

ボーリング柱状図より決定した工学的基盤深度を用いた表層地盤の固有周期マップ作成

正会員 ○内見龍一*1 同 永野康行*2

2. 構造—4. 基礎構造—c. 地盤の支持力

工学的基盤深度, 共振, 固有周期, N 値, 表層地盤

1. はじめに

日本は地震大国であり頻繁に地震が発生する。地震の被害予測における既往の研究は AVS30(m/s)を用いて評価していることが多い。AVS30(m/s)は工学的基盤上部に存在する表層地盤の層厚が 30m と仮定し、平均 V_s (S 波速度(m/s)) を求めている。しかし、実際には工学的基盤深度は地点により異なるため工学的基盤深度は 30m 一定ではない。AVS30(m/s)を用いた評価は、実際の工学的基盤深度を考慮した評価ではないと言える。

地震発生時には共振現象が起きる可能性がある。共振現象とは表層地盤の固有周期と建物の固有周期が一致することで起こる。地表面の揺れの大きさに関わらず共振の可能性がある。そのため、表層地盤の固有周期に着目し、地震動が小規模から中規模の弾性範囲における表層地盤の固有周期マップ作成を行った。表層地盤の固有周期マップを作成することにより今後発生する地震の事前の対策を打つことができると考える。

本研究の目的は、工学的基盤深度を考慮した AVSh (表層地盤の層厚 h (m)の平均 V_s (m/s)) を算定し、表層地盤の固有周期マップ作成を行うことである。

2. 平均 V_s の取りうる範囲

AVSh(m/s)の算定には式(1)、(2)、(3)^[1]を用いる。AVSh(m/s)が取りうる範囲を既往の研究^[2]より考察した。既往の研究^[2]では 3 地点 A、B、C の計算値 (ボーリングデータ (N 値) より算定した AVS30(m/s)) と実測値 (PS 検層より算定した AVS30(m/s)) の比較を行った。

$$V_s = a \cdot N^b \quad \dots(1)$$

V_s : S 波速度(m/s) N : N 値 (層ごとの平均 N 値)

a : 土質係数 1 (粘土: 111.30, 砂: 94.38, 礫: 123.05)

b : 土質係数 2 (粘土: 0.3020, 砂: 0.3144, 礫: 0.2443)

$$T_{30} = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{S_i}} \quad \dots(2)$$

T_{30} : 地表から深度 30m までの S 波速度到達時間(sec)

h_i : i 層の層厚(m) V_{S_i} : i 層の S 波速度(m/s)

$$AVS30 = \frac{30}{T_{30}} \quad \dots(3)$$

AVS30: 地表から深度 30m までの平均 S 波速度(m/s)

求めた計算値と実測値との関係を図 1 に示す。横軸に実測値、縦軸に計算値をとり地点 A、B、C の実測値と計算値をプロットした。地点 A、B、C の誤差率を式(4)より算定した。誤差率はそれぞれ 5.7、-14、2.8%であった。3 地点の誤差率より本研究では、算定した AVSh(m/s)に $\pm 20\%$ の範囲をとることとした。

$$\text{誤差率} = \frac{\text{計算値} - \text{実測値}}{\text{実測値}} \times 100 (\%) \quad \dots(4)$$

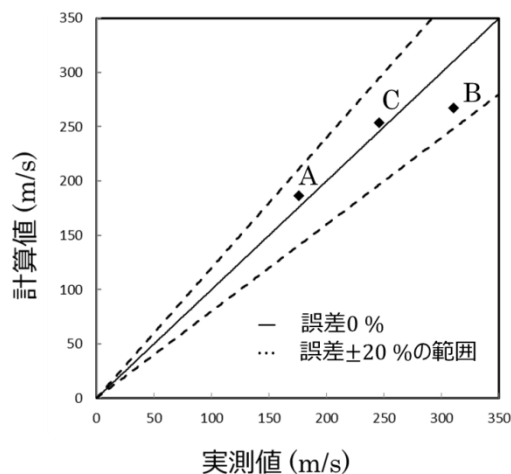


図 1 実測値—計算値

Natural Period Mapping of Surface Soils Using Engineering Base Depths Determined from Borehole Column Maps

UCHIMI Ryuichi and NAGANO Yasuyuki

3.算定方法

3.1.工学的基盤深度の決定

AVSh(m/s)評価を行う上で、本研究では工学的基盤深度 $h(m)$ を決定するフローチャートを作成した。図2に示すフローチャートとボーリング柱状図の標準貫入試験が示す N 値の調査より工学的基盤深度 $h(m)$ を決定した。

