

Ⅲ-678

不連続面の向きを考慮した大規模地下空洞の掘削解析

(株)ニュージェック 正会員 北條 明 ○中村 真
 関西電力(株) 正会員 打田靖夫 吉田次男
 神戸大学工学部 正会員 櫻井春輔

1. まえがき

不連続性岩盤を疑似的に連続体としてモデル化する等価連続体解析法が種々提案されているが¹⁾、著者らの提案している手法は、ロックボルトの効果を不連続面の剛性の向上と考えると構成式に取り込む点に特徴がある²⁾。この構成式を3次元に拡張し、不連続面が3次元的に広がる岩盤中に、地下空洞が掘削される場合のシミュレーションを2次元平面ひずみ問題に帰着させて実施し、不連続面の向きによる岩盤の挙動の違いについて比較、検討した。

2. 不連続面の向きを考慮した応力-ひずみ関係

本研究では、不連続面が等間隔に分布する岩盤に、ロックボルトが規則的に配置されている場合を対象として、図-1のように岩盤をモデル化する。特にここでは、ローカル座標系をx軸がボルトの打設方向に、z軸が不連続面内方向になるように設定する。次に、不連続性岩盤の全体変形は岩石実質部の変形と各不連続面の系の変形との和で表せると仮定し、次式を得る。

$$\{\varepsilon\} = \{[C_{int}] + [C_1] + [C_2] + \cdots + [C_j]\} \{\sigma\} \cdots (1)$$

ここで、 $\{\varepsilon\}$ および $\{\sigma\}$ はそれぞれひずみベクトルと応力ベクトルを示す。また、 $[C_{int}]$ は岩石実質部のコンプライアンスマトリックス、 $[C_i]$ $i=1, 2, \dots, j$ はロックボルトによる岩盤の補強効果を不連続面の等価剛性として取り込んだi番目の不連続面の系に対するコンプライアンスマトリックスを表す。

ただし実際には、図-2に示すように全体座標系を、X軸を空洞短軸方向に、Y軸を鉛直方向に、Z軸を空洞の長軸方向にとり、先にローカル座標系で求めた不連続面の応力-ひずみ関係のコンプライアンスマトリックス $[C_i]$ に対して座標変換を行うことにより、全体座標系での同マトリックス $[C'_i]$ を求め重ね合わせる。

3. 地下空洞掘削シミュレーション

シミュレーションのモデルとしたのは、幅24m、高さ46.6m、長さ134.5mの地下空洞で、断面形状は弾頭形である。

解析条件を表-1に示すが、ほとんどの入力データは地質調査、現位置試験および岩石試験で容易に得られるものである³⁾。掘削ステップは6段階とし、各掘削ステップでの掘削解放力を10分割して徐々に载荷した。

卓越したジョイント群は3組存在しており、そのうちの2組は走向が地下空洞の長軸方向にほぼ平行である。もう1組のジョイント群は走向が長軸にほぼ直交しており、図-3のシュミットネットで示すと、Case1のような

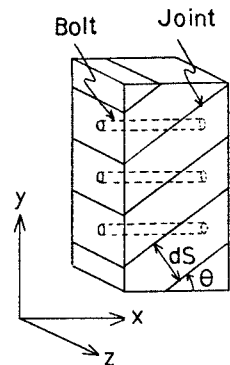


図-1 岩盤のモデル化

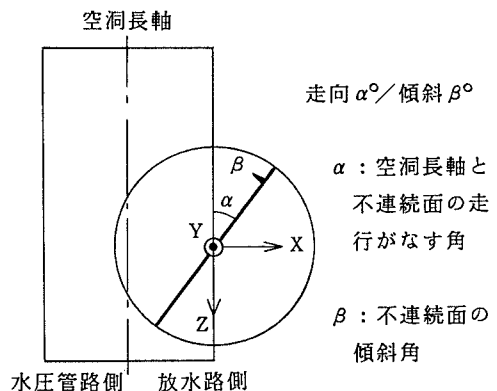


図-2 全体座標系と不連続面の走向・傾斜

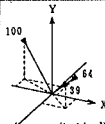
不連続面の向きとなる。解析ではさらに、各不連続面の走向が、Case 1 とは45° および90° 異なる場合をCase 2, Case 3 とし各ケースの比較を行った。

