

弾性係数の自動的操作に基づく掘削問題の逆解析に関する基礎的研究

神戸大学 正会員 芥川 真一

神戸大学 学生会員 堂場 直樹

神戸大学 学生会員 上坂 宜亮

○ 神戸大学 学生会員 西田 愛

1. 研究の目的

岩盤構造物の情報化施工において、これまで様々な逆解析手法が開発されてきた。最初に櫻井らによって開発された直接逆解析手法¹⁾がある。この手法は、計測変位数よりも未知数の方が少ないので安定解が求まるが、断層、破砕帯、不連続面等の挙動が卓越する



図 1 従来の逆解析手法の問題

場合には、地山を等方等質の弾性体と仮定しているために非線形挙動の再現が困難になる傾向があった（図1の左図）。その後、櫻井らは力学モデルを設定せず非線形な変位場を逆解析する手法を開発した^{2), 3)}。この手法は要素に生じるひずみ成分を弾性と非弾性ひずみの足しあわせと仮定し、ノルム最小化法により初期応力パラメーターと非弾性ひずみを同定する手法である。ノルム最小化法の特長上、変位計測線付近であっても主ひずみ、主応力方向に誤差が生じ、応力が過度に集中するなどの問題点があった。本研究では、変位計測工付近だけを操作してひずみ場を同定するのではなく、計測工から離れた箇所でも非弾性ひずみが生じている場合に、岩盤内に発生する最大せん断ひずみと剛性の低下を関連付けることによって、それらを合理的に同定する手法を開発した。

2. 開発した岩盤安定予測解析法の定式化

本研究で開発した逆解析手法では、図2のように解析領域内の最大せん断ひずみが同程度である領域を1つのグループと考え、その領域の弾性係数を自動的に操作し、解析領域において計測変位を再現できるようなひずみ場を求めるものである。まず、解析領域全体の最大せん断ひずみの最小値と最大値を、任意に設定するゾーン数で分割し、計測変位からゾーンごとの弾性係数変化率（式2.1）を算出し、そのゾーンごとの弾性係数変化率によって、それぞれの要素の弾性係数を変更する（式2.2）。ここで、計測工の位置によっては弾性係数変化率が算出できないゾーンが出てくる場合がある。その際には、既知の弾性係数変化率からの線形内挿や、外挿によって算出することとする。以上の様に繰り返し計算毎に弾性係数の操作を行うものとして、弾性係数変化率、または変位の誤差が小さくなった場合に逆解析が終了するものとする。

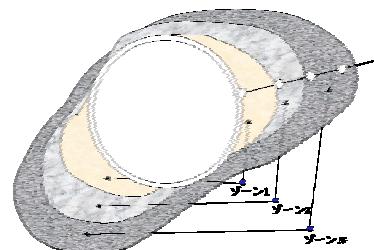


図 2 弾性係数操作の概要

$$A_i = [\varepsilon_a / \varepsilon_m] = \left[\frac{\Delta l_a}{l} / \frac{\Delta l_m}{l} \right] = [\Delta l_a / \Delta l_m] \quad (2.1)$$

$$E_{i+1} = E_i \times A_i \quad (2.2)$$

ここで、 A_i :繰り返し計算 i 回目の弾性係数変化率、 ε :ひずみ、 Δl :伸び、 l :長さ、添え字 a :解析値、添え字 m :計測値、 E_i :繰り返し計算 i 回目弾性係数とする。