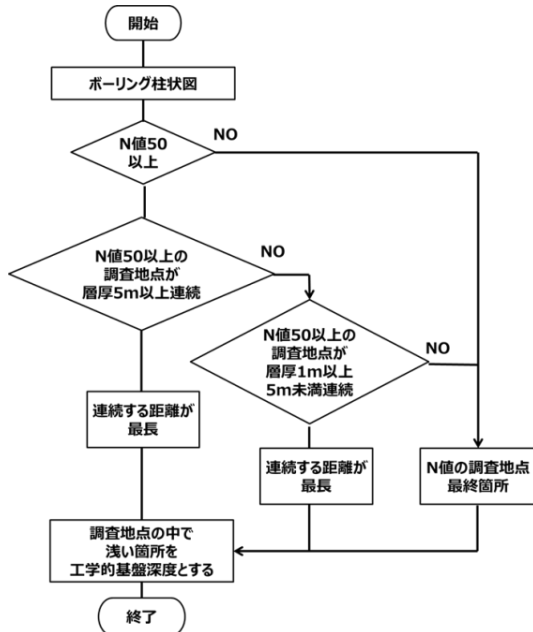


図2 工学的基盤決定のフローチャート

工学的基盤深度 $h(m)$ を決定する条件として N 値と調査地点の連続する距離に注目した。① N 値が 50 以上の調査地点② N 値が 50 以上で調査地点が層厚 5m 以上連続している③ N 値 50 以上で調査地点が層厚 1m 以上 5m 未満で連続している、以上の 3 つの条件により工学的基盤深度 $h(m)$ の決定を行った。

3.2.AVSh(m/s)の算定

決定した工学的基盤深度 $h(m)$ までに存在する層厚 1m 以上の層の $V_s(m/s)$ を式(1)により算定した。層厚 1m 未満の層は技術資料³⁾に示された薄層処理を行った。ボーリング柱状図より $V_s(m/s)$ 算定に必要なパラメタ (層番号、土質区分、平均 N 値) を表1に示す。以降ボーリング柱状図より抽出・用いたデータをボーリングデータと呼ぶ。

表1 ボーリングデータ(土質区分、平均 N 値)

層番号	土質区分	平均 N 値
1	b質 a (b混り a)	N_1
2	b質 a (b混り a)	N_2
⋮	⋮	⋮
n	b質 a (b混り a)	N_n

AVSh(m/s)の算定に必要なパラメタ (層厚(m)、 $V_s(m/s)$) を表2に示す。ボーリング柱状図より層厚(m)を用いた。表2と式(2)、(3)より AVSh(m/s)を算定した。

3.3.表層地盤の固有周期の算定

工学的基盤深度 $h(m)$ と AVSh(m/s) から式(5)を用いて表層地盤の固有周期を算定した。

表2 ボーリングデータ(層厚、S波速度)

層番号	層厚 (m)	S波速度 (m/s)
1	h_1	V_{s1}
2	h_2	V_{s2}
⋮	⋮	⋮
n	h_i	V_{si}

$$T = \frac{4 \times h}{V_s} \quad \dots(5)$$

T : 地盤の弾性固有周期 (s)

h : 層厚 (m) V_s : S波速度 (m/s)

本研究において、マップ範囲内にボーリング調査地点が存在するメッシュのみ算定を行った。

4.例題

表層地盤の固有周期のマップ作成範囲を図3に示す。図3はマップ作成範囲の標準地域メッシュ番号を示している。本研究ではメッシュ番号 5235-0135-21、5235-0135-22、5235-0135-23、5235-0135-24 における表層地盤の固有周期を算定した。

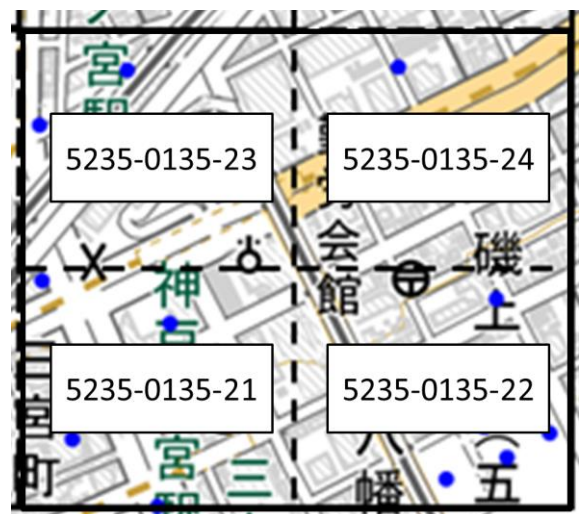


図3 マップ作成範囲標準地域メッシュ番号

図4のマップ範囲にWeb版神戸JIBANKUN^[4]よりボーリング調査地点の14カ所を表示した。メッシュ内に存在するボーリング調査地点により算定した工学的基盤深度 $h(m)$ と AVSh(m/s) を用いた。各メッシュの表層地盤の固有周期は各メッシュの平均工学的基盤深度 $h(m)$ と平均 AVSh(m/s) を式(5)に代入し算定した。

