

土木地質に対する地震探査の適用例

吉川 宗治・狐崎 長琅

ON THE APPLICATION OF SEISMIC PROSPECTING IN ENGINEERING PROJECTS

by Dr. Sci. Sōji YOSHIKAWA and Chōrō KITSUNEZAKI

Synopsis

Recently, the seismic prospecting has been conducted in many cases for engineering project. However, the results obtained in these cases are limited in their applicability for engineering purpose, because of the fact that the geological structure and physical property are only given in relation to the velocity contrast of longitudinal wave.

To overcome this difficulty more general characters of seismic wave should be taken into consideration besides the velocity of P-wave.

In view of above, some results of investigation of seismic prospecting in the case of tunnel and dam site are developed in this paper.

1. 序 論

土木の分野では地盤とか岩盤とかの問題を抜きにして仕事を進めることはできない。この問題は二つの要素に分けることができる。一つはその物理的な性質に類することで、これは土質試験の如き力学的な測定によって扱われることが多い。他は地下構造の問題である。例えば、ある岩石がダム建設に充分な強度をもつとしても、それがどの深さにどれだけの拡がりで存在するかが明らかにされなければ、設計することも施工の方針を立てることもできない。またそこに力学的に弱い破碎帯のようなものが存在する場合、その物理的な性質ばかりでなく、入り方とか、大きさとかいうようなその構造的要素を明らかにすることが、構造物の完成後や工事中の安全を確保する上で重要な問題となる。地下構造はもともと地質学的現象に由来する事柄であるから、この推定のためには地質学的知識の応用が有効であるのは当然である。

ところで、物理探査は、本来主として地下構造を量的に推定するため用いられて来たものであるが、ある程度その物理的な性質をも明らかにすることができるものである。これは物理探査の著しい特徴である。

地質学的な知見はもとより抜きにできないものであるが、これによって構造についての適確な量的情報をうることはむづかしい。また力学的な試験は、それがサンプルについてなされるときは勿論、現場でなされるときでも、厳密にはその試験された地点の情報しか与えることはできない。多数の点で測定することは望ましいのであるが、これは経費との妥協できまることである。かなり多数なされたときでも、それはあくまで不連続な点についての情報である。しかもこれらの試験をするときは、人工的な操作によって、本来の岩盤の存在状態を乱してしまうことが多い。サンプルを切り出す場合は勿論そうであるし、試錐や坑道を利用して試験するときも掘削にともなう影響が入ってくる。

ところで工事のためにもっとも必要な情報は、空間的なある拡がりをもった集合体としてのものである。その拡がりの大きさはそこに施される工事の種類によって様でない。またその情報は存在するままの、なまの状態におけるものであることが望ましい。物理探査はその性格上このような要求によく応えることができる。ただし物理探査は、一般に土木に必要な物理量を直接的に与えることはできないものであるから、他の

直接的な試験や観察と結びつけて、その結果を合理的に解釈しなければならない。このことは構造解析の場合も同様で物理探査からは地下構造を一義的に定めることはできない以上、妥当な解析をするには多かれ少なかれ地質学的な知識の助けをかりなければならない。

物理探査はこのように決してそれだけで充分なものではないが、地下構造探査と物理的性質の測定という必要な二つの要請に同時に応える性格をもつものである。しかもそれぞれに於いて既述のように、有利な独自の特徴もっている。物理探査のうち、岩盤の力学的な性質を明らかにする上で最も重要なものは、地震探査である。この方法が近年土木の分野で著しく普及するようになったのは主としてこの理由によるものである。今迄この分野で実用にされている地震探査はすべて初動（P波）走時の観測をもととしたものであり、破碎の度合を論ずるときも、P波速度の低下だけをよりどころとしている。これは観測技術的にも容易で、実用的に一応成功しているが、もともと複雑な岩盤の状態を一つの量だけで表現すること自体が無理なわけで、決して充分なものではない。例えば構成岩石自体は風化しておらず単に機械的な破碎だけが進んでいるときは、P波速度の低下はあまり大きなものではないが工事の上ではやはり問題となる。また仮にP波速度の低いところが発見されたとしてもそれだけでは破碎しているかどうかは明らかでない。もともと速度の小さい岩石かもしれないのである。このようにP波速度だけで議論できるところには限界がある。これを克服するためにはP波のほか、S波にも、また速度だけでなく振幅にも、というように波動の多面的な要素に注意し、これと岩石の状態との対応関係を発掘するようにならなければならない。

また今まで地震探査が実施されて来た場所はおおむね地表面である。地表面の方がいろいろな面で仕事しやすいのは当然であるが、問題にある程度深入りするには、地表面の域を越え、試錐とか坑道とかを積極的に利用して観測する必要がある。

