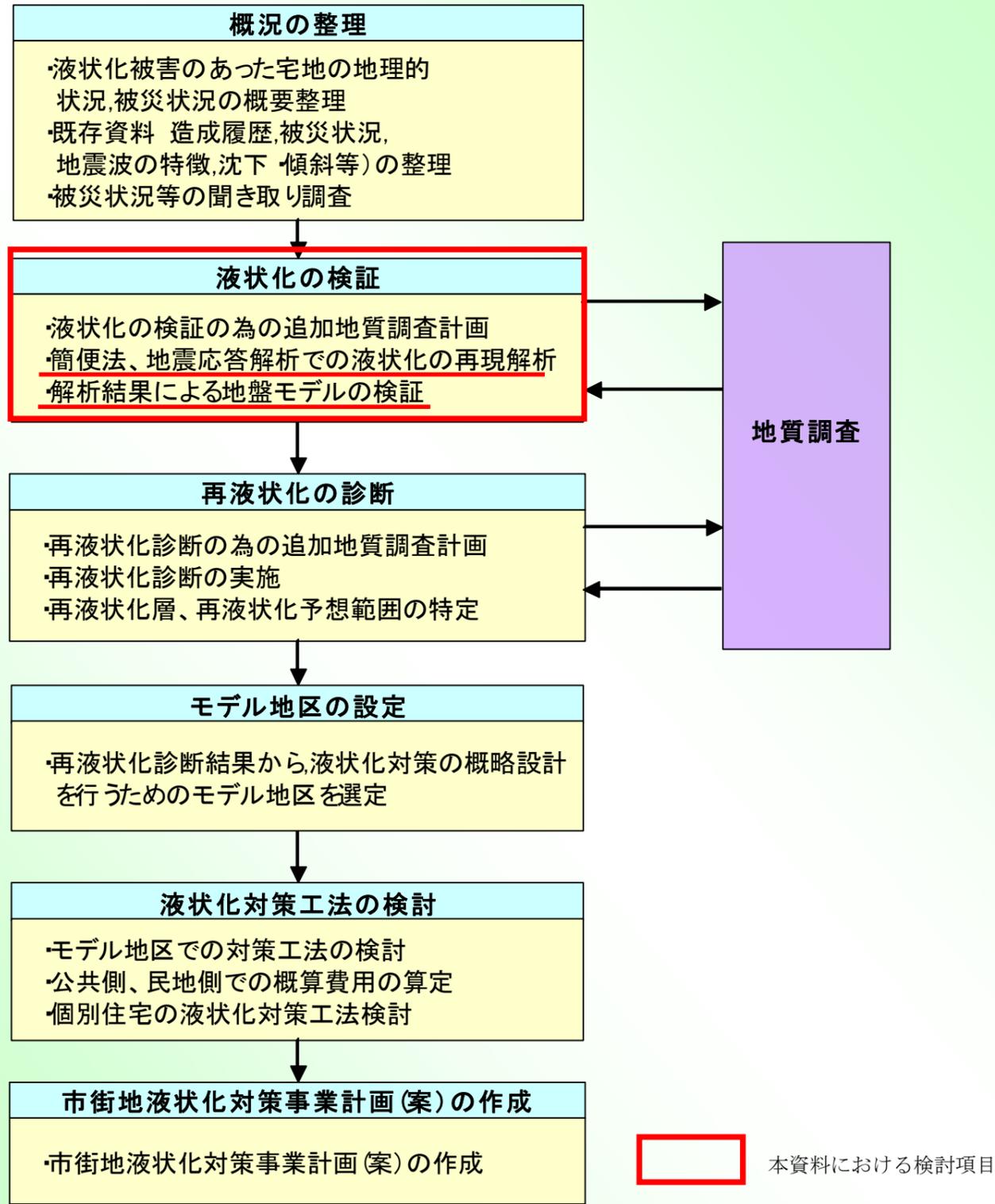


液状化の検証



1. 検証位置

(1) 検証位置図

表 4-1、図 4-1 に示す位置の既往の地質調査資料を用い、液状化の検証を実施した。

表 4-1 検証箇所一覧

地区	検討位置	地区	検討位置
地震計位置	旭市役所	海上	UK-1
	飯岡支所	東足洗	HA-1
	海上支所		HA-2
	干潟支所	中谷里	NK-1
旭	旭中央病院	神宮寺浜	JG-S-1
	日の出保育所	中谷里浜	NH-S-1
三川	飯岡体育館	足川浜	AH-1
蛇園	HB-S-1	椎名内	SN-S-1
	HB-1		SN-S-2
	HB-2	三川	SG-1
	HB-3		SG-2
		干潟	HG-S-1

