

Ⅲ-433 地盤・構造物システムの全体安全率の評価とその一例

名古屋大学大学院 学生会員 ○川口 英司、山田 英司
名古屋大学工学部 正会員 大塚 悟、松尾 稔

1 はじめに

従来地盤工学では問題を単純化するために、地盤と構造物間の相互作用にある種の仮定を設けて地盤または地盤構造物だけを対象としてその挙動の予測や評価を行ってきた。しかし、基礎の支持力問題に代表されるように基礎と地盤は載荷重に応じた変形によって相互作用力の再配分を行う。そのために地盤と構造物間の相互作用力の適切な考慮が全体の変形や安定性の評価には欠かすことができない。本研究では地盤と構造物とを同時に、かつ相互作用力の変化を考慮して地盤・構造物システム全体の安定性を評価する方法を提案し、その一例として有限な基礎の剛性を考慮した直接基礎の支持力解析を取り上げる。

2 地盤・構造物システムの安定解析手法

本研究では地盤と構造物の相互作用を考慮した地盤・構造物システムの安定性評価にシェイクダウン解析¹⁾を適用する。この方法は基本的に極限解析と同様の枠組みを持ち、支持力問題のように単調に荷重を増加する問題においては完全に一致する。シェイクダウン解析では構成式には弾完全塑性仮定を用い、線形な降伏関数を用いる。線形降伏関数を用いると、線形計画法によって容易に境界値問題を解くことができ、安定した解を常に求めることができる数値解析上の利点がある。

地盤内応力を σ 、構造物の断面力を S とする。外荷重が小さいときは地盤や構造物は弾性的に挙動するので応力再配分は生じないが、大きな外荷重によって地盤・構造物システム内に降伏関数を破る弾性応力 σ^E, S^E が発生する場合、降伏関数を満たすように応力が再配分されて残留応力 $\bar{\sigma}^R, \bar{S}^R$ が発生し、地盤・構造物システムの安定性は保たれる。ここで、弾性応力は外荷重 $= F$ とつり合い、残留応力は外荷重 $= 0$ とつり合うことに注意する。Melan の定理(下界定理)に基づく地盤・構造物システムの安定性評価は式(1)を満たす荷重係数 α を求めることに帰着する。

$$s = \max \left\{ \alpha \left| \alpha N^T \begin{Bmatrix} \sigma^E \\ S^E \end{Bmatrix} + N^T \begin{Bmatrix} \bar{\sigma}^R \\ \bar{S}^R \end{Bmatrix} \leq K, B^T \begin{Bmatrix} \sigma^E \\ S^E \end{Bmatrix} = F, B^T \begin{Bmatrix} \bar{\sigma}^R \\ \bar{S}^R \end{Bmatrix} = 0 \right. \right\} \quad (1)$$

式(1)には陽な形で相互作用力は現れていないが、地盤と構造物の間に働く相互作用力は載荷重によって変化する残留応力の関数となるので、残留応力・残留断面力を考慮することにより相互作用力の影響を評価することができる。

3 曲げ剛性を考慮した直接基礎の支持力解析

地盤・構造物システムの全体安全率の評価の一例として、直接基礎の支持力解析を取り上げる。直接基礎を梁要素と考え、基礎の曲げ剛性 EI と全塑性モーメント M_p が支持力に与える影響を調べるためにパラメトリック・スタディを行った。図.1 に解析に用いた有限要素メッシュと荷重条件、表.1 に地盤定数及び梁要素を考慮していない場合の支持力 q_{u0} を示す。ここでは粘土地盤及び砂地盤について平面ひずみ条件で解析

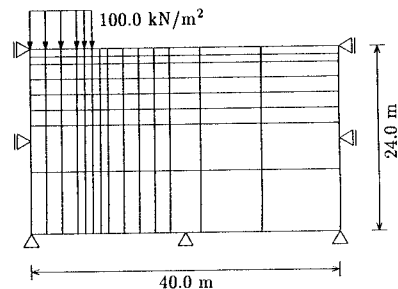


図.1 有限要素メッシュと荷重条件

表.1 地盤定数

$E=1000 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.3$, $\gamma=16.96 \text{ kN/m}^3$	
Mises (粘土地盤)	$(c_u)_{ps}=19.6 \text{ kN/m}^2$ $q_{u0}=103.7 \text{ kN/m}^2$
Drucker-Prager (砂地盤)	$(c_u)_{ps}=19.6 \text{ kN/m}^2$, $\phi=40.0^\circ$ $q_{u0}=4086.7 \text{ kN/m}^2$

