資料-２

第9回熊本市液状化対策技術検討委員会
説明資料
【秋津町秋田地区】

熊本市

令和元年7月26日

議事(1)　前回までの確認事項

議事(2)　実施した調査検討内容

議事(3)　今後の検討方針

前回までの確認事項

	指摘事項	報告事項
As1層の特性(液状化の可能性、N値)	・As1層でのサンプリングの未実施	・液状化対象層(As1,Ag1,As3層)でのサンプリングを実施し、N値および力学・液状化特性を確認した。
実被害との整合性	・被害状況は矢形川より木山川のほうが大きい印象である。解析時に考慮すべきである。	・変形解析(安定解析)により、実被害との変形モードが一致した。
実際の地盤変位	・秋田地区における実際の移動量はどの程度であるのか？	・秋田地区の宅地被害は、水平変位で6～34cmの範囲、鉛直変位で0～59cmの範囲であった。
液状化対象層のN値	・As1層では大きく、As3層では小さい。N値に依存した検討は留意すべきである。	・液状化対象層の採用N値は、As1層で5.1回、As2層で5.2回、As3層で4.9回、Ag1層で11.6回である。Ag1層以外の液状対象層のN値は、大きな差はみられない。
液状化層の物理特性の確認	・液状化検討時には、塑性指数も調べるべき(特に火山灰質土は高くなる傾向にある)。	・追加調査により、各地層の物理特性を確認した。

具体的な調査検討結果は次のとおり。

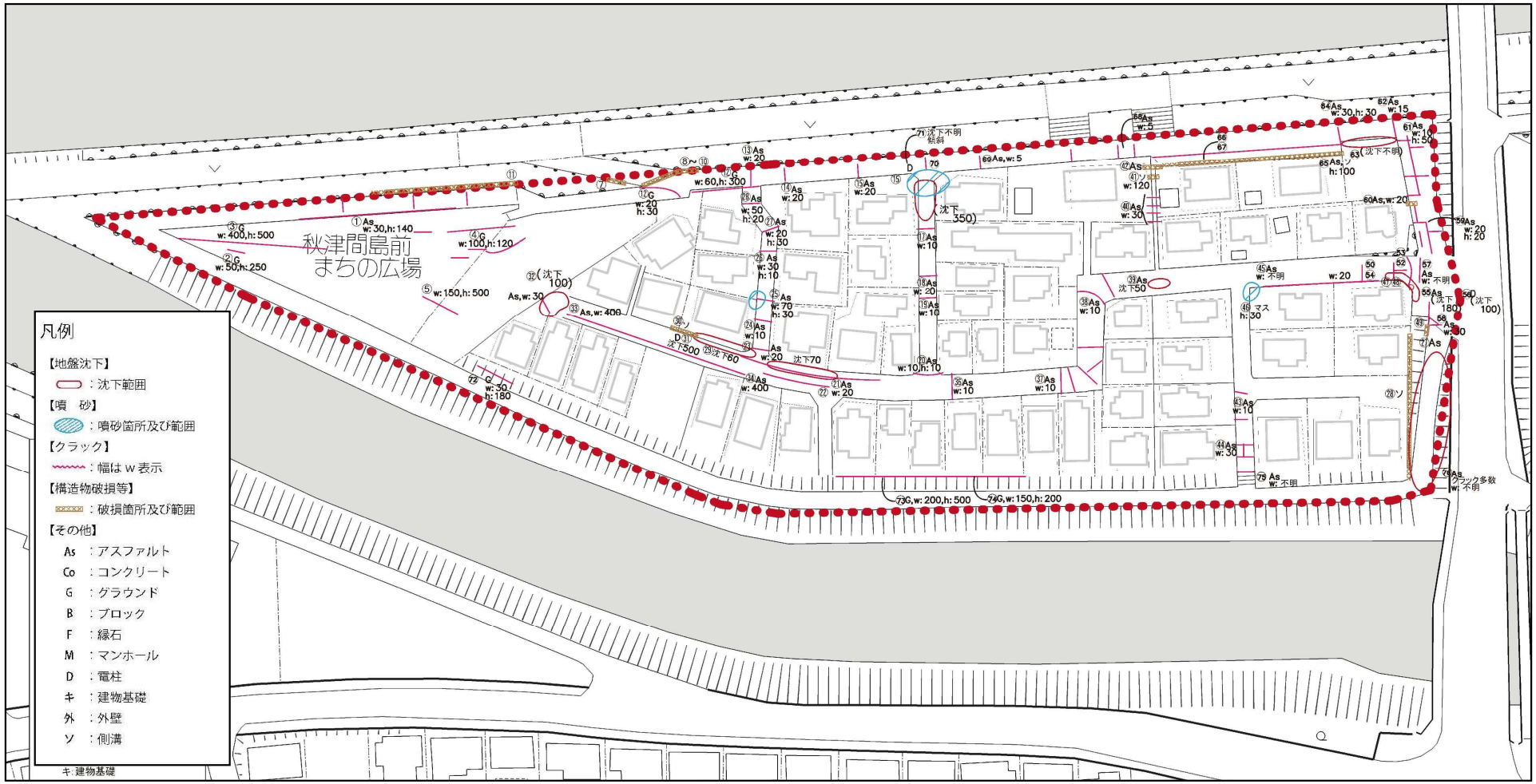
課題	調査検討結果
①地震被害の整理	地盤・家屋・構造物の被害特徴を整理した結果、本地区の被害は、地盤が木山川(北東方向)側への変位が大きいことが判明した。
②設計地震動	本地区は、熊本地震の震央付近に位置しており、近傍の観測記録では、地表最大加速度は800galと大きい。このことを踏まえ、適切な地震応答加速度を設定した。
③土質特性	本地区の以下の特性の把握した(詳細は後述する)。 ①主な液状化層の分布範囲の特定 ②地下水位の把握 ③液状化層を含む各層の土質工学的特性の把握
④再現解析	液状化判定結果等を踏まえて、円弧すべりによる安定解析や動的変形解析(LIQCA)によって、地盤挙動をほぼ再現できた。実施内容は下記の通り。 ①土質定数の見直し(再調査を実施) ②過剰間隙水圧の蓄積－消散過程が評価可能な「LIQCA」を利用 ③円弧すべり計算(kh法)を実施
⑤再度災害防止対策	液状化に起因した側方流動により地盤が変状したと推察し、地盤改良工法などを用いた側方流動対策を検討

【地震被害の整理】

- 秋田地区は、近見地区の東に位置する。
- 秋田地区は熊本地震時に道路や橋梁、河川などの公共施設への被災が顕著であると報告されている。

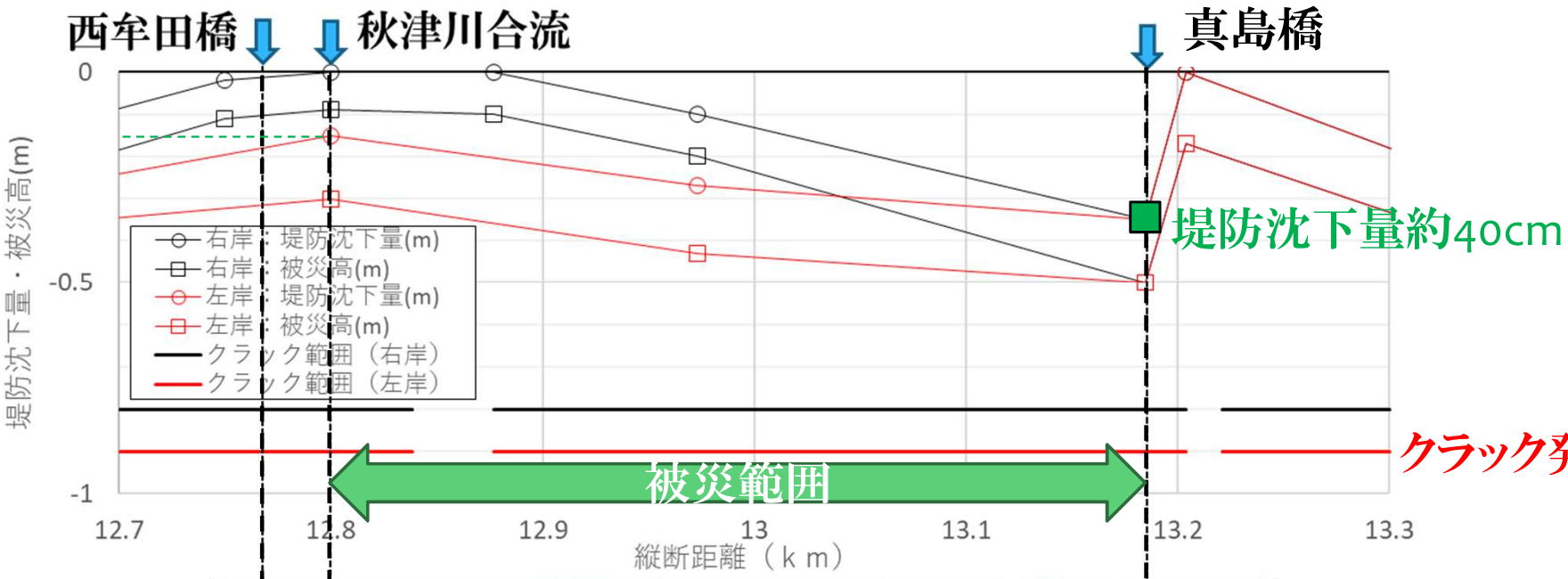
【秋田地区における被災状況】

- 秋田地区は、戸数は59宅地、面積は1.75ha
- 家屋調査より、傾斜は58件、地盤沈下は28件、家屋めり込み沈下は4件確認され、公共施設においては76箇所の被害が報告されている。
- 主に地盤沈下や噴砂、クラックや構造物の破損が確認されている。



出典:熊本市液状化被害基礎調査業務委託

【河川堤防(木山川)の被災状況】



- 木山川左岸において真島橋周辺の堤防で最大約40cmの沈下が確認
- クラックが広く発生している

出典：2016年熊本地震が白川水系および緑川水系に与えた影響について

【家屋及び地盤沈下】

- 家屋における沈下は最大で60cm以上であり、10~19cm沈下した家屋が4割以上を占めている。
- 航空測量結果の地盤沈下と建物沈下の重ね合わせ図では、矢形川側に比べ、木山川側が連続して沈下量が大きい傾向にあり、その沈下量は30～59cm(平均40cm程度)である。

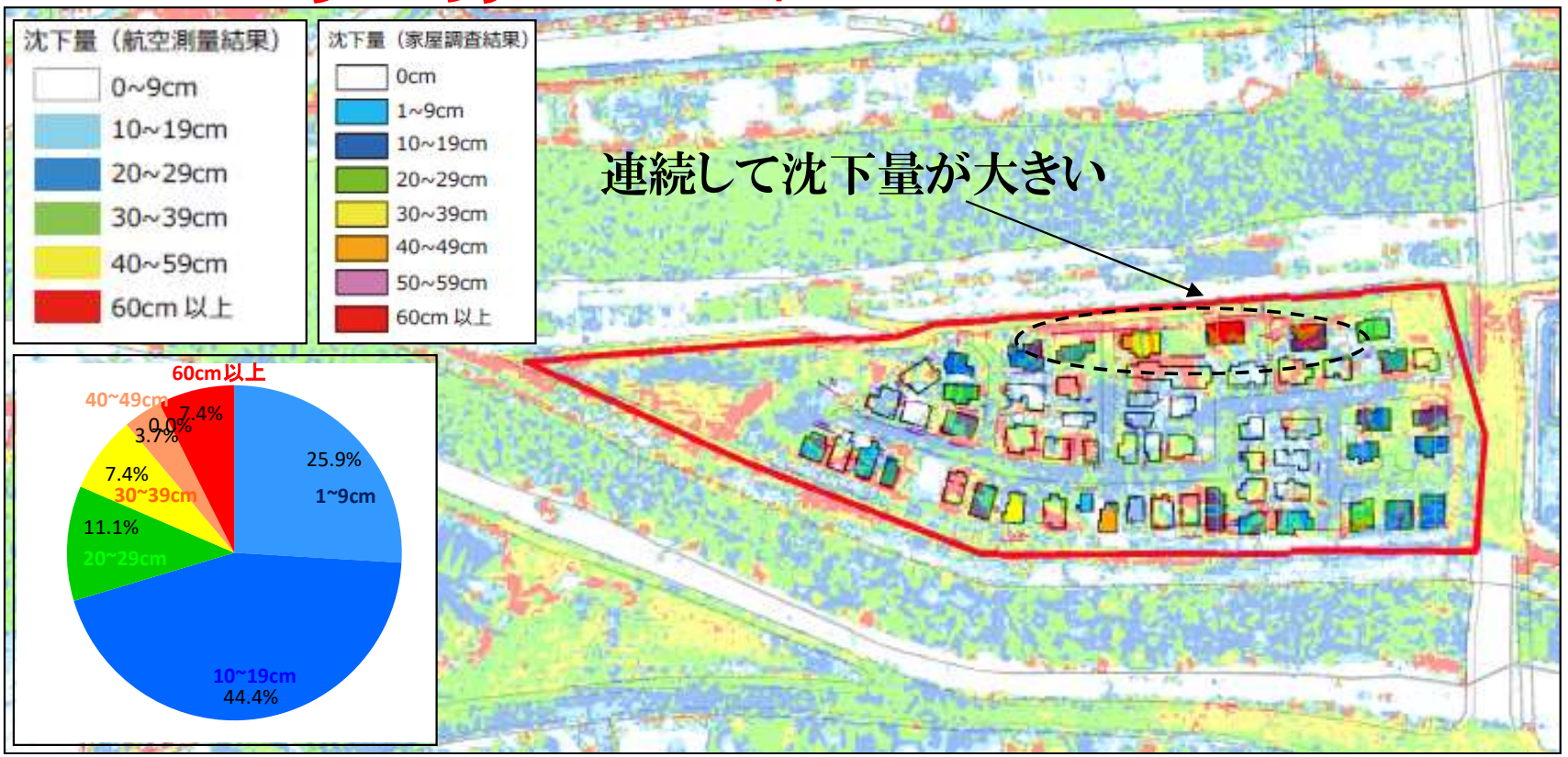
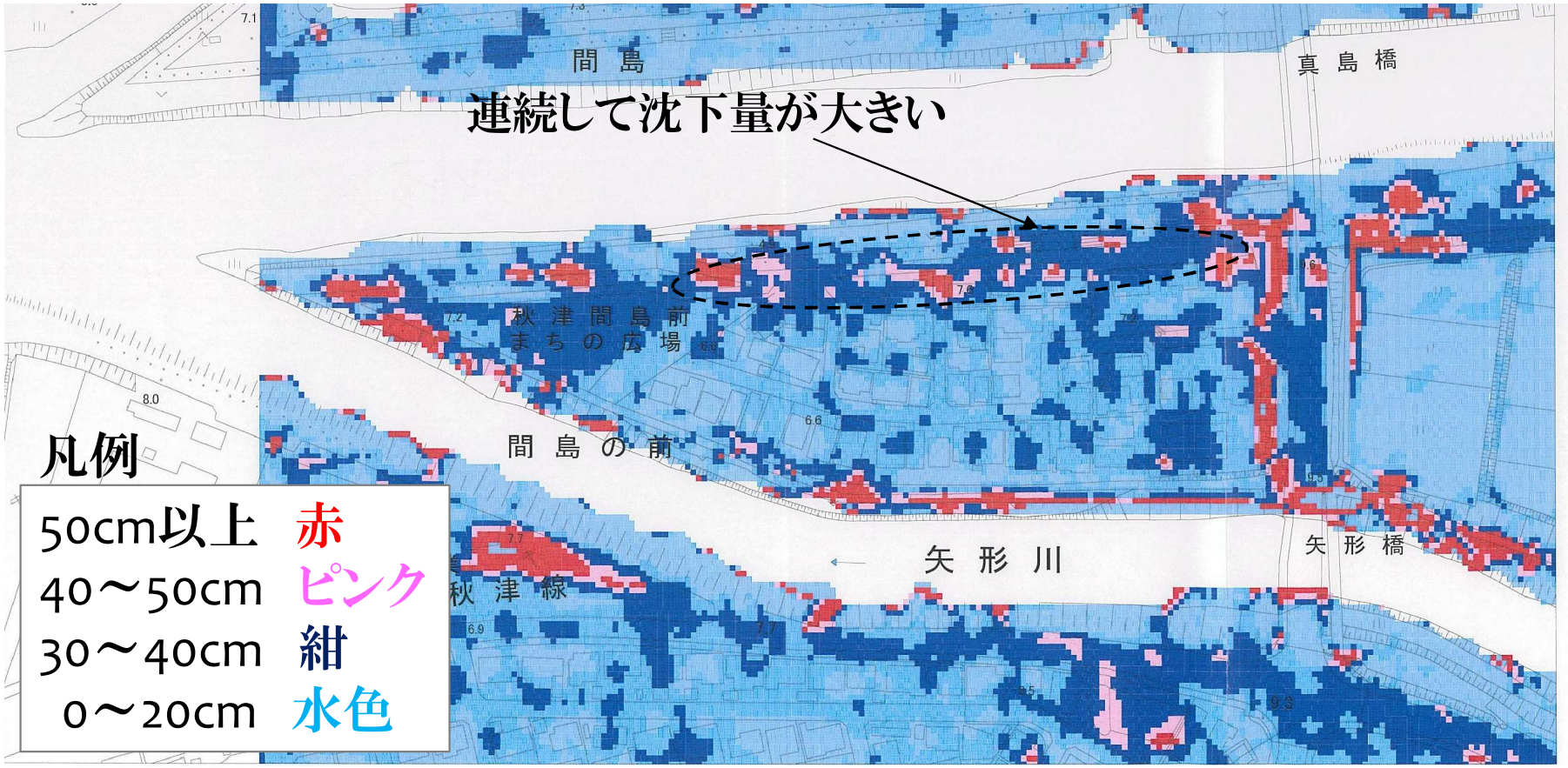


図　航空測量の地盤沈下と建物沈下の重ね合わせ図

出典：熊本市液状化被害基礎調査業務委託

【地盤沈下】

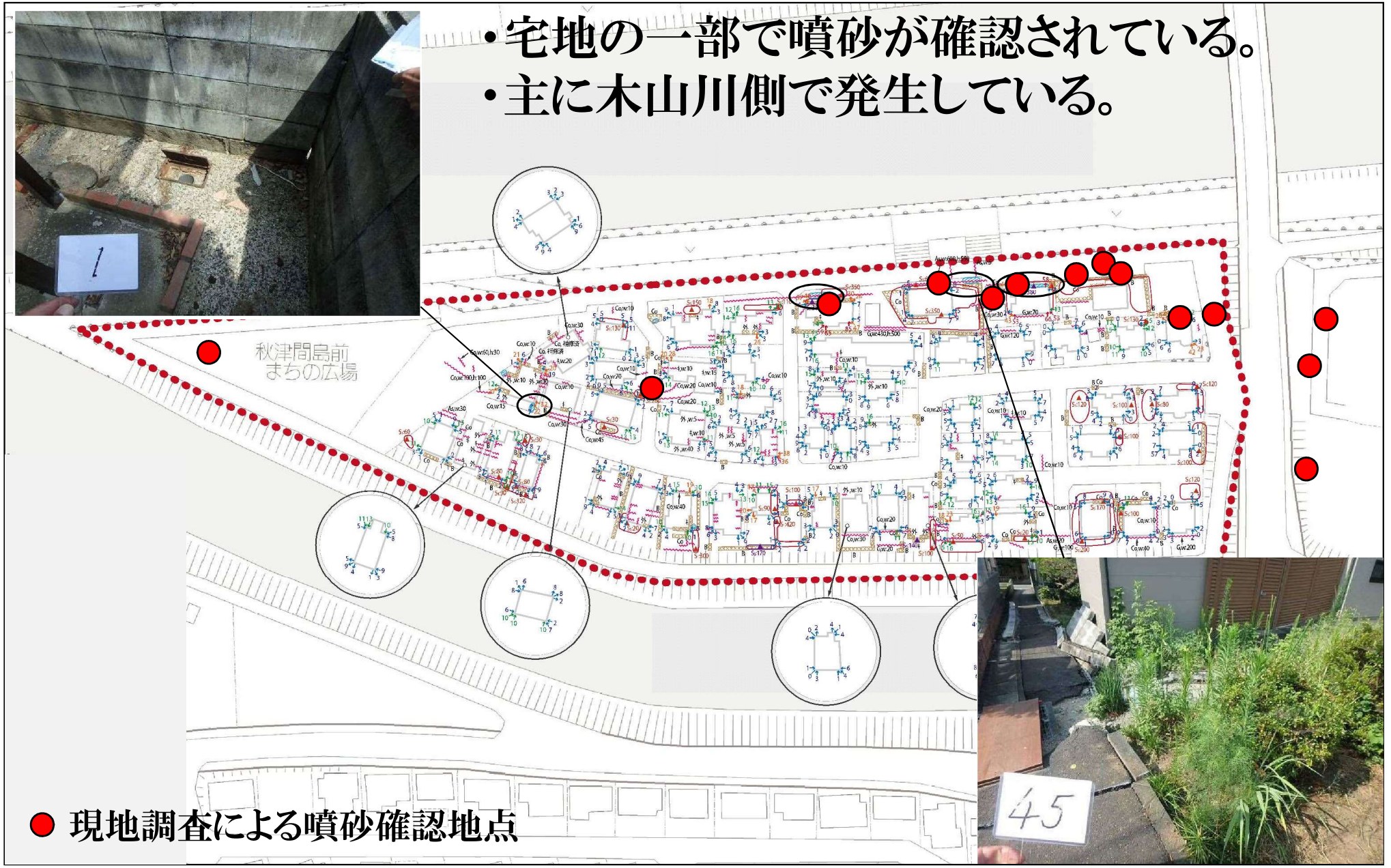
・沈下差分図によると、地盤沈下量は50cm以上である。
・木山川側の宅地では連続した30～50cm（平均40cm程度）の沈下が確認されている。一方、矢形川側の宅地は0～40cm（平均20cm程度）となっている。



熊本地震発生前（H24.1）と熊本地震発生後(H28.10)の沈下差分図

出典：熊本市、国土地理院基盤図

【噴砂状況】



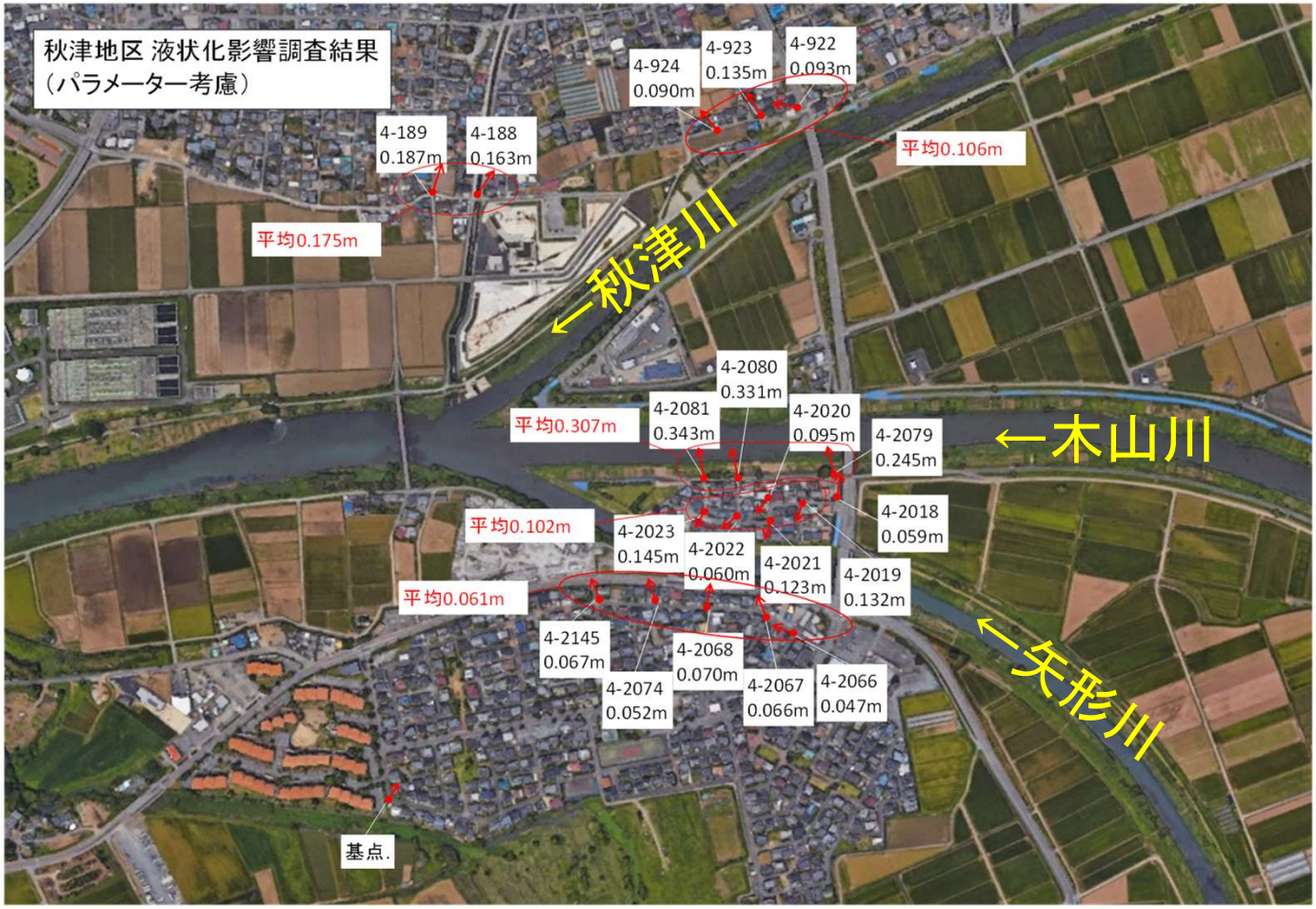
出典：熊本市液状化被害基礎調査業務委託、地盤工学会調査団（村上哲氏より提供）

【噴砂・変状状況】

出典：若松加寿江氏提供（防災科学技術研究所　先名重樹氏撮影）

【秋田地区における被災状況】

- 熊本地震後、秋田地区は、全体的に**北東方向に変位**しており、特に木山川側における変位が大きいことを確認。
- 相対変位は、木山川側**24.5～34.3cm**(平均30.7cm)、矢形川側**6.0～14.5cm**(平均10.2cm)である。



地震後の地盤の挙動(相対変位量)

