

III-253

トンネルA計測変位から覆工応力の推定

近畿大学理工学部 正会員 ○久武 勝保

大阪工業大学 正会員 伊藤 富雄

株式会社 地崎工業 正会員 村上 敏夫

1. 緒 論

本研究は、通常求められるトンネルA計測変位等から、覆工の応力、ひずみ等の力学量を逆解析してトンネル安全性を検討する新しい逆解析手法を提示し、その妥当性を検討したものである。トンネル覆工の力学量の逆解析手法については、すでに幾つかあるが^{1)・2)}、これらはいずれも必要な精度を確保するには変位計測点数が多すぎて、現場計測に多くの時間、経費を要する欠点がある。本手法は、覆工計測変位を生じさす外力組合わせは無数にあるが、その中から、覆工に蓄えられるエネルギーが最小である外力組合わせを見つけた方法であり、従来の手法に比べて計測点数を格段に減少させると共に、工学上十分な精度が確保されるという特徴がある。計測点数を少なくすることは、現場への適用性、経済性の点から非常に重要である。

2. 逆解析手法の定式化

2-1. 概 説

覆工内面節点の測定変位数 N_u と覆工外面節点に作用する外力 F の成分数 N_f が、 $N_u \geq N_f$ という条件下では、 F 及び未知節点変位の解を一意的に求めることができる。しかし、この条件を満足させるのは現実的でない。また、精度向上のために、有限要素法(FEM)における要素分割を細かくすればする程、この条件は満足されにくくなる。そこで、たとえこの条件を満足していなくても、工学的に十分満足ゆく精度の近似解が得られる方法が見つければ好都合である。以下ではそのような方法の定式化を提案する。

2-2 提案法の定式化

切羽に近接した位置での覆工応力は、3次元的に分布するが、しかし、トンネル横断面内の覆工応力、地圧はその横断面を平面歪状態と仮定した2次元逆解析により工学上十分な精度で求められることが示されている²⁾。そこで以下では、2次元平面歪状態下の弾性覆工を対象にする。さて、トンネルA計測では N_u は、 N_f よりもはるかに小であるが、このような場合でも、拘束条件を与えることにより唯一解を得ることができる。ここでは、緒論で示した方法により、逆解析定式化を行うことにする。

いま、2次元FEMにおいて、 u を変位ベクトルとすれば、これは次のように既知計測変位ベクトル u_A^* と未知変位ベクトル u_B に分けることができる。

$$u = (u_A^* \ u_B)^T \quad (T: \text{転置}) \quad (1)$$

次に節点力 F と u の間には

$$F = Ku \quad (2)$$

という関係がある。但し K は剛性マトリックスで次のように表わす。

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{AA} & K_{BA} \\ K_{AB} & K_{BB} \end{bmatrix} \quad (3)$$

外力により覆工に蓄えられるエネルギーの総和 E は

$$E = \frac{1}{2} F^T u = \frac{1}{2} (u^T K^T) u = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} u_A^* \\ u_B \end{pmatrix}^T \begin{bmatrix} K_{AA} & K_{BA} \\ K_{AB} & K_{BB} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} u_A^* \\ u_B \end{pmatrix} \quad (4)$$

ここで、 E を最小となす変位ベクトル u_B は、次式を満足しなければならない。 $\partial E / \partial u_B = 0$ (5)

式(4)、式(5)より、 u_B について解くと次式を得る。 $u_B = -K_{BB}^{-1} \cdot K_{AB} \cdot u_A^*$ (6)

式(6)より、 u_B の成分数に関係なく、 u_A^* のみから u_B の近似値を求めることができる。従って、それを、変位・ひずみ関係式、応力・ひずみ関係式に適用することにより、覆工の全ての力学量が決定される。

3. 提案逆解析法の検証

まず、覆工モデルと覆工外面に作用さす荷重モデルを仮定し、順解析より変位および応力をあらかじめ計算しておき、それを真値とみなす。次に、上記で得られた覆工内面変位を計測値とし、これを本逆解析法に入力して覆工応力を求め、これと先程の真値応力と比較することとする。解析で用いた覆工モデル、荷重条件を図-1に示す。ただし、スプリングラインまでの高さ3.2m、アーチ半径2.2m、覆工厚0.2m、 $q = 2 \text{ tf/m}^2$ である。トンネルの変位計測は図-2に示す様に計測点数の異なる9種類のタイプで実施されるものとした。覆工の弾性係数は $1.0 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ 、ポアソン比は0.15とした。

