

III-301 拘束圧下における岩石の含有水分と弾性波速度との関係について

関西大学工学部 正会員○楠見 晴重

関西大学工学部 正会員 谷口敬一郎

関西大学大学院 学生員 柯 武徳

1. まえがき

岩石中を伝播する弾性波速度（P波）は、岩石に含まれる水分の量によって左右されることは、種々の研究によって明らかにされている。しかしこれらの研究は、いずれも大気圧下での成果であるために、応力下存在する実岩盤への適用については若干問題があるように思われる。

本研究は、人為的に種々の含水状態を作成した岩石供試体に拘束圧を加え、そのときの弾性波速度の変化を測定し、拘束圧下の岩石の弾性波速度に及ぼす間隙水の影響について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、和歌山県白浜町の田辺層群より採取された新第三紀層の細粒砂岩である。この砂岩は薄灰色を呈しており、比較的均質である。表-1はこの岩石の諸特性を示したものである。供試体の作成は、一片約30cm程度の岩塊

表-1 試料の諸物性

P波速度 V_p (km/sec)	S波速度 V_s (km/sec)	動ポアソン比 ν	比重 G_s	吸水率 p (%)	有効間隙率 n (%)
2.568	1.500	0.24	2.44	4.35	10.19

から同一方向にボーリングを行い高さ100mm、直径50mmの円柱とした。この岩石の一軸圧縮強度は約80Mpa程度である。岩石試料は全て約480時間程度湿潤させた後、飽和、乾燥試料以外は室内放置状態とし、種々の含水状態を作り出すために、各供試体ごとに異なった期間、放置して実験に供した。飽和試料については約700時間水中に放置した供試体を用い、乾燥試料については110℃、48時間炉乾燥させた供試体を使用した。実験装置は前回報告¹⁾したものと同様の高圧三軸試験装置を用いた。実験方法は任意の含有水分状態下の供試体をセル内にセットし、拘束圧を徐々に加え、適当な間隔で軸方向のP波速度を測定した。最大の拘束圧は40Mpaとし、P波速度の測定は除荷時においても行った。また供試体側面2ヶ所には耐水性のひずみゲージを貼り付け、載荷、除荷時の縦ひずみおよび横ひずみを測定した。

3. 実験結果および考察

図-1は、乾燥および飽和状態下にある砂岩供試体の載荷、除荷時におけるP波速度と拘束圧 σ_c との関係を示したものである。この図より、両供試体とも、比較的低い拘束圧下においてP波速度は、急激に増加しており、その後の増加率は徐々に減少している。

また全体的に同じ拘束圧下においては載荷時よりも除荷時の方がP波速度は高い値を示している。

これらのことは他の含水状態下の供試体についてもほぼ同様の傾向を示している。しかし、拘束圧下においても含水状態によってP波速度の値はかなり異なることが認められる。

図-2は、各供試体の拘束圧 σ_c に対するP波速度の変化（載荷時）を示したものである。なおここで各供試体の飽和度 S_r （ $(V_w/V_v) \times 100$ 、 V_w :間隙水の体積、 V_v :岩石の孔隙部分の体積）は、0.0%、28.9%、38.3%、58.0%、68.9%、100%である。この図より、低い飽和度を有す

