

第 21 回(令和 4 年度)技術報告会
北海道土木技術会 土質基礎研究委員会

土質基礎に関する「多様化する社会に向けた
我が社の取り組み」技術報告会

報 告 集

令和 5 年 2 月

主催 北海道土木技術会 土質基礎研究委員会

目 次

セッション a

- a-1 圧入工法に関する適用事例：インプラント工法による社会資本の整備 1
株式会社 技研製作所 山口 雅史、岡田 充弘
- a-2 高さ制限下でのプレファブリケイティッドバーチカルドレーンによる
継杭打設式工法の適用事例 11
錦城護謨 株式会社 山内 義文、榊原 司、梅屋 司
株式会社 中山組 竹内 鑑人、田中 秀幸
- a-3 SDGs に貢献する管更生工法 「SW ライナー工法」 16
岡三リビック 株式会社 鈴木 辰一、坂東 正仁

セッション b

- b-1 少子高齢化社会に向けた ICT 地盤改良への取り組み 22
株式会社 不動テトラ 伊藤 竹史、中出 雄也
- b-2 グラウンドアンカーに作用する凍上力に関する実物大試験 28
日特建設 株式会社 池田 淳、飯塚 孝之
国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 林 宏親、御厩敷 公平、佐藤 厚子
日本基礎技術 株式会社 中村 剛
- 編集委員より 35

圧入工法に関する適用事例：インプラント工法による社会資本の整備

株式会社技研製作所 山口 雅史*1

株式会社技研製作所 岡田 充弘*2

1. はじめに

『圧入工法（あつにゅうこうほう）』とは、油圧などを用いて工場生産された鋼管杭や鋼矢板（以下、杭／矢板）などを、地盤中の所定深度まで貫入し設置する施工技術の一つである。油圧式杭圧入引抜機が、すでに地中に押し込まれた杭／矢板を数本掴み、その引抜抵抗力を反力として次の杭／矢板を油圧による静荷重で地中に押し込むことから、振動や騒音が小さく、地盤を乱さない等の優れた特長を有している。

こうした圧入工法の優れた特長をもとに、建設のあるべき姿を定めた基準である「建設の五大原則」を遵守し、従来の建設のあり方を変える『工法革命』を実現するために、圧入工法に関する様々な機器・施工技術・構造物の開発が進んでいる。本稿では、粘り強い構造物を構築する『インプラント工法[®]』とその適用事例を紹介することにより、多様化する社会かつ自然災害に対する備えが必要なわが国の社会資本の整備における、同工法の有用性について述べる。

2. 5つの評価基準を用いた建設工事の評価手法「建設の五大原則」¹⁾

限りある地球環境の中で、人口増加や地球温暖化に起因すると考えられる自然災害の激甚化といった地球規模の問題に対し、安全・安心な社会資本を整備し、循環型で持続可能な社会を構築することが、建設に課せられた重大な使命である。このような社会情勢のなか、建設工事においては、選定する工法の合理性や先見性、目的に対する適合性や妥当性が、環境や社会に大きな影響を及ぼす。従って、工法や構造形式を選定する際に初期の建設費以外の観点も含めた多面的な評価が求められている。例えば、費用便益分析や環境影響評価、総合評価方式といった評価方法の採用や、アセットマネジメントにおけるニューパブリックマネジメントやライフサイクルコストといった概念の建設分野への導入などが挙げられる。

建設工法の選定にあたっては、建設対象を専門的に単体で評価する視点だけでなく、国民の視点や地球環境を視野に入れた客観的な評価方法が求められる。この客観的な判断基準の一つとして「建設の五大原則」²⁾（北村精男，1994）が提唱されている。この考えは、図-1に示す、環境性、安全性、急速性、経済性、文化性の5つの要素から成り立っており、各要素の定量的な評価を実施する際の評価項目と評価指標がある。



【環境性】工事は環境に優しく、無公害であること

【安全性】工事は安全かつ快適で、
工法自体が安全の原理に適合していること

【急速性】工事は最短の時間で完了すること

【経済性】工事は合理的で新規性・発明性に富み、
工費は安価であること

【文化性】工事は高い文化性を有し、完成物は文化的で
芸術性に優れていること

図-1 建設の五大原則¹⁾

*1 Masafumi YAMAGUCHI 札幌市北区北七条西4丁目5番地 伊藤 110 ビル 704 室 ・TEL 011-374-7261

*2 Mitsuhiro OKADA 大阪府大阪市西区阿波座2丁目1番1号 大阪本町西第一ビルディング 6 階
・TEL 06-6537-1616 ・FAX 06-6537-6900

圧入工法に関する機器・施工技術・構造物の開発は、これら 5 つの要素を高いレベルでバランスよく満たすことを念頭に進めており、開発過程において建設の五大原則による定量的な評価を実施している。このことは、従来の構造物や施工方法と比較し、より合理的で新規性、発明性に富む新しい構造物や施工方法を導入する「工法革命²⁾」を実現するための客観的かつ数値的な根拠となっている。

3. 杭／矢板と油圧式杭圧入引抜機「サイレントパイラー[®]」

(1) 杭／矢板

杭とは上部構造の荷重を地盤に伝えるために、地中に設ける柱状の部材である。³⁾ 他方、矢板とは断面の両側に嵌合継手が設けられた板状の杭の呼称であり、その語源は、矢羽根型に切削された木矢板に由来していると考えられている。また、矢板工法の歴史は古く、ローマ時代に遡るものとされている。⁴⁾

建設工事がかかせない材料である杭／矢板は、用途や使用環境にあわせ様々な材質や形状が今日までに開発されている。このうち、あらかじめ工場で製作された既製の杭／矢板は、高い剛性と品質を有し、設置に関する工期を短縮できるため、わが国において幅広く使用されている。

(2) 油圧式杭圧入引抜機「サイレントパイラー」

既製の杭／矢板の施工方法に関して、「圧入原理の優位性」に着目し²⁾、コンパクトに開発された杭／矢板を施工する建設機械が、油圧式杭圧入引抜機「サイレントパイラー」(図-2) である。

サイレントパイラーの特徴は、機械が既に打ち込んだ杭／矢板を数本掴んで、次の杭／矢板を油圧による静荷重で押し込むことにある。これは、実際の現場において地中に打ち込んだ杭／矢板を引き抜くには回復した周面摩擦とサクション、継手部の嵌合などの要因で打ち込み時の力を大きく上回る力を有するという経験に由来している。ここから、地中に押し込んだ杭／矢板を数本掴むことにより大きな引抜抵抗力を得て、その力を反力として利用した、振動・騒音のない無公害型の杭／矢板の施工機械の発想が生まれた。

そして、この発想に基づき鋼矢板を施工する油圧式杭圧入引抜機「サイレントパイラーK GK-100A 型」が 1975 年に開発され、現在では生産台数は 3000 台を突破、40 を超える国と地域において施工実績がある。

4. GRB システム[®]施工と貫入技術

(1) GRB システム ノンステーキング工法

油圧式杭圧入引抜機(以下、圧入機)は、地球と一体化した既設の杭／矢板に反力を求め、その天端を自走しながら作業を進める。この反力を基調とした施工原理をさらに発展させ、連続壁を構築する全工程(杭／矢板の搬送・吊り込み・打ち込み)を設置済みの杭／矢板上で行う施工技術が、GRB システム⁵⁾ である。

GRB システムの基本構成を図-3 に示す。杭／矢板を地中に押し込む圧入機本体を先頭に、油圧動力源であるパワーユニットとそれを移動させるユニットランナー[®]、杭／矢板を吊り込むクランプクレーン[®]、作業基地から杭／矢板を搬送するパイルランナー[®]で構成される。同システムでは、全ての機械装置が杭／矢板を掴んで自立しているため、転倒の危険性は極めて低く安全で、工事の影響範囲は杭／矢板上の機械幅と施工基地のみに抑えられる。

ここで、河川護岸の改修工事における従来工法との比較を図-4 に示す。従来工法では施工機械の足場を確保するため水上に仮設栈橋を構築する必要がある。しかし、同システムでは仮設栈橋を必要とせず、護岸改修に必要な連続壁の構築を効率的に行える。このシステムを使用する施工法は「ノンステーキング工法」⁶⁾ として実用化しており、今日までに多くの採用実績がある。



図-2 油圧式杭圧入引抜機
サイレントパイラー

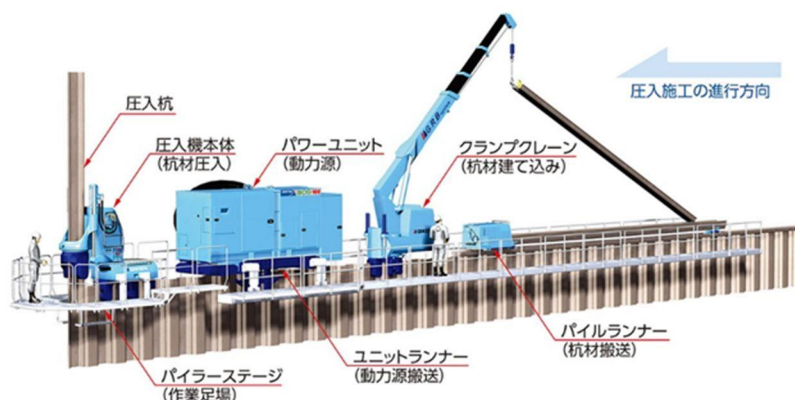


図-3 GRB システムの基本構成



a) 従来工法



b) GRB システム (ノンステージング工法)

図-4 従来工法と GRB システムの比較

(2) 回転切削圧入 (ジャイロプレス工法®)

油圧による静荷重を用いて杭を地中に押し込む圧入工法では、その施工の可否は材料・圧入力・地盤のバランスに左右される。例えば、密実な砂質土や玉石を含む砂礫など、地盤条件によっては杭／矢板の貫入が困難な場合がある。そのような硬質地盤に対して杭／矢板の材料強度をあげ、より大きな圧入力を持つ施工機械を導入すれば三要素のバランスが取れ施工を行うことはできるが、材料費と施工費は増額する。

そうした場合に、地盤の貫入抵抗力を軽減し、圧入力を必要最小限に抑え、ゆとりある反力によって効率的な施工を実現するために、圧入工法では種々の貫入技術が実用化されてきた。その一つに、鋼管杭を回転切削にて圧入するジャイロプレス工法（以下、回転切削圧入）がある。

回転切削圧入は、先端リングビット付きの鋼管杭を回転させながら圧入する貫入技術で、硬質な地盤や鉄筋コンクリート構造物を切削しながら、鋼管杭を設置する（図-5）。このことから、既存の地下構造物を残置したまま構造物の構築や機能強化が可能であり、かつ地下構造物を撤去するための仮設土留めなどの工種を削減し、周辺環境や地域経済に与える負荷を最小限に留めることも可能である。

鋼管杭の回転切削圧入後は、杭間の背面側からの土砂流出を防止するために、等辺山形鋼、小口径鋼管などの杭間処理材を挿入できる（図-6）。

5. 日本における社会資本や自然災害の現状と将来的な課題⁶⁾

建設後 50 年以上経過する社会資本のうち、道路橋、トンネル、河川管理施設（水門等）、下水道管きょ及び



図-5 回転切削圧入（ジャイロプレス工法）

図-6 杭間処理（等辺山形鋼）

表-1 建設後 50 年以上経過する社会資本の割合 ⁷⁾ 抜粋

（社会資本の老朽化の現状と将来予測（国土交通省, 2016）より引用し、一部抜粋）

	2018年3月	2023年3月	2033年3月
道路橋 [約 7 3 万橋（橋長 2 m 以上の橋）]	約 25%	約 39%	約 63%
トンネル [約 1 万 1 千本]	約 20%	約 27%	約 42%
河川管理施設（水門等） [約 1 万施設]	約 32%	約 42%	約 62%
下水道管きよ [総延長：約 4 7 万 km]	約 4%	約 8%	約 21%
港湾岸壁 [約 5 千施設（水深-4.5m 以深）]	約 17%	約 32%	約 58%

港湾岸壁の割合 ⁷⁾ を表-1 に示す。これらの社会資本は今後 20 年で建設後 50 年以上経過する施設の割合が加速度的に高くなる。このため、老朽化が加速する社会資本に対して、国民の理解と合意を得た経済的かつ持続可能な対策のもと、戦略的に維持管理および更新することがわが国の社会資本整備における課題といえる。

次に、平成 28 年 8 月北海道豪雨災害（2016 年）や北海道胆振東部地震（2018 年）といった自然災害の発生状況などについて確認する。わが国における自然災害による被害の内訳を見ると、発生件数は台風が 57.1% と最も多く、次いで地震、洪水が多い。他方、被害額は、発生すれば広域に甚大な被害をもたらす地震が 8 割超を占めており、次いで台風、洪水の順である。また、自然災害の発生件数と被害額の推移においては、発生件数は変動を伴いながら増加傾向にある。近年では、平成 30 年 7 月豪雨（西日本豪雨）により広範囲に大きな被害をもたらした。このような大雨に関して、1 時間降水量 50mm を上回る大雨の発生件数が、この 30 年間で 1.4 倍に増加している。このことから、今後も気候変動の影響により水害が頻発することが懸念される。⁸⁾

自然災害に対するハード面での事前防災や、災害復旧に関する施工技術の確立も、わが国の社会資本整備における課題である。

6. インプラント構造[®]とインプラント工法

社会資本の老朽化および頻発する自然災害に対するハード面での対策として、ここでは圧入工法を用いたインプラント構造とインプラント工法を紹介する。

（1）インプラント構造

東北地方太平洋沖地震（2011 年）による巨大地震とその後に発生した津波により、コンクリートブロックやケーソンを用いた防波堤、現地盤を盛土しその表面をコンクリート等によってコーティングされた海岸堤防

などは破堤し、大規模な被害が発生した。こうして多くの堤防が被害を受けるなか、岩手県釜石市唐丹地区と山田町織笠地区にある仮締切り用途として供用されていた 2 重矢板壁構造に関しては、天端高さを遥かに超える想定津波高さの津波被害を津波直交方向に受けた場合であっても機能を維持し、倒壊せずに残存していたことが報告されている。⁹⁾ 両地点での鋼矢板材料は一般的に用いられるハット形鋼矢板や普通鋼矢板であり、津波による中詰土の流出や矢板前面地盤の洗掘が見られるたが鋼矢板や頭部を接続するタイ材は健全な状態を保持していた。その後の調査と数値解析による津波外力に対する再現計算から、津波に対する構造安定性が概略評価されている。¹⁰⁾

この鋼矢板を 2 列に地盤深く根入れした構造体は、躯体部と基礎部が一体となった部材を地中に深く押し込み、地球と一体化した粘り強い構造物であるインプラント構造（図-7）といえる。工場生産された部材は、一本一本が工業製品として高い剛性と品質を有しており、部材の大きさと地盤への貫入深さによって、鉛直方向や水平方向からの外力に対して高い耐力を発揮する粘り強い構造体である。

