

III-B 176

トンネル断面の平均ひずみを用いた MBC 解析の入力パラメータ同定法

○千葉工業大学 学生員 日比野繁信
 千葉工業大学 正 員 吉田 秀典
 東京大学 正 員 堀井 秀之

1. はじめに

不連続性岩盤に対する解析手法を確立することは岩盤力学の重要な課題の一つであるが、その際のポイントの一つは入力パラメータの決定方法である。地質調査や原位置試験の結果より入力パラメータを客観的に決定できる解析手法でなければ、それを実際の設計や施工管理に用いることは出来ない。著者らは地下発電所に先行して行われるトンネル掘削、例えばケーブル坑や機器搬入坑の掘削を原位置応力解放試験として捉え、それより得られる計測結果、例えば内空変位のデータより、内空変位どうしの比を用いて著者らの開発した MBC 解析¹⁾に必要な入力データの同定する手法を提案しているが、この方法では計測点を増やした場合には内空変位の比も増加する²⁾。そこで本研究では、この同定方法に改良を加え、内空変位から求まる平均ひずみを用いた同定方法を提案する。

2. トンネル断面の壁面変位と平均ひずみ

平均ひずみ ($\bar{\epsilon}_{ij}$) は計測された壁面変位 (u_i) より、発散定理を用いて以下のように計算される。

$$\bar{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{A} \int_{c^i} \frac{1}{2} (u_i n_j + u_j n_i) dc \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 A はトンネルの断面積、 n_i はトンネルの壁面に対する単位法線ベクトルの成分、 c^i はトンネル壁面の周長である。求められた3成分の平均ひずみより、主ひずみと最大主ひずみの方向を求め、岩盤の変形を表すパラメータとする。断面の平均ひずみは局所の変形成分に影響されずに岩盤の全体的挙動を表すことが出来る。平均ひずみより等方的、あるいは連続体的変形成分と土被りの影響を除去するために、これらより最大せん断ひずみと体積ひずみの比をとる。そして、解析から求まるひずみ比、及び最大主ひずみの方向と計測から得られた両者の誤差の二乗和をとる。この誤差を各種ジョイントのパラメータ、初期応力について計算し、誤差を最小にする組合せを探すことにより、地下空洞掘削解析に必要な解析パラメータを決定する。

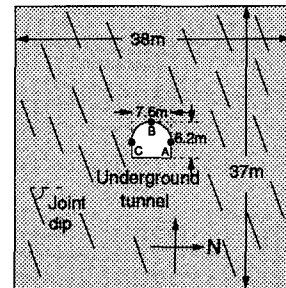
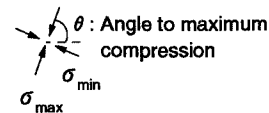


図1 解析概要

3. 解析パラメータの同定

解析対象の地下発電所建設に先行するトンネルの断面形状は馬蹄形で、規模は高さが6.2m、幅が7.6mである(図1参照)。トンネルは土被りが100mから300mの地下に位置しており、その坑軸はほぼ東西方向と一致している。岩盤は、北落ち急傾斜で走向がトンネルの坑軸とほぼ平行であるジョイントが卓越している。そこでこれを解析上の卓越ジョイントセットとし、右落ち50度から左落ち80度までの範囲で解析を行った。その他のジョイントの物性パラメータは、ジョイント面の摩擦角(ϕ)を25度、起伏角度(α)を5度から35度とし、種々の有効長さ($\bar{L}$)、平均間隔(d)について解析を行った。また、岩盤の単位体積重量を2.5g/cm³と仮定し、それに土被りを乗じた値を初期最大圧縮応力とした。初期最小圧縮応力と初期最大圧縮応力の比($\sigma_{min}/\sigma_{max}$)は、本来、様々な値に対して検討を行ったが、紙面の都合上、本論文では0.9の場合の結果のみを示した。初期最大圧縮応力の方向($\theta_{\epsilon_{max}}$)は、水平方向に対して反時計回りに0度から170度の範囲とし、図1に示すような領域について2次元平面ひずみの条件下でMBCモデルを用いて解析を行った。

まず、起伏角を15度および25度、ジョイントの平均間隔と有効長さの比を0.03および0.1とし、種々の初期最大圧縮応力の方向とジョイントの傾斜について解析値と測定値の誤差の二乗和を計算し、それぞれ図2

