

新潟県中蒲原郡中之口地震探鉱調査技術報告

南雲 昭三郎* 川島 威*

Technical Report of Nakanokuchi Seismic Survey

by

Shozaburo Nagumo & Takeshi Kawashima

Abstract

The central part of Kambara plain in Niigata prefecture has been known one of the typical area where the detection of reflection signal is extremely difficult. By this seismic survey, it was found that one of the main causes which disturbs the detection of reflection signal is the strong progressive disturbance. This disturbance is not satisfactorily suppressed by the conventional pattern shooting and multiple geophone setting. The use of the off-set spread system was fully tested. It was proved that the continuous profiling method by off-set spread would be useful for the routine seismic survey in this area. It was also shown that mixing is very effective for the improvement of reflection quality in this area.

1. 緒言

特別研究構造化天然ガス調査の1つとして、新潟県蒲原平野南部中之口地震探鉱調査が、昭和36年11月～12月にわたり、石油資源開発K. K. に依託して行なわれた。この地震探鉱調査は蒲原平野南部を横断する測線について地震断面図を作成し、潜在構造を把握するとともに蒲原平野における反射波検出技術に関する基礎資料をえ、今後の探鉱方針を樹立することを目的としたものである。このうち地震断面図についての調査報告書はすでに石油資源開発K. K. より提出されている。この報告は、今回の調査においてえられた反射波検出技術上の実験データおよび成果をまとめたものである。

なお面積表示方式記録の作成には井波和夫が参加した。

2. オフセット展開

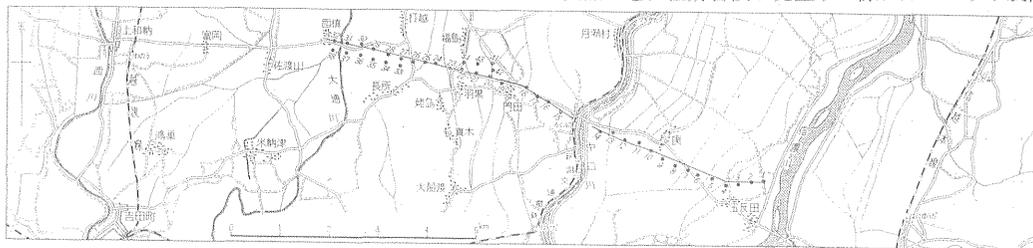
実験経過

調査は測線の東部より開始され、平野中央部に進むにつれて、当初予想していたように、反射波の検出が難か

しくなっていた。反射波の検出統御として、6～8孔の多孔爆発法、受振器24個の群設置法を行なつたにもかかわらずなお、スピリット展開の記録において、優勢な進行性妨害波が見られた。深部の反射波はこの妨害波によつて検出が著しく困難になっている。爆破点18、19間の端末爆破によつて、この妨害波の到達以前では、深部からの反射波が明瞭に検出される見通しをえたので、爆破点24～27間において、スピリット展開に加えて端末爆破を行ない、スピリット展開で充分検出できない反射波を長い展開で検出するとともに、この地域の深部反射波として非常に綺麗な反射波が到来していること、および進行性妨害波がその検出を妨げているおもな因子であることを確認した。

それで当地域ではオフセット展開による連続断面法が有効であろうと推定されたので、これを確かめるために実験を行なつた。すなわち爆破点38～33、41～44においてスピリット展開と重複してオフセット爆破を行ない、またスプレッド(19～20～21)においてオフセット距離の実験を行なつた。第1図は当地震探査の測線図である。

強烈な進行性妨害波が発生する際にオフセット展開に



第1図 中之口地震探鉱調査測線図

* 物理探査部

よつてそれを逃げるという方法は、地震探鉱反射波の初期から行なわれており、これまでいくどか試用されてきているものである。しかし多孔爆発法・群設置法の発達によつてこれら進行性妨害波が相当程度除去できるようになるにつれて、スプリット展開による連続断面法がある程度標準とされてきた。しかし当地域ではこの標準の方法では深部の反射検出が著しく困難であるので、それに代わるものを求めなければならない。それで今後の当蒲原地域の探鉱方法について、その判断に充分な比較データが必要であると考えられたので、構造確認の意味をかねて、爆破点20~32にわたり、スプリット展開とオフセット展開との比較記録をとつたしだいである。

2.1 特有な進行性妨害波

当地域の中之口川以西の平野部における強烈な進行性妨害波の1例を図版1に示す。観測条件は同図版の説明に記したとおりである。図版1 B, Cにみられるように、爆破点から進行性妨害波がでており、この波は6~8孔の多孔爆発法、24個の受振器群設置法の組合せによつてもまだ充分には除去されていない。そしてこの妨害波が到来すると、反射波の検出は著しく困難になっている。

この記録は端末爆破 (end shooting) によって得たもので、展開長は通常の長さの2倍である。したがつて通常の24成分のスプリット展開では、この記録B, Cの爆破点から12成分までの記録しかとらないため、反射波の検出は著しく困難である。図版1 Aは S.P. 24 におけるスプリット展開の記録である。S.P. 24 の端末爆破でみられるK反射波群はスプリット展開では記録の端の数トレースにみえるだけであり、それ以下の反射波群はスプリット展開では検出が不可能になっている。

この強烈な進行性妨害波の特徴は (i) 爆発瞬間後約0.6~0.7秒経てから爆破点から外方へ送りだされていること。(ii) 伝播速度が約340~400m/secと音波に近い速度であること。(iii) 通常多孔爆発法群設置法で除去し難いことなどである。この妨害波に関係が深いと思われる表層の条件は、中之口地震探鉱調査報告書^(注)の付図 No. 6, 8の速度検層および初動走時曲線からわかつた範囲において、深度約10m前後まで約400m/sec程度の速度層があり、その下が約800m程度の速度層となつており、また深度約80m程度に速度約1600m/secの速度層が認められている。この特徴ある進行性妨害波の性質を解明するための実験は今回行ないえなかつた。将来この波の性質を究明し、除去する方法を構ずる必要があろう。

