

2.3. 物理探査による地下構造の検討

2.3.1. 地中レーダ探査の原理

2.3.1.1. 概要

地中レーダ探査は、送信アンテナから地中に照射した電磁波が地中で反射して受信アンテナで捉えるまでの伝播時間を計測し、地盤構造や埋設物の有無を画像化する非破壊探査法である。画像処理した断面に現れる反射形状のパターンから、空洞及び埋設物などの異質物の存在や地下構造の形状を推定することが出来る。

地中レーダ探査の概要を図 2.3.1 に示す。

なお、測定データは、1 ナノ秒*（10 億分の 1 秒； 1×10^{-9} 秒）と非常に速い速度で取得するため、人の歩行速度で探査した場合において、地下から反射したデータを取り逃がすことはない。

*：光は 1 ナノ秒の間に 29.9792458 センチメートル進む。

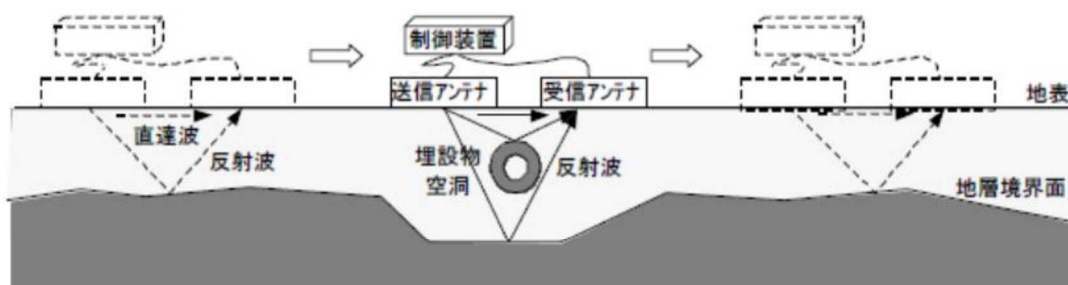


図 2.3.1 地中レーダ探査模式図

「物理探査適用の手引き」（2000）より引用

2.3.1.2. 測定原理

地中レーダ探査は、電波の波動性を利用し、地表部で発信した電磁パルスが地中の「電氣的性質が異なる物質同士の境界面」で反射する性質を利用した探査手法である。

(1) 反射画像

地中に向かって放射した電磁波は円錐形状に広がりながら伝搬する（図 2.3.2）。

送受信アンテナを次の探査箇所へ移動させるまで、少なくとも 2500～3000 回程度の電磁波送受信が完了する。この作業を複数回行って取得したデータを平均し、その箇所のデータとして表示する。

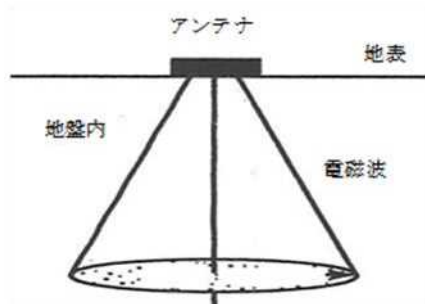


図 2.3.2 電磁波の放射範囲

「Ground-Penetrating Radar An Introduction for Archaeologists」（1997）に加筆

反射信号は実際には波形として磁気記録される。この波形記録を処理することにより画像記録として表示される。したがって、得られた反射画像は、物質そのものの形状を表しているものではなく、画像上では虚像として表示される（図 2.3.3）。

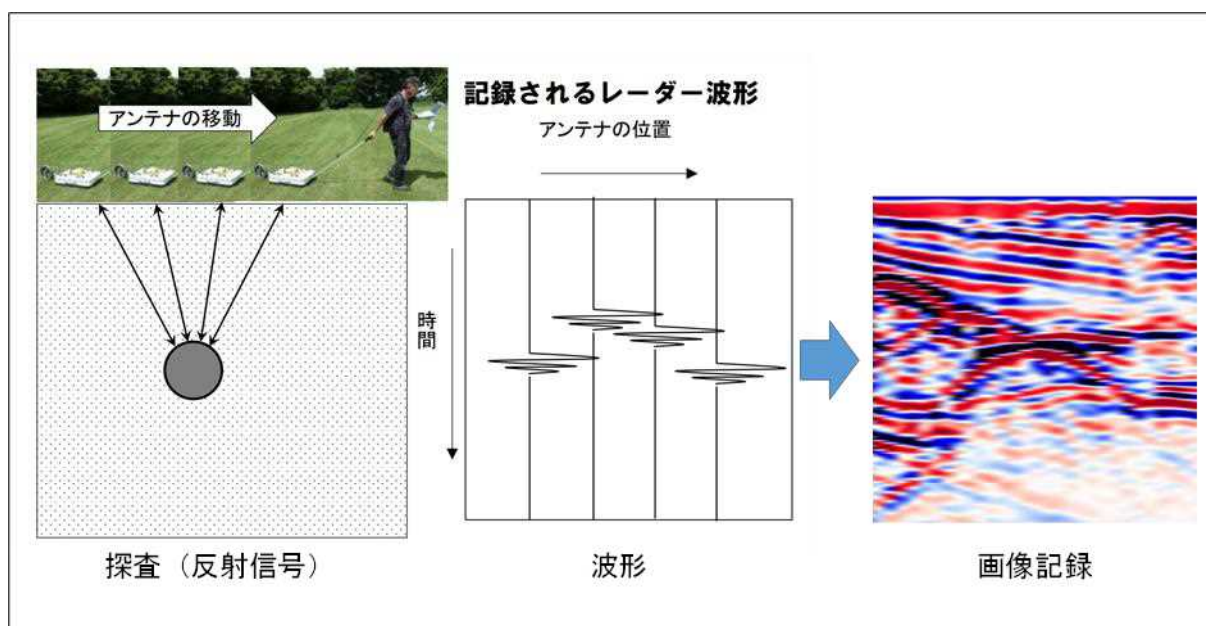


図 2.3.3 反射波の振幅

総務省「地中レーダー技術に関する調査検討会報告書」（2017）に加筆

反射走時 t は深度 h の地中に半径 r の球状の物質があり、アンテナがこの球体上を左から右へ通過するとき、地表の各点で得られるとして (式 2.3-1) で表される。ただし、 d は地表の各点におけるアンテナと地中の物質との水平距離を、 V は電磁波の地中での伝搬速度を表す。

$$t = 2 \cdot \frac{(h^2 + d^2)^{1/2} - r}{V} \dots\dots\dots \text{(式 2.3-1)}$$

上式は図 2.3.4 に示した距離 $d = 0$ (球体の直上) を頂点とした双曲線を表している。地中レーダ探査による反射画像は、物質の形状をそのまま表しているのではなく、このような双曲線上の虚像として現れることが多い。このときの球体の平面的な位置は、最も浅く表れた反射面 (双曲線の頂部) の地点に相当する。空洞の場合も、このような双曲線 (円弧) 状の反射形状で表れる。

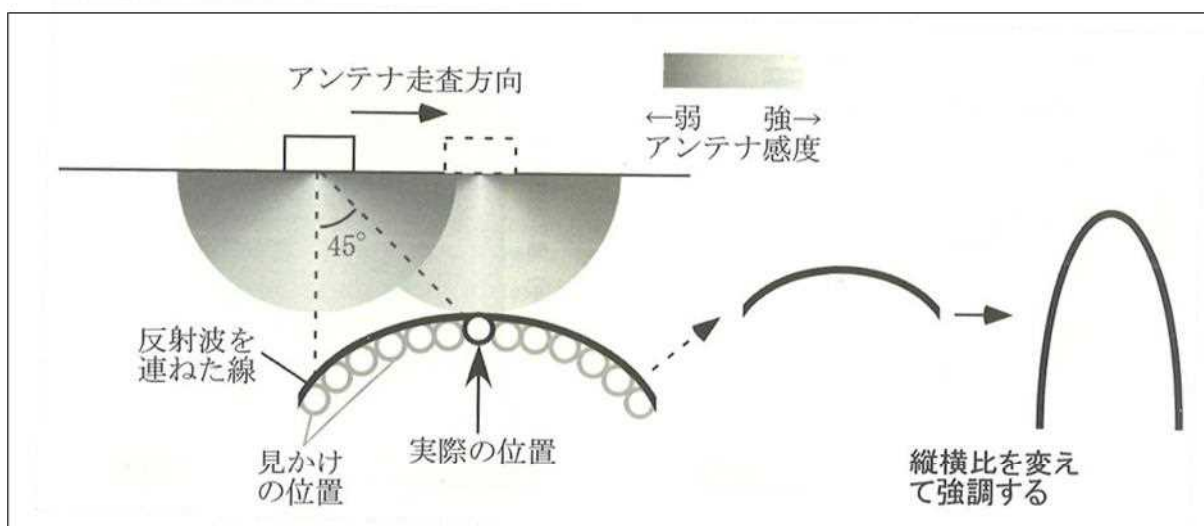


図 2.3.4 反射波の虚像

「新版 物理探査適用の手引き」(2008)より引用

(2) 深度変換

収録したデータは、電磁波を送信してから反射波が観測されるまでの往復走時で表示されている。深度への変換には (式 2.3-2) に示すように電磁波の地中伝搬速度を用いて、時間表示から深度に変換することができる。

$$D = V \cdot \frac{T}{2} \dots\dots\dots \text{(式 2.3-2)}$$

ここに、

- D : 深度 (m)
- V : 電磁波の地中伝搬速度 (m/s)
- T : 往復走時 (s)

電磁波の伝搬速度は、伝搬媒質（地盤など）によって異なる。これは地質（土質）や物質により電気的性質が異なるためであり、比誘電率（単に誘電率とも呼ばれる）で表される。比誘電率と伝搬速度とは（式 2.3-3）のような関係がある。

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \dots\dots\dots \text{(式 2.3-3)}$$

ここに、

- C : 電磁波の空中伝搬速度 (m/s)
- ϵ_r : 比誘導率

地盤の比誘電率を直接、測定することは実際には難しい。そのため通常は、地盤中の埋設管など深度が判明している波形が検出された場合には、その深度を基準として全体の深度変換を行う。

また地盤の伝播速度（比誘電率）を仮定して深度変換する場合もある。
代表的な地球構成物質の電磁波速度を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1 代表的な地球構成物質の電磁波速度

「Sensors & Software Inc. EKKO_Project LineView & Interpretation Modules User's Guide」に加筆

Material : 物質		Velocity : 電磁波速度 (m/ns)
Air	空気	0.30
Ice	氷	0.16
Dry Soil	乾燥した土壌	0.15
Granite	花崗岩	0.13
Dry Salt	乾燥した塩	0.13
Dry Rock	乾燥した岩石	0.12
Limestone	石灰岩	0.12
Wet Rock	湿潤な岩石	0.10
Concrete	コンクリート	0.08-0.12
Pavement	舗装	0.10
Shale	頁岩	0.09
Silt	シルト	0.07
Wet Soil	湿潤な土壌	0.06
Clay	粘土	0.06
Fresh Water	水	0.03

(3) パターン分類

本業務での断面解析は、下記の一般的な反射パターンと過去の探査例を基準とした。反射パターン例を図 2.3.5、過去の探査例を図 2.3.6 に示す。

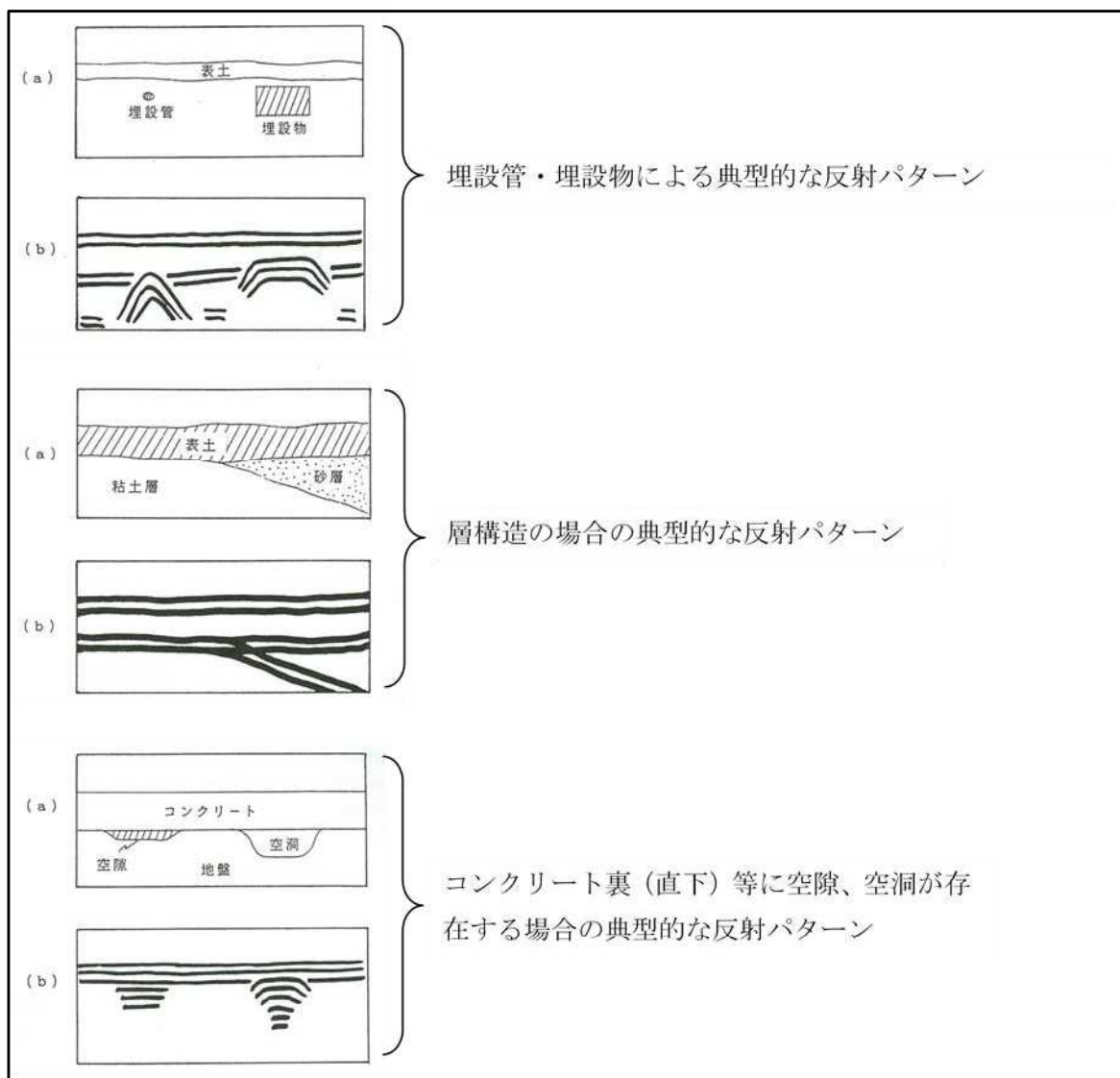
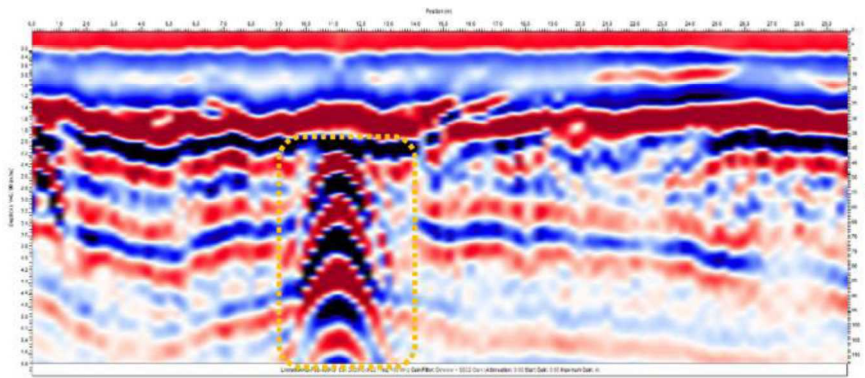
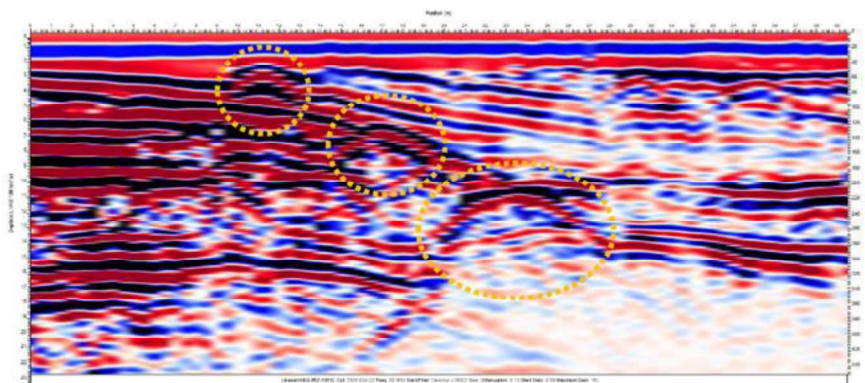


図 2.3.5 反射パターン例

* 「物理探査ハンドブック」(1998) に加筆



空洞探査断面(周波数:100 MHz)



埋設管探査断面(周波数:50 MHz)

図 2.3.6 過去の探査事例(上図:空洞探査, 下図:埋設管探査)

2.3.1.3. データ処理方法

地中レーダ探査のデータ処理は、探査機器と同様に、カナダ Sensors & Software 社製のデータ解析ソフト EKKO Project LineView を用いて実施した。データ処理のフローおよびデータ処理ごとの処理結果例を図 2.3.7 に示す。

まず、Repick First Break 処理で、探査記録の最初の波形を再選択し、Dewow 処理により高周波信号を維持しながら、必要のない地中でのノイズや不要な低周波を除去することで波形をなめらかにし、Background Average Subtraction 処理にて、探査記録全体に対して、直達波と地表反射波を除去した。次に、Horizontal spatial 処理で、距離方向に信号を平均化、ランダムなノイズを抑制し、水平・緩やかに傾く反射波を強調とともに、Vertical temporal 処理にて、深度方向に信号を平均化し、ランダムなノイズや高周波成分を低減させた。その後、Deconvolution 処理で、アンテナ中で生じる電位差によって繰り返される波形を除去し、Bandpass 処理にて、特定の周波数帯のみを通過させて、各処理で生じたノイズを除去した。最後に、Gain recovery 処理により反射信号の振幅の減少や減衰率を補正した。

上記のデータ処理後、トレンチ調査・ボーリング調査などの既往浅部地質データを参考に、指標となる反射面の速度を検討し、その速度から深度を求めて、時間断面を深度断面に変換した。

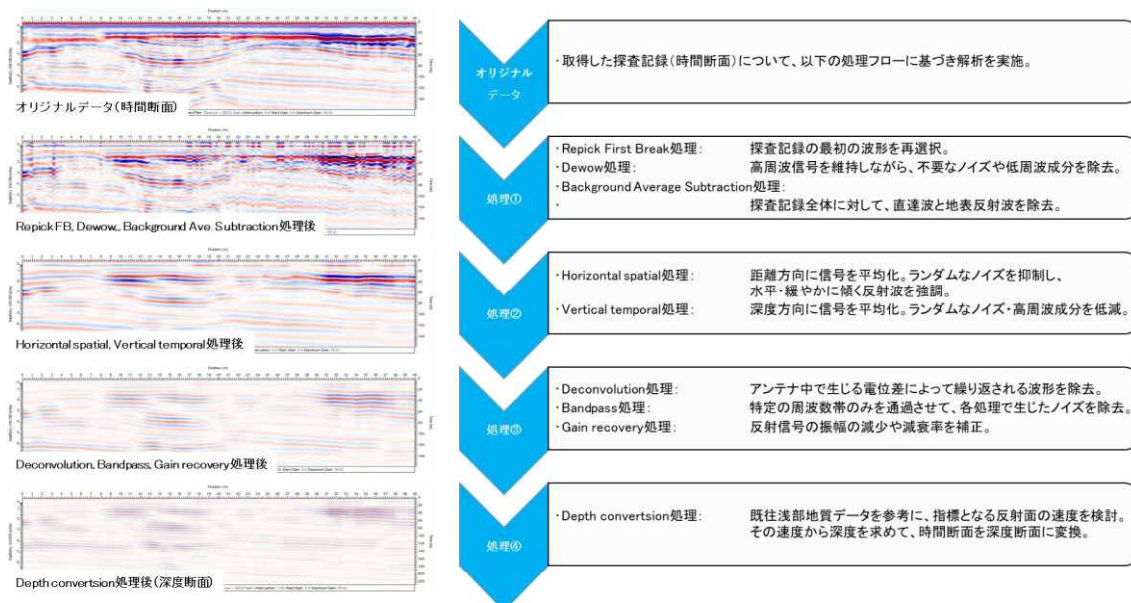


図 2.3.7 データ処理のフローおよびデータ処理ごとの処理結果例

2.3.2. 地中レーダ探査結果

2.3.2.1. 調査概要

本業務によるトレンチ調査、ボーリング調査候補地点を中心に、地中レーダ探査を実施した。探査地区は測地的解析によって位相不連続ラインが確認されている大津町平川（図 2.3.8）および南阿蘇村下野（図 2.3.9）で実施した。実施した総測線数は 88 測線（平川地区：58 測線，下野地区：30 測線）である。

探査は「2.5. 地質構造及び副断層の 3 次元形状把握のための解析手法の検討」のため、複数の並行した測線及びそれに直角に交わる測線にて断面を取得した。また周波数帯を変えて同一測線で探査を実施することで、地表下 5.0m および 10.0m までの各深度について、より解像度のよい反射記録を得ることで詳細な地下構造を把握した。

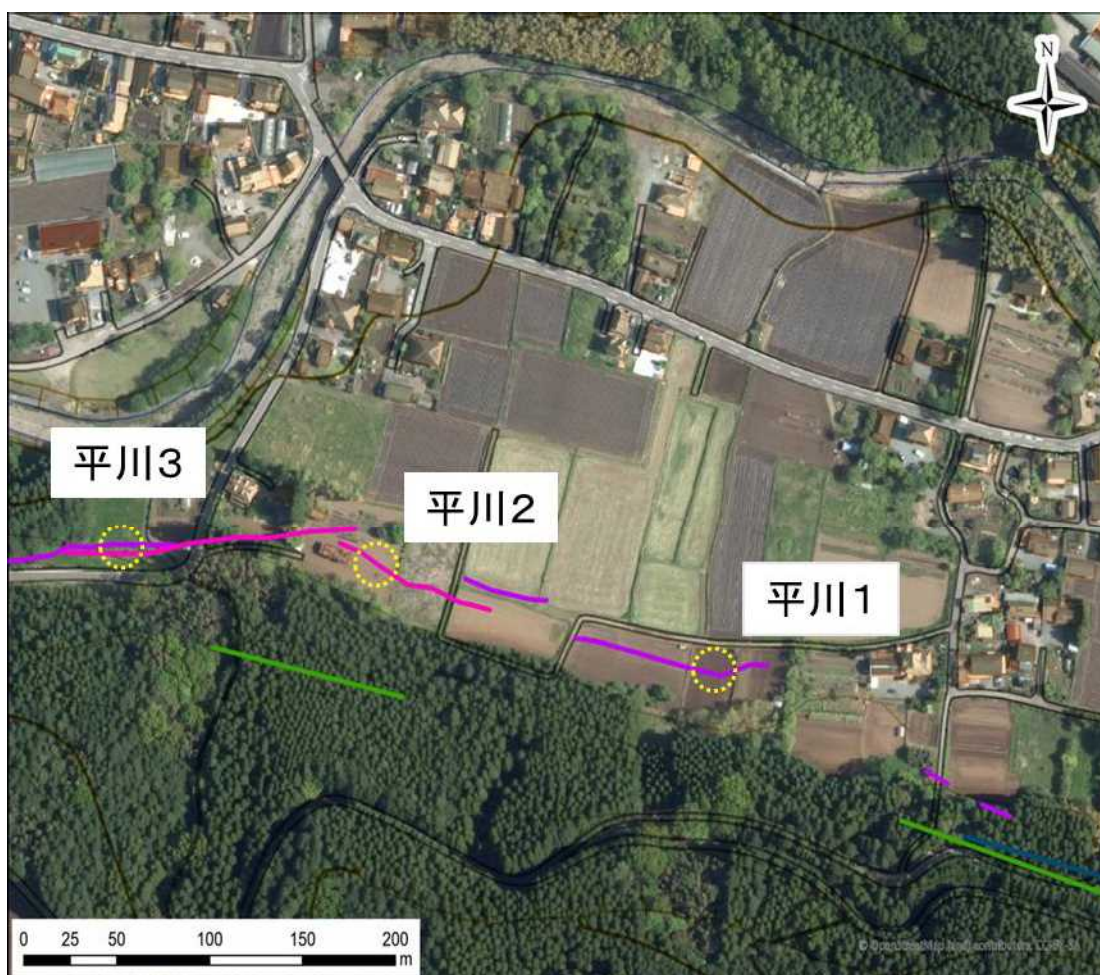


図 2.3.8 地中レーダ探査実施箇所 1（大津町平川地区）

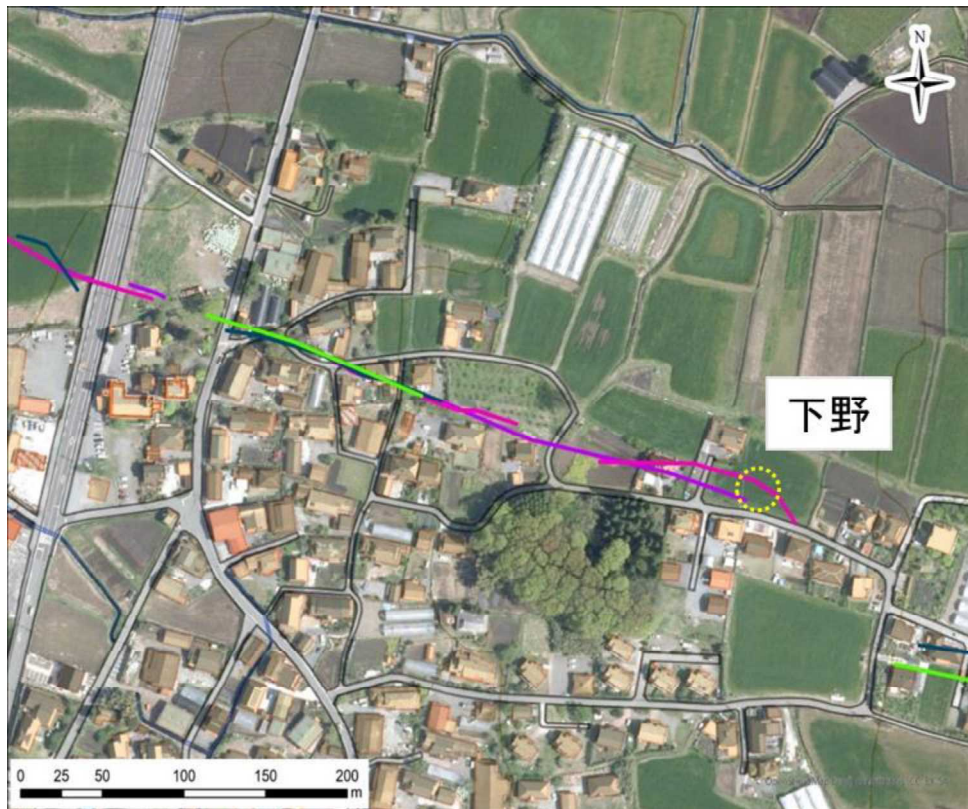


図 2.3.9 地中レーダ探査実施箇所 2 (南阿蘇村下野地区)

探査機器は、カナダ Sensors & Software 社製の PulseEKKO PRO システムで、アンテナは中心周波数 50 MHz および 100 MHz を用いた (図 2.3.10)。探査機器の諸元は表 2.3.2 に示す。地下断面はプロファイル測定法によって取得した。プロファイル測定は、送信アンテナと受信アンテナの間隔を一定に保ったまま、測線に沿って送受信アンテナをほぼ一定の速度で移動させて測定する方法である (図 2.3.11, 図 2.3.12)。



図 2.3.10 地中レーダ探査機器 (pulseEKKO PRO システム)

表 2.3.2 地中レーダ探査使用機器一覧

名称	機 器 等 名 称
探査機器	Sensor & Software 社 pulseEKKO PRO システム コントロールパッケージ DVL-500 ウルトラレシーバー Model 3200
送受信機 (アンテナ)	周波数 100 MHz、50 MHz (それぞれ地表下深度 5 m、10 m までの探査が可能)
解析ソフトウェア	EKKO Project ソフトウェア

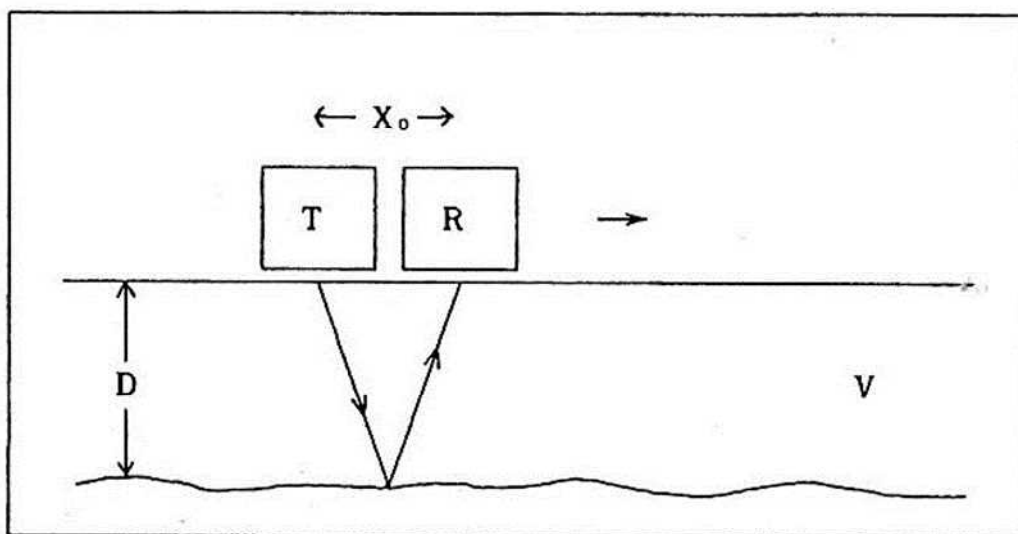


図 2.3.11 プロファイル測定の様式図（物理探査学会，1998）

D：反射面までの深度、T：送信アンテナ、R：受信アンテナ、
X0：送信・受信アンテナ間隔、V：地中における電磁波伝播速度



図 2.3.12 地中レーダ探査風景（R3 年度小園地区での探査例，周波数 50MHz）

2.3.2.2. 調査結果

(1) 平川 1 地区

① 調査結果

平川 1 地区では、周波数 100 MHz および 50 MHz を用いて、同一測線上で探査を実施した。探査測線は、位相不連続ラインに直交および並行方向に、測線間隔は 2 m として、格子状に測線を配置した。測線数は、100 MHz・50 MHz とともに、南北方向に 8 測線、東西方向に 8 測線、計 32 測線である（図 2.3.14～図 2.3.29）。探査測線図を図 2.3.13 に示す。

なお、100 MHz の南北測線については、始点 2m から終点 16m の測線長 14m の記録となっている（図 2.3.14～図 2.3.16, 図 2.3.26～図 2.3.27）。

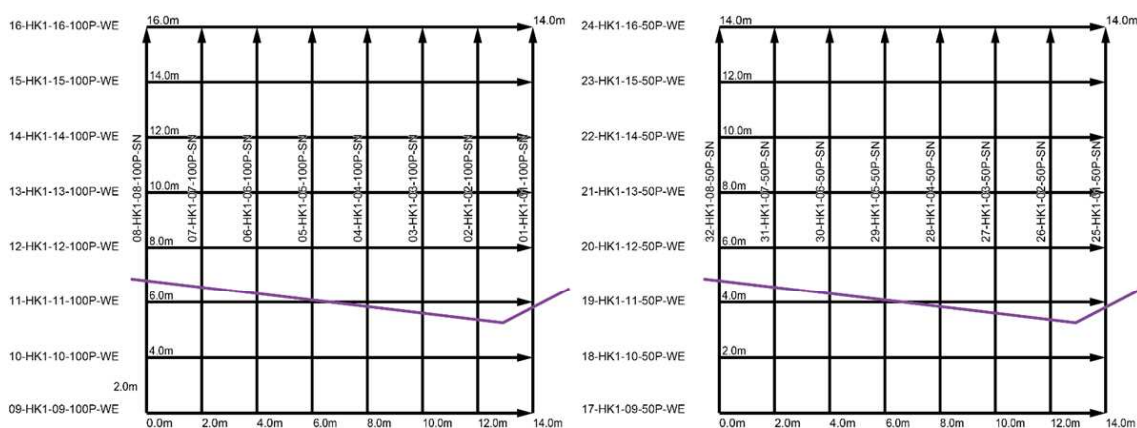


図 2.3.13 探査測線位置図（左図：100 MHz，右図：50 MHz）

図中の紫色線は位相不連続ラインを示す

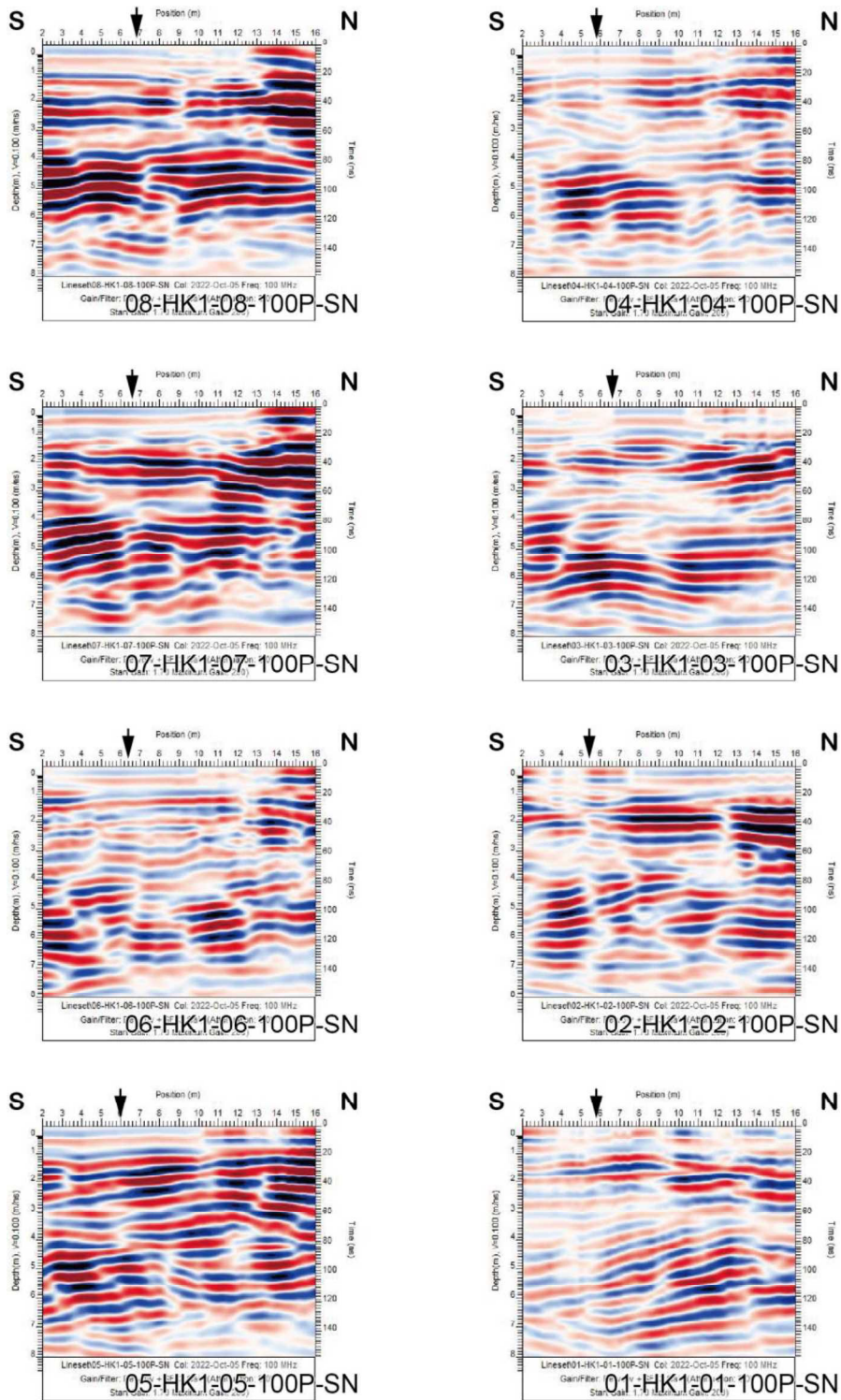


図 2.3.14 100 MHz 南北測線探査結果

(左上から右下の順番で、08-HK1-08-100P-SN から 01-HK1-01-100P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

