

ジャイロプレス工法®の適用範囲拡大

Expansion of Coverage of Gyropress Method™

平田 尚*
Hisashi HIRATA

松井 延行
Nobuyuki MATSUI

抄 録

ジャイロプレス工法®は新日鐵住金(株)と(株)技研製作所とで共同開発した商品であり、市場投入以来、都市内河川護岸を中心に道路擁壁等での工事の実績を積み上げている。しかしながら、近年では、防災、減災や都市インフラストラクチャ分野においては、より壁高の高い構造の構築や既存コンクリート構造物、硬質地盤への貫入等といった新たなニーズが求められている。このニーズを捕捉すべく取り組んだ適用杭径の拡大、硬質地盤への施工性向上、支持杭への適用について紹介した。

Abstract

Gyropress method™ that was developed with Giken Seisakusyo Co., Ltd., has been piled up construction results in the river and road retaining wall etc., In recent years, in disaster prevention and urban infrastructure field, construction of a higher wall and penetration to existing concrete structures and the hard ground has been required. We introduce the efforts in order to expand the application range of the Gyropress method for the expansion of the application pile diameter, improving workability of the hard ground, and the application of bearing piles.

1. ジャイロプレス工法®とは

1.1 工法概要¹⁻³⁾

ジャイロプレス工法は、都市部を中心に老朽化、機能低下が顕在化していた河川護岸、道路擁壁、基礎構造物などのインフラストラクチャ設備の機能強化やリニューアルに対応するために、(株)技研製作所と共同で開発した工法である。

都市部の施工では、①工事用地の確保、②既設構造物との干渉、③低騒音・低振動施工などの様々な制約条件への対応が求められる。それに対して、本工法では圧入機に回転機能を付与した施工機械“ジャイロパイラー®”(図1)を用いて、先端に地盤の掘削性を高めるビットを取付けた鋼管杭(図2)に回転力と圧入力を与えて地中に回転切削圧入させることで上記課題への対応を図った。さらに、回転切削圧入における機械負荷の増大や施工の長期化を回避するため、補助工法として図3に示すように杭先端から水を吐出させる仕様(以下、水潤滑システム)を採用している。また、壁構造背面の地盤条件や地下水位によっては、列状に配置した鋼管杭の杭間からの土砂の流出を防ぐ対策が必要となる場合があり、図4に示すような等辺山形鋼を列状



図1 ジャイロパイラー®
Gyro Piler

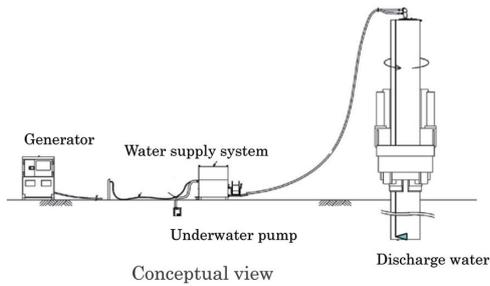


図2 先端ビット付き鋼管杭
Steel pipe pile with end bit

の鋼管杭の杭間に別途圧入する方法を用いることもある。

施工手順の概要を図5に示す。既に地中に施工済みである鋼管杭の頭部を把持しながら、前方に新たな杭を回転切削圧入する(図中3→4→5)。その後、圧入中の杭をつかんだ状態で施工機自体が上昇、前進し(図中6→7)、施工機が降下した後、前方の杭を引き続き施工していく(図中8→1→2)。この手順を繰り返すことで、随時、既設杭上を自走しながら順々に鋼管杭による壁構造を築造していく。

* 建材事業部 建材開発技術部 土木基礎建材技術第一室 首席主幹 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