2.2 オフセット展開の効果

2.2.1 オフセット距離に関する実験

爆破点から進行性妨害波を逃げて、着目する反射波を
注) 王野俊朗・花田博・鳥羽武文：中之口地震探鉱調査報告書 (未発表), 1962

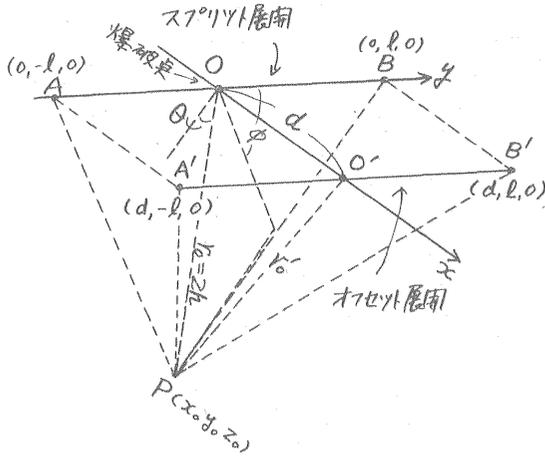
検出するためには、展開を爆破点からいかに離したらよいかは、妨害波の爆破点から送りだされる時間、伝播速度および検出しようとする反射波の到達時間から撰択することができる。オフセット距離を大きくすればするほど深い反射波の検出は良くなると思われるがあまりオフセット距離を大きくすると、実際の作業能率や解析作業の取り扱いの繁雑さに関係してくる。したがつて実際の問題としては、適当な距離に妥協する必要がある。端末爆破の記録 (図版1) からわかるように、オフセット距離約550mにとると、妨害波の到達時間は爆発瞬間から約2.0秒後であるのでそれまでの反射波は検出されるはずであり、またオフセット距離300m程度では約1.4秒までの反射波が検出されるはずである。図版2は同一スプレッドに対してオフセット距離を変えた記録の例である。

例えば約1.2秒のK反射波についてみると、S.P. 20 (オフセット距離40m) では記録の端の数トレースにしかな認められないが、S.P. 41 (オフセット距離300m) では全トレースにわたつて揃つている。また1.4秒のL反射波については、S.P. 20の記録ではまったく認め難いが、S.P. 41の記録では小さい振幅ながら揃つて検出される。また S.P. 41 の記録では妨害波が到達した後でも、いくつかの反射波を検出することができる。浅い反射Aをみてみると、S.P. 20の記録では位相の揃いは明確であるが、波形はかなりのノイズを重畳している。しかるに S.P. 41の記録では、反射波形も非常に綺麗になつている。このようにオフセット距離を大きくするにつれて着実に反射波の検出が向上してゆく。これは爆破点から離れるにしたがつて上述の特有な進行性妨害波のみならず、その他の妨害波からも逃げえ、また距離とともに妨害波振幅が小さくなるためでもあろう。なおS.P. 41の多孔爆発法の孔の配置が測線に対して直交するように一列に配列してあるのでその効果が表われているかも知れない。今後オフセットにおいて多孔爆発法の孔の配置および群設置受振器の配列について充分注意する必要がある。

2.2.2 記録断面によるオフセット展開とスプリット展開との比較

同一のスプレッドに対するオフセット爆破とスプリット爆破による連続断面法を記録断面で比較した例が図版3, 4である。オフセット距離は図版に示したとおりである。

オフセット効果のみやすいように進行性妨害波の到達を斜線ハッチで示し、反射波位相を実線でマークしてある。図版4はオフセット距離が小さいため効果がまだ充分ではないが、いずれもオフセット距離によつて妨害波の到達時間が遅れ、反射波の質が着実に向上しているこ



$$\begin{cases} x_0 = zh \sin \phi \sin \theta \\ y_0 = zh \sin \theta \cos \phi \\ z_0 = zh \cos \theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2} / V = r_0 / V \\ T_0' = \sqrt{(x_0 - d)^2 + y_0^2 + z_0^2} / V = r_0' / V \\ T_A = V / \sqrt{x_0^2 + (l - y_0)^2 + z_0^2} / V \\ T_B = \sqrt{x_0^2 + (l + y_0)^2 + z_0^2} / V \\ T_{A'} = \sqrt{(x_0 - d)^2 + (l + y_0)^2 + z_0^2} / V \\ T_{B'} = \sqrt{(x_0 - d)^2 + (l - y_0)^2 + z_0^2} / V \\ \Delta T = T_A - T_B \\ \Delta T' = T_{A'} - T_{B'} \end{cases}$$

第2図 スプリット展開 AB, オフセット展開 A'B', 爆発点 O, 像爆発点 P

とが認められる。とくにK反射波群の向上は著しい。

2.3 $T_0, \Delta T$ の誤差

オフセット展開で得られた展開中点の反射時間 T_0' , 走時差 $\Delta T'$ から, 反射面の深度・傾斜を計算する場合, スプリット展開の計算方式を用いるとすると, 深度・傾斜にどの程度の誤差を生ずるのであろうか。またこの誤差に対して, どのような取り扱いをしたらよいであろうか。

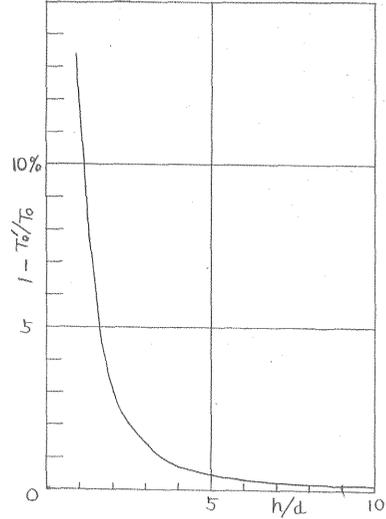
スプリット展開とオフセット展開における反射時間, 走時差の誤差をそれぞれ E_1, E_2 とすると, 媒質内の速度一定という仮定の下で, それらは次式で表わされる。

$$E_1 \equiv 1 - T_0' / T_0 = 1 - \frac{\sqrt{d^2 - 2d r_0 \sin \theta \sin \phi + r_0^2}}{r_0} \quad (1)$$

$$E_2 \equiv 1 - \Delta T' / \Delta T = 1 - \frac{\sqrt{r_0'^2 + l^2 - 2l r_0' \sin \theta \cos \phi} - \sqrt{r_0'^2 + l^2 + 2l r_0' \sin \theta \cos \phi}}{\sqrt{r_0'^2 + l^2 - 2l r_0 \sin \theta \cos \phi} - \sqrt{r_0'^2 + l^2 + 2l r_0 \sin \theta \cos \phi}} \quad (2)$$

