

(III-85) 土槽の側面摩擦が鉛直土圧に及ぼす影響について

宇都宮大学工学部 学生会員 ○西田 剛仁
 同上 正会員 上野 勝利
 同上 正会員 横山 幸満

1. まえがき

模型土槽を用いて実験を行う場合には、壁面の摩擦力が土槽内部の応力状態に少なからず影響を及ぼす。その為、現在までに様々な方法で摩擦力低減が図られてきた。ここでは、ラバーメンブレンとシリコングリスによって潤滑層を形成する方法で一面せん断試験を行い、その結果より、鉛直土圧に及ぼす壁面摩擦の影響についての計算を行った。

2. 一面せん断試験

図1の様に土槽周囲面に潤滑層を形成することを想定し、図2の様に装置を設置した。潤滑層がある場合にはせん断面はグリスの層であり、潤滑層がない場合には、せん断面は[金属-砂]である。

今回の試験では摩擦力に影響を及ぼす因子として以下の3つを考え、括弧内の様に段階を設定した。

1. 下部せん断箱の材質 (鋼・アルミの2種類)
2. 下部せん断箱表面の仕上げ (粗・滑)
3. 鉛直応力 ($\sigma_v = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 \text{ kgf/cm}^2$)

2. の粗・滑とは表面をフライス盤で加工したままのもの(粗)とその後研磨したもの(滑)で変化を付けた。

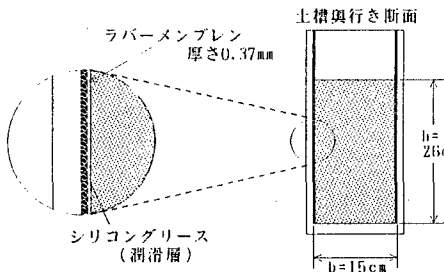


図1 土槽周囲面への潤滑層の設置

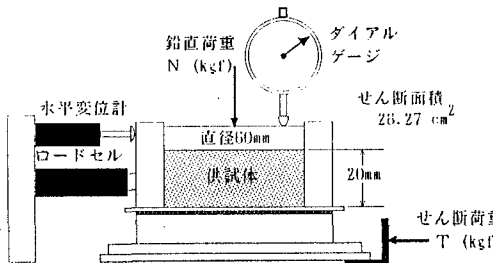


図2 一面せん断試験装置

3. 結果

実測した値から、供試体を入れないで空せん断したときのせん断荷重を差し引いて¹⁾、せん断変位量(mm)を横軸に、せん断荷重(kgf)を縦軸にして図3(a, b)のように整理し、1mmまでの範囲でピークを読みとった。ピークは矢印の点、1mmまでの範囲としたのは、変位がそれ以上になると装置が回転したり、ラバーメンブレンを巻き込んだりするためである。

各鉛直荷重でのピークについてまとめたのが図4(a, b)である。ここでは摩擦が最大及び最小であるアルミ(粗)と鋼(滑)の結果を示す。

このようにして、鉛直応力 σ_n (kgf/cm²)とせん断応力 τ (kgf/cm²)についての関係を求めた。以下が結果の一覧である。

潤滑層ありの場合

アルミ(滑面) $\tau = 0.005 \sigma_n + 0.005$ (kgf/cm²)

アルミ(粗面) $\tau = 0.010 \sigma_n + 0.009$ (kgf/cm²)

鋼(滑面) $\tau = 0.008 \sigma_n + 0.001$ (kgf/cm²)

鋼(粗面) $\tau = 0.004 \sigma_n + 0.018$ (kgf/cm²)

潤滑層なしの場合

アルミ(滑面) $\tau = 0.62 \sigma_n$ (kgf/cm²)

アルミ(粗面) $\tau = 0.71 \sigma_n$ (kgf/cm²)

鋼(滑面) $\tau = 0.31 \sigma_n$ (kgf/cm²)

鋼(粗面) $\tau = 0.49 \sigma_n$ (kgf/cm²)

