高圧下の硬岩地山での立坑掘削による亀裂進展問題への粒状体解析手法の適用 ~ カナダ URL トンネル掘削への適用~

山口大学大学院 学生会員 李山口大学大学院 正会員 船

李茜,石川昌義,米田直広 船津貴弘,清水則一

1.はじめに

将来に向けた高レベル放射性廃棄物の地層処分場は、地下数百メートル以深の地下深部に岩盤構造物を多く計画されている.しかし、大深度における岩盤の力学特性や地質条件は不確定な要素が多く設計時に検討すべき項目が多数存在する.その一つに地山の応力状態が挙げられる.地下1000mの深度における応力は、地上付近のものと比べて非常に大きな値を取ることが予想される.このような高応力下においては、硬岩のような良好な地山も立坑掘削の影響によって、亀裂発生することによる岩盤構造の破壊が懸念される.そのため、高応力下における硬岩地山の亀裂進展挙動の検討が必要となる.そこで、本研究は硬岩における亀裂進展を再現できるか検討するために、亀裂の進展など不連続体的な挙動を再現できる個別要素法に基づく粒状体解析手法を用いて数値解析を行った.

本研究は硬岩がモデル化された事例の中から,カナダのUnderground Research Laboratory (以下, URL)¹⁾で,トンネル掘削によって硬岩に亀裂が 発生し進展することで破壊が生じた現象を採り上げた なお 粒状体解析には 二次元粒状体解析コードPFC2D²⁾を用いた.

2. 粒状体解析手法による現場のモデル化

粒状体解析は適切な微視的パラメータを与えることにより、硬岩をモデル化することができる³⁰.カナダの現場における巨視的な物性値と再現解析の結果を表 -1 に示す.弾性係数,ポアソン比,一軸圧縮強度は対象とした Lac du

Bonnet graniteの物性値に近い値となった.

3. 亀裂進展挙動の検証

3.1現場概要

URLは、1978年にカナダのマニトバ州 に建設された地下研究所で、高レベル放 射性廃棄物の地層処分に関する基礎研究 が行われている.この地下研究所内の Mine-by tunnel (図-1参照)は、土被り 420mに、覆工などの支保工はなく、実 験用としてトンネル掘削に伴う岩盤破壊 の研究に利用されている⁴⁾.実際にトン ネル掘削によって生じた岩盤破壊の状況 を図-2に示す.トンネルの上下にくさび 状に破壊が生じることが確認される. 3.2解析条件

解析モデルを図-3に示す.モデルは3 つの領域に分割され,それぞれ最小粒径 の異なる粒子で構成されている.また, トンネル掘削によりトンネル周辺の岩盤
 巨視的 パラメータ
 Lac du Bonnet 花崗岩¹⁾
 PFC2D

 弾性係数(GPa)
 69
 71.0

 ポアソン比
 0.26
 0.26

59

200

9.3

内部摩擦角(°)

引張強度(MPa)

·軸圧縮強度(MPa

表-1 物性値の比較



図-1 Mine-by tunnel 周辺図の概要図¹⁾





図-2 Mine-by tunnel における岩盤破壊図¹⁾



23.1

199.0

24.5

キーワード:立坑,個別要素法,粒状体解析,亀裂進展,高圧下,硬岩 連絡先:〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学社会建設工学科 TEL:0836-85-9334 が損傷を受けることを想定し 岩盤の劣化をバネ強度を低下させることにより考慮する.その際バネ強度の低下領域はR₁の粒子配置領域のみとする.ここで,バネ強度の低下割合をStrength Reduction Factor(以下,SRF)とし,最も現場物性値に近い結果となった時(SRF=50%)の微視的パラメータを用いた.トンネル直径3.5m,境界応力は現場で計測されたデータから最大主応力を60MPa,最小主応力を11MPaとした.また,亀裂の発生位置は上下対象と仮定し,1/2モデルで解析を行った.

3.3解析結果

図-4にSRF=50%時のトンネル周辺の亀裂分布を示している.同図から,トン ネル上部約70cmのところまでにくさび型の亀裂が発生している.実際に現場で 発生した亀裂(図-5に参照)と比較して見るとよく一致していることが分かっ た.図-6 は接触力分布図を示している.この接触力分布図と図-5の亀裂分布 図を合わせて見ると,トンネル上部約70cmに位置するくさび型亀裂の先端に応 力集中している様子を捉えた.図-7はSRF=50%時の亀裂進展図を示す.同図か ら,step2~3の時にトンネル上部に局所的な亀裂が発生していることが分かる. その後,局所的な亀裂は上方に進展し(step4),さらに,広がるように進展するこ とでくさび型の亀裂の形成がされる(step5~6).

4.まとめ

本研究では粒状体解析手法を用いて,カナダURLの再現解析を行った.その結果 高圧下の硬岩地山においてはトンネル掘削により岩盤に亀裂が生じることが 分かった.また,そのくさび型亀裂が実際の現場での計測結果とよく一致してい ることから再現解析をできた.



図 -4 SRF=50% 時の亀裂分布





図-6 接触力分布図 (Max=20.20MN)



参考文献:

1) R.S.Read. 20 years of excavation response studies at AECL's Underground Rsearch Laboratory. Int J Rock Mech Min Sci,41(2004),p1252-1275

2)ITASCA Consulting Group, inc.: PFC2D(ver.3.00)

- 3) 李茜, 足立光, 船津貴弘, 清水則一: 粒状体解析手法を用いた硬岩のモデル化の検討, 平成18年度土木学会 中国支部研究発表会
- 4)D.O.Potyondy,P.A.Cundall. A bonded-particle model for rock. Int J Rock Mech Min Sci, 41(2004),p1341-1349