

令和8年度 第2回 大阪府河川構造物等審議会

【資料3】地下水流入原因の特定

地下水流入原因の特定

地下水流入原因の特定までの流れ

第1回審議

STEP1:地下水流入箇所の推定

STEP2-1:地下水流入要因の抽出

STEP2-2:地下水流入要因の調査方法の検討

STEP3-1※:地下水流入抑制工法の選定

STEP3-2※:地下水流入抑制工法の施工

STEP3-3※:立坑内の排水

※STEP4の調査には
立坑内に入り実施する
ものが想定されるため

STEP4:地下水流入要因の調査

STEP5:地下水流入要因の調査結果の評価

STEP6:地下水流入メカニズムの推定

STEP7:地下水流入原因の特定

地下水流入原因の特定

第1回審議会資料6 再掲

地下水流入箇所の推定

立坑内調査結果

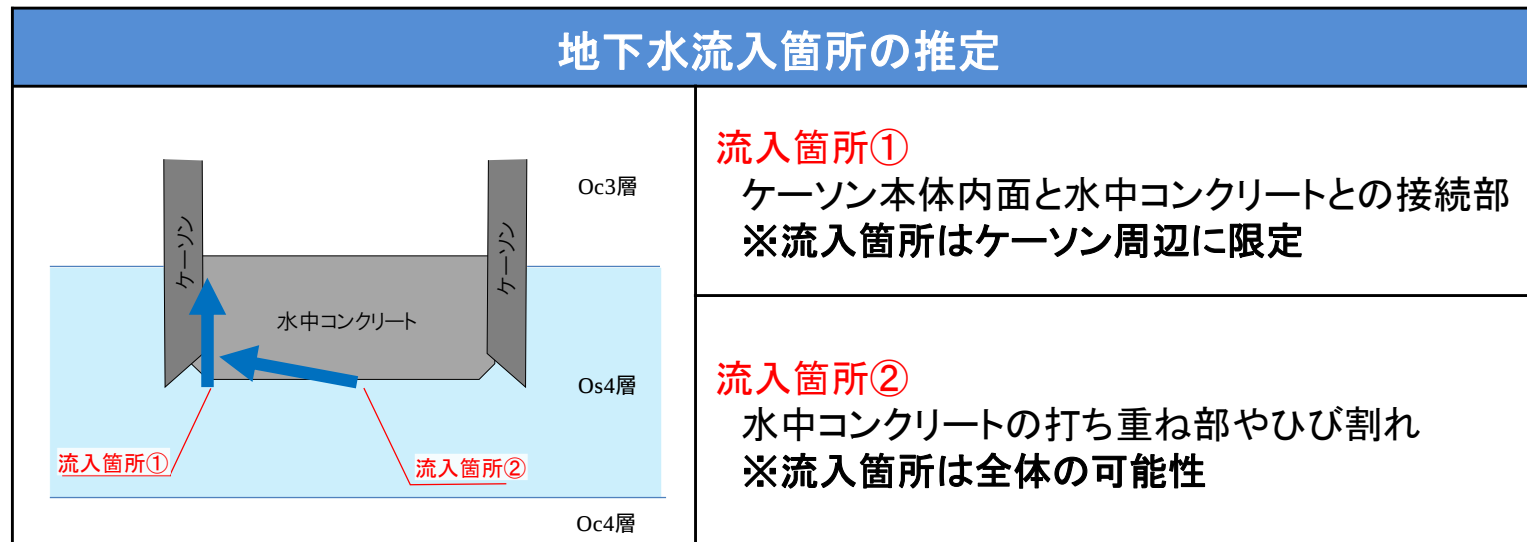
ケーソン本体内面と水中コンクリートの
接続部から地下水の流入が生じている

地下水位の影響

ケーソン刃先である地層（Os4層）の地下
水位が影響を受けている（他の層は影響
していない）

ケーソン底部付近に地下水流入の
原因があるものとして検討を進める

ケーソン底部付近の地下水流入箇所の推定を以下に示す。



地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

第1回審議会資料6 再掲(一部追記)

地質、設計、施工のそれぞれの観点から、実施工において相違がなかったかなどを検証し、地下水流入要因を抽出する。

○それぞれの観点に対して、計画段階で実施した主な内容は以下のとおり。

地質

- ・事前のボーリング調査は、立坑設置箇所のほぼ中央で実施
- ・立坑最深部の掘削土はボーリングデータどおり砂質土であることを確認しており、Os4層に着底

設計

- ・水中コンクリートの設計は「道路橋示方書・同解説 IV 下部工編」(社)日本道路協会)および「シールド工事用立坑の設計」(土木学会)に基づき適正に設計

施工

- ・水中コンクリート打設前に、ケーソン本体に付着する土砂等を除去
- ・水中コンクリートの配合は、水中分離性かつ収縮を極力抑制する設計
- ・水中コンクリートは、土日の連続施工できないことを見据え、打ち重ね部の一体化のために超遅延材を配合

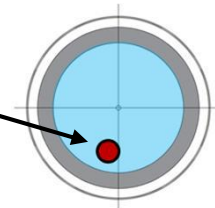
地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

地質

事前の土質調査は、立坑設置箇所のほぼ中央で実施し、立坑最深部は、大阪層群第4砂質土層(=Os4層)に着底することを想定。

土質調査箇所



(大阪層群第3粘性土層)

分布深度(層厚): GL-85.70~-90.95m(5.25m)

土質: 粘土

N値: 27~42

層相: 粘性大。ほぼ均質な粘土。含水は中。色調は青灰~緑褐。

(大阪層群第4砂質土層)

分布深度(層厚): GL-90.95~-113.35m(22.40m)

土質: シルト質砂、礫混りシルト質砂、粘土混り砂、砂

N値: 50以上

層相: 砂は主として細~粗砂の混成、部分的に細~微細砂主体、粗砂主体となる。全体的に細礫を混入する。最上位及び中位に挟在するシルト質砂は細~微細砂主体、シルトの薄層を挟在する。GL-108.20m付近、約5cmのシルト層挟在し層厚約1mmの火山灰挟在する。含水は中。色調は暗青灰~青灰~淡灰~灰~淡青灰。

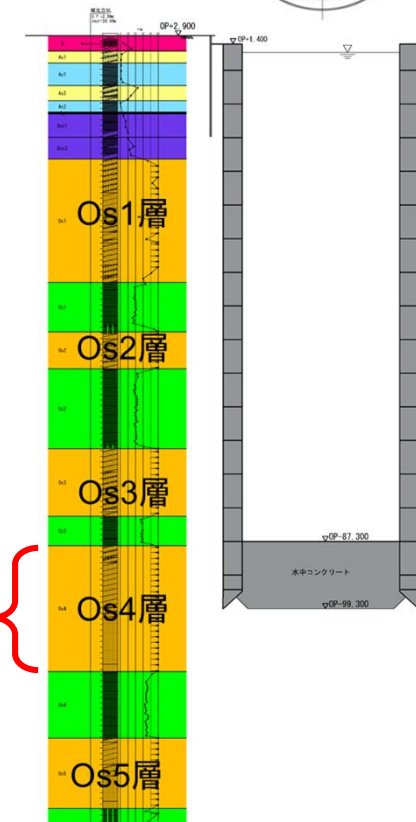
(大阪層群第4粘性土層)

分布深度(層厚): GL-113.35~-125.25m(11.90m)