インプラント構造の鋼矢板による壁体が締切り内の地盤を拘束することで地震動の衝撃を緩和させ、同時に液状化による流動を抑制して構造物の沈下を抑えたと考えられる。インプラント構造とフーチング構造の比較を図-8 に示す。東日本大震災は奇しくもインプラント構造の粘り強さと、地盤に置いたコンクリートブロックやケーソンの重みで外力に抵抗するフーチング構造の脆弱さを実証する形となった。

（２）インプラント工法

インプラント工法とは、圧入の優れた特長を生かした回転切削圧入や GRB システムを用いてインプラント構造物を構築する工法である。部材を地上部から地中に圧入施工することにより、仮設工事なしで省スペースかつ早期に構造物を構築できる。加えて、工事の影響範囲を最小限に留めたコンパクトなシステム機器と、高品質な部材を用いた単純かつ合理的な施工方法は、構造物を構築する際の地形改変を少なくし、周辺環境への影響を抑えることも可能である。また、部材を引抜くことで移設や撤去も容易に行え、撤去した部材は別の用途に再利用するなど、循環型のライフサイクルに則った機能本位の構造物を具現化できる。

7. インプラント工法の適用事例

インプラント工法はインフラ整備においてその適用事例数を確実に増やしている。ここでは、各構造への適用事例を紹介する。

（１）堤防への適用事例：インプラント堤防[®]

南海トラフを震源とする地震は、今後 30 年以内に 70%から 80%の確率で発生すると予測されている。この

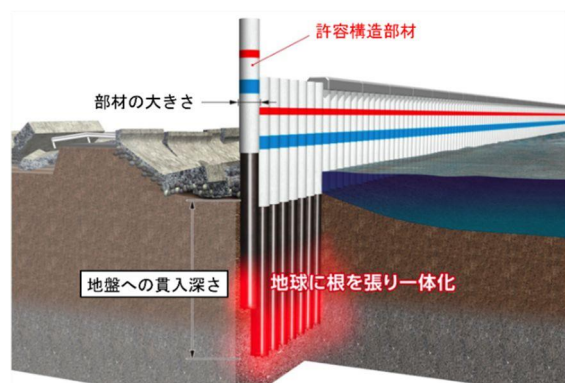
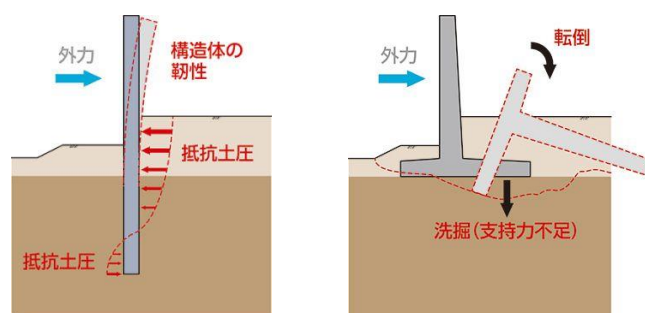


図-7 インプラント構造



a) インプラント構造

b) フーチング構造

図-8 構造比較

ため、南海トラフを震源とする地震・津波の被害を最小限にとどめる事前対策として、高知県においては総延長 18km におよぶ海岸堤防の改良整備が行われた。

同地震においては、地震に伴う液状化の発生により、海岸堤防が大きく沈下、続く津波に対してその機能を十分に果たせないという恐れがあった。このことから、海岸堤防を液状化に強い構造へと改良しなければ、地震後に襲来してくる津波が沈下した堤防を乗り越えて陸側に侵入し、甚大な被害を及ぼすことが懸念された。この液状化・耐震対策にインプラント堤防が用いられた。

インプラント堤防による既存堤防の改良は、地震による液状化や地盤沈下による堤防決壊を防ぎ、同時に堤防高の嵩上げも可能であることから、高潮・洪水対策の強化も迅速に行える。同堤防は、① 鋼矢板 2 重締切り、または ② 鋼管杭連続壁で構成される。¹¹⁾ なお、鋼矢板 2 重締切りは隔壁を設けることにより、形状維持の機能が高まる（同構造は、インプラントロック堤防[®]と称される）。

構造物に要求される条件、現場環境、構築のための工費・工期等を踏まえ、計画段階において最適なものを選定できる。その事例として図-9 に仁ノ海岸堤防改良工事、図-10 に新居海岸堤防改良工事を示す。仁ノ海岸では堤体上を道路として利用し、比較的広い範囲を施工ヤードとして確保できたことから、経済性に優れる鋼矢板 2 重締切りが採用された。また、新居海岸では後背地の道路（緊急輸送道路）と保全対象である海岸間の狭小地しか堤防用地がないことから、剛性の高い鋼管杭を 1 列配置とした。これにより、既存交通を通行止めすることなく、堤防の改良を完成させた。

（２）胸壁への適用事例：インプラント胸壁

「津波を考慮した胸壁の設計の考え方（暫定版）」¹²⁾（水産庁，国土交通省，2015）において、「粘り強い構造」とは、発生頻度の高い津波を超える津波に対しても可能な限り、被害を受けたとしても全壊しにくく、全壊に至る時間を少しでも長く延ばし早期復旧が可能となる構造上の工夫のことである。胸壁についても「粘り強い構造の検討が必要」とあり、加えて「原則として海岸保全施設の設計に用いる津波は、最大クラスの津波より小さいことから越流することが想定され、津波に対しても全壊しにくく、全壊に至る時間を少しでも長く延ばすことが可能となる構造上の工夫が必要」とある。同資料に記載のある粘り強い構造の検討箇所例を図-11 に、粘り強い構造の検討内容例を表-2 示す。



図-9 仁ノ海岸堤防改良工事



図-10 新居海岸堤防改良工事

この粘り強い構造の考え方を踏襲した構造物が、インプラント工法により構築されたインプラント胸壁（図-12）である。同胸壁においては、堤防高さに関する地域住民との合意形成や、気候変動等による海面水位の上昇、高潮高さの増大に備え、段階的な嵩上げが可能である（図-13）。

図-14 にその適用事例を示す。同事例では油圧により組合せ壁体（鋼管杭とハット形鋼矢板）を既存胸壁の背面に配置した。鋼管杭は支持層に根入れさせ、杭基礎としてコンクリートの自重を支持する構造としている。

鋼管杭と鋼矢板は鉄筋コンクリートにより既存胸壁と一体化させ、計画の高さまで胸壁を嵩上げた。また、同工法の特徴の一つとして狭小なスペースで杭／矢板の施工が可能であり、後背地の用地買収を必要とせず

表-2 粘り強い構造の検討内容例

	検討箇所	対策内容
①	堤体工	ホゾや用心鉄筋により堤体上部の欠損リスクを低減
②	水叩き工	越流に対する護床工として水叩き舗装厚を強化 堤体工と一体化させ構造強化 強制的な跳水（シル、ピア）
③	基礎工	杭基礎により堤体の滑動及び転倒の安定性を強化
④	基礎工	As 舗装は、路盤の安定処理により洗掘・吸い出しを防止
⑤	基礎工	砕石のセメント注入固化などで、基礎の洗掘・吸い出しを防止
⑥	洗掘対策工	矢板等を設置して洗掘や吸い出しが堤体直下に及ばないように制御

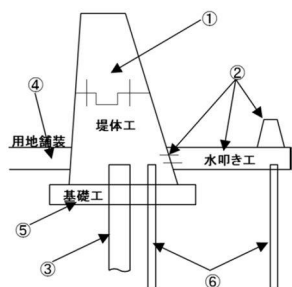


図-11 粘り強い構造の検討箇所例

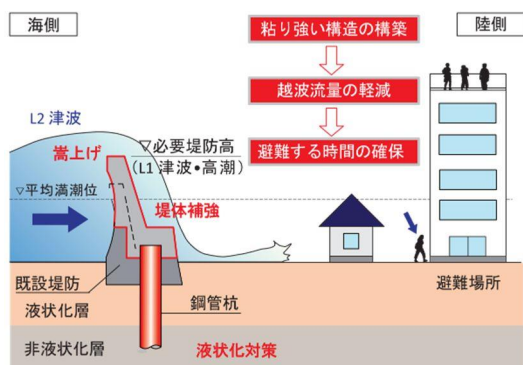


図-12 インプラント胸壁

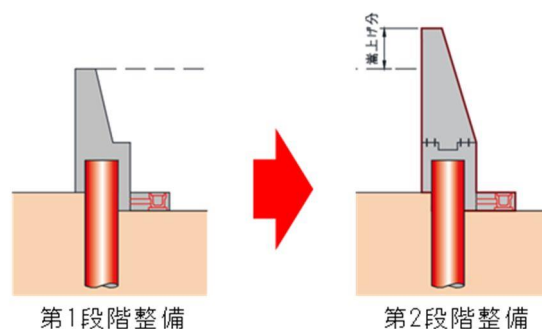


図-13 段階的な嵩上げ（概念図）

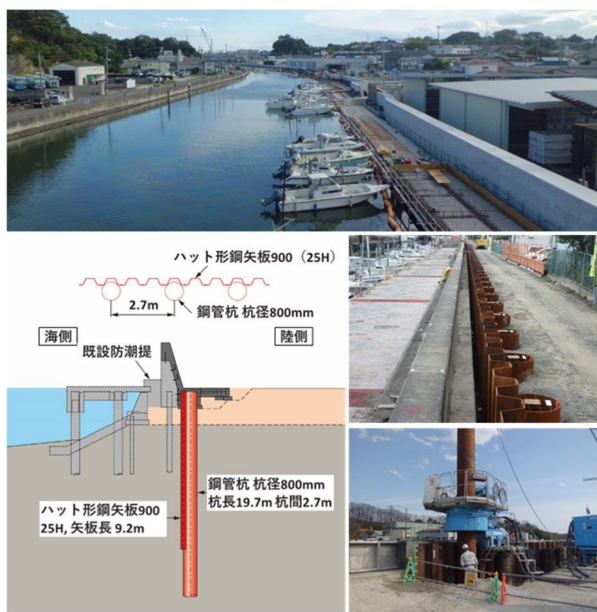


図-14 インプラント胸壁の適用事例 ¹¹⁾
中の島胸壁外災害復旧工事



図-15 プレキャスト上部工の事例
大船渡港長浜地区海岸防潮堤工事

施工が可能であることも採用理由の一つであった。更に、同構造は場所打ちコンクリートに代わり、プレキャストコンクリート部材を用いて上部工を構築することも可能である（図-15）。同部材は品質の確保に優れており、工期を大幅に短縮できる利点がある。さらに、昨今の建設需要の増加や高齢化に伴う場所打ちコンクリートを施工する職人の不足、既製品による施工管理の容易さから、その採用事例は増加傾向にある。

（３）擁壁への適用事例：インプラント擁壁

擁壁とは、壁の自重、底板上部の土砂の重量などで土圧に抵抗して、切土や盛土による急斜面を支え、その安定を図るための壁体構造物である。³⁾ この擁壁をインプラント工法により構築した自立式の土留め構造物がインプラント擁壁である。杭／矢板の頭部変位を抑えるためのグランドアンカーの設置、裏込め材に軽量盛土を併用することにより、擁壁に要求される性能を満たした経済的な材料を選定できる。

インプラント擁壁は、道路・鉄道の分野において掘削道路や道路・鉄道の拡幅に用いられることが多い。¹⁾ コンクリートを使用したフーチング構造では、擁壁を構築するために掘削、埋め戻し、状況に応じて仮設土留めが必要となる。しかしながら、設置した部材をそのまま本体として利用できるインプラント擁壁では、これらの工事が小規模になるので、市街地など後背地の使用に制限がある場合に有利となる。さらにシステム機器がコンパクトであり、杭／矢板の施工に必要な作業範囲を最小限に留めることができる。この他、原理的に振動のない圧入工法の特長を生かし、工事周辺にある構造物に対して変状の影響を最小限に留めることが可能となる。このため、既存構造物の変位が課題となる工事（例：鉄道近接工事）において、実績数は多い。

平面交差道路の立体交差化工事の場合、インプラント工法を用いると掘削や擁壁施工時の施工ヤード確保のための煩雑な車線の切り回しや長期の規制を軽減することができる。図-16 に鉄道平面の線形変更に伴う



図-16 鉄道平面の線形変更に伴う線路用地の拡幅・擁壁築造^{1) 改}

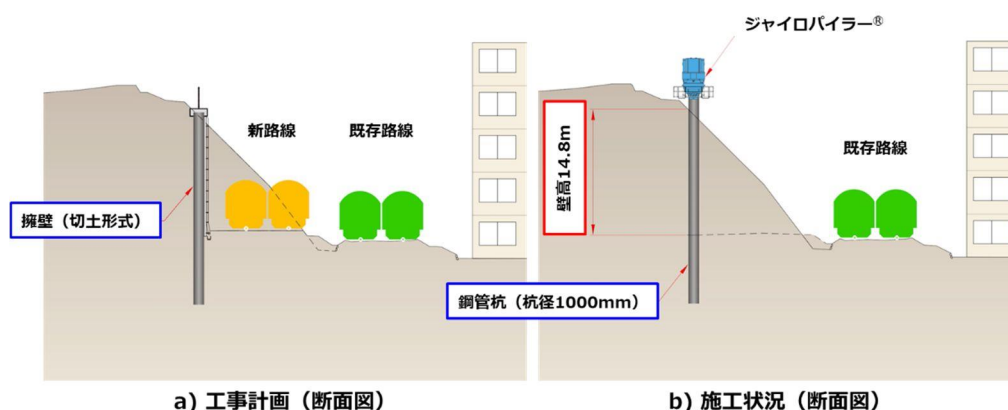


図-17 標準断面図

線路用地の拡幅および擁壁構築の事例¹⁾を、図-17に工事計画と施工時の標準断面図を示す。

同工事では、地質調査により岩層の一部が風化しており、アンカー式擁壁ではアンカー定着部に不安要素があった。更に施工地は、供用中の鉄道と後背地の住宅に挟まれた斜面上である。このような状況において、仮設が不要かつ狭隘地で施工可能な GRB システムによる回転切削圧入を用いて、自立式の鋼管杭連続壁によるインプラント擁壁が採用された。

(4) 災害復旧工事への適用事例

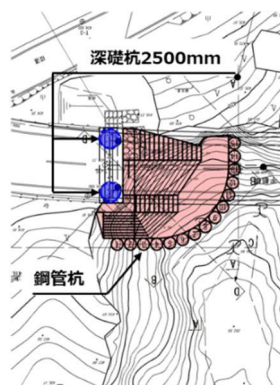
わが国では大雨の発生件数が増加しており、それに伴う水害や土砂災害が今後、頻発することが懸念される。こうした自然災害に対する復旧に関しても、インプラント工法はその優れた特長を生かし適応可能である。

