

III - A 344

不連続面を考慮した逆解析手法の適用性について

ニュージエック 正会員 ○中村 真 北條 明
 神戸大学工学部 正会員 櫻井春輔 芥川真一

1. まえがき

近年、トンネルなどの地下構造物を掘削するのに情報化施工が盛んに行われている。しかし、岩盤の力学特性が複雑であるため、構造物の挙動を解析から正確に予測することは非常に困難である。著者の一人は、直接逆解析法に異方性パラメータを適用して、岩盤の複雑な挙動を表す手法を提案した¹⁾。しかし、不連続性岩盤に適用する場合には、異方性パラメータを用いて岩盤基質部と不連続面の特性を個々に評価することができないという問題点がある。そこで、不連続面の幾何学特性と力学特性を考慮した逆解析法として、3次元的に不連続面をモデル化した等価連続体構成式²⁾を用いた逆解析手法を提案し、その適用性について実際に地下発電所掘削時に得られたデータにより検証した。

2. 不連続面の向きを考慮した逆解析の考え方

本研究では、不連続面が無限に広がる岩盤中に図-1に示すような要素モデルを考え、不連続体モデルと等価な挙動を示す連続体の応力-ひずみ関係を用いる。また、不連続性岩盤の全体変形は岩盤基質部の変形と各不連続面の系の変形の和で表せると仮定する。すなわち、

$$\{\varepsilon\} = \{[C_{int}] + [C_1] + [C_2] + \dots + [C_j]\} \{\sigma\}$$

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、 $[C_{int}]$ は岩盤基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 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。

解析では、この考え方を3次元に拡張し、不連続面を3次元で考えた等価連続体構成式を用いた逆解析と往來の岩盤を等方均質と考えた等方連続体構成式を用いた逆解析の比較を行う。

3. 解析結果

解析は、関西電力(株)大河内水力発電所の地下空洞で得られた地中変位計測結果を用いて行った。地下空洞の大きさは、幅24m、高さ46.6m、長さ134.5m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、原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⁾。ここで、不連続面の走向・傾斜は、図-2のように空洞長軸と不連続面の走向がなす角 α° と不連続面の傾斜角 β° で表す。

両解析で得られた初期応力と、オーバーコアリング法およびAE法で測定された初期応力を図-3に示す。これらを比較すると、初期応力の主軸方向が、等方連続体逆解析結果以外は、ほぼ一致していることがわかる。

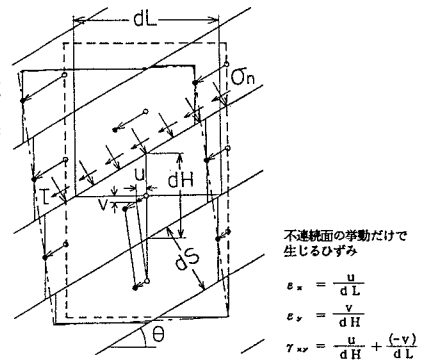


図-1 1系統の不連続面の要素モデル

表-1 解析に用いた物性値

岩石実質部	弾性係数	$E_1 = 750,000 \text{ kgf/cm}^2$			
	ポアソン比	$\nu_1 = 0.25$			
不連続面	走向	$\alpha_1 = -16^\circ$	$\alpha_2 = -26^\circ$	$\alpha_3 = 89^\circ$	
	傾斜	$\beta_1 = 50^\circ$	$\beta_2 = 40^\circ$	$\beta_3 = 85^\circ$	
	間隔	放水路側	$dS_1 = 20\text{cm}$	$dS_2 = 33\text{cm}$	$dS_3 = 20\text{cm}$
		水圧管路側	$dS_1 = 44\text{cm}$	$dS_2 = 80\text{cm}$	$dS_3 = 20\text{cm}$
変形係数	せん断剛性	$K_w = 700 \text{ kgf/cm}^2$			
	垂直剛性	$K_n = 3,000 \text{ kgf/cm}^2$			

