

## NATM における計測変位の評価法

一條 俊之\*  
Toshiyuki Ichijyō

五十嵐 洋\*  
Hiroshi Igarashi

トンネル掘削施工時に得られる現場計測結果は速やかに解析、評価され、設計・施工にフィードバックされなければならない。変位計測結果の評価法は、さまざまな方法が提案され実施されている。ここでは、計測変位の評価法として、内空相対変位の評価法と、最近注目をあびている「直接歪評価法」について述べるものである。

### 1. トンネル内空相対変位の評価法

内空相対変位の計測は、一般に、トンネル壁面の変位量に注目し、あらかじめ定めた変位量におさまるかどうかでトンネルの安定を評価している。しかし、その評価法は、ともすれば各測線の変位挙動にトンネル安定の評価の対象がうつり、トンネル断面全体系としての評価を見落とす危険がある。そこで、3測線の内空相対変位の相関からトンネル断面全体系を評価するため、何らかのパラメータを導き出すことになる。

Fig. 1(1)に示すように、内空相対変位の測線  $C_1 \sim C_3$  で囲まれる三角形を1次要素として、内挿多項式を用いて歪を算出する。この歪は次式から導き出される。

$$\{\varepsilon\} = [B] \{U\}$$

ただし、 $\{\varepsilon\}$ :  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ , XY 方向の歪・せん断歪

$\{U\}$ :  $U, V$ , 測定点毎の XY 方向の変位

$[B]$ : 歪と変位の関係を表わすマトリクス

また、主歪 ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ )・最大せん断歪 ( $\gamma_{max}$ ) とその作用方向は、

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{pmatrix} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2}\right)^2 + \frac{1}{4} \gamma_{xy}^2}$$

$$\gamma_{max} = |\varepsilon_1 - \varepsilon_2|$$

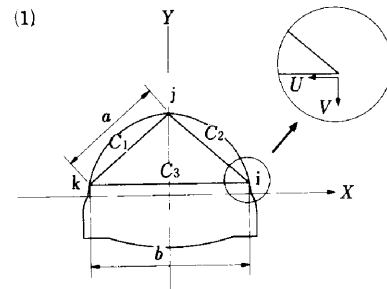
$$\tan 2\theta = \gamma_{xy} / (\varepsilon_x - \varepsilon_y)$$

で与えられる。

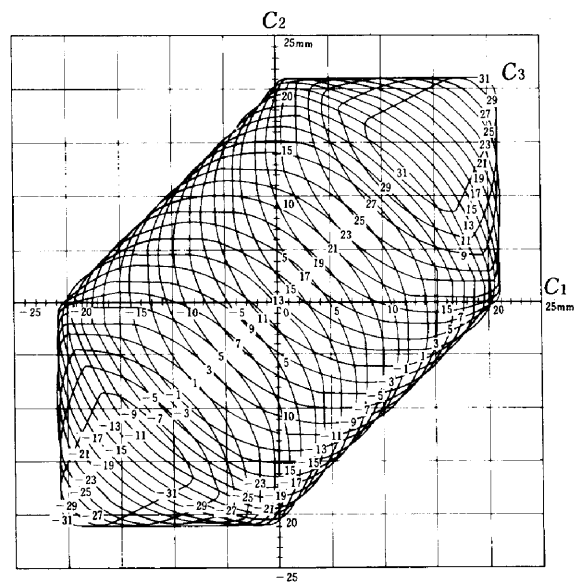
この方法には次のような利点がある。(1) 3測線の変位を1つのパラメータ ( $\gamma_{max}$ ) として評価できる。(2) トンネル断面の主歪方向を把握できる。(3) 得られた歪と地山の限界歪と比較することで、トンネルの安全を評価で

きる。

ここで、変位と歪との関係を表わすため、地山の限界歪をあらかじめ定めて、Fig. 1(2)のようなノモグラムを作成した。この図は主歪 ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ) 最大せん断歪 ( $\gamma_{max}$ ) が限界歪 ( $\varepsilon_0 = 0.27\%$ ) 以下となるように  $C_3$  の値毎に管理領域を表わしている。つまりこの方法は、 $C_1 \sim C_3$  が定められた (木階門の領域内に入っているか否かで、地山の安定を迅速に評価しようとするものである。



(2)限界ひずみによる内空変位管理図



$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \gamma < 0.27\%$

測線長  $a = 7,746\text{mm}$   $b = 11,832\text{mm}$  とした場合

Fig.1 限界歪による内空変位管理図

Fig. 2 に井吹トンネル工事における内空相対変位の計測の結果をまとめた。この工事は、土被りの浅い土砂地山に双設トンネルを施工するもので我が国では例が少ない。このため、従来の岩盤トンネルで得られる変位挙動とは異った計測結果となっている。(1)は2計測点の経日変化グラフである。このグラフでは、両計測値が圧縮と引張りのそれぞれ異なる変位挙動を示している。(2)は2計測点の変位から得られたせん断歪の経日変化グラフである。このグラフでは両計測値がそれぞれ相関性をもった挙動を示していることがわかる。(3)は5計測点で

