

被圧地下水影響地盤における 水門基礎杭の中掘施工について

林 基樹

近畿地方整備局 和歌山港湾事務所 海岸課 (〒640-8404 和歌山市湊薬種畑の坪1334)

和歌山県の海南市沿岸部は、東南海・南海地震等が発生した場合、津波浸水想定区域の中に行政・防災中枢機能や高付加価値製品製造企業が集中しており、甚大な被害が危惧されていることから、現在、国直轄で津波対策事業を実施している。この津波対策事業の一環として整備を進めている大型津波水門は、海南地区の津波対策における防護ラインの一翼を担う重要な施設である。その基礎杭は日本最大級の長尺鋼管杭の中掘施工を行うものであったが、施工中に想定を上回る大量の被圧地下水が発生したことからその対策を行った。本稿では被圧地下水影響地盤における基礎杭の中掘施工において、被圧地下水が与える影響とその対策について報告するものである。

キーワード 津波対策水門、長尺鋼管杭、中掘工法、被圧地下水

1. はじめに

紀伊半島に位置する和歌山県においては、今後 30 年以内に 70%程度の確率で発生するとされている南海トラフの地震により、甚大な被害が発生することが危惧されている。和歌山県北部に位置する海南市は、紀伊水道に面したリアス式海岸の湾奥にあり、その地形的特性から、これまで昭和南海地震やチリ地震等による津波浸水被害を受けている。東海・東南海・南海地震が同時発生した場合、当市には最大津波水位 T.P+5.9mの津波が来襲すると予測され、その被害額は県下で最大規模である約 5,000 億円と試算されている。このため、近畿地方整備局和歌山港湾事務所では、当地区の人命、財産を守るため、平成 21 年度より津波対策事業を進めている。

当該津波対策事業の一環として整備を進めている津波対策水門は、径間長30m、扉体高9.5mの日本最大級クラスの水門であり、平成24年度より工事に着手しているところである。(図-1, 2, 3)

