

III-202 応力による岩石の変形特性と弾性波伝播特性との関連性について・1 (砂岩)

関西大学工学部 正会員 谷口敬一郎

関西大学工学部 正会員 楠見 晴重

サコ・コンサルタント(株) 正会員○森本 耕司

1. 緒言

岩盤中の岩石は一般に地圧の応力下に拘束された状態にあり、この応力が解放された状態では岩石の弾性波伝播速度がもとの状態とは異なることが知られている。したがって、弾性波による岩盤調査の精度をより向上させるためには、岩石の応力下における弾性波伝播特性を定量的に把握することが必要であると思われる。

本研究は、一般的な高圧三軸圧縮試験機を加圧方向に弾性波が測定できるように改造し、岩石の三軸応力下ならびに静水圧下における弾性波伝播特性について検討を行ったものである。

2. 実験装置および実験方法

実験装置は、図1に示すように軸荷重能力100tf、側圧能力500kgf/cm²の高圧三軸圧縮試験機を利用し、加圧盤内に固有振動数300KHzのP波発振子、受振子を埋め込み、荷重を加えた状態でP波速度を測定できるようにした。実験は各側圧において直径50mm、高さ100mmの円柱供試体が破断ならびに残留強度状態に至るまでP波速度を測定した。また、静水圧450kgf/cm²までのP波速度の往復測定を行った。岩石供試体の変形状態は、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 $\epsilon_V = (\epsilon_L + 2\epsilon_T)$ を算出した。載荷方法はひずみ制御とし、ひずみ速度は0.05%/minとした。

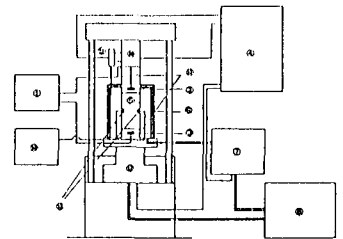


図1 実験装置概略図
① 高圧三軸圧縮試験機
② 圧力伝達液
③ 圧力計
④ 圧力ポンプ
⑤ 圧力ポンプ
⑥ 圧力ポンプ
⑦ 圧力ポンプ
⑧ 圧力ポンプ
⑨ 圧力ポンプ
⑩ 圧力ポンプ
⑪ 圧力ポンプ
⑫ 圧力ポンプ
⑬ 圧力ポンプ
⑭ 圧力ポンプ
⑮ 圧力ポンプ
⑯ 圧力ポンプ
⑰ 圧力ポンプ
⑱ 圧力ポンプ
⑲ 圧力ポンプ
⑳ 圧力ポンプ
㉑ 圧力ポンプ
㉒ 圧力ポンプ
㉓ 圧力ポンプ
㉔ 圧力ポンプ
㉕ 圧力ポンプ
㉖ 圧力ポンプ
㉗ 圧力ポンプ
㉘ 圧力ポンプ
㉙ 圧力ポンプ
㉚ 圧力ポンプ
㉛ 圧力ポンプ
㉜ 圧力ポンプ
㉝ 圧力ポンプ
㉞ 圧力ポンプ
㉟ 圧力ポンプ
㊱ 圧力ポンプ
㊲ 圧力ポンプ
㊳ 圧力ポンプ
㊴ 圧力ポンプ
㊵ 圧力ポンプ
㊶ 圧力ポンプ
㊷ 圧力ポンプ
㊸ 圧力ポンプ
㊹ 圧力ポンプ
㊺ 圧力ポンプ
㊻ 圧力ポンプ
㊼ 圧力ポンプ
㊽ 圧力ポンプ
㊾ 圧力ポンプ
㊿ 圧力ポンプ

図1 実験装置概略図

実験には、表1に示す大阪府南部産の和泉砂岩、長野県南部産の伊那川砂岩を用いた。和泉砂岩は中世代の和泉層群の均質な粗粒砂岩であり、伊那川砂岩は古生層の細粒砂岩で珪化作用による縞模様が軸方向にみられる。

3. 実験結果および考察

三軸応力下における岩石の破壊過程での供試体内部の変形様式はBieniawskiによってまとめられている。図2、3は、和泉砂岩、伊那川砂岩の側圧25kgf/cm²での軸差応力-ひずみ曲線を示す。Bieniawskiの規準に従い、図2に示すように和泉砂岩は

