

# 模型砂地盤の支持力実験における砂箱側壁面摩擦の影響Ⅲ

## ——砂と平板の間の摩擦力の測定のつづき——

Influence of Side Wall Friction of Sand Box in Bearing Capacity Test on Model Sand Ground Ⅲ

—Measurements of Frictional Forces between Sand Mass and Platens—

龍 岡 文 夫\*・生 原 修\*\*

Fumio TATSUOKA and Osamu HAIBARA

### 1. は じ め に

ここではテフロンシートと砂が接触していないか、テフロンシートを全く用いていない場合の、各種のタイプ (タイプ4～8)<sup>10)</sup> における砂と平板の間の摩擦角を測定した結果と、全体のまとめを示す。

### 2. 実 験 結 果

タイプ2 (図-20) を砂箱実験に用いると砂層内のひずみのためテフロンシート自身に大きな引張力が作用する

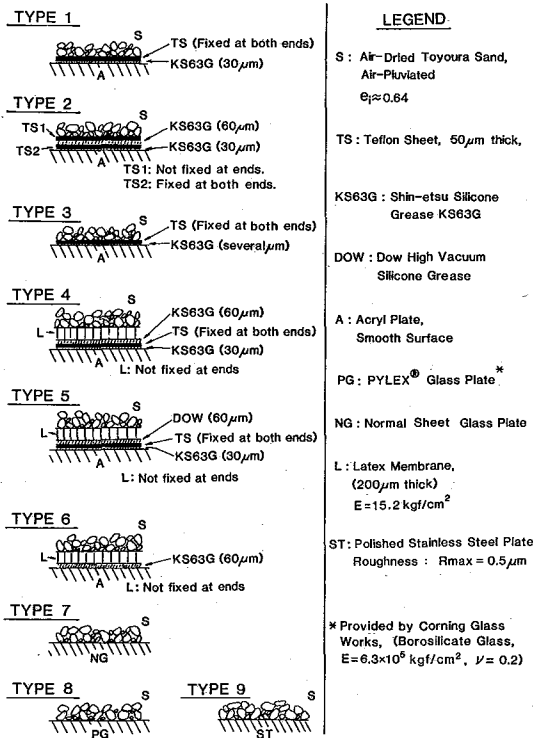


図20 砂と平板の間の各種の条件

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

\*\* 廣瀬鋼材産業(株)

ため、けっきょくタイプ1と似たメカニズムとなり、けっきょく砂と平板の間の摩擦抵抗力が大きくなることは前<sup>10)</sup>に述べた。そこで、引張抵抗が比較的小さいラテックスメンブレン (ヤング率  $15.2 \text{ kgf/cm}^2$ , 厚さ  $200 \mu\text{m}$ ) を用いてみた。タイプ4 (図-20) は、シリコングリース KS63G を  $60 \mu\text{m}$  用いている。ラテックスメンブレンを用いるのは同じであるが、シリコングリース KS63G の代わりに粘性がより高いダウシリコングリースを用いたのがタイプ5である。タイプ6は、タイプ4におけるテフロンシート (TS) とその下のシリコングリース KS63G ( $30 \mu\text{m}$ ) を取り除いたものである。実験結果 (図-18<sup>10)</sup>, 21, 22) を見ると次のことがわかる。

(1) タイプ2とタイプ4の違いは、砂に接しているのがテフロンシート ( $50 \mu\text{m}$ ) か、ラテックスメンブレン ( $200 \mu\text{m}$ ) かである。 $\phi_\mu$  は一貫してラテックスメンブレンを用いたタイプ4のほうが小さいのは、シリコングリース層 (初期厚さ  $60 \mu\text{m}$ ) 内の応力集中度がタイプ4のほうが小さかったため、砂粒子下のグリース残存率が高かったためであろう。

