

都市再生プロジェクトに寄与する新鋼管杭工法の開発

Development of New-type Steel-Pipe Pile Methods for Urban Renewal Projects

平田 尚^{*(1)} 山下 久男^{*(1)} 柳 悦孝^{*(1)} 石濱 吉郎^{*(2)}
 Hisashi HIRATA Hisao YAMASHITA Yoshitaka YANAGI Yoshiroh ISHIHAMA

抄 録

新日本製鐵は、現在様々な分野で進められている都市再生プロジェクトに対して、杭分野においても、その一旦に貢献すべく、建築分野での杭先端に拡大根固め部を築造することによる高支持力を特長とする“TN-X工法”と護岸分野での自走式回転圧入工法による省スペース化を特長とする“ジャイロプレス工法[®]”と称する新鋼管工法を開発した。これらの開発においては施工信頼性を確保するために新たに施工管理方法を確立し、杭の支持力性能についても載荷試験により確認したので、結果例を報告するとともに、実際の施工事例での本工法の適用性についても紹介した。

Abstract

For a urban renewal project pushed forward now in various fields, Nippon Steel Corporation developed methods of construction newly in the field of pipe-piles, the; said with “TN-X Method” to be good at high support in the field of building and “Gyro-Press Method” to be good at a self-run type turn press fit method of construction in the field of building a breakwater. Because I establish an execution management method newly to secure execution reliability in these development and confirmed it by a loading test about the characteristic of bearing capacity, I report result examples and introduce it about applicability of a regular employee method in real execution examples.

1. はじめに

近年、我が国経済の再生を図るため、活力の源泉である“都市”について、その魅力と国際競争力を高めることを目的に、東京圏、大阪圏などの大都市圏では、豊かで快適な、かつ、経済活力に満ちあふれた都市への再生、地方都市では、人と自然との共生、豊かで快適な生活を実現するためのまちづくり、市街地の中心部の再生などに的を絞った都市再生プロジェクトが実施されている。そのような状況において、都市再生に貢献すべく、杭基礎分野においても、新日本製鐵では鋼管杭の優位性を活かした新杭工法の開発に取り組んでおり、都市内施工を考慮し、建築分野を対象とした“TN-X工法”及び河川分野を対象とした“ジャイロプレス工法”を市場投入している。

本論文ではTN-X工法とジャイロプレス工法の開発概要及び工法の特徴を述べるとともに、その構造性能の妥当性を実験にて確認した結果を示している。さらに実際の施工事例についても紹介することにより、本工法の適用の有効性を明らかにした。

2. TN-X工法¹⁾

2.1 開発の狙いと工法概要

都市内の臨海部において、大都市圏の空港や港湾の国際ターミナ

ル化等の機能強化が図れており、空港ターミナルや大規模倉庫等の建設が盛んである。これらの建物は荷重が大きいため、高い支持力を確保できる工法を適用することで杭本数が低減でき、工事費の低減や工期短縮効果により、効率的な社会資本整備に貢献できる。

そういった中で、都市内での施工では騒音、振動問題から鋼管杭工法としては、従来、中掘り先端根固め工法が主に採用されてきたが、上記建物に対応できるほど高い支持力性能を有していなかった。そこで、従来は規定されていなかった根固め部の形状において、杭径の1.25～2倍の大きさまで可変的に築造することができるTN-X工法を開発した。TN-X工法は写真1に示す拡張機能を備えた掘削装置を使用して地盤を掘削するとともに、杭先端部に写真2に示すような拡大根固め部を築造して杭本体と一体化させることにより、高い支持力を発揮することができる工法である。また、掘削方法には、中掘り方法による図1(a)に示す同時沈設方式と図1(b)に示すプレボーリング方法による後沈設方式がある。本工法は以下の特長を有している。

- (1) 支持地盤の状況などに応じて大きさが選択できる拡大根固め部と鋼管杭が一体となって、従来の最大3倍程度の高支持力を発揮することができる。
- (2) 杭材として鋼管杭を使用していることから、施工に伴う発生残土量を低減することが実現できる。

