

大規模地下空洞掘削時の岩盤の緩み

(財)電力中央研究所 日比野 敏

1 まえがき

大規模な空洞を掘削する場合、事前に岩盤の挙動をなんらかの方法で予測しておくことが工事の安全や合理化のために必要である。その予測方法としては模型実験や数値解析などがある。空洞掘削解析は岩盤の非線形な変形特性などを考慮した数値解析法の一つである。この空洞掘削解析では、掘削時の岩盤応力や変形、緩みなどを求めることができる。以下では、この掘削解析の概略と実験結果の二三について述べる。

2 空洞掘削解析法

この掘削解析法では岩盤の非線形な変形特性、クリープ特性、掘削工程、空洞形状や覆工、補強工等を考慮する。岩盤の非線形特性は次のようである。

まず岩盤の破壊包絡線を求める(図1)。

$$(\tau/\tau_R)^a = 1 - (\sigma/\sigma_E) \text{----- (1)}$$

ここでaは包絡線指数で、 $1 \leq a \leq 2$ である。変形係数Eやポアソン比 ν は、この破壊包絡線とモールの応力円との最小離間距離 d_{min} を用いて次式により求める。

$$\left. \begin{aligned} E/E_0 &= 1, & R \geq 1 \\ E/E_0 &= R^{1/a}, & 1 > R > 0 \\ E &= E_{min}, & 0 \geq R \end{aligned} \right\} (2), \quad \left. \begin{aligned} \frac{0.45-\nu}{0.45-\nu_0} &= 1, & R \geq 1 \\ \frac{0.45-\nu}{0.45-\nu_0} &= R^{1/4}, & 1 > R > 0 \\ &= 0, & 0 \geq R \end{aligned} \right\} (3), \quad R = \frac{k \times d_{min}}{\sigma_E - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}} \text{----- (4)}$$

ここでRは緩み係数であり、kは材料定数である。Eおよび ν のサヒックスのゼロは初期値を示す。この空洞掘削解析においては、ポアソン比が0.45以上となった領域を緩み領域と呼んでいる。空洞の周辺に緩み領域が生じたら補強が必要と考えられる。上述の(1)～(4)式の各種定数は岩盤三軸試験等により、個々の岩盤について求める必要がある。しかしながら、岩盤三軸試験は必ずしも容易ではない。そこで、岩盤せん断試験により岩盤の剪断強度 τ_R を求め、平板載荷試験によりEを求めておき、非線形な特性は岩石の三軸試験結果を無次元化して流用することが考えられる。掘削解析の詳細等については別報¹⁾を参照されたい。

3 掘削時の岩盤挙動計測

空洞掘削に際して各種の計測が行われる。主なものは岩盤変位、覆工応力、PS鋼棒の荷重などである。図2～7に計測結果の一部を示す。これらより次の特徴が判る。(1)アーチ上部岩盤沈下はアーチ部掘削時に生じ、本体掘削時にはほとんど生じないでむしろ隆起の傾向にある(図2)²⁾。また、沈下はアーチ上部の数メートルにかぎられる(3図)³⁾。(2)空洞側壁の変位は本体掘削の続くあいだ生ずる(図4)³⁾。(3)弾性波速度の掘削中の変化は上記(1)、(2)の現象とよく対応している(図5、6)⁴⁾。

これらのデータより、緩みを定量的に求めることはむづかしいが、定性的にはアーチ部ではアーチ掘削時に生じ、本体掘削時にはむしろ締め固められる。一方、側壁岩盤は本体掘削の間緩む傾向があると考えられる。

図7には岩盤の種類によるアーチライニング応力の違いを示す。火成岩系統で節理が発達した岩盤では、堆積岩系統の節理のあまり発達していない岩盤に比べて、応力(変位)が2～3倍大きい傾向がある。このことは岩盤の種類によって緩み領域の大きさも影響を大きく受けることを示していると考えられる。

4 今後の課題

(1) 岩盤マスとしての力学特性の把握、特に節理を考慮した非可逆的特性、(2) 計測器の開発と詳細な岩盤計測

5 参考文献

- 1) 電中研報告、No.377012, 1978
- 2) 電中研報告、No.378029, 1978
- 3) 電中研報告、No.385042, 1986
- 4) 電中研報告、No.379003, 1979
- 5) 電中研報告、No.382565, 1983

