

### 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 巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	主任専門研究員	先名 重樹
国立研究開発法人防災科学技術研究所 巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	上席研究員	森川 信之
国立研究開発法人防災科学技術研究所 巨大地変災害研究領域地震津波複合災害研究部門	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下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・深部地下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、対象地域の浅部地下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、浅部地下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する。

2) 令和5年度：

令和4年度に引き続き、浅部地下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、浅部深部地下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6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下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った。

(b) 業務の実施方法

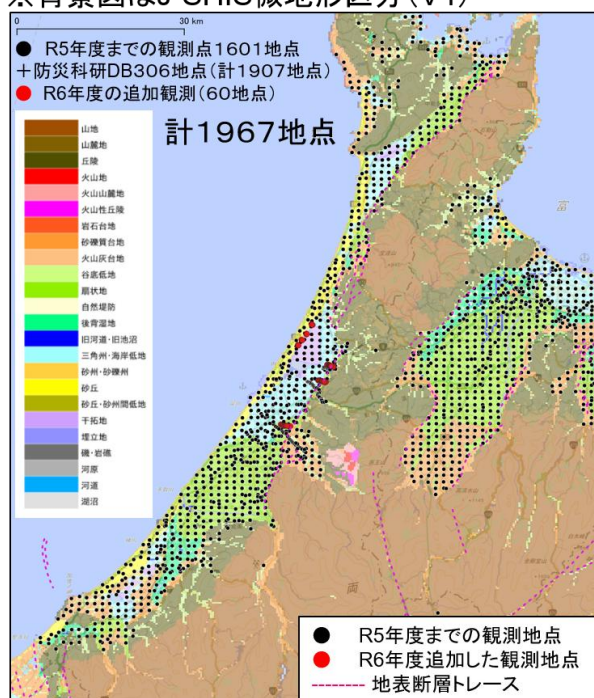
令和6年度は、森本・富樫断層帯近傍および液状化被害の大きかった内灘地域において小アレイ探査を追加で行うとともに、過年度までに実施した小サイズの微動アレイ結果およびボーリングデータ等の地質調査資料および検討結果等を整理し、浅部・深部統合地盤構造モデル構築のためサブテーマ3.2へ共有し、協働でモデルの検討・構築を行った。サブテーマ3.1では主に浅部地盤構造モデルの構築を行った。

(c) 業務の成果

1) 小アレイ微動探査とボーリング資料の収集

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、令和5年度に引き続き、断層近傍および液状化被害が大きかった内灘地域において稠密な小アレイ探査を60地点実施した。また、既往の地盤情報として昨年度までに収集・整理した、ボーリングデータ、微動アレイ探査データを用い、サブテーマ3.2と協働で、浅部・深部統合地盤構造モデルのうち、浅部地盤構造モデルの構築を行った。具体的には、まず、浅部地盤構造モデル構築範囲内における、主に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、今年度追加で実施した小アレイ探査を含む計1,967地点のデータを用いてモデル化を行った。モデル化範囲の観測地点分布とAVS30の結果を図1に示す。

※背景図はJ-SHIS微地形区分(V4)



令和6年度は、森本富樫断層帯周辺の60地点分のデータ(●)を追加

※背景図はJ-SHIS AVS30(m/s)

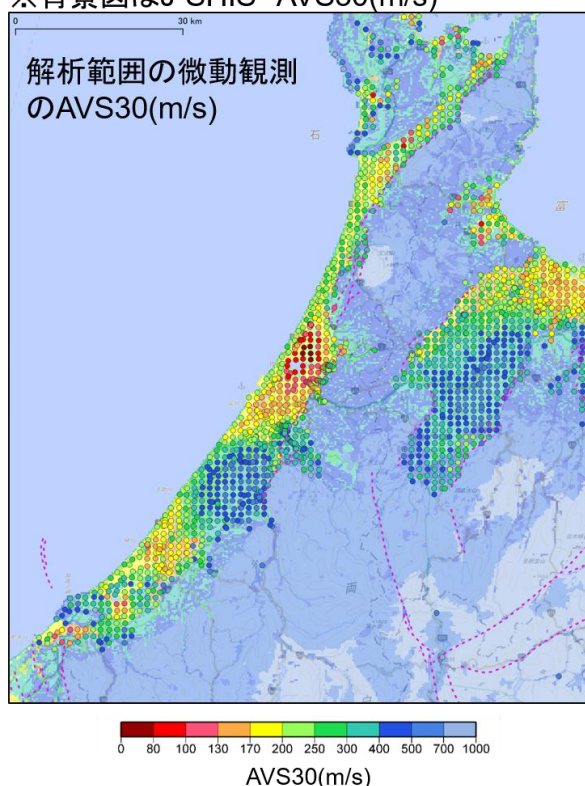
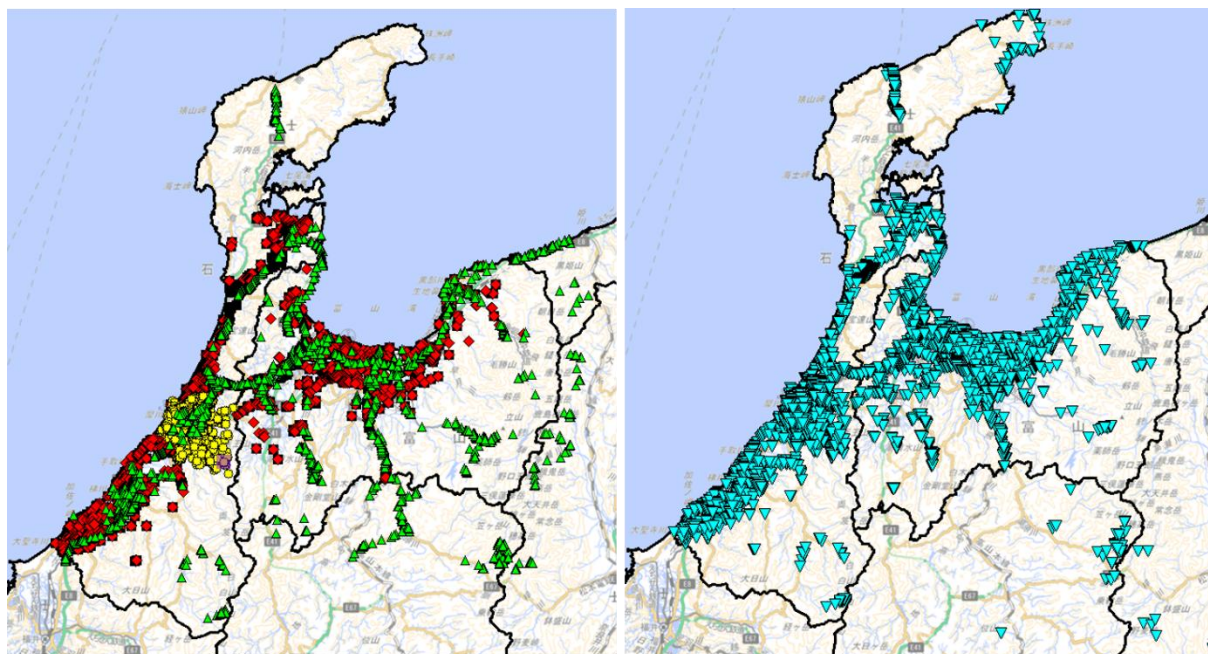


図1 小アレイ探査地点分布とAVS30分布図  
(左：観測地点と微地形区分、右：J-SHISと観測結果のAVS30)

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（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）、地盤図、金沢市等）を、今年度収集分も含めて整理した（図2）。なお、富山県・石川県全域には35,131本のボーリングデータが存在する。なお、浅部地盤モデル化範囲内には23,212本存在する。



- 北陸地建 2,555本
- ◆ 地盤図 3,212本
- ▼ 北陸地盤情報システム 20,599本
- 金沢市 4,199本
- ▲ Kunijiban 4,566本

図2 ボーリングデータ分布図

小アレイ探査の配置と観測風景を図3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。なお、追加した観測・解析方法は昨年度までと同じである。

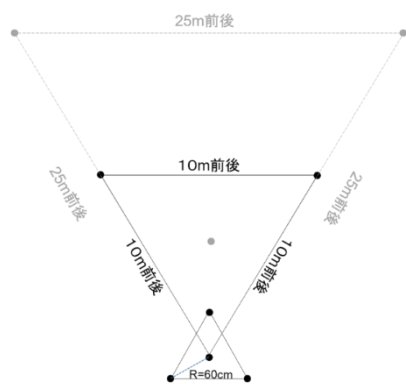


図3 小アレイ探査配置図（●：微動計設置位置、地震観測点では●も実施）

写真1 小アレイ探査観測風景（R6-1 測線：長田2丁目）

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), VSE15D-6(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。今年度は、断層帯周辺での表層地盤の急変を把握するため約100m間隔で実施した小アレイ探査測線(R6-1・R6-2・R6-3)40地点と、液状化した内灘周辺の地盤状況を検討するため、液状化被害が大きかった地域の20地点の観測を実施した(図4)。

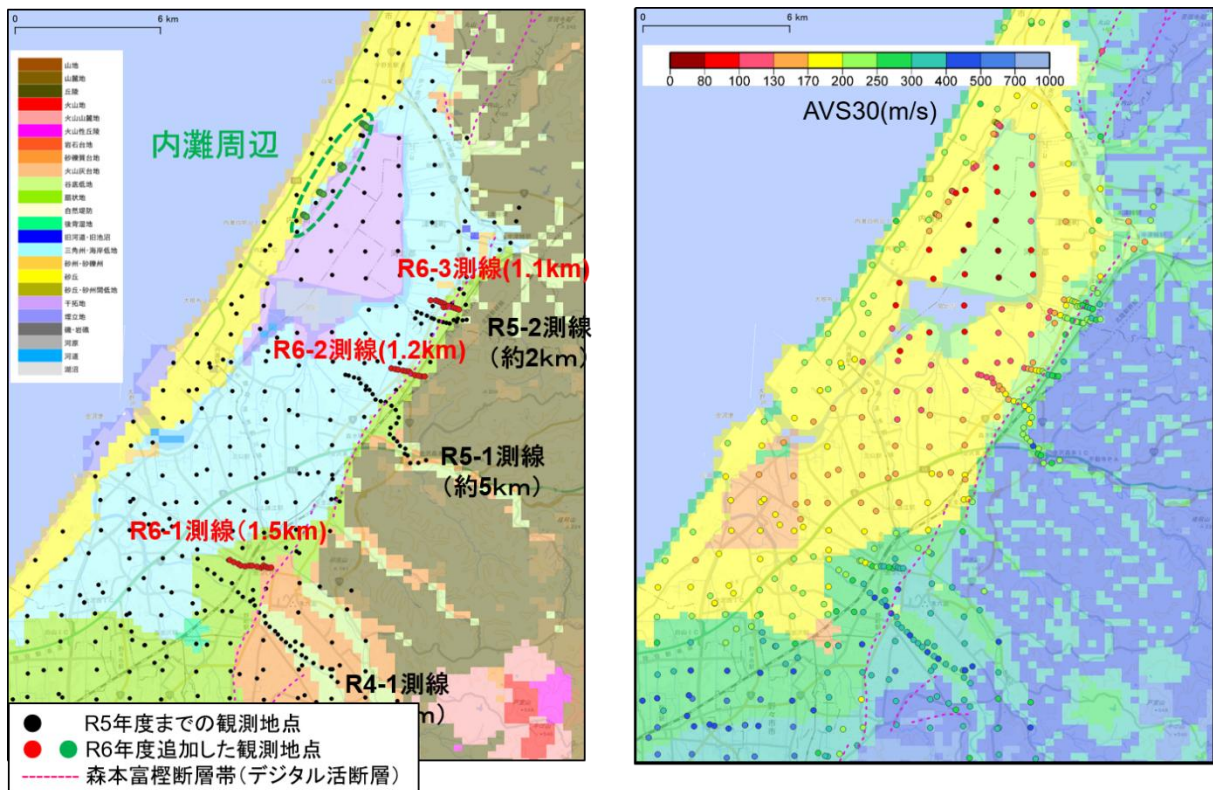
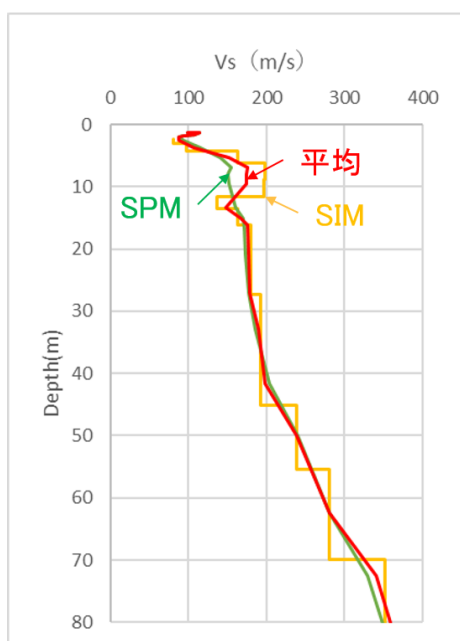


図4 今年度実施した小アレイ探査地点(赤と緑丸)の拡大図(図1の拡大図)  
(左: 観測地点と微地形区分、右: J-SHISと観測結果のAVS30)

図5に示す手法を用いてモデル化に用いるS波速度構造を作成し、クリギング法にて断面図としたものを高密度で観測を行った R6-1～R6-3 測線を例として図6～図8にそれぞれ示す。Vs = 300 m/s (青色出現深度) (以下 Vs300 と記載) を工学的基盤相当層と仮定すると、図6の R6-1 測線(金沢駅南部地区)断面では、北陸新幹線および玉川町周辺において Vs300 上面深度が 10 m 程度の比較的緩やかな変化があることが確認できる。図7の R6-2 測線(金沢市今町地区)では、国道8号線よりも西側から Vs300 上面深度が 50m から 20m 程度と浅くなり、南東の山地に向かって深さ 10 m 程度となっている。図8の R6-3 測線(津幡町太田地区)では、国道8号の西側で Vs300 上面深度が深さ 50 m から 20 m 程度と浅くなるが、R6-2 測線同様に南東の山地に向かって深さ 10m 程度となっている。

このように、地表断層近くを横切る R6-1～R6-3 測線において、工学的基盤相当層までの堆積層の厚さの変化を把握することができた。断面図は鉛直方向に拡大して示していることから、実際の空間変化は滑らかである。これらの測線の観測点間隔は約 100 m である一方、図3に示すように各観測におけるアレイサイズは 10 m 程度であることから、アレイ展開範囲においては1次元構造である仮定には問題ないと考えている。これらの地表断層近くの浅部構造についての情報はサブテーマ1. 1とも共有し、地表断層の解釈に用いられた。



## S波速度構造の求め方

分散曲線の直接変換結果 (Simple Profiling Method; SPM) と簡易逆解析結果 (Simple Inversion Method; SIM) を平均した速度構造を算出。

- ① SPMのS波速度(緑色)の速度が変化する深度 に対応するSIMのS波速度(オレンジ)を読み取り、2つの速度値を平均したS波速度(赤色)を算出。
- ② この速度構造をもとに位相速度が再現できることを確認。

図5 小アレイ探査結果に基づく浅部地盤モデル化に活用するためのS波速度構造の作成方法

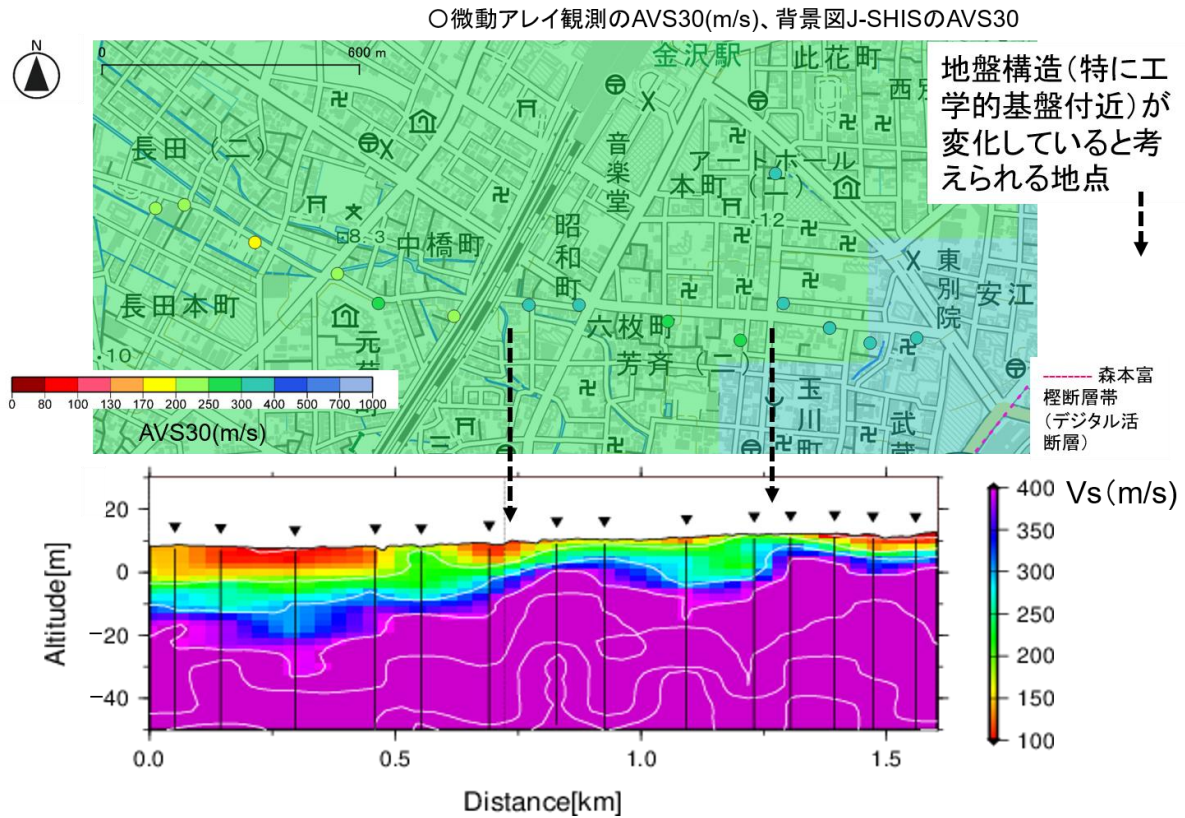


図6 測線 (R6-1) における小アレイ観測地点と S 波速度構造断面図

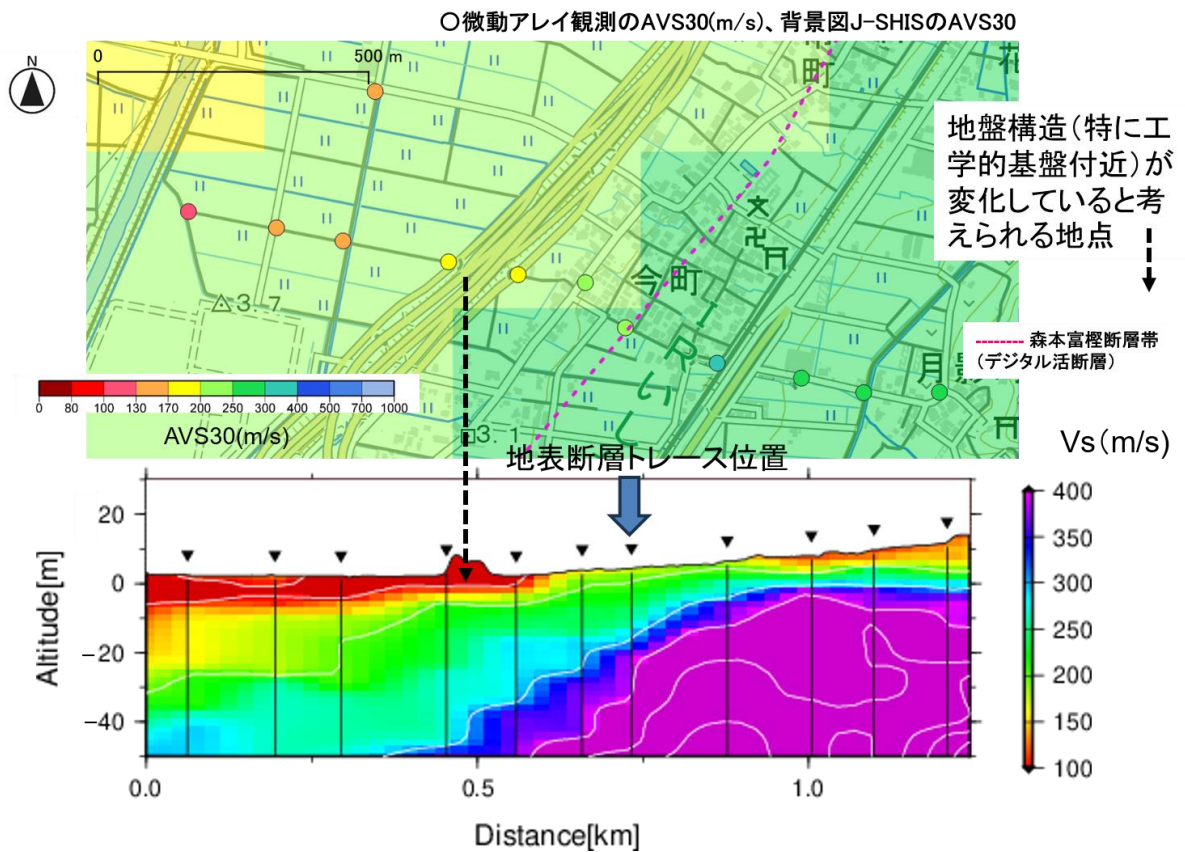


図7 測線 (R6-2) における小アレイ観測地点と S 波速度構造断面図

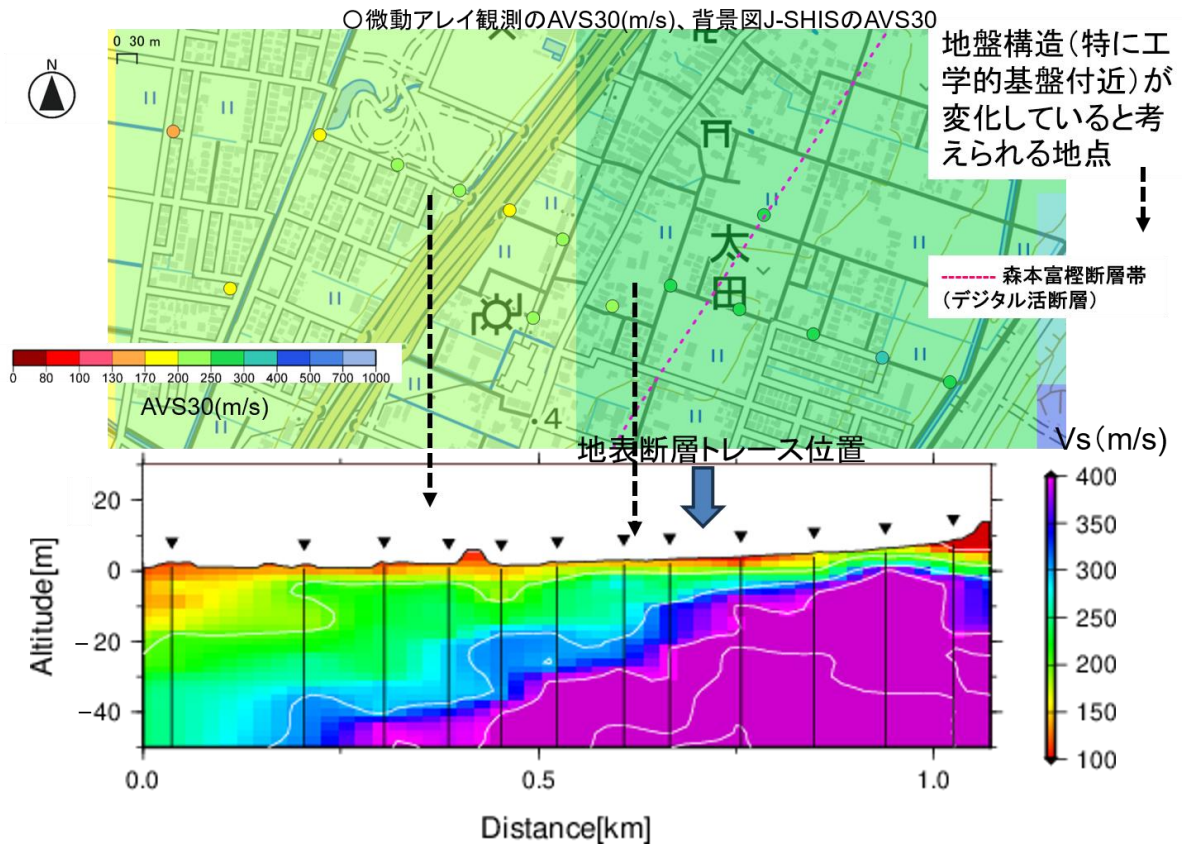


図8 測線 (R6-3) における小アレイ観測地点と S 波速度構造断面図

## 2) 浅部地盤構造モデルの構築

収集したボーリングデータを用いて、初期浅部地盤構造モデルを作成した。これ以降の浅部地盤構造モデルの作成方法は、先名・他(2023)の浅部・深部統合地盤構造モデルの構築方法に基づいた。図9に示すように、主に浅部地盤構造モデル作成に関するフローチャートに基づきモデル化を実施した。まず、各メッシュでボーリングの有無を確認した。メッシュ内にボーリングが1本あればそのボーリングを、複数あれば最も長いボーリングを250 mメッシュにおける代表ボーリングとした。次に代表ボーリングの検層結果をもとに、土質区分ごとにN値を整理した。ボーリングデータの補間方法を図10に示す。ボーリングが存在するメッシュについては、代表ボーリングをもとに土質、N値モデルを作成した。ボーリングが存在しないメッシュについては、最も近い代表ボーリングを用いて土質、N値モデルを作成した。補間の際には、微地形区分ごとに補間作業を行った。この作業に関しては、最初に、基盤(N値50以上)に達している代表ボーリングのみを使用してモデル化を行った。次に、表層の浅部地盤モデルの解像度向上のために、基盤に達していないボーリングデータを含むすべてのボーリングを使用してモデルを再作成した。

