

Me-A（中間および先端部に拡径部を有する場所打ちコンクリート杭）工法の開発

Development of Cast-in-Place Concrete Pile with Enlarged Base and Intermediate Node

新井 寿昭*

Toshiaki Arai

今村 眞一郎***

Shinichiro Imamura

高橋 孝二**

Koji Takahashi

郡司 康浩*

Yasuhiro Gunji

要 約

場所打ちコンクリート杭工法では、先端部を拡大して大きな鉛直支持力を得る拡底杭が多く用いられているが、中間部にも杭軸径よりも大きい節部（拡径部）を設けることで、より小さい軸径、短い杭長で支持力を確保できる。この工法では、拡径部における荷重伝達機構を考慮して押込み支持力や引抜き抵抗を評価した上で、地盤特性に応じて適切に拡径部を配置することが重要である。

本報では、工法の概要と施工方法および荷重伝達機構を確認するために実施した各種試験結果を報告し、支持力特性の評価・定式化について提示する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工法の概要
- § 3. 施工試験
- § 4. 鉛直載荷試験と支持力の評価
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

先端部を拡大して大きな鉛直支持力を得る場所打ちコンクリート拡底杭に対して、本工法は、支持性能向上のため、軸中間部にも節部（以降、拡径部）を設ける場所打ちコンクリート杭（Me-A：Multi Enlarged-nodes Ace pile）工法である。中間部にも拡径部を設けることで、より小さい軸径、短い杭長で支持力を確保し、抵抗機構を分散して地盤特性の不確実性のリスクも分散できる。この工法では、拡径傾斜部における荷重伝達機構を考慮して押込み支持力や引抜き抵抗を評価した上で、地盤特性に応じて適切に拡径部を配置することが重要である。

本報では、工法の概要と施工方法の妥当性確認を目的とした施工試験¹⁾、鉛直支持力特性を把握するための遠心載荷試験²⁾および原位置載荷試験³⁾結果について報

告する。また、これらの結果による支持力特性の評価方法・定式化について提示する。

§ 2. 工法の概要

2-1 施工方法および手順

本工法の概要を図-1に示す。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傾斜部の掘削を行った後に、スライムの沈殿を防ぐための傾斜を設ける下部掘削を独自の掘削バケットで行う。下部掘削バケットを図-2に示す。上部と下部の掘削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が可能になる。施工手順を図-

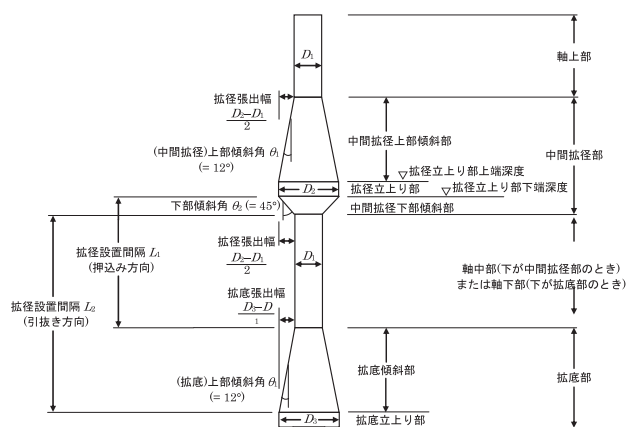


図-1 工法の概要

* 技術研究所建築技術グループ

** 本社建築設計部構造1課

*** 技術研究所土木技術グループ

3に示す。施工手順には、軸部と中間拡張部を交互に掘削を進める方法（施工手順1）と、杭先端まで軸部を掘削した後に中間拡張部を掘削する方法（施工手順2）がある。なお、砂礫や比較的緩い砂質土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。

本工法では、拡底部の掘削完了後、下部掘削バケットのビット部に取り付けたスクレーパ¹⁾によって中間拡張下部傾斜部のスライムを掻き落とす方式とした。スクレーパと掘削バケットは図-2に示すように一体構造と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、直接掘削バケット内に落とし込むことが可能である。スクレーパの拡張は、深度計および流量計で管理する。具体的には、事前に地上で拡張確認（キャリブレーション）した油量と、施工時に所定の深度でスクレーパを拡張した際にモニター画面に表示されている油量を比較することにより、所定の径で拡張されていることが確認できる。拡底部は拡底バケットにて掘屑を除去し、次に水中ポンプで孔底から安定液とともにスライムを吸い上げ、良好な安定液と置換する。なお、3章に示す施工試験¹⁾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とすることが可能となる。