上に述べたような観点から、今までの限界を越えるべく試みられた二つの地震探査の例を以下に報告する。

2. 新生駒トンネルに関する探査

2-1 序

ここでは、新生駒トンネル建設のための調査の一環として、昭和37年11月～12月の約1カ月間主として旧線トンネル内で行われた地震探査の概要を述べる。

大阪平野と奈良盆地をへだてるところに生駒山がある。この生駒山を貫ぬく生駒トンネルは、大正初年に開発されて以来大阪一奈良間を結ぶ主要な鉄道路線となっている。この路線を経営している近畿日本鉄道株式会社は、最近の輸送量の増大に対処するため、現在のこのトンネル（旧トンネル）を捨て、新たにさらに広いトンネル（高さ6.7m巾8.2m）を開くことを企図し、既に昭和37年9月以来工事に着手している。これが新生駒トンネルであり、現在線から約50m南にずれ、これとほぼ平行に走るように計画されている。

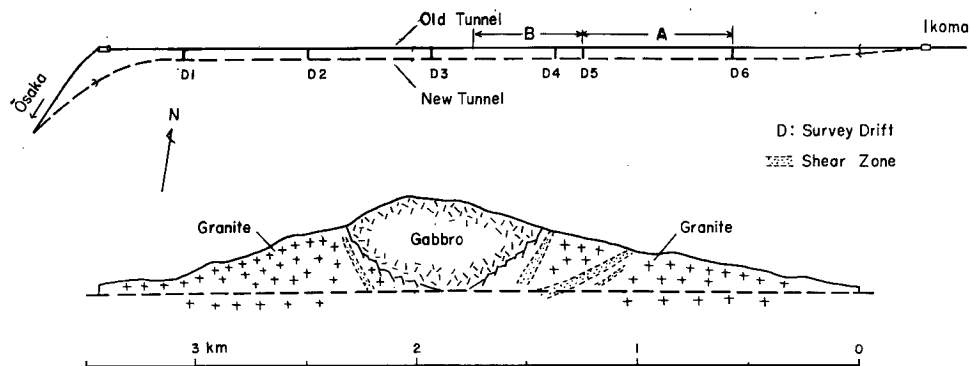


Fig. 1 Outline of geological structure of Mt. Ikoma

生駒山は主として花崗岩と、その上に乗った斑岩とから成っている。花崗岩もくわしくみるとさらにいくつかの種類からなっているようである。これらの岩石はいずれも中生代に生成されたもので、その後の造山運動と侵蝕作用により現在の地質構造や地形に仕上げられた。旧トンネルの掘進がきわめて難工事であったことは、それがかなり多数の犠牲者を出したことによって今なお世上に記憶されているところである。その中心部附近でかなり大きな破砕帯につきあたり、その処理に苦労したことは、今に残されている不完全な工事記録からも充分推察できる。また地質学的観察からも、斑岩のまわりをとりかこむような断層の存在が推定され、これが旧トンネル坑内では前記の破砕帯となってあらわれたものと考えられている。この破砕帯が今回の新トンネルにも現われることは充分予想される所であり、このため同社はトンネル建設に先立ち綿密な地質調査を実施することにした。因みに旧トンネル建設当時はかかる調査はほとんど行われておらず、また掘進中の地質の記録もきわめて不完全なものである。そこで、地表で地質調査や地震探査、試錐などを行う一方、旧トンネル内で多数の試錐と探査横坑(本探査後に掘られたものも含め計8本)掘進を行い、破砕帯の実態を明らかにするよう努めた。これらの調査により新トンネル予定線附近の地質はかなり明らかにされ、予想される附近に事実破砕帯が存在することも確められた。しかし、なおここに調査の完璧を期したいとする意向があった。すなわちこの旧トンネルは常時電車の運行に使用されているものであるため、坑内試錐作業は運転休止後の夜間の数時間のみに限定され、掘進能率が低く、その数や長さになお不足があった。このときまでの調査では、これらの試錐の結果が予定線上の地質を判定するのに最も直接的な根拠となったのである。ところでさらに試錐そのものにも問題がある。試錐調査はこのような地質調査にはもとより必要なものであるが、それはあくまでその掘られた線上の地質を明らかにするに過ぎない。またコアの採取がうまく行かず、実際は不連続な数点の試料を得るに過ぎないことも多い。コアがとれないということもまた重要な地質的情報であるが、その判定は一義的なものでなく、解釈の要素の強いものである。ここで問題となっている破砕帯のような構造では、外部との境界も明確でなかったり、その内部の破砕度も一様でなかったりすることが多い。しかし全体としてみるとある破砕された領域の存在が認められるわけで、試錐のように局所的性格の強い観察だけではこのような全体的構造を見失う危険がある。かかる見地から同社は物理探査による調査を企図した。筆者等はその依頼にもとづいて、主として旧線坑内からの特殊な地震探査を実施した。なお他の調査者によりほぼ同時に電気探査も行われた。

本来からいえばこのような地震探査の行われ方は逆なわけで、詳しい試錐調査は地震探査や他の物理探査の結果にもとづいて行われるのが普通である。しかし坑内におけるこのような目的のための地震探査の例がない上に、発破のかけ方、観測点の設け方、作業時間等に著しい制限があるこの営業線トンネル(旧線)に於ては、筆者等としてもやってみるまではその成果を充分保証することはできなかった。

