

港湾技術研究所報告

REPORT OF PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH
INSTITUTE MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

第2巻 2号

Vol. 2 No. 2

小名浜，中之作両港建設工事に用いられる

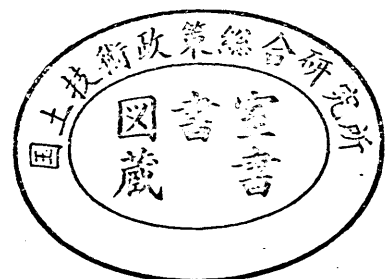
コンクリートおよび注入モルタルの配合設計について……………赤塚雄三

振動時の飽和砂の土圧と間隙水圧に関する研究……………石井靖丸 土田肇

古部哲兵

1963年9月

運輸省港湾技術研究所



目 次

小名浜，中之作両港建設工事に用いられるコンクリートおよび 注入モルタルの配合設計について	1頁
§1. 概 要	2
§2. 概造物ならびに施工条件	4
§3. 使用材料	6
3-1 セメントおよびフライアツシュ	6
3-2 細 骨 材	6
3-3 粗 骨 材	7
3-4 セメント分散剤	8
3-5 発 泡 剤 (アルミニウム粉末)	9
§4. コンクリートの配合	10
4-1 所要の性質	10
4-2 実験結果と考察	10
4-3 配合設計の方法	11
§5. 注入モルタルの配合	12
5-1 所要の性質とそれに影響をおよぼす要素	12
5-2 一般的な配合設計の方法	13
5-3 普通セメントと夏井川砂を用いた配合	16
5-4 フライアツシュ，セメントと浜街海岸砂を用いた配合	17
§6. 注入モルタルの性質に影響をおよぼす，2，3の因子ならびに プレバクド・コンクリート材料の単位使用量について	19
6-1 練り上り温度について	19
6-2 セメントの風化について	20
6-3 セメントの種類について	21
6-4 単位使用量の計算について	22
§7. 結 論	23
参 考 文 献	24
振動時の飽和砂の土圧と間隙動水圧に関する研究	25
§1. 研究目的	26
§2. 実験器材と実験方法	26
2-1 実験装置	26
2-2 測定器	29
2-3 使用試料	33
2-4 実験方法その他	33

2-5	実験条件の組合せ	35
§3.	間隙比の変化と流動化	37
3-1	概 説	37
3-2	間隙比の変化	37
3-3	砂層の流動化	39
3-4	結果の検討	40
§4.	土 圧	40
4-1	概 説	40
4-2	残留土圧	41
4-3	振動中の土圧の変化	45
4-4	土圧振巾	47
4-5	海側変位時の土圧	58
§5.	間隙動水圧	62
5-1	概 説	62
5-2	間隙動水圧の変化過程	62
5-3	間隙動水圧分布	63
5-4	間隙動水圧合力振巾	64
5-5	振動初期の間隙動水圧	67
5-6	海側変位時の合圧力	67
§6.	ま と め	68

振動時の飽和砂の土圧と間隙動水圧に関する研究

石井靖丸* 土田 肇** 古部哲兵***

Studies on Lateral Earthpressure and Dynamic Pore Water Pressure of Water Saturated Sand during Vibration

by Yasumaru Ishii, Hajime Tsuchida, Tetsuhei Furube.

Synopsis

For rationalizing the earthquake-proof design procedure of harbour structures, experimental studies were performed on lateral earthpressure and dynamic pore water pressure of water saturated sand during vibration.

Water saturated sand was filled in thickness of 70cm into a vibration box and vibrated. The inner size of the vibration box is 262cm (length)×50cm(width)×100cm(height). It has a movable wall which is one side wall of the vibration box and supported by a hinge at its lower end and by springs at its upper part. For some experiments, the movable wall was fixed to the vibration box and used as a fixed wall. Three kinds of sand with different permeabilities, each other, were used. Lateral earthpressure and dynamic pore water pressure acting on the movable wall and on the fixed wall, were measured during vibration.

Followings are main findings from the studies:

- (1) Water saturated sand was liquified by vibration in low acceleration, compared with dry sand. During the liquifaction, the pore water pressure was higher than the hydro-static water pressure.
- (2) A linear relation was found between the lateral earthpressure acting on the fixed wall after the vibration and the maximum acceleration of the table motion.
- (3) The amplitude of lateral earthpressure of water saturated sand was almost same with that of dry sand in the experiments with the fixed wall.
- (4) The amplitude of lateral earthpressure acting on the movable wall was very small compared with that acting on the fixed wall.
- (5) For the sand whose coefficient of permeability was larger than 1cm/sec, the dynamic pore water pressure was near with the dynamic water pressure calculated by Westergaard's formula.

* 元運研港湾土質部長; 現八幡製鉄株式会社

** 構造部振動研究室

*** 構造部振動研究室

§1 研究目的

けい船岸には重力式、セル式、矢板式、棚式等土圧を受ける構造形式のものが多い。これ等のけい船岸を、対象とする地震に対し安全で且つ経済的に設計、建設するためには地震時の土圧に関する知識は不可欠である。又地震時にはけい船岸の前面及び背面に動水圧が作用することも考えられるので、これに関する知識も必要である。これ等の問題に対して実験的手段により解答を求めることが考えられる。然しながら地震時の土圧はその作用する壁面の変位に影響され、壁面の変位は土圧や動水圧に影響されるなど地震時土圧、動水圧、壁面変位等の間に極めて複雑な関係が存在するために、直ちに各種構造物に作用する地震時土圧や動水圧を明らかにする実験を行うのは困難である。そこで非常に簡単な境界条件のもとで水で飽和された砂に振動を与えてその時に発生する土圧、動水圧を調べその基本的な性質を明らかにすると共に今後の実験の計画と遂行に資料を与えることとした。

港湾技術研究所においては既に地震時土圧を究明するために乾燥砂を用いた一連の実験を行つている。それ等の実験においても最初は簡単な境界条件のもとで振動中の土圧を測定し、次にそれをもとに模型実験を行つた。この最初の段階の実験を飽和砂に拡張したのが今回の研究と云える。

§2 実験器材と実験方法

2-1 実験装置（振動台）

本実験に使用した振動台は誘導電動機により機械的に振動する形式のもので、その全体の様子を写真-1に平面図を図-1に、その諸元を表1に示す。振動函の側壁のうち振動方向に平行な一面には強力ガラスが取付けてあり内部が観察出来、振動方向に垂直な一面は図-2に示されている構造の可動壁となつている。

表-1 振動台性能表

振動方向	水平及び斜方向
振巾	0~40m (運転中可変)
振動数	1.3~16.7c/s
最大加速度	1000gal
振動函内法寸法	
長さ	262cm
巾	50cm
高さ	100cm
可動壁重量	76.55kg
容積	9,789cm ³
可動壁のヒンヂを中心とする慣性モーメント	201.37×10 ⁶ g·cm ²
可動壁の重心からヒンヂ中心までの距離	42.7cm

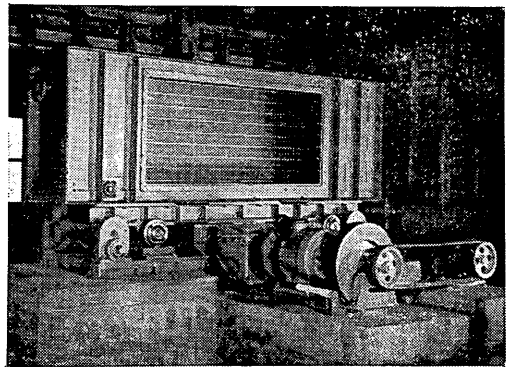


写真-1 振動台

表-2 板バネ常数

板バネ厚 (mm)	バネ常数 (kg/cm)
1	120
2	210
3	320
4	800
5	1,370

(注) バネの巾は40mm, 有効長は100mm

表-3 可動壁固有振動数

使用板バネ厚 (mm)	固有振動数 (c/s)	
	実測値	計算値
1	6.7	9.1
2	10.5	12.0
3	15.4	14.9
4	22.2	23.6
5	28.5	30.8

可動壁は下端がヒンジで上部は板バネで支えられており、わずかの範囲内で回転しうるものである。上部のバネは5種類用意されており各バネの可動壁へ2枚一組として取付られた状態でのバネ常数及びそれぞれのバネを取付けた時の可動壁の固有振動数を表-2, 3に示す。

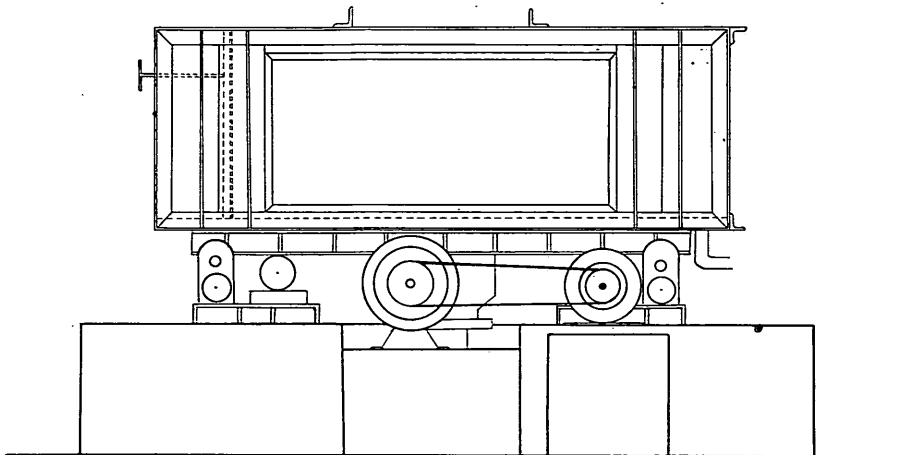
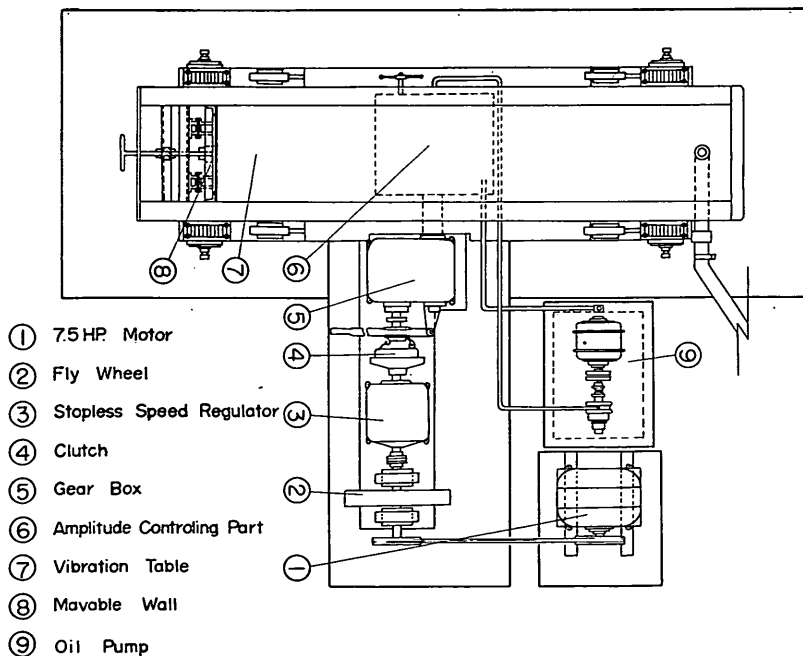
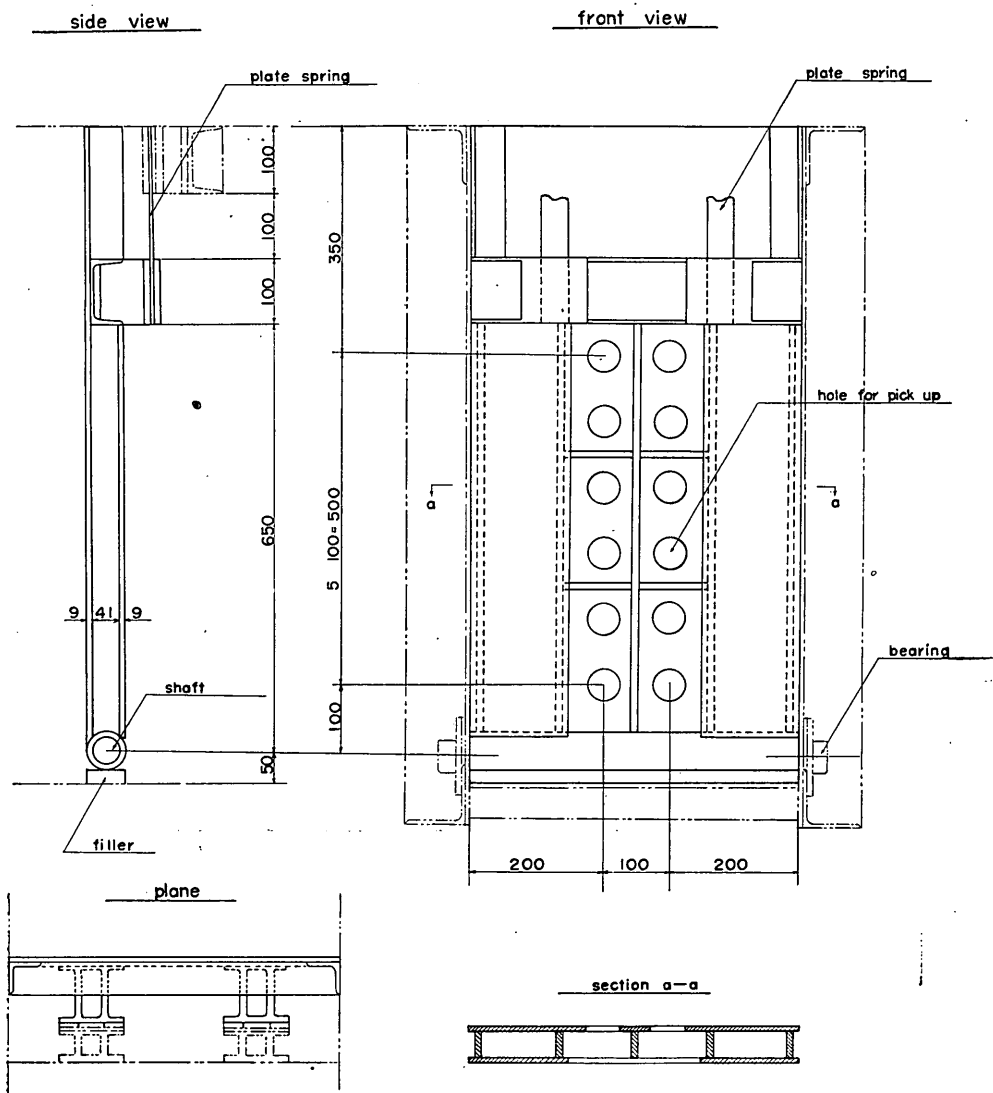


図-1 振 動 台





图—2 可 动 壁

2-2 測定器

2-2-1. 圧力計

土圧と間隙動水圧の合さつた圧力を測定するのに用いた圧力計は圧縮磁歪効果を利用したもので受圧面の直径30mm 最大容量 $150\text{gr}/\text{cm}^2$ である。 $100\text{gr}/\text{cm}^2$ の圧力を受けたときの受圧板変位と受圧板直径の比は 0.033×10^{-3} 程度と推定される。本圧力計を土圧測定に用いる場合の性能については石井博士、荒井技官の報告を参照されたい¹⁶⁾。図-3に受圧器構造を、図-4に電気回路を示す

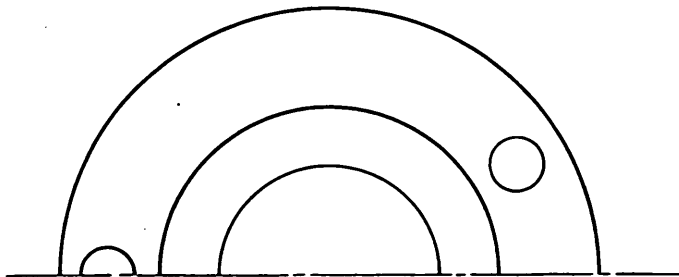
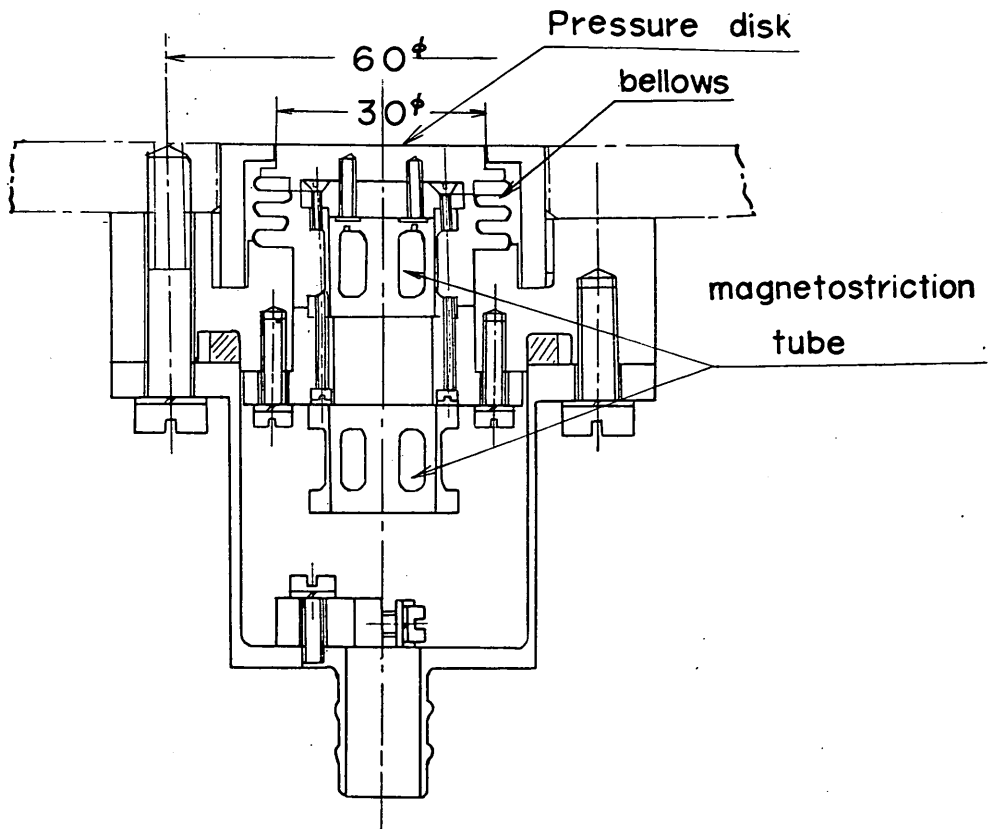


図-3 圧力計受圧器（圧縮磁歪式）

2-2-2 間隙動水圧計

砂の間隙水が振動を受けることにより生ずる間隙動水圧を測定するには振り磁歪効果を応用した間隙動水圧計を用いた。これは振り磁歪効果を応用した圧力計の受圧板（直径 30mm）の前面にフィルターを取付け土圧が受圧板に伝達されない様にしたものである。フィルターは黄銅板に小さな孔を沢山あけたもので小さな粒子が通り抜ける恐れのあるときはその裏面に適当な金網を張つて使用した。受圧器の構造を図-5に電気回路を図-6に示す。このフィルターの存在により現象振動数の変化にともなう感度変化や位相差の発生が懸念されたので下

