

# 人工地震発生装置による振動土圧の実測

正員 丹 羽 新\*

## MEASUREMENTS OF OSCILLATING EARTH PRESSURES CAUSED BY THE EARTHQUAKE GENERATOR

By Shin Niwa, C.E. Member

**Synopsis :** Since our last report<sup>1)</sup>, in which an earthquake generator of a huge size and a new type of oscillating soil pressure measuring apparatus were described, a number of secondary refinements and improvements of the apparatus have been carried out, till all the parts of the instruments work perfectly under simple and easy operation. From September 1957 earth pressure, lateral as well as vertical, at a model quay wall near the earthquake generator have been measured by the above instrument systematically under various intensities of the exciting oscillations.

It is the purpose of this paper to describe those refinements and improvements of the apparatus, and to analyze our experimental data.

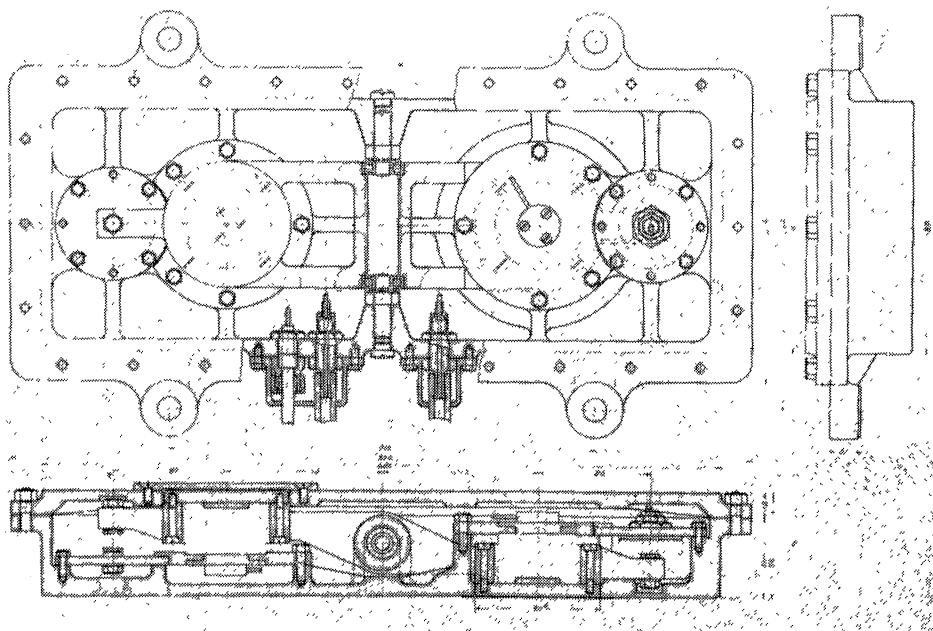
### 1. 序

人工地震発生装置、および一連の振動土圧測定器についてはすでに報告した<sup>1)2)</sup>。これらの測定器の中で、地震時土圧計については末梢的なところに不満な点があり、かねがね改造を加えたいと思っていた。その後地震時土圧計の設計に検討を加え、その他の計器についても必要な改造を行ってきた。新しい土圧計の完成と相いまって、1957年9月ごろから、振動土圧の測定がたやすく正確に行いうるようになった。そしてこの時から、加振の強さを種々に変えた裏込めおよび底面の振動土圧の実験を組織的に進めてきた。本文は新設計の地震時土圧計を紹介し、今までにえられた振動土圧の記録例と、その二、三の性質について報告する。

### 2. 地震時土圧計とその取り付け

写真-1 に新しい地震時土圧計の組立図を示す。その原理は前報<sup>1)2)</sup>で述べたものと同じく、Goldbeck 型土圧

写真-1 地震時土圧計組立図



\* 運輸技官，運輸省運輸技術研究所，港湾施設部

計に Dummy Weight を導入したものであるが、次の諸点が改造されている。

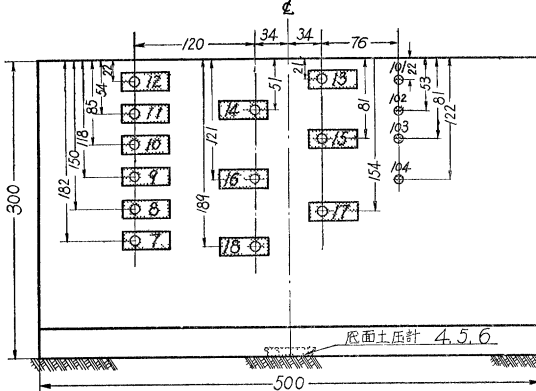
a) 同図に見られるように、中心支点に対して Dummy 側（同図左側）を受圧側の機構と幾何学的に完全に対称形とした。このために Dummy 接点もつけ加えた。従つて左右の受圧板系の Balance は完全なものとなつた。

