

## (2)平成 17 年度の成果

伊藤 潔（京都大学防災研究所）

ito@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

### (a) 業務の要約

平成 16 年度に大阪府、京都府、滋賀県、奈良県および和歌山県を含む近畿地方において「大都市圏地殻構造調査 新宮－舞鶴測線」が実施され、測線南部においては、紀伊半島の下に潜り込むフィリピン海プレート上部の形状及びその潜り込みに伴う上部の付加、褶曲、断層などの地質構造の解明に資するデータが、また、奈良盆地、大阪平野、京都盆地南西部の断層形態、基盤および内陸地震発生域などの深部構造を解明する上で貴重なデータが取得された。平成 16 年度には標準データ処理が実施され、紀伊半島南部から近畿北部に至る調査測線全域について、地殻浅部から上部マントル内部に至る広域構造を得ることができた。広角反射法ではフィリピン海プレート上面に対応する反射面が、紀伊半島南部から中部にかけて明瞭に捉えられ、さらに近畿地域北部まで潜り込んでいることが明確となった。また、地震発生層下限以深の地殻下部において、緩やかな北落ち傾斜を伴う反射波群が見出された。大阪平野を横断する区間においては、バインプレート稠密発震による反射法データが取得され、有馬高槻構造線、枚方撓曲等の断層、褶曲構造を伴う基盤構造が明確になった。

今回の解析においては、堆積層内の断層形態、基盤形状から内陸地震発生域を経てフィリピン海プレート上面に至る重合記録全体の高分解能及び高精度化を図ることを目的として、主に下記の内容について追加解析を実施した。

