

3. 3 浅部・深部統合地盤構造モデルの構築と強震動予測

3. 3. 1 浅部地盤構造モデルの構築

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 浅部地盤構造モデルの構築

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立研究開発法人防災科学技術研究所マルチハザードリスク評価研究部門	主幹研究員	先名 重樹
国立研究開発法人防災科学技術研究所マルチハザードリスク評価研究部門	主任研究員	森川 信之
国立研究開発法人防災科学技術研究所マルチハザードリスク評価研究部門	主任研究員	岩城 麻子

(c) 業務の目的

森本・富樫断層帯が活動した場合に強い揺れに見舞われる可能性の高い地域を対象として、工学的基盤面相当以浅の浅部地盤構造モデルの構築に資する速度構造探査等を実施し、サブテーマ3. 2と協働して、対象地域の浅部・深部統合地盤構造モデルの構築を行う。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 令和4年度：

本重点調査1年目にあたる令和4年度は、対象地域の浅部地盤構造モデルと構築に用いられた既往研究情報・資料等を情報収集整理した上で、浅部地盤構造モデル作成のためのボーリング資料収集と小サイズの微動アレイを面的に実施した。

2) 令和5年度：

令和4年度に引き続き、浅部地盤構造モデル作成のためのボーリング資料収集と小サイズの微動アレイの実施を継続する。

3) 令和6年度：

過年度までに実施した小サイズの微動アレイ結果を整理し、浅部・深部統合地盤構造モデル構築のためサブテーマ3. 2へ共有する。

(2) 令和4年度の成果

(a) 業務の要約

本業務では、森本・富樫断層帯が活動した場合に、震度5強以上が想定される範囲の強震動予測を行うため、工学的基盤面相当以浅の浅部地盤構造モデルの構築に資するため、

小アレイの探査と解析、および、ボーリングデータ等の既往の地質情報を収集・整理等を実施し、石川県南部の低地・台地における、工学的基盤相当層までのS波速度構造の3次元分布を概ね把握することができた。

(b) 業務の実施方法

令和4年度は、浅部地盤構造モデルを構築する石川・富山県の既往のボーリングデータ等の地質調査データ、既往微動アレイ探査データの収集・整理、および、工学的基盤深度までのS波速度構造を得るための小サイズの微動アレイ探査（以後、小アレイ探査）を計画した上で、一部の地域において小アレイ探査を実施した。また、小アレイ探査データの解析も実施し、結果の整理を行った。

(c) 業務の成果

断層周辺および近傍都市域の工学的基盤深さまでの詳細な浅部地盤構造モデル構築のため、稠密な小アレイ探査を実施した。また、既往の地盤情報としてボーリングデータおよび微動アレイ探査データ等を収集・整理し、次年度以降に実施する浅部地盤構造モデル構築のための準備を行った。

具体的には、まず、浅部地盤構造モデル構築範囲内（図1）における、J-SHIS 微地形区分で低地・台地系の区分となる地域について、約1km間隔（全国標準地域メッシュ3次メッシュ間隔）にて小アレイ探査を計画（約1600地点）した。今年度は、この計画地点のうち石川県内の630地点にて小アレイ探査を実施した（図2）。

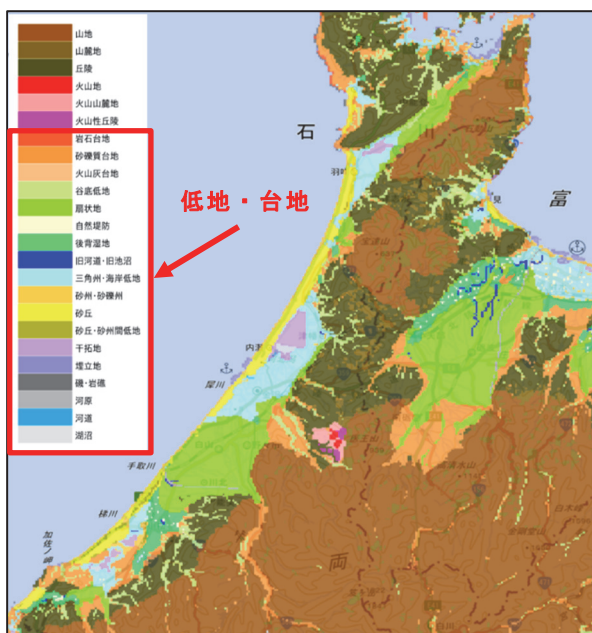


図1 浅部地盤構造モデル構築範囲
(J-SHIS 微地形区分図)

