

不連続性岩盤の挙動解析と計測

Analysis and measurements of discontinuous rock mass behavior

(株) 大林組 田中達也 * 玉井昭雄 * 玉野 達 *
木梨秀雄 **

Abstract

The behavior of discontinuous rock mass is dominated by the geological and mechanical properties of discontinuities. Therefore, to estimate and predict the behavior of rock mass under construction, it is required to have accurate information on the displacement of not only rock mass but also discontinuities in the vicinity of openings. The equipment named "Joint Deformeter" was newly developed to measure the displacement of discontinuities directly. In this papers, in-situ validation measurements of the device in Kamioka underground laboratory and the simulation of the behavior during drift excavation using DEM (Distinct Element Method) analysis were mainly described. In the DEM simulation, a method for forming a distinct element model was referred briefly. The results of DEM analysis well corresponded with the results of the field measurement.

keywords : discontinuous rock mass, joint defometer, Distinct Element Method, in-situ measurement

1 はじめに

不連続面の発達した岩盤における空洞周辺の岩盤挙動や地下水の浸透は、不連続面の特性に大きく依存する。このような岩盤内に大規模地下空洞を合理的に施工するためには、空洞周辺に存在する不連続面の挙動を的確に把握し、それらを基礎とした設計（解析による予測）を実施することが重要と考えられる。

著者らは平成3年より地下岩盤試験場にて、不連続性岩盤の力学的・水理学的な調査・評価手法の研究・開発を実施している^{1) 2)}。本報では、不連続性岩盤の挙動の把握を目的として開発した「ジョイント変位計」の当岩盤試験場での計測結果と、不連続面の挙動の評価・予測を目的として実施した2次元個別要素解析の結果を紹介する。

2 ジョイント変位計の開発と原位置計測³⁾

開発したジョイント変位計は、ボアホール内で不連続面を挟む両岩盤間の変位を互いに直交する3方向について検出するもので、これにより不連続面のせん断方向の変位と開口（または閉鎖）変位を算出する。ジョイント変位計の構造概略と設置状況を図-1に示す。ボーリング内での計測を実現したことにより、挙動が敏感に現れる不連続面を特定した変位のモニタリングが可能となり、地下空洞の崩壊や岩盤斜面の崩落などの兆候の初期の段階での把握が期待できる。ジョイント変位計の実用精度は、1/200mmである。

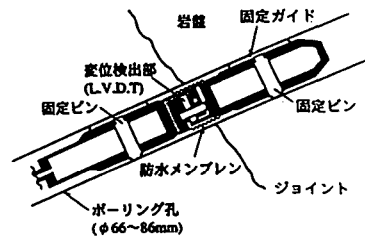


図-1 ジョイント変位計
(Fig.1 Joint Deformeter)

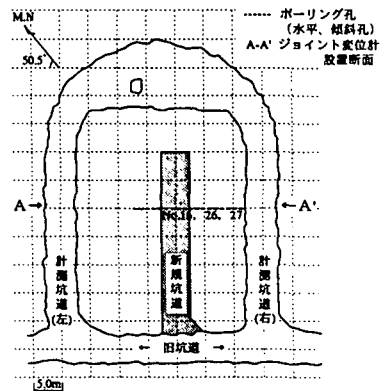


図-2 地下実験場の概要
(Fig.2 Layout of underground laboratory)

* : Civil Engineering Technical Division, OBAYASHI CORPORATION, 2-2-9 Hongo, Bunkyo-ku Tokyo 113, Japan

** : Technical Research Institute, Civil Engineering Labo., OBAYASHI CORP., 4-640, Shimokiyoto, Kiyose Tokyo 204

岩盤試験場の平面図を図-2に、また図-3にジョイント変位計を設置(図中No.1~5)した断面(A-A')を示す。図には幅1mm以上の不連続面を併せて示している。計測は新規坑道の掘削前から、掘削後約1ヶ月間にかけて自動計測システムにより実施した。

