

III-77 スリットをもつ脆性供試体の弾性波速度の性質について

東北大学工学部 正員 佐武正雄

同 上 正員 ○田野久貴

同 上 学生員 森田秀夫

1. 緒言

従来、岩盤あるいは岩石の弾性波速度から、これらの力学的性質、例えば一軸圧縮強度を知ろうという試みがなされて来た。弾性波速度と強度との間には、ある程度の相関性が見出され、場合によってはあまり明瞭でないこともあるが、大体において速度が低下すると強度も低下するといことが認められている。この傾向は、弾性波速度及び一軸圧縮強度の両方が、材料の組織や内部の空ゲキ、密度等の影響を受けやすいからであると思われるが、理論的解析がむづかしいため、ほとんど実験的に検討されている。弾性波速度と強度の両方に影響を与える種々の要因のうち、特に亀裂と速度との関係については、対象である岩石が自然のものであることから、実験的にも検討しにくい問題である。そこで筆者らは、人工的に二次元スリットをもつ石膏供試体を用いて実験を行っているが、二三の結果についてはすでに報告した¹⁾。その後も引き続き実験を行い新たな結果を得たので、ここにこれをまとめて報告し若干の考察を加えた。

2. スリットによる弾性波速度の低下に関する考察

ここで、スリットによる弾性波(縦波)速度の低下について、簡単な考察を試みると以下になる。ヤング率 E 、密度 ρ 、ポアソン比 ν のスリットを含まない均質中を伝播する弾性波速度 V は周知のように次式で示される。

$$V = \sqrt{\frac{1-\nu}{(1+\nu)(1+2\nu)}} \cdot \frac{E}{\rho} \quad (1)$$

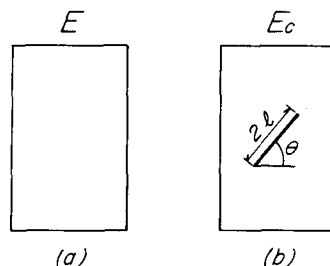


図-1.

スリットを含む場合の速度 V_c は、ヤング率のみが E から E_c に変化し他は変わらないと仮定すると

$$V_c = \sqrt{\frac{1-\nu}{(1+\nu)(1+2\nu)}} \cdot \frac{E_c}{\rho} \quad (2)$$

で示され、一方図-1(b)に示す長さ $2l$ 、角度 θ だけ傾斜したスリットを含むことによって低下するヤング率 E_c はBerryによる²⁾値を若干修正して次式となる。

$$E_c = \frac{E}{1 + \frac{2\pi l^2 \cos^2 \theta}{A}} \quad (3)$$



図-2.

ここで A は供試体の側面積である。次に図-2に示すような、同一のスリットを n 個含む場合の E_c について考えてみる。このような場合には、スリットの間隔の大小による干渉が問題になるが、弾性波速度測定においては一軸圧縮強度等と比べ、弾性体に作用する応力の速度は大きいが応力は小さいので、スリット相互間の干渉は比較的小さいと考え、(3)式は次のように置ける。

$$E_c = \frac{E}{1 + \frac{2\pi n l^2 \cos^2 \theta}{A}} \quad (4)$$

従って、長さ $2l$ 、角度 θ のスリットを n 個含む場合の弾性波速度を V_c で表わすと、(1)、(2)、(4)式を用いることにより次式を得る。

$$V_c = \frac{V}{\sqrt{1 + \frac{2\pi n l^2 \cos^2 \theta}{A}}} \quad (5)$$

この(5)式から、スリットの長さ $2l$ 、角度 θ 、個数 n の変化によって、弾性波速度がどのような傾向をもつかという点とを検討することが出来る。

3. 実験方法

3.1. 供試体 スリットの状態による弾性波速度の変化を調べるのが目的であるから、供試体製作に関する種々の要素の影響がどの速度に変化を与えないうように特に注意した。製作方法、供試体の種類については表-1及び2に、寸法については図-3に示す。

3.2. 測定方法

ここで用いた測定方法は、いわゆる共振法と呼ばれるもので、丸井製作所のデジタル式動ヤング率測定器(MIN-1101)を使用し、供試体の高さ方向の縦振動伝播速度を測定した。なお、比較のためにパルス法による測定をも併せ行ったが、今回の実験に関しては共振法による値と大差なかったため、ここに示したデータはすべて共振法によるものである。測定器及びその方法の概略を図-4、5に示す。

4. 実験結果及び考察

(1). スリット角度及び長さによる影響について

表-2に示すような6種類($2l=5\sim 30^{mm}$)のスリット長さの供試体のそれぞれについて、角度を 0° から 90° まで変化させて行った実験結果を図-6に示す。この結果から明らかに、角度が水平($\theta=0^\circ$)になるに従って速度は低下する。理論的に求めた(5)式を用いて $2l=15, 30^{mm}$ の場合の推定値を図-6に破線で示してあるが、推定値と実験値は傾向的には合っているように思われる。また、図-7に速度とスリット長さとの関係を示す。スリット長さが増加すると速度が低下してゆくことは直観的に理解出来るが、理論による推定値と実験値の傾向は、先の角度の場合よりもよく合っている。

