

反射法地震探査(S波)データ処理資料

反射法地震探査（S波）データ処理に関する資料

フィールドテープに記録した測定データは、表1、図1に示した要領で様々なデータ処理を施し、最終的には深度断面図として出力し、地質構造の解釈に供する。

【データ処理の概要】

データ処理は、大きく次の2種類に区分される。

(基本処理)

- a) 初期編集……データ整理・CMP編集.
- b) 波形処理……プレフィルター・位相振幅補償・デコンボリューション.
- c) 静補正 ……表層静補正・標高補正・残留静補正.
- d) 速度解析……重合のための速度を求める.
- e) 重 合

これらは時間断面の作成を目的とする処理である。この過程では、記録の質が良好な限り余り人為的な処理操作は含まれない。

(解釈のための処理)

- a) マイグレーション……地層の傾斜・回折による見かけの断面を補正する.
- b) 深度変換……時間断面を深度断面に変換する.

これらは、時間軸上で与えられた見かけ上の記録から、真の地質構造を推定するための処理である。この処理においては、与えた速度分布により結果が大きく異なることがあり、出来るだけ正確な速度分布を与える必要がある。

データ処理の手順およびパラメーターを表1に、またデータ処理のブロックダイアグラムを図1に示す。

表1 実施したデータ処理手順および処理諸元一覧表

- ①初期編集 不良データの除去, CMP 編集
- ②初期処理 イ. プレ・バンドパス・フィルターリング 13~100Hz
ロ. 位相特性補償
探鉱機の位相特性を補償するフィルター処理を実施.
- ③振幅補償 イ. 原記録より統計的に求めた振幅特性カーブを用いた補償
ロ. 各トレース別にゲート幅 100msec で自動振幅補償(AAC)
- ④デコンボリューション
・タイプ … タイムバリエーション・ホワイトニング・デコン
・自己相関を算出するゲート長 … 900msec
・フィルター・オペレーター長 … 100msec
・ホワイトニング・ノイズ … 3%
- ⑤振幅補償 各トレース別にゲート幅 130msec で自動振幅補償(AAC)
- ⑥表層解析 観測記録の初動を読み取り、このデータをもとに屈折波トモグラフィ手法を用いて、表層S波速度分布を算出。
ただし、これを用いた静補正值は、検討の結果反射法解析には使用していない。
- ⑦標高静補正 CMP 内の平均標高と各トレースの震源・受震点標高との差を 200m/sec の表層速度を仮定して静補正。
- ⑧速度解析 CVS 法およびセンブリランスを用いた速度スペクトル法を併用して実施。
- ⑨残留静補正：最大補正量を 8msec に制限した自動残留静補正。
- ⑩NMO補正・ミュート
- ⑪重 合
- ⑫タイムバリエーション・フィルター
0 ~ 100 msec 20 ~ 100Hz
100 msec ~ 15 ~ 80Hz
- ⑬マイグレーション：FK法に基づく波動場補外法（下方接続）による。
- ⑭深度変換
- ⑮標高静補正：基準標高(30m)と各 CMP の平均標高との差を 200m/sec の表層速度を仮定して静補正。

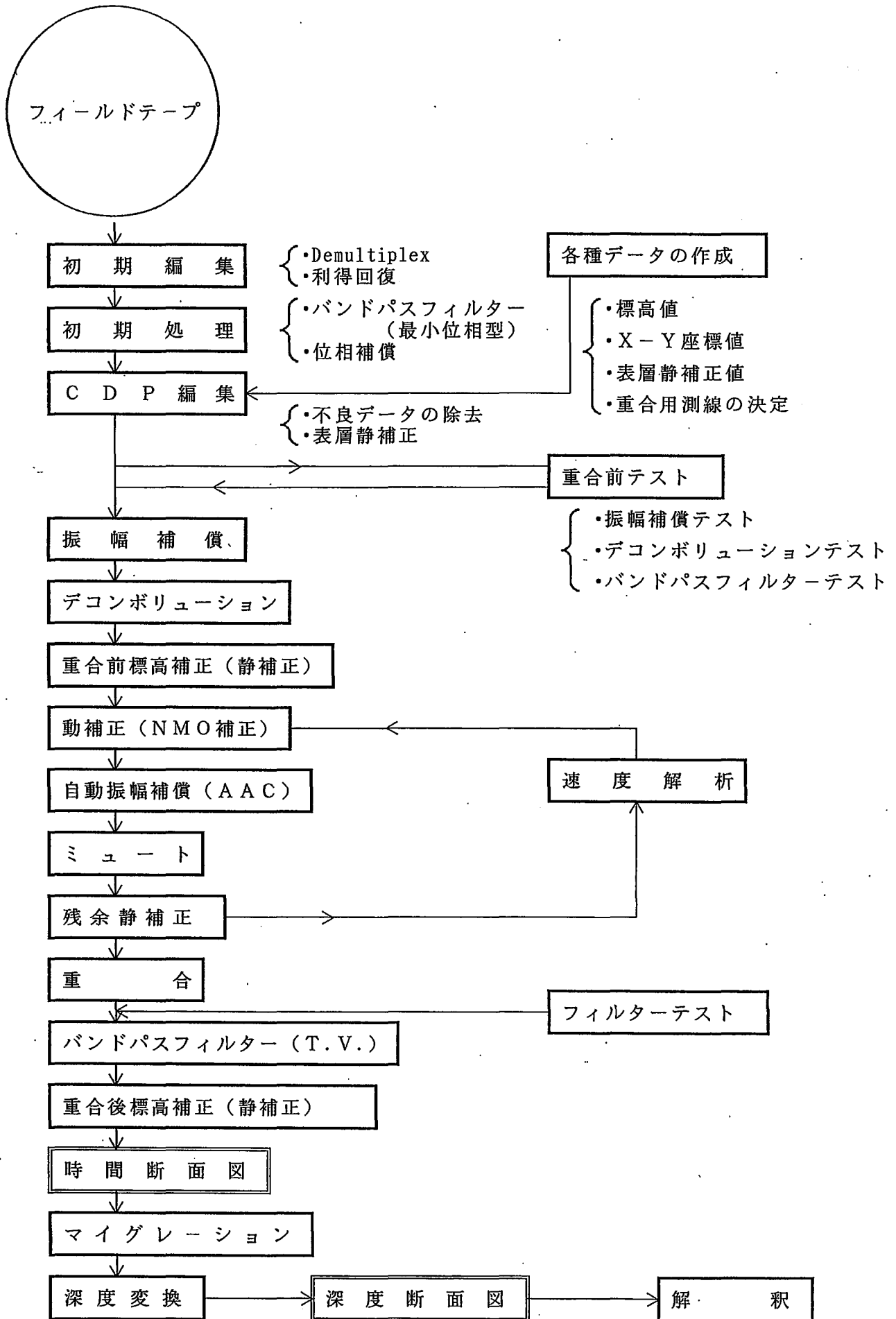


図1 データ処理のフローチャート

【波形処理】

処理の概略と諸元は、以下の通りである。

(初期編集)

- a) データ整理…ノイズ除去、不良データの除去、測量データ整理等を行う。
- b) CMP編集…測定を道路沿いおよび障害物を避けて実施したため、CMP（反射中点）は一般に平面上に分布する。重合用測線は、これらのCMPの分布を最適に通る折れ線として設定し、この測線沿いにCMP編集を行った。重合測線位置を図2に示す。なお、重合測線はオフセット距離（受震器間距離）が比較的短いものを考慮して決めた。

(初期処理)

波形処理のうち最も重要な処理は、パルスの短縮、短い周期の多重反射の除去、スペクトルの平滑化等を目的に実施するデコンボリューションである。この処理を良好にするため、次の前処理を実施した。

- a) プレフィルタリング…再帰型のフィルターを用い、位相特性は次に述べるの位相補償処理で併せてミニマムフェーズに直した。
lowcut : 13Hz (バターワース特性)
highcut : 100Hz (同)
- b) 位相補償…デコンボリューションが有効に働くためには、トレースがミニマムフェーズ特性であることが条件の一つである。測定系でもっともこの条件を満たさないものは、探鉱機のフィルターの位相特性である。これをミニマム位相特性に戻すフィルターを設計し、補償を行った。
- c) 振幅補償…次の2段階に分けて実施した。
 - ・全トレースよりオフセット距離（震源-受震器間距離）別に振幅の時間減衰特性を統計的に求め、この特性の逆数で振幅補償を行った。
 - ・次に各トレース別に、ゲート幅100msecで平均振幅の時間変化を求め、振幅補償を行った(AAC)。

(デコンボリューション)

自己相関演算のゲート長 900msec, フィルター長100msec, ホワイトノイズ3%のタイムバリエーション型ホワイトニング・デコンボリューションを用いた。デコンボリューションテストを図3, 4に示す。

【静補正】

静補正は、低速度の表層を第2層の速度で置き換え、震源点・受震点が見かけ上基準面に並ぶようにする処理である。この処理の目的は、

- a) 表層の速度層厚は変化が激しいため、表層を通過する時間は震源・受震点により様々である。これをできるだけ一定にする。
- b) 表層と第2層との速度差は一般に大きいため、解析上仮定している直線波線から外れる。これを補償する。

c) 震源・受震点の標高差による影響を除去する。
等である。

(表層静補正)

一般的には屈折法により表層をはぎ取る方法が用いられるが、特にミラージ的な速度変化を示すような速度構造地盤では、必ずしも精度の高い補正値を得られるとは限らない。今回は、次に述べる「屈折波トモグラフィ」により表層の速度分布を求め、これより静補正値を算出し適用を検討した。この検討の結果、本調査地では対象とする堆積層厚が非常に薄いため、表層静補正を実施するとかえって良い結果が得られないことが分かったため、適用を取りやめた。図5、6に表層速度解析結果を示す。

屈折波トモグラフィ解析の手順は次の通りである。

- a) 観測波形よりP波の初動走時を読み取る。
- b) 差分格子点に適当な初期速度分布値を与える。
- c) アイコナル法により、ある震源点で起震した場合の各格子点の初動走時を計算する。
- d) 初動走時分布をもとに波線を求める。
- e) 各波線の観測走時と計算走時の比を修正係数とし、波線周辺の格子点に記憶する。
- f) c)～e)を全震源点についておこなう。
- g) 格子に配られた修正係数をもとに新たな速度分布を算出する。
- h) c)～g)を収束するまで繰り返す。

(残留静補正)

NMO補正後に、最大値を8 msecに制限した自動残留静補正解析を行った。

(CMPアンサンブル内での標高静補正)

NMO補正前に、各アンサンブルごとにその平均標高までの標高差の補正を行った。なお、補正速度は200m/secを用いた。

(重合後標高補正)

マイグレーション、深度変換後に各CMPの平均から基準標高までの標高補正を行った。また、時間断面図のプロットの際も、地表平均標高(floating datum)から基準標高までを、200m/secの速度を仮定して標高補正を実施した。

【NMO補正と速度解析】

(NMO補正)

NMO補正とは、オフセットの違いによる走時のずれをゼロオフセットの記録に補正するものである。通常直線の波線を仮定した下記の方法で行う。

地下構造が水平2層でオフセットがXのとき、第1層下端から反射して受震点に到達する波の走時は、

$$t^2 = 4 t_0^2 + \frac{X^2}{V^2}$$

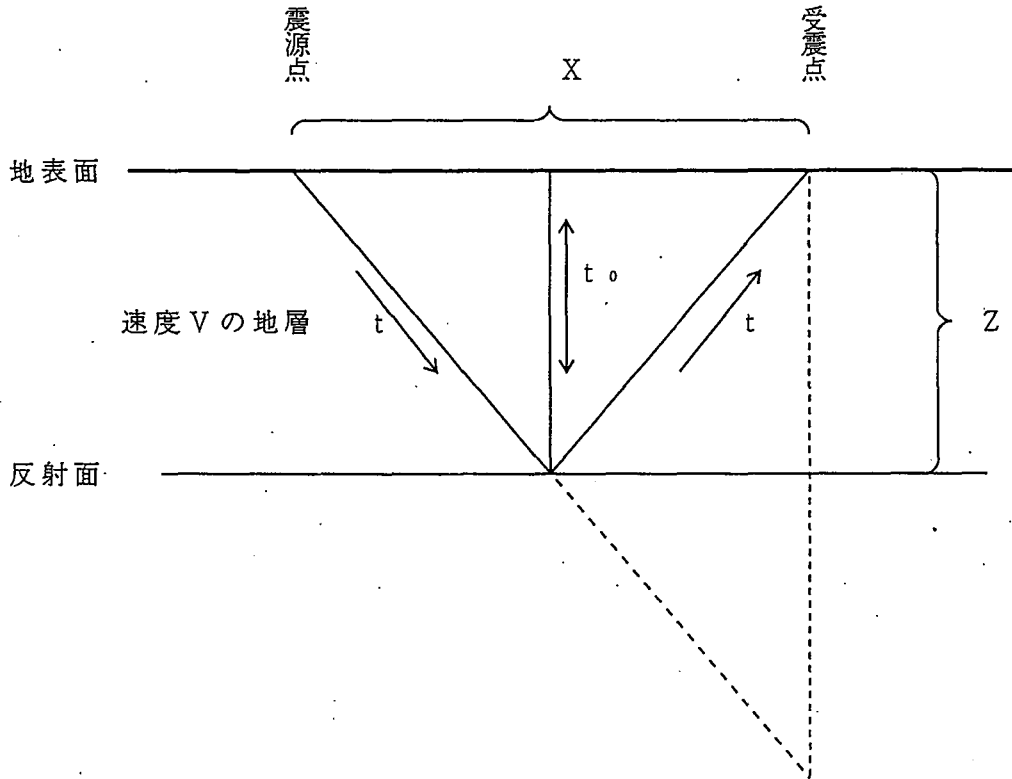
となる。ここで、

$$t_0 = \frac{2Z}{V}$$

V ; 波の伝播速度

X ; 震源点と受信点の距離

t₀ ; ゼロオフセットの走時



受信点の鏡像

< NMO補正における波線の考え方 >

多層構造の地層の場合も、オフセットXに比べ反射面深度が十分に大きければ、

$$T_n(X)^2 = T_n(0)^2 + \frac{X^2}{V_R^2}$$

と近似できる。ここでV_RはRMS速度と呼ばれるもので

$$V_R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 \Delta t_i}{T_n(0)} \quad \text{ここで } V_i ; \text{ 第 } i \text{ 層の速度}$$

Δt_i ; 第 i 層の鉛直往復走時

と定義される。

(速度解析)

速度解析で得られる速度値は重合速度と呼ばれ、地層がほぼ水平の場合には近似的に RMS 速度に等しいと見なされている。速度解析は次の手順で行った。

- a) 推定される重合速度の範囲のなかで、120種の速度を等分に仮定する。
- b) 各速度でNMO補正を行い、オフセットによらず反射波が同じ時刻に並ぶ速度と時間を求める。
- c) 図から直接速度を読み取ることもできるが労力および精度に問題があるため、CMP アンサンブルのデータを定速度でNMO補正した後に、
 - イ. 狭い時間ゲート内でのトレース間の相関（センブランス）を求める（速度スペクトル法）
 - ロ. 全てのトレースを加算して1本のトレースとする（C. V. S. 法, constant velocity scan）などの方法で整理する。
- d) 実際には全データを用いた場合には、イ.,ロ.の方法でもCMPの数だけ図が得られるため読み取りを自動的に行い、これを整理して重合速度を決定する。

図7～25に、上記の方法で求めた速度解析結果を示す。図中○印は上記のイ.で求めた結果で、また×印はロ.で求めた結果である。印の大きさはセンブランスあるいはパワーの大きさを示している。

【波形処理結果】

以上の波形処理結果を、次の100%断面図(1 重合断面図)で示す。

- 図 26 観測記録の100%断面図 (A測線)
- 図 27 プレフィルタ、位相・振幅補償後の100%断面図 (A測線)
- 図 28 デコンボリューション後の100%断面図 (A測線)
- 図 29 NMO補正後の100%断面図 (A測線)
- 図 30 観測記録の100%断面図 (B測線)
- 図 31 プレフィルタ、位相・振幅補償後の100%断面図 (B測線)
- 図 32 デコンボリューション後の100%断面図 (B測線)
- 図 33 NMO補正後の100%断面図 (B測線)

【重合およびマイグレーション・深度変換】

(ミュート・重合)

速度解析で得た速度分布を用いてNMO補正し、ミュート後重合を行った。

(タイムバリエーションフィルター)

重合後の時間断面について周波数解析(フィルターテスト)を行い、タイムバリエーションフィルターを定めた。図34~37 にフィルターテストの結果を示す。

決定したフィルターの特性は表1 のとおりである。

(マイグレーション)

重合後時間断面を水平方向の速度分布が均一なストレッチ断面(深度方向には速度変化を認める)に変換した後、波動場補外法(位相移動によるイメージングと下方接続)によるFKマイグレーションを行った。

(深度変換)

