# 硬質岩盤の変形特性に関する研究(その2)

名古屋工業大学　正員　長谷部宣男　学生会員　齋藤貴彦
徳倉建設株式会社　正員　川平　照穂
中部電力　正員　佐藤正俊　正員　上田稔

## １．はじめに

ダムや地下空洞など岩盤上や岩盤内に建設される構造物の設計にあたっては、硬質岩盤の応力変位挙動を把握する必要がある。一般に硬質岩盤はさまざまな割れ目や不均質性を有し、さらにこの割れ目が挙動に対して支配的である。このため岩盤を構成している岩石の応力・変位曲線が線形弾性挙動を示すのに対し、岩盤の変形や応力の伝播状態は図１点線のような非線形の非常に複雑な挙動を示す。また通常の材料のように室内実験によって得られた特性値を直接実際の岩盤の設計に用いることはできない。

そこで重要構造物を建設する際には，現地で岩盤に水平トンネルを掘りその中で原位置試験を行うことにより，岩盤の変形係数やせん断強度を知り，その値を基本として基礎設計が行われている。この原位置試験は，大型で高価な費用を必要とし，さらに場所的制約を受けるといった問題点も存在する。本研究ではこれらの問題点の克服への試みとして岩種, 岩級の異なる１７ヶ所で98個の原位置平板載荷試験の試験結果を，理論的に導いた基本式に表し，得られた各係数を比較，検討することによって硬質岩盤の応力変位曲線を解析する。

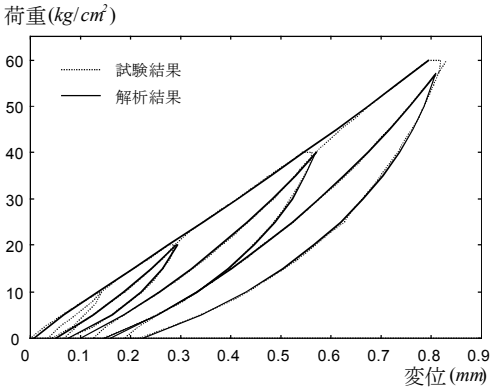

図１ 原位置平板載荷試験の試験結果と解析結果

## 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、包絡曲線の荷重変位曲線は以下の基本式で表わされる。

・包絡曲線

$$V_h = \frac{a(\kappa+1)}{2G}\left\{c_1\Phi_1 p^m + (c_2\Phi_1+\Phi_2)p\right\} + C_h$$
$$= \frac{a(\kappa+1)}{2G}\left\{c_1\phi_{10} p^{m+n} + (c_2\phi_{10}+\phi_{20})p^{1+n}\right\} + C_h \quad \cdots(1)$$
$$\equiv A_h P^{m+n} + B_h P^{1+n} + C_h$$

・載荷曲線

$$V_s = A_s P^m + B_s P + C_s \quad \cdots(2)$$

・除荷曲線

$$V_j = A_j P^m + B_j P + C_j \quad \cdots(3)$$

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、$\Phi_1, \Phi_2$はクラックの形状によって決まる値で、岩盤の破壊とともに荷重$P$によって変わり、$\Phi_1 = \phi_{10}P^n, \Phi_2 = \phi_{20}P^n$としている。$\kappa = 3-4\nu$（平面歪状態，$\nu$：ポアソン比）である。係数$A_h, B_h$等(以下$A, B$と表わ

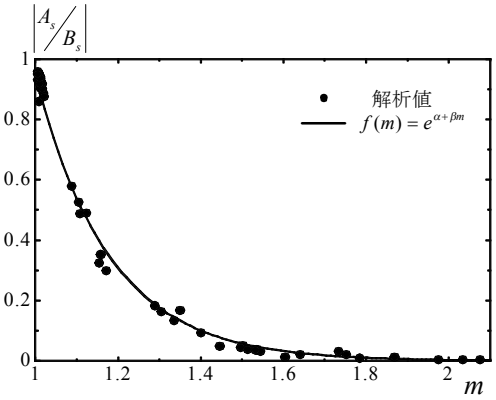

図２　載荷曲線の$m$と$A_s/B_s$の関係

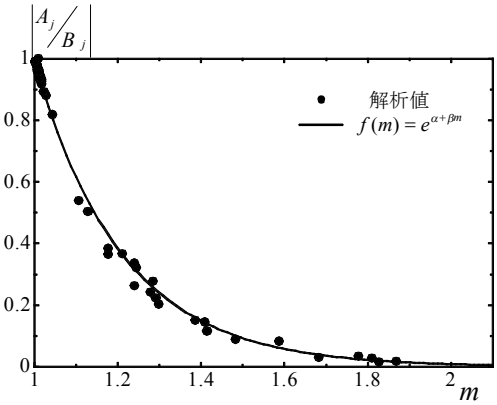

図３　除荷曲線の$m$と$A_j/B_j$の関係

キーワード：原位置平板載荷試験、硬質岩盤、荷重変位曲線、包絡曲線
連絡先：〒466-0061　名古屋市昭和区御器所町　tel 052-735-5482　fax 052-735-5482

