

砂粘土 2 層地盤の直接基礎の極限鉛直支持力についての検討

千葉工業大学 学生会員 荒木拓海 正会員 金田一広

1. はじめに

上部は砂層、下部層の 2 層地盤の支持力について、砂層で荷重が分散されることを考慮して粘土層の支持力を評価する。例えば、図 1 および式(1)は根入れのある評価式¹⁾であるが、基礎幅 B が砂層の層厚に比べて小さい場合は砂層でせん断破壊が生じ、大きい場合はせん断破壊域が砂層から粘土層に達して、粘性土地盤のせん断抵抗力が基礎の極限支持力に関係する。

$$q_{ac} = \frac{NCB}{F_{bB}} c + \gamma_t D + \frac{H_s p'_0 K_0}{F_{bB}} \tan \varphi' \cdots (1)$$

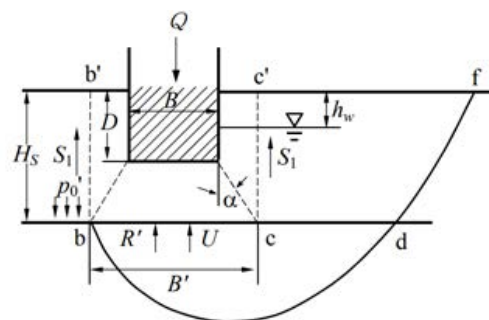


図 1. 分散破壊（二層地盤（砂・粘土）の支持力）

N_c は支持力係数、 B は基礎幅(m)、 F_b は安全率、 c は粘着力

(kPa)、 γ_t は密度(kN/m³)、 D は根入れ深さ(m)、 H_s は上部層(m)、 p'_0 は静止係数、 K_0 は静止圧係数である。 $B' = B + 2(H_s - D) \tan \alpha$ 、 $p'_0 = \gamma_t h_w + \gamma'(H_s - h_w)$ は砂底面における有効土土被り圧である。荷重が砂層を伝搬して粘土層に分布して載荷して粘土層がせん断破壊する現象を分散破壊と称する。しかし、上部砂層と下部粘土層の強度の違いについては調べられていない。つまり、強度比によっては砂層破壊あるいは分散破壊になると考えられる。さらに、砂層で基礎幅が大きくなると寸法効果が知られている。本研究では寸法効果を考慮できる高次関数を用いた剛塑性有限要素法を用いて砂粘土 2 層地盤の直接基礎の極限支持力について検討した。

2. 寸法効果について

初めに、寸法効果について説明する。式(2)は建築学会基礎構造設計指針²⁾に示されている N_γ に関する項である。

$$q_u = i_\phi \beta \gamma_1 B \eta N_\gamma \cdots (2) \text{ ここで } \eta = \left(\frac{B}{B_0}\right)^{-1/3}, i_\phi = \left(1 - \frac{\phi}{\phi_0}\right)^2 \text{ である。}$$

B 、 B_0 の単位は m で、 $B_0 = 1$ とし、 γ_1 は支持力地盤の単位体積重量(kN/m³)である。ここでは単位体積重量には $\gamma_1 = 18 \text{ kN/m}^3$ を用いた。また η が寸法効果を表す係数となる。図 2 には既往の研究で $\phi = 30, 40$ 度の時の支持力値と基礎幅の関係を示す。ここで示している AIJ は式(2)の値を示している。構成方程式として高次関数を用いることによって寸法効果を表現できていることが分かる。なお高次関数に関しては参考文献³⁾に詳しい。

