

Interview Report

油圧式杭圧入工法を用いた鋼製山留壁の合成本設擁壁への適用

野崎 恒延

国際圧入学会 事務局

1. はじめに

日本の建築分野の擁壁設計においては、建築基準法に仕様規定のひとつとして「鉄筋コンクリート造、石造その他これらに類する腐食しない材料を用いた構造」が明記されていることから、これらの構造物が慣習的に用いられてきた。その一方で、鋼矢板壁に代表される鋼製連続壁については、現在まではほぼ本設躯体構造物である RC 構造物の仮設山留め壁として用いられる傾向にある。

ただし、仮設山留め壁を用いる場合は、敷地境界から本設躯体構造物の外面まで比較的大きな寸法が必要となることから、十分な建築面積を得ることができない結果となる場合がある。これに対して、近年の鋼矢板の高剛性化やより剛性の高い鋼管杭連続壁の施工技術の発達、鋼製連続壁と RC 躯体の合成壁の適用の拡大等により、鋼製壁連続壁の本設構造物兼用山留めへの適用の可能性が広がっている。

本レポートでは、剛性の高い鋼管杭連続壁と RC の合成構造および油圧式杭圧入工法の適用により、有効建築面積の最適化と困難な施工条件の克服の実現に至った施工実例について取材をおこない、将来の鋼製連続壁体の建築本設擁壁への適用拡大の可能性を探った。

取材対象工事の概要

工事名：京都東山計画

工事場所：京都府京都市東山区柵屋町

取材先：株式会社 竹中工務店（発注者／設計・施工会社）



株式会社 竹中工務店
広島支店 作業所
作業所長 相楽 敏男氏



株式会社 竹中工務店
大阪本店 設計部 構造第4部門 2グループ
主任 藤田 尚大氏

2. 工事概要

当該工事は、世界有数の観光都市である京都市において、敷地背面の既存建築物に近接した高低差 30m の急傾斜地に地下 1~2 層、地上 2~4 階のホテルを新築する工事であった。新築構造物は、図-1 および図-2 に示すように複数の建物からなる構造であり、京都市景観条例に定められた周辺の歴史的景観を損なわないための高さ制限により、地上階を低層建物とする必要があったため、それを補うために深い地下階の建設が必要となった。

このため、斜面の山側となる東側の敷地境界線に沿って最大壁高 13m の山留めが必要となったが、従来工法での施工が困難と判断されたことから、油圧圧入工法と鋼管杭を用いた高剛性山留め壁とコンクリートとの合成構造による仮設兼用本設高剛性鋼製・RC 合成擁壁が採用された。