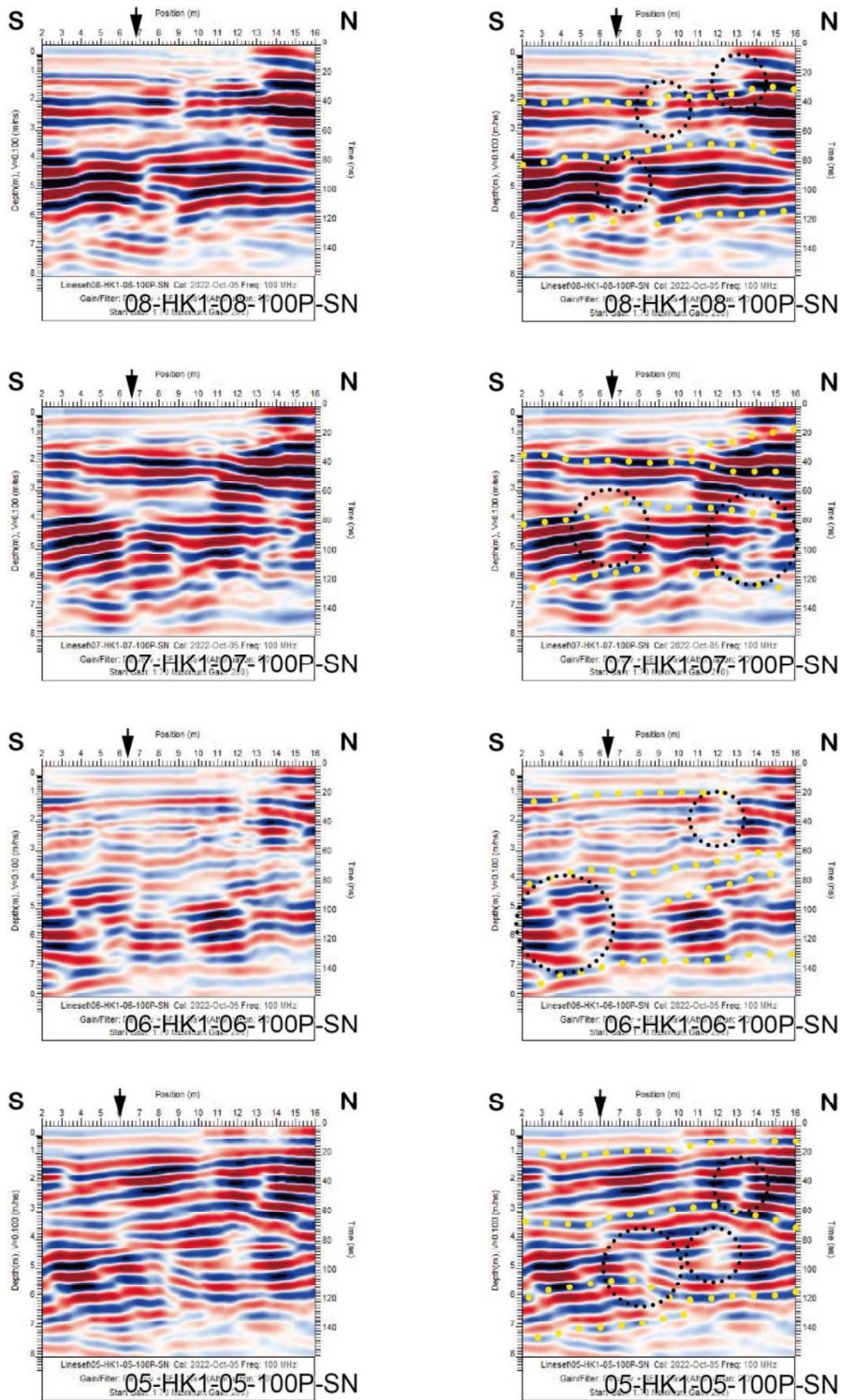


図 2.3.15 100 MHz 南北測線解釈断面 1

(上から下の順番で 08-HK1-08-100P-SN から 05-HK1-05-100P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

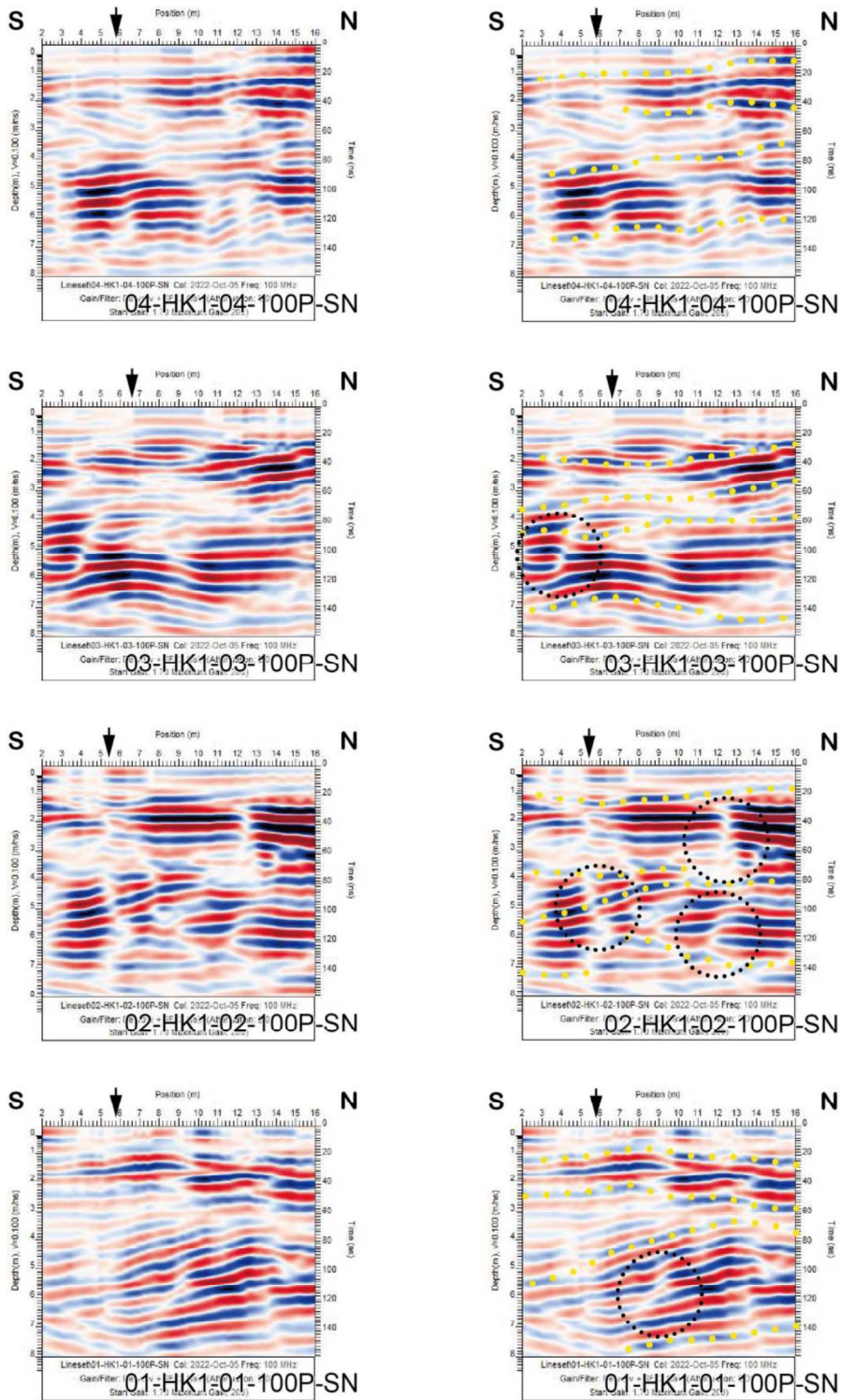


図 2.3.16 100 MHz 南北測線解釈断面 2

(上から下の順番で 04-HK1-04-100P-SN から 01-HK1-01-100P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

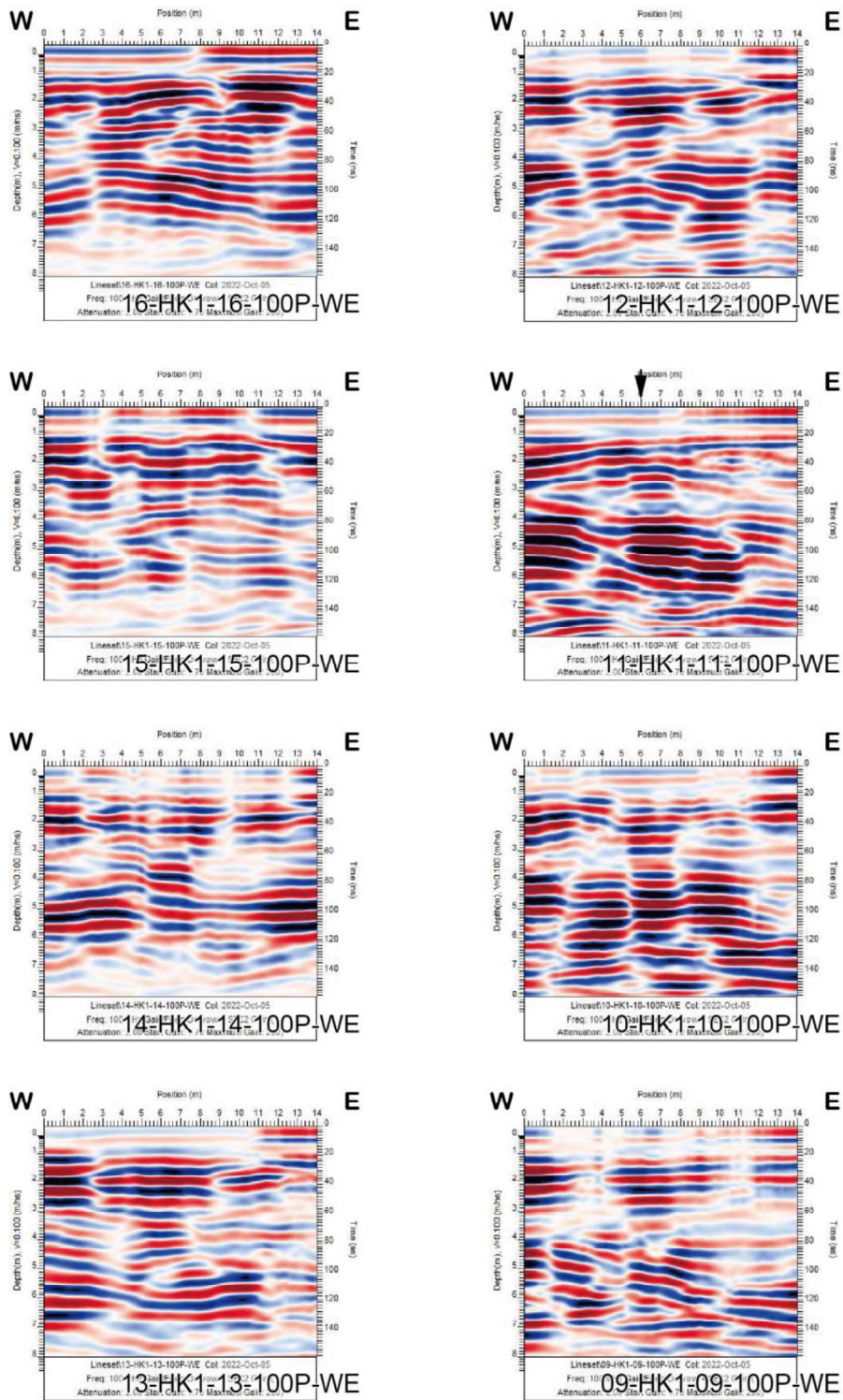


図 2.3.17 100 MHz 東西測線探査結果

(左上から右下の順番で 16-HK1-16-100P-WE から 09-HK1-09-100P-WE と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

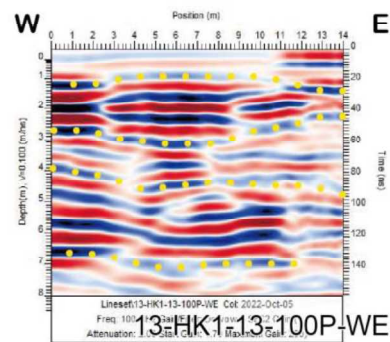
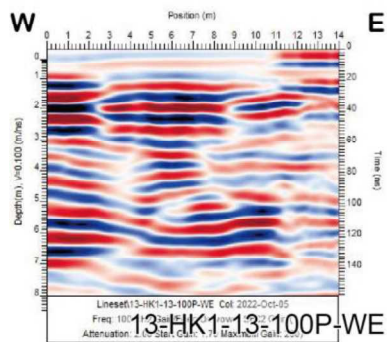
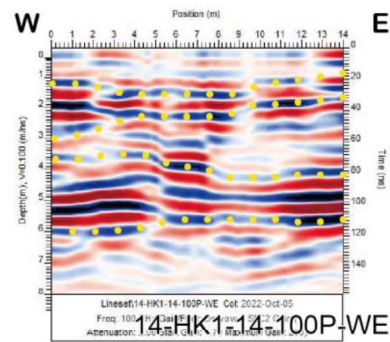
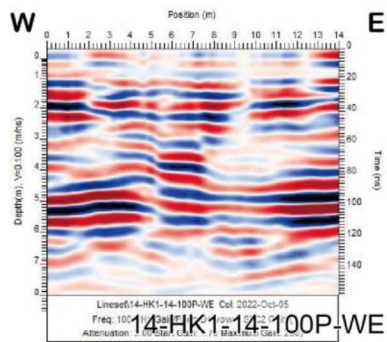
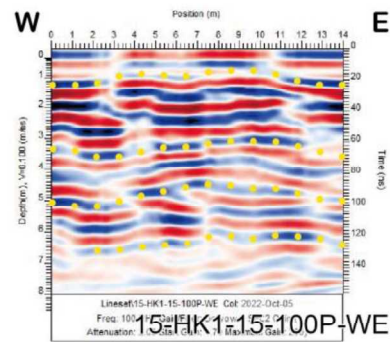
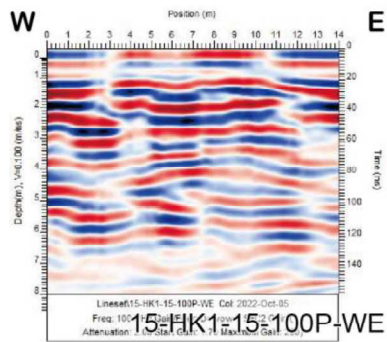
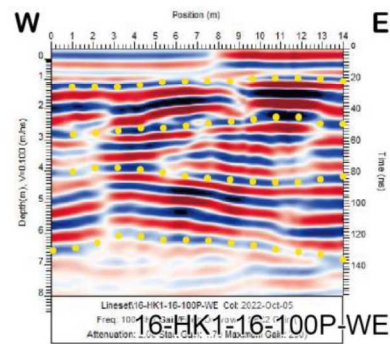
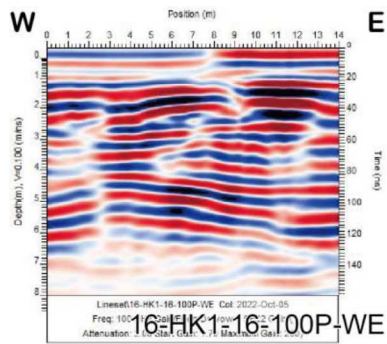


図 2.3.18 100 MHz 東西測線解釈断面 1
 (上から下の順番で 16-HK1-16-100P-WE から 03-HK1-13-100P-WE と北から南へ配置)
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

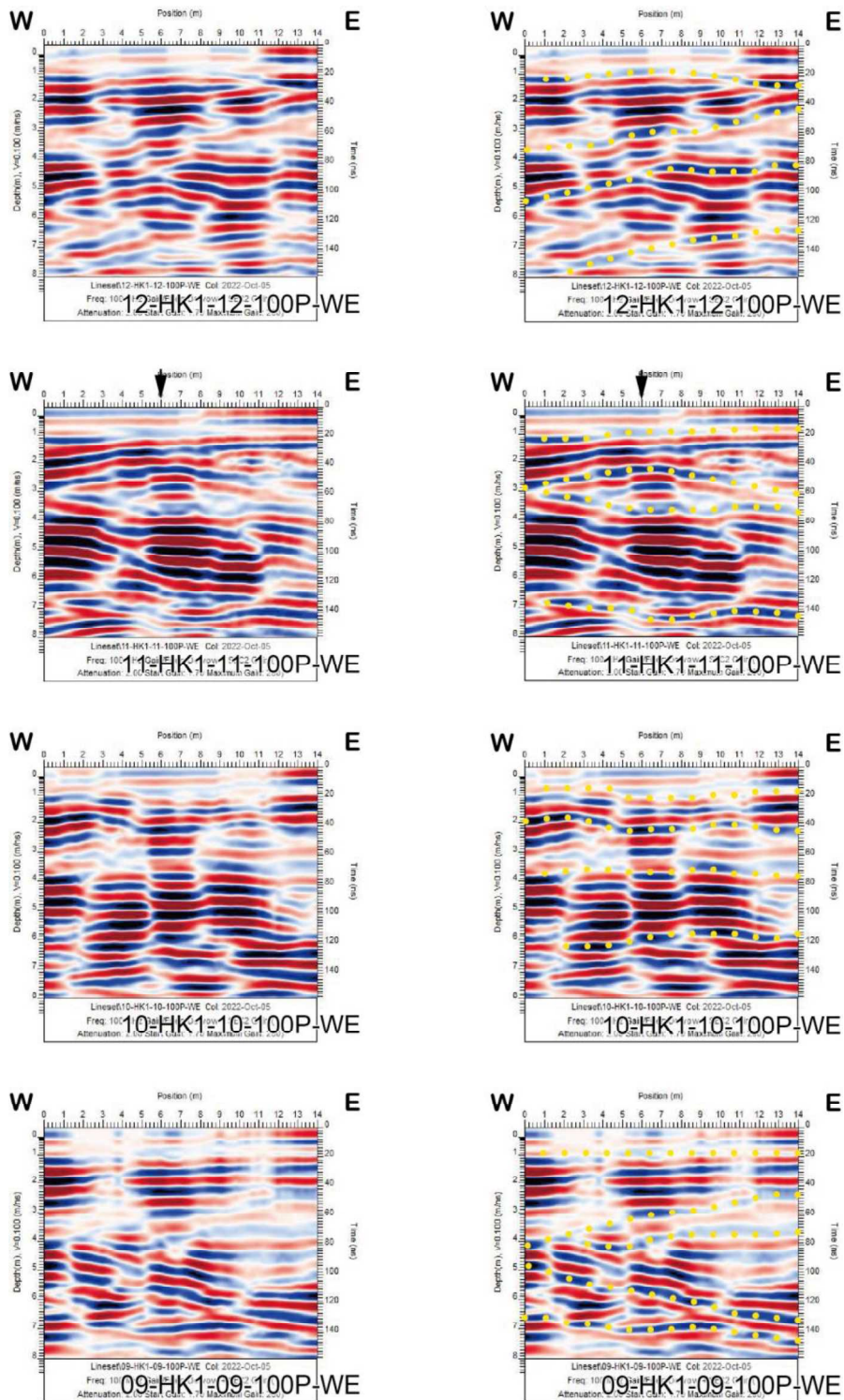


図 2.3.19 100 MHz 東西測線解釈断面 2

(上から下の順番で 12-HK1-12-100P-WE から 09-HK1-09-100P-WE と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

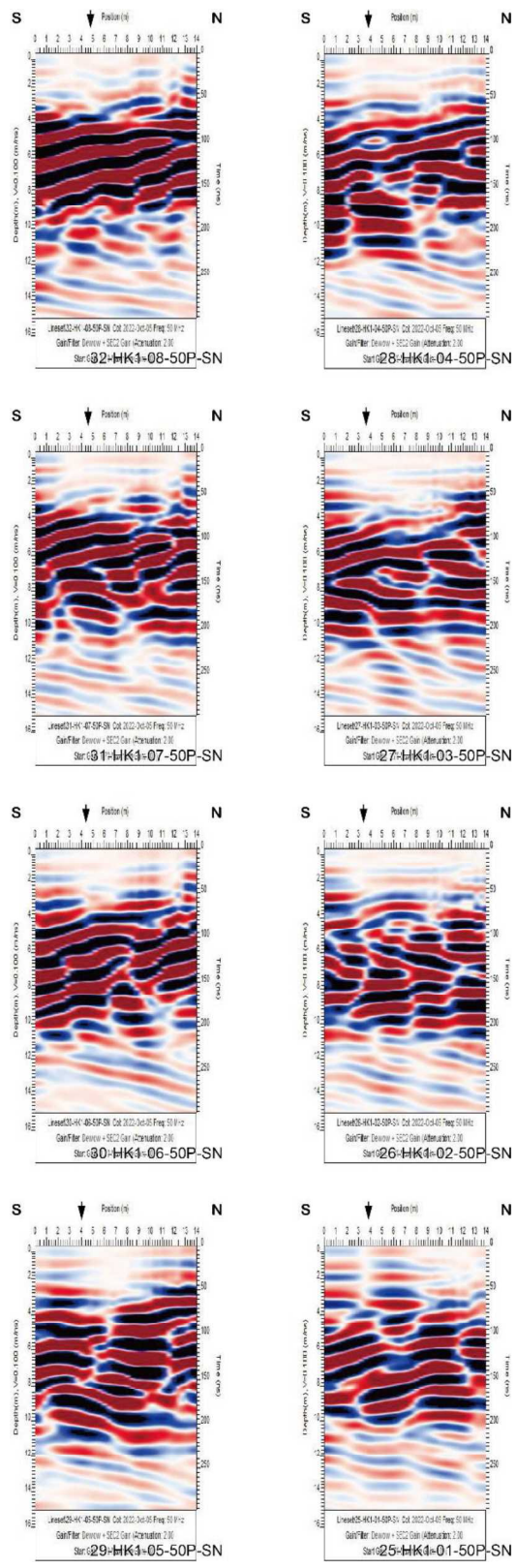


図 2.3.20 50 MHz 南北測線探査結果

(左上から右下の順番で 32-HK1-08-50P-SN から 25-HK1-01-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

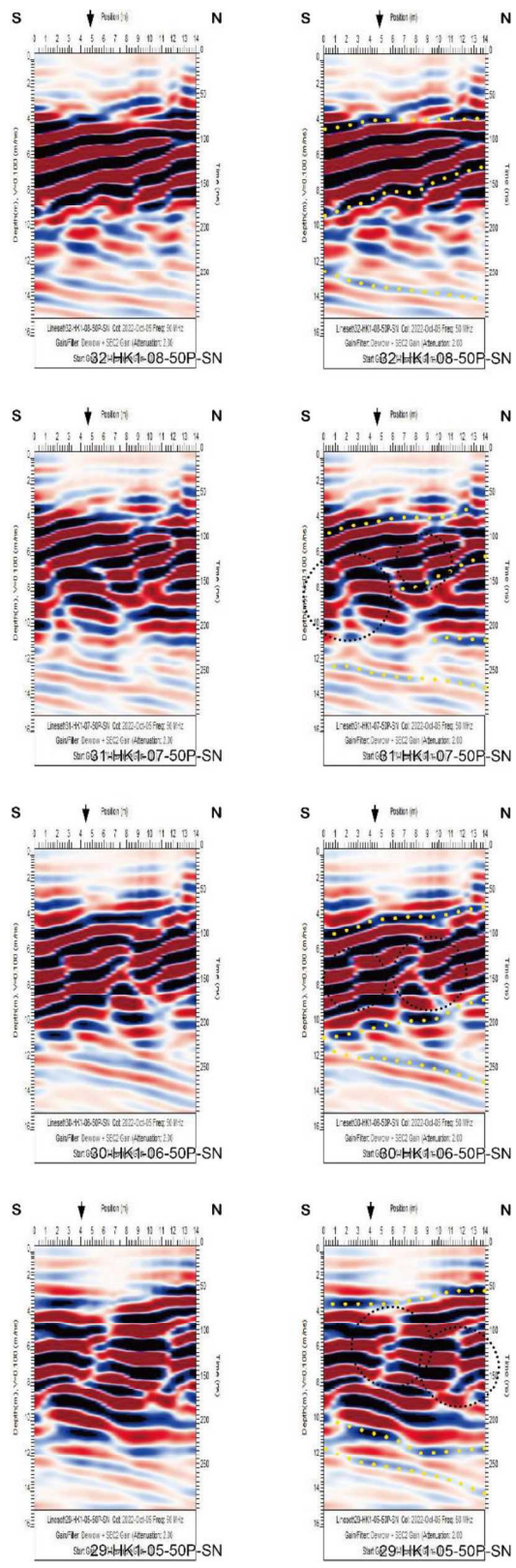


図 2.3.21 50 MHz 南北測線解釈断面 1

(上から下の順番で 32-HK1-08-50P-SN から 29-HK1-05-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

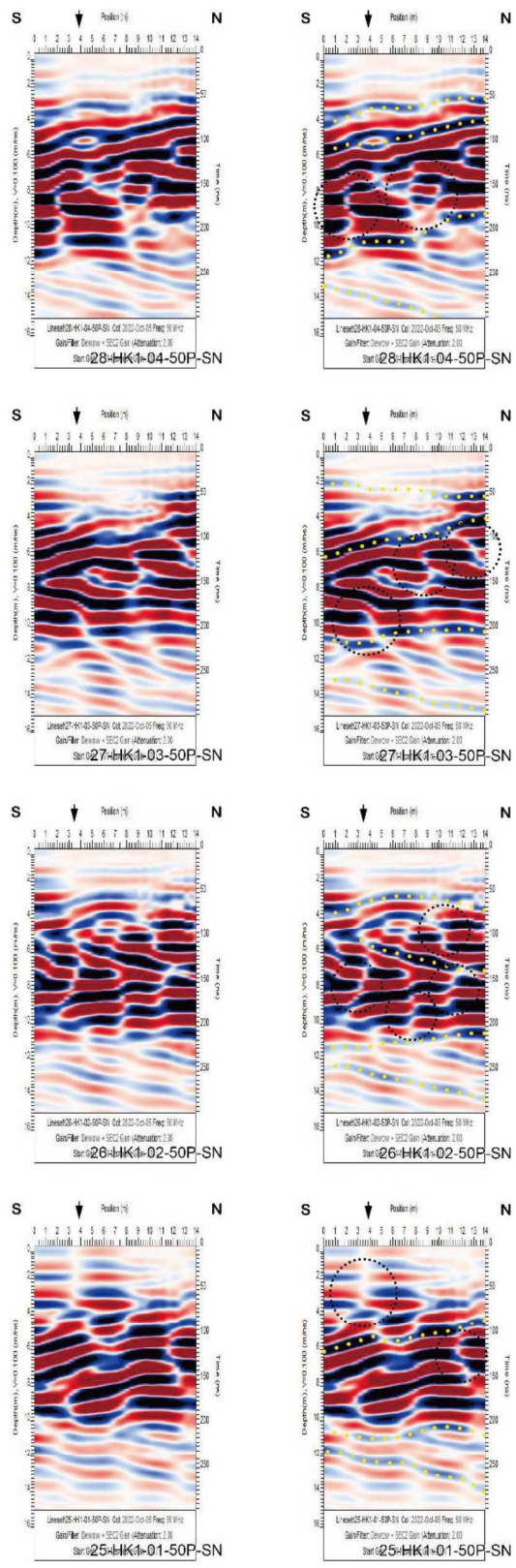


図 2.3.22 50 MHz 南北測線解釈断面 2

(上から下の順番で 28-HK1-04-50P-SN から 25-HK1-01-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

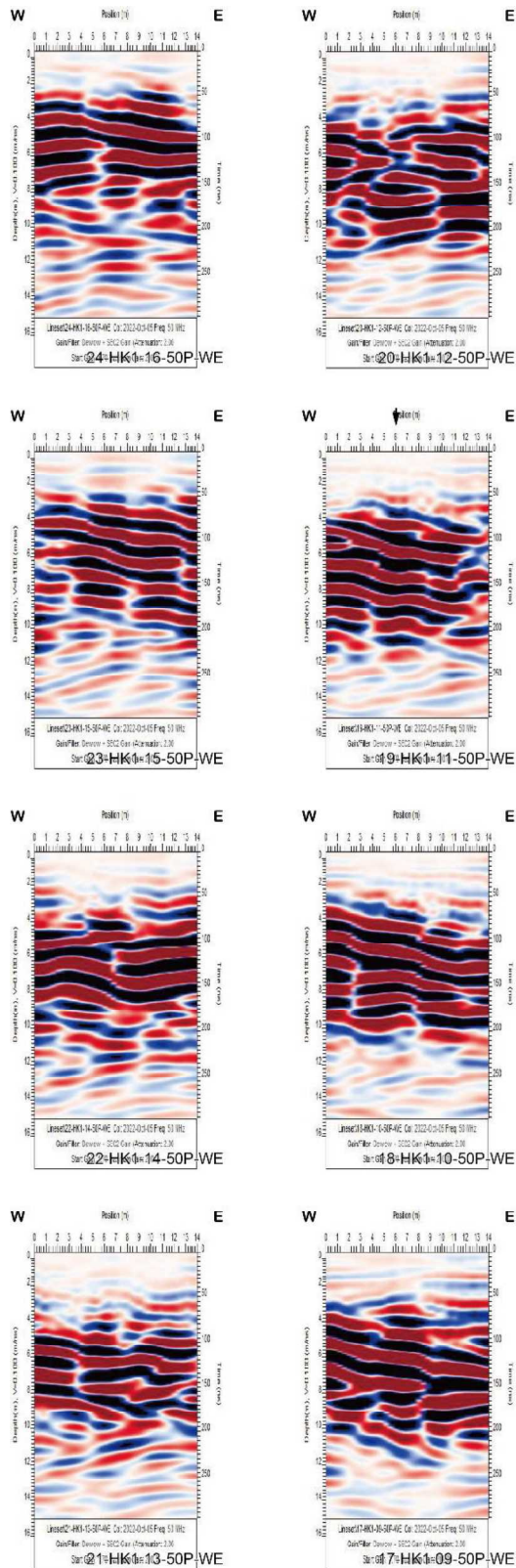


図 2.3.23 50 MHz 東西測線探査結果

(左上から右下の順番で 24-HK1-16-50P-WE から 17-HK1-09-50P-WE と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

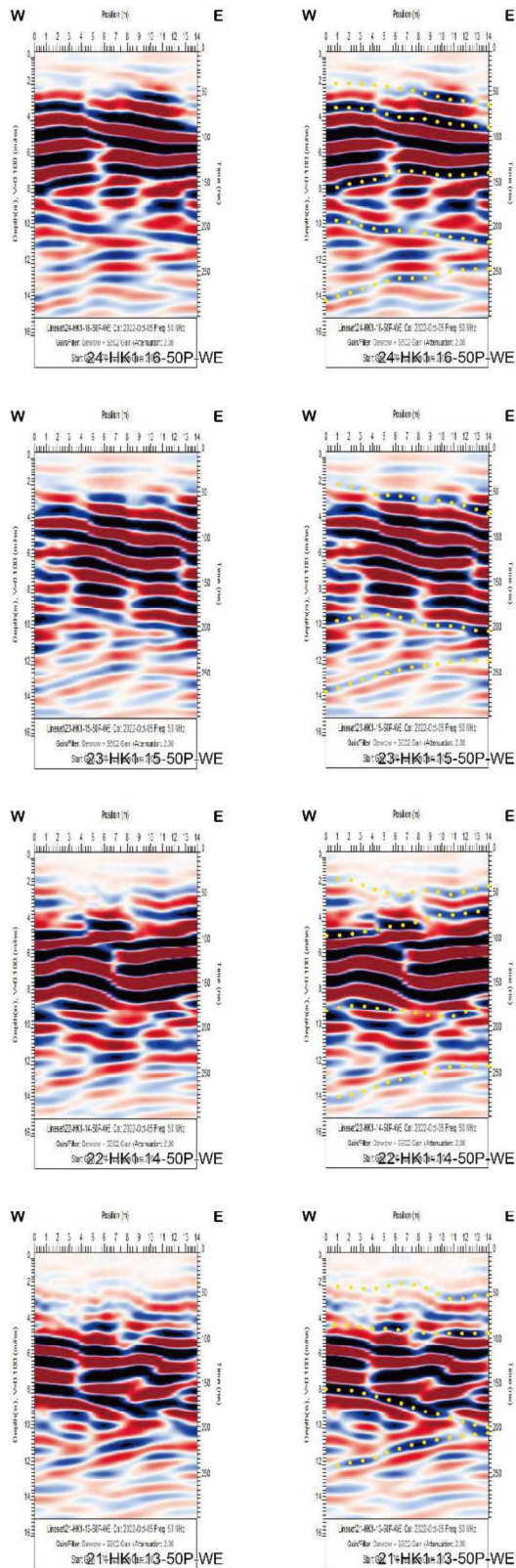


図 2.3.24 50 MHz 東西測線解釈断面 1

(上から下の順番で 24-HK1-16-50P-WE から 21-HK1-13-50P-WE と北から南へ配置)

黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

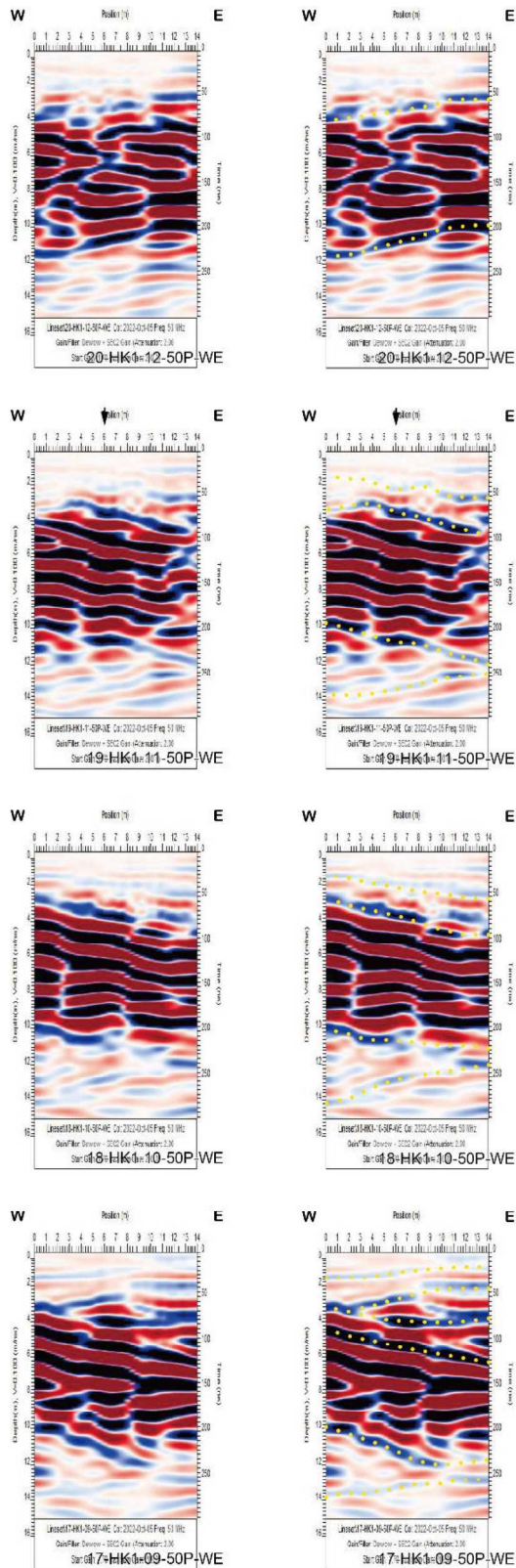


図 2.3.25 50 MHz 東西測線解釈断面 2

(上から下の順番で 20-HK1-12-50P-WE から 17-HK1-09-50P-WE と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

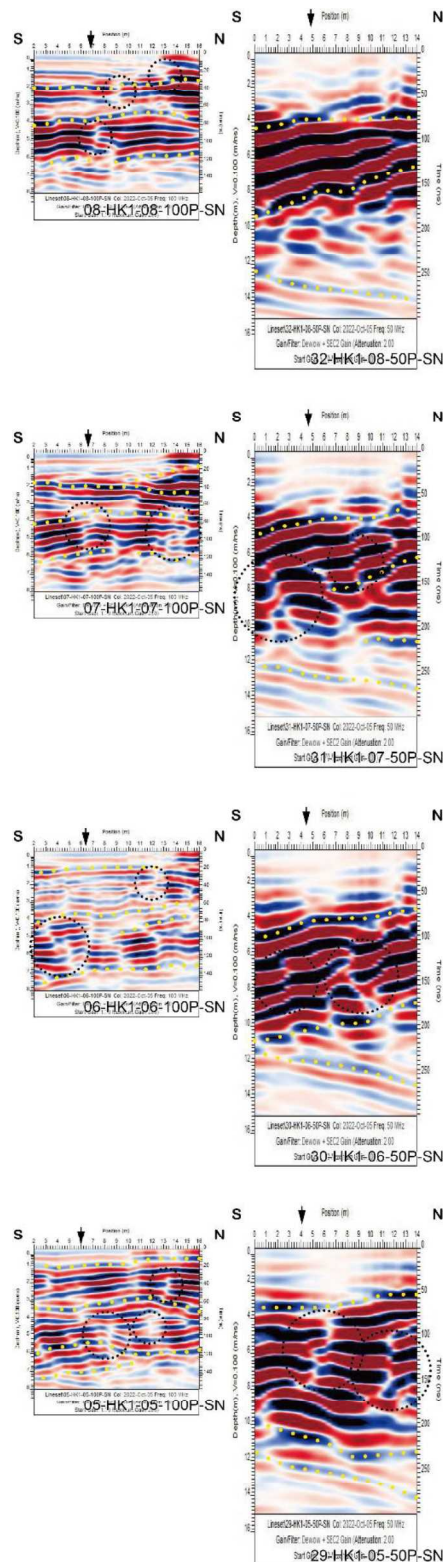


図 2.3.26 100 MHz・50 MHz 南北測線解釈断面 1

(上から下の順番で 08-HK1-08-100P-SN・32-HK1-08-50P-SN から 05-HK1-05-100P-SN・29-HK1-05-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

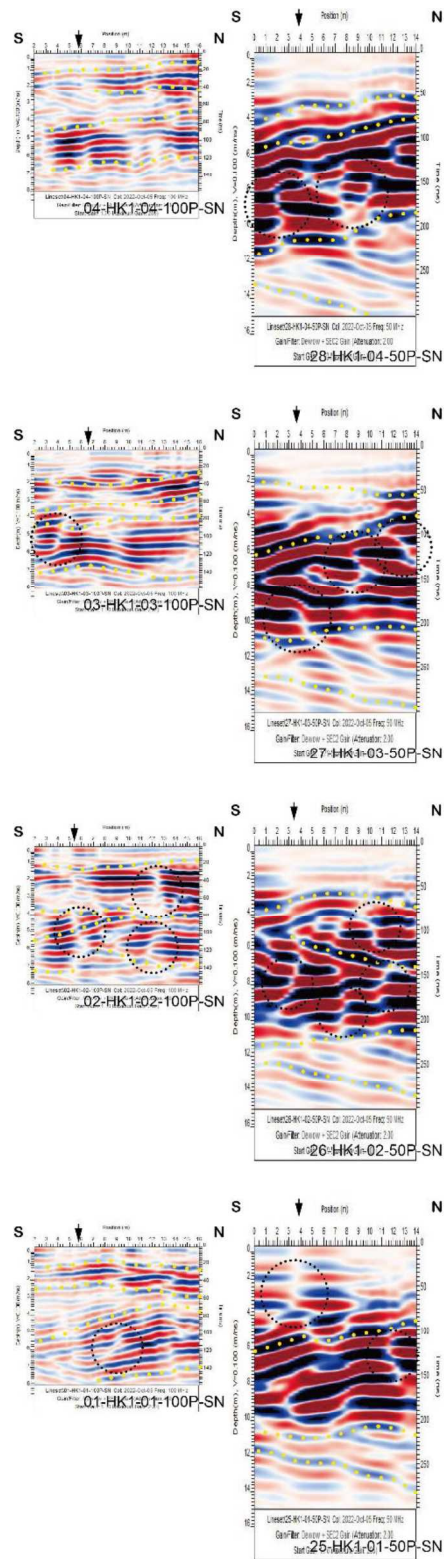


図 2.3.27 100 MHz・50 MHz 南北測線解釈断面 2
 (上から下の順番で 04-HK1-04-100P-SN・28-HK1-04-50P-SN から 01-HK1-01-100P-SN・25-
 HK1-01-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

