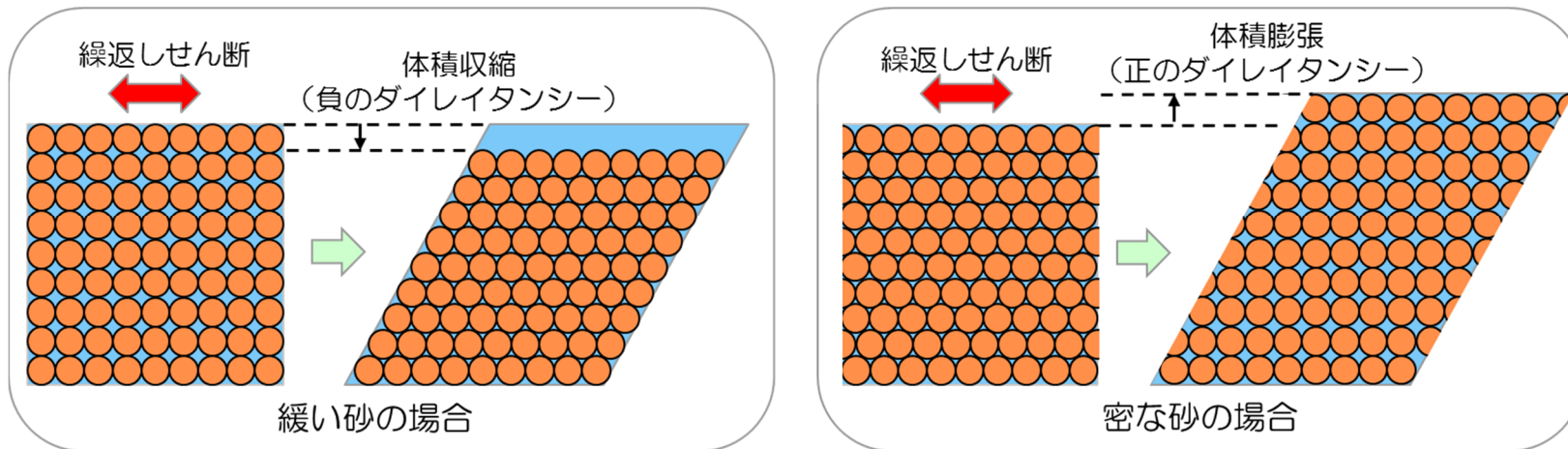
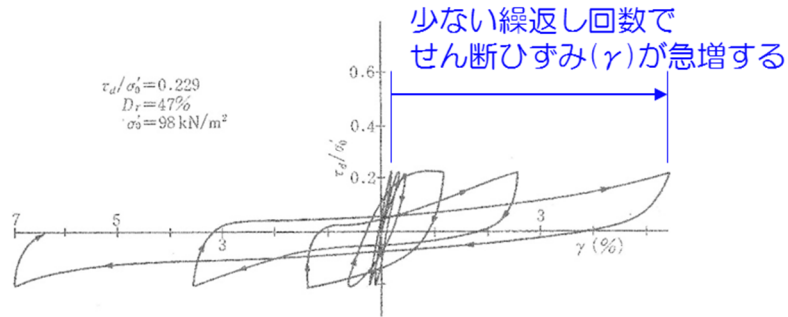


地盤の強度の概要

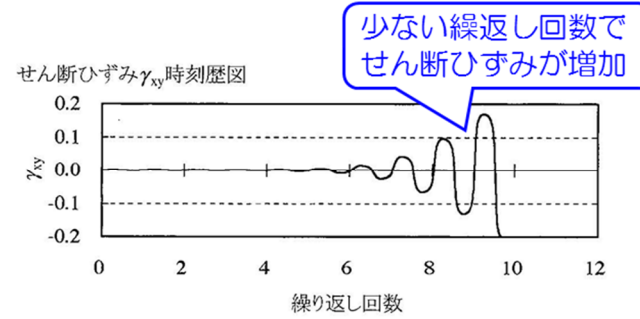


第 11-4-5 図 地盤の強度とダイレイタンス特性の概要

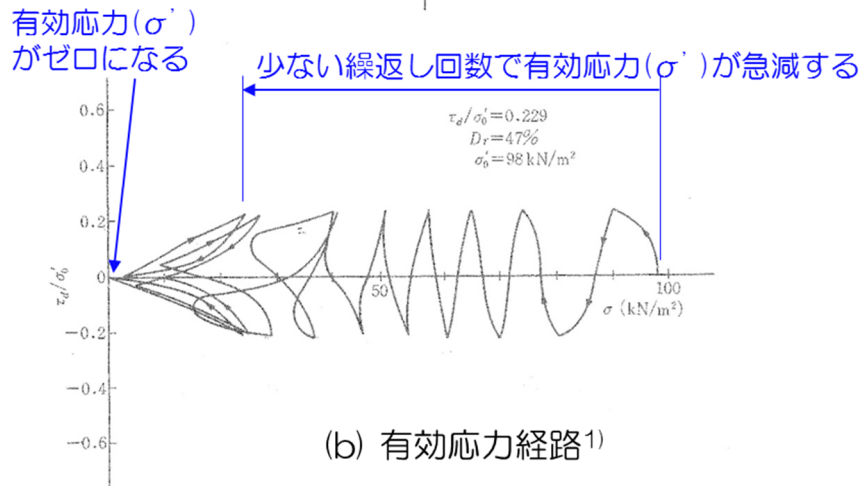
【液状化試験のイメージ (1)】



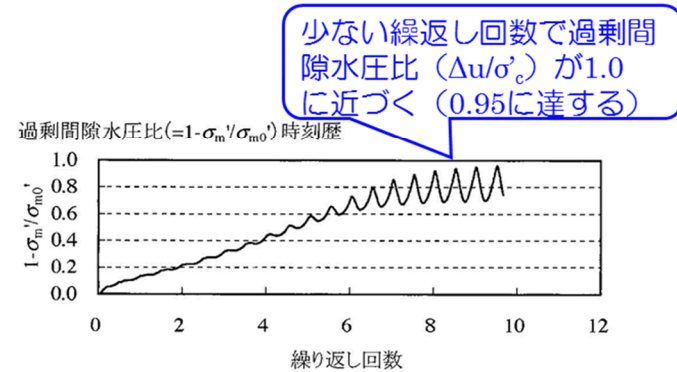
(a) せん断応力-せん断ひずみ関係¹⁾



(c) せん断ひずみ²⁾



(b) 有効応力経路¹⁾



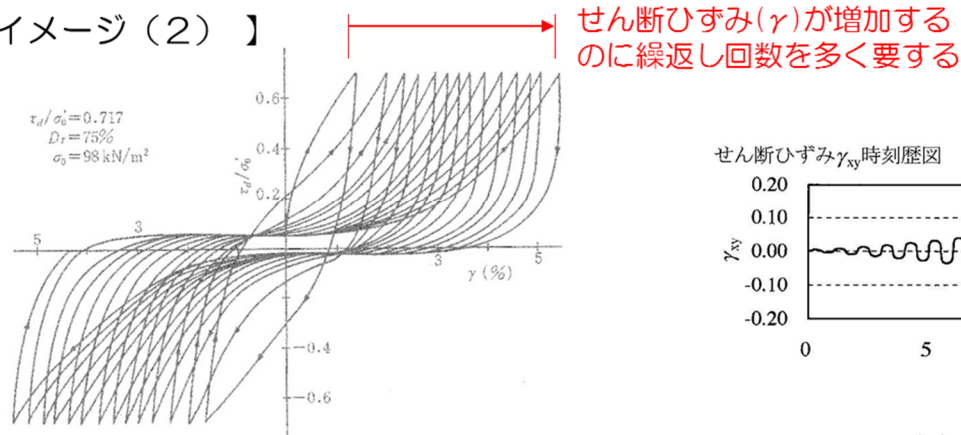
(d) 過剰間隙水圧比²⁾

液状化試験の例 (液状化する場合)

1) 永瀬英生：多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性，東京大学博士論文，1984
 2) 井合進，飛田哲男，小堤治：砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係，京都大学防災研究所年報，第51号，pp.291-304，2008.

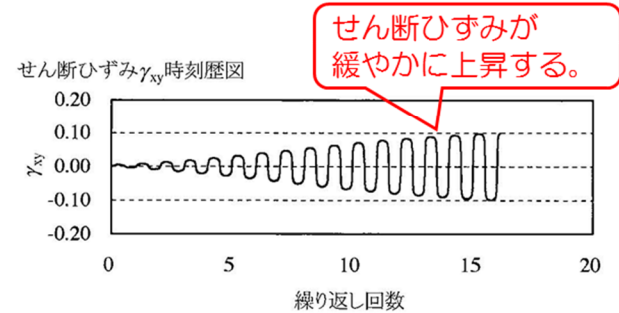
第 11-4-6 図 緩い砂の液状化試験結果

【液状化試験のイメージ (2)】

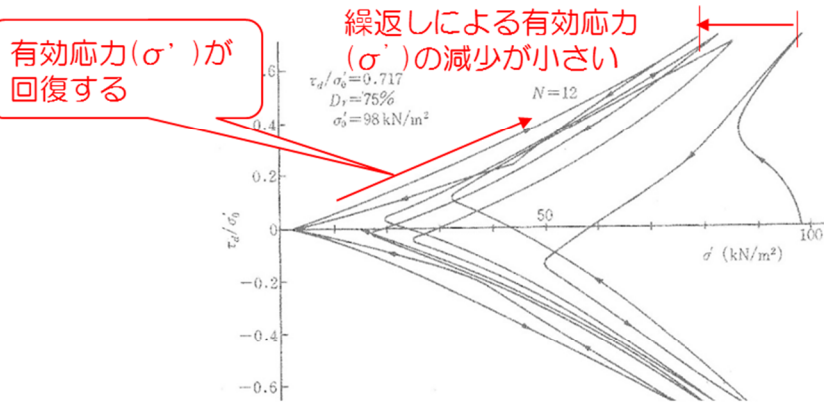


(a) せん断応力-せん断ひずみ関係¹⁾

せん断ひずみ(γ)が増加する
のに繰返し回数を多く要する

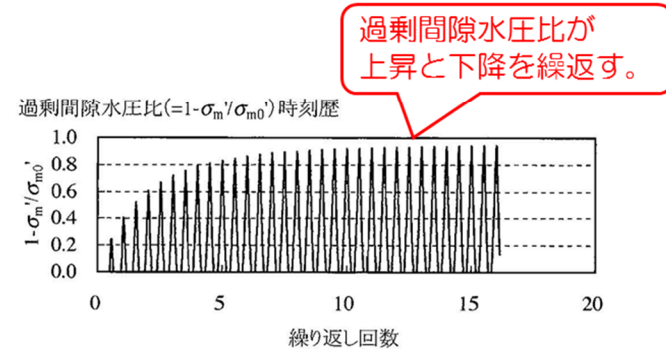


(c) せん断ひずみ²⁾



(b) 有効応力経路¹⁾

繰返しによる有効応力
(\$\sigma'\$)の減少が小さい



(d) 過剰間隙水圧比²⁾

液状化試験の例 (サイクリックモビリティの場合)

1) 永瀬英生: 多方向の不規則荷重を受ける砂の変形強度特性, 東京大学博士論文, 1984
2) 井合進, 飛田哲男, 小堤治: 砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係, 京都大学防災研究所年報, 第51号, pp.291-304, 2008.

第 11-4-7 図 密な砂の液状化試験結果

4.3 試験結果の分類

第 11-4-1～8 表に各土層の液状化試験結果を、第 11-4-8～15 図に各土層の液状化試験結果の例を、第 11-4-9 表に液状化試験結果のまとめを、第 11-4-16 図に液状化試験後の供試体状況を示す。

A-1 地点の埋戻土層の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が 1.0 に近づき (0.95 を上回り)、有効応力がゼロとなる。また、その繰り返しせん断を受けても、有効応力の回復はみられず、せん断ひずみが急激に上昇する。これらの状況から、この試験結果は液状化していると判断した。

A-3 地点の新期砂層・沖積層及び A-1 地点の洪積砂層 I・II の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰り返し、上昇時に 1.0 に近づく (0.95 を上回る)。これに伴って、有効応力は減少するが、繰り返しせん断を受けることで回復する。また、せん断ひずみは緩やかに上昇する。これらの状況から、この試験結果はサイクリックモビリティであると判断した。

A-2 地点の洪積砂層 I・II 及び 0-1 地点の洪積砂質土層 I・II の液状化試験結果は、過剰間隙水圧比が 0.95 を上回ることがなく、試験実施の間、有効応力を保持している。また、せん断ひずみが緩やかに上昇し、試験終了直前で急激にせん断ひずみが増大する傾向である。A-2 地点の洪積砂層 I・II の液状化試験後の供試体状況をみると、明確なせん断破壊が確認され、このせん断ひずみの増大はせん断破壊によって発生したものと考えられる。これらの状況から、この試験結果は非液状化であると判断した。

これらの区分を整理して、第 11-4-10 表に示す。

埋戻土層以外の土層は、比較的 N 値が高く、液状化試験結果はサイクリックモビリティあるいは非液状化を示している。このことは、道路橋示方書において、一般に N 値が高く、続成作用を受けている洪積層等は、液状化に対する抵抗が高いため、一般には液状化の可能性は低いという記載に整合する。

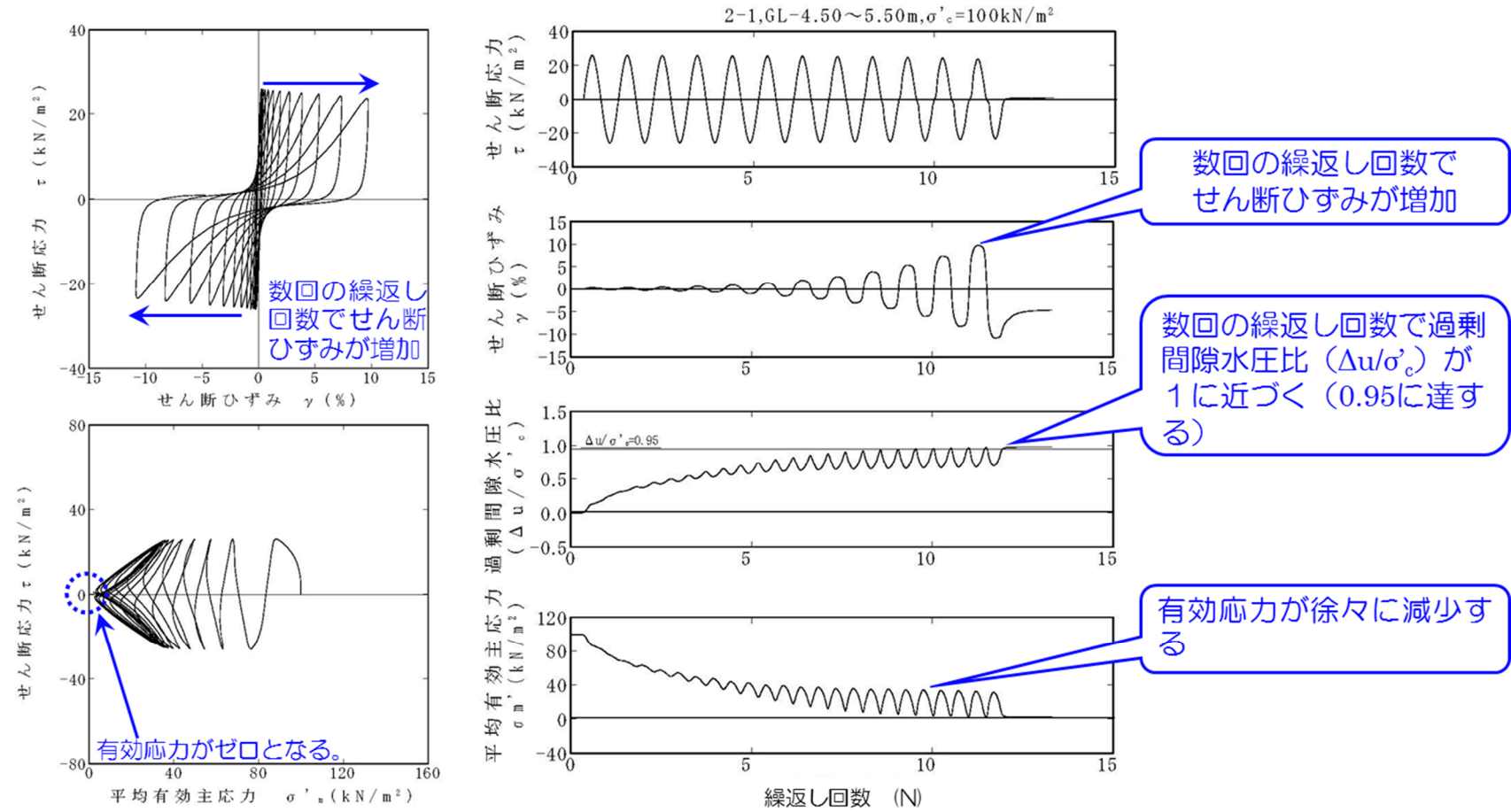
埋戻土層については試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定法 (FL 法) を実施し、基準地震動 S_s 作用時の液状化の有無を判定する。埋戻土層以外の土層については液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定方法が適用できないと考えられることから、液状化試験が基準地震動 S_s 相当の地盤の状態を模擬していることを確認する。

第 11-4-1 表 液状化試験結果 (A-1 地点の埋戻土層)

試料番号		#1-0-1				#1-0-2				
深度 G.L.- (m)		3.50~4.50				4.50~5.50				
土質材料		埋戻土層				埋戻土層				
供試体 No.		1	2	3	4	<u>1</u>	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.710				2.720				
圧密圧力 σ'_c (kN/m ²)		50				100				
せん断応力比 τ_d/σ'_c		0.25	0.30	0.20	0.35	<u>0.26</u>	0.21	0.24	0.29	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	7.5	5.5	103	3.5	<u>4.5</u>	54	29	5.5
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	8.5	7	106	5	<u>5</u>	56	32	6.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	10	9	111	7.5	<u>6</u>	59	36	8
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	16	15	119	27	<u>8</u>	64	46	12
		$\gamma_{DA}=15\%$	21	23	127	109	<u>10</u>	68	54	15
	過剰間隙水圧比 95% N_{U95}	15	16	116	35	<u>9</u>	64	45	14	

 : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果

$\sigma'_c = 100 \text{ kN/m}^2, \tau_d / \sigma'_c = 0.26$

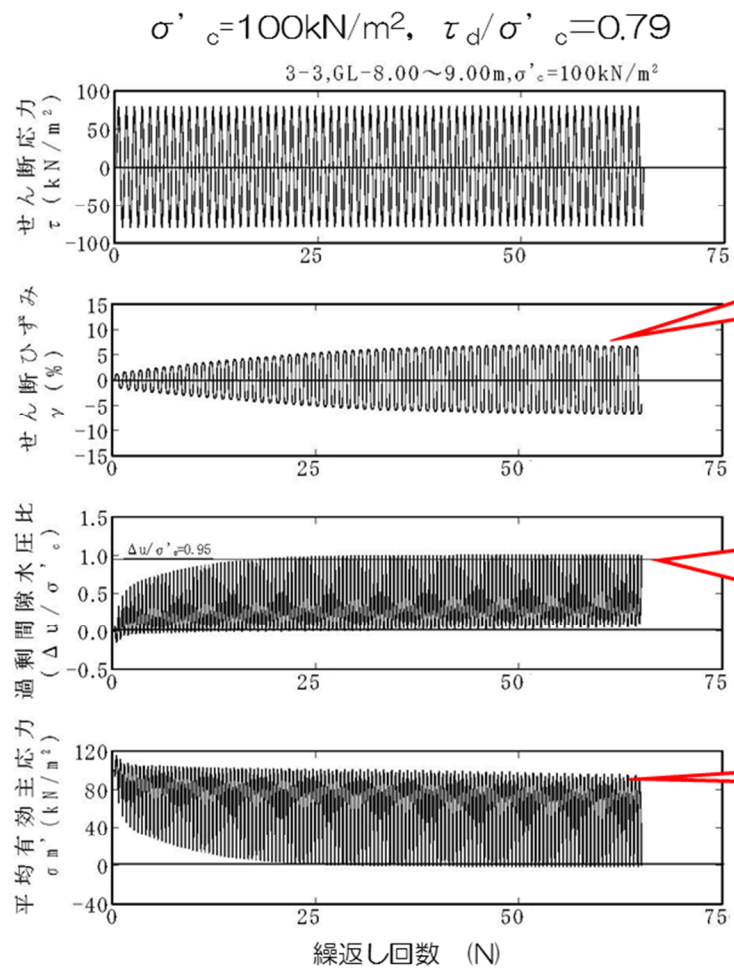
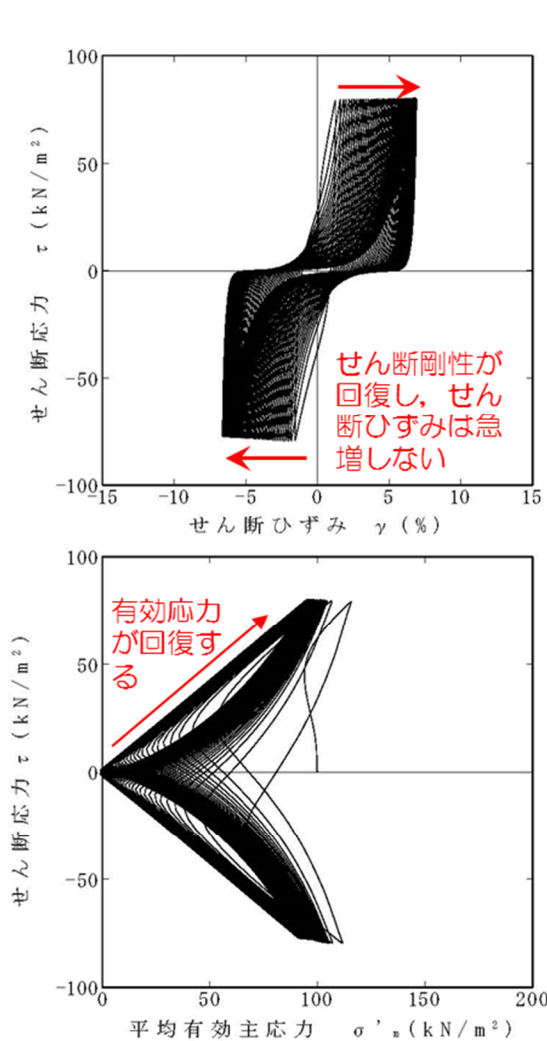


第 11-4-8 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の埋戻土層)

第 11-4-2 表 液状化試験結果 (A-1 地点の洪積砂層 I)