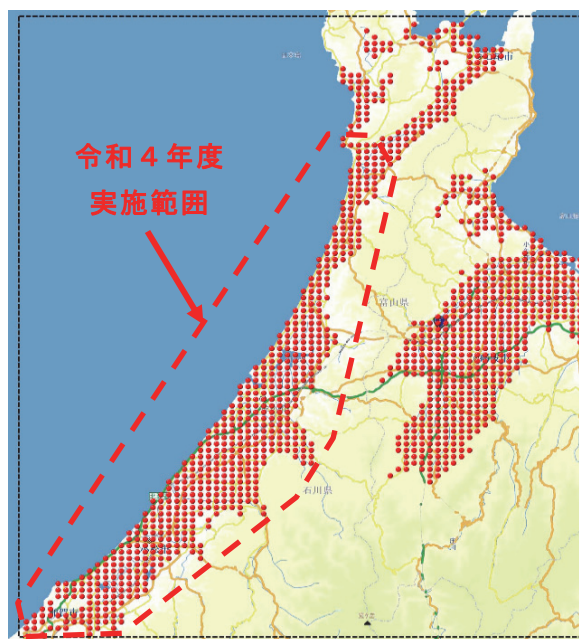


図2 小アレイ探査計画地点
(●小アレイ探査地点：約1600地点)

また、断層周辺および周辺都市域の既往の地盤等の土質・地質の情報として、ボーリングデータ（防災科研 Geo-Station、国土地盤情報検索サイト KuniJiban、ほくりく地盤情報システム、国土地盤情報センター（NGiC）、県・市町村等）を収集・整理し（図3）、地質・土質関連書籍等（石川県地質誌、北陸地方土木地質図等）より、浅部地盤構造モデル構築に必要な地質・土質等の情報抽出も行った。なお、当該範囲には12,086本のボーリングデータが存在していることを確認している。さらに、防災科研の微動データベースに登録されている当該地域の既往の微動アレイデータ250地点（金沢大学実施分も含む）を抽出し整理した（図4）。今回観測した630地点と合わせると880地点となる。

