

剛塑性有限要素法を用いた根入れを有する基礎が設置された地盤の支持力解析

岐阜工業高等専門学校 正会員 水野 和憲
岐阜工業高等専門学校専攻科 学生会員 ○森 弘一

1 はじめに

一般に、図-1 に示すような剛な帯基礎による地盤の極限支持力の算定には Terzaghi の支持力公式が用いられる。ここで、粘性土地盤 ($\phi \rightarrow 0$) を想定し、日本建築学会「建築基礎構造基礎設計指針¹⁾」の支持力係数を用いると Terzaghi の支持力公式は次式を得る (以下、Terzaghi 式と呼ぶ)。

$$q_f = 5.3c_u + \gamma' D_f \quad (1)$$

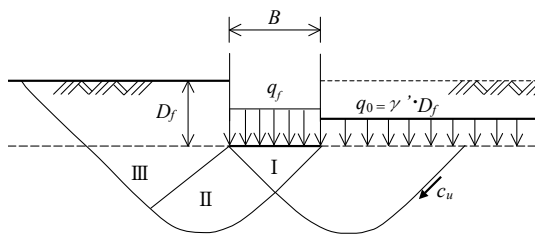


図-1 基礎の支持力問題

ここで、 q_f :極限支持力 (kN/m^2), c_u :非排水せん断強度 (kN/m^2), γ' :土の有効単位体積重量 (kN/m^3), D_f :基礎の根入れ深さ (m) である。式 (1) は、「基礎底面下の非排水せん断強度」と「基礎の根入れ深さに相当する押え荷重」の2つの項の重ね合わせによって極限支持力 q_f が求められることを示している。ここで、式 (1) の第2項については、もともと根入れ部 (基礎底面より上方の地盤) のせん断抵抗を考慮せず、単なる押え荷重と仮定した項であるため、式 (1) は、常に安全側の極限支持力 q_f を算出している。

本研究は、このような支持力問題に対して剛塑性有限要素法^{2), 3)} (以下、RPFEM と呼ぶ) の適用を試みた。RPFEM を用いた支持力計算は、式 (1) のような仮定は不要で、根入れ部を含む地盤全域が極限つり合い状態となる不静定問題を解く手法であるため、根入れ部のせん断抵抗を考慮した支持力計算が可能となる。そこで、本研究の目的は、根入れを有する基礎が設置された地盤の支持力計算を行い、Terzaghi 式との比較から①このような支持力問題における RPFEM の有効性を明らかにすること、②Terzaghi の支持力公式について若干の考察を行うことである。

2 計算条件

計算に用いた有限要素メッシュおよび境界条件を図-2 に示す。計算は、基礎幅 ($B=4\text{m}$) の中心線より左右対称性を考慮した半断面地盤を用意し、二次元平面ひずみ条件で行う。飽和状態の粘性土地盤を想定し、地盤内は、等方性 ($K_0=0$) を有し、また非排水せん断強度 ($c_u=30.8 \text{ kN/m}^2$) も地盤内で均一と仮定する。根入れ深さ D_f は、 $0 \leq D_f \leq 4\text{m}$ の範囲で支持力解析を行った。また、基礎端部に特異点処理を施した⁴⁾。

本研究では、基礎が基礎近傍の地盤の変位を拘束する役割を果たすことに着目し、土の変位速度場に「距離不変」、「角度不変」の各種制約条件を導入して基礎の役割を表現することとした⁵⁾。また、基礎底面と地盤間は粗とし、基礎側面については滑らかとした。基礎のモデル化について図-3 に示す。

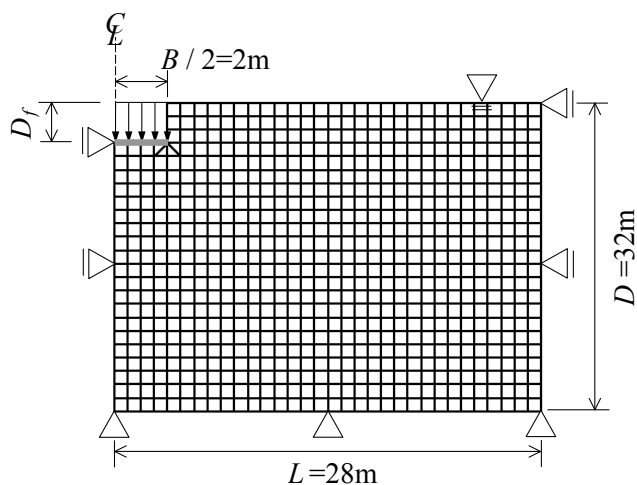


図-2 有限要素メッシュと境界条件

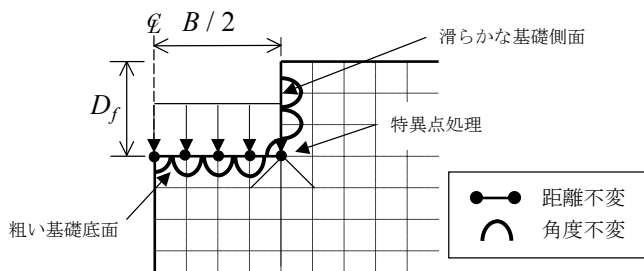


図-3 基礎のモデル化

3 計算結果

3.1 RPFEM の有効性

各根入れ深さ D_f に対して, RPFEM と Terzaghi 式より得られた極限支持力 q_f を図-4 に示す. なお, Terzaghi 式では, $\gamma' = 6.5 \text{ kN/m}^3$ を用いた.

