

6) データ解析

本節では、反射法足柄バイブレータ測線、屈折法及び広角反射法測線の順に従って、データ解析内容を詳述する。

a) 反射法足柄バイブレータ測線

本節では、広域測線南部の神奈川県小田原市酒匂川河口-同山北町世附間に位置する足柄平野を中心とした地域におけるバイブレータ測線 AS-1 (測線長 17km) の反射法データ処理内容について記述する。図 28 に、データ処理フローを示す。

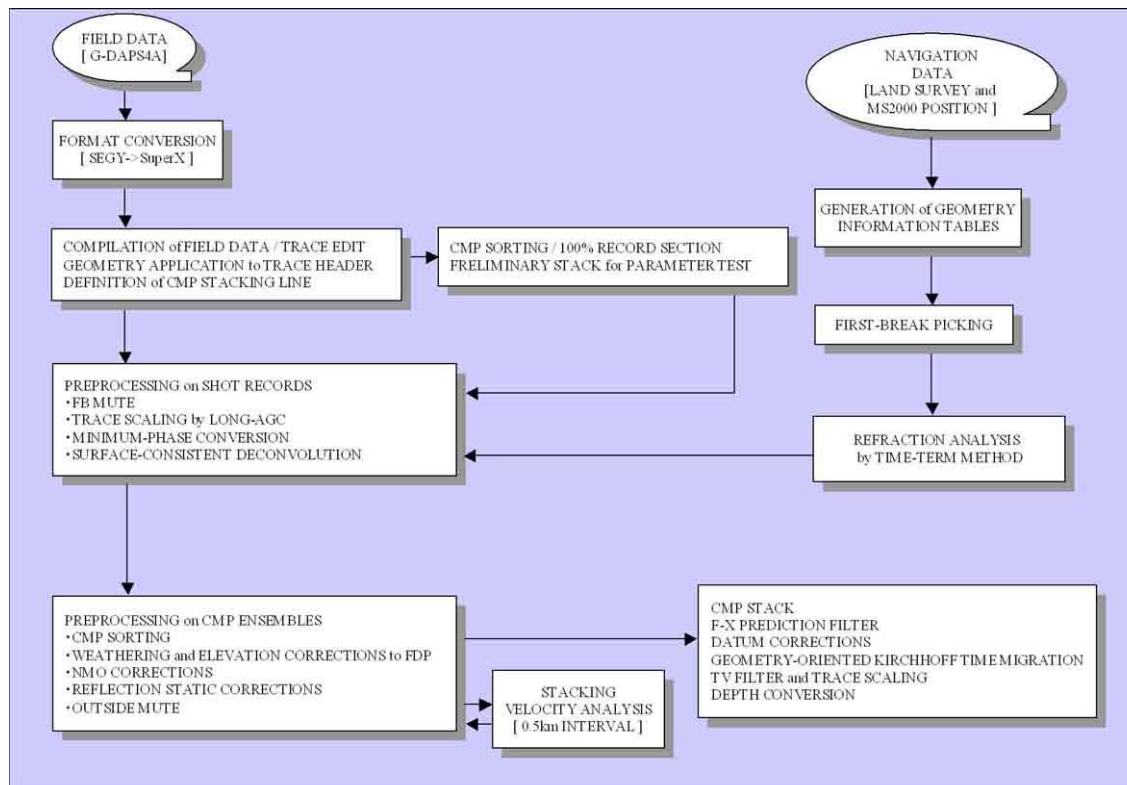


図 28 反射法足柄測線データ処理フロー

i) フォーマット変換及びデータ編集 (Format Conversion and Trace Edit)

フィールドデータに記録された原記録 (GDSPS-4 SEG-Y Format) について、Super X (JGI Internal Format) フォーマットへ変換を行った。また、発震測線に関して下記の発震記録を発震点番号の昇順に従って抽出した (バイブレータ多重発震記録を含む)。これは、バイブレータ発震作業順序が発震路あるいは発震作業の制約によって適宜変更され、フィールドテープには、作業時間順にデータが記録されているためである。

反射法足柄バイブレータ測線 発震点 SP. 1V~4V, VP. 18 - VP. 1090.0 (101 点)

さらに、S/N 比が著しく低く、初動が判別できないトレースを処理対象から除外した。また、足柄平野南部の酒匂川左岸に関する下記の区間については、平成 13 年度の地震関係交付金基礎調査である神奈川県地下構造調査 Line-B のデータを補完記録として使用した。

神奈川県地下構造調査 Line-B 発震点 今回の測線位置で Loc. 1-138 (66 点)

ii) トレースヘッダーへの測線情報の入力(Geometry Application)

SuperX トレースヘッダーに関して、発震点,受振点及び各 CMP のインデックス, 座標, 標高値, オフセット距離, 基準面標高値等の測線情報を入力した。データ解析における基準標高面は平均海水面位置に設定された。また、CMP 重合測線は下記の基準によって決定された。

CMP 間隔…………… 25.0m
 重合測線からの最大偏倚制限… 制限無し
 重合測線の決定基準… 受振測線の屈曲度及び湯ヶ島層相当基盤構造の変化方向

図 29 に受振点及び発震点位置図を示した。図 30 に重合数及び重合測線位置を、オフセット距離に関する制限を与えない場合、2500m 及び 5000m のオフセット距離制限を与えた場合の表示結果を示した。また、図 31 には、CMP の各種情報(重合数分布及びオフセット距離分布)を測線情報の確認のために示した。