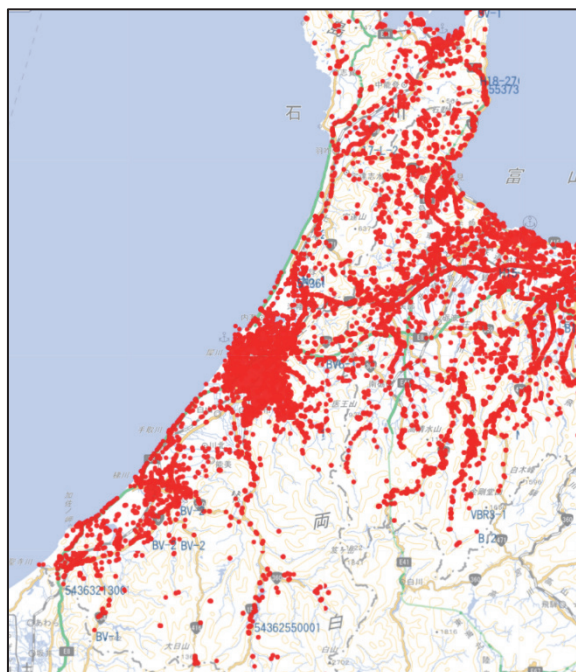


図3 ボーリングデータ分布図
（●ボーリングデータ）

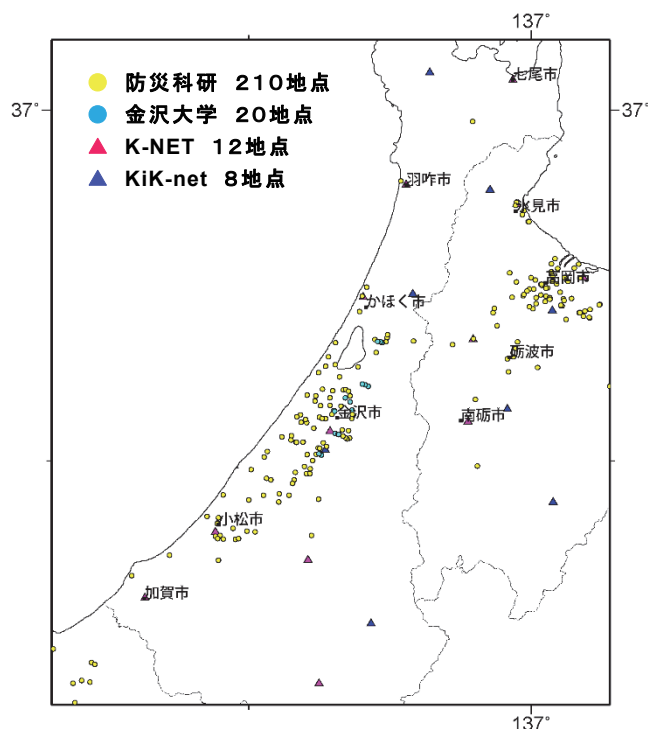


図4 既往の小アレイ探査地点
（防災科研微動データベース：250地点）

小アレイ探査の配置と観測風景を図5および写真1にそれぞれ示す。また、小アレイ探査の観測および解析の諸元を表1に示す。

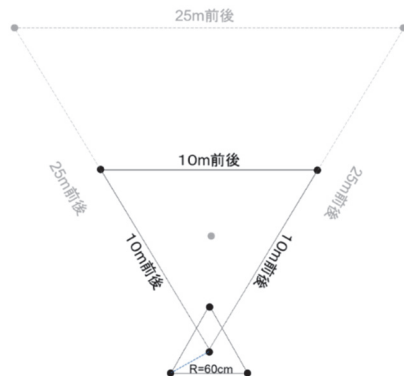


図5 小アレイ探査配置図（●：微動計設置位置、地震観測点では●も実施）

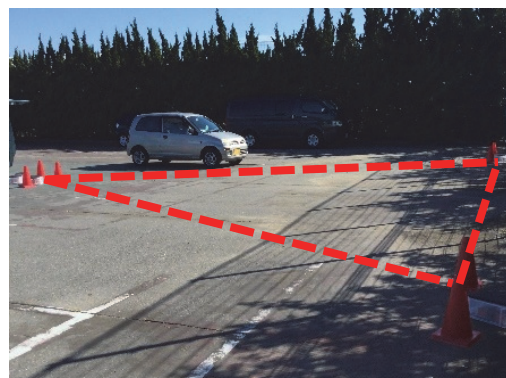


写真1 小アレイ探査観測風景
（ISKM00516）

表1 小アレイ探査の観測・解析手法の諸元

項目	機材・方法	仕様
アレイ観測	微動計	JU410(加速度計)
	アレイ展開方法	Cho et al. (2013)に基づく
	サンプリング周波数	200Hz
	観測時間	15分
分散曲線解析	SPAC法	Cho et al(2021)のゼロクロス法を参照
	CCA法	Cho et al. (2006)
S波速度構造解析	AVS30(波長40m)	紺野・片岡(2000)
	分散曲線の直接深度変換(SPM)	Ballard(1964), Satoh et al. (1991)
	簡易逆解析手法(SIM)	Cho and Iwata(2019)

本研究では、全ての小アレイ探査地点に対し、表1に示した仕様に基づいて観測および解析を行っている。S波速度構造については、SPMとSIMの平均値も算出した上で浅部地盤構造のモデル化に活用する。

小アレイ探査の解析結果について、AVS30、AVS20、AVS10(m/s)の結果を図6、図7にそれぞれ示す。なお、各図に示すAVSの計算結果は、表1に示すように波長とS波速度の関係(AVS30は波長40m、AVS20は26m、AVS10は13m)、SPMおよびSIMでそれぞれ得られるS波速度構造から計算されるAVS30、AVS20、AVS10(m/s)結果をそれぞれ足し合わせて平均したものである。図8には、小アレイ探査とJ-SHISのAVS30から計算される最大速度増幅率(Vs400)の分布図を示す。