上式でそれぞれの記号は第2図を参照して下記のとおりである。

T_0, T_0' : スプリット展開, オフセット展開の中点における反射時間



第3図 オフセット展開とスプリット展開による反射時間の变化。 T_0', T_0 ; オフセット展開, スプリット展開における中点反射時間

$\Delta T_0, \Delta T_0'$: スプリット展開, オフセット展開の走時差

d : オフセット距離

$2l$: 展開の長さ

h : 爆発点から反射面への垂直深度

$r_0 = 2h$: 爆発点から像爆発点までの距離

r_0' : オフセット展開中点から像爆発点までの距離

θ : 反射面の傾斜角

ϕ : 反射面の走向と測線とのなす角

まず T_0 の誤差をみてみよう。水平反射面の場合, ($\theta = 0$), または測線が傾斜方向にとられている場合 ($\phi = 0$) は(1)式より

$$E_1(T_0) = 1 - T_0' / T_0 = 1 - \sqrt{1 + (d/2h)^2}$$

となる。これを図示したものが第3図である。オフセット距離 d に較べて反射面の深度 h が大きいほど誤差は小さくなり, $h/d > 2$ で誤差は3%以下となる。しかし, 連続断面法の反射位相の相関の場合は T_0 の絶対値が問題となるので, このわずかの誤差も充分注意して相関をつけてゆく必要がある。例えば反射時間1秒の反射波に対して2%の誤差は2/100秒であり, 反射波位相の相関において一山くい違いを生じやすい程度の量である。ことにオフセット展開連続断面法においては爆発点と端受振点との関係が相反性を厳密には満足していないのとくに注意が必要である。したがってオフセット展開連続断面法においてはオフセット距離 d はできるだけ一定に保つことが望ましい。

測線が走向方向にとられている場合 ($\phi = 90^\circ$) は T_0

の誤差は

$$E_1(T_0) = 1 - T_0' / T_0 = 1 - \sqrt{1 + (d/2h)^2 - 2(d/2h)\sin\theta}$$

となり、反射面の傾斜 θ に依存する。 $\theta > 0$ の場合の誤差は $\theta < 0$ の場合より小さくなる。すなわち、爆破点を up-dip の方向にオフセットすると誤差を小さくすることができる。これはオフセットの方向を決めるときに大切なことである。

次に ΔT の誤差をみてみよう。第2式は簡単な計算の結果¹⁾ 近似的に

$$1 - \Delta T' / \Delta T \approx 1 - \Delta T_0' / T_0$$

となり、 ΔT の誤差は T_0 の誤差とほぼ等しくなる。したがって、 ΔT の誤差は $h/d > 2$ で約 3% 以下と見積ることができる。 ΔT の読取り誤差は通常 10~20% 程度あり、またこの程度の誤差は連続断面法における反射面の傾斜計算には大きな問題とはならない。したがってオフセット展開における ΔT の誤差は特別の場合を除いては無視してさしつかえないと思われる。

3. 混合法

当測線の反射波の検出が、爆発後約 1 秒以降で悪くなるので、混合法によって反射波検出の向上を試みたところ、非常に顕著な効果が得られた。図版 5 は混合した記録断面と混合しない元の記録断面の例である。混合は 33% - 33% - 33% の両側混合を用いた。反射波位相の連がりや混合によって非常にみやすくなっている。しかし混合によって偽似位相揃い (false line up) が生ずるので反射波位相および連続性の判定は充分注意深く行なう必要がある。混合の長所短所をさらに細かく表わしている例を次に示す。

図版 6 は爆破点 18, 19 における端末爆破記録の混合しないものと、混合したものとと比較記録である。先に述べた当地域特有の進行性妨害波の到達以前では綺麗な反射波が到来しており、これが混合されるとさらによい反射波形となつている。しかるに妨害波と反射波と出会った所では、その反射波の位相のつながりが奇妙に湾曲する形になつている。この反射波位相揃いの妨害波による偽似屈曲は、位相の追跡において充分注意しなければならない。また妨害波が卓越している中に反射波の位相を追うことは、混合記録においても難しい。進行性妨害波の到達した後において、混合記録上に部分的位相揃いがみられるが、それらは記録の端部数トレースに検出される反射波と無関係なものが多く、いずれも混合による偽似位相揃いであるとみなされる。同様な例が図版 1 の記録 D, E に示されている。

図版 7 は混合によって良好な反射波がさらによくなつて、反射波連の character および反射波連の分離が明

らかになつた例である。混合しない記録では反射波にまだ相当の雑振動が重畳しているため反射波連の特徴も明確でなく、また波連の分離も明確でない。混合記録では、それらの反射波群が、図に示したように K, L, M, N, P, Q 群に分離され、またそれぞれの反射波連の特徴が出ている。これらの反射波の character は速度検層記録を用いた合成反射記録と相まって反射層の岩相分布の推定にも利用されうるのである。

以上例示したように、当地域の反射記録の混合において、(i) 特有な進行性妨害波の到達以前の良好な反射波は、ますます綺麗になつて、反射波連の character の利用も可能になる。(ii) 強い妨害波にみだされた所では偽似位相揃いが予想以上に生じているため、妨害波領域中の混合による位相の揃いはあまり信頼性がない。(iii) 妨害波と反射波との出会う所で位相の揃いが偽似屈曲を生じているので位相の相関には充分注意する必要がある。(iv) 妨害波の弱い所では貧弱な反射波が一段と質が向上して検出および相関に信頼性を増している。

混合記録断面は第二次構造解析報告を参照されたい。混合記録断面において層の尖滅状況、平野中央部に向かつて堆積層の厚くなつてゆく様子が一見して明瞭に示されている。

4. その他の実験

以上のほかに当地域における反射波検出技術の実験として、浅孔多孔爆発法および爆破深度混合法 (Shot Depth Compositing) の実験を行なつた。

浅孔多孔爆発法は石油資源開発 K. K. のアイデヤによるものであり、深度約 3 m 程度の浅い爆発孔を約 60 孔程度斉発させる方法であり、爆破点 S.P. 17, 20, 28, の 3 カ所で行なつた。表層近くに低速度層が厚く堆積する当地域における有益な資料が得られた。実験の詳細は後日石油資源開発 K. K. によつてまとめられる予定である。