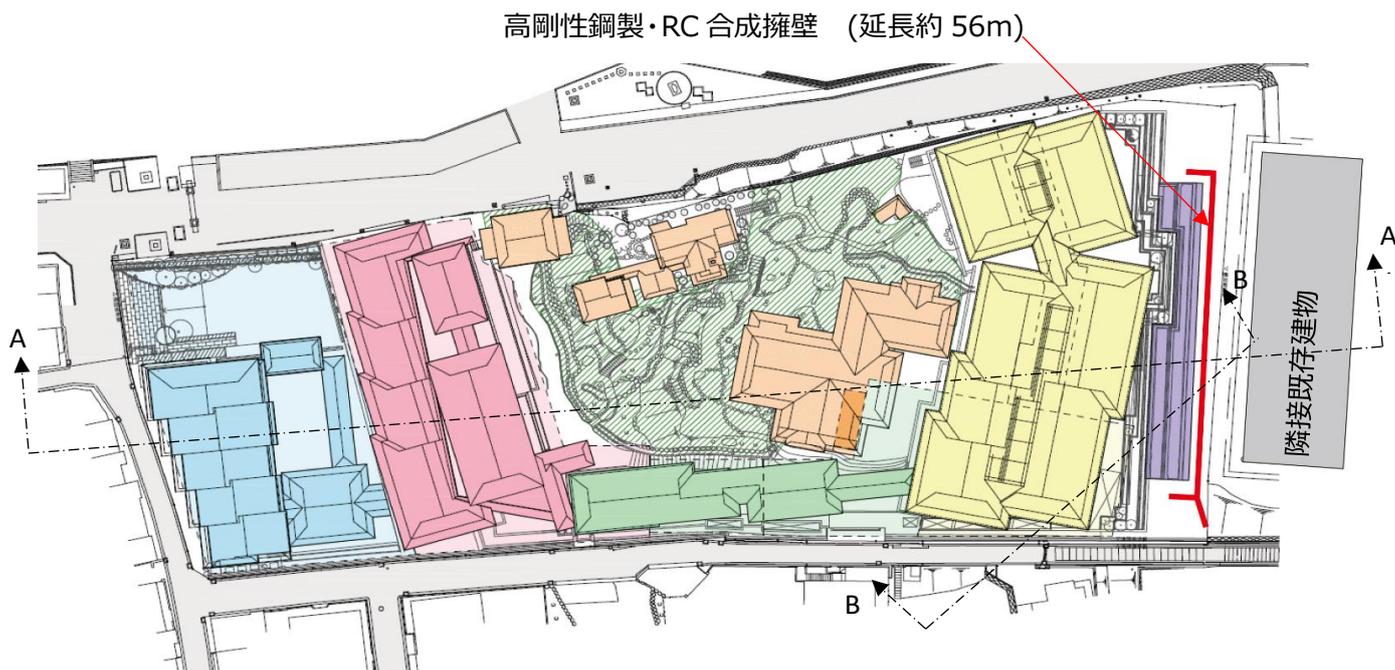


図-1. 建築平面図

高剛性鋼製・RC 合成擁壁の概要

仮設時：鋼管杭φ1,500mm x t25mm L=27.6m (3本継ぎ) 37本 + 除去式グランドアンカー

本設時：鋼管杭連続壁と RC 造 L 型擁壁の合成壁

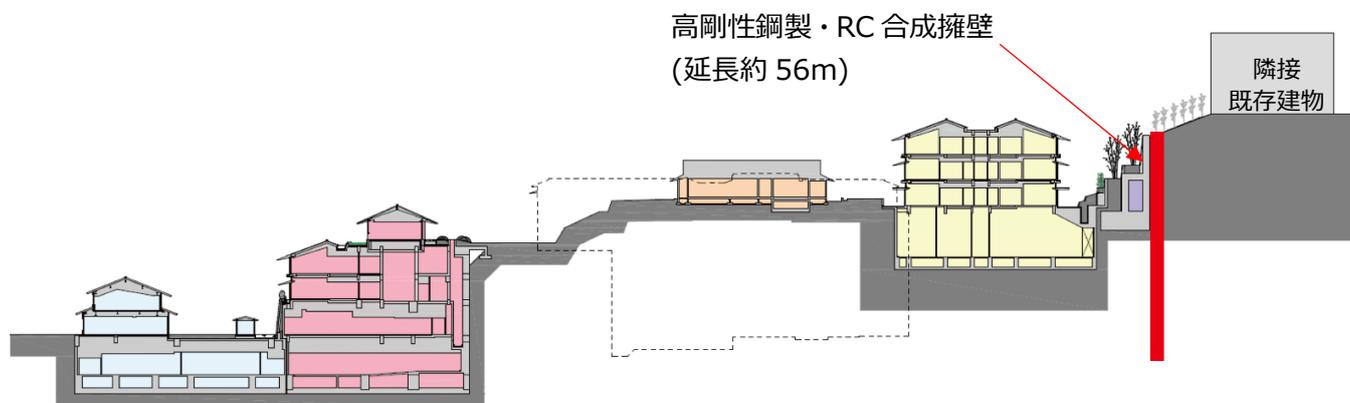


図-2. 建築縦断図 (A-A'断面)

3. 土質条件

地盤構成は表層より埋土(F層)、洪積層の礫混じり砂質粘土(dt層、N=6~15)、シルト混じり砂礫(Dg2-c層、N=10~43)、砂混じり粘土(Dc2層、N=15~24)、粘土混じり砂礫(Dg3-c層、N>60、最大換算N値250)となっている。計画根切高が標高+34.3mであることから、根入れ式山留め壁を硬質砂礫地盤に貫入する必要性が計画当初から想定された。また、埋土下の層厚約10mの砂質粘土層(dt層)の非排水せん断強度Cuが32~82kN/m²と低いことから、比較的大きな土圧が擁壁に作用することが予想された。

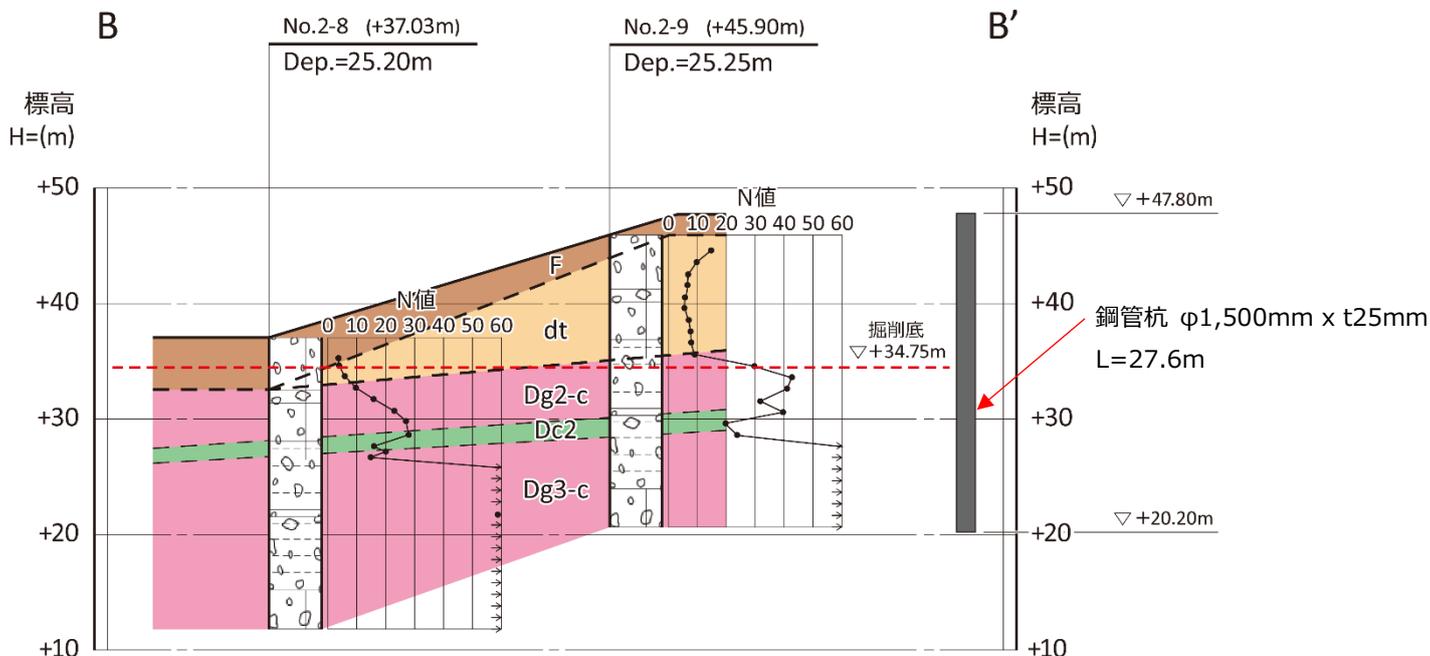


図-3. 土層推定縦断図 (B-B'断面)