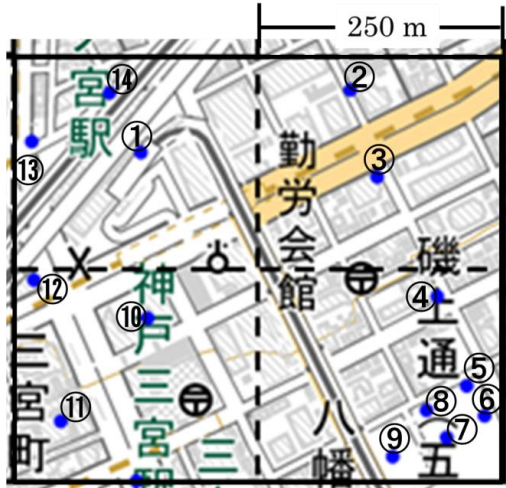


図4 各ボーリング調査地点場所 (①~⑭)

4.1. 工学的基盤深度の決定

算定の一例を示す。図5に地点①のボーリング柱状図を示した。

ボーリングコード: JR00056
 調査件名: 東海道本線外2地質資料集作成
 調査場所:
 調査時期: 平成6年3月 日~年月日
 位置座標: 北緯=34°41'29.2" 東経=135°11'53.4"
 孔口標高: 14.0 m 孔内水位:

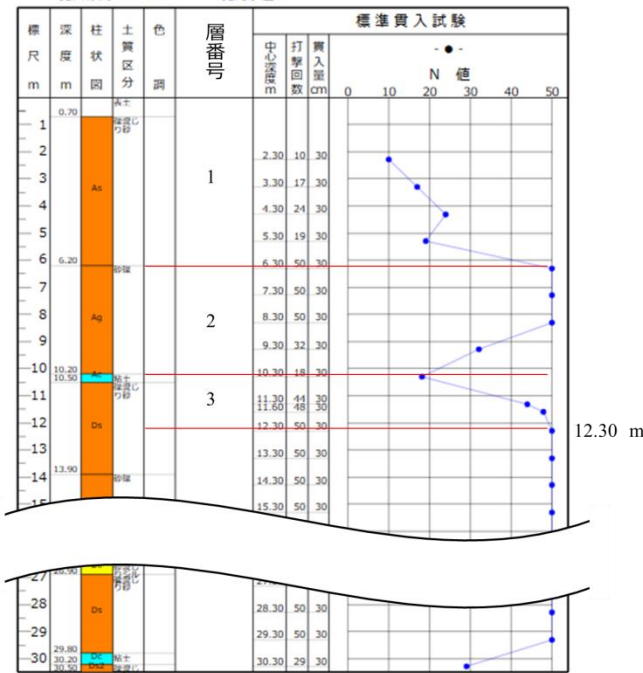


図5 地点①のボーリング柱状図^[4]

フローチャートに従って図5の工学的基盤深度 $h(m)$ を決定すると 12.30m になった。次に深度 12.30m までに存在する3層のボーリングデータを表3に示す。

4.2. AVSh(m/s)の算定

表3 1のボーリングデータ (土質区分、平均 N 値)

層番号	土質区分	平均 N 値
1	礫混り砂	17.5
2	砂礫	40.0
3	礫混り砂	47.3

各層の $V_s(m/s)$ と層厚(m)を表4に示す。

表4 1のボーリングデータ(層厚、S波速度)

層番号	層厚 (m)	S波速度 (m/s)
1	6.20	190
2	4.30	303
3	1.80	242

表4より式(2)、(3)を用いて AVSh(m/s) を算定すると 227m/s となった。

図5に示すボーリング柱状図も同様に AVSh(m/s) を算定した。表5にボーリング調査地点番号と算定した AVSh(m/s)、工学的基盤深度 $h(m)$ を示す。

表5 各地点の AVSh (m/s)、工学的基盤深度 $h(m)$

地点	AVSh (m/s)	深度 h (m)
①	227	12.30
②	310	7.60
③	310	3.26
④	203	7.28
⑤	246	10.22
⑥	187	11.30
⑦	203	14.22
⑧	255	7.30
⑨	248	5.00
⑩	273	5.50
⑪	182	13.30
⑫	277	5.00
⑬	218	5.00
⑭	218	5.00

図6に各メッシュの平均工学的基盤 $h(m)$ 、図7に各メッシュの平均 $AVSh(m/s)$ と括弧内に平均 $AVSh(m/s)$ $\pm 20\%$ の範囲を示した。

