




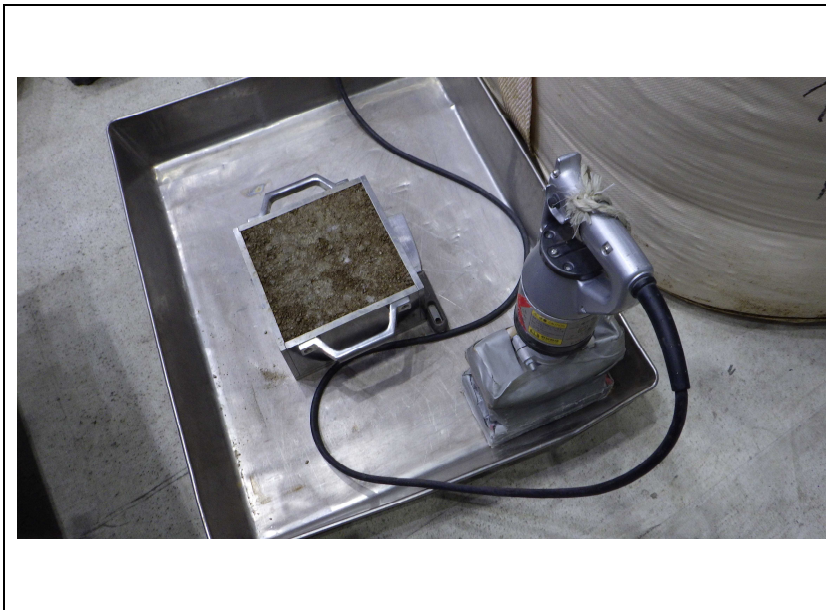
付録 A 遠心模型作製状況

1. Case1 の実験状況

以下に、試験体作製状況を示す。

	<p>1. 剛土槽</p>
	<p>2. ソイルモルタルの打設</p>
	<p>3. ソイルモルタルの注水 溝切欠き</p>

	<p>4. 注水材設置</p>
	<p>5. 粘性流体作製</p>
	<p>6. 不織布設置 加速度計設置</p>



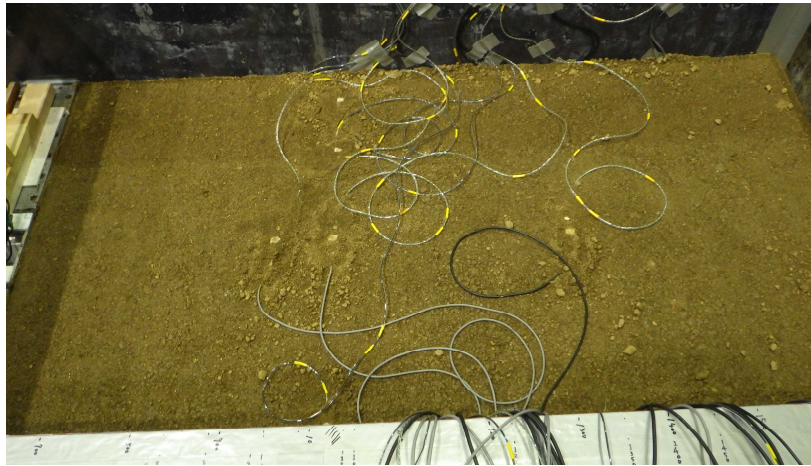
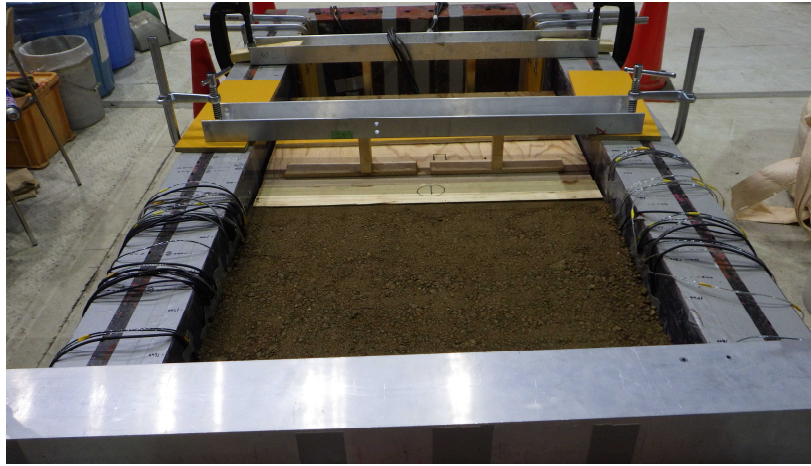
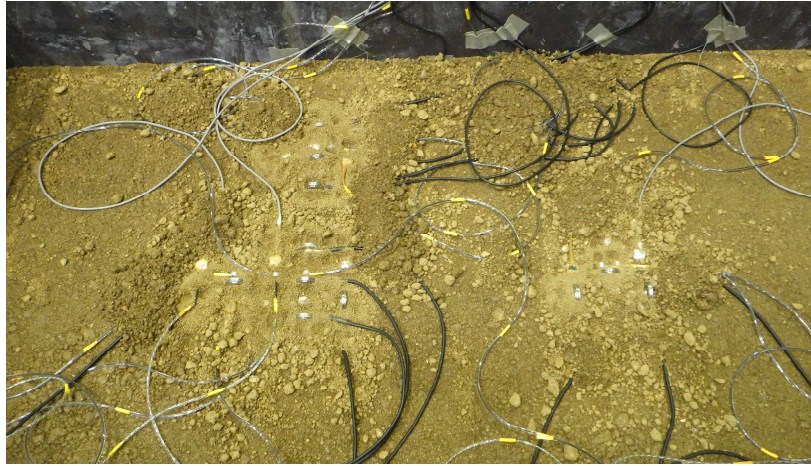
7. 砂礫土締固めのキャリブレーション