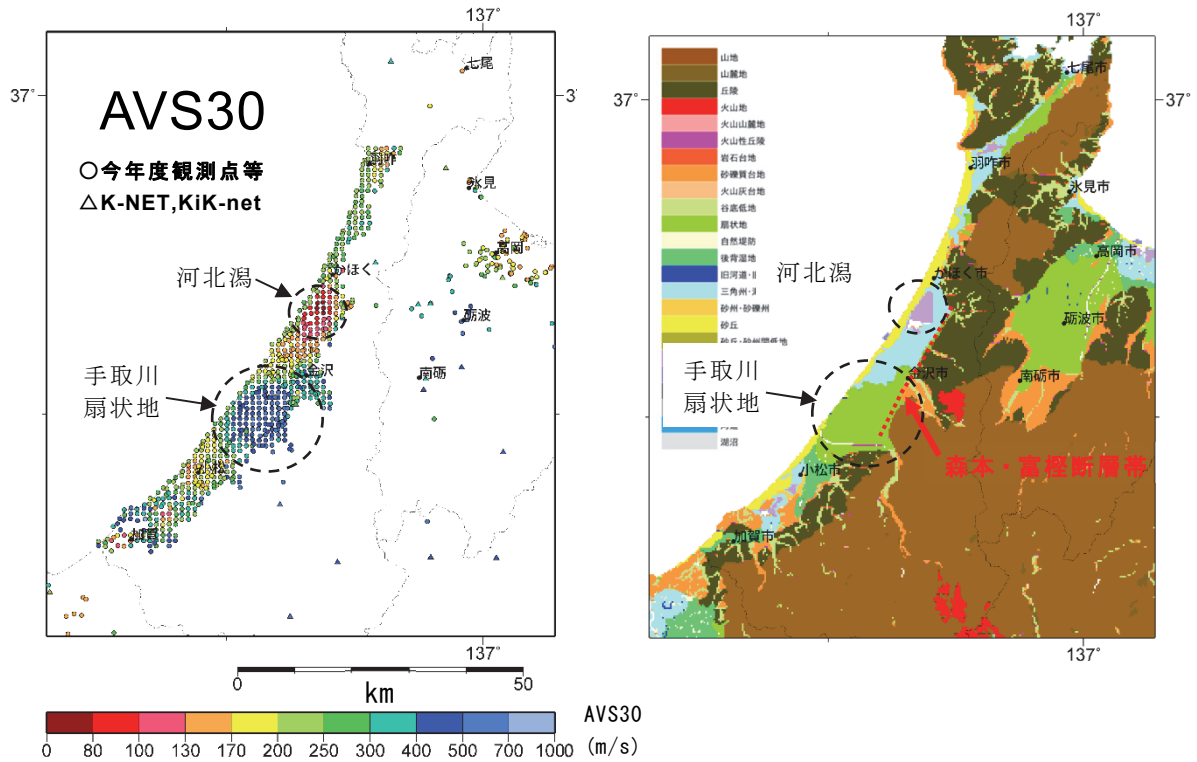


図6 小アレイ探査結果のAVS30(m/s)の分布図(左図)とJ-SHIS微地形区分図(右図)

