

III-241

クラックテンソルを用いた不連続性岩盤の時間依存変形特性

—— (その1) 不連続面のクリープ試験 ——

(株)大林組 鈴木 健一郎、桑原 徹、平間 邦興

1. はじめに

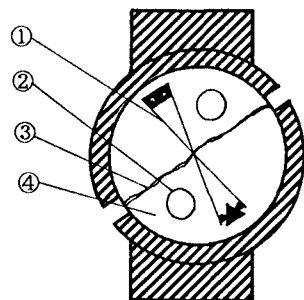
岩盤の変形の時間依存性についての議論はこれまで主に軟岩が対象となっていた。岩石クリープ試験を行なうと確かに硬岩におけるクリープは変形量も微小であり、収束も早い結果となる。現位置での平板載荷によるクリープ試験では十分な精度と時間が保証されないままに時間依存変形特性が把握されてきた。その結果から推定される構造物の変形は実際の計測結果とあまり一致しないのが現状である。ここでは、その理由を岩盤中の不連続面の存在に求めることとし、不連続面の幾何学的分布をクラックテンソルにより考慮し、不連続面自身の時間依存変形特性をそれに組み入れることを考えた。その第一段階として、本報告では天然の不連続面を用いた室内クリープ試験結果について報告し、クラックテンソルとの組み合わせについて考察するものである。

2. 試料および実験

用いた不連続面は石英安山岩中の節理で、風化粘土を介在したものである。供試体の作成に当たっては、節理で2分された岩塊を採取し、介在粘土を採取した後に不連続面で岩塊を噛み合わせ、 $\Phi 100\text{mm} \times h 50\text{mm}$ のおよそ直径と不連続面が一致するような円柱にコアリングした。初めに粘土のないままクリープ試験を行ない、次に採取してあった介在粘土を再調整して不連続面に薄く塗布した供試体について実験を行なった。試験装置の概要を図-1に示す。この試験では、不連続面のせん断変位および垂直変位を同時に考慮できるように、荷重載荷方向と不連続面の法線との成す角を図のように $\pi/4$ 回転させた。変位量の計測は2方向の変位量の計測できる亀裂変位計を用い、不連続面に沿った変位量および不連続面と垂直方向の変位量を計測した。岩石自身の変形は2方向ワイヤーストレインゲージにより測定した。

実験結果を図-2および図-3に示す。図-2は粘土を介在しない不連続面の試験結果であり、一定載荷荷重は1000kgfである。図中、○印は不連続面に沿ったせん断変形を、●印は不連続面に垂直な方向の変形、ここでは閉塞側が正になっている、をそれぞれ表わしている。△印および▲印は不連続面の変形方向にそれぞれ対応した変位量で、ひずみに直径を乗じて変位に変換している。この場合、不連続面の2方向の変位量および時間依存性はほぼ同じ形をしている。不連続面の挙動と岩石の挙動を比較すると、変形量のオーダーは両者の間で1オーダー異なるが、時間に伴う変形の進行量はあまり変わらない。一方、図-3に示した粘土を塗布した不連続面の挙動は、一定載荷荷重が粘土を介在しないものの半分の500kgfであるにもかかわらず、せん断変位量は1オーダー、垂直変位量はおよそ2倍であり、しかも時間経過とともに変形の進行が顕著である。岩石自身の変形量は図でははっきりしないが載荷荷重に比例しているものと考えて良く、僅かでも粘土を介した不連続面の時間依存変形挙動はせん断方向では2オーダーも異なる結果となった。

不連続面のせん断剛性および垂直剛性には寸法効果があり、試験室内の100mm×50mm程度の断面においても以上に示したような変形の時間依存性の存在することは岩盤の時間依存変形特性を推定することを複雑にしている。小田¹⁾はクラックテンソルを用いて不連続性岩盤が等価な弾性体に置き換えられることを示している。この



- ① 亀裂変位計
- ② ストレインゲージ
- ③ 不連続面
- ④ 供試体 (石英安山岩)

図-1 実験概要

手法を用いて時間効果を組み入れることにより等価な粘弾性体として岩盤を置き換えることを考える。

3. 力学モデルによる等価粘弾性体

岩盤中の不連続面が、せん断バネと垂直バネでモデル化されることがあるが、これに時間依存性を加えるためには実験結果からも分かるように、せん断方向と垂直方向にダッシュポットを加えてやれば良い。時間依存性を表現可能な比較的シンプルな力学モデルとして用いられるのが、図-4に示したBoltzmann Model である。クリープ挙動の近似度によって要素の増減を行なうことは可能であるが、ここでは図-4の力学モデルで近似する場合を考えることにする。

