第6回熊本市液状化対策技術検討委員会 説明資料 【近見地区】

熊本市

平成30年10月15日

議事(1) 前回の確認事項

議事(2) 実証実験の結果

議事(3) 実証実験の事後解析

議事(4) 地下水位低下工法の適否

議事(5) その他の液状化対策について

議事(6) 今後の事業スケジュール

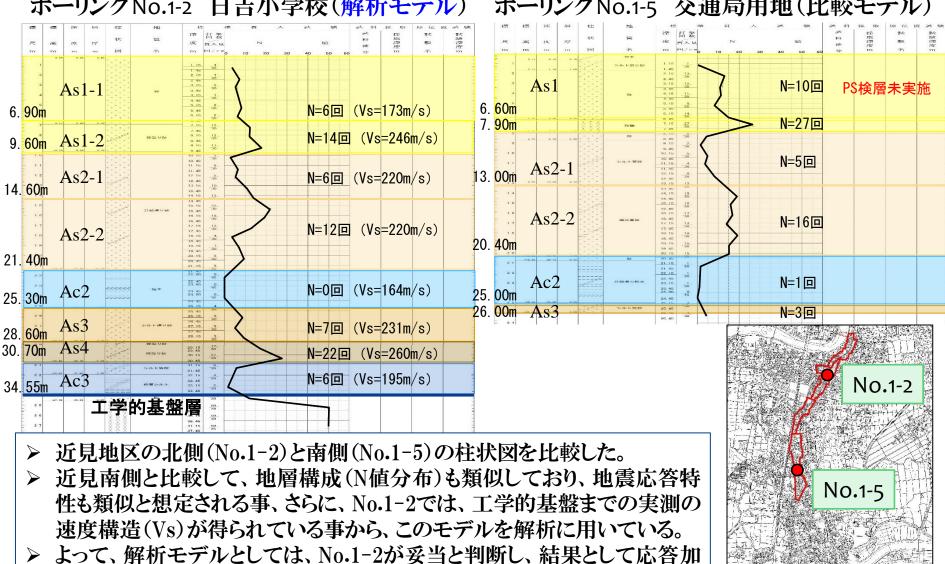
前回の確認事項

確認事項	確認結果
有効応力解析の 妥当性	前回報告した有効応力解析結果は、北側の日吉小学校(No.1-2)で実施したものである。南側のボーリング柱状図(No.1-5)と比較すると、GL-26m付近までの地層は、日吉小学校と類似しているため、地震時応答特性は類似していると推定される。しかし、工学的基盤面までの情報は不明である。このため、日吉小学校のデータを使用した。

【有効応力解析結果の妥当性】

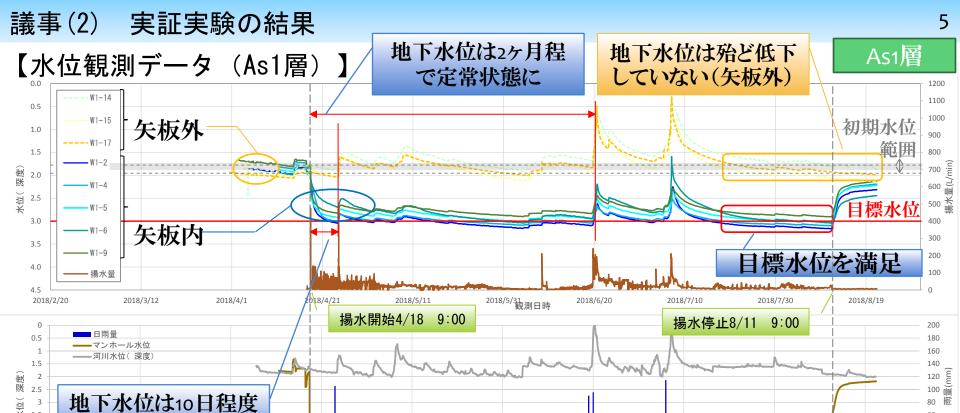
速度も同等程度となると考えられる。

ボーリングNo.1-2 日吉小学校(解析モデル) ボーリングNo.1-5 交通局用地(比較モデル)



実証実験結果のまとめ

4	観測項目	観測目的	観測結果
地下水位		地下水位の低下状況および鋼矢板の遮水効果	鋼矢板内側: As1層 △h≒1.4~1.7m(GL-2.9~3.2m) As2上層 △h≒0.9~1.1m(GL-2.4~2.6m) As2下層 △h≒0.1m(GL-1.6m) ※水位低下量 △hは初期水位をh₀≒1.5mとした場合 鋼矢板外側:地下水低下は殆ど認められない (遮水効果は高い)
	揚水量	揚水した水量・水質の 把握	平均揚水量21.6l/min(31.02m³/day)、 定常時は13.2l/min 飲料水としては、一般細菌、色度、濁度で基準を 逸脱した
	地表面	揚水に伴う地表面沈下 の平面的な分布	鋼矢板内側:1~26mm ※但し、井戸や排水管から離れるほど小さい 〃 外側:±3mm
沈下	地層別	揚水に伴う各地層の沈 下、圧密状況	沈下量の大きさの順序 As1(3~8mm) > Ac1(3~5mm) >As2(1~3mm) > Ac2(1~2mm) ※すべて鋼矢板内(周辺は0~4mm)
	模擬家屋 不同沈下	揚水に伴う模擬家屋の 圧密沈下	沈下量は1~17mm、傾斜角は <mark>最大0.9/1000</mark> ※初期沈下量を含む 井戸および排水管に近いほど大きい
	周辺地表面	近隣への影響の有無	変位はほとんど認められなかった



2018/5/31

観測日時

2018/6/20

●目標水位までの地下水位の低下

2018/3/12

で目標水位を満足

- ▶ 鋼矢板の内側では、概ね目標水位のGL-2.9~-3.2mを確保できた。
- ▶ 目標水位低下量 Δh ≒ 1.5mを確保できた。

2018/4/1

●鋼矢板での遮水性

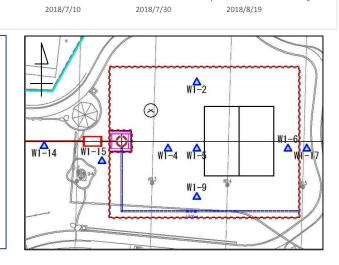
2018/2/20

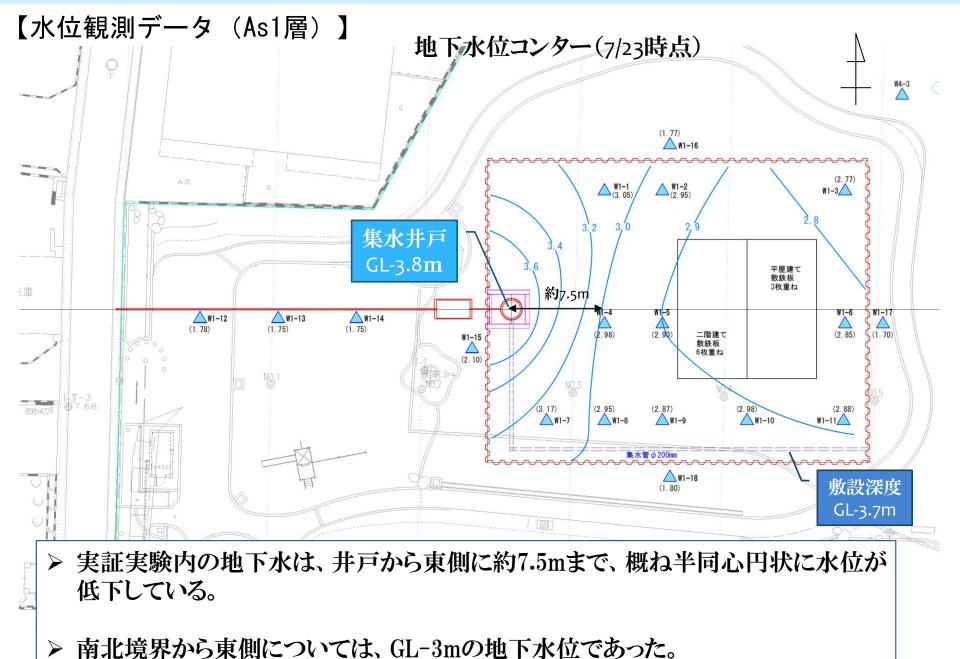
▶ 範囲外の地下水位はほとんど低下していなかった(最大地下水位低下量 Δh=0.18m)。

