

III-305

不連続性岩盤の変形特性に関する基礎的実験

フジタ工業(株) 正員 野間達也 門田俊一
同 上 和久昭正 斎藤悦郎

1. はじめに

筆者らは、拡張カルマンフィルター理論¹⁾と有限要素法を組み合わせた手法により、不連続面を含む岩盤を線形異方性連続体としてモデル化したうえで、未知パラメータを逆解析する方法を検討してきた^{2) 3)}。

ここでは、不連続面を含む模擬岩盤による実験を行ない、その計測データから本手法の逆解析精度を検証した結果について報告する。

2. 模擬岩盤実験の概要

実験に供した岩石は、島根県八束郡産の来待砂岩（ヤング率 $E_{50}=60000\text{kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu_{50}=0.20$ ）であり、この岩石を縦・横を5cm、高さを30cmに整形したのち、図-1に示すように40cm×40cmの実験装置内に配列して模擬岩盤とした。なお、実験装置は模擬岩盤の境界が完全拘束条件となるような構造である。この模擬岩盤の中心に外径66mmのビットを用いて穿孔した後、ここに外径65mm、幅30mm・長さ250mmの載荷板を有するポアホールジャッキを挿入し、模擬岩盤を載荷した。実験モデルは、等方等質を想定し岩石のみを配列したMODEL-1と、異方性を想定するために各岩石のX軸方向に縦30cm、横40cm、厚さ0.5mmのネオプレンゴムを挟んだMODEL-2である。また、ポアホールジャッキの載荷方向は、図-2に示す2ケースであり、表-1に今回実施した実験条件を示す。

逆解析に用いる観測データは模擬岩盤の変位であり、これらの変位は $0.5\mu\text{m}$ の感度を有するパイ型変位計により計測した。なお、変位計は図-1に示す10点に配置し、①～⑤は50mm、⑥～⑩は210mmの測定長である。

載荷パターンは、孔壁に加わる荷重が $10\sim 30\text{kgf/cm}^2$ となるよう3段階に変化させ、3回繰り返し載荷を行った。なお、計測変位は、 10kgf/cm^2 から 30kgf/cm^2 における増分変位とした。

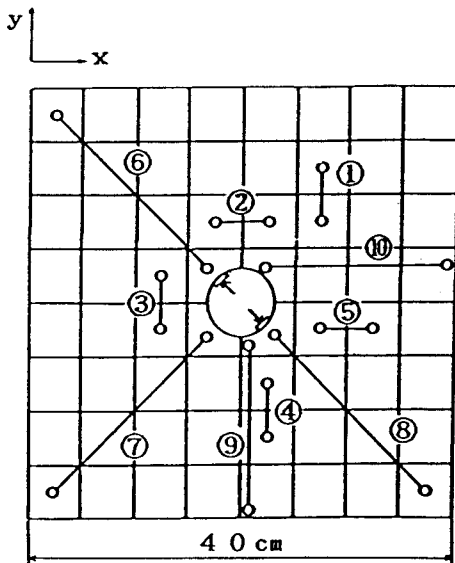
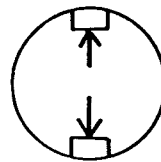


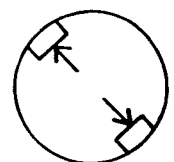
図-1 岩盤ブロックおよび計測位置

表-1 実験条件

	不連続面条件	載荷パターン
CASE-1	MODEL-1	MODE-1
CASE-2	MODEL-1	MODE-2
CASE-3	MODEL-2	MODE-2



MODE-1 (90°)



MODE-2 (45°)

図-2 載荷パターン

表-2 逆解析されたパラメータ (kgf/cm²)

	E ₁	E ₂	G
CASE-1	1.05×10 ⁴	4.93×10 ³	3.10×10 ³
CASE-2	9.67×10 ³	9.61×10 ³	3.17×10 ³
CASE-3	9.70×10 ³	1.30×10 ³	1.73×10 ³

これらの計測値より逆解析した未知パラメータは、以下のものである。

一般に、岩盤を異方弾性体とした場合、応力・ひずみ関係は、Hookの法則として次式で示される。

$$\varepsilon_{ij} = C_{ijkl} \sigma_{kl} \quad (1)$$

ここに、 C_{ijkl} は弾性コンプライアンスである。

本報告では、(1)式に二次元平面ひずみを導入し、

直交異方性を定めるパラメータのうち、 E_1, E_2, G_{12} を未知パラメータとした。なお、固定パラメータは、 E_3 を来待砂岩のヤング率と等値とし、ポアソン比 $\nu_{21}, \nu_{31}, \nu_{32}$ を0.3に固定した。ここで、 ν_{ij} はj方向載荷によるi方向のポアソン比である。

3. 実験および解析結果

表-2に逆解析によって得られたパラメータを示し、表-3に実際の計測値と計算値との比較の代表例を示す。実験および解析結果より、以下が得られた。

- 1) CASE-1、2は等方等質な岩盤の力学モデルを想定したものである。CASE-2に注目すると、 E_1, E_2 はほぼ一致した値である。ここで、 E_1, E_2 を等値とし、ポアソン比0.3を仮定し、等方等質な岩盤のせん断剛性率を算出してみると3700kgf/cm²である。これに対して、CASE-1には異方性が生じている。これは、不連続面の開口による非線形が卓越したためと考えられる。
- 2) 岩盤の力学モデルとして異方性を想定したCASE-3では、ゴムによる影響から E_1 に比べて E_2 がかなり小さな値となった。またCASE-2の E_1 と比較してみると、ほぼ一致した結果となっている。これより、本逆解析手法によりほぼ妥当な値が得られるといえる。
- 3) 変位の計測値と実測値を比較してみると、全体の傾向はほぼ一致すると言えるが、ばらつきも認められた。これは、計測された変位には引っ張り・圧縮の挙動のみならず、ねじれも含まれなければならないが、今回の計測方法ではねじれについては正確に把握できなかったことにも一因がある。

4. おわりに

不連続面を有する模擬岩盤にボアホールジャッキを用いて載荷する実験を行ない、模擬岩盤を等価な直交異方性岩盤とした場合のパラメータを拡張カルマンフィルター理論と有限要素法による逆解析手法を用いて求めた。結果としては、不連続面の性状に関わらず等価な連続体としてモデル化が可能であることがわかった。

今後、異なった岩種の実験、計測方法の再検討などを実施するとともに、不連続面の形状・力学的条件等を考慮に入れて求められる岩盤の物性値との比較を行う予定である。

(参考文献)

- 1) Hoshiya M. and Saito E.: Structural identification by extended Kalman filter, Jour. of Eng. Mech., ASCE, Vol.110, No.12, 1984. 2) 門田俊一、斎藤悦郎、和久昭正：拡張カルマンフィルター理論を用いた異方性岩盤物性の同定、第7回岩の力学シンポジウム講演概要集、1987. 3) 門田俊一、斎藤悦郎、和久昭正：不連続岩盤の変形特性に関する基礎的数値実験、第23回土質工学研究発表会（投稿中）

表-3 各測点における変位の計測値と計算値との比較 (mm)

測点		CASE-1	CASE-2	CASE-3
6	計測値	-0.0870	-0.0649	-0.2648
	計算値	-0.0197	-0.0648	-0.1756
7	計測値	-0.0480	0.0074	-0.0497
	計算値	-0.0199	0.0164	0.0452
8	計測値	-0.0676	-0.0347	-0.1043
	計算値	-0.0199	-0.0648	-0.1758
9	計測値	-0.1378	-0.1163	-0.1245
	計算値	-0.1314	-0.0117	-0.0677