マイグレーション後の時間断面を、マイグレーションに用いたRMS速度より求めた平均区間速度を用いて深度変換した。

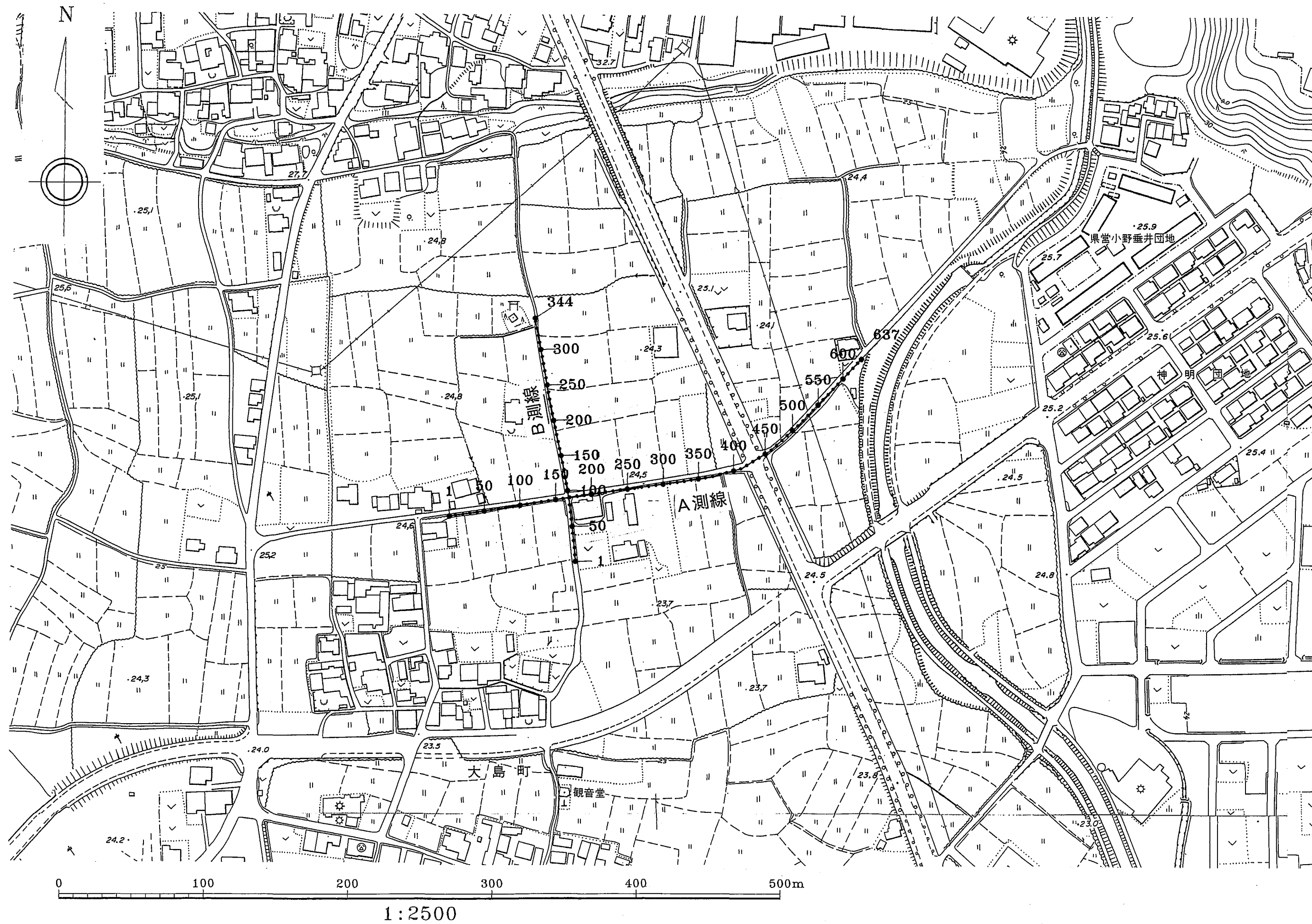
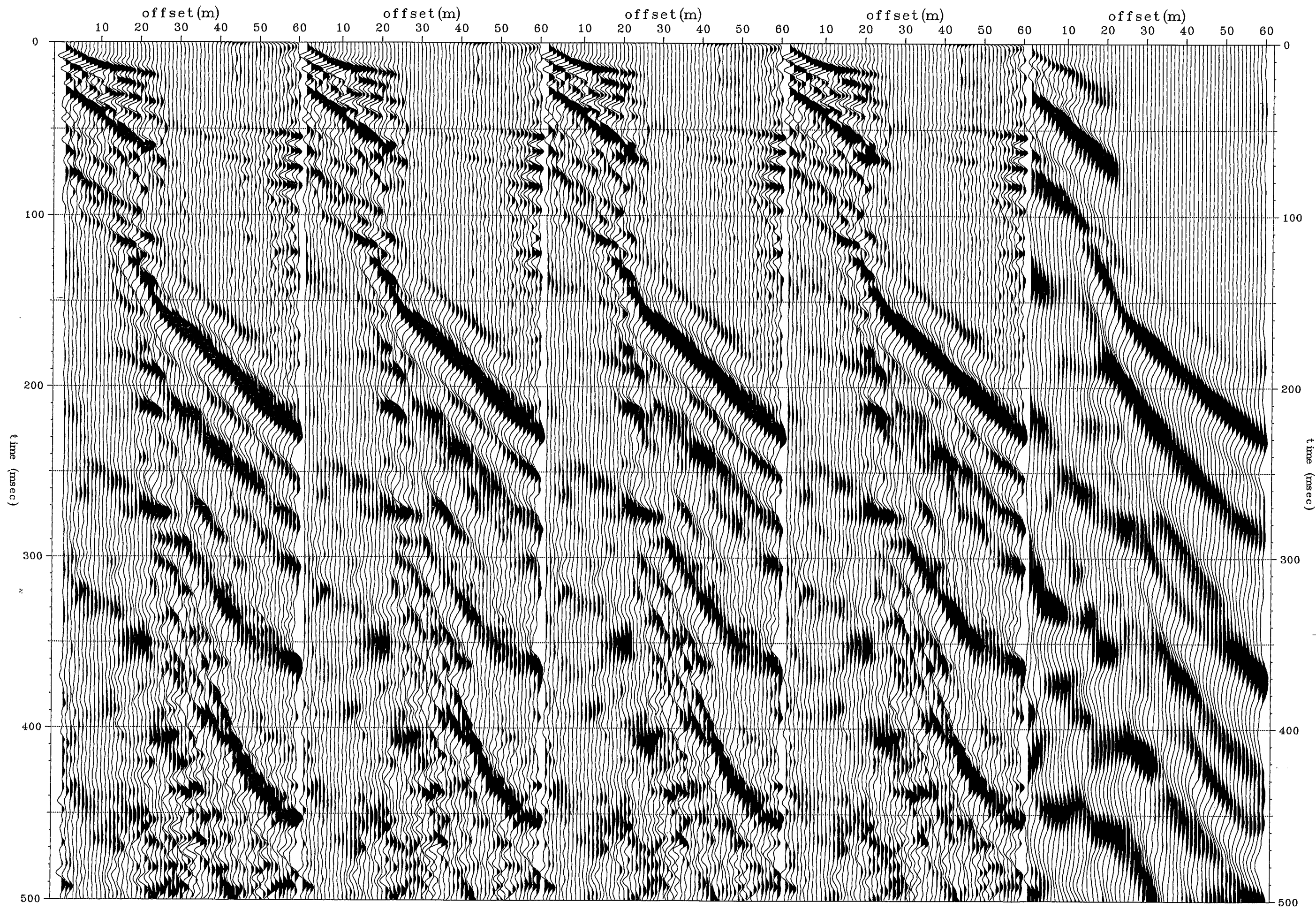


図2 調査位置図 (図中の数字は CMP No. を表す)



whitening decon
gate(msec) =600
filter(msec)=60

whitening decon
gate(msec) =800
filter(msec)=80

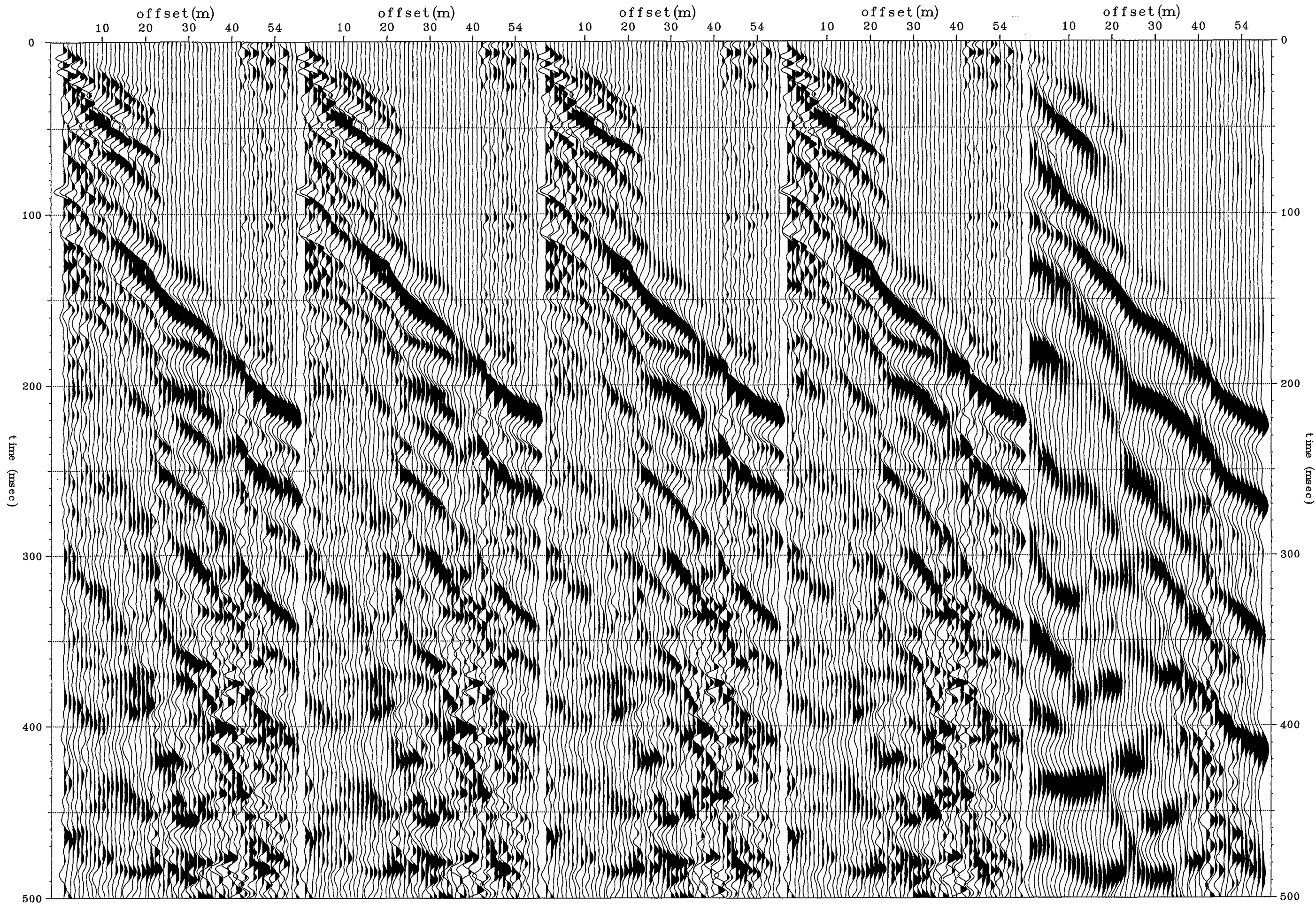
whitening decon
gate(msec) =1000
filter(msec)=100

whitening decon
gate(msec) =1200
filter(msec)=120

original

図3 デコンボリューション・テスト (A測線)

DECON TEST 100% (1)
 30
 2
 010-8 [X]-1 2147



whitening decon
gate(msec) =600
filter(msec)=60

whitening decon
gate(msec) =800
filter(msec)=80

whitening decon
gate(msec) =1000
filter(msec)=100

whitening decon
gate(msec) =1200
filter(msec)=120

original

図4 デコンボリューション・テスト (B測線)

