

# 岩盤内不連続面の三次元変位計測法の開発

小杉昌幸<sup>1</sup>・玉井昭雄<sup>2</sup>・石原治幸<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 資源環境技術総合研究所 地殻工学部 (〒305 茨城県つくば市小野川16-3)

<sup>2</sup>正会員 工修 (株)大林組 東京本社 土木技術本部 (〒113 東京都文京区本郷2-2-9)

<sup>3</sup>工修 資源環境技術総合研究所 地殻工学部 (〒305 茨城県つくば市小野川16-3)

本報では、岩盤挙動の計測技術として、ジョイントなど不連続面の挙動を現場のボアホール孔内で計測する新装置を開発し、精度検証と実用検証を実施した結果を報告する。新たに開発したジョイント変位計では、ジョイント挙動を三方向の変位として計測し、せん断ベクトルと開口変位の三次元的な挙動評価を行う。変位計の較正試験とボーリング孔を有する岩盤ブロックの検証実験の結果、変位センサや測定板の取り付け、ボーリング孔内の本体固定などによる機械的構造に起因する誤差がほとんど無く、本変位計が標準偏差0.8%以内の直線性を有して三次元挙動を計測できることを明らかにした。また、現場ボーリング孔(φ76mm)に設置した実用計測実験の結果、水が満たされたボアホール内でも充分に適用でき、急激な挙動に対して高精度で追従できることを示した。

**Key Words** : *jointed rock mass, joint behaviour, joint deformer, in-situ measurement*

## 1. ま え が き

昨今の多様化する岩盤利用のニーズを反映して、地下発電所、岩盤内備蓄、エネルギー貯蔵などの大規模岩盤内空洞が数多く検討されており、これらの中には施工中もしくは施工を完了したものもある。これらの地下構造物や空洞の施工には、その大型化に伴って経済性や効率性の向上が望まれており、より厳密な安全性の確保が要求されている。こうした大規模地下空洞の施工や施工後の安全性管理のためには、岩盤挙動のモニタ監視が不可欠となっている。

岩盤挙動を計測する場合、従来からボーリング孔に設けた固定点と孔口との相対変位を計測するエクステンソメータ(地中変位計)が実用に供されている。しかしながら、空洞周辺の岩盤挙動や地下水の透水変化は既存の不連続面の変形に大きく依存すると考えられており<sup>1)</sup>、現実に大規模空洞の開発においては、不連続面の大きな変形が観測されることが多い<sup>2)</sup>。このため、施工中あるいは施工後に、空洞近傍岩盤におけるジョイントなど不連続面の挙動を計測モニタする必要性が増している。

このように、岩盤挙動の予測評価や施工後の安全性管理のため、不連続面の挙動評価が重要になっており、計測技術の開発が期待されている。岩盤内の不連続面は、一般的にボーリング孔軸に対してランダムな方位・傾斜を有して存在しており、このような不連続面の挙動をボアホール内で計測するには、三次元的な変位計測を可能

とする新たな装置の開発が必要となる。

他方、トンネルや大規模空洞の設計は、岩盤挙動の予測に基づいて行われており、設計の安全性はその挙動予測の的確さに依存すると考えられている<sup>3)</sup>。数値解析などによって岩盤挙動を的確に予測するためには、挙動計測が重要になり、その評価や検証を通じて、予測の信頼性や妥当性は保証されるものと考えられる。しかし、実際の施工管理の上では、全体の岩盤挙動を予測した上で設計に加え、不連続面に起因する局所的な挙動が問題となることも多く、このような不連続面を考慮した効率的な設計・施工が望まれている。

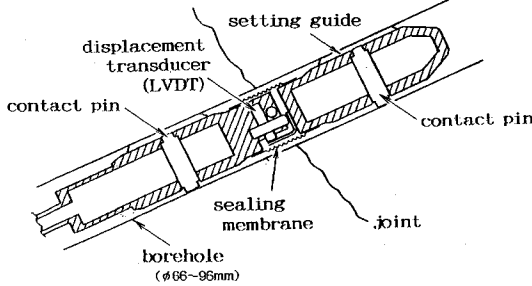
本報では、上記のような不連続面を含む岩盤挙動の現場計測の必要性を鑑み、不連続面の変形をボアホール内で三次元的に計測評価するジョイント変位計の新たな開発<sup>4),5)</sup>について報告する。ここでは、室内較正試験および岩石ブロック検証試験を実施し、変位計の計測精度と実用性を明らかにした。また、掘削坑道の周辺にあるジョイントに設置して現場計測を行い、現場適用性を明らかにし、さらに、坑道掘削に伴うジョイント挙動と応力状態の変化を評価した。

## 2. ジョイント変位計の開発

### (1) 不連続面の変位計測法

地下空洞などの開発に伴う岩盤挙動の大部分は、岩盤内に存在するジョイントなど不連続面のダイレーション

a) Joint Deformeter



b) Setting System

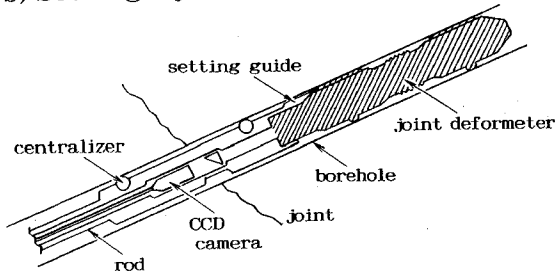


Fig.1 Structural drawing of three dimension Joint Deformeter probe and setting system with CCD camera.

