

観察実験に基づくスパッドカン貫入時の砂地盤の変形挙動

清水建設(株) 正会員 ○前田裕一・桐山貴俊

1. はじめに SEP 船LEG先端に取り付けられるスパッドカンの支持力問題は、薄層支持を念頭とした研究報告がなされている^{例え ば 1),2)}。本研究では既報を参考にスパッドカン貫入時の支持力発揮メカニズムを考察するとともに、支持地盤の変形挙動に着目して遠心模型実験を行った。以降では、遠心載荷場 (50g) で実施したスパッドカン貫入時の観察実験、計測記録、画像解析結果について報告する。

2. スパッドカン貫入実験概要 装置概要は模型寸 (換算寸)、実験結果は換算寸で示す。模型スパッドカンは最大径 (D) 40mm (2m)、軸部 20mm (1m) のステンレス製の鋼棒である (Fig.1)。模型スパッドカンは観察のため半断面模型である。土槽は内径 500mm (25m) の半円筒形であり、側方に観察窓を有する。層厚 300mm (15m) の模型地盤は多重振いを用いた空中落下法により作成した。地盤条件は、乾燥豊浦砂で目標相対密度は緩詰め (50%以下)、密詰め (80%以上) とした。模型地盤作成後、模型スパッドカン、鉛直ジャッキを取付け、遠心載荷装置に設置した。模型スパッドカンは初期状態で地盤に拘束されないため、鉛直に貫入するようにガイドを用いた。貫入は、電動ジャッキによりスパッドカン頭に設置した球座を押し込むことで実施した。載荷速度は 2mm/min. である。貫入抵抗はロードセルで、貫入量はレーザー変位計でそれぞれ計測した。実験は排水条件を想定したため乾燥砂を用いた。

Fig.2 は載荷直前の実験模型の様子である。側方からデジタルカメラにより観察窓を通してスパッドカン貫入時の地盤挙動を撮影し、撮影した画像を画像相関法を用いて解析した。

3. スパッドカン貫入時の貫入抵抗と地盤変形

Fig.3 に実験より得られた貫入抵抗 ($q = F/A$, F : ロードセル値, A : スパッドカン投影面積)、貫入剛性 ($K = q/(d/D)$)、無次元化貫入抵抗 ($\tilde{q} = q/(\gamma'd)$, γ' : 有効単位体積重量) を無次元化貫入量 (d/D , d : 貫入量) との関係を示す。Fig.3(a) より貫入抵抗は貫入量と共に増加し直線形状を示す。貫入抵抗がスパッドカン到達深度に比例しており、貫入抵抗が上載荷重から説明できることを示している。Fig.3(b) に示す貫入剛性 (Fig.3(a) の割線剛性)、Fig.3(c) に示す無次元化貫入抵抗はそれぞれ貫入初期に最大値を示し、その後定常値を示す。これは載荷初期の地盤浅部での破壊モードが全般せん断破壊モード、その後、地盤深部では球根破壊・対流破壊モードをそれぞれ示すためと推測される³⁾。

Fig.4, Fig.5 に緩詰め、密詰め地盤の画像解析結果 (最終貫入時) を示す。スパッドカンは外周地盤を下方に押し下げまた側方に押し分けながら貫入している (Fig.4(a)-(c), Fig.5(a)-(c))。表層に着目すると緩詰め地盤では密詰め地盤に見られる表層地盤を押し上げる全般せん断破壊が見られない (Fig.4(c), Fig.5(c))。Fig.4(e), Fig.5(e) に示す最大せん断ひずみ分布をみると、スパッドカンから下方に押し込む球根破壊、地表へ向かう対流破壊、表層での全般せん断破壊の各破壊モードが確認できる。Fig.3(b),(c) で示した定常値は観察結果からも球根破壊または対流破壊 (両者は共役と推測される) が主要因であることが推測される。Fig.6, Fig.7 はスパッドカン外縁から 1D~4.5D 離れた位置での地盤側方変位の深度分布である。緩詰め、密詰め地盤共に離隔 1D ではスパッドカン到達深度付近で大きな側方変位が生じている。密詰め地盤では表層で全般せん断破壊が生じており浅部で地盤条件による地盤変形の違いが確認

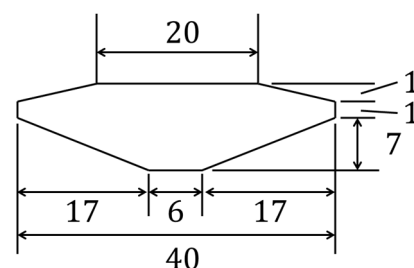


Fig.1 Spudcan model size (unit: mm)



