



Title	貫入試験よりS波の速度を求める方法
Author(s)	酒井, 良男; Sakai, Yoshio
Citation	北海道大學工學部研究報告, 51, 1-8
Issue Date	1968-12-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40917
Type	departmental bulletin paper
File Information	51_1-8.pdf



貫入試験より S 波の速度を求める方法

酒井良男*

(昭和 43 年 5 月 31 日受理)

A Study on Determination of S-Wave's Velocity by Soil-Penetrometer-Test

Yoshio SAKAI

(Received May 31, 1968)

Abstract

From a view point of earthquake engineering it seems essential to define or otherwise determine the so-called "Jishin-Kiban, or Seismic Foundation". Considering that the vertical distribution of elastic waves and especially the S-Wave velocity distribution have a strong influence in earthquake disasters, the author has the opinion that the "Jishin Kiban" should be adjudged by the velocity of S-Waves.

Now we have various methods to determine the velocity of S-Waves, but they require lots of special knowledges, so I have studied the preactical method to get it easily from N-values of the soil-penetrometer-test and induced the simple practical equation and plotted it on the diagram by using the comparison with actual measurements and engineering judgements.

Here I have compared and investigated N-values of Standard-Soil-Penetrometer-Test and my Soil-Penetrometer-Test, and shown its diagram. I think, however, there still remain many problems; influences of percentage of water content of grounds, poisson's ratio, etc.

§1. 序

貫入試験と称しても種々あるが、大別すれば静的貫入試験と動的貫入試験とに分けられる。本論文で論ずる処は動的貫入試験、特に米国式標準貫入試験と筆者の動的簡易貫入試験とを取り上げ、弾性波が地盤中を伝播する速度、特に S 波の速度との関係を理論的に求めるとともに、その実用化を計るため、必要諸係数を実験値に加うるに工学的判断を用いて式の簡易化を計った。又これらを図表化することも試みたが、土の含水比、ポアソン比、歪度、地盤の互層に依る影響など今後に残された問題は多い。

本論文の狙いとする処は、近時地震工学上の見地から筆者らは地質基盤、地震基盤、建設基盤の 3 者につき明確なる定義を与える事を唱えるものであるが、この判定の一方法として S

* 建築工学科

波を利用せんとする処にある。地質基盤、建設基盤については古くより考えられて居り、建設基盤については一般的に鉛直荷重支持層（勿論これだけではないが）と判断してよい事は周知の事実でここに述べる必要はない。地震工学上問題とするのは地震基盤である。地震基盤の定義の大略を述べれば次の如くである。

- 1) 震源でどんなことが起っているか分らないが、そこで起った振動特性がそのまま伝わる基盤で
- 2) その振幅、変位、速度、加速度等は震源からの距離の函数として表わされる。
- 3) 地震基盤より上の地盤の構成によって、地震基盤の振幅を一般に増幅する（釧路地方では十数倍になっている）と共に、夫々その地点特有の卓越周期を有し、地震動はその周期が卓越する場合が多い。

かかる意味から、地震基盤の決定は必須事項と思考する。この地震基盤の判定には弾性波の鉛直分布、特に S 波の速度によって判断することが望ましい。勿論これについても研究途上であるため、これに注目している数名の我々仲間にも完全な統一見解には達していない。或る者は S 波の速度 $V_s \geq 700$ m/sec 程度（泥岩）と称している。筆者の実験並びに経験によれば、地盤の互層構成が相当問題になるので、場合によっては $V_s \geq 500$ m/sec 程度でも地震基盤と見做し得る場合もあるとの見解を有するものである。

この地震基盤より上の地層の状態により、即ち S 波の速度分布が震害に非常に大きな影響を与えるものである。この見地から地盤の弾性波速度分布を求めることが更に大切となる。その求め方には種々あるが（爆薬による方法は最も正確で深部迄求められるが都心などでは非常に困難であり、且つ解析についても相当専門的知識が必要である）、筆者は貫入試験結果と $V_s = \{E/\rho \times 1/2(1+\nu)\}^{1/2}$ の式とに着目し、数年前簡易式を求めたが（未発表）更に修正を加えてここに発表せんとするものである。未だ実測弾性波速度との比較検討例も少ないため、今後の研究にまたねばならないが、一応所論を展開せんとするものである。