や変形に依存すると考えられており<sup>1)</sup>, 不連続面の挙動特性を的確に把握するには, これらの不連続面を現場計測する技術開発が不可欠になっている. 従来からの計測法では, エクステンソメータなど孔井内の一次元計測を駆使してマスとしての岩盤挙動を二次元あるいは三次元的に評価しており, 特定の不連続面に対しては測点間の一次元変位として検出するにとどまっていた. これらの不都合な点を解決するため, 筆者らは「ジョイント変位計」を提案し<sup>5), 6)</sup>, さらに, 地下岩盤実験場における不連続性岩盤挙動評価の研究において不連続面の変位計測法の開発を進めてきた<sup>7), 8)</sup>.

この計測法では, 岩盤内に存在するジョイントなど不連続面のせん断方向の変位と開口(または閉塞)を計測するために, ボアホール内で不連続面を挟む上下岩盤の相対変位を三次元的に検出する方式を採用した. すなわち, この両岩盤間の変位を互いに直交する三方向について検出し, 不連続面の変位を三次元的に評価することができる.

この計測法を用いることにより, 岩盤内で三次元的に存在する不連続面に対して, 個々の不連続面を特定したボアホール内の計測を実現することができる. また, 岩盤挙動が敏感に現れる不連続面をモニターすることによって, 地下空洞の崩壊や岩盤斜面の崩落などの兆候を初期の段階で検出するのに役立つものと期待される.

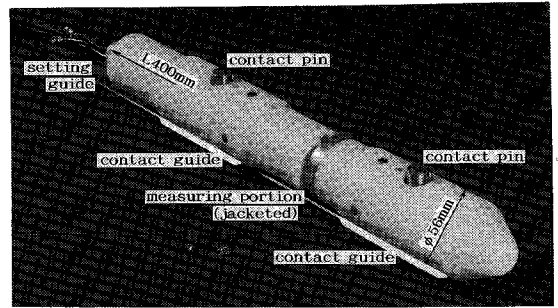


Fig.2 Photograph of joint deformeter.

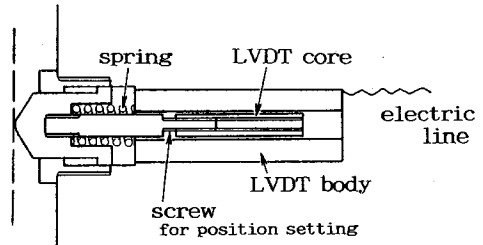


Fig.3 Detailed structure of LVDT transducer.

(2) ジョイント変位計の構造

今回新たに開発したジョイント変位計は, ボーリング孔内において不連続面の三次元変形を計測するため, 孔内の不連続面を挟む両岩盤にそれぞれ装置が固定され, この2つの装置間の相対位置変化を三方向の変位として計測する構造を有する<sup>4), 5)</sup>. ジョイント変位計の構造概略を Fig.1 に, また, 写真を Fig.2 にそれぞれ示す. 二分割できる本体は, ガイドで固定した一体の装置としてボアホール内に挿入され, スプリングを介した固定ピンの張り出しによって不連続面を挟む上下岩盤に装着される. この時, 固定ピンの張り出しと同時にガイドと本体との固定が解除され, 装置本体がボアホール内で二分割される. 一方の装置の測定板と他方の装置の差動トランス変位センサによって両者間の相対変位を三方向計測する. これらの計測値を不連続面を含む直交座標系に座標変換し, 不連続面のせん断変位ベクトルと開口(または閉塞)変位を評価する.

変位計の設置にあたっては, Fig.1 の b) に示すように, ボアホールテレビを組み合わせたガイドによって一体となった変位計をボアホール内に挿入し, 不連続面の位置および方位を孔内で標定してから適切な計測位置に設置する. 設置後は, ガイドの固定を解除して変位計本体から取り外し, ボアホールテレビを組み合わせたガイドのみをボアホールから抜き取る.

