

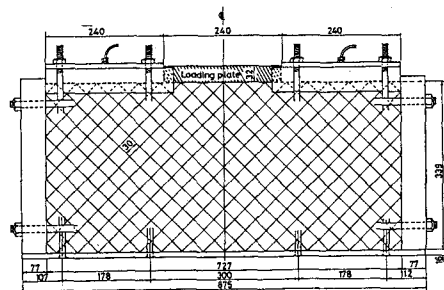
埼玉大学 大学院 学員 倉持 秀明

戸田建設技術研究所 正員 関根 一郎

埼玉大学 工学部 正員 山辺 正

1 はじめに 岩盤には節理、層理といった多くの不連続面が存在するため複雑な変形挙動を示す。本研究では系統的な不連続面群を有する岩盤の変形解析手法を開発し、その手法の妥当性を検討するために不連続性基礎岩盤モデルへの荷重試験結果と、この基礎岩盤モデルの有限要素解析結果との対比を行った。なお、不連続面の変形特性を表すために、垂直剛性 K_n 、せん断剛性 K_s を採用した。その要素試験の結果等は別途報告する¹⁾。本報では基礎岩盤モデルの解析結果から内部の応力状態等について考察した。

2 基礎岩盤モデルへの載荷試験 モデル実験では図1に示すようにブロック状の凝灰岩を積み上げ直交二系列の不連続面を持つ平面応力状態の基礎岩盤モデルを作成し、その中央部より等変位載荷する。また、フーチングの両側でサーチャージを空気圧によって作用させるものである。なお、モデル岩盤と反力棒の間にはテフロンシートをはさみ摩擦を軽減している。



四-1 基礎岩盤モデル

3 解析手法 従来の原位置の一般的な解析手法では横坑内平板載荷試験等の結果より求めた弾性定数を一定としポアソン比をある値に仮定することから解析が行われている。

本報では応力伝達方向とジョイントのなす角 θ 及び有限要素内部の主応力 σ_1, σ_2 をパラメータとして不連続性岩盤を等価な連続体と評価し得る解析手法^{2), 3)}を用いている。その手法は応力に伴う変形係数の変化を考慮し得るものでその変形係数は式で表わされる。

$$E = \left\{ \frac{1}{E_i} + \frac{\cos^2 \theta}{L_1} \left(\frac{\sin^2 \theta_1}{K_{S1}} + \frac{\cos^2 \theta_1}{K_{N1}} \right) + \frac{\cos^2 \theta_2}{L_2} \left(\frac{\sin^2 \theta_2}{K_{S2}} + \frac{\cos^2 \theta_2}{K_{N2}} \right) \right\}^{-1}$$

$$G = \left\{ \frac{2(1 + \mu_i)}{E_i} - \frac{\cos^2 \theta}{L_1} \left(\frac{2 \sin^2 \theta_1 + \sin \theta_1 \cos \theta_1}{K_{S1}} + \frac{2 \cos^2 \theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1}{K_{N1}} \right) \right. \\ \left. + \frac{\cos^2 \theta}{L_2} \left(\frac{2 \sin^2 \theta_2 + \sin \theta_2 \cos \theta_2}{K_{S2}} + \frac{2 \cos^2 \theta_2 - \sin \theta_2 \cos \theta_2}{K_{N2}} \right) \right\}^{-1}$$

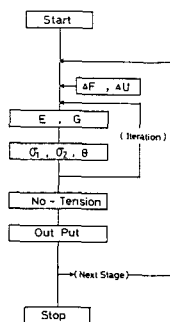


図-2 フロート

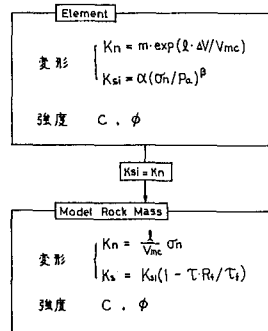


図-3 不連続面の力学特性

ここに、 E_0 は岩石実質部の弾性定数、 L はジョイントの平均間隔、 θ は最小主応力とジョイントのなす角、添字 1, 2 はジョイントの系列を表わす。この式は岩石実質部の弾性定数と不連続面の垂直剛性、せん断剛性の直列バネモデルの型となっている。

次に計算のフローチャートを図2に示す。各増分ステップで変形係数 E 、 G を決定する際に反復計算を行い、引張力が生じた場合にはNo-Tension解析を行い次の増分ステップへ移る。変形係数 E 、 G の計算に必要な不連続面の力学定数は要素試験結果から図3のような仮定($K_E = K_N$)を基に定めた。また、本解析に必要な不連続面の定数は強度定数として(C , ϕ)、不連続面の最大可能閉塞量 V_m 、せん断強度～変位関係における非線形性の程度を表す定数 R_f 、 K_N に関する材料定数 l の5つである。

