

山口大学大学院 学生会員 ○井上健太郎 李茜 米田直広
山口大学大学院 正会員 清水則一
(独)産業技術総合研究所 正会員 船津貴弘

1. はじめに

現在、高レベル放射性廃棄物の処分先として地下処理施設などの建設計画が進められている。地下深部で硬岩を掘削する際、進展性の亀裂や破壊などの現象が生じることがある。この亀裂進展に伴う破壊挙動を再現するための解析手法として、粒状体解析手法が有効であることが示されている^{1),2)}。しかし、粒状体解析手法における解析モデルのマクロパラメータと粒子の設定に必要なマイクロパラメータの関係は不明確であり、本研究では両者の関係を調べることを目的とする。

2. 粒状体解析手法について

本研究では、粒状体解析手法を用いて解析を行う。解析には入力値としてマイクロパラメータを設定する必要があり、粒子間の接着方法はコンタクトボンドと平行ボンドの2種類に分かれている。図1に示すのは、コンタクトボンドと平行ボンドの説明図である。コンタクトボンドは粒子間の点接着を示し、マイクロパラメータとして粒子半径や粒子間に働くばね剛性、摩擦係数を入力する。これに対し、平行ボンドは面接着を表わしており、粒子間に対してセメント上の接着物として働き、マイクロパラメータは、ばね剛性のほかに、ばね強度や平行ボンドの大きさを入力する³⁾。

3. クランプについて

本研究では、図2のようなモデルを用いて、硬岩のモデル化を行なった。しかし、岩石特有の力学特性と比べ、一軸圧縮強度に対し引張強度が大きい値となっていた。そこで、新しいモデルとして図3のような、粒子の集合体で構成されたクランプモデルを用いて解析を行った。この粒子の集合体をクランプと呼び、マイクロパラメータのクランプ半径を入力して大きさを指定する⁴⁾。クランプモデルではクランプ同士が面で接触することにより、岩石特有の力学特性や破壊挙動を再現すると考えられる。

4. 要素試験

クランプモデルを用いて一軸・二軸圧縮試験と圧裂引張試験の解析を行なった。図4に示すのは一軸圧縮試験・圧裂引張試験で得た、応力-ひずみ曲線、荷重-変位曲線である。マイクロパラメータはクランプ半径のみ変化させ、クランプ適用前と、クランプ適用後クランプ半径を3種類に変えた4つの曲線を比較している。図4を見ると、クランプ半径が大きくなると強度が大きくなることが分かる。

そして図4より一軸圧縮強度・引張強度を算出し、この2つの強度を同時に再現する目的から、強度の比に注目した。硬岩の一軸圧縮強度と引張強度の比は一般的におよそ1/20~1/10なのに対し⁵⁾、表1に示す強度の比を見ると、粒状体モデル、クランプ半径1.5mmの場合は硬岩に比べて大きな値となっていたが、クランプ半径2.5mm, 3.5mmの場合で1/20~1/10の範囲に収まった。このことから、クランプモデルで一軸圧縮強度と引張強度の比を下げ、

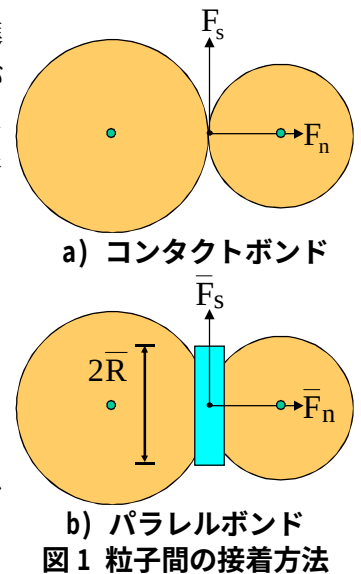


図1 粒子間の接着方法



図2 粒状体モデル



図3 クランプモデル

岩の力学特性を再現することが確認できた。

5. 各パラメータの関係図

解析では、マイクロパラメータの適切な値を選択することが容易ではない。そこで、クランプモデルのマイクロパラメータの選定を目的とし、マイクロパラメータとマクロパラメータの関係図を作成した。そこで、300 ケースの要素試験を解析した。図5は作成した関係図の一例である。図中にある a) の弾性係数と接触係数の関係図から、弾性係数 60GPa の硬岩を再現したい場合、クランプ半径 2.5mm では、マイクロパラメータの接触係数に 15GPa の値を入力するという指標として使われる。その他のマイクロパラメータとの関係で誤差が生じるが、出力したマクロパラメータからマイクロパラメータの値を確認し、関係図を用いて微調整して物性値とマクロパラメータを合わせる。

そして、図5の関係図より、現場の硬岩のモデル化を行った。図6は解析結果の曲線で、弾性係数とポアソン比は一軸圧縮試験から得ている。その他の物性値も図6を基に算出した。次に、表2の実験結果と解析結果を比較すると、一軸圧縮強度と引張強度に加え他の物性値でも数%以内の誤差に収まり、クランプモデルで硬岩の物性が再現できたことが分かる²⁾。