測定板と変位センサからなる計測部は, 伸縮自在の防水メインブレインで覆われており, このセンサの測定範

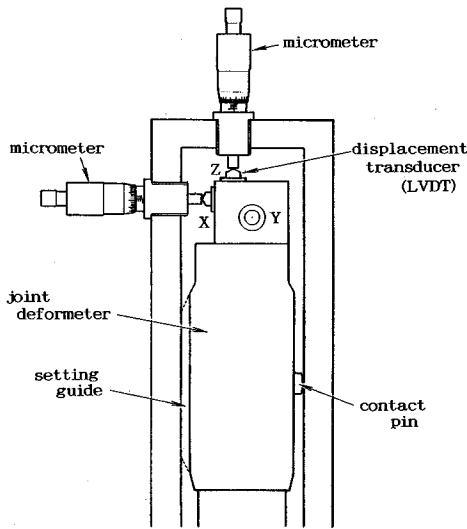


Fig.4 Schematic drawing of calibrating apparatus.

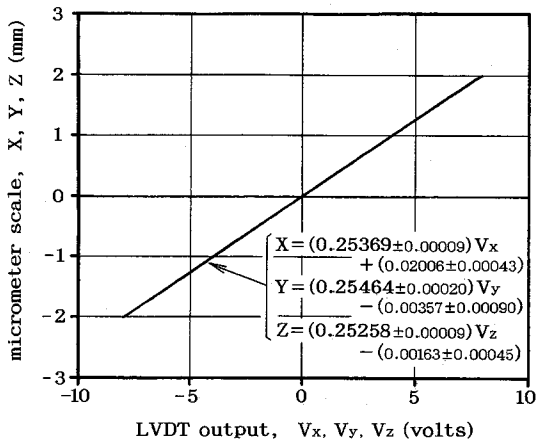


Fig.5 Relationship between micrometer readings and output voltage from LVDT transducers.

囲を現場で調整できる構造を有している。ジョイント変位計に差動トランス変位センサを取り付ける構造を Fig.3 に示す。差動トランス (LVDT) のコアは、測定端子とネジで接続されており、この全長をネジによって適当な長さに合わせることで、測定範囲を現場で簡単に調整ができる。ここでは、測定範囲 ±2.5 mm の差動トランスを用いており、例えば、ジョイントの特定方向の変位を検出したい場合には、0~5 mm の計測が可能である。筆者らによる現場ジョイントの挙動モデルの評価では<sup>7),9)</sup>、最大せん断応力を示す時のせん断変位が 2~8 mm とされており、この結果から判断すると、本変位計の計測範囲は現場における不連続面の初期挙動を十分に検出し得るものと考えられる。

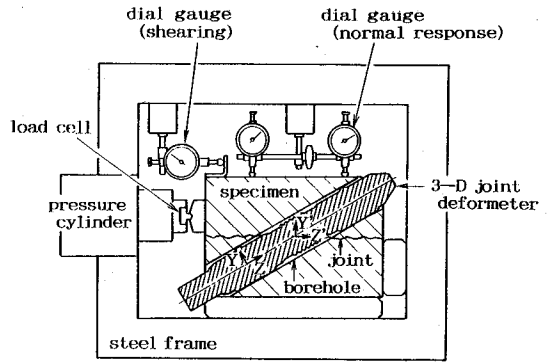


Fig.6 Schematic drawing of laboratory shearing test for jointed block with borehole.

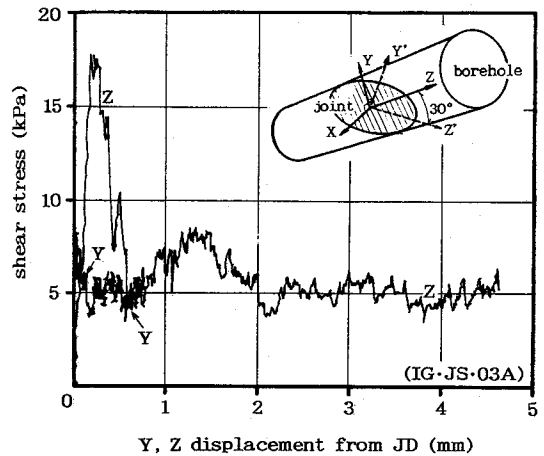


Fig.7 Relationship between shear stress and joint deformer readings for X, Z axes.

### (3) 変位計の較正試験

ジョイント変位計の較正試験の概観を Fig.4 に、また、試験結果を Fig.5 に示す。図中に示すように、互いに直交する三方向の差動トランス (Schaevitz 社製, 100 MHR 型) に対してそれぞれマイクロメータを同じ軸方向に設置して試験を行った。Fig.5 の横軸は差動トランスの検出電圧を示し、縦軸はマイクロメータの読み取り変位を示す。図中には、最小二乗法から求めた相関直線式を示し、標準偏差の値を式中に ± 記号で表した。三方向の変位センサについて、両者の相関直線性が 0.1% 以内の偏差にとどまっております、このため、本変位計に差動トランスを組み込んだ機械的構造による誤差がほとんど無いものと判断される。差動トランスはフルレンジで 0.2% 以内の直線性が保証されており、ジョイント変位計も同様にこの程度の直線性を有する計測ができるものと考えられる。本変位計の計測精度に影響を及ぼす要因としては、変位センサの取り付け構造の他に、測定板の構造とボーリング孔内における固定構造が考えられ、こ