§ 2. 許容（鉛直）地耐力度と N 値

弾性波の速度を求めるのに必要なのは水平地耐力度とでも称すべきものであるが、一応鉛直許容地耐力度で水平地耐力も表わせるもの、即ちこの場合には水平と鉛直とが等しいものと仮定する。そこで標準貫入試験と筆者の簡易貫入試験の場合の地耐力度と N 値との関係を示せば次の如くである。

2.1 標準貫入試験の場合 ($N = \text{Blows}/30 \text{ cm}$)

i) 砂地盤

砂地盤では一般に載荷幅等の考慮を加えて許容地耐力度 q_a は下式が用いられている。

$$q_a \doteq (1 \sim 0.7) N \quad (\text{t/m}^2) \quad (1)$$

一番常識的に用いられているのは 1、及び 0.8 であるが筆者は 0.8 を用いた。

$$q_a = 0.8N \quad (\text{t/m}^2) \quad (1)$$

ii) 粘性地盤

粘性地盤については一軸圧縮強度と N 値との関係¹⁾より許容地耐力度(長期)と N 値との関係を(2)式の如く定めた。

$$q_a \doteq (0.5 \sim 0.4)N \quad (\text{t/m}^2) \quad (2)$$

2.2 簡易貫入試験の場合 ($N = \text{Blows}/10 \text{ cm}$)

i) Peat: $q_a = (0.2 \sim 0.3)N \quad (\text{t/m}^2) \quad (3)$

ii) Silt & Clay: $q_a = 0.3N \quad (//) \quad (4)$

iii) Sand: $q_a = (0.3 \sim 0.4)N \quad (//) \quad (5)$

iv) Volcanic Sand & Ash: $q_a = (0.4 \sim 0.5)N \quad (//) \quad (6)$

(1)~(6)何れにしても許容地耐力度と N 値との関係は直線的であり一般に下式で表わされる。

$$q_a = aN \quad (\text{t/m}^2) \quad (7)$$

§3. N 値と V_s との関係式

3.1 地盤応力度と歪度との仮定

地盤応力度 σ (t/m^2) は許容地耐力度 q_a を用いることとする。又応力度 σ と歪度 ε との間には Hook's Law が成立するものとし、下式を得る ($E = \text{ヤング係数}$)。

$$q_a = \sigma = E\varepsilon \quad (8)$$

q_a と N 値との関係は(7)式で表わされるが、 q_a そのものは一般に載荷地耐力試験から定める場合が多く、載荷板幅は大体 45~30 cm が用いられている。(一般には正方形又は円形板である)

長期許容地耐力度時の沈下量は筆者の約数千カ所にのぼる現場実験から大体 0.2~0.6 cm 程度である。

ブーシネスク等の式を用いて土中の応力球根を求めると、工学的には直径 D の載荷板で載荷した場合、 $(3 \sim 4)D$ の深さで殆んど σ は消失すると考えても宜しい。例えば直径 30 cm 板の場合には工学的に 120 cm 程度の深さで応力は消失するものと仮定できる。 ε を 120 cm までの平均歪度とすれば $\varepsilon = 1/600 \sim 1/167$ となる。即ち(8)式より E と σ との関係(9)式を得る。

$$E = (600 \sim 167)\sigma \quad (9)$$

3.2 S波の速度式 V_s

S波の速度は下式で

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{1}{2(1+\nu)}} \quad (10)$$

1) 大崎順彦氏その他の研究

ここに ρ は単位体積質量 t/m^3 , ν はポアソン比で一般に $\nu=0.3\sim 0.4$ 前後とされて居るが、液体、剛体の限界として $\nu=0.5$ 及び 0.2 を (10) 式に代入して、(11), (12) 式を得るが

$$(V_s)_{\nu=0.5} = 0.577 \sqrt{E/\rho} \quad (11)$$

$$(V_s)_{\nu=0.2} = 0.645 \sqrt{E/\rho} \quad (12)$$

あまり V_s に変化のない事に注目されたい。但し応力度 σ は ν と ε の函数であるから ν の変化は応力度にひびき、直ちに N 値に影響する筈であるが此処ではその検討を省略する。