b) “On-Off” を判別するための電気接点は、長期間使用している間に、土圧計ケース内の湿気にわざわざいされる傾向があつたので、接点部を密閉容器内に封入した。この密閉容器の一面はポリエチレン薄膜になつており、温度変化にとまなうこの容器の内圧の変化を少なくするのに役立つ。

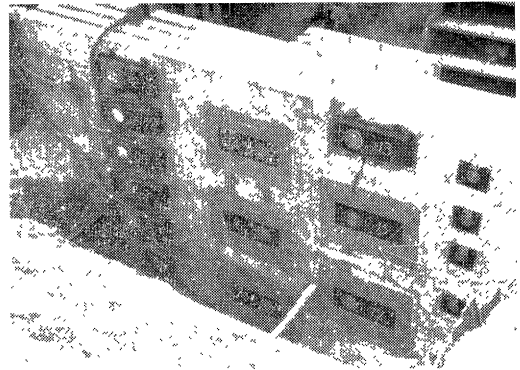
c) 土圧計ケースの水密性を向上し、全体の工作精度を飛躍的に高めた。

その大きさ、重量などは従来のもとの大差はない。受圧板の直径は 90 mm である。受圧側あるいは Dummy 側のいずれか一方に送気した時の感度は、被測定圧力強度に換算して 2.67 Hgmm/gr/cm<sup>2</sup> であり、±15°C の温度変化に対して測定値の中に含まれる誤差は ±2.0 gr/cm<sup>2</sup> 以下である。

図一 土圧計取り付け位置の詳細 (単位 cm)

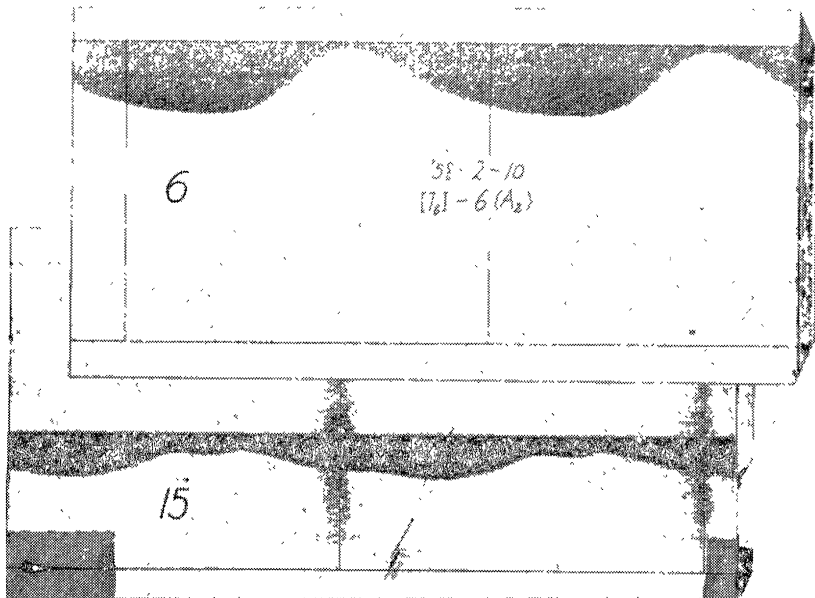


写真一 試験壁体と取り付けられた土圧計



試験壁体は前報<sup>2),3)</sup>で述べたのと同じものであるが、写真一に示すように、鉛直壁中央部に上述の新しい土圧計 6 台 (No. 13~18) を壁面とつらいちに取りつけた。そして従来の 6 台 (No. 12~7) を鉛直壁端部に壁面より突出して取りつけた。図一にその取り付け位置の詳細を示す。またこの図で No. 101~104 の 4 台は Wire Resistance Strain Gauge を応用した土圧計であり、やはり壁面とつらいちに埋め込まれている。試験壁体の中央断面の底面に 3 台の地震時土圧計 (旧型) が埋め殺しになつており、底面反力を測定している。これら 3 台は裏込側から No. 4, 5, 6, の順となつている。なお付近の地盤は関東ロームであり、裏込めは多摩川砂である。

