

土木研究所資料

東京湾横断道路人工島模型振動実験

—— (その2) 粘性土地盤上の側面セル式人工島の検討 ——

昭和60年11月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

「Copyright © (1985) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

東京湾横断道路人工島模型振動実験
——（その2）粘性土地盤上の側面セル式人工島の検討——

振動研究室

室長 佐々木 康
研究員 松本 秀 應
近 藤 益 央

要 旨

地震のような動的外力を受ける土構造物に作用する地震力は、静的な滑り面法等で考慮している震度とは種々の点で相違しているにもかかわらず、これを適切に評価し得る解析手法は、現在のところ確立されていない。本資料は、土構造物として東京湾横断道路に計画されている人工島を対象に、昭和58年度に大型振動台を用いて模型振動実験を行い、その地震時動的変形特性に与える側面セルの影響について検討した結果をとりまとめたものである。

キーワード：東京湾横断道路，人工島，耐震，粘土，模型実験

ま え が き

軟弱な海底地盤上に建設される海中構造物は、利用者の安全確保あるいは復旧の困難さなどから一段と耐震安定性の確保が要求されるが、大規模な盛土形式となる人工島については実績もなく、明確な耐震設計法も十分確立されていないのが現状である。

本報告書は、東京湾横断道路に計画されている人工島を対象に、昭和 58 年度に大型振動台を用いて模型振動実験を行い、その地震時動的変形特性を調べた結果をとりまとめたものである。

なお、本実験は、建設省土木研究所および日本道路公団東京第一建設局が共同研究として実施した「盛土の地震荷重に関する試験調査」の一部として実施したものである。

昭和 60 年 11 月

建設省土木研究所 地震防災部振動研究室

室 長	佐々木	康
研究員	松 本	秀 應
	近 藤	益 央

目 次

まえがき

1. 概 説	1
2. 模 型	4
2.1 模 型 諸 元	4
2.2 計 測 体 制	12
2.3 相 似 則	12
3. 加振振動実験	19
3.1 概 要	19
3.2 正弦波加振実験	19
3.3 地震波加振実験	25
3.4 破壊加振実験	45
4. 結 論	50
謝 辞	52
参考文献	53
付属資料-1 粘土地盤の強度と人工島の安定性	55
付属資料-2 実験模型の作製風景および加振振動実験終了時の状況写真	59

1. 概 説

軟弱な海底地盤上に建設される海中構造物は、利用者の安全確保あるいは地震により被災した場合の復旧の困難さなどから、一段と耐震安定性の確保が要求される。ことに大規模な盛土形式となる人工島については実績もなく、明確な耐震設計手法も確立されていないのが実状である。そこで、東京湾中央部で計画されている東京湾横断道路の人工島を対象に、地震時変形特性の把握ならびに耐震設計手法の基礎資料とする為に、大型振動台を用いて模型実験を行った。

東京湾横断道路は、川崎市浮島と木更津市盤州とを結ぶ延長約 15 km の路線であり、その湾中央部に約 5 km の長大な沈理トンネルを沈設し、その両端部に天端幅 100 m、長さ 500 m の人工島を築造し、人工島と対岸との間に川崎側、木更津側とも海上橋梁を構築しようとするものである。路線計画位置は、大半が水深 30 m 近く、かつ、海底地盤は数 10 m の軟弱地盤層という自然条件下にある(東京湾地質断面図。図-1.1 参照)。

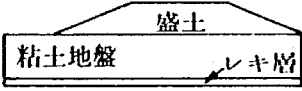
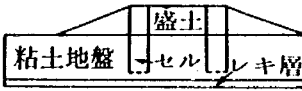
この人工島の形式の 1 つとして盛土周辺に護岸ならびに盛土補強を目的として鋼管矢板セル (直径 20 m) を支持層まで打ち込み、その周辺地盤を深層混合処理で改良する案がある (側面セル式人工島・図-1.2 参照)。

本模型実験は、この案を対象に、その鋼管矢板セルが人工島の振動・変形特性に与える影響を調査することを目的とするとともに、海中における盛土等の耐震設計手法ならびに地震時動的解析の基礎資料を得ようとするものである。

今回の実験では地盤模型を粘土を用いて作製することにより実情に即した模型とし、セルの有無による比較を行うため表-1.1 に示す 2 ケースの模型を作製し、実験を実施した。

ケース A は地盤と盛土のみの場合、ケース B は盛土側面にセルを設置したものである。

表-1.1 実験 ケ ー ス

	対 策 工	備 考
ケース A	な し	 盛土形状 (図-2.1(a)参照)
ケース B	セ ル 有	 盛土形状 (図-2.1(b)参照)

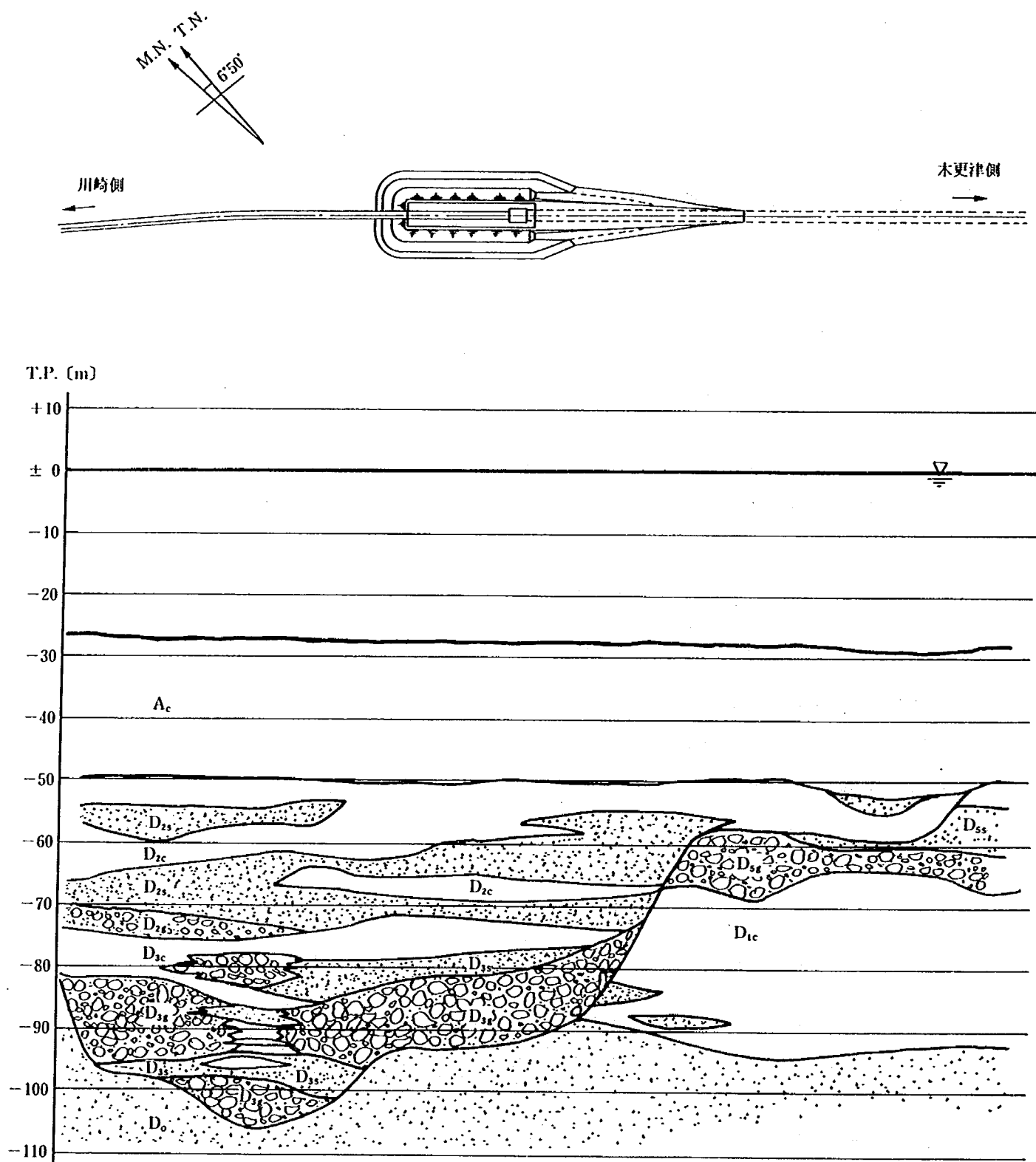


図-1.1 東京湾地質断面図

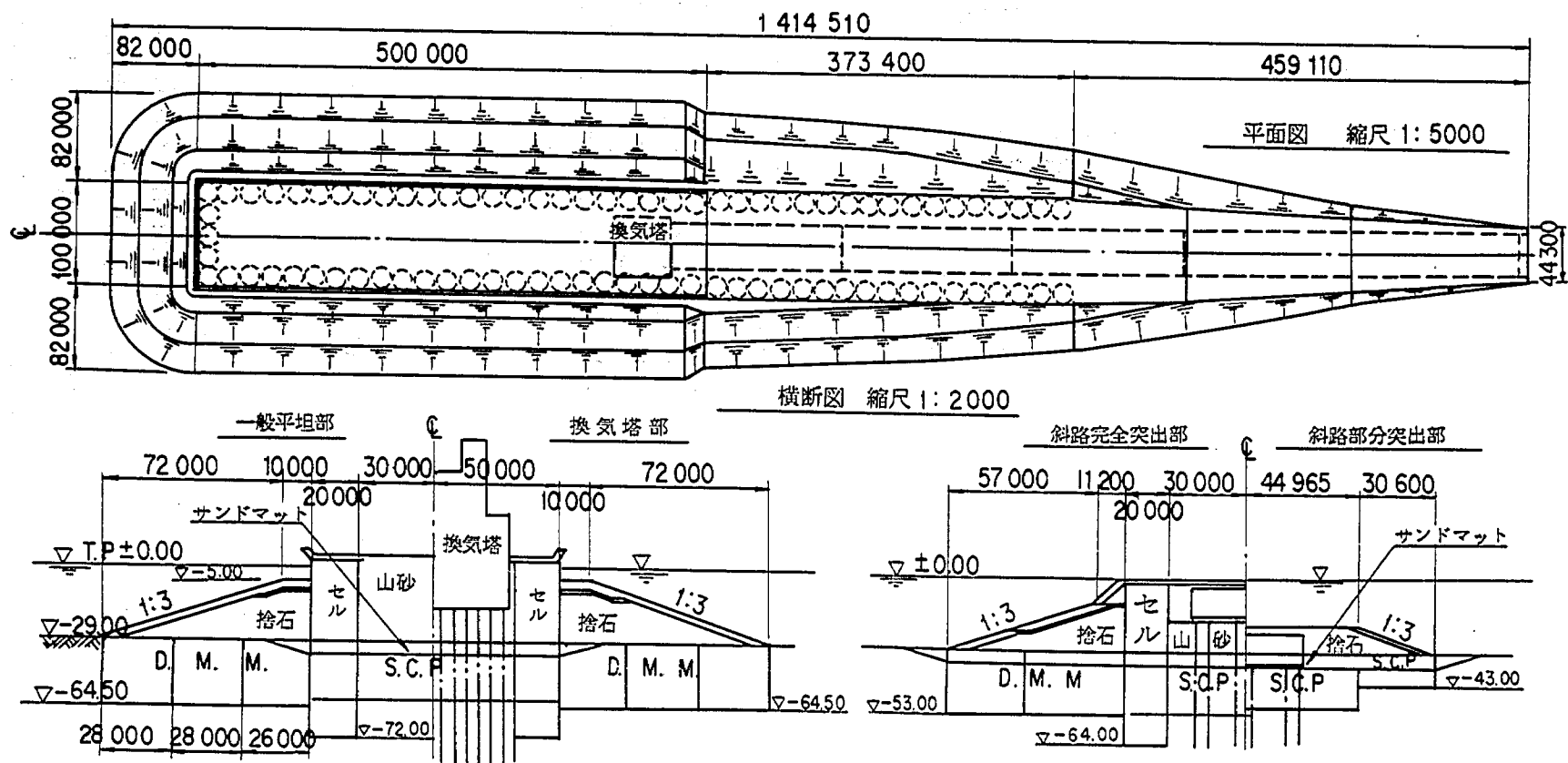


図-1.2 側面セル式人工島

2. 模 型

2.1 模型諸元

2.1.1 模型の概要

地盤および盛土模型寸法諸元を図-2.1に示す。地盤は厚さ 115 cm の水平地盤で作製し、その上に高さ 60 cm、天端幅 200 cm、のり勾配 1 : 2.5 の盛土模型を作製した。土槽底面より 15 cm は粘土地盤の圧密時の排水層として礫材を敷いた。なお、今回の実験では海水は考慮せず、水位は粘土地盤表面の位置とした。(付属資料-1 参照)

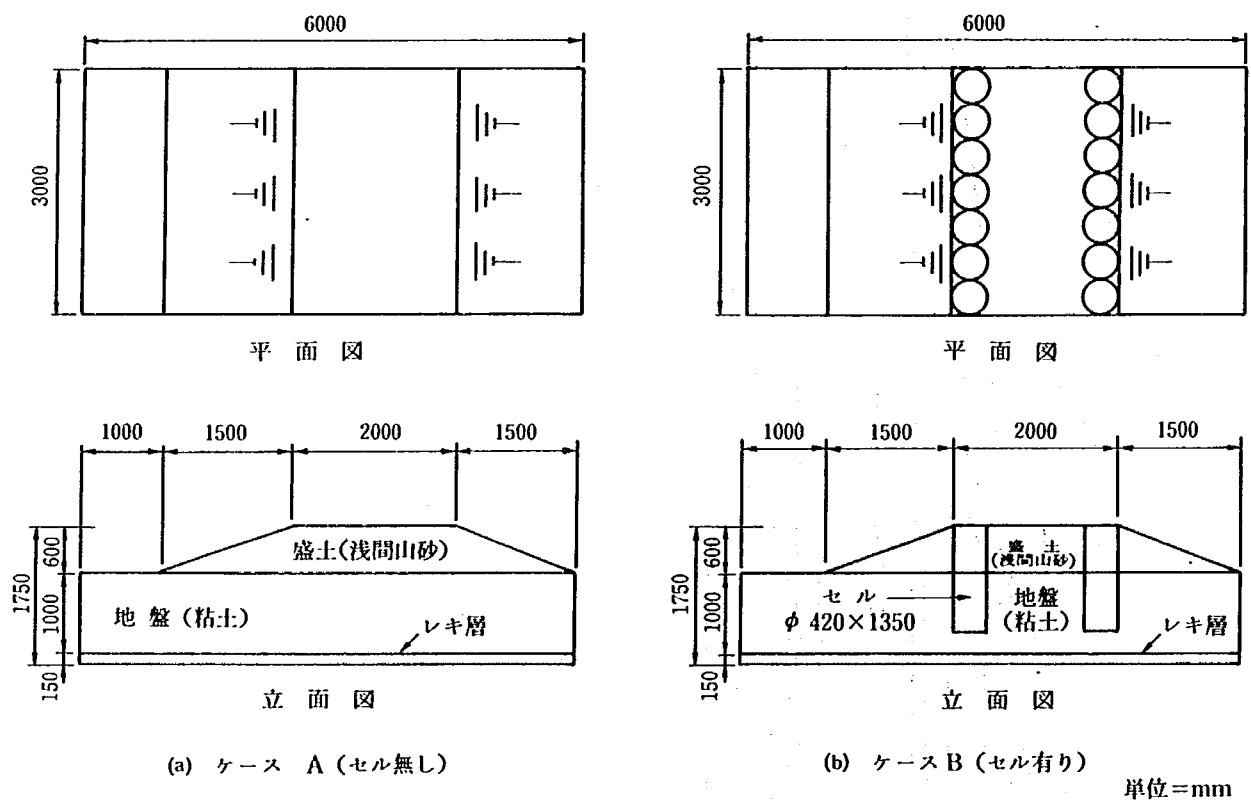


図-2.1 実験模型概要

2.1.2 材料特性

1) 地盤・盛土模型

模型材料として、地盤は沖積海成粘土（埼玉県南東部流山市の溺れ谷より採取）を、また、盛土は浅間山砂を用いており、これらの粒径加積曲線は図-2.2に示すとおりである。すなわち、粘土の平均粒径 D_{50} は 0.007 mm であり、粘土とシルトの境界に位置している。浅間山砂の平均粒径 D_{50} は 0.24 mm、均等係数 U_c は 2.08 であり、一般にきれいな砂と呼ばれ液状化を起こしやすい材料である。粘土の液性限界 w_L は 82%、塑性指数 I_p は 42% であり、中位から高位の塑性を有する有機質粘土であると

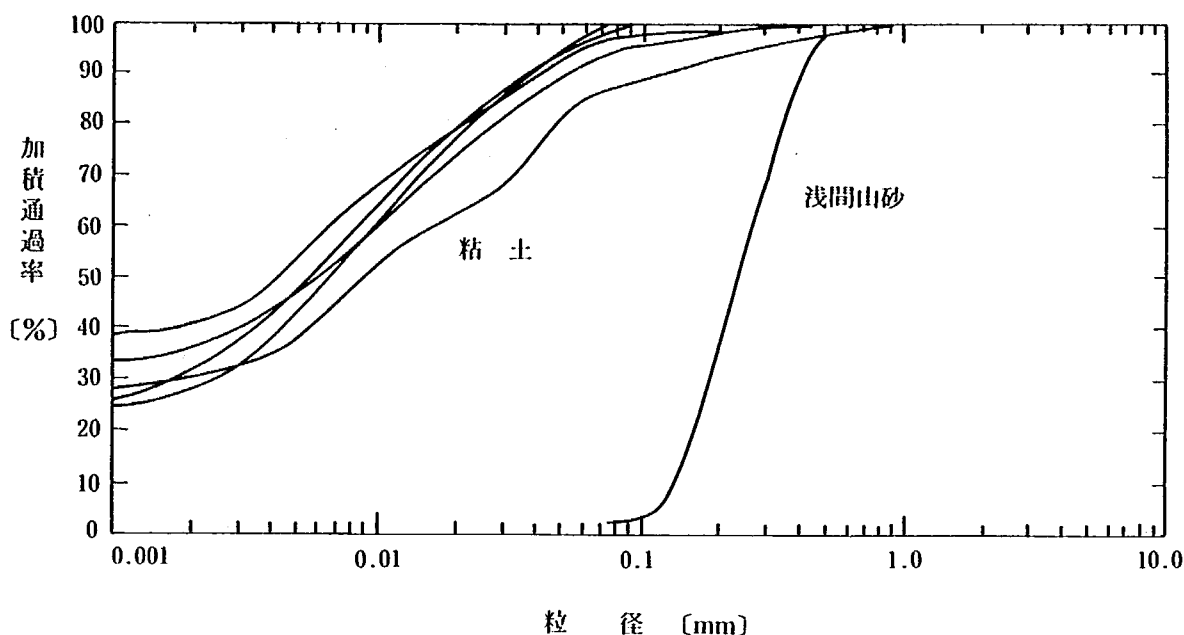


図-2.2 地盤・盛土模型材料の粒径加積曲線

いえる。これらの材料特性をまとめたものを表-2.1に示す。

また、粘土の強度特性をもとめるために、圧密試験、一軸圧縮試験、ベーンせん断試験およびコーン貫入試験を実施した。その結果を図-2.3、2.4に示す。この結果と盛土の安定解析結果から、粘土地盤模型は初期含水比 w を 117% とし、圧密度 80% まで圧密を行うこととした。(付属資料-1)

盛土材料である浅間山砂については、締固め特性を求めるために締固め試験を実施した。

2) セル模型

側面セル式人工島案では盛土の護岸として、実際には鋼管矢板セル（セル径 20 m，長さ 75 m，鋼管径 90 cm）の使用が考えられているが、模型では軟質ポリ塩化ビニール板（厚さ 0.4 mm， ϕ 420 mm）の円柱を作製し、これを地盤および盛土中に埋設した。なお、セル内部は盛土材料と同じ浅間山砂を詰めてある。セル模型の概要を図-2.6に示す。

2.1.3 地盤および盛土の作製方法

本実験の地盤および盛土模型作製に先立ち、粘土の調合、圧密の方法、セルの設置、盛土の構築の方法について予備実験を行った。

予備実験の結果をふまえて本実験における地盤および盛土の作製は以下の手順により行った。

- ① 土槽底に厚さ 15 cm のレキ材を敷き、粘土の圧密用の排水層を作製する。
- ② レキ材の上に粘土とレキの混合を防ぐために不織布を敷く。
- ③ ミキサーにより粘土を攪拌するとともに給水し、含水比を 117% に調合しタンクに一時蓄えておき、地盤模型作製に必要な粘土量を調合した後、グラウトポンプにより土槽内に圧送する。

表-2.1 地盤・盛土模型材料の特性

項 目	記号〔単位〕	浅間山砂 (盛土模型)	粘 土 (地盤模型)
土粒子の比重	G_s	2.714	2.677 (2.663~2.695)
最適含水比	w_{opt} 〔%〕	18.0	--
最大乾燥密度	γ_{dmax} 〔tf/m ³ 〕	1.574	--
最大間隙比	e_{max}	1.077	--
最小間隙比	e_{min}	0.658	--
60 % 粒 径	D_{60} 〔mm〕	0.27	--
10 % 粒 径	D_{10} 〔mm〕	0.13	--
平 均 粒 径	D_{50} 〔mm〕	0.24	0.0069 (0.0041~83)
均 等 係 数	U_c	2.08	--
細粒分含有率	F_c 〔%〕	--	95 (94~99)
液 性 限 界	w_L 〔%〕	--	82 (77~87)
塑 性 限 界	w_p 〔%〕	--	40 (37~42)
塑 性 指 数	I_p 〔%〕	--	42 (37~45)
自然含水比	w_n 〔%〕	--	92 (91~94)

注 ()内の数値は試験結果の範囲を示す。

- ④ 粘土上に沈下板および載荷板を載せ、ドレン用の不織布を 30 cm ピッチで粘土地盤内に圧入する。
- ⑤ 載荷板上に荷重として砂をのせ、粘土上面および下面より排水を行い圧密する。
- ⑥ 粘土地盤の沈下量を計測するとともに、試料を採取し含水比の計測およびコーン貫入試験による強度の計測を行い所定の強度になったことを確認する。
- ⑦ 圧密用の荷重、載荷板およびドレン用の不織布を取りのぞき粘土地盤を所定の層厚に整形する。
- ⑧ セルを有するケース B では鋼管のガイドを用い軟質ポリ塩化ビニール性のセル模型を粘土地盤内に圧入し、セル内部の粘土を取りのぞき浅間山砂を入れる。

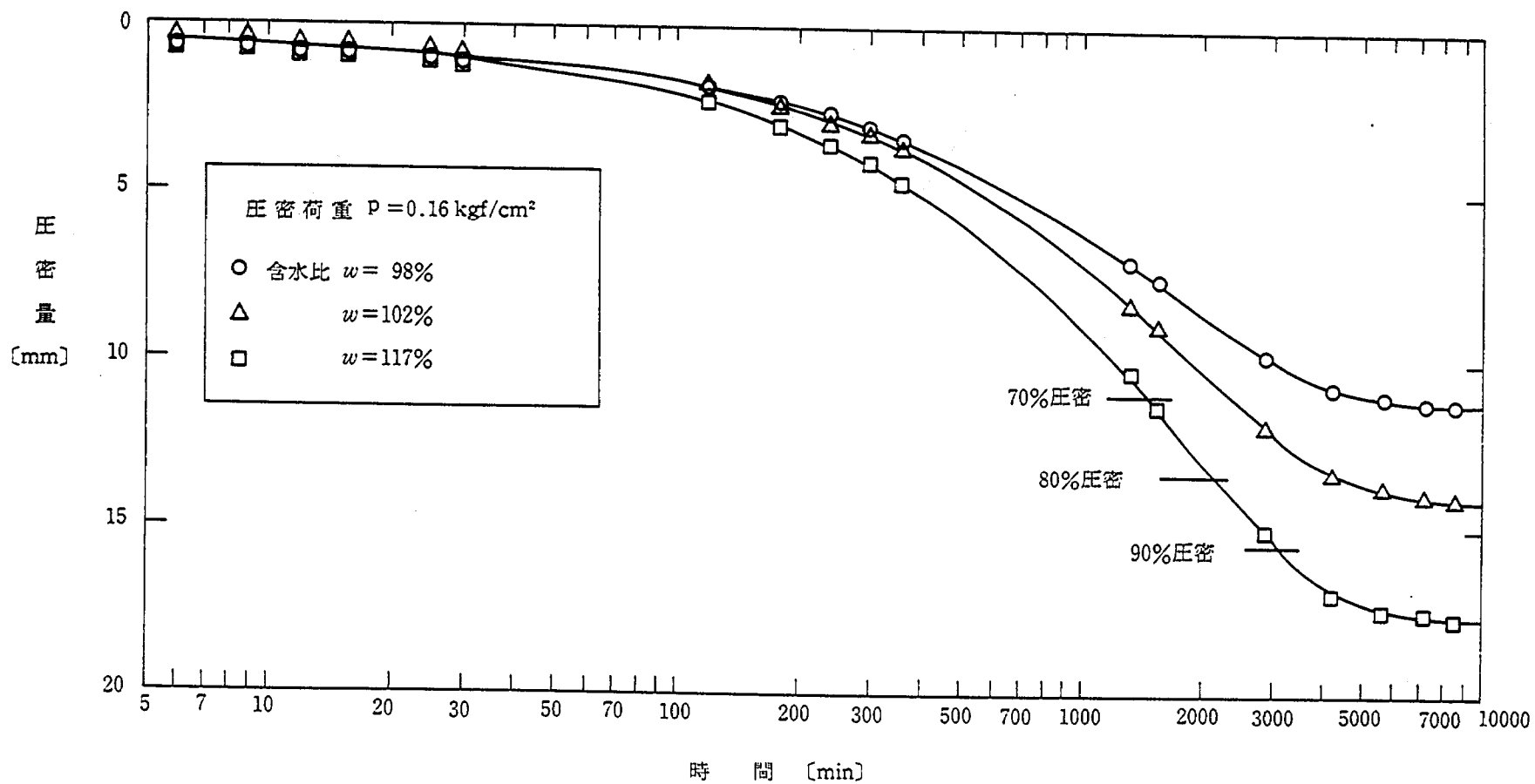
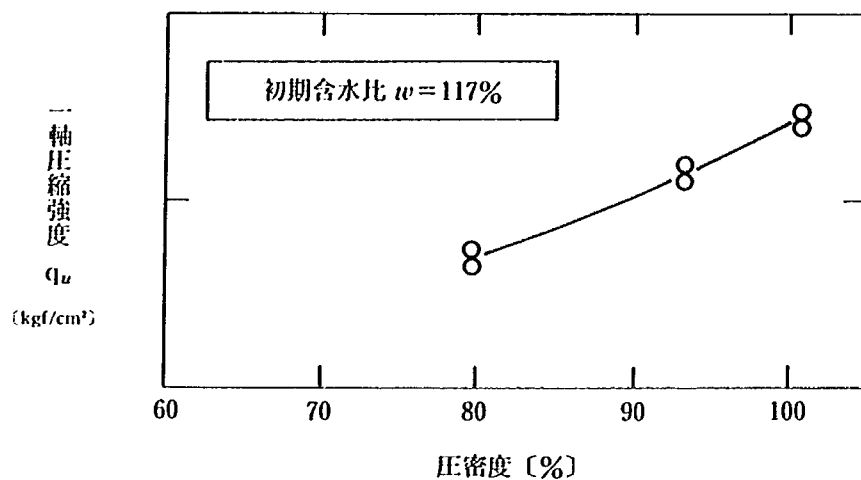
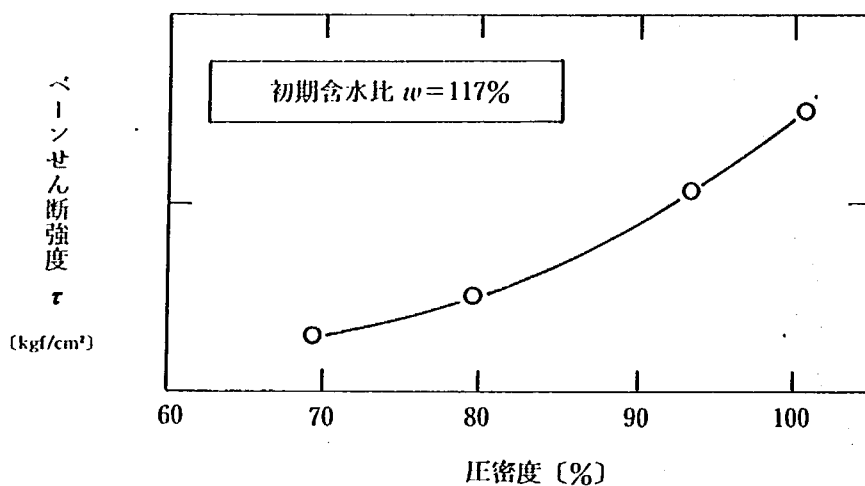