す)は、式(1)等の各係数をまとめて表わしたものであり、係数$C$は、残留変形を考慮した値である。

## 3．解析結果

上式のそれぞれの曲線式の各係数を試験結果にフィットするように決めることにより、載荷除荷曲線、包絡曲線の解析結果は図１の実線のように表わすことができる。よくフィッティングできているのがわかる。本研究では、岩種，岩級の異なる１７ヶ所で 98 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。得られた乗数$m$、係数$A,B$の関係を調べる。一つとして$m$と$A/B$について整理すると、載荷除荷曲線、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$\left(=\left|A/B\right|\right)$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 ● にフィットするように最小２乗法で$\alpha,\beta$を決めると、図 2,3,4 の実線、それらを一つの図中に示した図 5 が得られる。

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

ただし、　包絡曲線　$\alpha=5.38782,\quad \beta=-5.60141$

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

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

ここで、載荷除荷曲線は、さらに$m=1$、$\left|A/B\right|=1$を通るとして係数$\alpha,\beta$を決めると、図 6 の結果が得られる。包絡曲線と載荷曲線の場合の$\left|A/B\right|$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。

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

他の曲線式についても上式のような形で表わされる。この関係を用いて図 1 の試験結果は、$m,B$を誤差の最小 2 乗法で決めることにより図 7 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に式(4)のような関係があることがわかった。また、式(5)を用いても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、より多くの地点の試験結果を解析し、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。

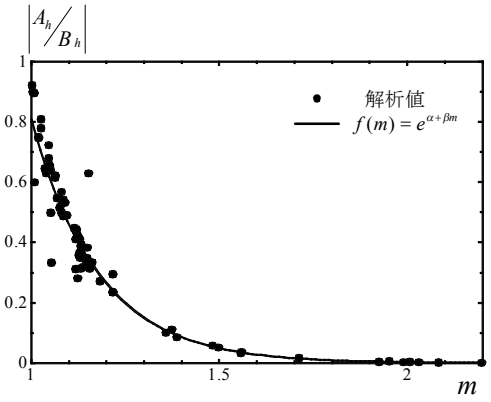


図４　包絡曲線の$m$と$A_h/B_h$の関係

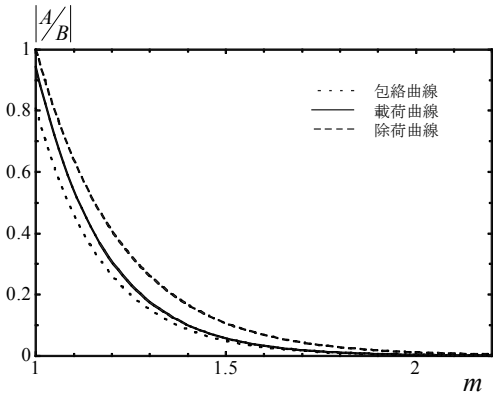


図５　各曲線の$m$と$A/B$の関係

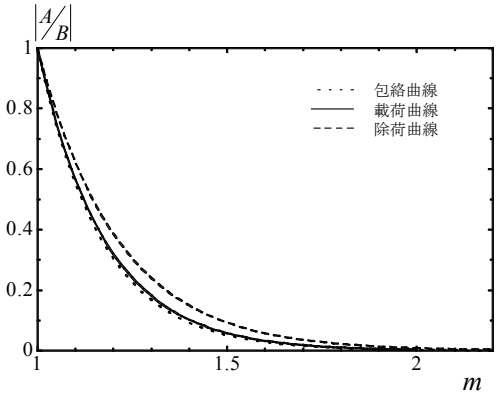


図６　(1,1)を通る場合の$m$と$A/B$の関係

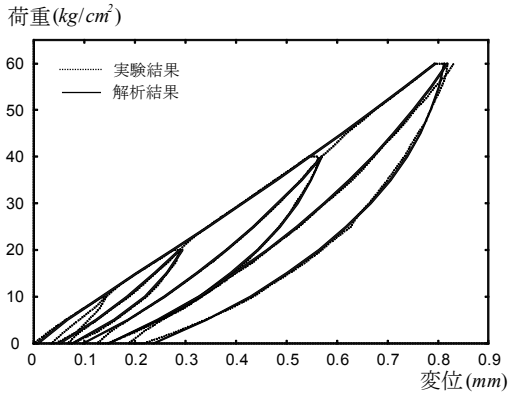


図７　f(m)= A/B の関係を用いた場合の解析結果と試験結果

参考文献

[1] 川平・長谷部等 第 54 回土木学会年次学術講演会第Ⅲ部門 1999,pp.658-659

[2] 川平・長谷部等 土木学会中部支部研究発表会第Ⅲ部門 2000,pp.247-248

[3] 長谷部ら 第 50 回理論応用力学講演会 2001