

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——

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

——Test Results Showing Influence of Side Wall Friction ——

龍 岡 文 夫*・党 宣 夫**・生 原 修**・佐 藤 剛 司*

Fumio TATSUOKA, Nobuo TOH, Osamu HAIBARA and Takeshi SATO

1. は じ め に

筆者らは、これまでに小型の砂箱(図-1, 写真1)を用いて鉄筋補強材による砂地盤の支持力の改善の方法と、その補強メカニズムについての実験を行ってきた。^{1,2)} その結果、ある程度の定性的な結論を得ることができた。次いで、その実験結果が解析の対象になり、実際の設計に結びつくことができるほど精密な実験を行うために中型の砂箱およびその付帯設備を製作した(図-2, 写真2)。小型と中型の砂箱を用いた実験の結果の比較をしたところ、以下に示すように砂箱側壁と砂の間の摩擦が結果におよぼす影響は従来考えられていたよりも、はるかに重大であることが判明した。

2. 中型砂箱の製作

図-2, 写真-2 に示すような深さ、幅を小型砂箱の2倍にし、奥行きを4倍にした砂箱を生産技術研究所試作工場にて部品の製作を行って、1982年1月に完成した。この中型砂箱では、空気乾燥砂をホッパーから空中落下させ

て砂層を作るために、ホッパーの水平移動や上下移動を自由にできるように工夫してある(図-3)。また、砂は図-3に示す貯蔵箱に貯蔵しておくが、これは真空密閉となっており、試験後砂をこの貯蔵箱内へ真空吸引できるようになっている。また、この貯蔵箱はロードセルを介して宙吊りできるようになっており、砂層作成に用いた砂の重量を0.1 kgfの精度で測定できるようになっている。したがって、砂層寸法の測定が正しければ砂層の平均間隙比を0.0005の精度で知ることができる。密な砂地盤の支持力は若干の間隙比の変化で大幅に変化するもので、正確な「支持力～砂層密度関係」を得るためには、砂層の密度を正確に測定することは極めて重要である。

図-1, 2 に示す模型基礎(Footing)は帯基礎(Strip footing)の模型であり、砂層を含めて全体として二次元モデルとなっており、奥行き方向のひずみのない平面ひずみ状態となっている。このような二次元モデルで実験することにした理由は、(1) 三次元モデルよりはるかに解析は容易であり、(2) 砂地盤内のひずみの状態を透明な側壁を通して把握できることである。一方、二次元モ

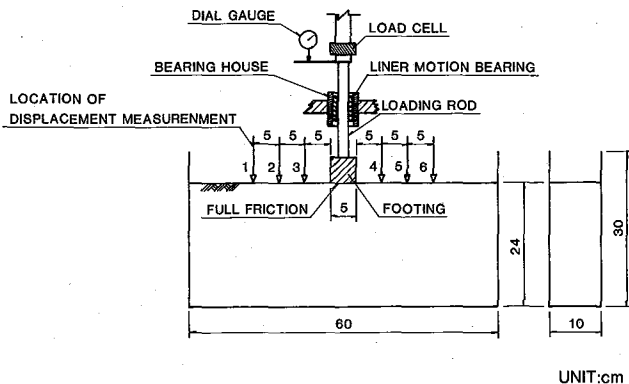


図-1 小型砂箱の概要(フーティング幅 $B=5$ cm の場合)