爆破深度混合法は、深い爆発孔によつて、深度を変えて順次爆破し、それぞれの記録を解析用再生機によつて混合する方法であり、爆破点 S.P. 20 において実験を行なつた。実験およびデータ処理の詳細は後日報告する予定である。爆破点 S.P. 20 におけるスプレッド (19-20) に対して、6 孔の多孔爆発、単孔爆破、オフセット爆破、浅孔多孔爆発、深度混合爆破の比較記録が得られている。

当地域の表層の条件はかなり不規則であり、また当平野中央部の地下構造が非常にゆるやかであるので、反射波のわずかの傾斜、反射時間の差を注意深く取り扱う必要がある。これに対して今回実験は行ないえなかつたが、将来精査を行なう場合に対して充分対策を考えておく必要があると思われる。例えば、オフセット展開と端

末爆破の長所を取り入れた“オフセット2重相関連続断面法”なども一つの有効な対策となりうるのではなかろうか。

5. 要約および結論

蒲原平野中央部は従来から反射波検出のきわめて困難な地域とされていた。今回の中之口地震探鉱調査において、反射波検出を妨げている一つの有力な因子は、爆破点から送り出されている特有な進行性妨害波であり、通常の多孔爆発法、群設置法の組合せでは充分除去されないほど強烈であることが判明した。それでこの特有の妨害波を逃げるオフセット展開方式について多数の実験を

行ない、オフセット展開方式による連続断面法が当地域における当面の探鉱方式として適切であることを確かめた。また混合法 (mixing) による反射波検出の向上を試みたところ、当地域では混合法の効果がきわめて著しいことが判明した。

(昭和36年12月調査)

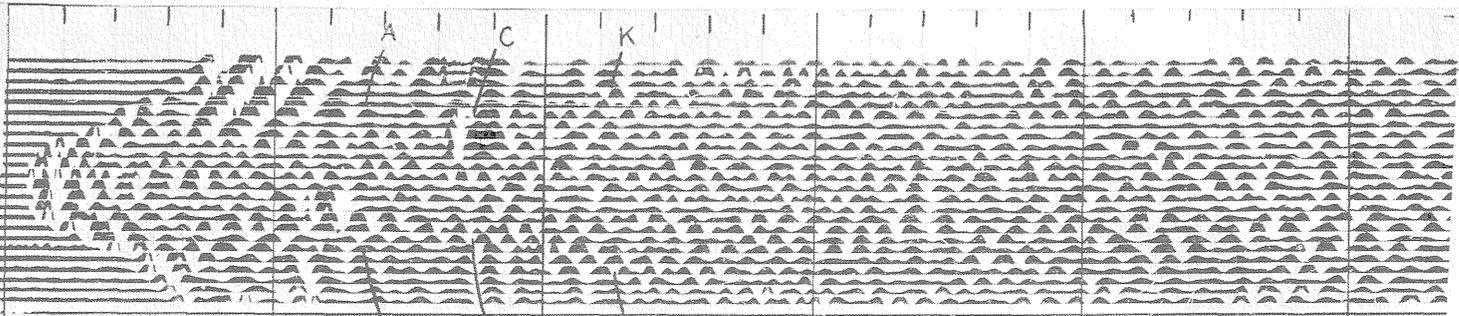
文 献

南雲昭三郎他：オフセットL型展開による連続断面法，
地質調査所月報，Vol. 12, No. 11, p.836
～837, 1961

A

Rec 35

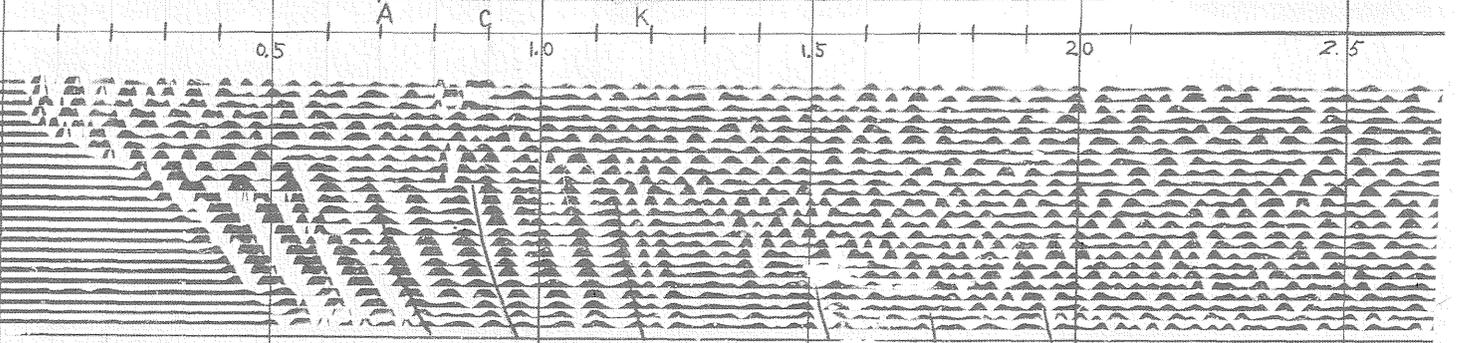
24 (23-24-25)



B

Rec 36

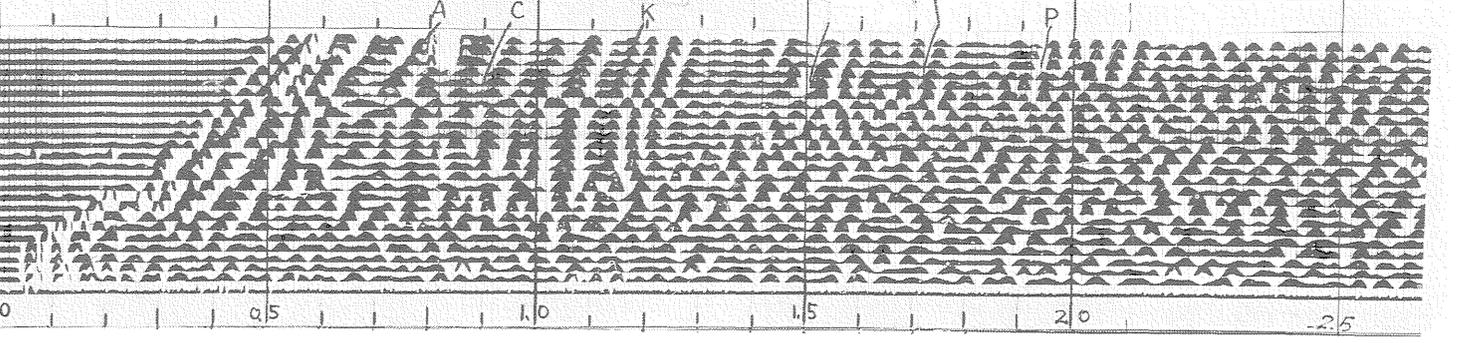
24 (24-25-26)

