第3回熊本市液状化対策技術検討委員会
説明資料

熊本市　震災宅地対策課

平成30年1月25日

議事(1)　前回の確認事項
議事(2)　液状化対策の目標値の方針
議事(3)　実証実験の計画

議事(1)　前回の確認事項
1.1地震応答解析について

1.1　地震応答解析について

【地盤モデルの改良（日吉小大深度地盤モデルの作成）】

前回まで：日吉小学校内において実施した調査ボーリング（深度４５ｍ）において、工学的基盤層を確認し、地盤モデルを作成

地盤モデルの改良

今　　回：日吉小学校に最も近い力合観測井（深度３０２ｍ）のボーリング柱状図を基に、深度４５ｍの基盤層以深の層序を推定し、地盤モデル（深度２５０ｍ）を作成

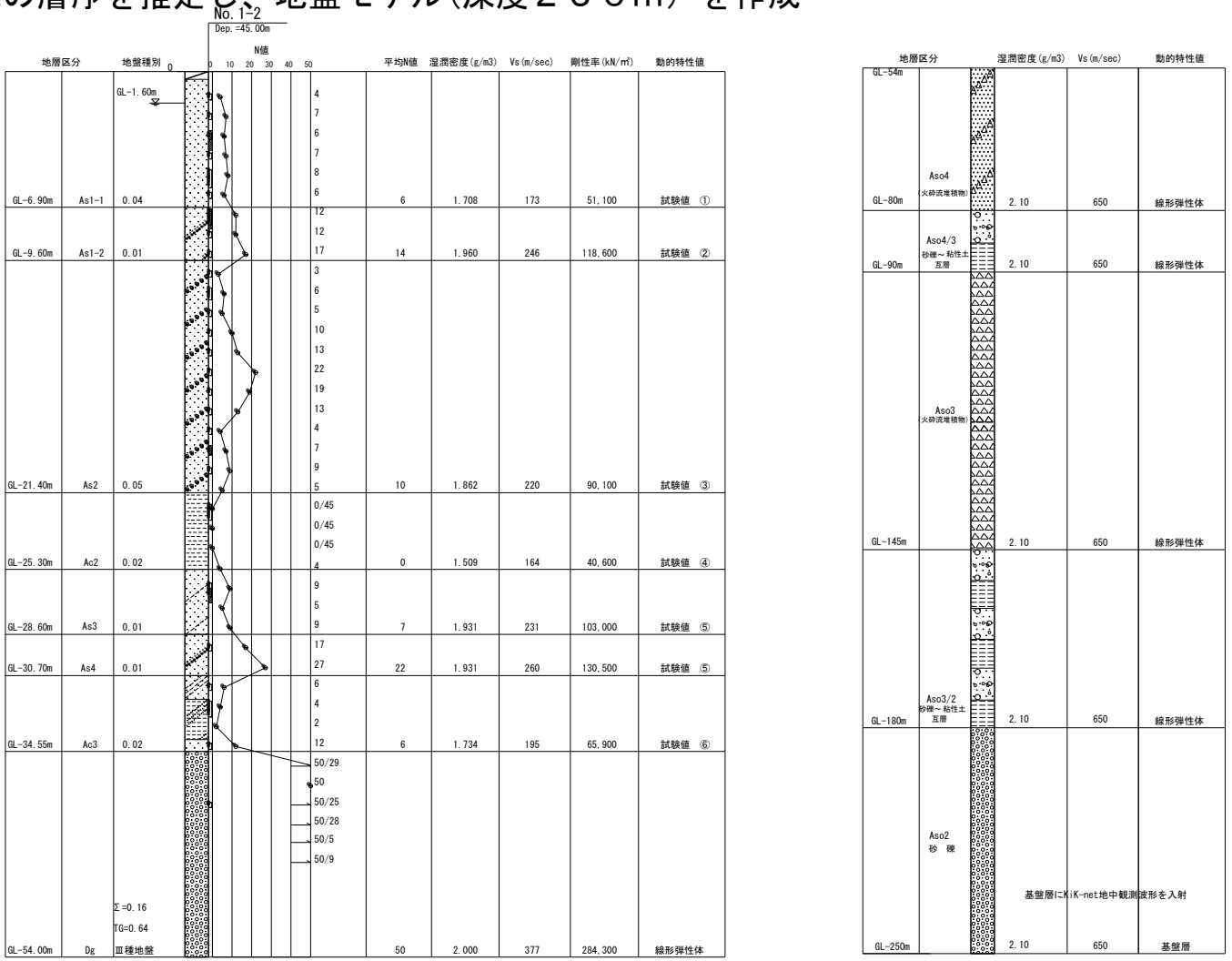


図１－１　今回作成した日吉小大深度地盤モデル

1.1　地震応答解析について

【解析の手法】

作成した日吉小大深度地盤モデルの基盤層（深度２５０ｍ）に地中観測波形を入力し、より実態に近い形で一次元応答解析を行い、地表面加速度を求める

【入力地震動】

「ＫｉＫ－ｎｅｔ益城（地中で観測された波形：深度２５５ｍ）で観測された地震波形

⇒ＮＳ　１５８．３gal、ＥＷ　２４２．８gal

（本震：Ｍ７．３　平成２８年４月１６日）

【解析結果】

地表面最大加速度⇒<u>３０５．１gal</u>

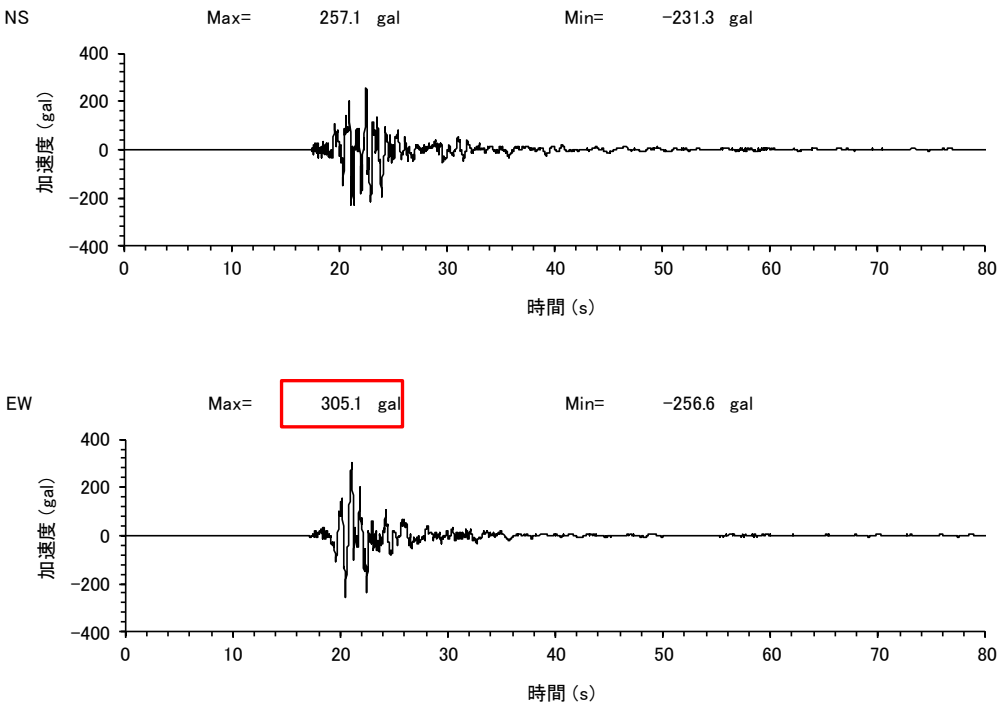


図１－２　地表面応答加速度時刻歴結果

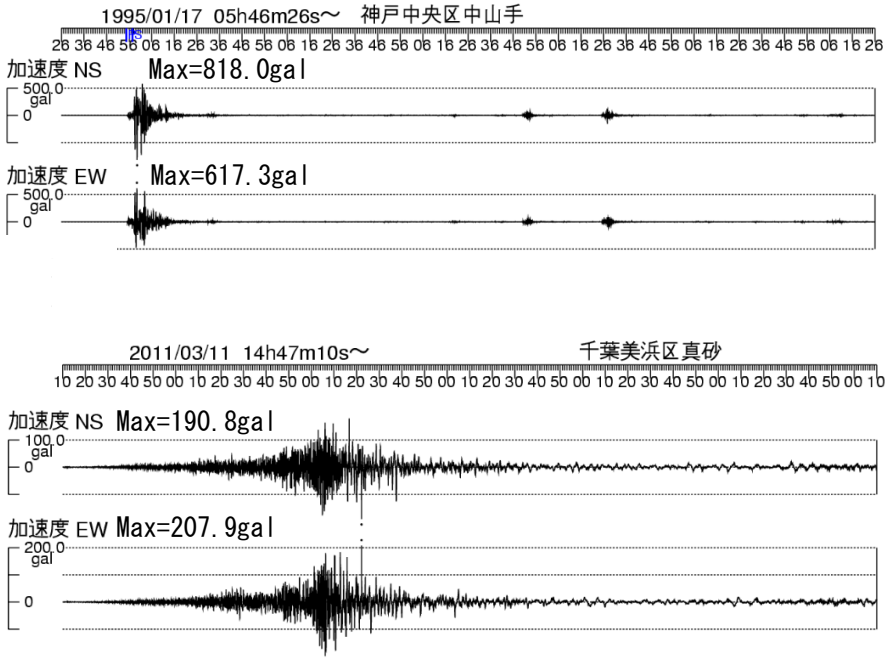


図１－３　参考　強震波形データ（気象庁ＨＰ）

1.1　地震応答解析について

【解析結果】

地表面最大加速度⇒３０５．１gal

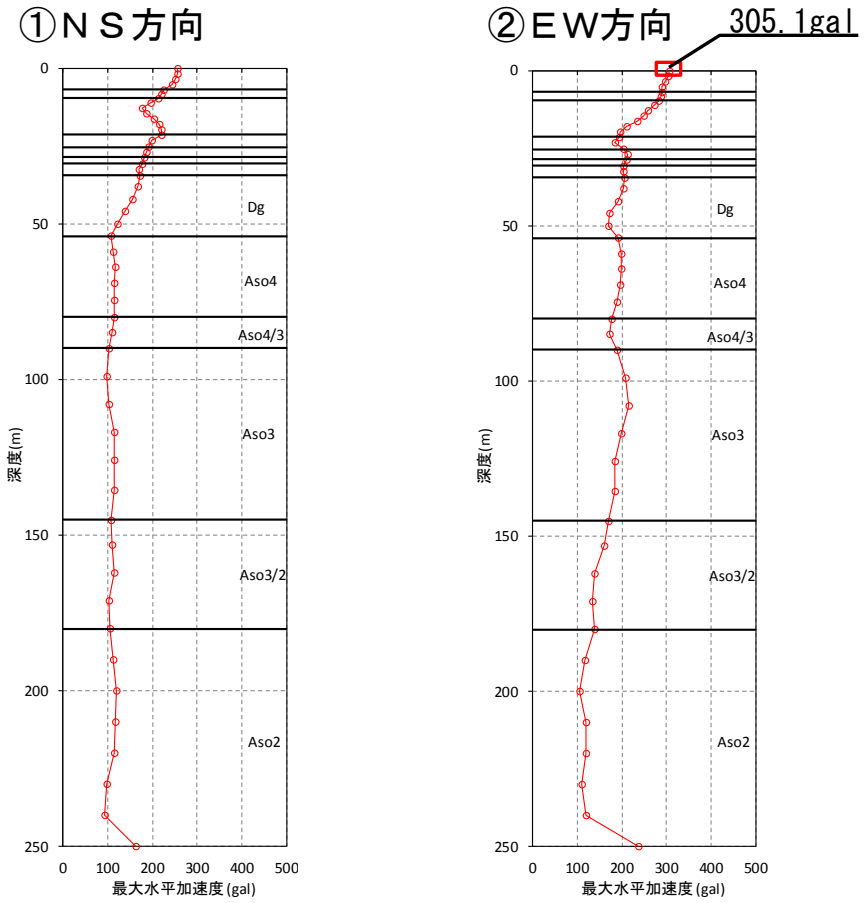


図１－４　最大値深度分布図(深層部から表示)

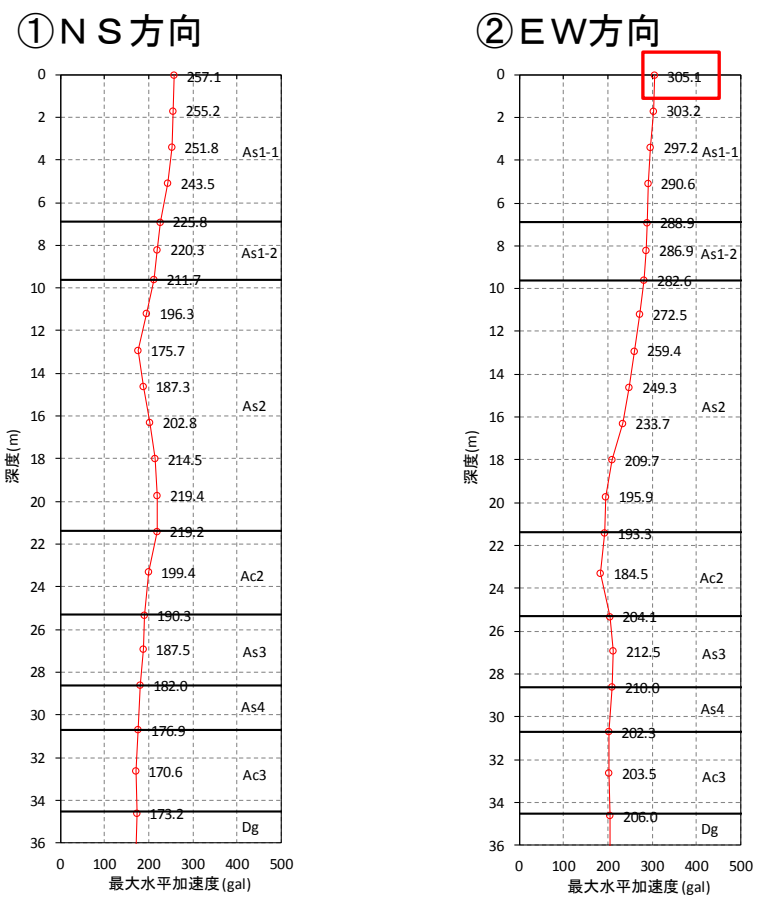


図１－５　最大値深度分布図(浅層部を表示)

