

開削施工の合理化を目指す頭部固定式二重土留め工法の開発および施工実績

鹿島建設(株) 正会員 ○井上 直史, 坂梨 利男
 平 陽兵, 永谷 英基
 大野 進太郎, 渡邊 洋介
 杉原 靖彦, 内田 拓史

1. はじめに

開削工法を用いた躯体工事などでは、掘削深さが3~4mを超える場合、土留め壁を支えるために一般的に切梁式支保工が用いられる。切梁やそれを支持する中間杭は、掘削や躯体構築の作業効率低下の要因となる(写真-1)。切梁を省略または削減して施工空間を広く確保できると、掘削や躯体構築の施工性が向上するだけでなく、躯体に巻き込む中間杭の減少による躯体品質向上や、プレキャスト工法採用による施工の合理化を期待できる。これらを踏まえ、開削施工の合理化を目的として、「頭部固定式二重土留め工法(以下、二重土留め工法、図-1)」を新たに開発した。本報告では、本工法の開発にあたり実施した性能確認実験の概要と、実工事に適用した実績について述べる。

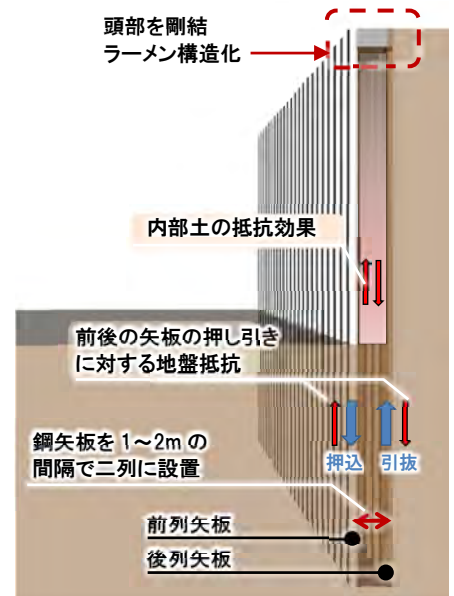


図-1 本工法の特徴と高剛性化の原理

2. 二重土留め工法の特長

二重土留め工法は図-1に示すように、鋼矢板を1~2m程度の間隔で二列に設置し、頭部を剛結合することで土留め全体をラーメン構造化・高剛性化して支保工の省略・削減を図るものである。図-2に土留め挙動概念の比較を示す。



写真-1 切梁土留め例

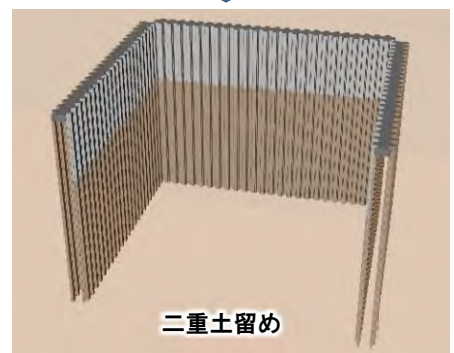
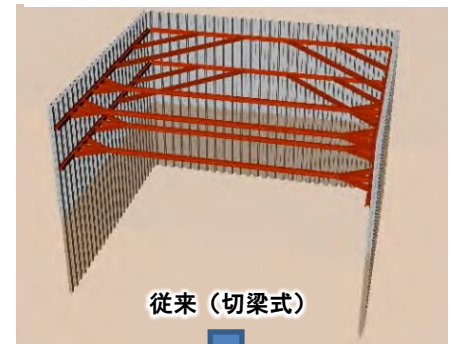


