

6) データ解析

a) 反射法データ解析

本節では、測線全域に亘って測定作業が実施された反射法バイブレータ測線(測線長 22.2 km)のデータ解析内容について記述する。図 18 に、データ処理フローを示す。

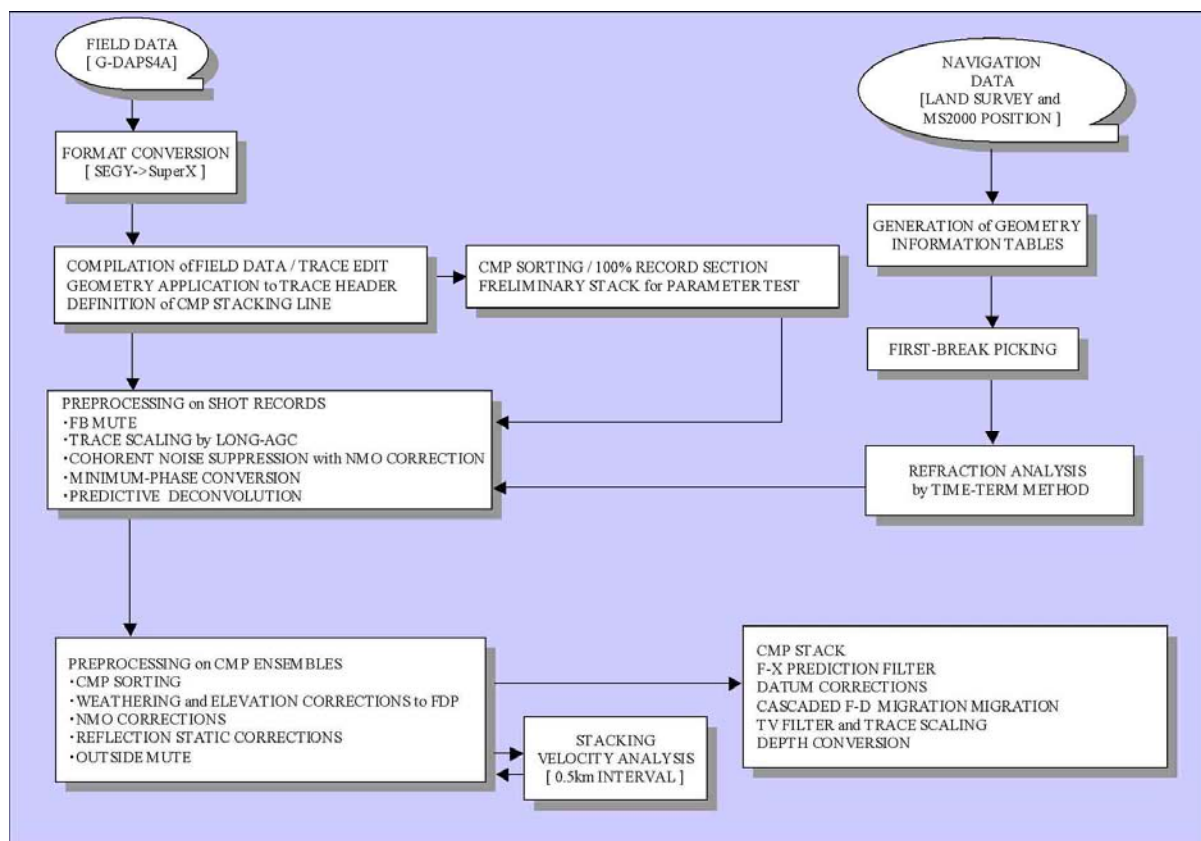


図 18 反射法重合処理フロー

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。尚、データ解析には広角反射法データも反射法データに含めて実施された。

反射法バイブレータ測線 発震点 SP. 1V~6V, VP. 21 - VP. 555.0 (206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。

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

Super X 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…………… 20.0m

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中央構造線断層帯横断に関する直交性

図 19 に受振点及び発震点位置図を示した。図 20 に重合数及び重合測線位置を示した。また、図 21、 22 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。

