

狭隘地で施工可能な地盤改良併用鋼管杭工法の開発

渡 邊 康 司 須 藤 敏 巳
(本社建築部)

山 本 忠 久
(本社土木本部)

Development of Steel Pipe Pile Combined Ground Improvement in Narrow Spaces

Koji Watanabe Toshimi Sudo
Tadahisa Yamamoto

Abstract

Recent years have witnessed an increase in improvement works and seismic strengthening works for existing structures. In particular, the construction of piles in narrow spaces is subjected to restrictions on the construction site and the construction term. Therefore, this study developed a steel pipe pile combined ground improvement that employs a mechanical agitation machine (e-column construction method[®]). This paper first provides a brief summary of the developed construction method, then describes static load tests and rapid load tests, and finally discusses the performance of the joint part of the steel pipe piles. The results of load tests suggest that the bearing capacity is evaluated using the undrained shear strength and the SPT N-value. And also it is possible that the simplified rapid load test is applied the confirmation of bearing capacity at the construction site. Moreover, it is found that the experimentally determined maximum tensile resistance of the joint part of the steel pipe piles is larger than that obtained from the calculation formula.

概 要

近年、駅舎などに代表される既設建造物の改良工事や耐震補強工事が増加傾向にある。特に、都市部の狭隘地における杭工事や既設建造物の耐震補強における杭工事は、敷地や工程などの制約を大きく受けることとなる。また、騒音や産業廃棄物など周辺環境へ配慮することも重要な課題となっている。そこで、コンパクトな機械攪拌式施工機械（e-コラム工法[®]）で施工が可能な地盤改良を併用した鋼管杭工法を開発した。本論文では、地盤改良を併用した鋼管杭に対して、静的載荷試験および急速載荷試験を実施し、その支持力特性を評価した。さらに、鋼管杭接合部の耐力を評価した。その結果、極限周面摩擦力度と地盤の非排水せん断強度の関係および極限先端支持力度とN値との関係を明らかにした。また、簡易急速載荷試験が施工後の支持力確認に適用可能であることを確認した。さらに、本工法で採用した接合部が、接合部の最大耐力算定式から得られる値と同等以上の最大耐力を有していることを確認した。

1. はじめに

都市部の狭隘地や低空頭での施工に適した杭工法としては、比較的施工機械の小さい場所打ち杭工法があり、機械高さ4.5m程度のTBH工法（Top-Boring Hole工法）がよく用いられている。しかし、この施工機械も狭隘地や低空頭での施工が強えられる条件では、建築限界や既設建造物に支障するケースが多い。特に、線路近傍やホーム上における杭工事では、施工空間を確保するための仮設工事を行ってから、杭を施工しているのが現状である。TBH工法よりも狭隘・低空頭な施工環境に対応できる工法としてBH杭工法（Boring Hole工法）が挙げられる。しかしながら、BH杭工法は正循環工法であるため孔壁にマッドケーキが形成されやすく、かつ杭先端にスライムが沈殿する傾向がある。そのため、杭の支持力を低下させ、沈下が生じやすくなるという欠点を有する。このように都市部の狭隘地における杭工法は、施工方法

および支持力・沈下に関する問題など解決すべき課題が多く残されている。

都市部の狭隘地における杭工事や既設建造物の耐震補強における杭工事は、敷地や工程などの制約を大きく受けることとなる。また、騒音や産業廃棄物など周辺環境へ配慮することも重要な課題となっている。そこで、軽量建造物の基礎杭に適用することを目的として、コンパクトな機械攪拌式施工機械を用いて施工が可能な地盤改良を併用した鋼管杭工法を開発した^{1), 2), 3)}。施工機械は、Photo 1およびFig. 1に示すパイプレーション機構を付加して削孔能力を向上させた機械攪拌式施工機械（e-コラム工法[®]）である。e-コラム施工機械を用いることで、通常では施工が非常に困難であった狭隘地において杭の施工が可能となる。さらに、プレボーリング工法のように杭の構築の際に、所定の深さまで掘削する必要がなく、原位置においてセメントミルクとともに攪拌するため、杭の施工に伴う建設発生土を大きく低減できるという特



Photo 1 e-コラム工法施工機械
Construction Machine of e-column
Construction Method

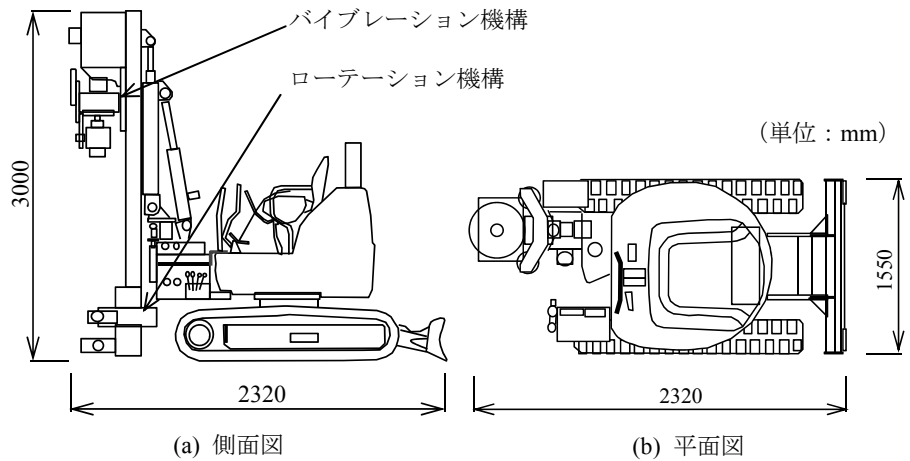


Fig. 1 e-コラム工法施工機械寸法

Dimensions on Construction Machine of e-column Construction Method

徴を有する。施工方法は、e-コラム施工機械で想定支持層まで先行して攪拌混合を行なった後に、鋼管をジョイントしながら建込み、構造物を支持する基礎杭を構築する。

本報では、e-コラム工法で施工した鋼管杭に対して静的載荷試験および急速載荷試験を実施し、その支持力特性を評価した。さらに、鋼管杭接合部の引張耐力に関して性能を評価した。