出典:熊本市

秋田地区における地震被害実態は下記のとおりである。

地震被害実態のまとめ

項目	被災状況
家屋被害	•戸数は59宅地、面積は1.75ha •その内、傾斜は58件、地盤沈下は28件、家屋めり込み沈下は4件
公共施設	•地盤沈下やクラック、構造物破壊等の被害 •被害は76箇所で確認
河川堤防	•木山川左岸において、真島橋周辺の堤防で最大約40cmの堤防が沈下 •クラックが縦断方向に広く発生している
地盤沈下	•家屋の最大沈下量は60cm以上である。 •10～19cm沈下した家屋が最も多く、4割以上を占める •航空測量との重合せ図では、木山川側で30～59cm(平均40cm程度)の沈下が連続して発生 •木山川側の宅地の沈下差分図では平均40cm程度の沈下が連続して発生。一方、矢形川側の宅地は平均20cm程度の沈下量であった。
噴砂	•宅地の一部、主に木山川左岸で噴砂を確認
水平変位量	•相対水平変位量は、木山川側で24.5～34.3cm(平均30.7cm)、矢形川側で6.0～14.5cm(平均10.2cm)である。

以上のことから、秋田地区の被害は、矢形川側に比べ木山川側が大きかった。

【工学的基盤波作成：概要】

手法：

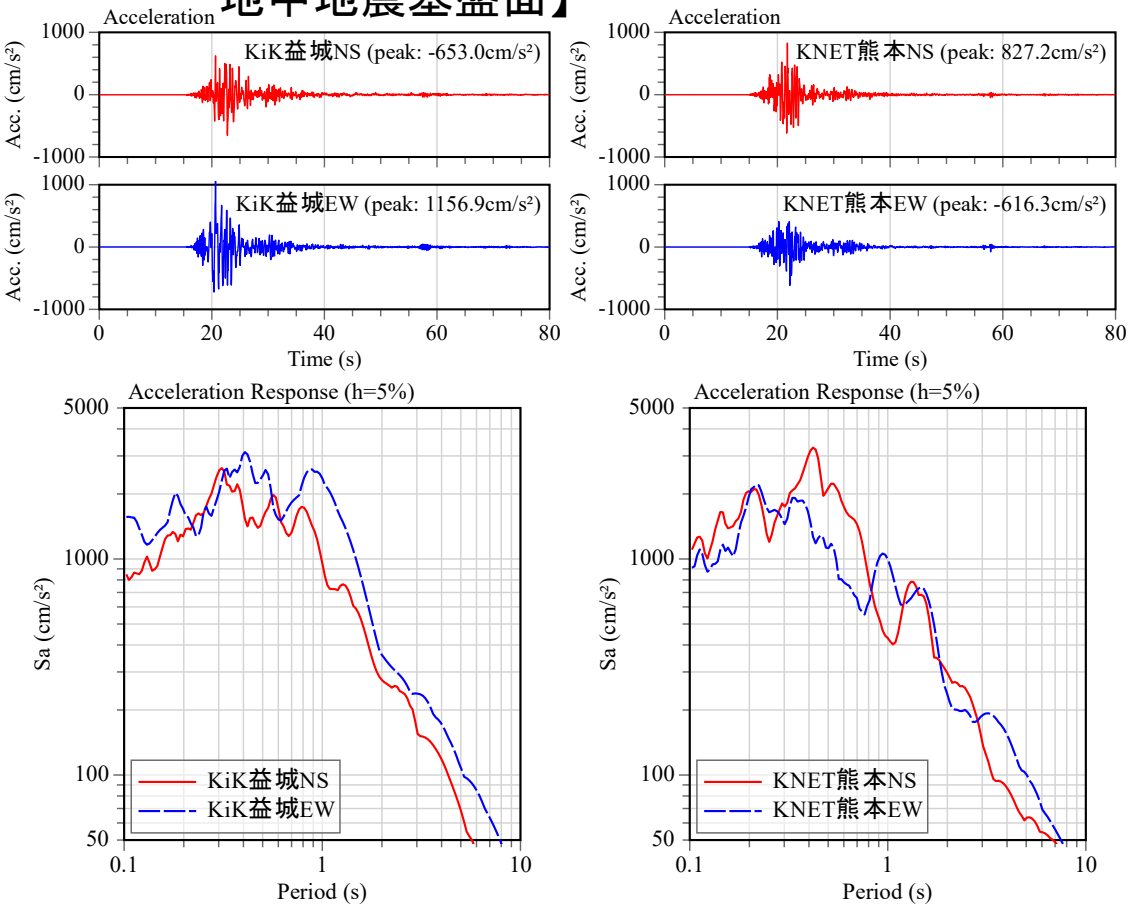
①KiK-net益城地中観測波を用いて工学的基盤波を推定(近見地区の手法)

②K-NET熊本観測波による逆増幅解析により妥当性を検証

秋田地区周辺の熊本地震観測記録地点位置図

①【KiK-net益城：地中地震基盤面】

②【K-NET熊本：地表面】



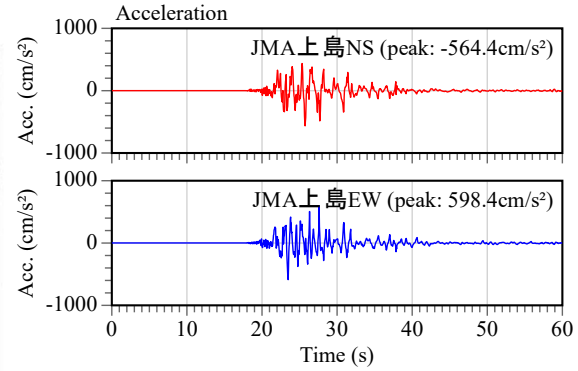
KiK-net益城・K-NET熊本観測点における観測地震波

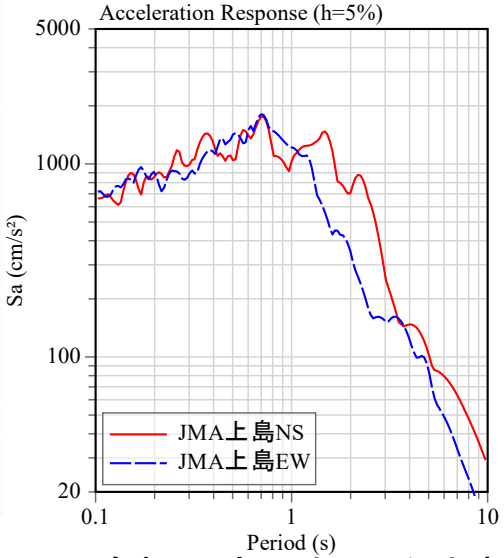
【工学的基盤波作成：概要】

気象庁震度計嘉島町上島の観測波は、液状化（長周期化）の兆候が記録にあらわれているため棄却した

加速度波形がスパイク状かつ、応答スペクトルが長周期化している。

秋田地区周辺の熊本地震観測記録地点位置図





JMA上島観測点における地表観測地震波

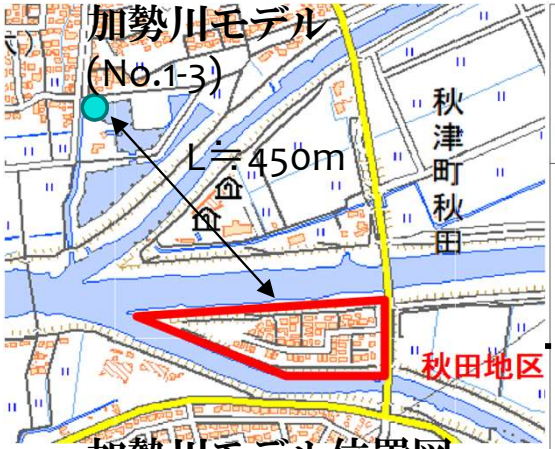
【工学的基盤波作成:モデル作成】

モデル設定

- 物性は加勢川モデル,KiK-net益城観測点モデルより設定
- 工学的基盤以浅の動的特性→近見地区の関係式を使用
- 工学的基盤以深→線形弾性体

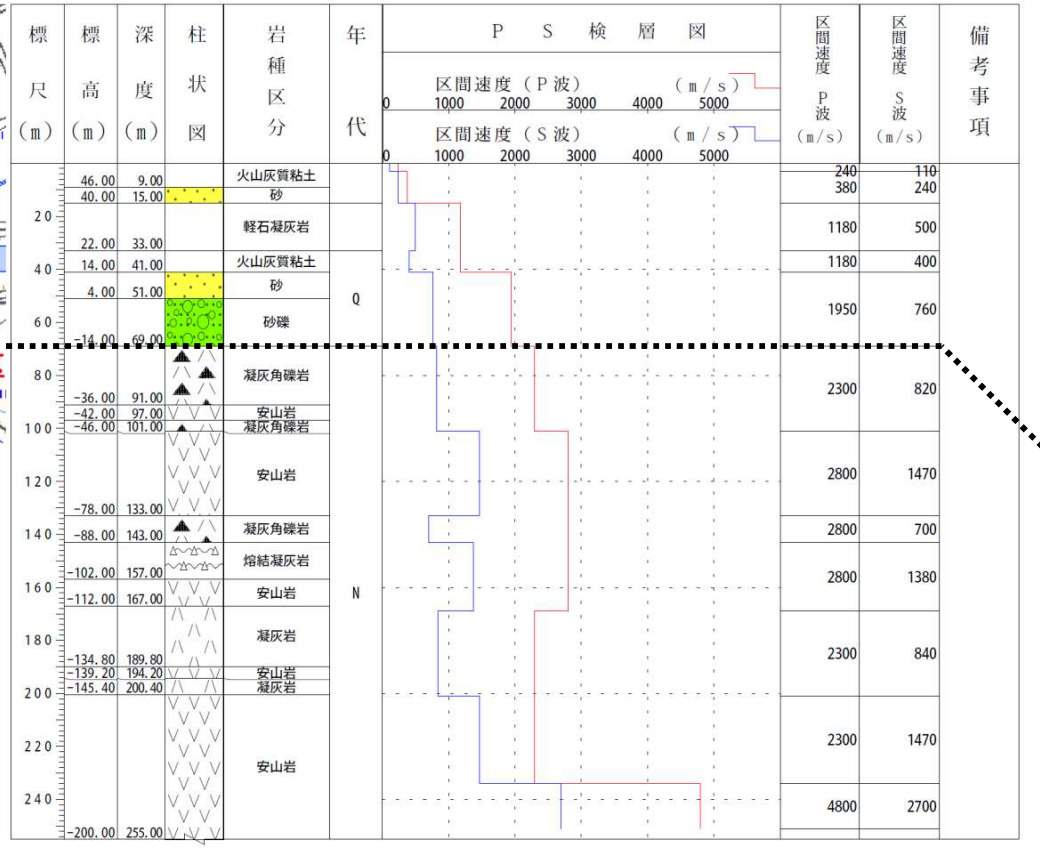
解析条件

- 等価線形解析プログラム「DYNEQ」を使用

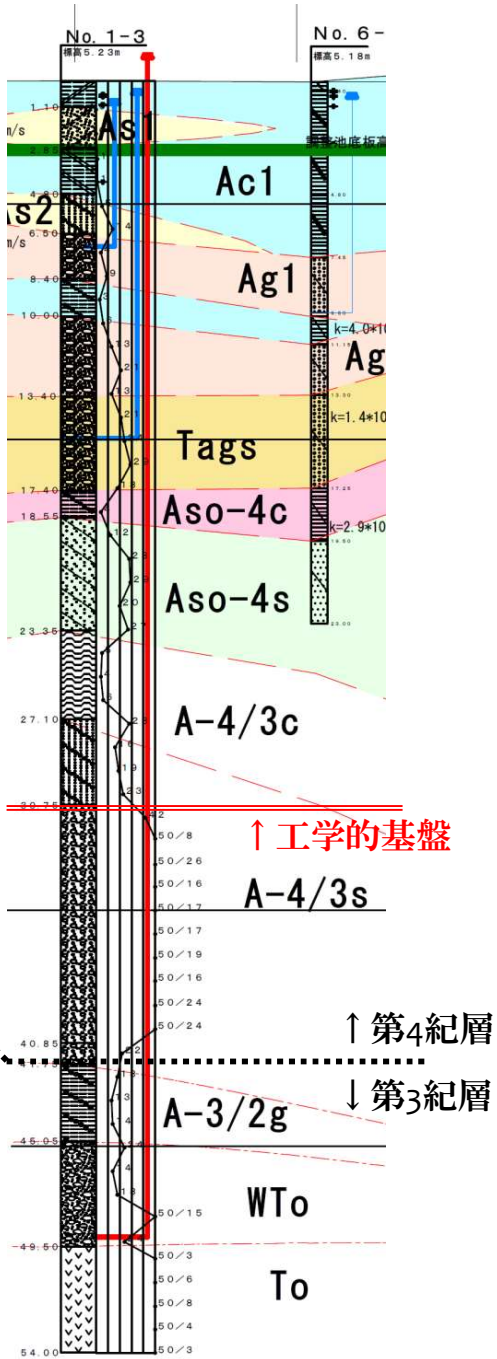


加勢川モデル位置図

設定物性一覧

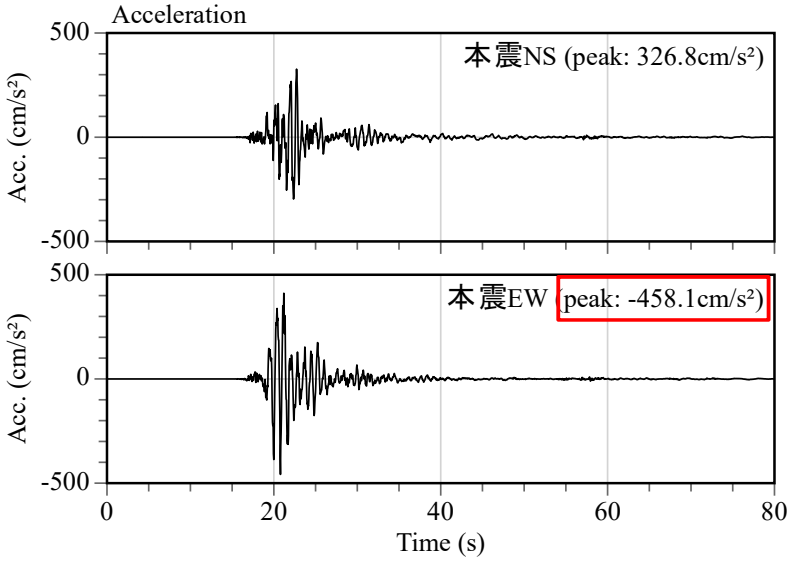


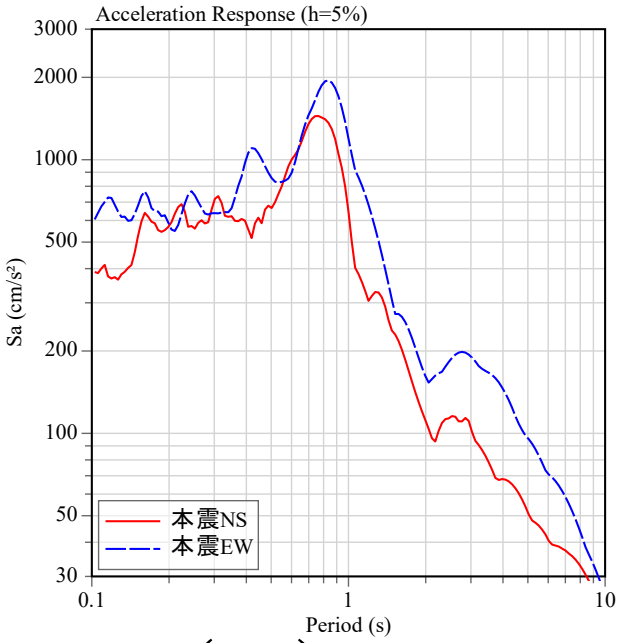
右：加勢川モデル
左：KiK-net益城観測点モデル



【工学的基盤波作成：工学的基盤波】

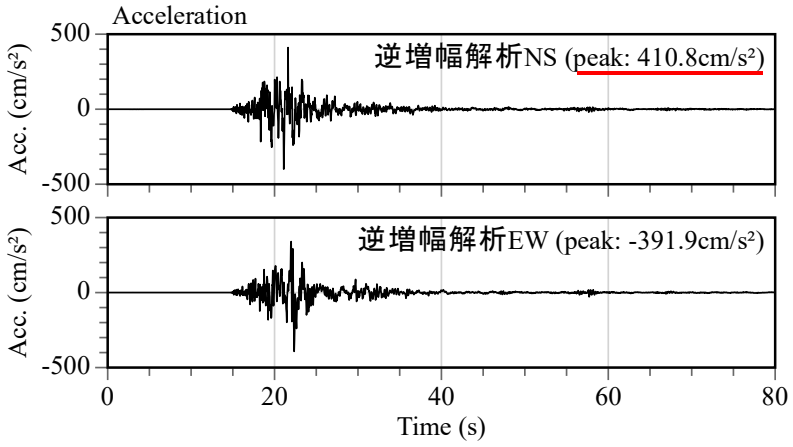
手法①





手法①による工学的基盤最大加速度　：458 gal　（EW）
・・・手法②の逆増幅解析では410 galであり、最大加速度値は概ね同じ
→ 作成した工学的基盤波を用いて秋田地区調査地点における液状化評価（有効応力解析）を実施する。

参考：
手法②による工学的基盤波



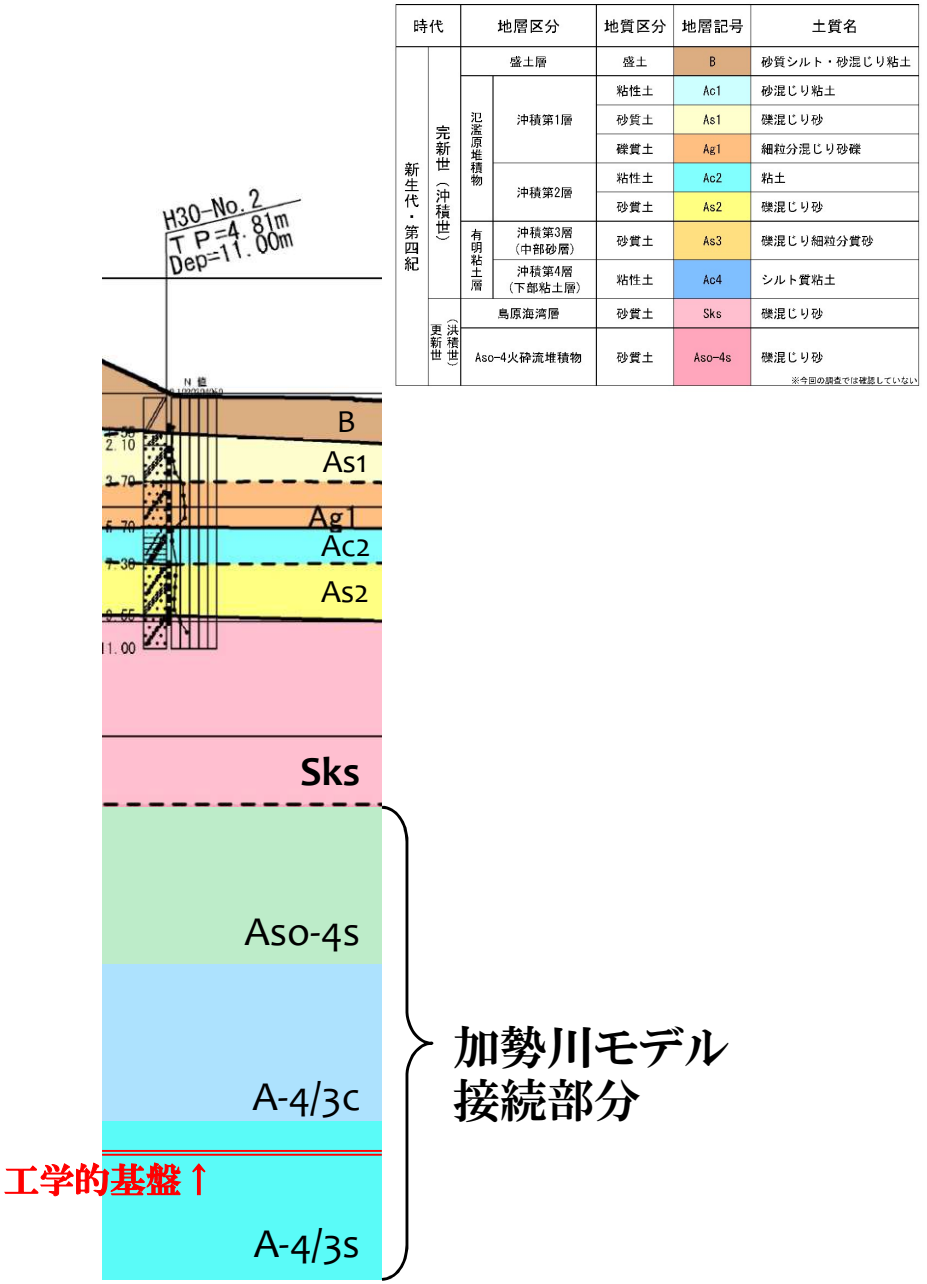
【液状化解析：地盤モデル】

モデル化条件

- 秋田地区におけるH30ボーリング調査より,液状化層(As1,As2)を有するNo.2孔を対象
- Sks層上面までの層構成はボーリング調査による. 以深～工学的基盤は加勢川モデルで補完
- 解析上の液状化対象層はSks層上面以浅の砂質土層→As1,Ag1,As2 層

計算条件

- 地下水位はGL-0.5m地点
- 液状化に係るパラメータは室内試験値から算定
- 逐次積分非線形応答解析プログラム
- 「YUSAYUSA-2」による有効応力解析とする。



時代		地層区分		地質区分	地層記号	土質名
新生代・第四紀	完新世（沖積世）	盛土層		盛土	B	砂質シルト・砂混じり粘土
		氾濫原堆積物	沖積第1層	粘性土	Ac1	砂混じり粘土
				砂質土	As1	礫混じり砂
				礫質土	Ag1	細粒分混じり砂礫
			沖積第2層	粘性土	Ac2	粘土
				砂質土	As2	礫混じり砂
		有明粘土層	沖積第3層（中部砂層）	砂質土	As3	礫混じり細粒分質砂
			沖積第4層（下部粘土層）	粘性土	Ac4	シルト質粘土
	更新世（洪積世）	鳥原海湾層		砂質土	Sks	礫混じり砂
		Aso-4火砕流堆積物		砂質土	Aso-4s	礫混じり砂

※今回の調査では確認していない

【液状化解析：地盤モデル】

物性設定

- 秋田地区におけるN値とVsの関係式を適用（下図、右枠内参照）
- As1層の液状化強度R_{L20}は試験値（=0.2）（後述）を採用
- 内部摩擦角,密度値等は土質定数一覧に基づき設定

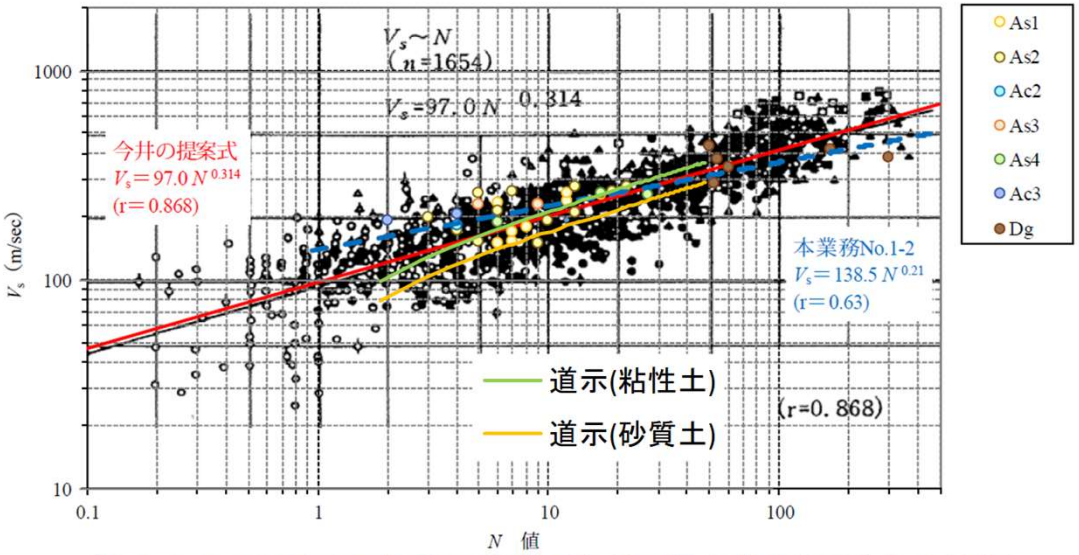


図 4.5.2　S波速度V_sとN値の関係（今井の研究成果(1982)との対比）

【出典】熊本市宅地液状化防止事業地質調査等業務委託,p. 2-103 ,H29年11月.に加筆

近見地区におけるVs-Nの関係は、既往の関係式よりも勾配が緩い傾向

⇒秋田地区にもこの関係を適用

$$V_s=138.5N^{0.21}$$

秋田地区の各土層のV_s

土層区分	採用N値	V_s (m/s)
B	1.7	155
As1	5.1	195
As2	5.2	196
As3	4.9	193
Ag1	11.6	232
Ac2	1.1	141
Sks	5.2	196
Aso-4s	15.9	248