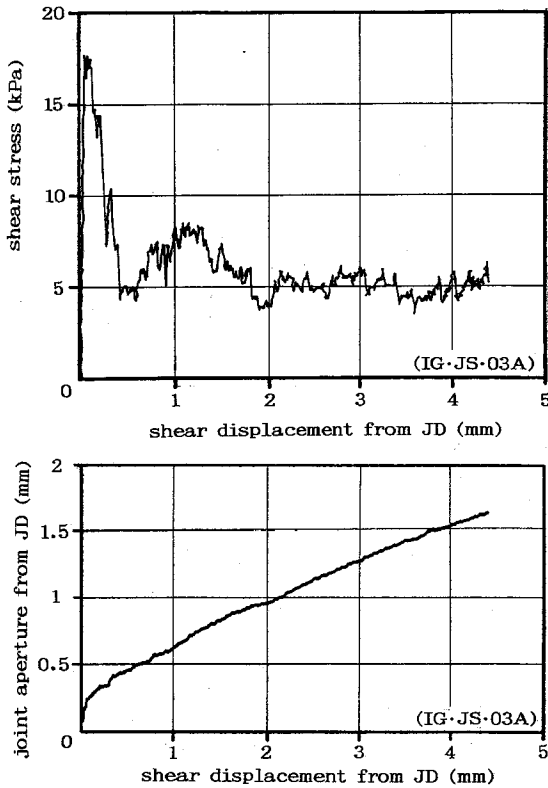


Fig.8 Shear behaviour evaluated from joint deformeter readings.

れらについては、実用を模擬した検証を実施する必要がある。

#### (4) 変位計の岩石ブロック検証試験

ジョイント変位計のボーリング孔内における実用精度を室内で検証するため、ジョイントを有する岩石ブロックにポアホールを設け、孔内に変位計を設置してせん断試験を行った。実験の概観を Fig.6 に示す。ここでは、幅 300×奥行き 150×高さ 200 mm の稲田花こう岩ブロックを用い、このブロックのジョイントを横切る方向で、直径 66 mm、傾斜角 30° および 60° のボーリング孔を設けた。この孔内にジョイント変位計を設置し、せん断に伴うジョイントの 3次元変位計測を試みた。比較検証のため、ブロック表面に設置したダイヤルゲージ式変位センサによってジョイントのせん断変位と開口変位を計測し、また、せん断方向の载荷をロードセルで検出した。なお、ジョイント面を Y-Z' 直交座標、この面に鉛直な方向を X' 軸で表し、ポアホールに垂直な X-Y 平面とポアホール軸に沿う Z 軸方向の変位をジョイント変位計で計測した。ダイヤルゲージによるせん断変位と開口変位は、それぞれ Z' 軸と X' 軸方向となる。

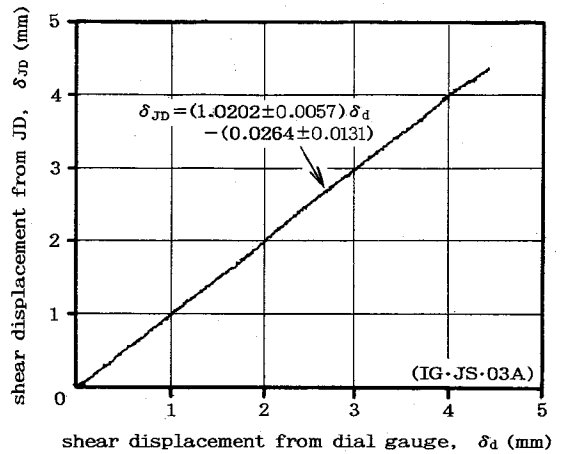


Fig.9 Relationship between shear displacements from X, Z readings and dial gauge on block surface.

実験結果の一例として、せん断応力とジョイント変位計 (JD) による X 軸および Z 軸方向の検出変位との関係を Fig.7 に示す。X, Z 軸変位は、ともにジョイントのせん断方向と開口方向のベクトル成分を含んでいる。実験では、ほぼ一定のせん断変位速度を保ち、ジョイント変位計の計測範囲 (0~5mm) 以内の 4~4.5 mm のせん断を約 120 秒間で行い、全ての計測データを 0.2 秒間隔で記録している。ここで得られた変位挙動によると、変位センサによる計測が応力変化の激しいせん断挙動に十分に追従しているものと判断される。上記の X, Z 軸変位を座標変換するとジョイントのせん断と開口変位 (Z' 軸と Y' 軸方向) が導かれ、このせん断変位とせん断応力および開口変位との関係を Fig.8 に示す。このように、本変位計は、ボーリング孔内に設置した実用状態で、せん断挙動を高精度で検出できることを示した。また、ジョイント変位計によるせん断変位とブロック表面で計測したせん断変位との関係を Fig.9 に示す。図中には、前記の相関評価と同様に、最小二乗法から求めた相関直線式を示す。ジョイント変位計の計測値から導いたせん断変位は、岩石ブロック表面で計測したせん断変位に対して標準偏差 0.6% 以内の直線相関を示した。このため、ジョイント変位計は、ボーリング孔内の計測でも、三次元挙動に対応した計測精度を有することが認められた。

