

振動時地盤の動的側壁圧に関する模型実験

澤 田 知 之*

On Dynamic Pressure-Model Test to Side Wall

Tomoyuki SAWADA

要旨

地震時など振動時の斜面や側壁、岸壁に作用する土圧は、分布形態が常時と異なると考えられるが、計算法は震度法に根拠を置いて擬静的に取り扱っている。そこで本論文では振動台に載せたアクリル製砂箱の中にモデル地盤を設置しその振動時土圧を測定し、その分布を平面歪状態での動的二次元弾性解との検討を報告するものである。

Abstract

The model test on the shaking table, of which the scope is distribution of dynamic earth-pressure to the Side-wall, is described in this paper. And two-demonotional elastic analysis is discussed for plain strain state equilibrium by means of Finite Fourier transforms.

1. ま え が き

地震時等の振動時の土圧の計算法は震度法に論拠をおいた方法で、動的問題を擬静的に取り扱うのが現行法である。よって地震時の土の性質の変化については、慣性力が深さ方向に一定に作用する等あまり考慮されていない。本稿では、地震時土圧を実験的に調べることに主眼をおいている。振動台に載せられた長さ・幅・深さが85×70×55

cmのアクリル製砂箱（厚さ25mm）に標準砂を詰めて水平振動を与え、振動方向に直角な側壁面に作用する振動土圧を測定したものである。また、理論としてはPlain-Strainにおける二次元弾性解を求めてその検討を行い実験との比較検討の手がかりを示した。

2. 実験概要及び理論解析概要

図-1と写真-1に示すような実験装置で模型実験は行なった。起振部は動電型（IMV, CMW-1000-5）振動台で、供試体（豊浦標準砂 $\gamma=1.51$ gf/cm³）を充填した状態で載せ、水平振動を与え、振動方向に直角な側壁面に作用する動的土圧を小型土圧計（KYOWABE-2KC）×4を通して動歪測定器（DPM-613A）を通して記録計（THERMAL

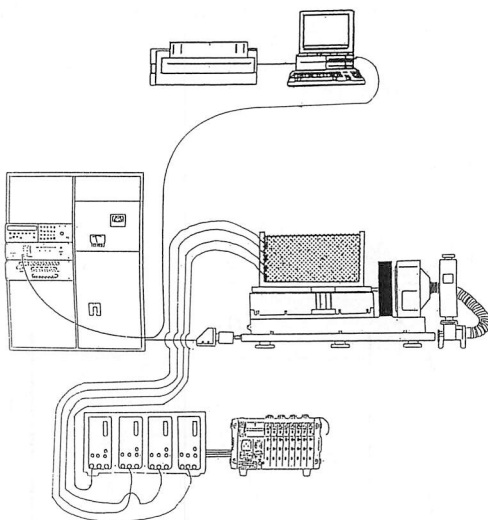


図-1 実験概要



写真-1 実験全体図

* 教授 環境都市工学科

ARRAY CORDER)におとす。モデル地盤の厚さは40cmとし底部から各2.5cm, 10cm, 20cmおよび35cm地点で測定した(写真-2, 3)。各実験とも,

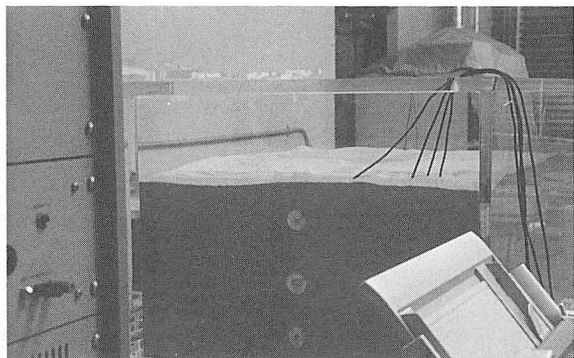


写真-2 土圧計設置状況

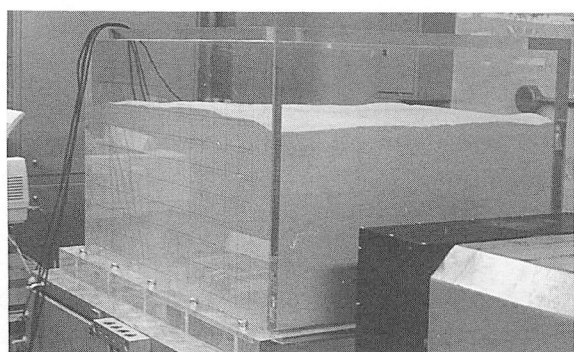


写真-3 砂槽

まず土圧は砂槽に標準砂を充填し, 安定状態となった所で静止土圧を測定し, 理論静止土圧と一致する状態である状態から加振し, 所定の加速度に達した時点で測定した。実験結果は土圧計に対し圧縮の力を取っている。