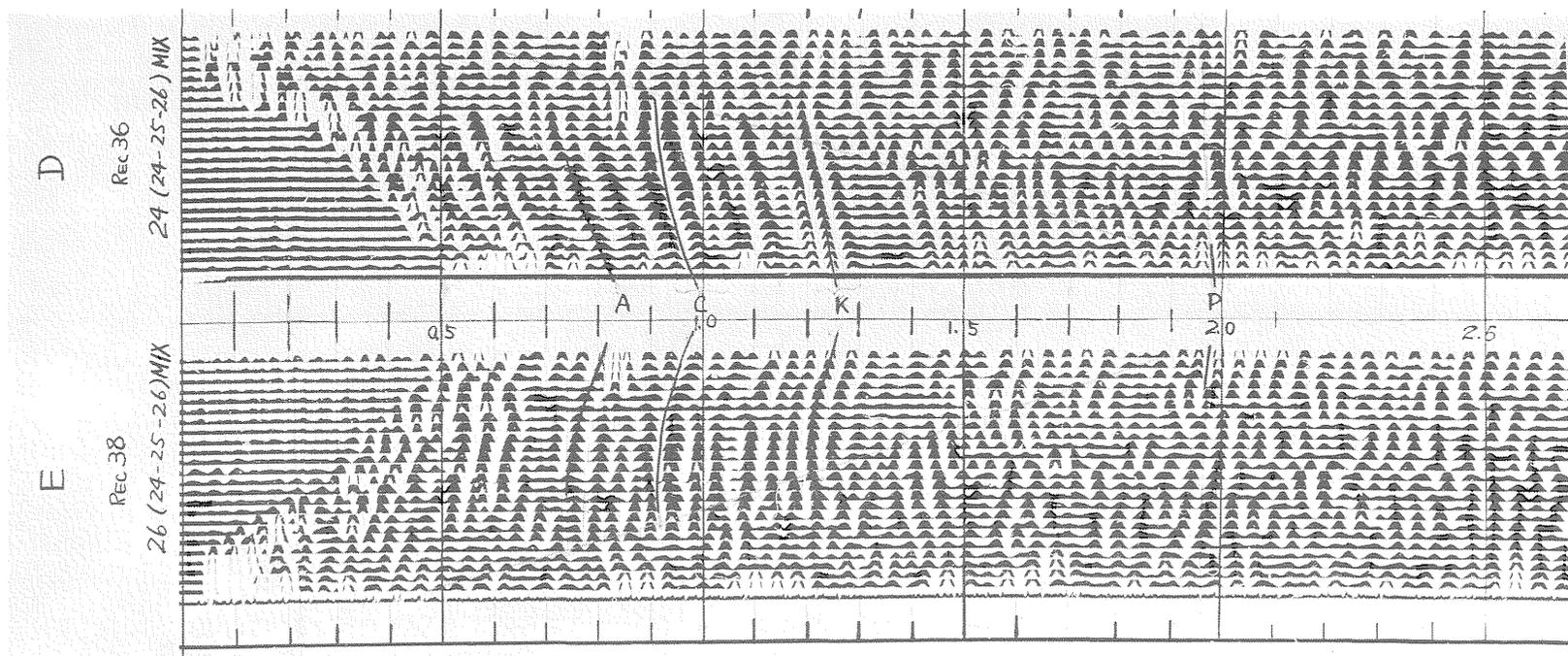


C

Rec 38

26 (24-25-26)





図版1 この地域の特有な進行性妨害波の例

	Record No.	S.P. Geophone spread	Filter	MIX
A	Rec 35	24 (23-24-25)	Broad	NOMIX
B	Rec 36	24 (24-25-26)	"	"
C	Rec 38	26 (24-25-26)	"	"
D	Rec 36	24 (24-25-26)	~	MIX
E	Rec 38	26 (24-25-26)	"	"