(2) タイプ4とタイプ5の結果を比べると、これまでに得ている結果<sup>8,9)</sup>と同じく、 $\sigma_v$  が小さいときは、シリコングリース KS63G を用いたときのほうがダウグリースを用いたときよりも  $\phi_\mu$  は小さくなる。 $\sigma_v$  が大きくなると後者のほうが  $\phi_\mu$  は小さくなる。この理由は前述したとおり、<sup>10)</sup>  $\sigma_v$  が小さいと粘性の低いシリコングリース KS63G でも砂粒子の下から押し出されないが、 $\sigma_v$  が大きくなると、押し出されてラテックスメンブレンとテフロンシートがより直接接するようになるためと思われる。最大せん断応力  $\bar{\tau}_{\text{max}}$  はダウグリースを用いたタイプ5の場合ほぼ一定で  $0.007 \text{ kgf/cm}^2$  であり、KS63G グリースを用いた場合、 $\bar{\tau}_{\text{max}}$  は  $\sigma_v$  の増加とともに若干増加してゆき、 $\sigma_v=0.05 \sim 0.4 \text{ kgf/cm}^2$  の範囲ではだいたい  $0.005 \text{ kgf/cm}^2$  である。

(3) タイプ4のほうがタイプ6よりも  $\phi_\mu$  の値は小さい。これもまた、タイプ4におけるアクリルの上のシリ

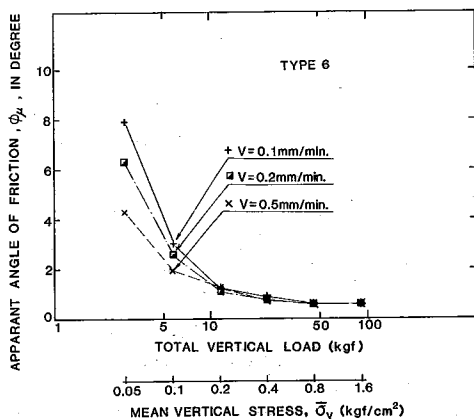


図21 タイプ6 (砂/ラテックスメンブレン 200  $\mu\text{m}$ /KS63G 60  $\mu\text{m}$ /アクリル板)における見かけの摩擦角

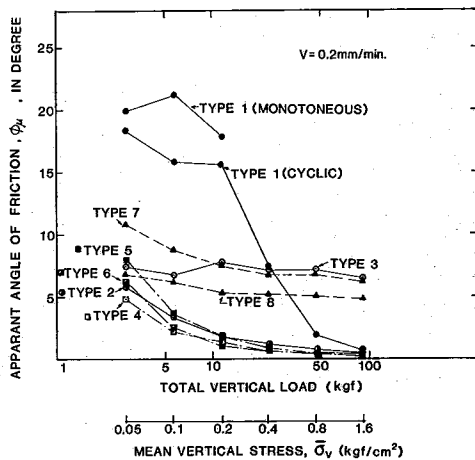


図22 直接せん断試験のまとめ

コングリース KS63G 層 (30  $\mu\text{m}$ ) とその上のテフロンシート (50  $\mu\text{m}$ ) の存在により、その上のシリコングリース KS63G 層 (60  $\mu\text{m}$ ) の中で応力集中度が低下したためと推定できる。したがって、少々用意に手間ではあるがタイプ4が砂箱実際に適しているようである。

(4) タイプ6では、引き出し速度( $v$ )の影響も調べてみた。このとき  $\phi_\mu$  の値を求めるにあたっては、直接せん断試験機のプーリー、ベアリングの摩擦力の引き出し速度依存性も入念に調べてみたが、この依存性は全くなかった。図-21を見ると、 $\sigma_v < 0.02 \text{ kgf/cm}^2$  では  $v$  が大きい程  $\phi_\mu$  の値が小さいという、Newton 粘性体とは逆の性質を示している。このことの理由は定かではない。しかし全体としてみると、 $\phi_\mu$  の  $v$  依存性は大きくはないようである。

ガラス板を用いたタイプ7とタイプ8の結果(図19)<sup>10)</sup>を見ると、おのおの  $\phi_\mu$  は  $\sigma_v$  によらずほぼ一定である