本稿では、この津波対策水門のうち基礎杭の施工につ

いて、施工中に発生した想定外を上回る被圧地下水が、基礎杭施工に与える影響とその対策について紹介するものである。

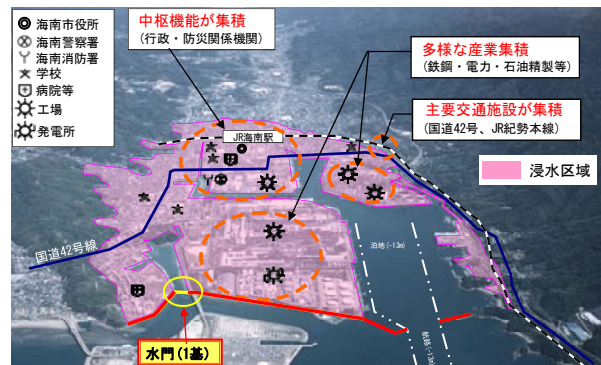


図-2. 和歌山下津港海岸(海南地区)全体図

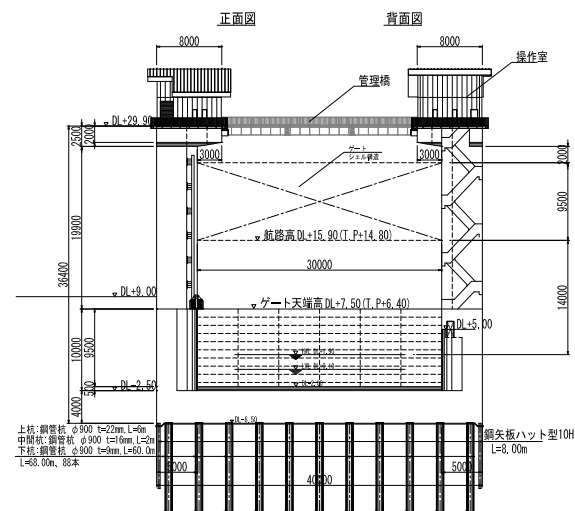


図-3. 水門一般図

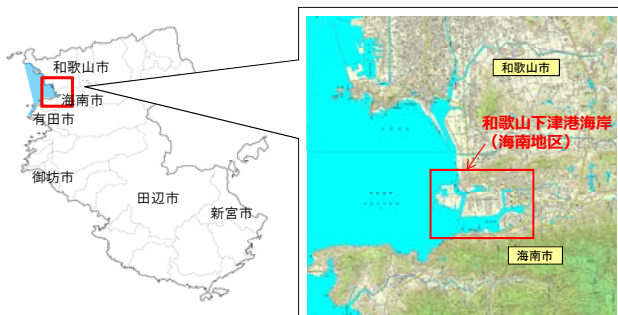


図-1. 和歌山下津港海岸(海南地区)位置図

2.工事概要と施工条件について

(1) 工事概要

本工事は、和歌山下津港海岸(海南地区)水門本体の基礎杭を施工するものである。杭基礎工法は周辺環境への騒音・振動の影響を踏まえ、施工性及び経済性について比較検討した結果、中掘工法（噴出攪拌方式）を採用した。杭長は、支持層が非常に深いことからL=68.0mにおよび、中掘工法における最大規模かつ国内でも実績の少ない超長尺杭の施工となった。

【工事内容】

鋼管杭 φ900 (SKK490) 杭長L=68.0m, 本数N=88本

《内訳》 (上杭) t=22mm, L=6.0m, t=16mm, L=2.0m,
t=9mm, L=2.0m
(中杭) t=9mm, L=10.0m×5本
(下杭) t=9mm, L=8.0m

鋼管杭は、現場への搬入路の制約から最大長10.0mとして分割搬入し、現場溶接継ぎ手を6箇所設けた継ぎ杭構造とした。基礎杭の施工に当たっては、大型杭打機を用いて施工を行った。なお、大型杭打機の支持地盤として満足する地盤がDL-2.5mであったが、鋼管杭を最終天端高さDL-6.4mまで打設することから、最終打込みにL=5.0mのヤットコを使用した。(図-4)

(2) 施工条件

水門計画地点は、防護ライン上の護岸に挟まれた水域に位置している。施工は現場打ちの鉄筋コンクリート工事となるため、仮締切によるドライ施工で工事を進めていく計画とした。なお、港内にはプレジャーボート等約200隻が係留しているため、これら一般船舶の航行に対して仮航路を確保することとした。

また、施工位置の近隣には関西電力の海南火力発電所

が立地しており、施工位置の上空には発電所からの高圧送電線(275,000V)が架空していることから、施工にあたっては振れ幅を考慮した保安距離の確保が必要とされた。

さらに、周辺にはリハビリテーションセンター附属病院や和歌山県女性・子供・障害者福祉センターが立地しており、工事中の騒音及び振動は特に配慮する必要があった。(図-5,6)