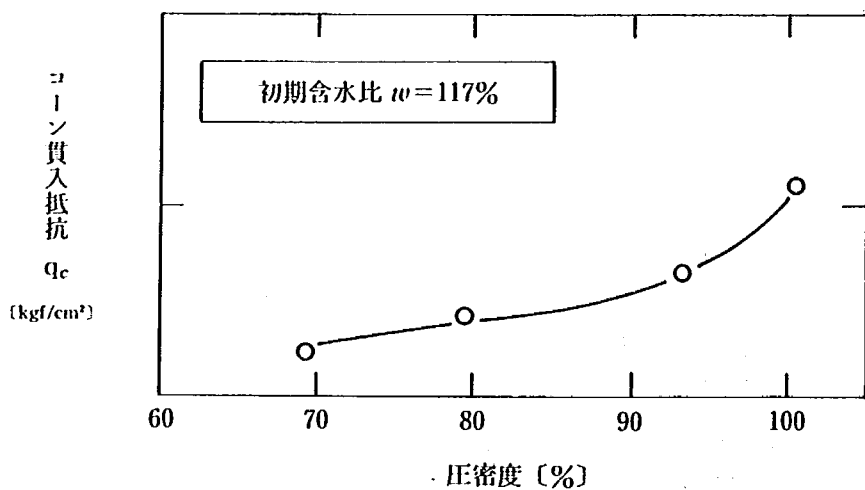
図-2.3 圧密量曲線



(a) 一軸圧縮強度 q_u



(b) ペーせん断強度 τ



(c) コーン貫入抵抗 q_c

図-2.4 粘土の強度特性

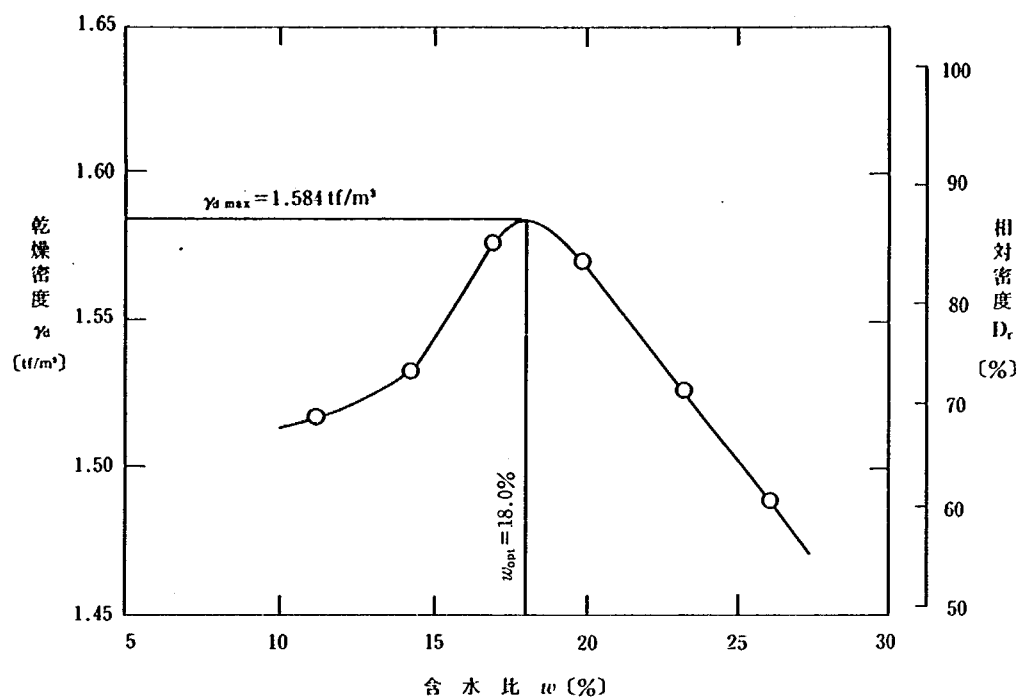


図-2.5 浅間山砂の締固め試験結果

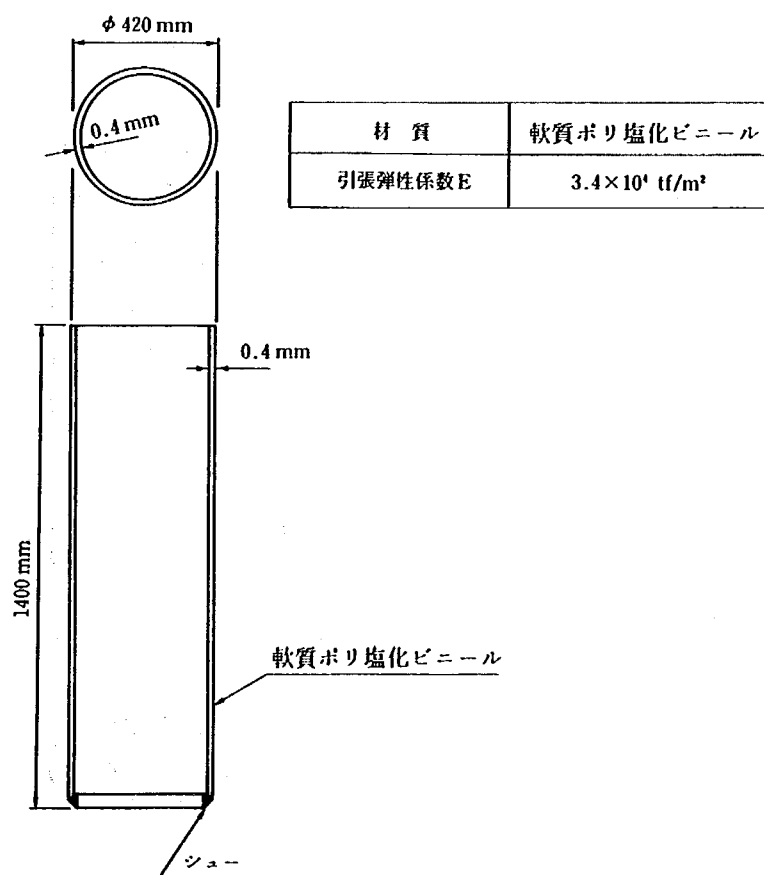


図-2.6 セル模型概要図

⑨ 地盤内部の所定の位置に加速度計を設置する。

⑩ 粘土地盤上に湿潤状態（含水比 14～15％）の砂を搬入し所定のまき出し厚ごとに締固めを行い、所定の勾配となるよう法面の整形を行う。

なお、地盤、盛土模型作製中には、変形量計測用の石灰メッシュを設置した。また、模型完成後に地表面に変位および沈下量測定用の標点を設置した。

以上の模型作製のフローを図-2.7に、また、圧密時の沈下曲線を図-2.8に示す。

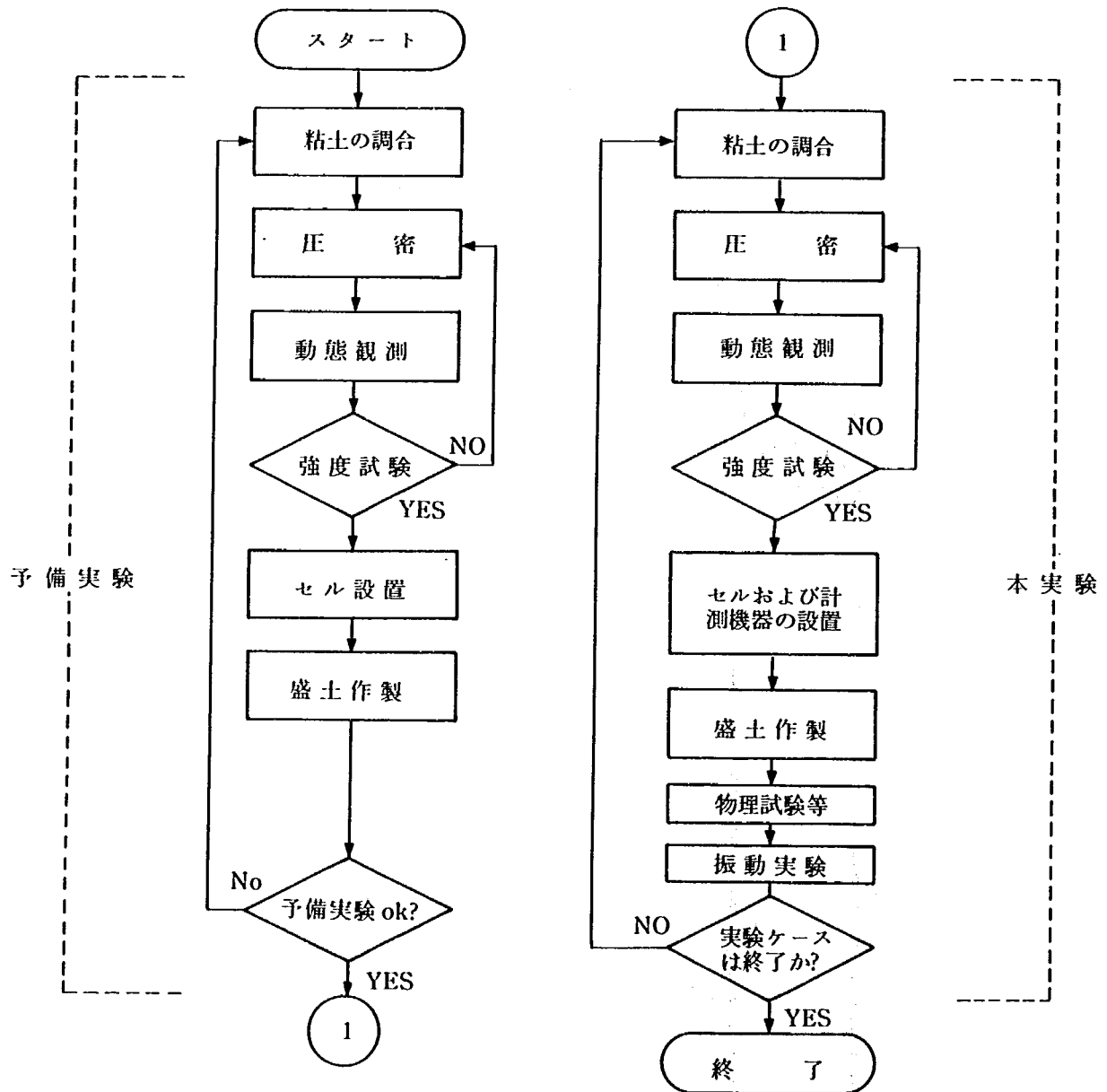
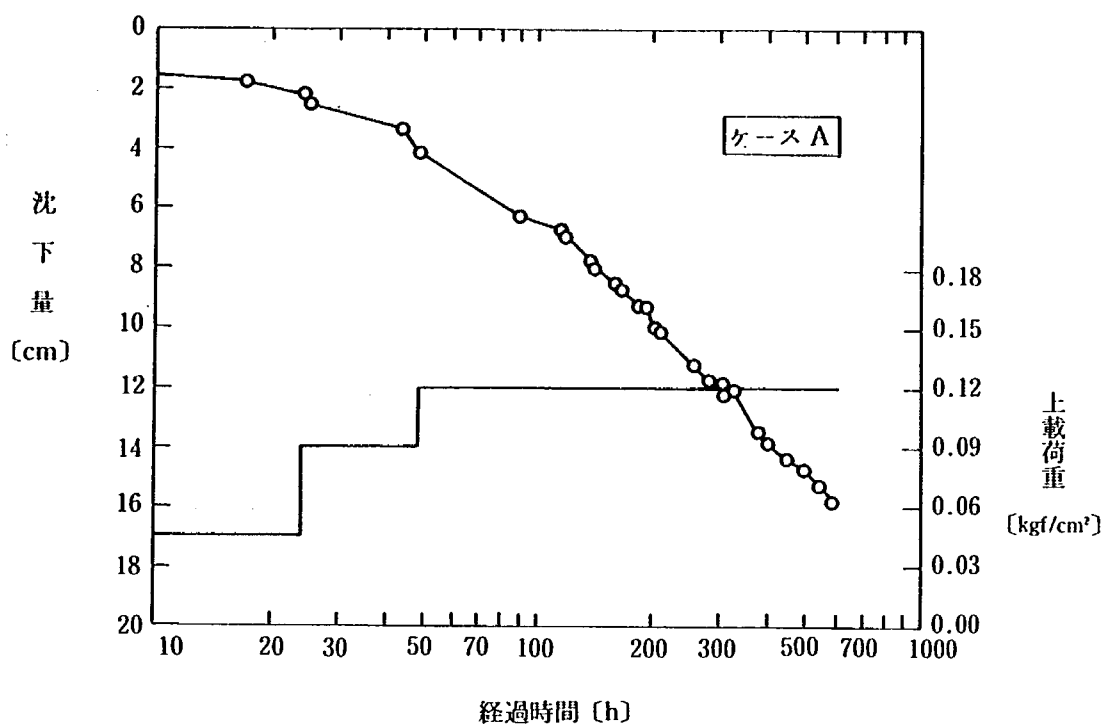
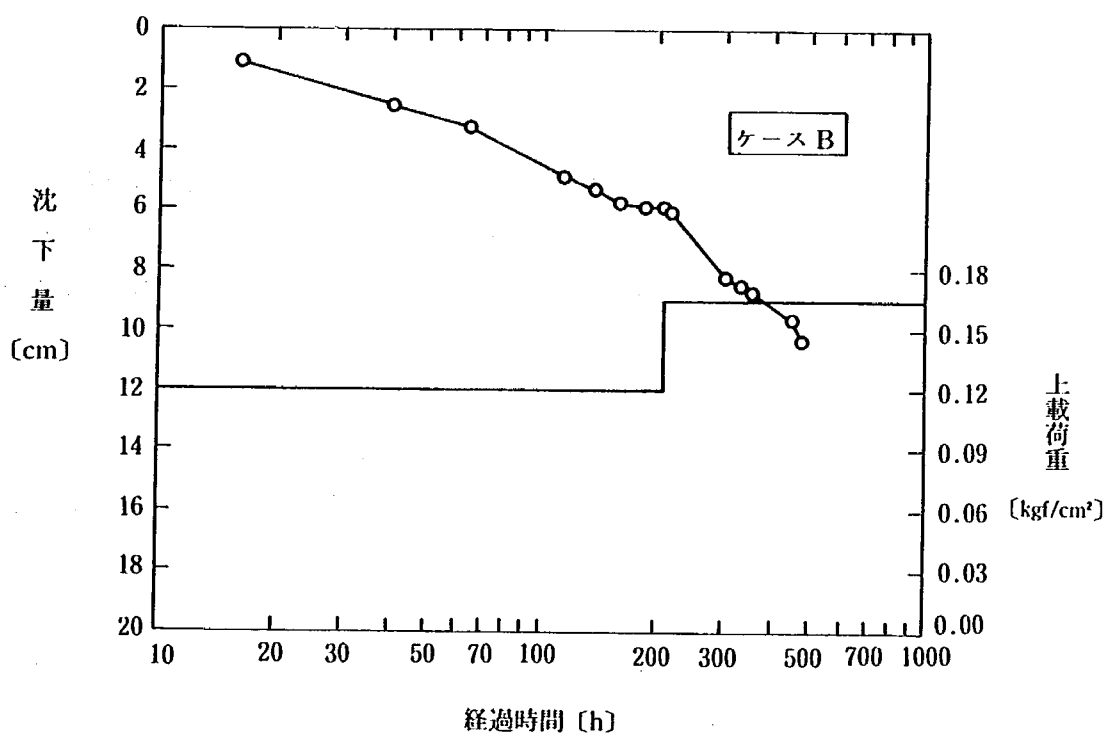


図-2.7 模型作製のフローチャート



(a) ケース A (セル無し)



(b) ケース B (セル有り)

図-2.8 沈下曲線

2.1.4 地盤特性の調査

1) 単位体積重量

粘土地盤の単位体積重量は、地盤模型完成時に、シンウォールサンプラーにより採取した試料より求め、盛土の単位体積重量は、盛土の作製時に各まき出し厚毎にコアカッターにより試料を採取し計測した。

2) せん断波速度 V_s

せん断波速度 V_s は、地盤模型完成後地震探査（屈折法）により測定した。

3) 静的コーン貫入抵抗 q_c

地盤および盛土模型の強度を調べるために静的コーン貫入試験を行った。

4) 一軸圧縮強度 q_u

地盤模型の粘土について一軸圧縮強度をシンウォールサンプラーにより採取した試料より求めた。

以上 1)～4) で得られた結果を表-2.2 および図-2.9 に示す。

2.2 計測体制

各ケースの計器配置図を図-2.10 に、また計測項目を表-2.3 に示す。

計測は盛土及び地盤の加速度の計測を中心としたが、セルの有るケース B の場合にはセル表面に作用する土圧の計測も同時に行っている。

計測に使用した測定器類を表-2.4 に、また計測系統図を図-2.11 に示す。

2.3 相似則

模型の寸法、地盤特性、加振条件について、相似則の面から検討を行った。今回の実験では、実験時の模型の挙動を解析的に表すことは困難であり、バッキンガムの π 定理により検討を行った。ただし、ここでは模型が弾性的な挙動を示す、砂および粘土のひずみが小さい領域（加振力の小さい領域）について、相似則の検討を行った。

2.3.1 次元マトリックスと無次元積

模型が弾性的な挙動を示す場合、模型の振動現象を表すうえで支配的なパラメータを表-2.5 に示す。これらのパラメータの中で長さ L 、密度 ρ 、時間 T を基本量（一次量）にとると表-2.6 に示される無次元積 $\pi_1 \sim \pi_6$ が得られる。

2.3.2 実験における相似則

振動台の加振能力（加速度及び周波数特性）及び土槽の大きさを考慮し、基本量の縮尺を

$$\text{長さ } L \quad \lambda_L = 1/50$$

$$\text{密度 } \rho \quad \lambda_\rho = 1/1$$

$$\text{時間 } T \quad \lambda_T = 1/7 \quad (\simeq \sqrt{1/50})$$

とした。

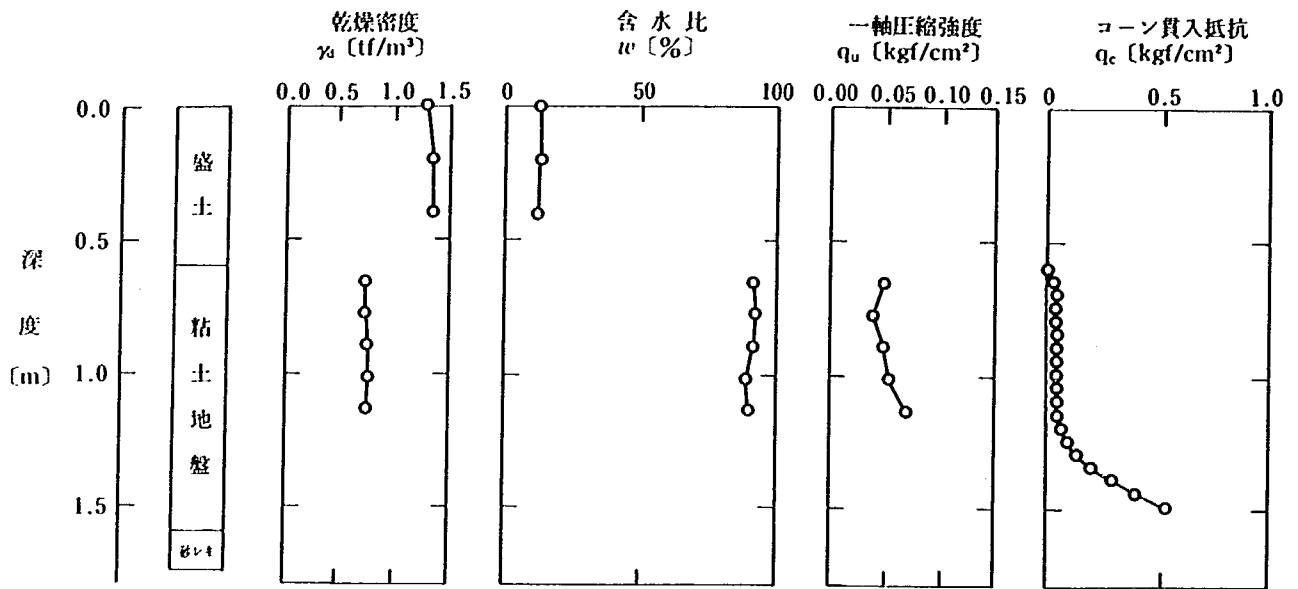
このようにすると、相似率からは模型の諸元は表-2.7 のようになる。しかし、この場合は模型で必

要とされるせん断波速度が小さくなり、そのような条件で模型を作製することはむずかしい。このため最終的には同表に示すような模型の諸元となった。

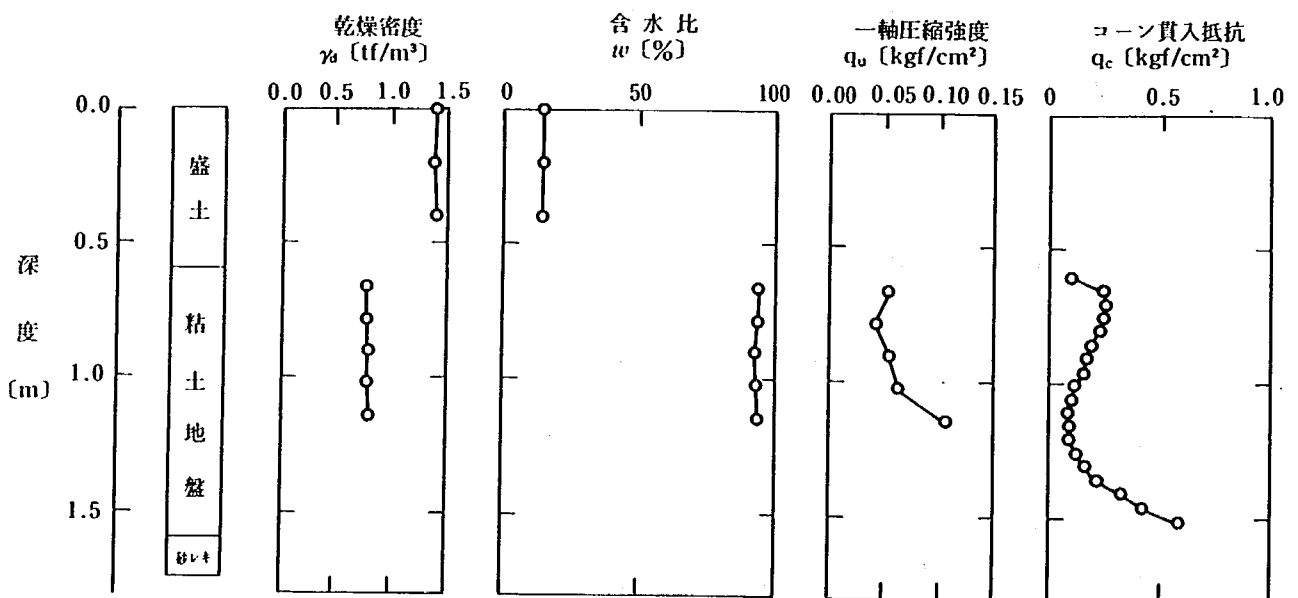
表-2.2 模型の物理特性

		ケースA (セル無し)	ケースB (セル有り)
材 料	盛 土	浅 間 山 砂	浅 間 山 砂
	地 盤	沖積海成粘土	沖積海成粘土
	セ ル	———	セルロイド
湿 潤 密 度 γ [tf/m ³]	盛 土	1.54	1.59
	地 盤	1.49	1.52
乾 燥 密 度 γ_0 [tf/m ³]	盛 土	1.35	1.39
	地 盤	0.78	0.79
含 水 比 w [%]	盛 土	14.2	14.8
	地 盤	91.7	92.6
間 ゲ キ 比 e	盛 土	1.010	0.953
	地 盤	2.442	2.418
相 対 密 度 D_r [%]	盛 土	16	29.6
セル 曲 げ 剛 性 EI [tf・m ²]	セ ル	———	0.35*
せん断波速度 V_s [m/s]	盛 土	72	74
	地 盤	17	23
せん断弾性定数 G [tf/m ²]	盛 土	814	888
	地 盤	44	82
地 盤 粘 着 力 c [tf/m ²]	地 盤	0.15	0.17

