

鳴門市新庁舎建設工事に伴う地質調査業務

成果概要版

目次

1.業務概要（地質調査）	.....	P. 1～ 2
2.調査結果（地質調査）	.....	P. 3～11
3.考察（地質調査）	.....	P.12～15
4.業務概要（模擬地震波作成）	.....	P.16
5.地震波の作成（模擬地震波作成）	.....	P.16～20
6.まとめ（模擬地震波作成）	.....	P.20

鳴門市



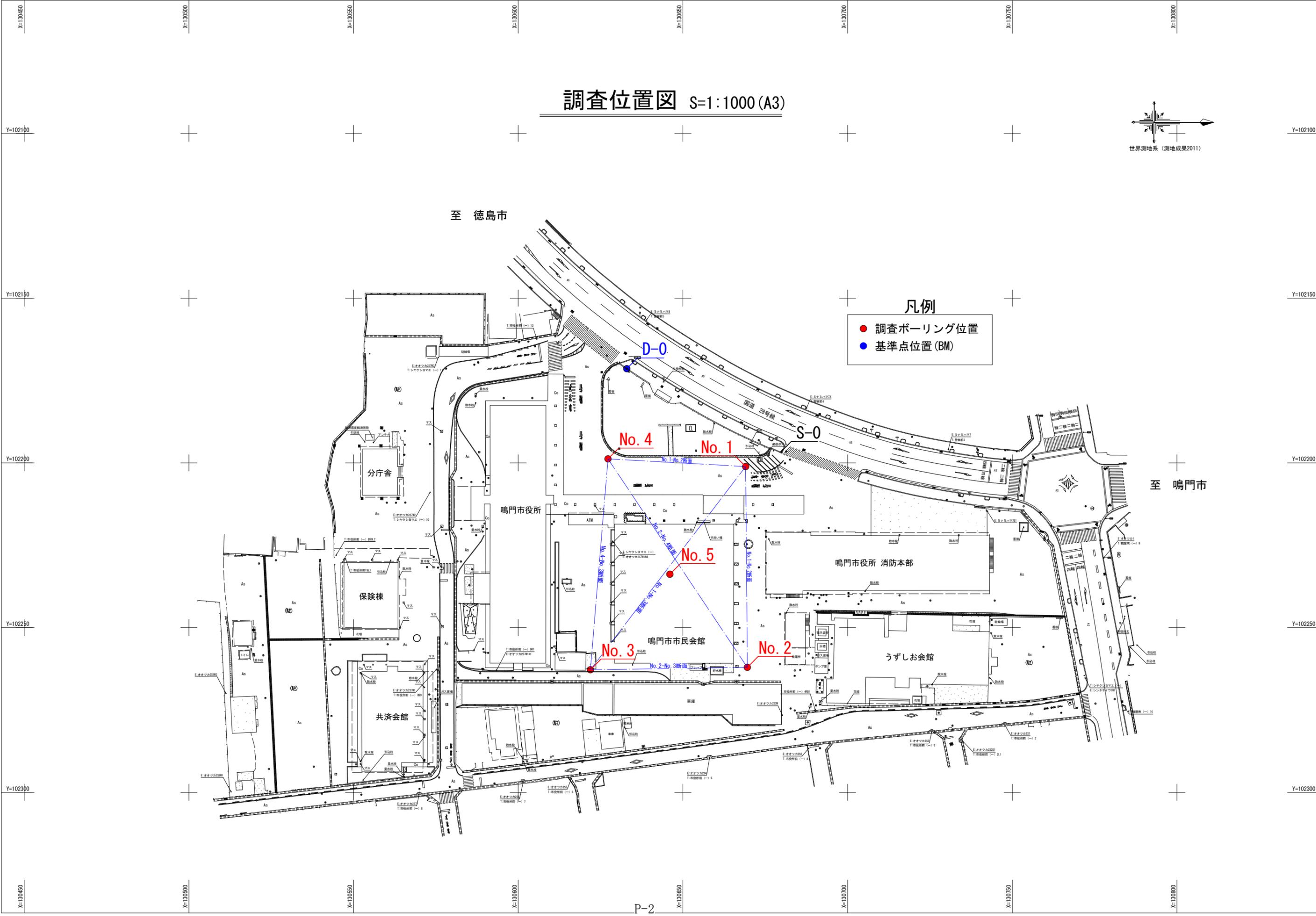
1.業務概要

- (1) 業務名 鳴門市新庁舎建設工事に伴う地質調査業務
- (2) 業務箇所 鳴門市撫養町南浜
- (3) 履行期間 (自) 令和元年 5月8日～ (至) 令和2年 3月10日
- (4) 調査数量

項目	規格	単位	実施数量	備考
機械ボーリング	φ66mm オールコア 粘性土	m	8.1	実施数量 砂質土 数量35.85→35.9m 礫混じり土砂 数量5.65→5.6m
	φ66mm オールコア 砂質土	m	36.8	
	φ66mm オールコア 礫混じり土砂	m	4.7	
	φ66mm オールコア 軟岩	m	21.4	
	小計	m	71.0	
	φ86mm オールコア 粘性土	m	2.8	No.2孔
	φ86mm オールコア 砂質土	m	8.2	
	φ86mm オールコア 礫混じり土砂	m	1.0	
	φ86mm オールコア 軟岩	m	5.0	
	小計	m	17.0	
	φ86mm ノンコア 粘性土	m	0.8	No.2・No.4孔 (サンプリング孔)
	φ86mm ノンコア 砂質土	m	3.1	
	φ86mm ノンコア 礫混じり土砂	m	2.6	
	小計	m	6.5	

項目	規格	単位	実施数量	備考
標準貫入試験	粘性土	回	8	
	砂質土	回	42	
	礫混じり土砂	回	5	
	軟岩	回	29	
	小計	回	84	
現場透水試験	ケーシング法	回	4	
孔内水平載荷試験		回	4	
PS検層	ダウンホール法	式	1	試験深度17m (20m以下)
常時微動測定	地表2点、孔中1点	箇所	1	
サンプリング	シンウォールサンプリング	本	2	
土粒子の密度試験		試料	23	
土の含水比試験		試料	23	
土の粒度試験	フルイ分析	試料	18	
土の粒度試験	フルイ+沈降分析	試料	5	
土の液性限界試験		試料	5	
土の塑性限界試験		試料	5	
土の湿潤密度試験	ノギス法	試料	2	
土の圧密試験		試料	2	
土の三軸圧縮試験	UU法	試料	2	
模擬地震波の検討		式	1	
液状化の検討		式	1	
打合せ		式	1	初回・中間・最終 各1回
報告書作成		式	1	

調査位置図 S=1:1000 (A3)



- 凡例
- 調査ボーリング位置
 - 基準点位置 (BM)

2. 調査結果

2-1 ボーリング調査結果

調査孔名		No.1							
調査地点		鳴門市撫養町南浜							
孔口標高(m)		KBM-0.07							
掘進長(m)		17.00							
地下水位(孔内水位) GL-(m)		1.17							
地層名 記号	地質・土質区分名	色調	分布深度(m)		確認 層厚 (m)	N 値		地質状態	コア写真
			GL-			最 小 値	最 大 値		
			上端	下端					
B	シルト混じり砂礫	褐灰～暗 灰	0.00	1.00	1.00	-	-	礫は粒径5～10mm程度の垂角礫～垂円礫を主体とする。 砂は中砂～粗砂である。 シルト分を含む。	
As1	シルト質礫質砂	暗灰～黒灰	1.00	3.10	2.10	3	4	礫は粒径2～30mm程度の垂角礫が主体である。 砂は細砂～中砂主体で、粗砂を含む。 深度2.70m付近で砂質シルトの薄層を挟む。 深度2.80～2.90mで炭化した植物片を含む。	
Ac1	砂質シルト	暗灰	3.10	5.50	2.40	2	4	砂は細砂～中砂である。 全体に細かな有機物片を含む。 深度3.10～3.50mでシルト分を多く含む。	
As2	シルト質砂	暗灰	5.50	10.50	5.00	4	17	砂は細砂～中砂である。 シルトの薄層を複数挟む。 細かな有機物の濃集層を含む。	
Ac2	砂質シルト	暗灰	10.50	11.00	0.50	-	-	細かな有機物片を多く含む。	
Ag	シルト混じり砂礫	暗灰	11.00	11.50	0.50	-	30	礫は粒径5～20mm程度の砂岩の角礫～垂角礫を主体とする。 砂は細砂～粗砂である。 貝ガラ片を非常に多く含む。	
BR	砂岩	灰	11.50	17.00	5.50	60/3	貫入 不能	砂岩優位の砂岩泥岩互層である。 砂岩は岩片状～短棒状コア主体で、深度15m以深では短棒状～棒状コアとなる。 岩質は硬質であるが、不規則に亀裂が入る。亀裂面に変色や変質はみられない。 岩級区分はCL～CM級である。 泥岩は岩片状コア主体で、部分的に礫状コアとなり軟質化している。	

図2-1-1 ボーリング結果概要図 (No. 1孔)

調査孔名					No.2					
調査地点					鳴門市撫養町南浜					
孔口標高(m)					KBM-0.08					
掘進長(m)					17.00					
地下水位(孔内水位) GL-(m)					1.29					
地層名 記号	地質・土質区分名	色調	分布深度(m)		確認 層厚 (m)	N 値		地質状態	コア写真	
			GL-			最 小 値	最 大 値			
			上端	下端						
B	シルト混じり砂礫	褐灰	0.00	1.00	1.00	-	-	礫は粒径5~40mm程度の円礫~亜円礫主体である。 砂は中砂~粗砂で、シルト分を含む。 少量の木片が混入する。		
As1	シルト質礫質砂	褐灰~黒 ~褐灰	1.00	2.00	1.00	-	10	礫は粒径10~30mmの亜角礫が主体である。 細粒分を多く含む。		
	シルト質礫質砂	黒	2.00	2.60	0.60	-	2	礫は粒径2~10mm程度の亜角礫である。 炭化した木片及び脱色した岩片を含む。 非常に緩い。		
	シルト質砂	暗灰	2.60	3.20	0.60	-	-	砂は細砂~中砂である。 シルト分を多く含む。		
Ac1	砂質シルト	暗灰	3.20	5.00	1.80	-	2	砂は細砂である。 有機物片を含む。 含水量が多い。		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px auto;">深度4.0~5.0m 孔内水平載荷試験のため、試料なし</div>
As2	シルト質砂	暗灰	5.00	11.00	6.00	7	15	砂は細砂主体である。 深度5.80m以深で有機物片や貝ガラ片が混入する。 シルトの薄層を複数挟む。		
Ac2	砂混じりシルト	暗灰	11.00	12.00	1.00	-	11	砂は細砂~中砂である。 細かな貝ガラ片を含む。		
BR	砂岩	灰	12.00	17.00	5.00	54	貫入 不能	深度12.0~13.0m 短棒状~棒状コアの砂岩である。 亀裂は少なく、変色や変質はみられない。 深度13.0~15.0m 砂岩泥岩互層である。礫状~岩片状コア主体である が、泥岩では部分的に土砂状コアとなる。 深度15.0m以深 岩片状~短棒状コアの砂岩である。 亀裂面は全体に褐色に変色している。		

図2-1-2 ボーリング結果概要図 (No. 2孔)

