

ダム基礎岩盤における横波の実験

南雲 昭三郎* 本荘 静光*

Shear Wave Investigation at a Foundation Rock of Arch Dam

by

Shozaburo Nagumo & Shizumitsu Honsho

Abstract

A field experiment was carried out for the utilization of shear wave at a foundation rock of arch dam. The shear wave was successfully generated by hammering the end of wooden plate buried in or attached to the rock. The propagation of shear wave was observed with enough amplitude in a distance of about 30m by three-component geophones. Both pure SH type shear wave and complex shear waves were observed. The velocity of shear wave was determined by making time distance curve for peak and trough of shear phase. The values of ratio V_s/V_p are 0.60~0.75 for the pit R-115, 0.37~0.47 for the pit R-123 and 0.39~0.56 for the pit R-117. By assuming stratified model for the weathered part along cracks, joints and fresh part of the foundation rock, equivalent elastic properties were estimated for the weathered part along cracks and joints.

1. 緒言

ダム基礎岩盤の力学的性質はダムの設計、施工に際して詳細に調査すべき重要な事項の一つである(例えば増田1960, 田中1961, 林1961)。このダム基礎岩盤の力学的性質に対して、地表踏査・横坑・試錐などによる地質調査、ジャツキ法・水圧法などによる岩盤支持力試験、弾性波法による岩盤試験などの諸調査によつていろいろのデータが集められる。しかしながら、これらの諸データから示されることは、ダム基礎としての岩盤は物理的には割れ目の発達する不均質媒質であり、また静的特性と動的特性の異なる媒質であり、また大きな変形と小さい変形とにおいて特性の異なる媒質と考えられるべきであるということである。したがつて上述の諸データからダムに対する基礎岩盤の力学的応答を直接定量的に推定することは現在多くの未解決の問題があり、現在の段階では、その推定は主任技術者の工学的判断に俟つことが多い。この推定をさらに直接的定量的にするためには、岩盤の不均質の状態、ダムによつて生ずる応力分布、歪分布、変位分布に対する不均質性の影響、岩盤の変形特性およびその特性を支配している諸因子、また岩その変形の機構等々を解明してゆくことが必要と思われる。このためには岩盤の力学的挙動に対してさらに効果的な測定量を増すことが必要であり、現在多くの岩盤試験の開発が試みられている(例えば田中, 1963)。

弾性波を用いる岩盤試験は屈折波法、増田(1960)の

開発した平均速度法などがあり、岩盤内部の速度分布から風化の状態およびその範囲、岩質の良否、アーチダム設計の際の岩盤の弾性係数の資料等々広範囲なデータを提供している。これらの方法はいずれも弾性波のうち、縦波の初動到達時間を利用しているものである。しかし岩盤内部を通過する弾性波には、縦波のほかに横波も存在するはずであるし、また縦波初動についても、その振幅、減衰、周期などの波形の変化も、岩盤の情報を含むものである。これらの情報を利用しようという試みは古くから行なわれている(例えば佐々, 1949)が、まだ充分に実用化されるに至っていない。今回ダム基礎岩盤の力学的性質の探査において、弾性波法がどの位の能力を持っているのか、その潜在的能力を吟味するために幾つかの実験を行なつた。取上げた実験は岩盤内部を伝播する波動の波形の問題、微細構造検出の問題および横波の問題である。この報文はそのうち横波に関するものである。実験地は岐阜県揖斐川水系徳山ダム地点である。

横波速度の測定は、地震探鉱実験グループにより柔い沖積層地域において開発された。すなわち小林その他(1958, 1960)は板を埋めその一端をカケヤでたたくという簡単な操作でSH波の発生および観測に成功した。また村内(1955)は大砲を埋めてS波の発生を試み、表、小牧(1959, 1961)は小さな大砲の反動を利用して同じくSH波の発生に成功した。一方White(1956)は、ぶらんこ式ハンマーで板をたたき、強力なSH波を発生せしめた。またJolly(1956)は大砲の反動を利用して強力な横波を発生せしめ、S波の反射の問題、地表層の異方性

* 元所員

の問題を考究した。また狐崎(1960, 1961)は鉱山の試錐孔内において雷管あるいは少量のダイナマイトの発破によつてもS波が発生し観測されることを報じている。ダムサイトの地形は急峻で荷物の運搬が大変であるので、S波の発生装置はなるべく小型軽量であることが好ましい。それで、もつとも簡単なS波源、すなわち、板を埋めてカケヤでたたく方法によつて岩盤内部でどの程度S波が発生、伝播するものか、また岩盤内測定として実用に供しうるかということについて、実験を幾つかの横坑において行なつた。

現場実験には筆者らのほか物探部細野武男技官が参加した。現地測定にあたり御援助を頂いた電源開発 K.K. 地質課、同社揖斐川詰所関係各位、また3成分受振器を借用させて頂いた電力中央研究所に深く謝意を表する次第である。

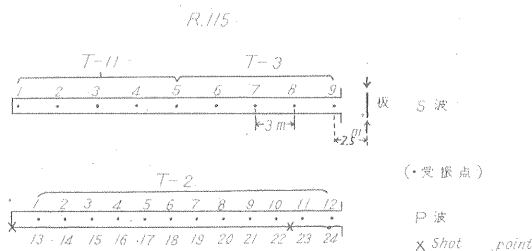
2. 横波実験配置

実験地は岐阜県揖斐川水系徳山ダム地点である。使用した横坑は第1図、第2図に示す所の右岸R-115, R-117, R-113である。実験の第1例は第1図に示すように、横坑R-115の入口に板を埋め、その横坑の中に測線を設定した。この実験は1つの横坑だけで横波測定ができるか

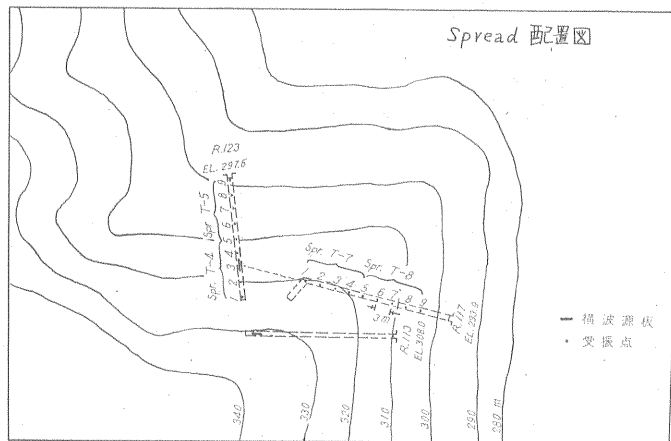
どうか、また地表付近の岩盤は風化が著しいが、入口で発生せしめた横波のエネルギーが、内部まで充分伝播するかどうか検討するために設けた。実験の第2例は第2図に示すように、横坑R-113の奥に板を埋め、R-123に測線を設定した。標高差は約10mである。この配置は、横波が岩盤内部を確実に伝播することを吟味するためのものであり、また標高差のある横坑が横波測定に使用しうるかどうか検討するために設けたものである。実験の第3例は第2図に示すように、R-123の奥に板を埋め、R-117に測線を設定した。標高差は3.7mでほとんど同一平面内とみなしうる。この配置は第2例と同じく、横波が確実に岩盤内部を伝播するかどうかを吟味するとともに、断層破砕帯が発達している場合に横波の伝播はどのような影響を受けるかを調べるために設けたものである。またこの配置は横波の振動面に対して受振測線が必ずしも好ましい方向になつていない場合でもある。

