

86. 携帯型弾性波速度測定機で測定されたコア超音波速度と岩盤特性の比較

A comparison between core P-wave velocities measured by the HSV-2000 and in-situ rock characteristics

○長 秋雄 (産業技術総合研究所)・兼間 強 (地質計測株式会社)

Akio CHO and Tsuyoshi KANEMA

1. はじめに

岩盤の弾性波速度は弾性定数と直接に関連する物理値であり、岩盤評価に活用されている。岩盤・岩石の弾性波速度は様々な方法で測定される。地表での屈折法弾性波探査では岩盤の大局的な速度構造の把握が行われ、地質構造や岩盤評価に速度値が活用されている。調査孔では速度検層が実施され、より詳細な地質構造の把握に利用される。コア弾性波速度は岩石内部の微細構造を反映している。

それぞれの調査法で用いられる弾性波の周波数は異なり、屈折法弾性波探査では 10Hz~100Hz、速度検層では 20Hz~100Hz、コア速度測定では数 100kHz~1MHz である。測定される弾性波速度は、それぞれの波長に対応する岩盤・岩石の階層的な構造の応答結果である。階層的な構造とは、地表の弾性波探査では断層・低速度帯・数 m 規模の亀裂帯であり、速度検層では薄層や巨視的な亀裂が対応し、コア弾性波速度測定においては結晶粒界等に存在する cm~mm 規模の微小亀裂が主たるものである。したがって、それぞれの速度値は類似するが、厳密には一致しない。これら速度値を岩盤評価に用いる場合は、調査対象構造物の規模や目的に応じて使い分けられるべきであり、それぞれに存在意義を有している。

コア弾性波速度は岩石内部の微細構造を敏感に反映し、ばらつきが顕著である。速度値の評価に際しては多数の測定結果の統計値から、岩石や岩盤の評価を実施することが望ましい。従来の整形を伴うコア弾性波速度測定法では、多数の測定を実施することが困難である。

本発表では、携帯型超音波速度測定機 (HSV-2000) を用いて、HQ 調査ボーリング孔コア (花崗岩) の超音波速度を 50cm 間隔で測定した結果と、その各種検層値・岩級区分との比較結果を報告する。そして、HSV-2000 によるコア超音波速度測定は簡便であり、かつ岩盤評価に有用であることを示す。

2. 携帯型超音波速度測定機 (HSV-2000) と測定方法

2.1 携帯型超音波速度測定機 (HSV-2000)

携帯型超音波速度測定機 HSV-2000 は、簡単にたとえると、ノギスに 2 つの振動子をつけたようなものである (図-1)。測定供試体を 2 つの振動子で挟みこみ、測定区間長と伝播時間を測定する。これらの値から、供試体の超音波 (P 波) 速度を算出する。伝播時間の

測定は、測定機に組み込まれたデジタルオシログラフ (図-1 参照) に表示されるスタッキング受振波形の立ち上がりを目視により読み取る。供試体の端面成形は不要で、異形のものでも測定可能である。重量は約 6kg、バッテリー動作可能、1 回の測定に要する時間は 5 分程度であり、どのような作業環境でも簡便にコア超音波速度測定が可能である。

HSV-2000 の主な仕様は次の通りである。

- ・振動子駆動出力部
 - 出力パルス電圧: 400V_{Peak}
 - 出力パルス立ち上がり時間: 0.2 μ sec
- ・速度測定器具
 - P 波用振動子・受振子: 固有周波数 300kHz
 - 最大測定長: 135mm
 - 測定器具: プラスチックダイヤルノギス
- ・受振波形表示部
 - 表示画面: 5inch 高輝度 LCD
 - 時間表示: 10nsec/div~50sec/div
- ・装置部
 - 電源: AC100V/DC12V
 - 寸法: 400(W)×290(D)×130(H)mm
 - 重量: 約 6kg