表1 各供試体の物理特性

	P波速度 (km/sec)	S波速度 (km/sec)	密度 (g/cm ³)	比重	吸水率 (%)	有効空隙率 (%)
和泉砂岩	4.37	2.31	2.56	2.75	1.79	4.09
伊那川砂岩	5.15	2.99	2.69	2.87	0.34	0.96

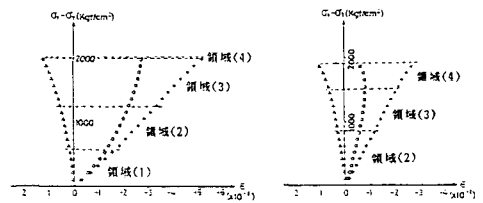


図2 軸差応力-ひずみ曲線
和泉砂岩: 側圧25kgf/cm²

図3 軸差応力-ひずみ曲線
伊那川砂岩: 側圧25kgf/cm²

領域(1):潜在する微小クラック、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

と供試体内部の変形状態を区分することができる。同様に伊那川砂岩は、図3に示すように軸差応力の低い時に軸差応力-ひずみ関係に非線形な領域(1)が見られない。

図4は、和泉砂岩の側圧25kgf/cm²での軸差応力の増加に伴うP波

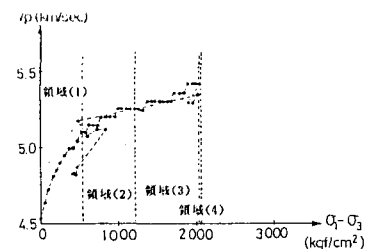
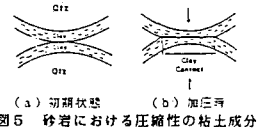


図4 軸差応力とP波速度の関係
和泉砂岩: 側圧25kgf/cm²

速度の変化を示したものである。領域(1)-(4)に区分すると、領域(1)においてP波速度の増加が著しい。これは、図5に示すような構成粒子間をつなぐ圧縮性の粘土成分の軸方向への圧着が著しく、P波伝播経路が短くなるためと思われる。



そして、この側圧での静水圧0kgf/cm²、軸差応力0kgf/cm²を基準とした体積ひずみ ϵ_v の増加に伴うP波速度の変化を示したものが図6である。軸差応力に対するよりも直線的な増加傾向を示し、領域(2)におけるその増加の割合は各側圧においてほぼ等しくなる。図7は、和泉砂岩の側圧をパラメータとして軸差応力に対するP波速度の変化を示したものである。最大となるP波速度は、側圧25~100kgf/cm²ではほぼ等しくなるが、側圧0kgf/cm²では他の側圧より低くなる。図8は、体積ひずみに対するP波速度の変化を側圧をパラメータとして示したものである。各側圧の領域(1)でのその増加の割合にばらつきがあるが、軸差応力下におけるP波速度Vpと体積ひずみ ϵ_v との関係は次式により直線近似することができる。

$$V_p = 4.77 - 2.18 \times 10^{-2} \epsilon_v \quad (\text{km/sec}) \quad (1)$$

また、静水圧下においては

$$V_p = 4.45 - 2.60 \times 10^{-2} \epsilon_v \quad (\text{km/sec}) \quad (2)$$

となる。同一体積ひずみでは、ほぼ軸差応力下の領域(1)での増加分だけ低くなり、これは軸差応力下では粘土成分の圧着が軸方向へ卓越するためと考えられる。

図9、10は、和泉砂岩と同様に伊那川砂岩の側圧 25kgf/cm²での軸差応力、体積ひずみに対するP波速度を示したものである。領域(2)でP波速度は増加し、領域(2),(3)ではほぼ一定である。これは、和泉砂岩と同様に粘土成分の変形によるP波伝播経路の変化によるものと考えられるが、伊那川砂岩は粒径が小さく固結度が高いために軸差応力-ひずみ関係において領域(1)が存在しないものと考えられる。そして、P波速度の増加は最大約10%と和泉砂岩の約20%に対して小さくなっている。図11、12は和泉砂岩と同様に側圧をパラメータとして伊那川砂岩の軸差応力、体積ひずみに対するP波速度を示したものである。側圧により最大となるP波速度にばらつきがあり、体積ひずみに対しても和泉砂岩のような明瞭な関係はみられない。これは、伊那川砂岩が細粒砂岩のもつ緻密な構造組織に珪化作用として粗い石英の結晶どうしの結合部が低速度層として介入しているためによるものと思われる。