写真一 現象が完全に定常である場合の記録例



3. 個々の実験データの読み方について

振動土圧の記録原理についてはすでに詳述<sup>2)</sup>したが、これを要約すると、

a) 受圧板に作用している振動土圧よりも、空気圧の方が高い期間のみ土圧計の接点が開き、この期間のみ記録紙上に黒い線が描かれる。

b) Voltage Stylus (記録ペン) の記録紙上の位置は掃気空気圧に比例している。空気送入の速さは 0.3~0.5 Hgmm/sec 程度であるので、振動土圧よりも空気圧の方が高い区間 (波形の上側) は真黒に塗りつぶされることになる。

c) 記録紙の巻かれたドラムの回転は、人工地震発生装置不平衡車輪軸の回転数の 1/2 に同期している。従って記録紙上には、振動土圧の 2 サイクルが描かれる。

このようにして描かれた記録の一例を **写真-3** に示す。図中縦の黒線は試験壁体に対して水平加振力最大の位相を示している (Phase Mark, P.M. と略記)。この例は現象が完全に定常である場合に相当する。では、もし定常振動を行つている最中に、平均圧力が不連続的に変動すれば、記録紙上にどんな記録が得られるであろうか？

図-2 (a) に図解したように、波形を描きつつある最中に平均圧力が急に低下すれば、それ以後土圧計の接点は終始 “open” の状態に転じ、従って記録紙は連続して黒くなる。ゆえに波形はこの点で直線状に切れるはずである。

図-2 平均圧力が低下した場合の図解

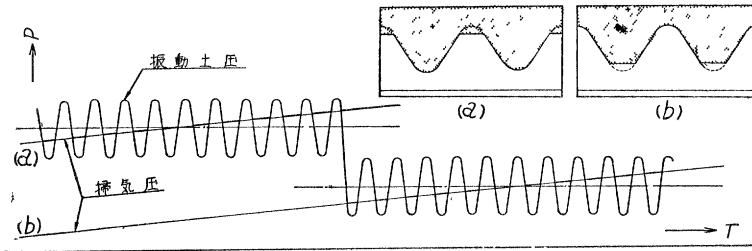


写真-4 (a) に波頂が直線状に切れた記録の一例を示す (矢印の部分)。この例で平均圧力の低下量は 0.5 gr/cm<sup>2</sup> 程度と推定される。また図-2 (b) に示したように波形記録開始前に平均圧力が低下して、掃気圧と振動波形とが急に交わ

るとこの点から波形が描かれ始める。従って波形がこの点で直線状に切れた記録がえられるはずである。写真-4 (b) に波底が直線状に切れた記録の例を示す (矢印の部分)。この場合平均圧力は約 1.5 gr/cm<sup>2</sup> 低下したものと推定される。

同様に考えて波形記録中に、逆に平均圧力が上昇すれば、波頂あるいは波底が “傘型” に拡がった記録がえられる。写真-5 (a) は波頂が “傘型” に拡がった記録の例である。また同 (b) は波形記録中の初期に平均圧力が

写真-4 波頂あるいは波底が直線状に切れた記録例 (図-2 (a)(b) の例)