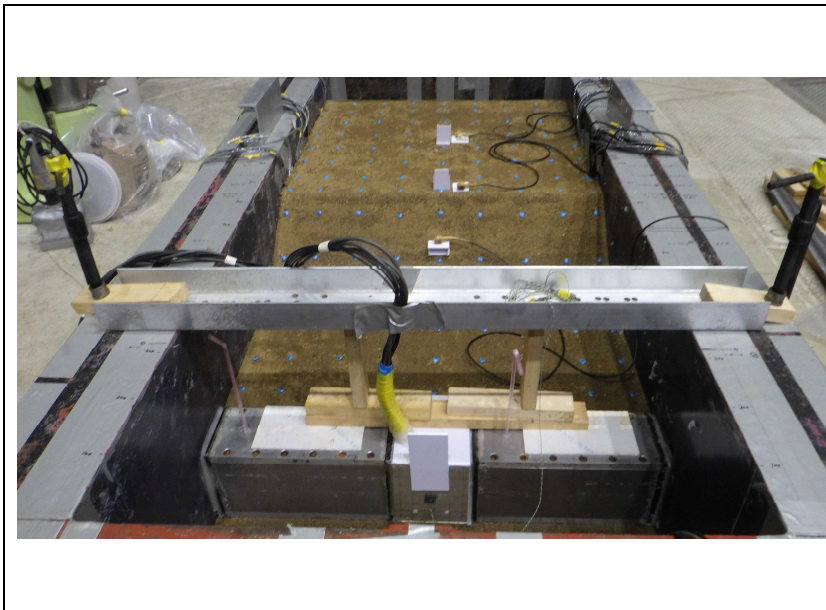
8. 砂礫土締固め



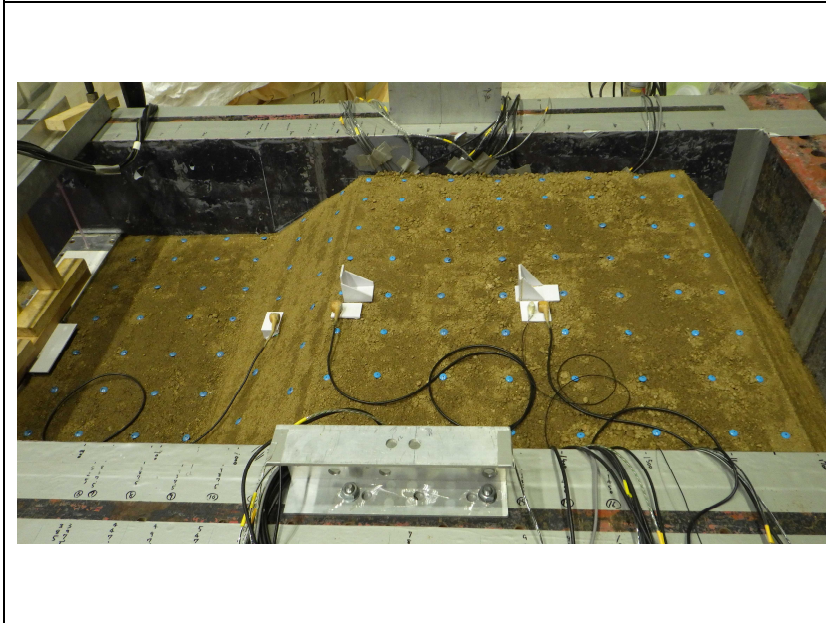
9. 計器設置

	<p>10. ケーソン背後地盤の締め完了</p>
	<p>11. ケーソン背後の盛土作製</p>
	<p>12. 計器設置</p>

	13. ケーソン設置
	14. ケーソンの固定
	15. 計器設置



16. ケーソンのターゲット設置



17. 盛土のターゲット設置



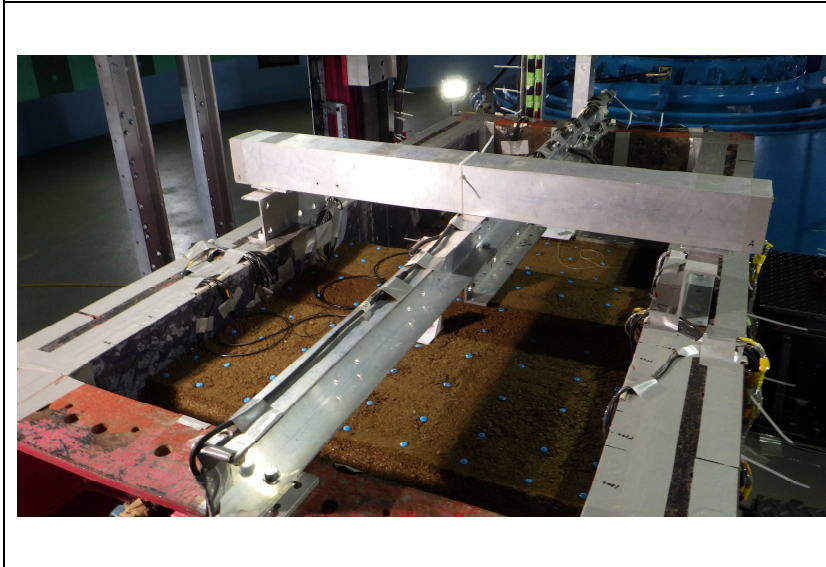
18. 粘性流体注水の配管



19. 脱気、注水の真空土槽

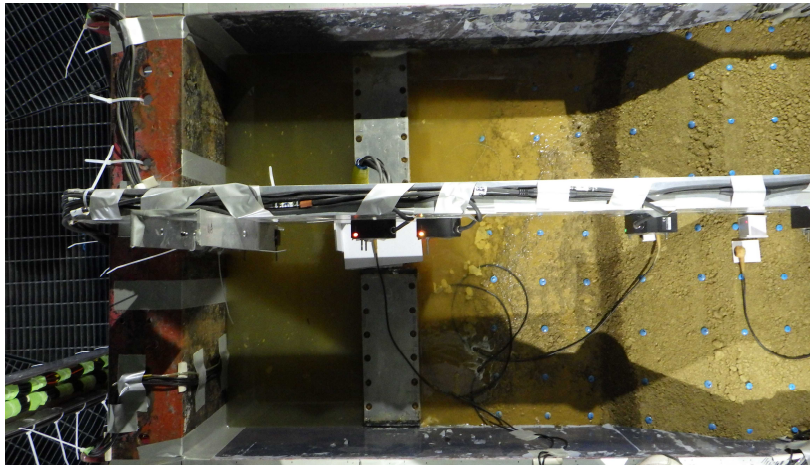


20. 注水完了後の試験体

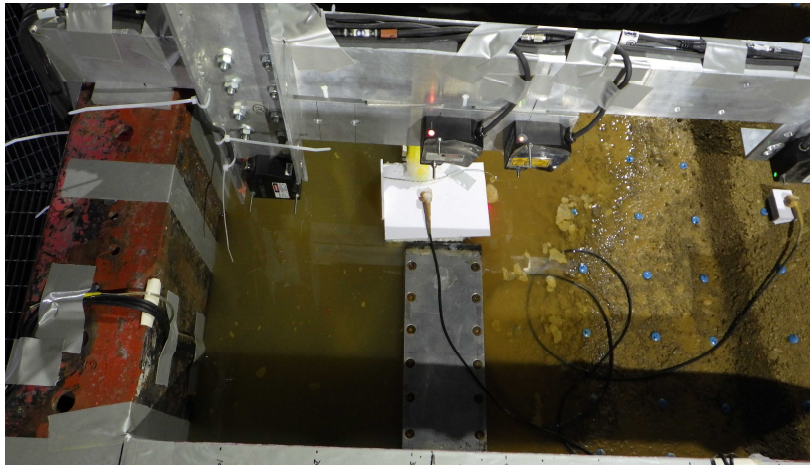


21. 変位計治具設置

22. 実験後の状況



23. 実験後の状況



24. 実験後の状況



2. Case2 の実験状況

以下に、試験体作製状況を示す。



25. せん断土槽



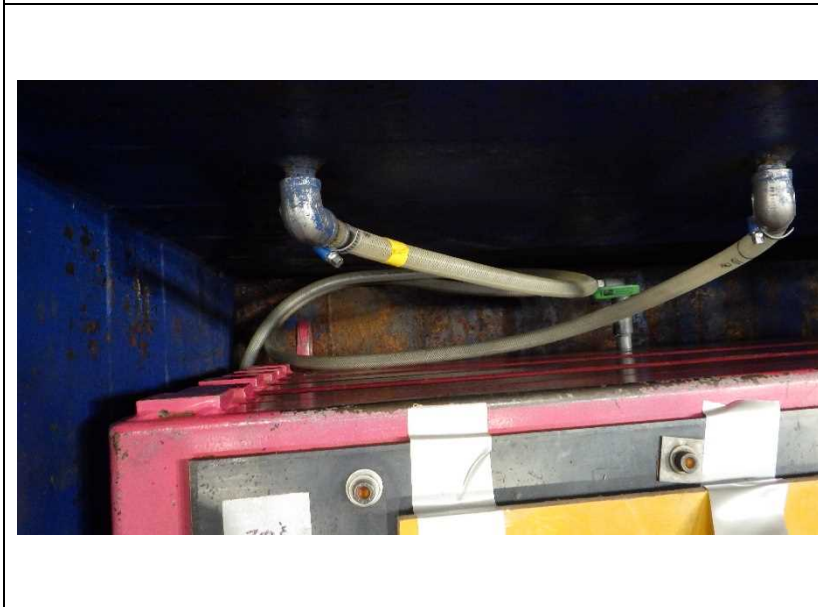
26. 砂礫土締め



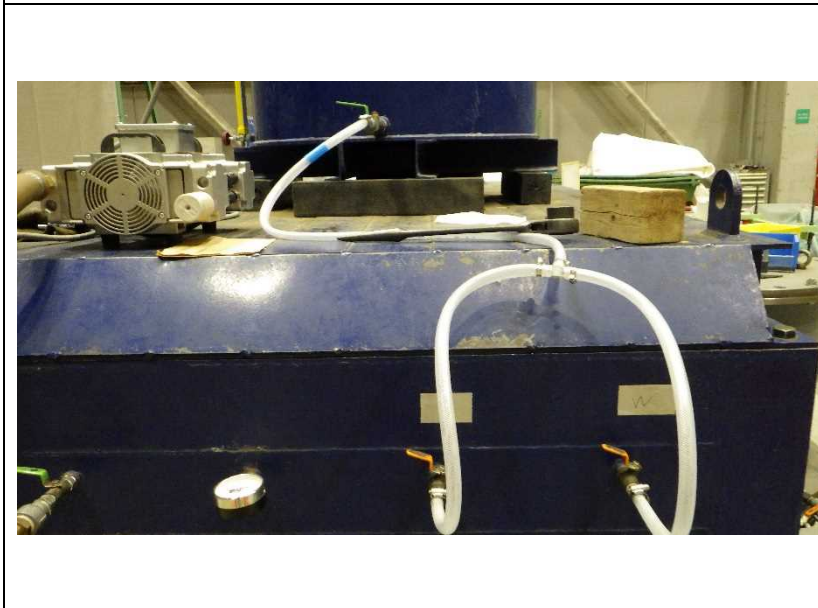
27. 計器設置



28. 砂礫土締め完了

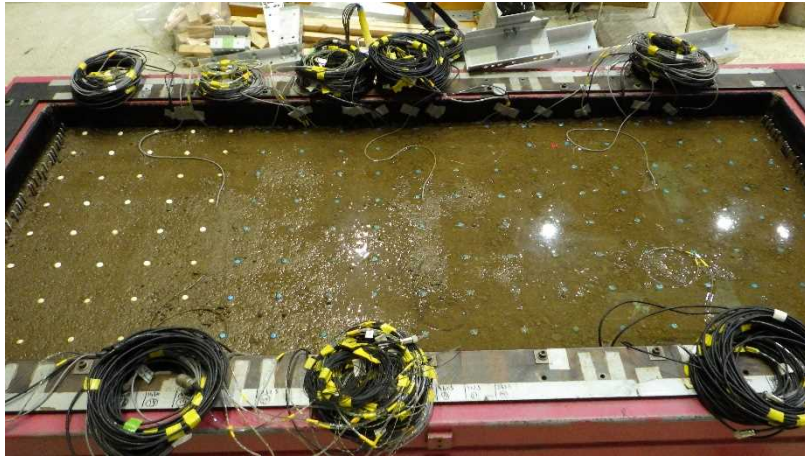


29. 粘性流体注水の配管



30. 脱気、注水の真空土槽

31. 注水完了後の試験体


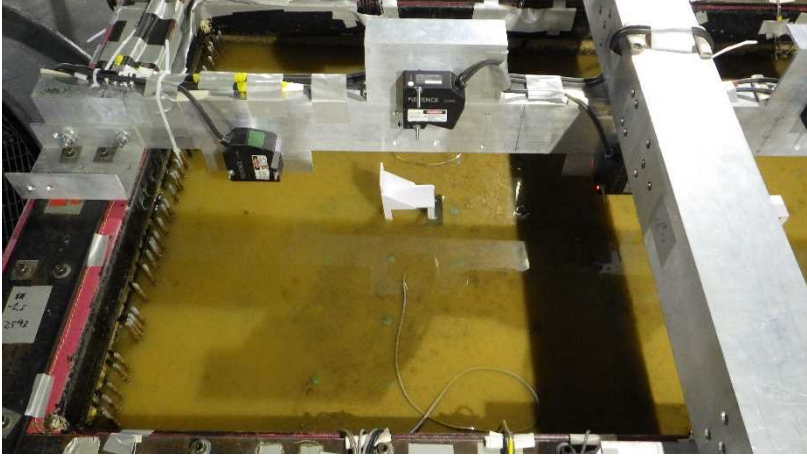



32. 変位計治具設置



33. 変位計ターゲット設置



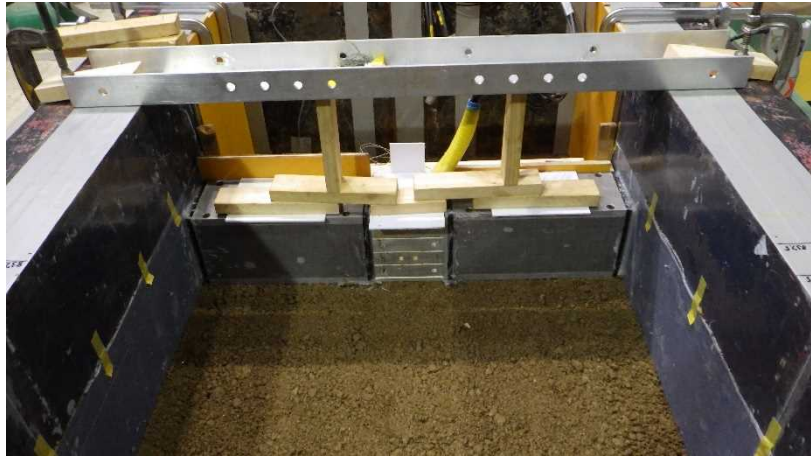


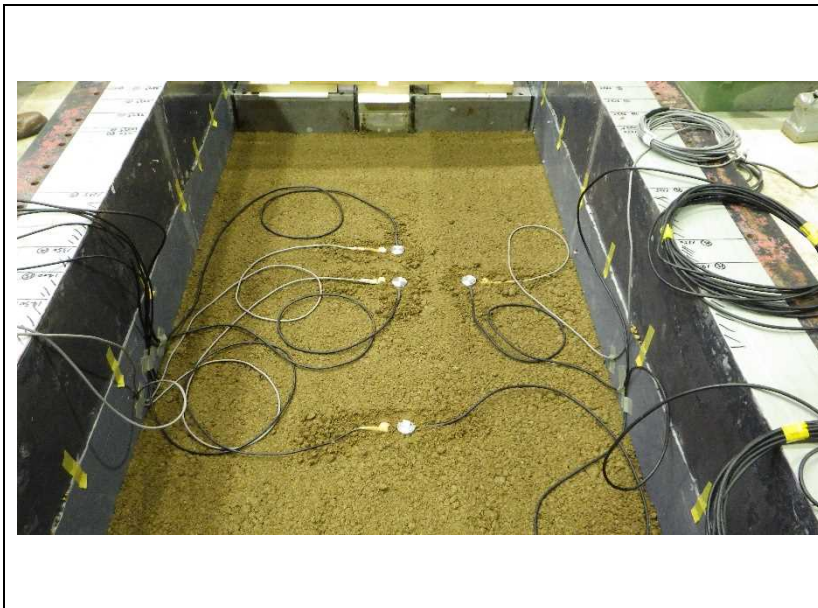
	<p>34. 実験後の状況</p>
	<p>35. 実験後の状況</p>
	<p>36. 実験後の状況</p>

3. Case3 の実験状況

以下に、試験体作製状況を示す。

	1. 剛土槽
	2. ソイルモルタル (実験 1 を転用)
	3. 砂礫土加水用ミキサー

	<p>4. 注水用不織布設置</p>
	<p>5. 砂礫土締固め、計器設置</p>
	<p>6. ケーソン設置</p>



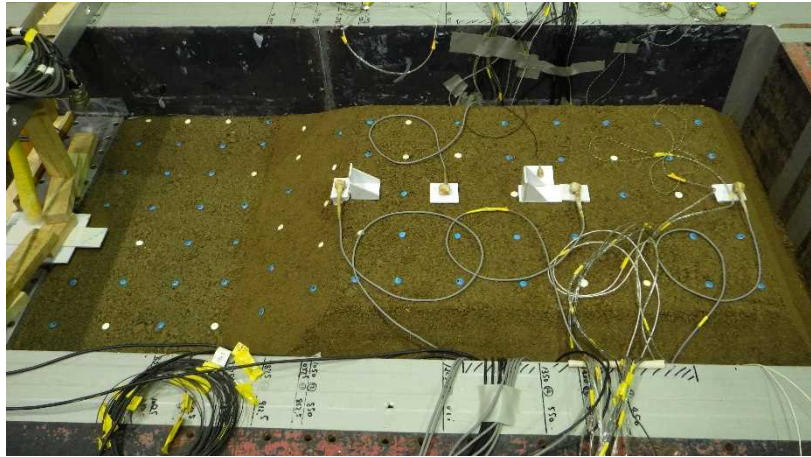

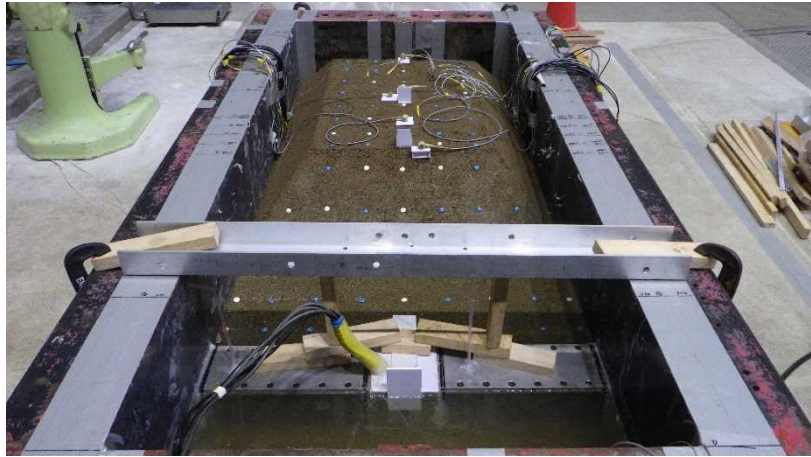
7. ケーソン背後地盤計器設置

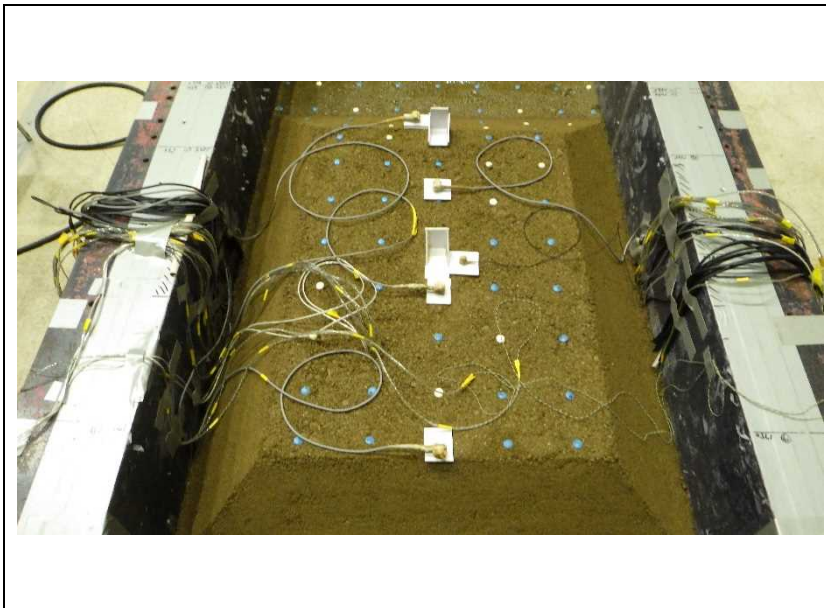


8. ケーソン背後の盛土作製



9. ケーソン背後の盛土完了

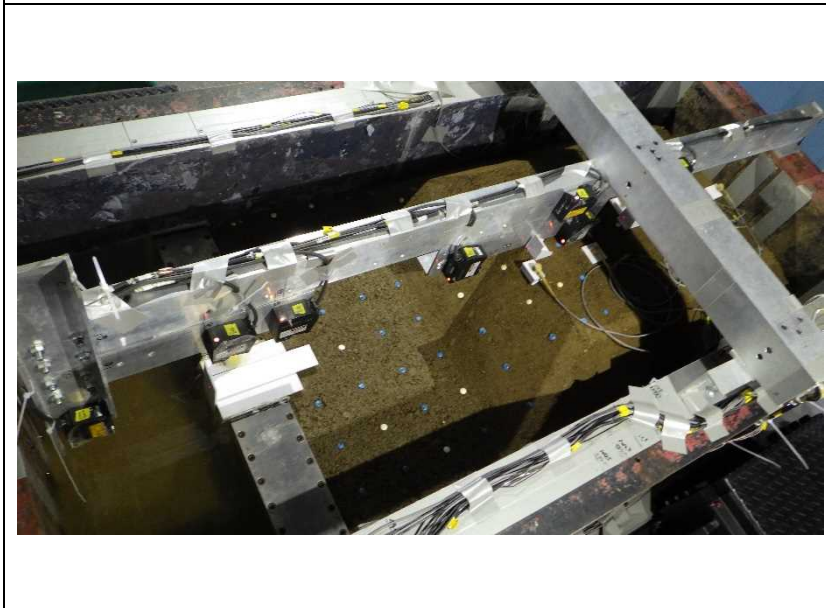
	<p>10. ケーソン背後の盛土計器設置</p>
	<p>11. 脱気、注水土槽への設置</p>
	<p>12. 注水完了</p>



