

# 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VI

## —小型・中型砂箱での各種側壁条件の影響—

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

—Effects of Various Side Wall Conditions in Small and Medium-Size Sand Boxes—

龍岡 文夫\*・生原 修\*\*

Fumio TATSUOKA and Osamu HAIBARA

### 1. はじめに

中型砂箱 (奥行 40 cm, 幅 122 cm, 深さ 60 cm) を用いる支持力実験は, 用いる砂の量も少なくない (約 0.24 m<sup>3</sup>) のでそれほど容易ではない. 数多くの要因が支持力に与える影響を定性的に調べるためには, 小型砂箱 (奥行 10 cm, 幅 60 cm, 深さ 30 cm) を用いて数多くの実験を行ったほうが良い場合があると思われる. しかし, できるだけ側壁面摩擦の影響を少なくしないと, 意味のある結果が得られないのは明らかである. そこで表-5 に示す各種の側壁面条件を用いて小型砂箱で支持力実験を行い, 上記の側壁面条件の影響を直接調べて, その結果ある程度の定量的結論を得ることができた.

### 2. 小型砂箱における各種側壁面条件の影響

小型砂箱 (奥行  $W=10$  cm) と中型砂箱 (奥行  $W=40$  cm) で側壁面条件を各種変えて支持力実験を行って得られた結果を  $\bar{N}_\gamma = (\text{平均最大フーチング応力 } \bar{q}_u) / ((1/2)$

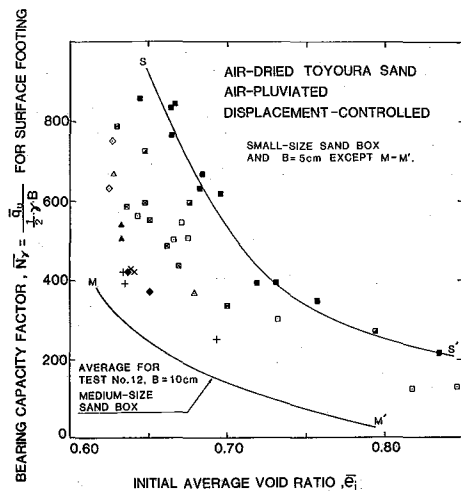


図42 小型砂箱における各種側壁面条件が支持力係数  $N_\gamma$  に与える影響

$\gamma \cdot B$ ) ~ 砂槽初期平均間隙比  $\bar{e}_i$  関係としてまとめたのが図42および図43(a), (b)である. 図中の S-S' 曲線は表-5での No.3の条件であり, タイプ1の側壁面条件を持ち, さらに側壁の変位を鉄板と鋼製補剛材を用いて極小に抑えたときの平均  $\bar{N}_\gamma \sim \bar{e}_i$  曲線 (図7参照) である. 同様に M-M' はタイプ1の側壁面条件での中型砂箱での平均曲線である (図7参照). 表-5での No.1の側壁面条件は文献1)でいうケース C に相当するもので, 側壁は補強されていない厚さ 1.5 cm のアクリル板であり, 支持力実験による側方への膨張量は 0.6%程度あり, 相当大きい. No.2は, No.1の側壁を外側から溝型鋼で補強したものであるが, 依然剛性は十分でなく, 支持力実験で側方への膨張量は 0.2%程度である. 表-5での No.

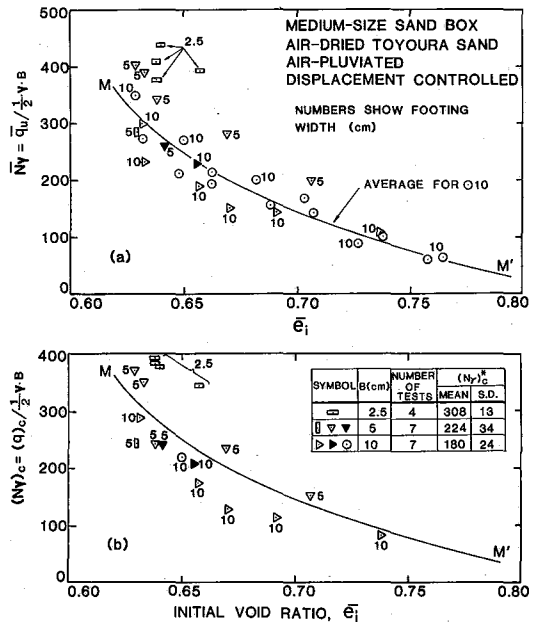


図43 中型砂箱における各種側壁面条件が支持力係数  $N_\gamma$  に与える影響. (a) フーチング平均値, (b) フーチング中央 1/3 の値.