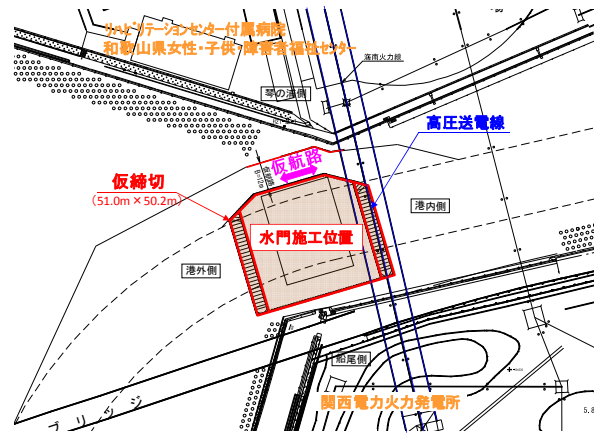


図-5. 施工位置状況図



図-6. 施工位置状況写真

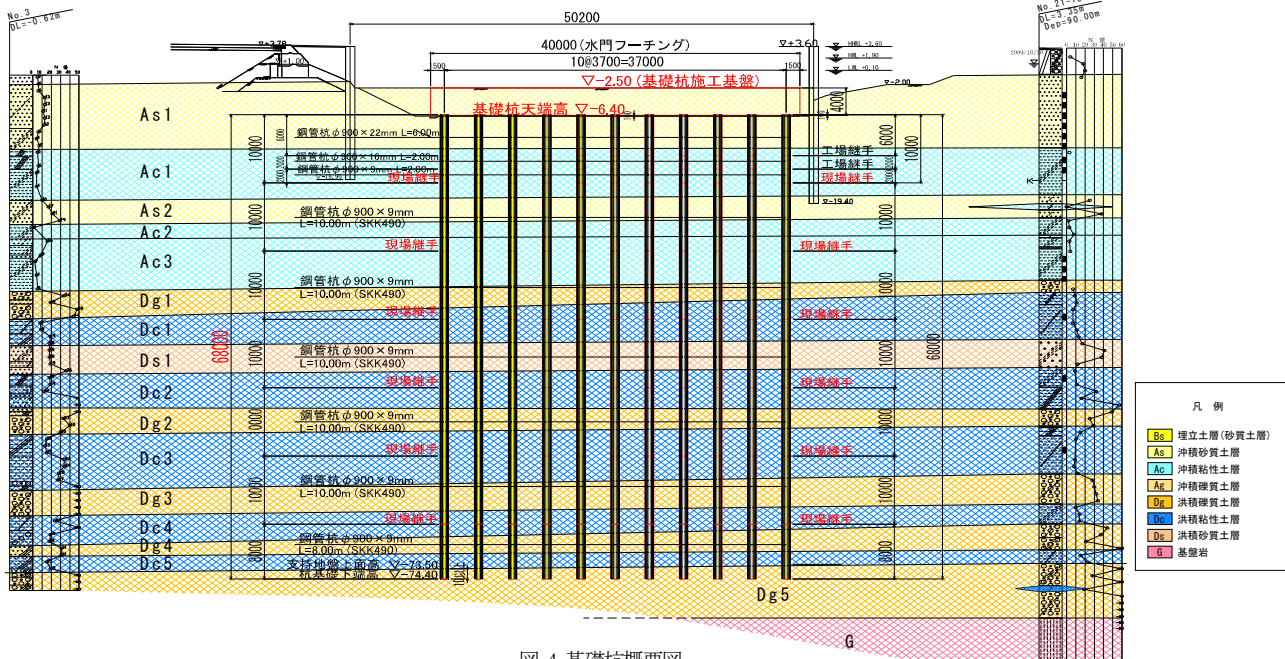


図-4. 基礎杭概要図

(3) 土質条件

水門計画地点の地質は約30mの沖積層が堆積し、上層約10mが砂質土、その下層が粘性土で構成され、沖積層より下に約50mの層厚で砂・粘土互層の洪積層が存在する。なお基盤岩はほぼ水平である。(図-4)

杭長68mの鋼管杭を打設するにあたっては、中間層であるN値50以上の固い砂礫層やN値20程度の洪積粘土層を打ち抜く必要があった。

3. 被圧地下水の発生状況

中掘工法は、先端開放の鋼管杭の内部にスパイラルオーガーを通して地盤を掘削しながら鋼管杭を圧入・沈設させ、継手箇所は現場円周溶接により接合し、掘削・圧入を繰り返すことで所定の深さまで沈設させていく工法である。本工事ではこのサイクルを下杭～上杭まで計7回繰り返すことで、設計深度DL-74.4mまで沈設させ、その後所定の支持力が得られるようセメントミルクを注入し、先端処理を行うものである。

本現場では、中掘掘削・沈設の繰り返し作業の中で、主に中杭④以降の杭を打設している際に、大量の泥水が噴き出す現象が発生した。これは、互層状態となる砂礫層から想定以上に被圧された地下水が杭中空部に流入し、排土作業と共に吹き出てきたものと考えられた。被圧水量は鋼管杭1本あたりで平均80m³程度あり、多いところでは継杭1本あたりで最大100m³噴出した。なお、管内の被圧水位は、施工基盤DL-2.50より4.55m高いDL+2.05mの位置であった。

近隣基礎杭工事では、ここまで大量に被圧地下水が噴き出す事例がないことから、事前調査で詳細な地下水調査を行っていなかった。(図-7, 8)

4. 被圧地下水発生に伴う施工上の課題

(1) 施工基盤への影響

被圧地下水の噴出により泥水・泥土が鋼管杭周辺一帯に広がってしまうため、狭隘な施工ヤード内で如何にこの被圧地下水を処理するかが課題であった。一旦、広範囲に広がった泥水・泥土をバックホウで集積するのは困難であり、作業時間にロスが生じてしまううえ、杭打ち機等の重機足場が軟弱状態になることから、その都度、再整備（表層改良）する必要が生じた。(図-9)

(2) 現場継ぎ杭溶接への影響

中杭④～⑤及び上杭の継ぎ溶接時において、鋼管杭下端部が被圧帯水層に位置すると、管内中空部より被圧地下水が上昇して杭頭部より溢れてくる状況となり、継ぎ杭溶接が不可能となった。(図-10)

