地下空洞の施工管理に関する一提案

(株) 鉄建建設　正会員　○西林　良伸
神戸大学大学院　学生員　進士　正人
神戸大学工学部　正会員　桜井　春輔

1. まえがき

地下空洞の掘削時における施工管理においては、各種の現場計測が行なわれる。その中で地山変位は最も容易に測定することができる。いま測定された変位を応力に変換することなく、直接変位勾配としてひずみを求めるならば、地山の応力－ひずみ関係を用いる必要がないので、施工管理の信頼性は非常に向上すると考えられる。そこで、本研究ではすでに2次元状態に対して提案されている地山内変位からひずみを推定する方法[1]を3次元状態に拡張し、さらに現場においてマイクロコンピューターによる施工管理を可能にするために、BASIC言語による解析プログラムの開発を行なった。

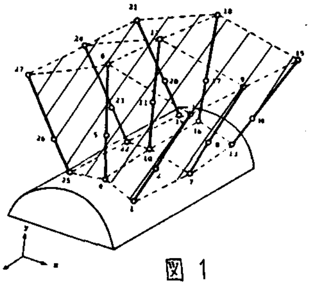


図1

2. 地中ひずみの評価法

いま、図1に示すように地下空洞周辺の地山内変位が測定されたとする。点1～27は測定点を表わす。測定点で囲まれる領域をZienkiewiczが提案するアイソパラメトリック要素と考えるならば、要素内の変位は測定点の変位と補間関数を用いて次式から求められる。

$$
\left.
\begin{aligned}
u &= \sum_{i=1}^{n} P_i(\xi,\eta,\zeta)\, u_i \\
v &= \sum_{i=1}^{n} P_i(\xi,\eta,\zeta)\, v_i \\
w &= \sum_{i=1}^{n} P_i(\xi,\eta,\zeta)\, w_i
\end{aligned}
\right\} \qquad (1)
$$

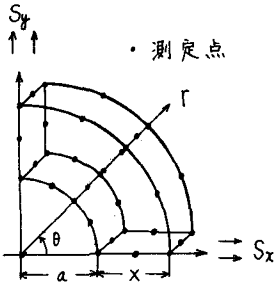
ここで、$P_i(\xi,\eta,\zeta)$ $i=1,2,\cdots n$, は局所座標(ξ,η,ζ)における補間関数, u_i, v_i 及び w_i は測定点 i における x, y 及び z 方向の変位の測定値である。3次元状態においては、変位とひずみの間に次の関係が成立する。

$$
\left.
\begin{aligned}
&\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x},\quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y},\quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z},\quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \\
&\gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y},\quad \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}
\end{aligned}
\right\} \qquad (2)
$$

式(2)に式(1)を代入すると、次の関係が得られる。

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

ここで、



要素パターン1 (X = a)
要素パターン2 (X = 0.5a)

図2

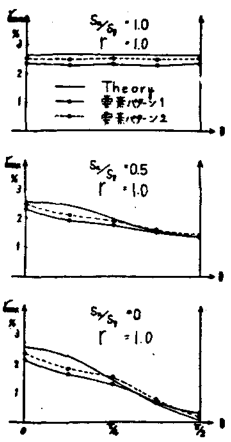


図3

Yoshinobu NISHIBAYASHI, Masato SHINJI and Shunsuke SAKURAI

$$
\left.\begin{aligned}
\{\varepsilon\} &= \langle \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx} \rangle \\
\{U\} &= \langle u_1, v_1, w_1, \text{------} u_n, v_n, w_n \rangle \\
[B] &= [T_1(\xi,\eta,\zeta) \text{-------} T_n(\xi,\eta,\zeta)]
\end{aligned}\right\} \text{------}(4)
$$

さらに、

$$
[T_i(\xi,\eta,\zeta)] = \begin{bmatrix}
\partial P_i/\partial x & 0 & 0 \\
0 & \partial P_i/\partial y & 0 \\
0 & 0 & \partial P_i/\partial z \\
\partial P_i/\partial y & \partial P_i/\partial x & 0 \\
0 & \partial P_i/\partial z & \partial P_i/\partial y \\
\partial P_i/\partial z & 0 & \partial P_i/\partial x
\end{bmatrix} \text{-----------}(5)
$$

式(3)によって、測定点の変位$\{U\}$からひずみ$\{\varepsilon\}$が求められる。

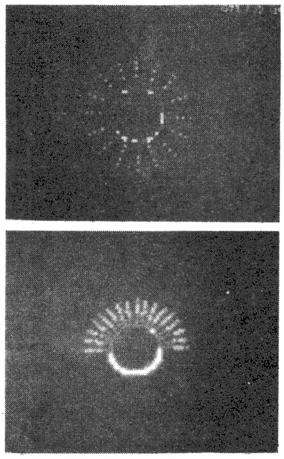


図4

3、精度の検討

図2に示す半径aのトンネルを考え、各要素パターンに示すような測定点において変位が測定されたとする。なお、ここでは測定値として平面ひずみ状態での弾性理論解を用いた。初期地圧は、$S_x/S_y = 1$，0.5及び0とし、ヤング係数$E = 0.01 S_y$，ポアソン比$\nu = 0.3$とした。図3に、各要素パターンに対するトンネル掘削面の最大せん断ひずみの比較を示す。この図から、推定されるせん断ひずみの最大値は、要素パターン1では理論値より約20%小さいことがわかる。また要素パターン2の場合、ひずみの推定の精度はかなり向上していることがわかる。以上の結果，本方法によって地山の測定変位からひずみを推定する場合、パターン1程度の要素を用いても理論値の80%の値が得られることがわかる。これは、施工管理においては十分な推定の精度と思われる。

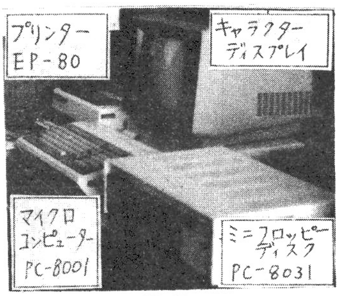


図5

4、マイクロコンピューターの利用

マイクロコンピューターを用いたシミュレーションの結果を図4に示す。これは、図2に示した要素の1つの断面について出力したものである。計算に使用したシステムを図5に示す。

5、むすび

地下発電所、地下備蓄タンク等の大地下構造物の建設中の施工管理においては、地中変位を3次元的に捕えるならば、より正確なひずみの評価が可能となる。そして、それを許容ひずみと比較することによって構造物の安全が確保される。その場合、ここで提案した方法によると、マイクロコンピューターによって現場計測結果を直ちに施工にフィードバックさせることが可能となる。

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，1982年1月，P.P 93～100