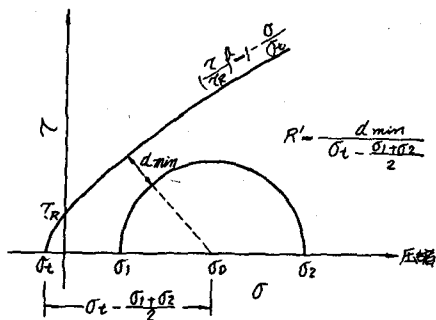


図1 破壊包絡線、モールの応力円と d_{min}

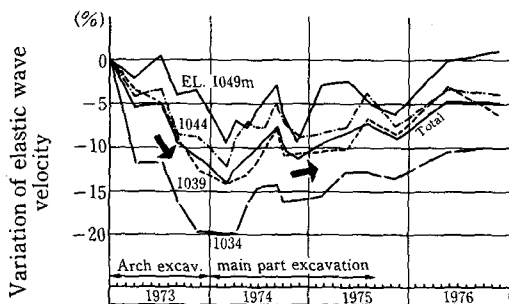


図5 アーチ上部岩盤での弾性波速度の経時変化⁴⁾

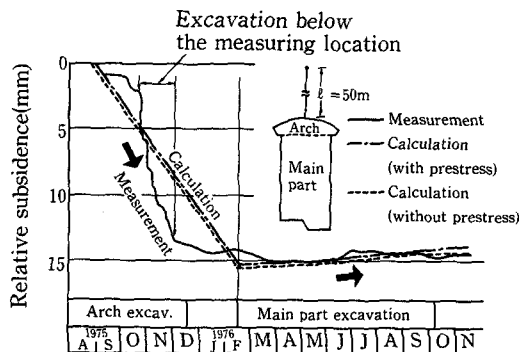


図2 アーチ上部岩盤沈下の経時変化²⁾

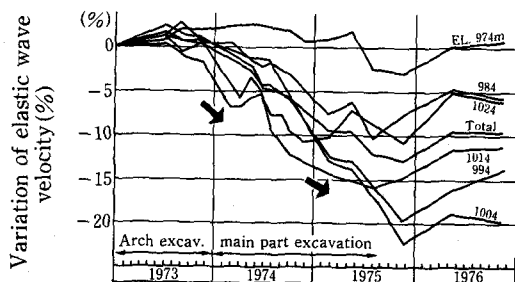


図6 側壁岩盤での弾性波速度の経時変化⁴⁾

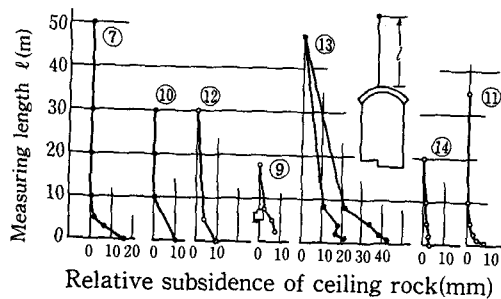


図3 アーチ上部岩盤沈下の地山内分布³⁾

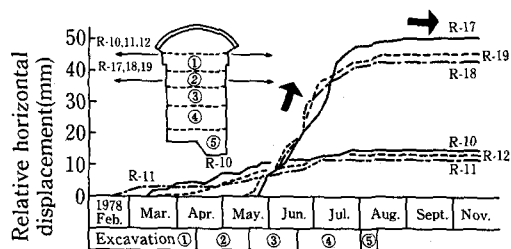


図4 側壁岩盤水平変位の経時変化³⁾

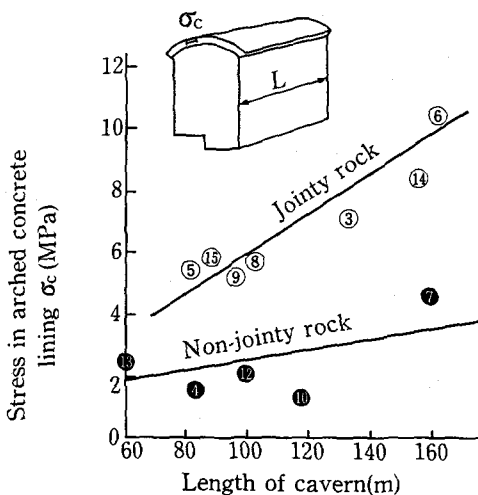


図7 アーチコンクリート覆工の応力と空洞の長さ⁵⁾