4. 基礎構造形式および施工方法の選定

建築物の新築に当たっては、地下階の建設のため敷地境界に沿って山留め壁の構築が必要であったが、敷地東側の用地境界に沿って構築される山留壁の壁高が最大13m必要であり、かつ困難な条件下での施工が要求されたことから、一般的に用いられる親杭横矢板壁による仮設山留めの適用が現実的ではなかった。これらの条件を考慮した上で、高剛性の鋼管杭連続壁とRC造逆L型擁壁を合成し、山留め壁兼用本設地下壁・擁壁が採用された(図-4、図-5参照)。また、鋼管杭の施工には、厳しい施工制約条件を克服するために、ジャイロプレス工法TM(鋼管杭回転圧入工法)が採用された。今回適用された地下壁・擁壁構造と施工工法の主な採用理由は下記の通りである。

- 1) 敷地背面の既製杭を基礎とする既存建築物に近接して、既製杭先端より深い掘削となる地下階の建物が計画された。
- 2) 隣接する既存建築物のため、グラウンドアンカーの残置が現実的ではなかったことから除去式グラウンドアンカーを用いた施工が前提となり、そのため完成時の自立壁高が約13mの擁壁が要求された。
- 3) 擁壁背面の既存建築物が群杭の建物であったため、グラウンドアンカーが群杭の先端以深になるように計画する必要があった。このため、除去式グラウンドアンカーを土留め壁の頭部付近に施工することが現実的ではなく、アンカー固定位置を壁高の中間付近とする必要があった。
- 4) 敷地地盤が土砂災害特別警戒区域に指定されており、その解除を可能とする高剛性擁壁が必要とされた。

- 5) 1)~4)の理由により、親杭横矢板+グラウンドアンカー+切梁による仮設山留を前提とする逆L形擁壁の計画が現実的ではなかった。
- 6) 施工基面が敷地高低差 30m を有する急傾斜地であった。このため、斜面上で鋼管杭の施工が可能な工法を必要とした。
- 7) 現場への搬入路が狭隘であったため、それに対応できる工法の採用を前提に検討する必要があるがあった。
- 8) 6)、7)の条件を満たすジャイロプレス工法(鋼管杭回転切削圧入工法)が採用された。

