

PIVによる種々の砂における浅い基礎の支持力特性と進行性破壊

山口大学大学院 学生会員○長坂一宏

山口大学大学院 国際会員 中田幸男

山口大学大学院 国際会員 兵動正幸

1. はじめに

地盤の支持力問題を考える際には地盤内の変形・破壊メカニズムを知ることが重要である。既往の研究により地盤の密度、拘束圧の変化によって破壊がパンチング破壊、全般せん断破壊、局所せん断破壊の三種類の破壊形態をとることが理解されている¹⁾²⁾。しかし、これは豊浦砂などの粒子が比較的硬い材料についてのものであり、まさ土をはじめとする粒子の脆弱な破碎性材料に関してはあまり研究がなされてこなかった。

近年、画像解析技術に改良が加えられ、精度管理された良質な物理実験が高速に実行できる環境が整備されている。現在様々な計算手法が開発されており、そのひとつであるPIV³⁾(Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速測定法)は、高精度な速度計測が可能になるものと期待されている。

本研究では、種々の地盤材料を用いて支持力実験を行い、地盤の破壊過程をPIV解析によって、地盤の変形挙動を定量的に捉えることを目的とした。

2. 実験概要

本研究で用いた試料は、堅固な材料である豊浦砂、破碎性材料である宇部まさ土、造粒石炭灰である。試料の物理的性質を表1に示す。空中落下法および突固め法によって幅1200mm×高さ400mm×奥行き200mmの模型地盤を作製した。突固め法は試料に予め最適含水比状態となるように水を加え、試料を8層に分け、各層に対して突固めを行った。土槽作成後に下部より通水し飽和させた。支持力試験装置の模式図を図1に示す。支持力実験は重力場で行い、フーチングを0.1mm/minの速度で載荷した。使用したフーチングは幅 $B_0=80\text{mm}$ とし、底面には試料を付着させ、粗の状態とした。載荷によって生じる沈下量(S)、荷重強度(q)、地表面の変位量(S_g)を取得した。地表面の変位量(S_g)は土槽中央から160mmの距離の変位を取得した。実験装置の側面は地盤の挙動を観察できるようにアクリル板を使用している。また試料と土槽の壁面との摩擦をできる限り除去するため、壁面にグリスを塗り、メンブレン(厚さ150 μm)を内張りにした。メンブレンには、画像解析により局所変位量を算出するため、直径2mmの標点を5mm間隔で設けた。

3. 浅い基礎に対する種々の地盤の支持力特性

図2に支持力実験の結果を示す。豊浦砂と宇部まさ土($\text{Dr}=141\%$)の場合、沈下量に対して支持力係数が急増し、明確なピークを示した。これは全般せん断破壊に分類される。一方、宇部まさ土($\text{Dr}=95\%$)と造粒石炭灰の場合、緩い勾配を持つ $N_r \sim S/B_0$ 曲線となり、明確なピークが現れなかった。支持力係数は沈下に伴って増加し続けた。これは局所せん断破壊に分類される。また全ての試験において $S/B_0 \sim S_g/B_0$ 曲線は膨張傾向を示しており、すべり面の発生を伴う破壊であることが推察される。

表1 試料の物理的性質

試料	粒径(mm)	G_s	$e_{\max}$	$e_{\min}$	$D_{50}(\text{mm})$	U_c
豊浦砂	0.075~2.0	2.643	0.973	0.635	0.2	1.2
宇部まさ土	0.075~2.0	2.635	1.274	0.763	0.675	5.13
造粒石炭灰	~2.0	2.345	2.038	1.238	0.183	7.33