2-2 方法

まず筆者等はすでに行われていた坑内外の地質調査の結果を参考にしながら、限られた時間内で有意義な結果を得よう探査の場所や目標を適当に調整した。

その結果、トンネル全線のうち生駒側半分だけを探査の対象とすることにした。この区域では大きな破砕帯が存在する上に、最初から半断面掘削を行うため、工法の上からも、破砕帯処理が重要な問題となっていた。因みに大阪側は、まず底設導坑から掘進する工法がとられたので、いくら破砕帯処理の問題は軽いものと考えられていた。

生駒側の区域のうち当然重視された所は、横坑 No. 4 (Drift4) 附近に存在する破砕帯である。ここではこの破砕帯の性状とその構造的な形を決めるため詳しい測定がなされた。これは Drift 5 から始まり、Drift4 を過ぎ、さらに奥の方に向う約 500m の区間である。これを区域Bとする (Fig. 1)。

生駒側坑口より Drift 5 に至る間はいした破砕はないものと楽観的に考えられていた。実際、試錐した場所に関する限り破砕帯は認められなかったが、ここでの試錐の密度はかなり粗いものであるため、なお一段念を押したいという希望があった。このうち Drift 6~5 の約 700m 区間をとり上げ、比較的粗い探査を実施した。これをA区域とする。

本格的な探査に先立ち、まず、直接観察される標式的な場所をえらび、ここで地震波の速度その他に関する基礎的な資料を得ることにした。実際に観測しようとする物理量に、岩石の状態と対比されるようなはっきりした違いがあれば、以後の探査の見込みが立つわけである。その結果を次に示す。

場 所	岩石の状態	P波速度 km/s	S波速度 km/s
Drift 6	堅 岩 (Rigid Rock)	5.2	2.8
Drift 5	軟 岩 (Loose Rock)	4.7	2.4
Drift 4	破砕帯 (Shear Zone)	3.0~3.5	不明(確認困難 少なくとも卓越しない)

ここで岩石の状態の表現として採用している名称はこの工事の監督者が使用しているものである。約2m四方の横坑に於ける観察をもととし、以下若干の註釈を付すことにする。まず支保工なしで充分保たれ、一見して新鮮な岩石であるところを堅岩としている。軟岩では、かなり亀裂が多く、これにそって風化も進んでいる。無理をすると支保工なしでもどうか保たれるところもあるが、安全のためここでは入れている。破砕帯となるとも支保工なしでは絶対にもたない。粘土化しているのが普通であるが、部分的には真砂状か、礫状になっているところもある。盤圧を受けて鋼の支保工がひずんでいる所もある。Drift 4 では水が多量に湧出しているが、水を含むことは破砕帯の定義自体にとっては本質的なことではない。

2-3 探査とその結果

A区域 ここでは大きな破砕帯で、しかも試錐からもれたものがあるかどうかだけを問題にした。受震器をDrift 6 に設置したまま、**Fig. 2** の如く発破点だけを移動した。著しい構造異常があると波の入射方向に変化が現われることが期待できる。このため三成分の受震器を用いて振動方向の議論もできるようにした。ここは **Fig. 2** の走時曲線に示されている如く、P波速度は 5.2km/sec. である。Drift 5 の奥で発破したときはS波も明瞭に観測されており (**Fig. 3**)、その速度は約 2.5km/sec. で、少なくともこれより小さくはない。さらにP波、S波とも振動方向に乱れがほとんどない。これらの点にもとづいて Drift 6~Drift 5 の間はたいしい破砕帯はなく、Drift 5 にごく近い部分を除き大体堅岩に相当する状態であるという結論を出した。

B区域 旧線トンネルはレンガでまいてあり、直接岩石をみることはできない。下の砂利やおき石をはいで調べることも、実際やってみるとうまく行かないものである。そこでまず旧線トンネルの中に、この区域のほぼ全体 (Drift 5 から410m 奥まで) にわたる受震器間隔 10m の測線を取り、旧線沿いの岩石の状態をおさえるようにした。発破点を直接旧線内にとることは危険であったので、発破孔としては試錐孔や、横坑中に作ったさく岩孔を用いた。この測線での一回の発破薬量はダイナマイト 10g~50g 程度のもので、旧線からくられた試錐孔の場合でも数米も奥で発破するなら、他の構造物に被害を及ぼす心配はない。受震器はトンネルの底盤の砂利を 40cm 程ほり起し、大体底の岩盤と思われるところに粘土でおさえつけながら埋めた。

このようなやり方はかなりうまく行き、P波速度、S波速度、それにS波の振巾変化などから測線ぞいの破砕帯の位置はかなり明瞭に指摘できた。S波の振巾変化はかなり著しいもので、硬い岩石の方から来たS波は、完全な破砕帯の中ではほとんど消えてしまった (**Fig. 4 (b)**)。又この境界面ではS波の反射も観測され (**Fig. 4(a)**)、境界面の構造的な形をきめるのに役立った。主な破砕帯は Drift 4 のごく近くから奥の方へ向って続く。その下側境界面の dip は比較的小さかったため屈折法による初動走時の解析から求めることができた。

次に横坑と横坑、横坑と試錐孔間で観測を行い、その走時の解析をもとにして、旧線ぞいに判明した構造が新線の方にどうのびるか、できるだけ推定するようにした。破砕帯の上側境界面についても、一部の測線で得られた反射の記録をもとに若干の推定を下すことができた。これらの結果を **Fig. 5** に示す。解析の結