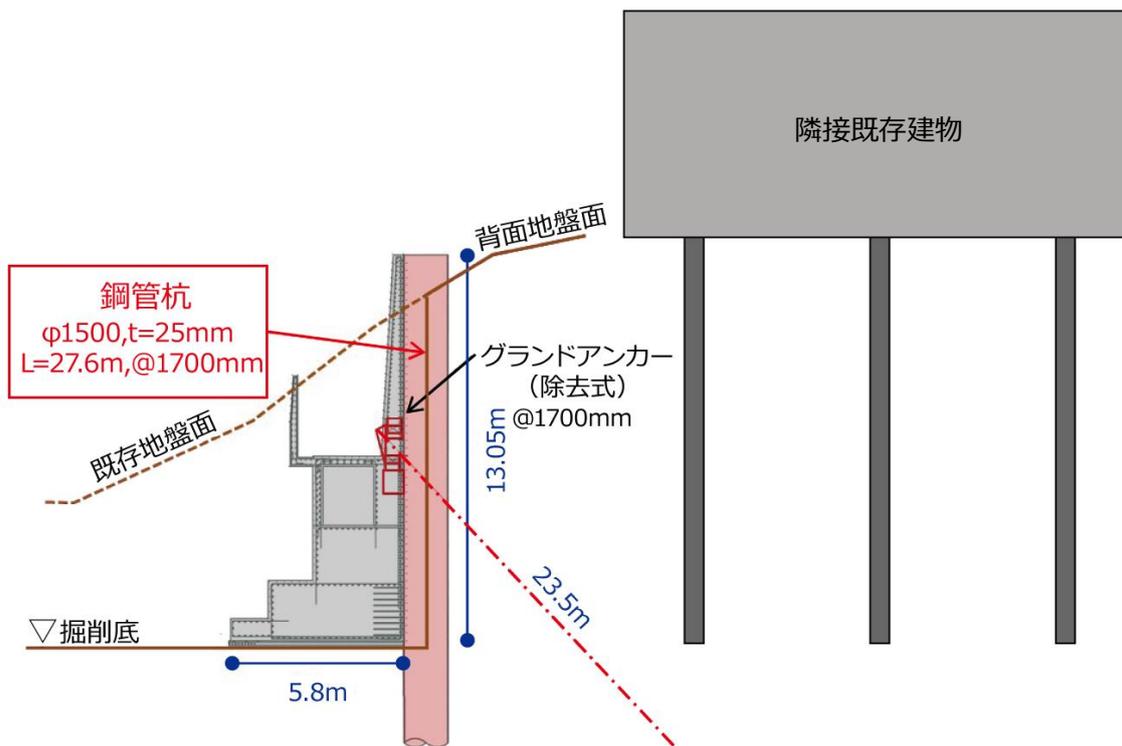


図-4. 高剛性鋼製・RC 合成擁壁断面図

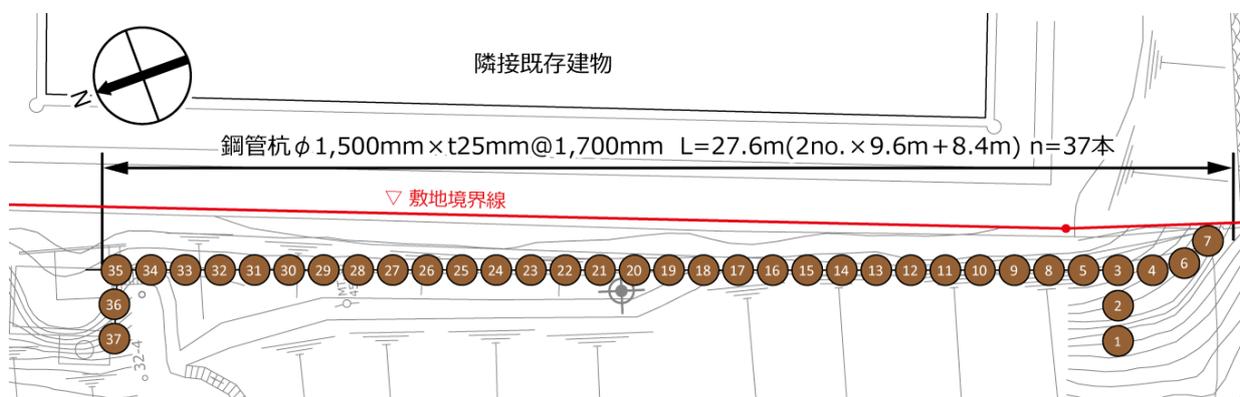


図-5. 高剛性鋼製・RC 合成擁壁平面図

5. 高剛性鋼製・RC 合成擁壁の設計

仮設山留め壁の設計においては、壁高が約 13m であったことから、自立式ではなく支保工もしくはアンカー式の山留め壁を前提とする必要があった。山留め壁の位置および線形から支保工の設置が現実的ではなかったことからアンカー方式が採用されたが、掘削背面の既存構造物が群杭の建物であったため、グランドアンカーが群杭の先端以深になるように設計された。その結果、グランドアンカーの設置位置が山留め壁の頭部ではなく、壁高の中間程度の位置となった。なお、グランドアンカーは残置を避けるために除去式が採用された（図 5 参照）。

山留め壁工法の選定にあたっては、下記の条件を満たす工法を選定する必要があった。

- 1) 1 段のグランドアンカーで許容水平変位が 30mm 以下となる剛性を有する壁体であること。
- 2) 狭隘な搬入路でも資機材の搬入が可能であること。
- 3) 硬質地盤(最大換算 N 値 250)である所定の深度まで山留め壁の施工が可能であること。
- 4) 低騒音・低振動施工が可能であること。
- 5) 急斜面の施工基面上での施工が可能であること。

以上の条件を満たす工法をすべて満たす工法としてジャイロプレス工法(鋼管杭回転切削圧入工法)による鋼管杭連続壁が採用された。鋼管杭の規格は、当該現場に搬入可能なジャイロパイラー™(ジャイロプレス工法用の回転式圧入機)で施工可能な最大規格である外径 1,500mm、板厚 25mm のスパイラル鋼管杭が選定された。なお、アンカーを除去した後の外力に対してΦ1,500mm x t25mm の鋼管杭だけでは剛性が不足していたことから、RC 擁壁との合成擁壁として構造設計が実施された(図-6 参照)。なお、RC 擁壁は構造躯体としてのみでなく、完成後の前面の斜面修景(植栽)としても必要であった。コンクリートを頭付きスタッドおよび異形鉄筋スタッドを用いて鋼管杭連続壁と合成し、RC 擁壁と鋼管の間にはせん断力、引張力を処理することにより曲げモーメントの伝達が保証された。また、RC 擁壁の底面は伝達されたモーメントに対して接地圧に十分余裕を持たせるように L 型が採用された。ちなみに、擁壁の許容モーメントは、異形鉄筋スタッドの最大検定比(発生応力)が 0.76 であったことから、実際に発生するモーメントに対して 3 割程度の余裕を持っていたことが分かる。

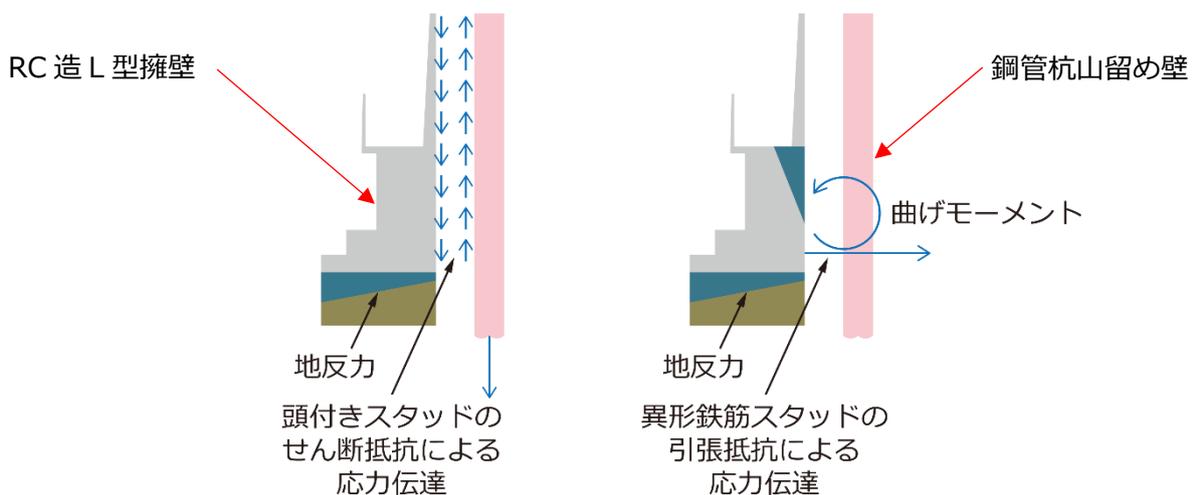


図-6. 合成擁壁の設計概念図

山留め壁の許容水平変位は、既存構造物が近接する建築工事において一般的とされる 30mm に設定されたが、周辺地盤および隣接構造物の挙動解析を行ったうえで隣地の地権者との合意を得て設計採用に至った。