横波源としては約200cm×30cm×3cmの板を用い、横坑R-115の場合は、第3図Aに示すように、岩盤をノミで掘削し、板を垂直に立て、プラストンで下部を岩盤に接着せしめ、さらにセメントで板を7分まで埋めた。ノミで岩盤を掘削する作業はかなりの時間がかかるので、横坑R-123, R-117の場合は、簡単な方法として、第3図Bに示すように、横坑内のズリをはいで岩盤を露出せしめ、その上にセメントを用いて板を平らに接着せしめた。セメントの硬化のため約24時間以上放置した。板の打撃はカケヤを用い、板の端を交互にたたいて観測を行なつた。

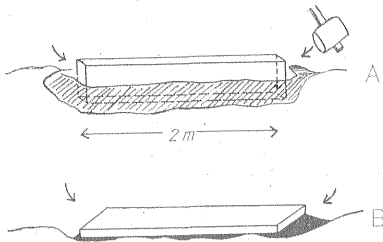
受振器は ETL 製 3 成分受振器を使用し、垂直成分、transversal 成分、longitudinal 成分を同時に記録し、かつ、増幅器の増幅度検定のため、測定のたびごとにテストオシレータによる検定信号の記録をとつた。なお使用した探鉱器は ETL 製 M-3F 型である。



第1図 横波実験に使用した横坑配置図



第2図 横波実験に使用した横坑配置図



第3図 横波源の図

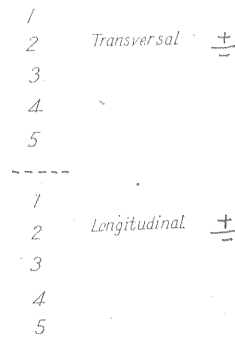
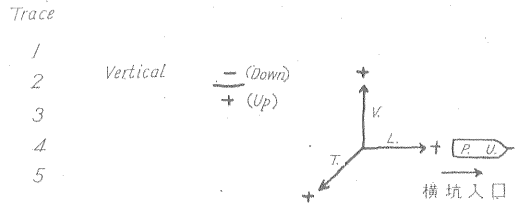
3. 実験結果

3.1 第1例 (R-115)

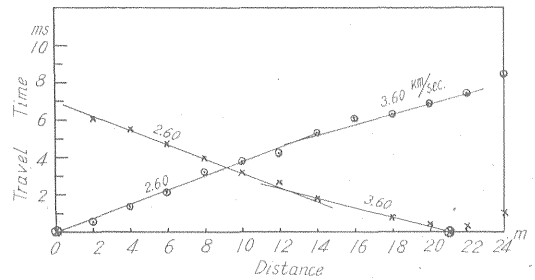
横坑 R-115 を使用し、S 波源としての板を坑の入口に埋め、測線を坑内に設定した(第1図参照)。受振器間隔は 3 m にとつた。横坑 R-115 は標高 270 m で河床からの高さは約 15 m であり、河床に近く岩質は割れ目の少ない堅硬良好な珪岩である。図版 1 はこの測線でえられたダイナマイト爆発による縦波初動の記録の 1 例である。この記録は、第 4 図に示すように、上段 5 成分は上下動成分、中段 5 成分は transversal 成分、下段 5 成分は longitudinal 成分である。センスは第 4 図に示すとおりであり、横の入口の方向は→印で示す所である。図版 1 の受振点測線記号、例えば T-11、受振点番号 1~5 は第 1 図の配置図に対応するものである。この横坑内縦波速度測定による P 波初動の走時曲線は第 5 図に示す通りである。平均縦波速度として、奥の方に $V_p = 2.6 \text{ km/sec}$ 、入口近くに局部的に $V_p = 3.6 \text{ km/sec}$ となつている。もしこの測線を単一で近似するとすれば、平均速度として、 $V_p = 2.75 \pm 0.15 \text{ km/sec}$ と考えられる。

横波の測定記録の 1 例を図版 2 に示す。この記録の測線 T-11 は、第 1 図に示すように、横坑の奥の部分に設置されたものであり、横波源の板から 14.5~26.5 m の間に 3 m 間隔で受振器を並べたものである。第 6 図の最初の部分は、板の端を右からたたいた時の記録であり、中の

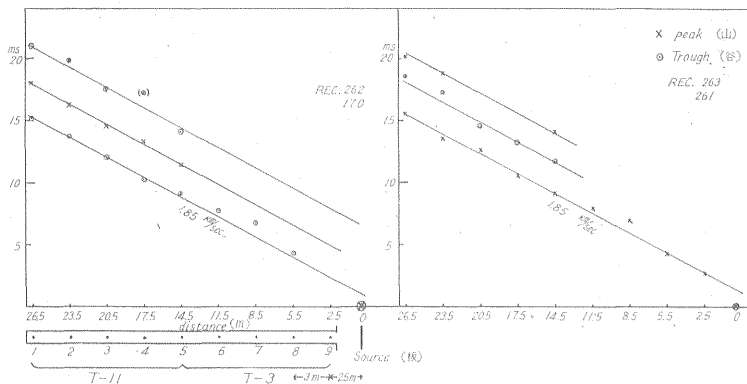
部分は左からたたいた時の記録であり、最後の記録は増幅器の増幅度検定用信号の記録である。記録の中段の transversal 成分の初動部分の波形をみると、打撃の方向によつて、明らかに位相が反転している。また右たたきの記録の transversal 成分は、他の上下成分、longitudinal 成分に較べてもつとも振幅が卓越している。この



第4図 記録の説明図



第5図 R-115 の縦波走時曲線



第6図 R-115 の横波走時曲線

位相反転と、transversal 成分の卓越および速度の値から、この位相は SH 型の横波と考えられる。この位相の山・谷の走時曲線は第6図のようになる。これから平均速度を求めると、 $\bar{V}_s = 1.85\text{km/sec} \pm 0.1$ となる。