理論解としては, 図-2に示す解析モデルにおいて次の2次元弾性論の基本的釣り合い式(1)(2)に, (3)に示すHookeの法則を代入し, x軸方向に有限Fourier-Sine変換y軸のつり合い式に有限Fourier-cosine変換を施して進める。

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \rho \ddot{U} = -\rho \ddot{U}_0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \rho \ddot{V} = -g\rho \quad (2)$$

U: x方向の変位 V: y方向の変位

$$\rho \begin{vmatrix} c_1^2 \frac{\partial}{\partial x} & (c_1^2 - 2c_2^2) \frac{\partial}{\partial y} \\ (c_1^2 - 2c_2^2) \frac{\partial}{\partial x} & c_2^2 \frac{\partial}{\partial y} \\ c_2^2 \frac{\partial}{\partial y} & c_2^2 \frac{\partial}{\partial x} \end{vmatrix} \begin{Bmatrix} U \\ V \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

ここで ρ は砂の密度であり, c_1, c_2 は各々弾性液の速度とせん断速度を表わす。

また, $(2G + \lambda) = c_1^2 \rho$ $G = c_2^2 \rho$ である。

境界条件の両端 ($x=0, a$) で水平方向変位 $U=0$ と, 地表面 $y=b$ で $\sigma_y=0$ と $\tau_{xy}=0$ および底部 $y=0$ で各水平, 垂直変位が無い $U=0, V=0$ の条件より, 未知数を決定する。逆変換を施し, 整理すると一般解としての変位と応力が以下の(4)~(7)式の如く求められる(解析の詳細は文献1), 2)等参照)。

x方向, y方向の変位

$$U = \sum \frac{(1 - (-1)^m)}{2} \sin Mx \left[\frac{4U_0}{b} \frac{b}{m\pi} \left\{ (1 - Q_m(\eta)) \frac{p^2}{\beta_m^2} + (Q'_m(\eta) - Q_m(\eta)) \right\} - \frac{2hA_m e \pi}{b^2 p^2} \frac{b}{\pi} \{ 2(me)^2 (R'_m(\eta) - R_m(\eta)) - p'^2 R'_m(\eta) \} \right. \\ \left. - R'_m(1-\eta) \right] \quad (4)$$

$$V = \sum \frac{(1 - (-1)^m)}{2} \cos Mx \left[\frac{4U_0}{b} \frac{be}{\pi} \left(\frac{\psi'_m(\eta)}{\beta'_m} - \frac{\psi_m(\eta)}{\beta_m} \right) + \frac{2hA_m e \pi}{b^2 p^2} \frac{b}{\pi} (me) \left\{ 2(\beta'_m \phi'_m(\eta) - \beta_m \phi_m(\eta)) + \frac{p'^2}{\beta'_m} \phi'_m(\eta) \right\} \right. \\ \left. - \frac{2B_m e}{b^2 p^2} \frac{b}{\pi} \left\{ \frac{(me)^2}{\beta'_m} \phi'_m(1-\eta) - \beta_m \phi_m(1-\eta) \right\} \right] \quad (5)$$

x方向の応力

$$\frac{\sigma_x}{\rho c_1^2} = \sum \frac{(1 - (-1)^m)}{2} \cos Mx \left[\frac{4U_0}{b} e \left\{ (1 - Q_m(\eta)) \frac{p^2}{\beta_m^2} + 2h(Q'_m(\eta) - Q_m(\eta)) \right\} + \frac{2hA_m e \pi}{b^2 p^2} me \left\{ -4h(me)^2 (R'_m(\eta) - R_m(\eta)) + 2p'^2 R'_m(\eta) + 2(1 - 2h)p^2 R_m(\eta) \right\} \right. \\ \left. + \frac{2B_m e}{b^2 p^2} \left\{ 2h(me)^2 (R_m(1-\eta) - R'_m(1-\eta)) + p^2 (1 - 2h) R_m(1-\eta) \right\} \right] \quad (6)$$