試料番号		#1-1-1				#1-1-2				
深度 G.L.- (m)		8.00~9.00				10.00~11.00				
土質材料		洪積砂層 I				洪積砂層 I				
供試体 No.		1	2	<u>3</u>	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.739				2.732				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		100				150				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.47	0.59	<u>0.79</u>	0.97	0.48	0.61	0.44	0.39	
繰返回数	せん断 ^両 振幅 ^{ひすみ}	$\gamma_{DA}=1.5\%$	4	0.9	<u>0.5</u>	0.3	1.5	0.5	0.9	3
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	6.5	2	<u>0.7</u>	0.5	2.5	0.6	1.5	5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	14	6.5	<u>1</u>	0.7	5	0.9	4	8.5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	48	32	<u>14</u>	9	18	7.5	17	25
		$\gamma_{DA}=15\%$	102	96	—	41	53	23	41	48
過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		40	31	<u>18</u>	19	21	15	22	25	

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

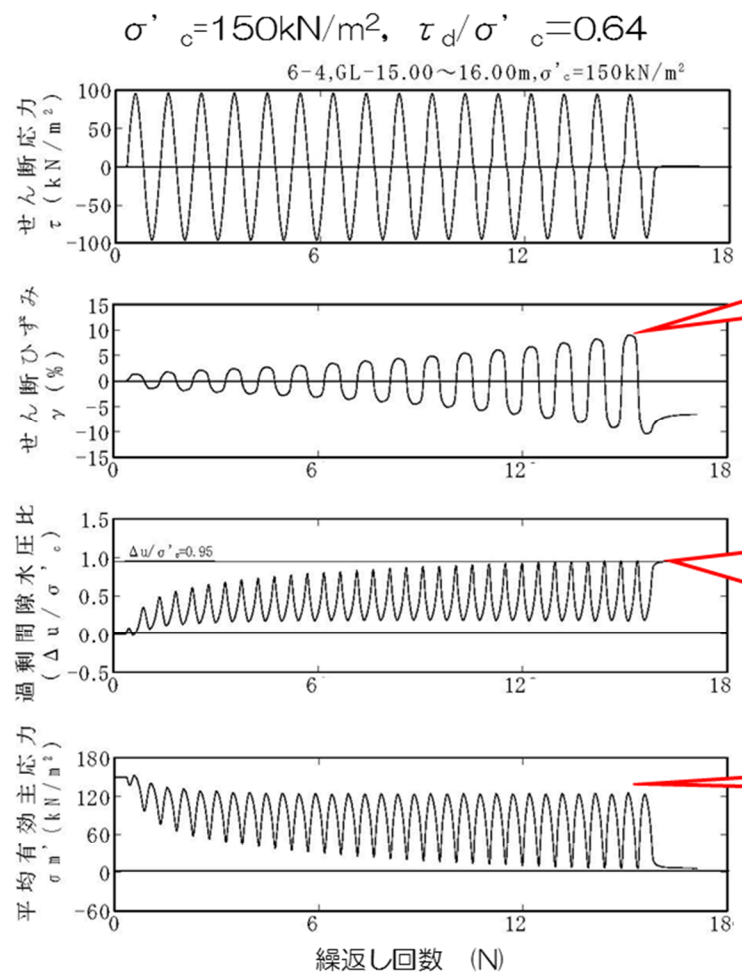
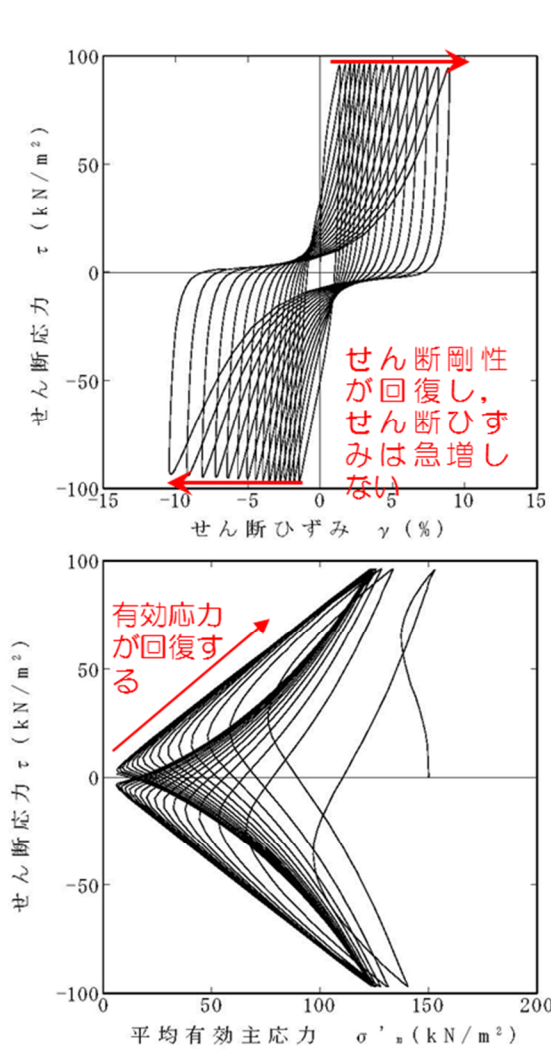
有効応力が回復する。

第 11-4-9 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の洪積砂層 I)

第 11-4-3 表 液状化試験結果 (A-1 地点の洪積砂層 II)

試料番号		#1-2-1				<u>#1-2-2</u>				#1-2-3				#1-2-4				
深度 G.L.- (m)		13.00~14.00				<u>15.00~16.00</u>				17.00~18.00				20.00~21.00				
土質材料		洪積砂層 II				洪積砂層 II				洪積砂層 II				洪積砂層 II				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	<u>4</u>	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.714				<u>2.688</u>				2.684				2.685				
圧密圧力 σ'_c (kN/m ²)		150				<u>150</u>				200				200				
せん断応力比 τ_d/σ'_c		0.51	0.41	0.46	0.36	0.39	0.45	0.50	<u>0.64</u>	0.40	0.35	0.48	0.38	0.40	0.46	0.50	0.62	
繰返回数	せん断ひずみ 振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	0.4	0.8	1	10	2	1.5	0.8	<u>0.5</u>	2	4.5	0.6	7	2	0.9	0.8	0.6
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	0.6	1	2	11	2.5	3.5	1	<u>0.7</u>	3.5	7.5	0.8	12	3.5	1.5	1.5	0.7
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	0.9	4	2.5	20	6	7	4	<u>1</u>	6.5	14	2	20	7	4.5	5	1.5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	7	30	17	65	26	20	18	<u>7</u>	15	30	7	39	27	16	19	9
		$\gamma_{DA}=15\%$	16	56	32	102	48	37	33	<u>13</u>	22	43	13	56	52	25	31	18
	過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		16	40	22	61	31	27	24	<u>14</u>	19	33	13	42	31	22	30	-

: 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が、上昇と下降を繰返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

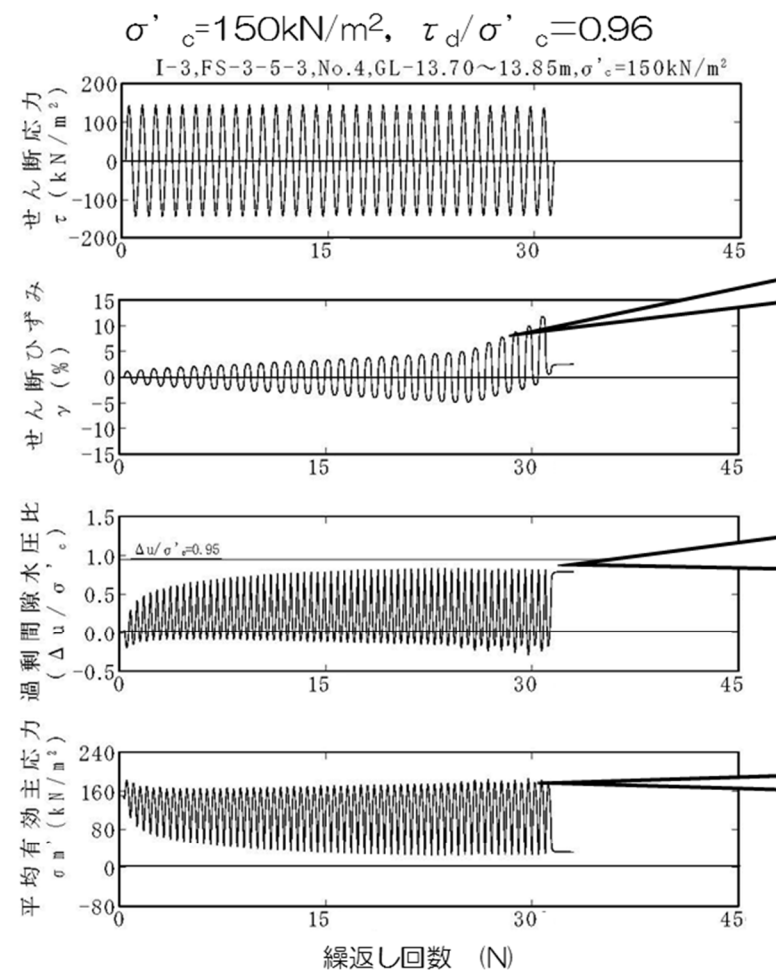
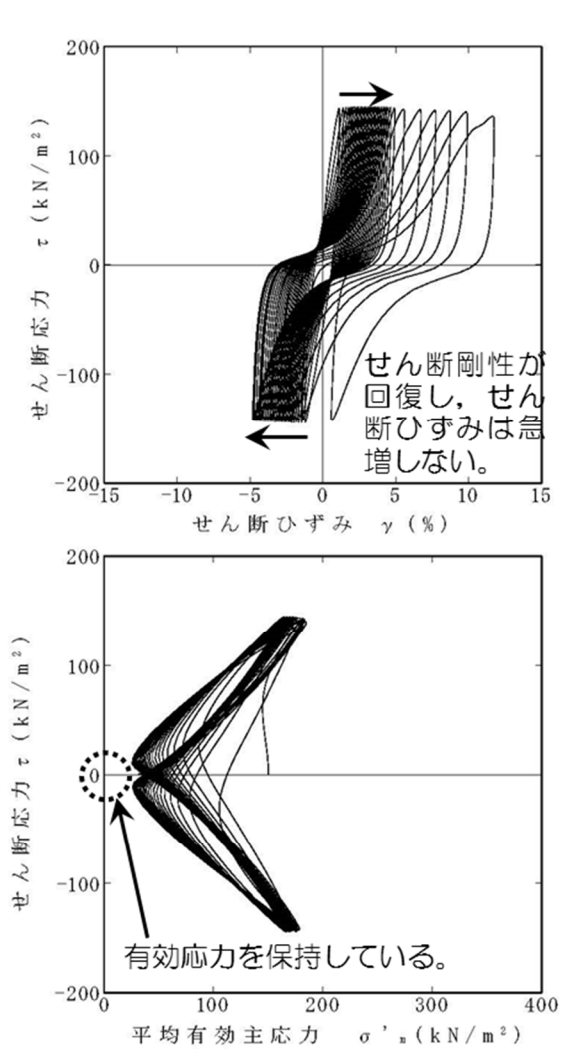
有効応力が回復する。

第 11-4-10 図 液状化試験結果の例 (A-1 地点の洪積砂層 II)

第 11-4-4 表 液状化試験結果 (A-2 地点の洪積砂層 I)

試料番号		#4-1-1				#4-1-2				#4-1-3				
深度 G.L.- (m)		13.20~14.14				13.36~13.99				<u>13.21~13.85</u>				
土質材料		洪積砂層 I				洪積砂層 I				洪積砂層 I				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.665				2.656				<u>2.754</u>				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		150				150				<u>150</u>				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.60	0.43	0.92	1.18	0.79	1.03	1.20	0.61	1.01	0.71	0.81	<u>0.96</u>	
繰返回数	せん断ひずみ 振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	10	5	0.7	0.4	0.9	0.5	0.4	9	0.5	0.9	0.6	<u>0.6</u>
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	23	9	1	0.5	3	0.6	0.6	18	0.7	2	0.8	<u>0.9</u>
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	44	21	4	0.7	13	0.9	0.9	37	1	8	2	<u>2.5</u>
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	60	56	23	5	51	4.5	6.5	91	5	43	17	<u>18</u>
		$\gamma_{DA}=15\%$	71	62	35	-	63	7	9	-	7	-	29	-
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

下線：次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

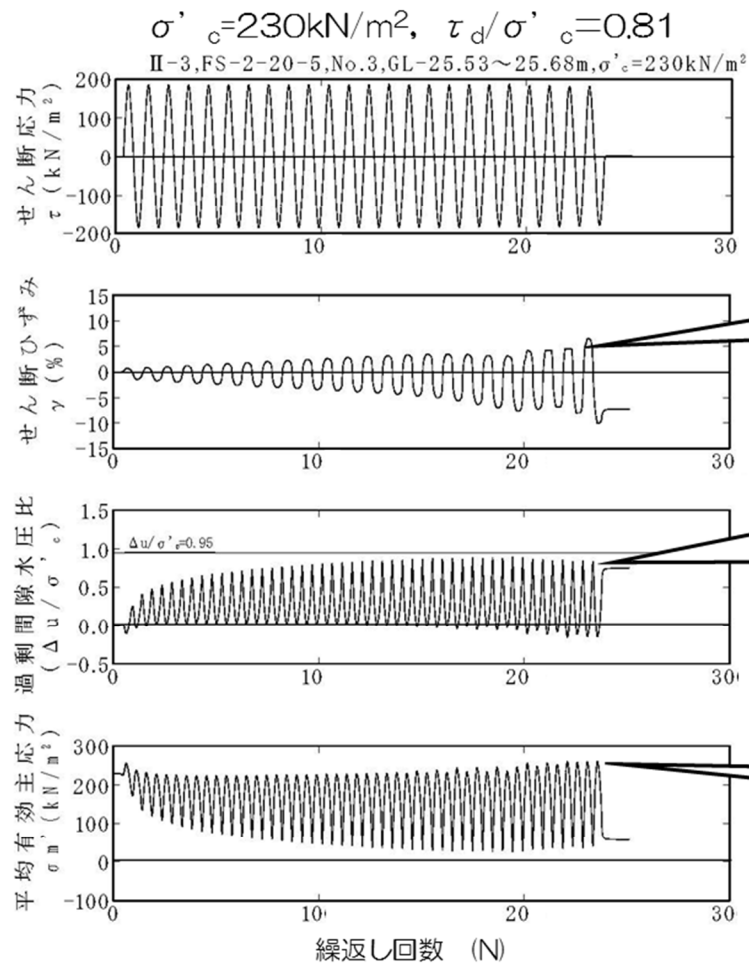
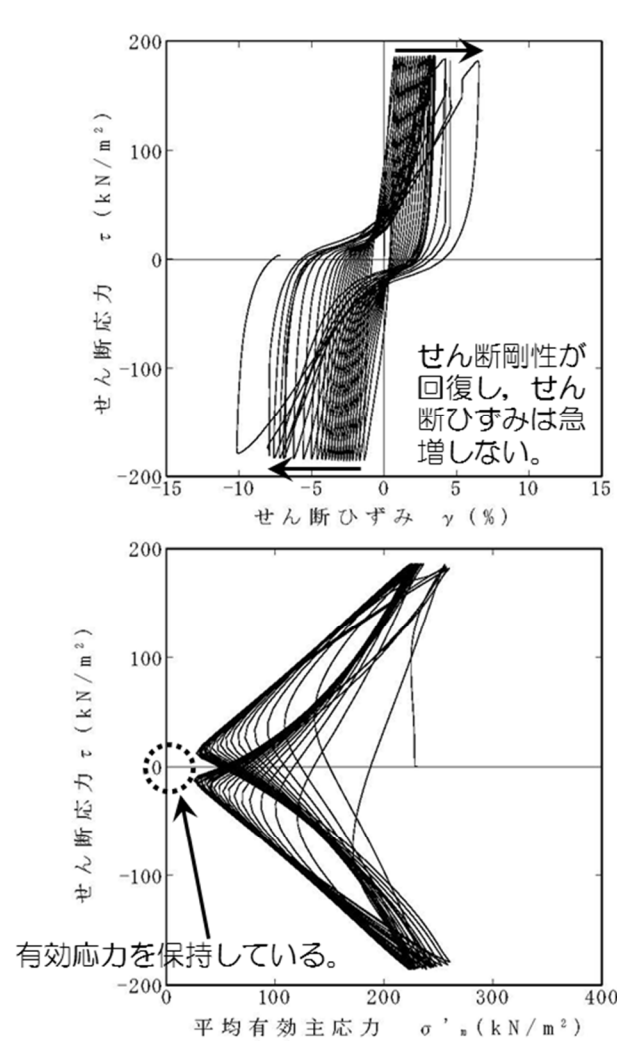
有効応力が回復する。

第 11-4-11 図 液状化試験結果の例 (A-2 地点の洪積砂層 I)

第 11-4-5 表 液状化試験結果 (A-2 地点の洪積砂層 II)

試料番号		#4-2-1				#4-2-2				#4-2-3				
深度 G.L.- (m)		20.20~21.96				21.96~22.62				<u>25.15~26.23</u>				
土質材料		洪積砂層 II				洪積砂層 II				洪積砂層 II				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.680				2.679				<u>2.721</u>				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		230				230				<u>230</u>				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.42	0.80	0.63	0.36	0.57	0.66	0.80	0.70	0.71	0.86	<u>0.81</u>	0.76	
繰返回数	せん断ひずみ 両振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	1.5	0.3	0.8	200	2.5	0.9	0.3	0.3	2	0.8	<u>0.7</u>	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	3.5	0.4	1.5	-	6	2	0.5	0.4	5.5	1.5	<u>1</u>	2.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	7	0.7	3.5	-	14	5.5	0.7	0.6	17	4.5	<u>3</u>	6
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	20	3	15	-	46	22	3.5	2	74	17	<u>14</u>	22
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	7.5	-	-	78	-	6.5	4.5	110	-	<u>24</u>	36
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	61	-	-	-	87	-	-	-	

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

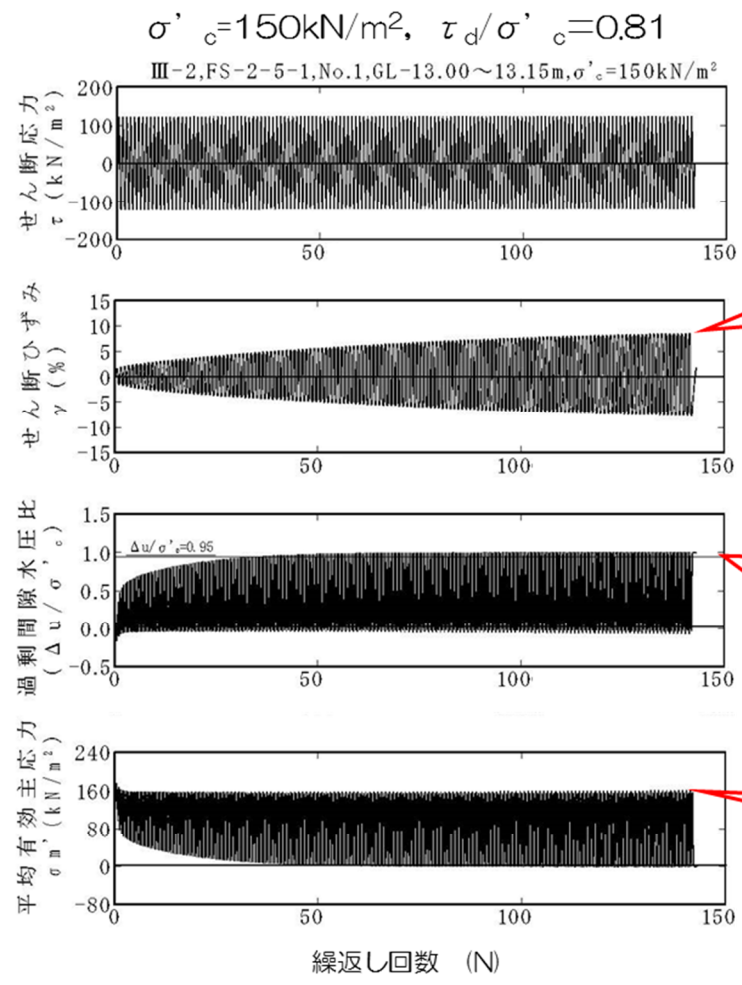
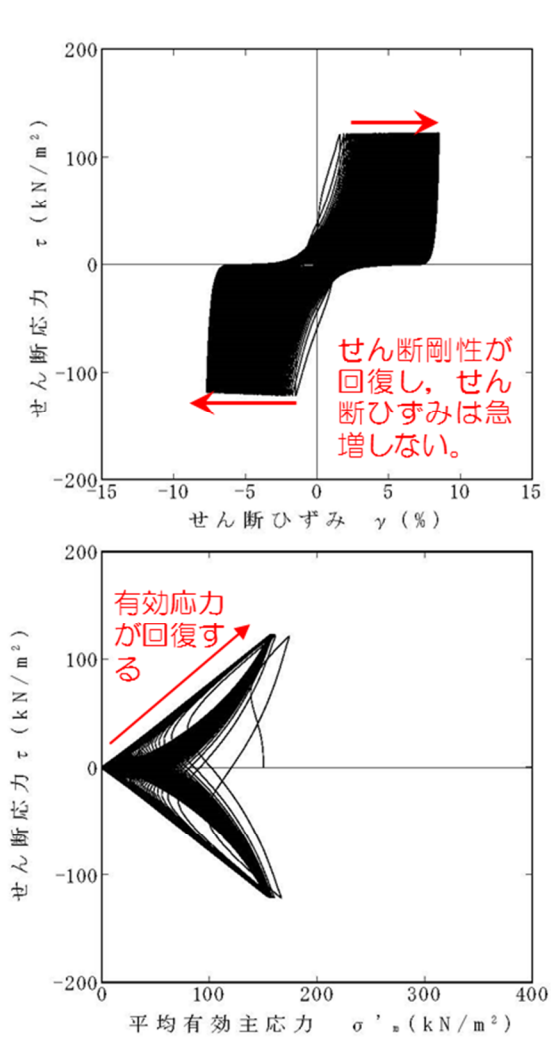
有効応力が回復する。

第 11-4-12 図 液状化試験結果の例 (A-2 地点の洪積砂層 II)