DECON TEST 100% (1) 3/ 8
 ono_b [X]-8

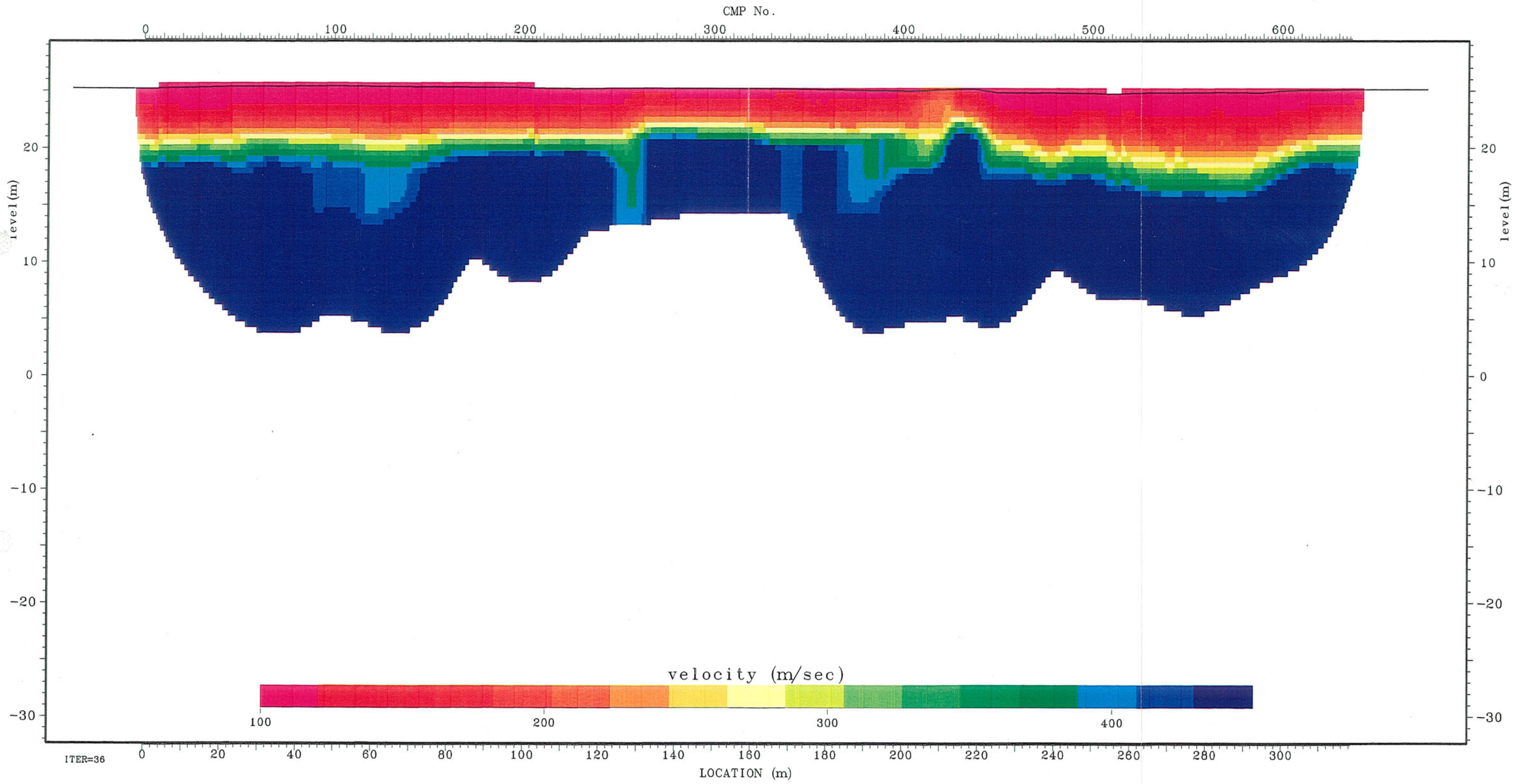


圖5 A測線 表層解析結果

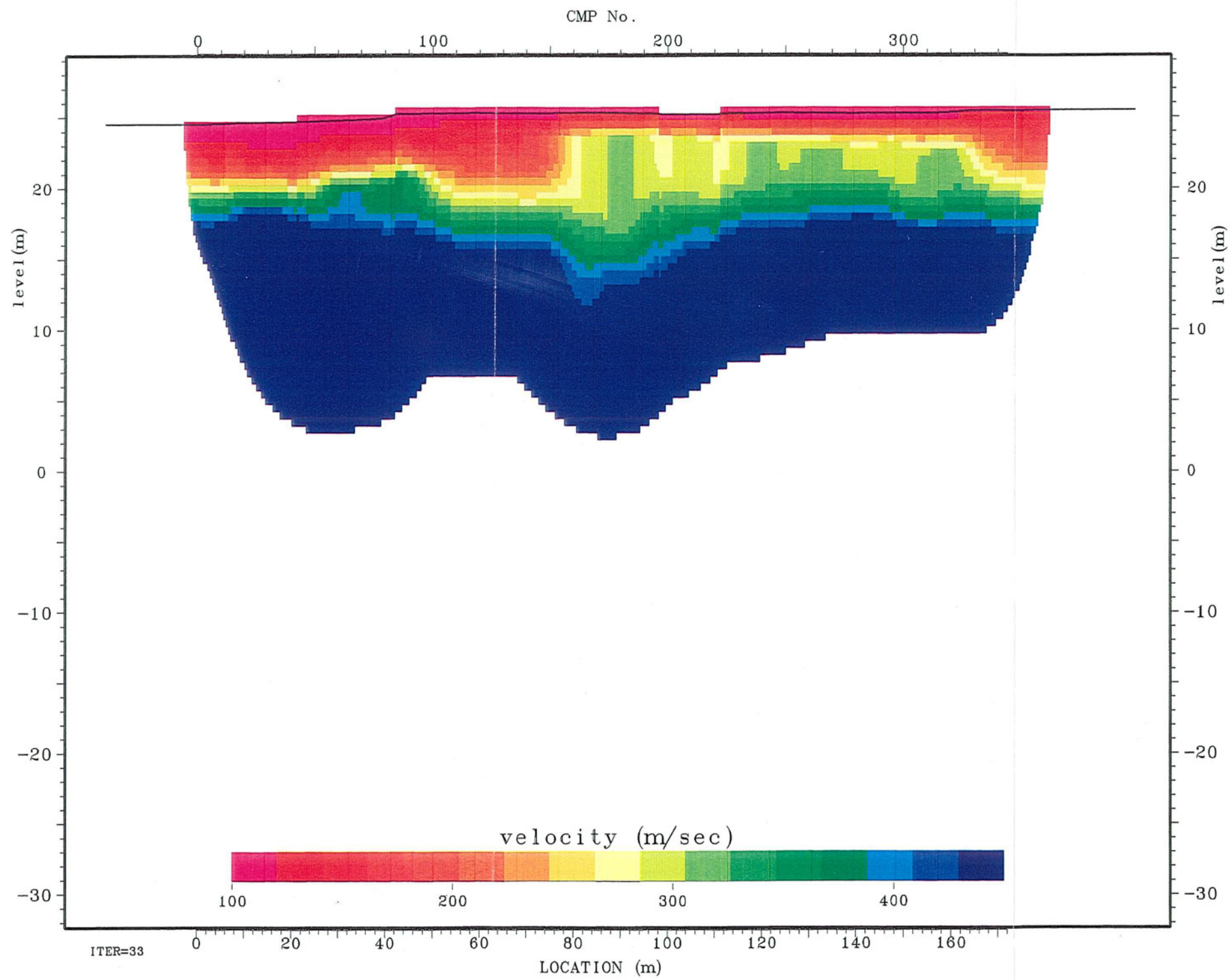
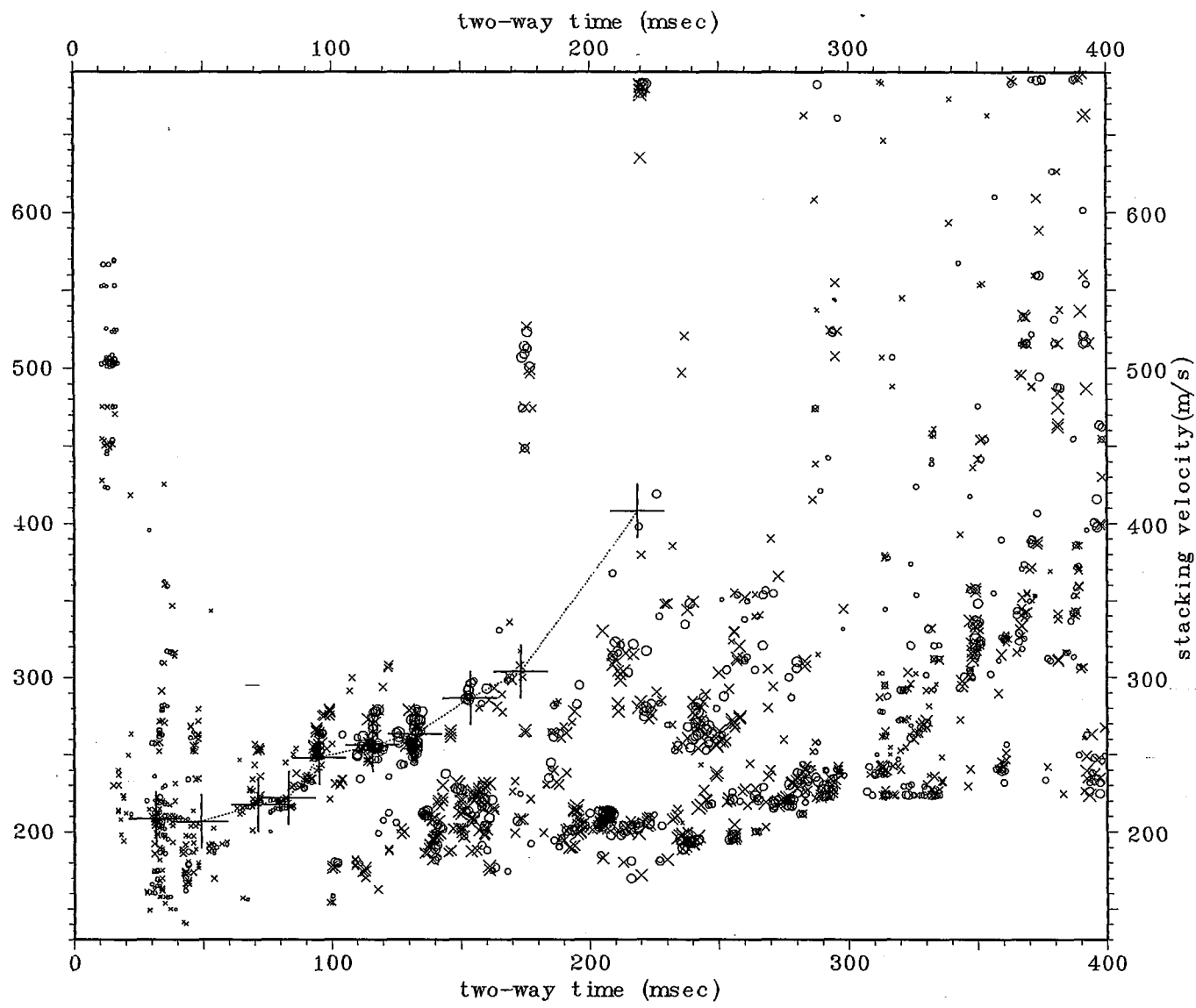


圖 6 B測線 表層解析結果

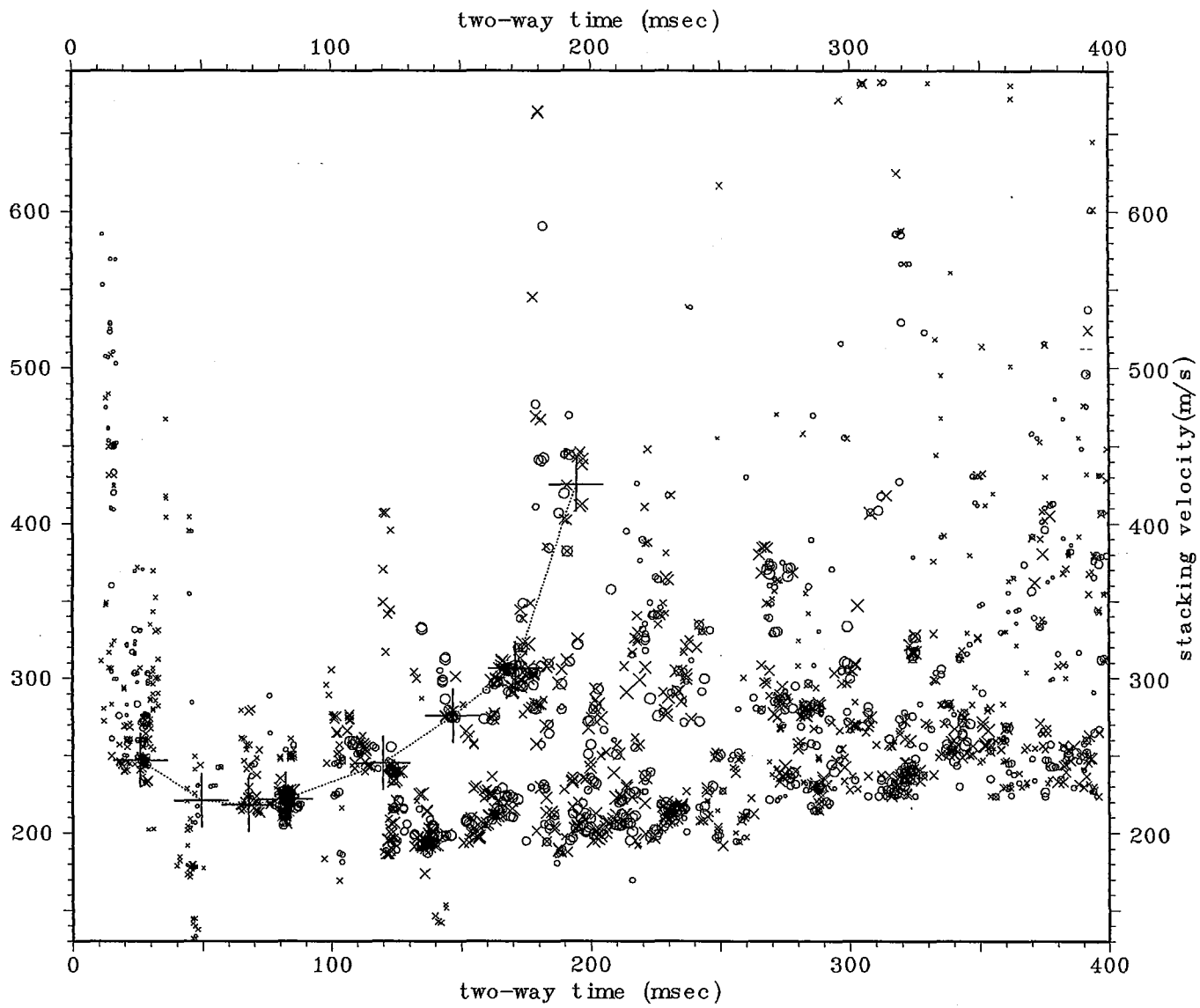


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1			208	
2	32	208	204	3.3
3	49	207	240	5.1
4	71	217	247	7.7
5	83	222	383	9.2
6	95	248	290	11.5
7	116	256	309	14.5
8	132	263	402	17.0
9	154	287	413	21.3
10	173	304	671	25.4
	219	408		40.6

图 7 A测线 速度解析结果 (CMP No. 33 - 76)

CMP range = 33 - 76

vel file= vel3_report 3.6.77
 vel file= vel3_report 3.6.77
 vel file= vel3_report 3.6.77

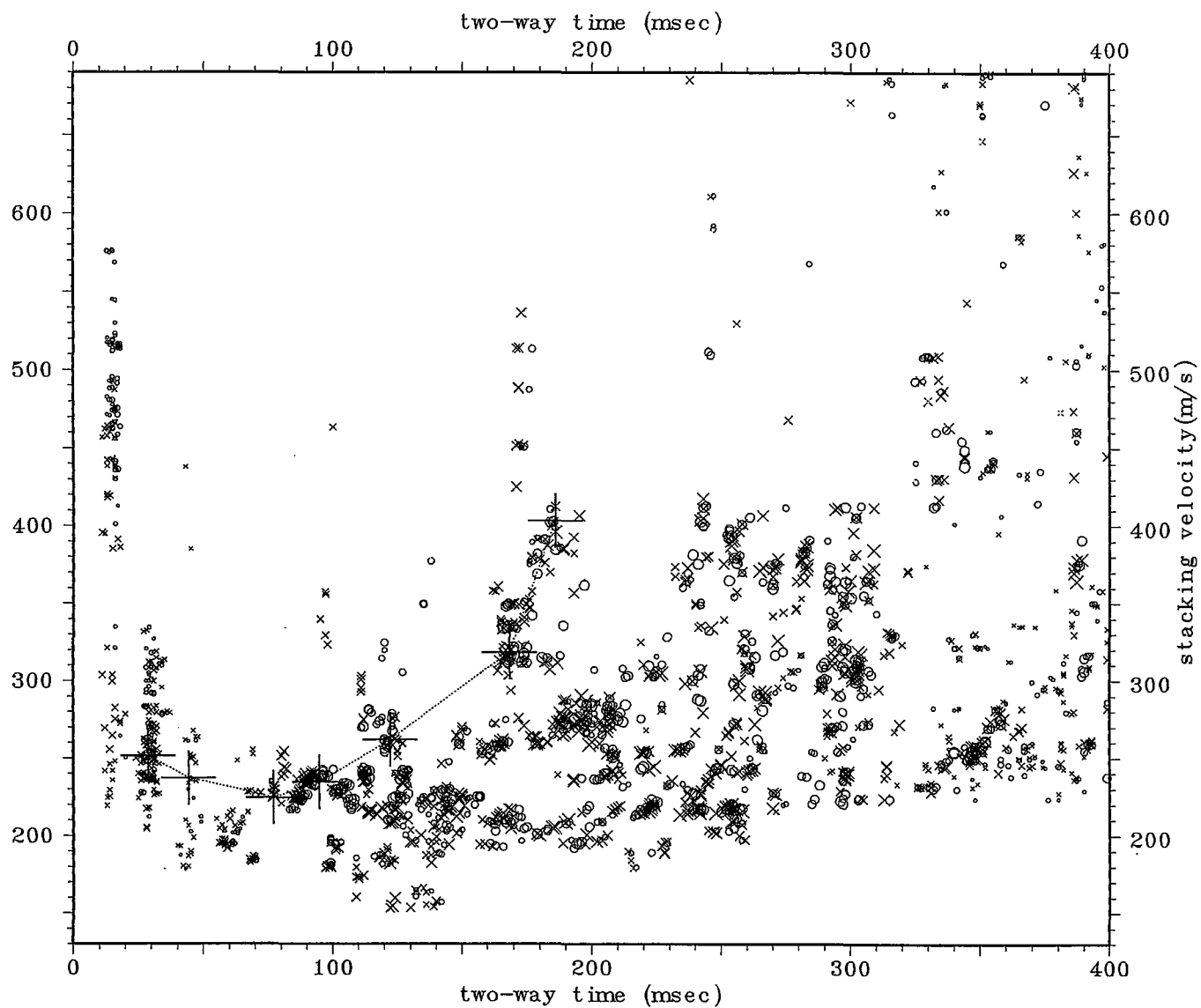


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1			247	
2	26	247	188	3.2
3	50	221	211	5.4
4	68	218	238	7.3
5	82	222	289	9.0
6	120	245	384	14.5
7	147	276	449	19.7
8	171	306	902	25.1
	195	425		35.7

图 9 A測線 速度解析結果 (CMP No.124 - 174)

CMP range = 124 - 174

velout ilie= veltdra_out vel file= vel13_report 3.2.17

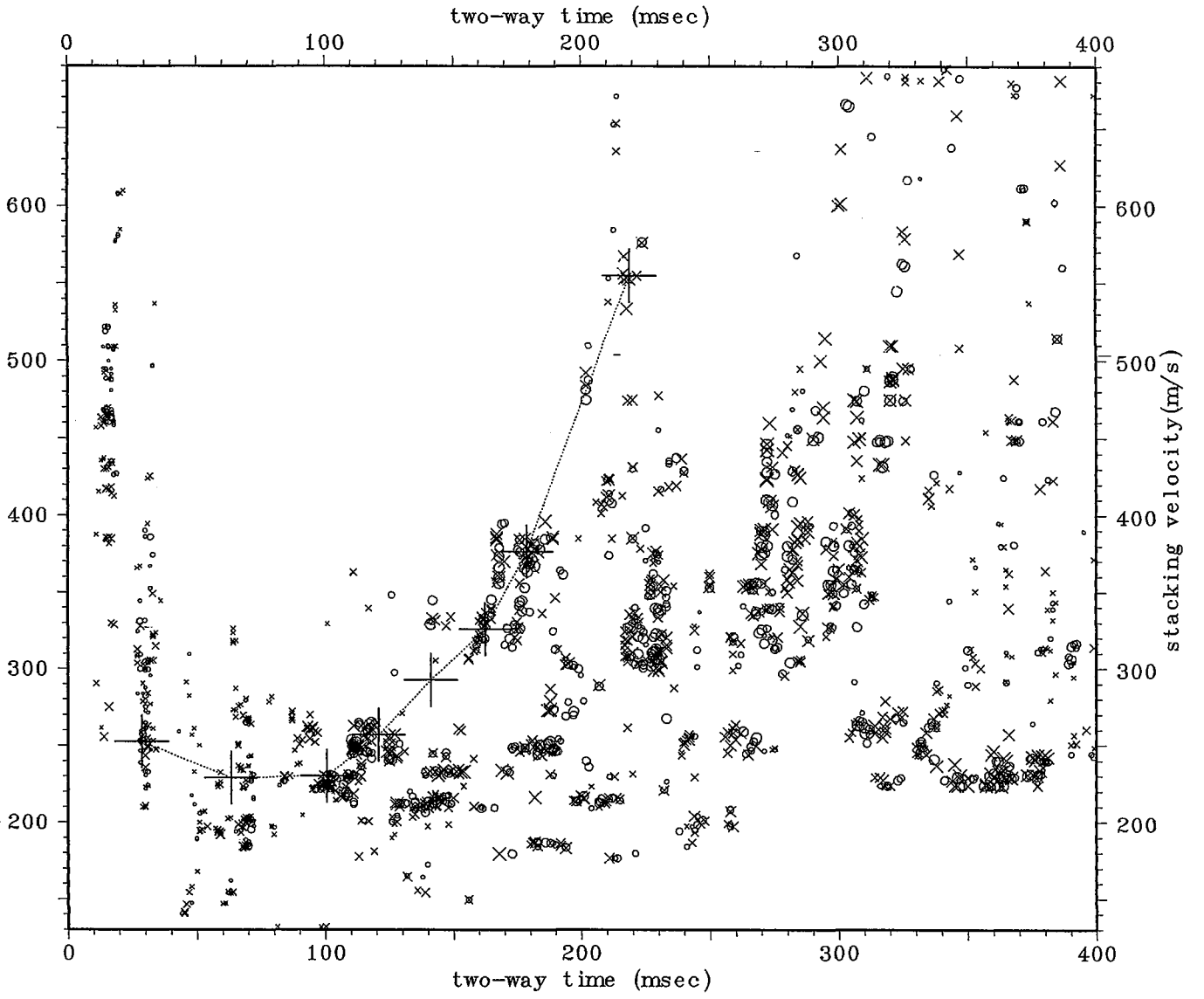


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	29	252	252	3.6
2	44	237	208	5.2
3	77	225	206	8.6
4	95	235	273	11.0
5	122	262	340	15.7
6	169	318	433	25.7
7	186	404	871	33.3

图 10 A測線 速度解析結果 (CMP No. 174 - 225)