\*土木設計部設計課

の歪の経日グラフから  $\gamma_{max}/day$  (最大せん断歪速度) と  $\gamma'_{max}$  (収束値) との関係を表わしたもので、 $\gamma_{max}/day$  と  $\gamma'_{max}$  の関係が1次式で近似されることがわかる。(4)は主歪下向である。このように、内空相対変位から導き出された歪はいままで評価できなかった地山の挙動を把握できる良い指標となると考える。

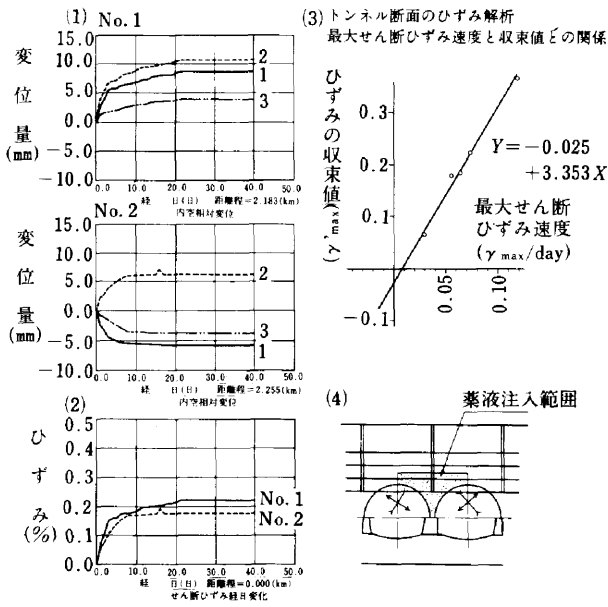


Fig.2 内空相対変位計測結果例(井吹トンネル)

## 2. 「直接歪評価法」について

パーソナルコンピュータを使用した「直接歪評価法」のプログラムについて説明する。

この評価法は、神戸大学の桜井教授が提案した方法で、地中相対変位から地山の歪を導き出して、その歪値を地山の限界歪と比較しようとするものである。従来の構造物の設計は許容応力度法によってきたため、設計においては、まず応力解析されるのが普通である。しかし、トンネルのような土構造では応力解析は容易でない。なぜなら、トンネル掘削前の初期応力の測定や地盤内の応力分布の測定は困難であり、たとえ測定しても経済的にかつ精度良く求めることは難しいからである。それに対しこの評価法は、現場計測の容易な変位測定から、応力に変換することなしに歪を求め、地山の破壊時の歪(または限界歪)と比較することによって、トンネルの安全性を評価し、設計・施工管理に役立てようとするものである。

本プログラムは、地中相対変位から地中歪を求め、歪分布図をスクリーン、X-Yプロッタで色別し表現できるようにになっている。Fig. 3にそのフロー図を示す。

Fig. 4はプログラムの整合性を確かめるため、理論解との比較を試みたものである。今、半径  $a$  の円形トンネルを考える。Fig. 4に示す測定点1~4において、それぞれ変位が測定されたとする。この測定値としては、地山を弾性体とした場合の理論解を用いる。ただし、地山内の初期地圧は  $P_x/P_y=1.5, 0.5$  とし、ヤング係数は  $E=0.01P$ 、ポアソン比  $\nu=0.3$  とする。この結果、①が測定値から求めた歪分布、②が理論解から求めたものとなる。測定点を多くとれば、理論解ともっと整合性が良い結果が得られるであろうが、トンネル地山の挙動を評価するにはこの程度で十分であると考えられる。

## 3. おわりに

紙面の都合で、計測変位評価法の解析手法の紹介しかできなかったが、計測の新しい評価法として参考になれば幸いである。なお、「直接歪評価法」のプログラムは近いうちに、NATMの計測プログラムとともに現場に供給できる見込みである。

### 参考文献

- 1) 桜井春輔 「トンネル工事における変位計測結果の評価法」 土木学会論文報告集, 第317号
- 2) S.P.Timoshenko & J.N.Goodijr "Theory of Elasticity"