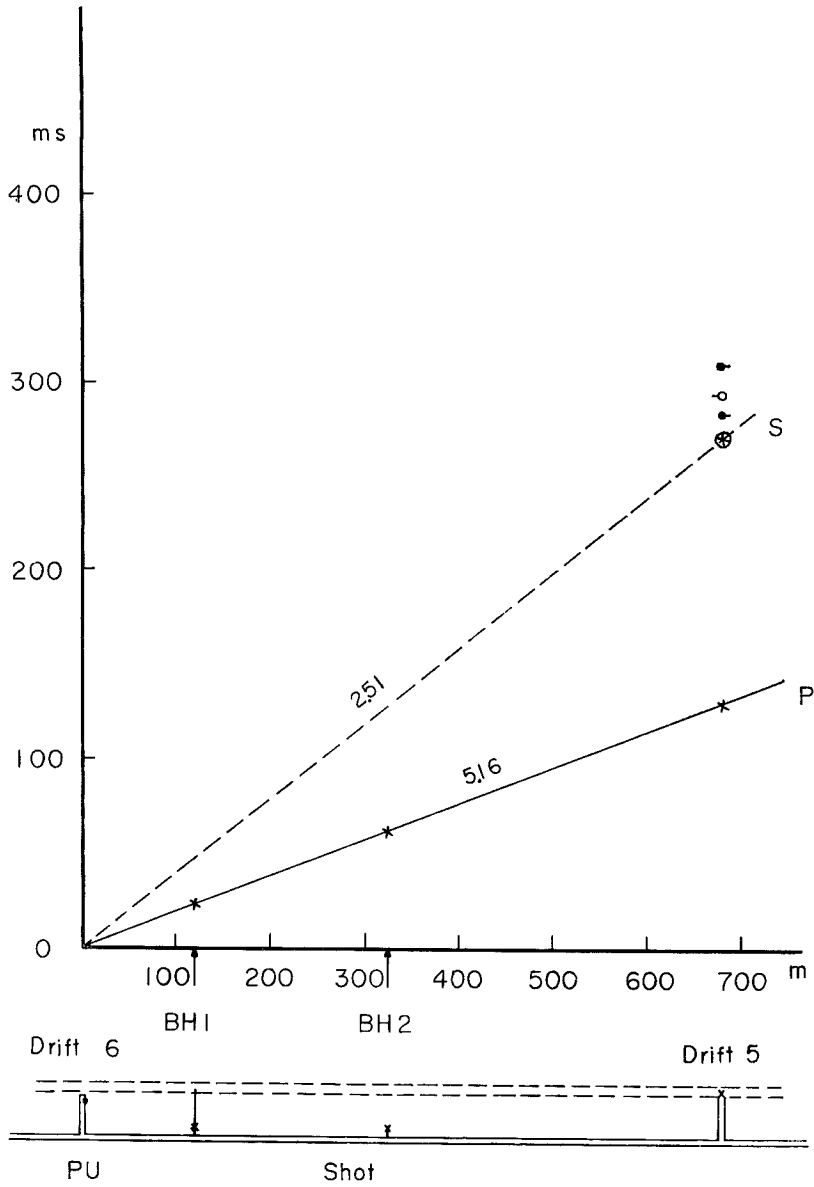


Fig. 2 Travel-time curve in "A" region

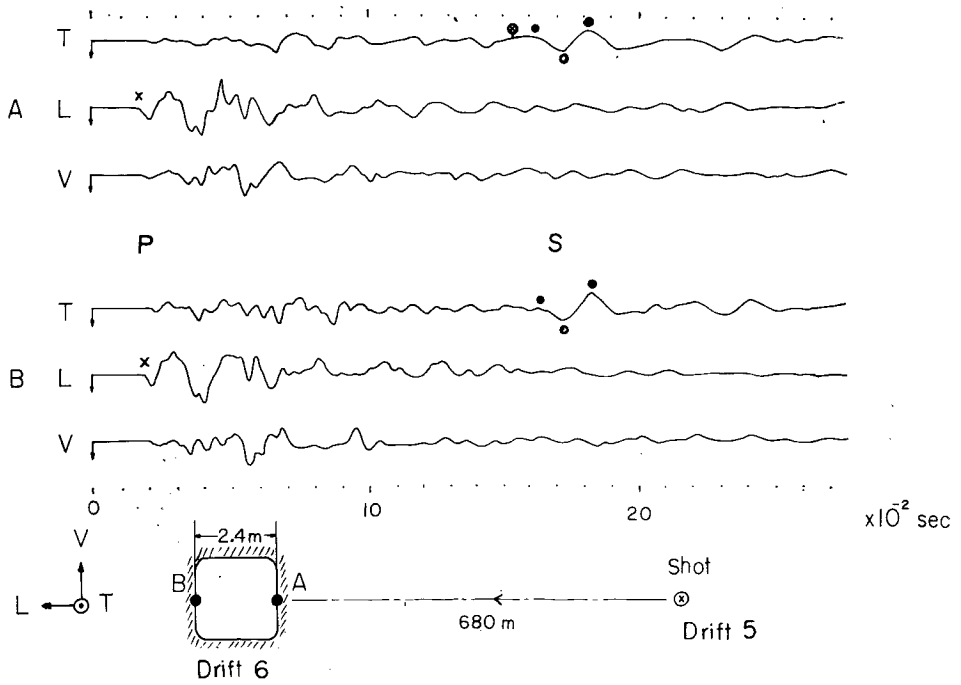


Fig. 3 An example of records in "A" region. P-wave and S wave are demonstrated. Standard of time (0 sec.) is arbitrarily taken