土質: 粘土

N値: 32~42

層相: 粘性大。ほぼ均質な粘土。部分的に腐植物少量混入。GL-125.18m付近火山灰混入する。含水は中。色調は緑褐~青灰。

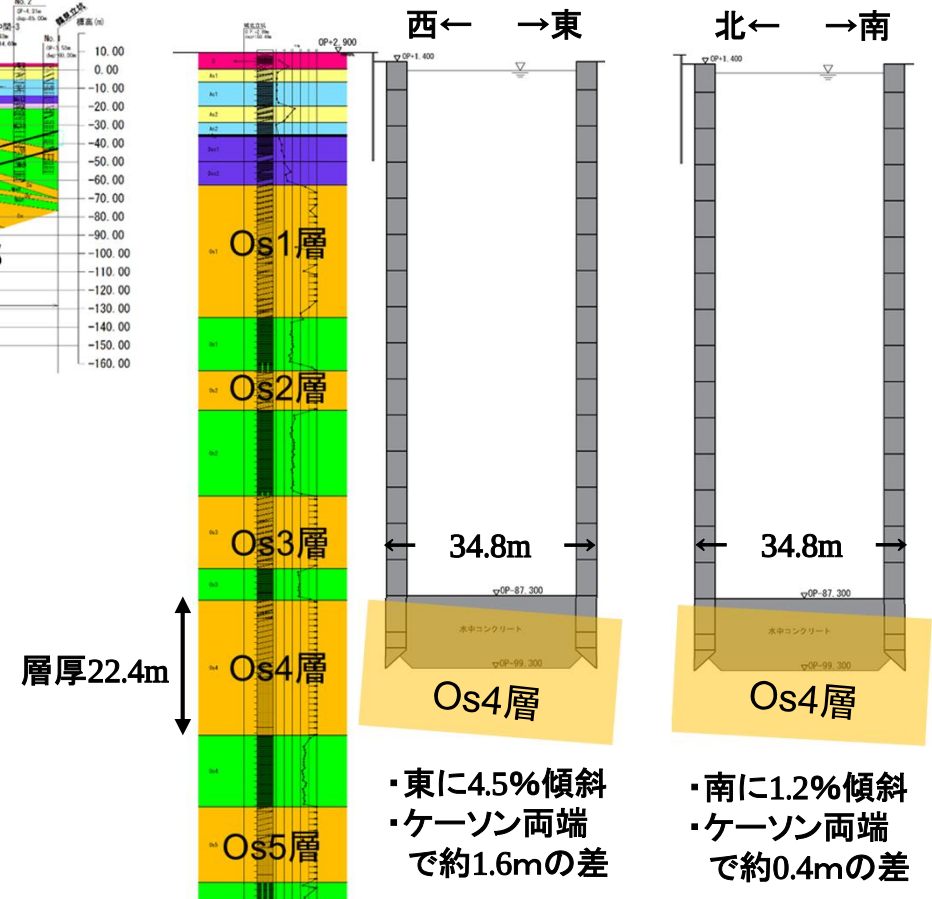
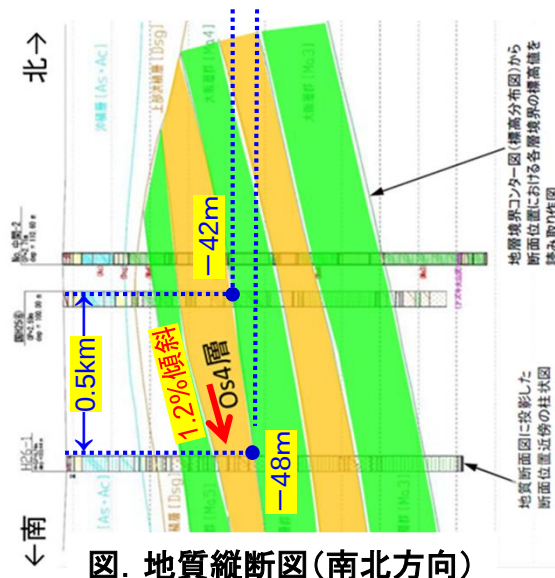
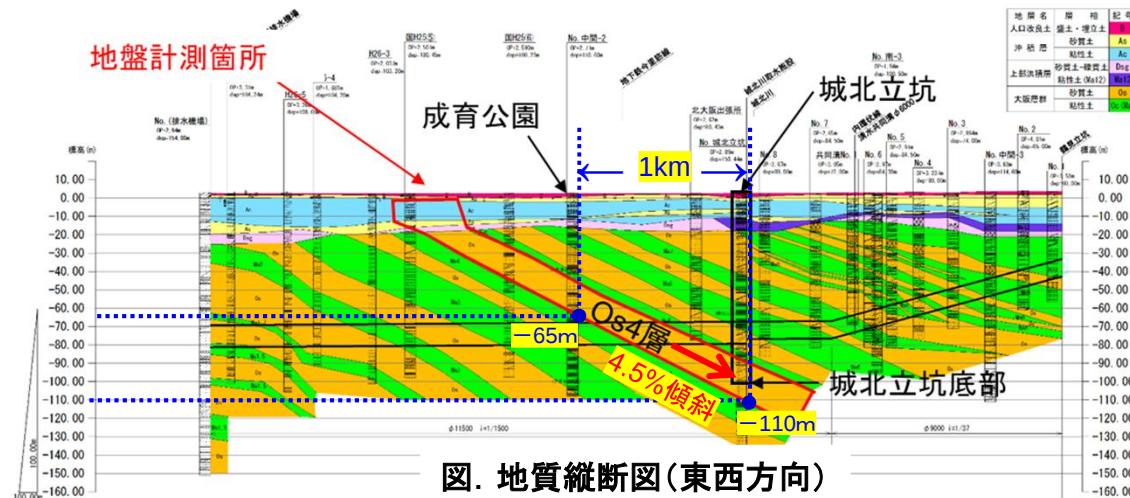


地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

地質

地質縦断図より、立坑位置の土層の傾斜を想定。ケーソンの両端での土層の傾斜は東西方向で約1.6m程度、南北方向で0.4mと想定。



地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

地質

立坑最深部の間隙水圧測定結果は、いずれの地点も想定の間隙水圧約972KN/m²※を下回っており、有意なばらつきは見られなかった。

※地下水位(OP+1.4m)－測定位置(OP-97.8m) = $99.2 \times 9.8 \text{KN/m}^3 \div 972 \text{KN/m}^2$

- 立坑(ケーソン)外側に間隙水圧計を8箇所設置

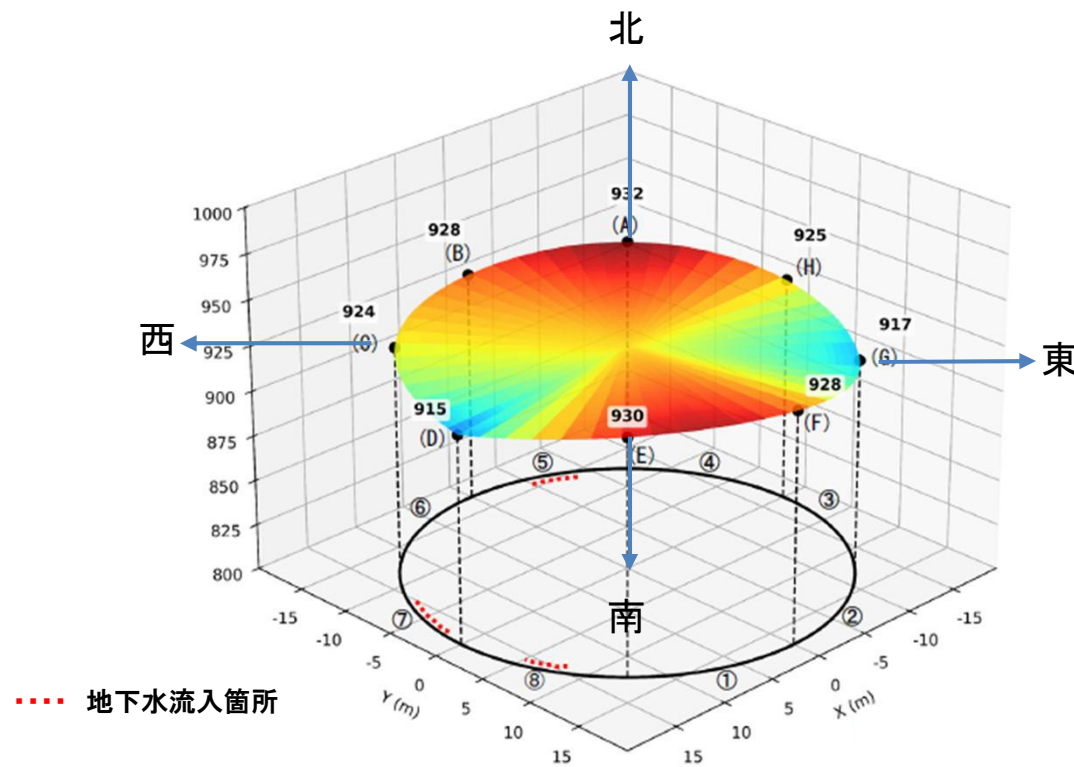


図. 間隙水圧分布図(R8年3月10日時点(立坑内の排水前))