3.3 N 値と V_s との関係式

(7) 式, (8) 式, (11) 式, (12) 式より V_s を下の如く表わす。

$$V_s = (0.577 \sim 0.645) \sqrt{\frac{9.8 \times \frac{1}{\varepsilon}}{\rho} aN} \quad [\text{m/sec}] \quad (13)$$

今 (13) に於いて ε を次の如く 5 種類を採用すれば下の如くなる。

i) $\varepsilon=1/600$ の場合 ($\varepsilon=0.2/120$)

$$V_s = (50 \sim 44) \sqrt{aN/\rho} \quad (13-1)$$

ii) $\varepsilon=1/500$ の場合 ($\varepsilon=0.24/120$)

$$V_s = (45 \sim 40) \sqrt{aN/\rho} \quad (13-2)$$

iii) $\varepsilon=1/400$ の場合 ($\varepsilon=0.3/120$)

$$V_s = (40 \sim 36) \sqrt{aN/\rho} \quad (13-3)$$

iv) $\varepsilon=1/240$ の場合 ($\varepsilon=0.5/120$)

$$V_s = (28 \sim 25) \sqrt{aN/\rho} \quad (13-4)$$

v) $\varepsilon=1/167$ の場合 ($\varepsilon=0.6/120$)

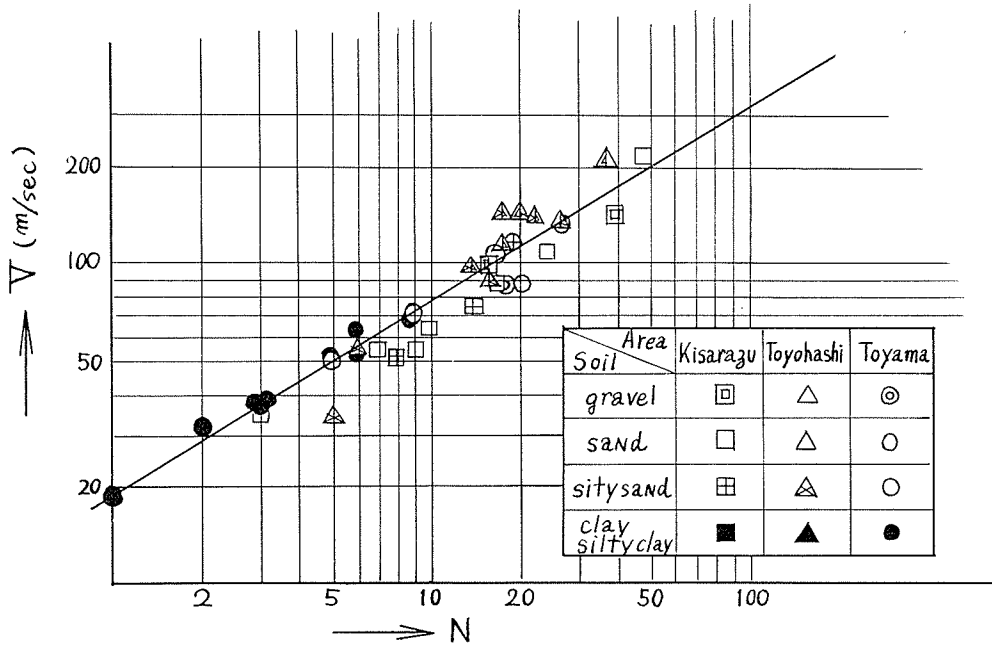
$$V_s = (26 \sim 23) \sqrt{aN/\rho} \quad (13-5)$$

以上の (13-1)~(13-5) 式と (1)~(6) 式とを組合せる事によって V_s を求めることが出来る。勿論 a は貫入方式と土質により決まり、 N は貫入値、 ρ は土の単位体積質量である。ここで問題となるのは ε をどの程度にとったらよいかと云う事である。 N 値が大であれば ε は小さく、 N 値が小なら ε は大きい。詳細については今後の検討を要するが大胆な略算図表を §4 に示す。猶これらの事に就いては金井博士の標準貫入試験と実測から求めた実験式の提案があり、又京大防災研吉川教授の提案式があるので下に掲げる。

$$\text{金井式は} \quad V_s = 19 N^{0.6} \quad (14)$$

$$\text{吉川式} \quad N = a V_s^2 - b \quad (15)$$

但し $a=1/1500\sim 1/3000$, $b=1\sim 3$



第1図 標準貫入試験打撃回数, N値と弾性波(S波)速度との関係。(金井式)