図-4 より, 本研究で与えた計算条件下では, 根入れを有する場合は RPFEM の極限支持力の値が Terzaghi 式を上回っていることがわかる. これは, Terzaghi 式に対して RPFEM が根入れ部のせん断抵抗を考慮していることが考えられる. これを確かめるため, 根入れ深さ D_f が 2m での変位速度場を図-5 に示す. 図-5 より, 根入れ部において破壊時塑性流れを表していることがわかり, RPFEM が根入れ部のせん断抵抗を考慮した計算であることがわかる. これらより, 基礎が根入れを有する場合の支持力計算においても RPFEM の有効性が示された.

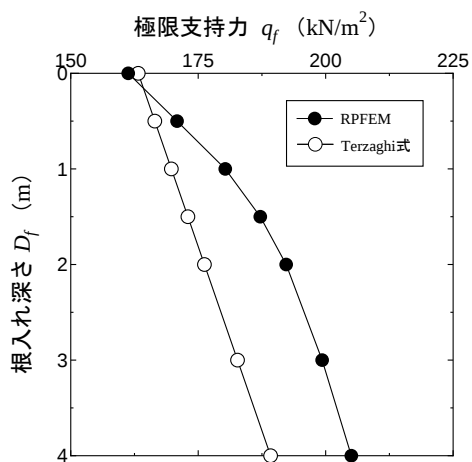


図-4 RPFEM と Terzaghi 式の比較

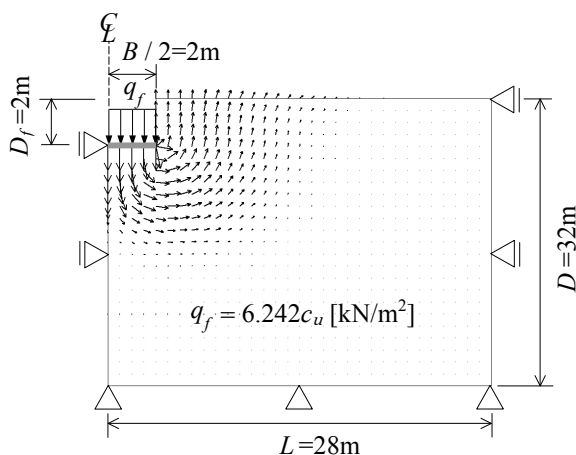


図-5 破壊時の変位速度場

3.2 Terzaghi の支持力公式の考察

図-4 より, 本研究で与えた計算条件下では, 根入れ深さ D_f が 2m 以深において, 根入れ深さ D_f の増加に対する極限支持力 q_f の増加傾向は, 両者ともにほぼ同じ (平行) であることがわかる.

Terzaghi 式は, 根入れ部が地盤の極限支持力 q_f に与える効果を式 (1) の $\gamma' D_f$ のみで表しているが, 根入れ部のせん断抵抗を考慮できる RPFEM と同傾向の計算結果を算出していることから, Terzaghi が式 (1) で表したことは適切であるとともに卓抜なアイデアであることがわかった.

4 おわりに

本研究により RPFEM を用いて基礎の根入れを有する支持力計算が可能であることを示した. また, Terzaghi 式と比較することで, RPFEM は根入れ部の土のせん断抵抗を考慮できる計算であることが示された.

次に, Terzaghi 式は根入れ部の土のせん断抵抗を考慮しない計算ではあるが, 根入れの増加分による極限支持力の増加分を, Terzaghi は支持力公式の中で「押え荷重 ($\gamma' D_f$)」の項として式示していたことが適切であることがわかった.

なお, これまでに行った地盤の支持力計算では, 地盤内は等方性および, 強度均一性を有すると仮定して計算を行った. 実際の自然堆積地盤は, 土被り圧に応じて深さ方向に「不均一」に強度が分布しており, さらに「異方性」を示す. これらの影響を考慮した支持力問題についても検討する予定である.

参考文献

- 1) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針, 技報堂出版, pp.119-123, 1988.
- 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.
- 3) 小高猛司: 水-土骨格連成極限つり合い解析に基づく複合地盤の支持力に関する研究, 名古屋大学学位論文, 1993.
- 4) 沖見芳秀, 右近八郎, 吉清孝: 剛塑性有限要素法による支持力解析におけるモデル化について, 第 44 回土木学会年次学術講演会講演概要集, III, pp.96-967, 1989.
- 5) Asaoka, A., Noda, T. and Kaneda, K.: Displacement/Traction boundary conditions represented by constraint conditions on velocity field of soil, Soils and Foundations, Vol.38, No.4, pp.173-181, 1998.