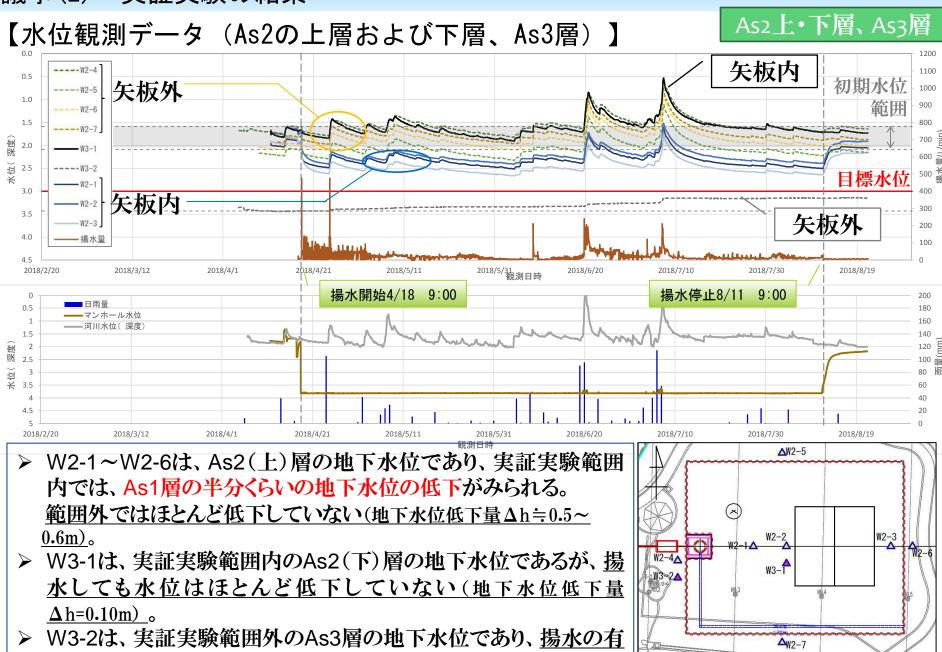
2018/4/21

2018/5/11

- ▶ 地下水位は降雨により上昇するが、約1か月で元に戻る。
- ➤ このことから、As1層を遮断するL=11mの短尺矢板を使用したが、遮水ができていることを確認した。



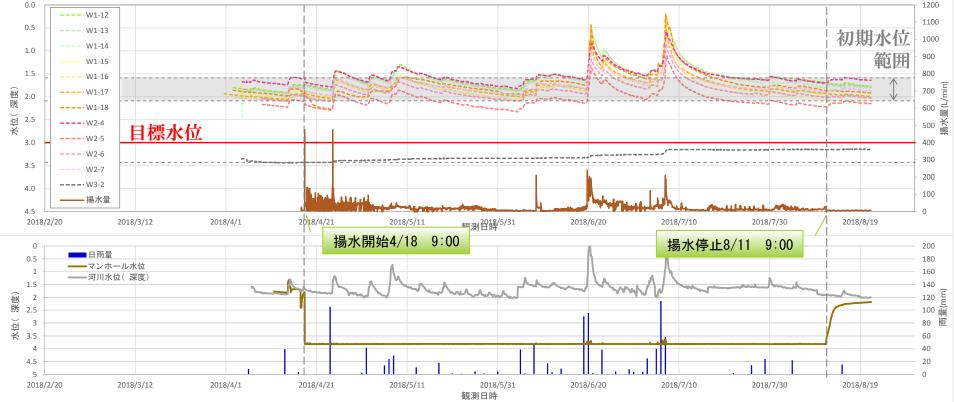




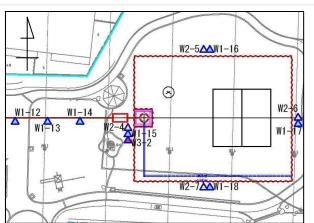
無にかかわらず、水位はほぼ一定の水位を維持している。

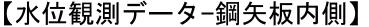
【水位観測データ-鋼矢板外側】

鋼矢板外側

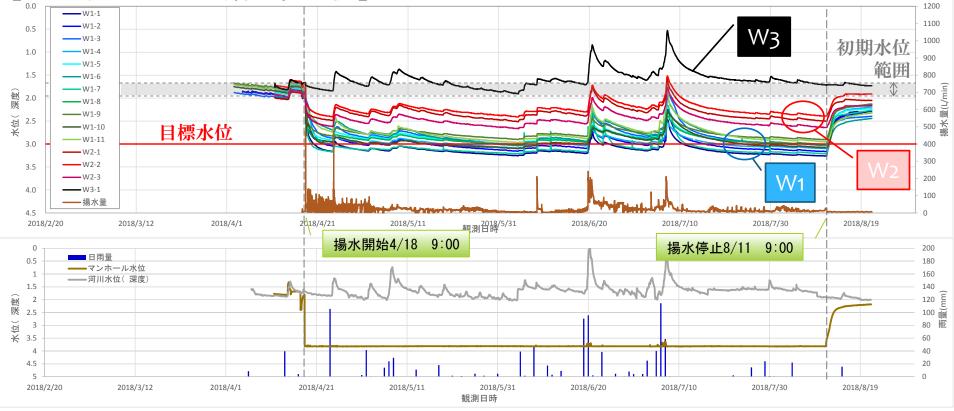


- ▶ W1-12~W1-18(As1層対象)と、W2-4~W2-7(As2(上)層対象)は、揚水しても水位は殆ど低下していない。 (最大地下水位低下量 Δh_{As1}=0.18m, Δh_{As2}=0.21m)
- ▶ W3-2層は、As3層対象の地下水位であるが、揚水や降雨などの影響を全く受けておらず、ほぼ一定の水位を維持している。

