

T-EAGLE®杭の超高層建物における施工事例

濱 健太郎*¹・渡邊 徹*¹・堀井 良浩*¹・藤山 淳司*²・
木村 廣*²・秋月 通孝*³・中西 義隆*⁴

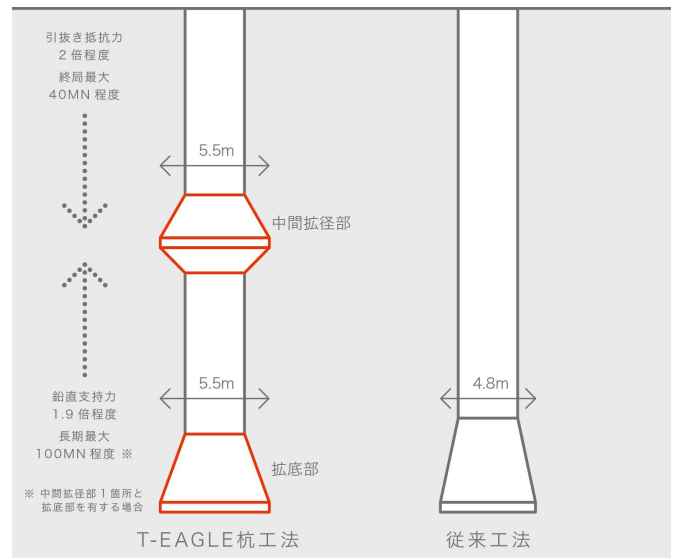
Keywords : cast-in-place pile, multi-belled pile, top-down construction method, construction procedure, construction accuracy

場所打ち杭, 多段拡大杭, 逆打ち工法, 施工手順, 施工精度

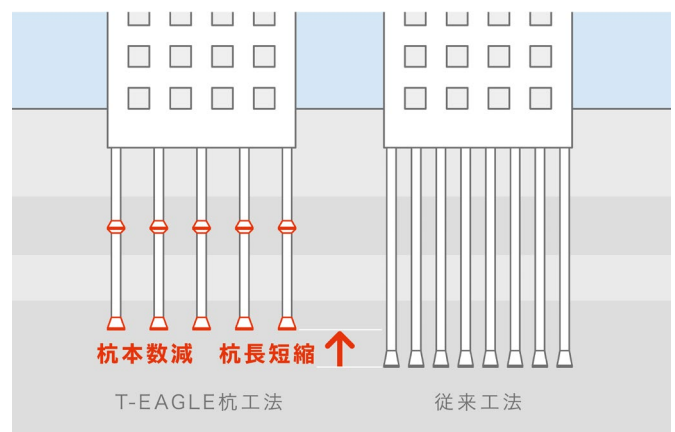
1. はじめに

大口径多段拡大場所打ちコンクリート杭工法「T-EAGLE 杭工法」は、場所打ち杭の先端と中間部に最大径 5.5m の拡大部を設けて高支持力化を図る基礎杭工法である(図-1)。近年増加している超高層建物や大きな柱スパンを有する建物、あるいはアスペクト比の大きな建物で生じる大きな常時荷重、引抜き荷重に抵抗できる杭工法として、中層から超高層までの幅広い建物規模への適用が見込まれている。その開発にあたっては、試験サイトでの大規模な施工試験(写真-1)により、専用の特殊な掘削バケットの性能や施工した杭の品質を確保するための施工方法を確認した上で、原位置での実大載荷試験、遠心力載荷装置を用いた模型実験、数値解析などにより、杭の支持力・引抜き抵抗力の評価²⁾³⁾を実施している。また、当社開発のCO₂排出量を抑えた環境配慮コンクリート「T-eConcrete®/建築基準法対応型(高炉セメント C 種相当を用いたコンクリート)」のT-EAGLE 杭への適用性を確認する現場打設実験⁴⁾を行い、その結果をもとに当該コンクリートを適用する際の品質管理方法を定めている。T-EAGLE 杭工法は、以上の施工法・支持力評価法に関して、一般財団法人ベターリビングより建設技術審査証明(BL 審査証明-043)及び評定(BL 評定 CBL FP012-19号)を取得済みである。