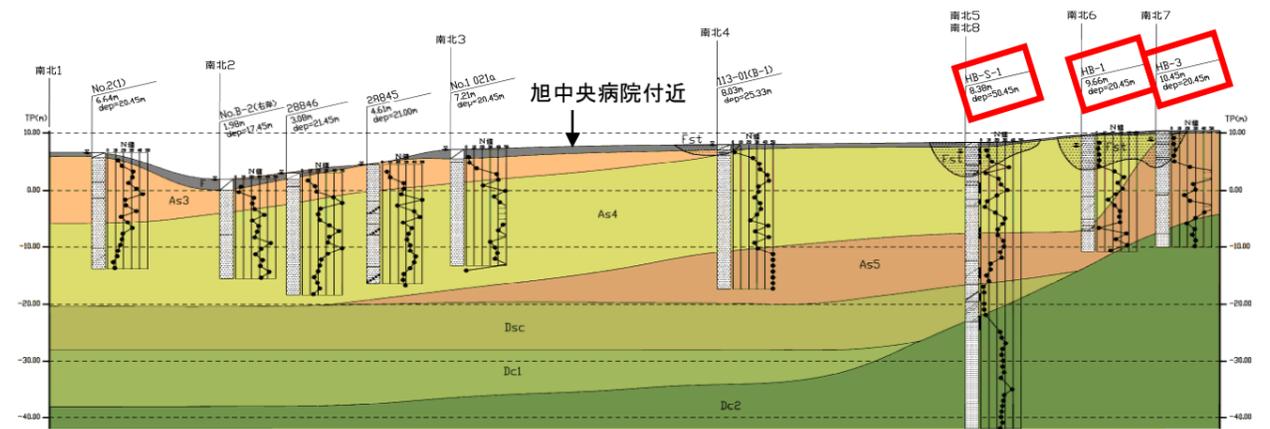


図-4.2 地層断面図(東西 3)

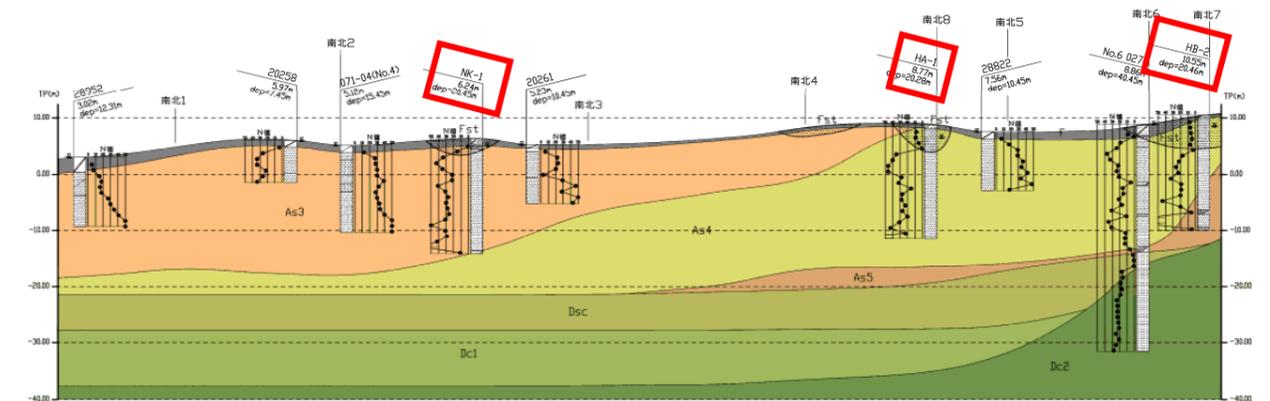


図-4.3 地層断面図(東西 4)

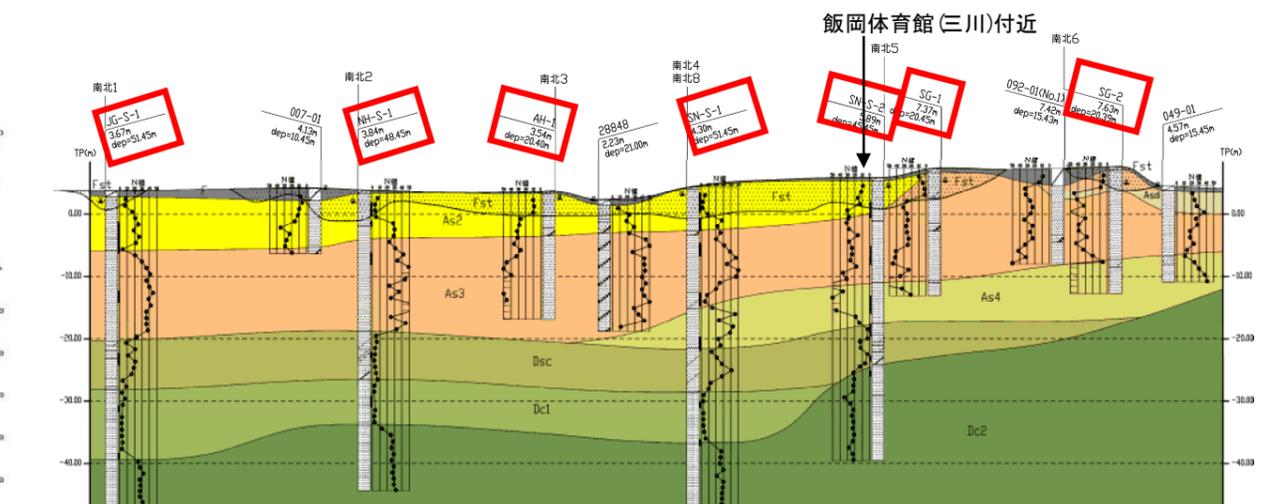


図-4.4 地層断面図(東西 5)

