

浅部における風化花崗岩の速度構造に関する事例紹介

日本物理探査株式会社 濱田 康太

1. はじめに

本発表は浅層部に分布する風化花崗岩について検討した。今回、地質構成や工学的性質が変化する区域でPS検層を数多く実施できた。この小論では、調査区域で得られたP波S波の速度分布、地質（岩級）、ポアソン比を用いて風化花崗岩の岩盤状況を評価した事例を紹介する。

2. 調査地の地形地質と調査概要

調査地は花崗岩山地とこれを開析して形成された低地で構成される。調査範囲は北西-南東方向に2km程度の線形であり、橋梁基礎を対象とした調査ボーリングを実施した。基盤岩は中粒-粗粒の黒雲母花崗岩である。図-1にボーリング位置及び地質図を示す。

調査内容はコアボーリング、標準貫入試験、PS検層（ダウンホール方式）のほかコア状態の良い箇所にて超音波速度測定を行った。

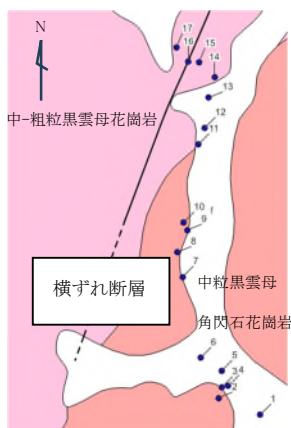


図-1 調査位置図

3. 基盤岩の岩相区分

調査結果を検討して花崗岩を4相(WGr、Gr1~Gr3)に分類した。N値、風化度や見た目、硬軟を踏まえて工学上の岩相分けを行った。表-1に当調査地の花崗岩以深の地質層序と弾性波速度の平均値、動ポアソン比 ν_d を示す。

表-1 地質層序とN値、Vp、Vs、 ν_d

年代	地層名	土質・土軟硬区分	岩級	記号	N値目安	代表N値	平均Vp	平均Vs	動ポアソン比 ν_d	
中生代	白垩紀	中粗粒黒雲母花崗岩	砂質土 硬混り砂質土	D L D M	WGr	50未満	24	900	280	0.45
			軟岩	D H	Gr1	50~300	100	1500	400	0.46
				C L	Gr2	300以上	300	1800	680	0.42
		中硬岩	C M	Gr3	貫入不能	—	2400	1100	0.37	

弾性波速度を平均値で評価すると、岩級が上がるにつれて、代表N値が増加し、Vp、Vsも共に増加する傾向が見える。また、 ν_d はWGrとGr1で概ね同程度、Gr2、Gr3と低くなっていく。

4. PS検層を用いた浅部における風化花崗岩の評価
(1) Vsの速度特性

図-2に調査地の断面図と検層で得られた花崗岩中のP波速度(Vp)およびS波速度(Vs)の分布を示す。

まず、図-2(下)のVsの分布に着目する。土質において、S波速度とN値には相関があることは一般的に知られており、今井の式 $V_s = 97N^{0.314}$ などに代表される相関式が与えられている¹⁾。ここでGr1の代表N値100を相関式に当てはめると $V_s = 410\text{m/s}$ となる。表-1ではGr1の平均 $V_s = 400\text{m/s}$ となっている。また、他の層についてもN値からの換算 V_s と実測平均 V_s は概ね同様の値となる。このことから当該地の風化花崗岩にはN値との相関が認められる。また、 V_s については、図-2(下)の断面を見ても深部につれて速度が上がる傾向が確認できる。特に、岩級 $C_L \sim C_M$ 級の岩盤が出現する調査地南側では、北側で確認できた V_s の倍以上の速度を確認した。 V_s は本調査で設定した岩級区分と相関があるといえる。

(2) Vpの速度特性

次に、図-2(上)のVpの分布に着目する。Vpは深部につれて速度が上がる傾向が確認できるが、特に、岩級 $D_H \sim C_L$ 級の岩盤において岩級区分と速度の区分は一致していない。また、Gr1~Gr2は主に、 $V_p = 1700 \sim 2500\text{m/s}$ を示す範囲が全域に目立つ。

Vpは飽和層の場合、水の速度の影響を受けることが知られており、地盤速度が遅い場合であっても、 1500m/s に近い値を示す場合がある。 $V_p \geq 1700\text{m/s}$ を示す範囲については、読み取りによる誤差を考慮しても、水の影響を含まない地盤の速度を反映していると思われる。