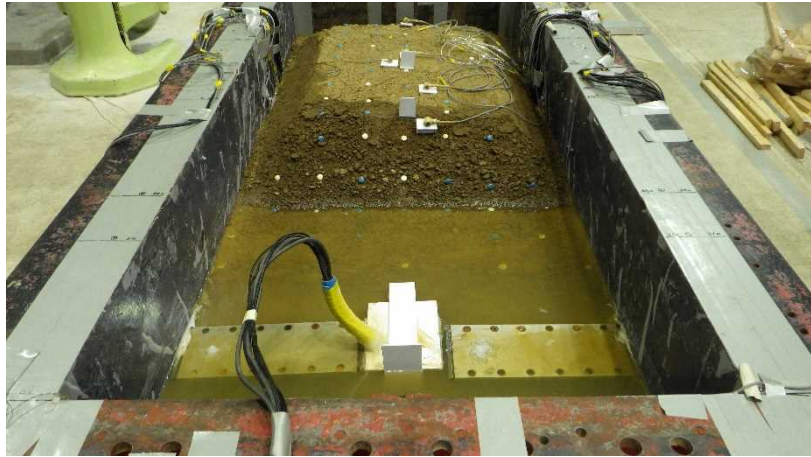
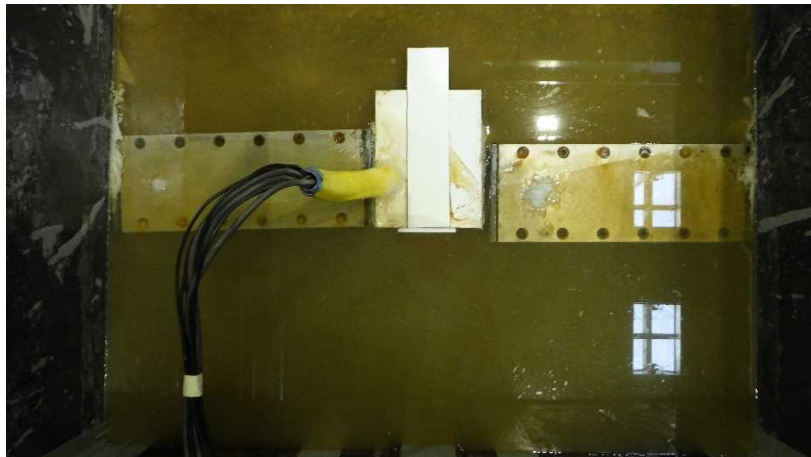

13. 盛土計器、地表ターゲット設置



14. 変位計治具設置



15. 変位計設置

	<p>16. 実験後の状況</p>
	<p>17. ケーソンの状況</p>
	<p>18. ケーソンの状況</p>

付録B ソイルモルタル試験結果

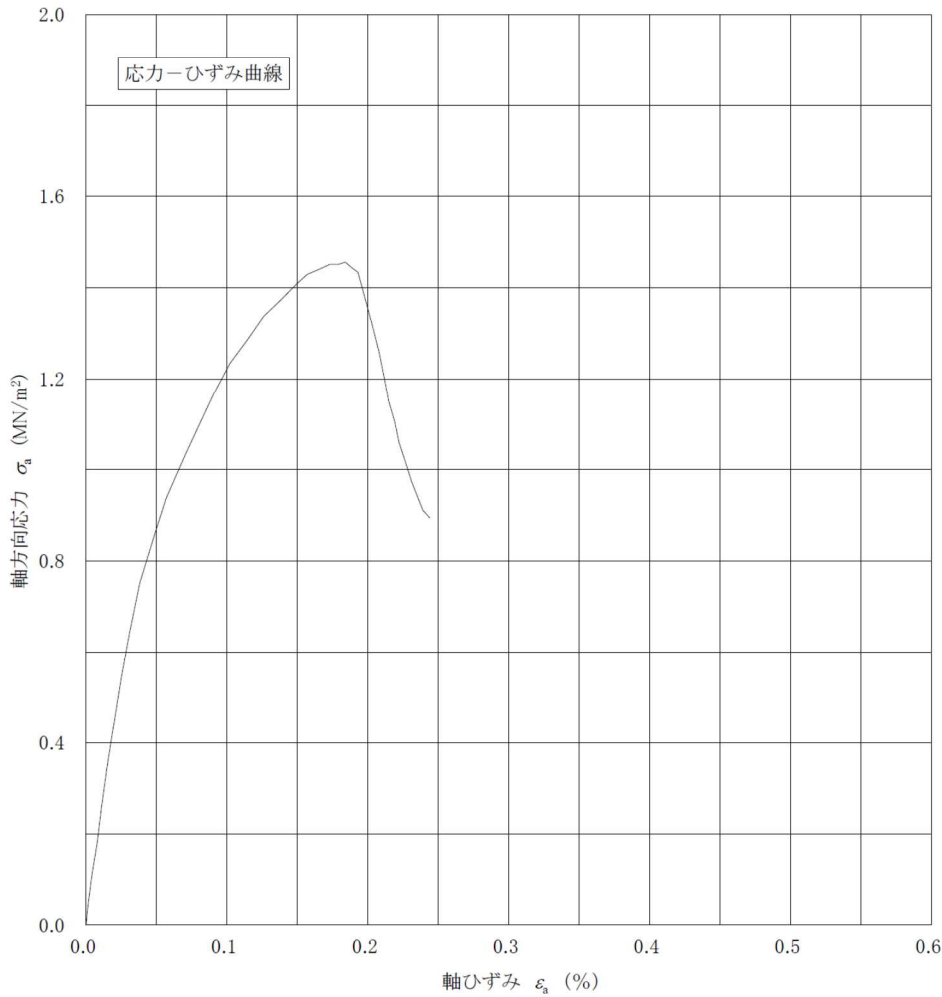
		岩石試験結果一覧表					
調査件名 砂礫土の遠心力模型実験(実験1)		整理年月日		2019年10月16日			
		整理担当者		竹田 亘			
試料番号 (深さ)		ソイルモルタル					
供試体 No.		1	2	3	4	5	6
密度	湿潤密度 ρ_t g/cm ³						
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³						
	含水比 w %						
	間隙比 e						
	飽和度 S_r %						
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³							
含水比 w %							
密度・吸水率	湿潤密度 ρ_t g/cm ³						
	乾燥密度 ρ_d g/cm ³						
	飽和密度 ρ_{sat} g/cm ³						
	吸水率 Q %						
	有効間隙率 n_e %						
超音波	試料の状態				湿潤	湿潤	湿潤
	速度	P波 V_p km/s			1.63	1.71	1.71
		S波 V_s km/s			1.01	1.02	1.03
	動ポアソン比 ν_d			0.188	0.224	0.215	
	動せん断弾性係数 G_d MN/m ²			1591	1667	1712	
	動弾性係数 E_d MN/m ²			3780	4081	4160	
吸水膨張率 L_s %							
吸水膨張応力 σ_s kN/m ²							
スレーキング	初期の含水比 w_1 %						
	水浸前の含水比 w_2 %						
	24h後の含水比 w_3 %						
	スレーキング指数						
圧縮強さ σ_c MN/m ²							
一軸圧縮	一軸圧縮強さ q_u MN/m ²	1.46	1.23	1.12			
	変形係数 $E_{s,50}$ MN/m ²	1973	1649	1647			
	静ポアソン比 ν						
三軸圧縮	試験条件						
	全応力	c MN/m ²					
		ϕ °					
	有効応力	c' MN/m ²					
ϕ' °							
引張り強さ σ_t MN/m ²							
X線回折							
陽イオン交換容量 cmol(+)/kg							
特記事項							
材齢 24日							

JGS 2521	岩石の一軸圧縮試験
----------	-----------

調査件名 砂礫土の遠心力模型実験(実験1) 試験年月日 2019年10月11日

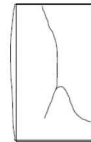
試料番号 ソイルモルタル 試験者 小暮 学

試料の種類		供試体 No.	1		
採取方法	ボーリング	試料の状態	湿潤		
供試体作製方法	端面整形	高さ H_0 cm	9.995		
荷重計容量 kN	10	直径 D_0 cm	5.005		
ひずみ速度 %/min	0.1	質量 m g	322.15		
特記事項 軸ひずみ ひずみゲージによる計測。 軸方向応力-軸ひずみ曲線 2個のひずみ計測の平均。 材齢 24 日		湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.639		
		含水比 w %	5.6		
		一軸圧縮強さ q_u MN/m ²	1.46		
		破壊ひずみ ϵ_f %	0.18		
		変形係数 $E_{s,50}$ MN/m ²	1973		
		ヤング係数 E MN/m ²	2181		



供試体の破壊状況

No. 1



No.



No.



No.

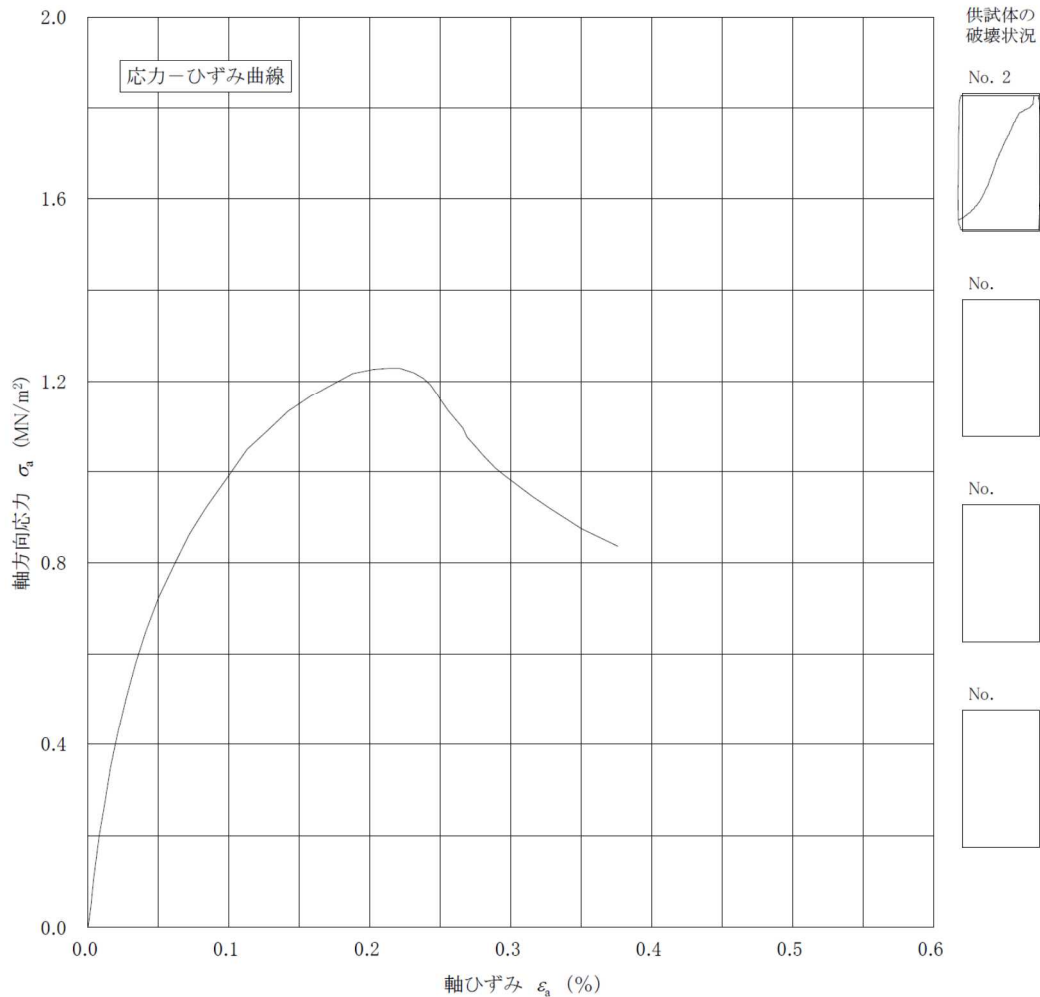


JGS 2521	岩石の一軸圧縮試験
----------	-----------

調査件名 砂礫土の遠心力模型実験(実験1) 試験年月日 2019年10月11日

試料番号 ソイルモルタル 試験者 小暮 学

試料の種類		供試体 No.	2		
採取方法	ボーリング	試料の状態	湿潤		
供試体作製方法	端面整形	高さ H_0 cm	9.960		
荷重計容量 kN	10	直径 D_0 cm	4.977		
ひずみ速度 %/min	0.1	質量 m g	306.36		
特記事項 軸ひずみ ひずみゲージによる計測。 軸方向応力-軸ひずみ曲線 2個のひずみ計測の平均。 材齢 24 日		湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.581		
		含水比 w %	5.5		
		一軸圧縮強さ q_u MN/m ²	1.23		
		破壊ひずみ ϵ_f %	0.21		
		変形係数 $E_{s,50}$ MN/m ²	1649		
		ヤング係数 E MN/m ²	1902		