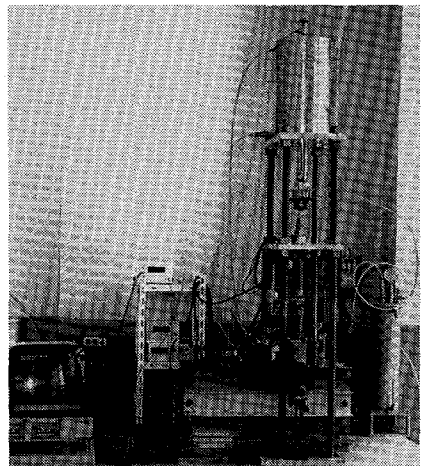


写真-1 小型砂箱模型全体写真

* 東京大学生産技術研究所 第5部

** 広瀬鋼材産業(株)

研究速報

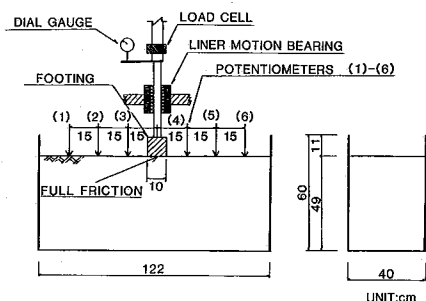


図-2 中型砂箱の概要（フーチング幅 $B=10$ cm の場合）

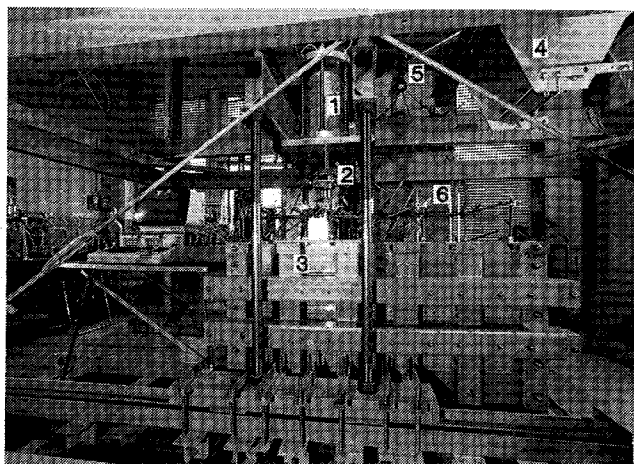


写真-2 中型砂箱模型全体写真（数字は図-3 参照）

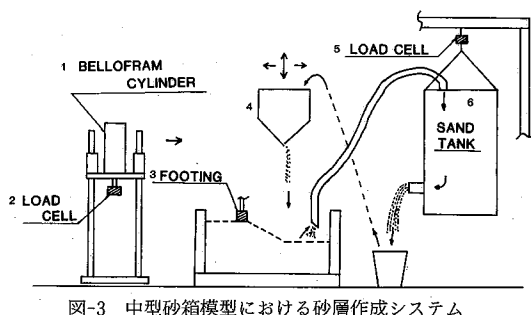


図-3 中型砂箱模型における砂層作成システム

デルとして要求される実験条件は、(a) 側壁のたわみのないこと、(b) 砂と側壁の間に摩擦のないことである。(a)の問題は、写真1, 2に示すように側壁を鉄製の補剛材で補強することによって小さくした。文献³⁾によると、側壁のたわみにより平面ひずみ状態からはずれることにより模型砂層支持力は大幅に減少するとのことである。筆者らも、小型模型実験（図-1）の結果の解析に際しても、同様な考え方をした。¹⁾しかし、後に詳しく述べるように、今回の研究からは小型砂槽では(b)の側壁摩擦の影響の方がはるかに深刻であり、側壁がたわんで支持力が減少するのは、側壁のたわみにより側壁摩擦によって砂層内に形成されたアーチング現象の程度が減少し、支持力が側壁摩擦の影響のない真の支持力値に近づくためである。と考えざるを得ない結論を得た。本報告では、砂と側壁の間の摩擦の大きさと、それが支持力に与える影響の定量的把握と、側壁摩擦の影響のない真の支持力値を推定した結果を述べる。