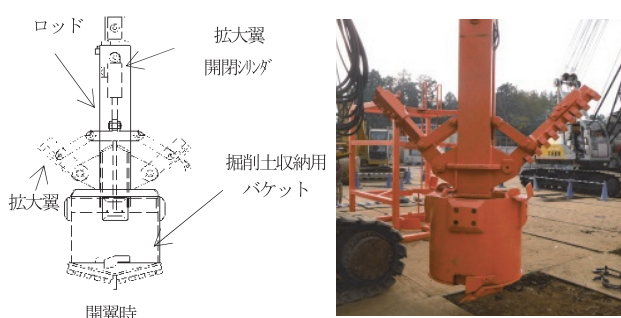


図-2 下部掘削バケット

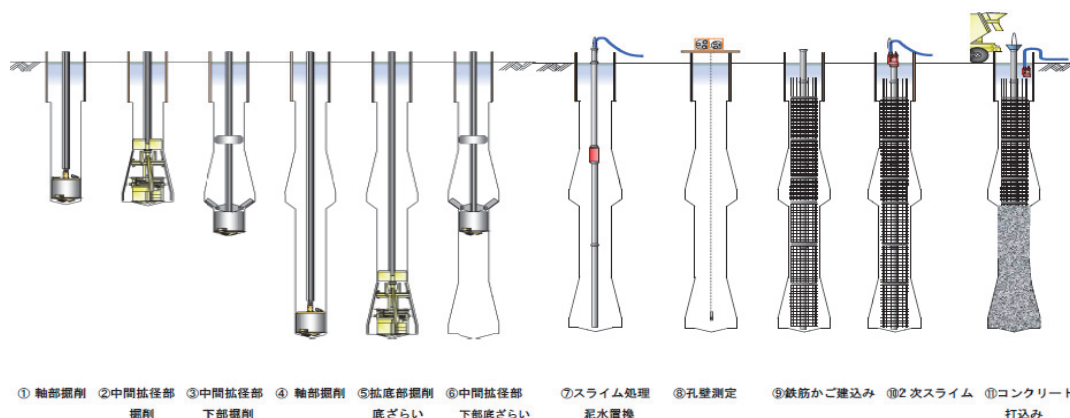
レーション）した油量と、施工時に所定の深度でスクレーパを拡張した際にモニター画面に表示されている油量を比較することにより、所定の径で拡張されていることが確認できる。拡底部は拡底バケットにて掘屑を除去し、次に水中ポンプで孔底から安定液とともにスライムを吸い上げ、良好な安定液と置換する。なお、3章に示す施工試験¹⁾では砂分率を3%以下の安定液と置換した。以上の施工プロセス管理を行うことで残存スライム量を0mmとすることが可能となる。