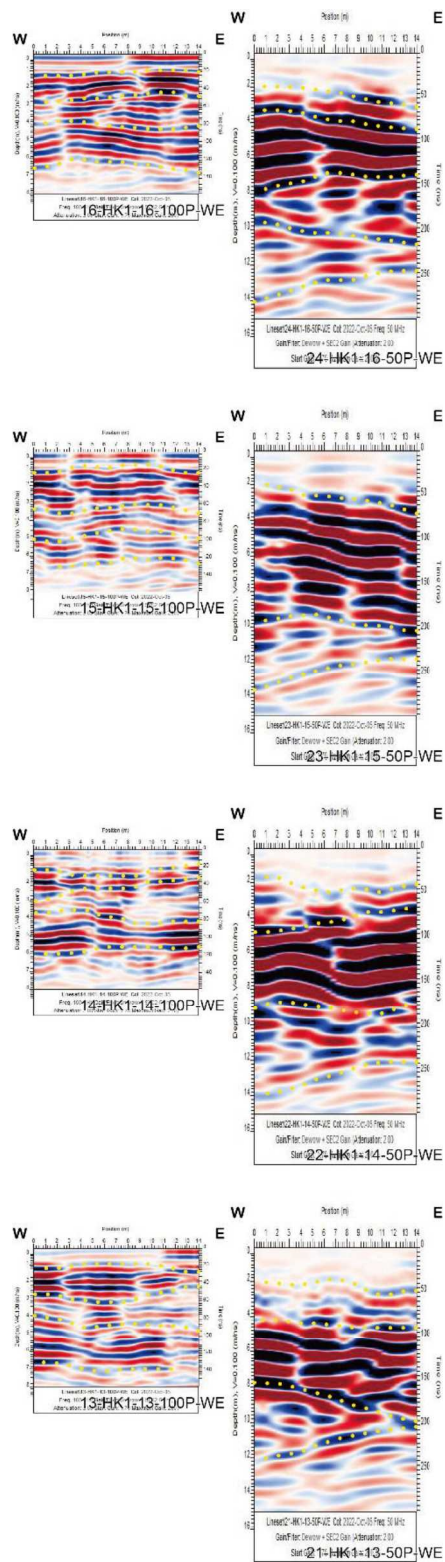


図 2.3.28 100 MHz・50 MHz 東西測線解釈断面 1
 (上から下の順番で 16-HK1-16-100P-WE・24-HK1-16-50P-WE から 13-HK1-13-100P-WE・
 21-HK1-13-50P-WE と北から南へ配置)
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

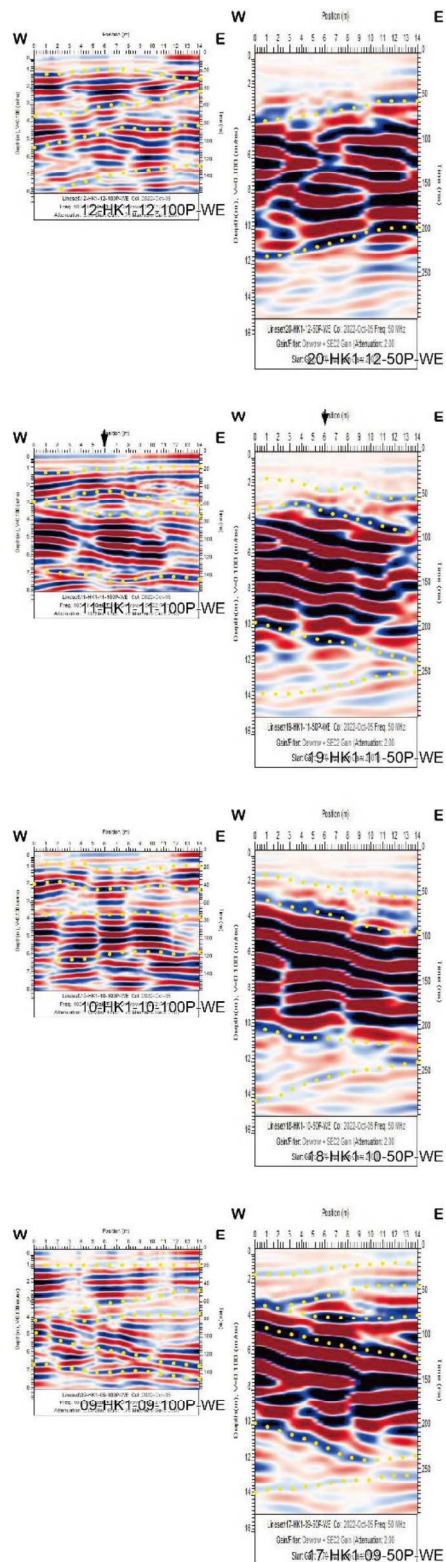


図 2.3.29 100 MHz・50 MHz 東西測線解釈断面 2
 (上から下の順番で 12-HK1-12-100P-WE・20-HK1-12-50P-WE から 09-HK1-09-100P-WE・
 17-HK1-09-50P-WE と北から南へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

②考察

平川 1 地点で実施した地中レーダ探査の解析結果では、複数の断面で特徴的な反射の連続（図中の黄色点線）に不連続がみられた（図中の黒色点丸印の箇所）。その地表延長部分と位相不連続ラインの位置が概ね一致することから、探査断面でみられる反射の不連続は熊本地震またはそれに先行する地震イベントによって生じたものと推定される。

(2) 平川 2 地区

① 調査結果

平川 2 地区では、周波数 100 MHz および 50 MHz を用いて、同一測線上で探査を実施した。探査測線は、位相不連続ラインに直交および並行方向に、測線間隔は 4 m として、格子状に測線を配置した。測線数は、100 MHz・50 MHz とともに、南北方向に 4 測線、東西方向に 5 測線、計 18 測線である（図 2.3.31～図 2.3.40）。探査測線図を図 2.3.30 に示す。

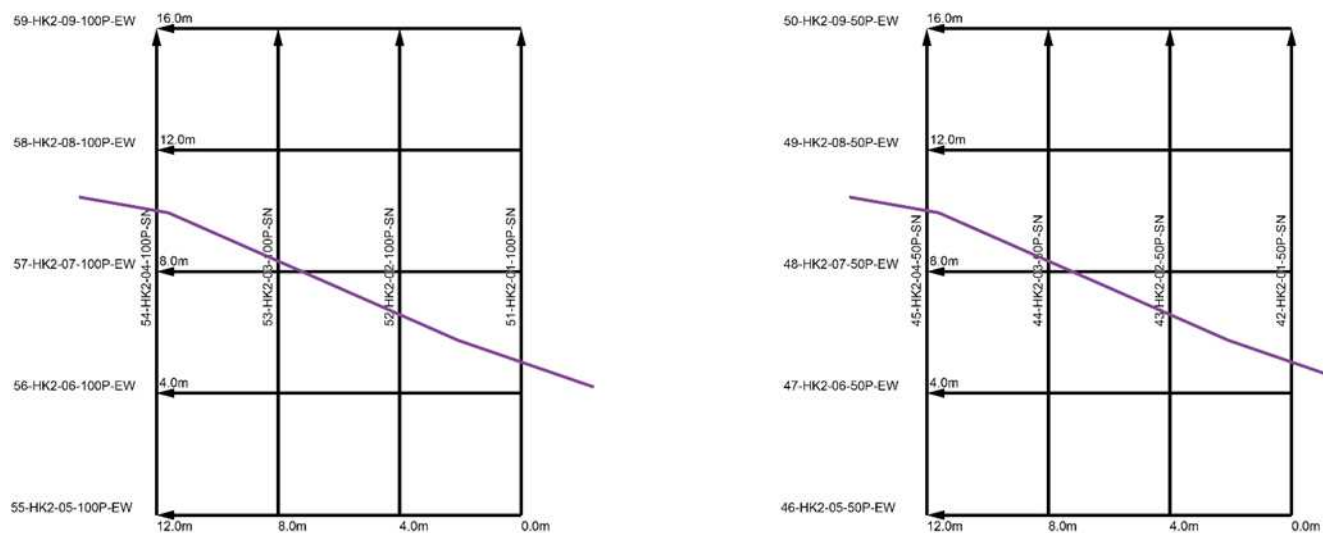


図 2.3.30 探査測線位置図（左図：100 MHz，右図：50 MHz）

図中の紫色線は位相不連続ラインを示す

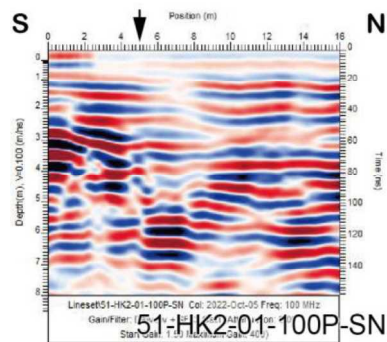
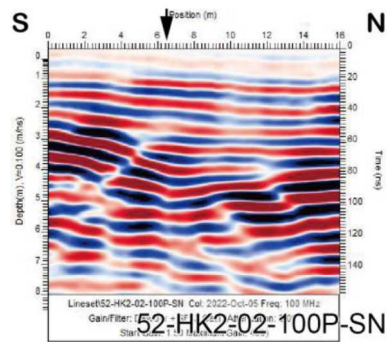
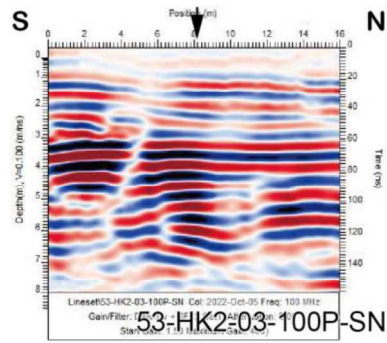
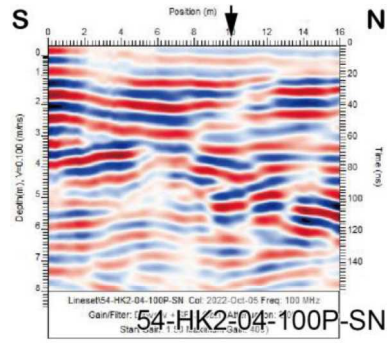


図 2.3.31 100 MHz 南北測線探査結果
 (上から下の順番で 54-HK2-04-100P-SN から 51-HK2-01-100P-SN と西から東へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

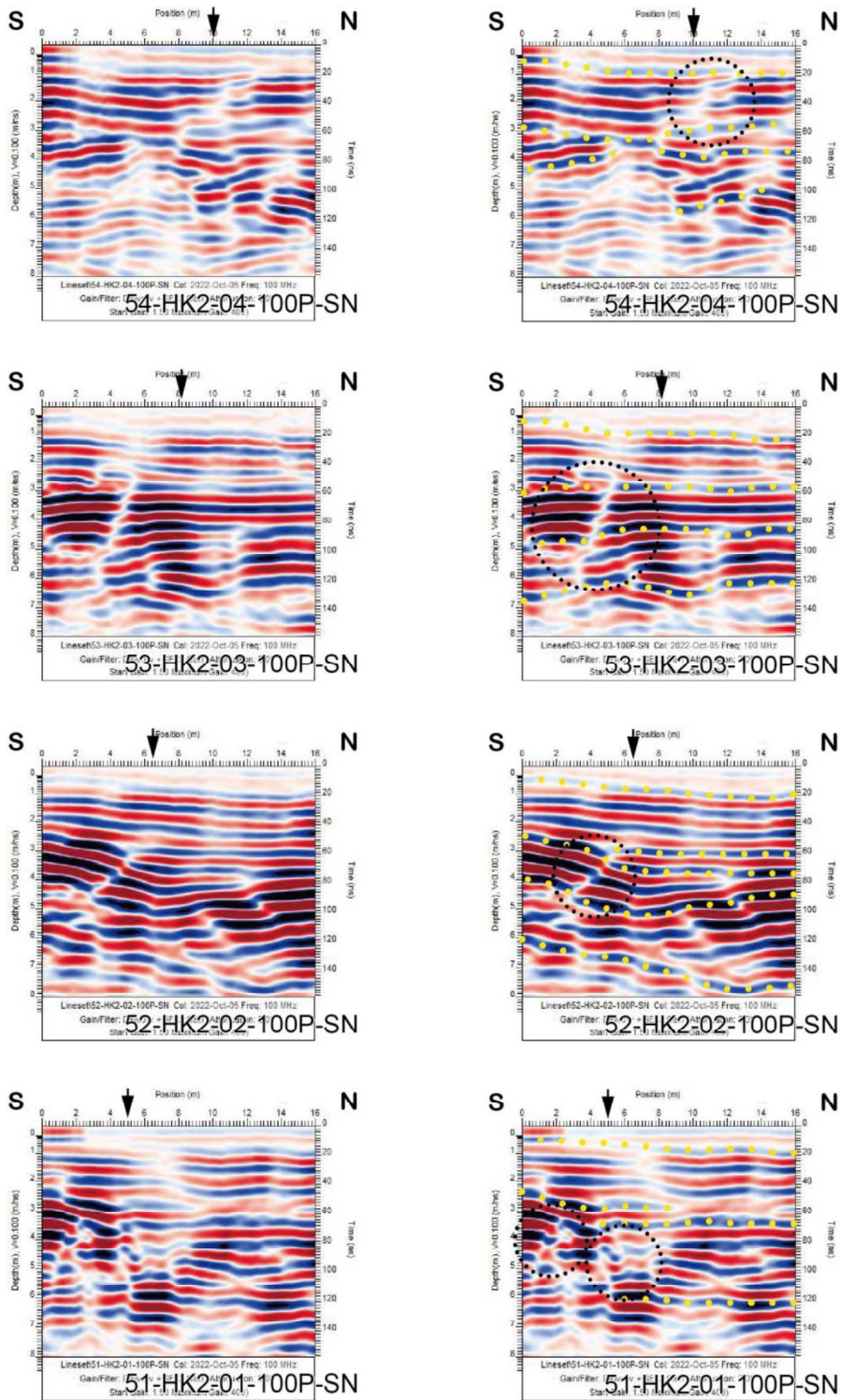


図 2.3.32 100 MHz 南北測線解釈断面

(上から下の順番で 54-HK2-04-100P-SN から 51-HK2-01-100P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

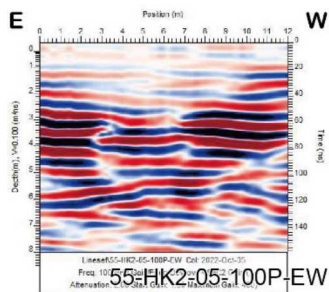
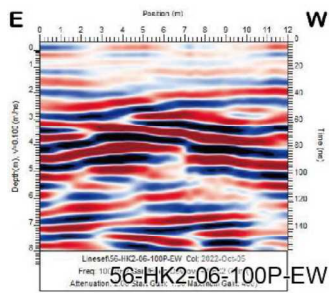
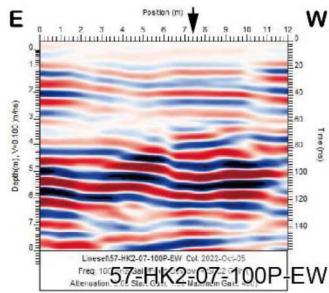
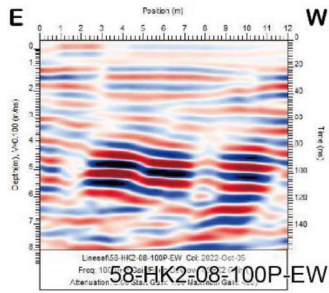
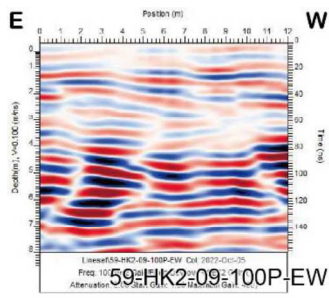


図 2.3.33 100 MHz 東西測線探査結果
 (上から下の順番で 59-HK2-09-100P-EW から 55-HK2-05-100P-EW と北から南へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

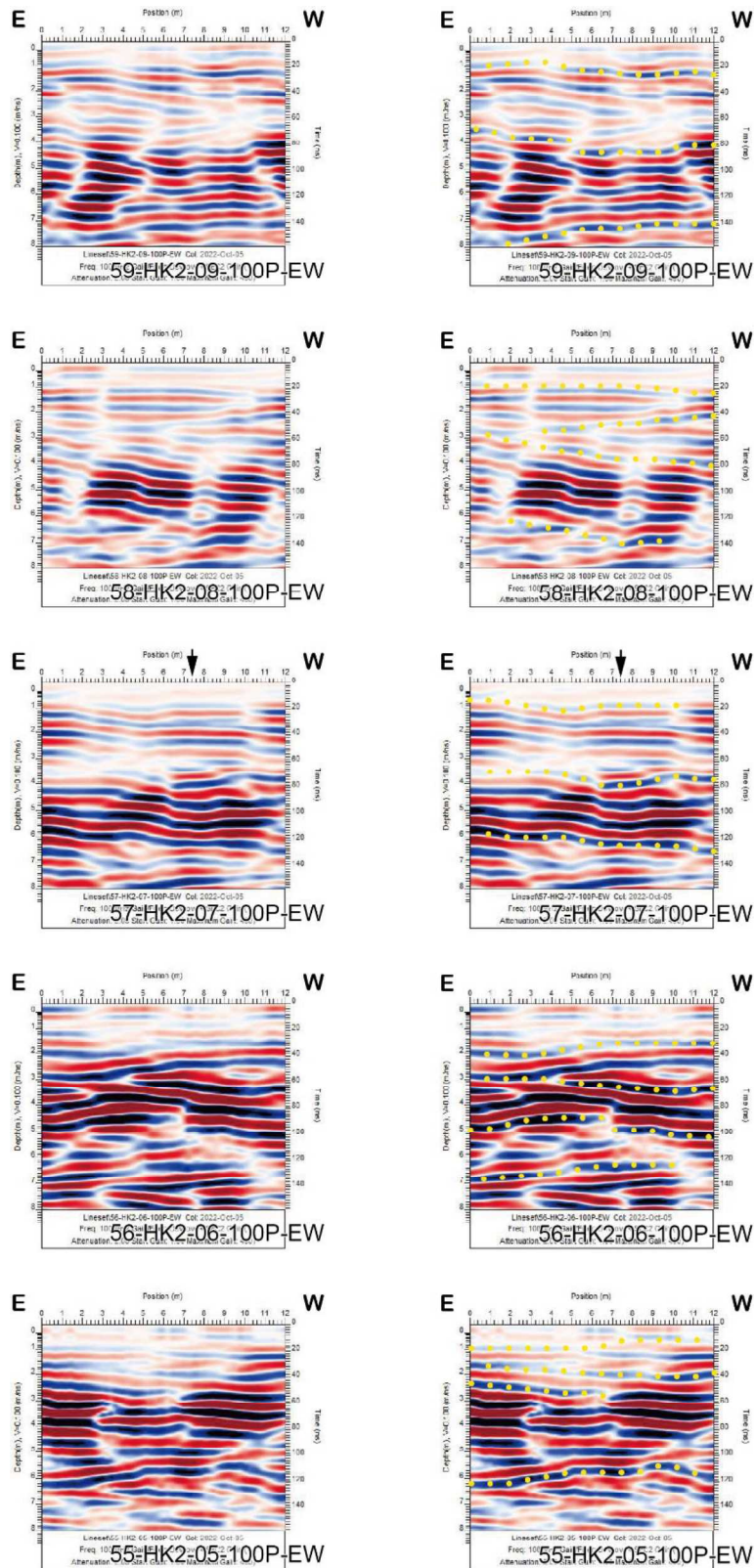


図 2.3.34 100 MHz 東西測線解釈断面

(上から下の順番で 59-HK2-09-100P-EW から 55-HK2-05-100P-EW と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

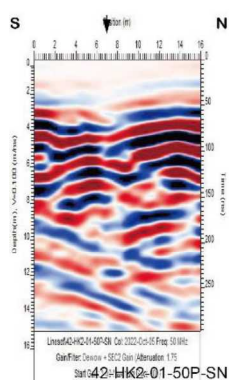
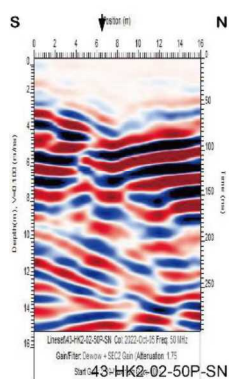
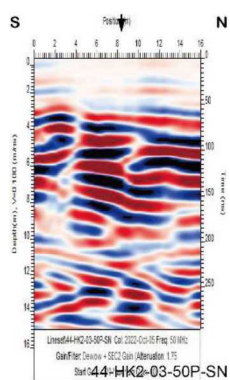
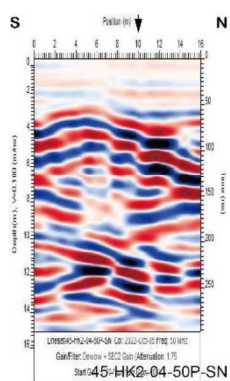


図 2.3.35 50 MHz 南北測線探査結果
 (上から下の順番で 45-HK2-04-50P-SN から 42-HK2-01-50P-SN と西から東へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

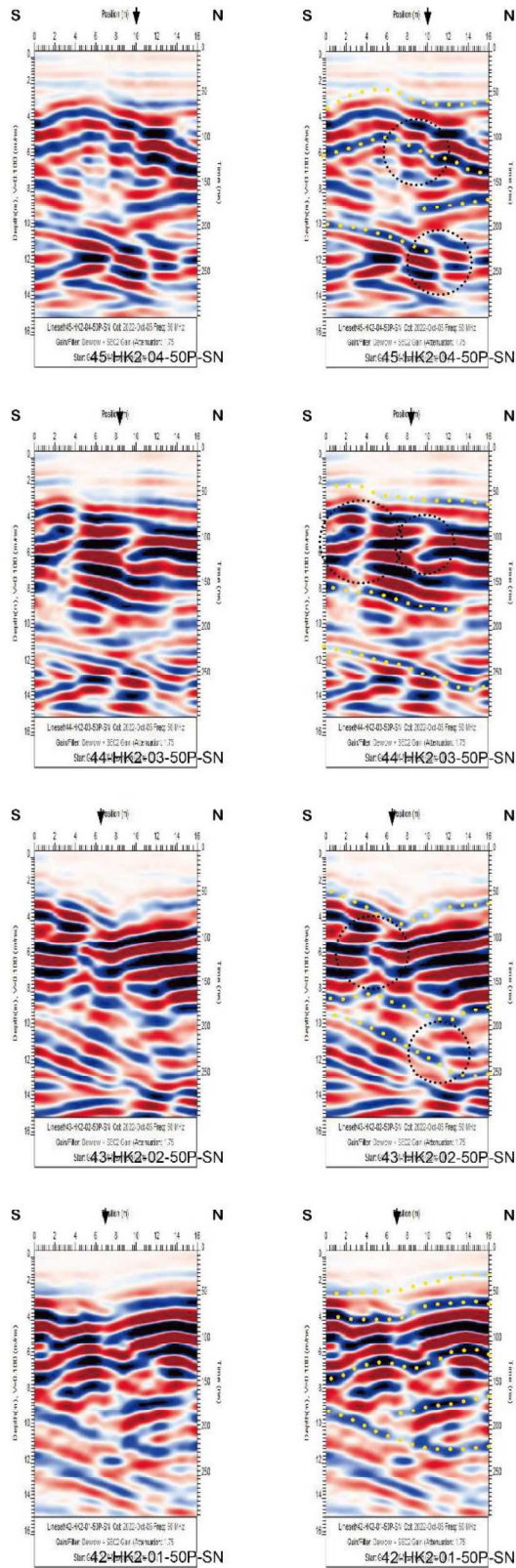


図 2.3.36 50 MHz 南北測線解釈断面

(上から下の順番で 45-HK2-04-50P-SN から 42-HK2-01-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

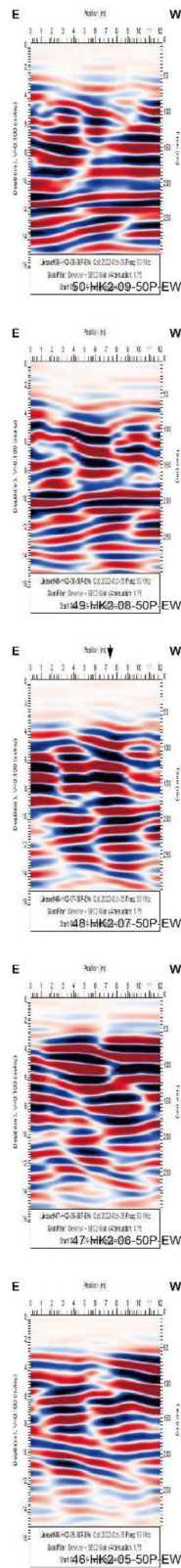


図 2.3.37 50 MHz 東西測線探査結果
 (上から下の順番で 50-HK2-09-50P-EW から 46-HK2-05-50P-EW と北から南へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

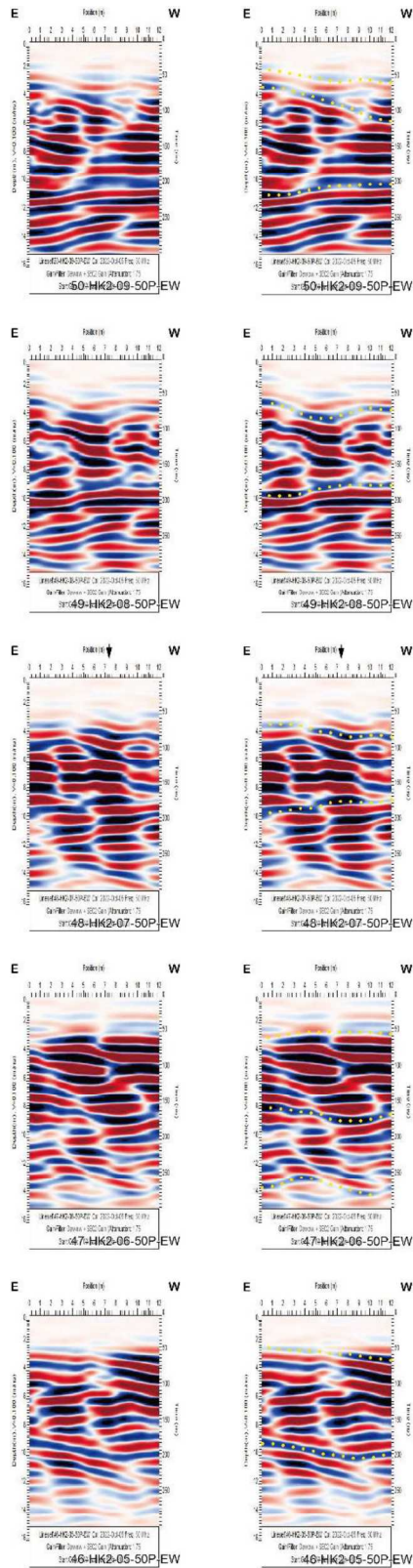


図 2.3.38 50 MHz 東西測線解析結果
 (上から下の順番で 50-HK2-09-50P-EW から 46-HK2-05-50P-EW と北から南へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

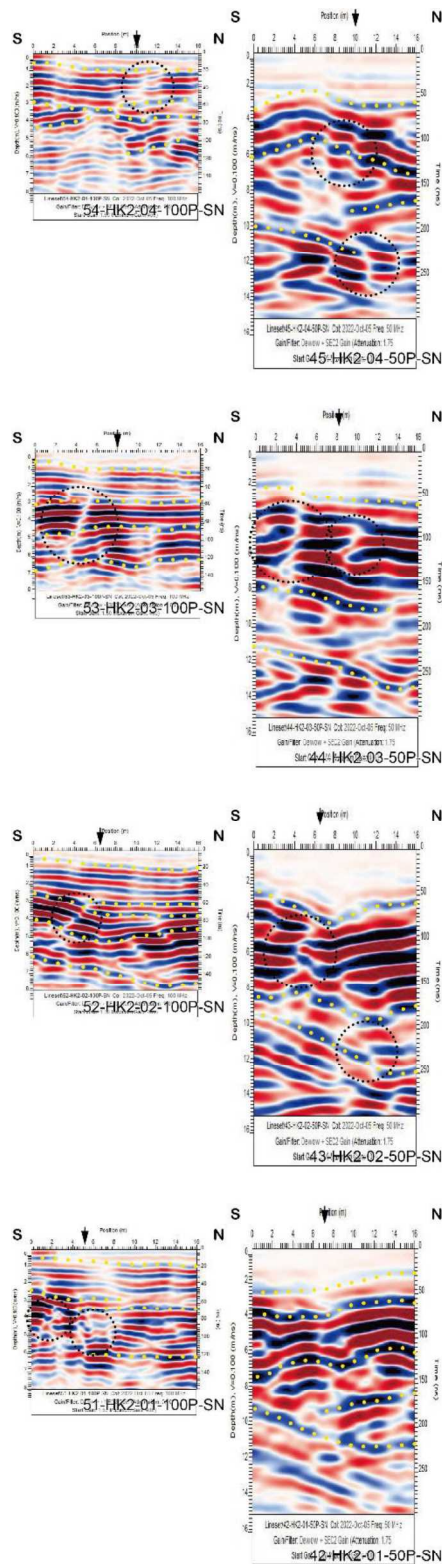


図 2.3.39 100 MHz・50 MHz 南北測線探査結果
 (上から下の順番で 54-HK2-04-100P-SN・45-HK2-04-50P-SN から 51-HK2-01-100P-SN・42-
 HK2-01-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

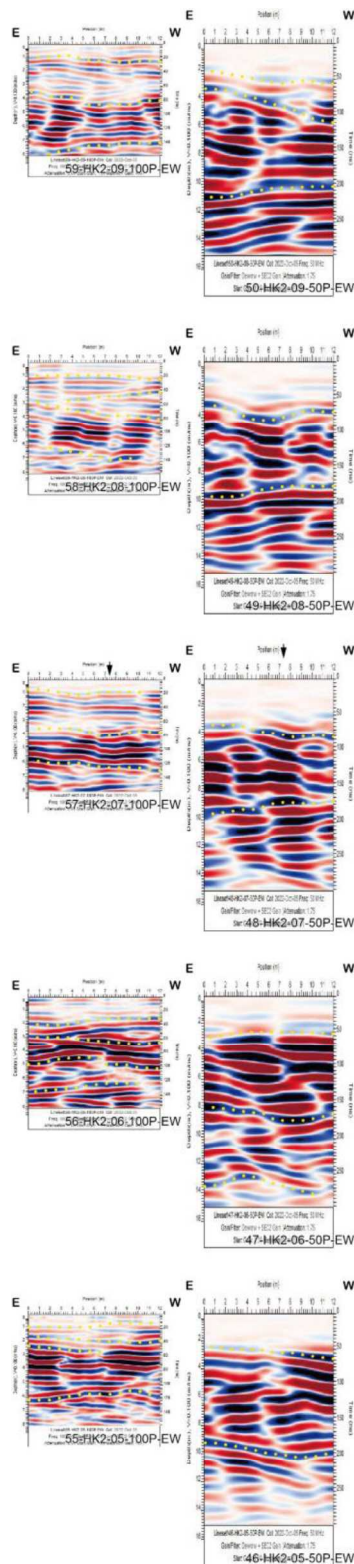


図 2.3.40 100 MHz・50 MHz 東西測線解析結果
 (上から下の順番で 59-HK2-09-100P-EW・50-HK2-09-50P-EW から 55-HK2-05-100P-EW・
 46-HK2-05-50P-EW と北から南へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

②考察

平川2地点での地中レーダ探査では、ほぼ水平もしくは北側に緩やかに連続する反射（図中の黄色点線）に異なる深度で不連続がみられた（図中の黒色点丸印の箇所）。探査箇所近傍では、現存していた作業小屋が熊本地震によって倒壊したとのかを土地所有者からの聞き取りにより情報を得ている。反射の不連続位置の地表延長部は、測地学的解析で抽出した位相不連続ラインとも概ね一致することから、ここでみられた反射の不連続は、熊本地震またはそれに先行する地震イベントによって生じたものと推定される。

(3) 平川3地区

① 調査結果

平川3地区では、周波数 50 MHz を用いて探査を実施した。探査測線は、位相不連続ラインに直交および並行方向に、測線間隔は南北測線で 2 m、東西測線でグリッド端部の 4 m として、測線を配置した。測線数は、南北方向・東西方向ともに 4 測線、計 8 測線である（図 2.3.42～図 2.3.45）。探査測線図を図 2.3.41 に示す。

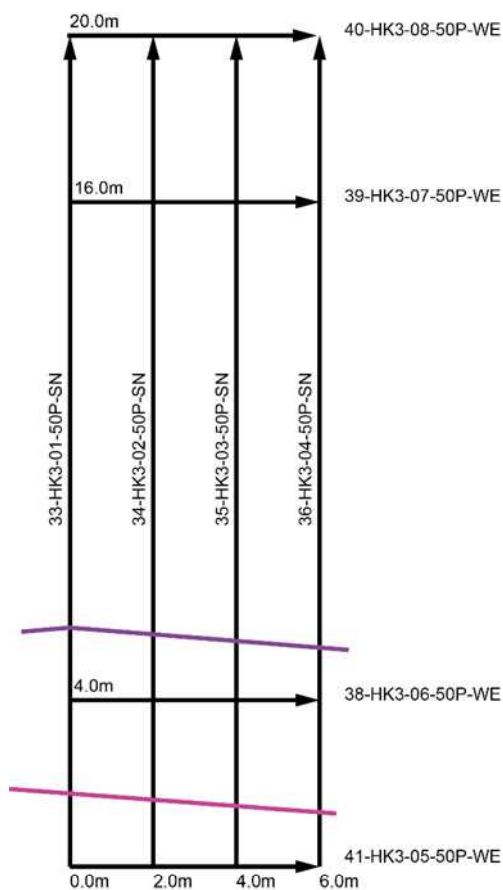


図 2.3.41 探査測線位置図 (50 MHz)

図中の赤紫線・紫色線は位相不連続ラインを示す

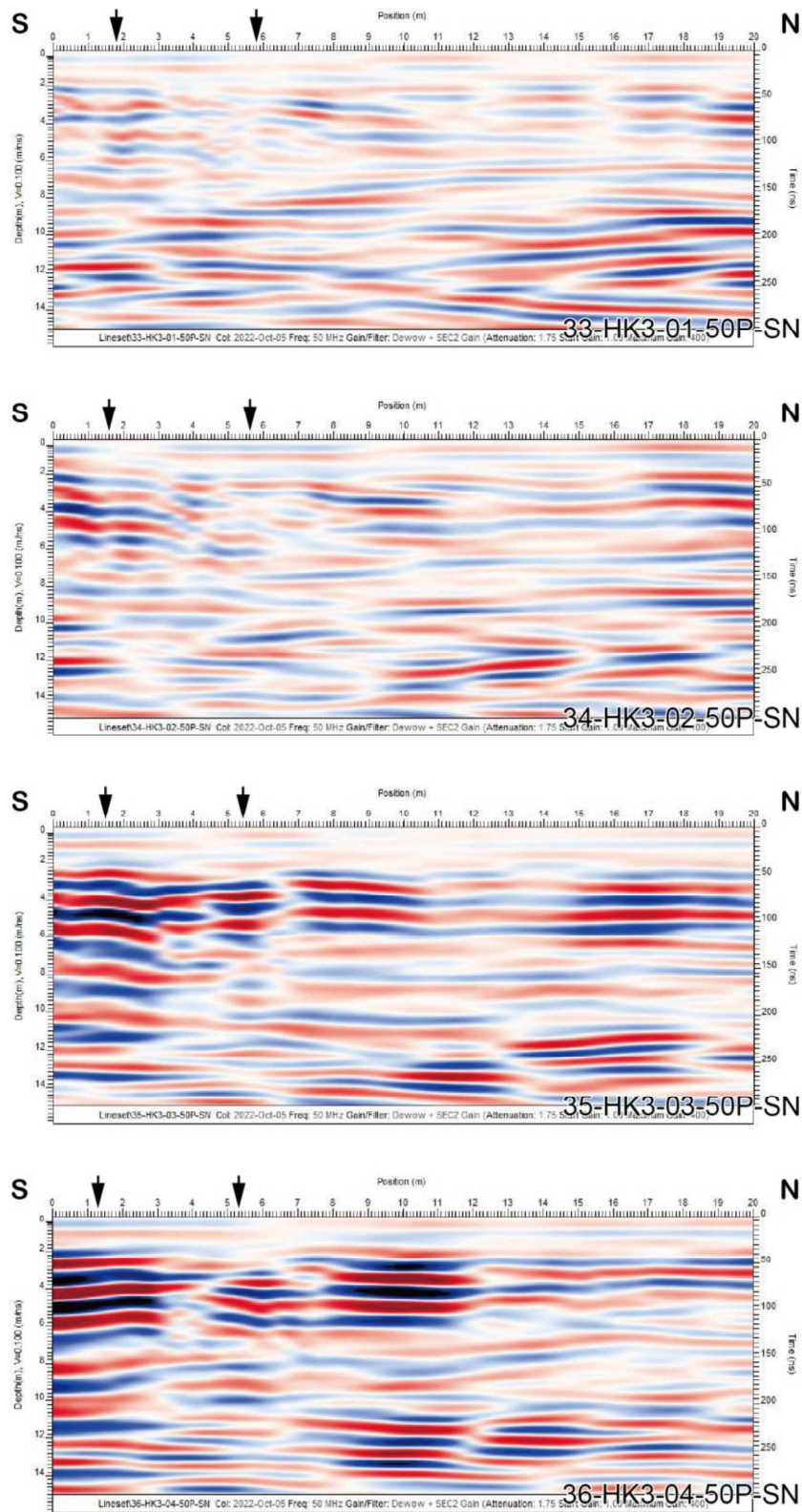


図 2.3.42 50 MHz 南北測線探査結果
 (上から下の順番で 33-HK3-01-50P-SN から 36-HK3-04-50P-SN と西から東へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