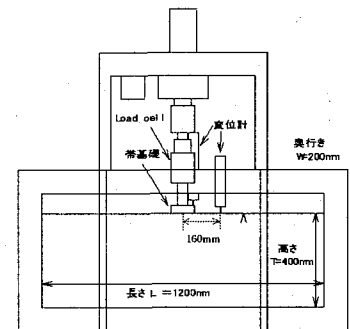
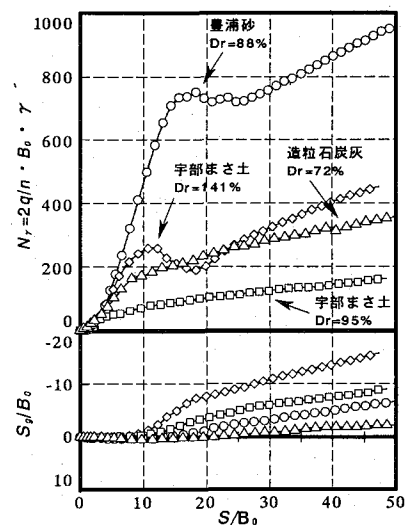


図1 支持力実験装

図2 $N_r \sim S/B_0 \sim S_g/B_0$ の関

4. 種々の地盤材料の変形挙動

PIV を用いて地盤の変位を測定する際、画像の歪みを補正するため、側壁であるアクリル上に基準点を設け、画像の幾何補正を行った。幾何補正には擬似アフィン変換を用いた。また、画像解析範囲はフーチングを中心に $1360\text{pixel} \times 1200\text{pixel}$ として PIV による画像解析を行った。

図3に各地盤材料の極限支持力付近の最大せん断ひずみ分布と古典支持力理論によるすべり線を示す。豊浦砂は明確な主動くさびを形成されていることが示された。一方、宇部まさ土($D_r=141\%$)、宇部まさ土($D_r=95\%$)、造粒石炭灰は明確な主動くさびは形成されず、遷移領域にひずみが発達していることが示された。

図4に各地盤材料の A、B、C、D の $\gamma_{max} \sim S/B_0 \sim \varepsilon_v$ の関係を示す。A~D とは図3に示す位置の要素である。 $\gamma_{max} \sim S/B_0$ 関係において、豊浦砂の場合、载荷初期では A、B、C の γ_{max} が増加傾向を示しているが、D のそれは示していない。しかし S/B_0 が 10% 付近からそれぞれの要素が増加傾向を示している。宇部まさ土($D_r=141\%$)の場合 $S/B_0=5\%$ 付近から要素によって γ_{max} の挙動は異なることが示された。これらに対して宇部まさ土($D_r=95\%$)と造粒石炭灰は、どの要素も γ_{max} の増加量に変化が見られない。 $S/B_0 \sim \gamma_v$ の関係に着目すると、宇部まさ土($D_r=95\%$)、造粒石炭灰が全ての要素において圧縮傾向を示すのに対し、豊浦砂は A のみ圧縮を示し、B、C、D は収縮をしました。宇部まさ土($D_r=141\%$)は A のみ圧縮を示し、B、C、D に体積ひずみは見られなかった。

5. まとめ

本研究によって得られた所見を示す。

支持力実験の結果より、地盤材料の違い、相対密度の違いにより、全般せん断破壊・局所せん断破壊の異なる破壊形態を示した。すべり面上の4要素を取り出し、 $\gamma_{max} \sim S/B_0 \sim \varepsilon_v$ の関係を示すことで、局所的な変位の発達が確認され、地盤の破壊は進行的であることが示された。

参考資料 1) 第49回地盤工学シンポジウム、画像解析による浅い基礎下の密度の異なる砂地盤の変形・破壊挙動の観察、2) 龍岡文雄、わかりやすい土質力学原論(第一回改訂版)、土質工学会、pp51~107、1992、3) PIV ハンドブック、可視化情報学会/編