変位計の検証をさらに進めるため、ジョイント変位計の X-Y 座標を 45° 回転して設置し、同様の実験を行った。この実験における、せん断応力とジョイント変位計による X 軸、Y 軸および Z 軸方向の検出変位との関係を Fig.10 に示す。ここでは、X 軸、Y 軸および Z 軸方向の変位が、共にジョイントのせん断方向のベクトル成

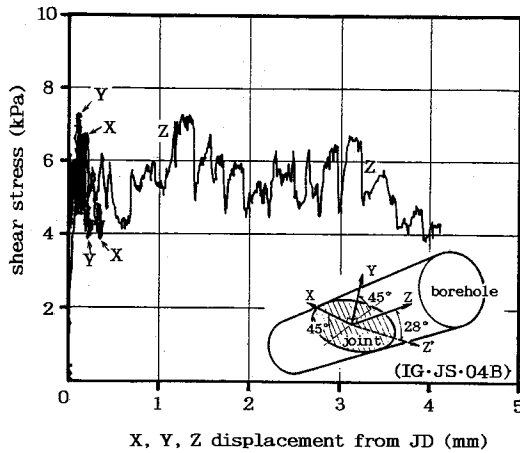


Fig.10 Relationship between shear stress and joint deformer readings for X, Y, Z axes.

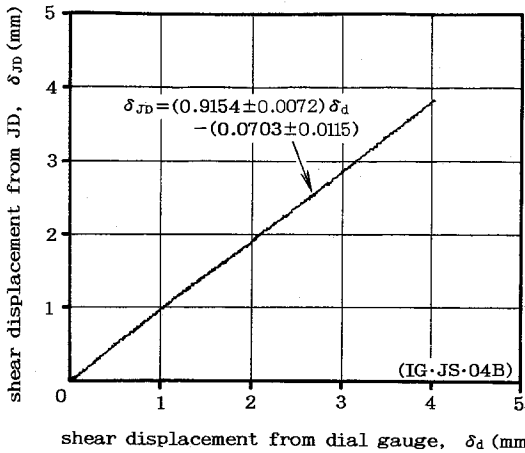


Fig.11 Relationship between shear displacements from X, Y, Z readings and dial gauge on block surface.

分を含む挙動として検出されている。また、ジョイント変位計によるせん断変位とブロック表面で計測したせん断変位の関係を Fig.11 に示す。ここでも、上記の実験結果と同様に、標準偏差 0.8% 以内の直線相関を示した。両者の相関係数が 1 より小さな値を示しているが、これは、ボーリング孔傾斜角の精度と回転角 45° の設置精度が ±3° 程度であることによるものと考えられる。このように、ジョイントと変位計の座標評価の精度がジョイントのせん断変位を導く際の誤差要因になるものと考えられる。現場計測において本変位計の計測精度を十分に生かすには、ボーリング孔の方位・傾斜角度と変位計の設置角度を ±2° 以下の精度で検出するように配慮する必要がある。一つの対策としては、本変位計のガイドに組み合わせた方位傾斜計によって設置角度を検出する方法が考えられる。

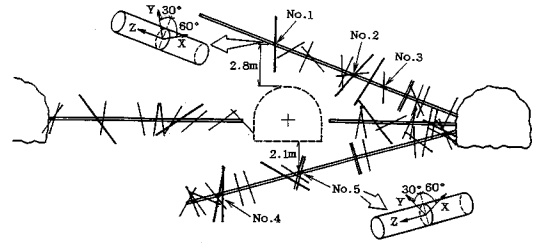


Fig.12 Schematic drawing of testing section in jointed rock mass. Joint deformers are set up at No.1-5 positions.

