地盤工学における現場計測結果の評価法

神戸大学工学部　正員　　桜井春輔
神戸大学大学院　学生員　○武内邦文

1，まえがき

地盤の安全性を評価するために現場計測が行なわれる。現場において応力を直接測定する事は容易でないため，一般には変位が測定される。したがって地山の強度を応力で評価する場合は，測定された変位を応力－ひずみ関係を通して応力に変換しなければならない。しかし計測された変位を応力に変換することなく直接評価できれば，その評価の信頼性は非常に高いものとなる。ここではトンネルを例に取り，変位の計測結果を直接評価する方法を提案する。この方法の基本的な考え方は測定変位からその勾配としてひずみを求め，それを破壊ひずみと比較することによって安全性を評価しようとするものである。

2，地盤内のひずみの推定

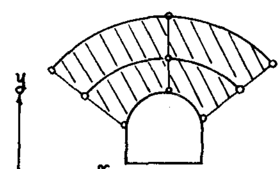

図-1

いま図－1に示すようにトンネル周辺の地中変位が測定されたものとする。丸印は測定点を表わす。斜線内の変位は測定点の変位から補間関数によって次のように内挿することができる。

$$u=\sum_{i=1}^{N}P_i(\xi,\eta)\,u_i \qquad v=\sum_{i=1}^{N}P_i(\xi,\eta)\,v_i \qquad (1)$$

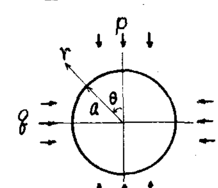

図-2

ここで $P_i(\xi,\eta)$，$i=1,2,\cdots,N$ は局所座標 (ξ,η) における補間関数，u_i，v_i はそれぞれ測定点 i における x，y 方向の変位の測定値である。二次元状態においては変位とひずみの間に次の関係がある。

$$\varepsilon_x=\partial u/\partial x \qquad \varepsilon_y=\partial v/\partial y \qquad \gamma_{xy}=\partial u/\partial y+\partial v/\partial x \qquad (2)$$

式(1)を式(2)に代入すると次式を得る。

$$\{\varepsilon\}=[B]\{u\} \qquad (3)$$

ここで $\{\varepsilon\}=\langle\varepsilon_x\ \ \varepsilon_y\ \ \gamma_{xy}\rangle$，$\{u\}=\langle u_1\ \ v_1\ \ u_2\ \ v_2\cdots u_N\ \ v_N\rangle$

$$[B]=[T_1(\xi,\eta),\ T_2(\xi,\eta),\ \cdots\cdots,\ T_N(\xi,\eta)]$$

マトリックス[B]は測定点の座標のみによって定まる。

次に計算機によるシミュレーションによってこの方法の精度を検討する。いま図－2に示す円形トンネル（平面ひずみ）を考える。このトンネル周辺の変位を弾性解析によって求め，これを測定値と仮定して式(3)からひずみを求める。トンネル周辺に発生する最大せん断ひずみを図－3に示す。この図には理論解（弾性解）も合せて示してある。

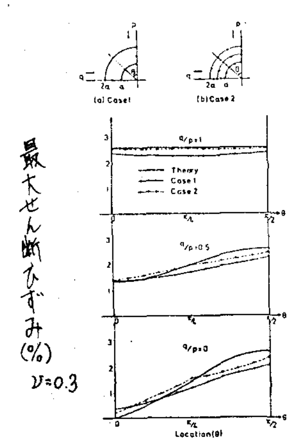

図-3

Shunsuke SAKURAI ,　Kunifumi TAKEUCHI

この結果比較的大きな領域を内挿している Case 1 においても十分な精度が確保されていることがわかる。

図-4はこの方法を実際のトンネルの現場計測結果の評価に用いた例である。斜線を施した領域は最大せん断ひずみが 0.2% 以上を示している。いま破壊に対する許容ひずみを与えることができれば，周辺地山の安定性を評価することが可能となる。

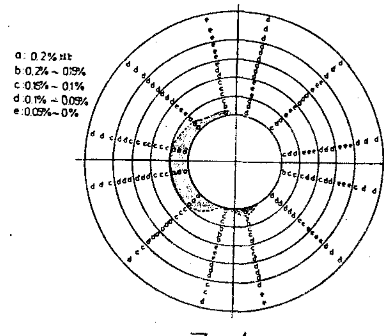

図-4

3，内空変位測定結果の評価法

上に述べた地盤の安定性の評価法においては，トンネルの内壁及び地中の変位を測定しなければならない。ここでは内空変位計によって得られる結果から，内壁の変位を求める方法を提案する。

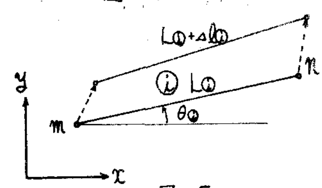

図-5

図-5に示す測線ⓘについては次の関係式を得る。

$$\{(\Delta x_n-\Delta x_m)+L_i\cos\theta_i\}^2+\{(\Delta y_n-\Delta y_m)+L_i\sin\theta_i\}^2=(L_i+\Delta l_i)^2 \qquad (4)$$

ここで $\Delta x_m, \Delta y_m, \Delta x_n, \Delta y_n$ は節点 m, n における x，y 方向変位，L_i は測線ⓘの長さ，θ_i は測線ⓘの x の正方向から反時計回りの角度，Δl_i は測線ⓘの伸縮量である。

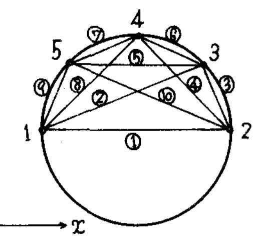

図-6

式(4)の Δx，Δy，Δl を微小と考えその2乗項を無視すると次式を得る。

$$(\Delta x_n-\Delta x_m)\cos\theta_i+(\Delta y_n-\Delta y_m)\sin\theta_i=\Delta l_i \qquad (5)$$

いま三角形を形づくる3本の測線を考えてみる。この場合未知数は6，方程式数は3である。しかし独立な方程式数は2である。したがってさらに4個の条件が必要となる。そこで図-6に示す三角網の節点5個の変位を図-7に示すフローチャートに従って求める。ただし $\Delta u_1\sim\Delta u_5$，$\Delta v_1\sim\Delta v_5$ はそれぞれ節点1～5における半径方向及び接線方向の変位とし，Δu_1，Δu_2，Δu_4 は地山変位計による測定値として与えられるものとする。

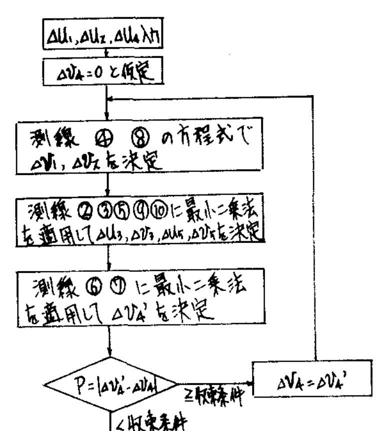

図-7

4，あとがき

ここではトンネルを例に取り，現場計測による地盤の安定性の評価法の一つとして，変位測定の結果を応力に変換することなく直接評価する方法を提案した。なおこの方法においては地盤の初期ひずみ，及び測定開始前にすでに生じているひずみ，さらに破壊時のひずみの評価などが今後の問題点であろう。