

不連続性岩盤における応力経路問題の評価方法

(株)青木建設 技術本部研究所 正会員 ○孫 建生
 " " 國村省吾
 " " 永井哲夫
 神戸大学 工学部建設学科 " 櫻井春輔

1. はじめに

土や岩盤などの地盤材料においては、応力経路によりその強度および変形特性は大きく異なることが定性的によく知られている。掘削を中心とした岩盤構造物の場合、施工に伴い岩盤内の各地点の応力状態が変化するため、その力学的挙動を的確に予測するには応力経路が岩盤の力学特性に及ぼす影響を適切に評価しなければならない。しかし、現状ではそれに応える十分な方法がない。そこで本研究では、不連続性岩盤を対象として、その応力経路問題が不連続面の力学特性の応力依存性という観点から説明できることをジョイント要素 FEM により明らかにする。そして、著者らが提案している不連続性岩盤の構成式¹⁾がその定量的評価に有効であることを示す。

2. 不連続性岩盤における応力経路問題

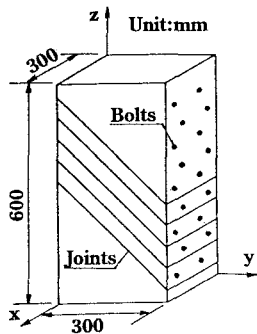
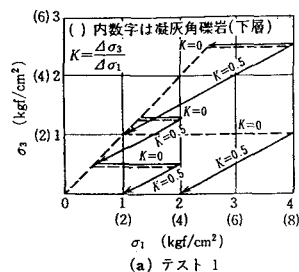
掘削に伴う岩盤の力学的挙動の予測において応力経路の影響を評価する場合、いくつかの応力経路に従った岩石供試体の三軸試験により変形特性を求め、それを入力値として解析を行うのが一般的である。例えば、徳江ら²⁾は、長大な切り取り斜面の安定性を検討するため、斜面の掘削時に想定される岩盤内の主な応力経路を2ケースにパターン化し(図-1)、それに基づく室内三軸試験により変形特性の実験式を求め、これを入力値として非線形 FEM が実施されている。

一方、Egger ら³⁾は、図-2に示すような不連続体モデルにより三軸載荷・除荷試験を実施し、その力学特性に対する応力経路の影響を調べている。実験により得られた軸差応力-変位関係の一例を示すと図-3のようになる。この図から、同一の不連続体モデルでも応力経路の違いにより異なる強度および変形特性を示すことが分かる。また、破壊時の供試体の観察から、応力経路に応じて破壊モードも異なることが分かる。

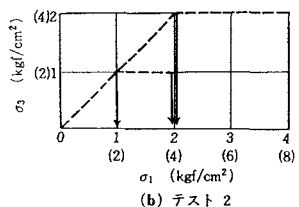
以上のことから、不連続性岩盤の掘削において応力経路の影響を評価する場合、不連続面がそれに及ぼす影響を適切に評価することは重要であると思われる。

3. ジョイント要素 FEM

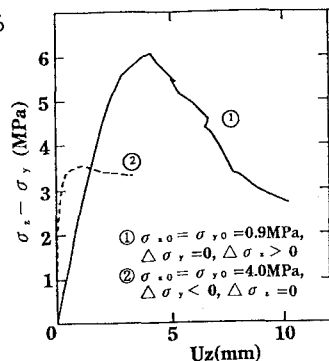
著者らのこれまでの研究⁴⁾から、不連続性岩盤の変形特性に関する異方性や拘束圧依存性などの現象は、不連続面の変形特性の応力依存性に起因することが明らかである。そこで本研究では、同様にして考えることにより、不連続性岩盤の応力経路に関する諸問題が説明できると仮定し、ジョイント要素 FEM を用いて検討する。具体的には、汎用 FEM プログラム (SIGNAS)

図-2 不連続体モデル³⁾

(a) テスト 1



(b) テスト 2

図-1 三軸試験時の載荷パターン²⁾図-3 異なる応力経路時の軸差応力-変位曲線³⁾

のジョイント要素の部分に関して、不連続面のせん断剛性の応力依存性を考慮できるように改良したものを適用して、異なる応力径路に対する三軸試験結果のシミュレーションを行う。ここでは、不連続面の垂直剛性（ K_n ）は定数とし、せん断剛性（ K_s ）がそこに作用する垂直応力（ σ_n ）に依存するものとして次のように取り扱っている。

$$K_s = K_j \gamma_w (\sigma_n / P_a)^{n_j} \quad \dots (1)$$

ここで、 K_j 、 n_j ：剛性数および剛性指数、 γ_w 、 P_a ：水の比重および大気圧（ K_j を無次元化するためのパラメータ）をそれぞれ示している。