継ぎ杭溶接作業は、溶接速度を一定に保つ必要があり、泥水・泥土中での足下が悪い状態では、断続的な溶接に



図-7. 被圧地下水噴出状況

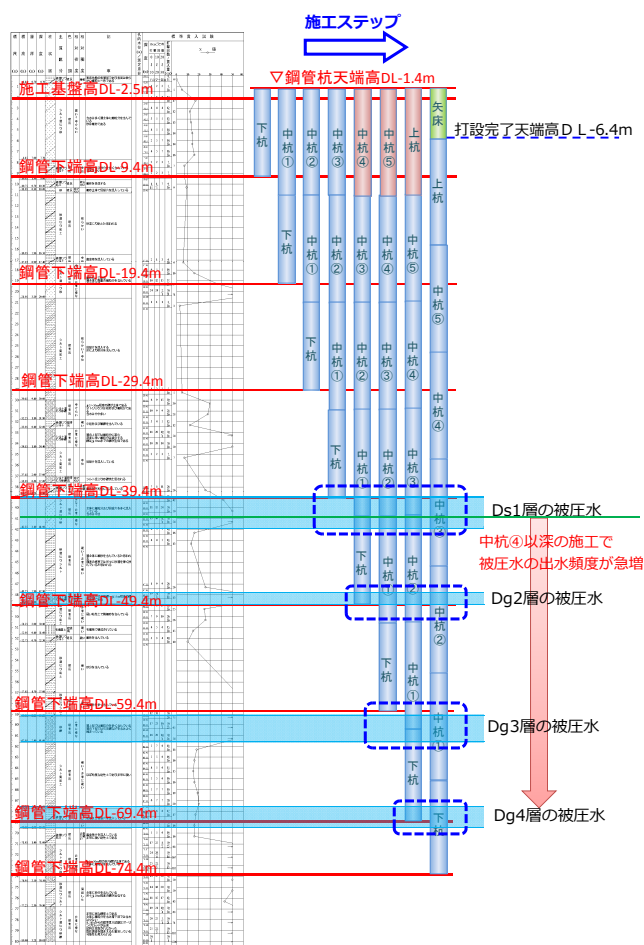


図-8. 被圧地下水発生状況図



図-9. 泥水の拡散状況



図-10. 被圧地下水溢れ出し状況

繋がり品質に悪影響を及ぼすことになる。さらには、溶接作業中の感電事故や転倒等、工事の安全性に対する懸念もあった。

(3) 杭孔(ヤットコ部)埋戻し箇所への影響

鋼管杭打設完了後の杭孔は、掘削残土で埋戻す計画であったが、被圧地下水により孔内水位が高い状況では、密実に埋め戻すことが困難であり、また埋戻し後も湧水の影響で軟弱状態となってしまうため、陥没を繰り返す状態となった。(図-11)

杭打機の移動範囲には敷鉄板を敷設していたが、敷鉄板直下にできる陥没については確認が困難であった。また、施工が進捗していき陥没影響範囲が広範囲になると、杭打機支持地盤としての耐力を失い、杭打機が転倒する恐れがあることから、早急に杭孔埋め戻し箇所の陥没対策を取る必要が生じた。

(4) 杭周面摩擦への影響

中掘工法で施工する鋼管杭88本のうち、36本(約40%)が途中で沈設不能となった(沈設不能高さは平均DL-69.2m付近)。沈設不能箇所においてオーガーヘッドは鋼管杭より1D先行で掘削可能であったが、鋼管杭を圧入しても杭は下がらず、中掘機が浮き上がる状況となった。(図-12)

原因としては、元々の地層特性や排土状況の良否の要素に加え、被圧帯水層である砂礫層へ鋼管杭を貫入する際に、被圧地下水が杭中空部に流入することでボーリング現象が発生し、細砂層が緩められるとともに、上部シルト・粘土層における杭周囲の水圧が低下し、地盤が杭側に流動することで周面摩擦を増大させたことが主要因と考えられる。(図-13)

このため、沈設不能となった杭を所定深度まで打ち込むための対策を取る必要が生じた。

5. 施工上の課題に対する対応策

被圧地下水対策として、まず抜本的に被圧地下水の発生を抑制する方法としてディープウェルによる排水を検討した。しかし、本現場における被圧帯層がDL-40m~70mと非常に深く、ディープウェルにより確実に被圧水頭を低下させることに懸念があった。また、周辺地盤に大きな影響を及ぼす可能性があるため、検討に多大な時間を



