

京都大学工学部 正 員 島 昭治郎
 京都大学工学部 正 員 谷本 親伯
 京都大学工学部 学生員 ○松崎 聡

1. はじめに

弾性波探査によって得られる弾性波伝播特性は、岩盤中の亀裂状態を評価するための一指標として用いられている。そこで本研究では、単一の不連続面を含む岩石の円柱供試体を用いて一軸載荷試験を行い、力学的挙動と弾性波伝播特性との関係を定量的評価した。

2. 一軸載荷状態での弾性波伝播挙動

使用した供試体は和泉山脈北部から得られた花崗岩である。約50mm径のボーリングコアから採取された岩石柱の中から、自然状態で単一のジョイントを含むものを選んで約100mmの長さに整形した。その供試体に一軸載荷試験を行い、垂直応力 σ とジョイント変形量 u との関係を調べ、次式で近似できた。(図1)¹⁾

$$u = a + b \cdot \ln \sigma \quad (a, b \text{ は定数})$$

それと同時に弾性波試験を行った。供試体両端面に圧電素子を取り付けてパルスジェネレーターで圧電素子を振動させ、オシロスコープにより波形を読みとった。また、圧電素子の配置を変えることによりP波、S波とも観測することができた。波形データとしては、伝播時間、最大振幅、減衰定数の三つのパラメータを観測した。伝播時間より弾性波速度が求まるが、それと垂直応力との関係を示したものが図2である。これよりジョイント閉合に伴い弾性波速度が最初急増し、 $\sigma = 50 \text{ kgf/cm}^2$ ぐらいから一定値に落ちつくことがわかる。これは弾性波が二つの素子間の最短距離を通過すると考えてよく、そのためジョイントが閉合して接触面積も増加するため、最短距離が短くなり速度が増加すると考えられる。またP波とS波の速度の比(v_p/v_s)を考えると、図3のように $\sigma = 50 \text{ kgf/cm}^2$ ぐらいまではジョイントの影響も大きく少し大きな値を取るが、それ以上になると2.0 ぐらいの値に収束していくことがわかる。この比はジョイント閉合の状態を表すのに有効であると思われる。次に、最大振幅をジョイントを持たない供試体のそれで除したものを振幅比と定義

