

硬質岩盤の載荷曲線・除荷曲線・包絡線に関する研究

名古屋工業大学大学院

丸山征彦

名古屋工業大学

正 員

長谷部宣男

中部電力

正 員

佐藤正俊 上田稔

1. はじめに

硬質岩盤は一般に不規則な割れ目を持ち、その応力変位挙動が非常に複雑な非線形性を示す(図1)ため、ダムなどの岩盤上や地下空洞内に作られる構造物の建設にあたっては現地において試験を行い、その特性を調べる必要がある。著者等は原位置平板載荷試験の応力変位の除荷・載荷曲線及び包絡線(処女曲線)に関し一連の研究を行い、その特性等に関する関係を見出した[1,2,3]。本研究では、新しいデータの追加等により、研究を更に推し進め、より信頼性の高い結果を得たため報告する。

2. 荷重変位曲線の基本式

図1の点線に示す原位置平板載荷試験の載荷・除荷曲線の応力変位曲線は以下の基本式で表わされる[1]。

・ 載荷曲線

$$V_s = \frac{a(\kappa+1)}{2G} \{c_1 \Phi_1 P^m + (c_2 \Phi_1 + \Phi_2) P\} + C_{s0}$$

$$\equiv A_s P^m + B_s P + C_{s0} \quad (1)$$

・ 除荷曲線

$$V_j = A_j P^m + B_j P + C_{j0} \quad (2)$$

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、 $\kappa = 3 - 4\nu$ (平面歪状態、 ν : ポアソン比)である。係数 A_s, B_s 等(以下 A, B と表わす)は、各係数をまとめたものであり、係数 C_{s0}, C_{j0} は、残留変形に関する値である。

・ 包絡曲線

式(1)においてクラックの形状によって決まる係数 Φ_1, Φ_2 は載荷荷重とともに変化している(破壊が進行している、クラックの進展)と考え、 P の関数として以下のよう置く。

$$\Phi_1 = \phi_{10} P^n, \Phi_2 = \phi_{20} P^n$$

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

$$= \frac{a(\kappa+1)}{2G} \{c_1 \phi_{10} P^{m+n} + (c_2 \phi_{10} + \phi_{20}) P^{1+n}\} + C_h \quad (3)$$

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

$$A_h P^n = A_s, \quad B_h P^n = B_s$$

ただしクラックの進展がない場合は、理論的に $n = 0$ である。

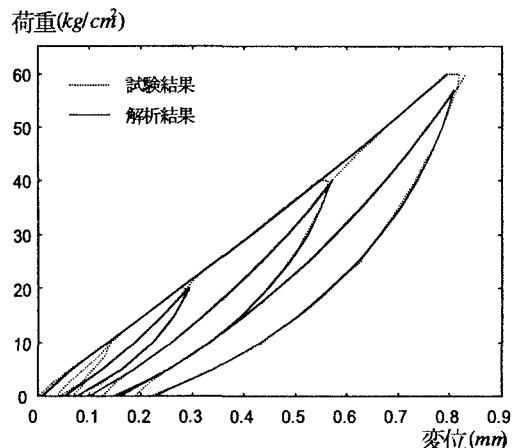


図1 原位置平板載荷試験の
応力変位曲線

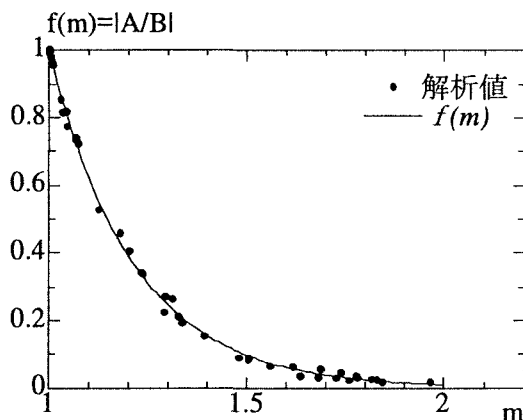


図2 除荷曲線の m と A_j/B_j の関係

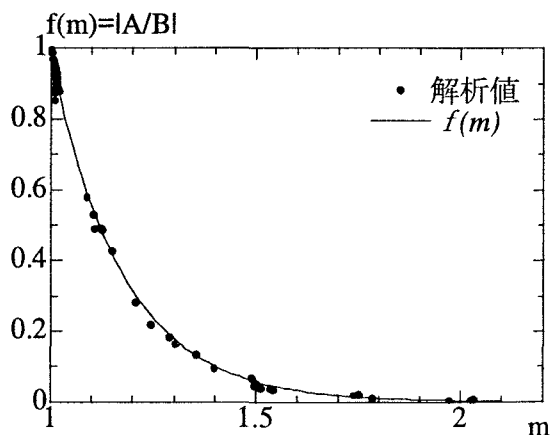


図3 載荷曲線の m と A_s/B_s の関係

3. 解析結果

(1), (2), (3)の基本式を用い平板載荷の試験値を表すことができ、また以下のような係数に指数関係があるとも分かっている[2]。

本研究では、岩種、岩級の異なる18ヶ所で108個の原位置平板載荷試験の結果を式(1), (2), (3)の基本式を用いて表わした。応力変位曲線の一例を図1の実線に示す。よい精度であらわされているのがわかる。また得られた m と A/B について整理すると、載荷、除荷、包絡曲線の各係数の関係は、図2, 3, 4の●で表わされる。

