

Ⅲ-A290 クラックを有する硬質岩盤の応力・変位挙動に関する研究

清水建設 正員 佐藤 研史
中部電力 正員 上田 稔名古屋工業大学 正員 長谷部 宣男
中部電力 正員 佐藤 正俊

1 まえがき

硬質岩盤を構成している岩石の応力・歪曲線は、一般的に線形弾性挙動を示す。しかし、孔内載荷試験によ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と破壊が生ずるとき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試験・解析の両面から調べ、その結果を用いて多数のクラックが存在すると考えられる岩盤全体の孔内載荷試験を解析する。

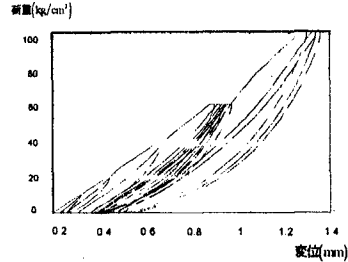


図1 平板載荷試験結果の荷重変位曲線

2 平板載荷試験の解析

岩盤に対して垂直方向から一様荷重を加えた時、岩盤内に存在してい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、岩盤内の最も危険な（最も進展しやすい）状態にあるクラックが、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られる。したがってここでは、最も危険なクラックが破壊しているものと考え、岩盤全体の挙動の解析を行う。その際の解析方法は、有理写像関数と複素応力関数を用いて行う[1]。

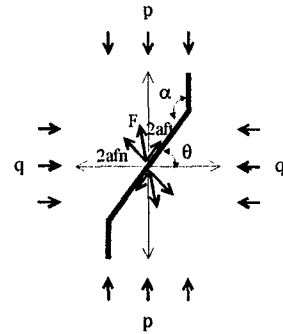


図2 一様荷重を受けるクラック

2-1 解析モデル

図2に示す初期クラック長2a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法線方向応力fn及び接線方向応力ftを以下のように与える[2]。

$$ft = 0.85fn \sin^2 \theta \quad \dots (1)$$

1) 荷重載荷時における解析モデル

$$fn = c_1 P^m \cos^2 \theta \quad \text{及び式 (1)}$$

2) 荷重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それぞれ異なったものであることを意味しており、荷重除荷時には以下のモデルを与える。

$$fn = (c_1 P^m - rfn) \cos^2 \theta \quad \text{及び式 (1)}$$

ここに $rfn = c_2 (P_{\max} - P)^n (P + c_3)^{m-n}$ 、 $P_{\max}$ は荷重変位ループの最大荷重を表している。

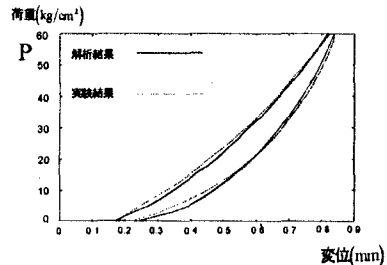


図3 平板載荷試験における実験結果と解析結果の比較

$$(P_{\max} = 60 \text{ kg/cm}^2, \theta = 45^\circ \text{ の場合})$$

キーワード：平板載荷試験、屈折クラック、除荷、摩擦、残留変形

〒466 愛知県名古屋市昭和区御器所町 TEL 052-735-5482 FAX 052-735-5482

2-2 各係数の特定

1) 初期クラックの傾き θ の特定

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 は岩盤全体の平均的な値、あるいは破壊しつつあるクラックの傾き 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き、最も適するものを選ぶ。

2) c_1, m, c_2, c_3, n の特定

図1における平板載荷試験結果の荷重 60 kg/cm^2 ・ 100 kg/cm^2 についての荷重変位ループと、解析によって得られる荷重変位ループとを比較して、図3のようにうまく重なるように係数を決定する。 c_1, m は載荷曲線、 c_2, n は除荷曲線、 c_3 は残留変形量より決められる。また図3は $P = P_{\max}$ でホールドした時のクリープ変形も示している。

2-3 処女載荷曲線

2-2で決定した係数 c_1, 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線を描いたものが図4である。ここで、図4はクラック長さと変位の関係を岩盤の破壊靱性値 $K_{IC} = 30, 50, 70 \text{ kgcm}^{1/2}$ の3ケースについて、それぞれ表したものである。このグラフは縦軸に $P\sqrt{a}/K_{IC}$ を、横軸に $Gh_y/a(\kappa+1)$ の値を用いている。ここで、 G, K_{IC} などの値は、ある均質な岩石においては特定することは可能であるが、岩盤全体の値として特定することは不可能である。図より、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として考えられると思われる。又、 K_{IC} は岩石から決められるので、解析の処女曲線と試験の処女曲線が一致する時の a を（図5、後述）決め、さらにこの a を用いて変位が一致する時の関係より $G/(\kappa+1)$ の値を決めることができる。これが不均質岩盤の等価なせん断剛性に相当する。

実験と解析における処女載荷曲線の違い

図5は岩盤における処女載荷曲線の解析結果と実験結果の比較である。低荷重レベルにおける違いは、実験においても低荷重レベルでは岩盤自体の弾性変形・クラック接触面の閉塞などの現象が起きているためと思われる。一方、解析ではこれらのことを考慮していない。よって、解析結果は変位が、ある値、図4の横軸0.1程度の値（ $b/a = 0.8$ に相当）以上の部分で実験結果と一致すると言える。

まとめ

荷重載荷・除荷・クリープ・残留変形量において、各試験と解析において結果がよく一致するように表されたということは、最初の仮定である、岩盤内の初期クラックの存在・荷重の増加に伴う屈折クラックの進展・クラック接触面の法線方向応力の仮定、接触面のクーロンの摩擦則の仮定などが妥当であることを示していると言える。

参考文献

- [1] Norio Hasebe and Sigeru Inohara: Engineering Fracture Mechanics Vol.14, No.13, pp.607-616, 1981
- [2] 長谷部 宜男・佐藤 研史・上田 稔・佐藤 正俊：クラックを有する岩石の応力変形特性、土木学会第52回年次学術講演会講演概要集、第Ⅲ部

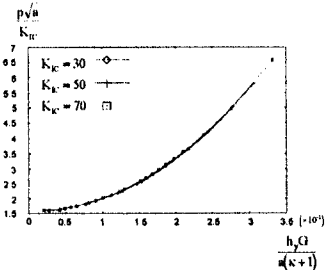


図4 平板載荷試験における処女載荷曲線のモデル化
($\theta = 45^\circ$) ($\kappa = 3-4, \nu$: ポアソン比)

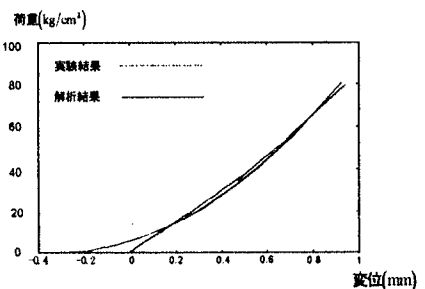


図5 処女載荷曲線の実験結果と
解析結果の比較($\theta = 45^\circ$)