*) セルのみの曲げ剛性 $EI=0.21\text{tf}\cdot\text{m}^2$ ($E=3.1\times 10^4\text{tf/m}^2$)
セル内の砂の曲げ剛性 $EI=0.14\text{tf}\cdot\text{m}^2$ (摩擦を無視)

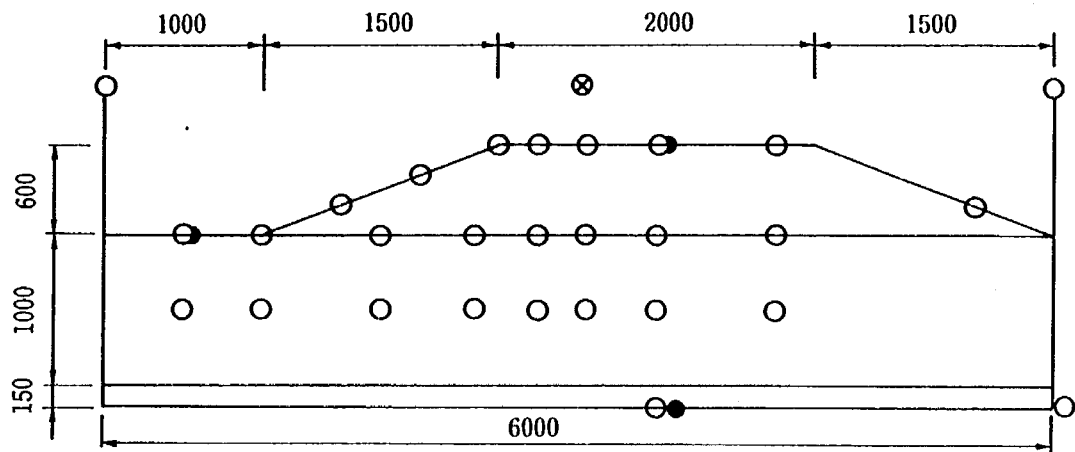


(a) ケース A (セル無し)

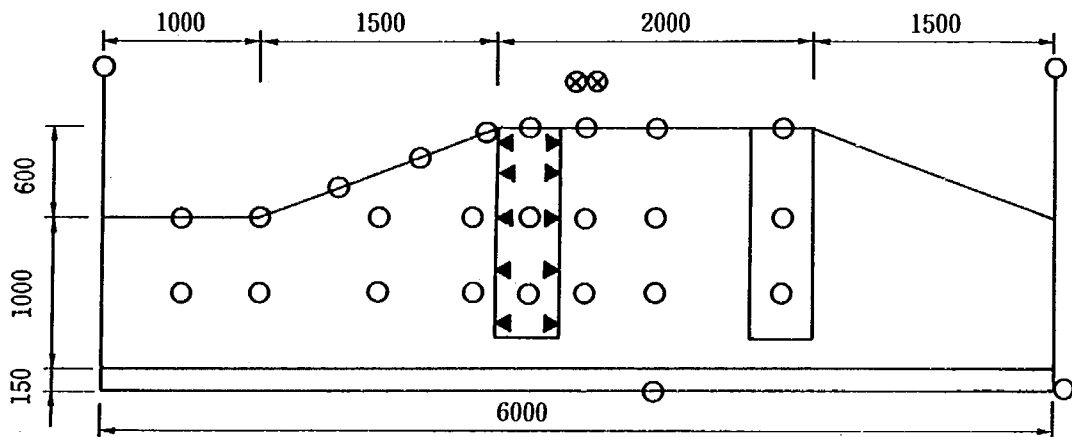


(b) ケース B (セル有り)

図-2.9 模型の物理特性



(a) ケース A



(b) ケース B

○	加速度計（水平加振方向）
●	加速度計（上下動）
⊗	加速度計（紙面垂直成分の水平動）
◀ ▶	土圧計

注) 模型から離れているものは、振動台もしくは土槽壁に設置している。

図-2.10 計器配置図

表-2.3 計測項目・数量一覧

計測項目	計測対象	数 量	
		ケースA（セル無し）	ケースB（セル有り）
加 速 度	盛 土	16	11
	地 盤	13	9
	セ ル	—	6
	土槽可動壁	2	2
	〃 側 壁	1	2
土 圧	セ ル 表 面	—	10
沈下, 水平変位 (測 量)	模 型 表 面	55	55
沈下, 水平変位 (石灰メッシュ)	模 型 側 面	2	2

表-2.4 計測器一覧

計測器	メーカー名	型 式	能 力	数 量	備 考
デ ジ タ ル テープレコーダー	ティアック	DR-2000A	最大入力 64ch A/D 12bit	1台	ターミナルボックス(64ch) 附属
電磁オッシログラフ	三栄測器	5L32	最大入力 12ch	1台	モニター用
動 歪 ア ン プ	三栄測器	6M57A	入力 10×10^6 で出力0.5V オートバランス	35ch	
	共和電業	DPM-310B	同 上 0.2V	6ch	
	共和電業	DPM-220A	同 上 0.2V	6 ch	
加 速 度 計	新興通信	BA-2L	容 量 2G	32ヶ	防水加工型
土 圧 計	共和電業	PS-2KA	容 量 2kgf/cm ²	10ヶ	超小型, セルに設置
シンクロスコープ			2 現象	1 台	モニター用

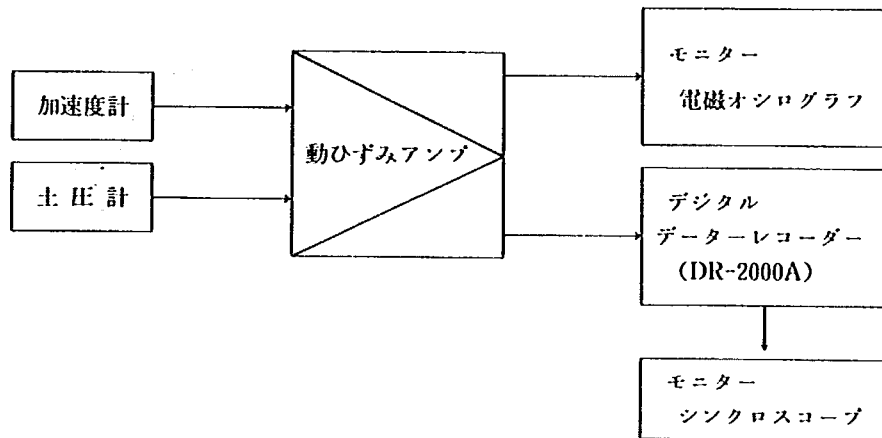


図-2.11 計測系統図

表-2.5 次元マトリックス

パラメータ	長さ L	質量 M	時間 T
地盤厚さ H	1	0	0
密度 ρ	-3	1	0
剛性 G	-1	1	-2
セル曲げ剛性 EI	3	1	-2
加振角振動数 ω	0	0	-1
水平加速度 α	1	0	-2
変位 u	1	0	0
地盤の減衰比 h	0	0	0
地盤ヒズミ ϵ	0	0	0

表-2.6 無次元積と縮尺

パラメータ	無次元積 π_i	縮 尺 (1次量による表示)
地盤の剛性 G	$\pi_1 = \frac{GT^2}{\rho L^2}$	$\lambda_G = \lambda_\rho \cdot \lambda_l^2 \cdot \lambda_T^2$ ($\lambda_{vs} = \sqrt{\lambda_G}$)
セル曲げ剛性 EI	$\pi_2 = \frac{EIT^2}{\rho L^6}$	$\lambda_{EI} = \lambda_\rho \cdot \lambda_l^6 \cdot \lambda_T^2$
水平加速度 α	$\pi_3 = \frac{\alpha T^2}{L}$	$\lambda_\alpha = \lambda_l \cdot \lambda_T^2$
変 位 u	$\pi_4 = \frac{u}{L}$	$\lambda_u = \lambda_l$
ヒ ズ ミ ε	$\pi_5 = 1$	————
減 衰 比 h	$\pi_6 = 1$	————

表-2.7 模 型 の 諸 元

項 目		縮 尺	実 物	模 型			
				縮 尺	理想模型諸元	今回模型諸元 (58年度)	前回模型諸元 (57年度)
長 さ H		λ_l	————	1/50	————	————	————
単位体積重量 ρ [tf/m ³]	盛 土	λ_ρ	1.7	1	1.7	1.54~1.59	1.72~1.77
	粘土地盤		1.33	1	1.33	1.49~1.52	1.67~1.80
	支持層		1.7	1	1.7	1.85	1.7
せん断波速度 V_s [m/s]	盛 土	$\sqrt{\lambda_\rho \lambda_l^2 \lambda_T^2}$	15	1/7	21	72~74	57~75
	粘土地盤		100	1/7	15	17~23	57~68
	支持層		250	1/7	35	80	150
セル曲げ剛性 EI [tf・m ² /本]		$\lambda_\rho \lambda_l^6 \lambda_T^2$	1.6×10^8	3.2×10^{-9}	0.51	0.35	9.6
加振振動数 f [Hz]		λ_T^2	0.5	7	3.5	3.5	3.5
振動加速度 α [gal]		$\lambda_l \lambda_T^2$	150	1	150	150	150
地盤ヒズミ		1	————	1	————	————	————
粘土地盤強度 c [tf/m ²]		$\lambda_\rho \lambda_l^2 \lambda_T^2$	10	1/50	0.2	0.15~0.17	0.0

3. 加振振動実験

3.1 概 要

振動台（主要諸元、表-3.1 参照）上に両端に可動壁を有する鋼製の土槽（長さ 6 m、幅 3 m、高さ 2 m）を設置し、その中に人工島模型（縮尺 1/50）を作製して、一定加速度による正弦波加振実験（共振実験）を実施した。その後、時間軸を 1/7 とした開北橋記録（1978 年宮城県沖地震）、浮島公園記録（1972 年八丈島東方沖の地震）の最大加速度を変化させた波形を用いた地震波加振を行った。加振時間は前者が 7 秒間、後者が 12 秒間である。その後、3 Hz の正弦波による破壊加振を行った。この時の加振時間は 40 秒間である。

表-3.1 振動台の諸元

項 目	諸 元
振 動 台 寸 法	6 m×8 m
最 大 載 荷 重 量	100 ton
最大転倒モーメント	150 ton-m
最 大 加 振 力	100 ton (25 ton×4 台)
最 大 変 位 振 幅	± 75 mm
最 大 速 度	± 60cm/sec
最 大 加 速 度	± 700gal (最大載荷時), ± 2,500 gal (無載荷時)
駆 動 方 式	電気油圧サーボ方式
加 振 波 形	正弦波, 三角波, 矩形波, ランダム波, 地震波
周 波 数 範 囲	DC~30Hz

3.2 正弦波加振実験

正弦波加振実験では、振動数 1~30 Hz の範囲を加速度 10 gal 一定で、0.2 Hz 間隔で加振した。この加振実験時には入力加速度が小さいため、基本的には模型は線型応答すると考えられる。

図-3.1 は、ケース A, B に対する地盤および盛土の各部における加速度共振曲線の比較を示している。これより盛土部における一次の共振振動数を求めると、セルの無いケース A の場合 5.2 Hz、セルの有るケース B の場合 5.4 Hz とほぼ両者は等しく、セルの有無が盛土の共振振動数に与える影響は小さい。しかし、増幅率に着目すると、セルの無いケース A では約 7 倍であるのに対し、セルの有るケース B では約 3.5 倍と低い値を示している。

図-3.2 は、セルの設置位置における共振曲線を比較したものである。この図より、セルの無いケース A では 5.2 Hz の振動が大きく卓越するが、セルが有るケース B の場合には 8 Hz の振動が大きく卓越し、盛土の共振振動数と考えられる 5.4 Hz における増幅率が低く抑えられていることがわかる。

図-3.3 は、地表面に沿って各部の共振曲線を同様に比較したものである。この図によると、セルの

有無により共振曲線の形状は異なるが、各々のケースにおいて盛土部（No. 3 地点から No. 9 地点まで）における共振曲線の形状は似かよっており、盛土全体がほぼ一体となって振動していると考えられる。

図-3.4 は先に述べた共振振動数における振動モードを示したものである。これより各ケース、各振動数とも模型の各部はほぼ同位相で振動していることがわかる。また、盛土天端と盛土底面の応答振幅はほぼ等しく、粘土地盤内において応答振幅は増幅されており、弾性的に振動する粘土地盤上で盛土が剛体のごとく一体となって振動していることがわかる。

これらより、各ケースの応答特性について以下の事項が指摘される。

- 1) 加速度 10 gal 程度の正弦波による加振では、粘土地盤は弾性的な振動挙動を示し、盛土は剛体のごとく一体となって振動する。
- 2) 粘土地盤部では、セルの有無にかかわらず水平方向のせん断変形が卓越する。
- 3) セルが無いケース A の場合、盛土部では 5.2 Hz の振動が卓越する。
- 4) セルが有るケース B では、盛土の共振振動数である 5.4 Hz の他に 8 Hz 程度の振動数においても増幅率が大きくなり、盛土の共振振動数と考えられる 5.4 Hz における増幅率が低く抑えられている。

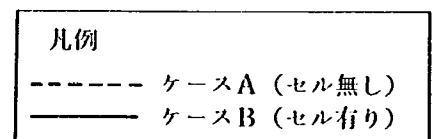
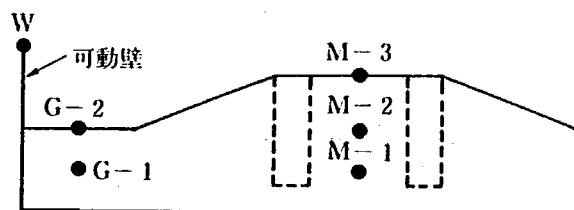
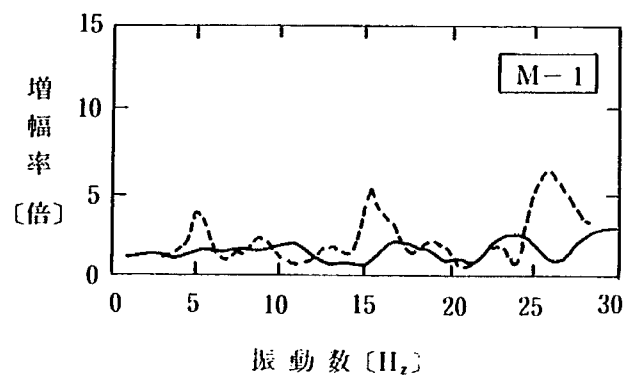
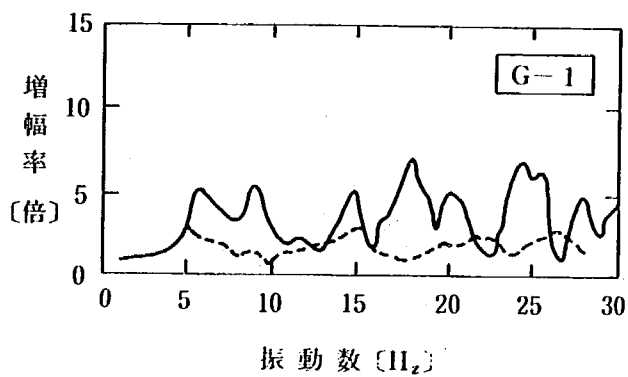
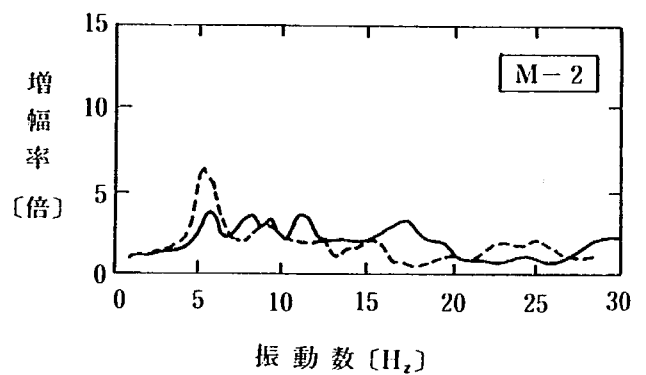
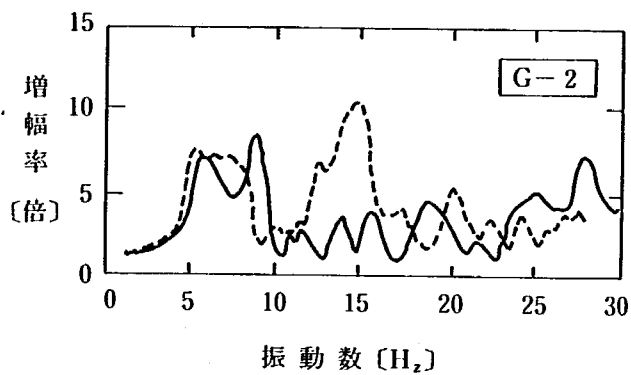
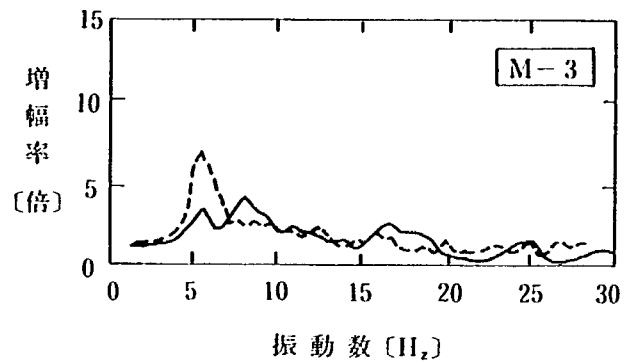
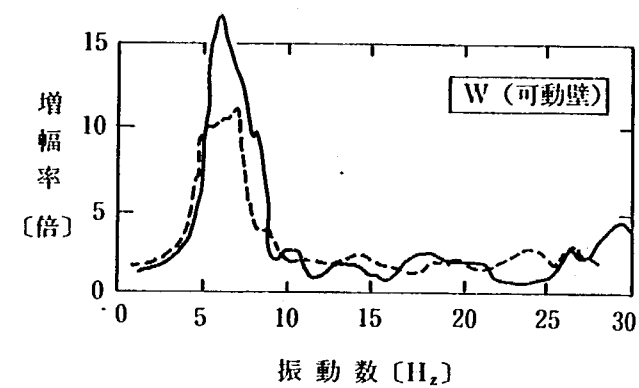


