

1. 背景と目的

基礎構造物を設計するには、地盤の極限支持力を算定する必要がある。式(1)に示す道路橋示方書における鉛直支持力の算定式¹⁾が広く実務で活用されている。だが、この算定式における支持力係数は数値計算等により決定されており、基本的に安全側の評価を与える傾向がある。また、直接基礎の鉛直荷重時や偏心荷重時には十分に研究されているが、傾斜荷重時についての研究は未解明な部分が残されている。本研究の目的は、X線CTを併用した模型実験と剛塑性有限要素法²⁾を用いて傾斜荷重時の極限支持力を式(1)と比較検討し、設計への適用性を明らかにすることである。

$$Q_u = A_e \{ \alpha \kappa N_c S_c + \kappa q N_q S_q + \frac{1}{2} \gamma_1 \beta B_e N_\gamma S_\gamma \} \cdots (1)$$

2. X線CTを用いた模型実験

2.1 実験概要

図-1に実験装置の概要を示す。模型地盤は直径300mmの円筒形土槽に気乾状態の豊浦砂を密な地盤を想定し、相対密度が90%程度となるように作製した。基礎は底面積1600mm²の正方形のものを使用した。変位制御で実験を行い、荷重速度0.1 mm/minで基礎を段階的に貫入し、CT撮影を行った。CT撮影は荷重-沈下曲線におけるピーク時と残留強度時に注目し、初期地盤(Initial)、ピーク荷重時(Step1)、さらにピーク後に基礎を貫入した際に、連続的に応力が上昇し始める段階(Step2)でCT撮影を実施した。実験ケースは荷重の傾斜角の違いにおける荷重-沈下曲線およびすべり面形状を把握する目的で0°、5°、10°、15°の4ケースとした。

2.2 荷重-沈下曲線

図-2に荷重-沈下曲線を示す。縦軸は得られた荷重を底面積で除して応力に換算し、横軸は基礎の貫入量としている。荷重の傾斜角が大きくなるにつれて、極限支持力は小さくなる。また、傾斜角の違いにより、極限支持力を迎える貫入量に違いが見られ、傾斜角が大きくなるにつれて、極限支持力を迎える貫入量は小さくなっている。

3. 数値解析概要

本研究では、実験結果の妥当性を評価するために剛塑

性有限要素法を用いた三次元数値解析を実施した。図-3に解析メッシュを示す。解析では模型実験の半断面を対象とし、基礎は剛とするためフーチングを考慮したモデルを作成しその上に載荷した。フーチングは $c=1\text{MPa}$, $\phi=0^\circ$ とした。地盤条件は、本研究における模型地盤は、極めて密な砂地盤としたことより、 $\phi=45^\circ$ を採用した。また、 c については砂質土ではあるが、計算を安定させるためごく僅かな値として、 $c=1.0\text{kPa}$ を与えた。

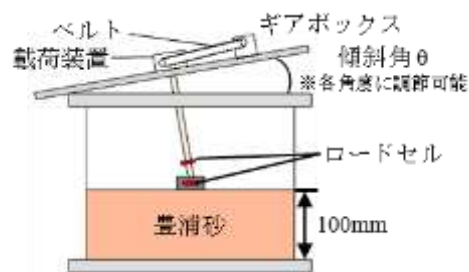


図-1 実験装置概要

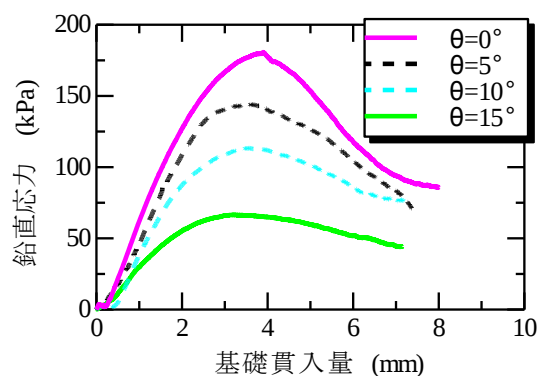


図-2 荷重-沈下曲線

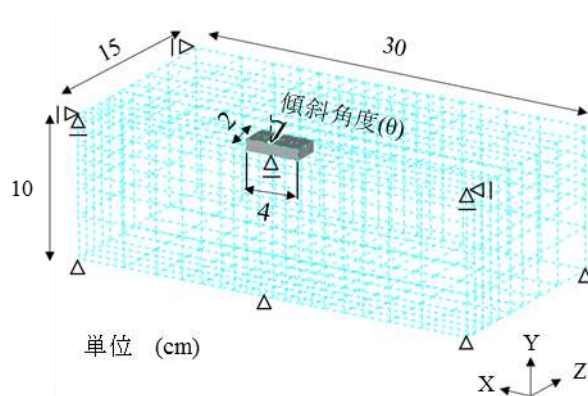


図-3 解析メッシュ

4. 模型実験と数値解析の比較

4.1 極限支持力の比較

図-4 に極限支持力の比較を示す。ここでは、実験値と解析値に加えて式(1)との比較も行う。解析値が最も大きな値を示し、次いで実験値、算定式値の順となっている。解析値が大きくなっているのは、メッシュ作製時に、特異点処理を導入していないためであると考えられる。算定式値は実験値の6~7割程度の支持力となっている。