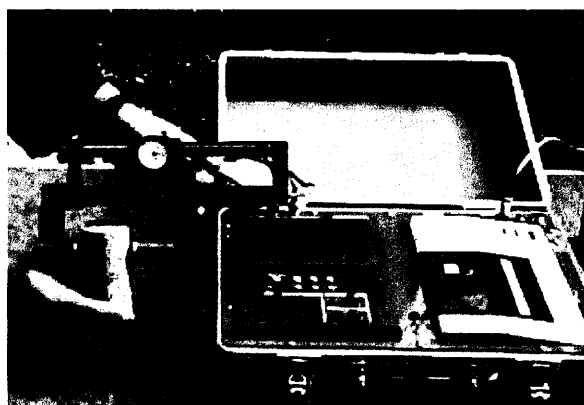


図-1 携帯型超音波速度測定機 HSV-2000 外観

2.2 供試体と測定方法

今回のコア超音波速度測定に用いた供試体は、岡山市内で行われた調査ボーリング孔で採取された HQ サイズのボーリングコア (直径 58mm、主に粗粒花崗岩で一部細粒花崗岩を含む。) である。深さ 148m から 340m までのコアの直径方向の超音波速度を測定した (図-2)。測定は 50cm ごとに行った。この区間では、

(1)岩級区分 CL 級から B 級の岩盤が分布すること, (2) 検層値 (速度・密度・比抵抗) に変動が見られること, (3)変質度 1・2・3 (JACIC 基準¹⁾) のコアが分布することから (図-3 参照), コア超音波速度も変動することが期待され, コア超音波速度と岩盤状況を対比するには適した区間と考えられた。1 測定深度ごとに直交 2 方向の速度を測定し, 平均値をその深度での速度とした (図-2)。コアは 2001 年 8 月~12 月にかけて採取されたもので, コア超音波速度測定は 2004 年 1 月と 4 月に行われた。この間コアはコア箱に収納され室内保管されており, 測定時のコアは自然乾燥状態にあったと考えられる。

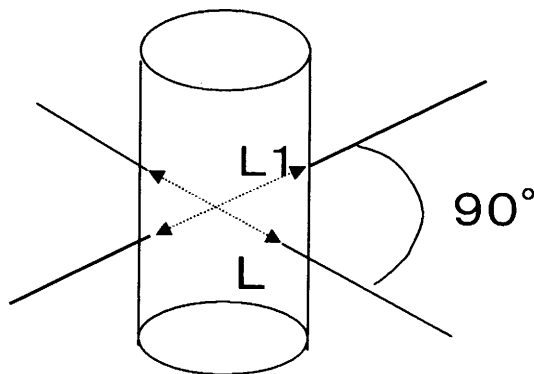


図-2 コア超音波速度測定方向

測定では, 超音波発振子とコアの間の波動伝播的接触を高めるために, 両者の接触部にグリースを塗布するとともに, 測定中はコアと振動子間を指圧した。直

交 2 方向の速度値が大きく異なるときは, 接触状態の不具合が考えられるので再測定を行った。コアが亀裂によって二分しているときは測定を行わなかった。

3. コア超音波速度測定結果

コア超音波速度測定結果を図-3の左端の図に示す。この図では, コア箱に 1m ごとに収納されたコアの 25cm 位置と 75cm 位置で測定したコア超音波速度の平均値をその 1m 区間の代表値とした。測定されたコア超音波速度は 2~5km/sec であった。これらの値は, 工藤ほか^{2), 3)} が共振周波数約 1MHz の振動子を用いてパルス透過法で測定した瀬戸内地域の花崗岩の気乾状態 (原文のまま, 筆者注) での速度値 3~5km/sec と一致した。

図-3 には, 調査孔で実施された P 波速度検層値・密度検層値・比抵抗検層値 (ショートノルマル値, 電極間隔 25cm)・岩級区分の深さ分布を並べて示している。検層値は 10cm 毎に値が計測されているが, 1m 区間の 10 個の値の平均値をその 1m 区間の代表値とした。図-3 から見てとれるように, コア超音波速度の低下区間 (4km/sec 以下) は, 検層での P 波速度の低下区間 (5km/sec 以下), 密度値の低下区間 (25kN/m³ 以下), 比抵抗値の低下区間 (2kΩm 以下), 岩級区分の低下区間 (CL~CM 級) とおおむね一致した。