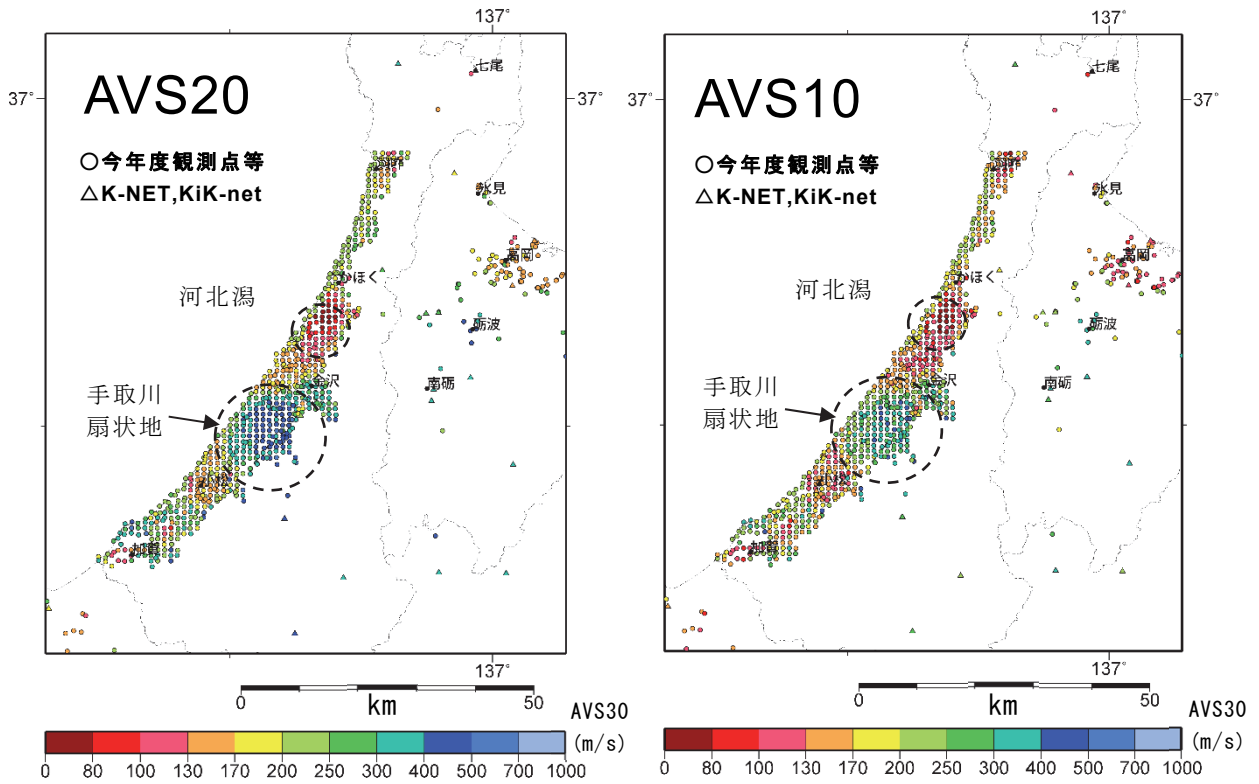


図7 小アレイ探索結果の AVS20(m/s) (左図) と AVS10(m/s) (右図) の分布図

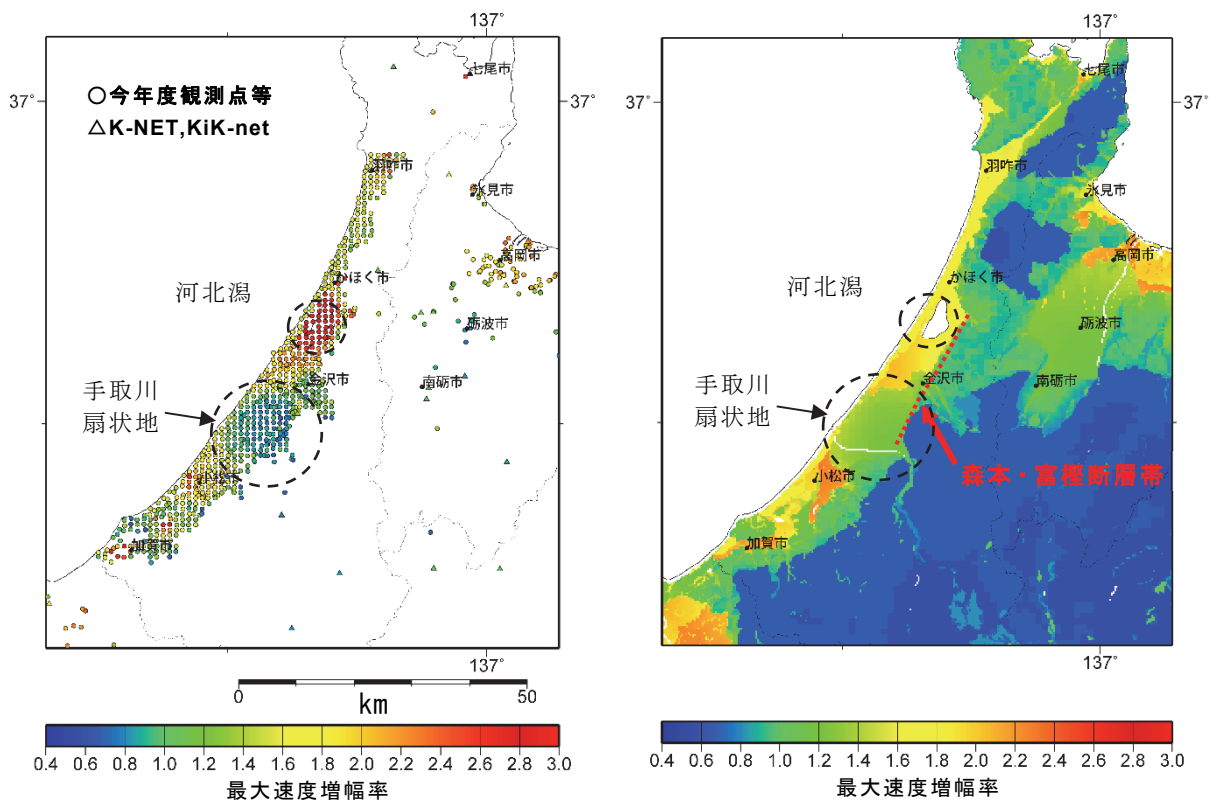


図8 小アレイ探索結果の AVS30 から計算される最大速度増幅率分布 (左図) と J-SHIS の AVS30 から計算される最大速度増幅率分布 (右図) (V_s400 からの表層地盤増幅率)

表 2 及び図 9 には、小アレイ探査結果による AVS30 と J-SHIS 微地形区分の AVS30 の比較一覧とグラフをそれぞれ示す。

表 2 小アレイ探査結果による AVS30 と J-SHIS 微地形区分の AVS30 の比較
(平均値の赤字は J-SHIS の結果に対し 10%以上小さく、青字は 10%以上大きい)

微地形No.	微地形名	個数	AVS30(m/s) 平均値	AVS30(m/s) 中央値	標準偏差 (± 1 σ)	JSHIS微地形区分における AVS30(m/s)の平均値