上記のように、ジョイント変位計のボーリング孔内における実用精度の検証では、変位計の機械的構造による誤差がほとんど無く、差動トランスの精度を維持しつつ計測できることを示した。また、応力変化の激しい挙動に対して 0.2 秒間隔の検出ができるような追従性を示した。現場におけるモニタ計測が一般的に数秒から数時間のインターバルで行われることを考慮すると、ジョイント変位計の検出応答性が十分に現場に適用できるものと考えられる。

### 3. ジョイント変位計による現場計測

#### (1) 現場計測の概要

ジョイント変位計による現場計測実験は、神岡鉱山内に設けられた地下岩盤実験場において行われた。実験場のジョイント変位計を設置した断面の概略を Fig.12 に示す。図中のボアホールに交差する直線は、ボアホール TV とコアによって標定した開口幅 1 mm 以上のジョイントを示している。実験では、図の中央に波線で示した幅 5 m × 高さ 4 m の実験坑道を掘削し、この掘削過程においてジョイント変位をモニタ計測した。このため、調査用坑道から削孔した 2 本のボーリング孔について、坑道周囲の坑道幅の範囲内にある開口幅の大きいジョイントを任意に選択し、図中の No.1~5 の位置にジョイント変位計を設置した。変位計の設置時に、上向き孔から少量の湧水があり、下向き孔は孔口から約 1 m 以深に水が満たされた状態にあった。このため、No.4 と 5 のジョイントの変位計測は、3~4 m の水頭の条件下で行われた。

ジョイント変位計の設置後、約 1 ヶ月間の安定性確認試験を経て、その後、計測断面の約 20 m 手前から実験坑道を掘削した。坑道の切羽が計測断面に接近するまでは、最大 1 時間の測定インターバルで計測し、切羽が計測断面を通過する前後では、最小 1 分間の測定インターバルとした。また、坑道の掘削終了後も、約 1 ヶ月間の変位モニタを継続した。これらの計測には、増幅器を介

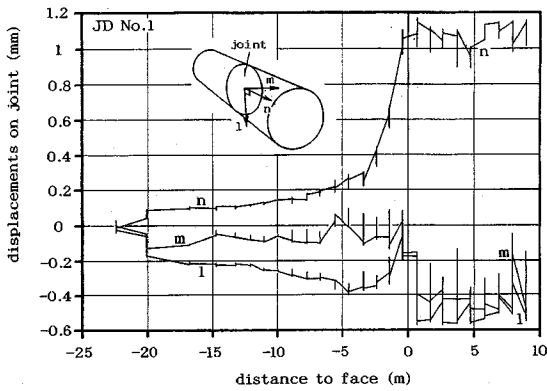


Fig.13 Relationship between three displacement components for No.1 joint and distance to face of drift.

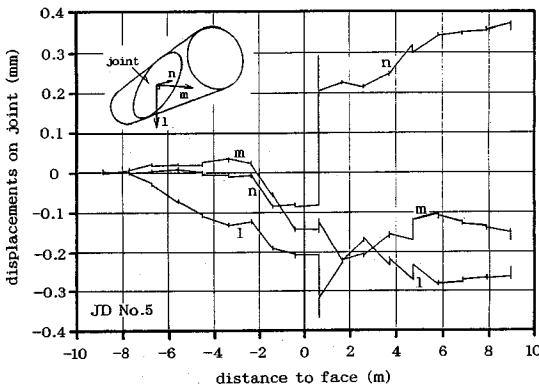


Fig.14 Relationship between three displacement components for No.5 joint and distance to face of drift.

してデータ収録装置に記憶させる自動計測システムを用いた。

## (2) ジョイント面の変位計測結果

実験坑道の掘削に伴うジョイントの挙動計測のうち、坑道上部のNo.1と下部のNo.5に位置する変位計の計測結果として、ジョイントの変位と計測断面に対する切羽位置との関係を Fig.13 と Fig.14 にそれぞれ示す。図中の計測変位は、ジョイントのX-Y-Z座標系の計測値をジョイントの面内-法線座標 ( $l$ - $m$ - $n$ 座標) に変換した値を示している。図中の  $n$  軸はジョイントの開口（あるいは閉塞）を表し、 $l$ - $m$  平面内の変位はジョイントのせん断ベクトルを与えており、 $l$  軸はジョイント面の傾斜方向、 $m$  軸は走向方向をそれぞれ表している。なお、ジョイント変位計では、 $Z$  軸をボアホールの孔軸に、 $X$  軸をボーリング孔天頂から反時計まわりに  $60^\circ$  の方向にそれぞれ設定した X-Y-Z 座標系 (Fig.12) で計測した。計測断面に対する切羽位置は、1 日の掘削が終了した直

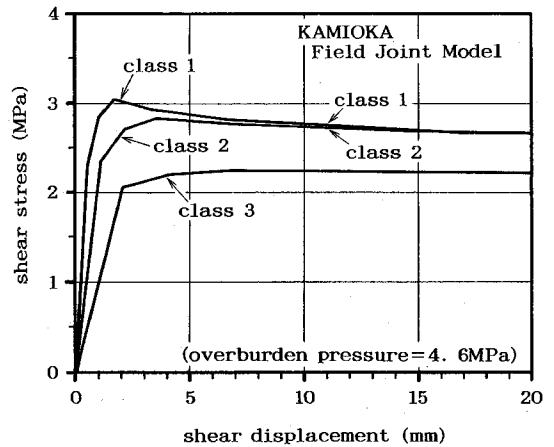


Fig.15 In-situ joint behaviour models for Kamioka test site. According to Barton-Bandis's joint characterization and their modelling.