図-11. 施工基盤陥没状況

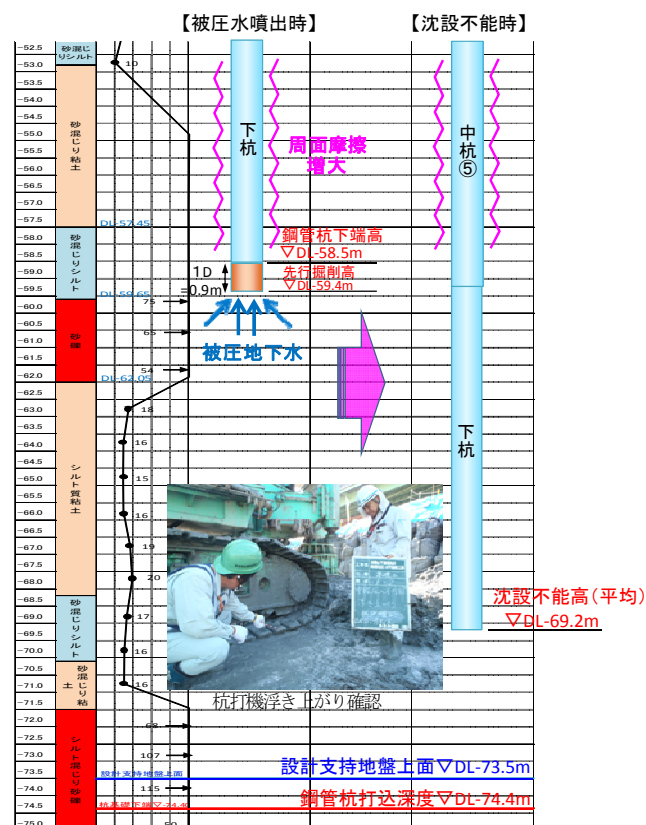


図-12. 沈設深度状況図

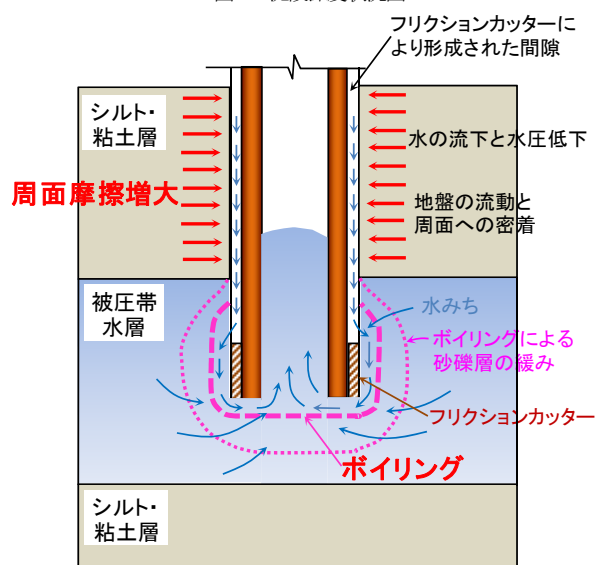


図-13. 杭先端ボーリング状況図

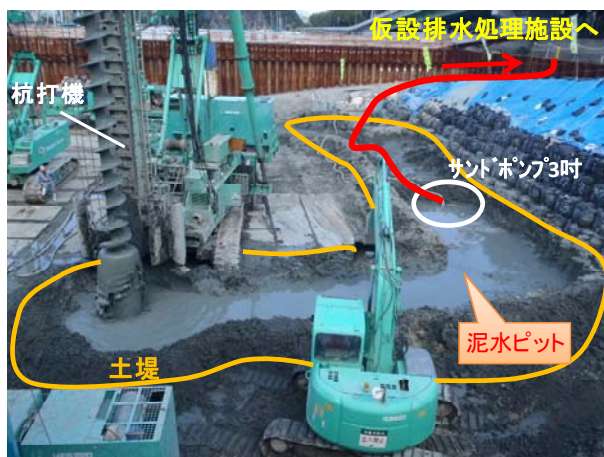


図-14. 泥水ピット設置状況

要することから、ディープウェルによる抜本的対策よりも、被圧地下水を処理することを優先し、次の4つの対策により現場対応を行った。

(1) 土堤および仮設排水処理施設の設置

大量に発生する被圧地下水から健全な施工基盤を維持するため、泥水・泥土の拡散防止と排水処理を目的として、セメント安定処理した杭掘削残土を土堤として構築し、巨大な泥水ピットを設置した。