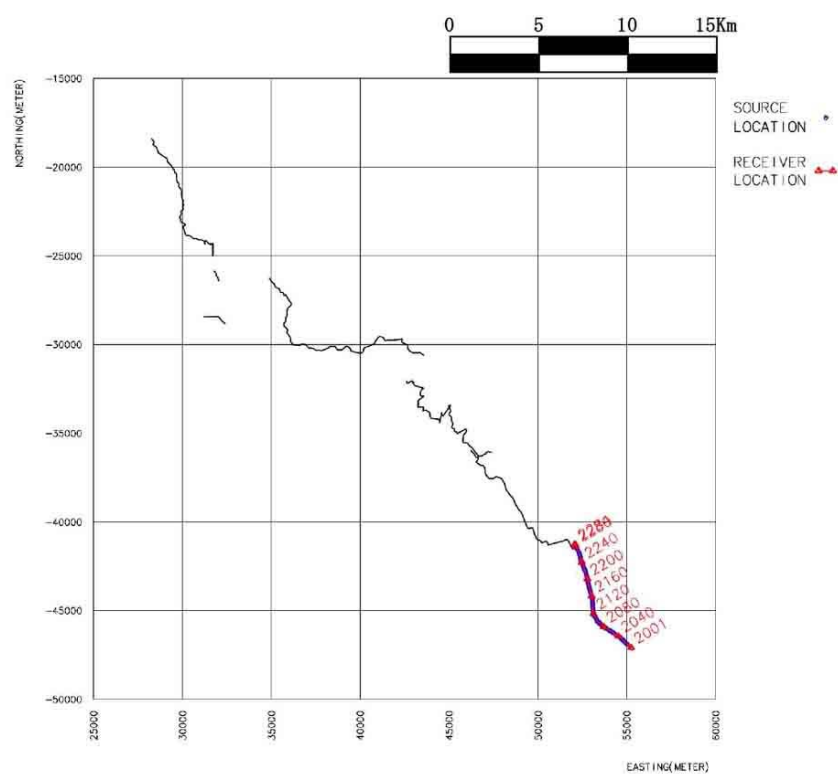


図 29 受振点及び発震点分布図

平成 13 年度 神奈川県地下構造調査測線（本データ解析で使用了部分のみ表示）

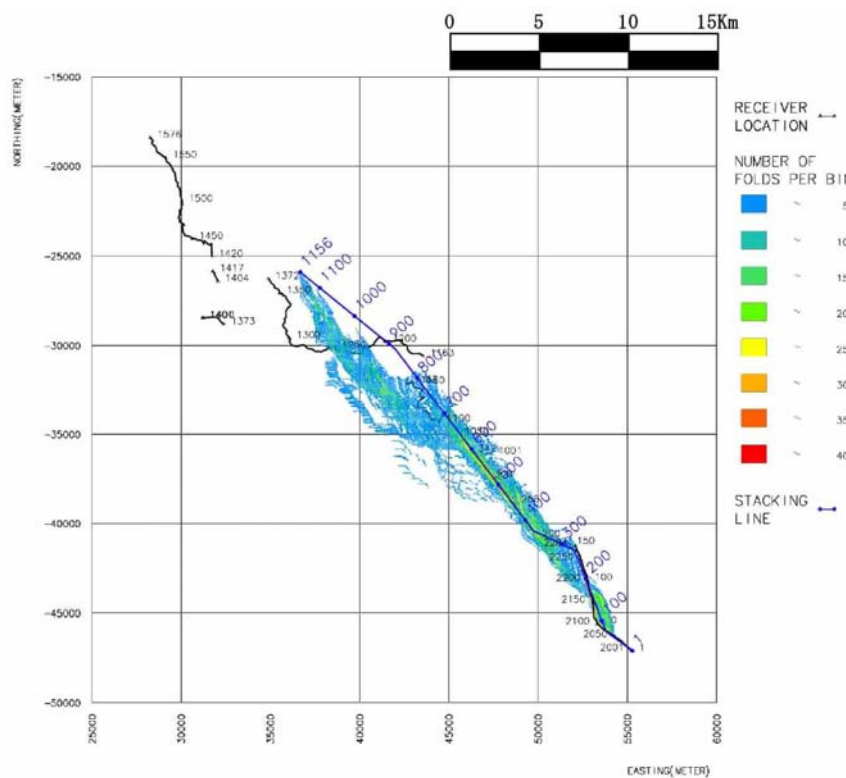


図 30 CMP 重合測線及び重合数分布図
 [オフセット距離=2500m, 5000m 及び制限無し]

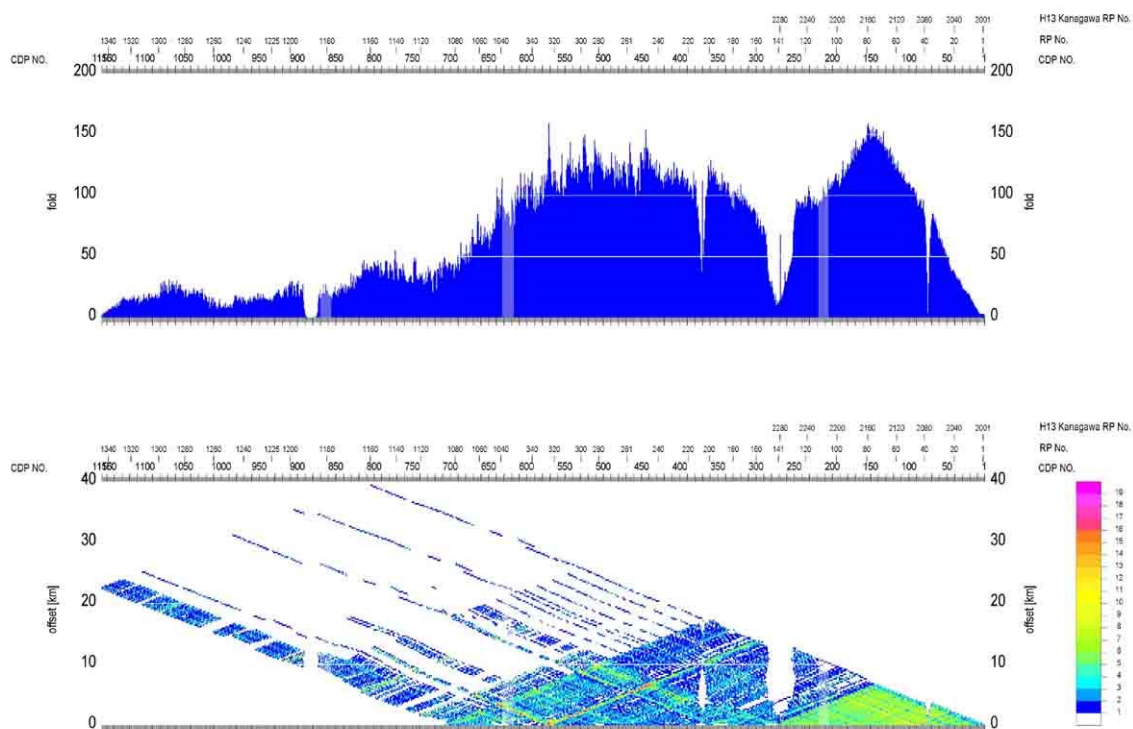


図 31 CMP 各種情報表示
 [A] CMP 重合数
 [B] オフセット距離分布(1) [CMP-オフセット距離表示]

iii) 屈折波初動解析 (Refraction Analysis)