Discharging water situation

図3 水潤滑システム
Water supply system

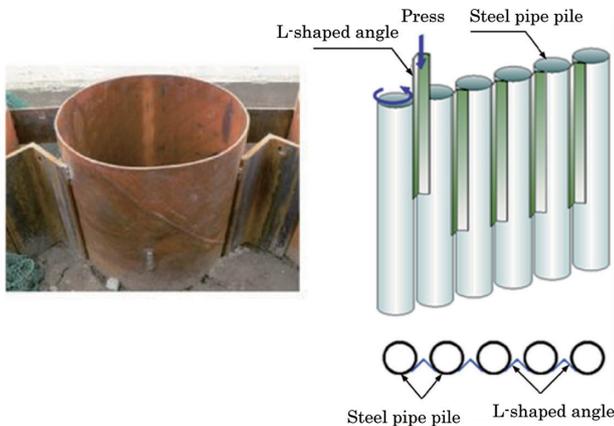


図4 鋼管杭間の継手
Joints of steel pipe piles

1.2 工法の特長

ジャイロプレス工法は1.1で示したような施工方法を採用することで、以下の特長を有している。

- (1) 既設の鋼管杭を把持して施工機械の反力を得るとともに、その上を自走しながら施工するため、仮設用構台などが不要となり、狭隘地での施工が可能。
- (2) 低騒音、低振動であるとともに鋼管内への水吐出量もウォータージェット等に比べて少量であるため、周辺環境への影響を最小限に抑えることが可能。
- (3) 鋼管杭の胴体部分を把持して回転力と圧入力を与える工法であるため、既設橋梁の桁下や道路・鉄道等に近接している場合に求められる低杭頭での施工が可能。
- (4) 仮設用構台の設置、建設残土の処理が不要であり、施工時間の制限を受けないため、短工期施工が可能。
- (5) 特殊なビットを取り付けることにより、硬質地盤やコンクリート構造物などの地中障害物がある場合にも施工が可能。
- (6) 杭径で500mmから1500mmまでの施工ができるため、

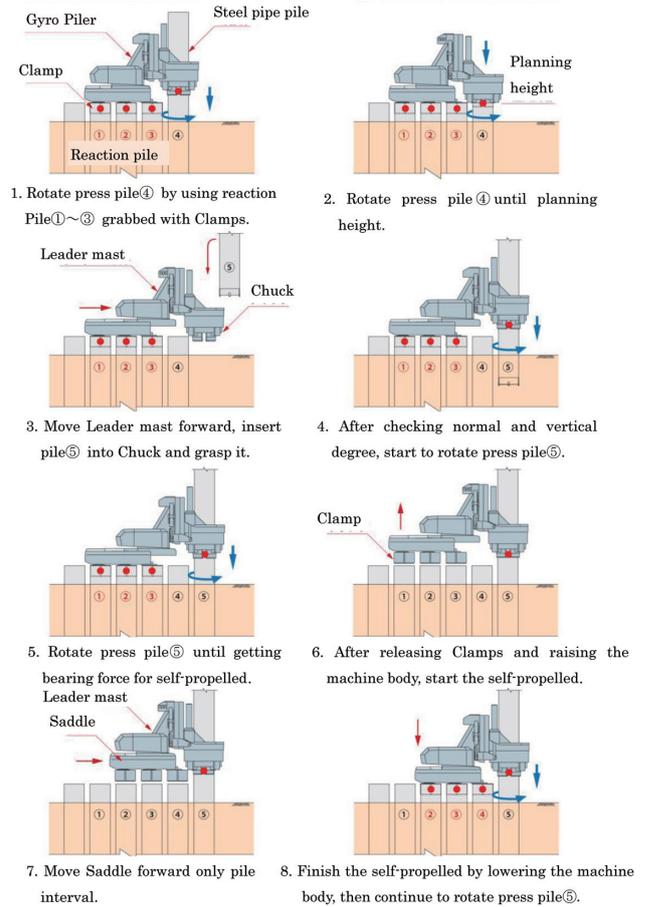


図5 施工手順
Construction process

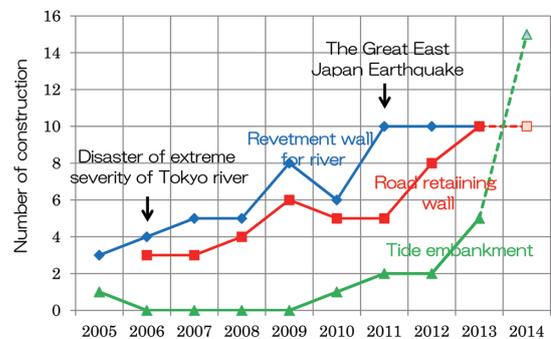


図6 年度別施工実績
Construction results by year

壁高に応じた経済的な設計が可能。

1.3 施工実績^{4,5)}

ジャイロプレス工法の分野別の実績を図6に示す。2004年の市場投入以来、河川護岸、道路擁壁等の都市インフラストラクチャの更新案件を中心として、延べ150件程度の実績となっている。特に2011年3月の東日本大震災に対する復興事業に引き続き、2013年12月には国土強靱化基本法が成立したことにより、防災・減災分野での対策が全国で進められており、河川護岸に加えて、防潮堤などへの適用も増加している。また、東京五輪・パラリンピックに