図-18に橋台の周辺地盤が崩落する被害を受けた橋梁の被災状況を示す。¹⁾ 台風による豪雨により、橋台前面の広範囲に地すべりが発生した。沢は大きくえぐられ、復旧のための仮設構台を設置することが難しい状況であった。このため、既設橋台の周囲を囲み、補強する必要が発生した。その恒久対策として、杭径 1500mm の鋼管杭を設置し、補強土と鋼管杭擁壁で橋台前面の地盤を改良復旧することとした。図-19に、鋼管杭の配置と標準断面を示す。同対策により、失われた橋台前面の地盤の地耐力を向上させ、水平変位を抑えることで増し杭や橋梁を架け替えることなく既設橋台の存続使用が可能となった。

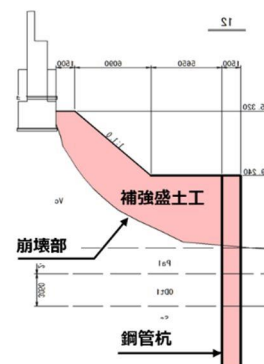
施工に際しては、換算N値 750 以上の砂岩に鋼管杭を根入れさせる必要性があった。このため、先端リングビット付きの鋼管杭を施工する回転切削圧入が採用された。加えて、橋梁下かつ重機の作業スペースがないことから、GRB システムも併用された。図-20に鋼管杭の施工状況を示す。鋼管杭の設置後は、平鋼を杭間処理材として用い、補強盛土を行った。図-21に竣工時の状況を示す。



図-18 被災状況



a) 鋼管杭の配置図



b) 標準断面図

図-19 改良復旧に関する鋼管杭の配置図



図-20 鋼管杭の施工状況



図-21 竣工時の状況

8. まとめ

本稿では、わが国の社会資本の整備に関する課題、圧入工法に関する施工技術、インプラント構造とインプラント工法の紹介、社会資本の整備における擁壁構築、海岸堤防および胸壁（防潮堤）の改良、地盤変状における災害復旧（恒久対策）に対するインプラント構造とインプラント工法の有用性について述べた。

社会資本の整備や災害復旧工事では作業スペースの確保が困難であったり、大規模な仮設栈橋や盛土の構築に工期・工費を費やすといったことが往々にして起こりうる。加えて、用地買収や大規模土工など周辺環境への影響も考慮に入れる必要がある。

これに対し、建設の五大原則を構成する5つの要素（環境性・安全性・急速性・経済性・文化性）を高いレベルでバランスよく満たすインプラント工法は、近隣住民の安全と安心を確保し、かつ経済社会に影響を与える交通への阻害などを抑制する効果的な工法といえる。このような合理的で新規性、発明性に富む新しい構造物や施工方法を導入する「工法革命」を実現させることは、今後の社会資本整備における「新しいスタンダード（新基準）」となるはずである。

最後に、本稿で紹介したインプラント工法とその適用事例が、多様化する社会資本の整備に関わるすべての研究者、実務者にとって参考となり、自然災害に対する備えとしても様々な形で用いられるようになれば幸いである。

参考文献

- 1) 国際圧入学会: 圧入工法・設計施工指針 -2020 年版- 参考資料編, pp.参考-155 - 参考-161, pp.参考-304 - 参考-306, pp.参考-178 - 参考-190, 国際圧入学会, 2020.
- 2) 北村精男: 工法革命 インプラント工法で世界の建設を変える, pp.2-34, 2018.
- 3) 公益社団法人 地盤工学会, 地盤工学用語辞典改定編集委員会: 地盤工学辞典, p.298, p.1257, 2006.
- 4) 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼矢板 Q&A, p.3, 2017.
- 5) 株式会社 技研製作所: GRB システム 仮設工事を不要とする「仮設レス施工」を実現,
URL: https://www.giken.com/ja/technology/grb_system/ (2022 年 10 月 31 日)
- 6) 株式会社 技研製作所: ノンステージング工法 GRB システム
URL: https://www.giken.com/ja/wp-content/uploads/press-in_nonstaging-1.pdf (2022 年 10 月 31 日)
- 7) 国土交通省: インフラメンテナンス情報 社会資本の老朽化の現状と将来予測
URL: https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html (2022 年 10 月 31 日)
- 8) 中小企業庁: 中小企業白書, 我が国における自然災害の発生状況
URL: https://www.chusho.meti.go.jp/pamflet/hakusyo/2019/2019/html/b3_2_1_2.html (2022 年 10 月 31 日)
- 9) 戸田和秀, 岡由剛, 楠本操, 水谷太作, 西山輝樹, 永尾直也, 恩田邦彦: 二重鋼矢板壁の津波作用時における構造評価, 地盤工学会特別シンポジウム 東日本大震災を乗り越えて, pp.691-695, 2014.
- 10) 古市秀和, 原忠, 谷美宏, 西剛整, 乙志和孝, 戸田和秀: 地震・津波の複合災害に耐える鋼矢板堤防補強法に関する研究, 地盤工学ジャーナル Vol.10, No.4, pp.583-594, 2015.
- 11) 株式会社 技研製作所: 防災・減災・国土強靱化 インプラント堤防®,
URL: https://www.giken.com/ja/wp-content/uploads/Engineer_ImplantLevee_ver2.0ja03.pdf (2022 年 10 月 31 日)
- 12) 水産庁 漁港漁場整備部 防災漁村課, 国土交通省 港湾局 海岸・防災課: 津波を考慮した胸壁の設計の考え方 (暫定版), pp.16-17, 2015.

※ ジャイロプレス工法は、株式会社技研製作所と日本製鉄株式会社の登録商標です。

高さ制限下でのプレファブリケイティッドバーチカルドレーンによる 継杭打設式工法の適用事例

錦城護謨株式会社 山内 義文*¹ 榊原 司*¹

梅屋 司*¹

株式会社中山組 竹内 鑑人*² 田中 秀幸*²

1. はじめに

プレファブリケイティッドバーチカルドレーン工法（以下、PVD 工法）は粘土地盤の圧密改良工法として広く利用されている。通常の施工現場は埋立地、道路、用地造成など改良範囲の制限はあっても機械高さ制限はほとんどない。しかし、改良範囲内に高圧線が横断している、空港用地内を地盤改良する場合などには機械高さ制限が設けられる。PVD 工法は改良する深度以上の機械高さを必要とするため図-1-1 に示すように機械高さ制限より長い改良深度を施工することは今までは難しかった。

以前には、ドレーン材をそのままロッド棒に沿わせてロッドを継ぎ足しながら打設する工法¹⁾もあったが、ドレーン材をロッド棒に添わせてそのまま地盤に押し込むためドレーン材を損傷する場合があります、現在では使われていない。しかし、最近は改良する深度より短いタワーでもタワー内に継ぎ足すケーシングを配置しケーシングを継ぎ足して打設を行う工法「継杭打設式ドレーン工法²⁾³⁾」が開発され、機械高さよりも長い深度を打設することが可能となった。

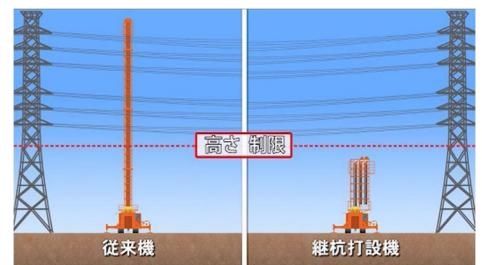


図-1-1 高さ制限下の模式図

本稿では、「継杭打設式ドレーン工法」の工法概要と適用事例の工事概要、施工機械、施工方法および特徴などについて報告する。

2. 工法概要

2-1. 工法の特徴

PVD 工法は改良深度以上の機械高さが必要となるが、「継杭打設式ドレーン工法」は、機械高さの制限がある場合にタワー内に収納された継ぎ足し用のケーシングを継ぎ足し打設することで機械高さより長い改良深度を施工することが可能となった。

本工法の特徴³⁾としては、

- ①タワー内に複数のケーシングを並列収納し、ケーシングを継ぎ足すことで所定の深度までドレーン材を打設できる。
- ②継ぎ足すケーシングの本数を変えることで、高さ制限下で所定の深度まで打設することができる。
- ③継ぎ足すケーシングの上下に複数の小型軽量ローラを使用することでドレーン材の連続性は確保されスムーズに供給される。



写真-2-1 継杭打設式ドレーン施工

*1 Yoshifumi Yamauchi、Tsukasa Sakakibara、Tutomu Umeya 大阪府八尾市跡部北の町 1-4-25 ・ TEL072-992-6630 ・ FAX072-922-4175

*2 Hideyuki Tanaka、Akihito Takeuchi 札幌市東区北 19 条東 1-1-1 ・ TEL011-741-8186 ・ FAX011-731-5466

④ドレーン材の接続には専用のジョイントジャケットを使用することで接続部の連続性は確保されドレーン材に損傷を与えない。

継杭打設式ドレーン施工機、小型軽量ローラおよび専用のジョイントジャケットを写真-2-1、写真-2-2 および写真-2-3 に示す。

2-2. 施工における留意点

本工法は、高さ制限下でのドレーン打設工を行うために開発、実用化された工法である。しかし、機械の仕様・構成上において全ての現場条件に適用は難しい。下記に示す現場条件下では検討が必要となるので留意されたい。

- ①高さ制限が 15m 以下の場合
- ②改良深度が高さ制限の 1.5 倍以上の場合
- ③継回数が 3 回以上となる場合

本工法はタワー内に継ぎ足し用のケーシングを複数収納するため重心位置がセンターより移動する。また、タワー内のケーシングを動かす装置が必要となるため重心が高くなり安定度が低下する恐れがある。そのため、当工法の機械仕様は、

- ①打込み長 40m 以下の施工機を標準とする
- ②フロート式アウトトリガーを標準装備とする

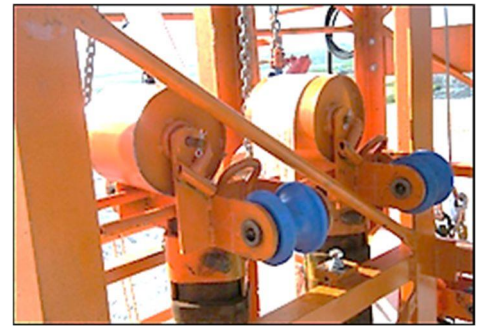


写真-2-2 小型軽量ローラ

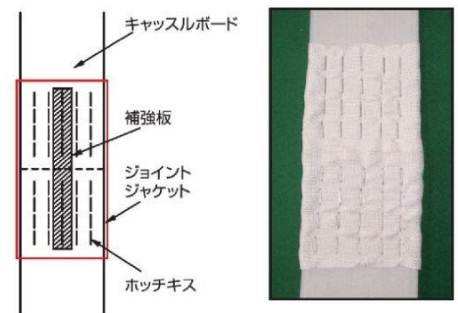


写真-2-3 専用ジョイントジャケット

3. 適用事例

3-1. 空港用地における事例

1) 工事概要

本工事は施設機能強化工事として空港ターミナル前のエプロン部の改良を目的とした地盤改良工事である。空港の制限区域内の工事であるため、施工に際しては高さ制限が設けられ機械高さ 13m 以下と制限された。エプロン部の改良深度は $L=21.0\text{m}$ と高さ制限の約 1.6 倍あり通常施工では難しいので、タワー内に継ぎ足すケーシングを並列収納して低い機械高さでもケーシングを継ぎ足すことにより、高さ制限以上の深度を打設できる継杭打設ドレーン工法が採用された。図-3-1 に施工平面図、写真-3-1 に継杭打設ドレーン工法の施工状況を示す。

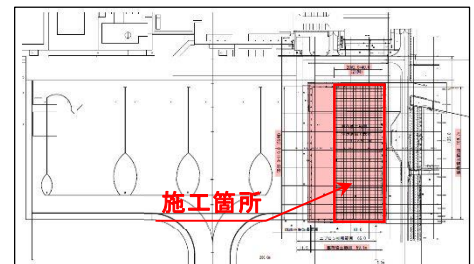


図-3-1 施工平面図(エプロン部)



写真-3-1 施工状況

工事は $4,400\text{m}^2$ ($40\text{m} \times 110\text{m}$) の改良範囲を正方形配置 2.0m の打設間隔で 1,176 本を 2 台の継杭打設機で施工を行った。表層にはサンドマットを 50cm 程度敷き均して施工基面とし、打設完了後の載荷盛土は天端に 0.5% の勾配を付けて 1.0m 程度載荷した。

地層構成は表層約 2.0m が礫混じり砂質土で GL-21m まで沖積粘土となっている。表層の礫混じり砂質土は GL-1.0m 付近に花崗岩が混入しておりフリクションローラーによる通常施工では貫入が難しかったので特殊圧入装置を使用して打設したが、ターミナル側は礫混じり砂質土がよく締まっており N 値が

25 以上と硬質のため掘削して打設を行った。

機械高さ制限が 13m 以下で改良深度 $L=21.0\text{m}$ と厳しい条件（改良深度が高さ制限の約 1.6 倍）を満足する機械仕様を検討し、継回数 3 回で施工を行った。継杭打設工法の施工実績での継回数は 1～2 回継ぎが多く、3 回継ぎの実績はほとんどなかったが計画通りに施工できた。

2) 使用機械

図-3-2 に継杭打設ドレーン工法のドレーン施工機を示す。機械高さ制限が 13m 以下に制限されていたので、機械高さ 12.83m と制限高さ以内の施工機仕様とした。本体高さが約 3.1m、特殊圧入装置が約 1.5m、タワートップが約 0.7m ありタワー長は 7.5m となった。本体高さはベースが決まっているのでタワーの長さを調整して制限高さ以内に設定した。

タワー内でケーシングを継ぎ足すため、ケーシングの継ぎ足しの余裕長などを考慮してケーシング 1 本当たりの打設長を 5.5m とした。

改良深度 $L=21.0\text{m}$ を満足するには、 $5.5+5.5(1 \text{ 回継})+5.5(2 \text{ 回継})+4.5(3 \text{ 回継})=21\text{m}$ となりケーシング継回数を 3 回とすることで改良深度 $L=21.0\text{m}$ を確保できた。ケーシングはタワー内に収納している継ぎ足し用 3 本と、先に機械に装備されているケーシングを含めて 4 本となった。