8	砂礫質台地	77	355.5	330.0	108.2	407.0
10	谷底低地	41	342.3	346.0	131.3	349.0
11	扇状地	178	388.4	403.0	119.0	306.0
12	自然堤防	4	181.8	173.5	21.3	199.0
13	後背湿地	43	244.7	217.0	103.7	157.0
14	旧河道・旧池沼	3	154.0	154.0	14.1	192.0
15	三角洲・海岸低地	128	186.2	178.5	57.5	171.0
16	砂州・砂礫州	28	228.0	230.0	20.1	251.0
17	砂丘	79	231.8	234.0	41.1	198.0
18	砂州・砂丘間低地	8	242.4	232.5	42.1	196.0
19	干拓地	25	129.5	95.0	87.4	202.0
20	埋立地	3	187.7	168.0	42.1	193.0

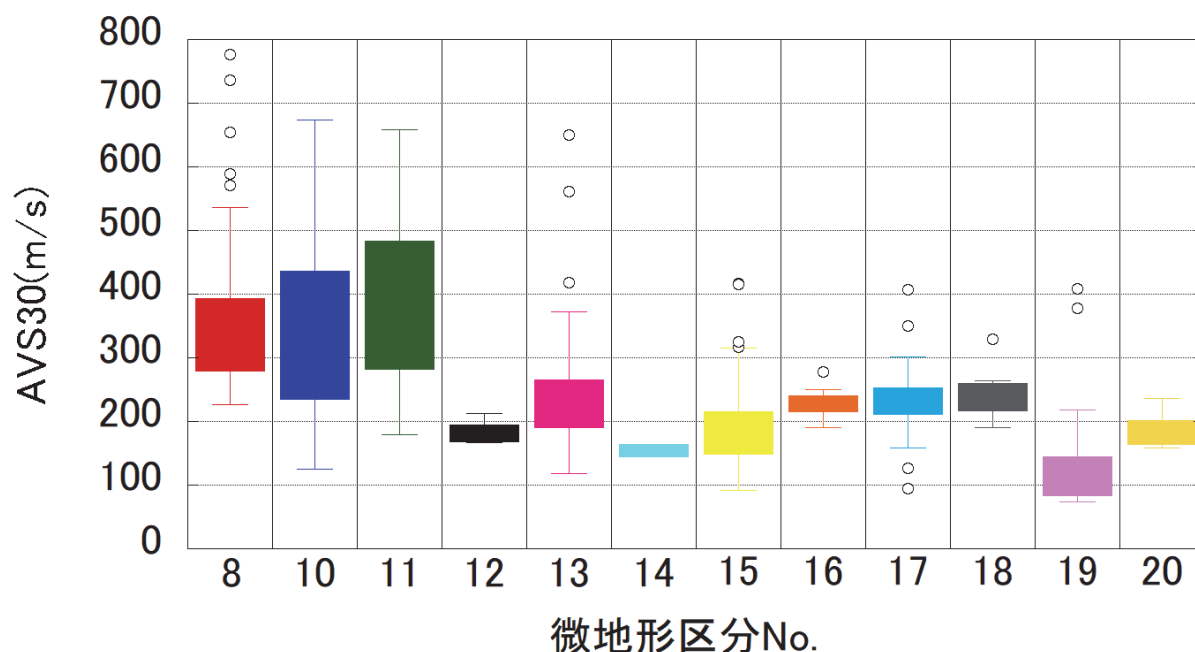


図 9 微地形区分毎の AVS30 のばらつき (箱ひげ図)

