

# 土質区分の違いが標準貫入試験結果による S 波速度推定に与える影響

成田 修英<sup>\*1</sup>保井 美敏<sup>\*1</sup>

## 概 要

全国 16 地点、評価対象標本数 505 サンプルのデータについて標準貫入試験結果と PS 検層結果を比較検討し、以下の結論を得た。

- (1) 標準貫入試験結果を用いたせん断波速度  $V_s$  の統計的な推定では地盤深度  $H$  を説明変数に用いることが多いが、 $H$  に替えて有効上載圧  $\sigma_v'$  を用いた方が PS 検層結果との整合性は良い。
- (2) 地盤力学的な知見に基づいて導かれる  $V_s$  の推定式の形と統計的な  $V_s$  の推定で良く用いられる式の形は、ある程度整合しているが異なる部分もある。
- (3) 砂質土と粘性土では、 $V_s$  の推定における  $N$  値と  $\sigma_v'$  の効果が逆転する。
- (4)  $V_s$  の推定式において、接触力項と接触点数項では接触力項の方が  $V_s$  の推定に対する寄与が大きい。
- (5) 以上の知見に基づいた  $V_s$  の推定式を提案した。

今後は地盤調査地のデータを拡充し提案式の定数項を決定する予定である。

## Effects of classes of soil on estimation of S-wave velocity based on results of Standard Penetration Test

Nobuhide NARITA<sup>\*1</sup>Mitoshi YASUI<sup>\*1</sup>

We studied results of Standard Penetration Test and PS logging on 16 sites, 505 samples. We arrived at conclusions as follows.

- (1) Depth is often used as explanatory variable at statistical S-wave velocity prediction used results of Standard Penetration Test. But it is better using effective stress than depth.
- (2) S-wave velocity prediction based on geomechanics partly conformed to statistical method, but partly not.
- (3) Effects of  $N$  value and effective stress is changed by the class of soil is either sand or clay.
- (4) At S-wave velocity prediction, a term of a force of contact is of stronger effects than a term of number of contact points.
- (5) We proposed S-wave velocity prediction based on the above knowledge.

\*1 技術研究所

\*1 Technical Research Institute

# 土質区分の違いが標準貫入試験結果による S 波速度推定に与える影響

成田 修英<sup>\*1</sup> 保井 美敏<sup>\*1</sup>

## 1. はじめに

標準貫入試験より得られる地盤の N 値はさまざまな地盤物性と相関を持つことが知られており、N 値を用いて地盤の S 波速度を推定する経験式も数多く提案されている<sup>1-3)</sup> など。このような推定式は簡易に地盤物性を推定する上で非常に有用であるが、N 値は土質（砂質土か粘性土か）によってその解釈が大きく異なるため、N 値を用いた推定式についても土質に応じて適用性が異なることに留意する必要がある。

本報では土質によって N 値および拘束圧と S 波速度の相関性が異なることを示し、その違いをもたらす物理的な要因について考察する。また N 値および拘束圧と地盤物性のデータセットによる回帰分析において、設定すべき回帰モデルは土質によって異なることを示す。

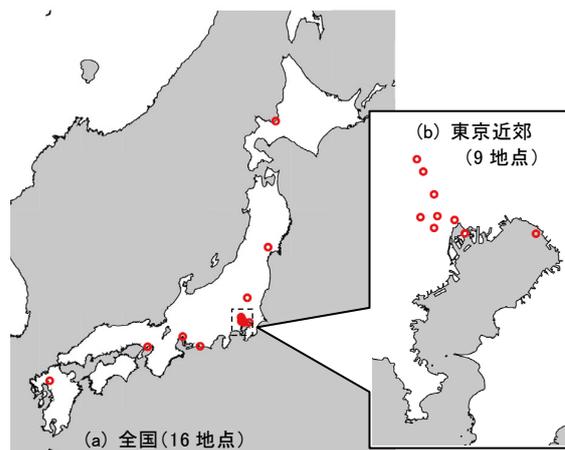


図-1 検討対象とする地盤調査地点

## 2. 検討対象とする地盤調査地点とデータ標本

本研究で用いたデータの地盤調査地点を図-1に示す。同図の全国16地点全地点において、標準貫入試験とPS検層を行っている。同図にあるように、調査地点は点数・分布とも全国を網羅しているとは言い難く東京近郊に集中している傾向もあるため、データに偏りがあることは否めない。そこで本研究では研究の範囲を定性的な傾向の分析に限定し、定量的な関係式を導くことはデータの拡充にともなう今後の課題とすることとする。