解析においては、表-1に示すようにAroraの実験⁵⁾で得られた物性値を入力パラメータとした。そして、応力径路としては図-4に示すものを用いた。このようにして得られた解析結果の一部ををまとめると図-5のようになる。これらの図から、不連続面のせん断剛性が定数の場合（Path 4）、岩石実質部の力学特性を線形弾性と仮定しているため軸差応力-変位関係は線形性を示し、せん断剛性の応力依存性を考慮することによりその関係は非線形性を示すことが分かる。また、さきのEggerらの実験結果で見られたように、応力径路の違いにより見かけの変形特性が異なる様子を表現できていること、さらに不連続面の角度および数により応力径路の影響の度合いが異なることが分かる。

以上のことから、不連続性岩盤の応力径路問題は、不連続面の力学特性の応力依存性を考慮することにより表現できることが分かる。ただし、式(1)において K_s は不連続面の初期剛性であることから、微小変位の範囲における応力径路問題に適用できるが、大変形の領域の問題の場合にはせん断剛性を再評価する必要がある。

4. 不連続性岩盤の構成式による評価

著者ら¹⁾は、不連続性岩盤を対象に、不連続面の力学特性の応力依存性を考慮して、それと力学的に等価な挙動を示す連続体の構成式を提案している。そこで本研究では、この構成式を用いてさきの応力径路問題のシミュレーションを行う。解析結果を同様にしてまとめて図-5に併記する。この結果から、本構成式により不連続性岩盤に対する応力径路の影響をよく表現できていることが分かる。

表-1 解析入力パラメータ

一軸圧縮強度 σ_c (MPa)	55.07
接線弾性係数 E_t (MPa)	734.00
ポアソン比 ν_t	0.26
垂直剛性 K_n (GN/m ³)	646.34
剛性数 K_j	71611
剛性指数 n_j	0.672

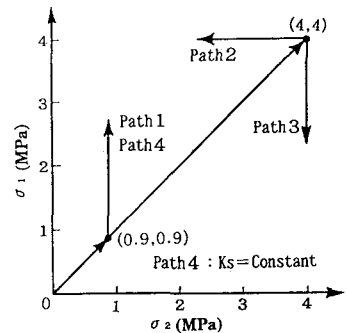
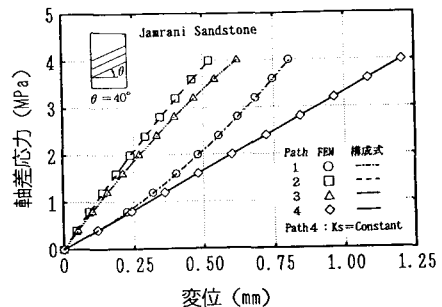
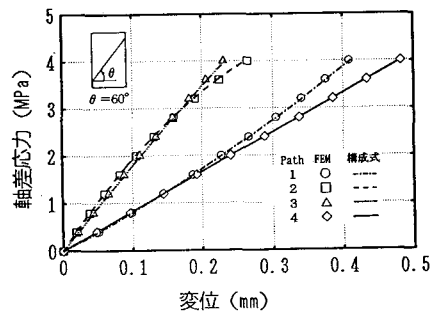


図-4 解析時の応力径路パターン



a) モデル 1



b) モデル 2

図-5 異なる応力経路時の軸差応力-変位曲線の比較

【参考文献】

- 1) 永井・孫・櫻井：不連続性岩盤の構成式について，土木学会第49回年次学術講演会第3部，1994.
- 2) 徳江・本島・北原：豊前系統開閉所切取斜面の掘削時の変形挙動の実測と数値解析の比較，電力中央研究所，研究報告：379030，1980.
- 3) Egger, P. and Pellet, F.: Behaviour of reinforced jointed models under multiaxial loadings, Proc. Int. Sympo. on Rock Joints, Loen, pp.191-194, 1990.
- 4) 永井・孫・國村：不連続面のせん断剛性の応力依存性を考慮したFEM解析，第21回関東支部技術研究発表会，pp.360-361, 1994.
- 5) Arora, V.K.: Strength and Deformational Behaviour of Jointed Rocks, Ph.D Thesis, Indian Institute of Technology, New Delhi, India, 1987.