2. 地盤改良併用鋼管杭の概要

本工法で施工される杭は、支持杭タイプと摩擦杭タイプの2種類である。これは、杭の先端形状および地盤改良体であるソイルセメントの目標強度により異なる。まず、支持杭タイプは、ソイルセメントの目標強度が $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ 、杭の先端はFig. 2(a)に示すように杭先端に設けたフランジが想定支持層上に位置するとともに鋼管を想定支持層に50mm根入れすることとなる。一方、摩擦杭タイプは、ソイルセメントの目標強度が $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 、杭の先端はFig. 2(b)に示すようにソイルセメントで構築される地盤改良体内に収まる形状となる。また、鋼管杭の接合部は鋼管の両端にフランジを設け、そのフランジ間をボルトにより接合する (Fig. 5参照)。本工法で施工される杭は、狭隘地での施工に対応することを想定しているため、鋼管を1.0~1.5m程度と短尺で接合することとしている。このように短尺で接合するため、1.0~1.5mピッチで接合部のフランジが存在することとなる。このフランジ部が、鋼管杭とソイルセメントの付着を確保することに寄与している。杭材に用いる鋼管は、JIS規格のSTK鋼管とし、廉価に所定の品質を有する杭を構築できるよう配慮している。

本工法を用いた場合の標準的な施工過程を以下に示す。

1) 想定支持層まで先行して攪拌混合し、地盤改良体であるソイルセメントを構築する。この際、所定の深度までロッドを繋ぎながら削孔を行なう。

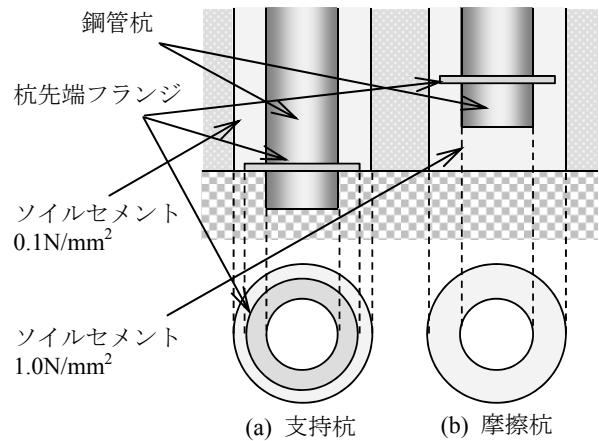


Fig. 2 杭先端形状
Shape of Pile Tip

2) 未固結な状態の地盤改良体内に鋼管杭をジョイントしながら建て込む。

3) 鋼管杭を所定の杭長分建て込んだ後に、支持杭タイプの場合は、e-コラム施工機械のパイプレーション機構を利用して支持層に鋼管杭を貫入する。

4) 杭構築完了後、必要に応じて支持力確認を目的とした簡易急速載荷試験を実施する。ただし、実杭として供用する杭に対しての簡易急速載荷試験は、長期荷重相当の荷重までの載荷とする。

以上の施工をPhoto 1およびFig. 1に示すe-コラム施工機械のみで行えることが本工法の特徴である。本工法で用いる施工機械の平面寸法は、幅1.55m、奥行き2.32mと非常にコンパクトである。さらに、施工機械の高さは、リーダーを含めて3.0mと低空頭での施工が可能である。このようにコンパクトでありながらパイプレーション機構を付加することにより攪拌混合能力を向上させた。攪拌混合能力の検証から、N値40~50程度の砂層も攪拌混合することが可能であることを確認している⁴⁾。

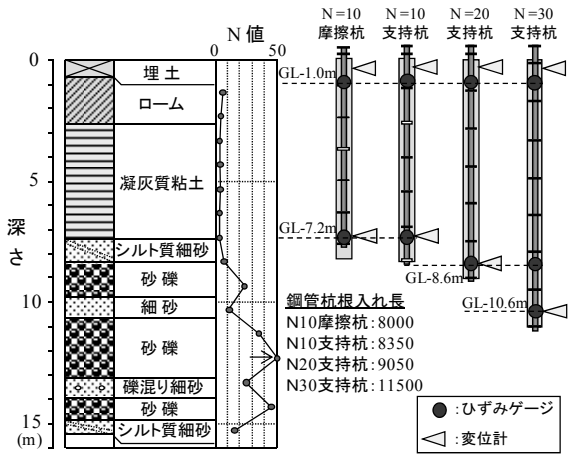


Fig. 3 地盤条件および試験条件
Soil Profile and Test Condition

Table 1 物理試験結果および一軸圧縮試験結果
Results of Physical Tests and Unconfined Compression Tests

深度 (GL-m)	土質	湿潤密度 (g/cm ³)	自然含水比 w _n (%)	一軸圧縮強度 q _u (kN/m ²)
1.5~2.5	ローム	1.33	107.4	36
3.0~4.0	凝灰質粘土	1.69	52.9	89
5.0~6.0	凝灰質粘土	1.67	55.4	30

3. 実大載荷試験

本章では、地盤改良併用鋼管杭の支持力特性を評価するために実施した静的載荷試験と施工後の支持力確認に用いる簡易急速載荷試験の適用性を検証するために実施した急速載荷試験について示す。