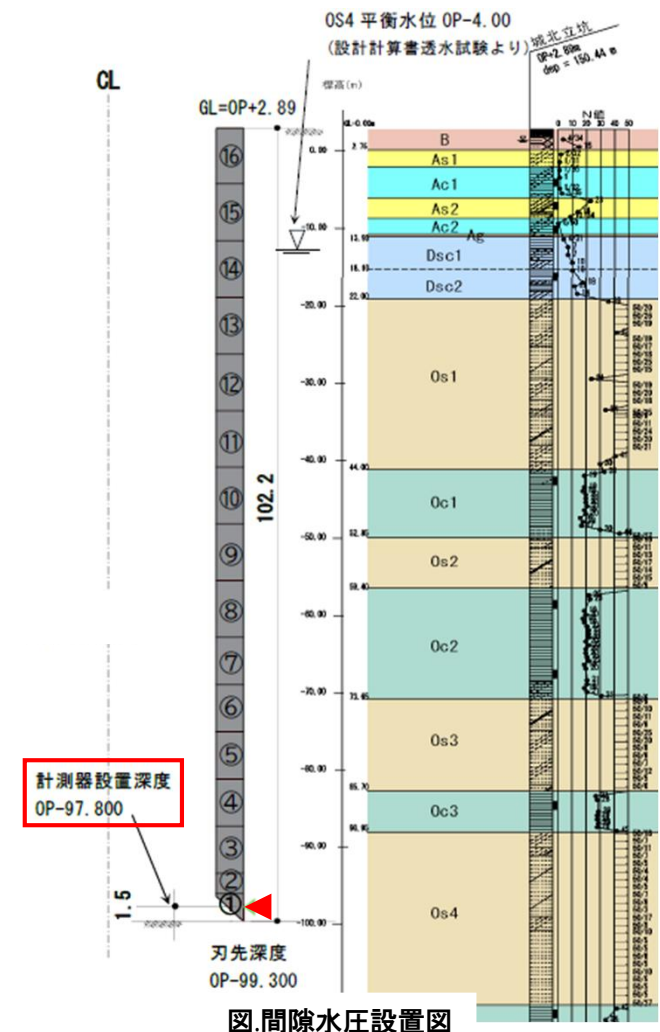


図. 間隙水圧設置図

地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

設計

第1回審議会資料3 再掲(一部追記)

城北立坑は、大深度地下使用で定める地下40メートル以深での施工実績があり、城北立坑の深度、外径でも適用範囲とされている自動化オープンケーソン工法で設計。

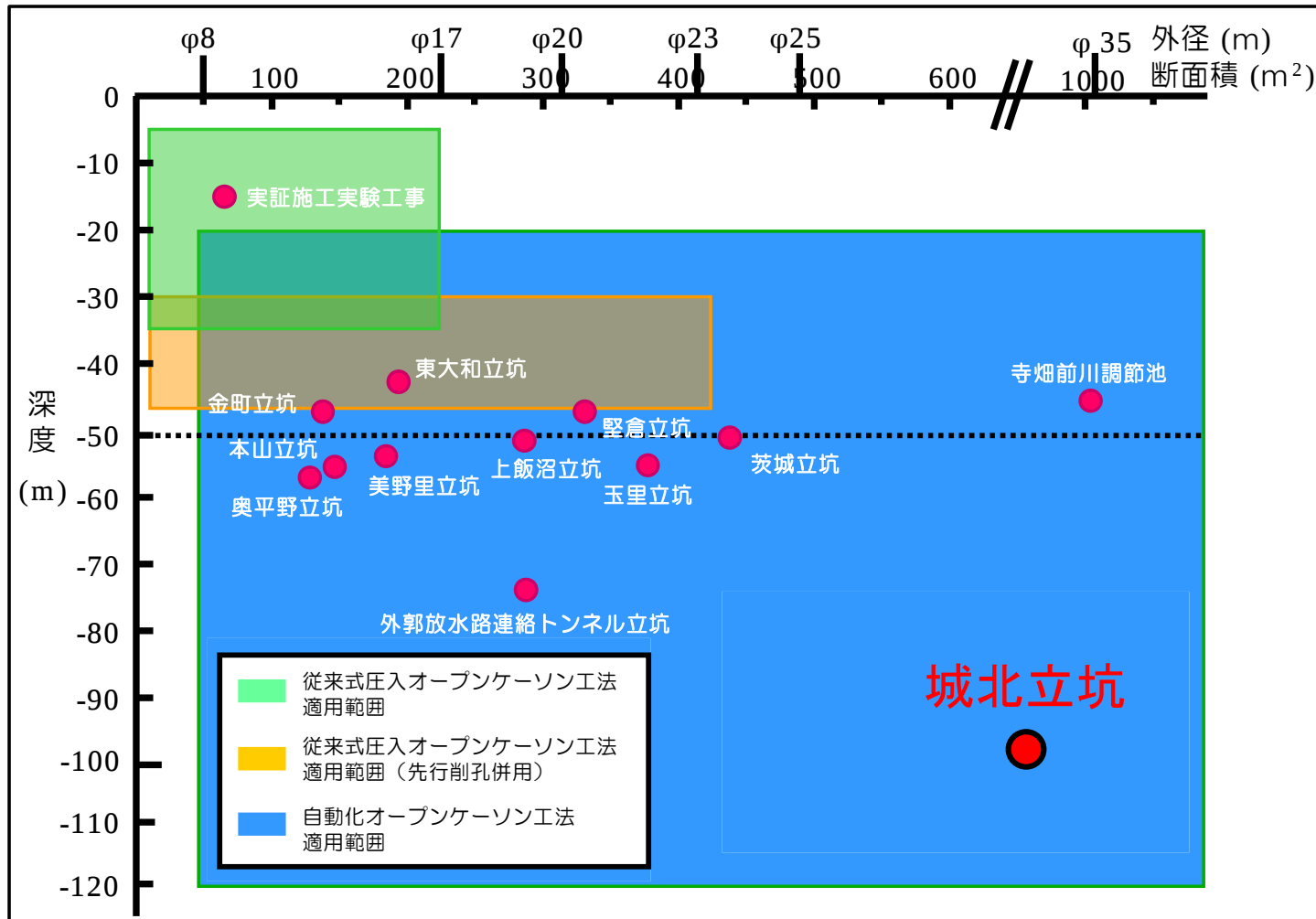


図. 自動化オープンケーソン工法の採用実績と適用範囲
(出典:PCウェル工法協会資料)

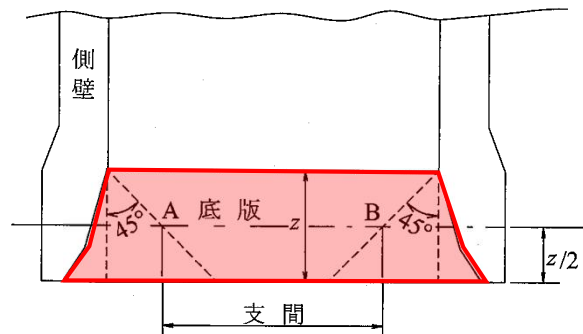
地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

設計

自動化オープンケーソンの底版(水中コンクリート)は、各基準に則り設計。

	「道路橋示方書・同解説 IV 下部工編」 (社)日本道路協会(平成24年3月)	「シールド工事用立坑の設計」 (土木学会)(2015年1月)
曲げモーメント ・ せん断力	底版と側壁の間の打継目は完全には一体とならないので、底版は周囲を単純支持されたスラブとして設計する。	同左
浮上り	記載なし	施工時のケーソンは浮き上がりに対して、安全率1.0を満足しなければならない
(大深度地下使用での適用)	記載なし	記載なし



計算上の支間²⁾

図.計算上の支間

(出典:道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編)

