

重力式擁壁に作用する振動土圧について

丹 羽 新*

An Experimental Study of Oscillating Earth Pressure acting on a Gravity Wall

By
Shin Niwa

Abstract

This report presents many considerations about measured oscillating earth pressures acting on a test wall of gravity type which is shaken by artificial earthquakes caused by a large vibration generator, or which is shaken by a small vibration exciter fixed on the top of the wall. The earth pressures on the back and bottom surfaces of the wall were measured by a number of specially developed pressure cells, and also the vibration of the wall by vibration pick-ups.

The measured oscillating earth pressures acting on the back of the wall, and displacements of it can be represented by rotating vectors which are arranged horizontally around a vertical axis of rotation. A curve generated by connecting the points of pressure vectors is generally a spatial curve. When the spatial curve rotates, the orthogonal projection of it on a vertical plane shows the vertical distribution of oscillating earth pressure acting on the back of the wall. In order to express the spatial curve of pressure mathematically, two projections on xz - and yz -planes are formulated as follow.

$$p_x = A_x(z - z_x)^n + B_x(z - z_x) + \bar{p}_x$$

$$p_y = A_y(z - z_y)^n + B_y(z - z_y) + \bar{p}_y$$

where $n=3, 5, 7$.

By these equations, the vertical distributions of oscillating earth pressure have been fully revealed. Now, we can satisfy the equations of motion of the wall assuming that the vertical oscillating earth pressures acting on the bottom distribute parabolically in the longitudinal direction of the wall.

The fact that the measured pressures and displacements fulfil the equations of motion of the wall makes the investigation of the mechanical model of the wall during vibration possible. Many qualitative considerations between forces and displacements are described, which may be useful in the investigation of the mechanical model of a gravity wall.

目 次

| | | | |
|--------------|---|--------------|---|
| 1. まえがき | 4 | 2.3 試験壁体 | 7 |
| 2. 実験装置 | 6 | 2.4 計測の基本方針 | 8 |
| 2.1 人工地震発生装置 | 6 | 2.5 振動土圧測定装置 | 9 |
| 2.2 壁頂起振機 | 7 | 2.6 振動測定器 | 9 |

* 海洋開発工学部 原稿受付 昭和46年4月17日

| | | | |
|---|----|-----------------------|-----|
| 2.7 裏込め砂の性状 | 9 | 6.2 底面に作用する振動土圧 | 24 |
| 3. 実験とその結果 | 9 | 7. 力の釣合い | 26 |
| 3.1 実験の方法 | 9 | 7.1 変位の分解 | 26 |
| 3.2 実験結果の一例 | 10 | 7.2 力と変位に関する定性的考察 | 26 |
| 3.3 回転ベクトルを用いた実験結果の表示法— 立体表示法 | 13 | 7.3 力の釣合い | 28 |
| 4. 媒体を Voigt 体と考えたときの力学モデルの解 析 | 16 | 7.4 底面に作用する振動土圧の分布の決定 | 30 |
| 4.1 力学モデルと運動方程式 | 16 | 8. 裏込めがない場合の壁体の振動特性 | 32 |
| 4.2 運動方程式の解 | 17 | 9. 壁底面のモデル化についての試み | 36 |
| 4.3 解の立体表示とそれによる解析 | 18 | 9.1 モデル化についての基本方針 | 36 |
| 5. 振動土圧の分布形状の決定—実験式化 | 21 | 9.2 底面モデル化の条件式 | 36 |
| 5.1 xz, yz 平面への投影曲線を放物線で表わし た場合の L_p の特性 | 21 | 9.3 Eq. (49) についての考察 | 38 |
| 5.2 さらに高次にした場合 | 22 | 9.4 Eq. (52) についての考察 | 38 |
| 5.3 係数の決定 | 23 | 9.5 壁底面のモデル化 | 39 |
| 6. 分布土圧の積分 | 23 | 9.6 本章のまとめ | 39 |
| 6.1 側方分布土圧の積分 | 23 | 10. 結びとあとがき | 40 |
| | | 参考文献 | 41 |
| | | 付録 A | 42 |
| | | 付録 B | 108 |

記号の一覧表

| | | | |
|-----------------|----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| a | 壁体の並進変位の振幅 | E_x, E_z | 放物線の係数 |
| a_0 | 地盤の水平変位の振幅 | f | 振動数 |
| a_r | 壁体の相対並進変位の振幅 | f_1 | 第 1 次連成固有振動数 |
| A_x, A_y | 実験式の係数 | f_{11} | 第 2 次連成固有振動数 |
| A'_x | A_x の概略値 | $f_1(z), f_2(z)$ | z の関数 |
| b | 他を置換した数 | $F_1(x, z), F_2(y, z)$ | $(x, z), (y, z)$ の関数 |
| b_x, b_y | 直線の切片 | g | 重力加速度 |
| B_x, B_y | 実験式の係数 | $g_1(q), g_2(q), g_3(q)$ | q の関数 |
| B'_x | B_x の概略値 | G | 壁体の重心の位置 |
| c | 他を置換した数 | G' | 壁体の重心直下の点 |
| c_0 | Voigt 体の分布減衰係数 | G_E | 壁底面の土塊の重心の位置 |
| c_1 | 壁底面の水平分布減衰係数 | $G_1(x, y, z), G_2(x, y, z)$ | (x, y, z) の関数 |
| c_2 | 壁底面の鉛直分布減衰係数 | h | 壁体の高さ $h = z_0 + H$ |
| $c_x = c_1 dl$ | | H | 壁体の重心と底面の間 の鉛直距離 |
| $c_y = c_2 l_s$ | | H' | 壁体の重心から壁頂起振機の回 転軸までの鉛直距離 |
| nc_y | 壁体の回転減衰係数 | H_z | ヘルツ |
| c_{yE} | 壁底面の土塊の回転減衰係数 | i | 他を置換した数 |
| C_x, C_y | 実験式の係数 | I | 壁体の重心に関する慣性能率 |
| d | 壁体の底幅 | I'_E | 壁底面の土塊の重心に関する慣 性能率 |
| $2D$ | 散逸関数 | I_E | 壁底面の土塊の慣性能率 |
| D_1 | 壁頂の変位振幅 | $I_E = I'_E + m_E s_3^2$ | |
| D_2 | 振動計 H-2 の位置における壁体の 変位振幅 | | |
| e | 他を置換した数 | | |