*⁽¹⁾ 建材開発技術部 土木基礎建材技術グループ マネージャー
 東京都千代田区大手町2-6-3 〒100-8071 TEL:(03)3275-7746

*⁽²⁾ 鉄鋼研究所 鋼構造研究開発センター 土木構造グループ 研究員



(a) Opening Wing

(b) Closing Wing

写真1 掘削ヘッド
Excavation head



写真2 拡大根固め部
Enlarged pile end

(3) 根固め径の倍率の変更により設計対応能力を向上させるとともに、施工能率が高く、発生残土量も低減できるなどのことからコストパフォーマンスに優れる。

(4) 本工法独自の“施工監視システム”の活用等により、拡大根固め部の築造や鋼管杭の沈設が確実にでき信頼性を確保できる。

2.2 施工管理概要

TN-X工法においては、支持力確保の観点から最重要となる根固め部の築造において確実性を有するため、支持層の地盤の硬軟に

よって、段階拡翼数、攪拌回数を調節するとともに、拡大根固め部の形状、品質を管理するために、油圧により掘削翼を拡縮する方式を採用しており、供給した油量を管理することで、地中部での拡翼径が定量的に把握できる、写真3に示すようなセンタンアイシステムを導入した。センタンアイシステムにより、直接目で見ることの

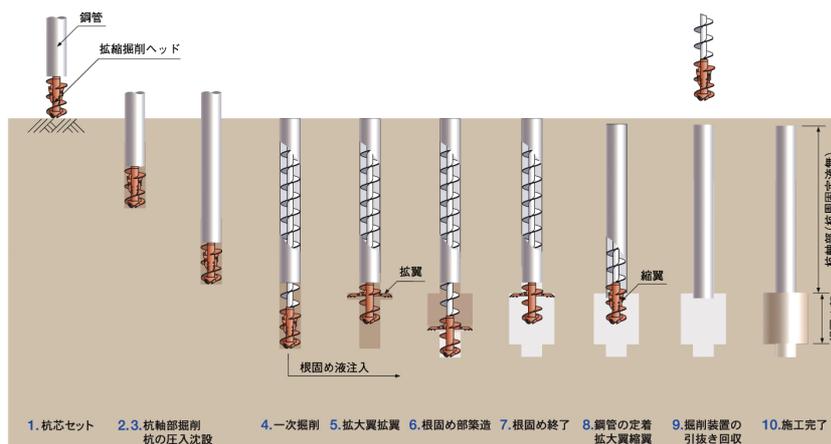


図1(a) 同時沈設方式
Inside-boring method

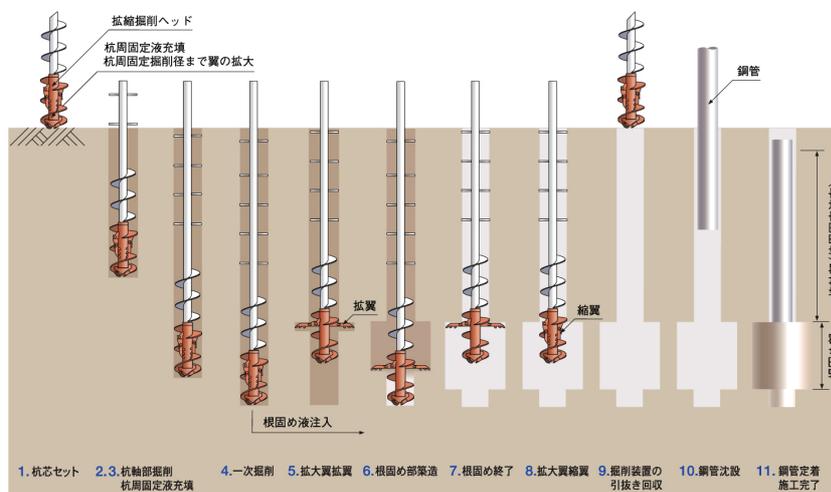


図1(b) 後沈設方式
Pre-boring method

できない地中における拡縮掘削ヘッドの拡／縮翼径を1cm単位で監視できるとともに、同時に掘削深度、掘削速度、セメントミルク注入量などをリアルタイムにモニタリングでき、オペレーターが運転

杭		センサ信号	
杭番号	1	現在深度(m)	75.0
日付	05/06/09	深度速度(m/min)	0.25
時間	10:13:43	オーガ電流(A)	497
スイッチ状態		VF電力(%)	20
継足	OFF	杭固定液量(L)	0
ヘッド状態	中立	根固め液量(L)	15608
ヘッド精算	OFF	瞬時液量(L/min)	227
ヘッド開回数	0	ユニット圧力1(MPa)	8.1
ミルク油量	中立	ユニット圧力2(MPa)	0
圧抜き	OFF	ヘッド油量(L)	9
クリーニング	OFF	ヘッド径(cm)	240
故障			
逆転防止リレー			
油圧ポンプ上限			
循環ポンプ循環ポンプ下限			
支持層	L		