A/B の絶対値 $(=|A/B|)$ は m が増大するに従い減少する傾向にあり、この関係を式(4)の指数関数で、それぞれの図の●のデータを用いて最小2乗法で α, β を決めると、図2, 3, 4の曲線、それらを一つの図中に示すと図5のように表わされる。

$$f(m) = \frac{A}{B} = -e^{\alpha + \beta m} \quad (4)$$

ただし、 $(|r|)$:相関係数)

包絡曲線 $\alpha = 5.38782, \quad \beta = -5.60141, \quad |r| = 0.9627$

載荷曲線 $\alpha = 5.53597, \quad \beta = -5.59433, \quad |r| = 0.9961$

除荷曲線 $\alpha = 4.47104, \quad \beta = -4.47240, \quad |r| = 0.9984$

包絡曲線と載荷曲線の場合の $|A/B|$ と m の関係は極めて近いことがわかる。

4. $f(m) = A/B$ の関係を用いた場合

式(2)に式(4)を適用すると以下のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} V_s &= A_s P^m + B_s P + C_s \\ &= (f(m)P^m + P)B_s + C_s \end{aligned} \quad (5)$$

他の曲線式についても上式のような形で表わされる。この関係式の m, B を誤差の最小2乗法で決めることにより図1の試験結果は、図6の実線のように表わすことができる。図1の解析結果同様によくフィットしているのがわかる。

5. まとめ

今回の研究では、荷重変位曲線の基本式を用い解析を行い、

それぞれの係数の間の式(4)の関係を文献[1]よりも高い相関で得た。また、式(5)を用いてより良い精度で原位置平板載荷試験の試験結果を表わすことができた。今後は、岩種、岩級での m, B の値を比較検討することによりそれぞれの場合の特性を明らかにしていきたい。

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] 長谷部・川平等 第56回土木学会年次学術講演会第III部門 2001, pp.554-555
- [3] 長谷部・伊藤等 第57回土木学会年次学術講演会公演概要集III-453 2002年

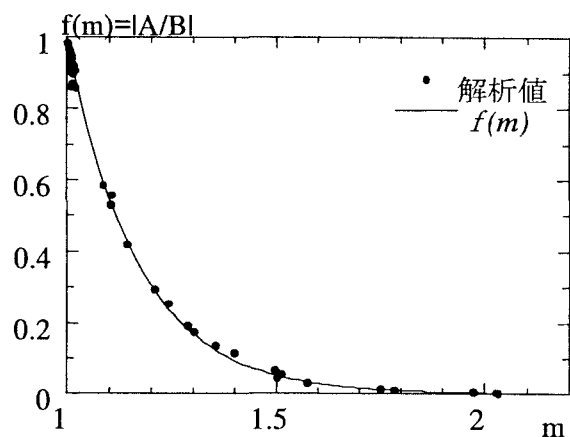


図4 包絡曲線の m と A/B の関係

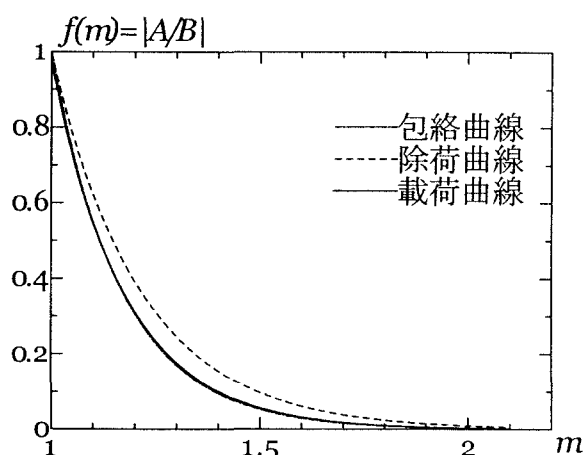


図5 各曲線の m と A/B の関係

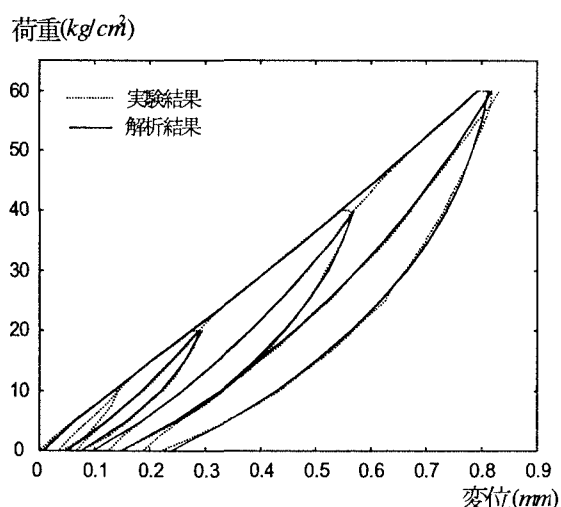


図6 $f(m) = A/B$ の関係を用いた場合の解析結果と試験結果