

A-10

地盤の S 波速度推定式における誤差軽減方法の検討

19T0204Y 伊藤 菜月
指導教員：関口 徹

1. はじめに

地盤の S 波速度は、地盤の増幅特性や地盤応答を検討する上で必要不可欠であるが、S 波速度を調べるための PS 検層が実施されることは少ない。¹⁾そこで、一般的に行われる標準貫入試験による N 値などの地盤調査データに基づいて S 波速度を推定する式がいくつか提案されている。^{2)~4)}しかし、この N 値を用いることには問題点がある。サンプラーを地盤に 30 cm 貫入させるのに要した打撃回数である N 値は、土の「硬さ」と「強さ」の両方を受けた指標であるため、「硬さ」である S 波速度を推定した際の値のばらつきが大きくなってしまう。よって、この推定した S 波速度を、ばらつきを考慮した信頼性設計に使用することは難しいというのが現状である。

そこで、本研究では推定した S 波速度を信頼性設計にしようできるように、ばらつき（変動係数、標準誤差）をできるだけ小さくするためのボーリングデータの処理方法を検討する。

2. 使用するボーリングデータ

表 1 に、検討に使用した PS 検層の実施されているボーリングデータ数を地質年代と土質ごとに示す。N=0 は N 値が 0 のデータ、N>50 は N 値が 50 より大きいデータを指す。土質混在とは、PS 検層の各調査深度の対象範囲（深度方向に 1m）内に複数の土質が混在しているデータである。

3. 代表的な S 波速度推定式

現在提案されている代表的な S 波速度 V_s の推定式を全データに適用し実測された PS 検層結果と比較することで変動係数 CV と標準誤差 σ を求めた。本研究では、以下の 3 つの推定式を使用した。ここで、 N 値を N 、深度を H と表記する。

・道路橋示方書の推定式²⁾

粘性土： $V_s = 100N^{1/3}$ (1)

砂質土： $V_s = 80N^{1/3}$ (2)

・太田・後藤の推定式³⁾

$V_s = 69N^{0.17} \cdot (H/H_0)^{0.2} \cdot Y_g' \cdot St'$ (3)

ここで、 H_0 は基準深度(=1.0m)、 Y_g' は地質年代係数、 St' は土質に応じた係数である。

・加藤・田守の推定式⁴⁾

$V_s = a(N+1)^b \cdot H^c \cdot d$ (4)

ここで、 a 、 b 、 c 、 d は地質年代・土質ごとの係数である。

変動係数 CV とは、推定式により N 値等から算出された S 波速度（推定 V_s ）を PS 検層により求められた S 波速度（実測 V_s ）で除したものの標準偏差をその平均値で割ったものである。標準誤差 σ は以下の式によって求めた。ここで、 n はデータ数である。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\log V_s - \log V_s')^2}{n-1}}$$
 (5)

道路橋示方書及び太田・後藤の推定式では、 $N=0$ のとき $V_s=0$ となってしまうため、その場合は $N=0.1$ として計算した。また、土質混在のデータは、深度が浅いほうの土質に合わせて分類した。

図 1 に実測 V_s と推定 V_s の関係を示す。図内の 3 本の直線は、真ん中が実測 V_s と推定 V_s が 1 対 1 となるもの、下はその-30%の直線、上がその逆数の直線である。どれも多くがこの上下 2 つの直線の間に収まっているが、3 つの中では加藤・田守の推定式が最も収まっている数が多く変動係数と標準誤差も小さい。そこで、本研究では加藤・田守の推定式を使用し、変動係数と標準誤差をさらに小さくするためのデータの処理方法を検討することとした。

4. 改良方法

4-1 使用するデータの処理

変動係数と標準誤差を小さくする処理方法として以下の3つの方法を検討した。

表 1 土質別のデータ数

	全データ	N=0	N>50	土質混在
沖積粘性土	205	38		49
沖積砂質土	187	1	7	61
洪積粘性土	550		237	162
洪積砂質土	569		285	200
計	1511	39	529	472

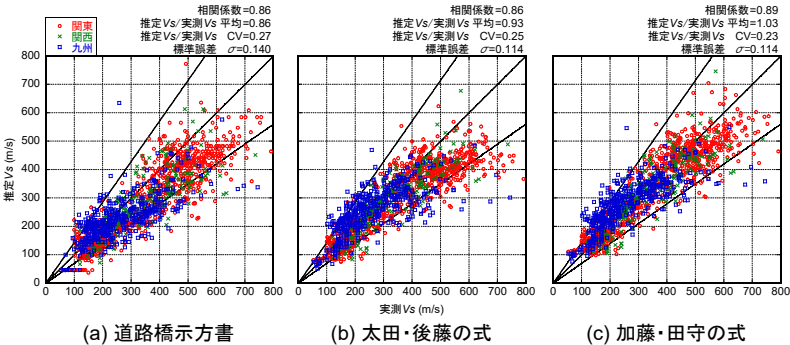


図 1 実測 S 波速度と推定 S 波速度の関係

1つ目は推定式に代入する数値を同じ土質の層内で平均化した値にする方法である。同じ層内でN値、深度を平均化したものを代入して求めた推定 V_s と、同じ層内で平均化したS波速度（平均実測 V_s ）を用いて検討する。

