

砂の浅い基礎の支持力特性に及ぼす密度の影響

山口大学大学院 学生会員 ○QIA0HUI 吉川直孝 長坂一宏
山口大学工学部 正会員 中田幸男 兵動正幸 吉本憲正

1. はじめに 基礎の支持力発現メカニズムについて、土がよく締まっている場合には全般せん断破壊を生じ、緩い場合には土の局所的なせん断破壊が生じることが知られている。しかし、局所せん断破壊のメカニズムは未解明な部分が残されている。近年、デジタル技術は進歩し、画像解析技術も改良が加えられ、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つつある¹⁾。

従来より様々な計算手法が開発されており中でも、PIV(Particle Image Velocimetry：画像粒子流速測定法)は、高精度な速度計測が可能になるものと期待される。本研究では豊浦砂を用いて、作成した種々の条件の地盤に対して重力場における浅い基礎の支持力試験を行った。さらに、試験時の局所変位量をPIV解析により取得し、特に密度の違いと二層地盤の変形特性による支持力発現メカニズムを明らかにするとともに、支持力発現メカニズムと地盤破壊の進行性を検討した。

2. 試験概要 試験に使用した砂試料は、豊浦砂($e_{max}=0.973, e_{min}=0.635$, 粒径 $0.075\sim 0.425\text{mm}$)である。図1に支持力模型実験装置、表1に実験条件を示す。模型土槽の寸法は長さ $L=1200\text{mm}$ 、深さ $D=400\text{mm}$ 、奥行き $W=200\text{mm}$ である。試料と土槽の亚克力壁面との摩擦をできる限り除去するため、壁面にグリスを塗って厚さ 2mm のメンブレンを貼り付けた。メンブレンにはPIV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。試料は所定の相対密度となるよう、空中落下法により堆積させた。使用したフーチング(載荷板)は幅 80mm である。底面には豊浦砂を貼り付け、粗としている。地表面の変位計は土槽中央から $2B_0$ の距離に設置した。試験はフーチングを鉛直下方に $0.1\text{mm}/\text{min}$ の速度で変位させることにより行った。

3. 浅い基礎に対する密度の異なる豊浦砂地盤の支持力特性 図2は正規化された基礎の平均圧力(支持力係数) $N_\gamma=2q/n\gamma'B_0$ (q : 支持力, n : 加速度レベル, γ' : 単位体積重量, B_0 : フーチング幅) ~ 基礎幅に対する基礎の沈下量 S/B_0 ~ 基礎幅に対する地盤表面の沈下量 S_g/B_0 の関係を示す。図2異なる密度の沈下曲線から、密な地盤 ($D_r=92\%$) は全般せん断型の挙動を示し、緩い地盤 ($D_r=21\%$) は初期緩やかな勾配をもち明確な最大値は示さなく、最下位にあることがわかる。二層地盤 (上層 48mm まで $D_r=38\%$, 下層 $D_r=85\%$) は初期に密な地盤と同程度に支持力係数が上昇し、支持力係数が100に達して緩い地盤のような緩やかな勾配を示した。そして、二層地盤の沈下曲線は密地盤と緩い地盤の中間にあることが分かる。

4. PIV解析手法を用いた地盤の破壊形態と破壊進行性の評価 地盤のひずみ場を取得するため、デジタルカメラによって実験中一定間隔で写真を撮り続けた。画像の歪みを補正するため、幾何補正を行った。幾何補正には擬似アフィン変換、もしくは高次多項式変換を用いた。 $1360\times 1200\text{pixel}$ の画像解析範囲においてPIV手法による画像解析を行った。ここでは、乾燥状態の密な地盤、緩い地盤、二層地盤の特にせん断ひず