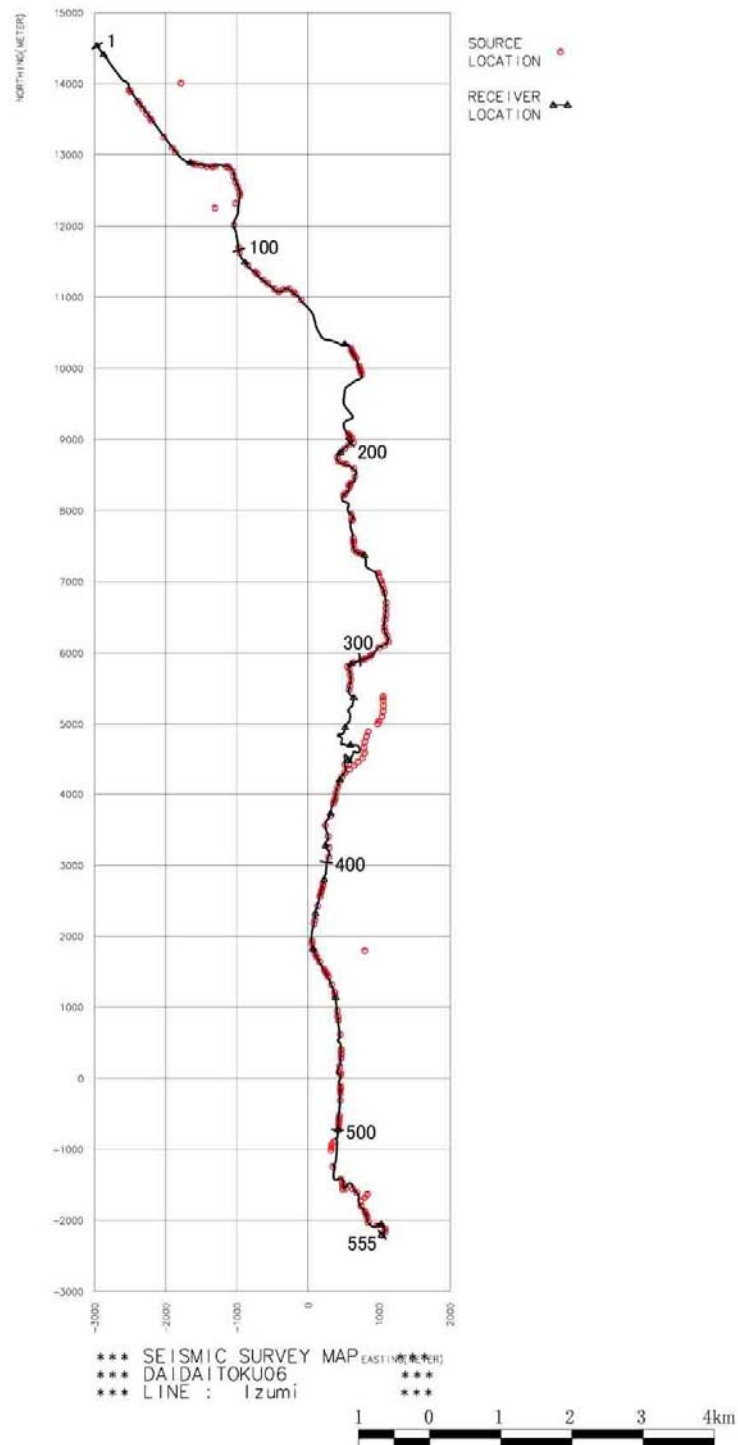


図 19 受振点及び発震点分布図

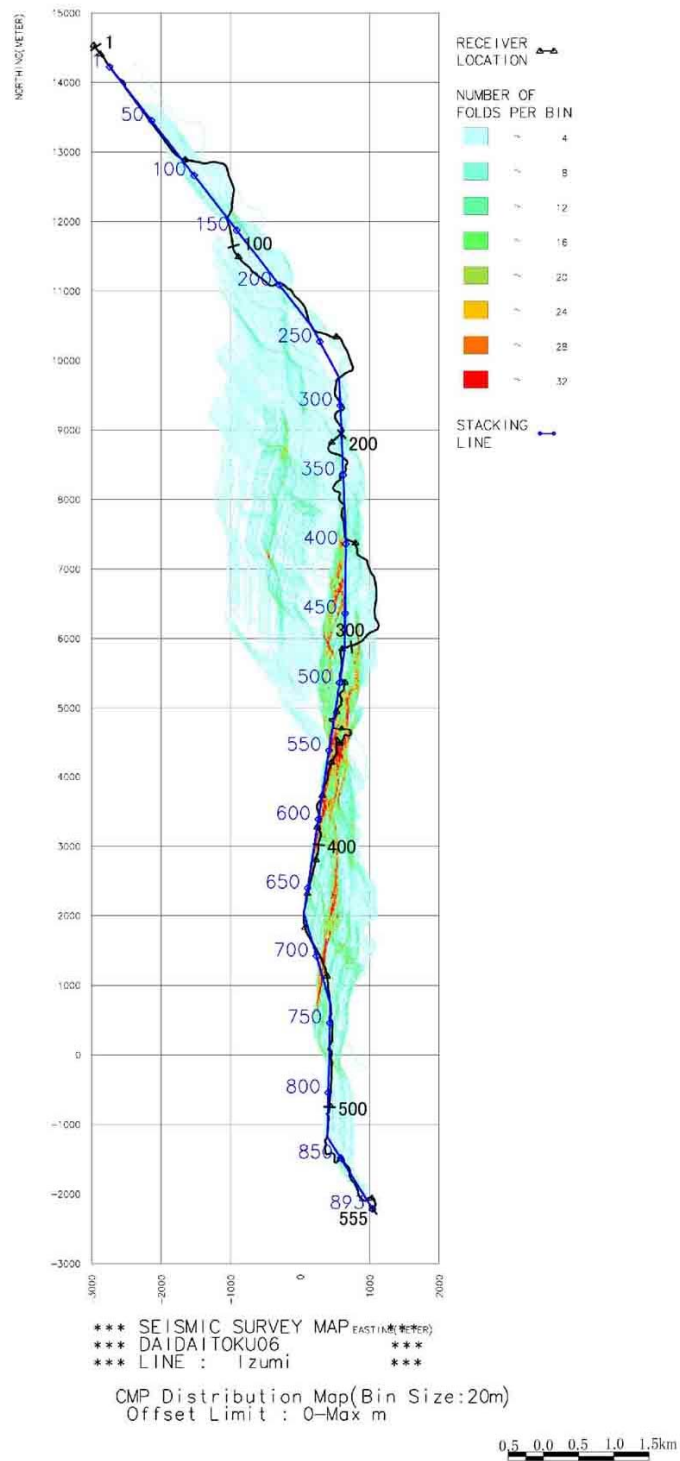


図 20 CMP 重合測線及び重合数分布図（オフセット距離制限無し）

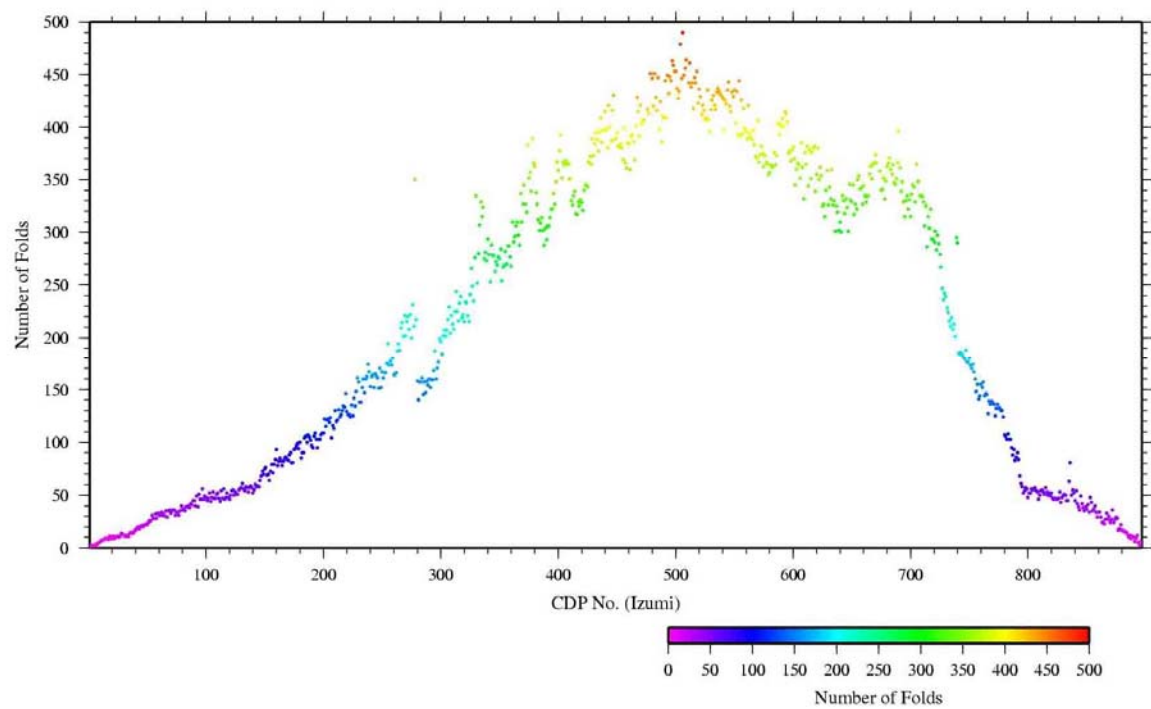


図 21 CMP 各種情報表示 [1]CMP 重合数

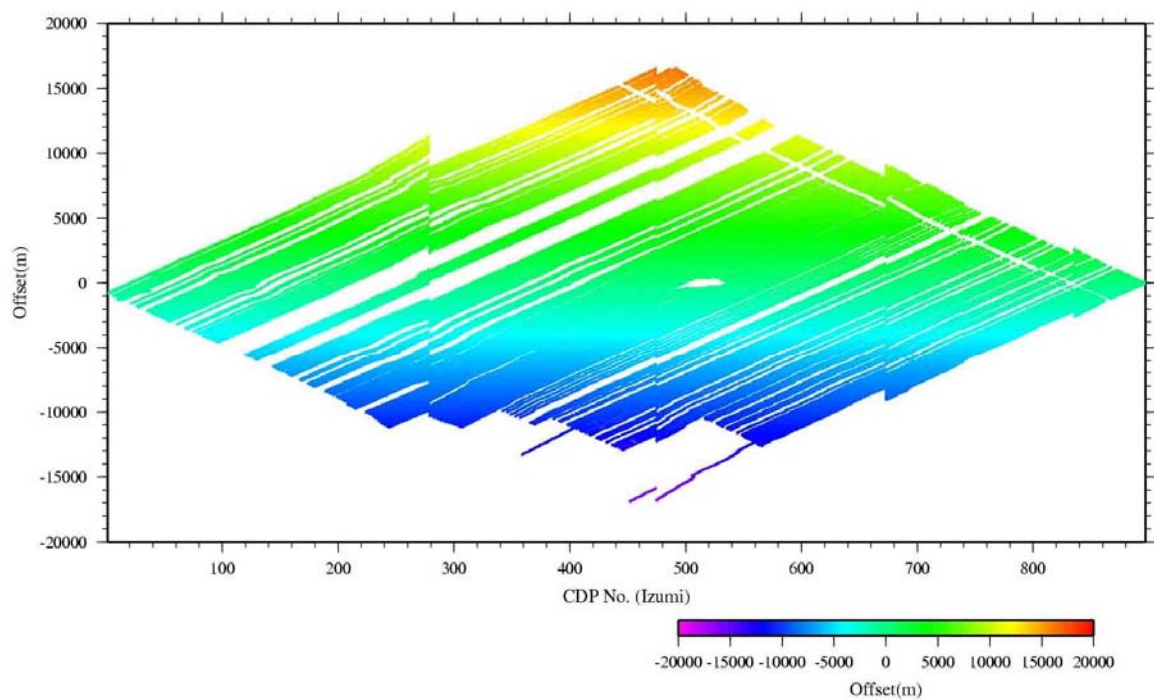


図 22 CMP 各種情報表示 [2]オフセット距離分布(1) [CMP-オフセット距離表示]

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………… 350m (稠密展開区間)、1400m (標準展開区間)

屈折波インバージョンに用いるオフセット距離………… 40-800 m / 30-700 m / 30-600 m

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 600~1200 m/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 23 に、改良型タイムターム法による解析結果を示す。

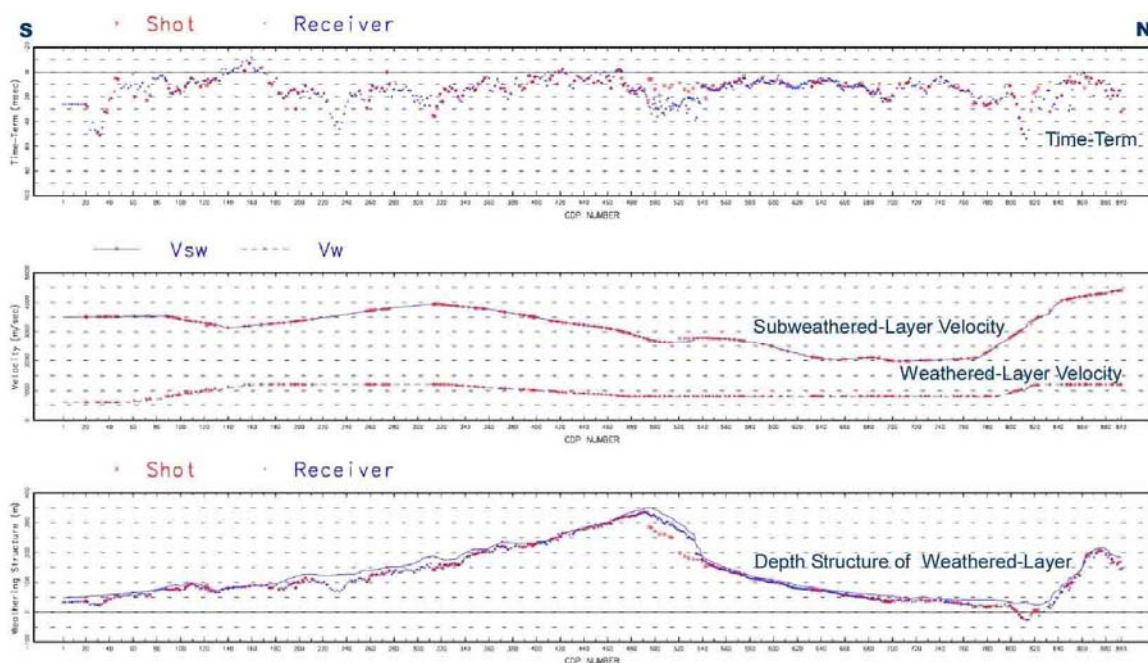


図 23 タイムターム法によって推定された陸域表層構造図

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…………… 100msec (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。紀ノ川北部の平野部では、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三波川帯上面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……800msec]

vi) コヒーレントノイズ抑制処理 (Suppression of Coherent Noise)