Fig.2 Status just before centrifugal loading

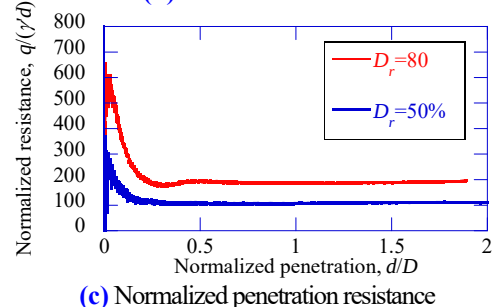
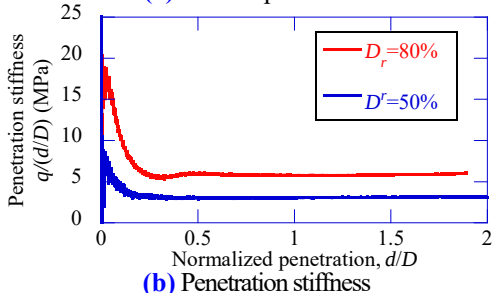
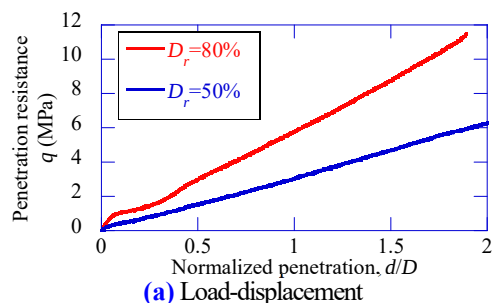


Fig.3 Load-displacement relationships

できる。離隔が増加すると共に側方変位は減少し、緩詰め地盤では $4.5D$ 離れると水平変位はほとんど生じていない。

4. まとめ 遠心载荷場における砂地盤へのスパッドカン貫入実験を実施し次のことを明らかとした。1)貫入抵抗値は地盤破壊モードと関連し、表層（地盤浅部）では全般せん断破壊、地盤深部では対流破壊に関連する抵抗値を示す、2)地盤破壊は表層での全般せん断破壊、スパッドカン下への球根破壊、スパッドカン下から地表へ向かう対流破壊が生じ、緩揺詰め地盤では表層の全般せん断破壊は生じない、3)地中側方変位はスパッドカン到達深度付近で最大値を示し遠方へ向けて変位量は減じていく。

参考文献 1) Teh et al.:Centrifuge model study of spudcan penetration in sand overlying clay, *Géotechnique*, 60(11), 825-842, 2010. 2) Hu et al.:Predicting peak resistance of spudcan penetrating sand overlying clay, *ASCE, J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 04013009-1-13, 2014. 3) Hossain et al., Limiting cavity depth for spudcan foundations penetrating clay, *Géotechnique*, 55(9), 679-690, 2005.

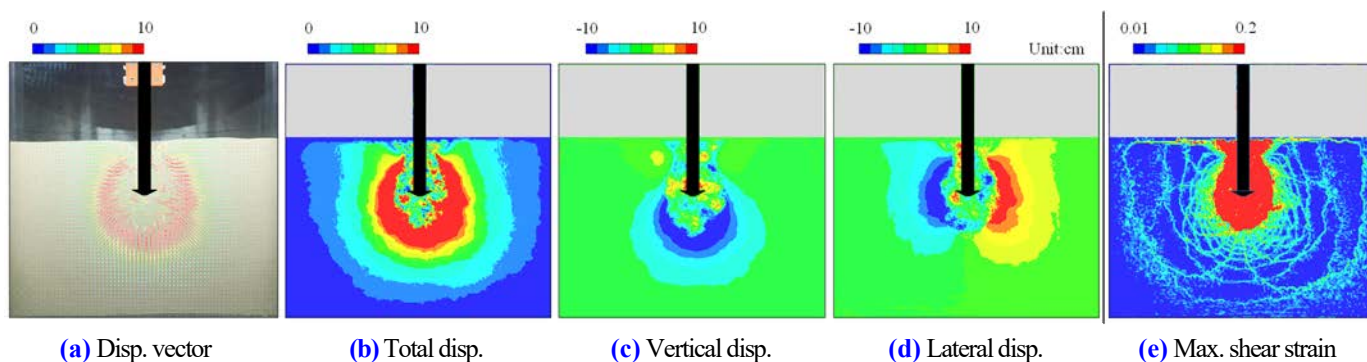


Fig.4 Visualization of ground behavior during spudcan penetration in loose sand ($D_r=50\%$, $d=2.0D$)

