

III-580 逆解析によるトンネル周辺地山のひずみ分布推定のための最適計測配置について

山口大学工学部 学○垣原 裕 正 清水則一 学 田村哲也 正 中川浩二
神戸大学工学部 正 桜井春輔

1. はじめに

情報化施工の普及にともないトンネル施工時において現場計測を行うことが定着している。現場計測の計画にあたって重要なことは、①計測目的を明らかにすること、②計測結果の評価の手順を定めておくこと、③評価結果に対応した施工の対処計画を予めたてておくこと、などが挙げられる。そして、計測機器は計測の目的を実現できるように合理的に配置する必要がある。筆者らは、これまで計測変位の逆解析を精度良く行うための計測機器の合理的な配置と、その評価法について検討している¹⁾。本報告ではさらに、逆解析結果に基づき地山の最大せん断ひずみ分布を精度良く推定するための計測配置について定量的に検討する。

2. 逆解析法²⁾⁻⁴⁾の概要

トンネル周辺の地山を巨視的に等質等方の線形弾性体と考え、さらに掘削地点で初期応力が一定とすると、二次元平面ひずみ問題の場合、掘削によって生じる変位 u は、次のように表される(図1参照)。

$$u = f_1(\sigma_x^0/E) + f_2(\sigma_y^0/E) + f_3(\tau_{xy}^0/E) \quad (1)$$

ただし、 $\sigma_x^0, \sigma_y^0, \tau_{xy}^0$ は初期応力の各成分、 E は弾性係数である。また、 $\sigma_x^0/E, \sigma_y^0/E, \tau_{xy}^0/E$ を初期応力パラメータと呼ぶ。 f_1, f_2, f_3 は変位の位置とその方向、および、トンネルの形状ならびにポアソン比を与えれば求められる。式(1)を変位の観測方程式として、計測変位との残差自乗和を最小とする初期応力パラメータは次式で求められる。

$$\{\sigma^0\} = ([F]^T [F])^{-1} [F]^T \{u_m\} \quad (2)$$

ただし、 $[F]$ は f_1, f_2, f_3 で構成される行列、 $\{u_m\}$ は計測変位、 $\{\sigma^0\}^T = \{\sigma_x^0/E, \sigma_y^0/E, \tau_{xy}^0/E\}$ である。

3. 計測配置の良好度を表す指標

一般に計測変位は計測機器の精度に応じて、ある誤差を含んで計測される。従って、逆解析によって得られる諸量もその計測誤差の影響を受ける。筆者らは式(2)に誤差伝播を適用し、初期応力パラメータ、弾性係数などの精度(標準偏差)を表す式を誘導した¹⁾。それは計測配置の関数となっており計測配置の良好度を与える指標となり、その値に基づき最適計測配置について検討した。いま、計測変位の精度(標準偏差)を $STD(u)$ とおくと、逆解析結果から得られる地山の最大せん断ひずみの精度(標準偏差) $STD(\gamma_{max})$ の近似式は次のように求めることができる。

$$STD(\gamma_{max}) = \{g_1^2 \langle F^T F \rangle_{11} + g_2^2 \langle F^T F \rangle_{22} + g_3^2 \langle F^T F \rangle_{33} + 2g_1 g_2 \langle F^T F \rangle_{12} + 2g_2 g_3 \langle F^T F \rangle_{23} + 2g_3 g_1 \langle F^T F \rangle_{31}\}^{1/2} \cdot STD(u) \quad (3)$$

ただし、 $\langle F^T F \rangle_{ii}$ は式(2)に示される行列 $[F]^T [F]$ の成分で、計測配置の関数である。また $\{g_1, g_2, g_3\}$ は初期応力パラメータで表した γ_{max} を $\{\sigma^0\}$ で微分して求める。式(3)を最大せん断ひずみに対する計測配置の良好度を表す指標とする。

4. 数値シミュレーション

図2に示す二車線道路トンネルを例にとり数値シミュレーションを行う。地中変位はエクステンソメータ(3測線)を用いて計測し、測線を左右対称に配置するものとする。図3および図4は、全断面掘削および下半掘削によって生じた変位を用いて逆解析を行った場合について、逆解析結果から推定した最大せん断ひずみの精度(標準偏差)を示したものである。ただし、斜計測線の角度は $\theta=5^\circ$ である。たとえば $\gamma_{max}=1.0\%$ で管理する場合、これらの図において $STD(\gamma_{max}) > 1.0\%$ の領域では、最大せん断ひずみの推定値はほとんど信用でき