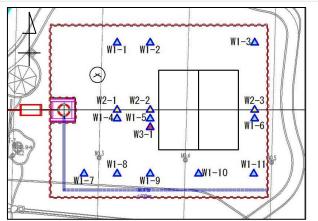


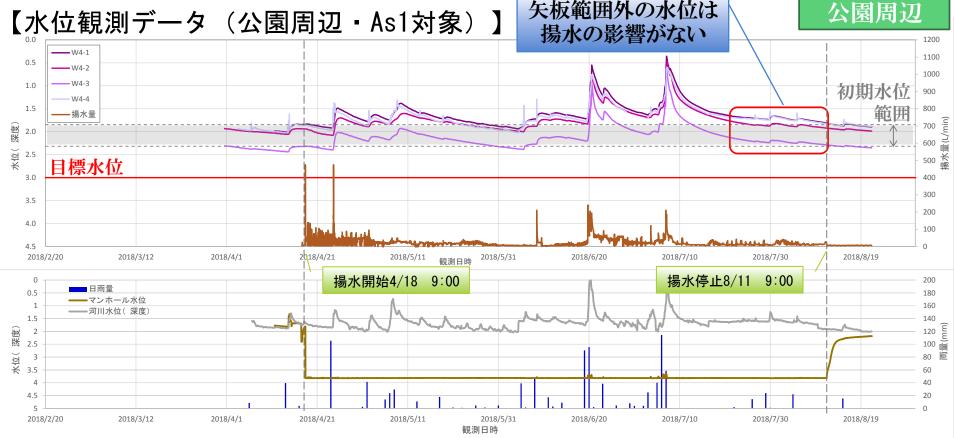


鋼矢板内側



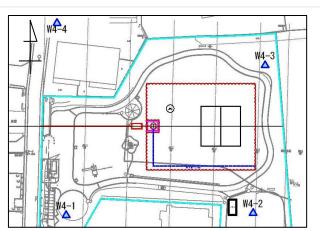
- ▶ W1-1~W1-11は、As1層の地下水位であるが、揚水に伴って 水位は低下しており、概ね目標水位に達している。地下水位は、 GL-2.9~-3.2mである(地下水位低下量Δh=1.4~1.7m)。
- W2-1~W2-3は、As2(上)層であるが、揚水に伴い水位は低下している。地下水位は、GL-2.4~2.6mである(地下水位低下量は⊿h≒0.9~1.1m)。
- W3-1は、As2(下)層であるが、<u>揚水しても水位は殆ど低下して</u>いない(地下水位低下量 Δ h=0.10m)。



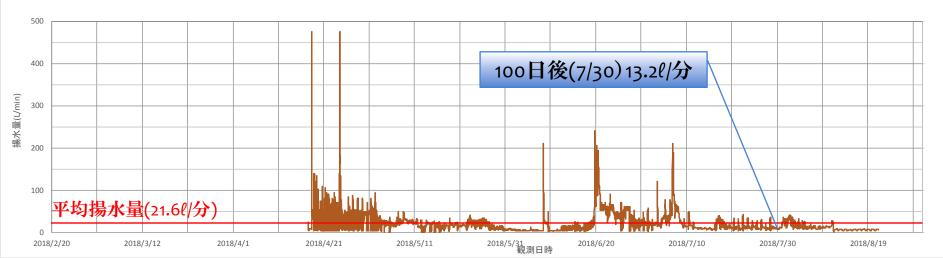


●周辺の地下水低下や井戸枯渇等の影響

- ▶ 井戸から約30m離れた公園外周のW4-1~W4-4は、揚水の影響を受けていない。
- ▶ W4-4は、周囲がアスファルトであるため、地表流水が集まりやすく、降雨の影響で水位が上昇する傾向にある。
- ▶ 井戸枯渇等の影響は生じていないと考えられる。
- ▶ 観測期間中の水位変化は、河川(白川)の水位とほぼ連動して変化している。



【揚水量】



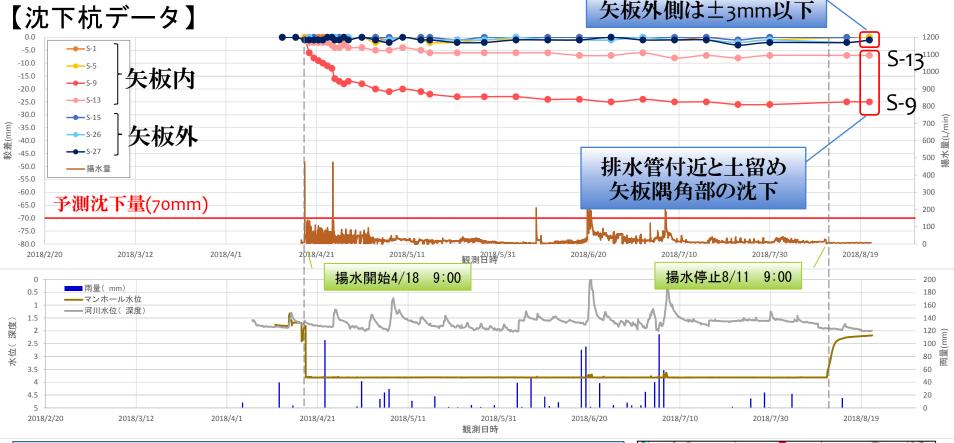
●揚水施設の規模・配置の検証

- ≫ 揚水ポンプの排水量は平均21.6 ℓ/分と十分な容量であった。
- ▶ 排水管による排水は実証実験の規模に対してある程度の効果が認められた。
- ▶ 100日経過後(7/30)の排水量は、13.20/分であった。
- ▶ 地下水の水質は、水道水質基準を超える項目は「一般細菌、色度、濁度」で、水道水質基準を逸脱した。

水質分析結果一覧表

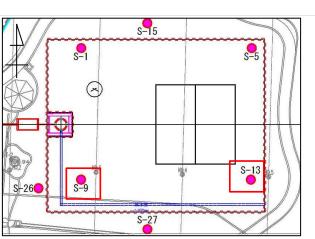
項目	試験結果	単位	水質基準				
一般細菌	180	個/mL	100個/mL以下				
大腸菌	不検出		検出されないこと				
亜硝酸態窒素	0.006	mg/L	0.04mg/L 以下				
硝酸態窒素及び 亜硝酸態窒素	0. 1	mg/L	10mg/L以下				
塩化物イオン	26	mg/L	200mg/L 以下				
有機物(全有機 炭素(TOC)の量)	1.7	mg/L	3mg/L以下				
pH 値	7. 1 (22. 7°C)		5.8以上8.6以下				
味	分析不能		異常なし				
臭気	異常なし		異常なし				
色度	26	度	5度以下				
濁度	59	度	2度以下				

