

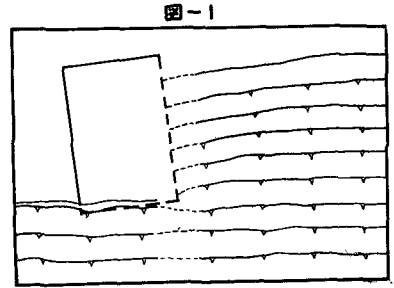
H — 2 重力式岸壁の地震時における安定性に関する研究 (第一報)

運輸技術研究所港湾土質部 正員 ○ 石井靖丸
林 聰
荒井秀夫

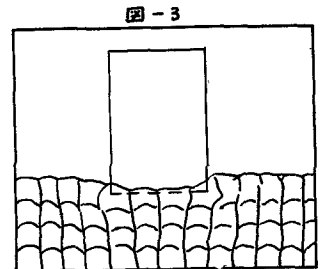
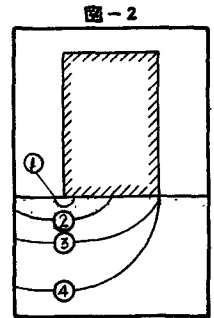
重力式岸壁の地震時における安定性に関する広範な実験の予備的試験を完了したのでその結果を報告する。振動台の詳細は別途論文を参照されたい。


重力式岸壁は (1) 滑り出し、(2) 最大端支圧、(3) 転倒、に対して設計される。外力を受け、壁体の合力が middle third 内に入る場合は転倒が問題となることはない。

(A) 滑り出し、及び最大端支圧による破壊状態を調べるために、二種の模型 (高さ巾の比 $\frac{2}{3}$ 及び $\frac{1}{1}$) を用いて実験を行ったが滑り出しによる破壊は現象が割合に単純であるが、巾の狭い場合は図-1 に示すように振動当初は前傾の姿にあり、これが次第に著しくなつてゆくのがみられた。この際現象は非定常的であつて、壁体の最初の変位の起り方がその後の現象を支配していることがわかる。この種の破壊は地震による被害の典型的な姿とよく一致している。



(B) 壁体の振動による変位をしらべるために砂層上に壁体を置き、裏込め砂にも実験を行った。砂層の厚さは 30 cm で dense 及び loose の 2 状態、壁体は鋼製のもの、巾、高さが $\frac{20\text{cm}}{30\text{cm}}$ 、 $\frac{30\text{cm}}{30\text{cm}}$ 及び $\frac{31\text{cm}}{52\text{cm}}$ 、重量は cm^2 当り 60 gr.、120 gr. 及び 240 gr. の 3 種類である。壁体の基礎破壊 (base failure) は図-2 に示すように 4 種類に分けることが出来る。(1) 壁体 ($\frac{31\text{cm}}{52\text{cm}}$, $p_0 = 240 \text{ gr}/\text{cm}^2$) が重く loose sand の場合は深いところで punching shear の様子を示し、従来の静荷重の場合に似ているが現象としては壁体が次第に砂層中に沈没してゆく感じにみえる。(100 gal ~)。 (2) 壁体がやや重く ($\frac{20\text{cm}}{30\text{cm}}$, $p_0 = 120 \text{ gr}/\text{cm}^2$)、loose sand の場合、非常に浅いところに破壊し、横ゆがりの形でみられる。図-3 からこの浅いところの傾向がよくみられる。(250 gal ~ 350 gal)。 (3) 壁体が軽く巾が広く ($\frac{30\text{cm}}{30\text{cm}}$, $p_0 = 60 \text{ gr}/\text{cm}^2$)、dense sand の場合は 500 gal 程度迄ほとんど変化なく、これ以上では砂層中にはがしくゆりこむのみ。これは図-2 の ② に示すところによると思われ、壁底部の中間から土り面が出てくることがよくわかる。これは方としてさきよりみ破壊 (wedge in failure) という感じである。 (4) 壁体が軽く巾の狭い ($\frac{20\text{cm}}{30\text{cm}}$, $p_0 = 60 \text{ gr}/\text{cm}^2$)、dense sand の場合



先づ壁体の端が沈下し(局部破壊)底部は  の形になるためにはげしくロッキングを起す。このロッキングが加速度の増加と共にはげしくなると砂層中にさうりこみ根入れのある壁体のような形になり、このロッキングは小さくなるが加速度が増加すると再びロッキングを始め、これを繰返してゆく。

以上が基礎破壊の大体の傾向であるがこれを要約すると、base failure は静荷重の場合に較べて浅いにり面を起り、壁底面の中間から起る場合、又は底部のにりによる局部的沈下が現象を支配するともありうるということが出る。これは既に偏心傾斜荷重に対するにり面の起り方を論じるときに見出したことであるが、基礎にりに関してはこれらの現象に加えて振動中における砂の運動もこれに参與する大きな要素と思われる。一方破壊時における最大端変位は $100 \sim 300 \text{ g/cm}^2$ の静荷重に対し $\phi = 30^\circ$ として Terzaghi の公式から求まる値 1.120 g/cm^2 (11 ton/m^2) に較べて著しく小さい。

