

(5) 試験杭5

試験杭5の施工記録を付録表-2.7、付録図-2.9にとりまとめた。施工時の状況や判断を以下に項目別に記述する。

(a) 塗布剤

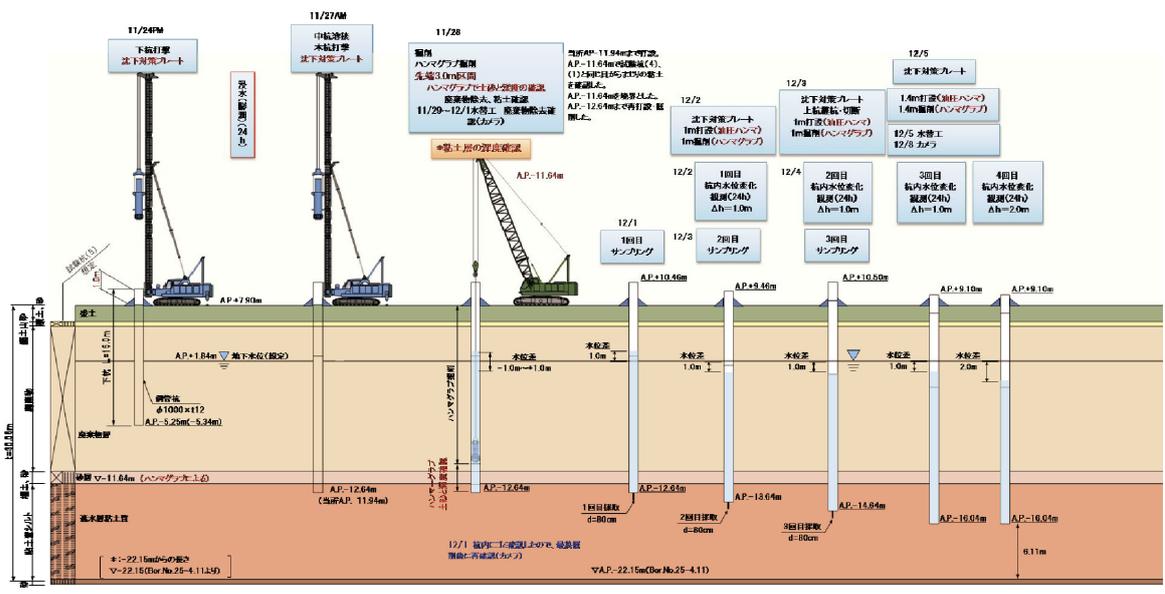
塗布作業を行う業者が杭メーカーの工場敷地内に入ることが許可されなかったため、杭打設を行う現地にて塗

付録表-2.6 施工深度の変更

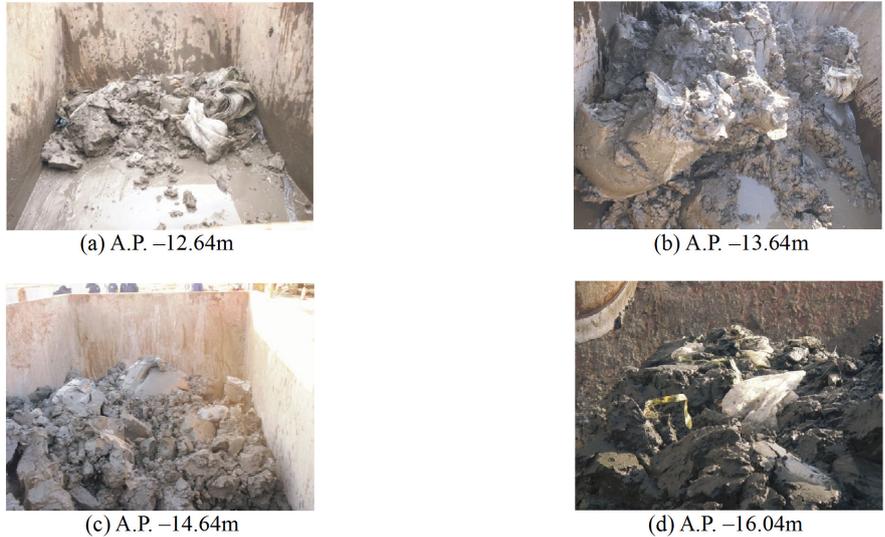
| 施工段階 | 深度 A.P. (m) | 粘土層厚 (m) | 備考 |
|-----------------|----------------|-------------|-------------------|
| 床付け | -13.26m | 0.50m | A.P.-12.76mにて粘土確認 |
| 1回目掘進 | -14.25m | 1.49m | |
| 2回目掘進 | -15.25m | 2.49m | |
| 3回目掘進 (最終深度) | -16.65m | 3.89m | 遮水層厚5.5m確保 |

