

硬質岩盤の応力変形特性に関する研究(その1)

徳倉建設株式会社 正員 川平 照穂
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応力変位曲線は一般に線形挙動を示す。しかし、原位置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、図2に示すモデル岩盤供試体の実験及び理論解析より得られるクラックを有する岩石の応力変位関係式を、図1に示すような原位置平板載荷試験の荷重変位曲線へ適用し解析を行う。

2、モデル岩盤の解析

図2にあるモデル岩盤供試体の解析よりクラックを有する岩石の応力変位関係式は以下のように表わすことができる。[1][2]

$$\nu = \frac{a(\kappa + 1)}{2G} \{c_1 \Phi_1 p^m + (c_2 \Phi_1 + \Phi_2) p\} \quad \dots (1)$$

$$= AP^m + BP$$

ここで、 a はクラック長さ、 c_1, c_2, m は、クラック接触面の状態などによって決まる係数、 G はせん断剛性係数、 Φ_1, Φ_2 はクラックの形状によって決まる値、 $\kappa = (3 - \nu)/(1 + \nu)$ (平面応力状態、 ν : ポアソン比)、 $\kappa = 3 - 4\nu$ (平面歪状態)である。

モデル岩盤供試体のいくつかの荷重レベルに対する載荷除荷曲線の実験結果は図3の点線で表わされる。載荷曲線は、各荷重段階で同じ挙動(同じ荷重変位曲線)を示している。これは、モデル岩盤供試体の構造上の制約によりクラックが進展しない状態にあるため、クラック形状によって決まる係数 Φ_1, Φ_2 が一定であり、また、クラック接触面の状態などによって決まる係数 c_1, c_2, m も、載荷条件が等しいことから一定であることによる。除荷曲線を見ると、荷重段階によって異なった挙動を示しているのがわかる。クラック形状によって決まる係数 Φ_1, Φ_2 が一定であることを考えると、係数 c_1, c_2 の値は、荷重段階によって異なる値をとると考えられる。除荷の荷重の大きさによるクラック面の開き具合が違うことによる。このことを踏まえて式(1)の係数 c_1, c_2, m を実験結果にフィットするように決めることにより、解析結果は、図3の実線で表わすことができる。図2のモデル岩盤のクラック形状より Φ_1, Φ_2 の値は、わかっている。あるいは式(1)の A, B, m を実験結果にフィットするように決める。よくフィッティングできているのがわかる。

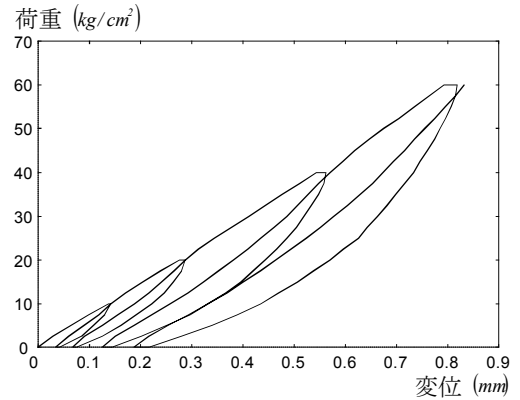


図1 原位置平板載荷試験における荷重変位曲線

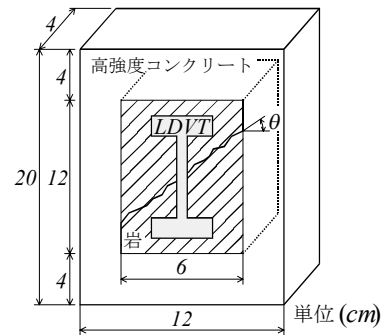


図2 モデル岩盤供試体

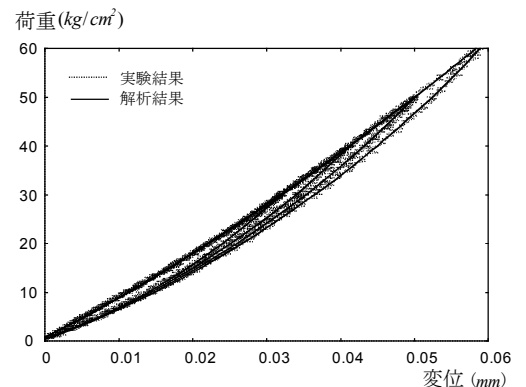


図3 モデル岩盤の各荷重段階の実験結果と解析結果

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

3、原位置平板载荷試験への応用

原位置平板载荷試験から得られる曲線は、図 1 を見るとわかるように、除荷再载荷部分の除荷載荷曲線と、処女載荷部分の包絡曲線に分けられる。除荷再载荷時の荷重変位曲線式は、クラックを有する岩石の応力変位関係式(1)より以下のように表わすことができる。