垂直剛性率およびせん断剛性率はそれぞれ図のモデルにより次式のように表わせる。

$$K(t) = K_0 / [1 - \alpha_K \{1 - \exp(-\beta_K t)\}] \dots\dots\dots (1)$$

$$G(t) = G_0 / [1 - \alpha_G \{1 - \exp(-\beta_G t)\}] \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 α および β はクリープ定数で下付き添字はそれぞれ垂直剛性率、せん断剛性率を表わしている。 K_0 および G_0 は瞬時の剛性率である。寸法効果については不連続面の長さ r に依存すると、小田の提案する不連続面に関する弾性コンプライアンスに (1)式および (2)式を代入すると、時間効果を考慮したコンプライアンスとして、

$$C_{ijkl}(t) = \{ 1/K(t) - 1/G(t) \} F_{ijkl} + \{ 1/4G(t) \} (\delta_{ik}F_{jl} + \delta_{jk}F_{il} + \delta_{ji}F_{ik} + \delta_{il}F_{jk}) \dots\dots\dots (3)$$

が提案される。 $K(t)$ および $G(t)$ は応力 σ および方向 N に依存するものである。実験結果から粘土を挟まない不連続面については $K(t) \approx G(t)$ が仮定できそうであるから (3) 式の右辺は第2項だけになる。

4. おわりに

不連続性岩盤の時間依存変形特性は岩石基質部と不連続面の時間効果を考える必要がある。不連続面の時間効果の評価法としてクラックテンソルを用いた等価な粘弾性体で近似する方法を示した。岩石基質部の時間効果は単純に重ね合わせることができるが、今回の実験結果のようにそれが無視できる場合もある。クリープ定数の決定は、不連続面のせん断変位と垂直変位が分離されればこれまでの成果²⁾が十分利用可能であると考えられる。今後、実験および解析により検証を行なっていきたい。

【参考文献】

- 1) 小田 匡寛：一般化されたクラックテンソルとその応用、第17回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、p21-25、(1985)
- 2) 色部 誠、赤木 知之：Maxwell 材料における粘弾性定数の一決定法、土木学会論文報告集、第213号 (1973)

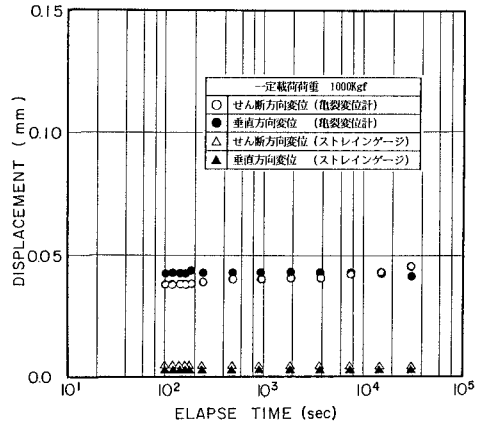


図-2 開口不連続面のクリープ挙動

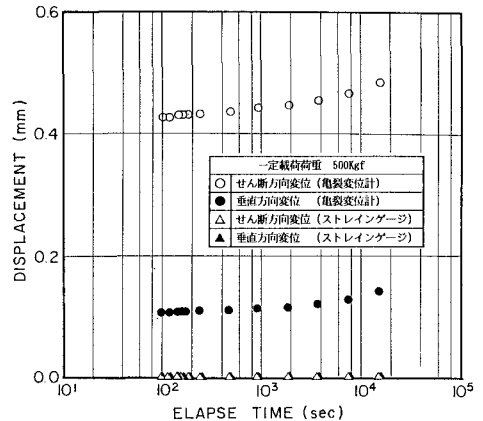


図-3 粘土介在不連続面のクリープ挙動

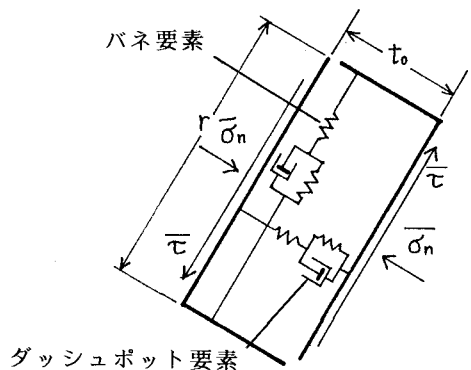


図-4 不連続面の力学モデル