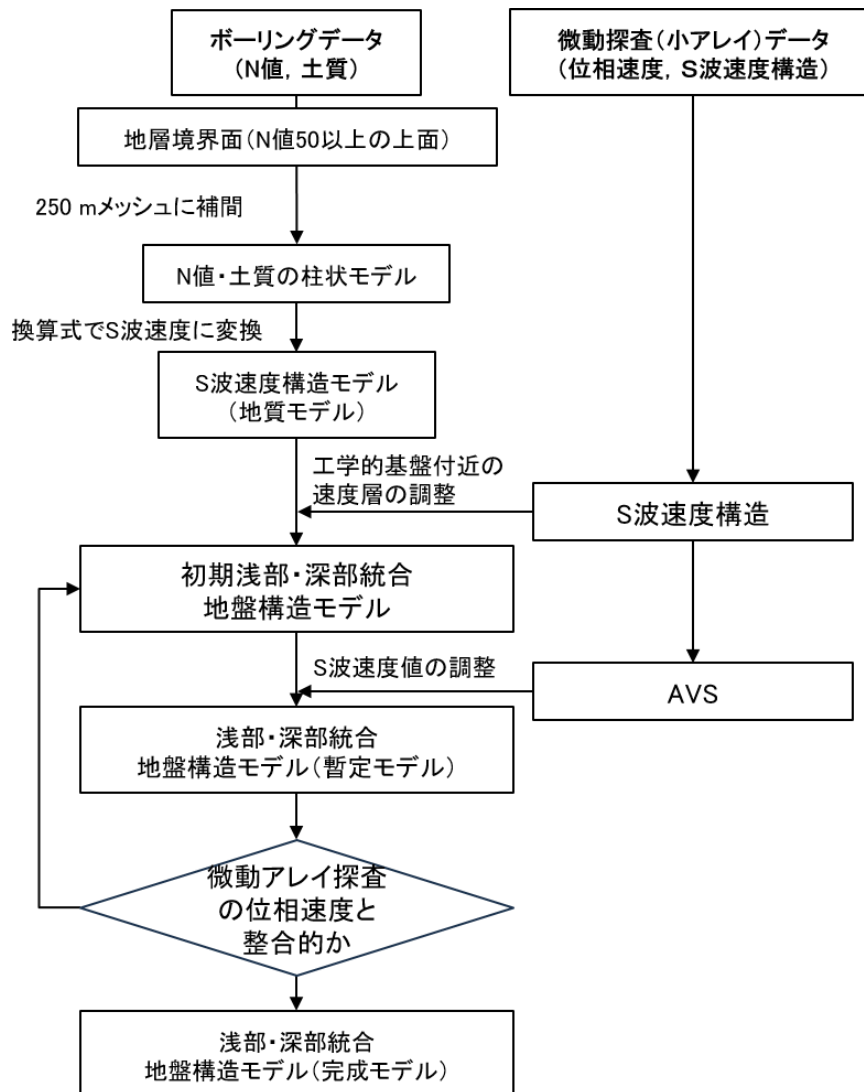


図9 主に浅部地盤構造モデル作成に関するフローチャート

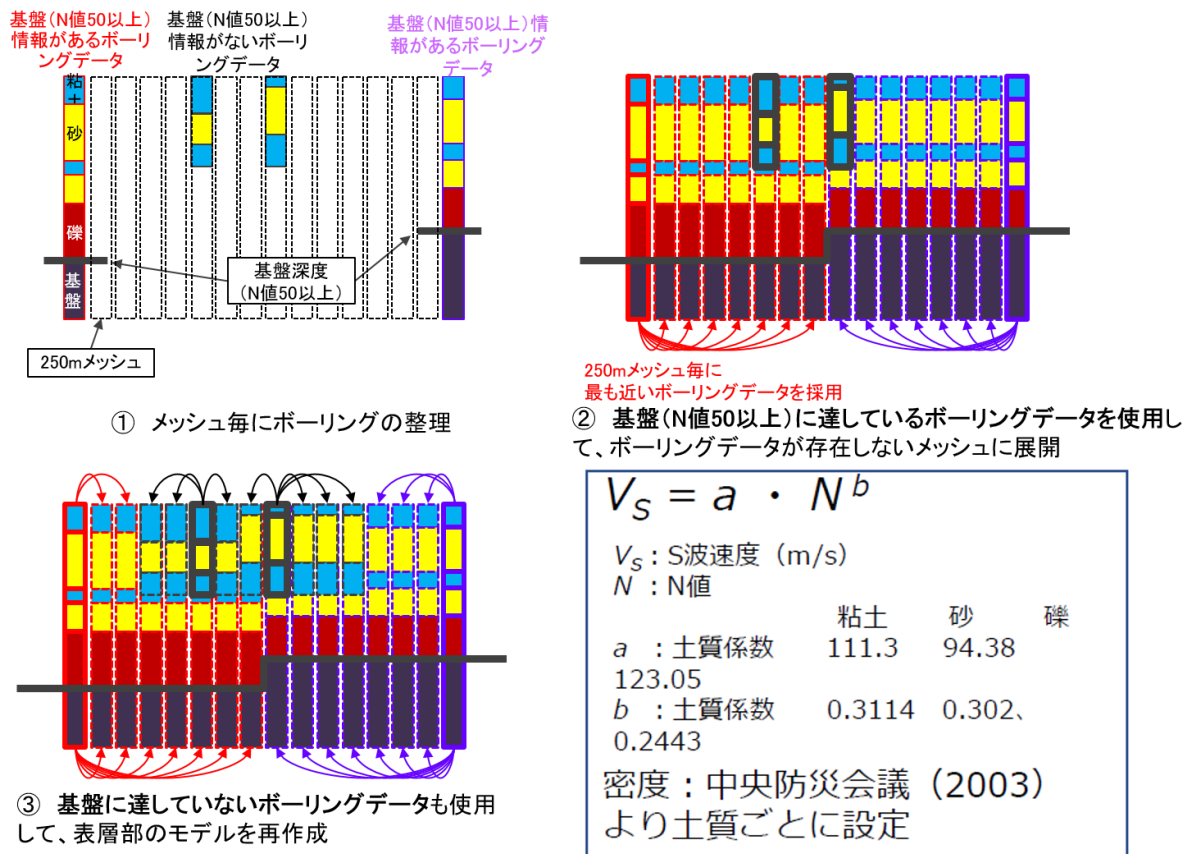


図 10 初期浅部地盤構造モデルの作成：ボーリングデータの補間方法

次に、ボーリングデータから作成した初期浅部地盤構造モデルの基底面深度と、微動探査の S 波速度上面深度 ( $V_s$ 250 m/s 層,  $V_s$ 300 m/s 層,  $V_s$  350 m/s 層) をメッシュ毎に比較し、工学的基盤付近の速度構造の修正を行った。図 11 に初期浅部地盤構造モデルとサブテーマ 3. 2 で作成した深部地盤構造モデルの接続方法を示す。初期浅部地盤構造モデルの基底面以浅については N 値の換算式によって S 波速度を算出しているが、N 値と S 波速度の関係はばらつきが大きいので、微動アレイ探査（主に小アレイ探査）を用いて浅部地盤モデルの S 波速度構造の調整を行った。浅部地盤モデル S 波速度値の修正方法の概念図を図 12 に示す。

初期浅部地盤構造モデルの S 波速度から求めた AVS（平均 S 波速度。AVS10 とは、深さ 10 m までの平均 S 波速度の意味。単位は m/s）が、微動探査（小アレイ）データから評価される AVS と一致するように初期浅部地盤構造モデルの S 波速度を調整（係数倍）する。初期浅部地盤構造モデルの基盤深度に応じて、調整に使用する AVS データを変更する。微動探査（小アレイ）データから評価される AVS については、ここでは、AVS10～AVS30 を用いて調整した（図 12）。

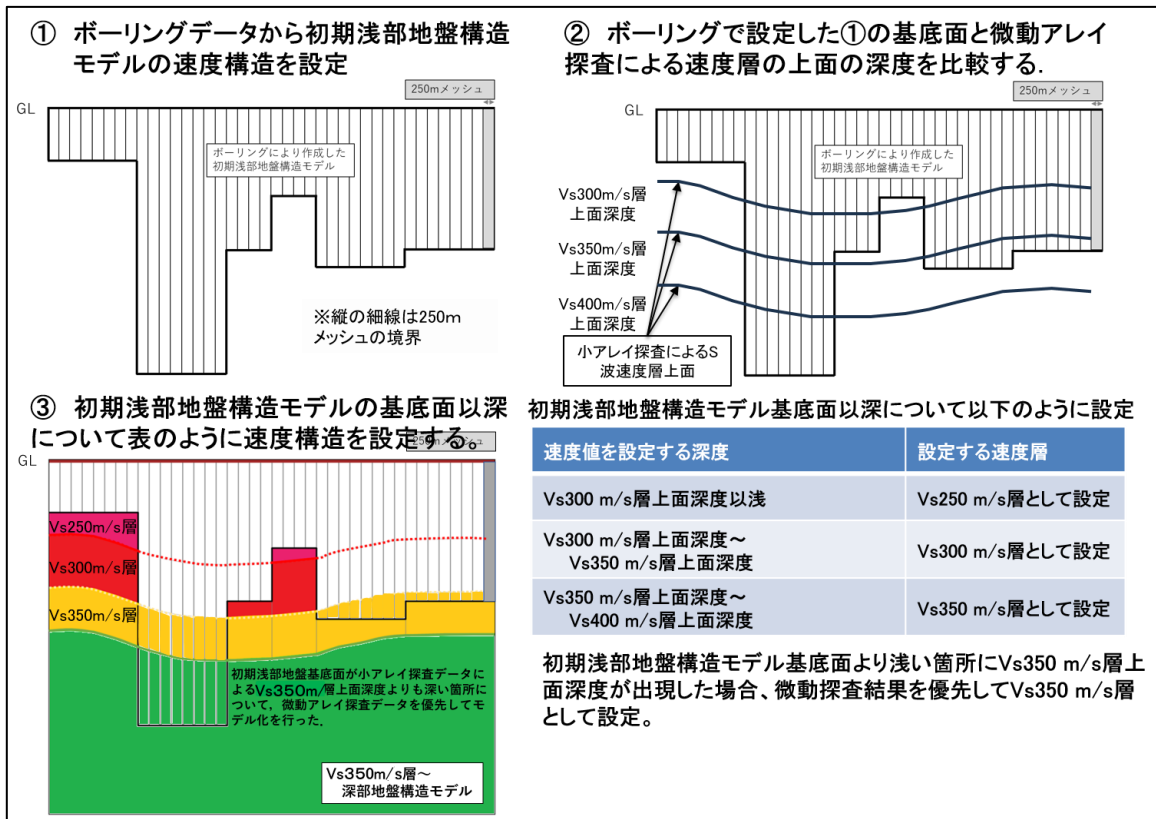


図 11 初期浅部地盤モデルと深部地盤モデルの接続方法

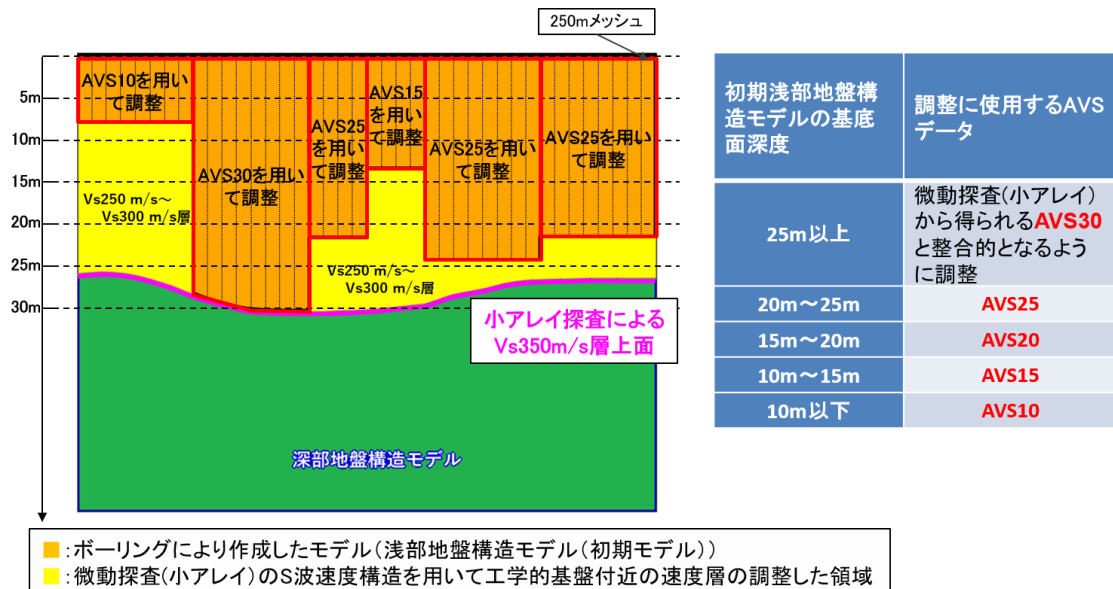


図 12 微動アレイ探査(小アレイ)によるS波速度構造の調整方法について

上記の調整は 250 m メッシュ毎に行う。一方で、小アレイ探査は概ね約 1 km 間隔で行われているため、小アレイ探査地点の AVS を面的に補間して 250 m メッシュのデータを作成した。空間補間は微地形区分ごとに補間作業を行い、この補間された AVS10～AVS30 と調和的となるように、初期浅部地盤構造モデルの S 波速度値を係数倍することにより、浅部地盤構造モデルを修正した。図 13 にボーリングデータの N 値 50（連続 3 回確認）上面深度と小アレイ探査の Vs350 上面深度と Vs200 上面深度をそれぞれ示す。N 値 50 と Vs350 は比較的調和的であることから、工学的基盤層（深部と浅部の接続部）を Vs350 として調整した上で浅部地盤構造モデルの構築を行った。

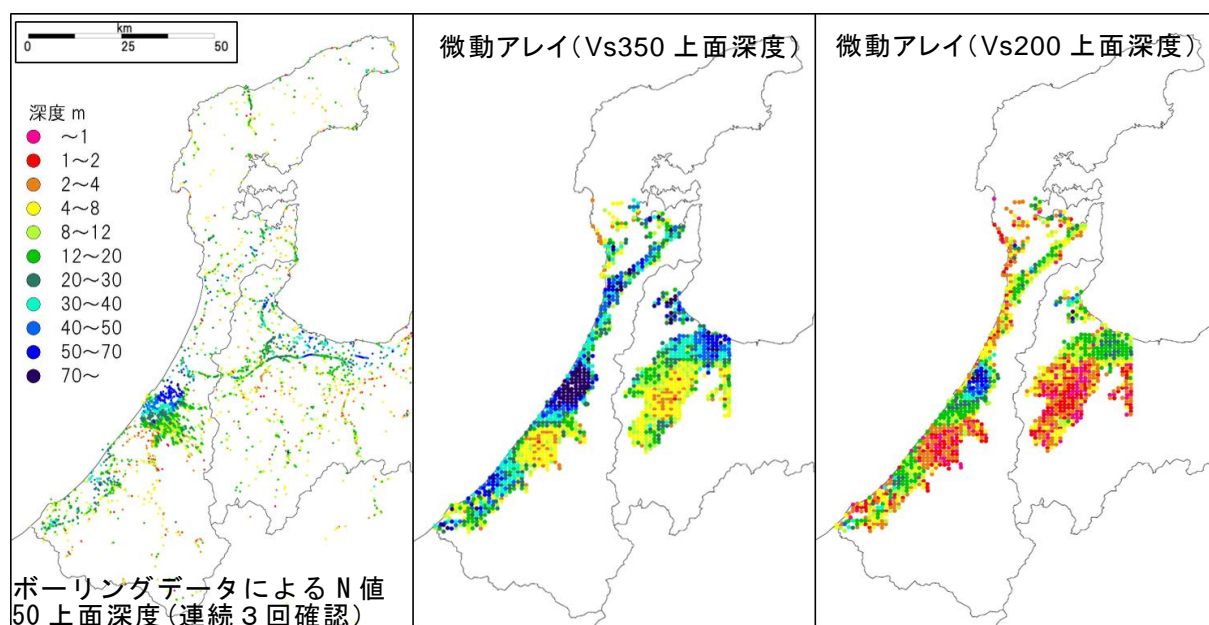


図 13 ボーリングデータの N 値 50（連続 3 回確認）上面深度と微動アレイ探査（小アレイ）の Vs350 上面深度と Vs200 上面深度の比較

作成した浅部地盤構造モデルを地域毎に図 14～図 20 に示す。最も工学的基盤相当層 (Vs350) が深いのは、図 14 に示す河北潟干拓地であり、Vs350 上面深度が最深部で 100 m 程度となっている。また地表から深さ 20 m 程度まで、Vs100 未満の軟弱層が広域で確認出来る。図 15 に示す金沢市中心部は海側の三角州・海岸低地から山側の砂礫質台地にかけて、Vs350 上面深度が深さ 30 m から 10 m 程度まで浅くなっている。一方で、図 16 に示す手取川扇状地では、Vs350 上面深度が概ね深さ 5m 程度と浅く、地表付近でも Vs200 以上となっている。図 17 および図 18 に示す羽咋市や七尾市では、海岸に近い砂丘、埋立地、砂州よりも、少し内陸に入った三角州・海岸低地で Vs350 上面が 50 m 以上と深くなっている。羽咋市の断面では邑知潟（干拓地）の近傍で Vs350 が深くなっていることが分かる。図 19 の砺波市周辺は扇状地であり、手取川扇状地同様に比較的 Vs350 上面深度は 10～15 m と浅く、地表付近でも概ね Vs200 以上となっている。図 20 に示す高岡・射水市の低地部は、Vs350 上面が概ね 40～50 m 程度と比較的深いが、Vs120 未満の軟弱層は少ない。

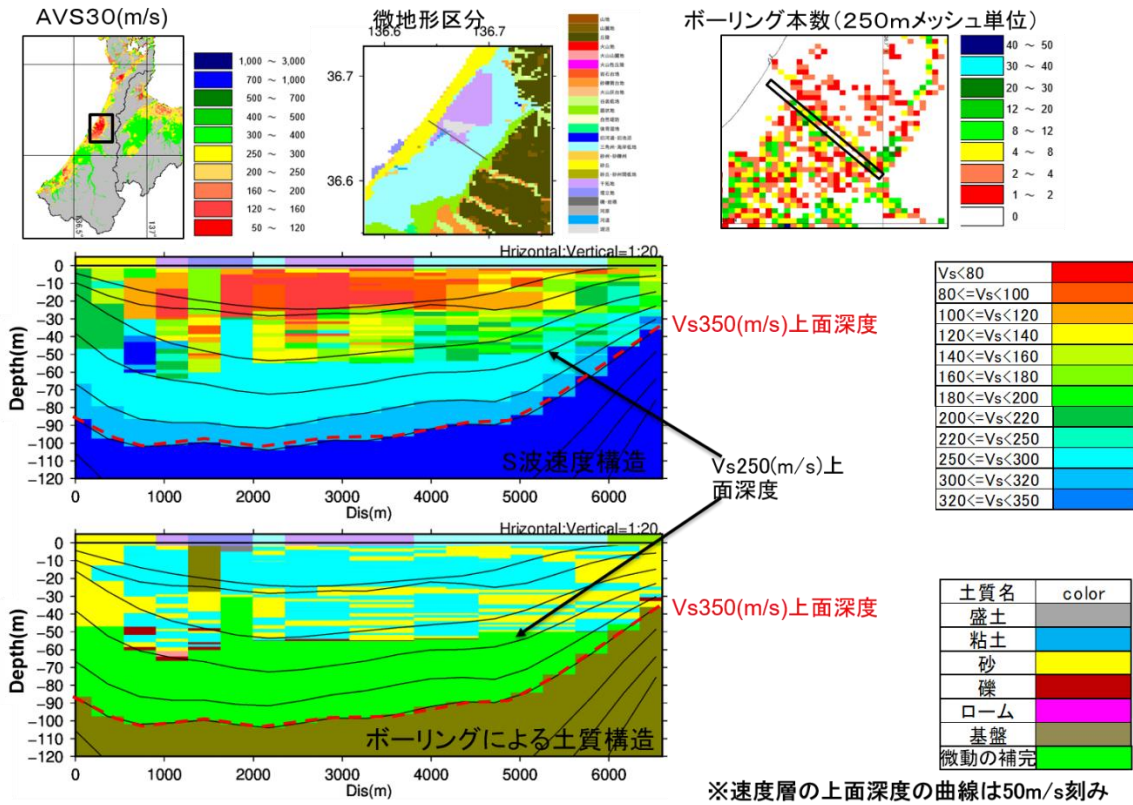


図 14 作成した浅部地盤構造モデルの土質およびS波速度構造断面図 (石川県：河北潟周辺)

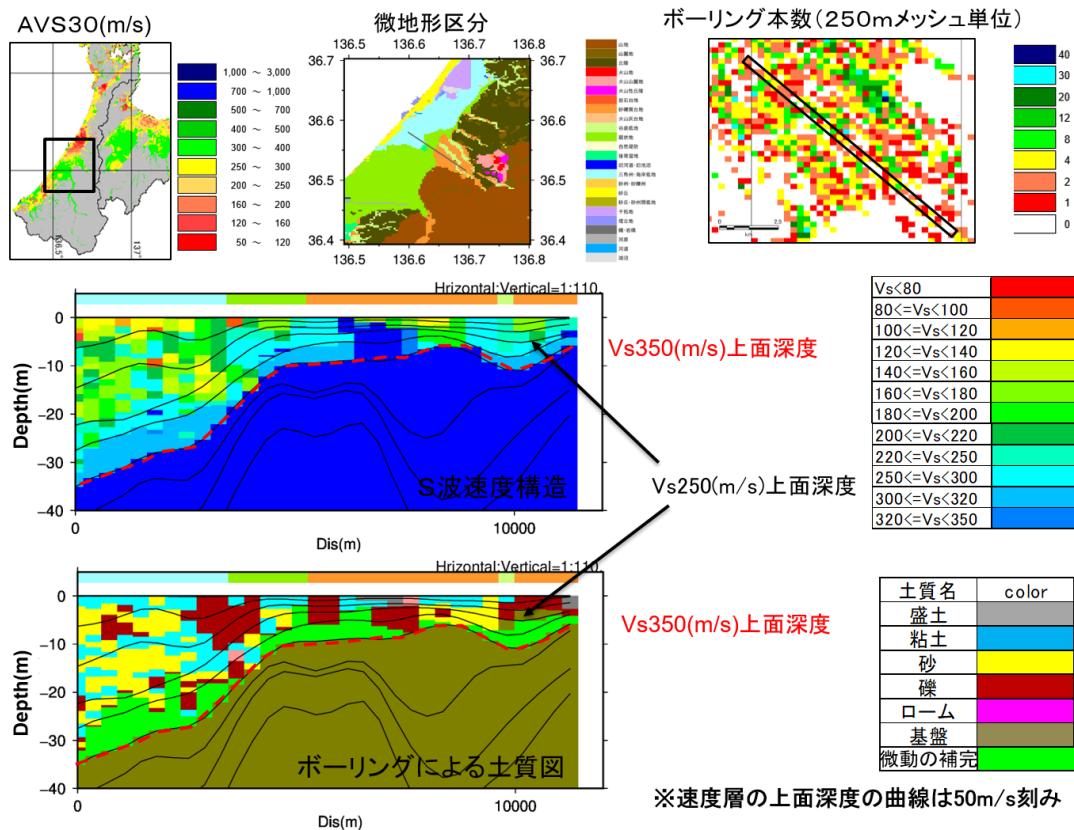


図 15 作成した浅部地盤構造モデルの土質およびS波速度構造断面図 (石川県：金沢市中心部)

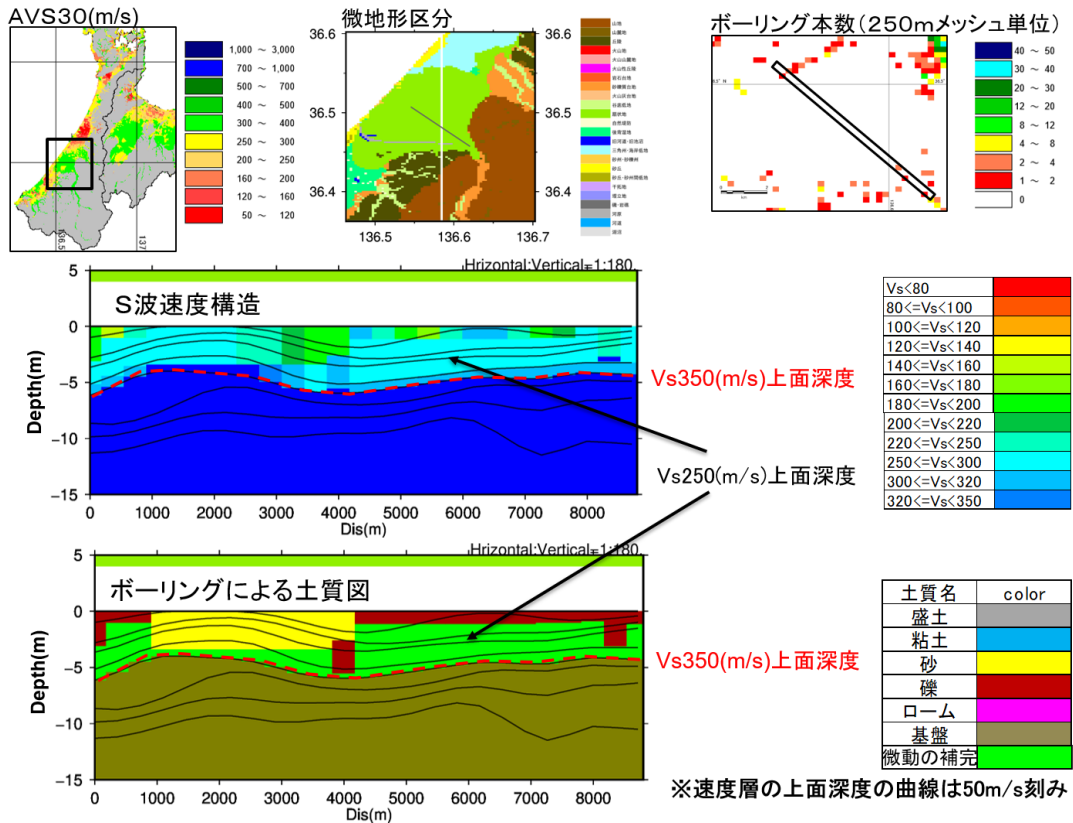


図 16 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図  
(石川県：手取川扇状地)

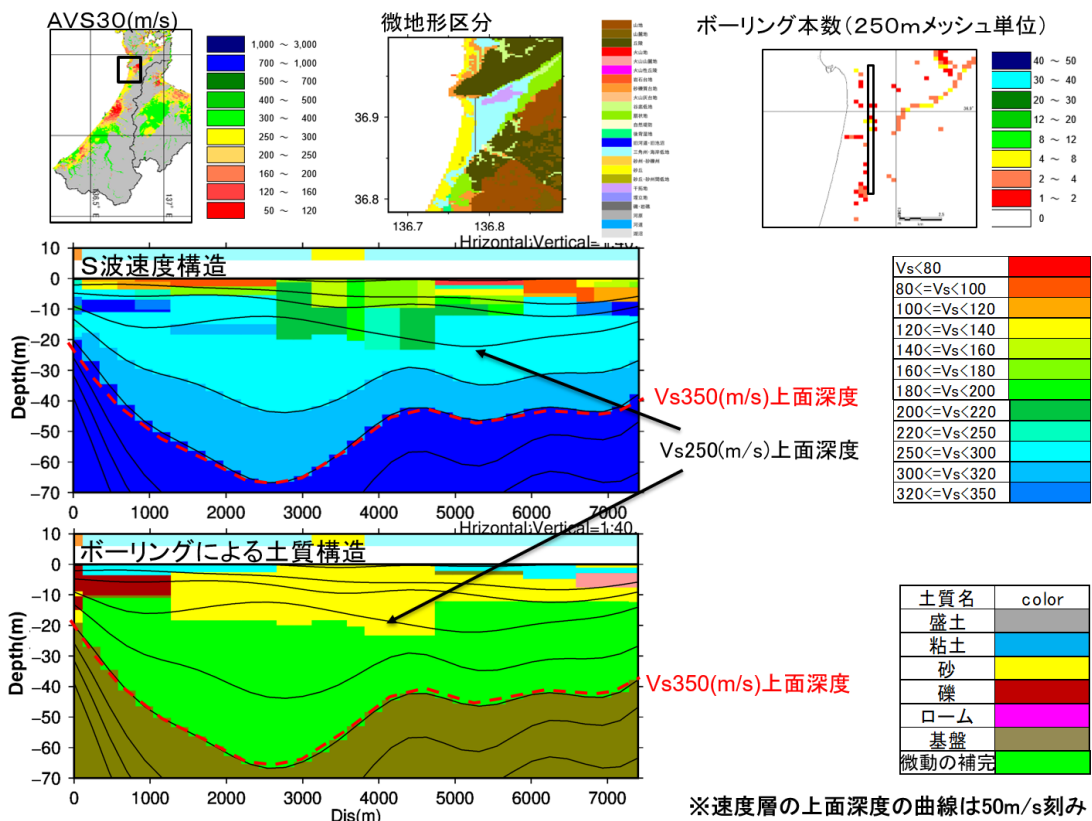


図 17 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図  
(石川県：羽咋市周辺)