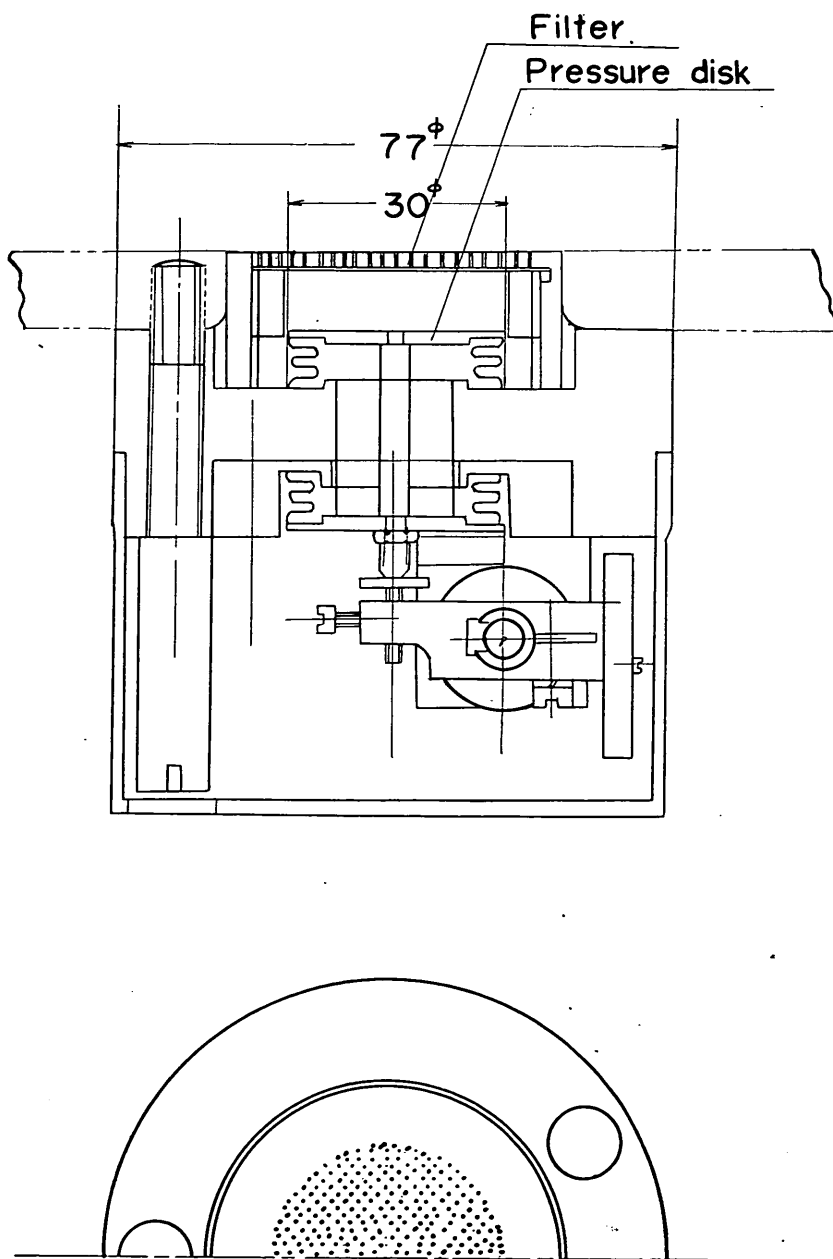
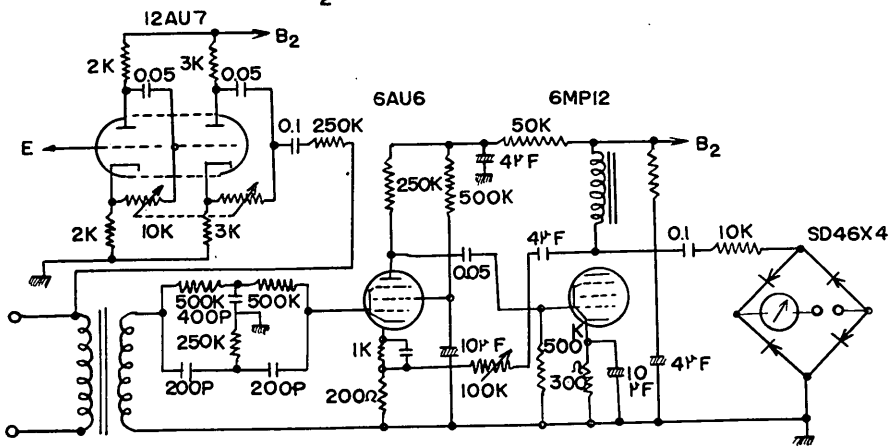
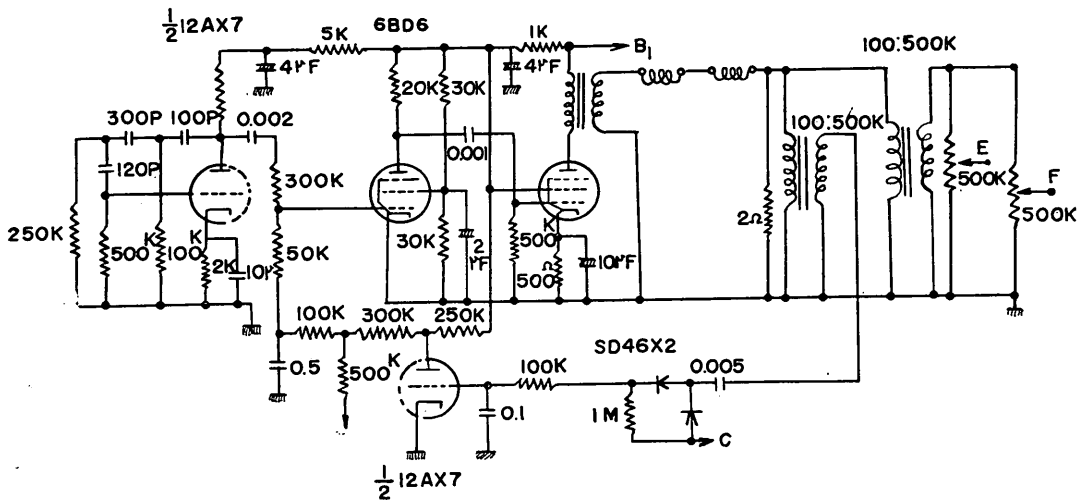
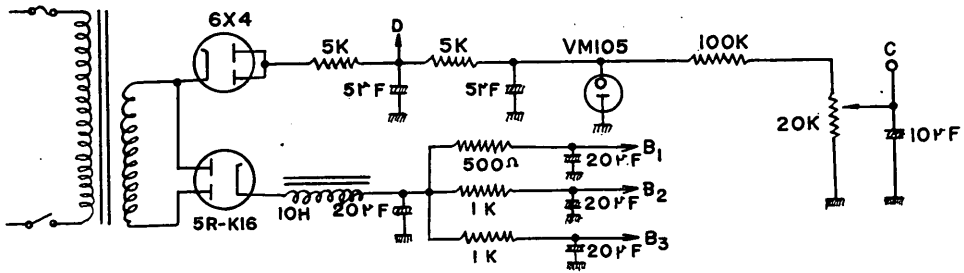


図-5 間隙動水圧計受圧器（振り磁歪式）



図一六 間隙動水圧計回路図 (振り磁歪式)

記の方法で検討した。振動函の可動壁の同一高さに間隙動水圧計と圧力計を取付け内部に水を満して振動を与えた。この時圧力計と間隙動水圧計に作用する動水圧は同じものと考えられるから両者の記録を比較することにより感度変化や位相差の有無が確認出来る。この結果今回の実験に於る程度の振動数ではフィルターにより実験に支障をきたす感度変化や位相差の存在しないことが明らかになった。なおこの間隙動水圧計の最大容量は、100 gr/cm²、150gr/cm² の2種で、100gr/cm² の圧力が作用したときの受圧面変位と受圧面直径の比は 0.35×10^{-3} 程度と推定される。

2-2-3 変位計

振動函の変位及び振動函と可動壁の相対変位は差動変圧器式変位計により測定した。振動函の変位を測定するのに用いた変位計は最大測定範囲、50mm 振動函と可動壁の相対変位の測定に用いたものは最大測定範囲10mm 及び 6mm のものである。

振動函の変位はこの他にスタイラスペーパーを用いる直描式の変位計でも記録を取った。

2-2-4 記録装置

圧力計、変位計等の測定結果は電氣的な値でとり出されるので、その記録装置としては電磁オツシログラフを用いた。各測定値相互の位相差を追求する必要があるのですべて同一記録紙に記録されることが望ましく、そのためガルバノメーター24本を納め記録紙巾 25cm のものを用いた。使用したガルバノメーターは固有振動数100 c/s で電磁制動型のものである。記録に当つてはガルバノメーターの減衰常数が 0.7 となる様制動抵抗を設定した。

2-3 使用試料

今回の実験に使用した試料は小名浜砂、高萩砂、高萩礫の三種である。それぞれの特性を表一4に、小名浜砂高萩砂の粒徑加積曲線を図一7、8に示す。

表一4 使用試料の諸特性

	小名浜砂	高萩砂	高萩礫
産地	福島県小名浜海岸	茨城県高萩海岸のものを篩分けて作ったもの	茨城県高萩海岸のものを篩分けて作ったもの
粒子比重	2.673	2.649	2.629
粒度	図一7参照	図一8参照	6mm のふるいを 100% 通過 4mm のふるいに 100% 残留
D ₁₀	0.13mm	0.90mm	—
D ₆₀	0.17mm	1.38mm	—
均等係数	1.31	1.54	—
透水係数	0.022 cm/s (但し e=0.96において)	1.11 (但し e=0.91において)	—
内部摩擦角	32.5°	35°	—

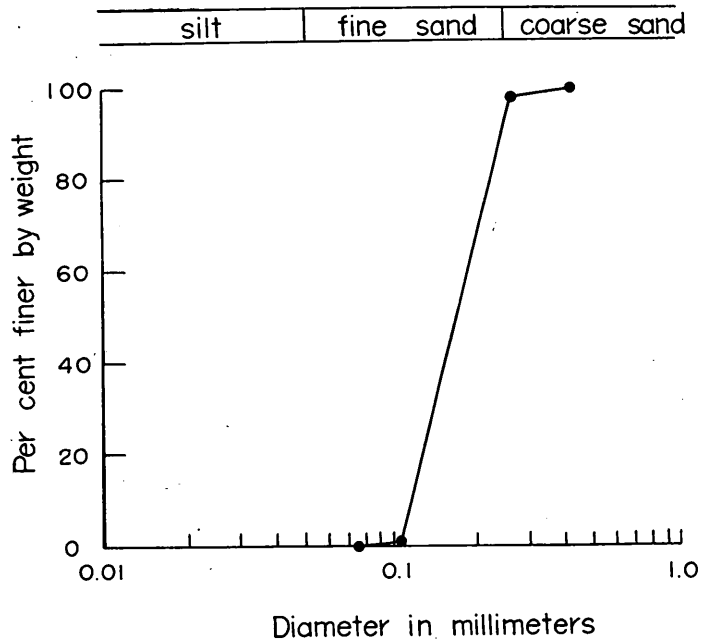
透水係数は定水位透水試験器により測定した。既製の試験器では透水が大で水位を一定に保ち得ないので、一部改造したものを使用した。

2-4 実験方法その他

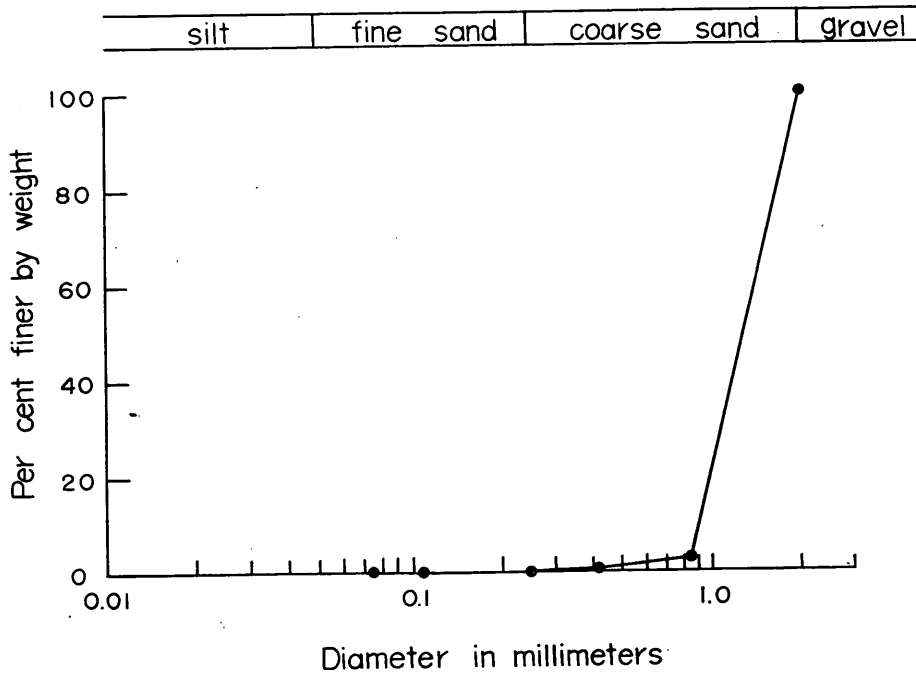
2-4-1 実験方法

実験は振動函内に飽和砂をつめ、これを振動させてその時側壁に作用する土圧、間隙動水圧及び砂の間隙比の変化を測定、また側面のガラスを通して砂の流動化を観察した。比較のため乾燥砂でも行っている。以下順を追って説明する。

ONAHAMA SAND



图一7 小名浜砂粒径加積曲線



图一8 高萩砂粒径加積曲線

先ず予備試験のデータ等をもとにして振動函に砂が詰められたときの空隙比を推定し、深さ 70cm に砂をつめたときその空隙を満すに必要な量の水を砂層内に入れる。次に砂をバケツから内径 65mm のゴムホースを通して徐々に落下させる。ゴムホースの先端は飽和砂の実験では水面より 10cm、乾燥砂の実験では砂表面より 10cm を保つ様にし、砂は 10cm の層ごとにつめるようにした。砂つめの速度は約 $0.5\text{m}^3/\text{hr}$ である。砂が 70cm までつまつたら表面をならし、砂表面と水面が一致していないときは既につめた砂の状態を変化させない様にして水を加えたり、除いたりして砂層表面と水面を一致させた。

測定器はあらかじめ可動壁に図-9 に示されている様に取付けておき、砂入れ前に約 1 時間通電して充分安定した状態で零点の調整を行い砂入れにかかることとした。

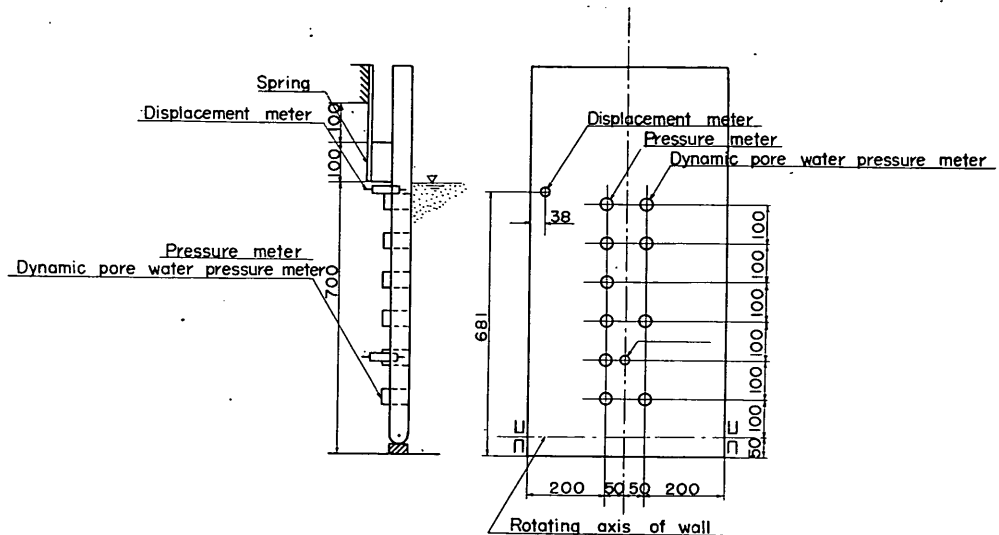


図-9 測定器配置図

与える振動の周期は 0.31sec とし振巾を零から徐々に増加させ全振巾が 2.5mm となつたらそのままの状態で小名浜砂の場合 2 分間、他の試料では 1 分間振動を続けた後、徐々に振巾を減少させて停止させた。同様の方法により振巾を 5.0mm , 7.5mm , 10mm , 15mm , 20mm , 25mm と変化させて振動を与え、この時可動壁に作用する土圧、空隙動水圧を測定した。振動台は正弦運動をしているからその加速度も正弦的に変化する。従つてその最大値をもつてそれぞれの台加速度を表わすことにした。先の変位全振巾 2.5mm , 5.0mm , 7.5mm , 10mm , 15mm , 20mm , 25mm に対応する台加速度は 50gal , 100gal , 150gal , 200gal , 300gal , 400gal , 500gal である。振巾、周期ともに実際の場合にはいくらかの誤差が生じた。各段階の振動の継続時間はそれ以上続けてもほとんど空隙比の変化が生じなくなる時間を取つた。しかし、時には後で説明する様に砂が流動化するので、その時は砂が充分落付いたと思われるまで振動を継続した。

所定の振動実験が終れば水及び砂を排除して圧力計、空隙動水圧計の零点変動に対する検査を行い、一回の実験を終了した。これに要する時間は測定器の予備通電時間を含め約 6 時間である。

2-5 実験条件の組合せ

今回の実験においては振動の与え方を前述の方法によつたので変化させうる条件としては壁の可動性、試料の

種類、試料の乾燥、飽和の別となる。今回の実験の目的からして飽和試料が中心となるのは当然である。そこで壁の可動性は、固定、5mmバネ、3mmバネ、1mmバネとし、高萩砂でこれを行い、小名浜砂はバネ5mm及び1mmは高萩砂の傾向から類推することとし、固定、3mm、バネの二つの場合をとりあげた。比較のための乾燥試料の実験は小名浜砂、高萩砂それぞれで、壁が固定、3mmバネの場合について行つた。高萩礫では粒径と圧力計の受圧面直径の比が大きき土圧の正確な測定は望みがたいため間隙動水圧のみを測定したので乾燥状態での実験はない。又、高萩礫では可動壁の実験は省略した。以上の実験をまとめると表-5の通りである。表中のNo. は各実験の整理番号である。

表-5 実験一覽表

小名浜砂				高萩砂				高萩礫							
		乾燥	飽和	準飽和			乾燥	飽和	準飽和			乾燥	飽和	準飽和	
固定壁		No. 11	No. 8 No. 13	No. 22 No. 24 No. 27	固定壁		No. 6	No. 5 No. 14	No. 21	固定壁			No. 12		
可動壁	5mm				可動壁	5mm		No. 17		可動壁	5mm				
	3mm	No. 15	No. 16			3mm	No. 25 No. 26	No. 18			3mm				
	1mm					1mm		No. 19			1mm				

この他に小名浜砂と高萩砂で固定壁の場合に水面が砂表面よりも約20cm低い状態でも実験を行つてみた。それを一応準飽和状態の実験と呼ぶ。この場合も土圧、間隙水圧の測定を行つたが実験数も少く、毛細管現象など考慮すべき問題も多いので本報告からは除いた。但し間隙比の変化と砂層の流動化についてはこの実験も本報告で取上げ考察の対象とした。

なお各実験における各段階の台加速度を整理番号順に示したのが表-6である。

Test No.	使用砂	砂の状況	壁の状況	台 加 速 度 (gal)								
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
5	高萩砂	飽和	固定	59	80	122	182	227	277	330	427	523
6	高萩砂	乾燥	固定	36	89	144	203	311	413	493	614	
8	小名浜砂	飽和	固定	60	107	172	226	298	417	525		
11	小名浜砂	乾燥	固定	72	119	168	225	333	429	528		
12	高萩礫	飽和	固定	56	121	170	222	325	428	528		
13	小名浜砂	飽和	固定	64	99	144	185	298	401	502		
14	高萩砂	飽和	固定	62	101	135	204	256	304	413	466	
15	小名浜砂	乾燥	可動(3mm)	67	98	151	202	297	407	494		
16	小名浜砂	飽和	可動(3mm)	76	94	144	194	286	402	500		
17	高萩砂	飽和	可動(5mm)	72	97	189	253	346	449	540		
18	高萩砂	飽和	可動(3mm)	62	85	137	187	298	383	478		
19	高萩砂	飽和	可動(1mm)	44	79	126	204	290	405			
21	高萩砂	準飽和	固定	67	91	151	202	302	398	487	497	

Test No.	使用砂	砂の状況	壁の状況	台加速度 (gal)								
				I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
22	小名浜砂	準飽和	固定	62	86	152	199	305	411	520		
24	小名浜砂	準飽和	固定	57	99	137	201	304	402	501		
25	高萩砂	乾燥	可動(3mm)	51	100	143	201	304	410	501		
26	高萩砂	乾燥	可動(3mm)	53	102	153	202	306	406	499		
27	小名浜砂	準飽和	固定	66	100	149	201	305	392	503		

表-6 台加速度一覧表

§3 間隙比の変化と流動化

3-1 概 説

砂は振動をうけてその間隙比を減じ時には流動化したりする。流動化の現象は若しこれが構造物の地盤等において発生すればその安定性に重大な影響を与えるものである。流動化の現象は間隙比の変化と密接な関係を有しているので本章では両者をまとめて説明する。

まず今回の実験に用いられた間隙比の測定方法をここで説明しておく。

振動函内に砂をつめたときの初期間隙比は次に述べる二つの方法のいずれかで求めた。一つは落下する砂を厚さ約1mmの真鍮板で作られた内径、73mm、深さ50mmの容器で受け計量して容器の容積と砂の重量から単位容積重量を求めた。飽和砂の実験の場合は水中に没している容器で砂を受けた。測定は4ヶ所以上で行い平均をもつて初期単位容積重量とし、更に粒子比重を用いて初期間隙比を求めた。この方法によつたのは Test No. 8 までである。この方法は小名浜砂の飽和した場合にはあまり好ましい方法とは云えないので Test No. 11 から次に述べる方法を採用した (Test No. 9, 10 は本報告と直接関係のない実験である)。他の方法は振動函内に入れた砂の全重量を計量しておき、これと振動函内で占める砂の容積から初期単位容積重量を、更に粒子比重を用いて初期間隙比を求めた。各段階の振動後の間隙比は、振動後の砂表面の位置を20cm間隔で測り砂の振動前後の容積の変化と初期間隙比から計算した。