6. 合成壁の施工

1) ジャイロプレス工法による鋼管杭圧入

対象となった山留め壁の法線が用地境界線から約 2~4mと近接していたことから、鋼管杭施工中の振動・騒音および周辺地盤の変位を最低限にとどめることが可能である油圧圧入工法が前提として工法選定が行われた。また、油圧圧入工法が当該現場のような急斜面の施工基面上での施工(図-7 参照)や、杭の高止まり施工が可能であるという点も採用に至る理由の一つであった。その上で、油圧圧入工法の中でも鋼管杭の硬質地盤への圧入を可能とするジャイロプレス工法(鋼管杭回転切削圧入工法)が採用された。



図-7. 鋼管杭施工前の状況

ジャイロプレス工法は、専用の圧入機であるジャイロパイラー(回転式圧入機)が、自ら施工した鋼管杭の頭部を油圧クランプで把持することによって、その杭の引抜き抵抗を利用して新たに鋼管杭を圧入する工法である。圧入はジャイロパイラーが油圧式チャックで把持した鋼管杭を回転させながら油圧によって地中に圧入する仕組みとなっている。なお、圧入効率を上げる目的と硬質地盤への対処を可能とするために、鋼管杭先端にはドリルビットが取付けられる。また、圧入中の鋼管杭の閉塞防止と周面摩擦抵抗低減のために、杭断面内に事前に配管を取付け、圧入中に潤滑水を鋼管杭先端から吐出するのが一般的である。図-8 にジャイロプレス工法の概観を、図-9 に当該現場における鋼管杭圧入状況を示す。