検討対象とするデータの N 値度数分布を図-2に示す。同図において砂質土は粗砂・中砂・細砂・微細砂を示し、中間土は粘土質（粘土混じり）砂、シルト質（シルト混じり）砂、砂質（砂混じり）シルト・粘土を示す。検討において、N 値  $\geq 60$  および N 値 = 0 の標本については検討対象から除外するものとし、それ以外の標本（有効標本）を検討の対象とする。また同図 (c)、(d) に示す砂礫・礫および中間土については有効標本数が少ないため検討対象から除外する。以上より、本研究において検討対象とする標本は表-1に示すように全標本：932 中、砂質土 243・粘性土 262 の計 505 サンプルである。

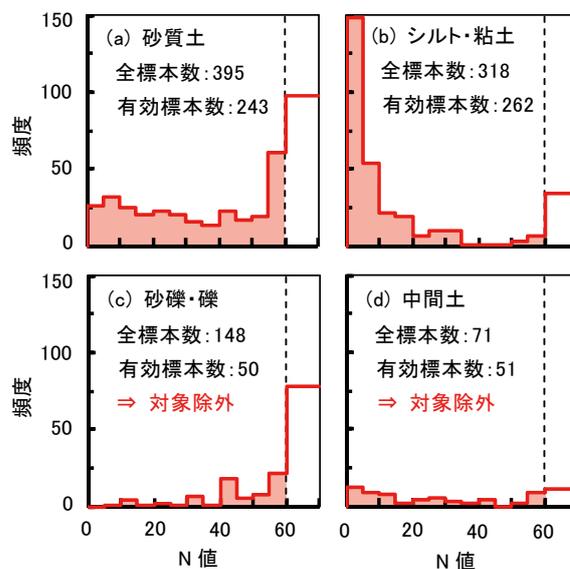


図-2 検討対象とするデータの N 値度数分布

表-1 検討対象とする標本数

	標本数		
	検討対象	対象除外	計
砂質土	243	152	395
粘性土	262	56	318
砂礫・礫	0	148	148
中間土	0	71	71
計	505	427	932

\* ) 本検討ではこれ以上の細分化は行わない沖積層・洪積層の区別もしない

## 3. 検討の背景となる理論と既往の研究

### 3.1 間接的な S 波速度推定の地盤力学的背景

ここで間接的な S 波速度推定とは PS 検層によらない簡易的な S 波速度推定手法を指す。まず地盤の S 波速度と変形係数の関係は次式であらわされる。

\*1 技術研究所

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2 \quad (1)$$

$$E_0 = 2(1+\nu)G_0 \quad (2)$$

ここに、 $G_0$ ：初期せん断弾性係数、 $\rho$ ：密度、 $V_s$ ：S波速度、 $E_0$ ：初期変形係数、 $\nu$ ：ポアソン比

一方、地盤の初期せん断弾性係数は間隙比と拘束圧の関数としてあらわえることが知られており、一般に次式のように書ける<sup>4)</sup>。

$$\text{砂質土：} G_0 = A \cdot F\left(e\right) \left(\frac{\sigma_m'}{p_r}\right)^a \quad (3)$$

ここに、 $A, a$ ：定数、 $F(e)$ ：間隙比の関数、 $\sigma_m'$ ：有効拘束圧、 $p_r$ ：基準応力

(3) 式は図-3の模式図に示すような考え方で説明される。(3) 式の  $(\sigma_m')^a$  は拘束圧が強くなるほど土粒子同士の結び付きが強くなることをあらわし (同図(a))、 $F(e)$  は間隙が小さいほど単位体積あたりの土粒子の接触点数が多くなり地盤全体としての抵抗が増大することをあらわしている (同図 (b))。