無支保の場合のシミュレーション結果について、最大せん断ひずみの増分を図-4に示す。同図より、水圧管路側壁面付近でCase 1 よりCase 2、さらにCase 3 と最大せん断ひずみの大きい領域が増えている。これは傾斜85° の不連続面の系③の走向が、空洞長軸にはほぼ直交から平行へと変化し、この不連続面の剝離が発生したためであると考えられる。このように、空洞の形状と地山の初期応力を同一にしてシミュレーションを行ったことで、不連続面の向きにより掘削後の空洞周辺岩盤の状況に大きな違いが現れることが明らかとなり、不連続面の向きを考慮した解析の有効性が示されたものと思われる。

4. あとがき

本研究では、空洞に対する不連続面の向きにより、掘削後の空洞周辺岩盤の状況が大きく異なる場合があることを示し、不連続面を考慮した等価連続体解析法の有効性を明らかにした。さらに、本手法を用いてロックボルトの作用効果を考慮した解析も行ったが、その結果は講演で示す。

表-1 解析条件

岩石実質部		弾性係数			$E_1 = 750,000 \text{ kgf/cm}^2$	岩石試験結果
		ポアソン比			$\nu_1 = 0.25$	
Case1	走向	$\alpha_1 = -16^\circ$			$\alpha_2 = -26^\circ$	$\alpha_3 = 89^\circ$
	傾斜	$\beta_1 = 50^\circ$			$\beta_2 = -40^\circ$	$\beta_3 = 85^\circ$
	放水路側	$dS_1 = 20\text{cm}$			$dS_2 = 92\text{cm}$	$dS_3 = 20\text{cm}$
	水圧管路側	$dS_1 = 44\text{cm}$			$dS_2 = 80\text{cm}$	$dS_3 = 20\text{cm}$
Case2	走向	$\alpha_1 = -61^\circ$			$\alpha_2 = -71^\circ$	$\alpha_3 = 44^\circ$
	傾斜	$\beta_1 = 50^\circ$			$\beta_2 = -40^\circ$	$\beta_3 = 85^\circ$
	放水路側	$dS_1 = 20\text{cm}$			$dS_2 = 33\text{cm}$	$dS_3 = 20\text{cm}$
	水圧管路側	$dS_1 = 44\text{cm}$			$dS_2 = 80\text{cm}$	$dS_3 = 20\text{cm}$
Case3	走向	$\alpha_1 = 74^\circ$			$\alpha_2 = 64^\circ$	$\alpha_3 = -1^\circ$
	傾斜	$\beta_1 = -50^\circ$			$\beta_2 = 40^\circ$	$\beta_3 = 85^\circ$
	間 隔	$dS_1 = 44\text{cm}$			$dS_2 = 80\text{cm}$	$dS_3 = 20\text{cm}$
不連続面	せん断剛性	$K_n = 12 \sigma_n \text{ kgf/cm}^2$ (但し $K_n \geq 50 \text{kgf/cm}^2$)				摩擦抵抗圧試験結果
	垂直剛性	$K_n = 3,000 \text{ kgf/cm}^2$ (但し $\sigma_n < 0$ のとき $K_n = 50 \text{kgf/cm}^2$)				
	粘着力	$C = 1 \text{ kgf/cm}^2$				
	内部摩擦角	$\phi = 30^\circ$				
不連続面の見掛け幅		$V_n = 0.6 \text{ cm}$				仮 定
初期応力						オーソゴニアル法による計算結果
	$\sigma_{xx} = -78.4 \text{ kgf/cm}^2$					
	$\sigma_{yy} = -80.2 \text{ kgf/cm}^2$					
	$\tau_{xy} = 28.1 \text{ kgf/cm}^2$					
$\sigma_{zz} = -64.4 \text{ kgf/cm}^2$						
$\tau_{yz} = 7.2 \text{ kgf/cm}^2$						
$\tau_{zx} = -2.7 \text{ kgf/cm}^2$						