3.1 載荷試験条件

地盤条件および試験杭をFig. 3に示す。試験地盤はGL-7.0m程度までがロームおよび凝灰質粘土、GL-7.0m以深が砂礫および細砂で構成されている。粘性土層における物理試験結果および一軸圧縮試験結果をTable 1にまとめて示す。Table 1より、GL-1.5m~GL-6.0mの一軸圧縮強度は30~89kN/m²であった。

静的載荷試験杭は4本施工し、支持杭仕様のものが3種類、摩擦杭仕様のものが1種類となっている。支持杭仕様の試験杭は、想定支持層をN=10, 20, 30として支持層に根入れした。一方、摩擦杭仕様の試験杭は杭先端地盤をN=10程度の地盤に根入れした。Fig. 4に試験杭および反力杭の配置を示す。なお、急速載荷試験杭も静的載荷試験杭と同様に4本施工し、支持杭仕様のものが3種類、摩擦杭仕様のものが1種類である。試験杭は先行削孔径φ500mm、フランジ径φ305mm、軸部φ190.7mm、肉厚t5.3mmの鋼管である。先行削孔した改良部分のソイルセメントの目標強度は、支持杭仕様で0.1N/mm²、摩擦杭仕様で1.0N/mm²である。目標強度に対する単位セメント量は、事前に原位置にて採取した地盤材料を用いて実施した配合試験結果に基づき、支持杭で120kg/m³、摩擦杭で

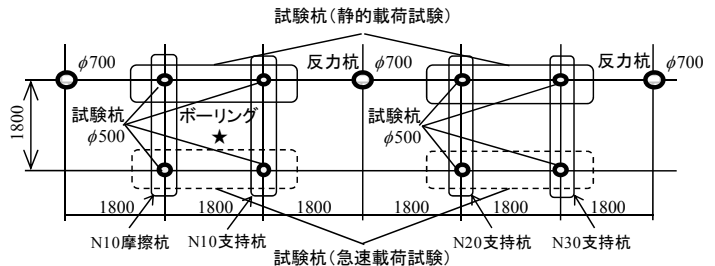


Fig. 4 試験杭および反力杭の配置
Arrangement of Test Piles and Reaction Piles

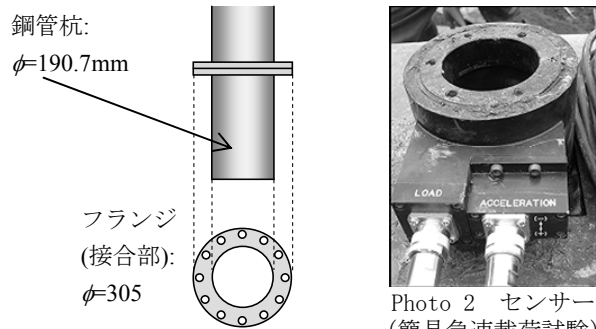


Fig. 5 接合部の詳細
Details of Jointed Part

Photo 2 センサー
(簡易急速載荷試験)
Sensor of Easily Rapid Load Test

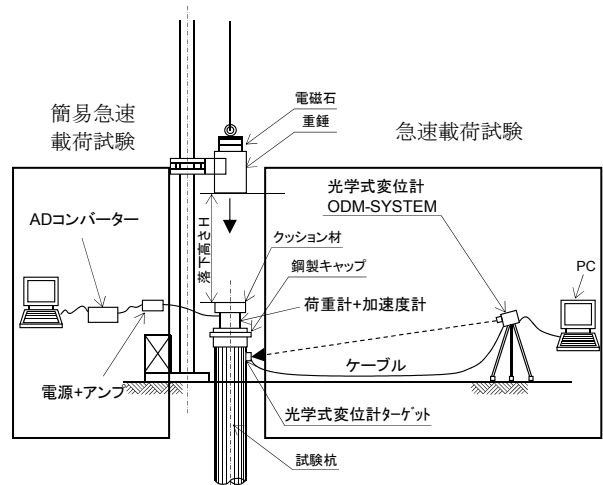


Fig. 6 計測システム (急速載荷試験)
Measurement System of Rapid Load Test

250kg/m³とした。載荷試験後に実施したコア強度試験結果より、支持杭仕様で0.15N/mm²、摩擦杭仕様で2.2N/mm²となり、目標強度を満足していることを確認している。Fig. 5に試験杭接合部の詳細を示す。Fig. 5に示すように、接合部は2枚のフランジをトルシヤボルト (S10T, M20) で接合している。

静的載荷試験は、地盤工学会基準“杭の鉛直載荷試験方法・同解説”⁵⁾に準拠して実施した。載荷方法は段階載荷・多サイクル方式を採用し、新規荷重保持時間30分、履歴荷重保持時間2分、ゼロ荷重保持時間を2分とした。測定項目は、杭頭荷重、杭頭および杭先端変位、鋼管のひずみである。杭先端変位は二重管方式で測定した。一

方、急速荷重試験も静的荷重試験と同様に、地盤工学会基準“杭の鉛直荷重試験方法・同解説”に準拠して実施した。荷重方法は重錘落方式の急速荷重試験で、本荷重試験には9.8kNの重錘を用いた。急速荷重試験の相対荷重時間 T_r は、式(1)により定義される。

$$T_r = t_L / (2L/c) \geq 5 \quad (1)$$

t_L : 荷重時間, L : 杭長, c : 縦波伝搬速度

杭長11.5m (N30支持杭) のケースで相対荷重時間を検

討すると、 $T_r=9.35$ となる。以上のことから、本荷重試験は地盤工学会基準で規定されている $T_r \geq 5$ の関係を満足しているため波動現象の影響を無視できる。測定項目は、杭頭変位、杭頭における加速度、鋼管のひずみである。