(2) 周辺単純支持の等分布荷重
前式の結果と境界条件から図4・2・4の変形と応力は次のようになる¹⁾。

$$w = \frac{p}{64K} \left(\frac{5+\mu}{1+\mu} a^4 - 2 \frac{3+\mu}{1+\mu} a^2 r^2 + r^4 \right) \quad (4 \cdot 2 \cdot 23)$$

$$w_{\max} = \frac{5+\mu}{1+\mu} \frac{p a^4}{64K}$$

$$m_r = (3+\mu) \frac{p}{16} (a^2 - r^2)$$

$$m_\phi = \frac{p}{16} [(3+\mu) a^2 - (1+3\mu) r^2]$$

$$q_r = -\frac{p}{2} r$$

版中央にて

$$m_r = m_\phi = m_{\max} = (3+\mu) \frac{p a^2}{16}$$

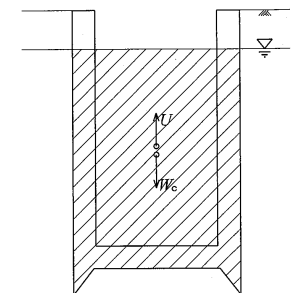
(出典:構造力学公式集土木学会)

$$F = \frac{W_c}{U} > 1.0$$

ここに、F: 施工時の浮上りに対する安全率

W_c : ケーソン本体の自重 (kN)

U: ケーソンに作用する浮力 (kN)



浮上りの検討

(出典:シールド工事用立坑の設計土木学会)

地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

設計

計算結果から、最終排水時、地下水流入時ともに安全であることを確認。

＜最終排水時の最大曲げモーメントと断面算定＞

最大曲げモーメント

$$M_{\max} = (3 + \mu) \times (P \times a^2) / 16 = (3 + 0.20) \times (731 \times 8.5^2) / 16 \\ = 10,563.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ここに、 μ : ポアソン比=0.20 、 P : 荷重731.0kN/m²

a : 半径=17÷2=8.5m

断面算定

$t=12.0\text{m}$ (水中コンクリート厚)、 $A=12.0\text{m} \times 1.0\text{m}=12.0\text{m}^2$

$$Z = 1000 \times t^2 / 6 = 2.4 \times 10^{10} \text{ mm}^3$$

曲げ引張応力度の照査結果

$$\sigma_t = M / Z = 10,563.0 \times 10^6 / (2.4 \times 10^{10}) \\ = 0.44 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \text{ N/mm}^2 (= 24/80) (F_c24) \cdots \text{OK}$$

せん断応力度の照査結果

$$Q = 0.5 \times P \times a = 0.5 \times 731.0 \times 8.5 = 3,106.8 \text{ kN}$$

$$\tau = Q / A = 3,106.8 \times 10^3 / (12.0 \times 10^6)$$

$$= 0.26 \text{ N/mm}^2 < 0.345 \text{ N/mm}^2 (= 0.23 \times 1.5) (F_c24) \cdots \text{OK}$$

＜地下水流入時の最大曲げモーメントと断面算定＞

最大曲げモーメント

$$M_{\max} = (3 + \mu) \times (P \times a^2) / 16 = (3 + 0.20) \times (274 \times 8.5^2) / 16 \\ = 3,959.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ここに、 μ : ポアソン比=0.20 、 P : 荷重274.0kN/m²

a : 半径=17÷2=8.5m

断面算定

$t=12.0\text{m}$ (水中コンクリート厚)、 $A=12.0\text{m} \times 1.0\text{m}=12.0\text{m}^2$

$$Z = 1000 \times t^2 / 6 = 2.4 \times 10^{10} \text{ mm}^3$$

曲げ引張応力度の照査結果

$$\sigma_t = M / Z = 3,959.3 \times 10^6 / (2.4 \times 10^{10}) \\ = 0.16 \text{ N/mm}^2 < 0.45 \text{ N/mm}^2 (= 24/80) (F_c24) \cdots \text{OK}$$

せん断応力度の照査結果

$$Q = 0.5 \times P \times a = 0.5 \times 274.0 \times 8.5 = 1,164.5 \text{ kN}$$

$$\tau = Q / A = 1,164.5 \times 10^3 / (12.0 \times 10^6)$$

$$= 0.10 \text{ N/mm}^2 < 0.345 \text{ N/mm}^2 (= 0.23 \times 1.5) (F_c24) \cdots \text{OK}$$

＜最終排水時の浮き上がりの照査結果＞ 自重960,094.4kN／浮力957,806.6kN=1.0024…OK

自重: ケーソン+水中コンクリート 浮力: 地下水位(OP+1.4m)で計算

地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

水中コンクリート打設に関する各種基準書に基づき施工したか照査する。

- ・「コンクリート標準示方書(施工編)」(土木学会)(2023年制定)
- ・「道路橋示方書・同解説 IV 下部工編」(社)日本道路協会(平成24年3月)

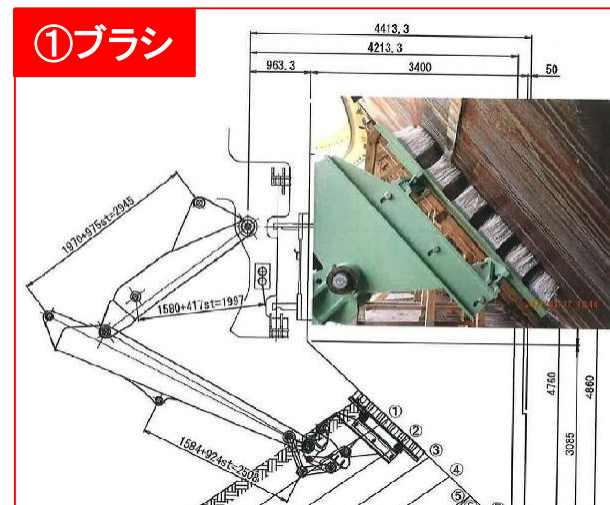
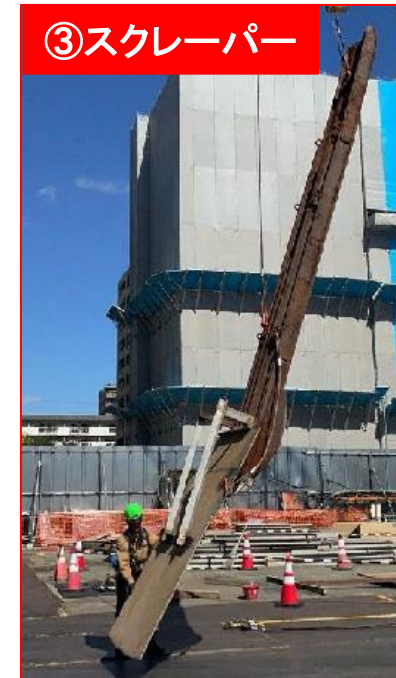
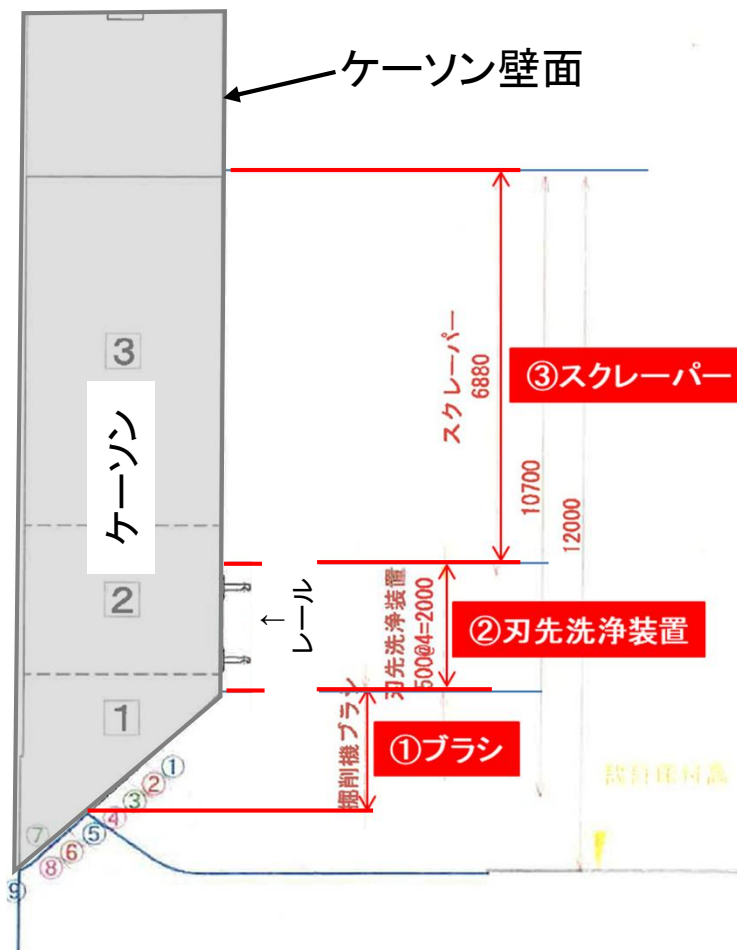
①立坑内土砂の除去	・ケーソン沈下完了後に刃口内面や隔壁先端部等に付着した土砂を突き矢やジェット等を利用して入念に除去し、打込んだ底版コンクリートとの間に土砂が混入しないようにする
②水中コンクリートの配合	・JSCE-D104に適合した水中不分離性混和剤を用いるものとする ・水中不分離性混和剤と併用して悪影響を及ぼさない混和剤を用いるものとする ・配合は、コンクリートが所定の強度、水中分離抵抗性、流動性等を得られるように試験により定める ・JSCE-F504に従って製作された水中製作供試体の材令28日における試験値が設計図書に示される圧縮強度の特性値を満足しなければならない ・水中流動距離は5m以下とする
③水中コンクリートの打設	・トレミー又はコンクリートポンプを用いて打込むことを原則 ・水中コンクリートの打込みにあたっては、少なくとも40～50m²に1本の割合の本数のトレミーを準備しておくことが望ましい ・水中コンクリートの打設は必ず連続的に行い、セメントペーストの流出を防止するために管の先端は常にコンクリート中に貫入した状態にしておく必要がある