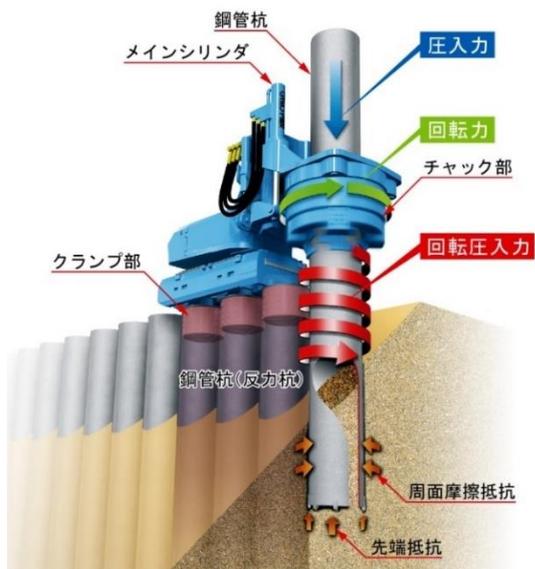


図-8. ジャイロプレス工法概観



図-9. 鋼管杭圧入状況

また、図-10 に示すように、ジャイロプレス工法は他の圧入工法と同様に圧入中の杭の支持力を反力として自走することによって施工を進捗することが可能である。

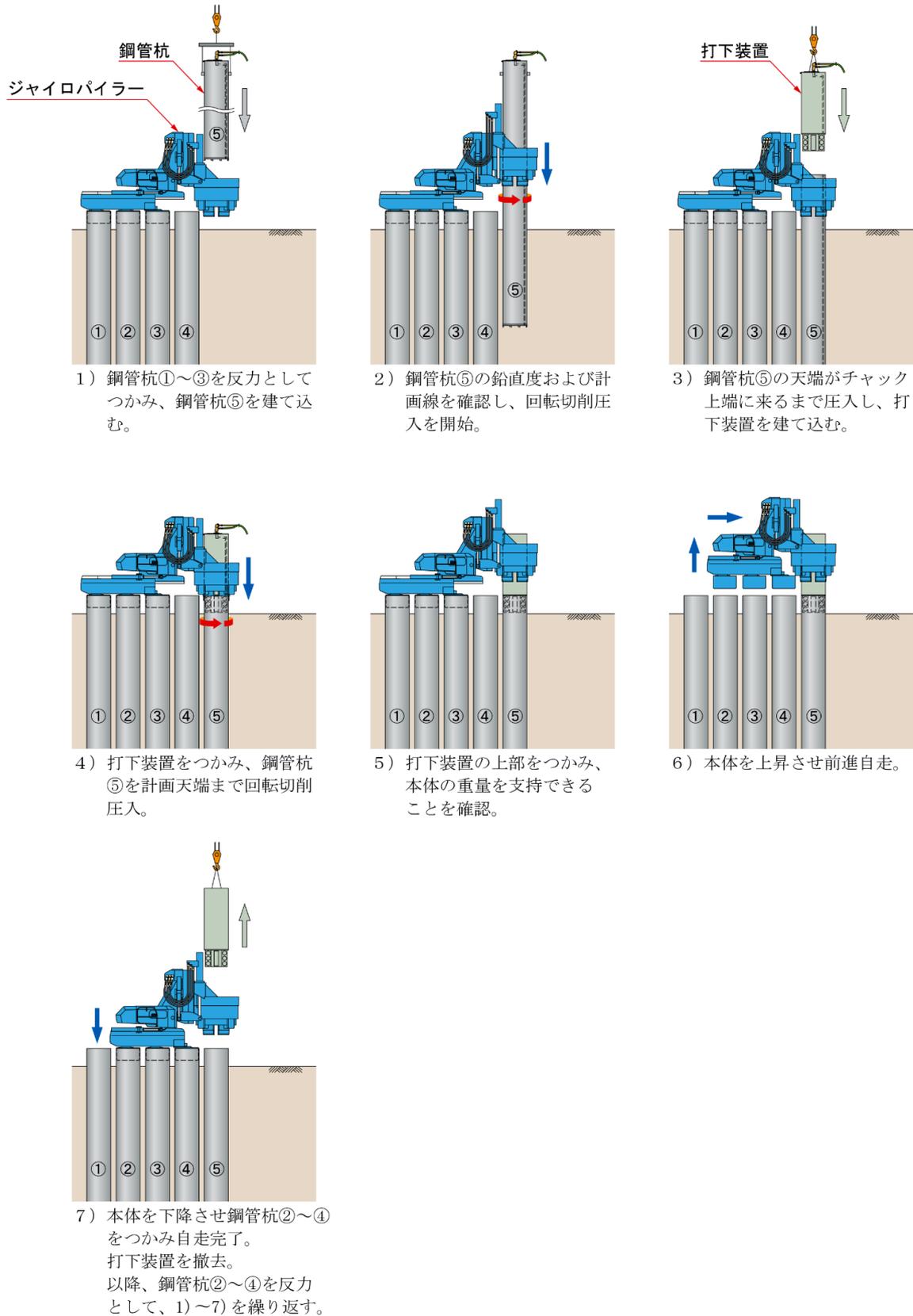


図-10. 鋼管杭の回転圧入施工手順図

当該現場においては、必要となる鋼管杭長が搬入可能長を超える 27.6m であったことから、鋼管杭を現場で 3 本継ぎ施工することとなった(図-11 参照)。作業用地の関係から鋼管杭を現場で横継ぎすることが困難であったことから、縦継ぎ施工(下杭圧入→中杭圧入→上杭圧入)が採用された。なお、鋼管杭の縦継ぎ方法には現場円周溶接が用いられ、溶接の品質検査には浸透探傷試験(全数)および超音波探傷試験(1/20 箇所)が用いられた。

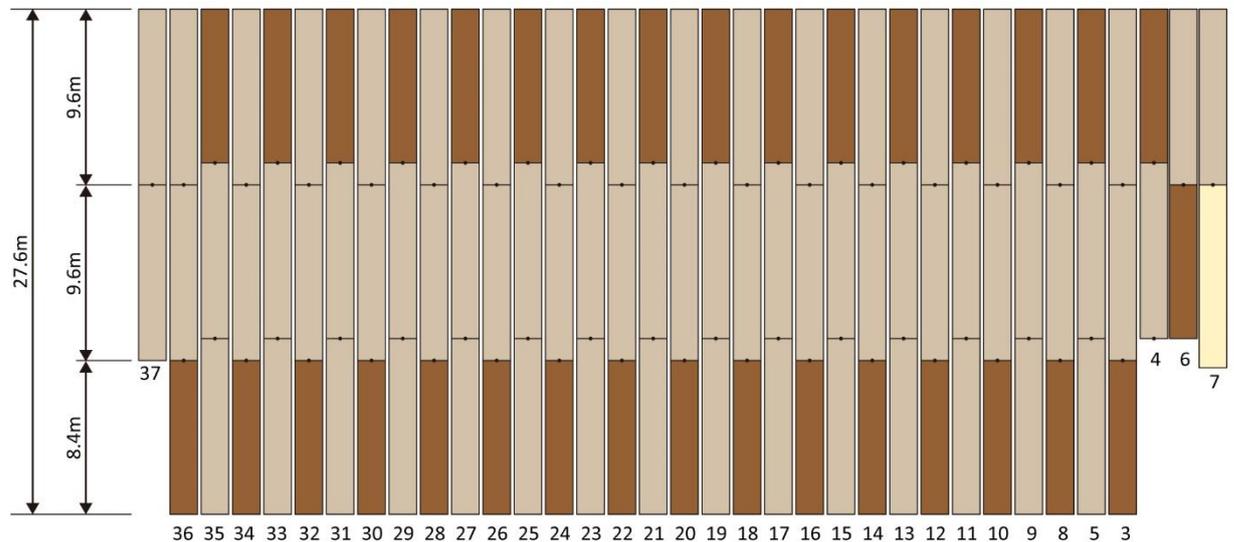


図-11. 鋼管杭連続壁縦断展開図

鋼管杭の圧入に当たっては、地中での杭同士の干渉を避ける必要があり、また施工精度管理上の余裕も必要となることから、一般的に杭間にはある程度の空隙が設けられる。当該現場においては、杭間スペースを 200mm とし、外径 1,500mm の鋼管杭を 1,700mm 間隔で施工した。この杭間の空隙を通じた掘削中の土粒子の逸失を防ぐために、空隙は必要に応じて鋼管杭圧入後に杭間処理部材で塞ぐのが一般的であり、杭間処理部材には等辺山形鋼や小口径鋼管が用いられる。当該現場においては、200mmx200mm の等辺山形鋼が用いられた。図-12 に杭間処理部材の施工手順を示す。

