

P49. 地山弾性波速度と土被り厚の関係

The Relations between Seismic Velocity and Over Burden

○ 吉川 猛, 佐々木 勝, 福井謙三, 三木 茂 (基礎地盤コンサルタンツ株式会社)

Takeshi Yoshikawa, Masaru Sasaki, Kenzo Fukui, Shigeru Miki

1. はじめに

地山の弾性波 (P 波) 速度 (以降, 速度) は, 一般的に土被り厚や地質年代, 岩質などにより変化し, 固結が進んだものほど, 土被り厚が大きくなるほど速度が高くなると考えられる。しかしながら, 地山の速度については, はぎとり法解析に基づく従来法屈折法弾性波探査の基盤速度として整理されたものがあるが¹⁾²⁾, 土被り厚との関係については必ずしも明らかにされていない。

一方, 近年では, 弾性波探査の解析にトモグラフィ的解析が用いられるようになり, 地山の速度推定精度が向上した。また, トモグラフィ的解析の実用化により, 土被り厚と速度の関係が把握しやすくなったと言える。

そこで, 本報告は, トンネル事前調査, 地すべり調査などにおいてトモグラフィ的解析を用いて推定した地山速度をもとに, 代表的な地質について, 速度と土被り厚の関係について整理し, それぞれの特徴を明らかにするとともに, 応用地質学的考察を行った。

2. データ整理の方法

トモグラフィ的解析では, 解析領域を任意の大きさのメッシュ (正方形もしくは台形) に区切り, 解析を行い, 解析結果としてメッシュごとに速度が求まる。本報告では, メッシュの中心点における土被り厚と速度を抽出し整理した。

サンプルデータは, トモグラフィ的解析を前提として計画された弾性波探査結果および従来法弾性波探査結果をトモグラフィ的解析したものである。また, 解析に際してのメッシュサイズは 10m ないし 5m である。地質区分については, 測線内で地質が変化するものは除き, 一つの測線の中で地質が同じものをデータとして採用した。また, 表層から 5m 以上表土層や崖錐層などの未固結堆積物が連続する場合は, データとして採用していない。データとして採用された測線数は 200 測線である。

3. 弾性波速度と土被り厚の関係

速度と土被り厚の関係をグラフ化し, さらに地質年代別, 岩種別, 付加体・非付加体別に区分を行った。

(1) 全体的な特徴

図-1 に全てのサンプルデータを示す。速度と土被り厚の関係は, ばらついているが, 土被り厚が大きくなるにつれて速度が高くなる傾向がほぼ例外なく認められる。一方, 全てではないが土被り厚がある程度の大きさ (30~70m 程度) に到達すると, それ以上速度が高くならず, ほぼ一定となる傾向が読み取れる。この部分の速度が従来の基盤速度に相当すると見なせる。

速度の分布状況は, 表層付近では 0.5~2.5km/s, 土被り厚 50m 付近では 2.0~5.0km/s, 土被り厚 100m 付近では 2.5~5.5km/s である。

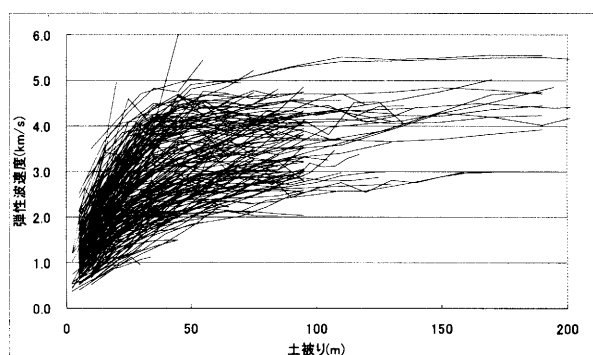


図-1 弾性波速度と土被り厚

(2) 地質年代別の特徴

図-2 に新生代堆積岩のサンプルデータを示す。新第三紀と古第三紀の速度と土被り厚の関係に, はっきりとした違いが認められ, 新第三紀の最大速度は 3.0km/s 程度であるのに対し, 古第三紀の最大速度は 4.5km/s 程度である。また双方とも, 土被り厚 60~70m 以上では, 速度はほぼ一定となる傾向を示している。

図-3 に中生代堆積岩のサンプルデータを示す。白亜紀堆積岩以外は, サンプル数が少ないが, それぞれの最大速度は, 白亜紀で 4.5km/s 程度, ジュラ紀で 4.5km/s 程度, 三畳紀で 5.5km/s 程度と, 年代が古くなるにつれ, 最大速度が高くなる傾向がある。

また, 白亜紀のサンプルデータの中には, 土被り厚が 60~70m 程度で速度が一定になるものと, 土被り厚が大きくなるにつれ, 徐々に速度が高くなるものが見られる。