先に述べたように、岩盤の地表付近は風化が著しく、入口に板を埋めた場合、坑底まで横波のエネルギーが充分到達するかどうか疑問があつたが、今回の場合は充分のエネルギーが坑底まで約26.5m到達した。

3.2 第2例 (横波源 R-113, 測線 R-123)

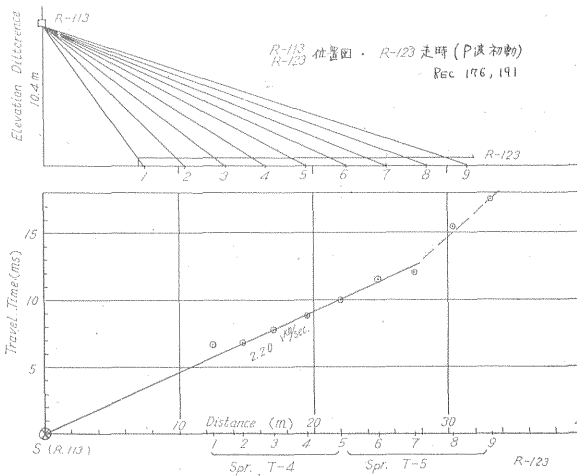
第2図に示すように、横坑 R-123 に受振測線を設定し (T-4, T-5), 横波源の板を R-113 坑底に設けた。R-113, R-123の標高はそれぞれ308m, 297.6mであり、横坑間の標高差は約10mであり、横波源と測線との垂直

断面関係は第7図に示す通りである。R-123の岩質は、同図の横坑展開図に示されるように、局部的に割れ目のある輝緑凝灰岩である。横波源は、第3図Bに示すように岩盤にセメントを用いて水平に接着した。

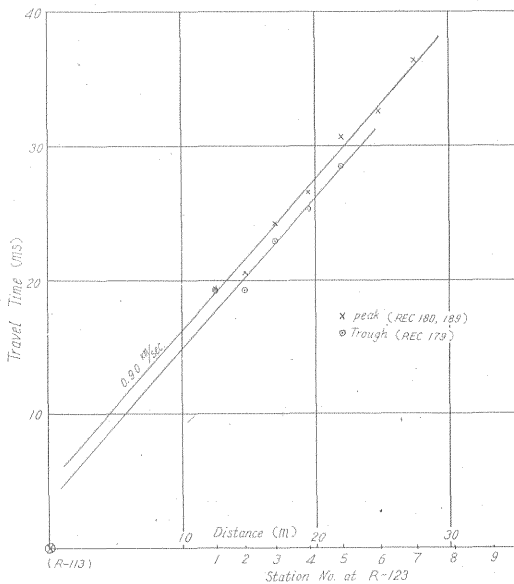
R-113の奥で爆破し、R-123で受振した横坑間縦波速度測定走時曲線を第7図に示す。岩盤内部の縦波平均速度は $V_p = 2.2 + 0.1\text{km/sec}$ である。坑の入口近くでは速度が遅くなっている。

横波速度測定記録の例を図版3, 図版4に示す。T-4測線で transversal 成分をみると、●印をつけた卓越した振幅をもつた位相が、板のたたく方向によつて反転を示している。しかし、その初動は必ずしも明瞭でない。また同時に longitudinal 成分の振幅も卓越している。しかし上下動成分の振幅はその時刻において必ずしも卓越していない。また longitudinal 成分はたたく方向によつて位相が変化していない。次に T-5 測線では受振点 5~6~7 の間で急激に波形の変化が起つてゐる。奥からたたいた記録では谷の位相が追跡できず、入口の方からたたいた記録 (Rec 180) ではかろうじて山の位相が追跡できる。また longitudinal 成分の山はかろうじて追跡できる。入口近くの受振点では波の減衰が非常に大きく、また位相の追跡も困難である。transversal 成分の卓越位相の走時曲線を第8図に示す。×印は奥からたたいた時の記録の卓越位相●印の山、○印は入口の方からたたいた時の谷の走時である。平均速度を求めてみると $V_s = 0.9 \pm 0.05\text{km/sec}$ となる。

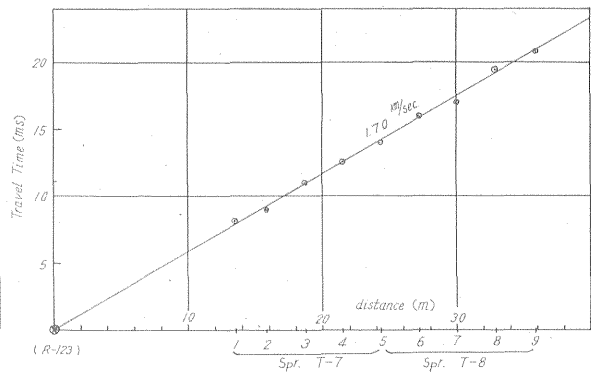
横波源と測線との幾何学的関係から考えると、もし SH 型の振動であれば、transversal 成分のみが卓越するはずである。しかるに観測された位相は transversal 成分、longitudinal 成分ともに卓越している。したがつて単純な SH 型振動と考えるのには無理がある。しかし、板をたたく方向によつて transversal 成分が位相反転を示すこと、上下動成分の振幅が小さいことなどから、この位相が shear 変形を主とする波であることには間違い



第7図 R-113, R-123の横波源と測線との関係および縦波走時曲線



第8図 横波走時曲線 (源R-113, 受振R-123, T-4, T-5)



第9図 縦波初動走時曲線 (発破点23 S, 受振R-117, T-7)

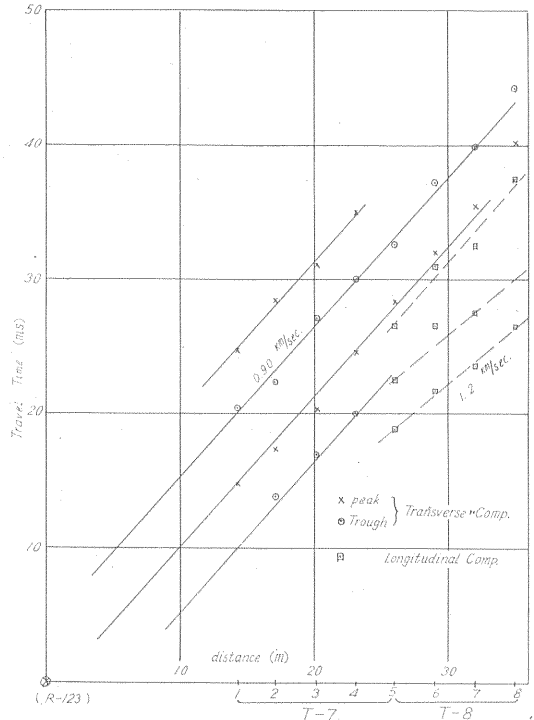
ないであろう。そしてこの横波は確実に岩盤内部を伝播した波である。

3.3 第3例 (横波源 R-123, 測線 R-117)

