

盛岡市域における地盤のS波速度推定式の作成

山本英和*・大丸篤志**・斎藤徳美*

Empirical Equation for Estimating S-wave Velocity in Morioka City Area

Hidekazu YAMAMOTO*, Atsushi DAIMARU** and Tokumi SAITO*

ABSTRACT

S-wave velocity information plays a major role in the study of seismic micro-zoning. An empirical equation for estimating S-wave velocity based on ground information obtained from borehole data in Morioka city area in Tohoku district was constructed. Refraction survey using the plank-hammering technique was carried out 76 points near borehole sites in order to obtain S-wave velocity data. The total number of data used for multiple regression analysis was 460. Seven empirical equations were estimated using N-value, depth and facies as predictor variables. The best equation obtained by AIC test is as follows:

$$V_s = 92.90 H^{0.117} N^{0.251} \left\{ \begin{array}{l} 1.000 \\ 1.101 \\ 1.153 \\ 1.444 \end{array} \right\}_F$$

V_s : S-wave velocity (m/s)

H : depth (m)

N : N-value

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Clay} \\ \text{Silt} \\ \text{Sand} \\ \text{Sand \& Gravel} \end{array} \right\}_F = \text{Facies}$$

The correlation coefficient was 0.899. Although the calculated velocities using the equations from the previous studies were lower than the observed values in Morioka area, the calculated velocities using the equation in the present study were nearly equal to the observed values. This suggests that the above equation reflects geological features in Morioka area.

Key words: empirical equation, S-wave velocity, borehole data, plank-hammering technique.

1995年8月28日原稿受付; 1996年1月24日受理

物理探査学会第92回学術講演会にて発表

* 岩手大学工学部建設環境工学科

〒020 盛岡市上田4-3-5

** 盛岡市役所

〒020 盛岡市内丸12-2

Manuscript received August 28, 1995; Accepted January 24, 1996.

This paper was presented at the 92nd SEGJ Conference, 1995.

* Department of civil and environmental engineering, Faculty of Engineering, Iwate University 4-3-5 Ueda, Morioka, 020, Japan.

** Morioka city office 12-2 Uchimaru, Morioka, 020, Japan.

1. 緒 言

土木建築や Seismic microzoning 研究において、建造物の基礎となる地盤の強度の情報を得ることは重要である。地盤の評価には、間隙水の影響を受けやすいP波速度よりもS波速度の情報が有効である。しかし、一般に市街地での測定では測定場所の不足・火薬震源等の制限から弾性波探査を実施することは困難である。そこで、ボーリング資料を用いて、N値・土質区分の情報からS波速度を推定する実験式が数多く提唱されている（例えば、太田・後藤, 1976, 1978; 鈴木ほか, 1994）。しかし、従来の研究により得られた式はすべての地域で同じ形でなく、その地域性が指摘されている（鈴木ほか, 1994）。特に、盛岡市域においては、これら従来の研究の式により推定されたS波速度の値と、実際に弾性波探査を行って求められた値に差異が生じることが経験的に確かめられている。

本研究では、弾性波（S波）探査により求められた地盤のS波速度と建設基盤調査用ボーリング資料に基づき、盛岡市域を対象としたS波速度の推定式の作成を行う。また、従来の研究により報告されている盛岡市以外の地域で作成された式により計算される速度の値と、弾性波探査により観測された速度の値を比較することにより、本研究で作成された式の妥当性を検証する。

2. 弾性波（S波）探査

2-1 測定地域

本研究で対象地域としたのは岩手県盛岡市と滝沢村の一部を含む東西13.6 km, 南北18.9 kmの範囲である。Fig. 1に本研究の対象地域を示す。この領域は北上山地と脊梁山地に挟まれた北上低地帯の北部に位置している。北上川とその支流の雫石川・中津川の合流点にあたり、黒石野・高松・上田の各段丘がよく発達したかなり複雑な地形となっている。

Fig. 2に本地域の表層地質図（岩手県, 1978）を示す。北西部は火山灰を主体としたスコリア・軽石の層を挟んだ洪積世の火山泥流堆積物が分布し、北東部では古生代の輝緑凝灰岩等の岩盤が分布している。中央部では花崗岩が、南西部では洪積世の砂礫層が分布している。南東部には粘板岩、蛇紋岩が分布し、雫石川、北上川付近では沖積世の砂礫層が分布している。

以上のように、盛岡市域は区域ごとに地形・地層状況がかなり異なっている。この全域を網羅する弾性波（S波）探査を行えば、浅部の探査のみでもかなり異なるS波速度に関する情報を収集可能であると考えられる。

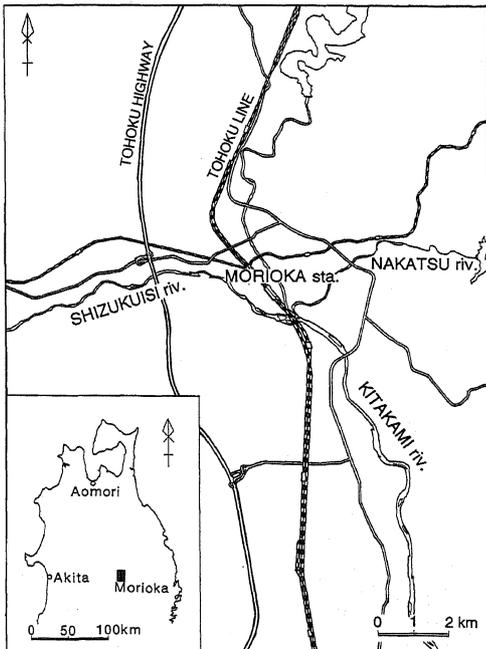


Fig. 1 Location map for study area.

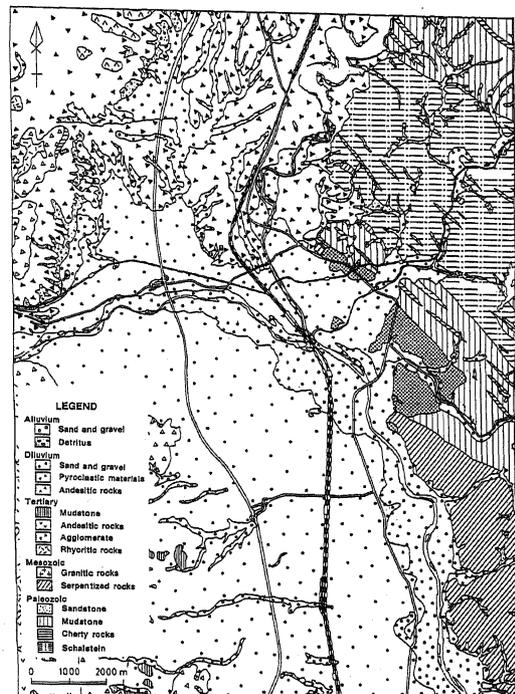


Fig. 2 Surface geological map of Morioka area [after Iwate Prefecture, 1978].