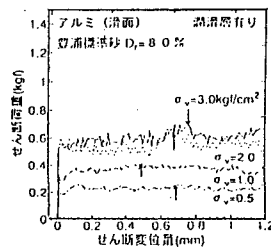


図3(a) 潤滑層ありの場合の荷重-変位関係

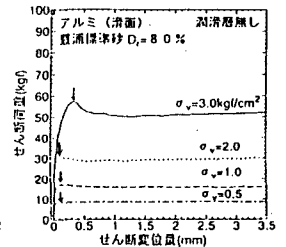


図3(b) 潤滑層がない場合の荷重-変位関係

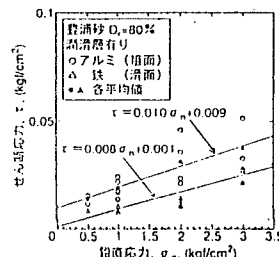


図4(a) 鉛直応力とせん断応力の関係

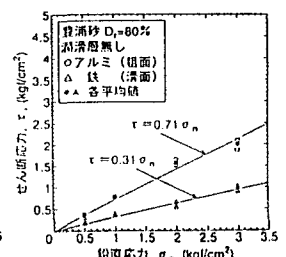


図4(b) 鉛直応力とせん断応力の関係

4. 鉛直土圧への利用

Terzaghi²⁾ にならい、図5の様な土槽内の斜線の部分に働く力の釣り合いを考えると、力の釣り合い式は、

$$b \cdot \gamma_d \cdot dz - b \cdot d\sigma_z - df = 0 \quad (1)$$

ここで df は壁面の摩擦抵抗を示しており、一面せん断試験より得られる式を

$$\tau = \tan \phi_w \sigma_z + c_w \quad (2)$$

とすれば df は、

$$df = (K_o \cdot \sigma_z \cdot \tan \phi_w + c_w) \cdot dz \quad (3)$$

これを $Z = 0$ で $\sigma_z = 0$ の境界条件で解くと、

$$\sigma_z = \frac{b \cdot \gamma_d - C_w}{K_o \tan \phi_w} \left[1 - \exp \left\{ \frac{-K_o \tan \phi_w}{b} Z \right\} \right] \quad (4)$$

上載圧 σ_o を与えた場合、境界条件は $Z = 0$ で $\sigma_z = \sigma_o$ となるので、

$$\sigma_z = \frac{b \cdot \gamma_d - C_w}{K_o \tan \phi_w} \left[1 - \exp \left\{ \frac{-K_o \tan \phi_w}{b} Z \right\} \right] + \sigma_o \cdot \exp \left\{ \frac{-K_o \tan \phi_w}{b} Z \right\} \quad (5)$$

となる。但し、 $\gamma_d = a \rho_d z$ で、 γ_d は土の単位体積重量、 a は加速度、 ρ_d は土の乾燥密度を表す。

式(4)、(5)を用いて $K_o = 1.0$ 、 $b = 15\text{cm}$ 、 $h = 26\text{cm}$ 、最も摩擦力の小さい鋼(滑面)の条件で、実際に計算を行った結果を図6(a, b)及び図7(a, b)に示す。

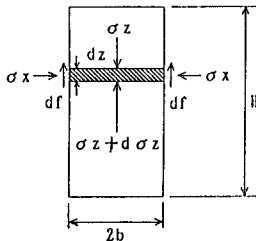


図 5

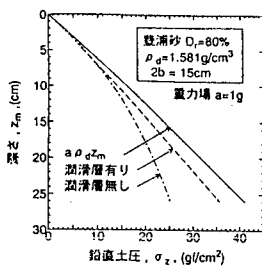


図6(a)

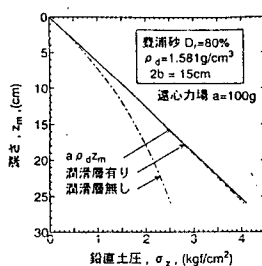


図6(b)

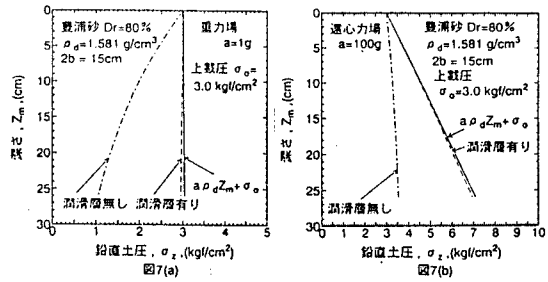


図6(a, b)は、それぞれ重力場および遠心場 ($a=100g$) での土槽中心部の鉛直土圧分布である。重力場では土槽底面 ($Z_m=26\text{cm}$) での $a \rho_d z$ に対する鉛直土圧の減少分は、潤滑層ありの場合は約15%の減少にとどまり、遠心場では c_w は遠心力と無関係なため、 $a \rho_d z$ とほとんど差は無くなる。しかし、潤滑層なしの場合ではどちらも約40%程度の鉛直土圧の減少がみられる。Feldら(1991)³⁾ によれば、直径18cm、深さ30cmの円筒土槽を用いた遠心力場模型実験 ($a=15g, 45g$) で、20%から80%の鉛直土圧の減少が報告されている。

図7(a, b)はそれぞれ重力場、遠心場 ($a=100g$) で上載圧 3.0kgf/cm^2 をかけた場合であり、重力場で潤滑層なしの場合で土槽底面 ($Z_m=26\text{cm}$) の鉛直土圧は、 $a \rho_d z$ の約1/3程度にまでなり、遠心場では約半分程度にまで減少している。

5. 結論

以上より、次のようなことが分かった。

- (1) いずれのケースでも潤滑層なしの場合では40%以上の鉛直土圧の減少が生じる恐れがある。
- (2) 重力場の上載圧なしの場合、潤滑層を設けても深さ26cmの位置で15%程度の鉛直土圧の減少が生じる恐れがある。
- (3) 上載圧のある場合及び遠心場では、潤滑層の効果は大きいと期待される。

【参考文献】

- 1) 榎・八木・井上: 「直接せん断試験の問題点」, 直接型せん断試験の方法と適用に関するシンポジウム発表論文集, pp. 141-146, 1995
- 2) Terzaghi, K.: Theoretical soil mechanics, John Wiley and Sons Inc., New York, pp. 118-143
- 3) Feld, T. Bloomquist, D. and Townsend, F. C.: Investigation of geostatic stresses in a limited sized centrifuge model, Centrifuge 91, pp. 569-573, 1991