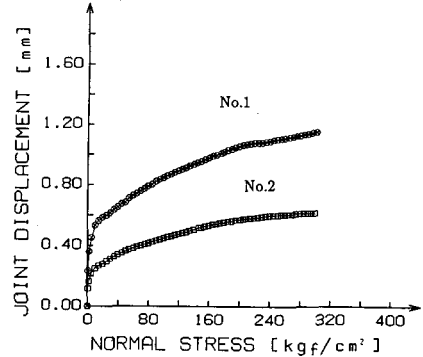


図1 垂直応力とジョイント変形量

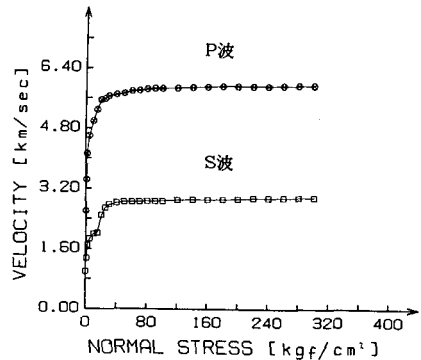


図2 垂直応力と弾性波速度

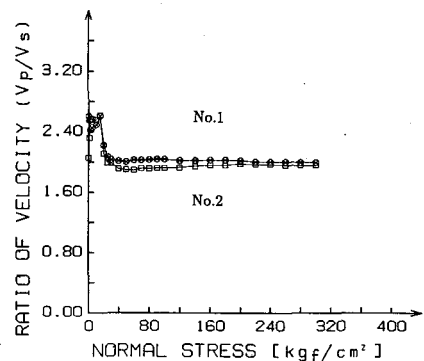


図3 垂直応力と速度の比

する。この時振幅比と垂直応力との関係を示したものが図4である。これよりジョイント閉合に伴い振幅比は増加するが、振幅比が接触面積に正比例すると仮定することから説明できる。このことからジョイントの接触面積を振幅比により間接的に求めることも可能であると思われる。次に、減衰定数をジョイントを持たない供試体のそれで除したものを減衰定数比と定義する。この時減衰定数比と垂直応力との関係を示したものが図5である。これもジョイント閉合に伴い増加していくが、これは垂直応力が小さい時は弾性波が亀裂や空隙のために迂回するため離散的に伝播し時間的に減衰は小さいが、垂直応力が増加すると迂回する弾性波も少なくなり時間的な減衰も大きくなるからである。

3. 弾性波試験より求まる動的力学定数の検討

波動方程式より導ける式

$$E_d = v_p^2 \rho \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \quad \begin{matrix} \rho: \text{密度} \\ \nu: \text{ポアソン比} \end{matrix}$$

$$E_d = 2v_s^2 \rho \cdot (1+\nu)$$

より動的弾性係数 E_d を求めることができる。これと静的载荷試験により求めた静的弾性係数 E_s との関係を図6に示す。これより両者の間には垂直応力が0～80 kgf/cm² まではほぼ線形的な関係があるが、1桁程度の開きがみられる。また動的弾性定数の方が大きな値を示しているが、これは弾性波試験が時間的に短時間で行われるためひずみレベルも小さく、そのため応力-ひずみ曲線の初期勾配がそのまま動的弾性定数となって現れるためである。

4. 結論

以上の結果をまとめると、1) 弾性波速度、振幅比、減衰定数比の三つの特性を測定すると、ジョイント閉合に伴い増加するといった同様の傾向がある。2) 弾性波試験により得られる動的力学定数は、静的な载荷試験により得られる静的力学定数よりも大きな値を示したので区別する必要がある。今後の課題としては、観測した弾性波伝播特性はいずれもジョイントの凹凸や性状により多少の違いを示したので、同時にジョイントのラフネスについても測定してそれらとの関係も調べる事が望まれる。

《参考文献》

- 1) R. E. Goodman原著 赤井浩一・川本眺万・大西有三共訳
「不連続性岩盤の地質工学」(森北出版) p.138～140

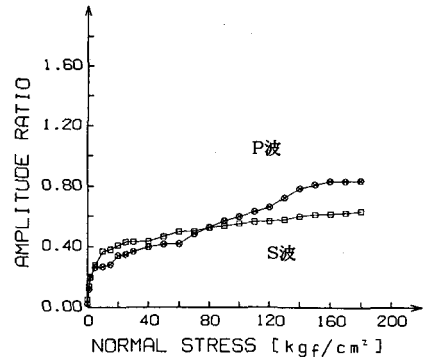


図4 垂直応力と振幅比

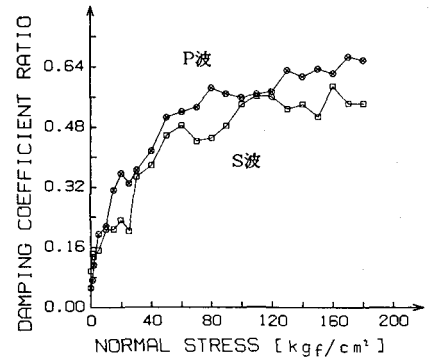


図5 垂直応力と減衰定数比

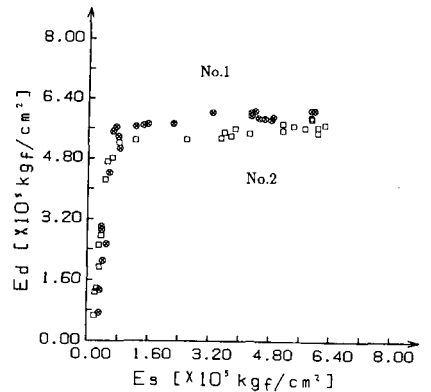


図6 静的弾性係数と動的弾性係数