以上の説明で明らかな様に本報告でとりあげる単位容積重量或は間隙比はすべて振動函内の砂全体の平均値である。

3-2 間隙比の変化

前節で述べた方法より求めた各段階の振動後の間隙比と台加速度との関係を砂の状態と壁の固定、可動の別により分類して示したのが図-10である。これらのグラフの検討は次節で砂層の流動化の説明をしてからまとめて

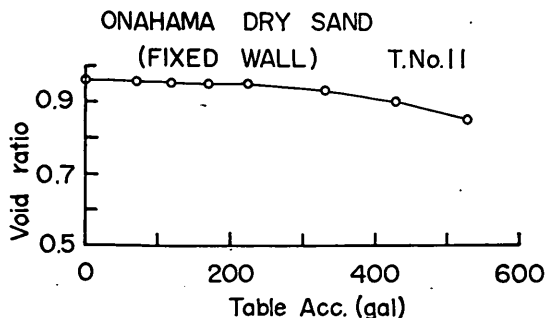


図-10-1 間隙比-台加速度

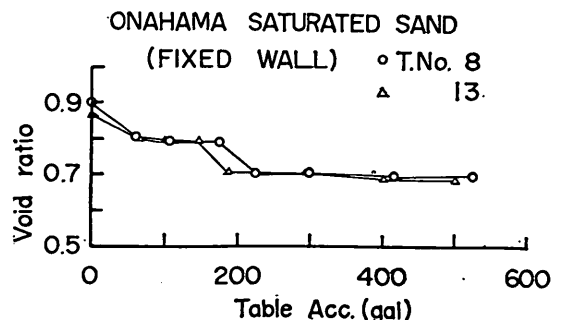
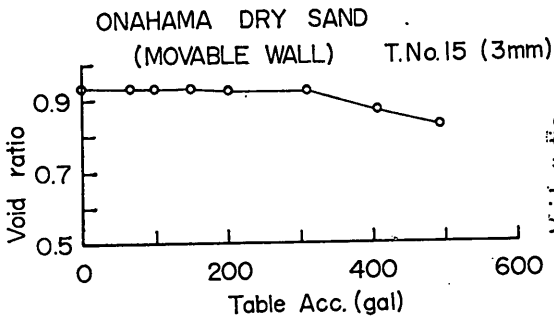
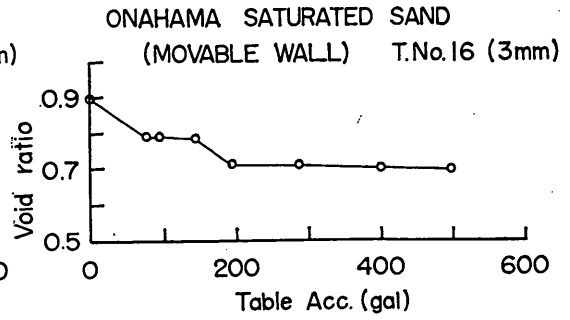


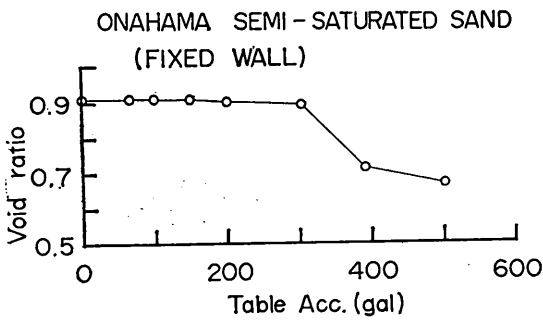
図-10-2



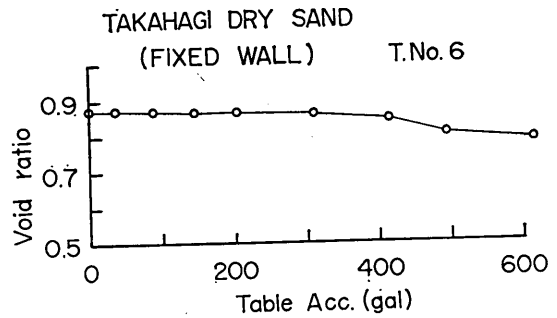
☒-10-3



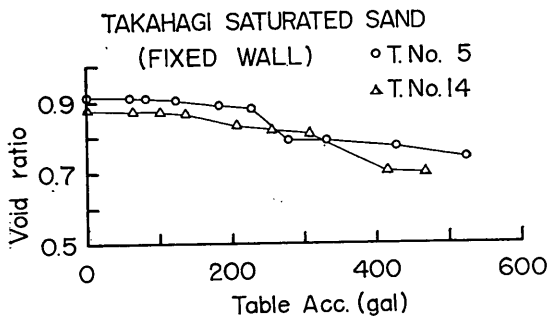
☒-10-4



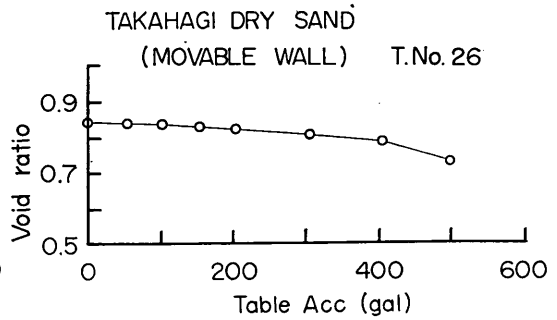
☒-10-5



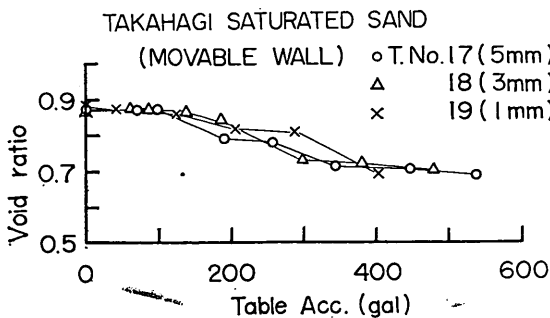
☒-10-6



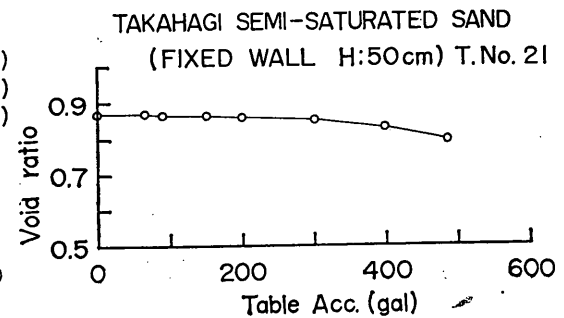
☒-10-7



☒-10-8



☒-10-9



☒-10-10

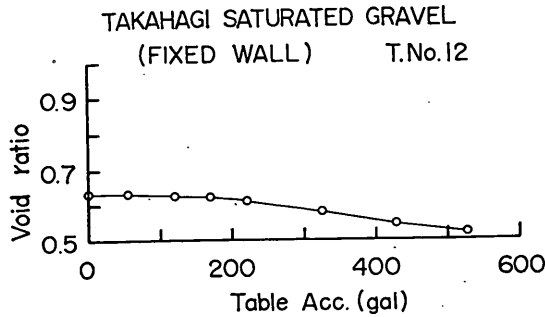


図-10-11

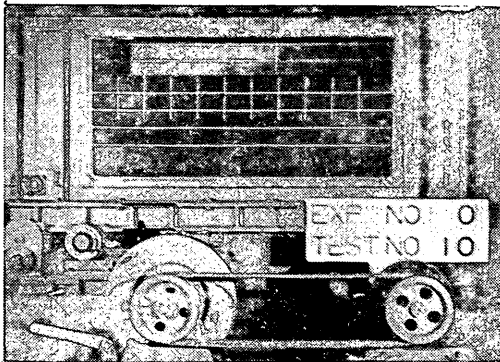


写真-2 小名浜飽和砂振動前

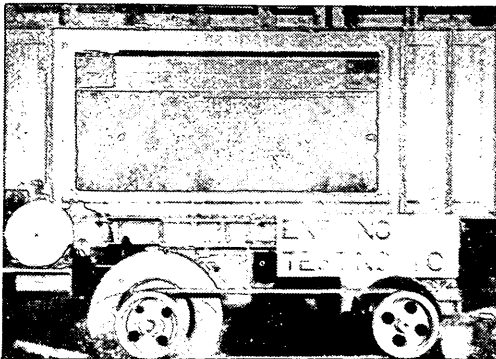


写真-3 小名浜飽和砂振動後 (100gal)

砂層表面の両端を通る円弧状の滑り面を生じた。

高萩砂の準飽和状態及び乾燥状態の実験では流動化は生じなかった。

高萩砂の飽和状態の実験では 300gal の振動を与えたとき礫層中央部で表面より約 15cm 下の点を通り、礫層表面の両端を通る円弧状の滑り面が生じその上下で相対運動を行つた。これは 1~2 秒で落付いたが 400gal の振動のとき前記の現象の大規模なものが発生し 5~6 秒続いた。但し、この時の現象は小名浜砂、高萩砂の流動化とはやや様子が異なる様に思えた。

いずれの試料を用いた場合でも流動化が落付くにつれて空隙比が大巾に減少する。このことは図-10を眺めれば

行うことにする。

3-3 砂層の流動化

飽和砂の実験においては砂粒子と間隙水が一体となつて流動状態となることがあり、その様な状態は振動函のガラスを通して観察することが出来る。

小名浜飽和砂の場合では台加速度 50gal の振動でこの現象が生じ約 3 分間継続する。この間に砂層中に混入していた気泡がどんどん上方へ移動するのが判る。流動化の初期においては後で説明する様に過剰間隙水圧が発生する。この流動化の最中に相当激しい粒子の再配列が行われている様である。写真-2 は振動前の状態であり、写真-3 は振動後の状態である。写真に写っている白線は砂と同じ粒径の寒水碎石を用いて入れたものであるが、流動化の後には白線が完全に消滅していることから粒子再配列の激しいことが判る。振動開始後約 3 分すると振動函底部から徐々に安定な状態となる。この後 100gal, 150gal の振動を加えても流動化しないが、200gal の振動では再び前と同様の流動化が生ずる。この後 300gal, 400gal, 500gal の振動を与えても流動化はしない。

小名浜砂で準飽和状態の実験では 400gal で下の水で飽和されている部分が流動化した。

小名浜砂の乾燥状態の実験では 500gal 以下では流動化の現象は見られなかった。しかし別の実験では 600gal の振動で流動化したことが報告されている¹⁷⁾。

高萩砂の飽和状態の実験でも流動化の現象が発生した。その様子はほぼ小名浜砂の場合と同じであるが流動化する加速度は大体 200gal と 400gal であり、流動化の継続時間もそれぞれ約 2 秒と約 10 秒である。小名浜砂の飽和状態の実験では振動函内の砂全体が流動化したが高萩砂の場合底部付近はあまり流動化していない様である。又 200gal における流動化のさいには

ばよく判る。

3-4 結果の検討

3-4-1 間隙比の変化

先ず可動壁による場合と固定壁の場合を比較してみると、乾燥砂でも、飽和砂でも同一傾向を示しておりこれから見て、今回の実験程度の壁面変位は全体的な間隙比の変化には全く影響しない事が判る。他方同一の砂について乾燥砂と飽和砂とを比較すれば小名浜砂、高萩砂共に非常に大きな相異を示している。これは、飽和砂の場合割合低い加速度で、流動化の現象を生じ、間隙比の大きな変化が生ずるのに対し、乾燥砂ではこれがないためである。この事は 500gal の振動後の間隙比は飽和砂の場合の方が乾燥砂の場合よりも相当小さいことからもうなずける。この乾燥砂と飽和砂による間隙比・台加速度曲線の相異は砂の透水性が小さいほど大きい。高萩礫については乾燥の場合の資料がないので比較出来ないが乾燥の場合と飽和の場合とではあまり差がないと考える。小名浜飽和砂、高萩飽和砂について台加速度を $\gamma/\gamma-1$ 或は、 G_s/G_s-1 を用いて補正した見掛けの台加速度を用いても乾燥砂の場合と一致しない。この事は飽和砂は水があることにより浮力を受けると共にそれ以外の影響を受けることを示している。これは流動化の様な乾燥砂でも 500gal 以内で見られない現象の発生する事から考えても当然である。浮力以外の影響としては、水と砂との相対運動による shear force 粒子相互のまさつ抵抗の変化或は流動化現象による粒子の再配列など間隙比変化の機構の相異等が考えられる。

3-4-2 砂層の流動化

小名浜飽和砂では約 50gal 及び 200gal の振動のさいに、高萩飽和砂では 200gal 及び 400gal の振動で流動化している。流動化の機構は今のところよく判らない。後で説明するが流動化している時には過剰間隙水圧が発生している。この事から考えて、或る加速度の振動においてそれまでの粒子骨格が維持出来なくなり粒子の再配列が行われようとする。この時、透水係数が小さければ間隙の減少による水の上方への浸出が直ちに行われず過剰間隙水圧が発生して粒子が浮いた状態となるのが流動化ではないかと考える。振動と共に間隙水が徐々に上方へ脱出し、その加速度で安定な粒子骨格が出来上り流動化状態が終るのであろう。準飽和砂の場合表層の乾燥部分が上載荷重として働き粒子相互のかみ合せが強いため大きな加速度になるまで流動化しないものと思われる。特に高萩砂の場合、割合透水性の大きい事と相まつて、乾燥と準飽和とあまり差のない結果が出たものと思う。今回の実験では台加速度は 500gal までとしたが、別の実験では、小名浜乾燥砂について台加速度 700gal まで行っており、この時は 600gal の振動で流動化のような現象を生じた。小名浜飽和砂については、 $\gamma/\gamma-1 \div 2.1$ であるから見掛けの加速度に換算すると飽和砂の 50gal, 200gal は乾燥砂の 105gal, 410gal に相当する。従つて流動化する加速度についても見掛けの加速度により完全な説明を行う事は出来ない。高萩砂についてもほぼ同様である既に説明した様に流動化の機構は現在のところよく判つてはいない。しかし図-10に示されている様な間隙比台加速度の関係が求まつていれば或る加速度の振動で砂層が流動化するか否かを予測する目安になるとと思われる。若しその砂層の間隙比と加速度により間隙比台加速度のグラフ上に求まつている曲線よりも相当上側にあれば流動化が予想され、下側にあれば流動化しないと考えられる。

§4 土 圧

4-1 概 説

既述のごとく今回の実験においては可動壁に作用する土圧を測定した。但し土圧を直接測定したのではなく圧力計により土圧と間隙水圧（静的水圧と動的水圧）の合さつたものを測定し、これより別に測定した間隙水圧を減じて土圧を求めたものである。

この様に土圧と水圧の合わさつたものを測定し、これから別に測定した水圧を減じて土圧とすることに對し次

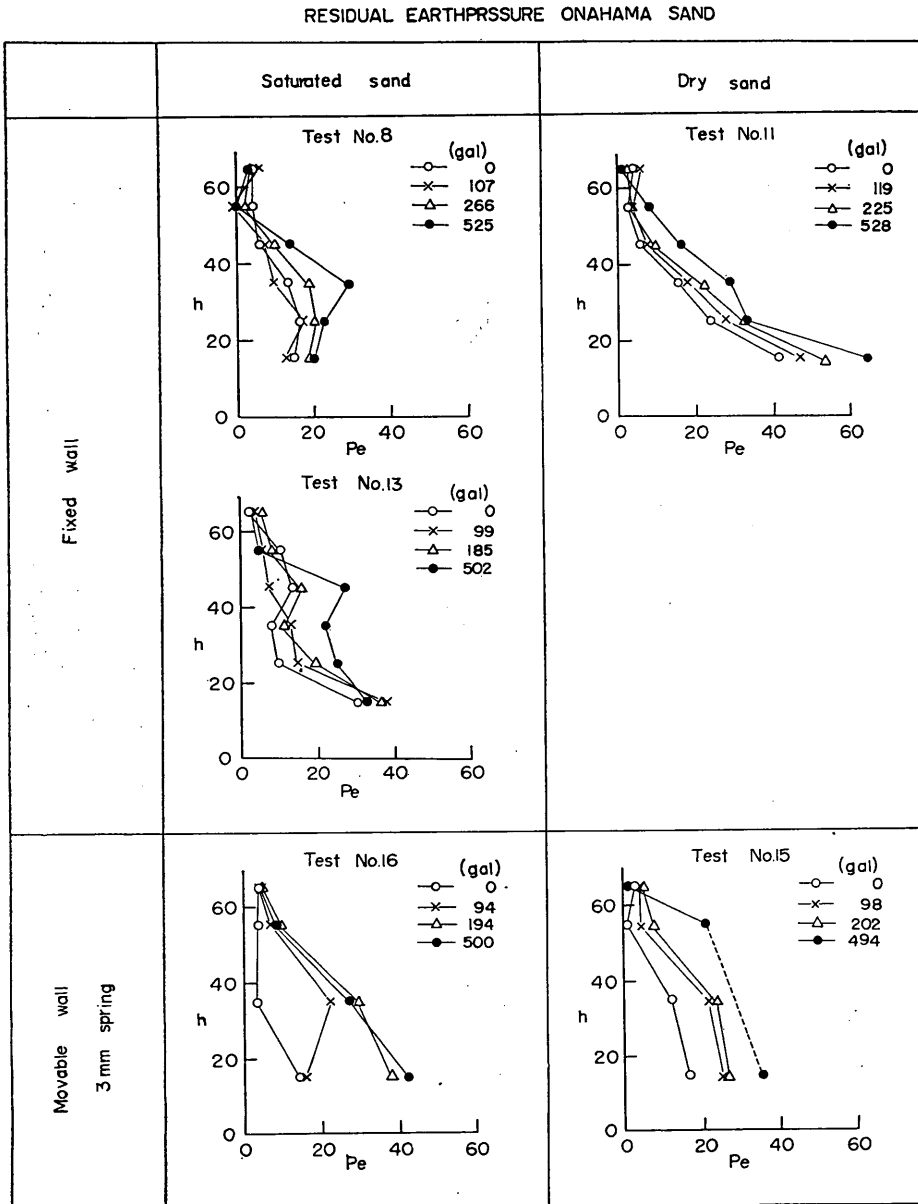
の二つの問題が考えられる。その一つは飽和砂が振動時に壁面に及ぼす動圧は土圧と水圧に分離して考えるべきではなく、一体として取扱うべきではないかという問題である。もう一つは土圧と水圧を一しよに測定すると水圧のために土圧のみを測定するよりも受圧面変位が大きくなり、このため土圧の測定に誤差が入るのではないかと云う問題である。

土圧と水圧を分離せずに考えるべきではないかについては充分考慮する必要があると思うが、高萩砂など透水性の大きいものでは分離して考えてもさしたる不都合はないと考える。又過去の研究も土圧と水圧を分離して考えており、構造物の設計についてもそれぞれ独立して考えられている。従つて土圧と水圧に分けて整理した方が都合がよいので本報告では別々に取扱つた。しかし次章で両者を一しよにした結果も報告する。土圧測定のさいに予想される誤差については、圧力計が受圧面変位の非常に小さい圧縮磁歪式のものであることからして心配ないと思われる。

4-2 残留土圧

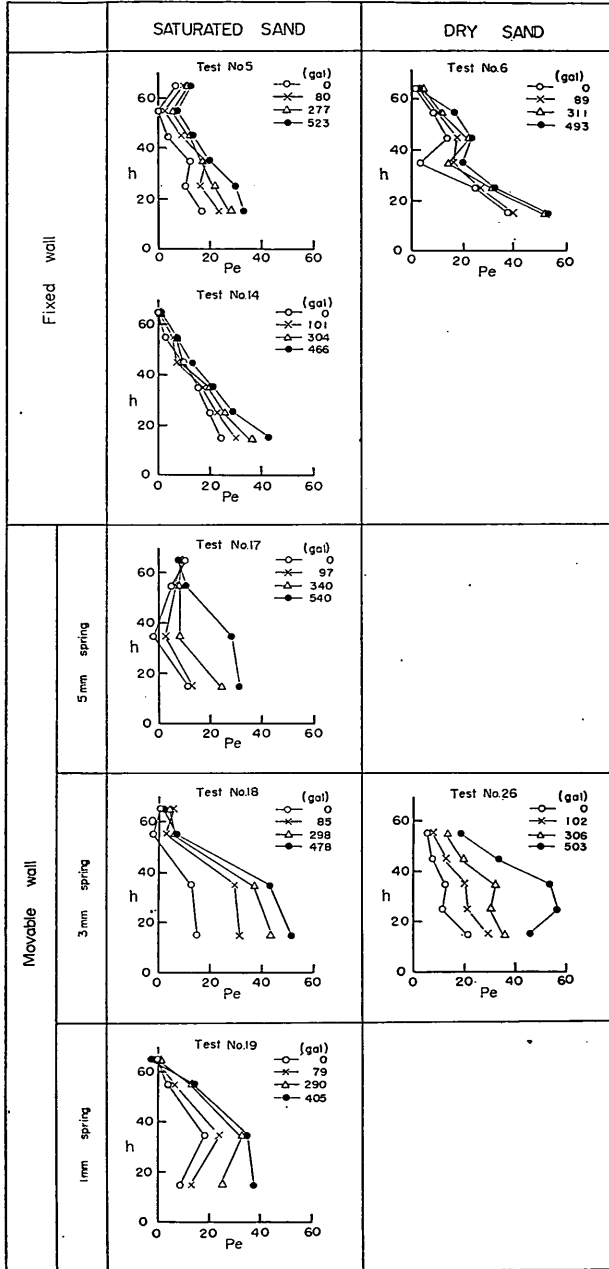
4-2-1 実験結果

各段階の振動後の静止状態で壁面に作用する土圧を残留土圧と呼ぶことにする。残留土圧の分布状態を図-11



h: Height in (cm)
Pe: Earthpressure in (gr/cm²)