調査孔名					No.3				
調査地点					鳴門市撫養町南浜				
孔口標高(m)					KBM+0.09m				
掘進長(m)					18.00				
地下水位(孔内水位) GL-(m)					1.10				
地層名 記号	地質・土質区分名	色調	分布深度(m)		確認 層厚 (m)	N 値		地質状態	コア写真
			GL-			最 小 値	最 大 値		
			上端	下端					
B	シルト混じり砂礫	茶灰	0.00	0.10	0.10	-	-	マサ土である。 プラスチック片が混入する。	
	礫混じり砂	暗灰	0.10	1.00	0.90	-	-	礫は粒径2~30mm程度の円礫~垂角礫である。 砂は細砂~中砂である。 シルト分を少量含む。	
As1	シルト混じり砂	灰	1.00	2.00	1.00	-	2	砂は中砂主体である。 粒径2~5mm程度の垂角礫を少量含む。	
	礫質砂	黒	2.00	2.50	0.50	-	3	礫は粒径2~10mm程度の垂角礫である。 砂は粗砂である。 炭化した木片や貝ガラ片を含む。	
	シルト混じり砂	暗灰	2.50	2.90	0.40	-	-	砂は中砂主体である。 深度2.80m付近で7cm程度の砂岩礫を含む。	
As2	シルト質砂	暗灰	2.90	9.80	6.90	2	14	砂は細砂主体である。 シルトの薄層を複数挟む。 深度5.7~5.9mで貝ガラ片及び有機物片を含む。	
	シルト混じり砂	暗灰	9.80	10.70	0.90	-	11	砂は細砂~中砂である。 細かな貝ガラ片を含む。	
	シルト質砂	暗灰	10.70	12.90	2.20	4	10	砂は細砂~中砂である。 細かな貝ガラ片及び有機物片を含む。	
Ag	砂礫	灰	12.90	13.10	0.20	-	貫入 不能	3~5cm程度の砂岩礫を多く含む。 砂が多い部分には貝ガラ片が濃集する。	
BR	砂岩	灰	13.10	18.00	4.90	60/2	60/1	短棒状コア主体である。 岩質は硬質であるが、不規則に入る亀裂が発達している。 亀裂面に変質や変色はみられない。 岩級区分はCL~CM級である。 しばしば5~20cmの泥岩層を挟む。	

図2-1-3 ボーリング結果概要図(No. 3孔)

調査孔名					No.4				
調査地点					鳴門市撫養町南浜				
孔口標高(m)					KBM-0.06				
掘進長(m)					18.00				
地下水位(孔内水位) GL-(m)					1.40				
地層名 記号	地質・土質区分名	色調	分布深度(m)		確認 層厚 (m)	N 値		地質状態	コア写真
			GL-			最 小 値	最 大 値		
			上端	下端					
B	シルト混じり砂礫	茶灰	0.00	1.60	1.60	-	5	礫は粒径2~50mmの角礫~垂円礫が主体である。 砂は中砂主体である。 深度0.5m付近でレンガ片が混入する。	
As1	シルト質砂	茶灰~ 暗灰	1.60	2.00	0.40	-	-	砂は細砂~中砂である。 シルト分を多く含み、含水が多い。	
	シルト質礫質砂	黒	2.00	2.50	0.50	-	2	礫は粒径2~5mm程度の垂角礫を多く含む。 砂は粗砂である。 炭化した木片や、貝ガラ片を含む。	
Ac	砂質シルト	暗灰	2.50	5.00	2.50	-	3	砂は細砂主体である。 深度2.5~3.0m間で有機物片を少量含む。	
			5.00	12.00					
As2	シルト質砂	暗灰	5.00	12.00	7.00	7	16	砂は細砂~中砂である。 シルトの薄層を複数挟む。 部分的に貝ガラ片と少量の有機物片を含む。 深度10m以深でシルト分が多くなる。	
			12.00	12.30					
Ag	シルト混じり砂礫	暗灰	12.00	12.30	0.30	-	60/20	礫は粒径2~20mm程度の砂岩の角礫である。 細粒分を含む。	
BR	砂岩	灰	12.30	18.00	5.70	貫入不能		岩片状~短棒状コア主体である。 不規則に入る亀裂が発達している。 亀裂面に変色や変質はみられない。 岩質は比較的硬質である。 部分的に土砂状~礫状コアとなる。 5~15cm程度の泥岩層を挟む。	

図2-1-4 ボーリング結果概要図 (No. 4孔)

調査孔名				No.5					
調査地点				鳴門市撫養町南浜					
孔口標高(m)				KBM+0.10					
掘進長(m)				18.00					
地下水位(孔内水位) GL-(m)				1.60					
地層名 記号	地質・土質区分名	色調	分布深度(m)		確認 層厚 (m)	N 値		地質状態	コア写真
			GL-			最 小 値	最 大 値		
			上端	下端					
B	シルト質砂礫	灰	0.00	0.50	0.50	-	-	表層20cmはコンクリートである。 礫は粒径2~20mm程度の角礫~亜角礫が主体である。	
As1	シルト混じり砂	灰~黒灰	0.50	2.80	2.30	2	4	砂は中砂主体である。 粒径10mm程度の角礫を少量含む。 有機物片や貝ガラ片が混入する。	
Ac1	砂質シルト	暗灰	2.80	5.50	2.70	2	3	砂は細砂主体である。 全体に含水が多く、有機物片が混入する。 部分的に砂を多く含む。	
As2	シルト質砂	暗灰	5.50	12.15	6.65	6	18	砂は細砂~中砂である。 有機物片及び貝ガラ片を含む。	
Ag	シルト混じり砂礫	暗灰	12.15	12.70	0.55	-	60/25	礫は粒径2~30mm程度の亜円礫~亜角礫が主体である。 礫種は砂岩と泥岩である。	
BR	泥岩	黒灰	12.70	16.45	3.75	貫入不能		岩片状~短棒状コア主体である。 岩片状コア部分では網目状に亀裂が入るが、亀裂面に 変色や変質はほとんどみられない。 岩質はやや硬質で、岩級区分はCL~CM級である。 部分的にD~GL級の土砂状~礫状コアを示す部分がある。	
	砂岩	灰	16.45	18.00	1.55	貫入不能		岩片状~棒状コアである。 亀裂面に変色や変質はほとんどみられない。 棒状コア部分では岩質は硬質で亀裂は少ない。 岩級区分はCM級である。	

図2-1-5 ボーリング結果概要図 (No. 5孔)

2-2 現場透水試験結果

透水性を把握することを目的として、現場透水試験を実施し透水係数を求めた。

表 2-2-1 試験結果一覧

調査孔	試験対象土質	試験深度 (GL-m)	透水係数 (m/s)
No.1	シルト質礫質砂	2.50~3.00	4.73×10^{-4}
No.2	シルト質砂	2.50~3.00	4.14×10^{-4}
No.3	礫質砂	2.00~2.50	3.80×10^{-4}
No.4	シルト質礫質砂	2.00~2.50	2.94×10^{-4}

現場透水試験実施孔の試験深度では、透水係数 $k=2.94 \sim 4.73 \times 10^{-4}$ を示し、透水性は“中位”となる。

透水性	透水係数 k (m/s)										
	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	$10^0$
	実質上不透水	非常に低い	低い	中位	高い						
対応する土の種類	粘性土 {C}	微細砂、シルト、 砂-シルト-粘土混合土 {SF} {S-F} {M}			砂および礫 {GW} {GP} {SW} {SP} {G-M}	清浄な礫 {GW} {GP}					
透水係数を直接測定する方法	特殊な変水位透水試験	変水位透水試験		定水位透水試験	特殊な変水位透水試験						
透水係数を間接的に推定する方法	圧密試験結果から計算	なし		清浄な砂と礫は粒度と間隙比から計算							

地盤工学会発行「地盤調査の方法と解説」P488 より一部加筆

図 2-2-1 透水性と土質区分

2-3 孔内水平載荷試験結果

地盤の横方向の力学特性を把握することを目的として、沖積第1細粒土層(Ac1)及び沖積第2砂質土層(As2)を対象に実施した。

表 2-3-1 孔内水平載荷試験結果一覧表

孔番号	試験深度* (m)	土層区分	採用 N 値	変形係数 E_m kN/m^2
No.1	4.00	砂質シルト	2	1155.7
No.2	4.50	砂質シルト	2	1131.5
No.3	4.50	シルト質砂	2	973.8
No.4	4.00	砂質シルト	3	1210.6

*試験深度はゾンデのセンター深度を示す。

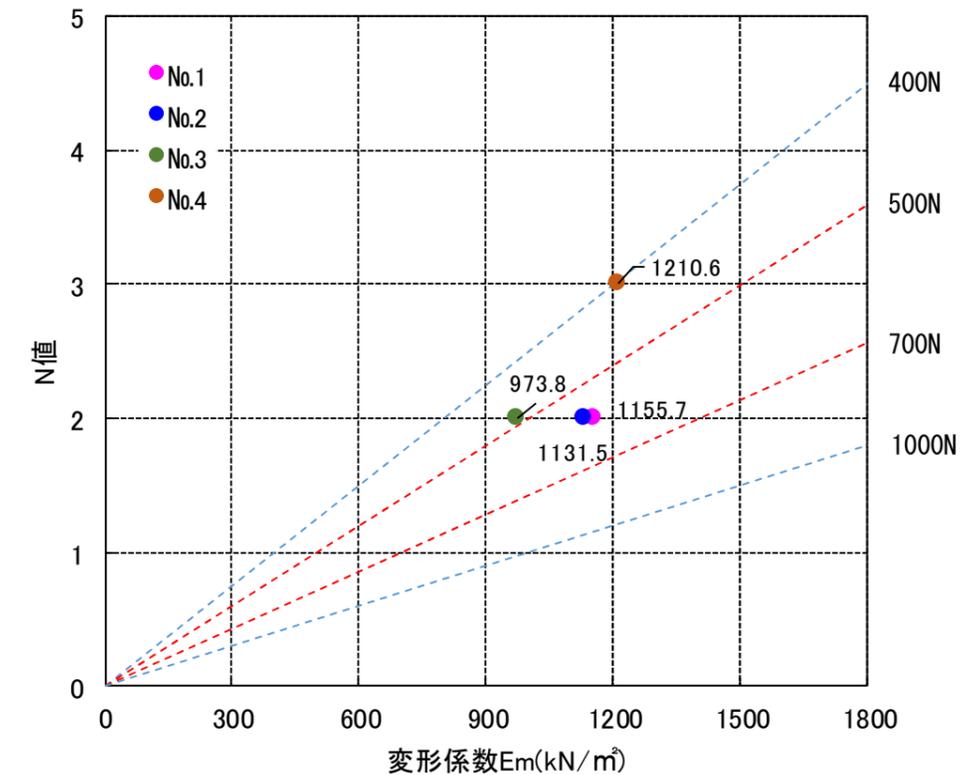


図 2-3-1 N 値と変形係数 E_m の関係

2-4 PS 検層結果

地盤の物性値の深度分布を把握することを目的として、No.2 孔において PS 検層を実施した。

PS 検層はダウンホール法を用いて深度 17m から 1m 間隔で測定した。結果から求められた各層の速度、密度、動弾性定数を表 2-4-1 に整理した。

表 2-4-1 PS 検層結果一覧

上面深度 (m)	層厚 (m)	P 波速度 V_p (m/s)	S 波速度 V_s (m/s)	密度 ρ		ポアソン比 ν	剛性率 G (MN/m ²)	ヤング率 E (MN/m ²)
				(g/cm ³)	(kN/m ³)			
0	2	2300	180	1.94	19.00	0.497	63	190
2	3	1500	100	1.92	18.80	0.498	19	57
5	7	1900	200	1.83	17.93	0.494	73	220
12	5<	2500	740	2.60	25.50	0.452	1400	4100

2-5 常時微動測定結果

<短周期微動の解析>

- ・基礎底からの増幅特性を示す地表/孔中(GL-17.0m)は、0.11秒、0.18秒、0.27秒にピークが認められ、0.27秒が最も卓越している。
- ・理論増幅度は、0.11秒、0.28秒にピークが認められた。

以上より観測データを優先して、本調査地の短周期の卓越周期は0.27秒であると評価した。また、0.18秒に見られたピークは、調査地周辺の振動ノイズによるものと判断する。