CMP range = 174 - 225

velout file= veltdfa_out vel file= vel3_report 3.3.77
 37

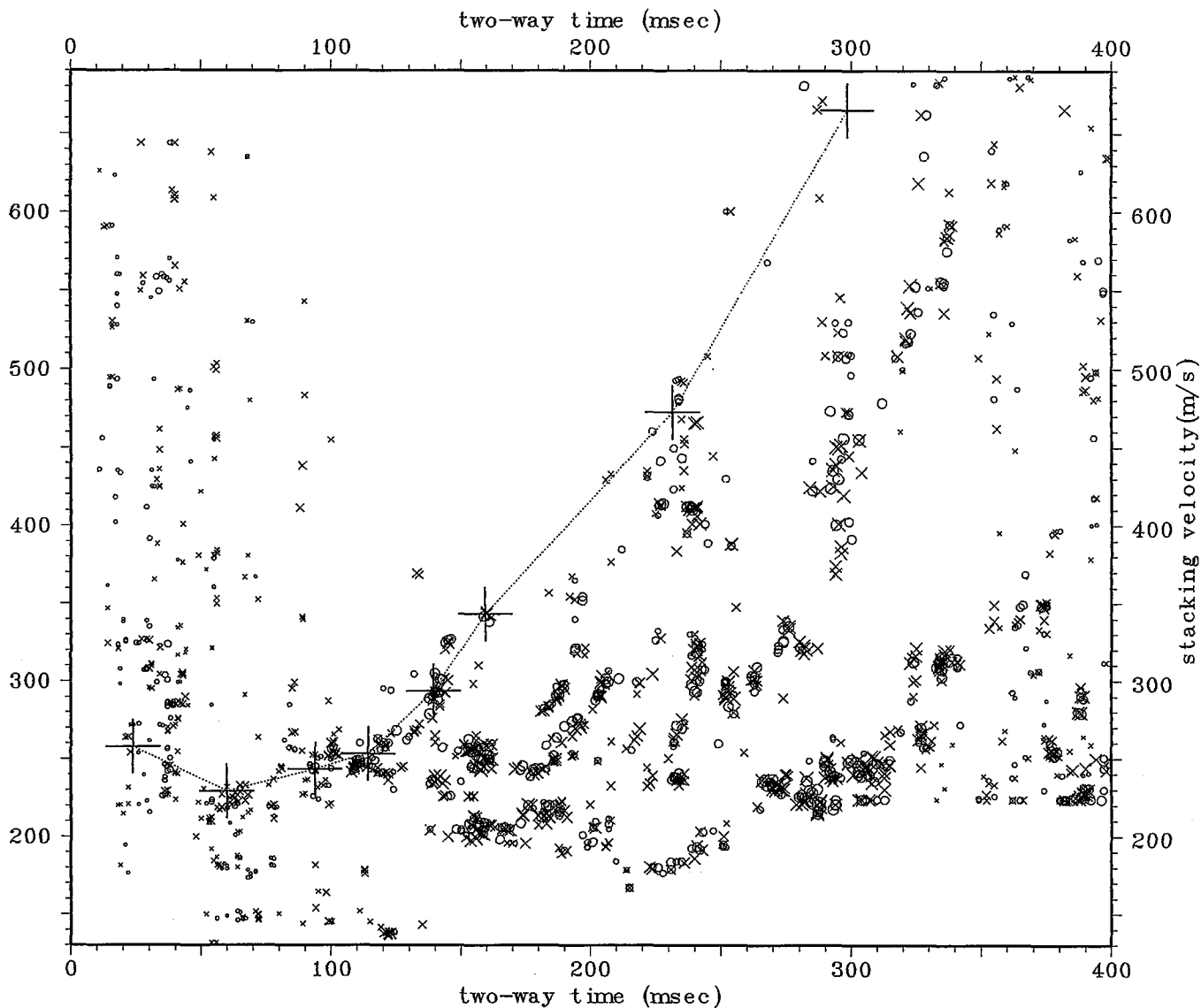


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	29	252	252	3.6
2	63	229	208	7.2
3	101	230	232	11.5
4	121	257	362	15.2
5	141	293	449	19.8
6	163	326	492	25.0
7	179	377	705	30.8
8	219	555	1022	51.3

図 11 A測線 速度解析結果 (CMP No. 225 - 264)

CMP range = 225 - 264

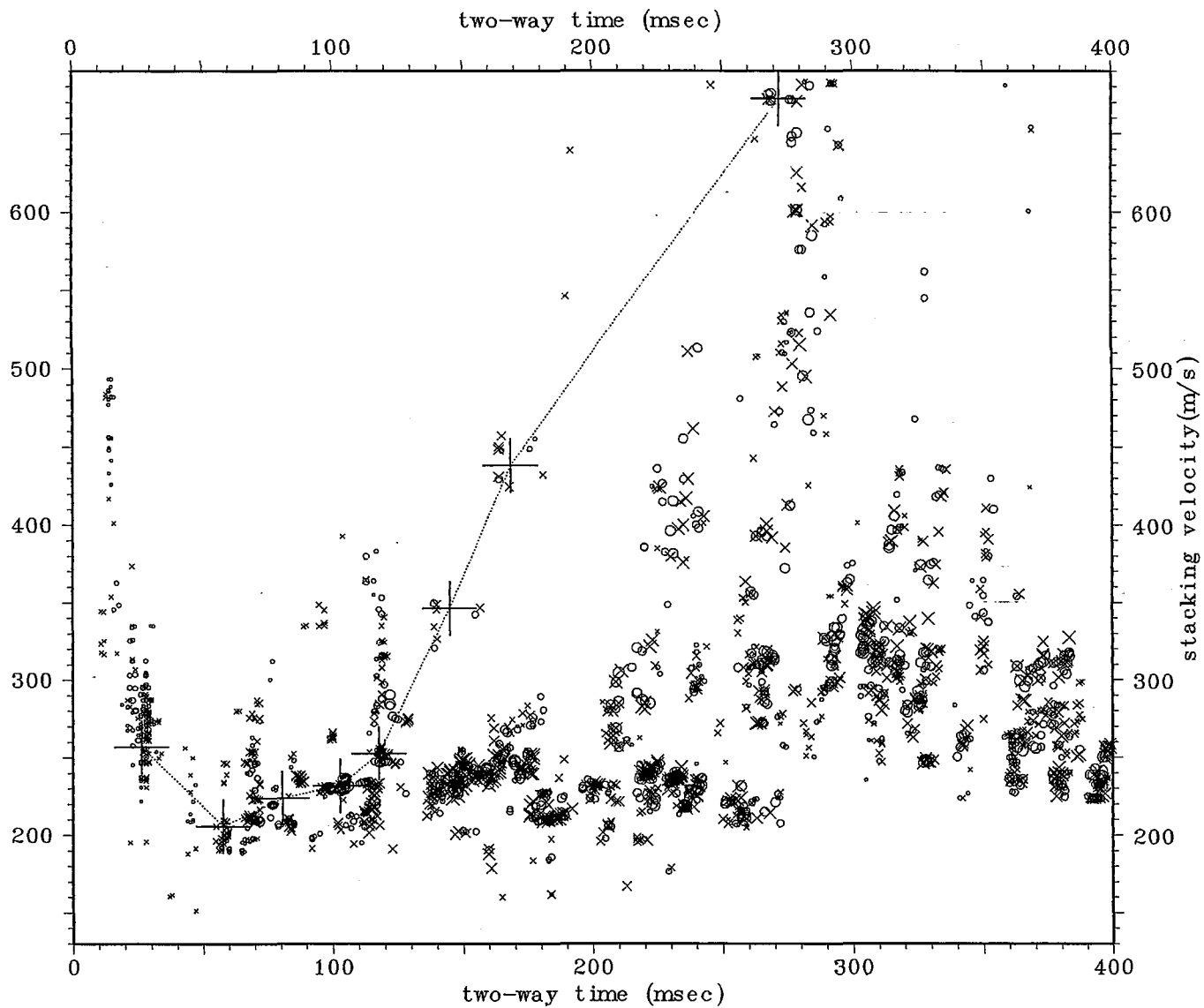
ve1 ilie= ve1dia_out
 ve1 ilie= ve13_report
 2.4.7.3
 9-9-5



layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1			258	
2	24	258	208	3.1
3	60	229	267	6.8
4	94	243	294	11.4
5	114	253	433	14.4
6	139	294	580	19.8
7	160	343	676	25.6
8	232	473	1095	50.0
	299	665		86.6

图 12 A测线 速度解析结果 (CMP No. 264 - 300)

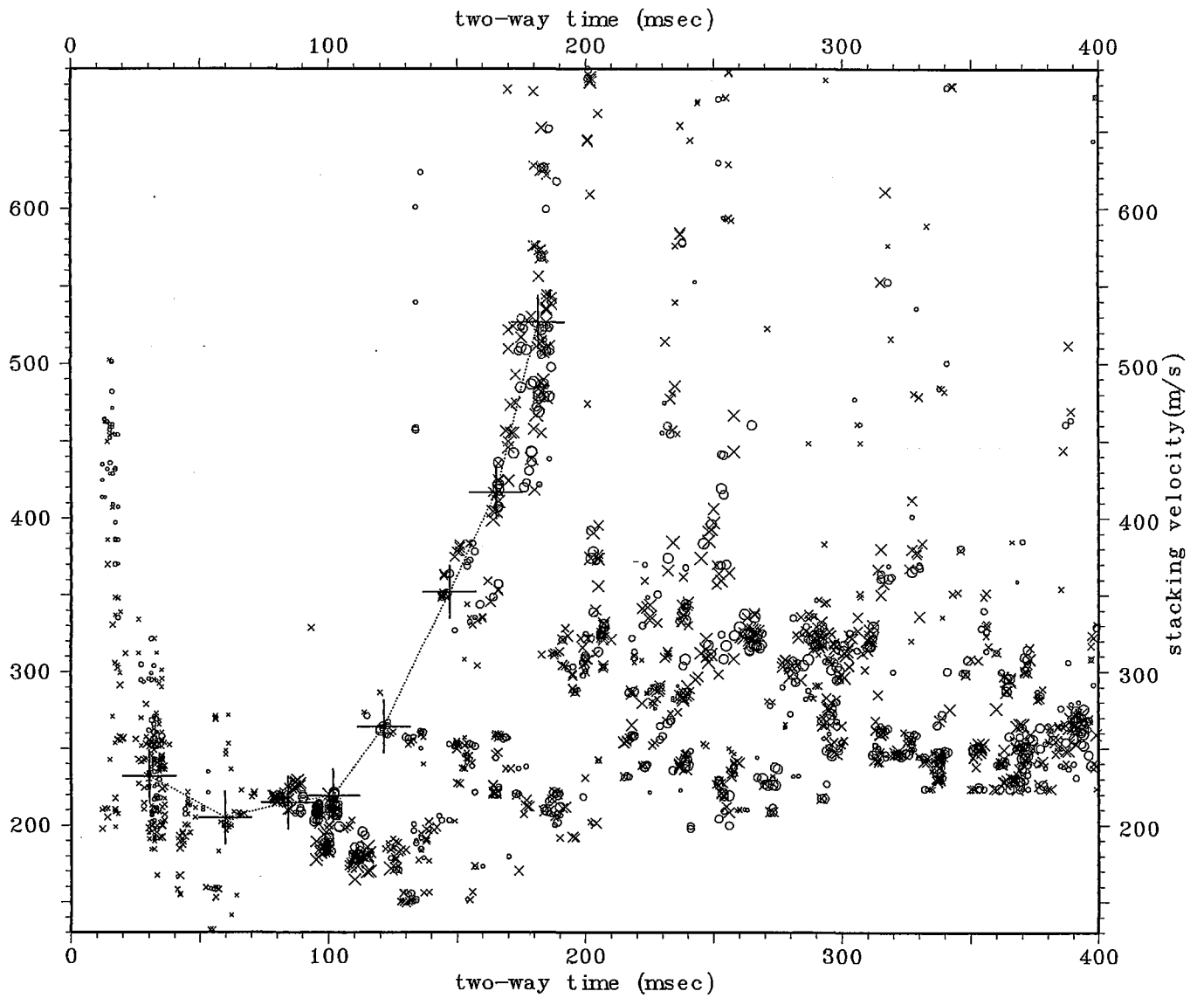
CMP range = 264 - 300



layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	26	257	257	3.4
2	58	206	150	5.7
3	81	224	264	8.7
4	103	232	259	11.6
5	118	252	364	14.4
6	145	346	602	22.6
7	169	438	799	31.9
8	272	672	936	80.3

図 13 A測線 速度解析結果 (CMP No. 300 - 350)

CMP range = 300 - 350

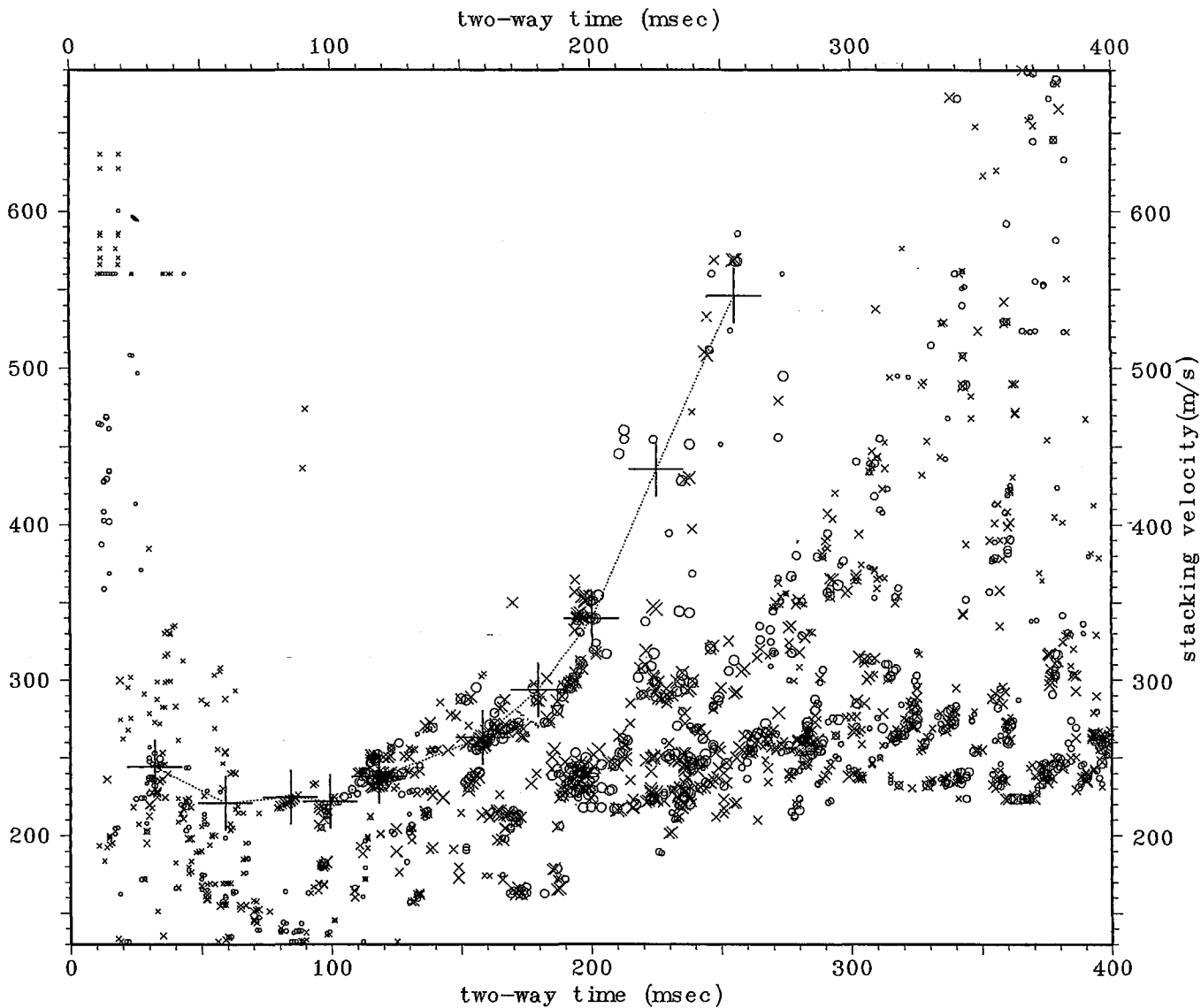


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	30	232	232	3.5
2	60	205	173	6.0
3	84	215	237	9.0
4	102	219	240	11.1
5	122	264	426	15.3
6	147	352	616	23.2
7	165	417	763	30.0
8	182	527	1147	39.5

图 14 A測線 速度解析結果 (CMP No. 350 - 400)