向けて首都圏を中心とした交通インフラストラクチャの整備促進に伴い、道路拡幅工事などにおける道路擁壁案件も同様に増加している。ただし、防災・減災分野において本工法の適用が増えるに従って、これまで本工法で施工可能であった壁高や施工地盤、構造形式のみでは対応ができない新たなニーズも発生してきた。

2. 適用範囲拡大の必要性

防災・減災分野での新たなニーズとしては、より巨大な津波や地震に耐えうる構造、都市内のみならず海岸域、山間部での施工、壁構造における鉛直支持機能が求められており、対応策として以下の課題を抽出した。また、防災・減災分野における下記(1)~(3)の課題を解決することで、道路擁壁分野で増えつつある山間部での硬質地盤への施工や、擁壁の壁高さの増加にも対応可能であると考えた。

(1) 大径化

東日本大震災を契機とし、東北のみならず南海トラフ地震対策として太平洋岸全域で整備が進められる防潮堤では、巨大な津波に対して粘り強く耐えうる構造が要求されていた。これまでは主にコンクリートブロック・三面堤といったコンクリート構造、土構造が適用されてきているが、巨大な津波に対しては、堤体が大型化してしまい用地制約のある場所では築造が困難なことや、倒壊や流出といった壊滅的な破壊についても懸念されている。じん性の高い鋼管杭を地中に列状に根入れさせることにより粘り強い構造を狭隘地に構築可能であり、対津波構造物として有効であると考えられる。しかしながら、公表されている巨大津波に対してはこれまで施工可能であった最大杭径(1500mm)では壁構造としての耐力、剛性が不足するため、適用杭径の拡大が必要となった。

(2) 硬質地盤、コンクリート構造物への施工

従来の都市内の河川護岸であれば、施工する地盤は主に軟弱地盤であり、コンクリート構造物や硬質地盤などの地中障害物が出現する場合も表層部や浅い深度であることが多く、特殊ビット等により障害物を打ち抜いて施工することで対応が可能であった。しかしながら、防潮堤が構築される海岸域では施工地盤の多くが全長に渡って硬質地盤であることが多く、さらに安全や費用の面で事前に撤去することが難しい既設の捨石マウンドやコンクリート擁壁等を打ち抜いて施工しなければならないケースがあった。そこでより硬質の地盤や規模の大きなコンクリート構造物さらにはその両者を一括して施工できる工法を確立しておくことが必要と考えた。

(3) 支持杭適用

これまで必要性が認識されながらも、安価で信頼性の高い工法が無いために実施が遅れていた基礎の補強構造の検討も進められている。補強構造としては既設の基礎に対して増し杭や鋼管矢板基礎を設置する方法が考えられる

が、桁下・狭隘地施工となることも多く、従来の3点式杭打ち機が使えないことなどから施工法に制約があり、本工法の適用が有効であると考えられる。しかしながら、耐震補強構造などに適用するためには、従来の壁構造では必要なかった支持力性能を確認するとともに、支持杭として適用する場合の施工管理手法を確立することが必須であった。

3. 大径化への取組み

3.1 施工機械の開発

従来のジャイロプレス工法による最大適用杭径は1500mmであったが、大径化を果たすためには当然ながら大径の杭を施工するための大型のジャイロパイラーが必要となる。施工機械が大型化すると、狭隘地での施工や自走式といったジャイロプレス工法の特長が損なわれる可能性もあるが、一方で想定される防潮堤の壁高に対応できなければ意味がない。そこで、想定される防潮堤の現実的な代表的構造として壁高10mの自立壁を選定し、公表されている津波外力による試設計を実施した結果、必要な杭径を2500mmと設定した。施工機械の概要、仕様を図7、表1に示す。

