

本書は 年 月 日付けて記録区分、  
変更する。

2002. 2. 28

【技術情報室】

## 活断層の調査手法に関する研究

— 反射法を用いた断層構造調査手法の検討 —

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1995年 3月

千葉大学理学部

本資料は、核燃料サイクル開発機構の開発業務を進めるために作成されたものです。したがって、その利用は限られた範囲としており、その取扱には十分な注意を払ってください。この資料の全部または一部を複写・複製・転載あるいは引用する場合、特別の許可を必要としますので、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。(注)

〒107 東京都港区赤坂1-9-13  
動力炉・核燃料開発事業団  
技術協力部 技術管理室



# 活断層の調査手法に関する研究

— 反射法を用いた断層構造調査手法の検討 —

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1995年 3 月

千葉大学理学部



## 活断層の調査手法に関する研究

—反射法を用いた断層構造調査手法の検討—

千葉大学理学部

### 要旨

本研究においては、断層の地下構造解明のための新システムが検討された。このシステムは基本的に小型インパクト-CJM-MINI65 (震源) と会話型ソフトウェアiXL (処理) より構成される。CJM-MINI65は、幅員1mのような狭く、30度という急傾斜の道でも操作できる。従来は、このような条件の下ではどんな震源も使用できなかった。また、iXLは普通のワークステーション上で走るにもかかわらず、大型計算機上で動く標準的な地震探査ソフトと同等の機能を有する。このシステムをテストするためのターゲットとして、土岐市から瑞浪市にかけて走る月吉断層を用いた。この月吉断層は白亜紀～古第三紀カコウ岩類とそれを覆う堆積層 (中期中新世瑞浪層群と鮮新世瀬戸層群) を変位させている。厚さ約100mの堆積層がある正馬様測線では、月吉断層が堆積層中の反射面を30m変位させているすばらしいプロファイルがこのシステムから得られた。このことは、このシステムが有効であることを証明している。一方、堆積層が厚さ約15m以下の若人の丘測線ではいいプロファイルは得られなかった。堆積層が薄いところではこのシステムは改良する必要がある。

本報告書は、千葉大学理学部が動力炉、核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：060D0255

事業団担当部課室および担当者：環境技術開発推進本部地層科学研究グループ 青木和弘



## Methodology for Researching Active Faults

### Effectiveness of the Seismic Reflection Technique for imaging subsurface structures of faults

Faculty of Science, Chiba University

#### Abstract

The new system of seismic reflection has been tested for imaging subsurface structures of faults. The system is composed basically of the Mini-impactor CJM-65 (source) and the interactive software iXL (processing). CJM-65 can be operated along narrow (1-m-wide) and steep (30 degrees) roads where any previous sources never work. Although the iXL works on an ordinary workstation, it has the same functions as standard seismic processing softwares which run on big machines. The target for testing the new system was the Tsukiyoshi fault which offsets the Cretaceous to Paleogene granitic rocks and the overlying sedimentary cover (the middle Miocene Mizunami and the Pliocene Seto groups) in Toki and Mizunami Cities, central Japan. Along the Shomasama Line where the thick (about 100-m-thick) sedimentary cover occurs, the new system produces an excellent profile indicating the Tsukiyoshi fault which dislocates reflectors in the sedimentary cover at about 30 m in a reverse sense. This demonstrates the effectiveness of the new system. However, along the Wakodo-no-oka Line where the thin (less than 15-m-thick) cover occurs, the system does not provide a nice profile. The system should be improved for the areas where a sedimentary cover is thin.

Work performed by Faculty of Science, Chiba University under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

PNC Liaison: Geoscience Research Program, Radioactive Waste Management Project Kazuhiro Aoki

目次

1.はじめに	1
2.地質概要	2
3.実験の方法	3
3.1 測線	
3.2 観測の方法	
3.3 観測システム	
4.解析	5
4.1 屈折波初動データを用いた屈折波解析	
4.2 反射法データ処理	
4.2.1 ジオメトリーの作成	
4.2.2 デコンボリューション	
4.2.3 速度解析	
4.2.4 マイグレーション	
4.2.5 深度変換	
5.考察	8
5.1 正馬様測線における地質断面の解釈	
5.1.1 反射法記録断面から読み取れた特徴的な反射面	
5.1.2 地質断面との対応の検討	
5.2 若人の丘測線における地質断面の解釈	
6.まとめ	11
7.謝辞	12
8.参考文献	12
9.図表（図表の目次については次ページに記載）	14

## 図表目次

FIG. 1	調査位置図 (測線図)	14
FIG. 2	反射法地震探査の概念図	15
FIG. 3	小型油圧インパクトのスペクトル (正馬様測線)	16
FIG. 4	共通中間点重合法 (CMP stacking method) の概要	17
FIG. 5	観測システムの概要	18
FIG. 6-1	ORIGINAL DATA (正馬様測線)	19
FIG. 6-2	ORIGINAL DATA (若人の丘測線)	20
FIG. 7-1	屈折波の読みとり例 (若人の丘測線)	21
FIG. 7-2	TIME-TERM法結果 (正馬様測線)	22
FIG. 7-3	TIME-TERM法結果 (若人の丘測線)	23
FIG. 8	地震データ解析ソフト iXL の処理画面	24
FIG. 9	フローチャート	25
FIG. 10-1	GAIN RECOVERY (正馬様測線)	26
FIG. 10-2	GAIN RECOVERY (若人の丘測線)	27
FIG. 11-1	BANDPASS FILTER APPLIED (正馬様測線)	28
FIG. 11-2	BANDPASS FILTER APPLIED (若人の丘測線)	29
FIG. 12-1	DECONVOLUTION FILTER APPLIED (正馬様測線)	30
FIG. 12-2	DECONVOLUTION FILTER APPLIED (若人の丘測線)	31
FIG. 13-1	CVS速度解析法の原理	32
FIG. 13-2	VELOCITY ANALYSIS 読みとり例 (正馬様測線)	33
FIG. 13-3	VELOCITY ANALYSIS 読みとり例 (若人の丘測線)	34
FIG. 13-4	RMS速度と区間速度の関係	35
FIG. 14-1	NMO CORRECTION (正馬様測線)	36
FIG. 14-2	NMO CORRECTION (若人の丘測線)	37
FIG. 15-1	STACK SECTION (正馬様測線)	38
FIG. 15-2	STACK SECTION (若人の丘測線)	39
FIG. 16-1	MIGRATED TIME SECTION (正馬様測線)	40
FIG. 16-2	MIGRATED TIME SECTION (若人の丘測線)	41
FIG. 17-1	DEPTH SECTION (正馬様測線)	42
FIG. 17-2	DEPTH SECTION (若人の丘測線)	43
FIG. 18-1	DEPTH SECTION REPOLARITY PLOT (正馬様測線)	44
FIG. 18-2	DEPTH SECTION REPOLARITY PLOT (若人の丘測線)	45
FIG. 19-1	DEPTH SECTION 標高補正後 (正馬様測線)	46
FIG. 19-2	DEPTH SECTION 標高補正後 (若人の丘測線)	47
FIG. 20-1	解釈図 (正馬様測線)	48
FIG. 20-2	解釈図 (若人の丘測線)	49
FIG. 21	深度断面とボーリングデータとの対比 (正馬様測線)	50
表1	測定時のパラメータ	51
表2	速度解析の結果 (正馬様測線)	52
表3	速度解析の結果 (若人の丘測線)	53

## 1. はじめに

石油、天然ガスなどの地下資源探査において大きく発展してきた反射法地震探査は、最近では、他の物理探査技術と比べて構造分解能が高いとして、様々な分野から注目されている。特に地質学の分野からでは従来の地質学的手法では得ることが難しかった、地下構造を提供する手段としての可能性が急速に高まりつつある（伊藤 1993）。

反射法地震探査に使われる発震源は、爆薬震源と非爆薬震源があるが、爆薬は開発の進んだ地域では使えない。非爆薬震源としてはバイブロサイス、陸上エアガン（米国ボルト社開発）、油圧インパクト（地球科学総合研究所開発）等があるが、不整地や狭い道路（1.8 m未満）であっても使用できる震源で、活断層の存在するような地形的に複雑な、浅層を対象とするための精度と効率をもつ震源はなかった。

一方、今回の調査地域である岐阜県土岐市・瑞浪市の北方を走る月吉断層周辺については、すでに反射法探査が行われている（加野 他 1986）が、その処理結果は必ずしも十分ではなかった。昨年度（1993年度）、加野 他（1986）のデータを最新の対話型処理ソフト i X L（MIT社製）によって再処理したところ、かなりの改善が見られた。しかし、処理の過程において、①測定のデータがない。②震源のエネルギーが十分でない。などの問題を抱えていた。

上記のような困難をクリアした地球科学総合研究所、三菱重工業と千葉大学が共同で新たに開発した小型油圧インパクトに、48チャンネルの記録器、最新の処理ソフト i X Lと測定の成果を用いて、月吉断層及びその周辺の数百メートルまでの地下断面を効率よく高い分解能で再調査し、得られたデータを豊富なボーリングのデータ（動燃事業団内部資料）と比較することによって断層の形態をより明確にし、周辺地質の解明を試みることによって断層を対象とした反射法地震探査の有効性を検討する。

尚、この探査は、動力炉・核燃料開発事業団からの受託研究により、1994年11月6日～18日に実施され、その後、解析作業が行われた。



## 2. 地質概要

本調査地域の地質は、ボーリングデータ（動燃事業団内部資料）、山本 他（1974）などによると、以下のようなになる。

本地域は中生代～古第三紀に貫入したと考えられる花崗岩を基盤とし、これを不整合に中新世の瑞浪層群、鮮新世の瀬戸層群が覆っている。

基盤である花崗岩は土岐花崗岩と呼ばれ、岩相変化が著しく粗～中粒黒雲母花崗岩、斑状黒雲母花崗岩、中粒角閃石黒雲母花崗岩などから構成されているが、一般に基盤上面は著しい粘土化作用を受け、脆弱化している。

堆積岩である瑞浪層群は、主に火山砕屑物と花崗岩起源の砕屑物から構成されていて、岩相が側方へ大きく変化するのが特徴である。下位より土岐夾炭累層（礫岩・アルコーズ・凝灰質砂岩・炭質凝灰岩・凝灰岩）、明世累層（凝灰質砂岩・凝灰岩）、生俵累層（礫岩・凝灰質シルト層）に区分される。また、この区域の中新世の堆積物は、基盤の花崗岩類の凹所を埋めて分布しているが、花崗岩類が盛り上がってかなり広く現出し、かつ第四紀層が広範に覆っているために分散して露出する。

瀬戸層群は、下位の瑞浪層群や花崗岩とは、不整合の関係を示しており、瑞浪層群が固結した後に調査地域を覆った堆積岩である。細～大礫からなる円礫岩を主体とし、その基質は凝灰質ないしはアルコーズ質である。調査地域内には、垂直落差が30m北落ちの東西方向にのびる月吉断層がある。

### 3. 実験の方法

#### 3. 1 測線

平成6年11月6日から、11月18日の13日間に、岐阜県土岐市・瑞浪市にまたがる月吉ウラン鉱床地域の正馬様測線、若人の丘測線の2つの測線 (Fig. 1) について測定作業を行った。この2つの測線の決定にあたっては、

- ①月吉断層を横切ること
- ②地形の傾斜が比較的緩やかであること
- ③測線が比較的直線状であること
- ④地質調査所が探査を行った測線であること (正馬様測線)
- ⑤花崗岩中において、断層面からの反射波がとらえられるような測線であること (若人の丘測線)

などを考慮した。

#### 3. 2 観測の方法

正馬様測線、若人の丘測線それぞれの測定時のパラメータを表1に示す。展開方式はインラインオフセット方式とした。対象とする深度は0~200mとして、そのために最小オフセット距離を0mとした。また、以前の調査時より高分解能を目指すため、発震点間隔と受振点間隔は、加野(1986)の5mより1m縮め4mとした。震源は小型油圧インパクトを用いた。受振点では1受振点あたり9個の受振器を用いた。受振器の設置については表面波を除去するため、4mの間にほぼ等間隔で直線状に設置した。地震計がさせないアスファルトの道路上などについては、9個まとめて設置するバンチング法を用いた。杭打ちや測量作業については、測定作業とほぼ平行して行われた。

### 3. 3 観測システム（地震探査の概要については F i g . 2 を参照）

#### ①震源 小型油圧インパクト（C J M - M I N I 6 5）

この震源は、加速重錘落下方式の震源で、これまでに開発された油圧インパクト J M I - 200, 400 型（地球科学総合研究所開発）を基本設計として、6 5 K g のピストンを高圧圧縮した N<sub>2</sub> ガスで加速して落下させ、車体重をかけて圧着されたベースプレートを打撃して地震波を地下に送りこむものである。繰り返し発震能力については、1 0 秒に 1 回の発震能力を確認している。これは、解釈に必要な量のデータを効率的に得ようとする活断層調査において重要である。

また、不整地や狭路でも発震できるよう車幅は 1 m であり、走行装置はキャタピラー方式となっている。

浅層における反射法地震探査では、いかに効率よく高周波までを含んだ波を捕えるかが鍵となるが、その震源においてもなるべく高周波数までを含む地震波を地下に送りこむ必要がある。小型油圧インパクト（C J M - M I N I 6 5 型）のパワースペクトルを F i g . 3 に示す。図のように、油圧インパクトによって生み出される地震波には、高周波数（数 1 0 0 H z）まで含まれていて、今回の実験には問題がないものとして利用した。

#### ②地震探鉱器（D A S - 1 : O Y O - G E O S P A C E 社（U. S. A.）製）

今回使用する探鉱機のチャンネル数は 4 8 チャンネルで、CMP 重合法（F i g . 4）による重合数は 2 4 となり、地質調査所が使用した探鉱機の重合数の 2 倍となっている。最大オフセットを増加させ、より深部の構造まで把握するためである。

#### ③受振器（M c s e i s I I I : O Y O - G E O S P A C E 社（U. S. A.）製）

当初、地質調査所とおなじく 4 0 H z の受振器を用いることを検討したが、さらに深いところを狙うことを考えて 2 8 H z にした。

正馬様、若人の丘測線における地震計の配列については、F i g . 5 に記載されている。

## 4. 解析

### 4. 1 屈折波初動データを用いた屈折波解析

現場で観測されたオリジナルデータ (Fig. 6-1, 2) から、屈折波の初動走時を用いて、極浅層を対象とした速度構造を明らかにすることは反射法の苦手としている表層の速度構造をカバーすることが出来、地下構造の把握に大きく役立つ。

読取りの方法は、各発震点毎の記録の内1~48チャンネル分をひとつひとつ読み取った。読取りには、解析ソフト iXL にバンドリングされているの自動走時読み取りシステムを用いたが、正確に初動が読み取れていない部分については肉眼で走時を読んだ。読み取り例を Fig. 7-1 に示す。

解析は、基底層の速度変化を考慮した改良タイムターム法 (市川 他 1987) によって行った。Fig. 7-2, 3 に正馬様測線及び、若人の丘測線の第二層の速度分布、及び表層構造を示す。

### 4. 2 反射法データ処理

正馬様、若人の丘測線ともフィールドにおいて取得された地震のデータは、すべてコンピュータを用いたデータ処理が行われ最終断面が得られる。

両測線とも、千葉大学のワークステーションを利用し、対話型地震探査データ解析ソフト iXL (米国MIT社製) によって処理を行った。処理の画面の例を Fig. 8 に、フローチャートを Fig. 9 に示す。その処理の流れにおいて、特に浅層を対象とするためのデータ処理の内容について述べる。

#### 4. 2. 1 ジオメトリの作成 (GEOMETRY DEFINITION)

フィールドデータ (起震点・受振点の測量データ、使用チャンネル数、サンプリングレート、レコード長など) を入力し、測線の曲がりに対応するジオメトリを決定した。

#### 4. 2. 2 デコンボリューション (DECONVOLUTION)

仮に震源から鋭いパルス波形が発震されたとしても地層中を進むうちに段々に波形が崩れ、受振器に到着したときには長く引き伸ばされた波形に変わっているのが普通である。地層の吸収効果が大きいか、重複反射の発生が顕著なほど波形の伸びが大きい。このような間伸びした記録は分解能を落とすので、本来のパルスのな波に戻して分解能を上げる機能を有するのがデコンボリューションフィルターである。デコンボリューションフィルターのパラメータを以下に示す。

	正馬様測線	若人の丘測線
オペレータ長	150 msec	100 msec
ゲート長	1000 msec	1000 msec
プレディクション距離	1 msec	1 msec
ホワイトノイズファクター	2%	2%
ゲートスライディング速度	2089 m/sec	3133 m/sec

処理後のデータを Fig. 12-1, 2 に示す。

#### 4. 2. 3 速度解析 (VELOCITY ANALYSIS)

この調査地における岩相の側方変化が大きいことを考慮して、数多くのCMP間における速度解析を実施した。そのため、正馬様測線で10地点、若人の丘測線で8地点において定速度重合法を行った。その原理を Fig. 13-1、結果を Fig. 13-2, 3 に示す。

全ての速度解析の結果は、表 2, 3 に示す。ここで求めた速度は一種の平均速度 (RMS VELOCITY) であり、実際の地層中を伝わる速度を表してはいない。そこで、以下の式によって区間速度を求めた。

$$V(n) = \sqrt{(T_0(n)V_R(n)^2 - T_0(n-1)V_R(n-1)) / (T_0(n) - T_0(n-1))}$$

V : INTERVAL VELOCITY

V<sub>R</sub> : RMS VELOCITY

この結果と、さきに述べた屈折波速度解析によって求められた表層速度構造をもとに全体の速度構造を決定した。結果としてRMS VELOCITYと区間速度の関係をFig 13-4に示す。正馬様、若人の丘の測線において、往復走時0.2秒を越える速度構造が得にくかったため、以前にこの地域において行われた平沢(1969)の屈折法のデータを参考にした

#### 4. 2. 4 マイグレーション (MIGRATION)

地表で観測された反射記録は地下構造が水平層でない限り、地下構造の誤差を含んでいる。この誤差を取りのぞき、真の地下構造に戻す処理をマイグレーションという。今回の調査地域では、タイムターム法によって得られた地下構造が水平層でなく複雑であったため、周波数-波数領域でマイグレーションを行った。マイグレーション処理後の時間断面をFig 16-1, 2に示す。

#### 4. 2. 5 深度変換 (DEPTH CONVERSION)

速度解析より決まった速度を用いて、時間軸から深度軸に変換を行った。最終断面としては、正や負に振れた反射波の情報を逃さないためにポラリティーを逆にしてプロットしたのもも参考までに用意した。

深度変換後の断面と、標高補正した結果をFig. 18, 19に示す。

## 5. 考察

### 5. 1 正馬様測線における地質断面の解釈

地質断面の解釈にあたっては、ボーリングデータ（動力炉・核燃料開発事業団内部資料）や地表踏査により得られた地質データを活用しながら行った。（Fig. 20-1）

本地域には、地質概要の項でも述べたように、下位より基盤岩類（花崗岩）の上に土岐夾炭累層、明世累層、生俵累層が堆積している。これらは、プロフィール上のイメージにも現れている。

#### 5. 1. 1 反射法記録断面から読み取れた特徴的な反射面

(1) Aの面はCMP 10～50付近で連続し、CMP 50以降はみられなくなり、次に見られるのは、CMP170以降である。

(2) Bの面はCMP 50～80でとぎれるものの、強い反射面が非常によく連続している。

(3) Cの面はCMP 90までは不明瞭であるが、以降は連続している。Bに比べると若干反射面が凸凹している。

(4) Dの面はB、Cに比べると、反射面は多少不明瞭でないが、このプロフィールから読み取れる最下層の連続性のある反射面である。

(5) Eの面は多少連続性が良くないが、強い反射面である。

(6) Fの面はCMP280以降反射面が、乱れていてはつきりしないが、連続していると考えられる。

(7) Gの面はCMP250付近で反射面が途切れるものの、Bのような強い反射面である。

(8) Hの面はやや不明瞭であるが連続していると考えられる。

(9) Iの面は弱く、連続性もやや乱れている反射面であるが、この付近で読み取れる最下層の反射面である。

#### 5. 1. 2 地質断面との対応の検討（Fig. 21）

(1) Aの反射面は、土岐夾炭累層と明世累層の境界部をなす基底礫層と対応する。途中

で反射面が切れているのは、CMP160付近のボーリングのデータと比較検討すると明世累層の厚さが急速に減少して、すぐ下位の土岐夾炭累層が地表近くにあらわれていることからわかる。これはこの地域の地質図ともよく対応する。

