

硬岩地山における高抜け発生に関する数値解析による検討

山口大学大学院 正会員 ○船津 貴弘, 足立 光, 清水 則一
 (独)日本原子力研究開発機構 正会員 佐藤 稔紀
 三井住友建設(株) 正会員 山地 宏志

1. 目的

近年, 将来に向けて高レベル放射性廃棄物の地層処分場など, 地下数百メートル以深の地下深部に岩盤構造物の建設が計画されている. 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. 例えば, 地山の応力状態や対象とする地山の断層などを含む地質の条件があげられる. 通常, 地圧は深度に比例して増大する. したがって, 深部における応力は非常に大きな値を取ることが予想される. そして, 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においても立坑掘削の影響によって発生した亀裂による岩盤構造物の破壊が懸念される. また, 断層が広く分布しているわが国においては, この断層の存在も検討すべき項目となる. 他方わが国において地下数百メートルから 1000 メートルを対象とした岩盤構造物の建設の事例は多くないが, 過去の立坑では高角度で立坑と交差する断層・破砕帯等の脚部を掘削することにより発生するいわゆる「高抜け現象」と呼ばれる坑壁の崩壊現象が発生している. そこで, 本研究では硬岩地山を対象とし立坑掘削による周辺地山の影響を検討するために, 亀裂の進展など不連続体的な挙動を再現することができる個別要素法に基づく粒状体解析を用いて数値解析を行なった. なお粒状体解析には PFC2D¹⁾を用いた.

2. 粒状体解析における入力パラメータの同定

粒状体解析では, 弾性係数やポアソン比といった巨視的な物性値を直接入力することはできない. したがって 2 軸試験を行い, 巨視的な物性値と粒状体解析で使用する微視的な入力値との相関を予め明らかにしておく必要がある 2),3).

2. 1 解析条件

図-1 に解析モデルを表-1 に解析パターンを示す. 検討項目としては, 粒径, 接触係数, 鉛直方向剛性とせん断方向剛性の比, 粒子間摩擦係数, パラレルボンドの接触係数, 鉛直方向剛性とせん断方向剛性の比, 強度, そして強度の標準偏差の 8 つとし, それぞれについて側圧を 0.1MPa, 10MPa, 70MPa に変化させ計 73 ケースについて解析を行った.

2. 2 解析結果

巨視的な物性値すなわち弾性係数, ポアソン比, 粘着力, 内部摩擦角と粒状体解析のパラメータとの関係を図-2 に示す. 同図より微視的パラメータと岩盤物性である巨視的パラメータの相関が分かり, 任意の想定物性値に対して微視的パラメータを選択することができる.

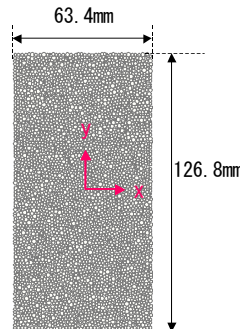


図-1 解析モデル

表-1 解析ケース

Contact Bond	
$R_{min} = (0.2705, 0.5140, 1.0820, 3) \text{ mm}$	
$E_c = (31, 62, 124) \text{ GPa}$	
$(k_n/k_s) = (1, 2.5, 5)$	
$\mu = (0.25, 0.5, 0.75)$	
Parallel Bond	
$\bar{F} = (31, 62, 124) \text{ GPa}$	
$\bar{k}_c/\bar{k}_s = (1, 2.5, 5)$	
$\bar{\sigma}^b = \bar{\tau} (\text{mean}) = (50, 157, 300) \text{ MPa}$	
$\bar{\sigma}^c = \bar{\tau} (\text{std. dev}) = (0, 36, 72) \text{ MPa}$	

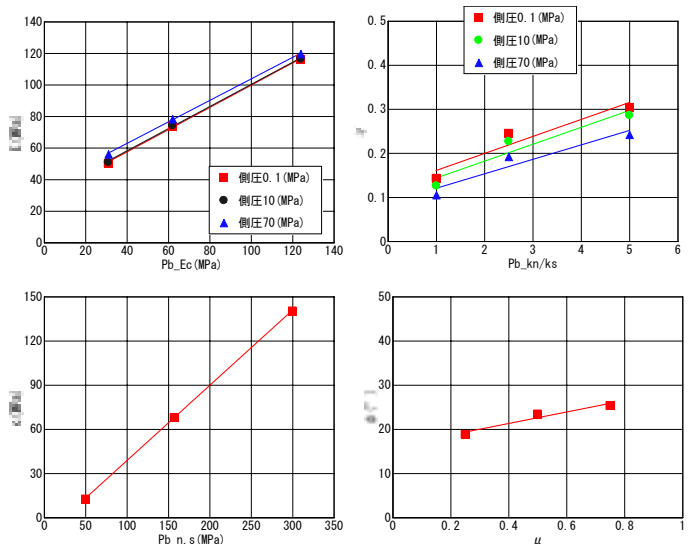


図-2 巨視的力学パラメータと粒状体パラメータとの関係

キーワード 粒状体解析, 立坑, 断層, 亀裂, 高抜け

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学工学部社会建設工学科 TEL 0836-85-9334

