

シールド掘進中に遭遇した障害物の撤去と再発進について

Removal plan and construction of underground obstacles that found in front of the shield

宇田 好一郎*

山下 晋由*

Koichiro Uda

Kuniyoshi Yamashita

要 約

本稿は、泥水式シールド掘進中に出現した想定外の地中埋設杭に対する撤去方法の検討および施工結果について報告するものである。当初計画では、現場状況や工期から杭周辺をベビーモール工法により縁切りし、クレーンにて引抜きすることとした。しかし、撤去対象の土留杭以外にも地中に存在した腹起し、切梁により、ベビーモール削進が進まない状態となった。また、想定外に切断してしまった腹起し、切梁の鋼材片をシールド掘削断面に残置している可能性があった。地中埋設杭撤去中に発生したこれらのトラブルに対して、それぞれ、油圧ジャッキによる引抜、鋼製ケーシング土留工法（L-mole 工法）による鋼材片回収を行い、無事、シールドを再発進した。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 地中障害物の出現
- § 3. 対策工の検討および施工結果
- § 4. まとめ

§ 1. はじめに

本工事は、守口市から吹田市までの 6.3 km 区間に、泥水式シールド工法にて上水道管渠を新設する工事である。摂津市内の発進基地より南路線（到達立坑は庭窪浄水場内）として 2.5 km、北路線（到達立坑は吹田市榎切山）として 3.7 km のシールド延長である。シールド一次覆工は鋼製セグメントで、外径は $\phi 2,000$ mm、内挿する鋳鉄管は $\phi 1,200$ mm である。

シールド機は、外径 2,130 mm、機長 5,200 mm（フィッシュテール除く）の泥水式シールド機である。開口率は 34% で送泥管は 6 インチ（150 A）、排泥管は 8 インチ（200 A）である（図-1）。

本論文では、シールド掘進中に出現した想定外の地中埋設杭の撤去事例について報告するものである。

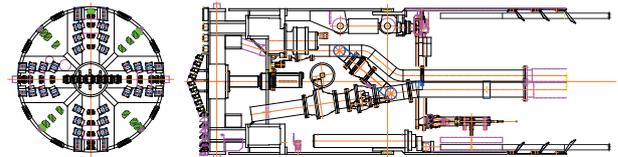


図-1 シールド機

§ 2. 地中障害物の出現

2018 年 9 月 12 日に 1223 R（約 1,100 m）を掘進中に、カッター圧の急激な上昇と推力の増大により、掘進を停止した（図-2）。シールド機周辺の埋設物等調査を行ったところ、近接する下水道管渠築造時に使用した H-300 を芯材とする $\Phi 500$ mm の PIP 杭（場所打ちモルタル杭）が当該シールド機通過位置に残置されていることが判明した（図-3）。

下水道管理者の仮設構造物の図面を元に、シールド路線上の仮設構造物の試掘を行ったところ、図面とは若干異なる位置ではあるが、25 本の杭頭部が確認された（図-4）。また、杭長の確認を目的として、ボーリング削孔による磁気探査を 2 箇所行った。これらの調査結果をもとに撤去方法の検討を行った。撤去方法の検討および、撤去作業を行う過程で明らかとなった課題について以下に示す。

2-1 課題 1 狭隘な作業空間で可能な工法の選定

作業箇所が片側 1 車線で交差点に近接した道路上であり、狭隘な作業空間であることから、安全に施工可能な工法を選定する必要がある。また、警察署前に位置し

工 事 名	送水管布設工事(庭窪万博系統連絡管・摂津市ほか)
工 事 場 所	守口市大庭町二丁目～吹田市榎切山内
工 期	平成27年11月13日～令和5年3月15日
発 注 者	大阪広域水道企業団 北部水道事業所
施 工 者	西松建設森本組ハンシン建設共同企業体