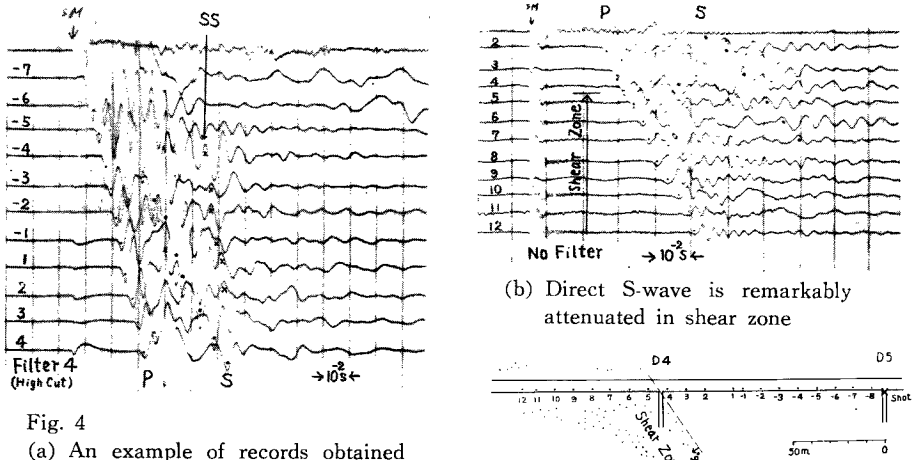


Fig. 4

(a) An example of records obtained at the spread in the old tunnel ("B" region). Direct S-wave (S) and reflection S-wave (SS) from shear zone can be recognized

(c) Map view of shot and geophone layout at which the records (a) and (b) are obtained

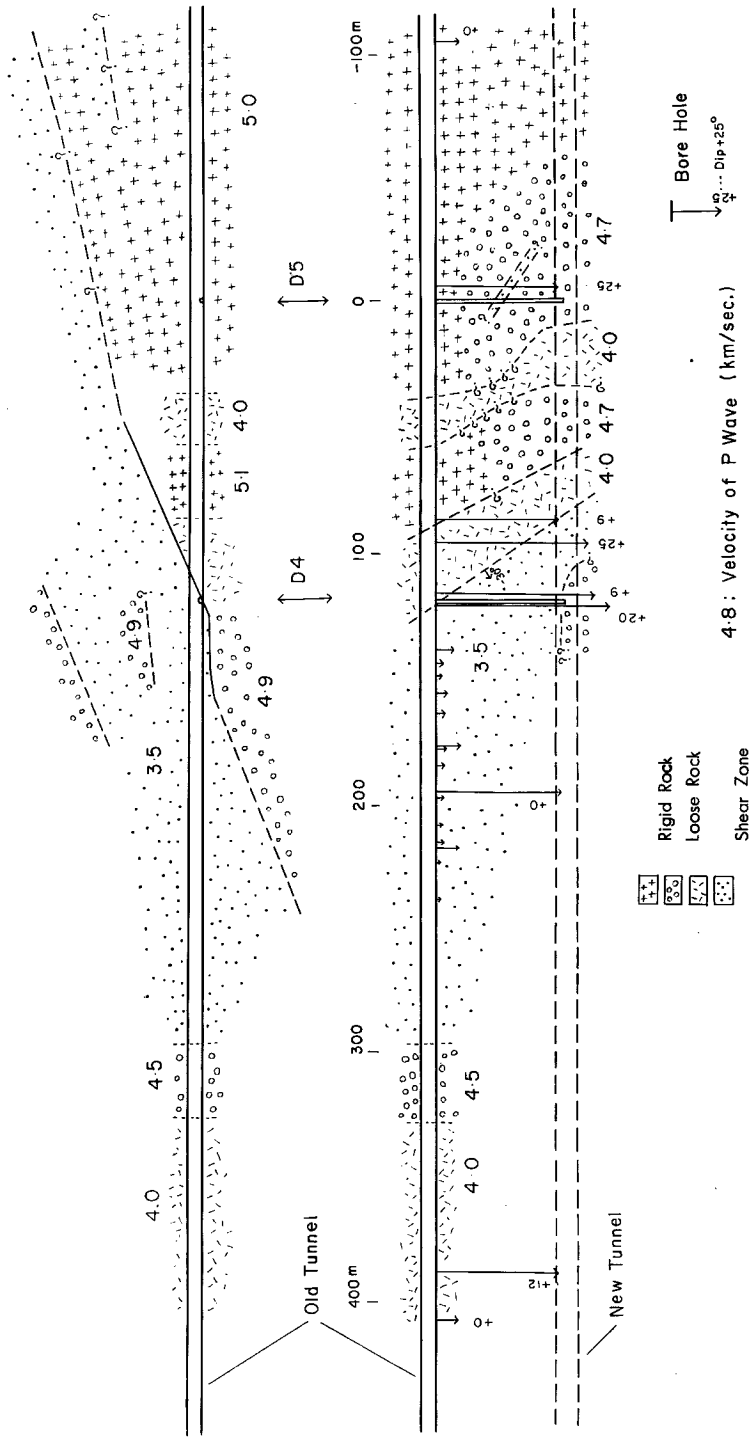


Fig. 5 Vertical and horizontal cross section of "A" region obtained from the seismic prospecting. D4, D5: Drift 4, Drift 5