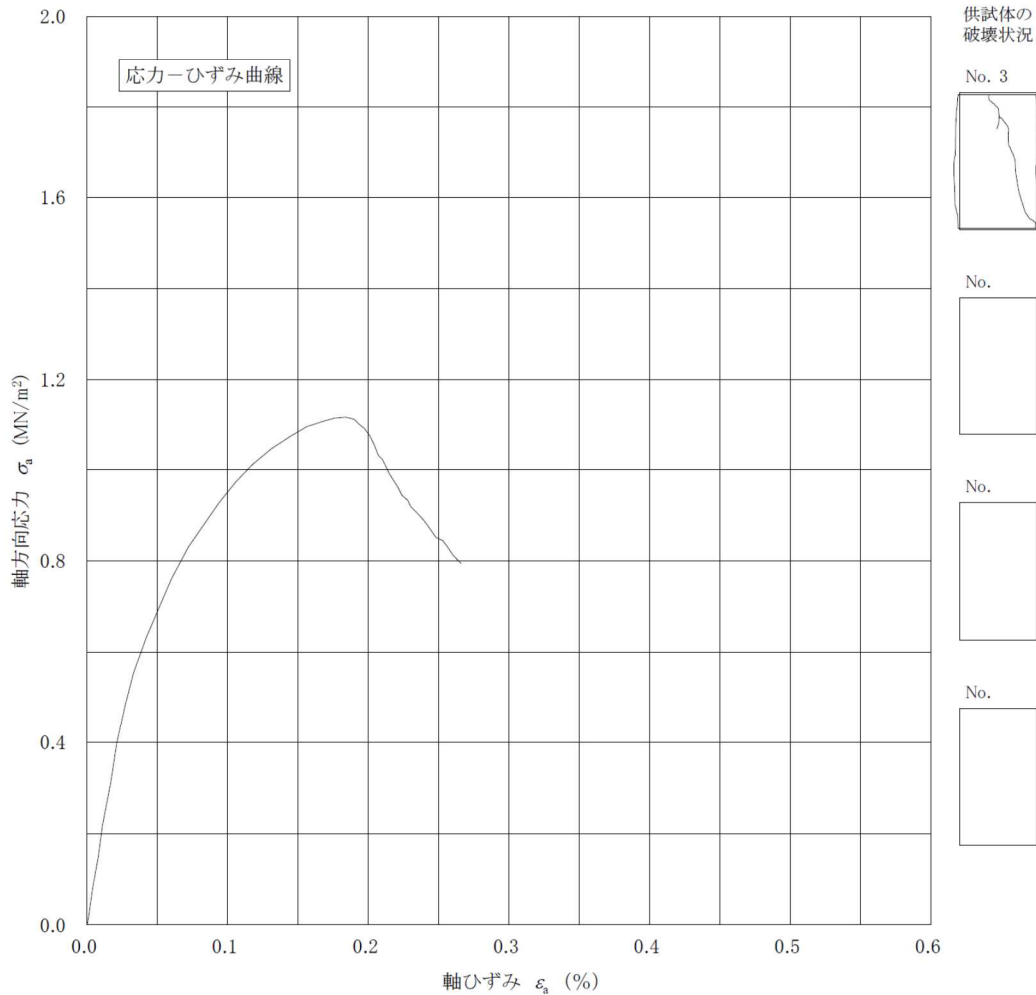


JGS 2521	岩石の一軸圧縮試験
----------	-----------

調査件名 砂礫土の遠心力模型実験(実験1) 試験年月日 2019年10月11日

試料番号 ソイルモルタル 試験者 小暮 学

試料の種類		供試体 No.	3		
採取方法	ボーリング	試料の状態	湿潤		
供試体作製方法	端面整形	高さ H_0 cm	9.995		
荷重計容量	kN 10	直径 D_0 cm	5.038		
ひずみ速度	%/min 0.1	質量 m g	317.01		
特記事項		湿潤密度 ρ_t g/cm ³	1.591		
軸ひずみ		含水比 w %	5.7		
ひずみゲージによる計測。		一軸圧縮強さ q_u MN/m ²	1.12		
軸方向応力 - 軸ひずみ曲線		破壊ひずみ ε_f %	0.18		
2個のひずみ計測の平均。		変形係数 $E_{s,50}$ MN/m ²	1647		
		ヤング係数 E MN/m ²	1834		
材齢 24 日					



JGS 2110	パルス透過法による岩石の超音波速度測定	
----------	---------------------	--

調査件名 砂礫土の遠心力模型実験(実験1) 試験年月日 2019年10月11日

試験者 小暮 学

試料番号		ソイルモルタル				
深 さ	m					
供試体 No.		4	5	6		
岩石の種類						
供試体の形状		円柱体	円柱体	円柱体		
試料の状態		湿潤	湿潤	湿潤		
長さ	l cm	10.055	10.170	10.010		
直径	d cm	4.995	5.030	4.990		
体積	V cm ³	197.0	202.1	195.8		
湿潤質量	m g	307.40	323.83	316.02		
乾燥質量	m_s g	290.27	305.21	298.41		
湿潤密度	ρ_t g/cm ³	1.560	1.602	1.614		
乾燥密度	ρ_d g/cm ³	1.473	1.510	1.524		
含水比	w %	5.9	6.1	5.9		
試験条件	密着方法	P波	接着剤, 加圧	接着剤, 加圧	接着剤, 加圧	
		S波	加圧	加圧	加圧	
	密着の圧力	P波 kN/m ²	50	50	50	
		S波 kN/m ²	50	50	50	
	振動子	振動モード	S波	ねじり振動	ねじり振動	ねじり振動
		固有振動数	P波 kHz	200	200	200
S波 kHz			100	100	100	
縦波 (P波)	透過時間	T_p μ s	62.0	59.9	58.9	
			61.7	59.4	58.6	
	速度	V_p km/s	1.62	1.70	1.70	
			1.63	1.71	1.71	
平均値	V_p km/s	1.63	1.71	1.71		
横波 (S波)	透過時間	T_s μ s	99.2	99.4	97.6	
			99.2	100.6	96.8	
	速度	V_s km/s	1.01	1.02	1.03	
			1.01	1.01	1.03	
平均値	V_s km/s	1.01	1.02	1.03		
動ポアソン比	ν_d	0.188	0.224	0.215		
動せん断弾性係数	G_d MN/m ²	1591	1667	1712		
動弾性係数	E_d MN/m ²	3780	4081	4160		

特記事項

材齢 24 日

付録C 使用した礫質土の中空ねじりによる液状化試験結果

1 概要

試験内訳は、密な遠心模型を想定した相対密度 90%程度の液状化強度試験を 3 本、それよりも緩く相対密度 70~80%を想定した液状化強度試験を 3 本、さらに、それらの試験結果及び遠心模型実験の地盤密度を踏まえて設定した供試体の密度、初期応力状態からの非排水繰返しせん断試験を 3 本実施する。各供試体に対する繰返しせん断応力比は、それぞれの液状化強度の推測値を元に、両振幅せん断ひずみが 7.5%に達する繰返し回数が 10 回未満、繰返し回数 10~30 回程度、繰返し回数 50 回以上の 3 本となるように調整する。但し、これらの繰返し回数の予測は困難な面もあるため、各供試体に対する繰返しせん断実施後、担当者で調整の上応力比を設定することで、これらの目標回数の結果を揃えられない場合も可とする。

表-1.1 試験 Case 一覧表

実験ケース	初期相対密度 %	初期応力状態	初期拘束圧 kPa	繰返しせん断 応力比	備考
1	70-80	等方	100	中	中密な場合の液状化強度を得ることを目的とする
2	70-80	等方	100	大	
3	70-80	等方	100	小	
4	90	等方	100	中	非常に密な場合の液状化強度を得ることを目的とする
5	90	等方	100	大	
6	90	等方	100	小	
7	未定	異方	未定	未定	上記試験結果 1-6 の結果と遠心模型実験における地盤応力状態を踏まえて実験条件を設定する
8	未定	異方	未定	未定	
9	未定	異方	未定	未定	

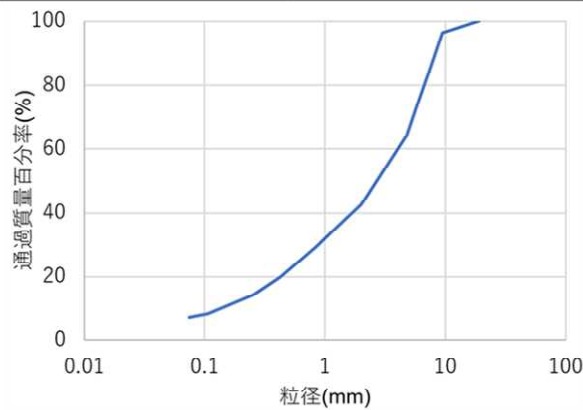
※各繰返しせん断試験において、

- ・各ケース 1
- ・所定の繰返し回数においても過剰間隙水圧的に液状化に到達しない場合は、参考データとして間隙水圧注入により液状化状態とした後で、非排水繰返しせん断を行う。なお、この操作によるせん断を行った場合、実験ケース 1~6 に相当する実験の場合は 2 本で 1 本とし、実験ケース 7~9 の場合は、そのまま 1 本の納品用試験結果とみなす。
- ・液状化試験後は、常に初期平均有効応力に戻す過程の供試体からの排水量を計測する。
- ・詳細な試験条件については後述する。

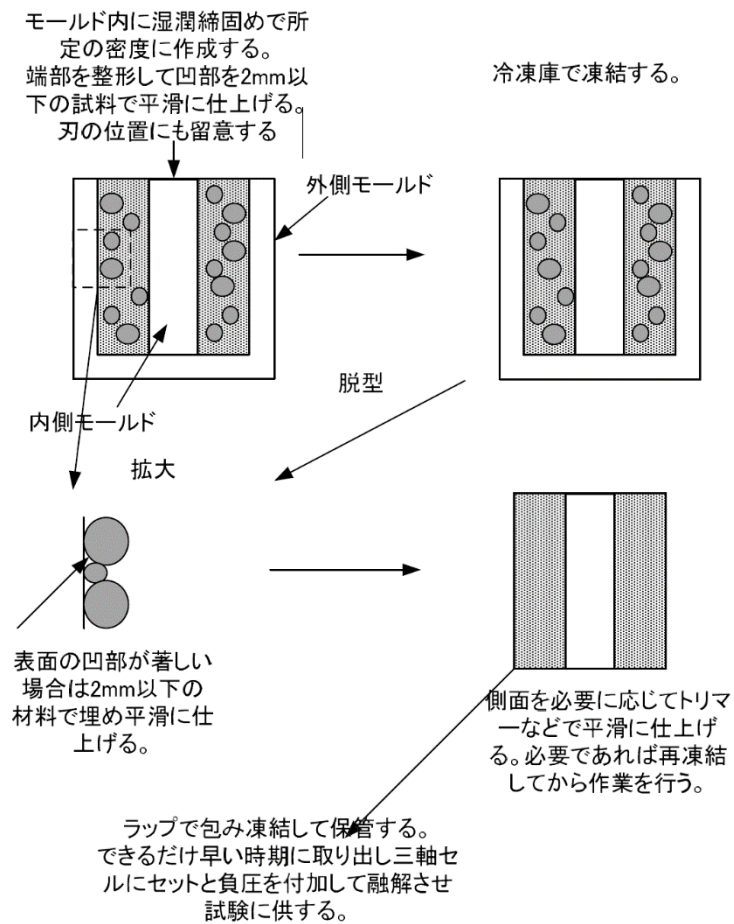
※上記は基礎地盤コンサルタントへの再委託分

【使用材料】

土粒子密度 (g/cm^3)	最大乾燥密度 (g/cm^3)	最適含水比 (%)
2.676	2.084	10.1



【メンブレンペネトレーションを軽減するための表面処理の例】



2.試験結果

2.1Case1-1,1-2

1)試料：供与された試料

2)試験方法

①密度：供試体作成時 1.70g/cm³

②供試体作成：含水比 3%に調整、5層締固めで作成、供試体を凍結し、側面を 2mm 以下の試料を用いて凹凸を平滑に処理する。

③拘束圧：100kPa

④圧密：所定の拘束圧で等方圧密

⑤繰返し载荷：応力比一定非排水 周波数 0.1Hz

⑥排水：段階的に排水

⑦再非排水繰返し载荷：応力比一定非排水 周波数 0.1Hz

⑧排水：後段階的に排水

3)試験結果

応力比を変えて実施。応力比～繰返し回数関係を図-2.1.1 に示す。詳細は巻末資料に示す。

Case1-1:層境界で破壊。Case1-2:Case1-1 が層境界で破壊したため同一条件で実施した。

繰返し非排水ねじりせん断試験

(応力比～繰返し回数関係)