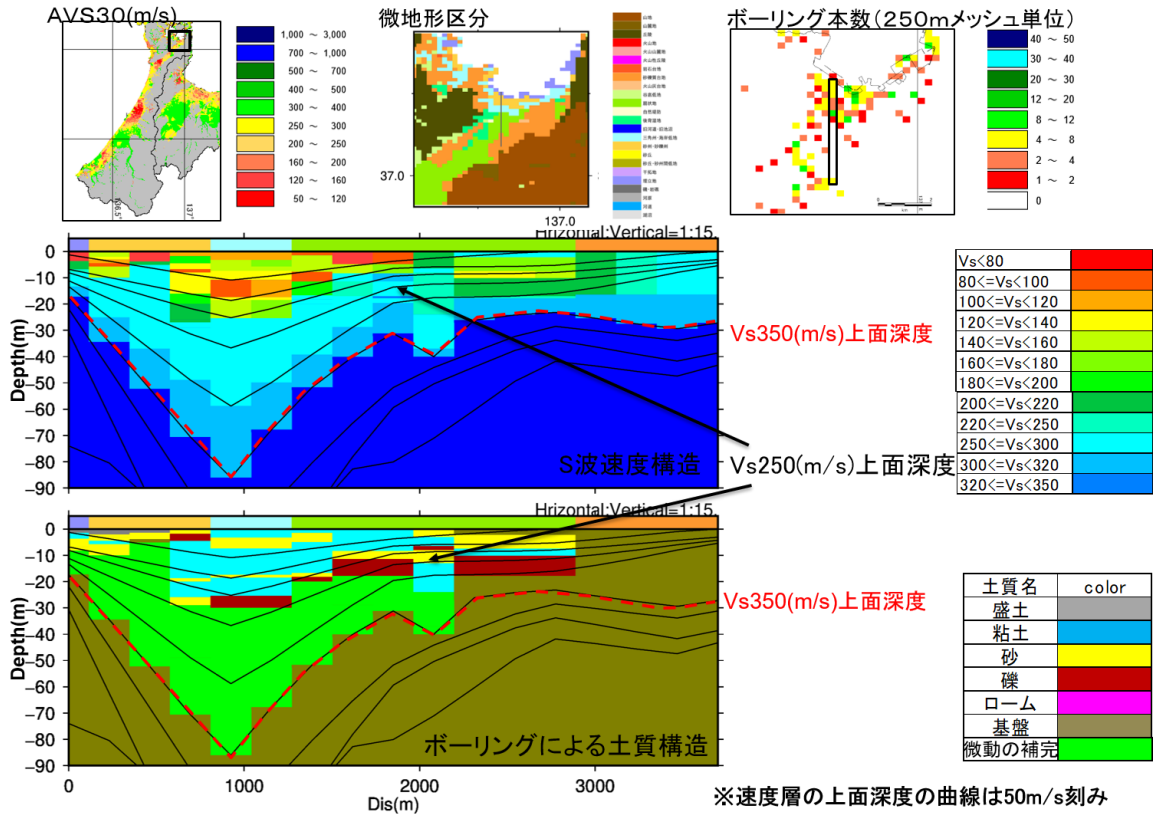


図 18 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図 (石川県：七尾市周辺)

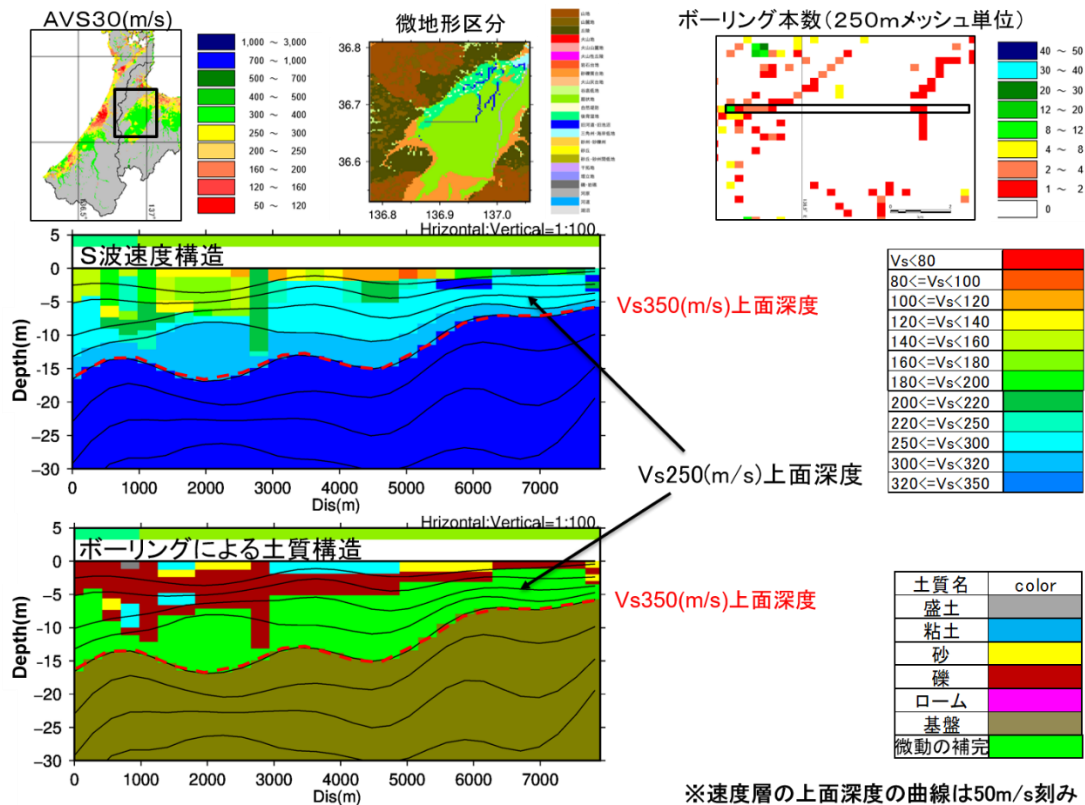


図 19 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図 (富山県：砺波市周辺)

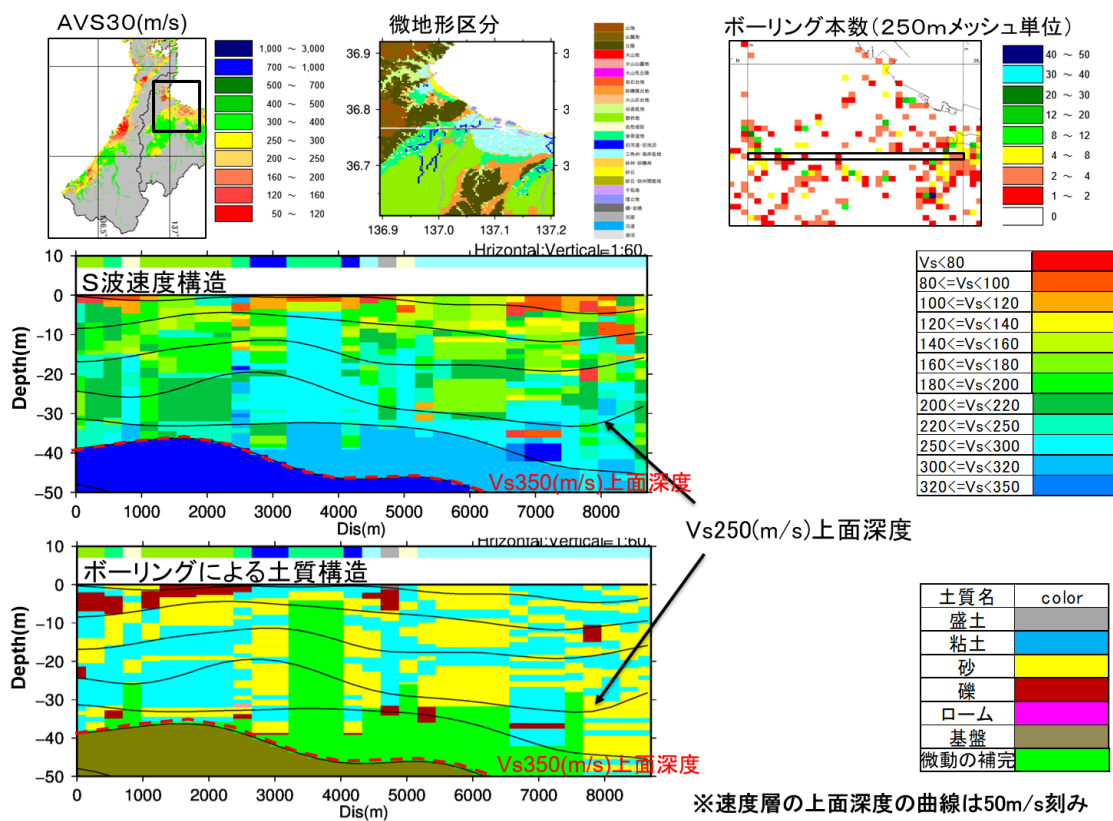


図 20 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図  
(富山県：高岡・射水市周辺)

なお、微地形区分 1～6 の山地系微地形区分は、図 21 に示すように、シームレス地質図に対応する K-NET、KiK-net 観測地点の PS 検層を用いた。地質図の凡例毎に PS 検層結果を平均処理することで S 波速度構造を作成した。低地と山地との接続方法については、小アレイで設定した工学的基盤相当層の Vs350 上面深度を基準として、Vs350 より高速度の層で層厚が 0m でない層を浅部地盤の基底面（工学的基盤上面）とした。山地部のモデル化の模式図を図 22 に、K-NET、KiK-net のボーリングデータと各々のカテゴリーの AVS30 を図 23 にそれぞれ示す。

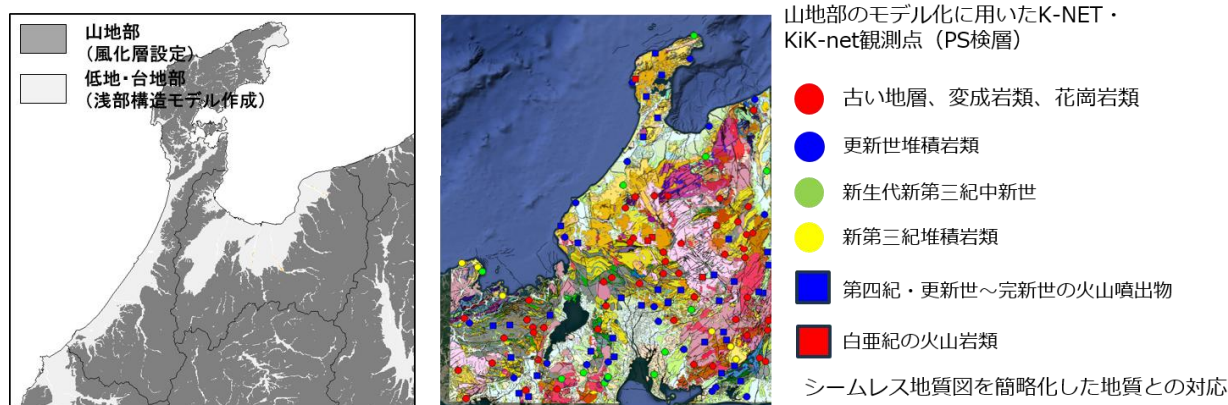


図 21 山地部の浅部地盤モデルの設定（使用する PS 検層の選択地点）

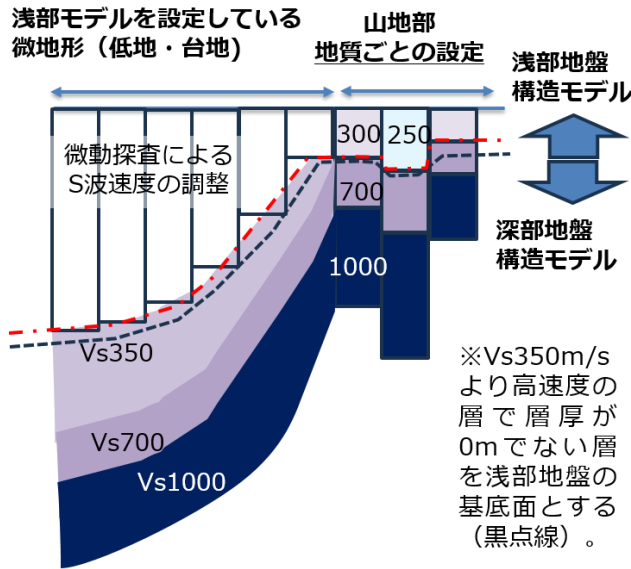


図 22 浅部地盤構造モデルの模式図（低地・台地と山地の境界の接続）

シームレス地質図凡例

- 完新世・沖積層相当
- 01\_古い地層：変成岩・花崗岩類
- 02\_更新世堆積岩類
- 03\_新第三紀中新世
- 新第三紀中新世メッシニアン期
- 05\_新第三紀堆積岩類
- 新第三紀堆積岩類・陸成層
- 06\_第4紀・更新世～完新世の火山噴出物
- 07\_白亜紀の火山岩類

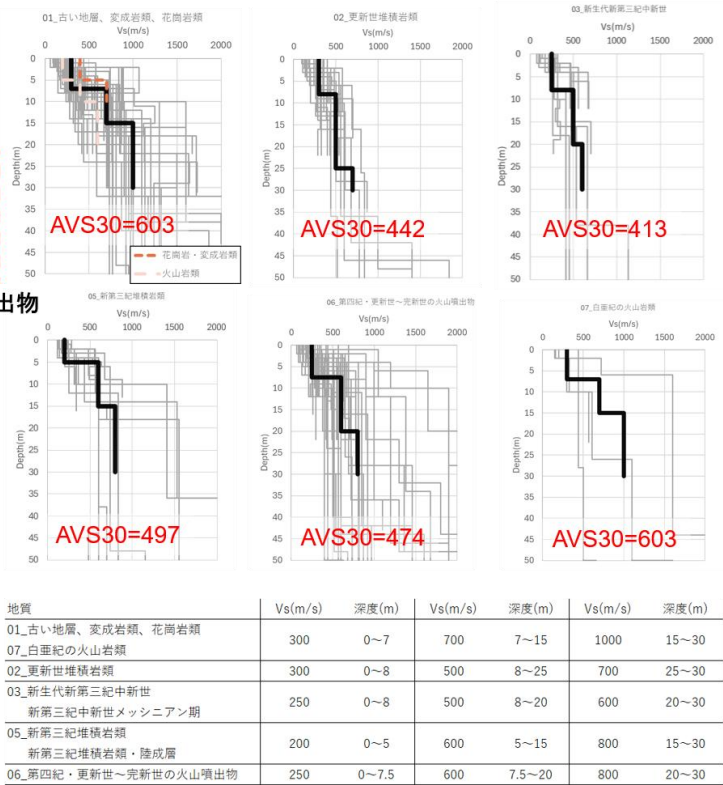
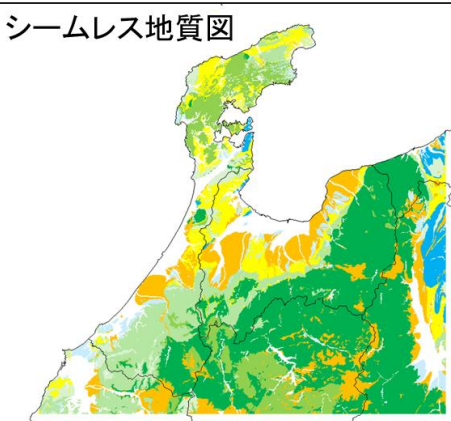


図 23 山地部の浅部地盤構造モデルの設定（AVS30）

図 24 に最終的に作成された浅部・深部統合地盤構造モデル（SD モデル）の AVS30（左）と既往の J-SHIS（微地形区分）による AVS30（中）およびその比を取った図（右）をそれぞれ示す。J-SHIS の結果と比べると、手取川扇状地および庄川扇状地では AVS30 は SD モデルの方が大きく、河北潟周辺は SD モデルの方が小さい。砂丘は総じて AVS30 が大きい。氷見の内陸部や邑知潟北東部では、AVS30 が小さいことが分かる。また、山地は全体的に小さく設定されていることが分かる。理由として、使用した PS 検層の表層の風化部や表土

の影響が考えられる。参考までに、図 25 には SD モデルの工学的基盤の速度構造を考慮 (AVS30<sub>EB</sub>)した最大速度増幅率 (藤本・翠川, 2006) を示す。

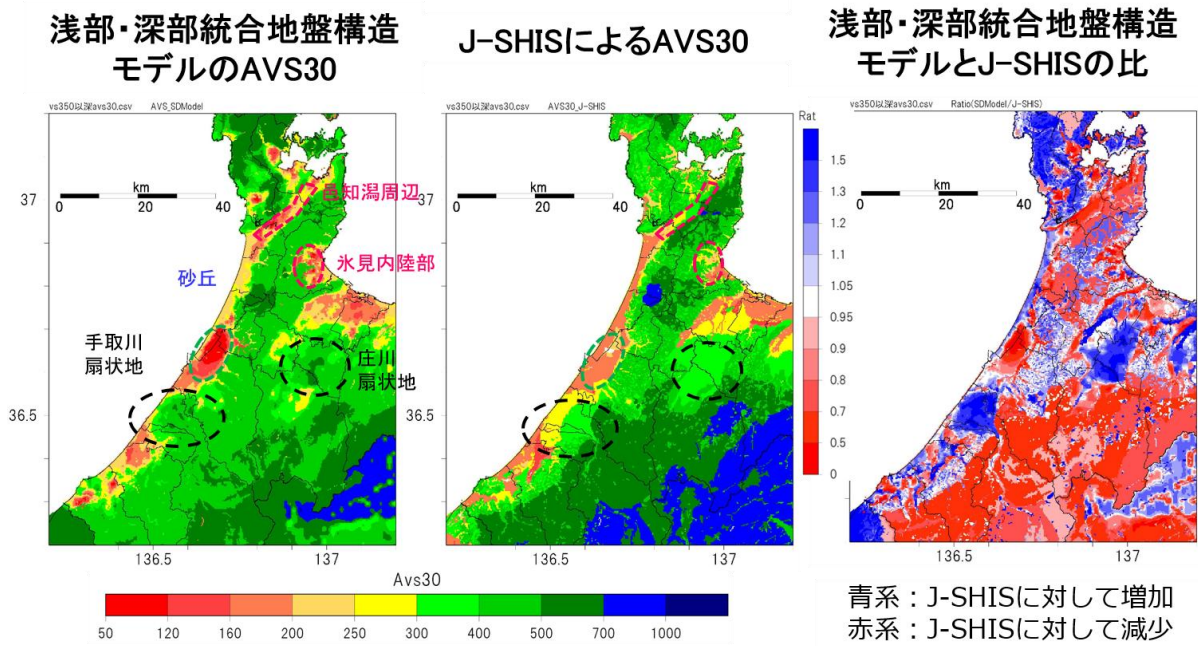


図 24 浅部・深部統合地盤構造モデル (SD モデル) による AVS30 の結果の比較 (左 : SD モデルの AVS30、中 : J-SHIS の AVS30、右 : SD モデル/J-SHIS)

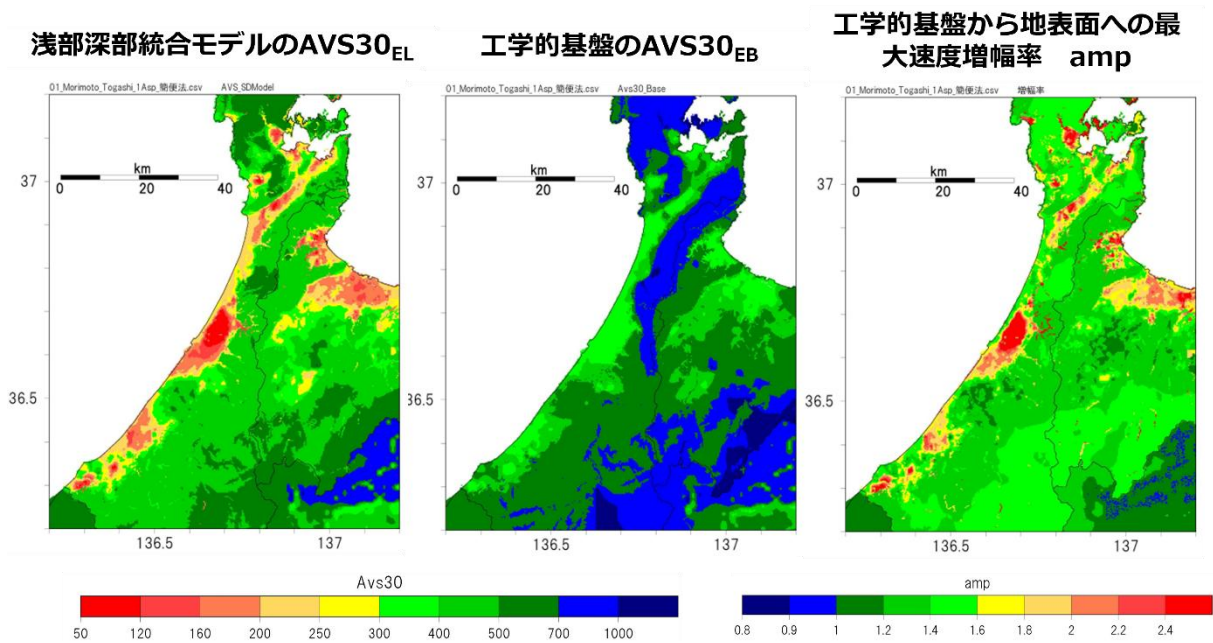
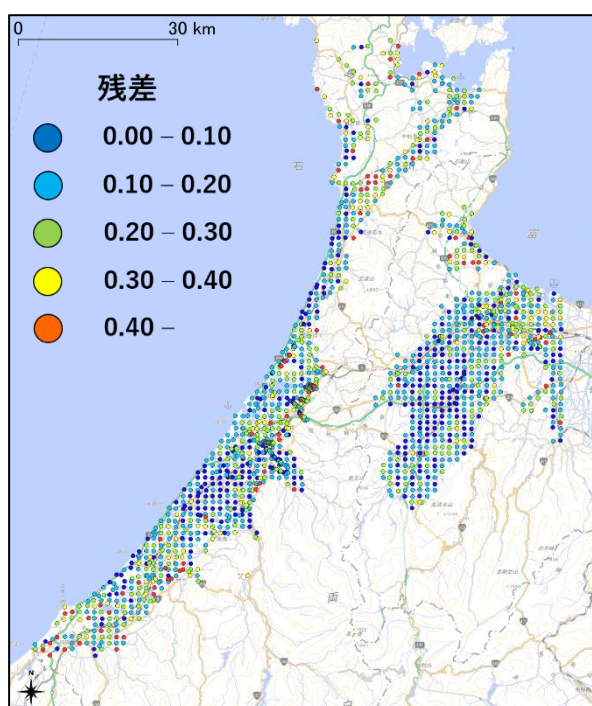


図 25 SD モデルの地表からの AVS30<sub>EL</sub> (左) と工学的基盤を地表とした AVS30<sub>EB</sub> (中) および AVS30<sub>EB</sub> を考慮して AVS30<sub>EL</sub> で計算した最大速度増幅率 (右)

図 26 に示す指標に基づき、観測位相速度と理論位相速度の合致度を評価した。残差の計算結果については、右図の S 波速度構造に示す。合致度について目視による評価を行うと、概ね残差 0.3 未満の地点が観測位相速度と調和的であったため、0.3 未満を数えると全体の 90% 近くを占めることが分かった。拡大した金沢市周辺、羽咋市周辺、七尾市周辺、高岡・射水市周辺の観測および作成した浅部地盤構造モデルの理論位相速度の比較図を図 27～図 30 にそれぞれ示す。残差が 0.3 以上の大きい（合致度が悪い）地点は、山地との境界周辺に多く分布しており、浅部地盤構造が 250m メッシュ内で急変する地点であると考えられる。このような場所（例えば図 27 の R5KA00020 地点）においては 250m メッシュの解像度では精度を上げることが難しく、精度を向上させるには、より稠密な観測および、より詳細なメッシュサイズでモデル化を行う必要がある。



$$misfit = 1/N \sum_{j=1}^N \left[ \frac{C^o(f_j) - C^c(f_j)}{C^o(f_j)} \right]^2$$

$N$  : 位相速度のデータ数  
 $C^o(f_j)$  : 周波数  $f_j$  における観測位相速度  
 $C^c(f_j)$  : 周波数  $f_j$  における計算位相速度