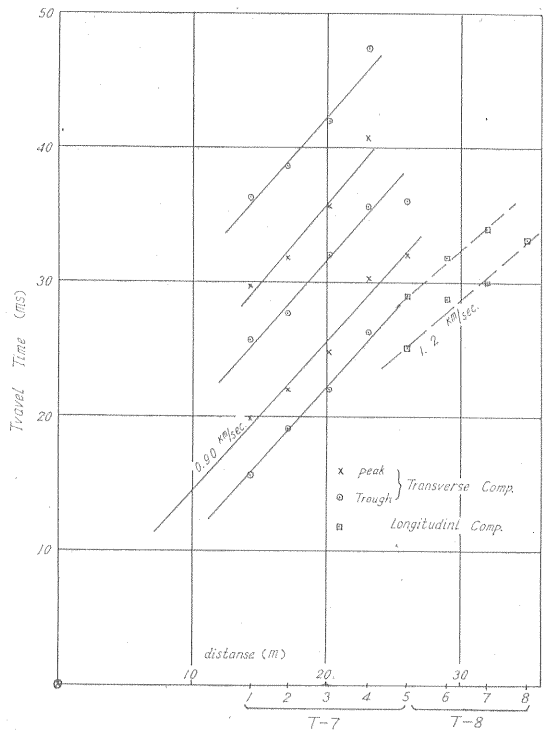
第2図に示すように測線を R-117 に設け、横波源の板を、R-117 の延長が R-123 と交わる所、すなわち R-123 の坑底から 7 m の所に設置した。設置方法は第3図B のように行なった。R-123 の方向と R-117 の方向が直角をなしていないので、SH 波面に対して測線は約 20° 傾いていることになる。R-117, R-123 の標高はそれぞれ 294 m, 297.6 m でほぼ同一標高内と考えて差支えない。測線を設置した R-117 の岩質は輝緑凝灰岩からなり第9図の横坑展開図に示されるように、断層帯が通過している所で、割れ目、破砕帯が発達している。この測線における縦波初動記録の例を図版5, 6 に示す。縦波初動曲線を第9図に示す。平均速度は $V_p = 1.70 \pm 0.1$ km/sec と考えられる。非常に小さい値である。

板を異なる方向からたたいた横波測定記録の例を図版7, 8, 9 に示す。図版7 は、横波源に近く、坑の奥の方のスプレッド T-7 の記録である。揃った位相がみられる。図版8 は入口近くのスプレッド T-8 にて前と同じ増幅利得でとった記録である。揃った位相が受振点 7~8 の所で急激に減衰している。利得を上げて全成分が見易い振幅になるようにして取り直した記録が図版9 である。これを見ると T-8 では transversal 成分の位相が乱れ、longitudinal 成分の位相がよくなっている。これらの記録を細かにみてゆくと、T-7 の transversal 成分は受振点 3~4 の間で波形が変化し、その揃った位相をもつ波群の始まりの、小さい位相は減衰し、後の大きい位相が不規則になっている。同様のことが、T-8 の受振点 6~7 の間でも起っている。これらの受振点の所は、横坑断面図をみると、その付近に断層破砕帯が通っている。この位相、波形の変形はこれらと密接な関係があるものと考えられる。また、T-7 の一連の波群も細かにみると、2つの波連の合成のようにみえる。坑底にも大きな断層破砕帯が通っているのので、この波群の形も、その断層帯によって生じたのかも知れない。

Transversal 成分の山谷の走時を読みとりプロットした走時が第10, 11図の○×印である。平均速度をみると、 $V_s = 800 \pm 100$ m/sec 程度である。T-8 では longitudinal 成分の位相が揃っているのので、その走時曲線を作ってみると、第10図中の□印のようになり、平均速度は transversal 成分のそれよりも少し大きく、約 1.2 km/sec である。また T-8 の記録からも明らかなように longitudinal 成分位相の卓越する時刻は transversal 成分のそれよりも早くなっている。T-7 の受振点 1~3 の位相の揃った波形をみると、小さい振幅から次第に大きい振幅になり、また Rec218 の記録で明らかなように、2つの波連



第10図 横波走時曲線 (源 R-123, 受振 R-117, T-7, 8, 奥たきたき)



第11図 横波走時曲線 (源 R-123, 受振 R-117, T-7, 8, 入口たきたき)

の合成になっている。そしてこの後の大きな振幅は受振点 3~4~5 でその位相速度が遅くなっている。また対応する山谷の、板の打撃方向による位相反転は認められ

難い。また transversal 成分と longitudinal 成分との関係などをみると、これらの位相が単純な SH 型の波動ではないものと考えられる。むしろ媒質の不均質によって shear wave がその一部を縦波に変換を起しながら伝播していると考えられるのではなからうか。この実験例は断層破砕帯によって横波の伝播はきわめて不規則になり横波の伝播は難しくなることを示すものと考えられる。

4. 結果の検討

4.1 横波源について

以上の実験例から岩盤内の横波測定法として板を埋めその端をカケヤでたたくという簡便な方法は非常に有望であるように考えられる。この方法で発生された横波あるいは横波と密接に関係する波動のエネルギーは岩盤内約 30m 程度は充分伝播し観測されることがわかった。また板を岩盤に埋める方法としても、岩盤を掘削して板を埋める方法のほかに、簡便な方法として横坑内のズリをはいで岩盤を露出せしめ、そこへセメントで板を水平に接着させる方法でもよさそうである。

4.2 観測について

今回の実験例から横波の測定に対しては 3 成分観測が是非とも必要なことがわかった。観測された揃った位相の解釈は、上下動、左右、前後の水平動の相互関係が記録によって検討されなければ、その横波の判定はほとんど確実さをもち得ないであろう。また 3 成分記録は観測された揃った位相の波の種類についての同定だけでなく、さらに振幅や周期などの波形の変化に対する媒質の不均質性についての情報をも与える。これらの情報の処理は、3 成分記録をみると、たとえば上下動成分だけを解析するというような簡単な取扱いあまり意味がないように思われ、さらに慎重な処理をしなければならぬと感ずるので、今回の報告には省略した。

横波の初動到達時刻の判定は困難である。したがって横波速度は山谷の位相の走時曲線から求めた。走時曲線から速度を求めるときその誤差を小さくするためにはスパンを長くする必要がある。しかしスパンを長くすると媒質の不均質の影響が現われてくる。したがってこのようにして求められる速度はある程度スパンに対する平均速度である。