写真3 センタアイシステム表示例
Sentaneye System example

席において一元管理できる。

2.3 荷重試験事例

2.2に示した施工管理手法を適用し、根固め部築造の確実性を高めたTN-X工法による杭の押し込み支持力性能は、下記に示す茨城県猿島郡での900mm径の押し込み荷重試験等を実施して、従来よりも最大3倍程度の鉛直支持力性能を保持することを確認した。

荷重試験概要を以下に示す。試験杭は900mm径×27mm厚×52.0m長(SKK490)の鋼管杭を中掘り圧入工法(同時沈設方式)で施工し、

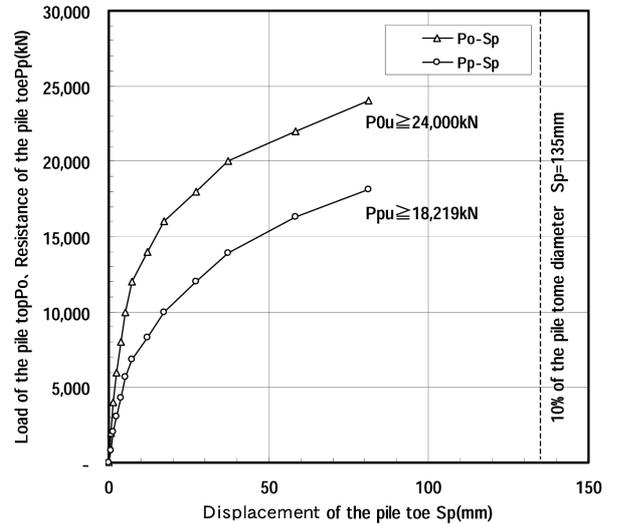


図2 荷重-変位関係
Load-displacement relationship

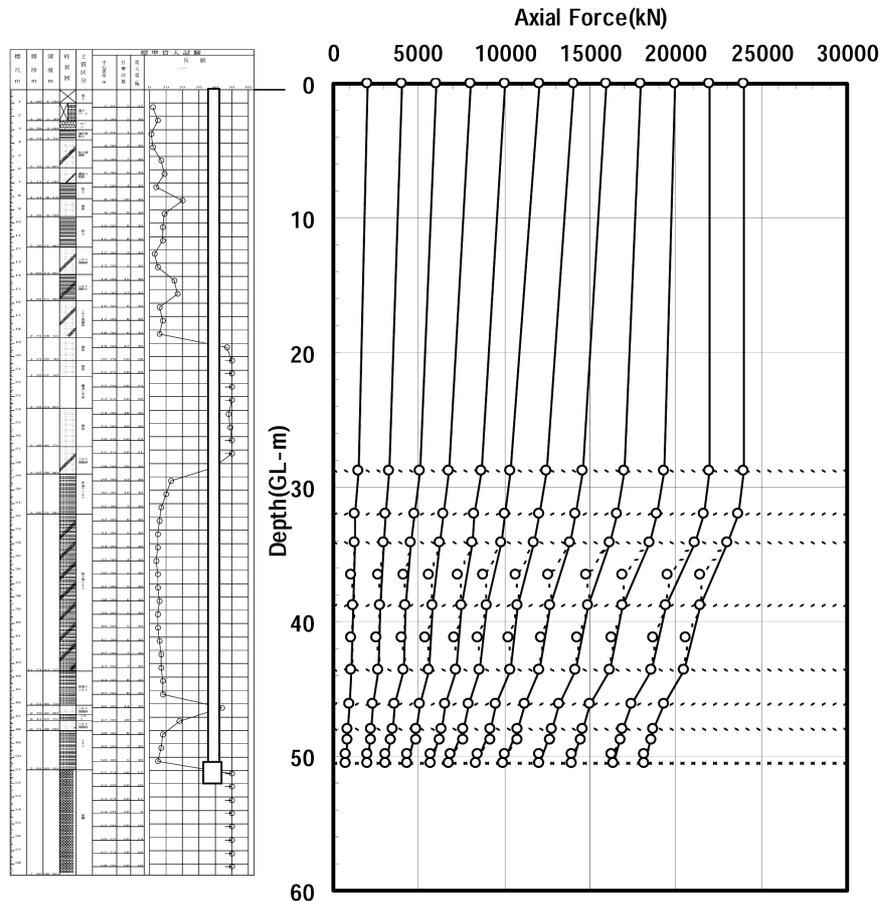


図3 軸力分布
Distributions of the axial forces

支持層に杭径の1.5倍の拡大根固め部を築造した。地盤条件は、GL-20m程度までは主にN値10以下のシルト質粘土とシルト質細砂の互層、GL-20~27mまではN値50以上の細砂層、GL-27~51mまではN値5程度の粘土質シルトであり、GL-51~60mのN値が50以上の砂礫層を支持層として根入れを行った。本試験杭は杭長が長いために周面抵抗力が大きくなり、載荷荷重が大きくなりすぎるため、中間層においては摩擦低減材を用いて載荷試験を行った。載荷試験方法は地盤工学会基準に従った多サイクル段階載荷方式にて実施した。

載荷試験結果について、杭頭/杭先端荷重-杭先端変位関係を図2に、軸力分布図を図3に示す。載荷は荷重段階を2000kNとし、各サイクル2段階で6サイクルまで実施した。6サイクル段階で杭頭の偏芯が大きくなったため載荷を終了したが、その段階で、杭頭変位量は約163mm、杭先端変位量は約81mmであり、杭先端変位は第2限界抵抗力の基準変位である杭径の10%まで到達していなかった。