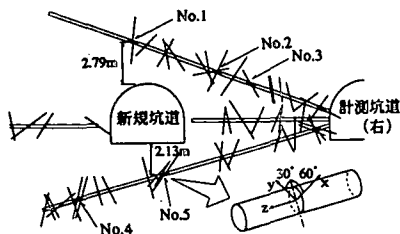


図-3 ジョイント変位計設置位置 (No.1~5)
(Fig.3 Installer locations of joint deformeters)

3 不連続面の定量化と解析モデルの作成⁴⁾

原位置における不連続面調査は計測坑道・新規坑道の壁面で実施し、不連続面の位置、方向、トレース長さ、幅等の幾何学的情報を取得した。加えて、11カ所のボアホールTV観察によっても位置、方向、幅の情報を取得している。不連続面の幅:W(mm)とトレース長:t(m)の調査結果から次式の関係を得た。

$$\log w = \log(0.36) + 1.52 \cdot \log t \cdots (1)$$

個別要素解析では、対象岩盤を不連続面で分割されるブロックの集合体として取り扱うため、上記調査により得られた亀裂情報を確率的に処理することにより、解析モデルを作成した。図-4に作成した解析モデルを示す。モデルの作成ではまず、不連続面の幅とトレース長の関係から、不連続面を幅により3つのクラスに分類した。発生させる不連続面の位置は、各クラスの不連続面の平均間隔に応じて領域内に均等に配置し、長さに関しては各クラスの不連続面の平均的な幅から、相関式により求めた。また、方向については解析断面における傾斜角の確率密度分布を求め、モンテカルロ法により設定した。さらに実在する不連続面(図-3)を重ね合わせることで、現実性の高いモデルとした。

4 個別要素解析と結果⁴⁾

解析は初期地圧の負荷、計測坑道の掘削、新規坑道の掘削の3ステップで構成し、岩盤ブロックの内部は差分要素に分割して弾性体とした。入力物性値は、室内・原位置試験結果から決定し、特に不連続面の力学特性については、試験場で採取した不連続面の試料を用いた室内せん断試験の結果から設定した。また、初期地圧は円錐孔底ひず

み法により計測した結果を用いた。

表-1に図-3No.1, No.5に設置したジョイント変位計の計測結果および解析により求めた不連続面の変位を示す。鉛直変位の負符号は不連続面の開口を示す。せん断変位はほぼ一致しているものの、垂直変位については解析値が計測値よりやや小さい結果となる。これにより、不連続面の垂直剛性の評価については再検討が必要であることがわかる。

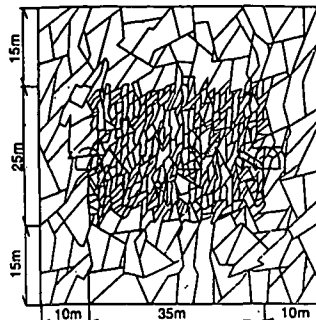


図-4 解析モデル
(Fig.4 Analysis model)

表-1 計測結果と解析結果
(Table.1 Comparison between measurements and analysis results)

(単位: mm)			
亀裂		実測値	解析値
No.1	開口変位	-1.05	-0.13
	せん断変位	0.15	0.14
No.5	開口変位	-0.35	-0.15
	せん断変位	0.28	0.10

5 まとめ

個別要素法など不連続面を直接取り扱う解析手法では、確率的な手法を用いることにより、作成されるモデルに無限の可能性が存在する。その点、モデル化が最も重要な要素となり、個々の不連続面についての原位置での情報を正確に把握する要素技術の開発が必要となる。ジョイント変位計をはじめとする原位置試験・計測を実施し、不連続性岩盤のモデル化について今後も検討する予定である。

参考文献

- 1) 玉井他: トンネル掘削による不連続性岩盤の三次元的力学挙動の研究、第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp. 605-610, 1994.
- 2) 鈴木他: 地下岩盤試験の水理特性に関する研究(その1)、土木第50回年次学術講演会論文集Ⅲ, pp. 122-123, 1995.
- 3) 小杉他: 岩盤内不連続面の三次元変位計測法の開発、土木学会論文集, No. 517, pp. 181-188, 1995.
- 4) 木梨他: 原位置亀裂調査に基づく岩盤内き裂分布の推定とDEM解析への応用、第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp. 431-435, 1995.