(2) Bの反射面は土岐夾炭累層中の礫層に対応している。しかし、CMP44, 83, 162などのボーリングのデータからは、その付近の深度に礫混じりの層が卓越しており、一体礫層のどの部分で反射しているのかという解釈は困難である。

(3) Cの反射面はボーリングデータによる土岐夾炭累層の下部の花崗岩との基底の礫岩の上面と、よく対応している。反射面の凸凹は基底の礫岩層が凸凹であることを表現していると考えられる。

(4) Dの反射面は花崗岩の上面とよく対応している。花崗岩の上面は風化の度合いによる弾性波速度の違いによって反射の強弱、またはポラリティーに影響を及ぼしていると考えられる。したがって、プロフィールから読み取れる最下層の乱れた反射面は、花崗岩の上面と解釈した。

(5) Eの反射面は生俵累層と明世累層との境界部をなす基底礫層に対応している。生俵累層は固結度が低いということから明世累層との間に速度のコントラストが存在する。よって強い反射面になると考えた。

(6) Fの反射面は明世累層と土岐夾炭累層の境界部に対応している。反射面が弱いのは境界部の基底礫がAの反射面のように存在しないためと考えられる。

(7) Gの反射面は土岐夾炭累層中の礫層に対応している。連続が途切れたり、弱くなっているところはボーリングのデータ (CMP 54, 162, 173, 210, 230) によると、夾炭層に対応している。土岐夾炭累層中の礫層による反射面の連続が途切れたり、弱くなっていたり、もしくはポラリティーが反対になっている部分は、夾炭層が優勢な部分に対応している。こうしたことは、土岐夾炭累層中に存在する夾炭層は弾性波速度を急激に減少させるような効果があると考えられる。

(8) Hの反射面は土岐夾炭累層の下部の礫岩層の上面と対応している。反射面が弱い理



由については土岐夾炭累層の基底の礫岩層が乱れているということであると考える。

(9) Iの反射面は花崗岩の上面に対応している。(CMP210, 230, 254) 反射面が乱れている理由は、Dの反射面のように花崗岩上面が、風化のために脆弱化していることを表していると考えた。

(10) Jの反射面が不連続な位置には反射記録断面上にも反射面の乱れが認められる。反射面のずれは、花崗岩上面のDとIより20~30 mと読み取れる。その他の層に対してもほぼ同じ変位量がみられることより、Jは月吉断層と考えられる。CMP210のボーリングの柱状図と照らし合わせてみると110mで一度基盤に達し、土岐夾炭累層の基底礫岩があらわれ、もう一度基盤に達したというデータと非常によく一致した。

(11) Kは土岐夾炭累層中の礫層、土岐夾炭累層基底礫岩層、花崗岩の上面のずれなどから、垂直変位10 m程度の逆断層と考えられる。L, Mについては反射面の連続性の途切れたところを断層とした。いずれも月吉断層の副断層と考えられる。

## 5. 2 若人の丘測線における地質断面の解釈 (Fig. 20-2)

マイグレーション後の深度断面で解釈すると、正馬様測線のようなはっきりとわかる反射面は現われず基盤のさらに下の断面が現われてしまったと考えられる。タイムターム法では、測線にそって南側へとむかうにつれ基盤が地表に近付いてくる様子がわかった

(Fig. 7-3)が、この深度断面図では30 mより浅いところが全く反射面が見えないので、わからなかった。

断層についても反射面の不連続なところは存在するのだが、堆積層における断面ではなく、花崗岩の内部における反射面(?)なので、断層と決定するわけにはいかないであろう。このプロファイルからは、断層は抽出できなかつた。花崗岩中における断層面の抽出には更に検討が必要である。

## 6. まとめ

- ①解釈断面において、基盤などの反射面がボーリングデータとよく一致し、震源のエネルギーも十分到達していることから、小型油圧インパクトによる反射法地震探査は浅層における地下構造調査に有効であると考えられる。また、10秒に1回という発震も浅層における地下構造調査において十分な量のデータ取得のためには、有効であることがわかった。
- ②最新の処理ソフト iXL による測線の曲がりに対応した処理によって、加野 (1986)、千葉大学理学部報告 (1994) と比べて結果断面の向上が見られたことより、地形の複雑な浅層を対象とする調査に有効であることがわかった。
- ③若人の丘測線について、月吉断層の面からの反射波は得られなかったが、正馬様測線において、今まで明確でなかった月吉断層の形態を反射法による断面図上で得ることができた。このことより、小型油圧インパクトと、処理ソフト iXL という組合せのシステムは、堆積層の存在する地域において断層を対象とした浅層の地下構造調査に有効であることがわかった。
- ③最小オフセットを 0 m にしたのにもかかわらず、正馬様は 10 m より浅いところ、若人の丘測線は 30 m より浅いところの構造がまったくわからなかった。収録したデータには表面波が多いため、極浅層 (0 ~ 10 m 程度) における反射波の検出が困難であった。こうしたデータに対する収録方法、処理方法についての検討が必要である。
- ④地震計の設置点間隔を 5 m から 4 m に短くしたことによる効果については、震源などの機器も変更しているのでは、考察できなかった。

### 浅層高分解能探査への今後の課題

- ①極浅層 (地下 10 m 前後) を対象とする場合、他の震源、探査法との併用を考える。また、処理の仕方も考えるべきであろう。

- ② P波より構造分解能の高い、S H波を用いた反射法探査の実施についての検討。
- ③ 表面波を効率よく除去できるような地震計の配置についての検討。

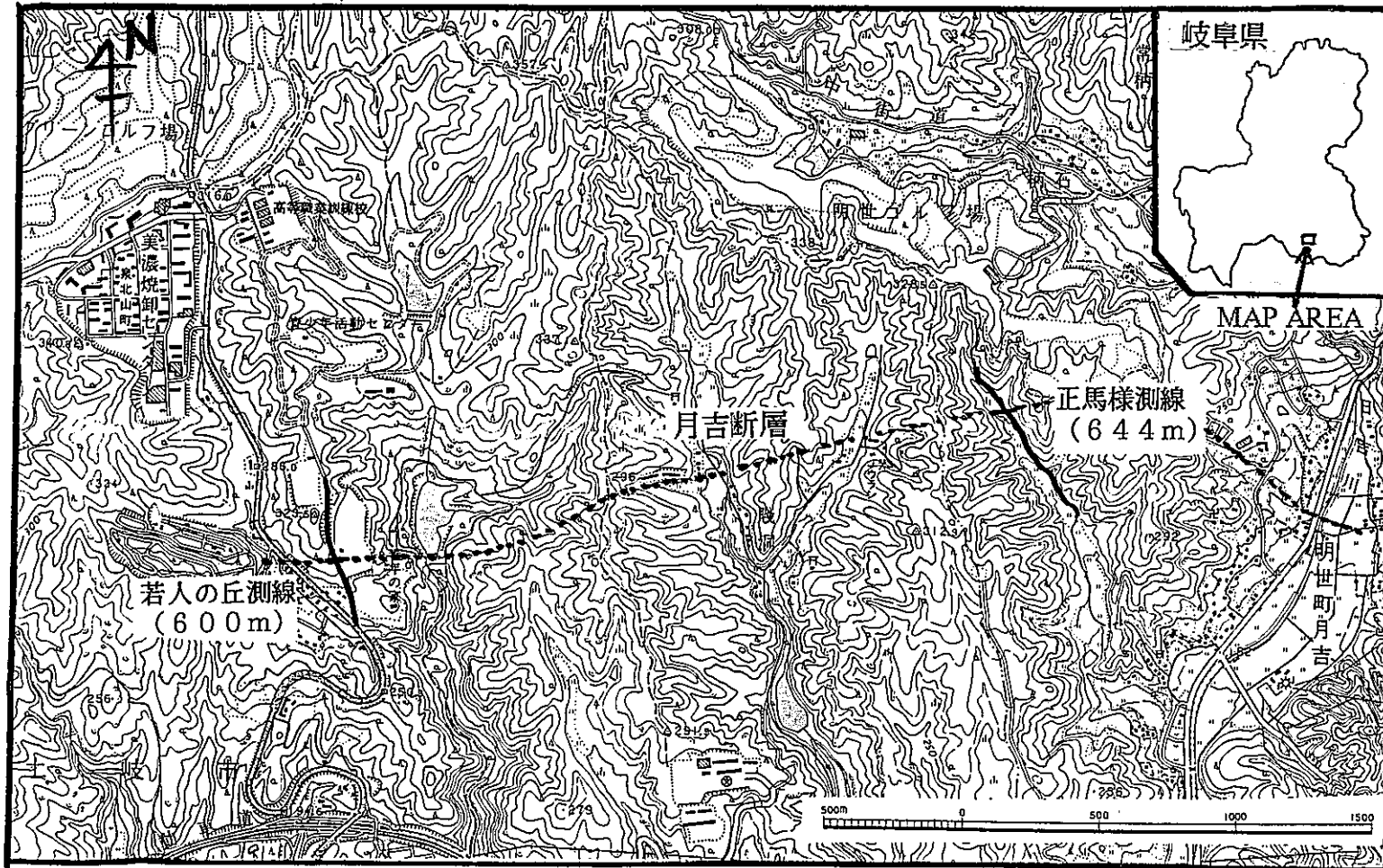
## 7. 謝辞

本調査研究の全期間にわたり、動力炉・核燃料開発事業団の各位には多大の援助協力を受けた。特に現地調査にあたっては、東濃地科学センター技術開発課の長谷川 健主査、藪内 聡氏には調査遂行に関して御指導をうけ、株式会社地球科学総合研究所井川 猛研究部長、大和探査技術株式会社の足立幾久課長には、今回の探査についての細部にまでにおよぶ貴重な助言をいただいた。現場作業においては、大和探査技術株式会社の笠田京子氏、千葉大学の学生諸君に約2週間の長い間参加し、手伝っていただいた。以上の方々、各位に深く感謝する。

## 8. 参考文献

- 朝倉夏雄、1982：初心者のための反射法データ処理、物理探査、第6号p47-70
- 千葉大学理学部・伊藤谷生、1994：断層構造調査のための反射法解析ソフトの適応性  
評価研究、動力炉・核燃料開発事業団委託研究成果報告書
- 平沢 清、1969：地震探査法によるウラン鉱床地域の基盤構造の探査、地質調査所報告、427-454
- 市川健士・太田陽一・熊井 基、1987：改良タイムターム法を用いた会話型静補正処理システム、物理探査学会第77回学術講演論文集、129
- 井川 崇、1994：高分解能反射法地震探査の基礎実験、千葉大学卒業論文
- 井川 猛・黒田 徹・渡部 努・山田正則、1989：油圧インパクトによる地下探査、建設の機械化1989. 11

- 伊藤谷生・四国中央構造線探査グループ、1993：四国東部、中央構造線地下構造の総合物理探査、日本地質学会第100年学術大会講演要旨、732
- 稲崎富士、1993：土木地質調査としての高分解能浅層反射法探査、浅層反射法探査技術シンポジウム予稿集4の1～6
- 加野直巳、渡辺史郎、角田晴信、和田洋明、坪田浩二、則竹和光、1986：月吉ウラン鉱床における浅層反射法の適用性、地質調査所月報、第37巻、第6号、P309-323
- 松沢 勲・植村 武、1964：土岐構造盆地の地質と地質構造、名古屋大学理学部地球科学教室構造地質学教室実績、1～35
- 山本 勇・塩田哲也・原島文雄・藤本順吉・鯉沼 稔・広野修一郎、1974：東濃地域のウラン鉱床の探鉱について、鉱山地質、24、157～168



土岐 2万5000分の1地形図より

FIG. 1 調査位置図 (測線図)

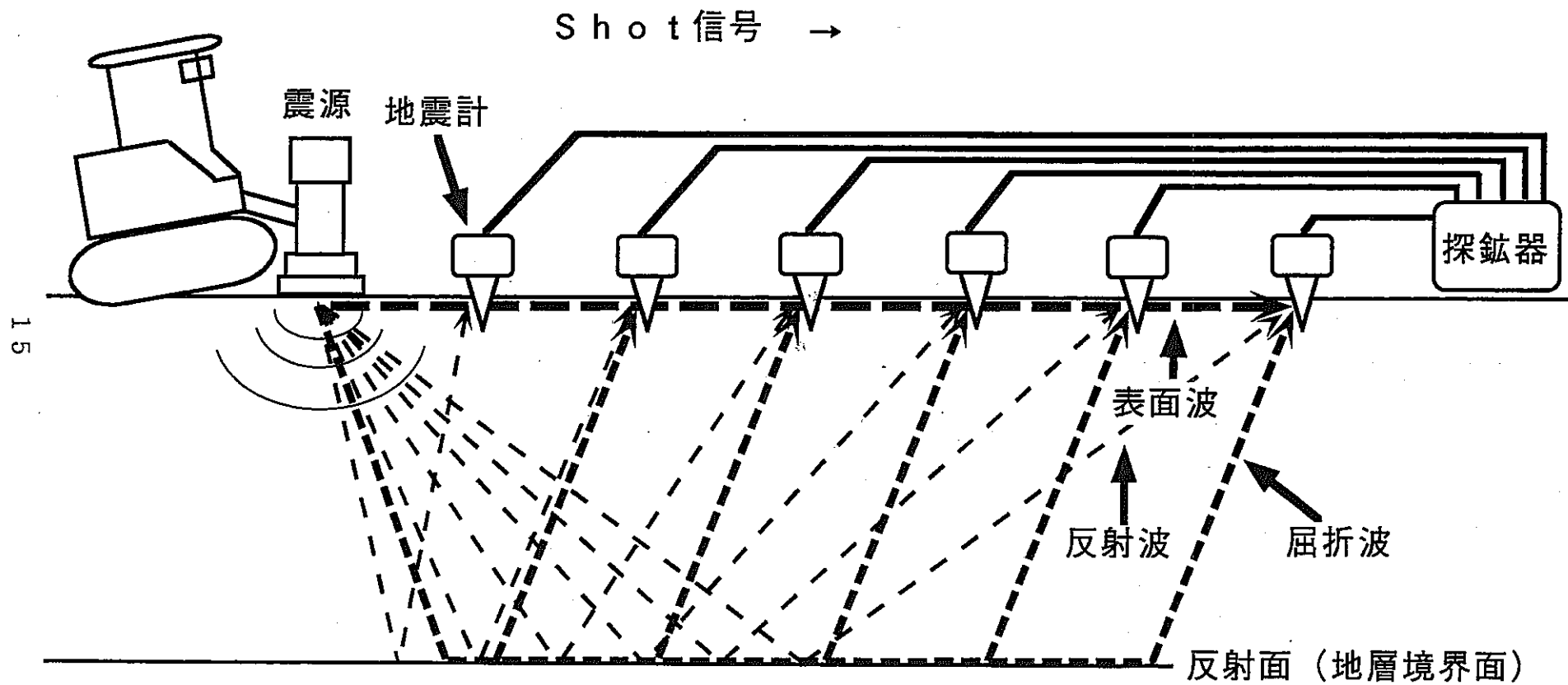


FIG. 2 反射法地震探査の概念図

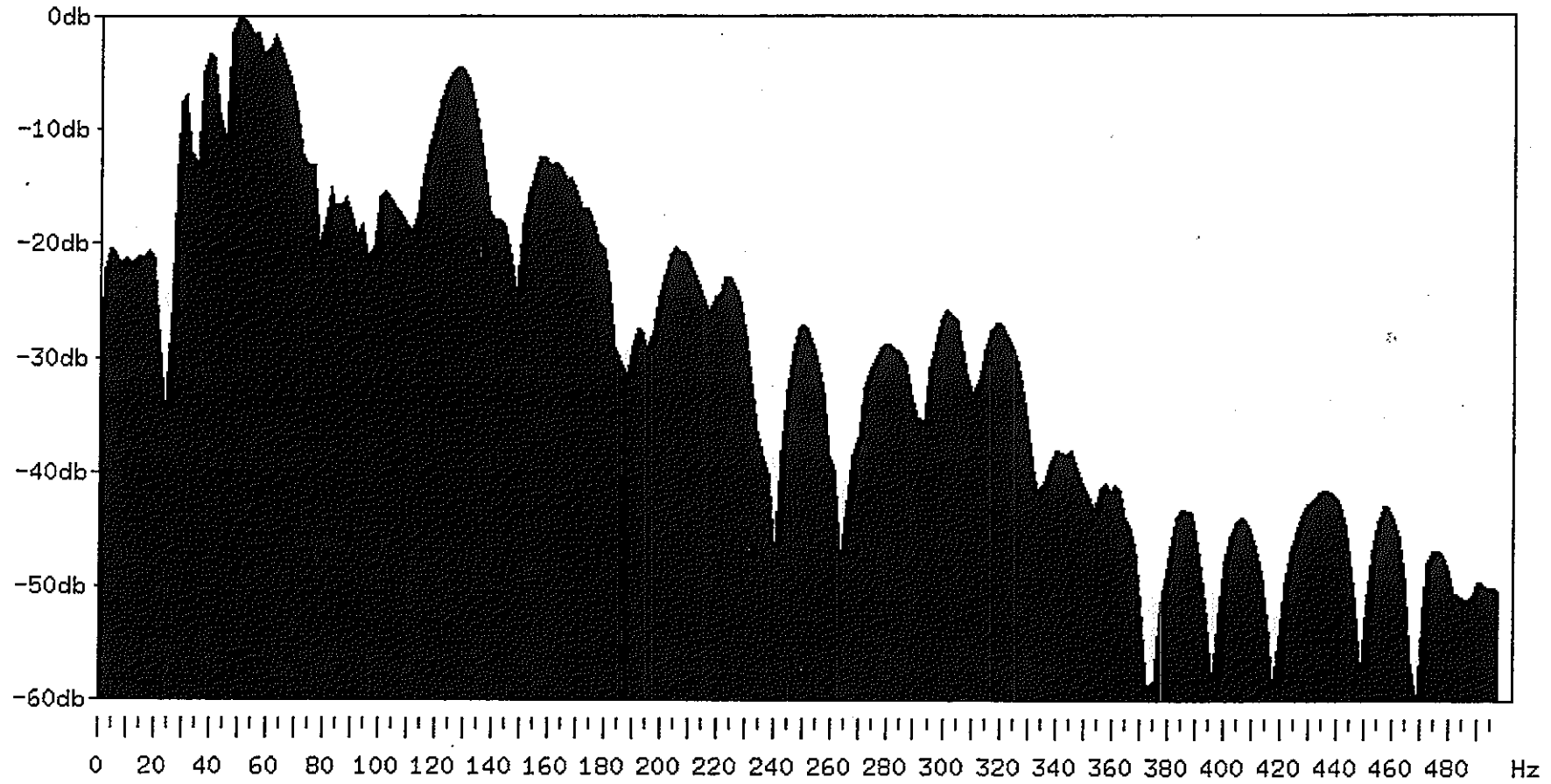


FIG. 3 小型油圧インパクトのスペクトル (正馬様測線)