* 西日本（支）庭窪シールド（出）

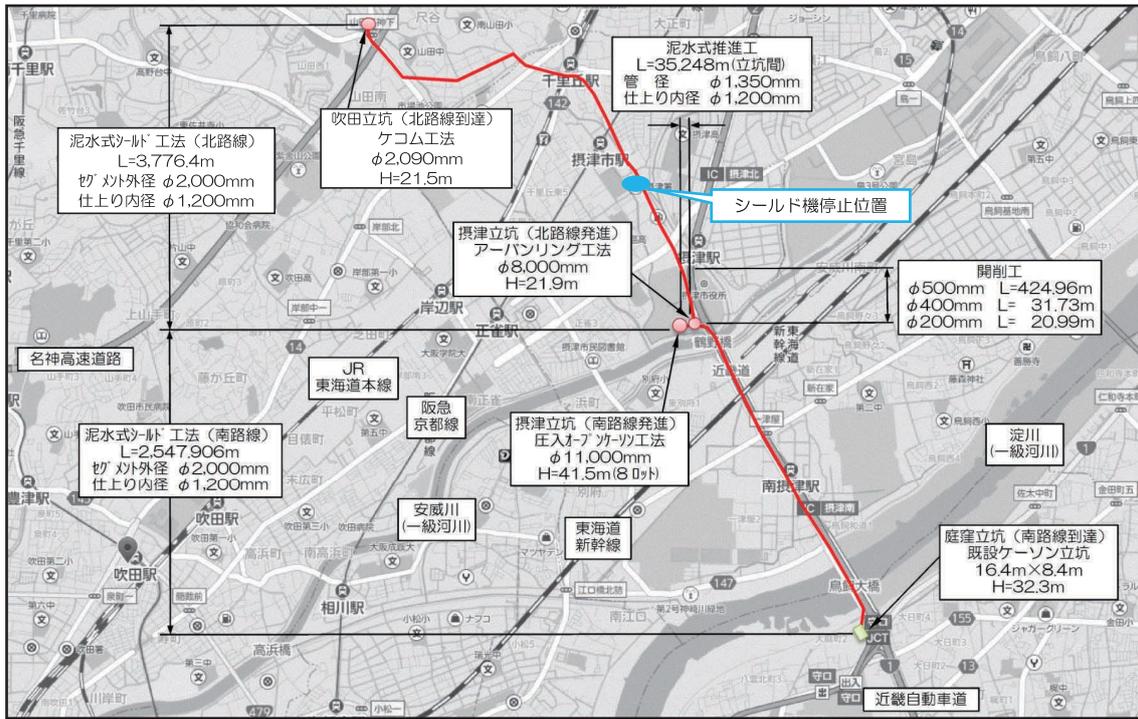


図-2 シールド路線とシールド機停止位置