今回、都内の超高層案件において T-EAGLE 杭が適用される運びとなった。本報では、当案件において T-EAGLE 杭の鉛直支持性能や施工精度を確保するために実施した施工方法に関する事例について報告する。



(a) 鉛直支持力・引抜き抵抗力の向上



(b) 杭本数・杭長の縮減

図-1 T-EAGLE 杭工法の概要
Fig.1 Outline of T-EAGLE piling method

*1 技術センター 都市基盤技術研究部 構造研究室
*2 設計本部 構造設計第一部
*3 建築本部 技術部

*4 システム計測(株)



(a) 表層での掘削試験 (b) 杭の掘出し

写真-1 現場施工試験の状況

Photo.1 State of field construction test

2. 超高層建物での施工事例

2.1 適用概要

本建物は、都内に建設される高さ 200 m を超える超高層建物である。図-2 に基礎平面図を示す。敷地内の大部分では既存建物の基礎底盤を再利用し、直接基礎形式で支持される。一方、当該範囲外では逆打ち施工のための構真柱杭（場所打ち杭）が施工され、新設の基礎底盤とのパイルドラフト基礎形式による支持形態となる。建物全体としては、直接基礎とパイルドラフト

基礎を併用する異種基礎形式となる。パイルドラフト基礎エリアのうち、特に柱スパンが大きい箇所（図-2 赤丸部）では高軸力が作用することから、基礎杭の過大な沈下による逆打ち先行床の変形が懸念されたため、沈下抑止を目的に T-EAGLE 杭が採用されることとなった。

図-3 に、敷地内で事前に実施した地盤調査により得られた複数のボーリング柱状図のうち、T-EAGLE 杭の位置に最も近いものを示す。当ボーリング位置と T-EAGLE 杭の位置の平面距離は約 30 m である（図-2 参照）。柱状図より、基礎底直下より洪積砂質地盤が断続的に続いており、建物全体を直接基礎として支持可能な地盤条件であることが分かる。細砂層を基本とする地層構成であるが、一部砂質シルト層が介在しており、特に GL-30 m 付近（多段拡大杭の中間拡大部付近）には N 値のやや小さい砂質シルト層が存在している。

2.2 T-EAGLE 杭施工の概要

図-3 に施工した T-EAGLE 杭の概要を併記している。寸法は軸部径 3.0 m、中間拡大部径及び拡底部径 5.3 m（施工径）、杭長 30 m であり、コンクリートは設計基準強度 60 N/mm² である。逆打ち施工のため、コンクリート打設前には鉄筋かご及び鉄骨構真柱が建て込まれる。アースドリル工法による施工を基本とし、拡大部（中間拡大部と拡底部の総称）の掘削には写真-2 に示す専用の拡大掘削バケット⁵⁾を用いた。施工期間は、