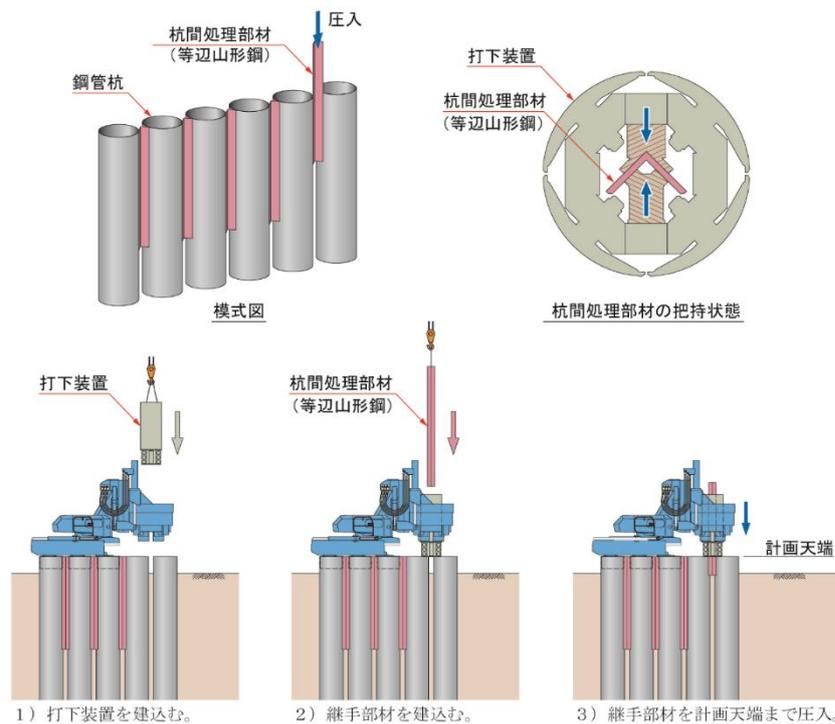


図-12. 杭間処理部材の施工手順

鋼管杭施工の工期に関しては、資機材の搬入搬出、鋼管杭圧入、杭間処理部材の圧入に要した実働日数は51日であった。なお主要工種である鋼管杭圧入工の進捗は、平均0.8本/日(3本継ぎ)であった。

2) 掘削工およびグラウンドアンカー打設

鋼管杭圧入後、一次掘削工程としてグラウンドアンカー設置の施工基面まで掘削を行った後にアンカー施工機によってグラウンドアンカーの施工が行われた(図-13参照)。



図-13. 一次掘削後のグラウンドアンカー施工状況

グラウンドアンカー施工後に、所定の深度まで二次掘削が行われ、掘削底面には捨てコンクリートが打設された。なお、掘削に伴う鋼管山留め壁の水平変位管理は、表-1 に示す管理基準値に沿って行われたが、最終的な実測値は図-14 に示す通り 2 次管理値以下の 28mm であった。また、グラウンドアンカー軸力に関しても、表-2 のように実測値が解析値をやや下回る値であったことから、解析の妥当性が証明された結果となっている。

表-1. 鋼管山留壁の水平変位管理値

1 次管理値	25.6mm (80%)
2 次管理値	32mm (100%)

表-2. グラウンドアンカー軸力

解析値	360kN/m
実測値	320kN/m

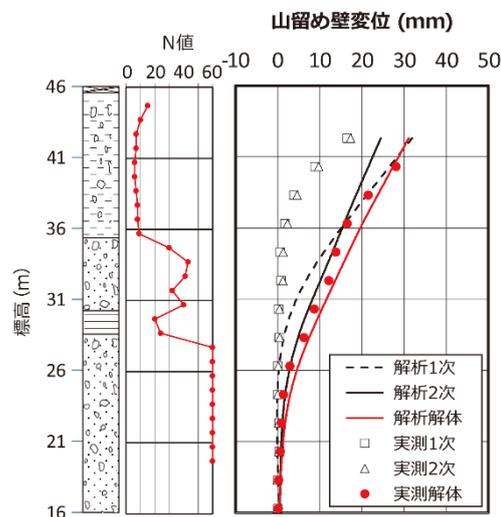


図-14. 山留め壁の水平変位



図-15. グラウンドアンカー施工後の二次掘削状況(左)および掘削完了状況(右)

3) スタッド取り付け

捨てコン打設に続いて、スタッドガンを用いた鋼管杭への頭付きスタッドおよび異形鉄筋スタッドの溶接が行われた。スタッド溶接の品質検査に関しては、当該現場で用いたスタッド径が D19 であったことから、「技量付加試験」が求められた。(注：スタッド径 D16 までは資格範囲内として溶接検査が免除される。) 内容としては、試験溶接施工した供試体を用いての室内曲げ試験、引張り試験、実施工においては施工後に 100%の目視検査、1/100 の曲げ試験(ハンマによる打撃試験)が行われた。

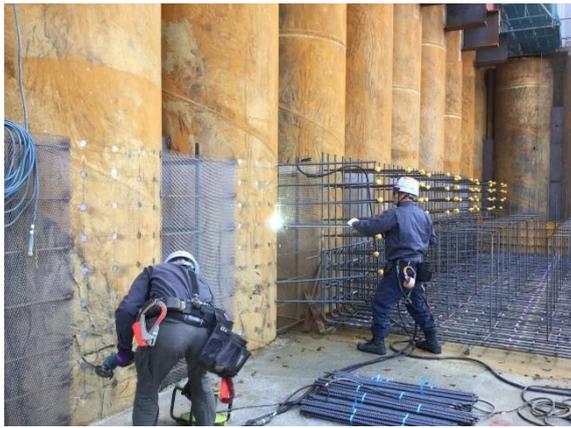


図-16. スタッドガンによる異形鉄筋スタッド施工状況(左)および施工後(右)