図-3.1 深度方向の共振曲線の比較

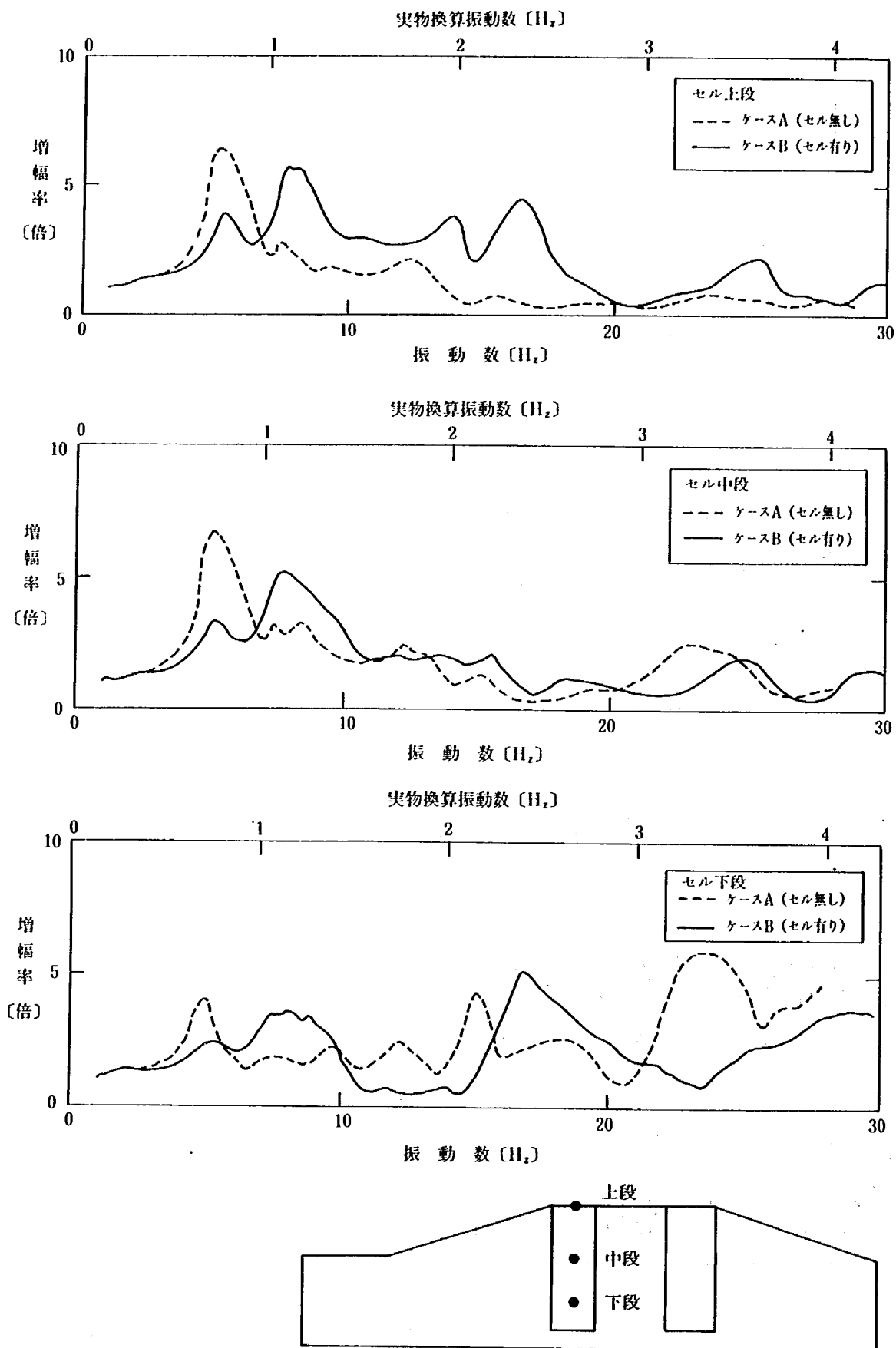


図-3.2 セルおよびセル相当部の共振曲線の比較

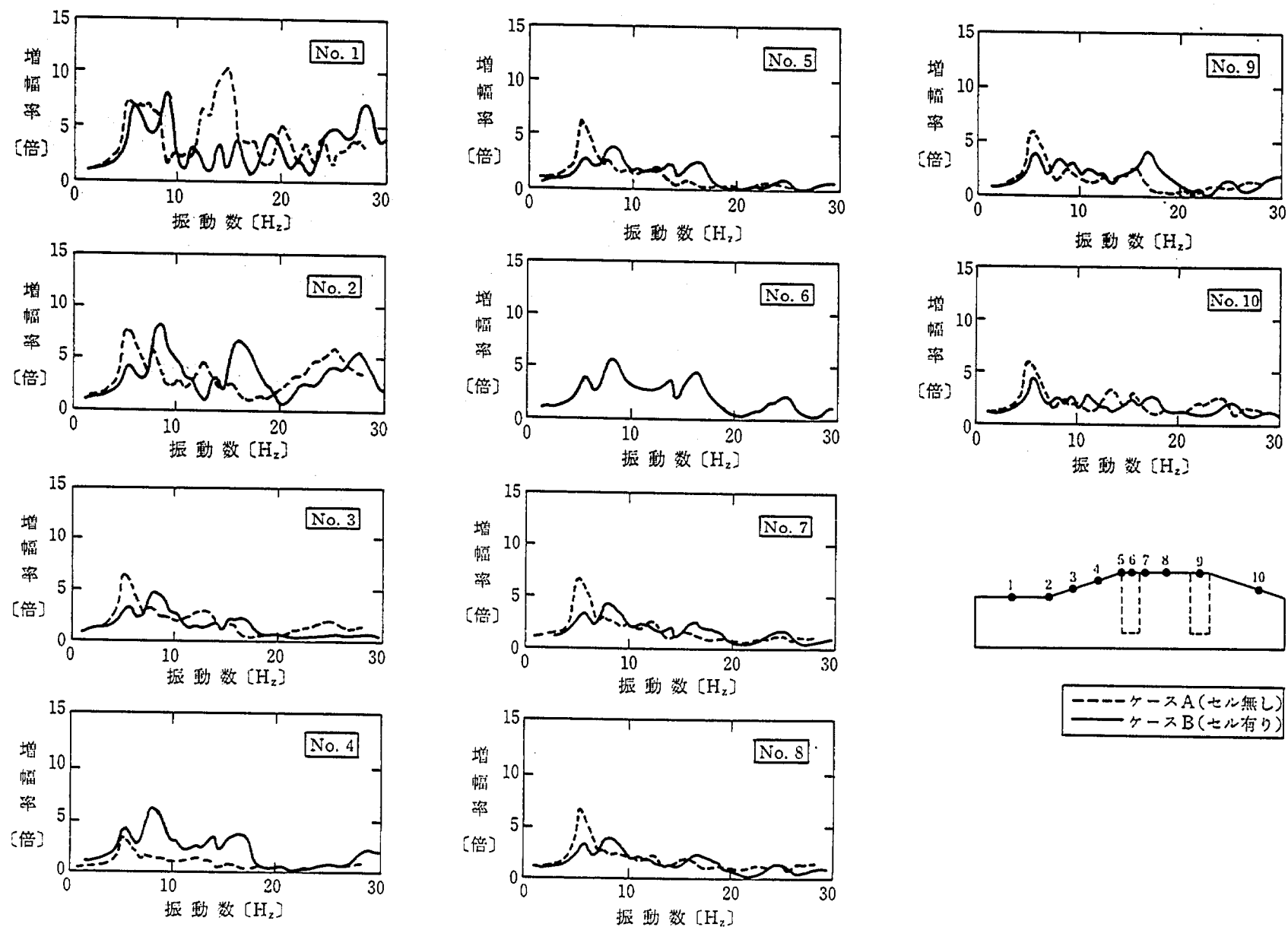
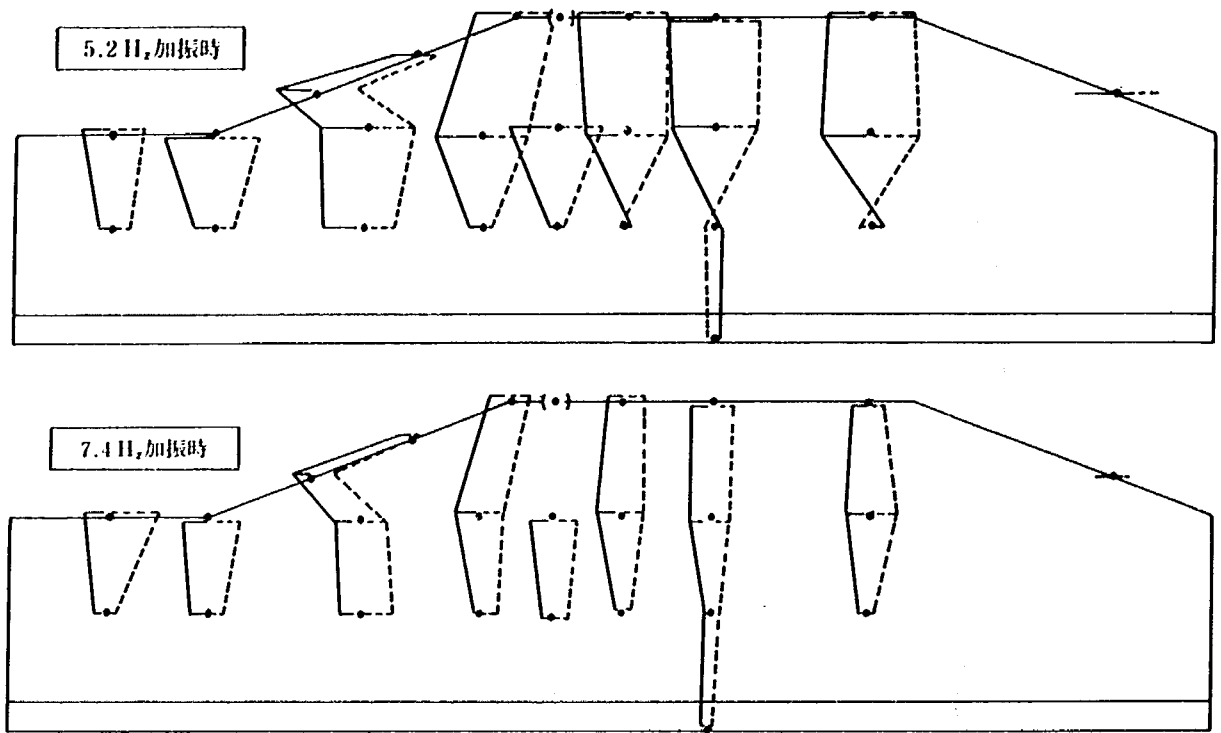
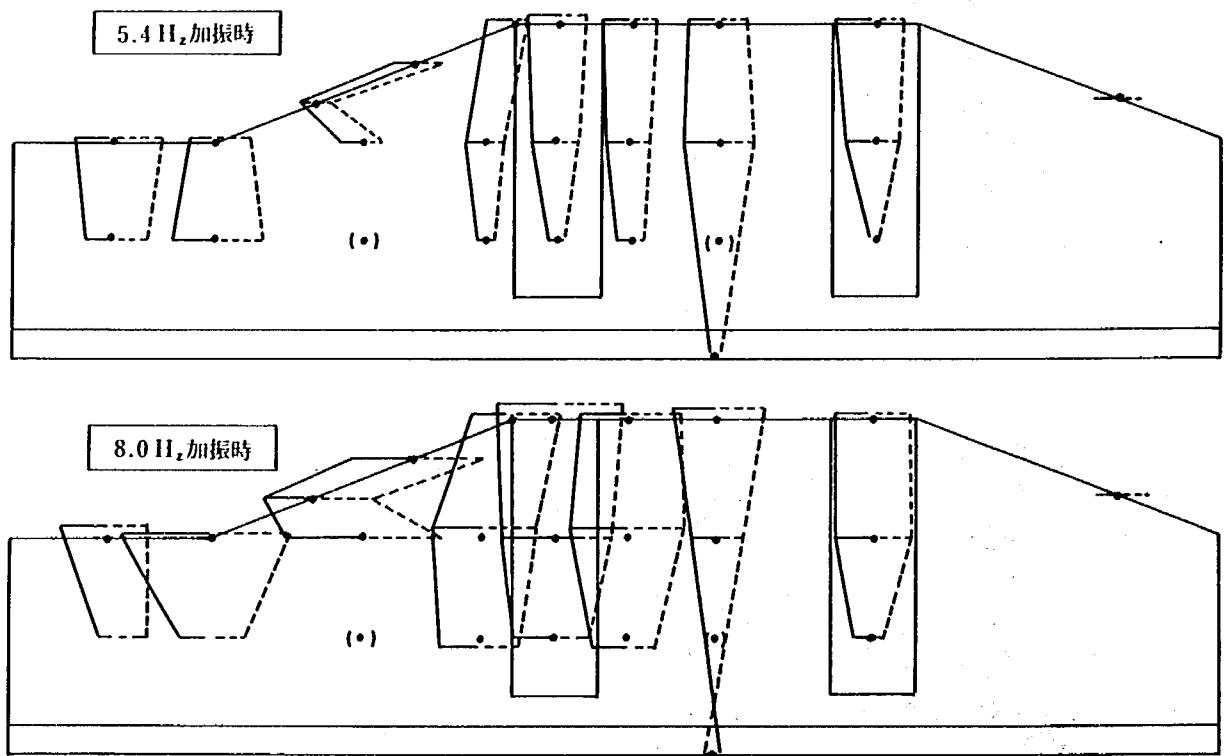


図-3.3 模型表面名部の共振曲線の比較



(a) ケース A (セル無し)



(b) ケース B (セル無し)

(●)は欠測を示す
(盛土天端中央が最大振幅になった瞬間の)
振動モードを示す

図-3.4 共振時の振動モード図

3.3 地震波加振実験

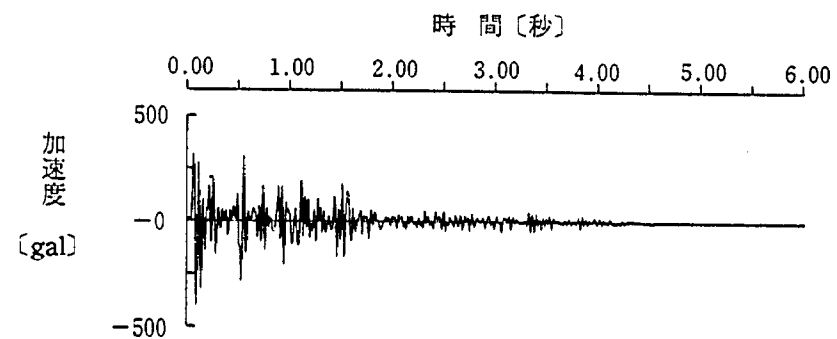
3.3.1 加振条件

正弦波加振実験（共振実験）に続いて，実地震波による加振実験を行った。

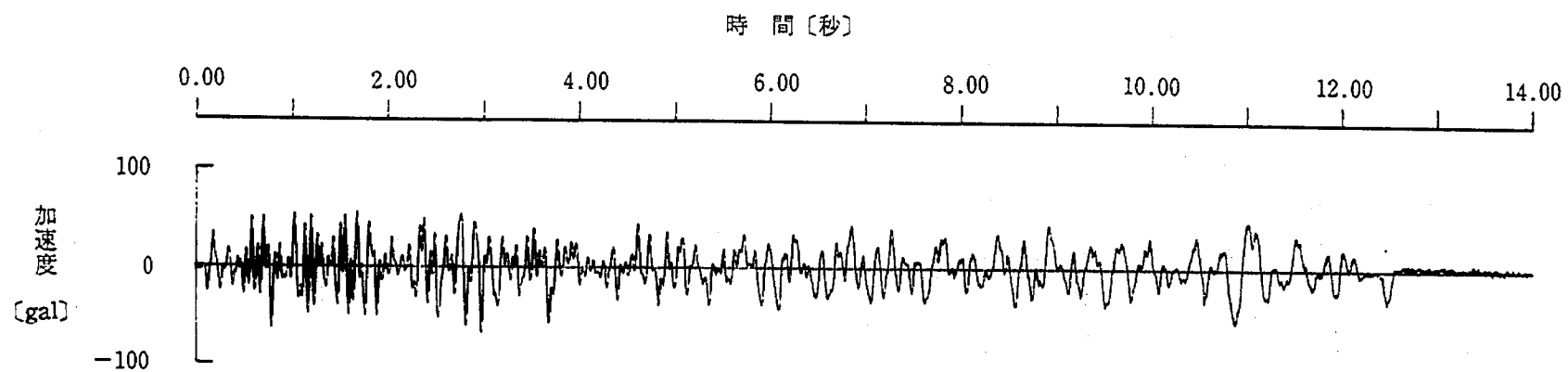
加振に用いた入力地震波は，1976年6月2日宮城県沖地震において開北橋で観測された記録（橋軸直角方向，地表面。以下開北橋記録という）と1972年12月4日八丈島東方沖の地震において浮島公園で観測された記録（EW方向，地表面。以下浮島公園記録という）の2箇所の実地震波の時間軸を1/7に縮めたものである。

これら入力地震波の波形を図-3.5に，また，応答スペクトルを図-3.6に示す。これらの図より，開北橋記録は短周期成分が，また，浮島公園記録には長周期成分が比較的多く含まれていることがわかる。

加振時には，ケースA,Bいずれの場合にも，表-3.2に示す様に開北橋記録を用いた加振の後に概略同一の最大加速度の浮島公園記録により加振を行い，その最大加速度を公称150, 300, 450および600 galと順次増加させ合計8回の加振を行った。一回加振した後には，模型の変状の計測のために20分～60分程度の間隔をおいて次の加振を行っている。



(a) 開北橋記録にもとづく入力波形



(b) 浮島公園記録にもとづく入力波形

図-3.5 入力波形

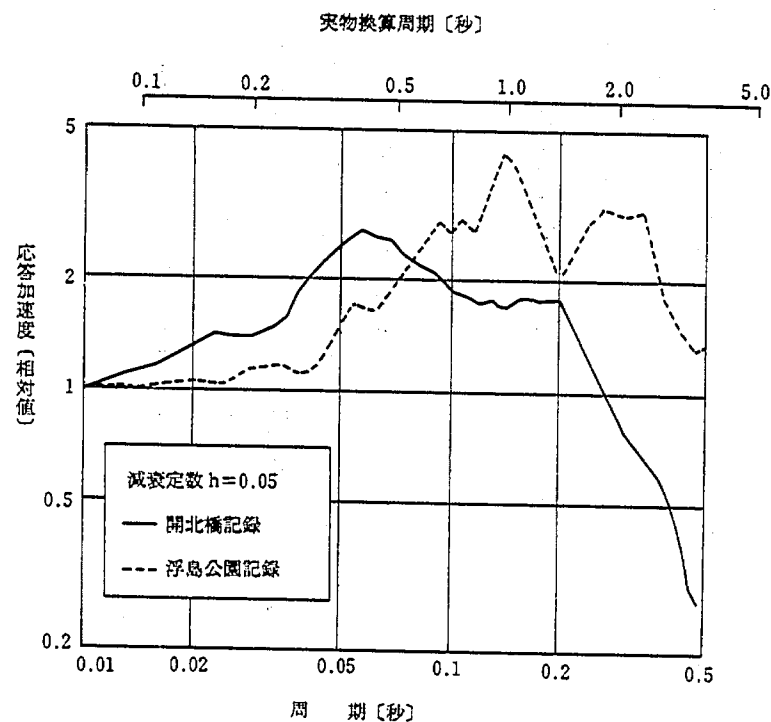


図-3.6 実験に用いた入力波の
加速度応答スペクトル

表-3.2 入力地震波の最大加速度（振動台加速度）

入力波形 公称名称 加振番号 モデル	開北橋記録にもとづく波形				浮島公園記録にもとづく波形				正 弦 波	
	開北150gal	開北300gal	開北450gal	開北600gal	浮島150gal	浮島300gal	浮島450gal	浮島600gal	正弦波300gal	正弦波450gal
	K-1	K-2	K-3	K-4	U-1	U-2	U-3	U-4	S-1	S-2
ケースA (セル無し)	94 ^①	192 ^③	292 ^⑤	389 ^⑦	110 ^②	229 ^④	335 ^⑥	452 ^⑧	277 ^⑨	441 ^⑩
ケースB (セル有り)	100 ^①	201 ^③	312 ^⑤	426 ^⑦	112 ^②	230 ^④	355 ^⑥	475 ^⑧	286 ^⑨	454 ^⑩

注) 正弦波は3H_z、40秒間（前後各5秒間にテーパを含む）

○内の数字は加振順序を示す。

3.3.2 地震波に対する模型の最大応答加速度分布

1) 浮島公園記録による加振の場合

浮島公園記録により加振した場合の模型各部の最大応答加速度の分布を図-3.7に示す。ここでは各部の加速度を最大入力加速度（土槽底面における最大加速度）に対する増幅率の形で示している。

この図によると、入力加速度が110 gal程度と比較的小さい場合の最大応答加速度倍率の分布は、セルの有無にかかわらず上方ほど応答倍率が大きくなる分布となっている。しかし、セルの有無により、模型各部の応答倍率は異なり、セルの無いケース A では盛土全体が2.0~2.2程度の応答倍率を示すのに対し、セルの有るケース B では盛土内において場所により応答倍率が大きく異なり、盛土天端では1.5程度とセルの無い場合よりも小さな値を示し、法肩（セルの設置位置）では2.0~2.9とセルの無い場合よりも大きな値を示している。

入力加速度が460 gal程度と比較的大きくなると、応答倍率は盛土との境界で小さくなる分布を示しており、全般に入力加速度110 galの場合に比べ応答倍率が小さくなる傾向にある。

盛土における応答倍率は、セルの無いケース A で0.9~1.7程度、セルの有るケース B で0.7~1.4程度と全般にセルが無い場合よりも小さな値を示している。

セルの有無による応答倍率の違いを見るために、両者の応答倍率の比を応答倍率比の形に整理したものが図-3.9である。セルが無い場合を基準にして応答倍率比を求めているため、この値が1.0以下であれば、セルの有る場合の応答倍率が、セルの無い場合の応答倍率より小さいことを示している。これより、盛土および盛土下の地盤ではセルの設置により応答倍率が小さくなる傾向にあり、セル上端では逆に大きくなる傾向にあることがわかる。

図-3.11は、最大応答加速度倍率の深度分布を示したものである。

入力加速度が110 gal程度と比較的小さい場合には、セルの無いケース A では粘土地盤の下層でのみ応答倍率が大きく変化し、盛土内では一様であり、盛土の振動の殆どは粘土地盤内で増幅されていることがわかる。これに対し、セルを有するケース B では、応答倍率は粘土地盤から盛土へと一様に増加しており、盛土の振動は粘土地盤と盛土の両者により増幅されていることがわかる。入力加速度が460 gal程度と比較的大きい場合には、セルの有無にかかわらず応答倍率は殆ど1.0であり増幅されていないが、粘土地盤の中央部でのみ大きな応答倍率となっている。しかし、この位置においてもセル内については振動は殆ど増幅されていない。

2) 開北橋記録による加振の場合

開北橋記録により加振した場合の模型各部の最大応答加速度倍率の分布を図-3.8に示す。この図によると入力加速度が100 gal程度と比較的小さい場合には、セルの無いケース A では盛土部の応答倍率が0.8~1.7、粘土地盤の下層が1.6~2.1といった、下層ほど大きな値を示している。この傾向はセルの有るケース B においてもほぼ同様であるが、セルの上端における応答は、1.7~2.1と大きな値を示しており、セルがロッキング振動をしていることが考えられる。

入力速度が400 gal程度と比較的大きくなると、セルの有無にかかわらず応答倍率は、粘度地盤の下層で0.8~2.5、盛土部で0.4~0.9であり、下層ほど大きな値を示している。盛土部の応答倍率は全て

1.0 以下であり、これは盛土の共振振動数が 5 Hz と低いのに対し、開北橋記録の主要動が 17 Hz と高いためと考えられる。

ケース A とケース B の応答倍率の比を図-3.10 に示す。浮島公園記録による加振の場合と同様、盛土および盛土下の地盤ではセルの設置により応答倍率が小さくなる傾向にあり、セルの上端と法面では応答倍率が大きくなる傾向にある。

図-3.12 は、最大応答加速度倍率の深度分布を示したものである。

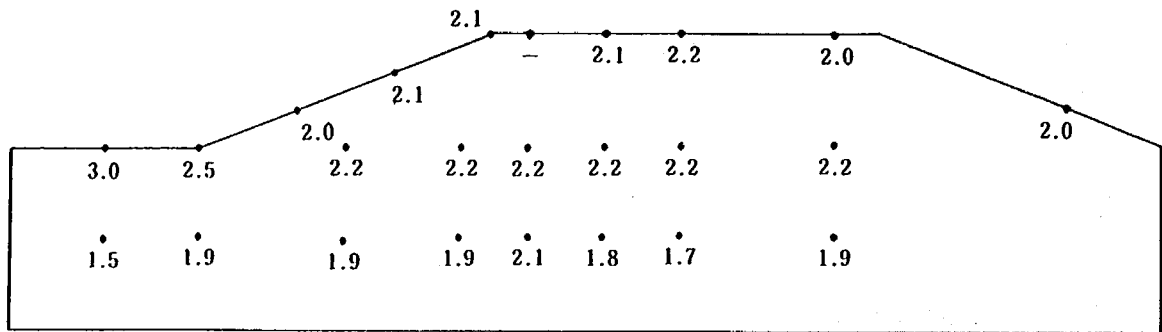
セルの無いケース A の場合には最大加速度の大小によらず、粘土地盤中央部において最大の応答倍率を示し、盛土天端と地盤表面での応答倍率は 1.0 程度の低い値を示している。セルの有るケース B では、応答倍率の深度分布は複雑となり、同一深度においても場所によって値が大きく異なり、法肩部において小さく、盛土中央、セル直近の盛土部の順に大きくなる傾向にある。セル内の応答倍率に着目すると、最大加速度が 100 gal 程度と小さい場合にはセルの上端において 2.0 程度と他の深度の 1.0 に対して大きな値を示し、最大加速度が 410 gal 程度と大きい場合にはセル全体が 1.0 程度の値となっている。

以上の結果より以下の事項が指摘される。

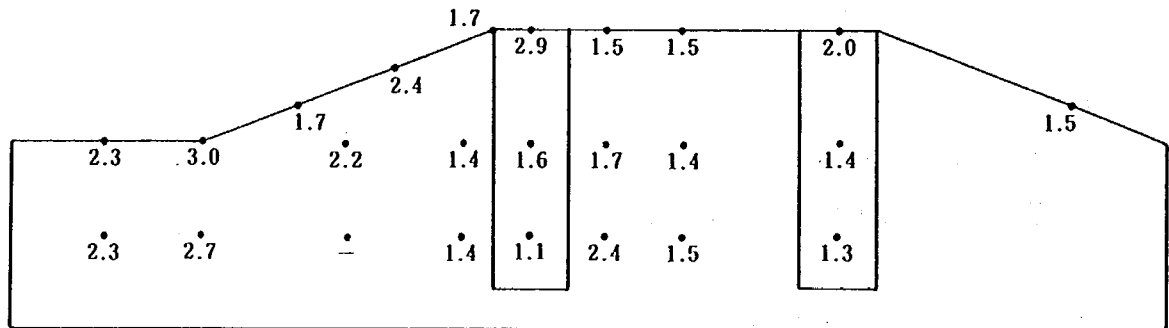
1) 地震波加振においても、正弦波加振の場合と同様、セルの無い場合には盛土全体が一体となって振動し、これを粘土地盤が弾性的に支えているような振動挙動を示し、盛土部における最大応答加速度倍率は、入力加速度が 100 gal 程度と小さい場合には 2.0~2.2 程度、入力加速度が 450 gal 程度と大きい場合には 0.8~1.7 程度と入力加速度が大きくなると減少する。

2) セルが有る場合にもセルの無い場合と同様な振動挙動を示すが、セルが有ることにより盛土中央部での応答倍率は減少するが、セルの上端および法面ではセルの無い場合と同程度かそれをやや上回る傾向にある。

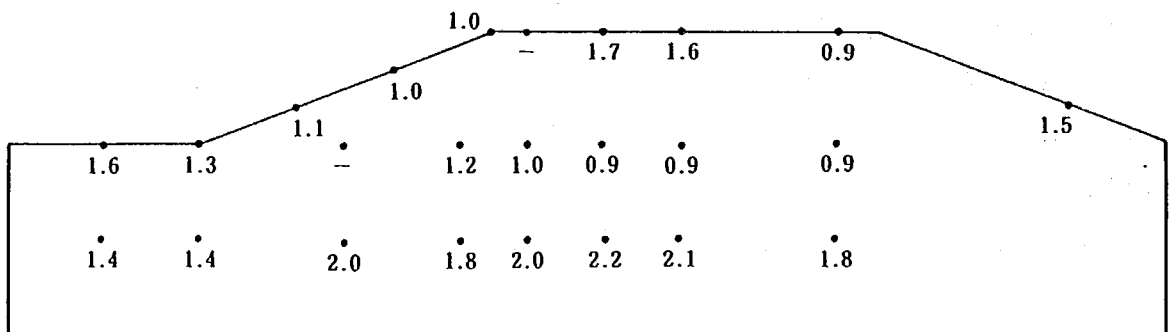
3) 地震波加振においても、セルは盛土の振動を抑える傾向にある。



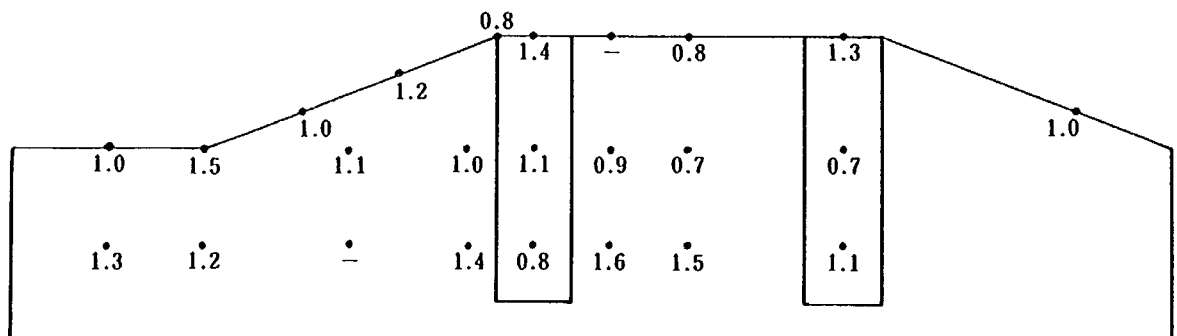
(a) ケースA (セル無し) 加振段階U-1 (110 gal)



(b) ケースB (セル有り) 加振段階U-1 (112 gal)



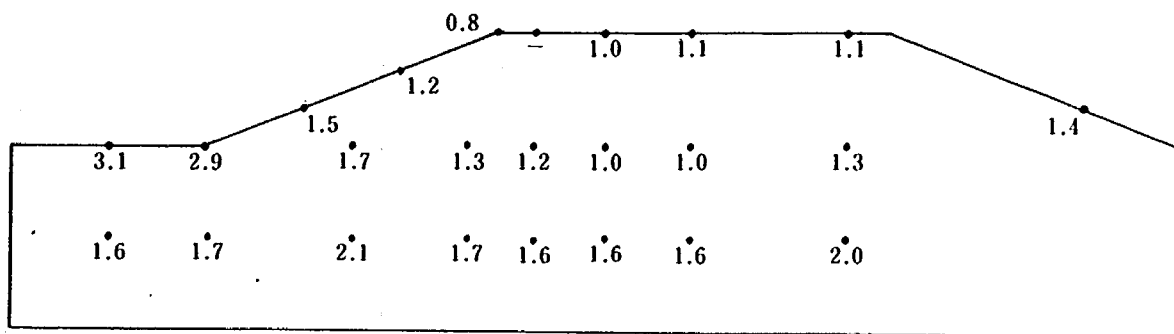
(c) ケースA (セル無し) 加振段階U-4 (452 gal)



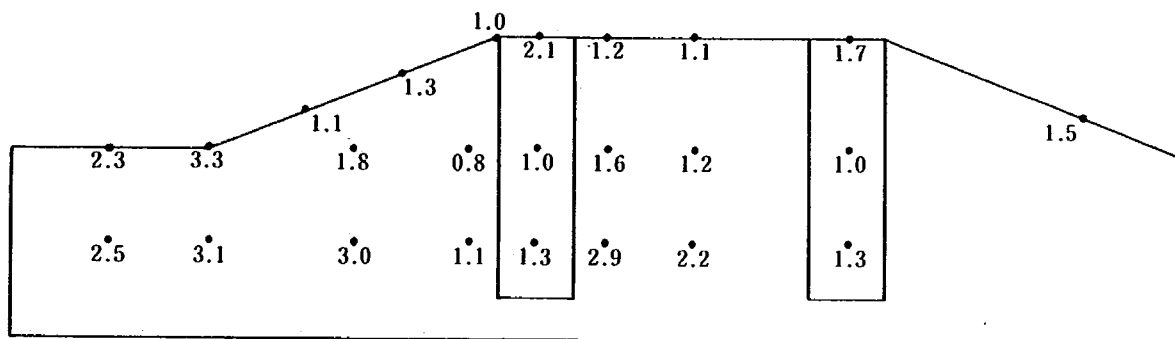
(d) ケースB (セル有り) 加振段階U-4 (475 gal)