図-3 二重土留め工法の適用イメージ

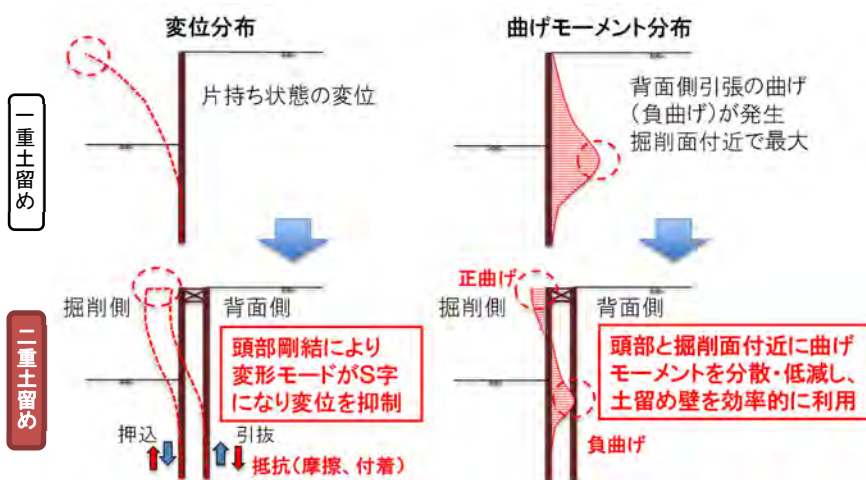


図-2 土留め挙動概念の比較

キーワード 二重土留め, 頭部固定, 鋼矢板, 開削, 施工合理化, 技術開発

連絡先 〒107-8477 東京都港区元赤坂 1-3-8 鹿島建設株式会社 土木設計本部 TEL03-6735-1042

二重土留め工法では、無支保掘削の場合、通常の一重の土留めとは異なり、ラーメン構造の効果で頭部に正曲げが生じ、土留め全体として発生応力が小さくなる。また、前列土留め壁に押し込み力、後列に引抜き力が発生し、土留め壁と地盤の間の摩擦や付着が押し引きに抵抗することで、変形を抑制できる。すなわち、より深い掘削や支保工段数削減などの効果が期待できる。本工法は下記に示す特長を有し、開削工事の合理化が見込める。図-3に本工法の適用イメージを示す。

【省スペース】在来工法（控え杭式，グラウンドアンカー式等）と異なり，狭隘な用地でも施工可能。圧入機等の小規模機械で施工可能。

【施工性・安全性・品質の向上】支保工省略・縮減により広い作業スペースを確保できるため，施工性・安全性・躯体品質が向上。

【高い汎用性】鋼矢板と頭部固定構造（鋼材プレス方式 or RC方式）で構成されるシンプルな構造かつ汎用材料で施工可能。

【環境負荷低減】SMW工法等の高剛性壁と比較して低コストで地中残置物や建設汚泥の発生がない。引抜き撤去が容易で地下水流動を阻害しない。

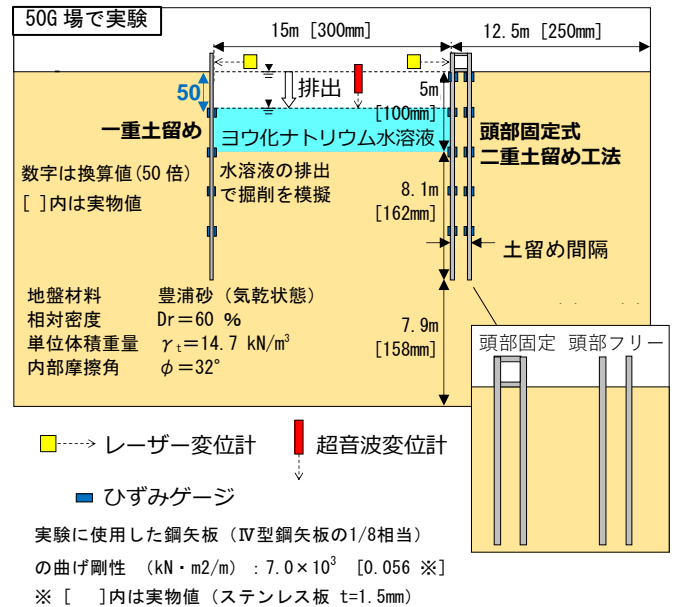


図-4 遠心模型実験概要 1)に加筆

表-1 遠心模型実験ケース・結果一覧 1)に加筆

実験ケース	対象工法	土留め頭部固定状態	土留め間隔	土留め頭部水平変位
Case1	一重土留め	—	—	189mm
Case2	二重土留め	頭部フリー	1m [20mm]	145mm
Case3		頭部固定	1m [20mm]	54mm
Case4		頭部固定	2m [40mm]	32mm
Case5		頭部固定	3m [60mm]	26mm

数値は50倍に換算した値（[]内は実物値）

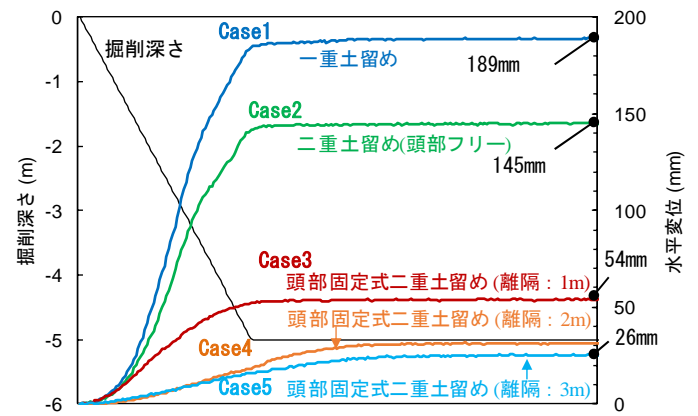


図-5 掘削に伴う土留め頭部水平変位 1)に加筆

3. 性能確認実験

(1) 遠心模型実験

筆者らは50G場の遠心模型実験¹⁾により，本工法の性能検証を行った。実験概要を図-4，実験ケースを表-1に示す。本実験では土留め頭部の水平変位，土留めの鉛直方向のひずみ分布，模型地盤と同比重の水溶液の排出深さ（＝掘削深さ）を計測した。実験結果を表-1，図-5に示す（以下，結果図の数値は50倍換算値）。図-5は掘削に伴う土留め頭部の水平変位の時刻歴を示したものである。Case1（一重土留め），Case2（二重土留め頭部フリー）が同程度の結果であるのに対して，Case3の頭部固定式二重土留めでは，Case1の約4分の1(54mm)に抑えられ，明確な変形抑制効果を確認できた。

