

N値と工学的基盤深度を考慮した地震動に関する考察

準会員 ○河村咲季*1 同 三田凜也*1
正会員 荘所直哉*2 同 永野康行*3

2. 構造—2. 振動—e. 被害予測・地震防災 ボーリング調査、表層地盤

1. はじめに

超高層建築物や免震建物の設計を行う際、地震応答解析のため、建設敷地における表層地盤の S 波速度を調査することが一般的である。しかし、中低層建築物では法律によるこのような構造計算の義務は無く、多くの場合静的な構造計算しか行われていない。PS 検層をせずに S 波速度や表層地盤固有周期を得る方法としては工学的基盤深度を一律 30m と仮定する AVS30^[4]を基にした広域的なデータを利用することがあるが、実際の深度は均一に 30m になっていないわけではなく地点により差異があるため、実態を明確に示していない。より精度の高い S 波速度や表層地盤固有周期を算出するには、ボーリングデータに基づき各地点の工学的基盤深度を踏まえて計算することが必要である。

本研究では、神戸市内の平野部を中心に 42 地点を無作為に抽出し、神戸 JIBANKUN^[1]のボーリングデータに基づいた各地点の工学的基盤深度と平均 S 波速度、表層地盤固有周期のマップを作成し、AVS30 の場合と比較する。両者を比較することで、AVS30 に基づき計算する手法の精度について定量的に考察することを目的としている。

2. 計算手法

2.1. 平均 S 波速度計算方法

N 値と V_s には相関がみられることから、 V_s を式(1)から算出する。式(1)の土質係数 a, b は内見(2022)^[2]の値を参照する。

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

V : S 波速度(m/s)

N : N 値(土質区分により分類した層の平均 N 値)

平均 S 波速度は式(1)、(2)、(3)より計算する。工学的基盤深度 h の決定は内見(2023)^[3]の手法に従う。

表 1 土質係数

	粘土	砂	礫
a(土質係数 1)	111.3	94.38	123.05
b(土質係数 2)	0.302	0.3144	0.2443

$$T_h = \sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{si}} \quad \dots(2)$$

T_h : 工学的基盤深度から地表までの S 波到達時間(s)

h_i : i 層の層厚(m)

V_{si} : i 層の S 波速度(m/s)

$$AVSh = h/T_h \quad \dots(3)$$

AVSh : 工学的基盤深度から地表までの平均 S 波速度(m/s)

h : 工学的基盤深度(m)

2.2. 表層地盤固有周期計算方法

表層地盤固有周期は式(4)より計算する。

$$T = (4 \cdot h)/AVSh \quad \dots(4)$$

T : 表層地盤固有周期(s)

3. 解析事例

北緯 = 34° 38' 39.1308", 東経 = 135° 3' 13.68" の地点(地点番号⑩)を例として AVSh(m/s) と T(s) を計算する。内見(2023)^[3]の工学的基盤深度決定手法に従い $h=7.28$ とする。表 1 の土質係数について、層の中で最も割合が高い土粒子を a(土質係数 1)、次に割合が高い土粒子を b(土質係数 2) とする。図 1 のモデル図より最上部の層である礫混じり砂層では、土質係数 1 が砂、土質係数 2 が礫となる。表 1 と式(1)、(2)、(3)より地点番号⑩の平均 S 波速度は 142m/s となる。また表層地盤固有周期 T(s) については式(4)より 0.205s である。

深度(m)	土質区分	中心深度	打撃回数	Vs	h/Vs
		0			
1.8	礫混じり砂	1.3	19	173	0.01
		2.3	5		
4.1	礫混じり粘土質砂	3.3	11	217	0.011
		4.3	31		
12.32	砂礫	5.3	36		0.01
		6.3	38		
		7.28	60		
		8.26	60	323	
		9.25	60		
		10.26	60		0.02
		11.23	60		
12.24	60				

図1 地点番号⑩ボーリングモデル

4. マップ作成と結果比較

ボーリングデータに基づいて計算する場合と、J-SHIS MAP^④の AVS30 を用いて計算した場合でそれぞれ工学的基盤深度、平均 S 波速度、表層地盤固有周期のマップを作成し、結果を比較する。