Shot : Pattern 8 holes, charge 1.5×8 kg, depth 21m

Geophone Station interval 25m

Group number 24

MIX : 1/3-1/3-1/3, Bidirectional Mixing

記録Aは通常のSplit展開記録。記録B,Cは端末爆破(end shooting)記録。

記録D,Eはそれぞれ記録B,Cの混合記録。

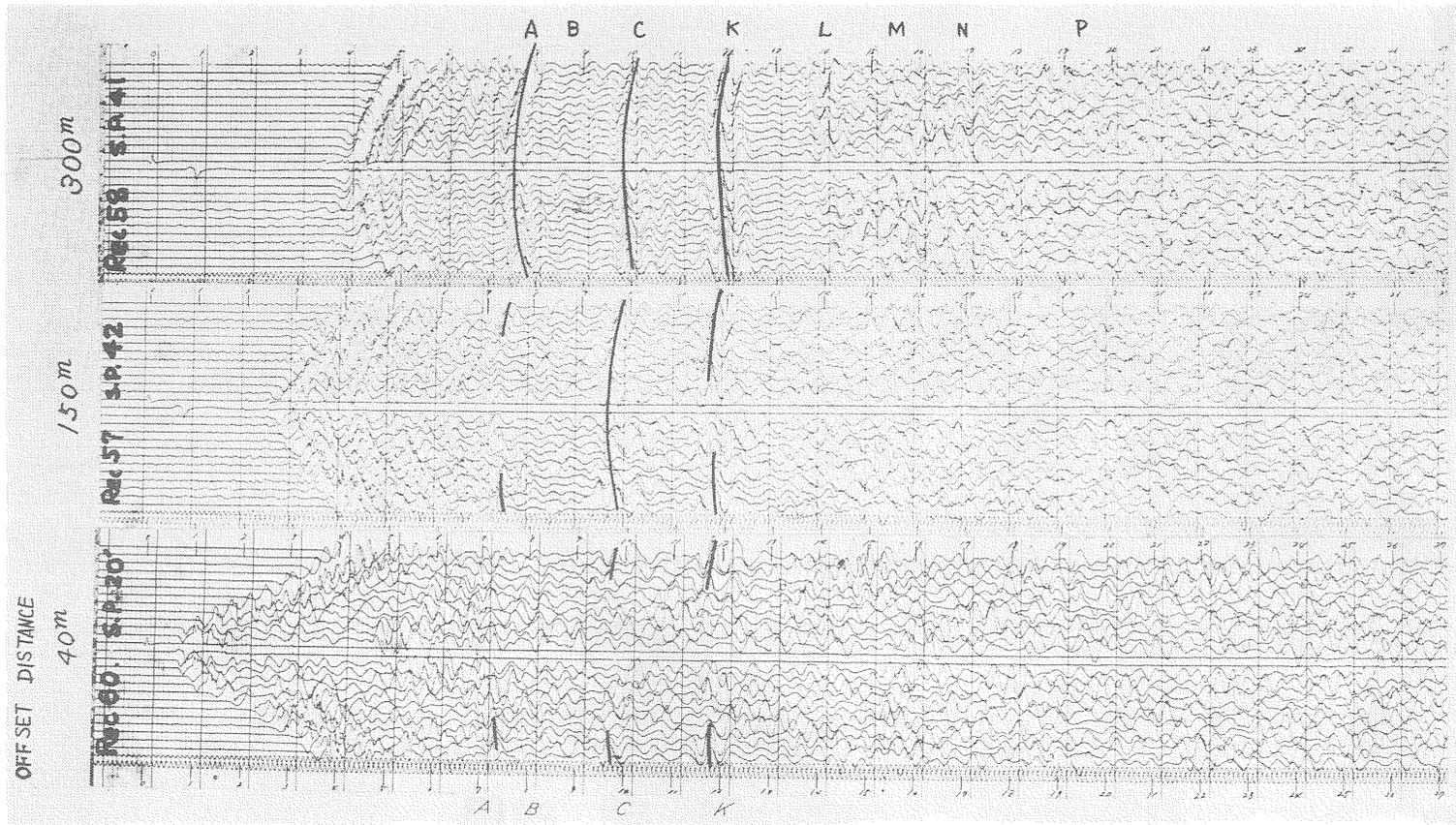


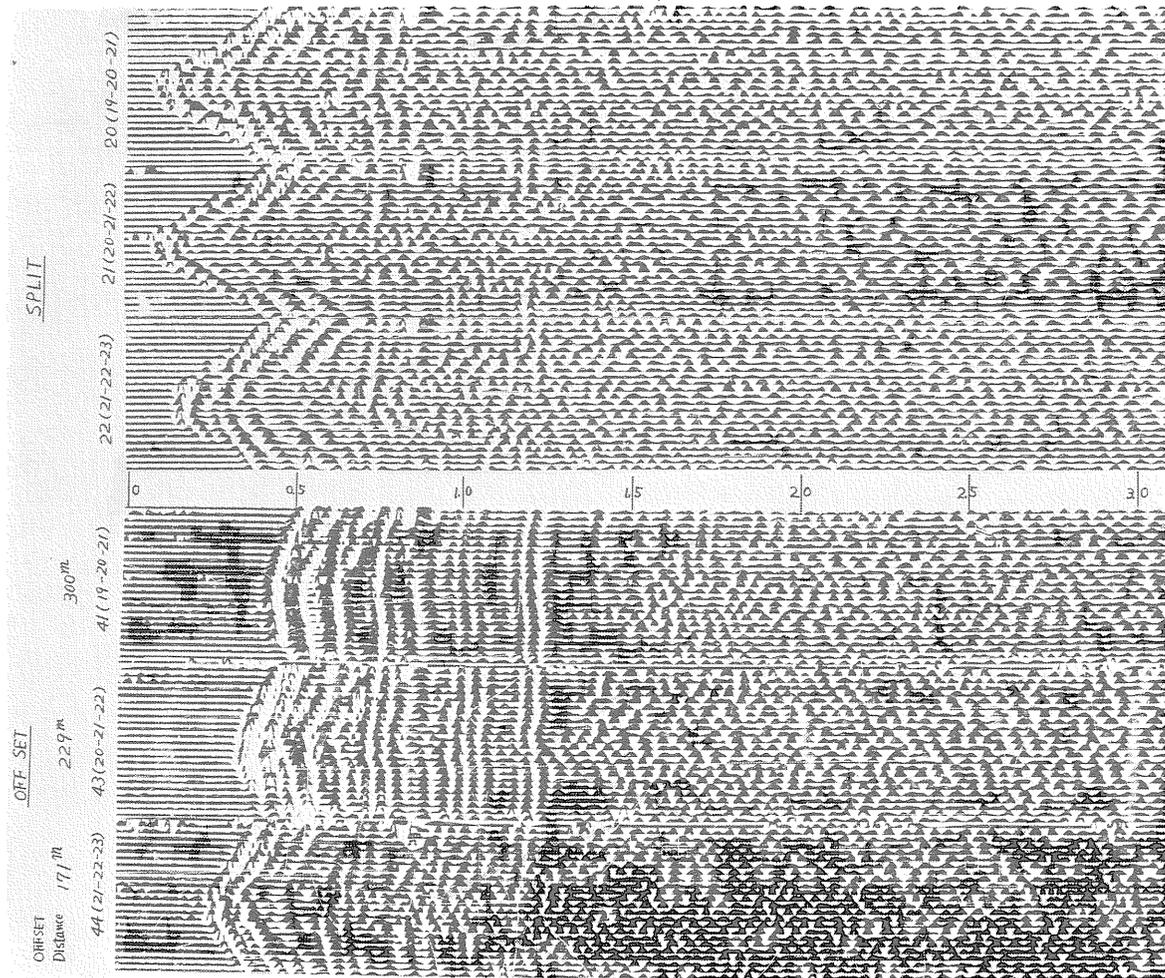
図 版 2 OFF-SET 距離を変えた場合の反射記録の変化

Record No.	S.P.	Geophone spread	OFF-SET Distance
Rec 58	41	(19-20-21)	300m
Rec 57	42	(")	150m
Rec 60	20	(")	25m