本試験では通常の重錘落方式の試験に加え、施工後の品質管理に用いる簡易型急速荷重試験の適用性に関する検証も同時に行なった。簡易急速荷重試験で用いたセンサーをPhoto 2に、急速荷重試験の測定システムをFig. 6

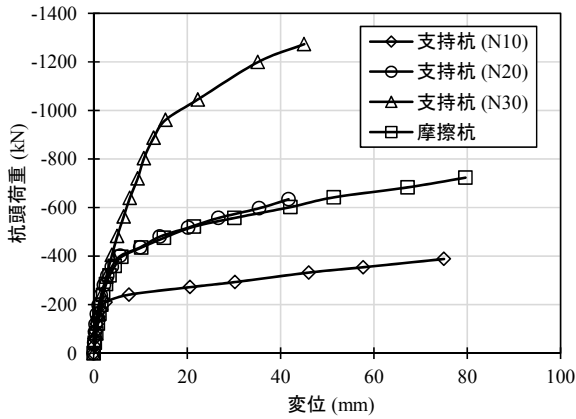


Fig. 7 杭頭荷重-変位関係

Relationships between Load and Displacement at Pile Head

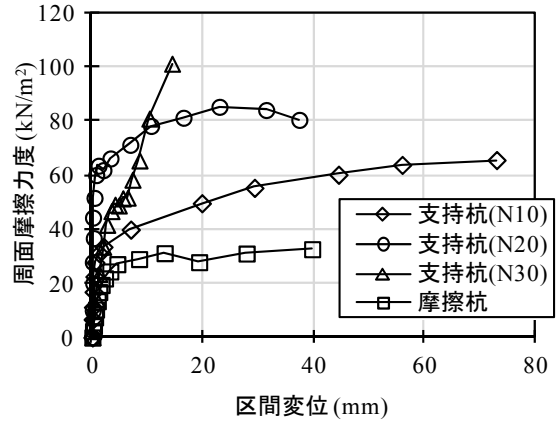
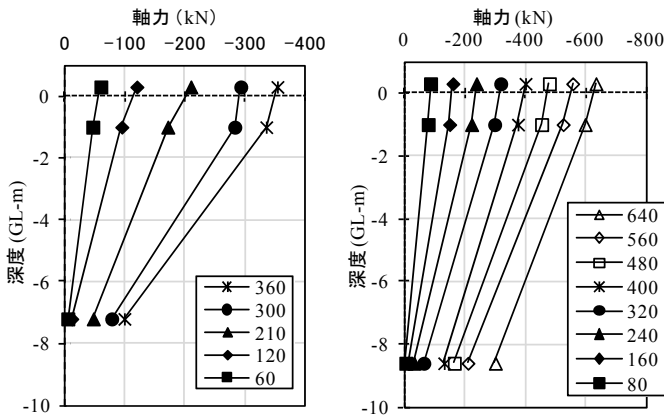


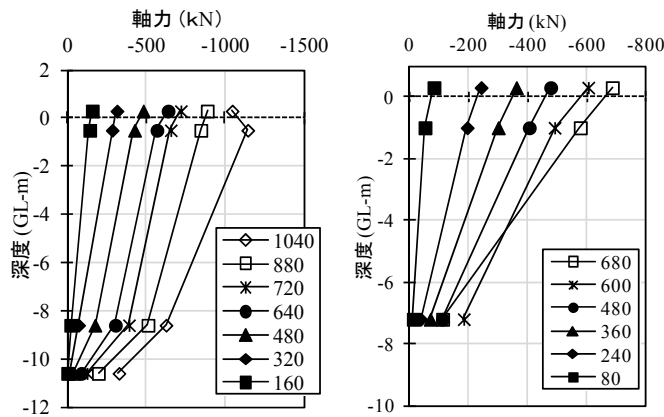
Fig. 9 周面摩擦力度-変位関係

Relationship between Shaft Friction and Displacement



(a) 支持杭 (N10)

(b) 支持杭 (N20)



(c) 支持杭 (N30)

(d) 摩擦杭

Fig. 8 軸力分布
Distributions of Axial Force

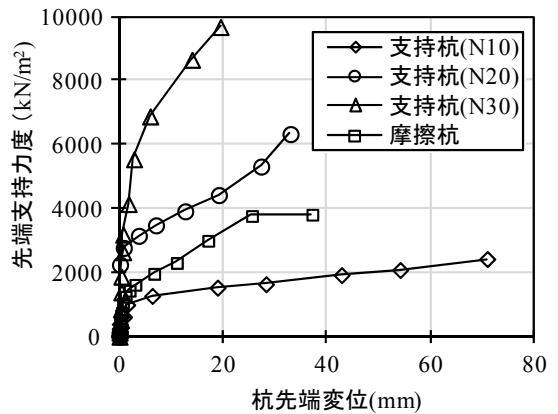


Fig. 10 杭先端支持力度-変位関係

Relationships between Bearing Capacity and Displacement

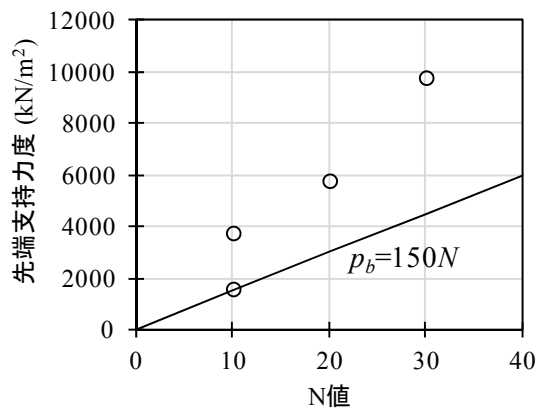


Fig. 11 極限先端支持力度-N値関係
Relationships between Ultimate Bearing Capacity and SPT-N Value