・ 載荷時

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

$$\equiv A_s P^m + B_s P + C_s$$

・ 除荷時

$$V_j = \frac{a(\kappa+1)}{2G} \{c_3 \Phi_1 p^m + (c_4 \Phi_1 + \Phi_2) p\} + C_j \quad \dots(3)$$

$$\equiv A_j P^m + B_j P + C_j$$

各荷重レベルの載荷除荷曲線を載荷時($P=0$)の変位を原点として重ねて書くと図 4 を得る。図 4 を見ると分かるように明らかにモデル岩盤供試体の実験結果図 3 とは異なった挙動を示しているのが分かる。これは、モデル岩盤供試体の場合は、屈折クラックの進展が無かったのに対して、原位置平板载荷試験では、処女載荷区間で岩盤内のクラックの破壊、進展が生じクラック形状の変化が影響しているためと考えられる。

モデル岩盤の解析より載荷荷重 P とクラックの進展に伴う形状係数 Φ_1, Φ_2 の関係を、以下のように表わすことができる。

ここに ϕ_{10}, ϕ_{20} は未知定数である。

$$\Phi_1 = \phi_{10} P^n, \quad \Phi_2 = \phi_{20} P^n \quad \dots(4)$$

この関係を用いることにより包絡曲線は以下ようになる。

$$V_h = \frac{a(\kappa+1)}{2G} \{c_1' \phi_{10} P^{m+n} + (c_2' \phi_{10} + \phi_{20}) P^{1+n}\} + C_h \quad \dots(5)$$

$$\equiv A_h P^{m+n} + B_h P^{1+n} + C_h$$

載荷除荷曲線は、式(2),(3)の各係数と乗数 m を試験結果にフィットするように決め、包絡曲線は、載荷時の乗数 m を用い各係数と乗数 n を決めることにより、図 1 の試験結果は図 5 のように表わすことができる。また、別地点の試験結果と解析結果を図 6,7 に示す。これからわかるように、原位置平板载荷試験の試験結果は式(2),(3),(5)を用いることにより良い精度で表わされる。

4、まとめ

モデル岩盤の解析より得られた応力変位関係式を用い、原位置平板载荷試験へ応用することにより、モデル岩盤供試体の解析結果同様に、良い精度で原位置平板载荷試験の試験結果を表わすことができた。今後は、曲線式の各係数、乗数との関係を、岩盤の岩種、岩級などを含めて考え、係数の物理的特性や規則性を明らかにしていきたい。

参考文献

- [1] 長谷部・川平等 第 54 回土木学会年次学術講演会第Ⅲ部門 1999,pp.658-659
- [2] 長谷部・川平等 土木学会中部支部研究発表会第Ⅲ部門 2000,pp.247-248

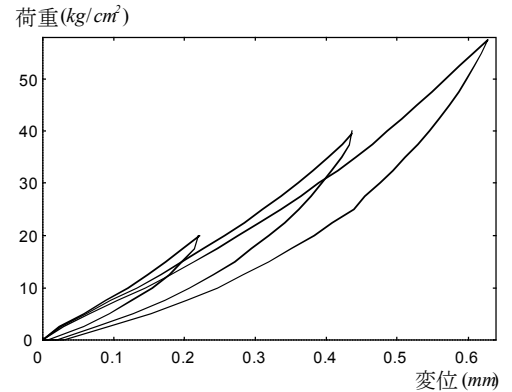


図 4 原位置平板载荷試験から得られる各荷重段階の載荷除荷曲線

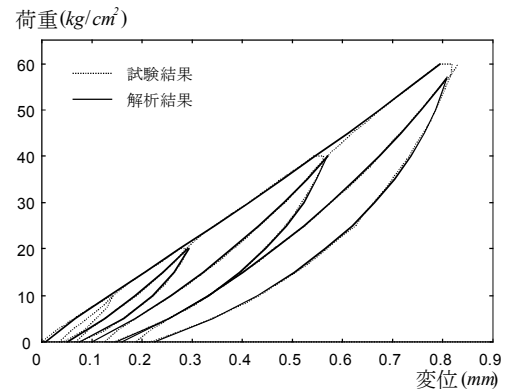


図 5 地点 1 の試験結果と解析結果

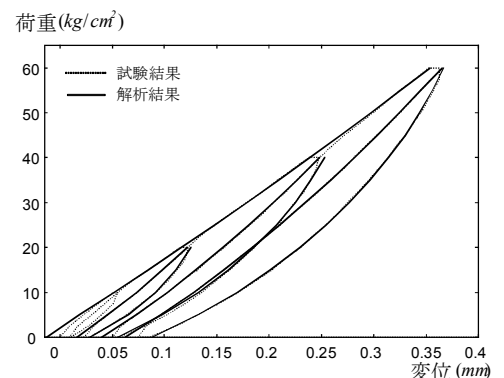


図 6 地点 2 の試験結果と解析結果

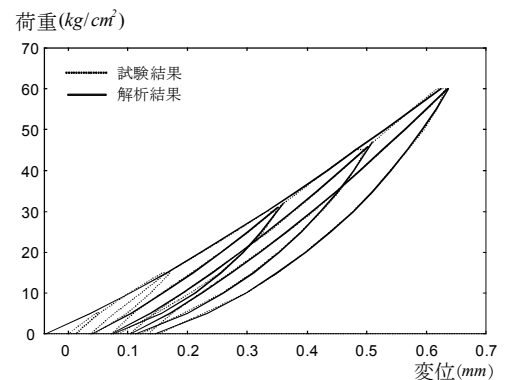


図 7 地点 3 の試験結果と解析結果