例

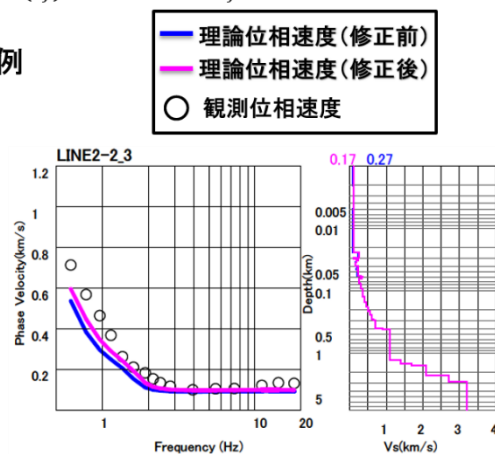


図 26 小アレイ探査に基づくモデルの検証方法・例（右）と結果（左）

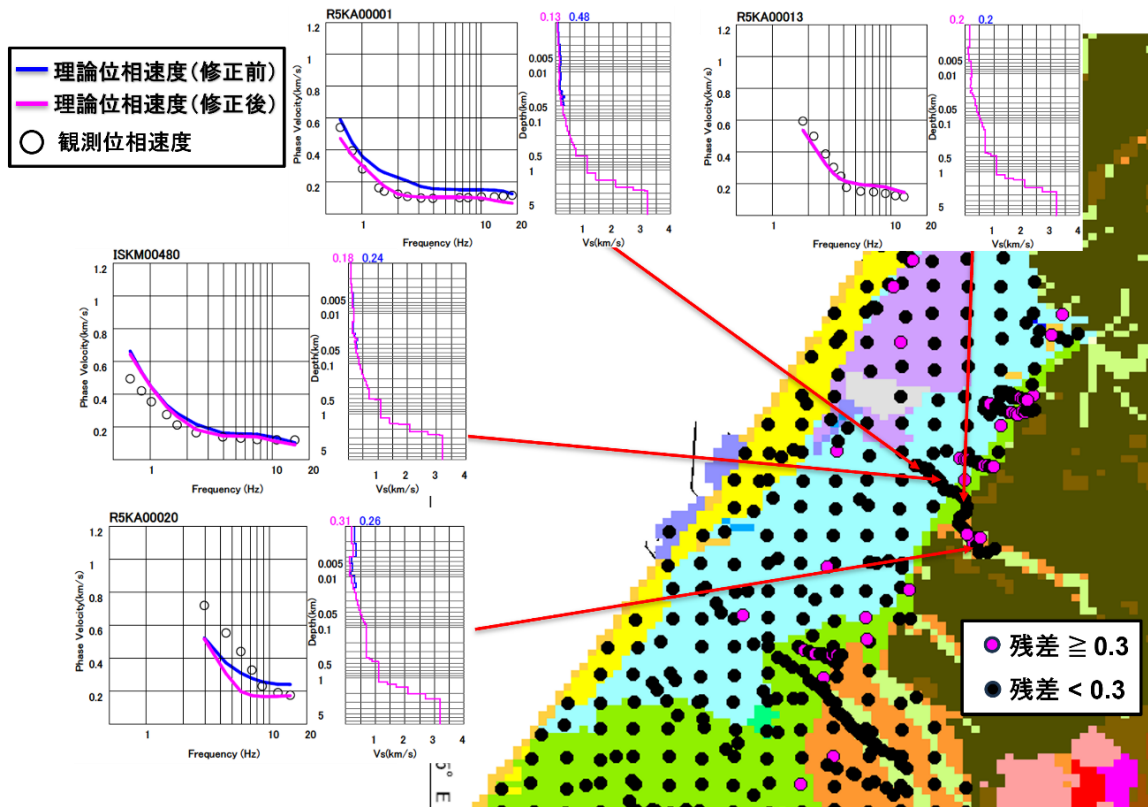


図 27 観測位相速度とモデルの理論位相速度（修正前・修正後）の比較（金沢市周辺）

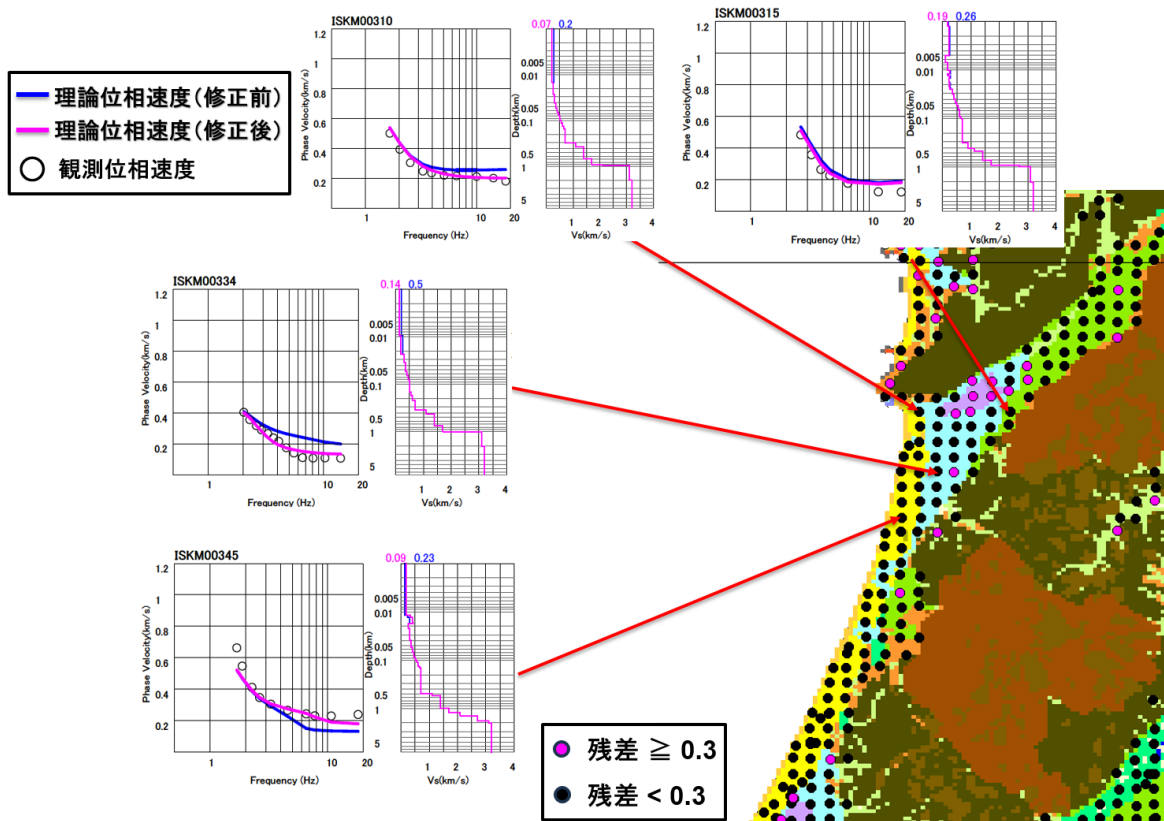


図 28 観測位相速度とモデルの理論位相速度（修正前・修正後）の比較（羽咋市周辺）

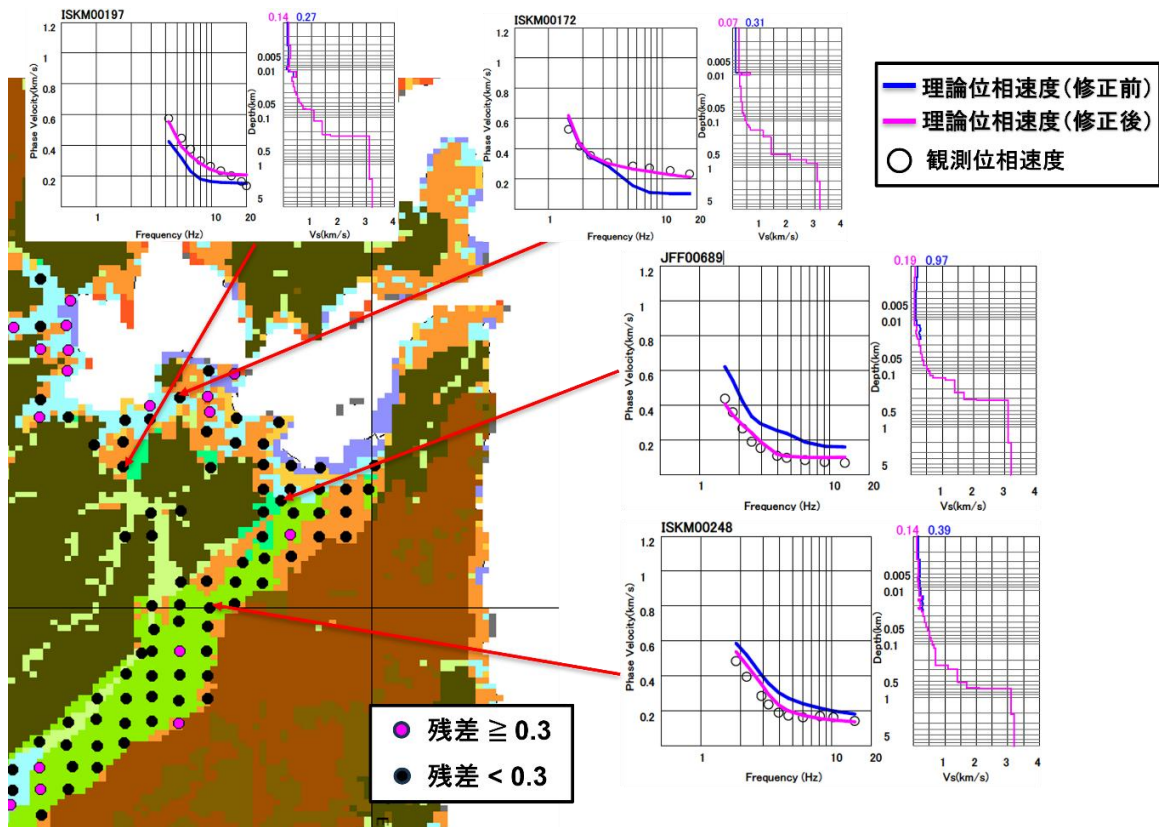


図 29 観測位相速度とモデルの理論位相速度（修正前・修正後）の比較（七尾市周辺）

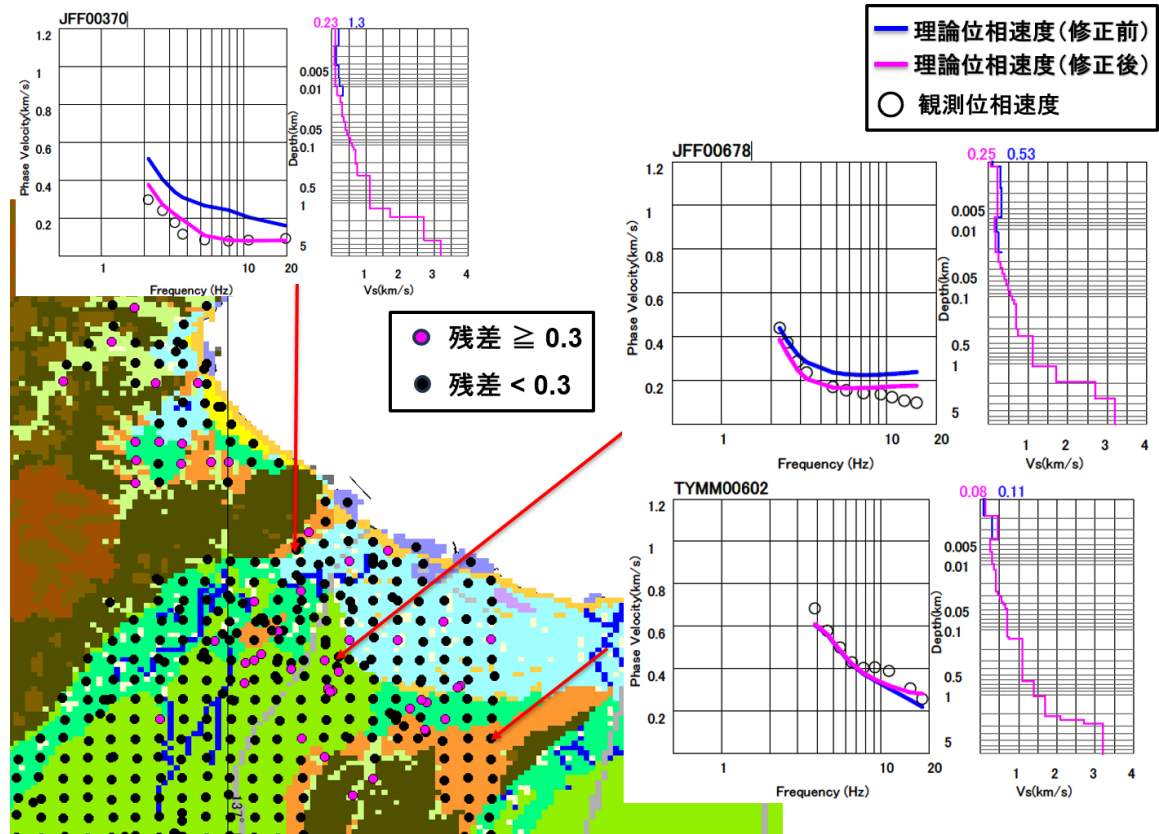


図 30 観測位相速度とモデルの理論位相速度（修正前・修正後）の比較（高岡市・射水市周辺）

(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、森本・富樫断層帯周辺、および、令和6年能登半島地震において液状化被害があった内灘地域において、小アレイの探査と解析を追加して行った。また、ボーリングデータ等の既往の地質情報をさらに収集し、サブテーマ3.2と協働で浅部・深部統合地盤構造モデル構築を行った。本検討にて作成した浅部地盤構造モデルは、微動探査（小アレイ）の位相速度およびH/Vスペクトル比等の結果と調和的であり、主に工学的基盤以浅のS波速度構造が適切に改善されているものとする。一方で、作成された250mメッシュ浅部地盤構造モデルには、観測結果と比較して乖離が大きい（精度が十分でない）メッシュも存在する。そのような場所の多くは、メッシュ内で地盤構造が大きく変化するような地形の変化点（不整形地盤等）であることが分かった。今後において、そのような場所でモデルの精度を向上させるためには、より稠密な観測を行い、より詳細なメッシュサイズ（例えば50mメッシュ）での検討を行う必要がある。

(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., 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.
- Cho, I., and T. Iwata, A Bayesian approach to microtremor array methods for estimating shallow S wave velocity structures: identifying structural singularities, *J. geophys. Res.*, 124, 527-553, 2019.
- Cho, I., T. Tada, Y. Shinozaki, A generic formulation for microtremor exploration methods using three-component records from a circular array, *Geophys. J. Int.*, 165, 236-258, 2006.
- 藤本一雄・翠川三郎, 近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係, *日本地震工学会論文集*, 第6巻, 第1号, 2006.
- 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., C. J. Poran, K. Yamagata, and J. A. Rodriguez, Soil profiling by spectral analysis of surface waves, *Proc. 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earth-quake Engineering and Soil Dynamics*, vol. 2, 1429-1434, 1991.
- 先名重樹・藤原広行・前田宜浩・森川信之・岩城麻子・河合伸一・谷田貝淳・佐藤将・鈴木晴彦・稲垣賢亮・松山尚典 : 強震動評価のための浅部・深部統合地盤構造モデルの構

### (3) 令和 4 ～ 6 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下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った。

#### (b) 業務の実施方法

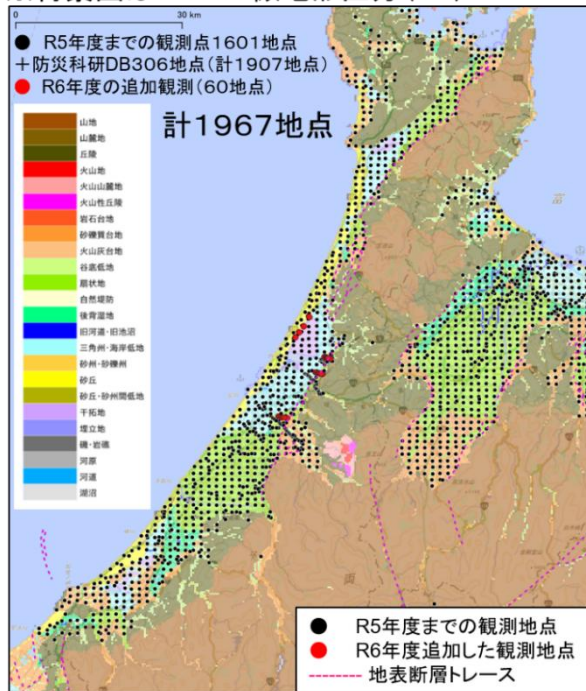
令和 4 ～ 5 年度は、浅部地盤構造モデルを構築する範囲において、石川・富山県の既往のボーリングデータ等の地質調査データ、既往微動アレイ探査データの収集・整理、および、工学的基盤深度までの S 波速度構造を得るための小サイズの微動アレイ探査（以後、小アレイ探査）を計画した上で、1900 地点余りの小アレイ探査およびデータの解析も実施し、位相速度および S 波速度構造の整理を行い、浅部・深部統合地盤構造モデルの構築の準備を行った。令和 6 年度は、過年度までに実施した小アレイの結果およびボーリングデータ等の地質調査資料および検討結果等を追加・整理した上で、サブテーマ 3. 2 と協働で浅部・深部統合地盤構造モデルの検討・構築を行った。サブテーマ 3. 1 では主に浅部地盤構造モデルの構築を行った。

#### (c) 業務の成果

##### 1) データの収集・整理

森本・富樫断層帯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、微動アレイ探査データを収集・整理し、浅部・深部統合地盤構造モデルのうち浅部地盤構造モデルの構築を行った。具体的には、まず、浅部地盤構造モデル構築範囲内（図 31）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 1 km 間隔（全国標準地域メッシュ 3 次メッシュ間隔）および、サブテーマ 1. 1 において断層帯近傍にて実施された反射法地震波探査測線（3 測線）位置を含む計 6 測線において 100 ～ 200m 間隔にて小アレイ探査の計画（計 1,661 地点）を作成した上で探査を実施した。また、浅部地盤モデル化範囲内にある既往小アレイ探査データ（306 地点）を収集し、計 1967 地点分の小アレイ探査データをモデル化に用いた。また、既往の地盤情報として収集したボーリングデータをモデル化に活用できるデータとして再整理し、サブテーマ 3. 2 と協働で、浅部・深部統合地盤構造モデルの構築を行った。このうちサブテーマ 3. 1 では、浅部地盤構造モデルの構築を行っている。モデル化範囲の観測地点分布と AVS30 の結果を図 31 に示す。

※背景図はJ-SHIS微地形区分(V4)



令和6年度は、森本富樫断層帯周辺の60地点分のデータ(●)を追加

※背景図はJ-SHIS AVS30(m/s)

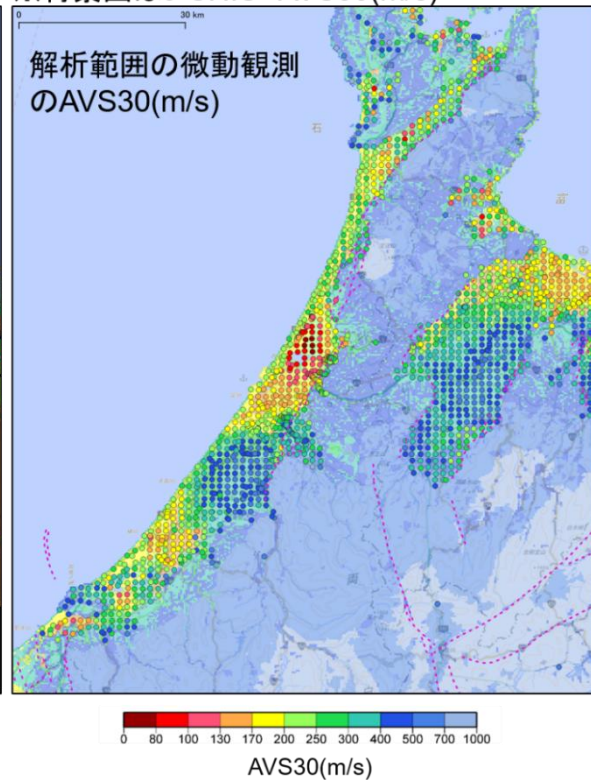
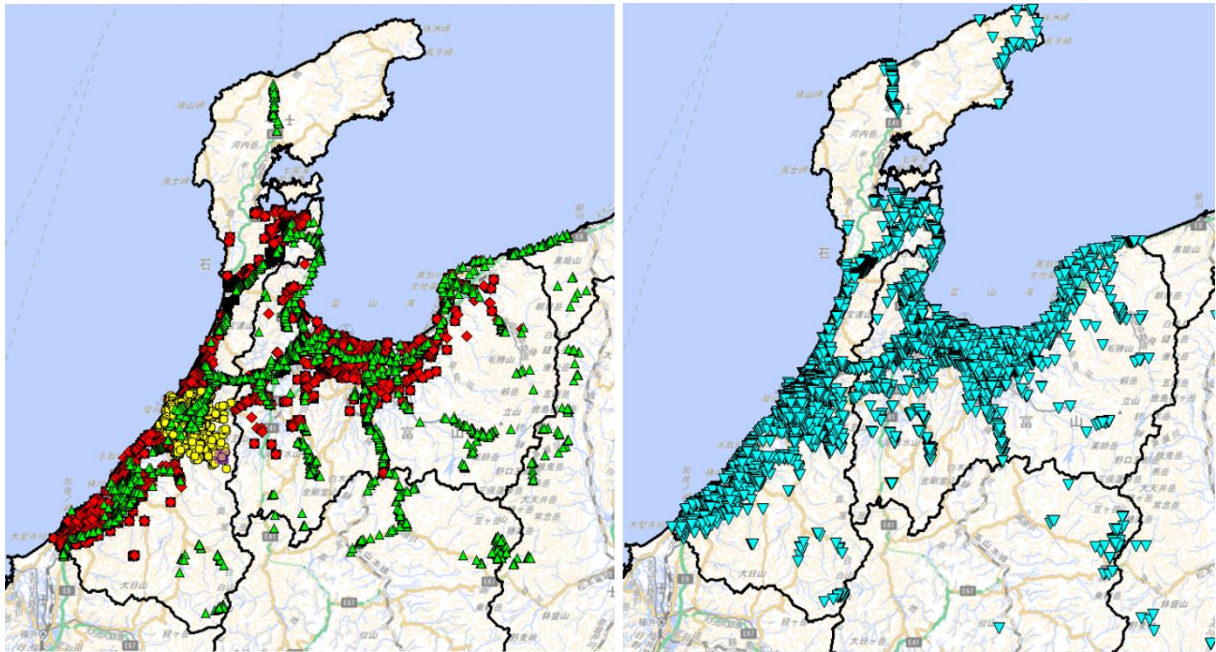


図 31 小アレイ探査地点分布と AVS30 分布図  
(左：観測地点と微地形区分、右：J-SHIS と観測結果の AVS30)

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（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）、地盤図、金沢市等）を、今年度収集分も含めて整理した（図 32）。富山県・石川県全域には 35,131 本のボーリングデータが存在する。なお、浅部地盤モデル化範囲内には 23,212 本存在する。



■ 北陸地建 2,555本    ◆ 地盤図 3,212本    ▼ 北陸地盤情報システム 20,599本  
 ● 金沢市 4,199本    ▲ Kunijiban 4,566本

図 32 ボーリングデータ分布図

2) 微動観測（小アレイ探査）について

小アレイ探査の配置と観測風景を図 33 および写真 2 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 2 に示す。

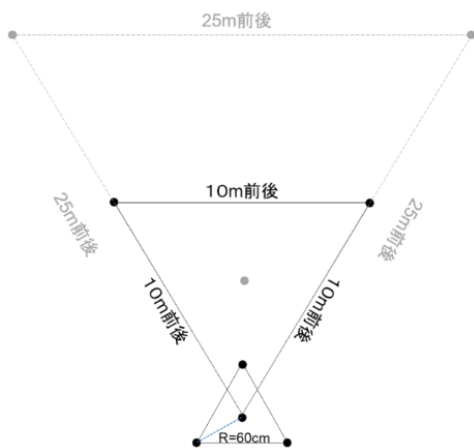


図 33 小アレイ探査配置図（●：微動計設置位置、地震観測点では●も実施）

写真 2 小アレイ探査観測風景（R6-1 測線：長田 2 丁目）

表2 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), VSE15D-6(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2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。サブテーマ1.1で実施している反射法地震波探査測線(R4年度測線(R4-1測線)およびR5年度実施測線(R5-1、R5-2測線))上において計68地点の小アレイ探査を実施した。また、R6年度には小アレイ探査測線(R6-1・R6-2・R6-3測線)で計40地点と、令和6年能登半島地震により液状化した内灘町・かほく市周辺の地盤状況を検討するため、特に液状化被害が大きかった地域において20地点の小アレイ探査を実施した(図34)。小アレイ観測点の間隔はいずれの測線も100~200m間隔としている。

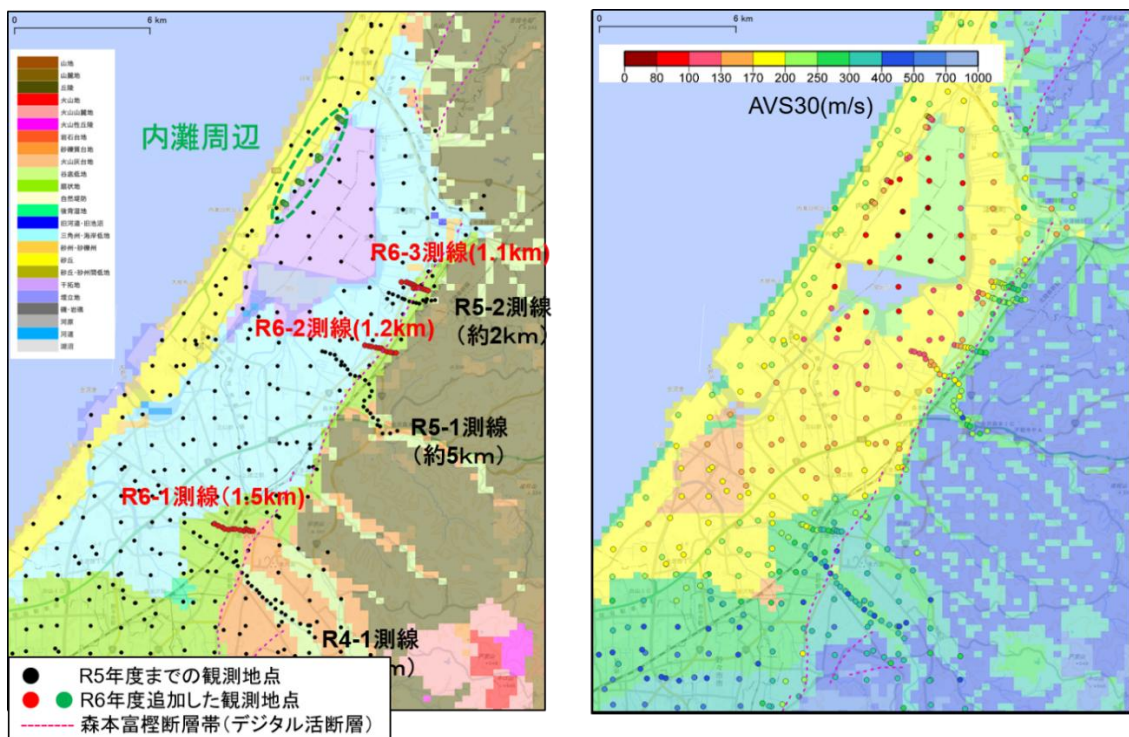
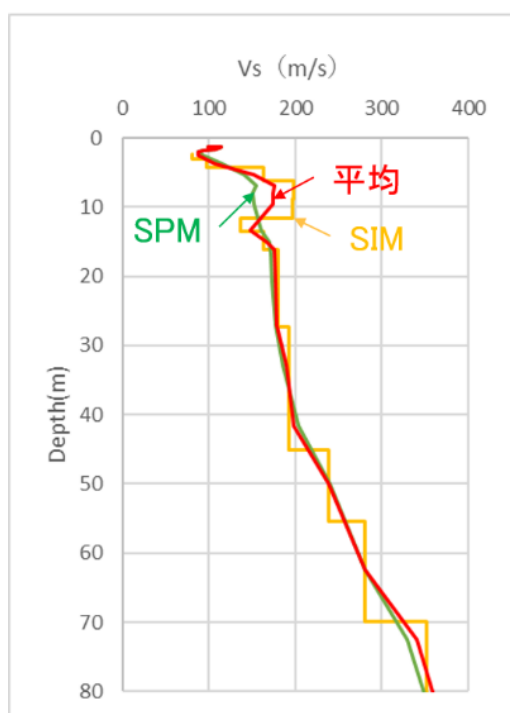