前回までの解析結果：２５６．８gal≒２６０gal

地盤モデルの改良

今回の解析結果：３０５．１gal≒３１０gal

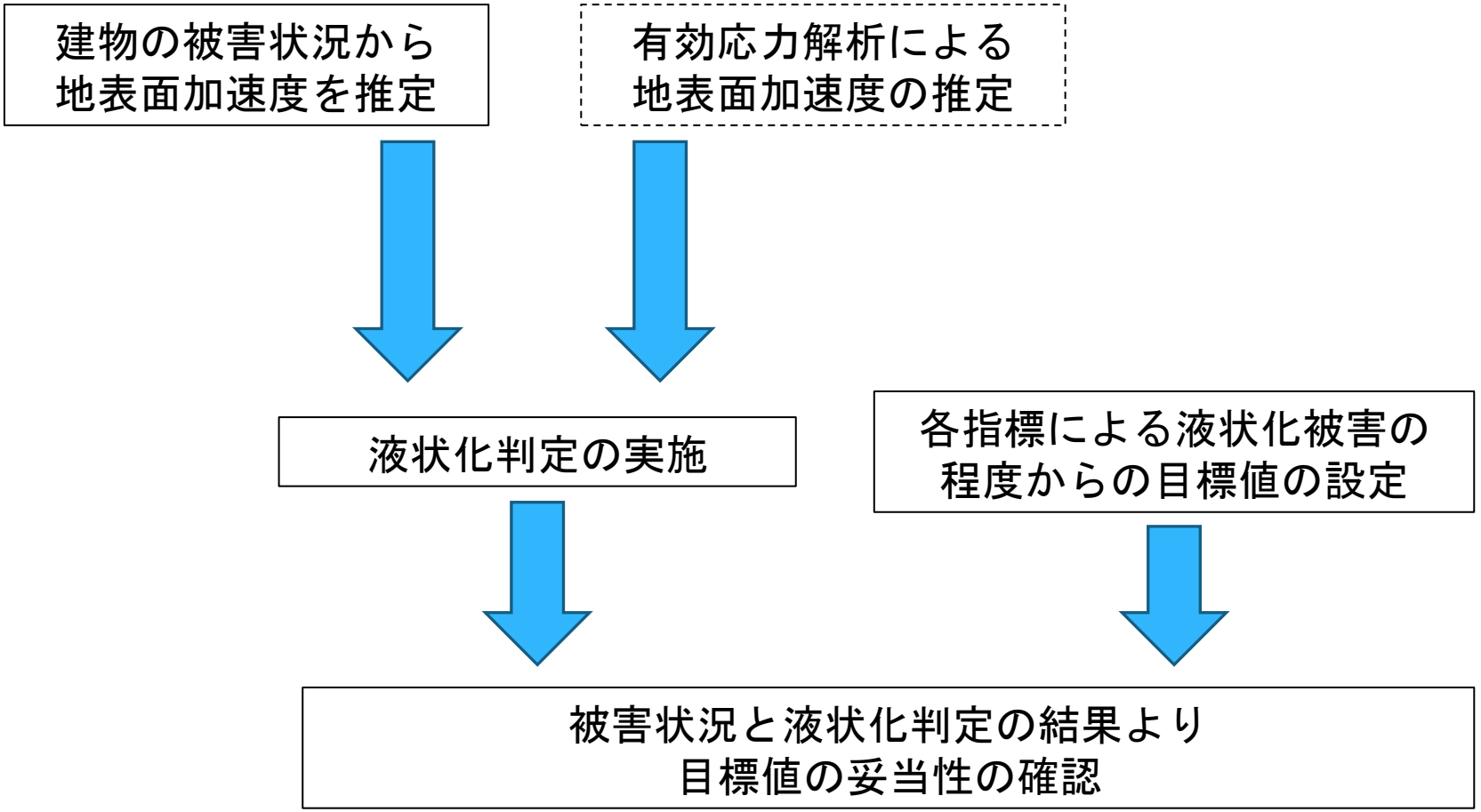
⇒■想定地震動としては、「Ｍ７．３　　３１０gal」を採用

■今後、この想定地震動を基に有効応力解析を行い、液状化を考慮した場合の地表面加速度を推定

議事(2)
液状化対策の目標値の方針

議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【目標値の方針の設定方法】



議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【建物の被害状況からの設計地震動の設定】

表２－１　気象庁震度階級関連解説表（気象庁ＨＰより抜粋）

● 木造建物（住宅）の状況

震度階級	木造建物（住宅）	
	耐震性が高い（Ｓ56年以降）	耐震性が低い（Ｓ56年以前）
5弱	―	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。
5強	―	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。
6弱	壁などに軽微なひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。 壁などに大きなひび割れ・亀裂が入ることがある。 瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある。
6強	壁などにひび割れ・亀裂がみられることがある。	壁などに大きなひび割れ・亀裂が入るものが多くなる。
7	壁などのひび割れ・亀裂が多くなる。 まれに傾くことがある。	傾くものや、倒れるものがさらに多くなる。

● 鉄筋コンクリート造建物の状況

震度階級	鉄筋コンクリート造建物	
	耐震性が高い（Ｓ56年以降）	耐震性が低い（Ｓ56年以前）
5強	―	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。
6弱	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が入ることがある。	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。
6強	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂が多くなる。	壁、梁（はり）、柱などの部材に、斜めやＸ状のひび割れ・亀裂がみられることがある。 1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものがある。
7	壁、梁（はり）、柱などの部材に、ひび割れ・亀裂がさらに多くなる。 1階あるいは中間階が変形し、まれに傾くものがある。	壁、梁（はり）、柱などの部材に、斜めやＸ状のひび割れ・亀裂が多くなる。 1階あるいは中間階の柱が崩れ、倒れるものが多くなる。

基礎調査の結果から地震の揺れによる家屋被害と想定されるものを抽出し、表2-1と照合

↓

建物被害の状況から震度を推定

↓

算出された震度より地表面加速度を推定する。

議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【建物の被害状況からの設計地震動の設定】

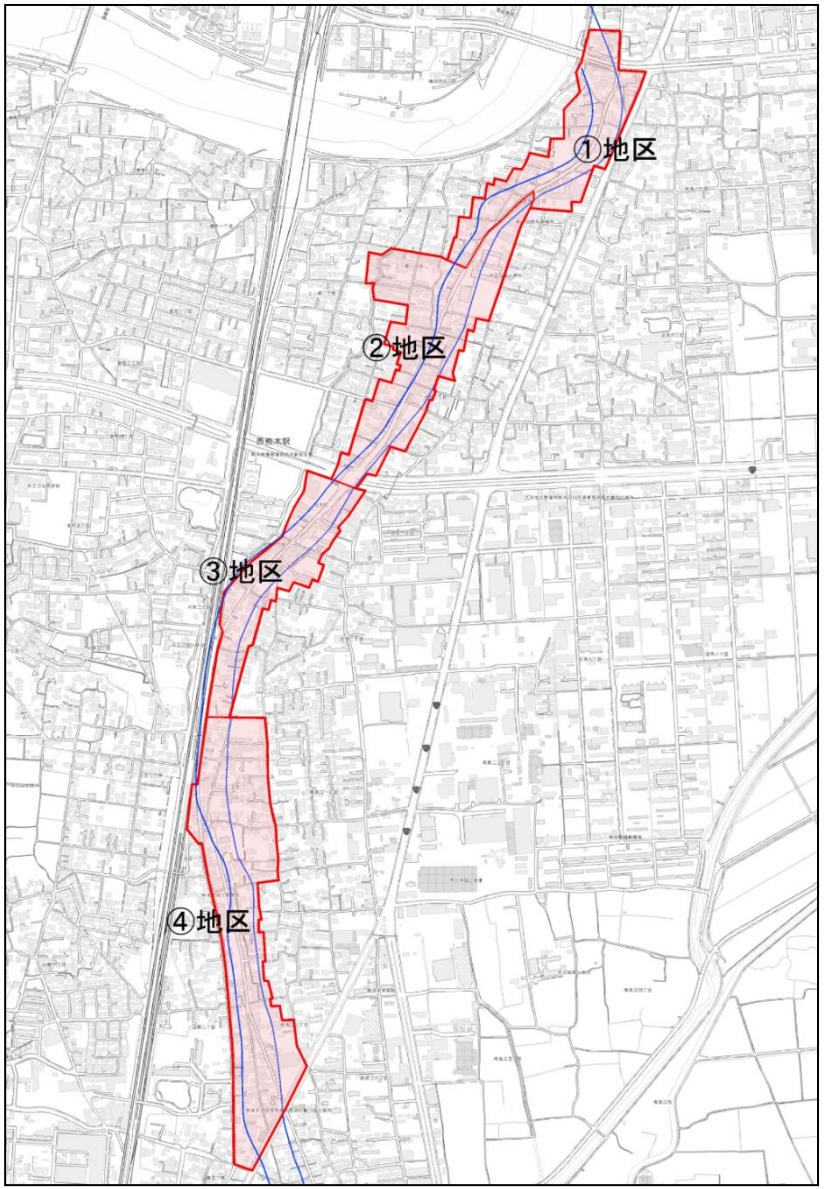


図２－１　近見地区位置図

議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【建物被害から推定震度の算出】

表２－２　推定震度別全体集計

	①地区	②地区	③地区	④地区	計
震度5弱	13	27	11	37	88
震度5強	34	81	36	134	285
震度6弱	81	72	35	94	282
震度6強	32	50	53	67	202
計	160	230	135	332	857

表２－３　推定震度別割合

震度5弱	10%
震度5強	33%
震度6弱	33%
震度6強	24%
計	100%

全体でみると震度5強～震度6強で同程度の割合となっている

表２－４　気象庁震度階級表（気象庁ＨＰより抜粋）

震度階級	計　測　震　度	震度階級	計　測　震　度
0	0.5未満	５弱	4.5以上5.0未満
1	0.5以上1.5未満	５強	5.0以上5.5未満
2	1.5以上2.5未満	６弱	5.5以上6.0未満
3	2.5以上3.5未満	６強	6.0以上6.5未満
4	3.5以上4.5未満	7	6.5以上