に示す。通常の急速載荷試験では、杭頭における荷重、加速度および変位の測定を行うのに対して、簡易急速載荷試験ではロードセルと加速度計を一体としたセンサーを杭頭に設置し測定を実施する。さらに、計測したデータを取り込むと同時に自動計算し静的荷重-変位関係が得られるシステムとなっている。この際、変位は加速度を2階積分し算出する。ただし、本載荷試験で用いた簡易急速載荷試験のセンサーは、想定した杭の長期支持力相当の最大荷重250kNまでの容量とした。また、現場における品質管理に用いる場合には、杭の品質も考慮して長期相当の杭頭荷重や初期剛性の確認に限定される。静的荷重の算出方法は急速載荷試験、簡易急速載荷試験ともに除荷点法を採用した。除荷点法は得られた荷重から動的抵抗成分を除去することにより静的荷重を算出する方法である。

3.2 静的載荷試験結果

杭頭における荷重-変位関係をFig. 7に示す。最大荷重は、それぞれ380kN, 720kN, 1280kN, 620kNである。いずれの杭も載荷初期から曲線が立ち上がり、大きい初期剛性を有していることがわかる。その後、載荷とともに曲線の勾配が変化し、最大荷重に達している。各杭の剛性を比較すると、支持杭に関しては支持層のN値の大きいものほど大きな剛性を有しており、摩擦杭に関しては支持層のN値20相当の支持杭と同等の剛性を有していることがわかる。Fig. 8 (a)~(d)に各杭の軸力分布を示す。ここで、軸力は鋼管のみを考慮し、試験から得られた鋼管のひずみに鋼材の弾性係数および鋼管の断面積を乗じることにより算出した。支持杭の軸力をみると荷重の増加とともに、先端到達軸力も増加しており、支持杭としての挙動を示していることがわかる。一方、摩擦杭に関しては、荷重の増加とともに軸力差が大きくなっている。この軸力差を周面積で除して算出した周面摩擦力度と変位の関係をFig. 9に示す。周面積の算出に際しては、摩擦杭はソイルセメントの改良径を用いた。これは、鋼管の接合に用いたフランジがソイルセメントと鋼管の付着を高めるとともに、ソイルセメント強度が支持杭に比べ大きいことにより一体挙動したと推察できるためである。また、支持杭に関しては鋼管の軸部径を用いて周面積を算出した。Fig. 9によれば、最大周面摩擦力度31kN/m²~100kN/m²に達していることがわかる。当該区間の地盤の一軸圧縮強度の平均値51kN/m²と比較すれば、地盤の非排水せん断強度 (=26kN/m²) 以上の周面摩擦力度を発生していると考えられる。Fig. 10に先端支持力度と先端変位の関係を示す。先端支持力度は杭先端到達軸力を支持層もしくはソイルセメント改良体内の杭先端近傍の鋼管フランジ部分の面積で除して算出した。基準変位を鋼管のフランジ径の10% (変位が到達してないものは最大値) として比較すると、支持杭でそれぞれ1600, 5800, 9800, 摩擦杭で3500kN/m²と大きな支持力度となっていることがわかる。ここで、摩擦杭の先端支持力度が同一

地盤に根入れした支持杭より大きくなった理由は、杭先端近傍のフランジがソイルセメントに対して抵抗したためであると考えられる。極限先端支持力度と支持層地盤のN値の関係をFig. 11に示す。同図より、支持力係数 α は各杭とも150以上の値を示すことが確認できた。以上のことから、本開発工法の支持力特性を評価すると式(2)および式(3)に示す通りとなる。極限周面摩擦力度および極限先端支持力度は、日本建築学会・基礎構造設計指針⁶⁾に示される場所打ちコンクリート杭と同等以上の支持力評価が可能となる。

極限周面摩擦力度

$$\text{粘性土：}\tau_c=c_u \quad (2)$$

τ_c : 粘性土における周面摩擦力度 (kN/m²)

c_u : 当該区間の非排水せん断強度 (kN/m²)

極限先端支持力度

$$\text{砂質土：}p_b=150N \quad (3)$$

p_b : 先端支持力度 (kN/m²)

N : 杭先端支持層のN値

以上のことから、極限支持力算定式は式(4)および式(5)に示す通りとなる。

$$\text{支持杭：}Q_e=\tau_c\phi_eL_e+p_bA_f \quad (4)$$

Q_e : 支持杭の極限支持力 (kN), ϕ_e : 鋼管軸部周長 (m), L_e : 鋼管杭長 (m), A_f : フランジ面積 (m²)

$$\text{摩擦杭：}Q_f=\tau_c\phi_fL_f+p_bA_f \quad (5)$$

Q_f : 摩擦杭の極限支持力 (kN), ϕ_f : ソイルセメント改良体周長 (m), L_f : ソイルセメント改良体長 (m), A_f : フランジ面積 (m²)

3.3 急速載荷試験結果

Fig. 12に採用した荷重サイクルを示す。落下高さを0.25m~2.25mの範囲で変えることで杭に作用させる荷重をFig. 12に示すように変化させている。Fig. 13に杭頭部における荷重-変位関係を杭の種類別に示す。ここで、同図には急速載荷試験と簡易急速載荷試験の結果と同時に静的載荷試験結果も示しており、両者の試験結果の比較も行っている。簡易急速載荷試験は最大荷重約150kN~250kNの範囲にとどまっている。これは簡易急速載荷試験に用いた加速度計と一体型のセンサー容量の制約に