載荷範囲内における最大杭頭荷重は24000kN、杭先端荷重は18219kNであり、第2限界抵抗力はこの数値以上であると推定されるが、最大載荷荷重を拡大根固め部の底面積における支持力度で評価すると、平均N値が61であることから支持力係数は209程度であった。本試験も含めた現状得られている載荷試験結果を統計的に処理した結果、支持力算定式における支持力係数を198と設定した。

2.4 工事例報告(西浦物流倉庫)

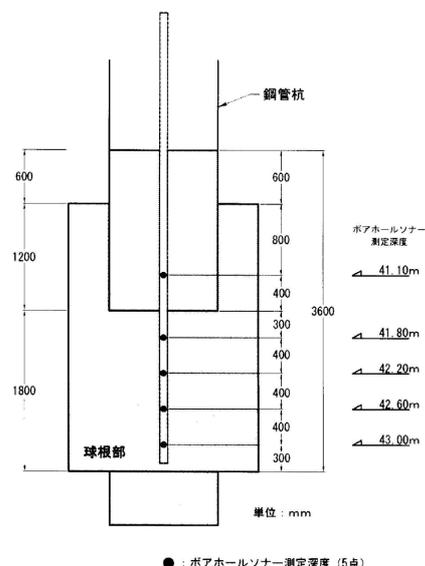
TN-X工法を適用した施工事例として西浦物流倉庫での状況を写真4に示す。本工事は、東京港における物流の活性化を受けた倉庫の能力増強を図った工事であった。杭長は約40mであったが、施工地盤は表層から約16mまで液状化対象地盤が堆積しており、水平荷重による発生曲げモーメントが大きく、競合工法では1柱2杭となっていた。

そこで、本工法の高支持力及び杭頭部の鋼管杭に内面突起付き鋼管を配置して、コンクリートとの合成構造にすることで、曲げ剛性を増すことなどにより、1柱1杭で対応可能となった。本工法は、中掘り方式を採用することで杭体積の約20%の排土量に抑制でき競合工法に比して低排土となるとともに、高支持力により杭本数を低減したことで競合工法に対して約7割程度の短工期化が図れた。

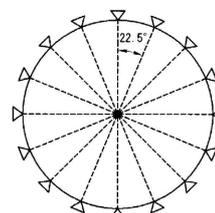
また、本工事現場においては、根固め部の築造精度を新日本製鐵社内で確認するため、ポアホールソナー((株)東京ソイルリサーチ社製)による形状測定を行った。ポアホールソナーは、杭に設けられた測定孔に測定装置を挿入し、弾性波の反射形状から形状などを測定しようとする装置であり、コンクリート内部で発振を行うと拡大根固め部と地盤との境界で有意な反射波が生じることから、杭の