CMP range = 350 - 400

velout file= veloutfa_out
 vel file= vel9_report
 3-4-8

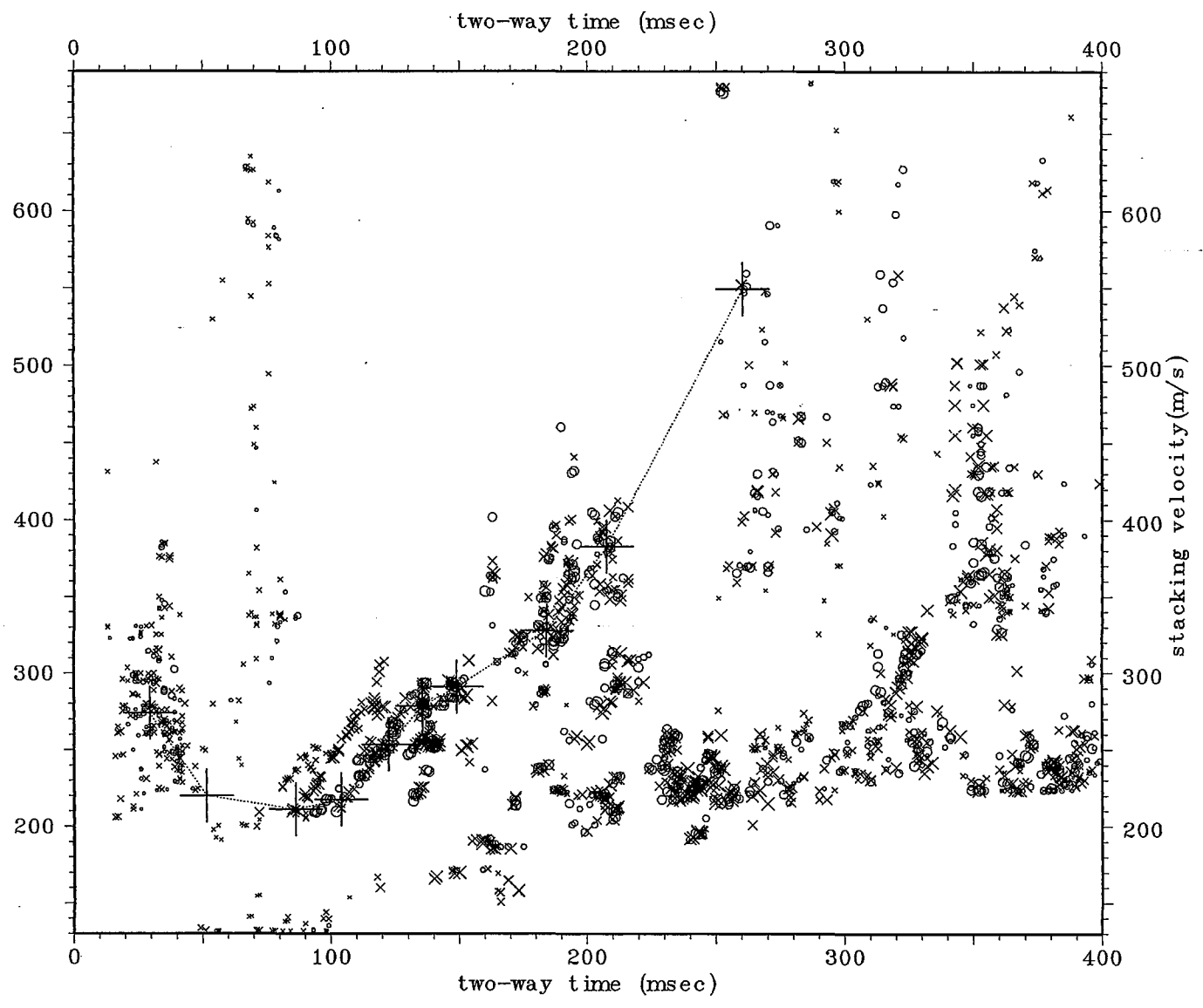


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	32	244	244	3.9
2	59	221	190	6.5
3	84	225	233	9.4
4	100	222	206	11.0
5	119	238	309	13.9
6	158	263	327	20.4
7	180	294	461	25.3
8	201	340	604	31.7
9	225	436	892	42.6
10	255	546	1052	58.5

図 15 A測線 速度解析結果 (CMP No. 400 - 450)

CMP range = 400 - 450

velout file= veltdfa_out vel file= vel3_report 3.2.17

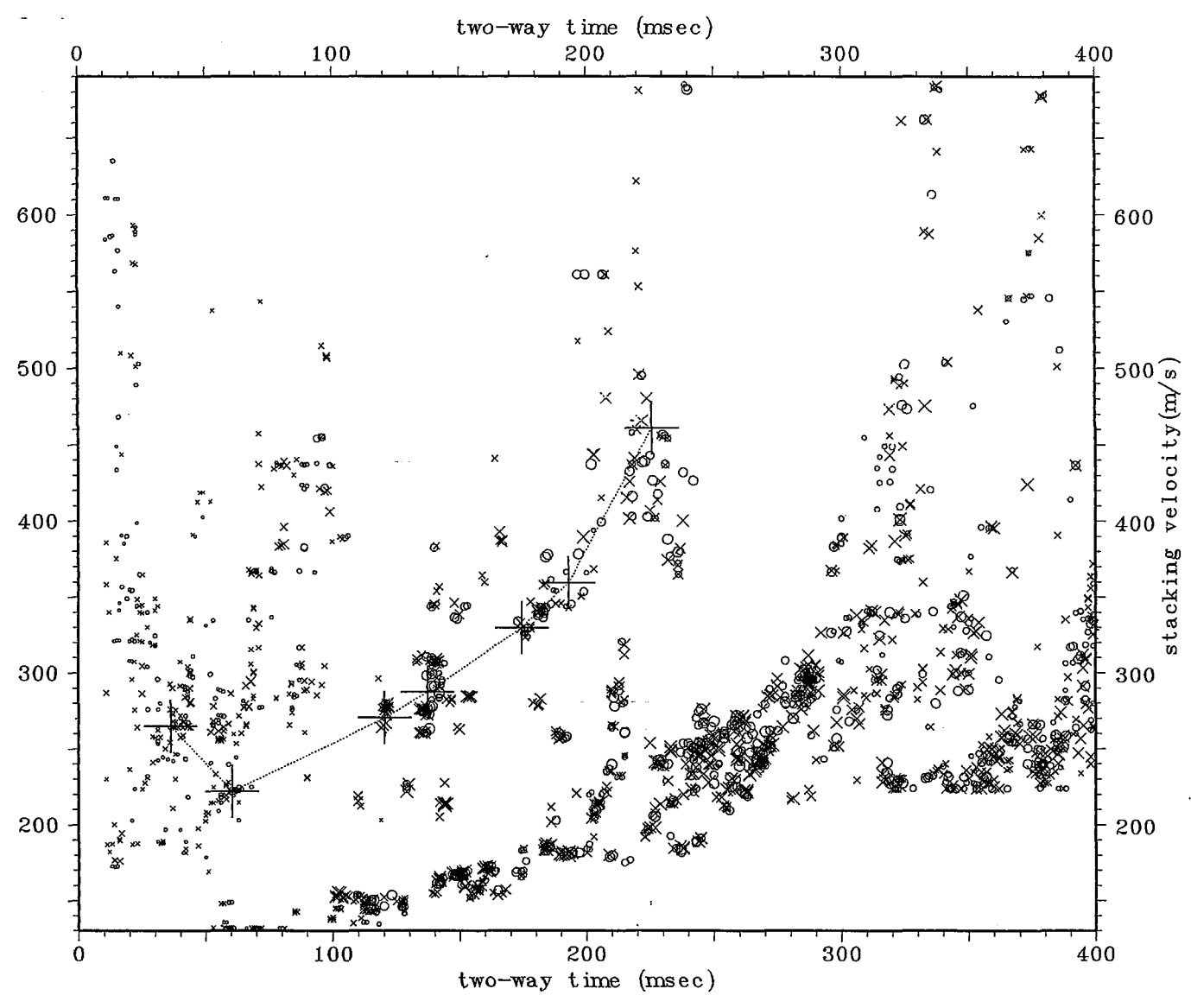


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	29	274	274	4.0
2	51	220	113	5.3
3	86	211	197	8.7
4	104	217	245	10.9
5	123	253	398	14.6
6	136	279	451	17.5
7	149	291	396	20.2
8	184	328	452	28.1
9	208	383	673	36.0
10	261	549	955	61.3

図 17 A測線 速度解析結果 (CMP No. 500 - 550)

CMP range = 500 - 550

velout file= veltdfa_out vel file= vel3_report 3.2.2.7

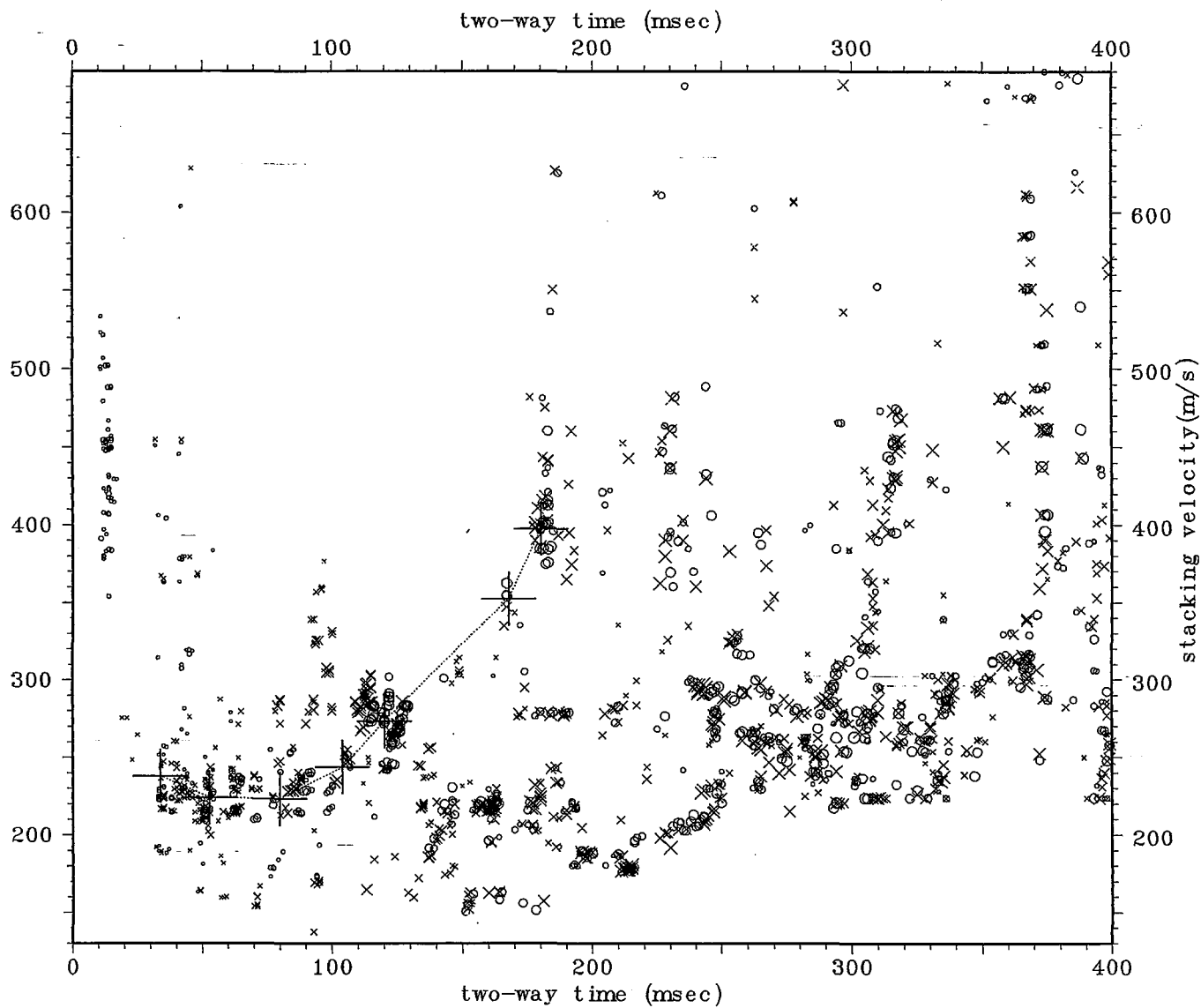


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	36	265	265	4.8
2	60	222	134	6.4
3	120	270	312	15.8
4	138	287	386	19.1
5	175	330	453	27.5
6	193	359	567	32.7
7	226	461	839	46.4

图 18 A测线 速度解析结果 (CMP No. 550 - 600)

CMP range = 550 - 600

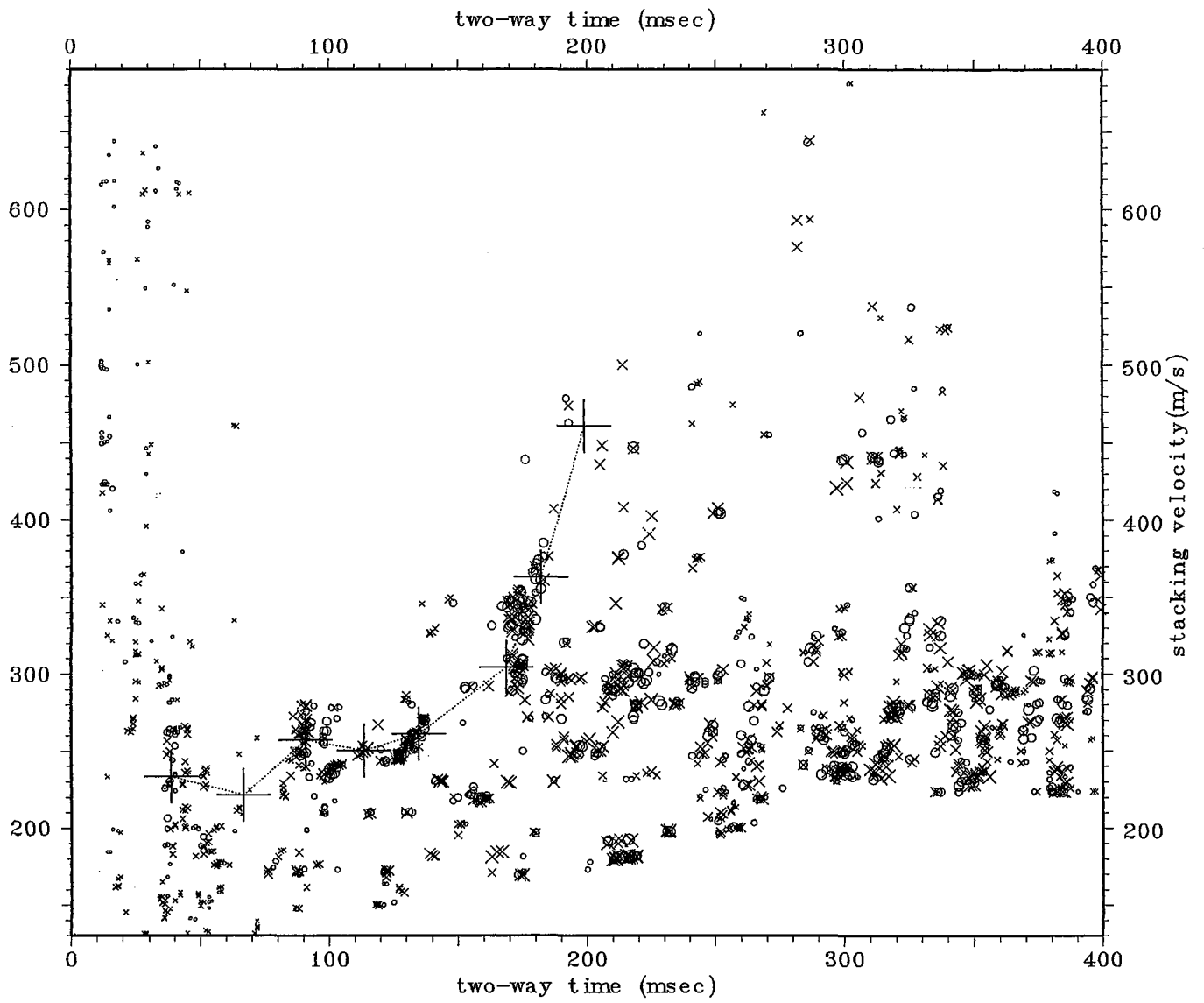
velout line= veltdra_out vel file= vel3_report 3-9-72



layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	34	238	238	4.0
2	53	224	197	5.9
3	80	223	222	8.9
4	104	244	301	12.5
5	120	273	418	15.9
6	168	352	499	27.8
7	180	398	783	32.7

图 19 B测线 速度解析结果 (CMP No. 25 - 65)

CMP range = 25 - 65

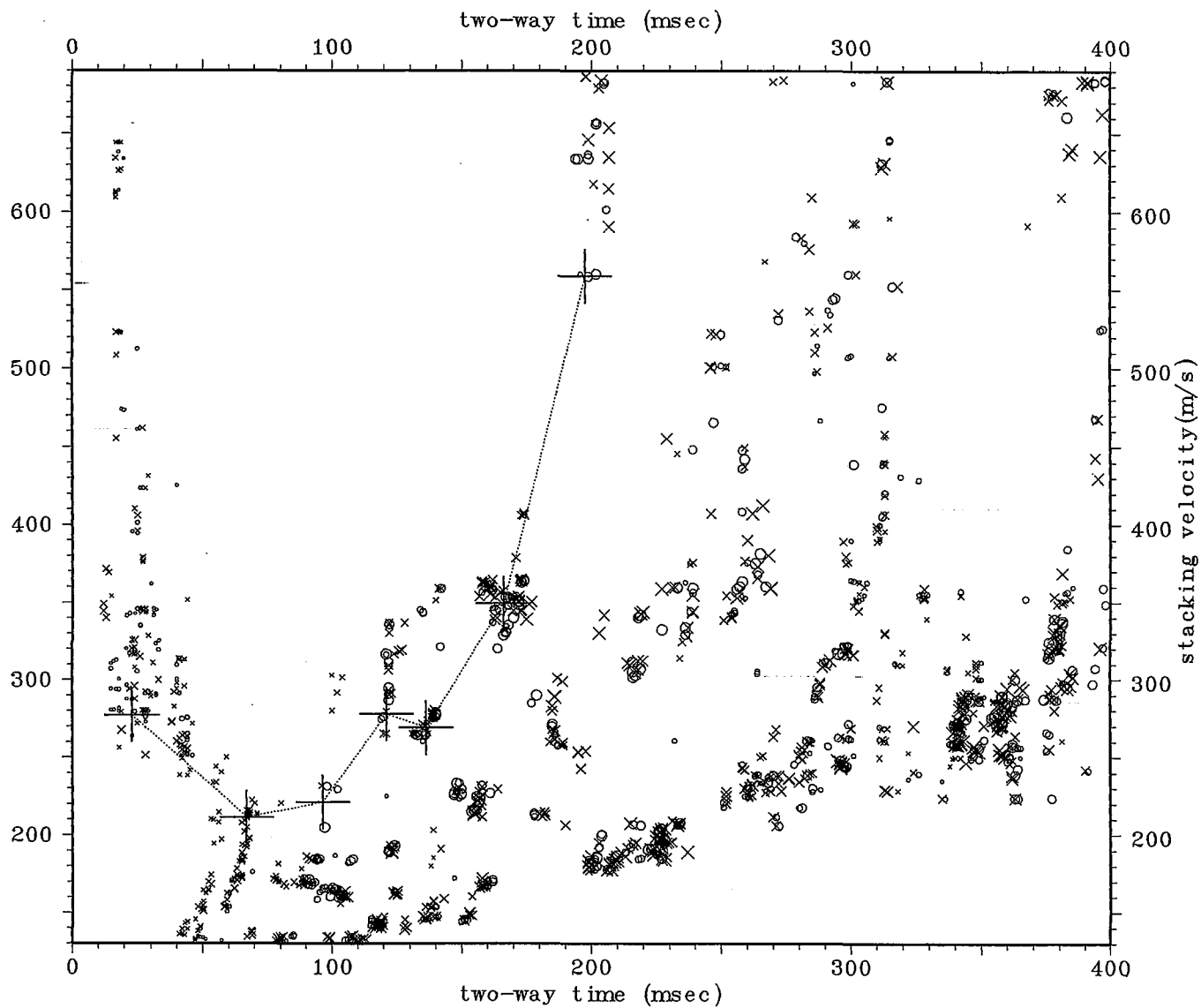


layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	39	234	234	4.5
2	67	222	204	7.4
3	91	257	337	11.4
4	114	251	221	14.0
5	135	261	312	17.3
6	169	304	435	24.7
7	182	363	797	29.9
8	199	461	1039	38.7