3.2 実大杭での施工確認

開発した2500mm径対応のジャイロパイラーでの実大杭の施工可否と施工機械としての性能、作動を確認するため、図8に示すような施工試験を実施した。地盤条件としてはGL-0~10mがN値10~30程度の砂礫地盤、GL-10m以深がN値40~50程度の粘土混じり砂礫であり、試験杭の施工時の反力を取る杭は地表面から8mまで、試験杭については地表面から16.5mまで施工した。



図7 2500mm 径用ジャイロパイラー
Gyro Piler of 2500mm

表1 機械能力
Machine specifications

Item	Specification
Pile diameter	2000-2500 mm
Maximum force	4000 kN
Maximum torque	2940 kNm
Weight	110 ton

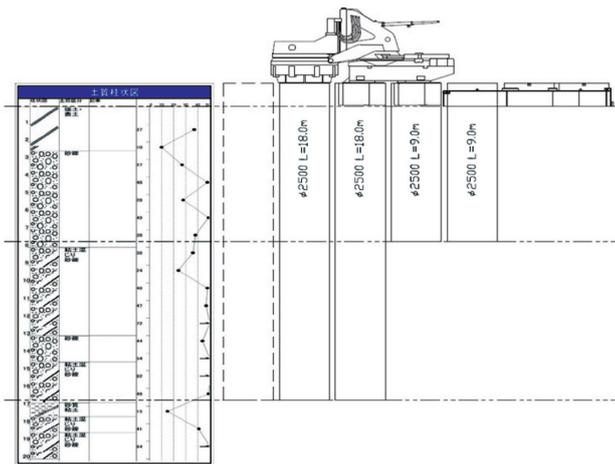


図8 試験地盤
Ground condition of construction test



図9 施工試験状況
Construction test situations

施工機械の性能・作動確認については、2500mm 径の杭を施工する上で必要と考えた、①回転トルク、圧入力の出力状況、②施工機の自走、③コーナー部での施工（施工機に対して直角位置に本杭を施工）、④施工管理装置、⑤所定位置まで杭を打ち下げるためのジャイロプレス用のやっこ装置に着目した。図9に施工状況を示す。一連の施工において、定格相当の出力が可能であることを確認するとともに、コーナー部でのヘッド部の首振りでも機械不具合は発生せず、施工管理装置、やっこ装置も正常に作動することで、所定の位置まで施工可能であることを確認した。これにより、2500mm 径対応の施工機とその標準的な施工法を確立できたことを受けて、実工事への適用に目途を得た。

4. 硬質地盤、コンクリート構造物の一工程施工への取組み

4.1 一工程施工における課題

ジャイロプレス工法においては、これまで表層部や浅い深度で出現する既設コンクリート構造物や硬質地盤などの



図10 鋼管内閉塞状況
Confined situation in the steel tube

障害物に対して硬質用の特殊なビットを備えた先行削孔杭により回転切削圧入し、一旦先行削孔杭を引き抜いた後に通常のビットを取り付けた本設杭で障害物より深い地盤に回転切削圧入するといった二工程での施工を取るケースが多かった。これは特殊なビットが高価であり、引き抜いて転用することで施工費の増加を抑えること、障害物を掘削した段階で管内に障害物を取り込まれ、その後の施工効率が著しく低下するまたは貫入不能となることを避けるためであった。しかしながら、先行削孔杭の回転切削圧入による孔壁が自立しない場合や既存コンクリート構造物の下方にも硬質地盤が連続する場合には、通常のビットを取り付けた本設杭のみで、既存コンクリート構造物を打ち抜いて硬質地盤の所定深度まで施工させる一工程での施工が必要であると考えた。

そのためには、通常ビットによる本設杭自体での回転切削圧入の効率を向上させるとともに、施工効率の低下の要因を回避することが必須となる。施工効率低下の主な要因は、管内に取り込まれた塊状のコンクリートや岩盤などと鋼管内面との間に粉状の切削屑が介在することにより摩擦抵抗が大きくなり、杭を貫入していても管内の一定の深度に留まるといった管内閉塞(図10)が発生することであった。これにより施工負荷が増加するとともに貫入不能となる傾向は砂・粘土地盤よりも大きく、補助工法として用いている水潤滑システムの効果も小さくなっていた。