写真4 TN-X工法施工状況
TN-X construction site example



1) 球根部拡大図



2) 平面図

図4 計測位置
Measured points

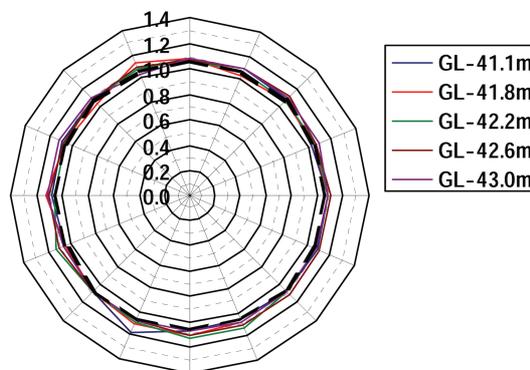


図5 杭径計測結果(m)
Diameter of test results

円周方向にP波を発振し、その反射波を受振することにより、根固め形状を図4に示す各断面及び深度方向に測定した。測定結果を図5に示す。測定誤差等に課題は残るものの、ほぼ全断面において、概ね所定の形状(根固め半径)は確保出来ていることが分かり、センタンアイシステムを用いたTN-X工法の拡大根固め部の築造精度が高いことを確認できた。

3. ジャイロプレス工法^{2,3)}

3.1 開発の狙いと工法概要

近年、都市再生の一環として、既存構造物の劣化や機能低下さらには自然災害などに対応し、道路擁壁、河川護岸壁、基礎等の土木構造物の機能強化やリニューアル、さらには耐震性の向上が図られ

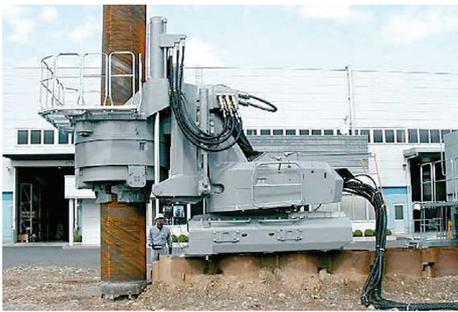


写真5 ジャイロプレス機
Gyro-pressing machine

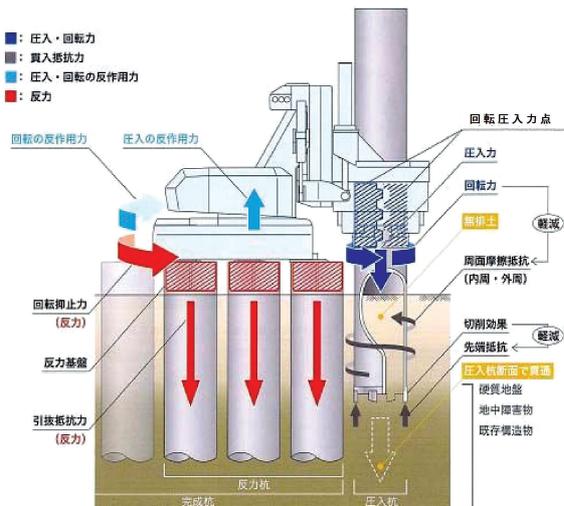


図6 施工メカニズム
Gyro-press mechanism

ている。そのうち、都市部の護岸耐震補強工事や道路拡幅工事などにおいては、①工事用地の確保、②既設構造物の干渉、③騒音、振動などの様々な制約条件下での施工を行わなければならないことが多い等の課題を有している。

これらの課題に対応し、省スペース化、コスト削減を可能とするために、先端に切削用ビットを取り付けた鋼管杭自体を回転圧入できる写真5に示すような自走式のジャイロプレス機を製作し、その施工機械によるジャイロプレス工法を開発した。ジャイロプレス工法は、図6に示すように回転圧入機が既に地中に回転圧入した鋼管杭に掴まり、その杭の引抜抵抗を反力として、騒音、振動を伴わない静荷重によって新たな鋼管杭を順次前方に回転圧入して直立鋼管杭壁を築造する工法である。また、本工法は、施工場所の地盤、障害物を鋼管杭先端に取り付けた切削用ビットにより回転切削を行いながら杭を回転圧入するため、地盤、障害物により適切なビット個数、硬度を選定する。本工法は以下の特長を有している。