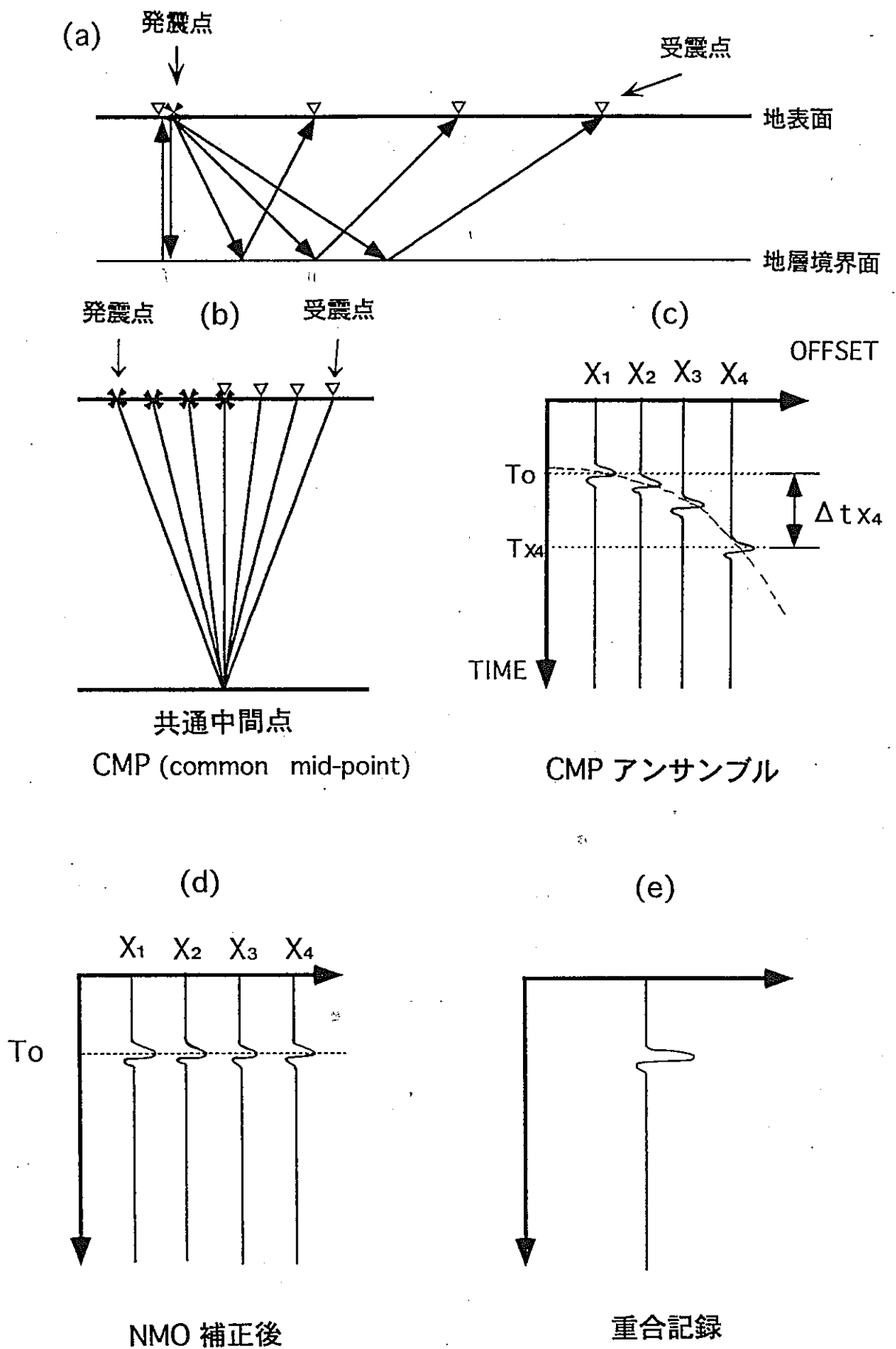


FIG. 4 共通中間点重合法 (CMP stacking method) の概要



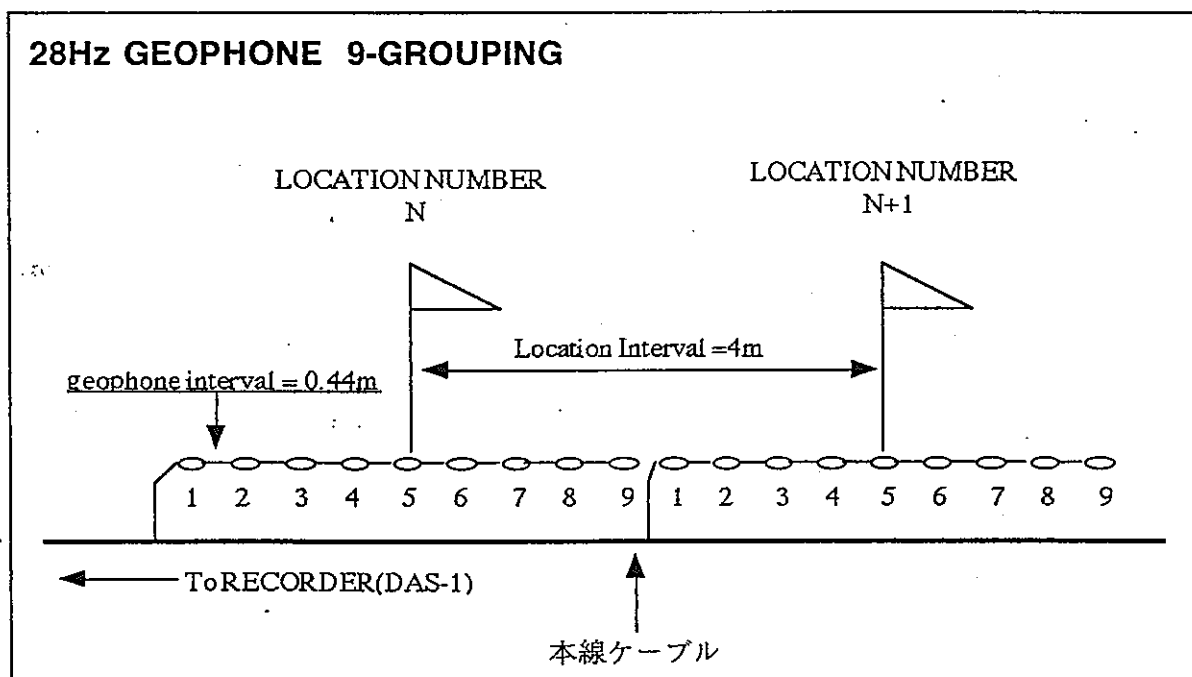
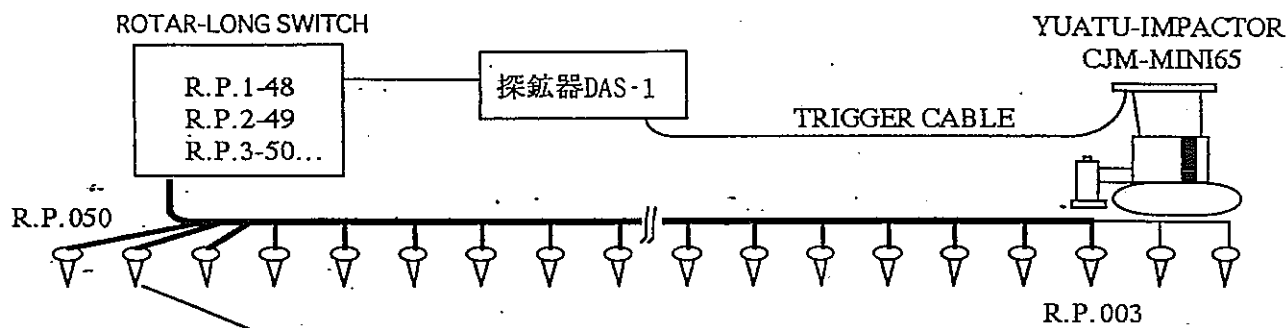


FIG. 5 観測システムの概要  
18

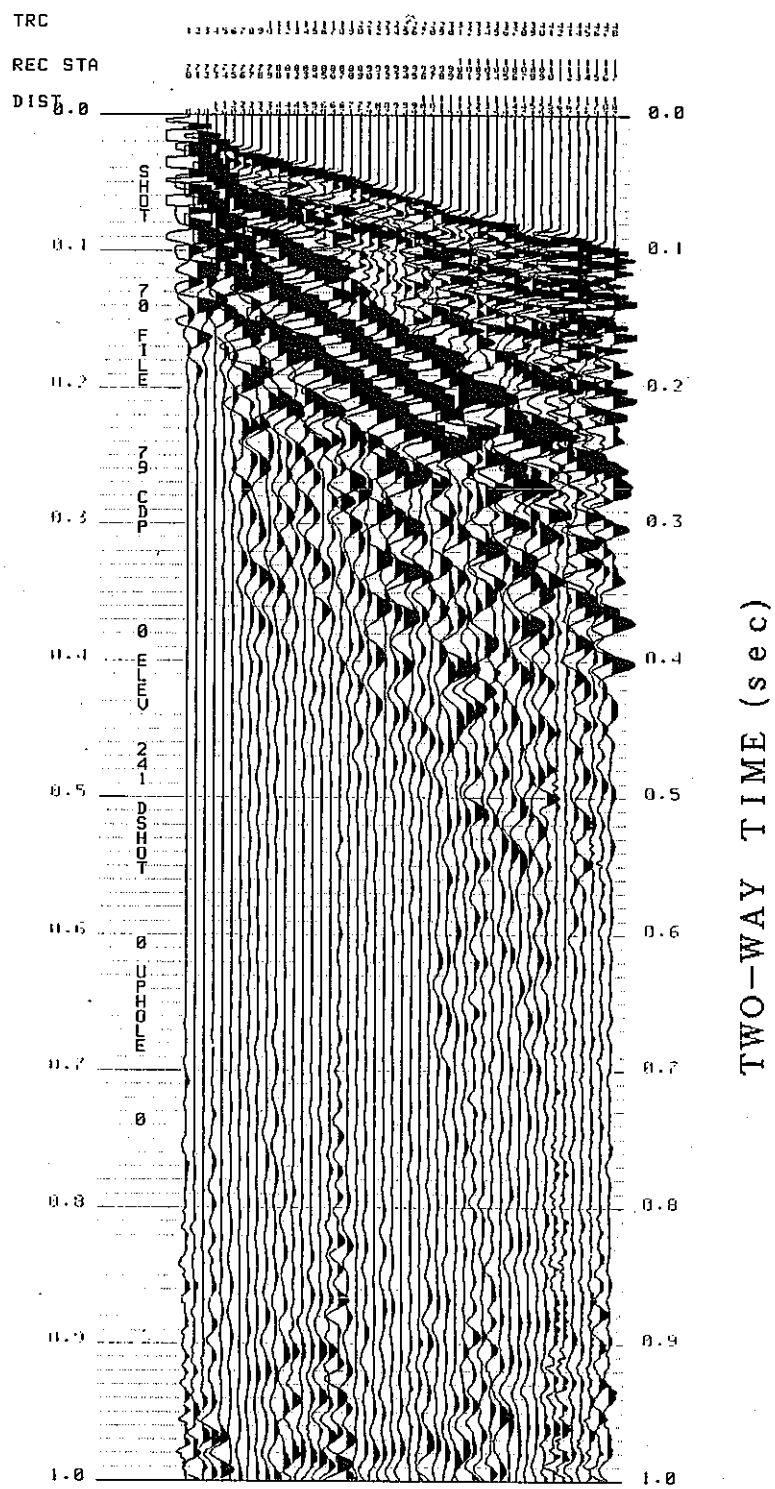


FIG. 6-1 ORIGINAL DATA (正馬様測線)

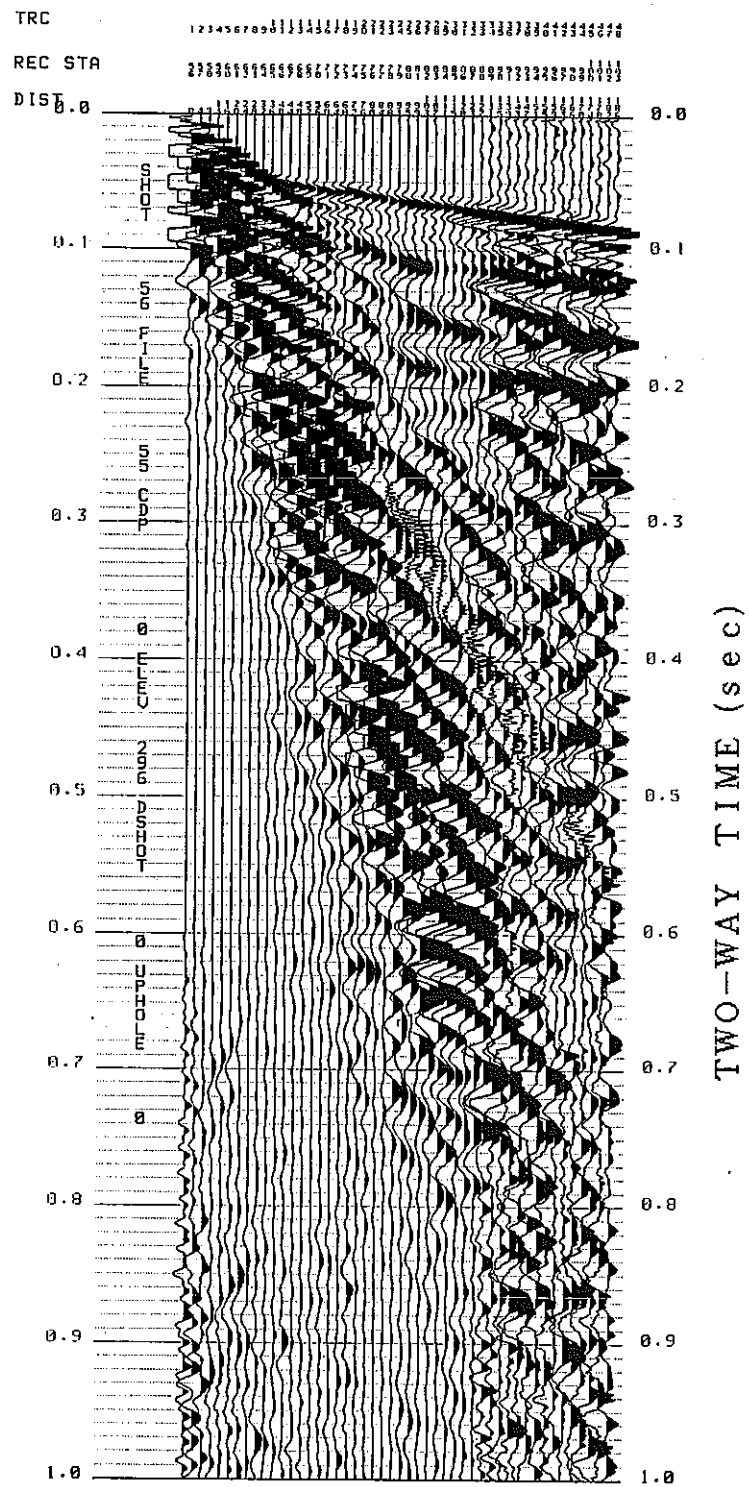


FIG. 6-2 ORIGINAL DATA (若人の丘測線)

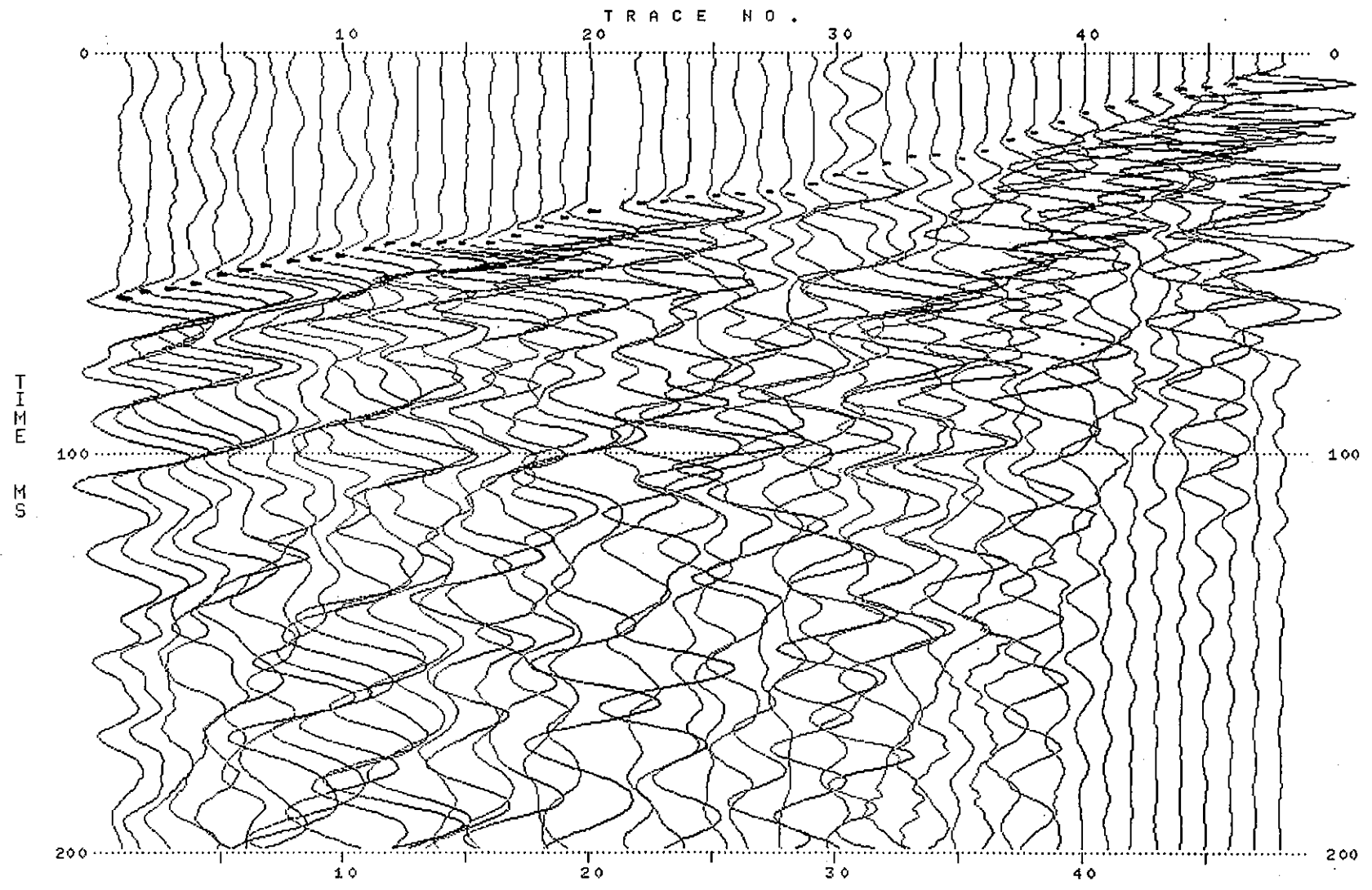


FIG. 7-1 屈折波の読みとり例 (若人の丘測線)

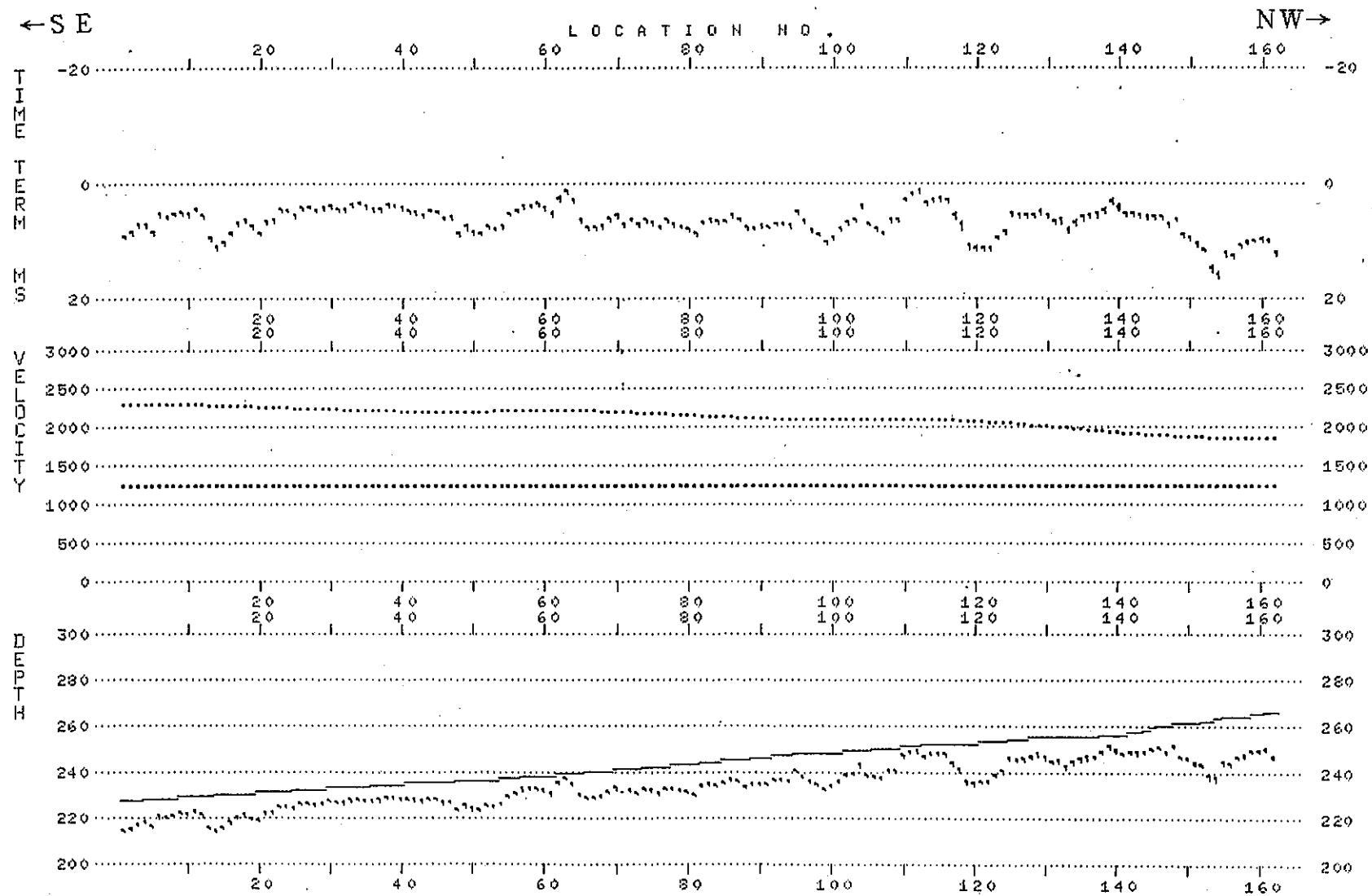


FIG. 7-2 TIME-TERM法結果 (正馬様測線)