地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

①ー1 土砂の除去:ケーソン壁面
除去する箇所を3分割して、それぞれに適した方法で土砂を除去。



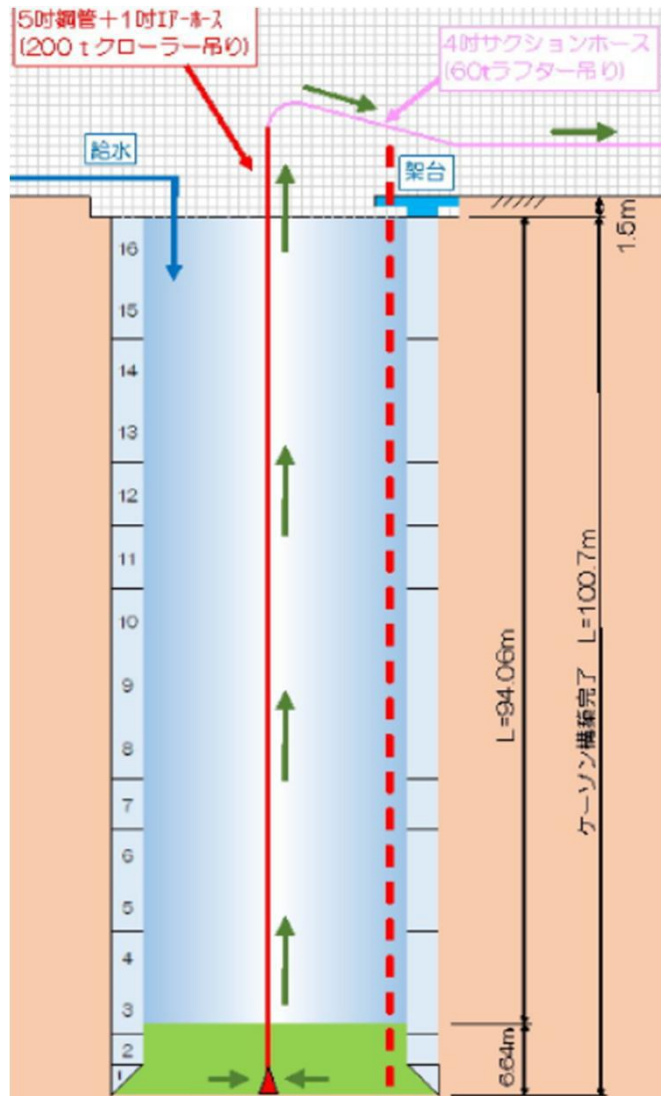
地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

①ー2 土砂の除去:水中

水中に漂う土砂は、凝集剤を投入することで底版部に沈殿させ、サンドポンプで除去。



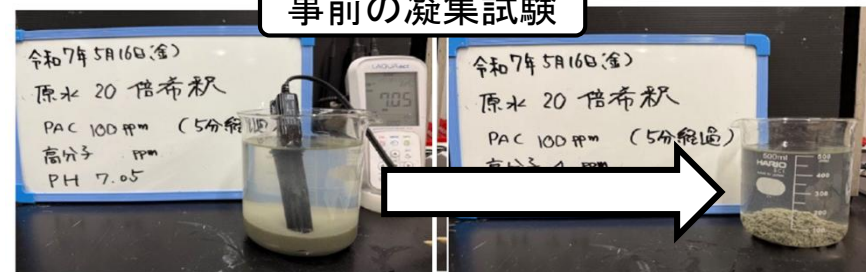
・PAC使用量計算

$$\text{対象水量(m}^3\text{)} \times \frac{\text{PAC添加率(mg/l)}}{1000} \times 1.2(\text{PACの比重})$$
$$4900 \times \frac{250}{1000} \times 1.2 = 1470 \text{ kg}$$

・高分子(ウオーターフロックP)使用量計算

$$\text{対象水量(m}^3\text{)} \times \frac{\text{高分子添加率(mg/l)}}{1000}$$
$$4900 \times \frac{4}{1000} = 19.6 \text{ kg}$$

事前の凝集試験



地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

①ー2 土砂の除去:水中

水中に漂う土砂は、凝集剤を投入することで底版部に沈殿させ、サンドポンプで除去。

スライム処理搬出記録一覧表

日付			バキューム車台数					日合計	比重	実体積
月	日	曜日	1回目	2回目	3回目	4回目	合計	(t)		(m³)
11	17	月	10	10	9	5	34	290.62	1.05	276.78
	18	火	8	8	7	8	31	269.04	1.05	256.23
	19	水	9	9	9	8	35	312.13	1.05	297.27
	20	木	9	9	9	5	32	283.11	1.04	272.22
	21	金	6	6	6	6	24	211.88	1.02	207.73
	22	土	8	8	8	8	32	284.44	1.02	278.86
	25	火	9	9	9	9	36	288.05	1.01	285.20
	26	水	6	6	6	1	19	160.26	1.01	158.67
	27	木	4	4	4	0	12	96.61	1.01	95.65
合計							255	2196.14	1.05	2128.61