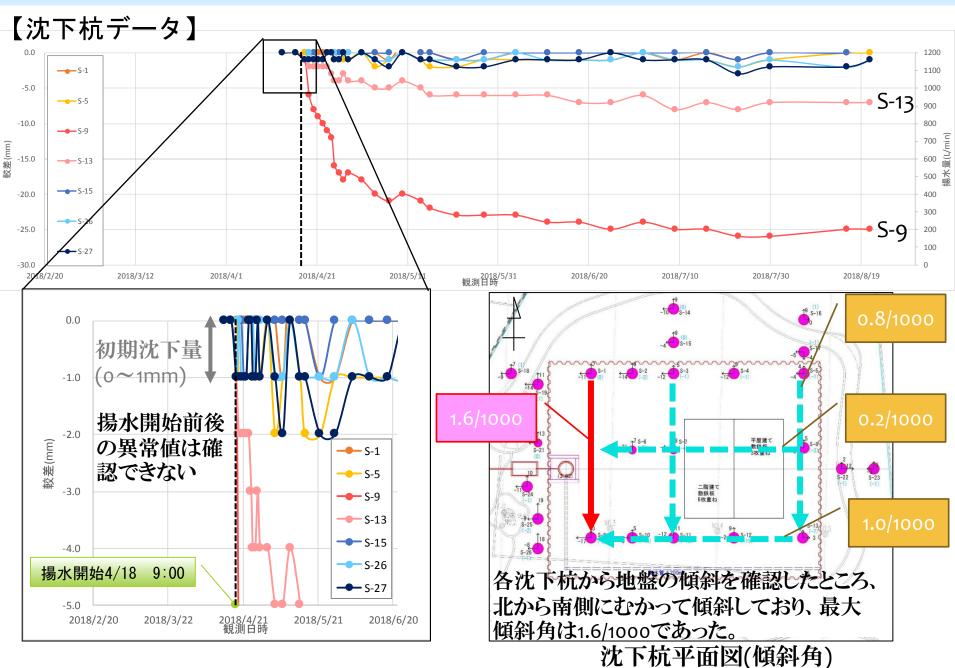
※赤字は水質基準を上回るもの

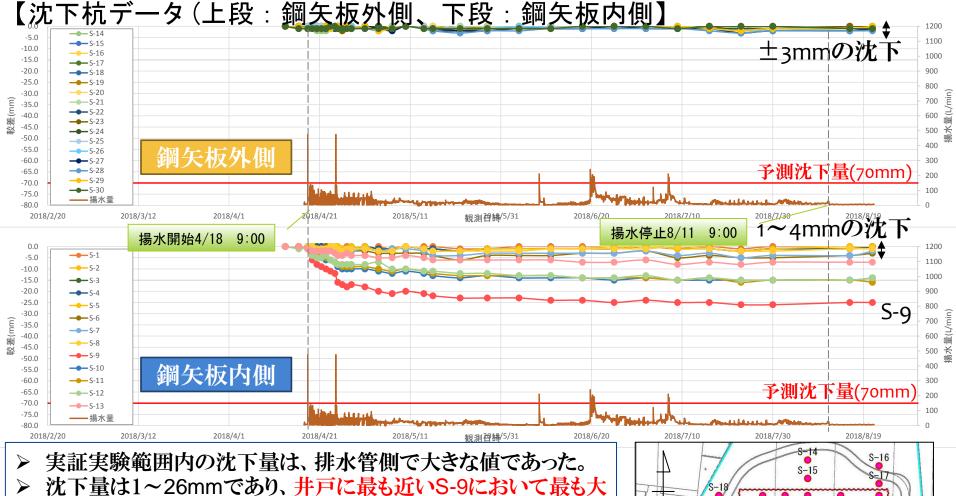


●鋼矢板内側の地盤の沈下

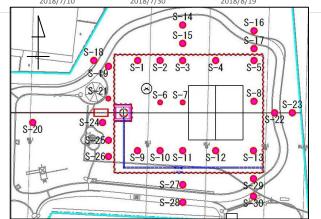
- ▶ 遮水矢板の内側では、1~26mm(初期沈下量を含む)と地盤沈下量は小さく、傾斜角は最大1.6/1000であった。
- ➤ なお、沈下が生じた箇所は排水管付近と矢板隅角部に限られていた。また、外側でも±3mm以下であり、殆ど沈下は生じなかった。

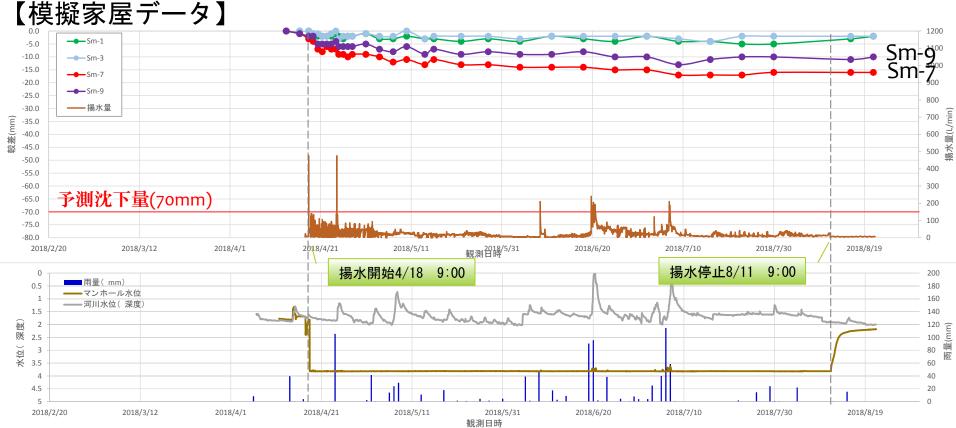






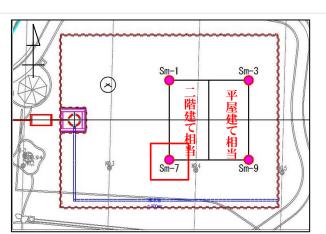
- ▶ <u>沈下量は1~26mm</u>であり、井戸に最も近いS-9において最も大きな沈下量であった。
- ▶ 実証実験範囲内で、S-9~S-13を除く地点の沈下量は1~ 4mm程度であった。
- > 実証実験範囲外の沈下量は、ほとんど沈下が生じておらず、 ±3mm程度であった(誤差の範囲内)。

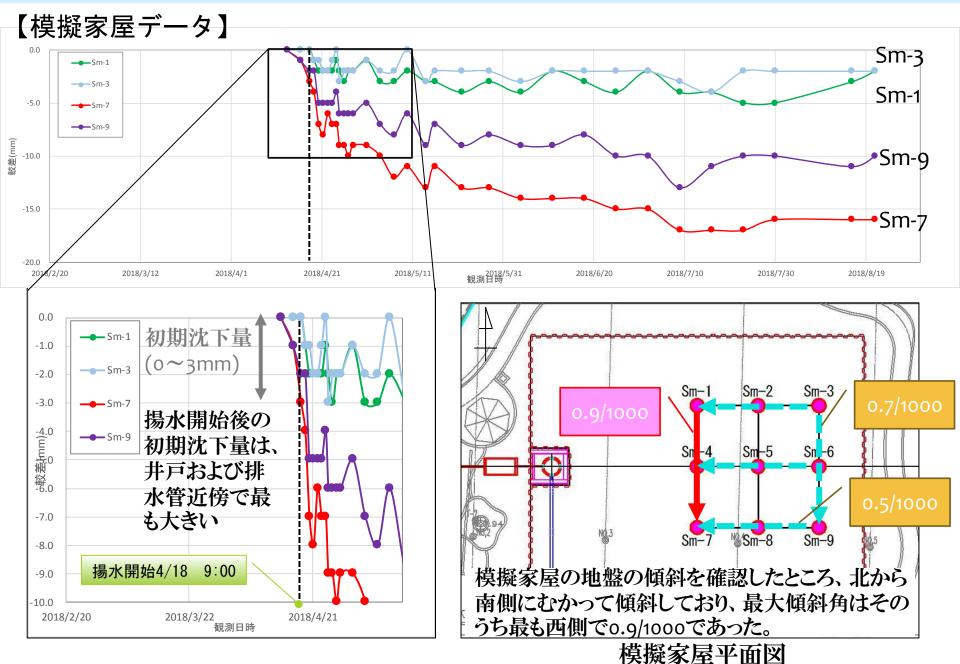


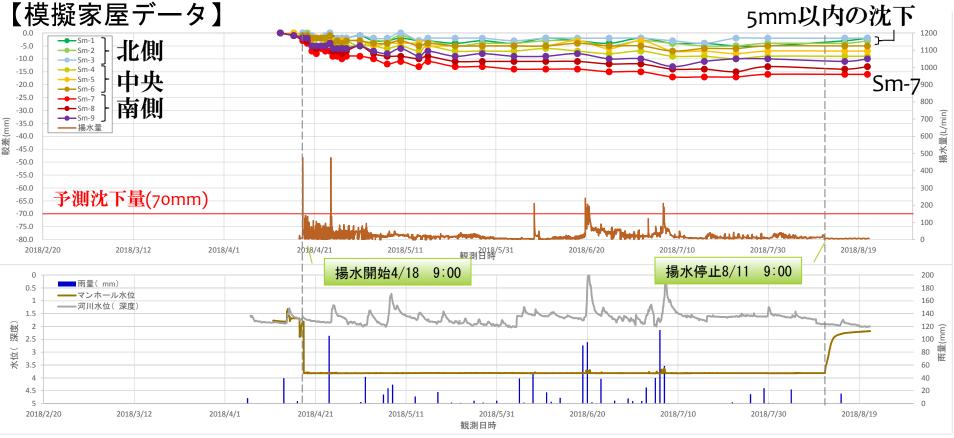


●模擬家屋の沈下

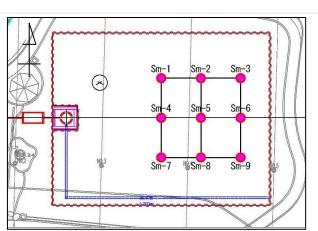
- ▶ 1~17mm(初期沈下量を含む)と地盤沈下量は小さかった。
- また、載荷重の影響も大きくはなかった。
- 模擬家屋は、北から南に向かって傾斜しており、その最大傾斜 角は最大0.9/1000(西縁部)であった。