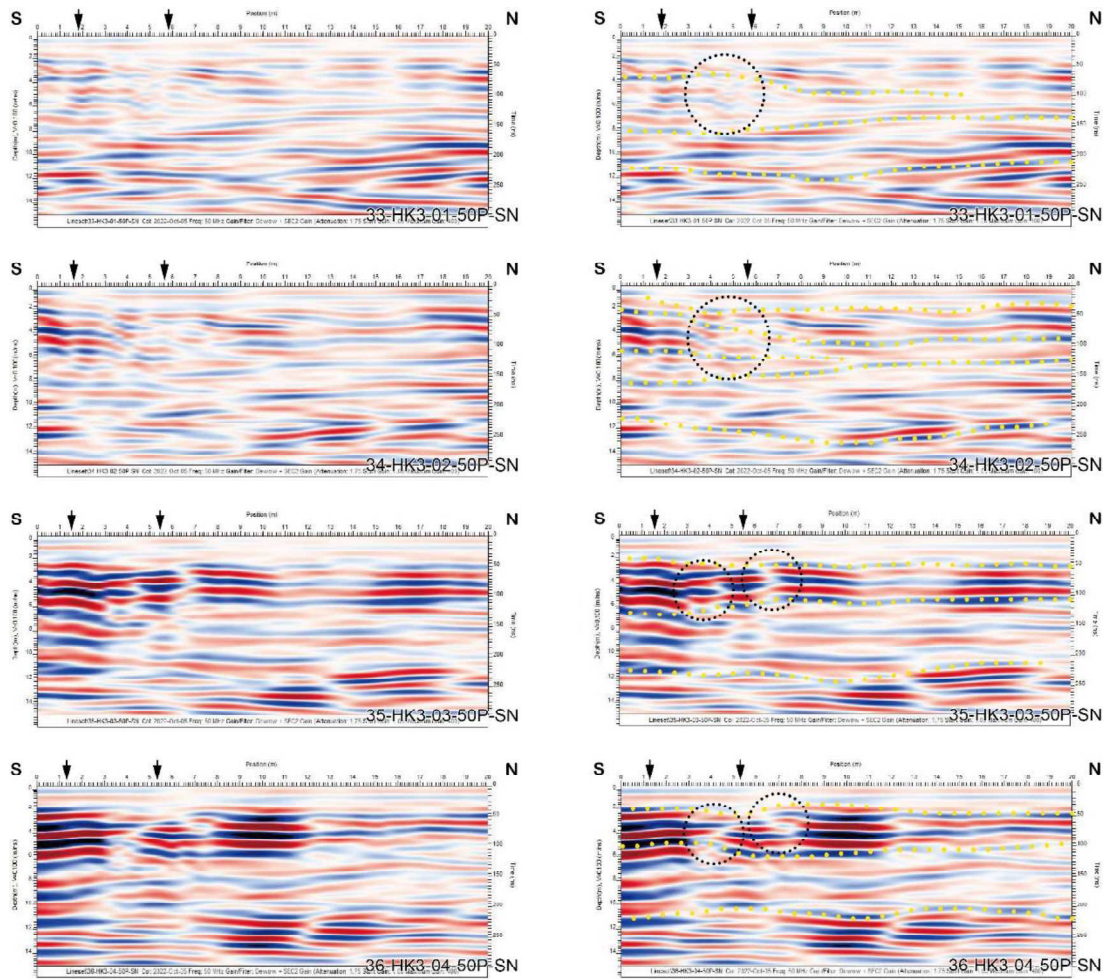


図 2.3.43 50 MHz 南北測線解析結果

(上から下の順番で 33-HK3-01-50P-SN から 36-HK3-04-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

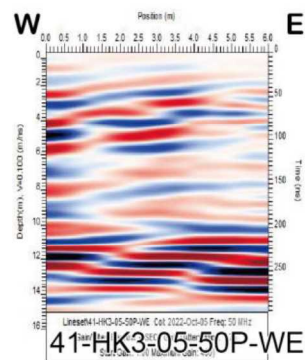
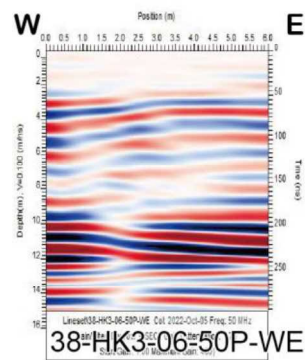
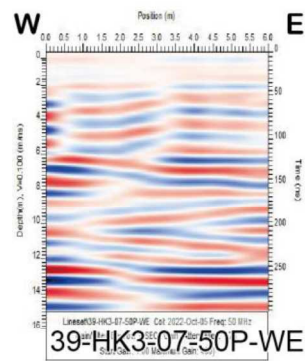
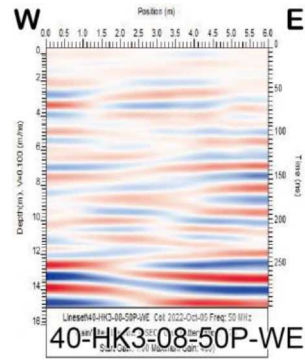


図 2.3.44 50 MHz 東西測線探査結果
 (上から下の順番で 40-HK3-08-50P-WE から 41-HK3-05-50P-WE と北から南へ配置)

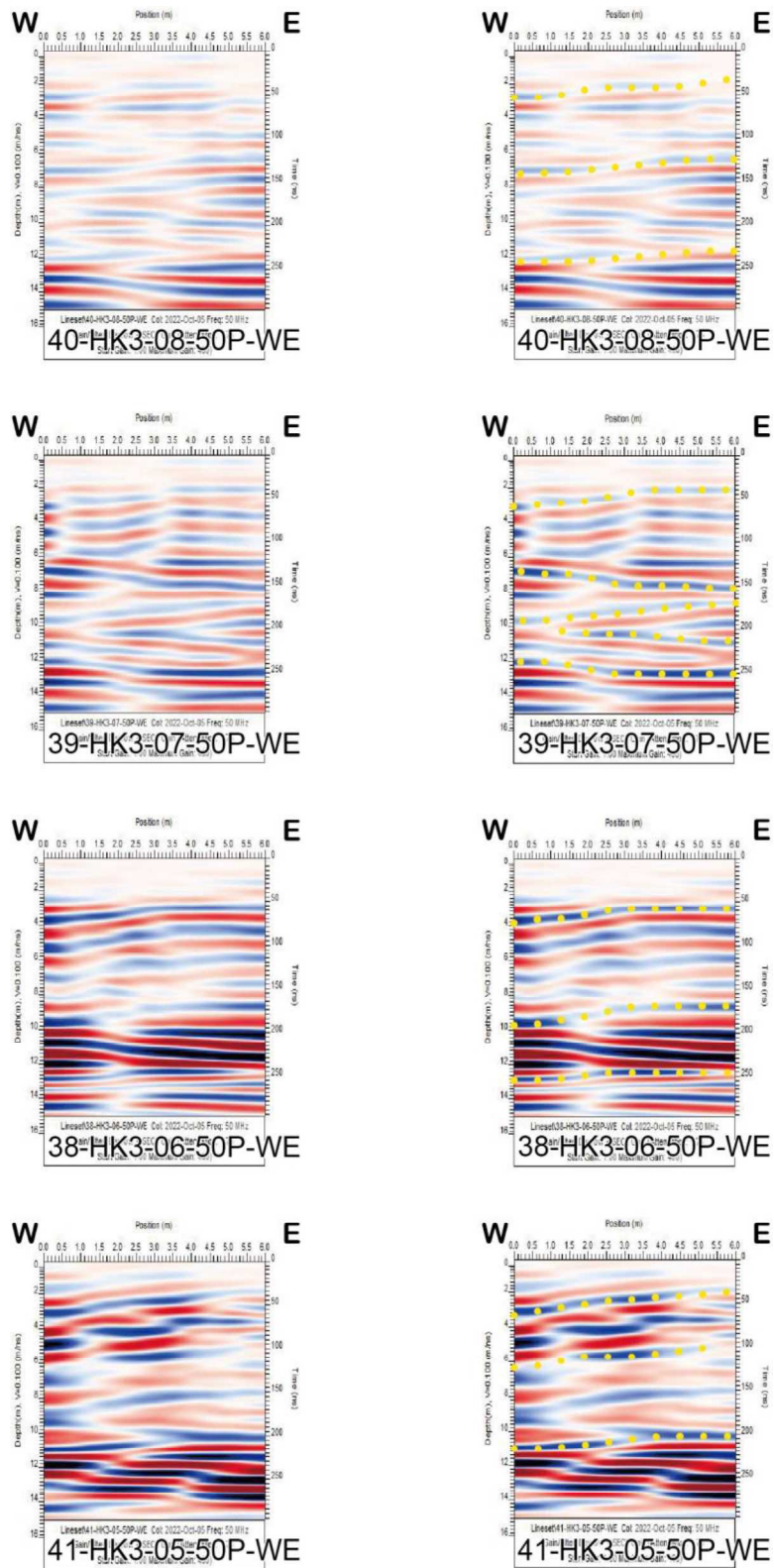


図 2.3.45 50 MHz 東西測線解釈断面
 (上から下の順番で 40-HK3-08-50P-WE から 41-HK3-05-50P-WE と北から南へ配置)
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

②考察

平川 3 地点の東側に位置する舗装道路では、熊本地震時に生じたと考えられる雁行状に配列する亀裂が確認される。その西側延長部にて実施した探査結果では、全ての断面において南側に傾き下がる反射の連続（図中の黄色点線）や周辺と比べて反射強度の強い反射面（図中の黄色点線）に不連続がみられる（図中の黒色点丸印の箇所）。それらの反射面の不連続位置は、測地学的解析で抽出した位相不連続ラインおよび現地で確認される変状位置の延長と概ね一致することから、熊本地震またはそれに先行する地震イベントによって生じたものと推定される。

(4) 下野地区

① 調査結果

下野地区では、周波数 100 MHz および 50 MHz を用いて、同一測線上で探査を実施した。探査測線は、位相不連続ラインに直交および並行方向に、測線間隔は南北測線で 2 m、東西測線で 4 m として、格子状に測線を配置した。測線数は、100 MHz・50 MHz とともに、南北方向に 11 測線、東西方向に 4 測線、計 30 測線である（図 2.3.47～図 2.3.65）。探査測線図を図 2.3.46 に示す。

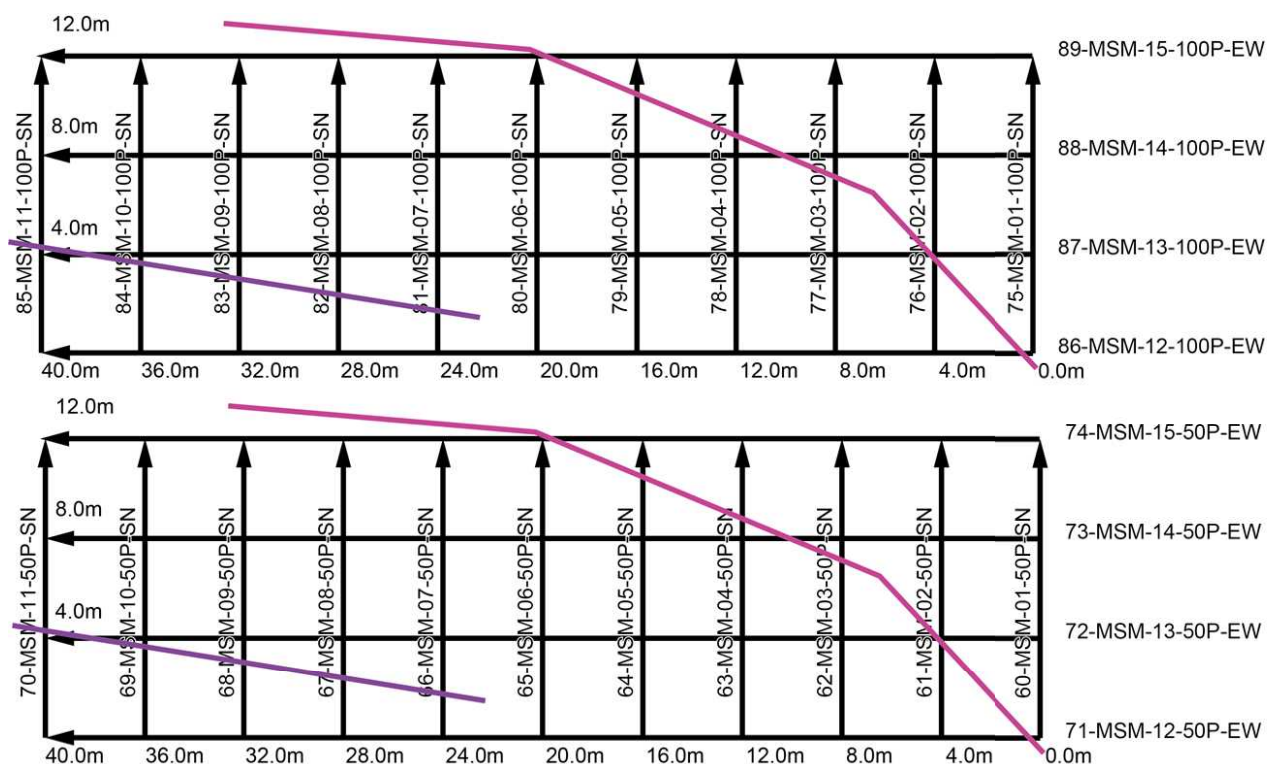


図 2.3.46 探査測線位置図（上図：100 MHz, 下図：50 MHz）

図中の赤紫線・紫色線は位相不連続ラインを示す

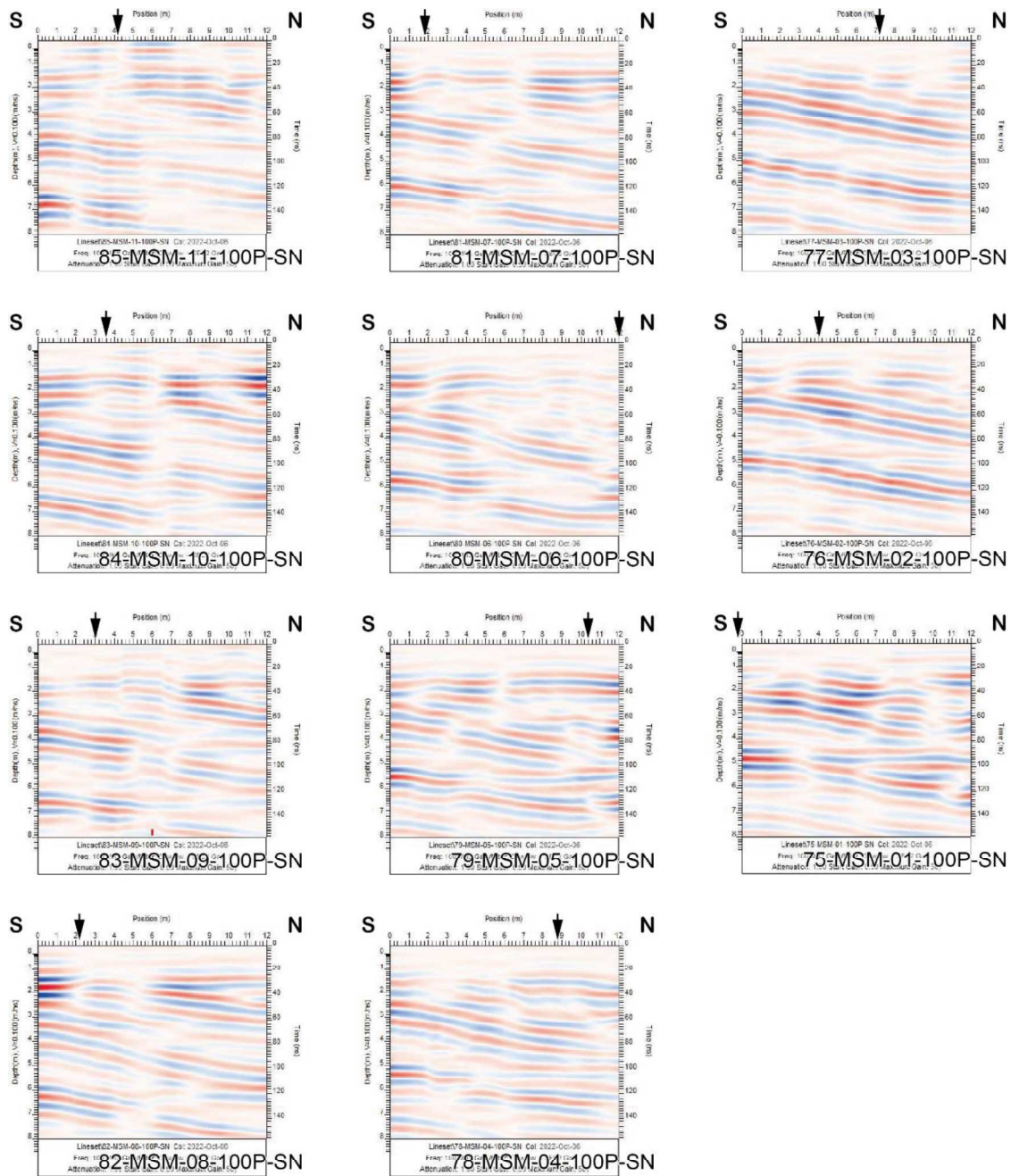


図 2.3.47 100 MHz 南北測線探査結果

(左上から右下の順番で 85-MSM-11-100P-SN から 75-MSM-01-100P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

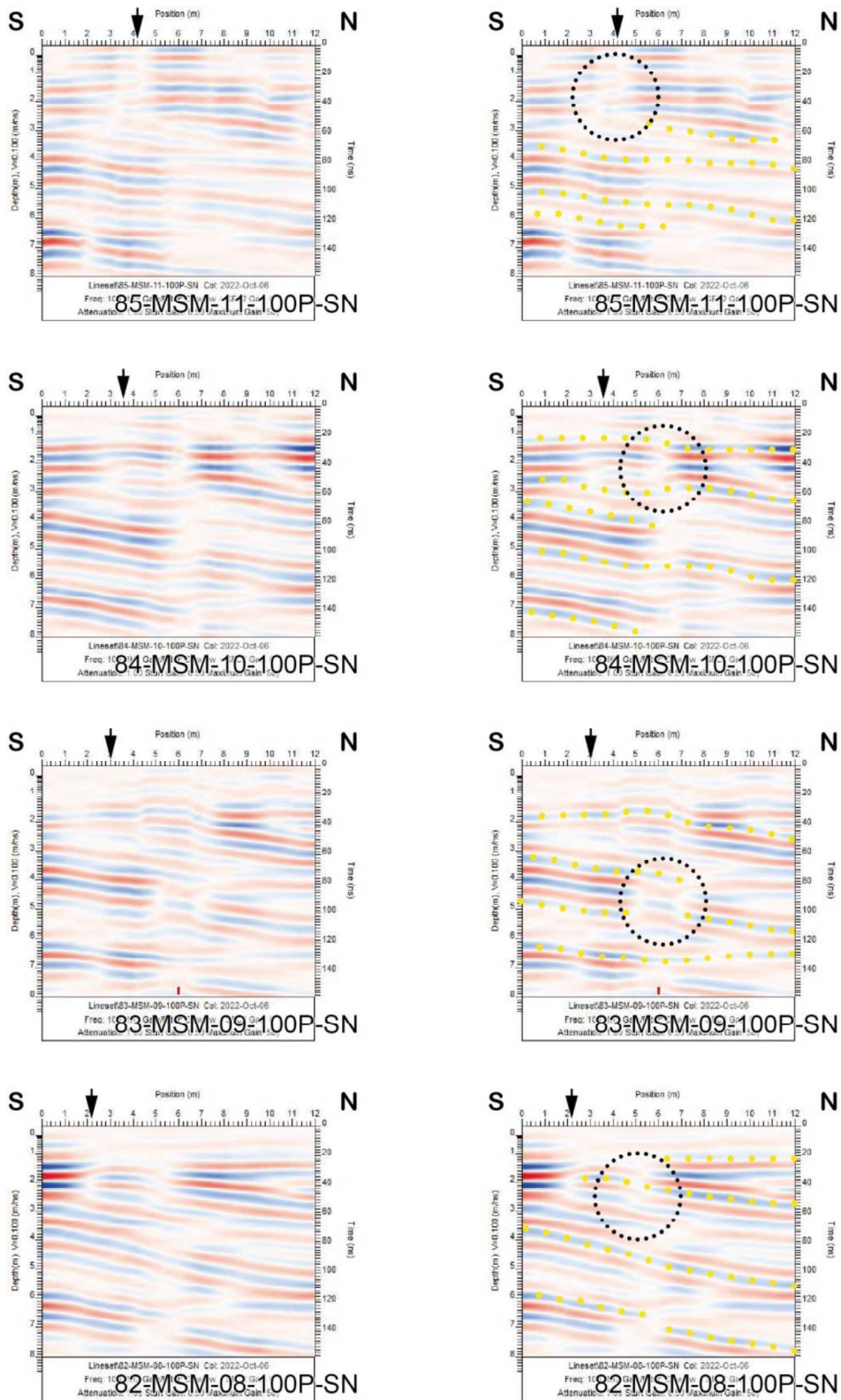


図 2.3.48 100 MHz 南北測線解析結果 1

(上から下の順番で 85-MSM-11-100P-SN から 82-MSM-08-100P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

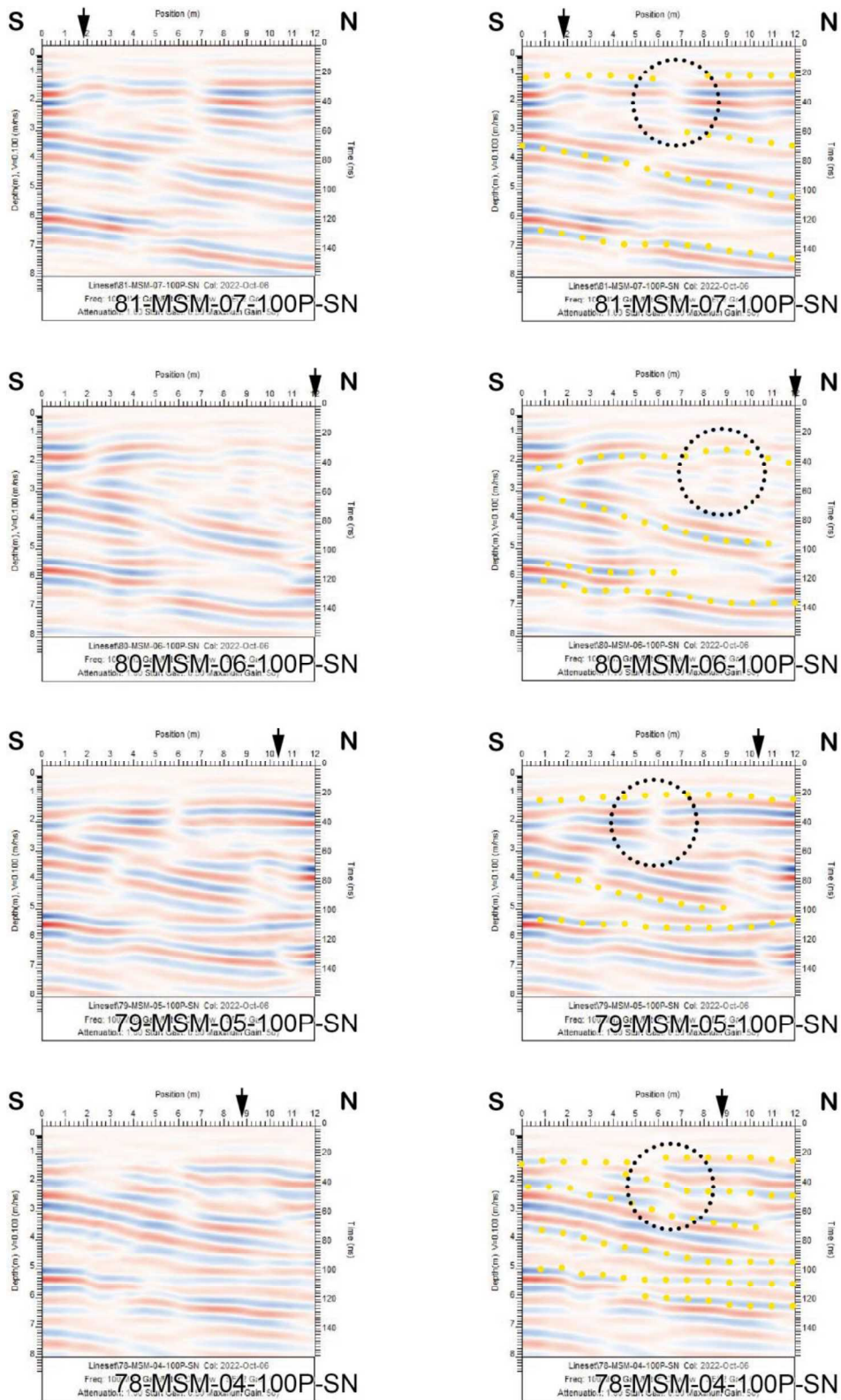


図 2.3.49 100 MHz 南北測線解析結果 2

(上から下の順番で 81-MSM-07-100P-SN から 78-MSM-04-100P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

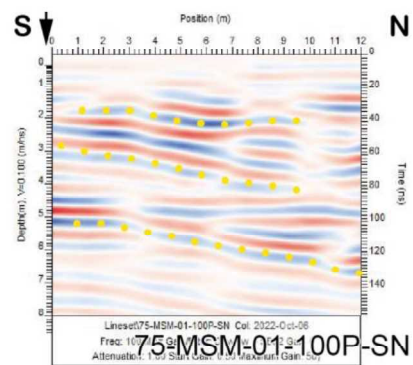
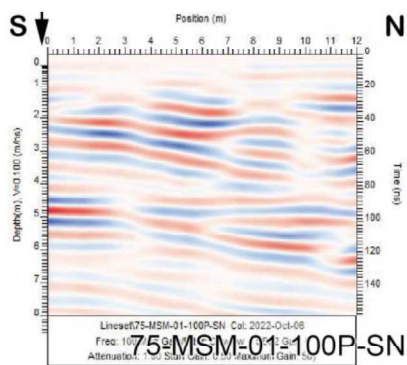
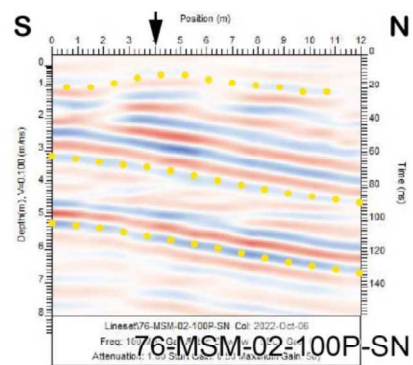
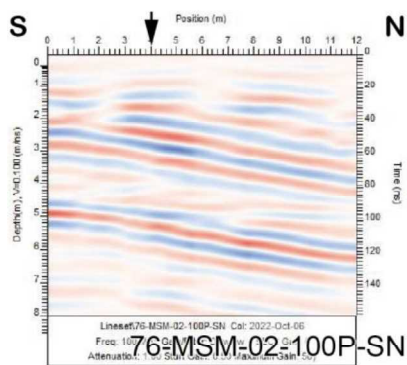
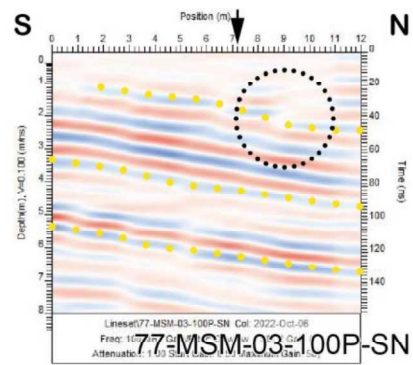
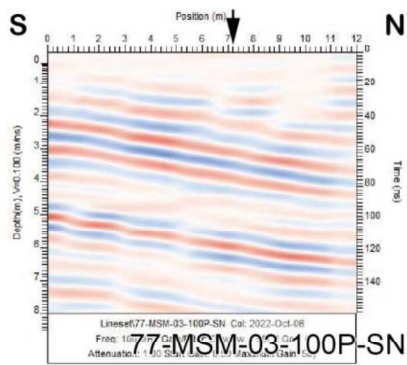


図 2.3.50 100 MHz 南北測線探査結果 3

(上から下の順番で 77-MSM-03-100P-SN から 75-MSM-01-100P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

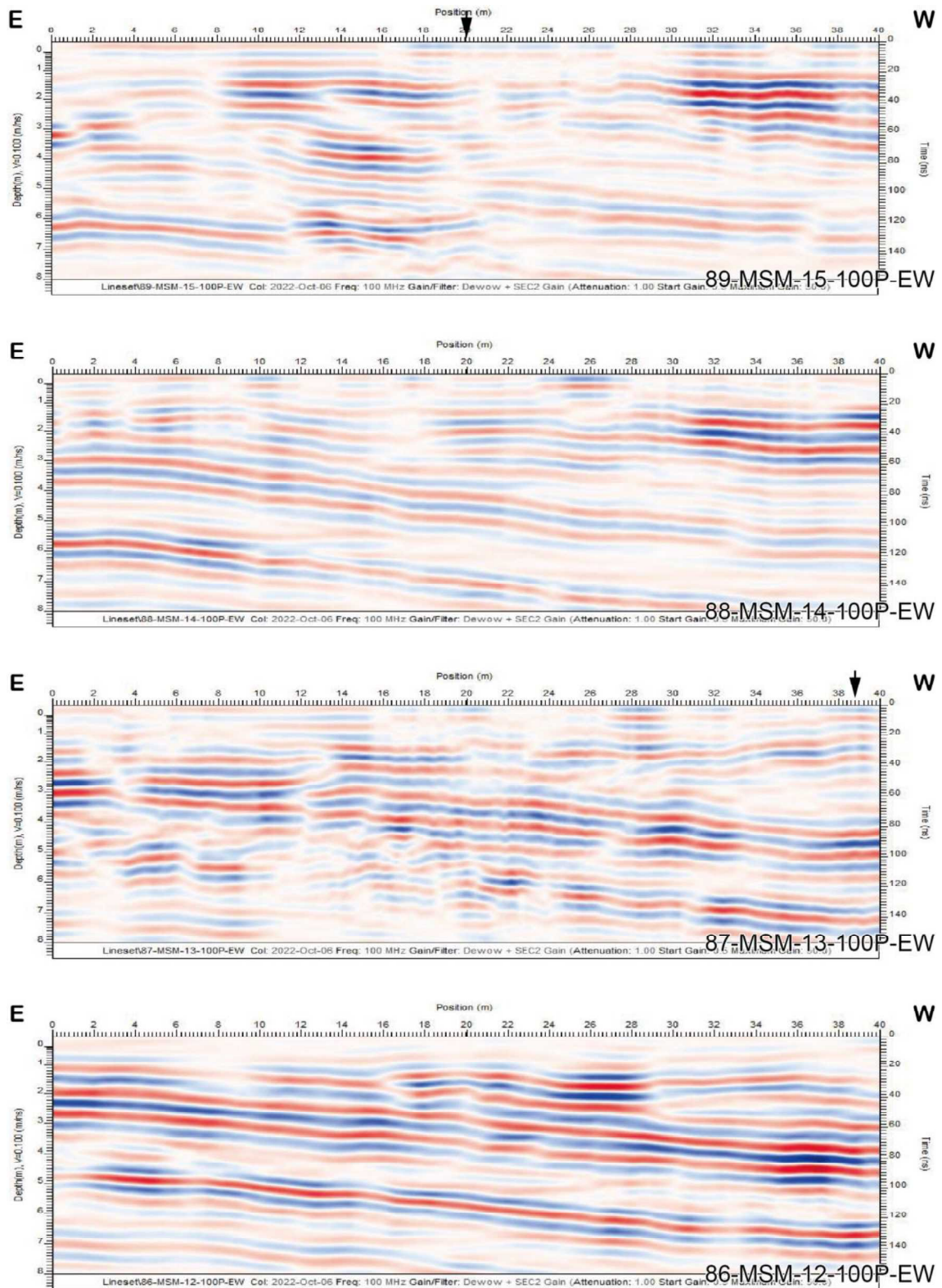


図 2.3.51 100 MHz 東西測線探査結果
 (上から下の順番で 89-MSM-15-100P-EW から 86-MSM-12-100P-EW と北から南へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

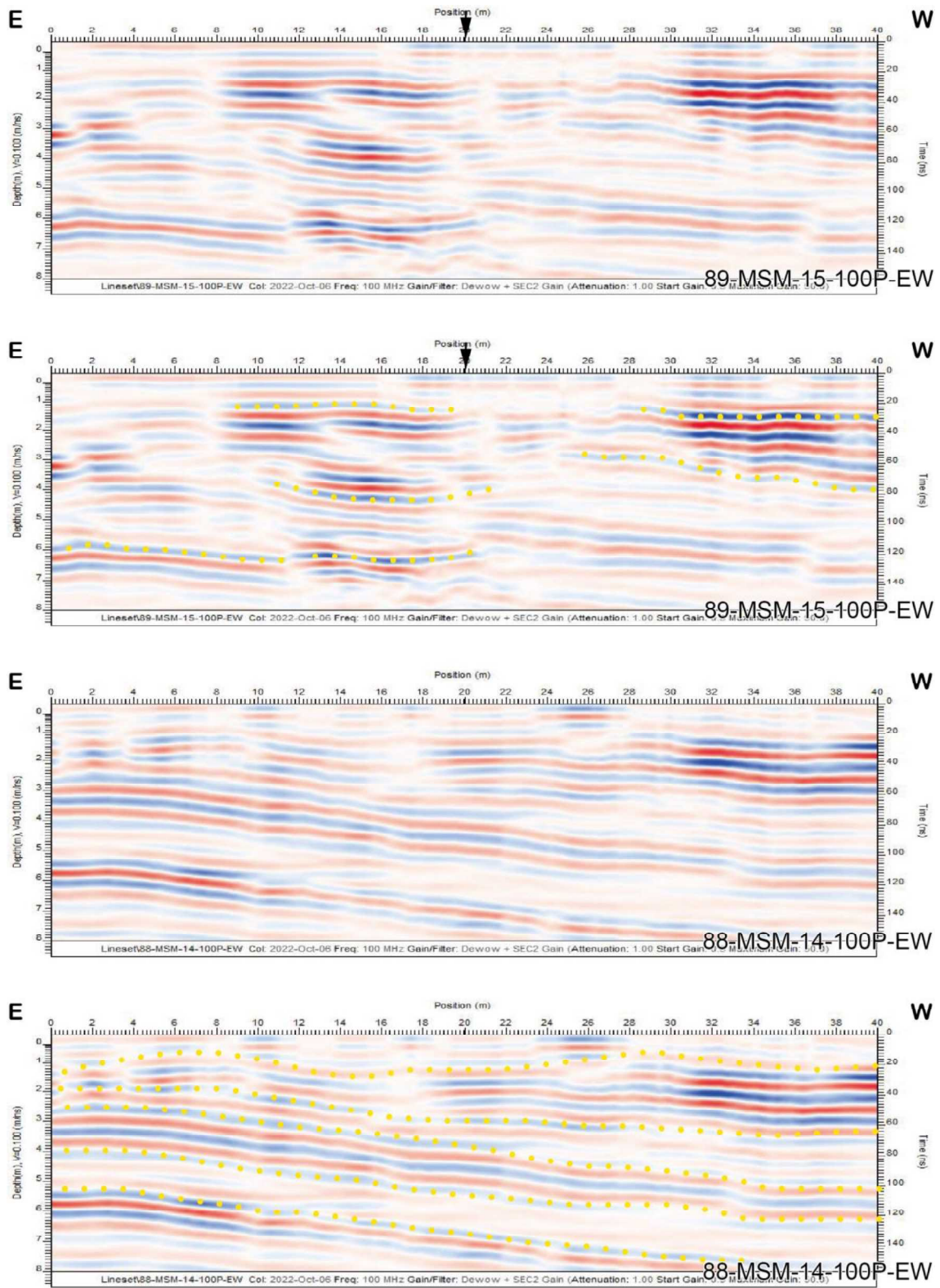


図 2.3.52 100 MHz 東西測線解析結果 1
 (上から下の順番で 89-MSM-15-100P-EW から 88-MSM-14-100P-EW と北から南へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

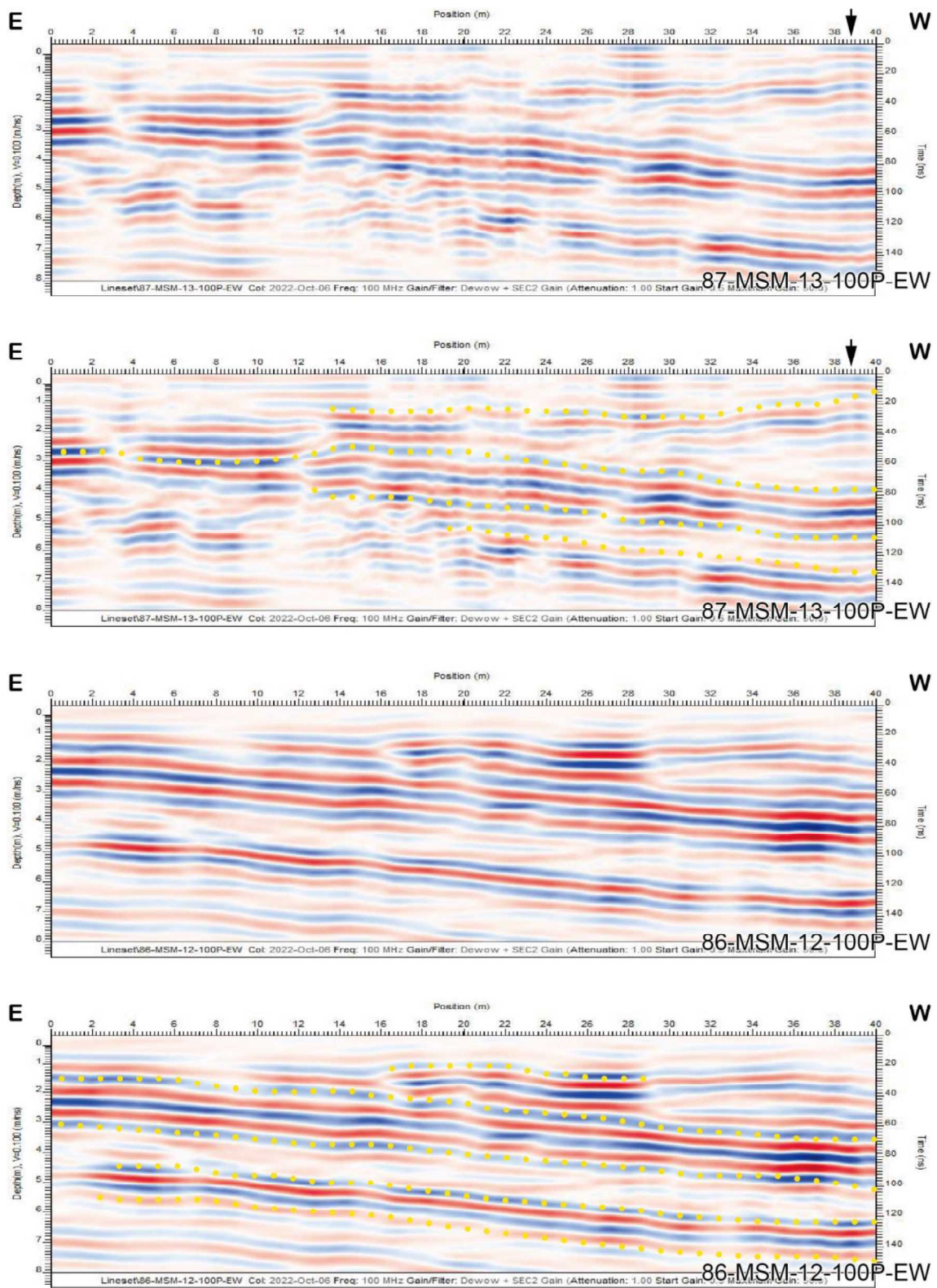


図 2.3.53 100 MHz 東西測線解析結果 2
 (上から下の順番で 87-MSM-13-100P-EW から 86-MSM-12-100P-EW と北から南へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