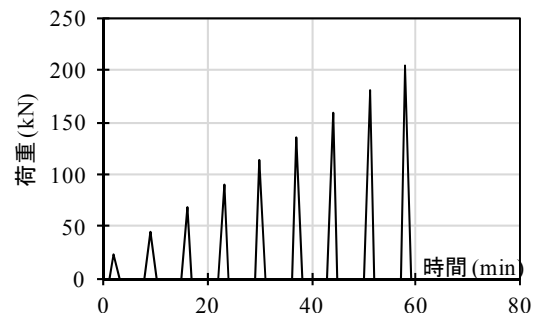


Fig. 12 荷重サイクル (急速載荷試験)
Load Cycles of Rapid Load Test

よるものである。各杭の杭頭部における荷重-変位関係を見ると、支持杭 (N30) において初期剛性に若干の差異はあるものの、静的荷重試験結果、通常の急速荷重試験による結果および簡易急速荷重試験による結果はセンサー容量 (250kN) の荷重の範囲内ではほぼ一致しており、十分な精度を有していることが確認できた。特に、簡易急速荷重試験の場合には、変位を加速度の2階積分で算出しているので実測の変位量との差異が生じることが懸念されたが、今回の荷重試験結果から、その影響は小さいと考えられる。したがって、最大荷重250kNの範囲内では従来の急速荷重試験とほぼ一致する試験結果が得られ、現場における品質管理には十分適用できると考えられる。

4. 鋼管杭接合部に関する検討

本章では、地盤改良併用鋼管杭の接合部に関する検討を実施した。接合部に関しては、鋼管の最大耐力以上となるように設計的な検討を実施している。開発した杭は鉛直方向のみに抵抗することを想定しており、水平力は負担させない。そこで、接合部の耐力を確認するために、引張試験を実施した。

4.1 引張試験概要

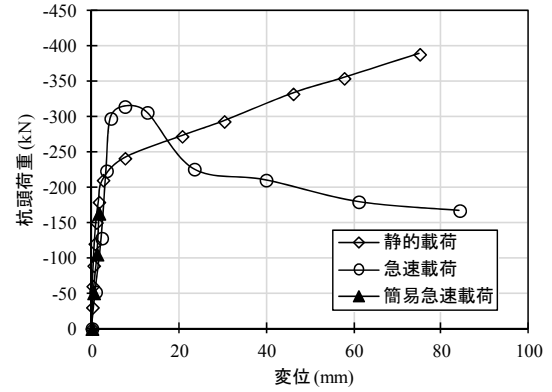
接合部の荷重試験に先立ち、試験に使用した鋼管の機械的性質を調べるため、材料試験 (引張試験) を実施した。材料試験片はJIS-Z-2201に準拠した試験片である。材料試験結果一覧をTable 2に示す。

引張試験体は、STK400鋼管 (外径φ=190.7mm, 肉厚t=5.3mm) に10Kフランジ (SS400) を溶接し製作した。試験体長さは1044mm (鋼管部+リブ部+フランジ厚) である。フランジ間のジョイントは、トルシヤボルト (S10T, M20) で接合した。したがって、所定のトルクが作用した際にインナースリーブのピンテールが破断し、ボルトに導入される軸力の管理が可能となる。引張試験体概要をFig. 14に示す。引張試験には、3MN構造試験機を使用し、段階的に荷重を増加させ、いずれかの部位で破壊が生じるまで引張試験を実施した。また、引張試験は再現性を確認するために3体の試験体について実施した。

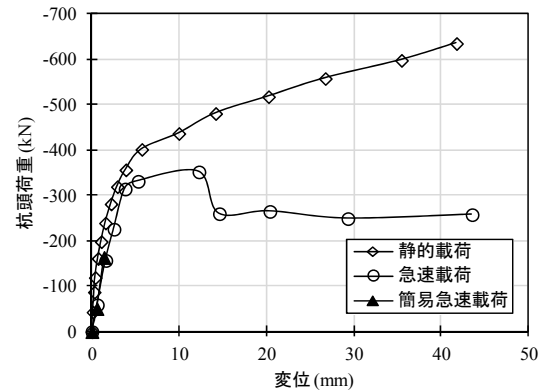
4.2 実験結果

Fig. 15に引張試験の荷重-引張変位関係を示す。ここで、引張変位はフランジ上下の8点 (=4点×2) で計測した値の平均値とした。引張試験は3体の試験体 (No.1~No.3) について実施したが、いずれの荷重-変位関係もほぼ一致していることがわかる。また、試験中の最大荷重は破壊の直前に記録され、その値は1400kN程度である。

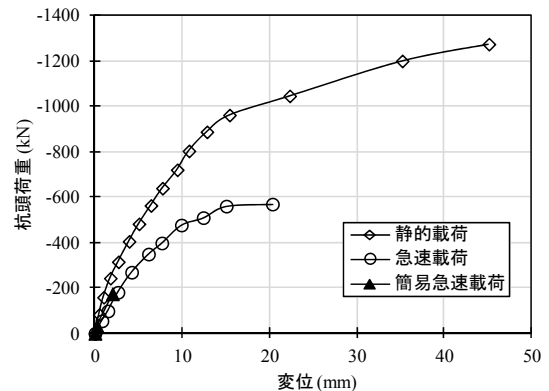
試験体の変形は、約800kN程度から初期剛性を保てない結果となり、荷重に対する変形量の増大が認められる。Fig. 16の荷重-ひずみ関係より、フランジから離れた位置での鋼管中央部のひずみ測定値 (Sec-2, 4) は初期剛性を保っているが、フランジ近傍の鋼管におけるひずみ測定



