

応力下における軟岩の弾性波伝播特性

関西大学工学部 正会員 楠見 重晴
関西大学大学院 ○学生員 柯 武徳
関西大学工学部 正会員 谷口敬一郎

1. まえがき

軟岩中を伝播する弾性波速度（P波）は、岩石に含まれる水分によって異なることは、種々の研究によってなされている。これらの研究はいずれも大気圧下での実験例であり、三軸応力下での弾性波速度について論じた研究は極めて少ない。本研究は三軸試験機を加圧方向に弾性波が測定できるように改造し、軟岩の三軸応力下における弾性波速度に及ぼす含有水分の影響について検討を行ったものである。

2. 実験方法

実験装置は、通常の岩石用三軸試験機を用いた。軸方向のP波速度を測定するために、試験装置の上下加圧盤内に、固有振動数300KHz、直径15mmのチタン酸バリウム磁気圧電子を埋め込んだ。

実験方法は、高さ10cm、直径 5cmに整形した円柱供試体をセル内に設置し、所定の拘束圧で等方圧縮させた後、供試体が破壊するまで軸圧を徐々に負荷させた。その間、加圧方向のP波速度を適度な間隔で測定した。P波速度の測定と同時に供試体側面2箇所に貼り付けたひずみゲージより縦ひずみ ε_L 、横ひずみ ε_T を測定し、体積ひずみ $\varepsilon_V = (\varepsilon_L + \varepsilon_T)$ を算出した。載荷方式はひずみ制御とし、ひずみ速度は0.03%/minとした。

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_e	密度 ρ (g/cm ³)	比重 G	吸水率 P (%)	有効空隙率 n (%)
2.285	1.305	0.24	1.72	1.96	13.15	22.75

実験に用いた岩石試料は、福島県耶麻郡高郷村の荻野層より採取された新第三紀層のガラス質凝灰岩である。この凝灰岩は薄緑色を呈しており、比較的均質である。表-1はこの岩石の諸物性を示したものである。ここでのP、S波速度は大気圧下における乾燥状態で測定されたものである。乾燥試料については、110℃、24時間炉乾燥させた供試体を用い、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た。

3. 実験結果および考察

図-1は拘束圧 $\sigma_3 = 1\text{MPa}$ における乾燥、飽和供試体の軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ - ひずみ ε 曲線を示したものである。この図より、飽和供試体のほうがひずみ量が大きく、とくに縦ひずみ、体積ひずみともに載荷初期においてひずみ量の増加が著しいので下に凸な形状を呈している。それに対して乾燥供試体は、ほぼ直線的に増加している。

図-2、3は、乾燥供試体および飽和供試体における拘束圧をパラメータとした時の軸差応力とP波速度 V_p の関係を示したものである。この図より、各供試体とも軸差応力が増加すると、拘束圧に関係なくP波速度は増加していく傾向が見られる。そこで、乾燥供試体と飽和供試体とを比較してみると、乾燥供試体のP波速度の増加は著しく、とくに $(\sigma_1 - \sigma_3)$ が約20MPaまで著しく増加し、その後増加割合は減少するが、供試体が破断するまでP波速度は増加し続ける。これに対して、飽和供試体は乾燥供試体に比べて、P波速度の増加はわずかであり、破断前に一定の値となる傾

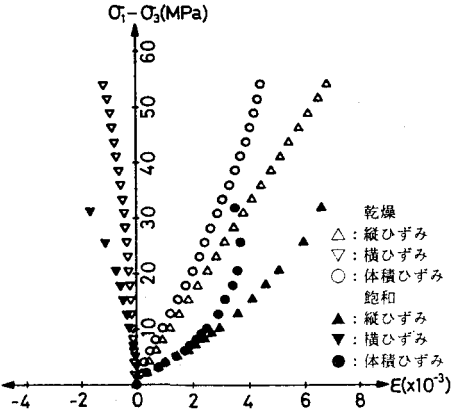


図-1 軸差応力-ひずみ曲線 ($\sigma_3 = 1\text{MPa}$)

