

硬質岩盤の弾性係数の応力振幅依存性と載荷中心依存性

鹿島建設(株)	正会員	井上直史
名古屋工業大学	正会員	長谷部宣男
中部電力(株)	正会員	佐藤正俊 上田稔

1. はじめに

岩盤上・内に建設される構造物の設計にあたっては、岩盤の力学的性質、特に弾性係数の的確な評価が不可欠である。硬質岩盤の弾性係数は通常原位置平板載荷試験より求められるが、測定の精度上、中～大振幅領域の弾性係数しか求めることができない。また岩盤内部の不連続面や不均一性のためにその荷重変位曲線は非線形で非常に複雑な挙動を示し、試験結果にはばらつきが多く、限られた個数の原位置試験から地点を代表する弾性係数を十分な信頼度を持って評価することはかなり難しいのが実状である。本研究では硬質岩盤の原位置平板載荷試験による荷重変位曲線の基本式を応用し、微小振幅領域の弾性係数を求める方法を提案し、弾性係数の応力振幅依存性と載荷中心依存性について考える。

2. 岩盤ブロック・モデル岩盤の弾性係数について

実際の岩塊より切り出した岩盤ブロックと、ボーリングコアより切り出した天然割れ目(1ヶ所)を有する岩石を供試体中央に配置し、その周囲を高強度モルタルで整形したモデル岩盤を用いて、ある載荷応力(荷重)を中心にして、そこから応力(荷重)振幅を変化させる載荷パターンで一軸圧縮試験を行い、各応力振幅時の弾性係数を求めた。図1にモデル岩盤の弾性係数(E)と応力振幅 b の載荷応力中心値 σ_0 に対する比(b/σ_0)との関係を示す。図1より、弾性係数の値は載荷応力中心値と応力振幅によって大きく異なっている。ある載荷応力中心値のときの弾性係数の値の変化に注目すると、応力振幅が小さいほど弾性係数が大きい値となっているのがわかる。(応力振幅依存性) この性質は割れ目が1個のモデル岩盤に見られることから、割れ目の存在に起因するものと考えられ、また岩盤ブロックでも同様の結果が得られているので、多数の割れ目が存在する場合にもこの関係があることがわかる。

3. 硬質岩盤の弾性係数の応力振幅依存性

通常の平板載荷試験とは異なり、ある載荷応力(荷重)中心値に対し、そこから応力(荷重)振幅を変化させる載荷パターンの試験(図2、以下C試験)も一部行われている。これまでの研究で、以下の平板載荷試験の除荷載荷曲線の荷重変位関係の基本式(1)、(2)がC試験結果にも適用できることがわかっている。[1,2,3]

$$\text{載荷曲線 } V_s = A_s P^{m_s} + B_s P + C_{s0} \quad \cdots (1) \quad \text{除荷曲線 } V_j = A_j P^{m_j} + B_j P + C_{j0} \quad \cdots (2)$$

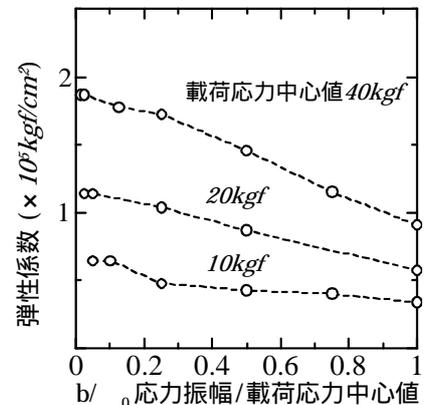


図1 モデル岩盤の弾性係数

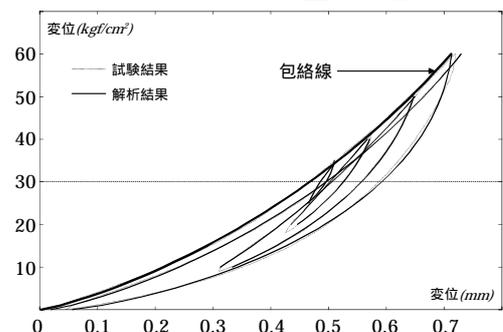


図2 C試験結果とその解析結果

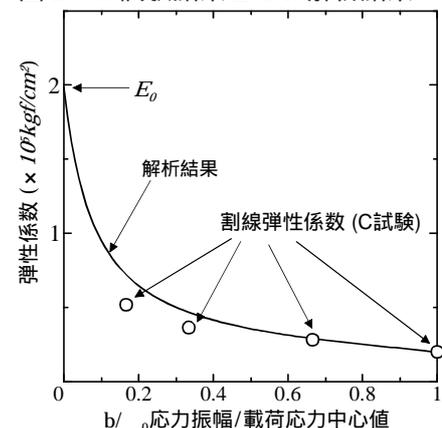


図3 C試験の弾性係数の応力振幅依存性

キーワード：硬質岩盤，弾性係数，原位置平板載荷試験，荷重変位曲線，応力振幅依存性，載荷中心依存性

連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 社会開発工学科 Tel：052-735-5482 Fax：052-735-5482