以降では, コア超音波速度と各検層値や岩級区分との相関を検討する。

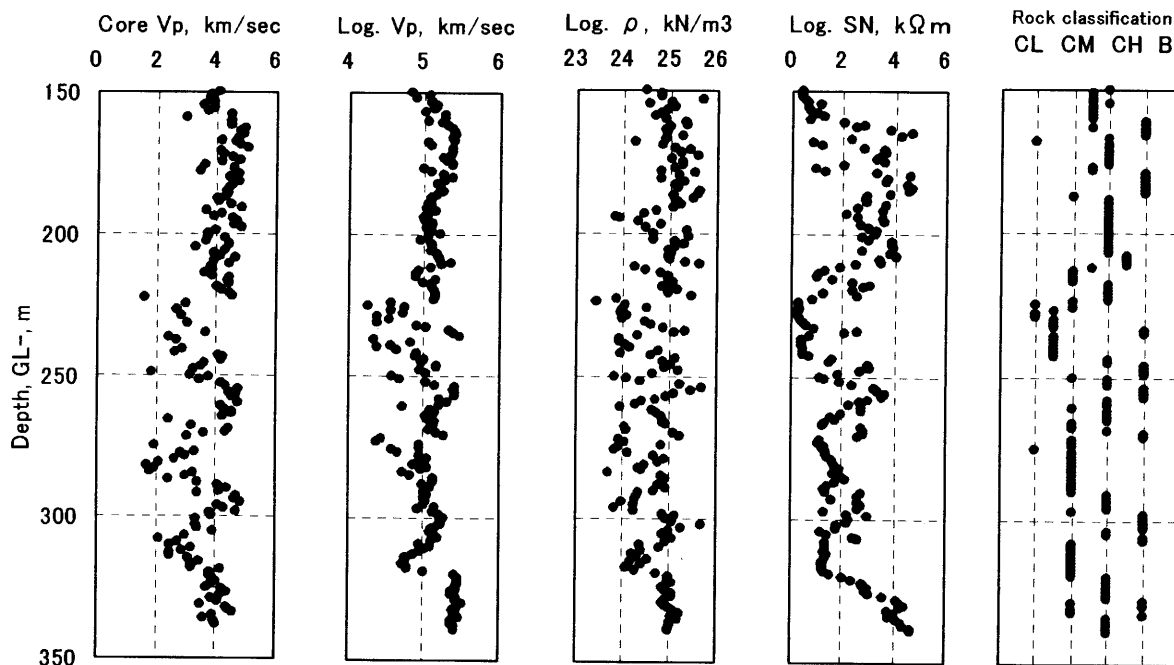


図-3 コア超音波速度値・速度検層値・密度検層値・比抵抗検層値・岩級区分の深さ分布

3.1 P波速度検層値との相関

図-4に、コア超音波速度とP波速度検層値との相関を示す。両者の間には正の相関が認められた。

コア超音波速度はP波速度検層値より小さかった。速度差の頻度分布を図-5に示す。速度差2km/secまでで全体の88%を占め、最大差は3.5km/secであった。両者の速度値が異なる理由は、コア超音波速度は自然乾燥・無拘束圧状態での速度であり、検層速度は湿潤・拘束圧状態での速度であるという、環境条件の違いによるものである。亀裂への含水により速度は増加する。また、拘束圧による亀裂の閉塞によっても、速度は増加する。これらについては、次の講演で理論的検討を行う⁴⁾。