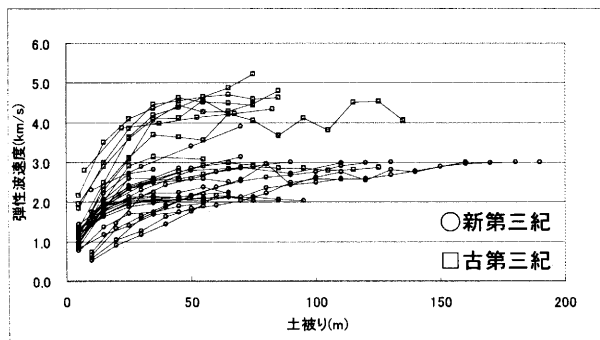


図-2 弾性波速度と土被り厚（新生代堆積岩）

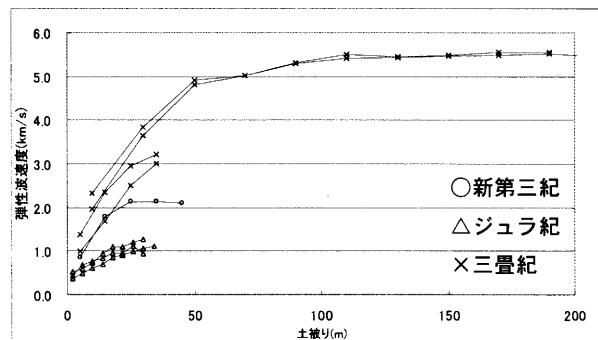


図-5 弾性波速度と土被り厚（砂岩）

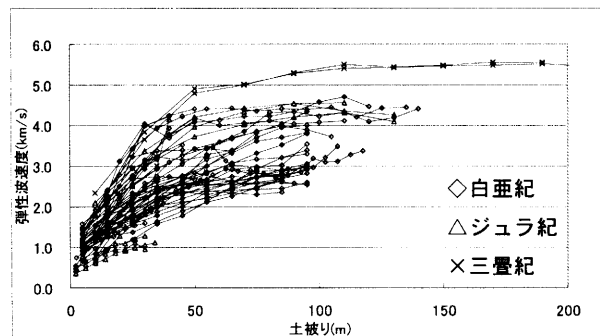


図-3 弾性波速度と土被り厚（中生代堆積岩）

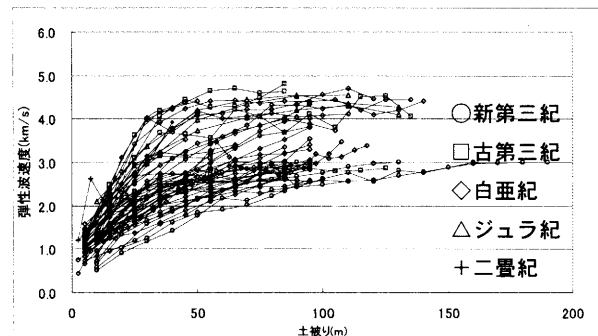


図-6 弾性波速度と土被り厚（砂泥互層）

（3）岩種別の特徴

図-4 に泥質岩のサンプルデータを示す。最大速度は新第三紀の 2.0km/s 程度のデータから、古第三紀の 4.5km/s 程度のデータまで幅がある。年代が古くなるほど、速度が高くなる傾向は、ここでは中生代の泥質岩を含めると明瞭ではなくなる。

図-5 に砂岩のサンプルデータを示す。サンプル数が少なく、地域特有の値を示している可能性があるが、三畳紀の最大速度が 5.5km/s 程度と高い値を示す。新第三紀の砂岩がジュラ紀のより速度が高い結果となっているのは、サンプル数が少ないためであると考えられる。

図-6 に砂岩泥岩互層のサンプルデータを示す。新第三紀の最大速度は 2.0～3.0km/s 程度である。古第三紀～ジュラ紀の最大速度には、明瞭な差は認められず、土被り厚 30m 付近で最大速度に近い 4.0km/s に達するものや、土被り厚の増加と共に緩やかに 4.0km/s 以上に達するパターンがある。

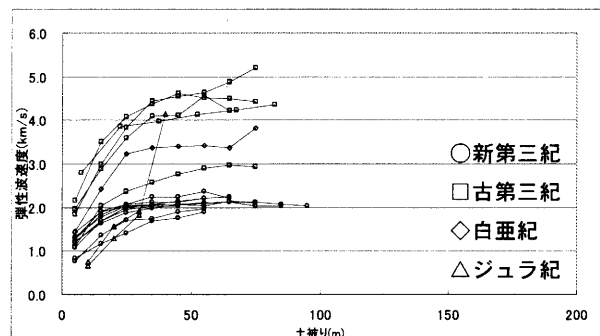


図-4 弾性波速度と土被り厚（泥質岩）

図-7 に花崗岩のサンプルデータを示す。最大速度は 3.5km/s 程度のものから 5.0km/s 程度のものまで幅があり、生成年代による速度の差はないものと見なせる。また、土被り厚が小さい段階から最大速度に達するものから、土被り厚とともに徐々に速度が増加するものもあり、風化性状を反映した可能性がある。