図34 今年度実施した小アレイ探査地点(赤と緑丸)の拡大図(図1の拡大図)  
(左: 観測地点と微地形区分、右: J-SHISと観測結果のAVS30)

図 35 に示す手法を用いてモデル化に用いる S 波速度構造を作成し、クリギング法にて断面図としたものを図 36～図 40 にそれぞれ示す。Vs = 300 m/s (青色出現深度) (以下 Vs300 と記載) を工学的基盤相当層と仮定すると、図 36 の R4-1 測線断面の北陸新幹線の北西側で Vs300 上面深度が 30 m から 10 m 程度と急激に浅くなり、北陸新幹線の南東側でさらに深さ 5 m と浅くなり、その後 Vs300 上面深度は南東に向かって 5 m 程度となっておりほとんど変化はない。図 37 の R5-1 測線では、国道 8 号線付近で、Vs300 上面深度が 70 m から 30 m 程度と浅くなり、南東の山地に向かって徐々に浅くなっている。R5-2 測線では、国道 8 号線の西側で Vs300 上面深度が深さ 70m から 20m 程度と浅くなるが、IR 石川鉄道付近で一旦 30 m 程度と深くなり、そのすぐ東側で深さ 10 m 程度とさらに浅くなっている。これらの不連続な構造は森本・富樫断層帯の位置との関係が考えられる。図 38 に示す R6-1 測線 (金沢駅南部地区) 断面では、北陸新幹線および玉川町周辺において Vs300 上面深度が 10 m 程度の比較的緩やかな変化があることが確認できる。図 39 の R6-2 測線 (金沢市今町地区) では、国道 8 号線よりも西側から Vs300 上面深度が 50 m から 20 m 程度と浅くなり、南東の山地に向かって深さ 10 m 程度となっている。図 40 の R6-3 測線 (津幡町太田地区) では、国道 8 号の西側で Vs300 上面深度が深さ 50 m から 20 m 程度と浅くなるが、R6-2 測線同様に南東の山地に向かって深さ 10 m 程度となっていることが分かる。



## S波速度構造の求め方

分散曲線の直接変換結果 (Simple Profiling Method; SPM) と簡易逆解析結果 (Simple Inversion Method; SIM) を平均した速度構造を算出。

① SPMのS波速度(緑色)の速度が変化する深度で対応するSIMのS波速度(オレンジ)を読み取り、2つの速度値を平均したS波速度(赤色)を算出。

② この速度構造をもとに位相速度が再現できることを確認。

図 35 小アレイ探査結果に基づく浅部地盤モデル化に活用するための S 波速度構造の作成方法

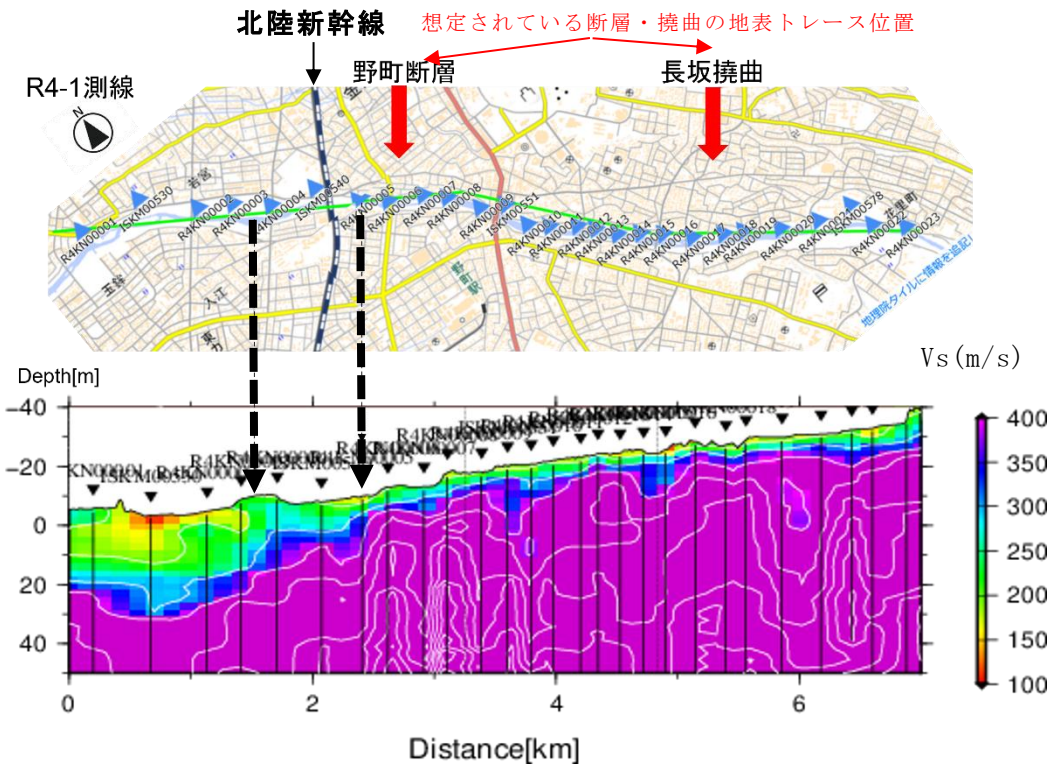


図 36 反射法地震波探査測線 (R4-1 測線) における小アレイ観測地点と S 波速度構造断面図

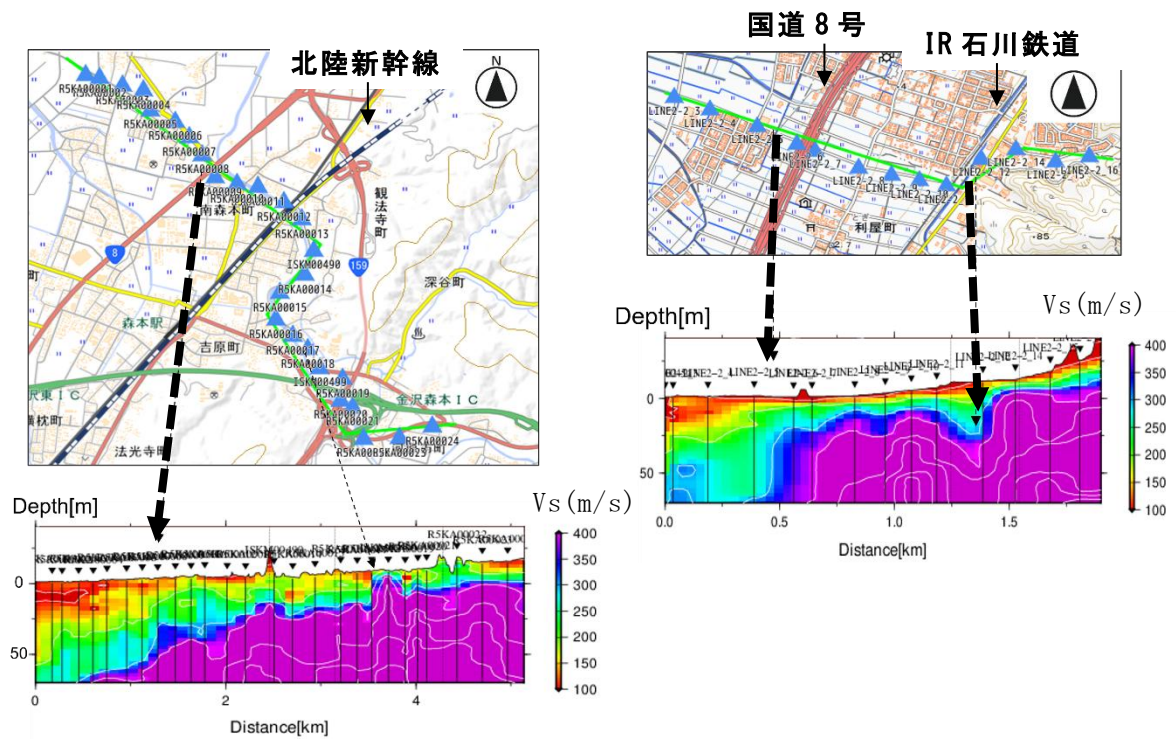


図 37 反射法地震波探査測線 (R5-1 (左図) および R5-2 測線 (右図)) における小アレイ観測地点と S 波速度構造断面図

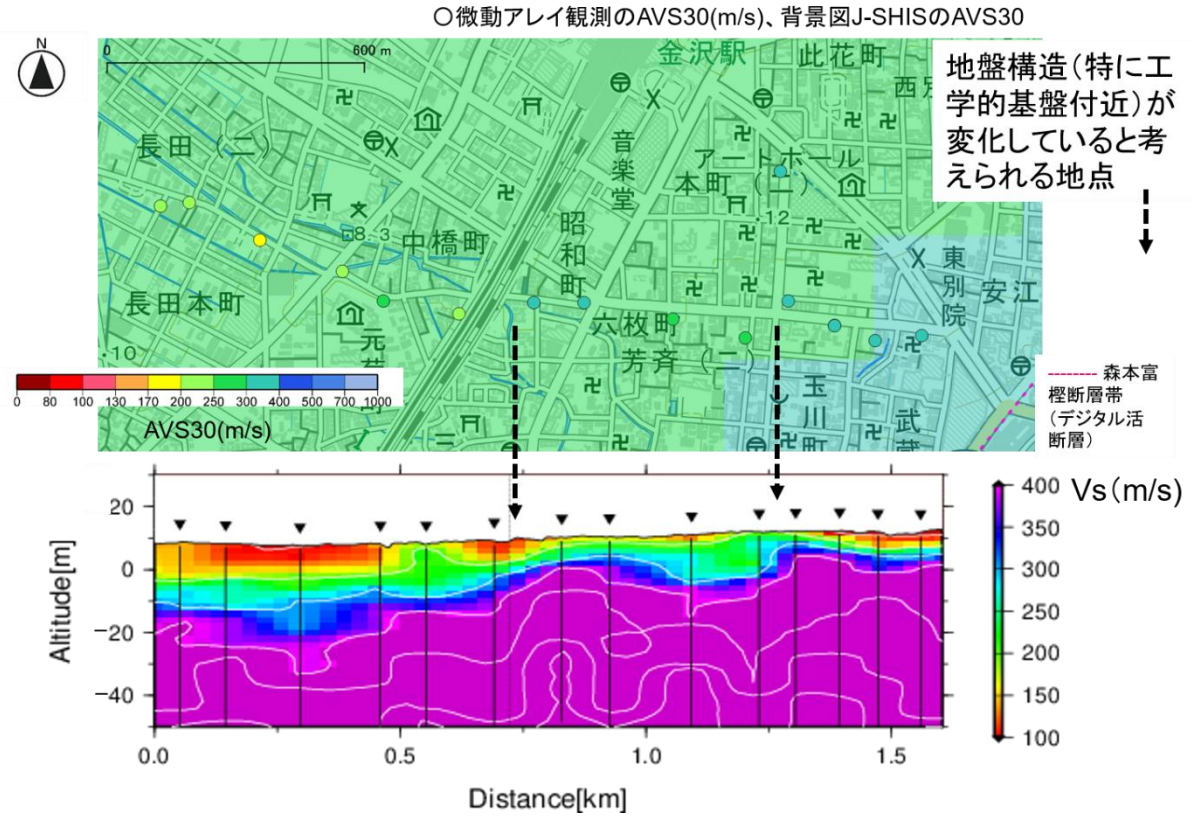


図 38 測線 (R6-1) における小アレイ観測地点と S 波速度構造断面図

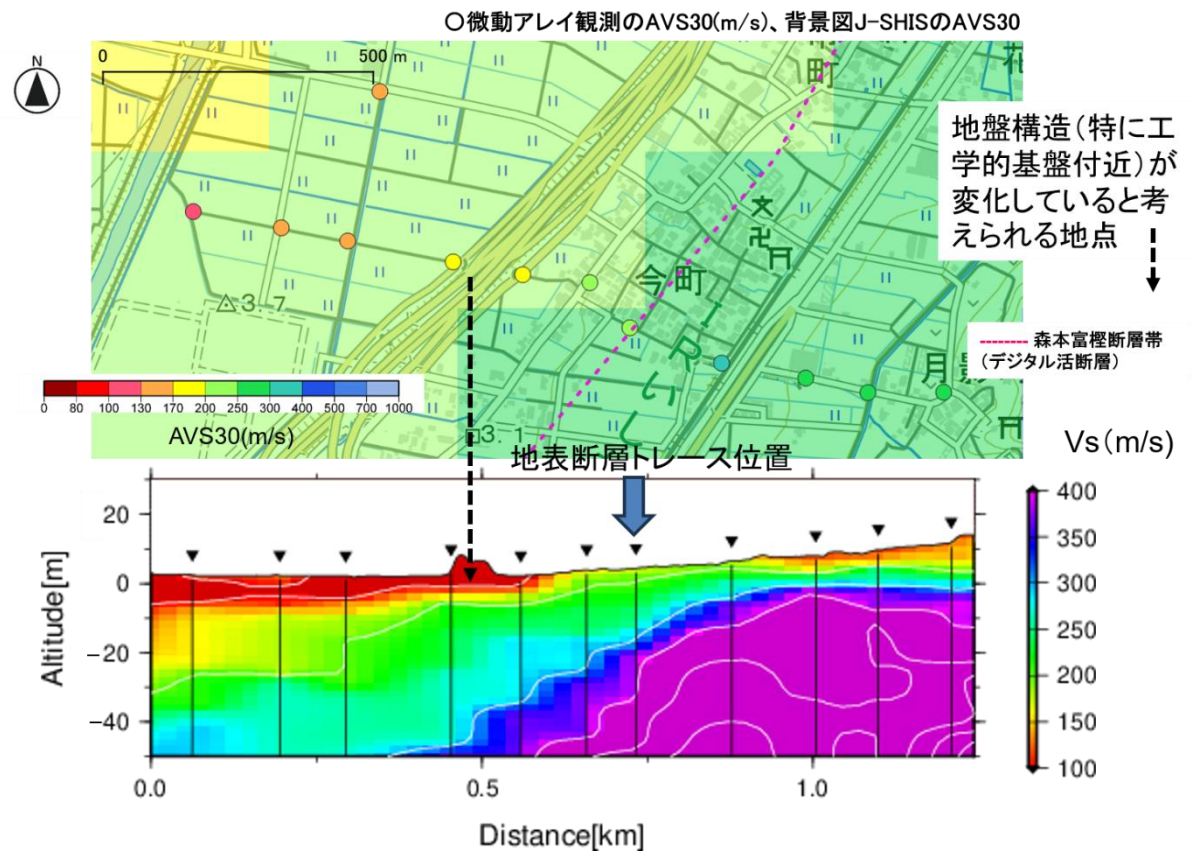


図 39 測線 (R6-2) における小アレイ観測地点と S 波速度構造断面図

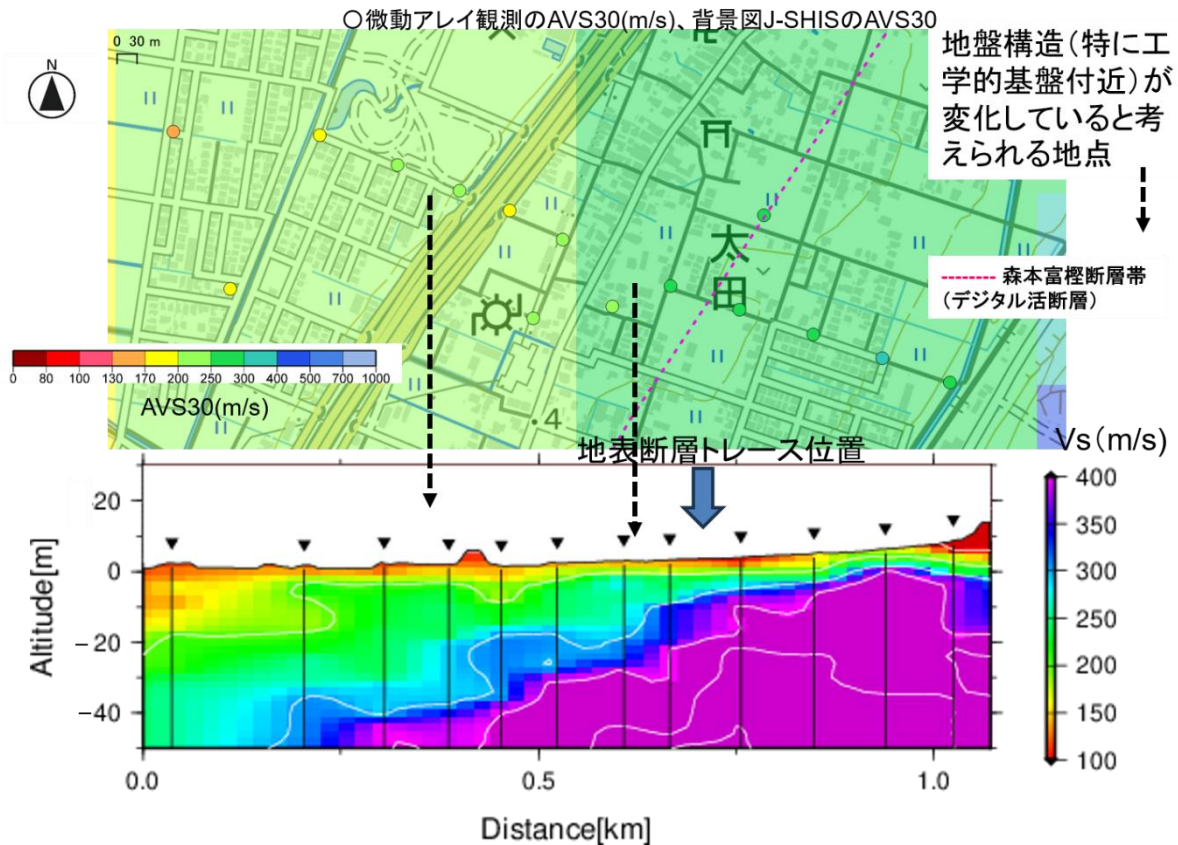


図 40 測線 (R6-3) における小アレイ観測地点と S 波速度構造断面図

図 41 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、 $V_{s300}$  が出現する上面深度を赤点線で示した。この図に示した  $V_{s300}$  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。 $V_{s300}$  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 3 m 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 3 m 程度、津幡駅の南西側では深さ 70 m 以上と極めて深くなっている。図 34 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囲に分布している事が確認できる。

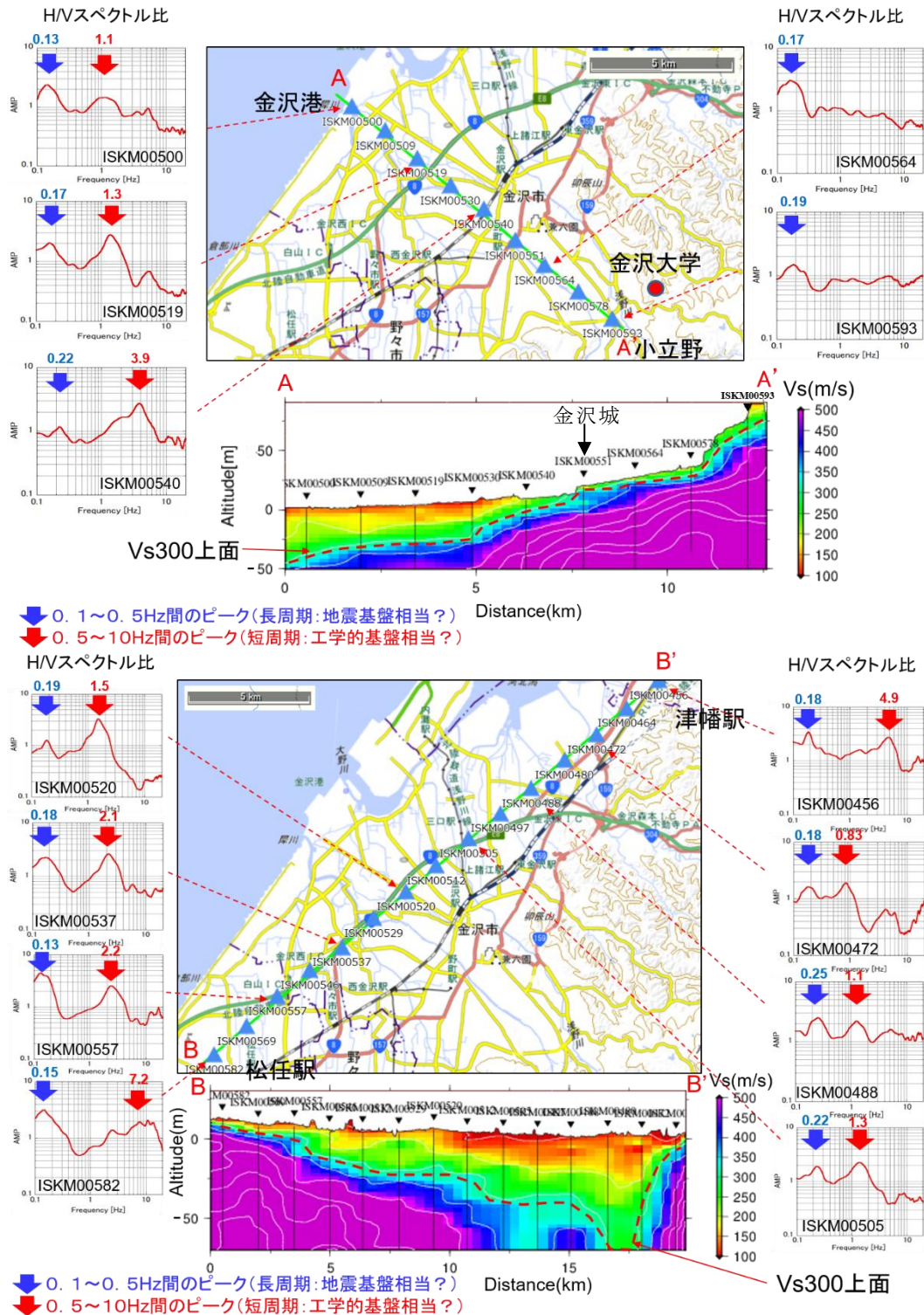


図 41 金沢市周辺の小アレイ探査結果における S 波速度構造断面図と H/V スペクトル比

小アレイ探査の解析結果について、AVS30（深さ 30m までの平均 S 波速度。単位は m/s）と藤本・翠川 (2006) で計算される Vs400 からの最大速度増幅率の結果を図 42 および図 43 にそれぞれ示す。また、参考までに図 44 には AVS20 および AVS10 も示す。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 40 m、AVS20 は 26 m、AVS10 は

13 m にそれぞれ対応)、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 結果をそれぞれ足し合わせて平均したものである。

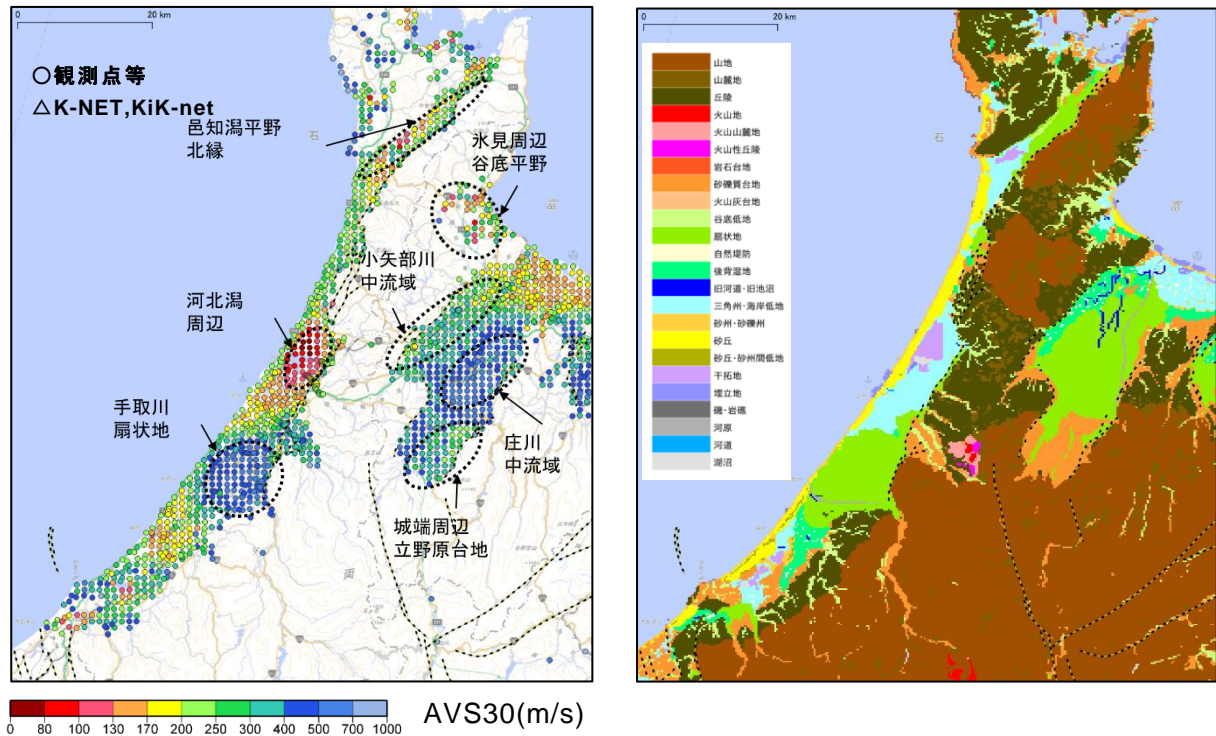


図 42 小アレイ探査結果の AVS30(m/s) の分布 (左図) と J-SHIS 微地形区分 (右図)

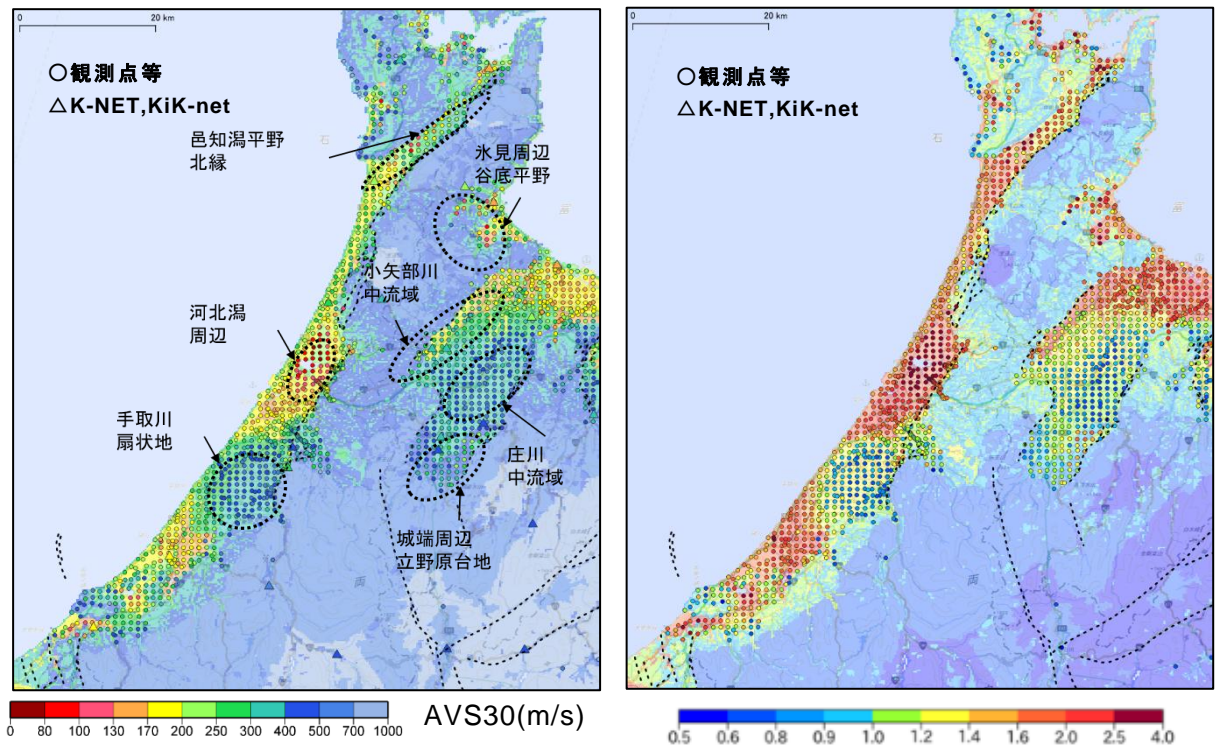


図 43 小アレイ探査結果と J-SHIS の AVS30(m/s) の比較図 (左図) と小アレイ探査結果と J-SHIS の最大速度増幅率 ( $V_{s400}$ ) の比較図 (右図)