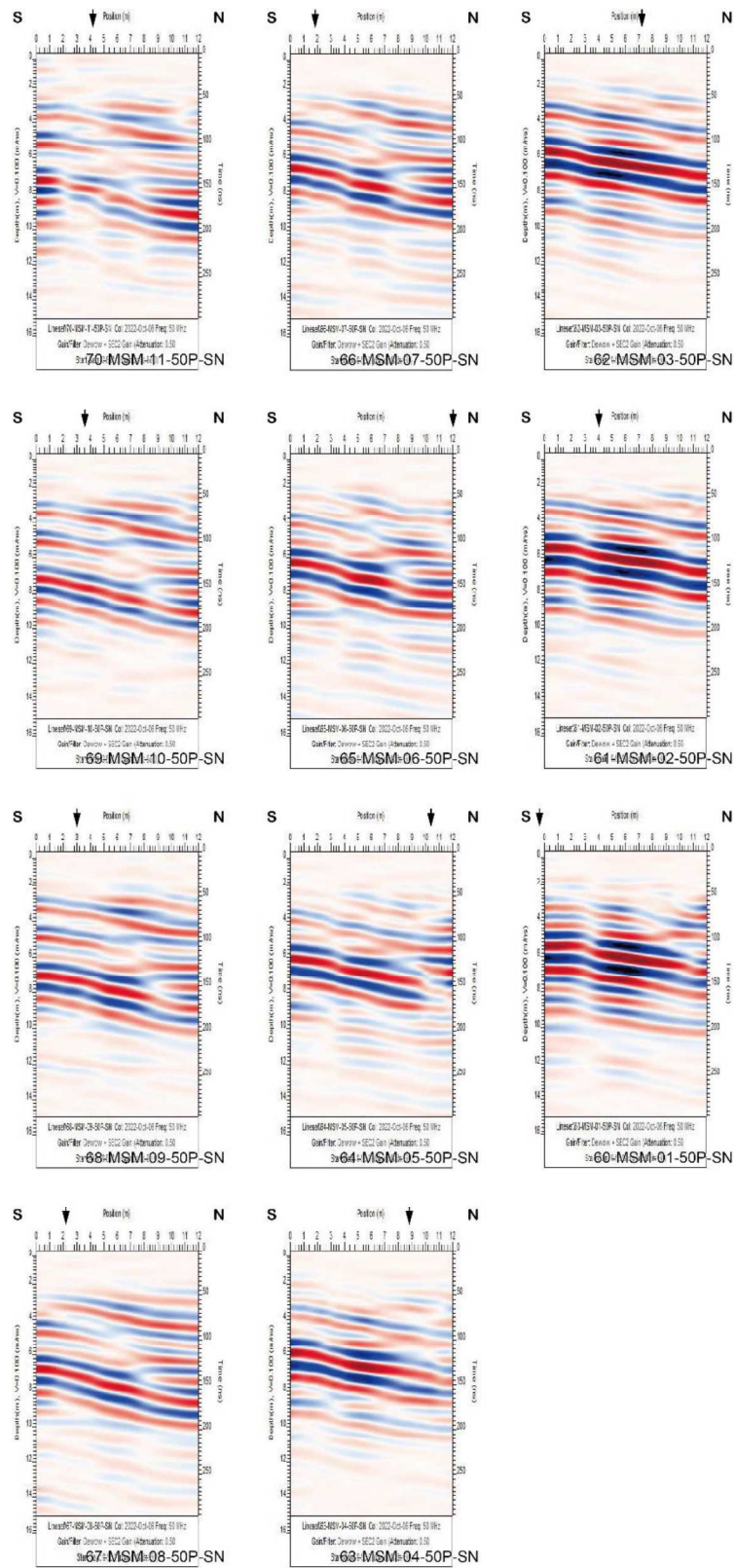


図 2.3.54 50 MHz 南北測線探査結果

(左上から右下の順番で 70-MSM-11-50P-SN から 60-MSM-01-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

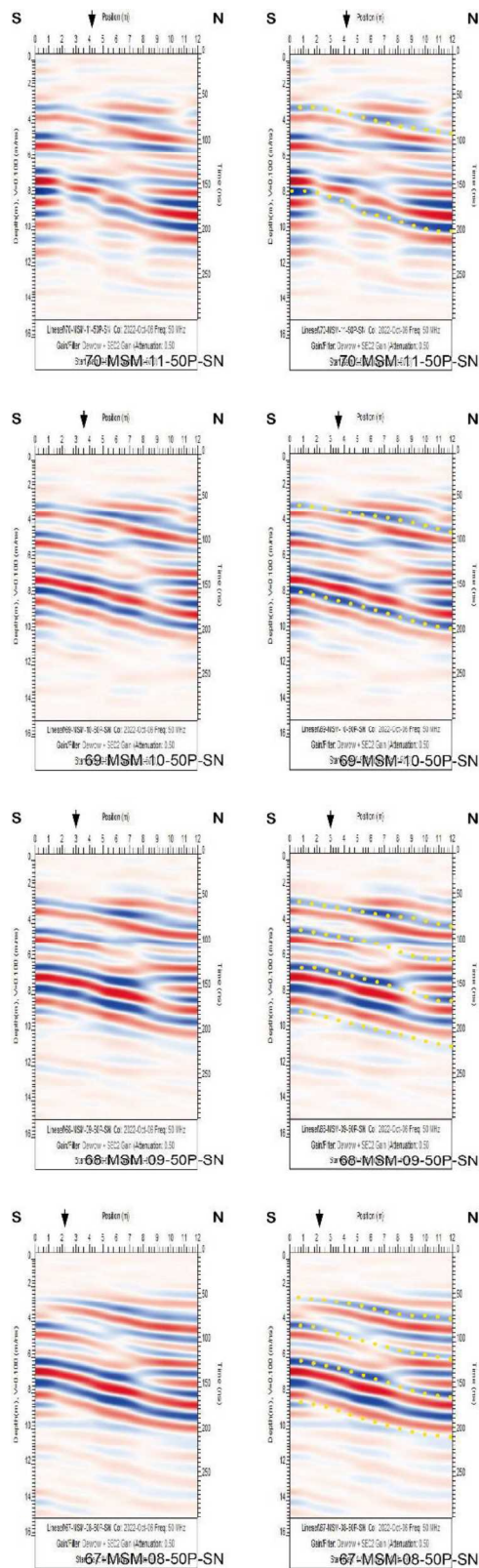


図 2.3.55 50 MHz 南北測線解析結果 1

(上から下の順番で 70-MSM-11-50P-SN から 67-MSM-08-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

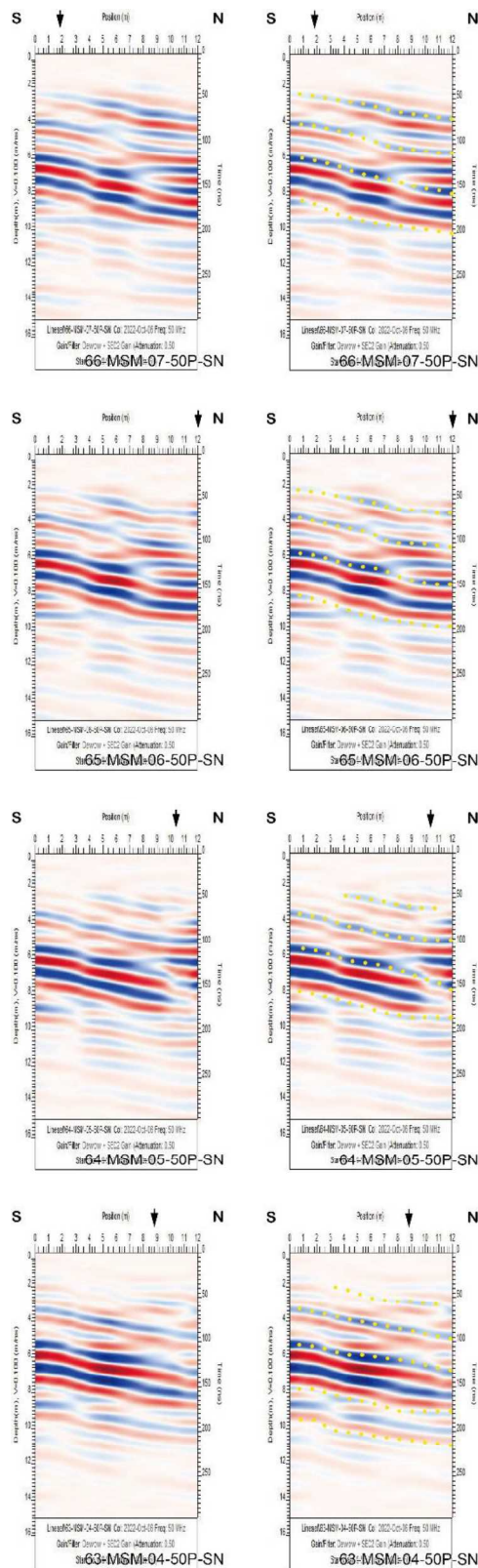


図 2.3.56 50 MHz 南北測線解析結果 2

(上から下の順番で 66-MSM-07-50P-SN から 63-MSM-04-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

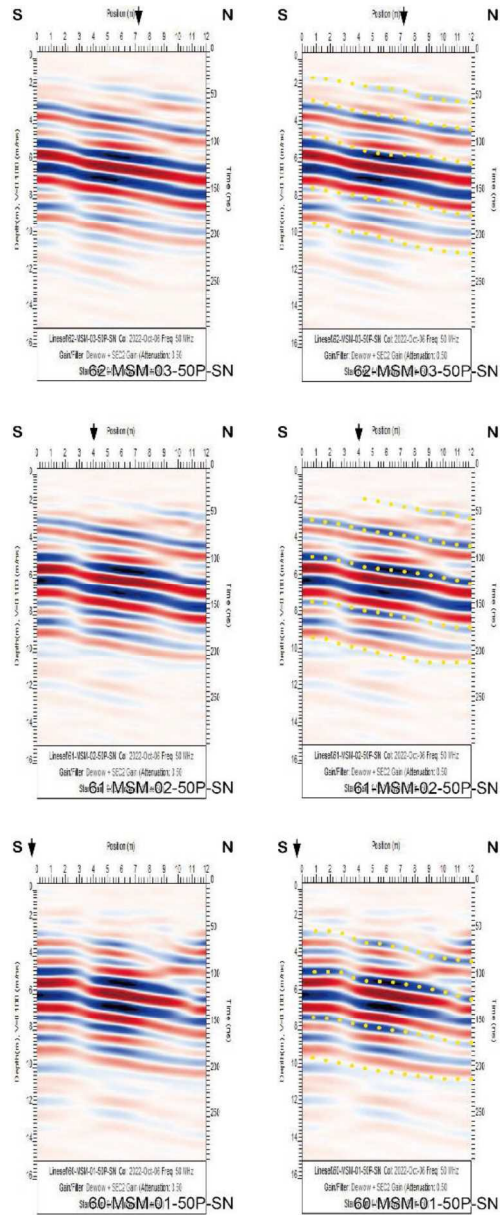


図 2.3.57 50 MHz 南北測線解析結果 3
 (上から下の順番で 62-MSM-03-50P-SN から 60-MSM-01-50P-SN と西から東へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

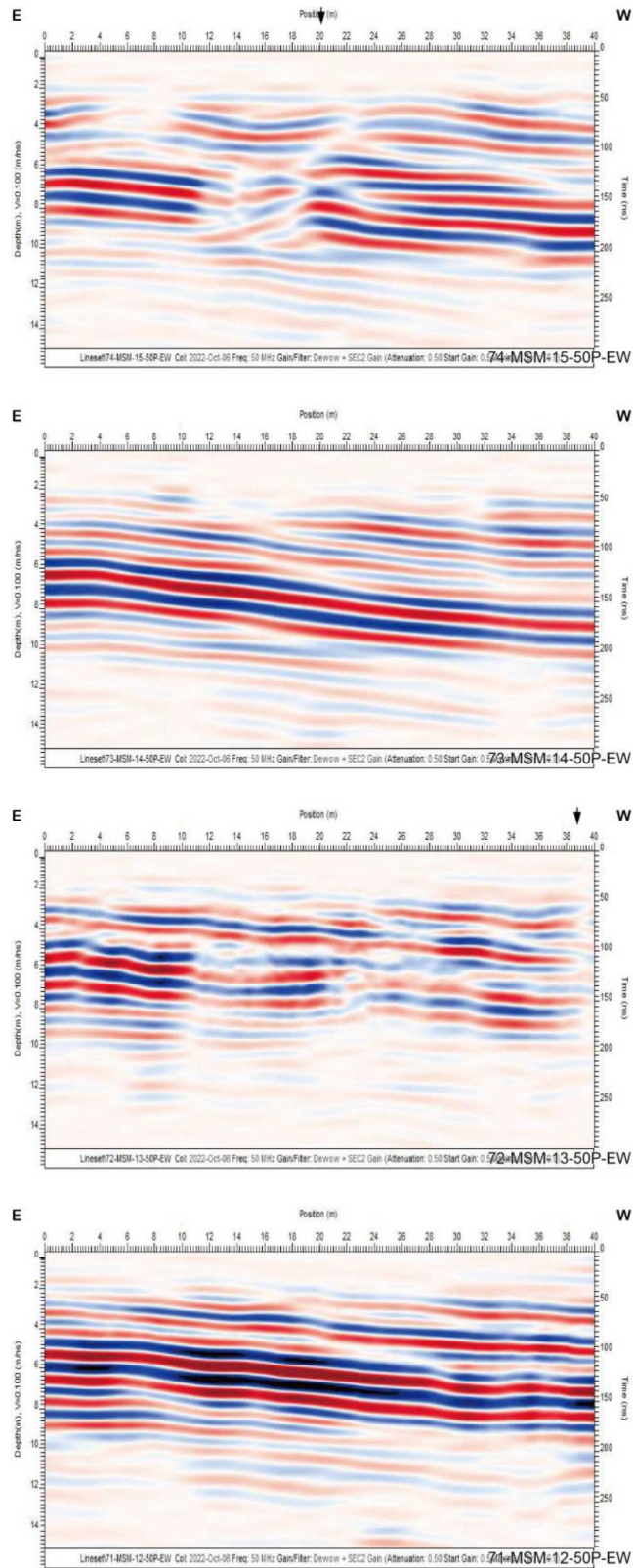


図 2.3.58 50 MHz 東西測線探査結果

(上から下の順番で 74-MSM-15-50P-EW から 71-MSM-12-50P-EW と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

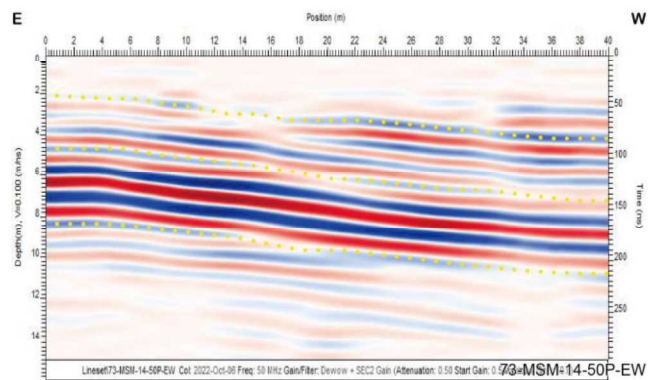
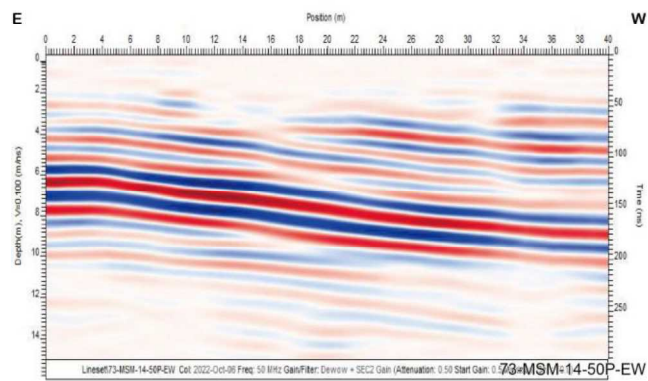
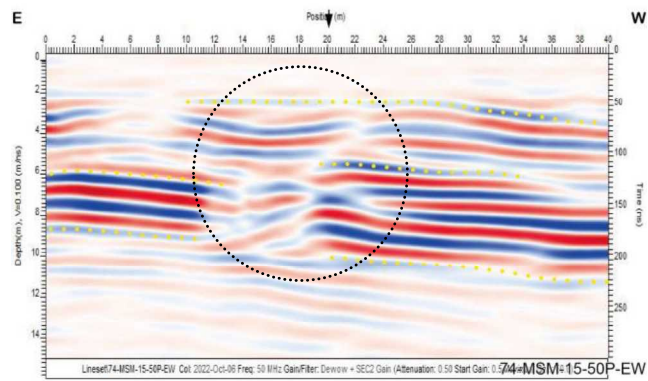
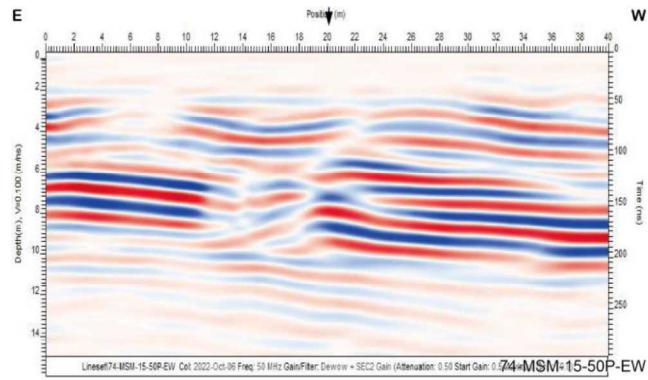


図 2.3.59 50 MHz 東西測線解析結果 1

(上から下の順番で 74-MSM-15-50P-EW から 73-MSM-14-50P-EW と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

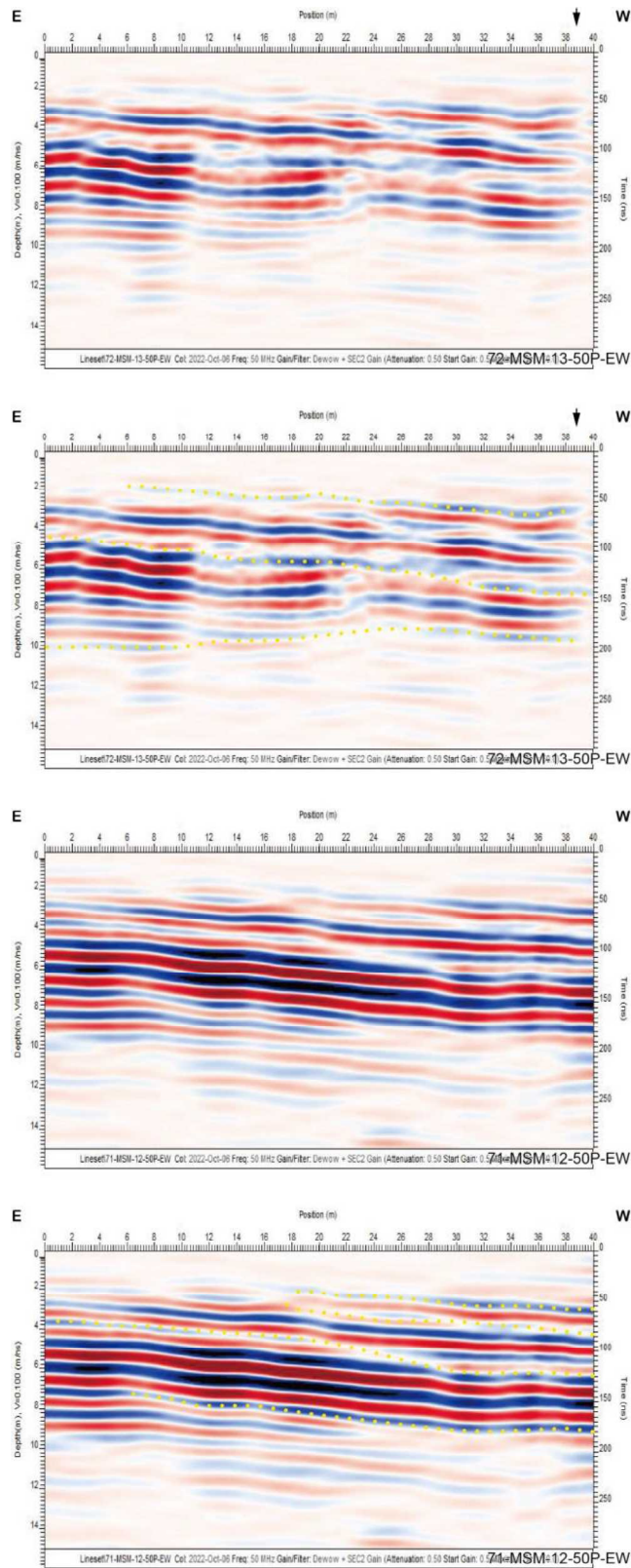


図 2.3.60 50 MHz 東西測線解析結果 2

(上から下の順番で 72-MSM-13-50P-EW から 71-MSM-12-50P-EW と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

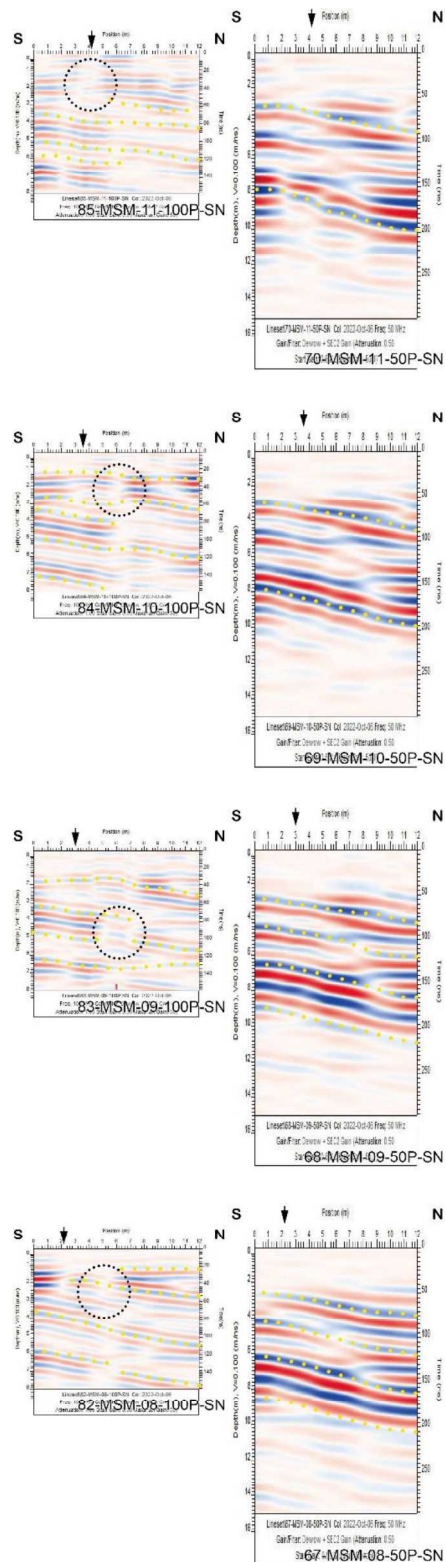


図 2.3.61 100 MHz · 50 MHz 南北測線解析結果 1
 (上から下の順番で 85-MSM-11-100P-SN · 70-MSM-11-50P-SN から 82-MSM-08-100P-SN ·
 67-MSM-08-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

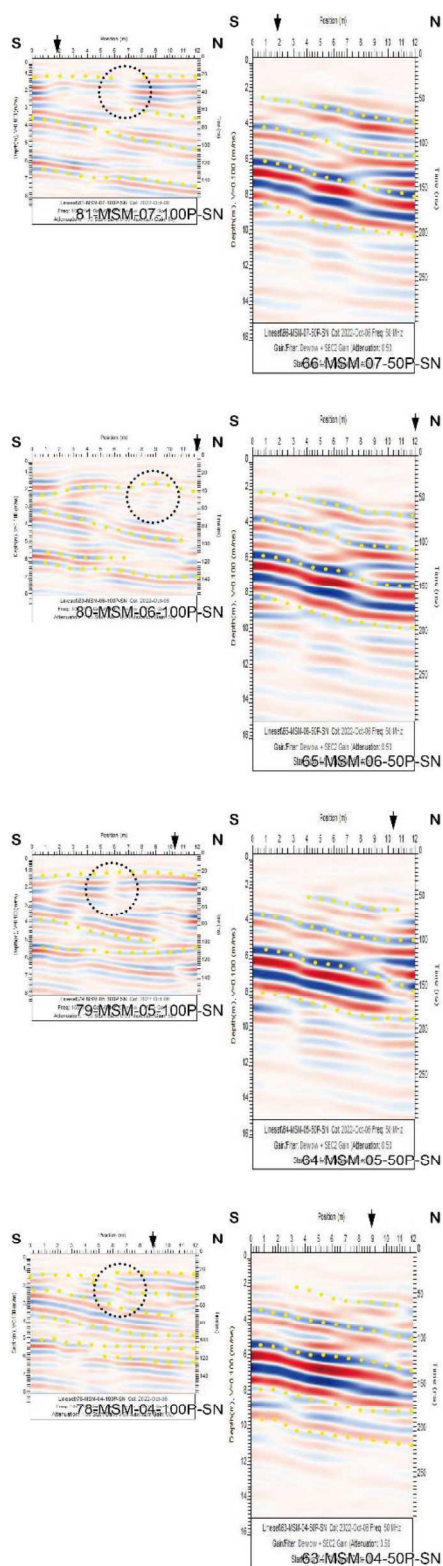


図 2.3.62 100 MHz・50 MHz 南北測線解析結果 2
 (上から下の順番で 81-MSM-07-100P-SN・66-MSM-07-50P-SN から 78-MSM-04-100P-SN・
 63-MSM-04-50P-SN と西から東へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

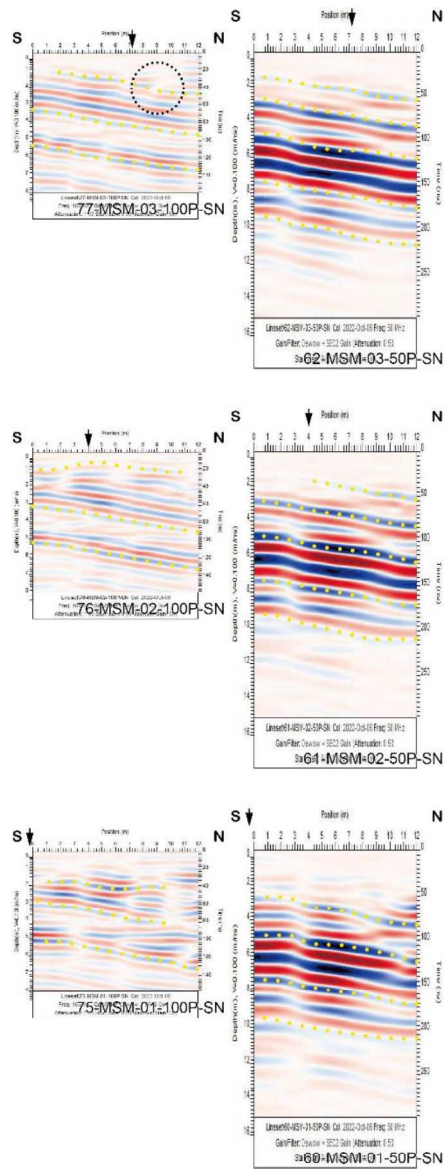


図 2.3.63 100 MHz・50 MHz 南北測線解析結果 3
 (上から下の順番で 77-MSM-03-100P-SN・62-MSM-03-50P-SN から 75-MSM-01-100P-SN・
 60-MSM-01-50P-SN と西から東へ配置)
 図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す
 黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

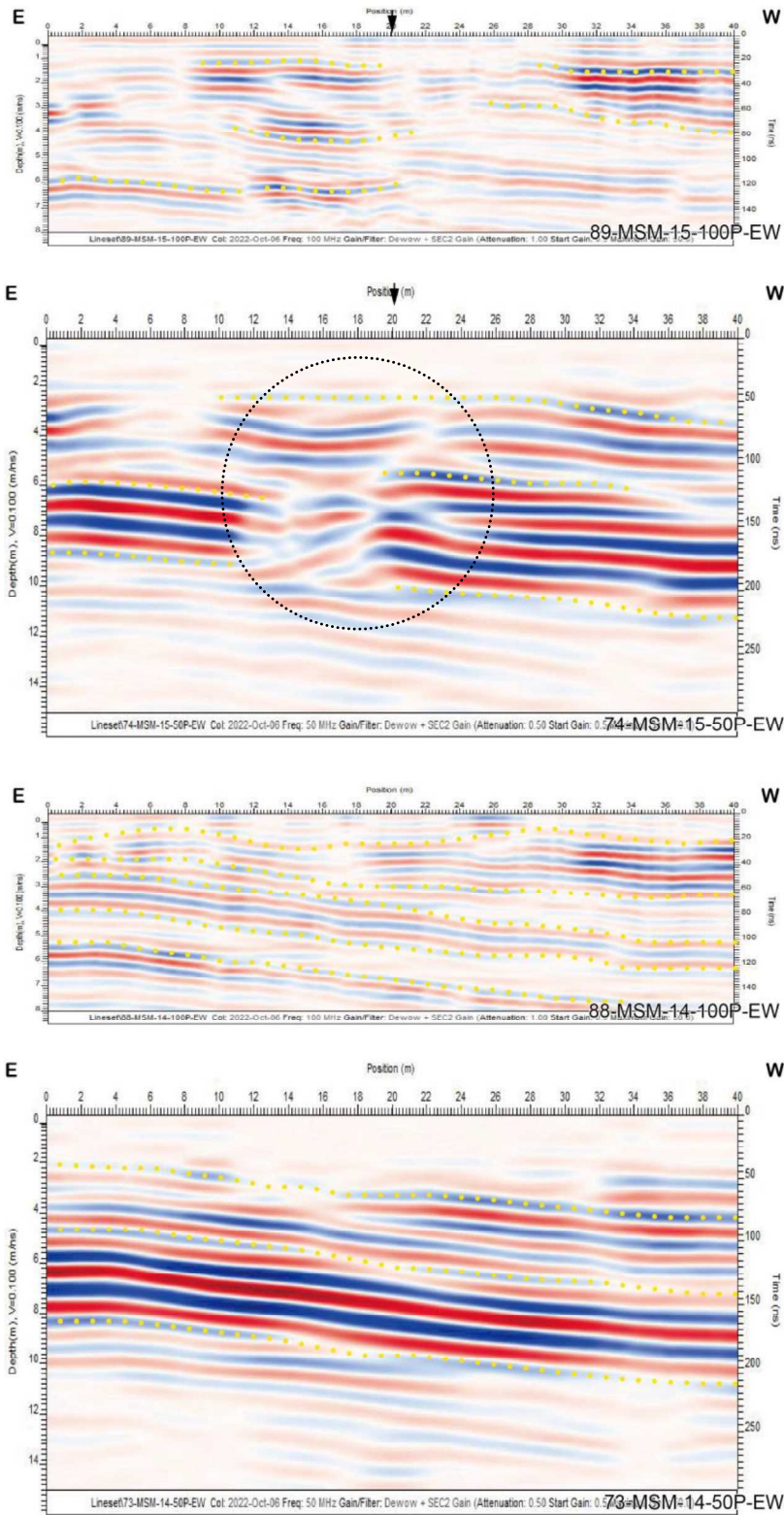


図 2.3.64 100 MHz・50 MHz 東西測線解析結果 1

(上から下の順番で 89-MSM-15-100P-EW・74-MSM-15-50P-EW から 88-MSM-14-100P-EW・

73-MSM-14-50P-EW と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続、黒色点線丸印は反射の不連続位置を示す

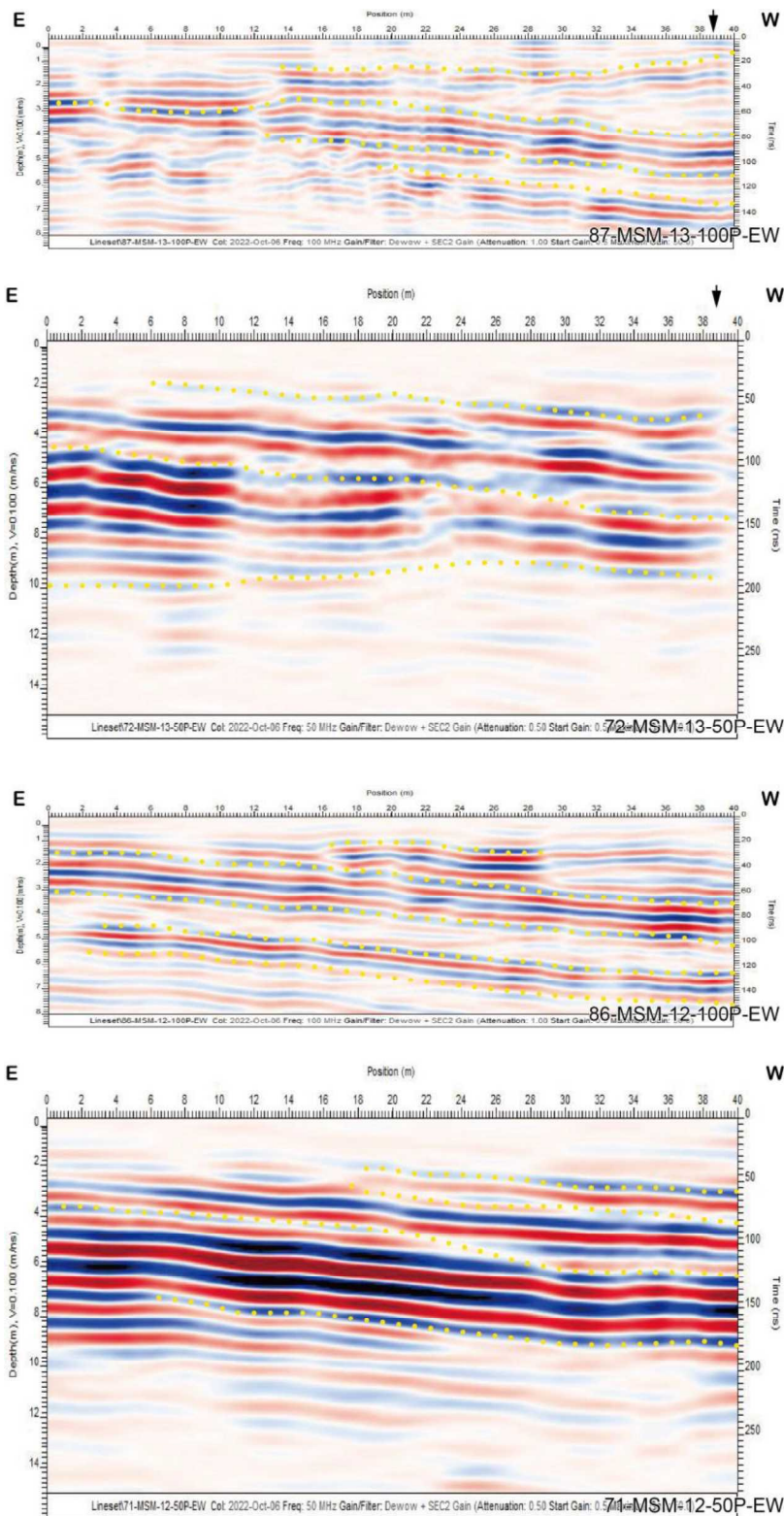


図 2.3.65 100 MHz・50 MHz 東西測線解析結果 2

(上から下の順番で 87-MSM-13-100P-EW・72-MSM-13-50P-EW から 86-MSM-12-100P-EW・

71-MSM-12-50P-EW と北から南へ配置)

図中の矢印は位相不連続ラインの位置を示す

黄色点線は特徴的な反射の連続を示す

②考察

下野地点で実施した探査結果では、100 MHz の記録では全体的にやや反射が減衰しているが、50 MHz の記録をみると、反射強度の強い反射の連続が確認される（図中の黄色点線）。南北測線では、南側から北側へ、東西測線では東側から西側へ緩やかに傾く反射が明瞭にみられる。探査記録では、複数箇所にて明瞭な反射の不連続はみられないが、東西測線の最も北側で実施した探査では、反射の不連続（図中の黒色点丸印の箇所）がみられ、これらは熊本地震またはそれに先行する地震イベントによって生じたものと推定される。

2.3.2.3. トレンチ調査地点の選定

以上の 4 地点で実施した地中レーダ探査記録の解析結果および既存ボーリング資料から極浅部地下構造を検討した結果、副断層トレンチ調査地点として平川 1 地点の西側（平川馬場地区）を選定した。

2.3.3. 物理探査による地下構造の検討結果

測地学的情報を用いた解析結果に基づき、2 地区（平川馬場地区および下野地区）で異なる周波数帯（50MHz および 100MHz）を用いた地中レーダ探査を計 88 測線で実施した。

