

不連続性岩盤内空洞の変形挙動の解析的評価法について

長崎大学工学部 正会員 蔣 宇静 棚橋由彦
 長崎大学大学院 学生員 肖 俊 山口耕平 ○佐久間敦之

1.はじめに

岩盤構造物の力学的挙動を評価する解析手法として、連続体モデリングと不連続体モデリングがよく用いられているが、前者は岩盤内不連続面による影響を損傷テンソル法など等価連続体として取り扱う。しかしながら、不連続性岩盤内空洞の変形挙動と安定性は既存の不連続面の分布特性に大いに支配されるため、等価連続体解析法が適用できるケースとしては、構造物の規模に比較して微小な割れ目が空間的にランダムに存在する場合である。また、等価連続体解析法では、不連続面の影響による局所的な挙動を把握することができない。そこで本研究では、不連続性岩盤内地下空洞を対象とし、不連続面を忠実にモデル化した不連続体解析と等価連続体解析を用いる比較検討を行い、不連続面の影響による岩盤の局所的挙動を明らかにし、支保工の合理的設計の提案を行うことを目的とする。

2.解析モデル

2.1 想定地盤

本研究では、節理面や断層のように卓越した不連続面が存在する不連続性岩盤内大規模地下空洞を想定した。空洞は高さ 50m、幅 25mの弾頭型であり、地下深部に位置する。また、解析対象となる岩盤領域は 300m×300mとする。

2.2 不連続体解析モデル

不連続性岩盤を解析的に評価するために、まずは信頼性のある不連続面の挙動モデルを構築することが重要な課題である。ここでは著者が室内せん断試験に基づいて提案した単一不連続面の挙動特性の評価法¹⁾を用いる。次に不連続面の分布密度に関しては、2次元不連続面ネットマップによるフラクタル次元の評価アプローチを用いる²⁾。さらに、不連続面の分布特性に対しては、地下空洞の力学的挙動に大きく影響を及ぼす不連続面の長さや間隔、ギャップ等について確率統計に基づく評価法を用いる。現場計測データに基づけば、解析断面における不連続面の長さや傾斜角、間隔等の確率密度分布を把握することができる。一例として、表-1 に示す傾斜角及び間隔幅の平均値と標準偏差、平均トレース長 40m、ギャップ 30m を有する地盤モデルを作成する。個別要素解析法では、ブロック部分を構成する既存不連続面しか解析に反映されなため、本解析では、表-1 に示した不連続面の端点を結ぶ潜在面を定義しておくことにより、既存不連続面をすべて解析モデルに反映させるようにした。その結果、図-1 に示したモデルが作成された。

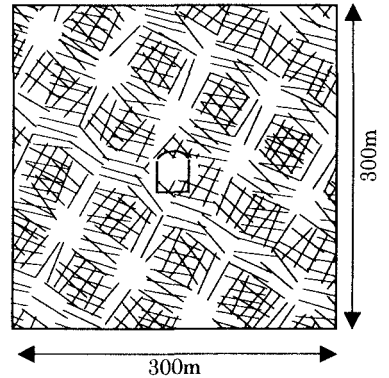
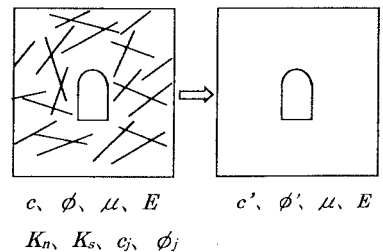


図-1 3セットの不連続面を有する地盤モデル

2.3 等価連続体解析モデル

等価連続体解析に必要なパラメータは、基質部の材料の変形に関する変形係数とポアソン比、基質部の材料の強度特性に関する c と ϕ である。従来、有限要素法などの連続体解析では、不連続面の影響を考慮していない岩盤基質部



a) 不連続体モデル b) 等価連続体モデル

図-2 等価連続体モデル概念図

の物性値をパラメータとして用いていたため、不連続体解析による力学的挙動との比較は難しい。ここでは不連続面の影響を考慮した物性値を解析領域に平均的に与えることにより、等価な破壊強度を持つ等価連続体モデルが作成できると考え、不連続体モデルを用いる二軸圧縮シミュレーションを行うことにより得られる c' と ϕ' を等価連続体の解析パラメータとして用いる(図-2)。表-3は図-1のモデルに対して表-2の入力データより求められた、等価連続体モデルの強度特性を示す。