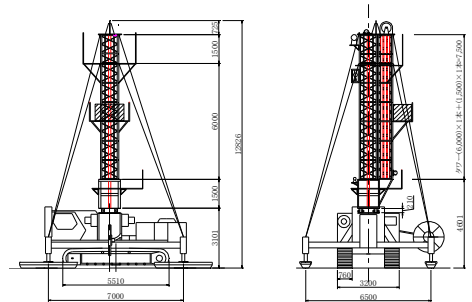


図-3-2 継杭打設工法の打設機

3) 施工方法

施工方法は、本体に装備されている 1 本目のケーシングを所定の深度(今回工事は 5.5m)まで打込み、タワー内に収納しているケーシングを移動させ 1 本目のケーシングと接合し、2 本目のケーシングを打込む(継回数 1 回目)。3 本目(継回数 2 回目)、4 本目(継回数 3 回目)も同様に継ぎ足しながら打設を行い、4 本目の打込み(今回工事は 4.5m)で改良深度 $L=21.0\text{m}$ を満足する。ケーシングの引き抜きは、打込みと逆の手順で行い、4 本目(分離 1 回目)、3 本目(分離 2 回目)、2 本目(分離 3 回目)と引き抜き、1 本目のケーシングを引き抜いて、ドレーン材の切断、アンカー装着を行い次位置に移動する。先端アンカーはケーシングの接合、分離時はケーシングを止めての作業となるため土圧を受けるので変形・破壊防止のために強化型アンカーを標準とした。また、ドレーン材の連続性を確保するため、ドレーン材に損傷を与えないためにドレーン材の接続には専用のジョイントジャケットを使用した。

本工事では、改良深度 $L=21.0\text{m}$ の地盤を機械高さ 13m 以下の施工機で継回数 3 回という厳しい条件下での施工であったが計画通りの施工が行えた。

3-2. 高圧線下における事例

1) 工事概要

本工事は、石狩川（下流）河川整備計画に基づき、北村遊水地を整備するため、道道岩見沢月形線の移設を行うものである。移設に伴う道道の地盤改良を目的とし、真空圧密ドレーン工法⁴⁾が採用された。真空圧密ドレーン工法は、排水ホース付き気密キャップを取り付けたドレーン（キャップ付ドレーン）を地盤内に打設し、負圧作用装置（真空ポンプ）でドレーン内に負圧（真空圧）を作用させることにより、ドレーン内部の圧力と地盤内の圧力に差が生じる。この圧力差を利用して、粘性土に動水勾配を生じさせ地盤内の間隙水をド

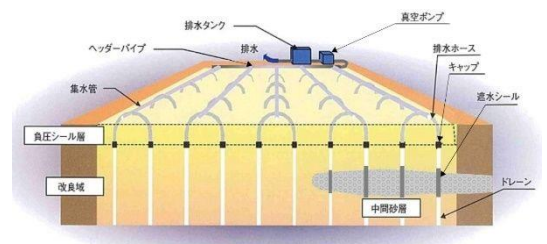


図-3-3 真空圧密ドレーン工法模式図

レーン内に誘導し地上へ排水するのが本工法である。図-3-3 に工法模式図を示す。真空圧密ドレーン工法は粘性土と砂層を把握するため事前調査を行い地層構成を確認してドレーン材の仕様を決定する。

本工事は、施工範囲が 8 箇所点に在りており計画されている全体施工数量は打設本数 10,554 本、打設延長 169,881.4m となっている。施工範囲のほとんどは高さ制限がなく、一部に高圧線が通っており高さ制限が設けられ継杭打設式ドレーン工法が採用された。高さ制限の範囲は SP=60 付近から SP=83 付近で計画数量は打設本数 479 本、打設長 12.6m、打設延長 6,035.4m となっている。図-3-4 に施工平面図を示す。

高さ制限は、上空に通っている高圧線の最下端高とサンドマット高および離隔距離を考慮した高さで決まる。ここでは、高圧線最下端高 DL+29.03m、離隔距離 4.0m、サンドマット高 DL+10.41 とし機械高さを 14.6m 以下とした。

工事は、三成分コーン貫入試験による事前調査を行い、地盤構成を想定しドレーン材の仕様を決定した。調査後の全体数量は、打設本数 10,544 本、打設延長 114,704.5m となった。計画と比較して打設本数に増減はなかったが打設延長が減となった。これは、中間に砂層が複数存在し負圧シール層を考慮すると改良下端が砂層の上端までの改良となる区間が発生したためである。高さ制限された範囲は打設本数 479 本、打設長 L=11.5m 打設延長 5,508.5m となりほぼ計画通りの結果となった。

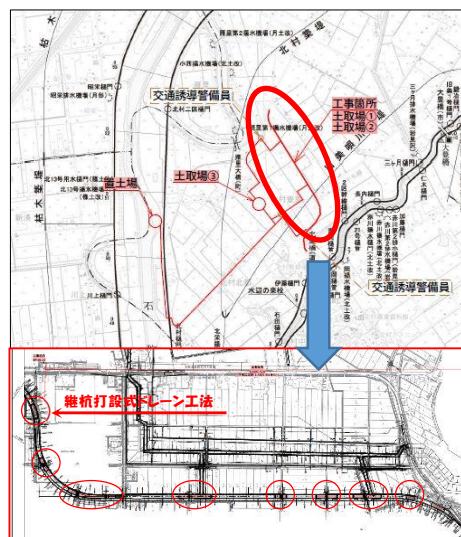


図-3-4 施工平面図

2) 使用機械

本工事での機械高さは高さ制限の 14.6m 以下とするため、機械本体の高さが決まっているのでタワー長を調整し高さ制限以下の仕様とした。機械高さはタワー長を 9.0m とし、高さ制限以下の 14.065m の仕様とした。打設長は、タワー内での余裕長を考慮して 1 本目ケーシングで 7.0m、2 本目ケーシング(1 回継)で 4.5m とし、打設長 11.5m を 1 回継で施工した。図-3-5 および写真-3-2 にドレーン打設機を示す。

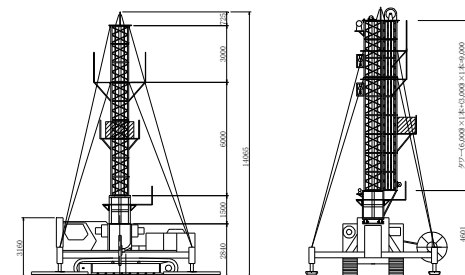


図-3-5 ドレーン打設機

3) 施工方法

継杭打設ドレーン工法は、タワー内に収納したケーシングを継ぎ足して施工し、ドレーン材の連続性を確保するためにケーシングの上下部に複数の小型計量ローラを使用している。真空圧密ドレーン工法は気密キャップ、排水ホースを取り付けたドレーン材を施工するため回転半径の小さい小型軽量ローラを通るとき、気密キャップや排水ホースに影響を及ぼす可能性があった。気密キャップや排水ホースをスムーズに送るためには大径ローラの設置が必要であったが、機械の構造上設置するスペースが無いためベースからの改善が必要となった。しかし、当工事は打設長 11.5m に対して機械高さが 14.1m と打設長より機械高さが長い仕様なので、1 本目のケーシング内にドレーン材がほぼ収納でき、排水ホースが若干小型軽量ローラに掛るが影響は最小限に抑えられた。ドレーン材のセットは小型軽量ローラの影響を低減するため、1 本ずつケーシング先端から挿入する方式で施工した。

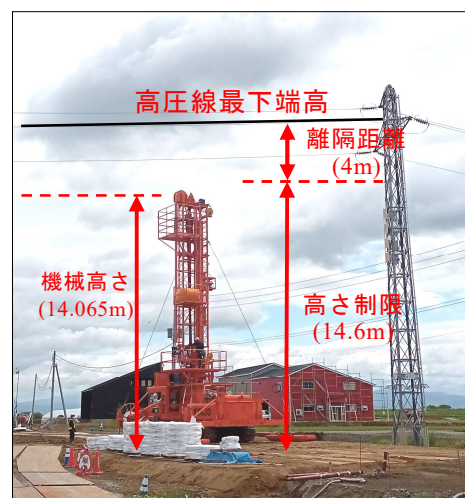


写真-3-2 ドレーン打設機

真空圧密ドレーン工を併用した継杭打設工法は、標準歩掛²⁾にケーシング先端よりドレーン材を挿入する時間を考慮して算定した。挿入時間は、キャップ付きドレーン数本が連結されたロール状からキャップ付きドレーン材を取り出しケーシング内のドレーン材と接続、キャップ付きドレーン材をケーシング内への挿入するための巻き戻しなど事前の検討結果より 180 秒で設定した。巻き戻しの際に排水ホース、ドレーンキャップなどが引っ掛かり等の懸念があったが、歩掛の支障となる不具合は発生しなかった。

当工事の施工能力は、継杭打設工法の標準算定式²⁾のサイクルタイム C_m にキャップ付きドレーンの挿入時間 t_1 を考慮した次式となる。

$$Q = \frac{3600 \times T \times E_1 \times E_2}{C_m + t_1}$$

ここに、Q:1 日当りの打込み本数(本/日)、T:ドレーン施工機の標準運転時間(6.2hr/日)、E₁:施工規模作業効率(0.70)、E₂:継回数作業効率(0.90)、C_m:所要サイクルタイム(sec)、t₁:ドレーン材挿入時間(180se)

ここで、当現場の条件として、打設長 L=11.5m、継回数 1 回の場合は

$$Q = \frac{3600 \times 6.2 \times 0.7 \times 0.9}{476} = 29.5 \text{ 本/日}$$

当工事の計画施工能力は 29.5 本/日となる。真空圧密ドレーン工法と継杭打設ドレーン工法の併用は初めてであったが、事前に留意点を洗い出し対策を講じたことで施工本数 479 本を施工日数 15 日、平均 31.9 本/日でほぼ計画通りに施工できた。

4. おわりに

本稿では継杭打設ドレーン工法の概要および適用事例を紹介した。継杭施工は 2 回継までを標準としているが本稿で 3 回継までの実績が確認された。また、真空圧密ドレーン工法と継杭打設ドレーン工法を併用した施工事例を紹介したが、今回工事は 1 本目のケーシングにドレーン材がほぼ納まる仕様となったためドレーン材をケーシング先端から挿入することで小型軽量ローラの影響を最低限に抑えられたこと、施工数量が 500 本以下と少なかったことなどにより計画通り施工が行われたと思われる。今後は、機械高より打設長が長い場合や施工数量が多い場合などにも対応できる対策案を検討する必要がある。

また、継杭打設ドレーン工法はケーシングを継ぎ足して打設していく工法のため、継回数が増えると施工が困難となる。今後は、これらの課題に取り組み改善、開発に取り組んでいきたい。現時点では適用事例は少ないが、高さ制限下での地盤改良工法の施工方法としての一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 嘉門雅史、木山正明ら：プラスチックボードドレーンの発達の歴史と課題、ジオシンセティックス論文集，第 14 巻，1999.2
- 2) NCB ドレーン協会：継杭打設式積算マニュアル，令和 2 年度版
- 3) 錦城護謨：継杭打設式ドレーン工法カタログ
- 4) 真空圧密ドレーン工法研究会：技術資料，2022.6

SDGsに貢献する管更生工法 「SWライナー工法」

岡三リビック株式会社 鈴木 辰一*1

岡三リビック株式会社 坂東 正仁*2

1. はじめに

日本における下水道管きよの総延長は、約 49 万 km に達する。高度経済成長期後においては、年間約 0.6 万～1.4 万 km の下水道管きよが布設され、最も多い年で平成 10 年度には約 1.6 万 km が布設された。近年、布設してから 50 年を経過した下水道管きよが注目されており、令和 2 年度末時点で 50 年を経過した下水道管きよは、約 2.5 万 km (約 5.1%)、令和 12 年度時点では、約 8.2 万 km (約 16.7%)、令和 22 年度時点では、約 19.0 万 km (約 38.7%) と予想されている。しかしながら、管更生工法の施工実績総延長は、約 0.7 万 km に達しているものの、単年度における管更生工法の施工実績延長と布設してから 50 年を経過した下水道管きよの延長を比較した場合、下回っている状況である。また、下水道管きよの劣化状況によっては、道路陥没を招く素因の一つとされており、令和 2 年度時点で年間約 2,700 件の道路陥没が確認されている。

そこで、今後ますます需要が増えることが期待される管更生工法の一つとして、本稿では、SW ライナー工法について紹介する。

2. 工法の概要

SW ライナー工法は、硬質塩化ビニル製の帯板（ストリップ）を既設管（円形：φ800～φ1,800）内にらせん状に巻き立て製管し、既設管との隙間に充てん材を充てんすることにより、管きよを更生する管更生工法である。マンホール内に製管機を設置して、ストリップをらせん状に巻き立てつつ、製管しながら既設管内に挿入する。その後、製管された表面部材であるストリップと既設管の間に充てん材を充てんし、既設管きよと更生材が一体化した複合管を形成する。

ストリップは、かん合形状によってしっかりと組み合う構造であり、かん合部に接着剤を塗布することで、強固にかん合している。充てん材を充てんする際には、製管された管路は、充てん材の比重との関係性により浮力による影響を受ける。そのため、充てん時に生じる浮力対策として、製管した管路内に支保工を用いた施工の他、製管した管路内に供用水を貯留することにより、浮力に対する抵抗力を確保する施工も可能である。SW ライナー工法は、人孔内で製管機の組み立てや元押し式による製管方法などから、管きよ内作業を減らし、安全性に配慮した工法である。

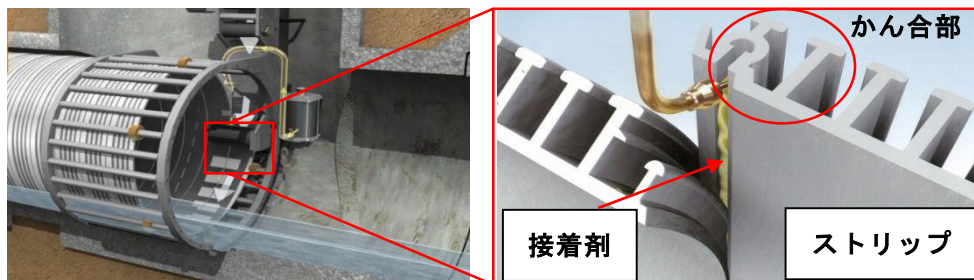


図-1 SWライナー工法概要

*1 Yoshikazu Suzuki 東京都港区港南 1 丁目 8 番 27 号

・ TEL 03-5782-9087 ・ FAX03-3450-5387

*2 Masahito Bando 北海道札幌市中央区北 1 条東 2 丁目 5 番 8 号 ・ TEL 011-222-3351 ・ FAX011-222-3929

2. 1 変遷

表－1 SWライナー工法の変遷

No.	年月日	内容
1	2014 年 7 月 7 日	新規技術として審査証明を取得。
2	2016 年 5 月 17 日	変更（1 回目）。ストリップの種類を追加。施工性および耐震性の向上。
3	2019 年 3 月 15 日	変更（2 回目）。ストリップおよび充てん材の種類を追加。適用範囲の拡大。
4	2021 年 3 月 18 日	変更（3 回目）。充てん材の種類を追加。耐震性の向上。