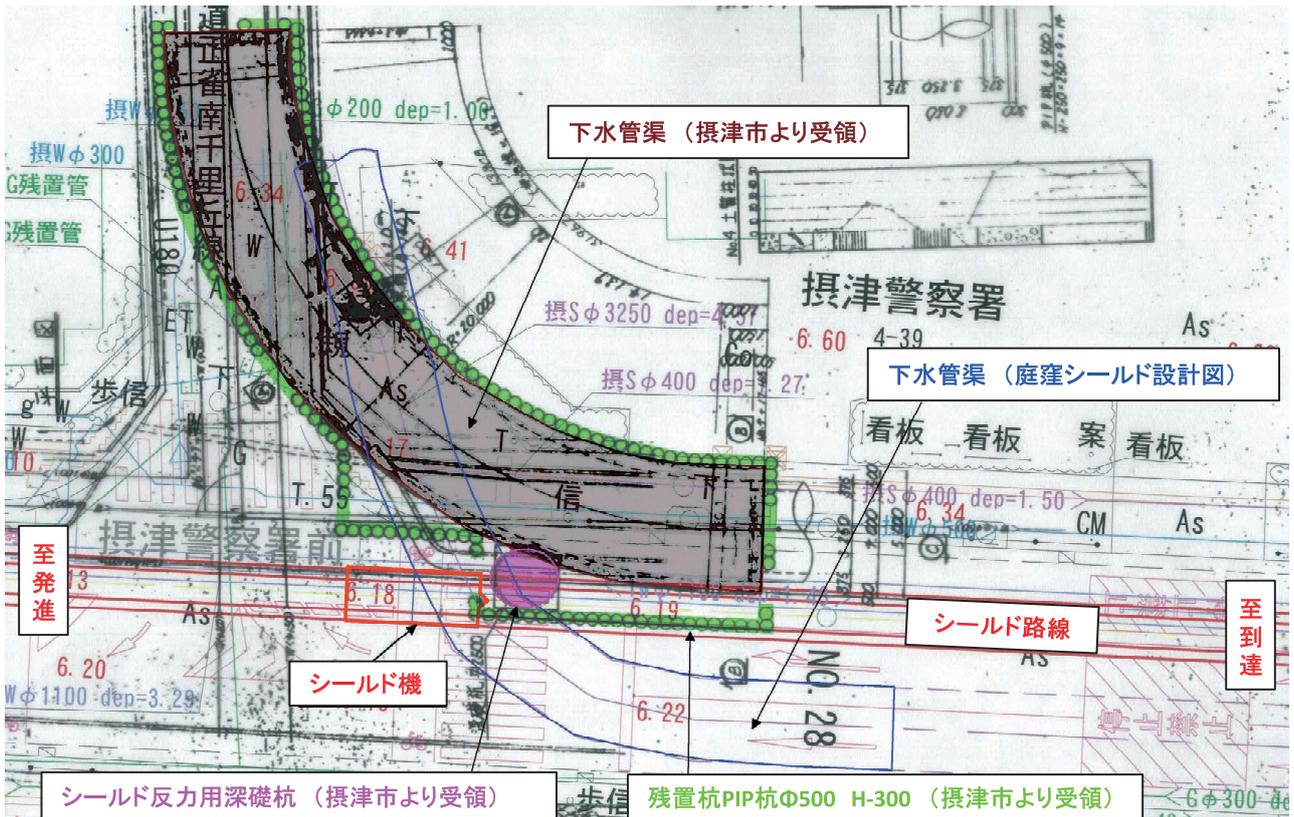
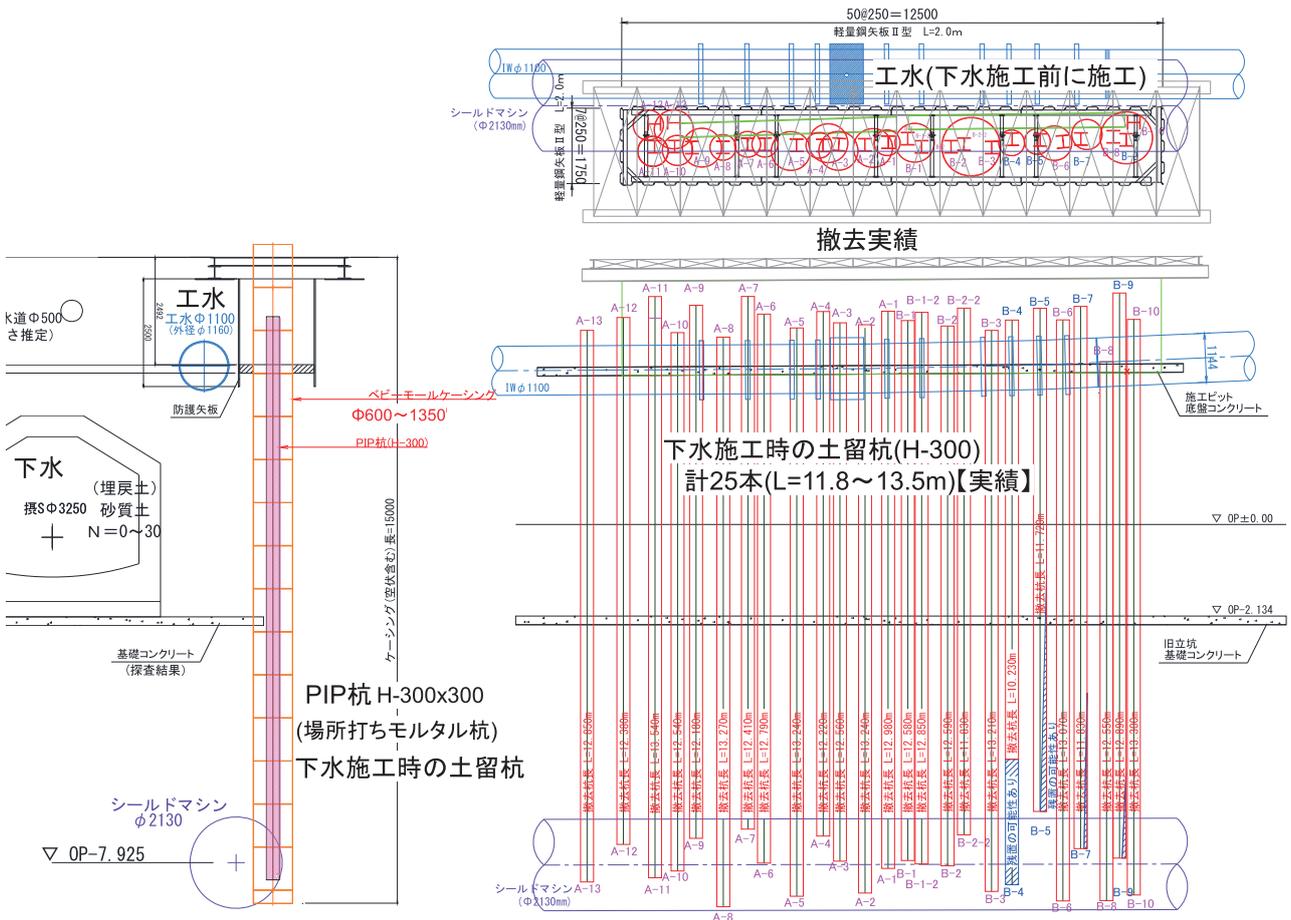