§3. 施工試験

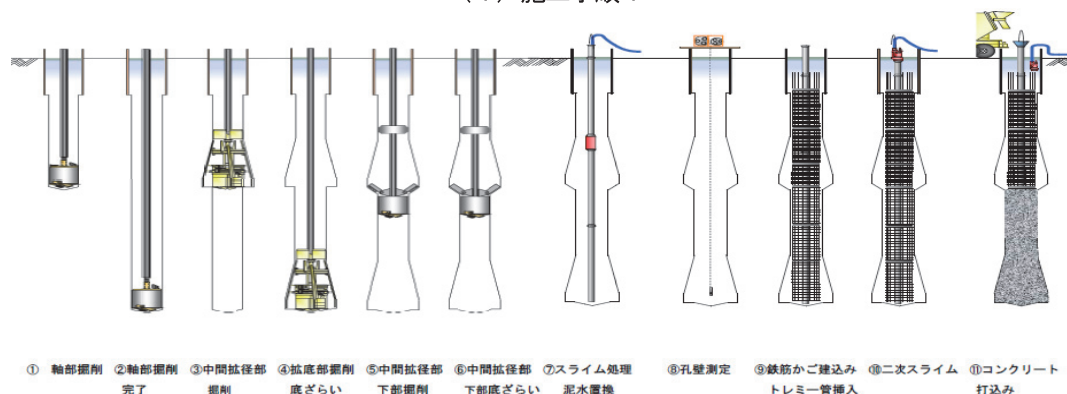
3-1 掘削試験

本工法の適用範囲のうち最大拡張による中間拡張部の掘削試験を実施した。試験杭の軸部径は2.2m、拡大径は4.8m、掘削長は3.86mである（拡張比2.18、拡張率4.56）。試験地盤の概要を図-4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、図-5に示す項目について掘削形状の測定を行った。測定結果を表-1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（拡大径、中間拡張部下部傾斜角、立上り部高さ、張出幅）で掘削可能であること、下部掘削バケットの拡



（1）施工手順1



（2）施工手順2

図-3 施工手順

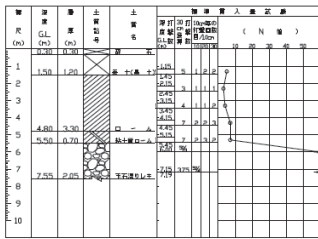


図-4 試験地盤概要

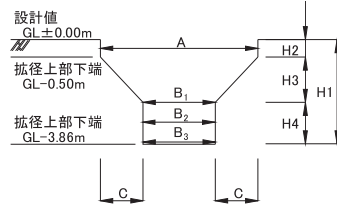


図-5 測定項目

表-1 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	
拡張上部径	A	4,800	4,990		4,990	
軸下部径	B _{1~3}	2,200	B ₁	2,240	B ₁	2,240
			B ₂	2,230	B ₂	2,230
			B ₃	2,250	B ₃	2,250
拡張張出長さ	C	1,300	東	西	南	北
			1,350	1,350	1,350	1,350
掘削長	H1	3,860	3,990	3,995	3,990	3,990
拡張上部立上がり高さ	H2	500	535	545	540	540
拡張下部傾斜部高さ	H3	1,300	1,360	1,340	1,340	1,350
軸下部高さ	H4	2,060	2,095	2,110	2,110	2,100

表-2 掘出し試験杭の仕様

軸部径 (mm)	中間拡張部径 (mm)	杭先端深度 (m)	杭先端深度 (m)	配筋 (主筋)
1,000	1,500	GL-0.45	GL-13.25	12-135

大翼に取り付けたスクレーパにより中間拡張部下部のスライム処理が可能であることが確認できた。

3-2 掘出し試験

掘出し調査を実施した試験杭の概要を表-2および図-6に示す。掘出しは深礎工法で行い、揚重機的能力から2分割して地上に揚重した。杭径、中間拡張部の形状について調査を実施し、中間拡張部下部のスライム堆積状況の確認を地上で行えるように、掘削時に土を数cm残した状態で吊上げた。吊上げた試験杭を横に寝かせた状態で、中間拡張部を含む下部のみデジタルカメラによる2次元写真測量およびトータルステーションを使用して形状測定を実施した¹⁾。施工時に測定した超音波孔壁測定結果に、南北方向の測定結果を重ねて図-7に示す。掘出した試験杭の杭径は設計寸法を上回ること、超音波孔壁測定結果と概ね等しいことを確認した。

また、試験杭の掘出し時に中間拡張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確認したが、確認できなかった¹⁾。