注) —は欠測を表す

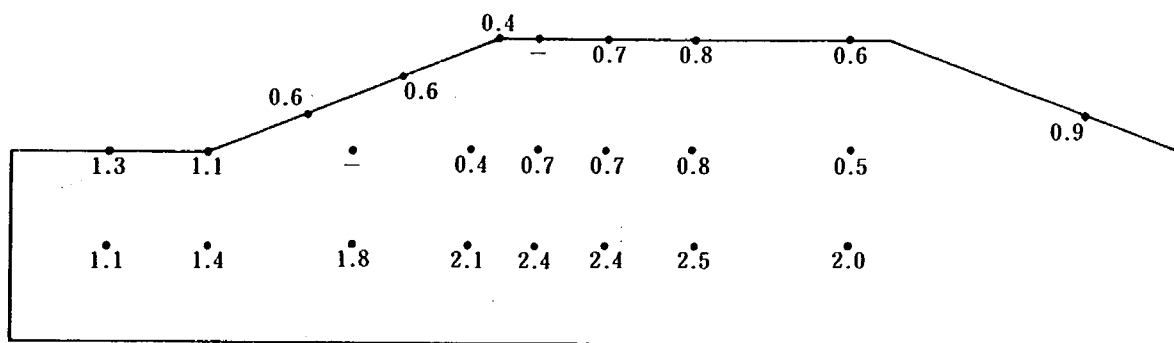
図-3.7 最大応答加速度倍率の分布 (浮島公園記録)



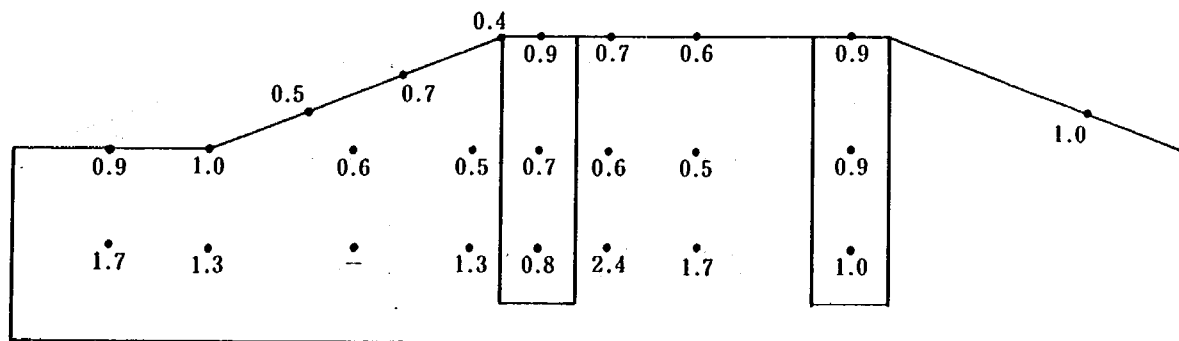
(a) ケースA (セル無し) 加振段階K-1 (94 gal)



(b) ケースB (セル有り) 加振段階K-1 (100 gal)



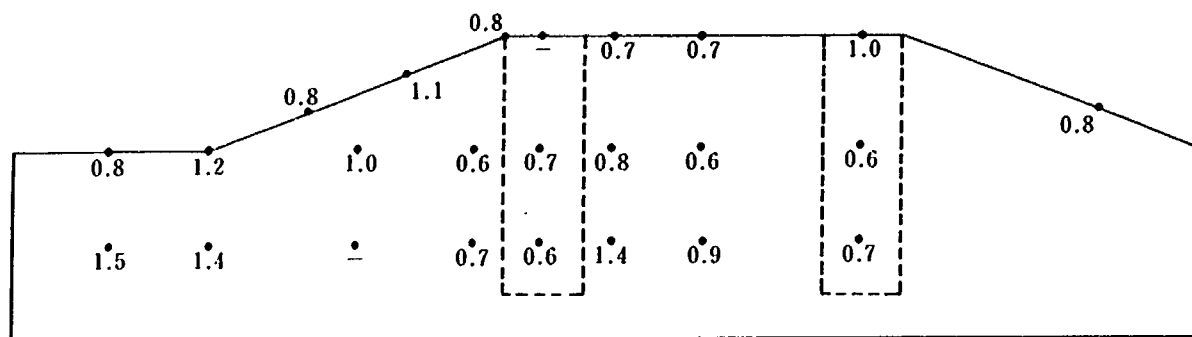
(c) ケースA (セル無し) 加振段階K-4 (389 gal)



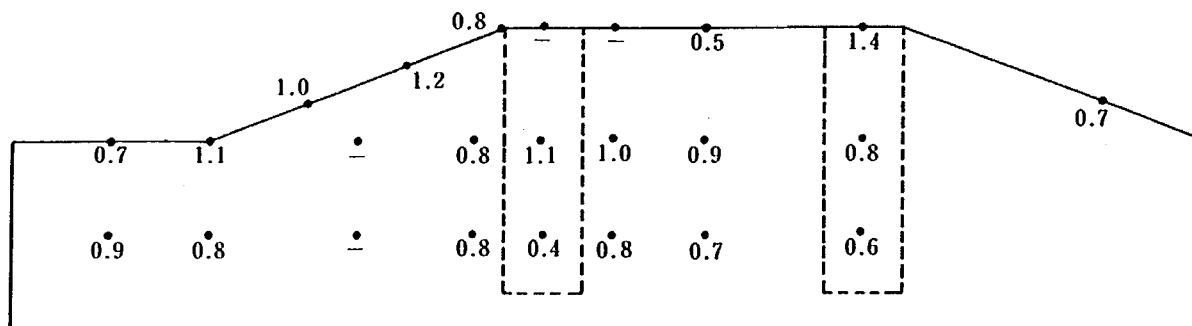
(d) ケースB (セル有り) 加振段階K-4 (426 gal)

注) —は欠測を表す

図-3.8 最大応答加速度倍率の分布 (開北橋記録)



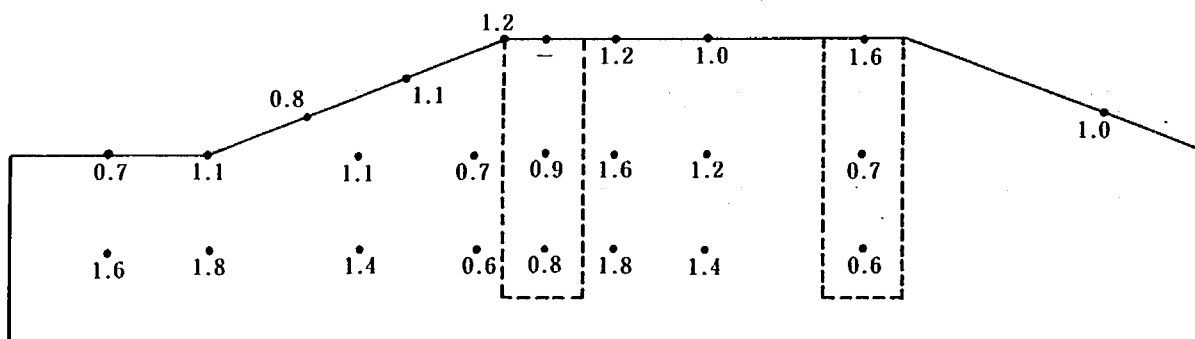
(a)最大応答加速度倍率の比 (加振段階U-1)



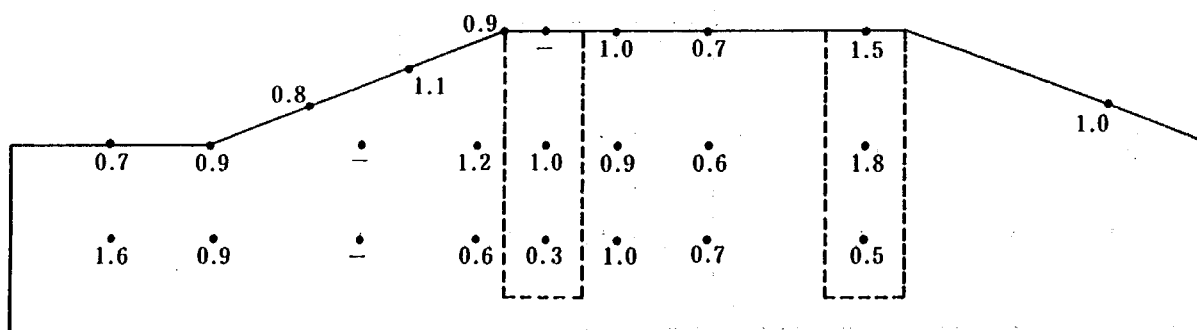
(b)最大応答加速度倍率の比 (加振段階U-4)

注) -は欠測を表す

図-3.9 最大応答加速度倍率の比の分布 (浮島公園記録)



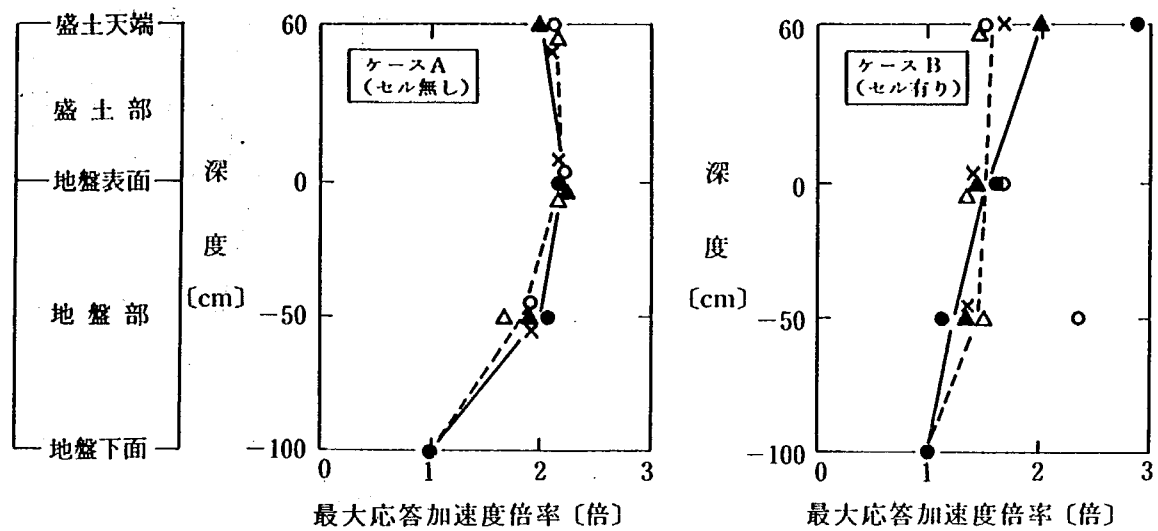
(a)最大応答加速度倍率の比 (加振段階K-1)



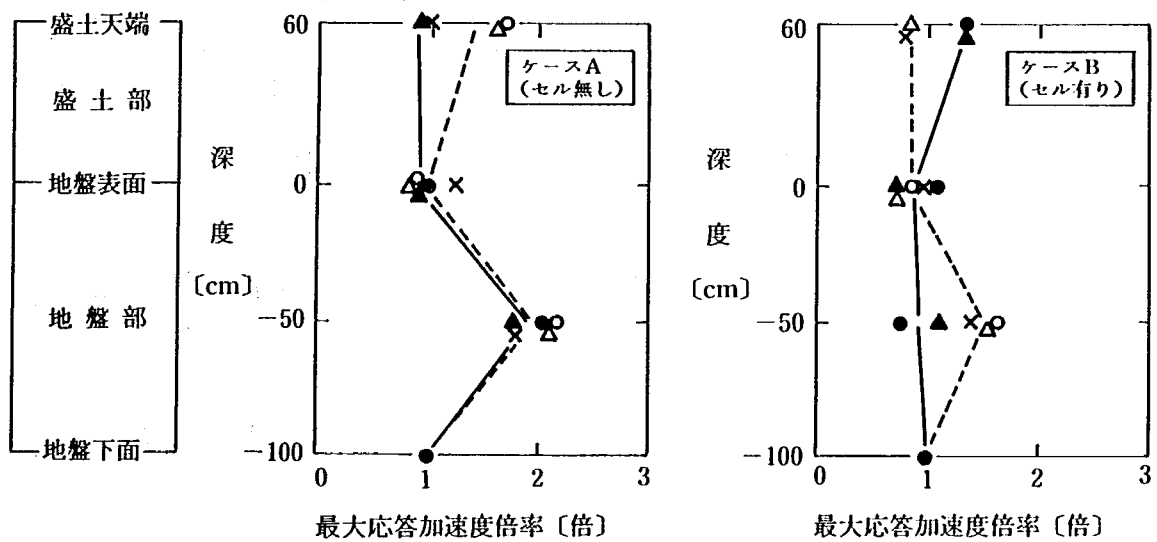
(b) 最大応答加速度倍率の比 (加振段階K-4)

注) -は欠測を表す

図-3.10 最大応答加速度倍率の比の分布 (開北橋記録)



(a) 加振段階 U-1 (最大加速度 110 gal 程度)



(b) 加振段階 U-4 (最大加速度 460 gal 程度)

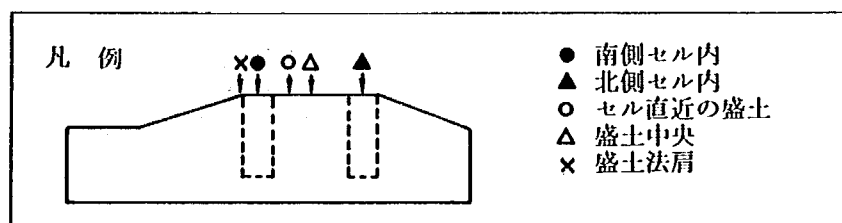
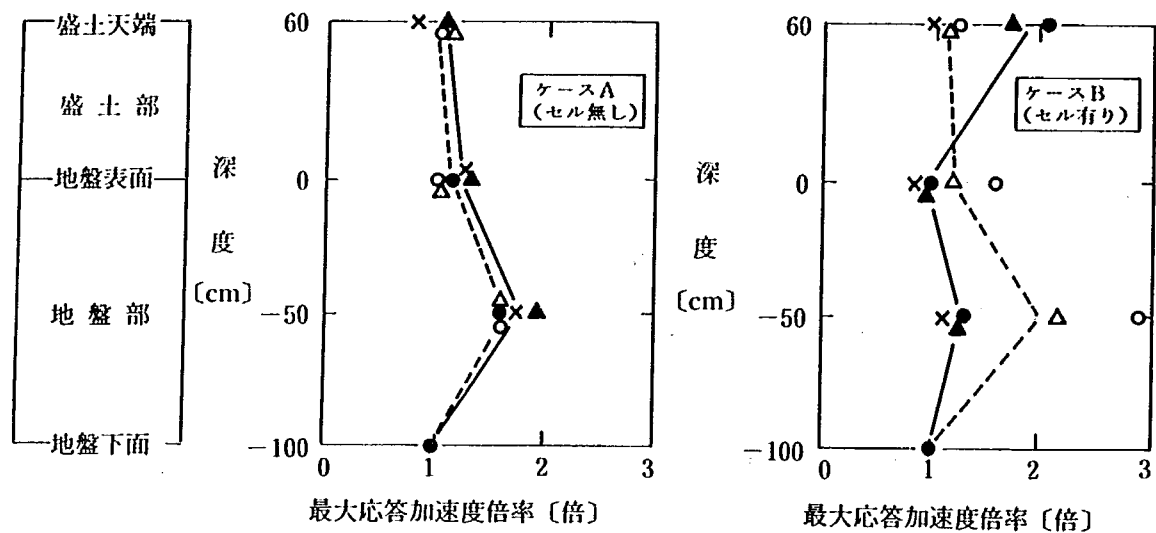
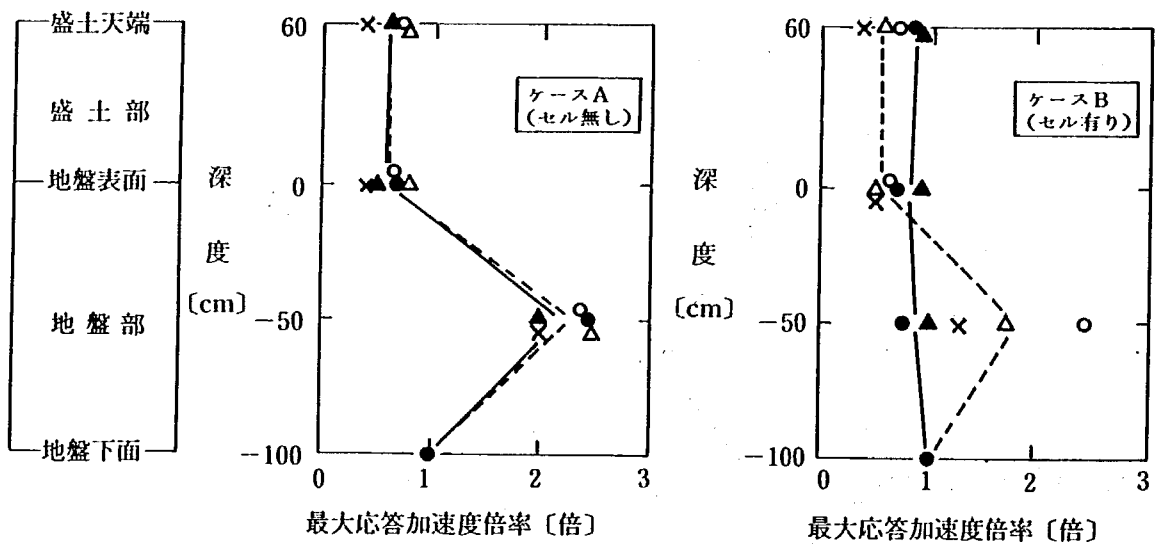


図-3.11 最大応答加速度倍率の深度分布 (浮島公園記録)



(a) 加振段階K-1 (最大加速度 100 gal 程度)



(b) 加振段階K-4 (最大加速度 410 gal 程度)

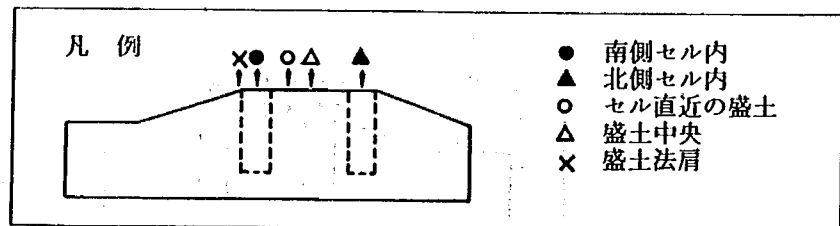


図-3.12 最大応答加速度倍率の深度分布 (開北橋記録)

3.3.3 地震波に対する模型の振動挙動

地震波加振に対する模型の振動変位モードを図-3.13, 図-3.14 に示す。これらの図は、盛土天端中央部の変位が最大値を示した瞬間の模型各部の変位を示したものである。模型各部の変位は、その位置で計測された加速度波形を2回積分することにより求めた。

入力加速度が110 gal と小さい図-3.13 の場合には、セルの有無にかかわらず盛土部における変位は全て同程度の振幅を有しており、盛土は一体となって振動していることを示している。粘土地盤内においては、セルの有無にかかわらず上層ほど振幅が大きくなる分布を示しているが、セルの無いケース A では、粘土地盤内における振幅の変化が大きく、特に地盤上層部における振幅の変化が大きい。それに対し、セルの有るケース B の場合には、粘土地盤内において振幅の変化が深度方向に一様であり、その振幅の変化も小さい。

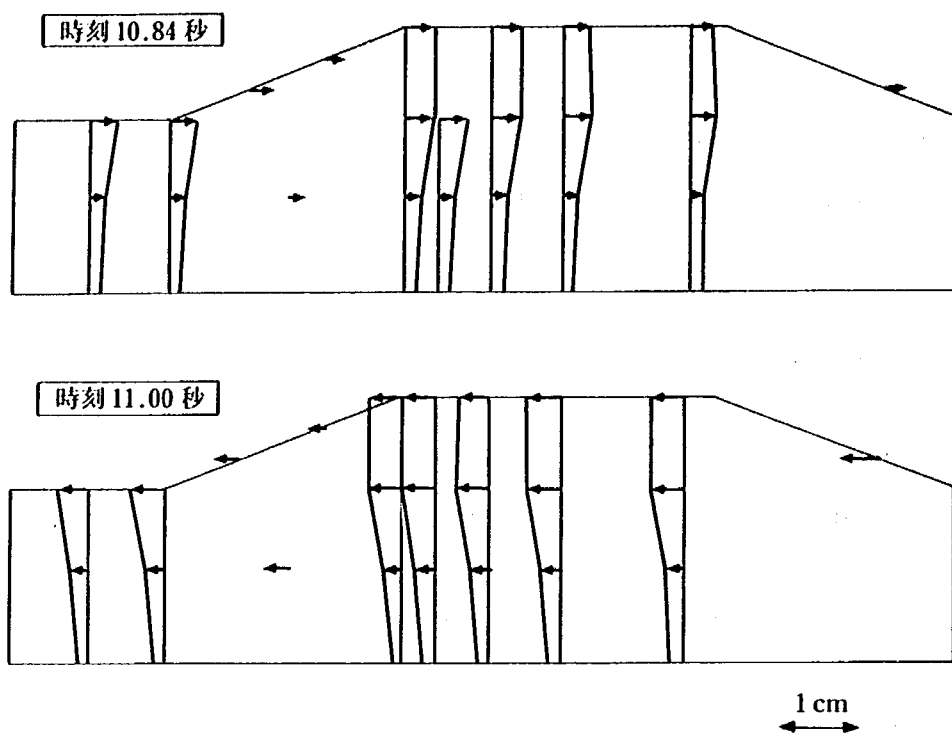
入力加速度が460 gal 程度と比較的大きい図-3.14 の場合にもほぼ同様な傾向にあり、盛土部はセルの有無にかかわらず一体となって振動しており、粘土地盤はセルの無いケース A では上ほど振幅の変化が大きい分布を示し、セルの有るケース B では上層にゆくに従って線形的に振幅が増加する分布を示している。

以上の結果より以下の事項が指摘される。

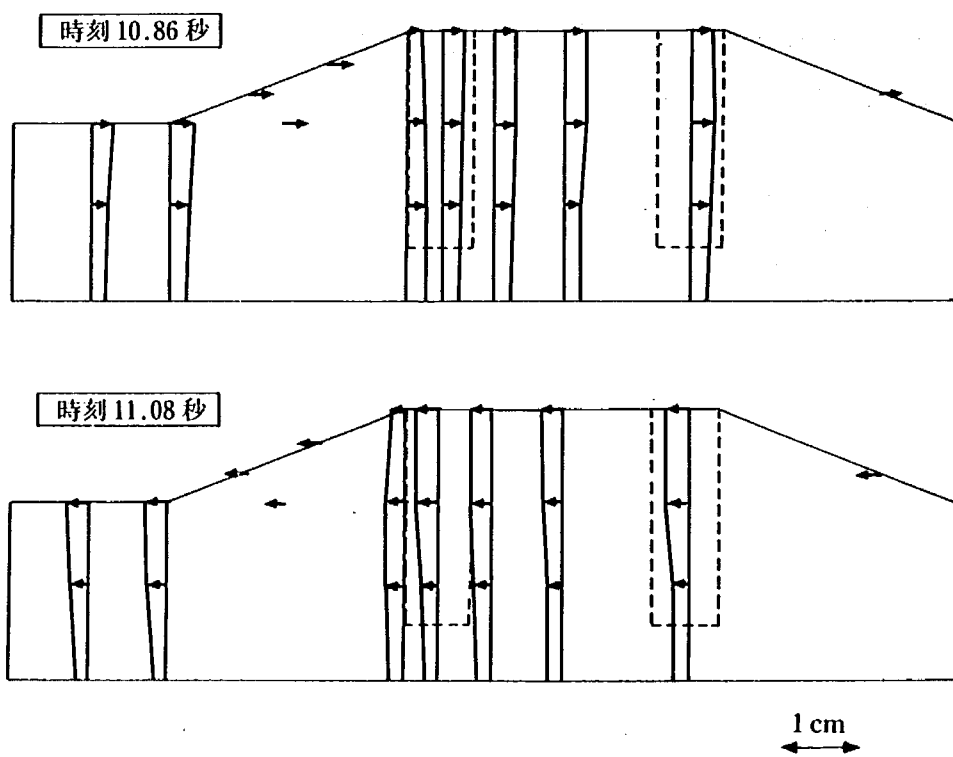
1) セルが無いケース A の場合には、盛土は一体となって振動しており、盛土の水平変位の殆どは粘土地盤のせん断変形によるものであり、このせん断変形は地盤の上層にむかって急激に大きくなる分布を示している。

2) セルが有るケース B の場合にも同様に盛土はほぼ一体となって振動しているが、粘土地盤内のせん断変形の増加は深度方向に線形的に増加する分布を示し、これはセルの影響によるものと考えられる。

3) 以上のような振動挙動より、盛土と粘土地盤との境界ではセルに大きな曲げモーメントとせん断力が作用していると考えられる。

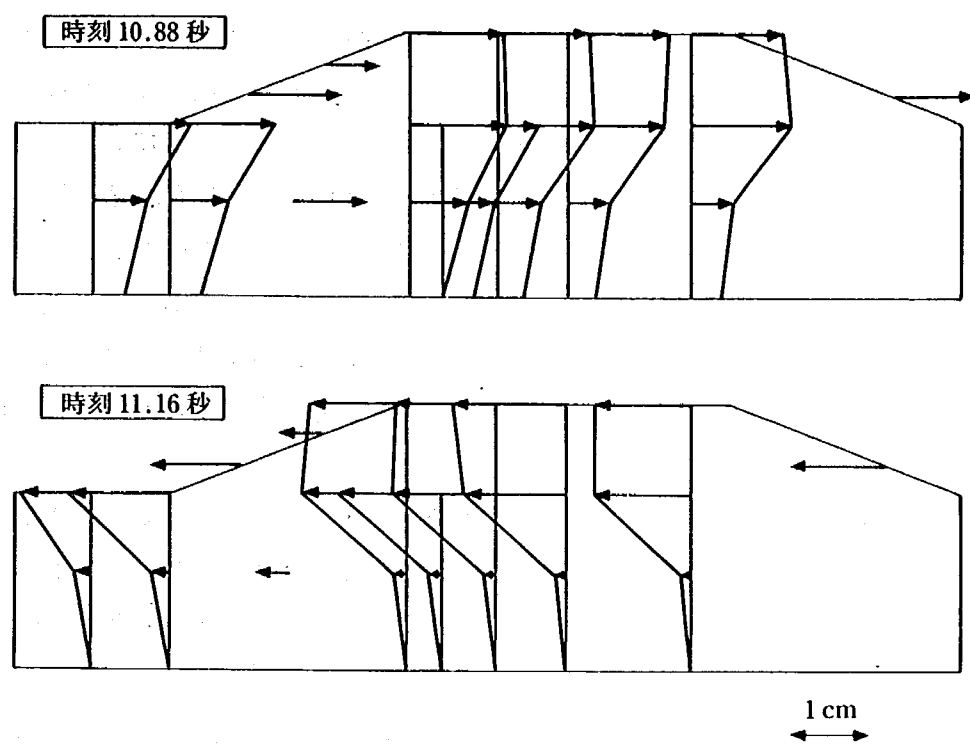


(a) ケース A (セル無し)