が、普通ガラスの場合のほうが耐熱ガラスの場合よりも  $\phi_\mu$  は  $\sigma_v = 0.05 \text{ kgf/cm}^2$  で約4度、 $\sigma_v = 1.6 \text{ kgf/cm}^2$  で約1.5度大きい。実験後のガラス表面の顕微鏡による観察によると、ガラス表面はいずれの場合も傷ついていなかった。したがって、上述の差の原因は今のところよくわからない。またガラス板と砂粒子との間の  $\phi_\mu$  が、平滑なテフロンシートと砂粒子との間の  $\phi_\mu$  (タイプ3) とほぼ同じ値であるということ、またその値が決して小さくはない ( $\sigma_v = 0.05 \sim 0.20 \text{ kgf/cm}^2$  で5~11度) ということは非常に示唆的である。これまでに室内砂槽模型実験でガラス面は砂箱側面に多用されてきた<sup>3),4),11),12)</sup> が、この場合に砂箱の奥行きが小さすぎると砂箱側面の摩擦力とその結果に及ぼす影響は非常に大きくなりうるということが推察できる。事実図8<sup>13)</sup>の結果は上述のことを強く示唆している。

以上の結果をとりまとめたのが図22である。この結果から次のことが結論できよう。

(1) 今回実験した範囲では、 $\sigma_v$  がだいたい  $0.8 \text{ kgf/cm}^2$  以下では砂箱側面にタイプ4を用いた時の  $\phi_\mu$  が最も小さい。 $\sigma_v$  がだいたい  $0.8 \text{ kgf/cm}^2$  以上になるとタイプ5の  $\phi_\mu$  のほうが小さくなる。ただし、これらの場合はラテックスメンブレンを用いているから、砂層内部にひずみが生じた場合はラテックスメンブレン内に生ずる応力により砂層にせん断応力を発生してしまう。したがって、 $\sigma_v = 0.05 \text{ kgf/cm}^2$  程度以下の非常に小さい直応力で砂層に大きなひずみが発生するときは、タイプ7 (耐熱ガラスを用いた場合) のほうが良いであろう。

(2)  $\sigma_v$  が大きくなると、メンブレン内に発生する応力の影響も相対的に低下し、かつ  $\phi_\mu$  の値自身も小さくなるのでタイプ4かタイプ5を用いるのが良い。 $\sigma_v$  が  $1 \text{ kgf/cm}^2$  以上大きくなるときはタイプ5を用いたほうが良い。 $\sigma_v$  が非常に大きくなるとき ( $\sigma_v > 1.6 \text{ kgf/cm}^2$ ) については今のところ不明である。

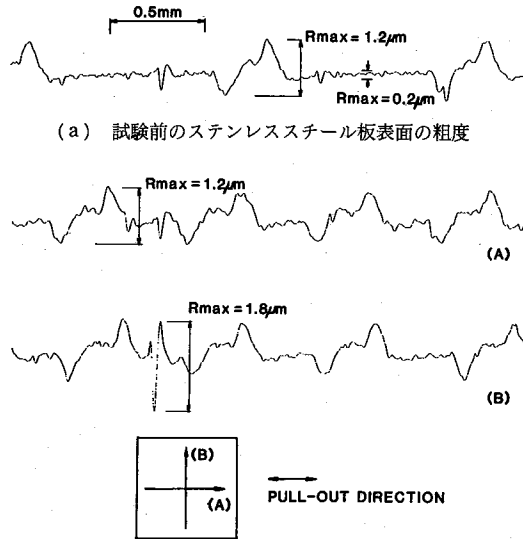
### 3. ま と め

今回は図20に示した各種の方法を砂箱側面に実際に用いてみて、砂箱側壁面摩擦力が測定される支持力値に及ぼす影響を直接調べた結果を報告する。

### 4. 補 遺 (ステンレススチール板を用いた実験)

タイプ1からタイプ8までの実験が終了した後、砂箱の壁面に研磨したステンレススチール板を用いて、摩擦力を無視しようとして支持力実験を行っている例<sup>14)</sup>があることに気が付いた。上記の研究ではステンレススチール表面は No. 16 ゲージに研磨されており、砂 (Ottawa sand) との摩擦角は  $0 \sim 7^\circ$  であると報告されている。そこ