図 6～図 8 および表 2・図 9 の結果より、既往の J-SHIS の AVS30 (最大速度増幅率) と小アレイ探査の結果は一部地域・地形では調和的な結果となっているものの、手取川扇状地では J-SHIS よりも平均で 30%程度 AVS30 が大きく (地盤増幅率が小さく)、一方で、河北潟周辺の干拓地では J-SHIS よりも平均で 40%程度 AVS30 が小さく (地盤増幅率が大い) になっており、既往の結果に対して大きく乖離している地域があることが確認できる。

図 10 に小アレイ探査における、金沢市内の金沢港から小立野地域 (A-A' 測線: 約 12.5 km) と、松任地域から津幡地域 (B-B' 測線: 約 20 km) の S 波速度構造断面図と各観測点の H/V スペクトル比を示す。なお、S 波速度構造断面図には、 V_s300 (m/s) が出現する上面深度を赤点線で示した。この図に示した V_s300 (m/s) 上面深度は、この地域のボーリング調査の N 値 50 以上が安定的に出現する深度と調和的であることを確認している。

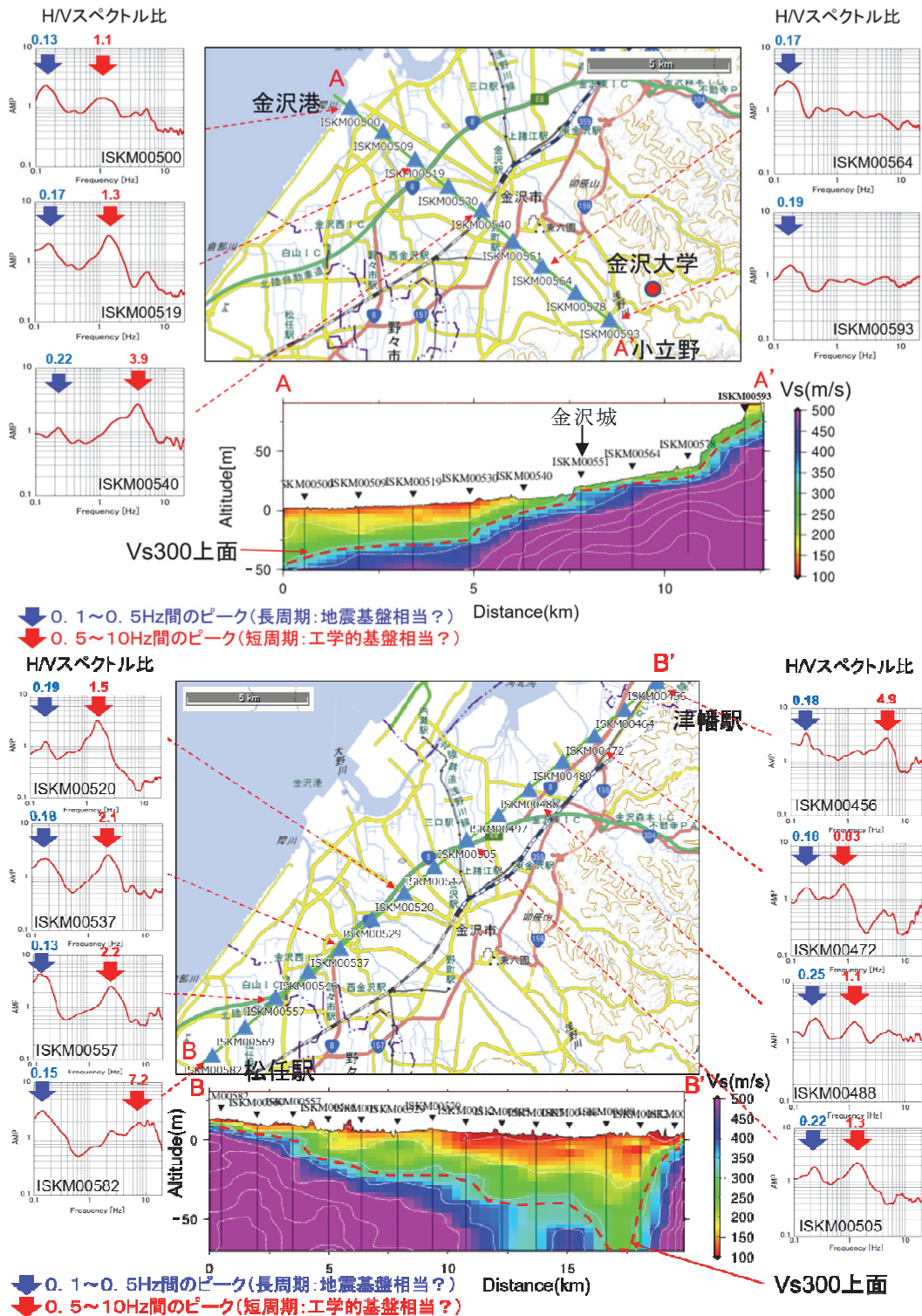


図 10 金沢市周辺の小アレイ探査結果における S 波速度構造断面図と H/V スペクトル比

Vs300 を工学的基盤相当層と仮定すると、A-A' 測線断面の金沢港付近で深さ 35m、金沢城付近では深さ 3m 程度と浅くなっている。一方で B-B' 測線断面の松任駅周辺では深さ 3m 程度、津幡駅の南西側では深さ 70m 以上と極めて深くなっている。図 6 等に示した AVS30 の分布からも確認できるが、AVS30 の小さい河北潟周辺の津幡地域では沖積堆積物が厚く、森本・富樫断層帯がある低地と丘陵地の境界付近にまで軟弱な地盤が広範に分布している事が確認できる。

(d) 結論ならびに今後の課題

森本・富樫断層帯における強震動評価を実施するために、震度 5 強以上が想定される、石川県・富山県を中心とした地域のうち、石川県南部（加賀・金沢・羽咋地域）の低地・台地において、小アレイの探査と解析、および、ボーリングデータ等の既往の地質情報を収集・整理等を実施し、令和 5 年度以降にサブテーマ 3. 2 と協働で実施する浅部・深部統合地盤構造モデル構築のための準備を行った。今年度実施した、石川県南部の低地・台地における小アレイ探査の結果、浅部地盤構造モデル作成に必要な、工学的基盤相当層までの S 波速度構造の 3 次元分布が概ね把握できたものとする。また、既往の J-SHIS 微地形区分と比較した結果、地形・地質との相関は認められるものの、既往の結果 (J-SHIS) と AVS30 が大きく異なる地域があることを確認できた。

(e) 引用文献