\* 東京大学生産技術研究所 第5部

\*\* 廣瀬鋼材産業(株)

表5 側壁条件

No.	記号	砂箱	側壁補強の程度	側面条件(図-20)	フーチング幅 B(cm)	備考		
1	□	小 型	厚さ1.5cmの亚克力板(無補強)	タイプ1 (上端を固定したテフロンシート+30 $\mu$ mKS63G)	5	文献1)のケースC		
2	■		亚克力板を溝型鋼で補強			タイプ3 (上端を固定したテフロンシート+数 $\mu$ mKS63G)	〃 B	
3	■ S-S'		亚克力板を厚さ1cmの鉄板で被いそれを外側から溝型鋼で補強(写真1)				タイプ1' (上端を固定しないテフロンシート+30 $\mu$ mKS63G)	〃 A
4	⊠		中 型	厚さ3cmの亚克力板を鋼材で補強(写真2)	タイプ4 (200 $\mu$ mラテックス+60 $\mu$ mKS63G+テフロン+KS63G)	5	タイプ1との違いはテフロンシートの固定度	
5	⊗				タイプ5 (200 $\mu$ mラテックス+60 $\mu$ mDow+テフロン+KS63G)			
6	+				タイプ7 (10mmの普通ガラスを亚克力板と砂の間に配置)			
7	×				タイプ8 (厚さ2mmの耐熱ガラス <sup>注)</sup> を亚克力板と砂の間に配置)			
8	◇				タイプ1			5
9	△2.5				タイプ1'			2.5
10	◆				タイプ4 (KS63G)			5
11	▲2.5				タイプ5 (Dow)			2.5
12	○M-M'	中 型	厚さ3cmの亚克力板を鋼材で補強(写真2)	タイプ1	10			
13	□5			タイプ1'	5			
14	□2.5				2.5			
15	▷10			タイプ4 (KS63G)	10			
16	▽5				5			
17	▷10			タイプ5 (Dow)	10			
18	▽5				5			

注) Pyrex<sup>®</sup>, Corning Glass Works, (Borosilicate Glass,  $E=6.3 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\nu=0.2$ .)

3~No.11の実験では亚克力板を外側から厚さ1cmの鉄板で被い、さらに外側から溝型鋼で補強したもので、支持力実験での側方への膨張量は鉄板外側での測定で0.07%程度で非常に小さい。しかし、亚克力板と鉄板との間の遊び、さらにはガラス板とテフロン板との遊び(テストNo.8~11)、摩擦軽減層への粒子の食い込み(テストNo.6, 7)のために実質的砂層の水平ひずみは0.07%よりも大きい可能性がある。No.4では、テフロンシートの上端は固定してある。また壁面条件はタイプ3であり、テフロンシートは数 $\mu$ m厚のシリコングリースで亚克力板に密着させてある。No.5では壁面は基本的にはタイプ1と同じであるが、テフロンシートの上端は固定していない(タイプ1')。No.6では壁面条件は約30 $\mu$ m厚のシリコングリースKS63Gを用いたタイプ4であり、No.7では同様にグウシリコングリースを用いたタイプ5である。No.8, No.9では厚さ10mmの普通ガラスを亚克力板の代わりに配置したタイプ7である。No.10, No.11は厚さ2mmの耐熱ガラス(Pyrex<sup>®</sup>, Corning Glass Works, Borosilicate Glass,  $E=6.3 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\nu=0.2$ )を亚克力板の内側に配置したものである(タイプ8)。小型砂箱を用いたときはNo.9とNo.11では、フーチング幅は $B=2.5 \text{ cm}$ であるが、ほかは全て $B=5$

cmである。

中型砂箱では、No.12の実験ではタイプ1の壁面条件で $B=10 \text{ cm}$ 、No.13, No.14ではNo.5と同じタイプ1'で $B=5 \text{ cm}$ および $2.5 \text{ cm}$ である。No.15, No.16の実験では壁面条件はともにタイプ4であり、No.15では $B=10 \text{ cm}$ 、No.16では $B=5 \text{ cm}$ である。No.17, No.18はともにタイプ5の壁面条件で、No.17で $B=10 \text{ cm}$ 、No.18で $B=5 \text{ cm}$ である。