- ・ 2004 年大阪－鈴鹿測線との統合解析

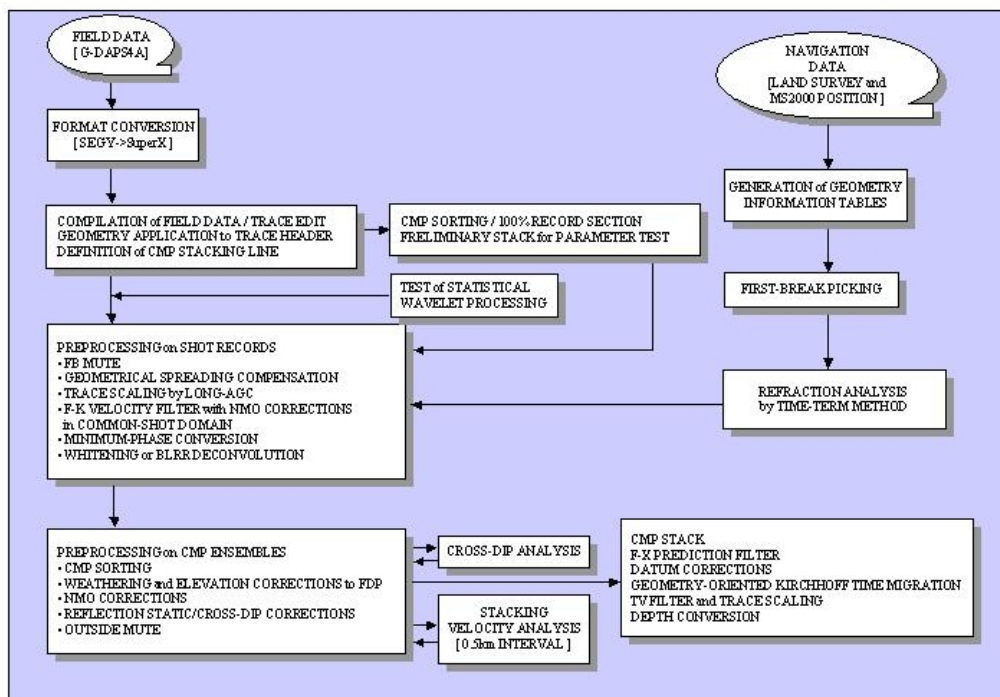


図 1 反射法データ処理フローチャート

- ・ 大阪平野区間の反射法データに関する重合前マイグレーションを中心とした高分解能解析
- ・ ダイナマイト発震及びバイブレータ集中発震データに関する広角反射高分解能解析  
 探査記録を用いて屈折折法走時解析を行い、新宮－舞鶴測線に沿った、地表から上部マントルに至る地震波（P 波）速度構造を求め、さらに、これらの結果と地震活動や地質構造との関係の調査を行った。これらの調査結果は、強震動予測の精度向上や、地震発生のメカニズム解明などの研究に必要な、震源断層の形状や地下構造の情報を与えるものである。

## (b) 業務の実施方法

本研究で使用した調査測線の概要および、データ仕様については、昨年度の報告書に詳しいため、本項では割愛する。本節では、各解析方法について詳述する。

### 1) 平成 16 年度大阪－鈴鹿測線との統合処理

平成 16 年度大阪－鈴鹿測線では、大阪平野の淀川河口から滋賀県甲賀地域を経て伊勢平野の鈴鹿漁港に至る約 135km の区間が設定され、バイブレータ及びダイナマイト発震によって、屈折法、広角反射法及び反射法による広域測線が設定された。反射法に関しては、大阪平野、枚方地域の交野丘陵、田辺丘陵地帯を経て木津川を横断し、京都府宇治田原町に達する大阪測線(測線長 53km)について稠密展開によるデータが取得された。本報告では、新宮－舞鶴測線における生駒－高槻反射法測線に関して、大阪－鈴鹿測線における大阪測線とデータ処理パラメータについて整合を持たせるために同一パラメータによる再解析を実施した。以下に反射法データ処理内容を記述し、図 1 にデータ解析フローを示す。また、図 2 に生駒－高槻測線の発震記録例を、図 3 に残差静補正及びクロスディップ補正処理を適用後の発震記録例を示す。

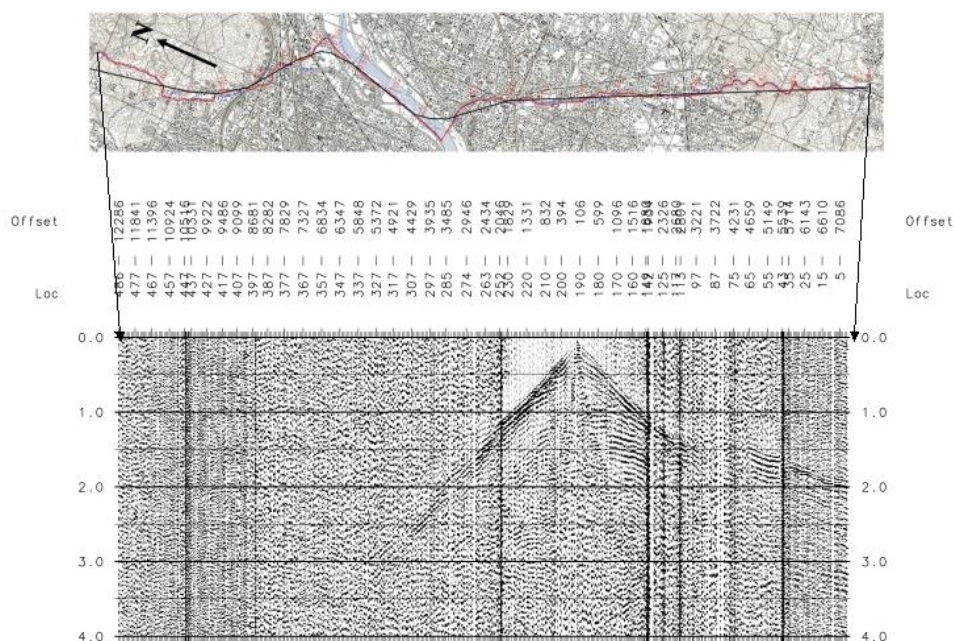


図 2 生駒－高槻反射法データ発振記録例 (SP192)