4.2 施工性の向上

通常のビットの切削能力の向上に対しては、ビットの数を増やし、貫入速度を下げた回転数を上げる方法を採用した。一方で管内閉塞を回避するため、管内側の掘削領域を拡大するようにビットを配置することで水潤滑システムによる吐出水が鋼管内で流動できる間隔を確保し、回転切削により発生する粉状の切削屑を吐出水とともに流動させ鋼管内面と塊状のコンクリートや岩盤との間に介在することを防止する方法を選択した。

上記の対策の妥当性を検証するため施工試験を実施した。試験は、図11に示すように、一軸圧縮強度30MPa程度の砂岩と泥岩の互層で構成された地盤の上にGL+0.5～GL-1.5m間に約2m程度の厚みのコンクリート構造物を

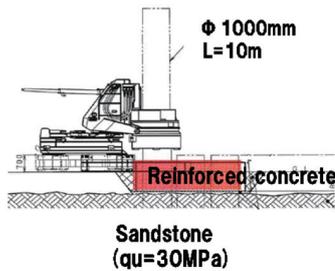


図 11 施工試験概要
Construction test situations

構築しジャイロプレス工法による一連の施工を実施した。コンクリート構造体は通常のコンクリート擁壁の底盤を想定して、強度が 20MPa のコンクリートに、D16～22 の鉄筋を 250mm×250mm 程度の網目状に複数段配列した。施工試験の結果、ビットの個数、配置の組合せを適切に設定すれば選択した方法により一工程での施工が可能であることを確認できた。

4.3 適用実績例

対象となった案件⁶⁾は、海岸線のコンクリート道路擁壁であり、台風などの波浪により基礎が洗掘され、コンクリートの劣化も著しかったことで擁壁の一部が崩落し、裏込めの土砂が流出して路面下に空洞が生じて道路が陥没したために改修が必要となっていた。改修に当たっては、①既設コンクリート擁壁の解体、撤去及び新設擁壁の構築時に供用中の道路の車線規制を行わないこと、②擁壁に隣接する海岸には絶滅危惧種等の野生動植物が生息するため生息域を減らさないこと、③観光スポットであるので観光客や周辺住民に配慮して施工時の振動、騒音を抑えることといった課題があった。さらに隣接する道路面の陥没等への懸念により既設擁壁を事前撤去できない中で、既設擁壁の直下の地盤は一軸圧縮強度が 20MPa 程度の泥岩層であった。

本工事に対して、周辺環境への影響を抑え、省スペースで施工できるジャイロプレス工法は有効であったが、先行削孔杭を用いた二工程の施工では杭を引き抜いた時に生じる孔壁の安定を担保することができなかったため、一工程で既設コンクリート擁壁の貫通及び泥岩層への根入れを可能とする開発成果の適用を図ることで工法の採用に至った。実際の施工状況を図 12 に示す。車道との離隔が 2m しか確保できない状況で、車線規制せずに鋼管杭の既設擁壁への回転切削圧入を実施し、隣接道路、周辺環境に影響を与えることなく施工を完了することができた。

5. 支持杭化への取組み

5.1 支持杭として課題

杭の支持力は周面摩擦力と先端支持力の和で評価されるが、工法毎に期待しうる支持力性能が異なり、本工法では評価が確定できていなかった。そのため、これまでの設計



(a) Situations of construction



(b) Completion state

図 12 施工事例
Construction example

において、周面摩擦力については本工法と同様の回転圧入施工となっている中掘り杭工法の周面摩擦力の値が準用されていたが、回転切削圧入のみで支持層を施工する工法は他に無いため先端支持力については考慮されておらず、作用荷重の小さい小規模橋梁等に適用が限定されていた。

しかしながら、本工法でも確実に支持層に根入れさせることにより、周面摩擦力だけではなく、先端支持力も考慮できると考えられる。但し、先端支持力を考慮するためには、支持層の確認、支持層への根入れと打ち止めを確実に行うための施工管理手法を確立すること、施工管理に基づいて施工した杭の支持力性能を確認することが必要であった。その結果や考え方については現段階では載荷試験数が少ないため参考資料の位置付けではあるが、有識者の委員の方々に審議頂き国際圧入学会の設計・施工指針⁷⁾に記載された。以下に概要を示す。