計測震度の中間値
→4.75（震度5弱）
→5.25（震度5強）
→5.75（震度6弱）
→6.25（震度6強）

震度別割合から近見地区における平均推定震度を算出する

平均推定震度＝4.75×10/100＋5.25×33/100＋5.75×33/100＋6.25×24/100≒5.6

建物の被害状況から震度5.6程度（震度6弱）であったと推定される

議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【地表面加速度の算出】

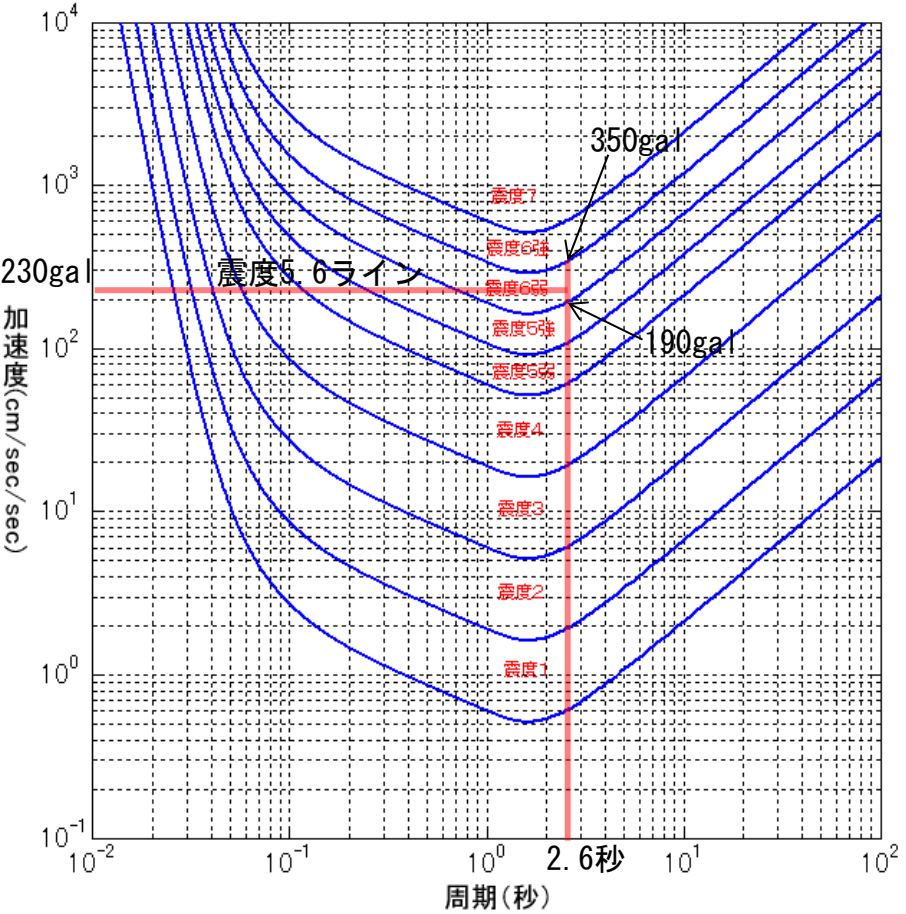


図２－２　周期および加速度と震度の関係（気象庁）

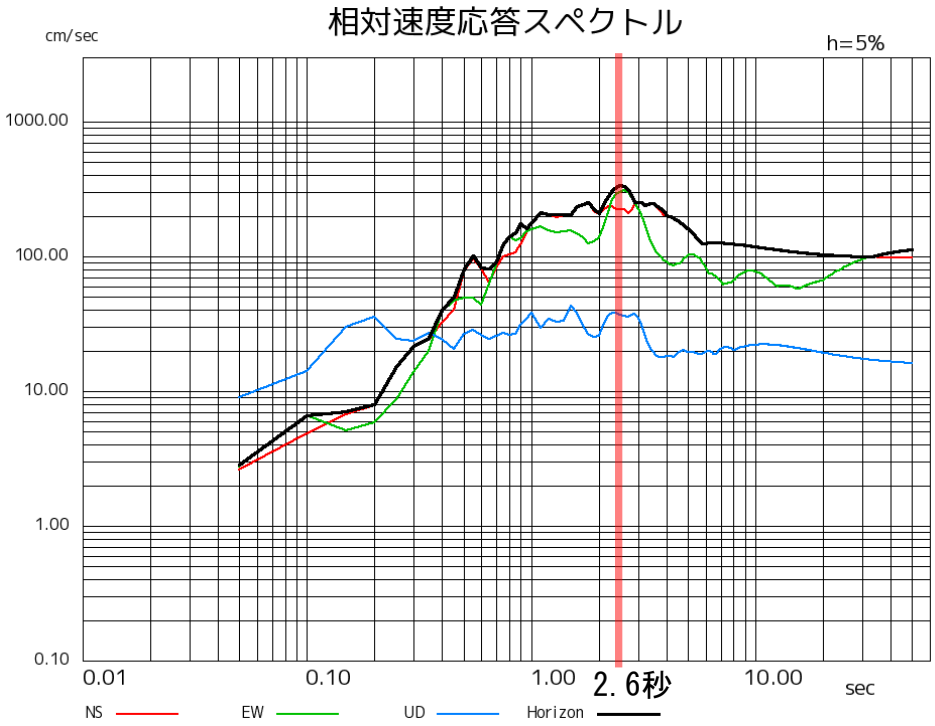


図２－３　熊本市南区富合町における強震波形（気象庁）

2.6秒前後の周期帯に強い応答が起きている

近見地区では本震：震度6弱程度と推測される。

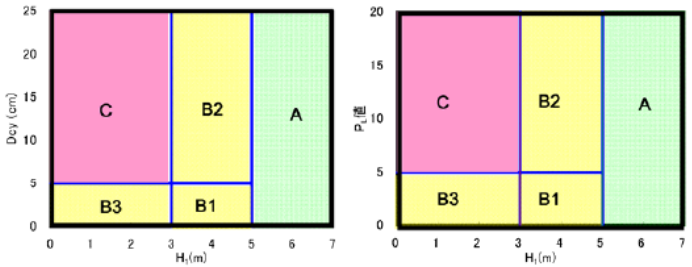
本震での地表面最大加速度は約190gal～約350galと推定される

議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【各指標による液状化被害の程度からの目標値の設定方針】

表２－５　ＰＬ値と液状化による影響の関係
（液状化地域ゾーニングマニュアル）

PL＝0	液状化による被害発生の可能性はない
0＜PL≦5	液状化による被害発生の可能性は低い
5＜PL≦15	液状化による被害発生の可能性がある
15＜PL	液状化による被害発生の可能性が高い



(a)H_1～D_{cy}判定図　　(b)H_1～P_L判定図

※H1⇒非液状化層

表２－６　地表変位量（Ｄｃｙ）と液状化の程度の関係
（建築基礎構造設計指針）

Dcy(ｃｍ)	液状化の程度
0	なし
～5	軽微
5～10	小
10～20	中
20～40	大
40～	甚大

判定結果	液状化被害の可能性
C	顕著な被害の可能性が高い
B3	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	
B1	
A	顕著な被害の可能性が低い

図２－４　液状化判定図
（宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針・同解説）

ＰＬ値、地表変位量（Ｄｃｙ）と液状化の程度の関係、液状化判定図を複合的に考慮し、液状化被害を軽減することを目的とし目標値を検討する

議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【被害実態と液状化判定結果の検証】

・建物被害状況から推定した震度5.6程度の地表面加速度230gal及び計測されたM7.3から液状化判定を実施し、基礎調査による建物の傾斜との検証を行った

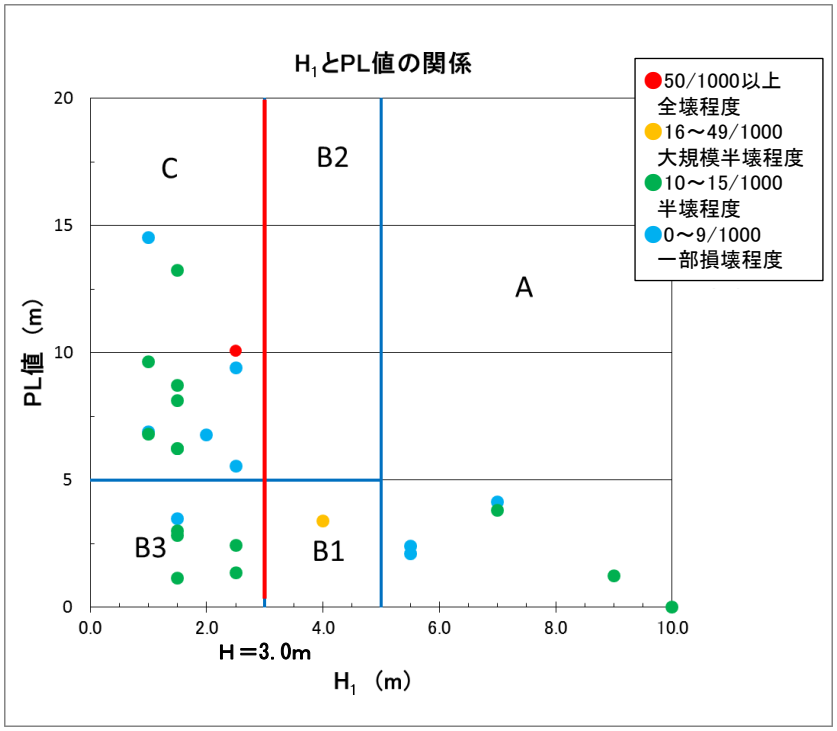


図２－５　H1とＰＬ値の関係（水位低下前）

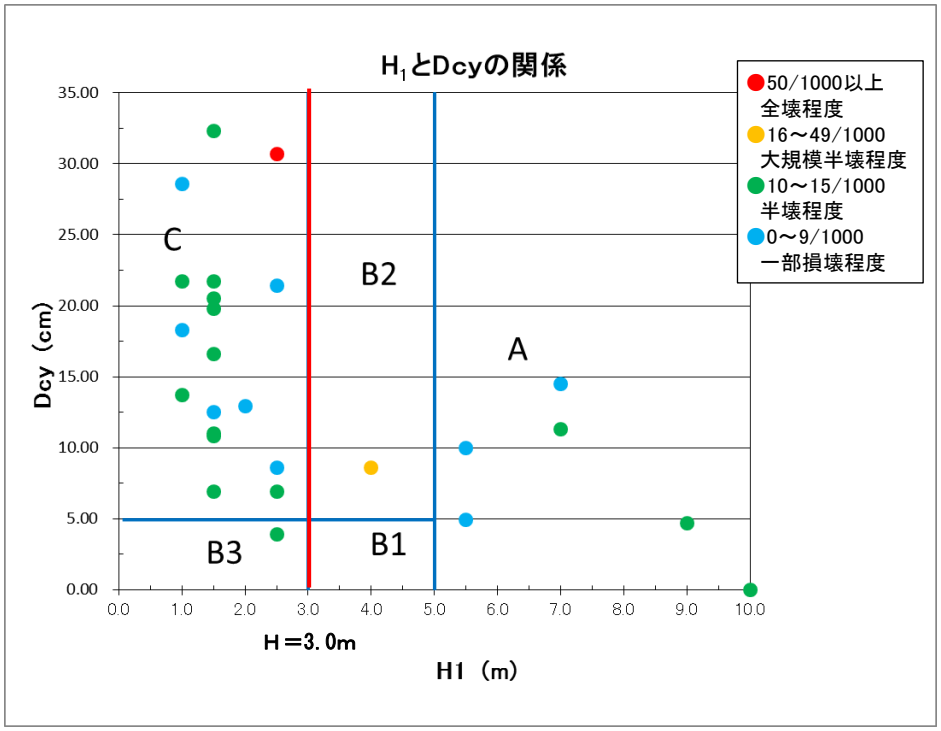


図２－６　H1とＤｃｙの関係（水位低下前）

地下水位低下前において、H1<3.0mの範囲に被害が多く分布していることが確認された

議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【液状化判定】

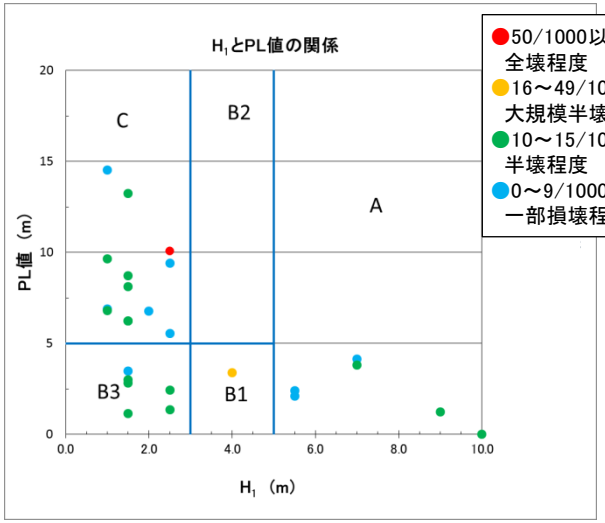


図２－５　H1とＰＬ値の関係（水位低下前）

地下水位低下
(GL-3m)

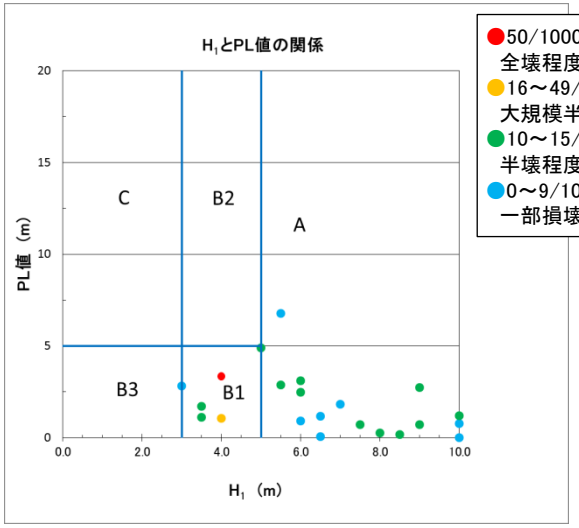


図２－７　H1とＰＬ値の関係（水位低下後　GL-3.0m）

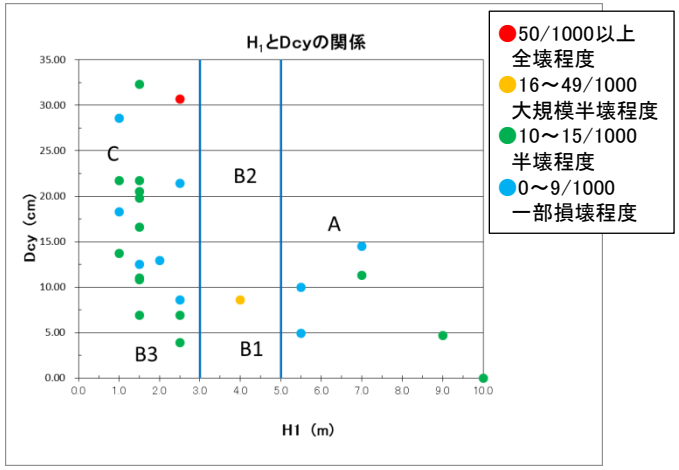


図２－６　H1とＤｃｙの関係（水位低下前）

地下水位低下
(GL-3m)

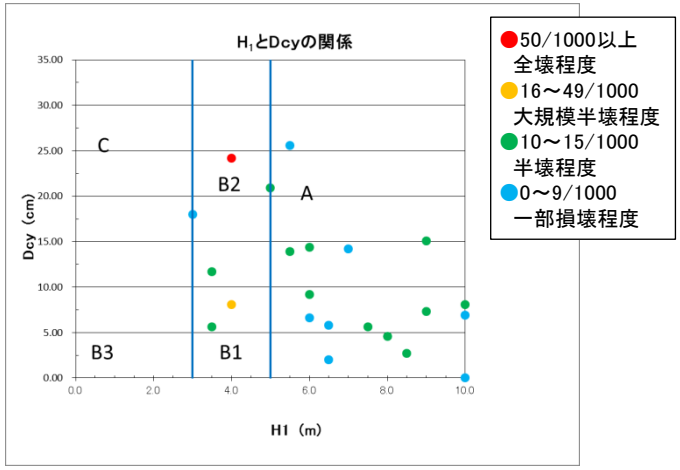


図２－８　H1とＤｃｙ値の関係（水位低下後　GL-3.0m）

地下水位をＧＬ-3.0ｍまで低下させると効果があることが確認された

議事(2)　液状化対策の目標値の方針

【設定方針】

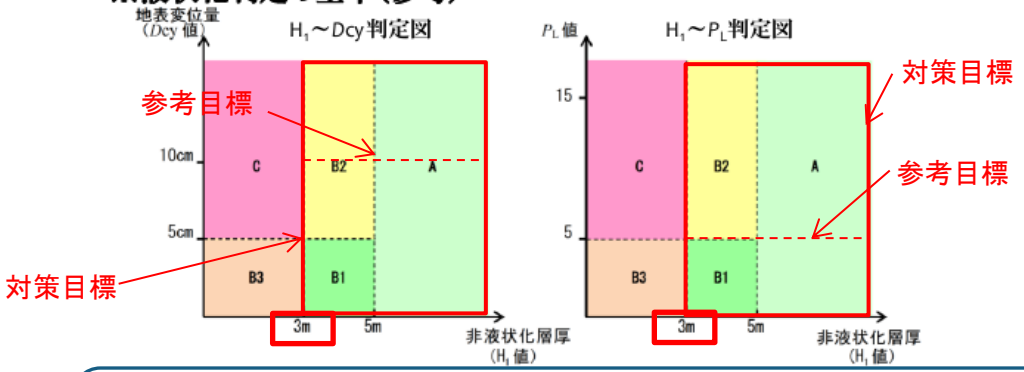
判定結果	Ｈ１の範囲	Ｄｃｙの範囲	ＰＬ値の範囲	地下水位低下工法	格子状地中壁工法
C	3m未満	５ｃｍ以上	５以上	不可	不可
B3		５ｃｍ未満	５未満	不可（※）	不可
B2	3m以上5m未満	５ｃｍ以上	５以上	液状化被害軽減の目標として可	不可
B1		５ｃｍ未満	５未満	液状化被害抑制の目標として可	
A	５m以上	－	－		

（※）原則不可であるが、専門家からなる委員会等で詳細、且つ、高度な検討を行った結果の判断についてはこの限りではない.