付録表-2.7 試験杭5の施工記録のまとめ

| 手 順 | 深 度 | 備 考 (参考) | |
|---------------------|---------------|----------------------------|-------------|
| 【試験杭 (5)】 | | | |
| 塗布剤塗布 | | 下杭内外面 (杭先端から8mの範囲) | 11/20-11/22 |
| 鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法 | AP -6.00 m | | 11月24日 |
| 浸水 (塗布剤膨潤) | | 24h | |
| 鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法 | AP -11.94 mまで | 油圧ハンマ打設 | 11月27日 |
| 鋼管内掘削 | AP -11.94 mまで | ハンマグラブ 粘土をAP. -11.64mで確認 | 11月28日 |
| 鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法 | AP -12.64 mまで | 油圧ハンマ打設 | 11月28日 |
| | AP -12.64 mまで | ハンマグラブ | 11月28日 |
| 水位確認・調整 | | 地下水位 ±1.0m | 11月29日 |
| 1 回目水替え工 | | 水槽4槽、ポンプ2 | 11月29日 |
| 2 回目水替え工 | | 水槽4槽、ポンプ2 | 12月1日 |
| 杭内廃棄物除去確認 | | 杭内カメラ観察 | 12月1日 |
| 1回目 試料採取 | AP -12.64 m | サンプリング (AP. -12.64~-13.44) | 12月1日 |
| 水位確認・調整 | | 地下水位 +1.0m | 12月1日 |
| 鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法 | AP -13.64 m | 油圧ハンマ打設 | 12月2日 |
| 鋼管内掘削 | AP -13.64 m | ハンマグラブ | 12月2日 |
| 水位調整 | AP +0.730 mまで | 排水 (地下水位 +1.735m) | 12月2日 |
| 1 回目杭内水位観測 | | 水頭差 1.005m ~12/3 10:15AM | 12月2日 |
| 2 回目 試料採取 | AP -13.64 m | サンプリング (AP. -13.64~-14.44) | 12月3日 |
| 水位確認・調整 | | 地下水位 +1.0m | 12月3日 |
| 鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法 | AP -14.64 m | 油圧ハンマ打設 | 12月3日 |
| 鋼管内掘削 | AP -14.64 m | ハンマグラブ | 12月3日 |
| 水位調整 | AP +0.660 mまで | 排水 (地下水位 +1.675m) | 12月4日 |
| 2 回目杭内水位観測 | | 水頭差 1.015m ~12/5 8:40AM | 12月4日 |
| 3 回目 試料採取 | AP -14.64 m | サンプリング (AP. -14.64~-15.44) | 12月5日 |
| 水位確認・調整 | | 地下水位 +1.4m | 12月5日 |
| 鋼管杭打設 φ1,000mm 打撃工法 | AP -16.04 m | 油圧ハンマ打設 | 12月5日 |
| 鋼管内掘削 | AP -16.04 m | ハンマグラブ | 12月5日 |
| 水位確認・調整 | | 地下水位 ±1.0m 以内 | 12月5日 |
| 3 回目水替え工 | | 水槽4槽、ポンプ2 | 12月5日 |
| 4 回目水替え工 | | 水槽4槽、ポンプ2 | 12月8日 |
| 杭内廃棄物除去確認 | | 杭内カメラ観察 | 12月8日 |
| 水位調整 | AP +0.510 m | 排水 (地下水位 +1.555m) | 12月9日 |
| 3回目杭内水位観測 | | 水頭差 1.04m | 12月9日 |
| 水位調整 | AP -0.500 mまで | 排水 (地下水位 +1.515m) | 12月10日 |
| 4回目杭内水位観測 | | 水頭差 2.015m ~12/11 了 | 12月10日 了 |



付録図-2.9 試験杭5の施工概況



付録写真-2.9 粘土層掘進時の掘削土の状況

布作業を実施した。塗布剤の保管や作業時の換気、作業者の資格など、管理上の留意事項を以下にまとめる。

- ・塗布剤のこぼれ、漏洩、発散を防止するため、堅固な容器に入れて換気の良い場所に保管した。
- ・杭内における塗布作業では、プッシュプル型（片側送気、反対側吸気）の換気が必要である。

- ・屋内や坑内で有機溶剤を扱う際は、有機溶剤作業主任者を配置するとともに、作業者には特別教育を受講させる。

塗布作業場所には、送風機による換気が必要であるが、風がないと周辺にシンナーの様な揮発性の臭いが拡散してしまい、作業者以外の人もガスを吸ってしまうなど、

付録表-2.8 施工深度の変更

| 施工段階 | 深度 A.P. (m) | 粘土層厚 (m) | 備考 |
|-----------|-------------|----------|---------------------|
| 床付け | -12.64m | 1.00m | A.P. -11.64mにて粘土を確認 |
| 1回目掘進 | -13.64m | 2.00m | |
| 2回目掘進 | -14.64m | 3.00m | |
| 3回目掘進(最終) | -16.04m | 4.40m | 遮水層厚6.11mを確保 |

周辺へ悪影響を与える可能性があることに留意が必要である。固まる前に垂れて塗りムラができてしまうため、塗布剤を一度に多く・厚く塗りすぎてはいけない。また、雨の日の作業では、ビニルシートなどで屋根を作り、雨が当たらないようにする必要がある。一方、鋼管杭の内側に塗布するときは、送風機による換気が必要であるが、風で塗布剤が飛び散ることがあるので、留意が必要である。なお、今回の作業では、杭の内側、外側の両面に1日あたり1層、3日間にわたり計3層を塗り重ねた。

(b) 杭の打設と掘削状況

試験杭4と同様に、鋼管の内側に先端補強バンドを設置した。打設深度に対する1打撃あたりの貫入量 S 、打撃エネルギー lh 、貫入量あたりに要したエネルギー lh/S を付録表-2.5に、また、これを深度方向の分布図としたものを付録図-2.8に示した。

試験杭5でも、試験杭4と同様に粘土層の上端深度をハンマーグラブにより掘削して確認した。計画したA.P.-11.94mまで鋼管杭を打設し、杭内掘削を実施した結果A.P.-11.64mで粘土を確認できた。これに合わせて、杭先端深度・掘削深度の設定を付録表-2.8のように変更した。

ハンマーグラブによる掘削土を付録写真-2.8に示す。廃棄物層から砂層を介して粘土層に推移していく様子がわかる。これより下にある粘土層を掘削している間にも、掘削土には常に廃棄物が混じっている状態であったことから(付録写真-2.9)、廃棄物が連れ込まれていたことがわかる。