計測タイプ⑦の場合における覆工応力の真値と逆解析結果の比較を図-3に、入力変位数と誤差の関係を図-4に示す。なお図-4における誤差 Error は次式で定義される。

$$\text{Error} = \sum_{i=1}^N \left| \frac{\tau_{(i)}^* \cdot \max - \tau_{(i)} \cdot \max}{\tau_{(i)}^* \cdot \max} \right| \times 100 / N$$

ここでNは覆工の全要素数、 $\tau_{(i)} \cdot \max$ は逆解析による覆工要素 i の最大せん断応力、 $\tau_{(i)}^* \cdot \max$ はその順解析値である。○印内の数字は、図-2に示す計測タイプであり、入力変位数は一測点につき2方向の変位が入力される。図-3、4より、少ない入力変位数でも高精度の結果の得られることが理解できる。

4. 結論

本提案法は覆工に蓄えられるエネルギーが最小となる外力組み合わせを見つけ出す方法であり、計測変位数に関係なく覆工応力を推定でき、また通常のA計測程度の入力変位数でも相当高い精度の得られる事が示された。

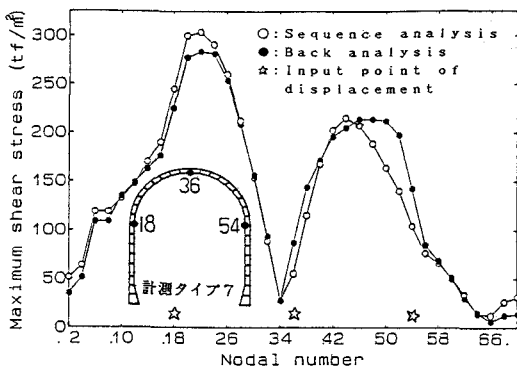


図-3 覆工応力の逆解析結果と真値の比較

参考文献

- 1) Kovari, K., Amstad, Ch. and Fritz, P.: Integrated Technique for Rock Pressure Determination, Proc. Int. Sympo. on field Measurements in Rock Mech., pp.289-316, 1977.
- 2) Hisatake, M. and Ito, T.: Back Analysis Methods to Tunnel Linings, Proc. Int. Symp. Field Measurements in Geomech., pp.1047-1056, 1983.

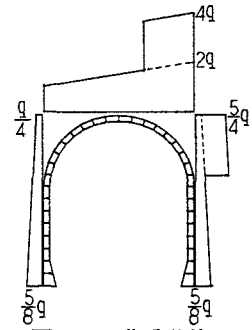


図-1 荷重条件

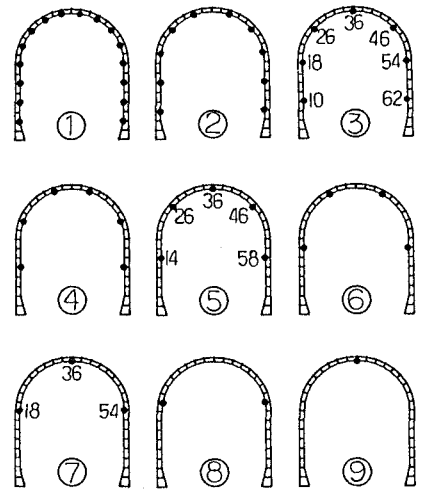


図-2 計測タイプ

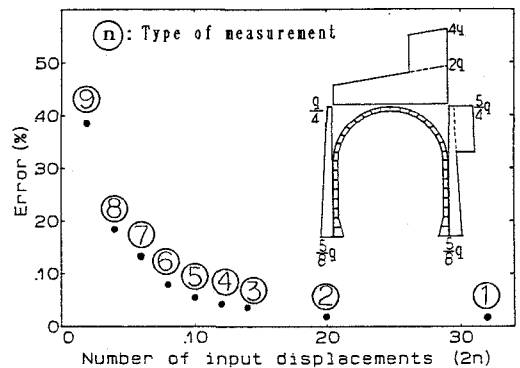


図-4 入力変位数と逆解析精度の関係