

III-442

ひずみ制御法による最適ロックボルト
本数の評価

三井建設 正会員 山地宏志
 " 正会員 平井正雄
 " 正会員 中田雅夫
 神戸大学 正会員 櫻井春輔

1. はじめに

地下構造物の設計・施工においてはどのように詳細な事前調査を施したとしても地山の特性を完全に把握することは難しく、施工時に現場計測を実施し、この計測結果をもとに最適な支保量を決定する必要がある。

ロックボルトは最も有効な地下構造物の支保部材の一つでありながら、その挙動が複雑であるなどの理由により、その最適支保量は現場技術者の経験に依存して決定される。本報文は現場計測結果をもとに最適なロックボルト本数を定量的により求める手法を提案したものである。

2. ひずみ制御法

筆者らが提案するひずみ制御手法の流れを図-1に示す。図中の‘初期応力パラメータ’とは櫻井らの提案する逆解析手法で同定される地山物性値で次式で定義される¹⁾。

$$\{\sigma_o/E\}^T = \{\sigma_{xo}/E, \sigma_{yo}/E, \tau_{xyo}/E\}^T \quad (1)$$

ここで、 $\{\sigma_o\}$ は初期応力成分を、 E は地山の等価弾性係数を示す。

また、‘感度係数’とは単位のロックボルトが初期応力パラメータに与える影響を示す係数で、(2)式で定義される。尚、この感度係数を求めることを感度解析と呼ぶ。

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left\{ \frac{\sigma_o}{E} \right\} = \lim_{\Delta \eta} \frac{\{\sigma_o/E\}_A - \{\sigma_o/E\}_B}{\Delta \eta} \quad (2)$$

ここで、 η はロックボルト本数を示し、また $\{\sigma_o/E\}_A$ 、 $\{\sigma_o/E\}_B$ は各々ボルト本数の異なるサイトにおける初期応力パラメータを示し、 $\Delta \eta$ は二つのサイト間のボルト本数の差を示す。最後に、‘ひずみ制御解析’とは感度係数を用いて、地山に発生する最大せん断ひずみを許容せん断ひずみ以内におさめるために要するボルト本数を求めることを言う。ここでは次式に示す、最適化問題を定義し、ひずみ制御を行った。

$$(\text{目的関数}) \quad \Delta \eta^2 \rightarrow \text{Minimum} \quad (3-1)$$

$$(\text{付帯条件}) \quad r_o - r_{\max} - \frac{\partial r_{\max}}{\partial \eta} \Delta \eta > 0 \quad (3-2)$$

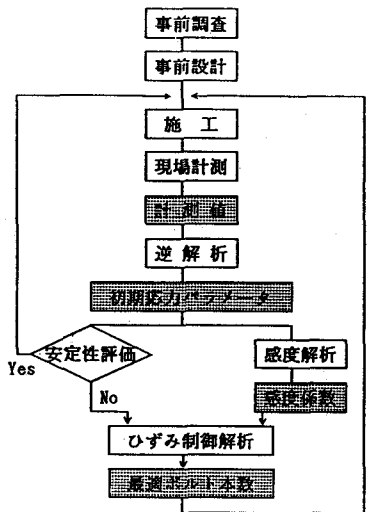


図-1 ひずみ制御手法の流れ図

ここで、 $\Delta \eta$ は変更するボルト本数、 r_o は許容せん断ひずみ、また $r_{\max}^o$ はボルト本数変更前の地山の最大せん断ひずみを示す。さらに $\partial r_{\max}/\partial \eta$ は最大せん断ひずみに対するロックボルトの感度係数を示し、 $\partial \{\sigma_o/E\}/\partial \eta$ から計算される。従って、(3)式はボルト本数変更後、地山の最大せん断ひずみが、許容せん断ひずみ以下となる付帯条件のもとで、最小のボルト変更量を求める問題を意味する。この問題は最終的に次の連立方程式を解くことに帰結される²⁾。

$$2\eta + \sum_{j=1}^N \frac{\partial r_{\max,j}}{\partial \eta} \lambda_j = 0 \quad (4.1)$$

$$r_o - r_{\max,j} - \frac{\partial r_{\max,j}}{\partial \eta} \Delta \eta = 0 \quad (4.2)$$