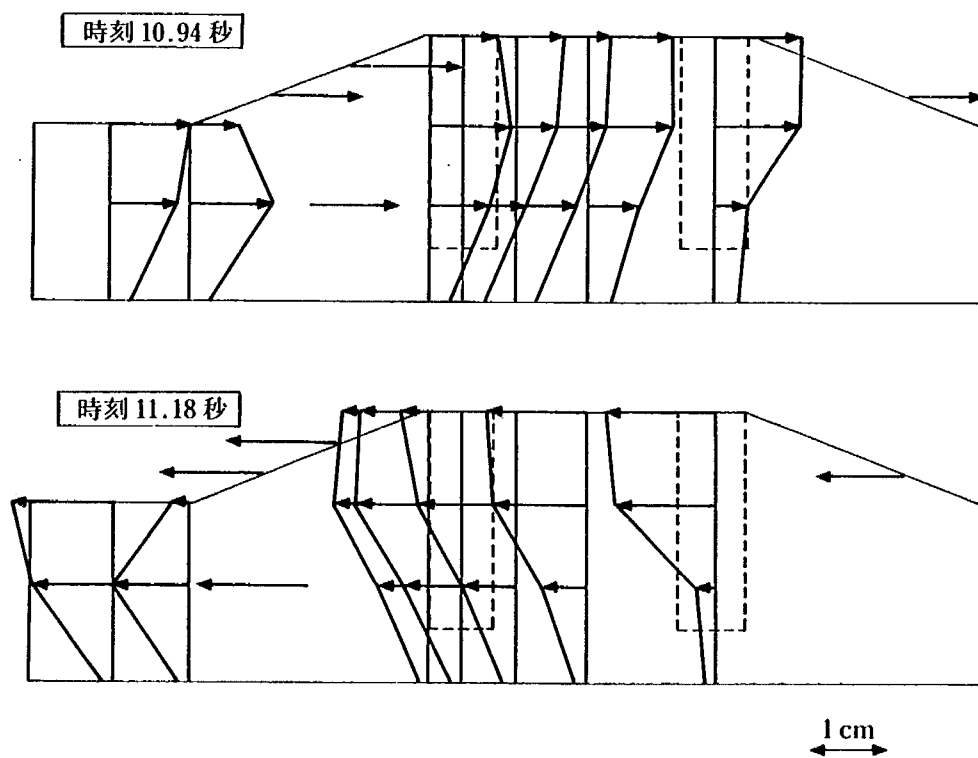


(b) ケース B (セル有り)

図-3.13 振動モード図 (加振段階U-1)



(a) ケース A (セル無し)



(b) ケース B (セル有り)

図-3.14 振動モード図 (加振段階 U-4)

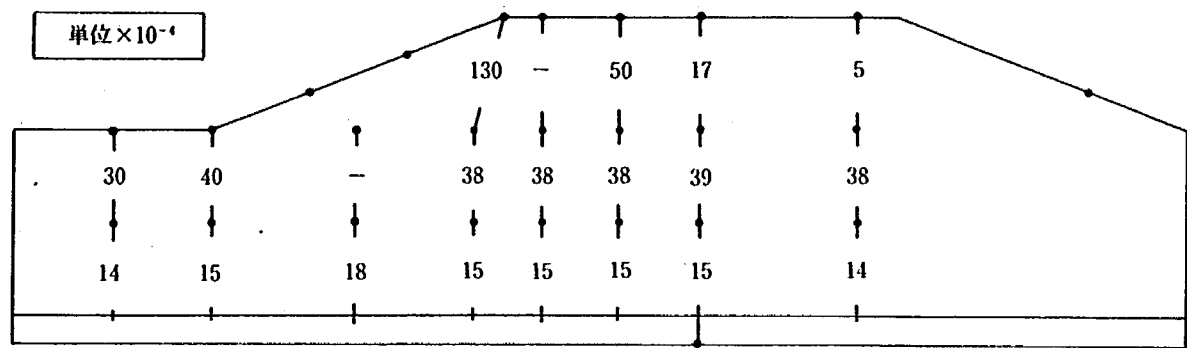
3.3.4 地震波に対する模型のひずみ

3.3.3において示した振動変位モード図や加振時の観察結果から、加振時には地盤部では水平方向にせん断される変形が卓越していると考えられる。そこで、鉛直方向の2測点間の相対水平変位をこの測点間の距離で除した値をせん断ひずみとして求めた。求めた結果を図-3.15に示す。

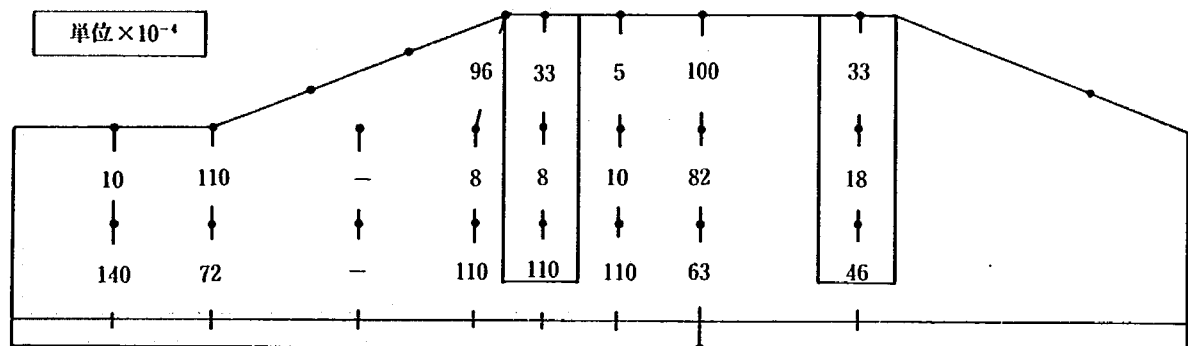
セルの無いケース A では、入力加速度が 110 gal 程度と比較的小さい場合、盛土部においては場所によりせん断ひずみの値が大きく異なるが、地盤部では水平にはほぼ一様な値を示しており地盤上層部は下層部の 2.5 倍程度のせん断ひずみとなっている。入力加速度が 460 gal 程度と比較的大きい場合にも、盛土部のひずみの値は 110 gal の場合と同程度の値であり、地盤部におけるひずみも水平方向にはほぼ一様な値を示している。しかし、地盤上層部のひずみと下層部のひずみの比は 5 倍程度と大きな値を示している。

セルの有るケース B の場合には、ひずみの分布は複雑となり、地盤内においても水平方向にひずみの値が大きく変化するが、セルの無い場合に比べ、地盤上層部のひずみが減少し、下層部のひずみが増加する傾向が認められる。また、盛土中央部におけるひずみが、セルの無い場合の 7 倍程度と大きくなっている。

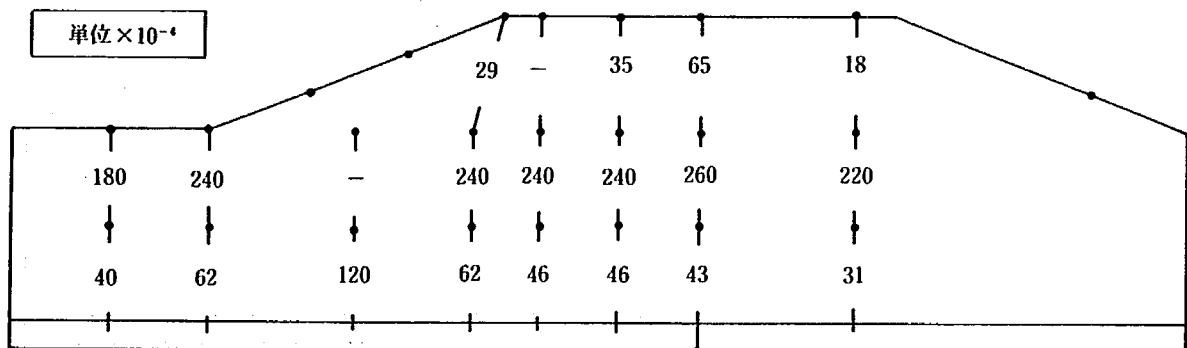
圧縮ひずみの分布は、図-3.16に示すとおりであり、これよりセルの無いケース A の場合には入力加速度の大小にかかわらず、模型全体がほぼ一様な圧縮ひずみを示し、セルの有るケース B の場合にはセル内部とセル周辺との間の圧縮ひずみが $0.3 \sim 6 \times 10^{-3}$ と小さく、盛土中央部における圧縮ひずみが $1.3 \sim 53 \times 10^{-3}$ と大きくなる傾向にあることがわかる。



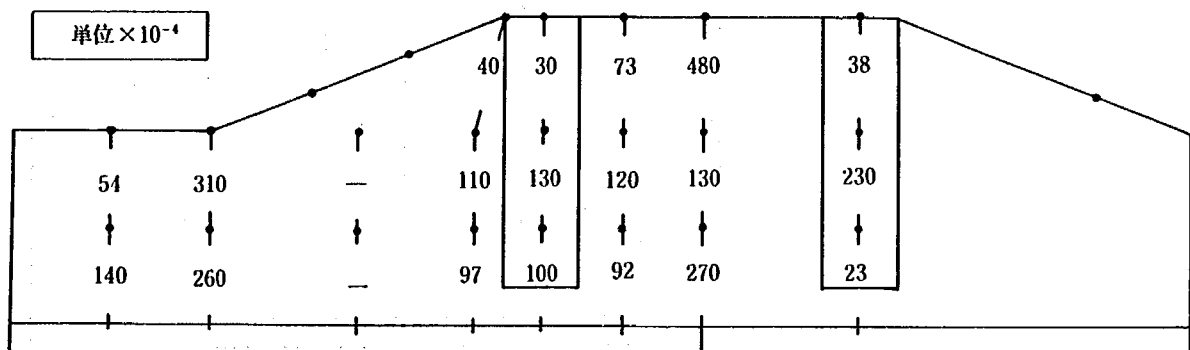
(a) ケース A (セル無し) 加振段階 U-1 (110 gal)



(b) ケース B (セル有り) 加振段階 U-1 (112 gal)



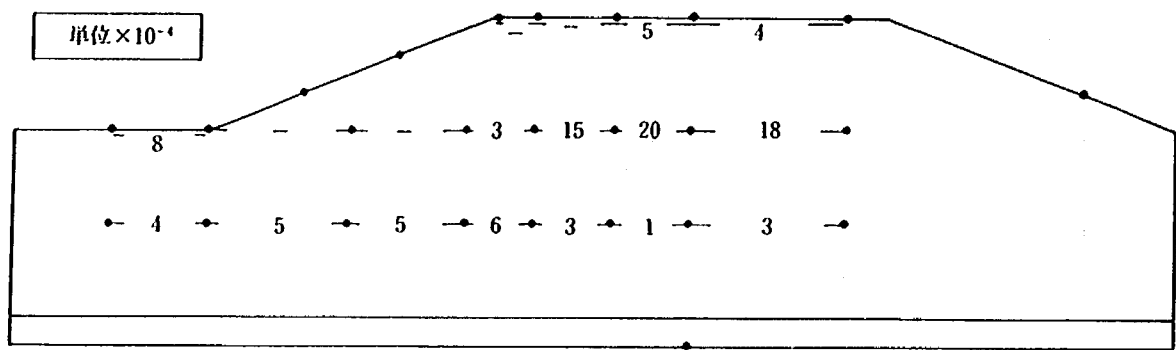
(c) ケース A (セル無し) 加振段階 U-4 (452 gal)



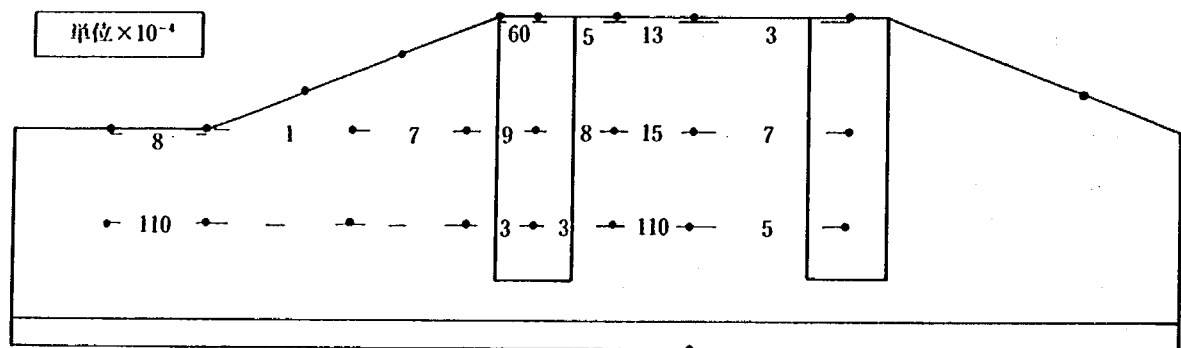
(d) ケース B (セル有り) 加振段階 U-4 (475 gal)

注) - は欠測を表す

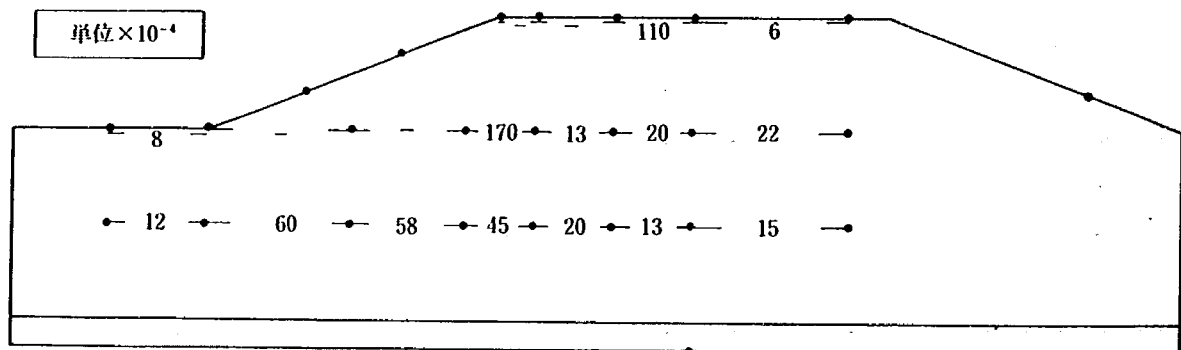
図-3.15 最大セソ断ヒズミの分布



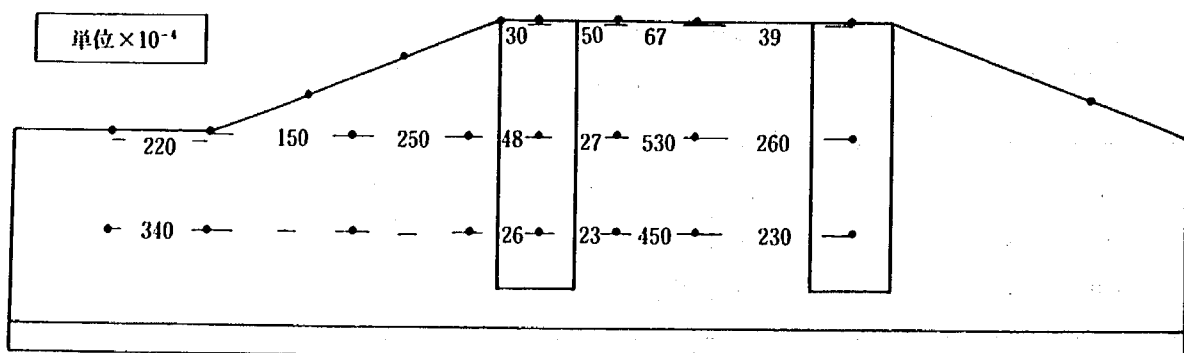
(a) ケース A (セル無し) 加振段階 U-1 (110 gal)



(b) ケース B (セル有り) 加振段階 U-1 (112 gal)



(c) ケース A (セル無し) 加振段階 U-4 (452 gal)



(d) ケース B (セル有り) 加振段階 U-4 (475 gal)

注) - は欠測を表す

図-3.16 最大圧縮ヒズミの分布

3.3.5 セルに作用する動土圧

今回の実験の対象とした様なセル構造物に土留壁に類した効果を求める場合には、セルに作用する外力を明らかにする必要があるが不明な点が多く、地震時動土圧もその一つである。

今回試みたセルの土圧測定はこの点を念頭に置いたものであるが、土圧を精度よく計測することは非常に難しく、今回の測定も土圧の絶対値の測定を目指したものではなく、土圧の変化と地盤のセルの相対変位との相関性を調べることを中心とした。

図-3.17(a)~(c)は、セルと地盤の相対変位とセルに作用する土圧の関係を示したものである。セルと地盤の相対変位は、各々の点で得られた加速度記録を数値積分することにより各点の変位を求め、これらの差から求めた。なお、土圧については、加振前にセルに作用している土圧は差し引いてあるため、地震による動土圧のみを表していることになる。図-3.17には、セルと地盤の相対変位を縦軸に、動土圧を横軸にとって作図したリサージュ図も併記してある。

図中の相対変位および土圧は浮島公園記録による加振（加振段階 U-4）に対するものであり、リサージュ図は加振開始後 10~12 秒の間について作図したものである。

これらの図より、相対変位と動土圧の間には、相対変位の圧縮側で正の動土圧が発生し、相対変位の引張側で負の動土圧が発生するという傾向が認められる。

しかし、盛土と粘土地盤の境界に位置する p8 の土圧は、相対変位の圧縮側で負、引張側で正となる逆の傾向が認められる。これは厚さ 0.4 mm の軟質ポリ塩化ビニール性のセル模型に接着した土圧計を用いて土圧の計測を行っているため、セルの曲げひずみ等の影響を土圧計が受けているためと考えられる。

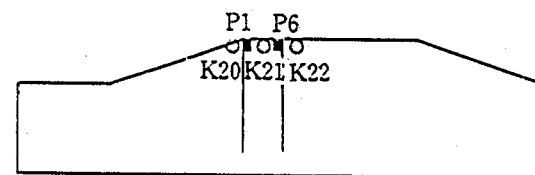
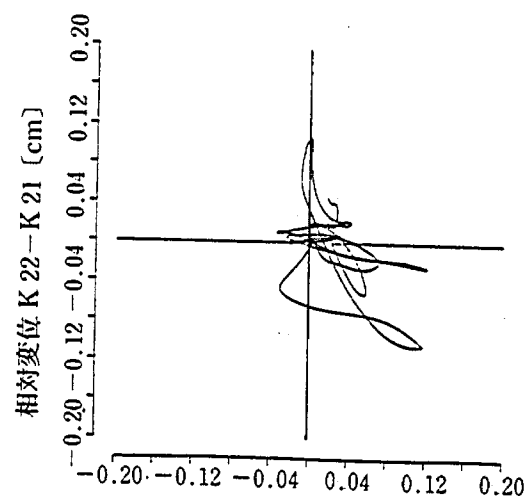
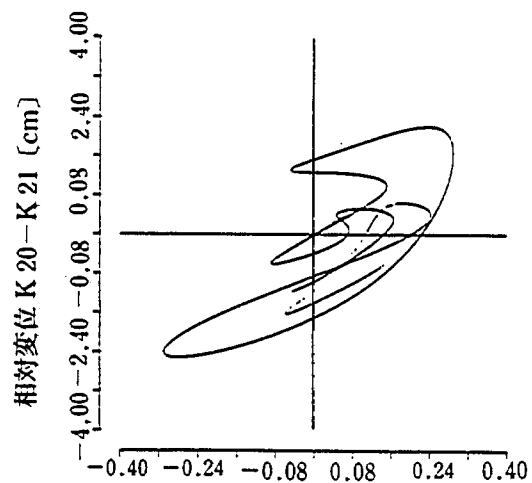
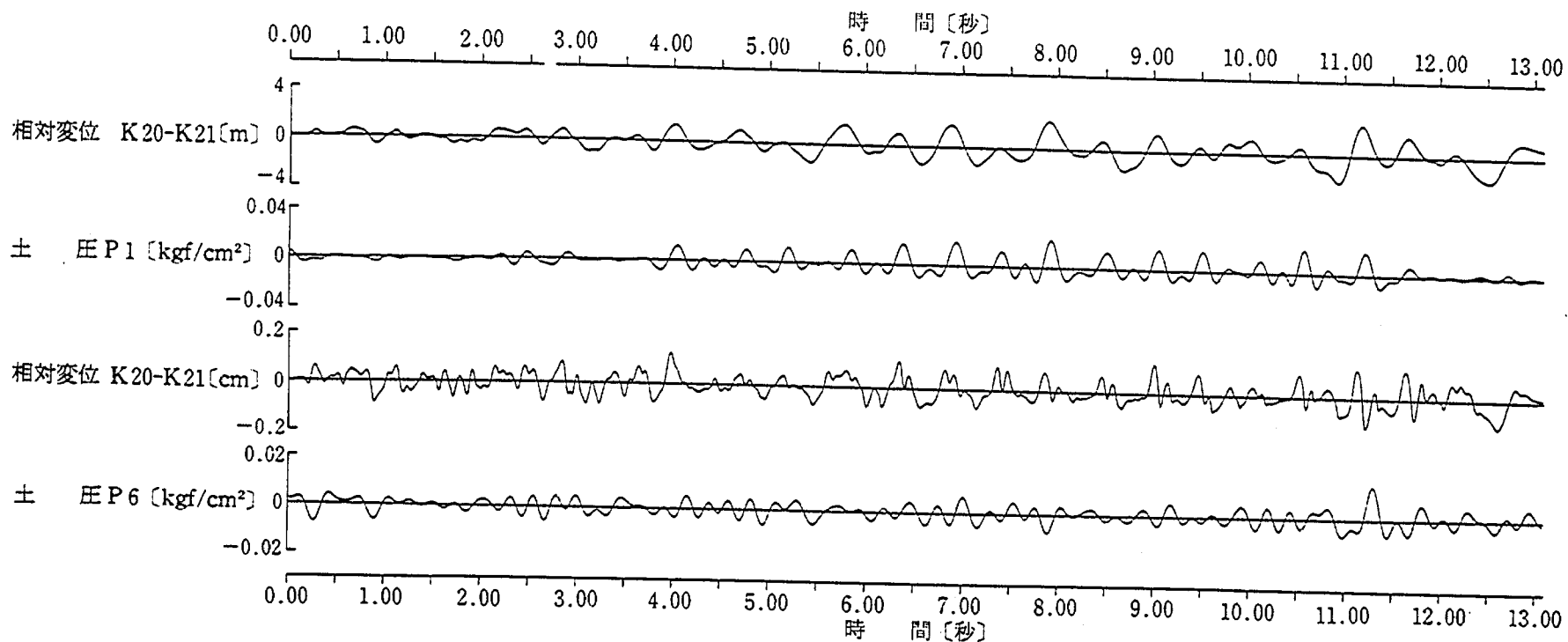


図-3.17 (a)セルと地盤の相对変位と土圧の関係

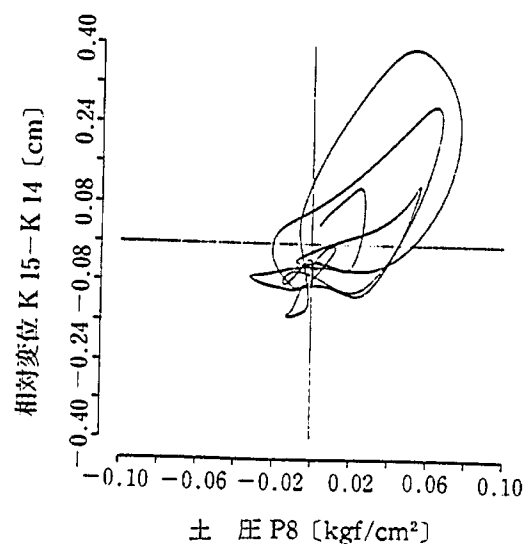
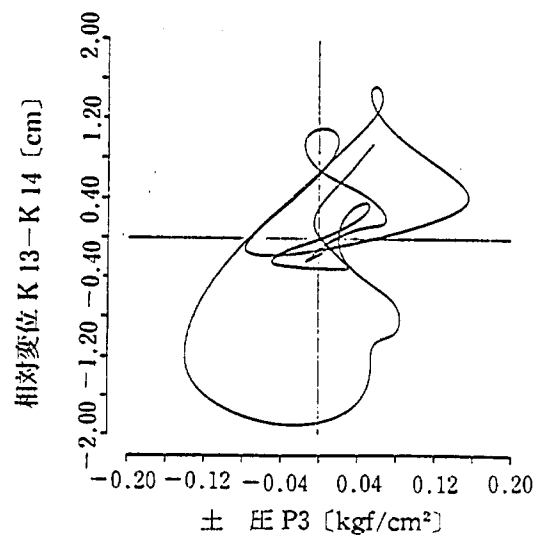
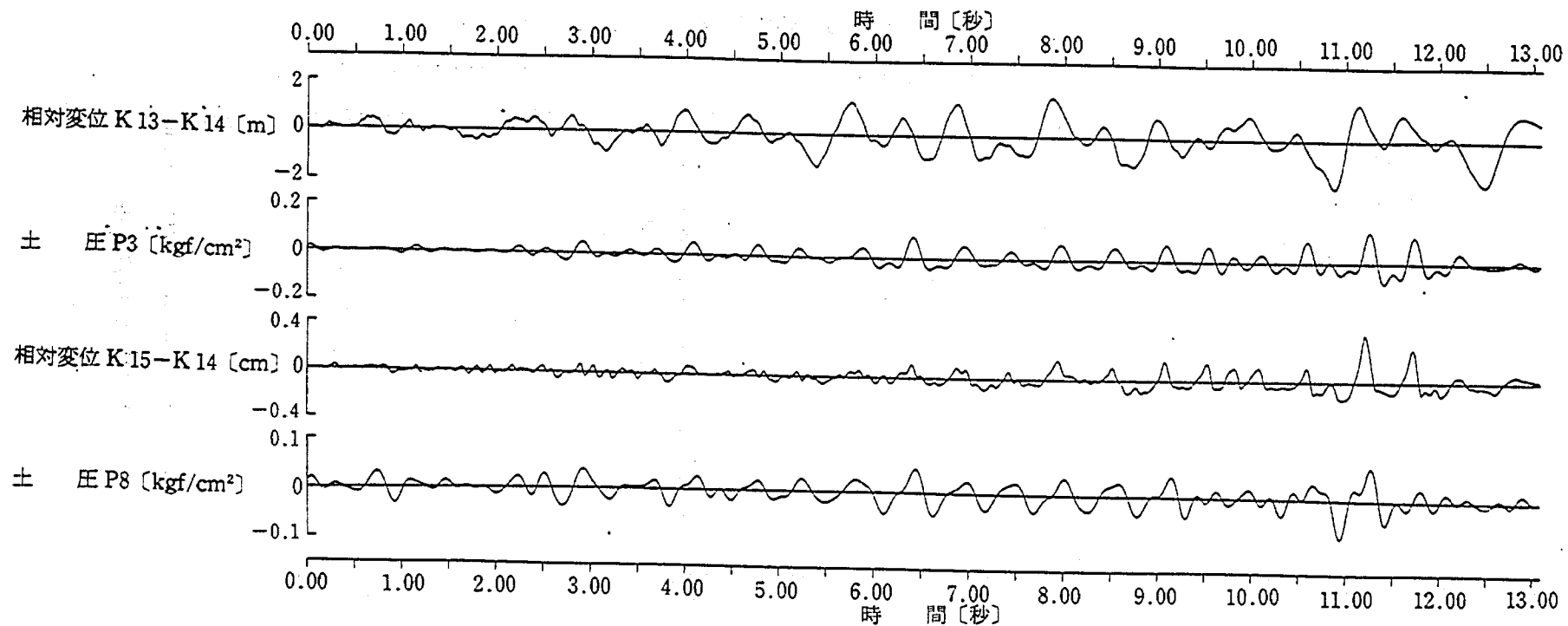


