

Ⅲ-341

複合降伏モデルによる節理性岩盤基礎の応力解析

鹿島建設(株) 正会員○森川 誠司

石井 大介

正会員 鹿毛 量

正会員 佐々木 猛

1. はじめに

岩盤内には潜在的または顕在的なクラックや節理(ジョイント)などの不連続面が存在し、岩盤構造物の局所的な変形や安定性にこれらの不連続面は重大な影響を与える。佐々木ら¹⁾は、岩盤内に存在する不連続面の評価法として、複合降伏モデルを提案した。これは、無指向性の微小クラックの開口を考慮した弾塑性構成則に従う母岩のコンプライアンスと、特定の方向性を有するジョイント群の降伏条件を考慮したコンプライアンスを重ね合わせて節理性岩盤の平均的な応力・ひずみ関係を求めるものであり、Singh²⁾によって提案されている等価連続体モデルの一種である。本報告では、Maury³⁾や Gaziev⁴⁾が行ったブロック基礎の実験モデルを用いて、複合降伏モデルによる有限要素解析を行い、実験結果や別途行った DDA(Discontinuous Deformation Analysis)⁵⁾による結果との比較を通じ、本手法の有用性を検討した。

2. 解析モデル

解析手法の詳細は文献1)に譲り、ここでは解析モデルについて簡単に説明する。図-1の左側が、Maury や Gaziev が別々に行った実験モデルの例である。Maury の実験では、4cm×4cmのジュラルミン製ブロックを鉛直もしくは水平方向に対して千鳥状に積み、4.17kgf/cm²の荷重を加えてモデル底面の反力分布を測定している。Gaziev による実験では、石膏をブロックの材料に用い、さらにブロックの積み方の角度を数通りに変えて実験を行っているが、ブロックの詳細な寸法や実験方法は不明である。複合降伏モデルによる有限要素解析では、Maury の実験条件を参考に、図-1の右側に示すようなメッシュを用いて解析を行った。ジュラルミン製のブロックは弾性体とし、ブロックの変形特性及びブロック間のばね定数や強度は表-1に示す通りである。なお、千鳥状に配置された方向のジョイントは弾性体とし、そのせん断ばね定数は Singh によって示されている応力集中係数を乗じて、ジョイントが連続している方向のばね定数よりも大きな値にしている。

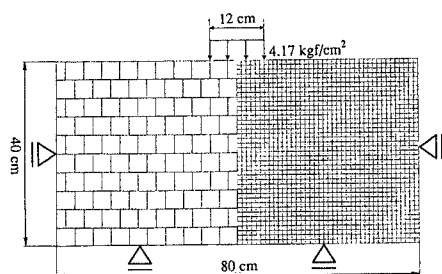


図-1 実験モデルの例と解析メッシュ

表-1 解析用物性値

ブロックのヤング率 E	$7.0 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
ブロックのポアソン比 ν	0.34
ブロック間の粘着力 C	0 kgf/cm ²
ブロック間の内部摩擦角 ϕ	40°
ブロック間の垂直ばね定数 kn	$7.0 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^3$
ブロック間のせん断ばね定数 ks	$7.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^3$
千鳥方向のせん断ばねに関する 応力集中係数 Bs	13.5
降伏後のせん断ばね定数 ks'	$0.001 \times ks \text{ kgf/cm}^3$

3. 解析結果

ジョイントが連続している方向と水平面の角度を α とし、 $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ の5 ケースについて解析を行った。図-2(a)~(e)は、各ケースにおける最大主応力コンターである。比較のために Gaziev の実験による応力コンターを図-3(a)~(e)に示す。Gaziev による実験では、ブロック寸法などの実験諸元の詳細や結果の数値が示されていないため定量的な比較はできないが、実験結果と本解析結果では連続したジョイントの方向とそれに直交する千鳥状に配置された方向へ応力が集中している様子やブロックの縦方向の千鳥積み($\alpha = 0^\circ$)と横方向の千鳥積み($\alpha = 90^\circ$)の違いなどが定性的には一致していることが分かる。図-4(a)~(c)は、 $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ のケースにおける底面の鉛直応力(σ_y)分布について、本解析結果と DDA 解析結果及び Maury の実験結果($\alpha = 0^\circ, 90^\circ$ のみ)を比較したものである。それぞれの結果は概ね一致していることが分かる。

