

振動台上のモデル地盤における動的土圧の合力とその作用位置について

澤田知之*・能町純雄**・近藤 崇***

On a Resultant Force and a Action Point of Dynamic Earth Pressure for the Model Ground on the Shaking Table.

Tomoyuki SAWADA, Sumio G. NOMACHI and Takashi KONDO.

要 旨

振動時地盤の剛な壁面に対する動的土圧合力とその作用位置の検討を今まで行ってきた振動台によるモデル地盤による模型実験を解析対象として考察したものである。

Adstract

We discuss a Resultant force and the Action point of Dynamic Earth pressure against the rigid-vertical-wall. And, In this paper, we tried to analyze about previous our several Model tests which had been examined on the shaking table.

1. ま え が き

筆者等が既に行ったモデル地盤の振動台実験結果より、振動時地盤に於ける動的土圧分布や振動土圧振幅は線形分布や一定とならず非線形となる。特に入力加速度が大きな低周波時には静的状態と大きく異なるという結果が得られている¹⁾²⁾。

本報告は、振動台による動的モデル地盤の実験を剛な壁面に対する動的土圧として促え、実験で検証が困難なその合力と作用位置について検討したものである。解析対象は今まで行ってきた振動台模型実験のモデル地盤（図1）について考察したものである。

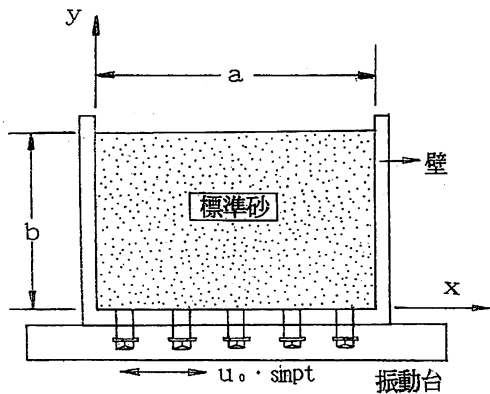


図1 振動台模型実験のモデル地盤

2. 解 析 概 要

壁面に作用する動的土圧合力及びその作用位置はつぎのように求められる。

2-1 振動時土圧合力

今、図2に示す常時土圧（静的土圧）Pa1は以下の式で示される。

$$Pa1 = \int_0^b \sigma_{x1} dy = \frac{(1-2h)}{2} \rho g b^2$$

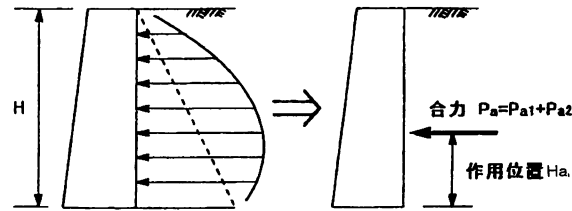


図2 常時土圧(静的土圧Pa1)と振動時土圧(動的土圧Pa2)

一方、振動時土圧Pa2は次のように示される。

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho C_1^2} \int_0^b \sigma_{x2} dy &= \frac{4U_0}{b} Pa2 \\ \int_0^b \sigma_{x2} dy &= Pa2 \\ Pa2 &= \frac{4U_0}{b} \rho C_1^2 Pa2 \\ C_1^2 &= \frac{\omega^2 b^2}{P^2 \pi^2} \Rightarrow C_1^2 = \frac{Kg}{U_0} \frac{b^2}{P^2 \pi^2} \end{aligned}$$

故に $Pa2 = \frac{4\rho g b K}{P^2 \pi^2} P'a2$

* 教 授 環境都市工学科
** 名誉教授 北海道大学
*** 助 手 環境都市工学科

よって、上記 P_{a1} と P_{a2} により、振動時土圧合力 P_a は以下のように求められる。

$$\therefore P_a = P_{a1} + P_{a2} = \rho g b \left\{ \frac{(1-2h)}{2} b \pm \frac{4K}{P^2 \pi^2} P'_{a2} \right\}$$