平川馬場地区では 3 地点で地中レーダ探査を実施した。トレンチ掘削地点東側（平川 1 地点）で実施した地中レーダ探査の解析結果では、複数の断面で反射の不連続がみられた。その地表延長部分と位相不連続ラインの位置が概ね一致することから、探査断面でみられる反射の不連続を熊本地震またはそれに先行する地震イベントによって生じたものと推定した。平川 2 地点での地中レーダ探査では、ほぼ水平もしくは北側に緩やかに連続する反射に異なる深度で不連続がみられた。探査箇所近傍では、現存していた作業小屋が熊本地震によって倒壊したとのかを土地所有者からの聞き取りにより情報を得ている。反射の不連続位置の地表延長部は、測地学的解析で抽出した位相不連続ラインとも概ね一致することから、ここでみられた反射の不連続は、断層活動によって生じた可能性がある。平川 3 地点の東側に位置する舗装道路では、熊本地震時に生じたと考えられる雁行状に配列する亀裂が確認される。その西側延長部にて実施した探査結果では、全ての断面において南側に傾き下がる反射の連続や周辺と比べて反射強度の強い反射面に不連続がみられる。それらの反射面の不連続位置は、測地学的解析で抽出した位相不連続ラインおよび現地で確認される変状位置の延長と概ね一致することから、断層変位によって生じた可能性がある。

下野地区では 1 地点で地中レーダ探査を実施した。下野で実施した探査結果では、100MHz の記録では全体的にやや反射が減衰しているが、50MHz の記録をみると、反射強度の強い反射の連続が確認される。南北測線では、南側から北側へ、東西測線では西側から東側へ緩やかに傾く反射が明瞭にみられる。探査記録では、複数箇所にて明瞭な反射の不連続はみられないが、東西測線の最も北側で実施した探査では、反射の不連続がみられ、これが断層変位を示している可能性がある。

このように、地中レーダ探査結果から反射の特徴および反射強度を用いて深度 15m 程度の地下構造をイメージングすることによって、断層変位と考えられる不連続面を抽出した。

2.4. ボーリング調査による地質構造の検討

2.4.1. ボーリング調査概要

本業務においてボーリング調査地点として2地区（福原地区および小園地区）を選定し、ボーリング調査を実施した。調査地点を図 2.4.1 に示すとともに、実施したボーリング調査調査内容・数量を表 2.4.1 に示す。

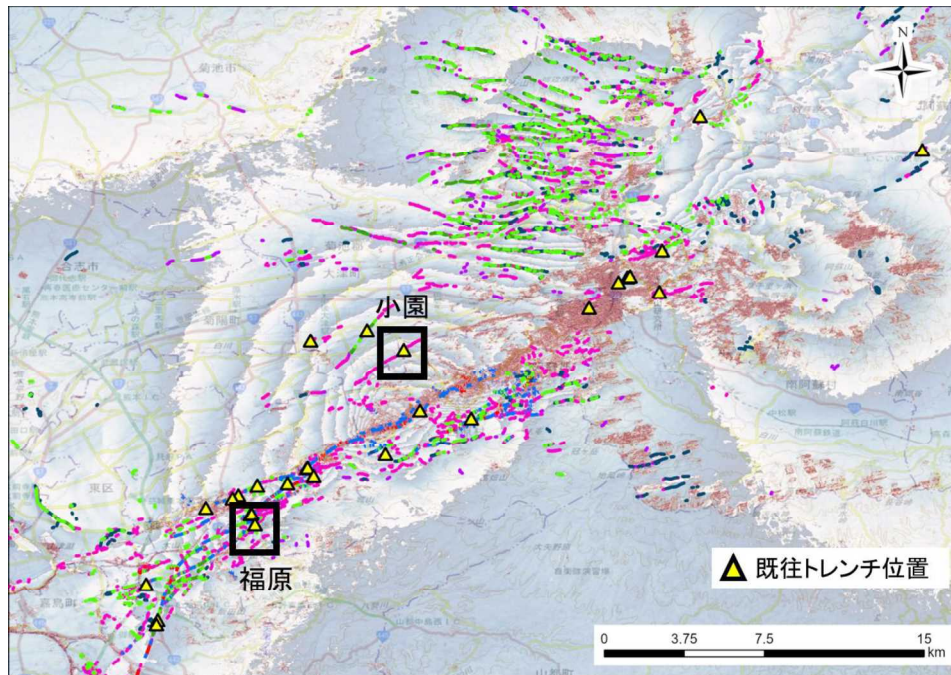


図 2.4.1 ボーリング調査地点（背景図に Lc-InSAR 図及び地理院タイルを使用）

表 2.4.1 ボーリング調査内容・数量

地区	調査位置	孔名	調査深度	調査内容
福原地区	既往福原トレンチ近傍	FB-1	6m	60層(火砕流堆積物)確認
		FB-2	14m	60層(火砕流堆積物)確認
		FB-3	8m	60層(火砕流堆積物)確認
小園地区	既往小園トレンチ近傍	OB-1	22m	深度方向の地層の連続性確認
		OB-2	15m	深度方向の地層の連続性確認
		OB-3	16m	堆積盆深部の地層の確認
		OB-4	12m	基盤層の地層の確認

2.4.2. 福原地区

2.4.2.1. 調査目的・位置

調査は位相不連続ラインと GPR 計測結果をもとに、既往トレンチ調査において確認された断層の両側でボーリング調査を行うことにより山地斜面（火砕流）形状を把握することで、横ずれ量を計測することを目的とした。調査位置を図 2.4.2 に、既往トレンチ位置を図 2.4.3 に示す。

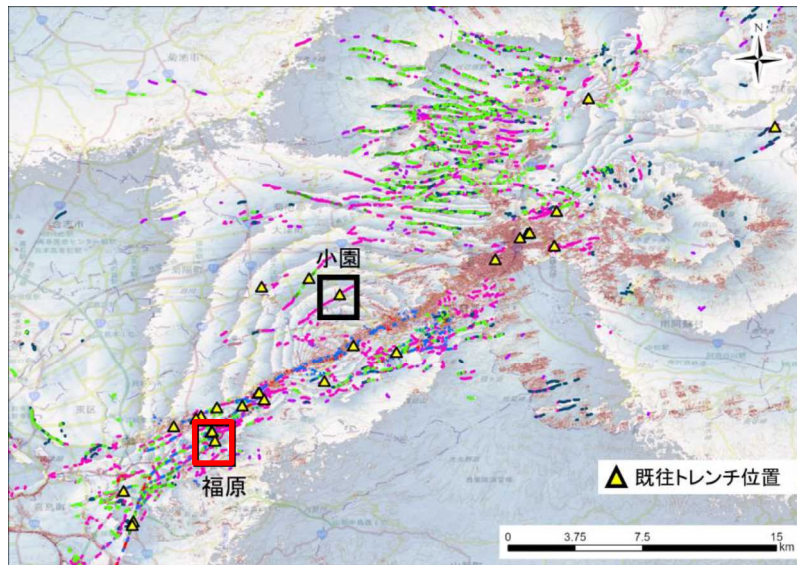


図 2.4.2 調査位置図（再掲、背景図に Lc-InSAR 図及び地理院タイルを使用）

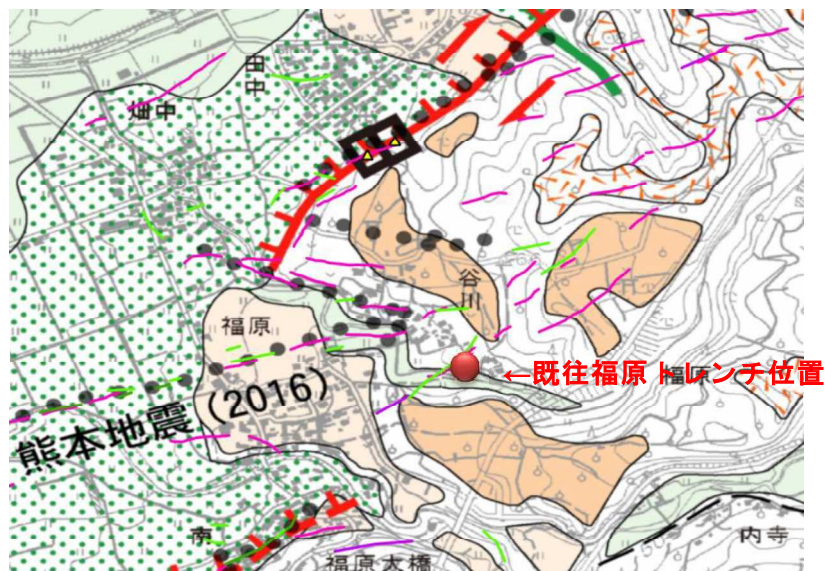


図 2.4.3 既往福原トレンチ位置

（背景図は都市圏活断層を使用。色付きの細線は位相不連続ライン。）

2.4.2.2. 調査計画

(1) 既往調査

ボーリング調査地点近傍においては構造計画研究所(2018)により活断層トレンチ調査が実施されている。既往福原トレンチ調査結果(E面スケッチ)を図2.4.4に示す。既往調査において測線3m~4m位置において活断層が複数条識別され、活断層の南側でのみ61層(黒色凝灰角礫岩)の分布を確認している。

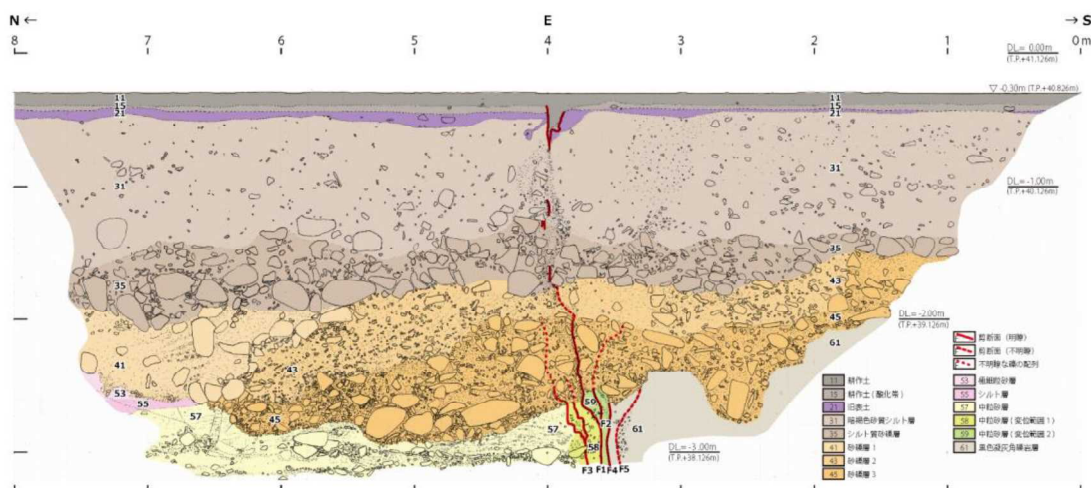


図 2.4.4 既往福原トレンチ (E面スケッチ)

(2) 既往 GPR 探査結果 (パスコ, 2022) の再解析

ボーリング地点周辺での GPR 探査再解析結果(反射強度平面スライス)を図2.4.5に示す。トレンチ掘削で確認された活断層位置は、図中の黒細実線で示したトレンチ底面の小段周辺にあたる。そのため、トレンチ小段付近で識別された断層構造と、GPR 探査で地層境界と推定される反射強度に差がある位置を緑破線で表現すると、図中に示した F_1 付近に活断層が想定される。各深度における GPR 再解析結果を図2.4.6~図2.4.13に取りまとめて示す。

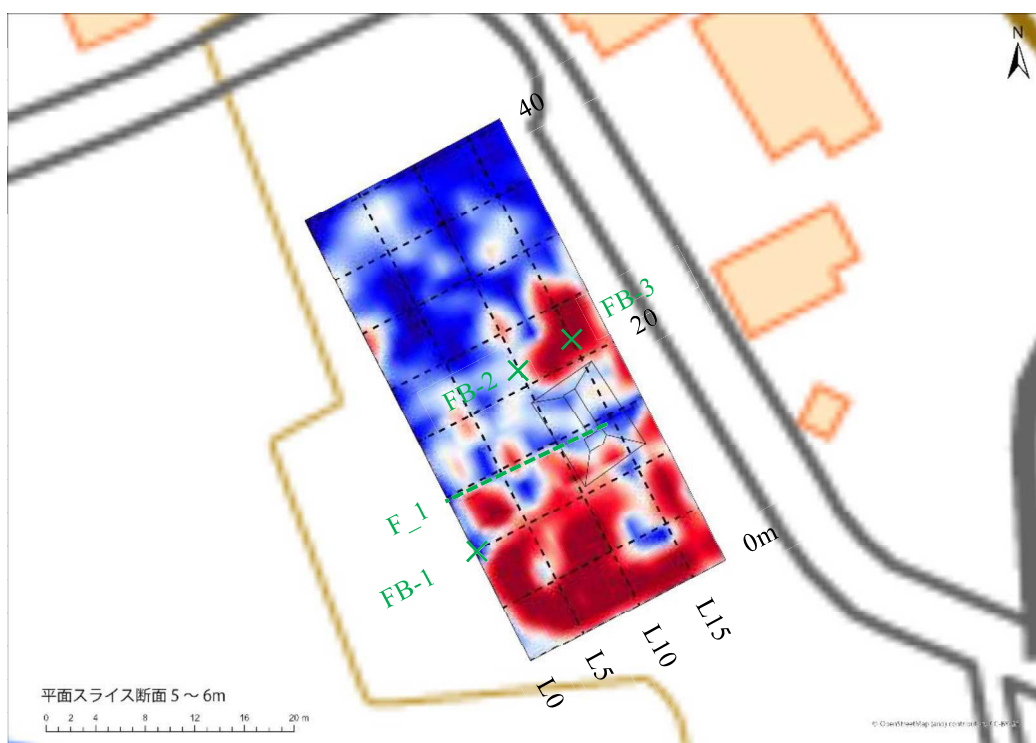


図 2.4.5 GPR 平面スライス断面 (着色は反射強度[赤←(強)白(弱)→青])

※黒破線：5m グリット、黒細実線：既往トレンチ形状

※緑破線：想定した活断層位置、緑×：ボーリング計画位置

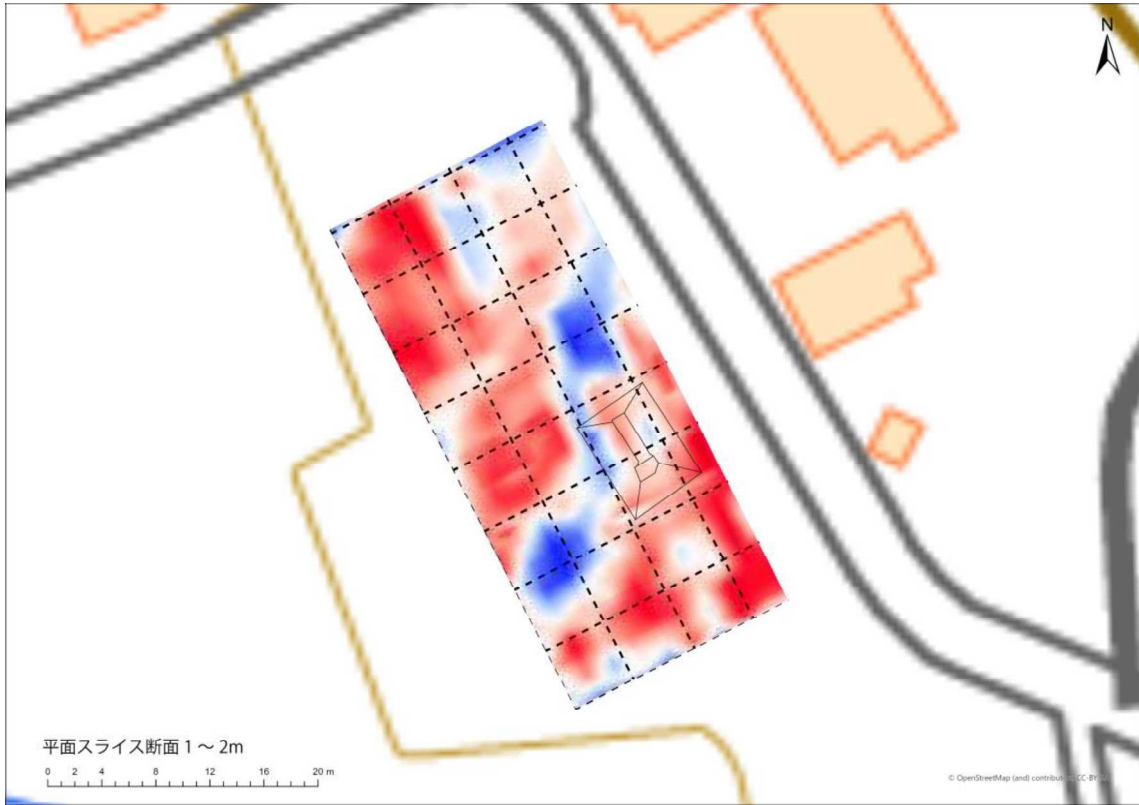


図 2.4.6 GPR 水平スライス断面 GL-1~2m (既往トレンチ形状)

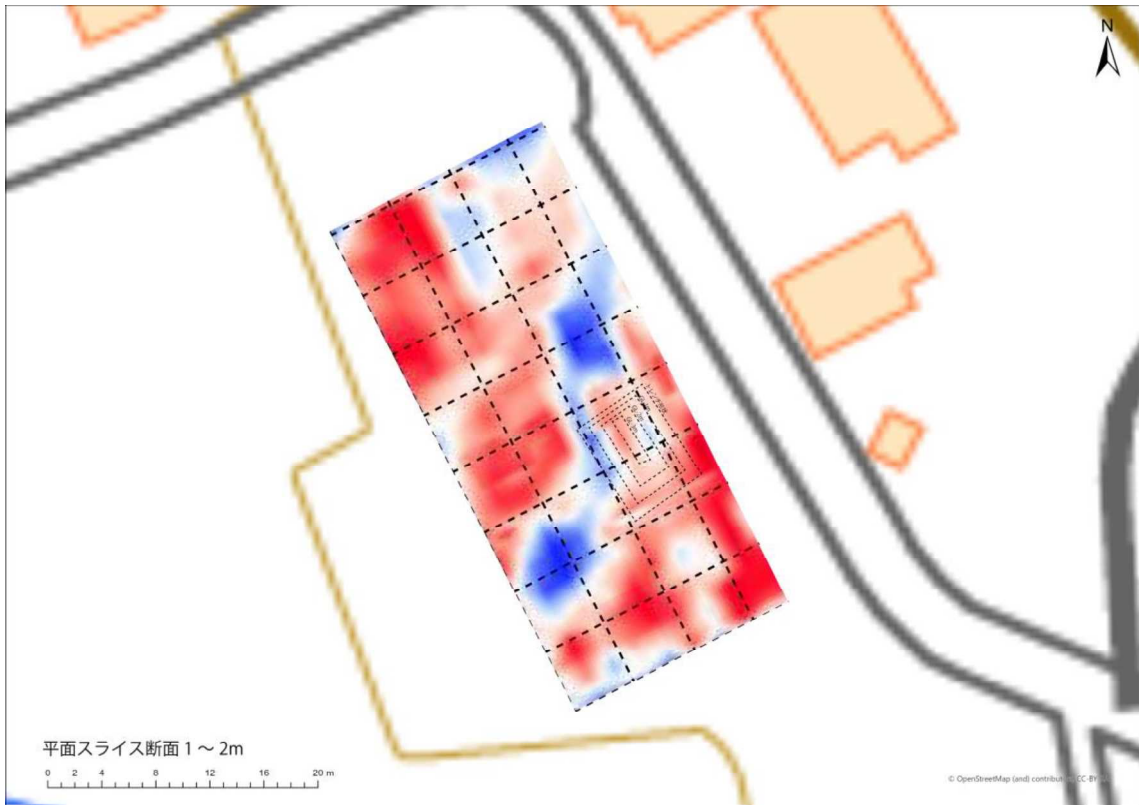


図 2.4.7 GPR 水平スライス断面 GL-1~2m (既往トレンチ深度)

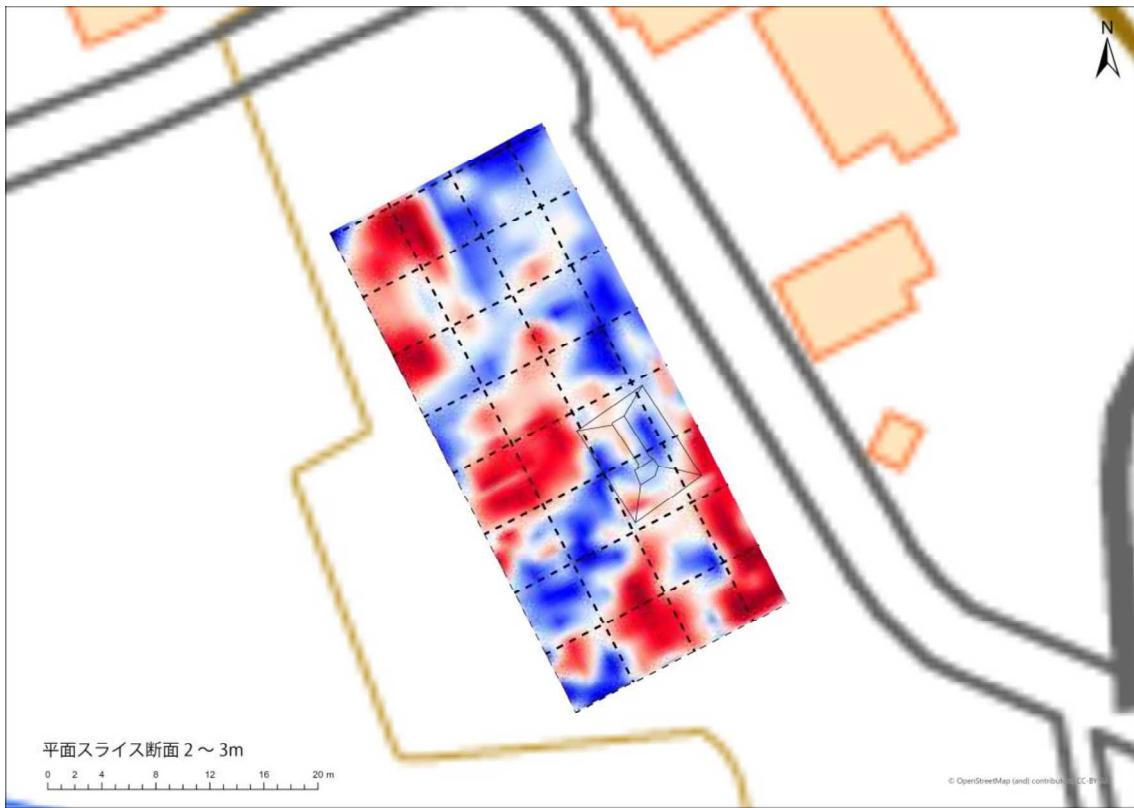


図 2.4.8 GPR 水平スライス断面 GL-2～3m (既往トレンチ形状)

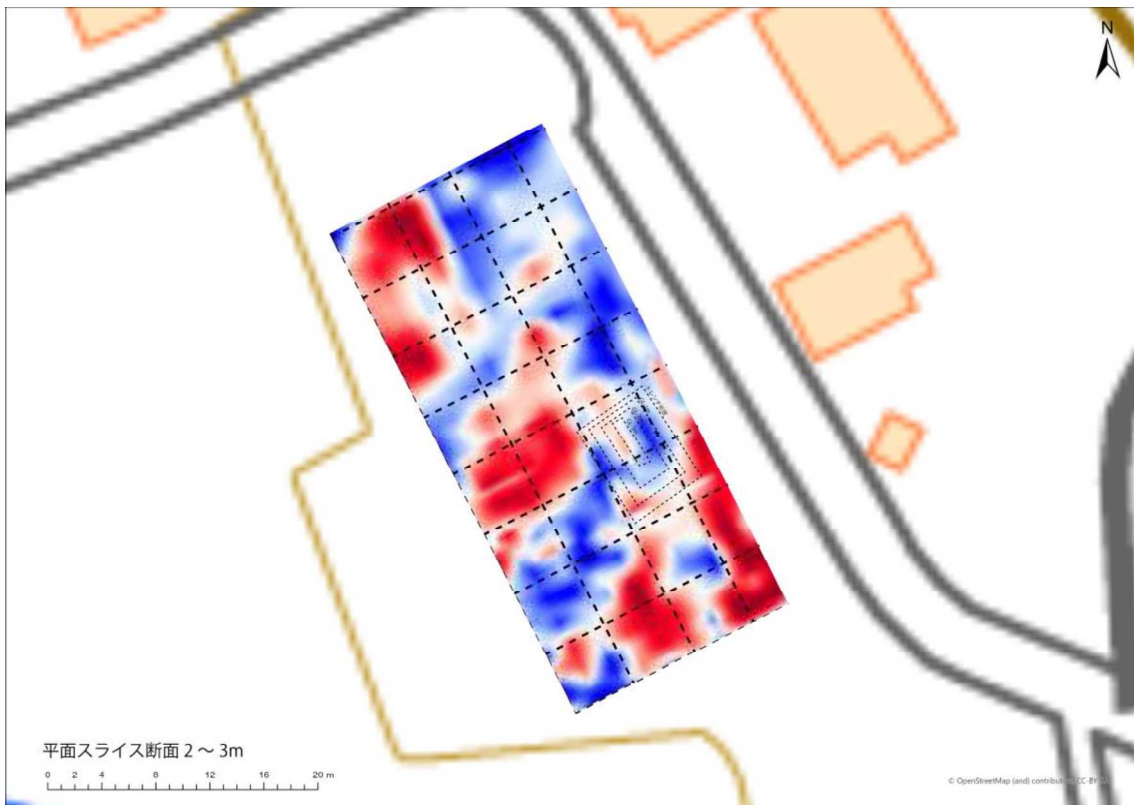


図 2.4.9 GPR 水平スライス断面 GL-2～3m (既往トレンチ深度)

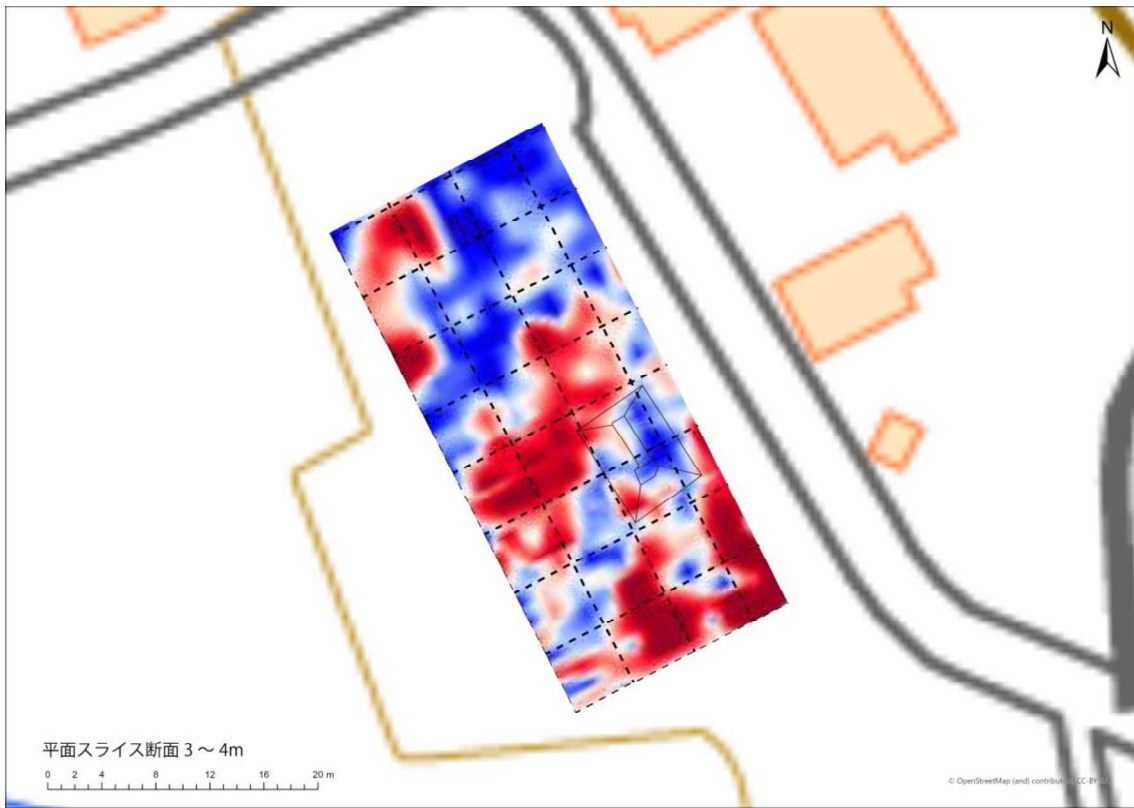


図 2.4.10 GPR 水平スライス断面 GL-3～4m (既往トレンチ形状)

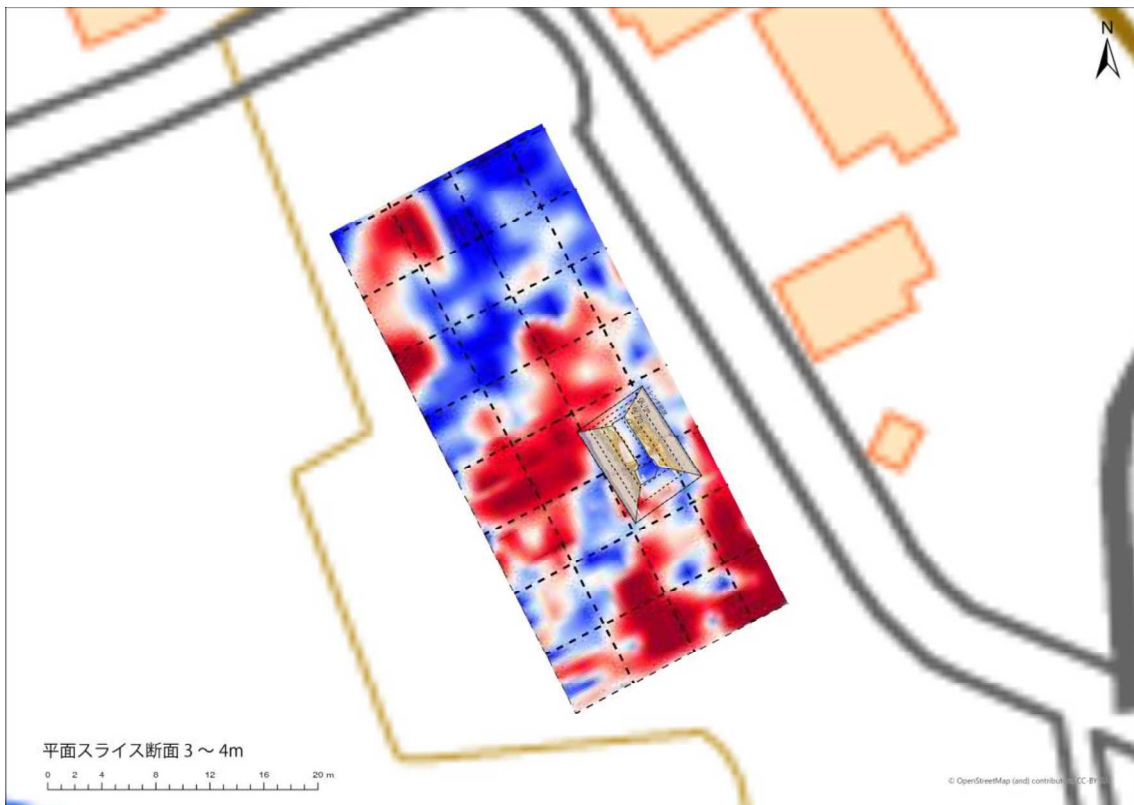


図 2.4.11 GPR 水平スライス断面 GL-3～4m (既往トレンチ深度+スケッチ)

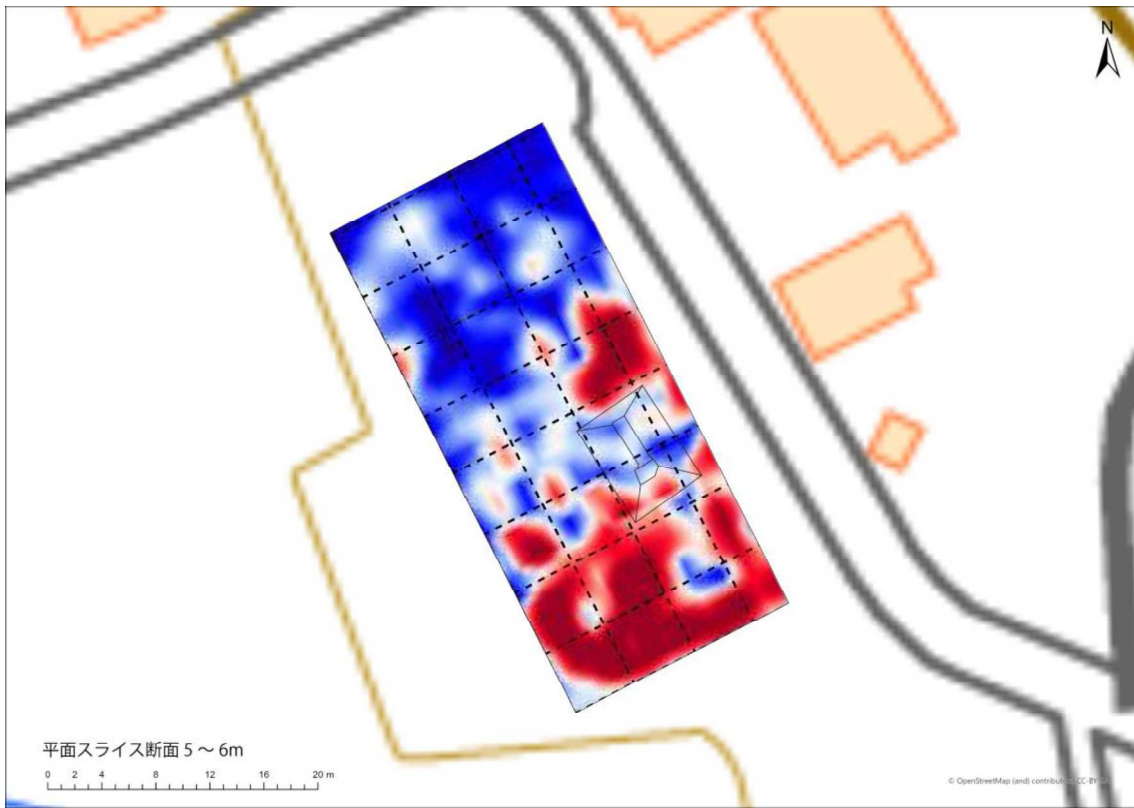


図 2.4.12 GPR 水平スライス断面 GL-5～6m (既往トレンチ形状)

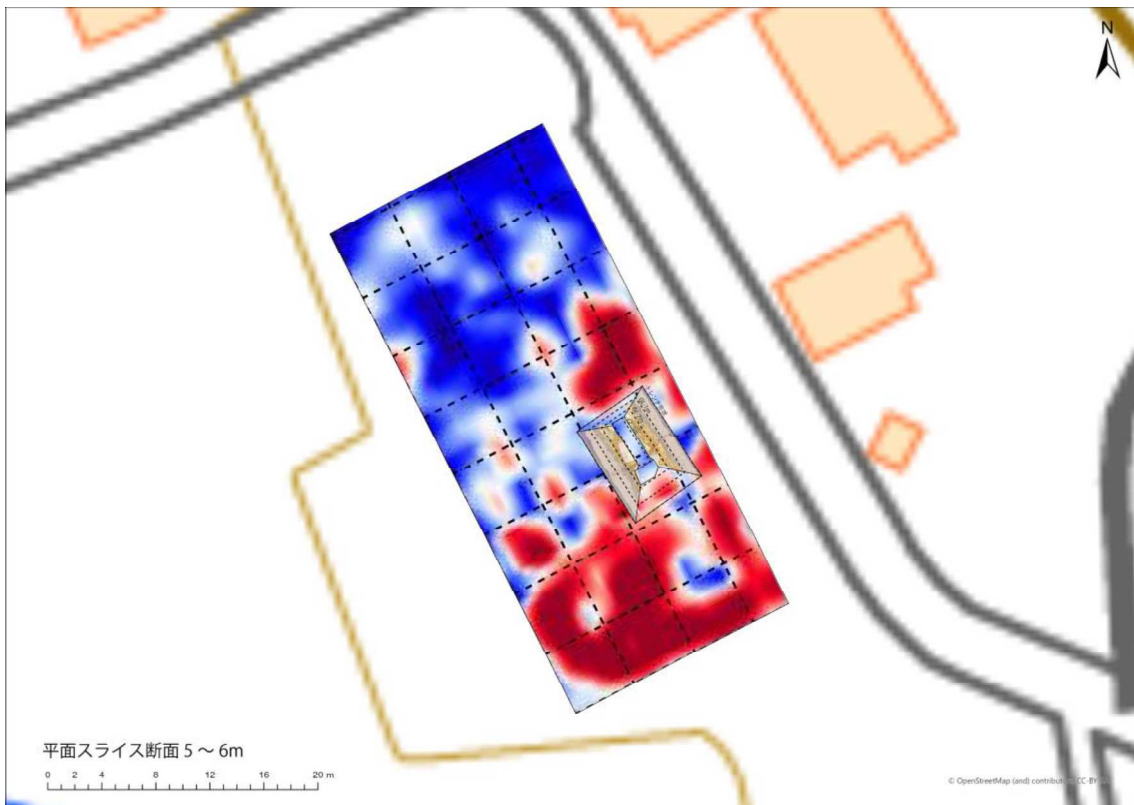


図 2.4.13 GPR 水平スライス断面 GL-5～6m (既往トレンチ深度+スケッチ)

(3) ボーリング調査計画

既往 GPR 探査結果の再解析結果をもとに作成したボーリング調査計画を表 2.4.2 に、調査概念図を図 2.4.14 に示す。

表 2.4.2 福原地区ボーリング調査内容

孔名	掘進深度 (調査後深度)	調査位置・内容
FB-1	5m (6m)	活断層南側の 61 層の斜面を想定 61 層の分布深度を確認する
FB-2	5m (14m)	活断層北側の 61 層の斜面を想定 61 層の分布深度を確認する FB-1 と対比することで水平移動量を検討
FB-3	5m (8m)	活断層北側の 61 層の上面を想定 61 層の分布深度を確認する トレンチ調査結果と比較する