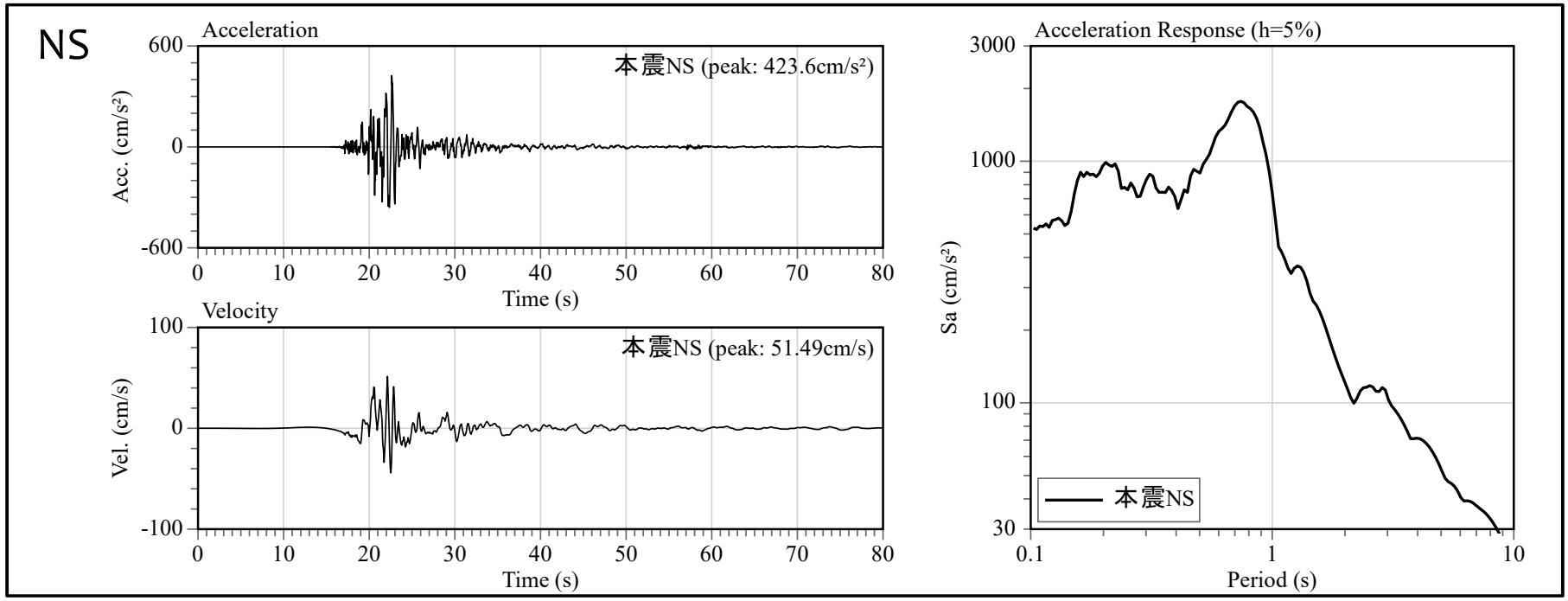
【液状化解析：地盤モデル】

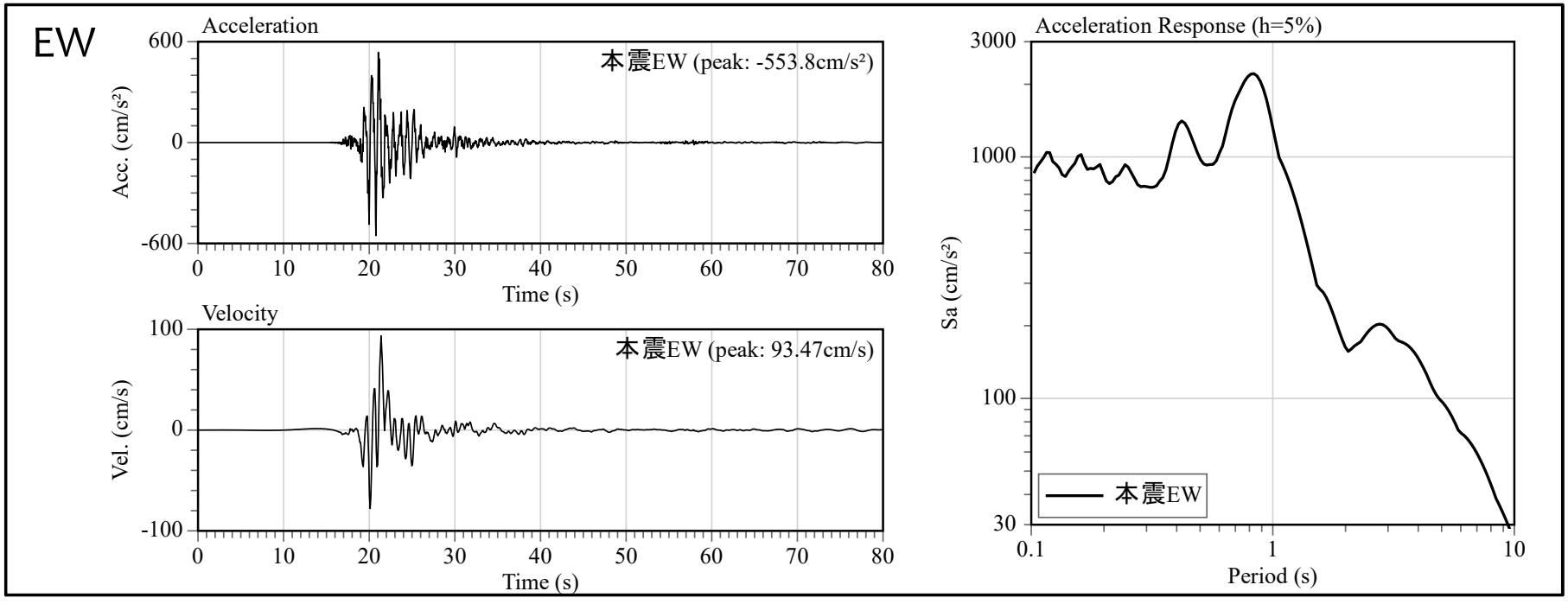
設定物性一覧

GL-(m)	TP(m)	層厚(m)	S波速度 Vs(m/s)	密度 ρ(g/cm³)	内部摩擦角 Φ(°)	粘着力 c(kN/m²)	動的パラメータ 基準ひずみ $\gamma_{0.5}$	最大減衰比 h_{max}	α	β	液状化 N値	細粒分含有率 Fc(%)	50%粒径 D_{50}(mm)	液状化強度 R_{L20}	液状化強度 R_{L5}	Bp	Bu	主な土質	
0.00 ～ 0.50	7.04 ～ 6.54	0.50	155	1.77	-	27.0	0.30%	16.0%	1.593	1.671	1.7	82.8	0.007	-	-	-	-	B	砂質シルト･砂混り粘土
0.50 ～ 1.55	6.54 ～ 5.49	1.05																	
1.55 ～ 2.73	5.49 ～ 4.32	1.18	195	1.78	35.0	0.0	0.10%	29.0%	3.189	2.673	5.1	32.6	0.312	0.200	0.310	2.80	1.70	As1	礫混り砂
2.73 ～ 3.90	4.32 ～ 3.14	1.18																	
3.90 ～ 4.80	3.14 ～ 2.24	0.90	232	1.92	35.0	0.0	0.04%	16.0%	1.593	1.671	11.6	17.5	1.105	0.300	0.598	0.30	0.40	Ag1	細粒分混り砂礫
4.80 ～ 5.70	2.24 ～ 1.34	0.90																	
5.70 ～ 6.50	1.34 ～ 0.54	0.80	141	1.60	-	30.0	0.15%	19.0%	1.804	1.851	1.1	61~95	0.042	-	-	-	-	Ac2	粘土
6.50 ～ 7.30	0.54 ～ -0.26	0.80																	
7.30 ～ 8.43	-0.26 ～ -1.39	1.13	196	1.80	35.0	0.0	0.09%	19.0%	1.804	1.851	5.2	20.3	0.399	0.336	0.390	2.00	0.05	As2	礫混り砂
8.43 ～ 9.55	-1.39 ～ -2.51	1.13																	
9.55 ～ 10.73	-2.51 ～ -3.69	1.18	196	1.57	35.0	0.0	0.08%	18.0%	1.727	1.788	5.2	20.8	0.772	-	-	-	-	Sks	礫混り砂
10.73 ～ 11.90	-3.69 ～ -4.86	1.18																	
11.90 ～ 13.08	-4.86 ～ -6.04	1.18																	
13.08 ～ 14.25	-6.04 ～ -7.21	1.18																	
14.25 ～ 15.43	-7.21 ～ -8.39	1.18																	
15.43 ～ 16.60	-8.39 ～ -9.56	1.18																	
16.60 ～ 17.78	-9.56 ～ -10.74	1.18																	
17.78 ～ 18.81	-10.74 ～ -11.77	1.03	248	2.10	-	-	0.08%	18.0%	1.727	1.788	15.9	-	-	-	-	-	-	Aso-4s	(砂質土)
18.81 ～ 19.84	-11.77 ～ -12.80	1.03																	
19.84 ～ 20.87	-12.80 ～ -13.83	1.03																	
20.87 ～ 21.90	-13.83 ～ -14.86	1.03																	
21.90 ～ 22.93	-14.86 ～ -15.89	1.03																	
22.93 ～ 24.18	-15.89 ～ -17.14	1.25	400	2.10	-	-	0.15%	19.0%	1.804	1.851	5.0	-	-	-	-	-	-	A-4/3c	(粘性土)
24.18 ～ 25.43	-17.14 ～ -18.39	1.25																	
25.43 ～ 26.68	-18.39 ～ -19.64	1.25																	
26.68 ～ 27.90	-19.64 ～ -20.86	1.22	760	2.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	A-4/3s	(砂質土)
27.90 ～ 29.11	-20.86 ～ -22.07	1.22																	
29.11 ～ 30.33	-22.07 ～ -23.29	1.22																	
30.33 ～ -	-23.29 ～ -	-	760	2.10	-	-	-	-	-	-	60	-	-	-	-	-	-	A-4/3s	(砂質土)

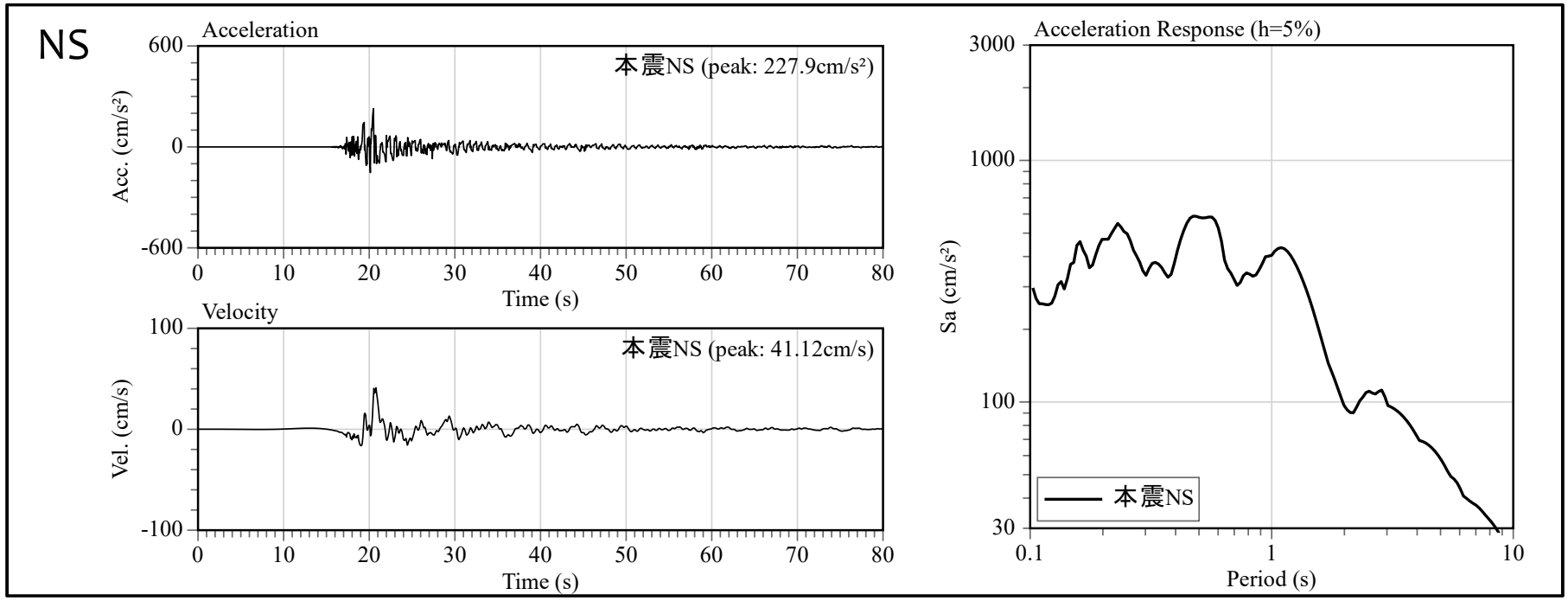
- 工学的基盤はGL-30.33m
- 水色部分は液状化対象層

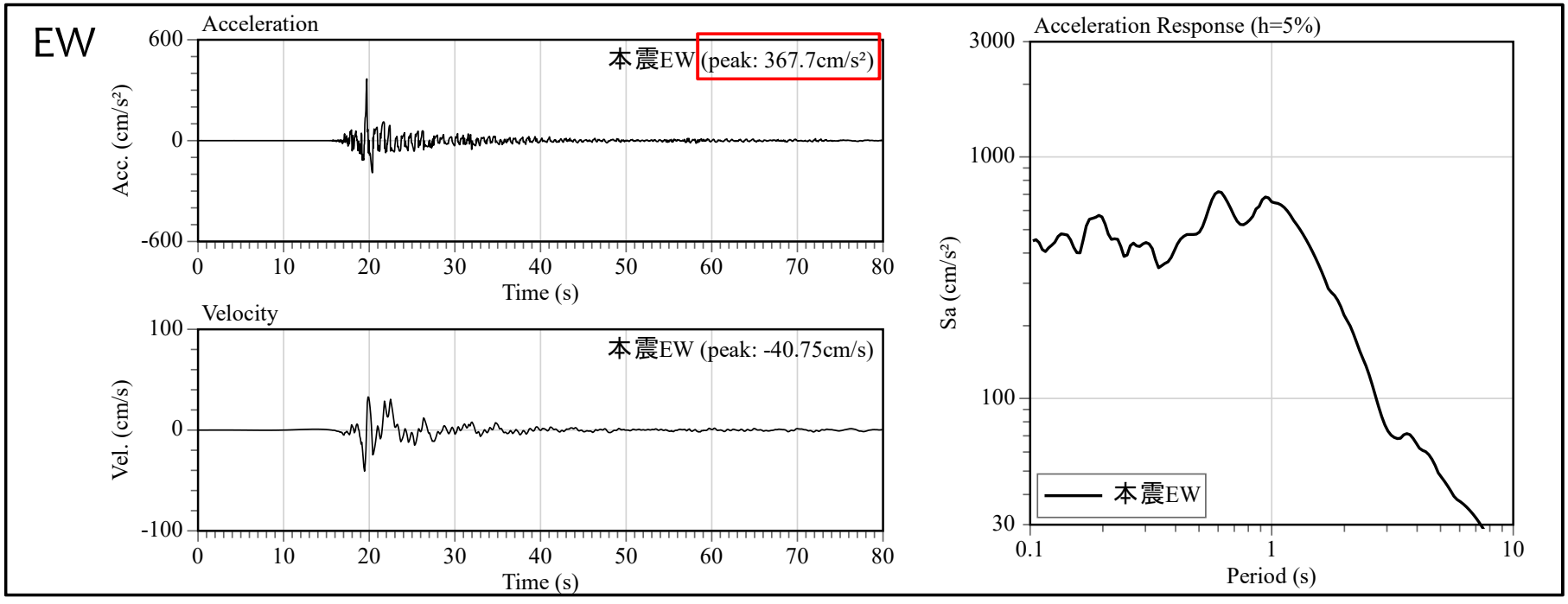
【液状化解析：地震応答解析（有効応力法）結果　入力地震動（2E波）】





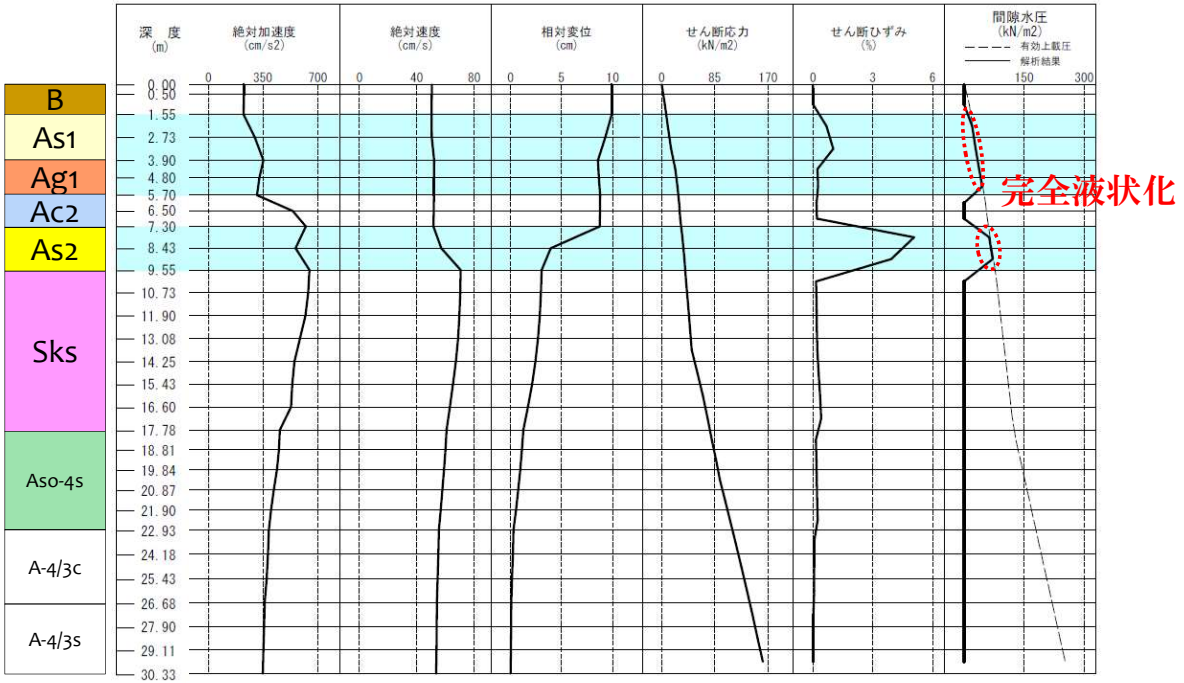
【液状化解析：地震応答解析（有効応力法）結果　地表面】



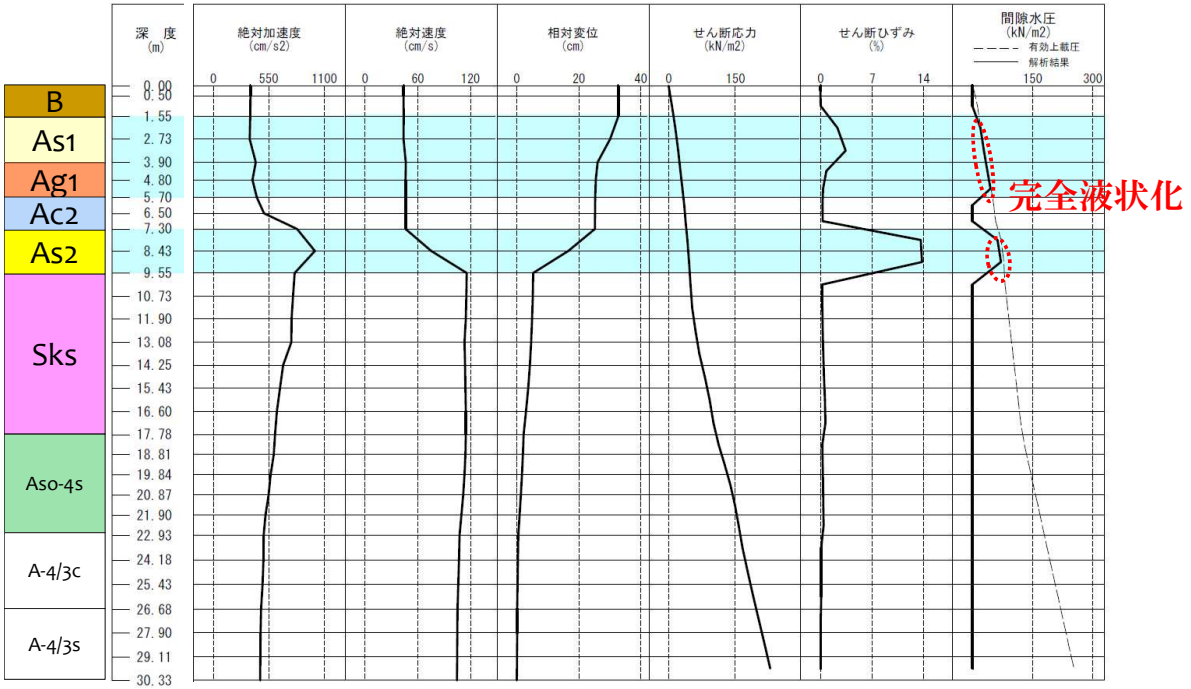


【液状化解析：地震応答解析結果】

NS



EW



- As1,Ag1,As2いずれも完全液状化状態となった
- As2層において最大ひずみが生じた．特にEW方向ではひずみ・変位ともにNS方向よりも大きな値となった
- 加速度はAs2層以浅において減衰する傾向となった

【液状化解析：まとめ】

最大値一覧

	加速度(gal)		速度(kine)	
	NS	EW	NS	EW
地表面(2E)	228	368	41	41
工学的基盤(2E)	423	553	52	94
工学的基盤(E+F)	327	458	44	86

- 近見地区同様にKiK-net益城の観測記録を用いて工学的基盤波を推定した。(※K-NET熊本の観測記録での検証も実施した)
- 秋田地区におけるボーリング調査および周辺ボーリング等に基づいて地震応答解析の地盤モデル(秋田地区モデル)を作成した。
- 物性は秋田地区ボーリング調査に伴う土質試験結果を用いた。
- 逐次積分による非線形有効応力解析から、地表面の最大加速度は368galとなった。
- 全ての液状化対象層で完全液状化となっており,特にAs2層ではひずみ・変位が増大した。

→秋田地区における今次災害の考慮した地震動として「M7.3、370gal」を検討対象とする。

【液状化解析：まとめ】

地震動の比較

ガイダンスに示される想定地震動の範囲と秋田地区および近見地区で求められた今次災害地震動を繰り返しせん断応力で比較した。

繰り返しせん断応力は、【γn・(αmax/g)】より求めた。

③等価な繰返しせん断応力比（L）の算出方法

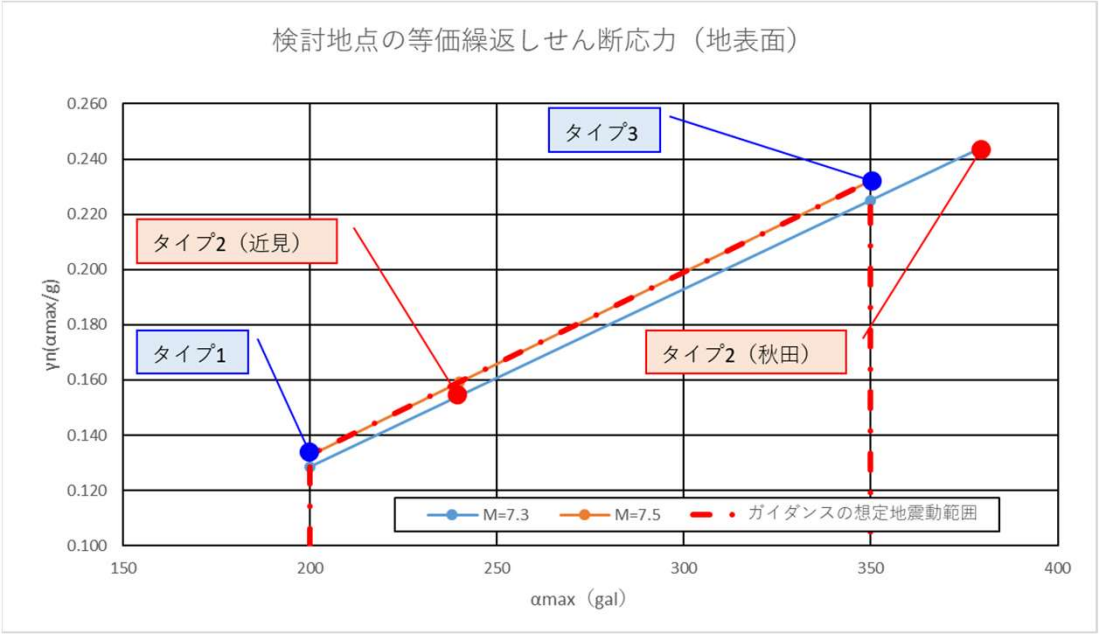
検討地点の地盤内の各深さに発生する等価な繰返しせん断応力比を次式により計算する。

$(\tau_d/\sigma_z') = \gamma_n \cdot (\alpha_{max}/g) \cdot (\sigma_z/\sigma_z') \cdot \gamma_d$

τ_d	：	水平面に生じる等価な一定繰返しせん断応力振幅（kN/m²）
σ_z'	：	検討深さにおける有効土被り圧（鉛直有効応力）（kN/m²）
γ_n	：	等価な繰返し回数に関する補正係数で、γ_n=0.1（M-1） ただし、M は地震のマグニチュード
α_{max}	：	地表面における設計用水平加速度（gal）
g	：	重力加速度（980gal）
σ_z	：	検討深さにおける全土被り圧（鉛直全応力）（kN/m²）
γ_d	：	地盤が剛体でないことによる低減係数で（1-0.015z）、z はメートル単位で表わした地表面からの検討深さ

想定地震動の大きさ

ケース	M	αmax	γn・(αmax/g)
タイプ1 （最低限の地震動）	7.5	200	0.133
タイプ2 （秋田地区）	7.3	370	0.244
タイプ2 （近見地区）	7.3	240	0.154
タイプ3 （既往最大の地震動）	7.5	350	0.232