4.1. 工学的基盤深度比較

神戸市内 42 地点の工学的基盤深度を調査したところ、埋立地である②、⑩、⑳の 3 地点以外は全て 30m 以下であった。深度 30m と誤差率が ±20% 以内の地点は 4 地点のみで神戸市内の地盤深度は全体的に 30m から大幅に離れていることが分かった。

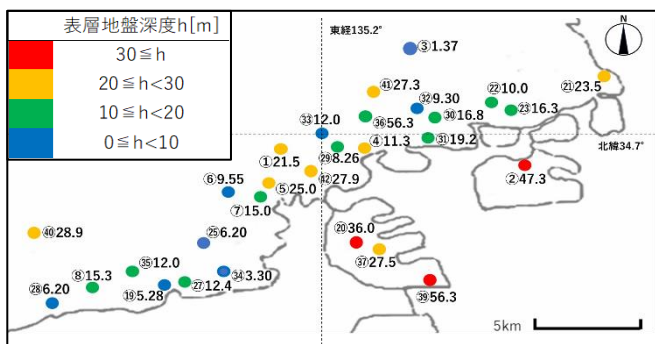


図2 工学的基盤深度マップ(m)神戸市東エリア

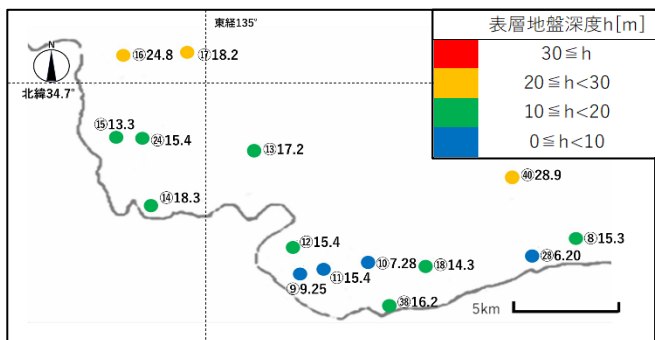


図3 工学的基盤深度マップ(m)神戸市西エリア

4.2. 平均 S 波速度比較

J-SHIS^④の AVS30 と工学的基盤深度の差異を考慮した平均 S 波速度を比較すると、42 地点中 31 地点において AVS30 の方が大きく、誤差率が ±20% 以内の地点は 17 地点であった。