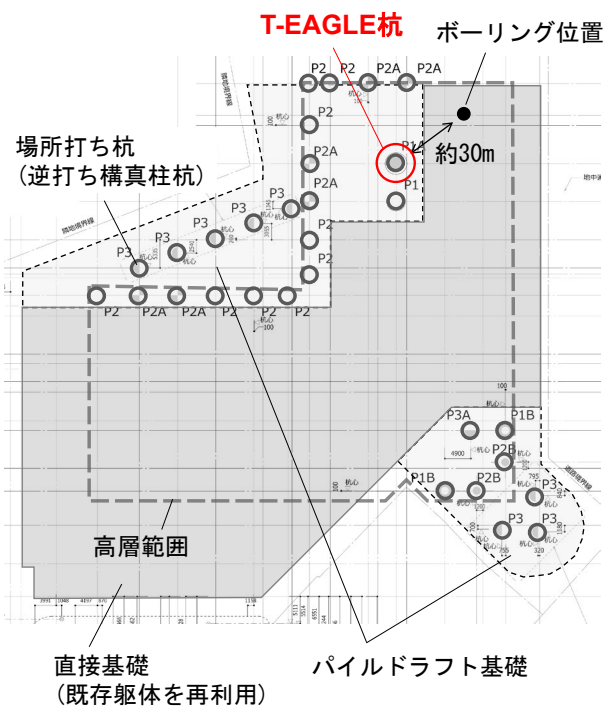
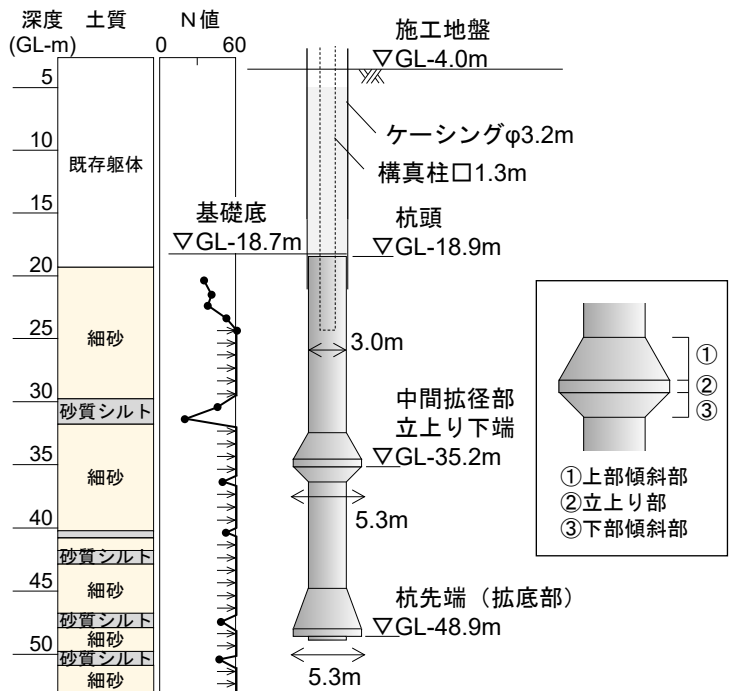


図-2 基礎平面図
Fig.2 Foundation plan



※柱状図は杭位置から約30m離れた既存躯体エリアでの地盤調査結果（図-2参照）

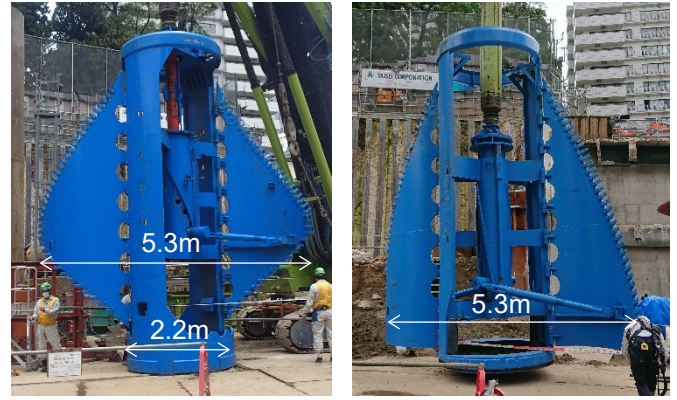
図-3 地盤状況と施工した T-EAGLE 杭
Fig.3 Soil profile and installed T-EAGLE pile

表層付近の障害撤去期間を除くと、軸部掘削～コンクリート打設まで7日程度であった。図-4 に掘削完了後の拡大部の超音波孔壁測定結果を示す。所定の形状を満足する掘削形状が得られていることが分かる。

2.3 施工手順

図-5 に、今回の施工で実施した T-EAGLE 杭の施工手順を示す。上述の地盤調査結果より、中間拡径部付近に *N* 値のやや小さい砂質シルト層が存在することが予想されたため、中間拡径掘削前に杭全体での地層構成を確認できるよう、軸部を杭先端付近まで先行して掘削する手順を取った。使用した中間拡径バケツは油圧を動力源とするタイプであり、掘削孔底に対して反力を取る必要が無いため、軸部を先行掘削した状態でも拡大翼を開閉できる（アースドリル機のケーシングに吊り下げた状態でも拡大翼を開閉できる）。中間拡径掘削による掘削土は先行掘削した軸部に落とし込み、その後軸部掘削用のバケツでまとめて回収する。この手順を採用することで、先行軸部掘削後に支持層出現深度と中間拡径部の計画深度との照合を行い、中間拡径部の支持性能発現に寄与する下部傾斜部及び立上り部（図-3 参照）を確実に支持層に定着させることができた。