判定結果	液状化被害の可能性
C	顕著な被害の可能性が高い
B3	
B2	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1	
A	顕著な被害の可能性が低い

PL＝0	液状化による被害発生の可能性はない
0＜PL≦5	液状化による被害発生の可能性は低い
5＜PL≦15	液状化による被害発生の可能性がある
15＜PL	液状化による被害発生の可能性が高い

※液状化判定の基準(参考)



Dcy(ｃｍ)	液状化の程度
0	なし
～5	軽微
5～10	小
10～20	中
20～40	大
40～	甚大

◇今回の液状化対策（地下水位低下工法）の対策目標の方針（案）
- 設計地震動(今次災害)：M7.3　230galと仮定
- 非　液　状　化　層　：H1≧3.0m
- 判　定　結　果　区　分　：Ａ区分、Ｂ1区分、Ｂ2区分
- 参　　考　　目　　標　　：ＰＬ値＜5、Ｄｃｙ＜10ｃｍ

※個別対策の目標値についても今後あわせて検討していく

議事(3)
実証実験の計画について

議事(3)　実証実験の計画について

【液状化対策工法】

近見地区における液状化対策工法として
以下のうち「地下水低下工法」の適用が期待される（前回委員会より）

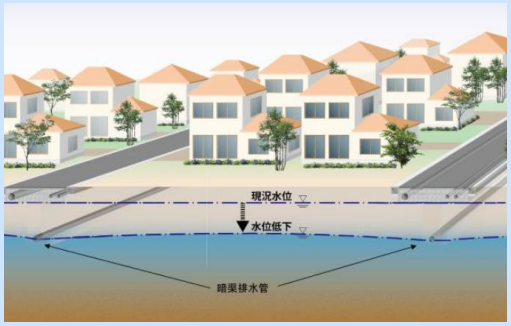
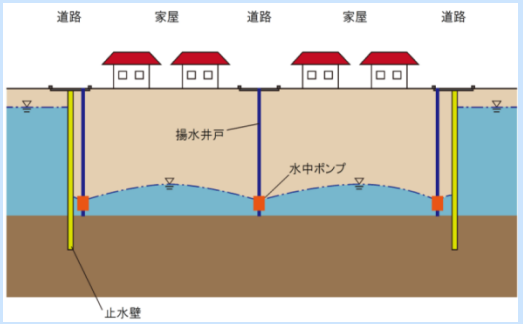
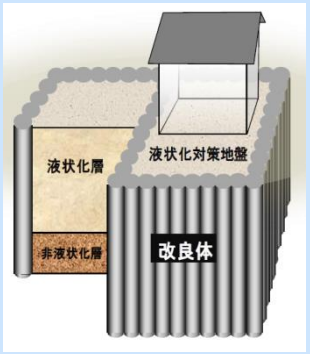
工法名	地下水低下工法 （排水管方式）	地下水低下工法 （井戸方式）	格子状地中壁工法
対策 イメージ			
対策の 考え方	地下水位を低下させめり込み沈下を軽減		地震による 地盤の変形を抑止
他地域での 施工実績	茨城県神栖市 茨城県鹿嶋市 千葉県千葉市 埼玉県久喜市	千葉県我孫子市 （検討のみ）	千葉県浦安市

図３－１　液状化対策工法

地下水低下工法の適用に先立ち、実証実験により
効果確認を行うこととした

議事(3)　実証実験の計画について

【実証実験の目的】

地下水位低下工法が現地に適用できるかを確認する

【確認事項】

1．目標水位までの地下水位の低下
2．鋼矢板での遮水性
3．鋼矢板内側の地盤や模擬家屋等の沈下
4．揚水施設の規模・配置の検証
5．揚水した地下水の排水処理（水量・水質）
6．周辺の地盤沈下や井戸枯渇等の影響
7．設計定数の妥当性（透水係数、貯留係数、圧密定数など）
8．事前解析結果の妥当性　など

実証実験により、
地下水位、沈下量、
揚水量・水質の
実際の変化を確認する

【実験の課題】

1．細粒分が多い砂質土(As1層)で排水不良の恐れがある
2．各地層の設計定数が不明確である
3．地下水位低下時間（≒揚水時間）が長期間に及ぶ恐れがある
4．排水管の施工性不良による地盤変位が生じる恐れがある
5．土留め矢板設置時に地盤変位が生じる恐れがある