Bor15、16付近において、Gr1中に周囲のVpに比べて低い、 $V_p = 1500\text{m/s}$ を示す深度がある。同深度のVsについ

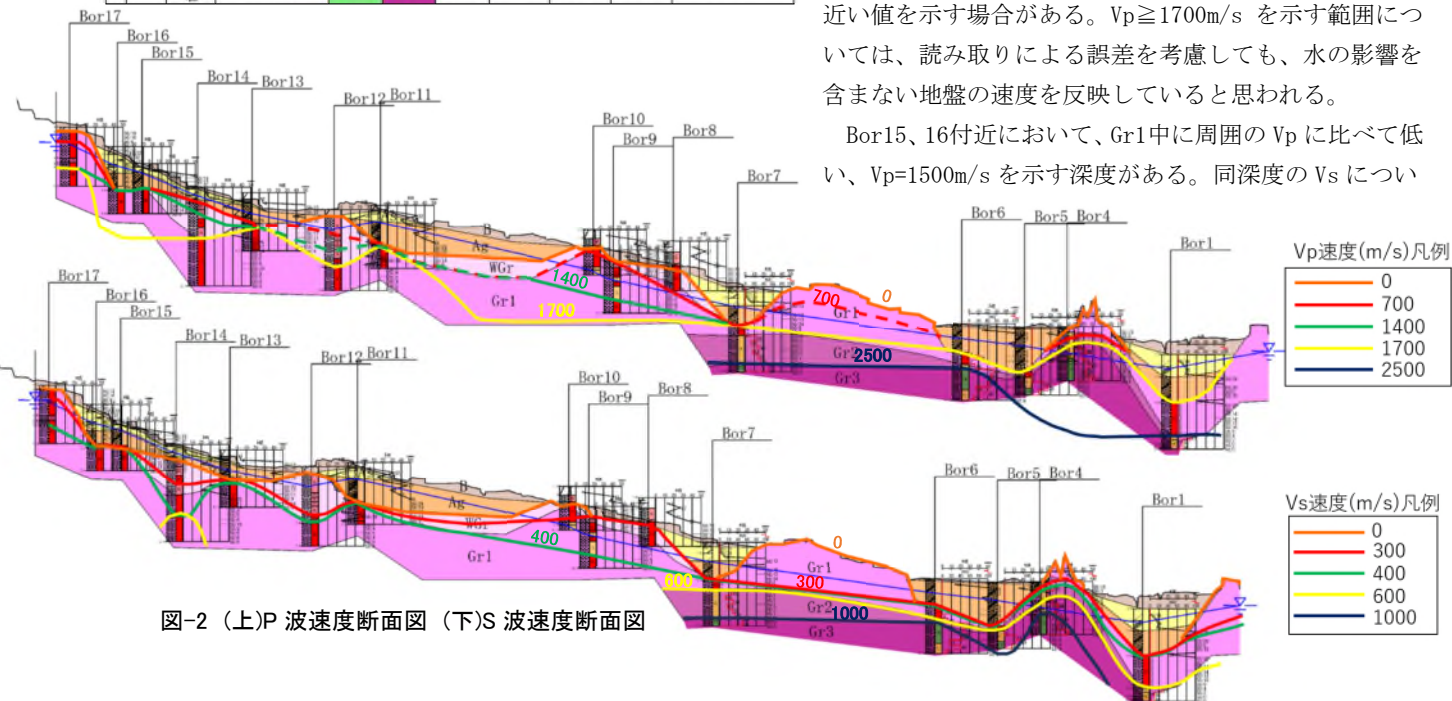


図-2 (上)P波速度断面図 (下)S波速度断面図

ては、周囲のボーリングと同様の速度を示している。
 $V_p=1500\text{m/s}$ を示している場合、完全飽和状態にあり、実際の V_p はさらに低い可能性が考えられる。

(3) V_p と V_s 、 ν の分布から見える風化花崗岩の特性

図-3に各層と V_p 、 V_s の関係を示す。各岩相の枠内に入っている速度帯が今回の調査で各岩相において確認された速度、速度帯の面積は確認された比率である。

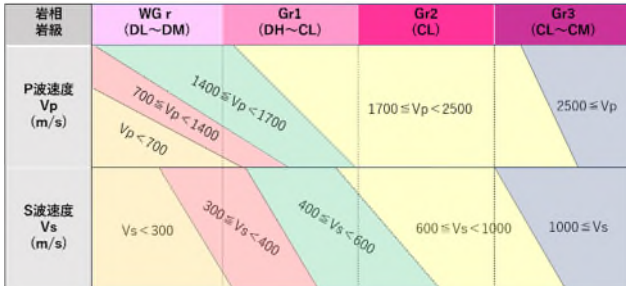


図-3 弾性波速度と岩級との比較

図-3によると、 V_s は今回の岩相区分と概ね相関がある。一方 V_p は $1700 \sim 2500\text{m/s}$ を示す範囲が広く、岩級 $D_H \sim C_L$ (C_M) まで幅広く分布している。 V_s に速度差がある場合でも、 V_p は同程度の速度を示す場合があるといえる。 C_M 級岩盤の範囲では V_p 、 V_s とともに高速であり、 $D_H \sim C_L$ 級の範囲でのみ見られる傾向といえる。