図-6は土留め間隔を1mとしたCase-3の頭部変位の実測値をFEM解析でフィッティングした結果（図-6(a)）であり，曲げモーメントの深度分布が実験結果（ひずみ計測結果から算定）

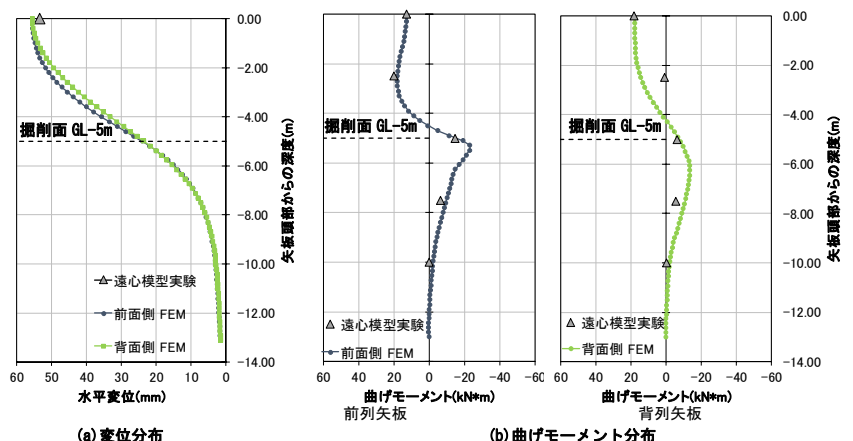


図-6 二重土留め（間隔1m）の遠心実験とFEM結果比較 4)に加筆

と FEM 解析結果^{2,4)}でよく一致した (図-6(b)). 変位・曲げモーメントともに図-2 の概念図のモードを示していることから, 頭部固定によるラーメン構造の効果が発揮され, 前後の矢板の押し引きの抵抗が有効に機能している. また, Case4, 5 では鋼矢板間の離隔が大きいほど変形抑制効果が大きいことが確認された. 図-7 に示すように FEM 解析でも同様の傾向が確認された.

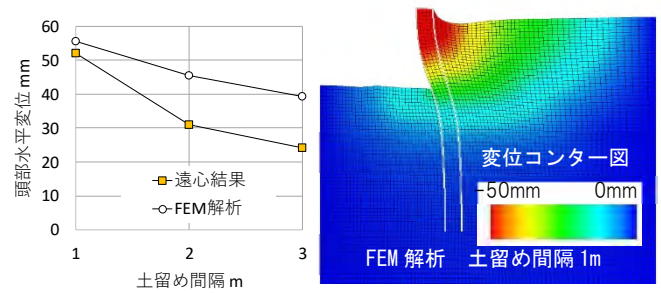


図-7 土留め間隔による変位の変化⁴⁾

(2) 室内土槽実験による検証

遠心模型実験で確認した本工法の挙動特性について, 設計法に考慮できる抵抗成分を詳細かつ定量的に把握する目的で, 重力場にて大型土槽を用いた室内土槽実験 (1/4 スケール, 掘削深さ 7m 相当) を実施した^{3,4)} (図-8). 土留め前面を 1.75m 掘削した後, 油圧ジャッキで頭部に強制変位を与え, 大きな変位を模擬した状態の土留めの変位, 曲げモーメント, 軸力, 土圧の深度分布と変化を確認した. 変位 (図-8(a)) および曲げモーメント (図-8(b)) は図-2 の概念図の挙動を示し, 軸力 (図-8(c)) は前後の土留め壁の押し引き抵抗とその有効範囲を確認できた. また, 受働側土圧の変化から後列土留め壁も水平抵抗を受ける構造であることが確認できた (図-8(d)). これにより前面・背面の土留め壁の両方に水平受働抵抗ばねを考慮できると考えられる.

(3) 性能確認実験の成果

性能確認実験にて本工法のメカニズムを解明できた. 本工法は, 通常土留め設計法である弾塑性法と同様に, 地盤の水平抵抗やせん断抵抗を弾塑性ばねでモデル化したラーメン骨組みモデルで設計を行う.