| | | | |
|---------------------------------------|---|---------------------------------------|---|
| j | 他を置換した数 | p'_T | p'_T の振幅 |
| J_1 | 鉛直壁面の 1 次モーメント | p_x | $= p \cos \gamma$ |
| J_2 | 鉛直壁面の 2 次モーメント | p_y | $= p \sin \gamma$ |
| J_3 | 壁底面の 2 次モーメント | \bar{p}_x, \bar{p}_y | 実験式が表わす曲線の対称点の横座標 |
| k | 他を置換した数 | \bar{p}'_x | \bar{p}_x の概略値 |
| k_0 | Voigt 体の分布バネ定数 | p_x | 特別の時刻における p_x の値 |
| k_1 | 壁底面の水平分布バネ定数 | p_{\min} | 2 直線間の最短距離 |
| k_2 | 壁底面の鉛直分布バネ定数 | P | 側方振動土圧の合力 |
| $k_x = k_1 dl$ | | $P = P \cos(\omega t + \theta_P)$ | |
| $k_\varphi = k_2 J_3$ | | P' | 壁体の底面に作用する水平合力 |
| $n k_\varphi$ | 壁体の回転バネ定数 | $P' = P' \cos(\omega t + \theta'_P)$ | |
| $k_{\varphi E}$ | 壁底面の土塊の回転バネ定数 | P | 側方振動土圧の合力の振幅 |
| K | 直線の方向係数 | P' | 壁体の底面に作用する水平合力の振幅 |
| K_h | 水平震度 | P_x | $= P \cos \theta_P$ |
| K_v | 鉛直震度 | P_y | $= P \sin \theta_P$ |
| l | 壁体の長さ | q | 媒介変数 |
| L | 直線の切片 | q_K | 一般座標 |
| L_D | 立体表示法において変位ベクトルの先端を結んだ空間直線 | q_x, q_y | 直線の方向係数 |
| L_p | 立体表示法において土圧ベクトルの先端を結んでできる空間曲線 | Q | 土圧の回転成分の振幅 |
| xL_p | L_p の xz 平面への投影曲線 | Q_K | 一般力 |
| yL_p | L_p の yz 平面への投影曲線 | r | 壁体の回転半径 $I = mr^2$ |
| m | 壁体の質量 | r' | 壁体の重心から土圧計 No. 6 までの水平距離 |
| m_0 | 壁頂起振機の不平衡質量 | r_0 | 壁頂起振機の不平衡質量の Arm |
| m_E | 壁底面の土塊の質量 | R | 土圧の並進成分の振幅 |
| M | 側方振動土圧による合モーメント | $s_1 = \frac{a_r}{\varphi_r}$ | |
| $M = M \cos(\omega t + \theta_M)$ | | $s_2 = \frac{a_0}{\varphi_0}$ | |
| M_b | 底面振動土圧による合モーメント | s_3 | 壁底面の土塊の重心とバネ間の鉛直距離 |
| M | 側方振動土圧による合モーメントの振幅 | t | 時間 |
| $M_x = M \cos \theta_M$ | | $2T$ | 運動エネルギー |
| $M_y = M \sin \theta_M$ | | u | 他を置換した数 |
| n | 実験式のベキ数 | v | 他を置換した数 |
| N_x, N_z | 放物線の頂点の縦座標 | $2V$ | 位置エネルギー |
| p | 側方の分布振動土圧 | x | 座標 壁体の並進変位 |
| $p = p \cos(\omega t + \gamma)$ | | $x = a \cos(\omega t + \alpha)$ | |
| p_b | 底面の分布振動土圧 | x_0 | 地盤の水平変位 $x_0 = a_0 \cos(\omega t + \alpha_0)$ |
| p_T | 土圧計 No. 6 の位置における振動土圧 | x_r | 壁体の相対並進変位 |
| $p_T = p_T \cos(\omega t + \gamma_T)$ | | $x_r = a_r \cos(\omega t + \alpha_r)$ | |
| p'_T | p_T の理論値 $p'_T = p'_T \cos(\omega t + \gamma'_T)$ | x_E | 壁底面の土塊がうける水平強制変位 |
| p | 側方の分布振動土圧の振幅 | | |
| p_T | 土圧計 No. 6 の位置における振動土圧の振幅 | | |