- (1) 回転切削機構により、玉石混じり砂礫層、岩盤、地中障害物といったあらゆる地盤条件に適用可能である。
- (2) 施工機が小型軽量で、さらに、既設杭に掴まって施工するため機械の転倒や杭材の偏芯が抑制され高い精度で施工ができる。
- (3) 低騒音、低振動での施工に加え、切削用ビット厚さ分だけ地盤を切削するため排土がほとんどなく、環境への影響を最小限に抑えた工法である。
- (4) 控え杭や前面支持杭など、傾斜杭の施工が連続的に行える。
- (5) 杭径、杭長、杭配列を自由に組み合わせることができるため、

目的にあった経済的で最適な杭の構造形式を選定できる。

3.2 施工管理概要

本工法は、前記したように回転圧入機が既に地中に回転圧入した鋼管杭に掴まり、杭を順次前方に回転圧入して直立鋼管杭壁を築造する工法であるが、施工に当っては、写真6に示すようなモニター装置を用いて施工に伴う圧入力と回転力とともに水平・鉛直精度を制御することにより、施工管理を行っている。さらにこれらのデータを施工する鋼管杭毎に記録することで、施工データを蓄積し分析することで、施工の確実性の向上を図っている。

3.3 水平載荷試験例

ジャイロプレス工法による杭の水平支持力は、高知県仁井田にて600mm径の単杭及び3本組杭の水平載荷試験を実施し、既存工法(打撃工法、中掘工法等)と同等の水平支持力性能を保持しているかを確認している。

載荷試験概要を以下に示す。試験は、1)単杭試験として600mm径×12mm厚×10000mm長(SKK490)の杭を中掘圧入工法と回転圧入工法で1本ずつ施工し、互いに反力を取り合う形で載荷したものと、2)図7に概要を示すように試験杭として600mm径×12mm厚×10000mm長3本を回転圧入工法で施工し、組杭として載荷したも



写真6 施工モニター画面例
Monitor of execution management

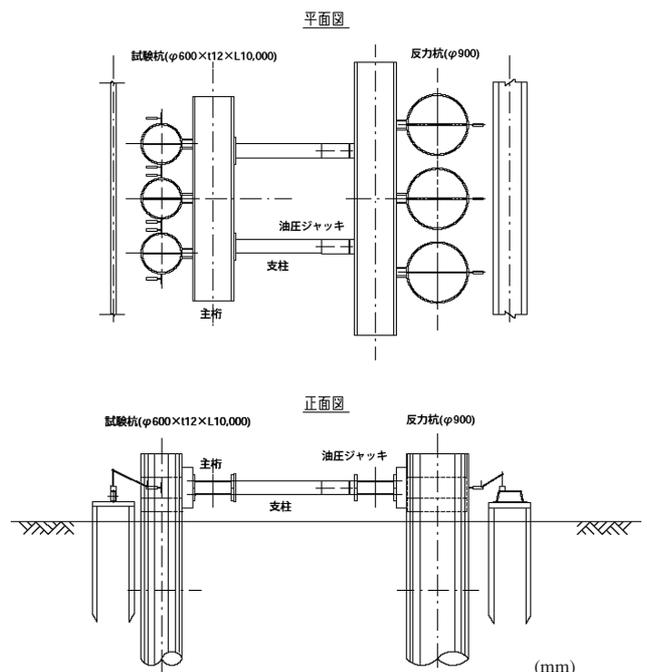


図7 載荷概要図
Test equipment

のと2パターンとした。地盤条件を図8に示す。GL-10m程度までは主にN値10程度の細砂層の単一層であった。載荷試験方法は地盤工学会基準に従った多サイクル段階載荷方式にて実施した。

載荷試験結果を以下に示す。組杭試験は1960kN載荷時に荷重を増加することが出来なくなり、載荷重が低下したので、段階的に除荷して載荷を終了した。単杭試験では4サイクル載荷段階で、中掘圧入杭の変位が大きくなり、回転圧入杭の載荷を継続できない可能性があったので、地表面変位で50mmまで載荷を行い、中掘圧入杭側を固定することにより、回転圧入杭側の載荷を継続し、5サイクル目で約0.1D(60mm)まで到達した段階で載荷を終了した。荷重-変位関係を図9に示す。組杭試験結果に関しては、載荷荷重を1/3にしたものを荷重として示した。