3.大断面空洞掘削シミュレーションの比較と考察

掘削に伴う周辺地山の変形挙動と破壊領域を把握するために、上記に述べた2つの解析モデルによる無補強全断面掘削解析を行い、比較検討を行う。岩盤基質部の破壊にはモール・クーロン破壊規準を、不連続面にはクーロン滑りモデルを適用する。図-3は全断面掘削後の変位ベクトルの比較を示す。等価連続体解析では、空洞周辺に対称的な塑性領域と変位ベクトルが形成され、最大内空変位が約2.3cmであった。一方、不連続体解析では、塑性領域が不連続面に沿って分布している。また変位ベクトルは、アーチ部では不連続面が近接したブロック付近で、側壁部では不連続面の流れ方向に沿って集中的に発生し、最大内空変位は等価連続体解析結果の約1.7倍に達した。以上の比較より、不連続体解析法を用いることで、不連続面が塑性領域の発生および変位ベクトルに対して局所的な影響を及ぼすことを明らかにすることができた。

4.まとめ

本研究では不連続体解析と等価連続体解析を用いる比較検討を行うことにより、不連続面の影響による岩盤の局所的挙動を明らかにすることができた。今後はさらに、不連続体解析法を用いた大

規模地下空洞のベンチカット掘削過程シミュレーションを行い、ロックボルトとPSアンカー、吹付けコンクリートを含めた合理的支保設計と情報化施工へのフィードバックについて検討していく。

参考文献

- 1) 蔣 宇静, 中川光雄, 江崎哲郎: 岩盤不連続体解析に必要とする不連続面の挙動特性の評価法, 土木学会論文集, No.624/III-47, pp.231-243, 1999.
- 2) Jiang, Y., J.Xiao and Y.Tanabashi: Influence of Geometrical Distribution of Rock Joints on Deformational Behavior of Underground Opening, Proc. of 10th Int. Conf. on Computer Methods and Advances in Geomechanics, pp.1683-1686, 2001.

表-1 解析用岩盤不連続面群の統計データ

	角度 (deg)		間隔 (m)	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
Set1	60	10	10	4
Set2	140	10	15	4
Set3	160	10	10	4

表-2 不連続体解析パラメータ

岩盤基質部

単位体積重量	γ (KN/m ³)	27
粘着力	c (MPa)	3.0
内部摩擦角	ϕ (deg.)	60

不連続面

垂直剛性	k_n (MPa/m)	4.0×10^3
せん断剛性	k_s (MPa/m)	4.0×10^2
粘着力	c_j (MPa)	0
内部摩擦角	ϕ_j (deg.)	40
引張強度	σ_{ij} (MPa)	0

表-3 等価連続体解析パラメータ

単位体積重量	γ (KN/m ³)	27
粘着力	c' (MPa)	0.17
内部摩擦角	ϕ' (deg.)	52

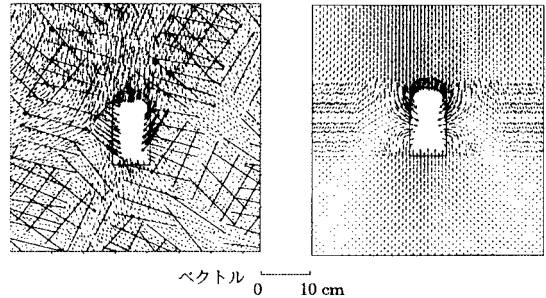


図-3 解析モデルによる変位ベクトルの比較