| | |
|---------------|--|
| X | x 方向の座標 |
| X_0 | 壁体の Heel から重心までの水平距離 |
| y | 座標 |
| z | 座標 壁頂から測った壁体の深さ |
| z' | 壁体の重心から振動計 H-2 までの鉛直距離 |
| \bar{z} | z 座標の移動量 |
| \bar{z} | 直線と z 軸の交点の座標 $\bar{z} = -\frac{L}{K}$ |
| z_0 | 壁頂から重心までの鉛直距離 |
| z_x, z_y | 実験式が表わす曲線の対称点の z 座標 |
| z'_x | z_x の概略値 |
| Z | z の新座標 |
| α | 壁体の並進変位の位相角 |
| α_0 | 地盤の水平変位の位相角 |
| α_r | 壁体の相対並進変位の位相角 |
| β | 壁体の回転変位の位相角 |
| β_0 | 地盤の回転変位の位相角 |
| β_r | 壁体の相対回転変位の位相角 |
| γ | 側方の分布振動土圧の位相角 |
| γ_T | 土圧計 No. 6 の位置における振動土圧の位相角 |
| γ'_T | ρ'_T の位相角 |
| Γ | γ の新座標 |
| δ | 土圧の回転成分の位相角 |
| δ' | 土圧の並進成分の位相角 |
| ε | $=\gamma'_T - \gamma_T$ |

| | |
|-----------------------------|--|
| ξ, η, ζ | 直角座標 |
| $\theta, \theta', \theta_0$ | 座標の回転角 |
| Θ_M | 側方振動土圧による合モーメントの位相角 |
| Θ_P | 側方振動土圧の合力の位相角 |
| Θ'_P | 壁底面に作用する水平合力の位相角 |
| κ | $=\frac{H}{r}$ |
| λ_1 | 壁頂の変位の位相角 |
| λ_2 | 振動計 H-2 の位置における壁体の変位の位相角 |
| ν | $=\frac{\rho'_T}{\rho_T}$ |
| π | 円周率 |
| φ | 壁体の回転変位の振幅 |
| φ_0 | 地盤の回転変位の振幅 |
| φ_r | 壁体の相対回転変位の振幅 |
| Φ | 壁体の回転変位 $\Phi = \varphi \cos(\omega t + \beta)$ |
| Φ_0 | 地盤の回転変位 $\Phi_0 = \varphi_0 \cos(\omega t + \beta_0)$ |
| Φ_r | 壁体の相対回転変位 $\Phi_r = \varphi_r \cos(\omega t + \beta_r)$ |
| ω | 角振動数 $\omega = 2\pi f$ |
| ω_I | 第 1 次連成固有角振動数 |
| ω_{II} | 第 2 次連成固有角振動数 |
| ω_x^2 | $=\frac{k_x}{m}$ |
| ω_φ^2 | $=\frac{k_\varphi + H^2 k_x}{I}$ |

1. ま え が き

重力式擁壁とは、壁体の自重によって背後に作用する土圧に対抗して、常時においても地震時においても、滑り出し、沈下や傾き、転倒を生ぜず、常にその安定を保つ型式の壁体を言う。Fig. 1 にその最も一般的な断面を示すが、目的に応じてさまざまな形が採用されている。この重力式擁壁は土木構造物の基本的な一要素であって、鉄道、道路、建築物などの盛土や切り取り部の土留壁として、また、水路、河川、港湾、埋立地の護岸としても、さらには、橋台、ドライドックの側壁などとして広く用いられている。

重力式擁壁の安定性は、常時および地震時を含めて、大別して次の各項目によって論ぜられる。

- 1) 壁体の背後（側方）および底面に作用する土圧

(232)

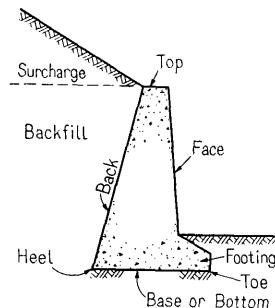


Fig. 1 Gravity wall

- 2) 擁壁が水ぎわに造られる場合や、地下水の影響が無視できない場合には、それぞれの面に作用する水圧
- 3) 裏込めを含めた基礎地盤の剪断抵抗

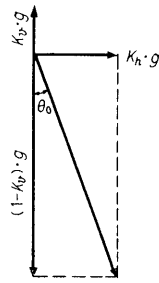


Fig. 2 Resultant acceleration

この中で擁壁に作用する地震時の土圧として、従来から設計に主として用いられてきたのは、一般の構造物に対する震度法と同じ考え方にもとづく方法である（ここに震度とは、地震の最大加速度と重力加速度との比を言う）。Fig. 2 において水平震度を K_h 、鉛直震度を K_v とし、水平方向加速度 $K_h \cdot g$ と鉛直方向加速度 $(1-K_v) \cdot g$ とを合成すると、この合成加速度は鉛直線に対して角 θ_0 だけかたむいて作用する。ここで座標を θ_0 だけ回転し、合成加速度の方向を鉛直方向と一致させ、その後はクーロン、またはランキンの式を用いて、常時土圧に準じて地震時土圧を導くのである。このようにこの計算法には振動論的な考察が払われておらず、あくまで直観的な仮定にもとづく静的な取り扱いであって、自然現象を正しく把握した結果ではない。

