

空洞掘削時の不連続性岩盤の変形と透水挙動に関する MBC モデル試解析

鹿島建設 正会員 ○ 岩野圭太 森孝之 日比谷啓介
 森川誠司 田部井和人
 東京大学 正会員 堀井秀之
 香川大学 正会員 吉田秀典

1 はじめに

不連続性岩盤における空洞掘削時の岩盤挙動は、応力解放によって節理の開口やせん断すべりによる変位量が大きな比率を占めていることが考えられ、これらの挙動を把握することで、異方性に富んだ複雑な不連続性岩盤の挙動を合理的に解析できるものとする。しかし個々の節理を個別に扱うことは困難であるため、筆者らは、節理を含む岩盤を等価な連続体に置き換えて、節理の開口やせん断を考慮できる連続体理論 MBC (Micromechanics Based Continuum Model) ¹⁾ に注目し、岩盤空洞解析への適用を実施している。ここでは、円形断面トンネルのモデルにおいて亀裂に関する基礎的なパラメトリックスタディを行い、亀裂の開口挙動の傾向を把握するとともに、それを基に透水係数の算出を試みた。

2 MBC 解析手法の概要

MBC モデルは、微視構造要素の存在あるいはその発生・成長に支配された材料に対する連続体理論である。岩盤の場合、微視構造要素は個々のジョイントであり、これらを多数含む部分領域を代表要素として捉えてその要素内での平均ひずみと平均応力の関係、つまり巨視的な構成式を求める。この構成式が等価な連続体の一点における材料の挙動を与えるものとして連続体の解析を行う。この要素内の構成式は、内在するジョイントの寸法、亀裂間隔、走向傾斜に依存し、異方的な挙動を強く呈することになる。

表-1 岩盤および亀裂物性値

	項目	値
岩盤	弾性係数E (GPa)	10
	ポアソン比	0.3
	単位体積重量 (g/cm ³)	2.6
節理	傾斜角度 (°)	45° 左落ち
	有効寸法a (m)	0.25
	亀裂間隔d (m)	0.25
	摩擦角 (°)	25
	起伏角度 (°)	10

3 円形トンネルモデルによる試解析

円形トンネルの掘削に関して種々の亀裂パラメータを変化させてMBC解析を実施し、その解析結果の比較を行った。円形トンネルの直径は5mとし、初期地圧は土被り100m相当(2.6MPa)で等方等圧とした。入力パラメータは表-1に示したものを基準値とし、亀裂の有効寸法および亀裂間隔を1、2、4、8倍にそれぞれ変化させた。解析結果の一例を図-2~4に示す。図中の数字は掘削壁面における最大変位量を示した。また括弧内は弾性モデルでの変位量である。従って、両者の差がその位置での亀裂による変位となる。変位の大部分は応力解放による基質岩盤自体の変形によるが、亀裂間隔が4倍のケース(図-3)のように亀裂が密に存在している場合には、亀裂の開口による変位量は、全変位量の4割程度を占めている。

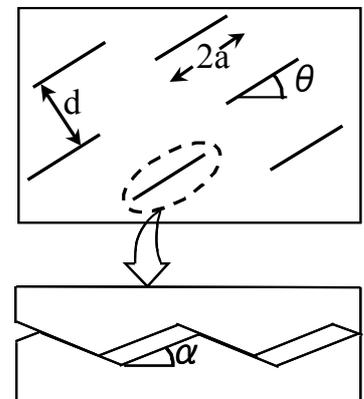


図-1 起伏を有する節理の概念図

また、設定した亀裂傾斜が左落ち45°であるため、トンネルの左上・右下部分に亀裂の開口が見られる。これはトンネル掘削により、周辺応力が周方向に一軸化しており、その最大主応力方向が亀裂方向と一致する方向が最も開口しやすくなるからであると思われる。また、亀裂物性として、有効寸法が大きいほど、亀裂間隔が小さいほど亀裂の開口領域は大きくなる傾向がある。

MBC解析手法では、モデルを極めて単純化し、図-5に示すように2次元面内で水平方向のみに円形の亀裂がトラクションフリーで存在する場合は

$$\bar{E} = \frac{E}{1 + \pi \frac{a}{d}} \quad (E : \text{岩盤基質部の弾性係数}, \bar{E} : \text{亀裂を含む全体の弾性係数})$$

と表現される。従って、亀裂の有効寸法aおよび亀裂間隔dは、亀裂方向に垂直な方向の弾性係数の低減に影響を与えるパラメータであり、これにより強い異方性を示すことになる。

キーワード；節理性岩盤、MBCモデル、透水係数

連絡先：〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 TEL0424-89-7081 FAX0424-89-7083