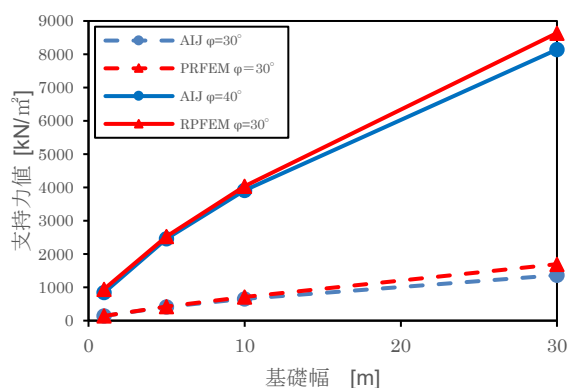


図 2. 支持力値・基礎幅の関係図

3. 解析条件

基礎幅 B は 1m および 10m とした。また、上部砂層の層厚は基礎幅 B に対して $0.5B, 1B, 1.5B$ と設定した。図 3 に基礎幅 1m、上部砂層 1.5m の解析メッシュを示す。なお、基礎幅に応じてせん断破壊が解析メッシュ内で発生するように下部粘土層の層厚や水平距離を設定している。上部砂層はせん断抵抗角 $\phi = 30, 40$ 度、下部粘土層は 20, 50, 100 および 150kPa とした。高次関数のパラメータは $\phi 30$

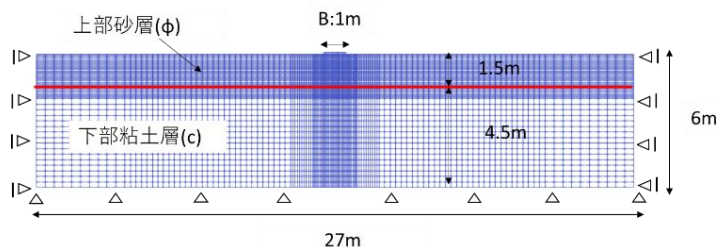


図 3. 解析メッシュ (1m)

度の地盤は $a=0.175, b=1.0, n=0.526$ 、 $\phi 40$ 度の地盤は $a=0.257, b=1.0, n=0.526$ としている。また上部砂層、下部粘土層

の単位体積重量は $\gamma=18\text{kN/m}^3$ とし、基礎は剛としている。基礎に荷重を鉛直に作用させ、極限鉛直支持力を求めている。

4. 解析結果と考察

解析解が砂層破壊か分散破壊かどちらの破壊形態に近いについて検討する。解析解を砂層破壊の支持力と分散破壊の支持力で割って整理する。なお、式(1)での分散角は 26.6° (1:2)とし、 $K_0=0.5$ としている。図4には解析解/砂層破壊支持力 (赤色)、解析解/分散破壊支持力 (青色) と下部の粘土層の関係を示す。また、■が上部砂層 0.5B, ▲が 1B および●が 1.5B を示す。まず基礎幅 1m の結果を見ると $\phi=30^\circ$ の場合は粘土層の強度にかかわらず砂層破壊、分散破壊となっていない。図5(a)に砂層 1.5m 粘土層 150kPa の破壊時せん断ひずみ分布を示すが、下部粘土層で浅いすべりがみられる。砂層破壊とも分散破壊とも言えない破壊形状がみられた。 $\phi=40^\circ$ の場合は粘土層の強度が小さい 20kPa では分散破壊に近く強度が高くなるにつれて砂層破壊に近づく。次に基礎幅 10m の結果を見ると、 $\phi=30^\circ$ の場合は粘土層の強度が 20kPa の時は分散破壊に近く、強度が大きくなるにつれて砂層破壊に近づく。 $\phi=40^\circ$ の場合は、基礎幅が 1.0B で粘土層が 50kPa の時は解析解/分散破壊が 1.4 と大きくなっている。図5(b)にせん断ひずみ分布を示す。これは相対的に上部砂層の強度が高いため荷重の分散が 26.6° より大きく、例えば分散角を 40° (1.7:2)にすれば解析解/分散破壊支持力が 1.0 程度になる。この傾向は $\phi=30^\circ$ の上部砂層 1.5B の時も同様である。粘土層の強度が大きくなると砂層破壊に近くなるが、強度が小さい場合は分散破壊となり、その角度が広がっているといえる。これらの結果から下部粘土層の強度が比較的小さいときは分散破壊が生じやすく、強度が大きくなると、砂層破壊になるといえる。

5. まとめ

高次関数を用いた剛塑性有限要素法で2層地盤の鉛直支持力について検討した。今後は上部が粘土層、下部が砂層など組み合わせを変えて強度と分散角について検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 山口柏樹：土質力学, pp253-278, 技報堂 1990
- 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, pp.112-136, 2019.
- 3) 保科隆, 大塚悟, 磯部公一：地盤の拘束圧非線形強度特性を考慮した極限支持力の剛塑性有限要素解析, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol. 68, No. 2(応用力学論文集 Vol.15), I_327-I_336, 2012.