4.3 横波の伝播について

R-115 における実験 (第 1 例) では SH 型と思われる波連が観測されたが、R-123 の実験 (第 2 例) では横波であろうが、SH 型とは考えられない波連が観測された。また R-117 の実験 (第 3 例) では、断層破砕帯の発達した媒質の影響もあって、単純な横波とは考えられずむしろ横波と縦波が相伴なって伝播すると考えられる波連が観測された。これらの観測結果は、岩盤内部を単純な

SH 型波動が伝播する場合は特殊な条件の下に限られ、一般には横波の伝播が複雑になることを示しているのではなからうか。

Transversely isotropic media 内の波動伝播の研究 (松沢, Potsma, 1955) によれば、SH 型波動の伝播しうる場合はその振動面が meridian plane 内にある場合に限られ、波の振動面がそれに交わる場合には横波は単独には伝播せず、dilatation の波と共存しながら伝播し、その結果異なる伝播速度をもつ 2 種類の横波となつて伝播することが示されている。このダムサイトの地質は古生層の珪岩・輝緑凝灰岩からなっており、かなり明瞭な走向、傾斜、節理、割れ目の発達の状況がみられる。したがって今回の実験の第 2、第 3 例における結果は媒質の成層性と密接な関係をもつものかも知れない。しかし、今回の実験では、横波源一受振測線の配置と走向・傾斜の関係が、以上の成層性の影響を吟味するためには充分ではないので、今後地層面あるいは割れ目、節理などの構造面と横波振動面との関係を注意した実験を行なっていくことが必要であると思われる。

4.4 工学的取扱いについて

次に横波測定がダム基礎岩盤の力学的性質について工学的にいかん利用され得るかということについて考察を加える。

まず最も単純化して、測定された縦波、横波速度を用い、そのような速度をもつ均質等方完全弾性体を考えてみたらどうなるか考察してみよう。均質等方完全弾性体において、ポアソン比 σ は

$$\sigma = (S - 1/2) / (S - 1), S = (V_s / V_p)^2 \dots (1)$$

によって計算される。今回の実験例について、試みに (1) 式によってポアソン比を計算してみると第 1 表のようになる。

第 1 表 均質等方完全弾性体模型によるポアソン比

横坑	V_p (km/sec)	V_s (km/sec)	V_s / V_p		Poisson's Ratio σ	
			min ~ ctr ~ max	min ~ ctr ~ max		
R-115	2.75 ± 0.15	1.85 ± 0.10	0.60 ~ 0.67 ~ 0.75	-0.14 ~ 0.09 ~ 0.22		
R-123	2.20 ± 0.10	0.90 ± 0.05	0.37 ~ 0.41 ~ 0.45	0.37 ~ 0.40 ~ 0.42		
R-117	1.70 ± 0.10	0.80 ± 0.10	0.39 ~ 0.47 ~ 0.56	0.27 ~ 0.36 ~ 0.40		

縦波・横波速度にそれぞれ測定誤差があるので、その誤差範囲も併わせて示した。これからわかるように、縦波・横波速度からポアソン比を計算する手続は誤差が非常に大きい。したがって、ポアソン比で表現される物理的性質、すなわち軸方向の圧縮に対する横方向の伸びの比というような性質を岩盤に類推する場合には、この誤差を充分考慮して行なわなければならない。第 1 表によ

ると、この誤差範囲を考慮に入れても R-115におけるポアソン比は0.25より小さく、また R-123, R-117においては0.25より大きいことはいえるであろう。このことは R-115 が河床に近い岩盤で、割れ目、風化の少ない良好堅硬な岩盤であること、また R-123, R-117は突出した尾根の内部にあつて割れ目、風化の著しい岩盤であること、また R-115の岩質は珪岩、R-123, R-117の岩質は輝緑凝灰岩であることなど何らかの関係があるものと予想される。しかしこれらの関係を明らかにするためには、今後さらに実験例を重ねてゆく必要があると思われる。

次に縦波・横波の速度から割れ目についての力学的性質が推定できるかどうかを考察してみる。岩盤に対して成層構造模型を考えてみる。すなわち、岩盤を風化を受けない新鮮な岩石の部分と、割れ目およびそれに沿った風化部分とから構成されていると単純化して考える。その各部分の体積構成比を γ とする。割れ目部分、新鮮な部分がそれぞれ均質等方の弾性体であると仮定し、その弾性常数および密度をそれぞれ $\lambda_1\mu_1\rho_1, \lambda_2\mu_2\rho_2$ とする。次にこれらの部分が互層をなし、transversely isotropic 模型で近似され、岩盤内部で観測される縦波・横波速度がその層面に直角方向の速度に相当すると仮定する。transversely isotropic 媒質の性質から全体としての弾性常数 $M = \lambda + 2\mu$ 、 μ は

$$\frac{1}{C_{33}} = \frac{1}{M} = \frac{\gamma}{M_1} + \frac{1-\gamma}{M_2} \dots (2)$$

$$\frac{1}{C_{44}} = \frac{1}{\mu} = \frac{\gamma}{\mu_1} + \frac{1-\gamma}{\mu_2} \dots (3)$$

で与えられる。この式を変形すると

$$\frac{\rho_2}{\rho} \left(\frac{V_{P2}}{V_P} \right)^2 = \frac{M_2}{M_1} \gamma + (1-\gamma) \dots (4)$$

$$\frac{\rho_2}{\rho} \left(\frac{V_{S2}}{V_S} \right)^2 = \frac{\mu_2}{\mu_1} \gamma + (1-\gamma) \dots (5)$$

ここで

$$V_P = \sqrt{M/\rho}, \quad V_S = \sqrt{\mu/\rho} \dots (6)$$

となる。新鮮な部分の弾性常数および密度が新鮮な試料のそれで代表されるものとする、(4)(5)式の左辺は岩石試料による速度と岩盤内速度との比から求められるものである。したがって岩盤内速度が岩石試料速度よりも小さくなる割合はそれぞれ割れ目部分の M_1, μ_1 、および構成比 γ に関係する量となる。したがって岩盤内速度の低下する割合から、割れ目部分の弾性的性質を推定することがある程度行ないうるものと思われる。

例えば $V_P/\hat{V}_P \geq V_S/\hat{V}_S$ に従つて $(M_1/M_2) \leq (\mu_1/\mu_2)$ となり、 $\sigma_1 \geq 0.25$ となる。割れ目およびそれに沿った風化部分に等価の完全弾性体のポアソン比 σ_1 の大小は割れ目部分の風化に密接に関係し、 σ_1 が大きくなるということは、岩質の風化が著しいことに対応するものではなから