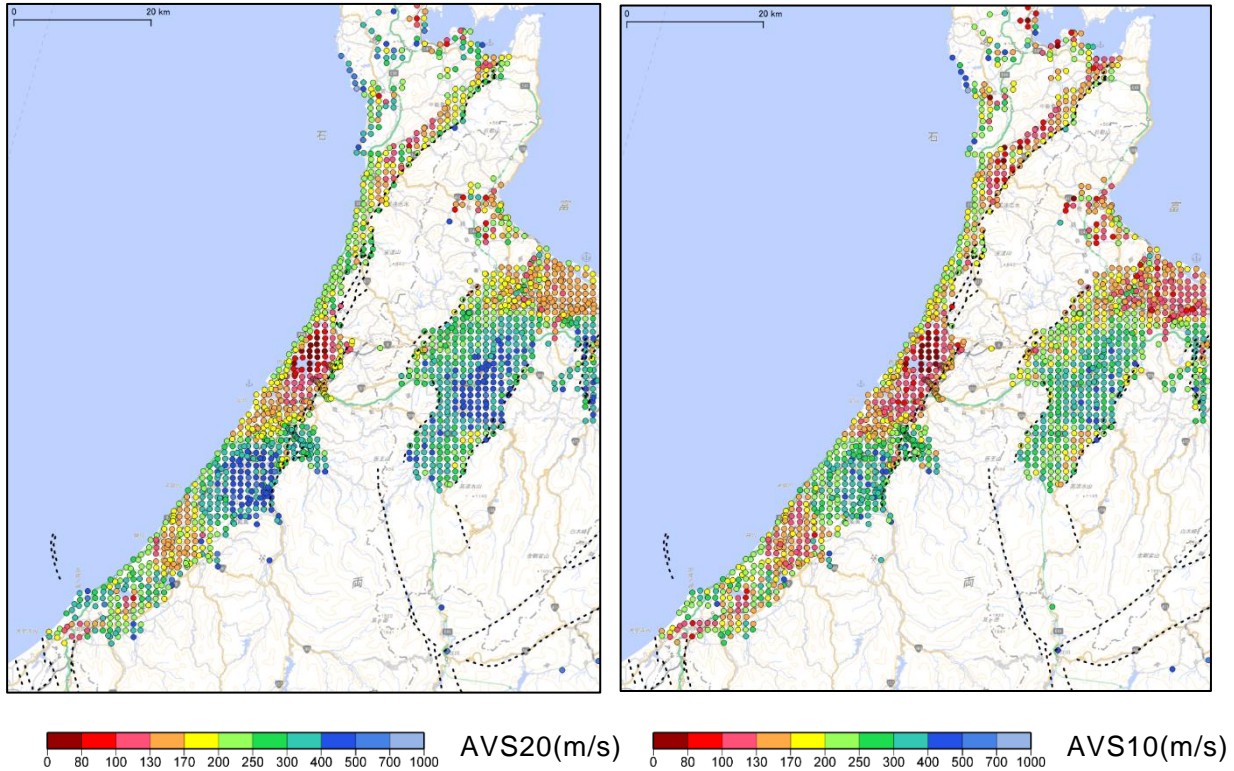


図 44 小アレイ探査結果の AVS20(m/s) (左図) と AVS10(m/s) (右図)

表 3 には、小アレイ探査結果による AVS30 と J-SHIS 微地形区分の AVS30 の比較一覧について石川県と富山県に分けたものを示す。

表 3 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 (県別)  
(平均値の赤字は J-SHIS の結果に対し 15%以上小さく、青字は 15%以上大きい)

石川県 1069 地点

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 ( $\pm 1 \sigma$ )	JSHIS微地形区分における AVS30(m/s)の平均値
7	岩石台地	5	805	757	345	351
8	砂礫質台地	153	401	359	158	407
10	谷底低地	83	356	334	147	349
11	扇状地	303	368	357	124	306
12	自然堤防	5	188	177	21	199
13	後背湿地	71	212	177	98	157
14	旧河道・旧池沼	3	204	188	40	192
15	三角州・海岸低地	254	181	173	144	171
16	砂州・砂礫州	44	235	229	61	251
17	砂丘	93	241	237	48	198
18	砂州・砂丘間低地	12	235	232	42	195
19	干拓地	33	127	95	87	205
20	埋立地	10	313	244	194	213

富山県 838地点

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 (± 1σ)	JSHIS微地形区分における AVS30(m/s)の平均値
7	岩石台地	—	—	—	—	—
8	砂礫質台地	185	391	382	99	407
10	谷底低地	21	241	215	123	349
11	扇状地	389	393	401	115	306
12	自然堤防	17	202	179	85	199
13	後背湿地	92	223	228	75	157
14	旧河道・旧池沼	8	306	288	91	192
15	三角州・海岸低地	91	171	170	27	171
16	砂州・砂礫州	18	201	200	19	251
17	砂丘	7	236	238	27	198
18	砂州・砂丘間低地	—	—	—	—	—
19	干拓地	5	205	193	35	205
20	埋立地	5	229	222	36	213

図 42～図 44 および表 3 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（地盤増幅率が大きく）なっている。また、邑智潟平野北縁の扇状地および谷底低地および氷見市内陸部の谷底低地で AVS30 が小さく、砺波平野の小矢部川（主に後背湿地）および庄川中流域（扇状地）では、全体的に AVS30 が大きくなる傾向が確認できる。さらに庄川の上流域の城端地域の砂礫質台地では AVS30 は全体的に 20%程度小さくなっている。表 2 に示す県別で微地形区分毎に平均すると、石川県では干拓地の AVS30 が小さく、扇状地や埋立地の AVS30 が大きい。富山県では、谷底低地や砂州・砂礫州で AVS30 は小さく、扇状地や後背湿地で AVS30 が大きい。

### 3) 浅部地盤構造モデルの作成

収集したボーリングデータを用いて、初期浅部地盤構造モデルを作成した。これ以降の浅部地盤構造モデルの作成方法は、先名・他(2023)による浅部・深部統合地盤構造モデル作成手法に基づいている。図 45 に、主に浅部地盤構造モデル作成に関するフローチャートを示した。まず、各メッシュでボーリングの有無を確認した。250m メッシュ毎のボーリングデータ数を図 46 に示す。メッシュ毎にメッシュ内にボーリングが 1 本あればそのボーリングを、複数あれば最も長いボーリングを 250 m メッシュにおける代表ボーリングとした。次に代表ボーリングの検層結果をもとに、土質区分ごとに N 値を整理した。ボーリングデータの補間方法を図 47 に示す。ボーリングが存在するメッシュについては、代表ボーリングをもとに土質、N 値モデルを作成した。ボーリングが存在しないメッシュについては、最も近い代表ボーリングを用いて土質、N 値モデルを作成した。補間の際には、微地形区分ごとに補間作業を行った。この作業に関しては、最初に、基盤（N 値 50 以上）に達している代表ボーリングのみを使用してモデル化を行った。次に、表層の浅部地盤モデル

の解像度向上のために、基盤に達していないボーリングデータを含むすべてのボーリングを使用してモデルを再作成した。

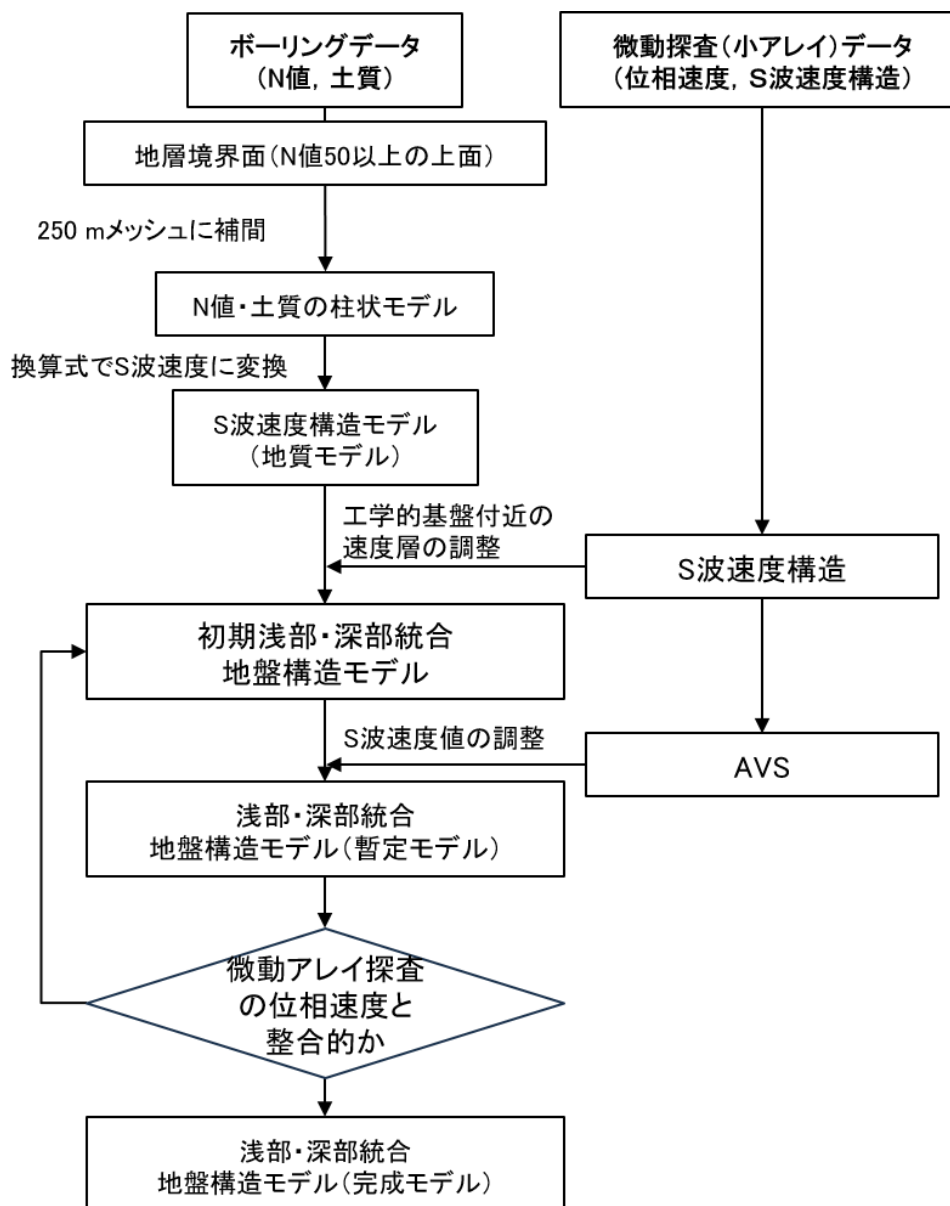


図 45 主に浅部地盤構造モデル作成に関するフローチャート

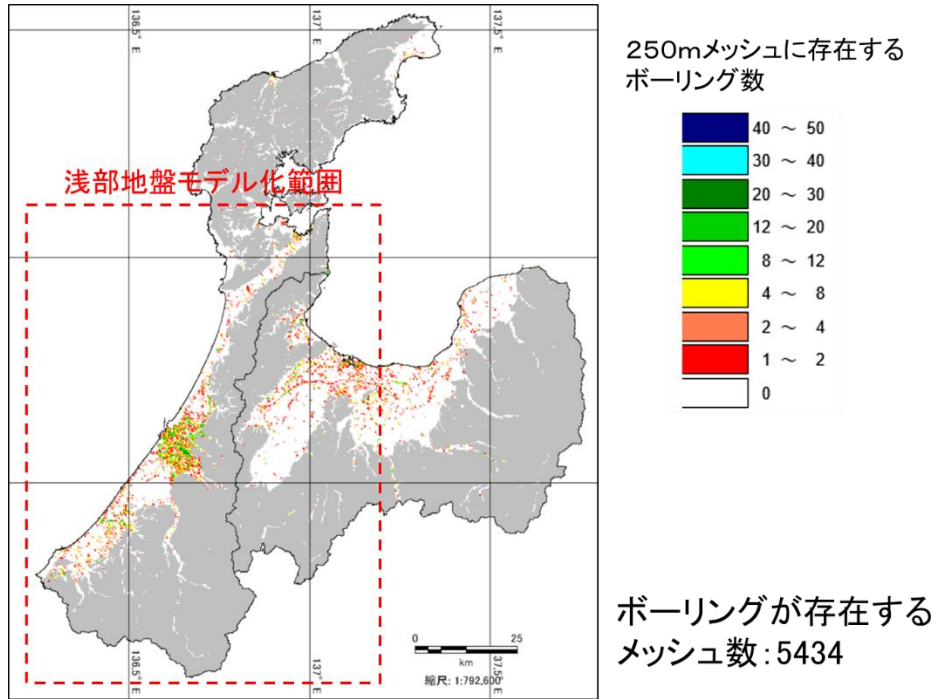


図 46 250 m メッシュ単位に存在するボーリング本数

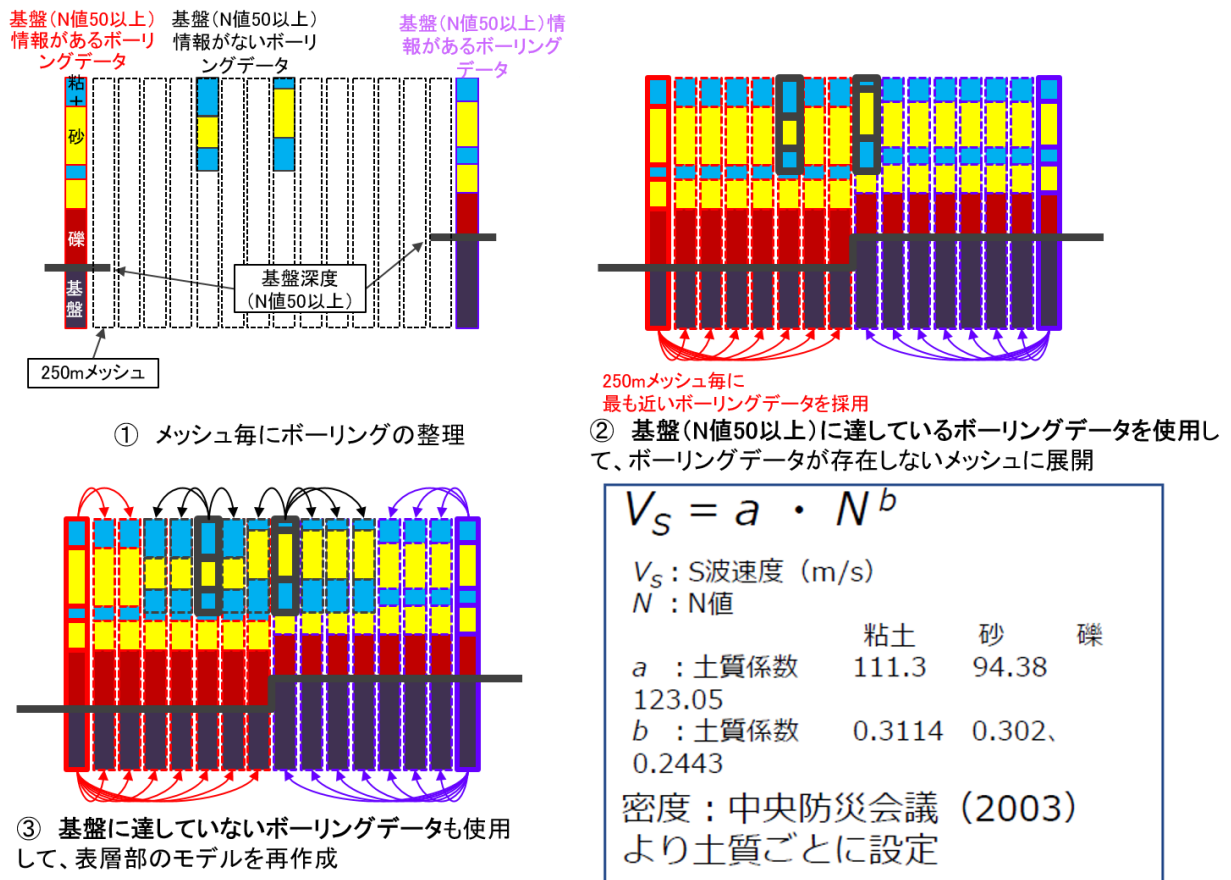


図 47 初期浅部地盤構造モデルの作成: ボーリングデータの補間方法

次に、ボーリングデータから作成した初期浅部地盤構造モデルの基底面深度と、微動探査のS波速度上面深度（Vs250 m/s層，Vs300 m/s層，Vs350 m/s層）をメッシュ毎に比較し、工学的基盤付近の速度構造の修正を行った。図48に初期浅部地盤構造モデルとサブテーマ3.2で作成した深部地盤構造モデルの接続方法を示す。初期浅部地盤構造モデルの基底面以浅についてはN値の換算式によってS波速度を算出しているが、N値とS波速度の関係はばらつきが大きいいため、微動アレイ探査（主に小アレイ探査）を用いて浅部地盤モデルのS波速度構造の調整を行った。浅部地盤モデルS波速度値の修正方法の概念図を図48に示す。初期浅部地盤構造モデルのS波速度構造から求めたAVSが、（小アレイ探査データから評価されるAVSと一致するように初期浅部地盤構造モデルのS波速度を調整（係数倍）する。初期浅部地盤構造モデルの基盤深度に応じて、調整に使用するAVSデータを変更する。小アレイ探査データから評価されるAVSについては、ここでは、AVS10～AVS30を用いて調整した（図49）。

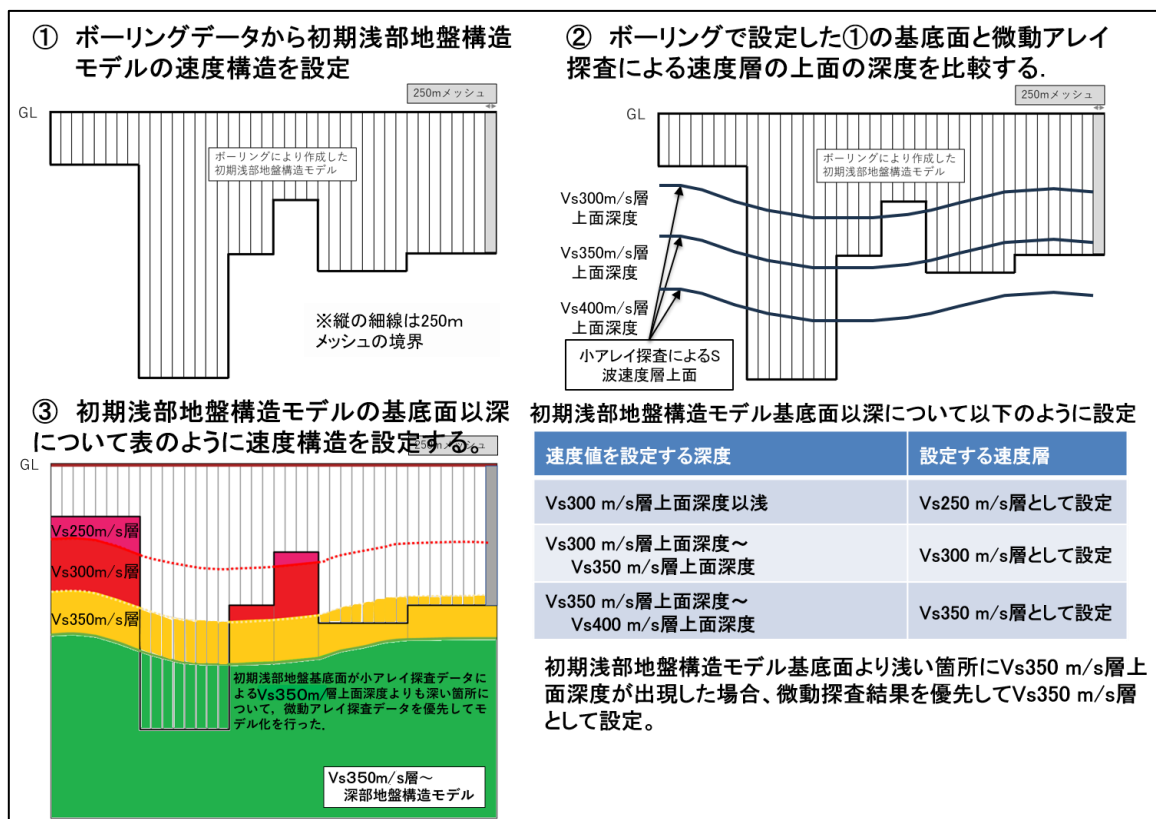


図48 初期浅部地盤モデルと深部地盤モデルの接続方法

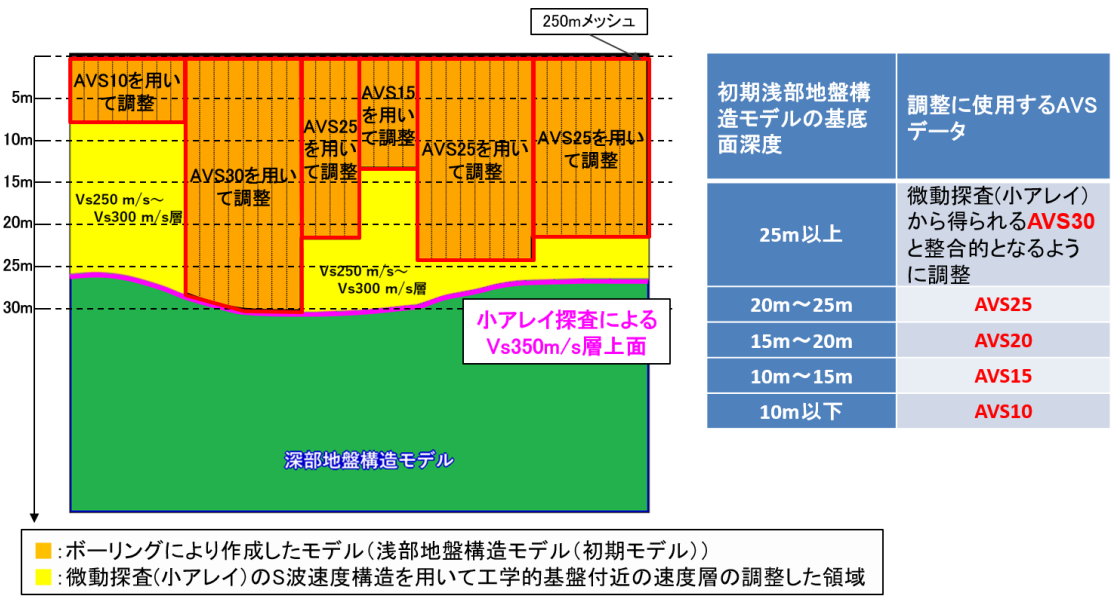


図 49 微動アレイ探査(小アレイ)によるS波速度構造の調整方法について

前述の調整は250 mメッシュ毎に行う。一方で、小アレイ探査は概ね約1km間隔で行われているため、小アレイ探査地点のAVSを面的に補間して250 mメッシュのデータを作成した。空間補間は微地形区分ごとに補間作業を行い、この補間されたAVS10～AVS30と調和的となるように、初期浅部地盤構造モデルのS波速度値を係数倍することにより、浅部地盤構造モデルを修正した。図50にボーリングデータのN値50(連続3回確認)上面深度と小アレイ探査のVs350上面深度とVs200上面深度をそれぞれ示す。N値50とVs350は比較的調和的であることから、工学的基盤層(深部と浅部の接続部)をVs350として調整した上で浅部地盤構造モデルの構築を行っている。

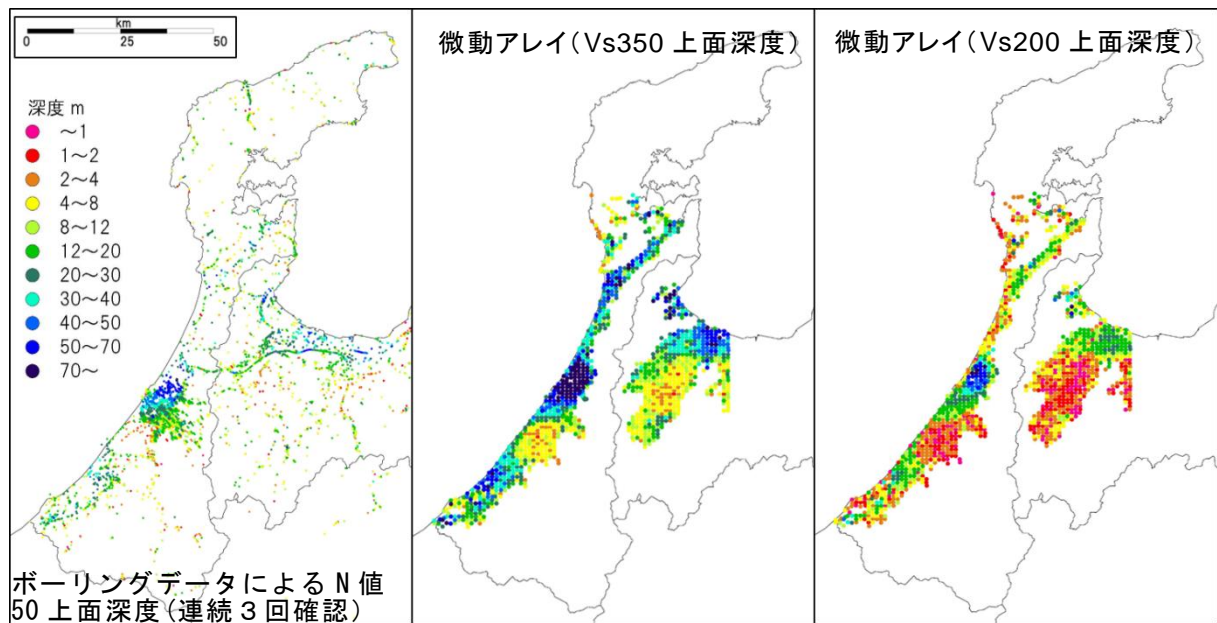


図 50 ボーリングデータのN値50(連続3回確認)上面深度と微動アレイ探査(小アレイ)のVs350上面深度とVs200上面深度の比較

作成した浅部地盤構造モデルを地域毎に図 51～図 57 に示す。最も工学的基盤相当層 (Vs350)が深いのは、図 51 に示す河北潟干拓地であり、Vs350 上面深度が最深部で 100 m 程度となっている。また地表から深さ 20 m 程度まで、Vs100 未満の軟弱層が広域で確認出来る。図 52 に示す金沢市中心部は海側の三角州・海岸低地から山側の砂礫質台地にかけて、Vs350 上面深度が深さ 30 m から 10 m 程度まで浅くなっている。一方で、図 53 に示す手取川扇状地では、Vs350 上面深度が概ね深さ 5 m 程度と浅く、地表付近でも Vs200 以上となっている。図 54 および図 55 に示す羽咋市や七尾市では、海岸に近い砂丘、埋立地、砂州よりも、少し内陸に入った三角州・海岸低地で Vs350 上面が 50 m 以上と深くなっている。羽咋市の断面では邑知潟 (干拓地) の近傍で Vs350 が深くなっていることが分かる。図 56 の砺波市周辺は扇状地であり、手取川扇状地同様に比較的 Vs350 上面深度は 10～15 m と浅く、地表付近でも概ね Vs200 以上となっている。図 57 に示す高岡・射水市の低地部は、Vs350 上面が概ね 40～50 m 程度と比較的深いが、Vs120 未満の軟弱層は少ない。