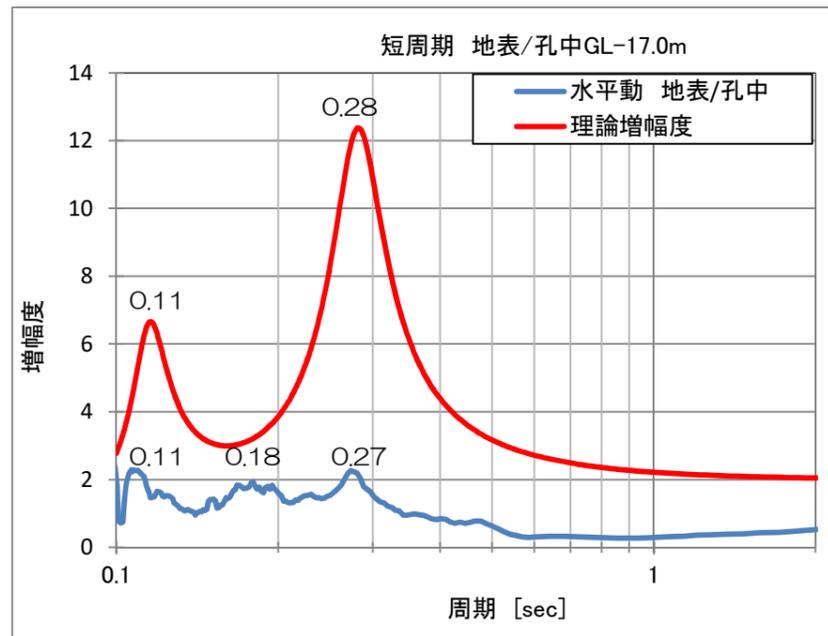


図 2-5-1 地表と孔中のスペクトル比 (水平動成分、GL-17.0m)

本調査地は、シルト混じり砂礫や砂質シルトを含むシルト質砂を主体とした層の下位に岩片状～棒状の砂岩泥岩互層および砂岩が分布しており、工学的基盤の卓越周期は0.27秒であった。このことから地盤種別は第2種地盤に相当すると判断した。

表 2-5-1 地盤構成と地盤種別

第1種	岩盤、硬質砂礫層、その他主として第3紀以前の地層によって構成されているもの。または地盤周期等についての調査もしくは研究の結果に基づき、これと同程度の地盤周期を有すると認められるもの。
第2種	第1種地盤および第3種地盤以外のもの
第3種	腐植土、泥土その他これらに類するもので大部分が構成されている沖積層（盛土がある場合においてはこれを含む）で、その深さが概ね30m以上のもの。沼沢、泥海等を埋め立てた地盤の深さが概ね3m以上であり、かつ、これらで埋め立てられてから概ね30年経過していないもの。または、地盤周期等についての調査もしくは研究の結果に基づき、これらと同程度の地盤を有すると認められるもの。

表 2-5-2 地盤周期と地盤種別

地盤種別	地盤周期 T_g [s]
第1種	$T_g \leq 0.2$
第2種	$0.2 < T_g \leq 0.75$
第3種	$0.75 < T_g$

<長周期微動の解析>

長周期側の解析では、地表を伝播する微動を「表面波」として解析を実施した。

この場合、前述したように地表の水平動スペクトルと上下動スペクトルの比 (H/V スペクトル比) は深部地盤の振動特性を表していると考えられる。

図 2-5-2 に H/V スペクトル比を示した。

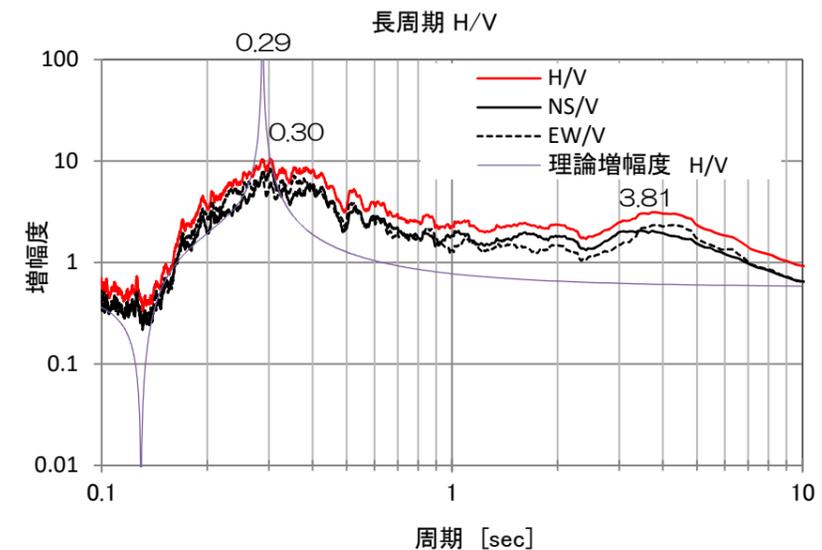


図 2-5-2 H/V スペクトル

図 2-5-2 に示すとおり、深部地盤構造に依存する長周期の卓越周期としては、H/V スペクトルにみられる0.30秒、3.81秒付近を挙げることができる。もっとも卓越するのは、0.30秒付近である。

2-6 室内土質試験結果

室内土質試験はNo. 2孔及びNo. 4孔において標準貫入試験用サンプラーで採取した試料とシンウォールサンプラーで採取した試料を用いて粒度試験等の物理試験を行った。試験結果は表2-6-1に示す。

表2-6-1 室内土質試験結果一覧表

試料区分	孔番号	試料番号	採取深度	土粒子の密度	自然含水比	湿潤密度	乾燥密度	間隙比	飽和度	粒度					液性限界	塑性限界	塑性指数	地盤材料の分類名	圧密指数	圧密降伏応力	粘着力	内部摩擦角(φ _u)
				g/cm ³	%	g/cm ³	g/cm ³		%	礫分	砂分	細粒分含有率	最大粒径	50%粒径						kN/m ²	kN/m ²	°
										%	%	%	mm	mm						%	%	
標準貫入試験	No.2	P-1	1.15~1.47m	2.659	20.2	-	-	-	-	33.0	44.6	22.4	26.5	0.320	-	-	-	細粒分質礫質砂	-	-	-	-
		P-2	2.15~2.45m	2.518	48.6	-	-	-	-	24.0	55.8	20.2	19	0.350	-	-	-	細粒分質礫質砂	-	-	-	-
		P-3	3.15~3.45m	2.727	35.6	-	-	-	-	0.1	29.9	70.0	4.75	0.055	NP	NP	NP	砂質シルト	-	-	-	-
		P-5	5.15~5.45m	2.714	32.1	-	-	-	-	0.1	84.3	15.6	9.5	0.14	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
		P-6	6.15~6.45m	2.735	30.4	-	-	-	-	0.0	83.7	16.3	2	0.15	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
		P-7	7.15~7.48m	2.732	31.7	-	-	-	-	0.0	83.4	16.6	2	0.19	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
		P-8	8.15~8.45m	2.730	30.9	-	-	-	-	0.1	79.9	20.0	9.5	0.15	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
		P-9	9.15~9.45m	2.726	33.1	-	-	-	-	0.0	84.7	15.3	2	0.17	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
		P-10	10.15~10.45m	2.731	31.8	-	-	-	-	0.0	56.7	43.3	4.75	0.095	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
		P-11	11.15~11.45m	2.746	38.0	-	-	-	-	0.0	14.8	85.2	2	0.034	NP	NP	NP	砂混じりシルト	-	-	-	-
		No.4	P-1	1.15~1.45m	2.668	12.1	-	-	-	-	47.1	33.1	19.8	37.5	1.4	-	-	-	細粒分質砂質礫	-	-	-
	P-2		2.15~2.50m	2.276	54.6	-	-	-	-	22.7	55.8	21.5	19	0.64	-	-	-	細粒分質礫質砂	-	-	-	-
	P-3		3.15~3.45m	2.716	30.5	-	-	-	-	0.2	39.7	60.1	9.5	0.059	NP	NP	NP	砂質シルト	-	-	-	-
	P-5		5.15~5.45m	2.718	33.6	-	-	-	-	0.0	54.2	45.8	2	0.088	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
	P-6		6.15~6.45m	2.735	29.1	-	-	-	-	0.0	51.7	48.3	0.85	0.080	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
	P-7		7.15~7.45m	2.716	24.8	-	-	-	-	0.0	80.8	19.2	0.85	0.18	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
	P-8		8.15~8.45m	2.712	30.3	-	-	-	-	0.0	84.7	15.3	2	0.18	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
	P-9		9.15~9.45m	2.704	28.5	-	-	-	-	0.0	76.8	23.2	2	0.19	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
	P-10		10.15~10.45m	2.751	33.6	-	-	-	-	0.0	67.0	33.0	2	0.11	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
	P-11		11.15~11.45m	2.712	38.5	-	-	-	-	0.0	51.7	48.3	2	0.080	-	-	-	細粒分質砂	-	-	-	-
	P-12	12.15~12.35m	2.683	9.2	-	-	-	-	56.0	30.0	14.0	19	3.70	-	-	-	細粒分混じり砂質礫	-	-	-	-	
サンプルリング	No.4	T-1	3.00~3.90m	2.679	48.6	1.874	1.321	1.029	109.5	0.0	5.7	94.3	2	0.0202	39.8	17.4	22.4	砂混じり粘土	0.166	83.03	15.6	9.3
	No.2	T-2	3.50~4.30m	2.741	39.9	1.889	1.375	0.995	103.4	0.0	21.9	78.1	2	0.0414	NP	NP	NP	砂質シルト	0.103	371.19	18.2	11.8

3. 考察(地質調査)

3-1 地盤定数の提案

表 3-1-1 地盤定数一覧表

記号	土質区分	平均層厚 (m)	代表N値	地盤定数			
				単位 体積重量 γ_t (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 C (kN/m ²)	変形係数 E_0 (kN/m ²)
B	シルト混じり砂礫	1.0	5	19.0	34	0	14000
As1	シルト質礫質砂	1.9	2	20.0	30	0	5600
Ac1	砂質シルト	2.4	2	18.4	9.3	15.6	4663.7 *
As2	シルト質砂	6.9	9	18.0	33	0	25200
Ac2	シルト質砂	0.8	11	17.5	0	88	30800
Ag	シルト混じり砂礫	0.4	48	21.0	40	0	134400
BR	泥岩・砂岩	-	-	25.5	-	-	-

* 孔内水平載荷試験結果から求めた変形係数を平板載荷試験から求められる変形係数に換算した。

3-2 耐震設計上の基盤面について

調査ボーリング結果から得られた土質状況及び標準貫入試験のN値とNo.2孔で実施したPS検層結果より、耐震設計上の基盤面について設定を行った。

耐震設計上の基盤面とは、対象地点に共通する広がりを持ち、耐震設計上振動するとみなす地盤の下に存在する十分堅固な地盤の上面を想定している。ここで、十分堅固な地盤とは、平均せん断弾性波速度 $V_{si}=400\text{m/s}$ 程度以上の値を有している剛性の高い地層とする。

本調査においてはNo.2孔でPS検層を実施した。その結果、深度12m以深でせん断弾性波速度 $V_{si}=400\text{m/s}$ 以上を確認した。この深度は完新世堆積物である砂質土と基盤岩である砂岩泥岩互層との境界深度である。また、砂岩泥岩互層及びその下位に分布する砂岩において連続性のある著しい弱層はみられなかった。したがって、**基盤岩(砂岩・泥岩)の上面を耐震設計上の基盤面**と判断した。

3-3 掘削時の地下水の影響について

現場透水試験の結果は、透水係数 $k=2.94\sim 4.73\times 10^{-4}\text{m/s}$ で透水性は「中位」であり、深度3m程度まで緩い砂質土・礫質土層が分布している。また、その下位には軟らかいシルト層が分布している。地下水位は最も浅い箇所深度1.1m付近である。そのため地下水位以深の掘削作業時には掘削側面や底面の破壊や崩壊が発生する可能性があり、事前に作業方法や対策を検討する必要がある。

