

初期地圧と地下構造物の設計

(財)電力中央研究所 日比野 敏

1. 地下構造物の設計—外力と材料—

構造物の設計においては「外力」と「材料」が基本となる。トンネルや地下発電所空洞などの地下構造物では、「外力」としては地圧、水圧、地震力、温度などを挙げることができる。とくに、地圧と水圧の影響が大きい。「材料」としては、岩盤、覆工コンクリートや吹付コンクリートがあり、補強材としてロックボルトやP Sアンカーなどがある。

地下構造物の規模が小さい場合には、覆工は岩盤に比して、材料としてより大きな比重を占める。一方、地下発電所空洞のように大規模な地下構造物の場合には、材料としての岩盤の特性が覆工などに比してより大きな役割を果たす。

構造物を合理的かつ経済的に設計するには、上記「外力」と「材料」の特性を的確に把握することが基本である。しかし、地下構造物の設計に際し、「材料」に関してはその特性を調査しても、「外力」となる初期地圧測定は十分に行われていない場合があり、今後認識を改める必要がある。

ここでは地下構造物の設計および初期地圧の特徴等について二、三述べる。

2. 地下構造物の設計手法—掘削解析—

複雑な形状をした地下構造物の場合には、初期地圧や岩盤物性、空洞形状等を考慮して、有限要素法などを用いた「掘削解析」¹⁾などにより構造物の安定性や形状の設計を検討することができる。図-1には掘削解析のフローを示す。初期地圧は入力条件の重要な一項目である。この解析手法により、より合理的な空洞形状の検討や補強設計などを行うことができる(手法の詳細は文献1を参照)。

3. 初期地圧と空洞形状

初期地圧の大きさおよび作用方向と、地下空洞の形状と力学的安定性との間には密接な関係がある。詳細な検討は「掘削解析」などを用いる必要があるが、概略の検討の一つとしては、「掘削相当外力」の概念を適用して行うことができる。ここで「掘削相当外力」とは、空洞掘削時に地圧を解放し、自由面を作るのに必要な外力である。この掘削相当外力がより小さい形状の方が、空洞の安定性はすぐれていると考えることができる。このような考えで、初期地圧と楕円形空洞形状(断面積一定、長軸あるいは短軸は水平とする)の安定性との関係を調べると、掘削相当外力が最小となるようなだ円の長径と短径および地圧との間には次のような関係がえられる(図-2)²⁾。

$$a/b[(n^2 \sin^2 \theta + \cos^2 \theta)/(n^2 \cos^2 \theta + \sin^2 \theta)]^{1/2}, (n = \sigma_2/\sigma_1)$$

$\theta = 0^\circ$ の場合には $a/b = \sigma_1/\sigma_2$ となり、だ円の長径と短径の比率を地山の初期地圧の2つの主応力の比に一致させた場合に掘削相当外力は極小となり、安定性が優れていることが分かる。

4. 初期地圧から見た地下構造物設計上の二、三の留意点

(1) 水平成分の卓越性： 主に地下発電所空洞建設に際して測定した23地点での結果³⁾(主として山岳地帯で測定地点は日本全国に分布)によると、特徴としては平均的にみれば、①水平成分の方が鉛直成分より大きい。その比率は1.36である。②3つの主応力の大きさの比率は10:7:5であり、最大と最小の比率は2である。したがって、前節での検討に基づけば、空洞形状としては、たて長の形状よりはよこ長の断面を有する形状の方が安定性がすぐれていることになる。

(2) 初期地圧の不均質性—岩盤の不均質性—： 初期地圧は岩盤の中を伝達してゆく。その主応力の流れ(主応力線)は岩盤の不均質性により、方向が変化する。日本は地殻変動が激しく、地質も変化に富んでいる。したがって、ある位置で初期地圧を測定しても、20~30mも離れたところでは初期地圧の大きさや作用方向が異なっていることがあり、注意を要する。青函トンネルの先進導坑で測定した例を図-3⁴⁾に示す。測定の被り深さはほぼ同一であるにも拘らず、A E法によれば硬岩での測定結果は10MPaに対し軟岩部では6MPaとなっている。応力解放法によっても、硬岩部では6MPaに対し、軟岩部では4MPaとなっている。