鋼管杭施工中に発生する大量の泥水は、土堤で囲んだ泥水ピット内に一旦溜め、排水処理については仮締切内に設置する場所がないことから、既設護岸と仮締切間に仮設の排水処理施設を別途設け、サンドポンプで徐々に送水した。送水された泥水は、シルト分が沈降した上澄み水のみを海上排水し、沈降シルトはベッセル車で搬出した。なお、排水箇所には汚濁防止膜を設置し、濁度・PHによる水質監視を実施した。

その結果、鋼管杭88本全てにおいて被圧地下水が発生したが、土堤および仮設排水処理施設の設置により迅速かつ適切に泥水を処理することで、施工基盤上のドライワークを確保し、施工効率の低下を防ぐことができた。(図-14, 15)

(2) 中掘掘削の深度調整

作業はオーガーヘッドを鋼管杭下端より1D先行して掘削を行い、先行掘削した箇所までを圧入し、このサイクルを繰り返すことで鋼管杭を徐々に沈設させていく。今回、継ぎ杭溶接時において被圧地下水上昇を抑える必要があったことから、被圧地下水の発生が予想される砂礫層の手前(砂混じり粘土・シルト層)からオーガー掘削を止めて排土を中断させ、鋼管杭のみを先行圧入させて継ぎ杭溶接位置まで下げていく方法をとった。なお、本工事では長尺杭の施工のため、十分な圧入力を備える大型杭打機(DH658-135M)を使用していたことから、ある程度の先行圧入が可能であった。

この対策を行うことで、鋼管杭下端部に粘土・シルトによる蓋が形成され、被圧地下水が杭中空部に流入して



図-15. 仮設排水施設設置状況

先行掘削→圧入(通常時) 先行圧入→掘削(被圧水対策)

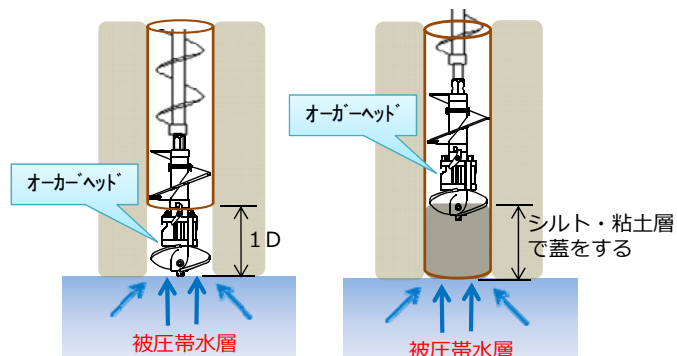


図-16. 中掘掘削深度調整イメージ



図-17. 継ぎ杭溶接作業状況

くるのを抑制することで、被圧地下水が継ぎ杭位置から溢れ出てくることはなくなった。

結果、良好な溶接環境を維持することができ、継ぎ溶接部の品質低下を防ぐことができた。(図-16, 17)

(3) 大型土嚢による杭孔埋め戻し

杭孔埋め戻し箇所の陥没対策として、ヤットコ引抜き前に水中ポンプで孔内水を強制排水し、水位を低下させた後に、別途製作しておいた大型土嚢のうを速やかに先行投入した。大型土嚢により杭孔部の蓋をすることで被圧地下水上昇を抑え、その間に改良した掘削残土で速やかに埋め戻しを行った。

この対策を行うことで、地下水のない状況での埋戻し

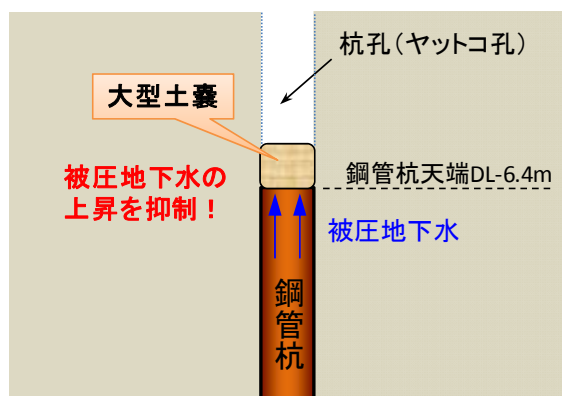


図-18. 大型土嚢先行投入状況図

作業が可能となり、その結果、埋戻し後の吸い出しや陥没の発生を防止することができた。（図-18）

(4) 補助工法（油圧ハンマ）の使用

沈設不能により作業を中断することになった杭については、早急な対応をとらなければ周面摩擦が回復してしまうため、作業を再開しても打込むことも引抜くこともできなくなってしまう恐れがあった。このため、中掘工法の圧入作業を補助する工法として、油圧ハンマによる打設を併用した。