いっぽう振動台を用いて、実験的に振動土圧の性質を明らかにするための研究も行われてきた。これらの多くは振動砂槽の一面を固定壁または可動壁とするか、あるいは振動台の上に模型壁体をのせるかして、背後をゆるい乾燥砂でみだし、振動中に壁体に作用する土圧を観測するものである。しかしながら Fig. 1 から明らかのように、現実の擁壁は地盤上に弾性的に支持されており、裏込めを掘り取った状態では、壁体は明瞭に固有振動を持っている (Photo 11 参照)。さらに背面に作用する土圧と底面に作用する土圧との間には密接な関係があり、裏込めは密に突き固められた状態で自然に放置され、地震に際しては進行性の波動によって強制振動を受けている。したがって上述の振動台による実験は、壁体の支持の条件、裏込めの状態、および強制振動の受け方などの点で、現実に行っている現象とかなりへだたったものを対象としているように考えられる。

著者らは地震時に重力式擁壁に作用する土圧と、壁体の運動を正しく理解するために、より一層現実に近

く、しかも現象の本質をそこなわないようにこれを単純化した実験方式を確立し、現象そのものを正しく観察することから手をつけることとした。具体的には、i) 自然地震を待たずに実験できるように人工地震発生装置をつくること、ii) 自然の情報を素直に与えてくれる測定法を確立し、これを Routine に駆使できるように具体化すること、の 2 点から着手した。

昭和 28 年の初め、まず人工地震発生装置の試運転に成功し、その後振動土圧測定装置の試作に専念し、昭和 32 年 9 月頃から振動土圧の測定がたやすく行いうるようになった。このときから振動土圧に関する実験を組織的に行い、昭和 34 年から新しい型の振動の測定器を備えて、ここに力と運動の観測が完全な姿で行いうるようになったのである。引き続き昭和 37 年までが本研究の第 1 期とも言うべき期間であって、この間にえられた成果についてはすでに報告した。¹⁷⁻⁸⁾

人工地震発生装置は自然地震に定常振動を起こす装置であって、この装置を運転すると半径およそ 600 m 以内は有感地震帯となる。したがって当初からこの実験について付近からの苦情があったが、幸い隣接地帯にはわずかの住居しかなかった。年が経つにつれて付近に建てられる建物の数も次第に増え、第 1 期の終り頃になると、実験の回数が増えたこともあって、振動障害についての苦情がますます激しくなり、はなはだしいときには 10 分程度運転して数ヶ所から苦情が持ち込まれたこともあった。ちょうどこの時期は当研究所の組織替えの時期で、一時は実験の継続が危ぶまれたこともあった。しかし第 1 期においてえたデータの数が比較的少なかったのと、装置を運転しさえすれば新しいデータが次々と生れる状態にあったので、強く実験の継続を願った。隣接地帯と数回にわたる折衝の結果、昭和 38 年 8 月から同 40 年 9 月まで、毎週 1 回、1 回 10 分以内と言う条件で人工地震発生装置の運転が認められた。このようにして昭和 38 年に始まる第 2 期の研究に進んだのであるが、本報告中の実験はすべてこの期間（後に述べる II-5 および II-6 の実験は昭和 40 年 12 月）に行われたものである。

振動土圧に関して著者らが確立した実験法は、第 1 報が発表されてから今日まで、世界のどこにおいても遂に採用されなかったが、その実験法と計測法は 18 年の歳月を経てもいささかも陳腐性を感じさせないばかりか、ここに掲げるデータに比肩するものはこの間に発表されなかったように思う。データがユニークなものであると言うことと、都市近郊で再びこの実験を行

うことは現状では不可能であると言う事実が、データの羅列であると言う非難を顧みず、あえて全データを収録した理由である。

本研究の最終目標は、地震時に重力式擁壁に作用する土圧と壁体の運動との関係を、力学モデルで表現することである。本報告書では、まず測定した運動と分布力を直観的に把握しうる形で表現し、これから力の分布形状を実験式で表わしてこれを積分し、壁体に作用する合力と合モーメントを求めた。次にこのようにして求めた合力と合モーメントがどのようにして運動方程式を満足するかを考察し、満足された運動方程式の形から力学モデルを組み立てようと試みた。すなわち、組み立てた力学モデルの中に含まれる力学定数全部が、実測値を用いて合理的に決定しうるかどうかを検討した。しかし現段階では完全に満足すべき結果は

えられず、力学モデル完成にいたる道は速くてけわしい。

2. 実験装置

2.1 人工地震発生装置

Fig. 3 に人工地震発生装置および試験壁体の配置を示す。人工地震発生装置によって地盤に定常振動を起し、このとき試験壁体の背後および底面に作用する土圧と、壁体の運動を観測するのである。これらの装置や、振動および振動土圧測定装置についての詳細は、すでに報告したもの¹¹⁻¹³⁾を参照されたい。

人工的に地震を起こすために、従来から種々の方法が採られてきたが、そのいずれの方法も地盤そのものを大きく永続してゆすぶることはできなかった。著者らが完成した人工地震発生装置は、Fig. 3, Photo 1 に