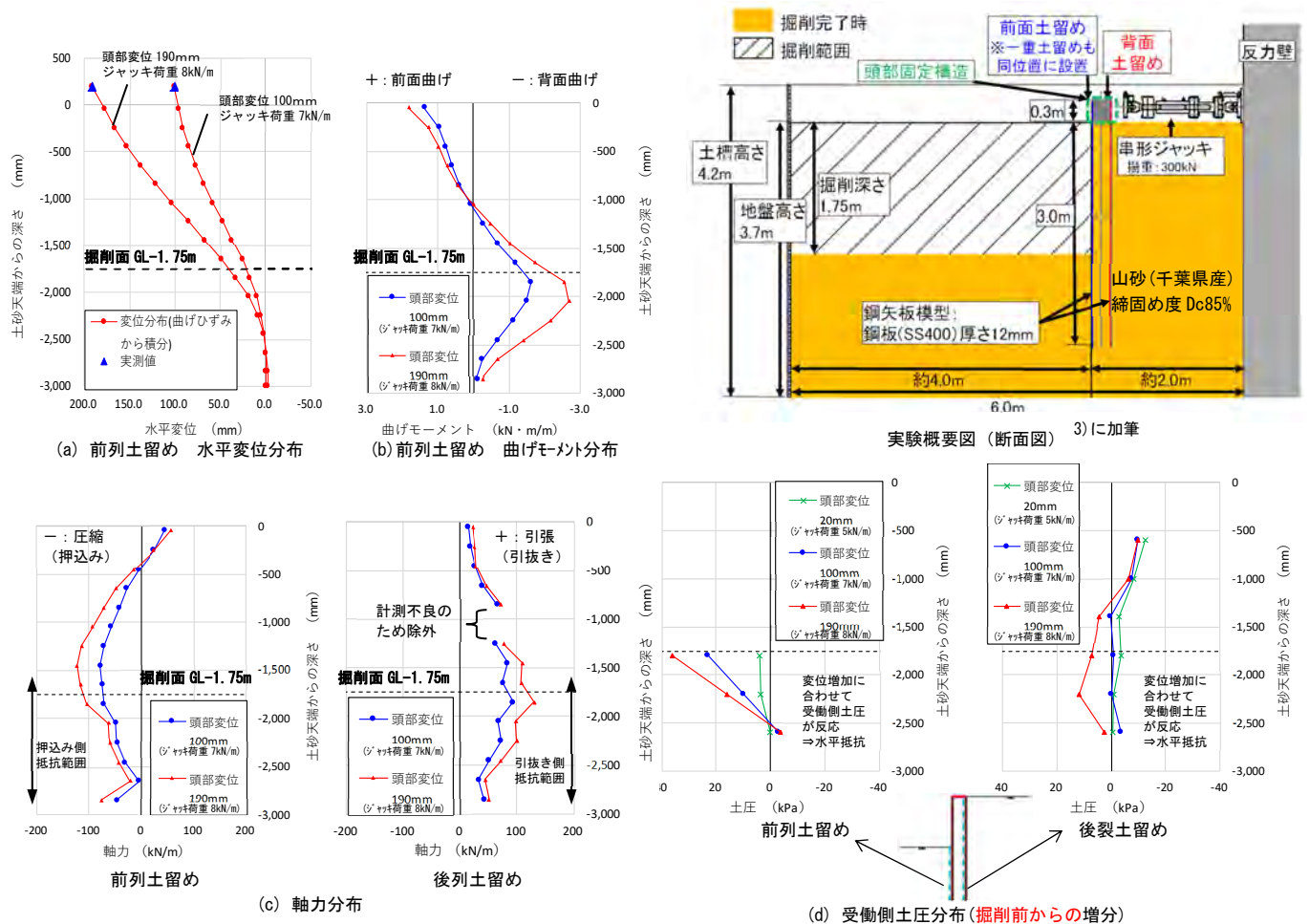


図-8 室内土槽実験結果図^{3,4)}に加筆

4. 施工実績

本工法を実工事に適用した3件の実績を紹介する。

(1) 施工実績①（無支保式）

a) 計画概要

開削仮水路用土留め（掘削幅4m、深さ5.5m）で、標準部（基本設計）の土留め壁は鋼矢板Ⅲ型、1段切梁式（腹起し・切梁ともH-300）である。このうち一部区間（L=12m）において、二重土留め工法（鋼矢板Ⅲ型×2枚、無支保式）を適用した。図-9に土留め工断面図を示す。地盤条件は砂質土主体で、掘削深さに対して地下水位は比較的低い条件である。N値50を超える礫層があるため、鋼矢板はウォータージェット併用バイブロハンマ工法で打設した。設計法の妥当性を確認するため、土留め壁の変位、ひずみを計測した。