ここで

$$\begin{aligned} P'_{a2} = & \sum_m \frac{(1-(-1)^m)}{2} \left[b e \left\{ \left(1 - \frac{2}{\pi} \frac{\psi_m(0)}{\beta_m} \right) \frac{P^2}{\beta_m^2} \right. \right. \\ & + \frac{\psi h}{\pi} \left(\frac{\psi'_m(0)}{\beta'_m} - \frac{\psi_m(0)}{\beta_m} \right) \left. \right\} \\ & + X_m \frac{m e b}{\pi} \left\{ -4h(m e)^2 \left(\frac{\phi'_m(1)}{\beta'_m} - \frac{\phi'_m(0)}{\beta'_m} \right. \right. \\ & - \frac{\phi_m(1)}{\beta_m} + \frac{\phi_m(0)}{\beta_m} \left. \right) + 2P^2 \left(\frac{\phi'_m(1)}{\beta'_m} - \frac{\phi'_m(0)}{\beta'_m} \right) \\ & + 2(1-2h)P^2 \left(\frac{\phi_m(1)}{\beta_m} - \frac{\phi_m(0)}{\beta_m} \right) \left. \right\} \\ & + Y_m \frac{b}{\pi} \left\{ 2h(m e)^2 \left(\frac{\phi_m(1)}{\beta_m} - \frac{\phi_m(0)}{\beta_m} - \frac{\phi'_m(1)}{\beta'_m} \right. \right. \\ & + \frac{\phi'_m(0)}{\beta'_m} \left. \right) + (1-2h)P^2 \left(\frac{\phi_m(1)}{\beta_m} - \frac{\phi_m(0)}{\beta_m} \right) \left. \right\} \left. \right] \end{aligned}$$

2-2 合力の作用位置

壁先端に於ける転倒モーメント G_A から合力用位置 H_a は次式で示される。

$$H_a = \frac{G_A}{P_A} = \frac{(1-2h)b^2 P^2 \pi^2 \pm 24K g'_{a2}}{3\{(1-2h)b P^2 \pi^2 \pm 8K P'_{a2}\}}$$

ここで

$$\begin{aligned} g'_{a2} = & \sum_m \frac{(1-(-1)^m)}{2} \left[b^2 e \left\{ \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \frac{\psi_m(0)}{\beta_m} \right) \frac{P^2}{\beta_m^2} \right. \right. \\ & + \frac{2h}{\pi} \left(\frac{\psi'_m(0)}{\beta'_m} - \frac{\psi_m(0)}{\beta_m} \right) \left. \right\} + X_m \frac{m e b^2}{\pi} \left\{ -4h(m e)^2 \right. \\ & \left(\frac{\phi'_m(1)}{\beta'_m} - \frac{1}{\beta_m^2 \pi} - \frac{\phi_m(1)}{\beta_m} + \frac{1}{\beta_m^2 \pi} \right) + 2P^2 \left(\frac{\phi'_m(1)}{\beta'_m} \right. \\ & - \frac{1}{\beta_m^2 \pi} \left. \right) + 2(1-2h)P^2 \left(\frac{\phi_m(1)}{\beta_m} - \frac{1}{\beta_m^2 \pi} \right) \left. \right\} \\ & + Y_m \frac{b^2}{\pi} \left\{ 2h(m e)^2 \left(\frac{1}{\beta_m^2 \pi} - \frac{\phi_m(0)}{\beta_m} - \frac{1}{\beta_m^2 \pi} \right. \right. \\ & + \frac{\phi'_m(0)}{\beta'_m} \left. \right) + (1-2h)P^2 \left(\frac{1}{\beta_m \pi} - \frac{\phi_m(0)}{\beta_m} \right) \left. \right\} \left. \right] \end{aligned}$$

上記、式中 ρ ：密度、 K ：震度、 P ：振動数、 h ：減衰定数および $e = \frac{b}{a}$ 等である。また X_m 、 Y_m は境界未知数であり境界条件³⁾より定められる。同様に ϕ_m 、 ϕ'_m 、 ψ_m 、 ψ'_m などは深さ方向のパラメータ $\eta = \frac{y}{b}$ で一義的に決まる関数である。