図9、10は、和泉砂岩と同様に伊那川砂岩の側圧 25kgf/cm²での軸差応力、体積ひずみに対するP波速度を示したものである。領域(2)でP波速度は増加し、領域(2),(3)ではほぼ一定である。これは、和泉砂岩と同様に粘土成分の変形によるP波伝播経路の変化によるものと考えられるが、伊那川砂岩は粒径が小さく固結度が高いために軸差応力-ひずみ関係において領域(1)が存在しないものと考えられる。そして、P波速度の増加は最大約10%と和泉砂岩の約20%に対して小さくなっている。図11、12は和泉砂岩と同様に側圧をパラメータとして伊那川砂岩の軸差応力、体積ひずみに対するP波速度を示したものである。側圧により最大となるP波速度にばらつきがあり、体積ひずみに対しても和泉砂岩のような明瞭な関係はみられない。これは、伊那川砂岩が細粒砂岩のもつ緻密な構造組織に珪化作用として粗い石英の結晶どうしの結合部が低速度層として介入しているためによるものと思われる。

4. 結論

砂岩の三軸応力下におけるP波伝播速度の変化はBieniawskiの規準に従い区分すると、領域ごとでは岩種によりその増加の割合は異なるが、体積圧縮量にはほぼ直線的に比例することが認められた。その変化は、構成する粒子の粒径と粒子間をつなぐ圧縮性の粘土成分の変形によるP波伝播経路の変化により説明できるものと思われる。

参考文献：土質工学会：岩の工学的性質と設計・施工への応用, pp199-208, 1974.

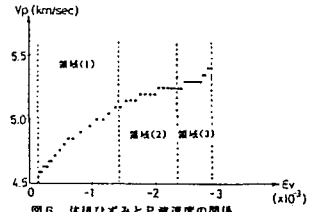


図6 体積ひずみとP波速度の関係
和泉砂岩：側圧25kgf/cm²

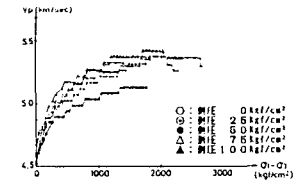


図7 和泉砂岩における
軸差応力とP波速度の関係

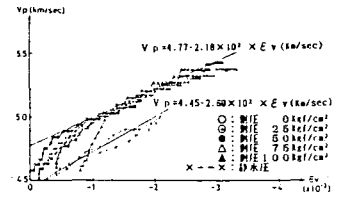


図8 和泉砂岩における
体積ひずみとP波速度の関係

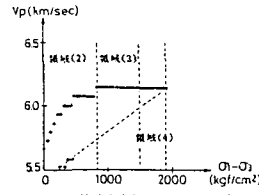


図9 軸差応力とP波速度の関係
伊那川砂岩：側圧25kgf/cm²

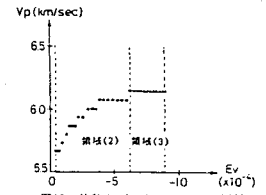


図10 体積ひずみとP波速度の関係
伊那川砂岩：側圧25kgf/cm²

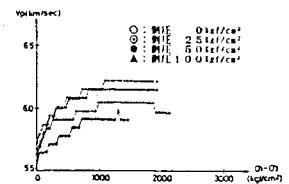


図11 伊那川砂岩における
軸差応力とP波速度の関係

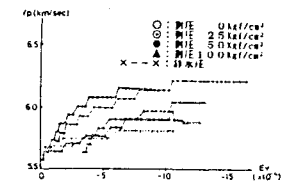


図12 伊那川砂岩における
体積ひずみとP波速度の関係