3-4 液状化の検討

液状化の検討はNo.2孔及びNo.4孔の粒度試験結果及び下記の条件を用いた。

- (1) 検討深度：完新世堆積物を対象とした(No.2孔：深度0.00~12.00m、No.4孔：深度0.00~12.30m)。
- (2) 地下水位：調査ボーリング結果より判断した地下水位(No.2孔：1.29m、No.4孔：1.40m)で検討を行った。
- (3) 水平加速度：レベル1【200 (cm/s²)】，レベル2【350 (cm/s²)】
- (4) マグニチュード：8.0
- (5) 土の単位体積重量

表 3-4-1 土質分類と単位重量の概略値

土質分類	地下水位面下の単位重量 γ_{t2} (kN/m ³)	地下水位面上の単位重量 γ_{t1} (kN/m ³)	50%粒径 D_{50} (mm)	細粒分含有率 FC(%)
表土	17.0	15.0	0.02	80
シルト	17.5	15.5	0.025	75
砂質シルト	18.0	16.0	0.04	65
シルト質細砂	18.0	16.0	0.07	50
微細砂	18.5	16.5	0.1	40
細砂	19.5	17.5	0.15	30
中砂	20.0	18.0	0.35	10
粗砂	20.0	18.0	0.6	0
砂れき	21.0	19.0	2.0	0

- (6) 細粒分含有率：粒度試験結果(表2-6-1)を用いた。

検討結果

No.2孔

水平加速度 200cm/s^2 で液状化の検討を行った結果、深度2m以深のN値の低い砂質土層内で安全率 $F_L < 1$ を示し、**液状化発生の可能性がある**。しかし、液状化指数 P_L 値による液状化判定では、 $P_L=4.997$ を示し、“**液状化の危険度は低い**”と判断される。また、地盤の変位量 $D_{cy}=3.7\text{cm}$ となり、**液状化の程度は軽微**であると推定される。

また、水平加速度 350cm/s^2 で液状化の検討を行うと、深度2m~10mで $F_L < 1$ を示し“**液状化発生の可能性は高い**”と判断された。この時の液状化指数 P_L 値による液状化判定では、 $P_L=20.621$ を示し、“**液状化の危険度は極めて高い**”と判断される。また、地盤の変位量 $D_{cy}=7.7\text{cm}$ となり、**液状化の程度は小程度**であると推定される。

表 3-4-2 液状化の検討結果 (No. 2 孔)

No	深度 (調査) z (m)	層厚 Hi (m)	境界	レベル 1(200cm/s ²)			レベル 2(350cm/s ²)		
				液状化 安全率 F _l	液状化指数		液状化 安全率 F _l	液状化指数	
					p _{Li} (m)	PL (m ²)		p _{Li} (m)	PL (m ²)
1	1.290	1.290	水位	4.255	0.000	—	2.439	0.000	—
2	1.300	0.010		4.255	0.000	0.000	2.439	0.000	0.000
3	2.300	1.000		0.777	1.974	0.987	0.444	4.921	2.461
4	3.300	1.000		—	—	0.987	—	—	2.461
5	5.300	2.000		0.936	0.470	0.470	0.535	3.418	3.418
6	6.300	1.000		1.222	0.000	0.235	0.698	2.069	2.744
7	7.300	1.000		0.737	1.670	0.835	0.420	3.683	2.876
8	8.300	1.000		1.104	0.000	0.835	0.630	2.165	2.924
9	9.300	1.000		0.879	0.647	0.324	0.504	2.654	2.410
10	10.300	1.000		1.939	0.000	0.324	1.107	0.000	1.327
11	11.300	1.000		—	—	0.000	—	—	0.000
12	12.150	0.850		—	—	—	—	—	—
13	13.300	1.150		—	—	—	—	—	—
14	14.150	0.850		—	—	—	—	—	—
15	15.150	1.000		—	—	—	—	—	—
16	16.150	1.000		—	—	—	—	—	—
17	17.150	1.000		—	—	—	—	—	—
計				4.997	計		20.621		

表 3-4-3 PL 値と液状化の危険度の関係

PL	液状化の危険度
0	かなり低い
5 以下	低い
5 以上 15 以下	高い
15 以上	極めて高い

表 3-4-4 地盤変位概略値 (Dcy) と液状化の程度の関係

Dcy	液状化の程度
0	なし
5 以下	軽微
5 以上 10 以下	小
10 以上 20 以下	中
20 以上 40 以下	大
40 以上	甚大

No. 4 孔

地下水位以深の N 値の低い砂質土層内で安全率 $F_L < 1$ を示し、**液状化発生の可能性がある**。しかし、液状化指数 P_L 値による液状化判定では、 $P_L = 2.557$ を示し、“**液状化の危険度は低い**”と判断される。また、地盤の変位量 $D_{cy} = 1.5\text{cm}$ となり、**液状化の程度は軽微**であると推定される。水平加速度 $350(\text{cm}/\text{s}^2)$ で液状化の検討を行うと、**地下水位～深度 12m の N 値の低い砂質土層**で $F_L < 1$ を示し“**液状化発生の可能性は高い**”と判断された。液状化指数 P_L 値による液状化判定では、 $P_L = 14.805$ を示し、“**液状化の危険度は高い**”と判断される。また、地盤の変位量 $D_{cy} = 5.1\text{cm}$ となり、**液状化の程度は小**程度であると推定される。

表 3-4-5 液状化の検討結果 (No. 4 孔)

No	深度 (調査) z (m)	層厚 Hi (m)	境界	レベル 1(200cm/s ²)			レベル 2(350cm/s ²)		
				液状化 安全率 F _l	液状化指数		液状化 安全率 F _l	液状化指数	
					p _{Li} (m)	PL (m ²)		p _{Li} (m)	PL (m ²)
1	1.300	1.300		—	—	—	—	—	—
2	1.400	0.100	水位	0.809	1.776	—	0.461	5.013	—
3	2.300	0.900		0.809	1.690	1.560	0.461	4.770	4.402
4	3.300	1.000		—	—	0.845	—	—	2.385
5	5.300	2.000		1.018	0.000	—	0.583	3.065	3.065
6	6.300	1.000		2.703	0.000	0.000	1.542	0.000	1.533
7	7.300	1.000		2.230	0.000	0.000	1.276	0.000	0.000
8	8.300	1.000		1.709	0.000	0.000	0.975	0.146	0.073
9	9.300	1.000		1.833	0.000	0.000	1.048	0.000	0.073
10	10.300	1.000		1.272	0.000	0.000	0.727	1.324	0.662
11	11.300	1.000		0.965	0.152	0.076	0.552	1.949	1.637
12	12.300	1.000		2.667	0.000	0.076	1.523	0.000	0.975
13	13.150	0.850		—	—	0.000	—	—	0.000
14	14.150	1.000		—	—	—	—	—	—
15	15.150	1.000		—	—	—	—	—	—
16	16.150	1.000		—	—	—	—	—	—
17	17.150	1.000		—	—	—	—	—	—
18	18.150	1.000		—	—	—	—	—	—
計				2.557	計		14.805		

以上のことから、水平加速度 $200 \text{ cm}/\text{s}^2$ の地震動に対して N 値の低い砂質土層内で液状化する可能性が高いが、液状化の程度は軽微であり、液状化の危険度は低い。また、水平加速度 $350 \text{ cm}/\text{s}^2$ の地震動では地下水位以深の大部分で液状化する可能性がある。この時、“液状化の危険度は高い～極めて高い”となり、液状化の程度は“小”となる。

3-5 調査結果に基づく基礎形式の検討

1. 調査地周辺の地形区分は埋立地である。調査地点では**深度 12m 付近まで完新世堆積物**が分布しており、上位から砂礫層(B)、沖積第1砂質土層(As1)、沖積第1シルト層(Ac1)、沖積第2砂質土層(As2)、沖積第2シルト層(Ac2)、沖積礫質土層(Ag)の6層で構成されている。沖積礫質土層を除く層では代表N値は30以下である。
2. 沖積礫質土層は深度11~13m付近に分布しているが、層厚は薄く(最大確認層厚0.55m)、連続性がない。また、代表N値は48であるが、標準貫入試験時の打撃回数にはばらつきがみられる。
3. **深度 12.0m 付近から泥岩または砂岩(基盤岩)**が出現する。N値は54以上で、せん断波速度は400m/s以上であり、著しい弱部はみられない。
4. 沖積砂質土層では液状化することが予想され、レベル2地震動での液状化危険度は高い~極めて高い。
5. 地下水位は深度1.1~1.6m付近に存在している。

これらの調査結果より、基礎工法について検討すると以下の案が提示される。

- ・深度12m付近から分布する**基盤岩(砂岩・泥岩)を支持地盤とする支持杭による杭基礎**
- ・基盤岩上位の**完新世堆積物(沖積層)の地盤改良(液状化防止・支持地盤の形成)を併用した直接基礎**

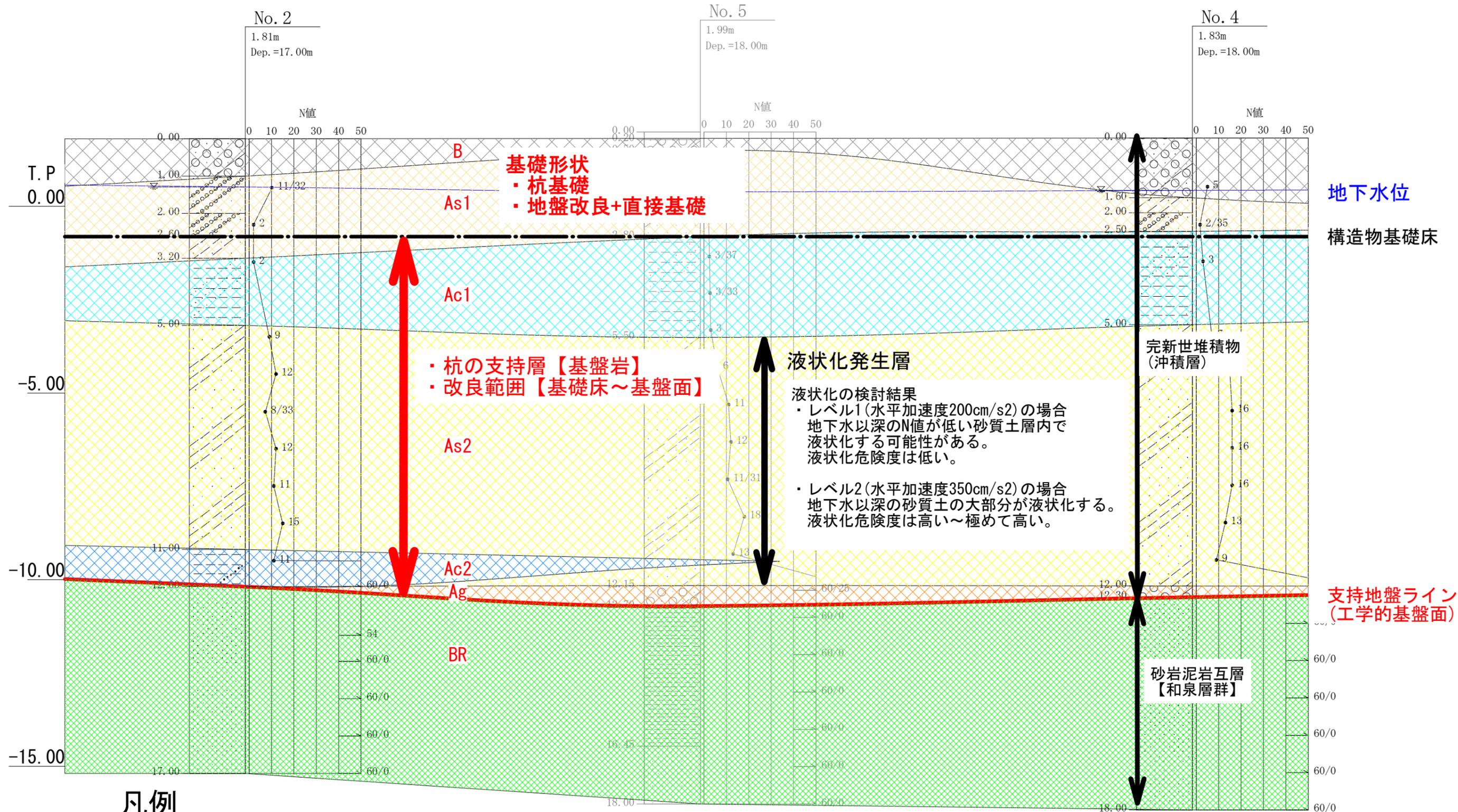
3-6 設計・施工時の留意点

- ・掘削時の地下水の影響について

沖積第1砂質土層の現場透水試験の結果は、透水係数 $k=2.94\sim 4.73\times 10^{-4}\text{m/s}$ で透水性は「中位」であり、深度3m程度まで緩い砂質土・礫質土層が分布している。また、その下位には軟らかいシルト層が分布している。地下水位は最も浅い箇所深度1.1m付近である。そのため地下水位以深の掘削作業時には掘削側面や底面の破壊や崩壊が発生する可能性があり、事前に作業方法や対策を検討する必要がある。