2. 2 特長

① 製管スピード

機械を用いた製管作業のため、延長 50m を製管する際に要する時間は、既設管 φ800 の場合は約 70 分、既設管 φ1,800 の場合は約 160 分で製管作業が完了する。

② 反力を必要としない製管機

製管作業時は、製管機および製管ケージは人孔内にアンカーなどで固定せず、地上から製管機を吊り下げた状態で製管することができる。



写真－1 製管状況

3. 使用材料

3. 1 ストリップ

ストリップは、剛性と柔軟性、施工性と耐久性が適切なバランスで発揮されるよう、硬質塩化ビニルをベースとし調整された材料である。ストリップは写真－2、3に示すような断面をしており、リブ部、かん合部およびホットメルトの3つのパーツからなっている。ストリップは、高さ 20mm と高さ 25mm の2種類、幅は 140mm である。

リブ部は複数のT字リブからなっており、製管管路として剛性を有している。また、複数のT字リブの間にも充てん材が入り込む形状のため、より強固な一体化が図れる。また、ストリップは、写真－4のように巻き取られた状態で現場に納入される。1ドラム当たりのストリップの長さは、約 850m～約 1,100m。重量は、約 2,000kg。



写真－2 ストリップ（C5-140-12）



写真－3 ストリップ（C6-12-140）



写真－4 ストリップドラム

3. 2 ストリップジョイナー

ストリップジョイナーは、ストリップと同様の素材でできており、ストリップ同士を接続する部材である。接続する際は、接合部に接着剤を塗布しつつ接続作業を行う。ストリップが1ドラムを超える場合やストリップを切断した場合に使用し、速やかに製管作業を再開することができるため、長距離の施工が可能である。

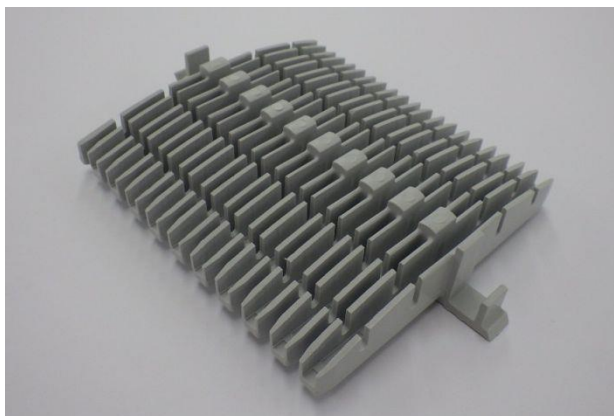


写真-5 ストリップジョイナー



写真-6 ストリップジョイナー接続状況

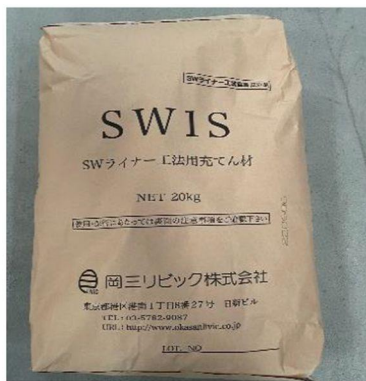
3. 3 充てん材

充てん材は、高流動の充てん材である。フロー値が大きく自己流動性・水平流動性に優れているため、長距離の充てんが可能である。また適度な粘度を持ち、攪拌後に分離が起きにくいいため水中でも充てんが可能である。充てん時は比重の関係から、巻き立て管の浮上防止のために数段回に分けて充てんする必要がある。充てん材は、施工条件に応じて、SW1, SW1S, SW2, SW3, SW4の5種類がある。また、出荷形態は、プレミックス、フレコン(0.5t、1.0t)、生スラリーの3種類から選べる(写真-7)。

表-2 充てん材

種 類	SW1	SW1S	SW2	SW3	SW4
圧縮強度	20 N/mm ²	20 N/mm ²	20 N/mm ²	40 N/mm ²	20 N/mm ²
ヤング 係数	8,000 N/mm ²	8,000 N/mm ²	8,000 N/mm ²	16,000 N/mm ²	8,000 N/mm ²
標準配合	SW1 : 25kg 水 : 5.0~5.6kg	SW1S : 20kg 水 : 9.5~ 10.5kg	SW2 : 25kg 水 : 6.0~6.5kg	SW3 : 25kg 水 : 5.2~5.6kg	SW4 : 20kg 水 : 11.6~ 12.4kg 分散剤 : 100~ 200g
フロー値	300±30 mm	310±50 mm	250±50 mm	300±30 mm	150~275 mm※
比 重	約 2.1	約 1.8	約 2.1	約 2.1	約 1.7
可使時間	6 時間	6 時間	1 時間	1 時間	4 時間
搬入方法	25kg 袋, 生スラリー	20kg 袋, 生スラリー	25kg 袋	25kg 袋	20kg 袋

※ 流動性が優れているためフロー値を φ50mm×L=51mm (通常の約半分) で管理する。



プレミックス



フレコン



生スラリー

写真－７ 充てん材の出荷形態

４．施工手順

SWライナー工法の施工手順を以下に示す。



図－２ 施工手順

5. 耐震性能試験

5. 1 概要

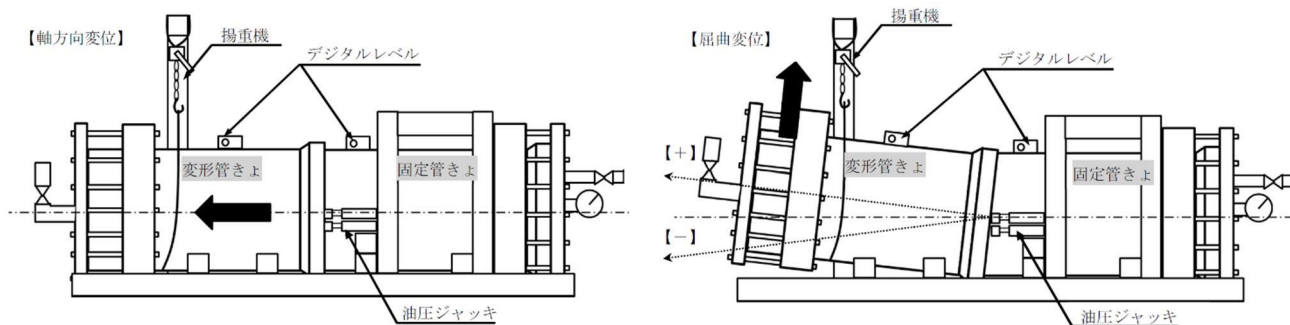
C5-140-12 および C6-140-12 を用いた更生後の鉄筋コンクリート管の継手部に、地震動を想定した変位（屈曲角 1.0° 以上）が同時に生じた場合でも、 0.1 MPa の内水圧に耐える水密性を有することを確認する。

5. 2 試験方法

乾燥状態で製管した巻き立て管を、鉄筋コンクリート管 2 本を接続した模擬管路に挿入し、標準施工要領に従い充てんし、各材料（C5-140-12、C6-140-12）で供試体を作製する。供試体を耐震試験装置に取付け、地震動を想定した拔出し量（ 36.5 mm ）および屈曲角（屈曲角 1.0° 以上）の変形を加えた後、 0.1 MPa の内水圧を負荷し、3 分間管きょ中央部の継手部から漏水がなく、圧力変動などの異常がないことを確認し、水密性を確認する。

表－3 試験モデル

No.	使用する既設管 (mm)	使用するストリップ	屈曲角の目標値 ($^\circ$)
1	800	C5-140-12	1.0
2	1,100	C6-140-12	1.0



図－3 試験概要



写真－8 耐震試験装置



写真－9 耐震試験状況

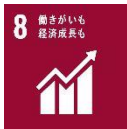
5. 3 試験結果

C5-140-12 および C6-140-12 を用いた更生後の鉄筋コンクリート管の継手部に、地震動を想定した変位（屈曲角 1.0° 以上）が同時に生じた場合でも、0.1 MPa の内水圧に耐える水密性を有することを確認した。

6. SDGs と SWライナー工法の関連性

SDGs と SWライナー工法の関連性を以下に示す。

表－4 SDGs と SWライナー工法の関連性

アイコン	目標	SWライナー工法の利点
	安全な水とトイレを世界中に ～ すべての人に水と衛生へのアクセスと持続可能な管理を確保する ～	● 開削工法と比較して施工期間が短く、周辺環境への影響が軽減される。 ● 類似工法と比較して、機械施工のため施工期間の短縮が図れる。
	働きがいも経済成長も ～ すべての人のための持続的、包摂的かつ持続可能な経済成長、生産的な完全雇用およびディーセント・ワーク（働きがいのある人間らしい仕事）を推進する ～	● 類似工法と比較して、下水道管路内の作業が大幅に軽減される。 ● 充填工はアジテータ車による施工が可能のため、作業員や周辺環境への影響が軽減される。
	産業と技術革新の基盤をつくろう ～ 強靱なインフラを整備し、包摂的で持続可能な産業化を推進するとともに、技術革新の拡大を図る ～	● 環境先進国ヨーロッパの技術を導入し、日本仕様にカスタマイズ。 ● 新たに「自立管構造」の審査証明取得へ挑戦する。
	住み続けられるまちづくりを ～ 都市と人間の居住地を包摂的、安全、強靱かつ持続可能にする ～	● ライフライン（下水道）として恒久的に確保する。

※「私たちは持続可能な開発目標（SDGs）を支援しています。」

7. おわりに

SWライナー工法は、開削工法と比較して施工期間が短く、下水道管きょ内の供用水を水替えせずに流しながら施工が可能であるため、周辺環境への影響が少ない工法である。また、SDGs（＝持続可能な開発目標）と管更生工法は関連性が多い分野であると考えられる。ライフライン（下水道）を恒久的に確保し、人々に安心・安全なまちづくりを維持すべく、広く普及させていきたい。

参考文献

- 1) 公益財団法人 日本下水道協会：「管きょ更生工法における設計・施工管理 ガイドライン」、2017.7
- 2) 国土交通省：「下水道の維持管理」、管路施設の年度別管理延長および管路施設に起因した道路陥没件数の推移、2021.3

少子高齢化に向けた ICT 地盤改良への取り組み

株式会社不動テトラ 伊藤 竹史*1

株式会社不動テトラ 中出 雄也*2

1. はじめに

近年、集中豪雨や大規模地震などの自然災害が多発している。また、今後 30 年以内の地震発生確率が非常に高いとされる南海トラフ地震や首都直下型地震では甚大な被害が懸念されている。

このため、防災・減災・国土強靱化対策は喫緊の課題である。一方、建設業では少子高齢化に伴う担い手不足も深刻な問題である。このような中、国土交通省が中心となって、生産性向上のために ICT を積極的に推進する i-Construction が各方面から注目されている。

本稿では、これまでに開発、実用化してきた ICT を活用した地盤改良に関する当社の取り組みについて紹介する。

2. ICT 地盤改良の紹介

これまでに開発実用化した ICT 地盤改良の概要と各技術の写真を以下に示す。

【省力化】GNSS 地盤改良機位置誘導システム～2008 年開発～

GNSS 受信機を地盤改良施工機の後部架台に搭載し、VRS 方式による測位が可能となっている。施工機械の位置がリアルタイムに車載モニター上に表示され、オペレーターは誘導員なしで設計打設位置へ施工機械を移動することが可能である。

【見える化】Visios[®]-3D（ビジオス・スリーディ）～2016 年開発～

地盤改良の施工状況を遠隔地で見える化する「リアルタイム施工管理システム」と施工記録の「3 次元モデル化システム」である。通常、地盤改良は地中での作業となり、施工状況を視覚的に把握しづらいが、このシステムを用いることで施工深度や材料吐出量、攪拌状況などをアニメーションと数値で簡単に確認できる。また、タブレットや PC で遠隔からの監視も可能である。

【省力化】Visios[®]-AR（ビジオス・エーアール）～2019 年開発～

一般に、地盤改良の施工には敷鉄板による足場養生が不可欠であり、この補助作業を行う重機（バックホウやタイヤショベル）に搭載する拡張現実技術を利用した多目的施工支援装置である。実際の現場風景に打設位置や敷鉄板位置を重ね合わせることで、オペレータが違和感なく効率的な作業が可能となる。

【自動化】GeoPilot[®]-AutoPile（ジオパイロット・オートパイル）～2020 年開発～

深層混合処理工法に対応した地盤改良工法の自動打設システム。

施工機の鉛直制度やスラリープラントの情報が運転席に集約し、従来の手動操作に比べ大幅な省力化が可能となった。2022 年には小型施工機にも適用を拡大した。

*1 Takeshi Ito 東京都中央区日本橋小網町 7 番 2 号 ・ TEL 03-5644-8500 ・ FAX03-5644-8510

*2 Yuya Nakade 北海道札幌市中央区北一条西 7 丁目 3 番地 ・ TEL 011-233-1640 ・ FAX011-233-1641

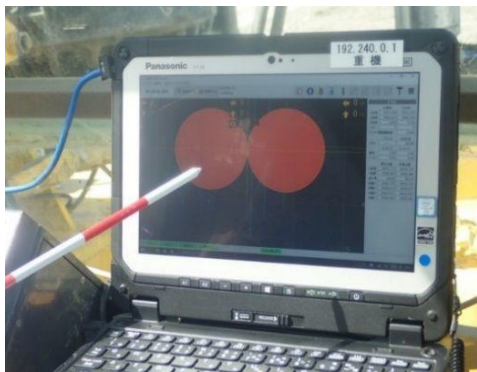


写真-2.1 GNSS による位置誘導

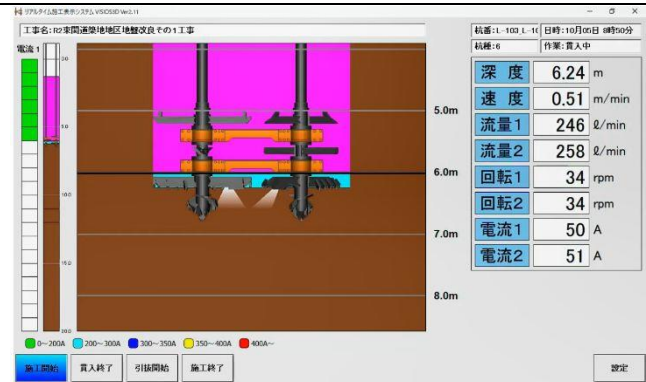


写真-2.2 Visios®-3D による見える化



写真-2.3 Visios®-AR の設置状況



写真-2.4 Visios®-AR 表示モニター



地盤改良機とスラリー
プラントは無線で通信

スラリープラント



プラントモニター



リモートユニット

地盤改良施工機



オペレーションモニター



コントロールユニット



通信アンテナ

写真-2.5 GeoPilot®-AutoPile のシステム概要

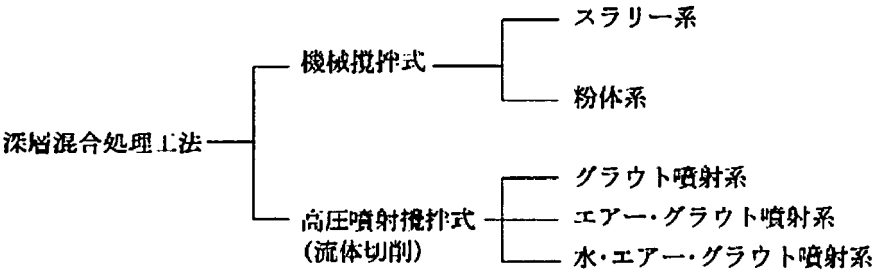
地盤改良とは様々な問題を有する軟弱地盤に対して、物理的・化学的に地盤を改質する方法である。軟弱地盤で発生する問題と、それに対する代表的な改良原理と改良工法について述べる。