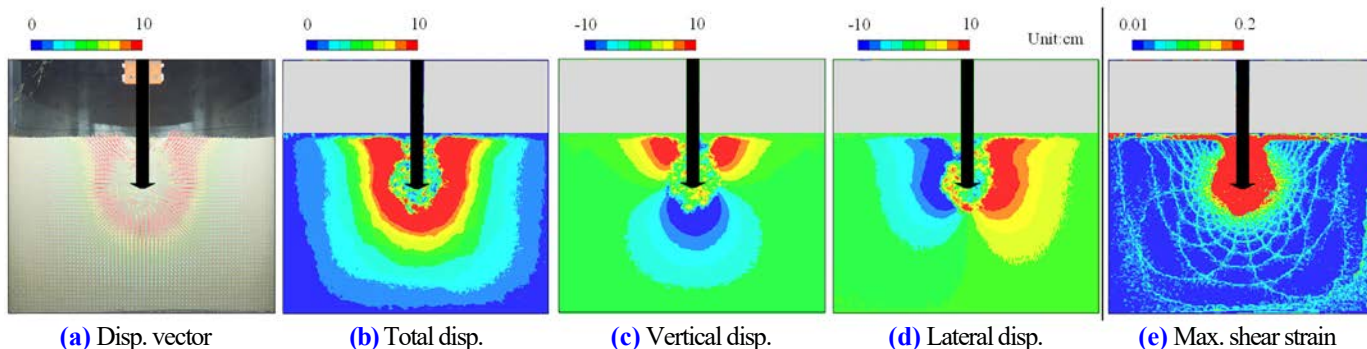


Fig.5 Visualization of ground behavior during spudcan penetration in dense sand ($D_r=80\%$, $d=1.88D$)

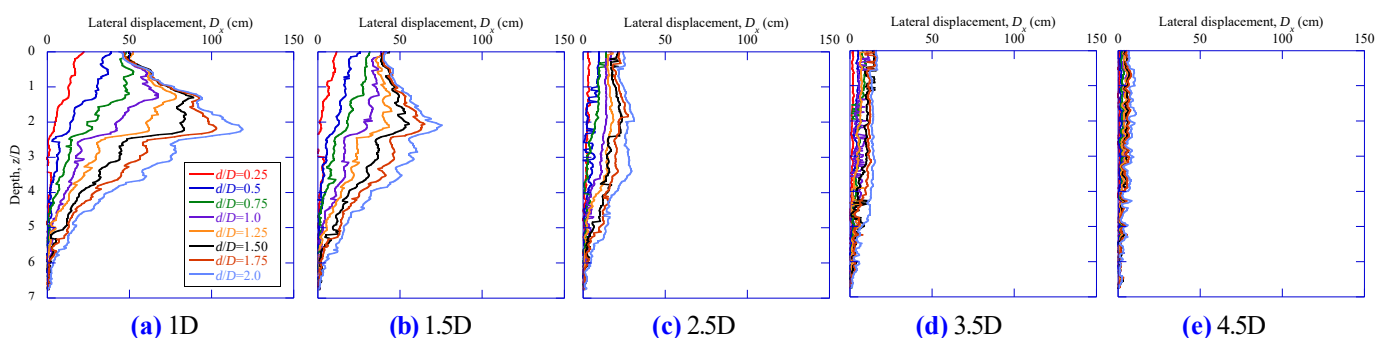


Fig.6 Lateral displacement progress during spudcan penetration in loose sand ($D_r=50\%$)

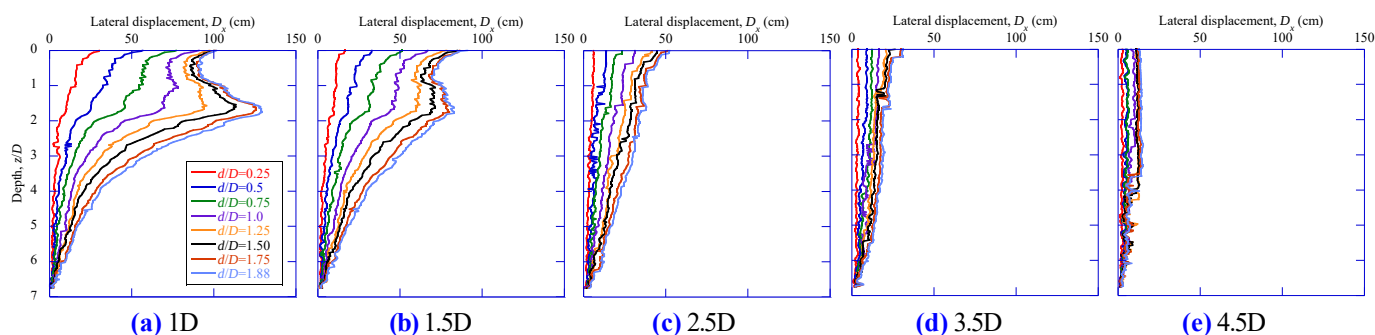


Fig.7 Lateral displacement progress during spudcan penetration in dense sand ($D_r=80\%$)