調査件名：中空ねじり装置による液状化試験

試料番号 Case1-1,1-2
採取深度(m)

軸方向圧密応力 σ'_{ac} = 100.0 kN/m²
側方向圧密応力 σ'_{rc} = 100.0 kN/m²

整理年月日
整理担当者 逆井健太

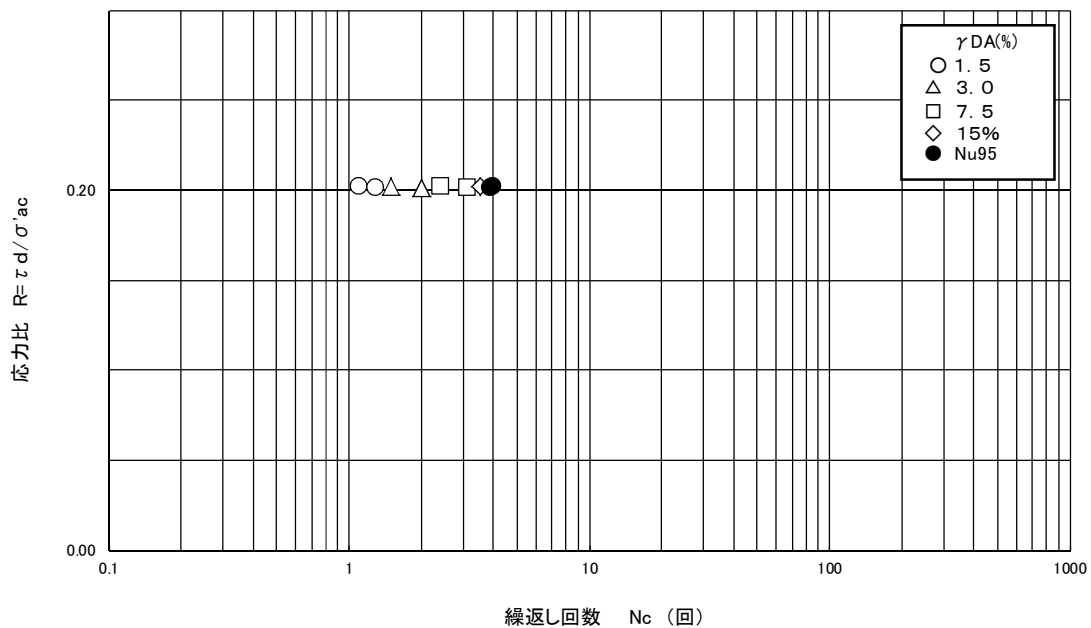


図-2.1.1 応力比～繰返し回数関係

2.2 Case2,3

1)試料：供与された試料

2)試験方法

①密度：供試体作成時 1.75g/cm³

②供試体作成：含水比 3%に調整、5層締固めで作成,供試体を凍結し、側面を 2mm 以下の試料を用いて凹凸を平滑に処理する。

③拘束圧：100kPa

④圧密：所定の拘束圧で等方圧密

⑤繰返し载荷：応力比一定非排水 周波数 0.1Hz

⑥排水：段階的に排水

⑦再非排水繰返し载荷：応力比一定非排水 周波数 0.1Hz

⑧排水：後段階的に排水

3)試験結果

応力比を変えて実施。応力比～繰返し回数関係を図-2.2.1 に示す。詳細は巻末資料

繰返し非排水ねじりせん断試験

(応力比～繰返し回数関係)

調査件名：中空ねじり装置による液状化試験

試料番号 Case2,3

軸方向圧密応力 σ'_{ac} = 100.0 kN/m²

整理年月日

採取深度 (m)

側方向圧密応力 σ'_{rc} = 100.0 kN/m²

整理担当者 逆井健太

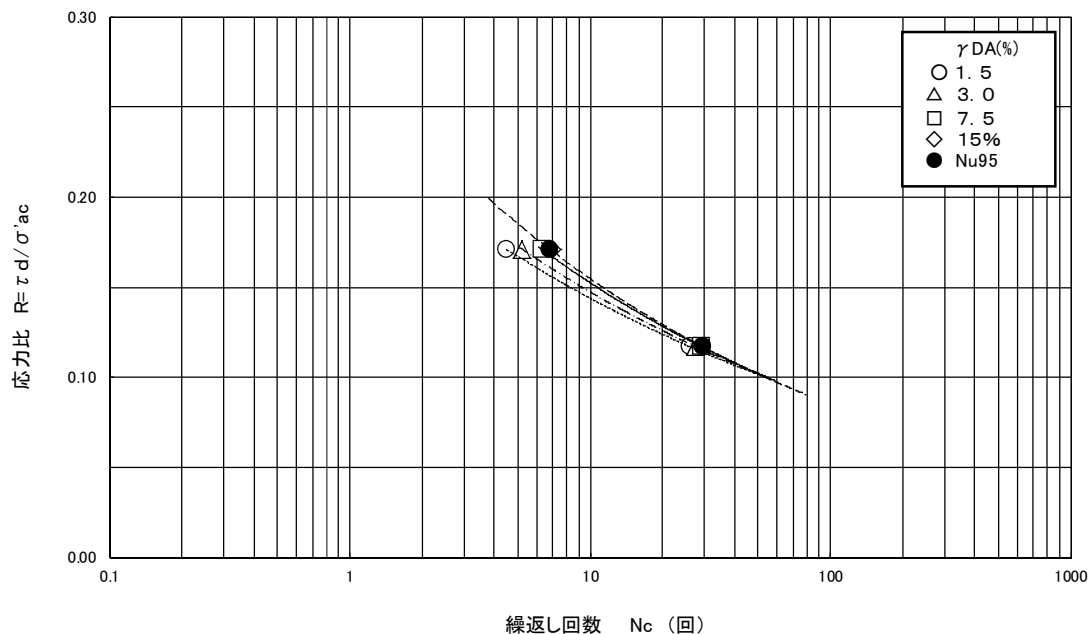


図-2.2.1 応力比～繰返し回数関係

2.3 Case4,5,6

1)試料：供与された試料

2)試験方法

①密度：供試体作成時 1.87g/cm³

②供試体作成：含水比 3%に調整、5層締固めで作成,供試体を凍結し、側面を 2mm 以下の試料を用いて凹凸を平滑に処理する。

③拘束圧：100kPa

④圧密：所定の拘束圧で等方圧密

⑤繰返し载荷：応力比一定非排水 周波数 0.1Hz

⑥排水：段階的に排水

⑦再非排水繰返し载荷：応力比一定非排水 周波数 0.1Hz

⑧排水：後段階的に排水

3)試験結果

応力比を変えて実施。応力比～繰返し回数関係を図-2.3.1 に示す。詳細は巻末資料

繰返し非排水ねじりせん断試験

(応力比～繰返し回数関係)

調査件名： 中空ねじり装置による液状化試験

試料番号 Case4,5,6
採取深度 (m)

軸方向圧密応力 σ'_{ac} = 100.0 kN/m²
側方向圧密応力 σ'_{rc} = 100.0 kN/m²

整理年月日
整理担当者 逆井健太

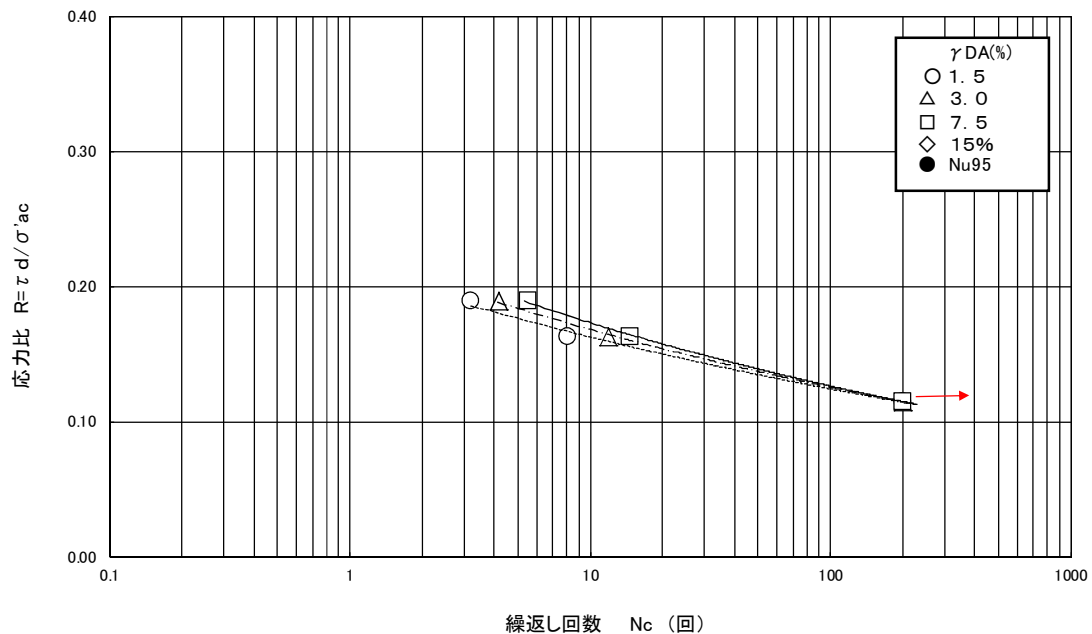


図-2.3.1 応力比～繰返し回数関係

2.4Case7

1)試料：供与された試料

2)試験方法

①密度：供試体作成時 1.70g/cm³

②供試体作成：含水比 3%に調整、5層締固めで作成,供試体を凍結し、側面を 2mm 以下の試料を用いて凹凸を平滑に処理する。

③拘束圧：鉛直応力：73.5kPa，水平応力：36.75kPa [Ko=0.5]

④圧密：図-2.4.1 の径路で圧密。

⑤非排水状態にした後で，応力比 0.2 で 50 回か γ DA=7.5%まで繰返しせん断する。

⑥排水：非排水繰返し後段階的に排水

⑦軸変位を固定。

⑧非排水状態にした後で，応力比 0.2 で 50 回か γ DA=7.5%まで繰返しせん断する。

⑨排水：非排水繰返し後段階的に排水

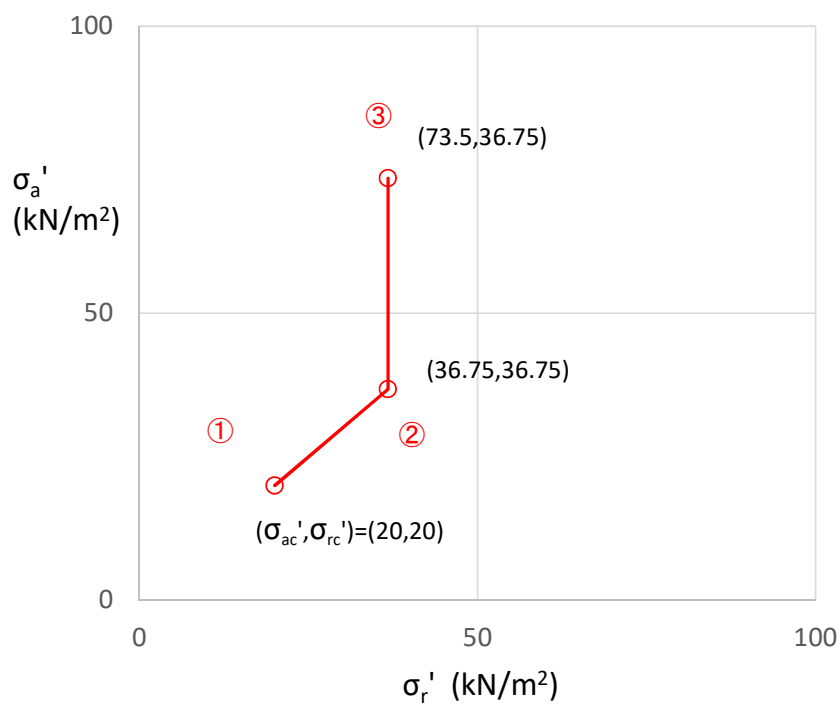


図-2.4.1 圧密径路図

2.5Case8

1)試料：供与された試料

2)試験方法

①密度：供試体作成時 1.70g/cm³

②供試体作成：含水比 3%に調整、5層締固めで作成,供試体を凍結し、側面を 2mm 以下の試料を用いて凹凸を平滑に処理する。

③拘束圧：鉛直応力：56.6kPa，水平応力：45.2kPa [Ko=0.8]