配合	石膏：水 = 1：0.6 (重量比)
養生	乾燥水量：25～26 %
	養生温度：50℃ 約50時間

表-1. 供試体の製作諸元

スリット角度	$0 = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$
スリット数	$n = 2, 6, 10$
スリット長さ	$2l = 5, 10, 15, 20, 25, 30$

表-2 供試体の種類

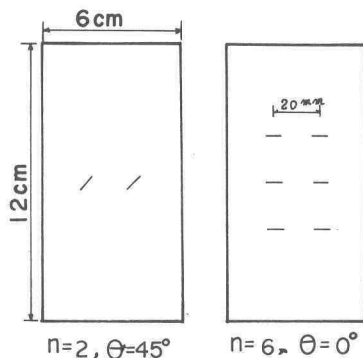


図-3. 供試体の寸法

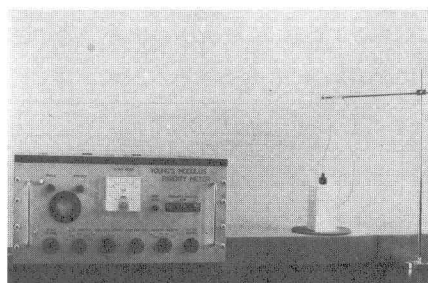


図-4. 測定器

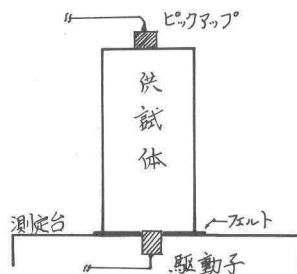


図-5. 測定方法

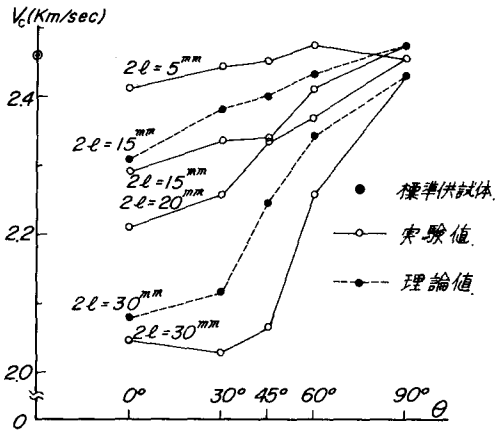


図-6. スリット角度 θ と弾性波速度 V_s

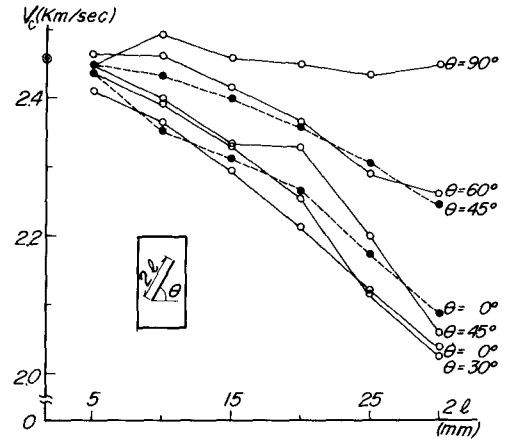


図-7. スリット長さ $2l$ と弾性波速度 V_s

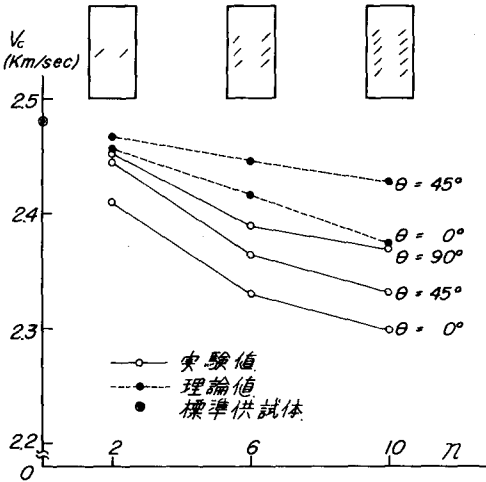


図-8. スリット個数 n と弾性波速度 V_s

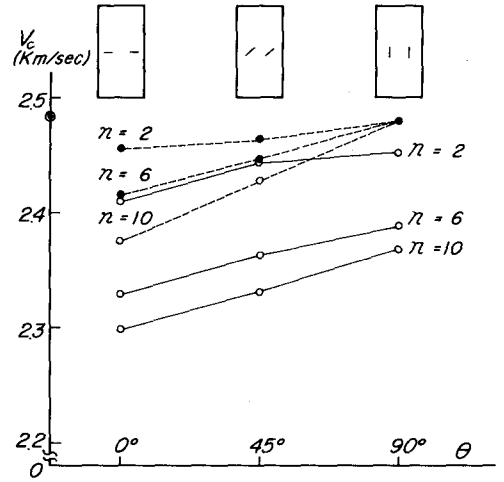


図-9. スリット角度と弾性波速度 V_s (複数の場合)