2-2 測定および解析方法

本地域では官庁・ボーリング関連会社の協力を得てボーリング資料が498地点で収集されている。ボーリング資料収集地点に近接し、かつ、探査可能な広さをもつ敷地において、板たたき法（小林, 1958）による浅部弾性波探査を市域の76地点で実施した。測定は1994年5月から10月にかけて行われた。測定に用いた板は、長さ150 cm、幅30 cm、厚さ5 cmである。板の裏には地面との結合力を増加させるために長さ5 cmのくさびを50本打ち込んだ（毎熊, 1977）。測定装置には応用地質（株）製 McSEIS170を用いた。観測地の敷地に制限されない場合、ピックアップ間隔2 m、測線長48 mを基本とした測定を行った。数回ないし数十回板を強打し現場で

stackingを行い、SH波の走時の見極めには板の反対側をたたくことによる位相反転を利用した。速度構造の解析にははぎとり法を用いた。

2-3 探査結果

板たたき法によるS波探査結果の一例として、深度5 mにおける地盤のS波速度分布をFig. 3に示す。火山泥流堆積物が分布する市域北部では、S波速度が200 m/s以下の領域がほとんどであり一部150 m/s以下の地点も存在する。洪積世の砂礫層が分布している中心部から南部にかけて、一部を除いてS波速度が400 m/s以上の地点が存在し、表層付近でもかなり堅固な地盤が分布する。

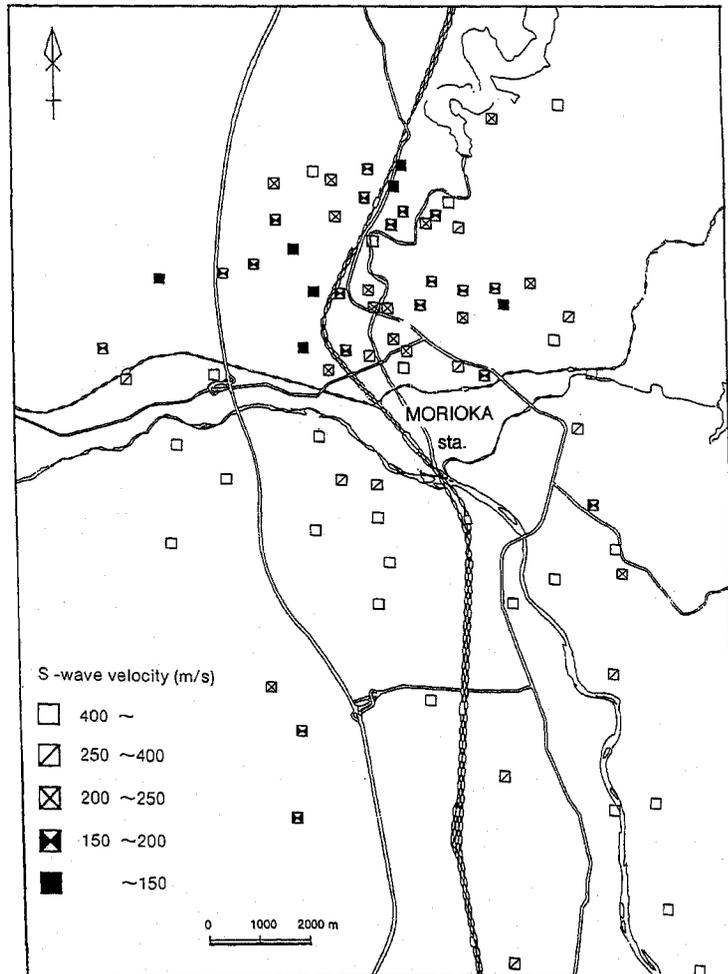


Fig. 3 Distribution of S-wave velocities observed by refraction survey at a depth of 5 m.

3. S波速度推定式

3-1 標本作成

弾性波探査により求められたS波速度と建設基盤調査用ボーリング資料を対応させて推定式構築のための標本を作成した。ボーリング資料からは、1~2 m間隔ごとのN値、土質区分が各深度で得られる。本研究では、弾性波探査測定結果の層構造とボーリング柱状図から得られる層構造が良く一致しているもののみを選び出し標本を作成した。

推定式作成用標本では以下の点に注意した。

1. ボーリング資料に沖積世・洪積世の時代区分が明記されていないものが多いため、本研究では時代区分を説明変量に組み込まない。
2. 砂岩・輝緑凝灰岩・花崗岩等の岩盤の資料は解析から除外する。
3. 土質の区分は、粘土、シルト、砂、砂礫の4種類とする。ローム・腐植土は粘土として、粗砂・中砂・細砂はすべて砂として扱う。
4. N値50以上のものは原則として除外するが、貫入量が資料に明記されているものは、打撃回数を標準貫入量(30 cm)での回数に比例的に換算して用いた。ただし、N値が100以上となるものは除外した。

標本における土質の頻度分布をFig. 4(a)に示す。標本のデータ総数は460、土質ごとの内訳では、粘土175、シルト102、砂34、砂礫149である。砂のデータ数が少ないが、他の土質のデータ数は重回帰分析には十分である。

S波速度の頻度分布をFig. 4(b)に示す。全体では、200 m/s程度の頻度が高いが、100~900 m/sの範囲で幅広く分布している。土質別にみると、粘土およびシルトは200 m/s程度のものが多く、砂および砂礫は300~500 m/sの範囲の頻度が多い。

N値の頻度分布をFig. 4(c)に示す。土質別にみると、粘土およびシルトはN値10程度のデータが多く、頻度分布も類似している。砂は同様にN値10程度のデータが多いが、頻度分布はなだらかである。砂礫は、N値50を中心として幅広く分布している。S波速度とN値の土質別の頻度分布は同様の傾向を示す。

深度の頻度分布をFig. 4(d)に示す。土質区分によらず、多くのデータは深度10 m以下のものである。

標本において深度の小さいデータが多い理由として、S波速度を測線長が限られた板たたき法で求めているため、深部のS波速度実測値が得られていないこと、および、ボーリングが建設基盤調査を目的としたものであ

るため大部分がN値50で掘り止めとなっていることが挙げられる。

3-2 推定式

推定式は太田・後藤(1976)と同様に土質区分を質的変量とした重回帰分析による方法で作成した。回帰式は、土質区分・N値・深度の3つの説明変量のすべての組み合わせによる7通りのものを作成した。従来の研究ではPS検層によって得られたS波速度に基づいて推定式を作成している場合が多いため、密度や時代区分を説明変量に組み込んであるが、本研究では建設基盤調査用ボーリング資料を使用しているため密度のデータは存在しない。また、沖積および洪積の時代区分も必ずしも明瞭でないものが多いことから、前記の3つの説明変量を採用した。

求められたすべての推定式とその相関係数をTable 1に示す。相関係数が一番大きいのは土質区分・N値・深度の3つの説明変量のすべてを組み合わせた式である。しかし、説明変量の個数が異なるため一概に比較できない。これらの中から最適な式を(1)式で表されるAIC(赤池情報量基準)の値で判断する。

$$AIC = n \log(2\pi S_y + 1) + 2(m+1) \quad (1)$$

n : データ数

S_y : 残差分散

m : パラメータ数

AIC(赤池, 1976)はモデルを評価するための統計量で、AICが小さいモデルほど良いモデルであるとされる。つまり、AICは最大対数尤度が同程度の場合、自由パラメータの個数が少ないモデルを選ぶべきであることを示している。式の評価にAICを用いることにより、重複した情報を排除し、かつ、説明変量のへらしすぎによる情報の欠如を防ぐことが可能である。

