

名古屋工業大学大学院 学生員 齊藤貴彦

名古屋工業大学 正員 長谷部宜男

中部電力株式会社 正員 上田稔 佐藤正俊

1. はじめに

ダムなどの岩盤上や地下空洞に建設される構造物の建設にあたっては，硬質岩盤の応力変位挙動を把握する必要がある．著者らは，モデル岩盤(図 1)の載荷実験を行っており，試験及び解析の結果を比較して良好な結果を得ている．本研究では，モデル岩盤のメインクラックに着目し，クラックの角度が硬質岩盤の応力変位挙動，剛性にどのような影響を与えるかを考察する．

2. モデル岩盤と試験方法

図 1 は，岩盤からボーリングコアにより切り出した天然のクラックを含む岩石をクラック部分が供試体中央にくるように配置し，その周囲を高強度コンクリート(弾性係数 $E = 400,000 \text{ kg/cm}^2$ 程度)で整形したものである．これをモデル岩盤供試体とする[1]．載荷実験は，この供試体を原位置平板載荷試験と同じ載荷パターンで，垂直方向から荷重を加え変位を計測した．計測にあたっては，約 0.003 mm の精度を有する差動変圧器(LVDT)を用いた．モデル岩盤については，メインクラック角度が 40 度， 50 度， 55 度の 3 タイプの供試体を作成した．

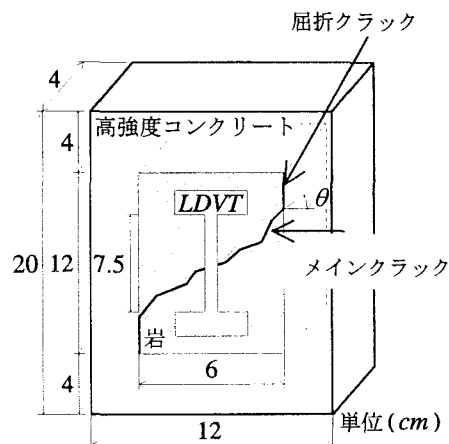


図 1 屈折クラックを有する
モデル岩盤供試体

3. モデル岩盤の解析

硬質岩盤の応力変位挙動を表す基本式は以下のように表される[1,2]．

・ 載荷曲線

$$V_s = \frac{a(\kappa+1)}{2G} \{c_1 \Phi_1 p^{m_s} + (c_2 \Phi_1 + \Phi_2) p\} + C_s \quad (1.1)$$

$$\equiv A_s P^{m_s} + B_s P + C_s$$

・ 除荷曲線

$$V_j = \frac{a(\kappa+1)}{2G} \{c_3 \Phi_1 p^{m_j} + (c_4 \Phi_3 + \Phi_4) p\} + C_j \quad (1.2)$$

$$\equiv A_j P^{m_j} + B_j P + C_j$$

[基本式における各係数の意味]

a はメインクラックの長さ， $c_1, c_2, c_3, c_4, m_s, m_j$ はクラック接触面の状態などによって決まる値で， $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4$ はクラックの形状を表す． G はせん断剛性係数， C_s, C_j は残留変位を表す． A_s, B_s, A_j, B_j は各係数をまとめたものである． $\kappa = 3 - 4\nu$ (平面ひずみ状態)で， ν はポアソン比(0.2)である．

4. モデル岩盤の試験値と解析値の比較

載荷試験では，応力を 10 kgf/cm^2 から 60 kgf/cm^2 まで， 10 kgf/cm^2 ごとに載荷除荷を行い，荷重，変位の計測値を求めた．図 2 はメインクラック角度が 55 度の場合の試験値と，基本式から得られた解析値を，荷重段階ごとの載荷除荷曲線を分かりやすいようにずらして示す．基本式における解析値の各係数 $A_s, B_s, C_s, m_s, A_j, B_j, C_j, m_j$ は，試験結果に合うように最小二乗法によって求めた．解析値は，各応力段階で試験値と一致するように決められているのが分かる．

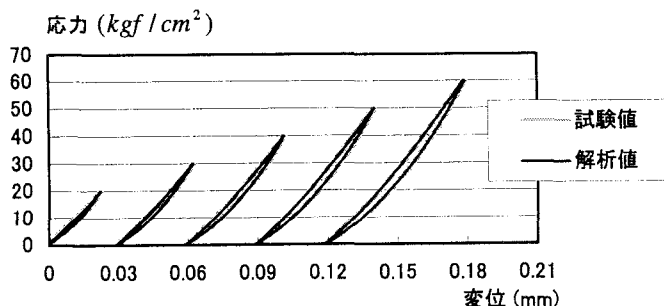


図 2 モデル岩盤の試験値と解析値の比較

5. クラック角度を変化させた場合の載荷曲線

解析では、図1の屈折クラックが無限板中に存在すると考え、そのメインクラック長さ、屈折クラック長さを一定として、メインクラックの角度のみを変化させて行った。メインクラックが閉じて接触しているときの載荷曲線の挙動がどのように変化するかを調べる。解析では、せん断剛性 G に用いる弾性係数は、図2の試験値の初期勾配 (クラックが接触していない) から読み取って、 $E = 26000 \text{ kgf/cm}^2$ という値を用いた。メインクラック角度 55° の場合のクラック角度を変化させた場合の載荷曲線を図3に示す。合わせて、荷重 60 kgf/cm^2 のときの変位とクラック角度の関係を図4に示す。解析結果を見ると、クラック角度が $60^\circ \sim 70^\circ$ 付近で、最も大きい変位が現われる。メインクラックが 40° 、 50° の場合も同じ挙動が見られる。