ここで、 λ_j はLagrangeの未定乗数、 $r_{\max,j}$ は点Jにおける最大せん断ひずみを示す。

3. 数値計算例

図-2にT-トンネルにおける最大せん断ひずみ分布を示す。このトンネルの許容せん断ひずみは0.7%であり、ボルト打設本数は8本であった。今、表-1に示す諸元を用いて、ひずみ制御解析を行った結果を図-3及び表-2に示す。図表より明かなようにここで示した手法は良好な解の収束を得ることができる。

また、図-4にボルト本数変更前後の初期応力パラメータの主値を示す。図より明かなように初期応力パラメータの値はボルト本数の変更によって大きく変化するが主軸の傾きはさほど変化しない。

4. 結言

本報文では最大せん断ひずみを許容せん断ひずみ以内におさめることを目的としたロックボルト支保の定量的評価法を提案し、一計算例を示した。今後、この手法を実施工へ適用する方針である。

表-1 ひずみ制御に用いた諸元

Initial Stress Parameter (%)			Sensitive Coefficient			r_0 (%)
$\frac{\sigma_{x0}}{E}$	$\frac{\sigma_{y0}}{E}$	$\frac{\tau_{xy0}}{E}$	$\frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\sigma_{x0}}{E} \right)$	$\frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\sigma_{y0}}{E} \right)$	$\frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\tau_{xy0}}{E} \right)$	
0.8	0.6	-0.1	-0.04	-0.03	0.005	0.7

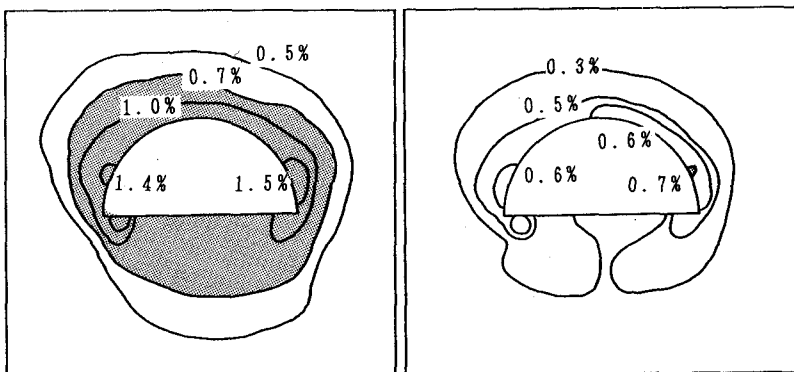


図-2 T-トンネルにおける 最大せん断ひずみ分布
図-3 増しボルト後の 最大せん断ひずみ分布

表-2 各繰り返し回数における諸元

Iteration Times	Initial Stress Parameter (%)			$\Delta \eta$
	$\frac{\sigma_{x0}}{E}$	$\frac{\sigma_{y0}}{E}$	$\frac{\tau_{xy0}}{E}$	
0	0.800	0.600	-0.100	0
1	0.437	0.328	-0.055	9.608
2	0.379	0.284	-0.047	10.528

参考文献

- 1) 櫻井春輔、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、土木学会論文報告集、第337号、pp.137~145、1983
- 2) 山地宏志、櫻井春輔：ひずみ制御によるトンネル支保の評価法の開発、第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp.61~65、1989

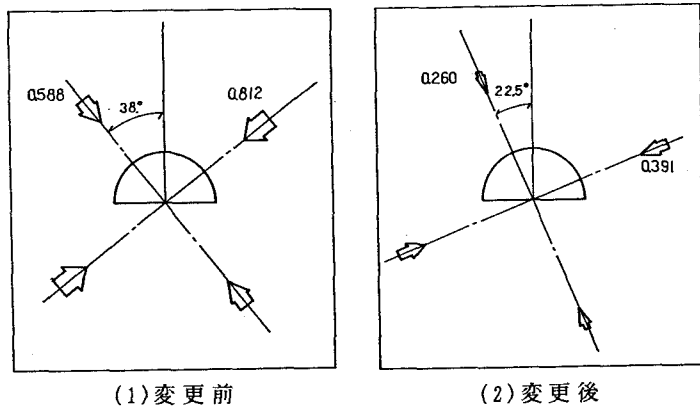


図4 ボルト本数の変更による初期応力パラメータの主値の変化