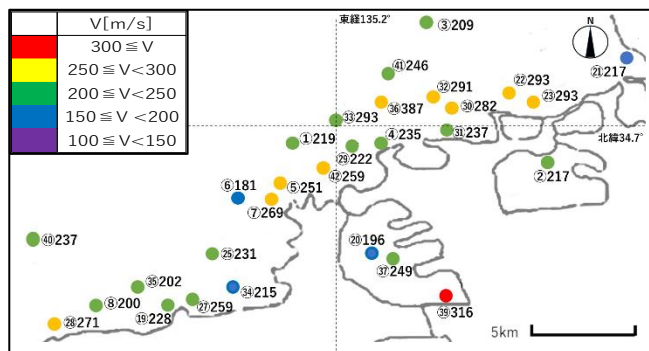


図4 ボーリングデータ Vs マップ神戸市東エリア

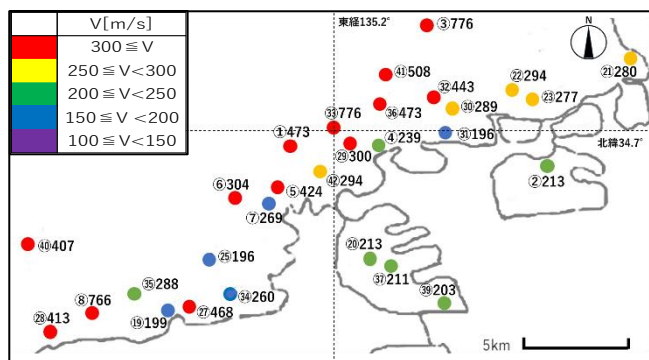


図5 J-SHIS Vs マップ神戸市東エリア

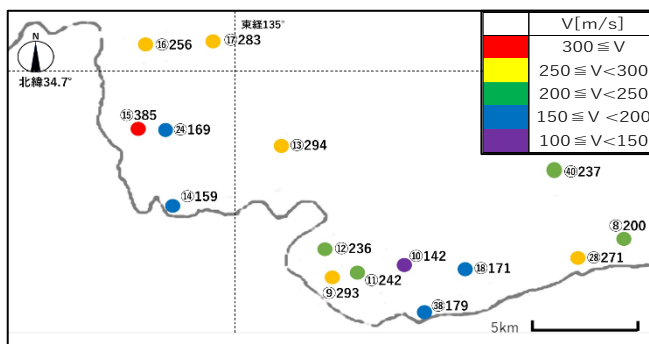


図6 ボーリングデータ Vs マップ神戸市西エリア

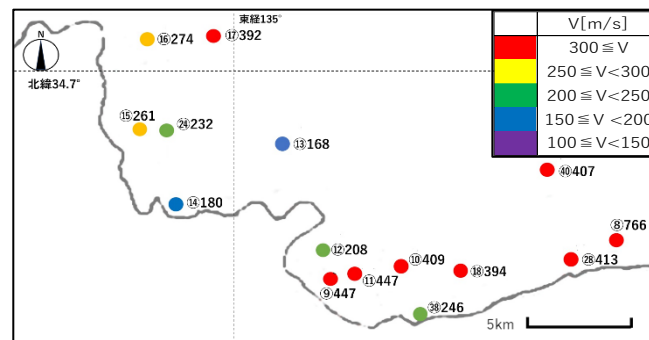


図7 J-SHIS Vs マップ神戸市西エリア

4.3. 表層地盤固有周期比較

式(4)において、表層地盤固有周期は平均 S 波速度と工学的基盤深度に依存する。

工学的基盤深度の差異を考慮する場合と AVS30 の場合を比較すると前者の方が、42 地点中 31 地点において表層地盤固有周期が短く、AVS30 より全体的に周期が短くなる傾向が見られた。一方で②、⑩、⑳地点のような埋立地では工学的基盤深度が深く、ボーリングデータに基づいた場合の方が AVS30 より表層地盤固有周期が長い傾向が見られる。ボーリングデータによる工学的基盤深度が全体的に 30m を下回り、平均 S 波速度では AVS30 の方が大きい傾向があるという 2 点を踏まえて表層地盤固有周期を比較すると、ボーリングデータに基づく場合の方が AVS30 の場合よりも周期が短いため、工学的基盤深度の方が平均 S 波速度より比較的表層地盤固有周期に与える影響が大きいと考えられる。例えば⑩地点ではボーリングデータに基づき計算すると工学的基盤深度が 7.22m で平均 S 波速度は 242m/s になるが、AVS30 では 447m/s を示しており、周期についてはボーリングデータによる場合が 0.119s、AVS30 の場合が 0.268s で、ボーリングデータの場合の方が短くなっている。