地層凡例		
人工地盤	Fst	推定砂鉄採取部埋戻し層
	F	埋土・盛土
更新統	Asd	砂質土層 (砂丘性)
	As1	砂質土層
	As2	砂質土層 (砂堤性、第Ⅲ砂堤群、1500年前以降に形成)
	As3	砂質土層 (砂堤性、第Ⅲ砂堤群、3500年前以降に形成)
	As4	砂質土層 (砂堤性、第Ⅲ砂堤群、5000年前以降に形成)
自然地盤	Ac	粘性土層、有機質土層 (潟湖堆積物)
	Acs	粘性土層挟在砂質土層
	As5	砂質土層 (砂堤性)
更新統	Dsc	粘性土砂質土互層
	Dc1	粘性土層
	Dc2	粘性土層 (基盤層)
	Ds	砂質土層 (基盤層)
	Dc3	粘性土層 (基盤層)

(2) 地層断面図

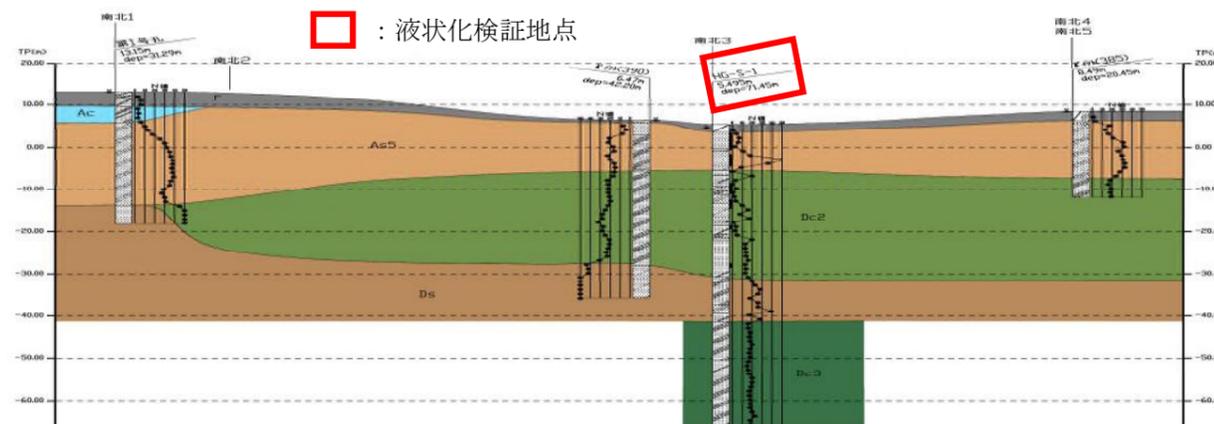


図-4.1 地層断面図(東西 1)

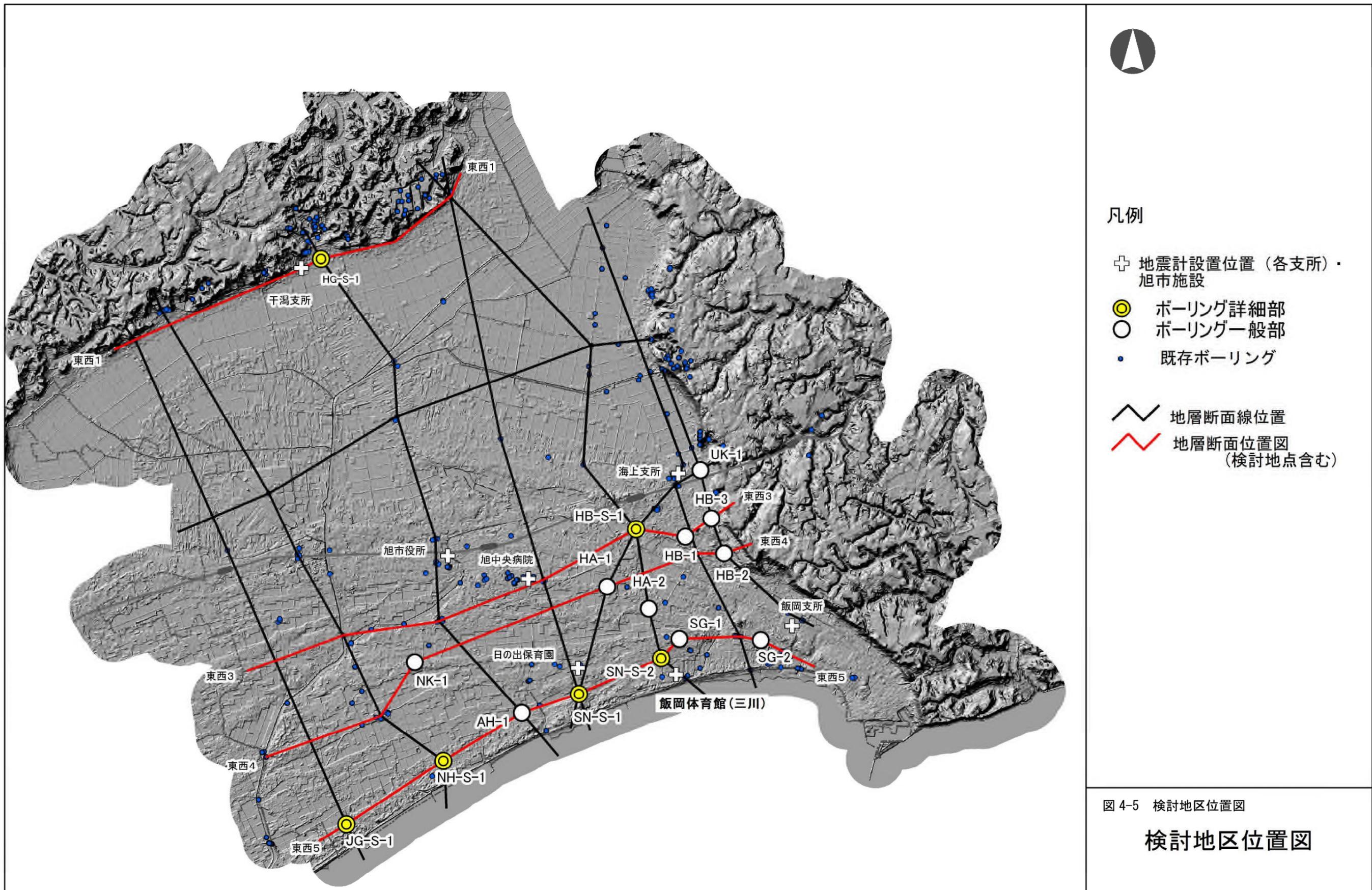
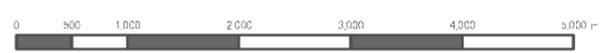