- Ballard, R. F. and Jr., Determination of soil shear moduli at depth by in situ vibratory techniques, U. S. Army Waterways Experiment Station, 1964.
- Cho, I., & Iwata, T, A Bayesian approach to microtremor array methods for estimating shallow S wave velocity structures: Identifying structural singularities. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 124, 527- 553, 2019.
- Cho, I., T. Tada, and Y. Shinozaki, A generic formulation for microtremor exploration methods using three-component records from a circular array, *Geophys. J. Int.*, 165, 236-258, 2006.
- Cho, I., S. Senna, and H. Fujiwara, Miniature array analysis of microtremors, *Geophysics*, 78, KS13-KS23, 2013.
- Cho, I., S. Senna, A. Wakai, K. Jin, and H. Fujiwara, Basic performance of a spatial autocorrelation method for determining phase velocities of Rayleigh waves from microtremors, with special reference to the zero-crossing method for quick surveys with mobile seismic arrays, *Geophys. J. Int.*, 226, 1676-1694, 2021.
- 紺野克昭・片岡俊一, レイリー波の位相速度から地盤の平均 S 波速度を直接推定する方法の提案, *土木学会論文集*, 647, 415-423, 2000.
- Satoh, T.; Yamagata, K.; Poran, C. J.; and Rodriguez, J. A., "Soil Profiling by Spectral Analysis of Surface Waves", *International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*. 8, 1991.