

平板載荷試験における硬質岩盤の残留変位に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○永田健
 名古屋工業大学 正員 長谷部宣男

1. はじめに

岩盤上や岩盤内に建設される構造物の設計にあたって、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、この割れ目が変位挙動に対して支配的な因子である。また、岩盤を構成している岩石の応力—ひずみ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発生状態は非線形の複雑な挙動を示す。このため、通常材料のように岩石室内実験によって得られた特性値を直接実際の設計に用いることはできない。そこで岩盤の支持力や変形量を知るために、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。本研究では平板載荷試験における包絡線と各荷重段階において行われる除荷載荷の載荷曲線との関係に着目して残留変位について調べる。

2. 原位置平板載荷試験

原位置平板載荷試験として図1に示す荷重の載荷除荷を与えることによって図2に示す荷重—変位曲線が得られている。岩盤に荷重を載荷、除荷して荷重を $0(\text{kgf/cm}^2)$ にしても変位は $0(\text{mm})$ にもどらずある変位量が残る。この変位を残留変位と呼ぶ。図3には平板載荷試験から得られた残留変位 C_{sp}

(後述)を横軸に、除荷をはじめる荷重を縦軸にとった関係をしめす。岩級の低い岩盤ほど残留変位が大きい。これらの荷重と残留変位の関係について調べる。

3. 理論式の導入

硬質岩盤の応力変位曲線は以下の式で表される¹⁾。

・ 載荷曲線 (図2 参照)

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

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

$$A_s = \frac{a(k+1)}{2G} c_1 \Phi_1 \quad B_s = \frac{a(k+1)}{2G} (c_2 \Phi_1 + \Phi_2)$$

・ 包絡線

$$V_h = \frac{a(k+1)}{2G} \{c_{1h} \Phi_1 P^m + (c_{2h} \Phi_1 + \Phi_2) P\} + C_h \quad \dots (2)$$

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

$$A_h = \frac{a(k+1)}{2G} c_{1h} \phi_1 \quad B_h = \frac{a(k+1)}{2G} (c_{2h} \phi_1 + \phi_2)$$

ここに G , k はクラックを含んだ岩盤全体のせん断弾性定数とポアソン比による関数 (平面ひずみ), Φ_1 , Φ_2 はク

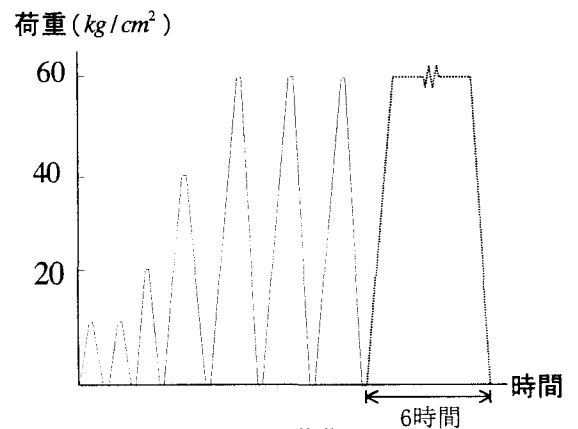


図1 載荷パターン

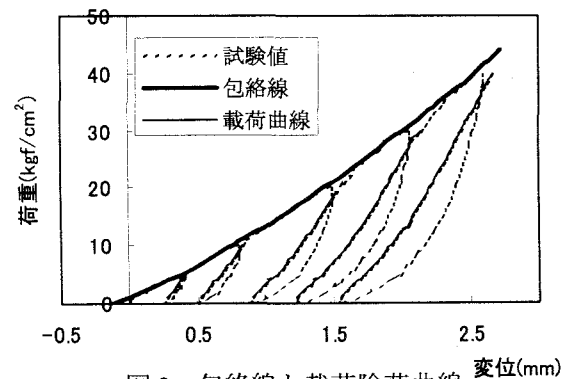


図2 包絡線と載荷除荷曲線

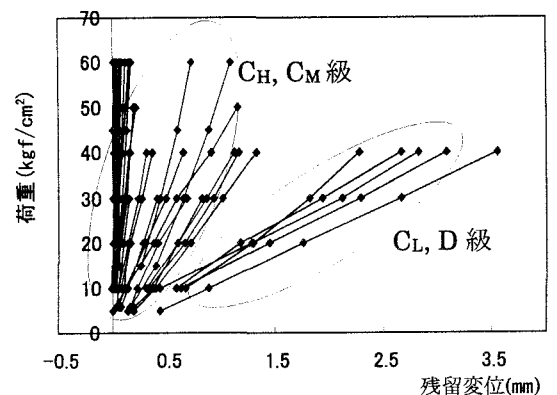


図3 荷重と残留変位の関係

ラックの形状に依存する係数, c_1, c_2, m はクラック面に依存する係数である。また Φ_1, Φ_2 は荷重とともに変化する値であるので除荷を始める荷重を P_p として $\Phi_1 = \phi_1 P_p^n$, $\Phi_2 = \phi_2 P_p^n$ と表され各荷重段階の載荷曲線の係数 A_s, B_s は

$$A_s = \frac{a(k+1)}{2G} c_1 \phi_1 P_p^n \quad B_s = \frac{a(k+1)}{2G} (c_2 \phi_1 + \phi_2) P_p^n \quad \cdots (3)$$

