

硬質岩盤の原位置平板载荷試験において载荷応力中心値を一定として
除荷・载荷した場合の応力変位挙動に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生員 井上直史
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

岩盤上・内にダムや地下空洞などの構造物を建設する際には、硬質岩盤の応力変位挙動を把握する必要がある。一般に硬質岩盤にはさまざまな割れ目や不均質性があり、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、岩盤のそれは非線形で非常に複雑な挙動を示す。この原因は岩盤内における初期クラックの存在、その初期クラックから発生する屈折クラックの進展、クラック接触面に働く法線方向応力のあり方、によるものと考えている。

2. 試験概要と目的

通常の载荷パターンの原位置平板载荷試験（図1，以下 A 試験と呼ぶ）に対し，本研究で対象とする試験方法は载荷応力の中心値を一定とし，そこから応力振幅を変化させる载荷パターンの試験(図1，以下 B 試験と呼ぶ)である。通常，原位置平板载荷試験では中・大振幅領域の弾性係数の評価は可能であるが，弱地震による地震波や弾性波から得られるような微小振幅領域の弾性係数の評価は困難とされている。B 試験ではその微小振幅領域の弾性係数を試験結果から直接求めることを目的としている。しかし，実際の微小振幅領域の弾性係数を求めるにはこの試験で得られる振幅領域よりも小さい振幅領域が必要である。ここではまず，図3に示す载荷応力中心値を 30kgf として応力振幅を変化させたときの応力変位関係について考察する。

3. 応力変位曲線の基本式の適用

原位置平板载荷試験の除荷・载荷曲線は以下の基本式で表されることがわかっている[1][2]。

・ 载荷曲線 $V_s = A_s P^m + B_s P + C_s \quad \cdots (1)$

・ 除荷曲線 $V_j = A_j P^m + B_j P + C_j \quad \cdots (2)$

上式は平面歪状態として考えられており，各係数 A, B には，クラックの長さ，クラック接触面の状態な

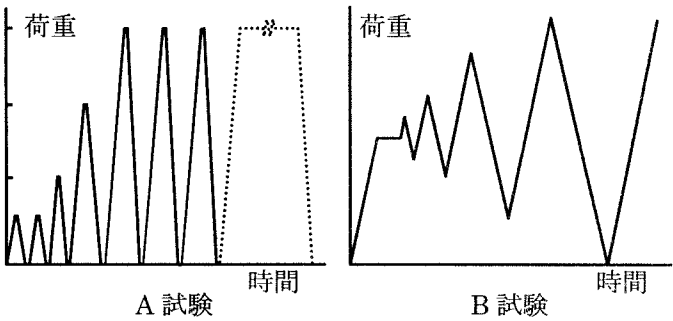


図1 各試験の载荷パターン

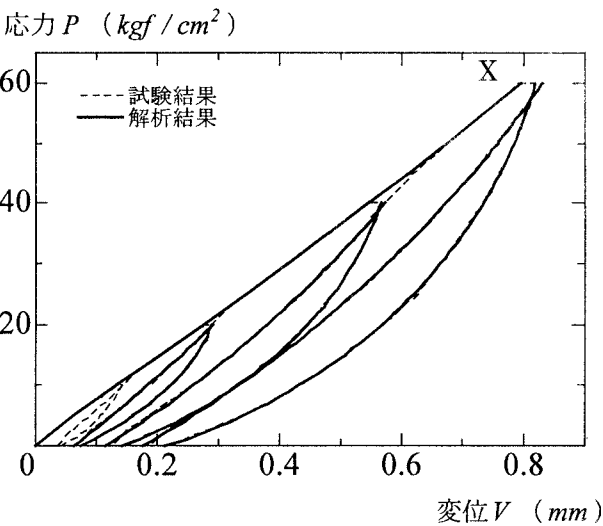


図2 A 試験の試験結果と解析結果

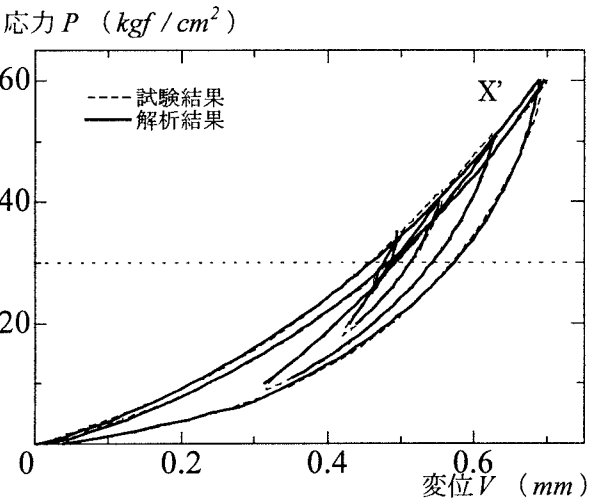


図3 B 試験（試験载荷応力中心値 30kgf で一定）の試験結果と解析結果

どによって決まる値、せん断剛性係数、クラックの形状によって決まる値、ポアソン比などの因子が含まれている。定数 C は残留変形を考慮した値である。

図2における包絡線0-Xは式(1)、(2)とは別の、クラックの進展を考慮した式で表してある。B試験はA試験を一度行った後、同じ場所、同じ最大荷重で実施されており、対象サイトの岩盤は既に大きな荷重を経験していることになる。さらに、最大荷重の半分の荷重まで一気に載荷してから除荷・載荷を各振幅レベルで行っている。このため、B試験の間に新たな破壊はないと考えられる。

