

III-243

三軸応力下における岩石の弾性波速度に及ぼす間隙水の影響について

三井建設(株) 正会員○柯 武徳
 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 宮嶋 保幸

1. まえがき

岩石中を伝播する弾性波(P波)速度は、含水状態によって変化することは種々の研究によって認められているが、これらの研究は、いずれも大気圧下での成果である。実岩盤は地圧の応力下に拘束された状態にあるのが一般的で、弾性波速度に及ぼす応力の影響について考慮する必要があると思われる。本研究は、高圧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、三軸応力下における岩石の弾性波速度に及ぼす含有水分の影響について、主として実験的検討を行ったものである。

2. 実験方法および岩石試料

実験装置は、以前報告したものと同様の高圧三軸試験装置を用いた。実験方法は人為的に含水状態を作成した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、供試体が破壊に至るまで軸圧を徐々に負荷させながら、供試体のP波伝播時間を適当な間隔で測定した。また供試体側面2箇所に貼り付けたひずみゲージにより縦ひずみ ϵ_L 、横ひずみ ϵ_T を測定し、体積ひずみ $\epsilon_V = (\epsilon_L + 2\epsilon_T)$ を算出した。載荷方式はひずみ制御とし、ひずみ速度は0.04%/minとした。

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比較的均質等方性である。供試体は直径5cm、高さ10cmの円柱供試体とした。乾燥状態の一軸圧縮強度は約80MPa程度である。乾燥試料については110°C、48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使用した。乾燥、飽和試料以外は飽和試料を室内放置状態とし、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。飽和度の誤差は3%以内とした。

3. 実験結果および考察

図-1は乾燥供試体の $\sigma_3 = 6\text{MPa}$ での軸差応力-ひずみ曲線を示したものである。この図よりBieniawskiの規準に従い、この岩石は領域(1): 潜在クラック、間隙が閉塞する。領域(2): 弾性的変形。領域(3): Griffith理論に基づく安定クラックの発生による内部破壊の進展。領域(4): 不安定クラックの発達。の4つの領域に区分することができる。

図-2、3はそれぞれ飽和度20、100%における拘束圧をパラメータとした時の軸差応力とP波速度増加率の関係を示したものである。ただし、 V_{P0} は大気圧下でのP波速度である。これらの図より、いずれの供試体においても、初期の応力領域においてP波速度が著しく増加しており、その後増加の割合を徐々に減少させ、ある軸差応力で一定の値となっている。飽和度100%供試体は飽和度20%供試体と比べて、P波速度の増加傾向は低くなっている。この増加傾向をさらに深く考察するために、以下の検討を行った。

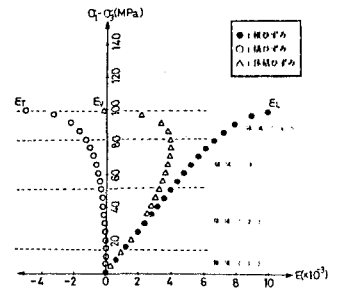


図-1 軸差応力-ひずみ曲線 (S_r = 0%, $\sigma_3 = 6\text{MPa}$)

図-2、3はそれぞれ飽和度20、100%における拘束圧をパラメータとした時の軸差応力とP波速度増加率の関係を示したものである。ただし、 V_{P0} は大気圧下でのP波速度である。これらの図より、いずれの供試体においても、初期の応力領域においてP波速度が著しく増加しており、その後増加の割合を徐々に減少させ、ある軸差応力で一定の値となっている。飽和度100%供試体は飽和度20%供試体と比べて、P波速度の増加傾向は低くなっている。この増加傾向をさらに深く考察するために、以下の検討を行った。

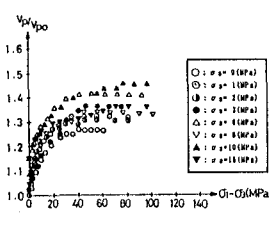


図-2 P波伝播速度増加率-軸差応力曲線 (S_r = 20%)

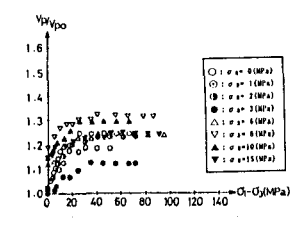


図-3 P波伝播速度増加率-軸差応力曲線 (S_r = 100%)