2.1 【密度増加による改良原理】サンドコンパクションパイル工法

密度増加は、主に液状化対策として緩く堆積した飽和砂地盤に適用される改良原理であり、サンドコンパクションパイル工法（以下、SCP 工法）が代表的な工法である。SCP 工法は、よく締まった砂杭を地中に造成することにより、対象地盤全体の密度を増加させる方法である。これまで数多くの施工実績を有し、道路、港湾、建築など様々な構造物基礎に採用されてきた。

2.2 【セメント固化による改良原理】深層混合処理工法

セメント固化は、支持力増加や沈下対策あるいはすべり防止などに多く用いられ、軟弱地盤にセメントを混合し現地土と攪拌することで化学的に地盤を固化させる改良原理である。改良対象となる軟弱地盤の厚さによって浅層、中層、深層混合処理工法と分類される。また、下記に示すように深層混合処理工法の中でも、現地盤を攪拌混合する方式によって、機械攪拌式と高圧噴射攪拌式に大別される。



出典「陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル 増補版 土木研究センター」

下表に 2022 年現在の、代表的な地盤改良工法と ICT 地盤改良の対応状況を示す。「省力化」、「見える化」については、全ての代表工法に搭載可能となり、「自動化」は深層混合処理工法に対応している。また、深層混合処理工法の内、機械攪拌式と高圧噴射式の両方に対応しており、埋立て地など大規模工事の他、狭隘地や空頭制限下での施工など幅広い施工条件に対応している。

表-2.1 代表工法と ICT 地盤改良技術の対応表

	省力化	見える化	省力化	自動化	
	GNSS	Visios [®] -3D	Visios [®] -AR	GeoPilot [®] -AutoPile (大型機)	GeoPilot [®] -AutoPile (小型機)
密度増加 SCP、SAVE-CP 工法	○	○	○	—	—
機械攪拌式 CI-CMC 工法	○	○	○	○	○
高圧噴射攪拌式 FTJ 工法	○	○	○	—	○

3. ICT 地盤改良を用いた施工事例の紹介

ここでは ICT 地盤改良を実際に用いた現場における活用効果を紹介する。

北海道現場 A【採用 ICT 地盤改良：GNSS、Visios®-3D】

本現場では GNSS 位置誘導システムと Visios®-3D を採用しており、各工程で省力化が図られた。

・GNSS 活用の効果

従来は施工開始前の準備作業として、①測量による基準点設置、②巻き尺による打設位置の全箇所明示、③明示箇所の立合い確認、④記録用の写真撮影を行っていた。(写真-3.1)

GNSS を活用することで①測量による基準点設置、②精度確認のための立合いとなり、現場作業を大幅に効率化することができた。

また、GNSS による位置誘導を用いたことで、従来必要としていた誘導員の省力化を図ることができた。また、位置誘導の精度は、管理基準値の偏芯量 20cm 以内に対し、施工結果は 0.0cm ~ 2.8cm (平均 1.0cm 程度) となり、非常に高精度の施工が可能となった。更に、施工機近傍で誘導する作業が不要となり、安全性の向上に寄与している。

・Visios®-3D 活用の効果

タブレット端末による施工状況の確認(写真-3.2)を行うことで、従来は施工機運転席に近づいて確認していた内容を離れた位置で行うことができ、施工機と作業員が錯綜することなく、安全性が向上した。

出来形管理についても、ICT 施工を行うことで省力化が図られた。従来は実際に改良体頭部まで掘り起こしを行い(写真-3.3)、打設位置、杭径を確認しており、現場条件によっては数メートルほど掘削する必要があるがあった。また、出来形確認の写真管理も必要となり、施工管理業務の大きな負担となっていたが、これらの作業が省略されることで大幅な省力化を図ることができた。



写真-3.1 打設位置確認の立合い



写真-3.2 施工状況確認(端末)



写真-3.3 従来の出来形確認

関東現場 B【採用している ICT 地盤改良：GNSS、Visios®-3D、Visios®-AR、GeoPilot®-AutoPile】

本現場では、先に紹介した GNSS、Visios®-3D に加え、Visios®-AR、GeoPilot®-AutoPile が採用されている。

・Visios®-AR 活用の効果

従来は敷鉄板の敷設位置に目印を設置していたが、施工中の基面の乱れによって埋もれたり見失うことがあった。Visios®-AR を利用することで、モニター上に敷設ラインなど種々の情報が表示されるため、目印の復旧に要していた数分~数十分の時間が削減された。



写真-3.4 敷鉄板の敷設

また、画面表示を切り替えることにより、地盤改良機と重機の位置関係を二次元表示できるため、重機の接触災害防止にも貢献している。

・GeoPilot®-AutoPile 活用の効果

GeoPilot®-AutoPile は地盤改良機に、オペレーションモニター／コントロールユニット／通信アンテナが搭載され、画面上でオペレータが本体やスラリープラントの状況を確認できるようになっている。コントロールユニットは本システムの頭脳に当たる部分であり、各種センサーから送られてくるデジタル信号を判断して、施工機とプラントの制御を行っている。

スラリープラントにはリモートユニットが取り付けられ、コントロールユニットから無線で送られる指示に応じて、セメントスラリーの作液やスラリーポンプ流量の調整などを行う。本システムで自動化される項目は図-3.1 の通りであり、従来の手動操作に比べ大幅な省力化が可能となった。

当現場において、従来通りの手動打設とGeoPilot®-AutoPile の自動打設を隣接する改良杭で実施し比較した。施工記録の比較を図-

3.2 に示すように、GeoPilot®-AutoPile の自動打設で規定の造成速度で安定した施工を実施出来ていることが確認できた。手動打設では貫入長が 0.5m 長く 2 分程度貫入に時間を要しているが、両者とも同じサイクルタイムでの施工が出来ており、従来施工と同等の処理能力を確保できると考える。また同様に、改良材スラリー吐出量の比較を表-3.1 に示す。設定した基準値に対して、改良材スラリーの吐出量は両者とも規定量を満足しており、スラリープラント、グラウトポンプの自動化制御が適切に行われていることが確認できる。使用ロス率についても基準の 1.10 以内での施工を確保している。

また、地盤改良施工機に取り付けた各種センサーからのデジタル情報により、地盤改良施工機の状態を監視することができる。従来の手動運転ではオペレータがワイヤの張り具合などを目視で確認しながらオーガーモータの昇降操作を行ってきたが、GeoPilot®-AutoPile ではワイヤドラムによる回転数やロードセルによる荷重などの地盤改良施工機の状態を常時監視している。また、このようなセンサーからのデジタル情報の値があらかじめ設定した閾値を超えるとオペレータへの注意喚起を図ることや、必要に応じてコントロールユニットから適切な制御を自動で行うため安全性が大きく向上している。

項 目	内 容	操 作	
		手動運転	GeoPilot®-AutoPile
貫入開始	開始信号の送信	開始アイコンタッチ	開始アイコンタッチ
	オーガーモータの回転	制御ボタンON	
	攪拌軸の貫入	速度を確認しながらレバー操作	
セメントスラリー吐出	流量調整	規定量になるようにダイヤル調整	自 動
貫入終了	攪拌軸の貫入停止	レバー中立操作	
	グラウトポンプの停止	制御ボタンOFF	
	終了信号の送信	終了アイコンタッチ	終了アイコンタッチ
引抜き開始	開始信号の送信	開始アイコンタッチ	開始アイコンタッチ
先端処理	オーガーモータの停止	制御ボタンOFF	自 動
	攪拌軸の引上げ	速度を確認しながらレバー操作	自 動
引抜き終了	攪拌軸の再貫入	速度を確認しながらレバー操作	
	攪拌軸の引上げ	速度を確認しながらレバー操作	
	攪拌軸の引上げ停止	レバー中立操作	自 動
施工終了	オーガーモータの停止	制御ボタンOFF	
	終了信号の送信	終了アイコンタッチ	終了アイコンタッチ

図-3.1 手動操作と自動操作の比較

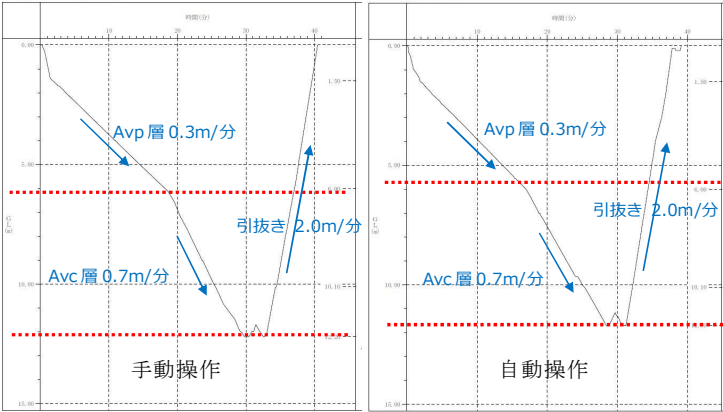


図-3.2 手動操作と自動操作の施工記録

表-3.1 スラリー吐出の比較

改良材スラリー吐出量 (L)		
	手動打設	自動打設
基準値	6,463.0	6,245.0
No.1	6,851.1	6,845.3
No.2	6,916.5	6,818.9
使用率	1.07	1.09

4. おわりに

本稿では最新の ICT 地盤改良について報告した。地盤改良分野は地面の下での作業となり、実際に目に見えない場所での作業となる。そのため知識と想像力が必要となる経験工学と言えるが、経験の浅い若手技術者には取っつき難い分野の一つである。ICT 地盤改良技術を活用することで、作業や施工管理を簡素化し、幅広い世代の人々が安全と品質を確保できる環境に繋げたい。

また、防災、減災を求められる地域では既に建物が建造されている都市部など、施工条件が制約される場所が多い中、新たに小型施工機の ICT 地盤改良技術が開発され、適用可能な工法が拡大した。社会のニーズが多様化する中で、今後もこれらに応えうる技術開発で社会貢献を行う所存である。

参考文献

- 1) 伊藤竹史：大型施工機による地盤改良の自動化施工、第 57 回地盤工学研究発表会、2022. 7

グラウンドアンカーに作用する凍上力に関する実物大試験

日特建設株式会社 ○池田 淳^{*1}、飯塚 孝之^{*2}
土木研究所寒地土木研究所 林 宏親^{*3}、御厩敷 公平^{*4}
佐藤 厚子^{*5}
日本基礎技術株式会社 中村 剛^{*6}

1. はじめに

斜面安定、地すべりなどの対策としてグラウンドアンカー工、切土補強土工、現場吹付法砕工等が全国で広く採用されている。積雪寒冷地域においても同様に用いられているが、背面地盤の凍上による変状や損傷、受圧構造物の破損などが確認されている。例えば写真-1 に示すようにアンカー頭部にずれや浮きが生じると、斜面などの安定性の機能低下が問題視されており、維持管理上の課題となっている¹⁾。

これまで既設のグラウンドアンカー工に対して、凍上による影響を評価するため荷重計や変位計、地盤の凍結深度計、地中温度計などを設置し計測を実施しているが、現地気象条件などに左右され、明確に現象を説明できるデータが乏しい。このため、グラウンドアンカー工の凍上対策技術については確立されていないのが現状である。そこで、グラウンドアンカー工の凍上に起因する損傷のメカニズムを把握し、凍上対策技術を検討することを目的として、実物大の試験施工を行った。

本報告はこの結果をまとめたものである。

2. 試験方法

本検討では、グラウンドアンカー(以降 GA)の諸元の違いによって作用する凍上力と変位の測定、凍上の影響を抑制する断熱対策、断熱材に着目した凍上対策について行った。

2.1 地盤条件

凍上によって、GA に作用する荷重と温度の関係を把握し、具体的な凍上対策を検討するために、試験施工を行った。試験場所は、積雪が少なく冬期の気温が低い苫小牧市にある寒地土木研究所苫小牧施工試験フィールドとした。



写真-1 凍上によるグラウンドアンカー頭部の損傷

表-1 凍上性材料の基本特性

地盤材料の工学的分類		SFG
自然含水比 w_n (%)		48.7
締め固め特性	最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.125
	最適含水比 w_{opt} (%)	42.9
凍上性	凍上速度 U_h (mm/h)	0.78
トラフィカビリティ	コーン指数 q_c (kN/m ²)	667

*1 Jun Ikeda	東京都中央区東日本橋 3-10-6	TEL:03-5645-5060 FAX:03-5645-5066
*2 Takayuki Iizuka	札幌市厚別区大谷地東 4 丁目 2 番 20 号	TEL:011-801-3611 FAX:011-801-3633
*3 Hirochika Hayashi	札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34	TEL:011-841-1709 FAX:011-841-7333
*4 Kohei Onmayashiki	札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34	TEL:011-841-1709 FAX:011-841-7333
*5 Atsuko Sato	札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34	TEL:011-841-1709 FAX:011-841-7333
*6 Tsuyoshi Nakamura	札幌市中央区北 3 条東 8 丁目 8-4	TEL:011-252-3670 FAX:011-252-3671

試験地盤は、表層の 90cm を、表-1 に示す凍上性の高い地盤材料(凍上速度 $U_h=0.78\text{mm/h}$)に置き換え、締固め度 99.8%で造成した(図-1 参照)。

2.2 気象条件

図-2、図-3、図-4 に計測期間の原位置における気温と日平均気温の累積値(積算温度)を示した。計測期間は、2018 年 12 月～2019 年 3 月(2018 年度)、2019 年 12 月～2020 年 3 月(2019 年度)、2020 年 12 月～2021 年 3 月(2020 年度)である。日平均気温の累積値の最小値は、2018 年度は 3/3 に $-377.7^\circ\text{C}\cdot\text{days}$ 、2019 年度は 3/1 に $-278.7^\circ\text{C}\cdot\text{days}$ 、2020 年度は $-513^\circ\text{C}\cdot\text{days}$ であった。苫小牧市の 10 年確率凍結指数は $370^\circ\text{C}\cdot\text{days}^2$ であることを考えると、2019 年度の計測期間の気温は比較的高め、2020 年度の気温は低めであったといえる。

