

III-313 応力下における異方性岩の弾性波伝播特性について（その2）

関西大学工学部 正員 谷口敬一郎
 関西大学工学部 正員 楠見 晴重
 明治コンクリート(株) 正員 松井啓志成

1. まえがき 節理、片理、葉理等の不連続面を有する岩石の弾性波伝播速度は著しい異方性を示すことは、種々の研究^{1), 2)} によって認められている。しかしこれらの研究はいずれも大気圧下での成果であり、弾性波伝播速度に及ぼす応力の影響については、ほとんど考慮されていない。本研究は、三軸応力下における異方性岩の弾性波伝播速度特性を把握するために、加圧方向の弾性波速度に及ぼす軸差応力、拘束圧および不連続面の傾斜角の影響について主として実験的検討を行ったものである。

2. 岩石試料および実験方法 実験に用いた岩石試料は、奈良県吉野郡から採取された緑泥片岩である。これは三波川帯に属し、片理構造が顕著にみられるが、多少の微褶曲を伴っている。供試体は、あらかじめ数十個の岩塊を用意し、図-1に示すようにボーリングマシンによって片理面と水平面とのなす角 θ が 0° 、 20° 、 45° 、 70° 、 90° となるように人工的に作成した。ここで、それぞれの角度を有する供試体を便宜上 S_0 、 S_{20} 、 S_{45} 、 S_{70} 、 S_{90} とし、各供試体につき3～5本作成した。なお、供試体は直径50mm、高さ100mmの円柱供試体とし、すべて室内放置乾燥状態のものを用いた。またこの岩石の一軸圧縮強度は片理の傾斜角によって異なるが、約800～1700kgf/cm²の間に分布している。実験装置は以前報告³⁾した装置と同様の高圧三軸試験装置を用いた。またP波速度の測定は透過法とし、スタッキング機能を有する超音波測定機を用いて波形の立ち上がりを明確にし、伝播時間の読み取りはマニュアル方式とした。

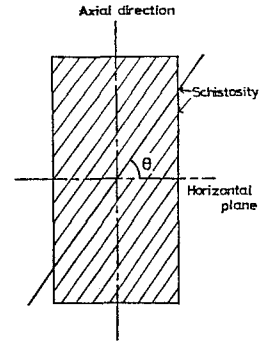
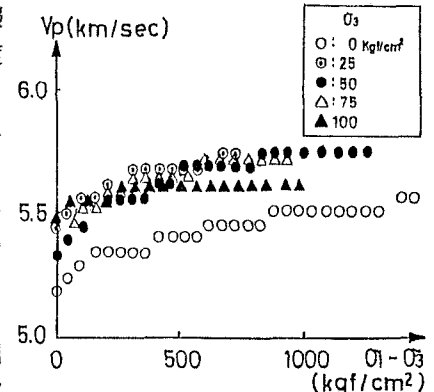
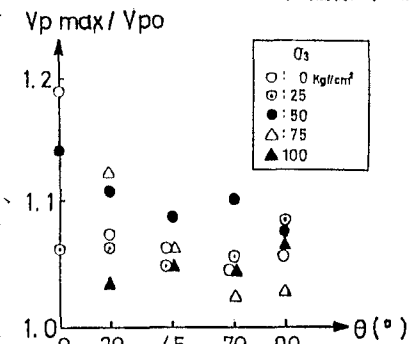


図-1 供試体

図-2 $V_P - (\sigma_1 - \sigma_3)$ 曲線 (S_{20})図-3 V_{Pmax}/V_{P0} と θ との関係

3. 軸差応力とP波速度との関係 図-2は、 S_{20} 供試体における軸方向のP波速度と軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$) との関係について、拘束圧 σ_3 をパラメーターとして示したものである。この図より、軸差応力が低い状態下において、P波速度は高い増加傾向を示している。軸差応力がさらに大きくなるとP波速度の増加の割合は徐々に減少し、ある軸差応力下においてP波速度はほぼ一定の値となる。しかしP波速度の増加割合およびP波速度が一定値となる軸差応力の値は拘束圧の大きさによって異なってくるものと思われる。以上の関係は、他の角度 θ を有する供試体においてもほぼ同様な傾向を示している。図-3は、各拘束圧下で軸応力 σ_1 を増加させたときに得られた個々の供試体の最大P波速度 V_{Pmax} と片理の傾斜角 θ との関係を示したものである。ただし V_{Pmax} は、大気圧下のP波速度 V_{P0} との比率で表している。この図より θ が小さい供試体ほど V_{Pmax}/V_{P0} の値にばらつきが目だっている。しかし、全体的には θ が大きい供試体ほど V_{Pmax}/V_{P0} の値は近くなっており、 $\theta = 90^\circ$ の供試体では V_{Pmax}/V_{P0} の平均値が約1.05とP波速度の増加は5%程度に対し、 $\theta = 0^\circ$ の供試体の

それは約1.11とP波速度の増加は11%程度であり、 $\theta = 0^\circ$ と 90° との供試体では約2倍の相異がみられた。このように片理の傾斜角が異なると加圧方向のP波速度の増加率に差異がみられるのは、片理の圧縮率が異なることに起因していると思われる。