(c) カメラ観察による廃棄物除去状況の確認

杭の先端深度がA.P. -12.64mの状態において、2回の水替え後、杭内の4方向(東西南北)の位置において水中カメラ観察を実施したが、大量のゴミが確認されたため、最終掘削後に再度カメラ観察を実施することにした。なお、1回目の観察では、カメラを下ろしていくと、廃棄物が多くてカメラが杭先端まで下がらない状況であった。

最終深度において、2回の水替え後に水中カメラ観察を行った。杭先端部と底面との境界に沿って廃棄物が連れ込まれていることが確認された。他の杭に比べると、



付録写真-2.8 深度毎の掘削土砂。A.P. -8.14m (左上) からA.P. -12.59m (右下) までの推移

プラスチックやビニル製の袋状のゴミが多いと感じられた(付録-3を参照)。

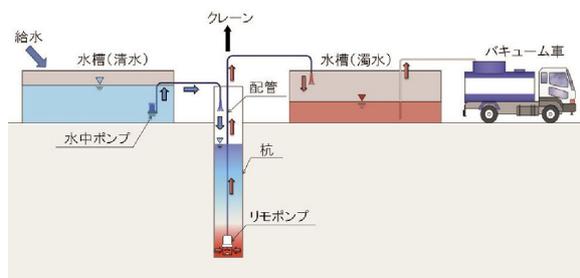
付録-3 杭先の中カメラ観察

杭内の廃棄物除去状況を確認するために、水中カメラによる観察を行った。掘削したままでは杭内の水の濁りが激しく、視界不良となるため、カメラ観察の前に杭内の水を清水で置換えておく必要がある。水替えの方法には、場所打ち杭のスライム処理のやり方を適用した（付録図-3.1）。使用した主な施工機材を付録表-3.1に、その配置を付録図-3.2に示す。

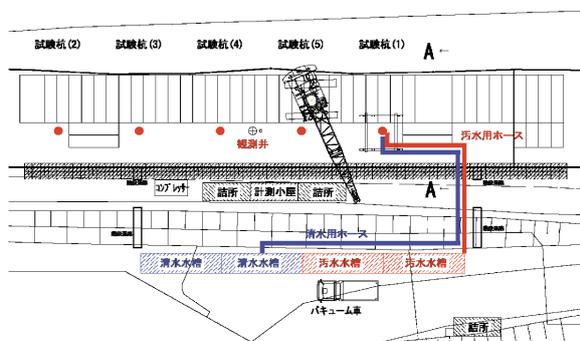
杭の先端位置から管内水を浮泥とともに吸い上げ、杭頭より清水を供給することで水替えを行い、排水の色の変化により水替え完了を判断した。水替え直後は濁りがあるためカメラ観察できないことや、1回目の水替え後、時間が経過すると浮泥が沈殿して杭（試験杭1ではケーシング）と杭先の地盤との境界が不明瞭になることがわかったため、カメラ観察前に水替えを2回実施することにした。2回目の水替えでは、1回目の水替え後に沈殿した浮泥を吸い上げることが目的でもあるため、沈降に十分な時間を確保できるように、2回目の水替えは1回目の水替えの翌日以降に実施することにした。必要水量として、場所打ち杭の場合と同様に杭内水量の2倍程度（試験杭1では径が大きなケーシングが対象となるので25m³、試験杭2, 4, 5では21m³）と計画していたが、実際には、排水の濁りがなくなるまでには計画よりも多くの水量を必要とした（最初に実施した試験杭1では60m³で終了としたが、他の試験杭では十分な水替えのため100m³使った）。

水替えを行った際に実施した水質試験の結果を付録表-3.2に示す。なお、使用した清水は全ての杭に対して同一箇所から購入した水を使用したため、初回（試験杭1）のみ水質試験を実施した。

杭内の水を清水で置換えた後、杭内の掘削底面を水中カメラにより観察した。杭が廃棄物（ゴミ）を連れ込んでいるかどうかを確認することが観察目的となるため、杭の先端部において東西南北の4方向にカメラを密着さ



付録図-3.1 水替え工の概要図



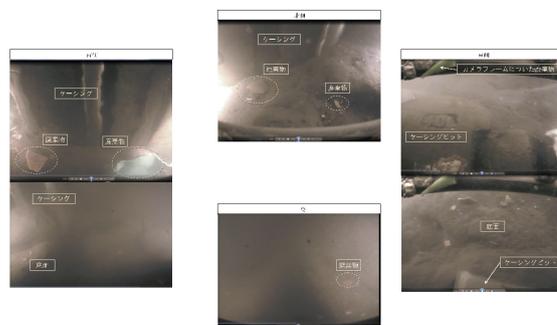
付録図-3.2 水替え工の施工配置図

付録表-3.1 水替えに用いた機材一覧

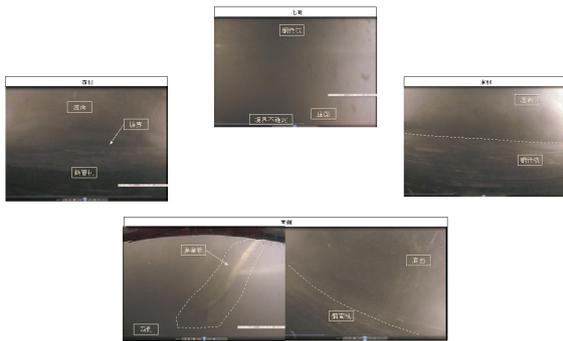
| 施工機材 | 規格 | 数量 | 備考 |
|----------|------------------|-----|------------|
| リモポンプ | 4インチ | 1台 | 排水用 |
| 配管 | φ100mm | 28m | リモポンプ用 |
| 水中ポンプ | 4インチ | 1台 | 注入用 |
| 水槽 | 42m ³ | 2槽 | 清水用と濁水用 |
| | 35m ³ | 2槽 | 清水用と濁水用 |
| 発電機 | 90KVA | 1台 | |
| クローラクレーン | 60KVA | 1台 | ハンマーグラブ掘削機 |
| 給水車 | 80t | | |
| バキューム車 | 4m ³ | 1式 | 濁水の処理用 |