§4. 鉛直載荷試験と支持力の評価

4-1 遠心載荷試験に基づく中間拡張部の支持力評価

縮小模型により実大規模の応力状態を再現できる遠心載荷装置を用いて、鉛直載荷試験を行った²⁾。試験ケース一覧を表-3に示す。

中間拡張部の支持力機構について、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

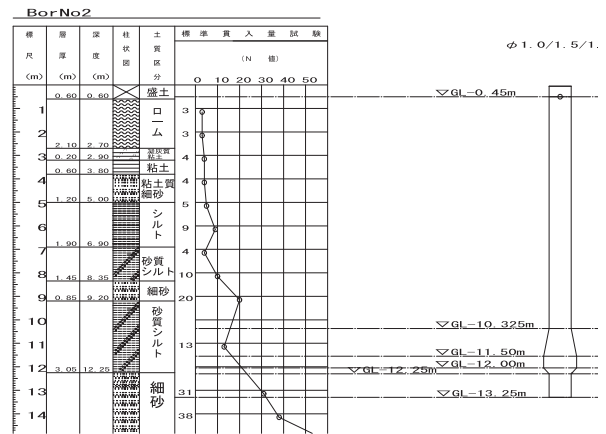
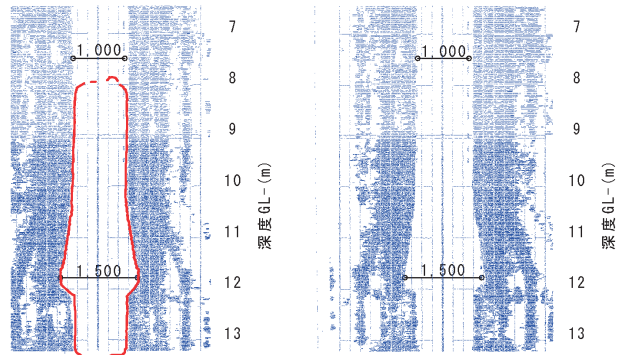


図-6 掘出し試験杭の概要



*赤線が形状測定ライン

(1) 南北方向

(2) 東西方向

図-7 掘削形状測定結果

表-3 遠心載荷試験ケース一覧

No.	拡大径 (m)	拡張比	拡張設置間隔 (m)	拡張設置間隔比	杭形状
1	2.2	2.2	—	—	拡張のみ
2-1	2.2	2.2	7.03	11.7	中間拡張部 + 拡張
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			7.20	8.0	
6-1	1.5	1.5	2.93	11.7	拡張のみ
6-2			2.00	8.0	

*No. -1 : 引抜き方向, No. -2 : 押込み方向

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、中間拡張部に対して載荷方向側に位置するひずみゲージの分布形状から中間拡張部の影響の有無を判断し、影響範囲を設定した。

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、押込み方向の結果を図-8に、引抜き方向の結果を図-9に示す。図中の凡例は、拡張部径を基準とした押込みおよび引拔変位量を示している。

押込み方向の中間拡張部直下の軸部では、軸力の増加に伴い中間拡張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。中間拡張部の影響を受ける範囲は、拡張部下部傾斜部下端から拡張部張出幅の1.5倍程度（図中の実線、図中の破線は拡張部立上り部下端から1×拡張部径）と考えられ、拡張比が大きいほど水平土圧の値は大きい。したがって、押込み方向の中間拡張部の支持力は、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する。

なお、告示式の支持力は中間拡張部の杭の周りの長さとの関係で表されている⁶⁾ことから、これと整合させるため負担荷重を中間拡張部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張部・拡張部直上の軸部では、中間拡張部および拡張部の影響と考えられる水平土圧の増加が認められるが、押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張部（拡張部）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、中間拡張部の影響を受ける範囲は、拡張部上部傾斜部上端から拡張部張出幅の1.5倍程度である。

押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（Ns：拡張部平均N値）の関係を図-10に示す。なお、N値は、多くのFL値法が導かれる過程で利用されているMeyerhof式を用いて、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-8および図-9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-11に示す。図-11中には、中間部のない拡張部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。

4-2 支持力特性評価の方針と影響要因

支持力特性の定式化にあたっては、以下の1) ~ 3)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⁷⁾により検証することとした。

- 1) 拡張部（軸径と拡大径の比）の影響
- 2) 拡張部設置間隔比（拡張部の設置間隔と拡張部張出幅との比）の影響
- 3) 地盤強度（N値または一軸圧縮強度）の影響