改良型タイムターム法による屈折初動解析を行い、受振点及び発震点タイムターム値と表層基底層速度を算出した。この手法では解析対象とする屈折面が2次元ブロックに分割され、各ブロックに対して表層基底層速度が定義される。このモデルは以下の関係式で記述される。

$$T_{ij} - \sum_k s_{k,0} \Delta_{ijk} = a_i + b_j + \sum_k \delta s_k \Delta_{ijk} \quad (1)$$

ここに、 T_{ij} は屈折初動走時、 a_i, b_j は発震点及び受振点タイムターム、 $s_{k,0}, \delta s_k, \Delta_{ijk}$ は各ブロックにおけるスローネス初期値、スローネスの初期値からの偏倚量及び屈折波線長である。この受振点及び発震点タイムターム値と表層基底層速度はインバージョン (‘Generalized Linear Inverse Method’) によって算出される。この改良型タイムターム法解析には、以下のパラメータが採用された。

初動読み取り位相……………	正のピーク位置
表層基底速度を求める際のブロック区分……………	1000m
屈折波インバージョンに用いるオフセット距離……………	200-1000m

改良型タイムターム法解析の結果を用いて、表層基底深度は各発震点及び各受振点について以下の様に計算される。

$$D_w = \frac{T_m}{\sqrt{1 - \left(\frac{V_w}{V_{sw}} \right)^2}} \cdot V_w \quad (2)$$

ここに、 T_m は ‘Time-Term’、 V_w は表層速度、 V_{sw} は表層基底層速度である。表層速度として受振点側及び発震点側共に 700m/sec を採用した。この値は表層速度を変化させた重合スキャンによって確定した。図 32 に、改良型タイムターム法による解析結果を示す。

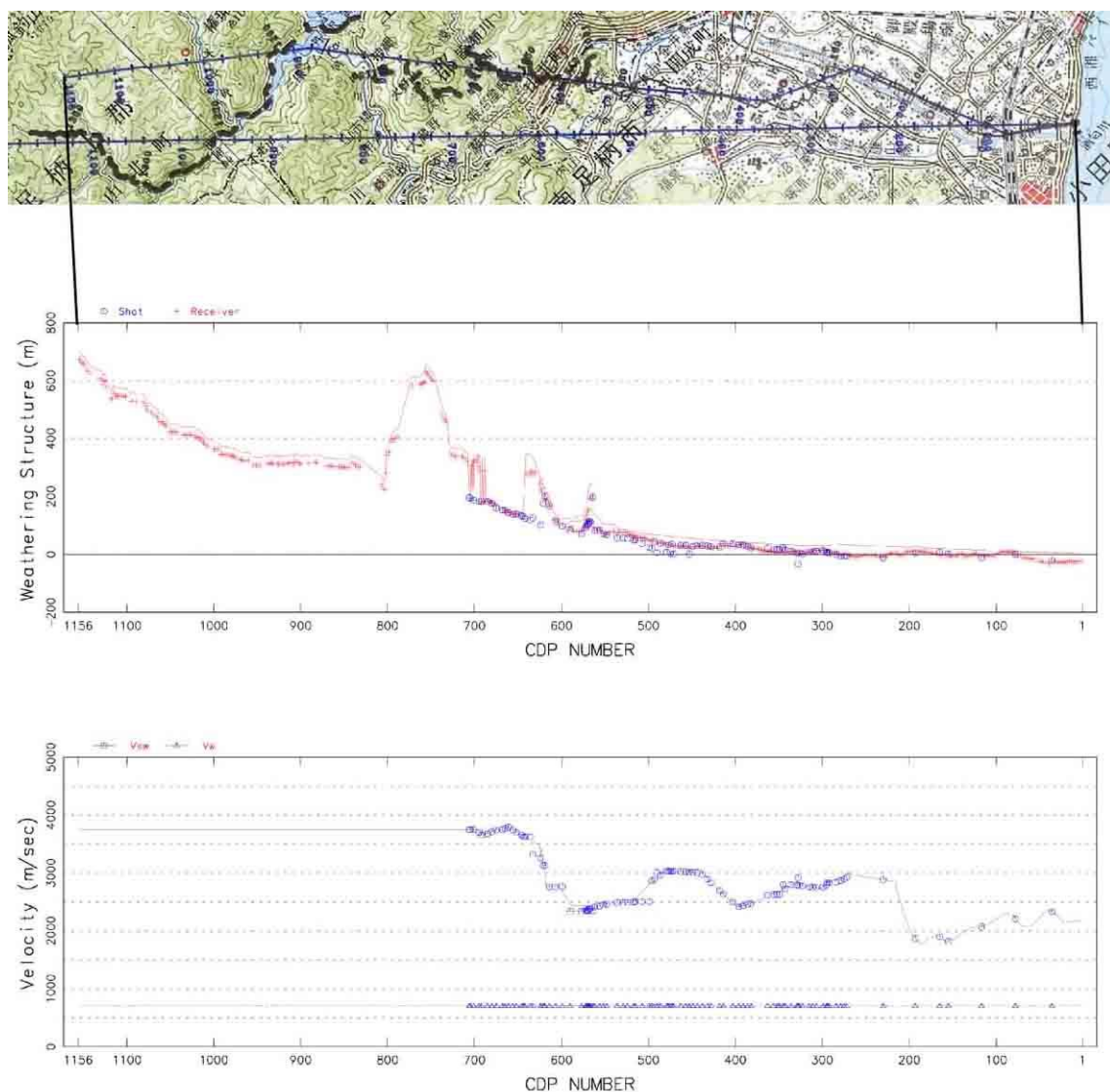


図 32 タイムターム法によって推定された陸域表層構造図

iv) 初動ミュート (First-break Mute)

強振幅の屈折波初動部分を抑制する目的で、以下のパラメータによる初動抑制処理を実施した。

テーパー長…………… 50msec (屈折初動近傍)

v) 振幅補償 (Gain Recovery)

弾性波の震源からの伝播に伴う幾何減衰、多層構造内を透過、多重反射することによる伝播損失及び非弾性効果による減衰、さらには受振点、発震点毎のカップリングの相異に起因する振幅特性の変化を補償することを目的として、振幅補償を行った。足柄平野北部及び甲府盆地南部では、バックグラウンドノイズレベルが著しく高く、幾何減衰補償の適用によって先新第三系基盤相当の層準以深の振幅レベルを過度に増大させることが懸念されたため、下記の自動振幅調整のみを適用した。