果については、ほとんど動かしがたく確かなものから推定の要素が強いもの、位置のきまらないものまで、その確かさに色々な範囲がある。もとの報告書ではこの点くわしく区別し、いちいちの構造について註釈を付すようにしたが、ここでは実線、破線、さらにそれに疑問符が入るにつれ確かさが減ずるものと一応大きっぱにみていただければよい。

2-4 地震探査による推定と新トンネル掘進結果との対比

昭和38年11月28日現在、新トンネルは導坑に関する限り、全区域開通しており、上部半断面のひろげも生駒側から、Drift 4 の近くまで達している。

A区域 この区域は大体推定の通りであった。上部半断面の掘削はほとんど無支保工で進んだ。ただし亀裂や薄い断層が発達し一部支保工でおさえながら進んだところもある。このようなところで一度8m×6m×4mの落盤があった。ここでは岩石そのものは硬く、亀裂や小断層の間隔も大きかったが、ちょうどそれらが落ちやすいような具合に岩塊を区切っていた。このように地震探査の結果からは良い印象をうける場所でも、工法との関連で事故が起きることがある。このようなことは探査結果を活用するにあたって注意しなければならないことである。

B区域 この区域については、筆者等の探査やその他の調査の結果にもとづいて、慎重な工法がとられることになり、まず中割導坑から掘進された。これが開通して以後、生駒口より進められてきた半断面掘削の切羽が、ここに到達し、本文の執筆時には大体 Drift 4 の附近まで進んでいた。

導坑の観察にもとづいて探査結果を検討することには問題があるようで、全般的な考察は少なくとも半断面の掘削が終了後にした方がよいようである。つまり導坑で堅かった所も、半断面にひろげてみると破碎が進んでいることが多く、断面のせまい導坑ではなかなか岩盤の状態がつかめないのである。以下ともかく一応の結果を述べることにする。半断面掘削では Drift 5 の手前（即ち生駒側へ）20m 程のところから破碎が著しくなり、ほぼこの状態が現在の切羽 Drift 4 の附近まで続いている。この区間では水の湧出もあり、時には切羽の崩落もあった。進行も又はかばかしくない。これらの区域は筆者等の探査では軟岩もしくは破碎帯と推定されているところに相当する。それ以上の細分のための資料がまだ揃っていないから、ここではさらにくわしい対比に立入ることはできない。Drift 4 より奥の方約 360m まで（生駒側工区の終端）は導坑だけの資料しかない。これにもとづく限りここでは大体軟岩もしくは 破碎帯に相当する状態がづく。ただし終端附近に比較的硬い斑礫岩が出ている。水はほとんど出ない。筆者等は、この間について推定する直接的な観測資料をもつことはできなかったが、この横の旧線にそう測線上下では破碎状態が続いていることが確かめられたので新線上もまた同様な傾向のものになろうと推定していた。本坑では普通、導坑での状態よりも良くなることはないようであるから、これは正しかったとみてよかろう。

2-5 議 論

この探査では作業上いろいろと制限が厳しかったが、探査区域はほとんど単一な岩石（花崗岩）からなり、地質的な条件はよかった。つまり波動の特性（特に速度値）の変化を直ちに破碎の状態と結びつけることができたのである。

ここでの特徴は、破碎状態の割に速度の低下が少ないように思われることである。一番破碎している場所でも 3.0~3.5 km/sec. である。4.7 km/sec. の軟岩も破碎帯同様工事上はかなり悪い岩盤である。堅岩で 5.2 km/sec. であるからその低下は一般の常識よりかなり小さい。ただし坑道のごく周辺では破碎帯で 2.5 km/sec., 軟岩で 3.7 km/sec. 位までに低下している。これは盤圧の解放による二次的な値であると思われる。ところで今回得られた速度は一般の場合と異なり、充分盤圧を受けた地下深くでの資料であることに注意しなければならない。盤圧が破碎された岩石の速度値に与える影響はかなり大きいものと思われる。例えば、これとつながっていると考えられる地表近くの破碎帯について、他の機関により測定された速度値は 2.5km/sec. となっている。

3. 城山発電所建設工事中の地すべりに関する探査

3-1 序

神奈川県城山発電所は揚水式の地下発電所で、昭和36年12月以来その建設工事が進められている。この一部である本沢貯水池の取水口附近に於て下部法面の切り取り作業にともない、その上部法面に亀裂が生じ、徐々に地すべりの傾向を示すに至った。この傾向が明瞭になったのは昭和37年7月末頃からである。その後他にも亀裂が広がり、全面的な崩落の危険も考えられるようになった。これに対処するためには、まず地すべりの実態を掴む必要があった。そのための調査の一部として、筆者等は工事関係者から地震探査による調査を依頼された。ここでは昭和38年2月末より3月始めにかけての約10日間に行われたその調査のあらましについて述べる。