図-3.17 (b)セルと地盤の相対変位と土圧の関係

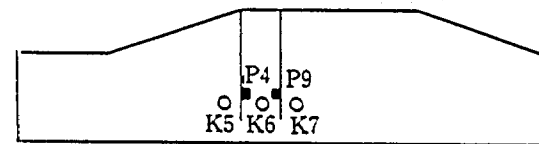
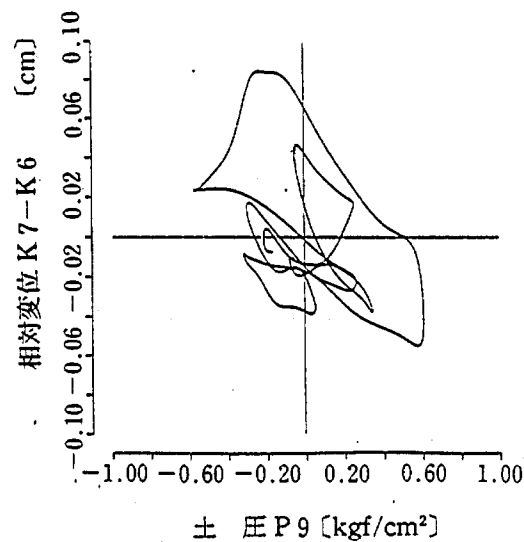
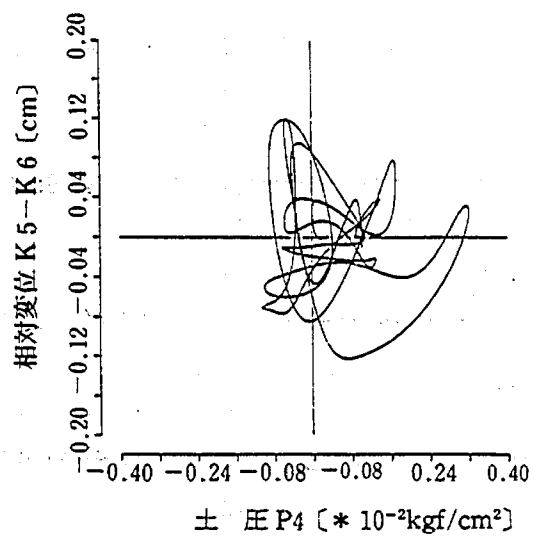
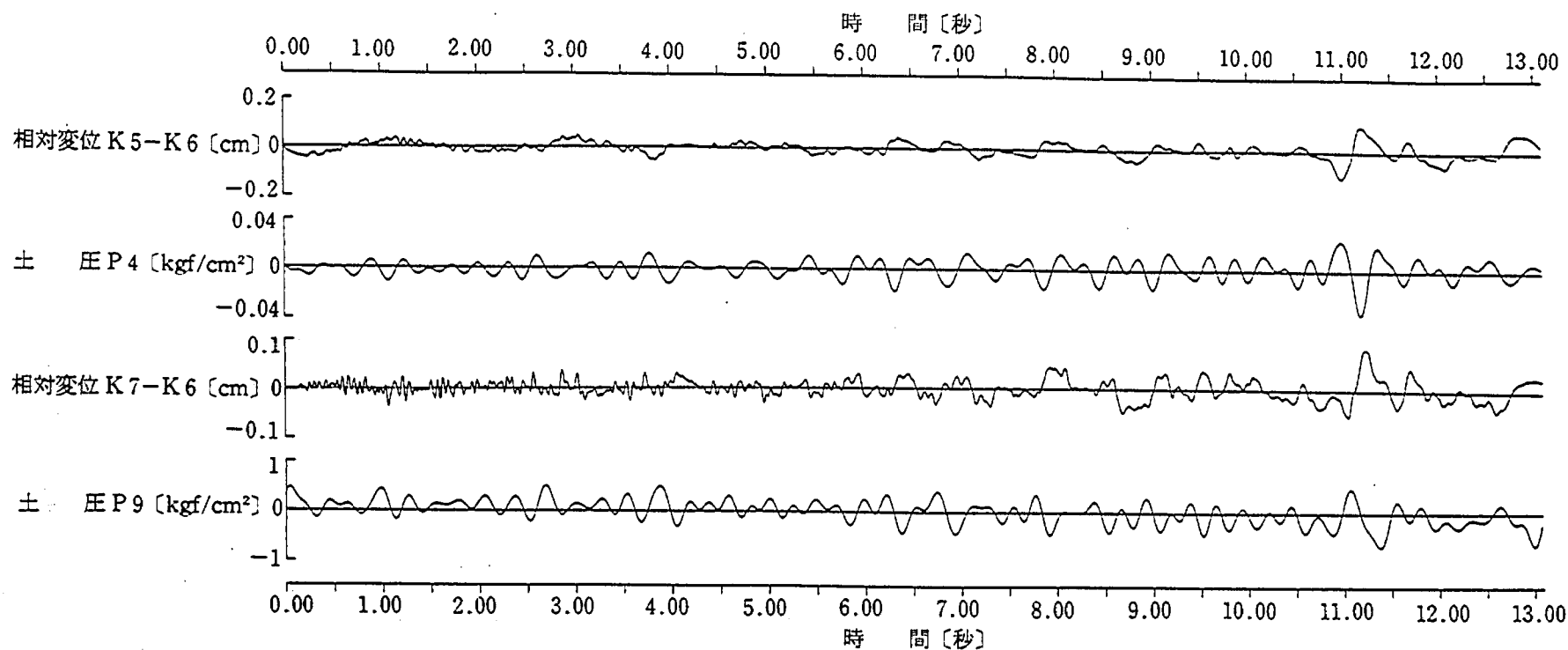


図-3.17 (c)セルと地盤の相对変位と土圧の関係

3.4 破壊加振実験

地震波加振実験に引き続いて正弦波による破壊加振実験を行った。

加振に用いた正弦波は、振動数 3 Hz 、最大加速度 300 gal および 450 gal の2波であり、加振時間は40秒である。加振振動数は模型の共振振動数に近い振動数で加振することにより、模型に大きな変状を生じさせ模型の破壊モードについて検討が行えるよう設定した。正弦波加振実験（共振実験）では、盛土模型の共振振動数は $5.2\sim 5.4\text{ Hz}$ と考えられるが、この値が微小ひずみ ($\gamma=10^{-6}$ 程度) に対する結果であることを考慮すると、模型が破壊に近い状態での共振振動数は、せん断ひずみがかなり大きくなっており ($\gamma=10^{-3}$ 程度)、土のせん断剛性が $1/4$ 程度に減少すると考えたためである。

図-3.18 は、加振により生じた模型の変状として盛土天端中央の沈下量と盛土法先地表面の浮上がり量を取り、最大入力加速度との関係を示したものである。同図には、地震波加振実験により生じた模型の変状も併記してある。

地震波加振による変状の殆どは、浮島公園記録による加振の際に生じたものであり、開北橋記録による加振の際には変状は認められない。地震波による加振の際には、盛土の沈下および地盤の浮上がり量は数 cm と小さく、セルの有無による差は著しいものではない。正弦波による加振の場合には、同一最大加速度の地震波による加振に比べ $4\sim 10$ 倍程度と大きな変状をしめしている。セルの有無による差に着目すると、盛土天端の沈下量はセルの有るケース B の方が大きく、地盤表面の浮上がり量はセルの無いケース A の方が大きい。

図-3.19 は、地震波および正弦波による一連の加振後の模型および石灰メッシュの最終的な変状状況を示したものである。セルの無いケース A の場合には、粘土地盤と盛土の境界部にのみ大きなせん断変形が認められる。これに対し、セルの有るケース B の場合には粘土地盤上部のせん断変形がより深い位置までおよんでいる。また、盛土部の変状について見ると、セルの無い場合には、盛土天端全面に縦亀裂が生じるのに対し、セルの有る場合には、盛土中央部には亀裂が発生せず、セル周辺部に縦亀裂および陥没が生じている。

図-3.18 に示したとおり、セルの無いケース A ではセルの有るケース B に比べ、盛土天端の沈下量が小さいにもかかわらず、地盤表面の浮上がり量が大きい。加振実験の前後における土量計算を行った。その結果を表-3.3 に示す。加振前後における体積の変化量は、 $0.024\sim 0.166\text{ m}^3$ であり、これを土槽の面積で割ることにより平均の沈下量を求めると、 $0.13\sim 0.92\text{ cm}$ となり模型変状の計測誤差の範囲内であり、加振前後において土量はバランスしているといえ、ケース A がケース B に比べ盛土天端の沈下量が小さく、地表面の浮上がり量が大きいのは、セルの有るケース B ではセル内部の沈下が小さく盛土の側方への拡がり小さく地盤の隆起が大きくなならないといった破壊パターンの違いによるものと考えられる。

以上の様な破壊形状となる条件としては、盛土、粘土地盤の強度、セルの曲げおよびせん断強度など多くの要素が関係していると考えられ、これらの相互関係によりセルの無い場合には、破壊モードとして次の2つが考えられる。

ケースⅠ：今回の実験結果の様な盛土と粘土地盤の境界部でせん断破壊を生ずるケース。

ケースⅡ：すべり破壊的なケース。

これらのうち、いずれかのケースが生じるかは盛土と地盤の強度の相互関係が大きく影響すると考えられ、今回の模型では、盛土の強度に対して地盤の強度が相対的に弱かったため盛土と地盤の境界部で破壊が生じるケースⅠの破壊モードが生じたと考えられる。

セルが有る場合には、セルが盛土と粘土の振動を等しくしようとするような振動挙動を示し、粘土地盤の変状はより深い位置までおよび、セル自体には強いせん断力と曲げモーメントが作用した結果盛土と粘土地盤の境界位置でセルに曲げ破壊やせん断的な破壊が生じており、この様な力の反力は、セルを介して盛土に作用しセル近傍の盛土に陥没を生じさせるなど、セルの無い場合とは異なる変状を生じさせたと考えられる。

以上の結果より以下の事項が指摘される。

ケースⅠ：盛土と粘土地盤の境界部でせん断破壊を生じるケース。（地盤の強度に対して盛土の強度が強い場合）

ケースⅡ：すべり破壊的なケース。（地盤と盛土の強度が同程度の場合）

今回の実験ではケースⅠの破壊モードとなった。

2) セルが有る場合には、盛土の慣性力の相当部分はセルを介して粘土地盤に伝えられ、そのため盛土と地盤の境界部でセルに曲げモーメントとせん断力が作用し、この部分に曲げ破壊やせん断的な破壊が生じた。

3) 同時に、この様な力の反力はセルを介して盛土に作用し、盛土の強度を越えたため、セルの周辺ではセルの無い場合より著しい変状が発生した。

4) 地震時に実際の人工島に同様な残留変形が生ずるとするのは模型と実物との強度特性等の相異などから無理であるが、今回の実験は、

(a) 盛土と地盤の強度、変形特性のバランスが重要であること。

(b) セルの様な構造物では地盤反力の期待出来る様な地盤に根入れを行わないと本来の性能が発揮されないこと。

(c) 円弧すべり破壊に対する検討の他に盛土の滑り出し、盛土のセルに対する支圧強度に対する検討が必要であること。

など、耐震設計を行う上で基本となる事項の重要性を、対象とするセル式人工島に即して示した点に意義があろう。

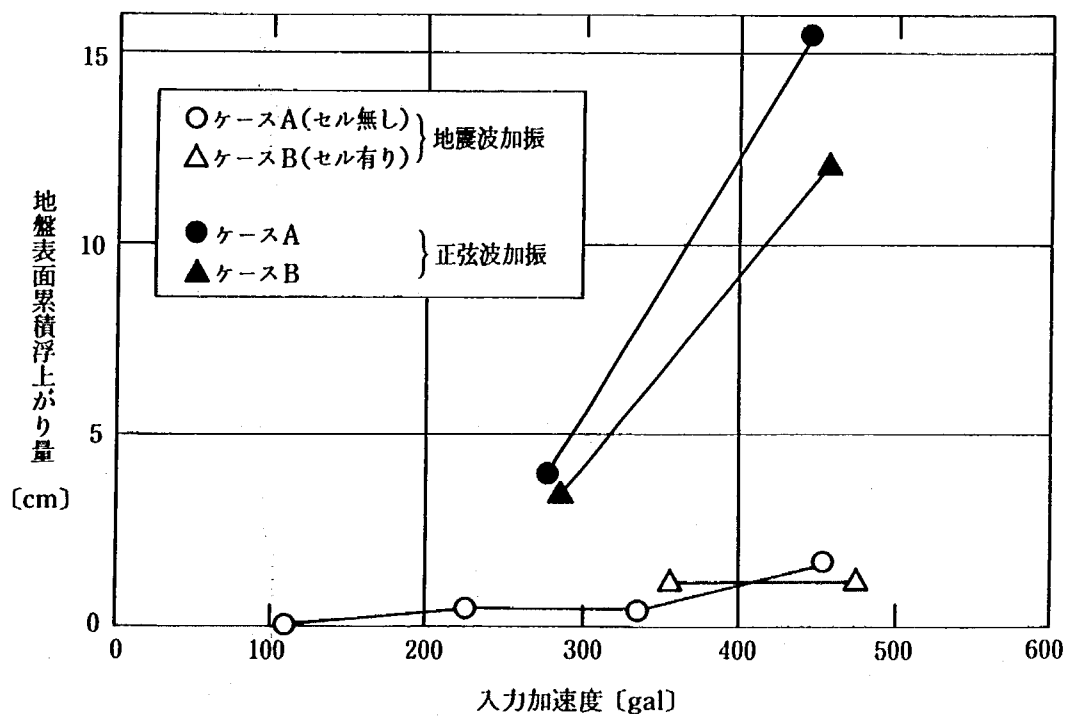
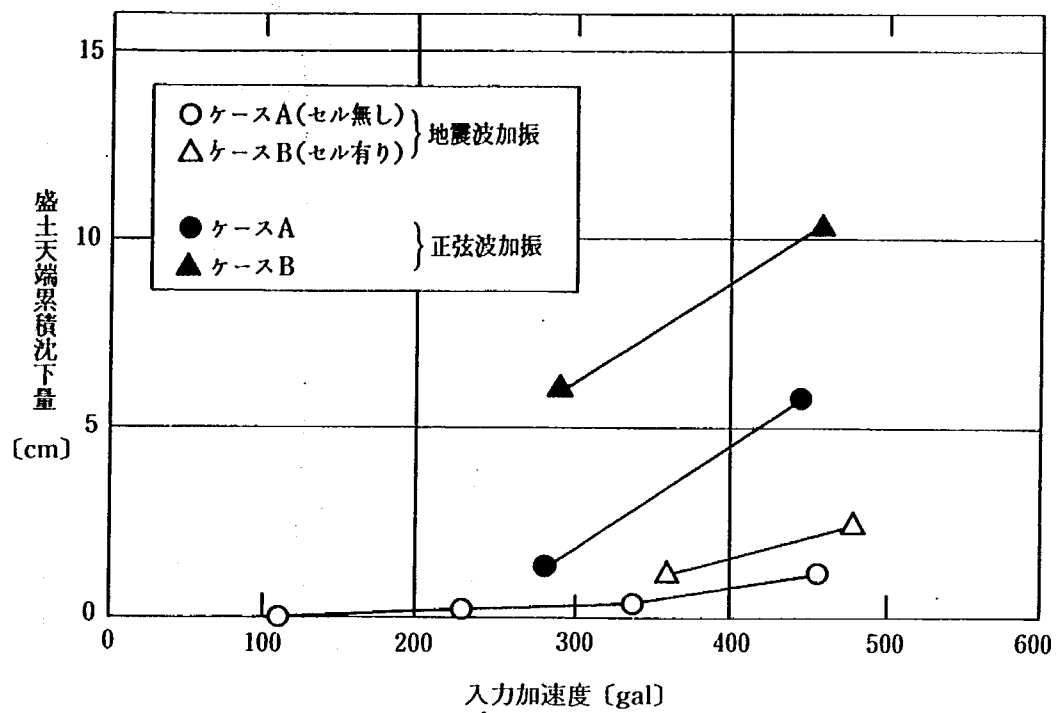
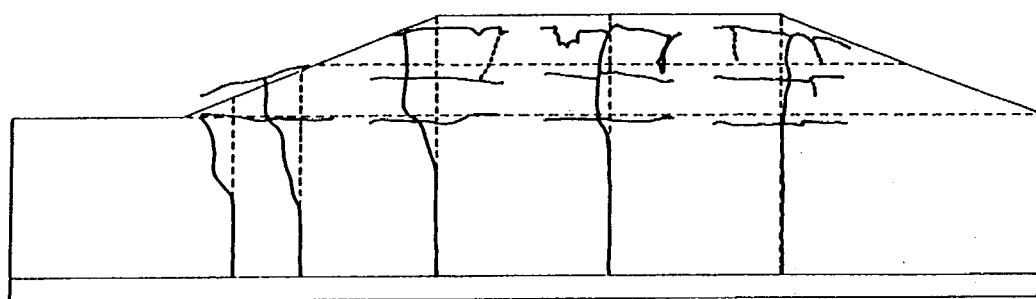
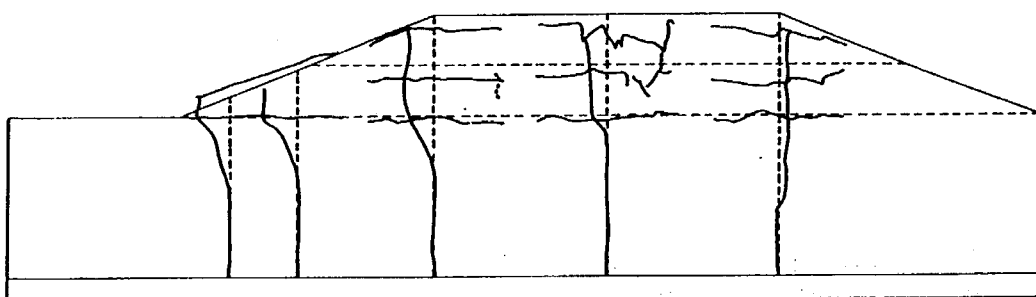


図-3.18 入力加速度と模型の変形（累積値）



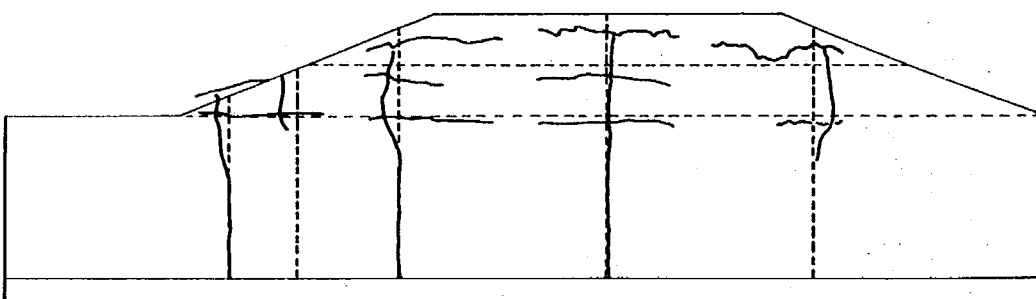
東側



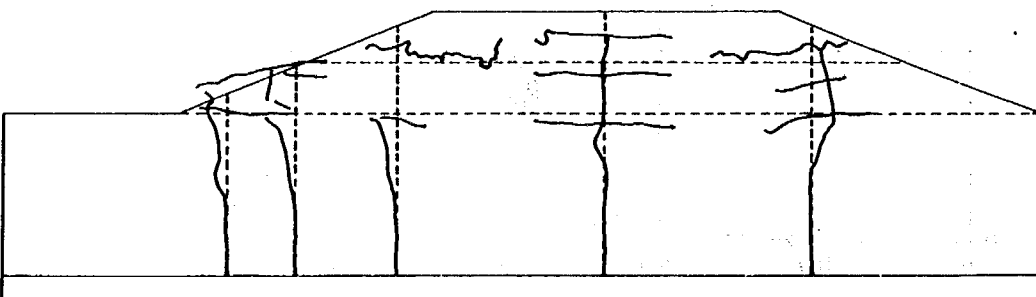
西側

凡例
--- 石灰メッシュ初期形状
— 石灰メッシュ破損形状
..... 模型の亀裂

(a) ケース A (セル無し)



東側



西側

凡例
--- 石灰メッシュ初期形状
— 石灰メッシュ破損形状

(b) ケース B (セル有り)

図-3.19 石灰メッシュ変状図

表-3.3 土量計算結果

ケース \ 体 積	加振前体積 [m³]	加振後体積 [m³]	体積変化量 [m³]
ケース A (セル無し)	6.300	6.276	-0.024
ケース B (セル有り)	6.300	6.134	-0.166

4. 結論

東京湾側面セル式人工島の振動特性を検討することを目的に、昭和57年度に引き続いて模型縮尺1/50の人工島盛土および周辺地盤模型を振動台上に作製し、各種実験を行った。

昭和57年度には盛土、地盤とも浅間山砂を用いたが、今年度は実験技術に改良を加え、地盤模型に粘土を用いてより実情に即した模型とすることにより、人工島の耐震性を検討する上で有益となる種々の特性を明らかにすることができた。

主要な事項につき、これらをまとめてみると以下のようになる。

1) セルの無い場合には、盛土全体が一体となって剛体に近い振動をし、これを地盤が弾性的なせん断変形をして支えている、いわば一質点バネ系の様な振動特性を持っており、共振曲線上で5.2 Hzのみで振動が卓越している。

2) セルの有る場合にも、基本的にはセルの無い場合の振動特性と同様であるが、セル自体が独自の振動をしようとするため、これら両方の特性を含んだ振動特性を持っており、共振曲線上で5.4 Hzと8.0 Hzの振動が卓越している。

3) 以上の様にセルの有無による振動特性の違いはあったが、地震波に対する振動応答挙動の差は著しいものではなく、これは地震波加振に用いた波の応答スペクトルの違いによるものと考えられる。

4) セルが有ると、盛土の振動は全般に抑えられる傾向にあるが、セル上端位置と法面ではセルが無い場合と同程度、あるいは増加する傾向にある。

5) また、最終的な加振終了後の残留変形は、セルが無い場合には粘土地盤表面部をすべり面とし、盛土が水平に移動し、盛土天端に多数の縦亀裂が発生した。

セルが有る場合にもほぼ同様であるが、すべり面（せん断変形の大きい領域）がより深い位置まで拡がり、セル周辺の盛土に陥没および縦亀裂が発生した。

また、セルには盛土と地盤の境界位置で曲げ破損とせん断的な破損が生じた。

6) 以上の様な残留変形状況は次の様に解釈される。

即ち、セルが無い場合には盛土の慣性力は全てせん断力として粘土地盤表面で支えられている。それに対し、セルが有る場合には、セルは相対的に盛土および地盤より剛であり、盛土の慣性力の相当部分はセルを介して粘土地盤に伝えられ、粘土地盤表面のせん断力が減少したためと考えられる。

そのため、盛土と地盤の境界付近ではセルに曲げモーメントとせん断力が作用し、セルに曲げ破損やせん断的な破損を生じさせた。また、これらの力の反力が盛土に作用し、これが盛土の強度を越えたため、セル無しの場合よりセル周辺の盛土の変状が著しくなったと考えられる。

7) 従って、残留変形状況には盛土、粘土地盤およびセルの強度、変形特性の相対的な関係が複雑に影響し、また、それらの組み合わせによって種々の状況が生ずるものと考えられる。

8) 以上の実験結果により地震時に実際の人工島において同様の残留変形状況が生ずるとするのは模型と実物の強度特性の相違などから無理であるが、今回の実験は

(a) 盛土と地盤の強度、変形特性のバランスが重要であること、

(b) セルの様な構造物では地盤反力の期待出来る様な地盤に根入れを行わないと本来の性能が発揮されないこと。

(c) 円弧すべり破壊に対する検討の他に盛土の滑り出し、盛土のセルに対する支圧強度に対する検討が必要であること。

など耐震設計を行う上で基本となる事項の重要性を、対象とするセル式人工島に即して示した点に意義があろう。

謝 辞

本実験は、建設省土木研究所および日本道路公団東京第一建設局が共同研究として実施した「盛土の地震荷重に関する試験調査」の一部として実施したものであり、荒川直士氏（振動研究室長：現日本道路公団福岡建設局八代工事事務所長）、および川島一彦氏（振動研究室主任研究員：現地震防災部耐震研究室長）には、本実験の遂行全般にわたる御尽力を頂いた。