Instantaneous AGC [ウィンドー長……………1000msec]

vi) デコンボリューション (Deconvolution)

デコンボリューション処理では、次式で示される 1 次元コンボリューションモデルが前提とされている。

$$F(t) = W(t) * R(t) + N(t) \quad (3)$$

ここに $F(t)$ は地震波トレース, $W(t)$ は基本波形, $R(t)$ はランダム定常な反射係数列, $N(t)$ はランダムノイズである。このモデルにおいて基本波形を構成する要素としては、以下の項目を挙げることができる。

- ・震源波形：バイブレータスウィープ波形, 震源カップリング効果, ゴースト効果
- ・地層効果：多重反射, 非弾性による吸収
- ・記録系：受振器特性及び設置効果, 表層に関わるゴースト効果, 探鉱機の応答特性

こうした要素の集積としての基本波形を地震トレースから推定・除去し、記録の分解能向上を図るためにデコンボリューションを適用した。’ Surface-consistent ’ 型デコンボリューション処理を含めた比較重合テストを通じて、以下のパラメータが採用された。図 33 にデコンボリューション処理に関わる比較重合テスト結果を示す。このパラメータテストの結果、’ Surface-consistent ’ 型デコンボリューションが有効であることが確認された。小田原市酒匂川河口から足柄平野内の市街地を経て西丹沢地域に至る足柄測線では、地表地質、受振器設置条件及び受振測線周辺の定常ノイズ等が測線内で大きく変化し、同様に発震条件についても、沖積層が厚く堆積する足柄平野、足柄層群及び丹沢層群に被覆された西丹沢地域では、発震カップリングの地域差は顕著であり、’ Surface-consistent ’ な受振及び発震スペクトルを推定し、最小位相の前提によってデコンボリューションオペレータを構築することは有効性が非常に高いものと考えられる。

予測距離	4.0msec
ゼロオフセット位置における設計ゲート	300～4000msec [Non-TV]
オペレータ長	400msec
プリホワイトニングファクター	5.0%
アルゴリズム	’ Surface-consistent Deconvolution with Spectral Decomposition ’

尚、デコンボリューション適用に際しては、零位相であるバイブレータ震源のスウィープ波形(探鉱機’ A/D Decimation Filter(DCF) ’ 及び相互相関処理実施後のスウィープ波形)について、最小位相変換処理を適用した。今回用いた GDAPS-4A 探鉱機では 24 ビット Δ - Σ A/D 変換が採用されているため、ローカットフィルターは探鉱機では適用されず、最小位相推定において問題となる 10Hz 以下の低周波数成分についての影響は少ない。

vii) 共通反射点編集 (Common Midpoint Sorting)

上述 ii) のパラメータによって、共通反射点の編集が実施された。

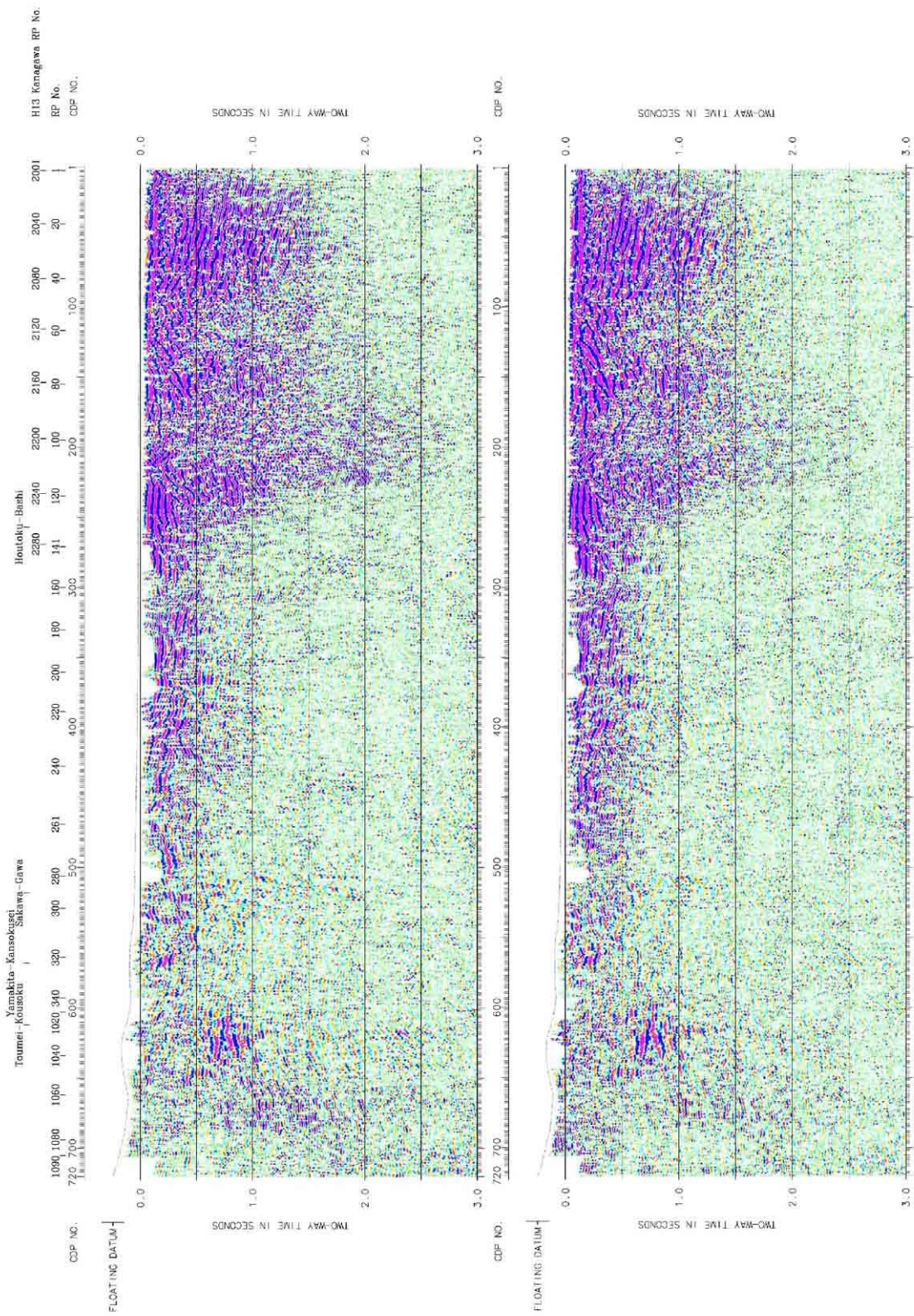


図 33 デコンボリューション処理比較重合テスト結果
比較重合テスト結果

viii) 浮動基準面に対する静補正(Static Corrections to FDP)