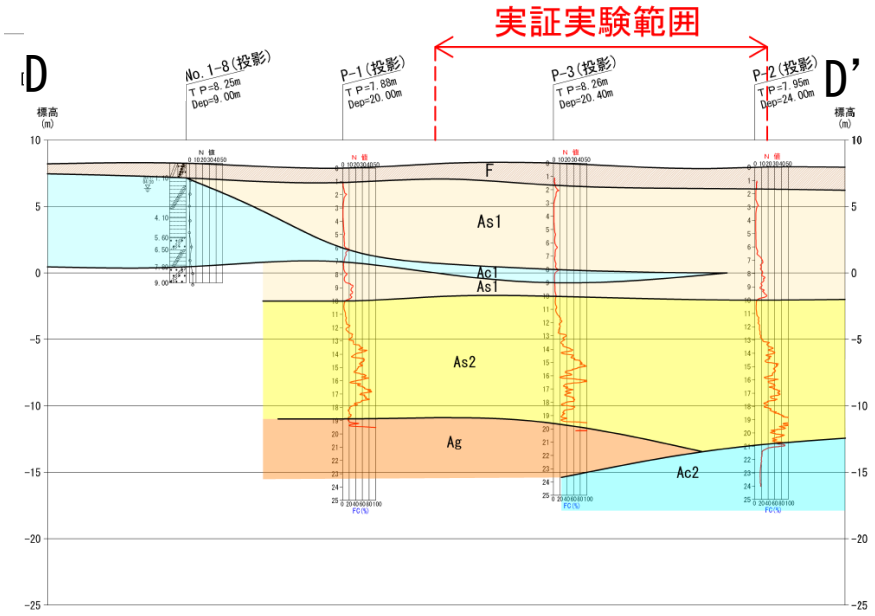


図３－２　近見１丁目ふれあい公園　想定地質断面図

議事(3)　実証実験の計画について

【実証実験の構造-1】

実験は、遮水鋼矢板により地盤を締め切り、中の地下水を排水して実施
（排水方式は、井戸および排水管方式を併用）

遮水鋼矢板は、矢板長（遮水深度）L=11mを採用
実験の結果、遮水が不十分な場合は、周辺影響や施工性を
考慮しながら矢板長の変更や別工法を検討

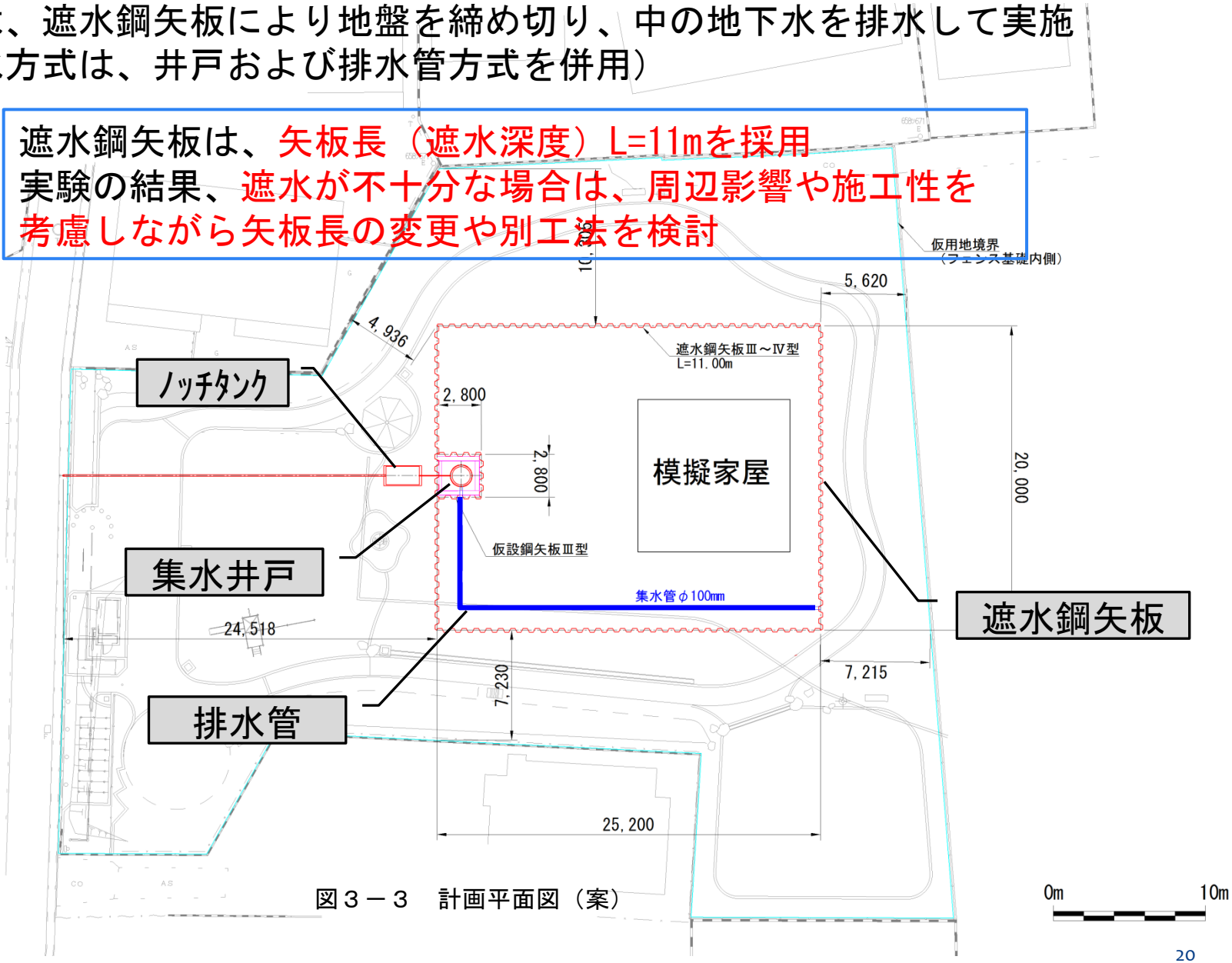


図３－３　計画平面図（案）

【実証実験の構造-2】

井戸または排水管から集水した地下水は、道路側溝に排水

揚水した地下水位は水量・水質を確認し、適切に場外へ排水する

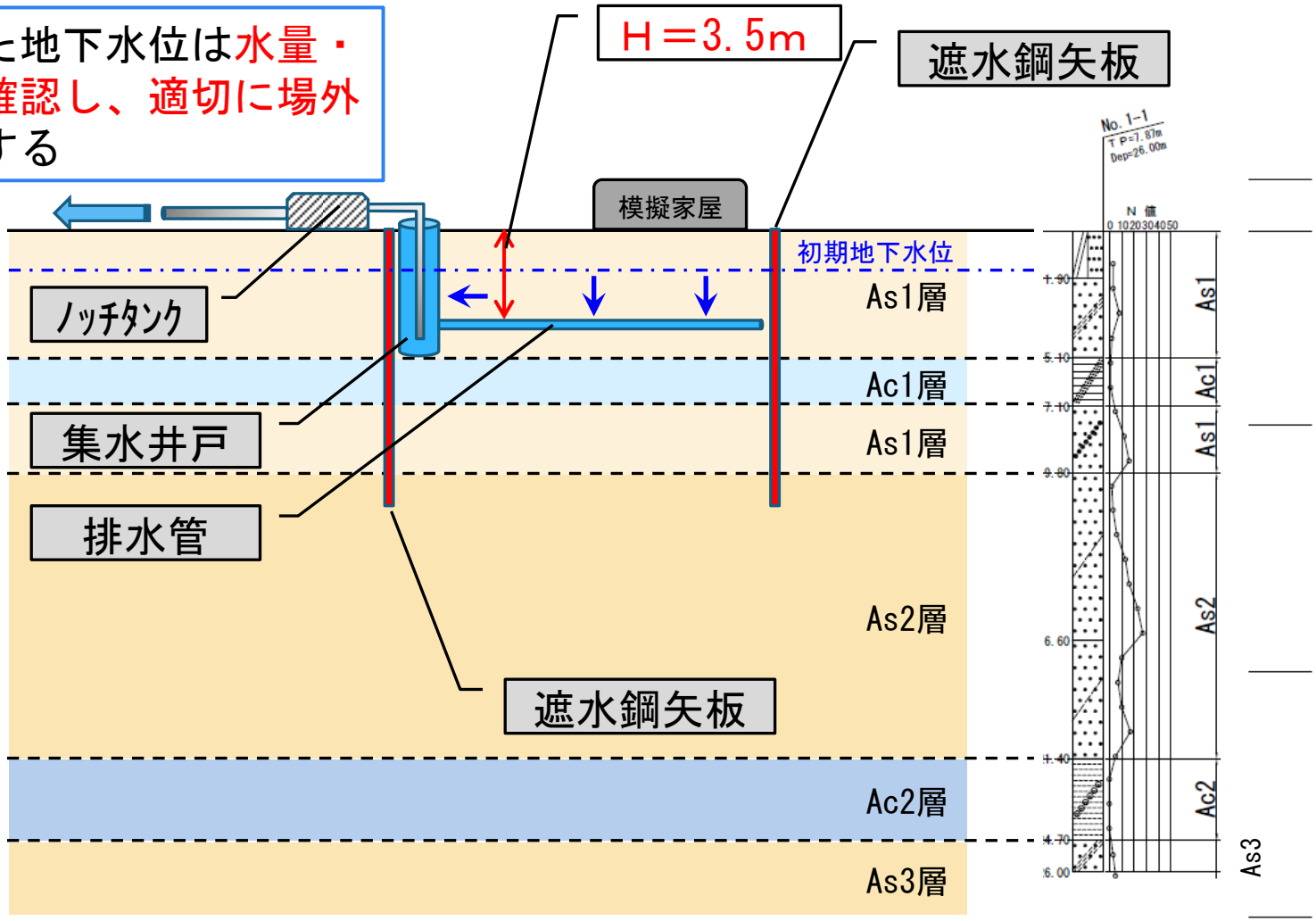


図３－４　実証実験模式断面図（案）

議事(3)　実証実験の計画について

【模擬家屋の基礎】

家屋基礎の構造は、実際の基礎形式と被害実態を考慮

半壊以上の被害割合が多く、全壊数が最も多い、布基礎形式を採用

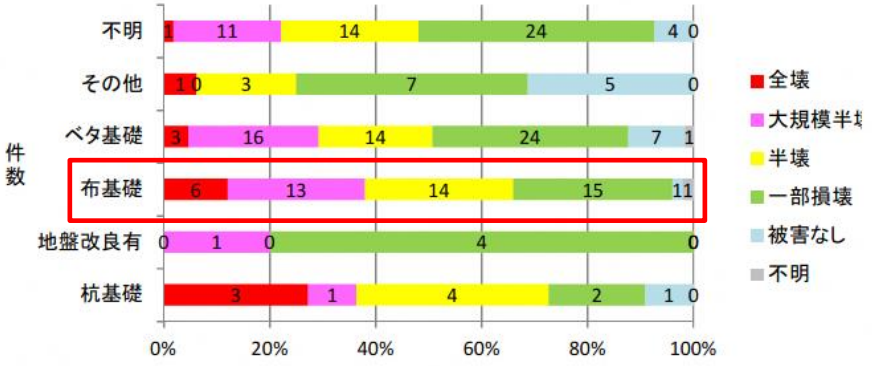


図３－５　基礎形式と被害実態

【模擬家屋の荷重】

建物荷重は平屋～二階建ての複合構造を採用

偏載が自在で撤去も容易な敷鉄板（1.7kN/m²/枚, t=22mm）を利用

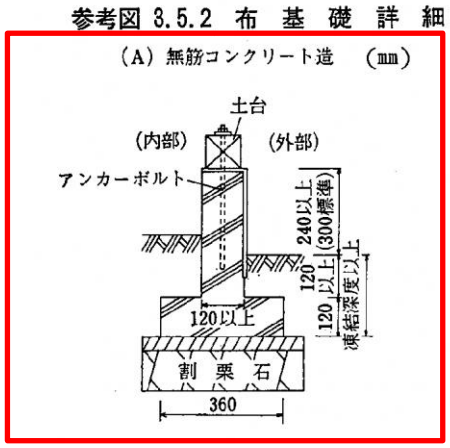


図３－６住宅金融公庫の基礎構造（昭和57年）

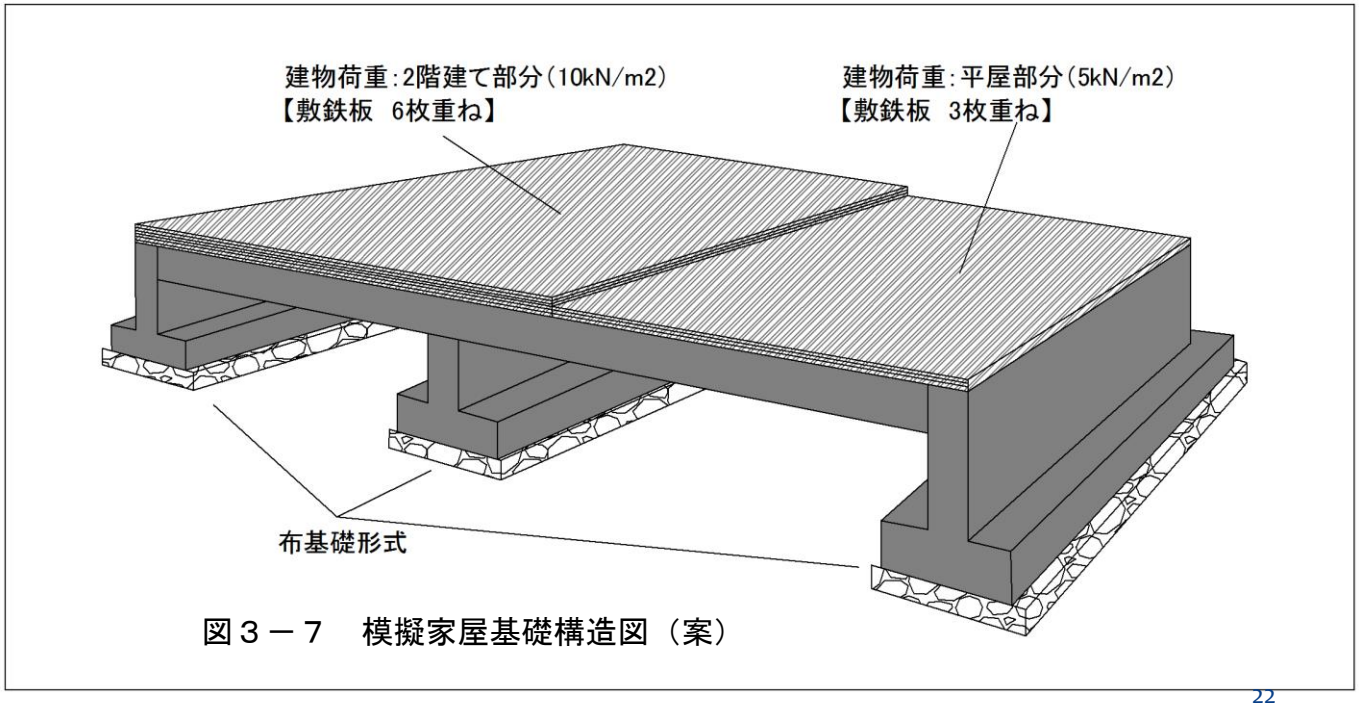


図３－７　模擬家屋基礎構造図（案）

議事(3)　実証実験の計画について

【実証実験で観測する主な項目】

表３－１　観測項目と目的

観測項目		観測目的
沈下	地表面	揚水に伴う地表面沈下の平面的な分布を把握
	地層別	揚水に伴う各地層の沈下、圧密状況を把握
	模擬家屋不同沈下	揚水に伴う模擬家屋の圧密沈下を把握
	周辺の地表面	近隣住宅地等への影響がないことを確認
地下水位		地下水位の低下状況および鋼矢板の遮水効果を把握
揚水量		実証実験中に揚水した水量・水質を把握

表３－２　沈下量の許容値(cm)

沈下の種類	即時沈下		圧密沈下	
基礎形式	布基礎	べた基礎	布基礎	べた基礎
標準値	2.5	3~（4）	10	10~（15）
最大値	4	6~（8）	20	20~（30）

標準地：不同沈下による亀裂がほとんど発生しない限度値

最大値：幾分かの不同沈下亀裂が発生するが障害には至らない限度値

（　）：剛性の高いべた基礎の値

出典：小規模建築物基礎設計指針
（日本建築学会）

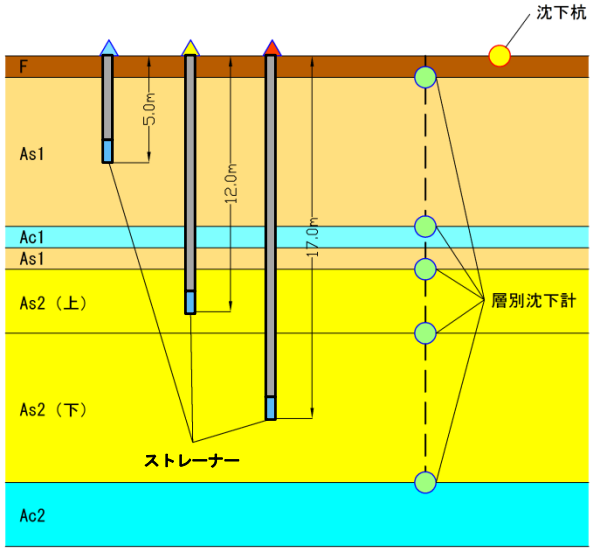
実証実験時における沈下量の許容値
模擬家屋　許容沈下量Sa1=10cm（即時沈下を除く）
用地境界　許容沈下量Sa2=1.5cm（工事影響を除く）

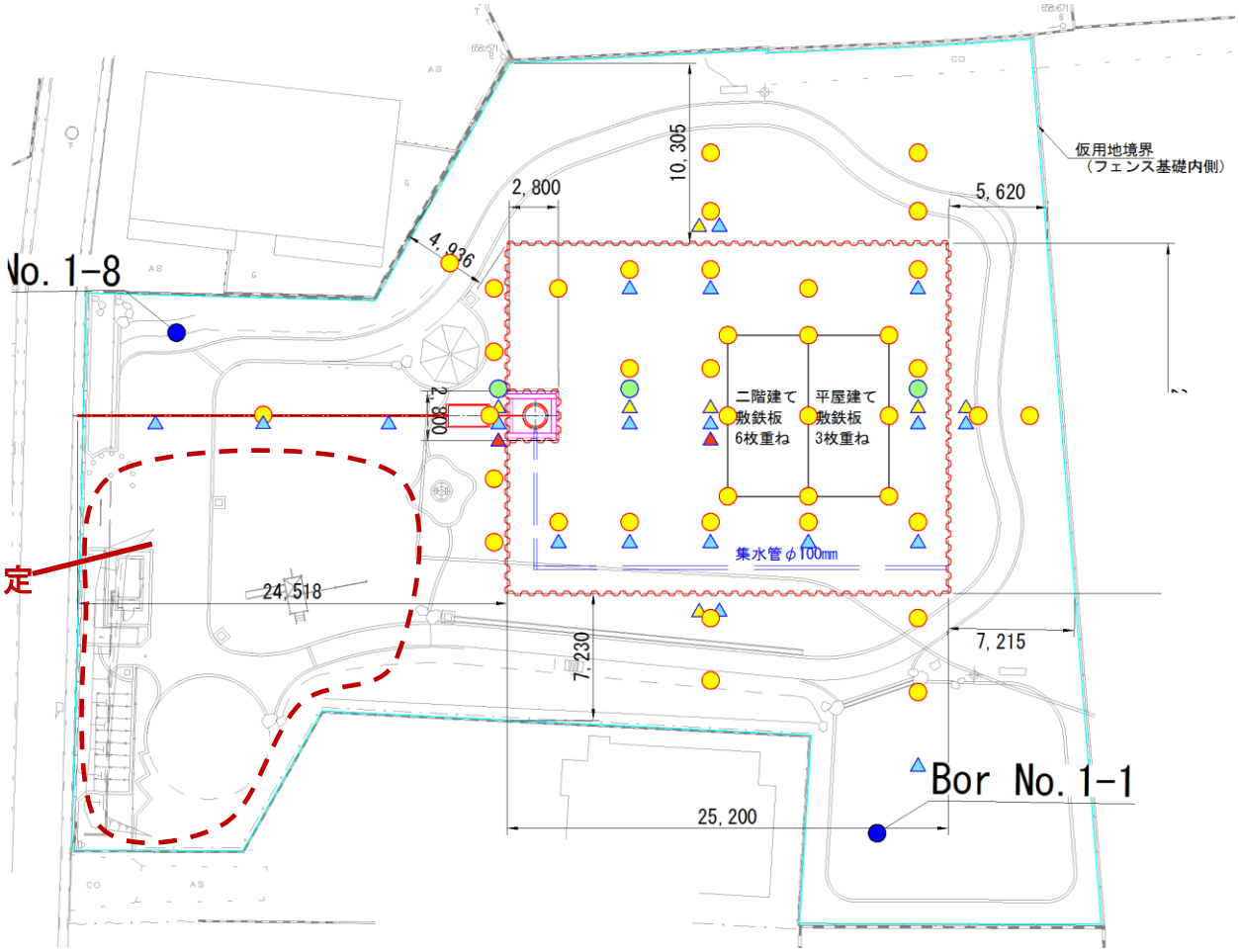
議事(3)　実証実験の計画について

【動態観測位置】

観測計器は実証実験の構造や
地層構成を考慮して配置

用地境界外の地表面の沈下や
井戸水位も計測予定（計画中）





施工後は一部公園内を開放予定

観測項目
○ 地表面沈下量
○ 層別沈下量
○ 模擬家屋不同沈下量
○ 周辺の地表面沈下量
△△▲ 地下水位
▭ 揚水量

図３－８　動態観測計画図（案）

議事(3)　実証実験の計画について

【実証実験時の予測】
　事前解析により、実証実験で地下水位を低下させた場合の影響を解析検討した（図３－９）

【解析手法】
　浸透流解析：断面2次元法、準3次元解析法
　圧密沈下解析：粘土層（Δe法）
　　砂層（DeBeer法）

【解析条件】
①水位低下量は以下より⊿h=3.0mとした
　（近見地区全体における最大条件）
　・近見地区全体の地下水位はGL-0.5～2.0m
　・目標値H1はH1>3.0m
　・よって、水位低下量⊿hは⊿h＞3.0-（0.5～2.0）=2.5～1.0m以上が必要となるため⊿h=3.0m
②鋼矢板の根入れ長は、以下の2ケースとした
　・As1層までを遮水する短尺（L=11m）の場合
　・As2層までを遮水する長尺（L=23m）の場合
③表層地盤は、以下の2ケースとした
　・表層地盤が砂層優勢な場合
　・　〃　粘土優勢な場合