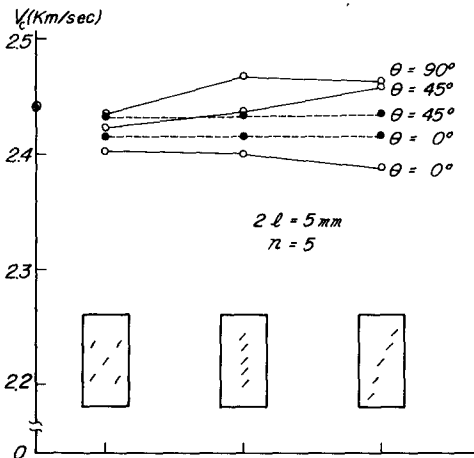


図-10. スリットの配列と弾性波速度 V_s

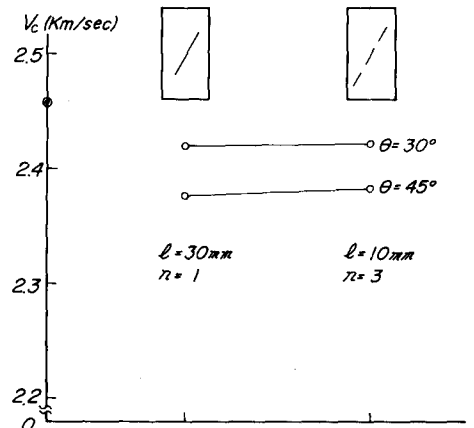


図-11. スリット個数と弾性波速度(総長さ一定の場合)

うに思われる。

(2). スリットの個数と配列による影響について

スリット個数と配列による弾性波速度 V_L の変化については、図-8, 9に示す。個数の影響について、推定値と実験値を比較してみると、あまり一致しないが、これは(5)式においてスリットの個数 n が充分考慮されていないことを示すものと思われる。すなわち、スリット個数の増加は単なるヤング率の低下のみならず、供試体の実質部分の減少による速度の低下も、今回のような実験においては考慮に入れるべき問題であらう。配列に関しては、 $n=5$, $2l=5^{mm}$ の場合について図-10に示す種類のもを調べた結果、今回は顕著な差は見られなかったが、さうに検討の必要があると思われる。さうに、スリットの総長さを 15^{mm} , 30^{mm} と一定にし、それぞれを3等分した状態のスリットをもつ2種類の供試体、すなわち、 $\theta=30^\circ$, $2l=5^{mm}$, $n=3$ と $\theta=45^\circ$, $2l=10^{mm}$, $n=3$ を作り実験したが、3分割した程度ではあまり大差はないようである(図-11参照)。

5. 結語

限られた条件のもとで行った以上の実験や考察を応用するにはあまりにも岩盤は複雑であるが、同一種類とみなせるような比較的均質な岩石等に用いて、互いの内部の状態等を比較出来るのではないかと思われる。以上をまとめると次のようになる。第2節において弾性波速度 V_L とスリットの長さ $2l$, 角度 θ , 個数 n との関係を(5)式として導いたが、その分母には $l \cdot \cos \theta$ の2乗の項を含んでおこう、 n と θ や $2l$ とを同等には比較出来ないが、個数(n)より $l \cdot \cos \theta$ の V_L に与える影響が大きいことを示しているものと思われる。また、実験結果(図-6, 7)もそれを裏付けている。 $l \cdot \cos \theta$ の増加に伴って V_L が低下すると同様な傾向が、スリットをもつ脆性供試体の一軸圧縮強度との間にも見い出されることを既に報告したが、^{3), 4)} 这样的な事実は、岩石等の弾性波速度と強度との間に強い相関性があることの1つの理由ではないかと考えられる。弾性波速度そのものから、強度を求めることは極めて困難と思われるが、内部の状態を推定することはある程度可能であると思われる。その他の問題点と共に現在も検討を続けている。なお、実験を行うにあたり、当研究室の石見政男、平形一夫両技官の御助力を感謝し、また、本研究の一部に昭和46年度文部省科学研究費を用いたことを付記する。

参考文献

- 1). 田野ス貴, 森田秀夫: スリットを内蔵させた脆性供試体の一軸圧縮強度と動的弾性係数との関係について, 昭和46年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, P. 191~194, (1972).
- 2). Berry, J. P.: Some kinematic consideration of the Griffith criterion for Fracture-1, Equation of motion at constant force, J. Mech. Phys. Solids, Vol. 8, P. 194~206 (1960).
- 3). 佐武正雄, 田野ス貴: 亀裂の強度に及ぼす影響について, 第5回岩盤力学シンポジウム講演概要, P. 37~40, (1969)
- 4). 佐武正雄, 田野ス貴: 単一スリットをもつ脆性材料の最終強度に関する一考察, 第7回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要, P. 46~49, (1972)