付録表-3.2 水替え時の水質検査結果

| 試験杭 | 試験 | 単位 | 清水 | 濁水 | 置換水 |
|------|----------|------|------|-----|------|
| 試験杭1 | 水素イオン濃度 | PH | 7.7 | 8.3 | 8.0 |
| | 有機体炭素TOC | mg/L | 6.2 | 34 | 4.6 |
| | 電気伝導率EC | mS/m | 74.0 | 241 | 69.0 |
| | 濁度 | | 4.8 | 335 | 10.7 |
| 試験杭2 | 水素イオン濃度 | PH | — | 8.3 | 7.8 |
| | 有機体炭素TOC | mg/L | — | 39 | 7.2 |
| | 電気伝導率EC | mS/m | — | 239 | 76.3 |
| | 濁度 | | — | — | 22.8 |
| 試験杭4 | 水素イオン濃度 | PH | — | 8.3 | 7.7 |
| | 有機体炭素TOC | mg/L | — | 220 | 5.8 |
| | 電気伝導率EC | mS/m | — | 392 | 74.3 |
| | 濁度 | | — | — | 19 |
| 試験杭5 | 水素イオン濃度 | PH | — | 7.9 | 7.8 |
| | 有機体炭素TOC | mg/L | — | 92 | 4.9 |
| | 電気伝導率EC | mS/m | — | 118 | 72.6 |
| | 濁度 | | — | — | 32 |



付録写真-3.1 カメラ観察画像（試験杭1施工時のケーシング先端部）



付録写真-3.2 カメラ観察画像（試験杭2の1回目）



付録写真-3.3 カメラ観察画像（試験杭2の2回目）

せて撮影した。各試験杭において得られた撮影画像を以下に示す。

(1) 試験杭1

ケーシング先端部で撮影した水中カメラ観察画像を付録写真-3.1に示す。微細なプラスチック片と思われる廃棄物がわずかに観察されたが、廃棄物をきわめて良好に除去できていることが確認できた。

(2) 試験杭2（1m根入れ時）

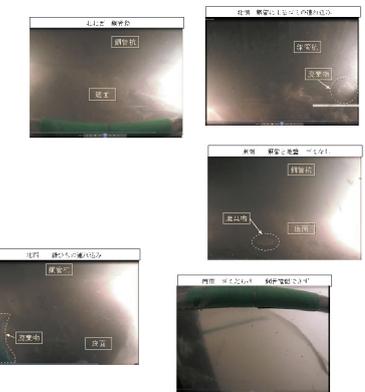
杭先端が粘土層に1m根入れされた状態での杭先端部における水中カメラ観察画像（1回目観察画像）を付録写真-3.2に示す。わずかではあるが、廃棄物が取り切れずに残されていることが確認できた。

(2') 試験杭2（4.4m根入れ時）

杭先端が粘土層に4.4m根入れされた状態での杭先端部における水中カメラ観察画像（2回目観察画像）を付録写真-3.3に示す。廃棄物はほぼ取り切れているが、杭先端に巻き込まれて連れ込まれた梱包用プラスチックバンドが1本だけ残されていた。



付録写真-3.4 カメラ観察画像（試験杭4の1回目）



付録写真-3.5 カメラ観察画像（試験杭4の2回目）

(3) 試験杭4（0.5m根入れ時）

杭先端が粘土層に0.5m根入れされた状態での杭先端部における水中カメラ観察画像（1回目観察画像）を付録写真-3.4に示す。杭先端に大量の廃棄物が残っている様子を確認できる。

(3') 試験杭4（3.9m根入れ時）

杭先端が粘土層に3.9m根入れされた状態（最終深度）での杭先端部における水中カメラ観察画像（2回目観察画像）を付録写真-3.5に示す。0.5m根入れ時よりも廃棄物が減ってはいるが、杭先端にはまだ大量の廃棄物が残っている様子を確認できる。

(4) 試験杭5（1m根入れ時）

杭先端が粘土層に1m根入れされた状態での杭先端部における水中カメラ観察画像（1回目観察画像）を付録写真-3.6に示す。試験杭4と同様に大量の廃棄物が残っている様子を確認できる。なお、試験杭5の杭先に残っている廃棄物は、他の杭と比べるとプラスチックやビニルの袋状の廃棄物が多いのが特徴である。

付録-4 施工時の水位観測

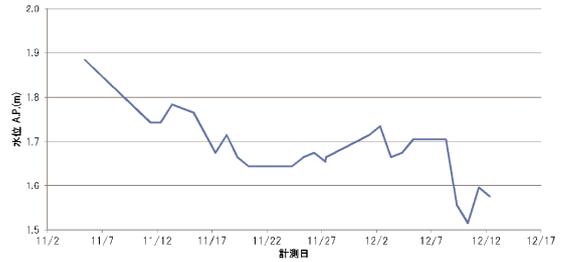
杭打設後に本格的に実施した透水試験については、本文中で記述しているが、ここでは、施工中に実施した水位観測の結果について取りまとめる。杭周辺の地下水位は廃棄物層内にあり、施工範囲のほぼ中央地点に設置した観測井（付録図-1.1を参照）で水位を計測した。水位は間隙水圧計により10分間隔で計測したほか、手動式水位計によっても計測した。