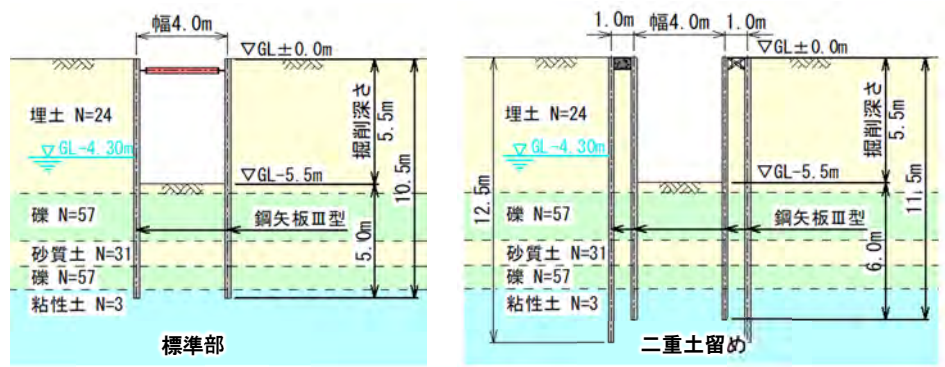


図-9 施工実績① 土留め工断面図



写真-2 施工実績① 掘削施工状況

b) 施工実績

写真-2に標準部と二重土留め工法の掘削状況を示す。標準部は切梁・腹起しの支障によりスライドアーム型の重機を用いる必要があった(写真-2(左))。また、掘削中に重機と切梁・腹起しとの接触リスクが高く、監視誘導役の配置が必須で慎重な重機操作が要求された。一方、二重土留め工法では無支保のため、写真-2(右)のように通常の油圧ショベルで容易かつ連続して掘削を完了できた。標準部に対し、切梁損傷リスクが低減し、掘削作業時の安全性・施工性が向上し、本工法の大きな利点を発揮できた。写真-3に掘削完了時の全景を示す。写真手前が本工法区間である。なお、頭部の固定方法は鋼材プレス方式とRC方式の2パターンで性能を比較した(写真-4)。土留めとしての性能はどちらも同等であった。

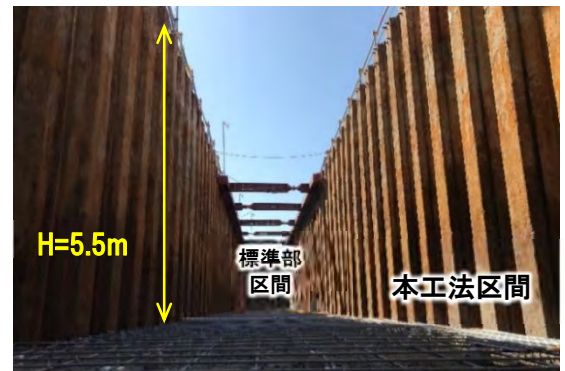


写真-3 施工実績① 掘削完了

c) 土留め壁挙動計測結果

計測結果を図-10に示す。図中の計算値は、地下水位と標準部切梁反力の実測値を元にした逆解析結果である。計測値と計算値はよく一致し、図-2の概念図と同様のモードを示し、設計モデルの妥当性を確認できた。

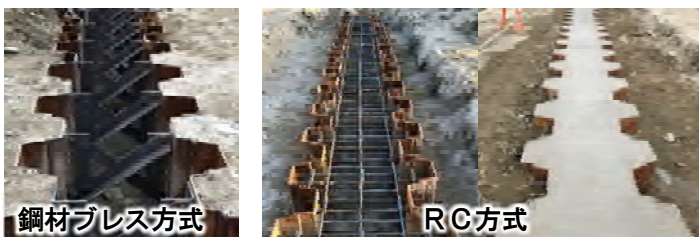


写真-4 施工実績① 頭部固定構造施工状況

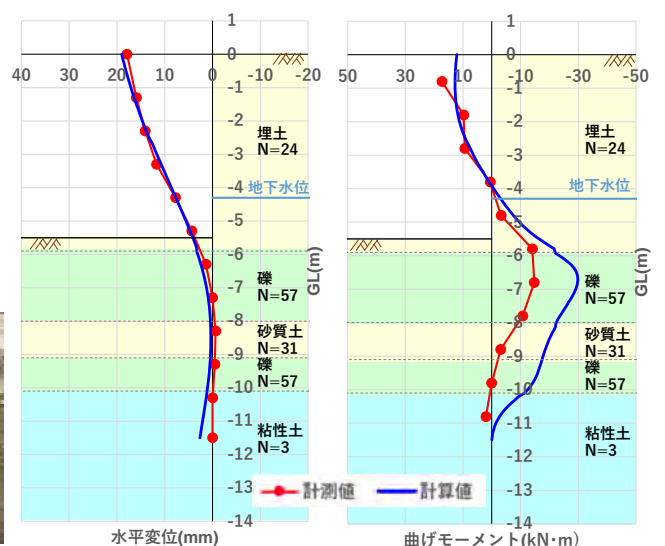


図-10 施工実績① 計測結果

(2) 施工実績② (切梁併用式)