想定地震動の比較図

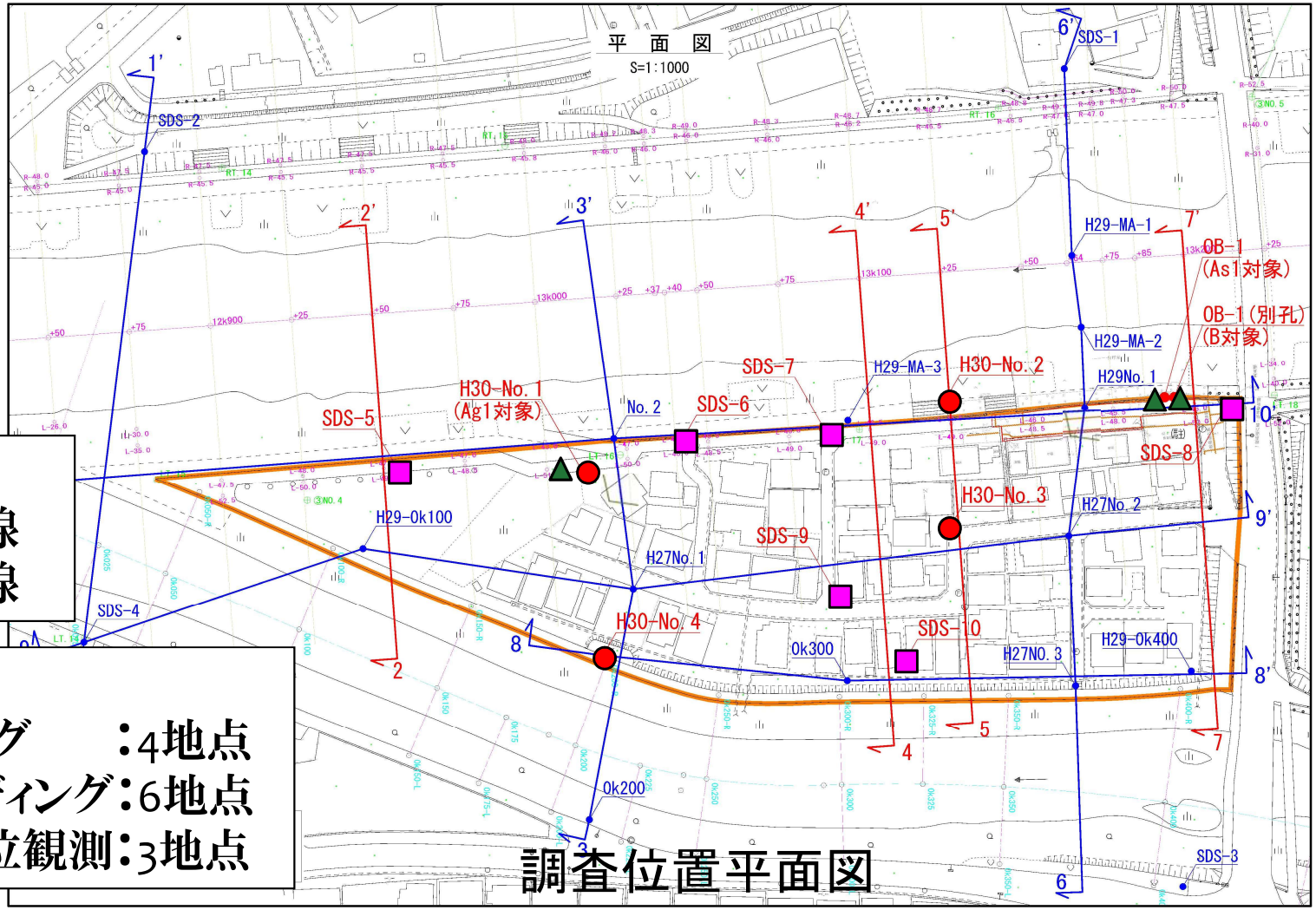
ほぼ震央付近に位置している秋田地区の想定地震動は、
ガイダンス最大外力以上に相当する

【地質調査・土質特性：調査概要】

調査目的

液状化層とされる砂質土層（**特にAs1層**）の分布範囲の特定、物理・力学特性の把握、及び、地下水位を把握することを目的とした。

⇒被害の影響が大きかった**木山川左岸部**を重点的に調査



調査位置平面図

【地質調査・土質特性】

地層構成

追加調査結果より、既往の地層構成と異なる部分が見られた。

⇒近見地区の層序を参考に、秋田地区の地層層序の見直しを行った。

秋田地区の地層層序表

地質時代			地層名	秋津町秋田地区			
				地層名	地質名	地層記号	深度
新生代	第四紀	完新世（沖積世）	盛土層	盛土層	砂・礫・粘土	B	
			氾濫原堆積物	沖積第1層	沖積第1粘性土	Ac1	5m
					沖積第1砂質土	As1	
					沖積第1礫質土	Ag1	
				沖積第2層	沖積第2粘性土	Ac2	
					沖積第2砂質土	As2	
			有明粘土層	沖積第3層(中部砂層)	沖積第3砂質土	As3	10m
				沖積第4層(下部粘土層)	沖積第4粘性土	Ac4	15m
		更新世	島原海湾層	島原海湾層	砂質土	Sks	25m
			琢磨砂礫層	Aso-4 火砕流堆積物※	砂質土	Aso-4	未確認
	第三紀		先阿蘇火山岩類（立田層）	未確認※			

※追加調査では確認していない地層である

【各地層の概略的な特徴】

(ⅰ)Aso-4 火砕流堆積物
　砂質土を主体とする地層
　（※本調査では未確認）

(ⅱ)島原海湾層
　淡黄褐色を呈し、砂質土を主体とする地層

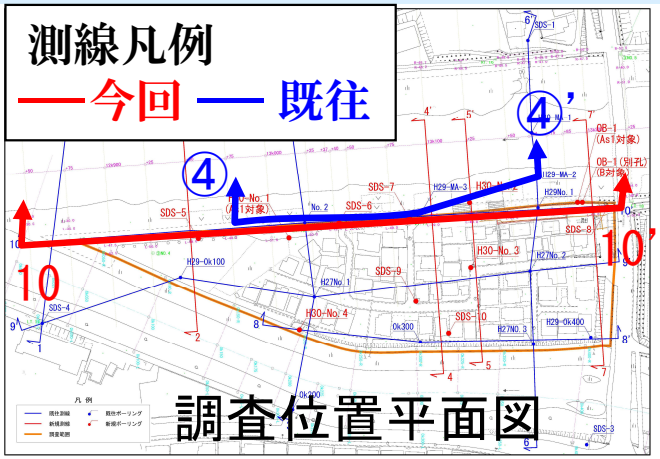
(ⅲ)有明粘土層
　下位に粘性土層(Ac4)、上位に砂質土層(As3)を構成する地層
　所々に貝殻片を混入

(ⅳ)氾濫原堆積物
　不整合となる基底礫層(Ag1)を境に沖積第1層と沖積第2層が分かれており、砂質土層はシルト分を少量混入し、粘性土層は細砂を不規則に混入する地層
　所々に腐植物を混入

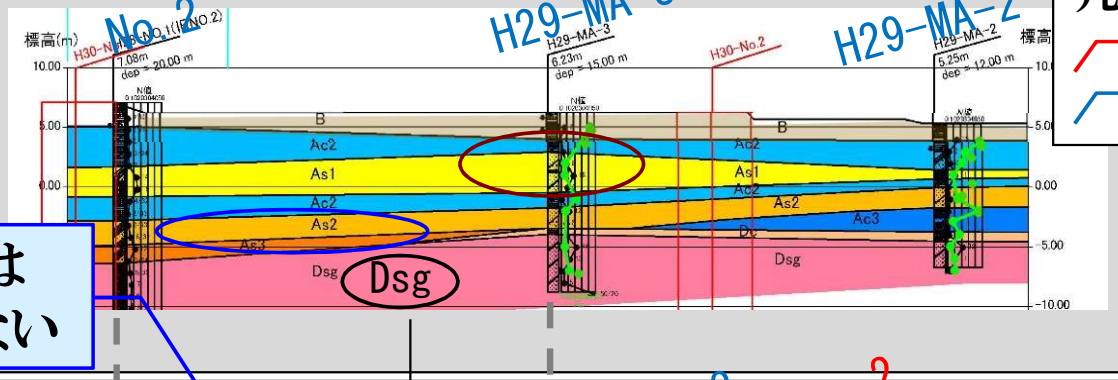
【地質調査・土質特性】

木山川沿いの新旧断面図の比較結果を下記に示す。

- 旧Ac2層及びAs2層は連続して分布しておらず、新Ac2層が概ね連続して分布している
- As1層は木山川沿いに連続して分布している
- 旧As1層は1層ではなく、As1層とAg1層に分かれる



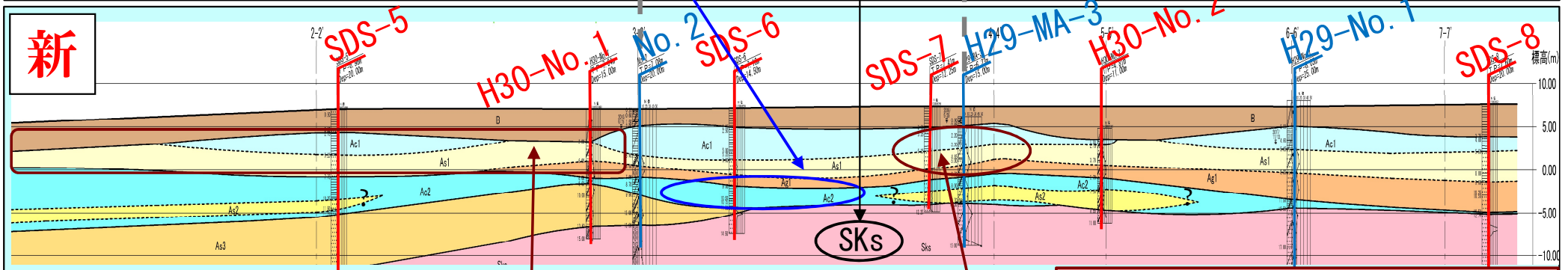
旧



旧④-④' 断面

旧Ac2層とAs2層は連続して分布しない

新



As1層が縦断方向に連続して分布している

熊本市地盤図よりDsg層はSks層に

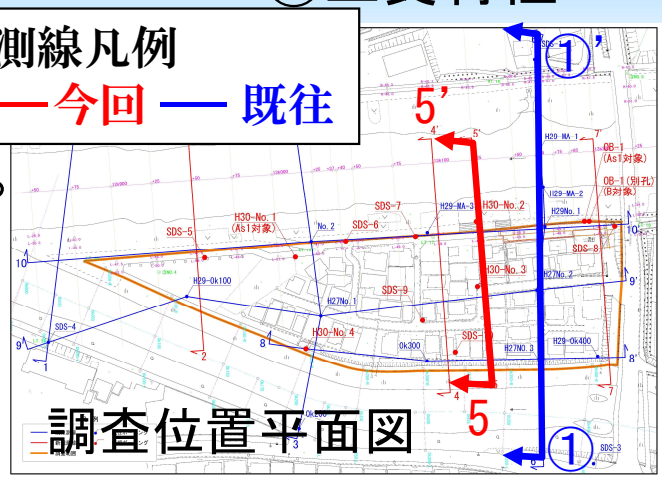
想定よりも粘性土が厚い。また、旧As1層はAs1とAg1層に分かれる

10-10' 断面

【地質調査・土質特性】

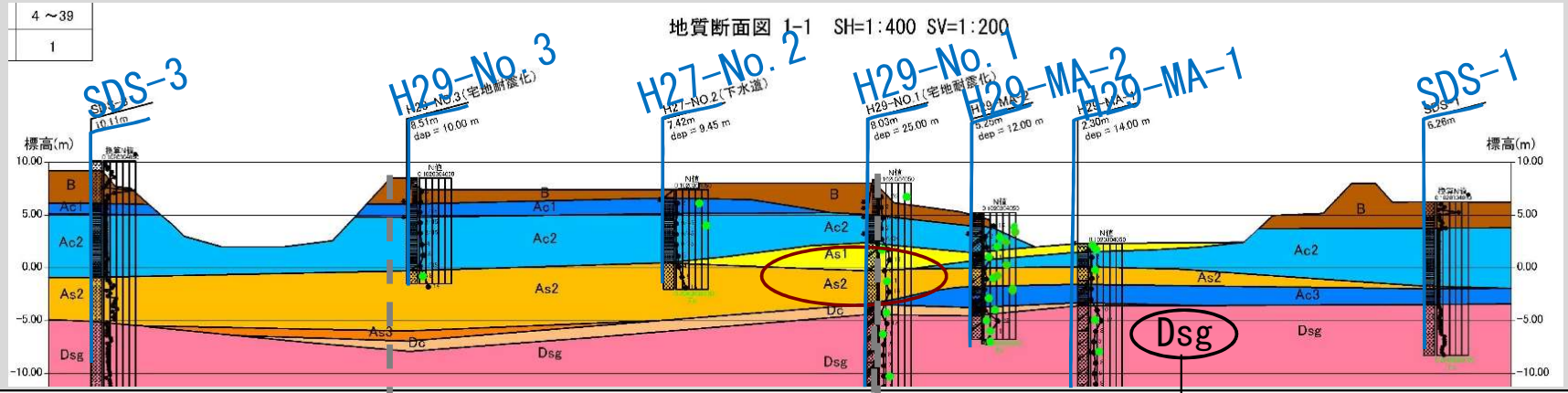
南北方向における新旧断面図の比較結果を下記に示す。

- 木山川側盛土直下のAc2層は極めて薄く、砂質土優勢。
- 宅地部法肩直下の旧As2層はAg1層となる。
- 旧As2層は連続しておらず、Ac2層が厚く分布する。



旧

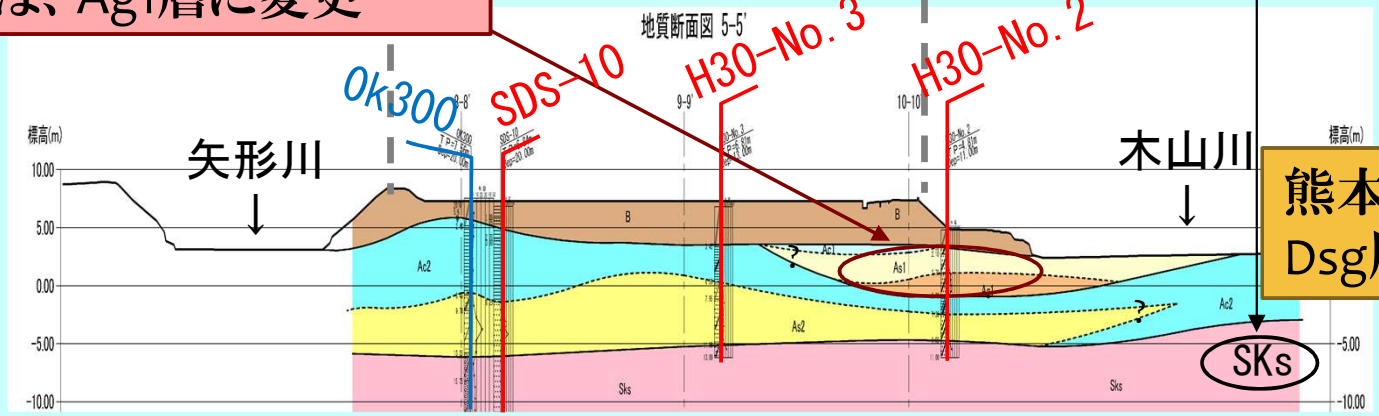
凡例
今回Bor
既往Bor



旧①-①' 断面

新

As1層は木山川側にのみ分布
旧As2層は、Ag1層に変更



熊本市地盤図より
Dsg層はSks層に

5-5' 断面

【地質調査・土質特性】

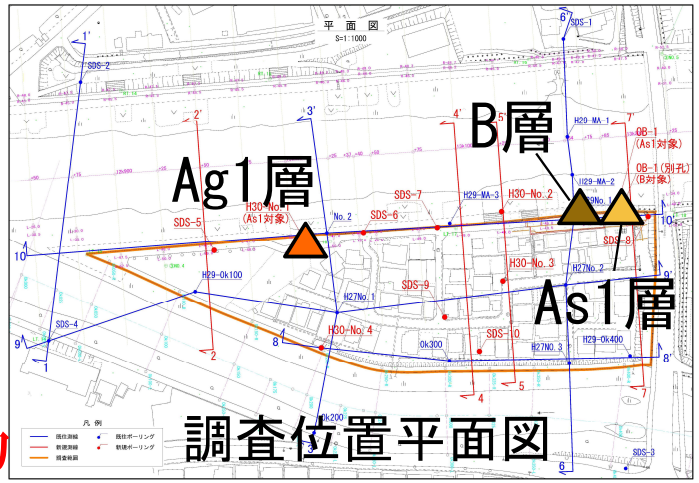
地下水位の把握

各地層の地下水位を把握することを目的に、B層、As1層、Ag1層を対象に地下水観測孔を設置し、動態観測を行った。

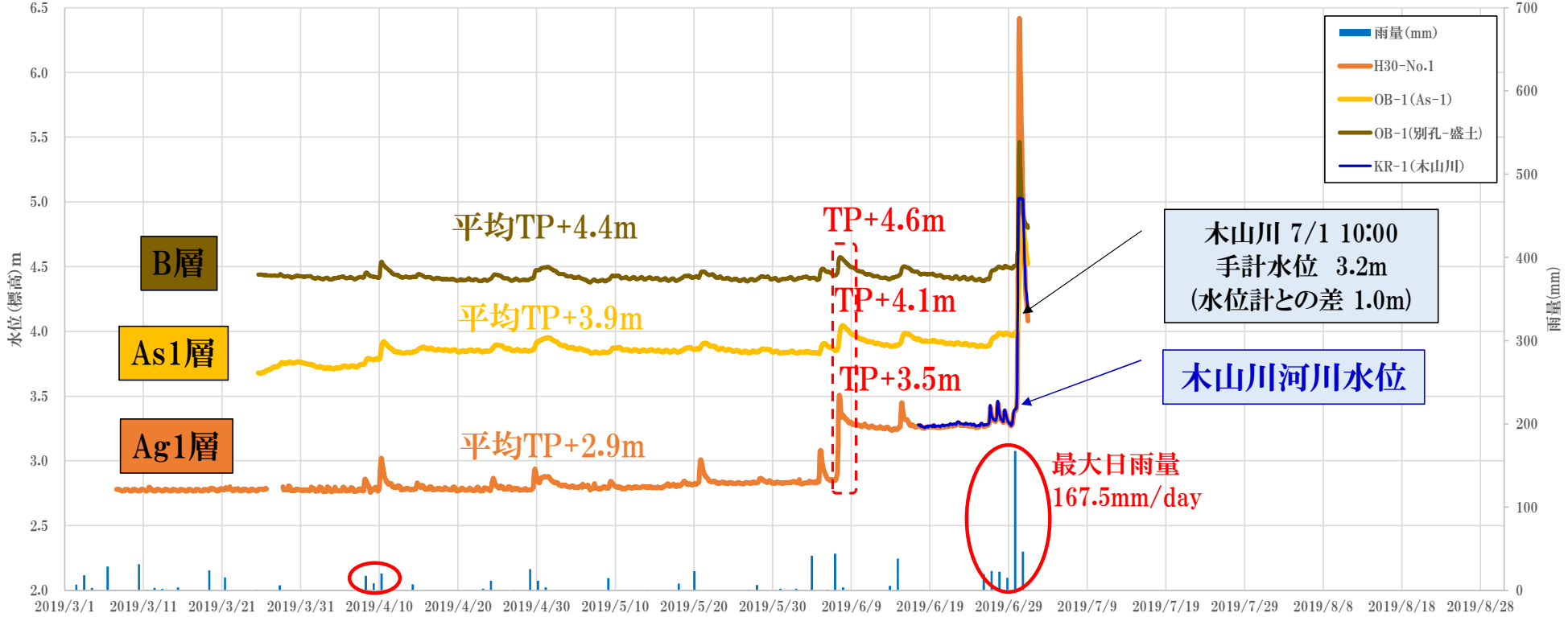
・観測結果より、B層及びAs1層は6月末の大雨時を除き大きな変化は認められない。

・Ag1層は降雨により木山川の水位が上がると、河川水位と連動している傾向が認められる。

・地下水位はB層>As1層>Ag1層の順であり、深部地層の地下水位は被圧しているわけではない。



動態観測結果（地下水位）



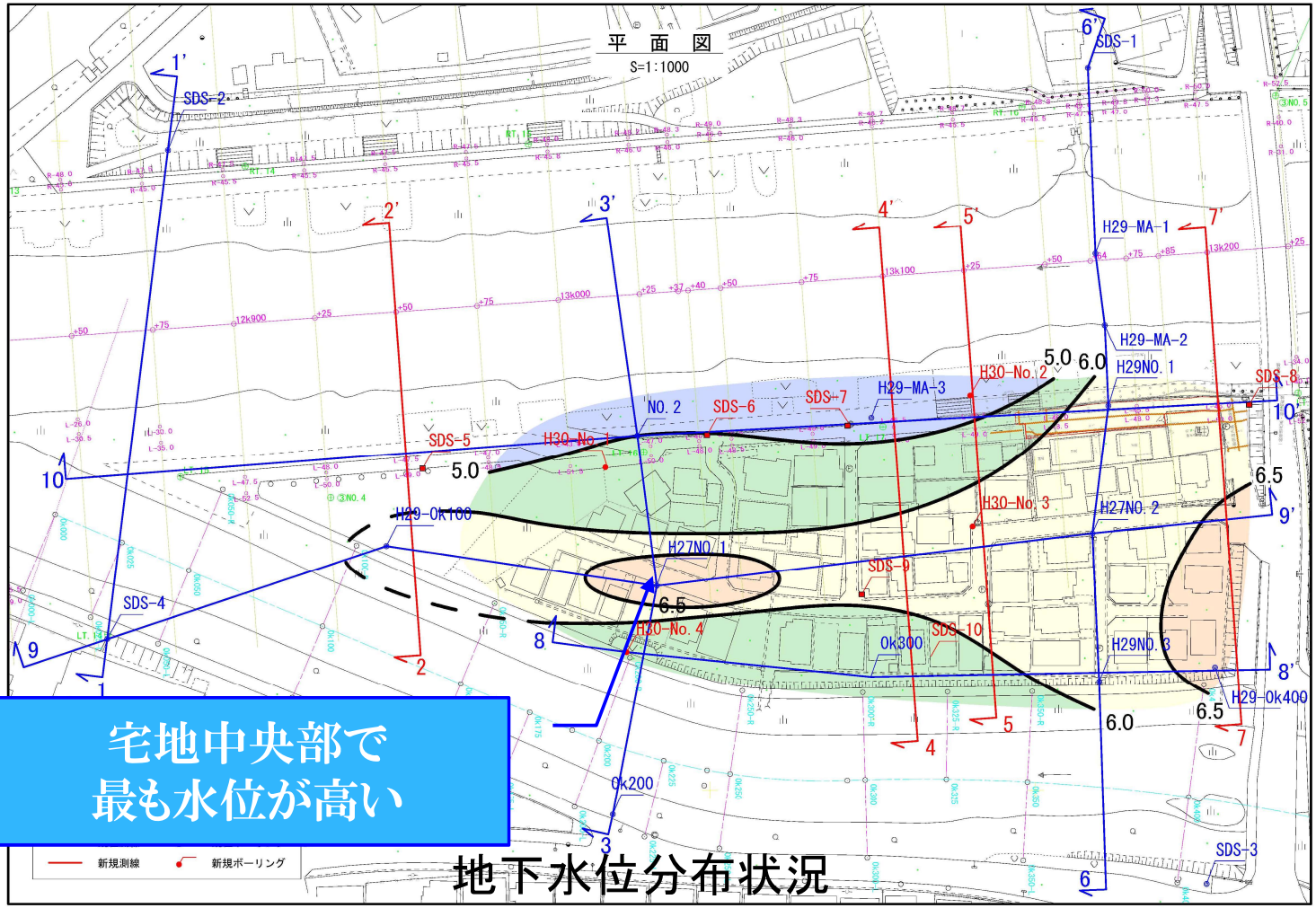
【地質調査・土質特性】

地下水位コンター

ボーリング孔内水位より地下水位分布状況を整理した。

・水位は、宅地中央部ほど高く、木山川あるいは矢形川に向かって低くなる傾向にある

・木山川や矢形川より、地下水位が高くなっているのは降雨の影響であると考えられる



宅地中央部で
最も水位が高い

地下水位分布状況

【地質調査・土質特性】

N値

地質調査結果より、各層のN値について、既往調査も含め、N値の範囲および平均値を整理した。

・B層、Ac1層、Ac2層のN値は1.0～2.0回程度の範囲内で軟弱の傾向を示す。

・既往調査ではAs1層のN値が大きい傾向にあったが、今回調査ではAs1層、As2層、As3層、Sks層のN値は5回程度と既往に比べN値は小さいことが分かった。また、Ag1層は12回程度、Aso-4s層のN値は16回程度であった。

標準貫入試験結果一覧表

時代	地層名	地層区分	地質名	地層記号	土質名	N値	平均値
-	盛土層	盛土層	盛土	B	砂質シルト・砂混じり粘土	0～9	1.7
完新世(沖積世)	氾濫原堆積物	沖積第1層	沖積第1粘性土	Ac1	砂混じり粘土	0～15	1.6
			沖積第1砂質土	As1	礫混じり砂	1～16	5.1
			沖積第1礫質土	Ag1	細粒分混じり砂礫	8～18	11.6
		沖積第2層	沖積第2粘性土	Ac2	粘土	0～9	1.1
			沖積第2砂質土	As2	礫混じり砂	2～23	5.2
	有明粘土層	沖積第3層	沖積第3砂質土	As3	礫混じり細粒分質砂	1～19	4.9
		沖積第4層	沖積第4粘性土	Ac4	シルト質粘土	-	-
更新世(洪積世)	島原海湾層	島原海湾層	島原海湾層	Sks	礫混じり砂	1～50	5.2
	Aso-4火砕流堆積物	Aso-4火砕流堆積物	Aso-4火砕流堆積物	Aso-4s	礫混じり砂	12～27	15.9

【地質調査・土質特性】

細粒分含有率 Fc

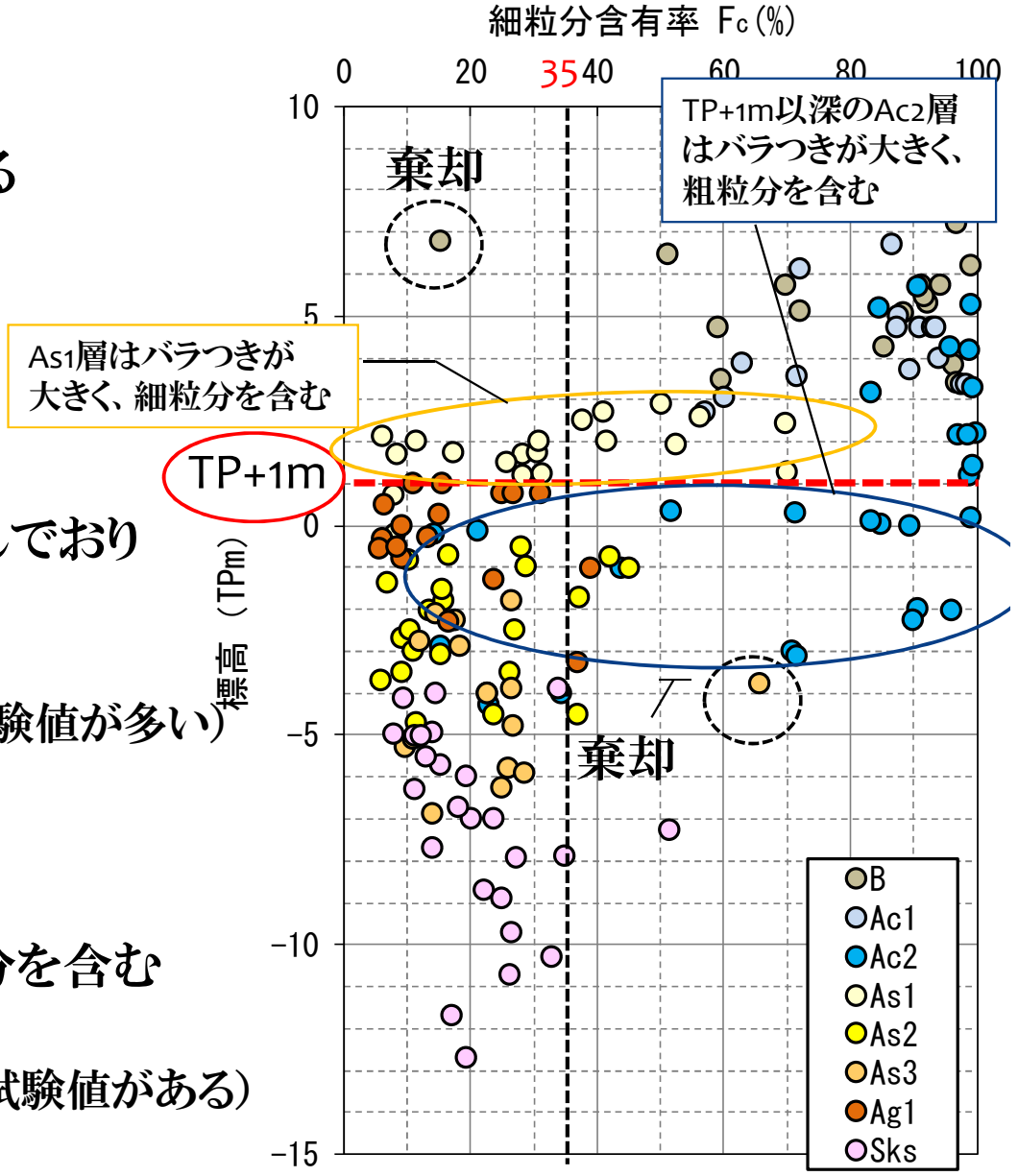
・B層(粘性土主体)
Fc ＝51.0～98.9%であり、粘性土主体である

・Ac層(粘性土主体)
Ac1層　Fc ＝ 56.9～98.1%
Ac2層　Fc ＝ 83.2～99.7%(TP+1m以浅)
　　Fc ＝ 14.3～99.1%(TP+1m以深)
TP+1m以深のAc2層において、粗粒分を含んでおりバラつきが大きい