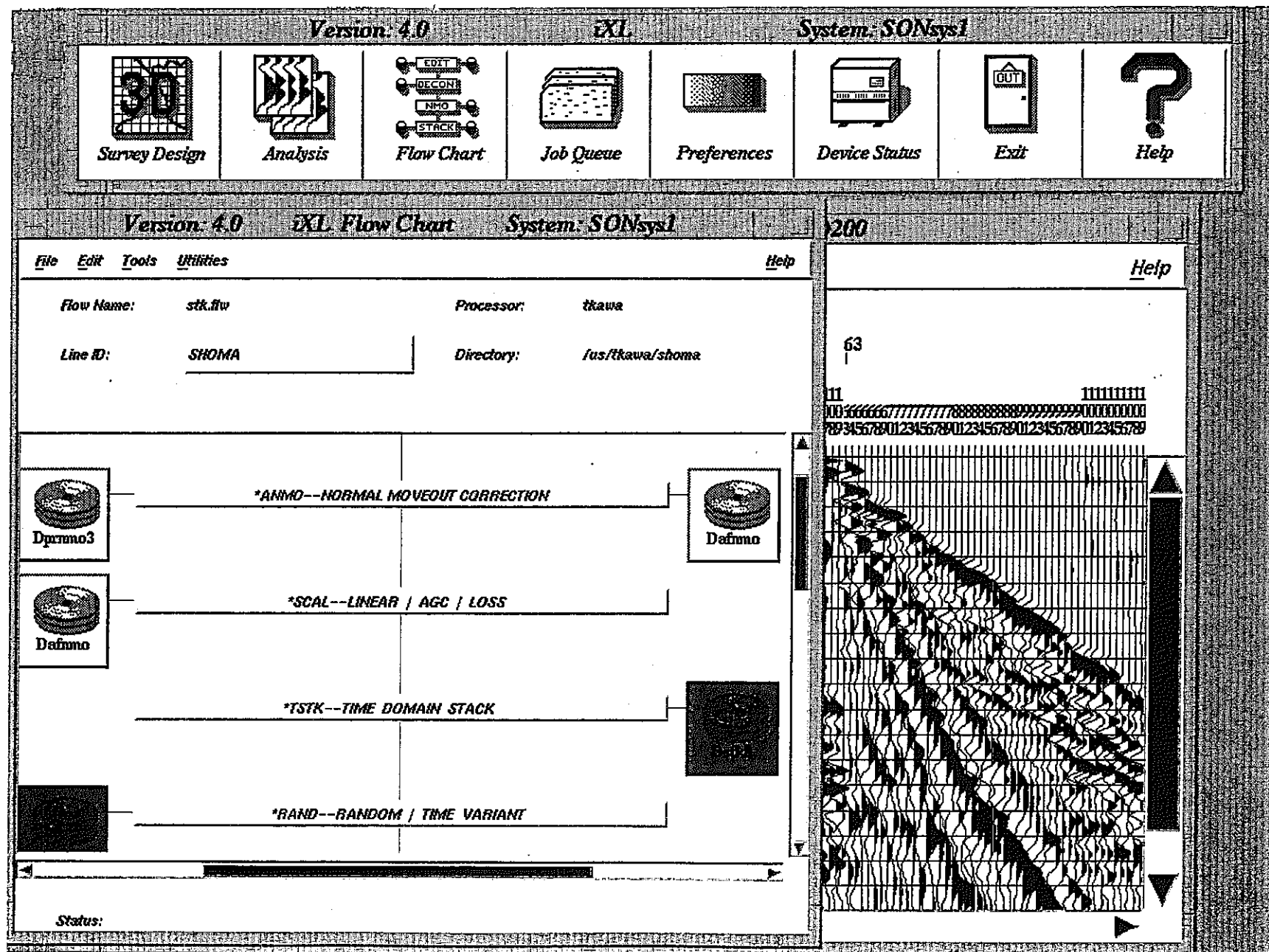


FIG. 8 地震データ解析ソフトIXLの処理画面

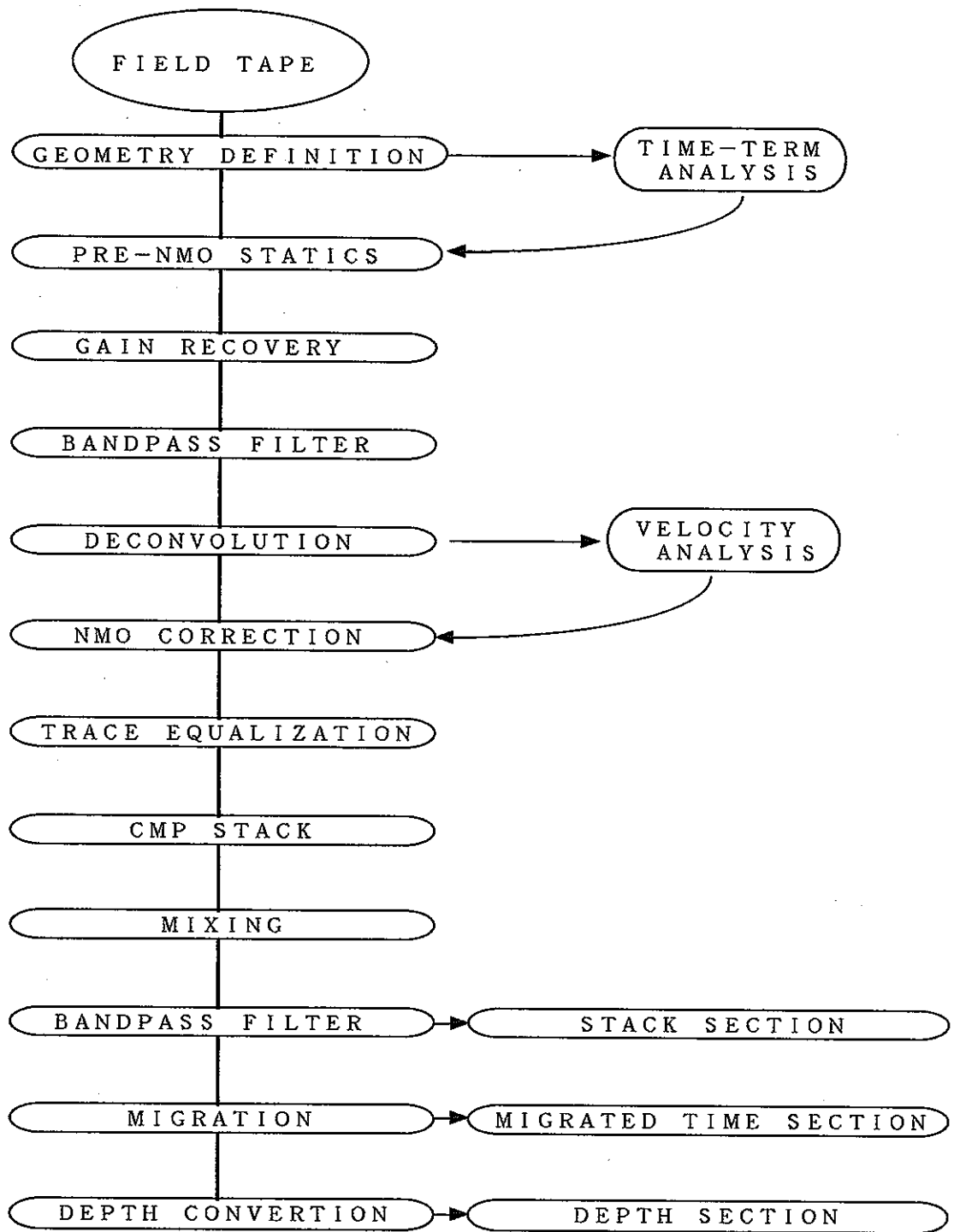


FIG. 9 フローチャート



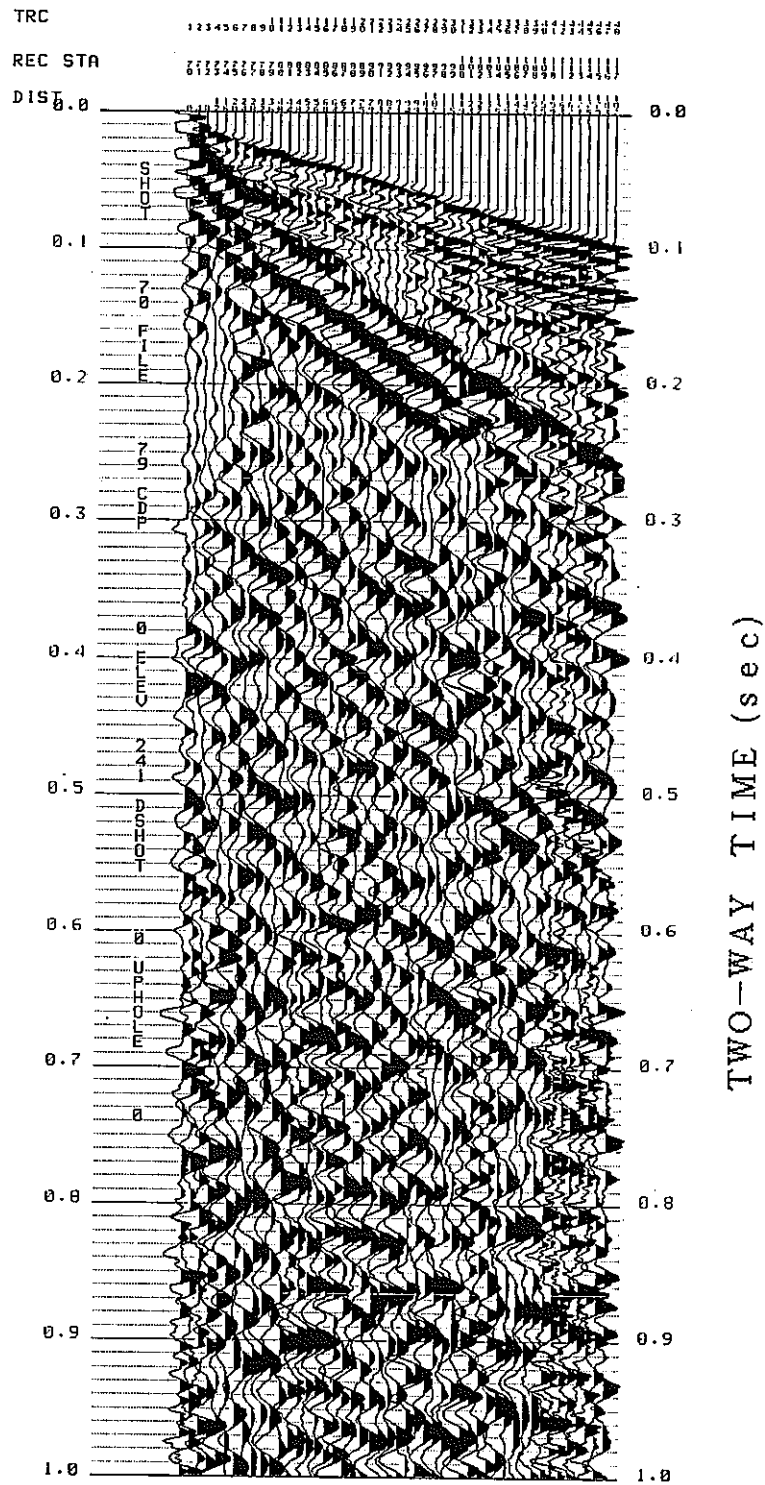


FIG. 10-1 GAIN RECOVERY (正馬様測線)

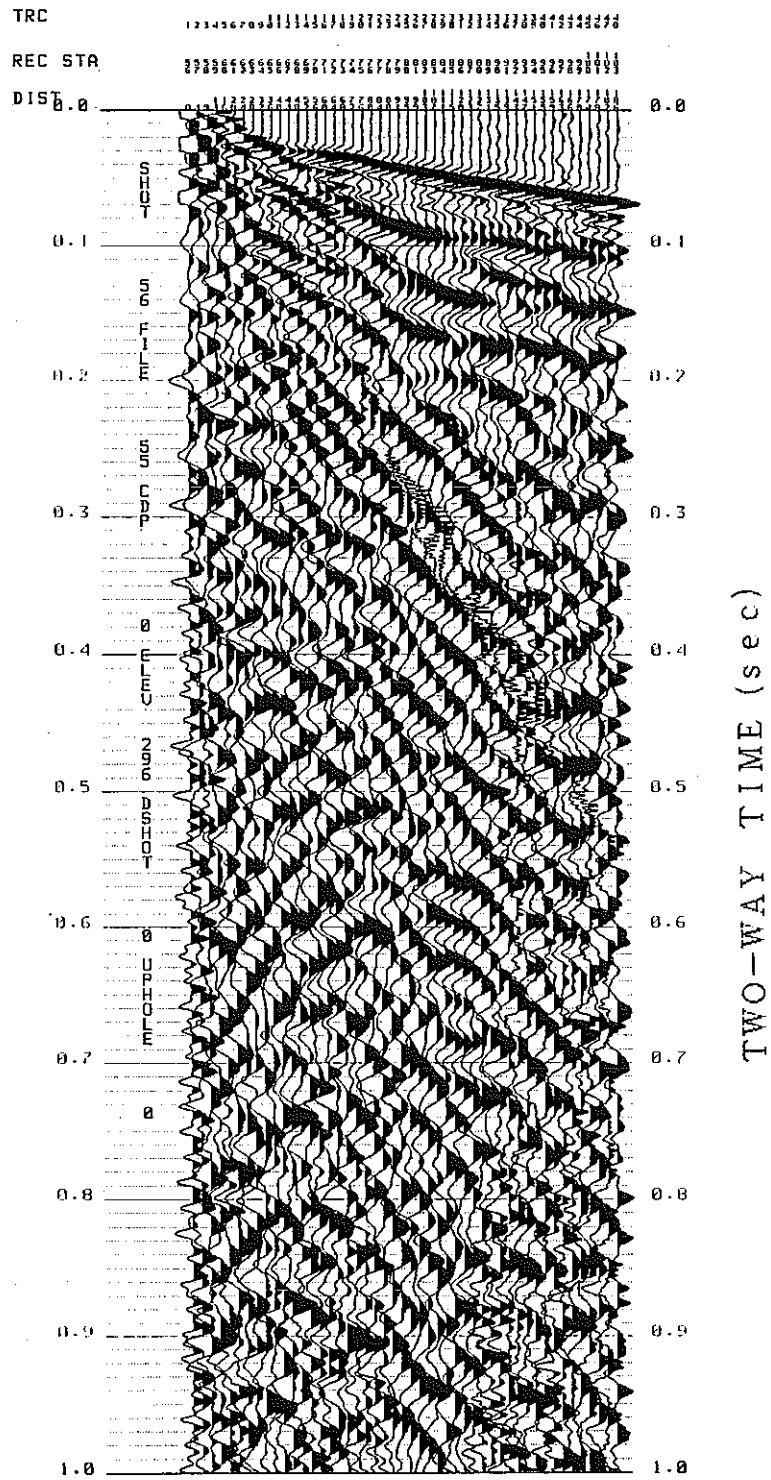


FIG. 10-2 GAIN RECOVERY (若人の丘測線)

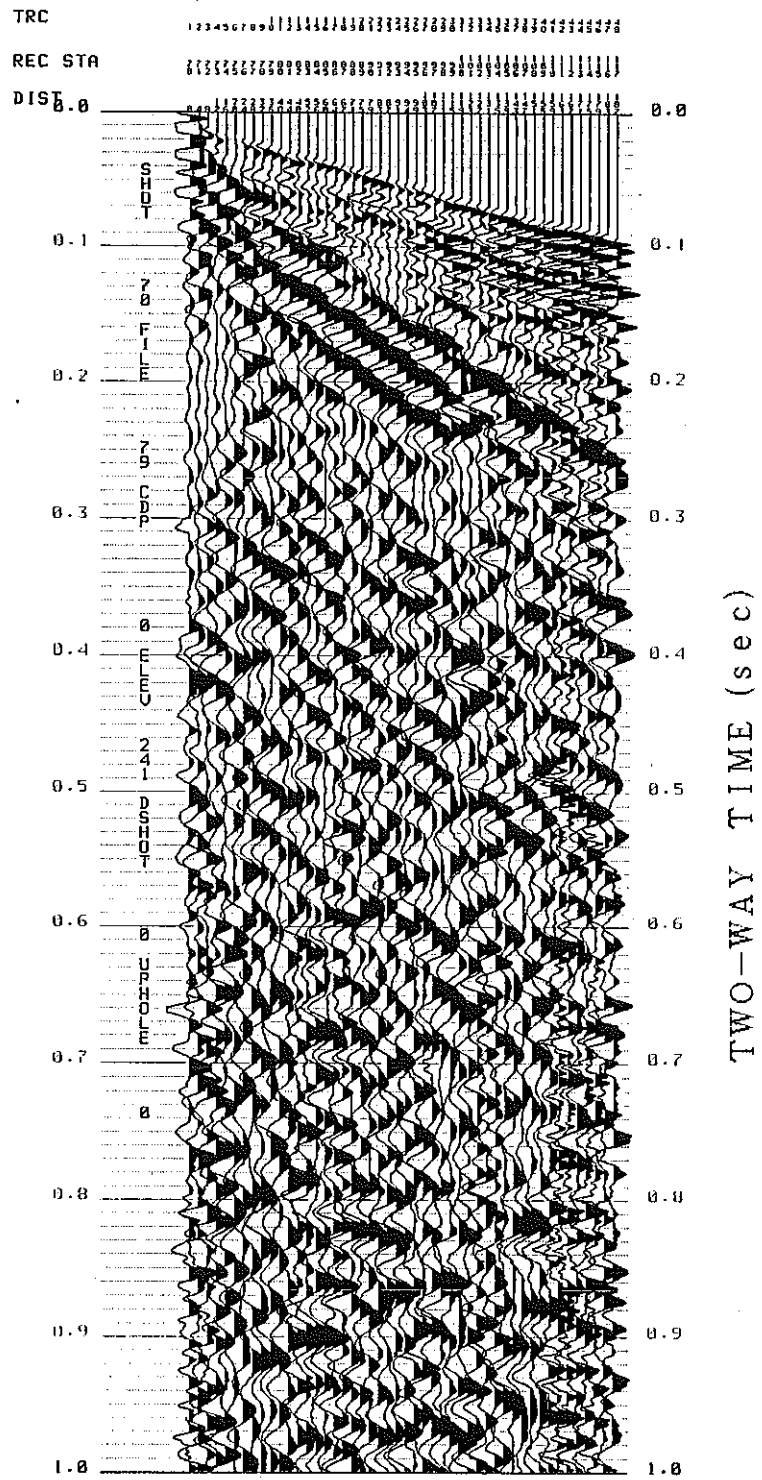


FIG. 11-1  
BANDPASS FILTER APPLIED (正馬様測線)