a) 計画概要

本工事は既設躯体の解体用の土留め(掘削幅 21m, 深さ 8.0m)である。基本設計で2段必要であった切梁を、二重土留め工法(鋼矢板Ⅲ型×2枚)を用いて切梁を1段に削減する計画とした。図-11 に土留め工断面図を示す。地盤条件、鋼矢板施工法は実績①と同じである。既往実験では確認していない切梁併用時の挙動確認を目的として、土留め壁の変位・ひずみに加え、切梁軸力を計測した。

b) 施工実績

切梁削減により、図-12 のように施工ステップが省略され、掘削と既設躯体解体、2段目切梁設置を交互に進める必要がなくなり、各作業の安全性や施工性が向上した。既設躯体外周の掘削が完了してからの解体作業が可能となった結果、写真-5 のように、切梁のない空間内での重機解体作業や、地上からの大型重機による取壊し・荷揚げ作業が容易となり、安全性・作業効率向上に寄与した。写真-6 に解体完了状況を示す。

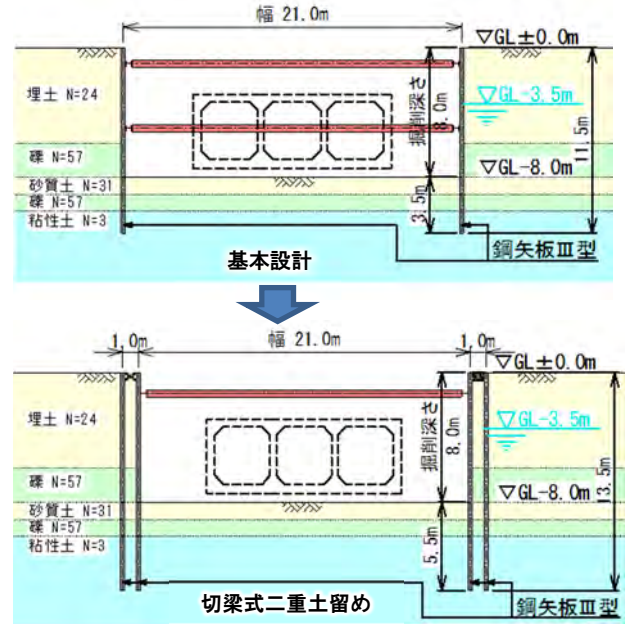


図-11 施工実績② 土留め断面図



写真-5 施工実績② 既設躯体解体施工状況

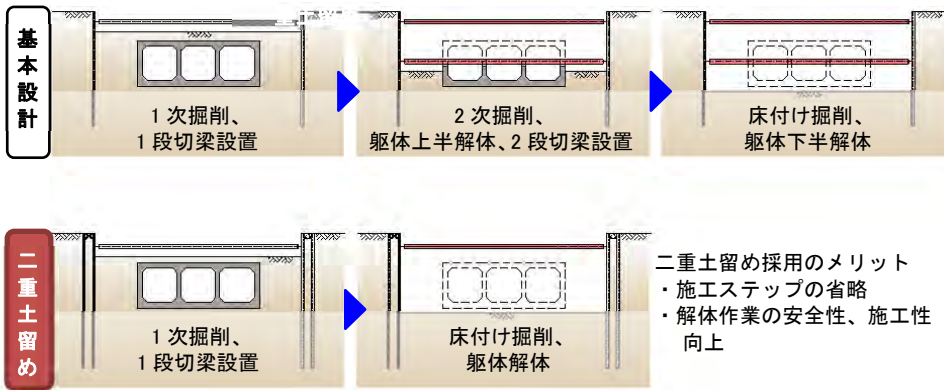


図-12 施工実績② 施工ステップの比較

c) 土留め壁挙動計測結果

計測結果を図-13 に示す。図中の計算値は、地下水位と切梁反力を元にした逆解析結果である。計測値と計算値はよく一致し、切梁併用パターンでも設計モデルの妥当性を確認できた。