図-11 残留土圧分布 (小名浜砂)



h: Height in (cm)
Pe: Earthpressure in (gr/cm²)

図-12 残留土圧分布 (高萩砂)

4-2-2 結果の考察

(1) 残留土圧の分布

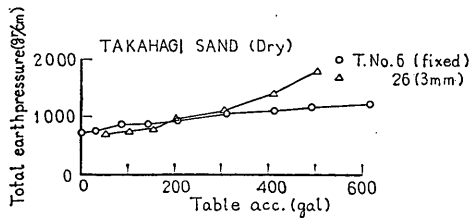
残留土圧の分布計は図11, 12に示されている様にきれいな三角形分布をなすものは少く複雑な形を示した。各場合に共通していえる事は砂入れ後の土圧分布がきれいなものは各振動後の土圧分布もきれいであり、砂入れ後の土圧分布の複雑なものは各振動後の土圧分布も複雑である。又固定壁の場合、土圧が深さと共にほぼ直線的に増加するが、深くなるにつれ増加の度合が大きくなるのに対し、可動壁では深くなるにつれ土圧増加の度合が小

12に示す。小名浜砂については砂入れ後、最初の流動化の終つた 50gal 二度目の流動化後の 200gal [最大の加速度 500gal の振動後の四つが記入されている。高萩砂では砂入れ後、100gal, 300gal, 500gal の振動後について示されている。但し実験には台加速度は多少予定値よりもずれるのできちんと各加速度になつていない。

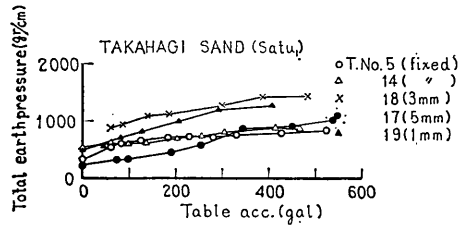
各残留土圧の分布図から壁面単位中に作用する土圧合力を求め台加速度と関係づけて示したのが図-13, 14である。この場合最下部の圧力計から下の部分は合力の計算に含まれていない。

上記土圧合力は gr/cm なる次元を有するので無次元化して種々の資料との比較に便ならしめるため $\frac{\gamma H^2}{2}$ (ここに γ は砂の単位容積重量, H は砂層高, この場合砂表面から最下部の圧力計までの距離) で除した値に換算してこれを全土圧係数と呼ぶことにした。全土圧係数は与えられた土圧合力と等しい土圧合力を有する三角形の土圧分布の土圧係数である。残留土圧についてこの全土圧係数と台加速度の関係を示したのが 図-15, 16 である。飽和砂については全土圧係数を算出する際の単位容積重量として水中単位容積重量を用いた。

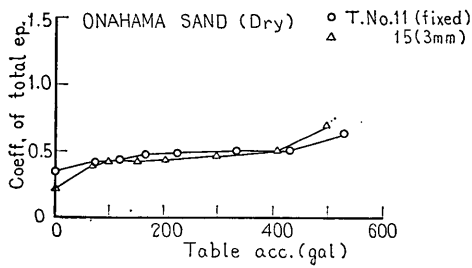
可動壁の実験では振動停止後も壁面は最初の位置から変位している。壁面変位測定点における壁の水平変位をその点と壁下端ヒンジまでの距離で除して無次元化したのを図-17 18に示した。台加速度零における値は砂入れにより壁が中立位置より変化した量を示している。



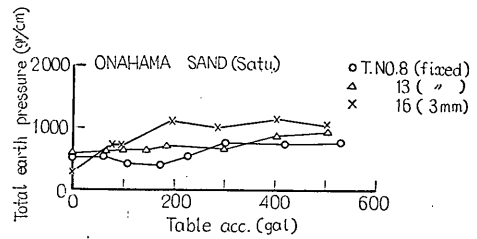
图一13—1 残留全土压 (小名浜乾燥砂)



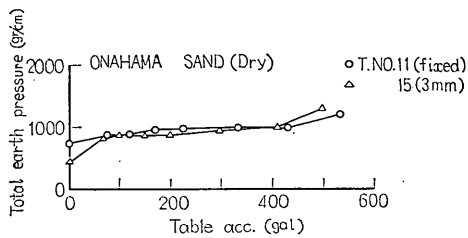
图一13—2 (小名浜飽和砂)



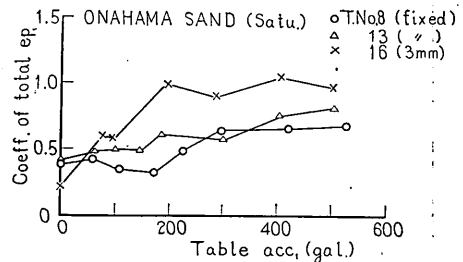
图一14—1 残留全土压 (高萩乾燥砂)



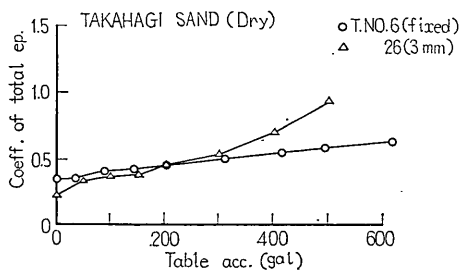
图一14—2 (高萩飽和砂)



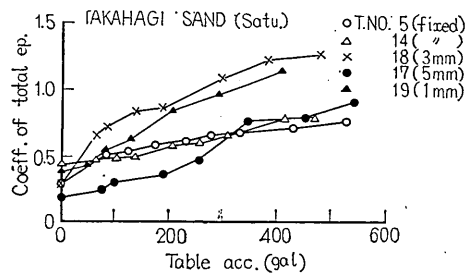
图一15—1 残留全土压系数 (小名浜乾燥砂)



图一15—2 (小名浜飽和砂)



图一16—1 残留全土压系数 (高萩乾燥砂)



图一16—2 (高萩飽和砂)

さくなる傾向がある。但しこれとて Test No. 8 (小名浜飽和砂, 固定壁) のような例外的な結果もあり, この様な傾向を断定は出来ない。

残留土圧が複雑な分布形を示しているのは砂層厚が 70cm という小さなものであつた事もその一因と考えられる。砂層厚が小さいためわずかの土圧分布のみだれもそれが強調されて印象づけられている可能性があり, もつと大きな砂層厚で実験すれば全体として簡単な分布形に近づくのではないかと考える。

(2) 残留全土圧

先ず砂の乾燥飽和の別が残留土圧合力に及ぼす影響を調べてみると表-7 の様になる。これによると固定

表-7 乾燥飽和の別が残留全土圧に及ぼす影響

	小名浜砂	高萩砂
固定壁	乾燥砂の場合の方が飽和砂の場合より常に大きく, 両者大体平行している。	左と同じ傾向
可動壁	150gal 以下では乾燥砂の場合が大きく, それ以上では飽和砂の方が大きい。しかし両者の差は小さい。	3mm バネの実験では 400gal 以下では飽和砂の方が大きく, それ以上では乾燥砂の方が大きい。1mm バネ飽和砂は大体 3mm 乾燥砂と同じで, 5mm 飽和砂は非常に小さい。

表-8 壁の固定可動の別が残留全土圧に及ぼす影響

	小名浜砂	高萩砂
乾燥砂	砂入れ後では 3mm バネの場合の全土圧が固定壁の全土圧よりも小さいが振動後では両者ほとんど差がない。	300gal 以下では固定 3mm バネの両場合共差はないがそれ以上では可動壁の全土圧が大きい。
飽和砂	加速度で大きいと可動壁の全土圧が固定壁の全土圧よりも大きくなる。	3mm, 1mm の残留全土圧は固定壁の残留全土圧よりも大きい。5mm バネの残留全土圧は 300gal 以下では固定壁よりも小さく, それ以上では固定壁に同じ。

しない。これは個々の実験のバラツキや水平方向土圧がその点までの砂層の自重以外の要素の影響を受けるためである。可動壁の実験では高萩砂で 5mm バネを用いた時以外は飽和砂と乾燥砂で残留全土圧ははつきりした差がなく飽和砂の残留全土圧が乾燥砂の残留全土圧よりも大きいこともある。これは飽和砂の場合間隙動水圧によつても壁が外側へ変位しこの間隙を砂粒子が埋めることになる。ところが壁はバネで支えられているため間隙動

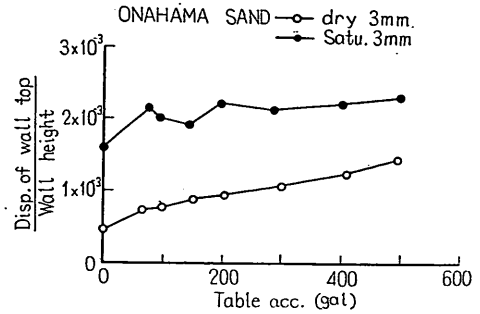


図-17 残留壁面変位 (小名浜砂)

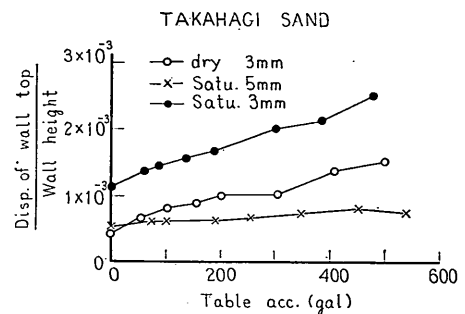


図-18-1 残留壁面変位 (高萩砂)

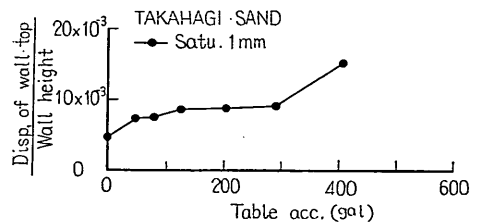


図-18-2 (縦軸のスケールが他と異つているのに注意)

壁の場合は乾燥砂の残留土圧合力は飽和砂の残留土圧合力よりも大きい。この両者の差は主として飽和砂の場合砂粒子が浮力を受けるためである。しかし浮力を考えて補正しても乾燥砂の場合と飽和砂の場合には完全には一致

水圧が減少すれば壁はもとの位置にもどろうとするために砂を押すことになる。これが土圧に現われるため飽和砂の残留全土圧が大きくなる。5mm バネの実験で残留全土圧の小さいのはバネが剛で固定壁に近い結果が現われたものと思う。なお固定壁の実験で残留全土圧と台加速度の関係を $\gamma/\gamma-1$ 又は G_s/G_s-1 を用いて補正した見掛の加速度を用いても乾燥砂の場合とは一致しなかつた。

次に壁の固定、可動の別が残留全土圧にどのような影響を与えているかを調べると表-8の通りであつた。これを見ると 5mm バネは大体固定壁に近い状態にあり、3mm、1mm のバネを用いた実験では残留全土圧が固定壁の残留全土圧よりも大きい。これは先にも説明した様に可動壁では壁がバネで支えられているため変位に比例した復元力が作用し、これが土圧に現われるためである。

例えば重力式岸壁の様に変位しても復元力が働かない場合には可動性の壁に作用する残留全土圧が完全に固定された壁に作用する残留全土圧よりも大きくなることはない。この事は図17、18の壁面変位を示すグラフを見るとよく判る。3mm、1mm バネでは加速度と共に壁面変位が増加しているが 5mm バネではほとんど増加していない。固定壁では残留全土圧は台加速度に対し直線的に増加している。

次に小名浜砂と高萩砂の残留全土圧を他の条件の同じものについて比較し砂の種類が残留全土圧に及ぼす影響を調べてみると顕著な差はなく特に固定壁ではほとんど一致している。これは両砂の内部摩擦角がほとんど同じ事からして当然のことと云える。

残留全土圧を解析的に求める方法は現在のところ見当らない。

(3) 残留全土圧係数

図15、16の残留全土圧係数と台加速度の関係を見ても残留全土圧で説明したことに変わらない。ただ飽和砂については全土圧係数を算出するときに水中単位容積重量を用いるため固定壁の場合でも乾燥砂よりも大きな値となつた。残留全土圧がその点までの砂の自重のみによつて定まるならば土圧係数は乾燥の場合でも飽和の場合でも一致するはずである。しかし今回のごとく完全に一致しないのは既に説明した様にそれ以外の要素が影響しているためであろう。それ等についての詳しい検討は今回は行えなかつた。

固定壁の実験では全土圧係数と台加速度の関係はほぼ直線で表わされる。但し小名浜飽和砂ではやや不規則な変化を示した。

小名浜乾燥砂に対しては

$$K_T = 0.33 + 0.63k \quad (k < 0.45)$$

高萩乾燥砂に対しては

$$K_T = 0.35 + 0.46k \quad (k < 0.60)$$

高萩飽和砂に対しては

$$K_T = 0.42 + 0.70k \quad (k < 0.50)$$

ここに K_T : 全土圧係数

k : 震度

4-3 振動中の土圧の変化

4-3-1 実験結果

振動時には土圧は強制振動周期と同一周期で増減をくりかえすが、その他に土圧が全体的に増加したり時には減少したりする。即ち周期的に増減する土圧の中心が変化するわけである。本節ではこの土圧の全体的な変化について説明する。

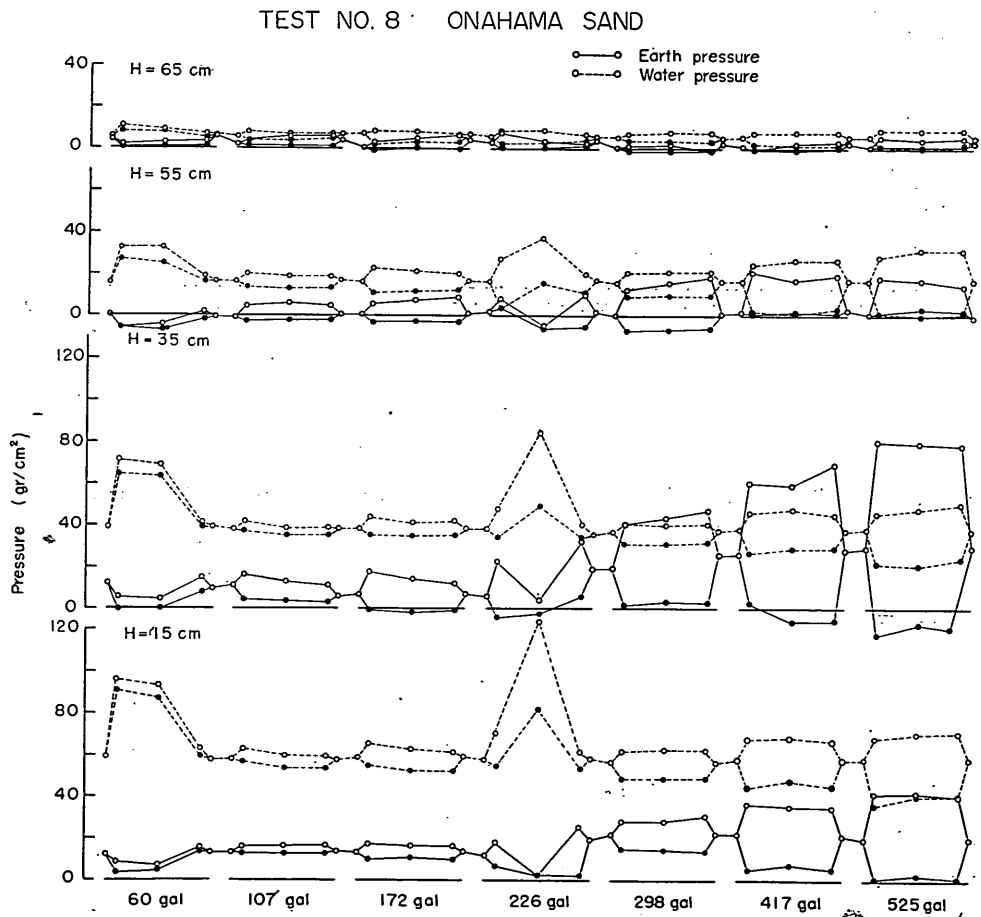
一般的にみて振動の開始時にはやや急激にその後は徐々に土圧が全体的に増加し、振動の終りころではほとんど変化しない。砂が流動化した場合などはこの変化が激しく、土圧が全体的に減少することもある。これらの様

子は各点で測定された振動土圧記録の包らく線を調べればよく判る。しかし周期的に変化する土圧のすべての極大、極小値を求めて包らく線を描くことは大変なので振動函の振巾が所定の値に達したとき、それから約 30 秒後、振巾を減少させる直前の三箇所で土圧の極値を計算し、これにより包らく線を描いたのが図19, 20, 21, 22, 23である。全体的な土圧変化の傾向を調べるにはこれで充分である。図19, 20, 22, 23については間隙動水圧の包らく線も同時に示した。

4-3-2 結果の考察

図一19~23に示された結果を眺めると振動中の土圧は最初振動前の静的な土圧を中心として周期的に増減しながら全体的に徐々に増加している。しかし流動化が生じた時は土圧が全体的に小さくなり間隙水圧が上昇している。この間隙水圧の上昇は砂が振動によりその間隙比を小さくしようとしているのに上方への排出が間に合わないために生ずるものであろう。この事は透水性の小さい小名浜砂における間隙比の上昇が高萩砂における間隙比の上昇よりも大きいことからもうなずける。

図中に土圧が負となつて現われるところがある。これが実際に負圧が発生したものか或は測定誤差によるもの



図一19 圧力変化過程図 (小名浜飽和砂・固定壁)

TEST NO 16 ONAHAMA SAND

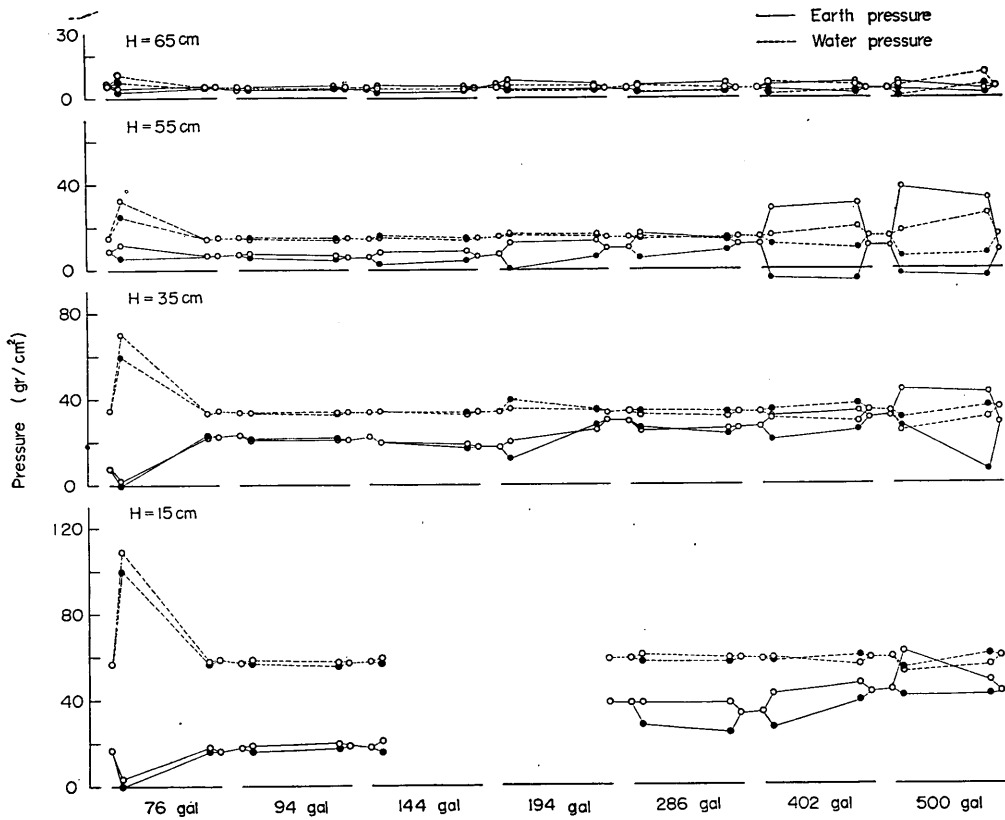


図-20 圧力変化過程図 (小名浜飽和砂・可動壁)

かは確証がない。小名浜飽和砂の場合には実験後振動函底部より自然排水した状態で高さ 70cm の鉛直切取面が自立しうることから或る程度粘着力的なものが発生することも考えられ、それにより負圧が発生したのかも知れない。