キーワード：逆解析，グループ，弾性係数変化率

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学工学部建設学科 TEL 078-803-6015

3. 解析モデルにおける数値実験

ここで弾性係数 1000(MPa), ポアソン比 0.3, 単位体積重量 $0.03(\text{MN}/\text{m}^3)$ の地山において, 図 3 に示すメッシュモデルを用いて空洞を掘削するものとする. インプットデータの作成に用いた順解析の破壊基準を表 1 に示す. この数値実験において, 弾塑性解析とひずみ軟化解析を行い, 応力場, ひずみ場の再現性を比較した. 数値実験結果として, 最もひずみレベルの高い箇所に位置している計測工の結果を示す. 応力場については, 引っ張り応力も生じることなくほぼ再現できた. しかし, ひずみ軟化解析の場合, 多少の引っ張り応力が生じた. 次に, 主ひずみ成分におけるひずみ分布を図 4 に示し, (a-1), (a-2)を弾塑性解析, (b-1), (b-2)をひずみ軟化解析の結果とする. 弾塑性解析の場合は, それをほぼ再現できたことが分かるが, ひずみ軟化解析では, 空洞肩部から上方に伸びるせん断帯のような極度のひずみ集中現象を再現できなかったことがわかる. これは, 弾性係数を操作する対象のゾーンを決定する際に, 仮の弾性計算結果におけるひずみ分布を用いていることに原因があると思われる. すなわち, 仮の弾性計算におけるひずみ分布を参考にする価値がある場合(弾塑性的挙動が卓越し, ひずみが課題となっていない場合)と, それが困難な場合(弾性挙動とかけ離れたひずみ分布が存在し, 相当数の計測データが無い限り, ひずみ場の同定が困難な場合)があると思われる. 後者の場合においては, ゾーンの決定方法などについて今後の検討を要する.

表 1 破壊基準

			弾塑性解析	ひずみ軟化解析
破壊基準線			Mohr-Coulomb	
内部摩擦角	$\Phi(^{\circ})$	初期値 ϕi	30	30
		残留値 ϕr	-	12
粘着力	$C(Mpa)$	初期値 Ci	0.1	0.1
		残留値 Cr	-	0.06
C が低減するせん断ひずみ増分 $\Delta \gamma$			-	0.001

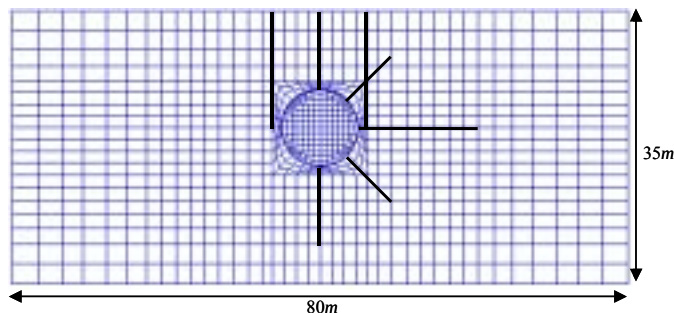


図 3 メッシュモデル



(a-1)正解図 (a-2)逆解析 (b-1)正解図 (b-2)逆解析

図 4 主ひずみ成分におけるひずみ分布

4. まとめ

掘削問題において, 空洞周辺に非線形挙動が現れる場合に適用するための簡易逆解析手法の開発を試みた. ひずみレベルに応じて複数のゾーンを設定し, ゾーンごとに弾性係数を操作する方法で, 計測変位の再現を試みた. ひずみレベルの高い位置に計測工が位置する場合, 計測変位の情報よりグルーピングの際に適切な弾性係数変化率が算出できるため, 内挿や外挿による誤差が小さくなり, ひずみ分布の再現性が高まった. このことより, 従来の逆解析手法においては再現性の低かった計測工周辺部以外のひずみ分布を, これまでの手法よりも合理的に再現することができた.

参考文献

- ・ 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, 土木学会論文集, 第 317 号, pp.197~202, 1982.
- ・ 櫻井春輔, 川島幾夫, 皿海章雄, 芥川真一: 地盤の非弾性挙動の逆解析, 土木学会論文集, No.505/ -29, pp.133~140, 1994.
- ・ 櫻井春輔, 芥川真一, 徳留修: ノルム最小化法に基づく非弾性ひずみの逆解析, 土木学会論文集, No.517/ -31, pp.197-202, 1995. -31, pp.197-202, 1995.