写真-6 実績② 掘削・解体完了状況

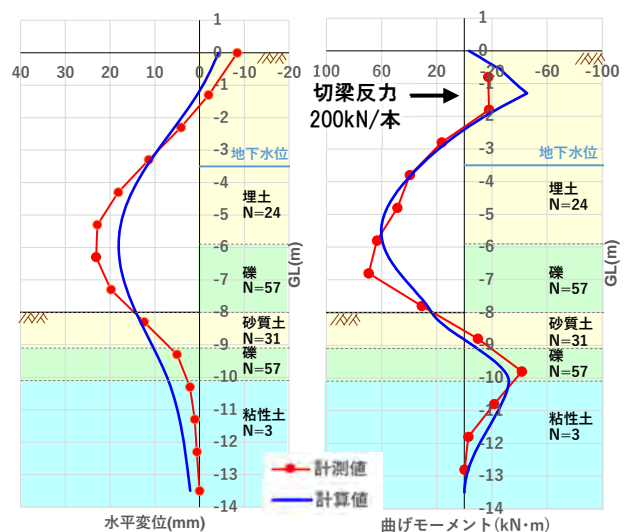


図-13 実績② 計測結果

(3) 施工実績③（無支保式）

a) 計画概要および施工実績

地下土木施設の構築用の土留め（平面寸法 19.2m×14.4m、深さ 8.2m、鋼矢板施工方法：ウォータージェット併用圧入工法）に二重土留め工法を用いて無支保で掘削する計画とした（図-14）。なお、施工箇所は粘性土が厚く堆積する地盤である。既往実績を大きく上回る深さ 8m を超える無支保掘削であり、地下水位も高く、さらに新設建造物の施工が近接する厳しい条件である。平面形状が矩形の立坑型土留めであることから、頭部固定構造に RC 方式を採用し、かまち梁としての効果も期待して、変形（頭部変位光波測量および傾斜計）を計測しながら慎重に施工した。

その結果、写真-7（左上）に示すように、深さ 8.2m の無支保掘削を達成できた。図-15、写真-7 に示すように、原計画と比較して、躯体構築作業時には大空間の確保と大幅な手順省略ができて、施工性・安全性・躯体品質の向上に大いに貢献した。

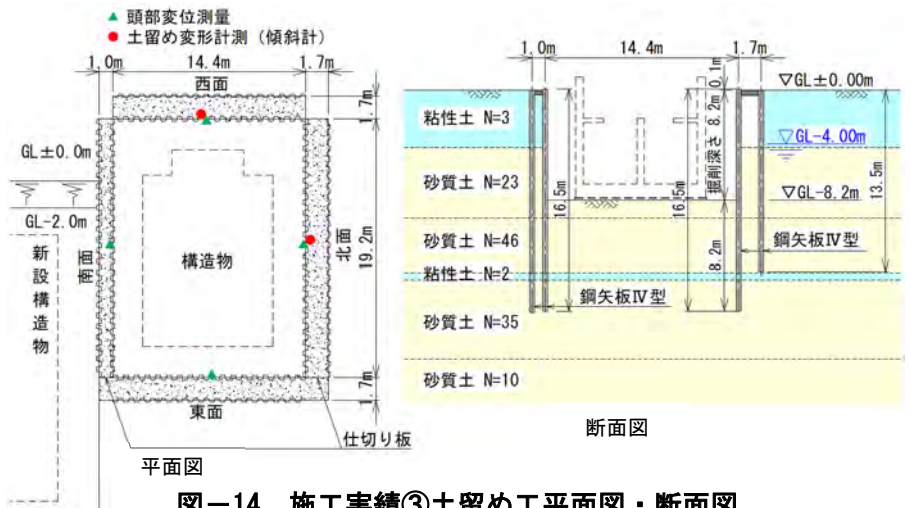


図-14 施工実績③土留め工平面図・断面図



写真-7 施工実績③ 施工状況

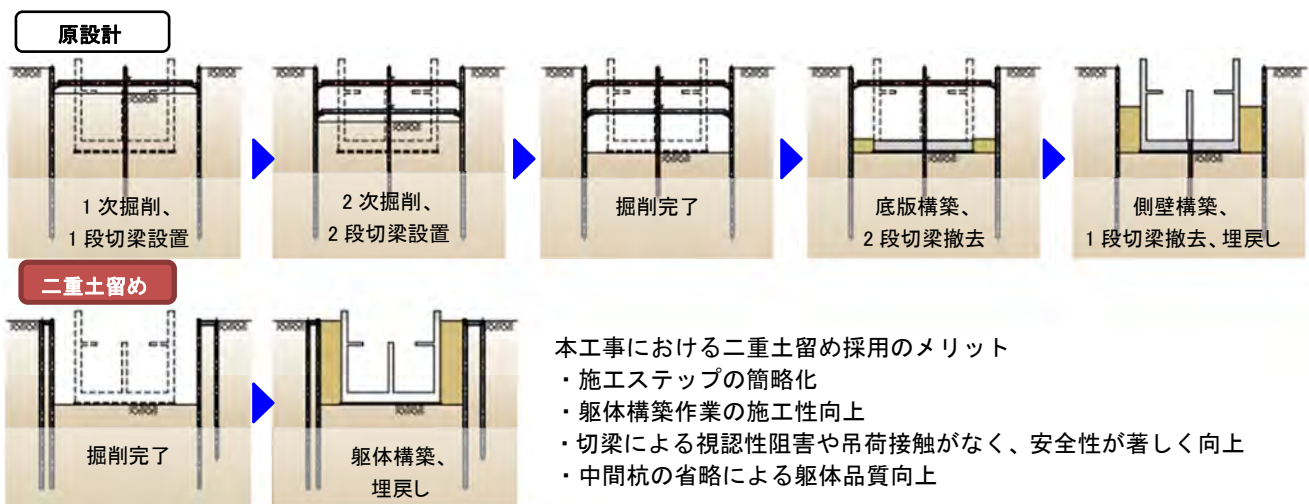


図-15 施工実績③ 施工ステップの比較

b) 土留め壁挙動計測結果

図-14 の計測点での挙動計測結果を図-16 に示す。S 字状の変形挙動が計測され、本工法の特長である、頭部固定による二列の鋼矢板のラーメン構造化が効果を発揮していることがわかる。無支保式掘削の場合、通