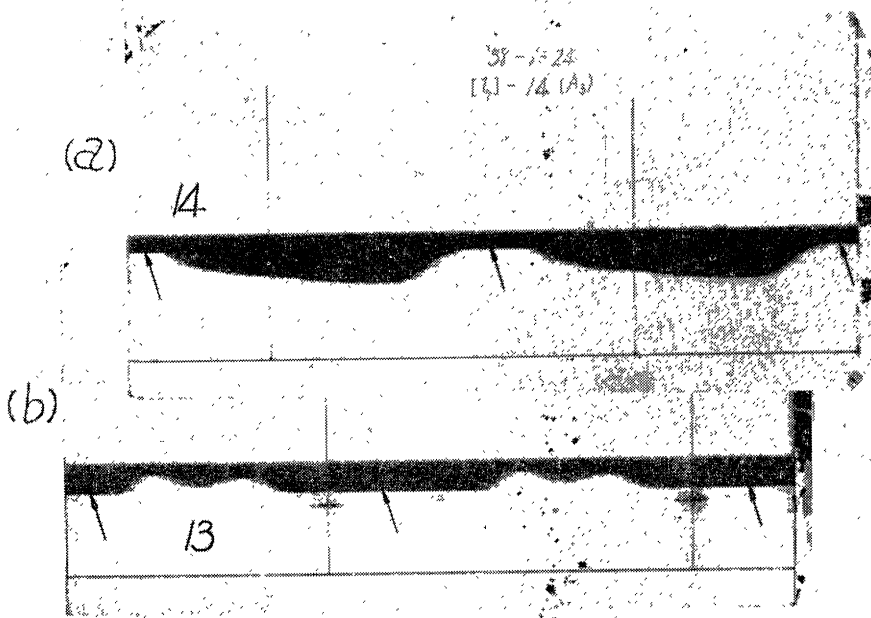
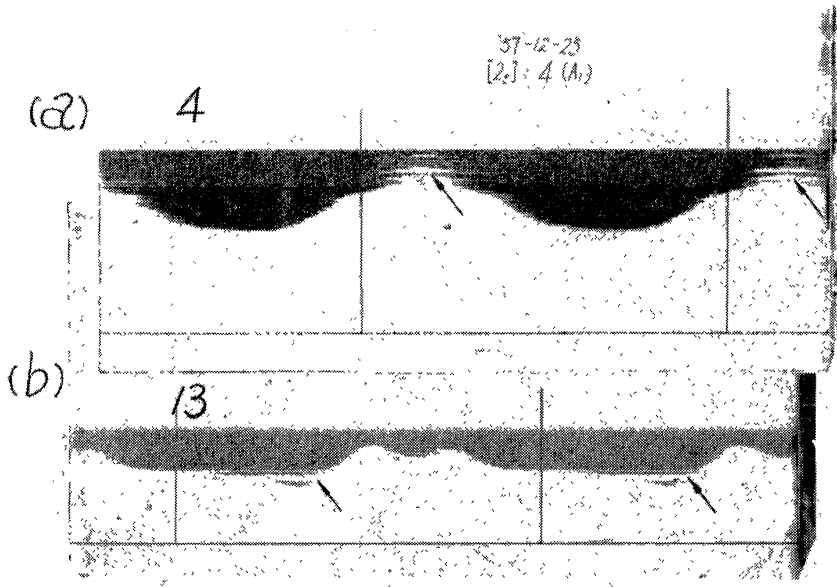


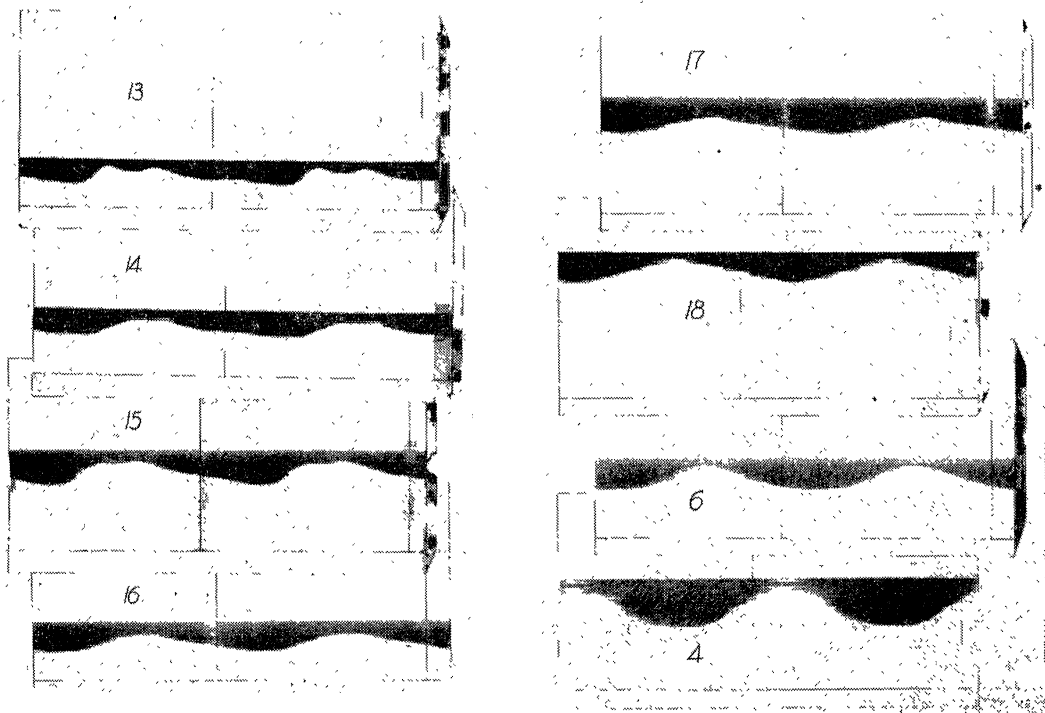
写真-5 (a) 波頂が“傘型”に拡がった記録例  
(b) 波底が切れ切れになつた記録例



