破壊力学に基づく岩盤のマルチスケール強度特性評価

清水建設	正会員	鈴木	孝夫
東北大学	正会員	京谷	孝中

1. はじめに

不連続面を多数含む不連続性岩盤の力学特性は、その不連続面による複雑な構造に支配されている.西岡¹⁾は、 寺田・京谷²⁾らによって提案されたマルチスケール応力変形解析法に基づき、周期微視構造となる亀裂の開閉お よび摩擦挙動を直接的に取り扱う解析手法を開発し、さらに亀裂性岩盤の巨視的破壊基準の提案を行った.しか しながら、応力によって定義される西岡の破壊基準は、有限要素メッシュを細分化すると亀裂先端の応力集中を 追いかけることとなり、岩盤の持ちうる強度を過小評価してしまうことが問題点として挙げられていた.そこで 本研究では、破壊力学に基づき、メッシュの大きさに左右されない亀裂性岩盤の強度評価法を提案する.

2. 応力拡大係数による亀裂先端応力場評価

応力拡大係数は,亀裂先端の応力場を決定するパラメータ である.二次元問題において亀裂の変形は図-1のように2つ のモードに分類できる.亀裂先端の応力場は,図-1に示した 変形の組み合わせであり,それぞれのモードの応力拡大係

数を用いて次式で表される。

$$\sigma_{ij} = \frac{K_{\rm I}}{\sqrt{2\pi r}} f^{\rm I}_{ij}(\theta) + \frac{K_{\rm II}}{\sqrt{2\pi r}} f^{\rm II}_{ij}(\theta) \tag{1}$$

ここに, K_{I} および K_{II} は各モードにおける応力拡大係数, $f_{ij}^{I}(\theta)$ および $f_{ij}^{II}(\theta)$ は亀裂先端との角度によって決まる係数 マトリックスである.式(1)から明らかなように,亀裂先端の 応力は特異となる.

ここでは,応力拡大係数によって有限要素分割に依存しな ^y い亀裂先端応力場が表現可能であることを示す.解析対象に, 図-2に示す亀裂を含んだ構造を考える.材料は稲田花崗岩で あり, 亀裂先端には特異点処理を施した. 亀裂を広げるひず みとせん断ひずみを同時に作用させた.結果を図-3および図-4に示す.図-3および図-4はそれぞれ亀裂領域を10要素,30 要素で構成したもので,それぞれ特異点処理の有無による違 いも示す、図には有限要素解析の結果として得られたせん断 応力と,式(1)より得られたせん断応力を示した.特異点処理 を施した方が明らかに亀裂先端の応力場を正しく評価してい る、さらに、表-1に2つの応力の誤差を示す、いずれの要素 分割においても、特異点処理を施した方が誤差の値は小さい ことがわかる.標準偏差は特異点処理を施したものの方が小 さい.これは,亀裂先端に特異点処理を施すことより,要素 分割数に依存しない亀裂先端の応力場評価が可能となったこ とであるといえる.

表- 亀袋先姉心力场のまる	表-1	亀裂先端応力場の誤差
------------------	-----	------------

処理なし	処理あり		
127.62%	29.80%		
96.48%	28.01%		
88.63%	27.93%		
20.62	1.06		
	処理なし 127.62% 96.48% 88.63% 20.62		



キーワード:破壊力学,応力拡大係数,巨視的破壊基準,マルチスケール応力変形解析,極限支持力解析 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06 TEL:022-217-7425 FAX:022-217-7423 3. 巨視的破壊基準の定義

微視構造を含む材料の巨視空間上のある1点での破壊開始 の基準を次のように定義する.

[定義]:材料内部の点xのユニットセル内部の亀裂先端に おいて,亀裂先端の応力拡大係数がいずれかのモードの破壊 じん性値を越えたとき,巨視的な破壊が始まる.

この定義のもとで,所望の巨視的破壊基準に達する巨視応 カ Σ_{kl} がマルチスケール応力変形解析²⁾により数値的に求める ことができ,さらに二次凸曲面で近似することで極限支持力 解析³⁾により巨視構造の強度評価が可能となる.

4. マルチスケール解析例

マルチスケール解析例として,図-5に示す石膏モルタルの 一面せん断試験をシミュレーションを行う.ユニットセルは 図-2と同形状のものであり,寸法は10mm×20mm,亀裂長 さを10mmとした.なお,石膏モルタルの破壊じん性値は, 既に実験で得られている稲田花崗岩のものから推定した. (1)巨視的破壊基準面

得られた破壊時巨視応力点を図-6に示す.ユニットセル内の亀裂には長さに対して1.0%の開口幅を与えることで,実験を忠実に再現した.図-6.(a)は三次元応力空間中のプロット,(b)および(c)は任意の範囲の断面内に存在する点の投影である.(b)より, $\Sigma_y < 0$ 領域においてもせん断強度が上昇していないことから,亀裂は閉合していないことがわかる.

(2) 極限支持力解析

(1)で得られた破壊時巨視応力点を二次凸曲面近似し,極限 支持力解析³⁾を行った結果を図-7に示す.図-5中の側方拘束荷 重は $P_n = 7.35$ kN とした.せん断破壊荷重 P_t の大きさに差は あるものの,実験結果と同様にいわゆる差し目と呼ばれる $\theta = -22.5^\circ$ 方向に強度が強くなることが定性的に表現できて いる.この値の差は,破壊じん性値の決定や各モードの破壊 じん性値の相関を想定したことによる.

5.おわりに

以上より,本研究で提案する破壊基準は,従来法¹⁾で問題 とされていた要素分割数の細分化による応力集中を回避する ものであるといえる.さらに,極限支持力解析によって破壊 強度の異方性を表現しうるものであることが明らかとなった. 材料強度と組み合わせて考慮することで,より現実的な強度 評価が可能であると考える.

参考文献

- 西岡英俊:分布不連続面の開閉および摩擦を考慮した岩 盤のマルチスケール解析手法の開発,東北大学修士学位 論文,2001.
- 2) 寺田賢二郎,京谷孝史:無数の亀裂を有する物体のマル チスケール応力変形解析法,土木学会論文集,No.619/I-47, pp. 23-34, 1999.
- 京谷孝史,寺田賢二郎,欧陽立珠:岩石の力学特性と不連 続面画像情報による岩盤の変形強度特性評価,土木学会 論文集, No.631/III-48, pp. 131-150, 1999.