回収した沈殿物の比重を計測し、3日間連続で同値となったことで、完了とした。

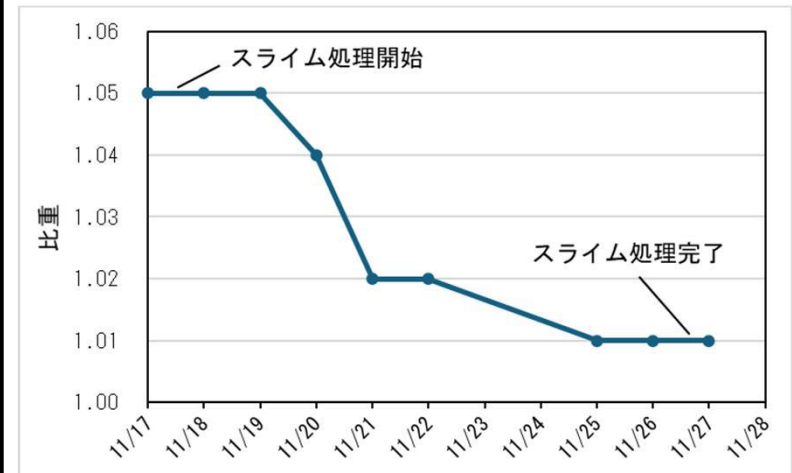


図. スライム比重測定結果

地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

① 土砂の除去

水中ドローン撮影を行い、除去状況を確認。⇒レール上部に堆積物を確認。

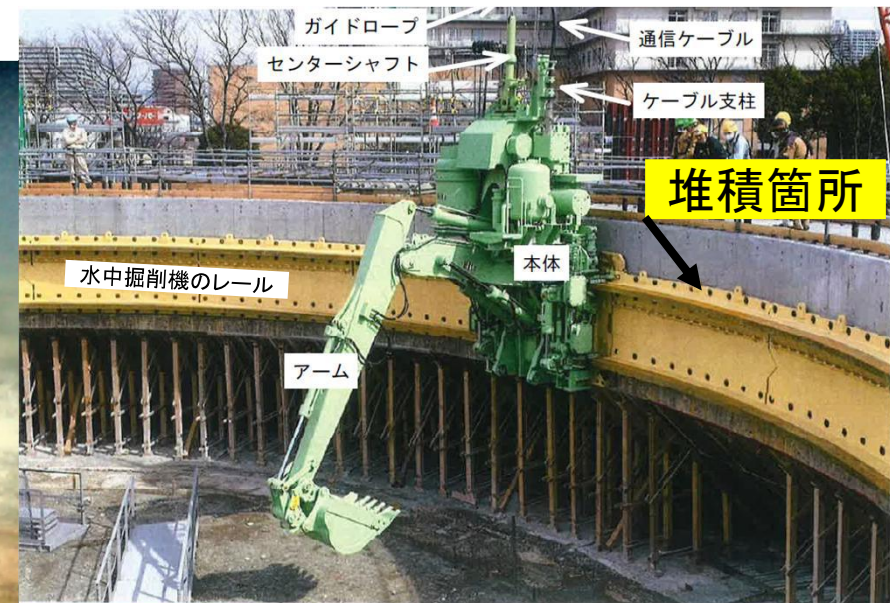
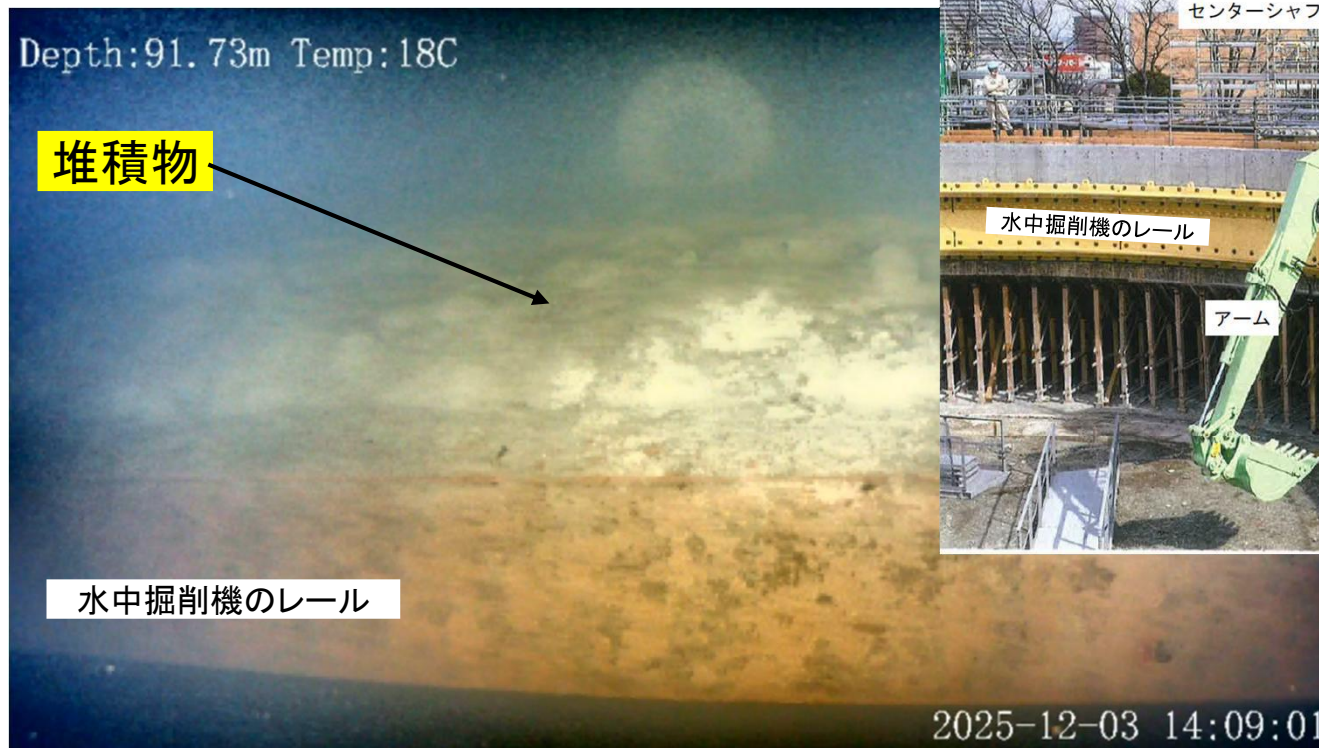


図. 水中ドローン撮影画像

地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

②-1 水中コンクリートの配合:水中不分離性
コンクリート品質規格(JSCE-D104)に適合した水中不分離混和剤・助剤を配合し、強度および水中流動性を確保。

水中分離性コンクリートの配合設計

- ・配 合:30-57.5-20BB(水中不分離混和剤・助剤を配合)(W/C=50%)
- ・流動半径:7.5m

○水中流動性

- ・事前に流動シミュレーションにより水中流動性について確認。計画流動距離を7.5mに設定。

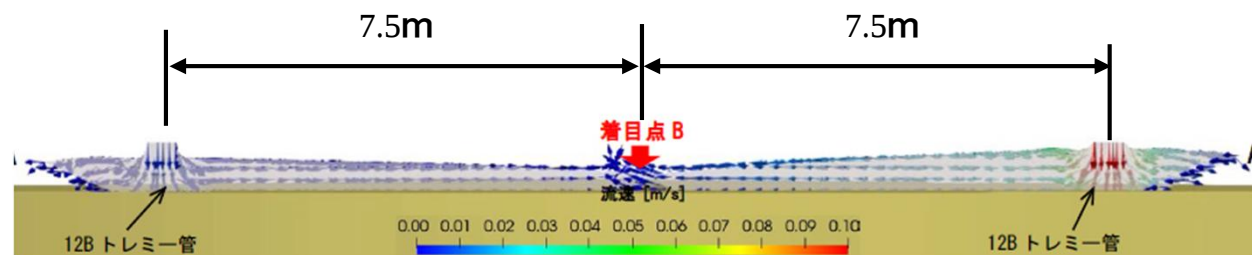
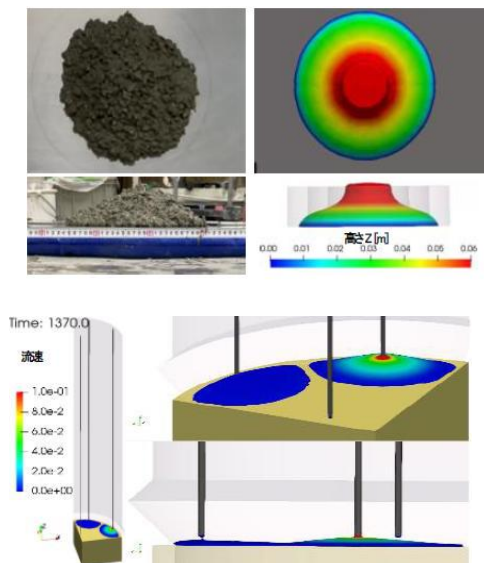