上下に変動して、その後定常状態を保つた場合の例であつて、波底部分が切れ切れになつている。この変動の幅は  $2.5 \text{ gr/cm}^2$  以上と推定されるが、もし平均圧力が一挙に  $3 \text{ gr/cm}^2$  程度低下すれば前掲写真-4 (b) のような記録がえられるわけである。このほか平均圧力の変動に位相推移をともなう場合があり、その一つとして平均圧力の上昇に Phase-lead をともなう場合は、現実にえられるデータの中に良く見受けられる<sup>4)</sup>。

以上に代表的な変動の一例について述べたが、現実にえられるデータは上に述べた各種の場合がさまざまに組

写真-6 振動土圧の記録 ( $T=0.175 \text{ sec}$ )



合わされて、はなはだ複雑な様相をていしている。現在までにえられた約 150 枚の記録中に表われた平均圧力の変動量を調べると表-1 のようになる。これから平均圧力の変動量は、土圧計 No. 13~17 に対して最大 5 gr/cm<sup>2</sup>、平均 2 gr/cm<sup>2</sup>、No. 18,6,4、に対してはそれぞれ 10 gr/cm<sup>2</sup>、および 5 gr/cm<sup>2</sup> である。

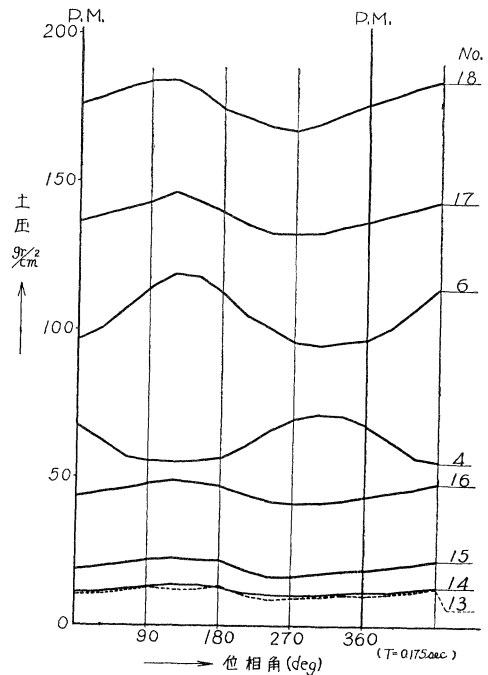
表-1 振動中におこつた平均土圧の変動 (gr/cm<sup>2</sup>)

土圧計 No.	13	14	15	16	17	18	6	4
振動中におこつた変動の最大値	3.0	2.5	3.5	5.0	2.5	10.5	8.0 <sup>?</sup>	8.0
同上の平均値	1.5	1.0	1.5	2.0	1.5	4.5	5.5 4.5	4.0