Fig. 5に、作成された式の相関係数とAICをモデルごとに示す。図から、深度(H)・N値(N)・土質区分(F)の3つの説明変量のすべてを組み合わせた式が、相関係数が大きく(0.899)、AICが小さく(-2137)、一番適切なモデルであることを示している。本研究では、この式を盛岡市域におけるS波速度の最適推定式とする。

$$V_s = 92.90H^{0.117}N^{0.251} \begin{Bmatrix} 1.000 \\ 1.101 \\ 1.153 \\ 1.444 \end{Bmatrix}_F$$

V_s : S 波速度 (m/s)
 H : 深度 (m)
 N : N 値

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{粘土} \\ \text{シルト} \\ \text{砂} \\ \text{砂礫} \end{array} \right\}_F \quad (2)$$

Fig. 6 に、この(2)式を用いて計算された速度の値と弾性波探査により観測された速度の値の関係を示す。図中の45度の直線は計算値と観測値の一対一対応の関係

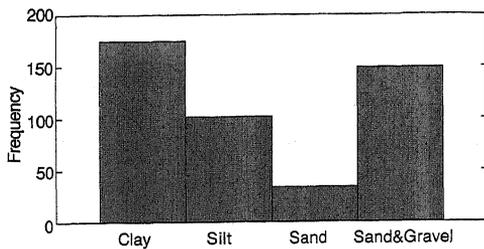


Fig. 4(a) Distribution of facies in the sample used for analysis.

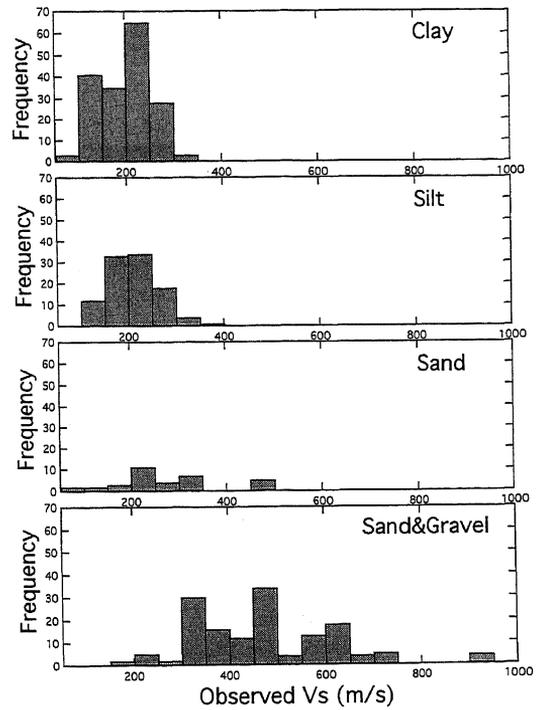


Fig. 4(c) Distribution of N-value for each facies.

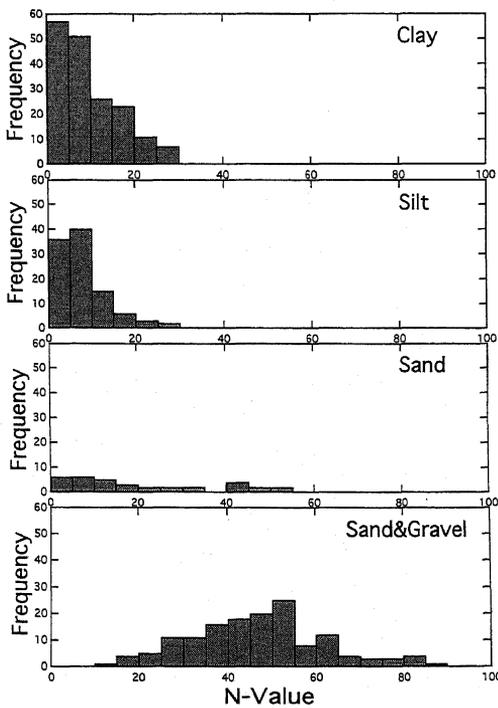


Fig. 4(b) Distribution of S-wave velocity for each facies.

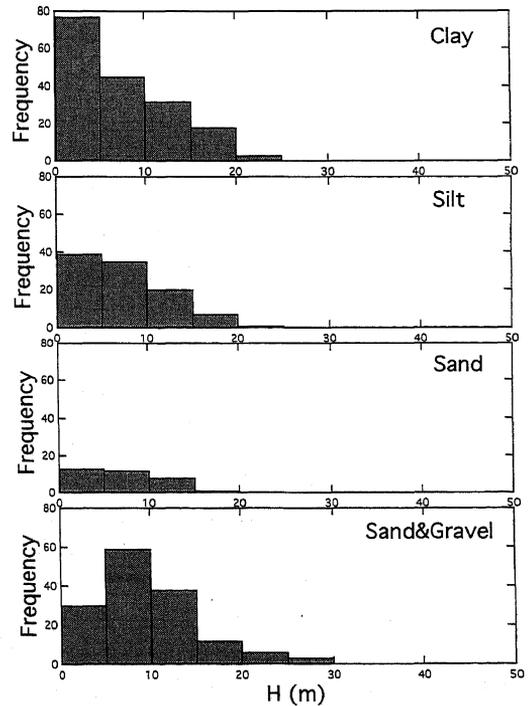


Fig. 4(d) Distribution of depth for each facies.

Table 1 List of empirical equations for estimating S-wave velocity proposed in this study.

No.	Indices	Empirical equation for estimating S-wave velocity (m/s)	Correlation coefficient
I	H,N,F	$V_s = 92.90 \cdot H^{0.117} \cdot N^{0.251} \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 1.101 \\ 1.153 \\ 1.444 \end{matrix} \right\}_F$	0.899
II	N,F	$V_s = 99.80 \cdot N^{0.316} \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 1.111 \\ 1.099 \\ 1.339 \end{matrix} \right\}_F$	0.886
III	H,N	$V_s = 85.94 \cdot H^{0.079} \cdot N^{0.367}$	0.877
IV	N	$V_s = 92.61 \cdot N^{0.394}$	0.870
V	H,F	$V_s = 123.14 \cdot H^{0.231} \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 1.059 \\ 1.387 \\ 2.201 \end{matrix} \right\}_F$	0.849
VI	F	$V_s = 183.39 \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 1.057 \\ 1.372 \\ 2.049 \end{matrix} \right\}_F$	0.773
VII	H	$V_s = 137.07 \cdot H^{0.340}$	0.517

$\left\{ \begin{matrix} \text{clay} \\ \text{silt} \\ \text{sand} \\ \text{sand\&gravel} \end{matrix} \right\}_F$ $F = \text{facies}$

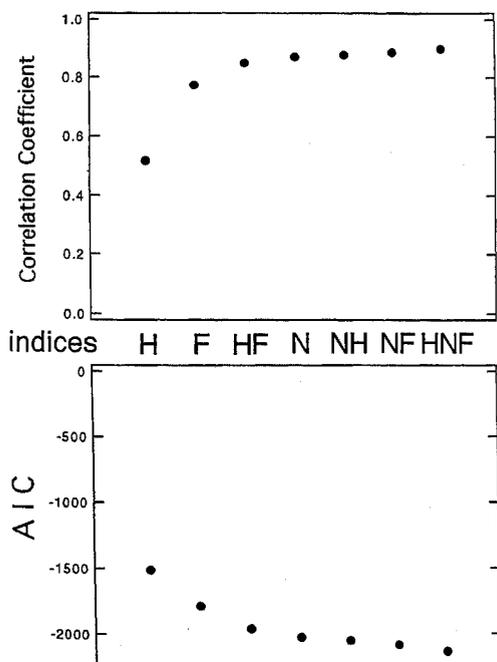


Fig. 5 Correlation coefficient and AIC for each estimated equation, where the included factors are depth (H), N-value (N) and facies (F), respectively.