図-3 障害物調査結果

ており出入口付近を固定占有できないこと、JR、阪急電鉄の駅へのメインアクセス道路であり通勤車両、自転車等交通量が多いことから、夜間片側交互通行(22:00~6:00)の一時占有内で施工する必要があった。

2-2 課題2 障害物撤去開始後の施工機能力不足による杭撤去方法の再検討

杭の施工精度が悪いため杭と鋼管とのせり、また、当初杭に溶接等固定されている鋼材として想定されていた[-200 \times 75より大きな腹起し、切梁(ともにH-350)が切断後に鋼管内へ落ち込み、せりを発生させていたこと



図一四 障害物撤去計画図

等により、ベビーモール削進機(Φ600~1350)がトルク不足で削進できない状態となった。そのため、杭撤去方法の再検討が必要となった。

2-3 課題3 切断し残置した鋼材の回収方法

杭撤去工開始後、前述した腹起し切梁(ともにH-350)の出現に対して、当初存在に気付かず削進し杭を撤去したため、切断した腹起し切梁の鋼材片が、杭引抜時にシールド断面まで落下している可能性があった。シールド再発進時、落下した鋼材片が、カッターへの巻き込みや排泥管への取り込み、閉塞等を引き起こす可能性があった。そのため、シールド断面に残置されている可能性のある鋼材の回収方法が課題となった。

§3. 対策工の検討および施工結果

3-1 課題1 狭隘な作業空間で可能な工法の選定

残置杭撤去の工法比較として、当初、①BG工法、②ケコム工法、③全周回転工法、④ライナープレートによる深礎工法、⑤刃口推進工法、⑥ベビーモール工法の6つを検討した。現場条件として、全面通行止めが不可能で狭隘な占有範囲であることと、夜間での一時占有であることから、①③は困難であった。また、②については、使用重機のサイズから2セット施工が不可能であり、工

程の面で劣ることとなった。④は地盤条件からライナー周りの地盤改良が高圧噴射攪拌工法となり、プラントや施工機械が大規模なものとなるため、占有範囲での日々撤去を行い施工することは非常に困難であった。⑤については、④と同じく地盤改良が高圧噴射攪拌工法となることと、推進工の発進立坑の計画と障害物撤去完了後の発進立坑を迂回するシールド線形の計画に課題があった。以上を踏まえて検討した結果、地盤改良が不要で、設備がコンパクトなため最大2セット施工が可能で、設置撤去が比較的容易な⑥ベビーモール工法を採用することとした。撤去方法は、ベビーモール機による鋼管削進で杭を被せ掘りし、縁切りを行いクレーンにより引き抜く計画とした。事前に架空線や埋設物を移設したうえで、土留と路面覆工を行い、杭頭部を露出させることにより日々の削進機の設置撤去の安全性と作業効率を向上させた。

施工フローを以下と図-5に、施工状況を写真-1に示す。

- ① 日々の作業をスムーズに行うために、土留および路面覆工を行い、杭頭を露出する。
- ② 刃となるメタルクラウンのついた先頭管を、削進によって杭を切断しないように杭の傾きを考慮し位置決めする。先頭管は地山に食い込むまでは、ぶれて位置が定まらないため、ガイドとなる鋼材にて固定

