

京 都 大 学 工 学 部 正 員 谷本親伯  
京 都 大 学 工 学 部 正 員 岸田 潔  
京 都 大 学 大 学 院 学 生 員 ○ 安東直紀  
関 西 電 力 正 員 梅澤孝行

### 1. はじめに

原位置岩盤の力学的挙動を把握するために、平板載荷試験を始めとする様々な原位置試験が行われている。しかし現状は、試験地点の地質状態や不連続面情報を考慮する事なしに結果の解析が行われているが、それでは試験地点毎に力学的挙動を表す指標は得られても、原位置岩盤の詳細な力学的挙動の解明は望めない。

そこで本研究では、ボーリング孔において、ボアホールスキャナシステムにより孔壁観測を行い、その後ジャッキ形式の等変位方式孔内載荷試験を実施した。さらに岩実質部分あるいは不連続面といった岩盤構成要素毎の力学的挙動を把握するため室内試験を実施した。また、得られた荷重・変位曲線において非弾性的変形を考慮に入れた解析を行い、不連続面の剛性を算出した。

### 2. 原位置試験

孔内載荷試験及びボアホールスキャナによる孔壁観測は堆積岩類と火成岩類を基盤岩類とするダム横坑内の3本のボーリング孔（孔径66mm、孔長約70m）で実施した。

ボアホールスキャナを用いて不連続面の情報を収集し、その情報を基に試験実施地点を選定した。孔内載荷試験は30地点で試験を実施し、同一地点において異なる2方向に向けて繰返し載荷を行うことで、載荷方向による影響を考慮した。

### 3. 室内試験

孔内載荷試験から力学定数を算出するために必要なポアソン比、弾性係数及び一軸圧縮強度を得るために、ボーリングコアからき裂のない供試体を作成し、一軸圧縮試験を行った。またこれにより岩石実質部分の変形挙動が明らかになった。一軸圧縮試験結果（応力・軸ひずみ関係）を図-1に示す。これによると応力・軸ひずみ関係はほとんど線形で、繰返し載荷を行った場合、ごく微少な残留変形がみられた。これは載荷・除荷の繰返しにより岩の内部で発生したマイクロクラックの影響によるもので、原位置岩盤を対象とした孔内載荷試験により得られる荷重・変位曲線においてみられる残留変形とは異質のものと考えられる。

また、不連続面を含む供試体に対し一軸圧縮試験と一面せん断試験の両方を行うため、不連続面をシリコンゴムとモルタルを用いて複製し、このモルタル供試体の不連続面に対して一軸圧縮試験と一面せん断試験を実施し、不連続面の力学的挙動についても

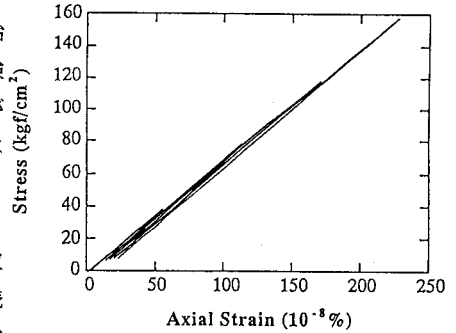


図-1 岩実質部の一軸圧縮試験結果

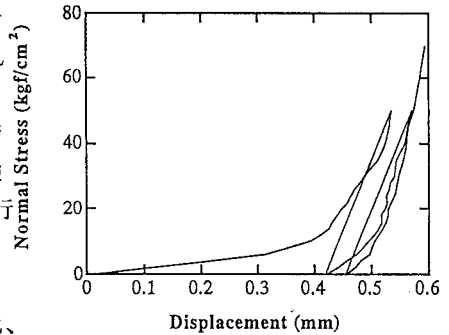


図-2 不連続面の一軸圧縮試験結果

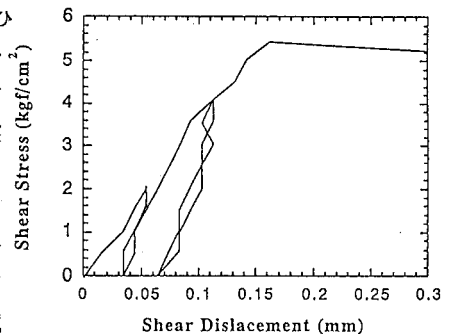


図-3 不連続面の一面せん断試験結果

Chikaosa TANIMOTO, Kiyoshi KISHIDA, Naoki ANDO, and Takayuki UMEZAWA

考察を行った。不連続面の一軸圧縮試験結果を図-2に、一面せん断試験結果を図-3に示す。これによると、一軸圧縮試験において繰返し载荷を行った場合、一回目の除荷で残留変形が見られるものの、二回目以降には残留しないことがわかった。これに対して、一面せん断試験において荷重制御で繰返し载荷を行った場合、残留変形がみられた。以上より、孔内载荷試験における残留変形では、不連続面のせん断による影響が支配的であると考えられる。