4-4 土圧振巾

4-4-1 実験結果

振動函が最も可動壁のある側へ変位したときの土圧からその反対側へ変位したときの土圧を減じたものを土圧振巾とした。若し土圧と台変位の間位相差があればこれは正確な土圧振巾を示さない。今回の実験では土圧は振動函が可動壁側へ最大変位のときに大体極大となるか極小となっている。直接土圧を測定していないためまよやかな位相差は測定し得なかつたので、この様な整理方法を採用した。従つて土圧振巾が正ということは振動が両可動壁側へ変位したときに土圧が大きくなり、負ということはその逆を示す。

振動中における土圧振巾の鉛直分布は図-24, 25に示した。これらはすべて各段階の振動を終る前の安定な状態におけるものである。又残留土圧の項で説明したのと同じ方法により振動函が両側へ最大変位したときの全土圧を求め両者から全土圧振巾を求めた。これは図26, 27の通りである。これを全土圧係数に換算したものを図-

TEST NO.6 TAKAHAGI SAND

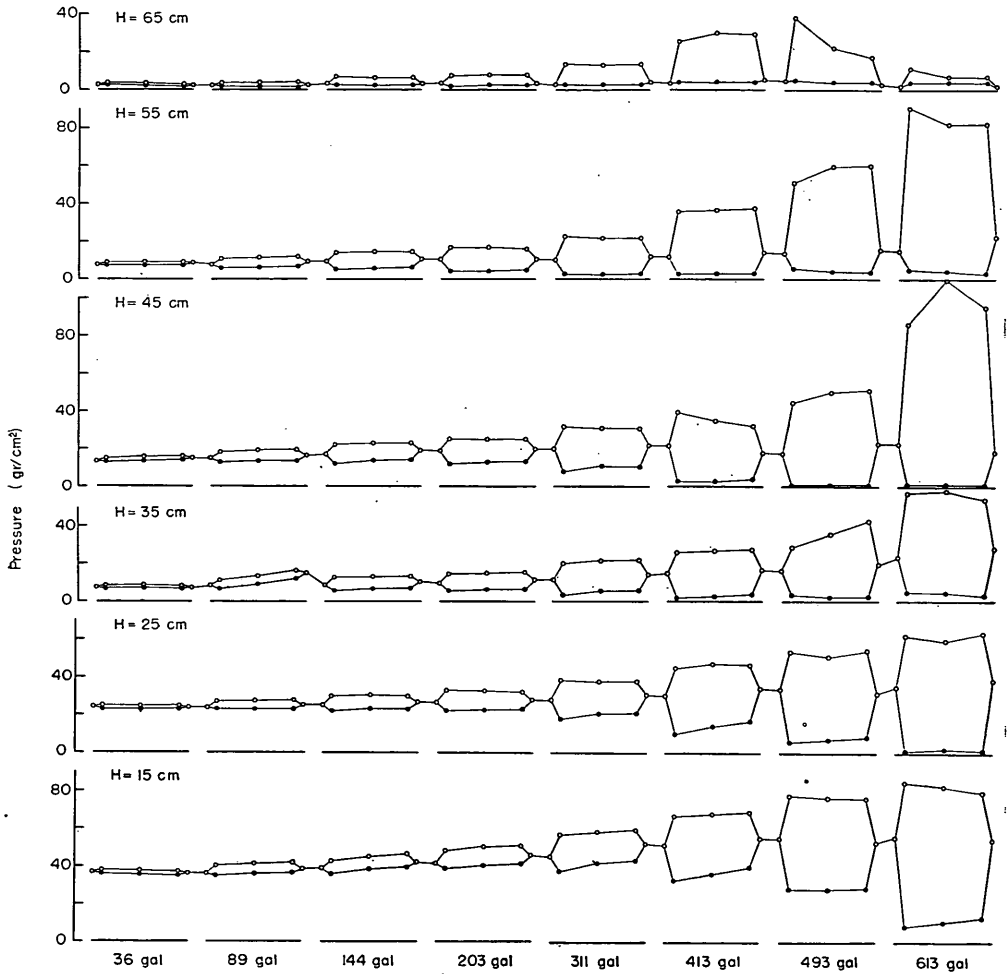
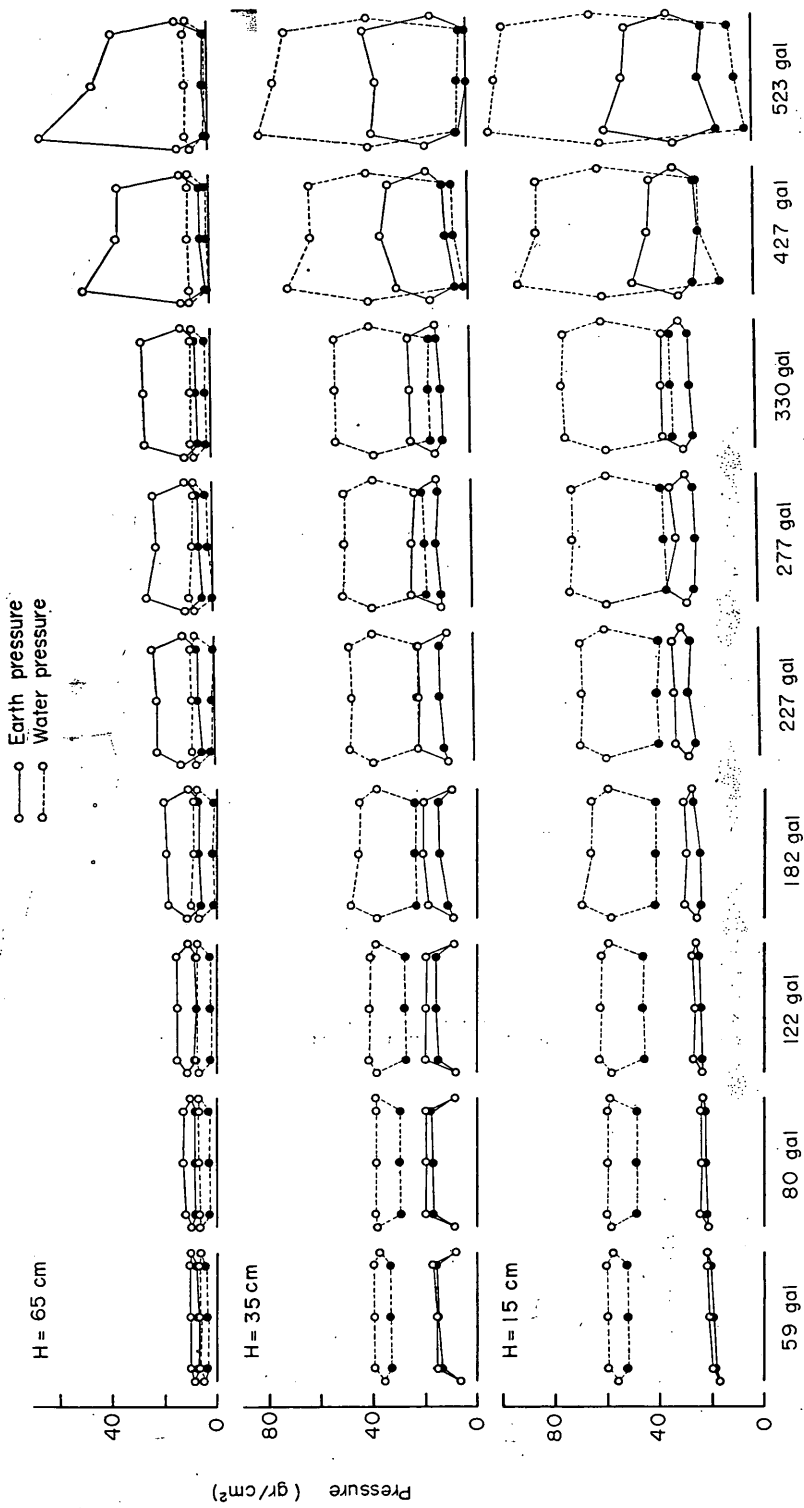


図-21 圧力変化過程図 (高萩乾燥砂・固定壁)

28, 29に示す。振動中の土圧はそれが作用する壁面の変位と深い関係を有している。各段階の振動中の壁面変位の振巾は図-30, 31の通りである。これは振動を終える前の安定した状態に於けるもので、測定点における壁の水平変位振巾とその点と下端ヒンジまでの距離の比で示してある。

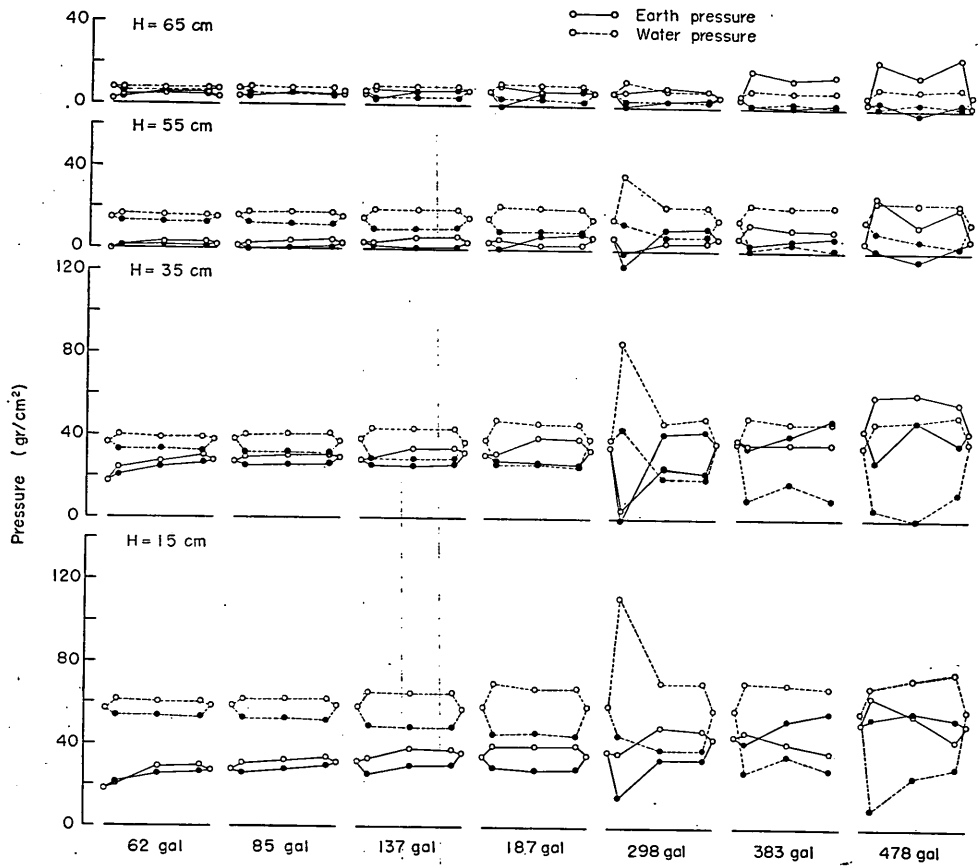
本節のこれまでの実験結果はすべて各段階の振動終了直前のものであり、安定した状態の振動中のものである。しかし振動の初期においては土圧が全体的に増加したり、砂層の沈下が生じたりして現象が非定常であり、時には流動化のごとき現象が発生したりする。従つて土圧振巾も振動終期の安定した状態のものとは異なることが多い。先ず土圧振巾の鉛直分布は流動化の様な激しい非定常現象のないかぎり大体似ている。但しその大きさは同一ではない。土圧振巾の大きさの差は全体としては全土圧振巾で比較出来る。振動が所定振巾に達した初めの時の全土圧振巾の振動終期における全土圧振巾に対する比を図-32, 33に示す。又振動初期における可動壁の変位振巾は図-34, 35の通りである。

TEST NO. 5 TAKAHAGI SAND



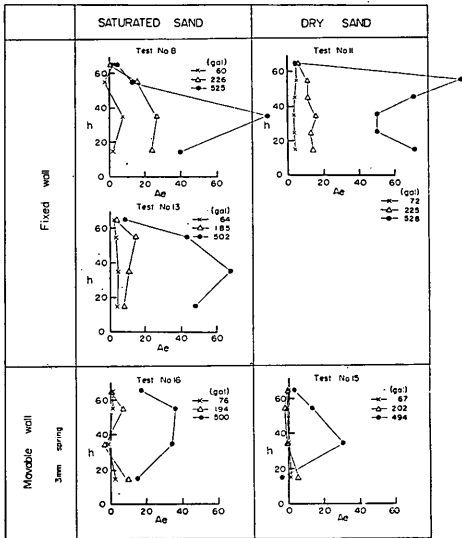
图一22 压力变化测定图 (高萩飽和砂・固定壁)

TEST NO. 18 TAKAHAGI SAND



图—23 压力变化过程图 (高载饱和砂·可动壁)

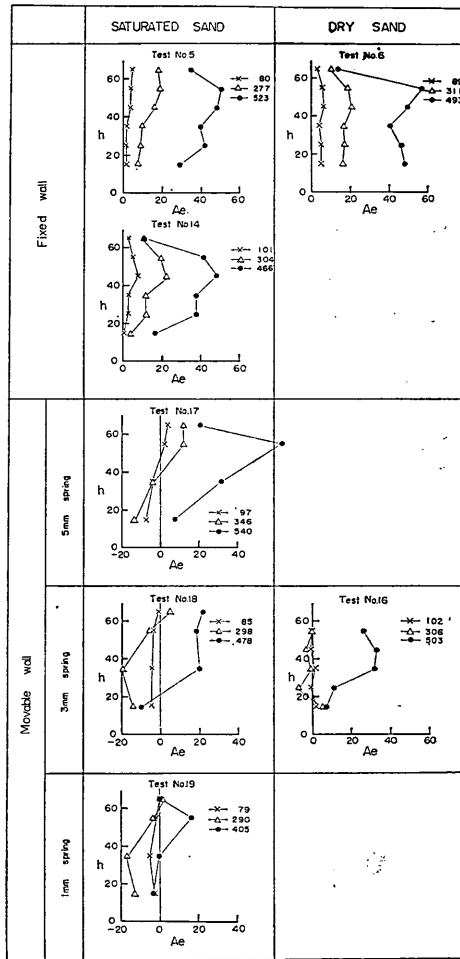
AMPLITUDE OF EARTH PRESSURE ONAHAMA SAND



h: Height in (cm)
Ae: Double amplitude of earth pressure in (g/cm²)

图-24 土压振巾分布 (小名浜砂)

AMPLITUDE OF EARTH PRESSURE TAKAHAGI SAND



h: Height in (cm)
Ae: Double amplitude of earth pressure in (g/cm²)

图-25 土压振巾分布 (高萩砂)

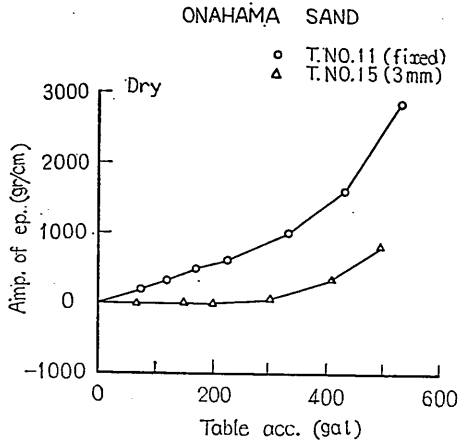


图26-1 全土圧振巾 (小名浜乾燥砂)

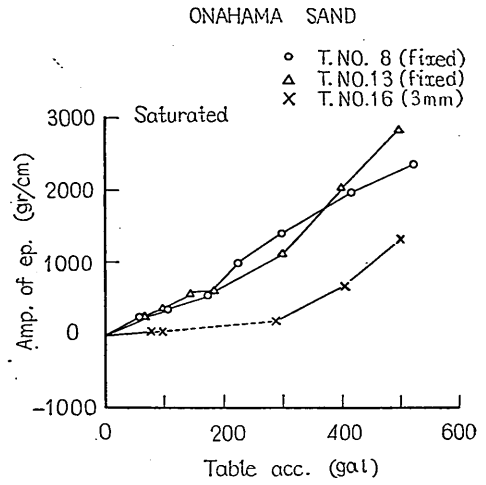


图26-2

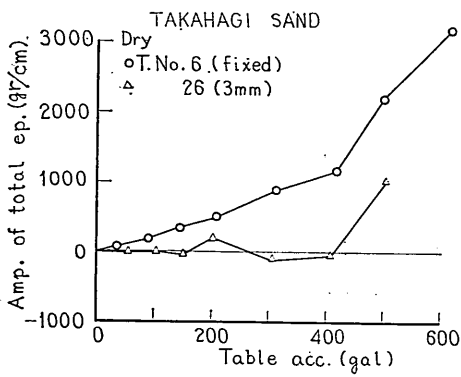


图-27-1 全土圧振巾

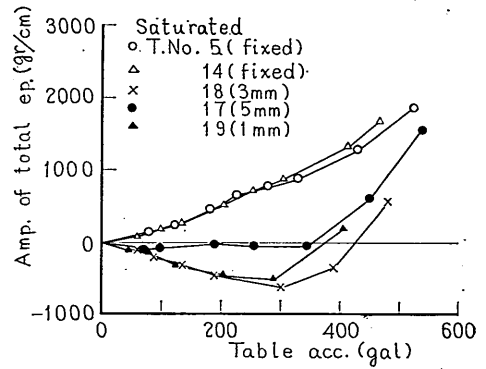


图-27-2

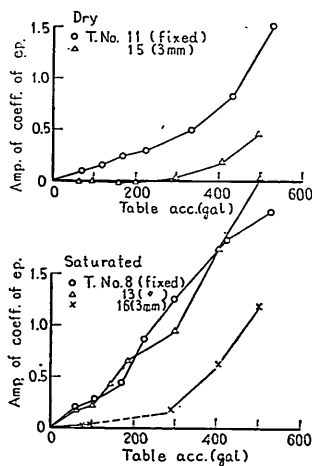


图-28-1 全土圧係数振巾 (小名浜乾燥砂)

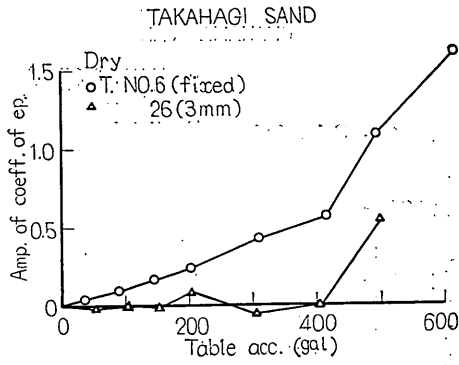


図-29-1 全土圧係数振巾

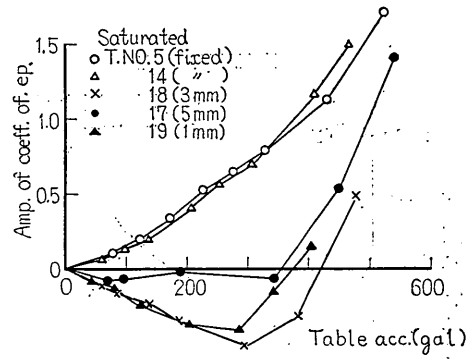


図-29-2 全土圧係数振巾 (高萩飽和砂)

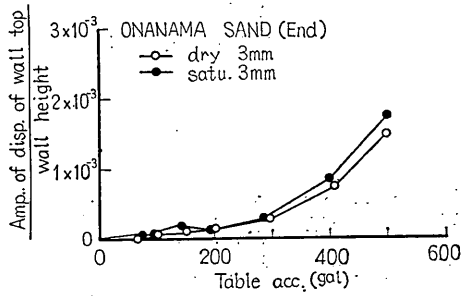


図-30 壁面変位振巾 (小名浜砂)

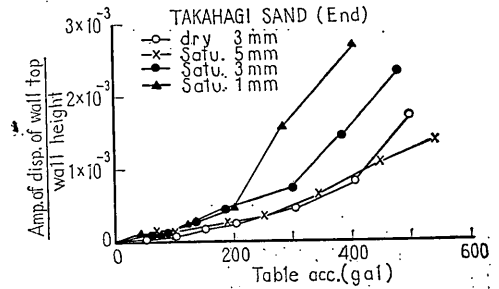


図-31 壁面変位振巾 (高萩砂)

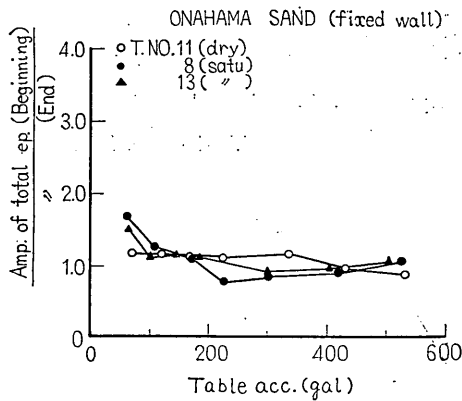


図-32-1 振動初期と終期の全土圧振巾比 (小名浜砂)

