

大成建設(株) 正会員 山本卓也 岩野政浩
里 優 亀村勝美
芙蓉情報センター 久保 紳

1. はじめに 岩盤内には、一般に多くの不連続面が存在し、その空間分布は岩盤の諸性質、とりわけ水理学的性質に大きな影響を与える。最近の研究では、岩盤壁面の観察やボーリングデータから岩盤内部の不連続面の状態をテンソル量で表現し¹⁾、さらにこのテンソル量から岩盤の変形特性や透水性を推定する試みがなされているが、この方法のみでは観測データの少なさも手伝って、不連続面の特徴を十分に把握し得ない場合が生ずる。そこで、筆者らは上記の手法を補う意味で、弾性波を利用して岩盤内部の不連続面の空間分布を推定する方法について検討し、若干の知見を得たのでここに報告する。

2. 岩盤内部での弾性波の挙動 不連続性岩盤内を弾性波が伝播する際に、不連続面を横断して進行する波と不連続面を回避して進行する波が存在する。前者を透過波、後者を回折波と称することにすると、不連続面が粘土をかんでいたり水が存在する場合に透過波が生じ、開口した不連続面で何らかの物が存在しない場合に回折波が生じる。しかしながら、原位置における岩盤は、種々の性質を持つ不連続面を含み、さらに三次元的な広がりを持つために両者を区別することは極めて困難である。そこで、簡単のために図1に示すような単一のクラックを持つ岩盤を設定し、上端から平面弾性波(P波)を入力して、岩盤内を伝播する弾性波の挙動を数値解析により考察した。

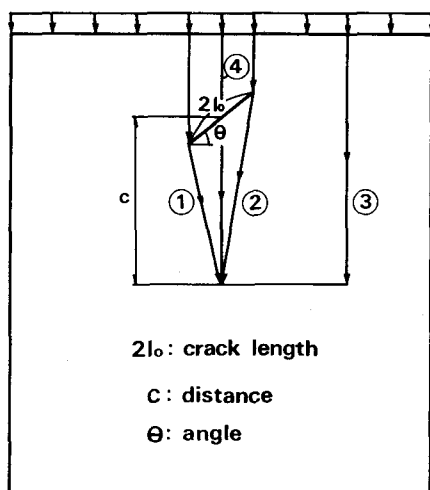


図1 弾性波の伝播経路

回折波の場合は、長さ2l₀のクラックの端部に当たると、図1に示す①および②の経路を通してクラックの中心からcだけ離れた位置に到達する。一方、透過波の場合は、クラックの中心を通して経路④のように直進する。また、クラックに当たらない弾性波は経路③のように直進する。経路①と②では経路②の方が短いので、回折波の到達時間差は経路②と③の距離の差によって生じる。また、透過波の到達時間差は経路③と④の距離が等しいので、クラックの開口幅および剛性に依存する。

3. 数値シミュレーション クラックの剛性と弾性波の伝播挙動との関係を求めるために、図1のクラックの部分をジョイント要素でモデル化し、垂直剛性K_nを1から1×10⁶%まで変化させて弾性波の到達時間差Δtを調べた。解析条件は図2中に示す。なお、クラックのせん断剛性は簡単のためにK_s≡0としたが、これ

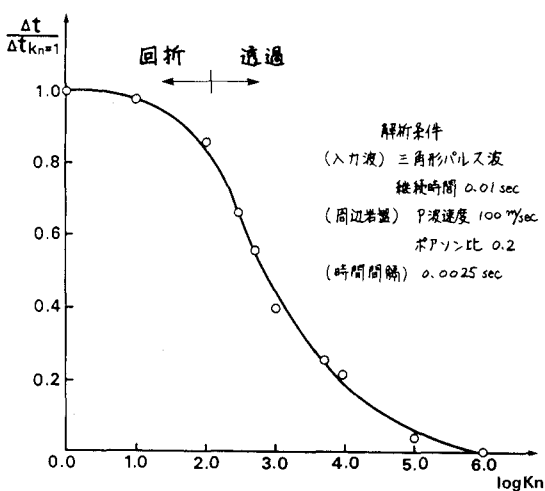


図2 ΔtとK_nの関係(θ=0°)