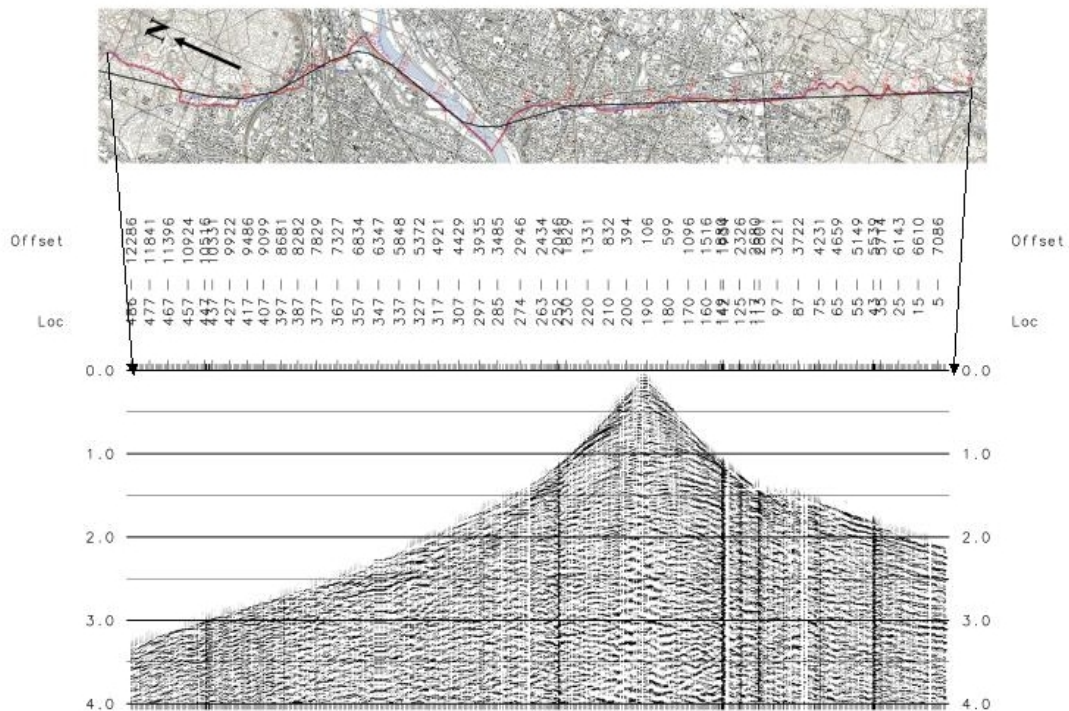


図3 生駒－高槻反射法データ残差静補正及びビクロスディップ補正適用後の発震記録例（SP192）

#### a) 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 SEGY Format)について、SiperX(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。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。

#### b) 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から標高 500m に位置に設定された。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

重合測線決定のために CMP 分布を平滑化したオフセット範囲...0-2500m

#### c) 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。

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

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、 $s_{k,0}, \delta_k, \Delta_{ijk}$  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.....1250-1500m

屈折波インバージョンに用いるオフセット距離..... 200-800m

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 800m/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。

#### d) 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.....200msec

ミュート位置のスライディング速度.....4000m/sec

#### e) 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。大阪府枚方市の国道 1 号線枚方バイパス及び高槻市市街地周辺では、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 ]

#### f) 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、枚方市-高槻市区間の淀川河川敷区間の発震記録では、分散性の顕著なレイリー波、及び前者では特に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)..... -4000m/sec～+4000m/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。

#### g) 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：バインプレートスウィープ波形、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'Surface-consistent'型デコンボリューションを適用した。生駒－高槻測線では、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た。同様に発震条件についても、淀川流域の沖積層に被覆された大阪平野、大阪層群及び布引花崗岩等が地表で確認される枚方市丘陵地では、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

零オフセット位置における設計ゲート.....200～3000msec [Non-TV]

オペレータ長.....320msec

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、零位相であるバインプレート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  $\Delta \cdot \Sigma$  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。