3. 計算結果及び考察

いま図3～4に震度 K を0.3、壁摩擦角 $\delta = 0$ で、

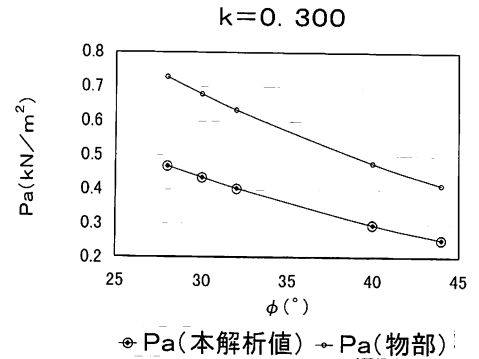


図3 動的土圧合力 P_a と内部摩擦角 Φ の関係

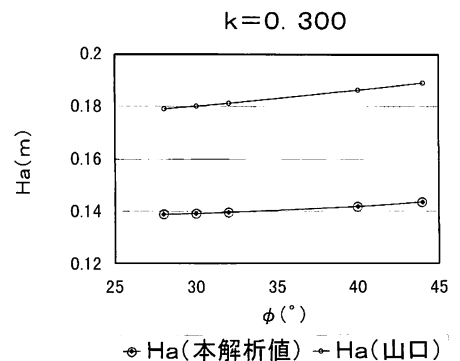


図4 作用位置 H_a と内部摩擦角 Φ の関係

土の内部摩擦角 ϕ を 28° 、 30° 、 40° 及び 44° の場合の動的土圧合力 P_a とその作用位置 H_a の結果を示す。この結果より、物部の式による⁴⁾ P_a 、山口の式による⁵⁾ H_a の両者よりともに本解析値は下回った値を示した。これは、動的土圧合力に関しては物部の式は過大評価となることが考えられ、作用位置については本解析値が安全側に計算されえることとなる。結果全体としては、 Φ が増加すると P_a は土の締め固めにより、かなり減少し、 H_a