④圧密：図-2.5.1 の径路で圧密。

⑤非排水状態にした後で，応力比 0.2 で 50 回か γ DA=7.5%まで繰返しせん断する。

⑥排水：非排水繰返し後段階的に排水

⑦軸変位を固定。

⑧非排水状態にした後で，応力比 0.2 で 50 回か γ DA=7.5%まで繰返しせん断する。

⑨排水：非排水繰返し後段階的に排水

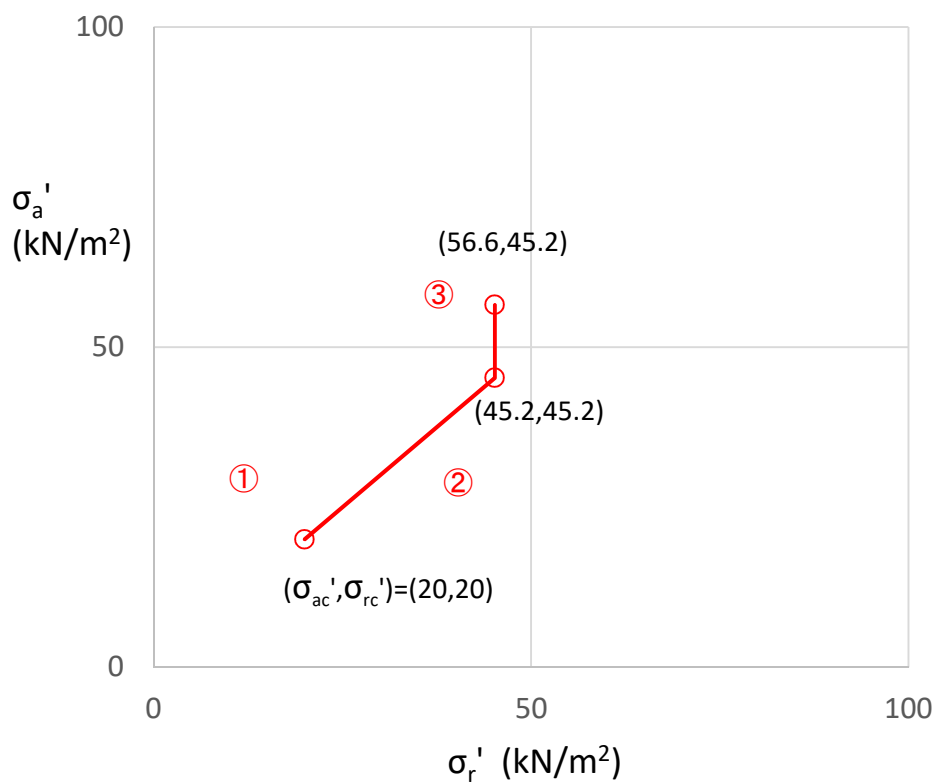


図-2.5.1 圧密径路図

2.6Case9

1)試料：供与された試料

2)試験方法

①密度：供試体作成時 1.70g/cm³

②供試体作成：含水比 3%に調整、5層締固めで作成,供試体を凍結し、側面を 2mm 以下の試料を用いて凹凸を平滑に処理する。

③拘束圧：鉛直応力：56.6kPa，水平応力：45.2kPa [Ko=0.8]

④圧密：図-2.6.1 の径路で圧密。

⑤非排水状態にした後で，応力比 0.2 で 50 回か γ DA=7.5%まで繰返しせん断する。

⑥排水：非排水繰返し後段階的に排水

⑦単調載荷で応力比 0.1 まで載荷する

⑦軸変位を固定。

⑧非排水状態にした後で，応力比 0.2 で 50 回か γ DA=7.5%まで繰返しせん断する。

非対称な応力振幅でのせん断 (SR -0.1~+0.3)

⑨排水：非排水繰返し後段階的に排水

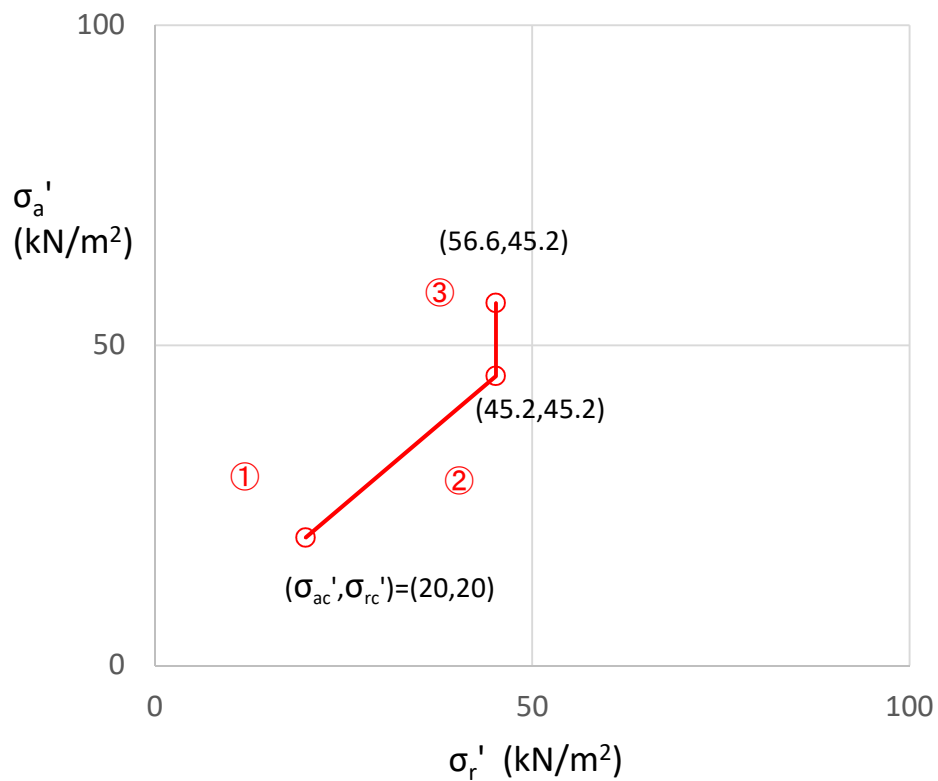


図-2.6.1 圧密径路図

付録D 三次元FEMによる土槽壁の影響検討

土槽壁の影響を検討するために、図1に示す解析モデルを用いて三次元解析を行った。その際、簡単のため、地盤物性はH29年度事業の検討における液状化強度大(0.5)と液状化強度小(0.2)の2種類を、岩盤相当の水平層(厚さ9.5m)の上に盛土し、ケーソン護岸と海の部分は無しとし、背後地盤がそのまま土槽境界まで続いているモデルとした。そのモデルの側面部を固定した場合(加振方向と同じ入力を入れる)と固定しない場合(何も入力せず二次元面内では自由に変位応答可能)とで、奥行き方向のセンターライン上の水平変位がどの程度影響を受けるか確認することが目的である。その際、極端な条件の差となるように、基盤層から表層までを一括で固定または自由とした。

解析結果から、図2に示す位置での最大変位分布を抽出したものが図3および図4である。この結果を見ると、側面境界の設定条件の差は、いずれのケースでも中央ラインの変位量に影響しているが、結果として、地盤が緩い場合でも密な場合でも、常に固定した場合(土層壁の摩擦がある場合)の変位は、少なくとも自由な場合の(土層壁の摩擦が無い理想的な二次元断面としての条件)変位よりも大きくなっており、検討した範囲では、土槽壁の摩擦が中央ラインの変位を”抑制”することは無いと予測された。

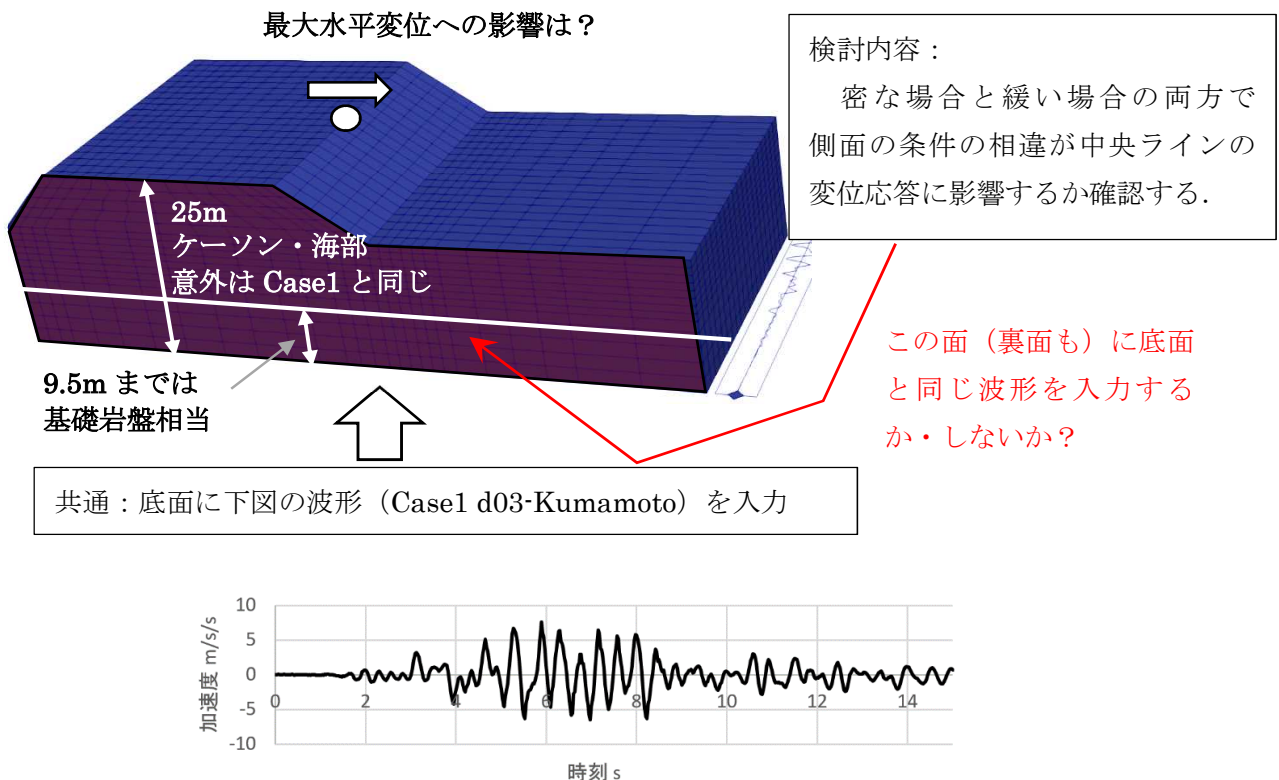


図1 三次元解析モデルの概要

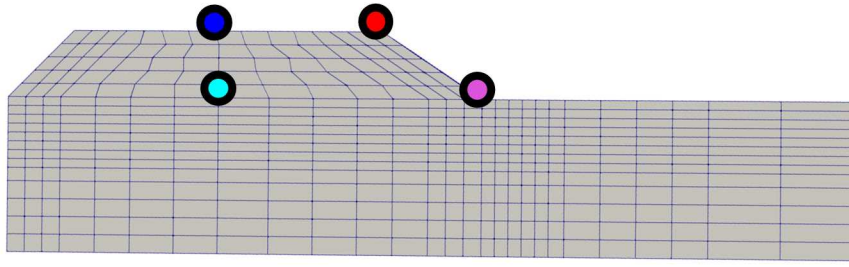


図2 変位抽出位置 (断面図中の丸印の位置の奥行方向の最大変位を抽出)