(C) 振動中における砂の運動

振動器に厚さ 30 cm, 50 cm, 70 cm

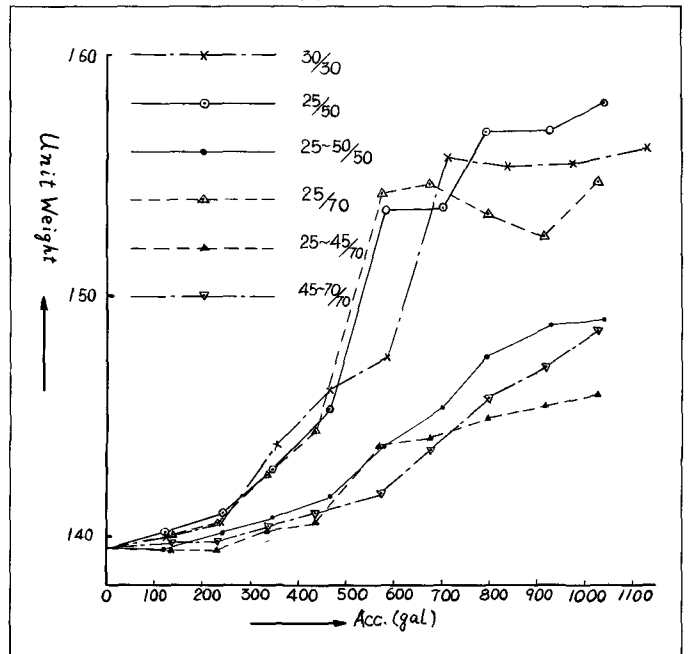
の三枚に砂をつめ深さ方向の加速度分布及び砂の密度変化を測定した。振動台加速度と砂の密度変化を要約して示したものが図-4 である。初期密度は 1.40 附近でやや loose な状態である。

(1) 砂層の上層 25 ~ 30 cm の区間の密度増加はそれ以下の層に較べて大きく、特に 400 gal 以上では甚だしい。(2) 上層部分の砂の加速度に対する密度増加は4段階に分けられる。250 gal 程度迄増加度は緩慢であり、250 ~ 450 gal まで増大し 450 ~ 550 gal で著しく増加する。これは水平加速度による砂粒子に加わる水平力が増加して述べると砂の水平剪断

抵抗を越すため砂は流動化するためと思われる。この区間では砂は流体的な性質を示す。

550 gal 以上になると密度変化はほとんどみられず、これは安定した砂の流動現象とみることが出来る。これに反して 30 cm 以下の層の密度増加は 450 gal 程度迄は非常に緩慢であり、それ以上では増加度が大々くなる。こゝで興味のあることは加速度が大々なつても流動化の現象が起つていないことである。そして加速度が大々な場合、図-5 にみられるように下方に凸型の境界面(一種のにり面?)がみられ、この境界面以上の層の砂は流動化し、それ以下の砂層では流動化しない。これは棒を表面から押しこんでやると流動化した部分

図-4



は何等抵抗を示さないので或る深さ以下では強い抵抗を示すことから容易にわかる。この流動化しない原因として考えられることは下層の砂は四側面及び底面は剛であり、又上層は上層の砂のために砂の運動に自由度がない。しかも砂が流動化するためには水平方向の剪断抵抗が水平加速度による水平力以下になければならない。したがってもし砂が振動によって非常に密になると剪断抵抗を増す傾向にみられる流動化は起らないものと思われる。

次に小型加速度計(6.7cm×5.8cm×1.3cm)を砂層中央部の深さ方向に配列して測定した結果を図-6に示す。砂層中の加速度は振動台の加速度を増加させるにつれて次第に増大し