今回取得されたデータでは、大阪平野の沖積層及び大阪層群被覆区間、和泉層群の内で砂岩優勢の砂岩泥岩互層の区間、さらには紀ノ川北部の新期堆積層によって被覆された区間における発震記録では、分散性の顕著なレイリー波及び比較的継続時間の長い屈折波多重反射波が一部で確認された。従って、こうしたコヒーレントノイズを抑制するために、次のフィルター処理を適用した。

速度フィルター (通過帯域)…………… -3500m/sec ~ +3500m/sec

この周波数-空間領域における速度フィルターは、NMO 補正及び屈折波静補正後の共通発震点アンサンブルで適用された。

vii) 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以下に示すトレース単位のデコンボリューションを適用した。

予測距離…………… 4.0msec

零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%

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 $\Delta-\Sigma$ 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。

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

CMP 間隔 20.0 m として共通反射点の編集が実施された。

ix) 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 500.0 m]

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(2500 m/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 51 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。

x) 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 24 に和泉測線 IZ-1 に関する重合速度解析例を示す。また、図 25 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、中央構造線断層帯の大阪平野側への深部延長の測線区間の下限である往復走時 4.0~5.0 秒までの速度構造を比較的精度良く表現しているものと考えられる。

解析点間隔 800m

解析速度数..... 45(1500 - 5800 m/sec)

xi) 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..... 2.1

xii) 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。

xiii) 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。図 26 に、推定された受振点及び発震点残差静補正量を重合測線に投影表示した。

時間シフトの最大許容値..... 18 msec(1st)

100-1700 msec

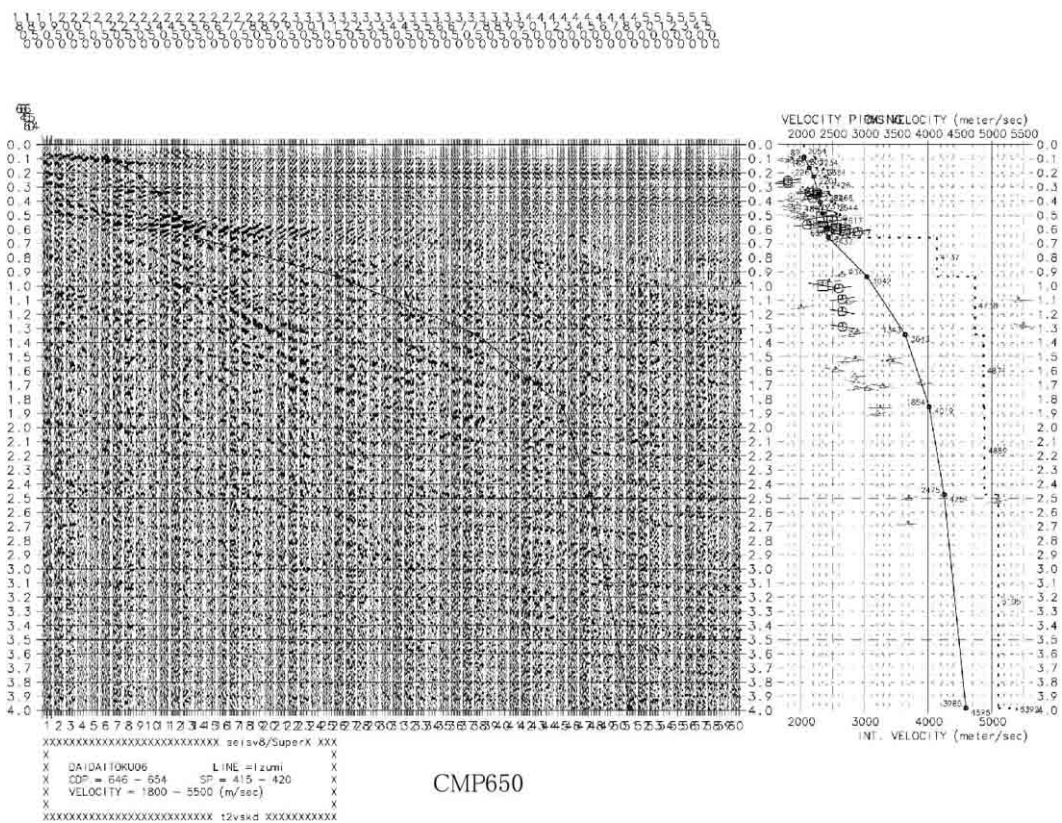
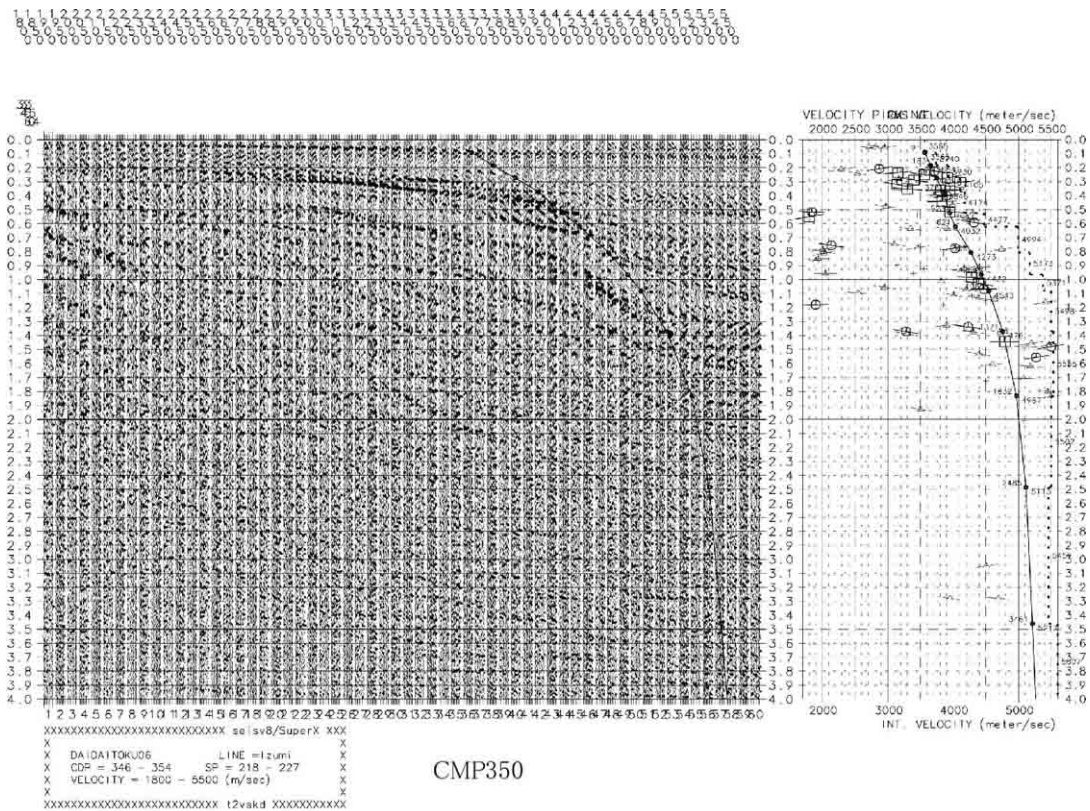