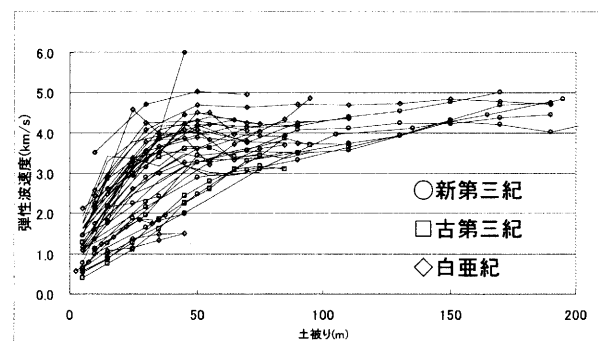


図-7 弾性波速度と土被り厚（花崗岩類）

（4）付加体と非付加体の差異

付加体堆積物は、非付加体堆積物と比較すると、現況に至る過程が特徴的で、付加作用の過程において変形・破壊を受けており、その程度の違いにより、整然相、破断相、混在相と区別されている³⁾。今回、この両者の間にどのような差異が存在するのか調べるため、それぞれの速度と土被り厚の関係をまとめた。なお、付加体堆積物とする判断は、地質基準³⁾の添付図を参

考にした。

図-8に付加体堆積物のサンプルデータを示す。古第三紀の速度は土被り厚が60~70m以上ではほぼ一定の値を示し、最大速度は3.0km/s程度である。白亜紀、ジュラ紀（三波川帯）の速度は土被り厚が50~60mではほぼ一定の値を示し、最大速度は4.0~4.5km/s程度である。また、ジュラ紀の一部（美濃帯）のサンプルデータは上記と異なり、土被り厚の増加に併せ、速度が緩やかに高くなる傾向を示す。

図-9に非付加体堆積物のサンプルデータを示す。サンプル数の多い白亜紀（和泉層群）の速度は、土被り厚の増加に併せ、緩やかに高くなる傾向を示しており、三木・中川の報告⁴⁾とも調和的である。

古第三紀の速度は土被り厚50m以上ではほぼ一定の値を示し、最大速度は4.5km/s程度である。三疊紀の速度は、土被り厚100m以上ではほぼ一定の値を示し、最大速度は5.5km/s程度である。ただし、これらについてはサンプル数が少ないため、地域特有の数値である可能性がある。

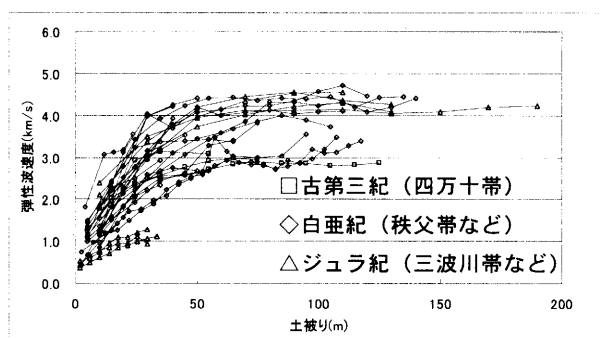


図-8 弾性波速度と土被り厚（付加体堆積物）

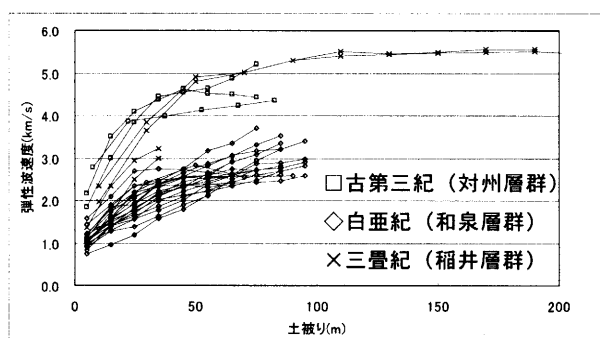


図-9 弾性波速度と土被り厚（非付加体堆積物）

両者を比較すると、明瞭な違いはないが、以下の差異が挙げられる。

まず、弾性波速度の増加傾向を比較すると、付加体堆積物の特徴は、ある土被り厚以上で速度が一定になるパターンが多い。これに対し、非付加体堆積物の特徴は、ある土被り厚以上で、速度が一定になるパターンもあるが、土被り厚の増加に併せ、緩やかに速度が

