_1 \cdot \zeta_2)$ と N_s との関係を図-18 に示す。遠心載荷試験の結果と先行工法⁹⁾を参考に、支持力係数 λ を 8.0 と評価した。

(4) 支持力特性の定式化(粘性土)

原位置載荷試験により得られた中間拡径部における負担荷重と q_u の関係を、同じ形状の先行方法¹⁰⁾の試験結果と合わせて図-19 に示す。負担荷重 $\tau = 1/2 \cdot q_u$ (最大値 500 kN/m²) とすると、実験結果は全てこれを上回ることから先行工法と同様に支持力係数 $\mu = 0.5$ とした。なお、原位置試験によって確認されている最大の負担荷重 995 kN/m² を考慮して本工法では $\mu \cdot q_u$ の上限値を 500 kN/m² ($q_u = 1000$ kN/m²) とした。

6. まとめ

中間および先端に拡径部を有する場所打ちコンクリート工法について、原位置で実施した施工試験と、載荷試験結果に基づいた支持力の評価法について報告した。以下に知見を示す。

1) 拡底杭と同じ掘削バケットと本工法独自の拡径下部掘削バケットの組み合わせにより、想定した中

間拡張部を構築することが可能である。また下部掘削バケットの拡大翼にスクレーパを取り付け、底ざらいを行うことでスライムを除去できることを確認した。

- 2) 本工法で規定した施工方法、施工管理方法により最大径 4.8m においても、管理基準値を満足する施工が可能であることが確認できた。
- 3) 拡張比や拡張部の設置間隔比の影響を考慮した支持力の定式化を提案した。

謝辞

本研究は、熊谷組、ジャパンパイル、大洋基礎、大豊建設、東急建設、東洋テクノ、西松建設、三井住友建設との共同研究として実施したものである。関係各位に深謝します。

参考文献

- 1) 佐野 他 「先端および中間部に拡張部を有する杭の鉛直載荷試験」、戸田建設技術研究報告, vol.39, 2013.
- 2) 掛橋 他 「デジタル写真解析による PC セグメント寸法計測」土木学会第 62 回学術講演会, pp.339-340, 2007
- 3) 茶谷 他 「場所打ち節付き杭の鉛直交番載荷および引抜き試験(その 5)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2008.9
- 4) 渡邊 他 「場所打ち節付き杭の押込み試験および引抜き試験(その 2)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2010.9
- 5) 若井 他 「砂質地盤における多段拡張杭の中間拡張部の支持力(その 2)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2011.8
- 6) 国土交通省告示第 1113 号, 平成 13 年
- 7) Meyerhof, G.G. 「Discussion of session 1」, Proc., 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Vol.3, p.110, 1957
- 8) 鈴木 他 「拡張杭・節付き杭の鉛直荷重～変位の関係と抵抗力の評価」, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 656 号, pp.1847-1856, 2010.10.
- 9) 日本建築構造技術者協会, 杭基礎工法のデータ集 (2011 年改定版)
- 10) 平井 他 「拡張部を有する場所打ちコンクリート杭の原位置引抜き試験」, 基礎工, Vol.39, No.11, pp.60-63, 2011.11.