また、本実験の実施に当っては、基礎地盤コンサルタンツ株式会社の土谷尚氏、梅内勝彦氏、吉本哲夫氏、その他各位の協力を得た。御関係の皆様には厚く御礼申し上げます。

以下に、「昭和 58 年度盛土の地震荷重に関する共同研究」に参加した研究者を示す。

建設省土木研究所 地震防災部振動研究室

室 長 荒 川 直 士

（現日本道路公団福岡建設局八代工事事務所長）

主任研究員 川 島 一 彦（現地震防災部耐震研究室長）

研 究 員 松 本 秀 應

近 藤 益 央

日本道路公団企画調査部東京湾横断道路調査室

室 長 代 理 蛭 川 友 司

西 部 剛

東京第一建設局建設部東京湾横断道路調査課

課 長 和 佐 勇次郎

課 長 代 理 加 藤 恒 夫

岩 井 文 明

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所：土の動的変形特性——共振法土質試験機による測定——，土木研究所資料第 912 号，1974.5
- 2) 建設省土木研究所：道路盛土の地震被害事例およびその破壊形態に関する調査，土木研究所資料第 2000 号，1983.3
- 3) 建設省土木研究所：地震時における道路盛土の振動特性に関する研究——（その 1）飽和砂質地盤上の道路盛土モデルの加振振動実験——，土木研究所資料第 1999 号，1983.5
- 4) 荒川直士，木全俊雄，近藤益央，長谷川明機，林博明：大規模盛土モデルの振動特性に関する実験的研究，第 18 回土質工学研究発表会，1983.6
- 5) 荒川直士，木全俊雄，近藤益央，長谷川明機：人工島の地震時動的変形特性に関するモデル振動実験，土木学会第 38 回年次学術講演会講演概要集，第 3 部会，1983.9
- 6) 建設省土木研究所：東京湾横断道路人工島（盛土）の地震時における安定性の解析，土木研究所資料第 955 号，1974.9
- 7) 建設省土木研究所：東京湾横断道路人工島モデル振動実験——側面セル式人工島の検討（その 1）——，土木研究所資料第 2037 号，1983.10
- 8) 荒川直士，松本秀應，和佐勇次郎：人工島に及ぼす側面セルの拘束効果，第 19 回土質工学研究発表会，1984.6
- 9) 荒川直士，川島一彦，松本秀應，和佐勇次郎，岩井文明：大型海中人工島の耐震性に及ぼす側面セルの拘束効果，土木技術資料，第 26 巻 第 12 号，1984.12

付属資料—1 粘土地盤の強度と人工島の安定性

付属資料-1 粘土地盤の強度と人工島の安定性

今回の実験では軟弱粘土地盤上に盛土を構築し、加振実験を行う。そこで実験に先立ち模型が破壊する加振条件（最大加振加速度）を推定する目的で、安定計算により模型の安定性を検討した。ここでの主な検討項目は以下の2点である。

- 1) 粘土地盤の所要強度（粘着力 c ）
- 2) 模型の破壊状況（盛土と粘土地盤のどちらで破壊が生じるか）

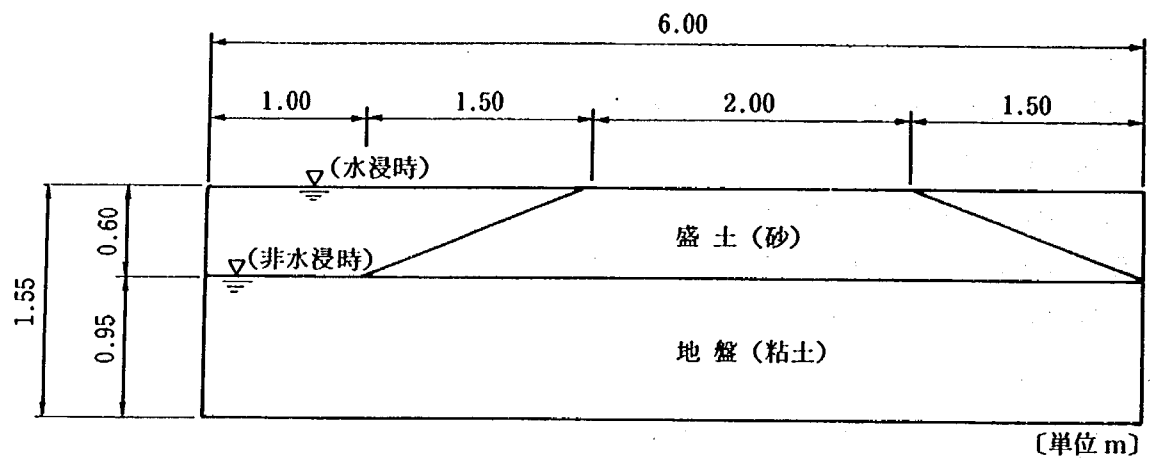
安定計算実施断面は付図-1.1に示すとおりであり、地盤材料を粘土、盛土材料を砂としセルを除外したものである。

上記断面について、粘土地盤の強度（粘着力 c ）および水平震度 K_H を種々変化させ、修正フェレニウス法により安全率 F を求めた。なお、計算は水位が盛土天端にある場合と粘土地盤表面にある場合の2通りについて計算を行った。

計算結果を付図-1.2に示す。粘着力 c がある値を越えると安全率が一定値を示すのは、盛土法面内のすべり破壊により安全率が決定されるためである。

この結果をもとに盛土の安定性について検討を行うと、加振に先立つ盛土造成時（盛土造成非水浸時）において安全率が1.0以上である必要から粘着力 c は 0.2 tf/m^2 以上でなければならない。また、加振時の破壊モードとしてすべり面が盛土と地盤を通るためには、盛土非水浸時においては 0.5 tf/m^2 以下でなければならない。以上の事を考慮すると実験模型は盛土非水浸とし地盤の粘着力 c を $0.2 \sim 0.5 \text{ tf/m}^2$ 程度にする必要がある。

これらの安定計算は、セルの無い場合についてのみ行ったが、セルが有ることにより盛土の安定性が低下することは無いと考えられる。

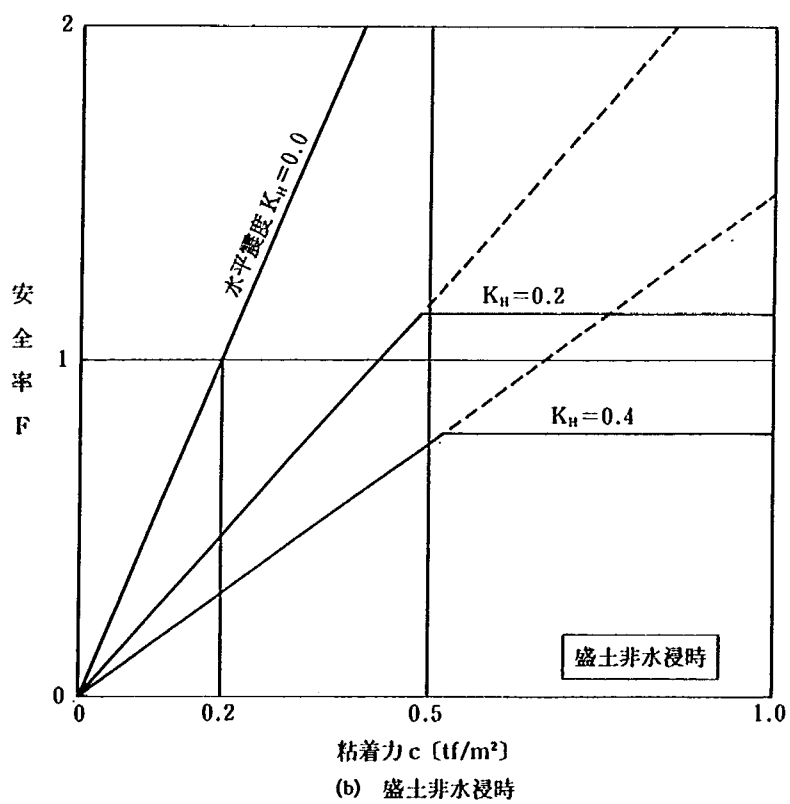
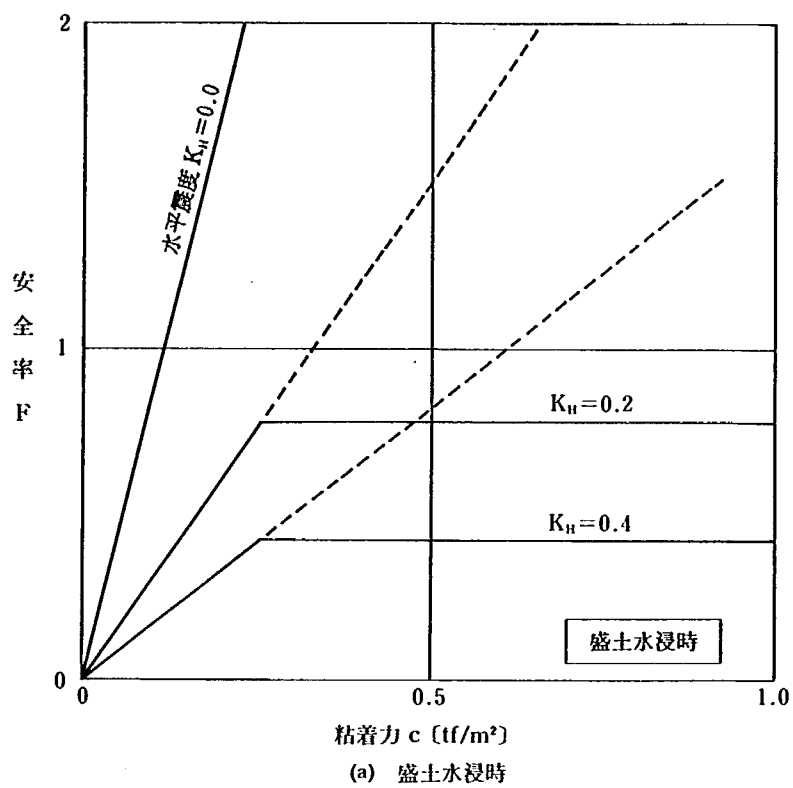


材料定数

盛土： $\phi = 37^\circ$ $c = 0 \text{ tf/m}^2$ $\gamma_t = 1.77 \text{ tf/m}^3$ (水浸時 1.99 tf/m^3)

地盤： $\phi = 0^\circ$ $\gamma_t = 1.7 \text{ tf/m}^3$

付図-1.1 安定計算実施断面



付図-1.2 安定計算結果

**付属資料一2 実験模型の作製風景および加振振動
実験終了時の状況写真**

付属資料-2 実験模型の作製風景および加振振動実験終了時の状況写真

粘土の搬入風景を写真-1, 2に, 圧密用の載荷板を写真-3に, ドレーン用の不織布を写真-4に示す。また, 各ケースについて模型完成時の状況を写真-5, 9に, 加振振動実験終了時の状況を写真-6, 7, 8, 10, 11, 12に示す。



写真-1 グラウトポンプによる粘土の搬入

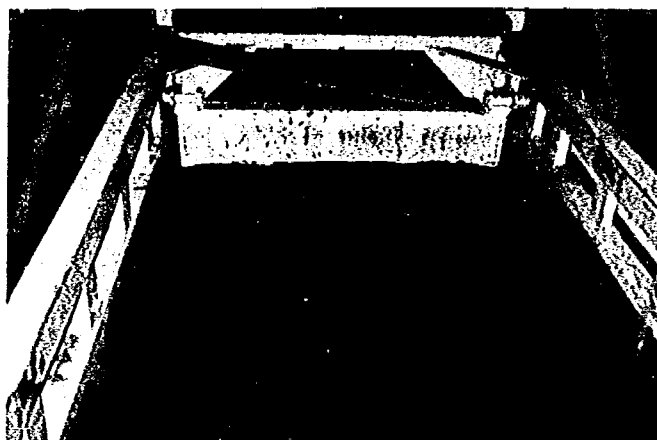


写真-2 土槽内への粘土の搬入完了

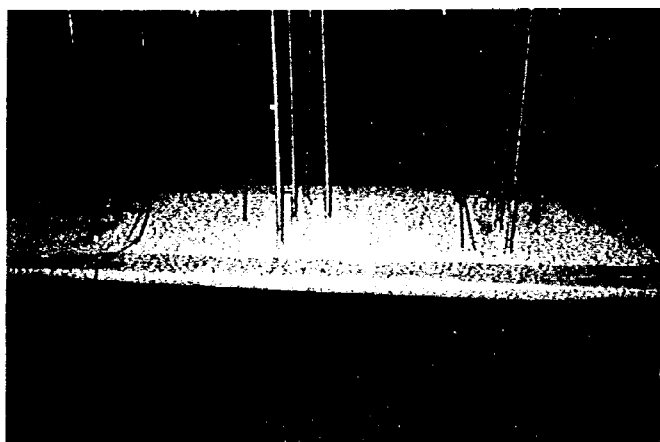
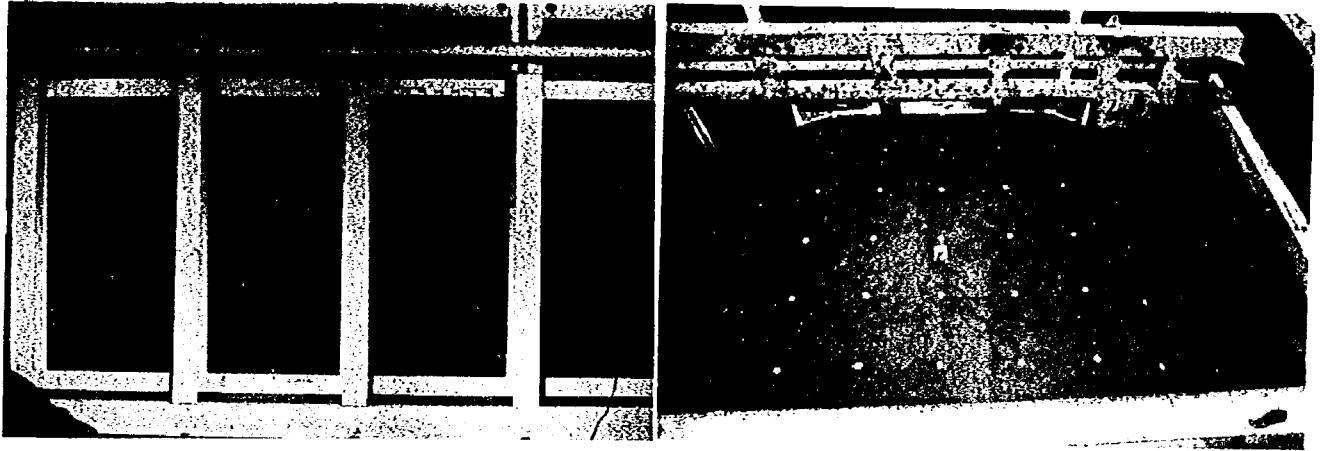


写真-3 載荷板 (6 m×3 m)



写真-4 不織布によるドレーン



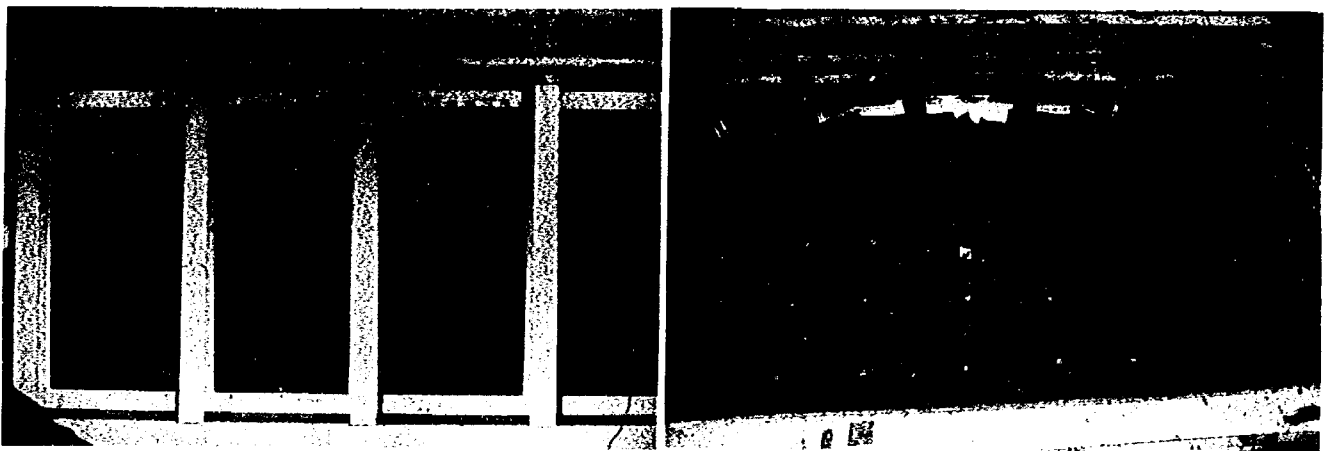
写真－5 横型完成時の状態 セル無し（ケース A）



写真－6 地震波加振実験後の状態 セル無し（ケース A）



写真－7 正弦波 300 gal 加振終了後の状態 セル無し（ケース A）



写真－8 正弦波 450 gal 加振終了後の状態 セル有り（ケース A）

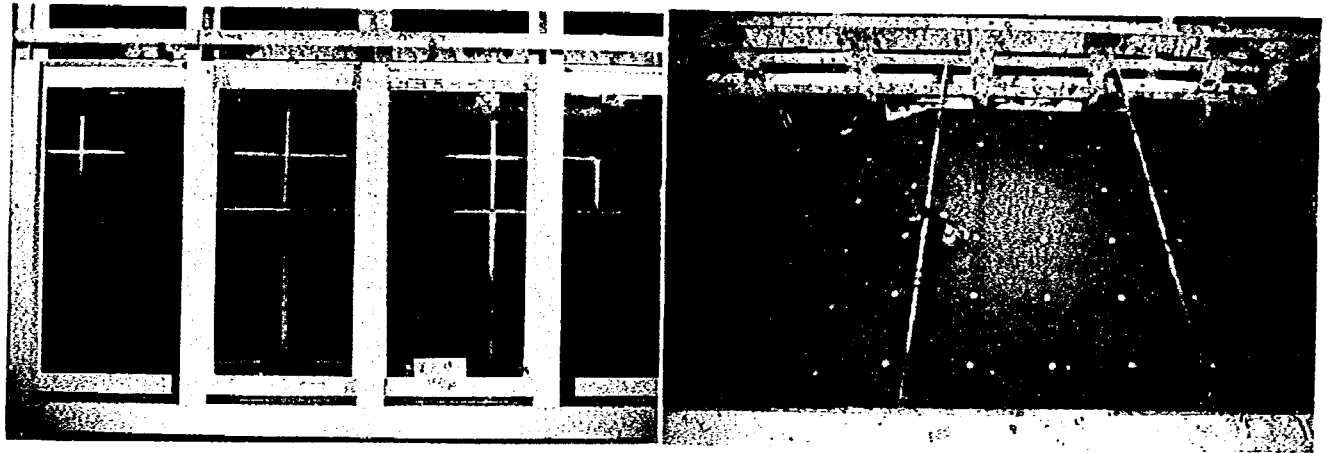


写真-9 模型完成時の状態 セル有り（ケース B）

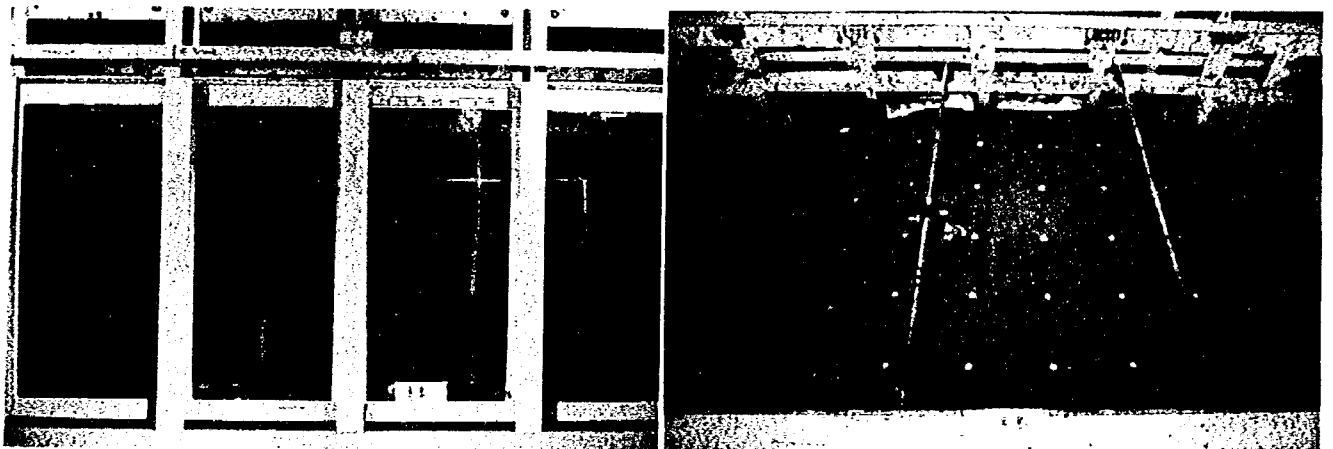


写真-10 地震波加振実験後の状態 セル有り（ケース B）

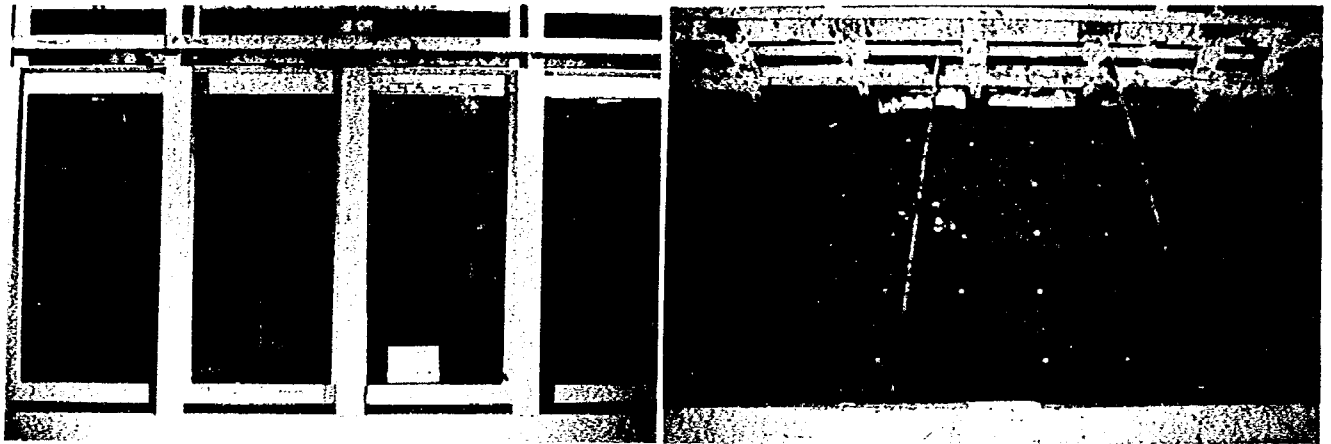


写真-11 正弦波 300 gal 加振終了後の状態 セル有り (ケース B)

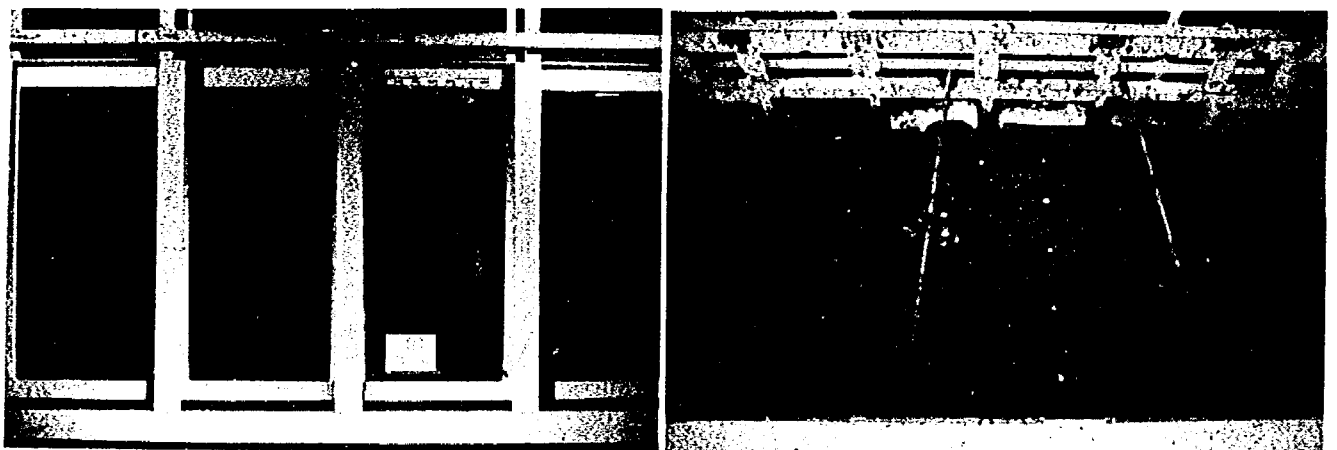


写真-12 正弦波 450 gal 加振終了後の状態 セル有り (ケース B)

東京湾横断道路人工島模型振動実験
—(その2)粘性土地盤上の側面セル式
人工島の検討—

I S S N 0386 - 5878
土木研究所資料第2268号
昭和60年11月(1985)

振動研究室 佐々木 康, 松本 秀應, 近藤 益央

要 旨

本報告は東京湾横断道路の人工島を対象に、鋼管矢板セルが人工島の振動、変形特性に与える影響について模型振動実験により調査した結果についてとりまとめたものである。

キーワード：東京湾横断道路，人工島，耐震，粘土，模型実験

郵便はがき

305-□□

四十門切手
をはって
さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
地震防災部振動研究室 行

No. 173

No. 173

配布先住所

配布先氏名

○

土木研究所資料第 2268 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印

土木研究所資料 2268 号

○ 東京湾横断道路人工島模型振動実験

－（その 2）粘性土地盤上の側面セル式人工島の検討－