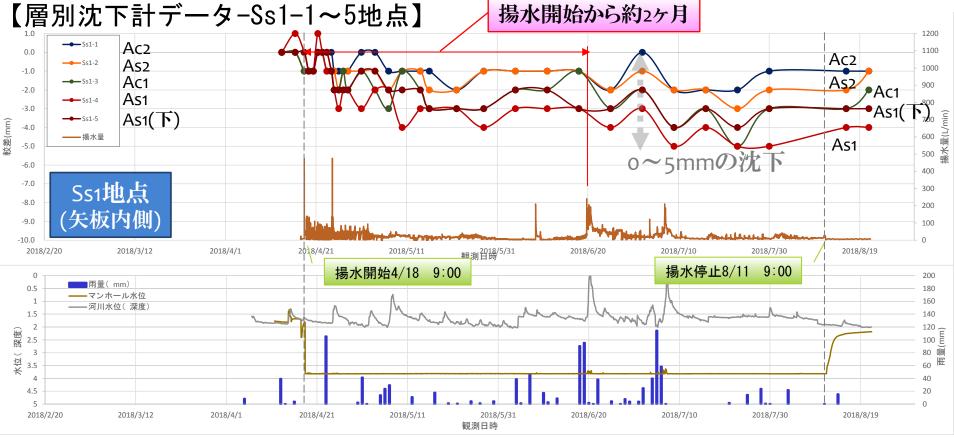




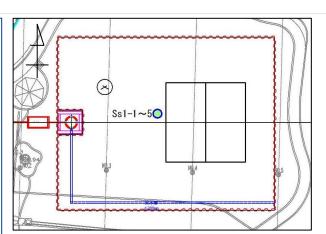


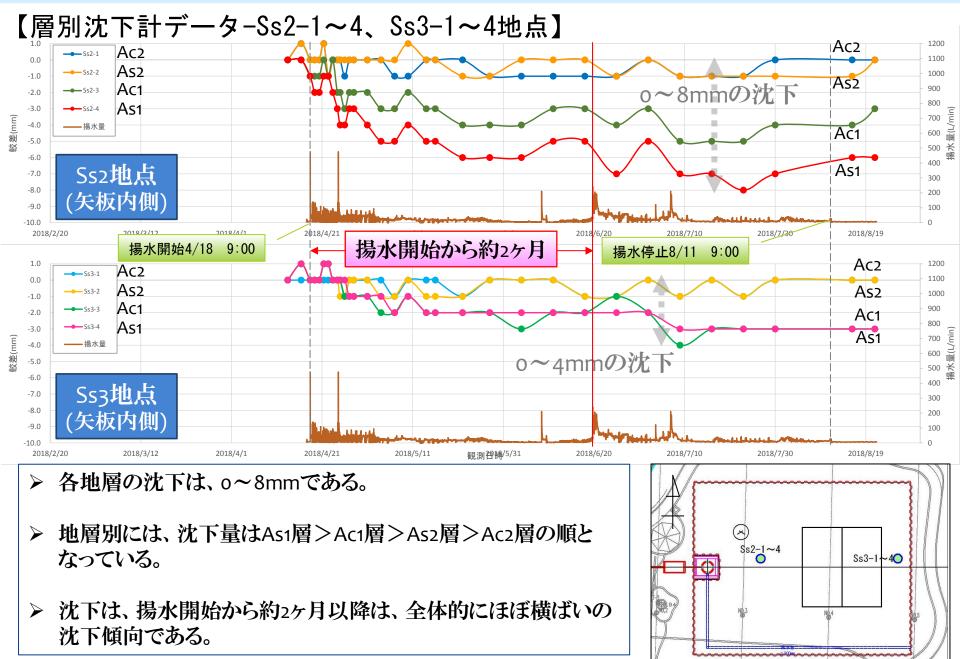
- ▶ 模擬家屋の沈下は、1~17mmの範囲である。
- ▶ 最も沈下量が少ないのは、北側のSm-1~Sm-3で、沈下量は5 mm以内である。
- ➤ 最も沈下したのは、排水管側で井戸に近いSm-7であり、沈下量は17mmとなっている。

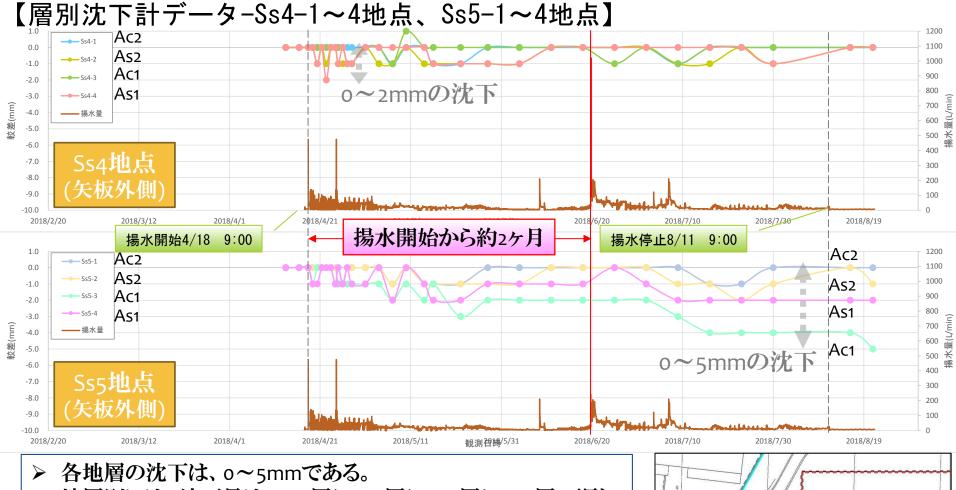




- ➤ 各地層の沈下は、o~5mmである。
- ▶ 地層別には、沈下量は、As1層>Ac1層>As2層>Ac2層となっている。
- 沈下は、揚水開始から約2ヶ月以降は全体的にほぼ横ばいの沈下傾向である。







OSs4-1~4

- ▶ 地層別には、沈下量は、Ac1層>AS1層>As2層>Ac2層の順と なっている。
- ▶ 沈下は、揚水開始から約2ヶ月以降は、全体的にほぼ横ばい~ やや沈下傾向にある。
- ➤ Ss4-1~5地点は遮水矢板から離れた地点であり、沈下はほとんど認められない。

第3回委員会での確認事項

確認事項	確認結果
目標水位までの 地下水位の低下	遮水矢板の内側では、概ね目標水位のGL-2.9~3.2m(目標水位低下量Δh≒1.5m)が確保できた。
鋼矢板での遮水性	As1層を遮断するL=11mの短尺矢板を使用したが、遮水が出来ており、範囲外の地下水位は殆ど低下しなかった。
鋼矢板内側の 地盤や模擬家屋等の 沈下	遮水矢板の内側では、沈下杭は1~26mm(傾斜角は最大1.6/1000)、 模擬家屋は1~17mm(傾斜角は最大0.9/1000)と地盤沈下量は小さ かった(いずれも初期沈下量を含む)。 なお、 <u>沈下が生じた箇所は排水管付近であった(土留め矢板隅角部が 最も大きい)</u> 。また、遮水矢板の外側でも±3mm以下であり、殆ど沈 下は生じなかった。
揚水施設の規模・配置 の検証	揚水ポンプの排水量は平均21.6ℓ/分と十分な容量であった。また、 排水管による排水は実証実験の規模に対してある程度の効果が 認められた。なお、100日経過時の揚水量は、13.2ℓ/分であった。