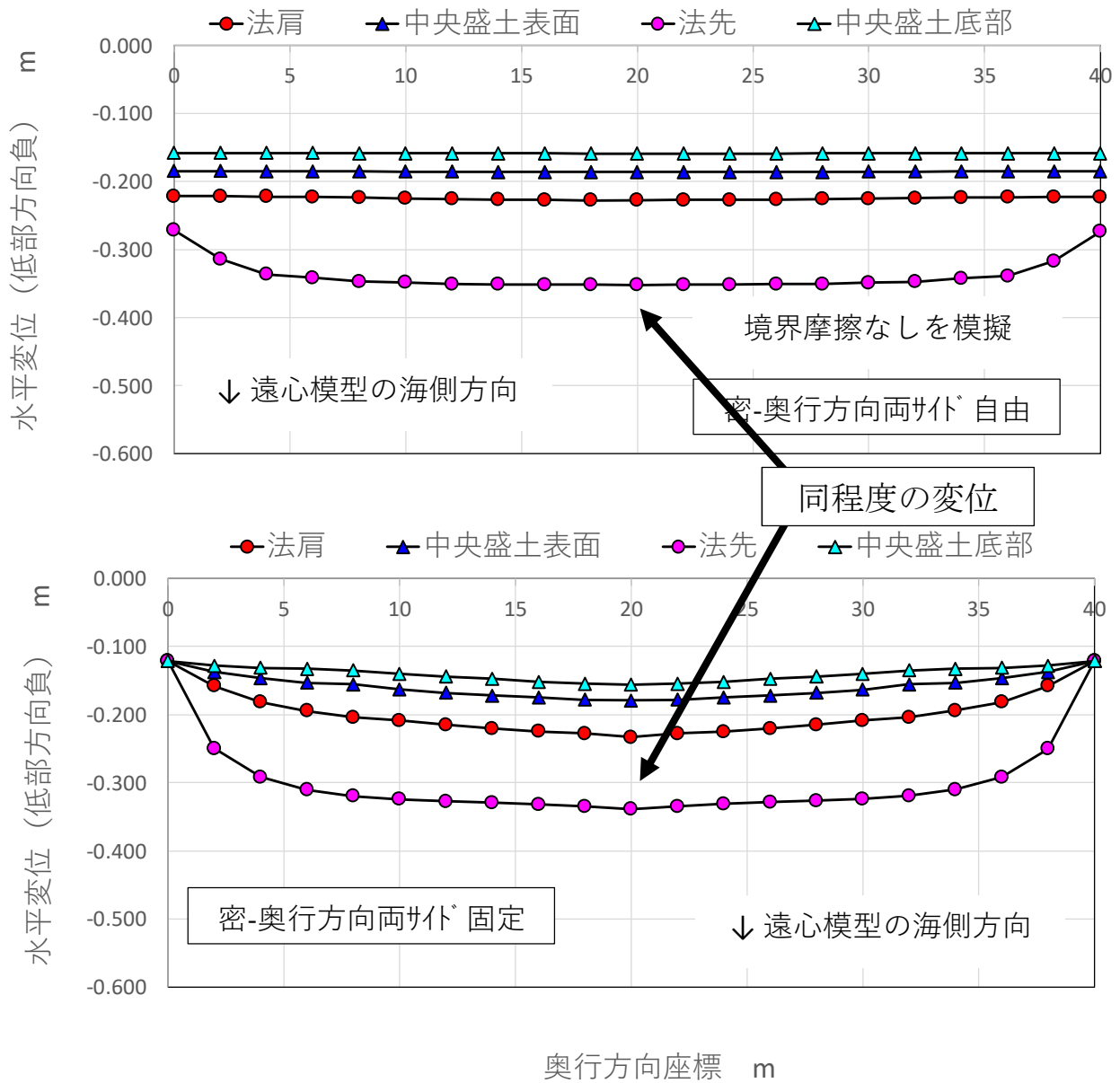


図3 地盤が密な場合の奥行方向の変位分布

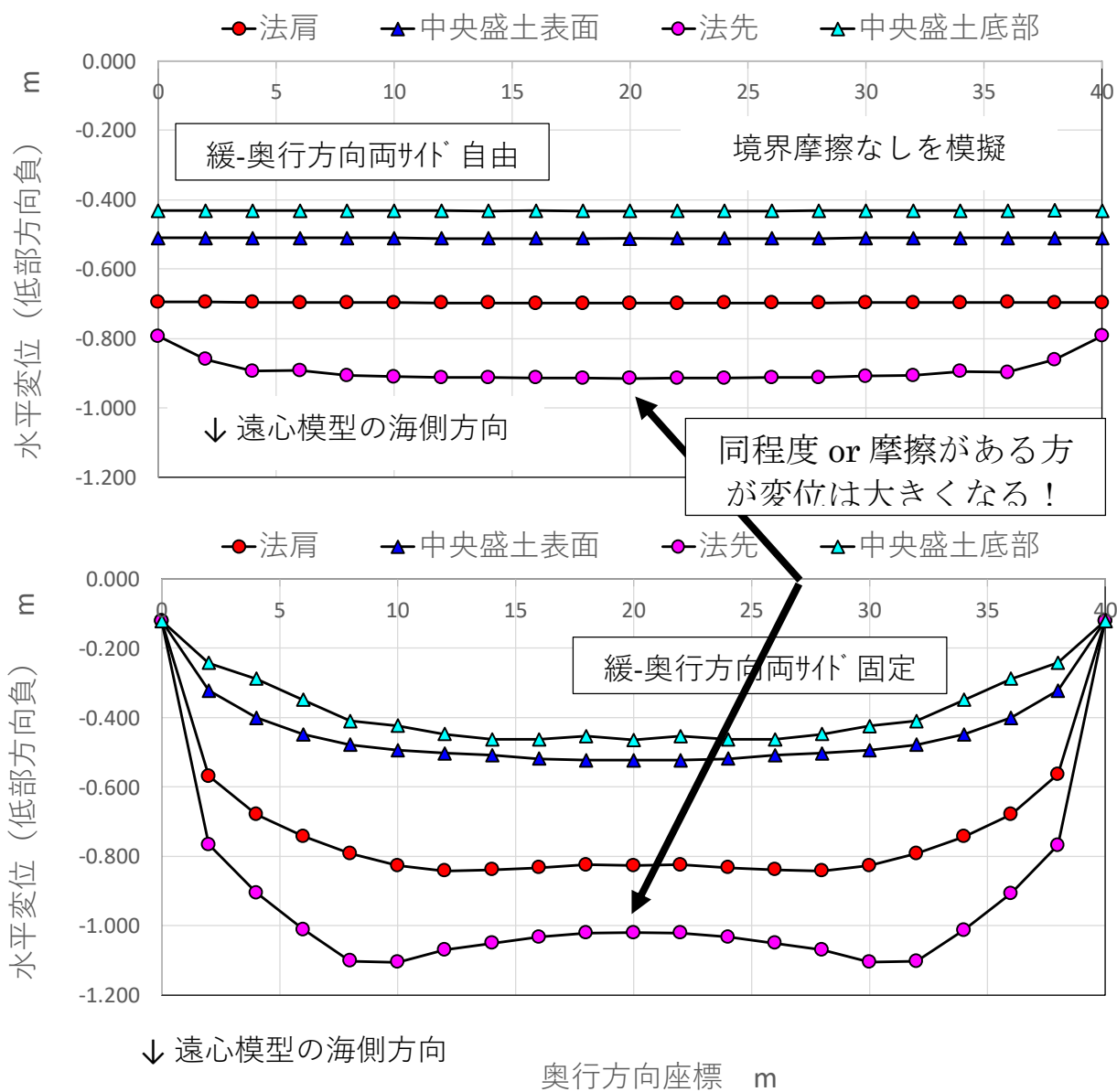


図4 地盤が緩い場合の奥行方向の変位分布

付録 E DEM 解析による初期水平土圧に関する検討

図 1 に示すように、遠心模型実験において初期水平土圧の信頼性が低下する要因として、土圧計の存在による沈下分布の非一様性とそれに伴う土圧の局所分布の存在が予想された。そのため、その程度を把握するために、DEM 解析ソフト Rocky (ESSS 社製 <https://www.esss.co/>) を用いて図 2 に概要を示す内容の解析を実施した。その結果を図 3 に示す。今回検討した範囲では、土圧計受圧面での土圧と地盤中の土圧に若干の差が認められたものの、図 3 に示される通り、それほど大きな差は生じていなかった。粒子間摩擦や剛体・粒子間の摩擦の設定、載荷方法・時間等の設定値が、土のしる材料特性にどのように影響するか、三軸試験等のシミュレーションを通じて検証した上で、今回と同様またはより遠心模型実験の条件に近づけた検討を行わないと断定は出来ないが、少なくとも今回のような簡便な検討でも若干の差は生じており、土圧計測の困難さが DEM 解析によっても確認された。

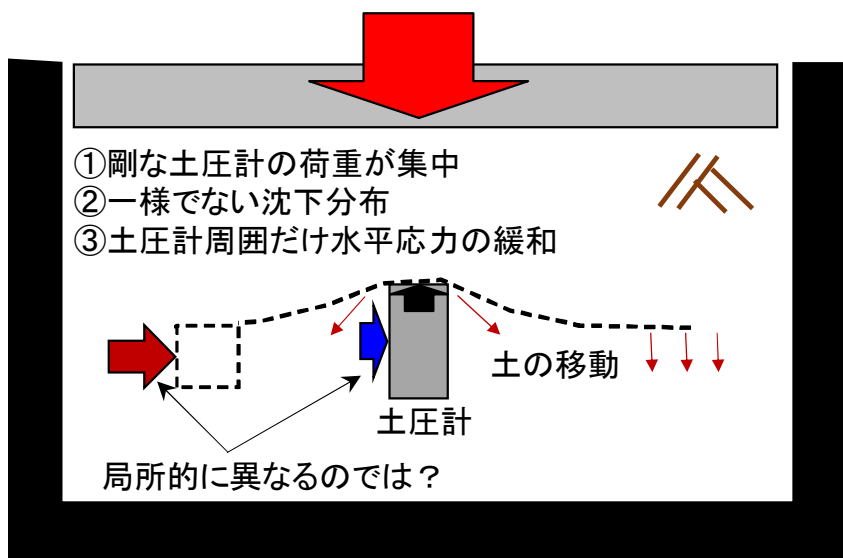
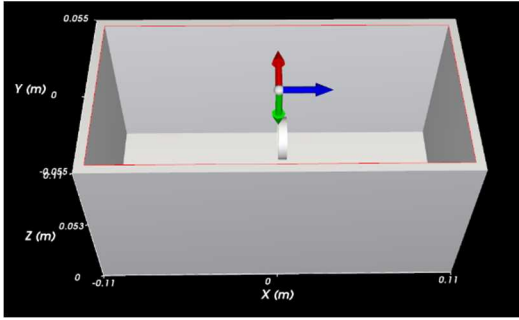
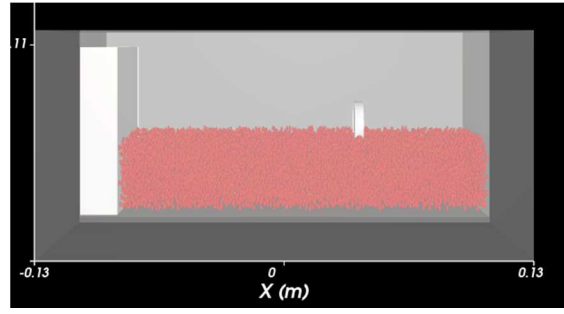


図 1 遠心模型実験における土圧計周囲の土圧の局所分布の可能性

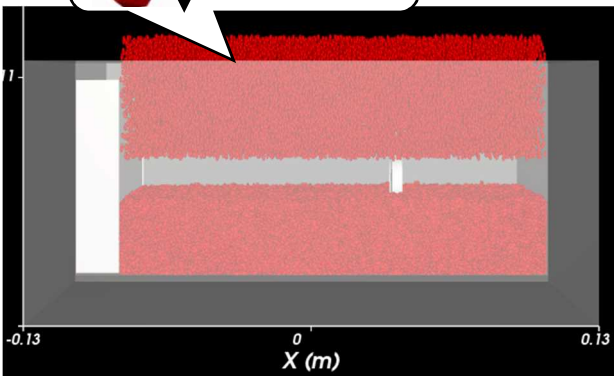
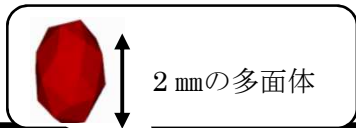


(1) 剛な外箱用意する

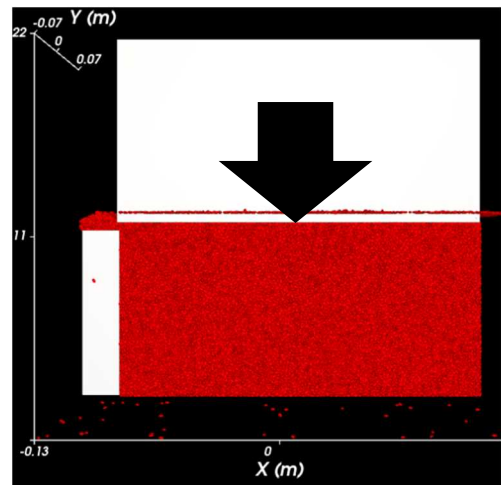
内寸 : L20cm×H10cm×D10cm



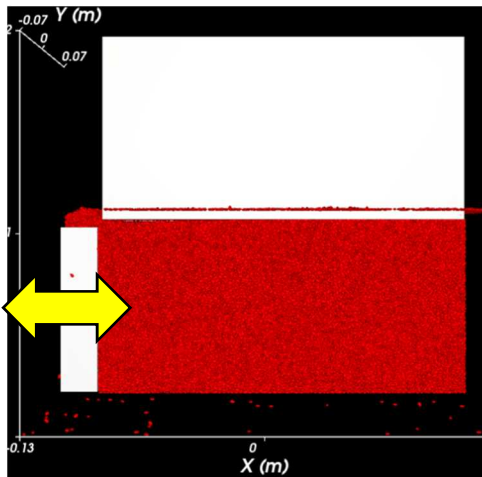
(2) ある程度粒子が堆積したところで土圧計セット
(外箱は半透明化しているだけで存在する)



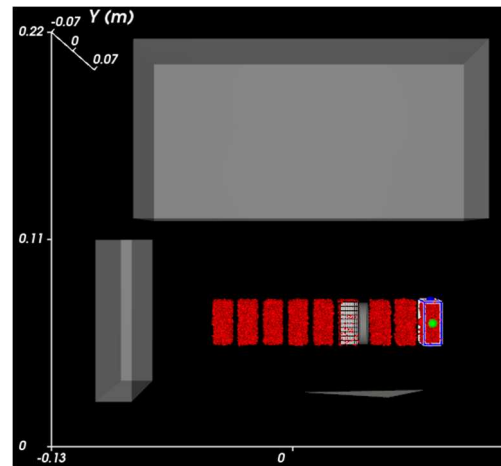
(3) さらに粒子を投入し土圧計を完全に埋める



(4) 剛なブロックで上載圧を与えて粒子表面を一様に沈下させる



(5) 地震動の代わりに水平荷重を載荷



(6) 土圧を計算するブロックを設定

(このブロックを対象に Eulerian Statistics の解析機能により地盤中の土圧を計算し、土圧計を想定した剛体表面の圧力と比較)