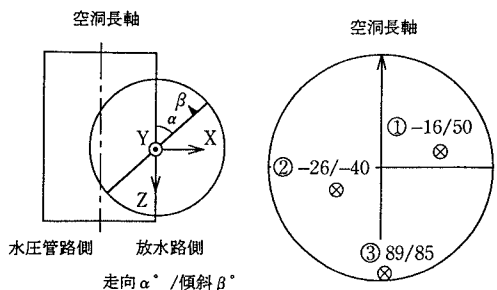


図-2 不連続面の走向・傾斜

さらに、図-4に示す計測変位と計算変位の比較では、計測変位と計算変位の差の2乗和（残差2乗和）が等方連続体逆解析で53.2cm²、等価連続体逆解析で28.7cm²となり、等価連続体逆解析の残差が約半分になった。特に、放水路側側壁の計測線において、両解析ではかなり異なった変位分布を示している。図-5に示した最大せん断ひずみ増分をみても、等価連続体逆解析では、放水路側にキープロック的な岩塊が発生しており、等方連続体逆解析で得られた結果よりも危険な状態となっている。

4. あとがき

本研究では、従来の等方均質の逆解析手法と比較を行い、不連続面を考慮した逆解析手法の有効性を明らかにした。本解析手法で用いる物性値は、不連続面の特性を取り込んだものであり、領域ごとに不連続面の特性を変えることも可能である。今後は、さらに力学モデルを合理的に同定する手法について検討する予定である。

(単位: kgf/cm²)

逆解析結果		初期応力測定結果	
等方連続体解析 注)	等価連続体解析	オーバーコリング法	A E 法

注) 最大圧縮主応力 $\sigma_1=100\text{kgf/cm}^2$ と仮定した。その時、弾性係数は $E=60,000\text{kgf/cm}^2$ となる。

図-3 初期応力の比較

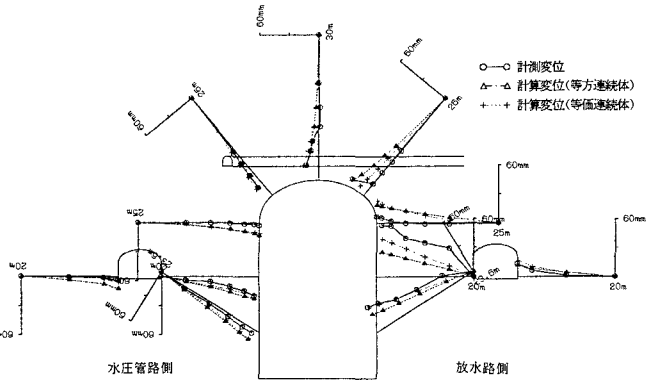


図-4 計測変位と計算変位の比較

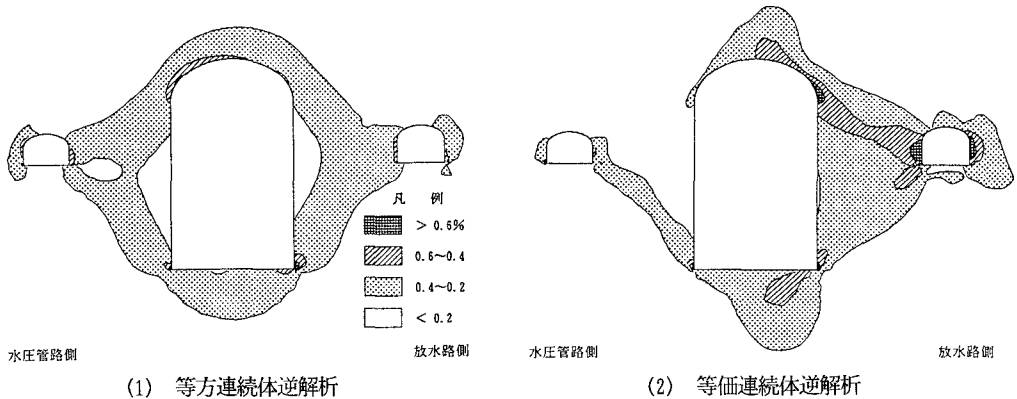


図-5 最大せん断ひずみ増分の比較

(参考文献)

- 1) Sakurai, S. and Ine, T. : Strain analysis of jointed rock masses for monitoring the stability of underground openings, Int. Symposium on Computer Aided Design and Monitoring in Geotechnical Engineering, Bangkok, pp. 599~608, 1986.
- 2) 北條明・中村真・打田靖夫・吉田次男・櫻井春輔：不連続面の向きを考慮した大規模地下空洞の掘削解析，土木学会第50回年次学術講演会，3-B. pp. 1356~1357, 1995.
- 3) 片山武・矢田篤・平川芳明：大河内水力発電所地下空洞発電所空洞掘削時の情報化施工，電力土木，No. 237, pp. 97~107, 1992.