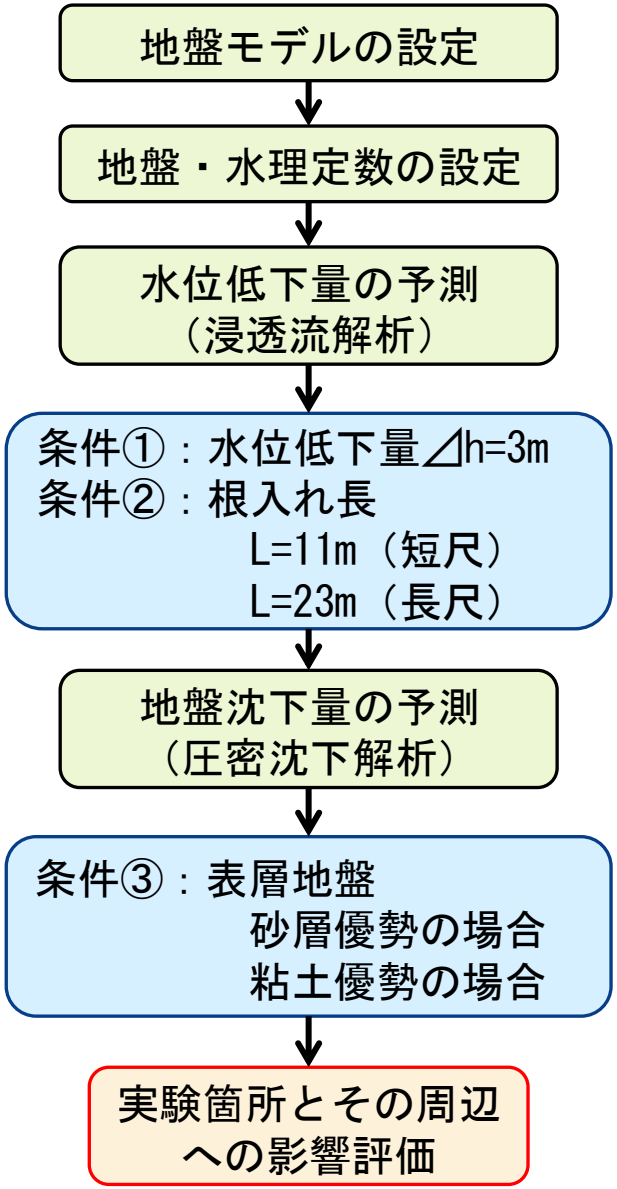


図３－９　解析検討フロー

【検討断面】

実証実験が予定されている「近見１丁目ふれあい公園」を対象
（実験範囲は、□20m×25mを計画）

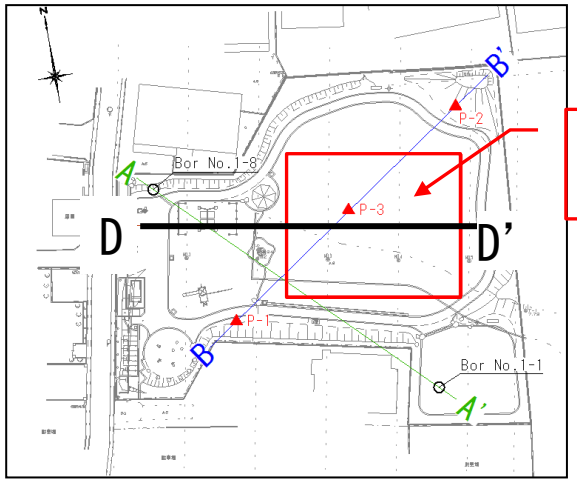


図３－１０　近見１丁目ふれあい公園平面図

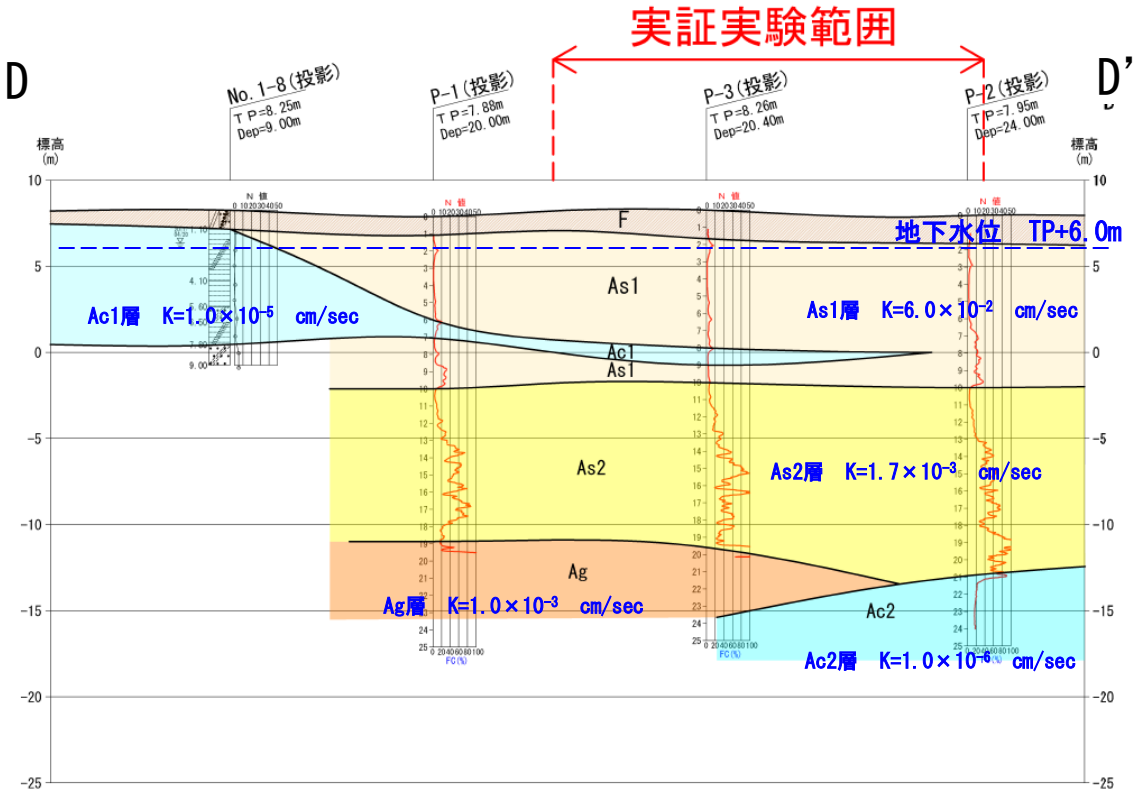


図３－１１　近見１丁目ふれあい公園　想定断面図（D-D’断面）

議事(3)　実証実験の計画について

【設計土質定数】既往調査結果をもとに、下表のとおり設定

表３－３　設計土質定数一覧表

地層名	地層記号	単位体積重量 γ t(kN/m3)	N値	水理定数		圧密定数		備考
				透水係数 K(cm/sec)	貯留係数 β	間隙比～圧力関係 e～logP関係	圧密係数 Cv(cm2/日)	
砂質土	As1	17.0	9.1	6.0×10^{-2}	0.20	DeBeerの式	2500	N値からの推定式により算出
	As2	18.5	9.7	1.7×10^{-3}	0.20	DeBeerの式	2500	
粘性土	Ac1	14.0	1.0	1.0×10^{-6}	0.10	土質試験結果	1200	試験試料のFCは60%程度であるが、表層粘土モデルは80%程度であり、土質が相違している。
	Ac2	15.0	0.0	1.0×10^{-6}	0.10	土質試験結果	90	
礫質土	Ag	20.0	50.0	1.0×10^{-3}	0.20	非圧密・圧縮層	非圧密・圧縮層	
鋼矢板		－	－	※壁厚1m当たり 1.0×10^{-5}	0.10	非圧密・圧縮層	非圧密・圧縮層	

【断面2次元解析モデル】遮水矢板を短尺とした場合と長尺とした場合の２ケース

短尺矢板モデル(L=11m　根入れ長1m)　　長尺矢板モデル(L=23m　根入れ長1m)