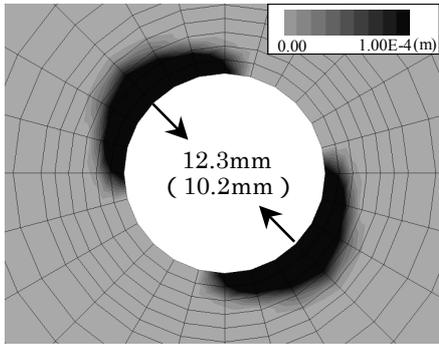


図-2 亀裂開口量分布（基準物性値）

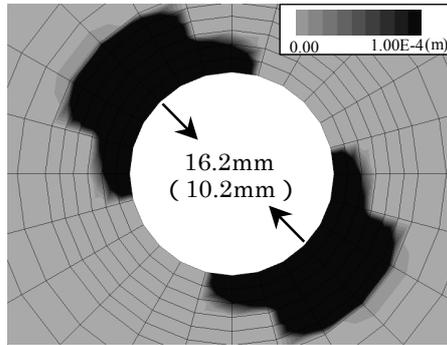


図-3 亀裂開口量分布（亀裂有効寸法 4 倍）

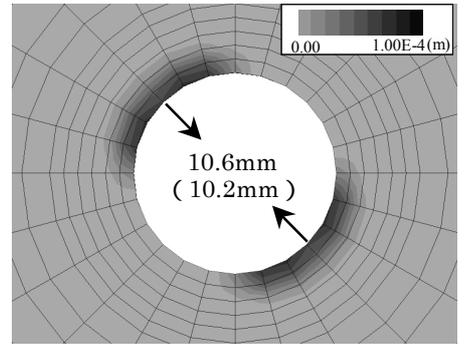


図-4 亀裂開口量分布（亀裂間隔 4 倍）

4 透水係数分布の予測

掘削に伴う周辺岩盤の透水特性の予測手法についてはこれまでも数々提案されている。ここでは周辺岩盤の透水特性の変化は亀裂の開口現象に依存するという考えに基づき、透水係数分布の予測を行った。本来、岩盤の透水性と変形は密接に関連しており、岩盤の変形問題と浸透流問題を連成させる必要がある。しかし、この連成解析手法は研究段階であり、克服すべき課題も多い。そこでここでは、亀裂の開口量分布より、いわゆる 3 乗則²⁾³⁾を用いて透水係数分布の予測を行った。

$$K = \frac{\gamma}{12\mu} \sum_m \left(\frac{b_m^3}{S_m} \right) + K_{matrix}$$

ここで、 b_m と S_m は各々第 m 亀裂群の開口量、間隔である。 ρ と μ はそれぞれ水の密度および粘性係数、 K_{matrix} は、岩盤基質部の透水係数であり、 10^{-6} (cm/s) と設定した。図-6～8 に透水係数分布を示す。表-1 に示した基準物性値のケース(図-6)

では、掘削壁面付近で最大 2 オーダー程度、透水係数が増大している。その他のケースにおいても透水係数が増大した領域と亀裂が開口した領域とはほぼ合致していることが分かる。

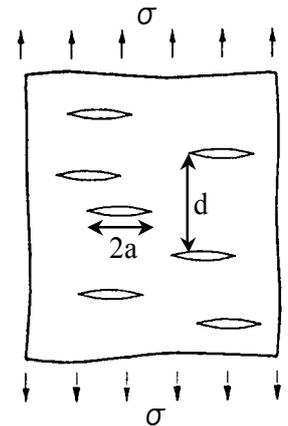


図-5 単純化した亀裂モデル

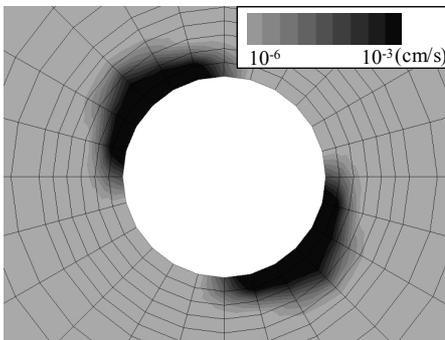


図-6 透水係数分布（基準物性値）

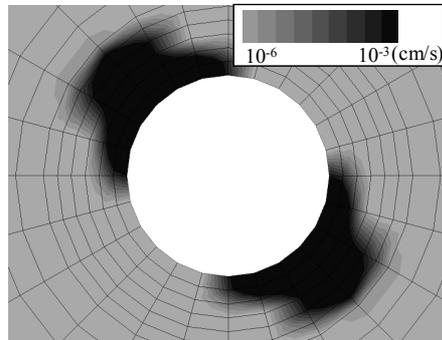


図-7 透水係数分布（亀裂有効長 4 倍）

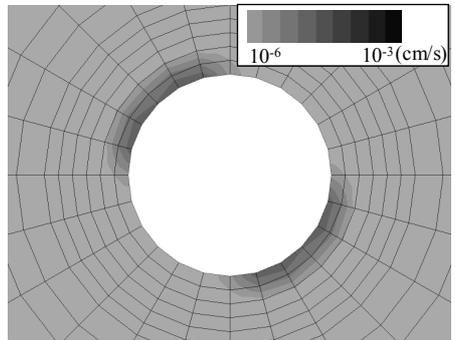


図-8 透水係数分布（亀裂間隔 4 倍）

5 おわりに

ここでは、円形トンネルモデルで、1 成分の卓越亀裂を取り上げパラメトリックスタディを実施し、その結果より岩盤の透水係数分布を予測した。今回は、亀裂物性値の内、有効寸法および亀裂間隔を変化させて行ったが、今後は、摩擦角や起伏角度といった物性値の設定法ならびにこれらの物性値により開口量の鋭敏性を調べる必要がある。

また、亀裂の開口量は亀裂物性だけでなく、解析面内の主応力方向と亀裂傾斜の関係や掘削断面形状に大きく依存するものと思われる、種々のパラメータを考慮した試解析により亀裂の開口挙動を把握する必要がある。透水係数分布の予測についても岩盤の変形と間隙水圧との連成効果が検証できるモデルで解析を行い、実測データとの検証を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 吉田秀典、堀井秀之：マイクロメカニクスに基づく岩盤の連続体モデルと大規模空洞掘削解析，土木学会論文集， -34，pp23-41，1996.3
- 2) 吉田秀典，糸山豊，堀井秀之：空洞掘削に伴う不連続性岩盤の変形と浸透流の連成解析，応用力学論文集 Vol.2，pp325-334，1999.8
- 3) Elsworth, D. and Mase, C.R. : Groundwater in Rock Engineering, Comprehensive Rock Engineering : Principles, Practice and Projects, Chapter8, Volume1, Hudson, J.A. pp201-226, 1992