浮動基準面に対する静補正を実施した。静補正については、下式で定義される標高補正量及び表層補正量の和として各発震点、受振点について与えられる。

- ・標高補正 T_e : 観測面を一定基準面へ補正する。

$$T_e = - (H_e - H_b) / V_{sw} \quad (4)$$

- ・表層補正 T_w : 低速度の表層構造変化による影響を除去する。

$$T_w = S_d * (-1/V_w + 1/V_{sw}) \quad (5)$$

ここに、 H_e : 発震点あるいは受振点標高(m)

H_b : 基準面 [平均海水面から 500.0m]

S_d : 表層厚(m)

である。

表層補正值は、前述iii)の屈折波初動解析による結果を用いて計算された。本調査の基準面(Datum)は平均海水面位置に設定されたが、絶対値の大きい標高補正值の適用を回避するため、CMP アンサンブル上において平均標高を定義し、これを浮動基準面(FDP: 'Floating Datum Plane')とした。この FDP から基準面までの基準面補正量 T_d は、下記のように定義される。

$$T_d = -2.0 * (H_f - H_b) / V_c \quad (6)$$

ここに、 H_f : 浮動基準面(FDP)

V_c : 基準面補正速度(3000m/sec)

である。この FDP に関しては、CDP に近接する受振点標高に対して 41 受振点の移動平均によって長波長成分を抽出して推定した。

ix) 重合速度解析(Stacking Velocity Analysis)

以下に示す定速度重合法による速度解析を実施した。尚、残差静補正後に再解析がなされている。図 34 に足柄測線 AS-1 に関する重合速度解析例を示す。また、図 35 に重合速度プロファイルを示す。これらの速度プロファイルは、足柄平野の湯ヶ島層群相当の基盤面までの速度構造を比較的精度良く表現していることがわかる。

解析点間隔 1250m

解析速度数..... 71(1500 – 5000 m/sec)

x) NMO 補正(Normal Moveout Corrections)

速度解析によって求められた重合速度-時間の関数を時間-空間方向に内挿し、その速度テーブルに従って NMO 補正を適用した。同時に、下記のストレッチミュートを実施した。

ストレッチミュートファクター..... 2.0

xi) ミュート(Outside Mute)

NMO 補正に伴う波形の伸長及び'Far'オフセット側に残留する屈折波初動部分を抑制する目的で、ミュート処理を全 CMP アンサンブルについて設計して、適用した。

xii) 残差静補正(2D Residual Static Corrections)

NMO 補正後の CMP アンサンブルを入力として、基準トレースとの相互相関関数から得られる最大ラグ値を用いて'Surface-consistent'な発震点、受振点残差静補正量を LTI(Linear Travel- time Inversion)によって統計的に計算し、これを適用した。

時間シフトの最大許容値..... 18msec(1st)

時間ウィンドー..... 100-1200msec

xiii) 周波数-空間領域予測フィルター(F-X Prediction Filter)

周波数-空間領域に於いて複素型予測フィルターを設計、適用して、ランダムノイズを抑制し相対的に S/N を向上させる以下の F-X 予測フィルター処理を実施した。

オペレータ長.....	5 CDPs
空間ウィンドー長.....	50 CDPs
時間ウィンドー長.....	1000 msec

xiv) 帯域通過フィルター(Bandpass Filter)

反射波の有効周波数帯域が周波数成分解析によって決定され、以下の零位相帯域通過フィルターが採用された。

オペレータ長.....	400 msec
周波数通過帯域.....	8-35Hz

xv) 基準面補正(Datum Corrections)

浮動基準面から基準面への、時間補正が適用された。

xvi) キルヒホッフ型時間マイグレーション(Geometry-oriented Kirchhoff Time Migration)

時間断面上の反射点位置を実際の位置に移動させ、回折波を回折点に復元することを目的として、キルヒホッフ型時間マイグレーションを適用した。この手法では、重合測線に沿った標高変化と測線の屈曲への対応が可能である。以下に適用パラメータを示す。

最大アパチャー距離.....	1000m
最大傾斜角度.....	60 度

xvii) 深度変換(Depth Conversion)

図 35 に示した重合速度プロファイルから、時間及び空間方向に平滑化した平均速度分布を用いて、'Vertical Stretch'法による深度変換を実施した。

以上の処理ステップを逐次経ることによって、図 36 の CMP 重合処理断面図、図 37 の時間マイグレーション断面図が得られた。また、これらの重合記録及び時間マイグレーション記録を用いて深度変換を実施した結果を、図 38 に示した。