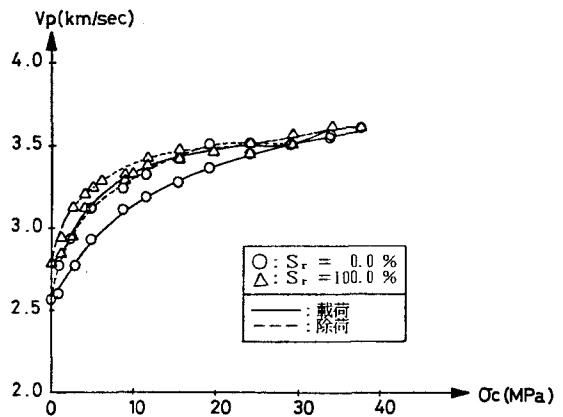


図-1 P波速度と拘束圧との関係

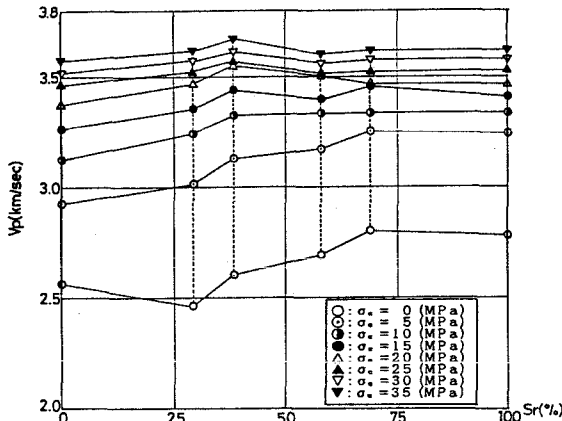
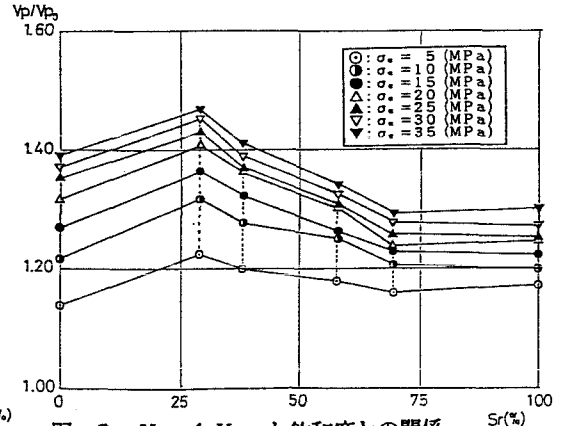


図-2 各供試体の拘束圧に対するP波速度変化


図-3 V_p / V_{p0} と飽和度との関係

る供試体の方が、拘束圧の増大に対してP波速度の増加は著しいことが認められる。図-3は、各供試体の拘束圧に対するP波速度の増加程度を示したものである。ここで縦軸は拘束圧下のP波速度 V_p と $\sigma_c = 0$ MPa下でのP波速度 V_{p0} との比で表している。この図より拘束圧に対するP波速度の増加率が最も高いのは、 S_r が28.9%の供試体である。また飽和度が高くなるにしたがって、P波速度の増加割合は減少する傾向となっている。これより、拘束圧下におけるP波速度の増加率は岩石の含水状態によってかなり異なることが認められた。

応力下における岩石のP波速度は体積ひずみと高い相関性を有することが既に知られている¹⁾。図-4は、乾燥、飽和および $S_r = 58.0\%$ の供試体におけるP波速度 V_p と体積ひずみ ϵ_v との関係について示したものである。この図より、各供試体とも傾きは異なるが、 V_p と ϵ_v とは直線的な増加傾向を示し、次式のように表される。

$$V_p = A + B \epsilon_v \quad \text{----- 1)}$$

各供試体の载荷、除荷時それぞれにおいて V_p と ϵ_v との関係を式1)に近似させ、定数A、Bおよび相関係数 r を求めたものが表-2である。この表より、いずれも高い相関性を示しているのが認められる。またAはそれぞれの含水状態の大気圧下におけるP波速度にほぼ近似した値となっている。Bは ϵ_v に対するP波速度の増加割合を示したもので、载荷、除荷時ともほぼ S_r が大きくなるにつれて小さくなっている。これらのことより、岩石の含水状態によって体積ひずみに対するP波速度の変化は異なり、飽和度が低い岩石ほどP波速度の変化は著しいことが認められた。

（参考文献）

1) 谷口、楠見、森本、寺岡：物理探査、Vol.40, No.1, PP.11~21, 1987.

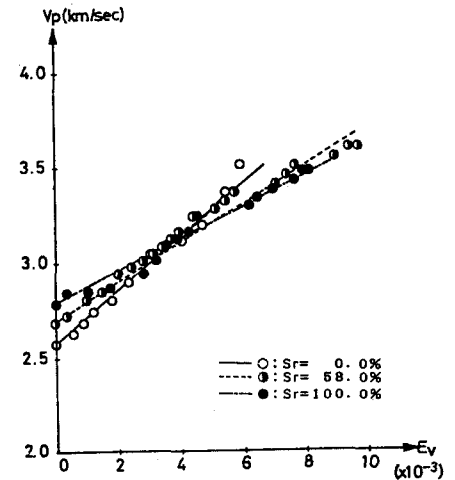


図-4 P波速度と体積ひずみとの関係

表-2 $V_p - \epsilon_v$ 曲線の定数A, B

	飽和度 S_r (%)	A	B ($\times 10^{-4}$)	相関係数 r
載荷	0.0	2.560	1.439	0.994
	28.9	2.526	1.548	0.997
	38.3	2.631	1.400	0.996
	58.0	2.745	0.956	0.989
	68.9	2.815	0.883	0.994
除荷	100.0	2.755	0.883	0.985
	0.0	2.366	2.656	0.962
	28.9	2.704	1.820	0.972
	38.3	2.798	1.300	0.981
	58.0	2.800	0.903	0.981
除荷	68.9	2.751	0.989	0.989
	100.0	2.795	1.108	0.993