手動式水位計による測定結果を付録図-4.1に示す。一方、間隙水圧計による水位計測では、上述の手動式水圧計の計測値により初期値を設定し、10分間隔で計測した。試験杭2における1回目の杭内水位観測時に、手動式水位計では水位変化が観測されないにもかかわらず、間隙水圧計のデータは変化し、両者に乖離が見られた。そのため、間隙水圧計のデータは毎週2回（月曜と木曜）手動式の計測値に合わせて補正することにした（付録図-4.2）。間隙水圧計の計測値にドリフトが現れる理由は明らかではないが、今回の計測では間隙水圧計のコード延長が100m程度と長く、計測方法に限界があったことも考えられる。

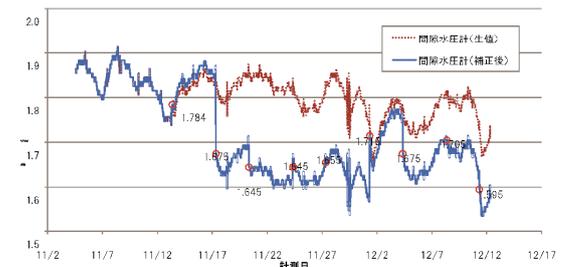
各試験杭の杭内水位観測は、パイピングの危険などを事前に検討しておき、安全を見込んで付録表-4.1の条件で実施した。上述のように、間隙水圧計による地下水位観測ではドリフト等により著しい誤計測が生じることがわかったため、以降は、手動式水位計により、0h, 1h, 3h, 6h, 24h（以降は24hごと）に計測することにした。手動式水位計で計測した水位計測結果を付録図-4.3に示す。周辺の地下水位はA.P. -1.7m前後にあり、これよりも1mまたは2mを水位を下げて透水試験を実施した。付録図-4.3において、水位を下げている部分が透水試験に該当するが、24hの杭内水位観測結果として、試験杭1および試験杭2では水位上昇は観測されなかったが、試験杭4や試験杭5においてわずかな水位上昇が見られた。

杭内土砂の掘削後の地盤の高さについて、その経時変化をレッドで測定した。杭の底の地盤表面は水平ではなく凹凸があるため、レッドの測定位置により異なる深度が得られ、また、浮泥があるなど、柔らかい地盤では測定する作業員により計測結果が多少異なった。

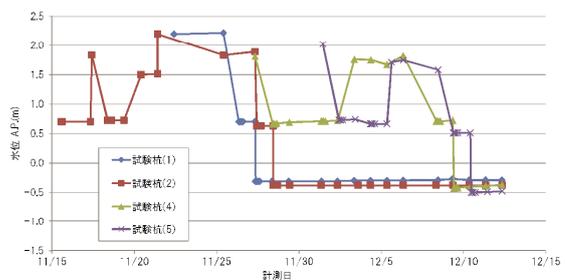
試験杭1は、ゴミがないことは遮水層に1m根入れしたケーシング内部で確認済みのため、他の杭とは異なり最終深度掘削後にカメラ観察を実施する必要がなく、水替



付録図-4.1 手動式水位計による地下水位測定結果



※丸印の位置で手動式水位計の計測結果に合うように補正
付録図-4.2 間隙水圧計による地下水位測定結果の補正



付録図-4.3 試験杭の内水位観測結果図

付録表-4.1 杭内設定水位（水位差：地下水位と杭内の水位の差）

| | 1回目 | | 2回目 | | 3回目 | | 4回目 | |
|------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | 杭内深度 | 水位差 | 杭内深度 | 水位差 | 杭内深度 | 水位差 | 杭内深度 | 水位差 |
| | A.P. (m) | Δh (m) |
| 試験杭1 | -15.43m | 1.0m | -15.43m | 2.0m | --- | --- | --- | --- |
| 試験杭2 | -12.65m | 1.0m | -13.65m | 1.0m | -15.05m | 1.0m | -15.05m | 2.0m |
| 試験杭3 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 試験杭4 | -14.26m | 1.0m | -15.25m | 1.0m | -16.65m | 1.0m | -16.65m | 2.0m |
| 試験杭5 | -13.64m | 1.0m | -14.64m | 1.0m | -16.04m | 1.0m | -16.04m | 2.0m |

付録表-4.2 杭内の地盤面の深さ

試験杭(1)

| 測定日 | 杭天端 A.P.(m) | 深さ (m) | 先端深度 A.P.(m) | 備考 |
|--------|----------------|-----------|-----------------|------|
| 11月19日 | 9.10 | 24.55 | -15.45 | 床付け時 |
| 12月3日 | 9.14 | 24.47 | -15.33 | |
| 12月4日 | 9.14 | 24.47 | -15.33 | |
| 12月5日 | 9.14 | 24.47 | -15.33 | |
| 12月6日 | 9.14 | 24.47 | -15.33 | |
| 12月10日 | 9.10 | 24.48 | -15.38 | |

試験杭(2)

| 測定日 | 杭天端 A.P.(m) | 深さ (m) | 先端深度 A.P.(m) | 備考 |
|--------|----------------|-----------|-----------------|------|
| 11月20日 | 9.10 | 24.25 | -15.15 | 床付け時 |
| 12月3日 | 9.14 | 24.27 | -15.13 | |
| 12月4日 | 9.14 | 24.27 | -15.13 | |
| 12月5日 | 9.14 | 24.27 | -15.13 | |
| 12月6日 | 9.14 | 24.27 | -15.13 | |
| 12月10日 | 9.10 | 24.19 | -15.09 | |