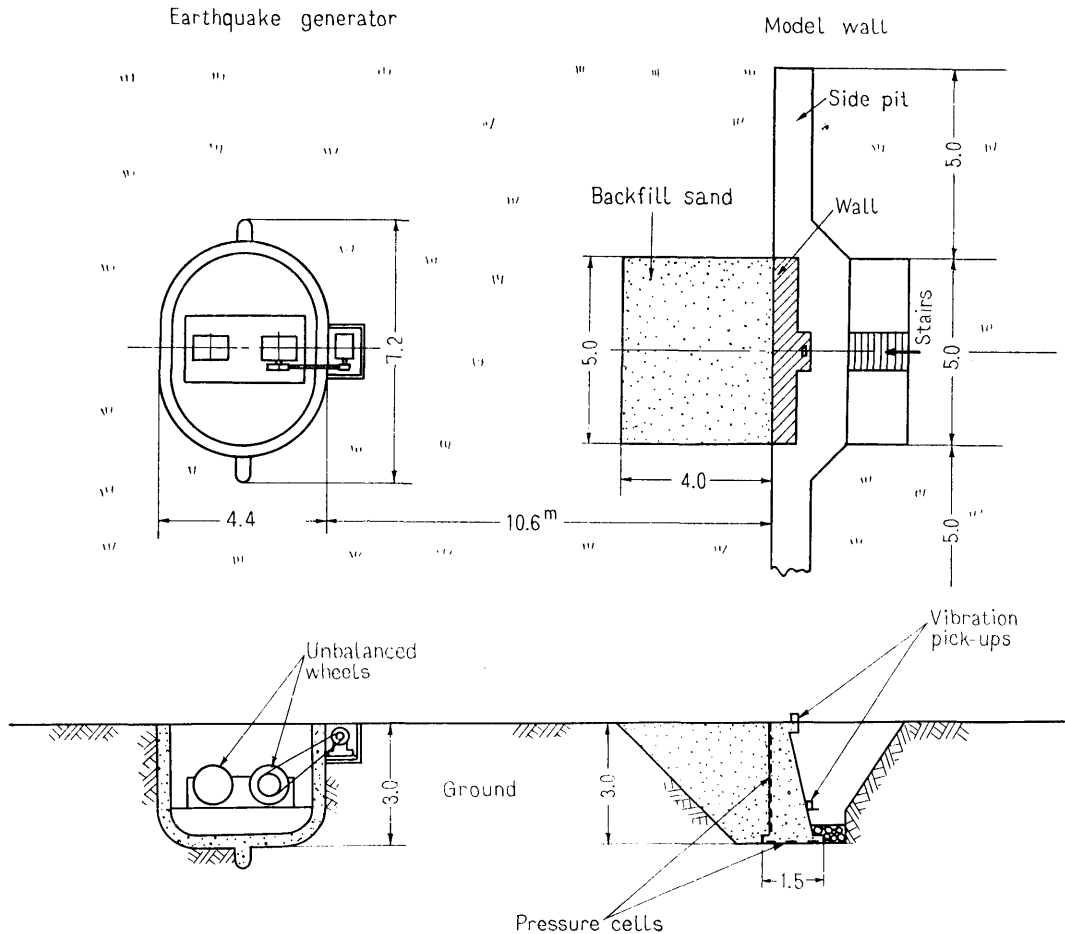


Fig. 3 General arrangement of the experimental equipments

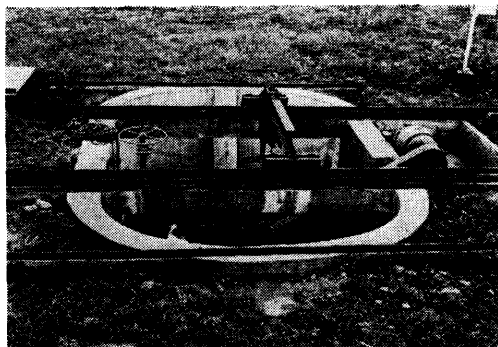


Photo 1 General view of earthquake generator

示すように、地表面下に築造した、水平断面が長円形(6m×4.4m×深さ3m)の鉄筋コンクリート楕円構造物の中で不平衡質量を回転させるものである。この装置の特色は自然地盤そのものに定常地震動を起こしうる点である。言うまでもなく自然地震は典型的な過渡振動であるが、最初からこのような非定常現象と取り組むことは、いたずらに問題を錯綜させるおそれがあると考え、複雑な天然の地震動を簡単な定常振動に置きかえて、現象の理解を容易ならしめようとした。

上述の鉄筋コンクリート楕円構造物の中に固定されている起振機は、不平衡質量を増強した蒸気機関車の動輪2個を1軸とし、この合成車輪が同一水平面上に2軸平行に配置されている。そして2軸が同一方向、あるいは反対方向に回転するとき、不平衡質量に基づく遠心力が、楕円構造物を、したがってその周囲の地盤を振動させるのである。その際振動の伝達面積を増加させるために、楕円構造物の長径にそって、つば状の突起が側方および下方をめぐって構造物を一周している。水平振動の方向は短径方向で、不平衡モーメントは2軸合計 $24.5 \text{ kg}\cdot\text{sec}^2$ 、最大回転数 6 r.p.s. 、このときの最大遠心力は約 35 ton である。本文に述べる振動土圧実験では、起振機の2軸は常に同一方向へ $3\sim 6 \text{ r.p.s.}$ で回転したときのものである。振動数の可変範囲が狭いのが欠点である。

2.2 壁頂起振機

壁体を中心に考えてみたとき、人工地震発生装置によって地盤に振動が起こされ、その地盤から壁体が振動を受ける場合と、壁体が振動源となって振動を地盤に与える場合とが考えられる。これら二つの場合に関する実験を相たずさえて行うことが、地震時土圧の性質を明らかにする上に必要であると考えた。後者に関する実験を行うため壁頂中央に起振機を取り付け、こ