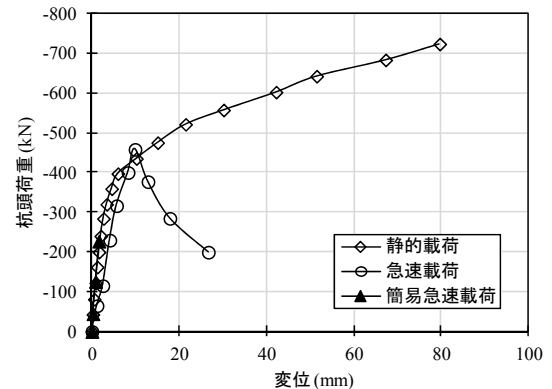
(a) 支持杭 (N10)



(b) 支持杭 (N20)



(c) 支持杭 (N30)



(d) 摩擦杭

Fig. 13 杭頭荷重-変位関係
Relationships between Load and Displacement at Pile Head

Table 2 材料試験結果
Results of Material Tests

	降伏耐力 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破断伸び (%)
1	394.9	483.0	38.8
2	407.8	495.2	41.3
3	410.8	486.3	39.6
Ave.	404.5	488.2	39.9

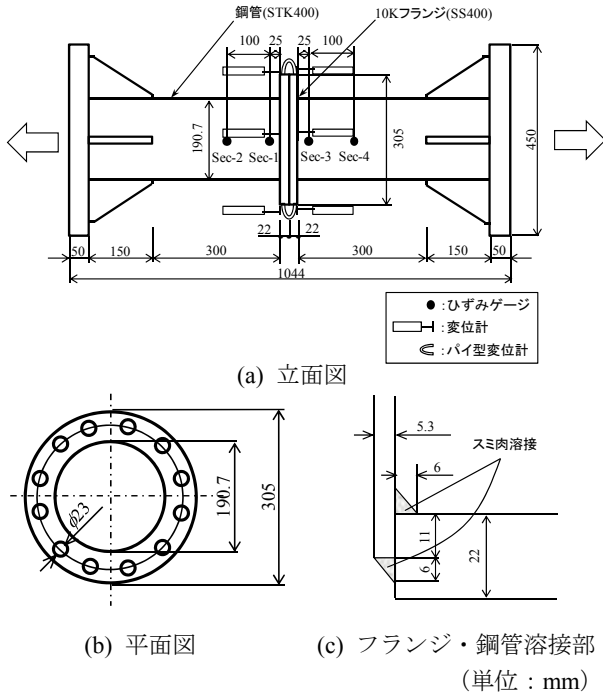


Fig. 14 引張試験体概要

Summary of Test Specimen for Tension Load Test

値 (Sec1, 3) に800kN程度で変化が認められる。Fig. 17 には、引張荷重-フランジ変位関係を示す。ここで、フランジ変位はフランジ間の離間を意味しており、パイ型変位計により4点計測した。Fig. 17に示すように、フランジ間の変位が荷重の増加とともに圧縮側の値を示している。以上の試験結果より、試験体の剛性低下はフランジの曲げ変形によるものと考えられる。なお、鋼管中央部ひずみ測定値の増加が始まる荷重は、鋼管断面積に材料試験結果の引張強度の値を乗算した値に近似した1200kN程度である。引張試験体の破壊状況をPhoto 3に示す。試験後の試験体を観察したところ、フランジ内周の離間が観測された。フランジはフランジ外周端部付近を支点として曲げ変形を起こしており、接合ボルトも曲げ変形を起こしている様子が観察された。また、鋼管中央部に縮径の発生が観察された。試験体の破壊は、いずれの試験体もフランジ-鋼管溶接部近傍の熱影響部で鋼管が破断した事によると考えられる。

本載荷試験から得られた最大耐力と日本建築学会・鋼構造接合部設計指針⁷⁾に示される鋼管フランジ継手の最大耐力の算定式から得られる値を比較する。引張を受けるリブなし鋼管フランジ継手の最大耐力 T_u は式(6)に示

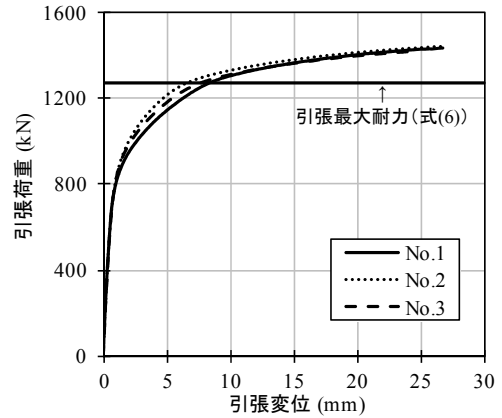


Fig. 15 引張荷重-変位関係
Relationships between Tension Load and Displacement

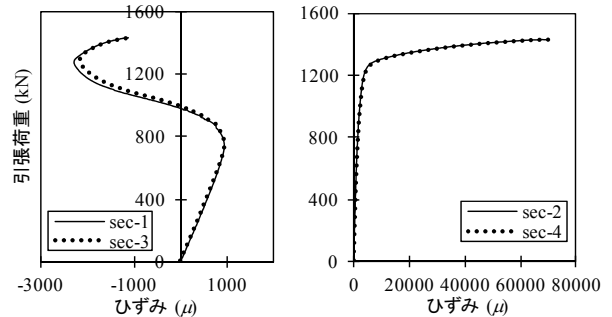


Fig. 16 引張荷重-ひずみ関係
Relationships between Tension Load and Strain

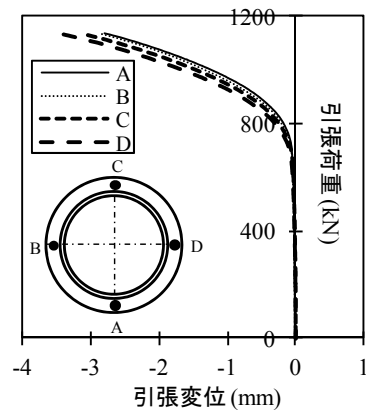


Fig. 17 引張荷重-フランジ変位関係
Relationships between Tension Load and Displacement at Flange