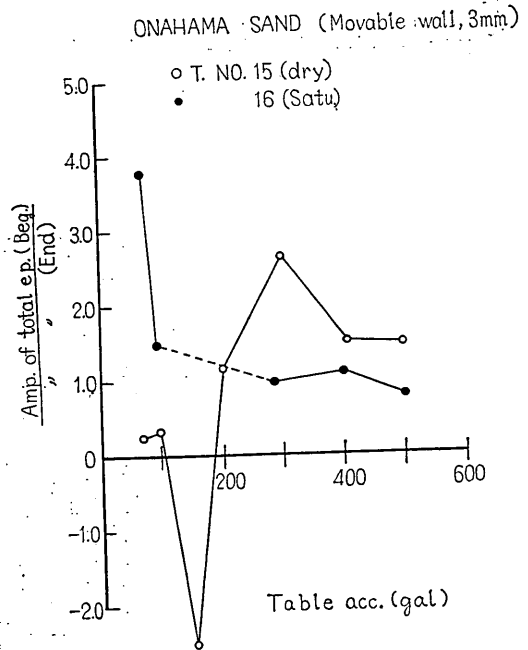


図-32-2 (小名浜砂可動壁)

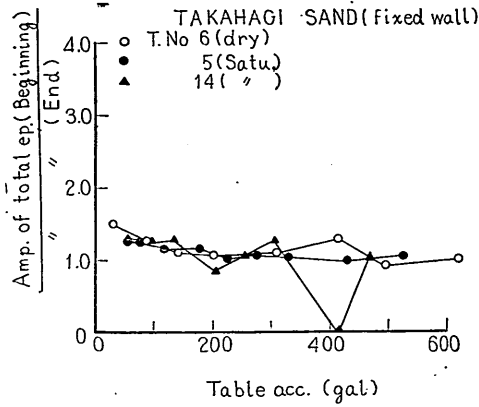


図-33-1 振動初期と終期の全土圧振巾比 (高萩砂・固定壁)

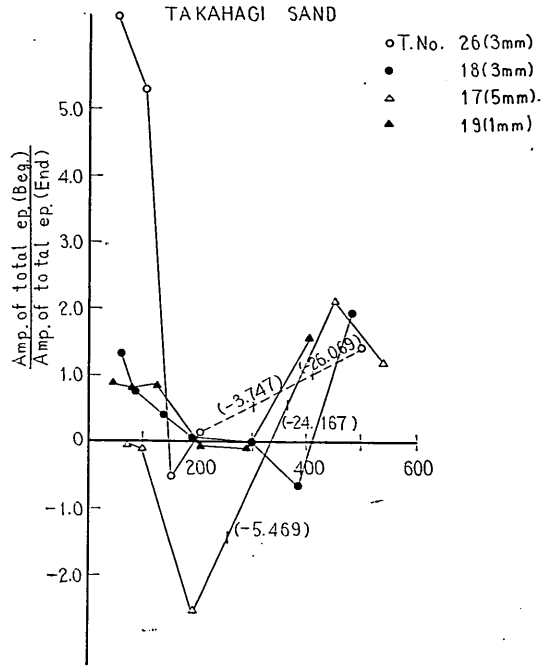


図-33-2 (高萩砂・可動壁)

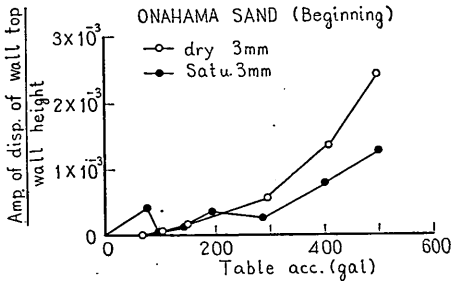


図-34 振動初期の壁面変位振巾(小名浜砂)

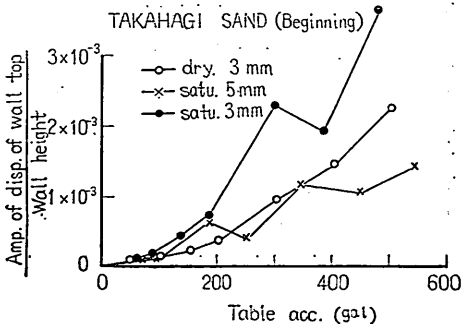


図-35 振動初期の壁面変位振巾(高萩砂)

4-4-2 結果の考察

(1) 土圧振巾の分布

図-24, 25によれば土圧振巾の深さ方向の分布形はそれぞれの場合により異りそれらに共通する性質やそれぞれの条件により定まる傾向をさぐり出す事は容易でないが、今回の実験で得られた結果について調べて見ると大体次の様な事が判る。

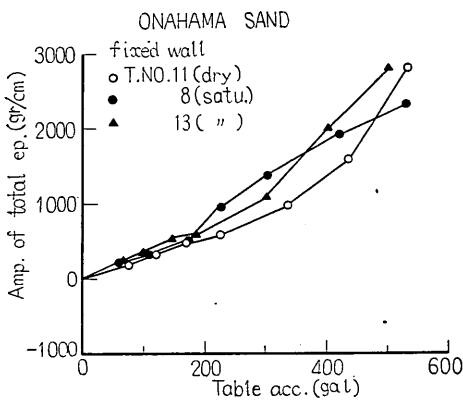
全体に共通する傾向としては加速度の大きな振動においては土圧振巾の最大値は底から30~50cmの位置に発生し、砂層表面の土圧振巾よりも相当大きい、加速度の小さい振動では全体に共通する傾向は見当らない。壁が固定であるか可動であるかは土圧振巾に大きく影響している。低い加速度においては可動壁の場合土圧振巾が非常に小さく、上部と下部で位相が逆になっているものが多いが固定壁ではこの様なことはない。加速度が大きくなると可動壁の土圧振巾分布形は固定壁の土圧振巾分布形に近づく。土を弾性体として

振動土圧を計算することは種々試みられているが未だ問題を残している。しかし次の様な計算結果は上記の現象を解釈するための足がかりとなると思う。著者達は土を弾性体として振動中に可動壁に作用する土圧を計算してみたが、これによると定性的には振動土圧は台加速度が一定でも壁の質量、慣性モーメント、バネ常数、振動周期等により変化し、土圧振巾が非常に小さくなる場合のあることが示されている¹⁸⁾。又大原氏は土を弾性体として求めた固定壁に作用する振動土圧に、側壁をその下端を中心として前後に変位させたときの土圧を重ね合せるると上部と下部で振動土圧の位相が逆になることを示した。

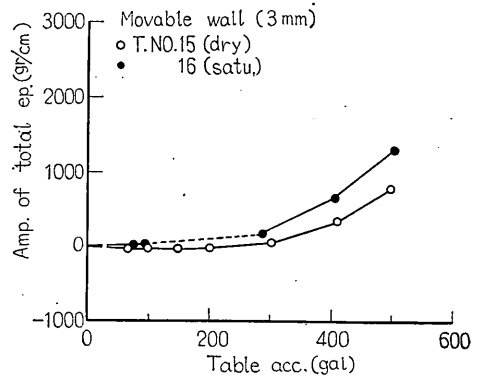
・加速度が大きくなると可動壁の土圧振巾分布形が固定壁の土圧振巾分布形に近づく。原因ははつきりしないが、加速度が大きくなると加速度の小さい場合と同じ様な分布形を示すために必要な壁面変位が急速に大きくなり、実際の壁の変位がこれに追従しないためと思う。砂の相異や飽和乾燥の別によつては特別な差は現われなかつた。

(2) 全土圧振巾

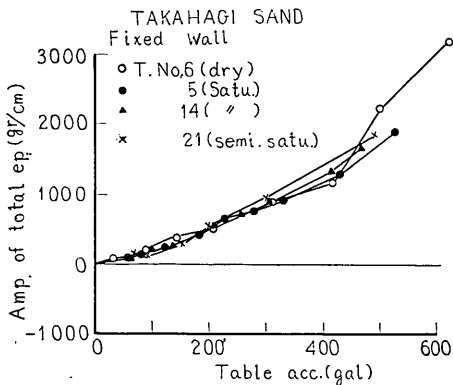
土圧振巾の大きさを全体的に検討するのは全土圧振巾を調べるとよい。先ず今回の実験全体に共通する性質として全土圧振巾は加速度の増加と共にかなり滑らかな曲線で増加する。しかもその勾配は加速度が大きくなるにつれ大となる。但し高萩飽和砂の可動壁の実験では位相が逆になっているものがあり、上記の性質とはややずれ



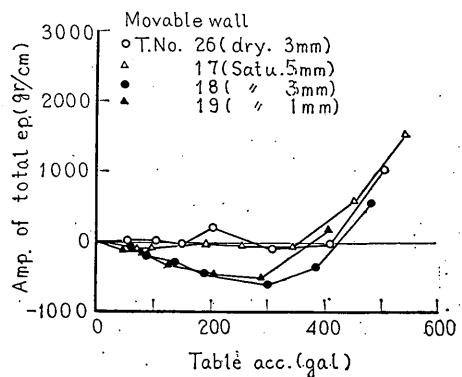
図—36—1 全土圧振巾 (小名浜砂・固定壁)



図—36—2 (小名浜砂・可動壁)



図—37—1 全土圧振巾 (高萩砂)



図—37—2

ている。

砂が乾燥か飽和かによる全土圧振巾の差は固定壁の場合ほとんどなく、可動壁の場合飽和砂の全土圧振巾がやや小さい。(図-36, 37参照) この事は振動による砂粒子に作用する水平力は飽和砂の場合でも砂粒子の浮力を考えない、重量に震度を掛けたものであることを示していると考えられる。可動壁では乾燥、飽和で差の生じた理由として次のことが考えられる。飽和砂の場合には間隙動土圧が発生しこれによつても壁が変位する。この変位は壁に作用する土圧を軽減する方向にある。この考え方を更に進めると高萩飽和砂の可動壁の土圧振巾が 400gal 以上と以下で位相が逆になっているのもうまく説明出来る。今固定壁の場合の全土圧振巾と台加速度との関係が図-38の曲線Aとする。可動壁の場合間隙動水圧により壁が変位して土圧を軽減する量は図中の直線Bで表わされるとする。間隙動水圧は後で説明する様に台加速度に比例して増加するから、それにもとづく壁の変位も台加速度に比例する。従つてそれにより軽減される土圧は加速度に対し直線的に増加すると考えてよいであろう。飽和砂の振動で可動壁に作用する土圧は当然AとBの差になるから図中Cのごとくなる。これは高萩飽和砂で 3mm バネを用いたときの実験結果に似た形を示している。極めて定性的な議論ではあるが低加速度に対する位相反転の説明になると思う。

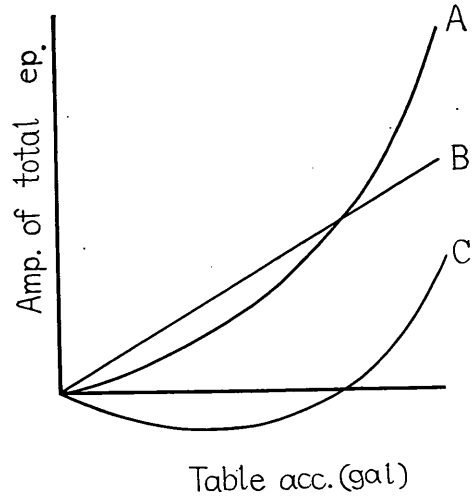


図-38 可動壁飽和砂における土圧の位相反転

砂の種類や砂の状態(乾燥又は飽和)の同じものについて固定壁と可動壁に作用する全土圧振巾を比較すれば可動壁に作用するものがだんぜん小さい。これは当然予想される結果であつた。

砂の種類による差は乾燥砂の場合なく、飽和砂の場合にはやや差が出た。両砂は内部まさつ角がほとんど同じであるから乾燥砂の場合差がないのであろう。飽和砂の場合差が出たのは両砂の透水性に差があるため、間隙内を運動する水の力が砂粒子に伝達される量や壁に作用する間隙動水圧により生ずる壁の変位が異なるためと考える。

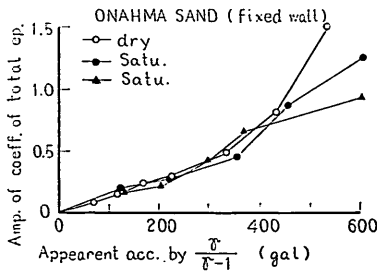


図-39-1 全土圧係数振巾 ($\frac{\gamma}{\gamma-1}$ による見掛けの加速度)

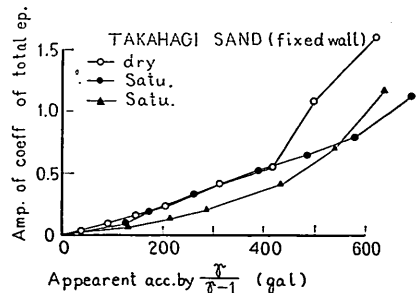


図39-2

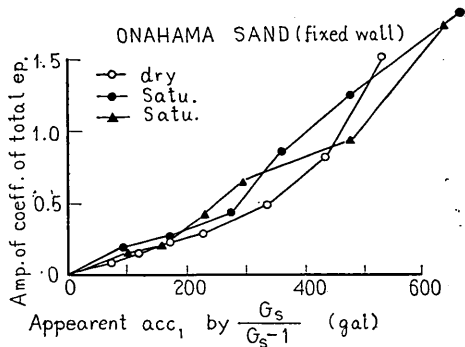


図-40-1 全土圧係数振巾 ($\frac{G_s}{G_s-1}$ による見掛けの加速度)

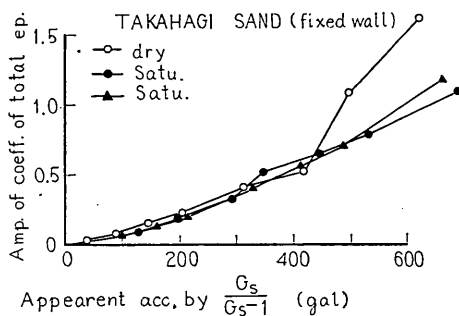


図-40-2

(3) 全土圧係数振巾

全土圧係数振巾と全土圧振巾とは同一内容を表わしたものであるから、両者には大きな相異はない。ただ全土圧係数に換算するとき用いる砂の単位容積重量が乾燥砂と飽和砂では異なるため、それにもとづく相異は生ずる。図-28-29で示されていた様に固定壁に作用する全土圧振巾は乾燥砂、飽和砂でほとんど等しいがこれを全土圧係数に換算すると飽和砂の全土圧係数振巾が乾燥砂に対するものよりも大きくなる。又可動壁では乾燥砂の全土圧振巾が飽和砂の全土圧振巾よりも大きかつたが全土圧係数振巾に換算するとこの関係が逆になる。固定壁に作用する全土圧係数振巾を乾燥砂では台加速度に対して、飽和砂では見掛けの台加速度に対してプロットすると図-39, 40となる。見掛けの台加速度とは見掛けの震度と同じもので、台加速度に $\frac{\gamma}{\gamma-1}$ は G_s/G_s-1 を乗じたものである。(ここで、 γ : 砂の空中飽和単位容積重量, G_s : 砂の粒子比重) 図-39, 40を見ると小名浜砂では $\frac{\gamma}{\gamma-1}$ による見掛けの加速度を用いると乾燥、飽和における全土圧係数振巾がよく一致し、高萩砂では G_s/G_s-1 を用いたものがよく一致する。これは小名浜砂では砂粒子が細いため粒子と間隙水と一体となつて浮力を受け、高萩砂では砂粒子のみが浮力を受けたためと思う。

可動壁に作用する全土圧係数振巾はこの様な補正をしても一致しない。これは飽和砂では浮力が作用するばかりでなく間隙動水圧による壁面変位が土圧に影響するためである。

(4) 振動開始時の全土圧振巾

先に説明した様に振動の初期と終期では台の振動は同じでも砂の状態は間隙比が減少すると前とその後とで大分異なる。従つてそれが土圧振巾にも影響することが考えられる。これは先に示した図-32-33, により検討することが出来る。

固定壁の場合では小名浜砂、高萩砂の両場合とも振動初期の全土圧振巾は終期の全土圧振巾の 0.8~1.6 倍の範囲にある。可動壁では非常に値がらばり共通する傾向は見られない。可動壁の全土圧振巾は一般にその値が小さいため絶対値自体の差は小さくても比をとると大きな値が出る事が考えられる。その点グラフを検討する際注意する必要がある。

振動初期の非正常な状態の土圧については色々不明な点が多い、ここで示した結果も正しく非正常状態の土圧振巾を代表するものであるか否かは断定し難い。非正常状態の土圧振巾の一例として考えるべきであろう。

(5) 理論解との比較

地震時の土圧を計算する方法としては物部、岡部公式がよく用いられる。しかしこれはある加速度が作用した

ときの主働土圧又は受働土圧を与えるものであるから、この公式により土圧振巾を計算することは困難である。振動時の土圧振巾を与える理論解としては土を粘弾性体とした著者達の解¹⁹⁾、針生、毛受氏の解²⁰⁾、及び土を弾性体又は深さと共に弾性常数の変化する物体として解いた大原氏の解²¹⁾、²²⁾がある。土を弾性体として解いた大原氏の解で固定壁で鉛直方向の変位に対し抵抗のない場合について今回の実験条件を代入して数値計算を行つてみると図-41に示す通りであつた。

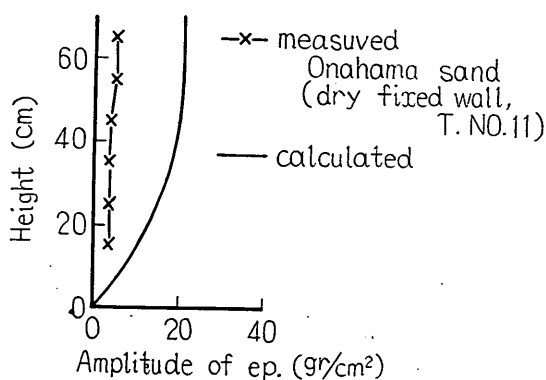


図-41-1 実測土圧振巾と計算値(高萩砂)

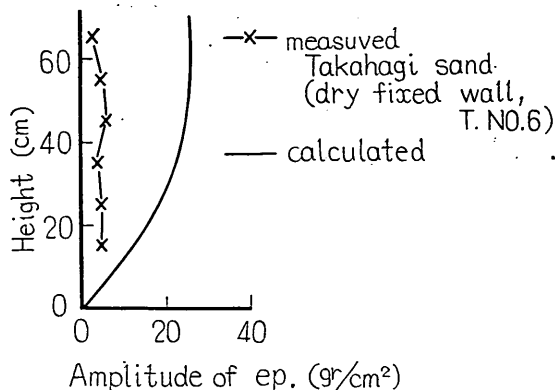


図-41-2

同図には今回の実験で得られた乾燥砂の土圧振巾も記入した。この計算に当つてはラメの弾性率を $\lambda=113 \times 10^9 \text{g/cm}^2$ 、 $\mu=24.8 \times 10^9 \text{g/cm}^2$ とした。ほぼ同様の値で著者達の解について数値計算を行つたところ大原氏の解によるものよりも大きな結果が出た。図から判る様に実測値は計算値よりも相当小さい。ある程度常数 λ 、 μ の値を変えても両者を一致させることは出来ない様である。

可動壁に作用する土圧振巾についての著者達の解は壁が一様断面と仮定しているが、今回使用した可動壁は一様断面でないため修正する必要がある。今回の可動壁に対する理論解は次報にゆずることとした。大原氏も可動壁について解しているが、壁を強制的に変位させる場合の解で、今回の実験のごとく作用する土圧により変位する場合とは異つた条件に対する解であるため比較はしなかつた。以上はいずれも乾燥砂についてである。飽和飽和の場合についてはやはり砂粒子と間隙水の両方を考えて解析を進める必要がある。可動壁の実験では土圧振巾が間隙動水圧による壁面変位により大きく影響されることからしても両者を切離して考えるわけにはいかない。間隙動水圧については砂粒子の存在を考えた解法も試みられているが、土圧については間隙水の運動をも考慮した理論解は見当らない。H. S. Tsien が土と水の相互影響を考えた土の動力学の基本方程式を提案しているが、式があるだけで、解は求められていない²³⁾。

以上から明らかな様に振動時における土圧振巾についての理論解析は乾燥砂に対して土を弾性体又はそれに類似の物体と仮定して試みられているが今回の実験結果を充分説明しうる段階に達していない様である。これは今後の研究に期する他ない。