(3) 式において間隙比依存項 (図-3 (b) の接触点数に関する項) の影響を定数の中を含め、拘束圧依存項 (同図 (a) の抵抗力に関する項) のみを考慮して地盤剛性を推定する以下のような式も提案されている<sup>5)</sup>。

$$\text{砂質土：} G_0 = G_r \cdot \left(\frac{\sigma_m'}{p_r}\right)^b \quad (4)$$

ここに、 $G_r$ ：基準応力時の初期せん断弾性係数、 $b$ ：定数

(3)、(4) 式は拘束圧によって土粒子接触点の変形抵抗が変化するモデルとなっているが、粘性土の場合は土粒子間に働く粘着力は拘束圧に依存しない。この点に関し本研究では、粘性土については (3)、(4) 式を以下のように修正する。

$$\text{粘性土：} G_0 = A \cdot F(e) \{g(c)\}^\alpha \quad (3)'$$

$$\text{粘性土：} G_0 = G_r \cdot \{g(c)\}^b \quad (4)'$$

$$g(c) = \left(\frac{c}{c_r}\right)^\alpha \quad (5)$$

ここに、 $c_r$ ：基準粘着力、 $\alpha$ ：定数

(3)、(4) 式において  $\sigma_m'$  は以下のように計算できる。

$$\sigma_m' = \frac{1+2K_0}{3} \sigma_v' \quad (6)$$

$$\sigma_v' = \begin{cases} \gamma_t H & (H \leq H_w) \\ \gamma_t H - \gamma_w (H - H_w) & (H > H_w) \end{cases} \quad (7-a)$$

$$\sigma_v' = \begin{cases} \gamma_t H & (H \leq H_w) \\ \gamma_t H - \gamma_w (H - H_w) & (H > H_w) \end{cases} \quad (7-b)$$

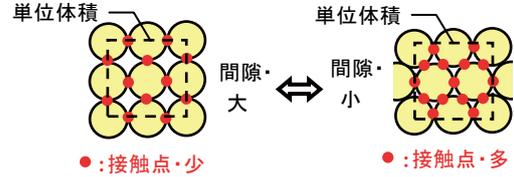
ここに、 $K_0$ ：静止土圧係数、 $\sigma_v'$ ：有効上載圧、 $\gamma_t$ ：地盤の単位体積重量、 $H$ ：地盤の深度、 $\gamma_w$ ：水の単位体積重量、 $H_w$ ：地下水位

地盤の間隙比  $e$  と粘着力  $c$  については、内部摩擦角  $\phi$  とともに  $N$  値と高い相関を持つことが知られており、以下のような経験式<sup>6,7)</sup> を用いて  $N$  値より算出できる。

$$\phi = a_1 \cdot N^x \cdot (\sigma_v' + b_1)^y + c_1 \quad (8)$$



(a) 土粒子1対(接触点がひとつの場合)の変形抵抗



(b) 間隙比の大小と土の骨格構造

図-3 地盤剛性の拘束圧依存性および間隙比依存性

$$q_u = 2c = a_2 \cdot N \quad (9)$$

$$N = (a_3 + b_3 \cdot \sigma_v') \left(\frac{D_r}{100}\right)^2 \quad (10)$$

ここに、 $\phi$ ：砂質土の内部摩擦角、 $q_u$ ：粘性土の一軸圧縮強度、 $c$ ：粘性土の粘着力、 $D_r$ ：砂質土の相対密度、 $a_1, b_1, c_1, a_2, a_3, b_3, x, y$ ：定数

(8) 式において、例えば畑中らの提案式<sup>8)</sup>であれば  $a_1 \approx 14.1, b_1 = 0, c_1 = 20, x = 0.5, y = -0.25$  ( $\phi$  の単位は $^\circ$ ) となる。(9) 式において例えば Terzaghi-Peck の式であれば  $a_2 = 12.5$  ( $q_u$  の単位は  $\text{kN/m}^2$ )。 (10) 式において、例えば Meyerhof の式であれば  $a_3 \approx 0.231, b_3 \approx 15.9$  ( $D_r$  の単位は%)。

地盤の相対密度  $D_r$  の定義式を (10) 式に代入すると砂質土の間隙比  $e$  と  $N$  値の関係は以下のように書ける。

$$e = e_{\max} + a_4 \cdot N^{0.5} \quad (11)$$

$$a_4 = -100 \cdot (e_{\max} - e_{\min}) \cdot (a_3 + b_3 \sigma_v')^{-0.5} \quad (12)$$

