

高地圧を受ける大断面岩盤空洞の三次元安定解析

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 ○山口耕平

1.はじめに

近年、土地の有効利用あるいは環境問題などの視点から地下の利用が積極的に進められている。その中で、深部における大規模地下空洞はその断面が大きくなるため安定性が低下し、また、支保構造も著しく大規模となる。このような大規模地下空洞の施工にあたっては、地山の変形などの力学的挙動を観察・計測し、その分析結果を設計・施工に反映させるいわゆる情報化施工が重要な役割を担うことになる。これにより適切な対策を施して、安全性、経済性の確保に努めることが可能になる。

本研究では、発破による空洞周辺岩盤の損傷及び不連続面の影響を考慮に入れた三次元掘削解析を行い、変位の目標値との比較により解析モデルの信頼性を確かめた上、周辺地山の変形挙動を予測するものである。

2.三次元掘削解析

2.1 解析モデル

本研究では、深部 400m で鉛直応力が 10MPa 相当)における比較的堅硬な岩盤地山中に位置する大断面地下空洞を対象とし、断面形状は図-1 に示したように、左右対称で、幅 25m、高さ 8m、空洞奥行き方向は 200m の大断面岩盤空洞である。解析モデルは、節理や断層の影響および発破による岩盤損傷を考慮した等価連続体三次元モデルであり、また、支保工として、PS アンカーは、長さ 15m とし、ロックボルトは PS アンカーの間に、補助的部材として長さ 5m のものを打設する。PS アンカーはロックボルトと異なり、0.4ton の緊張力を導入している。掘削解析プロセスは中央部と左右で 3 ステップである。

2.2 地山物性値の評価について

解析モデルでは、発破による損傷や空洞左右における節理の異なる分布性状等の影響を考慮するために、空洞周辺を 4 つの領域に分け細かい物性値の設定を可能とした(図-1 参照)。ここで、領域①②は発破損傷の影響が大きい領域、領域③④は節理・断層等の不連続面が空洞の変形に影響を及ぼす領域としている。さらに、空洞左右で領域を分けたのは不連続面の異なる分布特性及び傾度の影響を考慮しているためである。また、領域①②は空洞より 2m の範囲とした。このことは図-2 に示す弾性波試験の結果より、岩盤表面からおよそ 1~2m 程度の範囲には発破による損傷があり、損傷領域の平均弾性波速度はそれより奥にある健全な岩盤に比べて約 60%低下することが分かる¹⁾。一方、変形係数は弾性波速度の二乗に比例することから、損傷領域における岩盤の変形係数は健全部の約 34%に低減することとなる。

さらに、地山物性値を同定するために逆解析の考え方をを用いた。逆解析とは変位の解析値と目標値との比

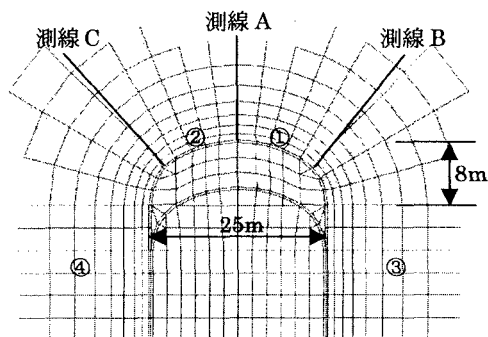


図-1 空洞周辺の領域

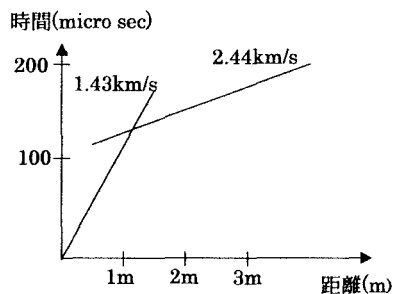
図-2 弾性波速度分布¹⁾

表-1 領域毎の変形係数(MPa)

	領域①	領域②	領域③	領域④
Case1	9500	9500	9500	9500
Case2	3400	3400	9500	9500
Case3	1060	1750	5150	9500