図-4には原位置での V_p 、 V_s の分布と、室内試験で実施した値(X)をプロットした。室内試験は岩石試料が硬質であった Gr2、Gr3でほとんど実施しており、値はいずれも、動ポアソン比 $\nu=0.3 \sim 0.35$ 程度の値を示す位置にプロットされている。一方、検層の結果をみると、プロット位置が大きくバラついており、Gr1~Gr2を主として、動ポアソン比 $\nu \geq 0.45$ となる値が確認される。特に、 $V_s=400\text{m/s} \sim 600\text{m/s}$ 、 $V_p=1700 \sim 2500\text{m/s}$ 程度の範囲で V_s に対して V_p が速く、動ポアソン比 ν が高い傾向があるといえる。また、 $V_p=2500\text{m/s}$ を超えると ν は低くなる。

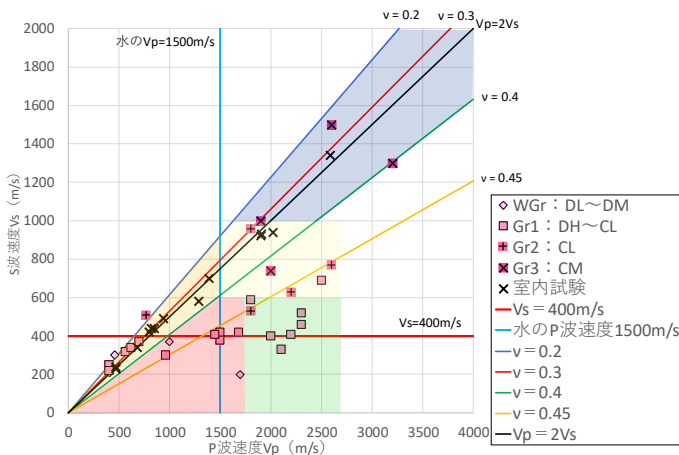


図-4 原位置データ及び室内試験 V_p と V_s の分布

5. 考察

① V_s が浅層部のマサ・風化花崗岩において岩級と相関があることを確認した。浅層での橋梁基礎の分野においては、N 値に加え、S 波速度を補完的に利用した層区分や岩級区分が有効である。

② $D_H \sim C_L$ 級の岩盤において、原位置での V_p と岩級の相関は悪く、室内試験結果に比べポアソン比が大きい。軟岩は拘束圧下において V_p が速くなる傾向にあるためと推察する。この特性は付加体の混在岩などでも顕著であり、施工時の応力開放に注意が必要な、亀裂質で剥離性のある岩盤に類似しているといえる。こうした特性の軟岩は、浅部で出現するため、基礎の施工時に掘削を行う場合等には注意が必要である。

拘束圧による影響の他に考えられる動ポアソン比増加の原因として、土砂化の影響が考えられる。一般的に、 V_s が遅い土質では、動ポアソン比が高く出ることが知られている。 $V_s=400\text{m/s}$ 程度が岩盤と土質の境界と考えられ、図-4を見ると、 $V_s=400\text{m/s}$ より下部に分布するものについては、土砂化の影響を受けていると考える。

この二点が $D_H \sim C_L$ 岩盤の V_p が高い要因である。

③ Bor15、16付近における V_p は 1500m/s 程度であった。隣接する Bor14や17では V_p は 2000m/s 以上を示しており、周りに比べて遅いといえる。 V_s については、 400m/s 程度を示し、周囲と同程度である。コアを確認すると、他のボーリングに比べてやや風化色は強いが、別の岩相といえる程の明確な差異はなかった。

一般に岩盤の V_p が低速度化する要因としては、密度の低下や間隙率の影響が挙げられ、今回の速度差の理由としても当てはまると思われる。図-1の平面図では、Bor15、16付近に断層の分布が確認される。破碎を受けた岩盤は、一般に V_p 、 V_s 共に低速度化する。今回の調査では、断層直上を捉えてはいないため、コアで断層は確認出来ず、 V_s にも変化はない。しかし近傍での構造的影響から、周囲に間隙が広がり、化学的風化が促進したと推察する。その結果、Bor15、16付近では密度が低下し、 V_p が低速度化したと考えた。調査地広域で連続して PS 検層を実施したことによって、局所的に V_p が低い範囲を抽出できたといえる。物理探査を用いた精細な弱部推定ほどではないが、大枠で弱部の抽出ができたといえる。以上から、 V_p の把握は N 値や V_s 、コア観察だけでは分からない風化花崗岩中の弱部抽出に有用である。また、今後の展望として、電気検層や密度検層等を併用すれば、詳細な物理特性把握と、精度向上に繋がるかもしれない。

6. まとめ

今回の調査では、広範囲に渡って PS 検層を実施し、風化花崗岩の V_p 、 V_s 特性を深く定量的に考察できた。室内試験ができない軟岩部では、原位置における P 波 S 波の速度分布やポアソン比を適切に評価することで、岩級区分の指標ほか設計施工に向けた有益な地盤情報を提供できるものと考えられる。花崗岩における地盤の不確実性や地質リスクを正しく認識するためにも有益である。

《引用・参考文献》

1) 耐震地盤調査の計画と管理(1985)：鹿島出版会, p. 74