

Ⅲ-A330

硬質岩盤の応力変形挙動に関する研究

名古屋高速道路公社 正員 長谷川 秀也
 名古屋工業大学 正員 長谷部 宣男
 中部電力 正員 上田 稔 佐藤 正俊

1. はじめに 硬質岩盤を構成している岩石の荷重変位曲線は、一般的に線形弾性挙動を示す。しかし、原位置平板載荷試験における岩盤の荷重変位曲線は図1のように非線形である。本研究ではこの原因を、①岩盤内における初期クラックの存在 ②その初期クラックから発生する屈折クラックの進展 ③クラック接触面に働く法線方向応力と摩擦力、の3点によるものと考えこれを調べる。

ここで、解析の単純化のために破壊が生じる時、最も弱いクラックが最初に破壊すると考えられ、岩盤内の1つのクラックに注目し、それが圧縮荷重下でどのような挙動を示すかを実験、解析の両面から調べ、その結果を用いて原位置平板載荷試験を解析する。

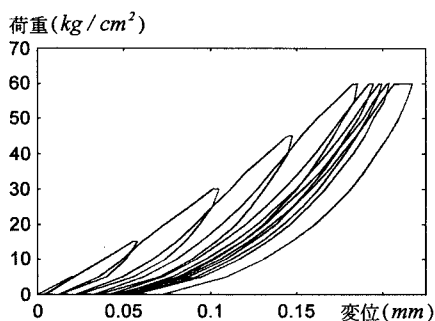


図1 平板載荷試験における荷重変位曲線

2. 原位置平板載荷試験の解析 岩盤に対して垂直方向から一様圧縮荷重を加えた時、岩盤内に存在する多数のクラックのすべてが同時に破壊するとは考えにくく、岩盤内の最も弱い(進展しやすい)クラックが最初に屈折クラックの発生または進展を始め、そのクラックが岩盤の挙動に大きな影響を与えるものと考え、岩盤全体の挙動の解析を行う。その際の解析方法として有理写像関数と複素応力関数を用いて行う[2]。

2.1 解析モデル 図2示す初期クラックを持つ屈折クラックモデルを考え、クラック接触面に働く摩擦力 f_t を以下のようにクーロンの摩擦則が成り立つ(摩擦係数 $\mu = 0.85$)と仮定する[3][4]。

$$f_t = 0.85 f_n \sin^2 \theta \quad \cdots (1)$$

1) 載荷時におけるクラック接触面の応力

$$f_n = c_1 p^m \cos^2 \theta \quad \text{及び、式 (1)}$$

2) 除荷時における解析モデル 図1に示すように載荷と除荷はそれぞれ異なった曲線を描いている。これは、載荷と除荷のメカニズムが異なったものであることを表しており、クラック接触面の応力次式で与えられる[3]。

$$f_n = (c_1 p^m - r f_n) \cos^2 \theta \quad \text{及び、式 (1)}$$

ここで、 $r f_n = c_2 (p_{\max} - p)^n p^{m-n}$

但し、 $p_{\max}$ は載荷、除荷の荷重変位ループの最大荷重を表している。なお、図2の解析より変位 v は、解析的に次式で表される。

$$v = \frac{\kappa + 1}{2G} [2a \{ (f_n + f_t) \phi_1 + p \phi_2 \}] \quad \cdots (2)$$

ここで、 G は不均質岩盤の等価なせん断弾性、 ϕ_1, ϕ_2 はクラック形状によって定められる値、また、材料定数 $\kappa = (3 - \nu)/(1 + \nu)$ (平面応力状態) $\kappa = 3 - 4\nu$ (平面歪状態)、 ν はポアソン比である。

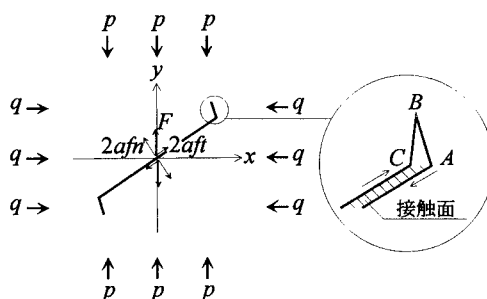


図2 一様荷重を受けるクラック

キーワード：硬質岩盤、原位置平板載荷試験、屈折クラック、処女載荷曲線

連絡先：〒466-0061 名古屋市昭和区御器所町 tel 052-735-5482 fax 052-735-5482

2.2 基準化曲線 平板載荷試験より得られる載荷、除荷の荷重変位曲線の各荷重 p 、各変位 v をそれぞれのピーク荷重 p_{max} 、ピーク変位 v_{max} で除し、縦軸に荷重比 p/p_{max} 、横軸に変位比 v/v_{max} とする荷重変位曲線を描く。このことを基準化と呼び、この曲線を基準化曲線とする。その結果、図3に示すように同一試験位置の基準化曲線は、各荷重段階が異なってもほぼ一致する。ここで、変位比 v/v_{max} は式(2)を用いて次式により表せる。

$$\frac{v}{v_{max}} = \frac{(fn + ft)\phi_1 + p\phi_2}{v'_{max}} \quad \dots(3)$$