第3回委員会での確認事項

確認事項	確認結果
揚水した地下水の排 水処理 (水量・水質)	揚水した地下水の排水処理に関して <u>特段の問題は発生しなかっ</u> た。なお、地下水の水質は、「一般細菌、色度、濁度」で、水道水 質基準を逸脱した。
周辺の地盤沈下や井 戸枯渇等の影響	周辺地盤の <u>沈下変状は小さく、井戸枯渇等の障害は見受けられなかった</u> 。なお、W4-1~W4-4での観測結果から <mark>範囲外地下水位に揚水の影響はなかった</mark> 。
設計定数の妥当性(透水係数、有効間隙率、圧 密定数等) 【後述する】	当初設定した設計定数と逆算で求めた定数との間に乖離があり、 地盤の透水性と圧縮性については、1/10以下の値が得られた。一 方、As1層の有効間隙率は当初設定通りであった。
事前解析結果の 妥当性等 【後述する】	事前解析は上述のように実験結果と相違していたため妥当ではなかった。 実施工については、この結果を反映させる必要がある。

【実証実験結果に基づく事後解析】

- ・事後解析のフローを右図に示す。
- ①降雨量と地下水位(有効間隙率等)
- ②矢板の透水係数
- ③水収支の計算
- ④透水係数と沈下定数の逆算
- ⑤事後解析(地下水位、沈下量)

①降雨量と地下水位(有効間隙率 β)

<右下の簡易モデルにより有効間隙率を検討>

遮水矢板外側の地下水流が殆どない箇所の

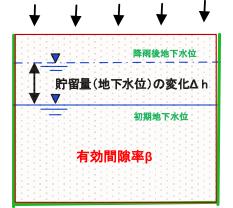
水収支式は下式のとおり。

 $P = \Delta S = \beta \Delta H$ ここに、P:降水量

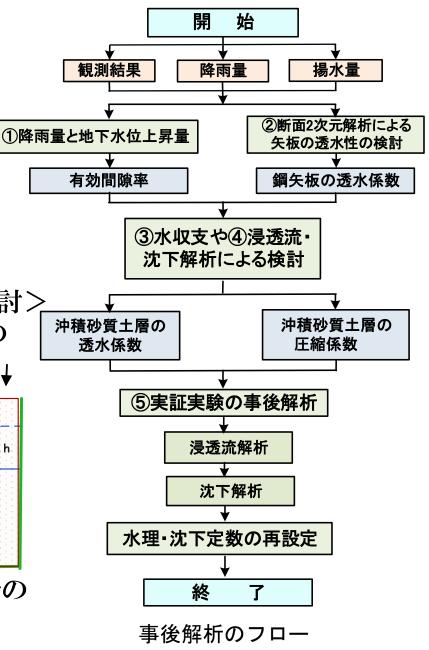
 ΔS :貯留量変化、

ΔH:地下水位の変化

 β :有効間隙率



降雨量Pと地下水位変化量 Δ Hを図化し、その 勾配から有効間隙率 β が求められる。



議事(3) 実証実験の事後解析

遮水矢板範囲外(殆ど水平流がない)のAs1 層における一連の降雨量とその時の地下水位上昇量との関係を右図に示す。

この結果より、As1層(浅層不圧地下水)の 有効間隙率は、 $\beta = 0.20$ が得られた。 (当初設定値と同じ)

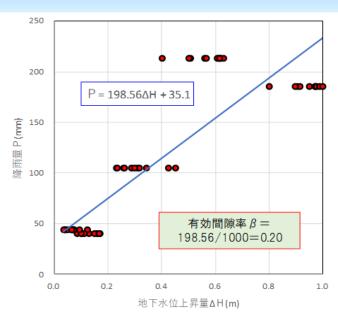
※As2層は深層被圧層のため不使用

②矢板の透水係数

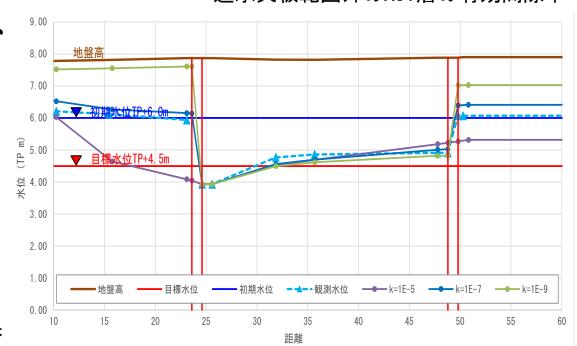
 $(As1 | R=1.0 \times 10^{-5} \text{m/sec As2} | R=1.1 \times 10^{-6} \text{m/sec})$

断面二次元浸透流解析により、 遮水矢板の透水係数を変化 k=1.0×10⁻⁹m/sec →降雨のため範囲外で著しく水 位が上昇。 k=1.0×10⁻⁵m/sec →反対に水位は低下。 これより、k=1.0×10⁻⁷m/sec が適切と判断。

矢板の透水性の検討結果



遮水矢板範囲外のAs1層の有効間隙率



③水収支の計算結果

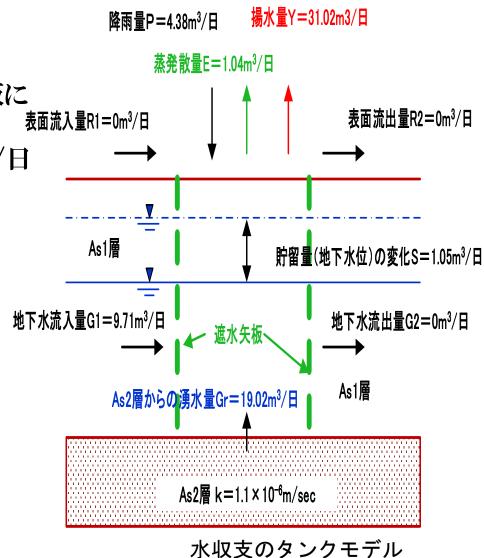
前述までの水収支の検討結果は以下のとおり。

- •降水量 P=4.38m³/日
- •蒸発散量 E=1.04 m³/日
- ·揚水量 Y=31.02 m³/日
- ・地表水の流出入量 R1、R2は矢板により遮水しているため、0 m³/日
- ・遮水矢板の通水量 G1=9.71 m³/日
- ・貯留量の変化 ΔS=1.05 m³/日

従って、

P-E+G1+Gr-Y=
$$\Delta$$
S
=Gr-17.97=1.05 m³/ \Box
∴Gr=19.02 m³/ \Box

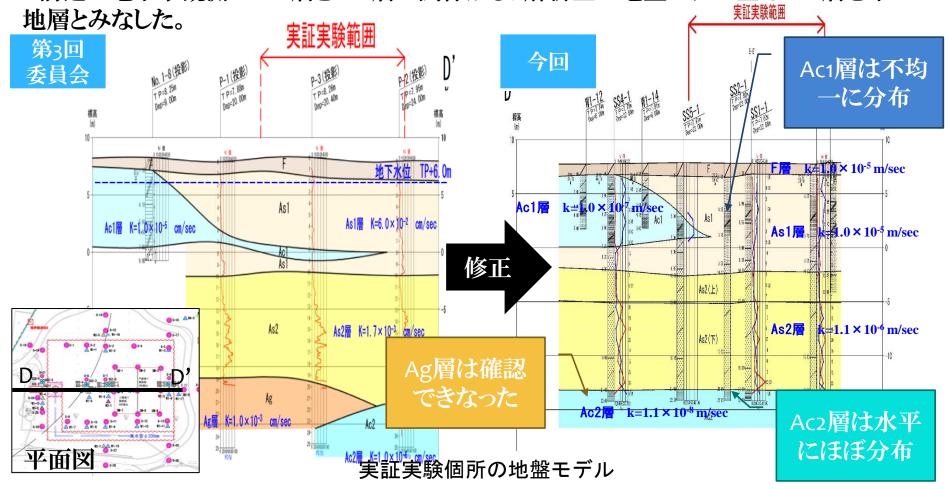
なお、As2層の透水係数は k=1.1×10⁻⁶m/secが得られ、 事前解析時のk=1.74×10⁻⁵m/sec と比べ、約16分の1となる。