と P_p の関数として表すことができる。よってある一つの荷重段階の A_s, B_s から任意の荷重段階の A_s, B_s を求められることになる。

4. 載荷荷重と残留変位について

式(1), (2) を用いて残留変位の式を考える。図4は包絡線を式(2)で表したときの定数項 C_h とある P_p から除荷載荷した時の載荷開始時の残留変位 C_s を示す。残留変位は C_s より各荷重レベルでの5分間の一定荷重時間に生ずるクリープ変位 δV_p に関する量を引いた量で C_{sP}' と表すことにする。包絡線と載荷曲線ではともに同じ圧縮荷重下にあることより $c_1 = c_{1h}$ と考え、以下の式(4)が得られる。

$$(V_{sP} - V_h = \delta V_p, \quad C_s - \delta V_p = C_{sP}' \text{ とおく})$$

$$C_s - \delta V_p = \frac{a(k+1)}{2G} (c_{2h} - c_2) \Phi_1 P + C_h$$

$$= \left(B_h - \frac{B_{sP}}{P_p^n} \right) P_p^{1+n} + C_h \quad \cdots (4)$$

5. 解析結果

ある載荷曲線と包絡線を最小二乗法でフィッティングすることにより求めた係数のうち B_h, B_{sP}, C_h, n を使い、式(4)に代入し残留変位の理論値を得る。図5のように最適値と比較した。ここで最適値とは載荷開始時の変位に下クリープ量を考慮した残留変位を表す。

図6に式(4)で求められる C_s と式(3)から求められるある荷重段階の A_s, B_s を用いて載荷部分理論曲線を示す。

6. まとめ

平板載荷試験の包絡線の式の係数とある載荷曲線の係数があれば任意の荷重段階に対する残留変位が求まる。また、残留変位の式と包絡線の式がわかれば、任意の荷重からの除荷開始点、終点（載荷開始点）が求まり割線弾性定数が表現できる。さらにその荷重での A_s, B_s も求まり載荷曲線が描ける。

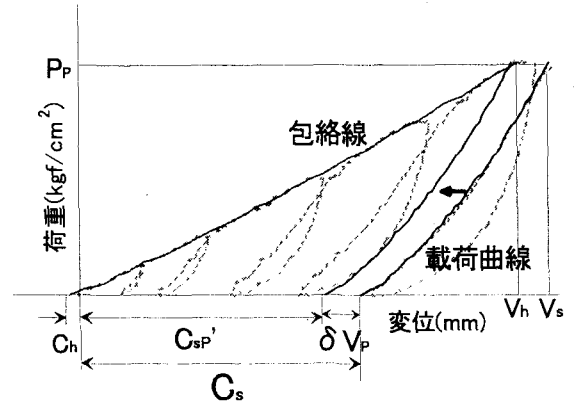


図4 荷重と変位の関係

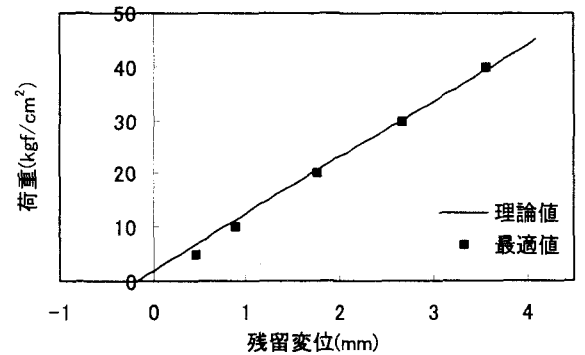


図5 解析結果

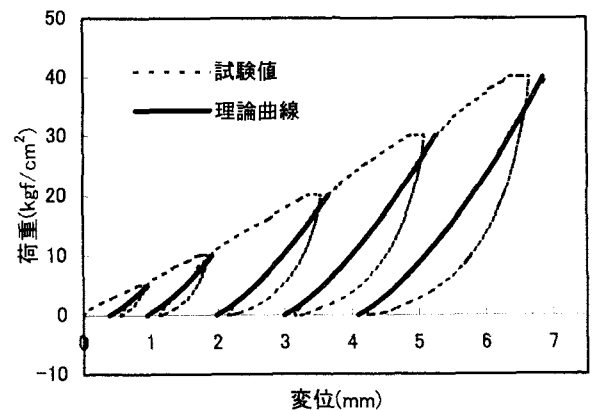


図6 試験値と理論曲線

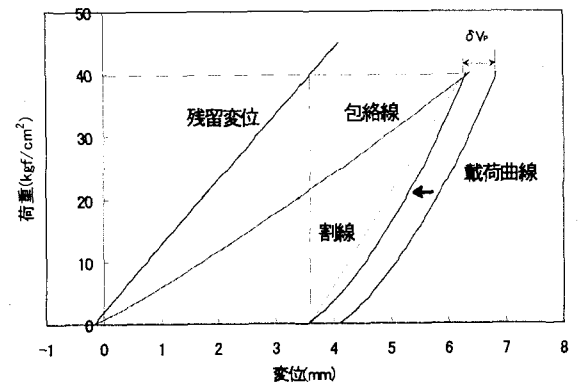


図7 載荷曲線と残留変位の理論曲線