推定地質断面図 (No. 2-No. 4断面)

SV=1:100 SH=1:300 (A3)



凡例

	B 表土・盛土層		Ac1 沖積第1細粒土層		Ac2 沖積第2細粒土層		BR 砂岩泥岩互層
	As1 沖積第1砂質土層		As2 沖積第2砂質土層		Ag 沖積礫質土層		孔内水位

図3-1 基礎形状概略図

4.業務概要(模擬地震波作成)

業務目的

当該敷地の地質調査結果をもとに、工学的基盤の波形作成及び表層地盤の応答解析を実施し、計画建物の設計用入力地震動を作成することを目的とする。

業務内容

地震応答解析：全応力逐次非線形解析、有効応力逐次非線形解析

告示波 2レベル（稀に発生する地震、極めて稀に発生する地震）
×7位相（神戸位相、八戸位相、乱数位相×5）

計 14 波形

上下動 1レベル（極めて稀に発生する地震）
×7位相（神戸位相、八戸位相、乱数位相×5）

計 7 波形

サイト波 2地震（南海トラフ巨大地震、中央構造線断層帯×2ケース）
×3方位（NS、EW、UD）

計 9 波形

総計 30 波形

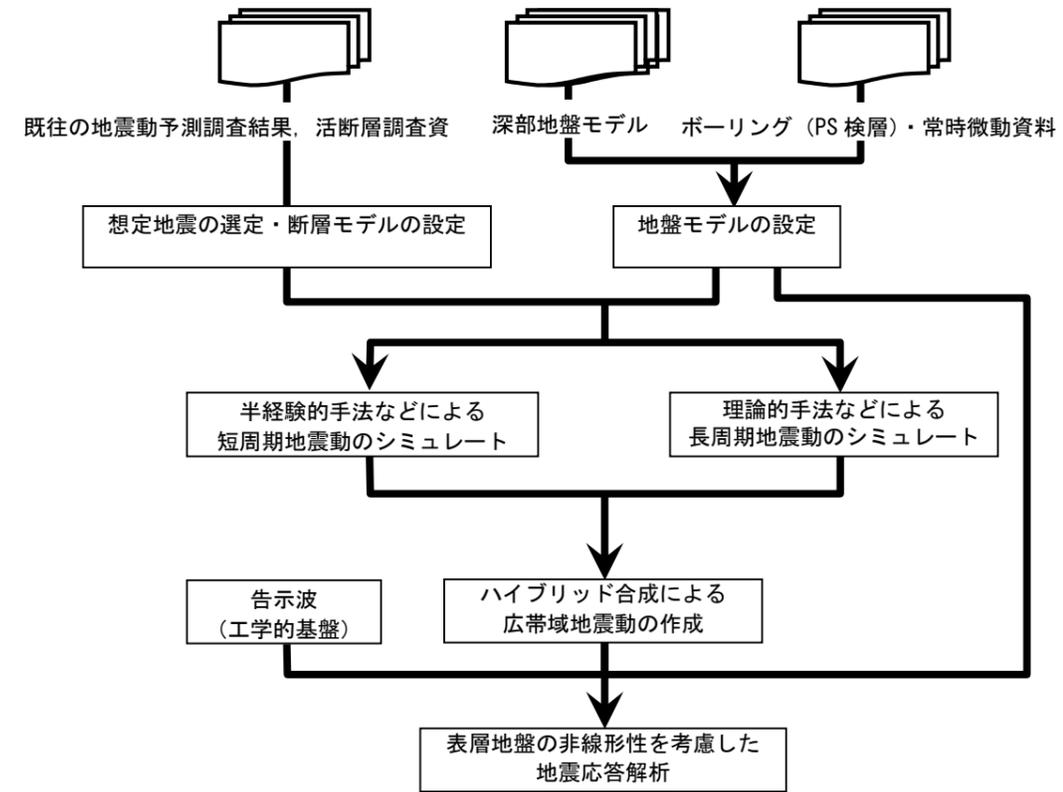


図 5-1-1 模擬地震波作成の流れ

5.地震波の作成(模擬地震波作成)

5-1 模擬地震波作成概要

本調査による模擬地震波は、告示波とサイト波に基づく波形を作成する。その作成手順の概要を以下に示す。

- ① 工学的基盤における告示波は、水平動においては平成 12 年建設省告示第 1461 号による設計用スペクトルに整合する波形を作成する。その際、稀に発生する地震動と極めて稀に発生する地震動の 2 つのレベルを想定し、波形の位相は 7 波設定する。上下動においては、日本建築学会（2006）の上下動設計用スペクトルに整合する波形を作成し、波形の位相は水平動と同じく 7 波を設定する。
- ② 調査地の地震環境調査を実施し、調査地に影響が大きいと推測されるサイト波の想定地震を選定する。
- ③ 国や都道府県等の公開情報に基づいて想定地震の断層モデルおよび調査地直下の深部地盤構造モデルを設定して、強震動予測計算を実施し、工学的基盤のサイト波を計算する。
- ④ ボーリングの土質情報、原位置試験および室内土質試験に基づいて表層地盤モデルを設定する。
- ⑤ 工学的基盤の告示波、サイト波を表層地盤モデルに入力し、地盤の非線形性を考慮した地震応答解析を実施し、基礎底および地表面レベルの告示波、サイト波を算定する。

5-2 告示波(建設省告示第 1461 号で定められている告示スペクトルに適合する模擬地震波)
水平動及び上下動の地震動の検討について、告示スペクトル及び上下動設計用応答スペクトルを目標スペクトルとして神戸位相、八戸位相及び乱数の位相情報を使用して、工学的基盤における加速度波形、速度波形と疑似速度応答スペクトルを作成した。図 5-2-1 に疑似速度応答スペクトルを示す。

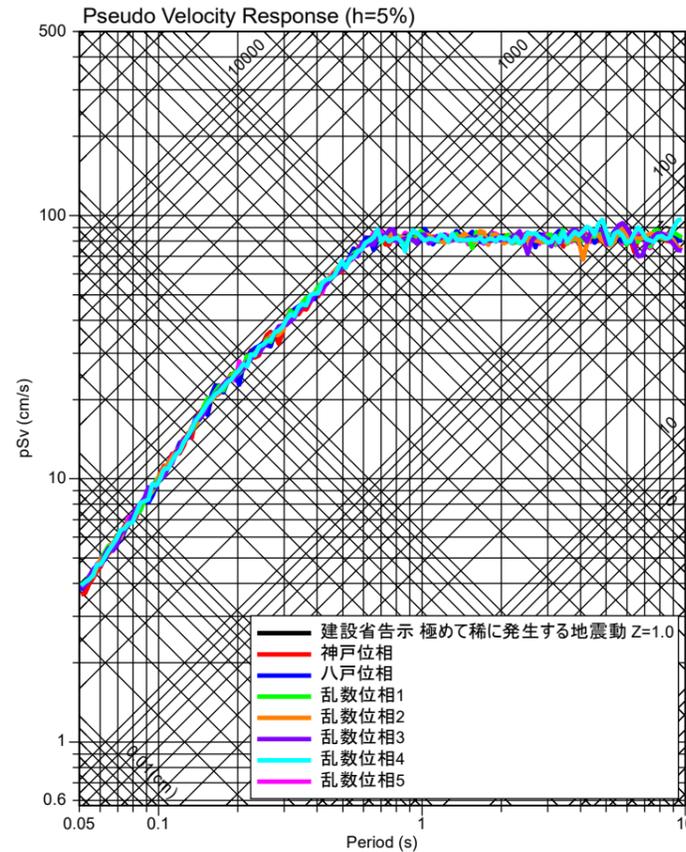
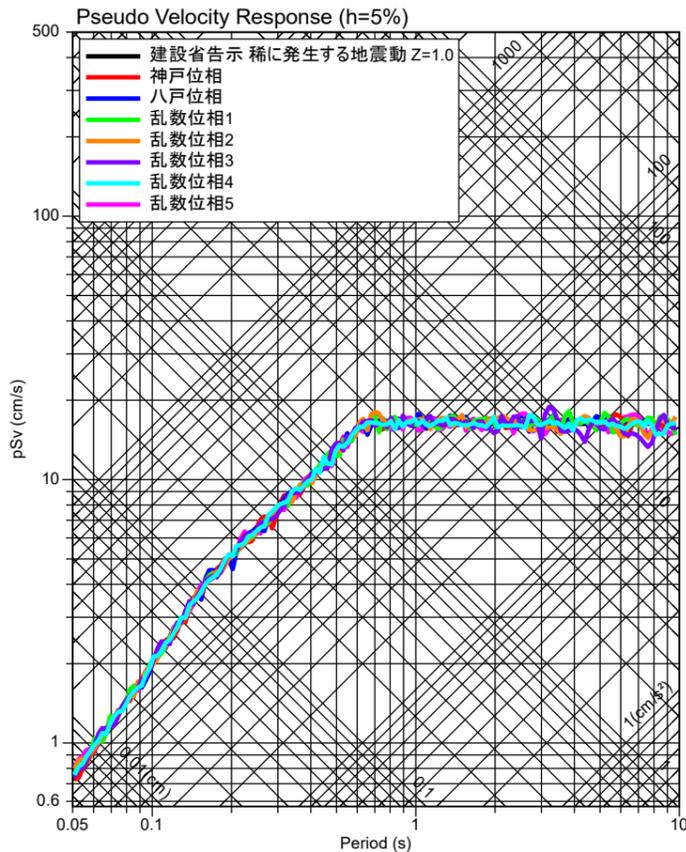


図 5-2-1 工学的基盤における波形の擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較(水平動)
告示波・稀に発生する地震動(左)と告示波、極めて稀に発生する地震動(右)

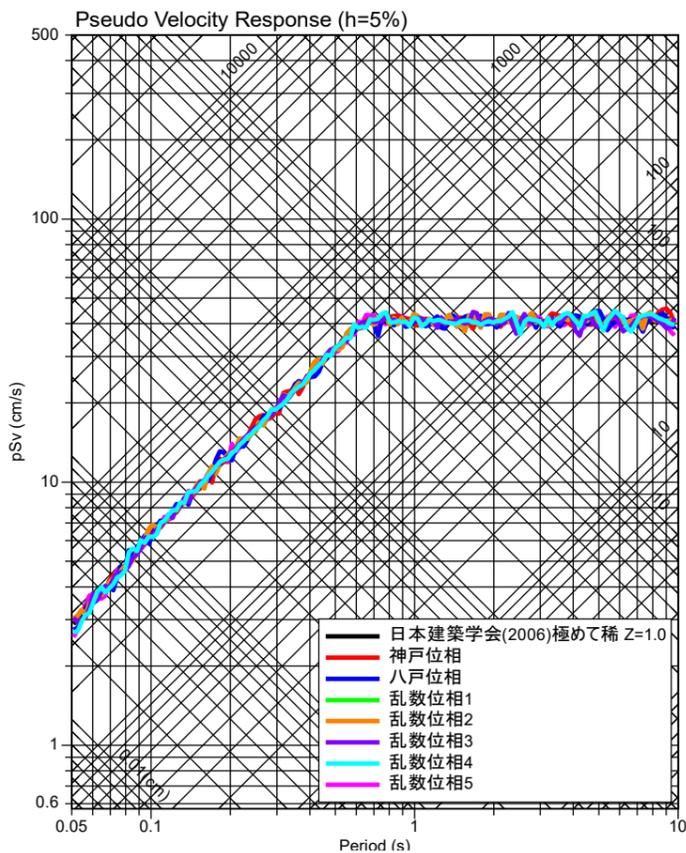


図 5-2-2 工学的基盤における波形の擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較(上下動)
日本建築学会(2006)・稀に発生する地震動