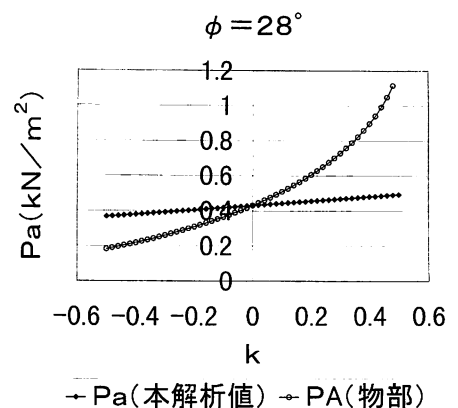
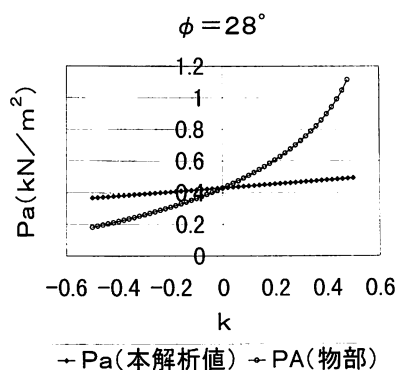
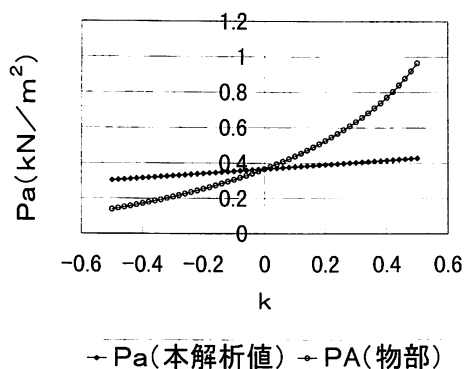
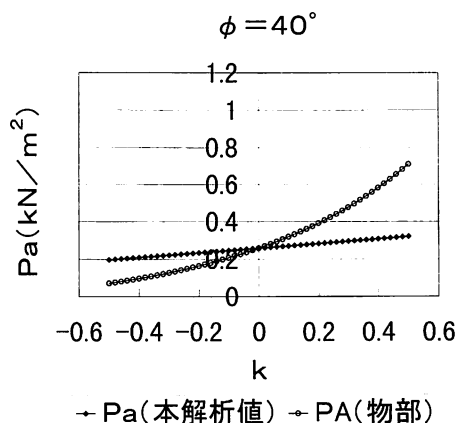
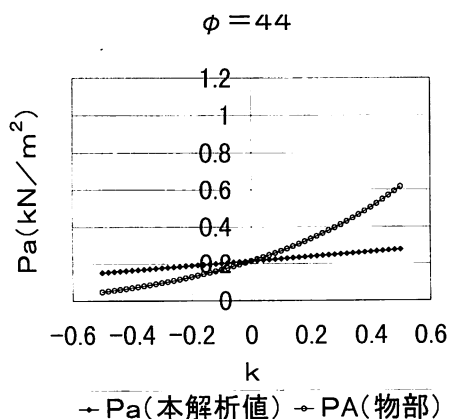
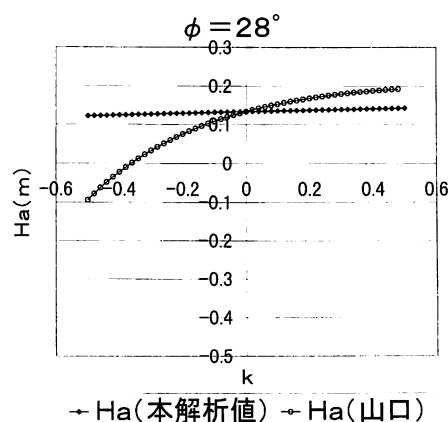
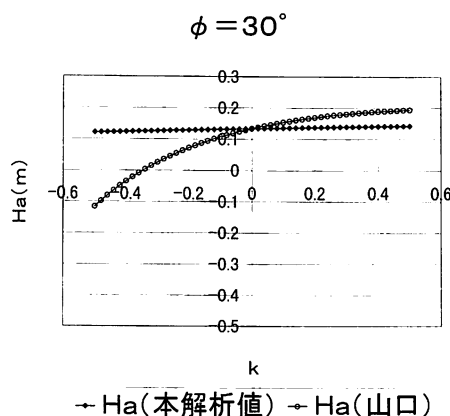
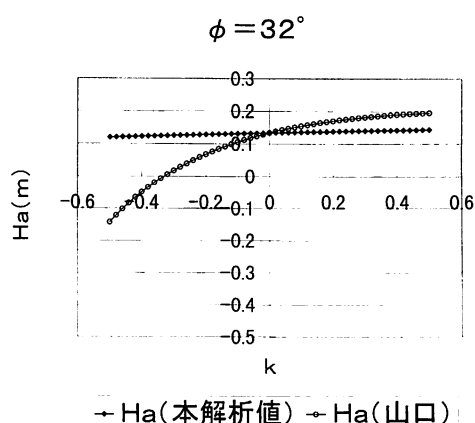


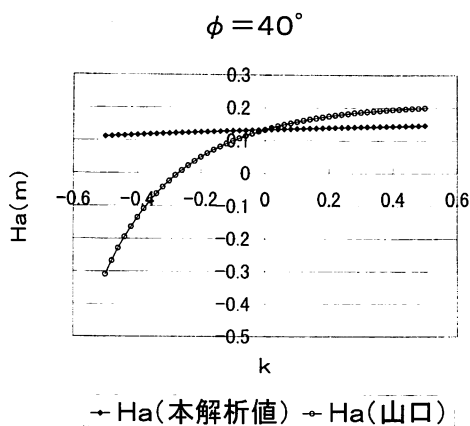
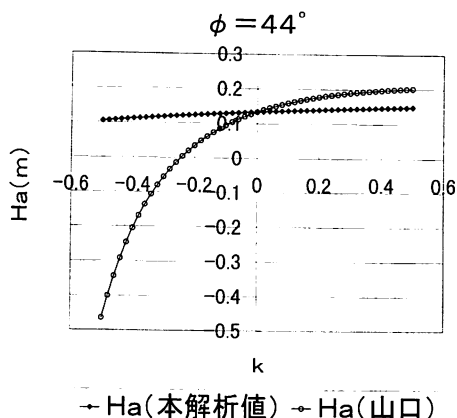
図5 動的土圧合力(P_a , P_A)と震度 K の関係($\Phi=28^\circ$ の場合)