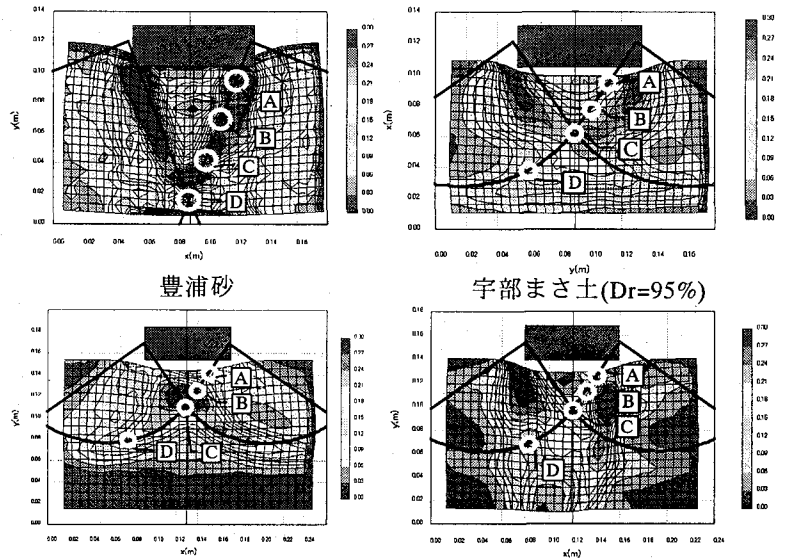


図3 極限支持特付近の最大せん断ひずみ γ_{max} 分布

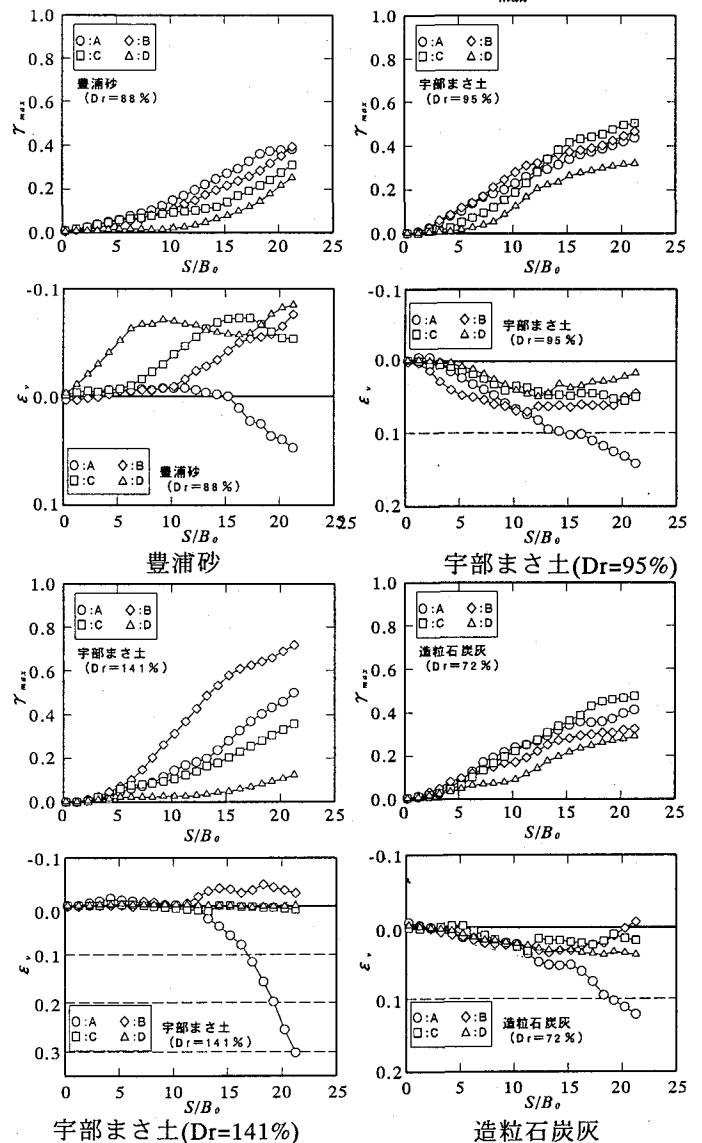


図4 各地盤材料の要素における $\gamma_{max} \sim S/B_0 \sim \varepsilon_v$ の関係