図 4-5 検討地区位置図

検討地区位置図



2. 検討条件

(1) 考慮する地震動

①簡易法 (α_{max}) : 地表面最大加速度とマグニチュード

表 4-2 地震動一覧

地区	地震動		マグニチュード M	地表面 最大加速度 α_{max} (ga)	$\gamma_n \times \alpha_{max}$
旭	余震	NS	7.7	221	148
飯岡	余震	NS	7.7	265	177
海上	余震	EW	7.7	206	138
干潟	本震	EW	9.0	287	230

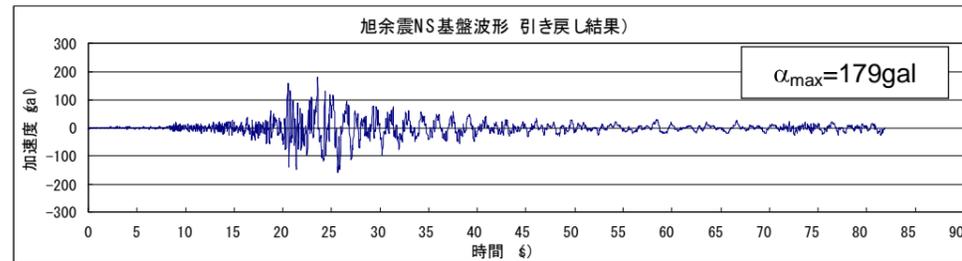
※ γ_n : 等価な繰返し回数に関する補正係数 $\gamma_n=0.1(M-1)$

※ α_{max} : 観測された地表最大加速度 (ga)

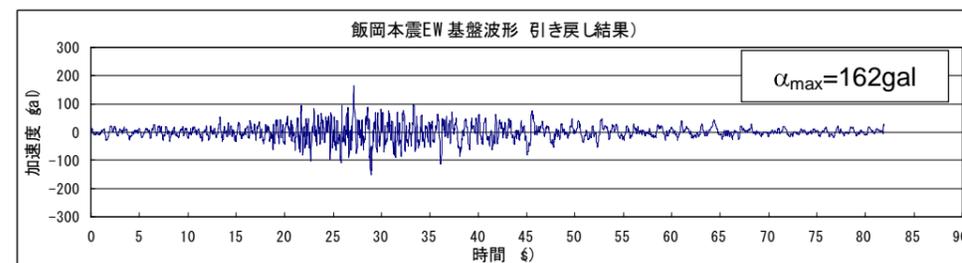
②地震応答解析

: 東日本大震災における各地区の地表面における
観測記録を基盤へ引き戻した加速度時刻歴

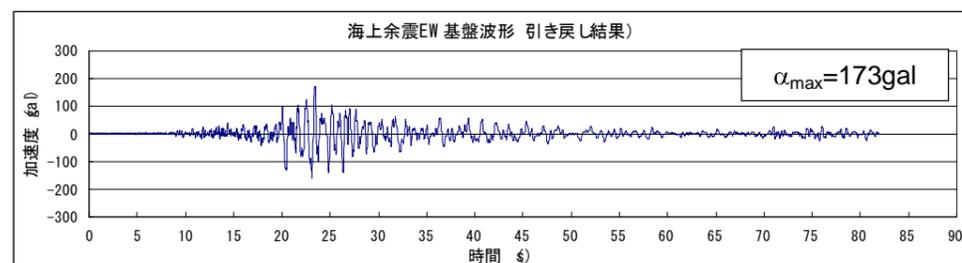
□旭地区



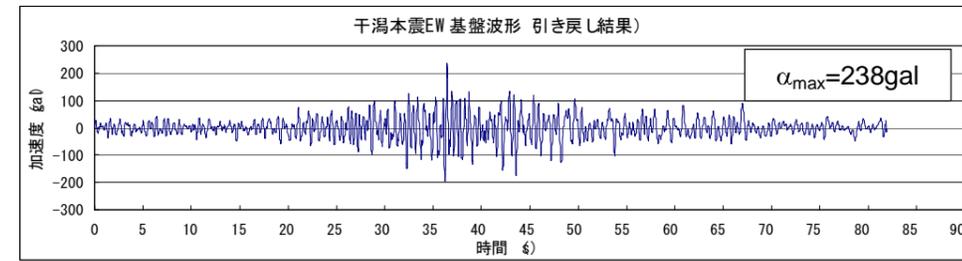
□飯岡地区



□海上地区



□干潟地区



(2) 解析手法

1)地震時地中せん断力

- ①簡易法 (建築基礎構造設計指針)
- ②地震応答解析 (FDEL)