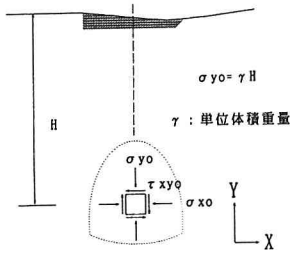


図1. トンネル周辺の初期応力と変位

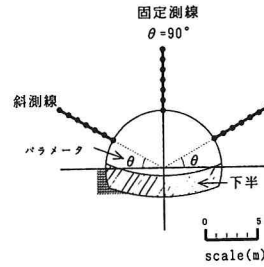


図2. 数値シミュレーションモデルと変位計測配置

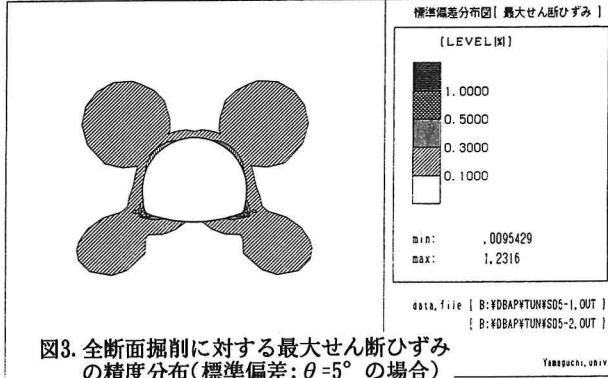


図3. 全断面掘削に対する最大せん断ひずみの精度分布(標準偏差: $\theta=5^\circ$ の場合)

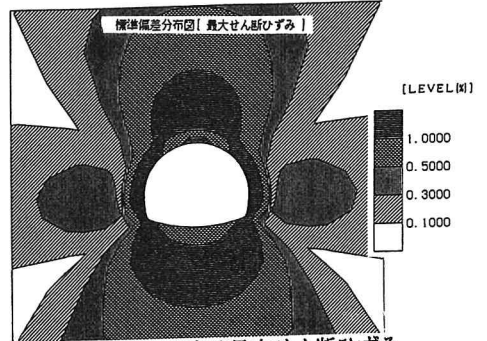


図4. 下半掘削に対する最大せん断ひずみの精度分布(標準偏差: $\theta=5^\circ$ の場合)

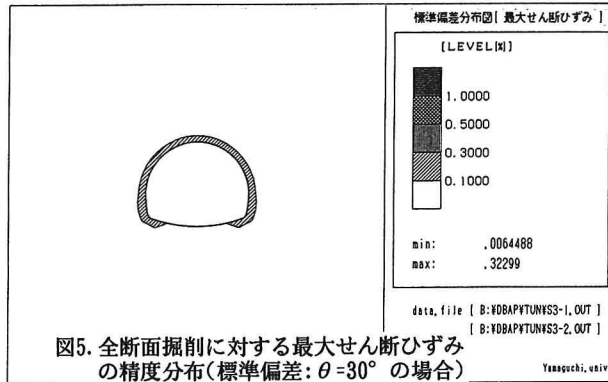


図5. 全断面掘削に対する最大せん断ひずみの精度分布(標準偏差: $\theta=30^\circ$ の場合)

ないことを意味する。すなわち、図4において $STD(\gamma_{max}) > 1.0\%$ の領域は広範囲にわたり、下半掘削によってのみ生じた変位を逆解析の入力データにすると、推定精度はきわめて低いものとなることが示されている。したがって、精度の良い最大せん断ひずみの推定には、全変位(計測遅れは避けられないが、できる限り計測機器の早期設置を行い計測する)を用いるべきである。図5は斜計測線 $\theta=30^\circ$ の場合の全断面掘削に対する最大せん断ひずみの精度分布である。この場合、ほとんどすべての領域で、精度良く推定されることがわかる。

5. むすび

本報告では、逆解析結果から地山の最大せん断ひずみを精度良く推定するための計測配置を検討する指標を提案した。そして、数値シミュレーションを行い、定量的に適切な計測配置を定められることを示した。

参考文献

- 1) 清水則一, 垣原裕, 中川浩二, 桜井春輔: トンネル変位計測結果の逆解析のための最適計測配置について, 第14回西日本岩盤工学シンポジウム論文集, 51-56, 1993
- 2) N. Shimizu and S. Sakurai: Application of boundary element method for back analyses associated with tunneling problems, proc. 5th Conf. on Boundary Elements, 645-654, 1983.
- 3) 桜井春輔, 武内邦文: トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法, 土木学会論文集, 337:137-145, 1983.
- 4) 桜井春輔, 清水則一: 現場計測に基づく逆解析による力学定数の推定, 土と基礎, 35(850):17-21, 1987.