原位置において実施した鉛直載荷試験の試験杭の数は、N値50程度の砂層を対象とした押込み試験杭1本、N

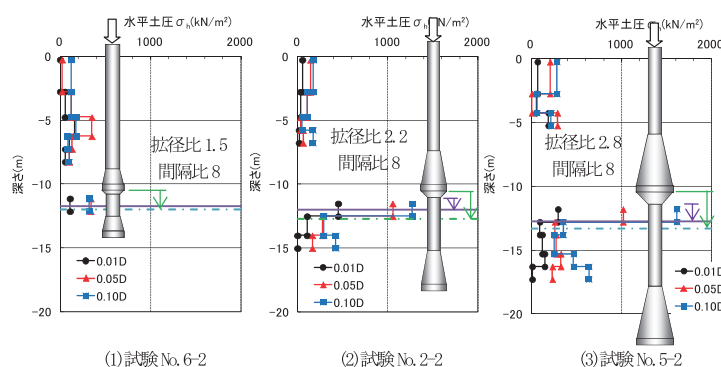


図-8 水平土圧分布（押込み方向）

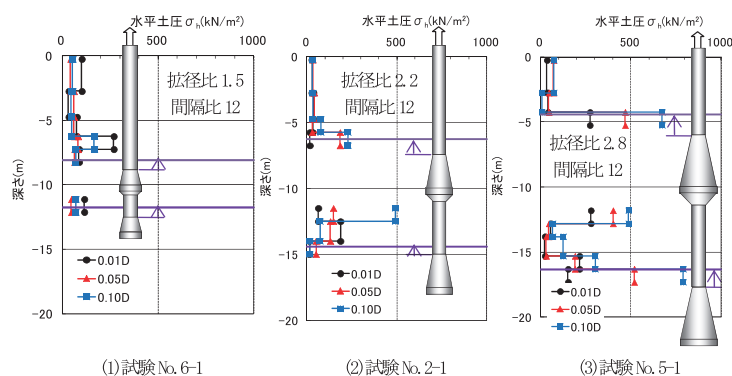


図-9 水平土圧分布（引抜き方向）

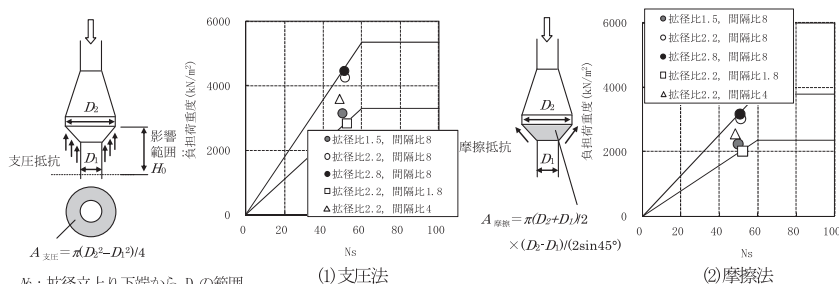


図-10 負担荷重とNs関係（押込み方向）

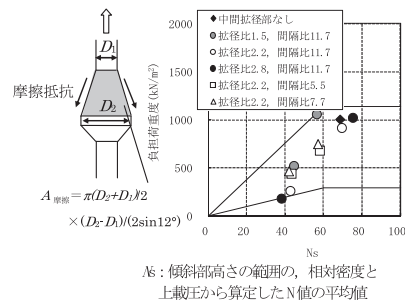


図-11 負担荷重とNs関係

値 50 程度の砂層および一軸圧縮強度 $100 \sim 350 \text{ kN/m}^2$ 程度の粘性土（砂質シルト）を対象とした引抜き試験杭 2 本である。試験杭の軸部径は 1.0 m とし、拡張比はすべて 1.5 とした。試験杭は 2 章で示した方法により施工した。

(1) 押し込み支持力の評価

1) 拡張比の影響

中間拡張部（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。

拡張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 /Ns と拡張比の関係を図-12 に示す。拡張比が大きくなると支持力は増加する傾向が認められるが、試験数が少ないことから、一定の傾向を見出すには至っていない。そこで、拡張比による補正は行わず、低減係数 η_1 （拡張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-12 中の実線）。

2) 拡張部設置間隔比の影響

拡張部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 /Ns と設置間隔比の関係を図-13 に示す。負担荷重量 /Ns 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認められたので、図-13 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）を式 (1) 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。

$$\eta_2 = 1.0 - 0.0375 [8.0 - L_1 / \{(D_2 - D_1) / 2\}]$$

$$4.0 \leq L_1 / \{(D_2 - D_1) / 2\} < 8.0 \quad \text{式 (1)}$$

(L_1 : 拡張部設置間隔 (押し込み方向), D_1 : 軸部径, D_2 : 拡張部径)