から図5に示した。図より、どのような起伏角度、ジョイントの平均間隔と有効長さの比をとっても、初期最大圧縮応力の方向 $\theta_{\sigma_{max}}$ が水平方向より反時計回り15度、ジョイントの傾斜が反時計回り100度（解析断面において右落ち80度）で解析と計測の誤差が小さくなることがわかる。現場の調査試験で報告されている卓越ジョイントの傾斜角は右落ち70～80度であり、本解析結果は妥当な値を同定出来ている。

次に、初期最大圧縮応力の方向 $\theta_{\sigma_{max}}$ を水平方向より反時計回り15度、ジョイントの傾斜を反時計回り100度とし、種々のジョイントの平均間隔と有効長さの比とジョイントの起伏角について解析値と測定値の誤差の2乗和を計算し、図6に示した。図より、ジョイントの平均間隔と有効長さの比が0.03、ジョイントの起伏角が28度あたりで解析と計測の誤差が小さくなっていることがわかる。

さらに、上記の過程で得られたジョイントの解析パラメータと初期応力応力方向を用いて、種々の弾性係数について土被りの関数として内空変位を求め、図7に計測値とともにプロットした。図より、弾性係数を400,000kgf/cm²とした時に解析が計測に近いことが分かる。

4. まとめ

本研究では、例えば地下発電所空洞掘削に先行して行われるトンネルの掘削を原位置応力解放試験と捉え、トンネル掘削時に計測される内空変位の結果から岩盤の等方的、あるいは連続体的変形成分と土被りの影響を除去するために平均ひずみを計算し、地下発電所空洞掘削解析に必要な入力パラメータの同定を試みた。最大平均ひずみの方向と、最大せん断ひずみと体積ひずみの比に関して、計測値と一致させる解析パラメータを決定することができた。本研究で提案する解析パラメータの同定方法は客観的、かつシステムティックな方法であるだけでなく、有用性が高いものと思われる。

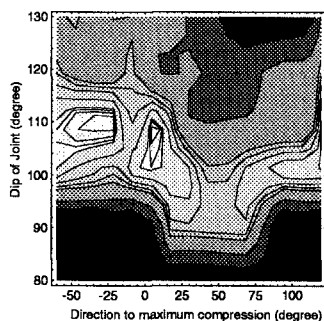


図2 誤差 (起伏角 15 度, d/L 0.03)

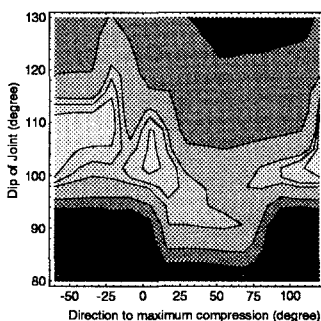


図3 誤差 (起伏角 15 度, d/L 0.10)

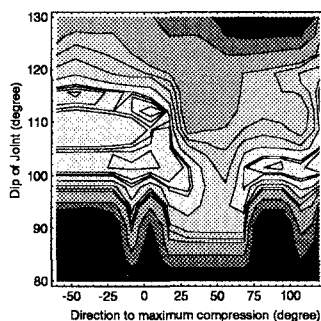


図4 誤差 (起伏角 25 度, d/L 0.03)

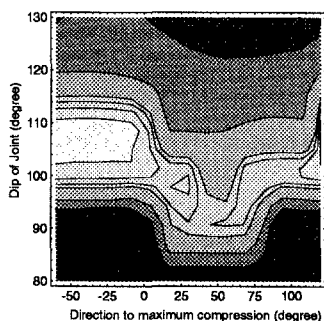


図5 誤差 (起伏角 25 度, d/L 0.10)

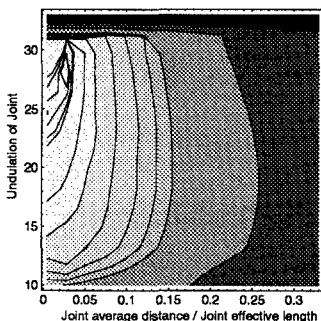


図6 誤差 (主応力 15 度, 右落ち 80 度)

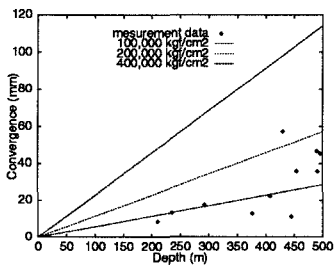


図7 土被りと内空変位

参考文献

- 1) 吉田, 堀井: マイクロメカニクスに基づく岩盤の連続体理論と大規模空洞掘削の解析, 土木学会論文集, No.535/III-34, pp.23-41, 1996.
- 2) 吉田, 林, 堀井: トンネル掘削時の内空変位の計測結果による解析パラメータの同定, 第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.426-430, 1995.