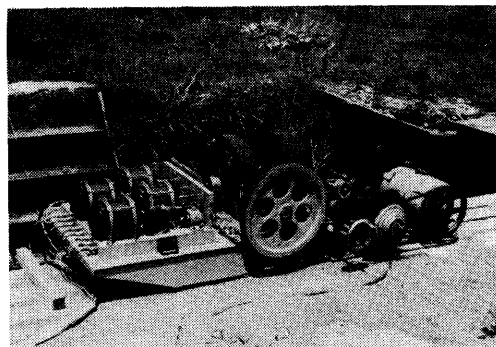


Photo 2 Vibration exciter fixed on the top of the wall

の部分に水平加振力を作用させ、壁体の背後および底面に作用する土圧と、壁体の運動を観測した。

これに用いた起振機は Photo 2 に示すように、水平軸のまわりに互いに逆方向に回転する動輪2個をもち、この動輪に鉛の偏心質量が取り付けられている。この動輪は位相可変式になっていて、独立に水平および上下加振を行いうる。偏心質量は2軸合計 30 kg 、 10 kg 、 2 kg にかえられ、その時の不平衡モーメントはそれぞれ 0.563 、 0.168 、 $0.040 \text{ kg}\cdot\text{sec}^2$ である。本文に述べる振動土圧実験は、偏心質量 30 kg 、回転数 $4\sim 14 \text{ r.p.s.}$ で水平加振を行ったときのものである。なお Photo 2 の左側台上にあるのは、振動土圧記録装置のドラムを回転するためのシンクロ(セルシン)発信機、位相記録用ロータリースイッチ、オシロスコープ掃引用回転摺動抵抗、回転計ピックアップなどである。

2.3 試験壁体

Fig. 3 に示したように、人工地震発生装置から 10.6 m 離れた地盤中に、長さ 5 m 、高さ 3 m 、底幅 1.5 m の試験壁体をつくり、この鉛直壁面に Goldbeck 型振動土圧計9台 (No. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 1, 2, 3)、底面に3台 (No. 4, 5, 6) を取り付け、振動前後および振動中の土圧を測定した。Fig. 4 に試験壁体の標準断面と、裏込め側から見た鉛直壁面上の土圧計の位置を示す。また Photo 3 は裏込めを投入する直前の試験壁体を裏込め側から見たもので、壁頂に見えるのは前述の起振機である。なお第1期の実験では裏込め側の 2 m より深い部分は、割り栗石および原地盤となっていたが、第2期の実験ではこの部分を壁底まで掘り取り、新たに No. 1, 2, 3, の3台の土圧計を壁面から突出して取り付けた。壁体に関して、後述の取り扱いに必要な定数を Table 1 に表示する。

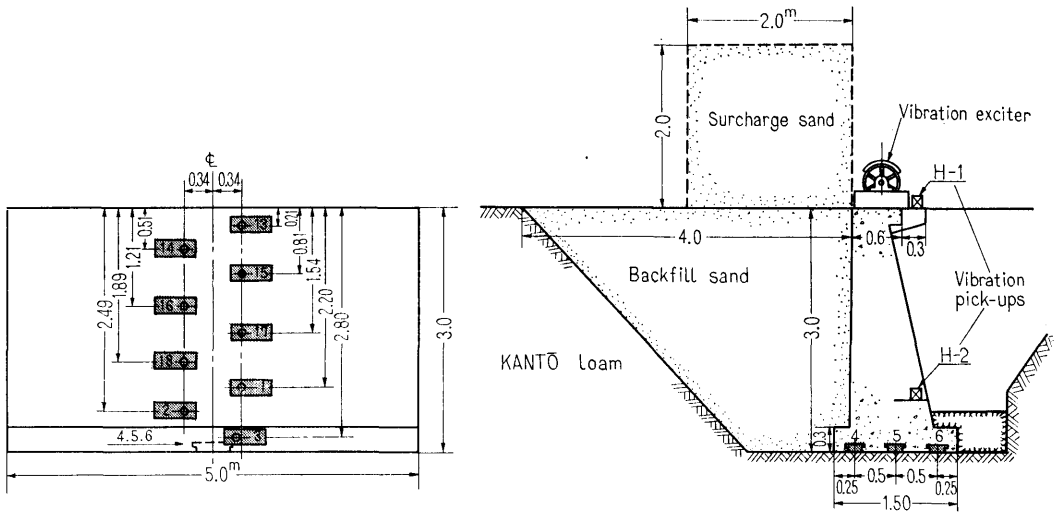


Fig. 4 Details of the model wall and the arrangement of pressure cells

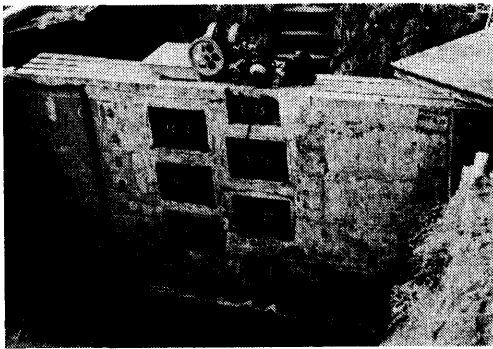


Photo 3 Pressure cells fixed on the vertical surface of the wall, backfill sand being removed

2.4 計測の基本方針

すでに述べたように、人工地震発生装置および壁頂起振機は、地盤あるいは壁体に定常振動を起こすから、ある一連の振動がくり返えしくり返えし続いて起こる。したがって測定 of 最初から最後まで同じ振動を忠実に記録するのは意味がなく、その単位となる一つの波形だけを時間的にひろげて記録するのが賢明である。われわれはこの観点に立って振動土圧(力)の測定も地震動(振動)の測定も、定常振動に対して特に有効な計測方式を確立した。