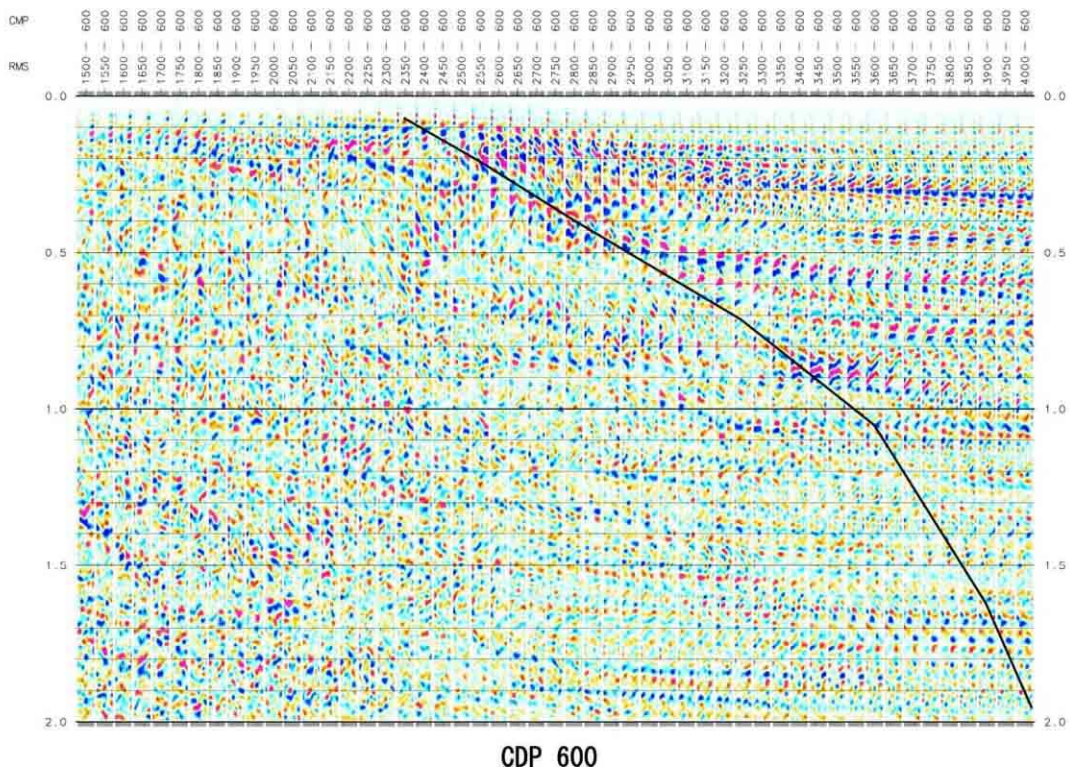
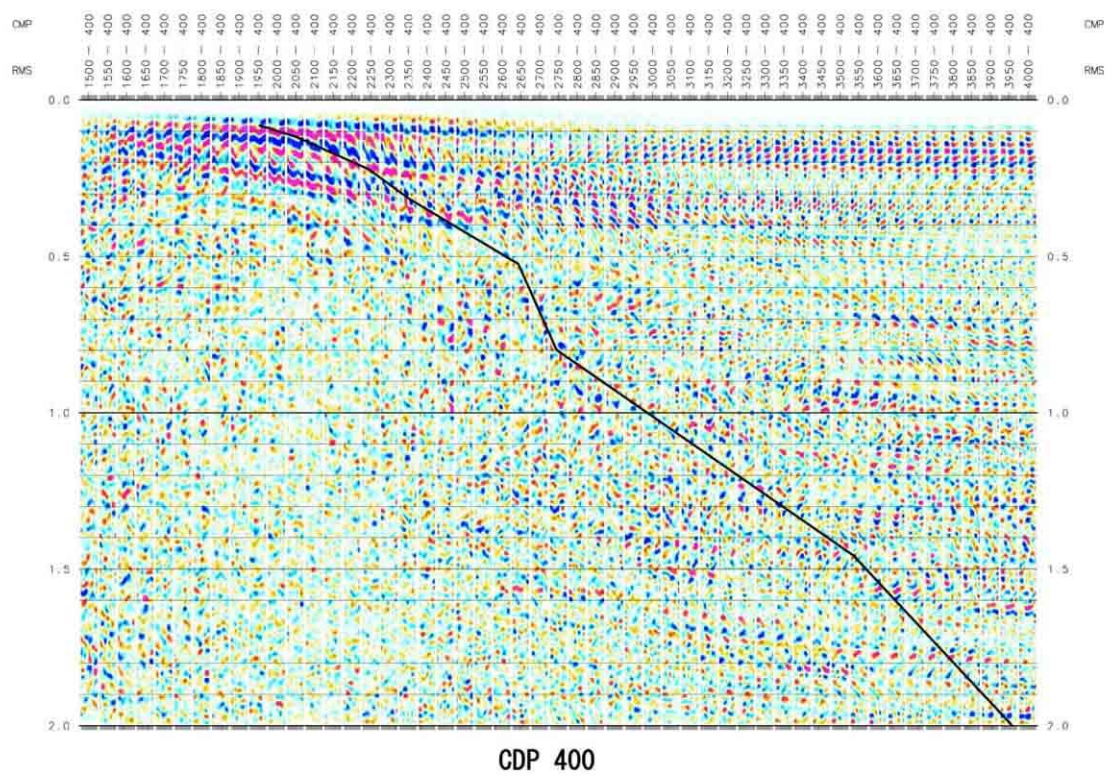