議事(3) 実証実験の事後解析

- ④透水係数と沈下定数の逆算
- 1)浸透流解析(透水係数、揚水量)
- (1)地盤モデル

実証実験時の新規ボーリングにより、第3回委員会時に報告した地質断面図を修正した。なお、Ac1層は主に遮水矢板外に分布しており、実験範囲では、不均一に分布している。前述の地下水観測のAs1層とAs2層の関係から、解析上の地盤モデル上はAs1層を単一



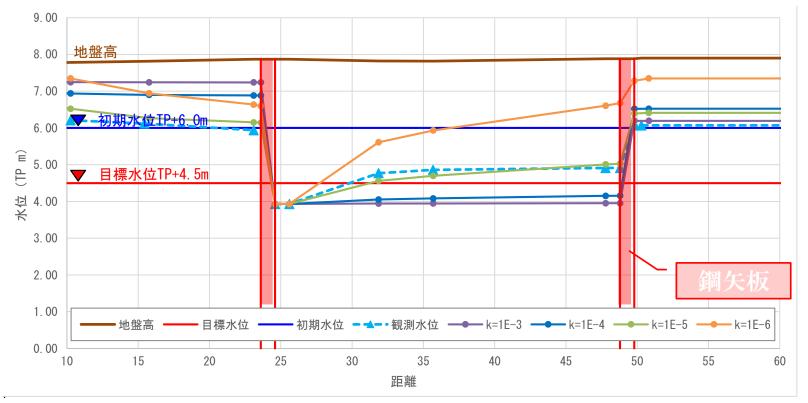
(2)逆解析結果(断面二次元浸透流解析)

As1層の透水係数を、以下の4ケースとし、解析水位と実測水位を比較した。

• $k = 1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-6} \text{m/sec}$

【解析結果は、103日後(2018/7/30時点)の水位を再現】

透水係数 $k=1.0\times10^{-5}$ m/secとした際の解析水位が実測水位と合致 \Rightarrow As1層の透水係数は 1.0×10^{-5} m/sec



浸透流解析結果図(断面二次元)

議事(3) 実証実験の事後解析

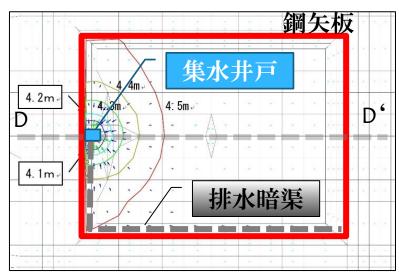
(3)見直した設定定数

水収支の検討結果および浸透流解析結果より、赤字に示す設定定数を 再設定した。

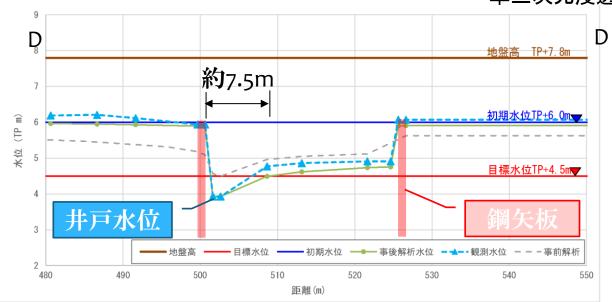
見直した設定定数(水理定数)

		W E 0												単位体積重量		N	N値		水理定数			
地層名	地層記号	γt (k	N/m³)		WIE -		透水係数 K(m/sec)		有効間隙率 β													
		事前解析	追加データ	事前解析	追加データ	事前解析	事後解析	事前解析	事後解析													
	As1	17. 0	18. 0	9. 1	5. 0	6.0×10^{-4}	1.0×10^{-5}	0. 20	同左													
砂質土	As2(上)	18. 5	同左	9. 7	1. 5	1.7×10 ⁻⁵	1. 1 × 10 ⁻⁶	0. 20	同左													
	As2(下)	未設定	问在	未設定	19. 2	1. / × 10	1.1 × 10	0. 20	旧在													
粘性土	Ac1	14. 0	同左	1. 0	1. 5	1.0×10^{-8}	同左	0. 10	同左													
和工工	Ac2	15. 0	同左	0. 0	同左	1.0×10^{-8}	同左	0. 10	同左													
鋼纟	矢板	-	-	_	_	※壁厚1m当たり 1.0×10 ⁻⁷	同左	0. 10	同左													
排水	(暗渠	_	_	_	_	1.0×10^{-3}	同左	0. 20	同左													

- ⑤事後解析
- 1) 準三次元浸透流解析
- (1) 遮水矢板内の水位低下 実証実験地内の水位低下状況は 以下のとおり。
 - ⇒井戸から東側に向かって約7.5m まで目標水位低下量(=1.5m)を 満足
 - ⇒事後解析水位はほぼ観測水位 を再現できている



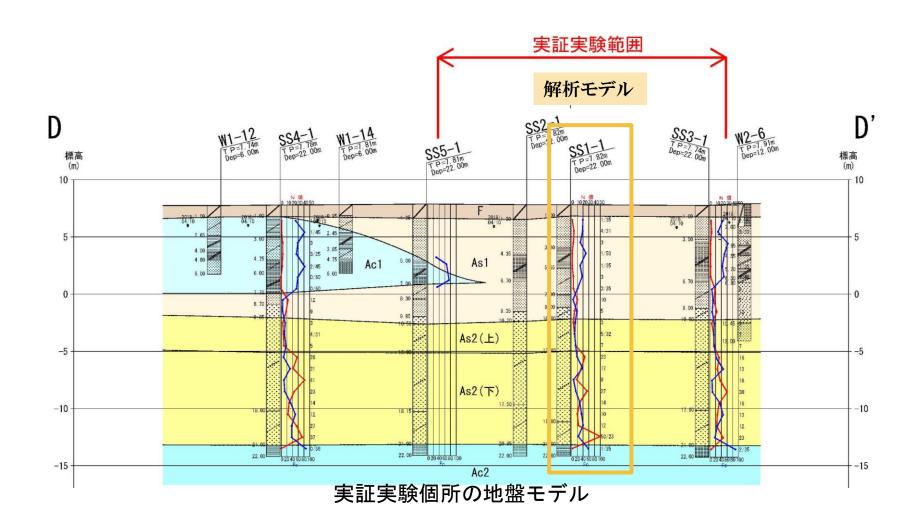
準三次元浸透流解析結果 (実証実験個所)



同定後の地下水位

- 2) 沈下解析(間隙比~応力関係)
- (1)地盤モデル

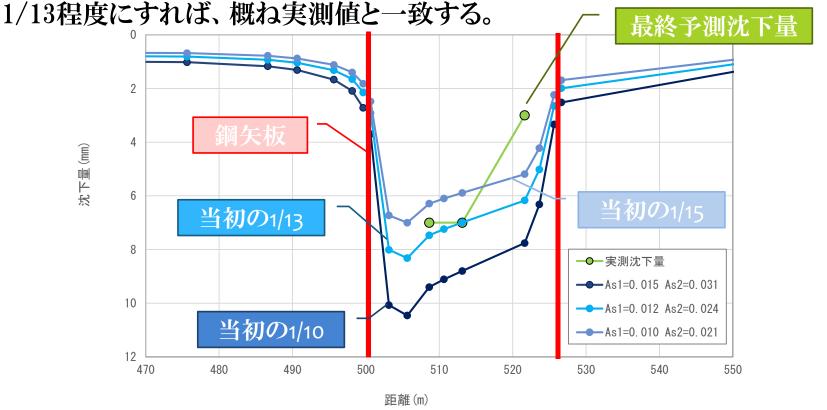
浸透流解析時と同じく修正後の地盤モデルを用いた。



- (2)圧縮に関する定数の見直し
 - 当初の圧縮に関する定数は以下のとおりである(Cc法)。
 - ⇒As1層 圧縮に関する定数:Cc=0.153、As2層:Cc=0.311