・As層(砂質土主体であるが、Fc≧35%を超える試験値が多い)
As1層　Fc ＝ 6.1～69.9%
As2層　Fc ＝ 5.9～45.1%
As3層　Fc ＝ 9.5～28.5%で、
As1層において特にバラつきが大きく、細粒分を含む

・Ag1層(砂質土主体であるが、Fc≧35%を超える試験値がある)
Fc ＝ 5.6～39.0%である

・Sks層(砂質土主体)
Fc ＝ 7.9～51.3%である



【地質調査・土質特性】

塑性指数 Ip

- B層

  I_P＝17.1～56.2(平均値は32.2)である。

- Ac層

  Ac1層　I_P＝12.0～57.1(平均値は28.8)である。

  Ac2層　I_P＝5.1～69.9(平均値35.8)である。

- As層

  As1層　I_P＝12.9～19.7(平均値は16.9)である。

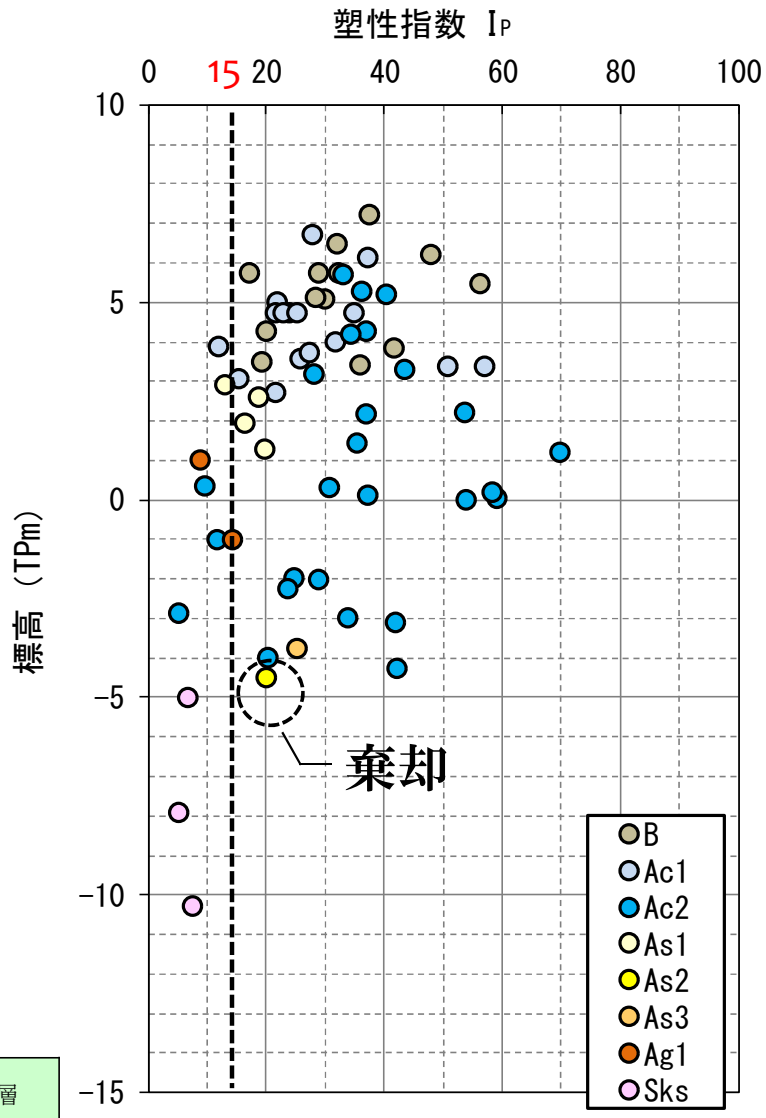
  I_P ＝15以上のデータが多く存在する。

- Ag1層

  I_P＝11.6である。

- Sks層

  I_P＝5.2～7.6(平均値は6.5)である。



土質試験結果一覧表(コンシステンシー特性)

	盛土 (B)	沖積粘性土1 (Ac1)	沖積粘性土2 (Ac2)	沖積砂質土1 (As1)	沖積礫質土 (Ag1)	島原海湾層 (Sks)
液性限界 w_L(%)	66.4 (44.8～95.4)	58.6 (36.0～101.6)	74.0 (27.4～110.4)	【43.3】 (42.1～45.1)	【49.4】	【42.3】 (39.0～44.1)
塑性限界 w_P(%)	34.2 (24.9～51.4)	29.7 (21.7～44.5)	38.2 (22.3～55.1)	【26.0】 (23.5～29.3)	【37.9】	【35.8】 (33.8～37.0)
塑性指数 Ip	32.2 (17.1～56.2)	28.8 (12.0～57.1)	35.8 (5.1～69.9)	【16.9】 (12.9～19.7)	【11.6】	【6.5】 (5.2～7.6)

※【 】は砂質土層内に存在する粘性土部分の物理特性を含む物性値である

【地質調査・土質特性】

【秋田地区の液状化対象層の判定】

各地層の時代および物理特性から、以下のように液状化対象層の判定を行った。

(1)対象となる地層

As1層、As2層、As3層、Ag1層

(2)対象外となる地層

B層、Ac1層、Ac2層、Ac4層、Sks層、Aso-4S層

【液状化対象層の判定結果】

地層名	地層記号	時代	物理特性(平均)			判定
			Fc(%)	IP	ClayF(%)	
盛土	B	現代	82.8	32.3	38.5	対象外
沖積第1粘性土	Ac1	完新世	82.7	28.8	40.2	対象外
沖積第1砂質土	As1	完新世	32.6	16.9	15.8	対象
沖積第1礫質土	Ag1	完新世	17.5	11.6	11.2	対象
沖積第2粘性土	Ac2	完新世	78.5	35.8	36.4	対象外
沖積第2砂質土	As2	完新世	20.3	-	9.5	対象
沖積第3砂質土	As3	完新世	19.8	-	-	対象
沖積第4粘性土	Ac4	完新世	-	-	-	対象外
島原海湾層	Sks	更新世	20.8	6	<10%	※
火砕流堆積物	Aso-4s	更新世	-	-	-	対象外

【※島原海湾層(Sks)について】

本地層は、以下の理由から、実態に合う液状化対象層としては除外した。

・本層は約10万年以前の古い堆積層

・熊本市地盤図では、更新世に分類

⇒更新世で液状化事例は報告されていない

[物理特性は、砂質土層に分類される
(Fc20%、IP6、ClayF<10%)]

＜補足＞

液状化対象外であるが、地震直後に液状化したとしても、本層からの地下水や土粒子の移動がなければ地表面の変位には、直接影響はしないと考えられる(基礎杭などの地中構造物は除く)。

仮に本層が液状化したとして、それが地表変位に繋がるのであれば、この付近一帯が秋田地区と同様の変状状況になっていなければいけないが、その実態はない(絶対変位としては、地区全体が多少は沈下していると想定される)

【地質調査・土質特性】

強度特性

・B層(全応力)

粘着力c=12.8～37.5kN/m²(平均27.1kN/m²)
内部摩擦角φ=8.2～16.7°（平均12.6°）
鋭敏比は2.51である。

・Ac層(全応力)

Ac1層

粘着力c=19.5～37.7kN/m²(平均30.5kN/m²)
内部摩擦角φ=0～7.5°（平均3.8°）

Ac2層

粘着力c=20.2～45.3kN/m²(平均29.6kN/m²)
内部摩擦角φ=0～8°（平均4.1°）

・As層(有効応力)

As1層

粘着力c'=4.5～8.6kN/m²(平均6.6kN/m²)
内部摩擦角φ'=33.3～36.5°（平均34.9°）
挟み層粘土の鋭敏比は4.43で、軟弱である。

As3層

粘着力c'=3.8kN/m²、内部摩擦角φ'=39.3°

・Ag1層(有効応力)

粘着力c'=0～8.8kN/m²(平均4.4kN/m²)　内部摩擦角φ'=37.1～41.0°（平均39.1°）

土質試験結果一覧表(三軸試験)

Bor.No.	試験標高(m)	N値	地層記号	湿潤密度(g/cm³)	三軸試験			
					全応力		有効応力	
					粘着力 c_{UU}(kN/m²)	内部摩擦角 ϕ_{UU}(°)	粘着力 c'(kN/m²)	内部摩擦角 φ'(°)
0k100右	6.49	3	B	1.720	31.0	12.9		
0k200左	5.09	3	B	1.732	12.8	16.7		
0k300右	5.31	2	B	1.785	37.5	8.2		
H30-No.1	4.29	2	B	1.846			1.7	41.7
H29-MA-2別孔	3.40	2	Ac1	1.531	37.7	0		
H29-MA-3別孔	4.73	0	Ac1	1.792	34.2	7.5		
H27-NO.2	4.02	0	Ac1	1.685	19.5	0		
H29-MA-2別孔	0.30	1	Ac2	1.468	40.9	5.6		
H29-MA-2別孔	-2.25	1	Ac2	1.596	45.3	4.9		
0k400右	5.70	2	Ac2	1.708	25.2	4.9		
0k400右	3.20	0	Ac2	1.756	21.4	8.0		
0k200左	-0.01	0	Ac2	1.469	27.4	5.0		
0k300右	2.16	0	Ac2	1.565	26.8	0.2		
H27-NO.1	5.21	0	Ac2	1.643	20.2	0		
H30-NO.1	2.62	2	As1	1.794			4.5	36.5
H30-No.2	1.96	2	As1	1.824			8.6	33.3
H30-No.4	-3.98	9	As3	1.783			3.8	39.3
H30-No.1	0.79	8	Ag1	1.820			8.8	37.1
H30-No.1	-0.31	14	Ag1	2.071			0.0	41.0

今回調査分

砂質土の力学試験を実施

⇒液状化対象層(As1～As3層、Ag1層)の力学特性を把握

【地質調査・土質特性】

液状化特性

・Ac層

Ac1層はR_{L20}=0.450～0.452(平均0.451)であり、**かなり大きな値**を示している。

・As層

As1層はR_{L20}=0.200～0.450(平均0.350)であり、バラつきがあるものの、細粒分含有率が小さい場合はR_{L20}=0.200と小さな値である。

As2層はR_{L20}=0.336であり、液状化強度は**中位**であった。

As3層はR_{L20}=0.284～0.378(平均0.344)であり、液状化強度は**概ね中位**である。

・Ag層

Ag1層はR_{L20}=0.165～0.485(平均0.300)とバラつきがあり、液状化強度は**礫質土の割には比較的低い値**を示している。

・Sks層

SKs層は液状化対象外の地層であったがR_{L20}=0.266であり、液状化強度は低い値を示している。

土質試験結果一覧表(R_{L20})

Bor.No.	試験標高 (m)	N値	地層記号	粒度試験		液状化試験	液状化のしやすさ
				細粒分含有率 Fc(%)	平均粒径 D50 (mm)	R_{L20}	
H29-MA-2別孔	3.40	2	Ac1	97.4	0.0015	0.452	しにくい
H29-MA-3別孔	4.73	0	Ac1	87.2	0.0041	0.450	しにくい
H29-MA-2別孔	2.45	4	As1	69.6	0.0210	0.450	しにくい
H30-No.2	1.96	2	As1	52.4	0.0661	0.399	しにくい
H30-No.2	1.21	13	As1	28.2	0.1560	0.200	しやすい
H29-MA-2別孔	-0.75	4	As2	42.0	0.1080	0.336	中位
H30-No.4	-1.78	5	As3	26.3	0.1600	0.370	中位～しにくい
H30-No.4	-2.08	5	As3	14.5	0.3023	0.378	中位～しにくい
H30-No.4	-5.08	9	As3	10.8	0.2736	0.284	しやすい～中位
H30-No.1	0.79	8	Ag1	31.1	0.1640	0.210	しやすい
H30-No.1	0.29	12	Ag1	15.0	1.4700	0.165	しやすい
H30-No.1	0.79	8	Ag1	26.7	0.1830	0.317	中位
H30-No.1	-0.31	14	Ag1	6.1	2.0600	0.325	中位
H30-No.2	-0.54	15	Ag1	5.6	1.5500	0.485	しにくい
H29-MA-3別孔	-7.27	4	Sks	51.3	0.0683	0.266	しやすい～中位

砂質土の液状化試験を実施

今回調査分

⇒液状化対象層(As1～As3層、Ag1層)の液状化特性を把握

【地質調査・土質特性】

設計土質定数一覧

設定土質定数一覧表

		盛土 (B)	沖積粘性土1 (Ac1)	沖積粘性土2 (Ac2)	沖積砂質土1 (As1)	沖積砂質土2 (As2)	沖積砂質土3 (As3)	沖積礫質土 (Ag1)	島原海湾層 (Sks)	Aso-4 火砕流堆積物 (Aso-4s)
N値		1.7	1.6	1.1	5.1	5.2	4.9	11.6	5.2	15.9
粒度 (細粒分 Fc(%))	上端 (標高1m以浅)	82.8	82.7	95.3	32.6	20.3	19.8	17.5	20.8	−
	下端 (標高1m以深)			61.7						−
平均粒径 D_{50}(mm)		0.00730	0.01190	0.04515	0.31258	0.39917	0.45776	1.10529	0.77165	−
塑性指数　Ip		32.2	28.8	35.8	【16.9】(※1)	−	−	【11.6】(※1)	【6.5】(※1)	−
湿潤密度 ρt(g/cm^3)		1.77	1.67	1.60	1.78	1.80 (※2)	1.77	1.92	1.57	−
三軸圧縮試験	粘着力 c_{UU}(kN/m^2)	27.1	C_{UU}=38.8−2.07z (z：標高TP(m))	C_{UU}=35.2−2.74z (z：標高TP(m))	−	−	−	−	−	−
	内部摩擦角 ϕ_{UU}(°)	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	粘着力 (※3) c'(kN/m^2)	0.0	−	−	0.0	(0.0)	0.0	0.0	(0.0)	−
	内部摩擦角 ϕ'(°) (※3)	40.0	−	−	35.0	(35.0)	35.0	35.0	(35.0)	−
繰返し非排水三軸試験	RL_{20}	−	0.451	−	0.200	0.336	0.344	0.300	−	−
	RL_5	−	0.535	−	0.310	0.390	0.460	0.598	−	−

※1 【 】は砂質土層内に存在する粘性土部分の物理特性を含む物性値である
※2 As2層の湿潤密度 ρt は一般値の1.80を採用している
※3 三軸圧縮試験(粘着力C'およびせん断抵抗角 ϕ')試験値を元に安全側に設定

再現解析は、以下の2項目に着目して実施した。

④-1：追加調査結果を反映させた秋田地区の液状化評価

⇒物理特性だけで液状化判定を実施する建築基準や道路橋示方書の手法では、秋田地区の細粒分等の含有程度が不均質な地層の評価が困難なため、**細粒分を多く含む砂と少ない砂の両方**に対する「液状化試験で得られた液状化強度R_{L20}」を液状化評価に反映させる**液状化評価式を作成**

メリット：細粒分含有率の大小に関わらず、秋田地区の液状化層の特性を実態に近い形で評価できる。

④-2：数値解析による地盤被害の再現解析

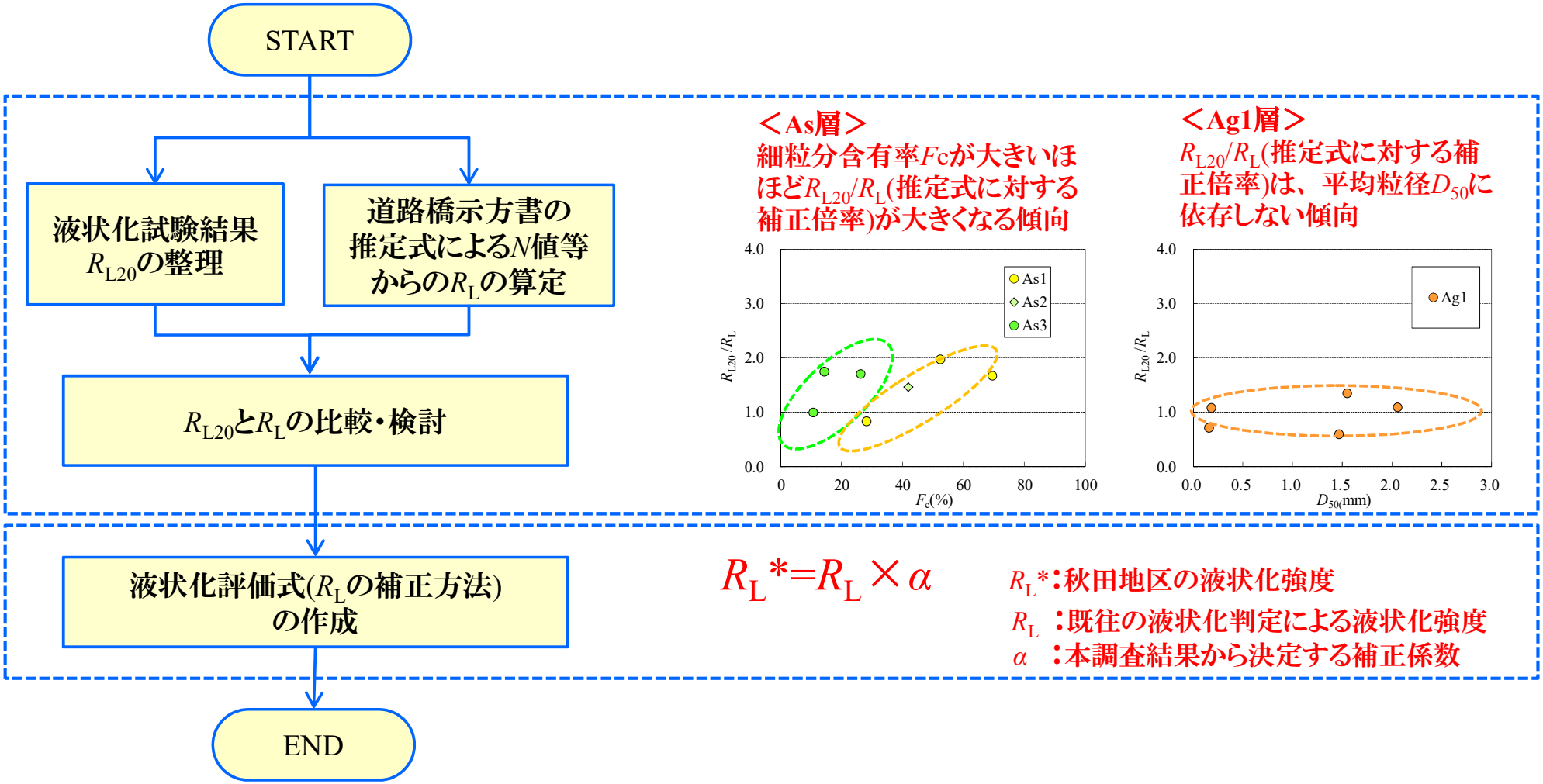
⇒**二次元動的変形解析(LIQCA)**および**安定解析**を実施

メリット：LIQCAを用いることで、実際の挙動を可能な限り忠実にモデル化できるため、**再現解析に対する信頼性が高い**。
また、対策工検討時において**対策効果を可視化**できる。
　安定解析は極限つり合い法による**対策の諸元を詳細に設定**できる。

④-1　液状化評価式

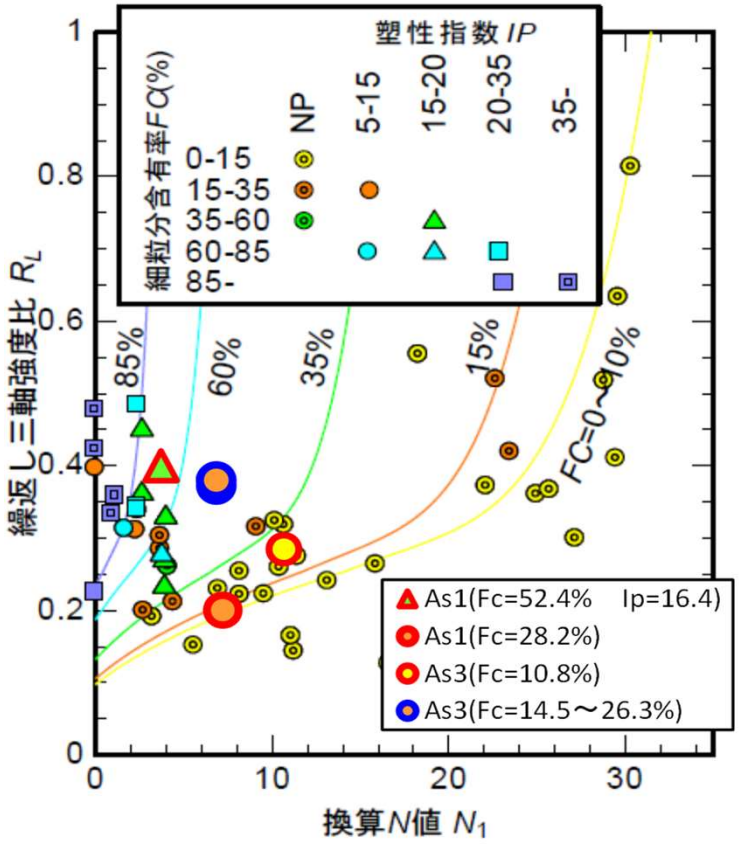
秋田地区で得られた繰返し三軸強度比R_{L20}を液状化判定に適用するため、液状化判定の繰返しせん断強度比(R_L)を補正する評価式の検討を行った。

検討フローおよび検討概要を下図に示す。



④-1　液状化評価式

- 本検討で実施した「液状化試験結果の繰返し三軸強度比R_{L20}とN_1値(有効上載荷重100kN/m^{2}相当に換算したN値)」の関係」を、「既往の繰返し三軸強度比R_LとN_1値の関係」にプロットして下図に示す。
- バラつきはあるものの、今回の試験結果R_{L20}とN_1値の関係は、既往の関係と同様の傾向を示す結果となった。

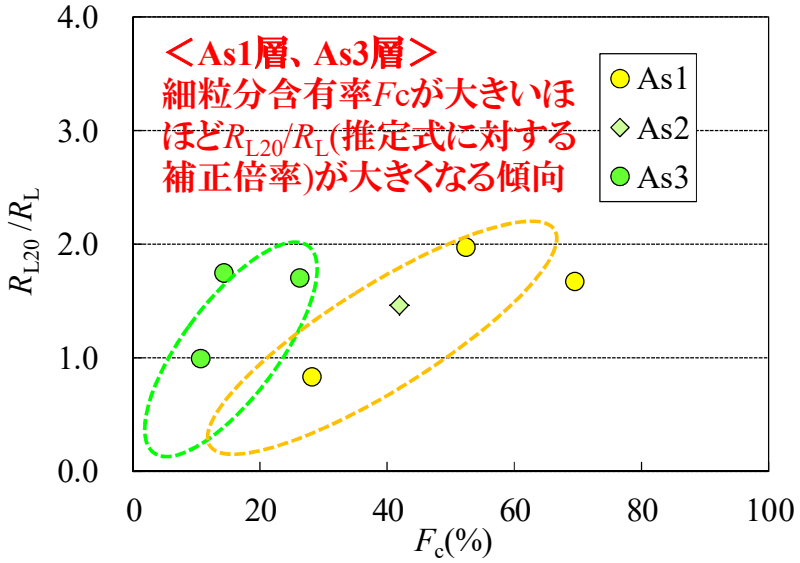


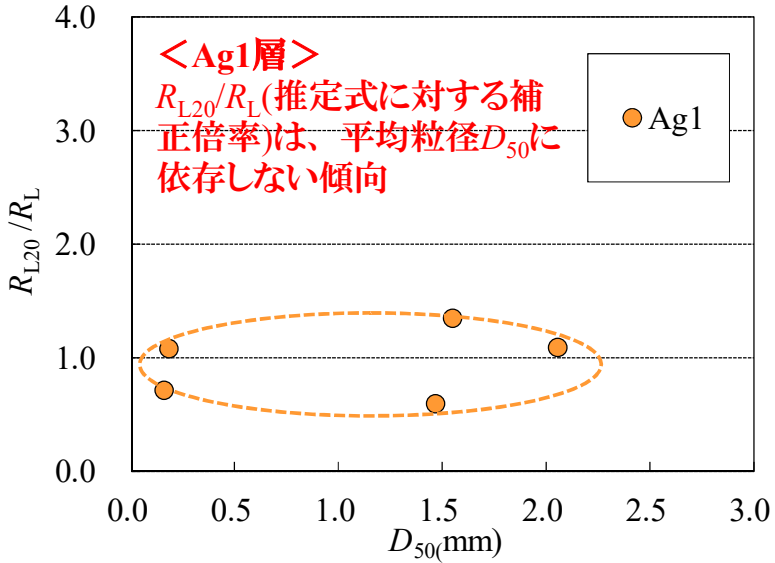
○同図のカラーは、細粒分含有率Fcに応じて分類
○黒枠のプロットは、「既往の液状化試験結果のR_{L20}と採取した試料の近傍のN値から求めたN_1」の関係
○赤枠および青枠のプロットは、「今回実施した液状化試験結果のR_{L20}と採取した試料の近傍のN値から求めたN_1」の関係
○同図中のカラーの線の実線は、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説　II堤防編,平成28年3月」「道路橋示方書・同解説　V耐震設計編,平成29年11月」のR_LとN_1の関係