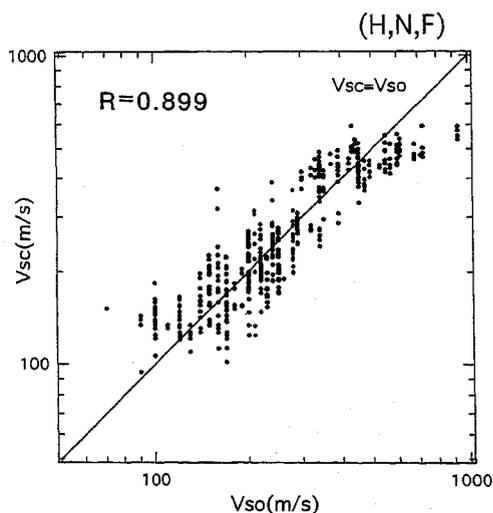


Fig. 6 Relation between calculated velocity (V_{sc}) using depth (H), N-value (N) and facies (F) and observed one (V_{so}).

を示す。相関係数は0.899であり両者の相関は非常に良い。

4. 従来の研究の推定式との比較

4-1 従来の研究による推定式

前節で求められた盛岡における式の特長を把握する目的とともに、地域性についての考察を行う目的のために、従来の研究によるS波速度推定式との比較を行う。

比較を行った式は太田・後藤(1976)による主に関東地方のデータから作成された式、飯田ほか(1978)による名古屋市域における式、野越ほか(1983)による秋田市域における式、正木(1984)による静岡地方における式、そして鈴木ほか(1994)による室蘭地方における式である。これらの研究では、本論文と同じボーリング資料に基づいたS波速度推定式が提示されている。本研究では、以降、これらの式を地域名で、関東

Table 2 List of empirical equations for estimating S-wave velocity with *H*, *N* and *F* in other studies.

Area	Indices	Data number	Empirical equation for estimating S-wave velocity (m/s)	Correlation coefficient
Kanto (Ohta&Goto, 1976)	H,N,F	289	$V_s = 62.1 \cdot H^{0.230} \cdot N^{0.219} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1.000 \\ \dots \\ 1.091 \\ 1.029 \\ 1.073 \end{array} \right\}_{Sa} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1.151 \\ 1.485 \end{array} \right\}_F$	0.826
Nagoya (Iida et al., 1978)	H,N,F	360	$V_s = 85.4 \cdot H^{0.152} \cdot N^{0.258} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1.000 \\ 0.901 \\ 0.836 \\ 1.005 \end{array} \right\}_F$	0.819
Akita (Nogoshi et al., 1983)	H,N,F	115	$V_s = 64.3 \cdot H^{0.108} \cdot N^{0.279} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1.000 \\ \dots \\ 1.022 \\ 0.996 \\ 1.364 \end{array} \right\}_{Sa} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1.441 \end{array} \right\}_F$	0.948
Shizuoka (Masaki, 1984)	H,N,F	317	$V_s = 89.6 \cdot H^{0.179} \cdot N^{0.146} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1.000 \\ 0.894 \\ 0.961 \\ 1.463 \end{array} \right\}_F$	0.833
Muroran (Suzuki et al., 1994)	H,N,F	169	$V_s = 68.3 \cdot H^{0.249} \cdot N^{0.230} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \dots \\ 1.000 \\ 0.848 \\ 1.050 \end{array} \right\}_F$	0.803
Morioka (this study)	H,N,F	460	$V_s = 92.90 \cdot H^{0.117} \cdot N^{0.251} \cdot \left\{ \begin{array}{l} 1.000 \\ 1.101 \\ 1.153 \\ 1.444 \end{array} \right\}_F$	0.899

$\left\{ \begin{array}{l} \text{clay} \\ \text{silt} \\ \text{sand} \\ \text{sand\&gravel} \end{array} \right\}_F$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{fine sand} \\ \text{medium sand} \\ \text{coarse sand} \end{array} \right\}_{Sa}$

F = facies
Sa = sand

の式、名古屋の式、秋田の式、静岡の式、そして室蘭の式と呼ぶ。これら比較を行った式とその相関係数を Table 2 に示す。これらの推定式はいずれも0.8以上の高い相関係数を示している。

4-2 比較方法

AIC 評価により本研究では深度、N 値、土質区分を用いた式が選ばれた。このタイプの式は以前の研究（関東、名古屋、秋田、静岡、室蘭）でも作成されている。盛岡市域におけるS波速度の観測値 (V_{SO}) と、その場合の深度、N 値、土質区分を代入したこれらの式から推定される計算値 (V_{SC}) の比較を行った。この場合、盛岡の式をふくめ全部で6つの式の比較を行う。

また、本研究で使用した建設基盤調査用ボーリング資料には時代区分が明記されていないものが多いため、推定式作成には説明変量として時代区分を含まない解析を行った。しかし、秋田の式を除く4つの式では時代区

分を含む形が導き出されている。そこで、時代区分を含む形の式と観測値の比較も行う。この場合の推定式および相関係数を Table 3 に示す。ここで、時代区分は洪積世と仮定する。ただし、室蘭の式は、AIC の評価により本研究と同様に時代区分を含まない形を最適推定式としているため、この比較は行わない。この場合の比較は、関東の式、名古屋の式、静岡の式の3つである。

比較を行うパラメータは残差分散、残差の平均、相関係数を用いる。ここで残差は(3)式で定義される値である。

$$S_R = \log_{10} \{ V_{SC}(\text{another study}) / V_{SO}(\text{this study}) \} \quad (3)$$

土質区分における注意点を以下に述べる。

1. 盛岡の式と土質区分の方法が同じ名古屋の式、静岡の式はそのまま対応させた。
2. 関東の式、秋田の式は、土質区分が粘土、細砂、中

Table 3 List of empirical equations for estimating S-wave velocity with H, N, F and E in other studies.