このようにして各種の側壁面条件での実験結果を $\bar{N}_i$ 、 $\sim \bar{\epsilon}_i$ 関係としてまとめた図42において、No.1~No.11の小型砂箱を用いた場合のデータのばらつきの大きさにまず驚かされる。図43(a)は中型砂箱でのフーチング底面全体に対する平均応力から求めた $\bar{N}_i$ である。図中のM-M'はテストNo.12に対する平均線であり、データ点は図7に示す。No.12~No.18の中型砂箱の場合もデータのばらつきはやや認められるが、小型砂箱と比較すると相当小さい。図43(b)に示すのは、中型砂箱を用いた実験でフーチング中央部の分割ロードセルの2つないし4つの鉛直力ロードセル成分で測定した鉛直荷重から求めた、中央分割フーチングに作用する平均応力の最大値 $(q_u)_c$ から求めた $(N_r)_c=(q_u)_c/((1/2) \cdot \gamma \cdot B)$ と $\bar{\epsilon}_i$ の関係であり、真実の支持力に最も近い数値であると言え

る。こうしてみると、小型砂箱において最も  $\bar{N}_r$  の値が真実に近いと思われるタイプ4の壁面条件のNo.6の実験ケース、あるいはタイプ5の壁面条件のNo.7の実験ケース、あるいはタイプ8の壁面条件のNo.10の実験ケースでさえも、その  $\bar{N}_r$  の値は真実の値よりも相当大きい。小型砂箱を用いた重力の作用の下での支持力実験では、タイプ4の場合よりも壁面摩擦をさらに減じる方法を見つけ出さない限り、どうやら定量的に信頼のおけるデータは得られないと言ってよさそうである。

3. 壁面摩擦力が支持力特性に及ぼす影響の定量的検討  
 空中落下法で厳密に同一の砂層密度を再現するのは容易ではない。一方、厳密に同一の砂層密度に対して異なった壁面条件のもとで支持力を比較しないと、壁面摩擦力が支持力特性に及ぼす影響を定量的に評価できない。そこで、図42のS-S'曲線とM-M'曲線の元になっている図7に示す個々のデータにおけるおのおのの  $\bar{e}_i$  の値に対する  $\bar{N}_r$  の値を、S-S'曲線あるいはM-M'曲線における  $\bar{e}_i=0.66$  のときの  $\bar{N}_r$  の値で除して正規化することにした。その値を  $\bar{e}_i$  に対してプロットしたところ、図44に示すように、 $\pm 10\%$  のばらつきでほぼ一義的な関係が得られた。そこで今回の実験の範囲では、 $\bar{e}_i$  の値の変化に対する  $\bar{N}_r$  の値の変化率は実験条件によらないと仮定する。すると図44に示す平均線の縦軸をCFとすると、CFの値はおのおのの  $\bar{e}_i$  に対する  $\bar{N}_r$  を  $\bar{e}_i=0.66$  に対する  $\bar{N}_r$  で除した値の平均的な関係を表していることになる。したがって、(おのおのの  $\bar{e}_i$  に対する  $\bar{N}_r$ )/CFは、図44に示す関係を用いて推定された、 $\bar{e}_i=0.66$  に対する  $\bar{N}_r$  を表していることになる。同様に  $2\bar{q}/(\gamma \cdot B \cdot CF)$  は、 $\bar{e}_i=0.66$  に対する推定された  $2\bar{q}/(\gamma \cdot B)$  の値を表していることになる。

図45は  $B=5\text{ cm}$  の場合の小型砂箱での各種側壁面条件における、代表的な  $2\bar{q}/(\gamma \cdot B \cdot CF) \sim S/B$  関係および

中型砂箱での代表的  $2\bar{q}/(\gamma \cdot B \cdot CF) \sim S/B$  関係を表している。Sはフーチング沈下量で、Bはフーチング幅である。 $2\bar{q}/(\gamma \cdot B \cdot CF)$  の最大値は  $\bar{e}_i=0.66$  における  $\bar{N}_r$  の値を表していることになる。図45から分かることは、ピーク強度のみならず、変形係数、ピーク時のフーチング沈下量(S/B)、残留強度も側壁条件(側壁剛性、側壁面摩擦特性)の影響を強く受けているということである。これらの差異が単に側壁剛性や、ベッディングエラー(Bedding error; 特にタイプ4, 6で著しい。砂粒子の摩擦軽減層への貫入による砂層側面の水平変位をいう。)による平面ひずみ条件を保持している程度の減少だけで説明することができないことは明らかであろう。すなわち前にも述べたように、平面ひずみ条件がより十分に保持されている中型砂箱での  $\bar{N}_r$ 、あるいは  $(N_r)_c$  は、小型砂箱での  $\bar{N}_r$  より一般にはるかに小さいからである。