2)液状化判定

- ①建築基礎構造設計指針

3)地表面沈下量

- ①建築基礎構造設計指針
- ②高圧ガス設備等耐震設計指針
- ③Dr- ϵ_v 関係式による方法

(3) 地盤条件

以下の地盤物性値は、追加地質調査結果を用いた。

- ・ せん断弾性波速度
- ・ N 値
- ・ 粒度分布
- ・ 湿潤密度
- ・ 動的変形特性
- ・ 液状化強度比
- ・ 相対密度

(4) スウェーデン式サウンディング試験による補正条件

ボーリング調査結果とスウェーデン式サウンディング試験の比較を行い、液状化解析地点周辺地域の代表的な値を採用し、液状化判定を行った。

(5) 液状化の検証条件

液状化の判定深度は GL-10m 以浅とした

3. 検討結果

(1) 液状化検討結果

表 4-4 液状化の検証結果一覧

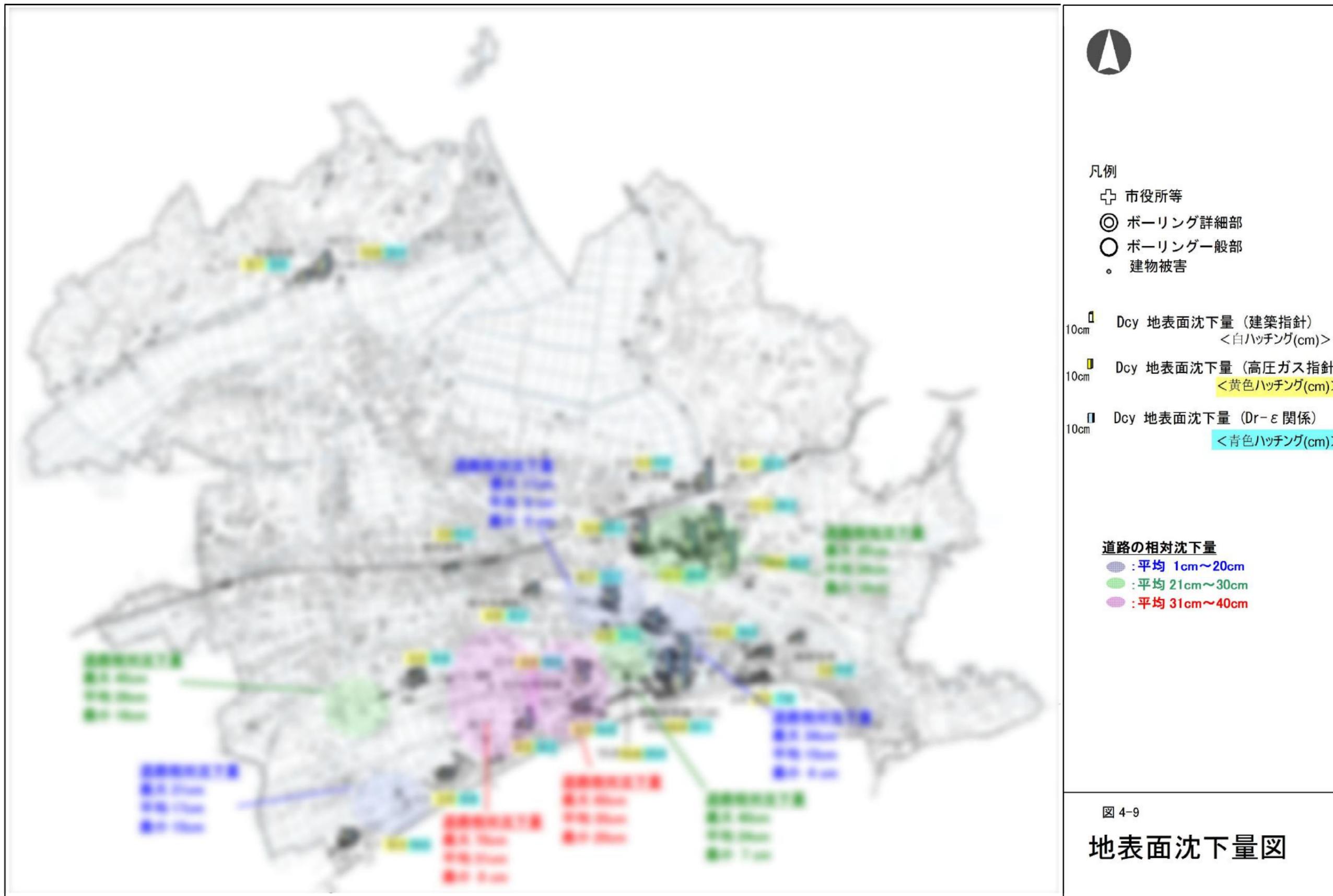
地区	検討位置	SWS試験による N値補正	簡易法					地震応答解析					実際の被害状況					評価									
			地震波	PL	H ₁ (m)	Dcy(Δ) ^{※1}	Dcy(Δ) ^{※2}	Dcy(Δ) ^{※3}	地震波	地表面最大加速度 (g)	PL	H ₁ (m)	Dcy(Δ) ^{※1}	Dcy(Δ) ^{※2}	Dcy(Δ) ^{※3}	道路の相対沈下量 (cm)	液状化の有無	液状化による被害	その他	沈下量と道路の相対沈下量的一致					コメント		
																				簡易法		地震応答解析					
建築基準	高圧ガス	D _{r-e} 関係	建築基準	高圧ガス	D _{r-e} 関係																						
地震計位置	旭市役所		旭余震NS M 7.7 地表面最大加速度 α _{max} = 221gal	1.4	7.3	1.6	4.6	6.2	221	0.9	7.3	1.4	3.9	6.2	—	×	×	—	—	—	—	—	—	—	—	液状化の判定では、一部が液状化が生じる結果となったが、H1は簡易法・地震応答解析とも7.3mである。液状化層が比較的深い層であるので、地表面への液状化被害は生じなかったと考えられる。	
旭	旭中央病院			4.4	1.3	1.9	4.8	9.3	228	6.2	1.3	2.1	4.6	9.3	—	×	×	—	—	—	—	—	—	—	—	液状化の判定では、地表面付近の一部が液状化が生じる結果となった。液状化層厚が薄いことから、地表面付近ではわずかな沈下にとどまると考えられる。	
椎名内	日の出保育所	GL-1m 13→8		13.9	2.3	20.7	16.3	31.0	232	10.8	2.3	22.6	8.8	19.6	20~60	○	○	—	○	△	○	○	×	△	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となった。液状化層厚は3mであった。沈下量は地震応答解析では建築指針では22.6cm、高圧ガス指針では8.8cmとなり、D _{r-e} 関係では19.6cmとなった。当該地域では、液状化が確認され、液状化被害が生じている。また、道路の相対沈下量は20cm~60cmであるため、D _{r-e} 関係では概ね一致した結果となった。	
中谷里	NK-1			0.9	1.3	1.5	2.7	6.9	237	6.9	1.3	3.1	4.0	6.9	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	液状化の判定では、地表面付近の一部で液状化が生じる結果となった。液状化層厚が薄いことから、地表面付近ではわずかな沈下にとどまると考えられる。	
神宮寺浜	JG-S-1			3.0	9.3	6.9	4.1	3.2	242	4.4	2.3	9.7	6.3	10.0	15~21	○	○	—	×	×	×	×	×	×	×	×	液状化判定では、地表面から3m~8mのN値の比較的高い部分を除き、液状化が生じ、液状化層厚は薄い結果となった。当該地域は、液状化が確認され、液状化被害が生じている。N値が比較的大きな層が存在し、地下水位面がGL-1.7mであるため、液状化層も薄いことから、解析値のDcyは道路の相対沈下量に比べ小さい値となった。
中谷里浜	NH-S-1			0.5	4.3	4.2	3.6	6.8	245	0.8	4.3	4.3	3.9	6.8	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となった。液状化層厚も薄いことから、地表面付近ではわずかな沈下にとどまると考えられる。