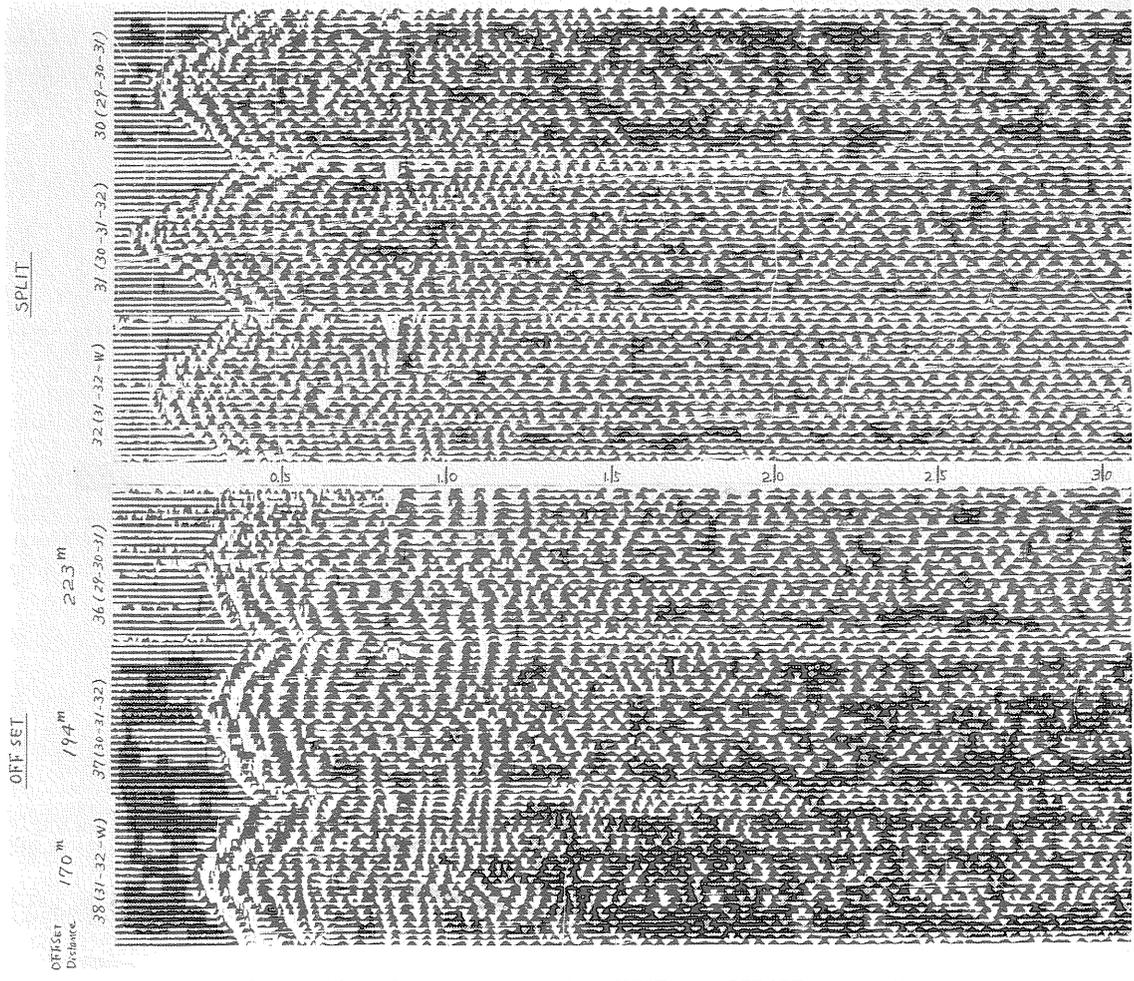
Shot : Pattern 6 holes, charge 1.5×6kg, Depth 21m