図-5

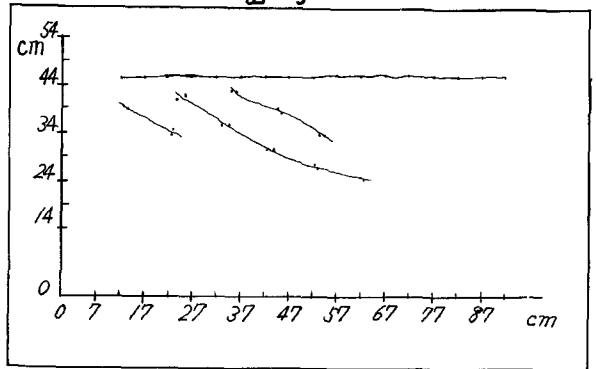
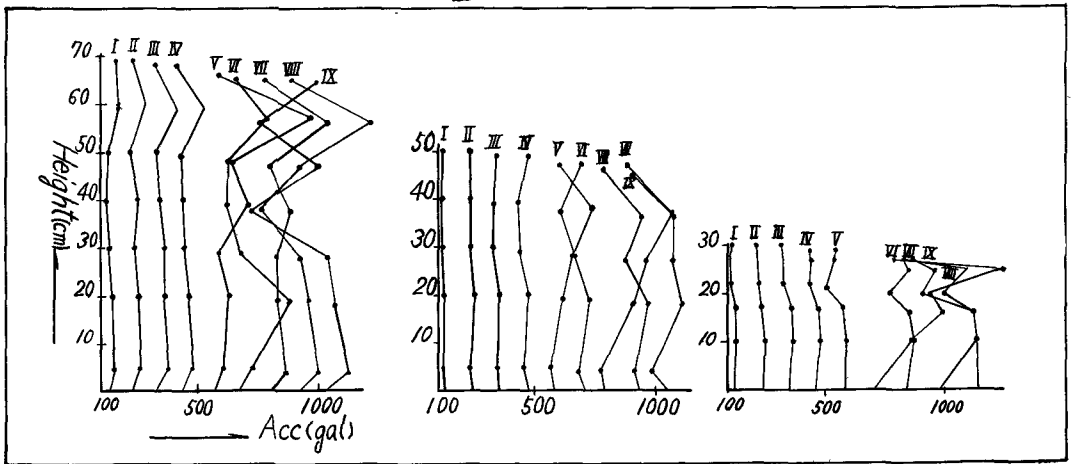


図-6



台の加速度が一定状態に入ると、加速度はやや減少して定常状態になる。この図には砂層中に生じた最大加速度を示している。何れの場合でも500gal以下では台の加速度の10%内外の差が分布しており、特に変わったことはない。したがって450gal程度迄は砂は振動台と同じような運動をしていると考えられ、加速度の記録と振動台の記録との間の位相の差はほとんどないといふことから肯定しうる。然しながら振動台加速度が500gal以上になると状況は完全に変つてしまう。これは砂の密度増加度の急変することによく対応し、この加速度附近から砂の運動状況が完全に変る。この意味で450gal附近の加速度を限界加速度と名付けよう。(critical acceleration for liquefaction) 限界加速度以上では加速度分布は非常に乱雑にみえるが、大体的傾向としては、70cm以上の点で加速度が急激に大きくなり、ついで加速度が減少し、又増加するという現象を示している。この加速度の増大は一種の剪断振動的な増大をなし、つ

いは剪断力が極大に達し、剪断力の伝達が切れて加速度が減少あるとも考えられるが今のところよくわからない。砂が流動化してくると、下層から剪断力による力の伝達がほとんどなくなり、上層の流動化した部分は境界面の両側から交替圧縮をうけて振動あることになり、振動の位相は変ってくる。(表面の加速度は加速度計が滑っていると思われるのでよくわからない。)

以上の実験によつて、流動化した部分としる部分の運動の根本的に異なることは見出され、又壁面の変位及び砂の性質等によつて、この流動状態が異なってくることが予想しうる。しかしてこの限界加速度の上下には問題の取扱ひ方が異なってくることもわかる。岸壁の問題では海水の浮力のために水中では見掛けの密度が 0.4 以上になることは決して稀ではない。したがつて限界加速度の問題は極めて重要である。

次に参考迄に振動函の側面に土圧計をとりつけて測定し、結果を掲げよう。実験は二種類、50 cm 厚の砂層中表面から 29 cm の個処及び 30 cm 厚の砂層中表面から 10 cm の点で測定した。表は静止土圧と振動後の静止土圧及び物部一岡部式 ($\delta=0, \phi=30^\circ$) による土圧振中の計算値と測定値の比較を行った。

29 cm / 50 cm の場合

台加速度 (gal)		0	110	220	330	440	550
土圧振中 (γ/cm^2) 測定値	Max.			3.5	18.0	13.2	33.4
	Min.		3.9	5.8	13.2		24.4
計算値		14.2	4.9	9.9	15.8	22.6	32.3
静止土圧 (γ/cm^2)		9.8	14.8	17.0	18.7	16.0	17.7

10 cm / 30 cm の場合

台加速度 (gal)		0	110	220	330	440	550
土圧振中 (γ/cm^2) 測定値			1.9	5.3	7.2	22.2	scale out
計算値		4.7	1.6	3.3	5.3	7.5	10.8
静止土圧 (γ/cm^2)		3.6	4.9	5.3	3.0	6.6	7.2

以上の測定値は今後の精密な測定によつて変わると思われ、29 cm の深さのものでは物部一岡部式による計算値よりやや小さいがよく対応している。10 cm の深さでは 300 gal 以上では測定値が著しく大きくなり、松尾教授の実験の傾向とよく似てくる。これは 250 ~ 450 gal 正間をや、砂の密度増加のはげしい点がみられるのとよく対応している。以上はこれらの実験の概要を報告する。