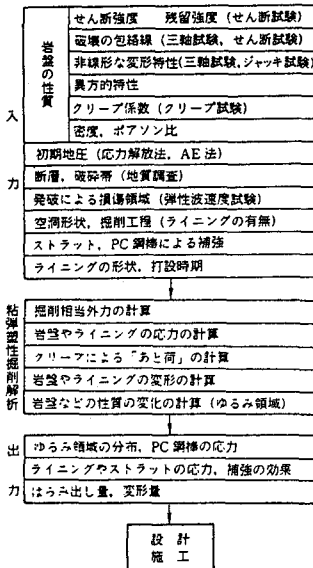


図-1 掘削解析のフローチャート

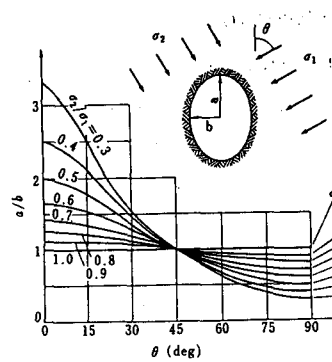


図-2 掘削相当外力が最小となる楕円の形状と初期地圧との関係

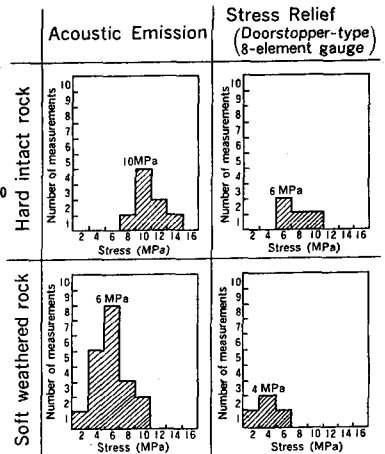


図-3 岩盤の硬軟の違いと初期地圧との関係

つまり、初期地圧は岩盤の中ではより硬い岩盤の中を主に流れて行くと考えられる。したがって、不均質な岩盤内に空洞を掘削する場合には、岩盤の不均質の程度（硬軟の比率、ひろがりの分布等）と空洞の規模との関係で、初期地圧の不均質性を考慮する必要があるのかないのか判断することが重要である。また、断層などがある場合には、初期地圧の流れはその断層により大きく影響を受けていることが考えられ十分な検討が必要となる。

(3) 空洞の安定性—初期地圧と節理の卓越性—： 初期地圧を中心に空洞の安定性を述べたが、「外力」の初期地圧よりも「材料」としての岩盤の節理等の特性をより重要視する場合があることを以下に述べる。

2～3 節で述べたように、空洞の設計に際しては、初期地圧の最大・最小主応力の作用方向との関係で空洞の形状および配置を決める必要がある。しかし、地下発電所空洞のように規模が大きい場合には、初期地圧の条件よりも、節理等の不連続面の卓越方向との関係を第一義的に考える方がより重要であることがある。つまり、堆積岩の場合にはあまり顕著ではないが、花崗岩などの火成岩の場合に、掘削断面が大きいと、節理の開口による岩盤変形が大きくなり、空洞の安定性の保持がむづかしくなることがある。このような場合には、まず節理の卓越方向と空洞の長軸がなるべく直交するような配置を選定することが緊要であり、ついで初期地圧との関係を考慮する必要がある⁵⁾。

5. 今後の課題

「材料」としての岩盤、「外力」としての初期地圧を考えると、初期地圧の研究は岩盤の研究に比べて未だしの感がある。初期地圧測定は実施されることが多少多くなったが、岩盤の「材料」としての変形性の測定ほどには定着していない。この原因の一つとしては、初期地圧の測定そのものが多くの費用を要し、かつ岩質等により必ずしも容易には測定できないところにあるように思われる。AE 法や変形率変化法など種々研究が進められており、今後の成果を期待するが、簡便にして迅速・正確に初期地圧を測定する方法の開発が待たれる。

6. 参考文献

- 1) 林正夫, 日北野敏: 地下の空洞に伴う周辺岩盤の變形の進展に関する解析, 電中研報告, №67095, 1968
- 2) 日北野敏: 現場における岩盤計測と設計・施工への応用, 第2回岩の力学研究会, 日本学術会議力学研究連絡委員会主催, PP. 101~127, 1973
- 3) 日北野敏: 設計・施工技術, 地下空間に関するシンポジウム, 土木学会, PP. 81~88, 1985
- 4) 石田徹, 金川忠: 地盤応力測定結果にみられる岩盤の不均質性の影響, 地盤, 第40巻(1987), PP. 329~339
- 5) S. Hibino, M. Motojima, T. Kanagawa: Behaviour of rocks around large caverns during excavation, Proc. 5th Cong. ISRM D199-D202, 1983