図 34 速度解析結果例

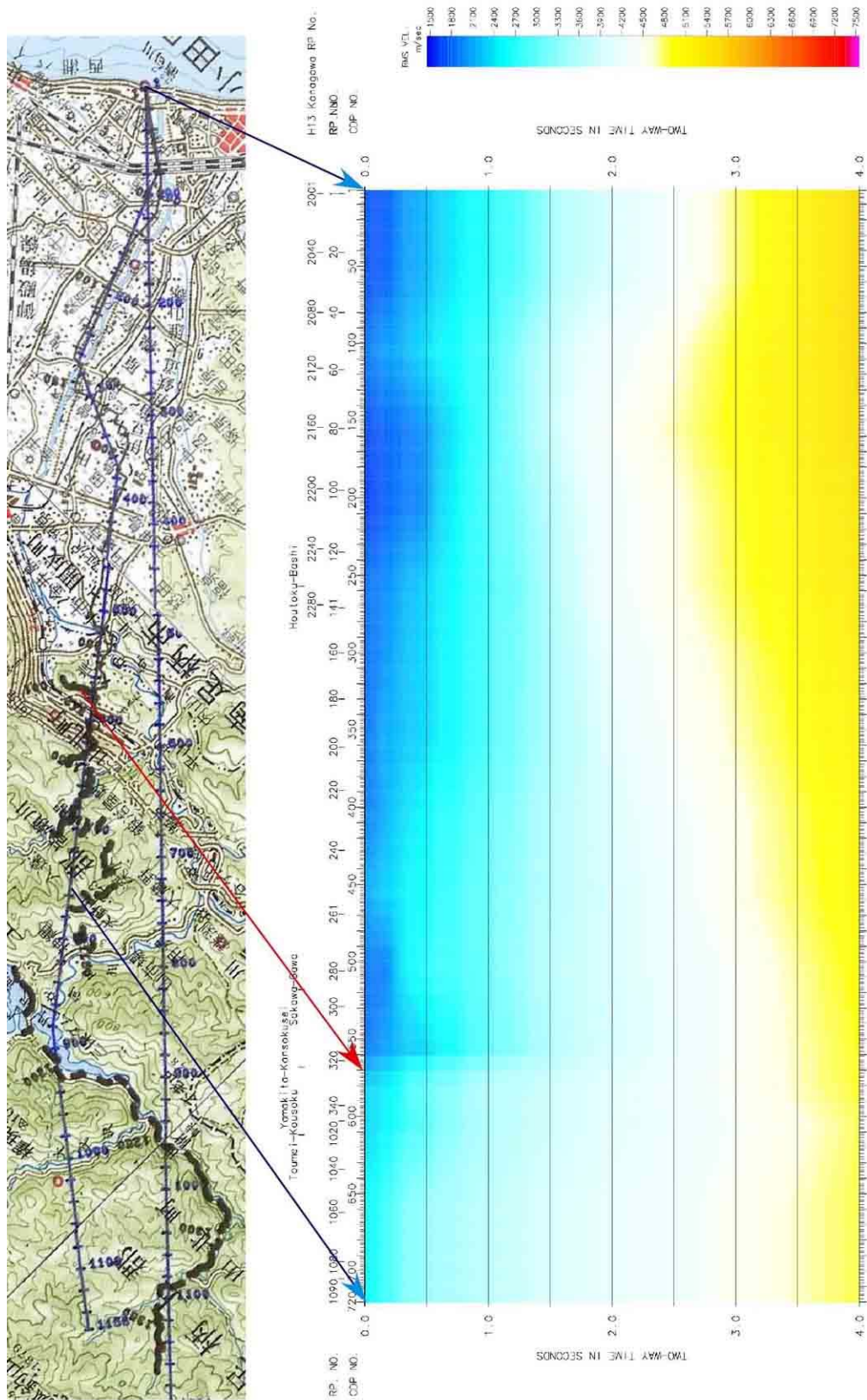
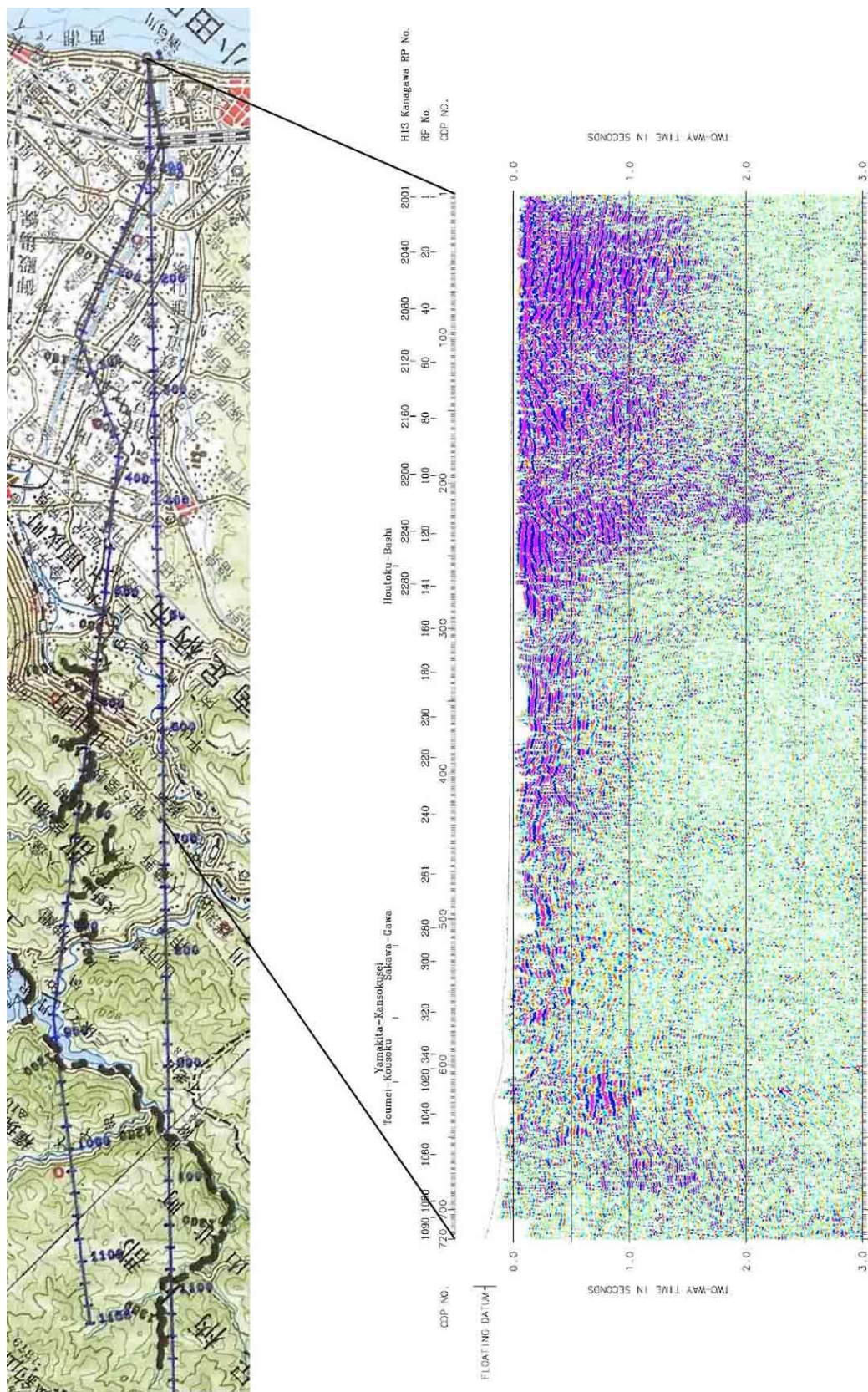