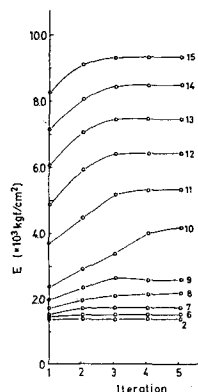


図-4 変形係数の変化

図4は基礎岩盤モデル内の代表的な要素について各増分ステップ内での反復回数による変形係数Eの変化を示したものである。ほぼ5回の反復計算で一定値に落ち着いていることがわかる。また、本解析では有限要素法の要素分割のパターンは一定とし、ジョイント方向と平均ジョイント間隔をパラメータとしている。

4 解析結果と実験結果の対比 まず解析結果より内部の応力分布状態を調べる。図5は基礎岩盤モデルの表面近く(図中で一点鎖線の位置)における最大主応力の値をプロットしたものである。これはサーチャージが 5 kgf/cm^2 、ジョイント方向が鉛直軸に対して($45^\circ, 135^\circ$)傾いている場合である。荷重が増すにつれてフーチングの両サイドに応力が集中する。図6も解析結果でジョイント方向が($0^\circ, 90^\circ$)の場合である。ジョイント方向($45^\circ, 135^\circ$)とは異り、フーチング直下方向に応力が伝達することがわかる。

図7, 8は解析結果より基礎岩盤モデルの内部におけるEの変化をコンターラインによって示したものである。いずれもサーチャージが 5 kgf/cm^2 のものである。図7はジョイント方向($0^\circ, 90^\circ$)の場合である。フーチング直下方向に応力が集中していることがわかる。図5~8の結果は応力集中に伴いEが増大し、Eが増大することによりますます応力が集中していく傾向を計算が追跡できることを示している。

図9, 10は実験結果から内部の応力分布を主応力図で表わしたものである。図9はサーチャージが 5 kgf/cm^2 、ジョイント方向が($0^\circ, 90^\circ$)の場合である。これはフーチング直下に応力が集中し最大主応力の方向も鉛直軸にほぼ等しい。図10はサーチャージが 2 kgf/cm^2 でジョイント方向が($45^\circ, 135^\circ$)の場合である。主応力の方向は($45^\circ, 135^\circ$)方向に傾き応力は分散していることがわかる。以上より内部の応力状態に関しては解析結果と実験結果とが等しい傾向を示した。

次に荷重沈下関係の一例を図11に示す。図11のようにそれぞれジョイント方向に対して、実験結果と解析結果はほぼ等しい。

5 まとめ 以上、解析結果と実験結果の対比から本研究におけるモデル化及び解析手法は不連続性岩盤の非線形挙動及び応力の変化に伴う変形係数の変化を考慮した計算が可能であり、したがって不連続性岩盤の解析に適用し得る手法であることを確認した。また、今回明らかになったように基礎下部における不連続性岩盤内の弾性定数は決して一様なものではなく非常に変化するという点を十分に考慮した解析が必要である。

最後に、本研究を行うにあたって多大なる御助言をして下さった吉中教授をはじめ、その他手助けをして下さった研究室の皆様へ深く感謝いたします。

〈参考文献〉

- 1) 山辺他(1983) 土木学会年講
- 2) Yoshinaka, R., et al. (1983) 5th. ISRM
- 3) 関根他(1982) 第14回 岩盤力学に関するシンポジウム

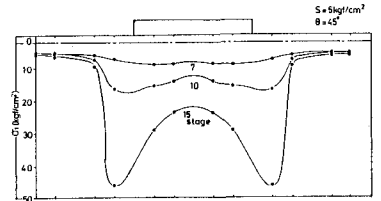


図-5 応力分布 ($45^\circ, 135^\circ$)

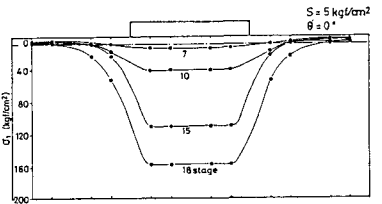


図-6 応力分布 ($0^\circ, 90^\circ$)

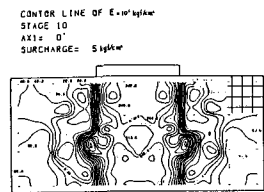


図-7 変形係数Eのコンターライン

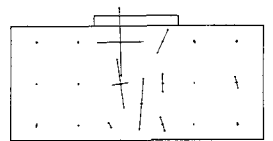


図-9 主応力図

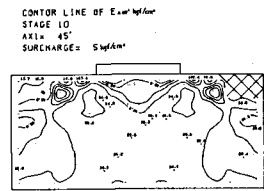


図-8 変形係数Eのコンターライン

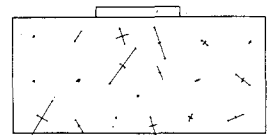


図-10 主応力図

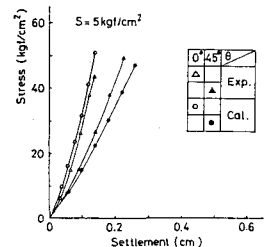


図-11 荷重沈下関係線