なお、設置間隔が小さくなけ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 とした。

3) 支持力特性の定式化

拡張比および拡張部設置間隔比による影響を踏まえて評価した負担荷重量 $q / (\eta_1 \cdot \eta_2)$ と Ns との関係を、原位置載荷試験結果を追記して図-14 に示す。遠心載荷試験 5 ケースで負担荷重量 $q / (\eta_1 \cdot \eta_2) = \beta \cdot N_s$ とした場合における β の平均値 (= 56.0) と標準偏差 σ (= 7.0) を考慮したラインも示した。

原位置載荷試験結果は遠心載荷試験結果に比べて小さいが、拡張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として考えられる。

遠心載荷試験では平均 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差を考えた場合、4 ケースはその範囲に含まれるが残りの 1 ケースは下回る。また、原位置載荷試験結果も遠心載荷試験結果の下限値に近く、これらすべての結果の下限値となる、支持力係数 $\beta = 40$ を採用した。

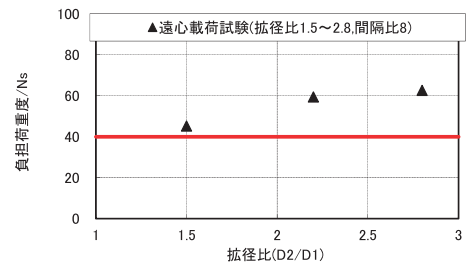


図-12 負担荷重量と拡張比の関係（押し込み方向）

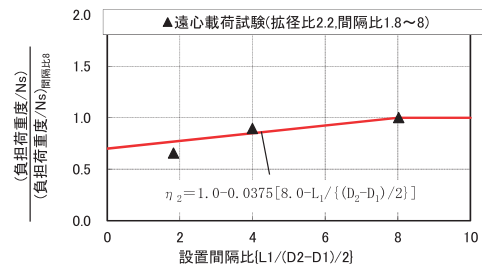


図-13 負担荷重量と設置間隔比の関係（押し込み方向）

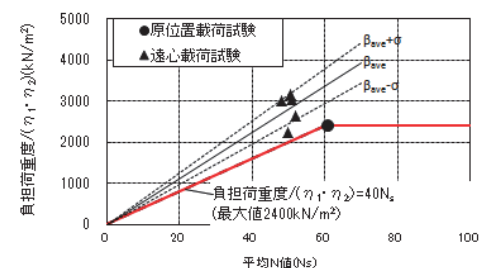


図-14 負担荷重量と Ns の関係（押し込み方向）

(2) 引抜き抵抗力の評価

1) 拡張比の影響

拡張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量 /Ns と拡張比の関係を図-15 に示す。引抜きでは、拡張比が大きくなると負担荷重量 /Ns は低下する傾向が明らかに認められる。そこで拡張比 1.9 の値を基準とし、式 (2) のように拡張比 1.9 を超えた場合については低減係数 ζ_1 によって支持力係数 λ を下式で低減する。

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

なお、拡張比 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) 拡張部設置間隔比の影響

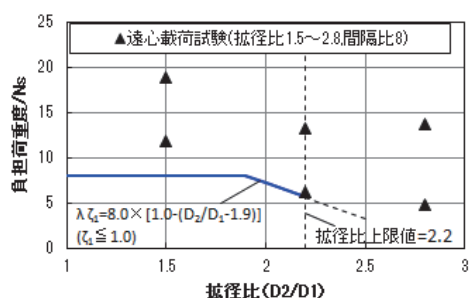
設置間隔比 12.0 で基準化した負担荷重量 /Ns と設置間隔比の関係を図-16 に示す。ここから式 (3) のように低減係数 ζ_2 によって支持力係数 λ を下式で低減する。

$$\zeta_2 = 1.0 - 0.025 \times [12 - L_2 / \{(D_2 - D_1) / 2\}]$$

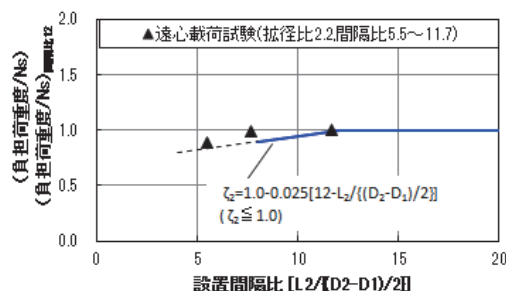
$$8.0 \leq L_2 / \{(D_2 - D_1) / 2\} < 12.0 \quad \text{式 (3)}$$