3. 小型および中型砂槽の支持力値の比較

図-4 は、図-5 に示す側壁状態で密な空気乾燥豊浦砂の

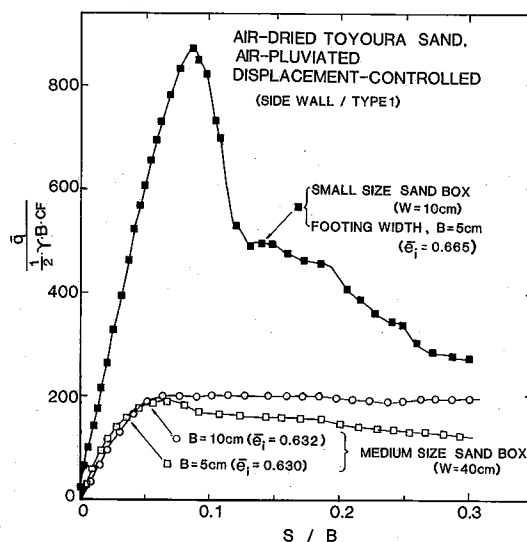


図-4 小型および中型砂箱での浅い基礎の支持力実験例（側壁条件は図-5 参照）

支持力実験を、幅 $B=5$ cm のフーチングを用いて小型砂槽で、また $B=5$ cm および $B=10$ cm のフーチングを用いて、中型砂槽で行った結果の比較である。フーチング押込み速度は小型砂箱で 0.375 mm/分、中型砂箱では、 0.8 mm/分である。载荷は図-6 に示すシステムを用いて変位制御で行った。図中の \bar{q} はフーチング底面の平均鉛直応力、 γ は砂層の平均単位体積重量である。フーチング底面はいずれの場合も、豊浦砂粒子をアラルダイトで付着させて粗にしてある。したがって、 $2\bar{q}/(\gamma \cdot B)$ の最大値は砂の自重と内部摩擦角に起因する支持力係数 N_c に相当する。 CF は後に述べる方法で求めた補正係数であり、

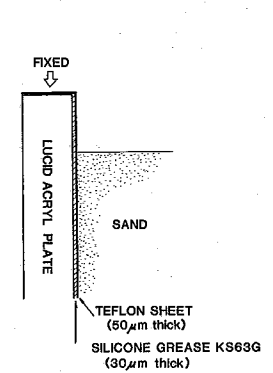


図-5 砂箱側壁条件 (TYPE1)

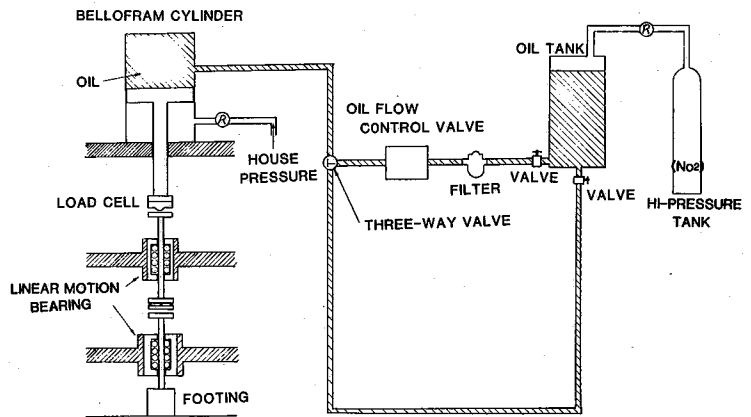
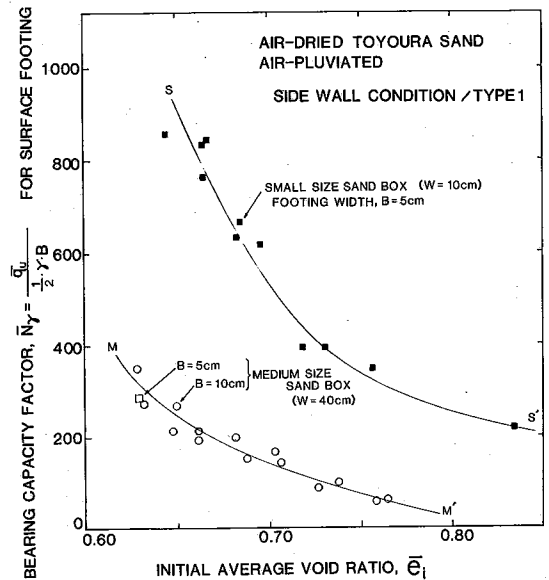