高くなるパターンの方が多いという点である。ただし、これらの特徴はサンプル数の偏りに依存をしている問題がある。

また、最大速度を比較すると、付加体堆積物の最大速度は3.0~4.0km/s程度であるのに対し、非付加体堆積物の最大速度は4.0~5.5km/s程度と高くなる傾向がある。しかし、これらは堆積過程の本質（例えば続成作用）に起因している可能性がある。

4. 考察

今回は、土被り厚200m以浅を対象としてデータ整理を行った。一般に、速度は土被り厚の増加に併せ高くなるが、速度の増加パターンには2種類のパターンが存在することが分かった。一つは、土被り厚がある大きさ以上になると、速度がほぼ一定の値を示すパターンであり、また、もう一つは、土被り厚の増加に併せ、速度が緩やかに高くなる傾向を示すパターンである。

速度の最大部分について注目すると、類似した速度増加傾向を示す古第三紀の付加体堆積物（砂岩泥岩）と非付加体堆積物（砂岩頁岩）を比較すると、付加体堆積物は3.0km/s程度を示し、非付加体堆積物は4.5km/s程度を示している。同じ年代、同じような地質であるにもかかわらずこのような差異が生じていることは、堆積過程の相違を反映している可能性が考えられる。

また、土被り厚の増加に併せ緩やかに速度が高くなる傾向を示すものは、付加体堆積物（美濃帯・砂岩・ジュラ紀）、非付加体堆積物（和泉層群・砂岩頁岩・白亜紀）の双方に認められた。地質も年代も異なる両者であるが、速度の増加傾向を緩やかにする要因があると考えられる。例えば、堆積時の環境やその後の変成、変形や風化変質作用、ならびに地下水の有無なども要因となる。

堆積岩の速度と土被り厚の関係は、その探査地域の岩質分布を特徴付けている可能性がある。これは例えば、その関係から地山状況の想定や地質解釈に役立つ指標となる可能性がある。しかし、このためには、さらなるサンプルの蓄積と、実際の施工実績を含めたデータベースの蓄積および検証が必要である。

花崗岩の速度と土被り厚の関係は、堆積岩と比較すると最大速度のばらつきが少なく、その値は3.5~5.0km/s程度である。RQD値がほぼ100となる新鮮な花崗岩コアの平均的P波速度が4.3km/s程度⁵⁾であり、この値に近い数値となっている。土被り厚が50mより小さい範囲では、速度のばらつきが大きく、例えば土被り厚25m付近では、速度は1.0~4.0km/sの範囲に分布する。花崗岩の風化区分³⁾によると、土被り厚20

～40m程度までは、マサ化・強風化の影響範囲であると考えられる。したがって、土被り厚の小さい部分の速度のばらつきはマサ化・風化影響によるものと考えられる。

同じ花崗岩であっても、地域あるいは鉱物組成の違いによって、変質状況が異なる場合が見受けられる。今回のデータ整理では明らかにすることができなかったが、さらにデータを収集分析することで、その差を明らかにすることができる可能性がある。

5. まとめと今後の課題

今回整理した速度と土被り厚の関係から得られた知見を以下にまとめる。

- ・速度は、一部の例外はあるものの、地質年代が古くなるにつれ高くなる。
- ・速度は土被り厚の増加とともに高くなるが、速度の増加傾向には二つのパターンが見受けられる。一つは、ある土被り厚で速度が一定になるパターンであり、もう一つは、土被り厚の増加に対し、速度が緩やかに高くなるパターンである。
- ・サンプル数が少ないが、付加体堆積物と非付加体堆積物の最大速度値は、非付加体堆積物の方が高い値を示す傾向がある。
- ・堆積岩類の速度と土被り厚の関係は、生成履歴に関係していると推定される。
- ・速度と土被り厚の関係は、その地域の地質状況の特徴付ける指標となる可能性がある。
- ・花崗岩の速度は、土被り厚の小さい範囲では速度がばらつき、土被り厚の大きい範囲では収束する傾向がある。

比較検討を行うにはサンプル数が少ない岩種・年代、地域がある今後、サンプル数を増やすとともに、岩石の生成履歴、地史、地域性を考慮して速度と土被り厚の関係を分析する必要がある。

参考文献

- 1) 服部保正, 杉本卓司: 岩石のP波速度に関する統計的研究 (I, II), 物理探鉱, Vol. 28, No. 1, No. 2, 1975
- 2) 物理探査学会: “土と岩”の弾性波速度-測定と利用-, 129～166, 1990
- 3) 日本地質学会: 地質基準, 57-66, 90-103
- 4) 三木茂, 中川浩二: トンネル物理探査における付加体調査の現状と課題, 平成18年度特別講演およびシンポジウム予稿集, 日本応用地質学会, p41
- 5) 地質計測株式会社: 携帯用超音波速度測定器による測定例,
<http://www.chishitsu-keisoku.co.jp/pdf/sample1.pdf>