V_s の単位は何れも[m/sec]。金井式は N の0.6乗になって居り、吉川式は0.5乗になって居る点注目されたい。しかしかかる問題は一つの式で表わす事が無理で、ある幅を持たせる必要がある。例えば筆者は N 値と ε との関係に注目して、後述する如くある幅のある階段状のしかも夫々が N の0.5乗に比例する式を提案するものである。これを一つの式で表わすと金井式に近いものとなるようである。第1図は金井式である。

§4. 簡易実用式とその図表化

4.1 土の単位体積質量 (ρ)

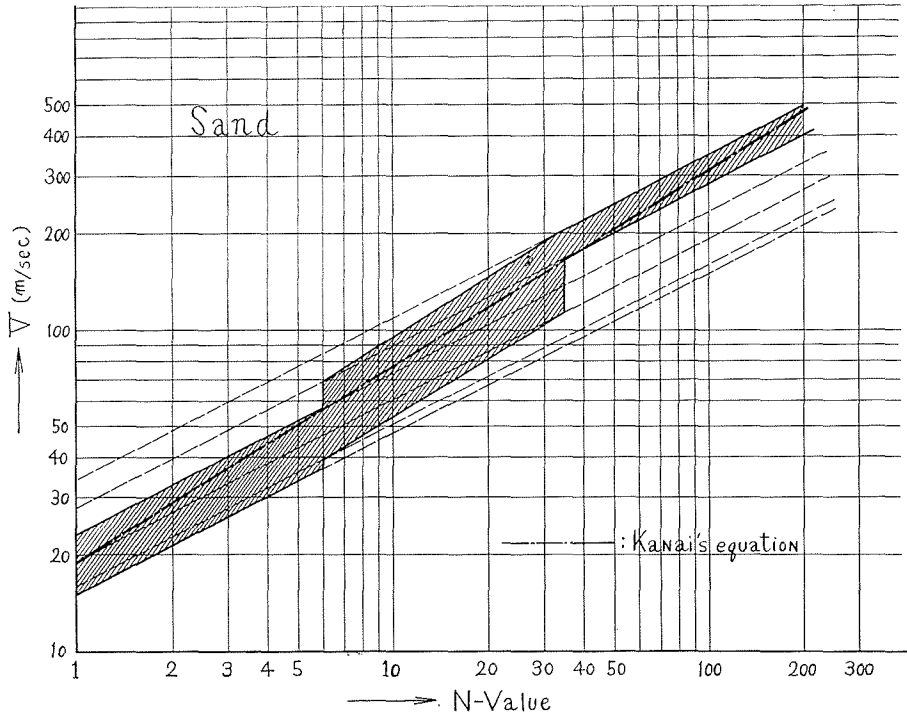
(13-1)~(13-5) 式中には ρ が入って居るが、一般に問題となる沖積層の砂, Silt, 粘土の ρ を拾ってみると下表の如くなる。()内は特別の場合。

砂	Silt	粘 土
1.70~1.92 t/m ³	1.51~1.73 t/m ³	1.40~1.60 t/m ³
(~1.96)	(~1.96)	(~1.65)