足川浜	AH-1		3.2	2.3	2.4	5.2	12.4	252	6.0	1.3	3.7	6.9	18.5	6~70	○	○	—	×	△	○	×	○	○	○	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となった。液状化層厚も薄いことから、地表面付近ではわずかな沈下にとどまると考えられる。当該地域では、液状化が確認され、液状化被害が生じている。また、道路の相対沈下量は6~70cmに対して、簡易法ではD _{r-e} 関係、地震応答解析の高圧ガス基準とD _{r-e} 関係で一致した結果となった。地下水位面はGL-1.1mである。	
地震計位置	飯岡支所		飯岡余震NS M 7.7 地表面最大加速度 α _{max} = 265gal	0.2	9.3	0.7	2.1	3.6	206	3.0	1.3	1.1	3.8	6.8	—	×	×	—	—	—	—	—	—	—	—	簡易法では、H1は9.3mであり、地震応答解析では、地表面付近の一部が液状化する結果となった。液状化層厚が薄く、液状化程度も小さいことから、地表面への液状化被害は生じなかったと考えられる。	
三川	飯岡体育館(三川)	GL-1m 12→7		19.8	2.3	20.7	18.9	40.0	245	17.7	2.3	19.6	16.8	37.1	4~34	○	○	—	○	○	△	○	○	△	—	—	地表面から6~8m付近の比較的高いN値の大きな層を除き、ほぼ全面的に液状化が生じる結果となった。当該地域では、液状化が確認され、液状化被害が生じている。また、建築指針、高圧ガス指針では、道路の相対沈下量4~34cmに対して一致した結果となり、D _{r-e} 関係でも概ね一致した。
	HA-2	GL-2~3m 10~15→6~7		9.0	3.3	11.0	5.9	13.3	223	8.0	3.3	10.7	5.9	13.3	4~34	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となった。地下水位面がGL-2.0mであるため、液状化層は薄い。当該地域では液状化が確認され、液状化被害が生じている。また、道路の相対沈下量4~34cmに対しては建築基準の沈下量で一致した結果となった。
	SN-S-2	GL-1~4m 9~16→2~8		6.7	2.3	16.7	11.6	26.0	254	6.5	2.3	15.8	10.8	23.0	20~61	○	○	—	△	×	○	×	×	○	—	—	液状化の判定では、地表面付近の一部が液状化が生じる結果となった。液状化層厚も3mと厚い。当該地域では、液状化が確認され、液状化被害が生じている。D _{r-e} 関係では、道路の相対沈下量と一致した結果となった。
	SG-1			12.6	2.3	18.5	8.5	18.9	243	13.1	2.3	18.8	8.5	18.9	4~34	○	○	—	○	○	○	○	○	○	○	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となり、液状化層厚も3mと厚く、沈下量は8.5cm~18.9cmとなった。当該地域では、液状化が確認され、液状化被害が生じている。また、道路の相対沈下量は4cm~36cmに対して一致した結果となった。
	SG-2			2.5	3.3	2.4	3.3	7.8	201	2.9	3.3	2.6	3.3	7.8	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	液状化の判定では、地表面付近の一部が液状化が生じる結果となった。当該地域は、液状化が確認され、液状化被害が生じている。液状化層厚が薄いことから、地表面付近ではわずかな沈下にとどまると考えられる。
東足洗	HA-1		11.5	2.3	15.2	7.4	17.1	198	9.7	3.3	13.9	6.7	13.7	5~17	○	○	—	○	○	△	○	○	○	—	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となった。当該地域は、液状化が確認され、液状化被害が生じている。また、道路の相対沈下量5cm~17cmに対して一致した結果となった。	