5-3 サイト波(建設地の特性を考慮して作成した地震動)

調査地周辺での地震環境を調査した結果に基づき、想定地震を選定した。今回、調査地周辺に大きな影響を及ぼす地震として①南海トラフの地震と②中央構造線断層帯(讃岐山脈南縁東部区間)で発生する地震について検討した。

南海トラフ巨大地震は断層面が広く、長周期帯の解析に有効な波数積分法の解析は適さないため、内閣府(2012)などの検討では、短周期帯の解析に有効な統計的グリーン関数法のみを用いて算定され、長周期帯は別途三次元差分法を用いた検討が実施されている(内閣府(2015))。ここでは、南海トラフで発生する長周期地震動について検討した国交省による「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策について」(2016年6月)の方法によって長周期帯の地震動を求め、統計的グリーン関数法で求めた短周期帯の地震動と合成(ハイブリッド合成法)した。

また、中央構造線断層帯の地震動作成では統計的グリーン関数法と波数積分法によって求めた地震動を合成した。

なお、地盤モデルについては、PS 検層結果や常時微動計測結果をふまえて調整したモデルを使用した。

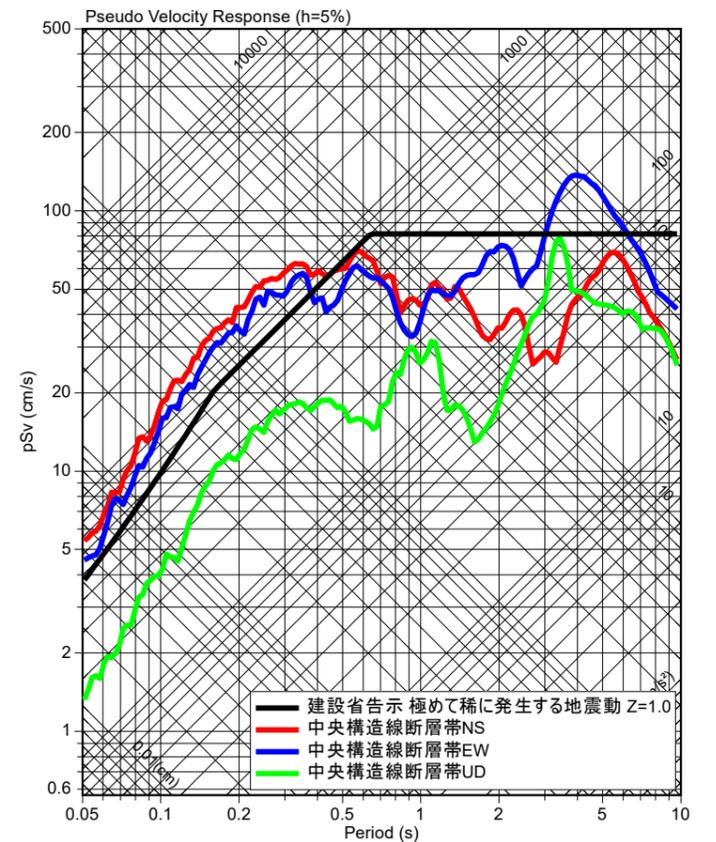
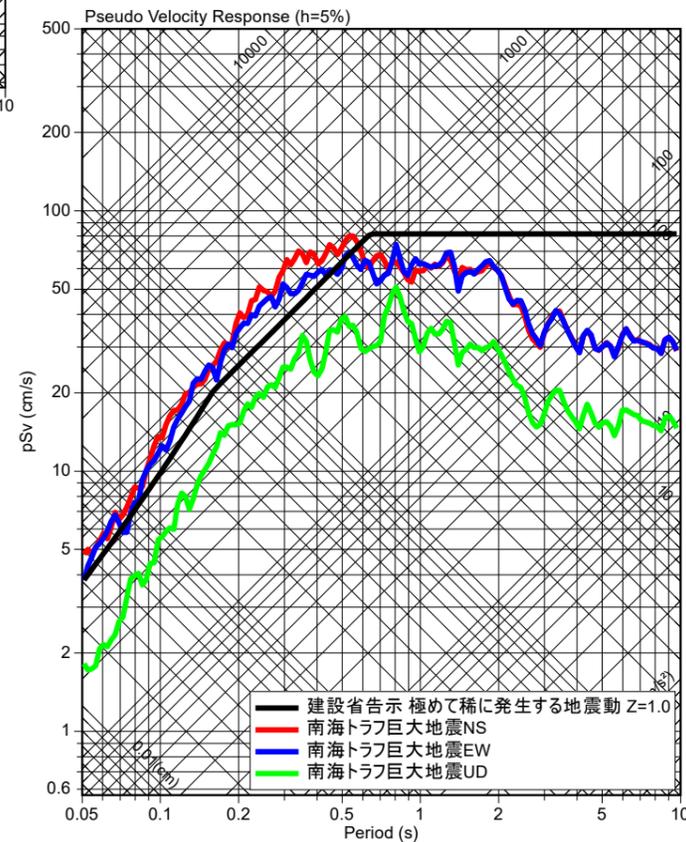


図 5-3-1 工学的基盤における擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較
南海トラフ巨大地震(左)と中央構造線断層帯【讃岐山脈南縁東部区間】(右)

5-4 工学的基盤から地表の応答解析

調査地の工学的基盤面の模擬地震波を表層地盤モデルに入力して、全応力逐次非線形解析（上下動は線形解析）により基礎底レベルの模擬地震波を計算した。

それぞれの特徴についてまとめる。

- ・基礎底(GL-2.7m)における告示波の地震動は周期 0.3~2 秒にかけて応答解析による影響を受ける結果となった。また、南海トラフ巨大地震は周期 0.2 秒以上で告示スペクトルを上回った。中央構造線断層帯でも同様の傾向が見られるが、周期 1~2 秒ではスペクトル形状が落ち込む傾向となっている。

- ・告示波、サイト波共に周期 0.3~0.4 秒での工学的基盤のスペクトルを上回る一方で、周期 2 秒以上の長周期帯では影響は確認されなかった。

地表面における地盤の最大変位は南海トラフ巨大地震 NS 成分で生じており、約 4cm である。また、S 波速度が 200m/s から 100m/s に変化する深度 3m および 4m 付近でひずみが増加している。

- ・上下動の解析には P 波速度を用いていることから、工学的基盤以浅の地盤による影響はほぼ見られなかった。工学的基盤波と比較すると、周期 0.1 秒付近において若干の変動が見られる程度であった

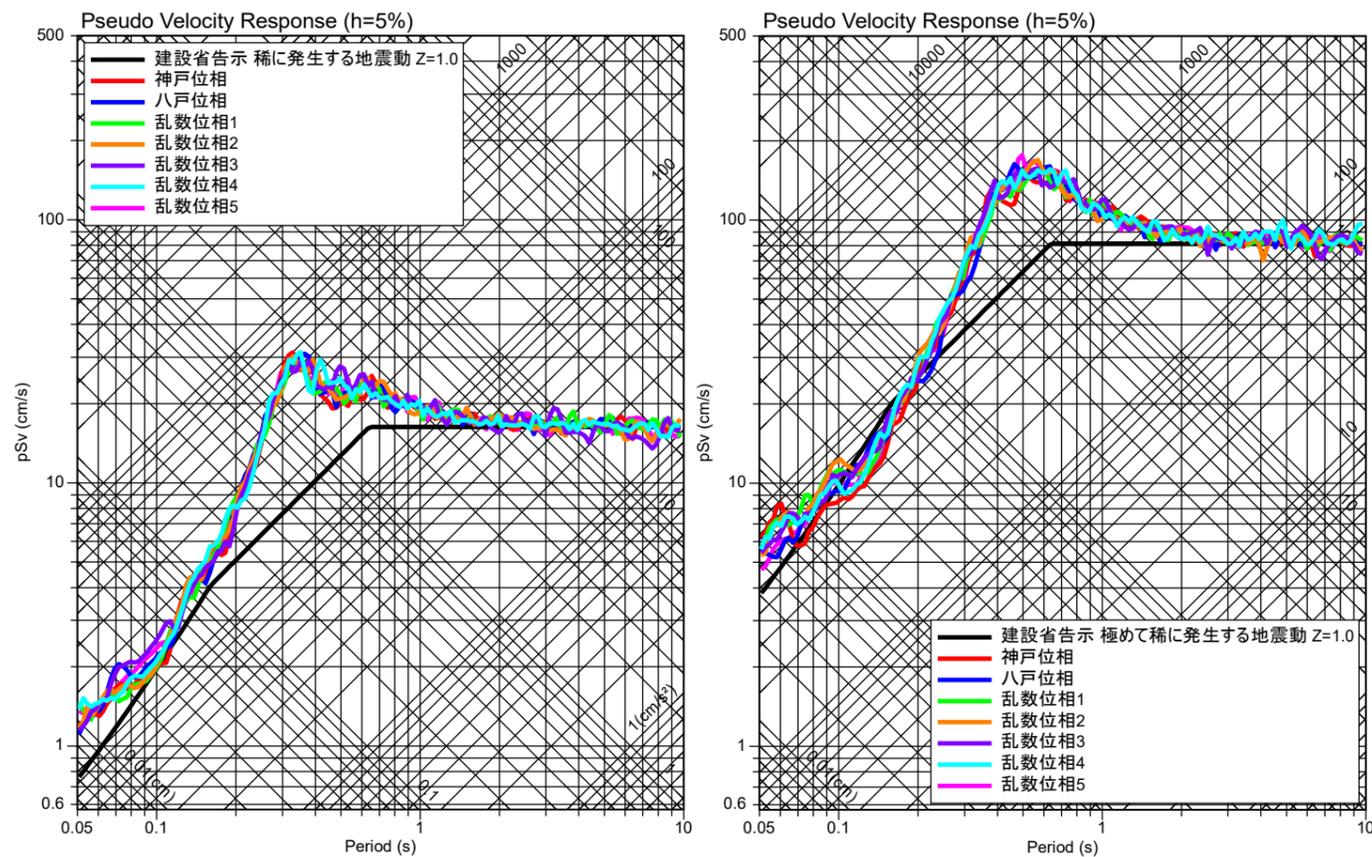


図 5-4-1 全応力解析による GL-2.7m における擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較
告示波：稀に発生する地震動(左)と極めて稀に発生する地震動(右)