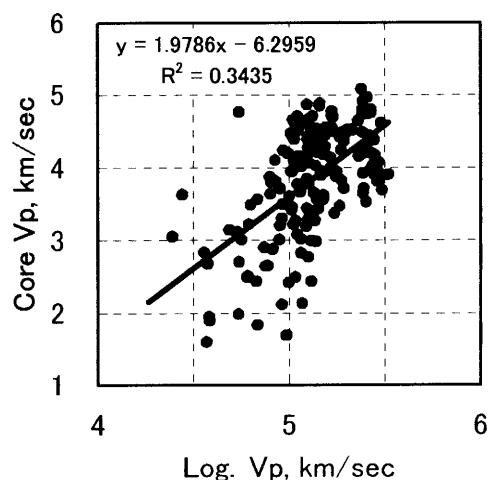


図-4 コア超音波速度と検層速度値の相関

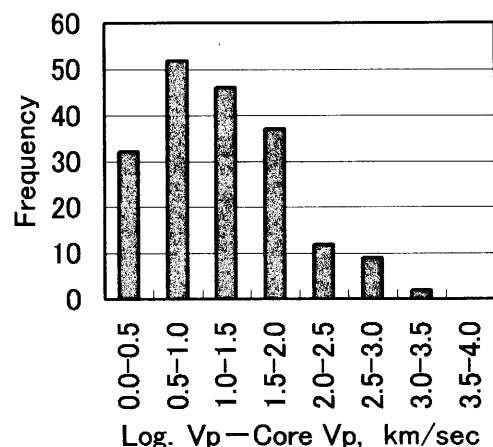


図-5 コア超音波速度と検層速度の差の頻度分布

3.2 密度検層値との相関

図-6に、コア超音波速度と密度検層値との相関を示す。両者の間には、弱い正の相関が認められた。

一般に、密度値の大きい岩石ほど速度は大きい。また、岩石内部での間隙の増加や変質や風化に伴う構成鉱物の変化により、密度低下と速度低下が起こる。これらが原因となり、両者の間で相関が生じている。

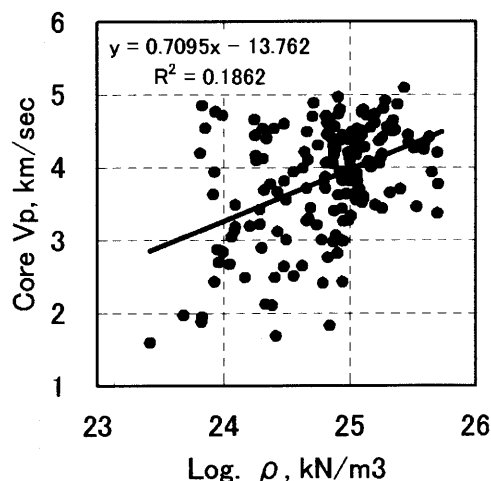


図-6 コア超音波速度と密度検層値の相関

3.3 比抵抗検層値との相関

図-7に、コア超音波速度と比抵抗検層値（ショートノルマル値、電極間隔25cm）との相関を示す。両者の間には、正の相関が認められた。

岩盤の比抵抗は、巨視的な亀裂が発生し、その亀裂に水が含まれると低下する。一方、供試体にそれを二分するような巨視的な亀裂が含まれる場合、コア超音波速度測定はできない。そのため、両者を直接的に比較することは難しい。しかし、巨視的な亀裂の発生と同時に母岩でも微視的な亀裂が発生することや、巨視的な亀裂の発生後にその亀裂に沿って母岩の変質が進むことが考えられる。これらは、母岩での超音波速度の低下を引き起こす。力学物性値である超音波速度と電気物性値である比抵抗値との間には、本質的には相関性はないが、亀裂や変質を介して見かけの相関性が生じている。

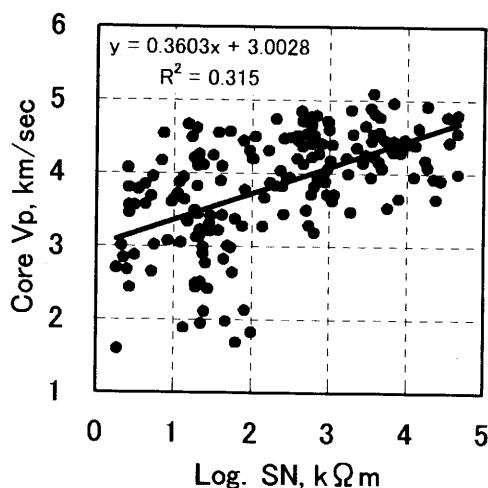


図-7 コア超音波速度と比抵抗検層値の相関

3.4 岩級区分との相関

図-8に、コア超音波速度と岩級区分との相関を示す。岩級区分 CL 級・CM 級・CH 級の区間において、両者の間に正の相関が認められた。CH 級岩盤と B 級岩盤では、コア超音波速度に相違は見られなかった。