6. まとめ

クランプモデルを用いて、硬岩の一軸圧縮強度と引張強度を同時に再現することができた。

また、要素試験の解析を行い、クランプモデルにおける、各パラメータの関係図を作成し、その図から硬岩の物性を再現した。

参考文献

- 1) 社会法人 地盤工学会：地盤工学用語辞典，pp10-11，2006
- 2) D.O.Potyondy, P.A.Cundall：A Bounded-Particle Model for Rock, Rock Mechanics and Mining Science, pp.1341-1342, 2004
- 3) ITASCA Consulting Group, inc.：PFC2D(ver.3.00)
- 4) N.Cho, C.D.Martin, D.C.Sego：A clumped particle model for rock，pp9-11，2007
- 5) 日本材料学会：ロックメカニクス，技報堂出版，pp51-52，2002

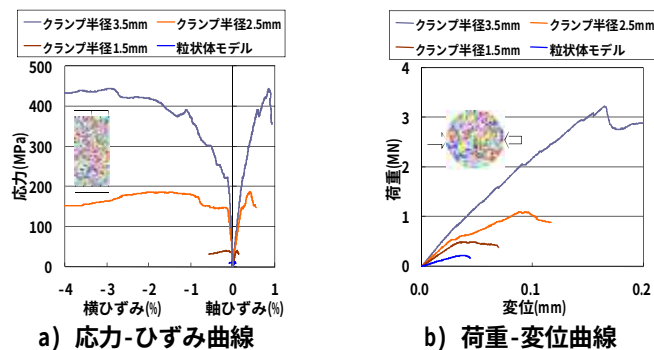


図4 解析結果

表1 各一軸圧縮強度と引張強度

モデル	一軸圧縮強度 σ_c (MPa)	引張強度 σ_t (MPa)	σ_t / σ_c
粒状体モデル	12.4	2.3	1/5.4
クランプ半径1.5mm	40.0	5.0	1/8.1
クランプ半径2.5mm	186.3	11.1	1/16.8
クランプ半径3.5mm	444.7	32.1	1/13.8

◆粒状体モデル ■クランプ半径=1.5mm
▲クランプ半径=2.5mm ●クランプ半径=3.5mm

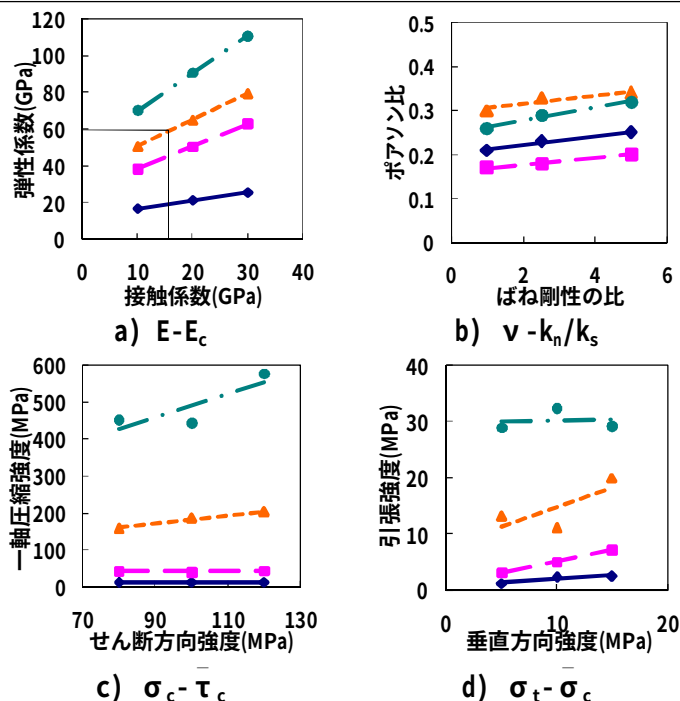


図5 関係図の例

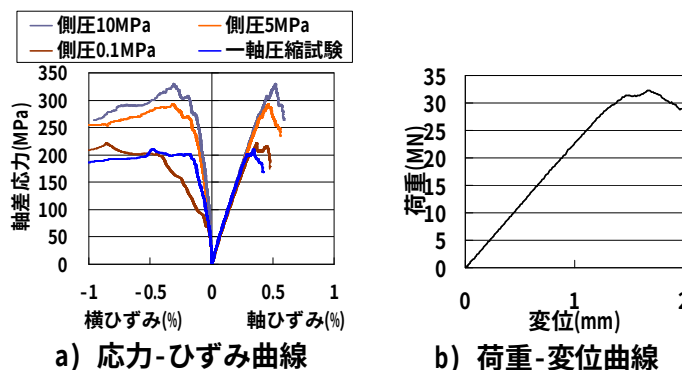


図6 クランプモデルによる解析結果

表2 物性値の比較

	E(GPa)	v	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	c(MPa)	$\phi(^{\circ})$
実験結果	69	0.26	9.3	200	30.0	59.0
解析結果	70.4	0.28	9.1	210	29.2	58.9