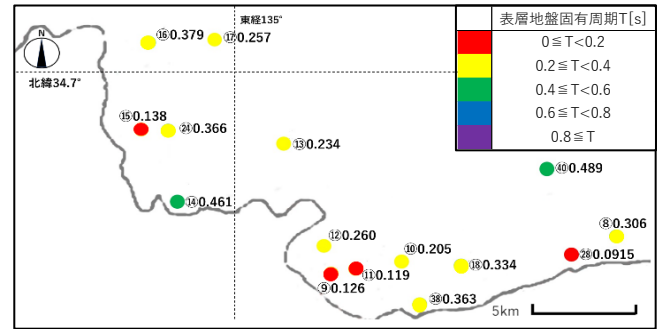


図 10 ボーリングデータ周期マップ神戸市西エリア

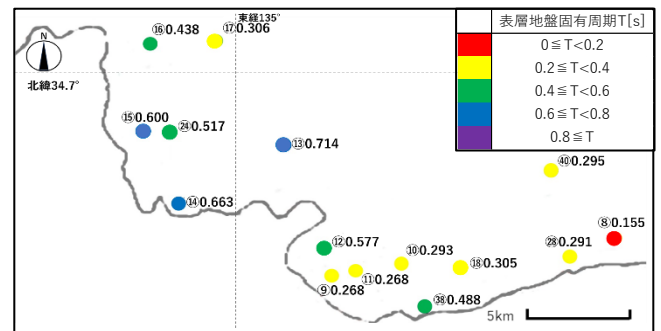


図 11 J-SHIS 周期マップ神戸市西エリア

5. Shake PRO による検討

調査した 42 地点のうち、⑫兵庫駅付近と⑬大石町の表層地盤固有周期は、ボーリングデータによるとそれぞれ 0.128s と 0.324s だが、J-SHIS の AVS30 の値ではどちらも 0.612s となっている。これらボーリングデータによる⑫、⑬と AVS30 から算出した⑫・⑬地点(⑫と⑬は AVS30 によると工学的基盤深度、平均 S 波速度、表層地盤固有周期が同じになるため 2 地点を一つとして考える。) の 3 つに Shake PRO を用いて極稀 JMA 神戸 NS 位相の告示波を与え、それに対する地盤の応答値を比較した。

表 2 ⑫・⑬の深度、平均 S 波速度、AVS30

	⑫	⑬	J-SHISによる⑫・⑬
工学的基盤深度(m)	7.8	19.2	30
平均S波速度(m/s)	225	237	196
表層地盤固有周期(s)	0.128	0.324	0.612

⑫地点と⑬地点、J-SHIS による⑫・⑬地点を比較すると、それぞれの表層地盤固有周期の時に加速度応答スペクトルが最大値になっており、3 つのデータ間で明確な差が見られる。また、加速度応答スペクトルの最大値についても各データで差があり⑫、⑬、AVS30 ではそれぞれおよそ 900cm/s²、1300cm/s²、1500cm/s²の値を示している。