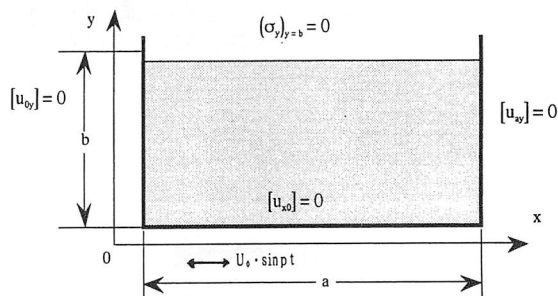


図-2 解析モデル

せん断応力

$$\begin{aligned} \frac{\tau_{xy}}{\rho c_1^2} = & \sum \frac{(1-(-1)^m)}{2} \sin Mx \left[\frac{4U_0}{b} \left\{ 2me^2 \left(\frac{\psi_m(\eta)}{\beta_m} - \frac{\psi'_m(\eta)}{\beta'_m} \right) \right. \right. \\ & + \left. \frac{p'^2}{m\beta_m} \psi'_m(\eta) \right\} \\ & - \frac{2hA_m e \pi}{b^2 p^2} \left\{ 4(me)^2 (\beta'_m \phi'_m(\eta) - \beta_m \phi_m(\eta)) + \frac{p'^4}{\beta'_m} \phi'_m(\eta) \right\} \\ & \left. - \frac{2B_m e}{bp^2} me \left\{ \beta'_m \phi'_m(1-\eta) - 2\beta_m \phi_m(1-\eta) + \frac{(me)^2}{\beta'_m} \phi'_m(1-\eta) \right\} \right] \end{aligned} \quad (7)$$

上式中に示される $Q_m(\eta)$, $Q'_m(\eta)$ 等々の関数は逆変換の際にまとめられた閉じた解として示される (詳細は文献1), 2) 等参照)。

また, 上式中の各パラメーターは以下の様に表わされる。

$$\begin{aligned} \beta_m^2 &= (me)^2 - p^2 & M &= \frac{m\pi}{a} \\ \beta'_m{}^2 &= (me)^2 - p'^2 & \eta &= \frac{y}{b} \\ p'^2 &= p^2/h & e &= \frac{b}{a} \\ h &= \frac{c_2^2}{c_1^2} = \frac{G}{2G+\lambda} = \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \\ \nu &: \text{ポアソン比} \end{aligned}$$

3. 数値計算結果と実験結果及び考察

いま, 数値計算例として $a=80\text{cm}$, $b=40\text{cm}$ として松尾・大原の実験値³⁾に合わせて解析した結果を図-3に示す。両者は地盤表面より浅い地点や底部で多少異なるが圧力が大きく表われる中央部分では, 良い一致が見られ, 本理論解析法の妥当性が示されていると考えられる。又, 実験結果を図-4および図-5に示す。図-4は縦軸に深さ方向 (cm) を取り横軸に振動時土圧 (g/cm^2) を取り, 各々の入力加速度 (図中の数字: 単位G) による分布を示している。図-3の結果と寸法・供試体物性の違いがあるが, 圧力の最大値は次元的に近い傾向を示した。しかし, 分布形態は異なり2次モードが表われておりファイバーストレス等の影響も考え得る。さらに多くの実験と考察が必要であろう。図-5は, 分布のピーク点に着目して縦軸を振動時土圧とし横軸を入力Hzとした時の各入力加速度 (図中の数字: 単位G) の変化による値を示した。入力加速度が大きい程大きな圧力を呈しているが, 加速度の大きな場合を除いては, 振動数 (Hz) の変化には, さほど大きな違いは見られない。実験供試体・砂槽の固有振動数等さらに実験と考察を要すると考えられる。

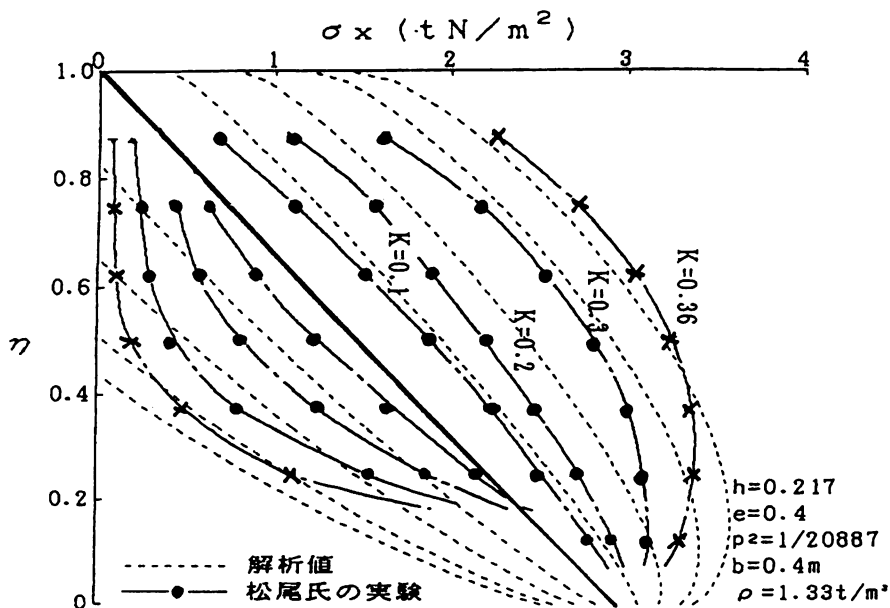


図-3 理論解析値の検討 (文献資料との比較)