C試験の各荷重段階における割線弾性係数 E_s と $b/0$ の関係を図3にOEPで示す。岩盤ブロック・モデル岩盤の場合と同様、硬質岩盤の弾性係数値も応力振幅によって異なる傾向が見られる。C試験結果から得られる荷重変位曲線の各荷重段階のループを基準化(最大変位,最大荷重で除した値で表示)すると,図4のようになり,除荷の基準化曲線がそれぞれほぼ同一の曲線上にあり,各荷重段階の除荷基準化曲線が最大荷重段階の除荷基準化曲線で表すことができることがわかる。包絡線(図2)上の除荷開始点,これと最大荷重段階の除荷基準化曲線より除荷終了点を決定することにより,任意の応力振幅における弾性係数を求めることができる。各応力振幅時の弾性係数の解析結果は図3の実線で示される。C試験の E_s の変化(OEP)と近い曲線で表されることがわかる。通常の平板載荷試験においては,図5の実際の荷重変位曲線とその基準化曲線の関係より,各荷重段階の除荷曲線(図5実線)の除荷開始点・終了点の勾配を求め,応力振幅 $b=0$ とした極限を求めると,微小振幅領域の弾性係数 E_0 は式(1),(2)を用いて以下の式(3)ようになる。なお,式(3)の a は載荷板半径, ν はポアソン比である。

$$E_0 = \frac{\pi a(1-\nu^2)}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{V_p}{A_s \sigma_0^{ms} + B_s \sigma_0} \times \frac{1}{m_j A_j P_p^{m_j-1} + B_j} \dots (3)$$

式(3)は除荷曲線の頂点の接線勾配(第4項分母),各荷重段階の除荷載荷曲線の頂点変位(V_p),載荷曲線の載荷応力中心値の変位(第3項分母)で表されている。これらの値は原位置平板載荷試験の除荷載荷曲線から直接読み取ることもでき,係数 A や B の値がわからなくても E_0 の値は計算できることを示す。

4. 硬質岩盤の弾性係数の載荷中心依存性

図6に弾性係数の載荷中心依存性を示す。載荷応力中心値(載荷応力)によって E_s はさほど変化はないが, E_0 は変化がより顕著で,載荷応力中心値とともに大きい値となっている。岩盤本体で考えると,自重が大きいほど,もしくは地表面からの距離が深いほどクラックが閉じて変形しにくくなり,弾性係数が大きくなることを意味する。つまり深さ方向に弾性係数は変わる。またその影響は微小振幅ほど大きい。

5. 結論

本研究では弾性係数の応力振幅依存性と載荷中心依存性が原位置平板載荷試験で得られる弾性係数にも存在することを証明し,微小振幅領域の弾性係数 E_0 を求める式(3)を荷重変位曲線の基本式を応用して導いた。また式(3)より E_0 が原位置平板載荷試験の除荷載荷曲線から求められることを示した。

【参考文献】

[1] 井上・長谷部等 第57回土木学会年次学術講演会 2002, -454 [2] 川平・長谷部等 第56回土木学会年次学術講演会 2001, pp.552-553 [3] 井上・長谷部等 土木学会中部支部平成13年度研究発表会 2002, -26

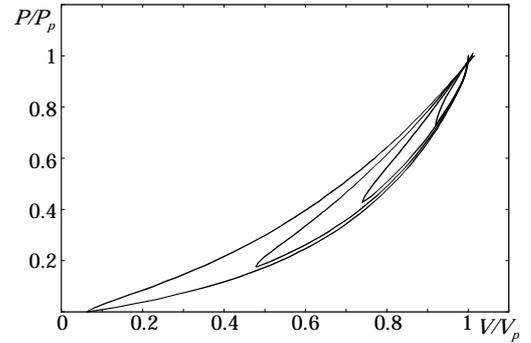


図4 C試験の各ループの基準化曲線

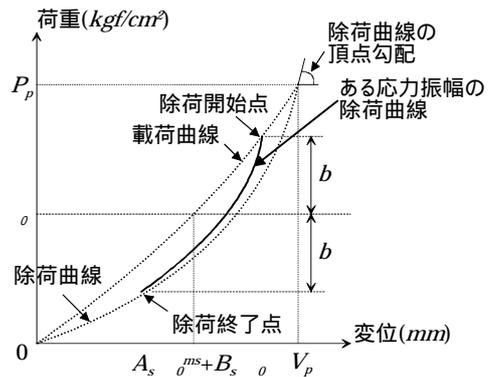
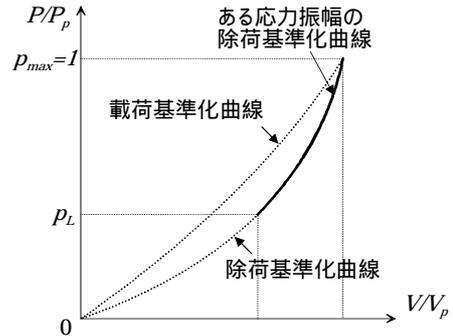


図5 通常の平板載荷試験の除荷曲線とその基準化曲線

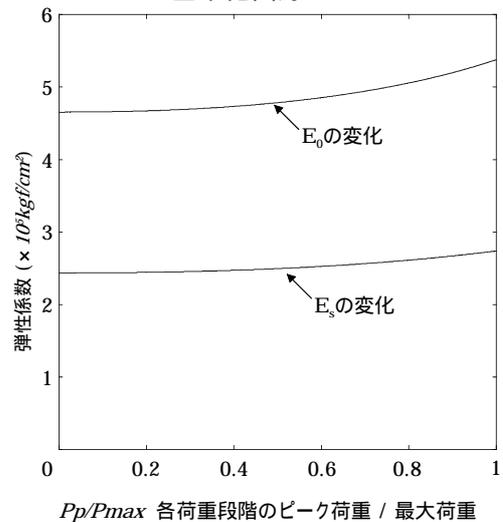


図6 載荷応力中心値による弾性係数の変化