図 流動シミュレーション



地下水流入原因の特定

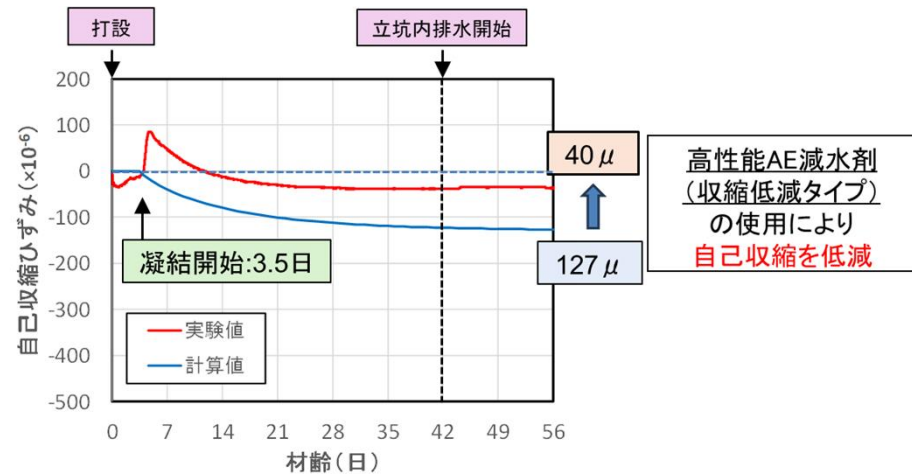
地下水流入要因の抽出

施工

②ー2 水中コンクリートの配合：収縮抑制

JSCE-D104に適合した収縮低減型高性能AE減水剤を配合し、収縮を極力抑制。

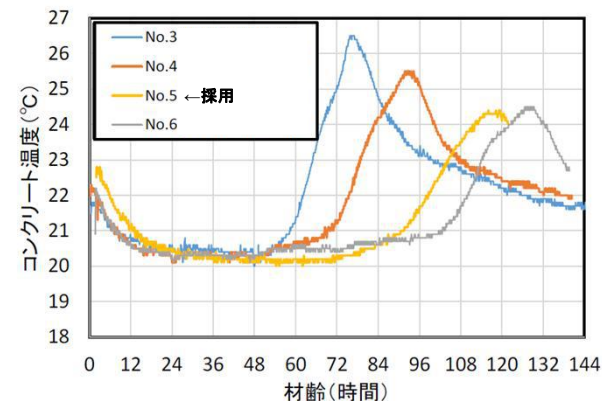
- ・自己収縮試験を事前に実施
- ・自己収縮ひずみは、材令56日で $40\mu (\times 10^{-6})$
- ・水中コンクリート端部に収縮が集中した場合の収缩量(最大値)
 $40\mu \times 28.0\text{m} \div 2 = 0.56\text{mm}$



②ー3 水中コンクリートの配合：打ち重ね部の一体化

施工上の制約から土曜日・日曜日を跨ぐ施工となることから、超遅延性減水剤の使用により、打ち重ね部を一体化。

- ・事前に室内試験を実施。採取試料の温度を計測し硬化開始時間を確認。
- ・60時間程度硬化しない配合



地下水流入原因の特定

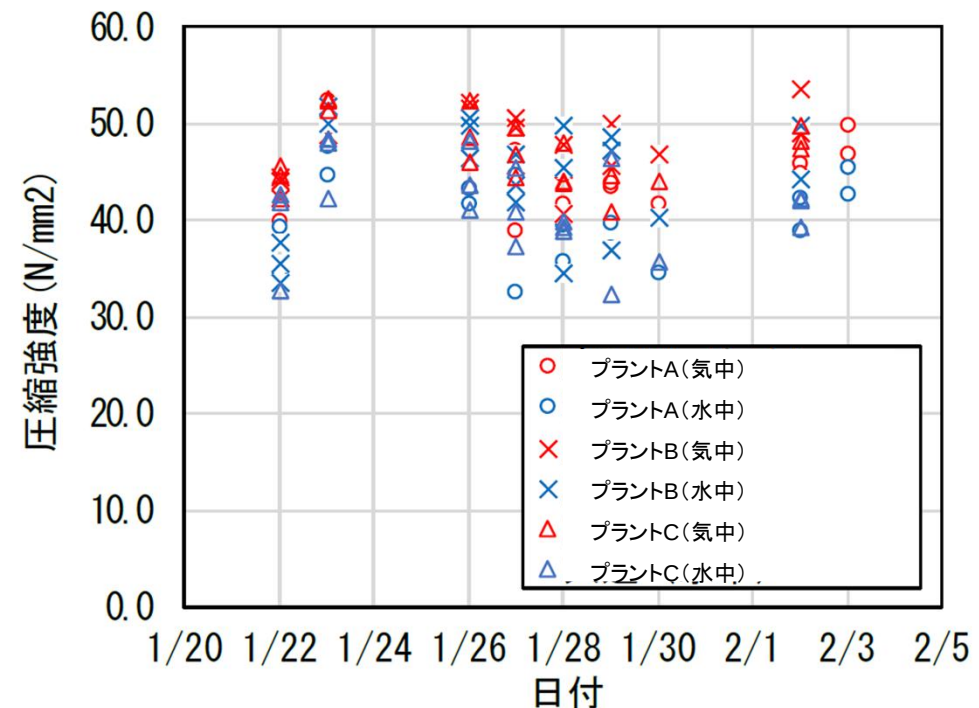
地下水流入要因の抽出

施工

② 水中コンクリートの配合

コンクリート品質規格(JSCE-F504)に従って製作された供試体の試験値が所定の強度を満足している。

- ・3つのプラントの水中コンクリートを採用
- ・水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)に基づき、100m³に一度、受入れ試験(圧縮強度、スランプフロー、空気量)を実施。すべての試験で規格値を満足
- ・混和剤の添加量および攪拌時間(180秒)の確認を各日の1台目で実施



地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

③ 水中コンクリートの打設

水中コンクリートの流動半径(7.5m)及び流動解析結果を踏まえ、投入孔のトレミー管を配置。

- ・トレミー管を10孔設置し、地上から水中コンクリートを打設
- ・投入孔への打設は、途中から自由落下からポンプ圧送に変更
- ・打設日数は9日

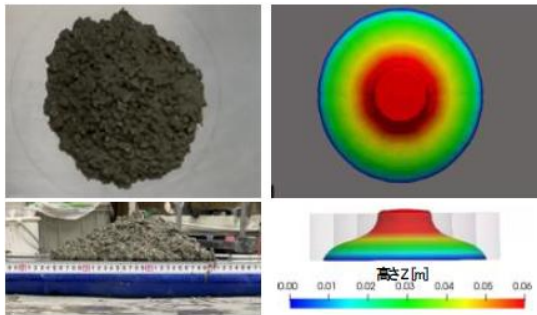


図.流動解析(スランプフローの再現)

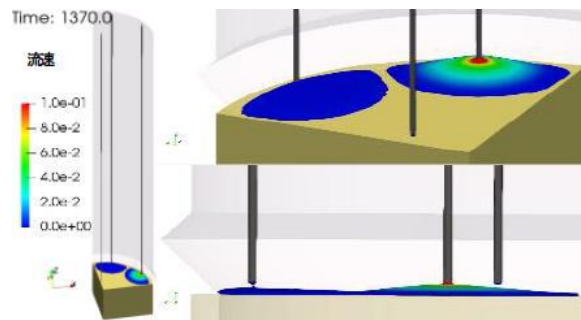


図.流動解析(流速分布)