また、図10に組杭、単杭及び組杭載荷試験結果と道路橋示方書⁴⁾や道路土工⁵⁾等を参考に算出した荷重-変位関係との比較を行った。算出条件は、①林-Changの式によって水平変位を算出する。②地盤の変形係数 E_0 算出のための平均N値は地盤条件より10とする。③基準変位は、単杭試験に関しては杭径の1%である6mmとし、組杭試験に関しては杭3本分を基礎幅とし、その1%の24mmとする。④組杭試験に関しては群杭効率 μ を考慮する。 $(\mu = 1 - 0.2[2.5 - L/D]) = 0.80$ (L:杭中心間隔, D:杭径)但し、壁構造としての設計値では群杭効率を無視し単位長当りの線形ばねとするとした。さ

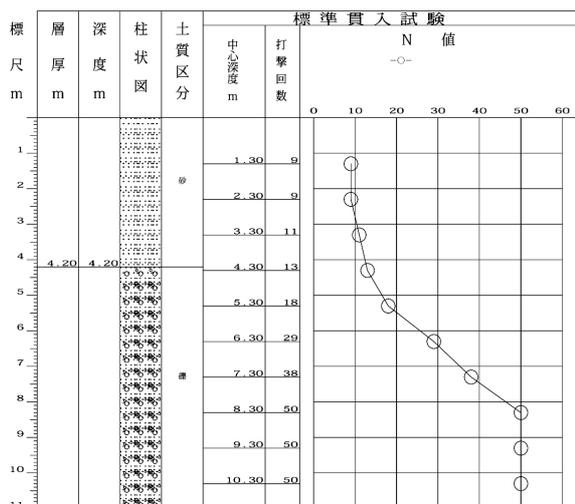


図8 土質柱状図
Soil profile on site

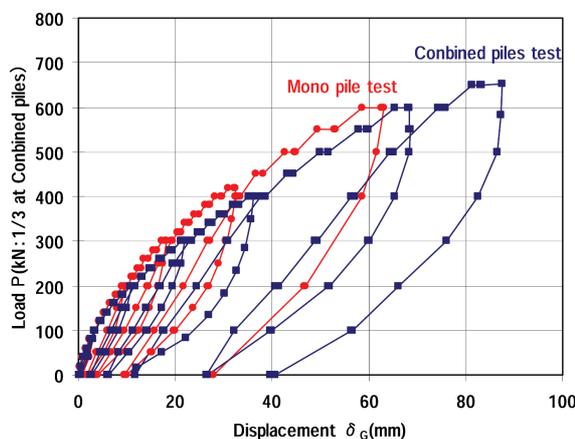


図9 荷重-変位関係
Load-displacement relationship

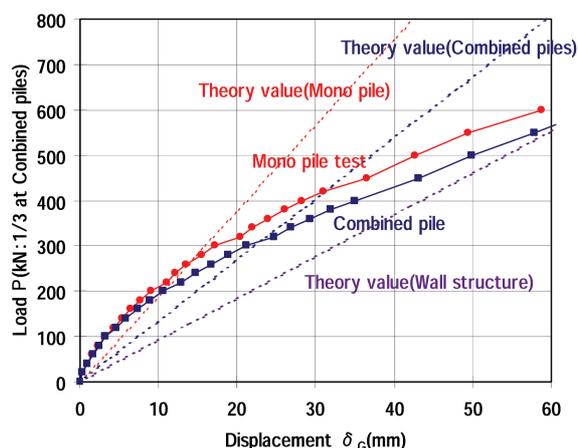


図10 実験値-計算値比較
Theory-test value relationship

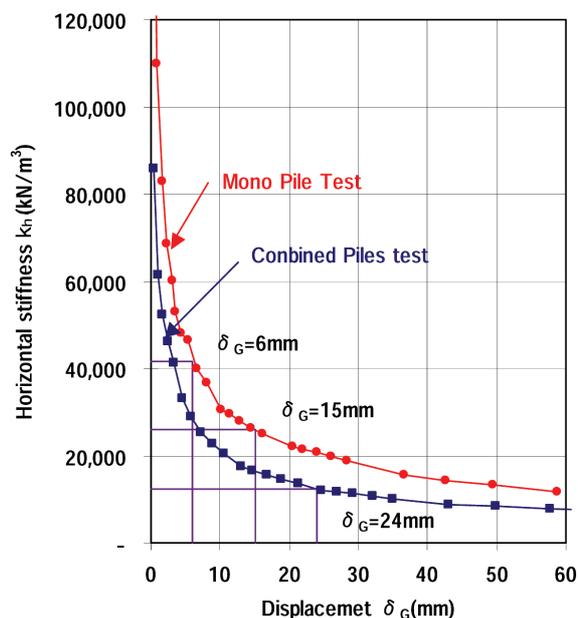


図11 水平地盤反力係数-地表面変位関係
Horizontal stiffness-displacement relationship

らに、水平地盤反力係数-変位関係を図11に示し、図には基準変位との関係をも示した。

試験結果をまとめると、1)単杭の水平地盤反力係数は、設計値をほぼ上回っている。2)組杭試験の結果より単杭と組杭では、10mm程度までは水平地盤抵抗力は同程度であるが、それ以降は、組杭試験の方が1本当りの水平地盤抵抗力は小さくなる。3)組杭試験の水平地盤抵抗力は、壁構造と想定した算定値よりは大きく、概ね群杭効果を考慮した杭の設計値とほぼ同程度となる。これらの結果より、設計に対する考え方として、ジャイロプレス工法で施工した杭の水平方向地盤反力係数は、道路橋示方書に従って設計できると考えられる。また、ジャイロプレス工法で施工した壁構造としての水平方向地盤反力係数は、道路土工等の各基準での既存工法と同様に設計できると考えられる。

3.4 工事例報告

ジャイロプレス工法を適用した大横川南支川護岸工事状況を写真7に、古川護岸工事状況を写真8に示す。

3.4.1 大横川南支川護岸工事

本工事は、河道確保のため当初は既設護岸を撤去、解体して新規



写真7 ジャイロプレス工法施工状況1
Gyro-press construction site example 1



写真8 ジャイロプレス工法施工状況2
Gyro-press construction site example 2