図46は、最大荷重の1/2における割線変形係数  $\bar{K}_{50} = (\bar{q}_u/2)/(\bar{q} = \bar{q}_u/2 \text{ のときの } S)$  を単位体積重量  $\gamma$  で除して無次元化した値  $\bar{K}_{50}^+ = \bar{K}_{50}/\gamma$  と  $\bar{e}_i$  の関係を示したものである。 $\bar{K}_{50}^+$  は図45に示すような正規化された  $2\bar{q}/(\gamma \cdot B) \sim S/B$  関係での割線変形係数の1/2の値と等しい。図46は図42、図43(a)に対応するものであり、この図のS-S'領域は図42の曲線S-S'に対応している。同様にN-N'領域は図42の曲線M-M'に対応している。(c)は図43(b)に対応するもので、最も真実に近い

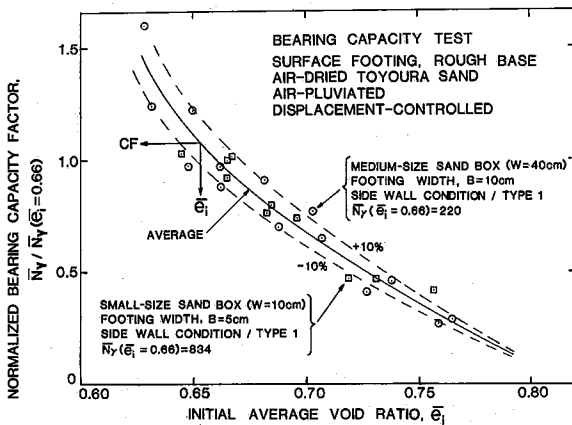


図44 小型および中型砂箱での正規化した  $N_r \sim \bar{e}_i$  関係

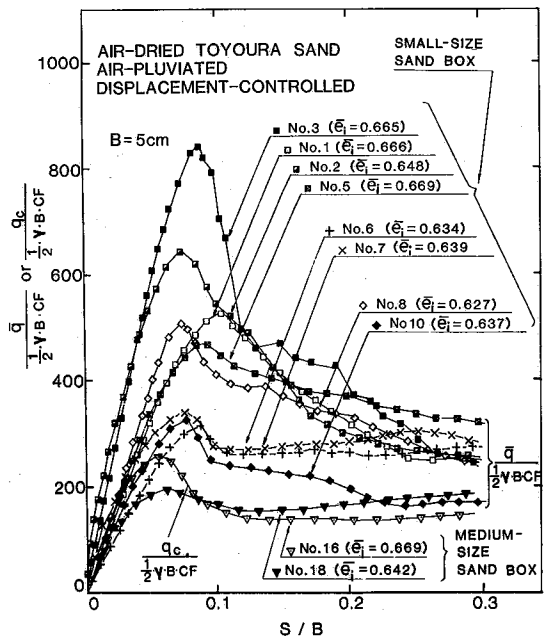


図45  $B=5\text{ cm}$  のときの小・中型砂箱での各種側壁面条件が正規化された(フーチング応力~フーチング沈下量関係)に与える影響

研究速報  
 値を示していると考えられる。すなわち、 $(K_{50}/\gamma)_c$  は中央分割ロードセルで測定した応力から求めている。以上の結果からつぎのことがわかる。

(1) 小型砂箱では壁面摩擦が大きいほど、 $\bar{K}_{50}^+$  の値は大きくなり、No.3の実験ケースでは真実の値の2倍もの値になっている。しかし壁面摩擦を小さくすれば、 $\bar{N}_\gamma$  の場合と異なって中型砂箱の場合似かよった値が得られている。このことについては後にまた検討する。