油圧ハンマの使用は特定建設作業になることに加え、当該地域が特に騒音・振動に配慮すべき地域であり、周辺環境に及ぼす影響が懸念されたことから、油圧ハンマ打撃による騒音・振動の軽減策として、①仮締切上への防音壁の設置、②ヤットコ内部への吸音フロートの装着、③油圧ハンマへの防音シートの装着等の対策を実施した上で、必要最小限の打撃を行った。

結果、中掘工法で沈設不能となった36本の杭について、油圧ハンマを併用することで所定深度（鋼管杭天端高DL-6.4m）まで打ち込むことができた。また、騒音振動対策をとることで、周辺地域への環境に影響を及ぼすことなく全数無事に施工を完了することができた。（図-19, 20）

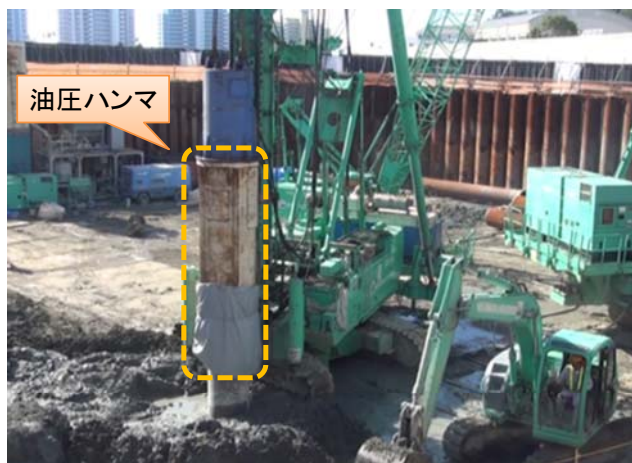


図-19. 油圧ハンマ打設状況

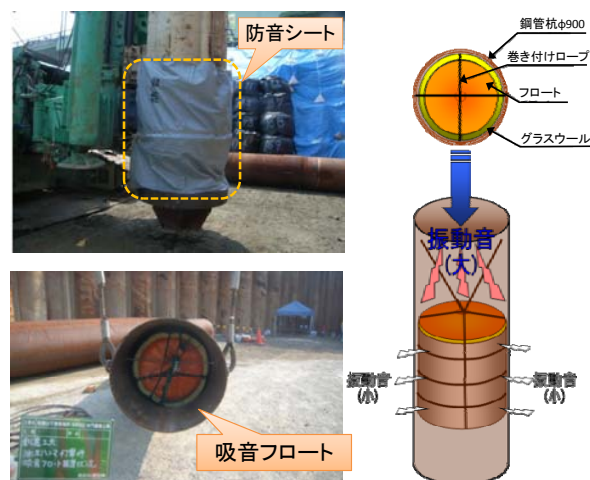


図-20. 騒音・振動対策設置状況

7. おわりに

本報告では、基礎杭施工中に発生した被圧地下水が現場に与える影響とその対策について述べた。狭隘な施工ヤード内における超長尺杭の施工という厳しい現場条件下において、被圧地下水を適切に処理し大きなトラブルに発展することなく、全数無事に施工を完了することができたことは、臨機への対応として非常に効果の高い対策であったと思う。

本事例は、現場着手後に判明した事象であるが、事前調査で予め被圧帯水層の存在が明らかになっていれば、計画段階で最良な方法を検討することができ、事前対策を取ることができたと考えられる。特に今回のような制約された現場条件下では、事象が起きてから取れる対策にも限界があるため、確実な施工を行うには、本施工前に地下地盤の状態を詳細に把握しておくことが非常に重要であったと感じている。

被圧地下水の存在は、今後行っていく本体部の掘削床付け時や底板コンクリート打設時においても大いに影響を及ぼしてくることが予想されるため、対策については事前に十分検討していく予定である。

本報告が、今後の高被圧地下水を有する箇所での基礎杭施工の一事例として参考となれば幸いである。