3. 立坑掘削による亀裂の進展

前節に示したパラメータの相関を元に硬岩の想定物性値から解析入力値を求め、立坑を模擬した2次元モデルにおいて検討を行う。

3. 1 解析モデル

解析モデルを図-3に、現場における巨視的な物性値及びそれに対応した粒状体解析のパラメータを表-2(a)および(b)に示す。解析ケースは不連続面がない場合、不連続面が存在し立坑との交差角が30°、60°、80°の場合の計4ケースについて解析を行う。また、鉛直方向、水平方向の応力はそれぞれ40MPa、20MPaとした。

3. 2 解析結果

図-4に各ケースにおける亀裂分布図を示す。なお図中の赤および青の点は、それぞれ引張およびせん断亀裂の発生箇所を、(b)~(d)中の点線は不連続面の位置を示している。同図より、不連続面の有無にかかわらず、立坑切羽面の角に亀裂が発生している。不連続面があるケースでは不連続面の角度によって亀裂の発生の状況が異なる。交差角が60°では、他の角度と比べて亀裂がより多く発生している。一方、75°の場合には不連続面の影響がほとんどない。図-5は不連続面がない場合と交差角60°で不連続面が存在する場合の粒子の変位分布を示している。同図より交差角60°の場合には不連続面上部で立坑に向かって大きな変位が生じており、不連続面が存在する場合には立坑を掘削することにより立坑側壁の崩落が生じる、いわゆる高抜け現象の発生の可能性を示している。

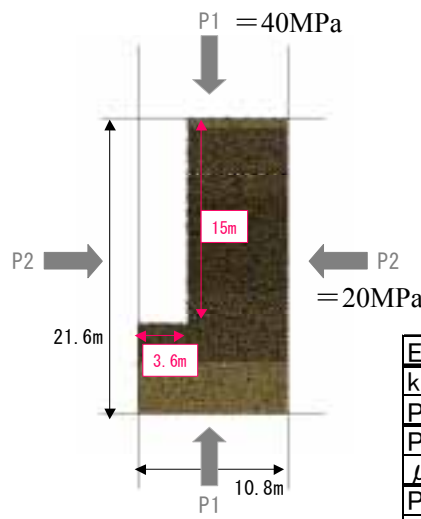


表-2 パラメータ
(a) 想定地山物性値

弾性係数	35.6 GPa
ポアソン比	0.35
粘着力	18.9 MPa
内部摩擦角	53.9°

(b) 解析入力値

Ec	67 GPa
kn/ks	3.5
Pb Ec	65 GPa
Pb kn/ks	3.5
μ	0.5
Pb_strength	100 MPa
Pb_strength dev	36 MPa

図-3 解析モデル

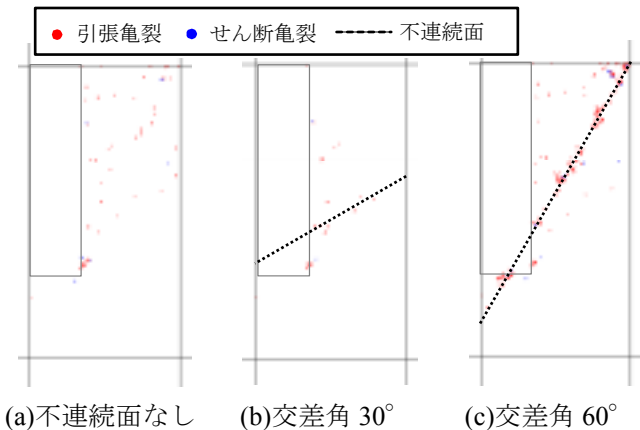


図-4 亀裂分布図

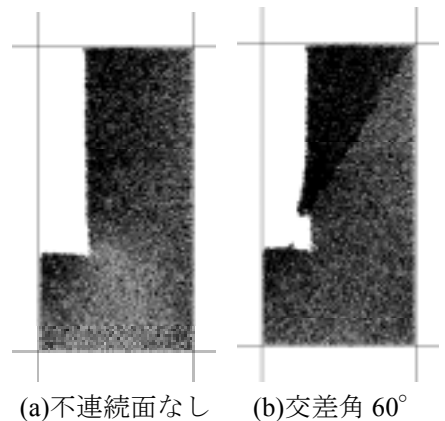


図-5 変位分布図

謝辞 本研究を進めるにあたり多大な協力をいただいた山口大学大学院博士前期課程、李茜さんに謝意を表します。

参考文献

- 1) Itasca Consulting Group, Inc.: FISH in PFC2D, 2002
- 2) 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(投稿中)
- 3) Potyondy, D.O., Cundall, P.A.: A bonded-particle model for rock, Int.J.Rock Mech.Min.Sci.41,2004,pp.1329-1364