うか。試みに $\gamma = 0.2$ と仮定して、すなわち割れ目、風化相当部分が全体の体積の20%を占めるものと仮定して、今回の実験例について $M_1/M_2, \mu_1/\mu_2$ を計算すると第2表のようになる。またこれらの M_1, μ_1 がどの程度の弾性波速度に相当するものかみるために、 $V_P = 5.5 \text{ km/sec}$ 、 $V_S = V_P/\sqrt{3}$ 、 $\rho_2/\rho_1 = 2$ として V_{P1}, V_{S1}, σ_1 を計算してみた結果も、第2表に示す通りである。

このように、もし割れ目相当部分の動弾性的性質が求められてくれば、今後これらの動弾性的性質と粘弾性的性質、変形非直線性との関係などの分析を進めることによつて、岩盤全体に対する割れ目部分の影響をさらに適確に評価してゆくことができるようになるものと思われる。例えば、増田(1961)は V_P/\hat{V}_P の比を岩盤掘削限界を決める基準に使用しうることを指摘しているが、 V_S/\hat{V}_S はこのような基準を考える際に役立つ量であ

第2表 成層構造模型による新鮮部分と割れ目・風化部分の弾性係数の比較

横坑	V_P/\hat{V}_P	V_S/\hat{V}_S	M_1/M_2	μ_1/μ_2	V_{P1} (km/sec)	V_{S1} (km/sec)	V_{S1}/V_{P1}	σ_1
R-115	0.50	0.58	1/20	1/14	1.71	1.20	0.70	0.02
R-123	0.40	0.28	1/34	1/73	1.33	0.52	0.39	0.41
R-117	0.31	0.25	1/60	1/93	1.00	0.47	0.47	0.36

$$\hat{V}_P = 5.50 \text{ km/sec}, \quad \hat{V}_S = 3.18 \text{ km/sec}$$

$$\gamma = V_P/(V_P + V_S) = 0.20, \quad \rho_2/\rho_1 = 2.0, \quad \rho_2/\rho = 2.7/2.2$$

ろう。またコンソリデーショングラウディング効果の評価にも V_S/\hat{V}_S は利用しうるのではなからうか。

5. 結 論

ダム基礎岩盤の力学的性質に対する弾性波試験法の一つとして、横波の利用についての野外実験も行なつた。実験場所は揖斐川水系徳山ダム地点である。地質は古生代の珪岩および輝緑凝灰岩からなる。えられたおもな結果は下記の通りである。

(1) 板を埋め、カケヤでたたくという方法で、岩盤内部を伝播する横波および横波と密接に関係すると考えられる波動の観測が約30mの距離でできた。

(2) 横波の初動を観測することはわずかしいので、速度は位相の走時曲線を用いて平均値として求められる。

(3) 3カ所の実験例中、比較的均質堅硬な岩質である R-115 では純粋な SH 型と判定される横波が観測された。横波源と受振測線とが同一標高上にない R-123 における実験第2例では、やや複雑な横波が観測された。断層、節理の発達が著しい R-117 の受振測線では、エネルギーの一部が縦波に変換されながら伝播していると考えられる横波が観測された。

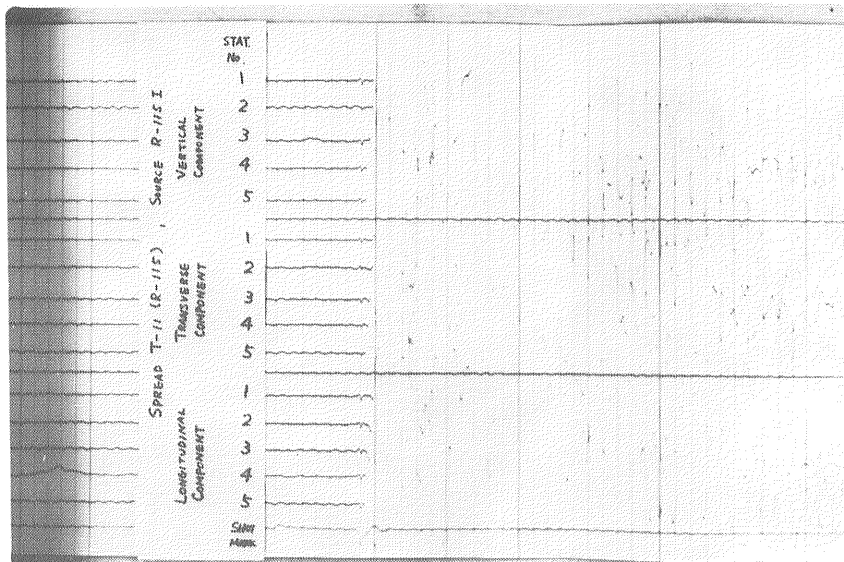
(4) V_S/V_P として R-115 では 0.60~0.75, R-123 では

0.37~0.45, R-117では0.39~0.56の値がえられた。

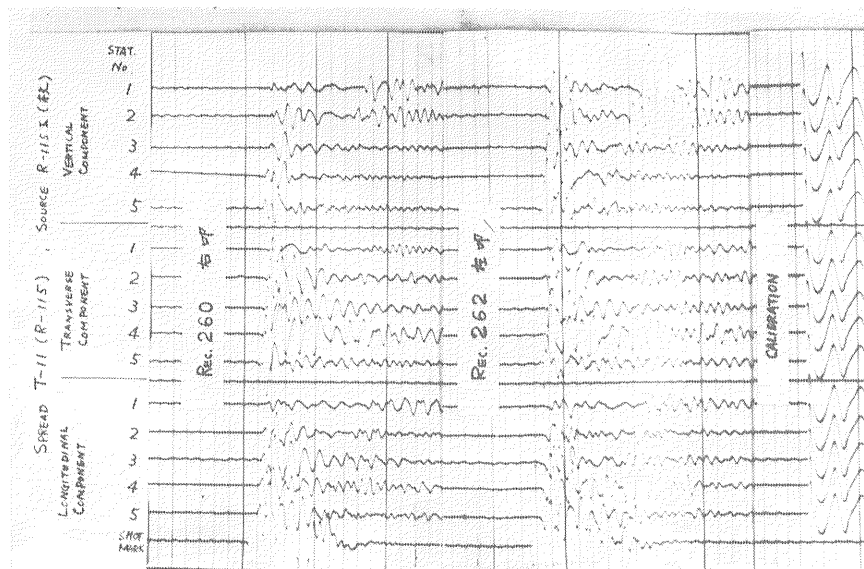
(5) $V_s/V_p, V_s/\hat{V}_s, V_p/\hat{V}_p$ という量は岩盤内部の割れ目の数および割れ目に沿った風化部分の弾性的性質に密接に関係する量と考えられるので、これらの量の実測は、岩盤全体に対する割れ目部分の影響を適確に評価してゆく手がかりを与えるものと考えられる。