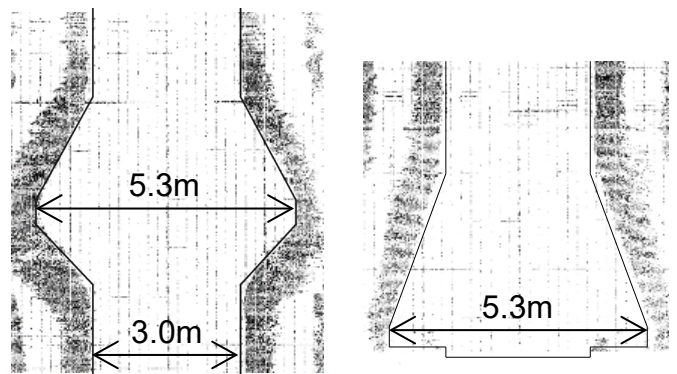
また、先行軸部掘削での掘削径は、設計上の軸部径である 3.0 m ではなく、中間拡径バケツの閉翼時の本



(a) 中間拡径バケツ (b) 拡底バケツ

写真-2 施工に用いた拡大掘削バケツ

Photo.2 Belling buckets used in excavation



(a) 中間拡径部 (b) 拡底部

図-4 拡大部の超音波孔壁測定結果

Fig.4 Results of ultrasonic measurement on bell enlargements

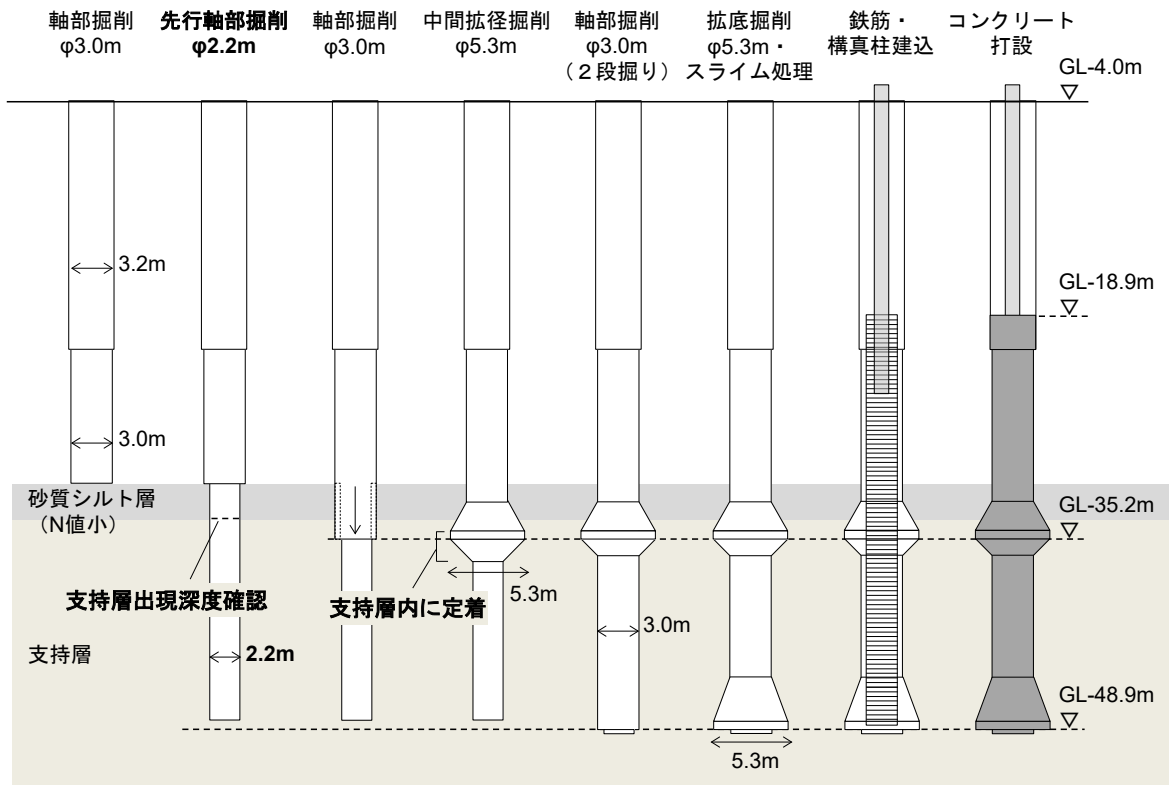


図-5 今回の施工手順

Fig.5 Construction procedure in this practical case

体径と同じ2.2mとした。これにより、図-6に示すように、先行軸部の孔壁が当該バケット下部でのスタビライザーの役割を果たし、水平方向の保持性が高められたことで、中間拡径掘削時の当該バケットの軸振れを防止し、安定した掘削を行うことができた。この結果、前述のように中間拡径部は良好な掘削形状が得られている。なお、φ2.2mで先行掘削した軸部は、中間拡径掘削による掘削土の回収を兼ねて、φ3.0mで再度軸部掘削（2段掘り）を行った。

3. おわりに

都内の超高層案件における T-EAGLE 杭の実施工事例について報告した。本施工では、施工手順の工夫により、杭の鉛直支持性能に寄与する支持層管理や施工精度の確保を確実に行うことができた。これに加えて、杭位置での地盤調査の実施や拡大掘削バケットの改良などにより、さらに施工効率を向上させることができると考えられる。これらの知見を、今後の適用案件での施工に活かしていくことが重要である。

