

## 相対密度を変化させた浅い基礎の支持力模型実験

群馬高専専攻科 学生会員 樺沢 祐樹  
 群馬高専環境都市工学科 正会員 阿部 博

### 1. はじめに

土木構造物の基礎構造設計において地盤の支持力算定は最も重要な課題であり、現在でも実験的・理論的研究が行われている。本研究室でも4年前から密な砂地盤での支持力に関する実験的研究を行ってきたが、すべり線は発生するものの教科書<sup>1)</sup>にあるような対称性のあるすべり線が得られなかった。一方、緩い砂地盤ではすべり線が明確に出ないため、地盤内のせん断挙動が観察できなかった。本研究では、相対密度を変化させた乾燥豊浦砂地盤で浅い基礎の支持力実験を行い、土槽ガラス面での砂粒子の移動距離をマーカーの画像処理から定量化する方法を利用して、密な地盤と緩い地盤でのせん断破壊メカニズムの違いを、正負のダイレイタンスー挙動の差から考察することを目的としている。

### 2. 模型実験

#### 2.1 豊浦砂の物理的特性

実験に用いる豊浦砂の物理的特性を決定するために、JIS試験法に準じて、平均粒径  $D_{50}$ 、土粒子密度  $\rho_s$ 、含水比  $w$ 、相対密度  $D_r$  を決定するための最小密度  $\rho_{d\min}$ 、最大密度  $\rho_{d\max}$  を求めた。 $D_{50}=0.25\text{ mm}$  となり豊浦砂としてはやや大きい。実験から  $\rho_s=2.644\text{ g/cm}^3$  が得られ、 $w$  は  $0.133\%$  とほぼ絶乾状態であった。 $\rho_{d\max}$  は  $1.636\text{ g/cm}^3$ 、 $\rho_{d\min}$  は  $1.358\text{ g/cm}^3$  となった。

#### 2.2 模型地盤作製方法

図-1に実験に用いた土槽を示す。内寸は横幅100cm、深さ50cm、奥行き20cmである。土層の相対密度の違いによるせん断挙動の違いを確認するため、 $D_r$  の異なる8種類の地盤を作製した。地盤厚はすべて約20cm(各層2cm×10層)とした。 $D_r$  はホッパーの吐出し口幅と落下高さ(落下速度)の大小により変化する。表-1に示す条件に従い、50cmの高さから空中落下法で乾燥豊浦砂をまき、作製した。また、地盤内の動きを視覚的に捉えられるように、各層の境目に墨汁で着色した豊浦砂をまき、さらに画像処理用に各種マーカー(ビーズ  $\phi 2\text{ mm}$ 、全9色密度  $\rho=2.525\text{ g/cm}^3$ 、長さ5cm  $\phi 1.6\text{ mm}$  と  $\phi 3\text{ mm}$  のアルミ棒、工事用リベット3種、密度  $\rho=2.746\text{ g/cm}^3$ )を前面のガラスに沿って配置した。

#### 2.3 実験手順

構造物荷重が単純にフーチング基礎に作用した場合を考え、完成した地盤上にフーチングを根入れ無しで設置する。フーチングは二次元平面ひずみ条件を満たすように、幅5cm、高さ6cm、奥行き20cmの模型とした。フーチングに力計と載荷装置を取り付け、手で載荷開始後(約0.033mm/s)、データロガー(UCAM-10A)を用いて10秒毎にフーチングに作用した荷重(kN)、フーチングの沈下量(mm)を収録し、同時刻毎に画像処理用の写真撮影をデジタルカメラ(400万画素)で行った。実験後、撮影した写真の中から沈下量約2mm間隔毎の計11枚の画像を選択し、沈下量約2cmまでの砂粒子移動量をマーカーの移動量と等しいと考え、動画解析ソフト Move-tr/2D(プロネット製)で各マーカーの水平、鉛直移動量を読み取り地盤の変形挙動を追跡した。

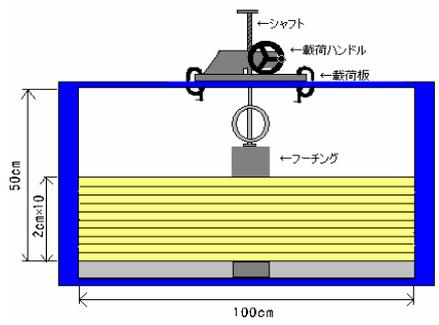


図-1 支持力模型実験

表-1 吐出し口幅、落下速度の条件

相対密度 $D_r(\%)$	92	84	76	60	44	27	21	17
吐出し口幅(mm)	1	2.3	3	3.5	5.5	8	8	8
落下速度	大	大	大	大	小	大	小	小

キーワード 浅い基礎の模型実験、支持力、相対密度、画像処理

連絡先 〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580 国立群馬工業高等専門学校 TEL 027-254-9193