5.2 施工管理手法

支持層の確認については、本工法では、施工時にリアルタイムで圧入力やトルクのデータをモニタリングできることからデータの変化と土質柱状図との相関により支持層の判別を行うこととした。次に支持層への根入れとしては、後述する載荷試験データの前提も基本的には杭径以上支持層に根入れさせて打ち止めたものとなっていることから、現時点では、根入れ長さは先端リングビットを除いて杭径以上とした。最後に打ち止め管理の方法としては、ジャイロパイラーが前進自走する直前に地盤条件や施工機の能力により設定した荷重を静的に載荷することとした(図13)。

本工法では打設中の鋼管杭は支持層に到達したことを確認した後に水の吐出を停止して回転切削圧入により杭径以上根入れさせる。既に施工した杭も同様な管理で施工しているが、既設杭は隣接した位置に新たに杭を打設する際の反力を取るための杭(以下、反力杭)として使用されるため、引き抜き力が作用する。そのため本施工管理手法を適用することで反力杭として使用した一番後ろ側の杭を支持層に定着させることと、発現される支持力を確認することが可能となる。その後、ジャイロパイラーは前進自走するが、打ち止め管理を実施することで、実際に適用する荷重程度は確実に担保しているということを確認した杭を残置していくということとなる。静的な荷重の載荷方法としては、図13中のNo.3クランプにジャッキを内蔵した施工機械で載荷する方法等がある。

5.3 支持力の確認

前記の打ち止め管理を実施した杭の支持力性能を確認するために関西、四国、関東の3箇所において載荷試験を実施した。

載荷試験の仕様及び結果を表2に示す。

ここで、極限支持力とは杭頭変位が杭径の10%に達した時の杭頭及び杭先端における荷重であり、杭先端N値とは杭先端部での地盤の硬さを示している。各載荷試験の極限支持力における先端支持力度と杭先端N値との関係を図14に、最大周面摩擦力度と各土層における平均N値との関係を図15に示す。図14中には道路橋示方書⁸⁾に記載されている打込み杭において杭径相当根入れした場合の傾き(60N)とN値から決まる上限値を点線で上限値がなくN値に対して線形に先端支持力度が増えていくとした場合を点線で示している。また、図15中には道路橋示方書に記載されている中掘り杭における周面摩擦力度とN値の関係の傾きと上限値を直線で示している。

先端支持力度に関しては上限値を考慮した直線で示される設計値を大きく上回る結果となっており、周面摩擦力度

表2 鉛直載荷試験結果
Results of vertical loading test

Site area	Diameter of pile (mm)	Length of pile (m)	Soil property of bearing layer	N value at pile end	Ultimate bearing capacity (kN)	
					Pile top	Pile end
Kansai	800	21.0	Gravel	64	4168	2548
Shikoku	800	18.0	Gravel	44	4060	2368
Kanto	1000	15.5	Sand	72	6363	3576