但し、 $v'_{max} = (fn_{max} + ft_{max})\phi_1 + p_{max}\phi_2$

式(3)を用いることにより岩盤内の不明な初期クラック長さ a 、不均質岩盤の等価なせん断剛性 G や材料定数 κ を特定することなく、初期クラック接触面の特性を表す c_l, m を決定することができる。

2.3 各係数について

1)初期クラックの傾き θ の推定…図1にあるような岩盤全体の挙動を、1つのクラックで表そうとする場合、クラックの傾き θ は、あるいは破壊しつつあるクラックの θ の値として与える必要がある。しかし、実際にその傾き θ がどのような値をとるかは不明である。そのため、ここでは $\theta = 45^\circ, 60^\circ$ など、いくつかの θ について処女載荷曲線を描く。

2) c_l, m の特定…図1における平板載荷試験結果の基準化曲線(図3)と式(2)より解析によって求めら基準化曲線を図4のように、フィットさせ c_l, m を決定する。

2.4 処女載荷曲線 2.3 で決定した係数 c_l, m を使って、荷重の増加による屈折クラックの進展を考え、平板載荷試験の処女載荷曲線に相当する $P\sqrt{a}/K_{IC}$ と $G \cdot v/a(\kappa + 1)$ の関係の曲線を $K_{IC} = 30, 50, 70 \text{ kgcm}^{3/2}$ の3ケースについて表したものが図5である。いずれも同一の曲線となっている。ここで、 G, a などの値は岩盤全体の値としてまだ不明であるが、岩盤全体の特性を与える値として $\sqrt{a}/K_{IC}$ を岩盤の破壊靱性に相当する値、 $G/a(\kappa + 1)$ を岩盤の剛性に相当する値の関係が得られた。

2.5 解析結果 図1の処女載荷曲線(クリープ部分を除いた)を図6の点線で示す。これに図5の曲線を重ねると図6を得る。両者の縦横の比較をすると低荷重部分を除いてよく一致していることから $\sqrt{a}/K_{IC}$ の値、 $G/a(\kappa + 1)$ の値を決めることができる。破壊靱性 K_{IC} は岩石の破壊試験から決められるので解析の処女載荷曲線と試験の処女曲線が一致する時のクラック長 a を決め、さらにこの a を用いて不均質岩盤の等価なせん断剛性 G を決めることができる。
参考文献：[1]N.Hasebe and S.Inohar Engineering Fracture Mechanics Vol.14, No.13, pp.607-616, 1981 [2] 佐藤・長谷部等第52回土木学会年次学術講演会第III部門、pp.580-581 [3] 長谷部・佐藤等 第52回土木学会年次学術講演会第III部門、pp.554-555 [4] 長谷川・長谷部等 第53回土木学会年次学術講演会第III部門、pp.732-733

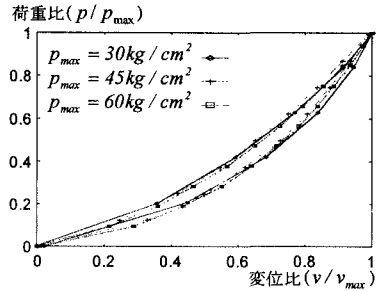


図3 平板載荷試験における各荷重レベルの基準化曲線

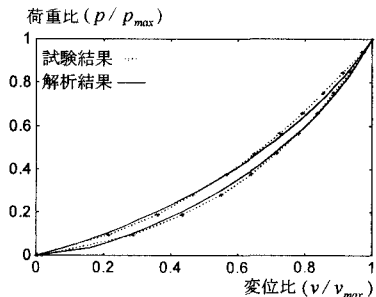


図4 平板載荷試験における基準化曲線と解析結果の比較($\theta = 60^\circ$ の場合)

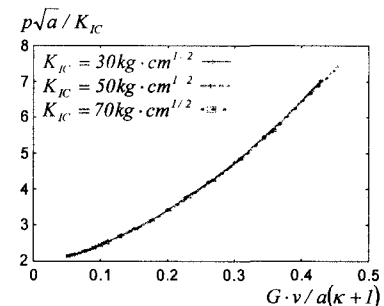


図5 平板載荷試験における処女載荷曲線のモデル化($\theta = 60^\circ$ の場合)

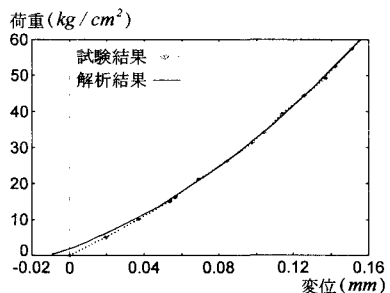


図6 処女載荷曲線の実験結果と解析結果の比較($\theta = 60^\circ$ の場合)