ここに、 $e_{\max}$ ：最大間隙比、 $e_{\min}$ ：最小間隙比、 $a_4$ ：定数  
また、粘性土について、間隙比  $e$  は拘束圧の関数と考えられるので以下のように書ける。

$$e = e_0 - (e_0 - e_u) \cdot E_c(\sigma_m') \quad (13-a)$$

$$E_c(0) = 0 < E_c(\sigma_m') < E_c(\sigma_m' + dp) < 1 \quad (13-b)$$

ここに、 $e_0$ ： $\sigma_m' = 0$  時の間隙比、 $E_c(\sigma_m')$ ：粘性土の間隙比をあらわす有効拘束圧の関数、 $e_u$ ： $\sigma_m' \rightarrow \infty$  時の間隙比の収束値 ( $e_u > e_0$ )、 $dp$ ：有効拘束圧増分 ( $dp > 0$ )

ここで、(7-a)・(7-b) 式、(11) 式、(13-a) 式より地盤の有効拘束圧  $\sigma_m'$  と間隙比  $e$  は以下のように書ける。

$$\frac{\sigma_m'}{p_r} = f(H, H_w) \quad (14)$$

$$\text{砂質土：} e = E_s(N) \quad (15)$$

$$\text{粘性土：} e = E_c(f(H, H_w)) = E_{c2}(H, H_w) \quad (16)$$

ここに、 $f(H, H_w)$ :有効拘束圧をあらわす深度と地下水位の関数、 $E_s(N)$ :砂質土の間隙比をあらわすN値の関数、 $E_{c2}(H, H_w)$ :粘性土の間隙比をあらわす深度と地下水位の関数

以上より、(3)、(3)'式はN値と地盤深度をパラメータとして以下のように書ける。

$$\text{砂質土: } V_s = V_{r1} \cdot \sqrt{F(E_s(N))} \cdot \{f(H, H_w)\}^{0.5a} \quad (17)$$

$$\text{粘性土: } V_s = V_{r1} \cdot \sqrt{F(E_{c2}(H, H_w))} \cdot \{g(0.5a_2 \cdot N)\}^{0.5a} \quad (18)$$

$$V_{r1} = \sqrt{\frac{A}{\rho}} \quad (19)$$

同様に(4)、(4)'式は以下のように書ける。

$$\text{砂質土: } V_s = V_{r2} \cdot \{f(H, H_w)\}^{0.5b} \quad (20)$$

$$\text{粘性土: } V_s = V_{r2} \cdot \{g(0.5a_2 \cdot N)\}^{0.5b} \quad (21)$$

$$V_{r2} = \sqrt{\frac{G_r}{\rho}} \quad (22)$$

### 3.2 間接的なS波速度推定に関する既往の研究

標準貫入試験結果を用いて地盤のS波速度を推定する研究は数多くあるが、現状において耐震設計の実務では太田・後藤の研究<sup>3)</sup>による以下の推定式が用いられることが多い。

$$V_s = 68.79N^{0.171}H^{0.199}E_1 \cdot F_1 \quad (23)$$

ここに、 $E_1$ :年代による係数、 $F_1$ :土質による係数より簡易な形の推定式として、N値のみを用いるものでは例えば道路橋示方書<sup>9)</sup>による次式がある。

$$\text{砂質土: } V_s = 80N^{1/3} \quad (24)$$

$$\text{粘性土: } V_s = 100N^{1/3} \quad (25)$$

また太田・後藤<sup>3)</sup>は(23)式以外にも種々の回帰モデルで分析を行っており、次式のように地盤深度のみをパラメータとした場合でもある程度推定の精度を確保できることを示している。

$$V_s = 92.18H^{0.251}E_2 \quad (26)$$

ここに、 $E_2$ :年代による補正係数

以上より、地盤力学的な知見より定まる(17)、(18)式および(20)、(21)式と、地盤調査結果の回帰分析より統計的に定めた(23)～(26)を比較すると次の表-2～5のように示せる。

表-2～5より回帰分析による推定式は、地盤力学的な知見にある程度整合しているといえる。ただし、(23)～(26)式では地下水によって土粒子に作用する浮力の影響が評価されていない。また、砂質土と粘性土の違いが補正係数に依存する点も(17)、(18)式および(20)、(21)式と異なる。この点も含め、次章で地盤調査結果に検討を加える。

