

軟弱地盤における S 波速度推定精度向上の検討

20T0225F 鈴木 海斗
指導教員：関口 徹

1. はじめに

地盤の S 波速度を知ることは、地盤の地震動特性を知るうえで必須である。S 波速度を求める方法として PS 検層がある。しかし、PS 検層を行うことは稀で、標準貫入試験によって得られる N 値などの指標から S 波速度を推定することが多くなっている¹⁾。

N 値から S 波速度を経験的に推定する方法として、最も使われている一つに太田・後藤式がある。この推定式を求める際に、精度の低い N 値 1 以下のデータは除外されており、本来それらはこの推定式の適用範囲外である。一方、東京東部の沖積低地などでは、軟弱な粘性土が厚く堆積し地震時の揺れが大きくなることが知られているが、そのような地盤の N 値は 0 又は 1 であることが多い。地盤の地震動特性には、そのような軟弱な層の S 波速度が大きく影響するため、 N 値 1 以下の層の S 波速度を精度よく推定することが重要である。

本研究では、そのような軟弱地盤の S 波速度推定の精度向上を目的として、S 波速度推定式について検討を行う。

2. 代表的な S 波速度推定式とその精度

提案されている既往の 2 つの S 波速度推定式を以下に示す。

- ・太田・後藤の推定式^{1), 2)}

$$V_s = 69N^{0.17} \cdot H^{0.2} \cdot E \cdot F \quad (1)$$

E : 地質年代係数、 F : 土質係数

- ・加藤・田守の推定式³⁾

$$V_s = a(N+1)^b \cdot H^c + d \quad (2)$$

a 、 b 、 c 、 d : 地質年代・土質ごとの係数

太田・後藤式、加藤・田守式いずれも N 値と地表からの深度 H を用いて S 波速度 V_s を求めているが、前者は $N=0$ のとき $V_s=0$ になってしまうのに対し、後者は 0 でない V_s を推定することができる。

表 1 に、本研究に使用した全年代・土質のボーリングデータより求めた、2 つの式の推定精度を示す。加藤・田守式は、太田・後藤式より推定精度が高いことが分かるが、変動係数の 0.241 は信頼性設計で使用するには充分小さいとはいえない。

3. 軟弱地盤における S 波速度推定の変更

3.1 軟弱地盤における課題

図 1 に、既存の推定式の沖積粘性土における N 値と推定 V_s / 実測 V_s の関係を示す。ここで、実測 V_s は PS 検層から得られたものとした。太田・後藤式では、

表 1 既往の S 波速度推定式の推定精度

	太田・後藤式	加藤・田守式
変動係数	0.254	0.241
標準誤差	0.114	0.102
相関係数	0.854	0.868

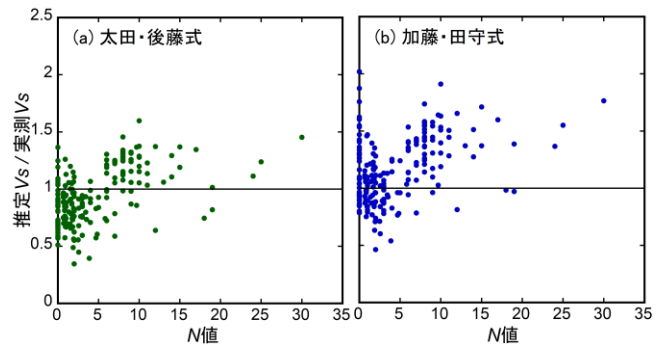


図 1 N 値と推定 V_s / 実測 V_s の関係 (沖積粘性土)

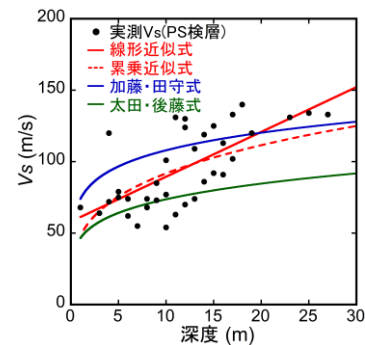


図 2 N 値 0 の地盤における深度と S 波速度の関係

$N=0$ のとき $N=0.1$ として V_s を推定した。太田・後藤式では、 $N=0, 1$ だけでなく、 $0 \leq N \leq 5$ の範囲において多くが V_s を過小評価している。一方、加藤・田守式では、 $0 < N \leq 5$ の範囲において平均的には推定 V_s と実測 V_s は対応しているが、 $N=0$ において、 V_s を過大評価しているものがある。

図 2 に、 N 値 0 の地盤における深度と V_s の関係を示す。実測 V_s は深度に応じて増大する傾向がみられる。太田・後藤式では、前述と同様に V_s を過小評価する傾向がある。一方、加藤・田守式では、推定される V_s は $N=0$ であっても 100 m/s 程度以上となっており、深度 15m 程度以下において V_s の過大評価が目立つ。設計等での利用にあたって、表層地盤の V_s を過大評価することは、地震動増幅を過小評価するなどして危険側の評価となる。以上のことから、本研究では、 N 値の低い軟弱地盤においても比較的精度の高い加藤・

田守式に対して、 N 値 0 の地盤における推定式を修正することでさらなる精度向上をはかった。

3.2 推定式の変更と推定精度

N 値 0 の地盤において、深度をパラメータとして、累乗近似式、線形近似式の 2 パターンを検討した。以下に、ボーリングデータより求めたそれぞれの近似式を示す。

- ・累乗近似式

$$V_s = 48.1H^{0.28} \quad (3)$$

- ・線形近似式

$$V_s = 3.14H + 58.1 \quad (4)$$

表 2 に、加藤・田守式、累乗近似式、線形近似式の推定精度並びに推定 V_s / 実測 V_s の平均値を示す。新たな近似式はいずれも、加藤・田守式より V_s の過大評価の傾向が抑えられ推定精度が向上したが、特に線形近似式に変更した方が精度が高いことがわかる。