Geophone : Station interval 25m Group number 24

Filter : P.B.) 21~48∞



図版3 連続断面法における同一展開に対する SPLIT 爆破と OFF-SET 爆破との比較



図版 4 連続断面法における同一展開に対する SPLIT 震破と OFF-SET 震破との比較

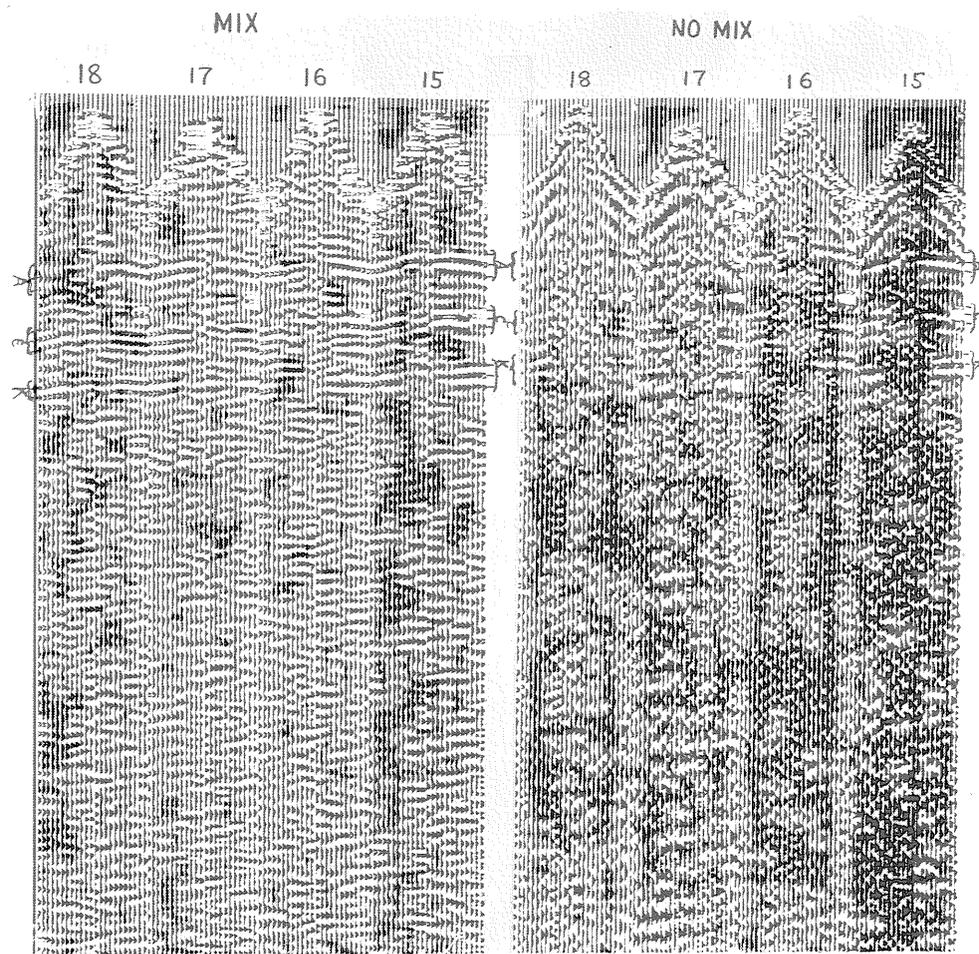


図 版 5 爆破点15~18間の記録断面。上は混合を用いないもの、下は混合を用いたもの。
混合法は33兆—33兆—33兆の両側混合。

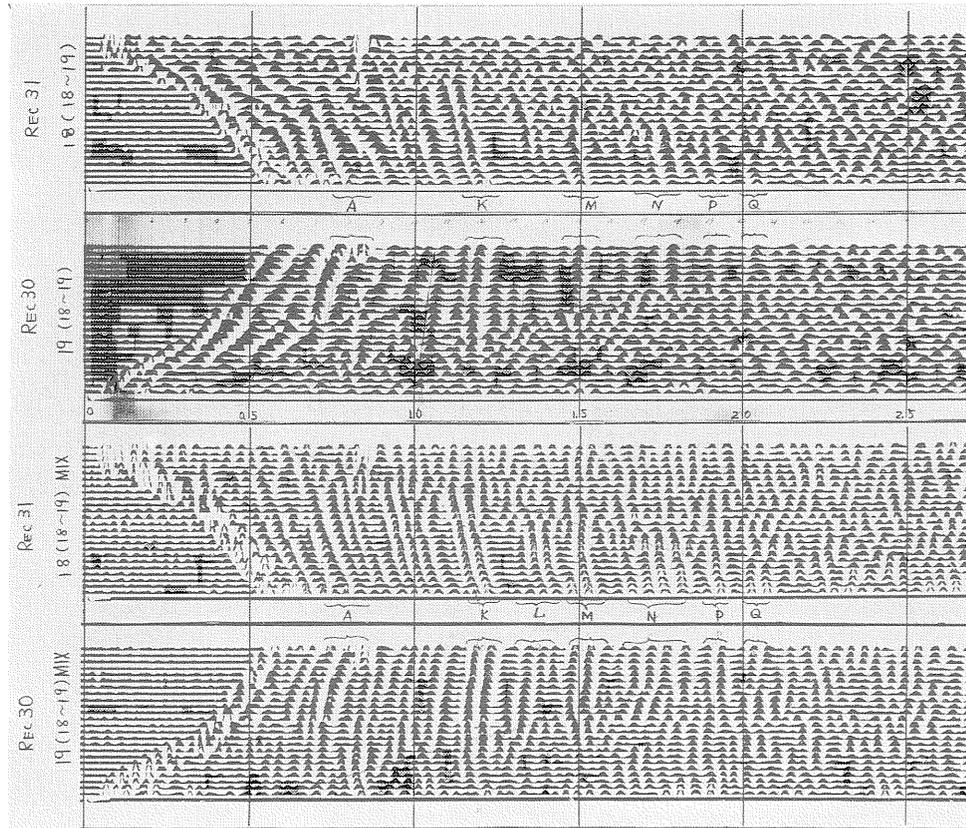


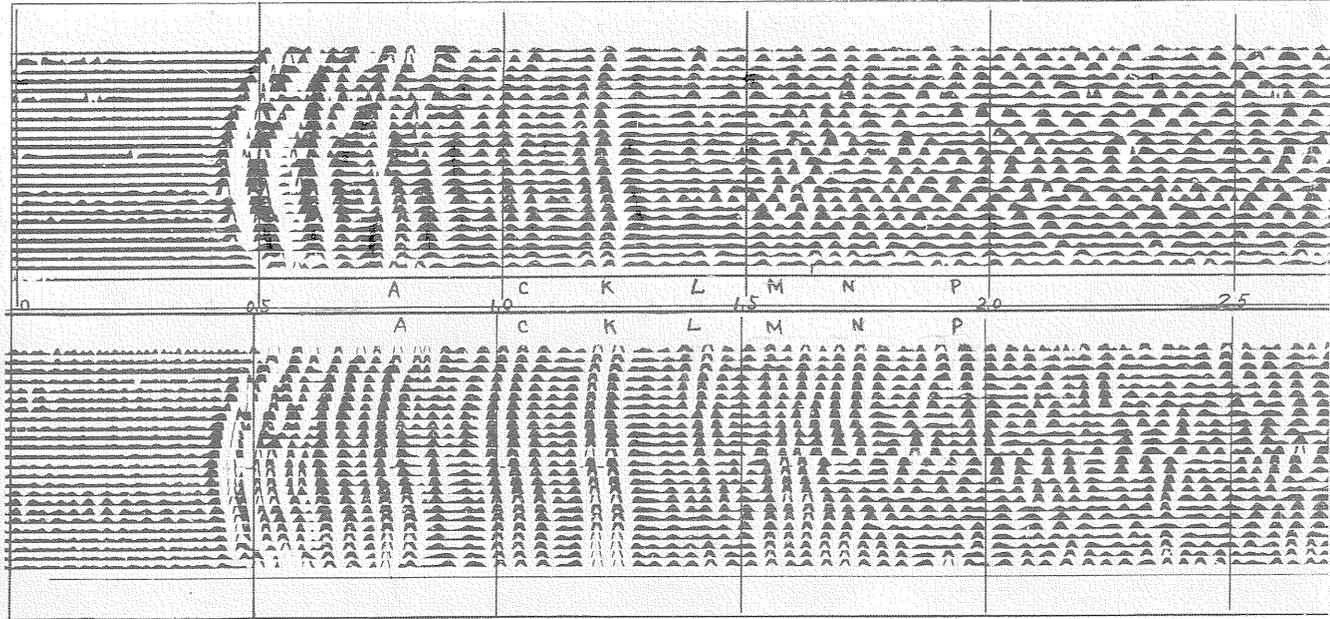
図 版 6 混合による偽似立相揃いの例, 上は混合を用いないもの, 下は混合を用いたもの

REC 58

41 (19-20-21)

NO MIX

MIX



図版7 混合による反射波位相揃いの向上の例