表-2 (17)式と(23)～(26)式の対応

(17)	(23)	(24)	(25)	(26)
$V_{r1}$	$68.79E_1F_1$	80	不整合	$92.18E_2$
$\sqrt{F(E_s(N))}$	$N^{0.171}$	$N^{1/3}$		1
0.5a	0.199	0		0.251
$f(H, H_w)$	H	0		H

表-3 (18)式と(23)～(26)式の対応

(18)	(23)	(24)	(25)	(26)
$V_{r1}$	$68.79E_1F_1$	不整合	100	$92.18E_2$
$\sqrt{F(E_{c2}(H, H_w))}$	H		0	H
0.5a	0.199		0	0.251
$g_1(c)$	$N^{0.171}$		$N^{1/3}$	1

表-4 (20)式と(23)～(26)式の対応

(20)	(23)	(24)	(25)	(26)
$V_{r2}$	不整合	不整合	100	$92.18E_2$
0.5b			0.251	
$f(H, H_w)$			H	

表-5 (21)式と(23)～(26)式の対応

(21)	(23)	(24)	(25)	(26)
$V_{r2}$	不整合	不整合	100	不整合
0.5b			1/3	
$g_2(c)$			N	

## 4. 標準貫入試験結果およびPS検層結果の分析

### 4.1 地盤深度とN値の相関

地盤深度HとN値の関係を図-4に示す。(8)、(10)式から明らかなように砂質土のN値は高い拘束圧依存性を持つため、砂質土では深度とN値の相関が良く(同図(a))、粘性土には拘束圧依存性がないため深度との相関は悪くなっている(同図(b))。

地盤深度HとN値を説明変数として重回帰分析を行う場合、両者の相関は分析結果の精度に大きく影響する。まず、相関性の高い変数同士は互いに共通する因子を多く含んでいると考えられるため、変数を組み合わせても高い効果は得られない。図-4でいえば、砂質土の場合はHとN値を組み合わせてもあまり効果はなく、粘性土の場合は変数を組み合わせることに

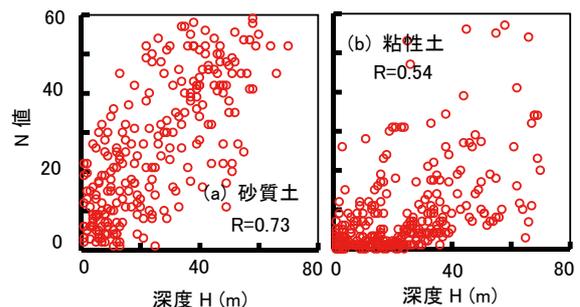


図-4 地盤深度とN値の相関

よって高い効果が得られる。また2変数程度であればほとんど問題とならないが、より多くの説明変数を用いる場合、同図の砂質土程度に相関係数の高い変数の組み合わせがあれば多重共線性の問題<sup>10)</sup>が発生する恐れがあるため注意が必要である。

#### 4.2 地盤深度・有効上載圧とS波速度の相関

地盤深度とS波速度の関係を図-5に、有効上載圧とS波速度の関係を図-6に、それぞれのデータに対して線形近似と累乗近似で決定係数を求めた結果を表-4に示す。図-5、図-6を比較すると図-6の方がややデータのばらつきが小さくなっており、表-4においても深度を説明係数に用いた場合よりも有効上載圧を説明変数に用いた場合の方が決定係数は大きくなっている(回帰の精度が良くなっている)。3.1節の検討より地盤の剛性に直接的に寄与するのは、深度ではなく有効拘束圧(∞有効上載圧)であるとの検討とこの結果は整合している。

図-5、図-6において粘性土では深度の浅い範囲(低上載圧条件下)でS波速度が一定値に近づく傾向が顕著であり、このことは有効上載圧 $\sigma_v' = 0$ の条件下でも粘性土のせん断波速度 $V_s \neq 0$ であることを示している。以下、このような(説明変数=0時の) $V_s$ を $V_s$ の切片と呼び $V_0$ であらわす。

砂質土においても深度の浅い範囲(低上載圧条件下)