4) 型枠工、コンクリート打設

その後、鋼管土留め壁前面に足場と型枠が設置され、コンクリートの打設が行われた。(図-17、18 参照。) コンクリートは、強度 Fc24(標準供用期間約 65 年程度)のコンクリートが用いられた。



図-17. 型枠足場設置状況



図-18. 掘削工全景

5) 修景工

合成壁のコンクリート擁壁は、ホテル客室前面の庭園の一部となることから、植栽を兼ねたデザインが施された(図-19)。

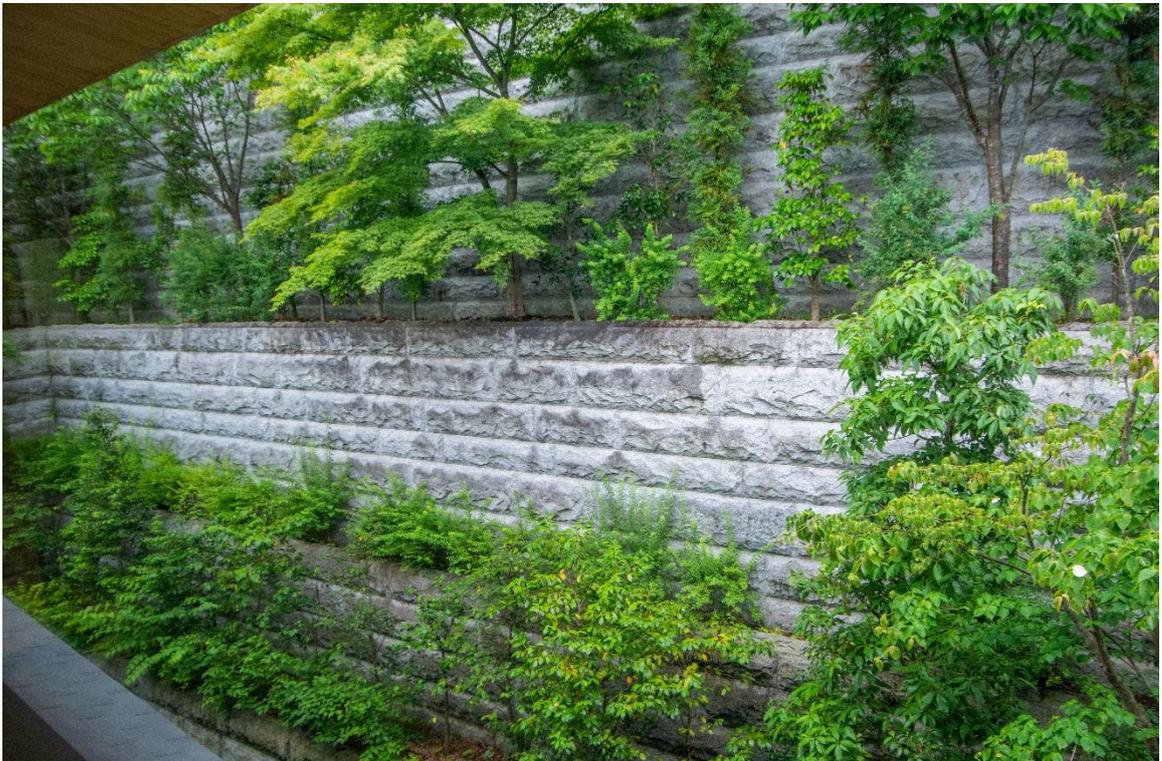


図-19. 修景工概観

7. まとめ

擁壁または地下躯体の構築において、山留め壁の本設兼用ができるのが望ましいが、現在の日本の建築分野において、主に用いられている山留め壁は、建築基準法における本設躯体としての構造的要件を満たしていない。また、現時点で本設兼用山留めの指針が建築学会の指針に無いため、仮設土留めと本設 RC 躯体を別々に施工するのが通例となっている。将来、山留め壁と RC 躯体の合成構造が指針化されれば、合成擁壁の適用が大幅に増える可能性はあるものの、学会の指針化には長い年月を要するため、当面は開発した本設兼用山留め工法に対して、民間の第三者機関(一般財団法人 日本建築総合試験所)等の技術認定を経て「建築技術性能証明」を取得し、行政(工作物確認を行う建築主事)にその都度提出する等の方法が現実的であると考えられる。なお、認定技術の運用を円滑にするためには、設計・施工指針や適用例といったツールの整備も重要になると思われる。

一方、海外においては鋼製、RCにかかわらず、根入れ式山留め壁と本設擁壁の兼用が一般的に行われている。しかしながら、合成構造として設計される例は少なく、鋼製壁単体もしくは RC 壁単体としての適用例が殆どである。また、鋼製壁をコンクリート等で被覆する場合も修景目的が殆どであり、日本と同様に鋼製壁と RC の合成壁体としての設計・施工手法の一般化が望まれる。

今回の取材対象の適用例からも言えることであるが、山留め壁と RC 壁を合成することによって擁壁として性能の向上を図ることができるばかりでなく、構造および機能の最適化も両立できることが分かる。結果として、基礎構造物としての合理化のみならず、従来は仮設用途の領域にとどまっていた山留壁用建材の適用範囲が本設領域まで拡大することによって、建材のラインナップの増加やサプライチェーンの発達にもつながると考える。それにより、合成壁理論が地域や国の垣根をこえた普遍的な拡がりを見せることに期待したい。

参考文献

基礎工 Vol.46, No10, 2018.10