4. 一連の実験データの例

写真-6 に試験壁体鉛直壁の中央部、および底面に作用する振動土圧の記録を示す。これらの記録では時間軸の正方向はすべて左向であり、記入の数字は土圧計の番号を示す(図-1, 写真-2 参照)。この実験における振動の週期は 0.175 sec であり、最大加速度は試験壁体天ばで 85 gal, Footing 上で 60 gal であつた。裏込めはこの実験日より 5 カ月前に投入し、それ以後は自然状態に放置されたままである。各記録の P.M. を一致させ、土圧計および記録装置の Calibration Curve を用いて、土圧強度に換算して図示すれば図-3 をえる。この図を一見して No. 4 の記録のみが他のものと逆相であることがわかるが、これはその取り付け位置より当然のことといいうるであらう。振動土圧と強制力との間の位相差は、壁面上の各点で大きな差はなく、約 120° である。またある一つの実験については、砂深の深い所で位相差がやや少ない傾向が常に見られるが、さらに正確な値については後日の実験に期待する。次にこの図を用いて振動中の最大および最小土圧、振動前後の静土圧、の鉛直壁面における分布を図示すれば図-4 のようになる。現在までにえられたこれらの結果を総合して次の結果をえた。

図-3 振動土圧の波形



1) 裏込めの状態、振動前に作用する静土圧強度、砂深のいかんにかかわらず振動土圧の複振幅は、壁面上の各点において極端な差は見られない。その絶対値は振動の強さによつて左右される。

2) 二,三の例外を除いて、壁中央部の振動前静土圧および振動後静土圧は、いずれも振動土圧の複振幅の間に常に位置する。しかし次に述べるような場合は例外であつて、この場合には静土圧は大きく変動する。

a) 新たに裏込めを投入してしばらくの間 この場合はそのまま放置しても、比較的深い個所に局部的な増大が認められる。

b) 裏込めを投入して最初の振動実験の時

3) 以上の場合を除いて、振動前と振動後の静土圧の変化を調べてみると表-2 をえる。この表から次のことがわかる。

a) 表-1 と比べて、振動のためにおこる静土圧変化の絶対値は振動中に記録された変動より大きい。

b) 振動のためにおこる静土圧変化の値は、No. 13~16 および No. 4 では最大 10 gr/cm<sup>2</sup> (平均 5 gr/cm<sup>2</sup>)、No. 17,18,6、では最大 16 gr/cm<sup>2</sup> (平均 8 gr/cm<sup>2</sup>) 程度である。

表-2 振動のためにおこつた静土圧の変化 (gr/cm<sup>2</sup>)

土圧計 No.	13	14	15	16	17	18	6	4
振動のためにおこつた静土圧変化の最大値	-9.0	-3.0	+2.0	-8.0	-14.0	-16.5	+16.0	-11.5
同上の測定値各 16 回の平均値	増大 +	2.5	1.0	1.0	2.5	5.0	3.0	8.5
	減少 -	0.5	1.0	1.5	3.0	6.0	7.5	5.0
							5.0	4.0

註: 振動前静土圧を規準にして+は振動のために増大、-は減少を表わす。

表-3 振動の影響を受けたまま放置された時の土圧変化 (gr/cm<sup>2</sup>)

土圧計 No.	13	14	15	16	17	18	6	4
測定値各7回の平均値 増大 +	5.0	2.0	2.5	4.0	11.0	11.5	9.5	9.0
減少 -	5.0	1.0	2.5	0	2.0	0	3.0	0

注: 前回実験日最後の静土圧を規準にして, 次回実験日最初の静土圧を比較したものの平均値である。

c) No. 13~18 の6台の土圧計について, 振動のためにおこる静土圧変化の平均値は, No. 13を除いて減少する場合の絶対値がやや大きく, また増大と減少のおこる回数を調べると, 増大 45 回に対し, 減少 51 回となり, 振動の影響は静土圧を減少させる傾向がやや強い。

次に振動の影響を受けたまま約一週間放置された時の土圧変化を調べて 表-3 をえる。この表から放置されている間におこる土圧変化は, 増大の絶対値の方が大きく, それがおこる回数は増大 33 回, 減少 9 回となる。上述のことと考え合わせて, 振動の影響によつて土圧は減少する傾向があり, これがそのまま放置されるとかなり顕著に増大の傾向を示す。一般的にいつて振動のみによる静土圧の変動と, 快復期における変動とは互に異符号を持つことが多い。