当該地域の地形の断面は Fig. 6 に示されている。Fig. 6 の Crack 1 は最も大きな亀裂で、調査当時ここでは約1mの落差ができていた。この Crack 1 および Crack 2 を上端とし、巾約100mの岩盤が切りつつあることは、地表面に生じた他の Crack から大体推測できた。地質的には上部は御坂層の頁岩、下部は小仏層の粘板岩で、両者は不整合の関係にある。その境界面は大体2号斜坑の入口附近Iと試錐孔A中の深さ28.5mの地点I'を通る。(地質の記述は鹿島建設株式会社技術研究所の地質担当者の調査にもとづく。)

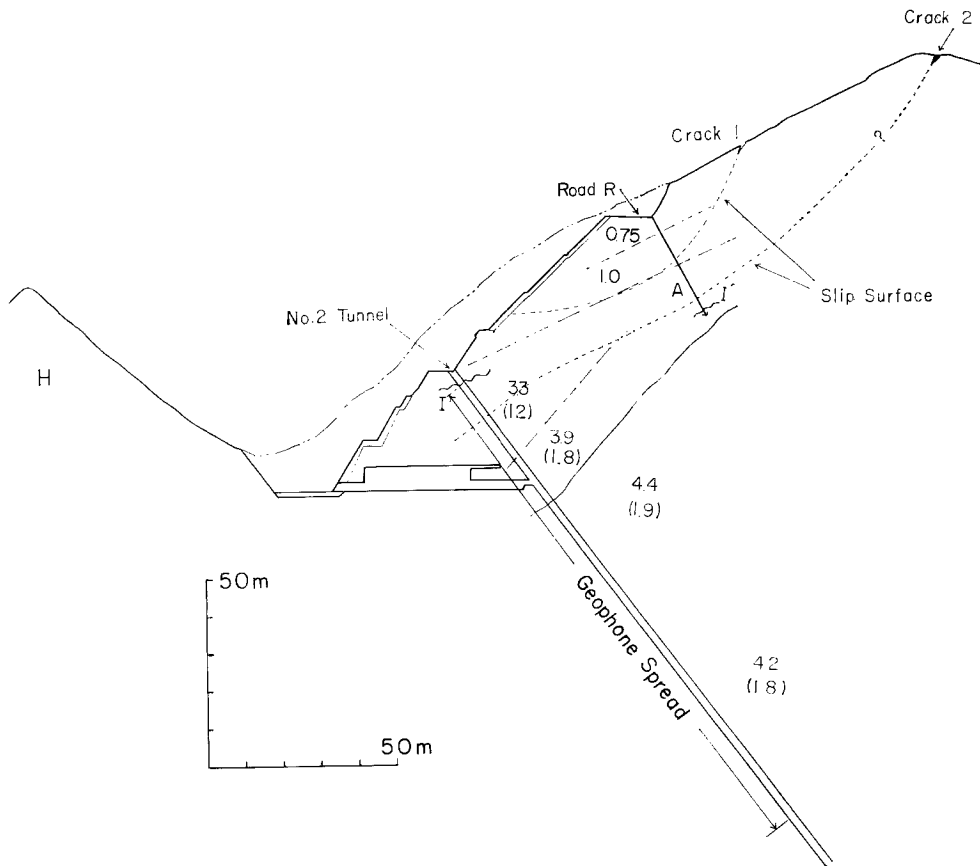


Fig. 6 Cross section of the intake tunnel along with the results of the seismic prospecting. 4.4: P-wave velocity. (1.9): S-type wave velocity (km/sec)

3-2 方法と結果

岩盤が地すべりを起こす際、破碎の及んでいるような弱い地層内ですべりが起るであろう。また運動することによって、すべっている層中には何程かの破碎が進行するであろう。筆者等はこのような観点にもとづいて、岩盤中の破碎された領域を地震探査によって推定するように努めた。進行中の工事や地形の状態を考慮し、結局主として2号斜坑中で観測することにした。

2号斜坑中に5m間隔に入口から150mまで測点を取り、この中で地震探査を行い、この斜坑沿いに岩盤の状態を追ってみた。この際のP波速度はFig. 6に示すような分布を示した。またS波と考えられるものに速度の異なった二種の波が現われ、状況は複雑になった(Fig. 7)。これらの波は、おそらく粘板岩の層理に関係した弾性的異方性にもとづくものであろうと思われるが、まだ完全に明らかにされるに至っていない。層理面は大体Fig. 6の紙面に一致する向きになっている。この斜坑の付近では、同じ小仏層の粘

