神戸大学	学生会員	西日	日愛
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	正会員	芥川	真一

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弾性ひずみが再現されず,図1の左図のように解析変位と計測変位が異なったものとなる.その後,櫻井らは力学モデルを設定せずに非弾性ひずみを考慮する逆解析手法を開発した^{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り,ノルム最小化法の特性上,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,ひずみが集中するなどの問題点がある.以上のように,変位計測工から離れた箇所において非弾性ひずみを考慮した応力場,ひずみ場を正確に特定することは困難である.従って本研究では,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ので報告する.

2. 開発した岩盤安定予測解析法の定式化

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 きない場合がある.その際には,図3のように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する.以上の様に弾性 係数の操作を繰り返し計算毎に行うものとし,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.

$$\begin{aligned} \boldsymbol{A}_{i} &= \left[\boldsymbol{\varepsilon}_{a} / \boldsymbol{\varepsilon}_{m}\right] = \left[\frac{\Delta l_{a}}{l} / \frac{\Delta l_{m}}{l}\right] = \left[\Delta l_{a} / \Delta l_{m}\right] \\ \boldsymbol{E}_{i+1} &= \boldsymbol{E}_{i} \times \boldsymbol{A}_{i} \end{aligned}$$



(2.2)

Megumi NISHIDA, Naoki DOBA, Takaaki KOUSAKA, Shinichi AKUTAGAWA

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(MN/m³) の地山において, 図4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 レベルの高い位置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,引張り応力が生じた.これは,空洞周 辺に生じた応力の釣り合い上,生じたものと考えられる.次にひずみ場 の結果を図5に示した.図より,断塑性解析の場合ほぼ再現できたが, ひずみ軟化解析の場合には空洞肩部から上方に伸びるせん断帯を再現で きなかったことがわかる.逆解析結果の応力場,ひずみ場より,弾塑性

解析は正解値とほぼ同様な挙動を示すが,ひずみ軟化におい ての再現は困難であった.しかし 弾性係数を操作した結果, 計測工からの情報により,非弾性ひずみも考慮したひずみを 算出できた.また,逆解析後の弾性係数も空洞周辺の剛性は 低下しており,空洞から離れるにつれて,剛性が高くなって いることが分かり,本研究で開発した逆解析によって解析領 域全体のひずみ分布の再現性が高まった.

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	(°)	初期値 i	30	30
		残留値 r	-	12
粘着力	C(Mpa)	初期值Ci	0.1	0.1
		残留值Cr	-	0.06
こが低減するサム低いずみ進合			0.001	



4. まとめ

以上の数値実験によって,ひずみ軟化解析結果においては,空洞肩部から上方に伸びるせん断帯の再現は困難であった.また,弾塑性解析結果においては,ひずみレベルの低い箇所にしか計測工がない場合には,弾性係数変化率を 内挿や外挿によって求めるグループが増えてしまう.従って,誤差が大きくなり塑性域の再現性が低くなることが確 認された.しかし,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

- 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,土木学会論文集,第 317 号,pp.197~202,1982.
- 2) 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.
- 3) 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.