

屈折クラックを有する岩石の応力変位挙動に関する研究

名古屋工業大学 学○川平 照穂

正 長谷部 宣男

中部電力

正 上田 稔・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・変位曲線は一般に線形挙動を示す。しかし、平板載荷試験による岩盤の応力・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接線方向応力のあり方の3点によるものと考え、ここでは、図2に示すような屈折クラックを有するモデル岩盤の実験結果の応力・変位曲線をもとにおもに③及び平板載荷試験の荷重変位曲線への適用について考察する。

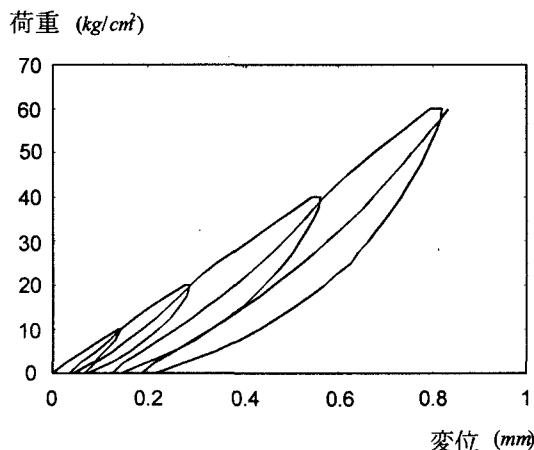


図1 平板載荷試験における荷重変位曲線

2 法線方向応力と接線方向応力の導入

図3に示す無限板中に存在する屈折クラックについて、クラックの接触面に働く法線方向応力と接線方向応力、及び一様応力 p 、 q を考える。クラック長さ $2a$ とし、法線方向応力 fn 、接線方向応力 ft とすると、 fn 、 ft について以下の式を考える。[1,2]

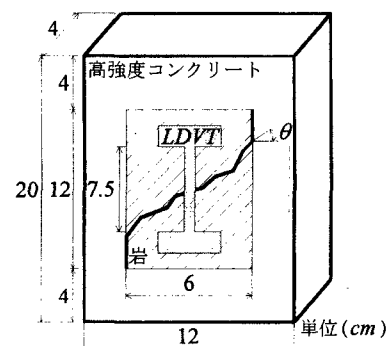


図2 屈折クラックを有するモデル岩盤供試体

1) 法線方向応力

法線方向応力 fn を次式で与える。

$$fn = (c_1 p^m + c_2 p) \cos^2 \theta \quad (1)$$

ここで c_1 、 c_2 、 m は岩盤内のクラック接触面の状態、岩種によって決まる値である。 $\cos^2 \theta$ は、クラックの傾きを考慮したものである。

2) 接線方向応力

岩石の摩擦試験に関する実験結果から低い垂直圧 ($\sigma < 200 \text{ Mpa}$) では

$$\tau = 0.85 \sigma \quad (2)$$

の直線で示されることが知られている (パイアリーの法則) [3]。

よって、摩擦係数を 0.85 として接線方向応力 ft を次式のように表す。

$$ft = 0.85 fn \sin^2 \theta \quad (3)$$

$\sin^2 \theta$ はクラックの傾きを考慮したものである。

以上の応力 fn 、 ft を図3に示すように簡単のため接触面に集中力 $2afn$ 、 $2aft$ として与え解析を行う。

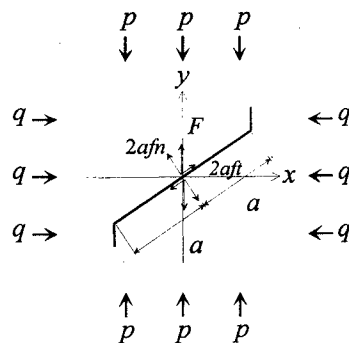


図3 一様荷重を受ける無限板のクラック

3 屈折クラックを有するモデル岩盤の解析

図2のモデル岩盤供試体に圧縮荷重 p を加えた時の実験結果及び解析結果を図4に示す。

キーワード：原位置平板載荷試験、屈折クラック、硬質岩盤、応力変位曲線

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

1) 載荷時における解析モデル

$$fn = (c_1 p^m + c_2 p) \cos^2 \theta \quad \text{及び} \quad ft = 0.85 fn \sin^2 \theta \quad (4)$$

2) 除荷時における解析モデル

除荷時においても載荷時と同様の形で法線方向応力、接線方向応力を考え、次式で与える。

$$fn = (c_3 p^n + c_4 p) \cos^2 \theta \quad \text{及び} \quad ft = 0.85 fn \sin^2 \theta \quad (5)$$