研 究 速 報



(b) 試験後のステンレス鋼板表面の粗度

図23 ステンレス鋼板表面の粗度検定結果

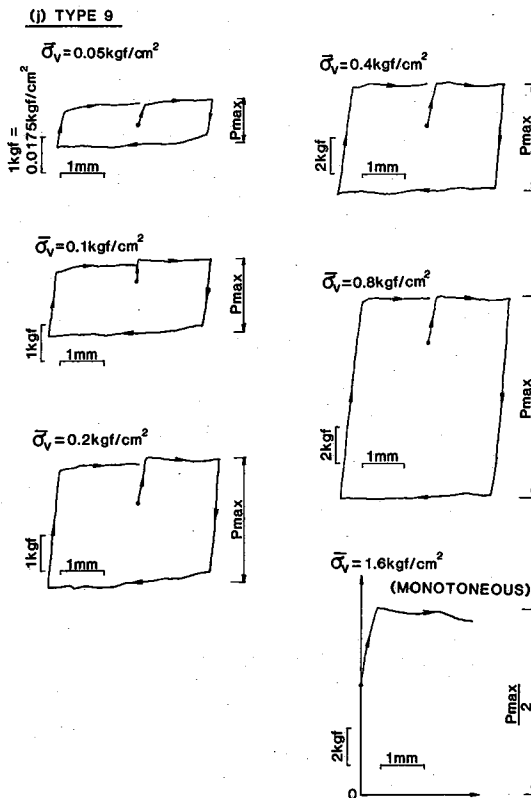


図24 実測された引き出し力と引き出し変位

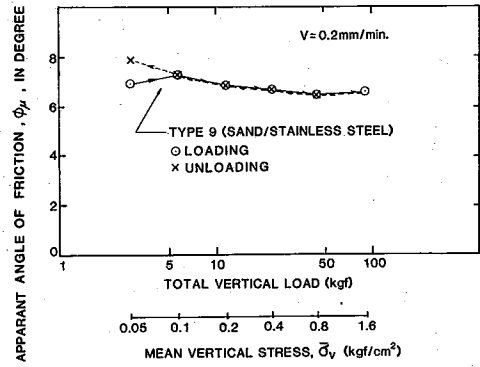


図25 タイプ9における摩擦角

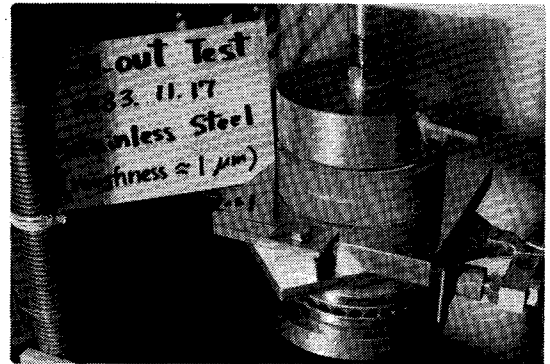


写真6 せん断の近接写真  
(タイプ9  $\bar{\sigma}_v = 0.05 \text{ kgf/cm}^2$ )