図 24 速度解析結果例 CMP350, CMP650

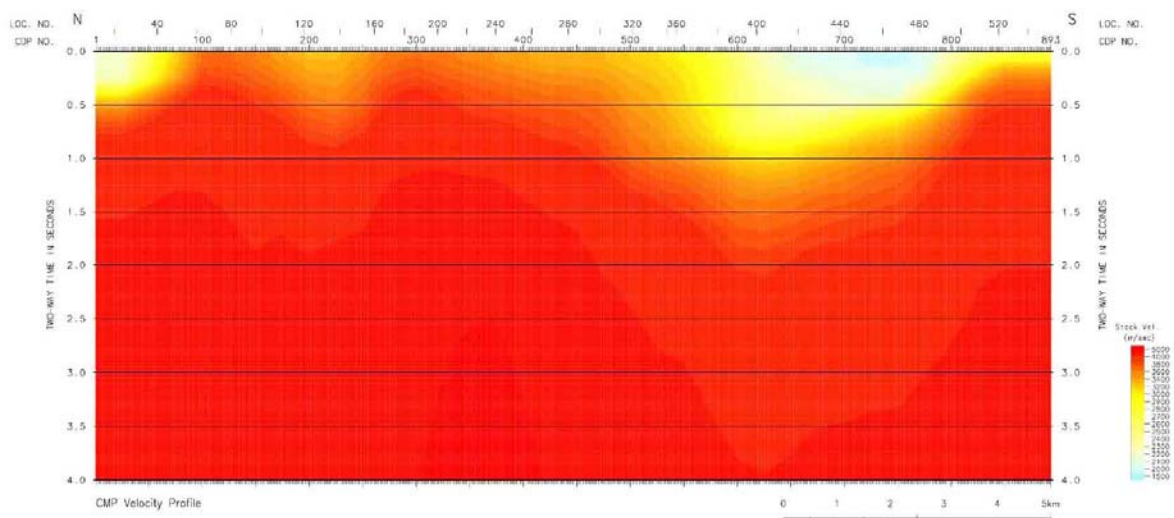


図 25 速度プロファイル (重合速度)

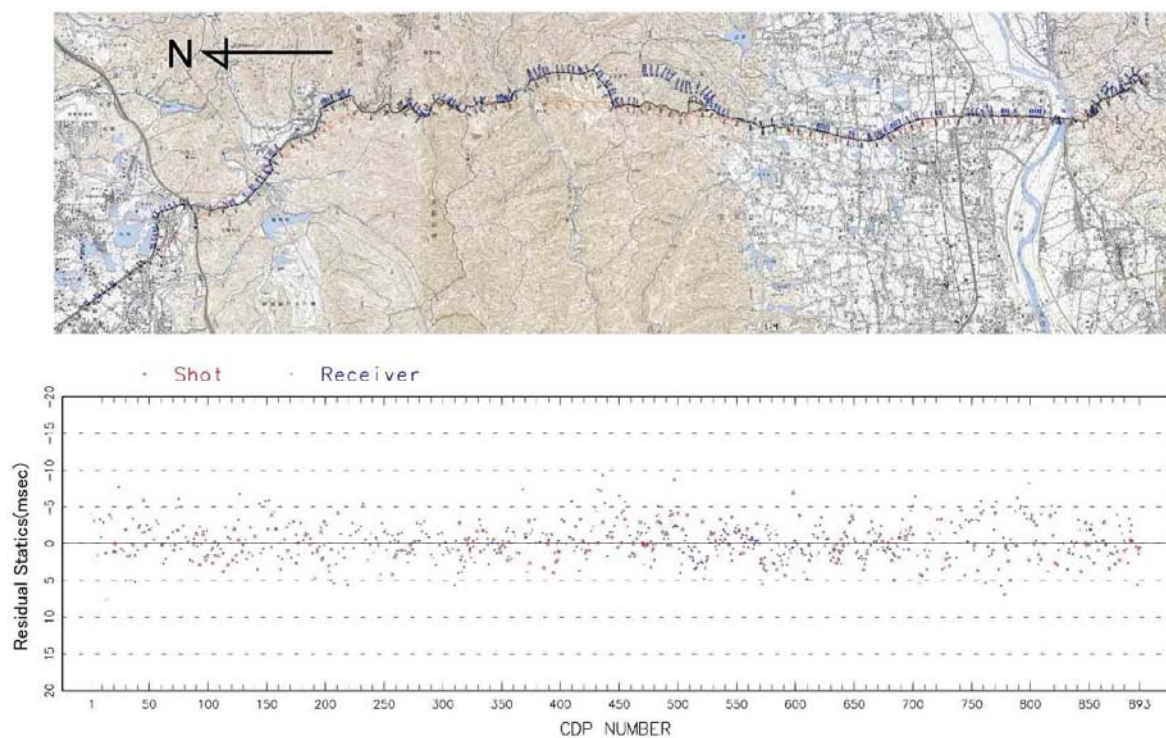


図 26 推定された残差静補正量

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

周波数-空間領域にお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.....	3 CDPs
空間ウィンドー長.....	30 CDPs
時間ウィンドー長.....	1000 msec

xv) 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.....	4-40 Hz

xvi) 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。

xvii) 差分マイグレーション(Residual F-D 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、二種類の異なった差分マイグレーションを組み合わせ、残差マイグレーションを実施した。この手法では、基準速度(2000m/sec)による周波数-空間領域差分マイグレーション後に、残差速度が再定義され、時間-空間領域差分マイグレーションが適用される。後者の残差マイグレーションの段階では、有効アパチャーは大きく制限されるため、近似的に重合測線の屈曲及び浮動基準面の変動について対応が可能となると考えられる。

基準マイグレーション.....	周波数-空間領域差分法：基準速度 2000 m/sec
残差マイグレーション.....	時間-空間領域差分法：下方接続ステップ幅 4 msec
最大傾斜角度.....	45 度

xviii) 深度変換(Depth Conversion)

図 25 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 27 の CMP 重合処理断面図、図 28 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 29、30 に示した。尚、深度断面図として、広角反射法発震記録の寄与を含む断面図を併せて表示した。