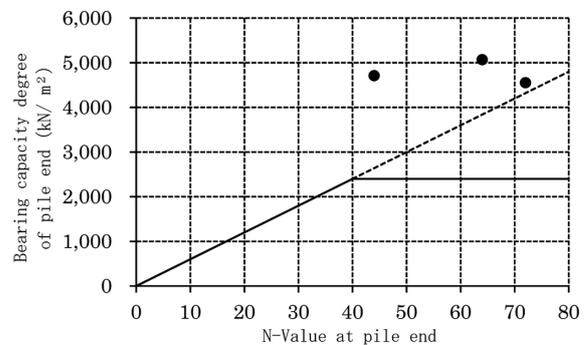


図14 先端支持力度
Bearing capacity degree of pile end

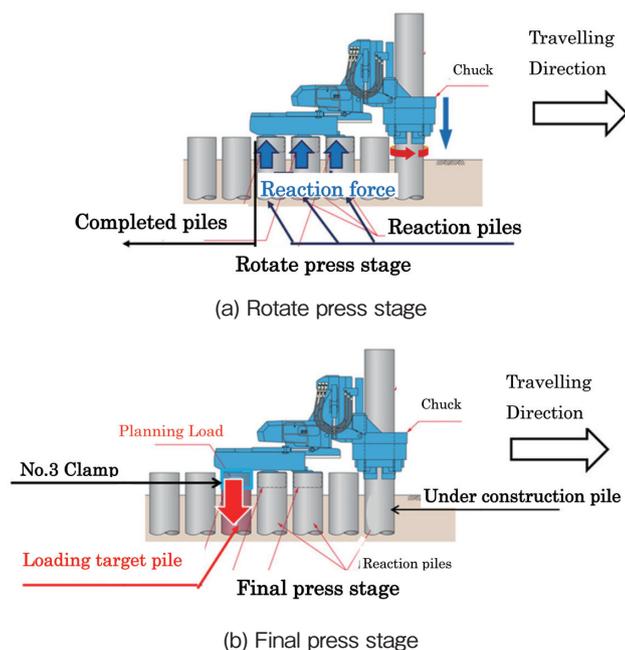


図13 打ち止め管理方法
Close management method

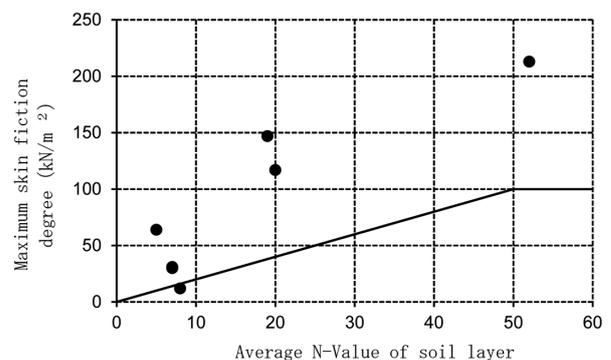


図15 周面摩擦力度
Skin friction degree

についても現状の設計で準用されている中掘り杭相当の数値となっている。今後、設定した施工管理手法を確実に実行し、本工法の特長である杭1本毎に支持力を確認できることを活用していくとともに、載荷試験数を増やすことで、先端支持力の評価を確定させていく。

6. おわりに

ジャイロプレス工法は、今後、さらに推進されていくと予測される防災、都市インフラストラクチャ整備において適用性の高い工法である。同分野において、これまでの本工法では対応が不可能であったニーズを捕捉すべく、適用範囲を拡大させる開発を試みて実際に適用できる目途を得た。これらの拡大範囲についてはまだ実績は少ないものの、今後、適用事例を増加することにより工法としてのノウハウ等をさらに積み上げ施工法としての信頼性を確保していきたい。また、別途、本工法の支持力機構の解明を目指すとともに、新たなニーズも取り組んだ技術開発を継続して行っていく予定である。

謝辞

ジャイロプレス工法の共同開発者である(株)技研製作所

には、開発当初より、工法の確立に向けた施工機、施工法の開発、施工能力の改善等に加えて、各市場分野への普及、拡大において、多大なるご尽力、ご助力を頂いており、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 榎享：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), 22-27 (2006)
- 2) 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. 2007, p.463-464
- 3) 平田尚 ほか：新日鉄技報. (387), 17-23 (2007)
- 4) 木村育：既設構造物を撤去せずに新たな構造物を構築—ジャイロプレス工法—。建設機械. 45 (7), 45-50 (2009)
- 5) 高橋義章：鋼管杭の自走式回転圧入工法—内川護岸耐震補強工事(新橋下流その2)—。土木施工. 52 (3), 53-57 (2011)
- 6) 小野正人 ほか：交通量の多い狭あい地における道路擁壁改修施工事例について、第15回国際地盤工学会アジア地域会議 (ESD), 2015
- 7) ジャイロプレス(回転切削圧入)工法による鋼管土留め擁壁設計・施工指針. 国際圧入学会, 2014
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説IV下部構造編. 2012.3



平田 尚 Hisashi HIRATA
 建材事業部 建材開発技術部
 土木基礎建材技術第一室 首席主幹
 東京都千代田区丸の内2-6-1 〒100-8071



松井延行 Nobuyuki MATSUI
 ニッポン・スチール&スミトモ・メタル サウス
 イーストアジア社 マネジャー
 (前 建材事業部 建材開発技術部
 土木基礎建材技術第一室)