第 11-4-6 表 液状化試験結果 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

試料番号		#4-3-1				<u>#4-3-2</u>				#4-3-3				
深度 G.L.- (m)		13.04~13.51				<u>13.00~13.68</u>				14.96~15.43				
土質材料		新期砂層・沖積層				新期砂層・沖積層				新期砂層・沖積層				
供試体 No.		1	2	3	4	<u>1</u>	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.719				<u>2.780</u>				2.685				
圧密圧力 σ'_c (kN/m ²)		150				<u>150</u>				150				
せん断応力比 τ_d/σ'_c		0.81	0.70	0.62	0.49	<u>0.81</u>	0.91	0.72	0.54	0.60	0.81	0.70	1.02	
繰返し回数	せん断ひずみ 振幅	$r_{DA}=1.5\%$	0.5	0.6	0.7	2	<u>0.5</u>	0.3	0.6	0.9	0.8	0.3	0.7	0.3
		$r_{DA}=2.0\%$	0.6	0.8	0.9	3.5	<u>0.7</u>	0.4	0.8	1.5	1.5	0.5	0.9	0.4
		$r_{DA}=3.0\%$	0.9	2	2	8.5	<u>1</u>	0.6	2	4	5	0.7	3	0.5
		$r_{DA}=7.5\%$	15	19	18	50	<u>24</u>	9	24	21	32	9	22	8
		$r_{DA}=15\%$	76	96	53	146	<u>112</u>	91	77	65	94	43	60	77
過剰間隙水圧比 95% N_{U95}		28	28	30	40	<u>38</u>	44	34	24	38	25	28	39	

 : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が、上昇と下降を繰り返し、上昇時に1に近づく (0.95に達する)。

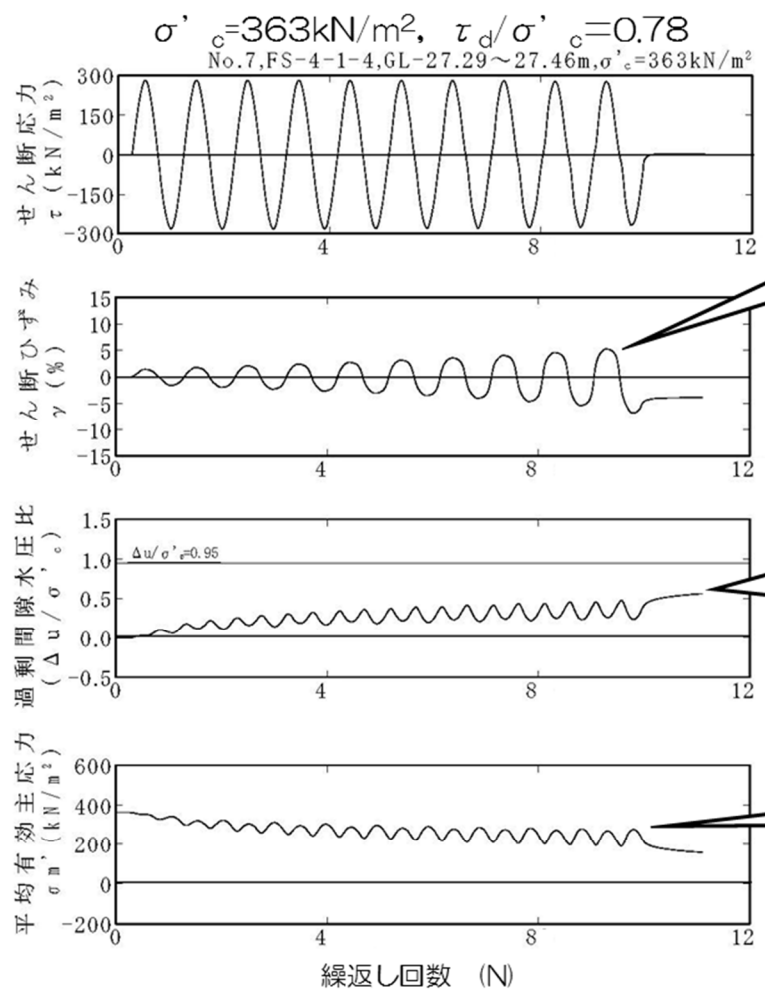
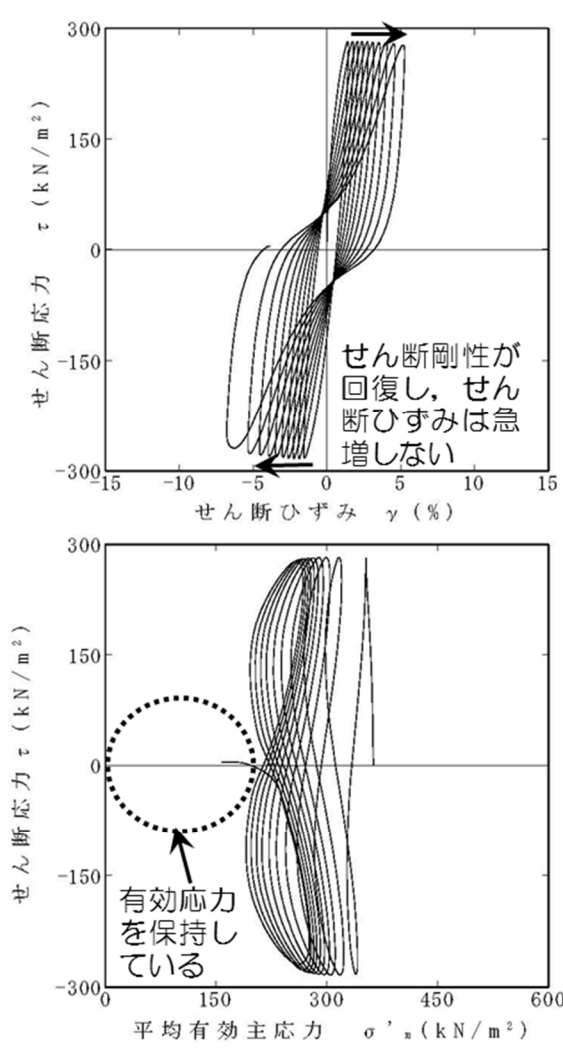
有効応力が回復する。

第 11-4-13 図 液状化試験結果の例 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)

第 11-4-7 表 液状化試験結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)

試料番号		#6-1-1				#6-1-2				#6-1-3				
深度 G.L.- (m)		27.68~28.16				<u>26.95~27.63</u>				26.88~27.48				
土質材料		洪積砂質土層 I				洪積砂質土層 I				洪積砂質土層 I				
供試体 No.		1	2	3	4	1	2	<u>3</u>	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.649				<u>2.677</u>				2.669				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		363				<u>363</u>				363				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.51	0.60	0.78	0.64	0.51	0.61	<u>0.78</u>	0.68	0.51	0.46	0.35	0.64	
繰返し回数	せん断ひずみ 振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	8.5	0.9	0.5	0.7	0.9	0.7	<u>0.5</u>	0.5	0.5	42	200>	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	18	5.5	0.7	0.9	6	1	<u>0.7</u>	0.7	0.7	200>	-	3.5
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	30	26	1.5	2	35	12	<u>1</u>	1	1	-	-	15
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	54	71	5	7	121	46	<u>7</u>	6	8.5	-	-	45
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	-	-	-	127	53	-	-	12	-	-	-
過剰間隙水圧比 95% N_{u95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果



せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比($\Delta u / \sigma'_c$)が上昇と下降の繰返し、0.95に達しない。

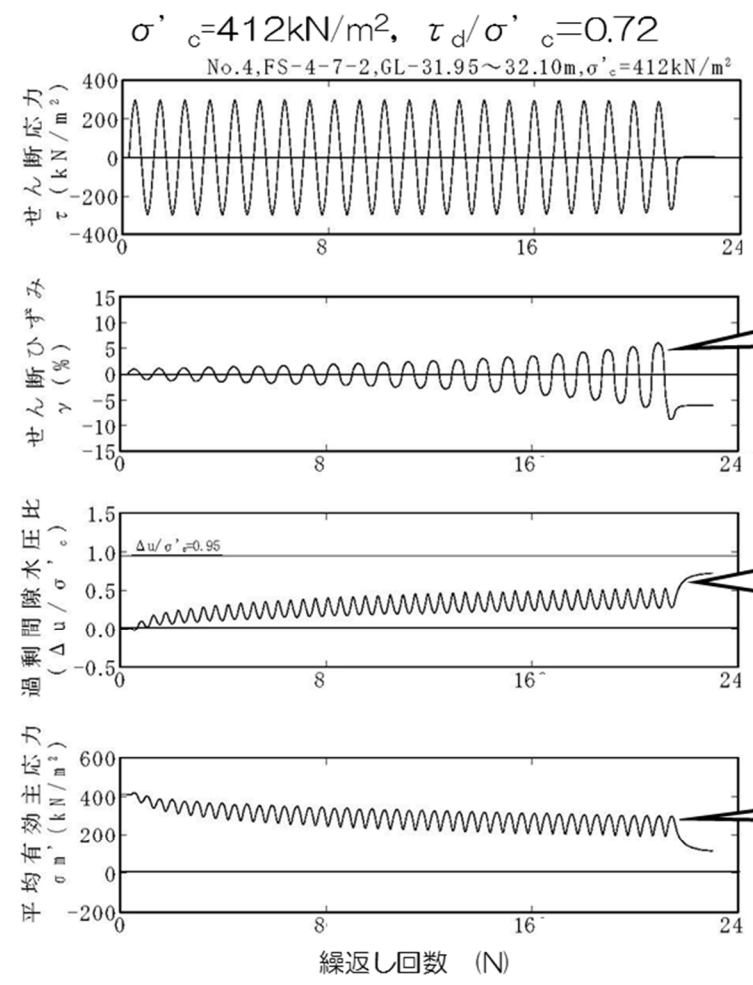
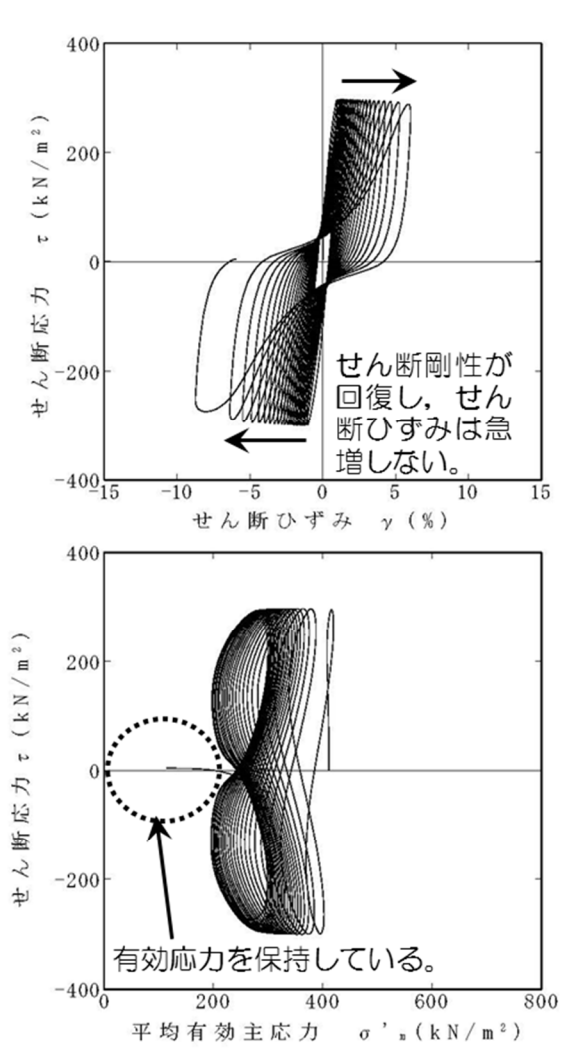
有効応力を保持している。

第 11-4-14 図 液状化試験結果の例 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)

第 11-4-8 表 液状化試験結果 (O-1 地点の洪積砂質土層Ⅱ)

試料番号		#6-2-1				#6-2-2				#6-2-3				
深度 G.L.- (m)		<u>31.65~34.75</u>				32.10~32.95				32.95~33.55				
土質材料		洪積砂質土層Ⅱ				洪積砂質土層Ⅱ				洪積砂質土層Ⅱ				
供試体 No.		1	2	3	<u>4</u>	1	2	3	4	1	2	3	4	
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		<u>2.664</u>				2.646				2.672				
圧密圧力 σ_c' (kN/m ²)		<u>412</u>				412				412				
せん断応力比 τ_d/σ_c'		0.59	0.52	0.79	<u>0.72</u>	0.51	0.58	0.69	0.64	0.57	0.53	0.70	0.65	
繰返回数	せん断ひずみ 面振幅	$\gamma_{DA}=1.5\%$	1.5	6.5	0.3	<u>0.7</u>	5.5	0.8	0.6	1	1	2	0.7	0.9
		$\gamma_{DA}=2.0\%$	5	11	0.5	<u>1</u>	24	1.5	0.9	5.5	4	6	1	2
		$\gamma_{DA}=3.0\%$	13	19	1	<u>5</u>	61	7	2.5	17	14	15	3.5	5
		$\gamma_{DA}=7.5\%$	36	38	2	<u>17</u>	111	25	8.5	38	37	34	9.5	16
		$\gamma_{DA}=15\%$	-	-	-	-	116	30	-	-	43	43	11	-
	過剰間隙水圧比 95% N_{L95}		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

■ : 最大過剰間隙水圧比が1.0に近づく (0.95を越えるもの)
 下線 : 次ページに例示する試験結果







せん断ひずみが緩やかに上昇する。

過剰間隙水圧比 ($\Delta u / \sigma'_c$) が上昇と下降を繰返し、0.95に達しない。

有効応力を保持している。

第 11-4-15 図 液状化試験結果の例 (O-1 地点の洪積砂質土層 II)

A-1 (埋戻土層)	A-3 (新期砂層・沖積層)	A-1 (洪積砂層 I)	A-1 (洪積砂層 II)
			
供試体側面にしわが確認される。	供試体側面にしわが確認される。	供試体側面にしわが確認される。	供試体側面に大きな変状は認められない。
A-2 (洪積砂層 I)	A-2 (洪積砂層 II)	O-1 (洪積砂質土層 I)	O-1 (洪積砂質土層 II)
			
供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。	供試体側面にせん断破壊による変状が認められる。	供試体側面に大きな変状は認められない。	供試体側面に大きな変状は認められない。

第 11-4-16 図 液状化試験後の供試体状況

第 11-4-9 表 液状化試験結果のまとめ

	A-1 埋戻 土層	A-3 新期砂層 ・沖積層	A-1 洪積砂層Ⅰ	A-1 洪積砂層Ⅱ	A-2 洪積砂層Ⅰ	A-2 洪積砂層Ⅱ	O-1 洪積砂質土 層Ⅰ	O-2 洪積砂質土 層Ⅱ
形成時期	-							
		沖積層	洪積層					
N値おおむね50以上	×	○	○	×	×	○	○	○
平均相対密度80%以上	×	○	○	○	○	○	○	○
液状化試験試料 採取深度 (GL m)	-3.5~ -5.5	-13.0~ -15.4	-8.0~ -11.0	-13.0~ -21.0	-13.2~ -14.1	-20.2~ -26.2	-26.9~ -28.2	-31.7~ -34.8
過剰間隙水圧比が 0.95※を上回らない。	×	×	×	×	○	○	○	○
過剰間隙水圧比が回復 する。	×	○	○	○	○	○	○	○
せん断破壊発生の有無	×	×	×	×	○	○	○	○
現象の整理	液状化	サイクリック モビリティ	サイクリックモ ビリティ	サイクリックモ ビリティ	非液状化	非液状化	非液状化	非液状化

※JGS 0541-2000において過剰間隙水圧比0.95を液状化の目安としていることによる。

第 11-4-10 表 液状化試験結果の分類

対象層	A-1 (埋戻土層)	A-1 (洪積砂層Ⅰ) A-1 (洪積砂層Ⅱ) A-3 (新期砂層・沖積層)	A-2 (洪積砂層Ⅰ) A-2 (洪積砂層Ⅱ) O-1 (洪積砂質土層Ⅰ) O-1 (洪積砂質土層Ⅱ)
液状化試験の状況	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が1.0に近づく(0.95を上回る)。 有効応力がゼロになる。 ひずみが急激に上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が上昇・下降を繰返し、上昇時に1.0に近づく(0.95を上回る)。 有効応力が減少するが、回復する。 ひずみが緩やかに上昇する。 	<ul style="list-style-type: none"> 過剰間隙水圧比が0.95を上回らない。 有効応力を保持している。 ひずみが緩やかに上昇する。
試験結果の分類	試験結果は、液状化である。	<ul style="list-style-type: none"> 試験結果は、サイクリックモビリティである。 有効応力が回復するため支持力が期待できる。 	試験結果は、非液状化である。
基準地震動Ssに対する液状化判定	基準地震動Ssに対する液状化判定(F _L 法)を実施	基準地震動Ssに対する液状化試験の妥当性確認	

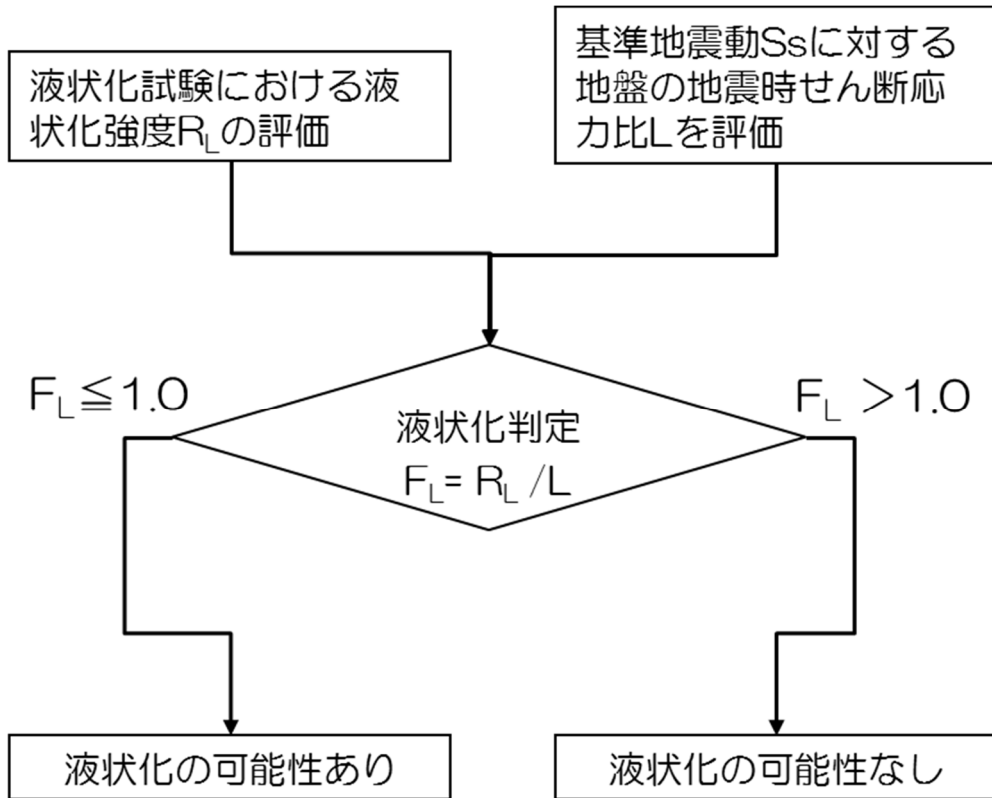
5. 基準地震動 S_s に対する液状化判定 (FL 法)

A-1 地点の埋戻土層については液状化試験結果が液状化を示していることから道路橋示方書の液状化判定 (FL 法) を実施し、基準地震動 S_s 作用時の液状化の有無を判定する。第 11-5-1 図に FL 法による液状化判定のフローを示す。

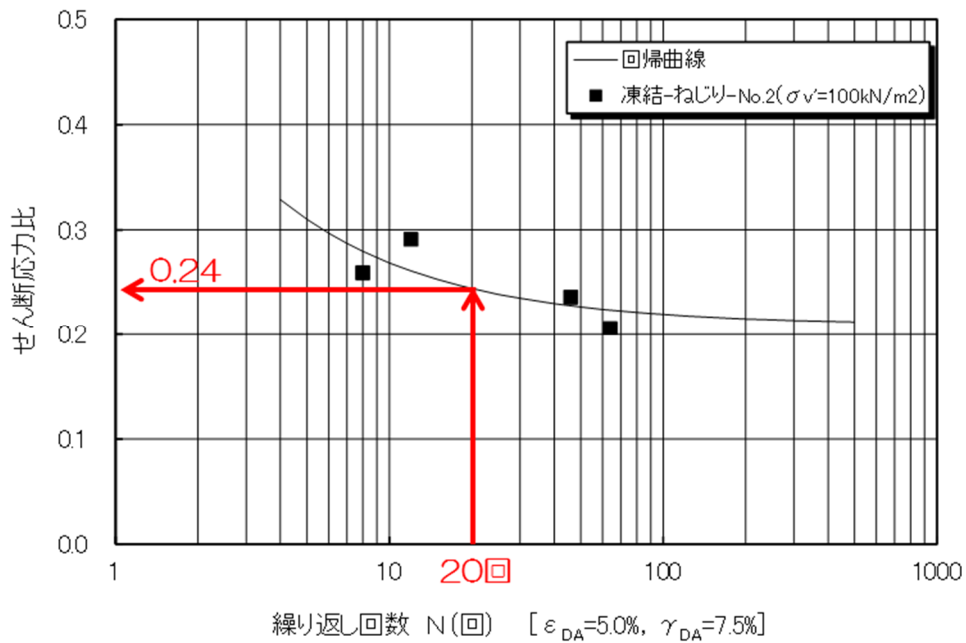
液状化判定 (FL 法) に用いる A-1 地点の埋戻土層の液状化強度 R_L は、前述の液状化試験結果に基づいて設定する。第 11-5-2 図に液状化試験結果に基づく液状化強度 R_L を示す。

基準地震動 S_s が作用した際の A-1 地点の埋戻土層に発生するせん断応力比を一次元逐次非線形解析より求める。第 11-5-3 図に解析用物性値及び解析モデルを、第 11-5-4 図に地震応答解析結果を示す。

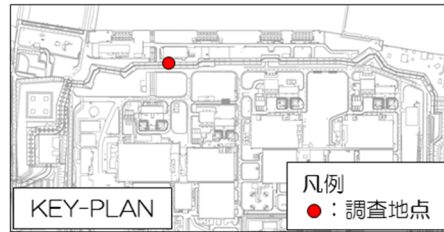
地震応答解析結果における最大せん断応力と液状化試験から求まる液状化強度 R_L を比較し、第 11-5-1 表に示す。液状化判定 (FL 法) の結果、A-1 地点の埋戻土層は、全ての基準地震動 S_s に対して液状化する可能性があるとして判断される。



第 11-5-1 図 FL法による液状化判定のフロー



第 11-5-2 図 液状化試験結果に基づく液状化強度 R_L (埋戻土層)