1)、2) の fn 、 ft を用いて変位 v は、図 3 の解析より理論的に載荷、除荷の場合

$$v = \frac{a(\kappa+1)}{G} \{ (fn+ft)\phi_1 + p\phi_2 \} \quad (6)$$

の形で表される。ここで G はせん断弾性係数、 ϕ_1 、 ϕ_2 は解析の形状（屈折クラック）によって決まる値であり、

$$\kappa = (3-\nu)/(1+\nu) \quad (\text{平面応力状態、}\nu: \text{ポアソン比})$$

$$\kappa = 3-4\nu \quad (\text{平面歪状態}) \text{ である。}$$

3) 解析結果

1)、2) の解析モデルを考えて式(6)に含まれる c_1 、 c_2 、 m は図 4 の破線の載荷曲線より、除荷時の c_3 、 c_4 、 n は除荷曲線にフィットするように決める。得られた載荷除荷曲線の解析結果は、図 4 のように実験結果とほぼ一致する。載荷除荷曲線の応力変位挙動はクラック接触面の状態また法線方向応力の増加、減少に影響され、そのため、図 4 の実験結果にあるように載荷と除荷に違いを生じる。

4 平板載荷試験への応用

式(6)より載荷時、除荷時の応力変位の式は以下の形で表される。

i) 載荷時

$$V = AP^m + BP + C \quad (7)$$

ii) 除荷時

$$V = A'P^n + B'P + C' \quad (8)$$

図 5 に原位置平板載荷試験と解析結果を示す。図 5 の破線の曲線は図 1 の平板載荷試験の載荷荷重 $P = 60 \text{ kg/cm}^2$ の場合の除荷、載荷の曲線を示す。この曲線にフィットするように式(7)、(8)の係数 A 、 B 、 C 、 A' 、 B' 、 C' 、 m 、 n を決めて図 5 の実線の曲線を得る。両者はよく一致していることがわかる。つまり、平板載荷試験の載荷除荷曲線は式(7)、(8)で表される。

5 結論

載荷、除荷曲線は理論的に式(6)のように与えられ、この応力・変位曲線の非線形性は式(4)、(5)から生じ、式(3)のクーロン摩擦は摩擦係数 $\mu = 0.85$ として成り立つと考えられる。図 2 に示すように圧縮を受ける単一の屈折クラックを有する材料を均質な材料としてみた場合その応力変位関係（応力・歪関係）は式(7)、(8)で表される。また、この関係は、平板載荷試験から得られる岩盤の荷重変位関係の載荷除荷曲線を表すことができる。つまり岩盤の応力変位関係は最大応力が 60 kg/cm^2 までは式(7)、(8)で表される。今後 A 、 B 、 C 等の材料定数及び多くの平板載荷試験の結果について考察したい。

参考文献

- [1] 長谷部・佐藤等 第 52 回土木学会年次学術講演会第Ⅲ部門 1998、pp.554-555
- [2] 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 1999、pp.732-733
- [3] 日本材料学会「岩の力学 基礎から応用まで」丸善、1993

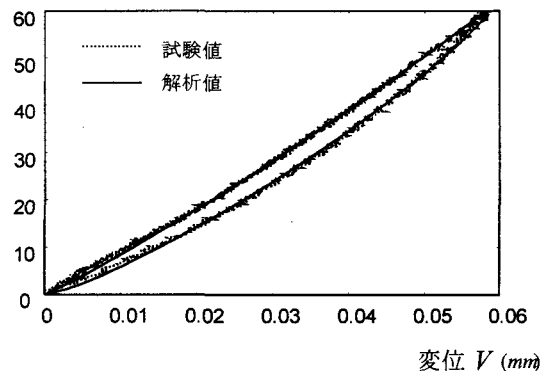
荷重 $P \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 

図 4 モデル岩盤における実験結果と解析結果の比較

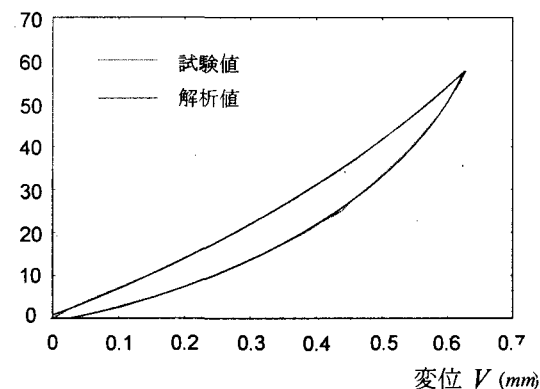
荷重 $P \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ 

図 5 平板載荷試験による荷重変位曲線と解析結果