#### 4. 荷重変位曲線における永久変形量と不連続面剛性

孔内载荷試験により得られる荷重・変位曲線の例と、非弾性的変形を表す永久変形係数 $E$ の決定法を図-4に示す。従来から変形係数は処女曲線の包絡線の勾配で、また弾性係数は最大载荷時に近い荷重レベルで得られた直線部分(载荷時)の接線勾配で与えられるとされてきた。しかし今回は、永久変形係数の定義<sup>1)</sup>に基づき荷重・変位曲線の力学的挙動を次のように考察した。図-5に荷重・変位曲線の模式図を示す。この図において任意の荷重レベル $O$ の状態から荷重を $\Delta p$ だけ増加させたとき、 $A$ 点まで変形が起こったとする。その後再び荷重を $\Delta p$ だけ減少させて $B$ 点まで変形が起こった時、永久変形係数は残留変形量 $b$ の荷重 $\Delta p$ に対する比で表され、変形係数は $OA$ の傾きで表されることがわかる。

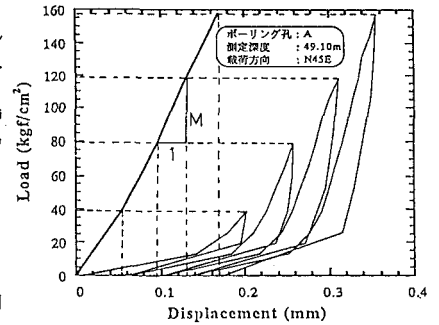


図-4 荷重・変位曲線と永久変形係数

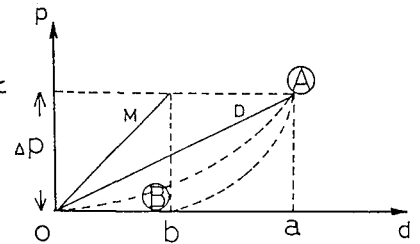


図-5 荷重・変位曲線の模式図

これによると従来の永久変形係数に対応する変形係数は、繰返し毎に得られる荷重・変位曲線のピークを結んだ直線の傾きで表されることがわかる。これを一般変形係数、一般永久変形係数と定義する。ここで、従来は $\Delta p$ は荷重レベル毎であったが、任意の点からピークまでとして各々の係数を求め、これを局所変形係数、局所永久変形係数と定義し、区別することにする。これらの値を用いて不連続面の剛性を算出した。

孔内载荷試験による不連続性岩盤の変形は、不連続面の非弾性及び弾性変形と岩石実質部分の弾性変形との組み合わせで成り立っている。すなわち、力学定数の関係は次式のようにになる。

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{E} + \frac{1}{M} + \frac{1}{k}$$

$E$ : 岩実質部分の弾性係数  $k$ : 不連続面の剛性  $A$ : 不連続面の走向・傾斜・開口幅及び载荷方向の関数

ボアホールスキャナによる観測から得た不連続面の諸量と荷重・変位曲線より求められる変形係数、永久変形係数を用いて不連続面の剛性を求めた。その結果、求められる剛性は不連続面の法線方向と载荷方向とのなす角度が $90^\circ$ に近いところでは、せん断剛性が深く関係していて、また角度が小さい範囲では垂直剛性が深く関係していると考えられる。また、一般係数を用いて剛性を求めた場合、剛性も荷重レベル毎に増加する傾向が見られたが、局所係数を用いて剛性を求めた場合、そのような傾向は見られなかった。このことから、局所係数は安定した荷重レベルにおける変形挙動を表している係数であると考えられる。

#### 5. おわりに

今回の算出した不連続面の剛性は、不連続面の法線方向と载荷方向とのなす角度によって、せん断剛性と垂直剛性のいずれかが支配的に働いていると考えられるが、その詳細は今後室内試験等を通して検証する必要があると考える。また非弾性的挙動は不連続面のせん断挙動が深く関与していると考えられるが、せん断方向による影響などを解明するためには、詳細なせん断試験の実施が必要と考える。

<参考文献>

1) R. E. Goodman原著, 大西有三・谷本親伯 共訳: わかりやすい岩盤力学, 鹿島出版会, pp124-129.