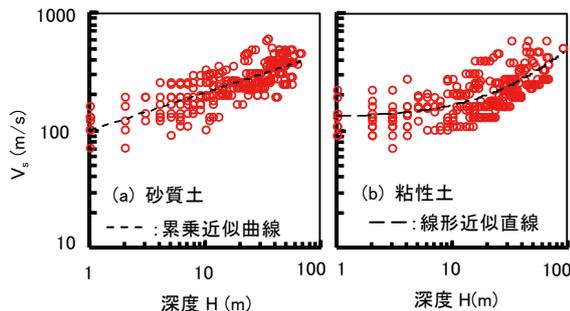


図-5 地盤深度とS波速度の関係

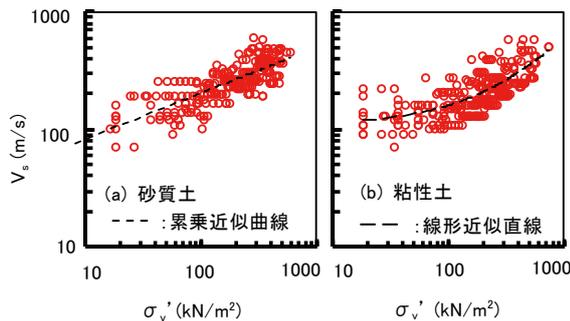


図-6 有効上載圧とS波速度の関係

表-4 深度または有効上載圧を説明変数に用いたS波速度近似式の決定係数R<sup>2</sup>

土質	説明変数	線形近似	累乗近似
砂質土	深度	0.45	0.55
	有効上載圧	0.58	0.59
粘性土	深度	0.44	0.38
	有効上載圧	0.51	0.46

で少し深度(有効上載圧)に対するS波速度の変化が小さくなっている傾向はみられるものの、粘性土の場合ほど顕著ではない。その結果、砂質土では累乗近似の方が適合性は良く、粘性土では線形近似の方が適合性は良くなっている(表-4)。

これらの結果は(16)、(17)式より説明できる。砂質土においては(16)式より拘束圧 $\sigma_m' = 0$ の時 $f(H, H_w) = 0$ であり $V_s = 0$ となるのに対し、粘性土では(17)式より $\sigma_m' = 0$ で $V_s$ は $V_0 \neq 0$ であり、以下の式のようにあらわすことができる。

$$\text{粘性土} : V_0 = V_{r1} \cdot \sqrt{F(e_0)} \cdot \{g(0.5a_2 \cdot N)\}^{0.5a} \quad (27)$$

表-4より深度Hよりも有効上載圧 $\sigma_v'$ を説明変数に用いた方が推定式の精度は向上するが、その場合、地盤の正確な単位体積重量 $\gamma_t$ を知るのは容易ではない。ただし、正確な値がわからない場合でもばらつきは大きくとも $\gamma_t = 16 \sim 20 \text{ kN/m}^3$ 程度であり、平均的な値(例えば $\gamma_t = 18 \text{ kN/m}^3$ )仮定して計算を行っても、そのことによる誤差は地盤深度Hを説明変数としたときに発生する誤差に比べれば小さい。Hを説明変数とすることは、表-2~4より地下水の浮力の影響を無視して有効上載圧を評価することに等しいからである。したがって、 $\gamma_t$ の値は正確にわからなくても影響が小さいので、説明変数には深度Hよりも有効上載圧 $\sigma_v'$ を用いた方が良いと結論できる。

#### 4.3 N値とS波速度の相関

地盤のN値とS波速度の関係を図-7に、そのデータに対して線形近似と累乗近似で決定係数を求めた結果を表-5に示す。同図表よりN値を説明変数とした場合には(有効上載圧を説明変数とした場合とは逆に)、砂質土において $V_0 \neq 0$ であり、粘性土において $V_0 = 0$ となるような傾向を示している。

(18)式において粘性土は $V_0 = 0$ であり図-7(b)と整合している。また、(17)式において砂質土は $N = 0$ で $V_s$ は以下のようになり $V_0 \neq 0$ であり同図(b)と整合する。

$$\text{砂質土} : V_s = V_{r1} \cdot \sqrt{F(e_{\max})} \cdot \{f(H, H_w)\}^{0.5a} \quad (28)$$