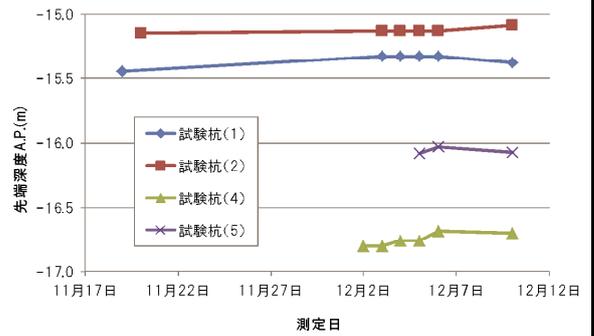
試験杭(4)

| 測定日 | 杭天端 A.P.(m) | 深さ (m) | 先端深度 A.P.(m) | 備考 |
|--------|----------------|-----------|-----------------|------|
| 12月2日 | 9.10 | 25.9 | -16.8 | 床付け時 |
| 12月3日 | 9.14 | 25.94 | -16.8 | |
| 12月4日 | 9.14 | 25.9 | -16.76 | |
| 12月5日 | 9.14 | 25.9 | -16.76 | |
| 12月6日 | 9.14 | 25.82 | -16.68 | |
| 12月10日 | 9.10 | 25.8 | -16.7 | |

試験杭(5)

| 測定日 | 杭天端 A.P.(m) | 深さ (m) | 先端深度 A.P.(m) | 備考 |
|--------|----------------|-----------|-----------------|------|
| 12月5日 | 9.06 | 25.14 | -16.08 | 床付け時 |
| 12月6日 | 9.10 | 25.13 | -16.03 | |
| 12月10日 | 9.06 | 25.13 | -16.07 | |

えを実施していなかった。そのため、浮泥が厚く沈降・堆積している可能性が高く、実際、レッドを少し上下させるだけで測定結果が5cm~10cmも深くなるような状況であった。計測された地盤面の深さの一覧を付録表-4.2に示す。また、経時変化を図にしたものを付録図-4.4に示す。



付録図-4.4 杭内の地盤面深さの経時変化

付録-5 遮水層粘土の圧密・透水・変形特性

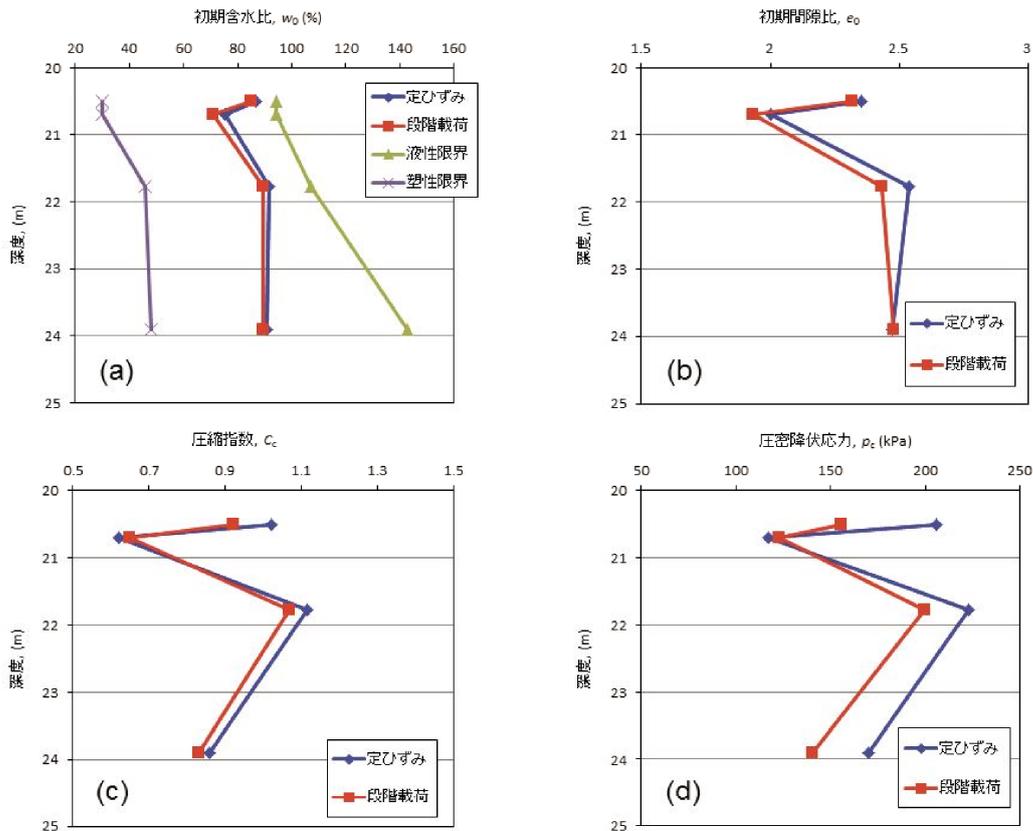
遮水層を構成する粘土層について、固定ピストン式シンウォールサンプラーで採取した不攪乱試料を用いて圧密試験を実施し、圧密・透水特性を調べた。試験結果をまとめたものを付録表-5.1に示す。定ひずみ速度載荷に

よる圧密試験（JIS A 1227）と段階載荷による圧密試験（JIS A 1217）を実施した。

圧密試験の結果として、(a) 初期含水比 w_0 、(b) 初期間隙比 e_0 、(c) 圧縮指数 C_c 、(d) 圧密降伏応力 p_c の深度分布を付録図-5.1に示す。深度20.8m付近で他よりもやや低塑性な土の結果が得られているが、他は含水比が90%程度