図-6 変位制御載荷システム (小型および中型砂箱装置に共通)

$2\bar{q}/(\gamma \cdot B \cdot CF)$ は、初期平均間隙比 $\bar{e}_i = 0.66$ の時の $2\bar{q}/(\gamma \cdot B)$ の値に相当する。 S はフーチング沈下量である。 $B = 5 \text{ cm}$ の場合の小型と中型の砂箱を用いた時の支持力の最大値は実に3倍強も異なる。その最大の原因は、砂箱の奥行きが小型で $W = 10 \text{ cm}$ ($W/B = 2$)、中型で $W = 40 \text{ cm}$ ($W/B = 8$) と著しく異なることによる側壁摩擦の影響の相異であると考えられる。なお、フーチング荷重が最大値になった時の側壁の膨れ出し量はフーチング軸上の底面下の $0.6 \times B$ の深さの位置で、小型砂槽で $0.07 \times W$ (%), 中型砂槽で $0.05 \times W$ (%) であり、むしろ中型砂槽の方が平面ひずみ状態はより良く保たれている。したがってこの場合は平面ひずみ条件の満足度で図-4 に示す差異を説明できるわけではない。

図-4 に示す中型砂槽で $B = 10 \text{ cm}$ と $B = 5 \text{ cm}$ の場合の支持力特性の差はそれほど大きくはない。この結果を比較すれば、 $B = 5 \text{ cm} \sim 10 \text{ cm}$ の範囲で \bar{N}_r におよぼす B の値の影響、すなわち寸法効果 (Scale effect) は小さいと判断されることになる。ところが、小型砂槽での $B = 5 \text{ cm}$ での結果と、中型砂槽での $B = 10 \text{ cm}$ での図-4 に示す結果をそのまま信じれば、寸法効果はとてつもなく大きいと判断してしまうことになる。寸法効果について正しい結論 (少なくとも模型実験の範囲内で) を得るためにも側面摩擦の影響を受けない真の支持力値を求める必要がある。

図-7 は小型および中型砂槽で図-5 に示す側壁条件で求められた $\bar{N}_r = 2\bar{q}_u/(\gamma \cdot B)$ の値をとりまとめたものである。それぞれの実験条件でのデータのばらつきは小さいが、小型および中型砂槽の間のデータのばらつきは非常に大きいのは前述したとおりである。ところで、これまで空気乾燥豊浦砂を用いた二次元鉛直支持力実験は他のいくつかの研究機関で行われてきた。砂層の作成法、側壁条件、砂箱寸法などの実験条件はまちまちである (表

図-7 小型および中型砂箱を用いた時の支持力係数 \bar{N}_r

-1). フーチング幅は $B = 2 \text{ cm} \sim 12 \text{ cm}$ の範囲であり、その報告されている \bar{N}_r の値をプロットしたのが図-8 である。図-8 中に示す曲線 $S-S'$, $M-M'$ はそれぞれ図-7 に示す小型および中型砂箱でのデータの平均曲線である。これらのデータの値のばらつきは大きく、しかも図-7 に示す中型砂箱のデータよりも一貫して大きい。このデータの値のばらつきの原因を砂層の作成方法の違いだけに帰すことはできないことは明らかであろう。おそらく側壁摩擦の影響の程度がおのおののデータの間で著しく異なっているためであろう。

そこで以下に述べる方法で側壁の摩擦が支持力特性に与える影響を定量的に調べることにした。

(1) 砂と平板との間の摩擦軽減の方法を各種変えて

研 究 速 報

表 1 空気乾燥豊浦砂を用いた浅い基礎 (表面載荷) の支持力実験の一覧表

図-8 での 記号	フーチング 幅 B (cm)	フーチング 底 面 の 条 件	側 壁 条 件	砂箱の 奥行 W (cm)	砂層の作成方法	文献 番号
●	4	粗	ガラス	10	パイプレーターで締固め	3)
○	3.47	なめらか	ガラス	6	空中落下法	4)
▲5	5	粗	0.1mm 厚の ラテックスメ ンブレンと シリコングリース で摩擦軽減	30	パイプレーター で締固め	5)*
▲7.5	7.5					
▲10	10					
■	12	粗	ガラス	22	分銅で突固め	6)
□	2	粗	アクリル	10	空中落下法 (多重ふるい法)	7)