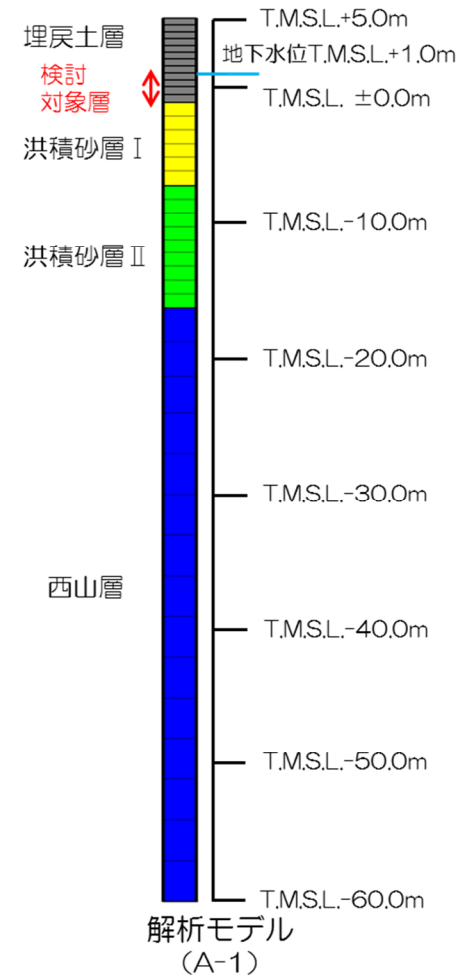


地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v'{}^{0.667}$	ひずみ依存性を 考慮
古 安 田 層	洪積砂層Ⅰ	19.1	0.47	1.53×10^5	
	洪積砂層Ⅱ	18.6	0.48	1.49×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-62.0m	16.9	0.43	5.02×10^5	
	~T.M.S.L.-77.0m	16.9	0.43	5.99×10^5	
	~T.M.S.L.-103.0m	16.9	0.43	6.62×10^5	
	~T.M.S.L.-128.0m	16.9	0.43	7.28×10^5	
	~T.M.S.L.-192.0m	16.9	0.43	7.73×10^5	
~T.M.S.L.-284.0m	16.9	0.43	8.20×10^5		
解放基盤		16.9	0.43	9.17×10^5	—

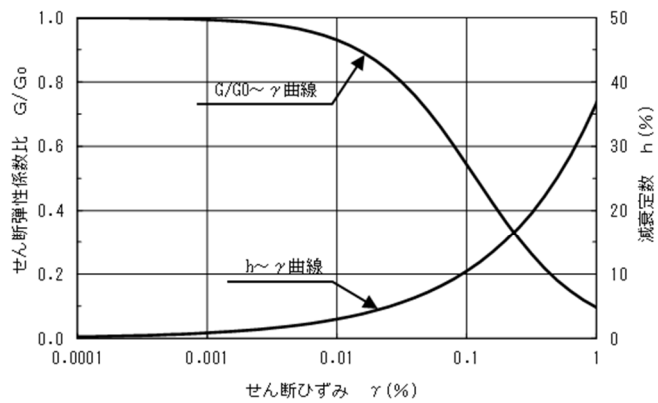
* 1 : 地下水位以深の物性値

(既工認物性)

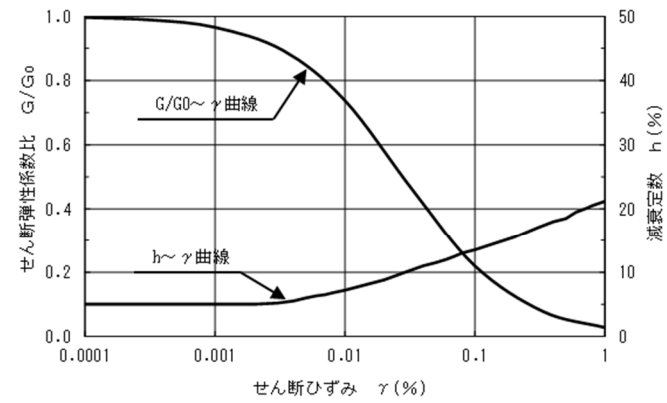


(a) 基本物性

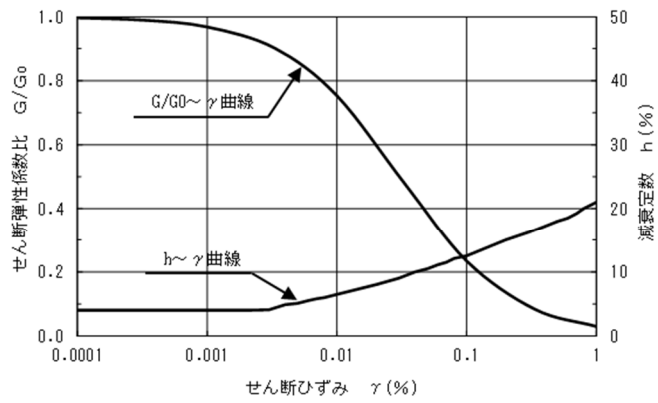
第 11-5-3 図 解析用物性値及び解析モデル (A-1 地点)



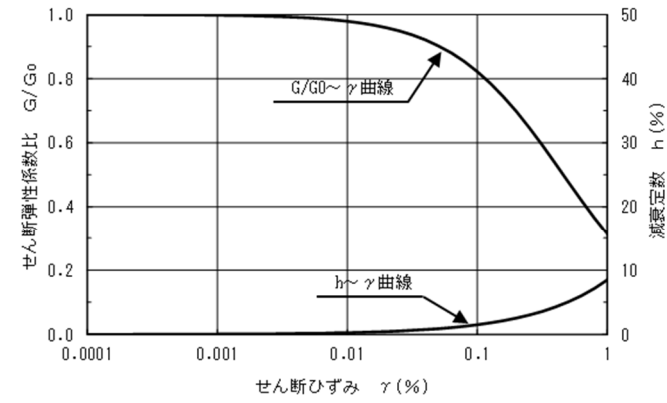
埋戻土層



洪積砂層 I



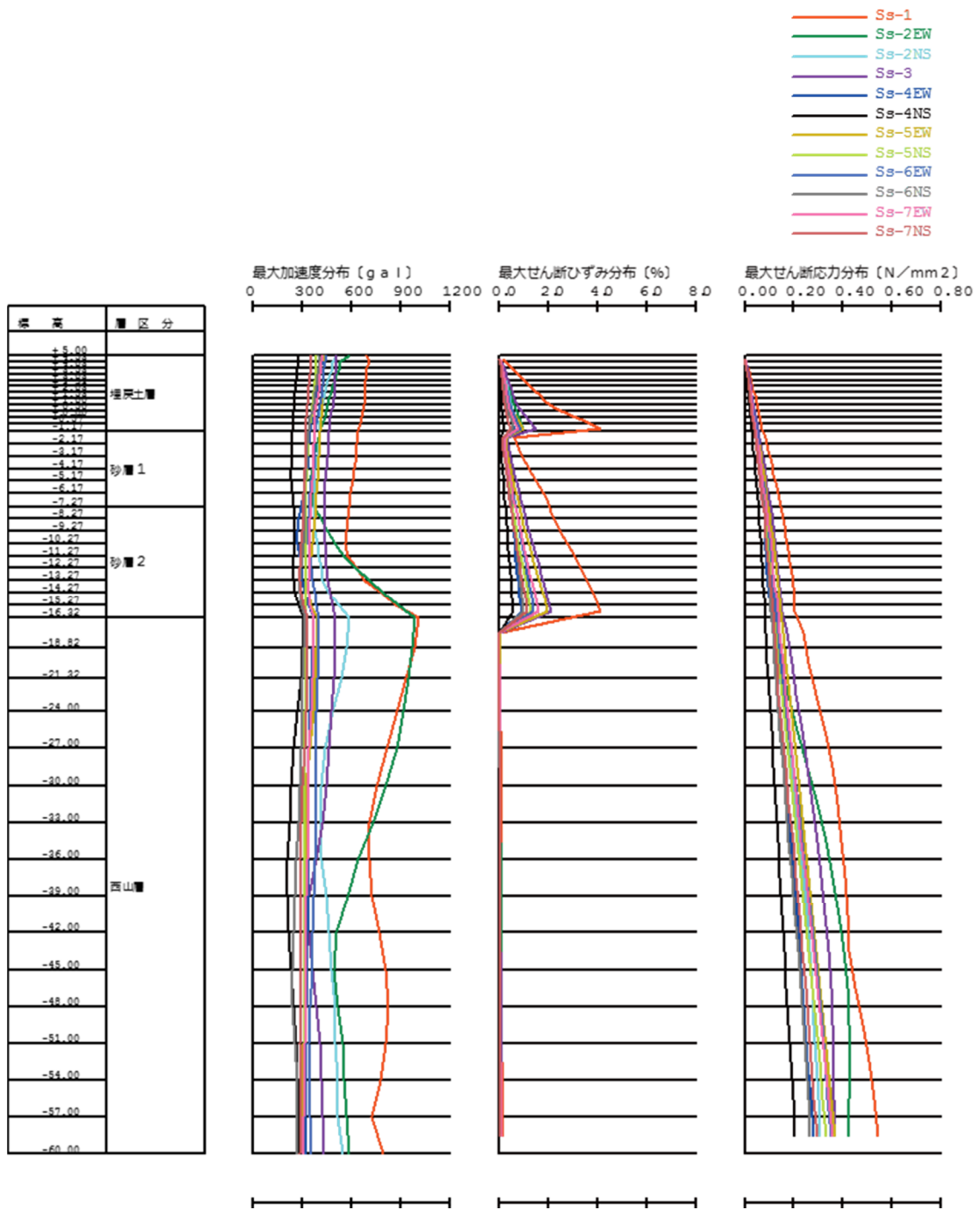
洪積砂層 II



西山層

(b) せん断剛性及び減衰のひずみ依存性

第 11-5-3 図 解析用物性値及び解析モデル (A-1 地点)



第 11-5-4 図 地震応答解析結果 (A-1 地点)

第 11-5-1 表 埋戻土層の液状化判定 (FL法) 結果

基準 地震動 Ss	最大せん断応力比 L	液状化強度 R _L	F _L 値 =R _L /L	評価
Ss1	0.76	0.24	0.32	液状化
Ss2EW	0.51		0.47	液状化
Ss2NS	0.47		0.51	液状化
Ss3	0.57		0.42	液状化
Ss4EW	0.44		0.55	液状化
Ss4NS	0.30		0.80	液状化
Ss5EW	0.51		0.47	液状化
Ss5NS	0.44		0.55	液状化
Ss6EW	0.49		0.49	液状化
Ss6NS	0.43		0.56	液状化
Ss7EW	0.47		0.51	液状化
Ss7NS	0.40		0.60	液状化

6. 基準地震動 Ss に対する液状化試験の妥当性確認

新期砂層・沖積層及び古安田層中の砂層については、試験結果が液状化を示さず、道路橋示方書の液状化判定方法が適用できないと考えられる。このため、液状化試験が基準地震動 Ss 相当の地盤の状態（繰返し応力及び繰返し回数）を模擬していることを確認する。第 11-6-1 図に累積損傷度理論に基づく評価のフローを、第 11-6-2 図に累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法を示す。

なお、埋戻土層においては、5 章に示した FL 法の判定結果から、基準地震動 Ss において地盤に発生するせん断応力比よりも小さいせん断応力比で液状化する結果となっている。

評価にあつて、液状化試験個所である A-1 地点、A-2 地点、A-3 地点及び O-1 地点の地盤モデルを用いて、一次元逐次非線形解析を実施した。第 11-5-3 図、第 11-6-3 図及び第 11-6-4 図に各地点の解析用物性値及び解析モデルを示す。また、評価結果を第 11-6-1 表及び第 11-6-5～11 図に示す。

A-1 地点の洪積砂層 I について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。低拘束圧部の基準地震動 Ss-4NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第 11-6-5 図参照）

A-1 地点の洪積砂層 II について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。（第 11-6-6 図参照）

A-2 地点の洪積砂層 I について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。Ss-1、Ss-3 及び Ss-5EW 以外の基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。（第 11-6-7 図参照）

A-2 地点の洪積砂層 II について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。Ss-2NS、Ss-4EW、Ss-4NS、Ss-5NS、Ss-6EW、Ss-6NS 及び Ss-7NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外である

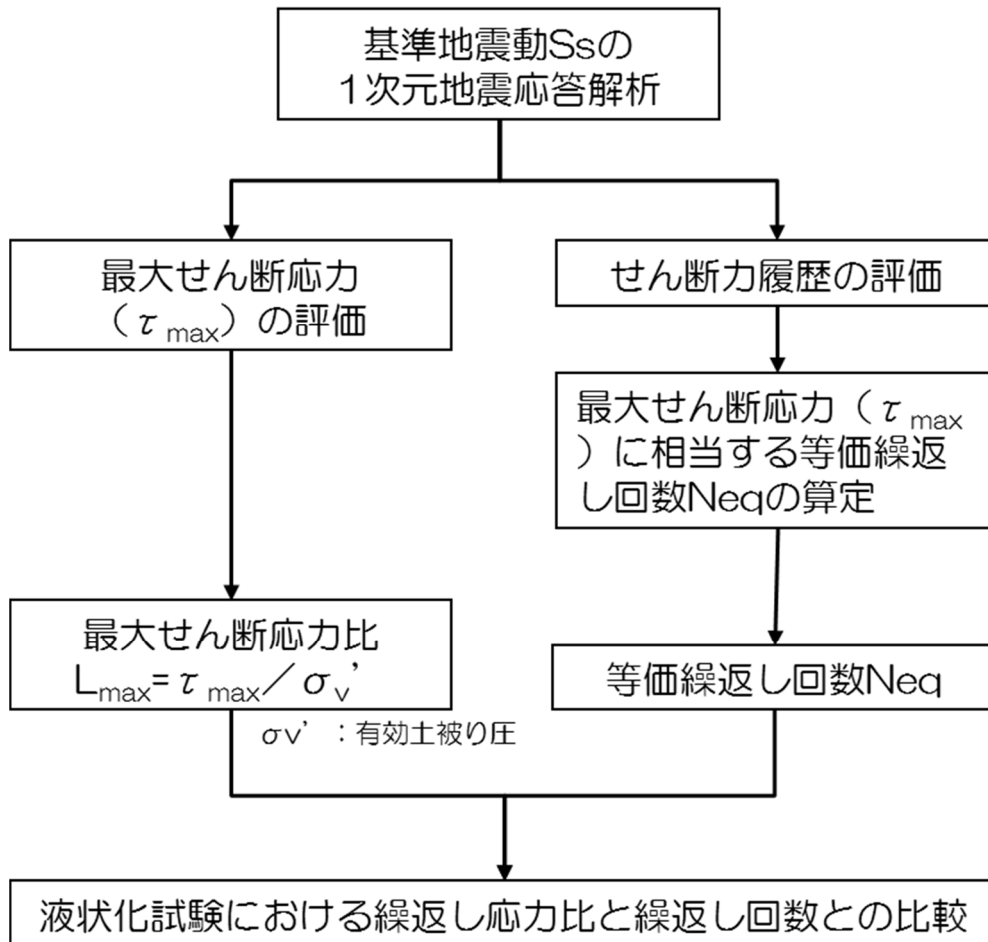
が、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。(第 11-6-8 図参照)

A-3 地点の新期砂層・沖積層について、解析結果による最大せん断応力比と等価繰返し回数は、試験で実施したせん断応力及び繰返し回数と同程度であり、おおむね基準地震動 Ss 相当の試験が実施できていると考える。Ss-4NS で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。(第 11-6-9 図参照)

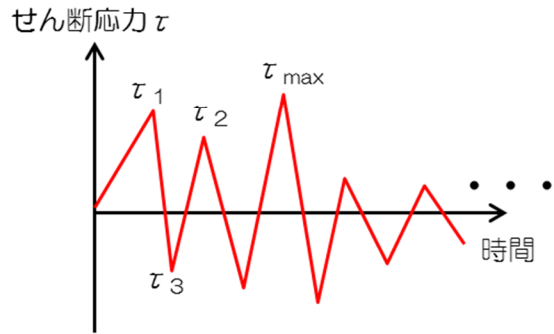
O-1 地点の洪積砂質土層 I について、全ての基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。(第 11-6-10 図参照)

O-1 地点の洪積砂質土層 II について、全ての基準地震動 Ss で地盤に発生するせん断応力比は、試験結果の回帰曲線で設定した下限値（繰返し回数 200 回のせん断応力比）以下となっており、等価繰返し回数の評価対象外であるが、液状化試験はこのせん断応力比を上回るレベルで実施できている。(第 11-6-11 図参照)

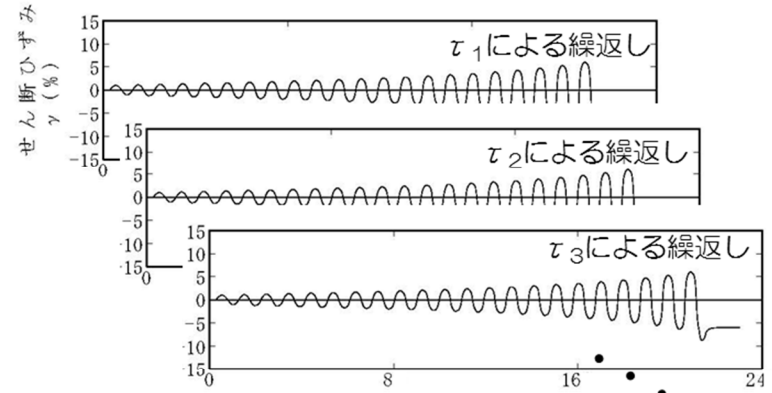
新期砂層・沖積層及び古安田層中の砂層における液状化試験の結果は、基準地震動 Ss 時の最大せん断応力比及び等価繰返し回数と同程度である。よって、今回実施した試験は、当該地盤に基準地震動 Ss 相当が作用した状態をおおむね再現できていると判断される。



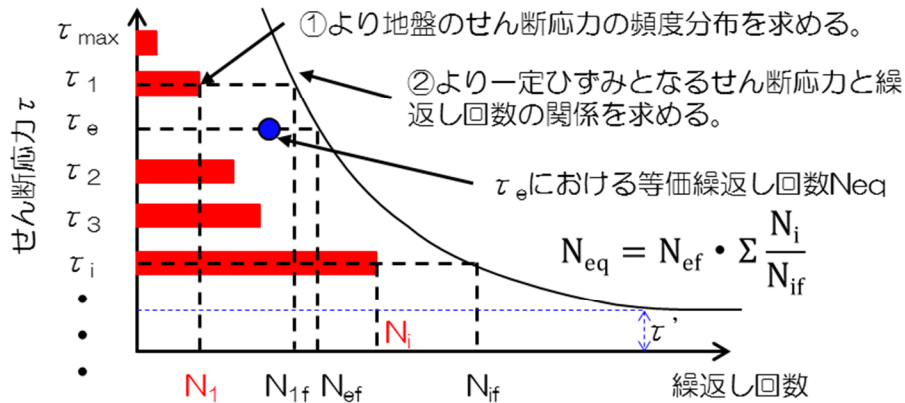
第 11-6-1 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価のフロー



①対象地盤の地震応答解析におけるせん断応力履歴

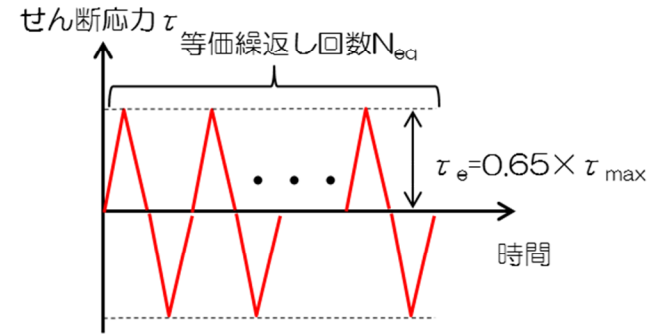


②試験による一定せん断応力振幅時の繰返し回数とせん断ひずみ



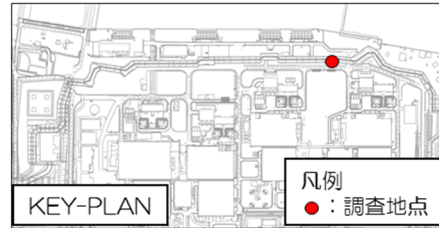
③累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

τ' : あるレベル以下のせん断応力については、累積損傷度に寄与しないため、評価対象外とする。本検討では、液状化試験の最大繰返し回数 200 回に相当するせん断応力を設定した。



④対象地盤の地震応答解析と等価な一定せん断応力比と等価繰返し回数

第 11-6-2 図 累積損傷度理論に基づく等価繰返し回数の評価方法

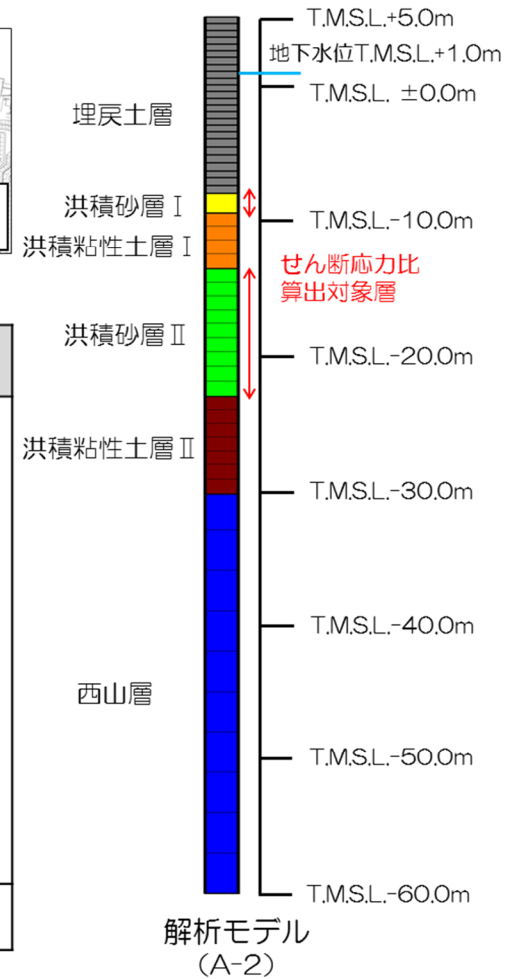


地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v'^{0.667}$	ひずみ依存性を 考慮
古 安 田 層	洪積砂層Ⅰ	18.3	0.47	2.29×10^5	
	洪積粘性土層Ⅰ	17.8	0.48	1.24×10^5	
	洪積砂層Ⅱ	18.5	0.48	2.06×10^5	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.8	0.48	1.74×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-66.0m	15.6	0.46	3.23×10^5	
	~T.M.S.L.-103.0m	15.8	0.45	3.86×10^5	
	~T.M.S.L.-150.0m	16.9	0.44	5.39×10^5	
	~T.M.S.L.-248.0m	17.4	0.43	6.81×10^5	
解放基盤		17.8	0.41	9.18×10^5	—