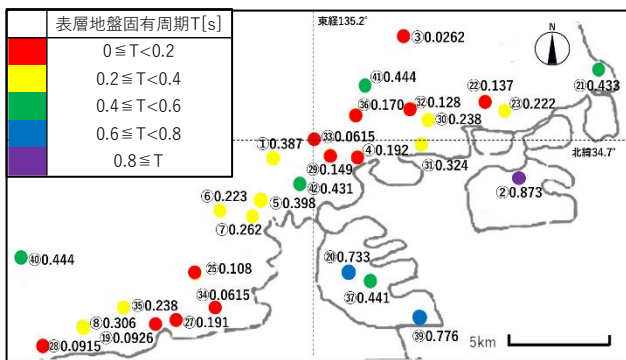


図 8 ボーリングデータ周期マップ神戸市東エリア

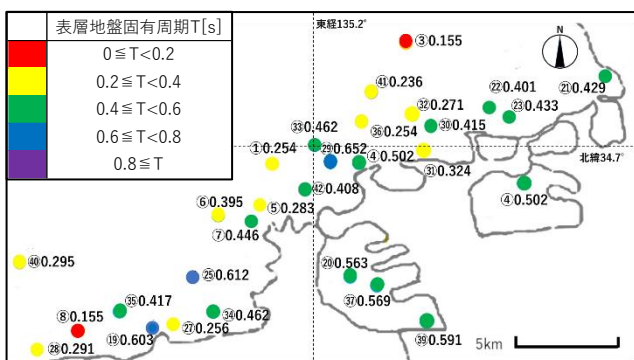


図 9 J-SHIS 周期マップ神戸市東エリア



図 12 ㊸加速度応答スペクトル

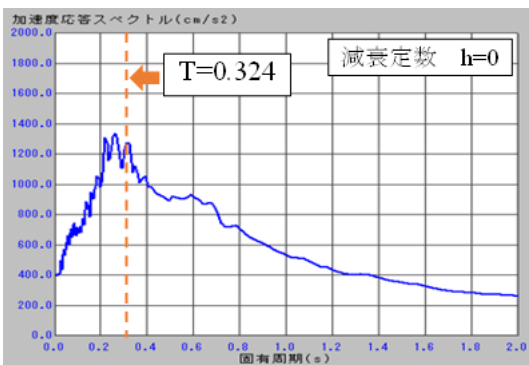


図 13 ㊹加速度応答スペクトル

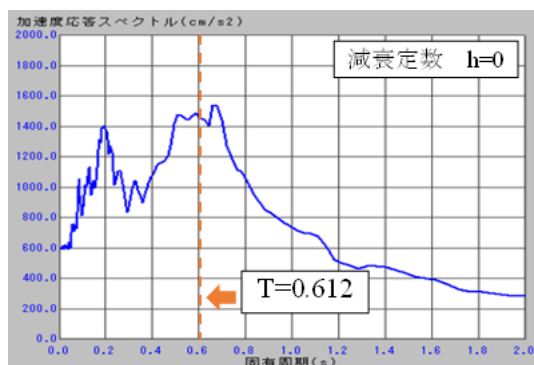


図 14 J-SHIS 加速度応答スペクトル

6. まとめ

本研究ではボーリングデータを用いて表層地盤の N 値から平均 S 波速度を推定し、工学的基盤深度、平均 S 波速度と表層地盤固有周期の広域的なマップを作成した。神戸 JIBANKUN のボーリング調査データから各地点固有の工学的基盤深度を決定したことで、AVS30 より精度の高い値を算出することができた。広域的な AVS30 マップでは同じ Vs と表層地盤固有周期を示すが、ボーリング調査によると異なる

値を示す 2 地点を抽出し、AVS30 の場合とボーリングデータに基づく場合の全 3 パターンに告示波を入力し、加速度応答スペクトルを比較した。その結果最大値の発生時刻や大きさが違うことから、AVS30 の値を参照すると共振しやすい建築物の高さを誤って認識する可能性があり、正確な値を得るためにはボーリング調査を行うことが望ましいと判明した。今後はボーリング調査から各地点の工学的基盤深度に基づき地盤の平均 S 波速度や表層地盤固有周期を算出する手法を用い、地盤上部の建築物に告示波を与えて時刻歴応答解析を行い、共振しやすい建築物の高さに関して研究する予定である。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人ひょうご震災記念 21 世紀研究機構「演繹と帰納の両面からのアプローチによる減災都市に向けた革新的建築設計法」(代表: 永野康行) からの助成を受けたものである。解析にはユニオンシステム株式会社より導入している「研究室パック」のうち Shake PRO-L と Dynamic PRO を使用した。ここに記し、謝意を表す。

参考文献

- [1]神戸 JIBANKUN 運営委員会, WEB 版神戸 JIBANKUN, <https://www.strata.jp/KobeJibankun/index.jsp>, (最終閲覧日: 2024 年 2 月 26 日)
- [2]内見 龍一, 永野 康行, “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”, 日本建築学会近畿支部研究発表会(大阪), pp.357-360 (2023)
- [3] 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 Vs 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)
- [4]防災科研, J-SHIS MAP 表層地盤 30m 平均 S 波速度, <https://jwsvm001.bosai.go.jp/map/> (最終閲覧日: 2024 年 2 月 29 日)
- [5]Dynamic21 開発チーム 山崎 久雄, 土の単位重量推定に関する資料, <https://www.unions.co.jp/dqs/dynamic/files/03.pdf>, (最終閲覧日: 2024 年 2 月 28 日)

*1 兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科 学生

*2 兵庫県立大学環境人間学部環境人間学科 准教授・博士 (工学)

*3 兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科 教授・博士 (工学)

Undergraduate Student, Sch. Hum. Sci. and Env., Univ. Hyogo

Asoss. Prof., Sch. Hum. Sci. and Env., Univ. Hyogo, Dr. Eng

Prof., Grad, Sch. Dis. Res. And Gov., Univ. Hyogo, Dr. Eng