2.3 計測方法

GA に作用する凍上力は、受圧板と支圧板の間に荷重計を設置し、増加荷重を凍上力として測定した。また、試験地盤の凍結状況を把握するために、気温の他に地表面から深さ方向に 10cm 間隔(地表面を含む)で 60cm まで地中温度を計測した。荷重と温度は 1 時間毎に自動計測を行った。その他、凍上による変位として受圧板の高さを 2 週間に 1 回の頻度で測量機器を用いて測定した。

2.4 GA の試験条件

(1) GA の諸元の違いにより作用する凍上力と変位³⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾

本試験では、凍上により GA が受ける荷重(凍上力)と諸元の違いとの関係を把握するために、自由長、緊張力、受圧板の面積を変えて施工した。GA の諸元を表-2 に記す。

GA のタイプは、引張型クサビナット定着方式(PC 鋼より線 $\phi 15.2\text{mm}\times 1$ 本)と圧縮型ナット定着方式(多重 PC 鋼より線 $\phi 9.5\text{mm}\times 7$ 本)とした。GA1 と GA2 は自由長、GA3、GA4、GA5 は定着荷重、GA5 と GA6 は受圧面積をパラメータと

表-2 使用したグラウンドアンカー (GA) の諸元

	タイプ	定着荷重 (kN)	許容荷重 (kN)			見かけ自由長 (m)	定着長 (m)	受圧面積 (m^2)
			0.6Tys (JIS)	0.9Tys (JIS)	0.9Tys (試験値)			
GA1	PC鋼より線 $\phi 15.2\times 1$	70	156.6	199.8	227.0	7.00	10.00	3.13
GA2						14.00	4.00	
GA3	多重PC鋼より線7本より線 $\phi 9.5\times 7$	70	428.4	547.2	648.0	18.85	6.00	5.62
GA4		235						
GA5		400						
GA6						18.71		4.14

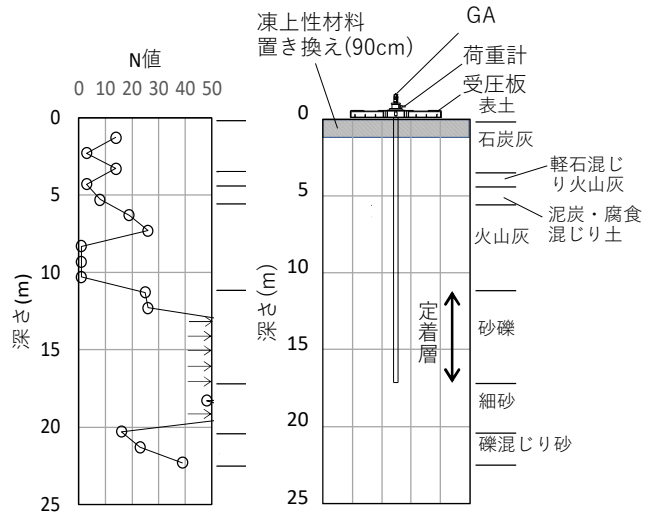


図-1 試験地盤

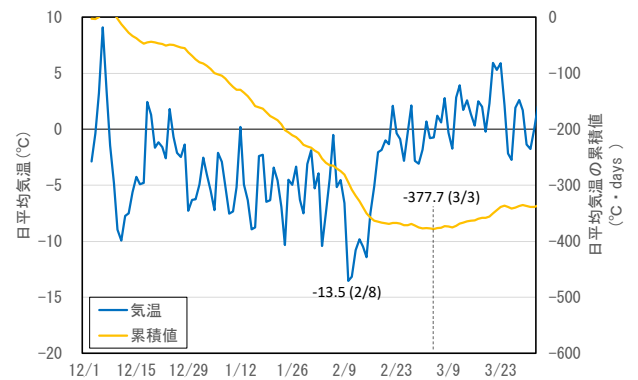


図-2 気象条件(2018.12～2019.3)

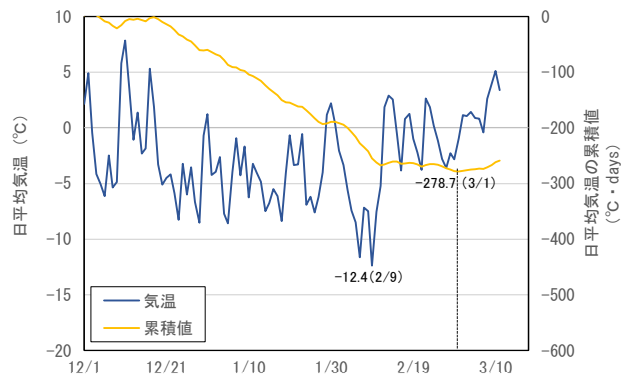


図-3 気象条件(2019.12～2020.3)

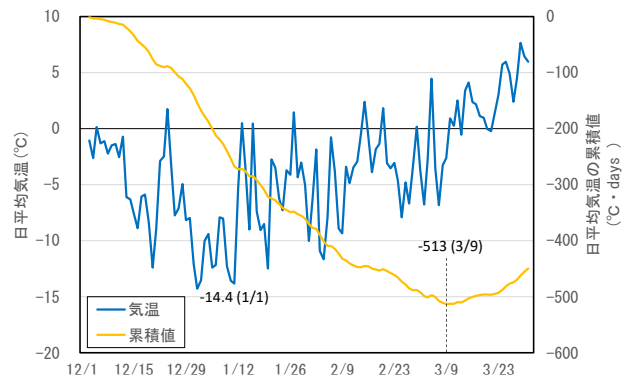


図-4 気象条件(2020.12～2021.3)

(2) 凍上の影響を抑制する断熱対策⁵⁾⁷⁾

図-5 GA の設置平面 試験条件(1)

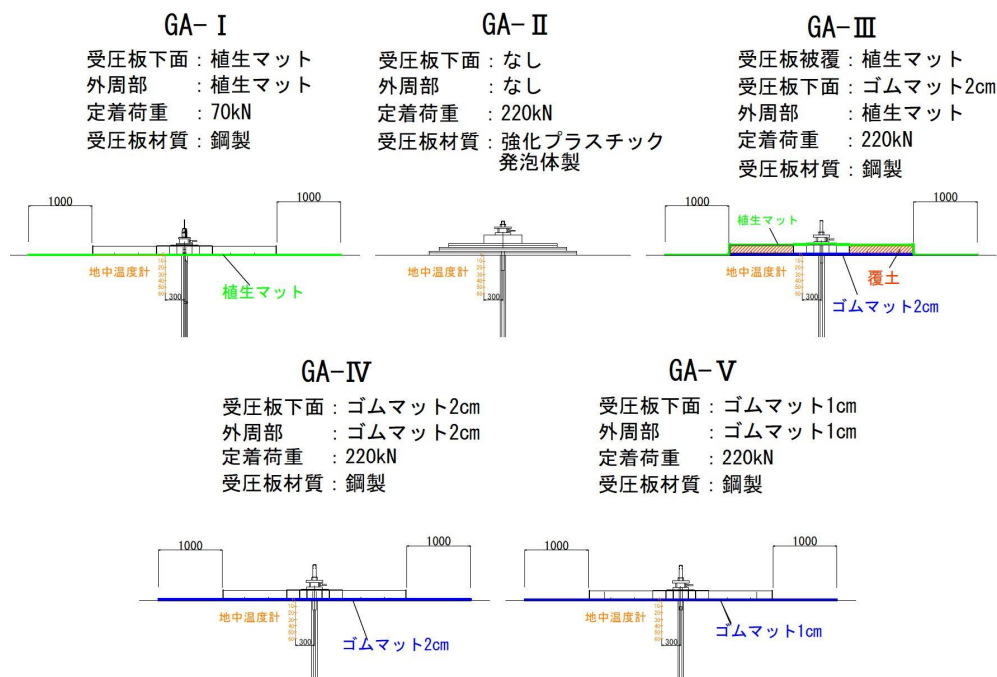


図-6 各種断熱対策 GA の設置諸元 試験条件(2)

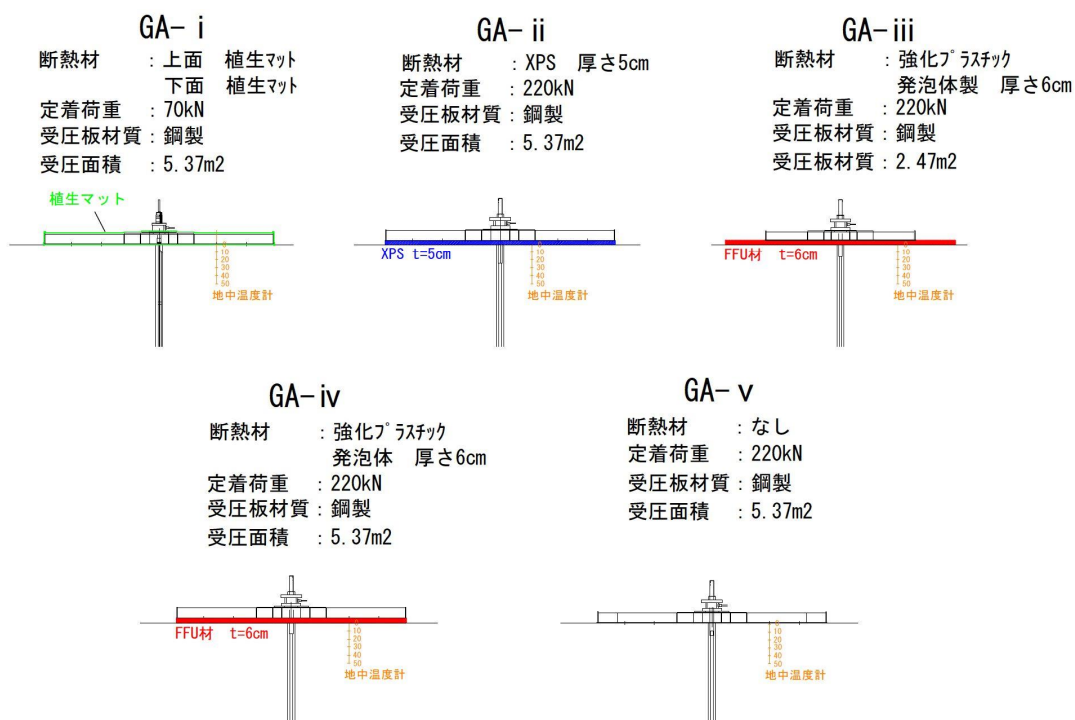


図-7 各種断熱対策 GA の設置諸元 試験条件(3)

III、GA-IVが 2cm、GA-V は 1cm とした。GA-I、III、IV、Vは同一の素材の受圧板(鋼製)である。GA-IIの受圧板は強化プラスチック発泡体製である。定着荷重は GA-II～Vが 220kN、GA-I のみ定着荷重が異なり 70kN である。

(3) 断熱材に着目した凍上対策⁸⁾

次に GA の凍上対策の断熱材着目した凍上対策として、強化プラスチック発泡体、XPS、植生マットを被覆した場合について、GA に作用する荷重を計測しその効果を比較した。

実施した GA の各種断熱対策の諸条件を図-7 に示す。GA-i は植生マット、GA-ii には XPS(押出法ポリスチレンフォーム)、GA-iii および GA-iv には強化プラスチック発泡体を受圧板の下面に設置し、各々の凍上抑制効果を把握した。ここで、XPS は建築や土木において使用される一般的な断熱材の一つである。なおここで使用した XPS の厚さは 5cm、強化プラスチック発泡体の厚さは 6cm とし、面積は同じ(2.4m×2.4m)である。その他 GA-v は GA-i～GA-iv と比較するための無対策のケースとした。

3. 試験結果

(1) GA の諸元の違いによって作用する凍上力と変位³⁾⁴⁾⁶⁾⁷⁾

図-8 に、測量により得られた地盤(試験地盤)と受圧板の鉛直変位を示す。地盤の変位は 2 月末で最大 0.095m であった。各 GA の受圧板の変位は、日平均気温の累積値(積算温度)がマイナスとなり、地盤が凍結し始める頃から変位が増加し、気温が上昇すると変位が減少している。その変位量を最大値で比較すると、GA2>GA4>GA5>GA1>GA6>GA3 となっている。

図-9 に各 GA に作用する荷重の変化を示す。図中には GA 定着時の荷重と本試験の許容荷重として表-2 の 0.9Tys の値(227kN/m²)を示した。図中の数値は、計測期間中の荷重の最大値である。いずれの GA も変位挙動は同様に気温が低下し地盤が凍結し始める頃から受圧板に作用する荷重が大きくなっている。またその荷重は、定着荷重を大幅に上回り、許容荷重に迫るものも見られた。

一般に GA の緊張力は時間とともに低下するため、凍上の影響程度は現時点では不明であるが、いずれの GA も、融雪期を迎えると荷重が低下し、本試験においては定着荷重を下回る結果が得られた。

次に各 GA の変位と荷重の挙動を比較する。

(a) 自由長の違い(GA1・GA2)

GA1 と GA2 では、自由長の長い GA2 の変位が自由長の短い GA1 よりも大きく、作用する荷重は GA2 の方が小さい。GA1 と GA2 では同じ引張材を使用しているが、自由長を長くすることで同一荷重に対する伸びの量が大きくなるため、凍上により変位量が大きくなるものの、作用する荷重は抑制される結果が得られた。

(b) 定着荷重の違い(GA3・GA4・GA5)

定着荷重が大きいほど、凍上による最大荷重が大きくなる傾向にある。

(c) 受圧面積の違い(GA5・GA6)

受圧面積の小さい GA6 のほうが、凍上による最大荷重が小さくなる傾向が見られた。

(d) 受圧板に作用した最大荷重(すべての GA)