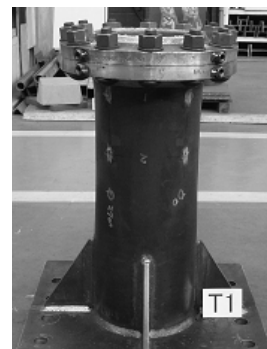


Photo 3 破壊状況
Failure Mode of Test Specimen

す通りである。

$$T_u = \min(T_{u1}, T_{u2}, T_{u3}, T_{u4}) \quad (6)$$

ここで、 T_{u4} はボルト本数が少ない場合の局部崩壊機構を想定しているため、本載荷実験の最大耐力は T_{u1} 、 T_{u2} 、 T_{u3} について評価した。 T_{u1} 、 T_{u2} 、 T_{u3} は、式(7)～式(10)に示す算定式により求められる。これらは、Fig. 18に示す3つの崩壊機構を想定し、軸対象崩壊機構に対する力の釣り合い条件から導かれている。

$$T_{u1} = np_{bu} \quad (7)$$

$$T_{u2} = \frac{1}{\phi_f - \phi_p} \{ (\phi_f - \phi_b) np_{bu} + (\phi_f - \phi_h) 2\pi \cdot M_u \} \quad (8)$$

$$T_{u3} = \frac{2\phi_b - \phi_h}{\phi_b - \phi_p} 2\pi \cdot M_u \quad (9)$$

$$M_u = \frac{t_f^2}{4} F_{fu} \quad (10)$$

n : ボルト本数, ϕ_f : フランジ外径, ϕ_h : フランジ外径,
 ϕ_p : 鋼管板厚中心径 (外径-板厚), ϕ_b : ボルト中心間
 径, t_f : フランジの板厚, F_{fu} : フランジの引張強さ,
 M_u : 終局曲げ耐力, P_{bu} : 高力ボルト1本当たりの最大
 引張耐力

以上より、採用した接合部の最大耐力を算定すると、 $T_{u1}=2940\text{kN}$ 、 $T_{u2}=1270\text{kN}$ 、 $T_{u3}=1291\text{kN}$ となる。したがって、本工法で採用した接合部の算定式による最大耐力 T_u は、 1270kN となる。載荷試験結果から得られた最大耐力 1400kN (Fig. 15)と比較すると、同等以上の最大耐力を有していることが確認できた。本載荷試験における破壊モードが、Fig. 18に示す機構2もしくは機構3に対応することを考慮した場合、破壊モードと最大耐力がほぼ対応していると考えられる。さらに、本工法で採用した接合部の最大耐力の評価に式(6)で示される算定式を適用可能であるといえる。

5. まとめ

狭隘地で施工が可能な地盤改良を併用した鋼管杭を開発し、その支持力特性を明らかにするとともに、現場での支持力確認が可能な簡易急速載荷試験の精度に関して検証した。さらに、鋼管杭の接合部に関して、引張耐力を確認した。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 本開発工法で施工した杭の極限周面摩擦力度は、地盤の非排水せん断強度相当として評価が可能である。また、極限先端支持力度に関する支持力係数 α は、

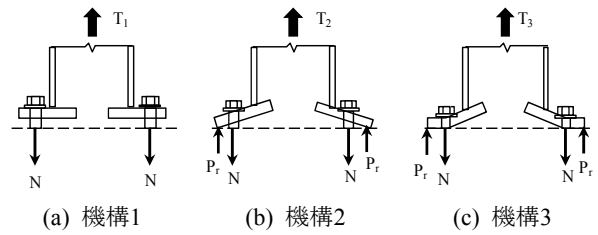


Fig. 18 フランジの崩壊機構
Failure Mechanism of Flange Part

150以上となる。上記の極限周面摩擦力度および極限先端支持力度を用いた極限支持力の算定式を杭種ごとに提案した。

- 2) 施工後の支持力確認の方法として、従来の急速載荷試験に代わる簡易な急速載荷試験を開発し、その適用性に関して検証した。その結果、簡易急速載荷試験が十分な精度を有しており、品質管理手法として有効であることを確認した。
- 3) 鋼管杭接合部の引張耐力に関して検証した。その結果、接合部の最大耐力の算定式から得られる値と同等以上の最大耐力を有していることがわかった。したがって、本工法で採用した接合方法を適用することが可能であるとともに、接合部の最大耐力の評価に既往の算定式を適用できる。

参考文献

- 1) 渡邊康司他：地盤改良を併用した鋼管杭の開発（その1：静的載荷試験結果），第46回地盤工学研究発表会講演概要集，pp.1299～1300（2011）
- 2) 山本忠久他：地盤改良を併用した鋼管杭の開発（その2：急速載荷試験結果），第46回地盤工学研究発表会講演概要集，pp.1301～1302（2011）
- 3) 渡邊康司他：地盤改良を併用した鋼管杭の開発（その3：接合部の検討結果），第47回地盤工学研究発表会講演概要集，pp.1301～1302（2012）
- 4) 北出啓一郎他：低空頭地盤改良工法による地盤改良体の改良効果の検証，第67回土木学会年次学術講演会講演概要集，pp.799～800（2012）
- 5) 地盤工学会：地盤工学会基準“杭の鉛直載荷試験方法・同解説”（2001）
- 6) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針（2001）
- 7) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針（2006）