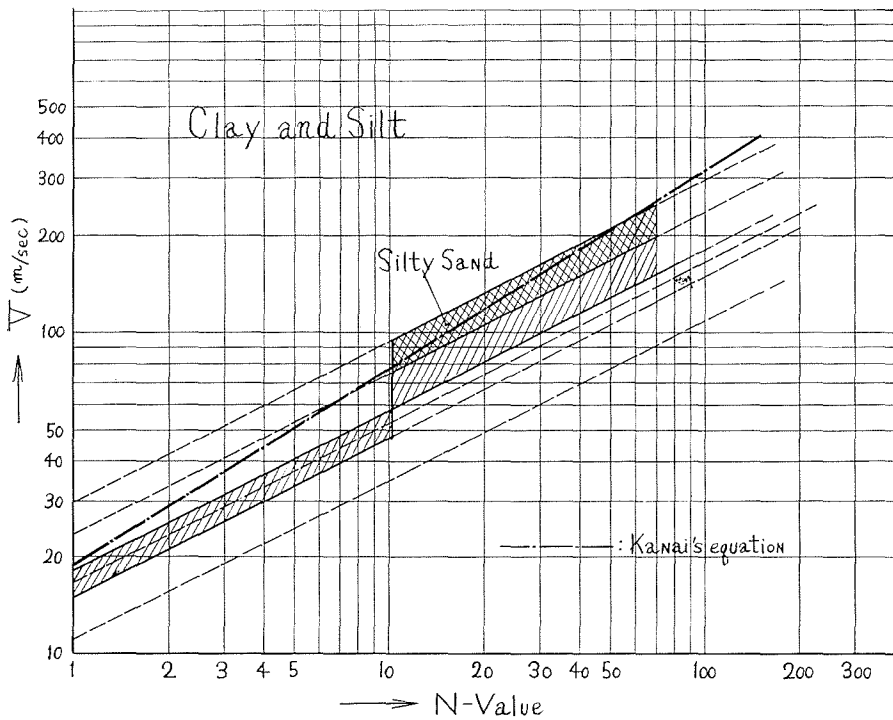
4.2 標準貫入試験の場合

i) 砂地盤

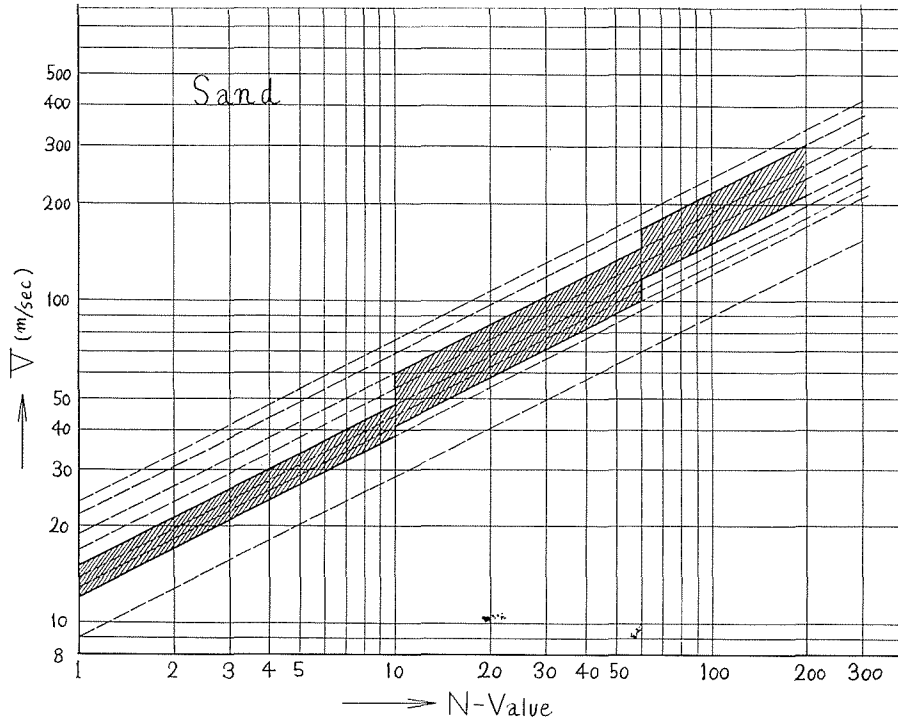
$$\varepsilon = 1/600 \quad V_s = (34 \sim 28) \sqrt{N}$$