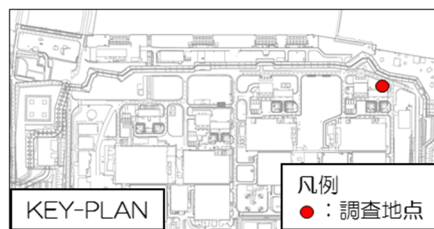
* 1 : 地下水位以深の物性値

(既工認物性)



(a) 基本物性 (A-2 地点)

第 11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル

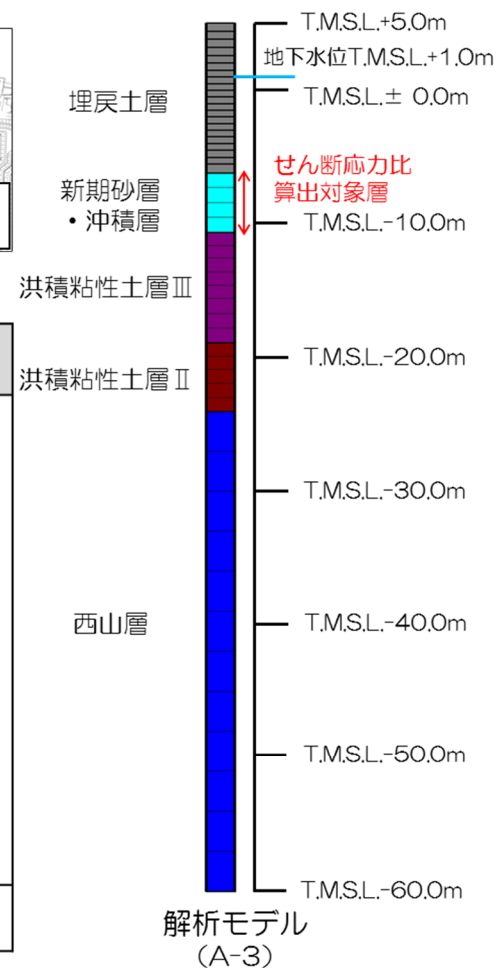


地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.33 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v'{}^{0.667}$	ひずみ依存性を 考慮
新期砂層・沖積層		19.9	0.48	1.82×10^5	
古 安 田 層	洪積粘性土層Ⅲ	17.8	0.49	8.82×10^4	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.8	0.48	1.74×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-66.0m	15.6	0.46	3.23×10^5	
	~T.M.S.L.-103.0m	15.8	0.45	3.86×10^5	
	~T.M.S.L.-150.0m	16.9	0.44	5.39×10^5	
	~T.M.S.L.-248.0m	17.4	0.43	6.81×10^5	
解放基盤		17.8	0.41	9.18×10^5	—

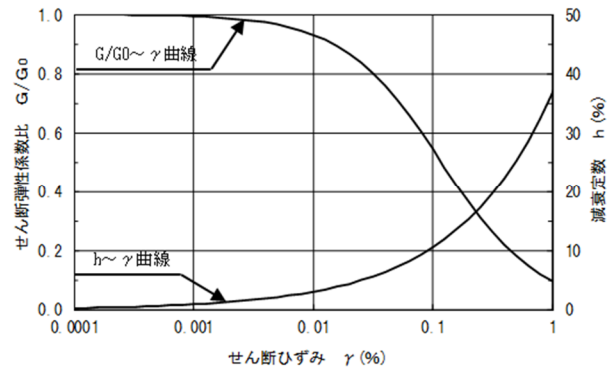
* 1 : 地下水位以深の物性値

(既工認物性)

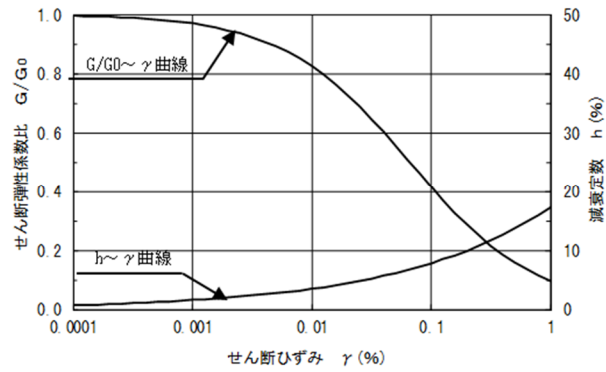


(b) 基本物性 (A-3 地点)

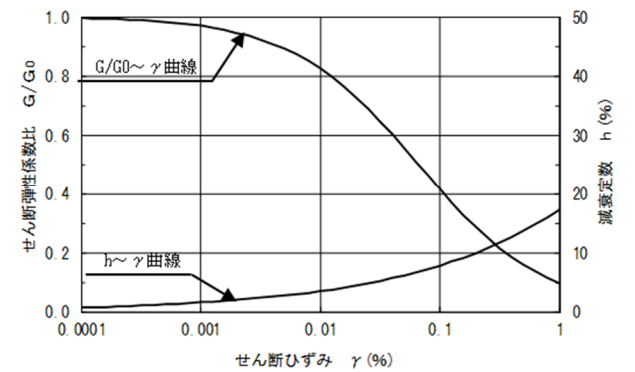
第 11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル



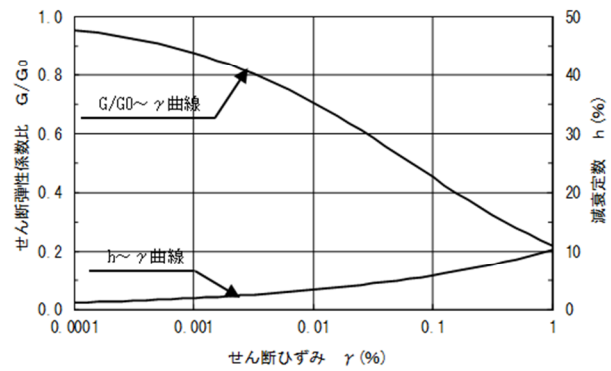
埋戻土層



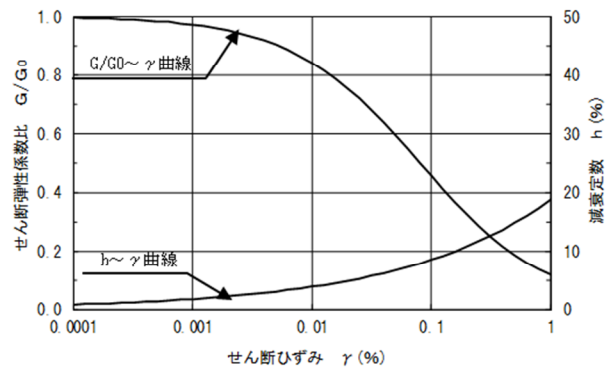
洪積砂層 I, II



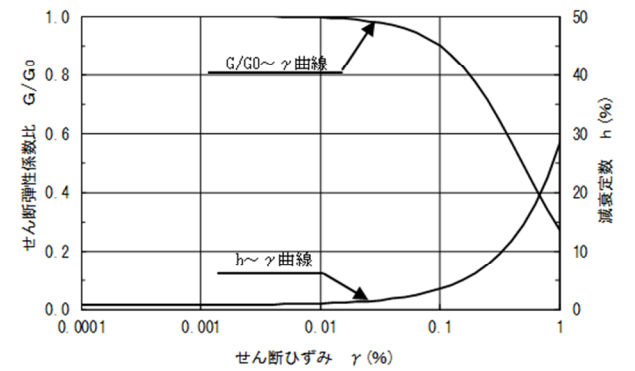
新期砂層・沖積層



洪積粘性土層 I, II



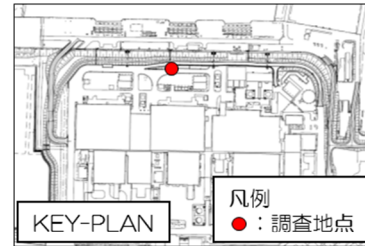
洪積粘性土層 III



西山層

(c) せん断剛性及び減衰のひずみ依存性 (A-2 及び A-3 地点)

第 11-6-3 図 解析用物性値及び解析モデル

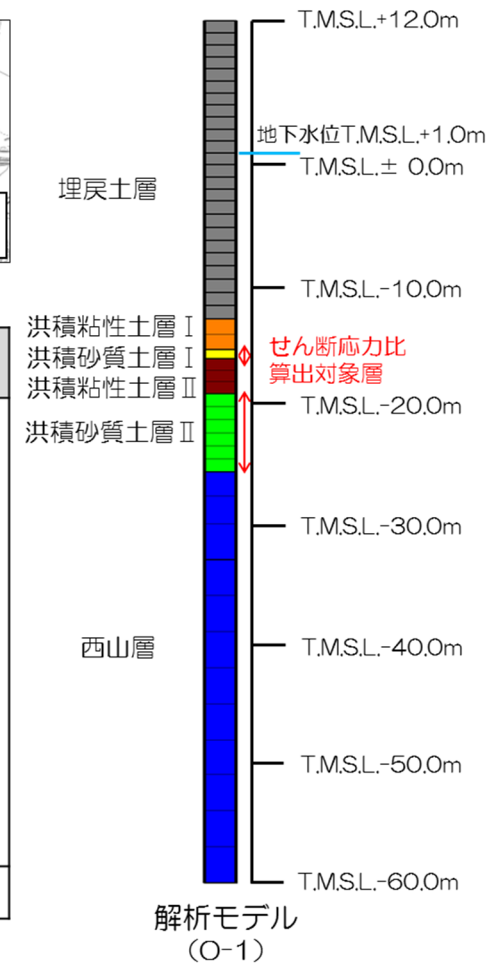


地盤物性値

地層区分		単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	初期せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	せん断弾性係数G 減衰定数h
埋戻土層		18.6 (19.6)*1	0.41 (0.49)*1	$1980 \times \sigma_v'^{0.667}$ *2	ひずみ依存性を 考慮
古 安 田 層	洪積粘性土層Ⅰ	17.8	0.49	9.63×10^4	
	洪積砂質土層Ⅰ	18.6	0.48	1.82×10^5	
	洪積粘性土層Ⅱ	17.7	0.49	1.13×10^5	
	洪積砂質土層Ⅱ	18.6	0.48	2.07×10^5	
西 山 層	西山層上限面 ~ T.M.S.L.-33.0m	17.0	0.45	4.16×10^5	
	~T.M.S.L.-90.0m	16.6	0.45	4.75×10^5	
	~T.M.S.L.-136.0m	17.3	0.43	6.13×10^5	
	~T.M.S.L.-155.0m	19.3	0.42	8.33×10^5	
解放基盤		19.9	0.42	1.05×10^6	-

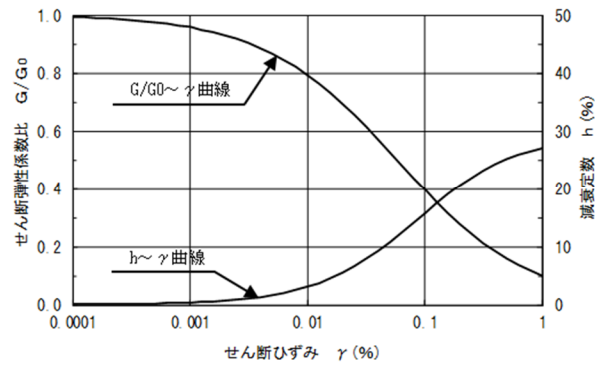
* 1 : 地下水位以深の物性値
* 2 : 下限値 2.75×10^4 kN/m²

(既工認物性)

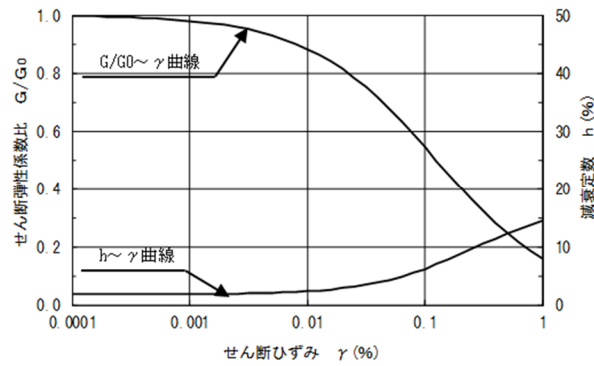


(a) 基本物性 (O-1 地点)

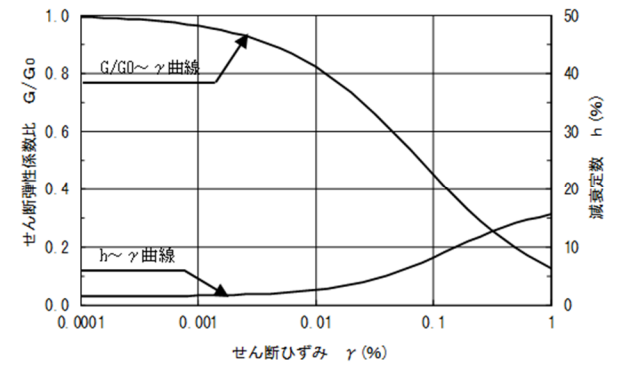
第 11-6-4 図 解析用物性値及び解析モデル



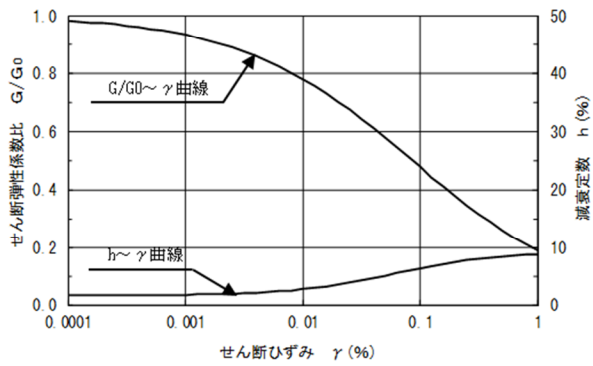
埋戻土層



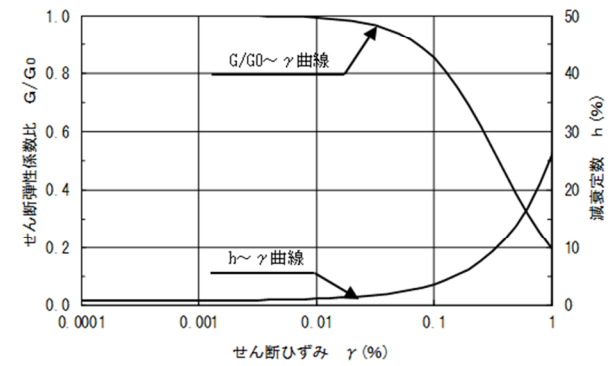
洪積粘性土層 I



洪積砂質土層 I, II



洪積粘性土層 II



西山層

(b) せん断剛性及び減衰のひずみ依存性 (O-1 地点)

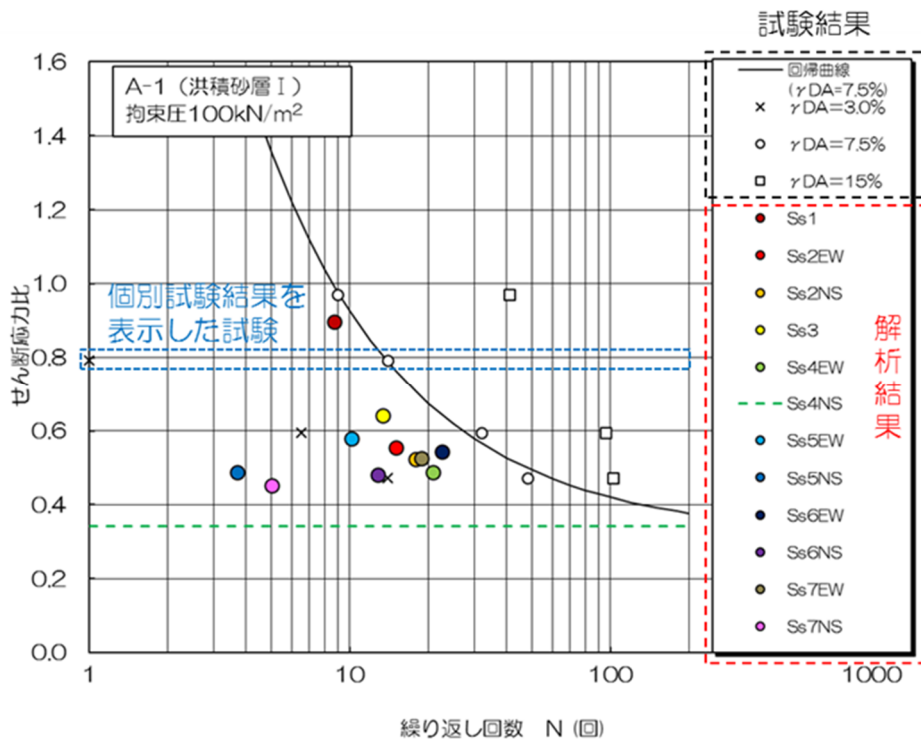
第 11-6-4 図 解析用物性値及び解析モデル

第 11-6-1 表 地震応答解析における最大せん断応力と等価繰返し回数

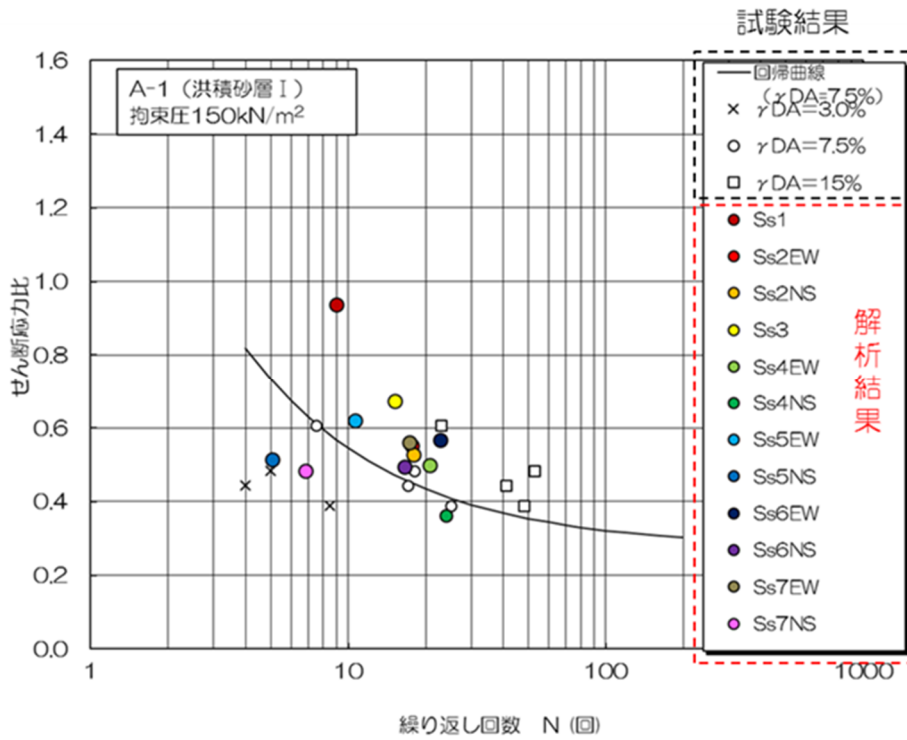
基準地震動Ss	A-1								A-2				A-3		O-1			
	洪積砂層Ⅰ (土被り圧 100kN/m ² 相当)		洪積砂層Ⅰ (土被り圧 150kN/m ² 相当)		洪積砂層Ⅱ (土被り圧 150kN/m ² 相当)		洪積砂層Ⅱ (土被り圧 200kN/m ² 相当)		洪積砂層Ⅰ		洪積砂層Ⅱ		新期砂層・沖積層		洪積砂質土層Ⅰ		洪積砂質土層Ⅱ	
	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}	L _{max}	N _{eq}
Ss1	0.90	8.7	0.94	9.0	0.96	7.4	0.95	7.2	0.88	6.1	0.91	8.2	0.98	6.0	0.43	-※1	0.46	-※1
Ss2EW	0.55	15.0	0.55	17.6	0.52	19.1	0.47	24.2	0.53	-※1	0.64	126.8	0.55	20.4	0.32	-※1	0.34	-※1
Ss2NS	0.52	17.8	0.53	17.9	0.53	19.1	0.51	20.3	0.53	-※1	0.60	-※1	0.56	20.9	0.25	-※1	0.25	-※1
Ss3	0.64	13.3	0.67	15.1	0.68	12.6	0.69	12.5	0.68	22.1	0.72	16.6	0.73	11.2	0.43	-※1	0.44	-※1
Ss4EW	0.49	20.9	0.50	20.7	0.50	22.1	0.47	25.1	0.48	-※1	0.53	-※1	0.48	60.9	0.34	-※1	0.37	-※1
Ss4NS	0.34	-※1	0.36	23.9	0.37	40.9	0.37	31.3	0.39	-※1	0.42	-※1	0.40	-※1	0.22	-※1	0.23	-※1
Ss5EW	0.58	10.1	0.62	10.6	0.64	9.2	0.65	8.6	0.64	53.1	0.70	13.5	0.68	8.2	0.44	-※1	0.48	-※1
Ss5NS	0.49	3.7	0.51	5.1	0.53	4.7	0.53	4.9	0.52	-※1	0.61	-※1	0.54	4.4	0.24	-※1	0.25	-※1
Ss6EW	0.54	22.5	0.57	22.7	0.57	20.4	0.57	20.3	0.57	-※1	0.62	-※1	0.59	22.6	0.40	-※1	0.44	-※1
Ss6NS	0.48	12.8	0.50	16.5	0.50	14.8	0.49	14.7	0.52	-※1	0.57	-※1	0.53	10.8	0.27	-※1	0.27	-※1
Ss7EW	0.53	18.8	0.56	17.3	0.58	15.3	0.59	14.2	0.58	-※1	0.67	38.7	0.62	15.1	0.48	-※1	0.51	-※1
Ss7NS	0.45	5.0	0.48	6.8	0.50	5.3	0.50	5.5	0.51	-※1	0.56	-※1	0.52	7.1	0.29	-※1	0.31	-※1
Ss8															0.33	-※1	0.35	-※1

最大せん断応力比： $L_{max} = \tau_{max} / \sigma_v'$ ， τ_{max} ：最大せん断応力， σ_v' ：有効土被り圧， N_{eq} ：等価繰返し回数