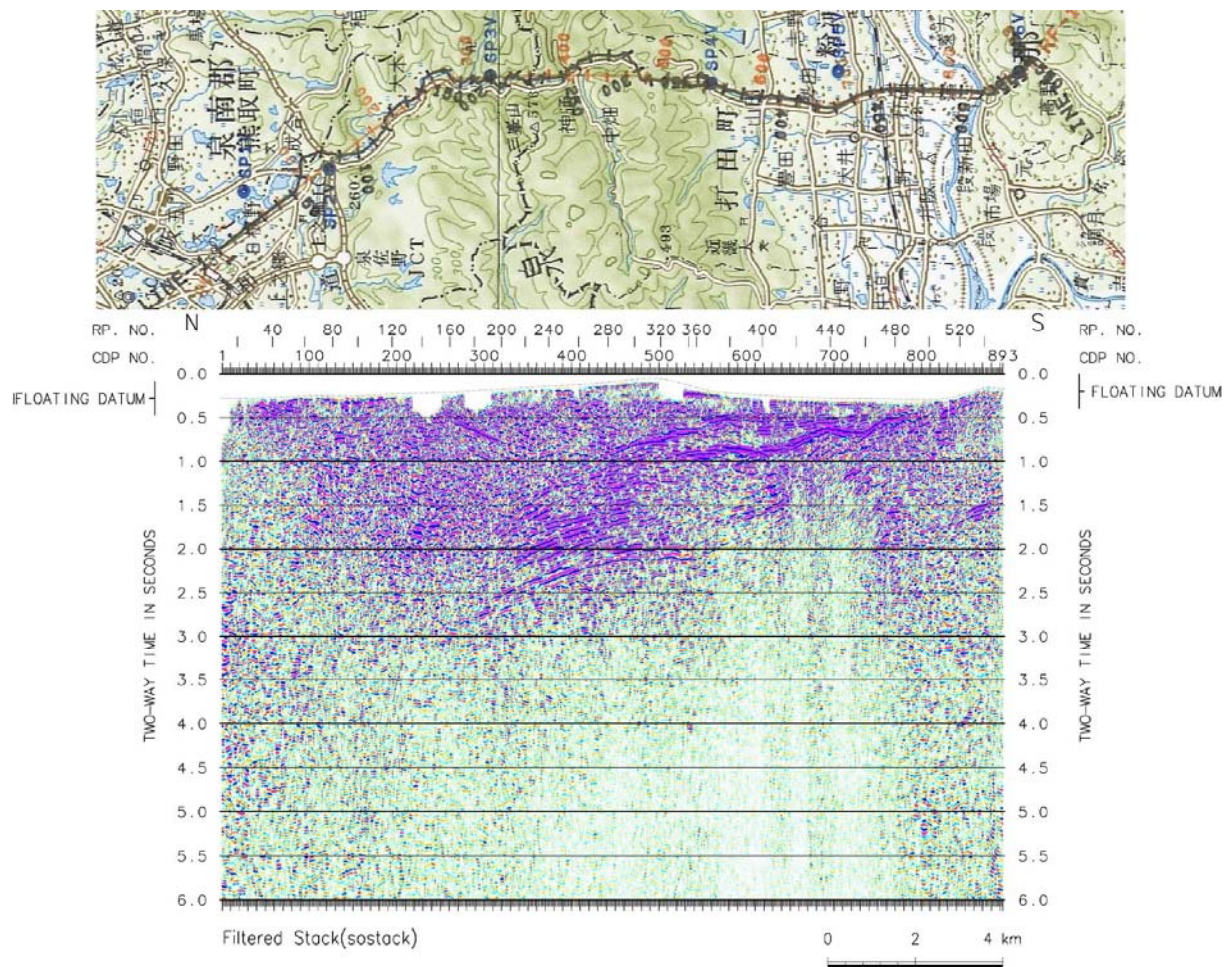


図 27 CMP 重合時間断面図

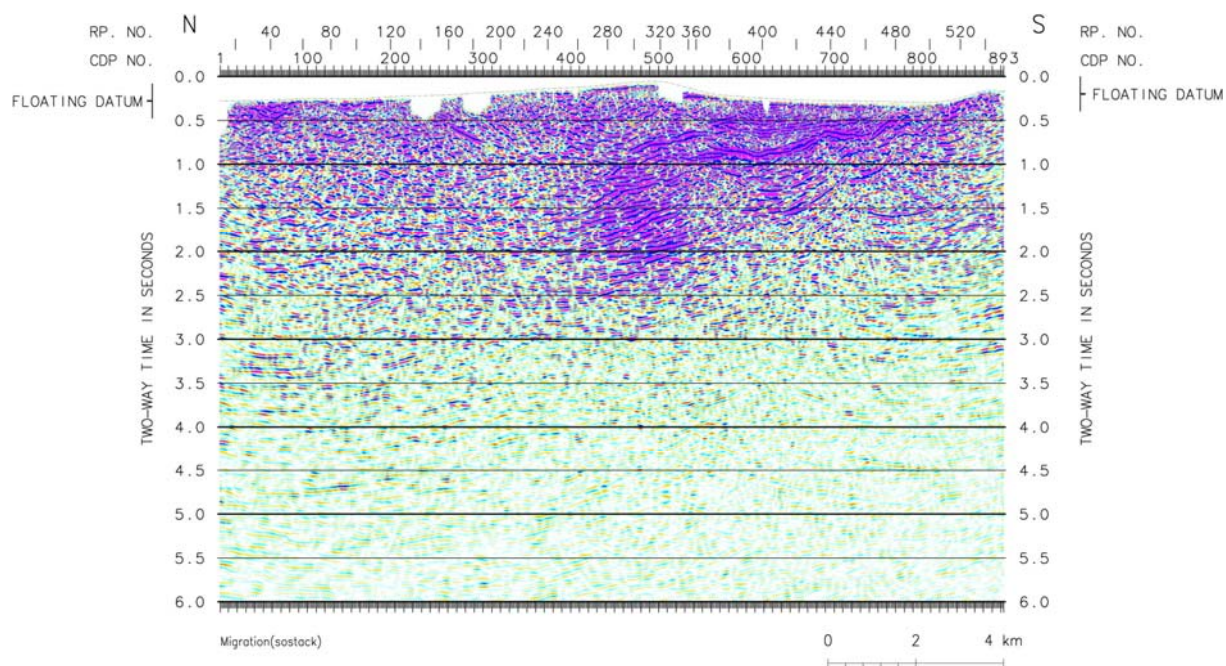


図 28 重合後時間マイグレーション断面

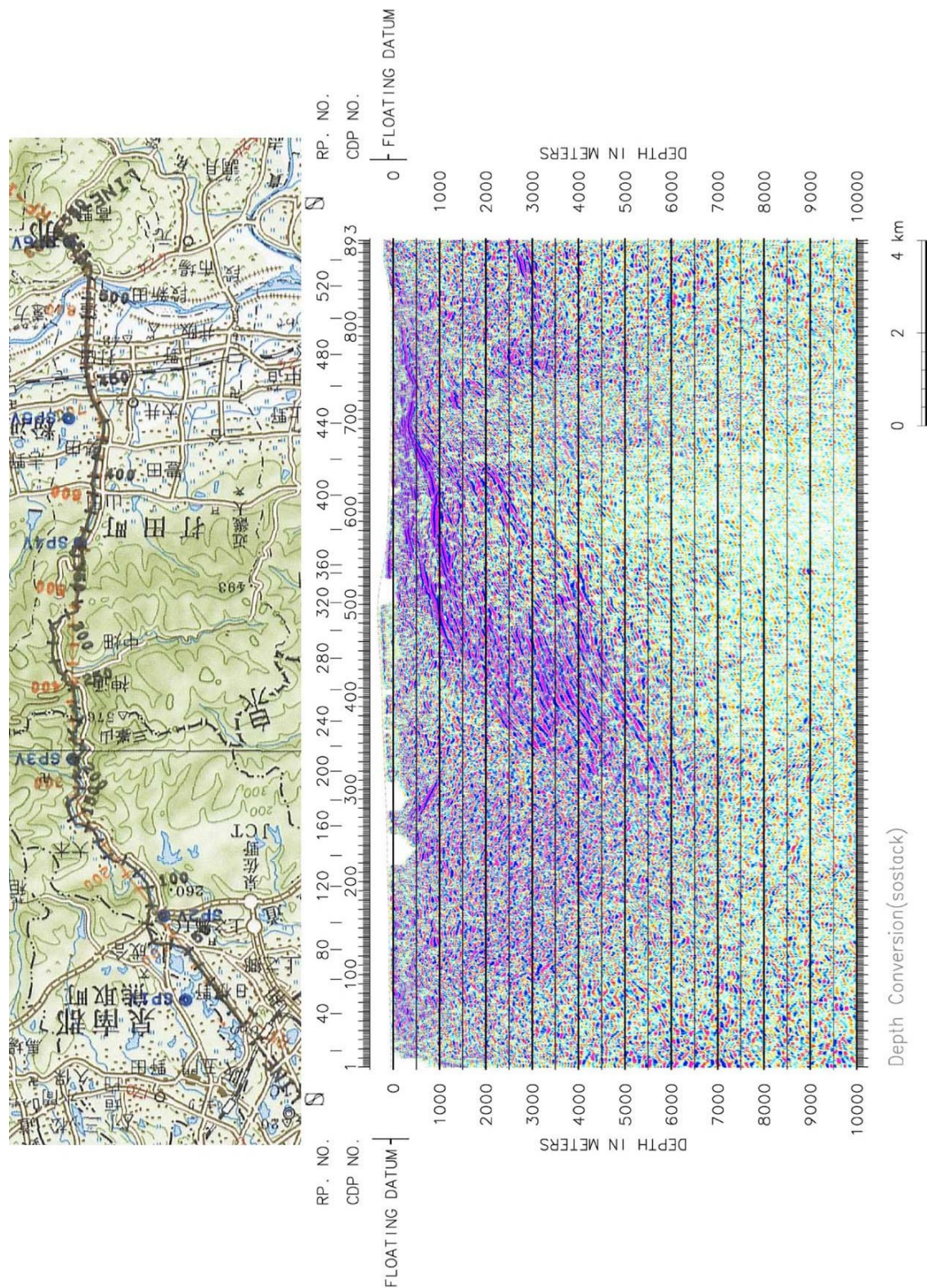


図 30 深度断面図 CMP 重合記録（広角反射法発震記録の寄与を含む深度断面図）

b) 広角反射法データ解析

広角反射法データの解析対象は、約 22.2 km の全測線区間で取得されたバイブレータ集中発震 6 点分の屈折法(広角反射法)データであり、基本的な処理パラメータは前節で述べた反射法データ解析のものと同一である。データ解析フローに関しては、図 31 に示した。以下に反射法データ解析のものと異なる解析内容のみ記述する。