後に切羽を前進させて設定しており、図中の変位曲線に交差する鉛直線は、掘削休止中と発波による掘削中に変動した変位を示している。

ジョイントの変位挙動は、発波による掘削にもかかわらず、変位計による計測がほぼ安定して追従していることを示している。両ジョイントの変形は、切羽が2~3 m手前に接近した後、顕著な変形の増加傾向を示しており、No.1のジョイントでは、ジョイントの開口を示す  $n$  軸の変形が大きく現れている。No.1の  $l$ ,  $m$  軸、No.5の  $l$ ,  $n$  軸における切羽通過直後の急激な変化については、計測断面内での発波による影響が考えられ、今後は、ジョイント変位計のボアホール内における固定について検証する必要があるものと考えられる。

こうした現場計測結果を総合的に考えると、ジョイント変位計は、現場の水が満たされたボアホール内においても十分に適用でき、長期間にわたって計測精度と追従性を維持するものと判断される。また、岩盤の弾性的な変位挙動のみでなく、微小な時間的変位挙動（クリープ変位など）やジョイントの透水変化の計測に適用できる可能性も示唆している。

## (3) 坑道掘削に伴う応力変化

岩盤内に坑道を掘削した場合、坑道周辺において応力が再配分され、この応力分布の変化に起因して、岩盤内の最も弱いジョイントに変形を生じるものと考えられる。このような地下空洞の安定性に影響の大きい不連続面をモニタ計測することによって、施工後の挙動を事前に予測することができ、その場で効率的な施工に役立てることができる。つまり、岩盤挙動の現場計測に基づいて帰納的に評価した結果を反映させたリアルタイムな施

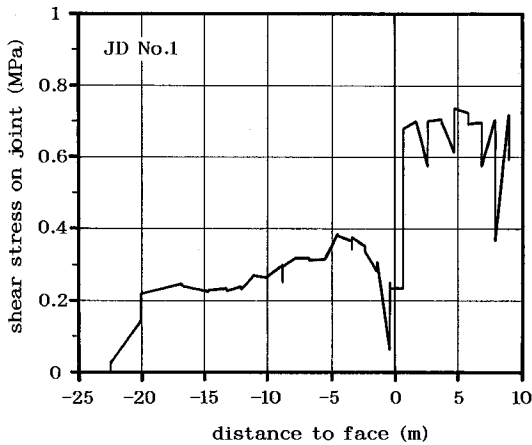


Fig.16 Shear stress derived from joint shearing vector on No.1 joint surface.

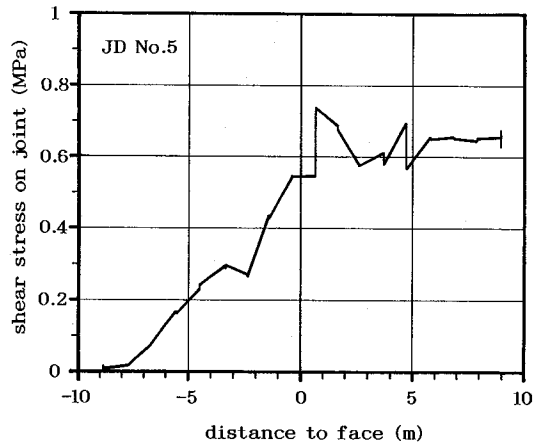


Fig.17 Shear stress derived from joint shearing vector on No.5 joint surface.

工管理が可能になり、このような鋭敏かつ的確な計測は、ジョイント変位計によって初めて実現されるものと考えられる。

ここでは、帰納的な評価の一つとして、ジョイントの変形データから、変形の原因となった応力状態の変化を推定してみる。この評価のためには、現場のジョイントの変形挙動を求めておく必要がある。Bartonら<sup>10)</sup>は、現場ジョイントの挙動評価法として、ジョイントを夾むコア試料の実験から評価したジョイント特性を用い、寸法効果と地山応力の補正を行う挙動モデル化を提案している。筆者らは、この手法に従った現場ジョイントの挙動モデル化を実施しており<sup>7)</sup>、本実験場を対象とした挙動モデルを Fig.15 に示す。このモデル化では、44 個のジョイントを夾むコア試料を回収し、開口幅から 3 クラスに分類して、91 回の簡易せん断実験からジョイント面の圧縮強度、粗さ係数、残留摩擦角などの特性を評価した。No.1 と No.5 のジョイント変位計を設置したジョイントは、それぞれクラス 3 とクラス 2 に分類されており、応力変化の評価には、それぞれのクラスに対応した図中の挙動モデルを用いた。