- ※1 解析から得られる最大せん断応力比 (L_{max}) が、試験結果から設定した回帰曲線の繰返し回数200回の値よりも小さいものについては、累積損傷度理論にも基づく等価繰返し回数の評価対象外であるため「-」と表記
- ※2 試験は等方等圧試験であり、実地盤と応答解析を比較するため、静止土圧係数 (K_0 ：一般値0.5) により、等価せん断応力を補正して最大せん断応力を等価繰返し回数と対比する。 $\tau_e \times 3 / (1 + 2K_0) = 0.65 \times 3 / 2 \times \tau_{max} \doteq \tau_{max}$ ， τ_e ：等価せん断応力

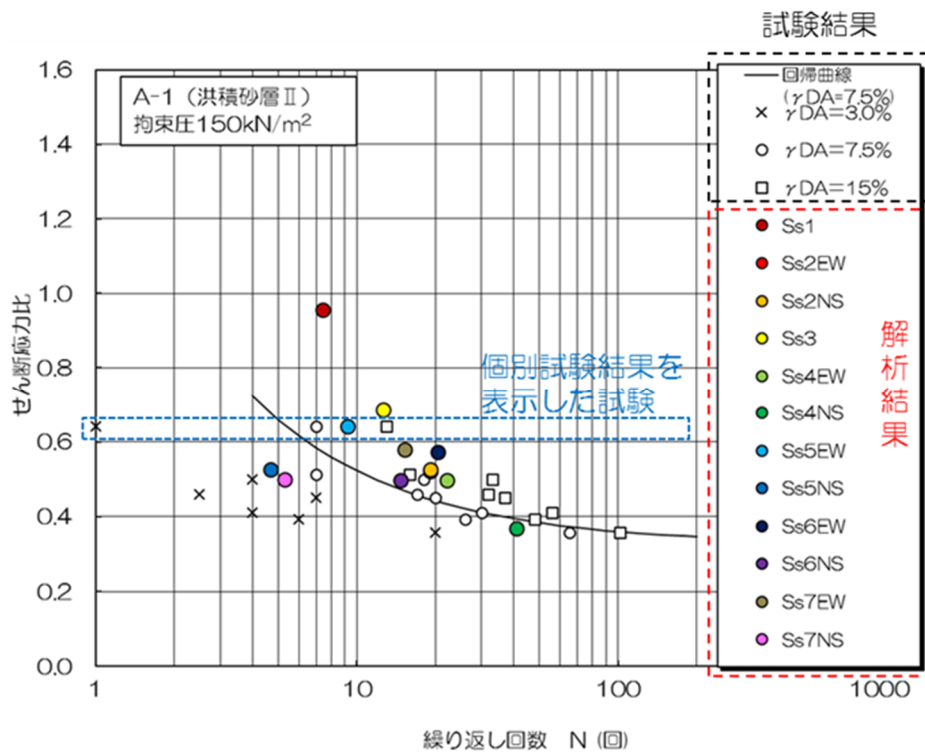


(a) 拘束圧 100kN/m²

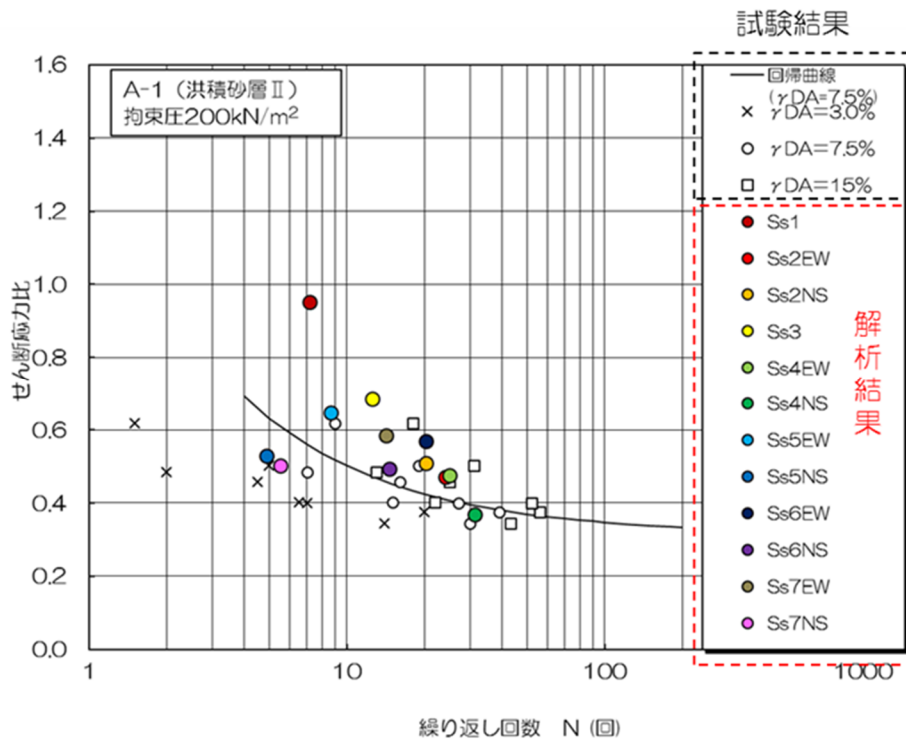


(b) 拘束圧 150kN/m²

第 11-6-5 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-1 地点の洪積砂層 I)

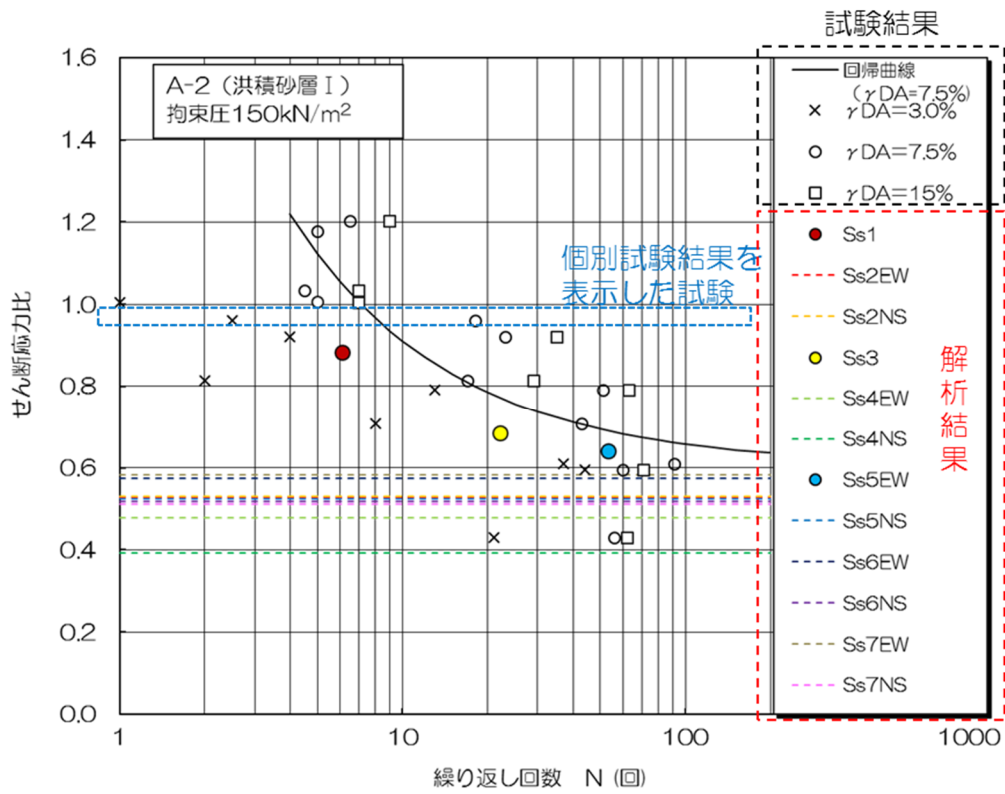


(a) 拘束圧 150kN/m²

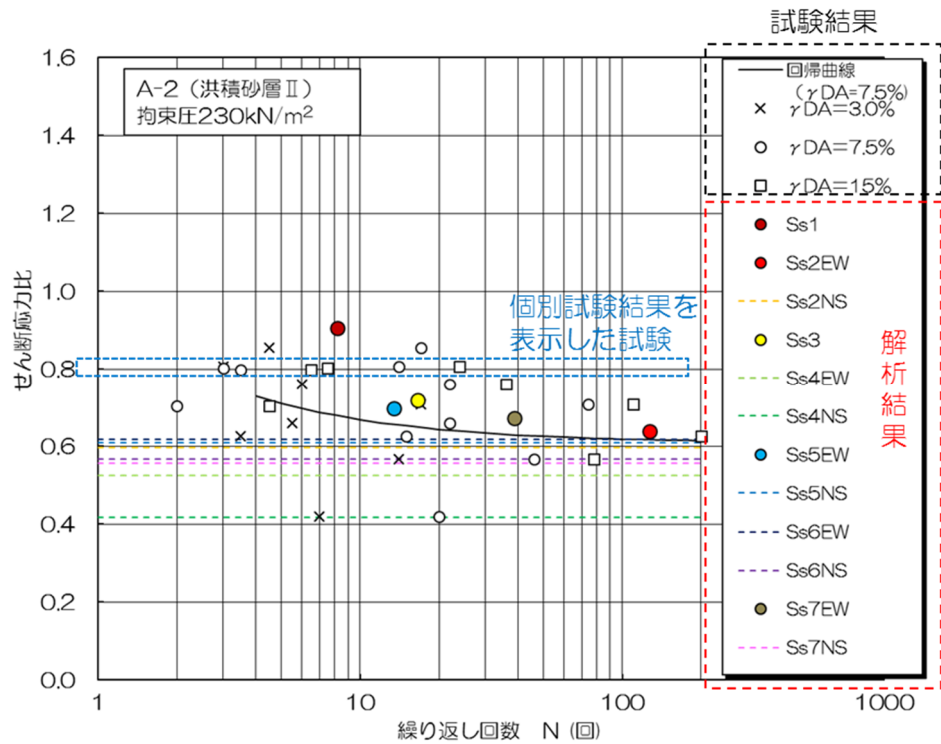


(b) 拘束圧 200kN/m²

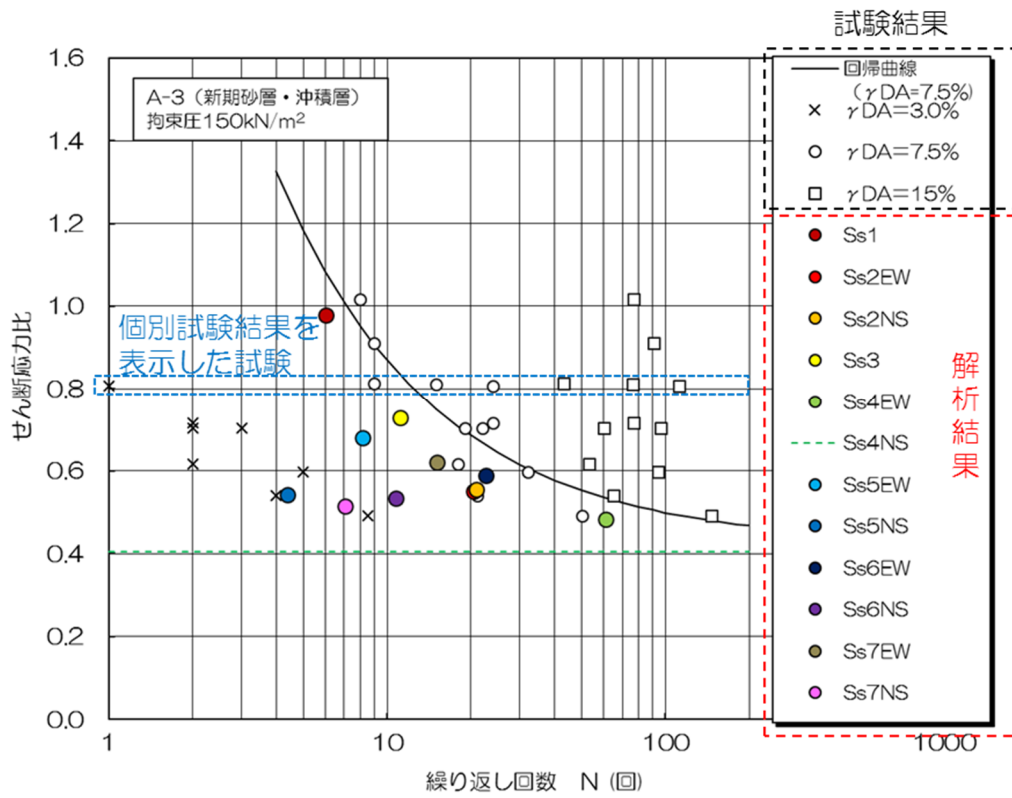
第 11-6-6 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-1 地点の洪積砂層 II)



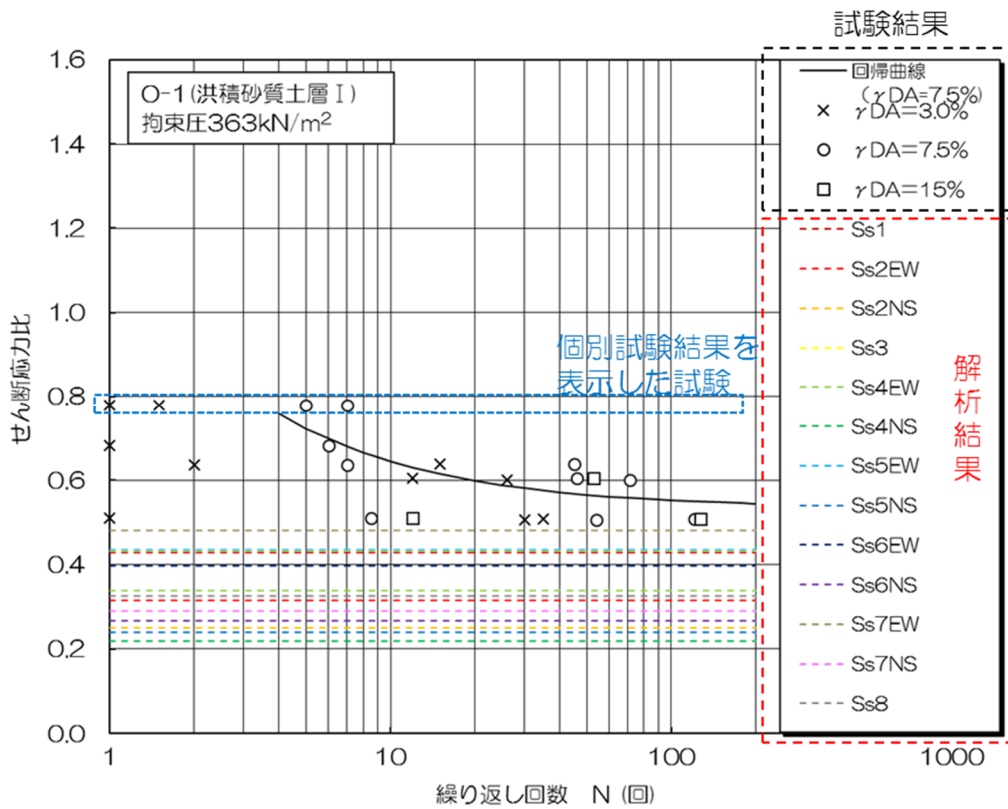
第 11-6-7 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-2 地点の洪積砂層 I)



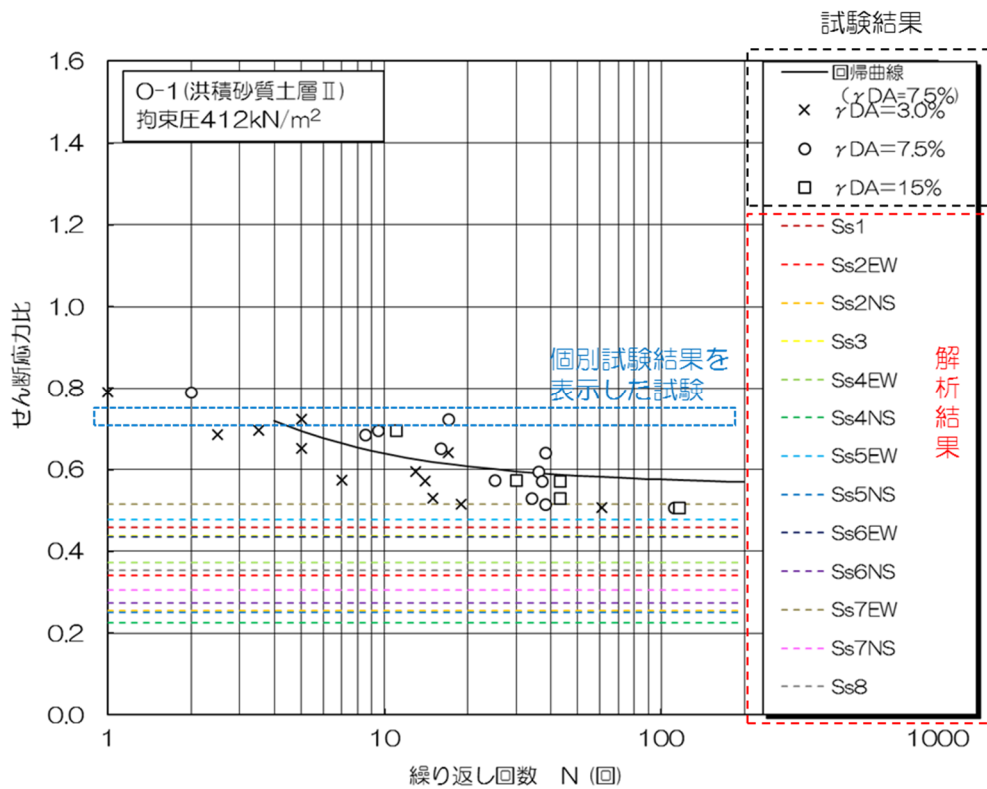
第 11-6-8 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-2 地点の洪積砂層 II)



第 11-6-9 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (A-3 地点の新期砂層・沖積層)



第 11-6-10 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 I)



第 11-6-11 図 累積損傷度理論に基づく評価結果 (O-1 地点の洪積砂質土層 II)

7. 液状化強度特性の設定

第 2 章で示した地層の同一性及び第 3 章で示した液状化試験個所の保守性・代表性の結果に基づいて、各土層で実施した液状化試験結果をそれぞれに適用し、各土層の液状化強度特性を設定して、構造物の影響評価を実施する。第 11-7-1 図に液状化強度特性の設定のフローを、第 11-7-2 図に地質断面の概要と調査位置の概要を、第 11-7-1 表に液状化強度特性を設定する土層と設定の基となる液状化試験個所の関係を示す。

なお、試験結果が非液状化となる土層についても、念のため試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し、保守的な構造物影響評価を実施する。3/4 号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しい砂層（A-2 地点の洪積砂層Ⅰ）については、試験結果が非液状化であるが、地層の同一性を考慮して、A-1 地点の洪積砂層Ⅱの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。古安田層中の砂層のうち比較的古い砂層（A-2 地点の洪積砂層Ⅱ及び O-1 地点の洪積砂質土層Ⅰ・Ⅱ）については、試験結果が非液状化であるが、それぞれの試験で得られたせん断ひずみと繰返し回数に基づいて、液状化強度特性を設定する。

各土層での液状化強度特性は、液状化試験を基本として、各土層で得られた基本物性のばらつきも考慮することで、保守的な設定とする。設定の方法について、第 3 章の液状化試験個所の代表性の結果に基づいて、液状化試験個所が周辺調査個所に対して保守的な個所で実施していると考えられる土層（埋戻土層、新期砂層・沖積層（荒浜側））と、液状化試験個所が周辺調査個所に対する代表性を有していると考えられる土層（古安田層中の砂層）に大別して設定する。

液状化試験個所が周辺調査個所に対して保守的な個所で実施していると考えられる土層（埋戻土層、新期砂層・沖積層（荒浜側））については、液状化試験個所の基本物性が、周辺調査個所の下限相当となっていることから、試験結果を各土層の代表値とすることが保守的と考えられる。ただし、試験結果の下限に相当する液状化強度 R_L を評価して、これを満足する液状化強度特性を設定することで、さらに保守的な設定とする。具体的には、試験結果においてせん断ひずみ両振幅が 7.5% となる点に対して回帰曲線の評価し、この回帰曲線を下方に移動し、試験値の下限を通る曲線と、繰返し回数 20 回との交点を求め、液状化試験の下限值に相当する液状化強度 R_L として評価する。なお、道路橋示方書では、繰返し回数 20 回で軸ひずみ両振幅が 5%（せん断ひずみ両振幅 7.5%）に達するのに要するせん断応力振幅を初期有効拘束圧で除した値を液状化強度 R_L として定義している。第 11-7-3 図に液状化試験結果の下限に相当する液状化強度 R_L の評価結果を示す。

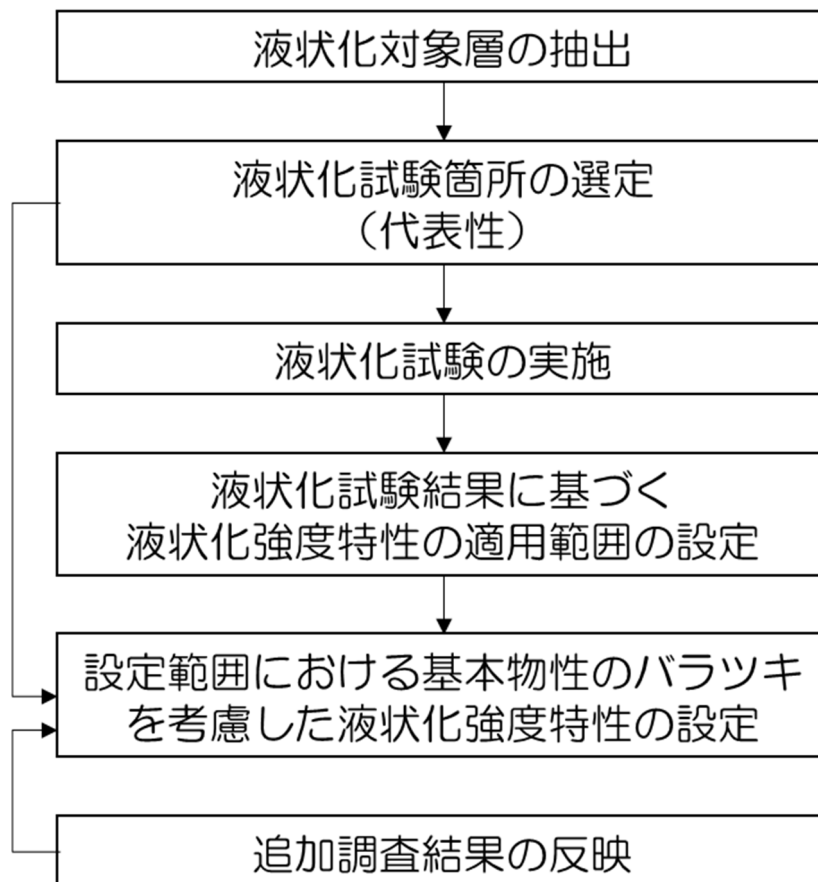
液状化試験の下限值に相当する液状化強度 R_L は、A-1 地点の埋戻土層で 0.19、A-3 地点の新期砂層・沖積層で 0.55 となり、構造物影響評価の解析においては、これを満足するように液状化強度特性を設定する。