#### h) 共通反射点編集( Common Midpoint Sorting )

上述(2)のパラメータによって、共通反射点の編集が実施された。

#### i) 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。

[A] 標高補正  $T_e$  : 観測面を一定基準面へ補正する。

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

[B] 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 ]

Sd : 表層厚 (m)

である。

表層補正值は、前述(3)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 から 500.0m の標高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 Td は、下記のように定義される。

$$Td = -2.0 * ( Hf - Hb ) / Vc \quad (6)$$

ここに、 Hf : 浮動基準面 (FDP)

Vc : 基準面補正速度 (1800m/sec)

である。この FDP の計算には CMP 内のオフセット距離範囲 0 - 500m の比較的 'Near' トレースが用いられた。

#### j) クロスディップ補正 ( Cross-dip Correction )

発震及び受振測線が屈曲している場合、地下の反射点は重合測線上に収束せず、空間的な広がりを持つ。この反射点の重合測線からの偏倚が大きい場合、同一 CMP 内で反射面走時が重合測線と直交する方向への構造傾斜を反映する誤差が系統的に含まれる。クロスディップ補正は、各トレースの発震点-受振点の midpoint と重合測線との距離 X(m) に対する時間補正量を  $X(m) \times a(\text{msec/m})$  として、重合スキャンによって各 CMP 位置及び時間ウィンドーにおいて重合効果が向上する見掛け時間傾斜量 a を決定する解析手法である。こうして得られたクロスディップスキャン結果は、広域ブーゲー異常図から推定される構造傾斜とほぼ調和的な結果であることが確認できた。クロスディップスキャンに関わるパラメータは以下の通りである。

クロスディップスキャン範囲 ..... -50 ~ +50 msec/100m

クロスディップスキャン間隔 ..... 2000m

#### k) 速度解析及び DMO 速度解析 ( 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。

解析点間隔 ..... 2000m

解析速度数 ..... 48 ( 1500 - 7000 m/sec )

#### l) 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 ..... 5.0

#### m) 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。

#### n) 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..... 100-1700msec

o) 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.....3 CDPs  
空間ウィンドー長.....30 CDPs  
時間ウィンドー長.....1000 msec

p) 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.....0.0sec / 通過帯域[ 3 - 40Hz ]  
1.0sec / 通過帯域[ 3 - 35Hz ]  
2.0sec / 通過帯域[ 3 - 30Hz ]  
4.0sec / 通過帯域[ 3 - 25Hz ]  
8.0sec / 通過帯域[ 3 - 20Hz ]  
16.0sec / 通過帯域[ 3 - 20Hz ]

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。

q) 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。

r) 深度変換(Depth Conversion)

図 8 (次節) 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。

s) 鳥瞰表示

大阪-鈴鹿測線との同一解析パラメータによる統合処理を実施した結果、大阪-鈴鹿測線の大阪バイブレータ反射法測線との淀川周辺における交差部分の厳密な層序比較が可能となった。図 4 に北西方向から見た大阪-鈴鹿測線及び新宮-舞鶴測線交差箇所の鳥瞰表示結果を示す。