付録表-5.1 遮水層の圧密特性

| | 試験名 | 土粒子密度 | 初期含水比 | 初期間隙比 | 湿潤密度 | 乾燥密度 | 飽和度 | 圧縮指数 | 圧密降伏応力 |
|------|----------------------------|--------------------------|--------------|-------|--------------------------|--------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| | | ρ_s (g/cm^3) | w_0 (%) | e_0 | ρ_t (g/cm^3) | ρ_d (g/cm^3) | S_{r0} (%) | C_c (最終頭心) | p_c (kPa) |
| 定ひずみ | 4-11-T1 (20.30m~20.70m) | 2.694 | 86.9 | 2.353 | 1.502 | 0.804 | 99.6 | 1.022 | 206 |
| | 4-11-T1 (20.30m~21.10m) | 2.694 | 75.3 | 2.001 | 1.573 | 0.898 | 101.3 | 0.621 | 117 |
| | 4-11-T2 (21.50m~22.05m) | 2.673 | 91.8 | 2.539 | 1.449 | 0.756 | 96.7 | 1.115 | 223 |
| | 4-11-T3 (23.50m~24.30m) | 2.690 | 90.8 | 2.475 | 1.477 | 0.774 | 98.7 | 0.859 | 170 |
| 段階載荷 | 4-11-T1 (20.30m~20.70m) | 2.694 | 84.9 | 2.315 | 1.503 | 0.813 | 98.8 | 0.921 | 156 |
| | 4-11-T1 (20.30m~21.10m) | 2.694 | 70.8 | 1.934 | 1.568 | 0.918 | 98.5 | 0.649 | 123 |
| | 4-11-T2 (21.50m~22.05m) | 2.673 | 89.6 | 2.431 | 1.477 | 0.779 | 98.5 | 1.069 | 200 |
| | 4-11-T3 (23.50m~24.30m) | 2.690 | 89.6 | 2.481 | 1.465 | 0.773 | 97.1 | 0.831 | 140 |



付録図-5.1 供試体の初期条件と圧密試験結果の深度分布：(a) 初期含水比 w_0 、(b) 初期間隙比 e_0 、(c) 圧縮指数 C_c 、(d) 圧密降伏応力 p_c の深度分布

と高く、圧縮指数 C_c が0.9~1.2の比較的高塑性な土の特徴が現れた結果となっている。有効土被り圧 σ'_{v0} が150kPa程度であることを考えると、圧密降伏応力 p_c は同等もしくはそれよりわずかに大きい程度であり、ほぼ、正規圧密状態にあるといえる。なお、深度20.8m付近では、低塑性であるために試料が乱れやすかったと考えられ、圧密降伏応力は過小に評価されている可能性がある。

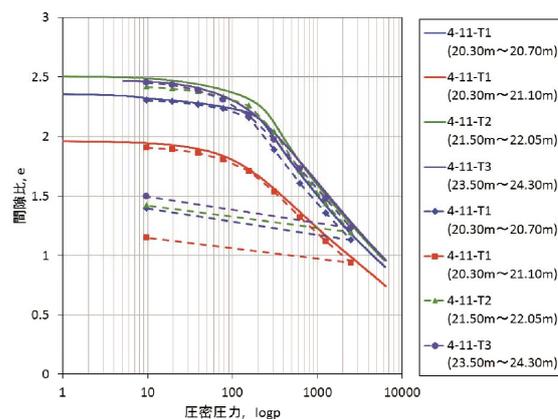
圧縮曲線を付録図-5.2に示す。圧密降伏応力を挟んで、過圧密領域と正規圧密領域の2つの直線で近似できるバイリニアな関係にある。自然堆積粘土では、年代効果により発達した土の構造が壊れていくために圧密降伏直後に急激な間隙比の減少が生じ、圧密降伏後に逆S字型の曲線が得られることが知られている（特に定ひずみ速度圧密試験の結果）。しかし、今回の試験結果にはそのような挙動は見られず、むしろ繰り返した後にモールドで圧密して作製した再構成試料のような挙動となっている。これは、もともと海底の浅いところに堆積していた粘土層であるが、約16mもの廃棄物層が埋め立てられた結果、粘土層が大きな圧力で圧密され、年代効果の影響がほとんど現れていないためであると考えられる。

圧密係数 C_c と圧密圧力 p の関係を付録図-5.3に示す。一般に過圧密領域での大きな値と正規圧密領域での小さな値とに分けられ、両者はそれぞれほぼ一定値になる。今回の試験結果においてもそのような傾向を読み取ることができるが、過圧密領域と正規圧密領域の圧密係数の差はあまり大きくはない。正規圧密においても圧密係数は $100\text{cm}^2/\text{day}$ よりも十分に大きな値が得られており、圧密が比較的速やかに生じる粘土であることが分かる。

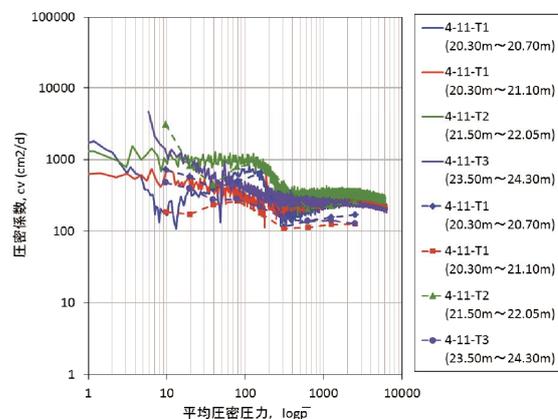
透水係数と圧密圧力の関係を付録図-5.4に示す。透水係数 k は間隙比 e の関数であると説明されていることと対応して、過圧密領域ではほぼ一定値、正規圧密領域では圧密圧力の増加とともに減少している。圧密降伏応力付近の透水係数が原位置の透水係数に近い値であると考えられるが、 $7 \times 10^{-8}\text{cm/s}$ から $3 \times 10^{-7}\text{cm/s}$ の範囲にあり、いずれも基準省令（環境省令）に規定された遮水基盤として要求される $1 \times 10^{-5}\text{cm/s}$ 以下（層厚は5m以上）を十分に満足する遮水層であることが分かる。