液状化試験個所が周辺調査個所に対する代表性を有していると考えられる土層（古安田層中の砂層）については、液状化試験個所の基本物性が、周辺調査個所と同程度になってい

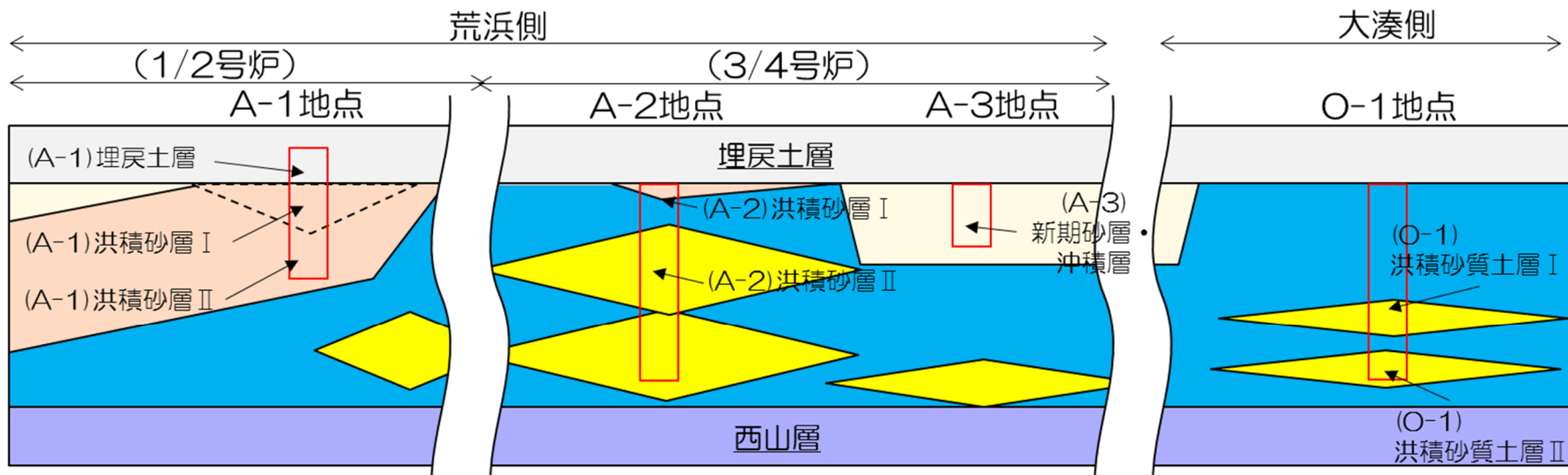
るところから、試験結果を各土層の代表値とすることは妥当であると考えられる。ただし、N 値のばらつきを液状化試験のばらつきと仮定して液状化強度 R_L を保守的に低減させ、これを満足する液状化強度特性を設定する。具体的には、試験結果においてせん断ひずみ両振幅が 7.5%となる点に対して回帰曲線を求め、繰返し回数 20 回とせん断応力比を評価し、当該地層の N 値の平均値に対する平均値-1 σ の値の比を乗して、N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度 R_L として評価する。第 11-7-4 図に N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度 R_L の評価結果を示す。

N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度 R_L は、A-1 地点の洪積砂層 I で 0.53 (拘束圧 100kN/m²) 及び 0.34 (拘束圧 150kN/m²)、A-1 地点の洪積砂層 II で 0.30 (拘束圧 150kN/m²) 及び 0.29 (拘束圧 200kN/m²)、A-2 地点の洪積砂層 II で 0.36、0-1 地点の洪積砂質土層 I で 0.45、0-1 地点の洪積砂質土層 II で 0.45 となり、構造物影響評価の解析においては、これを満足するように液状化強度特性を設定する。

なお、第 3 章で述べるように追加試験を計画しており、追加調査の結果を適切に反映し、設定した液状化強度特性の保守性を確認する。また、必要に応じて液状化強度特性の見直しを実施する。



第 11-7-1 図 液状化強度特性の設定のフロー



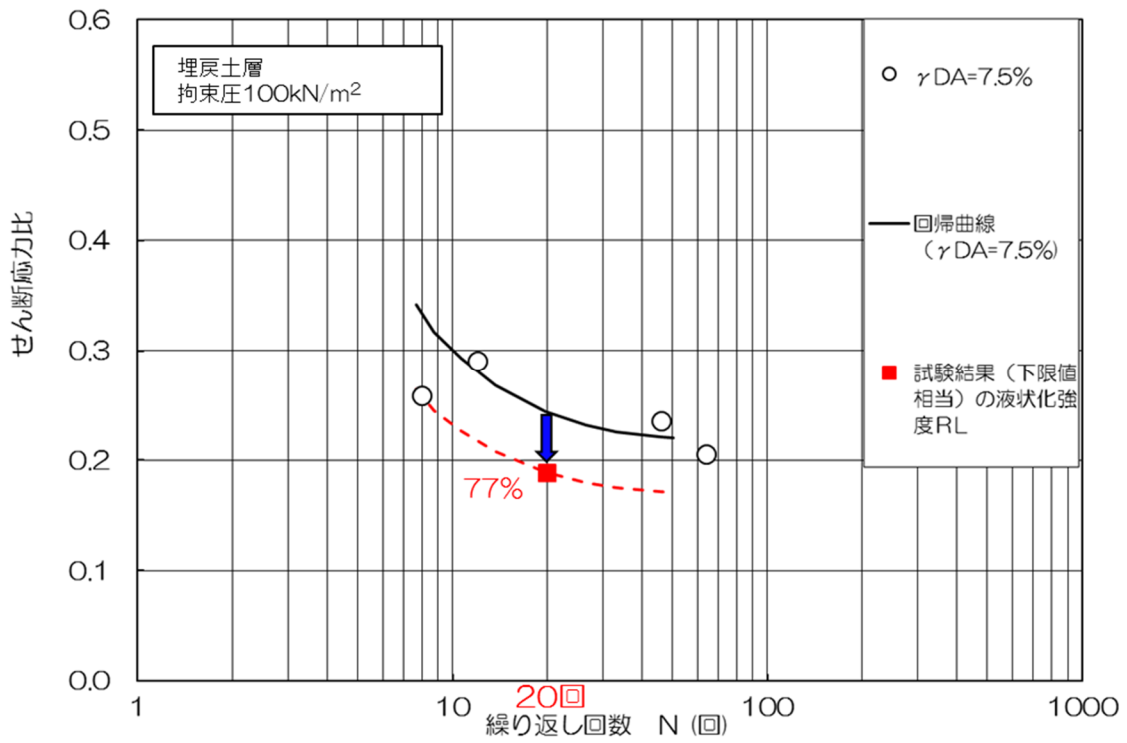
第 11-7-2 図 地質断面の概要と調査位置の概要

第 11-7-1 表 液状化強度特性を設定する土層と設定の基となる液状化試験個所の関係

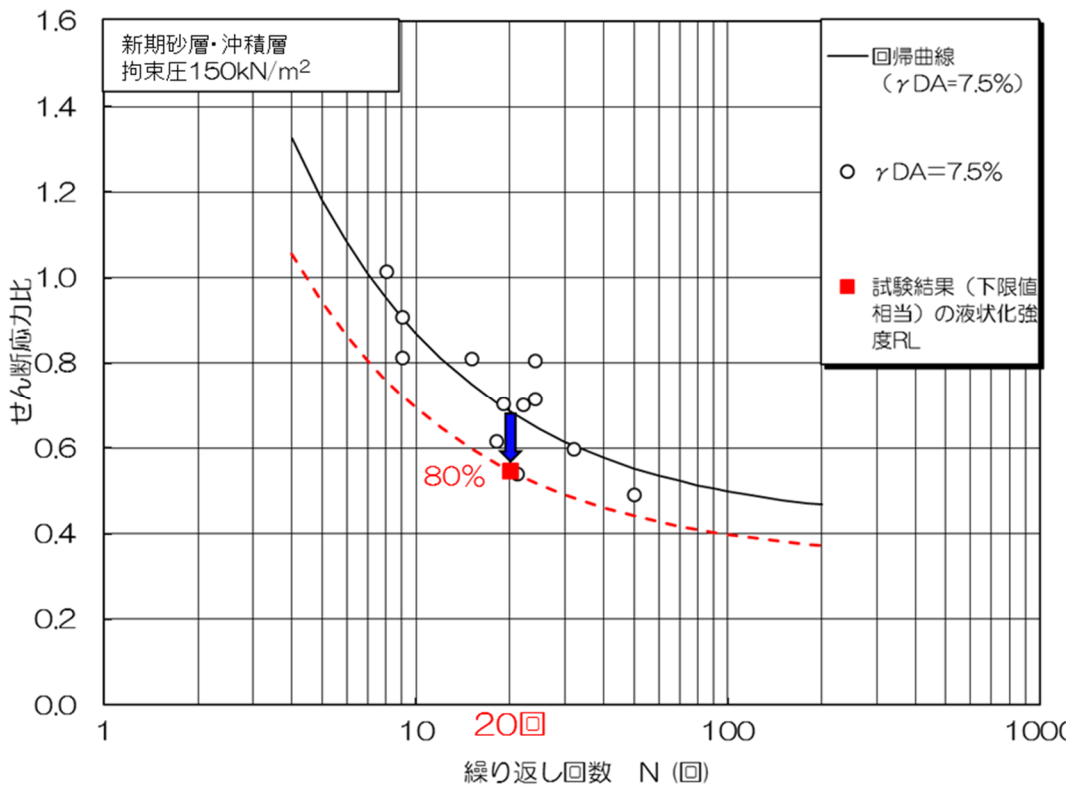
今回対象構造物		(1号炉)	(2号炉側)	(3/4号炉側)	6/7号炉 取水路・軽油タンク基礎・GTG基礎等	
対象土層	埋戻土層	A-1 埋戻土層				
	新期砂層・沖積層	A-3 新期砂層・沖積層		[追加調査] 新期砂層・沖積層		
	古安田層	比較的 新しい 砂層	N値 平均 50 以上	A-1 洪積砂層 I	(出現しない)	
			N値 平均 50 以下	A-1 洪積砂層 II		
		比較的古い砂層	A-2 洪積砂層 II (※2)		0-1 洪積砂質土層 I・II (※2)	
		洪積粘性土層	(非液状化層)			
	西山層	(非液状化層)				

※1：3/4号炉側の古安田層中の砂層のうち比較的新しい砂層については、試験結果が非液状化であるが、地層の同一性を考慮して、A-1地点の洪積砂層IIの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

※2：古安田層中の砂層のうち比較的古い砂層については、試験結果が非液状化であるが、念のため液状化強度特性を設定した構造物影響評価を実施する。液状化強度特性は、荒浜側についてはA-2地点の洪積砂層II、大湊側については0-1地点の洪積砂質土層I・IIの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。

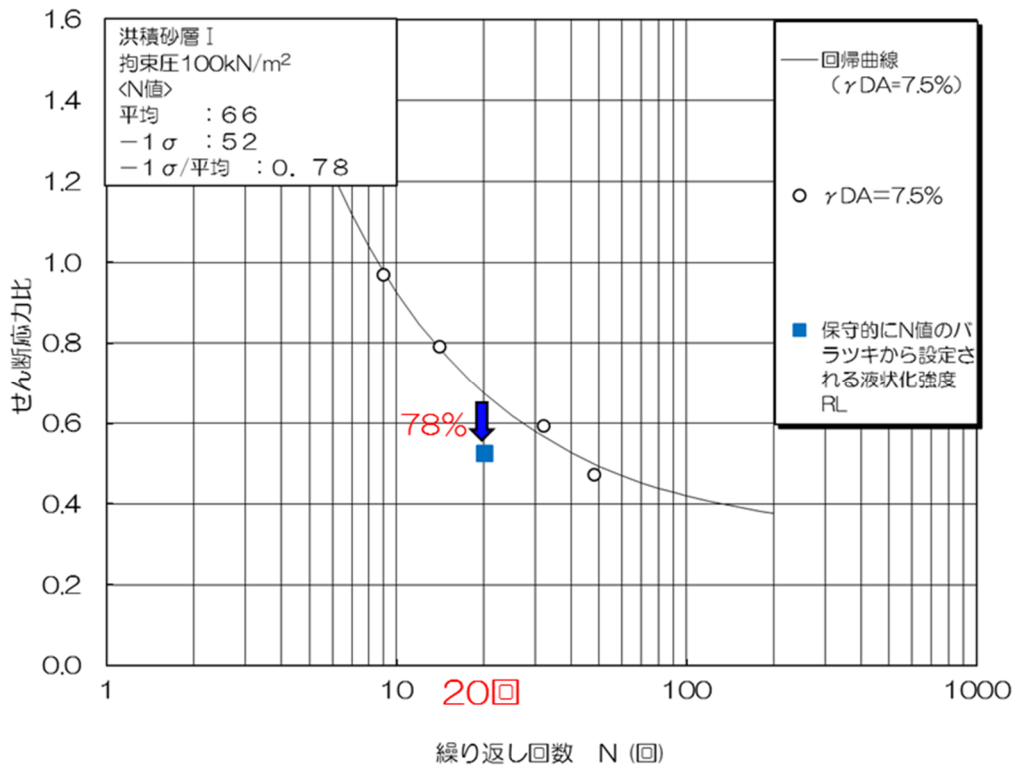


(a) 埋戻土層 (拘束圧 100kN/m²)

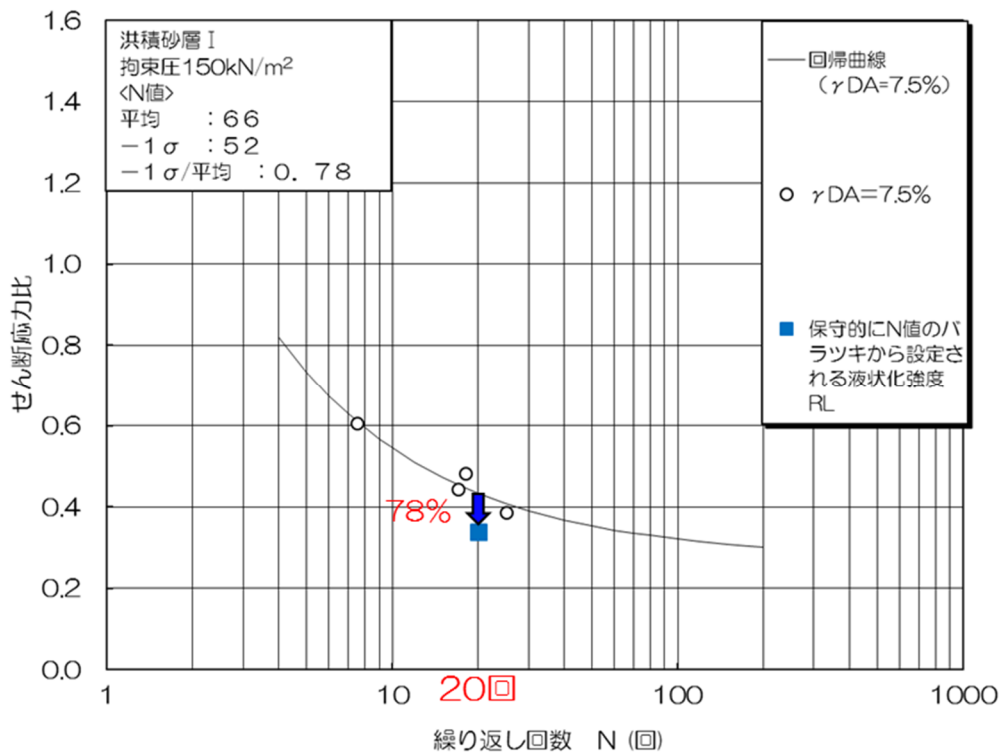


(b) 新期砂層・沖積層 (拘束圧 150kN/m²)

第 11-7-3 図 液状化強度特性の設定
(液状化試験結果の下限に相当する液状化強度 R_L)

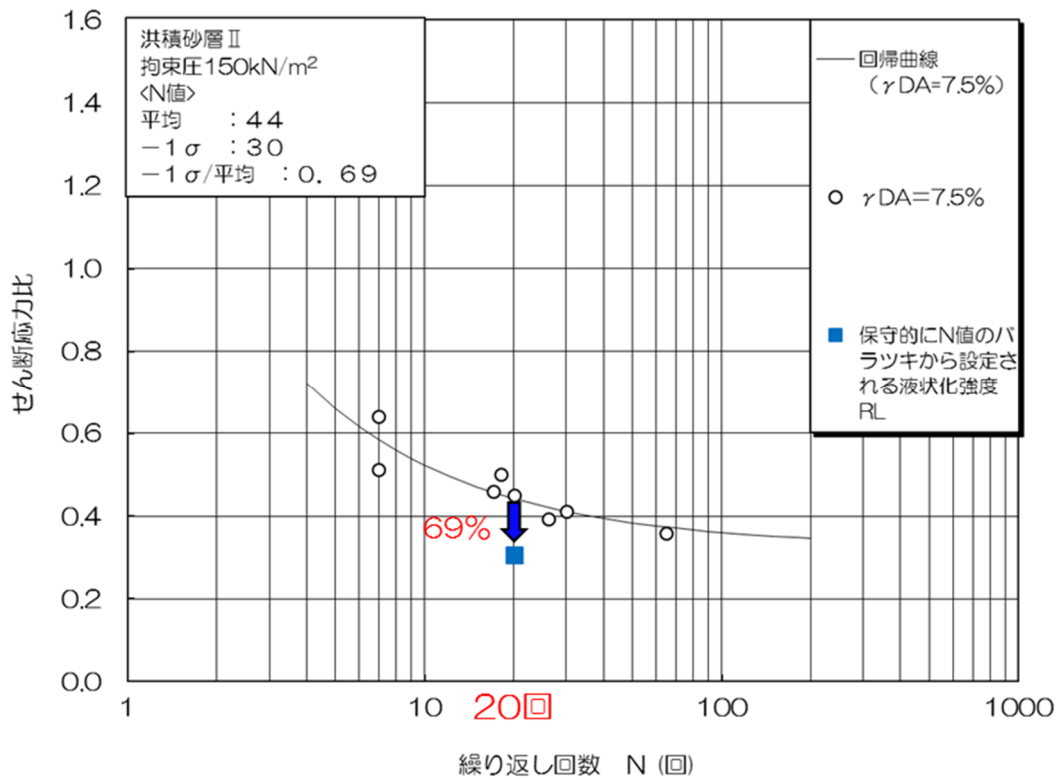


(a) A-1 地点の洪積砂層 I (拘束圧 100kN/m²)

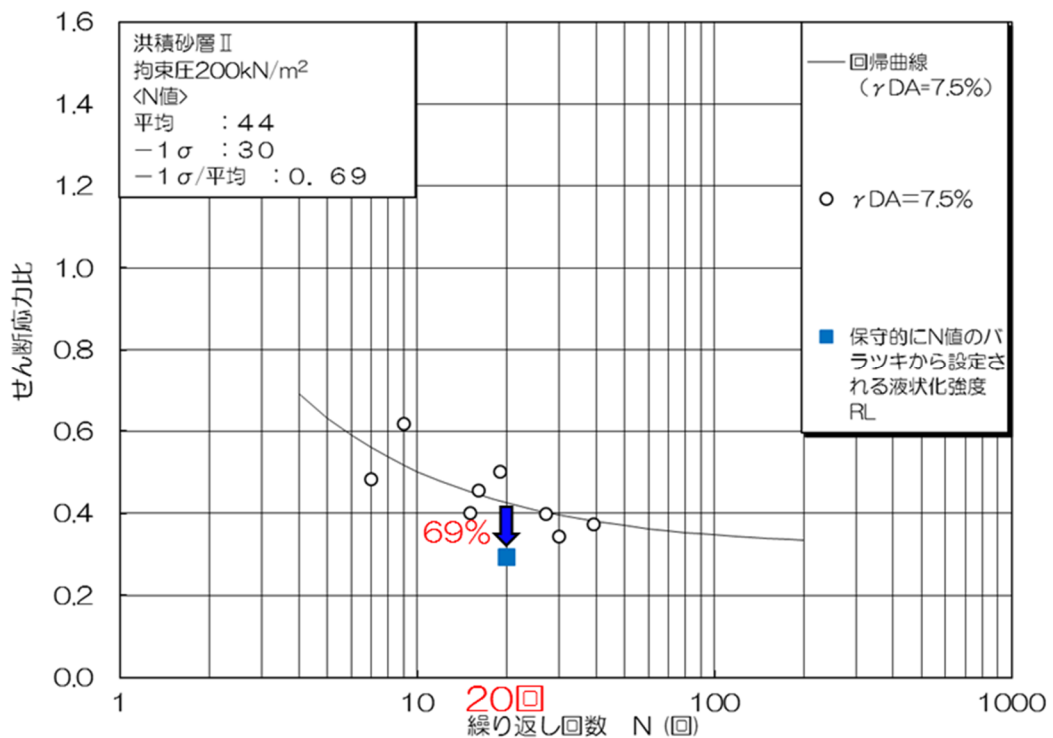


(b) A-1 地点の洪積砂層 I (拘束圧 150kN/m²)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定
(N 値のバラツキに基づいて低減した液状化強度 R_L)