図 20 B測線 速度解析結果 (CMP No. 65 - 105)

CMP range = 65 - 105

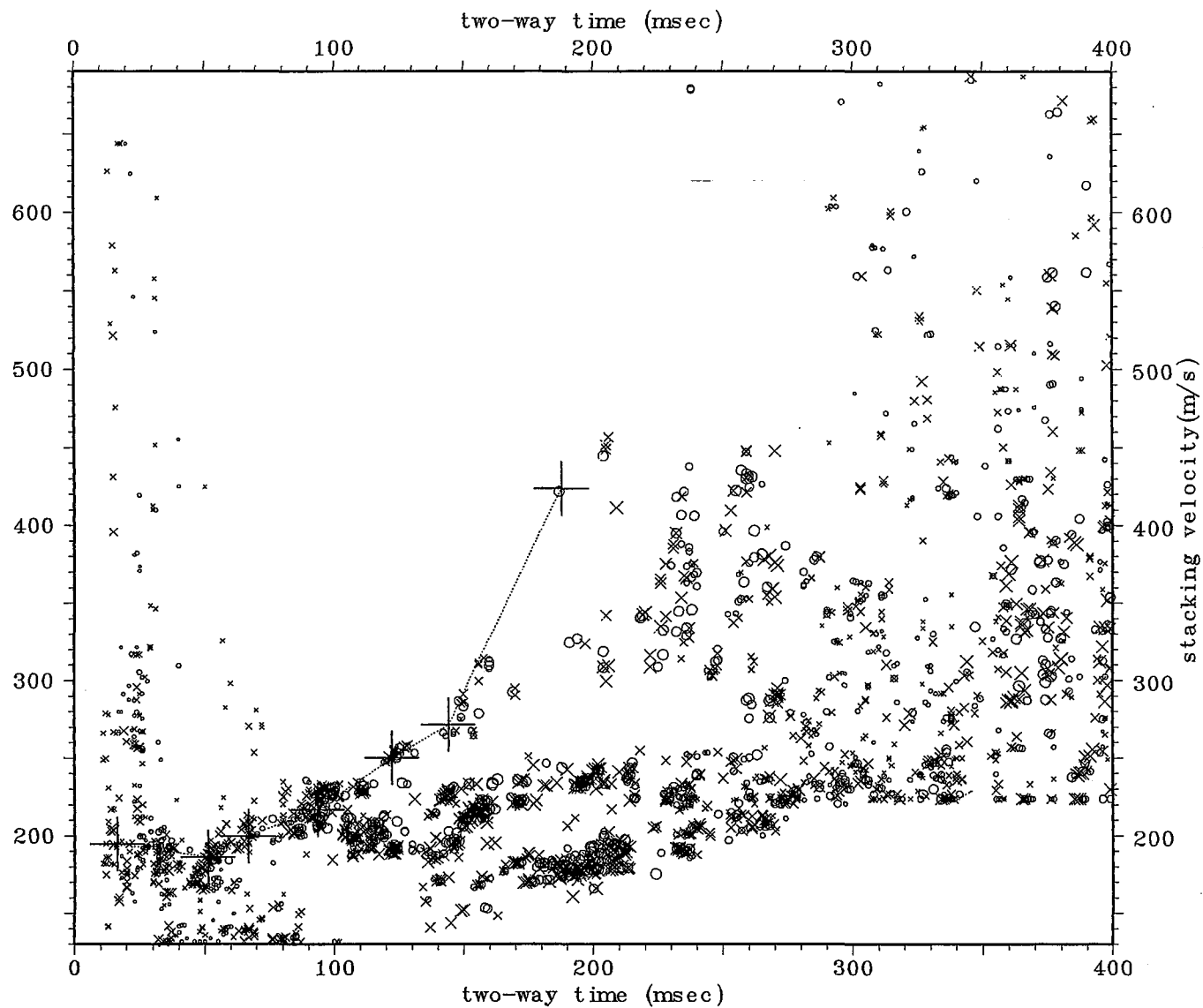
veitout file= veitdfa_out vel file= veit3_report 3.2.77



layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	23	277	277	3.2
2	67	211	167	6.8
3	96	221	242	10.4
4	121	278	433	15.8
5	136	269	186	17.2
6	166	349	591	26.0
7	198	559	1146	44.1

図 21 B測線 速度解析結果 (CMP No. 105 - 139)

CMP range = 105 - 139



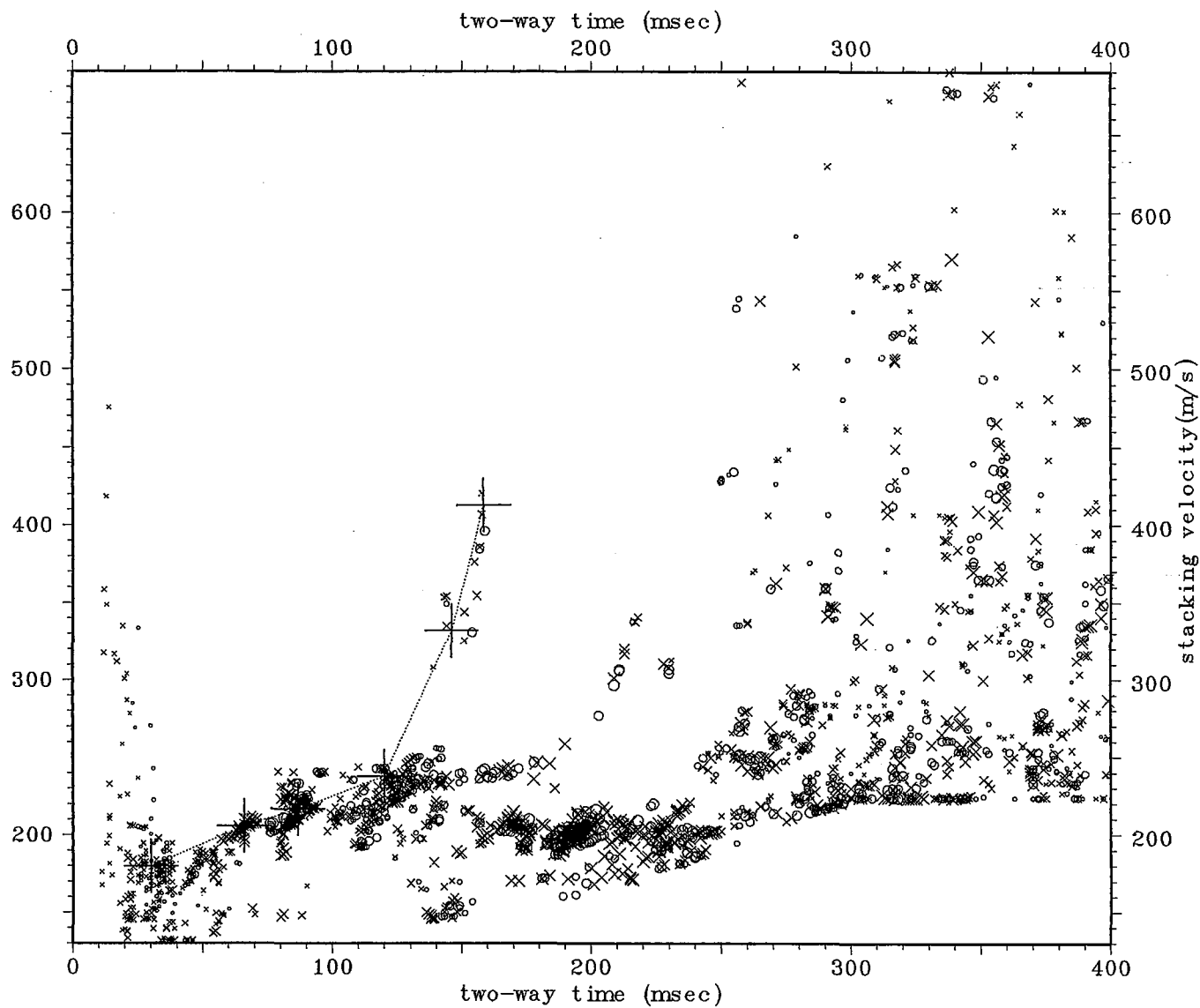
layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	16	195	195	1.6
2	51	186	182	4.8
3	67	200	239	6.6
4	93	217	255	10.0
5	122	250	336	14.9
6	144	272	368	18.9
7	188	424	727	34.8

図 22 B測線 速度解析結果 (CMP No. 139 - 197)

CMP range = 139 - 197

velout file= veltdfa_out vel file= vel3_report 3.2. #2
 1 U-4

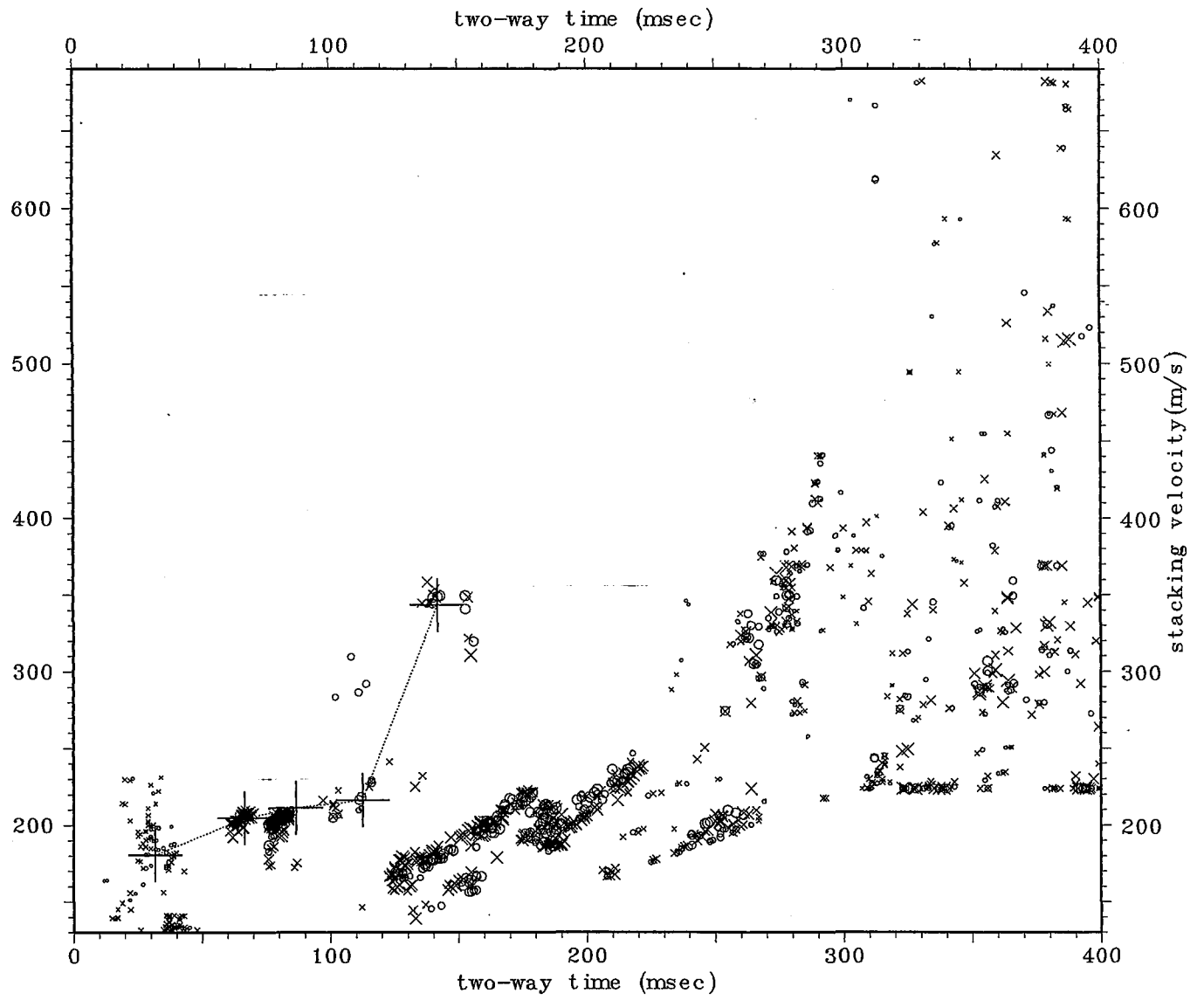
veltout file= velidfa_out vel file= vel13_report 10-5 3.3.1



layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	30	180	180	2.7
2	66	206	225	6.7
3	87	217	249	9.3
4	120	238	285	14.1
5	146	332	597	21.8
6	159	413	936	27.7

图 23 B測線 速度解析結果 (CMP No. 197 - 257)

CMP range 197 - 257



layer No.	two-way time (millisecond)	RMS velocity (meter/sec.)	interval vel. (meter/sec.)	layer depth (meter)
1	32	181	181	2.9
2	67	205	225	6.8
3	87	211	232	9.1
4	113	216	232	12.1
5	142	343	625	21.3

图 24 B測線 速度解析結果 (CMP No. 257 - 297)

CMP range = 257 - 297

velout file= velidfa_out vel file= vel13_report 3.2.00
 10-6

RAW 100% (1) 1-1-1 onno_a 3.2.20

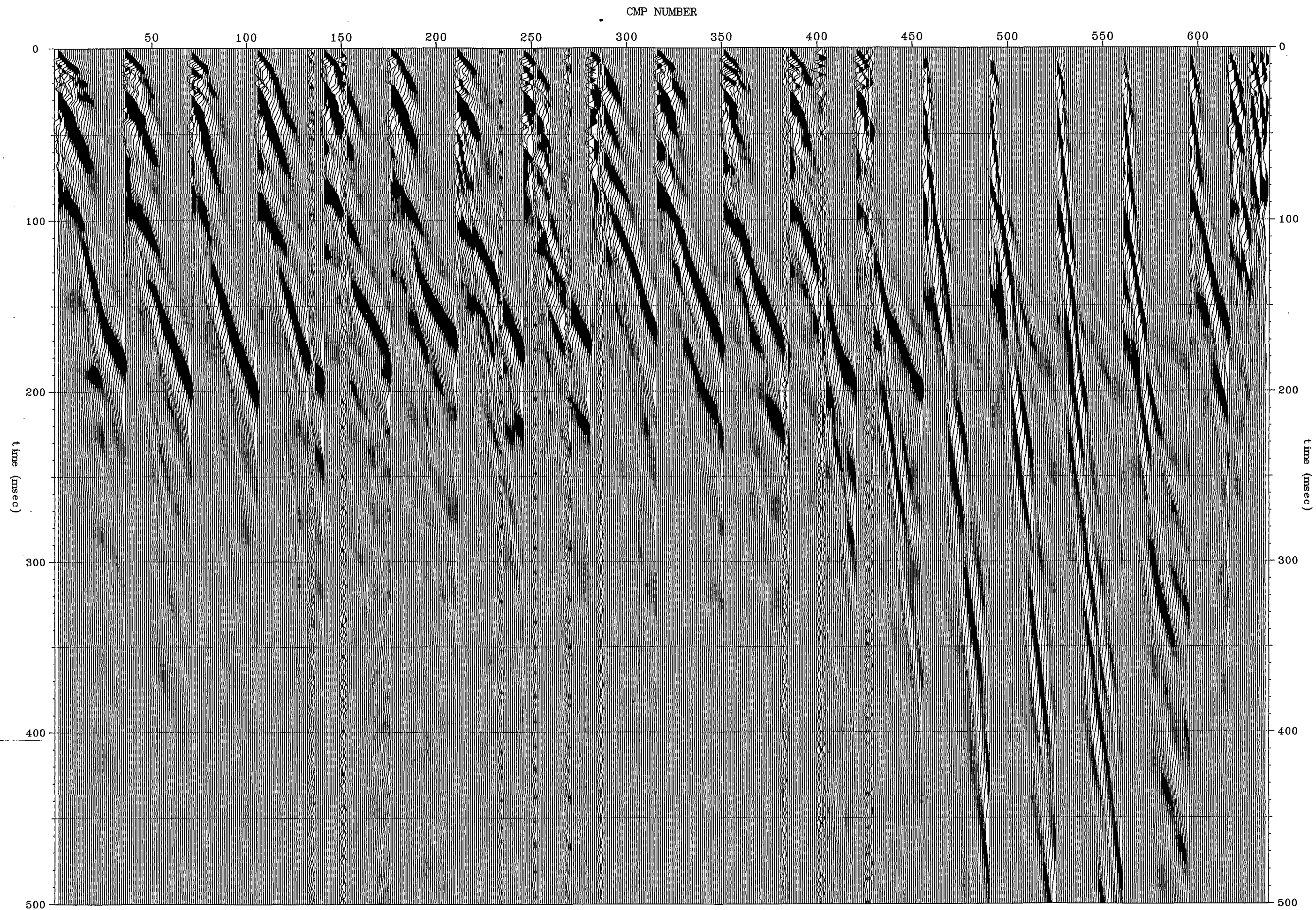


図 26 観測記録の100%断面図 (A測線)