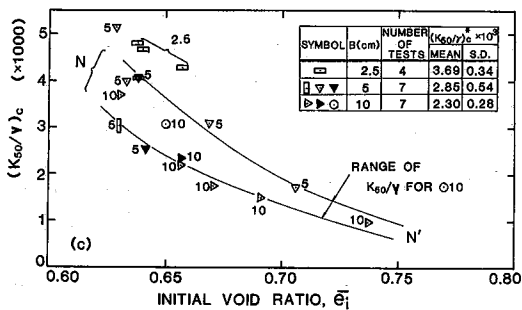
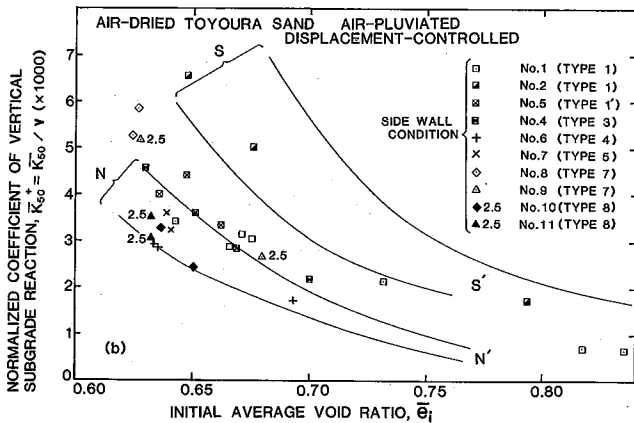
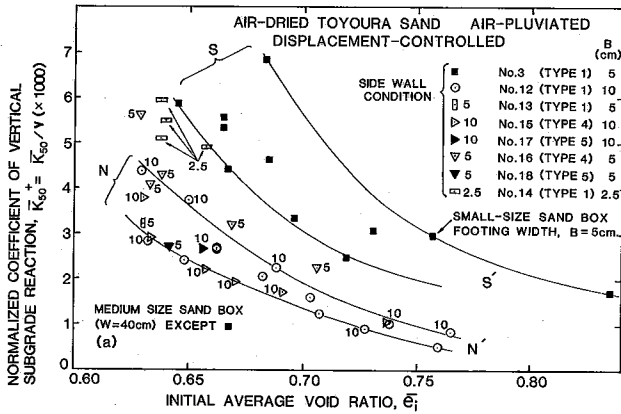


図46(a), (b) 小型および中型砂箱における正規化された地盤反力係数

(c) 中型砂箱でのフーチング中央1/3の応力から求めた  $K_{50}/\gamma$

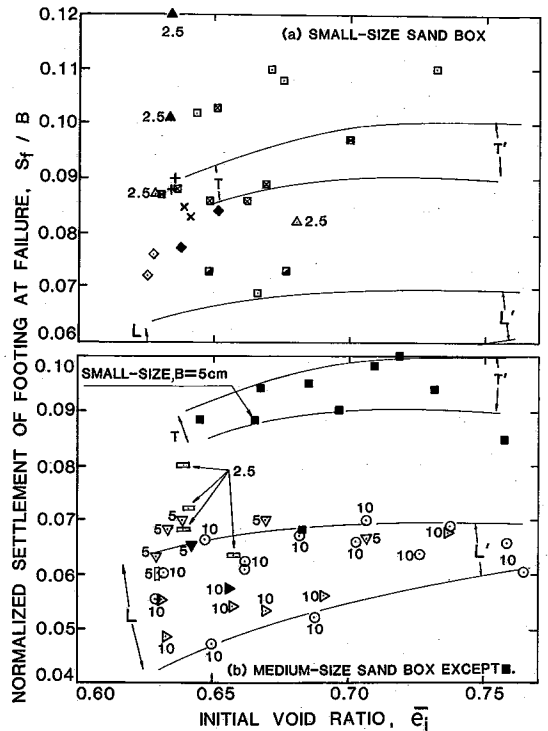


図47(a), (b) 小型および中型砂箱における最大フーチング荷重時のフーチング沈下量

(2) 中型砂箱では、壁面条件、フーチング幅  $B$  が  $\bar{K}_{50}^+$  の値に及ぼす影響は大変小さい。

図47(a), (b)はフーチング荷重が最大値になったときのフーチング沈下量  $S_f$  を、フーチング幅  $B$  で除した値を示したもので、図47(a)は図46(a)と、図47(b)は図46(b)に対応している。小型砂箱の場合は、側壁の剛性が低いほど (No.1など)  $S_f/B$  の値が大きく、同じ剛性ならば側壁面摩擦が大きいほど (No.3など)  $S_f/B$  が大きいという傾向があるから、なかなか複雑な様相を呈している。いずれにせよ、この図から  $S_f/B$  の値を正確に求めるためには、中型砂箱の場合のように砂箱の幅を大きくして平面ひずみ条件が十分な精度で保持でき、かつ側壁面の摩擦の影響を小さくする必要があることが分かる。

#### 4. まとめ

以上要するに、側壁面摩擦により、 $\bar{N}_\gamma$  の測定値のみならず、地盤反力係数  $K_{50}$ 、フーチング荷重が最大値になるときのフーチング沈下量  $S_f$  の測定値も増加する傾向にあることがわかった。全体として言えば、正しいフーチング荷重～フーチング沈下量関係を得るためには、フーチング側壁面摩擦の値と、その影響を極力小さくする必要があることが分かった。 (1984年4月2日受理)