この圧縮に関する定数を変化させながら、実測沈下量と一致するよう繰り返し計算を実施

その結果を下図に示すが、当該地に分布する砂質土は、圧縮に関する定数を



沈下解析結果(地下水位および圧密定数を見直した場合)

(3)見直した設定定数

圧密沈下解析結果より、赤字に示す設定定数を再設定した。 前述の水理定数と合わせて、近見地区全体の解析に利用していく。

見直した設定定数(圧密圧縮定数)

			ار											
					ul 모든 모	ul 모든 모		単位体和		N値 .		圧密定数		
地層名	地層記号	γt (k	(N/m³)		-	間隙比~圧力関係		圧密係数						
		事前解析	追加データ	事前解析	追加データ	事前解析	事後解析	Cv(cm ² /日)						
	As1	17. 0	18. 0	9. 1	5. 0	DeBeerの式 e-logP法	Cc法 Cc=0.012	2500						
砂質土	As2(上)	18. 5	· 同左	9. 7	1.5	DeBeerの式 e-logP法	Cc法 Cc=0. 024	2500						
	As2(下)	未設定	问在	未設定	19. 2									
粘性土	Ac1	14. 0	同左	1.0	1. 5	土質試験結果	同左	1200						
和江土	Ac2	15. 0	同左	0.0	同左	土質試験結果	同左	90						
鋼矢板		I	-	-	-	非圧密・圧縮層	同左	非圧密・圧縮層						
排水	暗渠	_	-	-	-	非圧密・圧縮層 同左 非圧密・		非圧密・圧縮層						

注)As1層よりAs2層の圧縮指数Ccが大きい理由として、As1層に比べAS2層は細粒分含有率Fcが大きいためである。

【排水管およびその周辺の変状状況】





【矢板引抜後の地盤状況】







- ●土留め矢板設置時に地盤変位が生じる恐れがある
- > 矢板引抜時に矢板周辺地盤を緩めたことによる地盤変位が多 少は生じた恐れがある

当初の課題	実際	適否
地下水位を目標まで低下 できない恐れ	揚水に伴い地下水位は速やかに低下し、概ね目標水 位低下量(Δh=1.5m)まで低下した	適している
有害な地盤沈下が生じる 恐れ	遮水矢板の内側: 地盤沈下は想定の1~26mmであった (初期沈下量を含む) 〃 外側: 有害な地盤沈下は生じていない	適している
短尺の遮水矢板で十分に 遮水できない恐れ	As1層を遮水する <mark>短尺矢板で十分に遮水</mark> ができた (止水剤は未使用)	適している
細粒分が多い砂質土(As1 層)で排水不良の恐れ	細粒分が多いことによる排水不良は認められなかった	適している
各地層の設計定数が不明	As1層、As2(上)層、As2(下)層の <mark>透水特性や圧密特性</mark> はほぼ把握できた	適している ※Ac1層以外
地下水位低下時間が長期 間におよぶ恐れ	揚水開始後、約10日ほどで大きく地下水は低下し、約2 か月後(5月末)には、ほぼ定常状態となる	適している
排水管の施工性不良によ る地盤変位が生じる恐れ	排水管付近で局所的に大きな <mark>地盤変位が生じた箇所があった</mark> (地表面には一部陥没も見られ、排水管内に 異常堆砂もあった)	開削による 埋設は問題 が多い
土留め矢板引き抜き時に 地盤変位が生じる恐れ	土留め矢板に近接するほど地表面沈下量が大きい (近接していない地点に比べ1~2cmほど多い)	要検討

⇒地下水位低下工法全体の施工性・遮水効果・周辺影響は課 題が少ない。但し、開削による排水管埋設は要検討である。

- ①一般的な液状化対策工法
 - 1-1案 地下水位低下工法(排水管方式、井戸方式)・・・適用性は高い
 - 1-2案 格子状地中壁工法

工法名	1-2案 格子状地中壁工法
工法の原理	・地中に柱列状改良壁を格子状に配置し、液状化地盤を囲い込むことで、地盤のせん断変形を抑止し、液状化を防止する。
工法例	機械撹拌式
概要図	無空良地盤
長所	・改良形状は、比較的自由に設定できる。
短所	・改良形状、強度などの品質を管理することが困難である。 ・プラントが必要で仮設が大規模となる。 ・格子間隔が20mを上回るような住宅密集地では施工が困難
総合評価	・液状化対象層が厚いため、経済性で大きく劣る・また、改良体の品質管理が困難なため、対策効果が確認することが困難・本地区全体への適用性は低いが、対象範囲が小さい場合はその限りでない。

⇒格子状地中壁工法の対策効果 · 適用可能範囲について検討

【格子状地中壁工法の検討】

- ・対策効果の評価は、液状化による地表変位量(Dcy値5cm以内)とした。
- ・検討には、簡易評価シート(国土交通省)を用いた(初期検討)。 ※但し、地震動はM9.0 200gal
- ・地盤モデルは日吉小解析モデルより以下のとおり設定した。
 - ①液状化層厚 H=15m
 - ②平均N值 N=5回
 - ③細粒分含有率 Fc=10%
 - ④地下水位 GL-1m
- ・改良間隔は以下のとおり設定した。 幅6~40m、奥行10~30mを任意に 組み合わせた計18ケース (地中壁強度は標準の1.5N/mm²)

ボーリングNo1-2:日吉小学校(液状化地点) N=6回、Fc=4.8% As 1-1 6. 90m N=14回、Fc=3.7% As1-2 9.60m N=6回、Fc=12.7% 14.60m N=12回、Fc=31.0% 21.40m 25.30m As4 30.70m Ac3 34.55m 工学的基盤層

【第5回委員会資料より抜粋・加筆】⇒

議事(5) その他の液状化対策工法について

【格子状地中壁工法の検討結果】

- ・検討の結果は右表に示すとおりである。 Dcy値が5cm以内となる対策範囲は 以下のとおり。
- ・N値5回、液状化層厚15mの場合幅×奥行が10m×10m以内
- ⇒近見地区には適用が難しい。

沈下 量(cm)	液状化の程度
0	なし
0 - 5	軽微
5 - 10	小
10 - 20	中
20 - 40	大
40 -	甚大

	N 値	5回
	液状化層厚	15 (m)
無対策	D cy(cm)	35.4
	6×10	3.1
	8×10	3.5
	10×10	4.5
	12×10	5.6
	14×10	6.1
	16×10	8.5
対策後	20×10	23.0
	6×15	6.0
改良間隔	8 × 15	5.9
(幅×奥行)	10×15	6.4
(m ²)	12×15	7.5
, ,	14×15	8.0
	16×15	9.8
	20 × 15	14.2
	15×30	22.7
	20×30	20.8
	30×30	26.0
	40 × 30	30.4

	— ba				
	平成29年度		平成30年度		
	前期	後期	前期	後期	─ 平成31年度
調査設計	地質調査・解析	fī	実証実験・解 対策工法検討 設計等		
工事					工事着手
委員会				今回必要に	応じて実施
合意形成				同意耶	双 得

〇工事については、同意等が整った区域から着手する