

III-254

トンネル計測結果の簡易評価法

京都大学工学部 ○足立紀尚
京都大学工学部 矢野隆夫

1. はじめに 地下発電所用の地下空洞建設に際しては常例的に、またNATMの導入によってトンネルにおける現場計測が盛んに行われるようになった。計測の目的は設計および、施工の妥当性の確認、またはそれらの変更の要・不要の検討に供する情報を得ることにあるが、計測が初期の目的を常に果しているかは疑問である。これは評価基準がいまだ確立されておらず、またデータの簡便な処理手法の開発が遅れていることに起因していると考えられる。そこで、本論文では、評価手法として最近盛んである数値解析に基づく、いわゆる逆解析手法に対し、理論解に立脚して、トンネルの地中変位計測結果の評価法を提案する。すなわち、この方法は深いトンネルを対象として、二次元理想弾性地山内に円形トンネルを掘削する場合の解析解と、初期鉛直応力はかぶり圧に等しいという仮定とに基づき、(1) 地山のヤング率(ポアソン比 ν を仮定)、(2) 主応力の方向と値、(3) 非弾性領域のおおよその範囲、(4) 地山の絶対変位量を簡単に推定可能なものである。なお、本研究は既に第20回土質工学研究発表会にて報告済みであるが、新たに検討を加えたものである¹⁾。

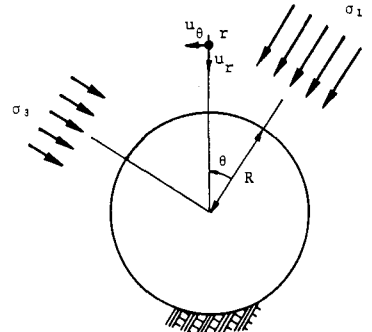


図-1

2. 理想弾性地山中の円形トンネルの解析解 図-1に示すように、二次元応力場(σ_1 : その面内の最大主応力、 σ_3 : その面内の最小主応力)の理想弾性地山内に、半径Rの円形トンネルを掘削する場合を考える。最大主応力方向から、反時計まわりに角度 θ 方向で、かつ、トンネル中心より距離rの地点でトンネル掘削によって生じる径方向変位 u_r と接線方向変位 u_θ は次式で与えられる²⁾。

$$\frac{u_r}{R} = \frac{1}{4G} \left\{ (\sigma_1 + \sigma_3) \left(\frac{R}{r} \right) + (\sigma_1 - \sigma_3) \left[(1 + \chi) \left(\frac{R}{r} \right) - \left(\frac{R}{r} \right)^3 \right] \cos 2\theta \right\} \quad (1)$$

$$\frac{u_\theta}{R} = \frac{1}{4G} (\sigma_1 - \sigma_3) \left\{ (\chi - 1) \left(\frac{R}{r} \right) + \left(\frac{R}{r} \right)^3 \right\} \sin 2\theta \quad (2)$$

ここに、Gはせん断弾性係数、 χ はポアソン比 ν の関数で、平面ひずみの場合 $\chi = 3 - 4\nu$ となる。さて、地中変位計測は径方向で行われるとすれば、接線方向変位 u_θ の計測に及ぼす影響は小さいと考えられるから、計測変位量は径方向変位 u_r で近似できると考える。そこで、まず最小主応力 σ_3 と最大主応力 σ_1 の比を表すパラメータ $\alpha = \sigma_3 / \sigma_1$ を導入すると、式(1)は次のようになる。

$$\frac{u_r}{R} = \frac{\sigma_1}{4G} \left\{ (1 + \alpha) \left(\frac{R}{r} \right) + (1 - \alpha) \left[(1 + \chi) \left(\frac{R}{r} \right) - \left(\frac{R}{r} \right)^3 \right] \cos 2\theta \right\} \quad (3)$$

したがって、トンネル壁面の変位は次式で与えられる。

$$\frac{u_r}{R} \Big|_{r=R} = \frac{\sigma_1}{4G} [(1 + \alpha) + (1 - \alpha) \chi \cos 2\theta] \quad (4)$$

また、式(3)の左辺 u_r/R の最大値は、トンネル壁面 $r=R$ 、 $\theta = 0^\circ$ の場合であって、それは次の値となる。

$$\frac{u_r}{R} \Big|_{r=R}^{\theta=0} = \frac{\sigma_1}{4G} [(1 + \alpha) + (1 - \alpha) \chi] \quad (5)$$

式(5)の値で式(3)の両辺を除すことで、 α 、 ν 、 θ をパラメータとする規準化された $(u_r/R)/(u_r/R)_{\max} \sim R/r$ の変位曲線の例が図-2に示すように与えられる。