以後の検討では、沖積粘性土で $N=0$ の地盤において線形近似式を用いることとした。 $0 < N < 1$ では、推定 V_s の N 値に対する連続性を考慮して、加藤・田守式で $N=1$ の時の V_s と線形補間することとし、 $1 \leq N$ では、加藤・田守式を用いることとした。

4. 微動計測記録との比較

東京東部の低地で行われた微動計測記録を用いて、推定式の変更について検証を行った。なお、計測地点における V_s 推定のパラメータとなる N 値と土質は、三次元グリッドモデル手法⁴⁾によって、周辺のボーリングデータより推定している。

図 3 に、推定式の変更により特に S 波速度構造に変化が見られた 2 地点の、柱状図と N 値・S 波速度の深度分布を示す。地点 1, 2 共に、深度 10m 付近で N 値が 0 程度であり、本研究の提案手法ではそのような深度において V_s を、太田・後藤式より大きく加藤・田守式より小さく推定している。

この変更の妥当性を検証するために、推定された V_s を用いて表面波の理論 H/V スペクトルを求めた。図 4 に、2 地点の H/V スペクトルを示す。軟弱地盤で V_s を過小評価する傾向のある太田・後藤式では、微動計測結果より長周期側に、 $N=0$ の浅い地盤で V_s を過大評価する傾向のある加藤・田守式では、微動計測結果より短周期側にそれぞれピーク周期がみられる。提案手法から推定したピーク周期は、従来の推定式より微動計測のピーク周期に近づいている。

5. まとめ

本研究では、 N 値に基づく S 波速度推定の精度向上のために、特に沖積粘性土の軟弱地盤に着目し、推定式変更の検討を行った。また、変更後の推定式を用いて理論 H/V スペクトルを求め、微動計測記録と比較した。得られた知見は以下のとおりである。

表 2 N 値 0 の地盤に対する推定式の推定精度

	加藤・田守式	累乗近似式	線形近似式
変動係数	0.252	0.238	0.211
標準誤差	0.130	0.102	0.093
相関係数	0.668	0.694	0.749
推定 V_s / 実測 V_s 平均値	1.210	1.027	1.044

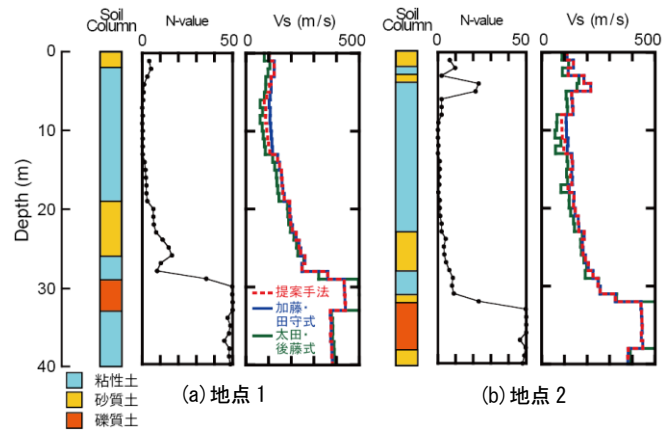


図 3 微動計測地点の柱状図・ N 値・S 波速度構造の深度分布

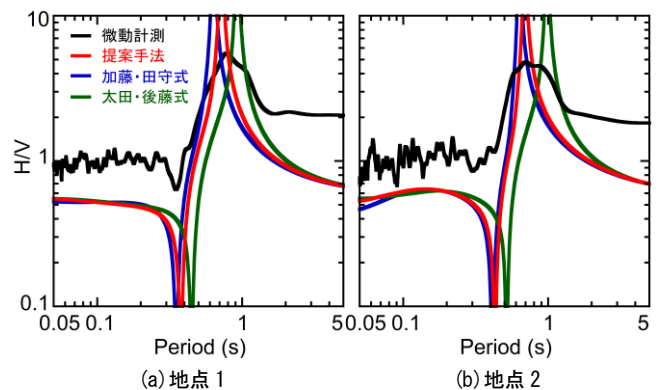


図 4 微動計測地点の H/V スペクトル

- (1) 加藤・田守式では、 N 値が 0 の地盤においても推定される S 波速度は 100 m/s 程度以上となっており、深度 15 m 程度以下において、S 波速度を過大評価する傾向がみられた。
- (2) 沖積粘性土の N 値が 0 の地盤において、S 波速度推定式を地表からの深度をパラメータとした線形近似式に変更すると、加藤・田守式でみられる過大評価の傾向が改善され、推定精度も向上した。
- (3) 微動計測を行った複数地点で、本研究で提案する推定方法の妥当性が確認された。

参考文献

- 1) 内田明彦, 時松孝次, 辻本勝彦: N 値による S 波速度の推定に関する一考察, 日本建築学会技術報告集, 第 25 巻, 第 59 号, pp. 119-122, 2019. 2
- 2) 太田裕, 後藤典俊: S 波速度を他の土質諸指標から推定する試み, 物理探鉱, 第 29 巻, 第 4 号, pp. 31-41, 1976
- 3) 加藤巧祐, 田守伸一郎: 各種土質データに基づく S 波速度推定式の提案, 日本建築学会技術報告集, 第 17 巻, 第 36 号, pp. 467-471, 2011. 6
- 4) 木村克己, 花島祐樹, 西山昭一, 大井昌弘: ボーリングデータ解析による 3 次元浅部地盤モデルの構築: 東京都心地下の撓曲構造と埋没谷の可視化, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, 2018