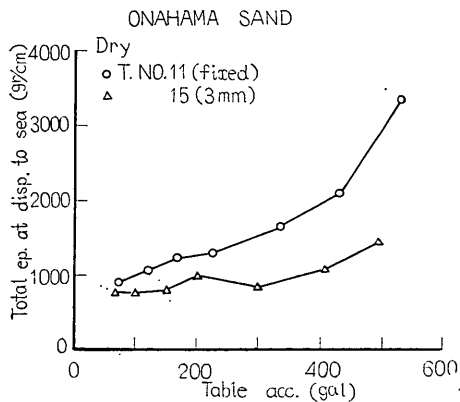
4-5 海側変位時の土圧

4-5-1 実験結果

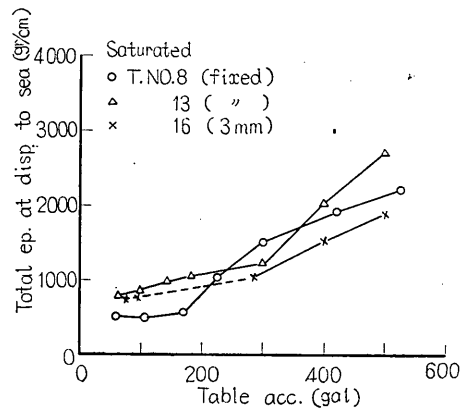
振動により周期的に増減する土圧が作用する場合、壁体の安定上最も不利な土圧は他の外力との関係により定まるのであつて、必ずしも最大土圧とはならない。重力式岸壁などの様に壁体の自重の大きいものでは壁体の地

震力も安定性に大きな影響を及ぼすし、場合によつては間隙水圧の影響も考えねばならない。壁体に作用する地震力は壁体と地盤との相対運動が地盤の運動に比し小さいとすれば壁体が前面に最大変位のとき最大となる。今壁体の前面への変位、今回の実験では振動函の可動壁のある側への変位を海側変位と呼ぶことにする。又、海側変位が最大のときの土圧を海側変位時の土圧と呼ぶ。海側変位時の土圧は先に述べた様にはほぼ壁体に作用する地震が最大のときの土圧であり、今回の実験では後述するごとく間隙動水圧も最大のときの土圧である。従つて壁体の安定上最も不利な土圧と考えられる。本節では海側変位時の土圧について調べる。

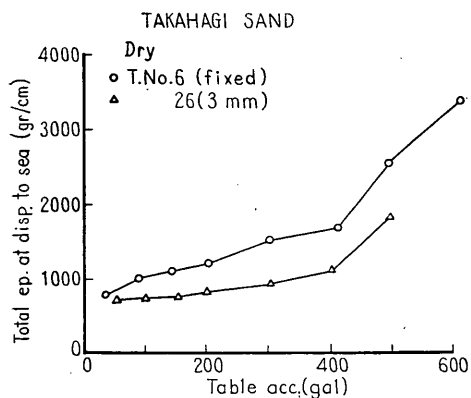
海側変位時の土圧の分布形は大体残留土圧に土圧半振巾を加えたものとなつてゐる。先の残留土圧、土圧振巾の場合と同じく海側変位時の全土圧を求めてみると図—42、43のごとくであつた。又これを全土圧係数に換算すると図—44、45の通りである。振動の初期と終期では異つた海側変位時の土圧を示すことは土圧振巾の場合と同じく予想される。振動初期の海側変位時の土圧の振動終期の海側変位時の土圧に対する比をとりこれを台加速度に対してプロットしたのが図—46、47である。



図—42—1 海側変位時の全土圧 (小名浜乾燥砂)



図—42—2 (小名浜飽和砂)



図—43—1 海側変位時の全土圧 (高萩乾燥砂)

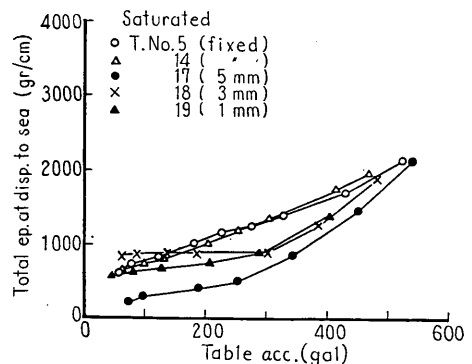


図43—2 (高萩飽和砂)

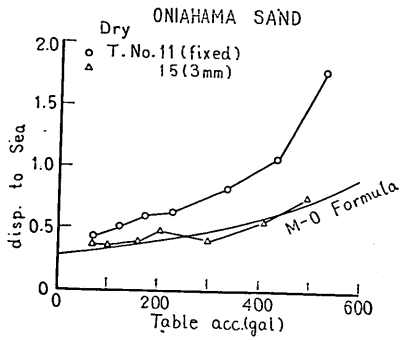


図-44-1 海側変位時の全土圧係数 (小名浜乾燥砂)

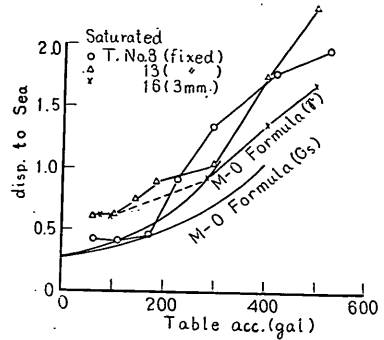


図-44-2 (小名浜飽和砂)

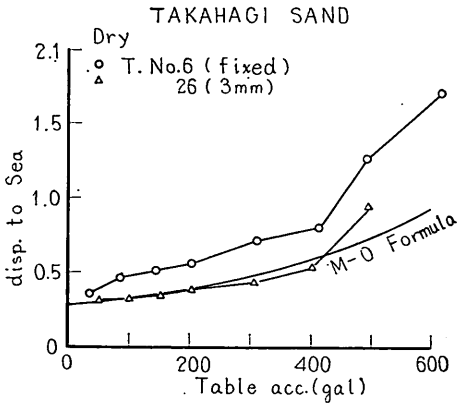


図-45-1 海側変位時の全土圧係数 (高萩乾燥砂)

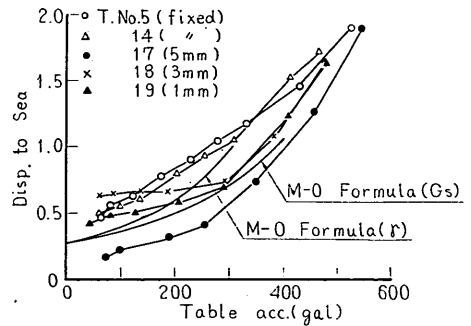


図-45-2 (高萩飽和砂)

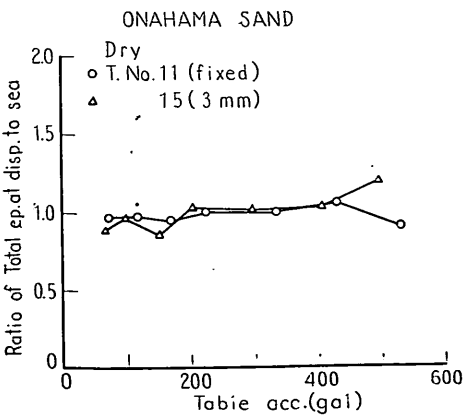


図-46-1 振動初期と終期の海側変位時の全土圧比 (小名浜乾燥砂)

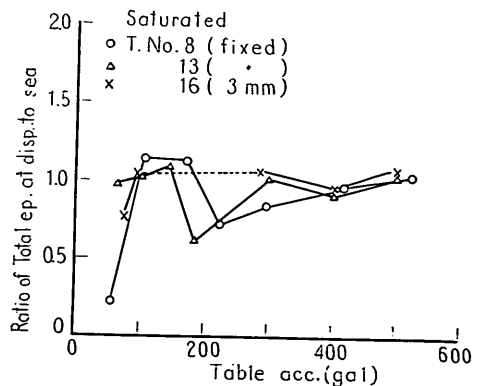
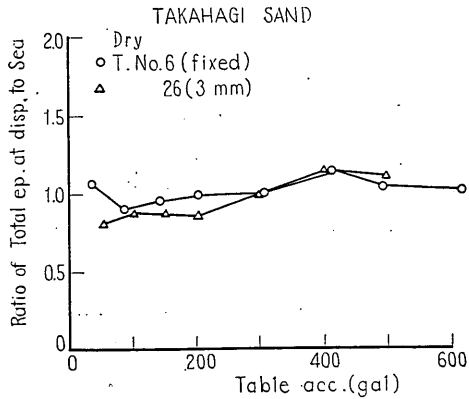


図-46-2 (小名浜飽和砂)



図—47—1 振動初期と終期の海側変位時の全土圧比

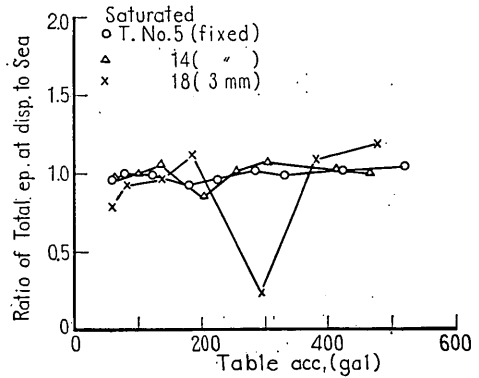


図47—2

4—5—2 結果の検討

(1) 海側変位時の全土圧

まず砂が乾燥か飽和かによる海側変位時の全土圧の差を調べてみた。固定壁では乾燥砂の場合がやや大きい。これは残留全土圧は乾燥砂の方が大きく、全土圧振巾は両者で大差ないことから当然である。可動壁では両者はつきりした差はない。小名浜砂では 300gal 以上では飽和砂の方が大きい。

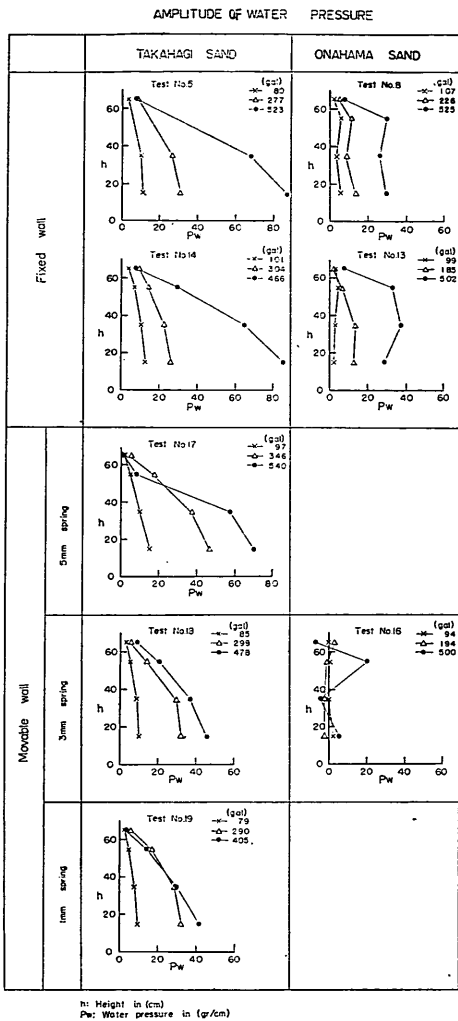
次に壁の可動性の海側変位時の全土圧に対する影響を調べてみた。その結果いずれの場合にも可動壁に作用する全土圧は固定壁に作用する全土圧よりも小さかった。但し、可動性の大きいもの即ちバネの弱いものほど全土圧が小さいとは限らない。高萩砂では 5mm のバネを用いた場合の全土圧が 3mm, 1mm のバネを用いた場合の全土圧よりも小さかった。バネが弱いと土圧振巾は小さくなり、時には位相が逆になることもある。しかし残留土圧はバネの弱いものほど大きくなる可能性があるので、ある適当な強さのバネを用いたときに海側変位時の土圧が最小になるのであろう。若し壁がバネで支えられたものではなく、変位に対して復元力の働かないものであれば結果は当然異つたものになるであろう。

小名浜砂と高萩砂による差はほとんどなかつた。

(2) 海側変位時の全土圧係数

先にも説明した様にこれは前項の海側変位時の全土圧を全土圧係数に換算したものであるから、内容的に同一である。但し、換算のさいに乾燥砂では乾燥単位容積重量を、飽和砂では水中単位容積重量を用いるので、それにもとづく差が加わるだけである。

図—44, 45 においては M-O Formula として記入されている曲線は物部・岡部公式で求めた地震時の主働土圧係数であり、 γ , G_s とあるのは見掛けの震度を湿潤単位容積重量により求めたものと、粒子比重により求めたものである。物部・岡部公式により与えられる地震時主働土圧係数は土塊内に将に迂りが発生しようとするときの土圧係数であつて今回の実験のごとく壁がバネにより砂を押しながら振動している状態の土圧係数とはやや性質が異り直接比較は出来ない。一応参考のために記入した。乾燥砂では 3mm のバネを用いたときに物部・岡部公式値に近い値を示し、固定壁では物部・岡部公式値よりも大きい。小名浜飽和砂では湿潤単位容積重量による見掛けの震度を用いた物部・岡部公式値よりも大きく、高萩飽和砂では 5mm バネを用いたもの以外は粒子比重による見掛けの震度を用いた物部・岡部公式値よりも大きい。高萩飽和砂で 5mm バネを用いたものは他よりも小さい値を示した。先にも説明した様に物部・岡部公式とここで示した海側変位時の全土圧とは多少性質が異つ



図—48 間隙動水圧振巾分布図(小名浜・高萩)

この点については充分の考慮を払うべきで、特に透水係数の小さい材料ではこの事を考慮しなければならない。しかし高萩砂、高萩礫では透水性大で分離して考えても不都合がないと考えられること、従来の研究はほとんど土圧と水圧を分離してあつかっているので分離した方が比較に便利であること、などの理由から本章では間隙動水圧だけの取出して報告する。なを土圧と間隙水圧を分離していない結果も示した。

5-2 間隙動水圧の変化過程

間隙動水圧の振巾は振動台の振巾と共に大きくなる。振動台が一定振巾で振動していて砂が流動化していないときには間隙動水圧は静水圧を中心に台変位と同周期で増減し、その振巾もほぼ一定である。但し振動の初期にはやや振巾がその後の部分よりも大きいことがある。しかし砂が流動化すると間隙水圧が全体的に上昇する。振動停止と同時に間隙動水圧は消えて、間隙水圧は静水圧と一致する。今回の実験では砂が流動化し過剰間隙水圧

ているため、今回の結果をもつて物部・岡部公式が小さ過ぎると云うことは出来ない。構造物の設計に当つて用いるべき地震時土圧は壁体の運動や、多くの構造物では滑りなどの水平変位に対し、構造物をもとの位置にもどそうとする力が働かない点を考慮して検討しなければならない。それ等については更に研究を行つて明らかにしたいと考えている。

(3) 振動初期の海側変位時の全土圧

振動初期における海側変位時の全土圧の振動後期のそれに対する比をとつたものは図—47—48に示した通りである。これによると砂が流動化した時などの特別な場合を除けば振動初期と終期で海側変位時の全土圧には大差ないことが判る。ことに全土圧振巾では振動初期のものが終期のものよりも大きいことが多いが、海側変位時の全土圧ではその様な事は少く、その程度も小さい。これは振動初期においては土圧振巾が大きくても残留土圧に相当する部分が小さく、終期では砂が落着いて振巾が小さくなくても残留土圧に相当する部分が大きくなっているためである。

§5 間隙動水圧

5-1 概 説

既に説明したごとく間隙水圧は振動に伴い周期的に増減する。この間隙水圧の動的部分を間隙動水圧と称する。従つて振動中の間隙水圧は静的な間隙水圧と動的な間隙水圧を重ね合せたものである。今回の実験のごとく飽和砂に振動を与えた時に発生する圧力は土圧と水圧に分離して考えるべきではなく、一体として取扱うべきではないかとも考えられる。

が発生しているときに振動を停止したことはないが、若しその様な状態で振動を停止すれば、或は振動停止後しばらくの間は間隙水圧が静水圧よりも大きな値を示したかも知れない。これらの事実は 図-19~23 に示されている。本報告においては「間隙比の変化と流動化」のところのみで取上げた準飽和状態の実験においては振動停止後、徐々に間隙水圧が減少するのが観測された。

5-3 間隙動水圧分布

5-3-1 実験結果

振動台が最も可動壁の側へ変位した時の間隙水圧から反対側へ変位した時の間隙水圧を減じて間隙動水圧振巾とした。小名浜砂可動壁の実験では位相が逆になっているものがあるがそれ以外では台の変位と間隙動水圧の間に位相差はほとんど存在しない。従つて上記方法により求めたものは間隙動水圧の Peak to peak の値を示している。この間隙動水圧の深さ方向の分布を示したのが図-48, 49である。

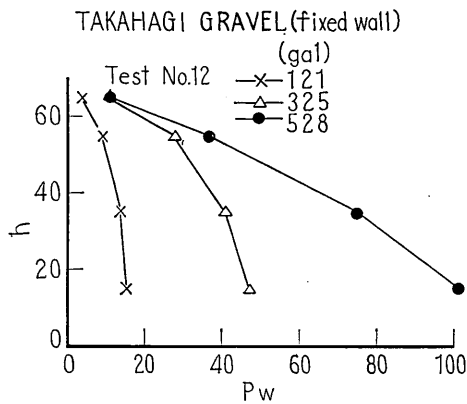


図-49 間隙動水圧振巾分布図(高萩礫)

ここに σ : 動水圧, W_0 : 水の単位容積重量, α : 震度, h : 水深, y : 水面からの深さ

図-50 により Westergaard 簡易公式による値と測定結果を比較してみると高萩砂, 高萩礫では分布の傾向は非常によく一致しており, その値も 100gal 程度の振動では良い一致を示している。しかし加速度が大きくなると固定壁では実測値が計算値よりも相当大きい。但し可動壁ではバネが弱くなるにつれて大加速度における間隙動水圧の振巾が小さくなつていたので 3mm バネ, 1mm バネの実験では実測値は計算値よりも大ききはない。

5-3-2 結果の考察

実験結果を見ると高萩礫, 高萩砂の場合非常に滑らかな分布を示している。これに反し小名浜砂固定壁の実験では高さ 50cm 以下における間隙動水圧振巾の増加が非常に少く, 前二者とはやや異つた分布形を示している。小名浜可動壁の実験では位相が逆になっているものもあり振巾は非常に小さい。今回の結果を砂粒子の存在を無視して Westergaard 簡易公式により求めた動水圧分布と比較すると図-50の通りである。Westergaard 簡易公式は下記の通りである。

$$\sigma = \frac{7}{8} W_0 \alpha \sqrt{hy}$$

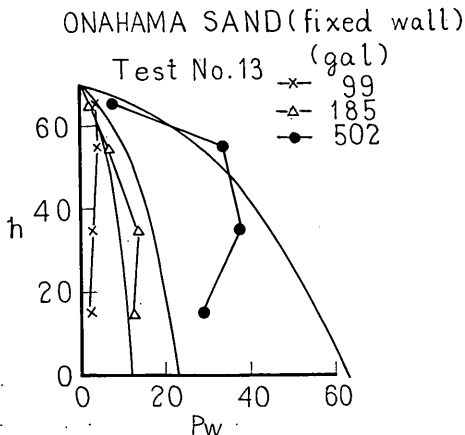


図-50-1 間隙動水圧実測値と計算値(小名浜砂・固定壁)

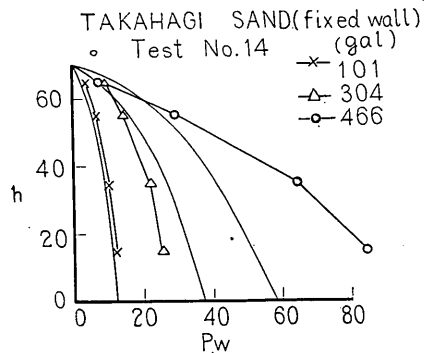


図-50-2 (高萩砂・固定壁)

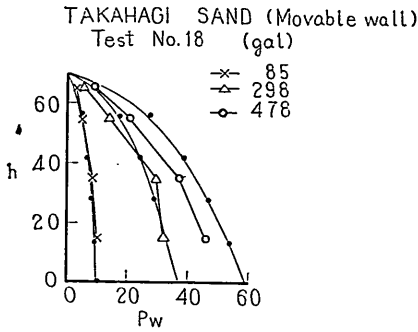


図-50-3

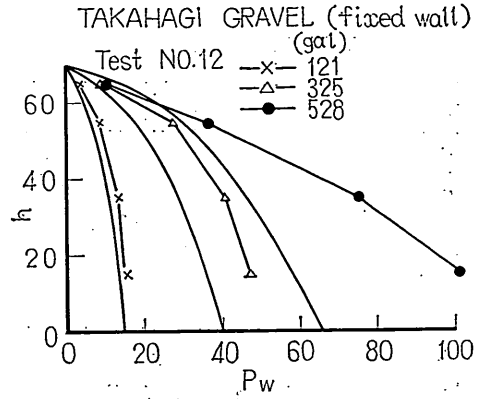


図-50-4 間隙動水圧実測値と計算値

この実測値と計算値の相異については次節で詳しく検討する。小名浜砂ではその分布形も Westergaard 簡易公式によるものとは異り、特に可動壁の場合に両者の相異が著しい。この事は小名浜砂程度又はそれ以下の透水性の砂では砂粒子が間隙水の運動に及ぼす影響の大きいことを示している。

大原博士は間隙動水圧を、砂粒子は振動関に対し相対変位を起さないとの仮定のもとに理論的に求めた。同氏の解は飽和砂の層厚は一定であるが有限長であるのに対し、Westergaard 公式は水は半無限に広がるものとしている。今大原氏の解で長さ 262cm (今回使用した振動関の長さ)、透水係数 0.1cm/sec 以上とし、水深 70cm、震度 0.1 としたときの値と、水深と震度を同じにとつた Westergaard 簡易公式の値を比較すると 図-51 の通りである。両公式の差はわずかであるが加速度 100gal 程度の振動における高萩砂、高萩礫の実験結果とは Westergaard 簡易公式の方がより近い値を示した。