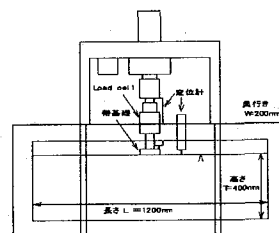


図1 支持力模型実験装置

表1 試験条件

試料	豊浦		
試験装置の サイズ横幅 ×高さ×奥 行き(mm)	1200×400×200		
フーチング載 荷速度 (mm/min)	0.1		
状態	密(乾燥)	緩い(乾燥)	二層(乾燥)
フーチング幅 (mm)	80	80	80
相対密度(%)	92	21	上48mmまで38, 下85
画像の解度 (mm/pix)	0.113	0.166	0.166
地表面変位 計土槽中央 からの距離 (mm)	160	160	160

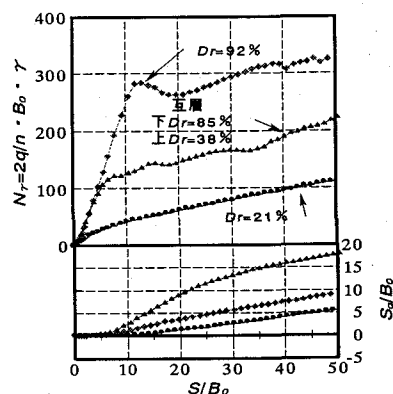


図2 異なる密度の

 $N_\gamma \sim S/B_0 \sim S_g/B_0$ 関係

内部摩擦角 ϕ_{mob} はピークを示した後であることがわかっている。そこで、せん断ひずみが10%以上となる要素はすでに破壊に至っていると、図3~5中に破壊された要素をドットで示した。あわせて、各地盤の破壊に最も適合する Terzaghi の支持力理論(主働くさび底角 $45^\circ + \phi/2$)³⁾のすべり線も示している。各地盤の変形を比較するため、密な地盤が支持力係数のピークを示した後である $S/B_0 = 18.8\%$ において比較した。図3から密な地盤においては、主働くさびは $\phi = 48^\circ$ と遷移領域のすべり線は $\phi = 20^\circ$ の線上に集中しており、この二本の破壊線の間が破壊範囲と考えられる。主働くさびが明確な三角形くさびとなっていることから、全般せん断破壊であることがわかる。図4から緩い地盤は三角形くさびが生じずに遷移領域の破壊は見とれないこと、破壊領域の形からパンチングせん断破壊であることがわかる。また、この地盤がおおよそ $\phi = 20^\circ \sim 35^\circ$ の範囲で破壊を生じていることが、最大せん断ひずみ γ_{max} 分布図からわかる。図5の二層地盤において破壊範囲の上層はパンチせん断破壊を示し、下層は遷移領域の横すべり線が見られる。上の主働くさびは $\phi = 35^\circ$ 、下のすべり線は $\phi = 20^\circ$ の理論値とほぼ一致している。次に、図3から図5中の地表面から順に要素A,B,C,Dを取りあげ、それぞれ最大せん断ひずみと S/B_0 の関係を図6に示した。 $S/B_0 = 12.8\%$ ピーク時、各要素における最大せん断ひずみ γ_{max} は異なった挙動になる。このとき各要素の最大せん断ひずみの差は密な地盤と緩い地盤が同程度で、二層地盤がより小さい値を示した。このことからピーク時の二層地盤の破壊の進行性の程度はより小さいことがわかる。 $S/B_0 = 20\%$ あたりから各要素の最大せん断ひずみの差は密な地盤が最も大きく、緩い地盤と二層地盤が同程度示した。したがって、密な地盤ほど進行性破壊の程度は大きいことが明らかとなった。二層地盤では要素Bは二層の境界面であり最も変形が著しいことが分かる。以上より、地盤の破壊が進行的であることを示し、その傾向は密度により異なること、二層地盤においては、両者の特徴を合わせ持ち、境界ではよりせん断破壊が卓越することを示した。