護岸を構築する計画であったものの、工事に使用できる施工スペースが幅4.0mの管理用通路のみであったため、適用できる建設機械にも制約があった。そこで、RC構造物の貫通や狭隘地施工が可能であるジャイロプレス工法を適用し、杭材搬送～吊り込み～回転圧入の施工システムを既設杭上に配置した“ノンステージ工法”を併用することで、仮設栈橋を用いる従来工法と比較して800mm径×17.0m長の杭を約1/2の工期で施工できた。

3.4.2 古川護岸工事

本工事は、現況護岸の位置に新たな護岸を再構築するものであり、その現場環境は、川沿いにオフィスビルや首都高速道路の橋脚が立ち並び、背後地が無いなどの制約があった。これらのことか

ら、首都高速道路下での低空頭施工(空頭高さ約6.0m)であること、施工中の河積阻害の問題から河川内に施工機械の足場となる仮設栈橋が設置できないことなどの施工条件付けがなされたため、従来の工法では施工が困難であった。そこで、このような条件を克服するため低空頭施工に対して機械高を抑えるとともに、さらに、高さ4.9mのブロック積み護岸を打ち抜くため、鋼管内の閉塞防止対策として、掘削装置を付加したジャイロプレス機を用いた。その結果、管内を閉塞させることなく1000mm径×13.5m長(4箇所継ぎ)の鋼管杭を、1日当たり0.5本の効率で施工することが可能となり、従来工法と比べて約2/3に工期を短縮することが可能となった。

4. おわりに

報告した“TN-X工法”や“ジャイロプレス工法”は、施工管理手法の信頼性を高めることや、省スペース化に対応した新たな施工システムを構築することにより工法の特長を発揮することで、現在活動が盛んに行われている都市再生に貢献している開発商品であると考えられる。今後も本工法の普及促進を図るとともに、更なる改良開発を実施することにより、都市内の厳しい施工環境下においても安全性、急速性、経済性に優れた杭構造を提案し、効率的な社会資本整備に向けて取り組んでいきたい。

謝 辞

紹介した開発商品であるTN-X工法は(株)テノックスとの、ジャイロプレス工法は(株)技研製作所との共同開発商品であり、関係者の方々には多大なるご尽力、ご助力を頂き、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 柳悦孝, 青木功: 高支持力鋼管杭工法—TN-X工法—. 土木施工. 47(2), 19(2006)
- 2) 植享: 硬質地盤に鋼管の壁を構築する—ジャイロプレス工法—. 土木施工. 47(2), 22(2006)
- 3) 松岡徹, 山下久男: ジャイロプレス工法の開発と現場適用事例. 土木学会第62回 年次学術講演会(投稿中), 2007
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説IV下部構造編. 2002.3
- 5) 日本道路協会: 道路土工擁壁工指針. 1999.3