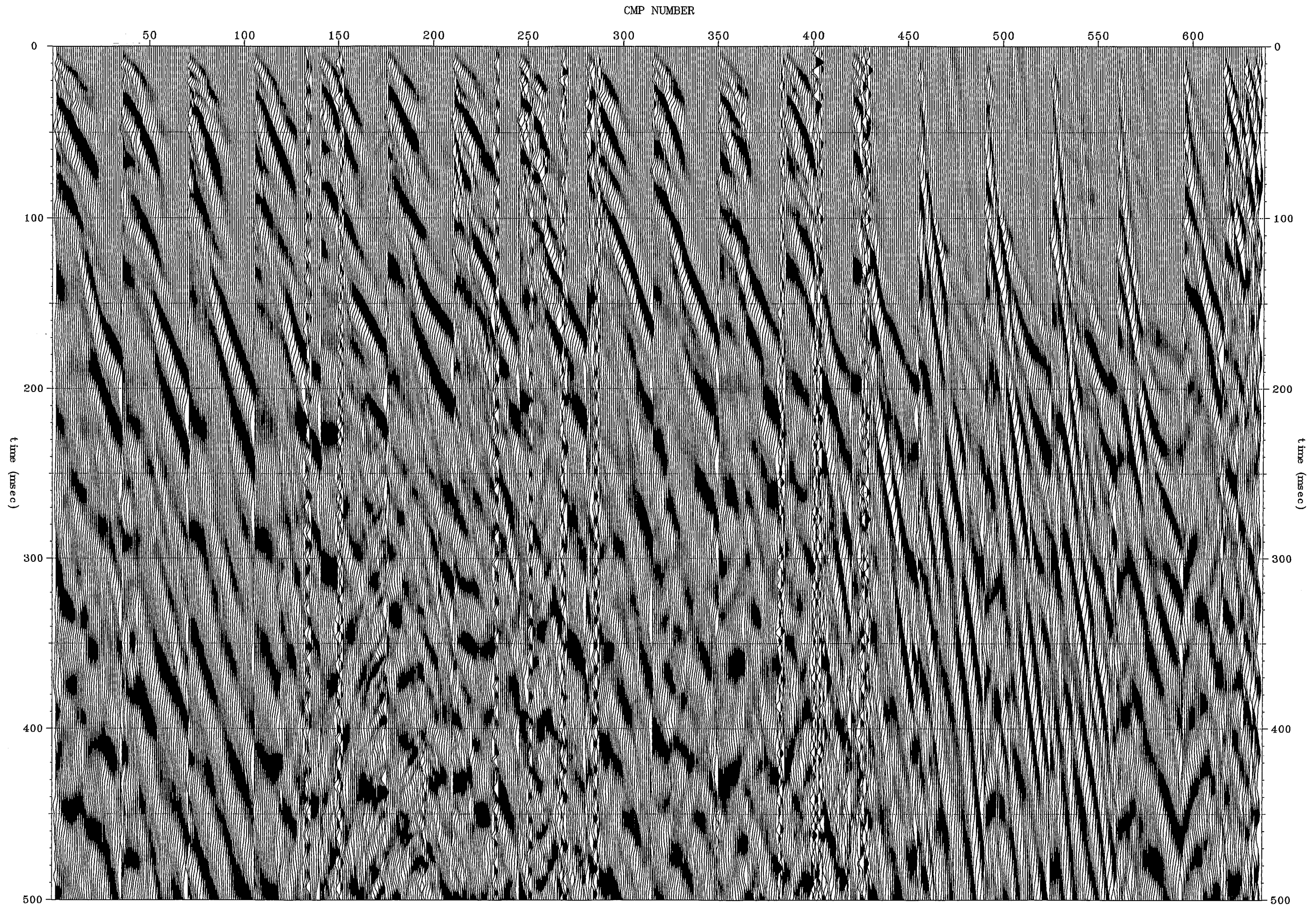


図 27 プレフィルタ、位相・振幅補償後の100%断面図 (A測線)

3-4-1
 ADJ&PHASE 100% (2) [X]- | - gho-a

DECUN 100% (4) 3-2-5
11-3 ono-a

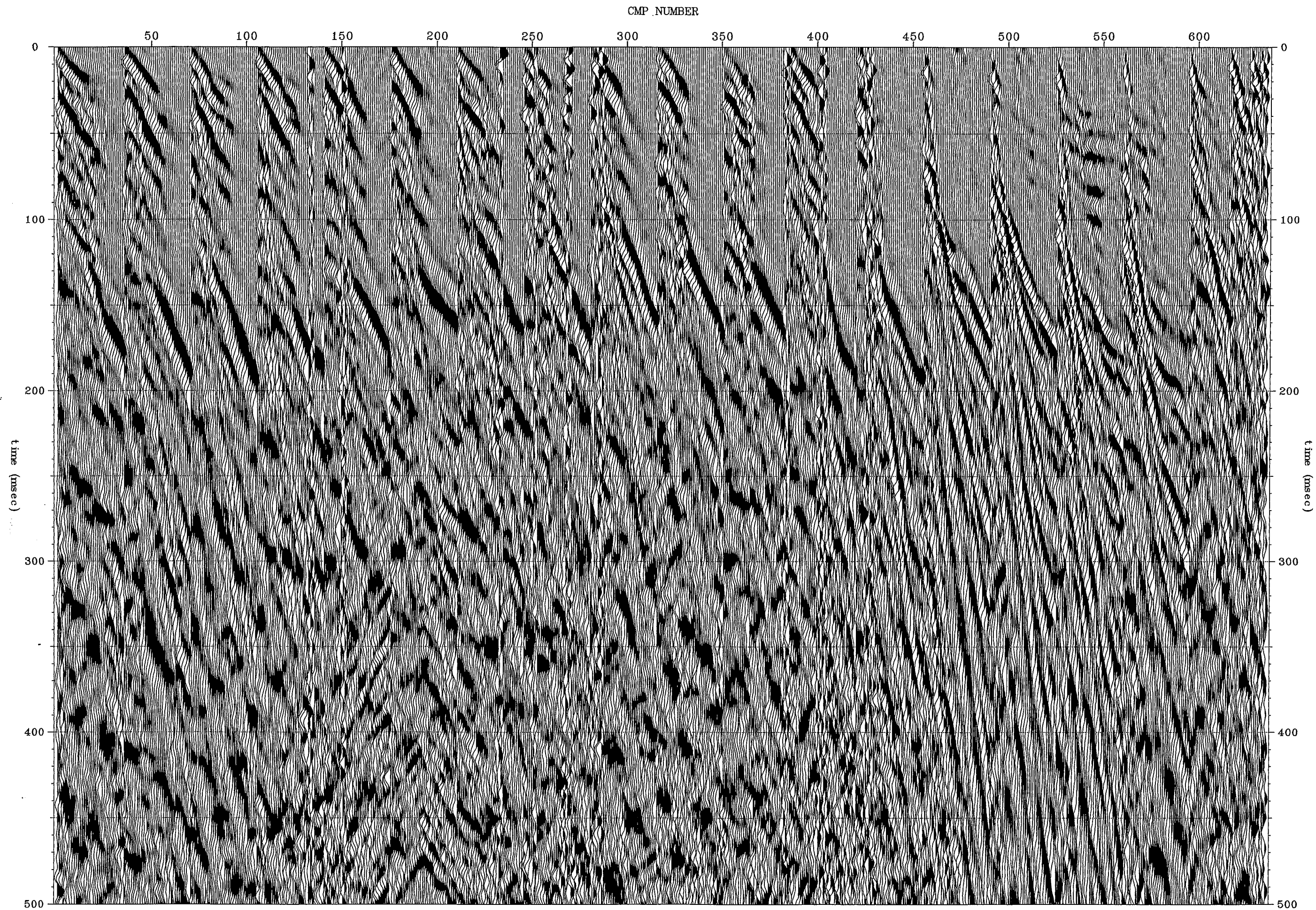


図 28 デコンボリューション後の100%断面図 (A測線)

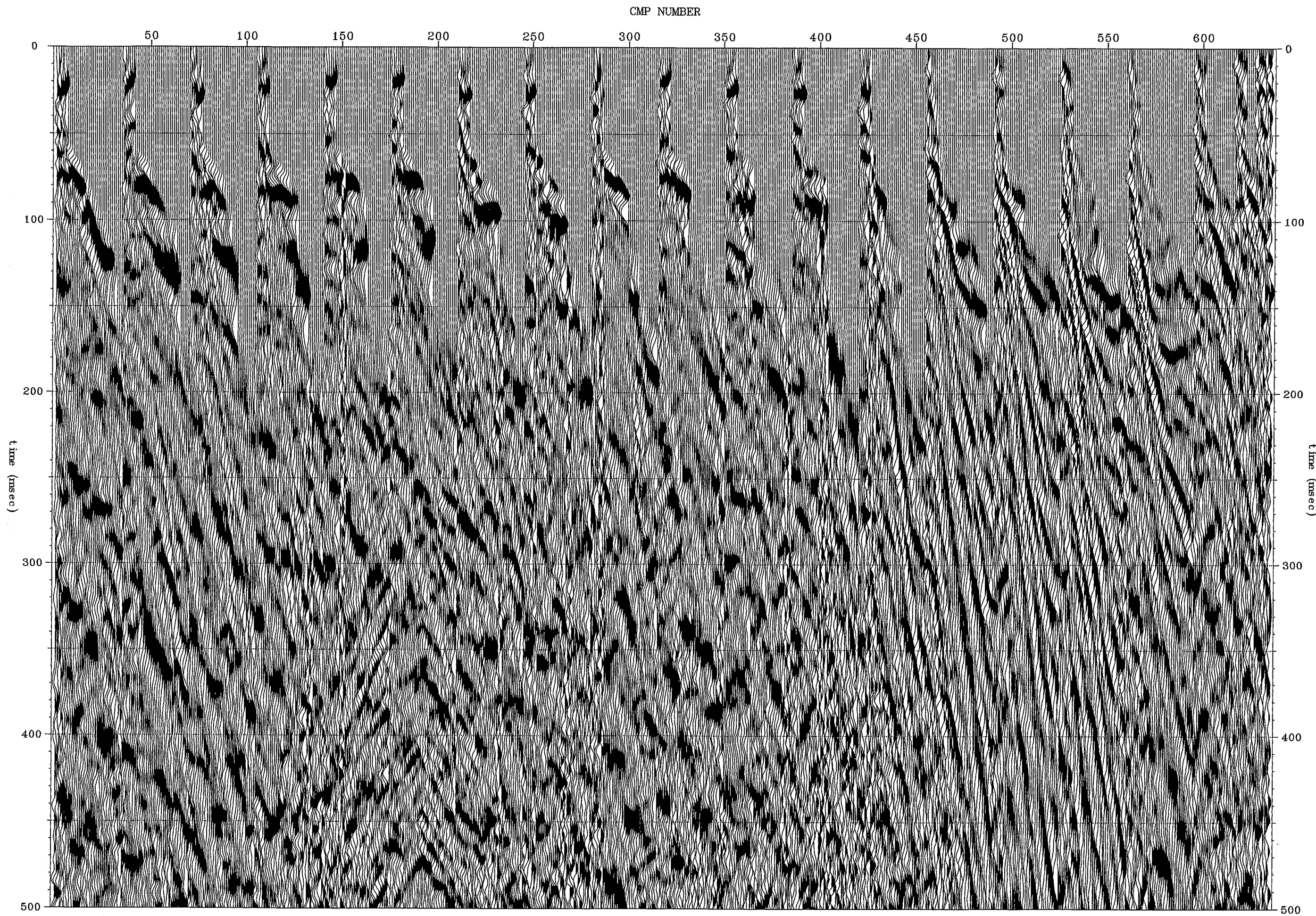


図 29 NMO 補正後の100%断面図 (A測線)

27
 1111-4 on0-a 3.2.28

RAW 100% (1) 5
12-12-1 onob 5.2.7

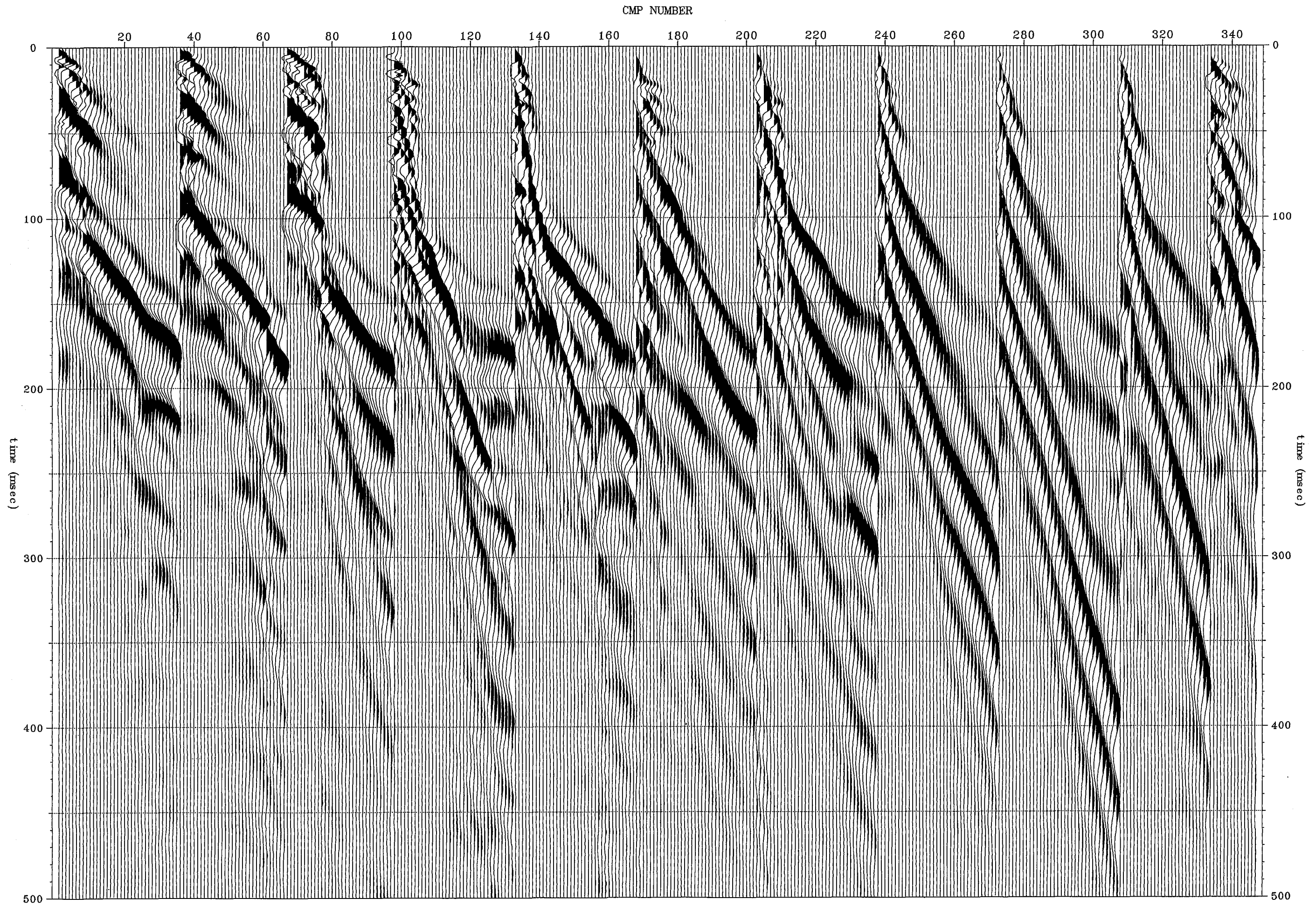


図 30 観測記録の100%断面図 (B測線)