受圧板に作用した最大荷重で比較すると、GA5>GA6>GA4>GA3>GA1>GA2 となっている。

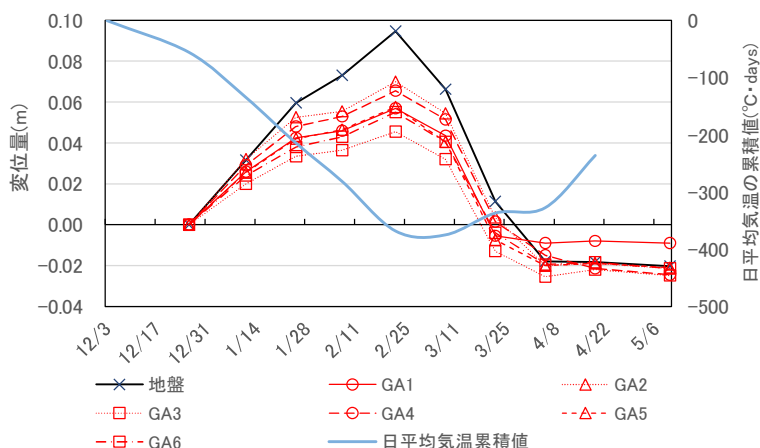


図-8 受圧板の変位

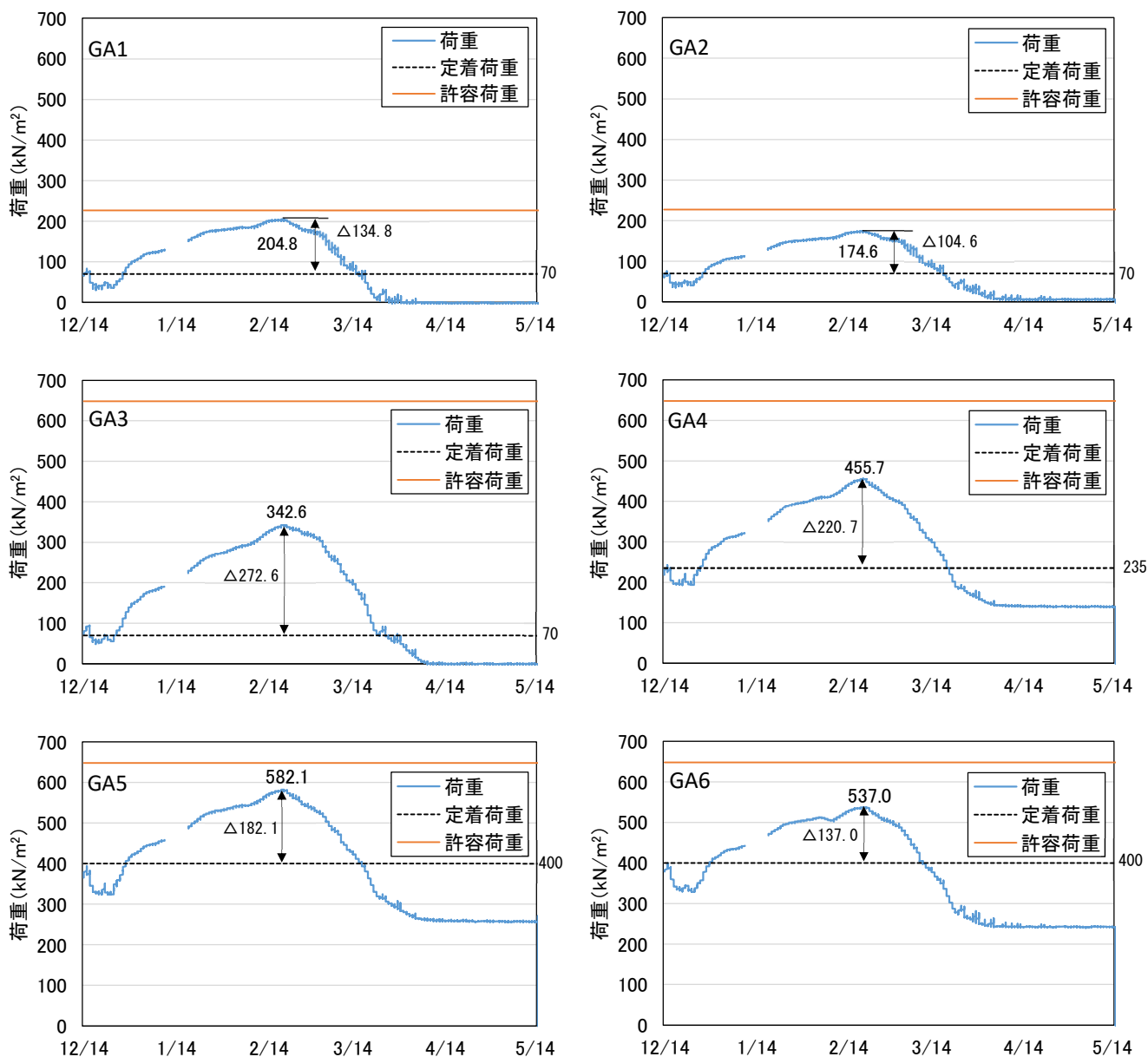


図-9 各 GA に作用する荷重の経時変化

試験条件(1)

(2) 凍上の影響を抑制する断熱対策⁵⁾⁷⁾

図-10 に各 GA 受圧板直下で測定した凍結深を示す。この図より今回設定した条件では、受圧板の素材が強化プラスチック発泡体である GA-II が最も断熱効果が高く、地中温度は地表面も含め一度もマイナス温度を記録しなかった。次いで、GA-III < GA-IV < GA-I < GA-V の順に凍結深が深くなる傾向が見られた。GA-IV と GA-V を比較すると、ゴムマットの厚みが 1cm である GA-V よりゴムマットの厚みが 2cm の GA-IV の方が、凍結深が 2～3 割程度浅くなっている。また、植生マットのみで断熱した GA-I でもゴムマット 1cm と 2cm の中間程度の断熱効果があるように見られる。植生マットとゴムマットを組み合わせた GA-III (植生を考慮し受圧板のスペースに覆土している) は断熱効果が高く、景観を含め凍上対策手法として期待ができる。

図-11 は、受圧板に作用する荷重(凍上力)を整理したものである。(定着荷重が異なる GA-I は除外)

これを見ると、GA-II < GA-III < GA-IV < GA-V の順に荷重が大きくなっており、凍結深との相関があることがわかる。

一方で図中にその日付を記しているが、凍結深が最大の日(2/9)と凍上力が最大の日(2/14)は一致せず、最大の凍上力の発現は凍結深が最大になった後に見られた。

(3) 断熱材に着目した凍上対策⁸⁾

図-12 に GA 受圧板直下で測定した凍結深の推移、図-13 に各 GA に作用した荷重の推移を示す。地中温度計の最深度は-50cm であるため、これ以上深い場合も、凍結深は-50cm と図化した。

これらの結果より、断熱材により対策を実施した GA 直下の凍結は抑制され、作用する凍上力が低減されていることが確認できる。

断熱性能としては、XPS を設置した GA-ii が最も高く、凍結深の低減効果が高い。強化プラスチック発泡体についても同様に効果が確認された。植生を被覆した GA-i についても、凍結深は無対策である GA-v に比べ抑制されており効果が確認された。凍結深で並べると、GA-ii<GA-iii<GA-iv<GA-i<GA-v といった結果が得られた。

GA に作用する荷重としては、XPS を設置した GA-ii が最も凍上による荷重上昇を抑制する効果が高い。(定着荷重が異なる GA-i は除外)

受圧面積の異なる受圧板の下面に強化プラスチック発泡体を設置した GA-iii、GA-iv については、同程度の凍上による荷重上昇を抑制する結果が得られた。GA に作用した荷重としては、GA-ii<GA-iii<GA-iv の順となり、これは先述した凍結深の順と一致しており、凍結深と凍上力には関係があるといえる。

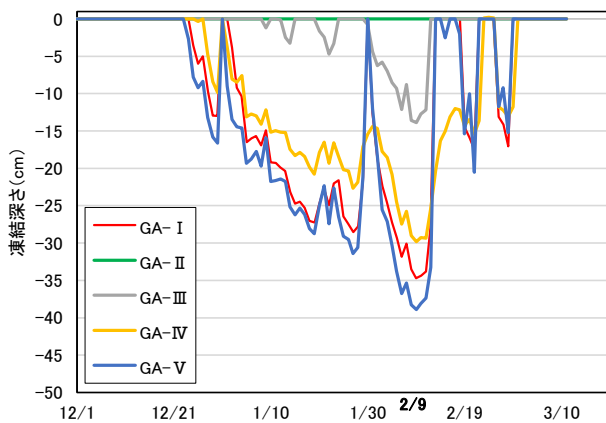


図-10 各 GA における凍結深の推移
試験条件(2)

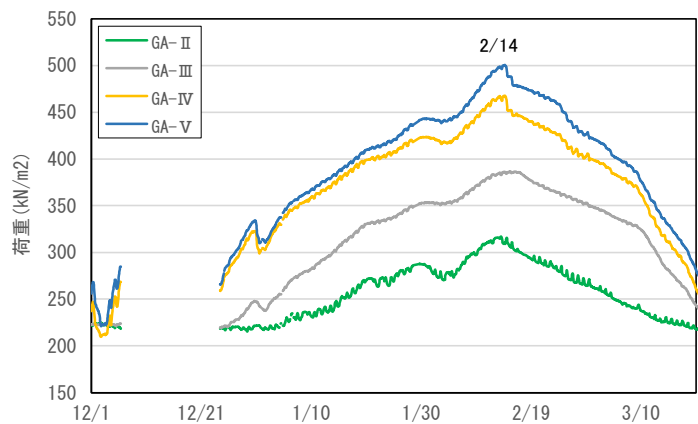


図-11 各 GA に作用する荷重の経時変化
試験条件(2)

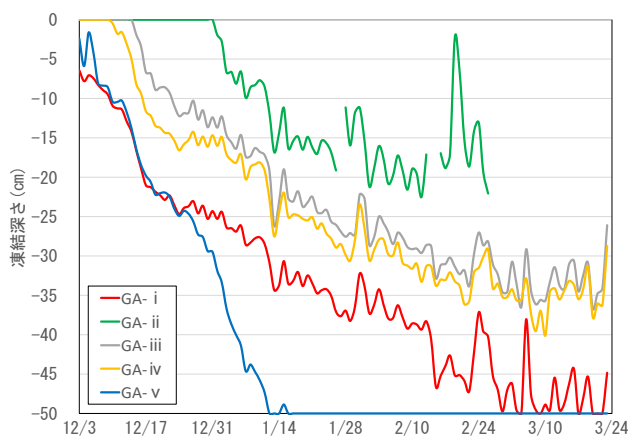


図-12 各 GA における凍結深の推移
試験条件(3)

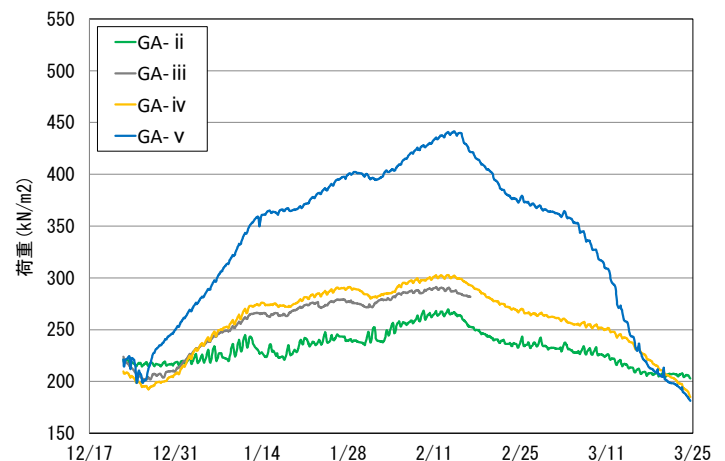


図-13 各 GA に作用する荷重の経時変化
試験条件(3)

4. まとめ

実施した実物大の試験施工及び現地計測結果から以下のことが確認された。

- ① グラウンドアンカーは冬期に凍上力を受けることで、受圧板に作用する荷重は確実に増加し、受圧板は数 cm 程度持ち上がる。
- ② グラウンドアンカーの自由長を長くする、定着荷重を小さくする、受圧面積を小さくする、ことで凍上力の影響を低減できる可能性がある。
- ③ 凍上による GA の変状を抑制する方法として、受圧板周辺、受圧板下面を断熱保温することで凍結深を抑制することが可能であり、グラウンドアンカーの凍上対策として効果的である可能性が高い。
- ④ 今回検討の範囲では、断熱対策のなかでも断熱材を受圧板下面に設置する方法が効果的であり、受圧板下面に XPS(押出法ポリスチレンフォーム)を設置した場合が凍上対策として有効である可能性が高い。

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会北海道支部凍上対策工の調査・設計法に関する研究委員会：斜面の凍上対策の調査・設計マニュアル(案)、2016.9
- 2) 社団法人日本道路協会：道路土工要綱、pp.377-389、2009.6
- 3) 佐藤厚子、畠山乃、池田淳、飯塚孝之、三上登、中村剛、三浦史也、京田裕二：実物大のグラウンドアンカー工および地山補強土工に作用する凍上力の測定、地盤工学研究発表会、No.54, pp.789-790, 2019.
- 4) 山木正彦、佐藤厚子、畠山乃、池田淳、飯塚孝之、中村剛：寒冷地におけるグラウンドアンカーの荷重挙動、令和元年度土木学会北海道支部論文報告集、第 76 号、C-01、2020.
- 5) 山木正彦、佐藤厚子、畠山乃、池田淳、飯塚孝之、中村剛：グラウンドアンカーの凍上対策に関する試験施工、令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会講演概要集、III-304、2020.
- 6) 池田淳、飯塚孝之、山木正彦、畠山乃、中村剛：グラウンドアンカーに作用する凍上力のフィールド実験、第 55 回地盤工学研究発表会、23-10-2-01、2020.
- 7) 池田淳、飯塚孝之、山木正彦、中村剛：グラウンドアンカーに作用する凍上力に関する試験施工、基礎工、2021.12.
- 8) 山木正彦、林宏親、佐藤厚子、池田淳、飯塚孝之、中村剛：凍上対策のための断熱材を施したグラウンドアンカーの冬期試験、令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会概要集、III-63、2022.

編集委員より

土質基礎研究委員会 技術報告会は、平成 14 年の第 1 回 技術報告会開催から数えて今回で第 21 回を迎えることができました。

昨今の新型コロナウイルス感染拡大の影響から、一昨年（令和 2 年度）と昨年（令和 3 年度）はオンライン形式による報告会になるなど、開催形式の変容を重ねながらも一度も休むことなく続けることができました。

これもひとえに本報告会に参加して頂いた発表者や聴講者のご協力があったからこそと考えております。ここに、深く感謝申し上げます。

本報告集も今回の発刊で 21 冊となりました。ご存知の方も多いかと思いますが、実はこの冊子は 7 冊で一区切りとなっております。

写真に示すように、冊子の色は 7 色の虹の色を順次採用しており、本報告集をもって 3 つの虹が架かる形となります。過去の報告集をお持ちの方は是非事務室などに置いていただき、虹の色を楽しんで頂ければ幸いです。

これからも 4 つ、5 つ・・・とたくさんの虹が架かりますように、皆様方のご協力をお願い致します。



写真 第 1 回～第 20 回技術報告会 報告集

編集担当：土質基礎研究委員会 技術小委員会