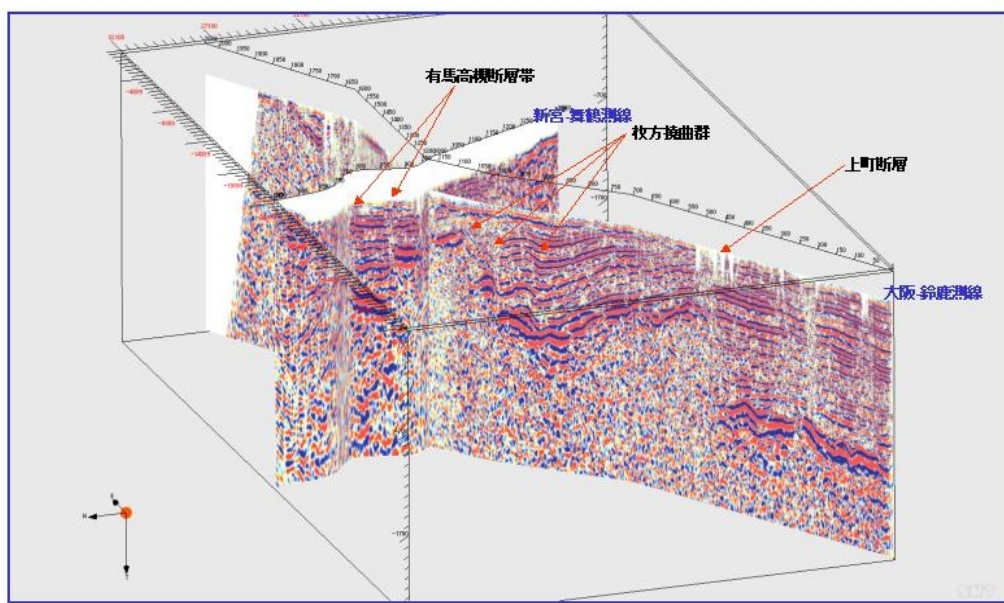


図4 大阪－鈴鹿測線との接合及び鳥瞰表示結果例（北西からの鳥瞰表示）

以上の処理ステップを逐次経ることによって、図5に示す CMP 重合処理断面図が得られた。図5(a)は前回の解析による時間断面図、図5(b)は今回の統合解析による時間断面図である。

## 2) 重合前マイグレーション解析

重合後マイグレーションは、NMO 補正及び DMO 補正処理を含む CMP 重合処理後に適用される。重合効果により S/N 比の向上したデータを扱うことができることと、データ量が減少するため計算時間が節約できることが利点である。反面、重合処理を施した時点で、水平成層構造や単傾斜構造を仮定しているために、各地震記録に含まれている短波長の不規則構造変化あるいは速度不均質に関わる有意な情報の一部が欠損する可能性がある。これに対し重合前マイグレーションでは、重合による変形を受ける前の地震記録に対して反射波列を地下の実際の反射点にマッピングするため、高精度なイメージが得られる可能性が大きい。



