

断層破碎帯区間における地質調査について

GEOLOGICAL SURVEY FOR FRACTURE ZONES IN TUNNEL

瀬谷正巳¹⁾・山本松生²⁾・篠川俊夫¹⁾・小松正三³⁾・大田原孝一³⁾

Masami SEYA, Matsuo YAMAMOTO, Toshio SHINOKAWA, Shozo KOMATSU, Koichi OTAWARA

We have applied three methods of geological survey to grasp fracture zone in tunnel under construction, and compared the results of survey methods each other. The survey methods are 1) High resolution seismic refraction method, 2) Horizontal core boring, 3) TSP (Tunnel Seismic Prediction) system. In High resolution seismic refraction method, more accurate distribution map of elastic wave velocities is obtained as compared with conventional seismic refraction method, and the location of fracture zone can be estimated from the results. In TSP system, estimated location and width of fracture zone are nearly equal to the results of horizontal core boring.

Key words : High resolution seismic refraction method, Horizontal core boring, TSP system, fracture zone

1. はじめに

山岳トンネルの掘削において、切羽前方の地山状況を掘削前に把握しておくことは、地山に適合する施工法や支保の内容をあらかじめ選定準備しておける等の利点があり、工事の安全性・経済性に対して大きく寄与する。そのため、現在までに、切羽前方の地山状況を調査するための様々な方法が開発されてきている。

本報告で取り上げる調査では、異なる調査方法をトンネルの同一区間に適用することで、切羽前方の地山状況をなるべく正確に把握するとともに、調査結果を比較してそれぞれの方法の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 地質状況

今回の調査の対象となったトンネル周辺の地質は、主に粘板岩からなる中古生層を基盤として、これを新第三紀中新世の砂岩・泥岩、凝灰岩、凝灰角礫岩などが不整合に覆っている。ただし、事前調査の結果により、トンネルのルート付近では、中古生層と新第三紀層が、断層破碎帯によって境されていることが明らかにされている。この断層破碎帯は高角度で傾斜しており、平面的にはトンネルと斜交する形となっている。

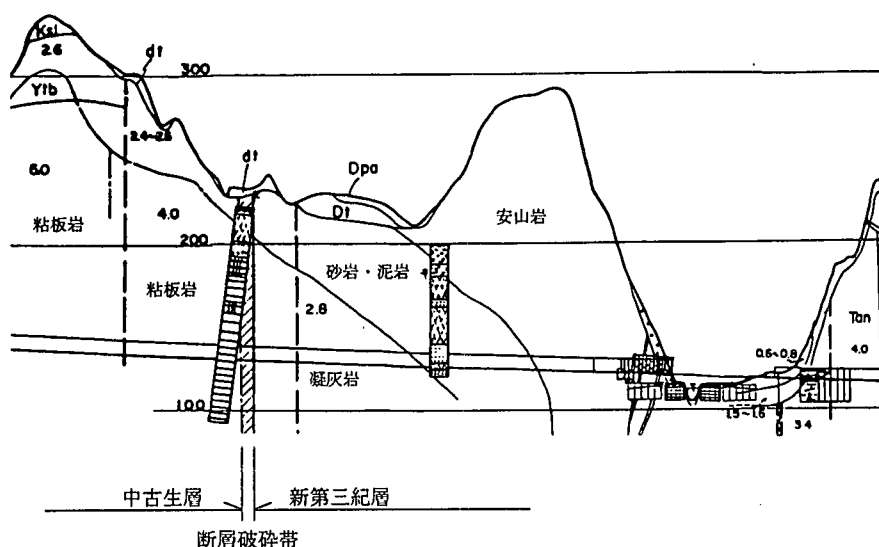
今回は、このトンネルルート上に出現すると予測されている中古生層と新第三紀層を境する断層破碎帯の位置と幅を事前に把握することを主な目的として調査を行った。