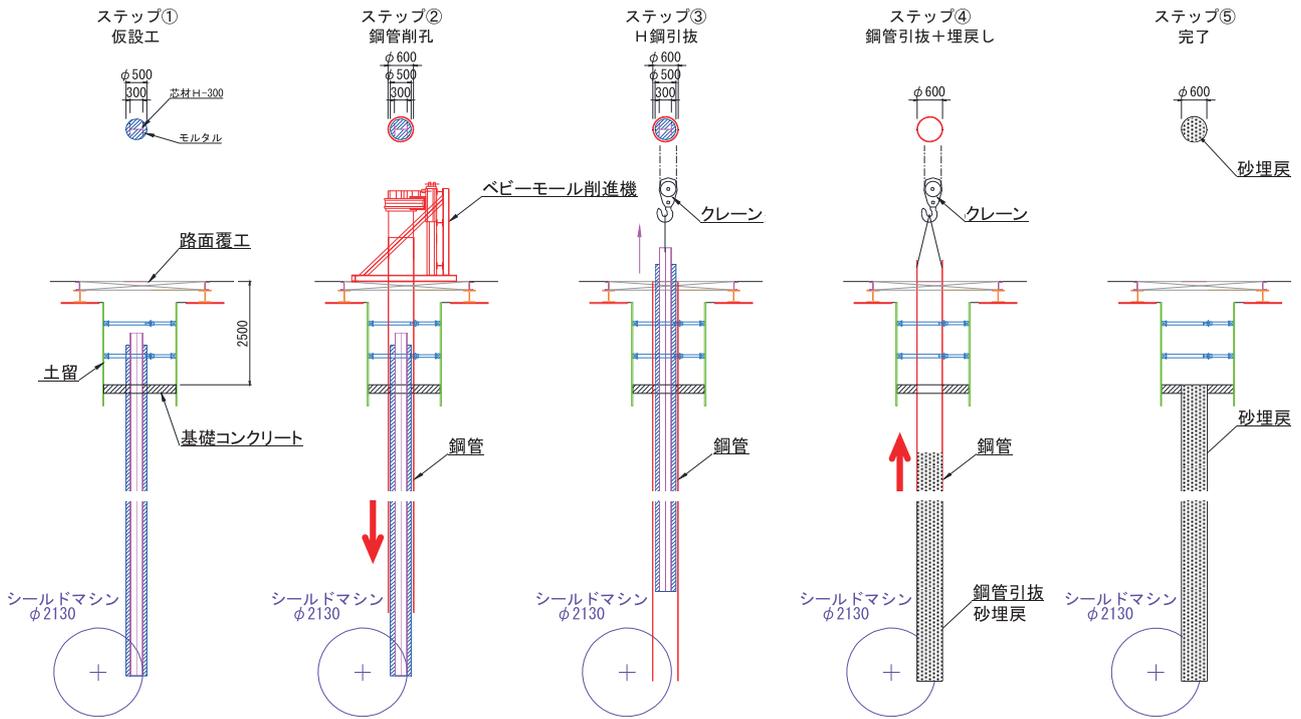


図-5 施工フロー

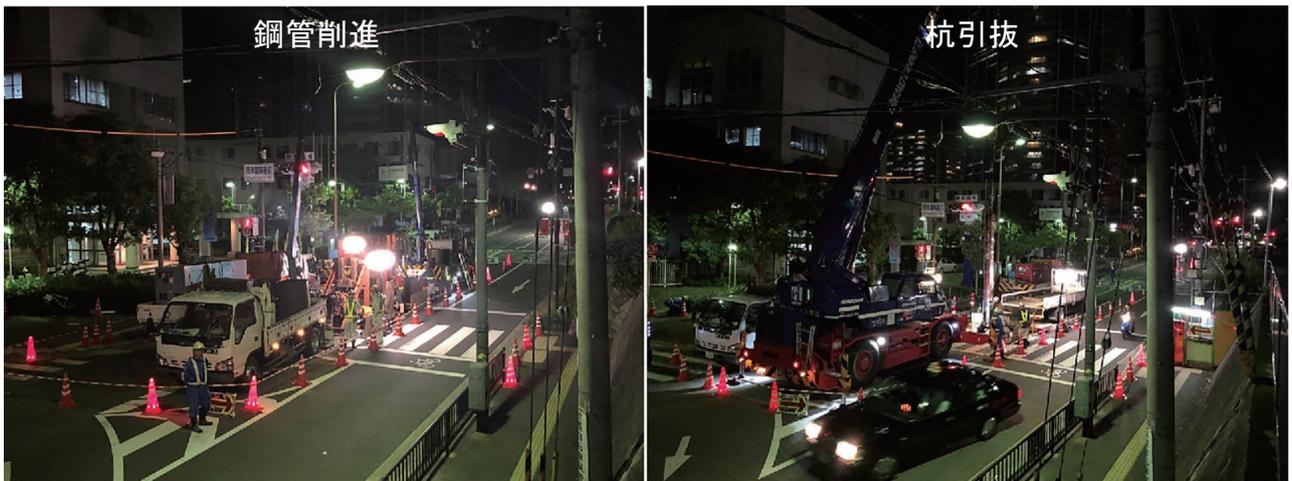


写真-1 杭引抜撤去状況

する。次に削進機用架台を設置、固定し、先頭管にあわせて削進機を設置、固定する。鋼管を削進機と接続し、回転切削と圧入を順次鋼管を溶接延長しながら行う。鋼管延長の際ごとに、杭頭部の供回りや落ち込みを確認し、磁気探査により推定した深さ以上のGL-15.0mまで削進する。