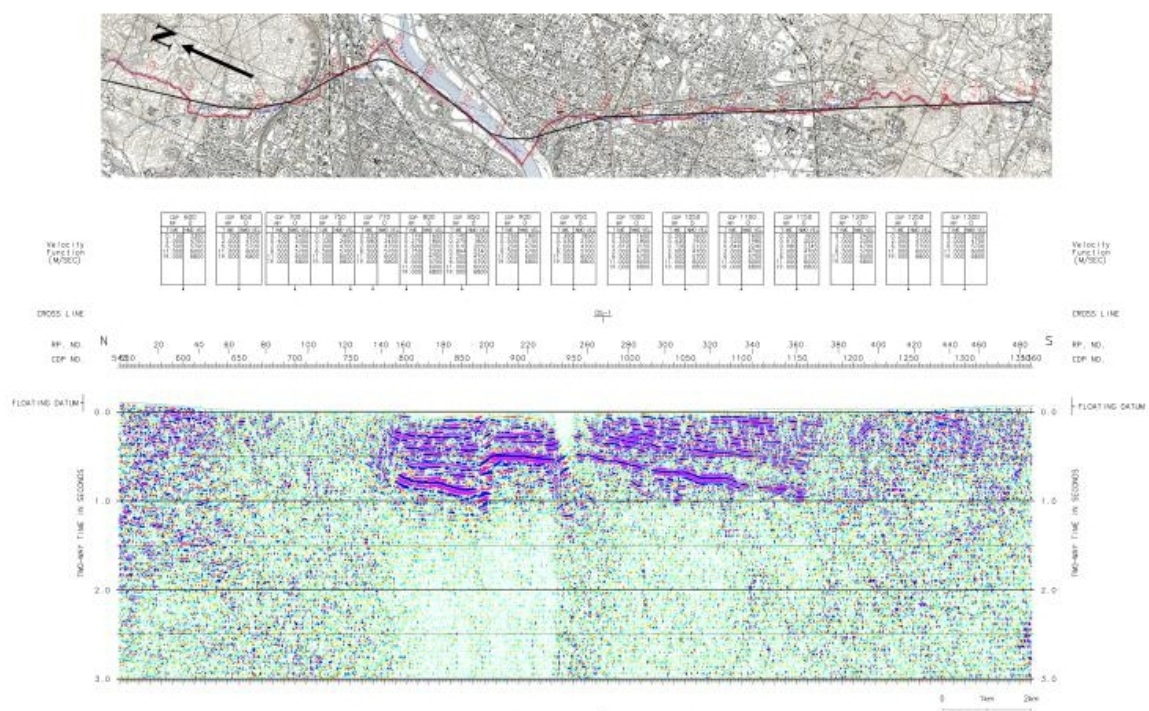


図 5(a) 生駒－高槻反射法データ時間断面図 CMP 重合処理（再解析前）

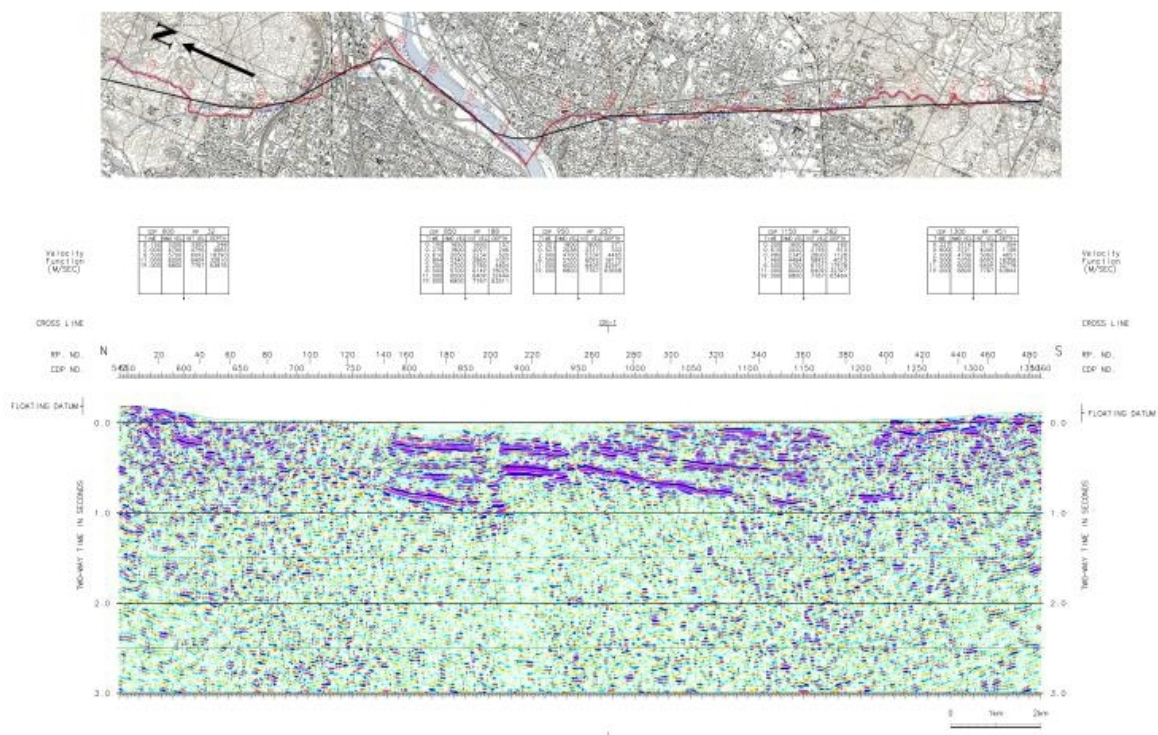


図 5(b) 生駒－高槻反射法データ時間断面図 CMP 重合処理（再解析後）