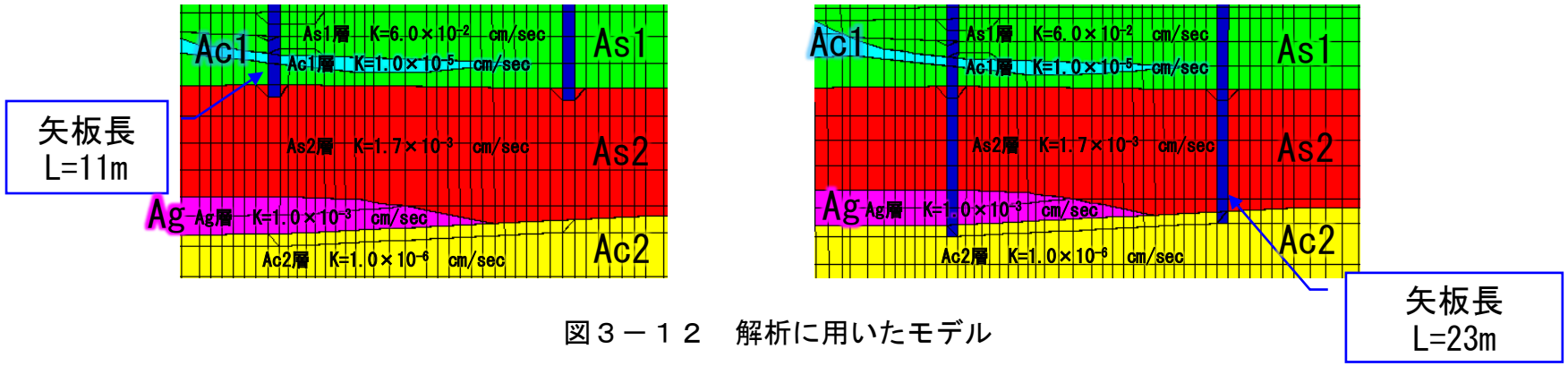


図３－１２　解析に用いたモデル

議事(3)　実証実験の計画について

【断面2次元解析モデル】

実験範囲を□20m×25mとし短尺矢板と、長尺矢板の２ケース

【境界・初期条件】

境界条件：影響範囲は500m

初期条件：地下水位はTP+6.0m（GL-2.0m）

地下水位低下量：⊿h=3.0m（GL-5.0m）

解析期間：60日経過後（水位低下は段階的に20日間）

【解析結果①】

短尺矢板モデル（As2層に1m根入れ）の場合

→矢板下端をとおる浸透流が発生し、矢板外側の近傍で約2.1mの水位低下が発生

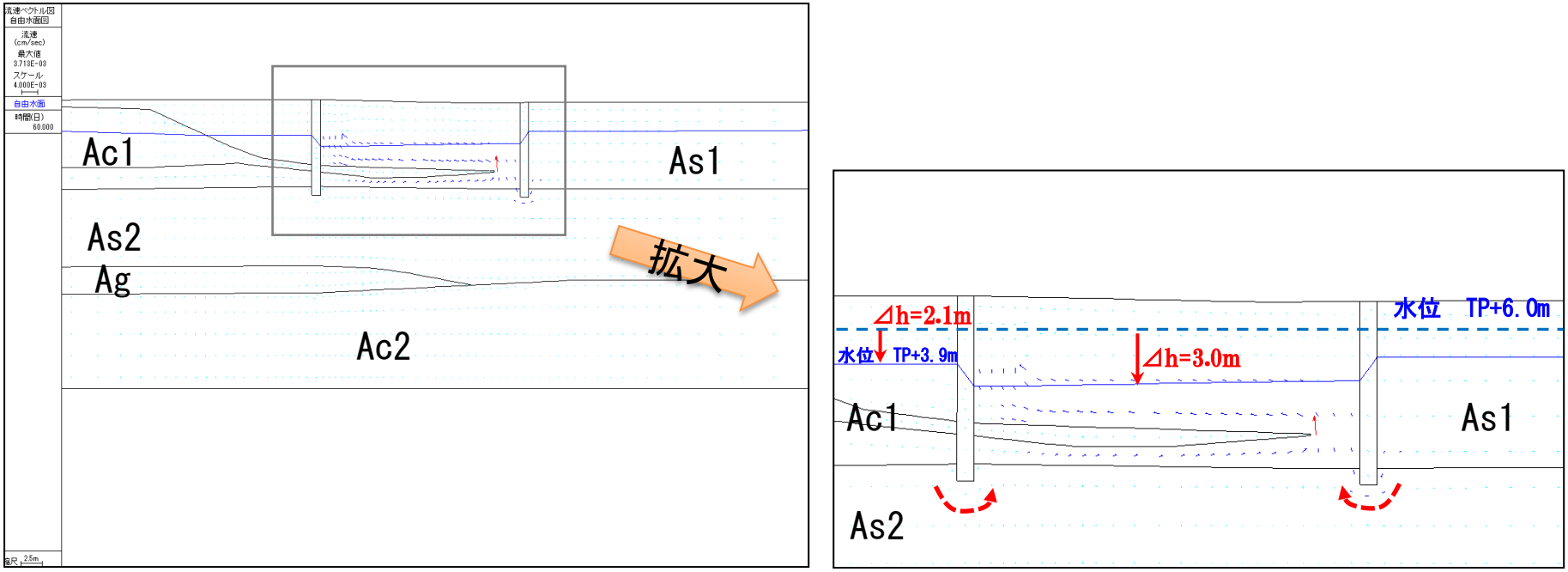


図３－１３　短尺矢板モデル断面図

議事(3)　実証実験の計画について

【解析結果②】

長尺矢板モデル（Ac2層に1m根入れ）の場合

→矢板下端をとおる浸透流はほとんど見られず、矢板外側の近傍で約0.3mの水位低下が発生

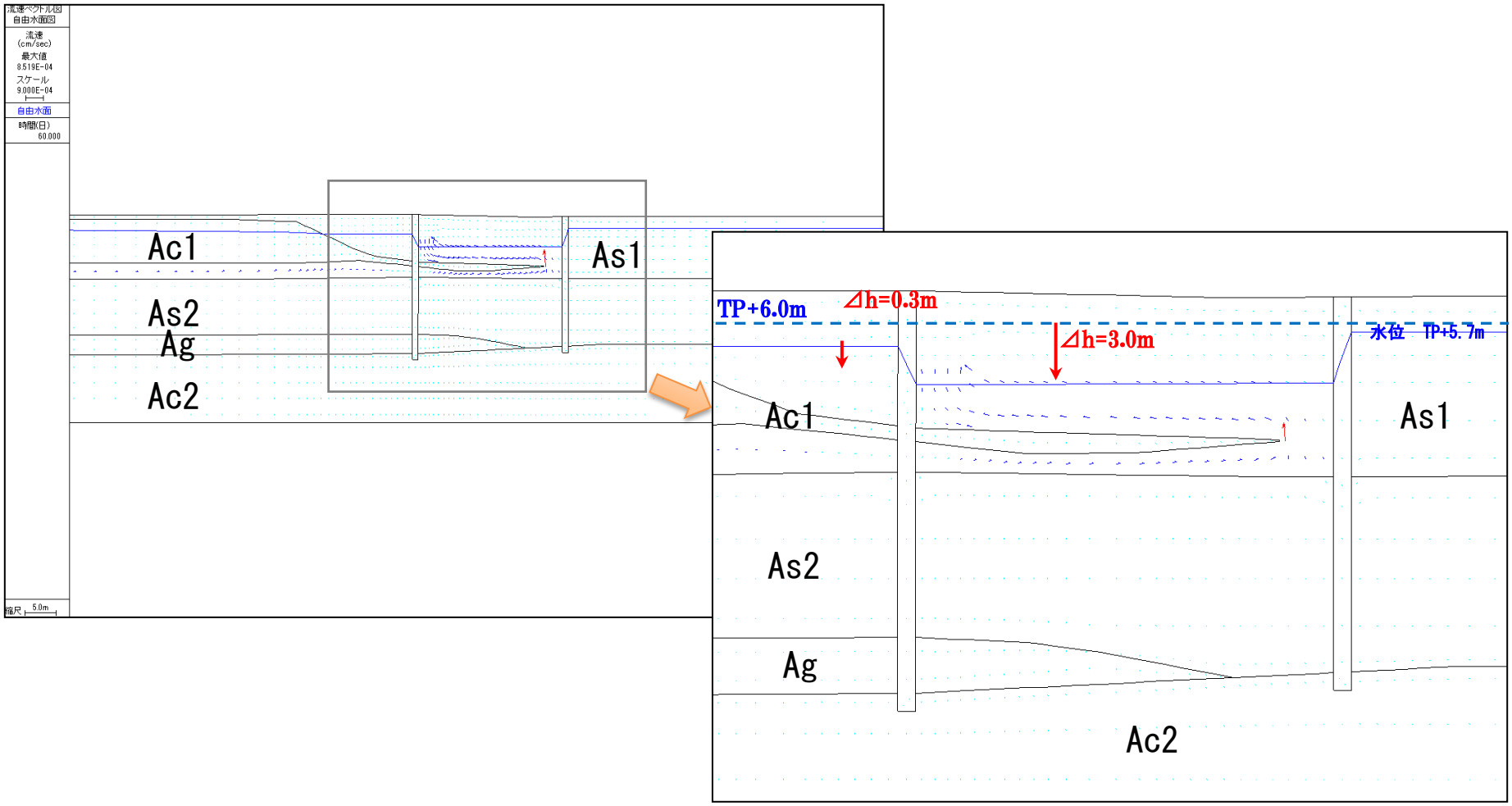


図３－１４　長尺矢板モデル断面図

議事(3)　実証実験の計画について

【準3次元解析モデル】

実験範囲を□20m×25mとし短尺矢板と、長尺矢板の２ケース

【境界・初期条件】

境界条件：影響範囲は500m

初期条件：地下水位はTP+6.0m（GL-2.0m）

地下水位低下量：⊿h=3.0m（GL-5.0m）

解析期間：60日経過後（水位低下は段階的に20日間）

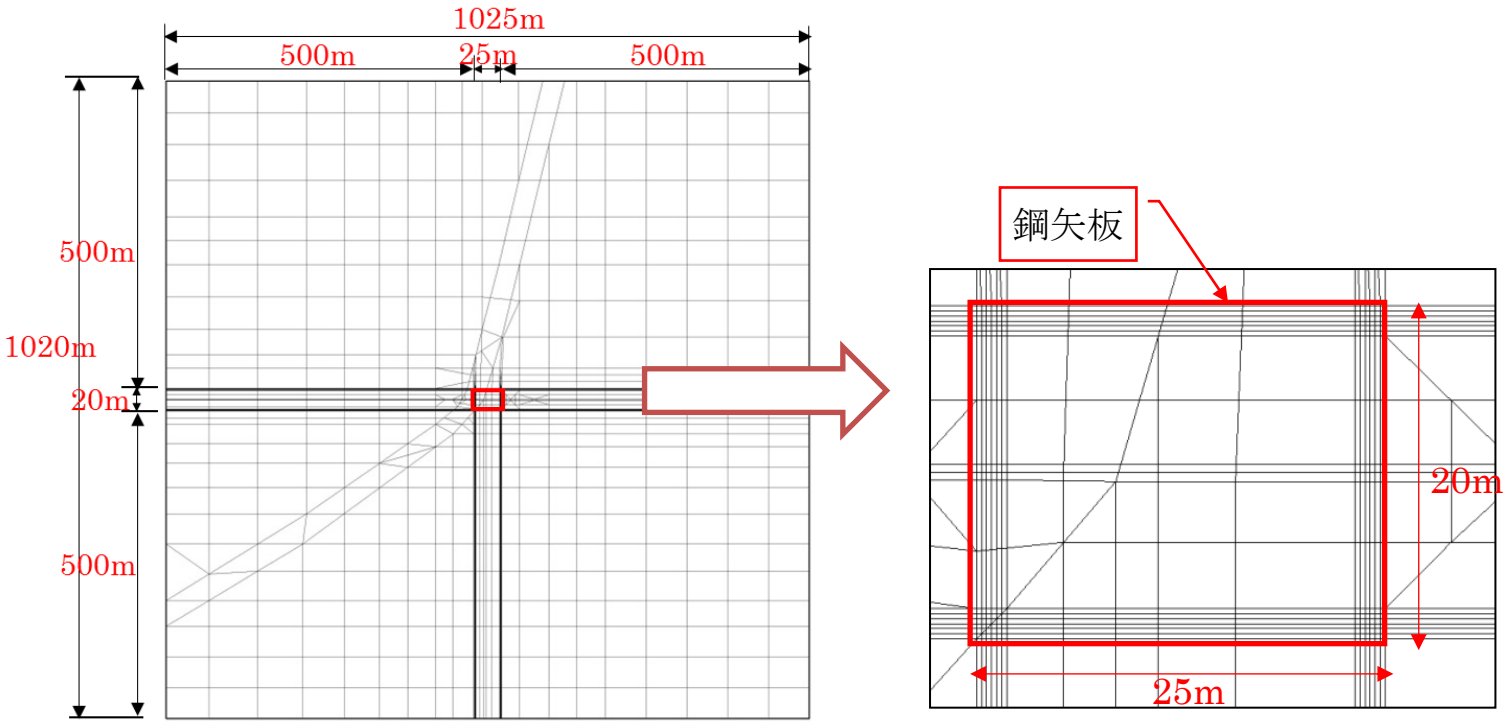


図３－１５　解析モデル平面図

議事(3)　実証実験の計画について

【解析結果①】

短尺矢板モデル（As2層に1m根入れ）の場合

→矢板外側の地下水位は、⊿h=0.1～0.9m低下し、その範囲は最大190mに及ぶ

実験範囲内の地下水位は、60日経過後で⊿h=2.6～2.8m程度（目標値⊿h=3.0m）

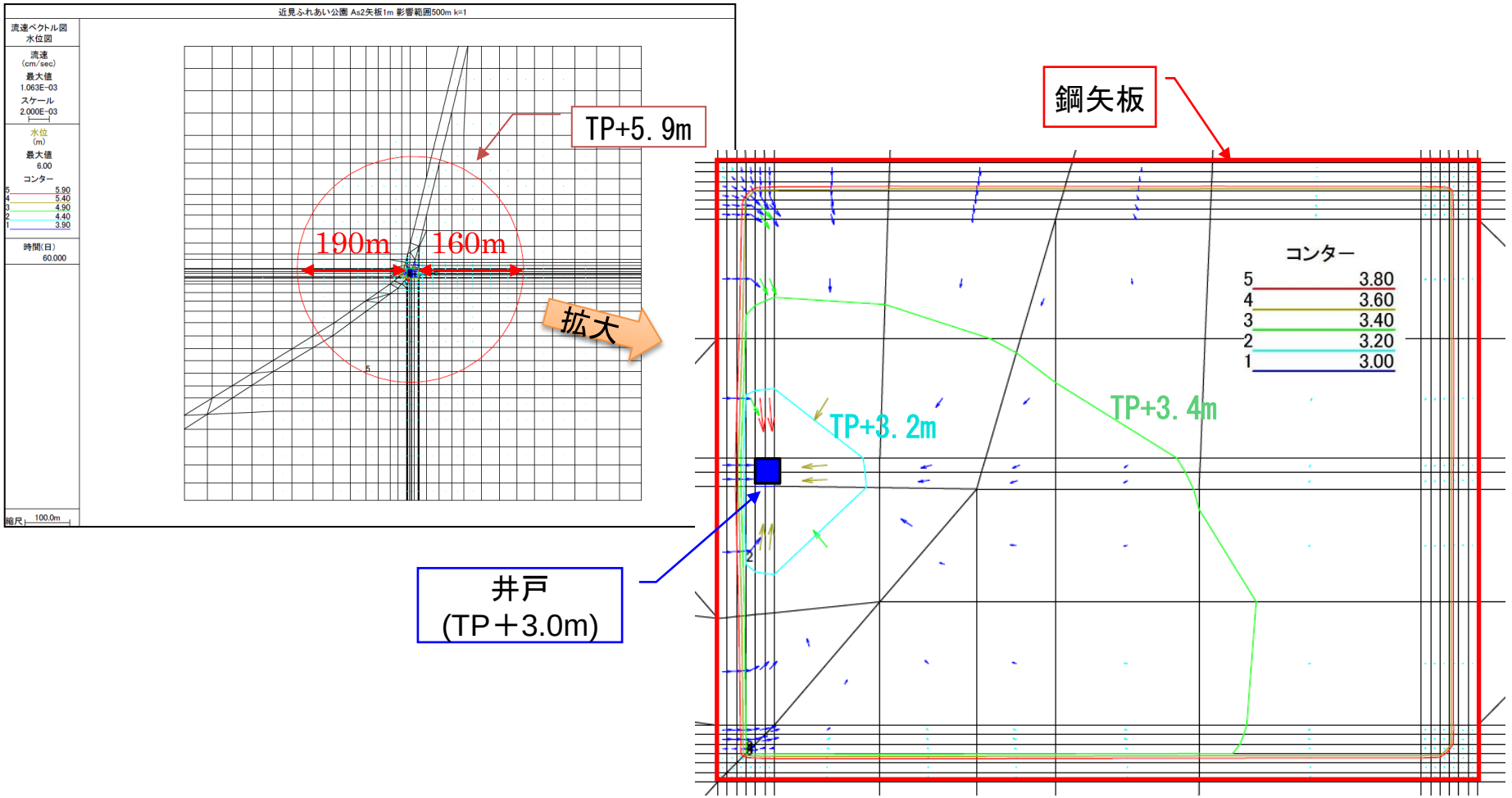


図３－１６　短尺矢板モデル平面図

議事(3)　実証実験の計画について

【解析結果②】

長尺矢板モデル（Ac2層に1m根入れ）の場合

→矢板外側の地下水位は、ほとんど低下しない（⊿h=0.1m）

　実験範囲内の地下水位は、60日経過後で⊿h=2.85～3.0m程度（目標値⊿h=3.0m）