*) 3 つに分離したフーチングの中央部分で支持力測定

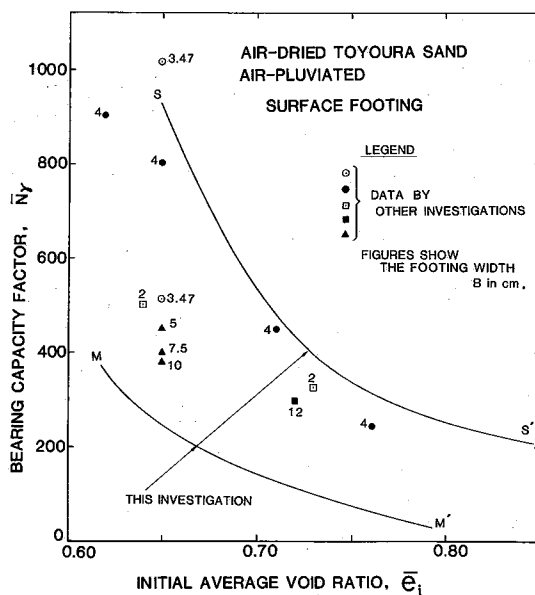


図-8 他所のデータとの比較

(たとえば、テフロン、ガラス、シリコングリースとラテックスメンブレン等)、砂と平板との間の摩擦力を直接せん断試験で直接測定する。

- (2) 上記の各種軽減の方法を砂箱側壁に適用して、それが支持力特性に与える影響を調べる。
- (3) 分割ロードセルを多数用いて、フーチング底面での応力分布を測定して、側壁摩擦の影響を実測する。

(以下つづく)

謝 辞

小型、中型の砂箱およびその付帯設備の部品の製作は試作工場で行った。関係各位に末筆ながら深い感謝の意を表します。
(1983年10月11日受理)

参 考 文 献

- 1) 龍岡文夫・三木五三郎・松尾恵一・児玉秀文・竹内達也, "鉄筋により補強された砂地盤の支持力特性 I~VIII," 生産研究 33 巻, 10 号~12 号, 1981, および, 34 巻, 1 号~4 号, 1982
- 2) 龍岡文夫・金藤浩司・三木五三郎・生原修・浜田英治・佐藤剛司, "引張補強材による砂の補強についての基礎的研究," 土と基礎, 31 巻, 9 号, 1983, 11~19 頁。
- 3) Yamaguchi, H., Kimura, T. and Fuji-i, N., "On the Influence of Progressive Failure on the Bearing Capacity of Shallow Foundations on Dense Sand," Soils and Foundations, Vol. 16, No. 4, Dec., 1996, pp. 11-22.
- 4) Oda, M. and Koishikawa, I., "Effects of Strength Anisotropy on Bearing Capacity of Shallow Footing in a Dense Sand," Soils and Foundations, Vol. 19, No. 3, Sept., 1979, pp. 15~28.
- 5) 市原松平・森信夫・水谷進, "支持力特性におよぼす底面摩擦の効果," 土木学会, 第 27 回年次学術講演会講演会講演集, III, 321~322 頁
- 6) 林貞夫・尾崎益雄・蜂巣進・加藤渉, "載荷試験による砂地盤の変形について," 第 17 回土質工学研究発表会, 1982 年, 705~706 頁
- 7) 寺師昌明・田中洋行・比詰昌樹・赤沢誠, "遠心載荷装置による砂地盤の支持力試験," 第 18 回土質工学研究発表会, 1983 年, 937~940 頁