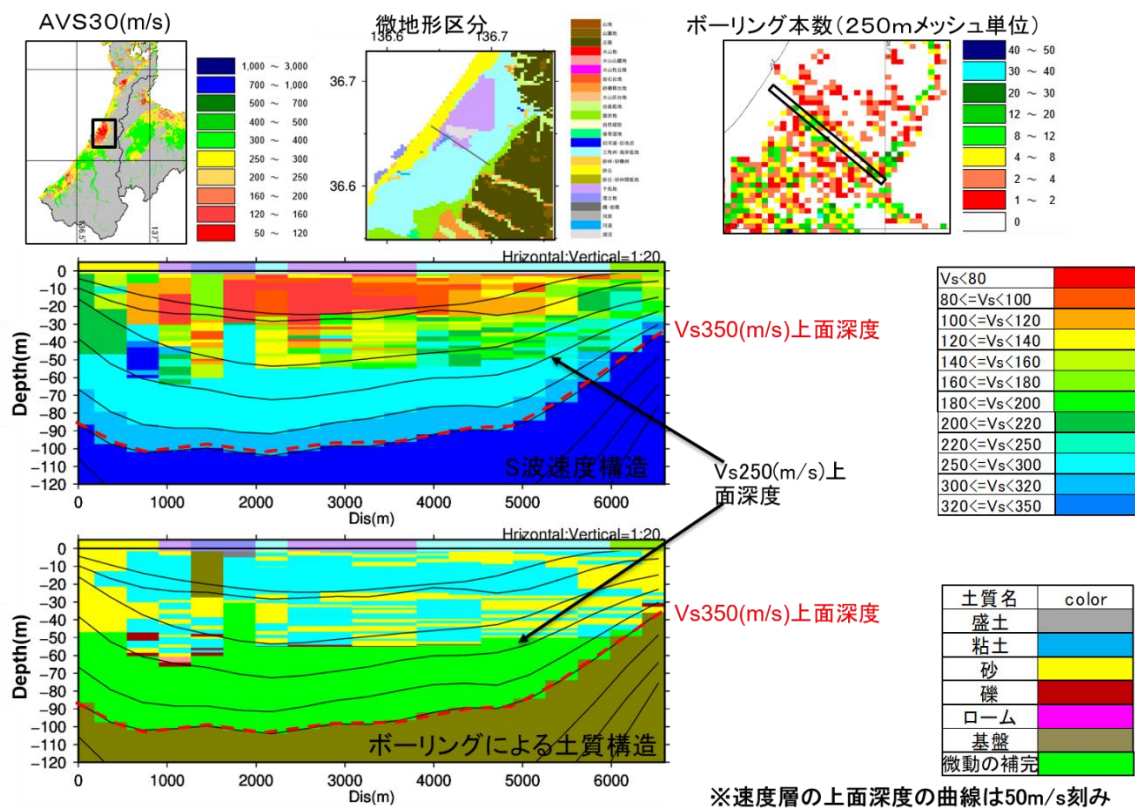


図 51 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図  
(石川県：河北潟周辺)

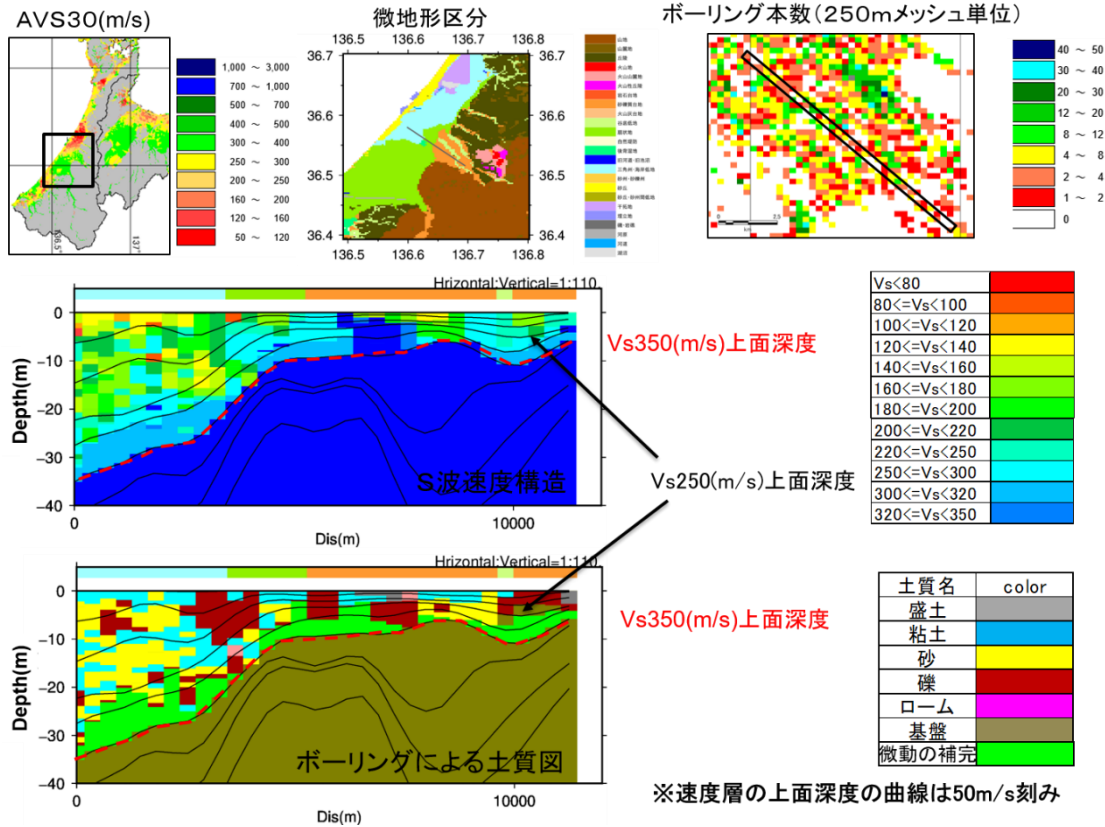


図 52 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図 (石川県：金沢市中心部)

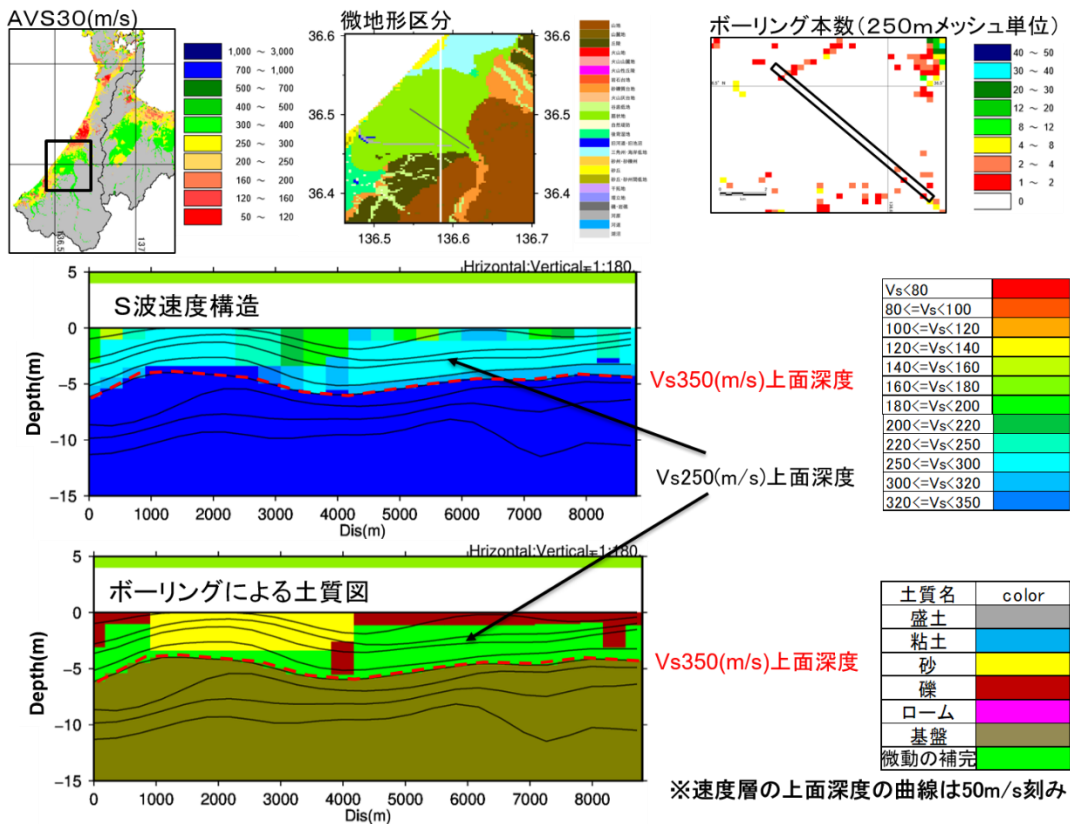


図 53 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図 (石川県：手取川扇状地)

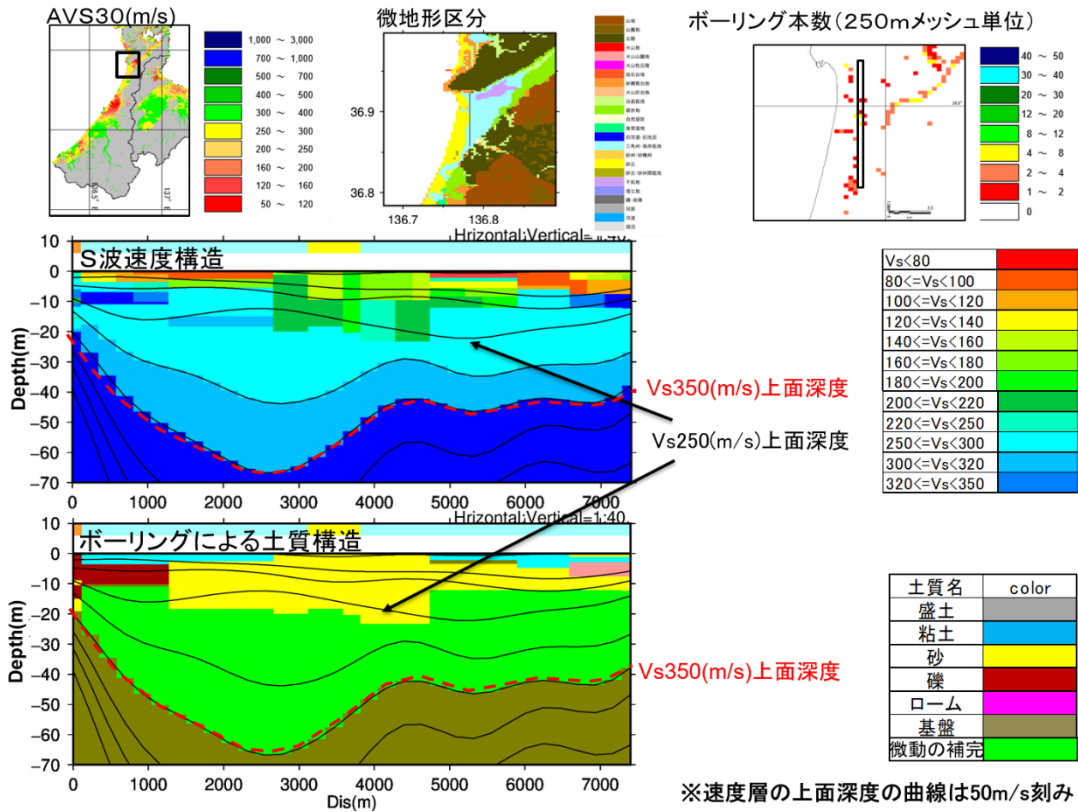


図 54 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図 (石川県: 羽咋市周辺)

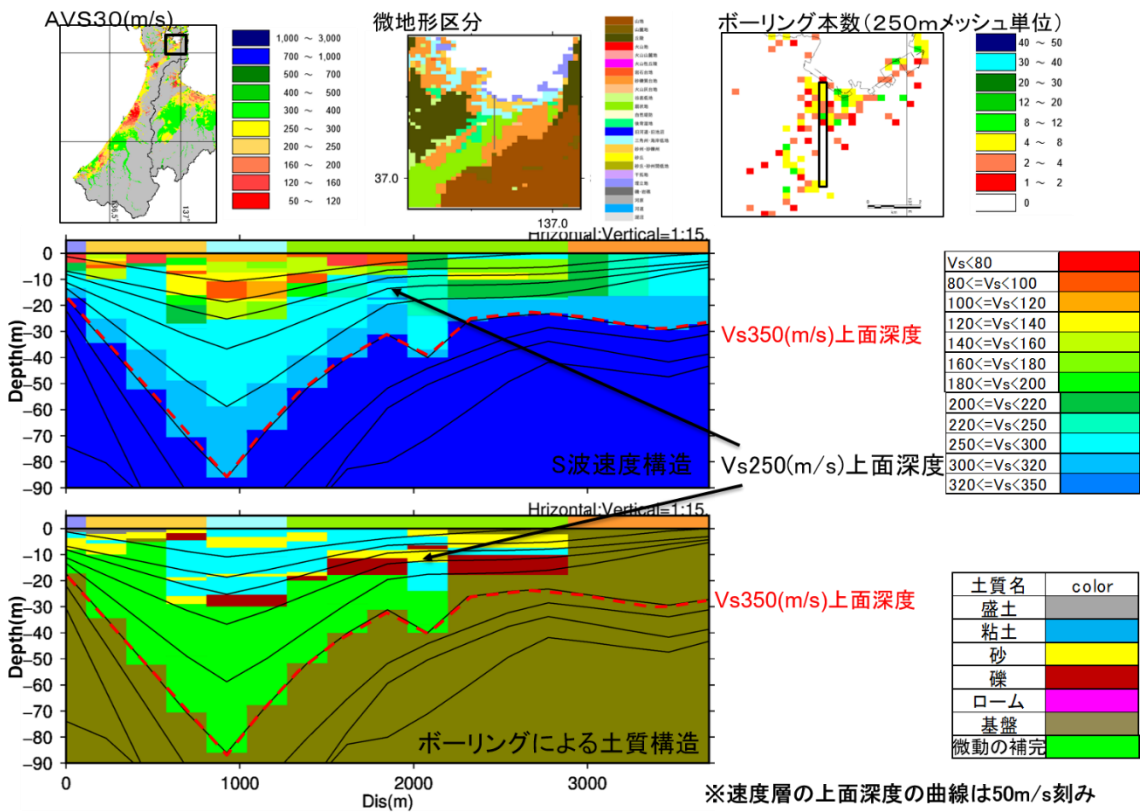


図 55 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図 (石川県: 七尾市周辺)

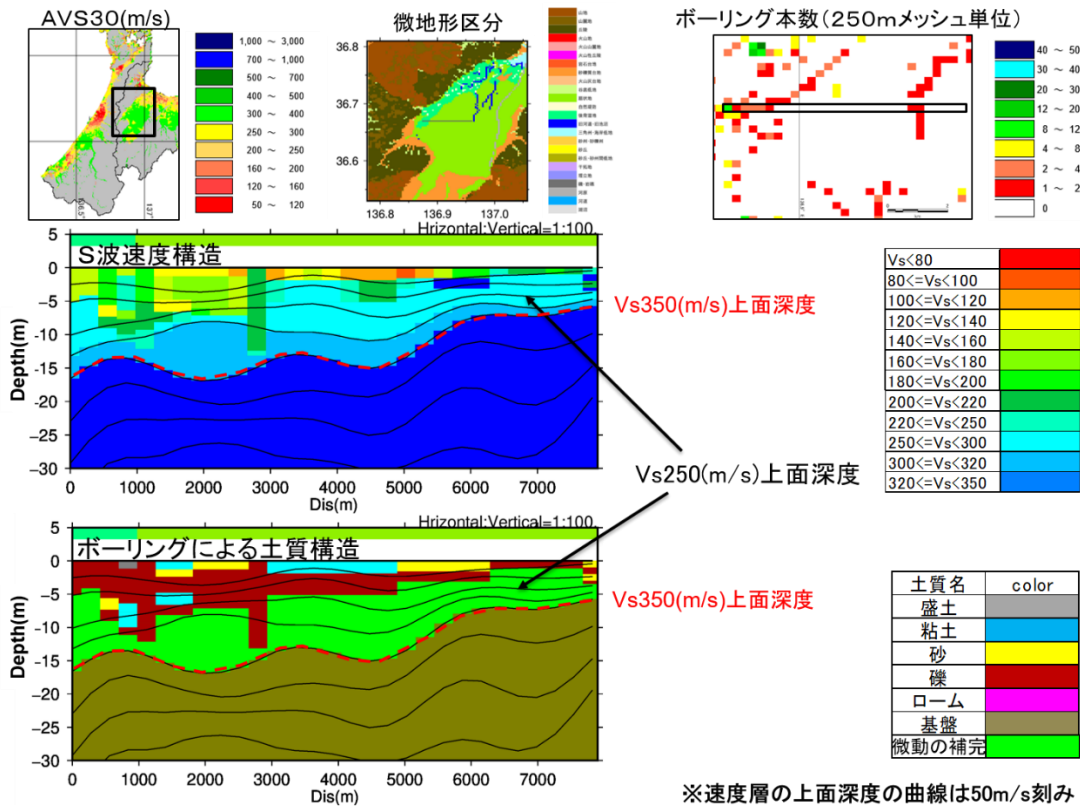


図 56 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図 (富山県：砺波市周辺)

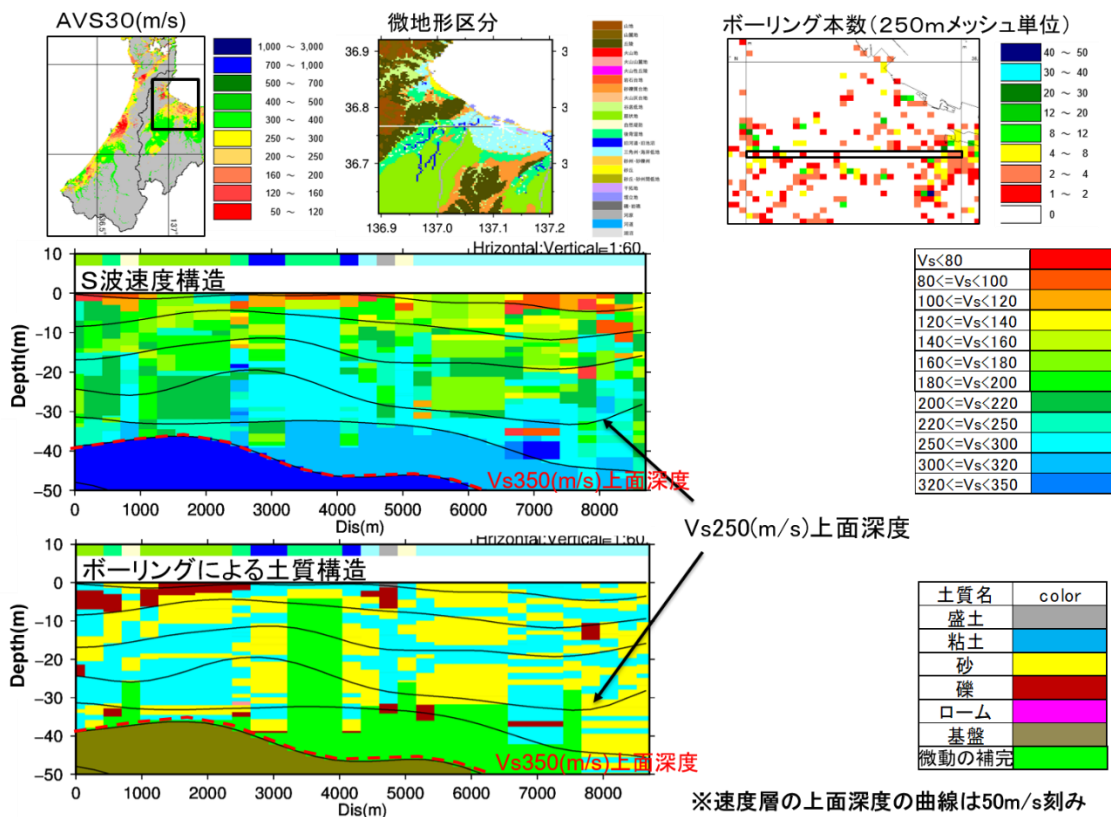


図 57 作成した浅部地盤構造モデルの土質および S 波速度構造断面図 (富山県：高岡・射水市周辺)

なお、微地形区分1～6の山地系微地形区分は、図58に示すように、シームレス地質図に対応するK-NET、KiK-net観測地点のPS検層を用いた。地質図の凡例毎にPS検層結果を平均処理することでS波速度構造を作成した。図59にK-NET、KiK-netのボーリングデータと各々のカテゴリーのAVS30を示す。低地と山地との接続方法については、小アレイで設定した工学的基盤相当層のVs350上面深度を基準として、Vs350より高速度の層で層厚が0mでない層を浅部地盤の基底面（工学的基盤上面）とした。模式図を図60に示す。

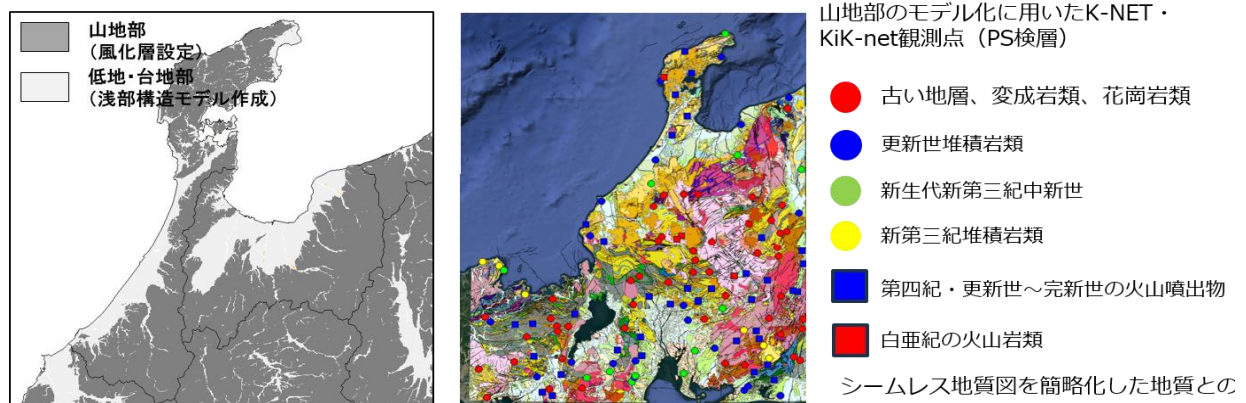
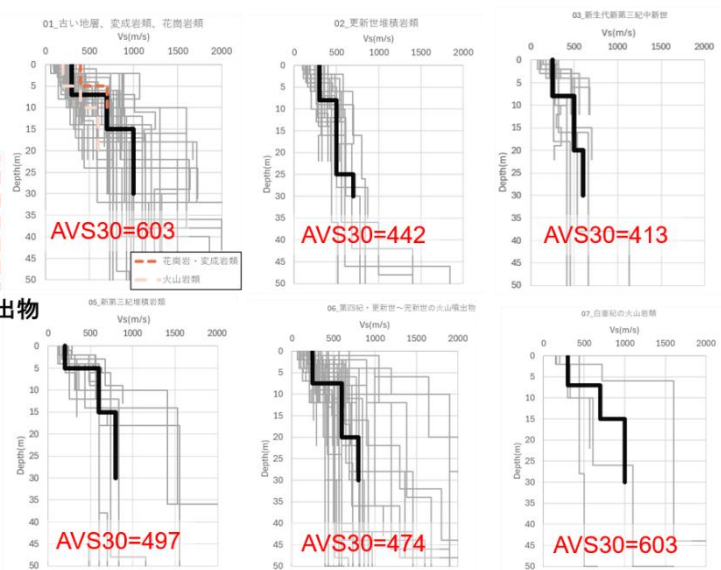
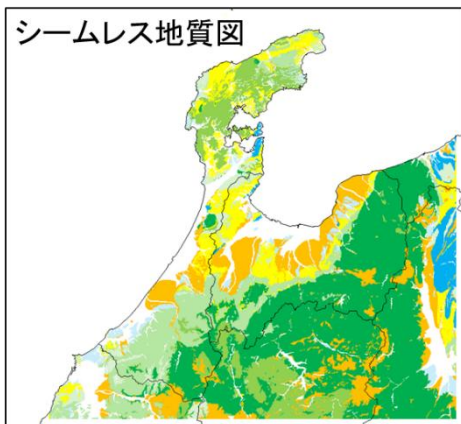


図58 山地部の浅部地盤モデルの設定（使用するPS検層の選択地点）

シームレス地質図凡例

- 完新世・沖積層相当
- 01\_古い地層・変成岩・花崗岩類
- 02\_更新世堆積岩類
- 03\_新第三紀中新世
- 新第三紀中新世メッシニアン期
- 05\_新第三紀堆積岩類
- 新第三紀堆積岩類・陸成層
- 06\_第4紀・更新世～完新世の火山噴出物
- 07\_白亜紀の火山岩類

シームレス地質図



地質	Vs(m/s)	深度(m)	Vs(m/s)	深度(m)	Vs(m/s)	深度(m)
01_古い地層・変成岩類・花崗岩類	300	0～7	700	7～15	1000	15～30
07_白亜紀の火山岩類	300	0～7	700	7～15	1000	15～30
02_更新世堆積岩類	300	0～8	500	8～25	700	25～30
03_新生代新第三紀中新世 新第三紀中新世メッシニアン期	250	0～8	500	8～20	600	20～30
05_新第三紀堆積岩類 新第三紀堆積岩類・陸成層	200	0～5	600	5～15	800	15～30
06_第4紀・更新世～完新世の火山噴出物	250	0～7.5	600	7.5～20	800	20～30