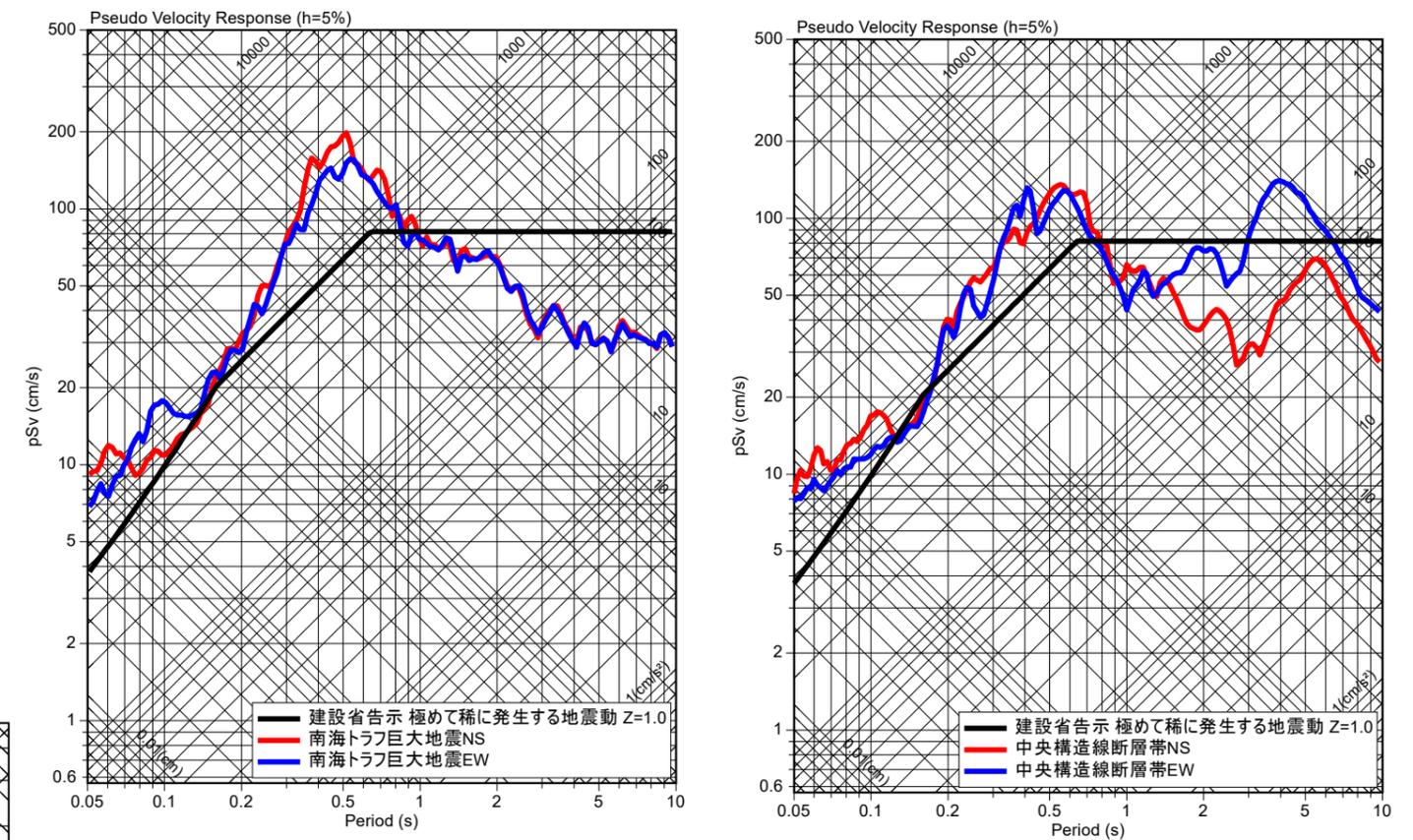


図 5-4-2 全応力解析による GL-2.7m における擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較
サイト波；南海トラフ巨大地震(左)と中央構造線断層帯【讃岐山脈南縁東部区間】(右)

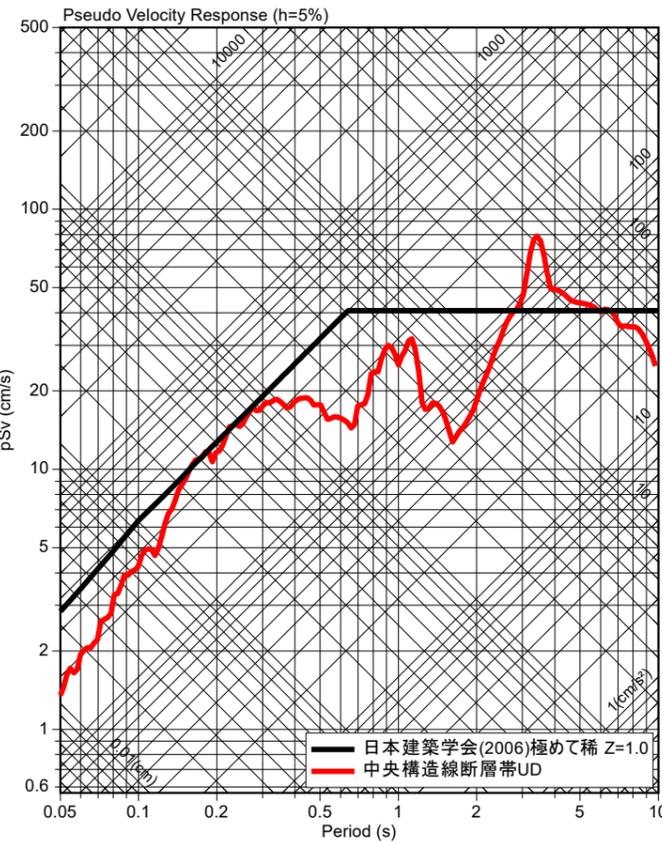
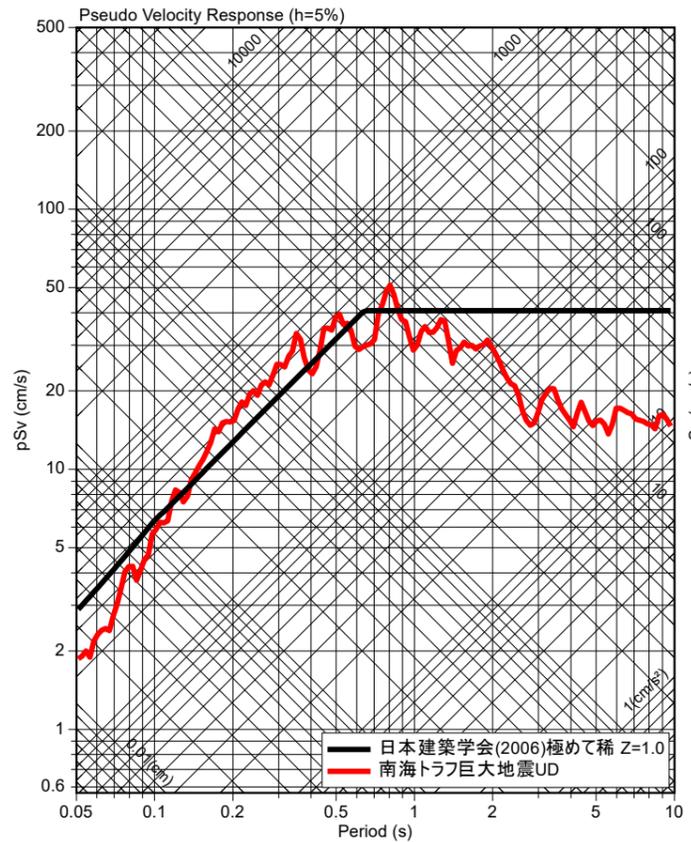
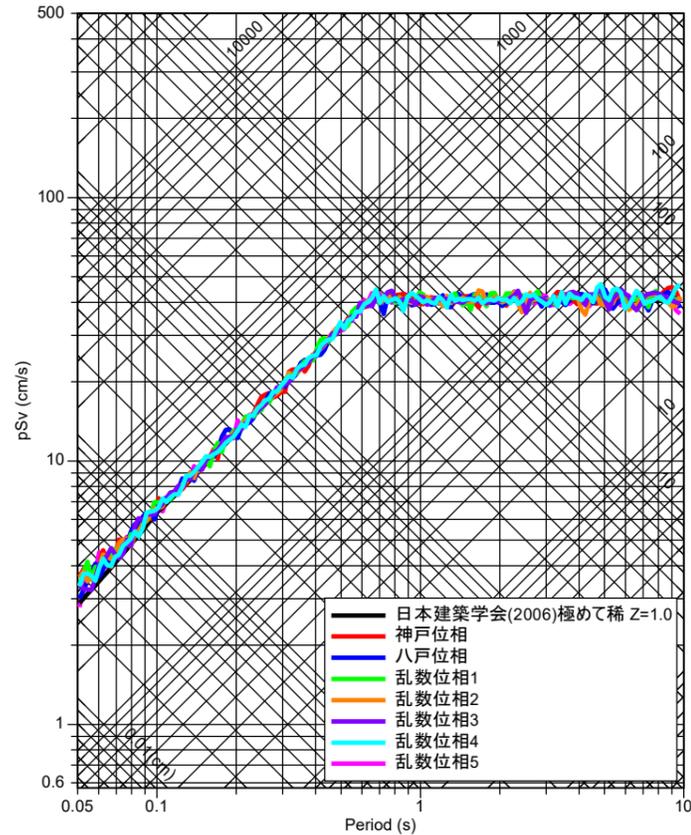


図 5-4-3 線形解析による GL-2.7m における擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較
告示波；極めてまれに発生する地震動（左上）
サイト波；南海トラフ巨大地震（左下）と中央構造線断層帯【讃岐山脈南縁東部区間】（右下）

ここで、液状化による影響を考慮する有効応力解析の結果も合わせて示す。

本検討の対象地盤は大部分が砂質土で構成されることから、間隙水圧の上昇を考慮する液状化対象層が多く存在する。また、液状化パラメータに係る N 値が非常に低い層を有しており、それらによる影響を受ける結果となっており、擬似速度応答スペクトルは極めて稀に発生する地震動やサイト波では周期 1 秒以下の短周期帯レベルが大きく減少している。

地盤の最大相対変位は全応力解析と比較して大きく増加しており、告示波・極めて稀に発生する地震動では約 30cm、南海トラフ巨大地震では約 11cm となっている。また、変位やひずみが生じていることに対して加速度は地表に向けて減少する傾向となっている（成果報告書 P132～133：深度別応答値を参照）。