文 献

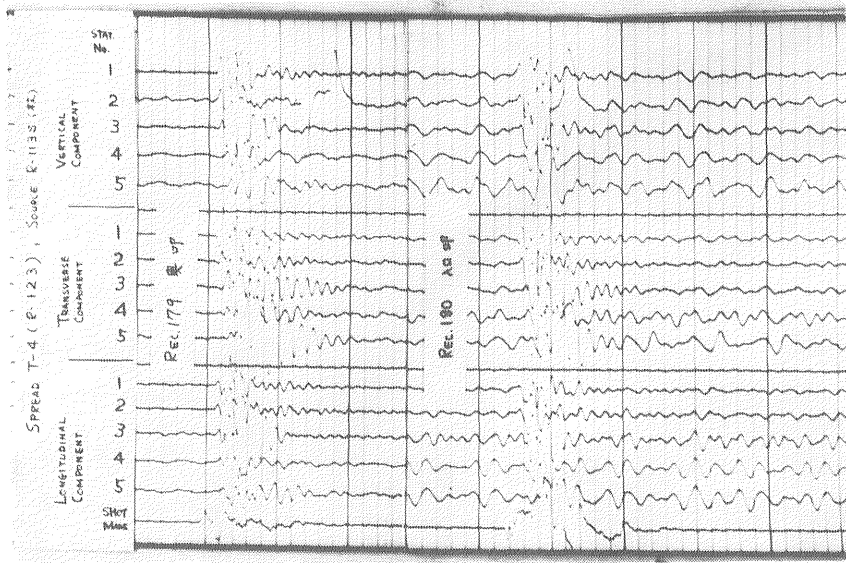
- 1) 林 正夫：ダムと基盤の力学の二、三の問題について，物理探鉱協会岩石速度研究会講演予稿，1961
- 2) 本荘静光・南雲昭三郎：岐阜県揖斐川水系徳山ダム地点弾性波速度測定報告，地質調査所月報，Vol.15, No.11, 1964
- 3) Jolly, N.R. : Investigation of shear waves, Geophysics, Vol. 21, p. 905~938, 1956
- 4) 狐崎長良：高周波地震探鉱の研究(1)(2)(3), 物理探鉱, Vol.13, No.3, p. 137~146, 1960, Vol.13, No.4, p.185~193, 1960; Vol.14, No. 2, p. 125~129, 1961
- 5) 小林直太：SH波によつて地下構造をきめる一方法，地震探鉱実験グループ会報, No.15, p.25, 1958
- 6) 小林直太・斎藤正徳：SH波の初動部分とS波の速度，地震探鉱実験グループ会報, No.21, p.122, 1960
- 7) 小牧昭三：S波発生に関する基礎実験，地震探鉱実験グループ会報, No.18, p.91, 1959
- 8) 増田秀夫：ダム基礎の地球物理的調査（弾性波試験について），物理探鉱, Vol.13, p.25~35, 1960
- 9) 増田秀夫：わが国におけるコンクリートダム基礎岩盤の弾性波速度に関する応用地球物理学的研究，電力中央研究所報告, 1961
- 10) 松沢武雄：Elastische Wellen in einem anisotropen Medium, Bull. Earthq. Res. Inst., Vol.21, p.231~235, 1943
- 11) 村内必典：S波を発生させる装置について，地震探鉱実験グループ会報, No.4, p.21, 1956
- 12) 表俊一郎・小牧昭三：SH波の観測，地震探鉱実験グループ会報, No.23, p.17, 1961
- 13) Potsma, G. W. : Wave propagation in a stratified medium, Geophysics, Vol. 20, p. 780~806, 1955
- 14) 佐々憲三：地震探鉱の問題，物理探鉱, Vol.2, p.1~8, 1949
- 15) 田治米鏡二・岡田広：地表付近のS波の速度測定，物理探鉱, Vol. 11, p.65~70, 1958
- 16) 田中治雄：ダム地質調査最近の傾向，応用地質, Vol.2, No.2, p.1~13, 1961
- 17) 田中治雄：わが国における地質工学の現況，物理探鉱, Vol.16, No.2, p.90~96, 1963
- 18) White, J.E. et al.: Seismic wave from a horizontal force, Geophysics, Vol. 21, p. 715~723, 1956