6. 剛性の変化

ここでは、クラック角度の変化に対し、クラックを含む弾性体全体の剛性がどのように変化するを見る。載荷の初期段階 ($P=0$ 付近) において、クラックが閉じている状態の場合、(1.1)式から、

$$\frac{a(\kappa+1)}{2G} (c_2 \Phi_1 + \Phi_2) = \frac{1}{G_\phi} \quad (1.3)$$

という関係が得られ、クラックが接触している状態の等価な剛性を表している。解析結果は、クラック角度が大きくなるにしたがって、剛性 G_ϕ の値が大きくなっている。これは、クラック角度が 90° に近づくとつれて割れ目の影響が少なくなり、

純粋な弾性体に近づくため剛性が大きくなるためである。

それに対して、クラック角度が小さくなるにしたがって、 G_ϕ は小さくなる。この場合は、クラック角度が小さくなるにつれて割れ目の影響が大きくなり、剛性が小さくなるためである。

7. まとめ

- ① クラックが閉じている(接触している)場合のクラック角度を変化させて、応力変位挙動の変化を調べた。3タイプのモデル岩盤とも、クラック角度が $60^\circ \sim 70^\circ$ の付近で最も大きな変位が出た。
- ② クラック角度の変化による G_ϕ の変化は、クラック角度が大きくなるに連れて G_ϕ は大きくなり、逆にクラック角度が小さくなるにつれて、 G_ϕ は小さい値をとる。
- ③ 今回のモデル岩盤試験は、硬質岩盤全体から素片を抽出して行ったモデルである。実際の原位置平板載荷試験においても、メインクラックの傾き(岩盤内に無数に存在するクラックのなかで最も破壊を生じやすいもの)がどのような影響を及ぼしているかの一資料を与える。

参考文献

- [1] 川平・長谷部等 第56回土木学会年次学術講演会第III部門 2001, pp.552-553 [2]同左, pp.554-555

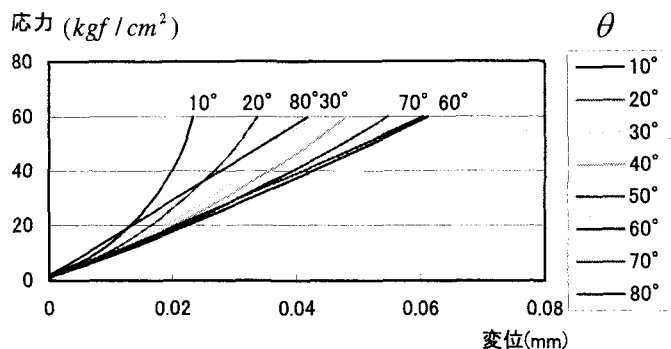


図3 クラック角度を変化させた場合の載荷曲線
(メインクラック 55° の試験値の場合)

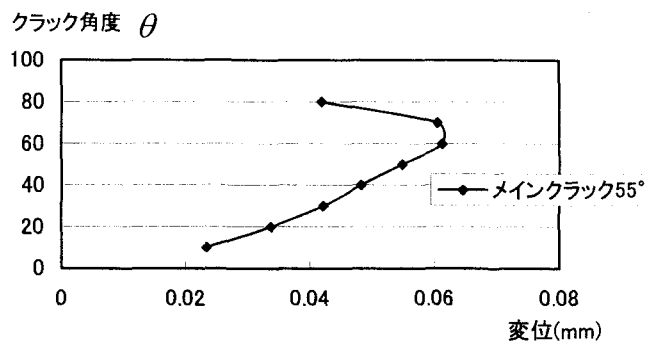


図4 $P = 60 \text{ kgf/cm}^2$ のときの変位
(メインクラック 55° の試験値の場合)

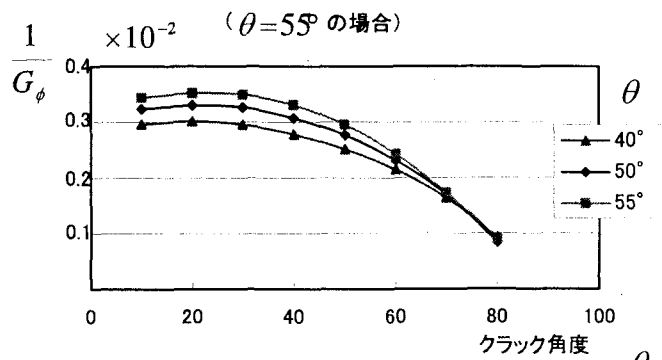


図5 クラック角度による剛性の変化