最後に何回かの振動実験の中で, 振動前と振動後の土圧の数例をまとめて図示すると 図-5 のようになる。この図から壁に作用する土圧は, 振動の影響

図-4 土圧の鉛直分布

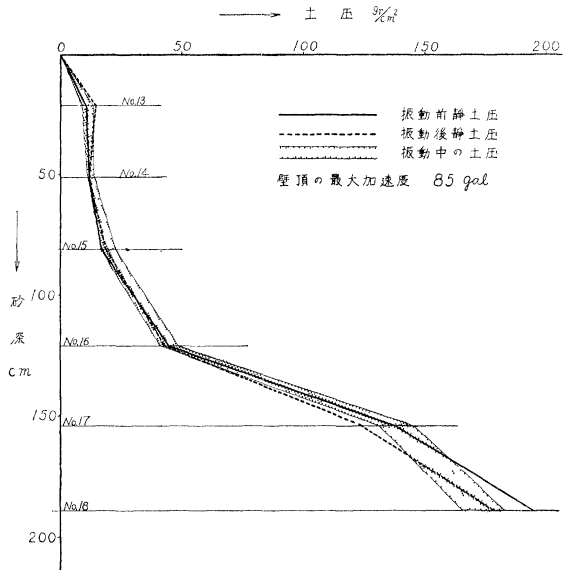
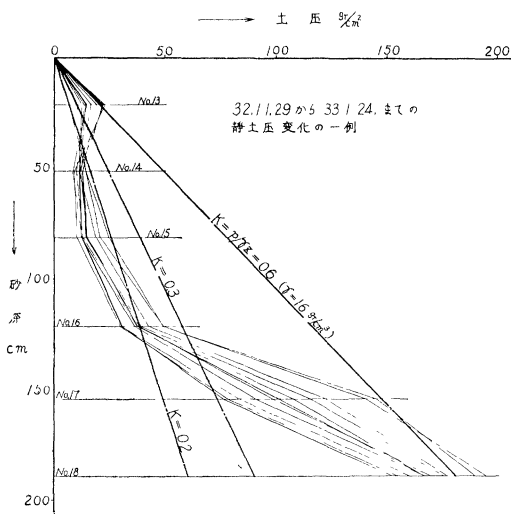


図-5 実験継続中における静土圧の変化



本研究に対して, 終始変らぬ懇切な御指導を頂いている学習院大学近藤正夫教授, 当研究室長市原松平博士に心から御礼申し上げると共に, 新しい土圧計の試作を担当された山口機器研究所山口広美氏, 山口昭一氏に厚く御礼申し上げる。土圧計が十分な働きをしなかつたならば, この実験は更に困難なものになっていたであろう。

参考文献

- 1) M. Kondō, G. Hasegawa, M. Ichihara, S. Niwa: Researches on Earth Pressures Part I, Report of Transportation Technical Research Institute No. 15, May 1955.
- 2) 市原松平, 丹羽 新: 人工地震発生装置および地震時土圧測定装置について, 土木学会論文集, 第 38 号, 昭 31.10.
- 3) 丹羽 新: 壁体自身の振動による裏込土圧の実測, 土木学会論文集, 第 39 号, 昭 31.12
- 4) 丹羽 新: 振動土圧に関する研究, 運輸技術研究所報告, 8 巻 3 号, 1958 年 9 月.

(昭. 33 7. 3)

響を受けても各深さに応じて大体安定した値を持ち, あまり大きな変動を示さないことがわかる。

5. 結 び

以上に人工地震発生装置を運転した時, 試験壁体に作用する振動土圧の実験データについて二, 三述べたが, この実験結果を総合して次のような結論をえた。

1. 定常加振しても壁に作用する土圧は, 定常にならない場合がかなりある。
2. ある一つの実験について, 壁面上の各点に作用する土圧の間には大きな位相差はない。
3. 振動によつて土圧がなんらかの変動を受けた場合, 常により一層安定した状態へもどろうとする傾向が強く見られる。
4. 二, 三の例外を除いて, 振動中の土圧および振動後の土圧は, 振動前静土圧と比べて大きな差はなく, その値は常に振動前静土圧の附近に存在する。また振動土圧の複振幅は壁面上の各点で大きな差はない。