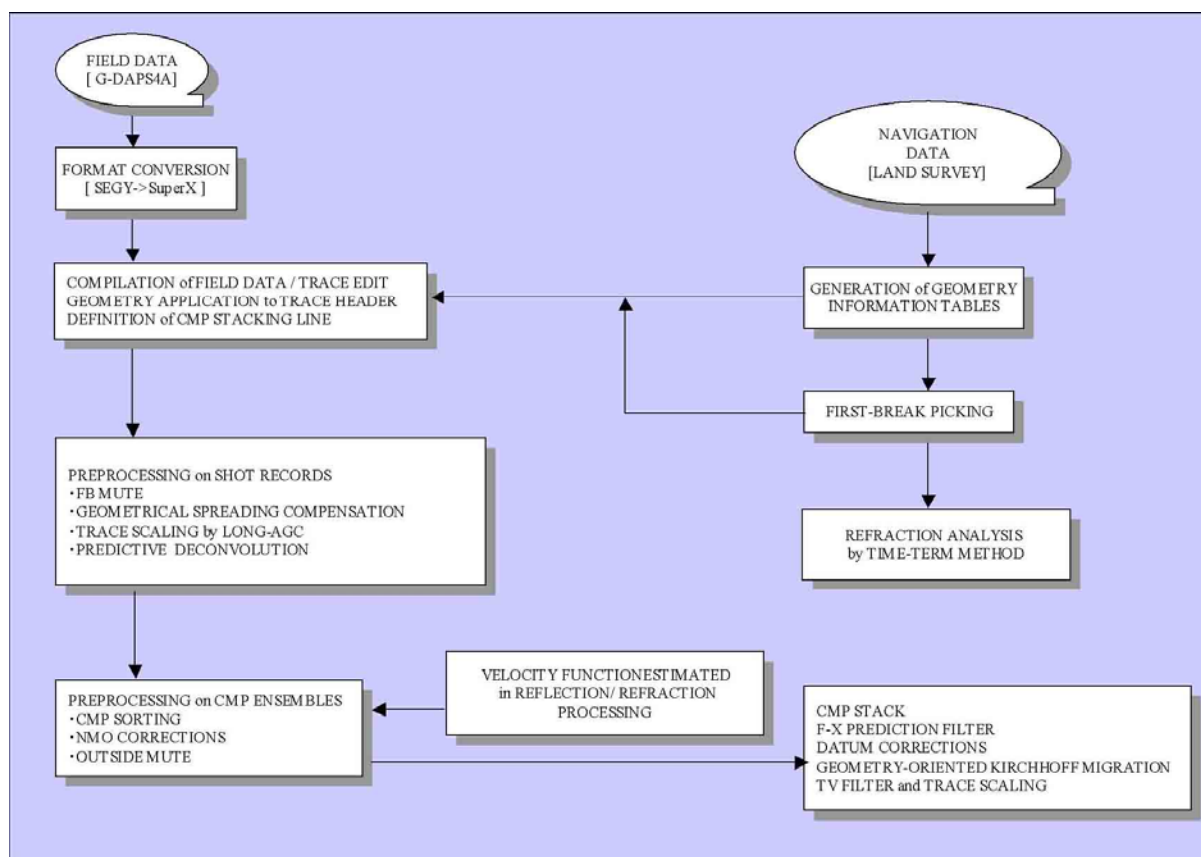


図 31 広角反射法重合処理フロー

i) 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……………2000 msec (屈折初動近傍)

ii) 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。紀ノ川北部の平野部では、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三波川帯上面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……………5000 msec]

iii) NMO 補正 (Normal Moveout Corrections)

広角反射法データでは重合数が不足しているため、反射法データ解析で通常実施されている定速度重合法による速度解析は困難である。しかしながら、CMP 投影測線上で速度スキャンを行うことで、隣接

する発震点で確認できる顕著な反射面の走時及び形状の相関が最も高い速度を最適重合速度としてピックアップすることが可能である。この速度スキャン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。低重合記録に関する速度スキャンは、重合パワーのみではなく、隣接発震点の間で共通した反射面について空間的な接合の程度が速度決定の重要な指標となる。尚、NMO補正では下記のストレッチミュートが適用された。

ストレッチミュートファクター..... 5.0

iv) 共通反射点重合 (CMP Stack)

共通反射点アンサンブルに関して、以下の有効オフセット距離に関して水平重合処理を実施した。

重合オフセット距離範囲..... 100 - 6000 m

v) 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..... 500 msec

vi) 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..... 500 msec

周波数通過帯域往復走時0.0 sec / 通過帯域[3 - 25 Hz]

4.0 sec / 通過帯域[3 - 20 Hz]

16.0 sec / 通過帯域[3 - 15 Hz]

これらの通過帯域のフィルターパラメータは線型内挿される。

vii) 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..... 10 km

最大傾斜角度..... 40 度

viii) 深度変換 (Depth Conversion)

速度スキャン結果及び屈折法によって得られた速度構造を用いて、時間及び空間方向に平滑化した平均速度プロファイルを構築し、'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 32、33 の広角反射法低重合記録、図 34、35 の広角反射法低重合マイグレーションプロファイルが得られた。広角反射法低重合記録としては、重合記録の他に、'Single-Fold'記録を併せて表示した。尚、時間マイグレーションに関しては、重合後キルヒホッフ型時間マイグレーション記録、'Shot-panel'に関する差分マイグレーション適用後の重合記録を比較図面として作成した。また、図 36 に深度変換を実施した結果を、図 37 に重合後キルヒホッフ型時間マイグレーション記録に関して深度変換を実施した結果を示した。

