クランプモデルを用いた粒状体解析手法による 硬岩のモデル化におけるマイクロパラメータ決定手順

山口大学大学院 学 ○井上健太郎 学 三輪 旭
 山口大学大学院 正 清水則一
 (独)産業技術総合研究所 正 船津貴弘

1. はじめに

岩石の亀裂の進展挙動の妥当性を検討するために,粒状体 解析手法を用いた解析が有効である^{1),2)}.粒状体解析手法では 材料を粒子の集合体とし,入力値として接触する粒子同士を 繋ぐばねの剛性や粒子間の強度など(以下マイクロパラメー タと呼ぶ)を与える必要があるが,材料の強度特性や変形特性 に対して適切なマイクロパラメータの値を決定することは困 難とされている.そこで本研究では,一軸圧縮強度と引張強 度などが与えられた場合,その岩のモデルに対するマイクロ パラメータを適切に決定する手順を検討する.

2. フローチャートによるマイクロパラメータ決定手順

本研究では、岩石の解析に用いるマイクロパラメータと要素試験の解析で得られるマクロパラメータの影響関係に注目 する.そこで、クランプモデル(図1)¹⁾による要素試験解析を

行い, 横軸がマイクロパラメータ, 縦軸がマクロパラメータの関係図を作成した. 一例として一軸圧縮強度(σ_c), 引張強度(σ_t)と粒子間強度(τ_c せん断方向強度, σ_c 垂直方向強度)の関係を図2に示す. クランプとは粒子の集 合体を表しており, その範囲はクランプ半径を入力することで指定する. マイクロパラメータとマクロパラメ ータの関係図から, マイクロパラメータを決定する手順をフローチャート(図3)に示す³⁾. このフローチャー



キーワード 粒状体解析手法,岩石,力学特性,クランプモデル,マイクロパラメータ決定手順 連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 社会建設工学科 TEL0836-85-9011



トは、強度比 σ_t/σ_c を再現しクランプ半径を決定する第一段階と、 モデルのマクロパラメータを再現する第二段階に分かれている.ま た本研究では巨視的な力学パラメータの実験値と解析値の差が実 験値の10%以内となるよう各種マイクロパラメータを調整する.

2.1.クランプモデルの作成

第一段階では、マイクロパラメータの粒子半径(Rmin)とクランプ 半径(R_)を決定する. 図3(a)より,まず粒子半径を設定する. モデ ルのサイズを固定しているため、この粒子半径を変化させることで、 発生させる粒子数を調整することができる.本解析モデルは粒子数 を 5000 程度に調整している. 次にクランプを適用することにより, 圧縮強度が増加することが分かっている¹⁾.そこで,一軸圧縮試験 と圧裂引張試験が目標とする実験の比or/ocと一致するまでクラン プ半径を調整する.このプロセスでは一軸圧縮試験と圧裂引張試験 の解析を行う. σ_t/σ_c が許容範囲内になれば, 第一段階終了となる.

2. 2. マイクロパラメータの決定

第二段階では, 第一段階時点で得られた力学特性値が, 目標とす る力学特性値に一致するようにマイクロパラメータを調整する.図 3(b)より,まず一軸圧縮試験,圧裂引張試験の解析を行い,弾性係 数,ポアソン比,一軸圧縮強度,引張強度を求める.調整するため のマイクロパラメータは粒子間のばね剛性やばね強度に関する値 を変化させ、力学特性値を許容範囲の値になるまで調整する、次に、 粘着力と内部摩擦角を求めるため、マイクロパラメータの摩擦係数 を変化させる.粘着力と内部摩擦角が目標値に一致できると、次に 全ての力学特性が許容誤差内に収まっているか確認を行う.許容誤 差内に収まらない場合は再度マイクロパラメータを調整する.

3. フローチャートの適用

提案したフローチャートを用いて,硬岩のモデル化を行った.対 象とする硬岩は, Lac du Bonnet 花崗岩⁴⁾である. 図4, 図5 はそれ ぞれ一軸圧縮試験と圧裂引張試験の解析結果である. 図6,図7, 図8は要素試験の解析結果であり、これらの図から目標とする力学 特性値を算出した.表1より両パラメータを比較すると、全てのパ ラメータにおいて実験値と解析値は10%以内の誤差に収まり、マイ クロパラメータが適切に決定された.

4. まとめ

マイクロパラメータを決定する手順をフローチャートに示した. そして、作成したフローチャートを用いて硬岩のモデル化を行い、表1実験値(Lac du Bonnet)と解析結果の比較 適切にマイクロパラメータを決定することができた.

参考文献

- 1) Cho, N. Martin C. D., Sego D. C. : A clumped particle model for rock, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 44, pp. 997-1010, 2007.
- 2) 船津貴弘,李 茜,清水則一,瀬戸政宏,松井紀久男:粒状体解析手法による岩石の亀裂進展挙動に関する検討,資源・ 素材学会誌, Vol.124, No.10, 11, pp.611-618, 2008.
- 3) 三輪 旭,井上健太郎,米田直広,船津貴弘,三村陽一,清水則一:粒状体解析手法を用いた硬岩のモデル化におけるマ イクロパラメータ決定法に関する検討,第61回土木学会中国支部研究発表会発表概要集,2009,5,投稿中
- 4) Potyondy, D. O. and Cundall, P. A. : A bonded-particle model for rock, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci., 41, pp. 1329-1364, 2004.





Rlack Shear fai

← 変位ベクトノ

図5
 圧裂引張試験の解析結果図



図6応力-ひずみ曲線(一軸圧縮試験)



図 7 σ₁-σ₃の破壊規準線



図8荷重-変位曲線(圧裂引張試験)

	E(GPa)	v	σ_t (MPa)	σ_{c} (MPa)	c(MPa)	φ(°)
実験値	69	0.26	9.3	200	30.0	59.0
記式は田	65.7	0.25	0.5	206 7	00.1	E0 6