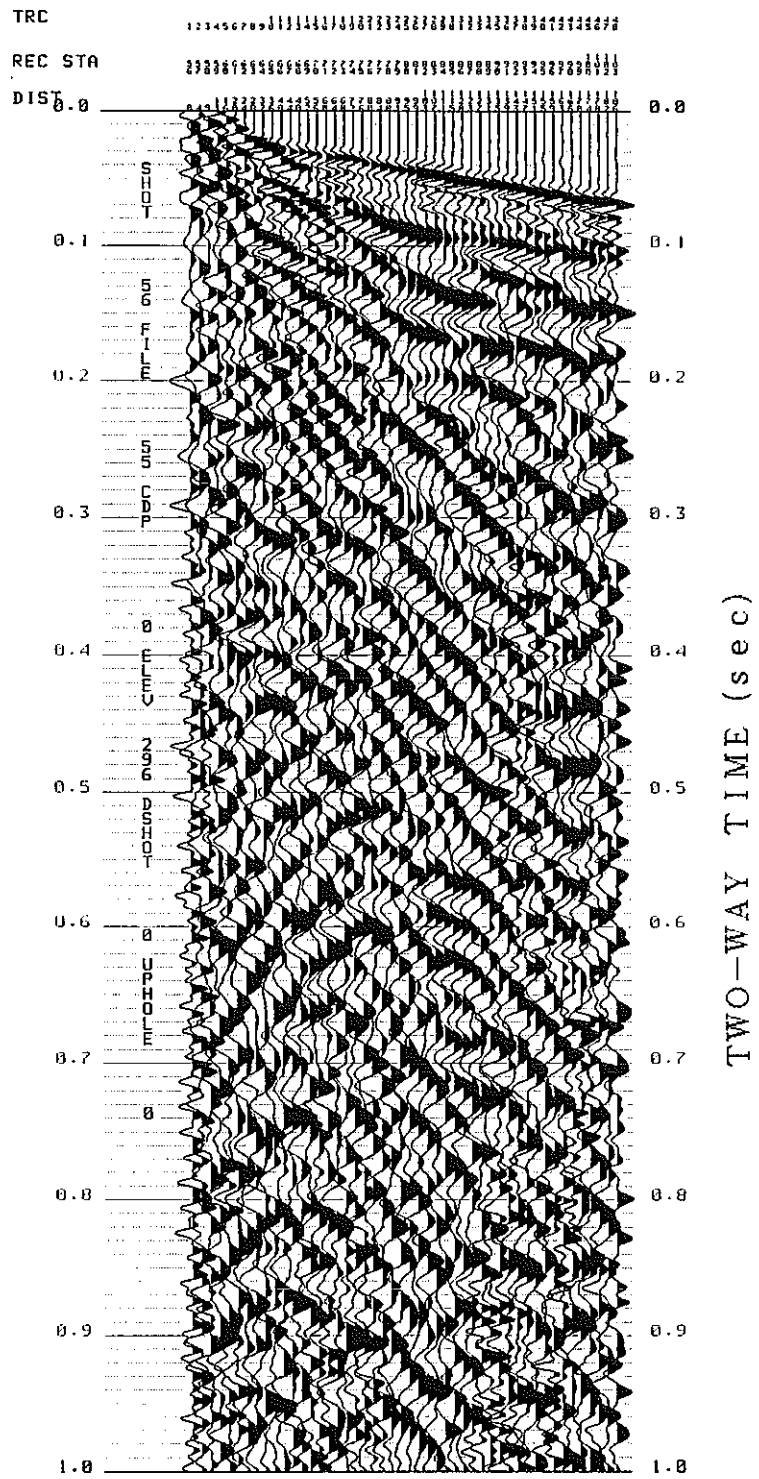


FIG. 11-2  
 BANDPASS FILTER APPLIED (若人の丘測線)

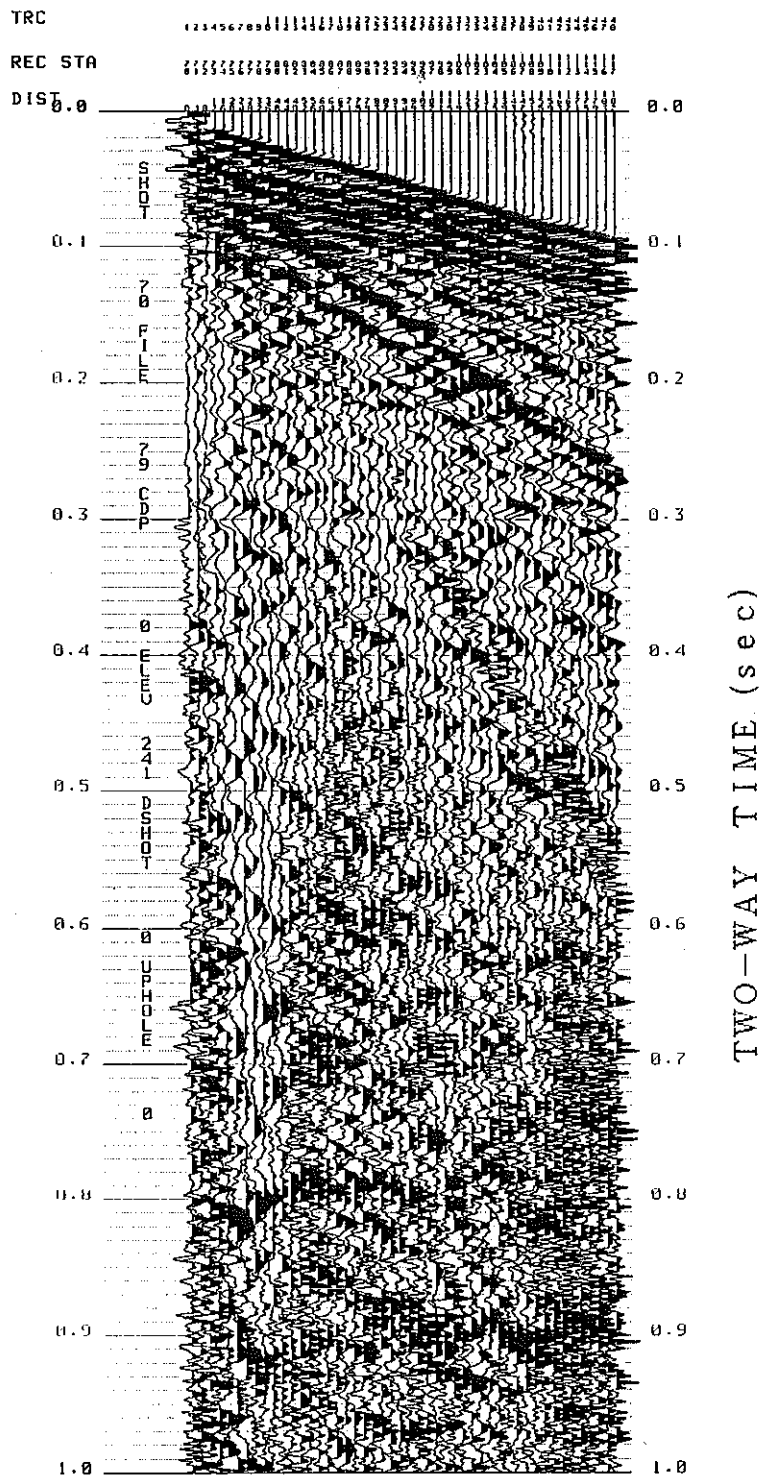


FIG. 12-1  
 DECONVOLUTION FILTER APPLIED (正馬様測線)



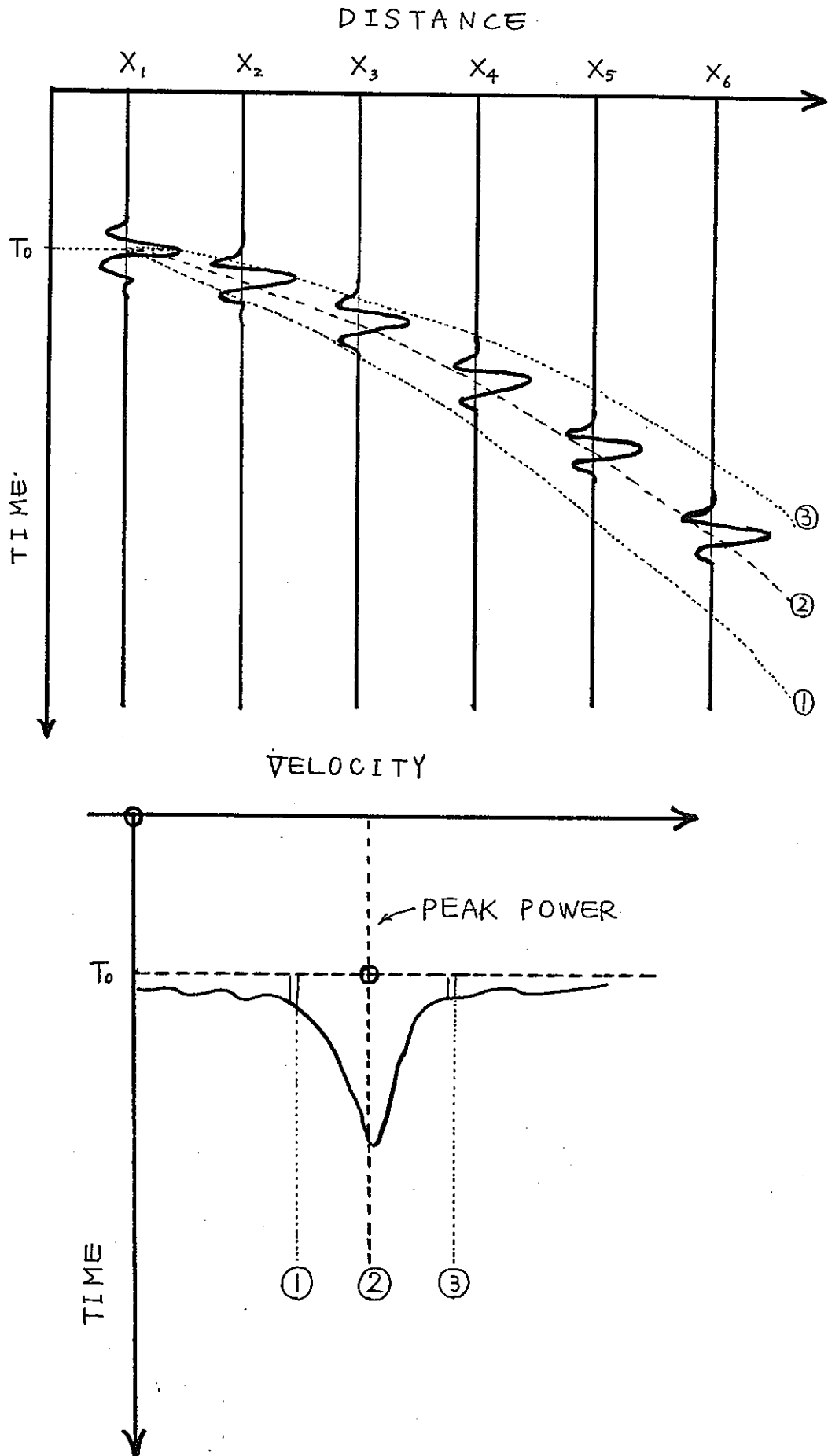


FIG. 13-1 CVS速度解析法の原理 CVS . . . Constant Velocity Stack

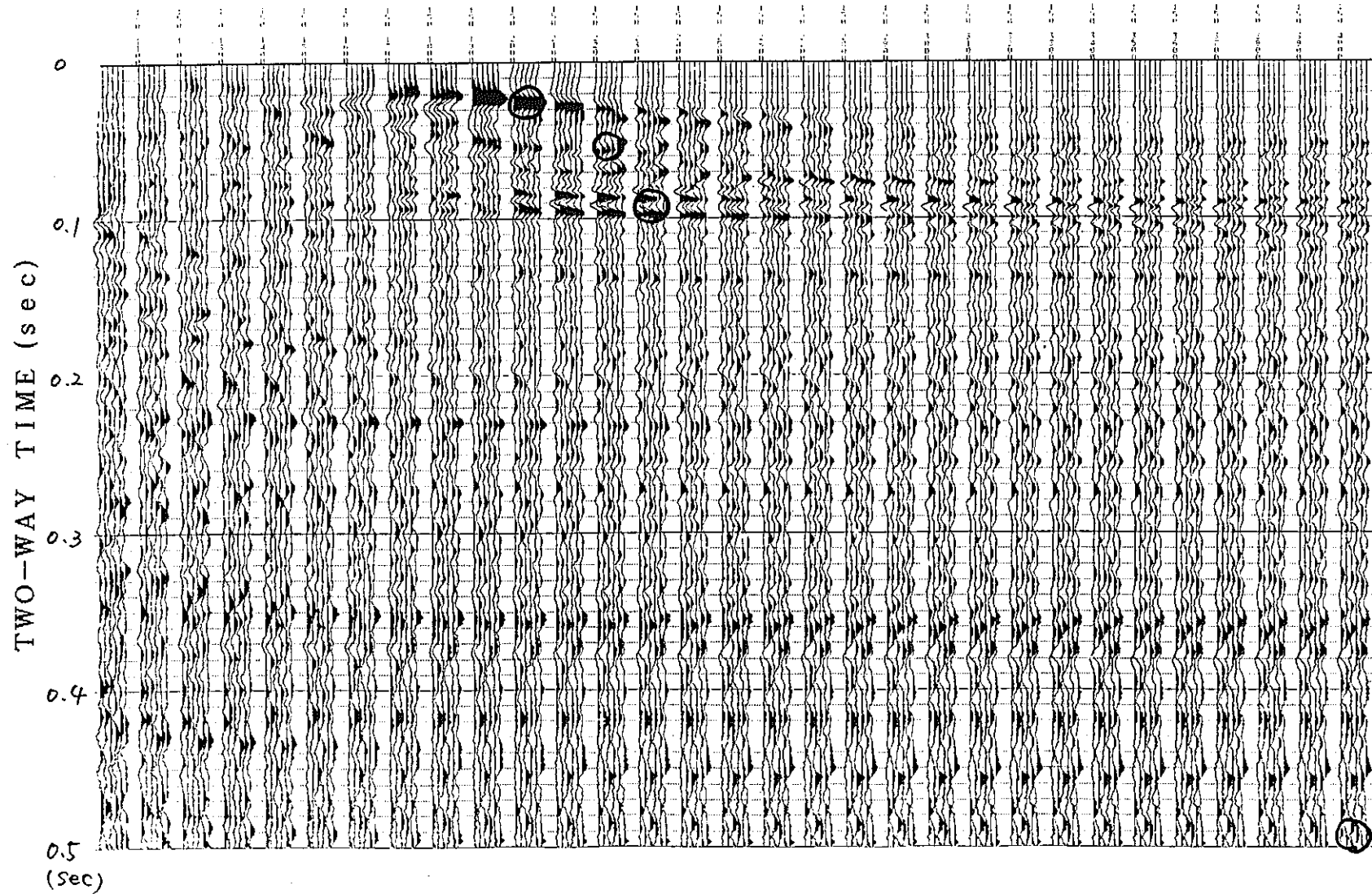


FIG. 13-2 VELOCITY ANALYSIS 読みとり例 (正馬様測線)



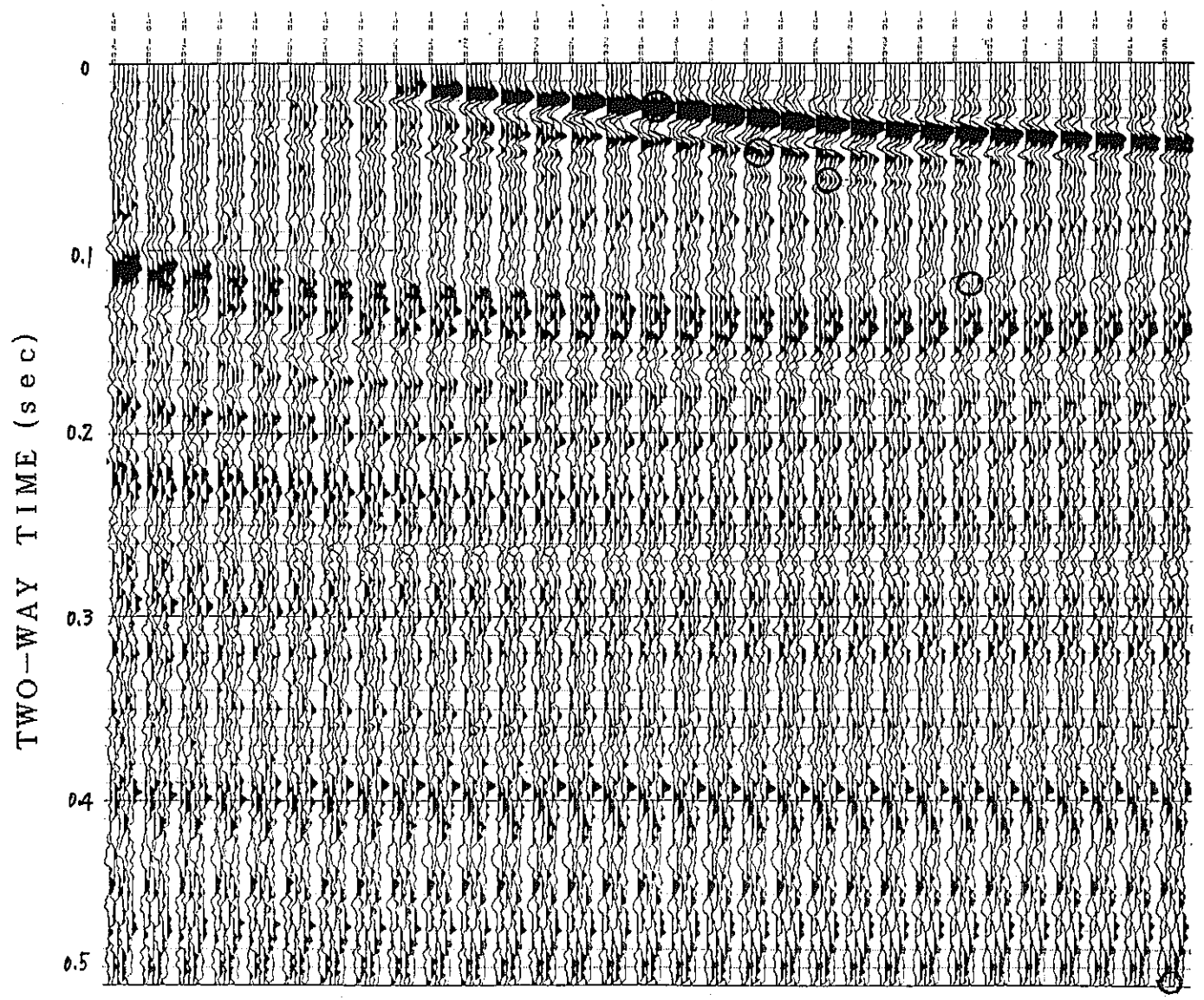


FIG. 13-3 VELOCITY ANALYSIS 読みとり例 (若人の丘測線)