図2 DEM解析の概要

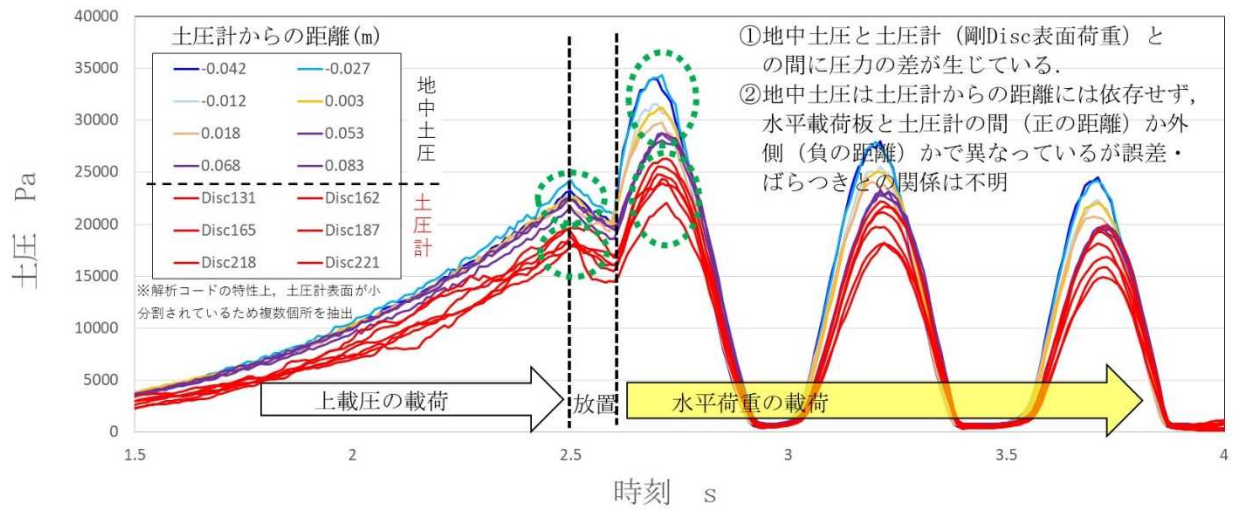


図3 解析結果（地中土圧と土圧計相当の剛円盤表面の圧力とを比較）

粒子間摩擦係数：0.6，粒子・剛体表面間摩擦係数：0.3

付録 F 豊浦砂の中空ねじり試験概要

豊浦砂を用いた実験では、供試体表面のメンブレンペネトレーションを避けるための特別な処理が不要であり、東北大学地盤工学研究室が有する中空ねじり試験機を用いた。その概略図を図 1 に示す。本検討で用いた中空ねじり試験機は、平面ひずみ状態の再現のため、外セル室と内セル室の圧力を独立に制御できるよう構成されている。

一連の試験では、炉乾燥させた豊浦砂を用いて、高さ 100 mm、外径 70 mm、内径 30 mm の中空供試体を作製した。その際には、供試体を 5 層に分け、1 層ごとに試料をモールド内にゆるく堆積させた後、側方からモールドを打撃することで供試体が所定の密度になるよう締め固めた。その後、作製した供試体の間隙を炭酸ガス、脱気水の順で満たし、供試体を飽和させた。この際、B 値が 0.95 以上であることを確認した。続いて所定の有効拘束圧となるよう、供試体を圧密し、繰り返し载荷を行った。その際、供試体の半径方向のひずみを発生させない、平面ひずみ状態を維持する制御を行った。

平面ひずみ状態を維持するにあたり、より原位置の状態に近づけることを考えると、鉛直動の影響を考慮しないとすれば、鉛直全応力は、上部地盤がなくならない限り、一定値となるべきである。また、斜面や盛土といった地盤の幾何学的形状によって、初期に軸差せん断や水平せん断が生じている場合、それが繰返しせん断中にどのように変化していくかは、鉛直ひずみと水平ひずみ（せん断方向のみ）がどの程度発生するか依存して結果として得られるものであり、初期値のまま固定するべきではない。これらを実現するため、使用した試験装置では、中空供試体の水平 2 方向のひずみのうち、半径方向ひずみは平面ひずみ条件を満たすためゼロとなるようにコントロールしつつ、せん断方向と平行な円周方向ひずみと鉛直ひずみは許容するように、内セル圧力と外セル圧力を独立に制御した。具体的な制御の概要を以下に示す。

- ・ 鉛直全応力の制御目標値を設定する。
- ・ 供試体にせん断ひずみを与える。
- ・ 鉛直全応力が制御目標値から 0.5 kPa 以上乖離した場合、制御ルーチン X を実行する。そうでない場合、再び供試体にせん断ひずみを与える。

[制御ルーチン X]

- ・ 鉛直全応力が制御目標値より大きい場合、鉛直全応力が制御目標値内になるまで、伸長方向に軸変位を与える。逆に、鉛直全応力が制御目標値より小さい場合、鉛直全応力が制御目標値内になるまで、圧縮方向に軸変位を与える。
- ・ 与えた軸変位量から半径方向ひずみがゼロとなるように内セル体積を変化させる。
- ・ 内セル体積制御後、鉛直全応力が制御目標値から 0.5 kPa 以上乖離した場合、制御ルーチン Y を実行する。そうでない場合、はじめに戻り再び供試体にせん断ひずみを与える。

[制御ルーチン Y]

- ・ 鉛直全応力が制御目標値より大きい場合、鉛直全応力を減少させるため外セル圧を減少させる。そうでない場合、鉛直全応力を増加させるため外セル圧を増加させる。
- ・ 外セル圧制御前後で、外セル圧を増加させたにも関わらず鉛直全応力が減少した場合、または、外セル圧を減少させたにも関わらず鉛直全応力が増加した場合、次回の外セル圧制御において外セル圧増減方向を逆転させる。（つまり、鉛直全応力を減少させるためには外セル圧を増加させ、鉛直全応力を増加させるためには外セル圧を減少させる。）
- ・ 外セル圧制御後、鉛直全応力が制御目標値から 0.5 kPa 以上乖離している場合、制御ルーチン Y のはじめに戻り再び外セル圧制御を実行する。そうでない場合、はじめに戻り供試体にせん断ひずみを与える。

上記は鉛直全応力を一定に保ったままで平面ひずみ状態を維持してせん断する場合の手順であるが、鉛直応力、水平応力 2 方向、せん断応力の全 4 成分を不規則波で制御する場合は、その都度鉛直全応力の制御目標値を設定し直す以外、制御の基本的な部分は上記と同様である。制御結果は、報告書本文中の図 4.3-2 に示されているが（再掲）、ところどころ制御が不十分な箇所が認められる。しかし、これらは、①供試体の背圧より小さなセル圧を目標とする（→供試体の破裂につながる）箇所は制御目標を

設定する段階でチェックして目標値を調整する，②個々の制御機器の制御頻度と目標値に達するまでの繰り返し上限回数を調整する，ことで制御精度の向上が可能である。

なお，本試験は，土骨格の挙動自体には時間依存性が無く，地震のような不規則な応力変化による変形挙動は，水の移動が関係してこない限り，時間軸は気にせず，波形の不規則性を追跡することが重要であるとの判断に基づいている．すなわち，横軸を時間とした場合でも，それは個々の载荷目標数値に対して収束に至るまでに要した時間の積み重ねであり，もともとの地震動の時間とは対応しないことに注意されたい。

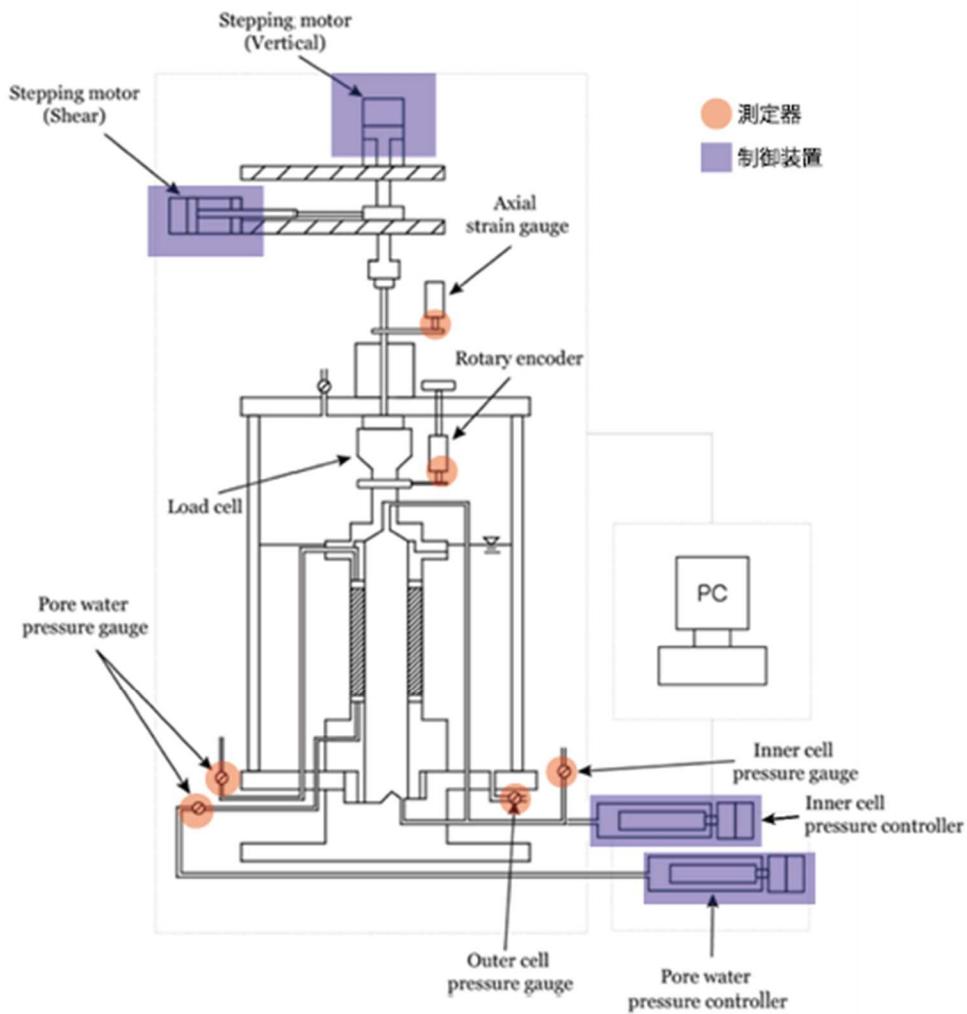


図1 中空ねじり試験機 概略図

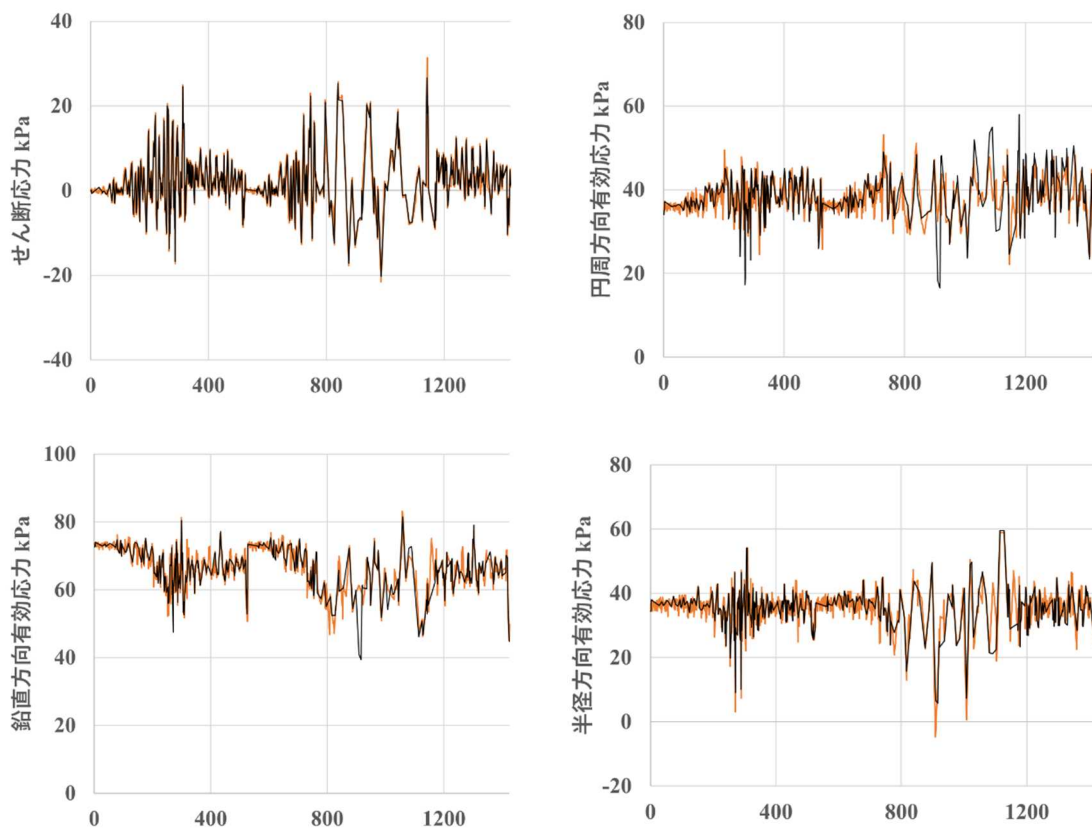
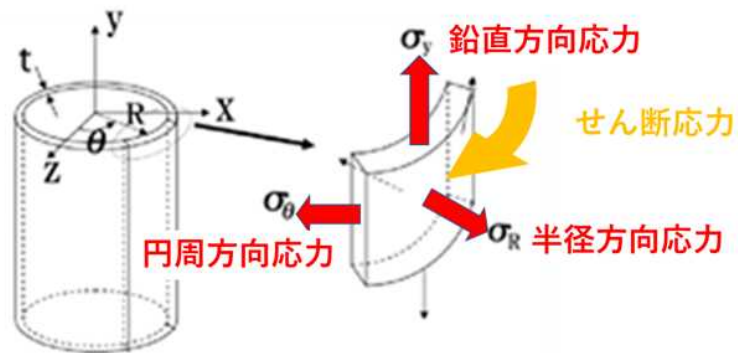


図 4.3-2 応力 4 成分不規則波制御の試験精度 (報告書本文中の図を再掲)