係数 A, B についてA試験結果より式(3)の指数関係があることがわかっている^[2]。その結果を図4に示す。

$$f(m) = \left| \frac{A}{B} \right| = -e^{\alpha + \beta m} \quad \cdots (3)$$

これにより m が決定されれば $|A/B|$ の値も決まることから、 m と A, B は常に密接な関係にある。ここで m はその個所の岩盤から決まる値と考えられ、A試験で決まった m の値を用いて解析する。

4. 解析結果

図3の各々の除荷載荷曲線の試験値を用いて式(1)、(2)それぞれの各係数を試験結果にフィットするように決めることで、除荷載荷曲線の解析結果は図2の実線のように表すことができる。このときの m に対する $|A/B|$ の値を図4にプロットするとA試験の $m-f(m)$ 関係式上にほぼ乗る値を示す。B試験においても式(3)の関係を利用してフィッティングを行うことができると考えられる。式(3)を適用することで式(1)、(2)は式(4)の形で表すことができる。

$$V = (f(m)P^m + P)B + C \quad \cdots (4)$$

式(4)を用いることで m, B の値がわかれば、曲線式を決定できることになる。この式(4)を用いてフィッティングさせたものが図5の実線部分である。多少のずれはあるものの、ある程度精度良くフィッティングされている。

5. まとめ

本研究では、特殊な原位置平板載荷試験(B試験)から得られる応力変位曲線に対して式(1)、(2)のような基本式を用いて解析を行った。また、各係数間に存在する式(3)の関係から式(4)を用いる方法でも解析を行い、どちらの場合でも良い精度で応力変位曲線の試験結果を表現することができた。今後、このB試験の解析結果における各係数 A, B, m の関係をj利用して、より小さい振幅領域(微小振幅領域)の応力変位挙動を求める。これにより、微小振幅領域の弾性係数を直接算出し、また、硬質岩盤の弾性係数の応力振幅依存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 2001, pp.552-553
- [2] 川平・長谷部等 第56回土木学会年次学術講演会 2001, pp.554-555

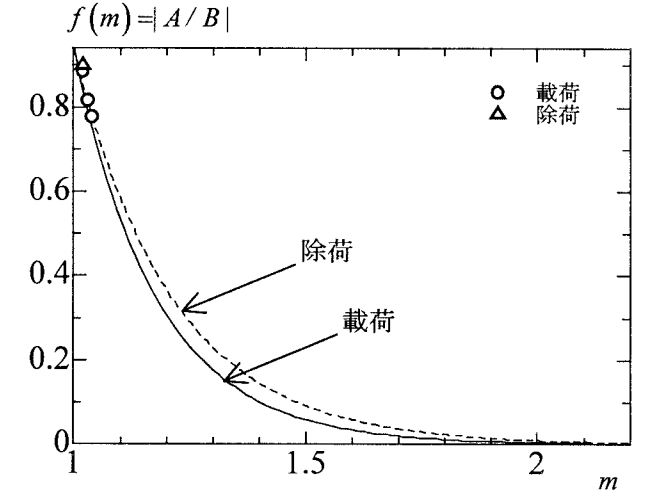


図4 m と $|A/B|$ の関係
応力 P (kgf/cm²)

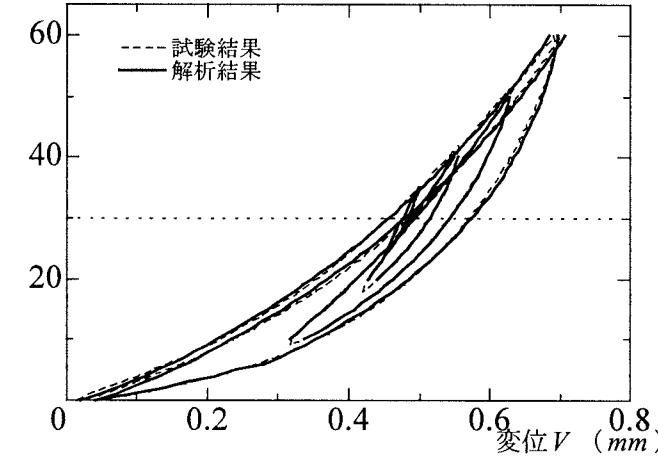


図5 $f(m)=|A/B|$ の関係を用いた場合の
試験結果と解析結果