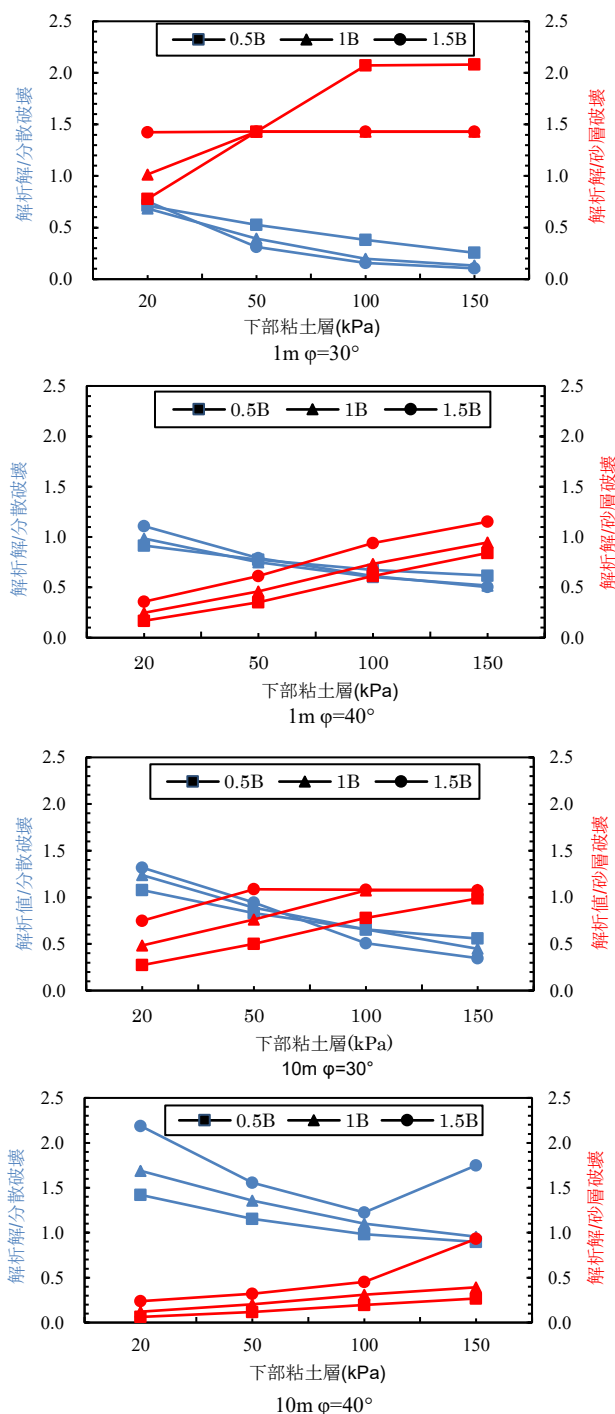


図4. 解析解/分散破壊支持力、解析値/砂層破壊と下部粘土層の関係

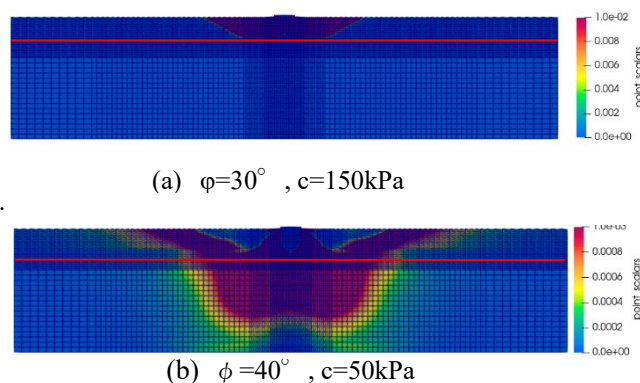


図5 破壊時せん断ひずみ分布