2つ目はN値が50より大きいデータを除く方法である。標準貫入試験では最大打撃回数は50と規定されており、50に達した場合は貫入量から50より大きいN値を換算することができるが、あくまで参考値であるためそれらを除いて検討する。

3つ目は土質混在のデータを除く方法である。

これら3つの処理それぞれを行う場合と行わない場合の計8通りのケースで標準誤差を求め、どの処理が有効かを判断するため数量化理論Ⅰ類により評価した。

表2に数量化理論Ⅰ類による分析結果を示す。これより、N値等を同じ層内で平均化することの寄与率は約60%となっておりカテゴリースコアも負の値であるため、標準誤差を小さくするのに有効的であるとわかる。ほかの2つは寄与率も低くカテゴリースコアも正の値（除かないほうが標準誤差が小さい）であるため、標準誤差を減らすのに有効的な処理とは言えないとわかった。変動係数において数量化理論Ⅰ類により分析した結果も同様の傾向となった。

図2に最も変動係数と標準誤差が小さくなった平均化の処理のみを行ってS波速度を推定した結果を示す。図1(c)と比べると、ばらつきが改善されており、変動係数と標準誤差も小さくなっている。

4-2 推定式のパラメータの変更

式4の加藤・田守の推定式における $N+1$ のパラメータは、N値が0であっても0ではないS波速度を推定できるように1が足されている。この1を他の数値に変えることで変動係数と標準誤差の改善ができないかを検討する。ここでは表1のデータを用い、各土質において、 $N+x$ を $x=0.5, 1, 2, 3$ に変更してそれぞれ重回帰分析により $a \sim d$ の係数を求め推定式を決定した。

表3にパラメータ変更後の変動係数と標準誤差を示す。表には示していないが、 x を0.5以下または3以上にした場合、変動係数と標準誤差はより大きくなった。沖積粘性土では $N+1$ 、沖積砂質土では $N+0.5$ 、洪積粘性土では $N+1$ 、洪積砂質土では $N+2$ が最も変動係数と標準誤差が小さくなっているが、どれも $N+1$ のときと大きな差はないため、パラメータは全体として $N+1$ のままが最も妥当であるといえる。

5. まとめ

本研究では地盤のS波速度推定式における誤差を軽減するために、S波速度を推定する際に使用するデータの効果的な処理方法と推定式のパラメータの変更について検討した。得られた知見は以下のとおりである。

表2 数量化理論Ⅰ類による分析の結果

アイテム	カテゴリー	カテゴリースコア	レンジ	寄与率
平均化	する	-0.0041	0.0081	0.59
	しない	0.0041		
$N > 50$	除く	0.0025	0.0051	0.37
	除かない	-0.0025		
土質混在	除く	0.00024	0.00049	0.036
	除かない	-0.00024		

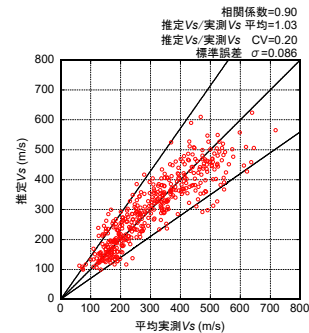


図2 平均化した値を代入した際の実測S波速度と推定S波速度の関係

表3 パラメータ変更後の変動係数と標準誤差

		CV	σ			CV	σ
沖積粘性土	$N+0.5$	0.24	0.100	洪積粘性土	$N+0.5$	0.21	0.0831
	$N+1$	0.23	0.0980		$N+1$	0.21	0.0827
	$N+2$	0.23	0.105		$N+2$	0.21	0.0846
	$N+3$	0.24	0.127		$N+3$	0.22	0.0900
沖積砂質土	$N+0.5$	0.21	0.0926	洪積砂質土	$N+0.5$	0.22	0.0889
	$N+1$	0.21	0.0929		$N+1$	0.22	0.0887
	$N+2$	0.22	0.0952		$N+2$	0.21	0.0885
	$N+3$	0.23	0.100		$N+3$	0.21	0.0886

- (1) S波速度を推定する際に使用するデータは、同じ土質の層内でN値等を平均化したものとするすることで変動係数と標準誤差を小さくすることができる。
- (2) S波速度を推定する際に使用するデータは、N値が50より大きいデータや土質混在のデータを除いても変動係数と標準誤差はあまり改善しない。
- (3) 加藤・田守の推定式の $N+x$ のパラメータは、土質ごとに最適な x の値は異なるが大きな差はなく $N+1$ が妥当といえる。

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) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, V 耐震設計編, 1996
- 3) 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
- 4) 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