振動土圧の測定器として、時間的に変化する土圧を計測するのはもちろんであるが、振動中の平均土圧(振動中に変化しないいわば直流部分に相当する土圧)も、また純粋に static な土圧も同時に計測しうるもの

Table 1 Constants in relation to the model wall

| | | |
|--|-------|-----------------------------|
| Length of the wall | l | 5.0 m |
| Height of the wall | h | 3.0 m |
| Base width of the wall | d | 1.5 m |
| Mass of the wall | m | 2500 kg·sec ² /m |
| Moment of inertia of the mass with respect to the axis passing through the center of gravity | I | 2245 kg·m·sec ² |
| Vertical distance from the top to the c.g. | z_0 | 1.78 m |
| Horizontal distance from the heel to the c.g. | X_0 | 0.60 m |
| Horizontal distance from the position of the cell No. 6 to the c.g. | r' | 0.65 m |
| Vertical distance from the position of the pick-up H-2 to the c.g. | z' | 0.38 m |
| Vertical distance from the base to the c.g. | H | 1.22 m |
| Vertical distance from the revolving axis of the exciter to the c.g. | H' | 2.09 m |

でなければならない。さらに土中に数年間埋め込まれたままで、温度、湿気などの苛酷な外部条件のもとでも、その特性が変化しないと言う保障を原理的に持つ

ているものでなければならない。

2.5 振動土圧測定装置

振動土圧測定装置は、静土圧測定用の Goldbeck 型土圧計に、Farnboro の高速指圧器の方式および Dummy weight を導入することによって、振動土圧をも測定できるように発展させたものである。Farnboro の高速指圧器は多サイクル系インジケータに属するものであって、これは受圧板に加わる振動の各瞬時値に対して応答を与えるものではなく、振動圧力のある一つのサイクルのある位相に必ずる圧力が、標準圧力よりも高いか低いのみを記録し、順次各位相についてこの操作をくりかえし、これを結んで振動圧力の1サイクルをえがくものである。この方式は地震動が定常振動である今の場合、はなはだ適切なものであると考えられる。またこの土圧計は、受圧側の機構と全く同一の機構を中心支点に対して点对称の位置に配置し、振動を受けたとき一方が他方の Dummy weight として働き、いかなる方向の加速度が加わっても、受圧板に作用する慣性力は常に左右で打ち消される。こうすることによってあらゆる受圧器が宿命的に持つ、測定上有害な受圧板の慣性質量の影響から完全にのがれることができた。

振動土圧計の構造、記録装置、記録原理、接点 on-off 判別回路などの詳細は前報にゆずり、Photo 4 に記録の1例を示そう。

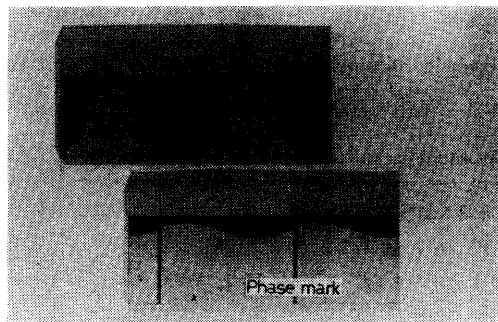


Photo 4 Records of oscillating earth pressure on a facsimile paper

2.6 振動測定器

振動の換振器として可動コイル型のピックアップを用い、この出力を適当に処理して陰極線オシロスコープの Y 軸に加える。いっぽう起振機の動輪軸に、endless の回転摺動抵抗をつないで掃引用の鋸歯状波電圧をつくり、これによって X 軸（時間軸）の全長が振動波形の周期、あるいはその2倍の時間になるよ

うに時間掃引を行って、波形をとろうとするものである。すなわちブラウン管のスクリーン全面をつかって、単位波形あるいはそれが二つつながった振動波形をえがかせるので、地震動の細かい点まで非常にはっきりあらわれてくる。なおブラウン管には電子銃2個を持つ2現象用のものを採用したので、異なった二つの波形の位相差もきわめて明瞭になる。換振器からの出力は、そのまま、あるいは積分回路、または微分回路を通して Y 軸に加えられるので、それぞれの場合、振動の速度、変位、加速度の波形がえられる。

なお時間の原点は、人工地震発生装置あるいは壁頂起振機の強制水平力の最大値が、壁体の Face 側 (Fig. 3, 4 で右側) に向った瞬間としている。すなわちこの瞬間に、土圧記録では記録紙上に phase mark を記録し、(Photo 4 参照) 振動記録では掃引が開始される。