- ③ 杭頭部の供回りや落ち込み等の変化が見られたら、杭頭部にガスにて孔をあけ玉掛けし、クレーンにて引抜可能か確認を行う。杭長は13m程度あり、そのまま地上で倒すスペースがないこと、切断せずには運搬できないことから、引抜途中で3分割（1本4.5m程度を目安）に切断しながら撤去する。
- ④ 杭引抜完了後、砂にて埋戻し、鋼管はクレーンで引抜き撤去する。

3-2 課題2 施工機能力不足による杭撤去方法の再検討

鋼管削進が目標深度まで到達できず、杭を縁切りできない場合には、一旦鋼管を引抜き撤去し、鋼管径、位置を変える等して、再削進を行った。それでも杭縁切りできない場合には、油圧ジャッキにより引抜を行うこととした。杭が連続している箇所にあつては、両隣の杭天端をそろえ溶接したトッププレートに油圧ジャッキを設置し、引抜対象杭に油圧ジャッキの反力を受ける鋼材を設置し、引抜、縁切りを行うこととした。それ以外に関しては、地上に油圧ジャッキ設置用の桁材を設置し、同様に引抜、縁切りを行うこととした。ここでは、鋼材の加工等準備作業に大きく時間を要したことから、サイクルタイムの向上を狙って、繰り返し利用可能な反力設備を