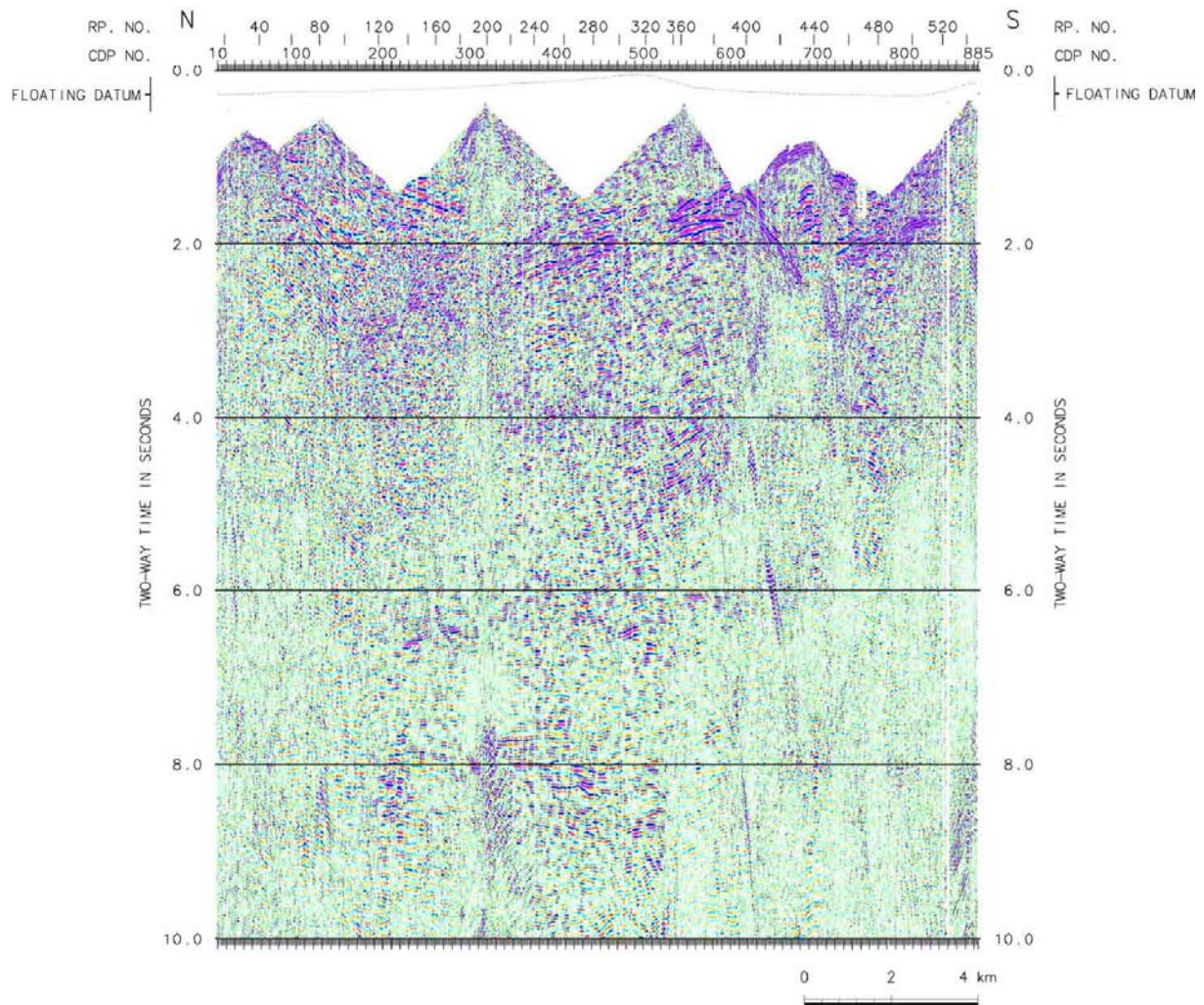


図 32 広角反射法重合処理断面図〔重合記録断面図〕

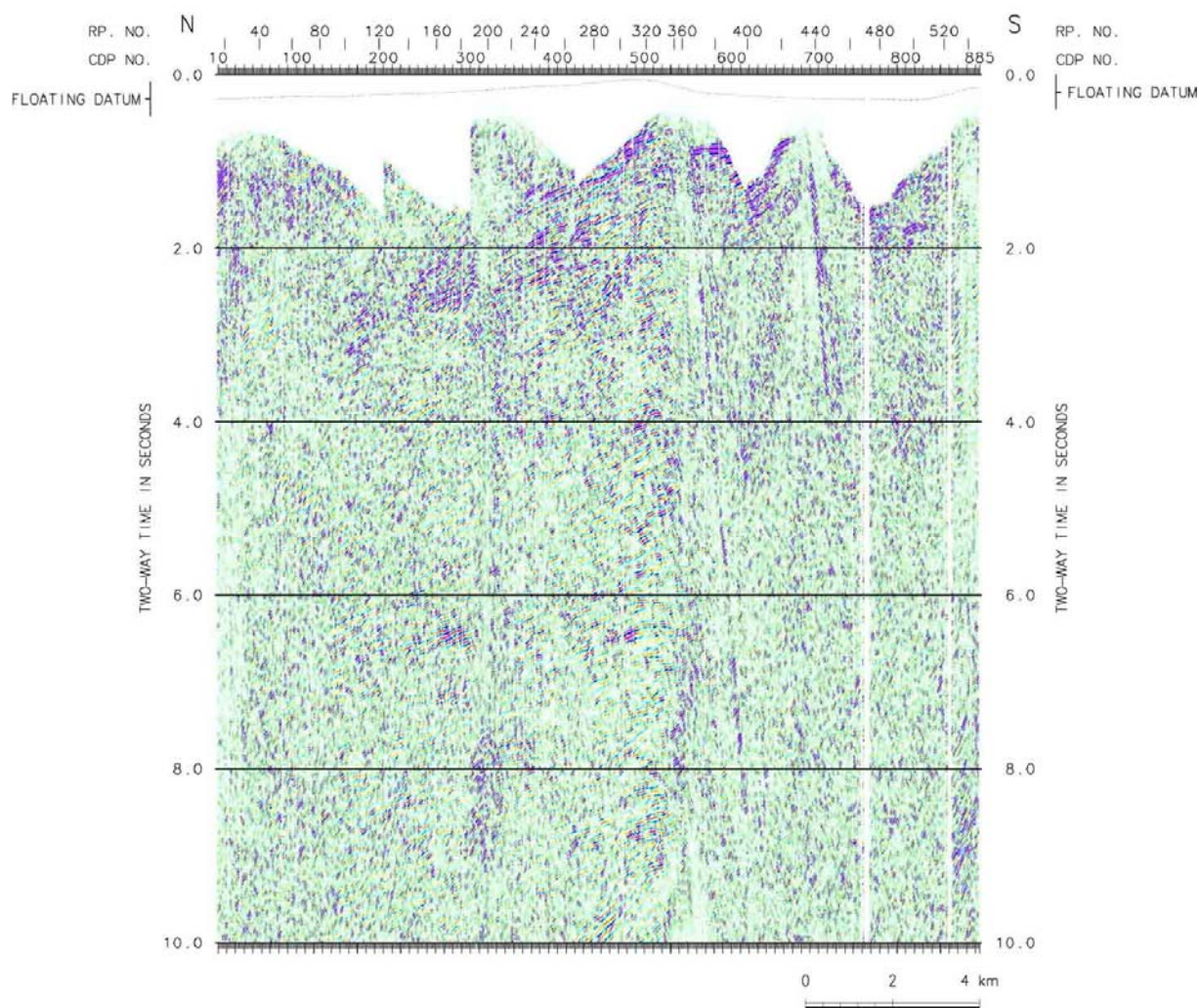


図 33 広角反射法重合処理断面図[‘Single-Fold’ 時間断面図]

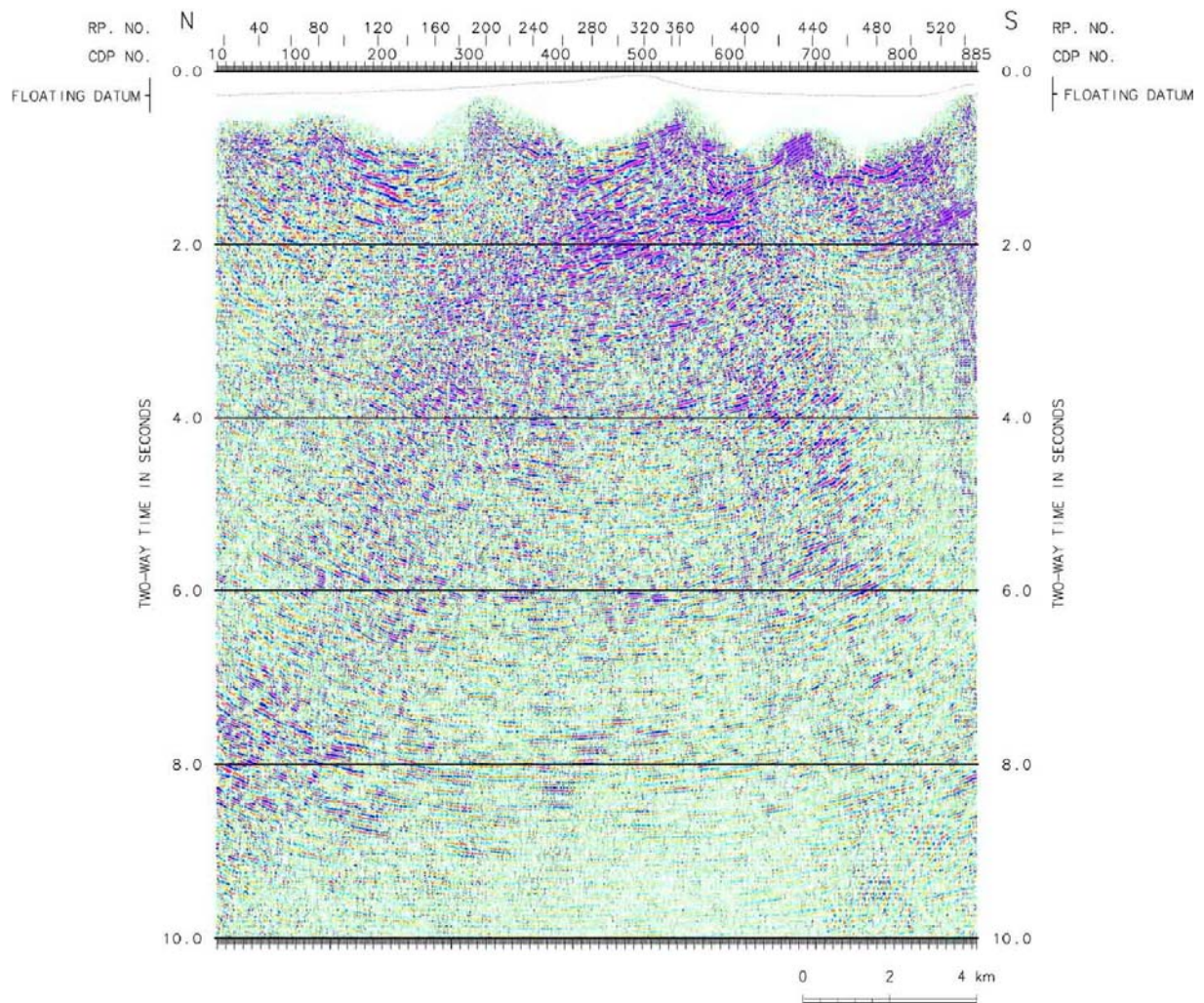


図 34 広角反射法重合後時間マイグレーション処理断面図[周波数-空間領域差分マイグレーション適用結果]

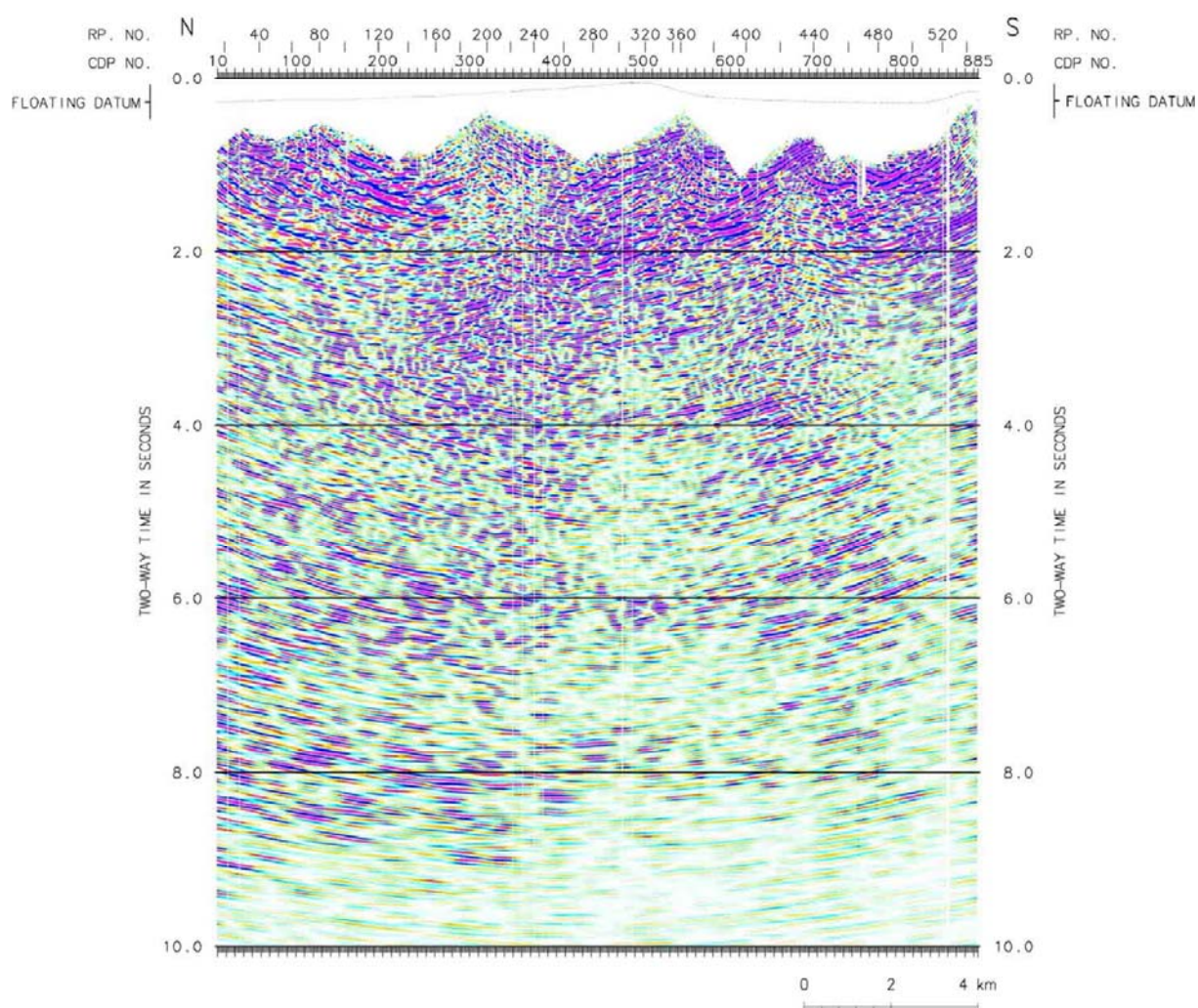


図 35 広角反射法重合後時間マイグレーション処理断面図[‘Geometry-oriented’
キルヒホッフマイグレーション適用結果]