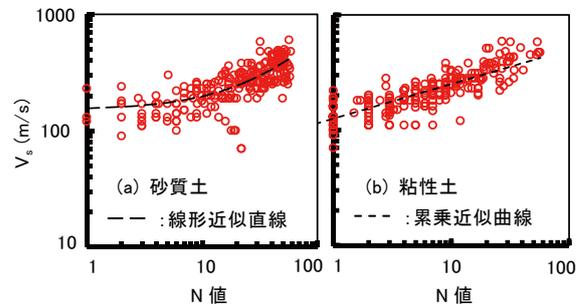


図-7 N値とS波速度の関係

表-5 N値を説明変数に用いたS波速度近似式の決定係数R<sup>2</sup>

土質	説明変数	線形近似	累乗近似
砂質土	N値	0.56	0.55
粘性土	N値	0.70	0.73

#### 4.4 土質とS波速度およびその推定式の関係

図-5~7および表-4, 5より、砂質土においてはN値よりも有効上載圧 $\sigma_v'$ を説明変数に用いた方が決定係数は大きく、粘性土においては説明変数としてN値を用いた方が決定係数は大きい。このことは、S波速度の推定に対する各パラメータの寄与率が土質によって異なることを示している。ここでは、砂質土において( $\sigma_v'$ の寄与) > (N値の寄与)、粘性土において(N値の寄与) > ( $\sigma_v'$ の寄与)となっており関係が逆転している。このことを踏まえて、(17)、(18)式と(20)、(21)式を比較すると、後者では推定に対する寄与の小さいパラメータを定数項に含めて省略し寄与の大きいパラメータを残しており、妥当な簡略化が行われていることが確認できる。

4.2, 4.3節の検討結果と図-3のモデルの関係をまとめると表-6, 7のように示せる。同表およびこれまでの検討結果より、S波速度 $V_s$ の推定に寄与が大きいのは砂質土、粘性土とも接触力項に関するパラメータとなっている。これは土粒子間の接触力はサンプラーの貫入抵抗や地盤内の応力と比較的単純な相関関係にあるのに対し、土粒子の骨格構造(によって決定される接触点数)は間隙比だけでは決定されず、地盤の粒度分布や圧密履歴の影響も強く受けるためだと考えられる。

#### 5. 土質の違いを考慮したS波速度推定式の提案

図-5~7および表-4, 5の結果と表-6, 7との比較より、(17)、(18)式に対する以下の近似式を提案する。

表-6 地盤のS波速度推定式における接触力項  
(図-3(a)の抵抗力に関する項)の形式と  
上限・下限

		接触力項	
		砂質土	粘性土
形式	(17) (18) 式	$\{f(H, H_w)\}^{0.5a}$	$\{g(0.5a_2 \cdot N)\}^{0.5a}$
	(20) (21) 式	$\{f(H, H_w)\}^{0.5b}$	$\{g(0.5a_2 \cdot N)\}^{0.5b}$
上限	(17) (18) 式	なし	
	(20) (21) 式		
下限	(17) (18) 式	0	0
	(20) (21) 式		

表-7 地盤のS波速度推定式における接触点数項  
(図-3(b)の接触点数に関する項)の形式と  
上限・下限

		接触点数項	
		砂質土	粘性土
形式	(17) (18) 式	$\sqrt{F(E_s(N))}$	$\sqrt{F(E_{c2}(H, H_w))}$
	(20) (21) 式	定数項に含める	
上限	(17) (18) 式	$\sqrt{F(e_{max})}$	$\sqrt{F(e_0)}$
	(20) (21) 式	一定	
下限	(17) (18) 式	$\sqrt{F(e_{min})}$	$\sqrt{F(e_u)}$
	(20) (21) 式	一定	

$$\text{砂質土: } V_s = V_{rs} \cdot (a_s \cdot N + 1)^{bs} \cdot (\sigma_v')^{cs} \quad (29)$$

$$\text{粘性土: } V_s = V_{rc} \cdot (a_c \cdot \sigma_v' + 1)^{bc} \cdot (N)^{cc} \quad (30)$$

ここに、 $V_{rs} \cdot a_s \cdot bs \cdot cs \cdot V_{rc} \cdot a_c \cdot bc \cdot cc$ : 定数