常は頭部において最大変位となるが、本工事で頭部よりも腹部の変位が大きくなる挙動が得られた。頭部固定構造は前列と後列の鋼矢板を剛結する用途を基本としているが、RC方式とした頭部固定構造が水平方向にかまち梁効果も発揮したことがわかる。頭部固定構造が、平面的に二列の鋼矢板と間に挟まれたコンクリートの合成構造となり、かまち梁として機能したと考えられる。その状況は図-17において、支間中央の曲げひび割れと端部に生じた隙間の状況により確認できる。本工法の新たな活用法の実績が得られ、今後の適用範囲拡大が見込める。

5. まとめ

今回開発した頭部固定式二重土留め工法は、実験で性能を確認・設計モデルを考案し、様々な形式での適用実績を蓄積できた。本工法は土留め工単体でのコストメリットだけでなく、本工法採用による安全性・施工性・品質の向上といった付加価値も含めて、工事全体のメリット創出に寄与できる。引き続き、本工法の利点を活かせる現場への適用・展開を進めていく。

参考文献

- 1) 中本ら，頭部固定式二重土留め工法の変形抑制効果に関する検討－遠心模型実験－，第75回土木学会年次学術講演会，Ⅲ-173，2020
- 2) 小林ら，頭部固定式二重土留め工法の変形抑制効果に関する検討－弾塑性FEM解析－，第75回土木学会年次学術講演会，Ⅲ-174，2020
- 3) 那須ら，開削施工合理化を目指した無支保土留め工法の開発（その2）－実規模実験による頭部固定式二重土留め工法の変形抑制効果の検証－，第75回土木学会年次学術講演会，Ⅳ-122，2020
- 4) 井上ら，開削施工合理化を目指した無支保土留め工法の開発（その3）－頭部固定式二重土留め工法の設計－，第75回土木学会年次学術講演会，Ⅳ-123，2020

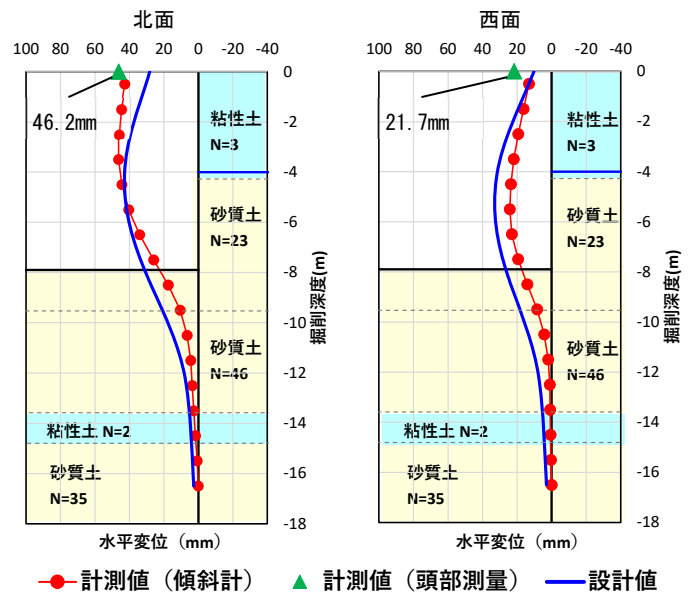


図-16 土留め変位計測結果と設計値の比較

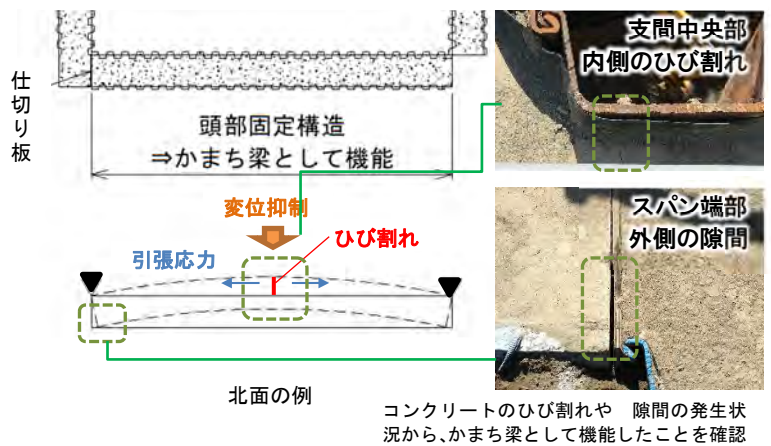


図-17 かまち梁機能の概念と事象確認