(L_2 : 拡張部設置間隔 (引抜き方向))

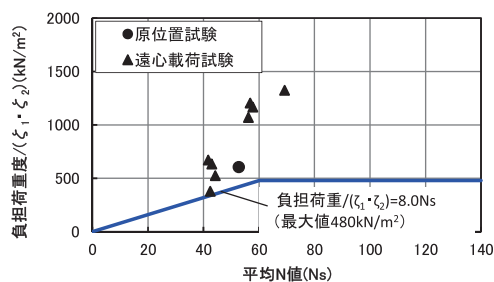
設置間隔比 12.0 は遠心載荷試験で標準とした間隔比 (= 11.7) より設定した。設置間隔比が 12.0 を下回ると支持力は低下する傾向が認められ、その低下特性から



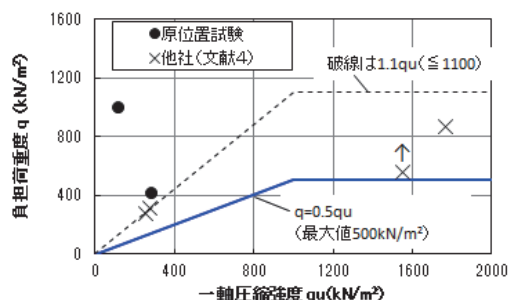
図－15 負担荷重度 /Ns と拡張比の関係（引抜き時）



図－16 負担荷重度 /Ns と設置間隔比の関係（引抜き時）



図－17 負担荷重度とNsの関係（引抜き時）



図－18 負担荷重度とquの関係（引抜き時）

ζ_2 を定式化した。ただし、拡張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。

3-1) 支持力特性の定式化（砂質土）

遠心载荷試験および原位置载荷試験から、拡張比および設置間隔比による低減を考慮した負担荷重度/ $(\zeta_1 \cdot \zeta_2)$ とNsとの関係を図－17に示す。遠心载荷試験のばらつきを考慮した上で、支持力係数 λ を安全側に評価して8.0とした。

3-2) 支持力特性の定式化（粘性土）

原位置载荷試験により得られた中間拡張部の負担荷重度と一軸圧縮強度 qu の関係を、同じ形状の先行工法⁸⁾の試験結果を合わせて図－18に示す。負担荷重度 $\tau = 1/2 \cdot qu$ （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支持力係数 $\mu = 0.5$ とした。なお、原位置载荷試験によって確認されている最大の負担荷重度 995 kN/m²を考慮して本工法では $\mu \cdot qu$ の上限値を 500 kN/m² ($qu = 1,000$ kN/m²)とした。

§5. おわりに

本報では、Me-A（中間および先端に拡張部を有する場所打ちコンクリート杭）工法の概要と性能を確認するために実施した施工試験および鉛直载荷試験と支持力特性の評価・定式化について述べた。

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、戸田建設、三井住友建設との共同研究として実施したものである。関係各位に深謝いたします。

参考文献

- 宮田ら：先端および中間部に拡張部を有する杭の施工試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 477-478，2013.8.
- 金子ら：先端および中間部に拡張部を有する杭の支持力特性に関する遠心模型実験（その1）～（その3），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 419-424，2012.9.
- 茶谷ら：場所打ち節付き杭の鉛直交番载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，pp. 477-478，2013.8.
- 渡邊ら：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，pp. 615-616，2010.9.
- 若井ら：砂質土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，pp. 363-364，2011.8.
- 国土交通省告示第1113号，平成13年.
- 森ら：先端および中間部に拡張部を有する杭の鉛直载荷試験（その1）～（その2），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp. 479-482，2013.8.
- 平井ら：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.