

孔内ストンリー波のき裂透過係数に現れる オーバーシュートとき裂特性

弘前大学・正会員 齊藤玄敏

1. はじめに

地下き裂の性状を評価する方法の一つとして、音波検層波形中に観測される孔内ストンリー波の透過係数と反射係数を利用する方法が提案されている[1-3]。実フィールドにおけるき裂性状評価では反射係数の利用が主で、透過係数の利用はほとんどない。この理由として、透過係数にはストンリー波が卓越する低周波域で雑音の影響が大きく、理論モデルと整合しないことが挙げられている[2]。

本研究ではストンリー波のき裂透過係数の低周波域に見られるオーバーシュートに着目し、その発生機構を検討するとともに、オーバーシュートの大きさ、ピーク周波数などを使用するき裂の性状評価法について検討する。

2. き裂モデルとストンリー波の伝搬特性

図1にき裂近傍の孔井モデルを示す。モデルは岩盤—き裂—岩盤の三層構造になっており、斜線部が厚さ L のき裂を表す。

き裂近傍における孔内ストンリー波の反射係数(A'/A)と透過係数(C/A)は次式で与えられる。

$$A'/A = 2i(k_2^2 - k_1^2) \sin(k_2 L) / G \quad (1)$$

$$C/A = 4k_1 k_2 e^{-ik_1 L} / G \quad (2)$$

$$G = (k_1 + k_2)e^{-ik_2 L} - (k_1 - k_2)e^{-ik_1 L} \quad (3)$$

孔内ストンリー波の伝搬特性は波数 k_1 、 k_2 によって定まる。波数 k_1 は岩盤を剛体と仮定すると次式で表される。

$$k_1 = \omega / V_f \quad (4)$$

ここに、角周波数 ω は角周波数、水中の音波速度 V_f は水中の音波速度である。

また、き裂部の波数 k_2 はき裂モデルにより異なり、次式で与えられる。

平板き裂モデル：

$$k_2 = \frac{\omega}{V_f} \sqrt{1 - \frac{2}{k_1 R} \frac{H_1^{(1)}(k_1 R)}{H_0^{(1)}(k_1 R)}} \quad (5)$$

多孔質浸透層モデル：

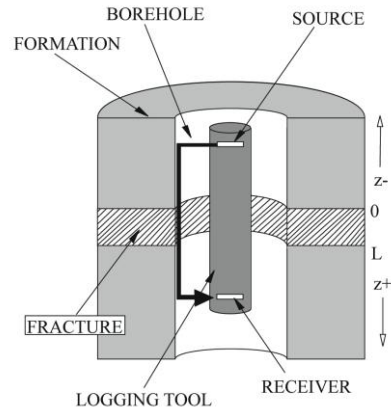


図1 き裂近傍の孔井モデル

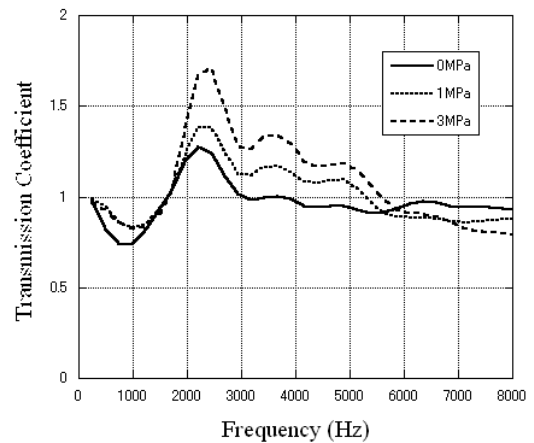


図2 孔内ストンリー波のき裂透過係数

$$k_2 = \sqrt{k_e^2 + \frac{2Ri\rho_f\omega\kappa(\omega)}{(R^2 - a^2)\mu} \sqrt{\frac{-i\omega}{D} \frac{K_1(\sqrt{-i\omega/D})}{K_0(\sqrt{-i\omega/D})}}} \quad (6)$$

ここに、 R は孔井半径、 a は検層ツールの半径、 H はハンケル関数、 K は第二種変形ベッセル関数、 D は空隙流体の拡散係数、 ρ_f は流体の密度、 μ は流体の粘性、 $\kappa(\omega)$ は動浸透率である。

2. 孔内ストンリー波のき裂透過係数の特徴

地下 358.6m に存在するき裂近傍で行った音波検層データを用いて、き裂を透過したストンリー波の透過係数を調べると、(1) 2.3kHz をピークとするオーバーシュートが見られる、(2) オーバーシュートは振動しており、孔口圧の増加(き裂の開口)とともに振幅は大

キーワード：音波検層、孔内ストンリー波、透水性き裂

連絡先： 弘前大学大学院理工学研究科

弘前市文京町 3, E-mail: saito@cc.hirosaki-u.ac.jp

きくなる, (3) オーバーシュートの振幅は周波数が大きくなるにつれて小さくなる, (4) オーバーシュートは 7kHz 以上になると無くなり, 透過係数は孔口圧の増加とともに小さくなる, 等の特徴があることがわかる (図 2). これらの特徴は従来のき裂モデルから得られる透過係数には現れないものである。と