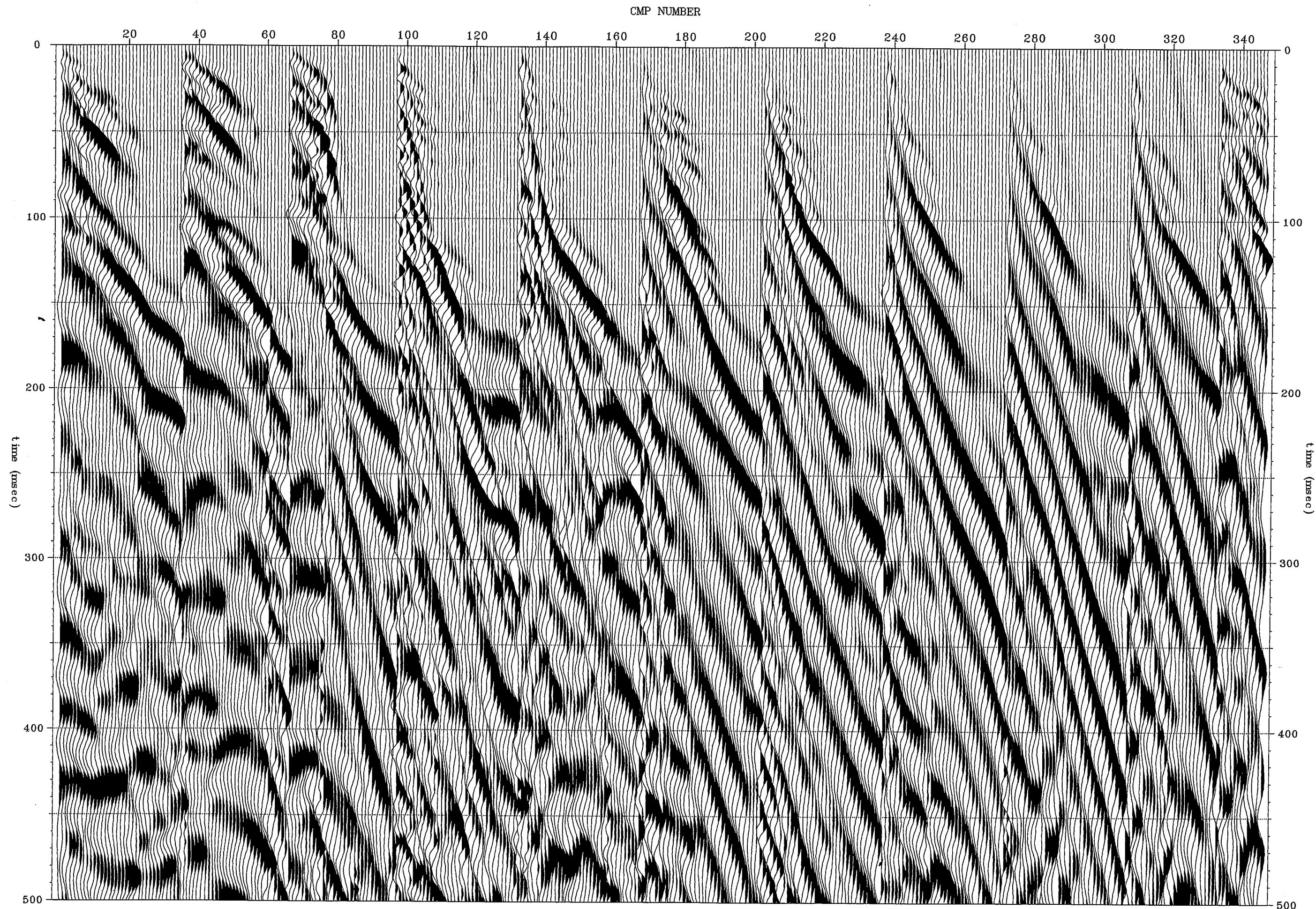


図 31 プレフィルタ、位相・振幅補償後の100%断面図 (B測線)

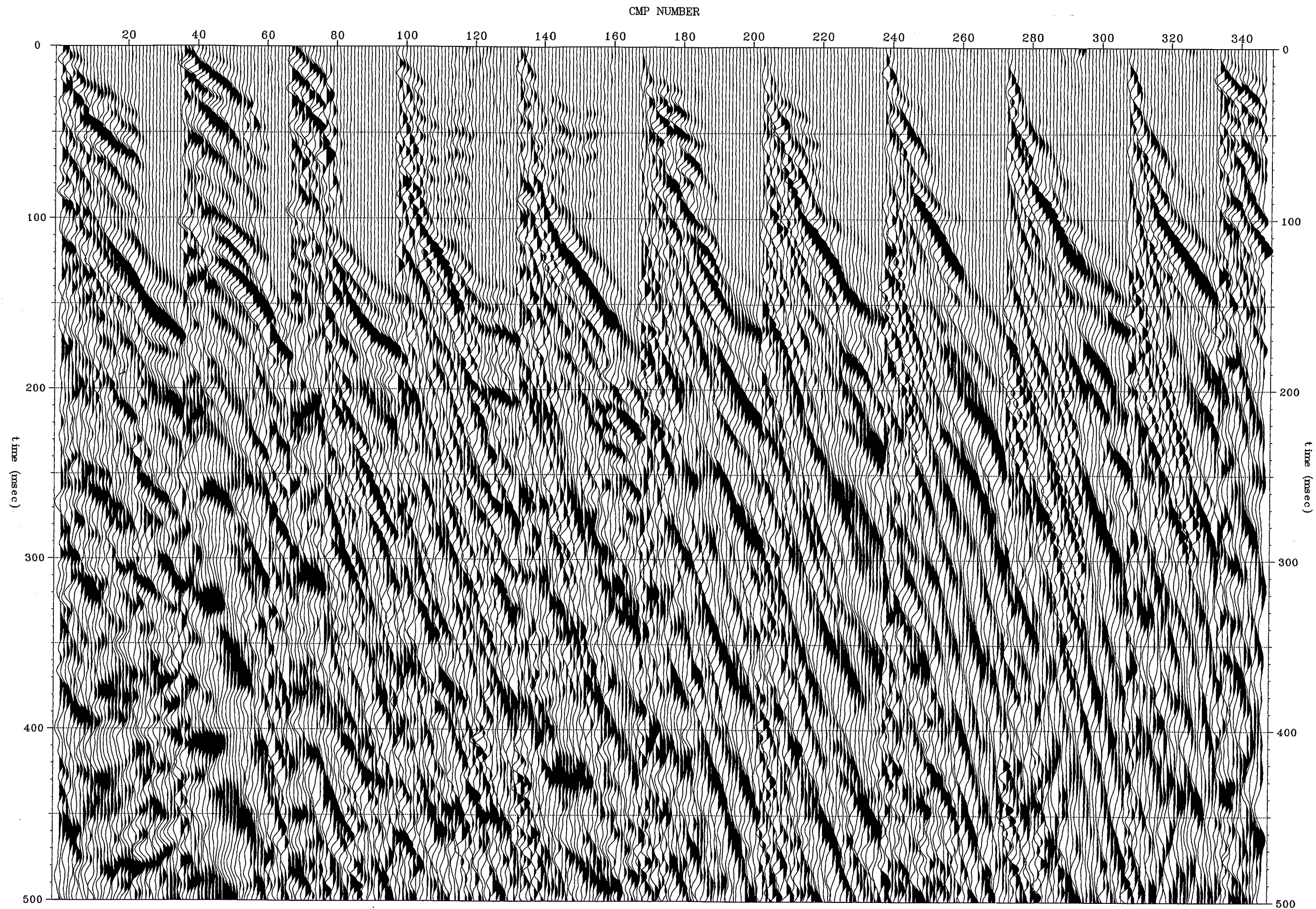


図 32 デコンボリューション後の100%断面図 (B測線)

3.2-17
 0100-0
 2-3
 1000 (4)

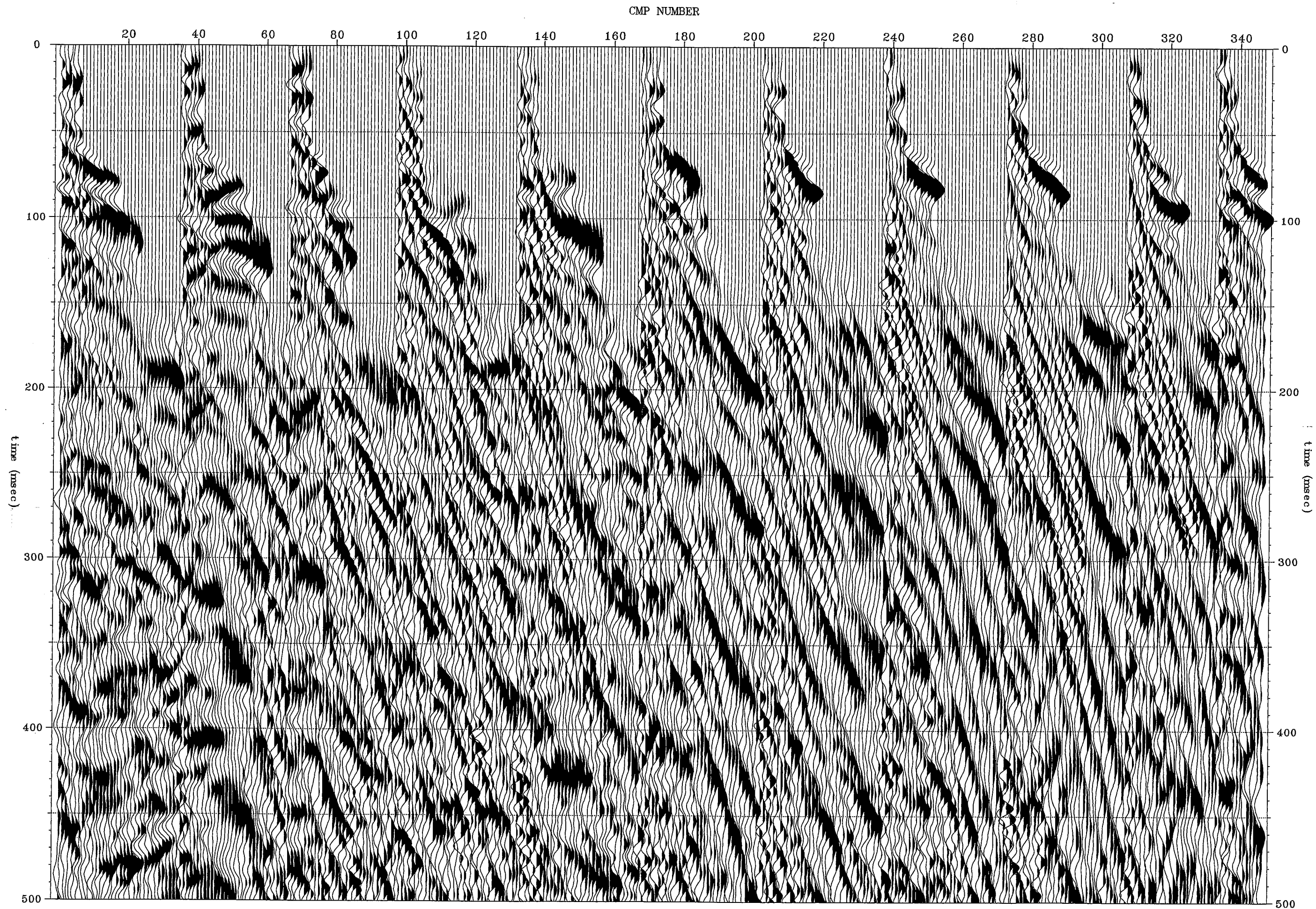


図 33 NMO 補正後の100%断面図 (B測線)

3-2-7
 010-0
 12-4
 60

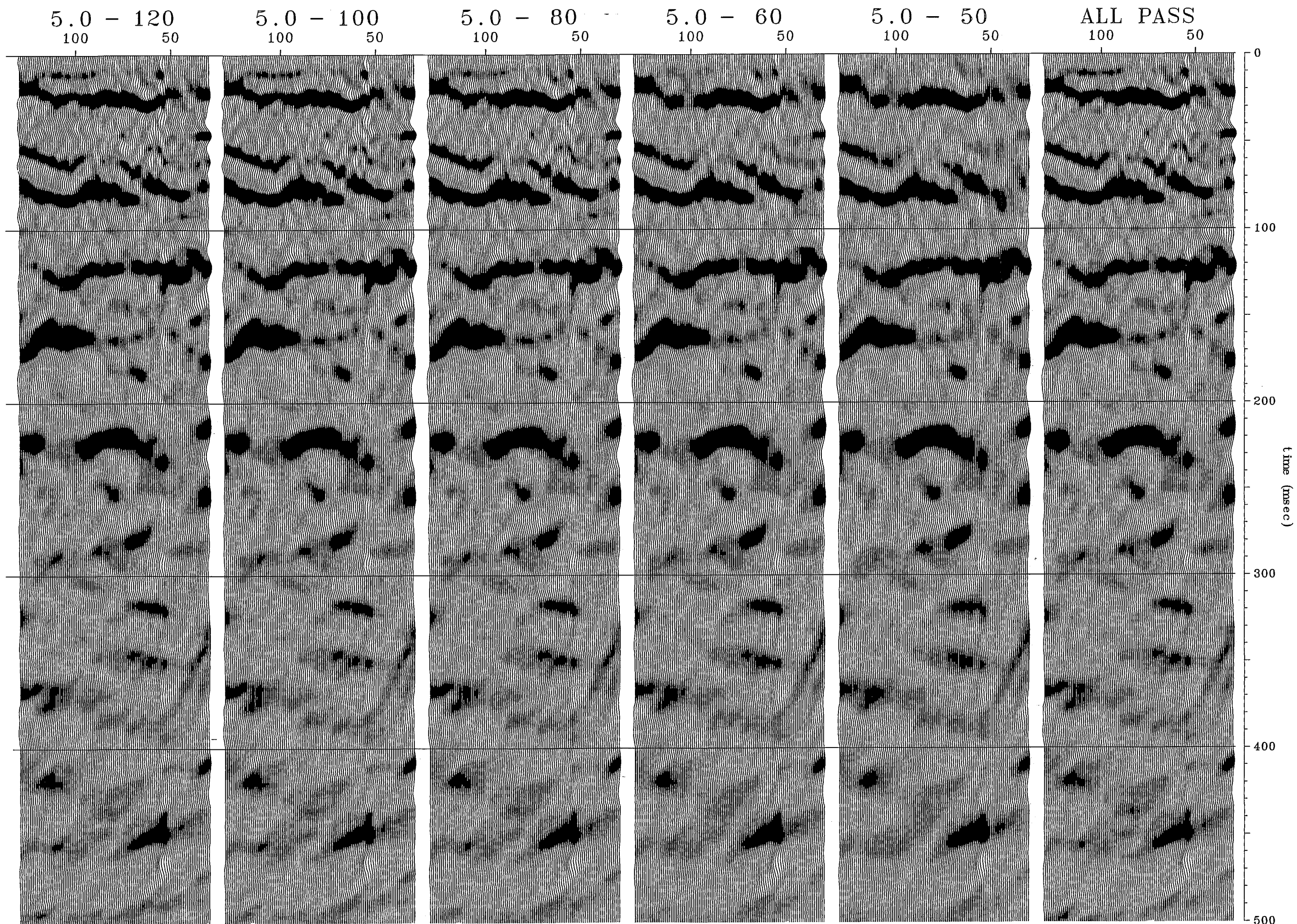


図 35 ハイカット・フィルタ-テスト (A測線)

3.2.37

図-14-2 3.2.7

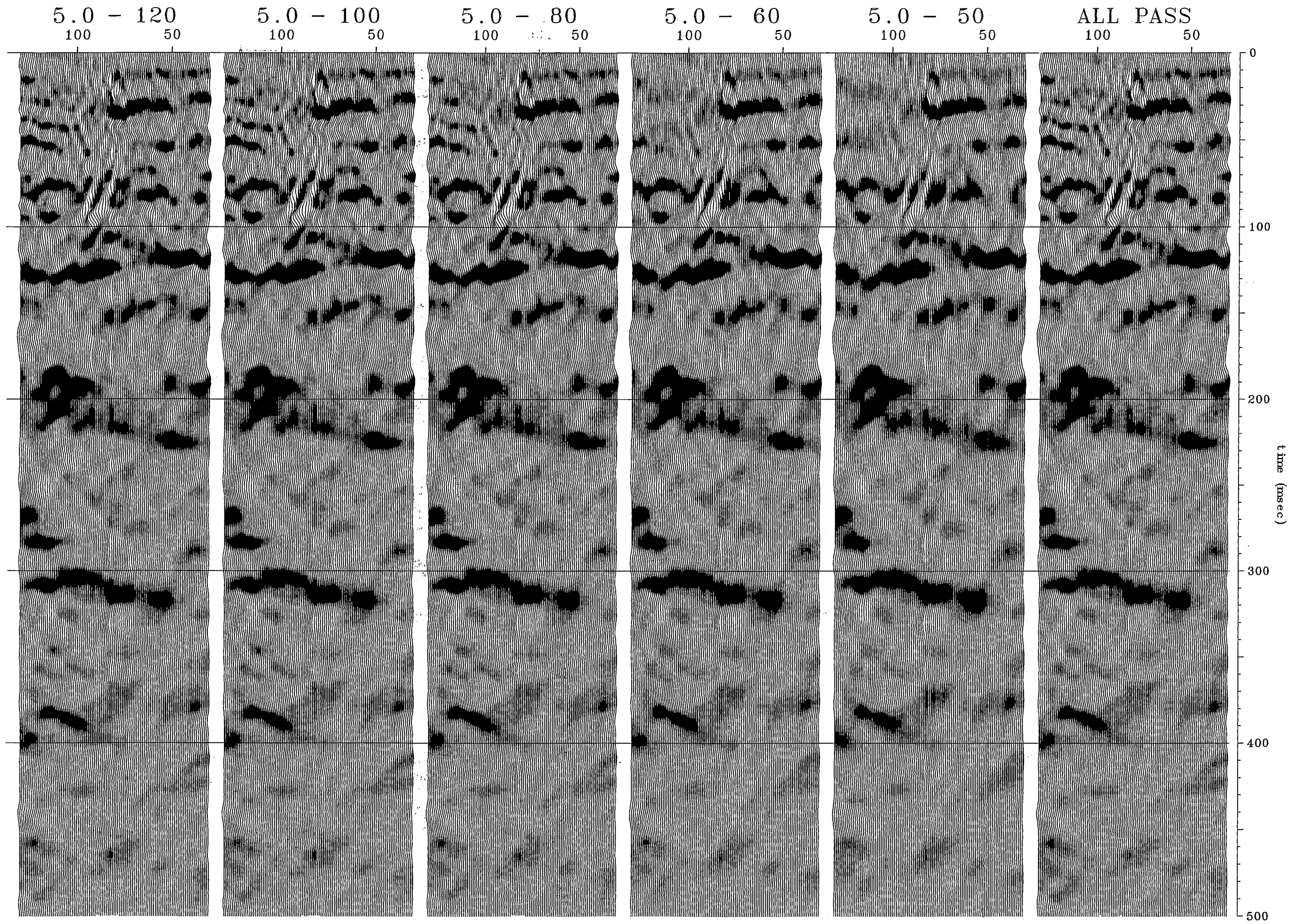


図 37 ハイカット・フィルタ-テスト (B測線)