2.7 裏込め砂の性状

試験壁体の裏込めは多摩川砂で、その粒径加積曲線を Fig. 5 に示す。この砂を注水しながら充分踏み固めて埋めもどし、その後約1ヶ月間放置してから振動実

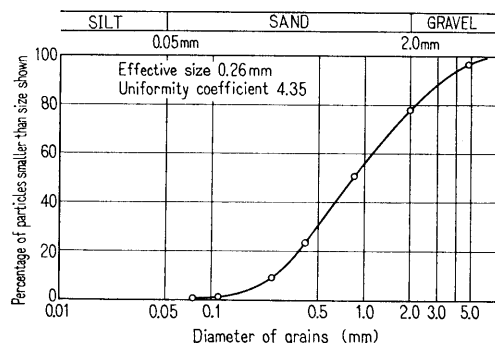


Fig. 5 Grain-size-accumulation curve of the backfill sand

験を開始した。裏込めのある実験は約21ヶ月続き、この間裏込めの入れ替えは行わなかった。最後に裏込めを掘り取った際、裏込めの各部15ヶ所からサンプルを採り土質試験を行った。その結果、湿潤単位体積重量 1.69 g/cm^3 、含水比 6.94%、内部摩擦角 29° であった。なおこの砂の真比重は 2.69 であり、突固め試験の結果、最適含水比 12.5%、最大乾燥密度は 1.89 g/cm^3 である。

3. 実験とその結果

3.1 実験の方法

人工地震発生装置あるいは壁頂起振機を種々の回転

数で定常回転させ、そのとき壁体の背面に取り付けた土圧計 No. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 1, 2, 3, および底面の土圧計 No. 4, 5, 6, によって振動前, 振動中, 振動後の土圧を測り, 同時に壁体の振動を 2 個の振動計, H-1 と H-2 で測定した (Fig. 4 参照)。底面の土圧計 No. 5 は設置後まもなく (昭和 30 年頃) 故障し, No. 4 も完全な記録を示さない。したがって底面で完全なのは Toe 側の No. 6, 1 点だけである。

また壁体の中央部で, 壁面から 0.8 m 離れた裏込め中に 4 個の土圧計を鉛直方向に配置して, 土中の土圧も上と同様に測ったが, 十分な解析を行っていないので本文ではすべて割愛した。さらに必要に応じて, 壁体や付近の地盤の振動のみを測定する実験も行った。

ここで人工地震発生装置で加振した実験を I 群とし, 壁頂起振機を用いた実験を II 群の実験と名付けることとする。

裏込め側の状態は次の六つの場合について実験を行った。

1. 載荷重を加える前の裏込めの場合

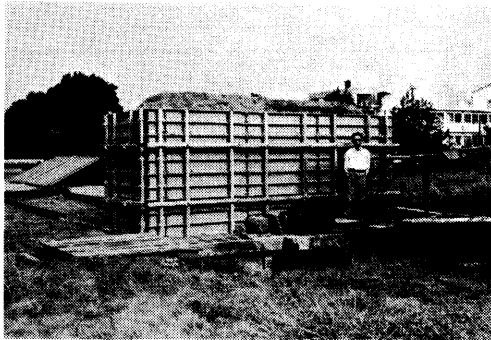


Photo 5 Surcharge, mass of sand 5 m × 2 m × 2 m in a steel frame

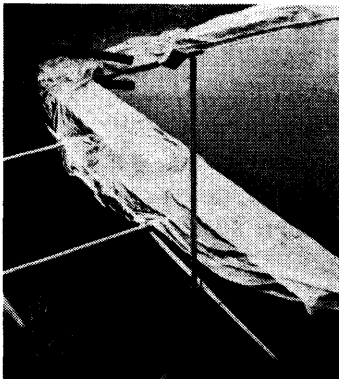


Photo 6 Filled water, instead of backfill sand

2. Fig. 4 の右図のように, 壁体に接して全長 5 m, 高さ 2 m, 幅 2 m の鋼製フレームの中に砂をみたくして, 裏込め上に載荷重を加えた場合。Photo 5 にその状態を示す。
3. 上記の載荷重の高さを 1 m にした場合。
4. 載荷重を取り除いた場合
5. 裏込めの砂を掘り取って, 代りに水を満たした場合。Photo 6 にその時の状態を示す。
6. 裏込めがからの場合

Table 2 にこれらの組み合わせを示す。以下ではこの表に示された分類番号によって実験番号を表わすこととする。例えば I-2-5.44 は, 人工地震発生装置によって加振し, 裏込め上に高さ 2 m の載荷重を加えた場合の実験で, そのときの加振振動数が 5.44 Hz であることを示す。

Table 2 Classification of experiments

Numbers in brackets show kinds of frequency

| Source of vibration No. of classification Conditions of backfilling | | Earthquake generator | Exciter on the wall |
|---|---|----------------------|---------------------|
| | | I | II |
| Backfill before surcharged | 1 | I-1 (10) | II-1 (3) |
| Surcharged by 2 m height | 2 | I-2 (12) | II-2 (6) |
| Surcharged by 1 m height | 3 | I-3 (9) | II-3 (5) |
| Backfill after surcharged | 4 | I-4 (3) | II-4 (4) |
| Filled with water | 5 | I-5 (6) | II-5 (7) |
| Without backfill (empty) | 6 | I-6 (4) | II-6 (3) |

3.2 実験結果の一例

Photo 7 に I-2-5.40 の実験記録を示す。上 2 枚のオシログラムは, 振動計 H-1, H-2 の変位および加速度記録で, 下の 9 枚は Facsimile paper に記録された振動中の土圧である。

壁体背後に作用する振動土圧記録, すなわち土圧計 No. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 1, 2, 3 の記録で波形の位相を無視し, 振動中の土圧の最大値と最小値を, 深さ z に対してプロットしたものが Fig. 6 ①中の陰影を施した部分で, 振動中の土圧の変化量の絶対値を表わしている。さらにこの図の中には振動前の土圧 (実線) および振動後の土圧 (破線) も同時にプロットしてある。