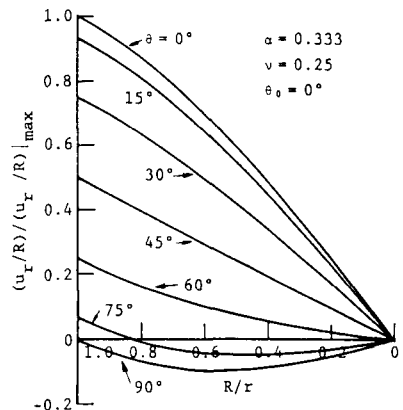


図-2

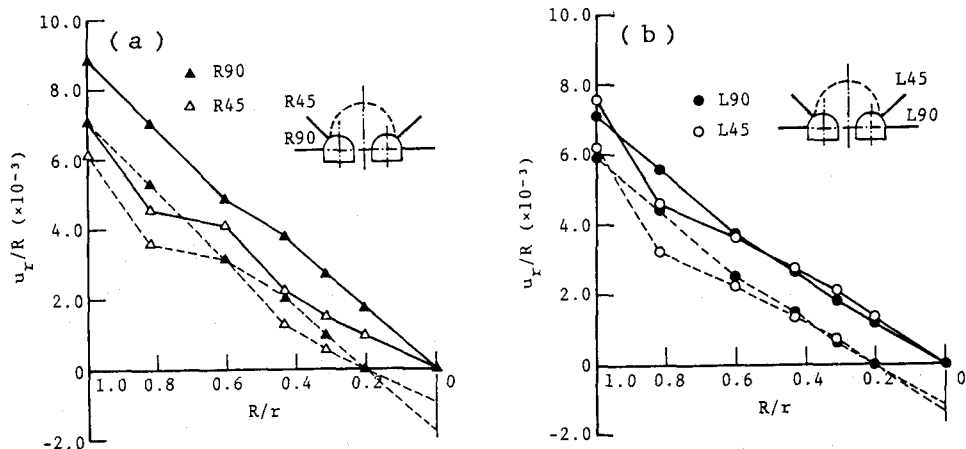


図-3

3. 計測結果の評価 図-3 (a), (b) の点線で示されるデータは、青函トンネル吉岡方25km650mにおけるサイロットの地山内変位計測結果である。以下に主応力の方向、大きさおよび、地山の決定法を説明する。

①無限遠方で変位がゼロとなるよう補正する。その結果が実線で示してある。

②図(a), (b) において、弾性・非弾性域の境界と考えられる R/r (例では $r/R=0.434$ より小さい位置が弾性域と考えられる) の位置の最大変位を示す変位量で他の変位量を規準化する ((a) 図では $R45$ を $R90$ で、(b) 図では $L90$ を $L45$ で規準化する)。その結果、図-4 が得られる。したがって、図からわかるように $R90, L90, L45$ が同等な変位を示していると考えられ、最大主応力は $L90$ の変位計より $+22.5^\circ$ (反時計回り) に作用していると考えられる。よって、式(3)に $\alpha = 0.750$ 、 $\theta = \theta_0 = 22.5^\circ$ を代入することにより、図-4 に示す理論曲線 ($\nu = 0.25$ と仮定する) が得られ、理論値と計測地がよく一致していると考えられる。

③この結果、最大主応力 σ_1 の方向が決定でき、その大きさを1とすると σ_3 は α であるから、図-5 のような長半径を1、短半径を α とする応力楕円が求まる。したがって、楕円の鉛直方向の半径 ρ は、

$$\rho = \frac{1}{\sqrt{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta / \alpha^2}} \quad (6)$$

で与えられ、 $\rho=0.775$ と求められる。よって、最大主応力・最小主応力は次式で求められる。

$$\sigma_1 = p_v / \rho = 419.2 \text{ tf/m}^2, \quad \sigma_3 = \alpha \sigma_1 = 314.4 \text{ tf/m}^2$$

また、せん断弾性係数 G は各々の値を式(3) に代入することにより、 $G=3.79 \times 10^4 \text{ tf/m}^2$ と算出できる。

参考文献

- 1) 足立紀尚・矢野隆夫(1985): トンネル計測結果の簡易評価法、第20回土質工学研究発表会講演概要集、pp.1557~1560.
- 2) 例えば、Savin, G.N., : Stress Concentration Around Holes , translated by E. Gros. Pergamon press, 1961.

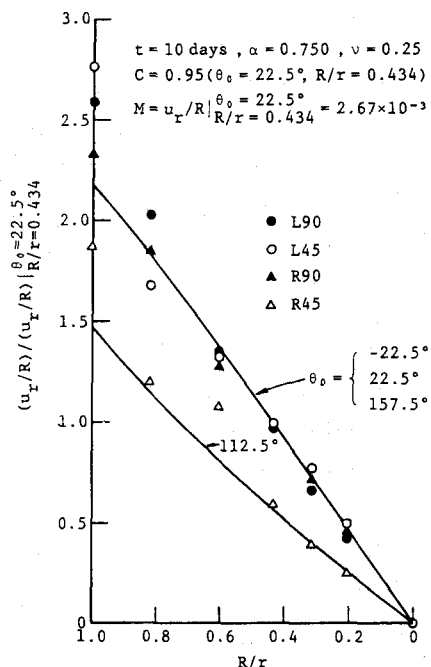


図-4

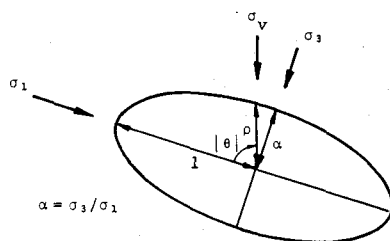


図-5