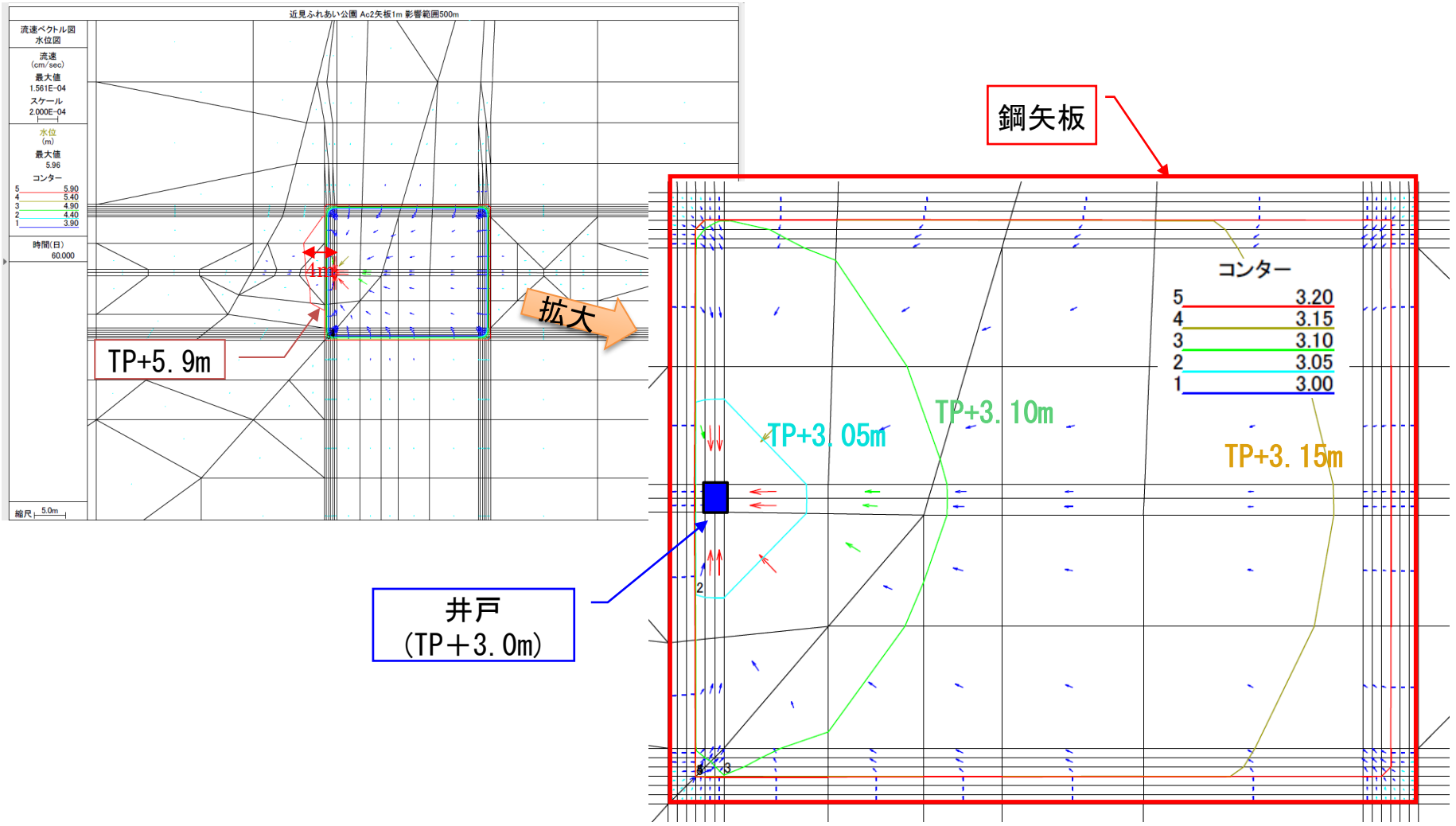


図３－１７　長尺矢板モデル平面図

議事(3)　実証実験の計画について

【沈下解析モデル】

近見1丁目ふれあい公園の地層構成をもとに、以下の2ケースとする

①砂質土が厚く分布する表層砂層モデル(近見１丁目ふれあい公園東側　No.1-1)

②粘性土が厚く分布する表層粘土モデル(近見１丁目ふれあい公園西側　No.1-8)

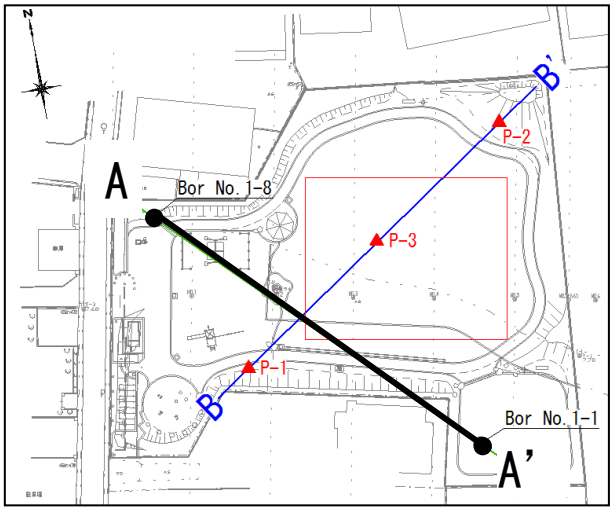
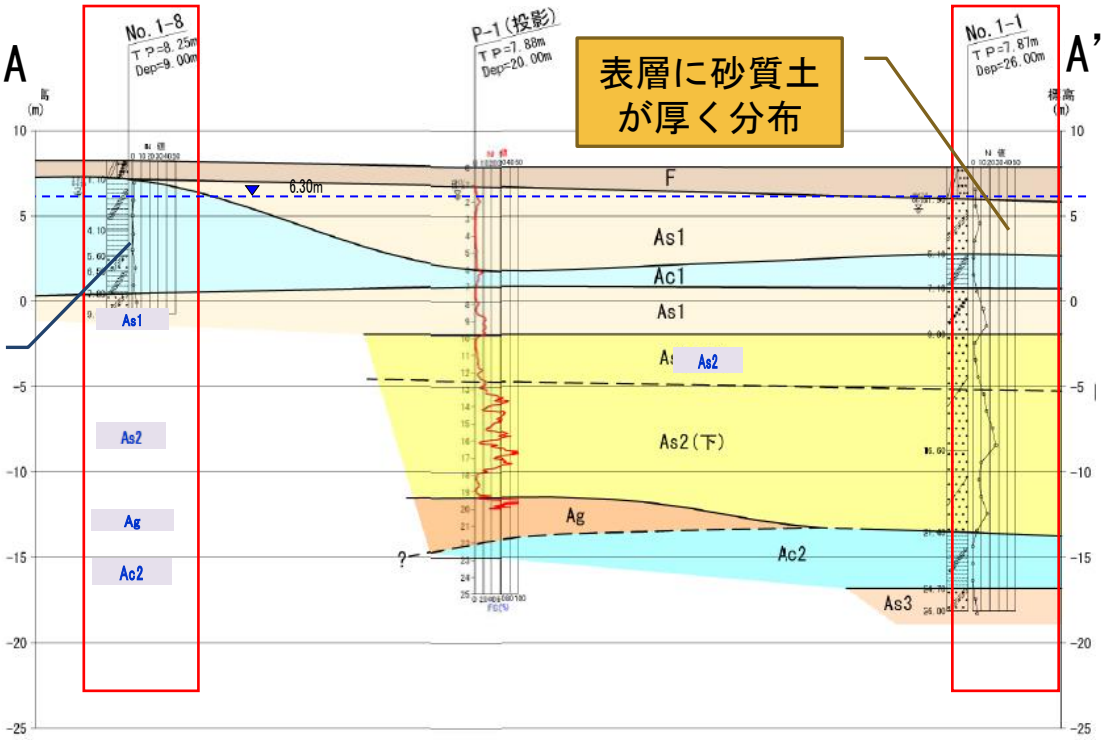


図3－１８　近見1丁目ふれあい公園平面図

②表層粘土モデル

①表層砂層モデル



表層に粘性土
が厚く分布

地質年代			地層区分	
			地層名	記号
新生代	第四紀	完新世	埋土	F
			沼沢原堆積物　沖積第1粘性土	Ac1
			沼沢原堆積物　沖積第1砂質土	As1
			有明粘土層　沖積第2砂質土	As2
			有明粘土層　沖積第2粘性土	Ac2
			有明粘土層　沖積第3粘性土	As3
			有明粘土層　沖積砂礫層	Ag

図３－１９　近見１丁目ふれあい公園　想定断面図(A-A'断面)

議事(3)　実証実験の計画について

【沈下量と地下水位低下量】

許容沈下量をSa=10cmとすると、

表層砂層モデルでは⊿h=2.2m以上
表層粘土モデルでは⊿h=3.7m以上

地下水位低下が生じた場合に、
許容値Sa=10cmを超過する

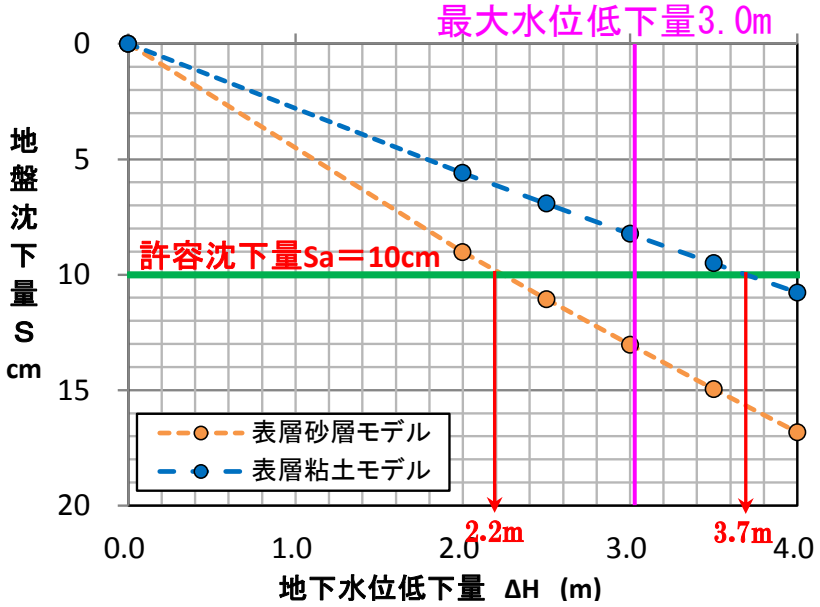


図３－２０　地下低下量と地盤沈下量

表３－４　地下水位低下量と地盤沈下量

地下水位低下量 Δ H(m)	地盤沈下量S(cm)	
	表層砂層モデル	表層粘土モデル
0.0	0	0
2.0	9	6
2.5	11	7
3.0	13	8
3.5	15	10
4.0	17	11

圧密沈下解析により、最大条件として地下水位を3m低下させた場合では、
表層砂層モデルにおいて地盤沈下量は許容値を超過する可能性がある

以上の圧密沈下解析結果の検証を、実証実験にて確認する

議事(3)　実証実験の計画について

【実証実験スケジュール（案）】

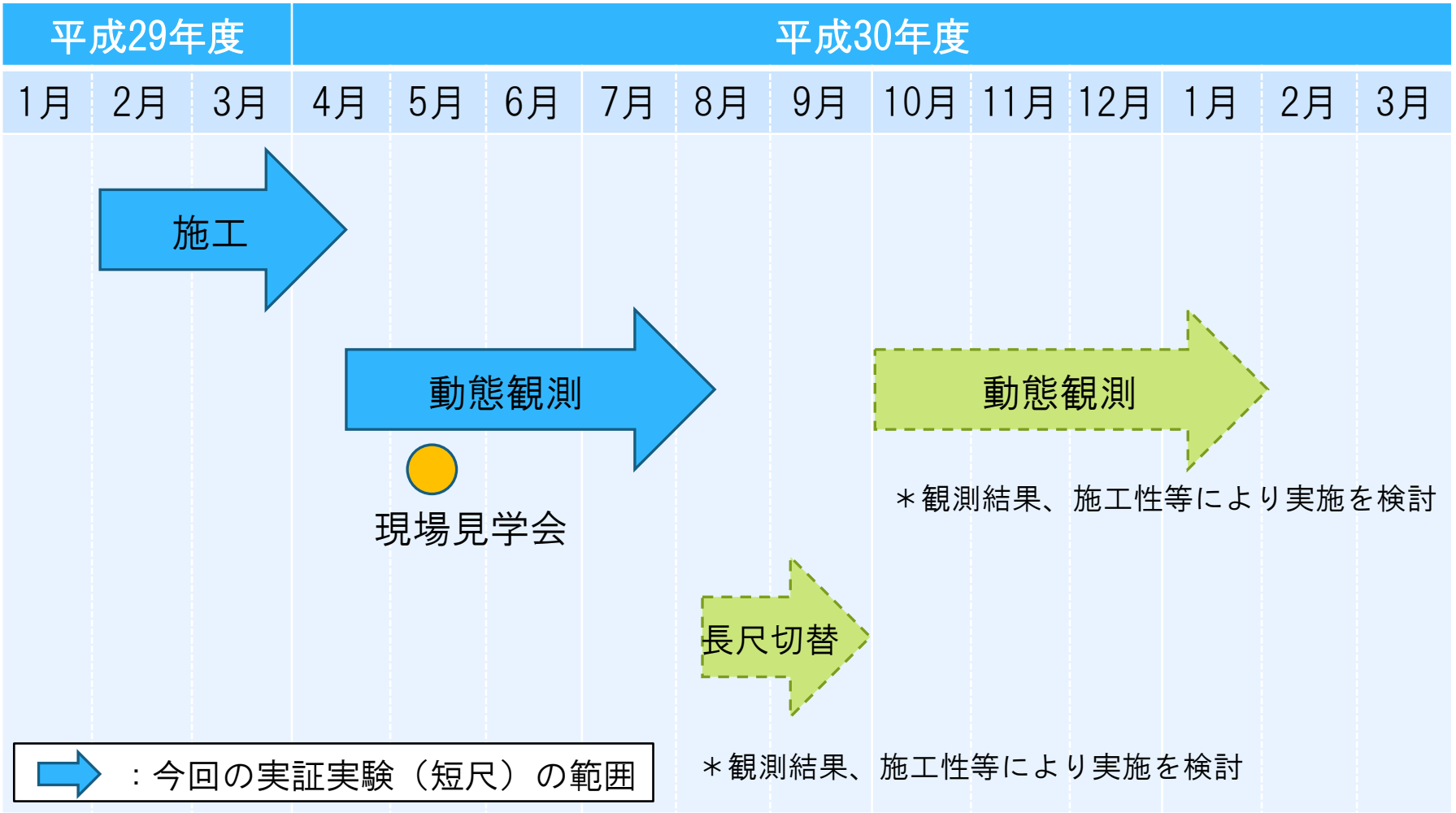


図３－２１　実証実験スケジュール