Harushige KUSUMI, Wu Te KO and Keiichiro TANIGUCHI

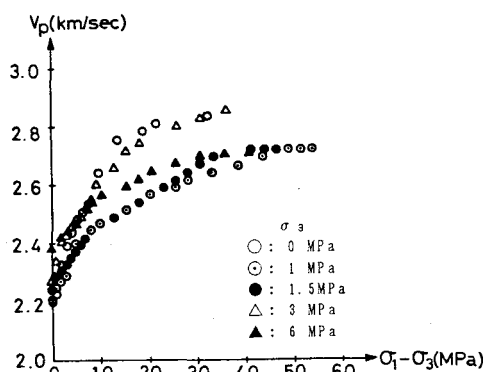


図-2 軸差応力-P波速度曲線(乾燥供試体)

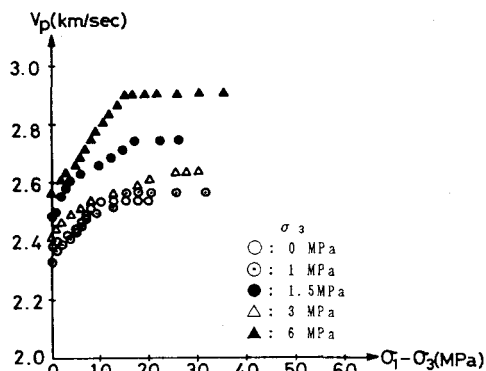


図-3 軸差応力-P波速度曲線(飽和供試体)

向が見られる。また飽和供試体のほうが全般的に高いP波速度の値を示している。しかしながら、 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ が高くなるにしたがって両供試体のP波速度の差は小さくなっている。

図-4は、拘束圧 $\sigma_3=1.5\text{MPa}$ 下における乾燥供試体および飽和供試体の体積ひずみ ε_v とP波速度 V_p との関係を示したものである。この図より、両供試体とも V_p と ε_v とは直線的な増加傾向を示し、次式のように表すことができる。

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

各供試体の 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

表-2 $V_p - \varepsilon_v$ 曲線の定数A、B

	拘束圧 (MPa)	A	B ($\times 10^2$)	相関係数 r
卓上	0	2.256	1.712	0.9805
	1	2.305	1.150	0.9582
	1.5	2.312	1.323	0.9882
大梁	3	2.361	1.267	0.9728
	6	2.437	1.017	0.9530
真包	0	2.382	0.650	0.9859
	1	2.348	0.676	0.9843
	1.5	2.453	1.224	0.9829
手口	3	2.453	1.313	0.9621
	6	2.546	2.100	0.9841

相関性を示しているのが認められる。またAはそれぞれの拘束圧下における静水圧状態での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ている。

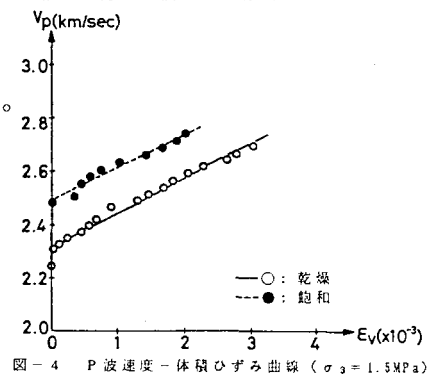


図-4 P波速度-体積ひずり曲線($\sigma_3=1.5\text{MPa}$)

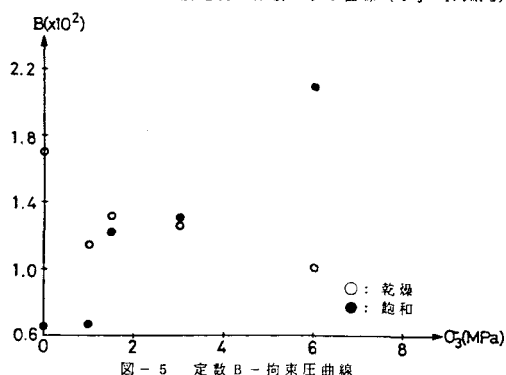


図-5 定数B-拘束圧曲線

図-5は乾燥および飽和供試体における拘束圧と定数Bとの関係を示したものである。この図より、乾燥供試体は拘束圧が大きくなるにしたがって定数Bは増加する傾向が見られる。これに対して飽和供試体は、拘束圧が大きくなるにしたがって定数Bは小さくなっているのが認められた。これらのことより、軟岩の乾燥、飽和供試体は拘束圧の大きさによって三軸応力下における体積ひずみに対するP波速度の変化はかなり異なり、乾燥供試体は拘束圧が大きくなるほど ε_v に対する V_p の増加割合は小さくなり、これに対して、飽和供試体は拘束圧が増すにしたがってその増加割合は大きくなる傾向が認められた。