5-4 間隙動水圧合力振巾

5-4-1 実験結果

間隙動水圧振巾を求めたのと同じ様に振動関の変位の両最大点で間隙水圧の合力を求めその差を間隙動水圧合

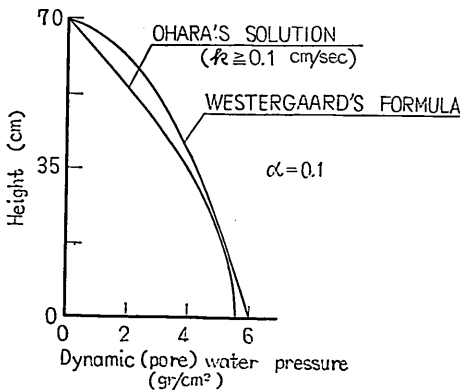


図-51 Westergaard 公式と大原氏の解

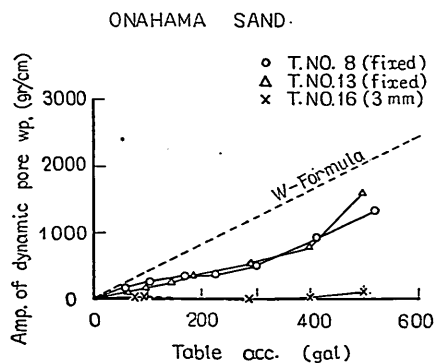
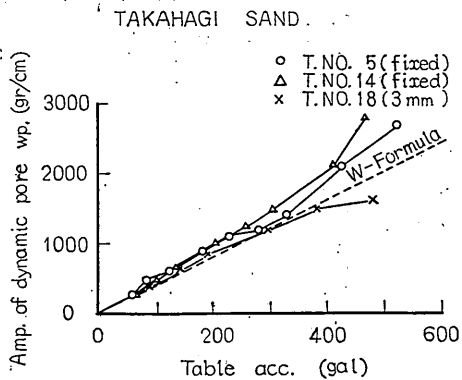
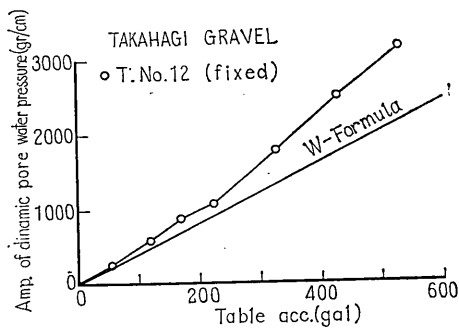


図-52 間隙動水圧合力振巾(小名浜砂)



図—53 間隙動水圧合力振巾（高萩砂）



図—54 間隙動水圧合力振巾（高萩礫）

力振巾とした。これにより間隙動水圧の全体的な比較検討が簡単に行える。図—52, 53, 54 に小名浜砂, 高萩砂, 高萩礫の各加速度における間隙動水圧合力振巾を示した。図中 W-Formula として示されている直線は Westergaard 簡易公式により砂粒子の存在を無視して求めた値である。ここに示したものは振動終期におけるものである。

5-4-2 結果の考察

実験結果を見ると小名浜砂固定壁の実験では間隙動水圧合力振巾は Westergaard 簡易公式値の $\frac{1}{2}$ 程度である。可動壁では非常に小さく零に近い。このことから小名浜砂程度の透水性のものでは砂粒子の存在は動水圧に大きな影響を及ぼすことが判る。可動壁では間隙動水圧が非常に小さいのは可動壁附近の砂粒子の振動関に対する相対変位が大きいにもかかわらず透水性が小さいため間隙中の水の運動は完全に砂粒子の運動で規制されるためと考えられる。従って小名浜砂の場合、今回の様に土圧と水圧とに分離せず両者一体となつた物体として考察を加えてみる必要がある。この点については機会をみて検討したいと考えている。

高萩砂, 高萩礫の場合大部分は Westergaard 簡易公式値と同じか、やや大きい。このことから高萩砂程度の透水性があれば砂粒子の存在は間隙動水圧に及ぼす影響の小さいことが判る。固定壁の場合 Westergaard 簡易公式値よりも大きく、加速度が大きくなるにつれその差は大となる。Westergaard 簡

易公式は砂粒子が存在せず水が自由に運動出来る状態に対する解であるから、砂粒子という障害物が存在する今回の実験結果の方が大きな値を示すのは意外である。この原因は現在のところ不明であるが次の事もその原因に含まれるのではなかろうか。一つは砂粒子の運動と水分子の運動が完全に一致していない限り水の粘性によつて粒子から水に力が伝達されるが、これが間隙動水圧を大きくする方向に作用したのではないかという事、他の一つは Westergaard 簡易公式の誘導のさいに、発生する波の振巾は小さいので速度と圧力変化分の積は無視しているが、実験においてはこの条件が満足されなかつたのではないかという事である。今回の実験では加速度が大きくなると砂が沈下して表面に約 4~5cm の水のみ部分が出来、時には両側からの波がぶつかりくだけることもあつた。

可動壁の場合、加速度が大きくなるにつれて Westergaard 簡易公式値よりも小さくなる。若しこれが壁の可動性のみにもとづくものであれば加速度が小さい時でも同じ傾向が現われるはずである。はつきりした原因は不明である。著者達は第一回地震工学国内シンポジウムにおいて「高萩礫, 高萩砂の場合間隙動水圧はほとんど Westergaard 公式に一致しており、(中略) 又壁の可動性による影響はほとんどない。」と発表した。これは現在

の段階では加速度の小さい場合に限つておいた方がよいかと思う。

今回の実験で透水係数 0.1, cm/sec 以上の場合について大原博士の示された解を用いて壁面単位巾に作用する間隙動水圧合力を計算すると Westergaard 簡易公式による値よりも 12% 小さい値が得られた。又同氏の解

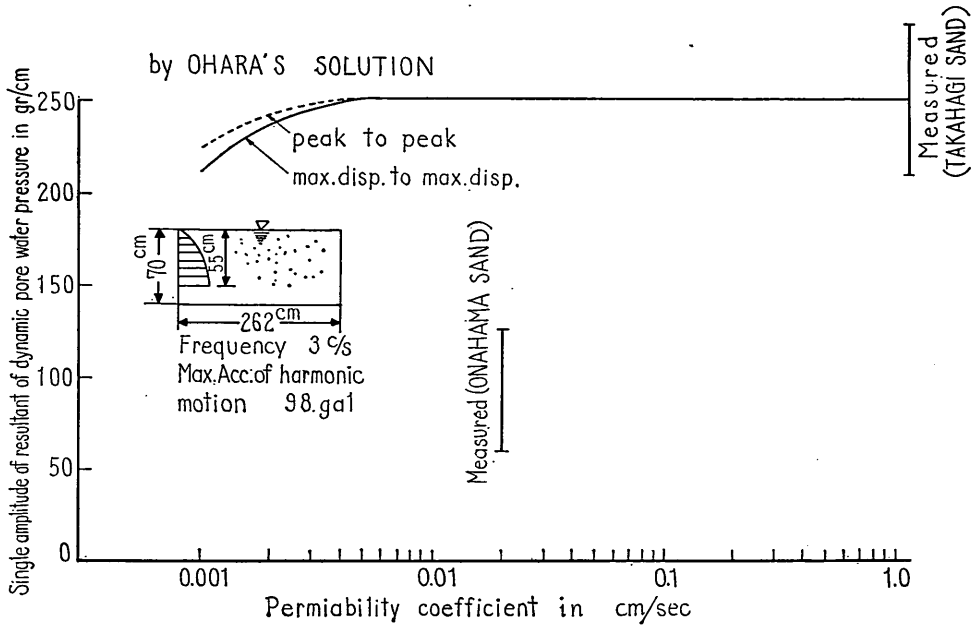


図-55 間隙動水圧合力実測値と計算値（大原氏の解による）

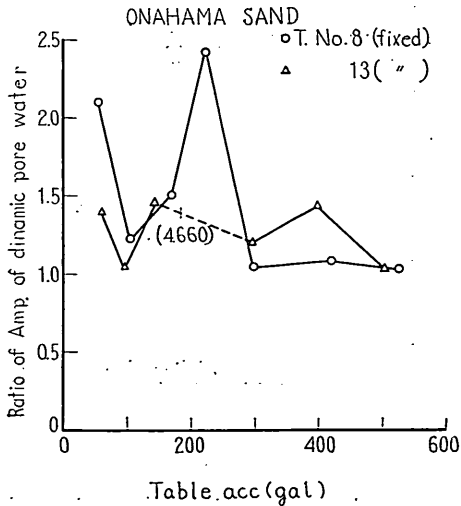


図-56 振動初期と終期における間隙動水圧合力比（小名浜砂）

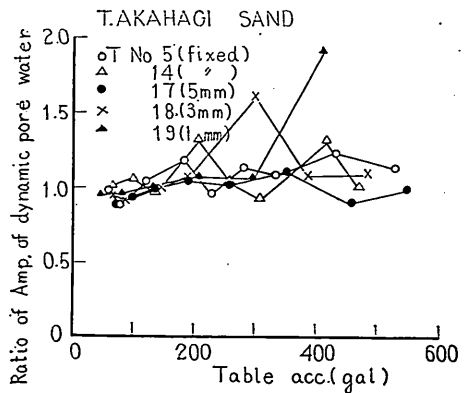


図-57 振動初期と終期における間隙動水圧合力比（高萩砂）

を透水係数以外の条件を今回の実験に合せ透水係数を変化させながら壁面単位巾に作用する間隙動水圧合力の振巾を求めると図-55の如くであつた。図中実線は振動函が最も海側へ変位した時とその反対側へ変位した時の値の差であり、点線は peak to peak の値である。図中の実測値は各加速度に於る間隙動水圧合力の振巾を 98gal 当りに換算したものの存在範囲を示す。これによると小名浜砂の場合実測値が計算値よりも相当小さい。

5-5 振動初期の間隙動水圧

5-5-1 実験結果

5-3 及び 5-4 で示したのは振動終期における間隙動水圧であつた。しかし間隙動水圧も土圧と同じ様に振動の初期と終期ではその大きさも異つていられる。それで振動初期の間隙動水圧合力の振巾と振動終期の間隙動水圧合力の振巾との比をとつてみた。その結果は図-56, 57の通りである。但し小名浜砂可動壁の実験では間隙動水圧自体が非常に小さいので比をとつてもあまり意味がないと考え省略した。

5-5-2 結果の考察

図-56, 57 によると振動初期の間隙動水圧合力の振巾は流動化のさいには振動終期のものに比し非常に大きい。特に小名浜砂の場合にその傾向が著しい。小名浜砂の場合肉眼では特に流動化を認められなかつた場合でも振動初期における値が大きい場合が多い。高萩砂では小名浜砂よりも振動初期と終期の差が小さい。

5-6 海側変位時の合圧力

小名浜砂のように透水性の小さいものでは土圧と水圧を分離せず一体として取扱つてみるのが考えられるのは既に説明した通りである。そこで参考として今回の実験において土圧と水圧を分離しない合圧力を図58, 59 に示す。同図に示したのは各段階の振動終期において壁面単位巾に作用する土圧と水圧を一しよにしたものの合圧力を合加速度に対してプロットしたものである。図中点線よりも下の部分は静水圧によるものであつて、岸壁などの様に前後面に水がある場合には相殺されるものである。

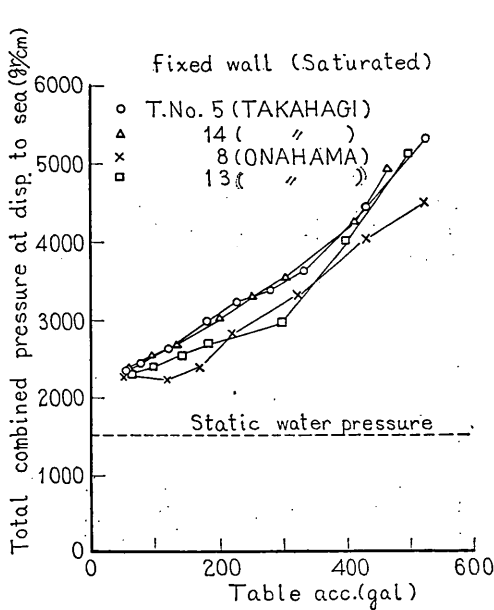


図-58 海側変位時の合圧力 (固定壁)

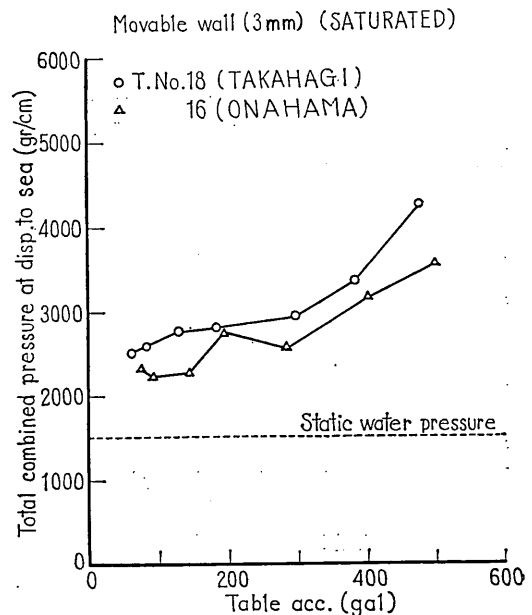


図-59 海側変位時の合圧力 (可動壁)

§6 ま と め

前章までにおいて実験結果とそれに対する考察を記した。それ等の主なものをまとめると以下の通りである。

1. 砂層の流動化に間隙比の変化

飽和砂は振動により流動化することがありそのとき間隙比の減少が著しい。流動化の程度は透水係数の小さいものほど激しく、その継続時間も長い。どの程度の加速度の振動で流動化が発生するかは大体砂により定まっています。透水係数の小さいものほど低い加速度で流動化する。飽和した砂層の上に乾燥した砂層があれば全体が飽和している場合よりも高加速度に達するまで流動化しない。砂層が或る加速度で流動化するか否かは間隙比合加速度曲線により大体推定出来る。流動化現象の発生機構は明らかでなく。現在のところこれを解析的に取扱うことは出来ない。

2. 振動時の土圧

振動中又は振動後の土圧や土圧振巾の分布形はそれぞれの場合で異り、全体に共通する分布形は現われなかつた。土圧は壁面変位に大きく影響され、両者を分離して考えることは出来ない。壁面が土圧以外の要素、例えば間隙動水圧等により変位する場合はそれによる土圧の変化も考える必要がある。土圧振巾は固定壁では飽和状態でも乾燥状態でもほぼ同じ値を示し、それを土圧係数に換算したものは見掛けの加速度を用いると飽和状態のものと同乾燥状態のものが一致した。他方、可動壁では非常に小さな土圧振巾が測定されたが、これは土圧振巾が壁の固有振動周期、強制振動周期、土の状態等により変化し、時には非常に小さくなるという理論的考察を裏付けるものと思われる。残留土圧は固定壁に作用されるものよりも可動壁に作用するものが大きく、このため海側変位時の土圧は壁を支えるバネが弱いほど小さくはならなかつた。これは壁をバネで支えているために壁には常に変位に比例した復元力が作用するためである。壁の変位が迂りなどの様に復元力が伴わないものであればこの様な事は生じないであろう。以上は振動終期における砂粒子の落付いた状態に於けるものであるが、振動の初期においては土圧振巾が振動と共に変化し、終期の土圧振巾よりも大きく、振動の中心が上昇するなどの非正常な現象が加わるのが普通である。振動中の土圧については部分的には解析的取扱いもなされているが振動土圧全体を説明しうる総合的な取扱いは現在のところない。現在行われている解析的取扱いも実測値に対して満足すべき一致は示さなかつた。

今回の実験は実在の岸壁とはその条件も異なるため、設計に用いるべき土圧とは直接比較出来ない。特に今回の壁はバネで支えられているか又は完全に固定されているため、それぞれの場合で残留土圧や土圧振巾が地震時に実在岸壁に作用するものよりも大きいと考えられること、又岸壁の設計には主働土圧を用いているが、今回測定されたものは主働土圧とは異つたものであると考えられること、などから実験結果が現在設計に用いられている物部岡部公式よりも大きな土圧を示すのは当然と考えられる。設計に用いるべき地震時土圧については今回の実験のみから云々することは無理と考える。

3. 間隙動水圧

飽和砂に振動を与えた場合その間隙水により間隙動水圧が発生する。透水性の大きい高萩礫、高萩砂の場合には Westergaard 簡易公式に近い値を示した。加速度の大きい振動では固定壁で Westergaard 簡易公式値よりも大きく、可動壁で同公式値よりも小さい。Westergaard 簡易公式と異なることの原因は不明である。透水性の小さい小名砂の場合には固定壁で Westergaard 簡易公式値の $\frac{1}{2}$ 程度、可動壁では零に近かつた。以上は定常状態においてであるが、砂が流動化したときはこの他に過剰間隙水圧が発生した。透水性の大きい材料に対する間隙動水圧は Westergaard 簡易公式等により大体推定されるが透水性の小さい材料に対しては現在のところその推定が困難である。

現在岸壁の設計に当っては多くの場合岸壁背後の土砂の間隙水に作用する地震力が考慮されているのみである。然しながら動水圧若しくは間隙動水圧を設計の際に考慮するか否か、若し考慮するとすればどの様な値をとるべきかについては更に検討を要する。即ち、岸壁の前面に作用する動水圧と後面に作用する間隙動水圧及び地動の間の位相関係、岸壁前後面が非常に透水性のよい材料でつながっている場合、その事が動水圧に及ぼす影響、地震動のように非常に不規則な振動と規則的な振動による動水圧の差等について調べる必要がある。(この点については目下研究を進めており、結果がまとまれば発表の予定である。)

今回の実験は簡単な境界条件のもとで振動中の土圧や間隙動水圧を調べることを目的としたために実在の構造物とは条件が異つている。そのため直接設計に連る結果を導くことは行わなかつた。

文 献

- 1) 水に飽和された土の振動圧力
松尾春雄, 大原資生, 土木学会誌40巻6号(昭和30年6月)
- 2) 岸壁裏込めの間隙水による動水圧
松尾春雄, 大原資生, 土木学会論文集38号(昭和31年10月)
- 3) 固定壁に対する砂の振動圧
畑野正, 土木学会論文集80号(昭和37年4月)
- 4) 振動中における乾燥砂の運動性状に関する研究(第三, 四報) 弾性壁に加わる振動土圧に関する実験(その一, その二)
石井靖丸, 林聰, 荒井秀夫, 土田肇 運輸技術研究所報告第10巻第11号(昭和35年11月)
- 5) 地震時土圧の実験的研究
松尾春雄, 土木試験所報告 No.22(昭和7年5月)
- 6) An Experimental Study of Oscillating Earthpressure Acting on A Quay Wall.
S. Niwa The Second World Conference on Earthquake Engineering (1960)
- 7) 擁壁に作用する地震時土圧の現場模型実験
松尾春雄, 大原資生, 九大工学集報30巻1号(昭和32年7月)
- 8) 家屋耐震構造論 上編
佐野利器, 震災予防調査会報告第83号甲(大正5年12月)
- 9) 土木耐震学
物部長穂, 理工図書株式会社(昭和27年9月)
- 10) General Theory on Earth Pressure and Seismic Stability of Retaining Walls and Dams
S. Okabe Journal of the Japan Society of Civil Engineers, Vol. 10 No.6 1924
- 11) 岸壁に作用する地震時土圧
大原資生, 九大工学集報第29巻第2号(昭和31年)
- 12) 岸壁に作用する地震時土圧(続)
大原資生, 九大工学集報第30巻第1号(昭和32年7月)
- 13) 前出文献 4)
- 14) 地震時岸壁の前面並に背面に及ぼす水圧に就て
安蔵善之助, 第3回工学会大会講演集(昭和11年)
- 15) 岸壁裏込間げき水による動土圧について
大原資生, 土木学会論文集87号(昭和37年11月)

- 16) 振動中における乾燥砂の運動性状に関する研究 (第6報), (その1) 土圧計受圧面変位が振動土圧におよぼす影響に関する実験
石井靖丸, 荒井秀夫, 運輸技術研究所報告第12巻第2号 (昭和37年3月)
- 17) 前出文献 4)
- 18) 前出文献 4) p.77
- 19) 前出文献 4) p.73, p88—91
- 20) 平衡式振動台とこれによる, 2, 3 の実験
針生幸治, 毛受貞久, 第3回地震工学研究発表会講演概要 (昭和34年9月)
- 21) 前出文献 (11)
- 22) 前出文献 (12)
- 23) On the Basic Equation of Soil Dynamics
H. S. Tsien Problem of Continuum Mechanics P 565—569
- 24) Water Pressures on Dams during Earthquakes
H. M. Westergaard Transactions of American Society of Civil Engineers 1933