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 荷重 - 沈下量曲線

図 - 3 に 8 種類の実験から得られた荷重 - 沈下量曲線を示す。  $D_r=92%$  ,  $84%$  の地盤ではひずみ軟化曲線を示し、フーチング沈下量 5 mm 程度でピーク荷重となり、その後急速に支持力が低下していることから、密な地盤に特有な全般せん断破壊が生じたと言える。一方、  $D_r=44%$  ,  $27%$  ,  $21%$  ,  $17%$  の地盤ではひずみ硬化曲線を示し、ピーク値がなく支持力が増加し続けていることから、フーチング直下近傍に局部せん断破壊が生じたと考えられる。

#### 3.2 地盤の変形過程

図 - 4、図 - 5 に画像処理による密な地盤 ( $D_r=92%$ ) と緩い地盤 ( $D_r=21%$ ) での追跡結果を示す。これらの図は、フーチングが 2 cm 沈下するまでのマーカーの挙動を示している。両図から密な地盤では左右非対称に、緩い地盤では左右対称に変形挙動していることがわかる。密な地盤と緩い地盤でそれぞれ左右 15 点ずつの標点の水平移動量を平均し、各進行過程での左方向と右方向の水平変位増加の比を求め、図 - 6 の「(a) 実験」、図 - 7 の「(a) 実験」として図示した。変形過程が完全に対称であれば、それぞれの荷重増加の過程で、この比は 1 を示し、1 より大きくなれば左方向に、1 より小さくなれば右方向に流れていることを示す。図 - 6、図 - 7 中の「(b) Radoslaw らの実験」は Radoslaw らの文献<sup>2)</sup>にある密な砂地盤 ( $D_r=62%$ )、緩い砂地盤 ( $D_r=30%$ ) での左右の水平変位比である。図 - 6 の密な地盤ではピーク荷重を迎えた第 2 段階あたり (フーチング沈下量約 4 mm) から右方向に一方向的にすべり、Radoslaw らの実験とほぼ同様の結果となった。これは正のダイレイタンスーによる左側の剛壁の発生によるものと考えられる。図 - 7 の緩い地盤では Radoslaw らの実験のように細かく左右交互に刻むことはできなかったが、ステップ全体では左右交互に進行する過程を示した。これは負のダイレイタンスー領域の拡大化によるものと考えられる。

#### 4. まとめ

相対密度を変化させた支持力実験から、緩い地盤ではひずみ硬化曲線を示し局部せん断破壊をすること、  $D_r=84%$  以上の密な地盤ではひずみ軟化曲線を示し全般せん断破壊することが確認できた。また、密な地盤では正のダイレイタンスーの発生により左右非対称に一方向的な破壊をすることもあること、緩い地盤では負のダイレイタンスーが発生し対称的に左右交互に破壊が進むことがわかった。現在、個別要素法で粗密の違いが地盤変形にどのように影響するかを検討しているので、今後シミュレーションの結果をあわせて考察を加えるつもりである。

1) 足立紀尚監修：検定教科書 土質力学，実教出版，1994。

2) Radoslaw L.Michalowski, F.ASCE, and Lei Shi : Deformation Patterns of Reinforced Foundation Sand at Failure, JOURNAL OF GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING ©ASCE, MAY 2003, pp.439-449.

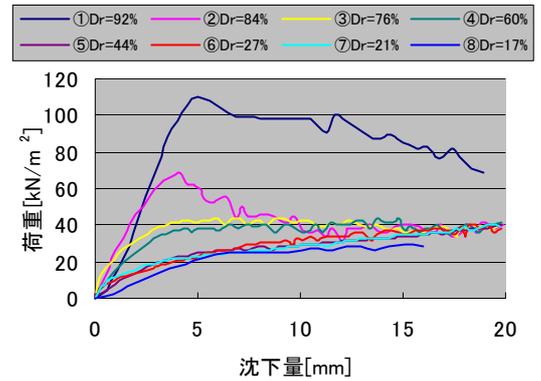


図 - 3 荷重 - 沈下量曲線



図 - 4 追跡結果 ( $D_r=92%$  の地盤)



図 - 5 追跡結果 ( $D_r=21%$  の地盤)

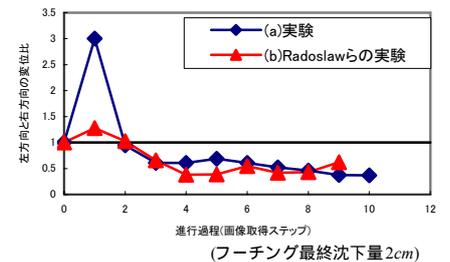


図 - 6 密な地盤の左右の変位比

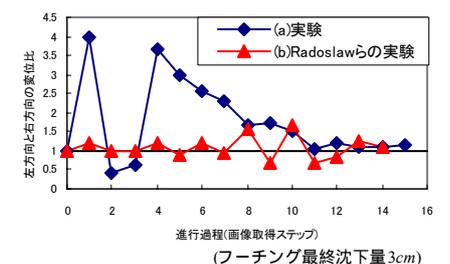


図 - 7 緩い地盤の左右の変位比