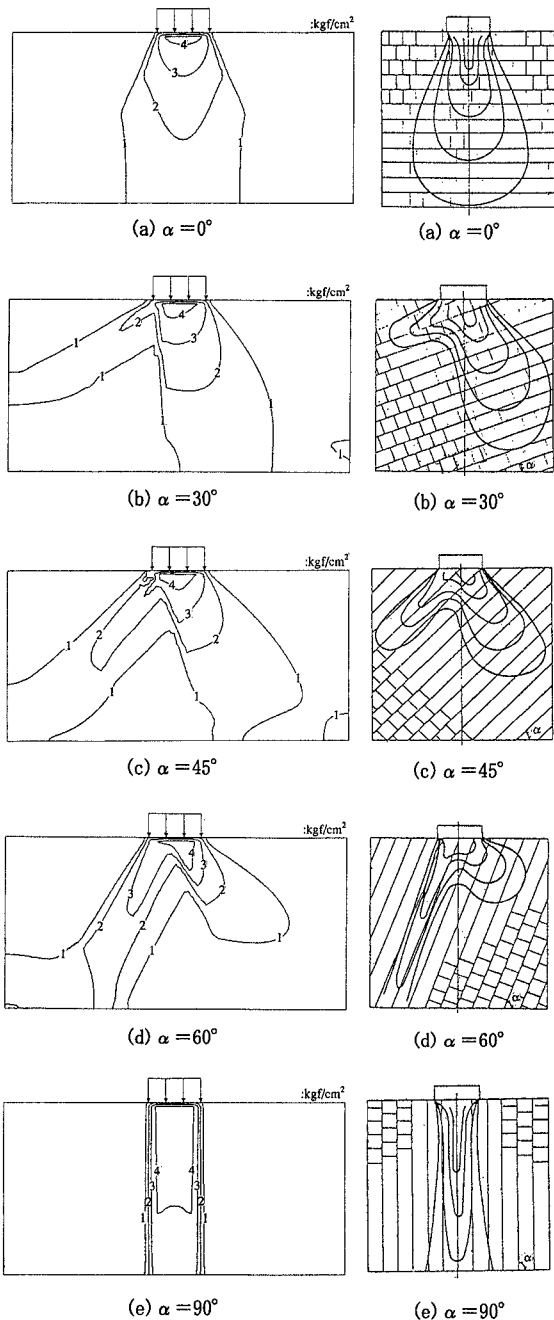


図-2 最大主応力コンター

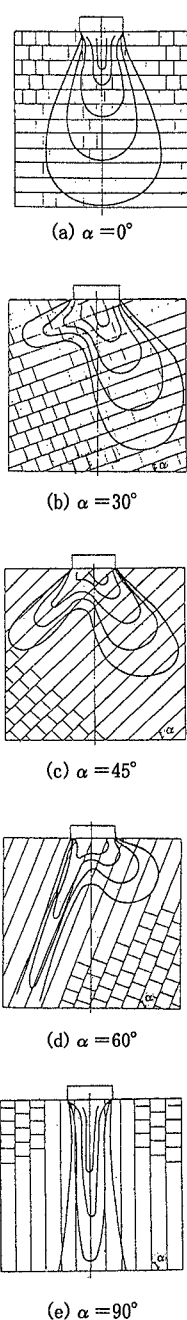


図-3 Gazievによる実験結果

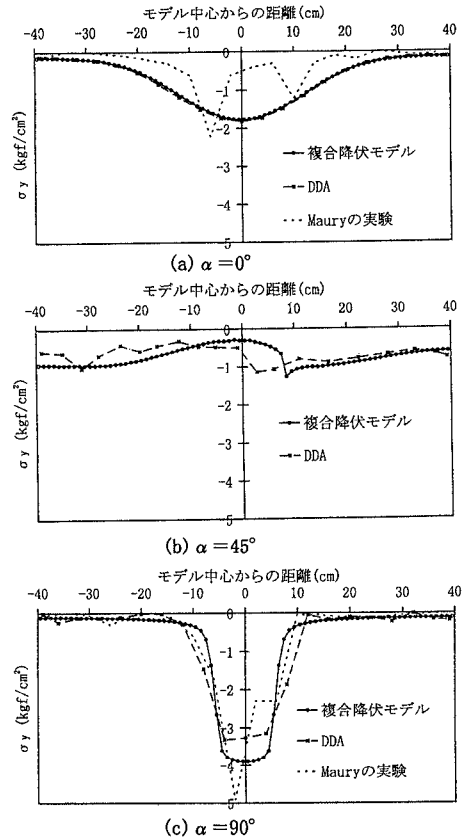


図-4 モデル底面の σ_y 分布

4. まとめ

明瞭なジョイントが観測されている節理性岩盤の崩壊メカニズムを解析する場合には DDA のように直接不連続面をモデル化する手法が適していると言われている。しかし、実際の岩盤では潜在的なクラックやジョイント及び直接モデル化するには複雑すぎるジョイント面が存在しているのが一般的である。その場合には、ジョイント群の角度や間隔を物性パラメータの一つとして考慮できる複合降伏モデルなどの等価連続体による解析が有効である。今回の検討により、本解析手法の有用性の一つが確認されたが、今後は、より大型の岩盤構造物を対象とした解析を行い、本手法の適用性をさらに検討して行きたい。

参考文献

- 1) 佐々木猛・吉中龍之進・永井文男：有限要素法による節理性岩盤の複合降伏モデルに関する検討，土木学会論文集，No. 505，III-29，59-68.
- 2) B. Singh: Continuum characterization of jointed rock mass, Part-I, The constitutive equations, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 10, 311-335.
- 3) V. Maury: Mécanique des milieux stratifiés, expériences et calculs, DUNOD, Paris, 1970.
- 4) E. G. Gaziev, S. A. Erlikhman: Stresses and strains in anisotropic rock foundation (model studies), Symposium Soc. Int. Méc. des Roches, Nancy, 1971.
- 5) T. Sasaki, D. Ishii, Y. Ohnishi, R. Yoshinaka: Stability analysis of jointed rock foundations by Discontinuous Deformation Analysis, ISRM Symposium Technical Session, 1995 (投稿中).