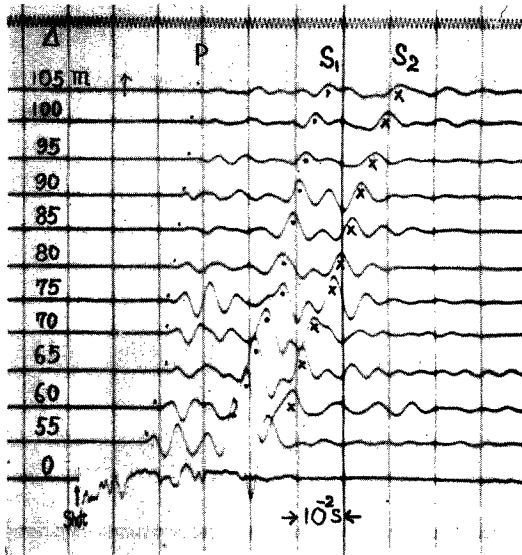


Fig. 7 An example of the records showing two S-type waves besides P-wave

3-3 議 論

P波速度3.3 km/sec.の区域では、S波とめなされる波の、速度低下の割合も著しく、破碎はかなり進行しているものと判断された。一方、他の調査者により試錐孔のひずみ測定をもとにして岩盤の動きが観測されているが、それによると少なくとも二つのすべり面が存在するとみられる。その一つはP波速度3.3 km/sec.の層内にあり、山頂の亀裂 Crack 2 に抜けるようである。もう一つのすべり面は浅く、P波速度1.0 km/sec.の層内を通り、大きな亀裂 Crack 2 に抜けているようである。

筆者等の調査及び他の調査の結果にもとづいて、工事関係者が決定した対策は次のようなものである。すなわち当初けずりとするはずだった、取水口の向い側の小丘(H)をそのまま存置する。これは地すべり面がかなり深くにもおよんでいるため、足元のおもしとなっている小丘をとりさったとき地すべりを進行させる危険があると考えられたからである。つぎに道路(R)より上の岩盤はとり去る。これでもまだ地すべりが進行する場合、地震探査によって明らかにされた弱い地層(低速度)をPre-stressed bindingによって岩盤に固定する。この際どこまで杭を下すかは問題であるが、3.9 km/sec.の層中まで下す必要があると考えられている。

なおこの粘板岩は非常に風化しやすいもので、風化は斜坑のまわりでも壁面より1~4mの範囲におよん

板岩だけが存在するから、P波速度の変化は破碎もしくは風化の度合に対応するものとみなしてよかろう。S波と思われる波のうち遅い方の波の速度をP波速度と共に図示しておいた。またこの種の波の減衰は地表面から20mまでの区域で著しいようである。この斜坑で得られた結果をもっと空間的拡がりのあるものにするため、試錐孔A中で深さを変えて数度発破し、これを斜坑内の受震器で受けてみた。この発破点から直接来るP波の走時や、試錐孔の底でtube waveから変換されたP波やS波をもとにして、この試錐孔と斜坑との間の構造を推定するようにした。なお試錐孔中には水が入っている。このようにしてFig. 6の速度分布図は作られた。このほか、地表面の普通の地震探査も実施した。また2号斜坑と、その横に約45m離れて存在する1号斜坑との間に伝わる弾性波の観測もした。しかし大事なものは上述のFig. 6に関係した探査であった。

ている。これは斜坑中の地震探査によって明らかにされたもので、そのP波速度は1.3~1.9km/sec.である。

4. 結 論

地震波動の諸特性を活用し、従来の限界を破ろうとする試みは、既述のように部分的には成功したが、まだ決して完全なものではない。土木に必要な力学的量を波動特性を用いて量的に表現することは今後の課題である。これを達成するためには、波動と岩盤の物理的性質に関する基礎的な研究を積み上げる必要がある。また一方、積極的に現場の問題にとり組み、その調査事例を増すようにしなければならない。今後このような地震探査では、試錐孔や坑道を利用する必要が増すだろう。試錐や坑道掘進の計画を立てる際は、以後の地震探査にも活用できるよう配慮されることが望ましい。普通の器械を坑内で使用することは、あまり具合のいいものではない。安心して坑内で使える実用的な器械を作るようにしなければならない。試錐での地震探査のためには試錐孔中に固定して使える三成分地震計の開発が切望される。

なお本論文中に述べた二つの地震探査では、増巾器としては ETL 製 PRA-2 を、レコーダーには三栄測器製 100A もしくは 102A (ガルバノメーター: G500A もしくは G 1000A) を用いた。また受震器としては NEC 製 VP 202, ETL 製 14N7, ETL 製 40N7 等を用いた。

謝 辞

これら二つの調査は鹿島建設株式会社・佐藤忠五郎博士の運営上有効な御支援により実施された。新生駒トンネルの探査に関しては近畿日本鉄道株式会社の担当の方々および鹿島建設株式会社生駒出張所の方々に実施上いろいろと御世話になった。城山ダムの調査の際は神奈川県企業庁、鹿島建設株式会社城山出張所、同社土木工務部および同社技術研究所の担当者にいろいろと援助していただいた。これらの諸氏に感謝する。

研究全体に関する佐々憲三博士の有益な御教示と、城山ダムの地すべりに関する京都大学・山口真一教授の助言に謝意を表す。

文 献

- 1) 狐崎長琅: 高周波地震探査の研究(3) 物理探査 Vol. 14, p. 125-129, 1961.