4. 軸差応力-P波速度曲線の双曲線近似 図-2に示されているように、片理の傾斜角 θ によらず軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ とP波速度との関係は、双曲線的増加傾向を示している。この関係を模式的に示したのが図-4である。この増加特性から軸差応力とP波速度とは次式に示すような双曲線に近似できると考えられる。

$$V_p = (\sigma_1 - \sigma_3) / a + b(\sigma_1 - \sigma_3) + V_{ph} \quad (1)$$

(V_{ph} : 等方圧下のP波速度, a, b : 定数) (1)

式(1)において、定数 a, b は図-4に表されているような値を示すものと考えられる。定数 a の逆数 $1/a$ は、式(1)を $(\sigma_1 - \sigma_3)$ で微分し、 $(\sigma_1 - \sigma_3) = 0$ としたときに求められる初期接線勾配 $1/a = \tan \alpha$ である。すなわち a の逆数 $1/a$ は図-4に示した双曲線の初期応力段階におけるP波速度の増加率を示すパラメーターである。また、式(1)において $(\sigma_1 - \sigma_3) \rightarrow \infty$ とすれば図-4より明らかなように、双曲線は漸近線 $V_p = V_{pm}$ に限りなく近づく。すなわち、もう一つの定数 b の逆数 $1/b$ はP波速度の最大増加量を表している。

定数 a, b を決定するために式(1)を式(2)のように変形すると、

$$(\sigma_1 - \sigma_3) / (V_p - V_{ph}) = b(\sigma_1 - \sigma_3) + a \quad (2)$$

となり、 $(\sigma_1 - \sigma_3) / (V_p - V_{ph})$ を $(\sigma_1 - \sigma_3)$ に対してプロットすれば、一次式として近似することができ、 a と b とは実験的に求めることが可能である。

$1/b + V_{ph}$ は軸差応力とP波速度との関係を式(1)の双曲線に近似させたときに計算によって求められる最大のP波速度と考えられる。図-5は $1/b + V_{ph}$ と実験で求められた各供試体のP波速度 V_{pmax} との関係を示したものである。この図より、 V_{pmax} と $1/b + V_{ph}$ とは各供試体ごとにグループをなして分布しているものの、ほぼ1対1の対応を示しており、次式のように表すことができる。

$$V_{pmax} = 1/b + V_{ph} \quad (3)$$

図-6は $1/a$ と拘束圧 σ_3 との関係を示したものである。この図より、 $\sigma_3 = 0$ 、すなわち一軸圧縮状態下の $1/a$ は供試体によってかなりのばらつきが目だっているが、全体的には拘束圧 σ_3 が大きくなると、 $1/a$ は小さくなることが認められ、定数 a は拘束圧の大きさに依存するものと思われる。

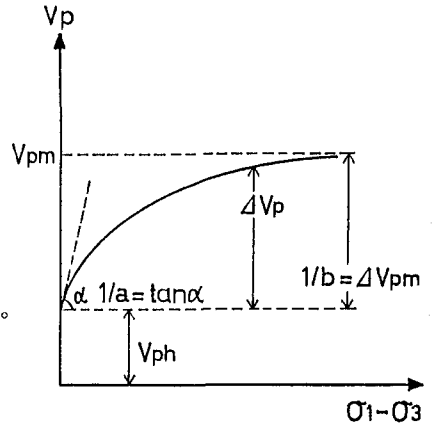


図-4 双曲線表示

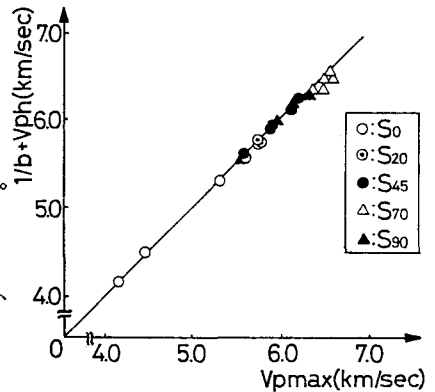


図-5 $1/b + V_{ph}$ と V_{pmax} との関係

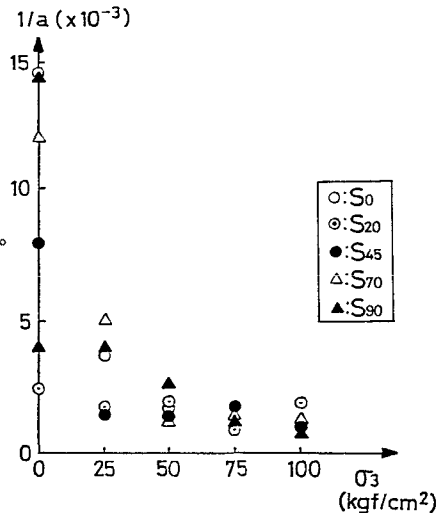


図-6 拘束圧と $1/a$ との関係

(参考文献)

- 1) 赤井浩一, 山本和夫, 有岡正樹: 土木学会論文報告集, Vol.170, No.10, pp.23~36, 1969.
- 2) 糟谷憲司: 日本応用地質学会誌, Vol.20, No.3, pp.1~10, 1979.
- 3) 谷口敬一郎, 楠見晴重, 森本耕司, 寺岡克己: 物理探査, Vol.40, No.1, pp.11~21, 1987.