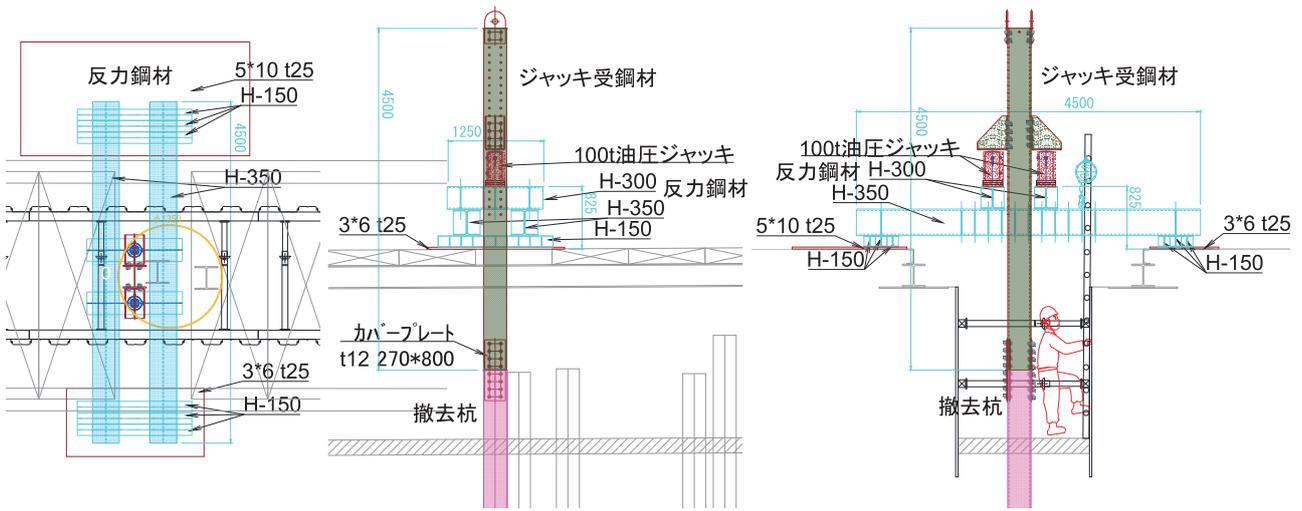


図-6 杭ジャッキアップ配置図

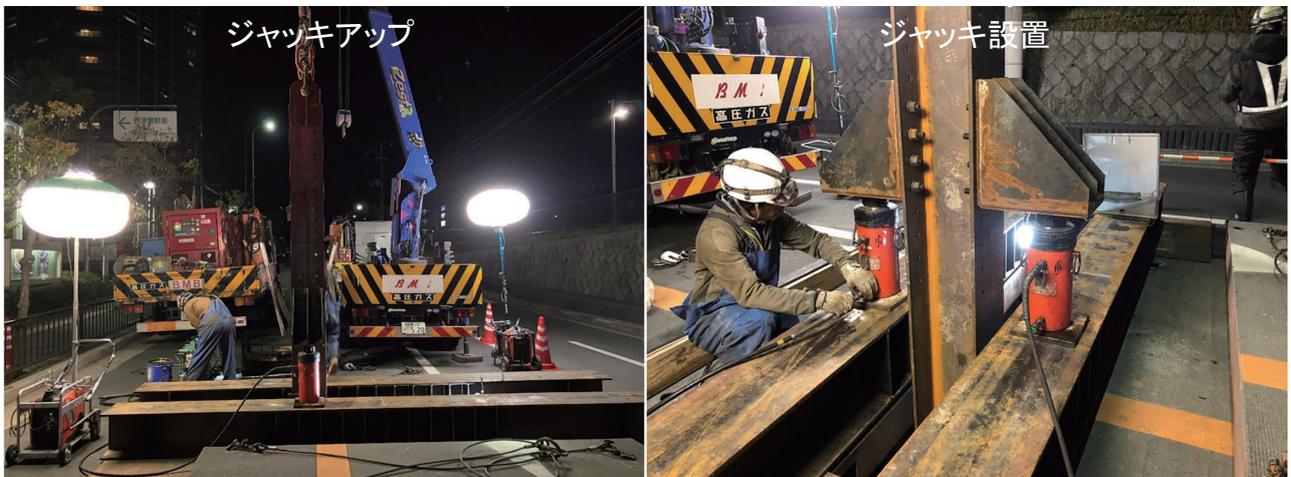


写真-2 杭ジャッキアップ状況

製作し、高力ボルトで接続することとした。設備の計画にあたっては、引抜杭芯材 (H-300) の降伏荷重を目安に、最大引抜力 200t まで対応できるようなものとした。

杭ジャッキアップ配置図を図-6 に、引抜状況を写真-2 に示す。

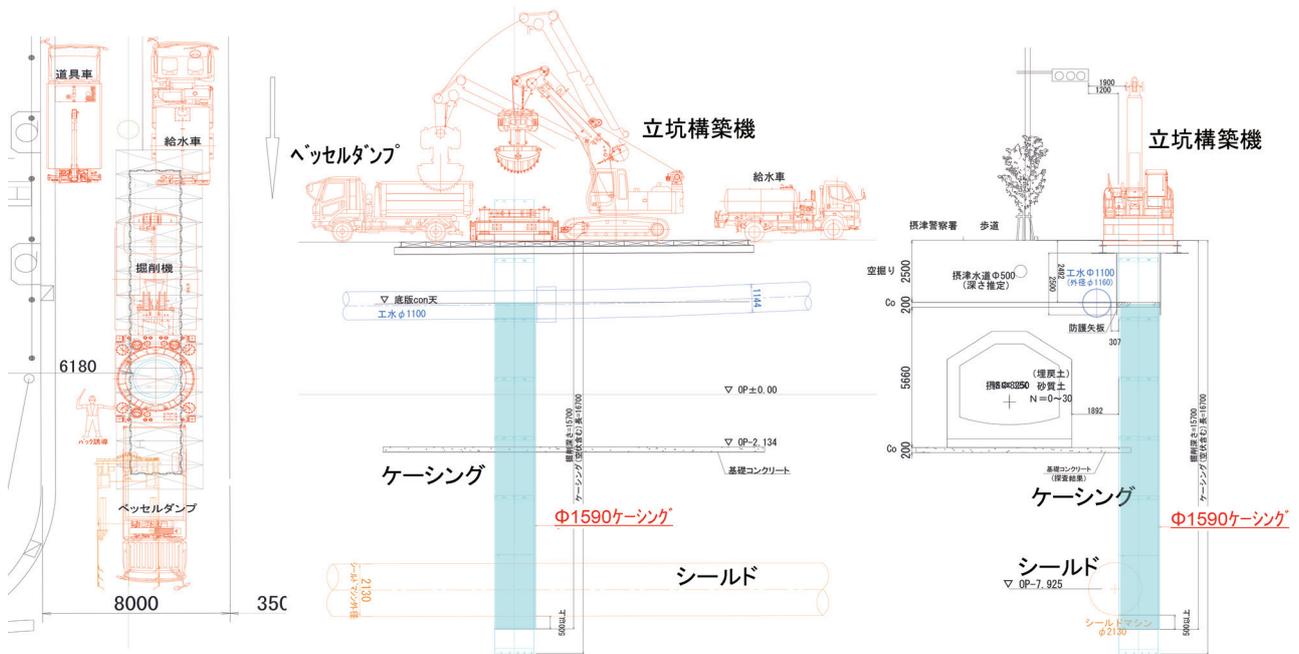
スチフナーで補強した鋼材を井桁に組み、反力鋼材とし、撤去杭とジャッキ受け鋼材を高力ボルトで接続し、100 t 油圧ジャッキ 2 台で引拔を行った。荷重の管理は、撤去杭鋼材の許容応力を目安に、油圧ポンプの油圧から換算表にて計算確認を行い、杭の抜け出し量、反力とする地盤の沈下量をみながら荷重増加を行った。