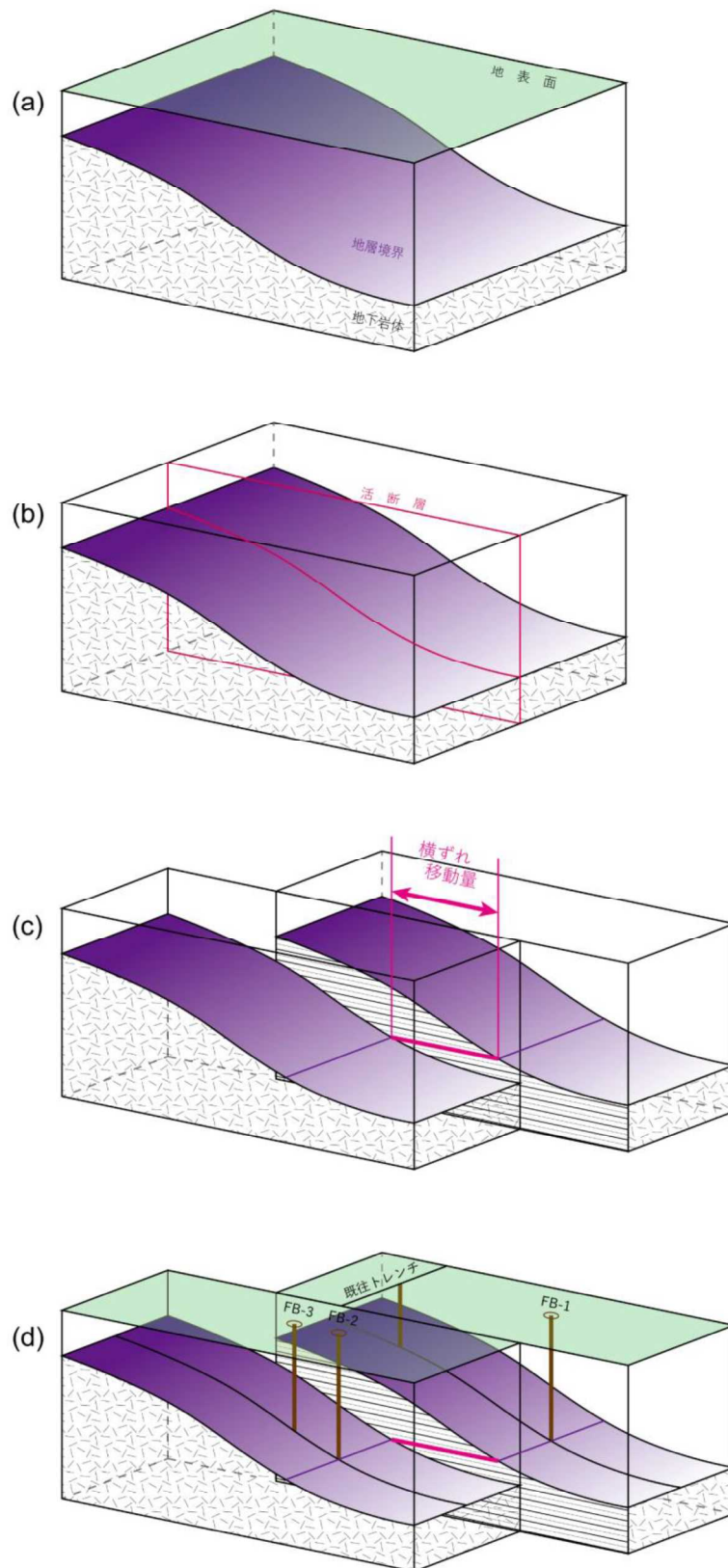


図 2.4.14 調査計画イメージ図 (a: 活断層形成前の状態、b: 活断層の分布位置、c: 右横ずれ発生に伴う横ずれ移動量の概念図、d: 地質調査による横ずれ移動量の把握方法)

2.4.2.3. FB-1 調査結果

(1) ボーリング調査目的・内容

福原トレンチでの断層南側の 61 層の斜面を想定し、61 層分布深度を確認することを目的として掘削を実施した。

当初は調査深度を 5.00m と予定していたが、基盤の堆積物まで掘削されていることを確認するため 6.00m まで掘削した。

(2) 地質概要

0.00～0.30m	砂混じりシルト
0.30～1.00m	礫混じり砂質シルト、礫混じりシルト
1.00～1.80m	シルト質砂礫
1.80～2.67m	礫混じりシルト質砂、シルト質砂
2.67～6.00m	火山碎屑岩

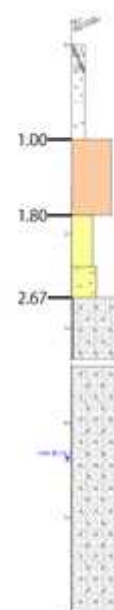
0.00～0.30m 間は、細粒砂混じりシルトが分布する。0.00～0.20m 間は耕作土で、0.20～0.30m 間はトレンチ掘削時の埋土に相当する。

0.30～1.00m 間は、礫混じり砂質シルトおよび礫混じりシルトが分布する。含まれる礫は細礫～中礫で、砂質部は細粒～中粒砂からなる。不均質で淘汰が悪い。

1.00～1.80m 間は、シルト質砂礫が分布する。礫径平均 3～4cm で最大 20cm 程度の礫を含む。礫種は安山岩が主体で、泥質岩や発泡のよい安山岩溶岩を含む。基質支持で、締まりは悪く非常に緩い。

1.80～2.67m 間は、礫混じりシルト質砂およびシルト質砂が分布する。砂質部は細粒～中粒砂からなり、 ϕ 5mm 程度の礫が散在する。不均質で、一部は極めて淘汰が悪い。

2.67～6.00m 間は、火山碎屑岩が分布する。火砕流堆積物に相当する。岩片はスコリアを主体とし、異質岩片はほとんど含まれない。2.67～3.32m 間は粘土化しており、非常に緩く土砂状を示す。



(3) ボーリングコア写真



2.4.2.4. FB-2 調査結果

(1) ボーリング調査目的・内容

福原トレンチでの断層北側の 61 層の斜面を想定し、61 層分布深度を確認、FB-1 と対比することで水平移動量を検討する目的として掘削を実施した。

当初は調査深度を 5.00m と予定していたが、基盤の堆積物まで掘削されていることを確認するため 14.00m まで掘削した。

(2) 地質概要

0.00～0.37m	砂、砂質シルト、礫混じりシルト
0.37～1.00m	礫混じりシルト
1.00～1.87m	砂礫
1.87～2.35m	礫
2.35～6.27m	砂礫、砂、シルト質砂
6.27～13.83m	火山碎屑岩、火山岩

0.00～0.37m 間は、砂、砂質シルト、礫混じりシルトが分布する。0.00～0.12m 間は耕作土で、0.20～0.37m 間はトレンチ掘削時の埋土に相当する。0.23m 付近にはクラックがみられる。

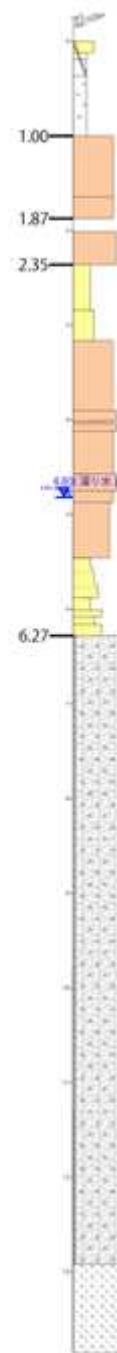
0.37～1.00m 間は、礫混じりシルトが分布する。φ2～10mm 程度の礫を含み、礫種は安山岩、パミス、スコリアが主体である。0.45m 付近にはクラックがみられる。

1.00～1.87m 間は、砂礫が分布する。φ2～90mm 程度の礫を含み、礫種は安山岩、パミス、スコリアが主体である。砂質部は極細粒～細粒砂からなる。

1.87～2.35m 間は、礫が分布する。φ35cm 以上の安山岩が玉石として含まれる。

2.35～6.27m 間は、砂礫、砂、シルト質砂が含まれる。2.83～3.15m 間ではシルト質砂が主体で、橙色<5YR6/6>の細粒砂を5mm 程度のレンズ状に挟む。3.15～5.45m 間では砂礫が主体で、φ2～120mm 程度の礫を含み、礫種は安山岩およびパミスが主体である。5.45～6.27m 間では砂が主体で、橙色<5YR6/8>のパミスやシルトの偽礫を含む。5.10m および 5.22m 付近にクラックがみられる。

6.27～13.83m 間は、火山碎屑岩および火山岩が分布する。6.27～12.89m 間では火山碎屑岩からなり、火砕流堆積物に相当する。黄色<5Y8/6>および青灰色<5B6/8>のパミスを多く含む。12.89～13.83m 間では火山岩からなり、安山岩溶岩に相当する。多孔質で斑晶はほとんどみられない。6.32～6.72m、7.18～7.52m、



8.27～8.44m 付近にクラックが数条みられ、とくに 10.68～11.10m 付近では数条のクラックおよび黒色脈が発達する。

(3) ボーリングコア写真



2.4.2.5. FB-3 調査結果

(1) ボーリング調査目的・内容

福原トレンチでの断層南側の 61 層の上面を想定し、61 層分布深度を確認すること、福原トレンチでの結果と対比することを目的として掘削を実施した。

当初は調査深度を 5.00m と予定していたが、基盤の堆積物まで掘削されていることを確認するため 8.00m まで掘削した。

(2) 地質概要

0.00～0.25m	砂混じりシルト
0.25～1.00m	礫混じり砂質シルト、砂混じりシルト
1.00～1.52m	砂礫
1.52～2.38m	礫混じり砂、礫混じりシルト
2.38～3.95m	砂礫、砂、砂質シルト、シルト
3.95～8.00m	火山碎屑岩

0.00～0.25m 間は、砂混じりシルトが分布し、耕作土に相当する。

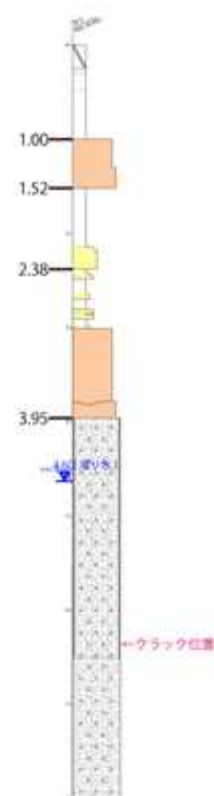
0.25～1.00m 間は、礫混じり砂質シルトおよび砂混じりシルトが分布する。含まれる礫はφ2～4mm 程度の細礫が主体である。砂質部は細粒砂からなる。下部は不均質な塊状シルトで淘汰が悪い。

1.00～1.52m 間は、砂礫が分布する。φ5cm 程度の円礫が主体で、基質はシルト質細粒砂からなる。砂礫層上部は礫支持で下部は基質支持である。

1.52～2.38m 間は、礫混じり砂および礫混じりシルトが分布する。φ2～5mm 程度の角礫が散在し、礫種はスコリアが主体である。下部は、不均質で淘汰が悪く、偽礫や細礫を多く含む。下位層を浸食的に覆う。

2.38～3.95m 間は、砂礫、砂、砂質シルト、シルトが分布する。2.38～3.00m 間では全体的にピンクに呈する砂、砂質シルト、シルトが主体で、淘汰は非常によく級化を繰り返す。平行葉理および逆級化などの堆積構造もみられる。3.00～3.78m 間では、砂礫を主体とし、安山岩、砂岩、泥岩主体の円～超円礫で一部くさり礫を含む。基質は細粒～中粒砂からなる。3.78～3.95m 間では強風化岩のブロックを含む。

3.95～8.00m 間は、火山碎屑岩が分布し、火砕流堆積物に相当する。3.95～6.50m 間では火山碎屑岩が強風化しており、粘土化した橙色パミス（φ1～5mm 程度）が散在する。6.50～8.00m では、火山碎屑岩が非溶結の状態で固結しており、スコリアが散在する。4.68m、6.35m、6.52m 付近にクラックがみられる。



(3) ボーリングコア写真



2.4.2.6. ボーリングコア対比による地質構造の検討

ボーリング調査結果、GPR 探査結果および既往トレンチ断面をもとに作成した地層対比結果を図 2.4.15～図 2.4.17 に示す。地質構造の検討の結果、既往事業（構造計画研究所，2018）におけるトレンチ調査で識別された地層の連続性を確認した。

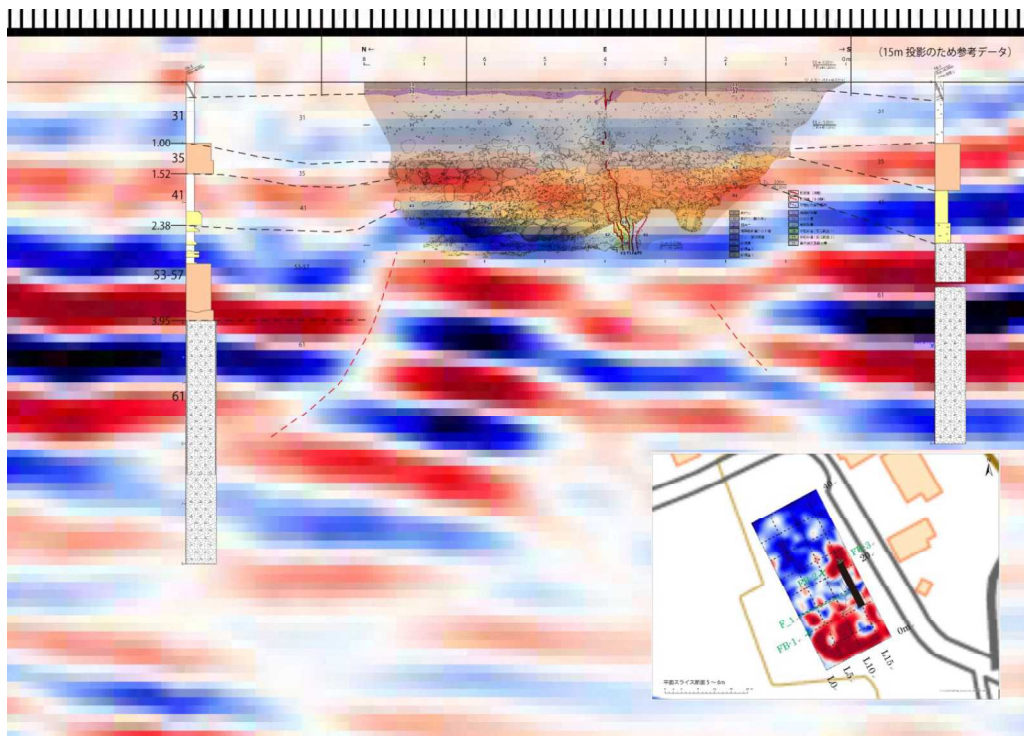


図 2.4.15 福原地区 既往トレンチ (E 面) 対比結果

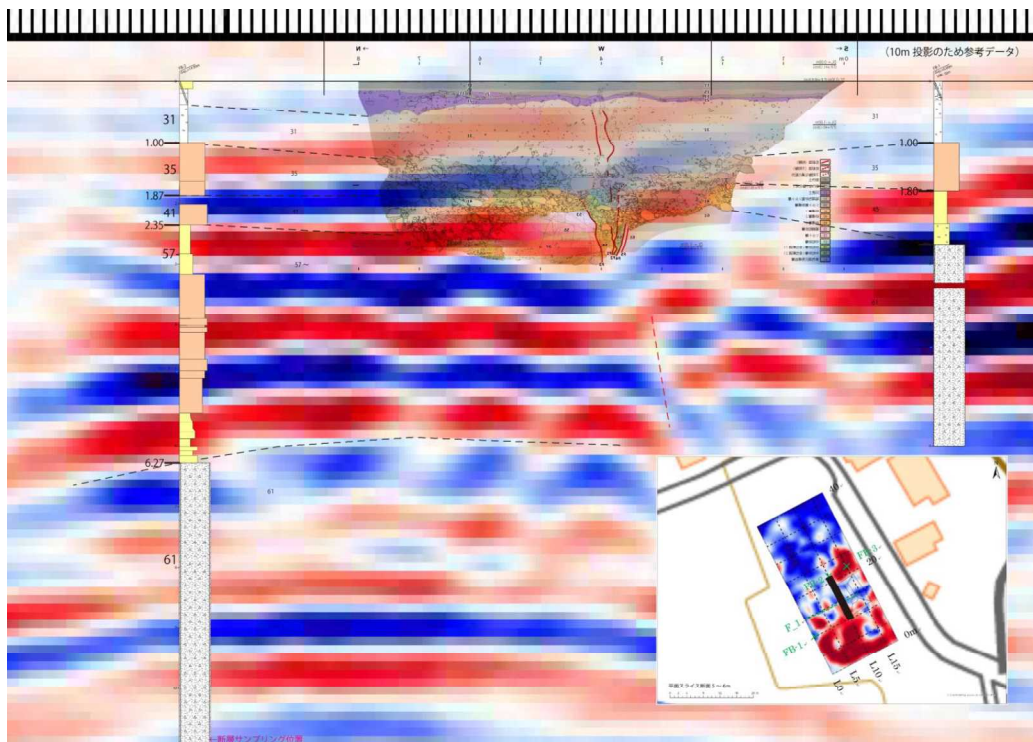


図 2.4.16 福原地区 既往トレンチ (W 面) 対比結果

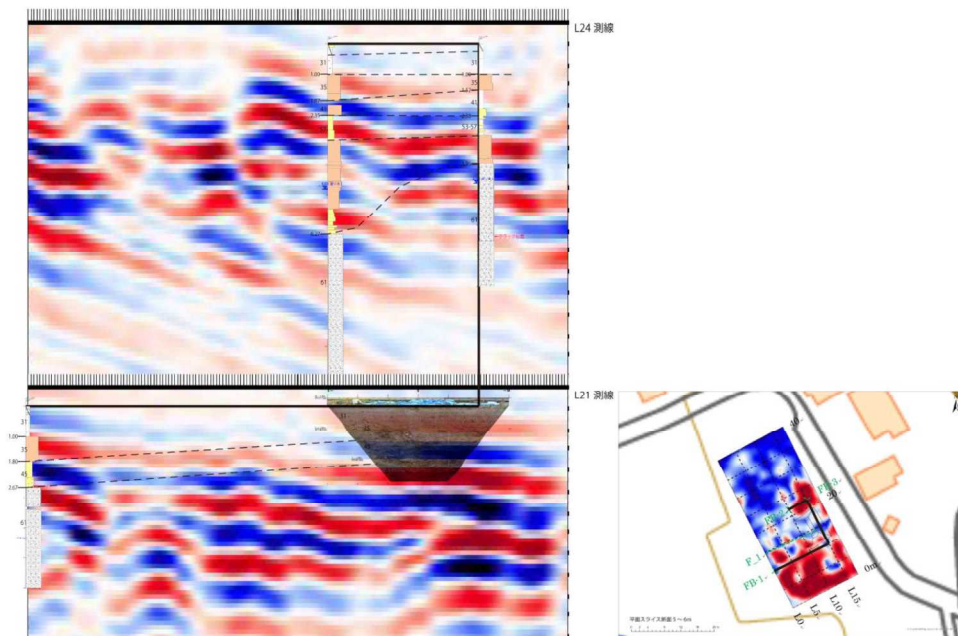


図 2.4.17 既往トレンチ (S 面) およびボーリング FB-2, FB-3 対比結果

2.4.3. 小園地区

2.4.3.1. 調査目的・位置

調査は既往 GPR 探査結果において確認されたチャンネル状の埋没地形の把握と、GPR 反射面が不規則になる位置での断層構造の把握を目的として実施した。調査位置を図 2.4.18 に、既往トレンチ位置を図 2.4.19 に示す。

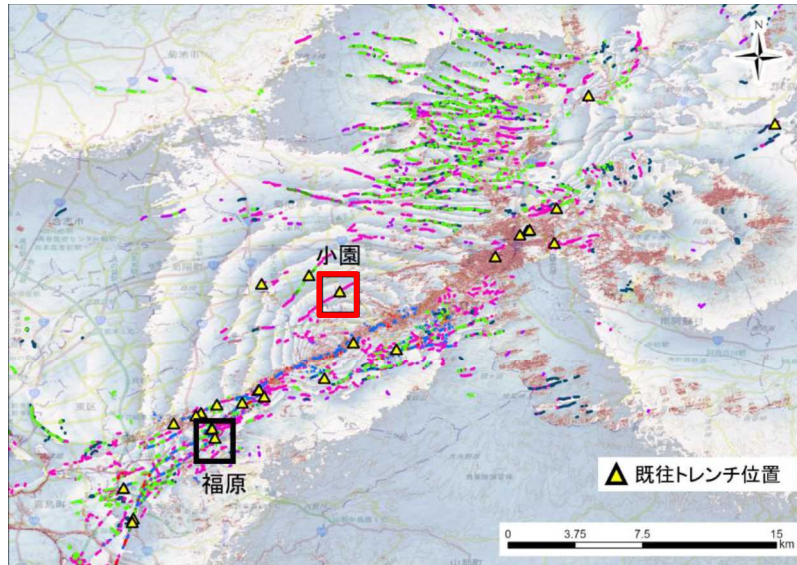


図 2.4.18 調査位置図（再掲、背景図に Lc-InSAR 図及び地理院タイルを使用）

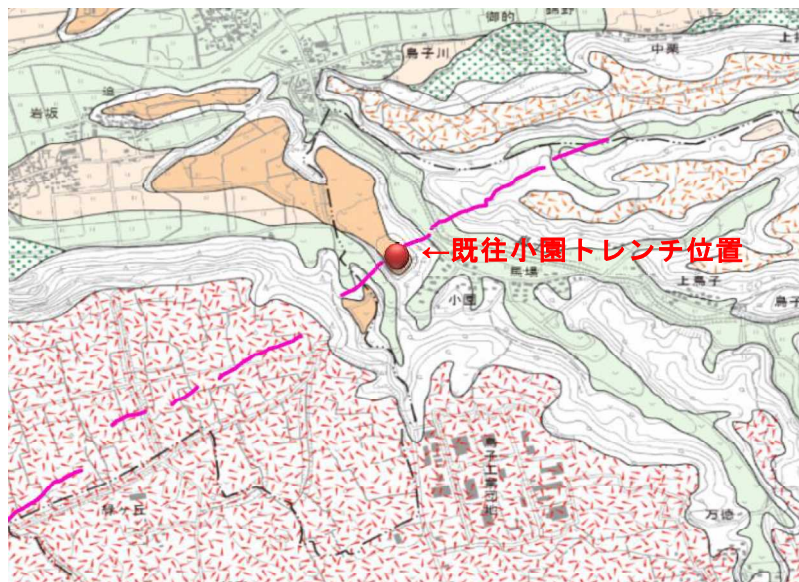


図 2.4.19 既往小園トレンチ位置
(背景図は都市圏活断層を使用、ピンク色の細線は位相不連続ライン)

2.4.3.2. 調査計画

(1) 既往調査

既往トレンチ位置と既往 GPR 探査測線の関係を図 2.4.20 に示す。トレンチ掘削前に実施した GPR 探査は道路測線にて 168m、トレンチ掘削後に実施した GPR 探査はトレンチ位置（黒実線）と並行して 2m 間隔で 23 測線実施している（パスコ、2022）。

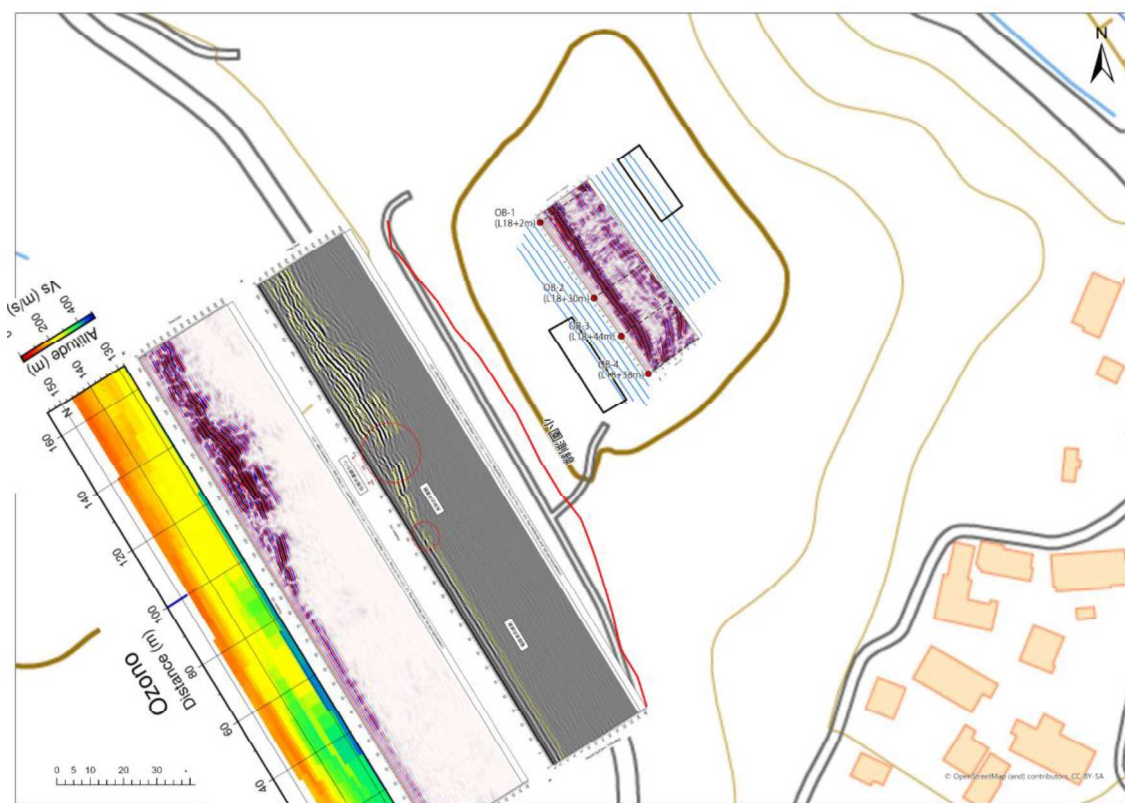


図 2.4.20 既往調結果位置・データ取りまとめ図（赤線：道路沿いで実施した既往 GPR 探査および既往表面波探査測線、青線：一定間隔で実施した既往 GPR 探査測線、黒線：既往トレンチ位置）

既往 GPR 探査結果の詳細を図 2.4.21（道路測線）～図 2.4.22（No.18 測線）に示す。道路測線断面では測点 80～終点にかけて浅部（深度 4～15m 程度）に強い反射面が連続しており、下方に凸の形状をした堆積盆状の構造が確認できる。この強い反射面は測点 100～110 付近で不連続となっている。強い反射面が連続した堆積盆状の構造は No.18 測線においても南東端から測線全体で確認できる。この強い反射面が不連続となる範囲は、測点 26～11 付近である。

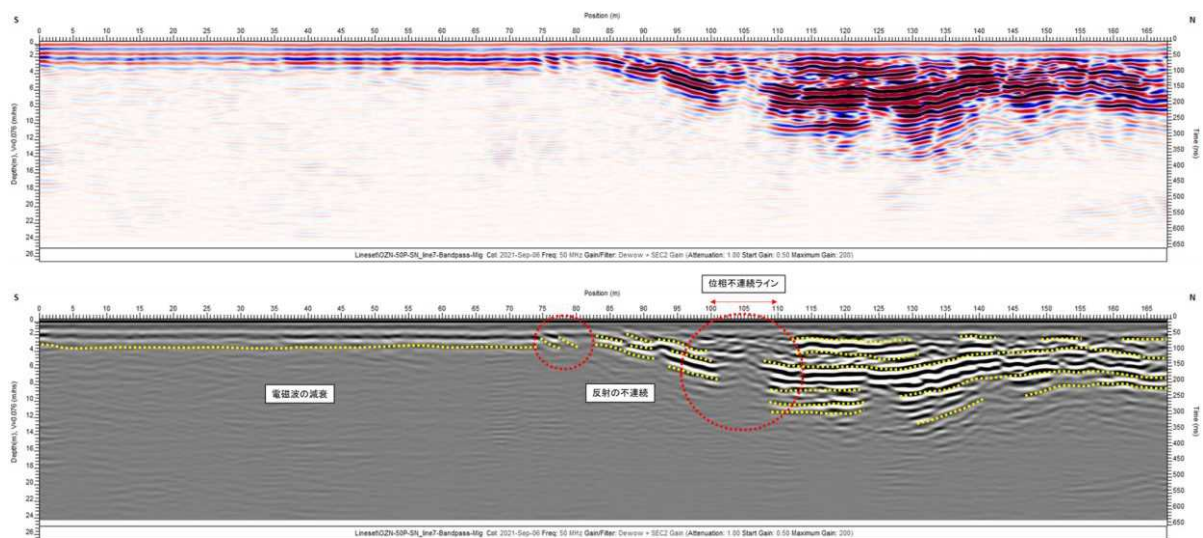


図 2.4.21 既往道路測線 GPR 探査結果

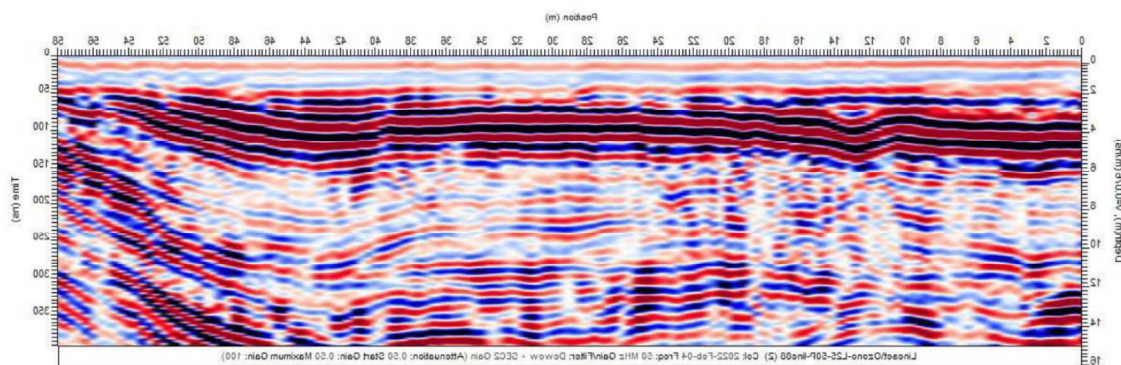


図 2.4.22 既往 No.18 測線 GPR 探査結果 (左右反転)
(南東側 ← → 北西側)

(2) ボーリング調査計画

既往 GPR 探査結果をもとに作成したボーリング調査計画を表 2.4.3 に、調査概念図を図 2.4.23 に作成した。

表 2.4.3 小園地区ボーリング調査内容

孔名	掘進深度 (調査後深度)	調査位置・内容
OB-1	15m (22m)	反射面の不連続部より北側にて調査 基盤岩を確認する
OB-2	15m (15m)	反射面の不連続部より南側にて調査 基盤岩を確認する OB-1 と比較して断層による上下変位量を検討
OB-3	15m (16m)	堆積盆の最大層厚部の調査 基盤岩を確認をする
OB-4	10m (12m)	基盤岩の確認のための調査

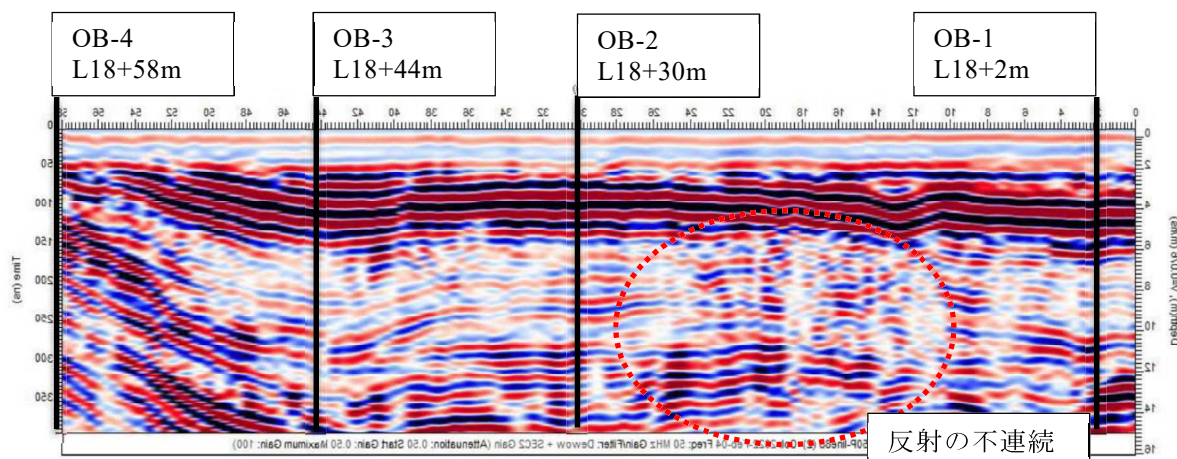


図 2.4.23 既往 No.18 測線 GPR 探査結果（左右反転）にボーリング調査計画を加筆（南東側 ← → 北西側）

2.4.3.3. OB-1 調査結果

(1) 調査目的

GPR 探査での反射面の不連続部より北側において、基盤の堆積物を確認することを目的として掘削を実施した。

(2) 地質概要

0.00～0.91m	砂、砂質シルト
0.91～3.45m	シルト質砂、砂質シルト
3.45～6.00m	砂質シルト、シルト
6.00～7.10m	砂、シルト
7.10～10.56m	シルト質砂、礫混じり砂質シルト、 砂質シルト、シルト
10.56～18.88m	砂混じり礫、礫混じり砂
18.88～22.00m	火山碎屑物

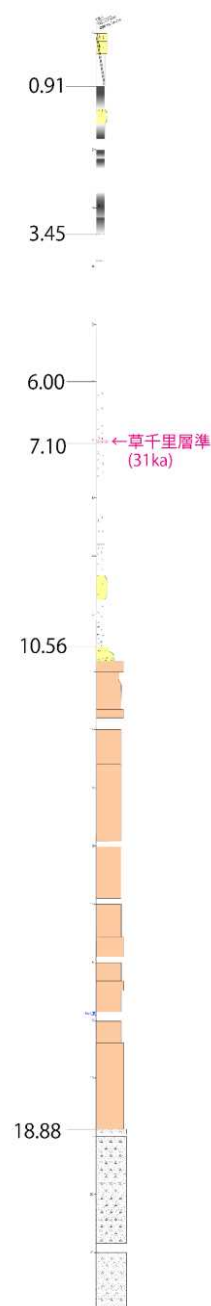
0.00～0.91m 間は、砂および砂質シルトが分布する。0.00～0.14m 間は表土、0.14～0.91m 間は埋土に相当する。0.36～0.83m 付近にクラックが数条みられる。

0.91～3.45m 間は、シルト質砂および砂質シルトが分布する。砂質シルトが主体で、1.30～1.55m 間ではシルト質極細粒砂が分布する。砂質シルト層には黒～黒褐色の腐植質部を 5 層含み、腐植質部と非腐植質部との境界は不明瞭で漸移的に変化する。1.32m および 2.98m 付近には根痕がみられる。1.02m、1.18m、1.49m、2.54m、2.63m、3.18m 付近にクラックがみられる。

3.45～6.00m 間は、砂質シルトおよびシルトが分布する。3.45～3.90m 間では砂質シルトで、下位はシルトへと漸移的に変化する。全体的に塊状で粗粒分をほとんど含まない。4.38m および 4.55m 付近にクラックがみられる。

6.00～7.10m 間は、砂およびシルトが分布する。6.00～7.00m 間では、シルトが主体で、明褐色<10YR5/1>のパミスが点在する。7.00～7.10m 間では、シルト質細粒砂が主体で、基質は橙色<7.5YR6/8>パミス質である。6.10m および 6.90m 付近に、不規則な境界を持つ細粒砂のブロックを含む。6.68m 付近にクラックがみられる。

7.10～10.56m 間は、シルト質砂、礫混じり砂質シルト、砂質シルト、シルトが分布する。7.10～8.78m 間では砂質シルトが主体で、不規則な境界を持つ極細粒砂のブロックを含む。8.78～10.56m では礫混じり砂質シルト、シルト質砂、シルトが主体で、全体的に黒色の重鉱物が散在する。含まれる礫はφ2～15mm 程度で安山岩および暗褐色パミスが主体である。9.50m 付近に不規則な境界を持つ粗粒分からなるブロックを含む。



10.56～18.88m 間は、砂混じり礫および礫混じり砂が分布する。10.56～10.82m 間では礫混じり細粒～粗粒砂が主体である。10.82～18.88m 間では砂混じり礫が主体で、安山岩、パミス、スコリアの細～大礫を多く含む。基質は、細粒～粗粒砂からなる。15.58～15.90m にかけて火山灰質砂のブロックが存在し、強風化した黒色鉱物を含む。

18.88～22.00m 間は、火山碎屑物が分布し、火砕流堆積物に相当する。φ2～40mm 程度の角～亜円礫を含み、礫種は安山岩、スコリア、パミスが主体である。基質は火山灰質シルト～細粒砂からなり、白色パミスがレンズ状に点在する。

(3) ボーリングコア写真



2.4.3.4. OB-2 調査結果

(1) 調査目的

GPR 探査での反射面の不連続部より南側において、基盤の堆積物を確認すること、OB-1の結果と比較して断層による上下変位量を検討することを目的として掘削を実施した。

(2) 地質概要

0.00～0.61m	シルト
0.61～2.50m	砂、シルト
2.50～3.67m	砂混じりシルト
3.67～6.50m	砂、シルト混じり砂、シルト質砂、砂質シルト、シルト
6.50～11.32m	礫混じり砂質シルト、砂質シルト、砂混じりシルト、シルト
11.32～14.00m	砂礫
14.00～14.85m	火山砕屑物

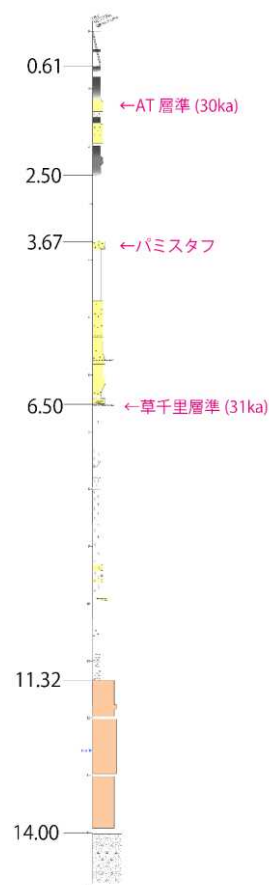
0.00～0.61m 間は、シルトが分布する。埋土に相当する。

0.61～2.50m 間は、砂およびシルトが分布する。全体的にはシルトが主体で、1.20～1.40m および 1.60～1.95m 間では、分級された淘汰のよい極細粒砂が分布する。シルト層には黒～黒褐色の腐植部を 5 層含み、腐植質部と非腐植質部との境界は不明瞭で漸移的に変化する箇所が多い。1.40～1.95m 間では、根痕や巣穴などと考えられる生物擾乱がみられる。