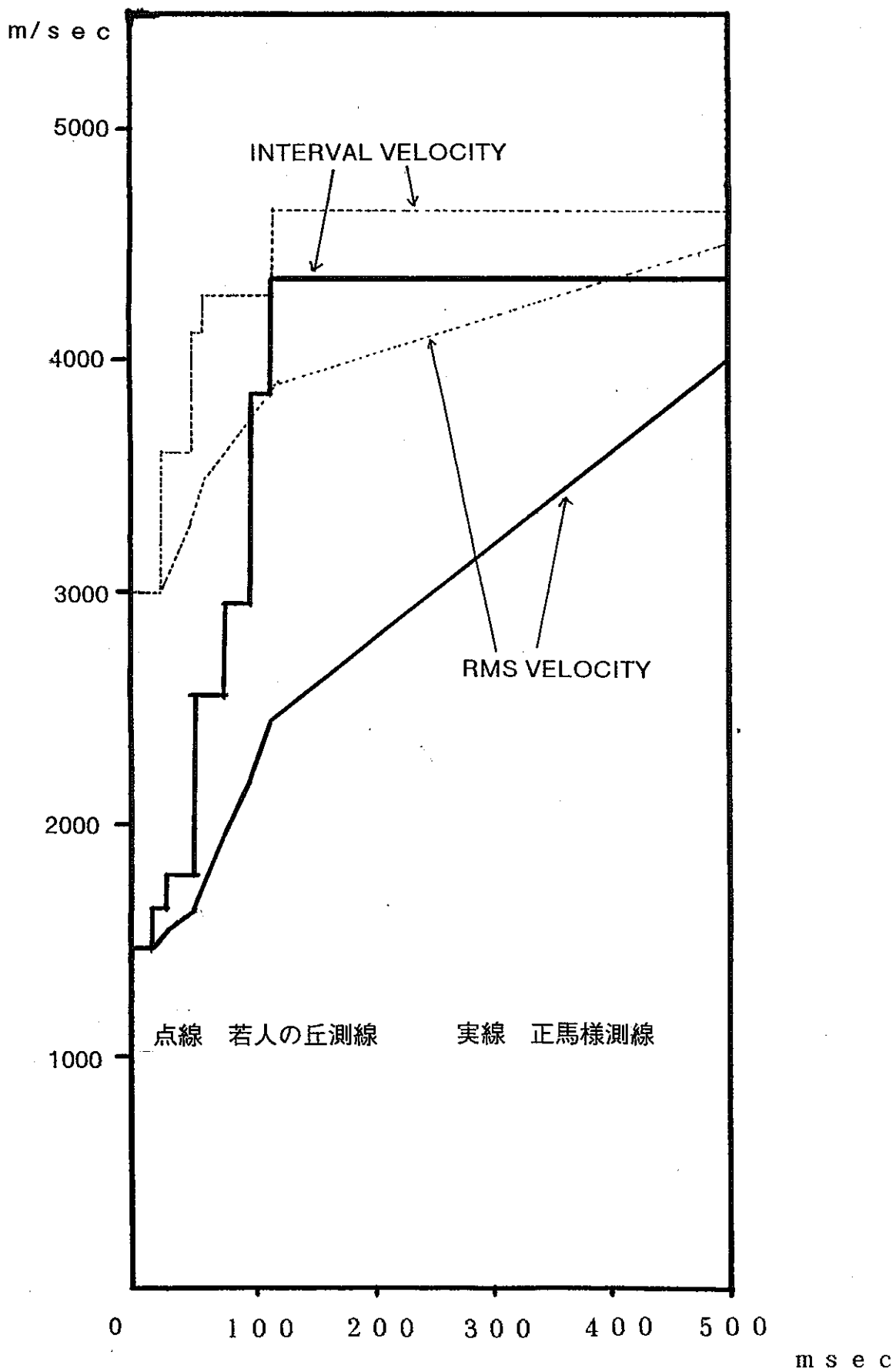


FIG. 13-4 RMS速度と区間速度の関係

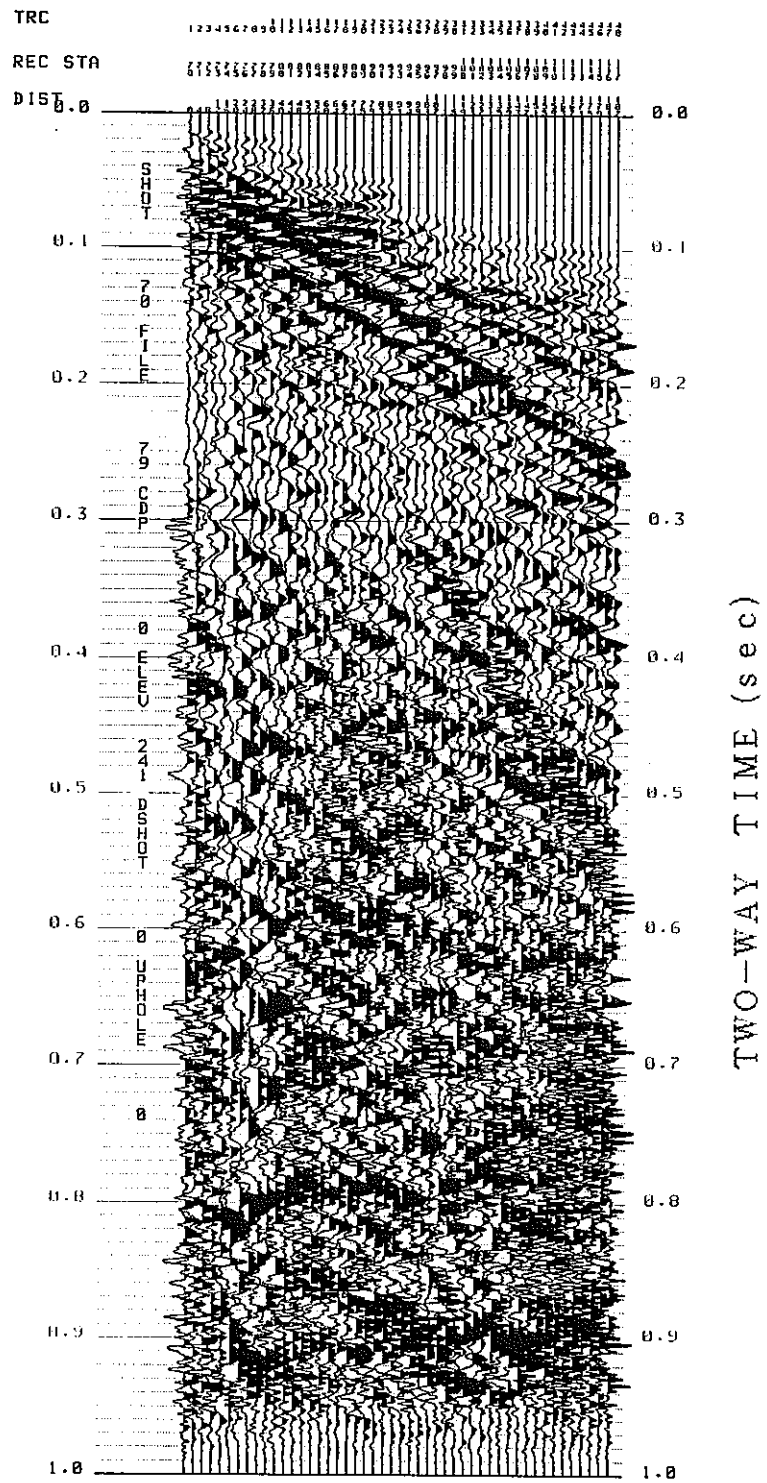


FIG. 14-1 NMO CORRECTION (正馬様測線)

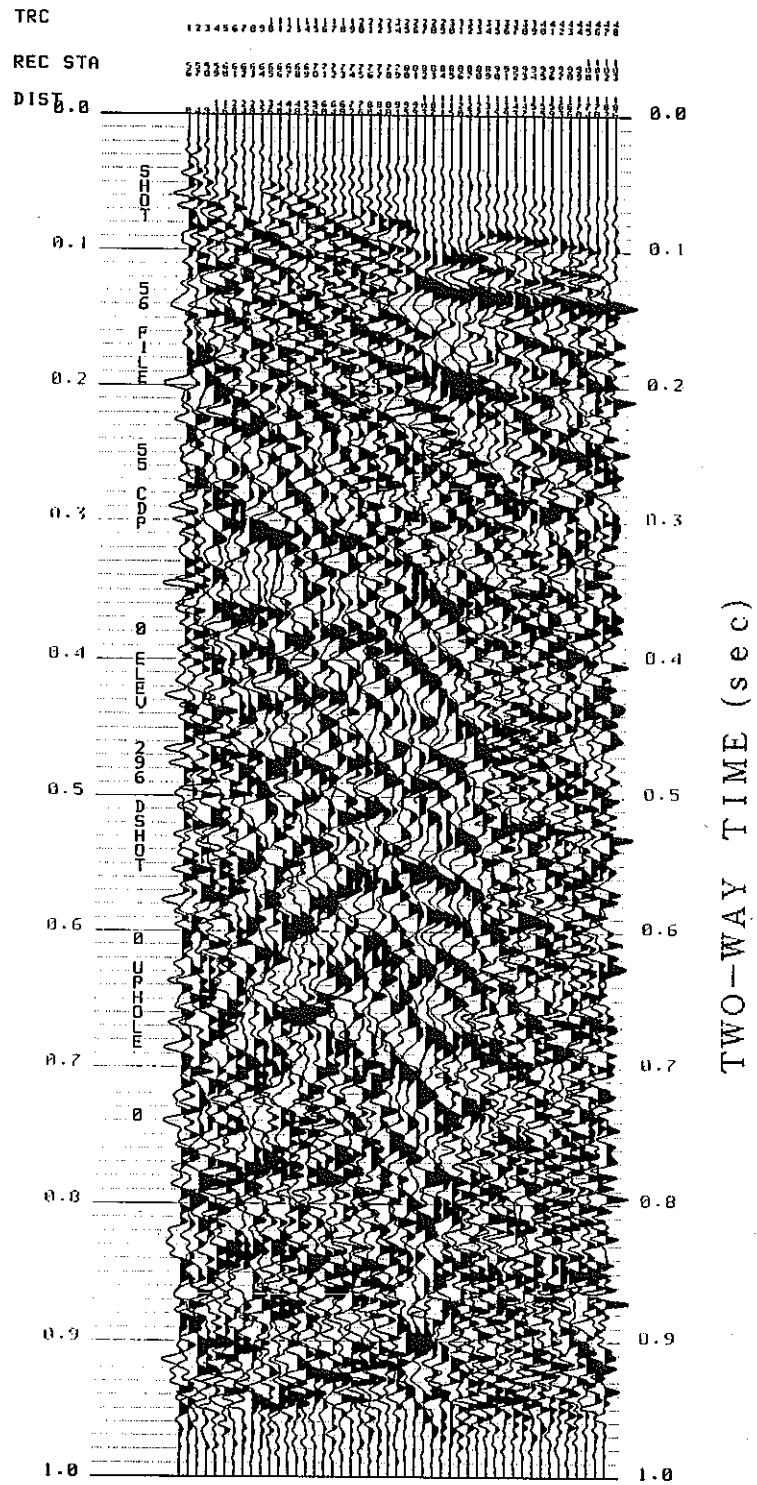


FIG. 14-2 NMO CORRECTION (若人の丘測線)

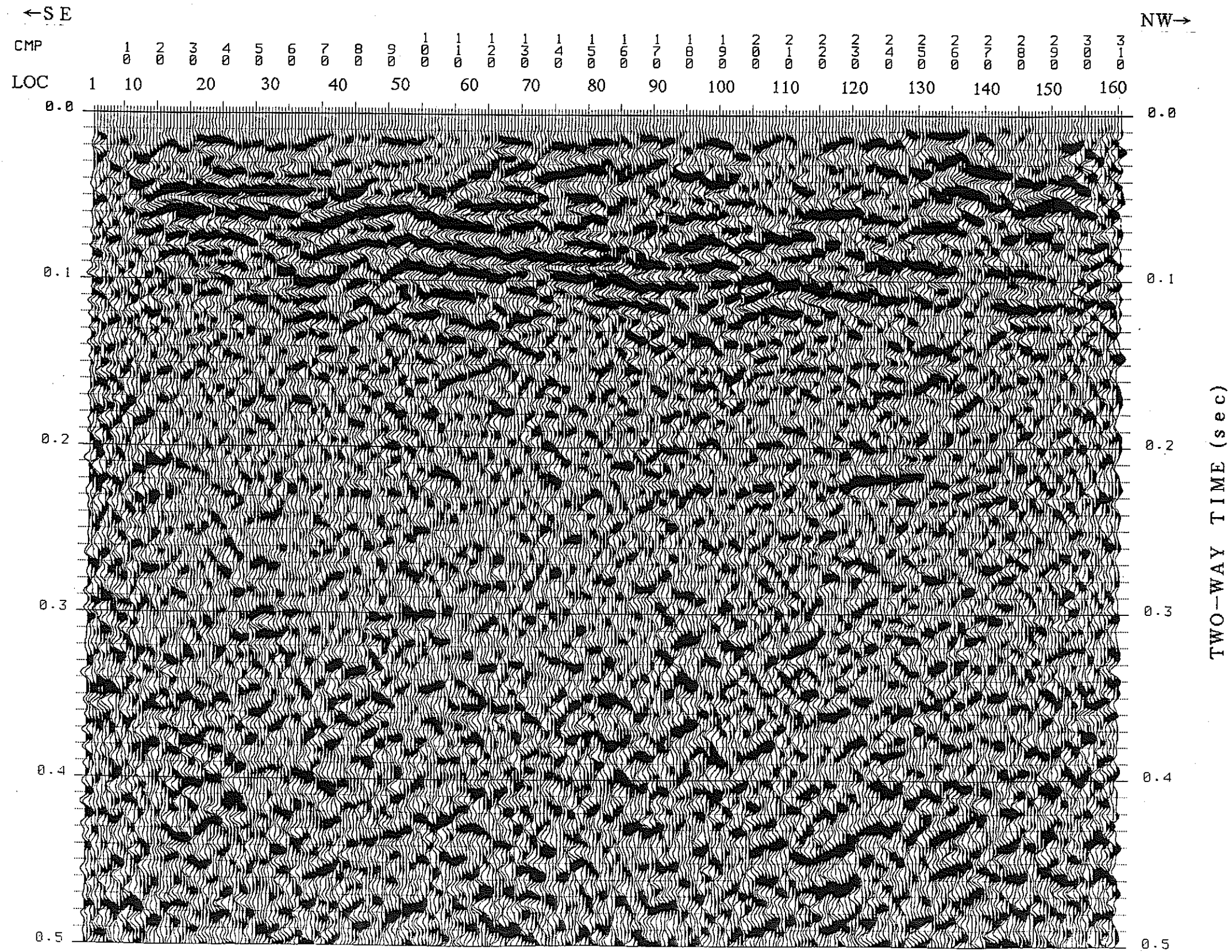


FIG. 15-1 STACK SECTION (正馬様測線)

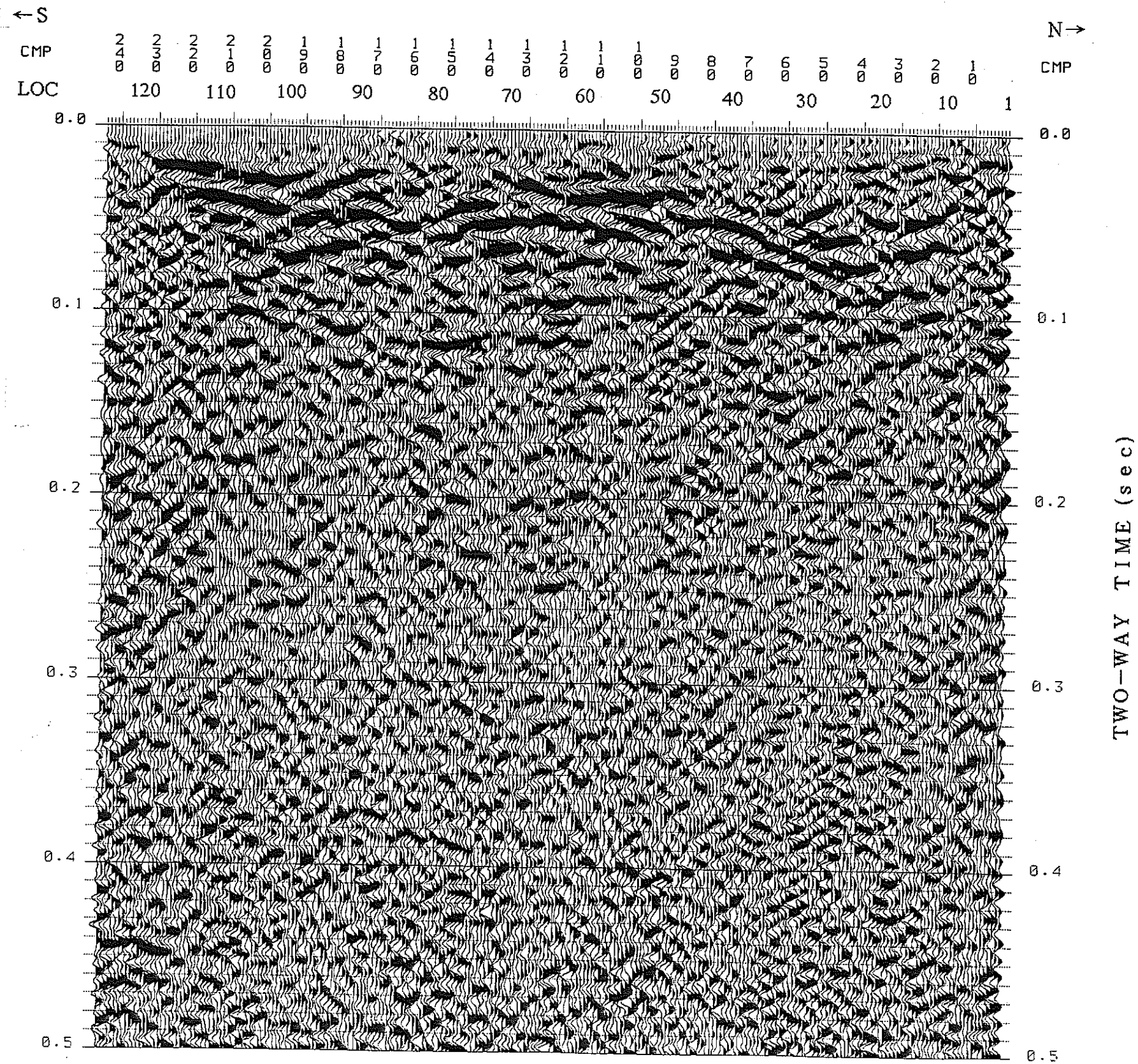


FIG. 15-2 STACK SECTION (若人の丘測線)

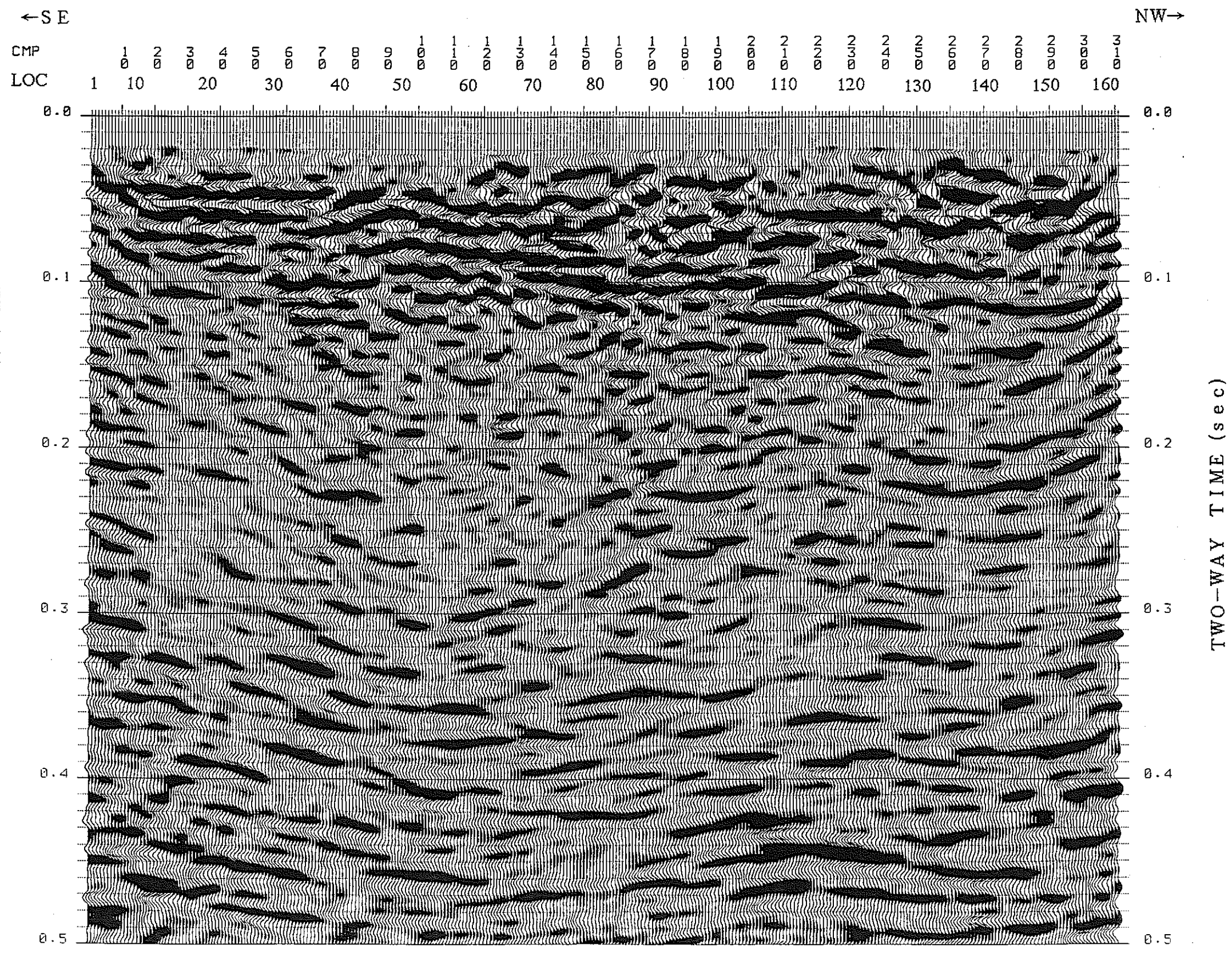


FIG. 16-1 MIGRATED TIME SECTION (正馬様測線)

