三次元解析を用いた岩盤応力の不均一性の評価手法

東電設計 正会員 ○豊田 耕一・田坂 嘉章・宇野 晴彦東京電力 正会員 前島 俊雄・日比野 悦久

1.研究背景と目的

地下空洞掘削時の地山挙動を精度良く予測する上では、予測解析結果に直接影響を及ぼす初期地圧の評価が重要 となる。

初期地圧の成因は、一般的に重力によるものと地殻変動等の外力によるものに大別できる。比較的年代の新しい、 地表に近く浅い堆積岩盤(地盤)の初期地圧は、地殻変動等の外力をあまり受けておらず、重力が支配的と考えら れる。一方、揚水発電所の地下空洞が建設される大深度下の岩盤は、重力のみならず地殻変動等の外力を少なから ず受けていることが考えられる。さらに、実岩盤の初期地圧は、一様ではなく、不均一性が認められる。この不均 一性の要因としては、主に地質構造の不均質性の影響が考えられる。

これらのことから、有限要素法モデルで初期地圧を設定するに当たって、対象となる地下空洞が地表に近く、浅 い岩盤を対象とする場合は、地表面形状を表し、各地質の力学特性を与えた自重計算により推定する方法が採られ る。大深度下の岩盤が対象となる場合は、地殻変動等の外力の影響により、自重計算からでは初期地圧を表現でき ない可能性が考えられるため、空洞設置箇所近傍の調査坑において複数個の初期地圧を計測し、それらの結果を統 計処理したものを代表値として、解析モデル全体に一様に与える方法、もしくは代表値に鉛直深度分の自重を加え る方法が採られている。このため、前述した大深度下の岩盤の場合には、計測数が限られると、計測された初期地 圧は局所的な応力をとらえており、対象領域を代表する応力が評価されていない可能性がある。また、統計処理だ けでは、地質構造(岩盤の力学特性)に影響すると考えられる初期地圧の不均一性が表現できていないことが考えら れる。

本稿では、解析的アプローチの一つとして、地質構造が反映可能な三次元解析による初期地圧の不均一性の評価 手法を提案する。次に、同手法によるモデルシミュレーション結果を踏まえ、実岩盤への適用方法について述べる。

2. 初期地圧の不均一性の評価手法の概要

初期地圧の不均一性の評価手法の概要を図-1 に示す。本手法では、初期地圧の不均一性の要因を地質構造の不均 質性にあるものと仮定した。同図①に示す様に、解析モデルの境界に、対象領域全体に働くマクロな応力(モデル 外力と呼ぶ)を与える。その結果、②に示す様に、岩盤モデルの内部に応力が発生する。したがって、対象とする 岩盤モデルが不均質性を有する場合、不均一な応力が発生する。このようにして、岩盤モデルの初期地圧として、 不均一な応力分布を表現する。

3. モデルシミュレーション

初期地圧の不均一性の評価手法の効果を 確認するため、図-2に示す不均質な地質構 造を有する岩盤モデルによるシミュレーシ ョン(弾性解析)を実施した。図-3(1)に示す FEM メッシュに各地層を割り当て、表-1 に 示す各地層の物性値を与えた。掘削領域は 図-3(2)および図-4 に示す地下発電所空洞 形状を用いた。解析モデルの境界に作用さ せたモデル外力は、図-5 中に◆▲▼で示し た均一の初期地圧の値を与えた。



図-1 不均一性を考慮した初期地圧と二次応力の評価手法の概要

キーワード 岩盤応力,初期地圧,地下空洞,有限要素法,不均一性,三次元解析 連絡先 〒110-0015 東京都台東区東上野3丁目3-3 東電設計株式会社 土木技術部 TEL03-4464-5578 シミュレーション結果として、図-4 下段の B-B 断面に示した計 測点における初期地圧に着目し、それらの応力値を図-5 に示した。 同図は、応力の方向性をステレオネット(下半球表示)で表し、応力 の絶対値を主応力別のグラフで表している。前述したモデル外力は 最大主応力、中間主応力および最小主応力を◆▲▼で示し、同様に 計測点位置の解析した初期地圧を◇△▽で示す。解析した初期地圧 の方向性は、モデル外力の方向に比べ、いずれの主応力も変化して いる。解析した初期地圧の絶対値については、モデル外力の値から、 最大3倍程度まで大きくなるものも認められる。これらのことから、 本手法によれば、応力の方向性、絶対値のいずれにもバラツキが見 られ、地質構造の不均質性に起因する初期地圧を表現できることが 分かった。

参考のため、モデル外力の応力を解析モデル全体に一様に与えた 初期地圧と上記の解析による不均一性を表現した初期地圧を与え た2つのケースについて、空洞掘削シミュレーションを実施した。 両ケースの掘削完了時の二次応力を図-6 および図-7 に示す。両ケ ースを比較すると、方向性の差異は小さいが、絶対値は不均一性を 表現した初期地圧による二次応力が大きなバラツキを有している。

4. 実岩盤への適用方法

実際に初期地圧が計測されている岩盤に対する本手法の適用方 法の一例としては、複数の計測された初期地圧に見合うようにモデ ル外力を最適化し、モデルシミュレーションで示したような不均一 な初期地圧分布の推定に適用することが考えられる。また、計測さ れた応力の評価・分析にも利用できる。さらに、最適化されたモデ ル外力を対象地点の代表的な初期地圧として評価することも考え られる。



図-2 解析モデルの三次元地質構造



表-1 各地層の解析用物性値

地層区分	弹性係数(kgf/cm ²)	ポアソン比
S1a,FS2,CG2	$30\! imes\!10^4$	
CG1	$50\! imes\!10^4$	0.95
M1,M2	$10\! imes\!10^4$	0.25
FS1(直交異方性)	15×10^4 , 5×10^4	

不均一性を考慮した初期地圧による二次応力



図-6 均一の初期地圧による二次応力

図-7