4.2 荷重の傾斜によるすべり面形状と速度ベクトル

図-5 および図-6 に Step2 における三次元抽出画像および剛塑性有限要素法より得られた速度ベクトルを示す。ここでは、一例として $\theta=0^\circ$ と $\theta=15^\circ$ について示す。主働領域付近の地盤ほど密度低下が大きく、円弧状に密度低下領域を形成していることがわかる。主働領域付近およびすべり面を相対密度に換算すると 30~40%程度まで低下している。また、すべり面周辺地盤は相対密度 60~70%程度まで低下している。 $\theta=0^\circ$ は、左右にすべり面が生じており類似した形状となっているが、 $\theta=15^\circ$ では荷重が作用する方向にすべり面が大きく生じ、一方向に依存している。速度ベクトルにおいても実験同様に $\theta=0^\circ$ では、左右対称の速度ベクトルが得られ、荷重が傾斜するとともに一方向に依存する傾向を示す。また、荷重の傾斜角が大きくなるとベクトルが発生する領域が小さくなっている。

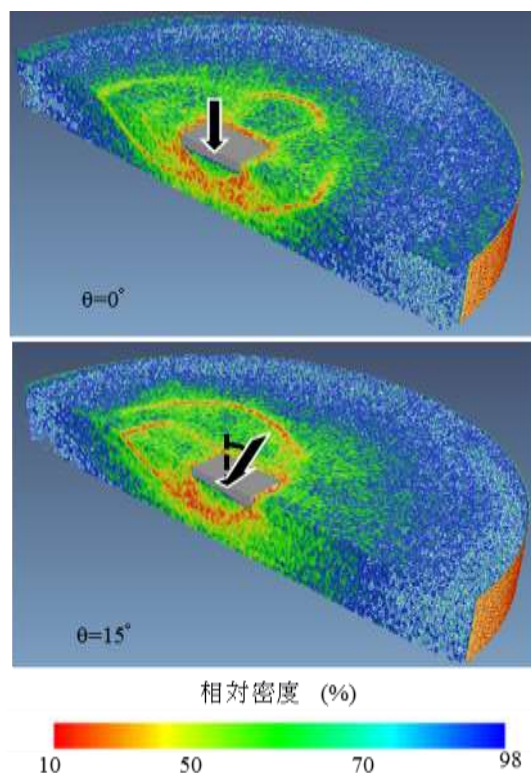


図-5 傾斜角の違いによるすべり面形状

4. まとめ

本報告では、傾斜荷重時の直接基礎を対象に X 線 CT を併用した模型実験と剛塑性有限要素法を用いた数値解析を実施した。その結果、荷重の傾斜は、極限支持力や極限支持力を迎える貫入量、地盤内のすべり面形状に影響を与えることがわかった。また、極限支持力の比較についてはさらに検討の余地があり、今後は改善を施し、計算精度の向上に努める予定である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（I 共通編，IV 下部構造編），pp.269-279，2002.3
- 2) Tamura, T., Kobayashi, S. and Sumi, T. : “Limit analysis of soil structure by rigid plastic finite element method”, Soils and Foundations, Vol.24, No.1, pp.34~42, 1984.

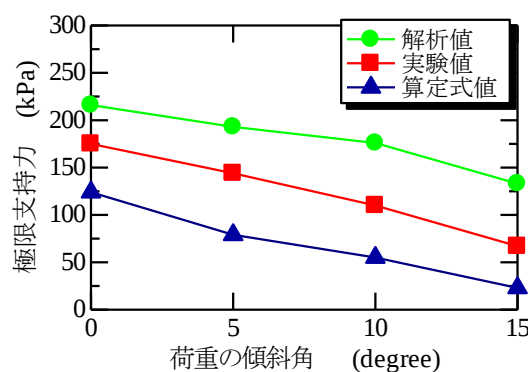


図-4 極限支持力の比較

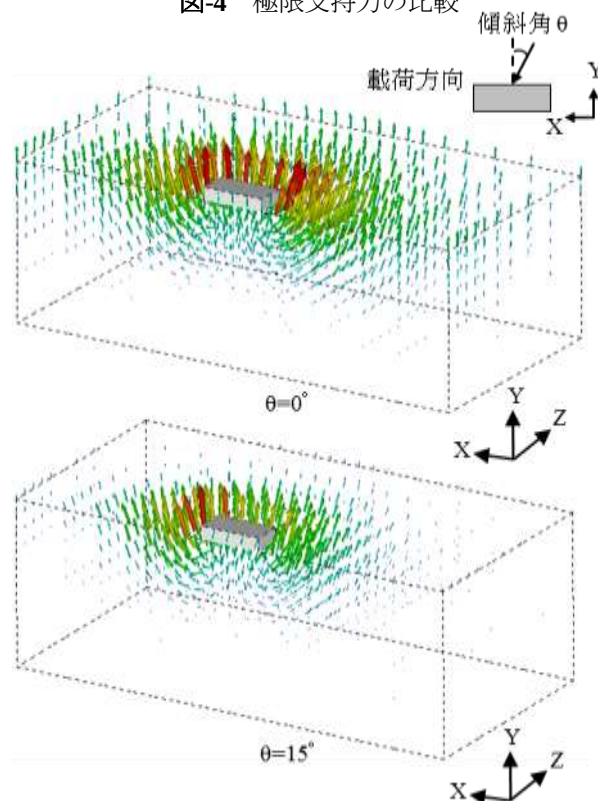


図-6 速度ベクトル