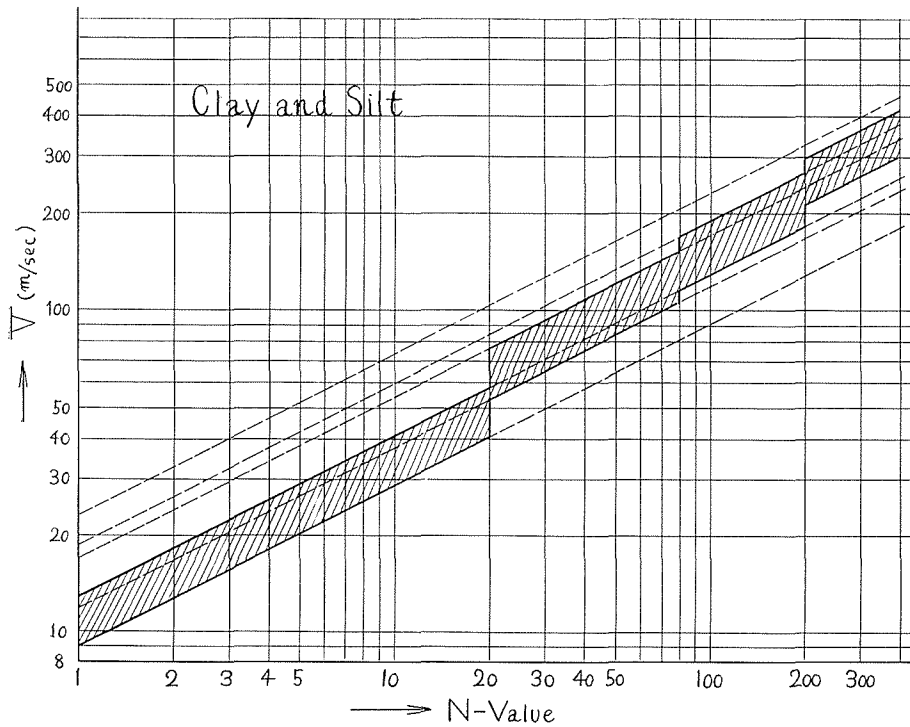
第 2 图 Standard Penetrometer Test



第 3 图 Standard Penetrometer Test



第 4 図 Sakai's Soil Penetrometer Test



第 5 図 Sakai's Soil Penetrometer Test

$$\varepsilon = 1/400 \quad V_s = (28 \sim 23) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/240 \quad V_s = (19 \sim 16) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/167 \quad V_s = (16 \sim 15) \sqrt{N}$$

以上を図化したのが第2図である。特に太い線で結んだ範囲内(斜線部分)が V_s-N 関係となる。

ii) 粘性地盤

$$\varepsilon = 1/600 \quad V_s = (30 \sim 24) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/400 \quad V_s = (24 \sim 18) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/240 \quad V_s = (18 \sim 15) \sqrt{N}$$

以上を図化したのが第3図である。 N の小さい処で金井式が大となっているのは、含水比等の影響によるものであろう。

4.3 簡易貫入試験の場合

弾性波速度と貫入試験結果との資料は相当数あるが、現在手元にないので後日本図と比較して報告することとする。

i) 砂地盤

$$\varepsilon = 1/600 \quad V_s = (24 \sim 17) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/500 \quad V_s = (22 \sim 15) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/400 \quad V_s = (19 \sim 13) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/240 \quad V_s = (14 \sim 9) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/167 \quad V_s = (12 \sim 9) \sqrt{N}$$

以上を図化したのが第4図である。

ii) 粘性地盤

$$\varepsilon = 1/600 \quad V_s = (23 \sim 17) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/500 \quad V_s = (21 \sim 15) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/400 \quad V_s = (19 \sim 13) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/240 \quad V_s = (13 \sim 9) \sqrt{N}$$

$$\varepsilon = 1/167 \quad V_e = (12 \sim 9) \sqrt{N}$$

以上を図化したのが第5図である。

§5. 結

本論は地震工学上必要な地盤の動特性を求めめるため、特に地震基盤なる概念の導入と夫々の地盤の地震波の増幅等を求めめるために必要なS波の速度分布を貫入試験の N 値より求めべく理論的実験的に研究を進めその簡易実用式と図表化を計った。しかし地盤の含水、ポアソン比、歪度、地盤の互層による影響等今後に残された問題が多々あるが、実測例との比較等を足がかりとして、敢えて一文を草した次第である。猶本研究は筆者の文部省特定研究の一部をなすものである。