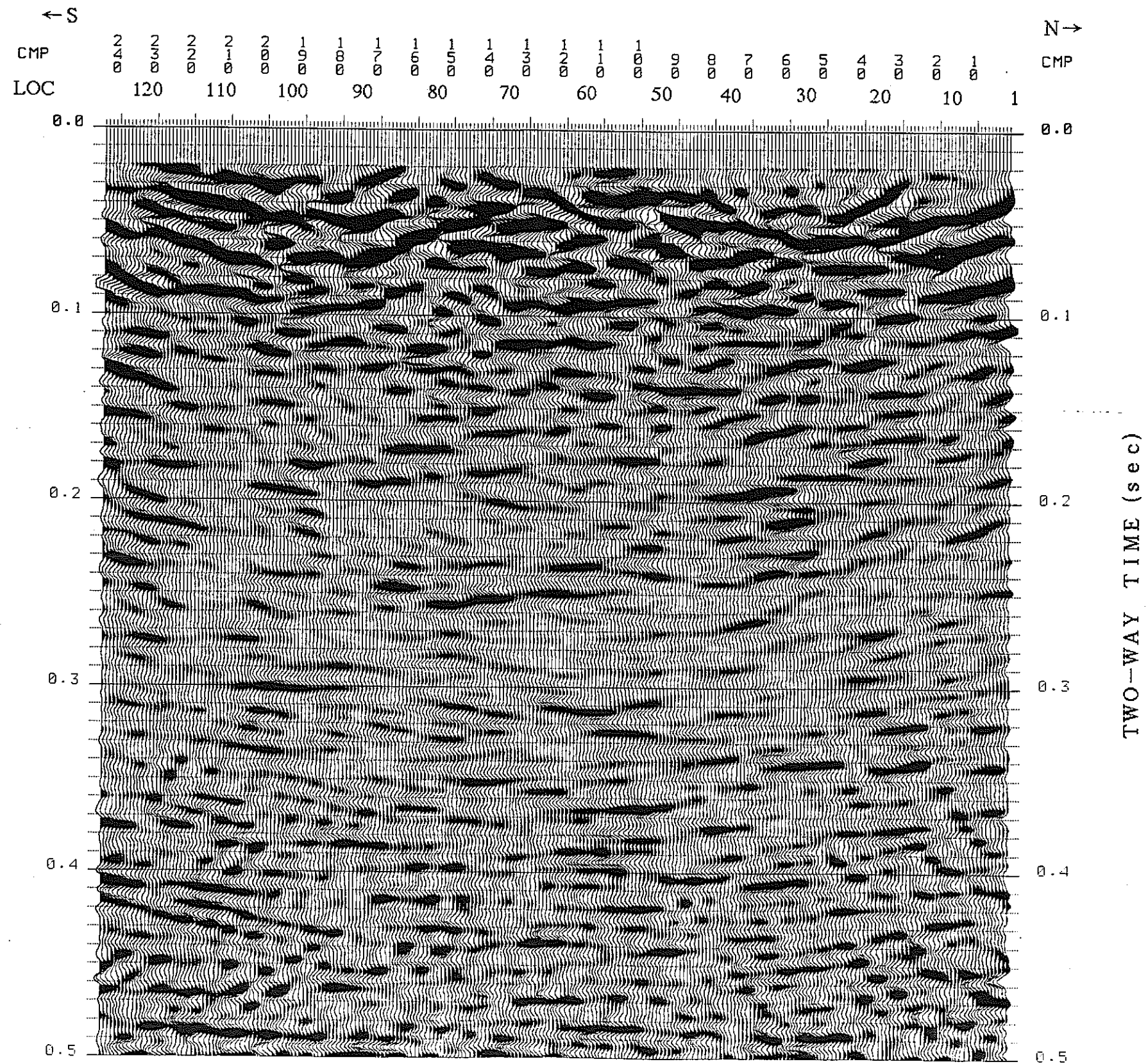


FIG. 16-2 MIGRATED TIME SECTION (若人の丘測線)



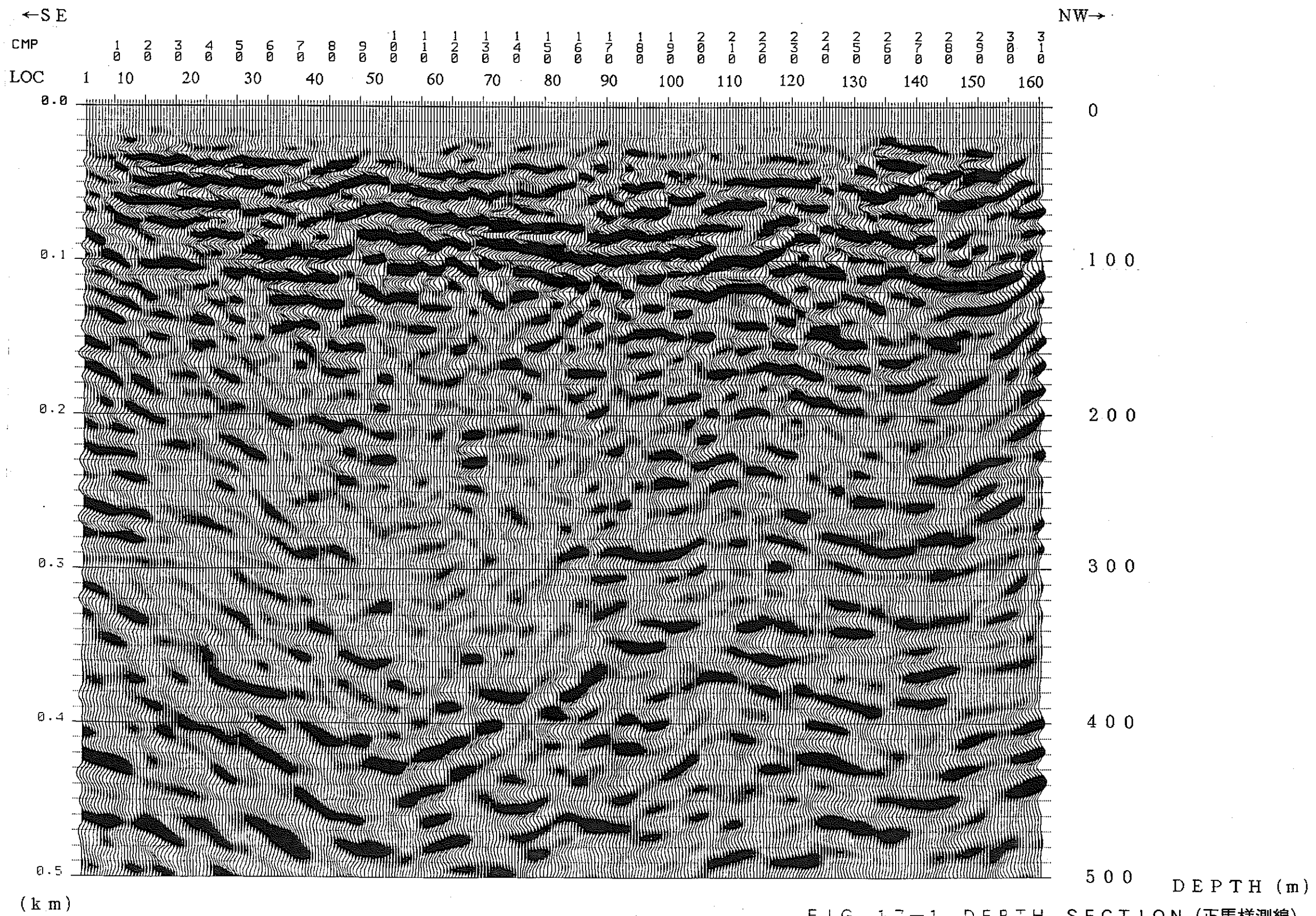


FIG. 17-1 DEPTH SECTION (正馬様測線)

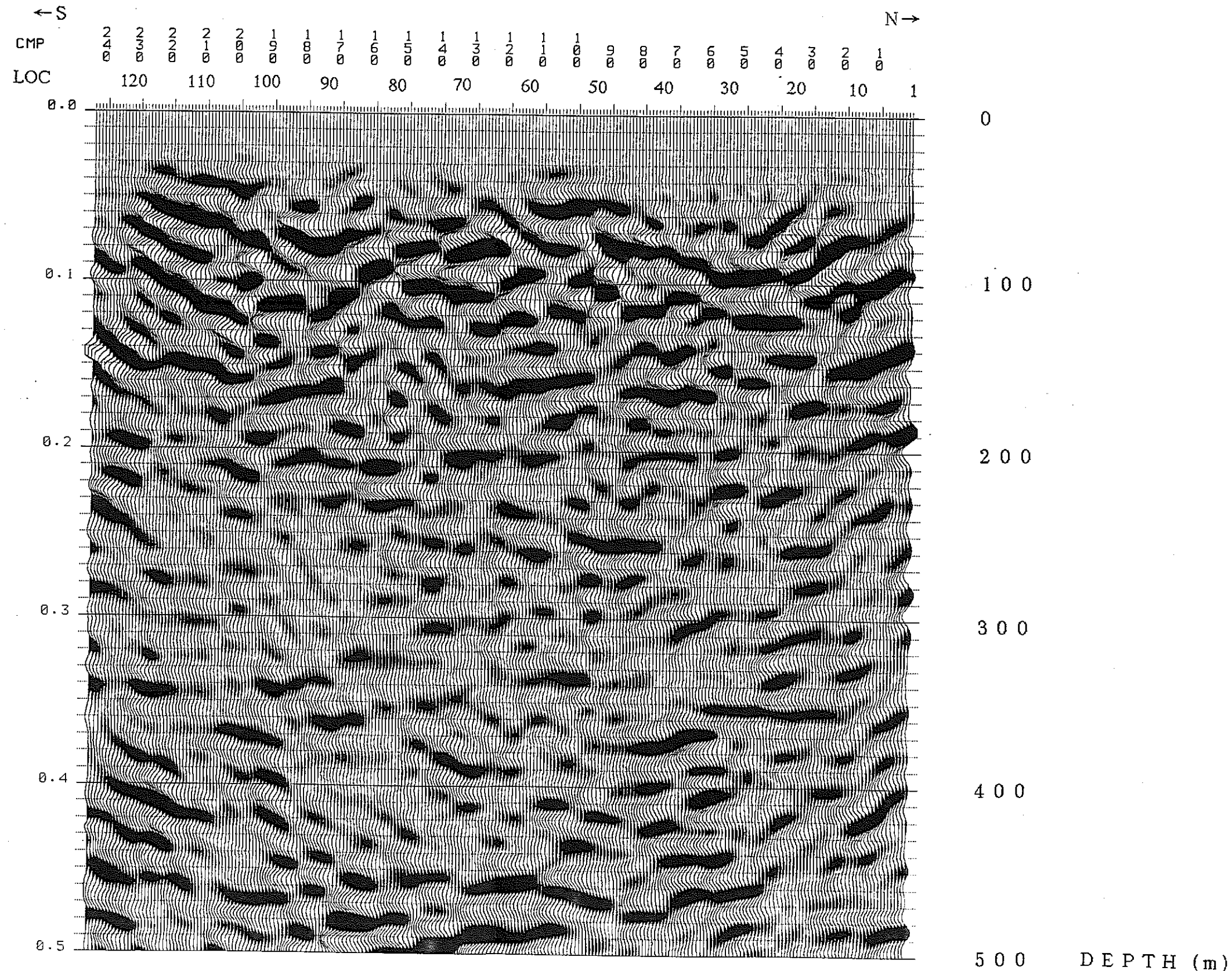
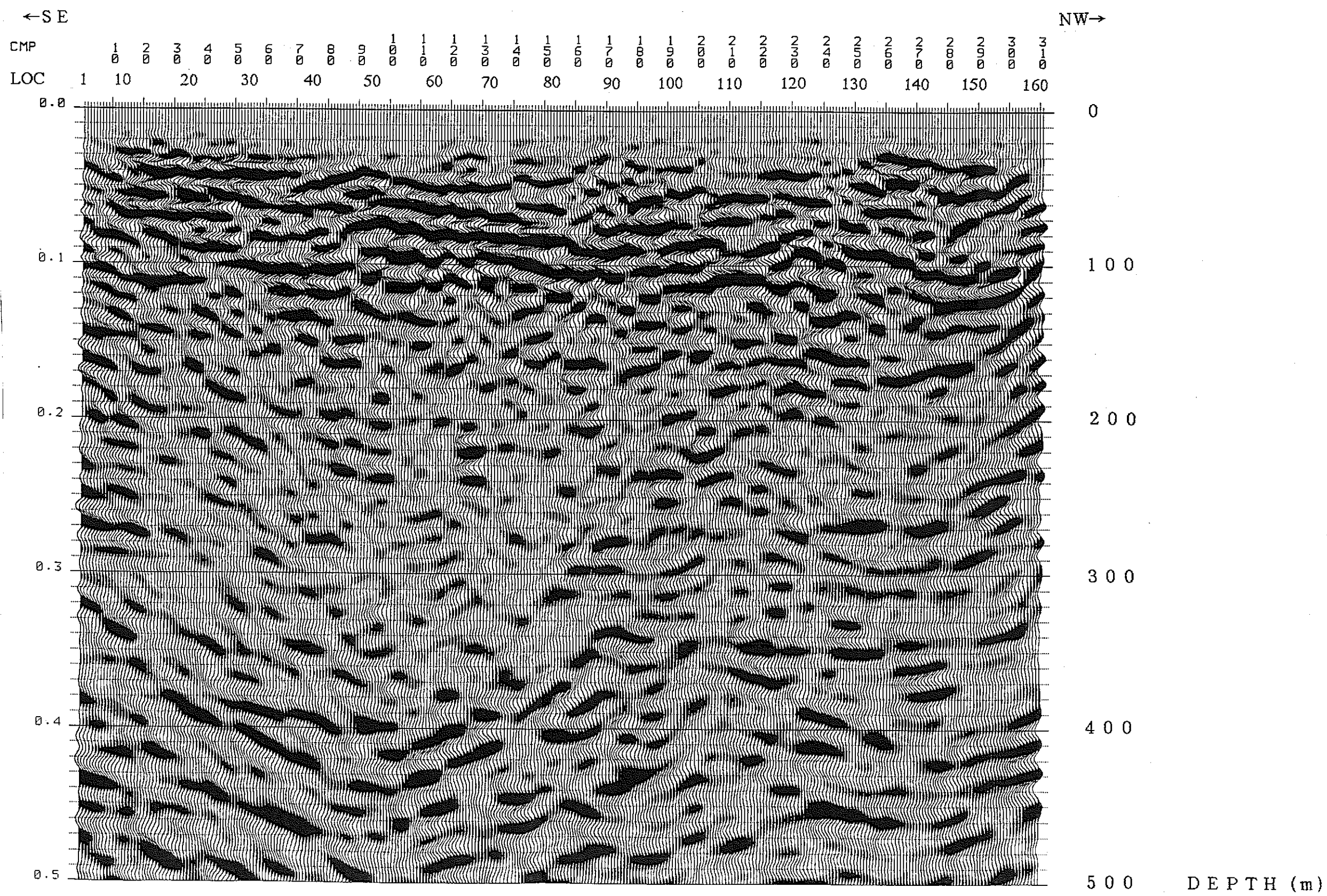


FIG. 17-2 DEPTH SECTION (若人の丘測線)



(km)

FIG. 18-1 DEPTH SECTION  
REPOLARITY PLOT (正馬様測線)

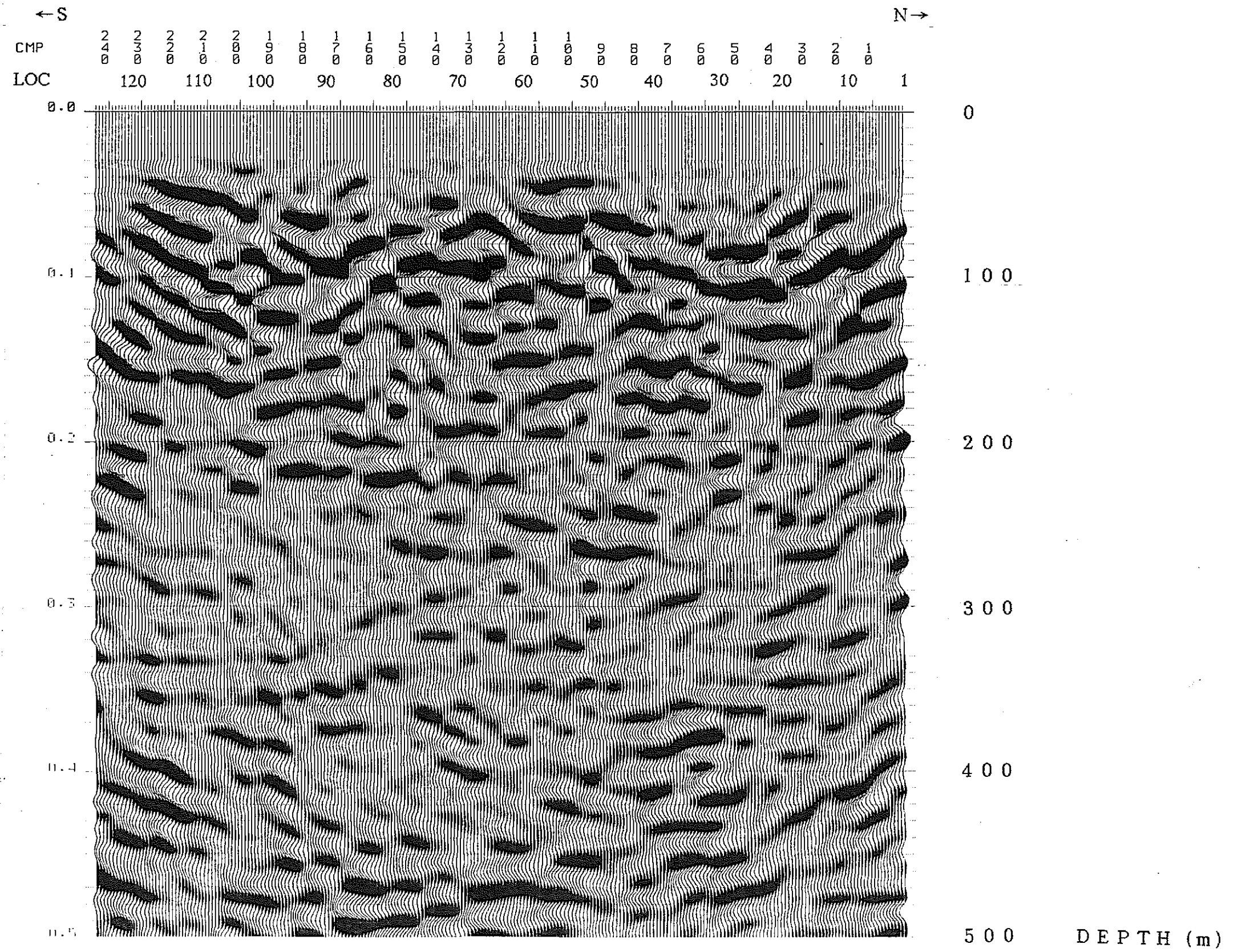


FIG. 18-2 DEPTH SECTION  
 REPOLARITY PLOT (若人の丘測線)

(km)