コア超音波速度が、亀裂頻度・変質・硬軟・風化についての目視観察結果から総合的に判定される岩級区分と相関するという今回の結果は、岩盤の階層的な構造が広い範囲で保たれていることを示唆している。すなわち、1m 規模の岩級区分構造とコア内部の cm～mm 規模の微小構造とが相関している。

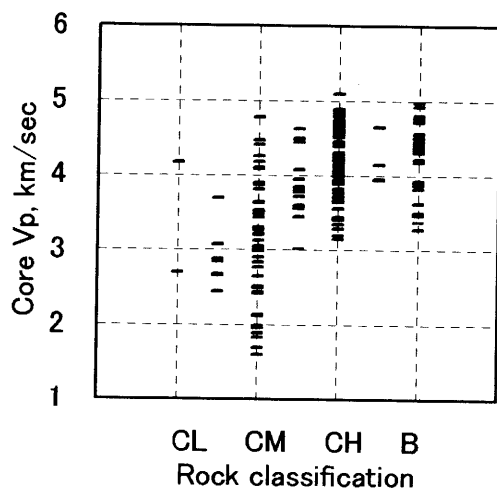


図-8 コア超音波速度値と岩級区分の相関

4. まとめ

携帯型超音波速度測定機 (HSV-2000) を用いて、花崗岩岩体での調査ボーリング孔で採取された深さ

148m～340m 区間の花崗岩コアの超音波速度 (P 波、自然乾燥状態) を 50cm 間隔で測定した。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) コア超音波速度と速度検層値 (P 波)・密度検層値の間には、よい相関が認められた。
- (2) コア超音波速度と比抵抗検層値には、弱い相関が認められた。
- (3) コア超音波速度と岩級区分の間には、岩級区分 CL 級～CH 級区間において、よい相関が認められた。
CH 級岩盤と B 級岩盤では、コア超音波速度に違いは認められなかった。
- (4) 以上の結果から、コア超音波速度測定が岩盤評価に有用であることが確認できた。

携帯型超音波速度測定機 (HSV-2000) はバッテリーでも動作可能であり、1 回の測定は 5 分程度で完了する。重量は約 6kg と軽量である。HSV-2000 を用いれば、どのような作業環境でも簡便かつ迅速にコア超音波速度測定が可能である。各種の調査ボーリング孔の現場において採取直後のコアを用いれば、最も不撓乱な状態でコア超音波速度を測定できる。本測定機のこのような特性は、スレーキングを起こす岩石では特に有用である。また、パイロットボーリングでの採取コアを対象として、本測定機を用いたコア超音波速度測定と岩盤評価は、岩盤評価の迅速化・情報化施工・工期の短縮・工費の削減に資するものである。

謝辞 本報告で用いたコア・検層値・岩級区分値は、原子力委員会の評価に基づき、文部科学省原子力試験研究費で実施した調査ボーリングのものである。調査ボーリングの実施においては地権者より多大なご協力を得た。ここに記して皆様に感謝します。

引用文献

- 1) JACIC(1999): ボーリング柱状図作成要領 (案) 解説書 (改訂版), 建設大臣官房技術調査室監修, (財) 日本建設情報総合センター, 55p.
- 2) 工藤洋三・橋本堅一・佐野修・中川浩二(1986): 花崗岩の力学的異方性と岩石組織欠陥の分布, 土木学会論文集, **370**, III-5, pp.189-198.
- 3) 工藤洋三・橋本堅一・佐野修・中川浩二(1987): 瀬戸内地方の採石場における花崗岩質岩石の異方性, 土木学会論文集, **382**, III-7, pp.45-53.
- 4) 兼間強・長秋雄(2006): 岩盤速度値の評価に用いる亀裂モデル, 日本応用地質学会平成 18 年度研究発表会講演論文集, 講演番号 82.