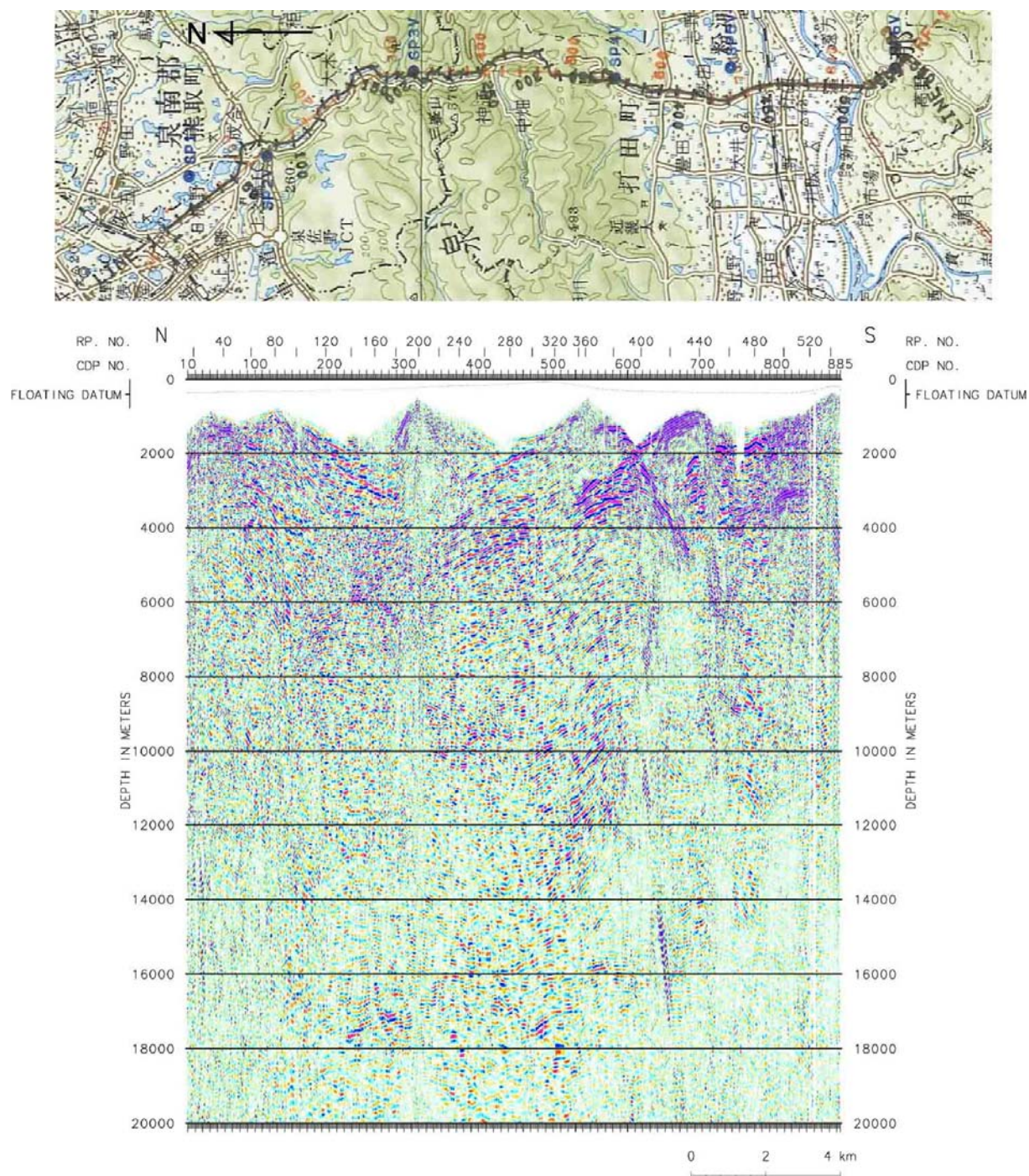


図 36 広角反射法深度断面図[重合処理結果]

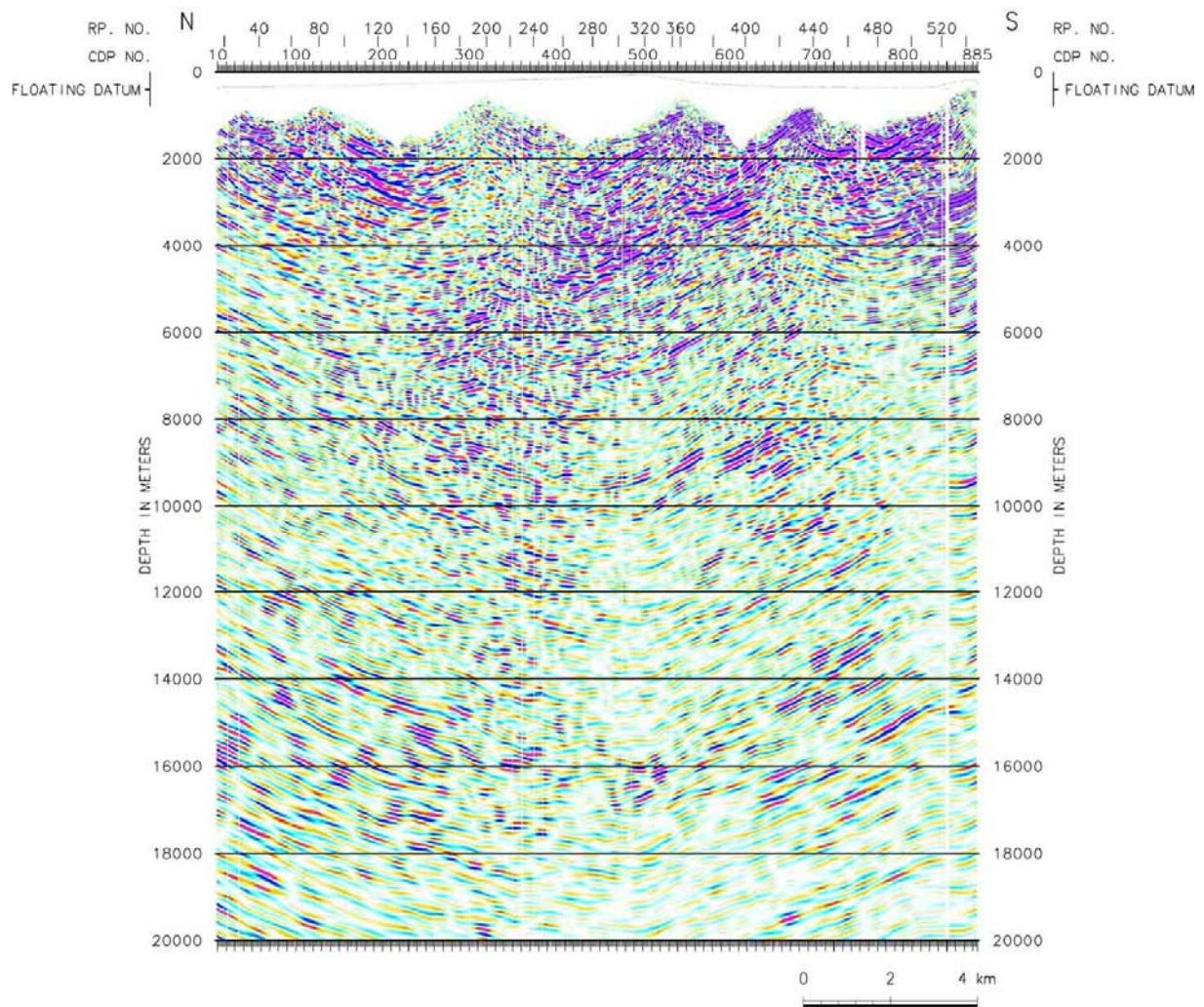


図 37 広角反射法深度断面図[‘Geometry-orientd’ キルヒホッフマイグレーション適用結果]