(29)、(30)式における各定数は今後標準貫入試験およびPS検層結果の回帰分析により決定される。これらの式において第2項が接触点数項、第3項が接触力項を近似している。この第2項による接触点項の近似では表-7にある上限値を表現できないが、図-6, 7より実際の地盤調査結果において $V_s = 600 \sim 700$ m/s程度までみても上限らしきものは確認できないので、表層地盤のS波速度 $V_s$ を推定する上では実用上問題ないと考えられる。

現状のサンプルに対して適合する(29)、(30)式の定数をモンテカルロ法により求め、決定された地盤のS波速度 $V_s$ の推定式とPS検層結果を比較した結果を図-8に示す。同図より、提案式は地盤のS波速度 $V_s$ を良く推定できている。今後、データを拡充し、より細かい土質区分と年代の違いを考慮した分析を行い、推定式の精度を向上させる(係数は参考値とする)。

#### 6. まとめ

全国16地点、評価対象標本数505サンプルのデータについて標準貫入試験結果とPS検層結果を比較検討し、以下の結論を得た。

- (1) 標準貫入試験結果を用いたS波速度 $V_s$ の統計的な推定では地盤深度 $H$ を説明変数に用いることが多いが、 $H$ に替えて有効上載圧 $\sigma_v'$ を用いた方がPS検層結果との整合性は良い。
- (2) 地盤力学的な知見に基づいて導かれる $V_s$ の推定式の形と統計的な $V_s$ の推定で良く用いられる式の形は、ある程度整合しているが異なる部分もある。
- (3) 砂質土と粘性土では、 $V_s$ の推定におけるN値と $\sigma_v'$ の効果が逆転する。
- (4)  $V_s$ の推定式において、接触力項と接触点数項では接触力項の方が $V_s$ の推定に対する寄与が大きい。
- (5) 以上の知見に基づいた $V_s$ の推定式を提案した。

今後は地盤調査地のデータを拡充し、より細かい土質区分と年代の違いを考慮して提案式の定数項を決定する予定である。

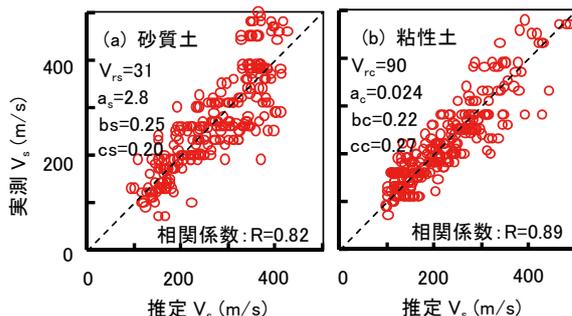


図-8 提案式による $V_s$ とPS検層による実測 $V_s$ の比較

## 謝辞

一部の図の作成には、GMT (Wessel and Smith, 1998) を用いました。記して感謝致します。

## 参考文献

- 1) 柴田：地盤内横波速度と標準貫入試験N値の関係、第5回土質工学研究発表会講演集、pp.121-124、1970
- 2) 太田・後藤：S波速度を他の土質的諸指標から推定する試み、物理探査、第29巻第4号、pp.31-41、1976
- 3) 今井・殿内：N値とS波速度の関係およびその利用例、基礎工、pp.70-76、1978
- 4) Hardin, B.O: The nature of stress-strain behavior for soils, Proceedings of the Geotechnical Division Specialty Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics, ASCE, pp.3-90, 1978
- 5) 宮澤・兵動ら：ベンダーエレメント試験によるせん断弾性係数の拘束圧依存性、資源・素材学会北海道支部春季講演会講演要旨集、pp.17-18、2007
- 6) 地盤工学会：N値と $c \cdot \phi$ の活用法、1998
- 7) Skempton, A.W: Standard Penetration Test Procedures and the Effect in Sands of Overburden Pressure, Relatively Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation, Geotechnique, Vol.36, No.3, pp.425-447, 1986
- 8) 畑中、内田ら：砂質地盤の内部摩擦角 $\phi_d$ と標準貫入試験のN値の関係についての一考察、日本建築学会構造系論文集、第506号、pp.125-129、1998
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V耐震設計編、1996
- 10) 例えば、石村・石村：入門はじめての多変量解析、東京図書、2007