は垂直剛性がせん断剛性に比べて十分に大きいことから妥当である。図2より、 K_n が100 t/m³あたりまでは岩盤の健全部の剛性と比較して著しく低いために回折が生じ、 K_n が100 t/m³を越えろしだいに岩盤の健全部の剛性に近づくために弾性波がクラック内を伝播しやすくなり、透過波に移行してゆくことがわかる。次に、クラックの長さ2 l_0 (一定)および $K_n=5000$ t/m³の状態では、傾き θ を0°から75°まで15°刻みで変化させて Δt の変化を調べた。図2からわかるように、 $K_n=5000$ t/m³は透過の状態である。その結果を図3に示す。 θ が0°から45°までは回折波よりも透過波の方が早く伝播し、透過波の到達時間差はほぼ一定で θ には依存しない。ところが、 θ が45°を越えろと透過波も回折波も到達時刻がほぼ等しくなるため、回折波の理論値に一致することがわかる。

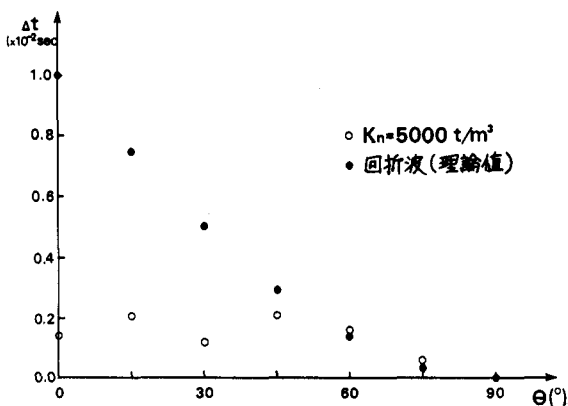


図3 Δt と θ の関係

解析例として、図4に $K_n=100$ t/m³の回折の状態の、図5に $K_n=1 \times 10^6$ t/m³の透過の状態の主応力図を示す。

4. 理論的考察 これまでに、クラックを含む岩盤内を伝播する弾性波について次のことがわかった。

- i) 弾性波の到達時間差はクラックの剛性に依存する。
- ii) 透過波の状態では、到達時間差はクラックの傾きに依存しない。

したがって、単一のクラックについて

$$\Delta t \propto f(\omega, E_c) \quad (1)$$

が成り立つ。ここに、 ω はクラックの開口幅、 E_c は剛性を表す。また、透過の状態では Δt がクラックの個数に関して加算的であると仮定すれば、

$$T(m) = \int_{\Omega} \Delta t(m, n) |m, n| P(n) d\Omega(n) \quad (2)$$

が成り立つ。ここに、 T は単位長さ当たりの到達時間差、 m は弾性波の伝播方向のベクトル、 n はクラックの法線ベクトル、 $P(n)$ はクラックの大きさ・開口幅密度関数を含む関数、 Ω は微小な立体角である。(2)式において、 m および T が計測されれば、何らかの変換を施すことによってクラックの密度関数が求まる。さらに、数本のボーリング孔などを利用した孔間弾性波探査を行えば岩盤内のクラックの空間分布が概ね推定できる。

5. おわりに 今回の報告では、数値解析により弾性波の伝播挙動を検討したが、今後は人工的にクラックを設けた供試体で実験を行い、解析値と比較することも試みたい。また、(2)式を変換する手法についても検討を進める予定である。

(参考文献) 1) 金谷健一：岩盤中のクラック分布の表面観察による測定法、第6回岩の力学国内シンポ、1984

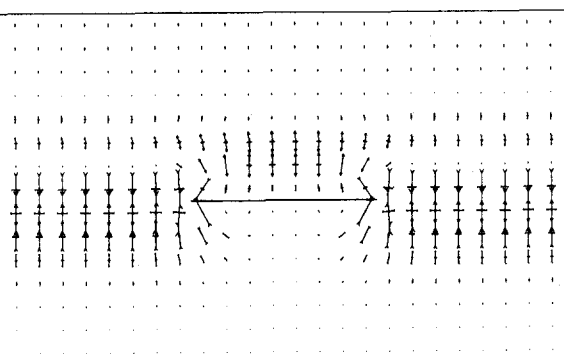


図4 回折波の場合の主応力図

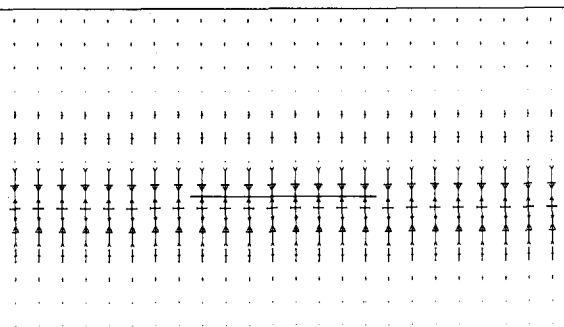


図5 透過波の場合の主応力図