

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30cm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Vs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⁾

$$\text{粘性土} : Vs = 100N^{1/3} \quad (1)$$

$$\text{砂質土} : Vs = 80N^{1/3} \quad (2)$$

・太田・後藤の推定式³⁾

$$Vs = 69N^{0.17} \cdot (H/H_0)^{0.2} \cdot Yg \cdot St' \quad (3)$$

ここで、 H_0 は基準深度(=1.0m)、 Yg 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⁾

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

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Vs）をPS検層により求められたS波速度（実測Vs）で除したも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。

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

道路橋示方書及び太田・後藤の推定式では、N=0のときVs=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Vsと推定Vsの関係を示す。図内の3本の直線は、真ん中が実測Vsと推定Vsが1対1となるもの、下はその-30%の直線、上はその逆数の直線である。どれも多くのデータがこの上下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

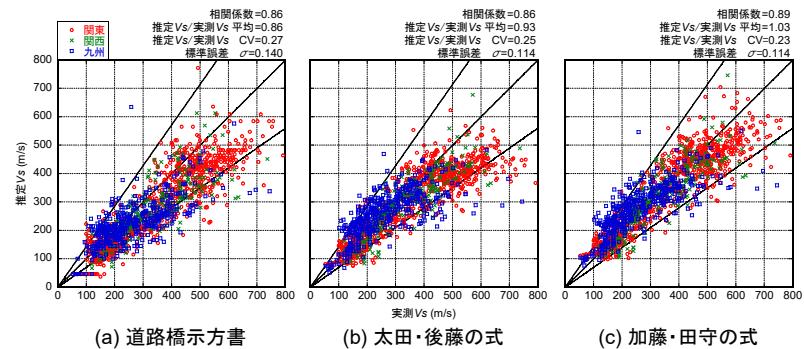


図1 実測S波速度と推定S波速度の関係

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で代入して求めた推定Vsと、同じ層内で平均化したS波速度（平均実測Vs）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ことがわかった。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~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つた。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		

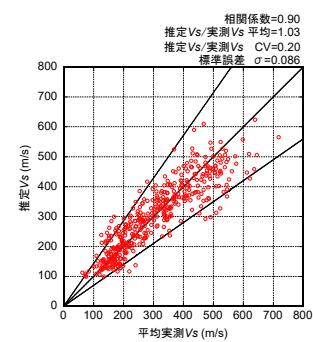


図2 平均化した値を代入した際の実測S波速度と推定S波速度の関係

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