図59 山地部の浅部地盤構造モデルの設定（AVS30）

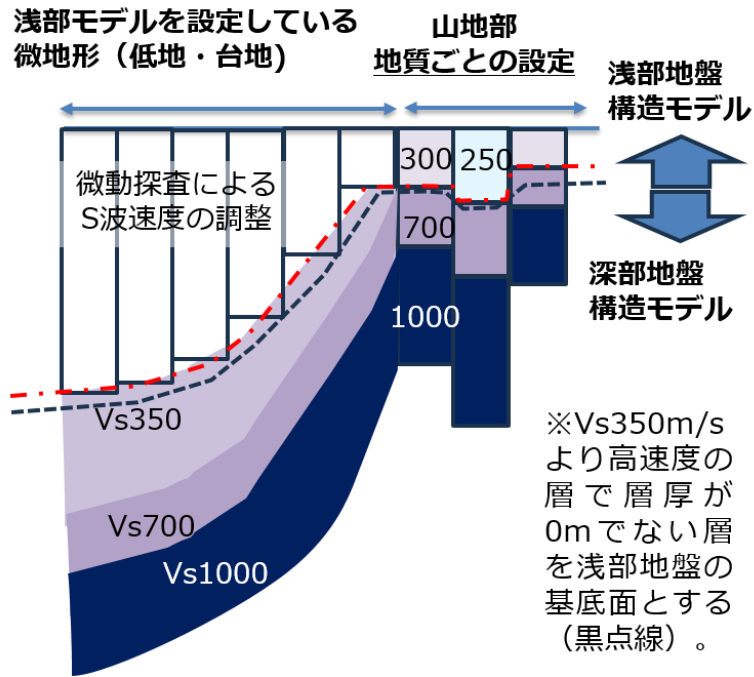


図 60 浅部地盤構造モデルの模式図（低地・台地と山地の境界の接続）

図 61 に最終的に作成された浅部・深部統合地盤構造モデル（SD モデル）の AVS30（左）と既往の J-SHIS（微地形区分）による AVS30（中）およびその比を取った図（右）をそれぞれ示す。J-SHIS の結果と比べると、大まかな特徴として、手取川扇状地および庄川扇状地では AVS30 は SD モデルの方が大きく、河北潟周辺は SD モデルの方が小さい。砂丘は総じて AVS30 が大きい。氷見の内陸部や邑知潟北東部では、AVS30 が小さいことが分かる。また、山地は全体的に小さく設定されていることが分かる。PS 検層の表層の風化部や表土の影響が考えられる。参考までに、図 62 には SD モデルの工学的基盤の速度構造を考慮（ $AVS30_{EB}$ ）した最大速度増幅率（藤本・翠川(2006)）を示す。

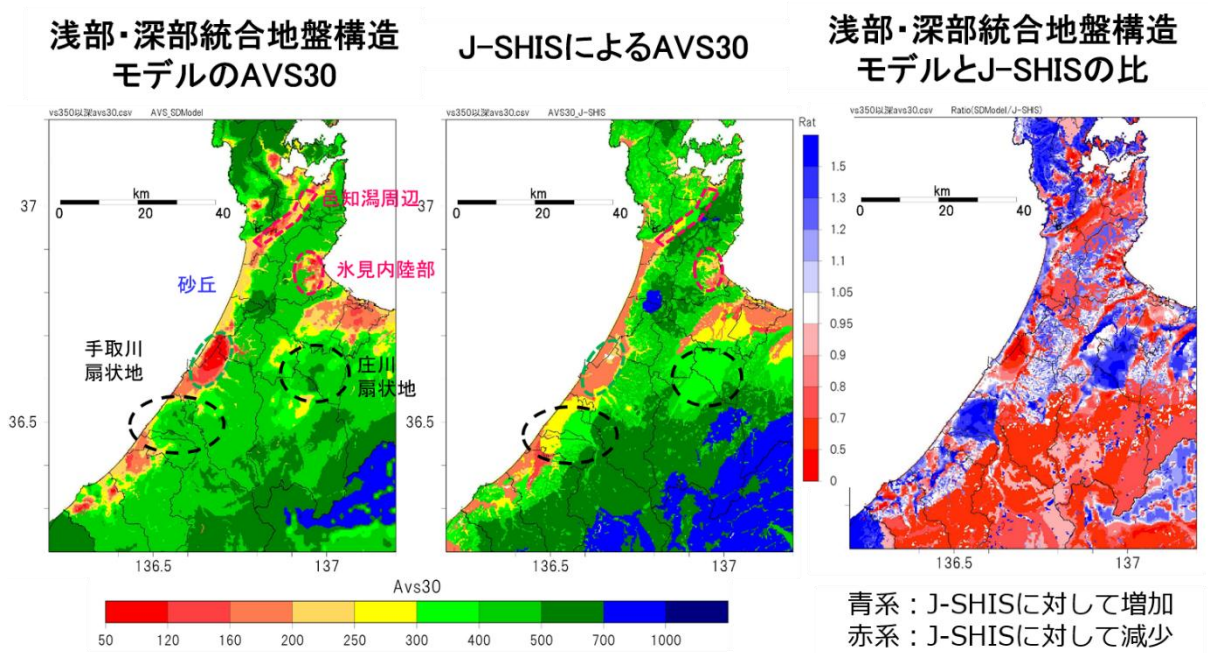


図 61 浅部・深部統合地盤構造モデル（SD モデル）による AVS30 の結果の比較  
 （左：SD モデルの AVS30、中：J-SHIS の AVS30、右：SD モデル/J-SHIS）

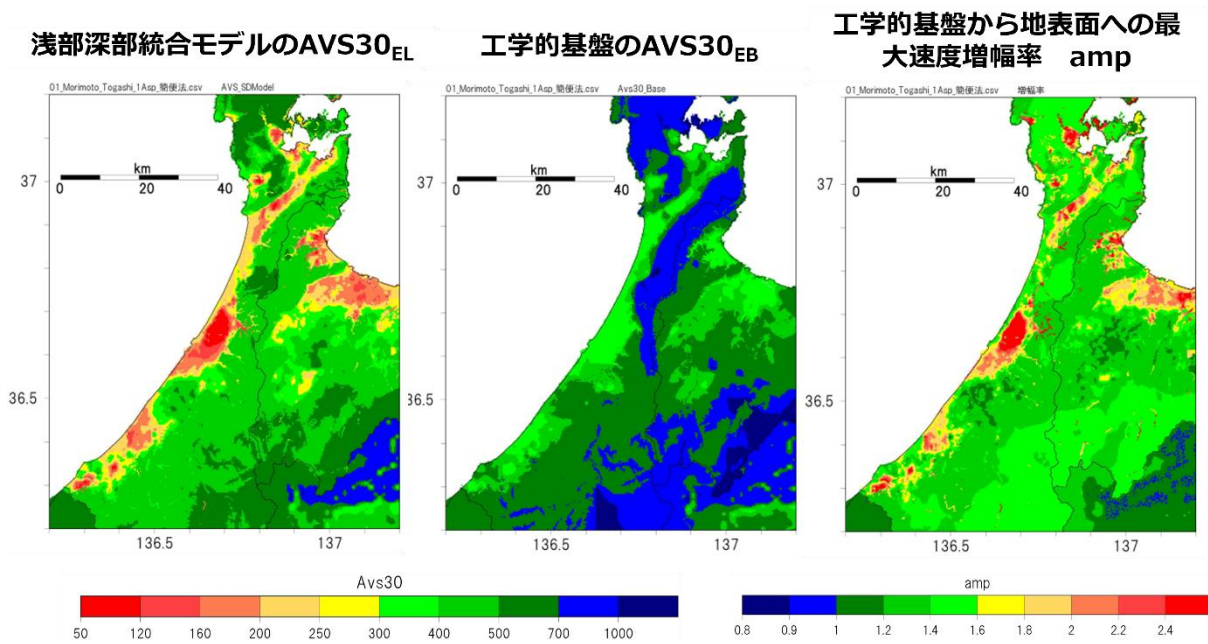
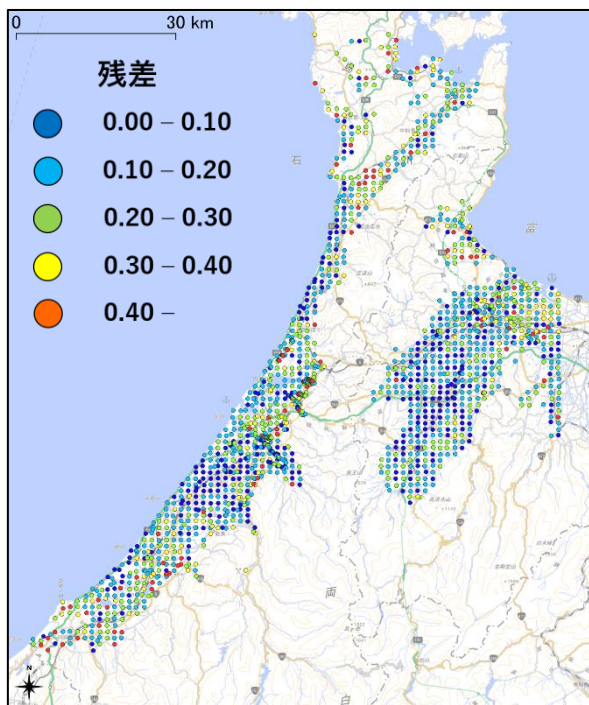


図 62 SD モデルの地表からの AVS30<sub>EL</sub>（左）と工学的基盤を地表とした AVS30<sub>EB</sub>（中）および AVS30<sub>EB</sub> を考慮して AVS30<sub>EL</sub> で計算した最大速度増幅率（右）

#### 4) 浅部地盤構造モデルの精度検証

モデルの精度の検証方法の1つとして、図 63 に示す指標に基づき、観測位相速度と作成した地盤モデルによる理論位相速度の合致度を評価した。

残差の計算結果については、右図の S 波速度構造に示す。合致度について目視による評価を行うと、概ね残差 0.3 未満の地点が観測位相速度と調和的であったため、0.3 未満を数えると全体の 90% 近くを占めることが分かった。拡大した金沢市周辺、羽咋市周辺、七尾市周辺、高岡・射水市周辺の観測および作成した浅部地盤構造モデルの理論位相速度の比較図を図 64～図 67 にそれぞれ示す。残差が 0.3 以上の大きい（合致度が悪い）地点は、山地との境界周辺に多く分布しており、浅部地盤構造が 250 m メッシュ内で急変する地点であると考えられる。このような場所（例えば図 64 の R5KA00020 地点）においては 250 m メッシュの解像度では精度を上げることが難しく、精度を向上させるには、より稠密な観測および、より詳細なメッシュサイズでモデル化を行う必要がある。



$$misfit = 1/N \sum_{j=1}^N \left[ \frac{C^o(f_j) - C^c(f_j)}{C^o(f_j)} \right]^2$$

$N$  : 位相速度のデータ数

$C^o(f_j)$  : 周波数  $f_j$  における観測位相速度

$C^c(f_j)$  : 周波数  $f_j$  における計算位相速度

例

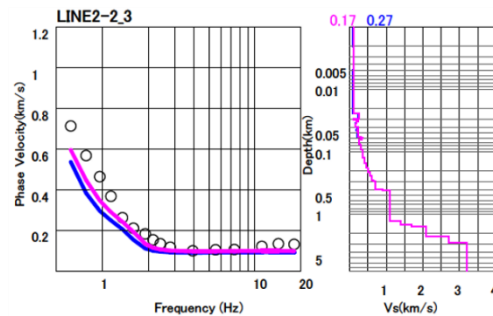
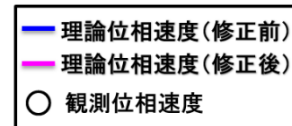


図 63 小アレイ探査に基づくモデルの検証方法・例（右）と結果（左）

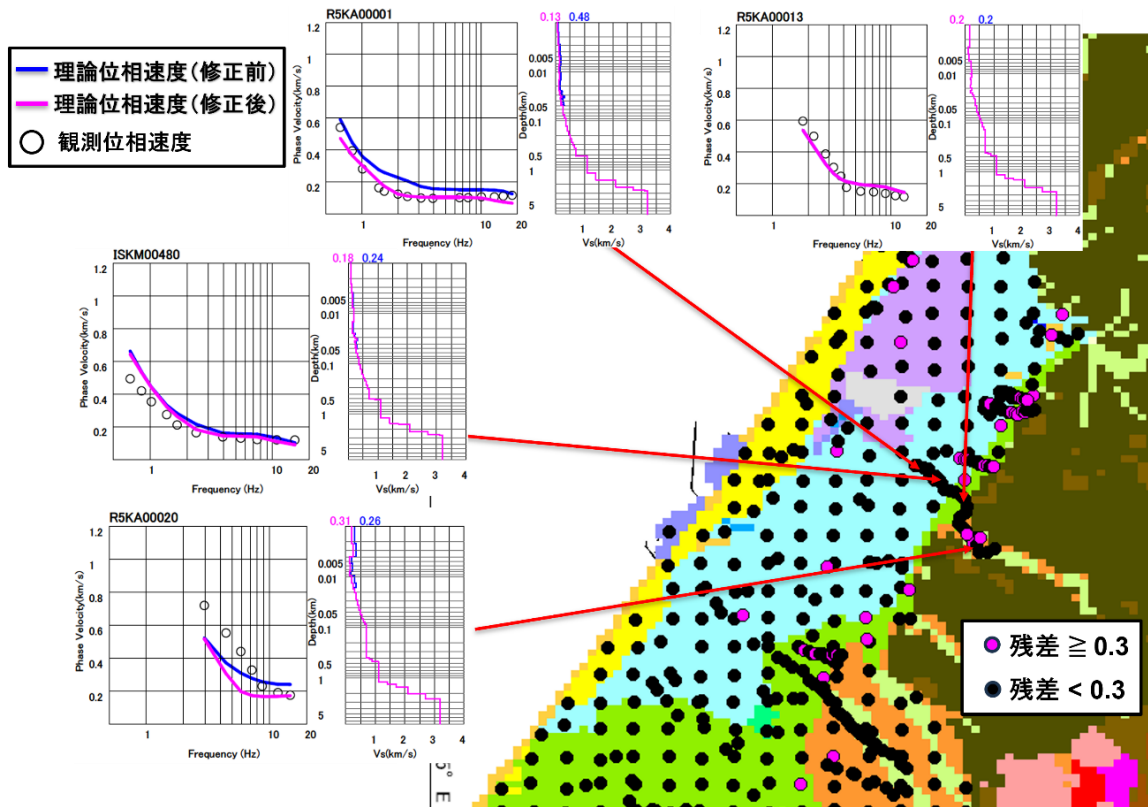


図 64 観測位相速度とモデルの理論位相速度（修正前・修正後）の比較（金沢市周辺）

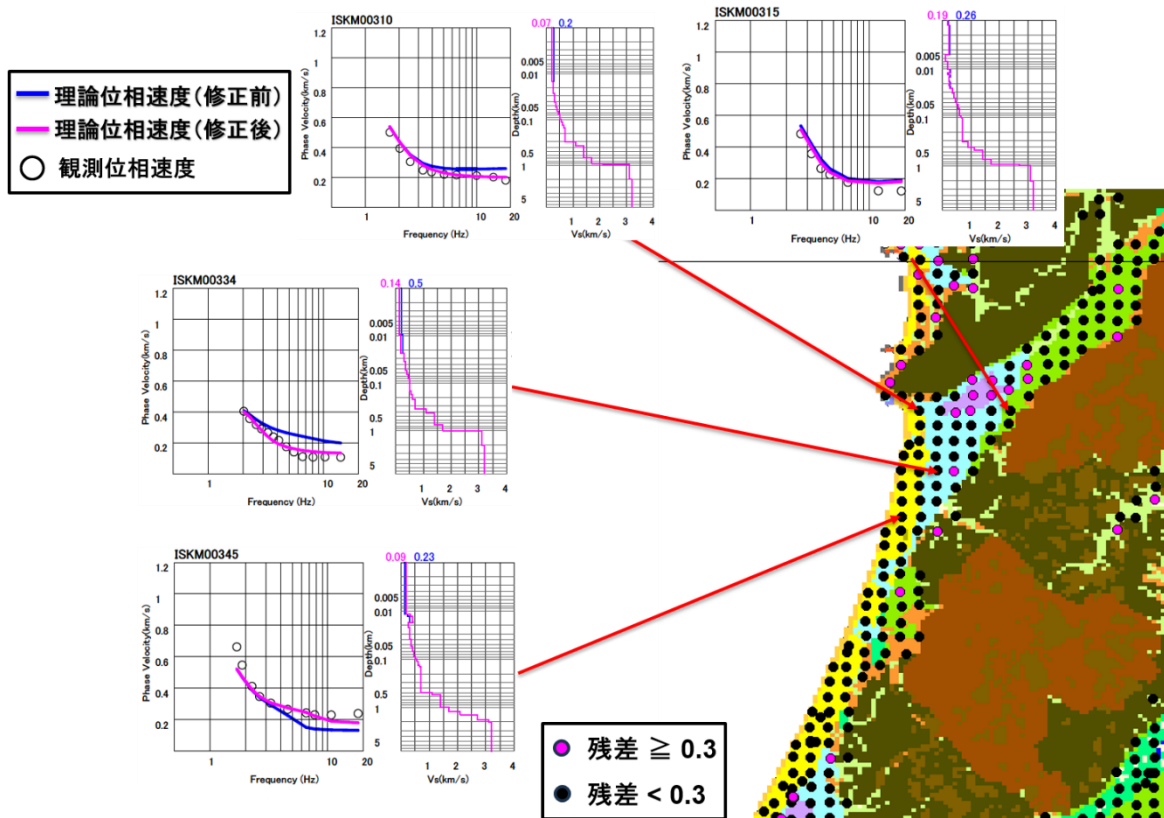


図 65 観測位相速度とモデルの理論位相速度（修正前・修正後）の比較（羽咋市周辺）

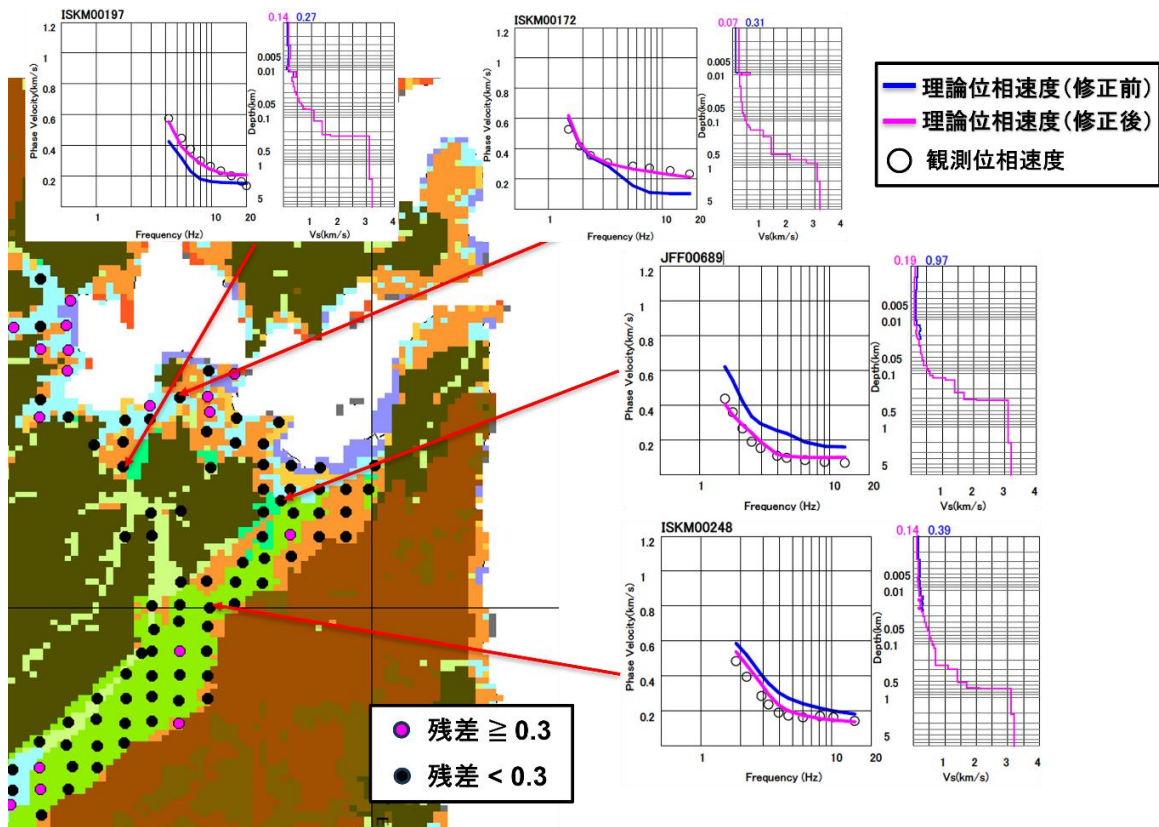


図 66 観測位相速度とモデルの理論位相速度（修正前・修正後）の比較  
（七尾市周辺）

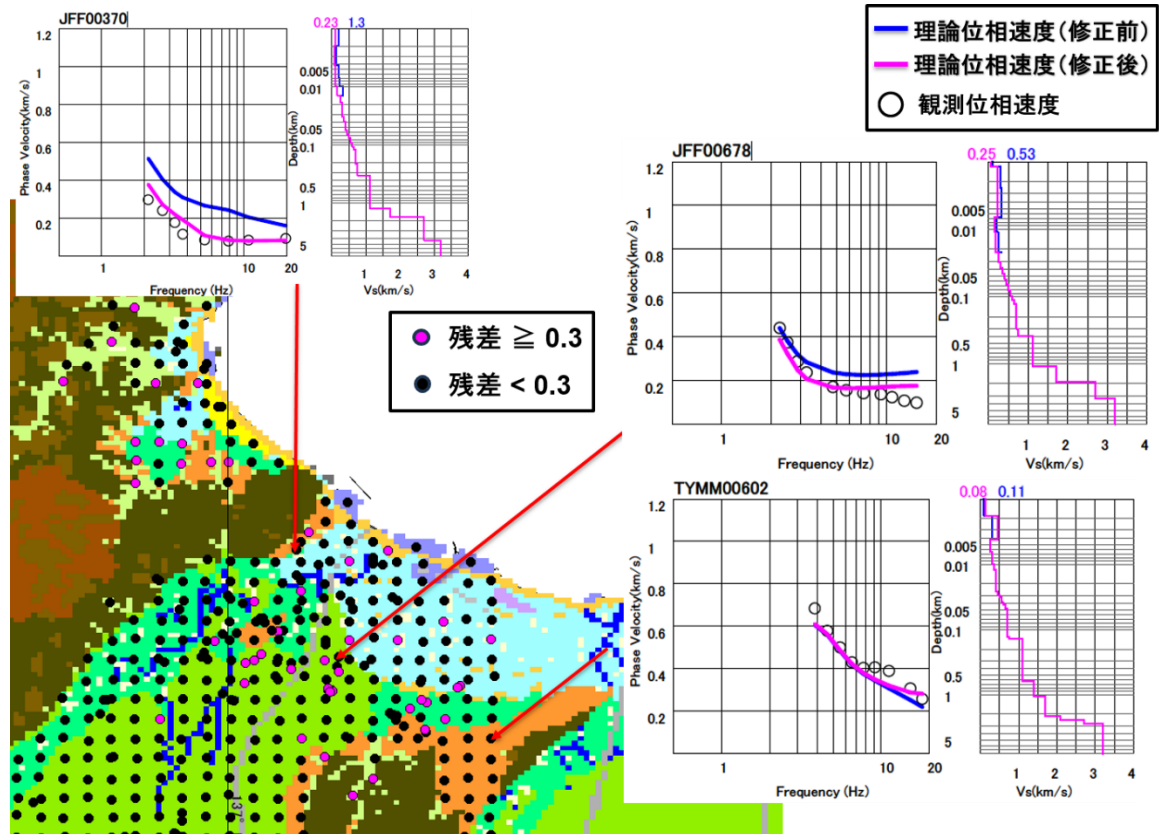


図 67 観測位相速度とモデルの理論位相速度（修正前・修正後）の比較  
（高岡市・射水市周辺）

#### (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、当該断層帯を中心とした石川県中南部・富山県西部を中心とした地域において、約2000地点の小アレイ探査と解析を実施した。また、ボーリングデータ等の既往の地質情報を可能な限り収集・整理し、サブテーマ3.2と協働で浅部・深部統合地盤構造モデル構築を行った。本検討によって作成された浅部地盤構造モデルは、小アレイ探査の位相速度およびH/Vスペクトル比等の結果と調和的であり、これまでの地盤モデルと比べてより最適な浅部地盤構造モデルが構築出来たものとする。また、森本・富樫断層帯の近傍において、測線として稠密に展開した小アレイ探査によって得られるS波速度構造断面より、より詳細な断層位置や地質構造を推定することができた。

主として浅部地盤の影響の評価方法として、微地形区分などとAVS30、AVS30と増幅率との経験的關係式より、微地形区分に基づく浅部地盤の地震動増幅率と、今回構築した浅部地盤S波速度構造に基づく地震動増幅率は、金沢市平野部北部の河北潟周辺等では後者がより大きくなった一方、手取川下流部の扇状地においては、後者が小さくなった。現地での多数の微動探査やボーリング資料の活用により構築された浅部地盤構造モデルの有効性が示された。サブテーマ3.2においては、強震観測点サイトにおける浅部・深部地盤構造モデルの地震基盤より上の理論増幅率と、観測から得られているサイト増幅特性の比較を行い、構築された浅部・深部統合地盤構造モデルのパフォーマンスチェックを行っている。

一方で、作成された250mメッシュ浅部地盤構造モデルには、微動観測結果の位相速度と比較して乖離が大きい（精度が十分でない）メッシュも存在する。そのような場所の多くは、メッシュ内で地盤構造が大きく変化するような地形の変化点（不整形地盤等）であることが分かった。今後において、そのような場所でモデルの精度を向上させるためには、より稠密な観測を行い、より詳細なメッシュサイズ（例えば50mメッシュ）での検討を行う必要がある。

#### (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., 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.
- Cho, I., and T. Iwata, A Bayesian approach to microtremor array methods for estimating shallow S wave velocity structures: identifying structural singularities, *J. geophys. Res.*, 124, 527-553, 2019.
- Cho, I., T. Tada, Y. Shinozaki, A generic formulation for microtremor exploration

methods using three-component records from a circular array, *Geophys. J. Int.*, 165, 236-258, 2006.

藤本一雄・翠川三郎，近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度の関係，*日本地震工学会論文集*，第 6 巻，第 1 号，2006.

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., C. J. Poran, K. Yamagata, and J. A. Rodriguez, Soil profiling by spectral analysis of surface waves, *Proc. 2nd International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earth-quake Engineering and Soil Dynamics*, vol. 2, 1429-1434, 1991.

先名重樹・藤原広行・前田宜浩・森川信之・岩城麻子・河合伸一・谷田貝淳・佐藤将・鈴木晴彦・稲垣賢亮・松山尚典：強震動評価のための浅部・深部統合地盤構造モデルの構築，*防災科学技術研究所研究資料* 第 498 号，2023.