Area	Indices	Data number	Empirical equation for estimating S-wave velocity (m/s)	Correlation coefficient
Kanto (Ohta & Goto, 1976)	H,N,F,E	289	$V_s = 68.79 \cdot H^{0.199} \cdot N^{0.171} \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ \dots \\ 1.086 \\ 1.066 \\ 1.135 \end{matrix} \right\}_{Sa} \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ \dots \\ 1.303 \end{matrix} \right\}_E \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.153 \\ 1.448 \end{matrix} \right\}_F$	0.826
Nagoya (Iida et al., 1978)	H,N,F,E	360	$V_s = 98.0 \cdot H^{0.104} \cdot N^{0.170} \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 0.871 \\ 0.840 \\ 0.984 \end{matrix} \right\}_F \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 1.292 \\ 1.659 \end{matrix} \right\}_E$	0.819
Shizuoka (Masaki, 1984)	H,N,F,E	317	$V_s = 95.3 \cdot H^{0.160} \cdot N^{0.137} \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 0.893 \\ 0.969 \\ 1.430 \end{matrix} \right\}_F \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 1.085 \\ \dots \end{matrix} \right\}_E$	0.833
Muroran (Suzuki et al., 1994)	H,N,F,E	169	$V_s = 73.1 \cdot H^{0.229} \cdot N^{0.205} \cdot \left\{ \begin{matrix} \dots \\ 1.000 \\ 0.857 \\ 1.047 \end{matrix} \right\}_F \cdot \left\{ \begin{matrix} 1.000 \\ 1.111 \\ \dots \end{matrix} \right\}_E$	0.803

$\left\{ \begin{matrix} \text{clay} \\ \text{silt} \\ \text{sand} \\ \text{sand \& gravel} \end{matrix} \right\}_F$
 $\left\{ \begin{matrix} \text{fine sand} \\ \text{medium sand} \\ \text{coarse sand} \end{matrix} \right\}_{Sa}$
 $\left\{ \begin{matrix} \text{alluvium} \\ \text{diluvium} \\ \text{tertiary} \end{matrix} \right\}_E$

$F = \text{facies}$
 $Sa = \text{sand}$
 $E = \text{epoch}$

砂, 粗砂, 砂礫, 礫となっているため, 本研究の区分ではシルトを細砂に, 砂は中砂に対応させ, 礫の項は無視した。

4-3 時代区分を含まない式との比較 (H, N, F モデル)

Fig. 7 に S 波速度観測値とそれぞれの研究による式で推定される計算値の相関を示す。盛岡の式は当然のことながら残差分散がほぼ 0 である。また, 一対一の対

応を表す 45 度の直線によく載っている。観測値と計算値の比較において相関係数の差異のみでなく, 計算値がバイアスを持っているか否かも重要である。

他の地域の式のなかで残差分散が一番小さいのは名古屋の式 (残差分散: 0.020), ついで静岡の式 (同: 0.023) であった。しかし, 盛岡の式以外の式では, 観測値に比べ計算値が全体的に小さい傾向がある。特に, 速度値が大きいほど観測値と計算値の差が大きくなるようにみえる。

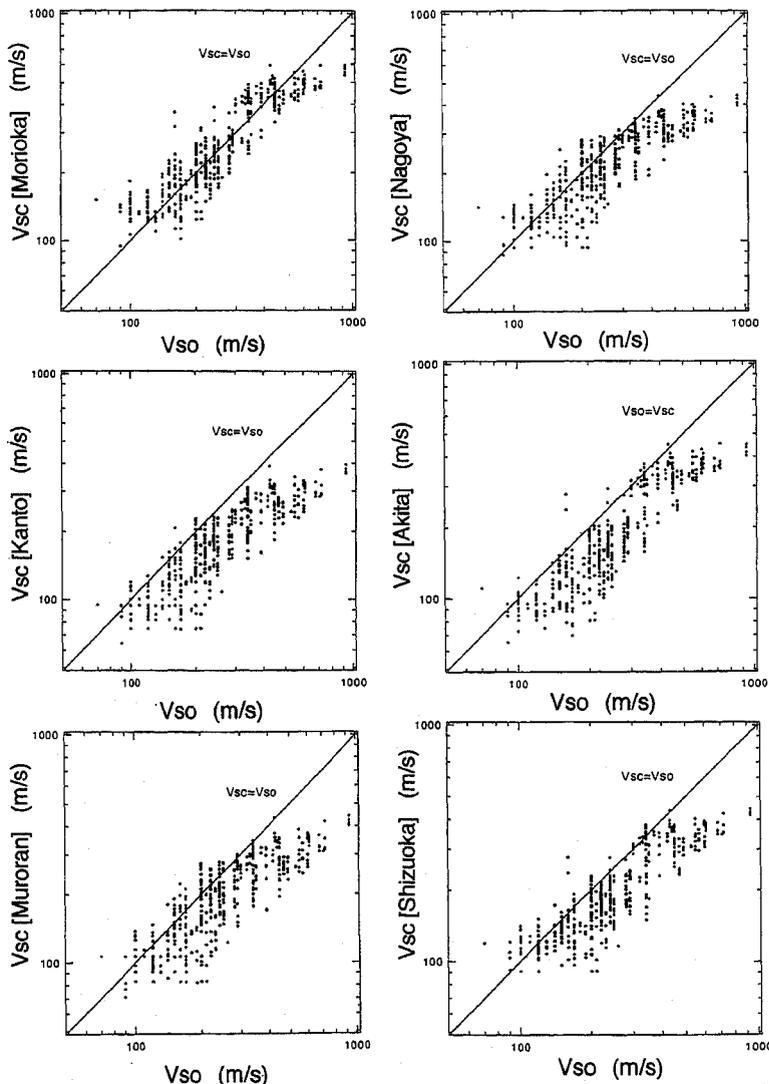


Fig. 7 Relation between calculated velocity (V_{sc}) using depth (H), N -value (N) and facies (F) from other studies and observed one (V_{so}) in the present study. Morioka index means the equation constructed in this study, Kanto by Ohta and Goto (1976), Murooran by Suzuki et al. (1994), Nagoya by Iida et al. (1978), Akita by Nogoshi et al. (1983), Shizuoka by Masaki (1984).