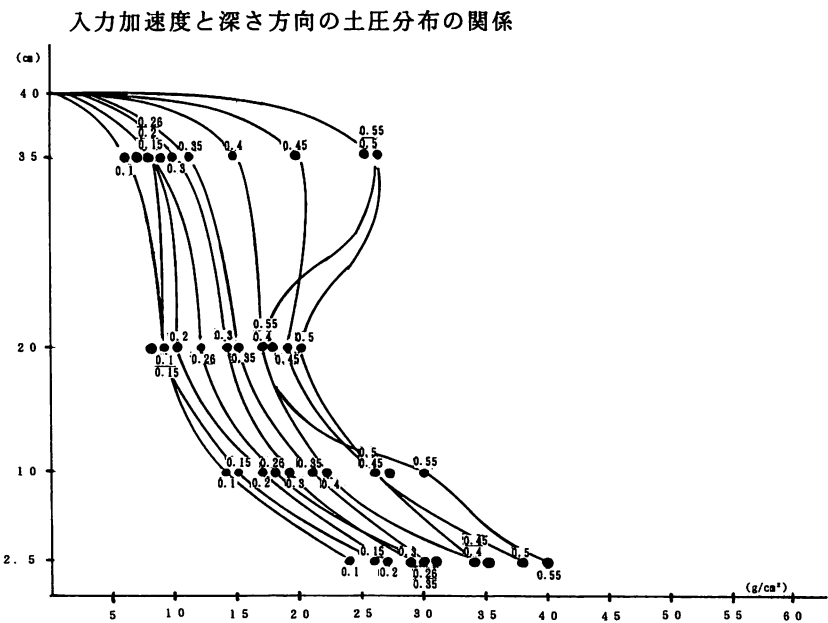


図-4 模型実験結果

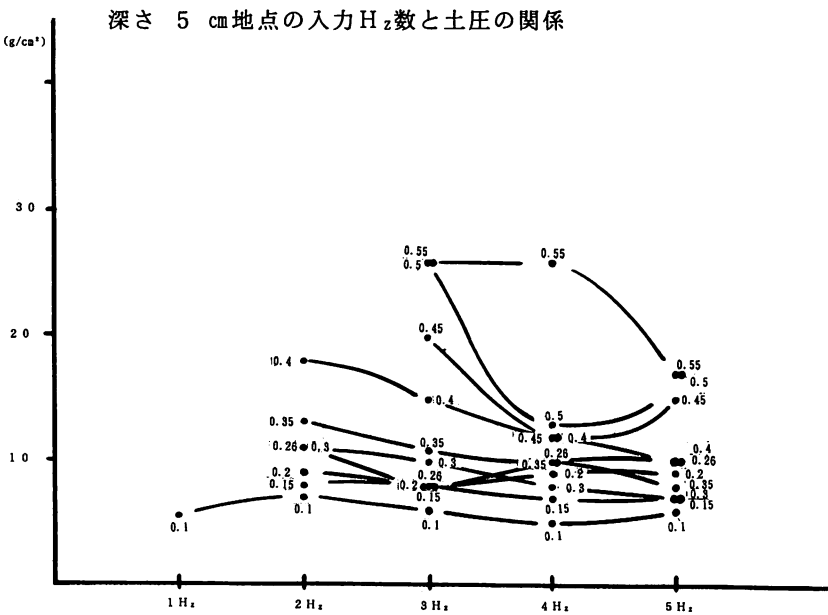


図-5 模型実験結果

謝 辞

本稿作成にあたっては以下の諸氏に模型実験・データ整理等に多くの協力をいただいた。

ここに記して深謝の意を表するものである。

藤田智寛氏(泰進建設), 林保慎也氏(フロンティア技研), 桂幸生氏(エイエスシビルコンサルタント), 山崎郁子氏(北海道開発局), 丹波郁恵氏(北見工業大学)

本研究は, 平成7年度文部省科学研究費(一般-c)課題番号0765058の交付を受けて行ったものであることを附記する。

参考文献

- 1) 澤田・能町・小室, “砂で充たされた振動台の箱における振動時側壁圧について”, 土木学会北海道支部論文報告集, 第51号(A), 1995, PP.116-121.
- 2) SAWADA, T. and NOMACHI, S.G., “On Dynamic Pressure to Side Wall of a Box Filled Sand”, 苫小牧高専紀要, 第30号, 1995, PP.73-77.
- 3) 物部長穂: 地震上下動に関する考察ならびに振動雑論, 土木学会誌, Vol.10, No.5, pp.1063-1094, 1924
- 4) Ichihara, M. AND Matsuzaka, H.: Earth Pressure during Earthquake, Soils and Foundations, Vol.13, No.4, pp.75-86, 1973.
- 5) 大原資生: 耐震工額, 森北出版社, p85, 1974.
(平成7年11月30日受理)