図-4はP波速度増加率と軸差応力との関係

より、静水圧状態から内部破壊開始点まで(すなわち、領域(2)までの) V_p/V_{p0} の増分量(すなわち、 $(V_{pd} - V_{ph})/V_{p0}$)とその時の軸差応力(σ_d)との関係を示したものである。ここで内部破壊開始点におけるP波速度を V_{pd} とし、内部破壊開始点における軸差応力を σ_d としている。この図より、多少ばらつきがあるものの、 $(V_{pd} - V_{ph})/V_{p0}$ の値が大きくなるほど、 σ_d が大きくなっている。すなわち、内部破壊開始点の軸差応力が大きくなるほど、P波速度増加率が大きくなる傾向が見られる。図-5は飽和度をパラメータとして静水圧状態から内部破壊開始点までの V_p/V_{p0} の増分量と拘束圧との関係を示したものである。この図より、同一拘束圧において飽和度が低くなるほど、内部破壊開始点までのP波速度増加率は大きくなる傾向が見られる。この図と図-4を併せて見ると、飽和度が低くなるほど、内部破壊開始点までの軸差応力の大きさが大きくなるにたがって、その時のP波速度増加率は大きくなる傾向が認められる。

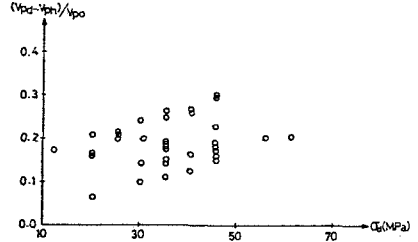


図-4 $(V_{pd} - V_{ph})/V_{p0}$ と σ_d との関係

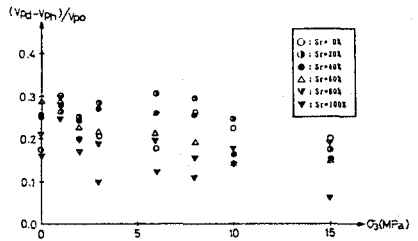


図-5 $(V_{pd} - V_{ph})/V_{p0}$ と拘束圧との関係

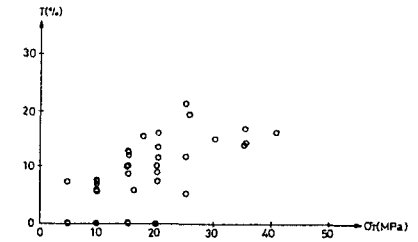


図-6 T と σ_T の関係

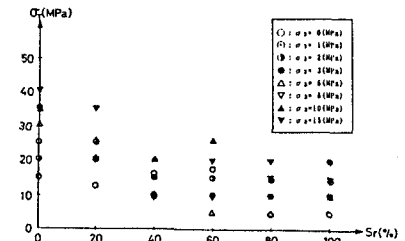


図-7 σ_T と飽和度との関係

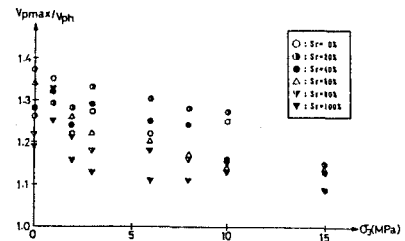


図-8 (V_{pmax}/V_{ph}) と拘束圧との関係

P波速度増加率-軸差応力曲線における静水圧状態から体積膨張開始点までの V_p/V_{p0} 値の増加量を100%とし、内部破壊開始点から体積膨張開始点までの V_p/V_{p0} 値の増加量に対する静水圧状態から、体積膨張開始点までの V_p/V_{p0} 値の増加量との割合をT%とする。また、内部破壊開始点から体積膨張開始点までの軸差応力を σ_T とし、Tと σ_T との関係を示したものが図-6である。この図より、多少ばらつきがあるものの、内部破壊開始点から体積膨張開始点までの軸差応力の大きさが大きくなるほど、その時のP波速度増加割合は大きくなる傾向が見られる。図-7は、拘束圧をパラメータとして内部破壊開始点から体積膨張開始点までの軸差応力と飽和度との関係を示したものである。この図より、飽和度が低くなるほど内部破壊開始点から体積膨張開始点までの軸差応力の大きさは大きくなる傾向が見られる。この図と図-6を併せて見ると、飽和度が低くなるほど、内部破壊開始点から体積膨張開始点までの軸差応力の大きさが大きくなり、それにたがって、その時のP波伝播速度増加割合は大きくなる傾向が認められる。

図-8は飽和度をパラメータとして V_{pmax}/V_{ph} 値と拘束圧との関係を示したものである。ただし V_{pmax}/V_{ph} は、三軸応力下でのP波速度の最大値に対する静水圧状態下でのP波速度との割合である。この図より V_{pmax}/V_{ph} は多少ばらつきがあるものの、飽和度が大きくなるほど小さくなる傾向が見られる。また、いずれの飽和度においても、拘束圧が大きくなるほど、 V_{pmax}/V_{ph} は小さくなっている。特に拘束圧15MPaにおいては、飽和度の大小による各供試体の差は小さくなっている。