較により順解析に用いる入力パラメータを推定する方法である²⁾。また、逆解析を進めていく上で、空洞の内空変位は変形係数のみに支配されるとして、次式を用いて変形係数の簡易同定法を提案する。

$$E_c' = E_c - \Delta E \quad ; \quad \Delta E = \frac{\Delta u}{u_c + \Delta u} \times E_c \quad (1)$$

ここに、 E_c は初期変形係数、 E_c' は同定した変形係数、 u_c は E_c に対する変位、 Δu は変位目標値と u_c の誤差を表す。

3.解析結果と考察

図-1に示した解析モデルを用いて、以下のケースについて三次元掘削解析を実施した。Case1では免破損傷と不連続面の影響を無視して、すべての領域において圧縮試験により得られた変形係数9500MPaを用いた。次に、Case2では、領域①②について免破損傷を考慮して、変形係数を34%低下させた。さらに、Case2の解析結果を基に、上述した方法で変形係数を同定した(Case3)。ただし、変形係数の同定段階においては、空洞全断面掘削終了時点での変位を用いた。解析結果の妥当性を評価するために、空洞天端の上部における測線A、B、C上6点での変位と解析結果の比較を図-3に示す。

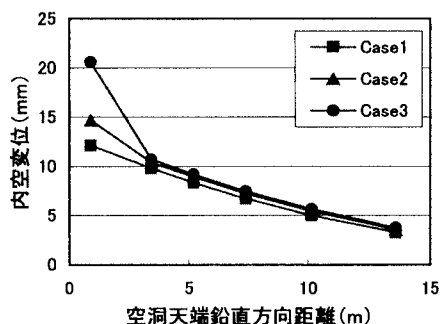
Case1とCase2の解析結果を目標値と比べてみると、免破による損傷を考慮しただけでは変位の目標値を適切に評価できないことがわかる。これは、岩盤の中には断層や節理等不連続面が存在することがあり、空洞掘削によりそれらが空洞内にずれることで変位が大きくなると考えられる。このことを考慮して、Case3においては不連続面による影響を変形係数の低減で表現し、上述した簡易方法で推定した。解析結果をみると、免破損傷と不連続面の分布形態を考慮して、変位の目標値との比較により同定した変形係数を用いることで、等価連続体解析においても実際の岩盤の変形挙動をおおよそ把握できることが分かった。

4.おわりに

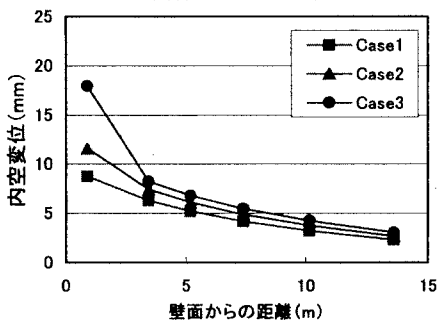
本研究では、免破による空洞周辺岩盤の損傷及び不連続面の影響を考慮した三次元等価連続体解析モデルにおいて逆解析の考え方を取り入れた変形係数の簡易同定法を提案し、その有用性を検証した。今後は提案手法を用いて、高地圧を受ける大断面岩盤空洞の周辺地山の安定機構と支保効果を明らかにしていく。

参考文献

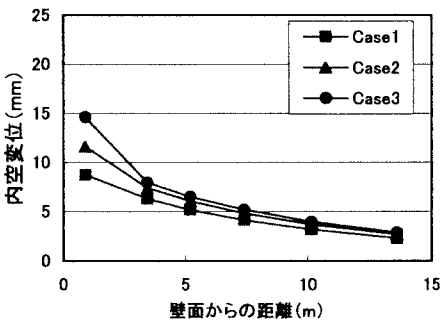
- 1) 平田篤夫：弾性波検層による制御免破掘削背面岩盤の損傷調査，資源・素材学会秋季大会講演論文集，2001.
- 2) 桜井春輔，武内邦文：トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法，土木学会論文集，第337号，pp.137-145，1983.



(a)測線 A 上での変位



(b)測線 B 上での変位



(c)測線 C 上での変位

図-3 解析結果と測線上変位との比較