矢指	SN-S-1	GL-1~3m 7~10→2~5	6.6	1.3	20.9	10.1	24.6	190	2.9	1.3	5.0	6.0	10.9	6~70	○	○	—	○	○	○	△	○	○	—	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となった。液状化層厚は4mと厚いことから沈下量は5.0cm~20.9cmとなった。当該地域は液状化が確認され、液状化被害が生じている。また、道路の相対沈下量6~70cmに対して一致した結果となった。	
地震計位置	海上支所		海上余震EW M 7.7 地表面最大加速度 α _{max} = 206gal	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	207	0.0	10.0	0.0	0.3	0.0	—	×	×	—	—	—	—	—	—	—	—	簡易法、地震応答解析とも液状化は生じない結果となった。	
後草	HB-S-1	GL-1~4m 7~35→6~7		3.1	4.3	6.1	6.1	9.7	342	11.7	2.3	15.9	12.8	25.3	18~30	○	○	—	×	×	×	△	×	○	—	—	地震応答解析による液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となり、地下水位面がGL-1.6mであり、液状化層厚も4mと厚い。当該地域は、液状化が確認され、液状化被害が生じている。D _{r-e} 関係では、道路の相対沈下量と一致した結果となった。
蛇園	HB-1			17.7	2.3	31.2	12.1	26.8	311	21.4	2.3	31.2	12.3	26.8	18~30	○	○	—	△	×	○	△	×	○	—	—	地震応答解析による液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となり、地下水位面がGL-1.9mであり、液状化層厚も4mと厚い。当該地域は、液状化が確認され、液状化被害が生じている。簡易法、D _{r-e} 関係では、道路の相対沈下量と一致した結果となった。
	HB-2	GL-2~5m 5~7→2~6		16.8	2.3	30.8	16.0	35.6	288	26.8	2.3	33.9	18.0	35.6	18~30	○	○	—	△	×	△	△	△	△	—	—	地震応答解析による液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となり、地下水位面がGL-2.0mであり、液状化層厚も4mと厚い。当該地域は、液状化が確認され、液状化被害が生じている。簡易法、D _{r-e} 関係では、道路の相対沈下量と概ね一致した結果となった。
	HB-3			14.5	2.3	26.6	11.3	25.3	240	16.6	2.3	27.0	11.3	25.3	18~30	○	○	—	○	×	○	○	×	○	—	—	地震応答解析による液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となり、地下水位面がGL-1.7mであり、液状化層厚も4mと厚い。当該地域は、液状化が確認され、液状化被害が生じている。簡易法、D _{r-e} 関係では、道路の相対沈下量と一致した結果となった。
海上	UK-1			5.8	4.3	5.7	6.3	13.6	287	8.8	3.3	7.0	8.1	20.3	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	液状化の判定では、地表面付近の一部のN値の比較的低い層に液状化が生じる結果となった。当該地域では液状化が確認されており、液状化被害が生じている。
地震計位置	干潟支所		干潟本震EW M 9.0 地表面最大加速度 α _{max} = 287gal	8.1	2.3	1.9	4.8	4.3	283	11.7	1.3	2.5	8.7	9.6	—	×	×	沈下あり	—	—	—	—	—	—	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となった。液状化層厚も簡易法では2m、地震応答解析では3mとなっている。当該地点においては、液状化の被害は確認されていないが、判定結果からは、地表面付近で液状化が生じたと考えられる。	
干潟	HG-S-1			24.2	1.3	9.9	18.1	22.5	291	11.9	1.3	7.2	13.9	19.4	—	×	×	沈下あり	—	—	—	—	—	—	—	—	液状化の判定では、地表面付近で液状化が生じる結果となった。液状化層厚は5mと厚く、Dcyも7.2cm~22.5cmとなっている。当該地域においては、液状化による被害は確認されていないが、判定結果からは、液状化が生じたと考えられる。