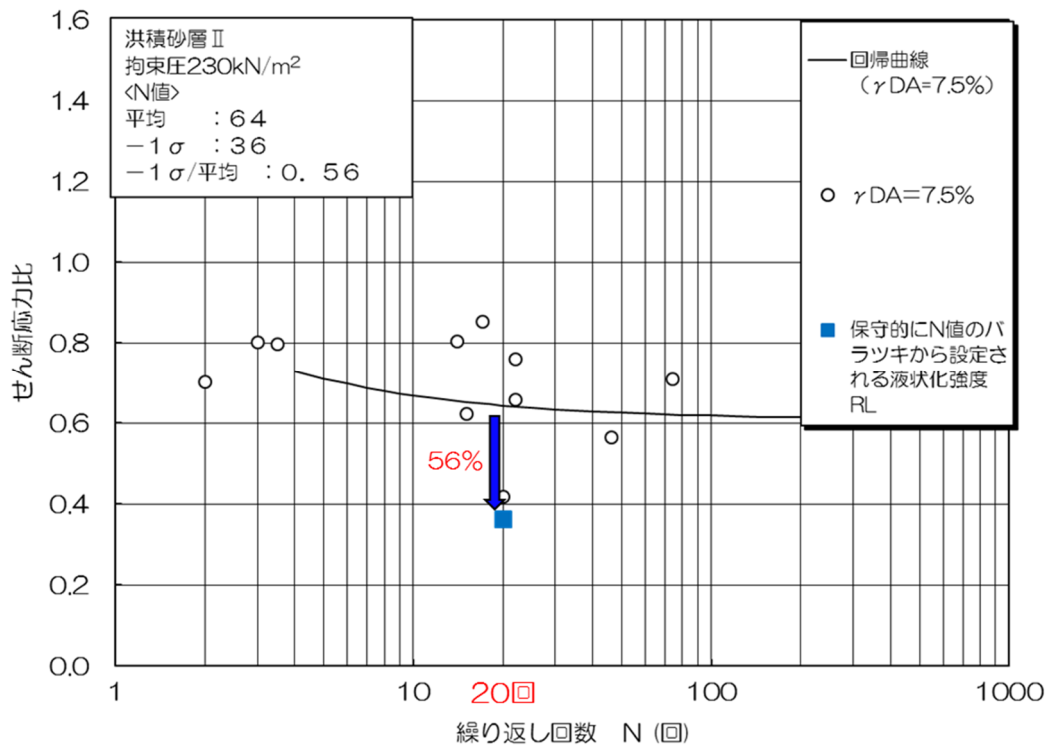


(c) A-1 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 150kN/m²)



(d) A-1 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 200kN/m²)

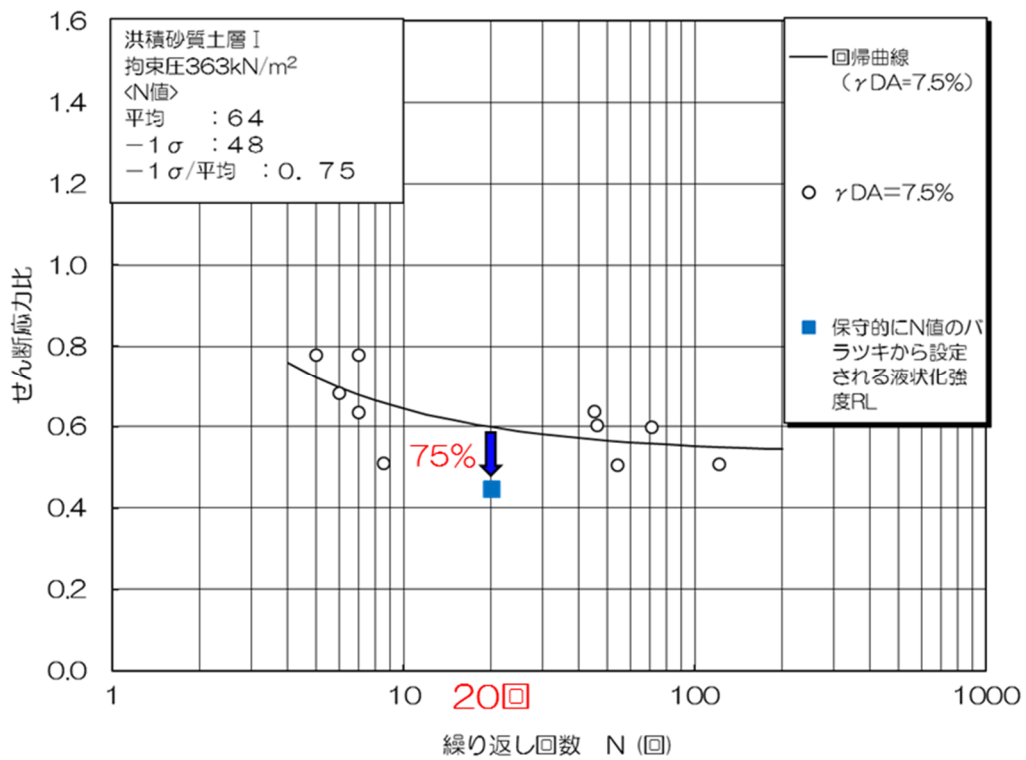
第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定
(N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度 RL)



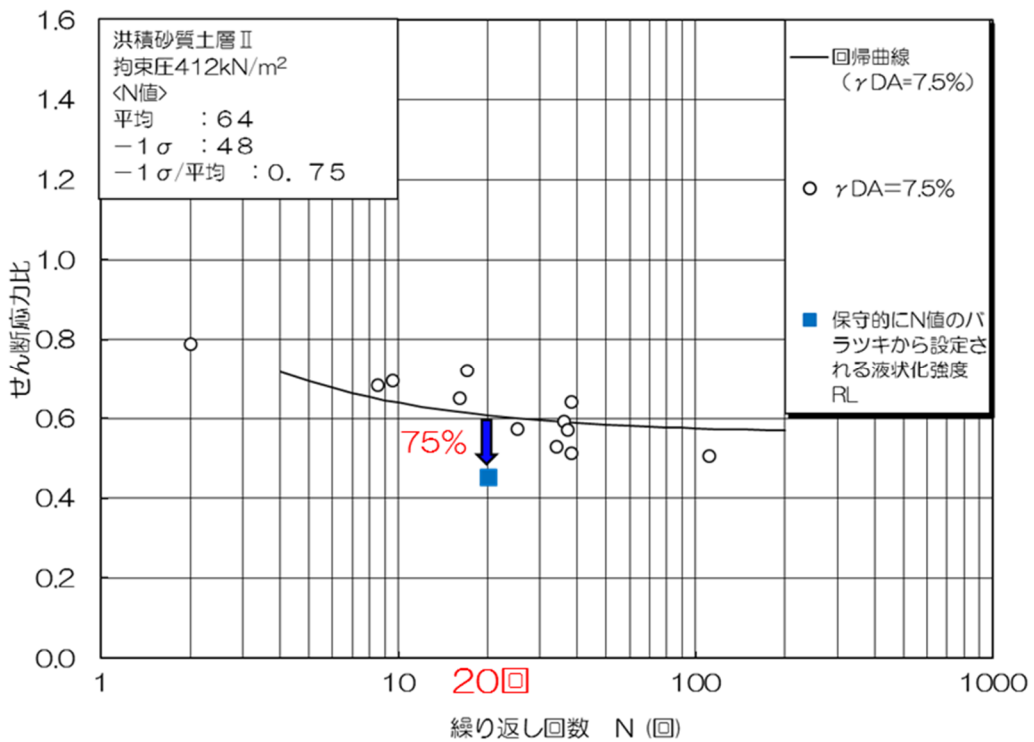
(e) A-2 地点の洪積砂層Ⅱ (拘束圧 230kN/m²)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定

(N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度 R_L)



(f) O-1 地点の洪積砂質土層 I (拘束圧 363kN/m²)



(g) O-1 地点の洪積砂質土層 II (拘束圧 412kN/m²)

第 11-7-4 図 液状化強度特性の設定
(N 値のばらつきに基づいて低減した液状化強度 R_L)

8. 液状化影響の検討方針

液状化評価については道路橋示方書を基本として、道路橋示方書において液状化評価の対象外となっている洪積層についても液状化試験を実施し、液状化の有無を確認することで保守的な評価を実施した。液状化試験に基づいて、地震時の地盤の状態を『液状化』、『サイクリックモビリティ』及び『非液状化』と判定した。それぞれの試験結果に基づいて液状化強度特性を設定し、構造物への影響評価を実施する。なお、試験結果が非液状化となる土層も、念のため液状化強度特性を設定して保守的な構造物評価を実施する。設定した液状化強度特性については、試験結果を基本に設定するが、基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。

構造物の影響評価については、液状化に伴う影響を考慮するため、有効応力解析を実施する。有効応力解析においては、解析コード「FLIP」等を用いる。液状化試験結果に基づいて保守的に設定した液状化強度 R_L を満足するように、有効応力解析の液状化パラメータを設定し、構造物の影響評価を実施する。解析コード「FLIP」については、Iai et.al(1992) 及び Iai et.al(1995)において、液状化及びサイクリックモビリティを示す地層についての適用性が検証されている。Iai et.al(1992)においては、サイクリックモビリティが観察された砂の繰返しねじり試験結果に対して、解析コード「FLIP」を用いた解析を実施し、解析結果が室内試験結果と良い対応を示したと報告している。Iai et.al(1995)においては、解析コード「FLIP」を用いて、1993年釧路沖地震の再現解析を実施している。1993年釧路沖地震の観測波はサイクリックモビリティの影響を示すスパイク状の地震波となっており、解析コード「FLIP」において地震観測値の密な地盤の液状化パラメータを設定することで、サイクリックモビリティの影響を示す観測値を再現することができたと報告している。よって、設置許可段階における構造物評価の見通しについては、解析コード「FLIP」を用いることとした。

なお、工事認可段階における構造物評価に当たっては、今回説明した液状化強度特性の妥当性及び採用した解析コードの適用性について、2007年新潟県中越沖地震における取水路の鉛直変位等構造物の被害状況の再現性を検証することで確認する。また、構造物評価によっては、必要に応じて追加対策を実施する。

第 11-8-1 表 液状化評価の基本方針

本検討の対象砂層			道路橋示方書における液状化評価の対象	当社評価			
地層名	堆積年代	調査地点名 土層名		液状化試験による判定	液状化強度特性の設定の考え方	液状化強度特性の保守性	
埋戻土層	—	A-1 埋戻土層	○ 対象	液状化	試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する。	試験結果を基本として、基本物性のばらつきも考慮して保守的な設定とする。	
新期砂層 ・沖積層	完新世 (沖積層)	A-3 新期砂層・沖積層		サイクリック モビリティ			
古安田層 (古安田層 中の砂層が 対象)	更新世 (洪積層)	新しい	× 対象外	非液状化	※		
					A-1 洪積砂層 I 洪積砂層 II		A-2 洪積砂層 I
		古い		A-2 洪積砂層 II	非液状化		非液状化であると考えられるが、保守的な構造物評価を実施するため、液状化強度特性を設定する。
				0-1 洪積砂質土層 I 洪積砂質土層 II			

※ A-2 地点の洪積砂層 I については非液状化であると考えられるが、A-1 地点の洪積砂層 I・II と同時代に堆積した地層であること、N 値が A-1 地点の洪積砂層 II と同程度であることを踏まえ、A-1 地点の洪積砂層 II の試験結果に基づいて液状化強度特性を設定する

9. 設置許可段階における構造物評価の見通し

9.1 代表構造物の抽出

設置許可段階における構造物評価の見通しについて、代表構造物を選定した。第 11-9-1 表に設置許可段階における構造物評価の見通しを検討する代表構造物の選定を示す。

地盤の液状化による構造物評価への影響としては、地中に埋設した構造物への影響が考えられることから、代表構造物の選定に当たっては基礎形式に着目し、直接基礎形式及び杭基礎形式のそれぞれから選定する。

直接基礎構造物には、取水路・スクリーン室、補機冷却用海水取水路がある。補機冷却用海水取水路はマンメイドロックを介して西山層に支持しているため、直接基礎の代表構造物としては、支持地盤が古安田層である「取水路・スクリーン室」を抽出する。

杭基礎構造物には、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、常設代替交流電源設備基礎及び格納容器圧力逃がし装置基礎がある。地盤が液状化した場合には変形が大きくなる傾向となることから、杭基礎構造物が地盤の変形の影響を受ける程度に着目すると、杭部は杭長が長いほど、鉄筋コンクリート部は地中部の側面高さが高いほど影響が大きくなると考えられる。このため、杭基礎の代表構造物としては、杭長が他の構造物よりも長く、鉄筋コンクリート部の地中高さが高い「常設代替交流電源設備基礎」を抽出する。

選定した代表構造物について代表断面を選定し、代表断面について構造物影響評価を実施する。構造物評価の成立性及び必要に応じた追加対策は、代表断面における構造物評価の結果をそれ以外の位置・構造物の見通しに展開する。

第 11-9-1 表 設置許可段階における構造物評価の見通しを検討する代表構造物の選定

設備分類		設備名称	基礎形式（杭長）	支持地盤	鉄筋コンクリート部の地中部の側面高さ	構造概要
設計基準対象施設	屋外重要土木構造物	取水路・スクリーン室	直接基礎	古安田層	—	鉄筋コンクリート構造
		補機冷却用海水取水路	直接基礎	西山層 ^{※1}	—	鉄筋コンクリート構造
		軽油タンク基礎	杭基礎（約 20m）	西山層	約 1.5m	鉄筋コンクリート構造
		燃料移送系配管ダクト	杭基礎（約 25m）	西山層	約 3 m	鉄筋コンクリート構造
重大事故等対処施設		常設代替交流電源設備基礎	杭基礎（約 30m）	西山層	約 8 m	鉄筋コンクリート構造
		格納容器圧力逃がし装置基礎	杭基礎（約 30m）	西山層	約 2.5m	鉄筋コンクリート構造

※1：マンメイドロックを介して西山層に支持

9.2 取水路

9.2.1 構造概要及び評価断面

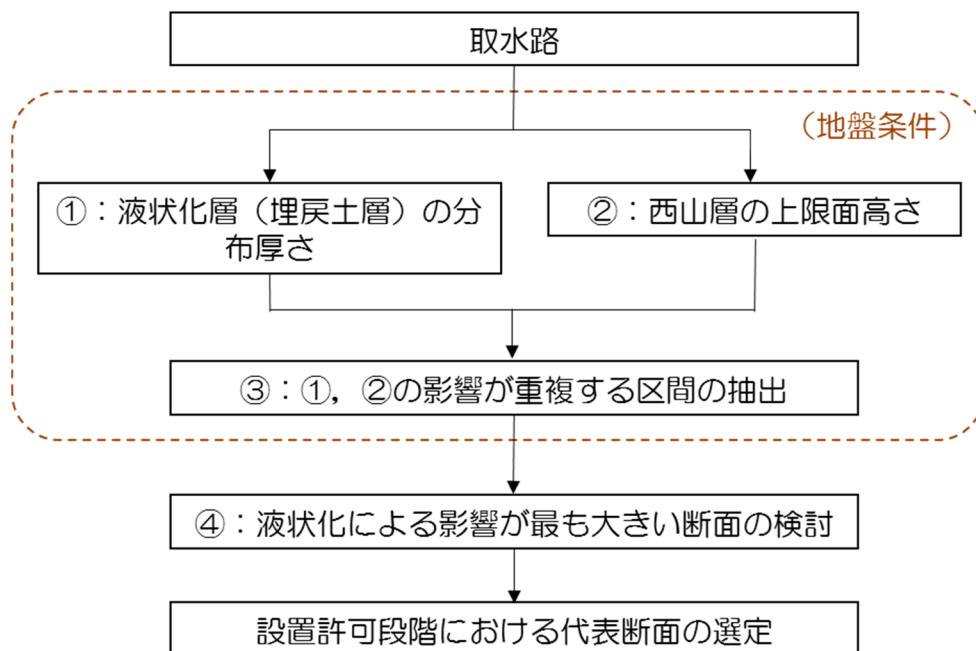
「取水路・スクリーン室」について液状化による設備への影響の見通しとして、液状化現象の影響が最も大きいと考えられる断面を選定し、構造物の評価を実施する。第 11-9-1 図に取水路における代表断面の選定フローを示す。

構造物評価への液状化の影響として、地盤条件の観点から①液状化層（埋戻土層）の分布厚さ、西山層より浅部の地盤での地震動増幅特性の観点から②西山層の上限面の高さに着目し、代表断面を選定する。

液状化層（埋戻土層）の分布厚さは、6/7号炉ともに取水路（一般部）から取水路（漸拡部）にかけて厚くなっている。西山層の上限面高さは、6号炉では取水路（一般部）において、7号炉ではスクリーン室から取水路（一般部）にかけて、深くなっている。両者の影響が重複する区間として、6/7号炉ともに取水路のうち一般部の区間が抽出される。詳細を第 11-9-2 図に示す。

6/7号炉の取水路（一般部）を比較すると、双方ともに取水路（一般部）の断面は古安田層を掘り込んでいるものの、7号炉の南側の側方は埋戻土層となっている。構造物側方に分布する古安田層の変形抑制効果を考慮すると、取水路（一般部）は、6号炉よりも7号炉の方が、液状化現象が構造物の耐震性に与える影響が大きいと考えられる。詳細を第 11-9-3 図に示す。

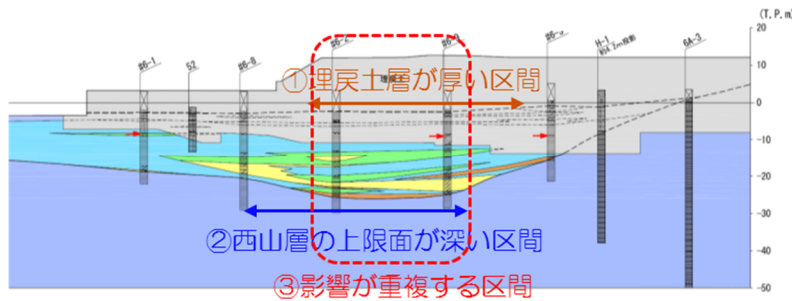
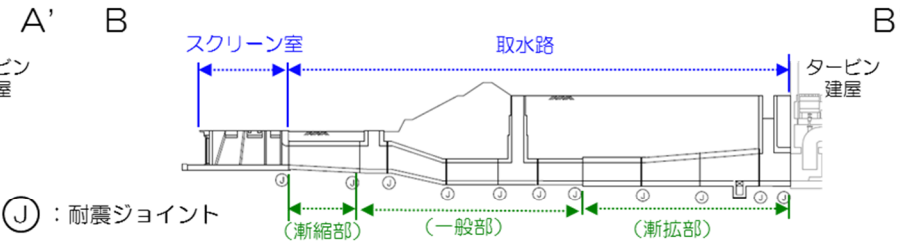
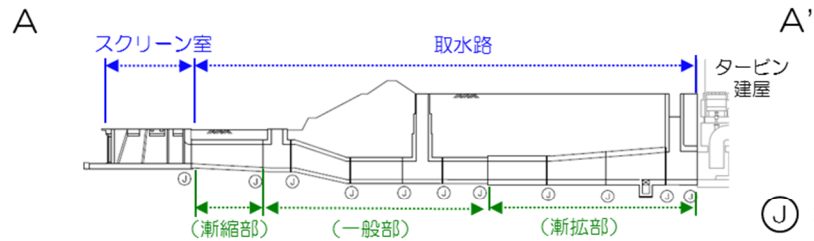
以上のことから、代表断面として、7号炉取水路（一般部）を選定し、2次元有効応力解析（FLIP）による評価を実施する。



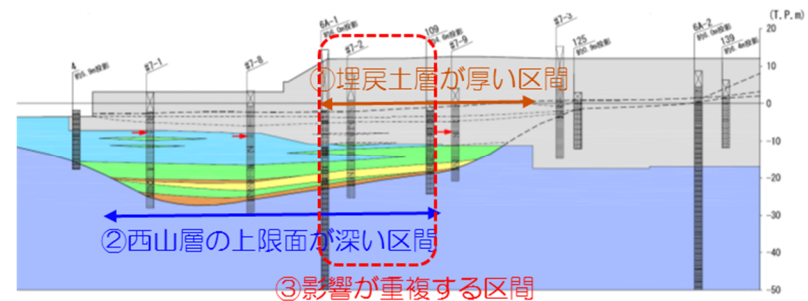
第 11-9-1 図 取水路における代表断面の選定フロー

凡例

埋戻土	
新期砂層-沖積層	
善神砂層-大湊砂層	
A2~A3部層	粘性土
	粘性土-砂質土互層
	砂質土
古安田層	粘性土
A2部層	粘性土-砂質土互層
	砂質土
	礫層
A1部層	粘性土
	粘性土-砂質土互層
古安田層 A2部層中の 灰白色細粒ガラス質火山灰	
西山層	

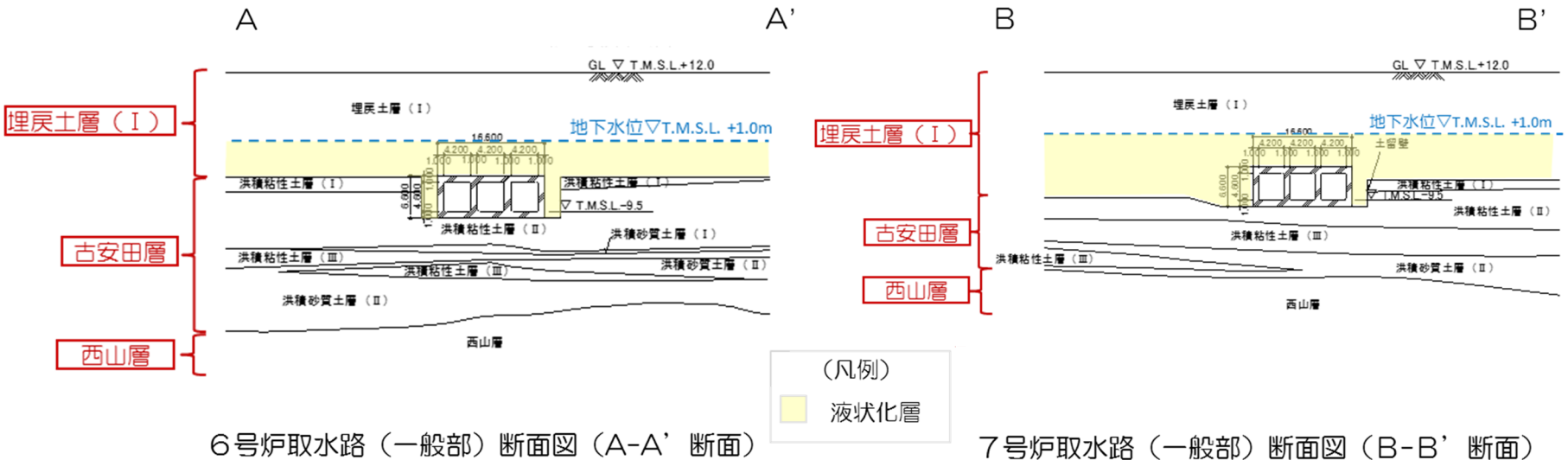
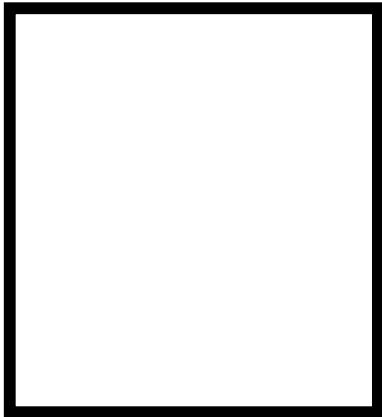


6号炉取水路縦断面図 (A-A' 断面)



7号炉取水路縦断面図 (B-B' 断面)

第 11-9-2 図 取水路における代表断面



第 11-9-3 図 取水路における代表断面