を行った。

図.2 に基礎の支持力と基礎の全塑性モーメント M_p の関係を示す。基礎の曲げ剛性 EI が十分小さいときの支持力は、梁要素を考慮していない場合の支持力 q_{u0} と一致するが、 EI が大きくなると M_p によって支持力が決まる。 M_p が小さい時は EI が大きいために基礎に発生する曲げモーメント M はすぐに M_p に達し、地盤が塑性崩壊する前に基礎の部分で塑性崩壊が生じる。この時点で全体系の破壊と判断されるので支持力は小さくなる。また M_p が大きくなると支持力は上昇するが、ある数値より大きくなると支持力は一定値になる。この時の支持力は EI が小さいときよりも低下している。これは基礎端部に相互作用力が集中することと基礎端部の集中的な荷重によって地盤が塑性崩壊しやすくなることに起因している。

図.3 に基礎の全塑性モーメントを $M_p = 2.5 \times 10^5 \text{ kN}\cdot\text{m}$ とした時の支持力と曲げ剛性 EI の関係を示す。また図.4 に図.3 の縦軸を $q_u/(c_u)_{ps}$ として粘土地盤及び砂地盤の場合の支持力の比較を示す。図.3 では粘土地盤、砂地盤とも同じように EI が大きくなるにつれて支持力が低下していき、ある値に漸近していく傾向を示している。図.4 で支持力値として比較すると砂地盤の方が極端に支持力が低下しているが、それでも粘土地盤より支持力はずいぶん大きい。従来砂地盤上に硬い（剛性が大きい）基礎を載せると支持力は上がると言われていたが、本解析手法では粘土地盤と同様に砂地盤でも支持力は低下する結果となった。この原因としては支持力の定義を上げることができる。本解析は下界定理に基づいていて、基礎端部のように局所的であっても非拘束流れを生じる崩壊モードに対しても全体破壊として判断する。そのために、実験等から得られる荷重-変位（例えば中央沈下）関係から判断する支持力とは異なる。

4 まとめ

本研究では地盤・構造物システムの相互作用を考慮した全体安全率の評価手法を提案した。式 (1) の構造物の断面力に軸力等を考慮すると全く同様のスキームで、構造物の軸力によって地盤との相互作用効果の現れる補強土斜面について安定性評価を行うことが可能である。今後その適用性について検討する予定である。

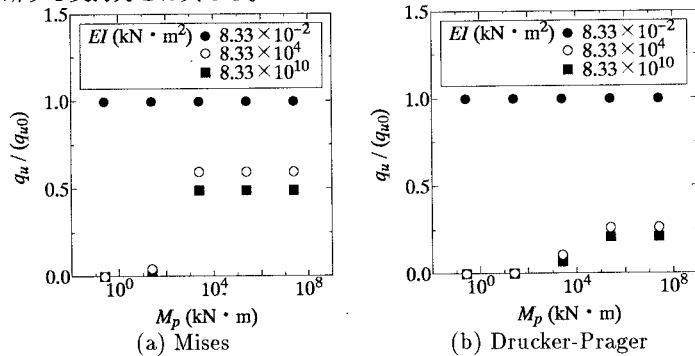


図.2 支持力～全塑性モーメント関係

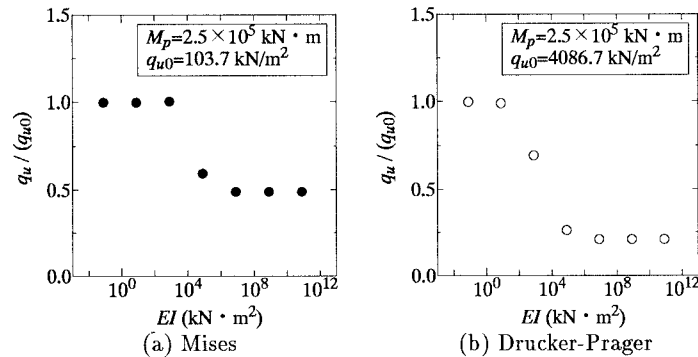


図.3 支持力～曲げ剛性関係

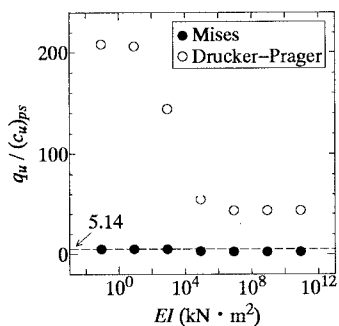


図.4 粘土地盤と砂地盤の支持力の比較

参考文献 1) W.T.Koiter(1960) : General theorems for elastic plastic solids, Progress of solid mechanics, Vol.2, North Holland Press.