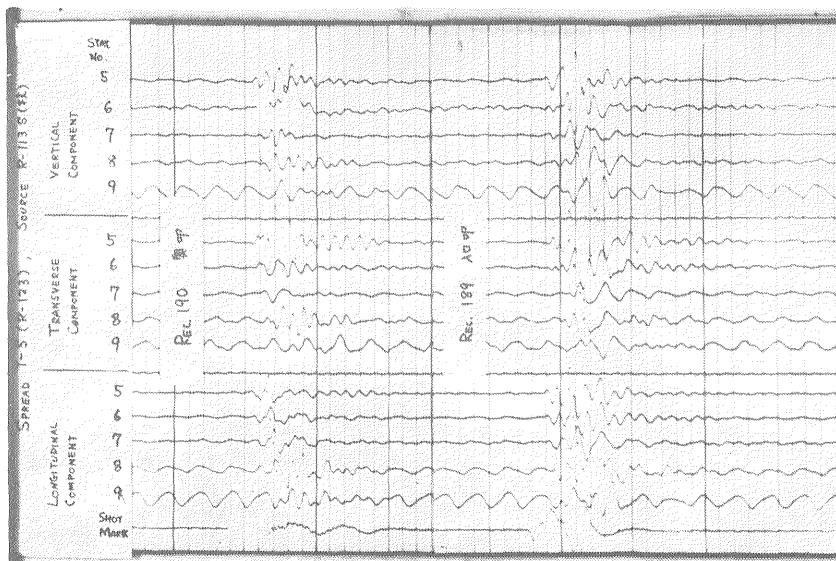
図版1 R-115における縦波初動の記録



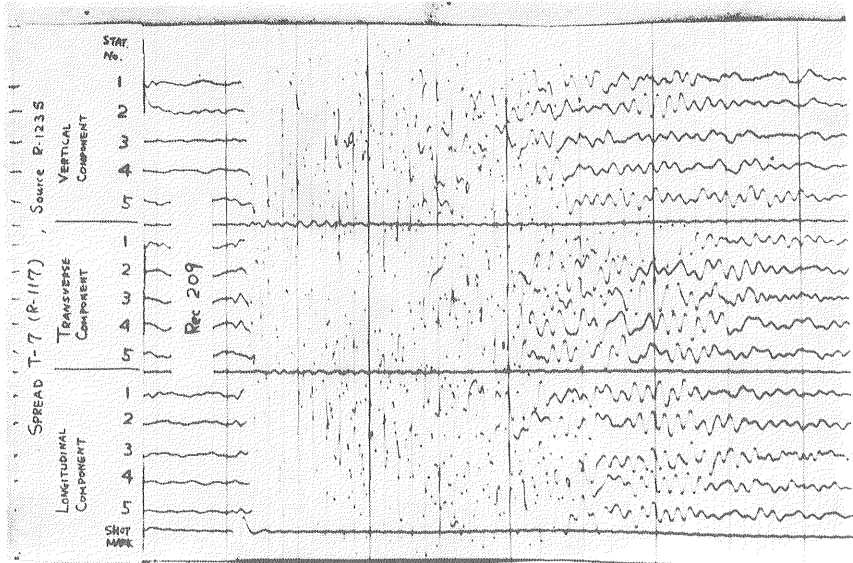
図版2 R-115の横波測定記録の1例



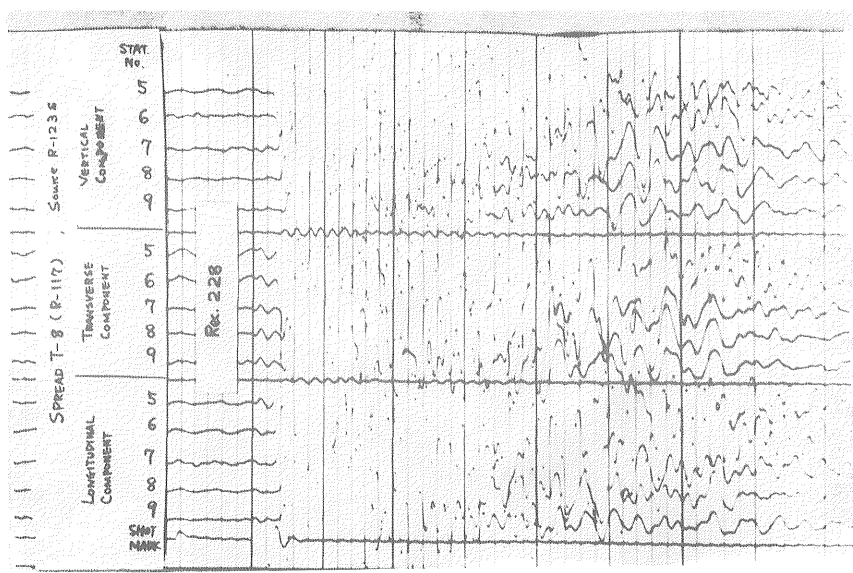
図版3 横波記録例 (源R-113, 受振R-123, T-4)



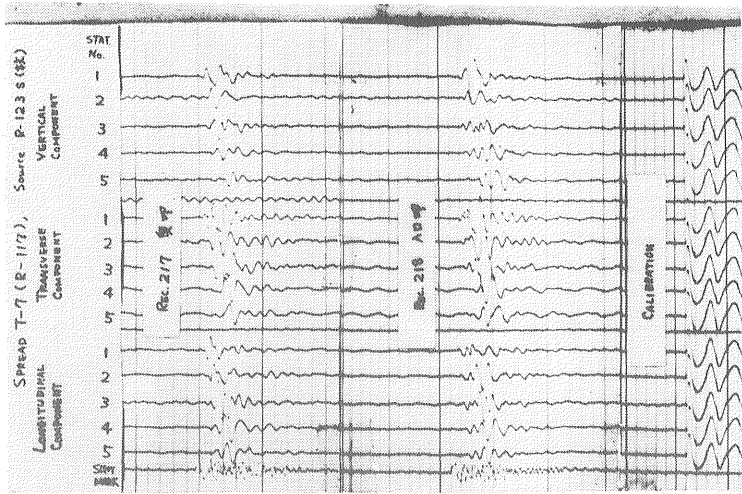
図版4 横波記録例 (源R-113, 受振R-123, T-5)



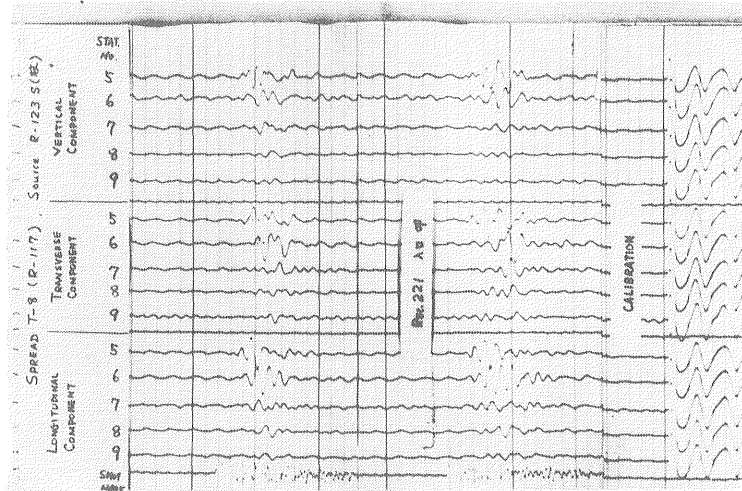
図版 5 縦波初動記録 (発破点123S, 受振R-117, T-7)



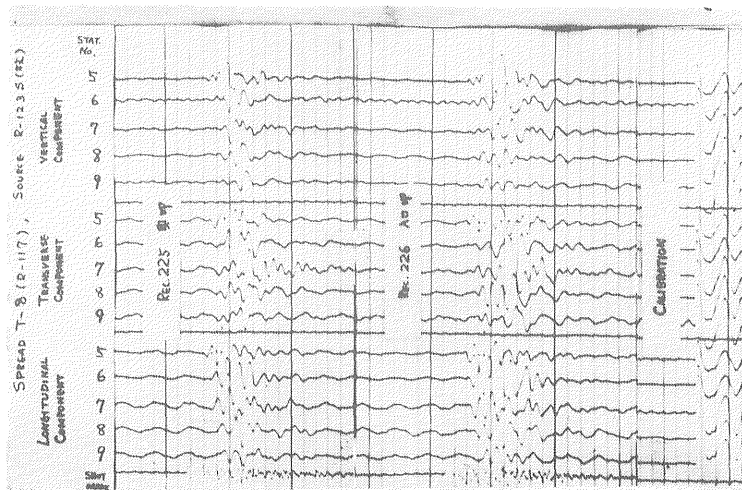
図版 6 縦波初動記録 (発破点123S, 受振R-117, T-8)



図版 7 横波記録 (源R-123, 受振R-117, T-7)



図版 8 横波記録 (源R-123, 受振R-117, T-8)



図版 9 横波記録 (源R-123, 受振R-117, T-8)