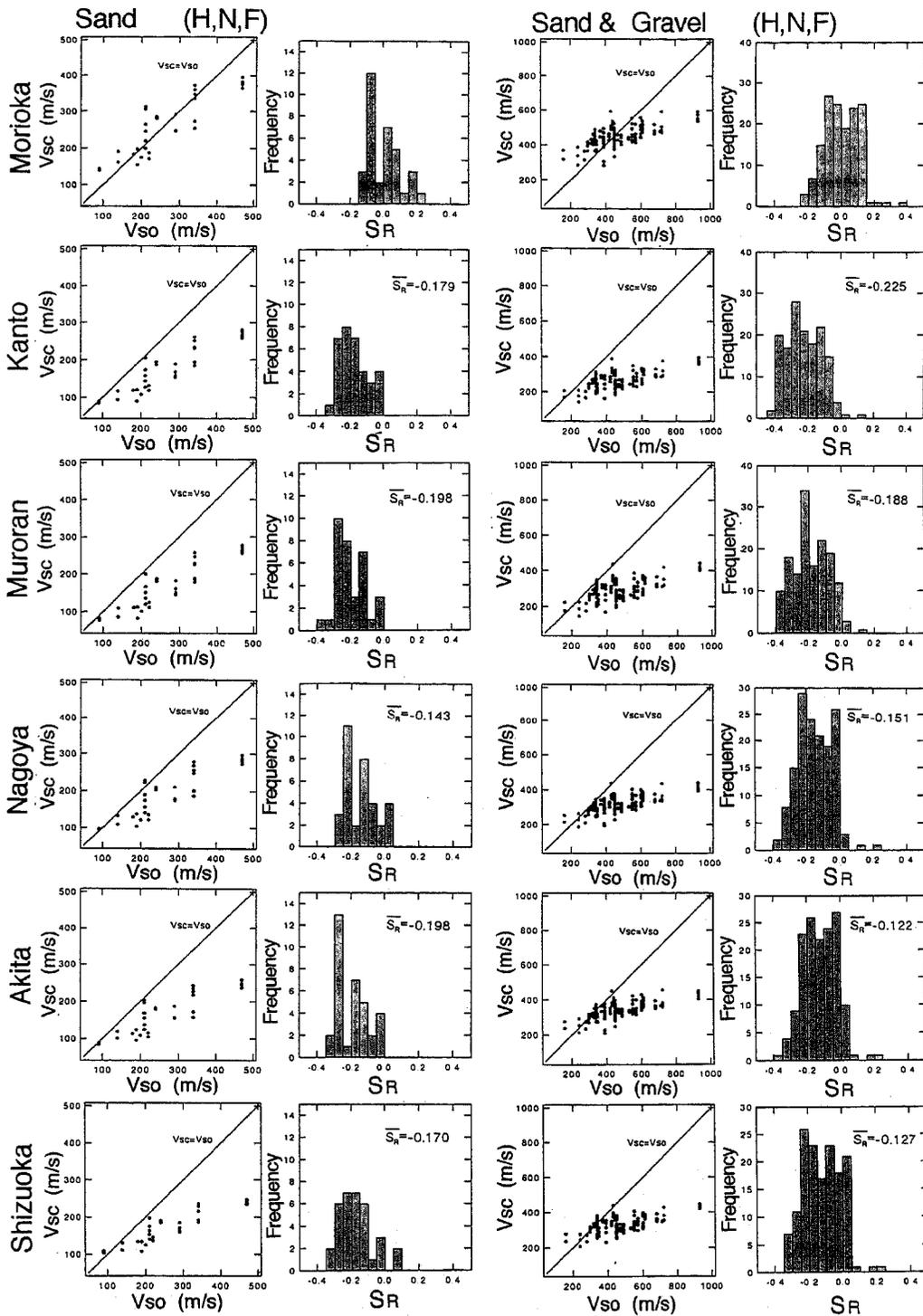


Fig. 8(a) Relation between observed velocity (V_{so}) and calculated one (V_{sc}) in the present and from other studies respectively using H , N and F in the case of clay and silt. The histogram shows residual dispersion frequency. S_R is defined by the equation (3) and \bar{S}_R is an average of S_R .

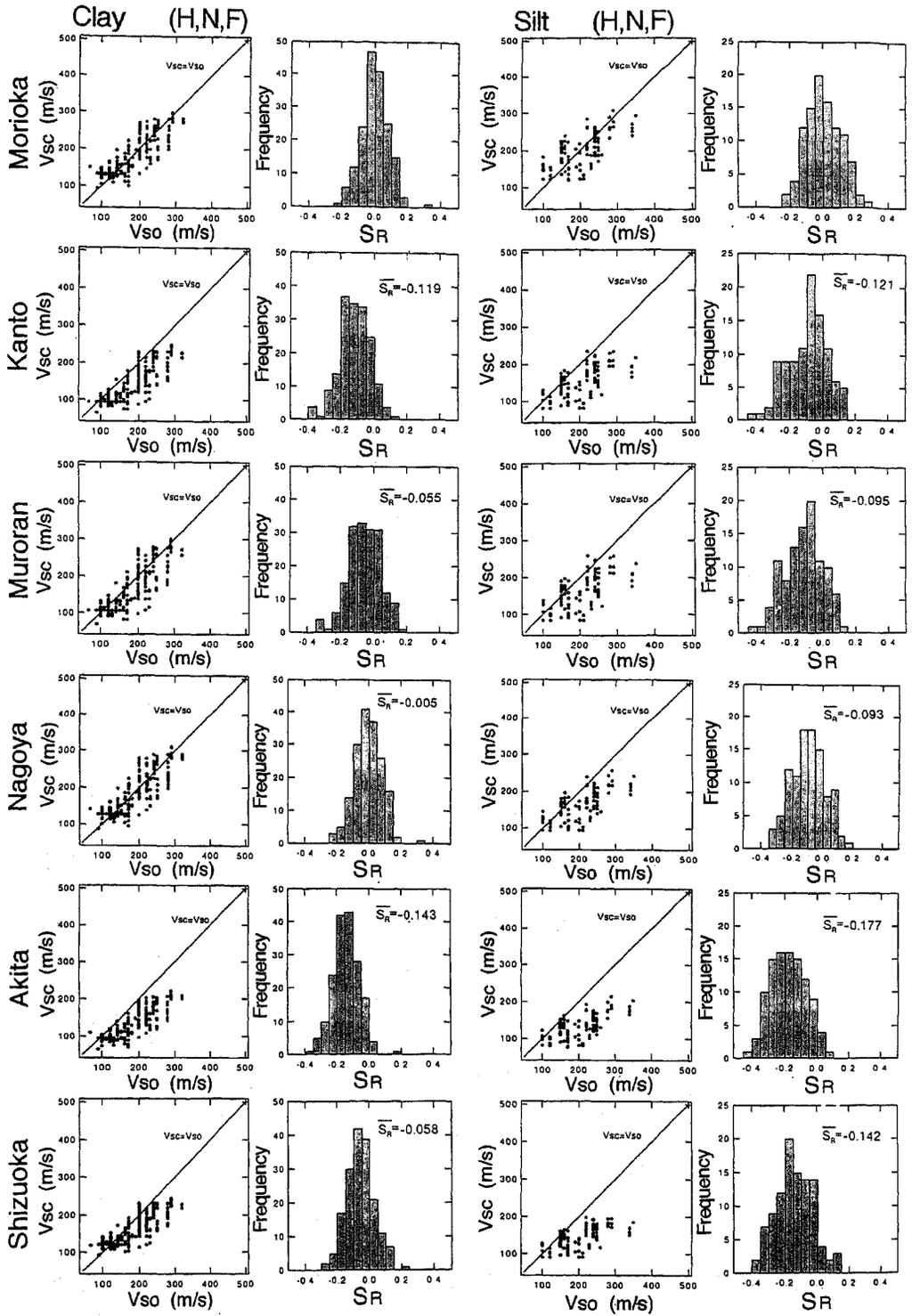


Fig. 8(b) Relation between calculated velocity (V_{sc}) and observed one (V_{so}) in the case of sand and sand-gravel. See also the caption of Fig. 8(a).