④-1　液状化評価式

「液状化試験に用いた不攪乱試料の粒度特性およびR_{L20}」と「採取した試料の近傍のペネ試料の粒度特性および道路橋示方書による推定式による各種情報(N_1、N_a、R_L)」を整理して下表に示す。また、R_{L20}/R_Lと粒度特性の関係を整理して下図に示す。

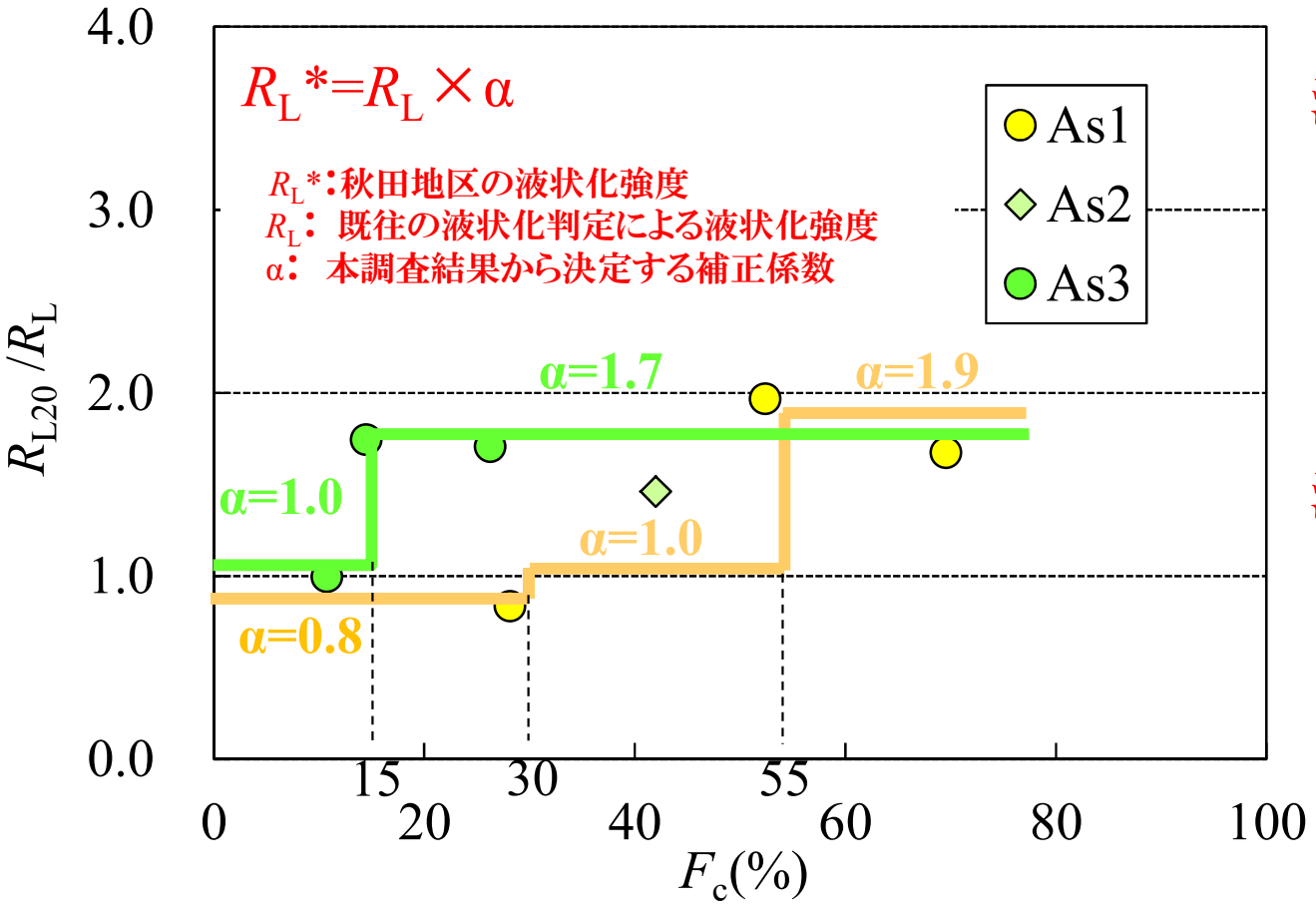
孔番号	試料名	液状化試験結果						道路橋示方書による推定式					N_a-N_1	R_{L20} − R_L	R_{L20} ÷ R_L
		試験深度 (m)	中心深度 (m)	地層名	細粒含有率 F_C(%)	平均粒径 D_{50}(mm)	液状化強度 R_{L20}	細粒含有率 F_C(%)	平均粒径 D_{50}(mm)	換算N値 N_1	補正N値 N_a	液状化強度 R_L			
H30-No.1	Tr1-4'	6.00 ～ 6.50	6.25	Ag1	26.7	0.183	0.317	24.8	0.210	11.86	18.93	0.296	7.07	0.021	1.07
	Tr1-4A	6.00 ～ 6.50	6.25	Ag1	31.1	0.164	0.210	24.8	0.210	11.86	18.93	0.296	7.07	-0.086	0.71
	Tr1-4B	6.50 ～ 7.00	6.75	Ag1	15.0	1.470	0.165	6.1	2.060	17.11	17.04	0.279	-0.07	-0.114	0.59
	Tr1-5	7.00 ～ 7.70	7.35	Ag1	6.1	2.060	0.325	6.1	2.060	19.24	19.15	0.299	-0.09	0.026	1.09
H30-No.2	T2-1	2.45 ～ 3.25	2.85	As1	52.4		0.399	30.8		3.79	8.14	0.203	4.35	0.196	1.97
	Tr2-1	3.35 ～ 3.85	3.60	As1	28.2		0.200	25.6		7.30	12.39	0.240	5.09	-0.040	0.83
	Tr2-2	4.85 ～ 5.85	5.35	Ag1	5.6	1.550	0.485	8.4	1.500	23.20	23.20	0.361	0.00	0.124	1.34
H30-No.4	Tr4-1	8.00 ～ 8.40	8.20	As3	26.3		0.370	18.4		6.96	9.61	0.217	2.65	0.153	1.71
	H30-No.4	8.00 ～ 9.00	8.50	As3	14.5		0.378	18.4		6.96	9.61	0.217	2.65	0.161	1.74
	H30-No.4	11.00 ～ 12.00	11.50	As3	10.8		0.284	26.3		10.70	17.85	0.286	7.15	-0.002	0.99
H29-MA-2	MA-2-2	2.30 ～ 3.30	2.80	As1	69.6		0.450	50.0		3.99	15.84	0.269	11.85	0.181	1.67
	MA-2-4	5.50 ～ 6.50	6.00	As2	42.0		0.336	28.8		5.91	11.16	0.230	5.25	0.106	1.46





④-1　液状化評価式

提案する液状化評価式を以下に示す。評価式は、$R_L=R_{L20}(\alpha=1.0)$を基本として、**追加調査結果を踏まえて**Fcに応じた補間を行った。なお、As2層に対しては試験結果がないものの、N値、粒度特性ともにAs3層と類似していることから、As3層と同じ提案式を適用する。



液状化評価式【As1層】

$R_L{}^*=R_L\times\alpha$

$\alpha=0.80$（$Fc<30\%$）

$\alpha=1.00$（$30\%\leqq Fc<55\%$）

$\alpha=1.90$（$55\%\leqq Fc$）

液状化評価式【As2層、As3層】

$R_L{}^*=R_L\times\alpha$

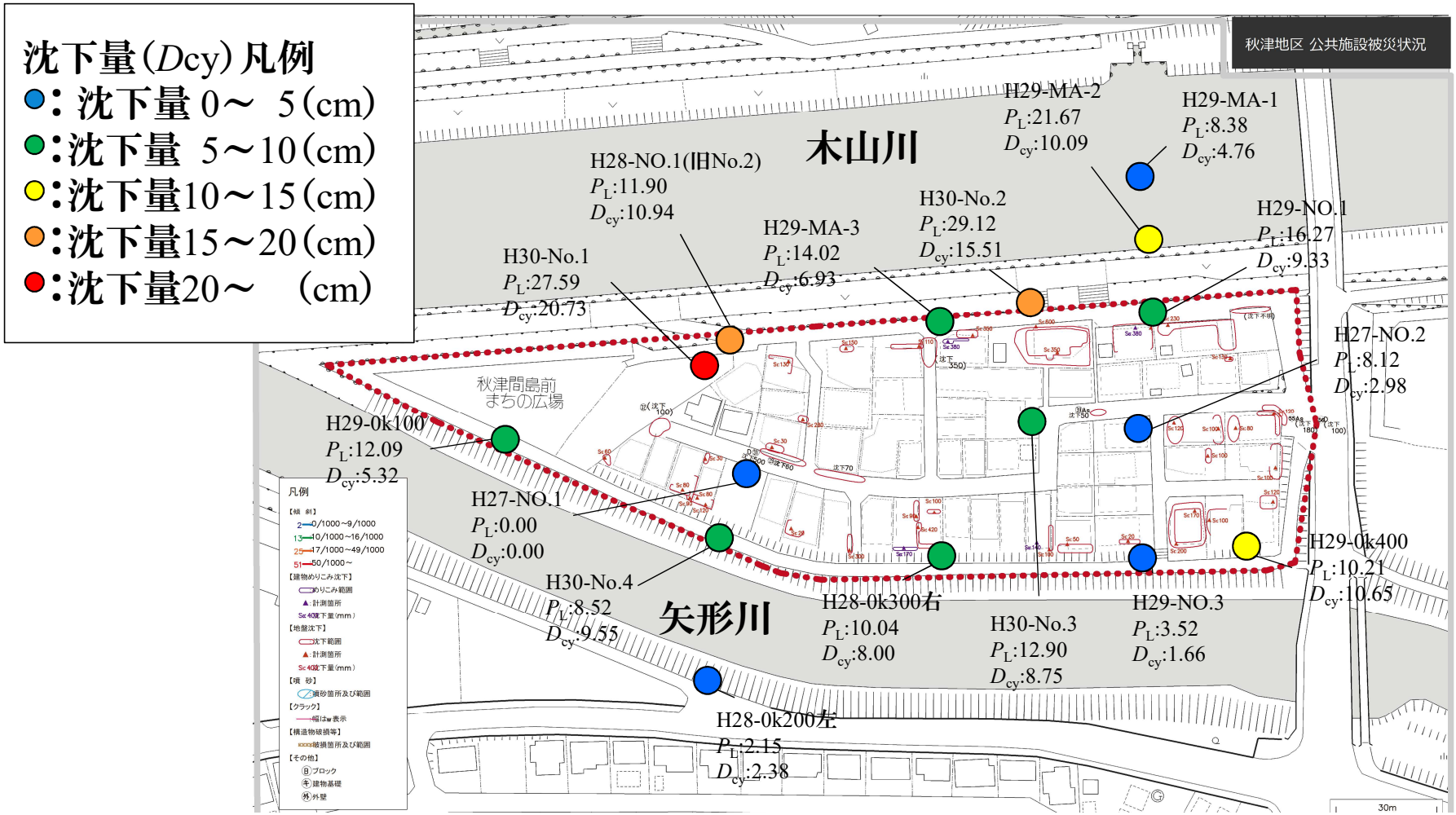
$\alpha=1.00$（$Fc<15\%$）

$\alpha=1.70$（$15\%\leqq Fc$）

※安全側に評価するために、Fcの閾値に用いた試験結果は、試験値を5%単位で切り上げて表示させている。

④-1　液状化評価式

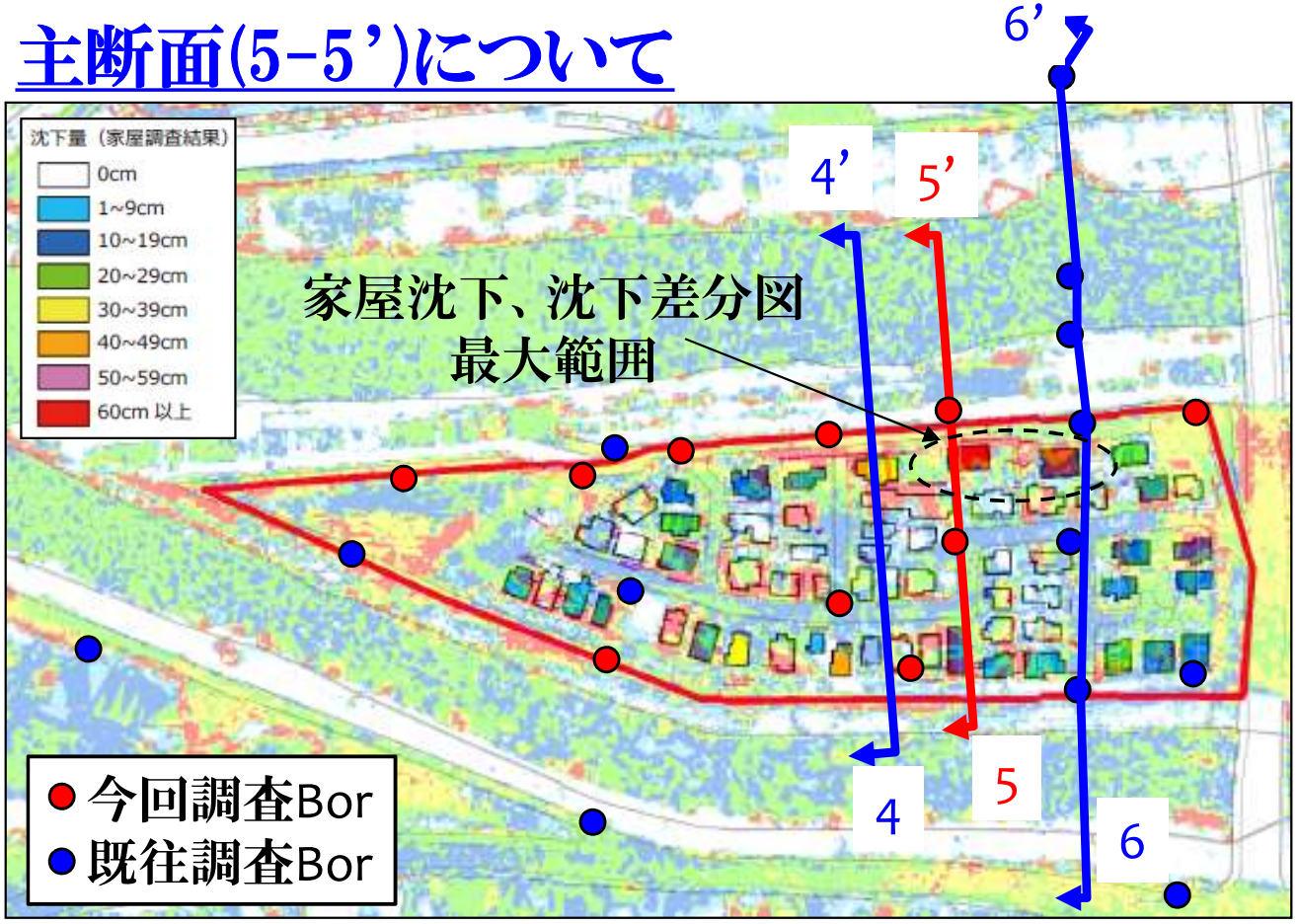
被害状況と、液状化判定(建築基礎構造設計指針に液状化評価式を加味)で得られた*D*cyを重ねて下図に示す。同図に示すとおり、**木山川側における*D*cyが大きく**、宅地内および矢形川側で小さくなる傾向を示した。



出典：基礎調査平面図より

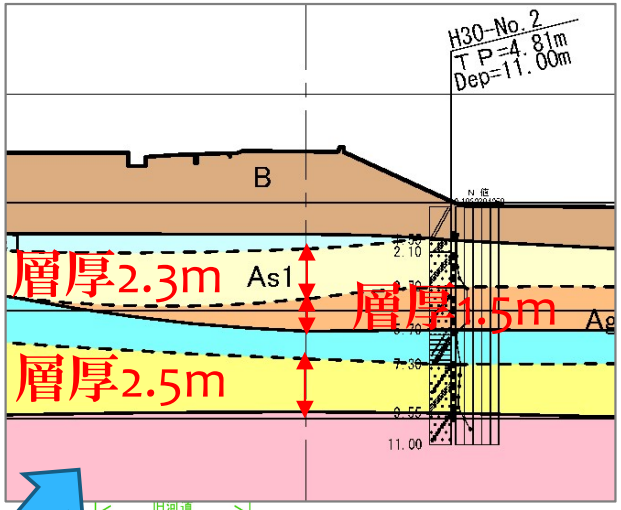
④-2　動的変形解析

主断面(5-5')について

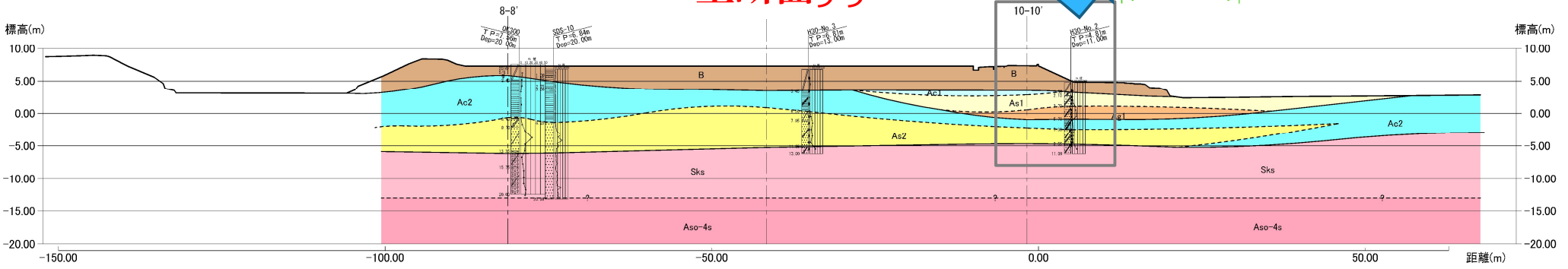


■5-5'断面を解析の主断面に選んだ理由

- 家屋沈下量(60cm)
- 沈下差分図(約40cm)が大きい
- 液状化対象層厚大きい
- 今回調査Bor位置

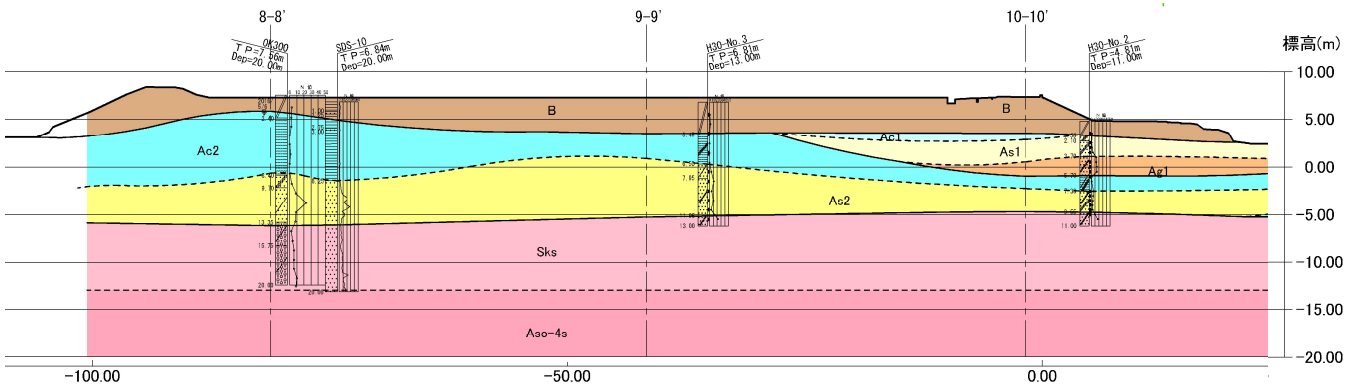


主断面5-5'



④-2　動的変形解析

■想定地質断面図(5-5'断面)

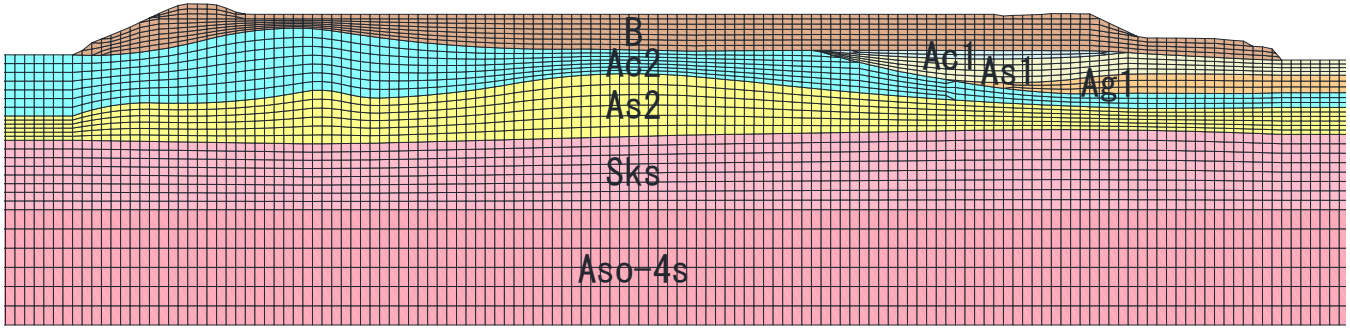


地層層序表

時代		地層区分		地質区分	地層記号	土質名
新生代・第四紀	完新世(沖積世)	盛土層		盛土	B	砂質シルト・砂混じり粘土
		氾濫原堆積物	沖積第1層	粘性土	Ac1	砂混じり粘土
				砂質土	As1	礫混じり砂
				礫質土	Ag1	細粒分混じり砂礫
			沖積第2層	粘性土	Ac2	粘土
				砂質土	As2	礫混じり砂
		有明粘土層	沖積第3層(中部砂層)	砂質土	As3	礫混じり細粒分質砂
			沖積第4層(下部粘土層)	粘性土	Ac4	シルト質粘土
	更新世(洪積世)	鳥原海底層		砂質土	Sks	礫混じり砂
		Aso-4火砕流堆積物		砂質土	Aso-4s	礫混じり砂

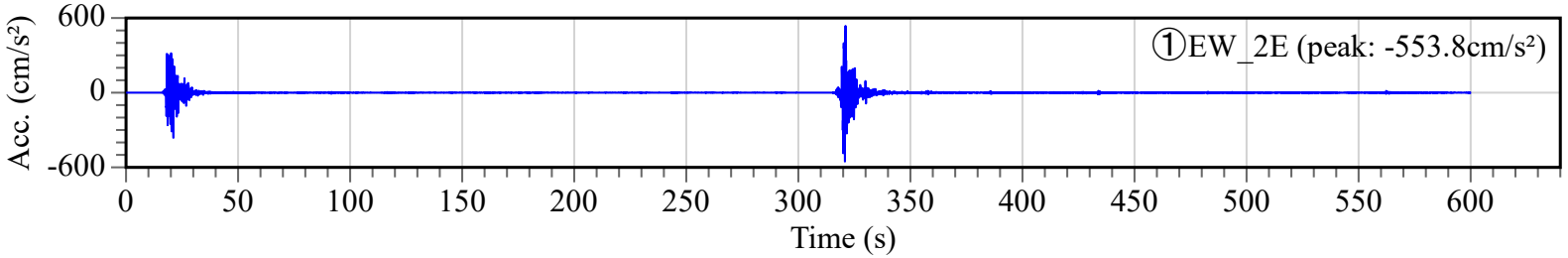
※今回の調査では確認していない

■解析メッシュ図(節点数:8160　要素数:7900)



・両法尻から100mの範囲をモデル化
・モデル底面(工学的基盤上面)はT.P.-25m

■入力地震波形(前震＋本震)



※前震と本震のインターバルは、短縮して利用した。

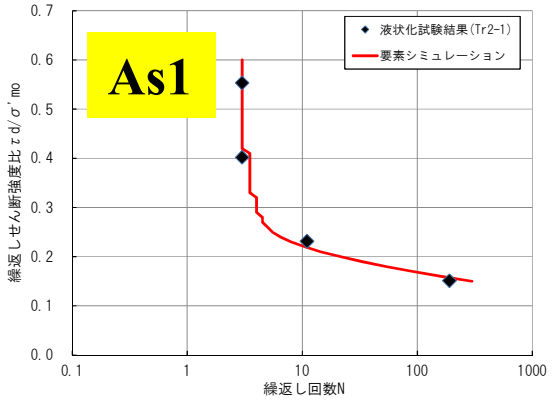
④-2 動的変形解析

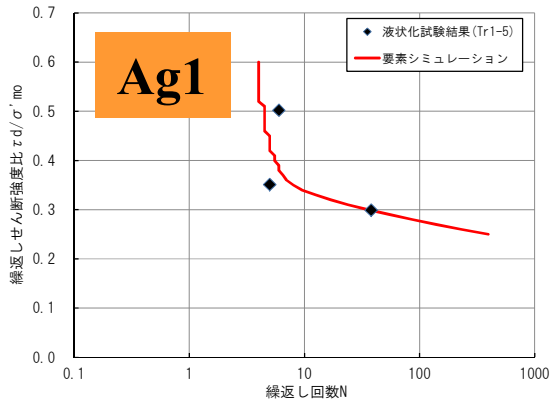
■解析パラメータ(共通)