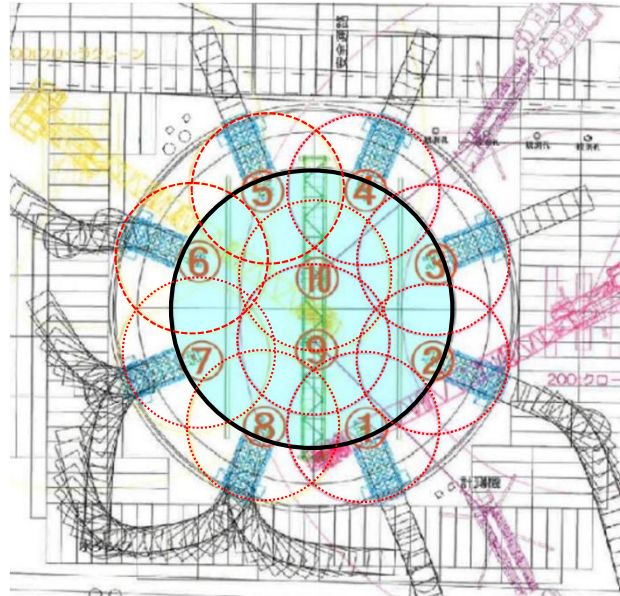


図.打設位置図

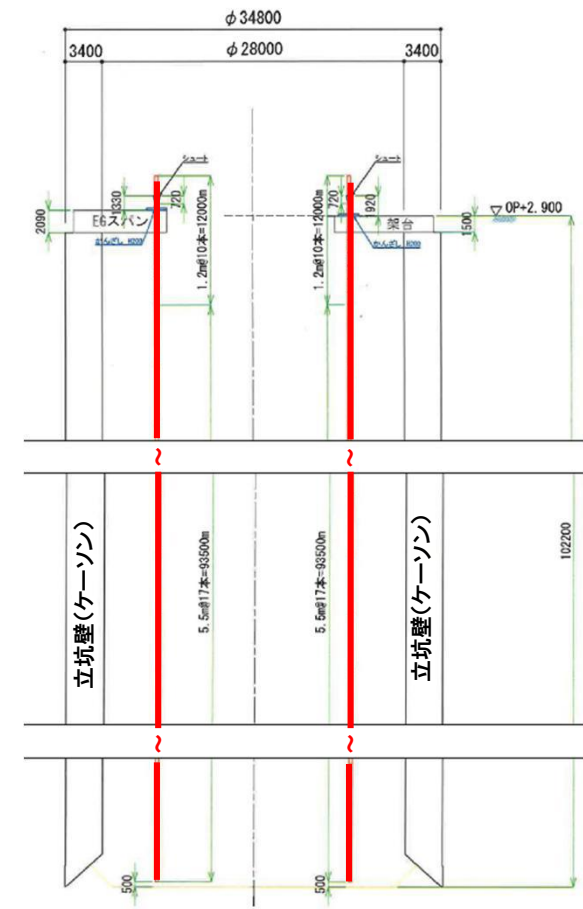


図.打設断面

地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

③ 水中コンクリートの打設
実施工の工程は以下のとおり。

	R7年11月	12月	R8年1月	2月	3月
立坑内土砂の除去 (水中土砂の沈殿除去含)	<u>~11/27</u> うち、11/17~27スライム排出				
コンクリート打設 (トレミー管から自由落下)		<u>12/4~1/9</u> ・水圧の影響でコンクリートが自由落下せず ・結果、打設が2日以上空くなど、コンクリートの一体化施工ができなかった時があった			
コンクリート打設 (ポンプ圧送でトレミー管へ)			<u>1/15~2/3</u> ・打設方法をポンプ圧送に変更		
立坑内の排水					<u>3/17~</u> 3/30 地下水流入確認

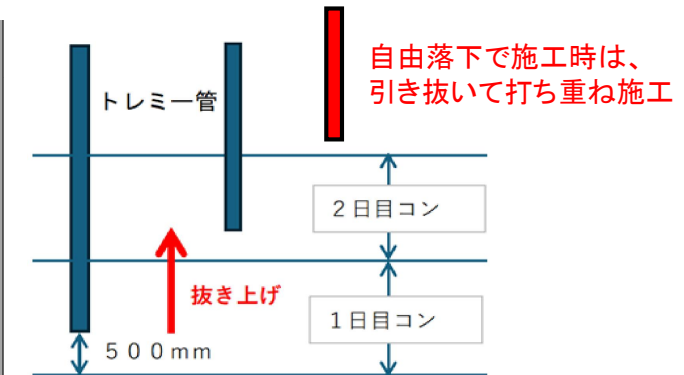
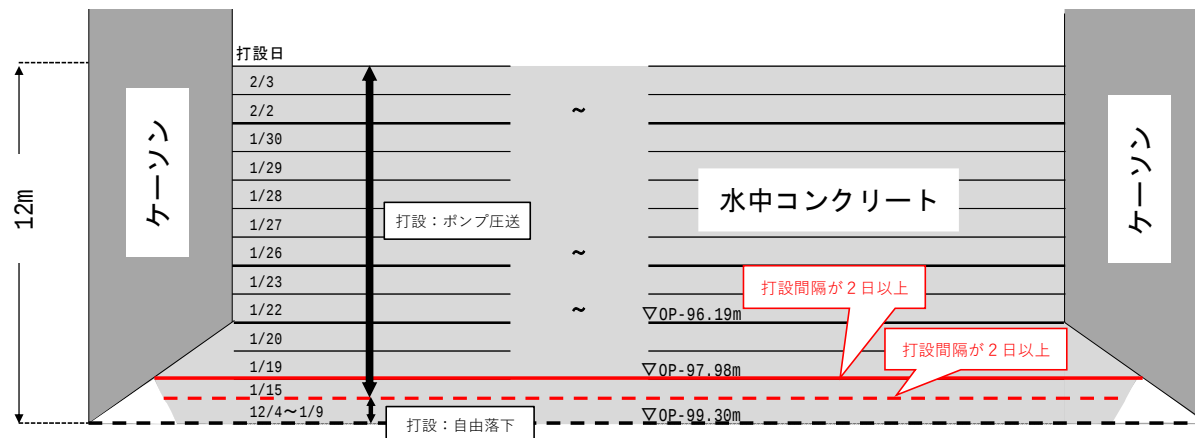
地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

施工

③ 水中コンクリートの打設

打設高さ管理は、レッドによる深度計測を実施。打設実績より打設間隔が2日以上空くことがあった。



	R7/12/4	～	18	～	25	～	R8/1/6	7	8	9
打設：自由落下 回数：計7日間	○	空き 13日間	○	空き 7日間	○	空き 11日間	○	○	○	○
	～	15	～	19	20	～	22	23	～	26
打設：ポンプ圧送 回数：計12日間	空き 5日間	○	空き 3日間	○	○	空き 1日間	○	○	空き 2日間	○
	27	28	29	30	～	2/2	3			
	○	○	○	○	空き 2日間	○	○			

図.水中コンクリートの打設実績

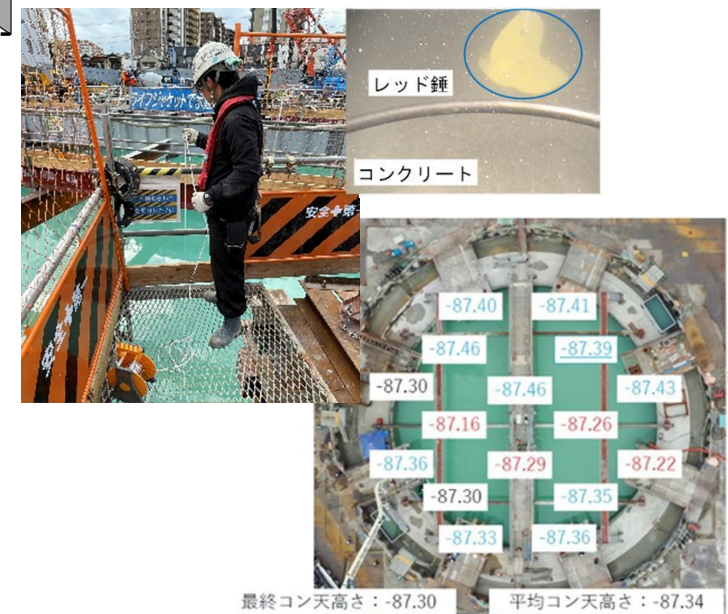


図.レッドによる深度計測

地下水流入原因の特定

地下水流入要因の抽出

まとめ

地質、設計、施工のそれぞれの観点について、想定される地下水流入要因を抽出。

地質	・土質調査による地質縦断図から、本立坑の幅における地質の傾斜を確認したが、ケーソン断面内で東西方向で約1.6m程度、南北方向で0.4mの傾斜を想定。 ・施工時の間隙水圧の測定データでは圧力の分布が確認されたものの、設計値を下回っていた。 ⇒地盤の傾斜があるものの実測の水圧との明確な関連は見られない。 また、水圧差があるものの設計値を下回っており、現在のデータからは地下水流入の要因になった可能性は低い。
設計	・道路橋示方書等の基準に則り設計を実施。曲げモーメント、せん断力、浮上りについて安全であることを確認。 ・ただし、大深度、大断面の適用については基準に記載がない。 ⇒大深度、大断面であることを踏まえた検討の追加が必要。
施工	・一部に堆積物が残っていることを確認。 ・水中コンクリートの打設間隔が2日以上空くことがあった。 ⇒コンクリートの一体化施工が不十分な状況があったため、地下水流入の要因になった可能性がある。

地下水流入原因の特定

今後の検討

抽出した地下水流入要因を確認するために必要な調査方法の検討を行う。

○今後、以下の内容を検討

	調査方法		
	調査手法	調査箇所	評価指標
設計			
施工			

調査手法等について次回審議会で提示