

京都大学大学院	正会員	大西有三
京都大学大学院	正会員	陳光齊
京都大学大学院	正会員	田中誠
京都大学大学院	学生会員	○有本彰男

1.はじめに

一般に岩盤は節理や断層等の大小様々な不連続面を内包しており、その力学的特性は岩実質部の特性のみならず、不連続面の特性にも支配される。そこで、岩盤の変形、安定解析を行う際には岩盤全体の力学的挙動を解析しなければならない。不連続体の解析には従来よりジョイント要素を用いた有限要素法、個別要素法、不連続変形法といった解析手法が提案されてきたが、各手法には解析ができる範囲に限界がある。

本研究の目的は不連続面と空洞を含む不安定な構造である不連続性岩盤のモデルを用いて不連続面に沿って大きく変形したときのブロックの挙動を追跡することである。

2.マニフォールド法の概要

マニフォールド法(manifold method, MM)¹⁾は1991年にShiによって新たに開発された数値解析手法で構造あるいは材料の運動および変形を解析するものである。

Fig.1に示すように、有限要素法や不連続変形法は、不連続面を含む複雑な岩盤の変形・破壊の挙動を解析する場合には困難が生じる。例えば有限要素法では不連続体を対象とする場合にはジョイント要素を用いるが、この場合でも変形は微小な範囲に限定され、材料間の分離接触を表現することも難しい。一方、不連続変形法は大変形問題にも適用可能であるが、材料(ブロック)1つを1要素としているため、材料内、細部の応力状態を正確に把握することはできない。

新たに開発されたマニフォールド法では、カバーの概念を導入し、そのカバーで材料全体を覆うことにより、連続体のみならず不連続面を含む材料およびブロックの集合体としての材料、つまり不連続体の挙動や変形等を解析しながら、かつ材料内、細部の応力状態を知ることができる解析法である。したがって、マニフォールド法は以上のような利点を持っていることから、岩盤解析への適用が有効であると考えられる。

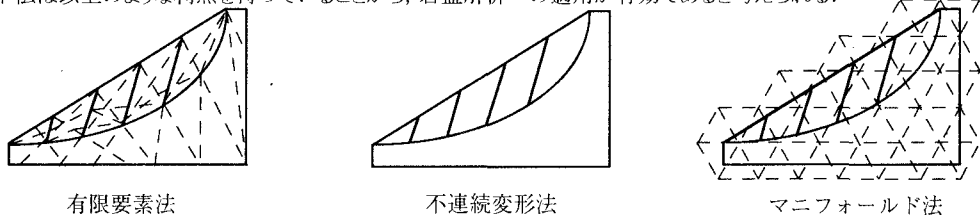


Fig.1 FEM, DDA, MMの比較

3.不連続性岩盤の解析

本研究では、不連続面と空洞を有する岩石ブロック供試体を用いた、一軸圧縮試験²⁾の解析を行い、その結果を実験結果と比較した。本解析の対象とする不連続性岩盤をFig.2に示す。実験で用いた400×400×200mmの厚板状の供試体は400×400mmの面内に4枚の不連続面を含んでおり、その中央に直径110mmの空洞を有する。いずれの不連続面も60°の傾きを持っている。なお、供試体は岩実質部をモルタルとし、不連続面はセメントミルクを充填した形で作られたものである。

4.解析の手順

マニフォールド法ではFig.3に示す解析モデルを用いた。なお、境界条件として底板を固定とし、載荷板の左右には水平ローラー境界条件を模擬するため、固定された四角形ブロックを設定した。荷重条件としては載荷板の重量によって設定し、載荷面に等分布荷重載荷状態を模擬した。載荷軸応力は実験と同様に 0.175MN/m^2 ずつ増加させた。解析の条件と解析で用いる材料の物性値をTable1に示す。ここで不連続面の物性値は実験から得られたものを用いた。

5.解析結果

Fig.4に実験終了後の供試体のスケッチを、Fig.5にマニフォールド法の解析終了後の供試体の様子を示す。これからわかるように、変形のモードに関しては、マニフォールド法による解析結果は実験におけるブロックの移動の様子を表現することができるといえる。

6.まとめ

従来の有限要素法では成し得なかった岩石ブロックの集合としての不連続性岩盤の挙動をマニフォールド法により解析できた。本研究では変形モードといった定性的な評価を行ったが、今後定量的な岩盤挙動の評価の検討を行う必要がある。

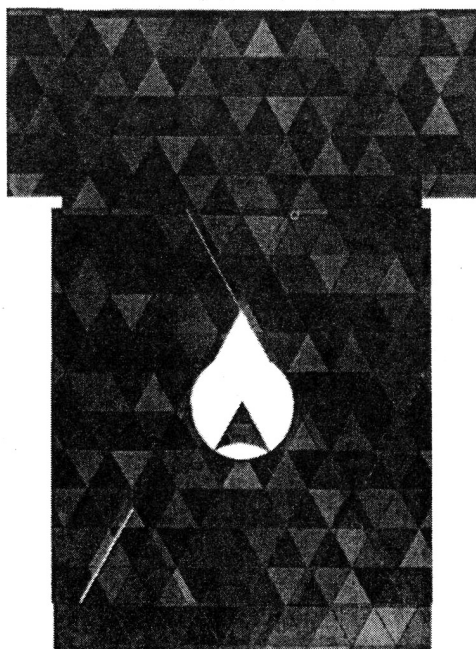


Fig.5 解析終了後の様子

- 参考文献 1)Shi.G.H:Manifold Method of Material Analysis,Proc.Ninth Army Conference on Applied Mathematics and Computing,Minneapolis,1994.
2)関西電力(株):不連続性岩盤におけるDEMの適用性研究,平成7年度上期報告書,1995

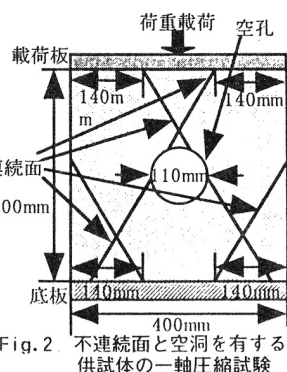


Fig.2 不連続面と空洞を有する供試体の一軸圧縮試験

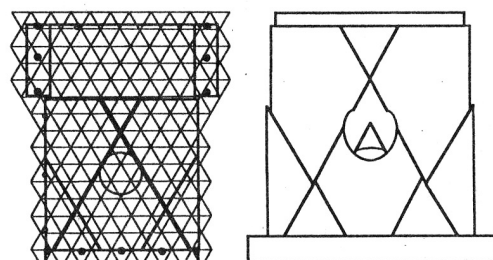


Fig.4 実験終了後の供試体のスケッチ

●固定点 —: 数学メッシュ
○計測点 —: 物理メッシュ
Fig.3 解析モデル

Table 1 解析の諸条件

1ステップの時間	0.01 sec
時間ステップ数	30
ペナルティ	$6.20 \times 10^3 \text{ MN/m}$
最大許容変位比	0.001
岩実質部の物性	
単位質量	$2.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
ヤング率:E	$1.30 \times 10^4 \text{ MN/m}^2$
ポアソン比:ν	0.18
不連続面の物性	
垂直剛性:Kn	$6.20 \times 10^3 \text{ MN/m}$
せん断剛性:Ks	$4.87 \times 10^3 \text{ MN/m}^3$
摩擦角:φ	39°
粘着力:c	0.17 MN/m^2
引張強度:t	0.19 MN/m^2
載荷板と供試体間の物性	
摩擦角:φ	5°
粘着力:c	0 MN/m^2
引張強度:t	0 MN/m^2