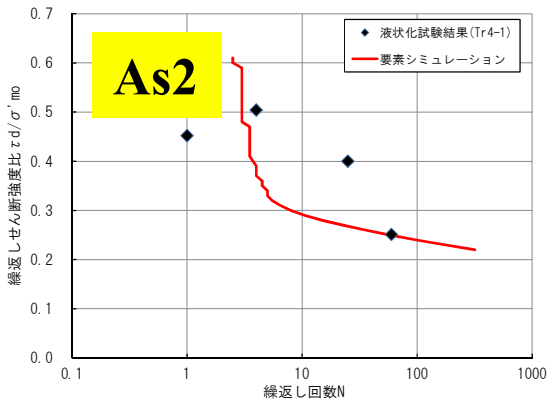
土質区分	平均N値	初期間隙比	湿潤密度	S波速度	初期平均有効応力	初期せん断弾性係数	ポアソン比	初期せん断係数比	初期剛性	初期剛性係数比	Lame定数		透水係数		
	N	e_0	ρ_t(t/m^3)	V_s(m/s)	σ'_m(kPa)	G_0(kPa)	ν	G_0/σ'_m	E_0(kPa)	E_0/σ'_m	λ	μ(=G_0)	D_{20}(mm)	k(m/s)	k/γ_w
Bu	1.7	1.127	1.77	155	13.4	42430	0.33	3166.4	112864	8422.7	---	---	0.004	1.55E-08	1.58E-09
Bd	1.7	1.127	1.77	155	13.4	42430	0.33	3166.4	112864	8422.7	---	---	0.004	1.55E-08	1.58E-09
Ac1	1.6	1.551	1.67	153	35.2	39030	0.33	1108.8	103820	2949.4	---	---	0.006	3.79E-08	3.86E-09
As1	5.1	1.157	1.78	195	35.2	67690	0.33	1923.0	180055	5115.2	---	---	0.093	1.61E-05	1.64E-06
Ag1	11.6	0.761	1.92	232	52.8	103110	0.33	1952.8	180055	5115.2	---	---	0.185	7.36E-05	7.51E-06
Ac2	1.1	1.834	1.60	141	66.9	31950	0.33	477.6	84987	1270.4	---	---	0.007	5.32E-08	5.43E-09
As2	5.2	1.964	1.80	196	80.7	69010	0.33	855.1	84987	1270.4	---	---	0.230	1.19E-04	1.21E-05
Sks	5.2	1.913	1.57	196	120.8	60190	0.33	498.3	160105	1325.4	---	---	0.289	1.97E-04	2.01E-05
Aso-4s	15.9	1.000	2.10	248	---	128740	0.33				249910	128740	0.289	1.97E-04	2.01E-05

■解析パラメータ(液状化パラメータ)

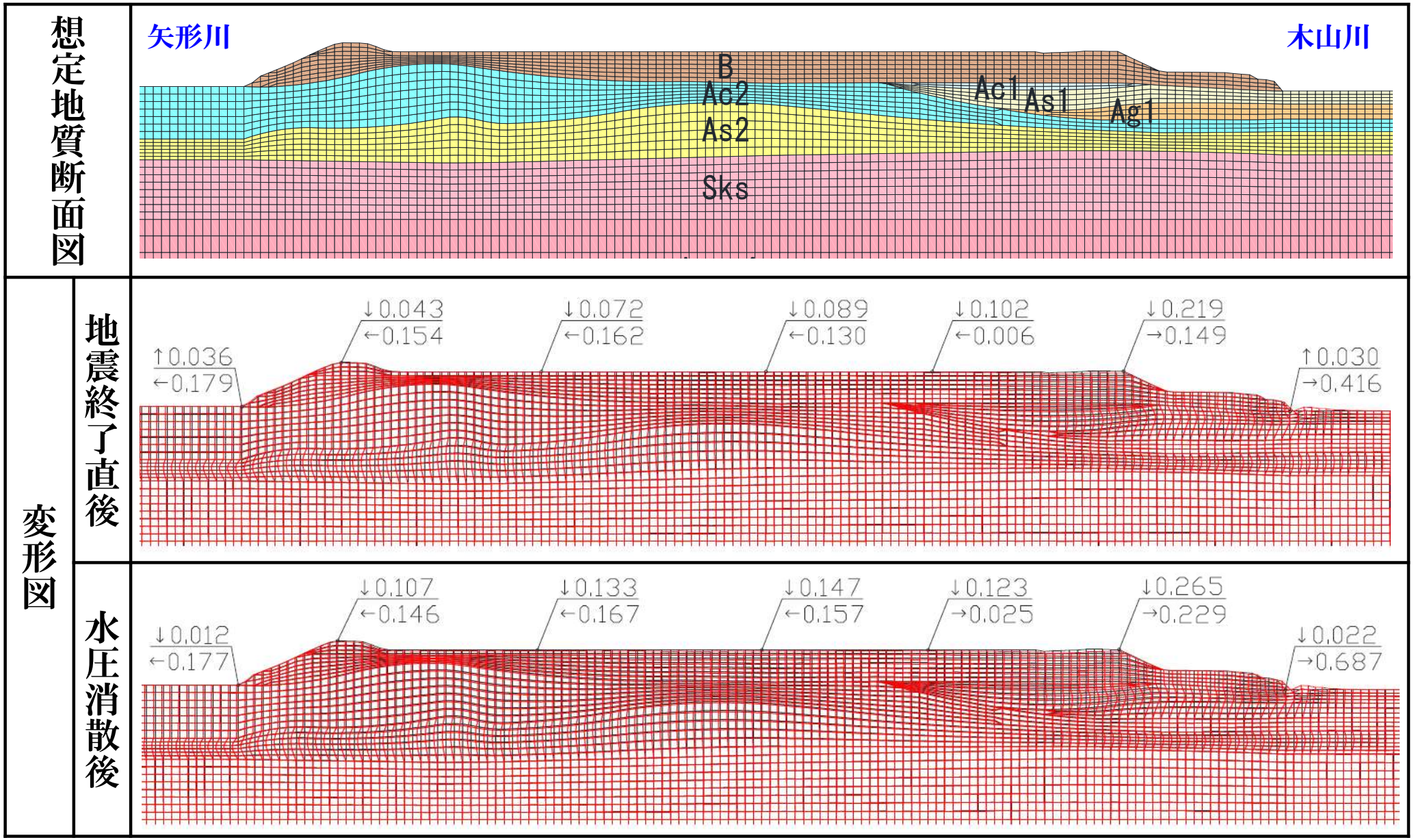
土質区分	圧密に関するパラメータ		せん断に関するパラメータ					液状化に関するパラメータ						
	λ	κ	c	ϕ_m	ϕ_f	M^*_m	M^*_f	B^*_0	B^*_1	C_f	γ^{P*}_{ref}	γ^{E*}_{ref}	D^*_0	n
As1	0.0020	0.0003	0.0	28.0	35.0	0.909	1.158	5000	100	0.0	0.0020	0.010	0.4	8.0
Ag1	0.0010	0.0005	0.0	28.0	35.0	0.909	1.158	8500	160	0.0	0.0016	0.010	0.4	12.0
As2	0.0013	0.0005	0.0	28.0	35.0	0.909	1.158	8000	160	0.0	0.0012	0.010	0.4	12.0



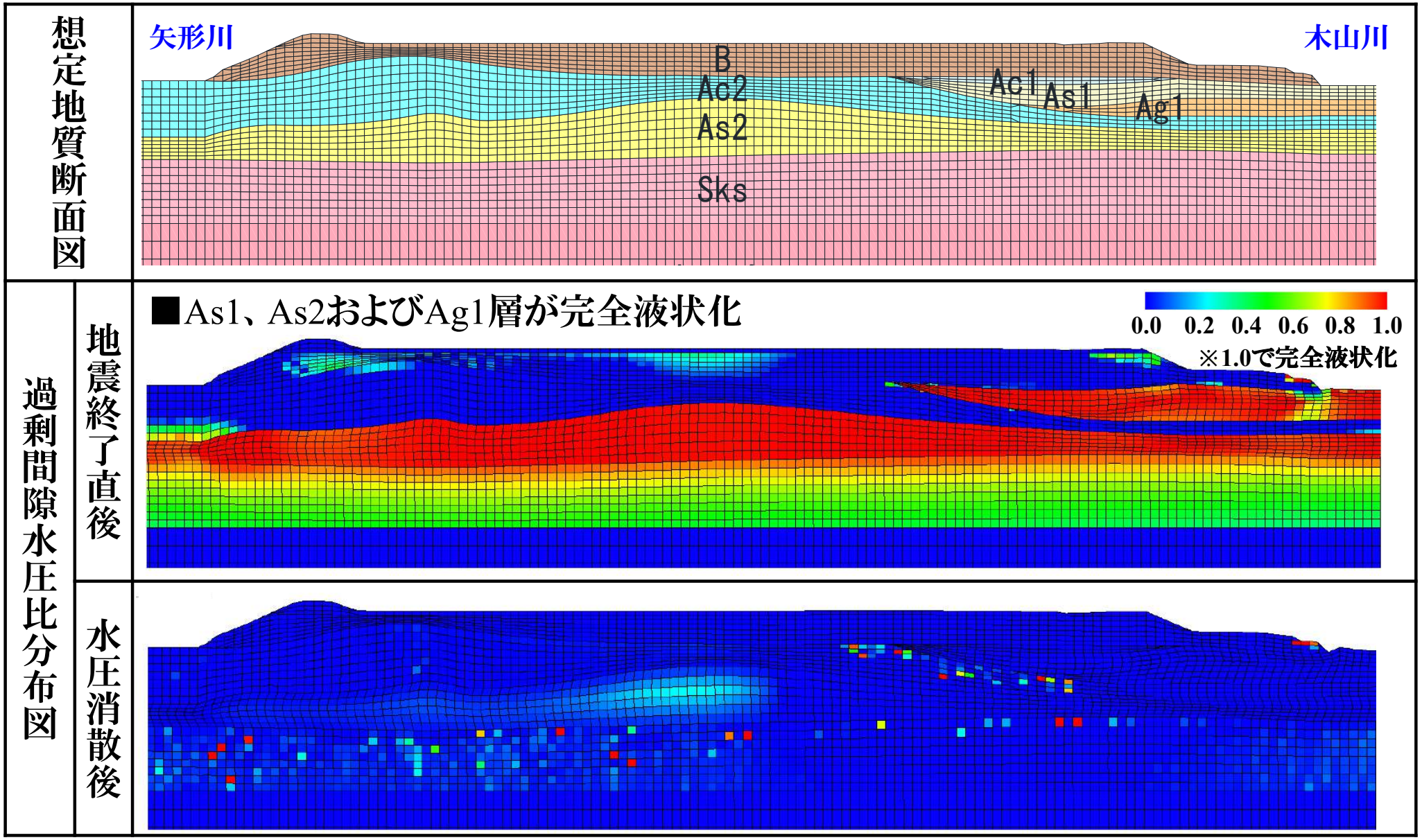




④-2 動的変形解析


想定地質断面図
矢形川
木山川
B
Ac2
As2
Sks
Ac1
As1
Ag1
変形図
地震終了直後
↓0.043
←0.154
↓0.072
←0.162
↓0.089
←0.130
↓0.102
←0.006
↓0.219
→0.149
↑0.036
←0.179
↑0.030
→0.416
水圧消散後
↓0.107
←0.146
↓0.133
←0.167
↓0.147
←0.157
↓0.123
→0.025
↓0.265
→0.229
↓0.012
←0.177
↓0.022
→0.687

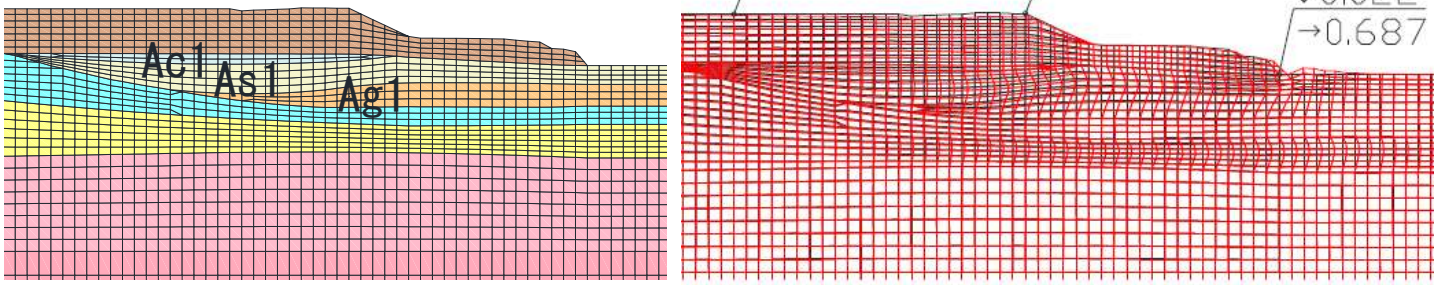
④-2 動的変形解析


想定地質断面図
矢形川
木山川
B
Ac2
As2
Sks
Ac1
As1
Ag1
過剰間隙水圧比分布図
地震終了直後
■As1、As2およびAg1層が完全液状化
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0
※1.0で完全液状化
水圧消散後

④再現解析

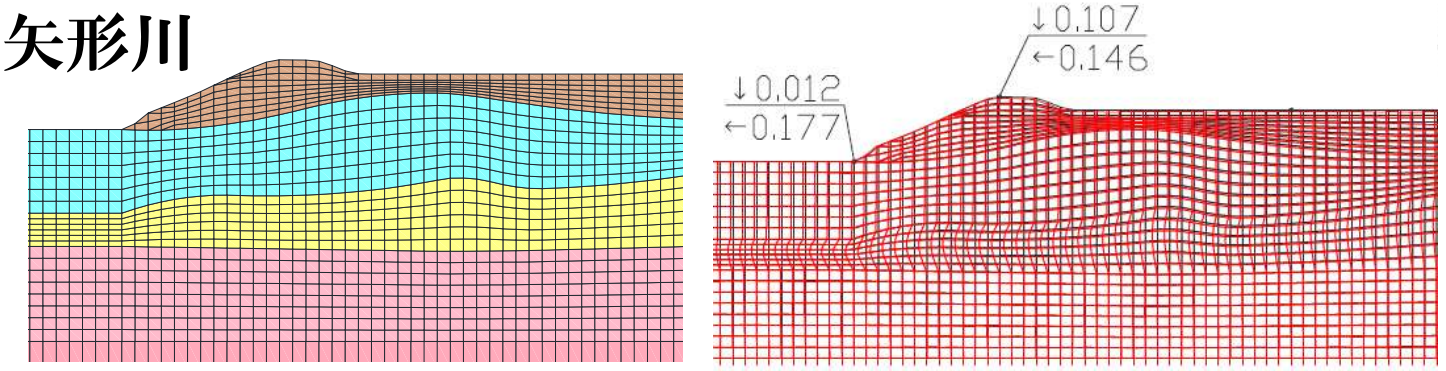
- 再現解析の結果、解析結果がやや過小であったが、**変形形態は概ね類似**していた。
- 解析結果も被害実態と同様に**木山川側の方で大きく**なっていた。

木山川



- 浅部に偏在するAs1層、Ag1層が地盤変状の主要因と推定

矢形川



- As2層が液状化した可能性はあるが、その上位のAc2層が液状化しなかったため、地盤変状は軽微であったと推定

以上より**再現モデルは妥当**であると判断
⇒対策工検討に使用することとした

解析結果

木山川	水平変位 鉛直変位
被災状況	0.25～0.34m 0.30～0.59m
再現解析	0.23～0.69m 0.02～0.27m

矢形川	水平変位 鉛直変位
被災状況	0.06～0.15m 0.00～0.40m
再現解析	0.03～0.18m 0.01～0.11m

※水平変位量 p.7～8
鉛直変位量 p.11

④再現解析(安定解析の場合)

【解析目的】
地震発生時の安全率を確認する
(矢形川および木山川における傾向の把握)

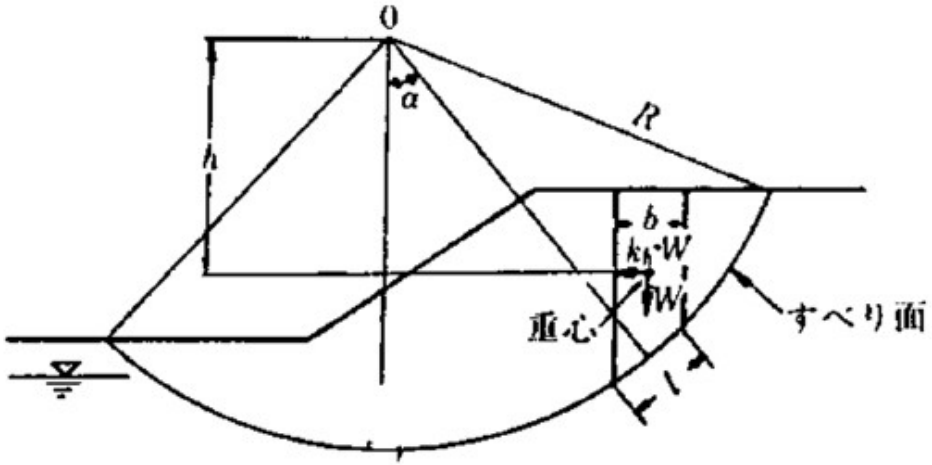
【解析条件】
解析断面:主断面となる5-5'側線
土質定数:地質調査結果より設定
但し、粘性土の強度低下率80%を考慮
地下水位:降雨時GL-0.5m(浸透流解析)
地震外力:水平震度(kh法)
kh=0.25(震度低減考慮)
宅地荷重及び道路荷重を考慮

【解析ケース】
①常時
②地震時kh法　kh=0.25

【修正フェレニウス(地震時)】

$$F_s = \frac{\sum\{C'L + (W - u_0 \cdot b - u_e \cdot b)\cos\alpha \cdot \tan\phi'\}}{\sum(W\sin\alpha + K_h \cdot W \cdot h/R)} \quad \text{(2.1.25)}$$

ここに、F_s ： 安全率
C', ϕ' ： 有効応力に関する土の粘着力 (kN/m²) (tf/m²)およびせん断抵抗角 (度)
W ： 分割細片の全重量 (kN/m) (tf/m)
L ： 細片の底面の長さ (m)
b ： 細片の幅 (m)
u_0 ： 常時地下水によって発生する間隙水圧 (kN/m²) (tf/m²)
u_e ： 地震によって発生する過剰間隙水圧 (kN/m²) (tf/m²)
K_h ： 設計水平震度
R ： すべり面の半径 (m)
h ： 細片の重心からすべり円の中心までの高さ (m)



【計算モデル図】

④再現解析(安定解析の場合)

【解析結果(kh=0.25の場合)】

最小安全率は以下のとおり

矢形川　Fs=1.002…OK、木山川Fs=0.899…NG

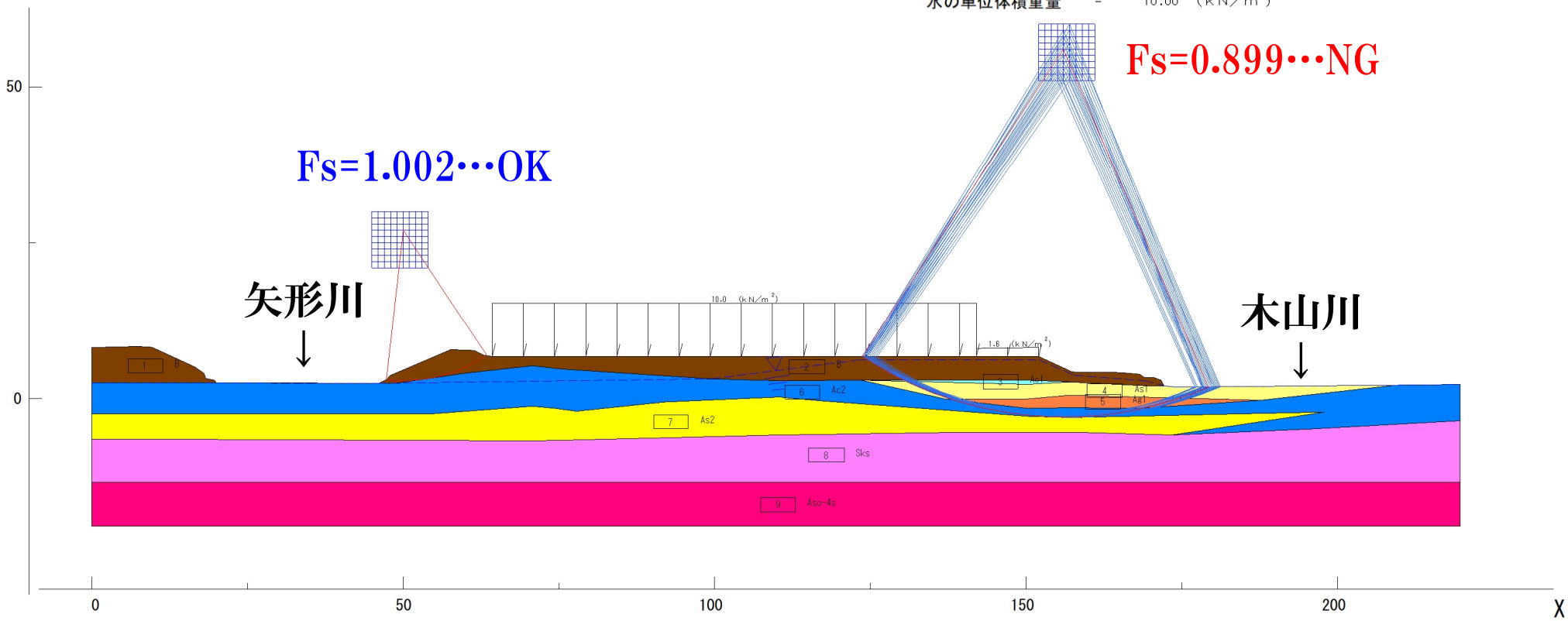
木山川側の方が相対的に安全率が低いことが確認された。

【設定土質定数(kh=0.25)】

層番号	飽和重量 (kN/m³)	湿潤重量 (kN/m³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m²)	粘着力の一次係数	水平震度	鉛直震度
1	17.40	17.40	0.00	27.00	0.00	0.250	0.000
2	17.40	17.40	0.00	20.30	0.00	0.250	0.000
3	16.40	16.40	0.00	39.00	2.07	0.236	0.000
4	17.50	17.50	35.00	0.00	0.00	0.233	0.000
5	18.80	18.80	35.00	0.00	0.00	0.225	0.000
6	15.70	15.70	0.00	35.00	2.74	0.219	0.000
7	17.70	17.70	35.00	0.00	0.00	0.214	0.000
8	15.40	15.40	35.00	0.00	0.00	0.205	0.000
9	15.40	15.40	35.00	0.00	0.00	0.174	0.000

粘着力の基準Y座標 = 0.000 (m)

水の単位体積重量 = 10.00 (kN/m³)

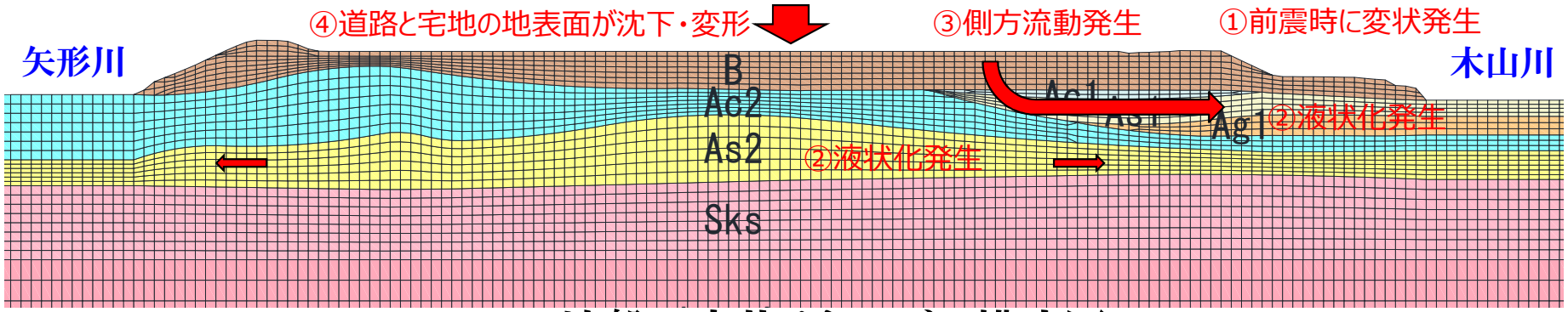


【解析結果図(kh=0.25、降雨時水位)】

■変状メカニズム

詳細調査・検討から明らかとなった秋津町秋田地区の地盤の変状メカニズム

素因 (地盤特性)	①複雑な地形と地層構成 ②偏在した液状化層の分布(主に木山川側) ③高い地下水位
誘因	①本震:M7.3(震央まで約1kmと近い) ②その約28時間前に発生した前震(M6.3)も影響
地盤の変状 メカニズム (推定)	①前震で河岸のり面が変状(この時点の液状化発生は未確認) ②本震による**地盤の液状化**により、主に木山川側に向かって**側方流動(円弧すべり)**が発生 ③これにより護岸周辺の土砂が河川側に**流動** ④護岸背後に位置する**道路(公共施設)**と**宅地の地表面が沈下・変形**して被害を受けた



地盤の変状メカニズム模式図

■側方流動対策の事例(千葉県香取市)

ガイダンスで紹介されている「千葉県香取市」の護岸背後地盤の側方流動対策のイメージを以下に示す。

〈補足〉

緩傾斜地盤又は護岸背後地盤などの地形では、地盤の液状化により水平方向への大きな変動が発生する場合があるので、こうした変動を抑制する側方流動対策についても検討することが考えられる。

具体的な例として千葉県香取市では、再び大地震が起こった場合に地盤が液状化し、河川に向かって側方流動が起こることを解析等により確認したため、道路等の公共施設と宅地の一体的な液状化対策について委員会を設置して検討した。検討の結果、河川護岸の水平方向変位を抑制する側方流動対策として河川の下の地盤を格子状に固化改良する工事を実施した。

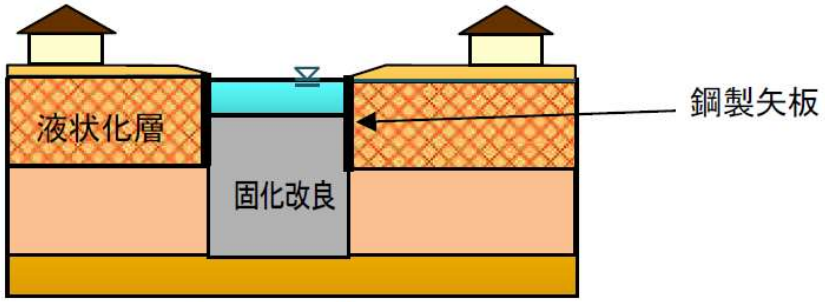
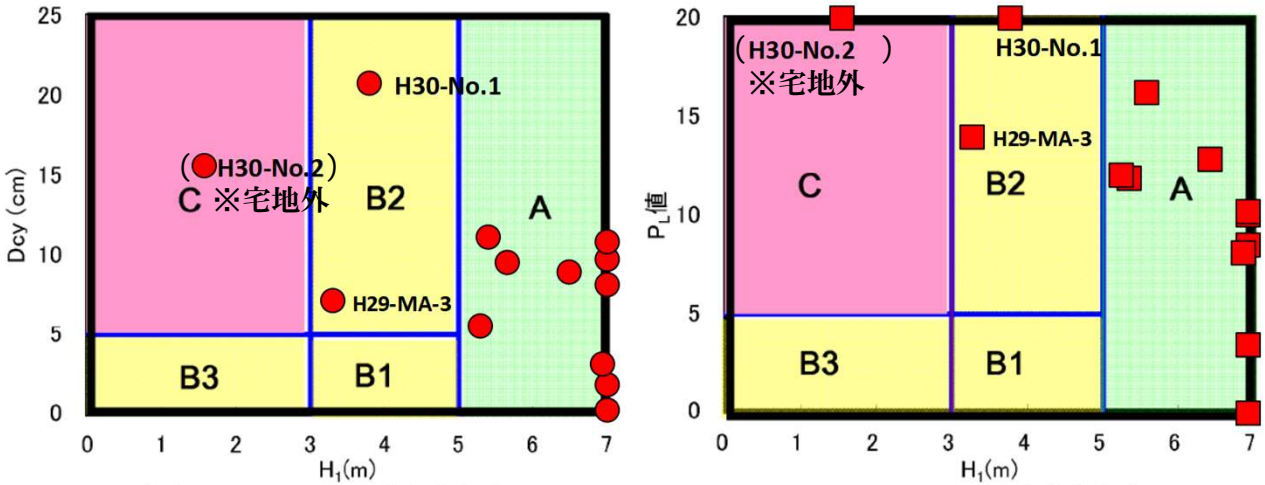


図 4-3 側方流動対策のイメージ

※市街地液状化対策推進ガイダンス【本編】,p56,令和元年6月

■H_1値、D_{cy}値、P_L値による判定結果(ガイダンスによる考え方)
宅地内のB2判定となる地点が2地点のみ。そのほかはA判定。



(a) H_1～Dcy 判定図　　(b) H_1～P_L 判定図

図 1-7　H_1 値、Dcy 値、P_L 値による判定図

表 1-3　判定図の数値表

判定結果	H_1の範囲	Dcyの範囲	P_L値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm 未満	5 未満	顕著な被害の可能性が比較的低い
B2	3mを超え、5m以下	5cm 以上	5 以上	
B1		5cm 未満	5 未満	
A	5m を超える	―	―	顕著な被害の可能性が低い

国土交通省都市局都市安全課：市街地液状化対策推進ガイダンス【本編】,pp9-10,令和元年6月.