図 35 速度プロフィール



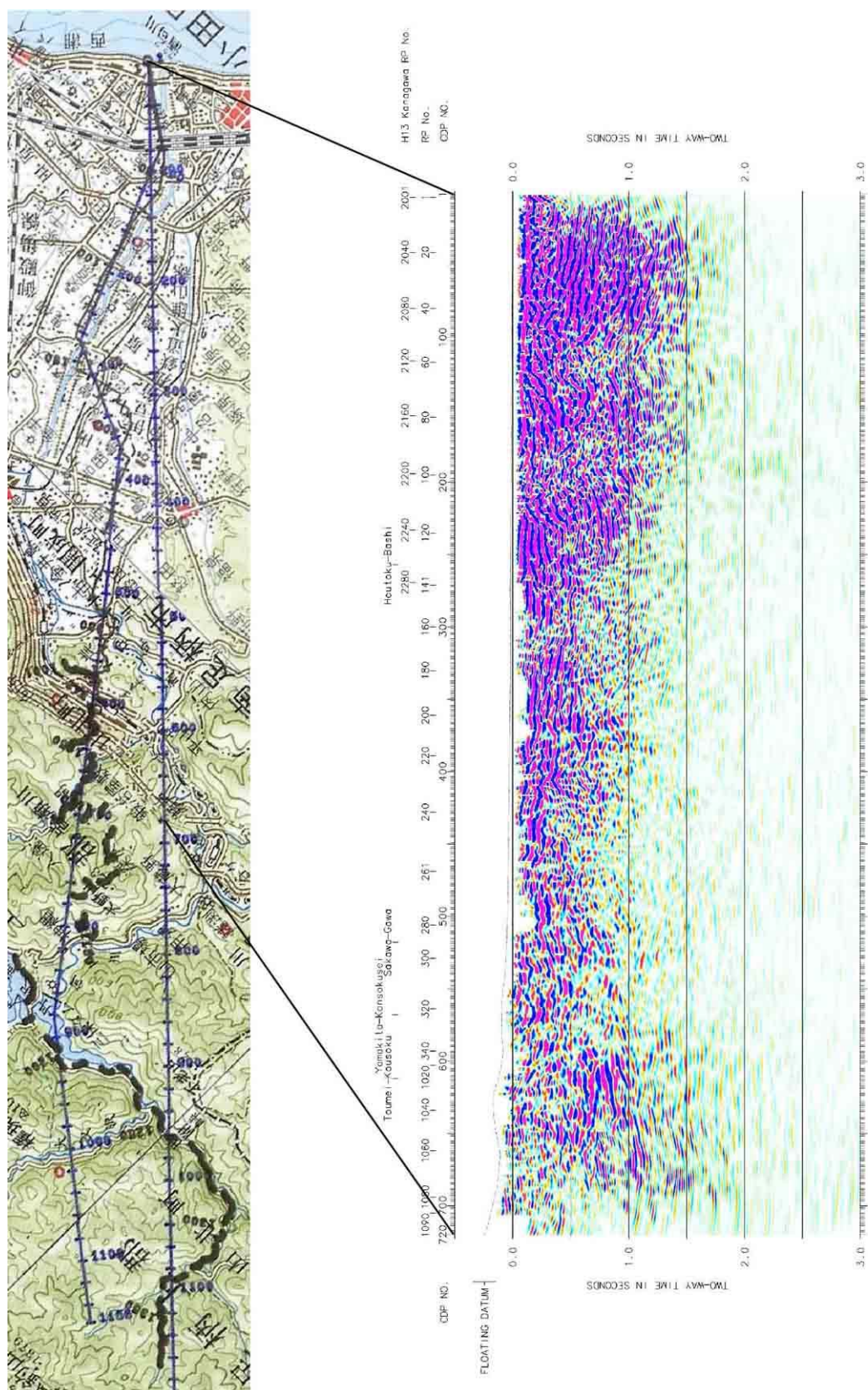


図 37 重合後時間マイグレーション断面図

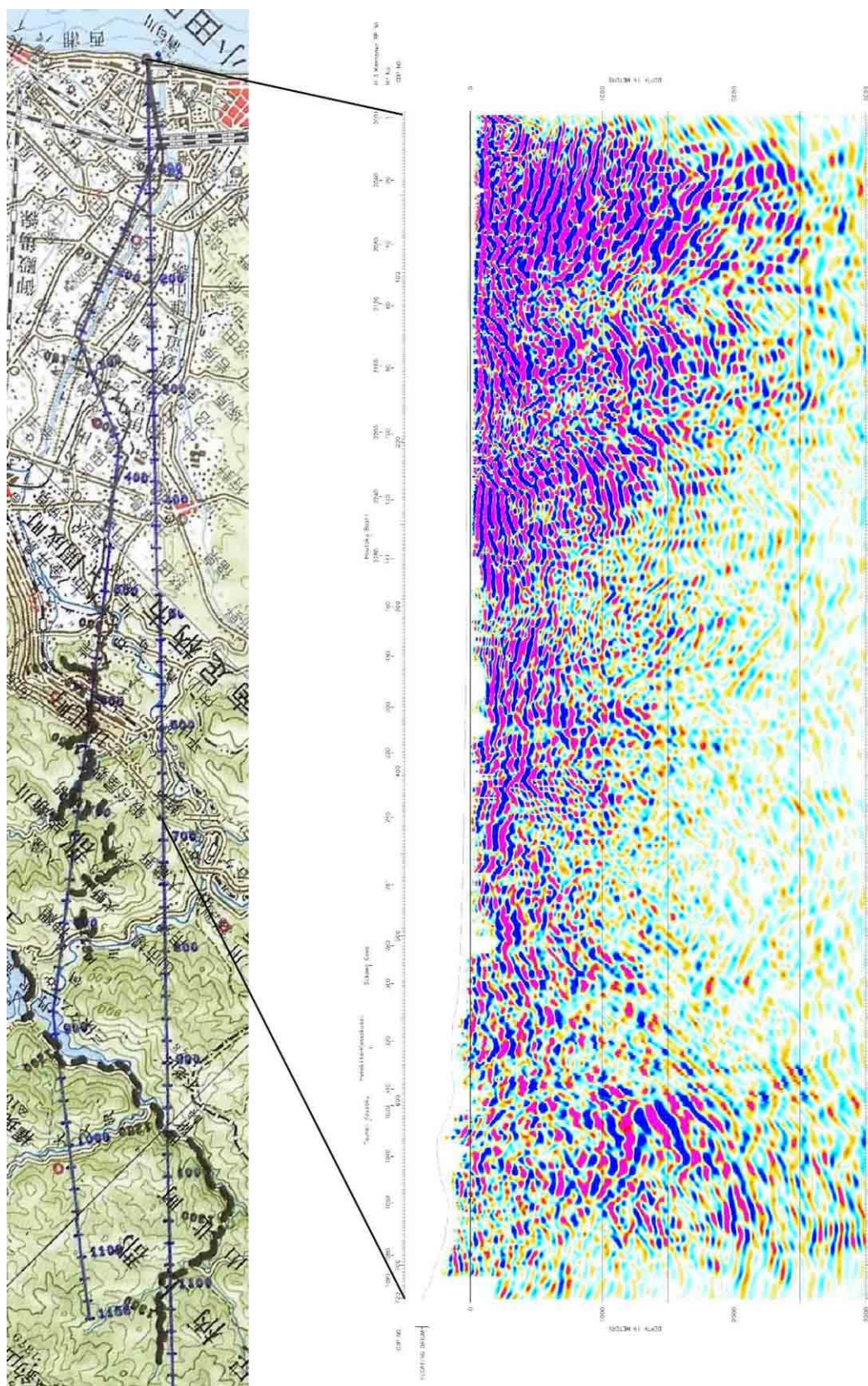


図 38 深度断面図 [2] CMP 重合+マイグレーション記録