No.1 と No.5 の変位計を設置したジョイントについて、せん断変位から求めたせん断応力と計測断面に対する切羽位置との関係を Fig.16 と Fig.17 に示す。先に評価したジョイント面内の  $l$  軸と  $m$  軸方向の変位から最大せん断変位を導き、非線形な挙動モデルのせん断剛性からせん断応力を求めた。ここで示すせん断応力は、坑道掘削前の応力状態に対する変化量であり、例えば、初期状態が静水圧であると仮定すれば、掘削に伴って新たに発生したせん断応力に相当すると考えられる。図に示す応力変化では、切羽の進行に伴う応力の増加傾向が現れており、とりわけ、坑道下部の No.5 のジョイントで

は、坑道が計測断面を通過する前後で顕著な挙動を示している。

#### 4. おわりに

本報では、現場のボーリング孔内において、ジョイントの挙動を三次元計測する「ジョイント変位計」を開発し、変位計の較正試験、岩石ブロックを用いた室内検証試験および現場計測による適用試験を通して、その計測精度と実用性を明らかにした。この結果によれば、開発されたジョイント変位計は、ジョイントの変形に対して標準偏差が 0.8% 以内の直線性で検出し、高精度で追従できることが明らかとなった。また、現場の水が満たされたボアホールへの適用でも問題がなく、発波による坑道掘削中においても継続して計測できることが確認できた。さらに、掘削過程における簡単なジョイントの開口や応力変化の評価を明かにし、このような現場計測結果をリアルタイムに反映させる施工管理手法の可能性を示した。

ジョイントの三次元変位を高精度でモニタリングすることが可能となれば、これによって得られる効果は非常に大きいものと考えられる。例えば、空洞掘削の施工管理や岩盤斜面の崩落予知などを目的として、リアルタイムな施工対策を講じるための監視モニタリングに利用できる。また、空洞掘削、岩盤斜面などの安定性に関する評価、耐震特性評価、透水特性評価を含む各種の不連続岩盤を対象とした解析評価の妥当性を検証するための現場計測として幅広く応用することが期待される。

#### 参考文献

- 1) Wagner, H. : Design and Support of Underground

- Excavations in Highly Stressed Rock, Keynote Paper, *Proc. of 6th ISRM Congress, Montreal, Vol.3, 1987.*
- 2) Cravero, R.I., R.E.S. Pistone and J.C. Rio. : Rio Grande I Tailrace Tunnel Monitoring, *Proc. of 2nd Int. Sympo. on Field Measurements in Geomechanics, Kobe, Vol.2, p.657-667, 1987.*
  - 3) Chryssanthakis, P. and N.Barton. : Predicting Performance of the 62 m Span Ice Hockey Cavern in Gjovik, Norway, *Preprints of ISRM Conference Fractured and Jointed Rock Masses, Lake Tahoe, LBL-32379, Vol.3, pp.624-631, 1992.*
  - 4) Kosugi, M., H. Ishihara. and M. Nakagawa. : Tunnelling Method Coupled with Joint Monitoring and DEM Analysis, *Preprints of ISRM Conf. Fractured and Jointed Rock Masses, Lake Tahoe, LBL-32379, Vol.3, pp.765-770, 1992.*
  - 5) 小杉昌幸, 玉井昭雄 : 不連続面の変位計測方法及び不連続面変位計, 特許願, 平5-308277, 1993.
  - 6) 小杉昌幸, 緒方義弘 : き裂変位計, 官庁出願特許願, 昭63-87818, 1988, 公告平7-6762, 1995.
  - 7) 小杉昌幸, 永久和正, 石原治幸, 緒方義弘 : 神岡鉱山におけるジョイント標定と特性評価, ジョイント変位計の開発, 第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, 731-736, 1994.
  - 8) 玉井昭雄, 三上哲司, 秋好賢治 : 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.
  - 9) 小杉昌幸, 中川光雄, 石原治幸 : 不連続岩盤の挙動予測に基づくトンネル支保設計, 土木学会論文集, No.487 III-26, pp.21-30, 1994.
  - 10) Barton, N.C., S.C.Bandis and K.Bakhtar : Strength, Deformation and Conductivity coupling of Rock Joints, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, Vol.22, No.3, pp.121-140, 1985.

(1994.7.15 受付)

## DEVELOPEMENT OF A NEW DEVICE TO MEASURE THREE DIMENSIONAL BEHAVIOUR OF JOINTS

Masayuki KOUSUGI, Akio TAMAI and Haruyuki ISHIHARA

In order to measure rock mass behaviours and discontinuity displacements with high accuracy in the field, a novel device has been developed. This is a joint deformeter which enables to measure three-dimensional relative displacements of rock blocks separated by a joint using linear variable differential transformers (LVDTs) in a borehole. The applicability of the joint deformeter is proved through the calibration and verification tests in a laboratory and the practical use in the field. The results obtain that the device is able to measure the displacement with the accuracy under 0.8% in the standard deviation for the linear relation. And it is obtained that the stability of the device placed in the water below the ground water level is assured.