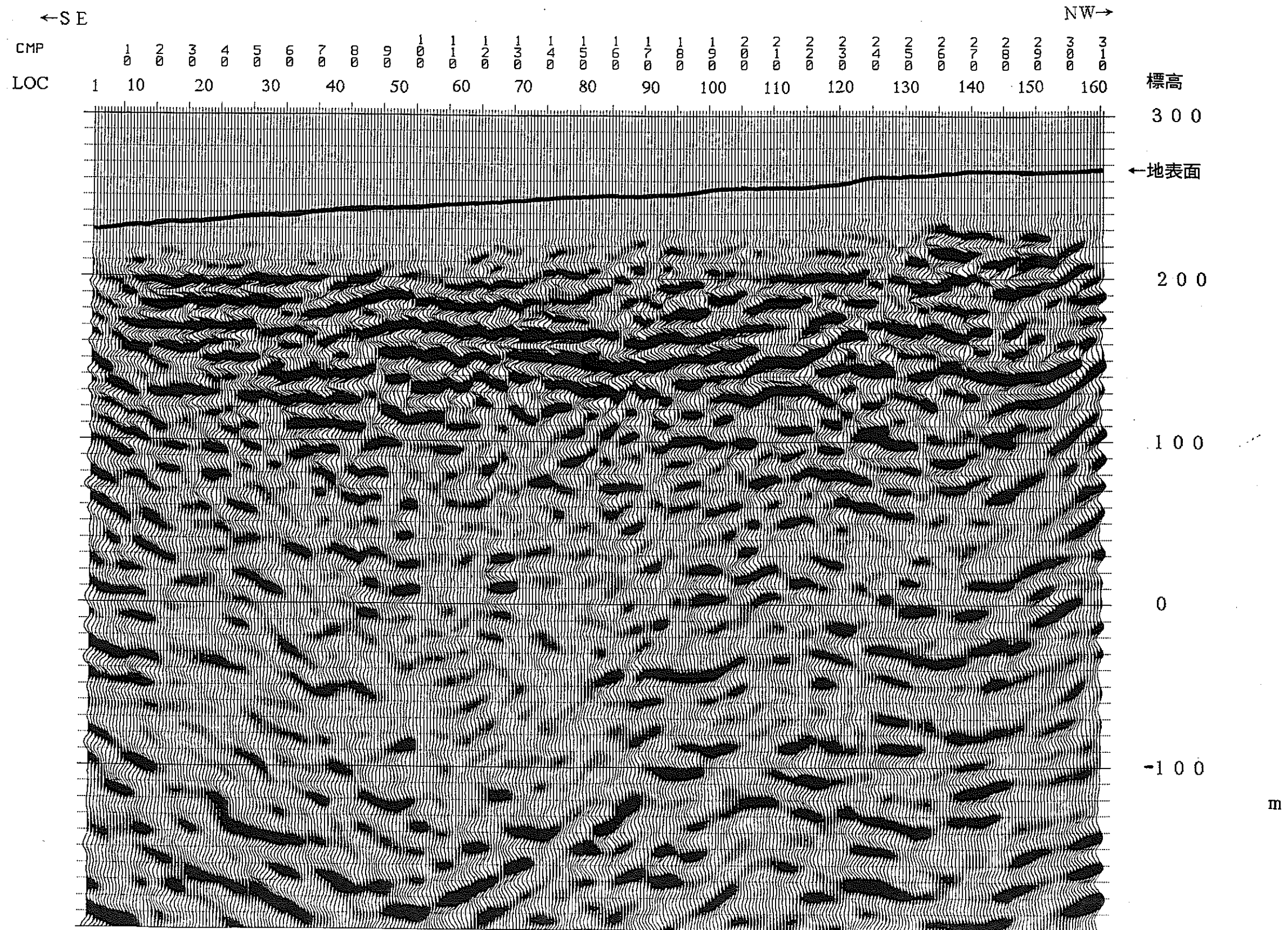


FIG. 19-1 DEPTH SECTION  
標高補正後 (正馬樣測線)

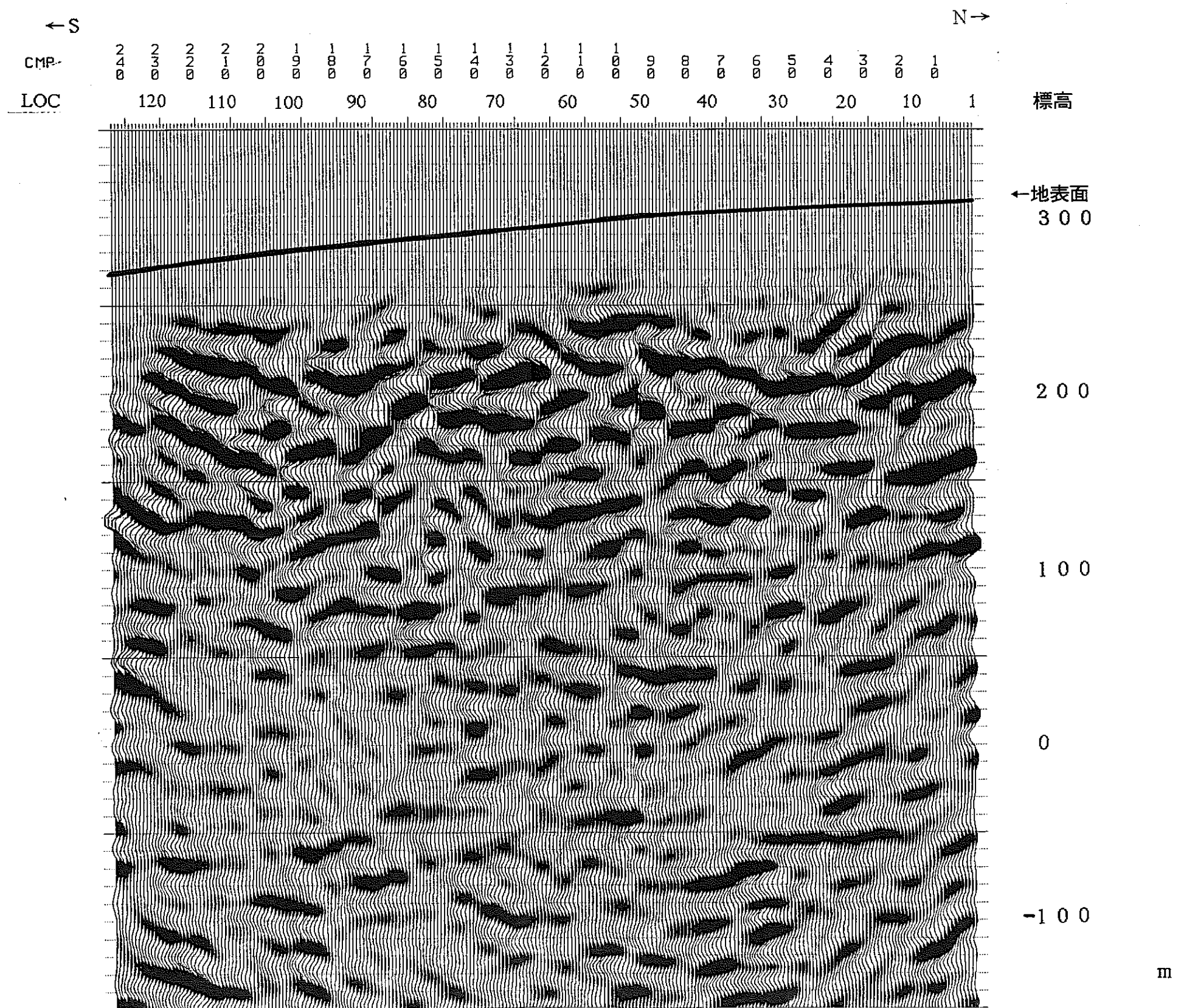


FIG. 19-2 DEPTH SECTION  
標高補正後 (若人の丘測線)

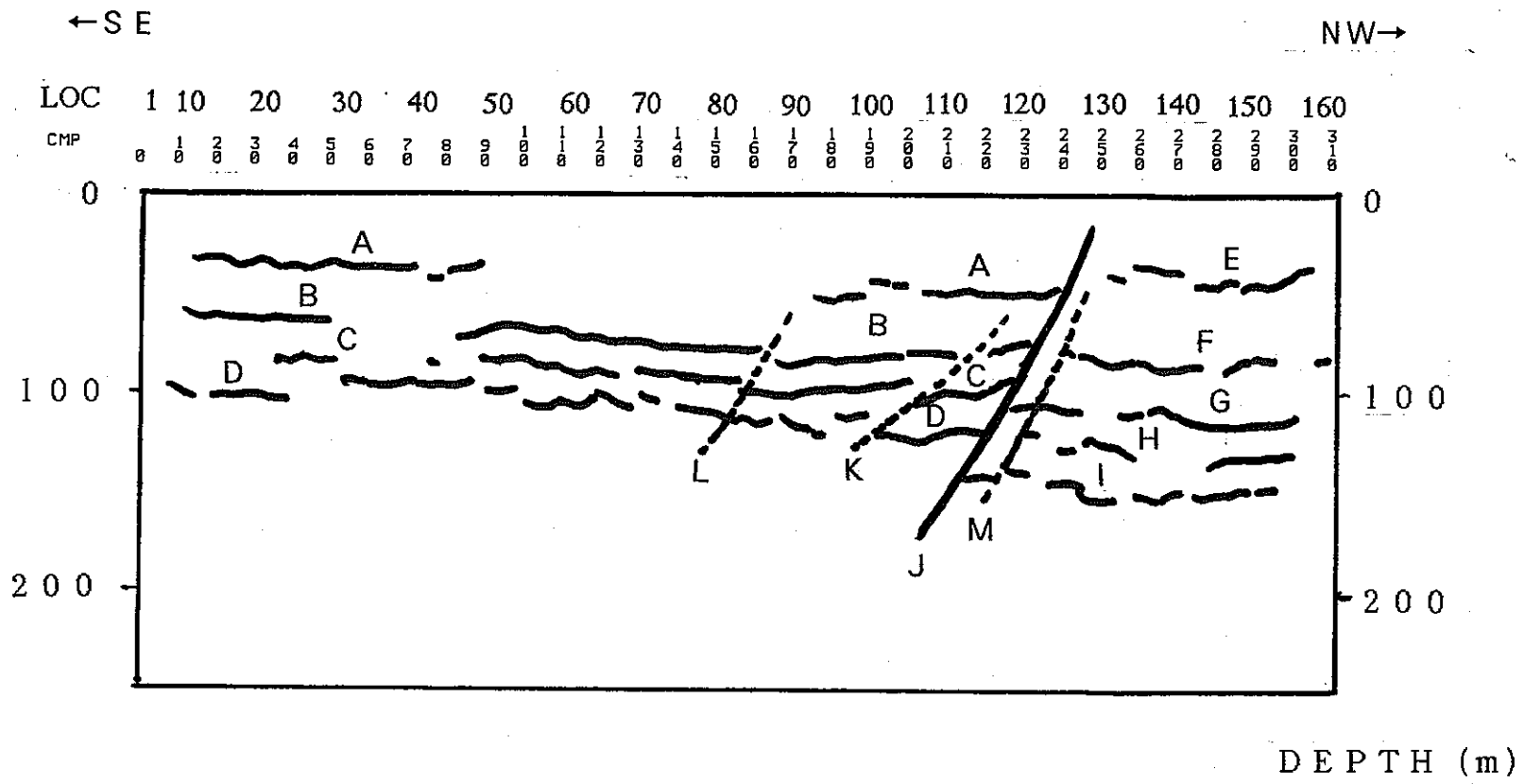


FIG. 20-1 解釈図 (正馬様測線)

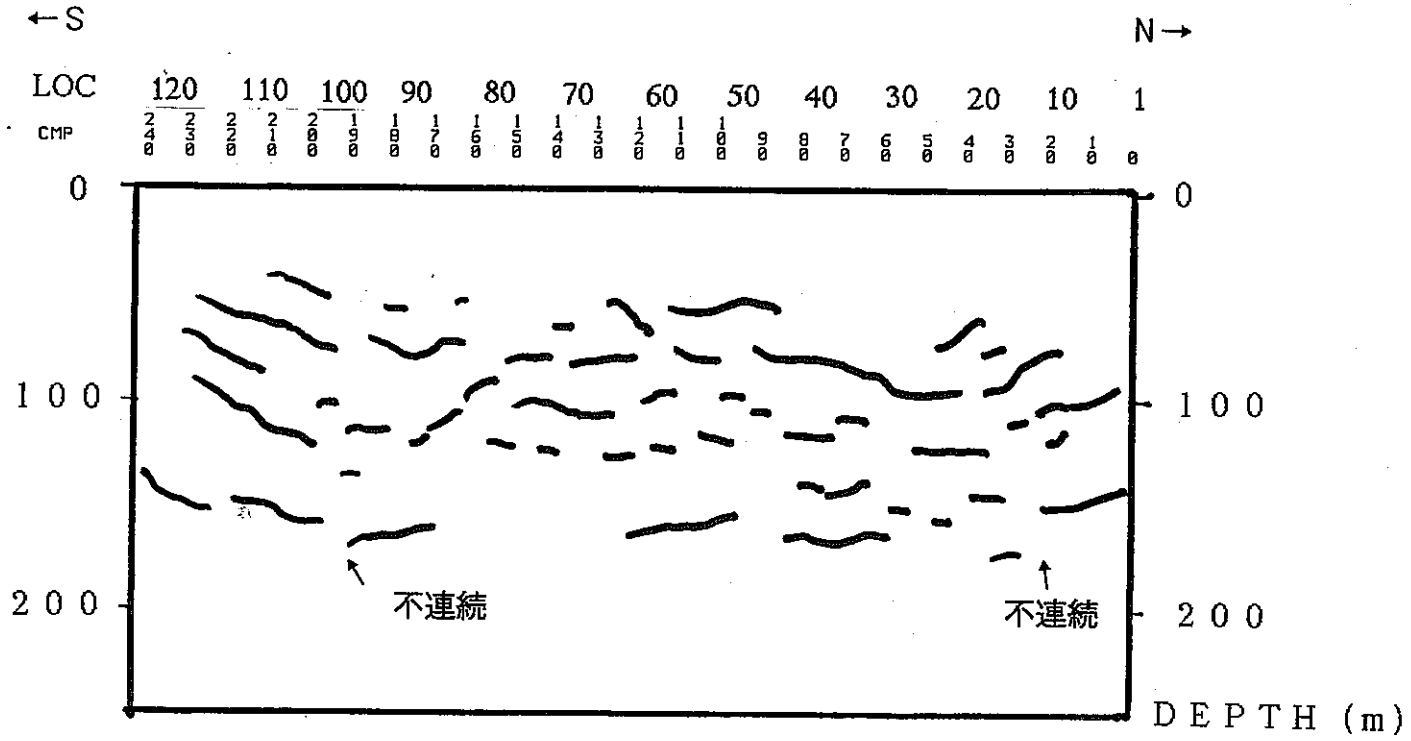


FIG. 20-2 解釈図 (若人の丘測線)



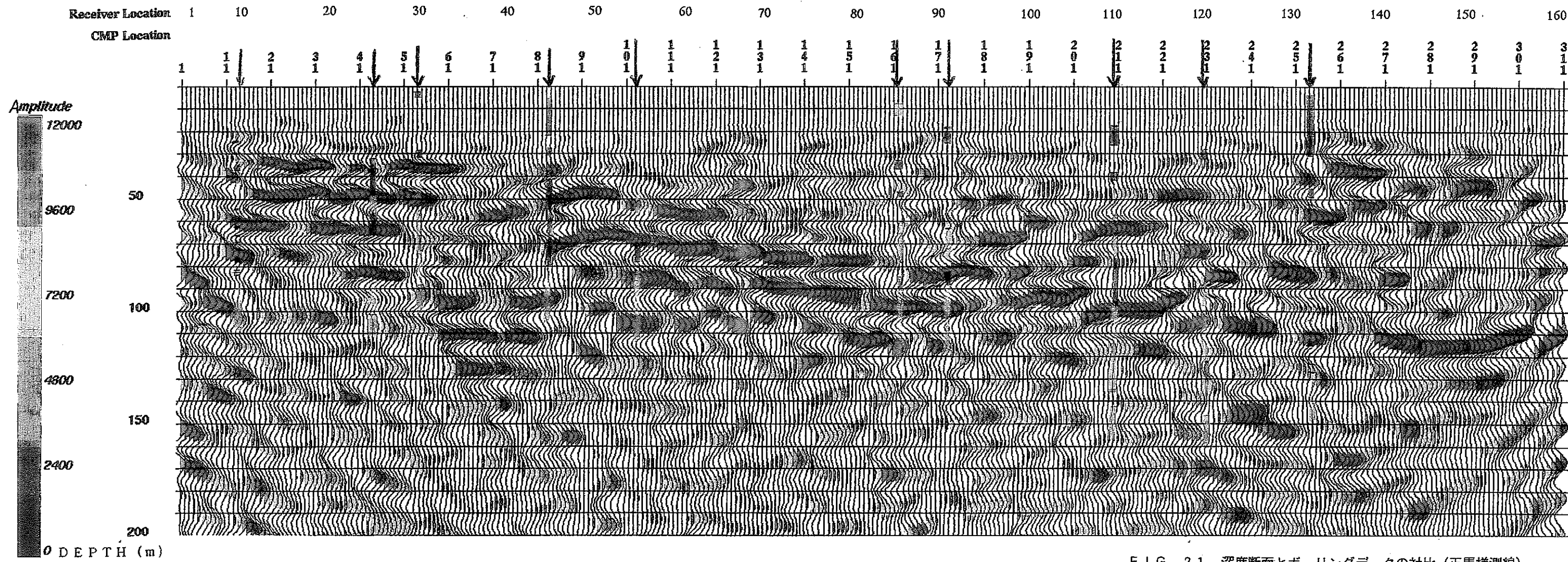


FIG. 21 深度断面とボーリングデータの対比 (正馬様測線)

測線名	正馬様	若人の丘
震源	小型油圧インパクト CJM-MINI65	
発震点間隔	4m	
総発震点数	156	117
地震計	OYO Mcseis122 28Hz	
設置パターン	9個/ch	
受振点間隔	4m	
総受振点数	162	126
探鉱機	OYO DAS-1	
チャンネル数	48	
サンプルレート	1msec	
記録長	2sec	
テープフォーマット	SEG-D8015 (DAT)	
利得制御	I. F. P.	
プリアンプゲイン	48dB	
Low cut周波数	3Hz	
High cut周波数	500Hz (ナイキスト周波数)	

表1 測定時のパラメータ

正馬様測線								
LOCATION NUMBER	TIME	15	45	55	72	85	105	500
2 1 ~ 2 3	RMS VELOCITY	1275	2100	2225	2300	2425	2600	4000
LOCATION NUMBER	TIME	20	45	60	75	85	170	500
3 6 ~ 3 8	RMS VELOCITY	1800	2125	2200	2275	2500	2900	4000
LOCATION NUMBER	TIME	15	35	60	90	108	500	
5 1 ~ 5 3	RMS VELOCITY	1300	1800	1925	2100	2250	4000	
LOCATION NUMBER	TIME	15	57	70	83	95	500	
6 7 ~ 6 9	RMS VELOCITY	1700	2075	2100	2275	2475	4000	
LOCATION NUMBER	TIME	15	32	55	82	100	113	500
8 2 ~ 8 4	RMS VELOCITY	1450	1550	1650	2000	2200	2450	4000
LOCATION NUMBER	TIME	20	60	80	90	105	500	
9 6 ~ 9 8	RMS VELOCITY	1600	1900	2200	2300	2500	4000	
LOCATION NUMBER	TIME	20	55	75	100	500		
1 1 2 ~ 1 1 4	RMS VELOCITY	1800	2125	2225	2575	4000		
LOCATION NUMBER	TIME	20	60	87	110	120	500	
1 2 7 ~ 1 2 9	RMS VELOCITY	1500	1950	2075	2200	2250	4000	
LOCATION NUMBER	TIME	18	56	86	125	500		
1 4 2 ~ 1 4 4	RMS VELOCITY	1500	1800	1900	2400	4000		
LOCATION NUMBER	TIME	10	53	78	133	500		
1 5 6 ~ 1 5 8	RMS VELOCITY	1400	1700	2100	2400	4000		

表2 速度解析の結果 (正馬様測線)

TIMEの単位は msec  
RMS VELOCITYの単位は m/sec

若人の丘測線						
LOCATION NUMBER	TIME	25	45	500		
10~12	RMS VELOCITY	2200	2800	4500		
LOCATION NUMBER	TIME	30	45	500		
25~27	RMS VELOCITY	2500	3350	4500		
LOCATION NUMBER	TIME	29	40	500		
40~42	RMS VELOCITY	3000	3600	4500		
LOCATION NUMBER	TIME	21	40	58	500	
55~57	RMS VELOCITY	3150	3850	4300	4500	
LOCATION NUMBER	TIME	25	48	62	120	500
70~72	RMS VELOCITY	3000	3300	3500	3900	4500
LOCATION NUMBER	TIME	21	52	500		
85~87	RMS VELOCITY	3000	3700	4500		
LOCATION NUMBER	TIME	20	70	500		
100~102	RMS VELOCITY	3500	3900	4500		
LOCATION NUMBER	TIME	20	45	500		
115~117	RMS VELOCITY	3200	3700	4500		

表3 速度解析の結果(若人の丘測線)

TIMEの単位は msec  
RMS VELOCITYの単位は m/sec