間隙水圧が有効上載圧の 97% に達した状態を完全液状化状態として評価するが、本解析結果では多くの地層で完全液状化状態に達する結果となっている。

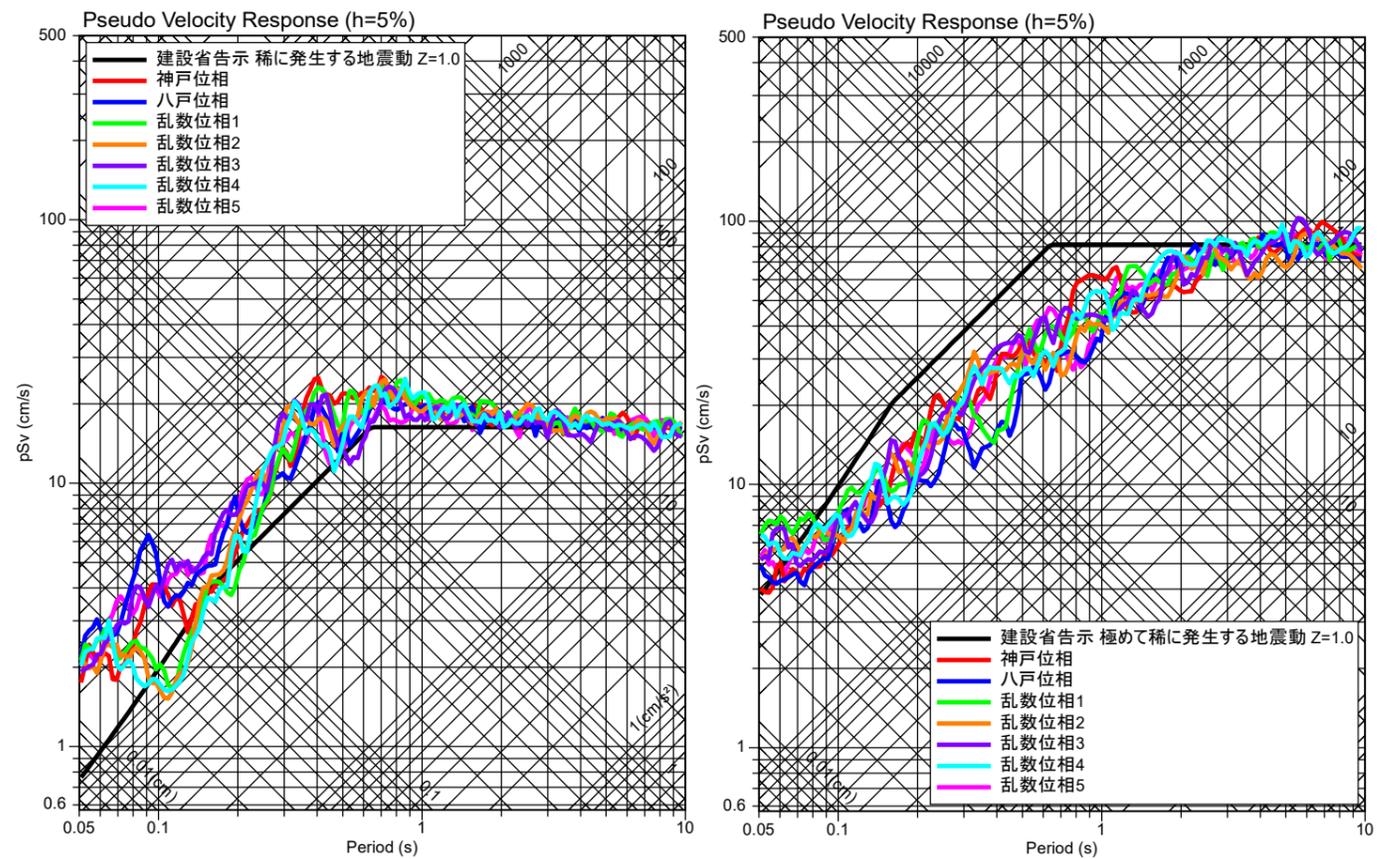


図 5-4-4 有効応力解析による GL-2.7m における擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較
告示波；稀に発生する地震動（左）と極めて稀に発生する地震動（右）

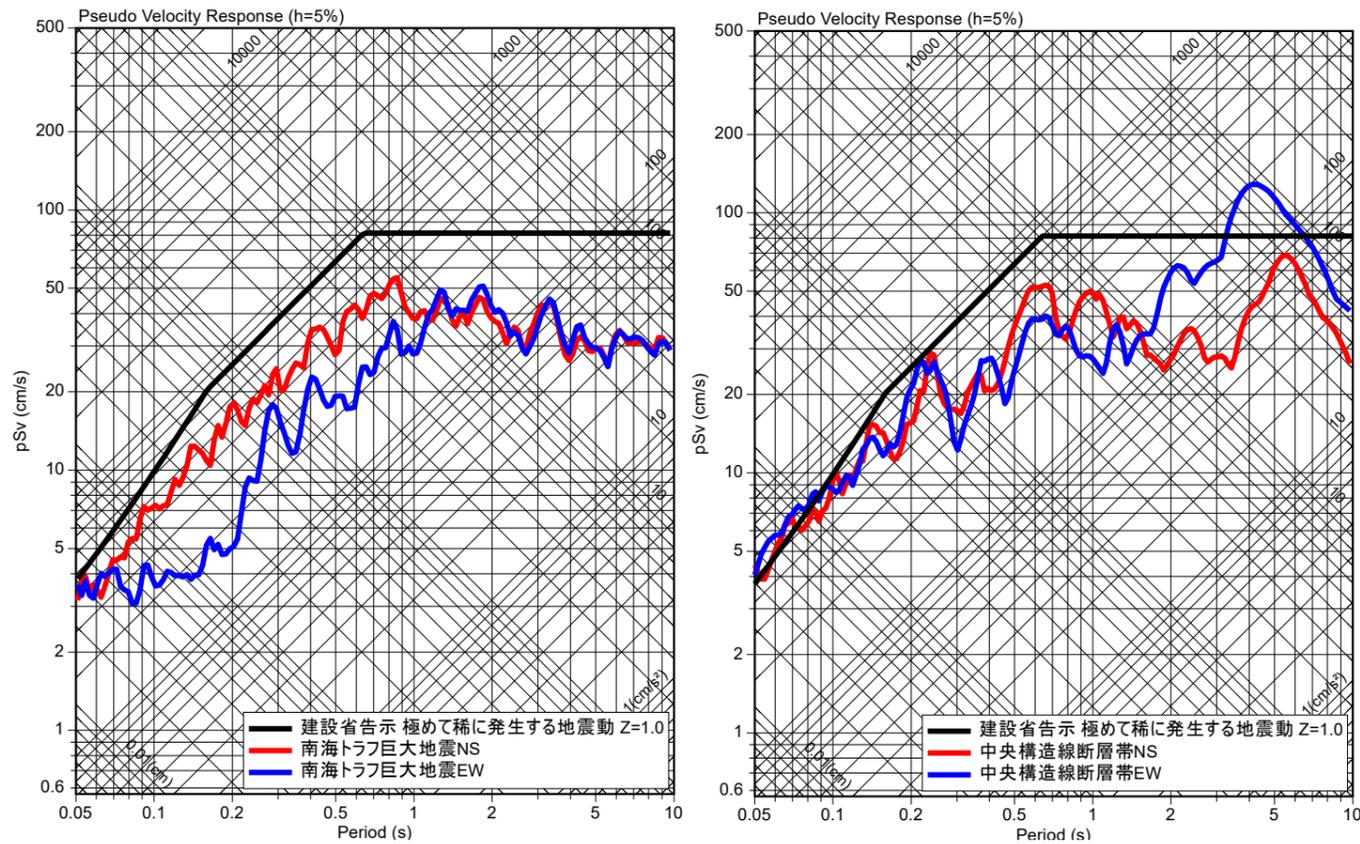


図 5-4-5 有効応力解析による GL-2.7m における擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較
サイト波；南海トラフ巨大地震(左)と中央構造線断層帯【讃岐山脈南縁東部区間】(右)

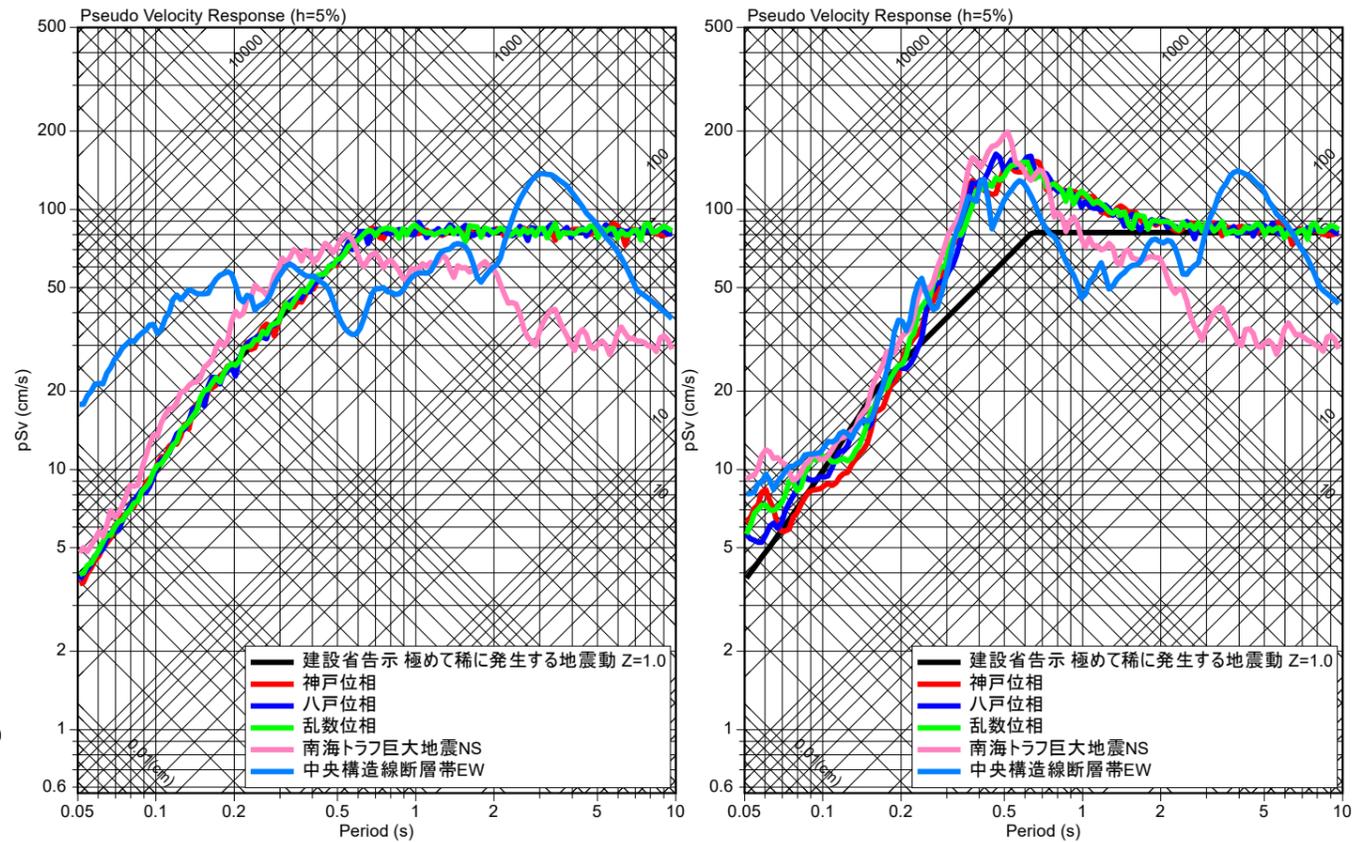


図 6-1-1 工学的基盤における代表的な波の擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較(左)
全応力解析による代表的な波の擬似速度応答スペクトルと告示スペクトルの比較(右)

6.まとめ(模擬地震波作成)

6-1 代表波による結果の比較

作成した模擬地震波うち、設計用入力地震動としてレベル 2 に相当すると考えられる下記の地震波について、擬似速度応答スペクトルの特徴を示す。

- ・告示波（極めて稀に発生する地震動） ※乱数位相は 1 番を用いた
- ・南海トラフ巨大地震 NS 成分
- ・中央構造線断層帯（讃岐山脈南縁東部区間） EW 成分

工学的基盤における上記の地震動を比較すると中央構造線断層帯（讃岐山脈南縁東部区間）EW 成分が最も大きく、周期 0.3 秒以下および 2 秒以上において告示レベルを上回る結果となっている。特に周期 2 秒～5 秒では 100cm/s を超える擬似速度応答値が生じている。南海トラフ巨大地震は周期 0.5 秒以下で告示レベルを少し上回る擬似速度応答が得られている。

全応力解析では周期 0.5 秒で告示波や南海トラフ巨大地震が 200cm/s 弱の擬似速度応答を示している。

6-2 まとめ

- ・全応力解析による基礎底の地震動は、周期 0.2～1 秒で工学的基盤のスペクトルを上回る結果となった。また、サイト波において 1% を超える地盤ひずみが生じることを確認した。
- ・有効応力解析では地盤の液状化によって地震波のエネルギーが大きく減少する結果となった。一方で大きな地盤ひずみや変位が生じた。
- ・線形解析では応答解析の影響は小さく、短周期帯でわずかな挙動が見られる程度であった。
- ・対象地震による基礎底の地震動は南海トラフ巨大地震 NS 成分が最も大きく、全応力解析では 200cm/s 程度の擬似速度応答が生じた。また、地表面の最大相対変位は告示波（極めて稀に発生する地震動、神戸位相）が最も大きく、有効応力解析で 20cm を超える変位が生じる結果となった。
- ・調査地の地盤は多くが砂質土層で構成されていることから、有効応力解析において液状化の影響を大きく受ける結果となった。