原位置応力状態でまで応力経路を誘導した後、圧縮試験を行う再圧縮三軸圧縮試験CUC、伸張試験を行う再圧縮三軸伸張試験CUEを実施した。試料の含水比と湿潤密度、せん断試験時の強度として主応力差 q の最大時、ならびに応力比 q/p' の最大時の主応力差の値を付録表-5.2にとりまとめた。

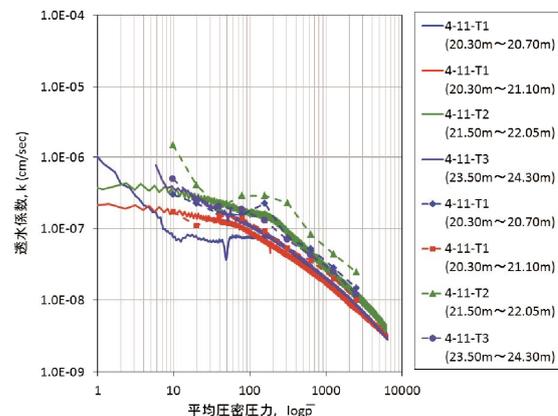
三軸試験で得られた応力～ひずみ関係を付録図-5.5の左図に示す。圧縮側の破壊ひずみ ε_{pl} は1.3%と小さく、そ



付録図-5.2 圧縮曲線 ($e-\log p$ 曲線)



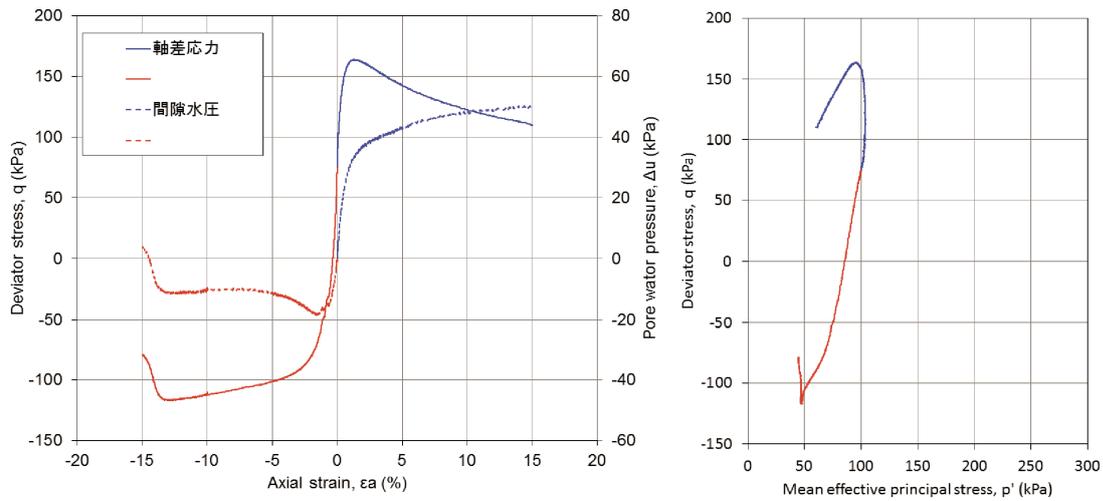
付録図-5.3 圧密圧力と平均圧密圧力の関係 ($\log c_v - \log p$ 曲線)



付録図-5.4 透水係数と平均圧密圧力の関係 ($\log k - \log p$ 曲線)

の後、ひずみ軟化が見られる。一方、伸張側はひずみ硬化傾向にあり、主応力差の絶対値が最大となるときに破壊ひずみ ε_{pl} は12.9%と大きい。伸張側は、破壊ひずみを過ぎると急激に主応力差が減少するようになるが、局所的な変形が発生したためである。

三軸試験で得られた応力経路を付録図-5.5の右図に示



付録図-5.5 三軸試験結果：左図は応力～ひずみ関係，右図は応力経路

す。原位置から採取した不攪乱試料のうち，正規圧密状態にある粘土でよく見られる挙動を示している。伸張側の応力経路の最後の部分で急激な軟化が見られるが，応力～ひずみ関係（付録図-5.5の左図）において見られた急激なひずみ軟化に対応している。すべり線が発生して局所的にくびれが生じたためであり，通常の方法では，くびれた部分の断面積が局所的に小さくなったにもかかわらず，供試体の様な変形を仮定した過大な計算上の面積で応力を算出していることから，主応力差を著しく過小に評価するようになったことが原因であり，このような特異な挙動はその土の本来の挙動を反映したものとはいえない。

付録表-5.2 三軸試験条件と試験結果

| | | 深度(標高-A.P.) | |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------|----------|
| | | No.1-2 (13.03~13.88m) | |
| | | CUC | CUE |
| 供試体の状態 | w_0 (%) | 81.59 | 80.50 |
| | | 81.05 | |
| | ρ_t (g/cm ³) | 1.529 | 1.527 |
| | | 1.528 | |
| $ q _{\text{最大}}$ | q (kPa) | 163.655 | -117.314 |
| | p' (kPa) | 96.009 | 46.716 |
| | Δu (kPa) | 33.43 | -10.96 |
| | ϵ_r (%) | 1.3 | -12.9 |
| $ q/p' _{\text{最大}}$ | q/p' | 1.84 | -2.51 |
| | q (kPa) | 131.202 | -117.314 |
| | p' (kPa) | 71.335 | 46.716 |
| | Δu (kPa) | 45.98 | -10.96 |
| | ϵ_r (%) | 7.4 | -10.4 |

圧密非排水三軸試験 (CU試験, $\sigma'_v=150\text{kPa}$, $K=0.5$)

港湾空港技術研究所資料 No.1321

2016. 6

編集兼発行人 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

発行所 港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2016) by MPAT

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of MPAT

この資料は、海上・港湾・航空技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は海上・港湾・航空技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。