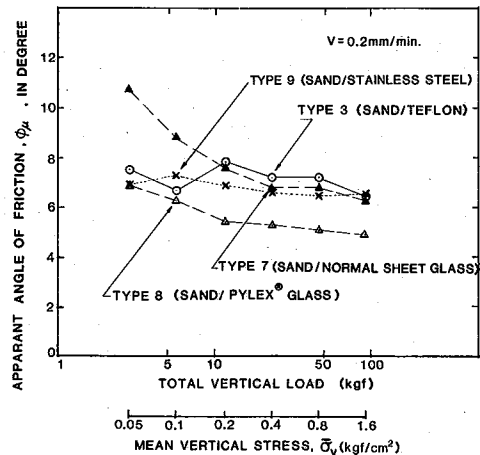


図26 砂が平面上を滑ってゆくときの  $\phi_\mu$  の値

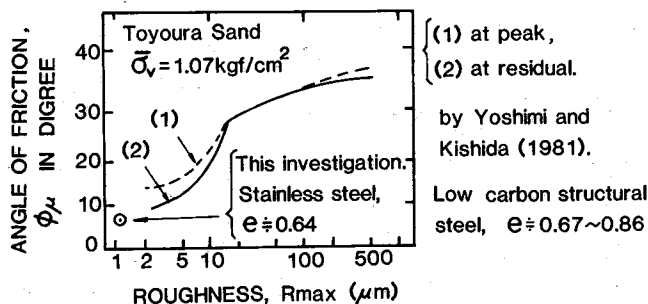


図27 吉見・岸田の結果との比較

で筆者らは表面の粗度  $R_{\max}=0.2\sim1.2\mu\text{m}$  に研磨したステンレススチール板を用いて直接せん断試験を行った(図-23, a)。ステンレススチール表面はアセトンできれいにしてから用いた。写真6はせん断中の様子を示したものである。図24は測定された引き出し力と水平変位の関係を示したものである。 $\bar{\sigma}_v=1.6\text{ kgf/cm}^2$  の場合はロードセルの容量から片側へのみ引き出した。全ての場合、剛～完全塑性的性質を示していることが分かる。図25は結果のまとめである。 $\bar{\sigma}_v$ を増加するときと減少するときで、 $\phi_\mu$ の値はほとんど差がない。図24, 25に示す実験結果より砂との摩擦角は $6\sim8^\circ$ であることが分かる。また実験後のステンレススチール表面には砂によってできた細かい傷があり、これは目視でも判別できた。また粗度を測ったところ  $R_{\max}=1.2\sim1.8\mu\text{m}$  になっていた(図23 b)。全体的に表面は粗になっていることがわかる。このことは、ステンレススチール表面は実験ごとに磨き直さなければならないことを意味している。図26は砂が表面を滑るタイプ3, 7, 8とタイプ9の $\phi_\mu$ を比較したものである。全体に大差ないが、タイプ8よりも $\phi_\mu$ は大きい。図27は吉見・岸田<sup>15)</sup>の結果を比較したものであり、両者には良い整合性があることが分かる。ステンレススチール板の表面が傷付いて粗度  $R_{\max}$ が増してゆくと $\phi_\mu$ が大きくなっていくことがわかる。

以上まとめると次のようになる。良く研磨したステンレススチールを用いても $\phi_\mu$ は $7^\circ$ 以下にはならない。したがって土槽側壁にこれを使用しても摩擦がないとは見なし得ない。またステンレススチール表面は砂によって

傷付けられるので、繰り返し使用はできない。

### 謝 辞

なお、ガラスの性質については四部安井助教授、ステンレス板の表面測定には二部佐藤教授とその研究室の方々のお世話になった。末筆ながら感謝の意を表します。

(1983年10月31日受理)

### 参 考 文 献

- 10) 龍岡文夫・生原 修(1984), "模型砂地盤の支持力実験における砂箱側壁面摩擦の影響II——砂と平板の間の摩擦力の測定," 生産研究, 36巻, 1号。
- 11) Ko, H and Davidson, L. W., (1973), "Bearing Capacity of Footings in Plane Strain," Jour. SMF Div., Proc. ASCE, vol. 99, No. SM1, January, pp. 1~23.
- 12) James, R. G. and Bransby, P. L. (1970), "Experimental and Theoretical Investigations of a Passive Earth Pressure Problem," Geotechnique, Vol. 20, No. 1, pp. 17~37.
- 13) 龍岡文夫・党 宣夫・生原 修・佐藤剛司, (1983), "模型砂地盤の支持力実験における砂箱側壁面摩擦の影響I——側壁面摩擦の影響の実際——," 生産研究, 35巻, 12号, 27~30頁。
- 14) Selvadurai, A. P. S. and Rabbaa, S. A. A. "Some experimental studies concerning the contact stresses beneath interfering rigid strip foundations resting on a granular stratum", Canada, Geotech. J. Vol 20, pp. 406~415 (1983)
- 15) Yoshimi, Y and Kishida, T., "A Ring Torsion Apparatus for Evaluating Friction Between Soil and Metal Surfaces," Geotechnical Testing Journal, GTJODJ, Vol 4, No. 4, Dec, 1981, pp. 145~152.