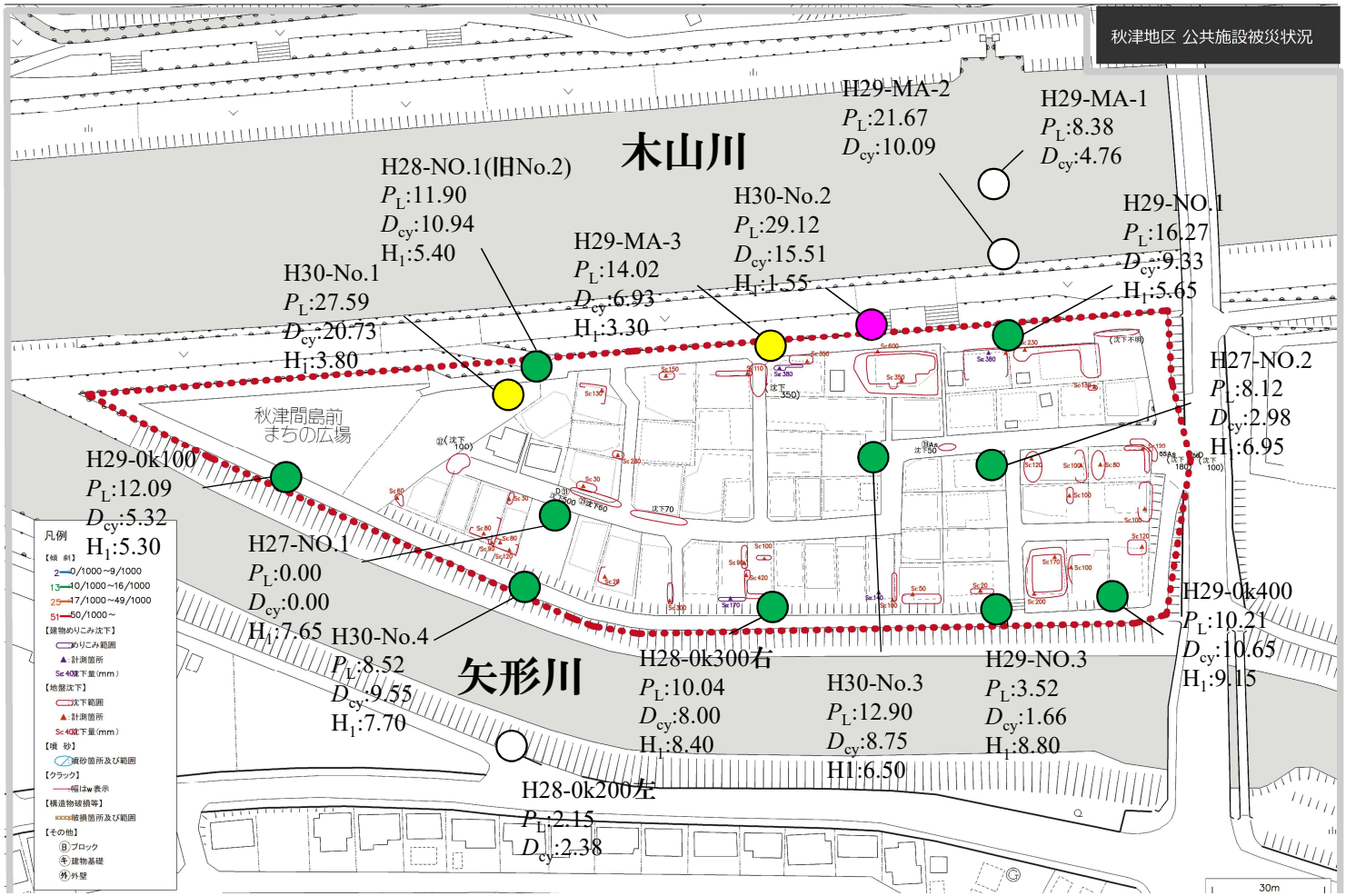
■H_1値、D_{cy}値、P_L値による判定結果

H30-No.2でC判定、H29-MA-3及びH30-No.1でB2判定、それ他の地点はA判定となった。

※1：C判定となったH30-No.2地点は、宅地外に位置する。

※2：B2判定の2地点は、側方流動対策により沈下量の軽減が期待できる。

判定結果
- ●：C
- ●：B
- ●：A



出典：基礎調査平面図より

■秋田地区における再度災害防止対策の考え方

対策工の効果の評価にガイダンスによる判定法を採用することは困難である

①LIQCAによる再現解析の結果、木山川に偏在するAs1層、Ag1層の液状化に伴う側方流動が主要因となり、木山川側の宅地部に被害が発生したと推察。

②安定解析(円弧すべりkh法)による再現解析の結果、相対的に木山川側のほうが地震時の安全性は低く、矢形川側のほうが安全率が大きくなることを確認。

①LIQCAを用いた木山川側の側方流動対策の検討

②安定解析(円弧すべり)を用いた許容値を満足する対策の検討

■秋田地区における再度災害防止対策の目標値

再度災害防止対策として、以下の2つの目標値を提案する。

地震動	対象	規定値	備考
タイプ2 地震動	傾斜角※	地震が来たとしても 地盤に影響が出ない傾斜角 (3/1,000)	建築基礎構造 設計指針
	すべり安 全率	地震時の河岸や宅地の安定 性を確保できる安全率 (Fs>1.0)	宅地防災 マニュアル

※個別の宅地ごとの傾斜角ではなく、側方流動に伴って地区全体の地表面に生じる傾斜角を対象とする。

一次選定結果

原理	代表的な対策工法		液状化 ①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	備考
圧密・排水	地下水位低下工法		－	－	－	×	×	－	－	側方流動対策としては不適
締固め	振動締固め工法	ｻﾝﾄﾞｺﾝﾊﾟｸｼｮﾝﾊﾟｲﾙ工法	×	－	－	－	－	－	－	施工時の騒音・振動が発生し、また、宅地へ有意な変位が生じる可能性があるため非選定
		振動棒工法	×	－	－	－	－	－	－	〃
		ﾊﾞｲﾌﾞﾛﾌﾛｰﾃｰｼｮﾝ工法	×	－	－	－	－	－	－	〃
		ﾊﾞｲﾌﾞﾛﾀﾝﾊﾟｰ工法	×	－	－	－	－	－	－	〃
		重錘落下締固め工法	×	－	－	－	－	－	－	〃
	静的締固め工法	静的締固め砂杭工法	×	－	－	－	－	－	－	施工時に宅地へ有意な変位が生じる可能性があるため非選定
		静的圧入締固め工法	×	－	－	－	－	－	－	施工時に宅地へ有意な変位が生じる可能性があるため非選定
固結	表層(中層)混合処理工法		－	○	－	－	－	－	－	改良下端が中層混合処理工法の施工可能深度(13m)以内であれば側方流動対策に効果的なため選定
	深層混合処理工法	機械撹拌工法	－	○	－	－	－	－	－	側方流動対策に効果的なため選定
		高圧噴射撹拌工法	－	△	－	－	－	－	－	側方流動対策に効果的なため選定
	石灰ﾊﾟｲﾙ工法		×	×	－	－	－	－	－	滞水砂層による効果低減など懸念があるため非選定
	薬液注入工法		－	×	－	－	－	－	－	細粒分が20%以上を示す土層があり不適
掘削置換	掘削置換工法		－	－	×	－	－	－	－	側方流動対策としては不適のため日選定
間隙水圧消散	間隙水圧消散工法		－	－	－	－	－	×	－	地震時に宅地へ有意な変位が生じる可能性があるため非選定
構造物による対策	矢板工法		－	－	－	－	－	－	△	側方流動対策に効果的なため選定

※表層混合処理工法に中層も含めて整理した
※効果の丸数字は以下のとおり
①密度増大
②固結
③粒度の改良
④飽和度の低下
⑤有効応力増大
⑥過剰間隙水圧の消散
⑦せん断変形の抑制

※表中の記号は以下の考えで整理した(-は対象外)
○：適用性あり
△：ある程度の効果はある
×：対策効果が不十分・現地条件から適用不可

■固結工法の改良仕様の検討方法

①改良幅について
「建築基礎構造物設計指針」に示される「改良深さの1/2に相当する範囲」を最小とし、目標安全率を満足しない場合には、これを増加させる。

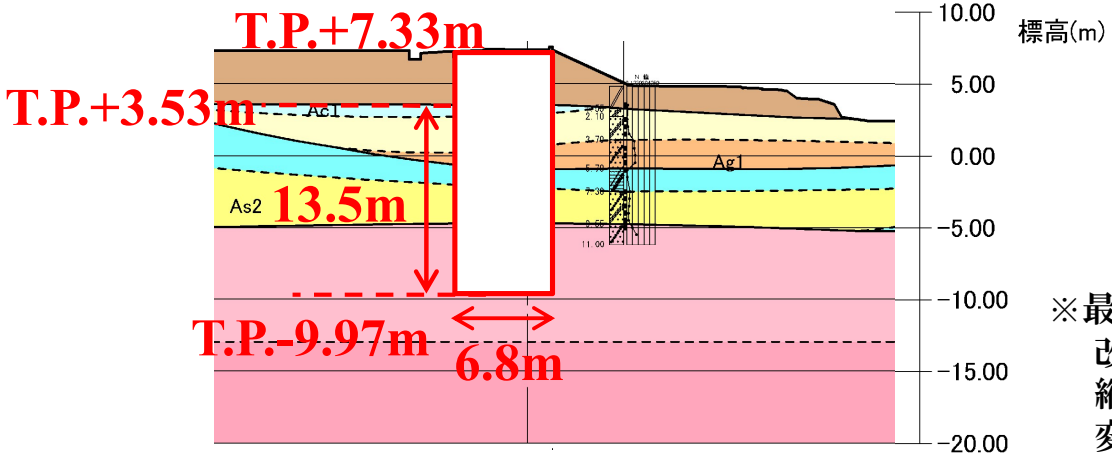
②改良深度について
原則として、液状化対象層の下端深度＜改良深度とする。
また、改良上面は道路の路盤(路床)の下面までとする。

③改良強度について
原則として、q_u=500kN/m^{2}以上とする(九地整資料添付)。

④改良率apについて
深層混合処理工法は、剛な壁体を構築するためap=78.5%以上(接円以上)を原則とする。

⑤改良体の安定性について
円弧すべりのみでなく、改良体全体の安定計算(滑動、転倒、支持力)を行う。

＜固結工法による改良規模の検討結果(5-5'断面)＞



※最終形状は、以下を踏まえて検討
　改良体の安定性(改良下端)
　縦横比(改良幅)
　変形解析結果、安定解析結果(改良上端)

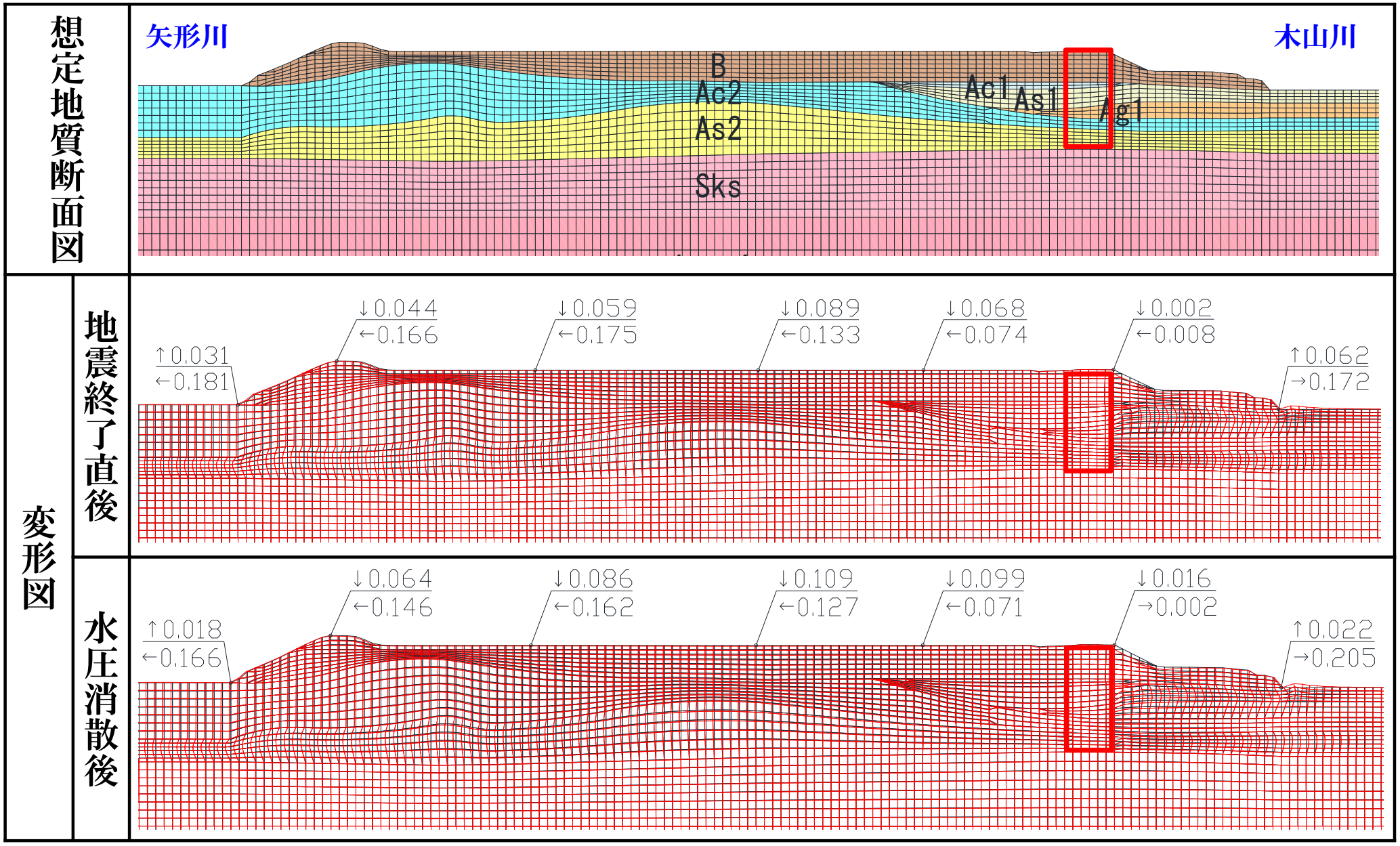
■改良体の安定性の検討結果(5-5'断面)

＜検討条件＞
- 水平震度0.25
- As1、Ag1およびAs2層が完全液状化
- 改良強度q_u=500kN/m^{2}以上
- 改良率78.5%以上

＜改良体の安定性の検討結果＞
改良幅：6.8m
改良深さ：13.5m(液状化層上端からの深さ)

照査項目	発生値	許容値	備考
滑動	1.04	1.0	受働側土水圧の合力P_{PH}、改良地盤底面のせん断抵抗力F_R、改良部に作用する慣性力H、改良上部盛土に作用する慣性力H_E、主働側土水圧の合力P_{AH}を用いて、下式より安全率を算定 $Fs=(P_{PH}+F_R)/(H+H_E+P_{AH})$
転倒	1.16	1.1	改良地盤前趾回りのモーメントに対して、抵抗モーメントM_Rと転倒モーメントM_Dから下式より安全率を算定 $Fs=M_R/M_D$
支持力	728.52kN/m^2	769.7kN/m^2	支持力の検討に用いる改良体の地盤反力を算出し、許容支持力以下となることを確認

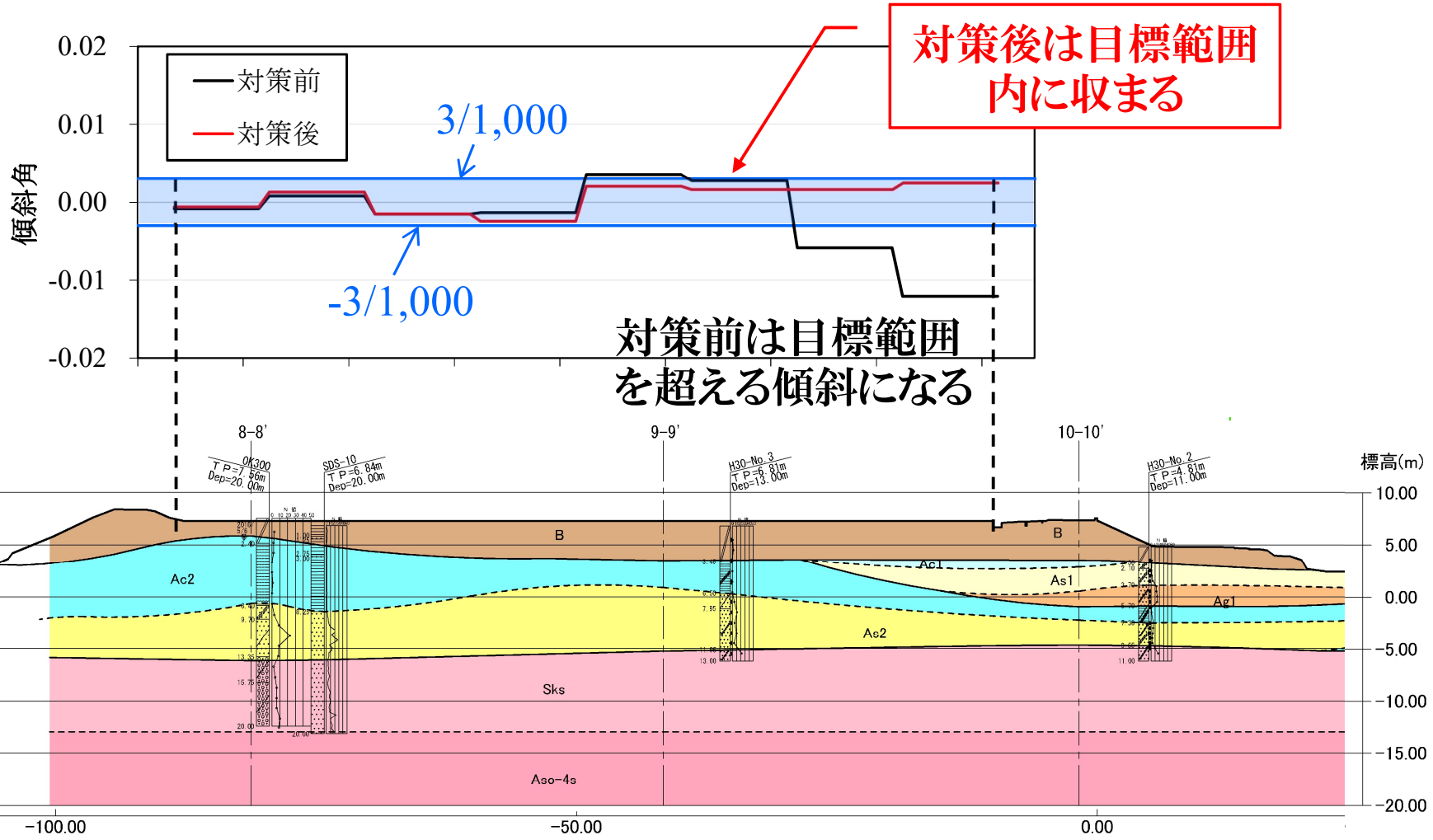
■固結工法を考慮した動的変形解析結果



■固結工法を考慮した動的変形解析結果

想定地質断面図(5-5'断面)

対策前は、宅地中央部付近まで傾斜角が3/1,000以上であったが、対策後は、宅地全体で傾斜角が±3/1,000未満となった。



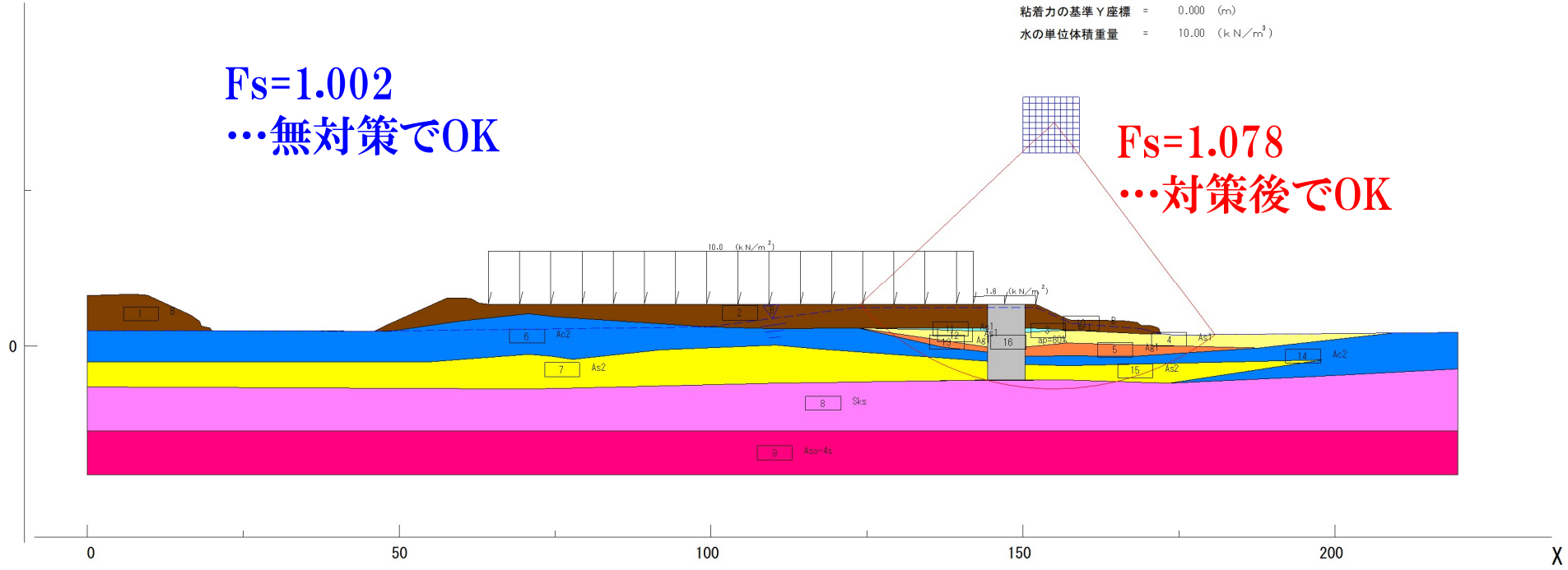
■固結工法を考慮した円弧すべり解析結果

【解析条件】
- kh法：Fs>1.0以上（但し、強度低下率80%を考慮）
- 改良強度qu=500kN/m²　・改良率78.5%

【解析結果】
- 固結工法により、
  安全率が基準値を満足
  （木山川側）

層番号	飽和重量 (kN/m³)	湿潤重量 (kN/m³)	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m²)	粘着力の一次係数	水平震度	鉛直震度
1	17.40	17.40	0.00	27.00	0.00	0.250	0.000
2	17.40	17.40	0.00	21.60	0.00	0.250	0.000
3	16.40	16.40	0.00	31.20	2.07	0.236	0.000
4	17.50	17.50	35.00	0.00	0.00	0.233	0.000
5	18.80	18.80	35.00	0.00	0.00	0.225	0.000
6	15.70	15.70	0.00	28.00	2.74	0.219	0.000
7	17.70	17.70	35.00	0.00	0.00	0.214	0.000
8	15.40	15.40	35.00	0.00	0.00	0.205	0.000
9	15.40	15.40	35.00	0.00	0.00	0.174	0.000
10	17.40	17.40	0.00	21.60	0.00	0.250	0.000
11	16.40	16.40	0.00	31.20	2.07	0.236	0.000
12	17.50	17.50	35.00	0.00	0.00	0.233	0.000
13	18.80	18.80	35.00	0.00	0.00	0.225	0.000
14	15.70	15.70	0.00	28.00	2.74	0.219	0.000
15	17.70	17.70	35.00	0.00	0.00	0.214	0.000
16	17.00	17.00	0.00	196.25	0.00	0.250	0.000

粘着力の基準Y座標 = 0.000 (m)
水の単位体積重量 = 10.00 (kN/m³)



【解析結果図(kh=0.25)】

再現解析(LIQCA,安定解析)は概ね妥当であると考えられる。
⇒再現解析結果を用いて地盤改良工法などを用いた側方流動対策を実施する。

今後、以下の内容について検討し、対策工詳細を決定する

課題	実施内容
①再度災害防止対策	宅地の側方流動対策として、各対策目標を満足する対策工の検討を行う。
②同上	対策工の諸元決定のための調査・検討を行う ・改良仕様を決定するための、現地土配合試験(準備中) ・改良範囲を決定するための、補足調査ボーリング ・上記を踏まえた対策工の基本諸元の検討 ・対策工法の詳細設計
③その他	河川堤防(木山川、矢形川)や宅地に対する地下水の影響検討を行う ・浸透に対する安全性の照査 ・対策工法を採用することによる周辺地下水への影響検討