3. オーバーシュートの発生機構

Tang and Cheng の論文[4]では, 孔内からき裂への流体の流入を仮定し, この流入によるエネルギー損失を基に透過係数が定められている。一方, 反射係数はき裂に流入した流体が孔内に逆流し, き裂と孔井の交点を波源として, 孔の上下方向それぞれに伝搬するモードである。このことから, 検層ツールの送信器と受振器がき裂を挟む位置にあるときに得られる受信信号は透過波と反射波を記録していると考えられる。

き裂を透過した孔内ストンリー波として計測した信号に反射波が含まれていることを検証するために, 平行平板モデルと多孔質浸透層モデルを用いて, 透過係数と反射係数の和を求めた。図 4 は平行平板モデル, 図 5 は多孔質浸透層モデルの結果である。

4. 結言

本研究では孔内ストンリー波のき裂透過係数の低周波域に見られるオーバーシュートに着目し, その発生機構を検討した。透過係数に見られたオーバーシュートは透過波に反射波が重畳したために生じたものと考えるのが妥当である。

現場に存在するき裂の特性を評価するにあたり, 2 つのき裂モデルについて, 孔内ストンリー波の透過係数と反射係数の和を調べた。どちらのモデルでもオーバーシュートは見られるが, その振動は平行平板モデルでは見られない。したがって, 本研究で対象とするき裂の場合は多孔質浸透層モデルが適切である。き裂特性の評価結果は講演会にて詳細に説明する。

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 (c), No.21560844) の支援を受けて行われたものであり, 関係者各位に謝意を表する。

参考文献

- [1] Hornby, E. D., Johnson, D. L., Winkler, K. W., and Plumb, R. A., 1989, Fracture evaluation using reflected Stoneley-wave arrivals: *Geophysics*, **54**, 1274-1288.
- [2] Tang, X.M., and Cheng, C. H., and Toksöz, M. N., 1991, Dynamic permeability and borehole Stoneley waves: A simplified Biot-Rosenbaum model: *J. Acoust. Soc. Am.*, **90**,

1632-1646.

- [3] Tang, X.M., and Cheng, C. H., 1989, A dynamic model for fluid flow in open borehole fractures: *J. Geophys. Res.*, **94**, 7567-7576.

- [4] Tang, X.M., and Cheng, C. H., 1993, Borehole Stoneley Wave Propagation Across Permeable Structures; *Geophysical Prospecting*, **41**, 165-187.

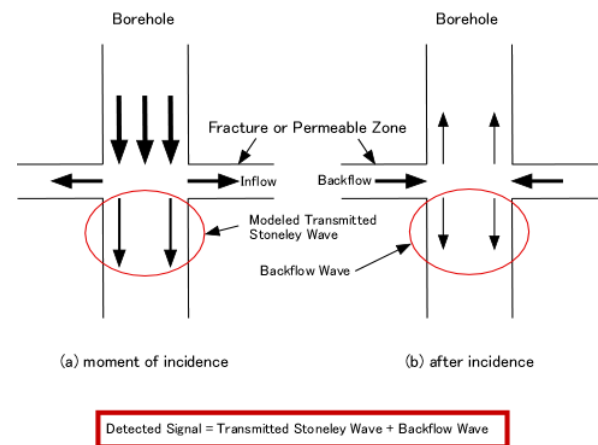


図 3 オーバーシュートの発生機構の概念図

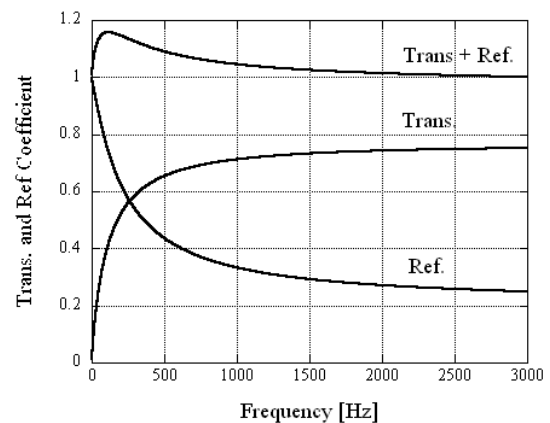


図 4 平行平板モデル

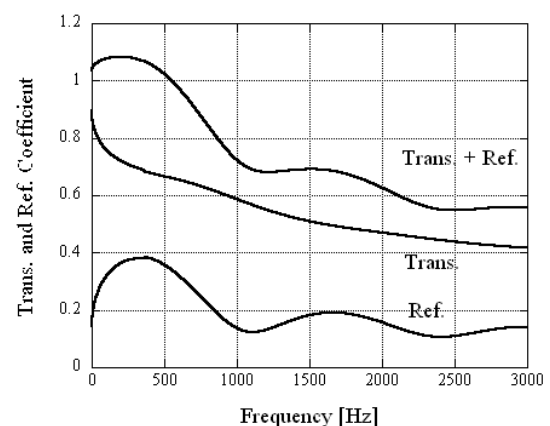


図 5 多孔質浸透層モデル