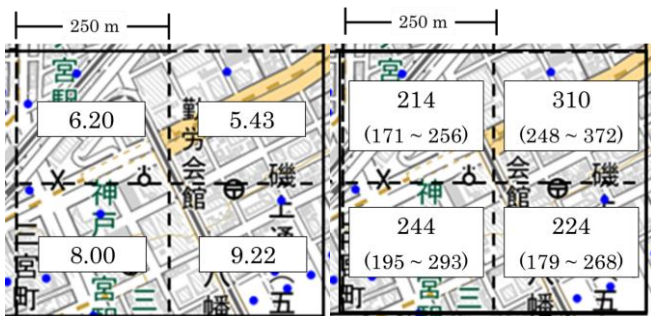


図6 各メッシュの平均工学的基盤 $h(m)$

図7 各メッシュの平均 $AVSh(m/s)$

4.3.表層地盤の固有周期の算定

各250mメッシュの表層地盤の固有周期を表5と式(5)を用いて算定した。算定した結果を図8に示した。

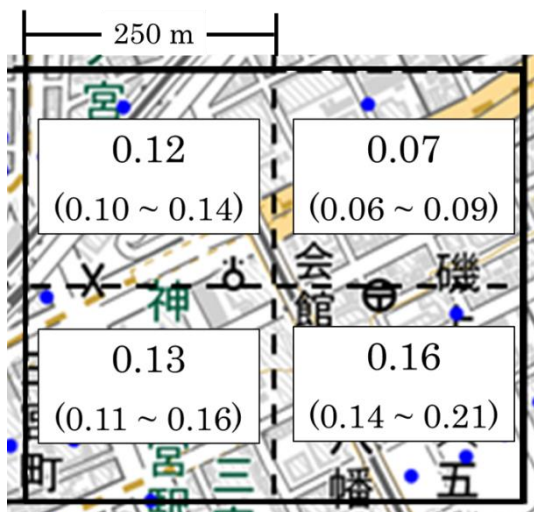


図8 各メッシュ表層地盤の固有周期(s)

5.結果

メッシュ番号 5235-0135-21、5235-0135-22、5235-0135-23、5235-0135-24 の平均 $AVSh(m/s)$ 、平均工学的基盤深度 $h(m)$ 、表層地盤の固有周期について述べる。

各メッシュの平均 $AVSh(m/s)$ はそれぞれ 214、310、244、224(m/s)と算定できた。 $\pm 20\%$ の範囲を含めると平均 $AVSh(m/s)$ は 171~372(m/s)の範囲となる。

各メッシュの平均工学的基盤深度 $h(m)$ はそれぞれ 6.20、5.43、8.00、9.22(m)と決定した。

各メッシュの表層地盤の固有周期はそれぞれ 0.12、0.07、0.13、0.16(s)と算定できた。 $\pm 20\%$ の範囲を含めると表層地盤の固有周期は 0.06~0.09、0.10~0.21(s)の範囲をとる。各メッシュの弾性の範囲における表層地盤の固有周期はそれぞれ 0.12、0.07、0.13、0.16(s)と算定できた。

6.おわりに

本研究は、工学的基盤深度 $h(m)$ をボーリングの柱状図とフローチャートにより決定し $AVSh(m/s)$ を算定した。また、既往の研究より $AVSh(m/s)$ は誤差範囲 $\pm 20\%$ を含めることとした。そして、表層地盤の固有周期の算定は $\pm 20\%$ 誤差範囲を含めた $AVSh(m/s)$ を用いた。計14カ所のボーリング調査地点から平均工学的基盤深度 $h(m)$ と平均 $AVSh(m/s)$ を求めた。表層地盤の固有周期をメッシュに表示しマップ作成を行った。各メッシュの弾性の範囲における表層地盤の固有周期はそれぞれ 0.12、0.07、0.13、0.16(s)と算定できた。

謝辞

本研究の成果の一部は「理化学研究所(関西地域を対象とした都市防災の計算科学研究-地震津波と集中豪雨被害のハザードマップ作成-)」である。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- [1]中央防災会議, 南海トラフの巨大地震モデル検討会台15回会合資料2, https://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/model/15/pdf/shiryou_2.pdf, pp.9-11, (閲覧日:2023年2月6日)
- [2]内見 龍一, 永野 康行, “ボーリングデータ(N値)から計算された V_s 推定の精度についての一考察”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.117-118 (2022.9) .
- [3]内閣府(防災担当), 地震防災マップ作成技術資料 2005,3 <https://www.city.noshiro.lg.jp/up/files/www/section/toshi-seibi/toshi/kenchiku/archives/99601download.pdf> pp80-82 (閲覧日:2023年3月1日)
- [4] Web 版神戸 JIBANKUN <http://www.strata.jp/KobeJibankun/moushikomi.htm> (閲覧日:2022年10月24日)

^{*1} 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究所 博士前期課程 院生
^{*2} 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 教授・博士(工学)

^{*1} Graduate Student Grad, Sim. Studies, University of Hyogo
^{*2} Prof., Grad. Dis. Res. and Gov. Studies, University of Hyogo, Dr. Eng