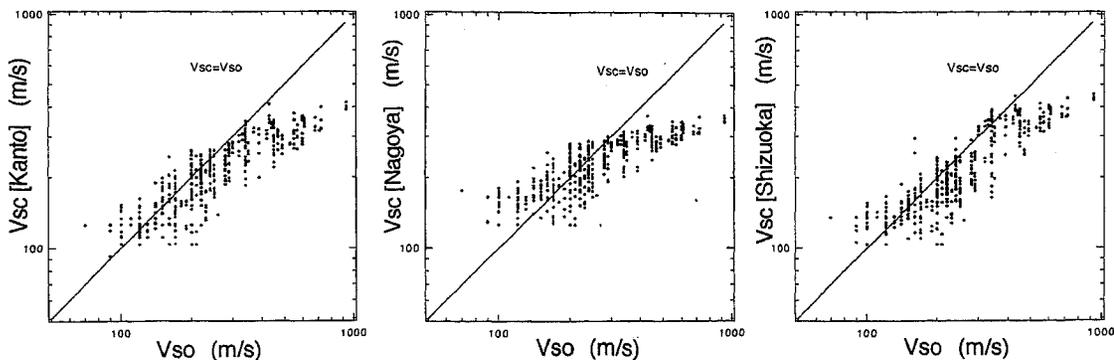


Fig. 9 Relation between calculated velocity (V_{sc}) and observed one (V_{so}) in the equations constructed with depth (H), N -value (N), facies (F) and epoch (E) by other studies, where epoch is assumed to be diluvium.

次に、土質別に観測値と計算値との比較を行う。Fig. 8(a)に粘土・シルト、Fig. 8(b)に砂・砂礫における比較結果を示す。相関図の横に示してあるのは、(3)式で定義される残差の頻度分布である。残差の頻度分布が正の方向へシフトしている場合、観測値に比べ計算値が大きく見積もられ、負の方向へシフトしている場合、小さく見積もられていることを示している。

粘土の場合、盛岡の式の残差分散は0.007と他の研究による式と比較して最も小さい値を示す。計算値と観測値の対応関係も良く、S波速度の値を正確に推定していることがよくわかる。盛岡以外の式のなかでは名古屋の式の残差分散が一番小さく盛岡の式の残差分散とほぼ同じとなった。また、残差平均 \bar{S}_R もほぼ0の値をとり、観測値との相関がよいことがわかる。しかし、名古屋の式以外の静岡、室蘭、関東そして秋田の式の順で残差分散は大きくなる。残差平均も \bar{S}_R も負の値をとり、観測値に比べ推定値が小さい傾向にある。

シルトの場合、粘土と同様に盛岡の式は残差分散が小さく観測値との相関は良い。盛岡の式以外では名古屋の式が残差分散が一番小さいが粘土の場合と比べてやや大きい。残差平均 \bar{S}_R から盛岡以外の式では観測値に比べ推定値が小さい傾向にある。

砂の場合も、粘土、シルトの場合と同様な傾向を示す。

砂礫の場合も盛岡の式の相関は良い。盛岡以外の式では秋田の式の残差分散が0.027で一番小さい。残差平均 \bar{S}_R はすべて負の値をとり観測値に比べ推定値が小さい傾向がある。

以上の結果をまとめると、

1. 盛岡の式はすべての土質において観測値と推定値の相関が良い。

2. 盛岡以外の式で観測値を満足する式は、粘土における名古屋の式のみである。それ以外の式はすべて観測値に比べ計算値が小さい。名古屋の式の場合も粘土以外の土質では同様である。

盛岡市域における沖積層は北上川、雫石川等の流域に限られるため、本研究でボーリング資料から標本としたデータの多くは洪積世のもので推測される。これに対し、他地域の標本には沖積世のデータも多く含まれている。そこで次節においては、他の地域の式において時代区分を説明変数に採用している式に洪積世として計算される値と、弾性波(S波)探査による観測値の比較を行う。

4-4 時代区分を含む式との比較(H, N, F, Eモデル)

Fig. 9に時代区分を洪積世とした場合のH, N, F, Eモデルによる計算値と観測値の比較結果を示す。関東、名古屋、静岡のいずれの式もH, N, Fモデルから計算された場合に比べ観測値との相関は良いようにみえる。計算値と観測値のバイアスもH, N, Fモデルと比べ小さい。時代区分を洪積世と仮定して計算された値が観測値を満足することは、盛岡市域で弾性波探査により測定された値が洪積世のものが多いことを裏付ける結果とも考えられる。

Fig. 10に土質別に計算値と観測値とを比較した結果を示す。Fig. 8と同様に相関図の横に残差の頻度分布を示してある。

粘土の場合、静岡の式と関東の式が盛岡の式とほぼ同じ残差分散を示している。残差平均 \bar{S}_R もほぼ0を示し、観測値と推定値の相関は良い。名古屋の式は時代区分を含まない式と比べ残差分散が大きくなる。残差平均も正の値をとり、観測値に比べ推定値が大きくなる傾向