SWS試験による N値補正	被害状況の凡例	相対沈下量の一貫の凡例
○ あり	○ あり	○ 一致
△ あり	△ あり	△ 概ね一致
× なし	× なし	× 不一致

※1: 建築基礎構造設計指針による手法
 ※2: 高圧ガス設備等耐震設計指針による手法
 ※3: D_{r-e}関係式によりDcyを算出する手法
 ※液状化の判定深度はGL-10m以浅とした

H1 < 3m もしくは Dcy > 10cm

(2) 道路の相対沈下量図



0 500 1,000 2,000 3,000 4,000 5,000 m

※本資料は、個人情報が含まれており、委員会限定の取扱いとさせていただきます。

(3) 結果評価

液状化の検証では、検討地点での地質調査データに基づき、東日本大震災における地震観測記録により設定した地震動に対して、液状化の判定を行い地表面沈下量を算定した。

液状化の判定は、「建築基礎構造設計指針」の方法で、簡易法及び詳細法（地震応答解析法）で行った。

地表面沈下量 D_{cy} の算定は、液状化の判定結果より、①建築基礎構造設計指針、②高圧ガス設備等耐震設計指針、③ $D_r-\epsilon v$ 関係の方法で行った。

検討の結果は、以下の通りである。

1. 液状化判定における液状化程度と実際の液状化の有無については、概ね対応する結果が得られた。
2. 地表面沈下量は計算手法により、かなり違いが生じる結果となった。
3. 全体的な傾向としては、 $D_r-\epsilon v$ 関係の方法が地表面沈下量が最も大きく、次に建築指針、高圧ガス指針の順となっているが、検討地点によるばらつきも大きく、順序が逆転しているところもある。
4. 沈下量の値としては、いずれの方法も概ね道路の相対沈下量の範囲に入っており、 $D_r-\epsilon v$ 関係は、上限に近い値となっている。

以上のことより、

- 本検討で用いた解析手法や解析モデルにより、概ね東日本大震災による液状化現象及び液状に伴う地表面沈下量を説明できると考えられる。
- 地表面沈下量 D_{cy} の算定方法の中では、 $D_r-\epsilon v$ 関係が大きめの値となる傾向があるが、再液状化の診断及び対策工法の検討においては、安全側の観点からこれら 3 つの手法で計算を行い、最も厳しい結果に対して評価することが望ましいと考えられる。

表-4.5 液状化の検証結果のまとめ

地区	検討位置	簡易法			地震応答解析			実際の被害状況		適合性評価
		PL	H ₁ (m)	D _{cy} (cm)	PL	H ₁ (m)	D _{cy} (cm) [*]	道路の相対沈下量(cm)	液状化の有無	
地震計位置	旭市役所	1.4	7.3	6.2	0.9	7.3	6.2	—	×	○
旭	旭中央病院	4.4	1.3	9.3	6.2	1.3	9.3	—	×	○
椎名内	日の出保育所	13.9	2.3	31.0	10.8	2.3	22.6	20~60	○	○
中谷里	NK-1	0.9	1.3	6.9	6.9	1.3	6.9	—	○	○
神宮寺浜	JG-S-1	3.0	9.3	6.9	4.4	2.3	10.0	15~21	○	○
中谷里浜	NH-S-1	0.5	4.3	6.8	0.8	4.3	6.8	—	○	○
足川浜	AH-1	3.2	2.3	12.4	6.0	1.3	18.5	6~70	○	○
地震計位置	飯岡支所	0.2	9.3	3.6	3.0	1.3	6.8	—	×	○
三川	飯岡体育館(三川)	19.8	2.3	40.0	17.7	2.3	37.1	4~34	○	○
	HA-2	9.0	3.3	13.3	8.0	3.3	13.3	4~34	○	○
	SN-S-2	6.7	2.3	26.0	6.5	2.3	23.0	20~61	○	○
	SG-1	12.6	2.3	18.9	13.1	2.3	18.9	4~34	○	○
	SG-2	2.5	3.3	7.8	2.9	3.3	7.8	—	○	△
東足洗	HA-1	11.5	2.3	17.1	9.7	3.3	13.9	5~17	○	○
矢指	SN-S-1	6.6	1.3	24.6	2.9	1.3	10.9	6~70	○	○
地震計位置	海上支所	0.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.3	—	×	○
後草	HB-S-1	3.1	4.3	9.7	11.7	2.3	25.3	18~30	○	○
蛇園	HB-1	17.7	2.3	31.2	21.4	2.3	31.2	18~30	○	○
	HB-2	16.8	2.3	35.6	26.8	2.3	35.6	18~30	○	○
	HB-3	14.5	2.3	26.6	16.6	2.3	27.0	18~30	○	○
海上	UK-1	5.8	4.3	13.6	8.8	3.3	20.3	—	○	○
地震計位置	干潟支所	8.1	2.3	4.8	11.7	1.3	9.6	—	×	×
干潟	HG-S-1	24.2	1.3	22.5	11.9	1.3	19.4	—	×	×

適合性評価	
○	一致
△	概ね一致
×	不一致