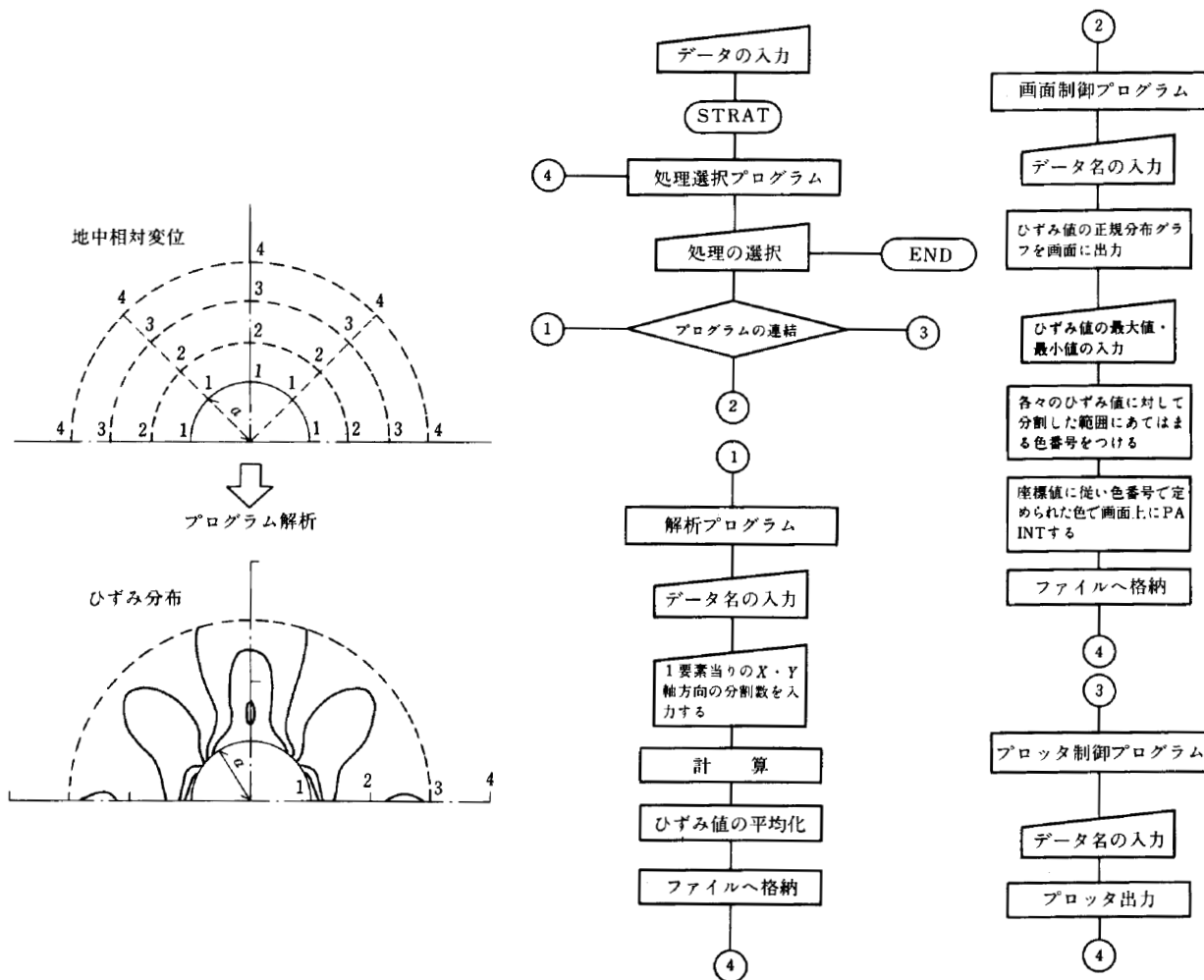


Fig.3 直接歪評価法プログラムフロー

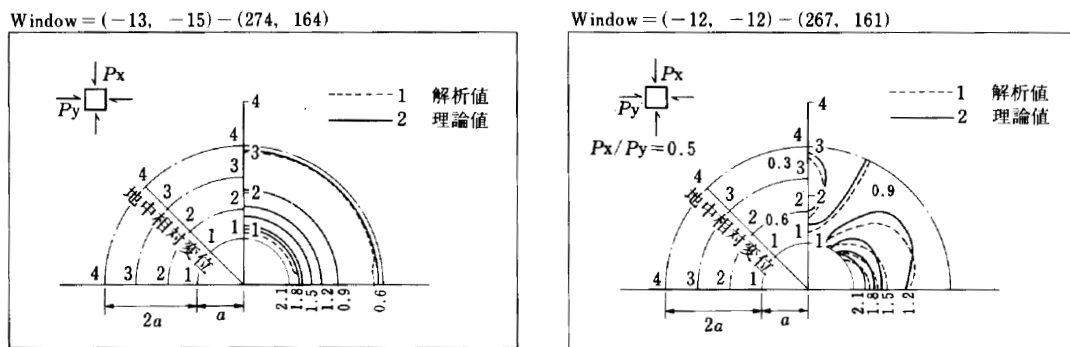


Fig.4 計算結果と厳密理論解との比較