2.50～3.67m 間は、砂混じりシルトが分布する。砂質部は極細粒砂からなり、細粒部は均質で塊状である。

3.67～6.50m 間は礫混じり砂質シルト、砂質シルト、砂混じりシルト、シルトが分布する。3.67～3.80m 間では、中粒～粗粒砂混じり細粒砂が主体で、 ϕ 1mm 程度の黄色パミスが散在する。3.80～4.70m 間では、均質な塊状シルトが主体である。4.70～6.50m 間では、砂、シルト質砂、シルト混じり砂が主体で、砂質部は極細粒～細粒砂からなる。黄色パミスや褐灰色パミスが散在し、まれに層状に多産する。6.38m 付近には ϕ 1mm 程度の黒色の重鉱物が点在する。

6.50～11.32m 間は、礫混じり砂質シルト、砂質シルト、砂混じりシルト、シルトが分布する。砂質部は極細粒砂が主体で、淘汰のよくない箇所は中粒～粗粒砂が混じる。6.50～6.60m 間では橙色パミスが多産する。6.60～9.80m 間では黒色の重鉱物が散在し、一部多産する箇所がある。10.60～11.32m 間では、細礫混じりの砂質シルトが主体で、極めて淘汰が悪い。10.25～10.63m 付近にはクラックが数条見られる。



11.32～14.00m 間は、砂礫が分布する。細礫～中礫サイズの亜円～円礫で、くさり礫が主体である。淘汰は悪い～極めて悪いであり、不均質である。全体的に締まりも悪く緩い。

13.35～13.90m 間では白色パミスを多量に含む。13.35m 付近にクラックがみられる。

14.00～14.85m 間は、火山砕屑物が分布する。火砕流堆積物に相当する。灰白色の火山灰質な基質からなり、固結している。レンズ状に変形を呈する白色パミスを含み、粘土化している。

(3) ボーリングコア写真



2.4.3.5. OB-3 調査結果

(1) 調査目的

本調査地の堆積盆の最大層厚部を想定し、基盤の堆積物を確認することを目的として掘削を実施した。

(2) 地質概要

0.00～0.77m	シルト
0.77～2.85m	シルト混じり砂、シルト質砂、砂混じりシルト、シルト
2.85～4.40m	シルト
4.40～7.20m	砂、シルト質砂、シルト
7.20～12.54m	礫・砂混じりシルト、砂質シルト、砂混じりシルト、シルト
12.54～12.83m	火山碎屑物
12.83～15.97m	礫、砂礫

0.00～0.77m 間は、シルトが分布する。埋土に相当する。

0.77～2.85m 間は、シルト混じり砂、シルト質砂、砂混じりシルト、シルトが分布する。シルト層には黒～黒褐色の腐植部を5層含み、腐植質部と非腐植質部との境界は不明瞭で漸移的に変化する箇所がみられる。1.48～1.80m および 2.36～2.45m 付近には、生物擾乱を受けており、部分的に下位層と混合する箇所がある。

2.85～4.40m 間は、シルトが分布する。均質で塊状なシルトからなり、φ1mm 程度のパミス少量を含む。

4.40～7.20m 間は、砂、シルト質砂、シルトが分布する。4.40～5.85m 間では均質な塊状シルトが主体で、4.40～4.55m にかけてφ2～4mm の黄色パミスが散在する。5.85～7.20m では砂およびシルト質砂が主体である。砂質部は分級された極細粒砂からなり、淘汰がよい。黄色パミスが点在～散在し、黒色重鉍物をまれに含む。7.02～7.20m にかけて粘土化した橙色パミス質火山灰を含み、少量の重鉍物を含む。6.52～6.63m にはわずかに葉理が発達した砂質分からなるブロックが分布する。6.75m および 6.88m 付近でクラックがみられる。

7.20～12.54m 間は、礫混じりシルト、砂質シルト、砂混じりシルト、シルトが分布する。7.20～9.60m 間では砂混じりシルトおよびシルトが主体で、細粒部は均質な塊状シルト、砂質部は極細粒砂からなる。砂質部の一部は平行葉理を伴い、細粒部に挟まれる。不規則な境界を持つ細粒砂のブロックがいくつか点在し、ブロックには黒色の重鉍物を伴う。9.60～12.00m 間では砂質シルトおよびシルトが主体で、砂質部は極細粒砂、細粒部は塊状シルトからなる。全体的に重鉍物が散在し、10.60～10.97m にかけては赤褐色パミスが散在する。



12.00～12.54m 間では礫・細粒～中粒砂混じりシルトが主体で、 ϕ 4～10mm 程度の風化した亜角礫が散在する。 ϕ 2mm 程度の赤褐色パミスが散在し、まれに ϕ 4～8mm 程度の黄色パミスを含む。7.85m 付近でクラックがみられる。

12.54～12.83m 間は、火山砕屑物が分布する。火砕流堆積物に相当する。レンズ状に変形したパミスを含み、本層準上部～中部にかけては異質岩片をほぼ含まない。最下部では下位の砂礫を取りこむ。

12.83～15.97m 間は、礫、砂礫が分布する。 ϕ 2～10mm 程度で最大 ϕ 8cm の礫を含み、基質は細粒～粗粒砂からなる。円～亜角礫が多く、礫種は砂岩、泥岩、安山岩が主体である。基質部はよく締まっており、半固結状を呈す。

(3) ボーリングコア写真



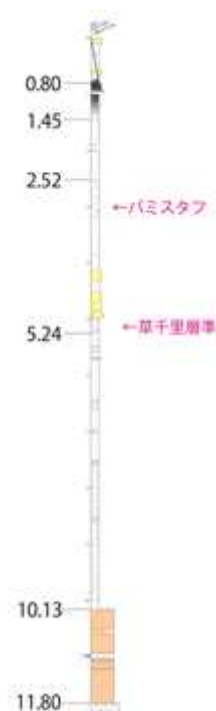
2.4.3.6. OB-4 調査結果

(1) 調査目的

基盤の堆積物を確認することを目的として掘削を実施した。

(2) 地質概要

0.00～0.80m	シルト質砂、砂質シルト
0.80～1.45m	シルト質砂、砂質シルト
1.45～2.52m	砂質シルト
2.52～5.24m	砂、砂質シルト、砂混じりシルト
5.24～10.13m	礫混じりシルト、砂質シルト、シルト
10.13～11.80m	砂混じり礫、砂
11.80～11.97m	火山碎屑物



0.00～0.80m 間は、シルト質砂および砂質シルトが分布する。埋土に相当する。0.35～0.70m かけて多くのクラックがみられる。

0.80～1.45m 間は、シルト質砂および砂質シルトが分布する。黒～黒褐色の腐植部を 2 層含み、腐植質部と非腐植質部との境界は不明瞭で漸移的に変化する箇所がみられる。生物擾乱として根痕がみられる。0.82m 付近にクラックがみられる。

1.45～2.52m 間は、砂質シルトが分布する。塊状シルトで砂質部は極細粒砂からなる。1.70m 付近にクラックがみられる。

2.52～5.24m 間は、砂、砂質シルト、砂混じりシルトが分布する。砂質部は極細粒～細粒砂からなり、一部は級化する。橙色パミスが点在し、黒色の重鉱物がまれに含まれる。4.52～4.64m および 4.85～4.96m にかけて、不規則な境界を持つ黒色細粒砂のブロックがみられる。4.96～5.24m 間では、橙色パミスが濃集する極細粒砂質シルトを主体とし、黒色細粒砂の偽礫を含む。4.62m 付近にクラックがみられる。

5.24～10.13m 間は、礫混じりシルト、砂質シルト、シルトが分布する。5.24～7.55m 間では砂質シルトを主体とし、砂質部は極細粒砂からなる。黒色の重鉱物を含むシルトや黒色の細粒砂、灰白色シルトが不規則な境界を持つブロックとして含まれる。5.67～5.70m にかけて、黒色細粒砂とシルトの互層が挟まれる。7.55～8.92m 間ではシルトが主体で、黒色の重鉱物が散在する。まれに $\phi 10\sim 20\text{mm}$ 程度の亜角～亜円礫を含む。褐色シルトが不規則な形状をもつブロックとして含まれる。8.92～10.06m 間では礫混じりシルトが主体となる。 $\phi 2\sim 60\text{mm}$ 程度の亜角～亜円礫を含み、礫種は、安山岩、パミス、スコリアが主体である。橙色パミスおよび黒色重鉱物が散在する。

10.13～11.80m 間は、砂混じり礫および砂が分布する。含まれる礫は $\phi 2\sim 60\text{mm}$ 程度の角～亜円礫で、礫種は安山岩、パミス、スコリアが主体である。基質は細粒～粗粒砂からなる。10.20～10.26m および 11.04～11.07m にかけて、細粒および極細粒の砂層を挟む。

11.80～11.97m 間は、火山碎屑物が分布する。火砕流堆積物に相当する。灰白色の火山灰基質で、 $\phi 2\sim 30\text{mm}$ 程度の角～亜円礫を含む。礫種はおもに安山岩、パミス、スコリアからなる。含まれる白色パミスの一部はレンズ状の形状を呈す。

(3) ボーリングコア写真



2.4.3.7. 火山灰分析

(1) サンプル位置

火山灰分析に用いた試料はボーリングコア OB-3 (GL-7.02~7.06m) からサンプリングを行った(図 2.4.24)。サンプリングした試料はコア上では橙色に見える風化パミス主体の塊状火山灰層である。



図 2.4.24 OB-3 (GL-7.02~7.06m) コア状況

(2) 分析手法

火山灰分析は(株)古澤地質に依頼し、下記に示す方法にて実施した。

①前処理

前処理は古澤(2003)の方法を基本に前処理を行った。

はじめに、ナイロン製使い捨て#255 メッシュシート(糸径 $43\mu\text{m}$, オープニングワイド $57\mu\text{m}$)を用い、流水中で洗浄した。残砂は#125 メッシュシート(糸径 $70\mu\text{m}$, オープニングワイド $133\mu\text{m}$)を用い水中で篩い分けした。これにより $1/8\sim 1/16\text{mm}$ に粒度調整した試料は超音波洗浄機を用いて洗浄し、表面に付着した粘土分などを洗い流した。

②粒子組成分析用薄片作成

観察用薄片は鉱物観察用スライドガラスの上に硬化後屈折率が 1.545 程度となる光硬化樹脂を載せ、この樹脂に上記洗浄・篩い分けを行った試料を攪拌・封入させ、カバーガラスで覆い作成した。樹脂の屈折率を 1.545 とする目的は石英や長石類の識別にある。

③主成分分析用薄片作成

上記、主成分分析用薄片は前処理試料から偏光顕微鏡を用いて火山ガラスのみを手選し、これをエポキシ樹脂を用いてスライドガラス上に包埋して#3000 カーボランダムで研磨し、 $1\mu\text{m}$ のダイヤモンドペーストにて鏡面研磨して作成した。

④検鏡(粒子組成分析)方法

前処理・プレパラートした粒子を偏光顕微鏡(100倍)を用いて観察し、300粒子(1000粒子の平均値)を古澤(2003)の区分手法にしたがって、火山ガラス、長石類・石英、斜方輝石、単

斜輝石、普通角閃石、カミングトン閃石、その他の重鉱物(カンラン石、ジルコンなど)、不透明鉱物および岩片・風化粒に区分した。火山ガラスは発泡跡の大きさにより、発泡跡が 0.1mm 四方に 2-3 個以内しか見られない大きな発泡跡を有するバブルウォールタイプ(Bw)、発泡跡が 0.1mm 四方に 4 個以上見られるパミスタイプ(Pm)、発泡跡同士が密着せずガラス中に細かい泡となって含まれるか全く含まれない急冷タイプ(O)の 3 タイプにまとめて区分した。また、重鉱物組成については、100 粒子を目処に、斜方輝石、単斜輝石、普通角閃石、黒雲母、その他(不透明鉱物、ジルコン、アパタイト etc.) に区分し、粒子組成とは別に記載した。

⑤屈折率測定方法

測定には、浸液の温度を直接測定しつつ屈折率を測定する温度変化型測定装置"マイオット MAIOT"を使用した。測定精度は火山ガラスで±0.0001 程度である(古澤,1995)。

顕微鏡は、ニコン顕微鏡 ECLIPSE600 シリーズ(偏光・位相差装置付)、位相差用対物レンズ(10 倍および長作動 20 倍)、光源は 12V 100W ハロゲンランプ、全誘電体干渉フィルター(589.3nm)を使用した。温度変化装置として全面等温度透明加温板(0.1°Cの精度で制御可能)、プログラム温度コントローラー(0.1°Cの精度で制御可能)、高感度熱電対(0.1°Cの精度で測定可能)、パーソナルコンピューターを使用した。

以下に測定の手順を示す。

顕微鏡ステージ上に設置した加温板に、浸液と試料および熱電対とを密封したごく薄いカプセルを載せる。カプセルは、大きさ 18×24mm、厚さ 0.12~0.17mm のガラス板(下板)と、直径 18mm で同じ厚さのガラス板(上板)との間に、熱伝導性の高いシーリング材を使用して浸液と試料および熱電対を密封したもので、総厚が 0.5~0.6mm 程度である。浸液は単一化学式を有する有機化学合成液である。つぎに、加温板の温度を制御して、ほぼ一定の温度変化速度で、浸液および試料の温度を室温~60°Cの範囲で変化させる。この様子を、位相差状態の顕微鏡で観察する。観察時の波長はナトリウム D 線(589.3nm)である。この画像を観察しながら、ガラスの輪郭が消失する温度を記録する。実際には温度上昇あるいは下降時に 1 回パーソナルコンピューターに接続されたマウスを左クリックする。屈折率は、あらかじめ作成した各浸液の温度と屈折率との一次式から変換され、パーソナルコンピューターに記録される。測定個数の目処はガラスが 30 片、斜方輝石が 10 片である。ただし、値にバラツキがある試料では、モードを把握できるまで測定した。記録された屈折率、熱電対の温度データはリアルタイムにパーソナルコンピューターに入力され、温度、測定個数などとともに屈折率ヒストグラムとしてモニターに表示される。

⑥主成分元素組成分析方法

以下の分析装置および条件により、エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー(EDX)を用い、火山ガラスの主成分を分析した。

使用機材：SEM:HITACHI SU1510 EDX:HORIBA EMAXEvolution EX-270

検出器 液体窒素レス検出器 X-Max(80mm²)

加速電圧：15kV

試料電流：0.3nA.

ビーム径：4 μ m 四方の範囲を約90nmのビーム径にて走査させて測定.

ライブタイム：50sec.

主成分組成計算方法：ファイローゼット($\phi(\rho Z)$ 補正)

スタンダードには高純度人工酸化物結晶(純度99.99%以上のSiO₂、Al₂O₃、TiO₂、MnO、MgO)、純度99.99%以上の単結晶NaCl、KCl、CaF₂を用いた。また、測定終了時毎に、主成分がほぼ均質なATテフラの火山ガラスを用い、測定値をチェックした。

(3) 分析結果

OB-3 (GL-7.02-7.06m)試料の火山ガラスおよび斜方輝石の屈折率測定および火山ガラスの主成分分析結果を行った。本試料は著しく風化した火山灰であるが僅かに低発泡タイプ火山ガラスを含む。有色鉱物としては斜方輝石および単斜輝石を多く含む。火山ガラスの屈折率は1.512-1.516程度の値を主体とし、1.524-1.525程度の値を示すものを混在する。斜方輝石の屈折率(γ)は1.699-1.704である。主成分元素組成は、含有率平均値がSiO₂で67.2wt.%程度、Na₂Oが4.1wt.%、K₂Oが4.2wt.%程度にまとまる。

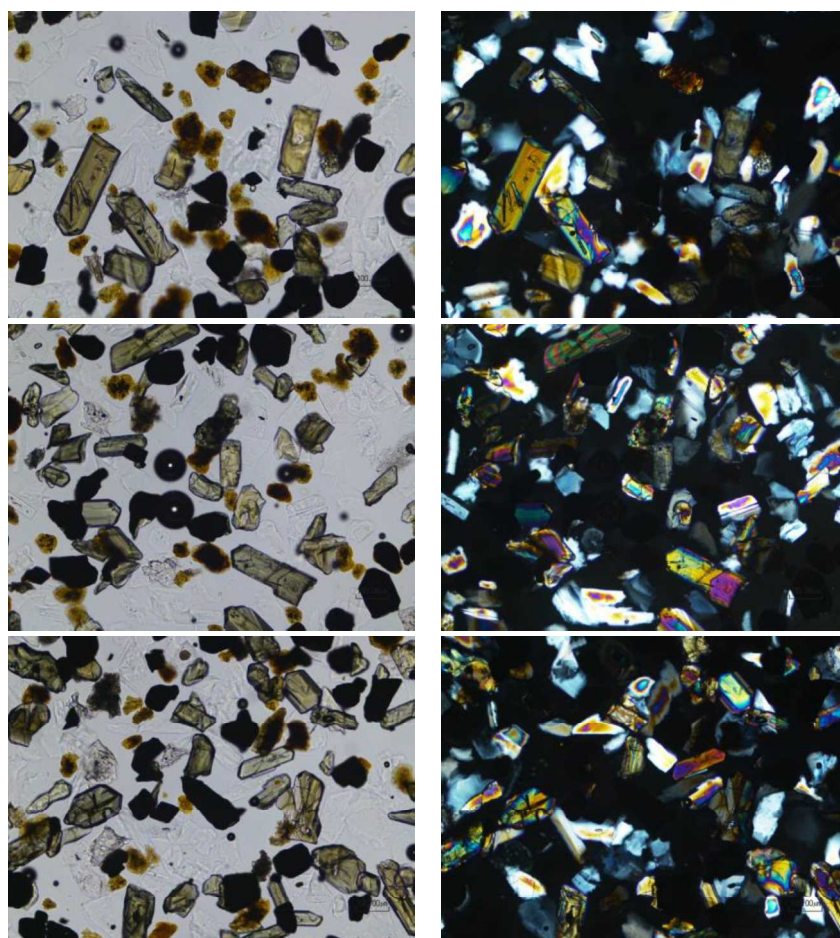


図 2.4.25 検鏡結果 (左：オープンニコル、右：クロスニコル)

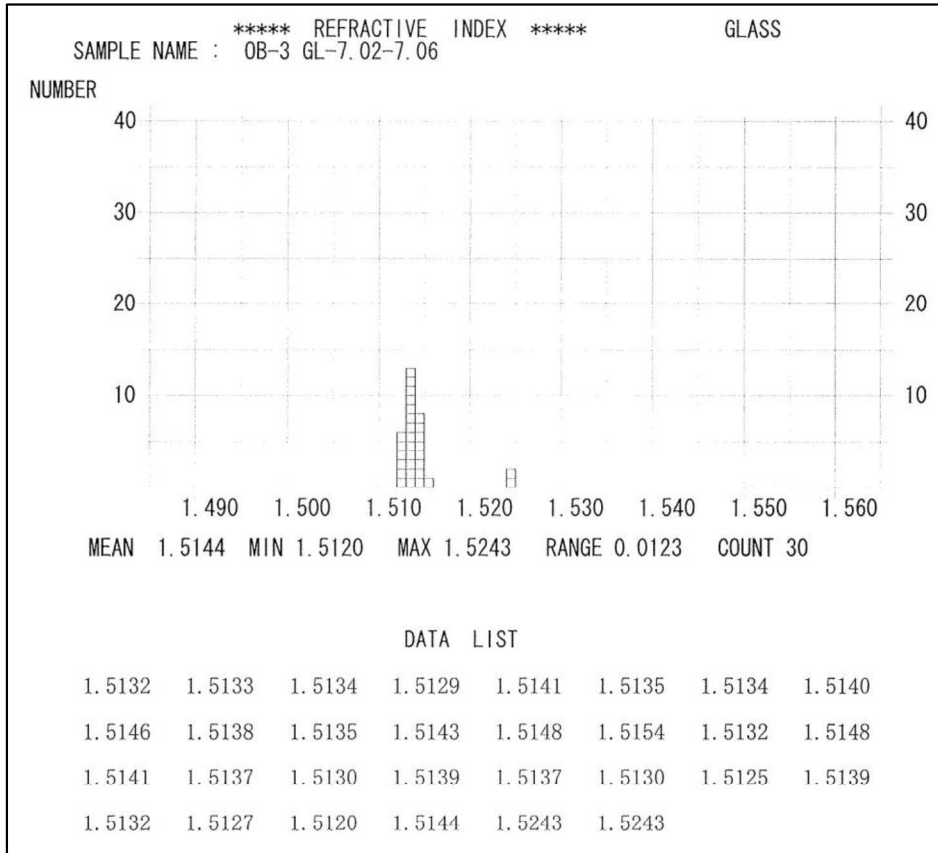


図 2.4.26 火山ガラスの屈折率測定結果

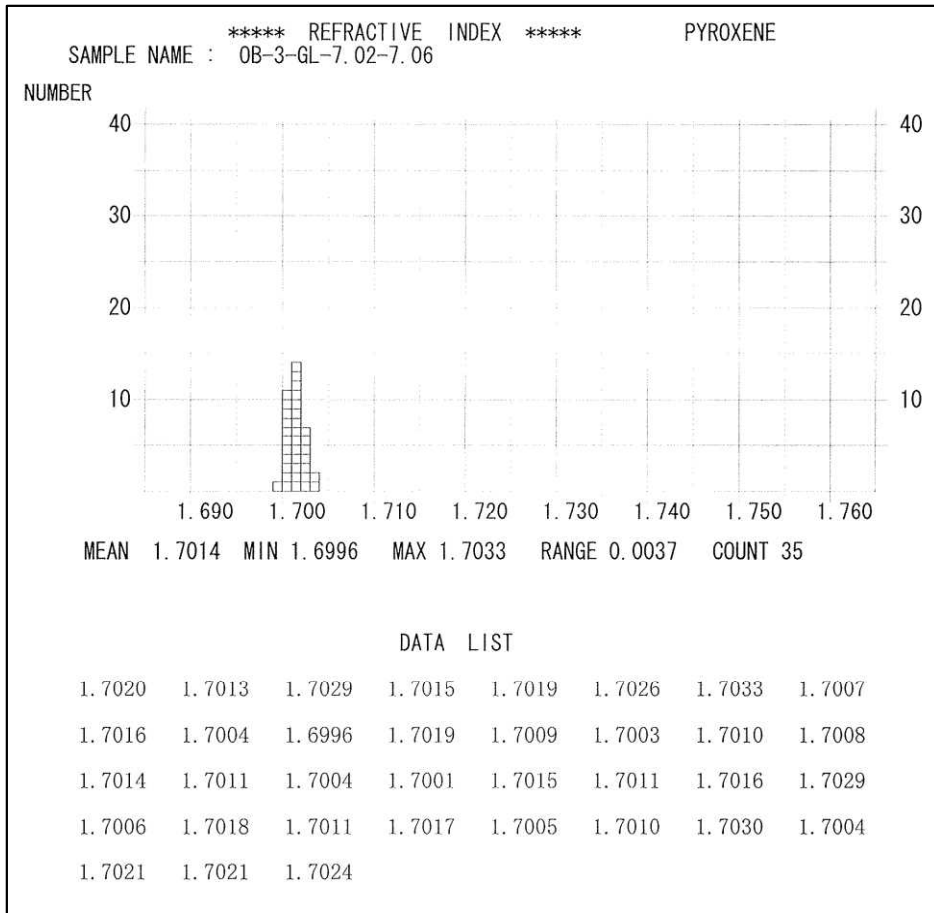


図 2.4.27 斜方輝石の屈折率測定結果

表 2.4.4 OB-3 (GL-7.02-7.06m) 火山灰分析結果

試料名	Volcanic Glass			Light Mineral	Heavy Mineral					Rock	Total	火山ガラスの屈折率	斜方輝石の屈折率
	Bw	Pm	0	Fl/Qu	Opx	Cpx	Gho	Oth	Opq				
OB-3 (GL-7.02~7.06m)	0	0	1	146	70	8	0	0	75	0	300	1.512-1.516 (28/30), 1.524-1.525 (2/30)	1.699-1.704

Bw : バブルウォールタイプ
 Pm : ハミスタイプ
 0 : 低発泡タイプ
 Fl・Qu : 長石・石英
 Opx : 斜方輝石 Cpx : 単斜輝石 Gho : 緑色普通角閃石
 Opq : 不透明鉱物 Rock : 岩片・風化粒

表 2.4.5 OB-3 (GL-7.02-7.06m) 主成分分析結果

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均値	標準偏差	
SiO ₂	63.62	63.47	63.57	65.13	63.95	65.40	63.43	64.95	63.69	64.11	64.17	63.83	64.13	64.04	63.58	SiO ₂	64.07	0.62
TiO ₂	0.73	0.74	0.74	0.83	0.80	0.60	0.76	0.76	0.71	0.80	0.84	0.75	0.79	0.75	0.75	TiO ₂	0.76	0.06
Al ₂ O ₃	15.37	15.09	15.07	13.96	15.39	15.36	15.19	14.59	15.30	15.25	15.16	15.45	15.26	15.30	15.26	Al ₂ O ₃	15.13	0.38
FeO	3.43	3.48	3.69	3.82	3.29	3.59	3.58	3.22	3.51	3.17	3.58	3.50	3.46	3.63	3.61	FeO	3.50	0.17
MnO	0.24	0.24	0.19	0.23	0.06	0.15	0.20	0.15	0.17	0.23	0.08	0.27	0.13	0.13	0.30	MnO	0.18	0.07
MgO	1.09	1.08	1.13	1.08	1.14	0.94	1.05	0.90	1.08	1.04	1.10	1.21	1.06	1.09	1.16	MgO	1.08	0.08
CaO	2.92	2.80	2.67	2.08	2.80	2.64	2.86	2.48	2.90	2.74	2.74	2.91	2.71	2.94	2.92	CaO	2.74	0.22
Na ₂ O	3.99	3.94	3.93	3.74	3.98	4.03	3.96	3.89	4.04	4.06	3.94	4.02	3.97	3.91	3.90	Na ₂ O	3.95	0.08
K ₂ O	3.96	3.76	4.03	4.34	3.90	4.25	3.70	4.15	3.92	4.06	4.09	3.76	3.99	3.96	3.89	K ₂ O	3.98	0.18
Total	95.35	94.60	95.02	95.21	95.31	96.96	94.73	95.09	95.32	95.46	95.70	95.70	95.50	95.75	95.37	Total	95.40	

point No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	平均値	標準偏差	
SiO ₂	66.72	67.09	66.90	68.41	67.10	67.45	66.96	68.30	66.82	67.16	67.05	66.70	67.15	66.88	66.67	SiO ₂	67.16	0.53
TiO ₂	0.77	0.78	0.78	0.87	0.84	0.62	0.80	0.80	0.74	0.84	0.88	0.78	0.83	0.78	0.79	TiO ₂	0.79	0.06
Al ₂ O ₃	16.12	15.95	15.86	14.66	16.15	15.84	16.04	15.34	16.05	15.98	15.84	16.14	15.98	15.98	16.00	Al ₂ O ₃	15.86	0.38
FeO	3.60	3.68	3.88	4.01	3.45	3.70	3.78	3.39	3.68	3.32	3.74	3.66	3.62	3.79	3.79	FeO	3.67	0.18
MnO	0.25	0.25	0.20	0.24	0.06	0.15	0.21	0.16	0.18	0.24	0.08	0.28	0.14	0.14	0.31	MnO	0.19	0.07
MgO	1.14	1.14	1.19	1.13	1.20	0.97	1.11	0.95	1.13	1.09	1.15	1.26	1.11	1.14	1.22	MgO	1.13	0.08
CaO	3.06	2.96	2.81	2.18	2.94	2.72	3.02	2.61	3.04	2.87	2.86	3.04	2.84	3.07	3.06	CaO	2.87	0.23
Na ₂ O	4.18	4.16	4.14	3.93	4.18	4.16	4.18	4.09	4.24	4.25	4.12	4.20	4.16	4.08	4.09	Na ₂ O	4.14	0.08
K ₂ O	4.15	3.97	4.24	4.56	4.09	4.38	3.91	4.36	4.11	4.25	4.27	3.93	4.18	4.14	4.08	K ₂ O	4.18	0.18
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	Total	100.00	

(4) 火山灰対比

既往トレンチ（パスコ，2022）における OZE-02(7.7,-3.55)火山灰との対比：本試料(OB-3 GL-7.02-7.06)には火山ガラスが僅かに残存する。その火山ガラスの屈折率は OZE-02 の値とは明らかに異なる。また、斜方輝石の屈折率も明らかに異なる。加えて火山ガラスの主成分元素組成も異なる。

本試料に対比できる火山灰は令和3年度（パスコ，2022）の分析対象試料には見当たらない。一方、火山灰アトラス(町田・新井，2003)では草千里浜テフラに含まれる斜方輝石の屈折率を 1.699-1.703 と記載している。この特徴は OB-3 GL-7.02-7.06 の特徴と一致する。

したがって、本試料は草千里テフラに対比される可能性がある。

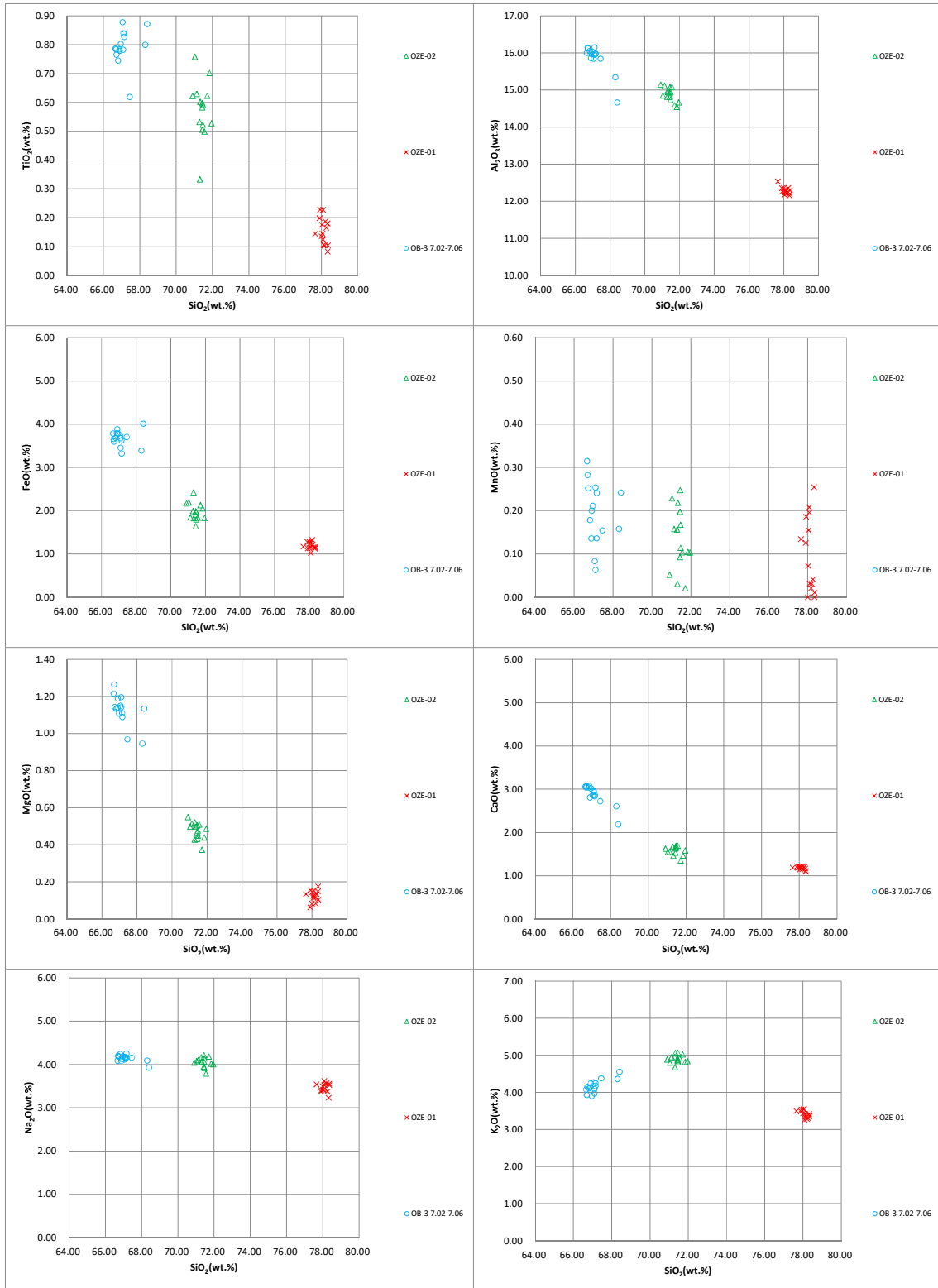


圖 2.4.28 OB-3 (GL-7.02-7.06m) 主成分分析結果

2.4.3.8. ボーリングコア対比による地質構造の検討

ボーリング調査結果および GPR 探査結果をもとに作成した地層対比結果を図 2.4.29 に示す。対比結果より、測線 10~20m 付近において GPR 反射面を用いた地層対比線の連続性が途切れる範囲が確認される。この範囲を挟むようにボーリング踏査 OB-1 と OB-2 の位置を設定した。地層の連続性が途切れる範囲は、活断層による変位が生じている可能性があるとして推定し、断面図上に赤破線で「断層の可能性ある箇所」として図示した。

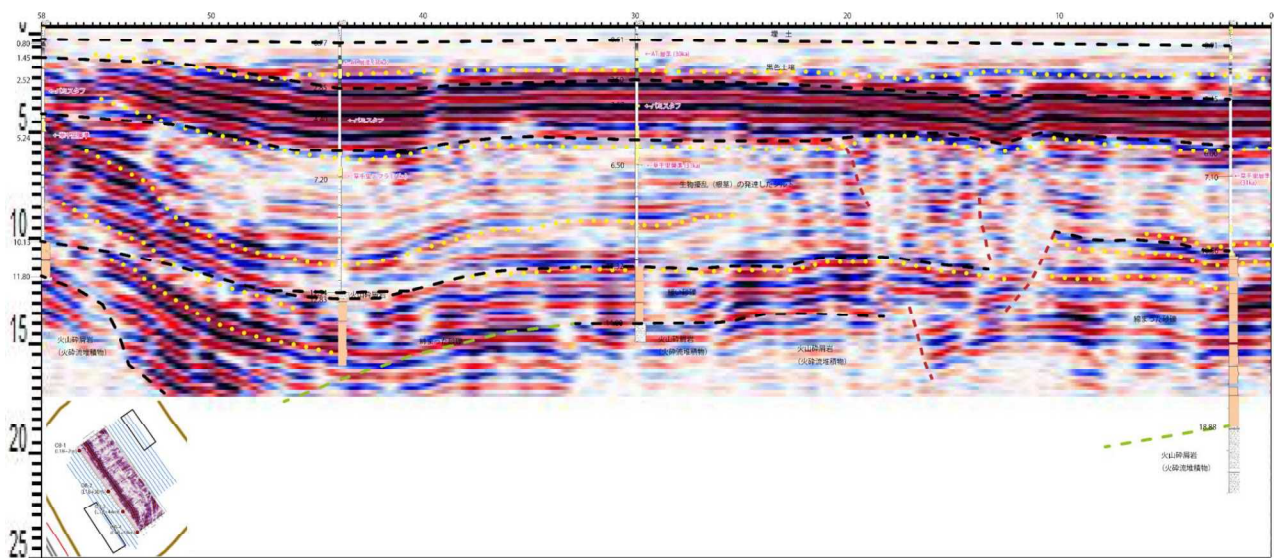


図 2.4.29 ボーリングコア対比結果 (黄色点線: 50MHzGPR 断面による反射面の区分、黒破線: 地層対比線 (黄色点線を考慮)、緑破線: 地層対比線 (隣接の 25MHzGPR 断面を考慮) 赤破線: 断層の可能性のある箇所)

2.4.4. ボーリング調査による地質構造の検討結果

過年度事業（構造計画研究所 2018, パスコ 2022）においてトレンチ調査が実施された箇所において、トレンチ深度以深の地質構造の把握のため、2 地区でボーリング調査を実施した。

福原地区では右横ずれ断層を介して片側のトレンチ断面のみで確認されていた火砕流堆積物（61 層）の分布を把握し、横ずれ移動量を推定することを目的とした。ボーリング調査位置の検討のため、既往地中レーダ探査結果の再解析を実施し、反射強度を用いた平面スライス断面図を作成した。深度 GL-5.0～6.0m の反射強度平均値を用いた平面スライス断面より、火砕流堆積物の分布標高に着目して合計 3 本のオールコアボーリングを計画した。ボーリング調査の結果、FB-1 において GL-2.67m、FB-2 において GL-6.27m、FB-3 において GL-3.95m で火砕流堆積物（61 層）を確認した。横ずれ移動量は想定よりも火砕流堆積物（61 層）の横ずれ移動量が大きかったため総移動量を検出できなかったが、少なくとも 10m 以上は横ずれしているものと推察される。また、地中レーダ探査の反射強度を用いて平面スライス断面を深度ごとに作成する手法は、限られた地質調査結果から 3 次元的に地質構造を類推可能であることを示している。

小園地区では地中レーダ探査によって把握されていたトレンチ深度よりも深部の凹地状の反射構造および不明瞭な反射となっている断層構造部分の地質性状の把握を目的とした。ボーリング調査位置の検討のため、既往地中レーダ断面より凹地状の反射構造が明瞭な断面を選定し、合計 4 本のオールコアボーリング調査を実施した。ボーリング調査の結果、上位より人工地盤（埋土）、黒色土壌、塊状シルト層、生物擾乱の発達したシルト層、砂礫層および火砕流堆積物を確認した。ボーリング調査結果および地中レーダ探査結果から砂礫層上面の分布標高に差異が生じている可能性が示されたが、砂礫層自体が異なる地層の可能性があるため、断層活動の詳細は不明である。一方で、地中レーダ探査とボーリング調査結果の対比結果から、地下水位の状況や付近の支障物以外にも、物性の違い、堆積構造の規則性および生物擾乱による堆積構造の破壊なども、反射面の明瞭さや連続性に寄与していることが明らかとなった。ただし、地中レーダ探査から得られた反射の特徴は、あくまでも電氣的性質の異なる境界から反射した電波のパターンを記録したものである。したがって、明瞭な反射面の境界や反射の不連続の全てが地層の境界や断層構造を示しているとは限らない。そのため、探査箇所周辺の地形・地質学的検討を踏まえて地下構造を検討する必要がある。