図6 動的土圧合力と震度の関係($\phi=30^\circ$ の場合)図7 動的土圧合力と震度の関係($\phi=32^\circ$ の場合)図8 動的土圧合力と震度の関係($\phi=40^\circ$ の場合)図9 動的土圧合力と震度の関係($\phi=44^\circ$ の場合)

は逆にわずかであるが、上方に移動し危険側に移行する。

次に ϕ を安息角である 28° 、一般土壌として 32° 、本実験で用いた標準砂の ϕ として 44° とし、加えて ϕ を 30° と 40° で各々固定させ、震度 K の変化による Pa と Ha の結果を図5～14に示す。震度が0の時、つまり静的状態では本解析値と物部、山口の両式の値は一致しており妥当である。次に K を変化させ動的状態に移すと、 ϕ が大きくなると K が正の領域で Pa は前述同様小さくなる。ここで K の正の領域とは壁を押す方向の加速度が作用す

図10 作用位置(Ha)と震度(K)の関係($\phi=28^\circ$ の場合)図11 作用位置と震度の関係($\phi=30^\circ$ の場合)図12 作用位置と震度の関係($\phi=32^\circ$ の場合)

図13 作用位置と震度の関係($\phi=40^\circ$ の場合)図14 作用位置と震度の関係($\phi=44^\circ$ の場合)

る場合であり、 K の負の領域では壁から土塊が離れる方向に加速度が作用する状態を表わすこととなる。 H_a について見ると ϕ が大きくなるに従い K が正の領域ではわずかに上方に移り不安定側に移行している。物部式の P_a は加速度 K が正の領域で増加するに従い、急激に大きくなる。一方、山口式の H_a が大きな負の加速度領域で非線形的に減少し、地盤内部に作用位置が発生するという不条理な結果を示す。本解析値では変化は5 cmの範囲内で移動する結果となった。 P_a については、負の加速度領域では本解析値が物部の式の結果より大きく示される。絶対値的に見て物部式による P_a では正の加速度方向、つまり壁を押す方向の加速度が作用する場合、過大に評価され不経済設計になると言える。

4. 今後の課題

以上、動的土圧の合力と作用位置について、振動台模型実験を解析対象にシミュレートしたが、実大寸法で行なう必要がある。また壁の摩擦角 δ を 30° で固定し、 Φ の変化による H_a を計算したが、

差異は2 mmと極めて小さいものであった。一方、 $\phi = 28^\circ$ で、震度 $= -0.5$ と比較すると、 $\delta = 0^\circ$ と 30° では、10 cmの差が見られ、実験モデル地盤の沈下50 cmと比較するとかなり大きな値である。パラメーターを多く変えて検討する必要がある。

参考文献

- 1) 澤田・能町・近藤：地震時地盤における深さ方向の慣性力分布の模型実験，土木学会第53回年次学術講演会概要集，I - B 209，1998。
- 2) 澤田・能町・近藤：振動台による地震時土圧の模型実験，土木学会第54回年次学術講演会概要集，I - B 399，1999。
- 3) 澤田・能町・近藤：振動台の上の砂箱内地盤モデルにおける動的応力と変位の弾性解，苫小牧工業高等専門学校紀要，第32号，pp. 95-112，1997。
- 4) 物部高穂：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
- 5) 最上武雄編：土質力学，技報堂出版，1982

(平成12年11月29日受理)