5.まとめ ①地盤の破壊の進行性は、PIV 手法によって定量的に評価することが可能となった。②密な地盤では全般せん断型破壊、緩い地盤ではパンチせん断型破壊、二層地盤は緩密の二つの特性を持つことから、地盤の破壊パターンは密度の影響を受けることが分かった。③地盤が極限支持力を示す以前から各要素における局所的なひずみの発達を確認され、地盤の破壊が進行的であることを示した。④密な地盤はすべり面上の各要素の最大せん断ひずみの差が最も大きく、密な地盤ほど進行性破壊の程度は大きいことが明らかとなった。

参考文献

- 1) 上野勝利ら 画像解析による簡便なひずみ場計測法 土木学会論文集 III-53, No. 666, pp339-344
- 2) 龍岡文夫 室内せん断試験・原位置地盤調査・安定解析・模型実験・実構造物の挙動の関わりについて pp52-93
- 3) 山口柏樹 浅い基礎の支持力と変形に関する理論とその適用 土と基礎30-7(294) 1982.7 pp85-91

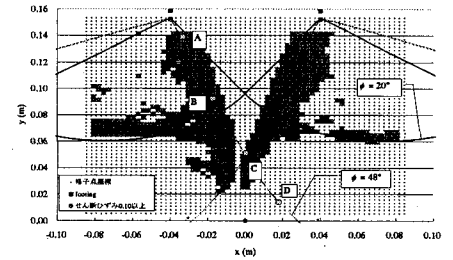


図3 密な地盤の理論破壊範囲と実際の破壊状態

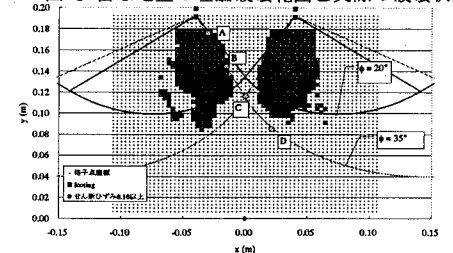


図4 緩い地盤の理論破壊範囲と実際の破壊状態

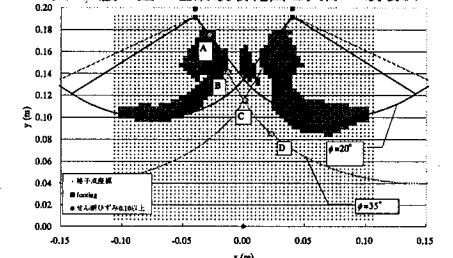


図5 二層地盤の理論破壊範囲と実際の破壊状態

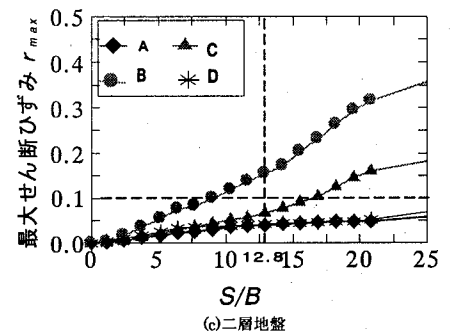
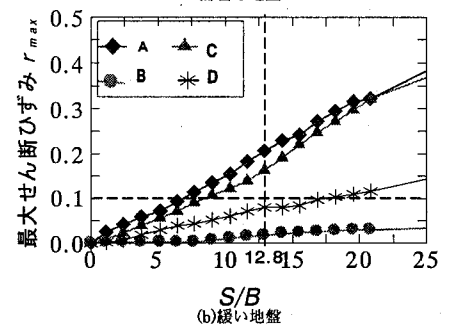
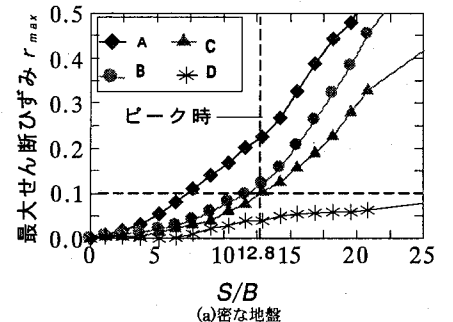


図6 最大せん断ひずみ~S/Bの関係