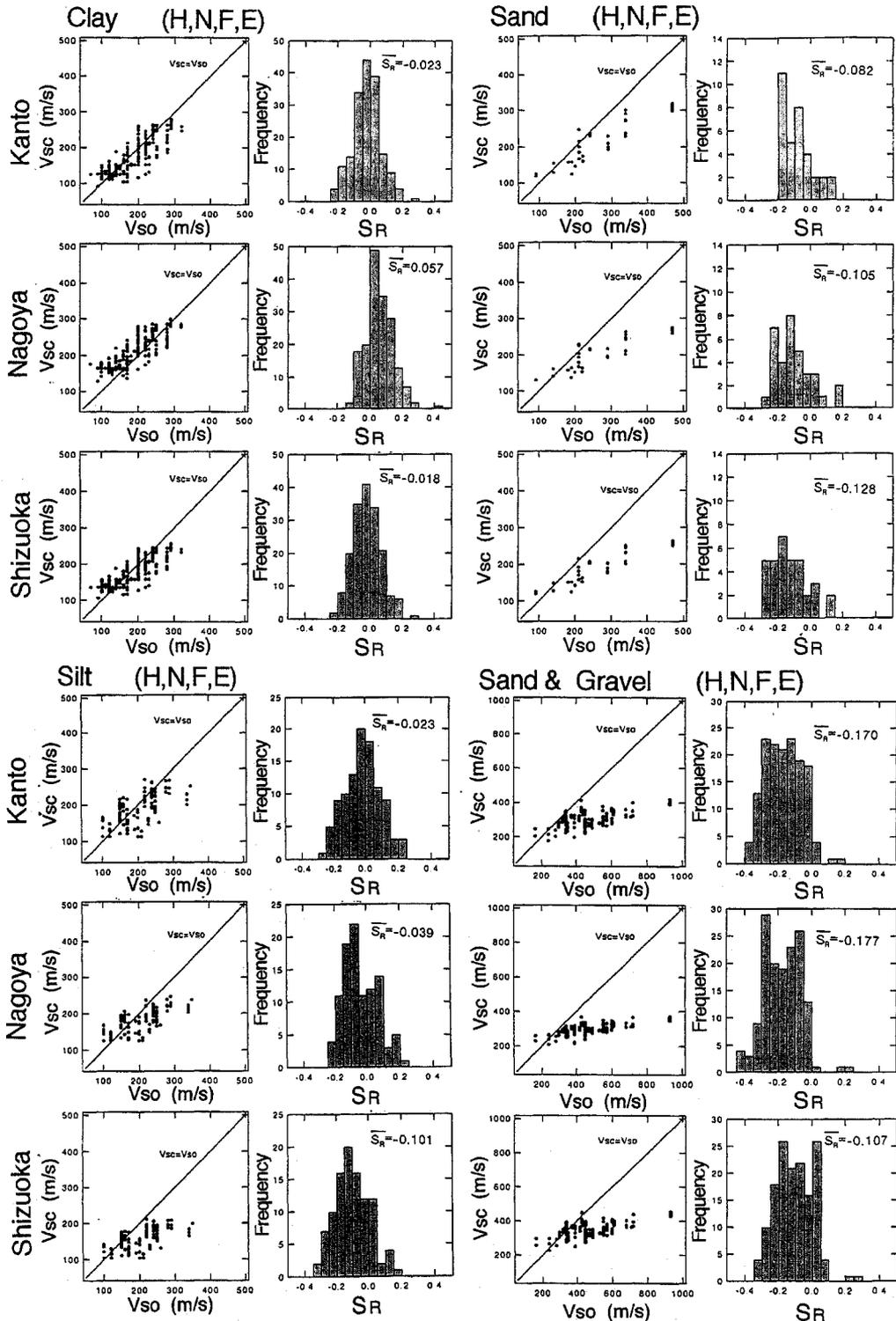


Fig. 10 Relation between calculated velocity (V_{sc}) by the equations with H, N, F and E (Diluvium) by the other studies and observed one (V_{so}) by refraction survey in case of each facies. The histogram shows residual dispersion frequency. See also the caption of Fig.8(a).

にある。シルトにおいてもほぼ同様の結果を示している。

これに対し、砂および砂礫においては時代区分を含まない式から計算される場合と同様に、観測値の方が計算値よりも大きい値を示し、両者の整合性は良好とは言えない。すなわち、全種類の土質において盛岡市域の弾性波探査の観測結果を満足するのは本研究で作成された盛岡の式のみである。

5. 考 察

従来の研究で推定式作成に用いられているS波速度の観測値はPS検層等によるものが多い。盛岡の式は市域全体の平面的に広い範囲での観測値に基づいて作成された推定式であることが大きな特徴である。

観測値と計算値の比較の結果、時代区分を洪積世とした場合が比較的相関が良かった。盛岡市域におけるS波速度は、粘土、シルトに対しては従来の式から計算される洪積世の値を示し、砂、砂礫に対しては推定値以上の値を示す。盛岡市域においては広く段丘地形が発達し、地表から1~2mの深度において洪積層に達する。従来の式が海岸平野の沖積層のデータを用いて作成されたものが多いことを考えると、本研究で取得されたデータは他地域と異なる特性を有しているといえよう。盛岡の式が、従来の式と比べN値のべき指数が大きく深度のべき指数が小さいことは、盛岡市域の地形・地質条件に依存しているものと考えられる。

なお、従来の結果と今回の結果が異なる理由として、実測されたS波速度に異方性のあることが挙げられる。例えば、狐崎(1970)によると、鉛直方向に伝播する速度 $V_{s\perp}$ と水平方向に伝播する速度 $V_{s\parallel}$ の違いが報告されており、一般に、 $V_{s\parallel}$ のほうが大きい値を示すことが多い。 $V_{s\parallel}$ は本研究で実施した屈折法探査から求められる速度に相当し、 $V_{s\perp}$ は検層で行われる探査に相当する。S波速度推定式の差異に、どの程度異方性が貢献しているかは判然としない。しかし、本研究では、ボーリング土質柱状図から得られる層構造と、弾性波探査により求められた層構造がほぼ等しい地点のみ解析の標本として選定している。また、数測点における微動のレイ観測により、レーリー波の分散から推定されたS波速度が板たたき法による観測値と整合している(例えば、山本ほか、1995)ことを勘案すると、異方性による影響は顕著ではないものと推察される。

6. 結 言

盛岡市域において板たたき法による弾性波探査を行

い、地盤のS波速度分布を得た。その結果とボーリング資料に基づき作成された7通りのS波速度推定式について検討を行った。この中から相関係数とAICの検定により土質区分・N値・深度を含む式が最適であることが判明した。

求められた推定式は従来提示されている他地域を対象とした式と異なっている。この差異は地形・地質条件等にかかわるものと考えられ、より正確なS波速度の推定には当該地域を対象とした式を用いることが必要であるといえる。

盛岡市のような地方都市でも、市街地では弾性波探査の実施が困難であるため、市域中央部での観測値は得られていない。本研究で作成した推定式は、市街地をはじめS波の実測が困難な地域でのS波速度の情報を得る上で重要な役割を果たすものと期待される。

謝 辞

盛岡市域の弾性波探査に際しては、当時の岩手工学部4年次学生、井上香、逢坂三三子、千葉淳哉、京谷健史、藤本理、松尾茂、吉田満、および、岩手大学大学院工学研究科大学院生、小淵卓也、吉岡真の各氏の助力を得た。盛岡市域のボーリング資料は官庁、ボーリング関連会社の協力を得て収集された。記してここに謝意を表する。

参 考 文 献

- 赤池弘次(1976):情報量基準AICとはなにか,数理科学, no. 153, 5-11.
- 飯田汲事, 正木和明, 楓 重彦(1978):名古屋地盤の振動特性に関する研究, 愛知工業大学研究報告, 13, 191-200.
- 岩手県(1978):北上山系開発地域土地分類基本調査 盛岡 5万分の1表層地質図.
- 狐崎長環(1970):京大・宇治構内の地下構造と地震波速度の分布, 京大防災研究所年報, 13, A, 175-195.
- 小林直太(1959):SH波を使って地下構造を決める方法, 地震2, 12, 19-24.
- 毎熊輝記(1977):S波の発生に関する実験的研究(I). 物理探査, 30, 12-26.
- 正木和明(1984):地震防災を対象とした地盤振動特性の評価に関する研究, 博士論文, 東京工業大学.
- 野越三雄, 中西庄一, 狐崎長環(1983):秋田市におけるマイクロゾーンーション研究—S波速度と土質指標との関連—, 第20回自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, 184-187.
- 大上和良, 遠藤真哉, 村井貞允(1977):ボーリング資料

- に基づく北上低地帯の地下地質（その1）—盛岡市付近—, 岩手大学工学部研究報告, **30**, 21-29.
- 太田 裕, 後藤典敏 (1976): S波速度を他の土質的指標から推定する試み, 物理探査, **29**, 251-261.
- 太田 裕, 後藤典敏 (1978): 横波速度を推定するための実験式とその物理的背景, 物理探査, **31**, 8-17.
- 鈴木一成, 丸山昌則, 後藤典敏, 武藤 章, 河内邦夫 (1994): 北海道室蘭地方におけるS波速度実験式と他地域の実験式との比較, 物理探査, **47**, 105-119.
- 山本英和, 吉田芳則, 小淵卓也, 斎藤徳美 (1995): 短周期微動のアレイ観測による浅部地下構造の推定—岩手大学構内における結果—, 物理探査学会第92回学術講演会講演論文集, 144-148.