3-3 課題3 切断し残置した鋼材の回収方法

ベビーモール工法による杭撤去時に、これまでの削進深度より浅い段階で過大なトルクにより鋼管が回転しない状況となった。深度が浅かったため、鋼管内部の泥水と土砂をバキュームにより除去し確認したところ、腹起しの形状の鋼材と腹起し裏の土のう袋に入ったコンクリートの間詰材が確認された。その後は、初期段階でこの撤去作業を工程に組み込み、腹起し切梁を回収し順調に削進を行った。それまでも似たような深度で鋼材を切

断した感触があり、その切断に要した削進長が 350 mm 程度であったこと、また、回収した腹起し鋼材をつなぎ合わせて配置してみたところ、切断を疑われた箇所との位置関係が一致することから、過去に腹起し切梁を切断し、杭引抜時にシールド断面に残置していると判断し、その回収方法の検討を行った。杭の撤去完了後、土留を行い掘削し回収することとしたが、ベビーモール工法では鋼材片の回収は不可能であることから、地盤改良が不要で、土留の設置と掘削が同一機械で施工可能な鋼製ケーシング立坑構築工法 (L-mole 工法) にて、掘削と同時に直接回収することとした。

図-7 に鋼製ケーシング立坑構築工法による機械配置および作業状況図を示す。鋼製ケーシングを回転圧入しながら内部をグラブバケットで掘削し、地下水位以下については水中掘削とした。シールド断面より下 500 mm までを掘削し、グラブでつかめない小さなものがあっても、シールド断面より下に残置されるように計画した。また、水中掘削となるため、掘削土はベッセルダンプに積込み、1.1 km 離れた発進基地の土砂ピットに小運搬し、セメント改良を行い搬出した。掘削完了後は、砂による埋戻を行い、ケーシングを引抜き撤去した。



図一七 鋼製ケーシング立坑構築工法による機械配置および作業状況図



写真一三 鋼材片回収状況

グラブにて回収できない場合には、潜水作業による掘削切断撤去や玉掛けを行い、クレーンにより回収することをあらかじめ計画した。また、切断片の出現位置が鋼製ケーシングの刃先直下となり、圧入不能となる可能性もあるため、その際は、潜水作業によりガス切断回収することを計画した。

鋼材片の回収については、グラブおよび潜水によりおおむね回収できたが(写真一三)、いくつかの小さな鋼材片については回収を確認できず、シールド掘削断面下方に残してきたものがあると考えられる。

掘進再開にあたっては、埋め戻した砂からの泥水噴出とシールド通過後の地盤沈下が懸念された。そこで、ベビーモール工法による杭撤去および、鋼製ケーシング土留工法による鋼材片回収位置の砂による埋戻を行った範囲について、埋戻シールド断面においては溶液、シールド上部については懸濁系による薬液注入工を実施した。

§ 4. まとめ

障害物の撤去と発進前の対策工を完了後、2020年9月28日に再発進し、無事当該区間を通過した。シールド掘削土砂に少量の金属片が混入し、クラッシャーにて回収したものの、地上への泥水噴出や地表面沈下も確認されず、障害物撤去とその後の対策工は適切であったと考えられる。

今回の施工について得られた成果を以下に示す。

- ① 今回計画した施工方法によって、限られた作業時間、狭隘な占用帯内で、安全に設備の設置撤去が行えた。
- ② 想定外の腹起し、切梁(ともにH-350)の存在によって、当初予定以上に工期を要したが、シールド通過に伴う泥水の噴出や沈下等もなく、無事シールドを通過させることが出来た。
- ③ 1年以上に及ぶ夜間作業だったが、ベビーモールや杭引抜作業等による振動騒音の苦情はなかった。