謝辞

本施工の計画・実施にあたっては、大成建設(株)・小林氏、廣岡氏、本田氏、染谷氏にご協力賜りました。ここに謝意を表します。

参考文献

1) 濱健太郎, 渡邊徹, 堀井良浩, 秋月通孝, 岩田暁洋, 村

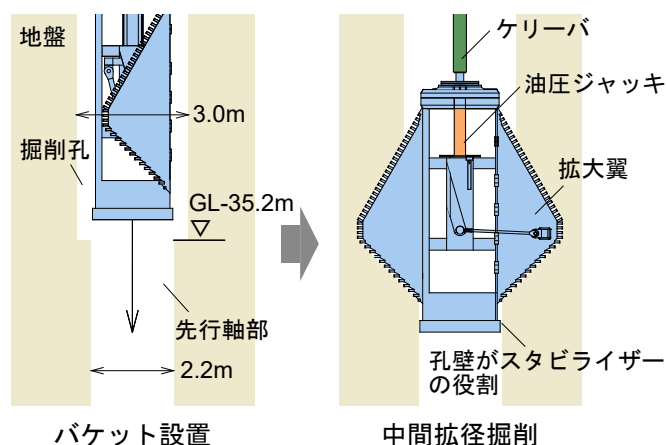


図-6 中間拡径部の掘削状況

Fig.6 Excavation state of intermediate bell

松見次, 中西義隆, 小座間琢也: 多段拡径場所打ちコンクリート杭工法「T-EAGLE®杭工法」の開発, 大成建設技術センター報, 第52号, 30, 2019.

- 2) 濱健太郎, 渡邊徹, 堀井良浩, 村松晃次, 中西義隆, 藤田峻也: T-EAGLE®杭の砂質地盤における鉛直支持力の評価, 大成建設技術センター報, 第53号, 14, 2020.
- 3) 濱健太郎, 渡邊徹, 堀井良浩, 村松晃次, 中西義隆, 藤田峻也: T-EAGLE®杭の砂質地盤における引抜き抵抗力の評価, 大成建設技術センター報, 第54号, 22, 2021.
- 4) 濱健太郎, 加藤雅樹, 渡邊徹, 山本佳城, 渡邊悟士, 加藤優志, 今井和正: 環境配慮コンクリートの場所打ち杭への適用性検討「T-eConcrete®/建築基準法対応型」の多段拡大杭への打設実験, 大成建設技術センター報, 第55号, 07, 2022.
- 5) 濱健太郎, 渡邊徹, 堀井良浩, 秋月通孝, 岩田暁洋, 中西義隆, 小座間琢也, 向井洋一: 機械式拡径掘削バケットを用いる多段拡大場所打ちコンクリート杭の原位置実大施工試験による品質確認, 日本建築学会技術報告集, 第27巻, 第67号, pp.1219-1224, 2021.