調査対象となったトンネルの地質縦断面図を図-1に示す。

1) 正会員 佐藤工業(株) 土木本部技術部門

2) フェロー会員 佐藤工業(株) 土木本部技術部門

3) 正会員 佐藤・鴻池・東鉄JV 岩手トンネル鳥越作業所



図－１ 地質縦断面図

３．調査方法

トンネルの切羽前方の地山状況を予測する方法としては、これまでに様々な方法が提案されている。しかし、それぞれの方法は、おおよその長所と短所があり、事前設計の岩級区分の目安として用いられている屈折法地震探査を除いては、標準的といえる方法は存在しない。その屈折法地震探査についても、探査結果と実際の地山状況とは、必ずしも一致するとは言えないのが現状である。そのため、より正確な探査を目指し、従来の屈折法地震探査に比べて詳細な結果の得られる高精度屈折法地震探査を始めとして、同一区間に対して複数の方法を用いて探査を行なうこととした。

トンネルの調査には、地表から行われるものと坑内で行なうものの２通りがあるが、今回実施した調査方法は次に挙げる３方法である。

(１) 高精度屈折法地震探査^{１)} (地表からの調査)

高精度屈折法地震探査は、原理的には従来の屈折法地震探査と同様に、人工的に起こした地震により発生した地震波を測定し、地層の境界から屈折してくる屈折波を解析することで、地下の速度構造を求める。しかし、解析の過程で新たに「トモグラフィ手法」を採用し、コンピュータを用いて理論解析することにより精度を向上させている。なお、高精度屈折法地震探査は必ずしも新規に調査を行なう必要がなく、従来の屈折法地震探査の走時曲線があれば、再解析が可能である。

(２) 水平先進コアボーリング (坑内からの調査)

水平先進コアボーリングは、坑内から切羽前方に水平コアボーリングを行ない、コア観察などを行なうことによって、切羽前方の地山状況を把握する方法である。

(３) TSP試験^{２、３)} (坑内からの調査)

TSP試験 (坑内反射法地震探査) は、トンネル坑内に受振孔 (１孔) と発振孔 (２０～３０孔) を配置して反射法地震探査を行い、トンネル切羽前方やトンネル周辺に存在する反射面 (断層破碎帯、地層境界などの不連続面) の位置および性状を、反射波から推定するものである。

4. 調査結果の比較

(1) 高精度屈折法地震探査による探査結果

高精度屈折法地震探査による探査結果と、同一区間における従来の屈折法地震探査による探査結果を図-2, 3に示す。

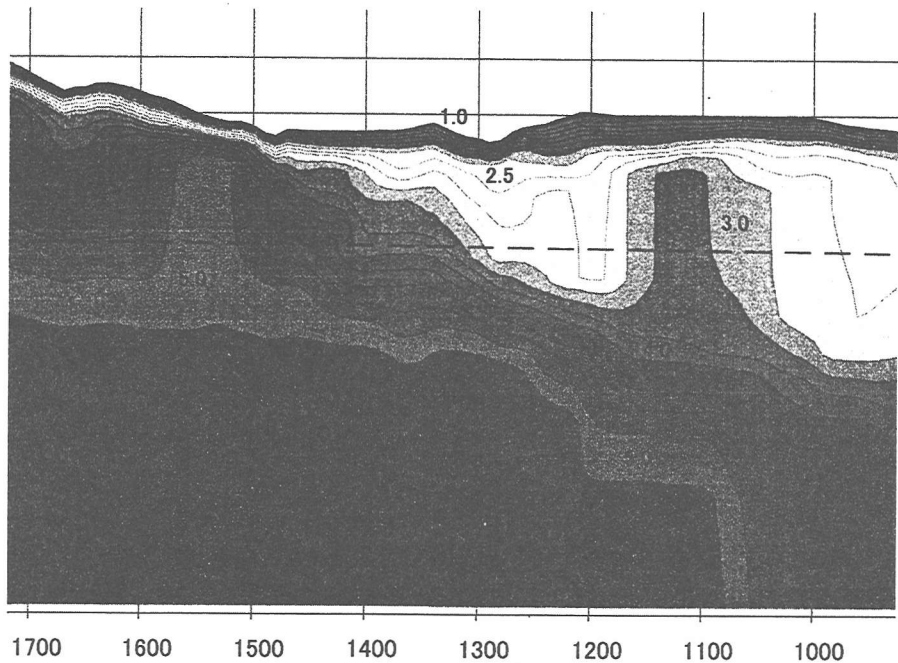


図-2 高精度屈折法地震探査による探査結果

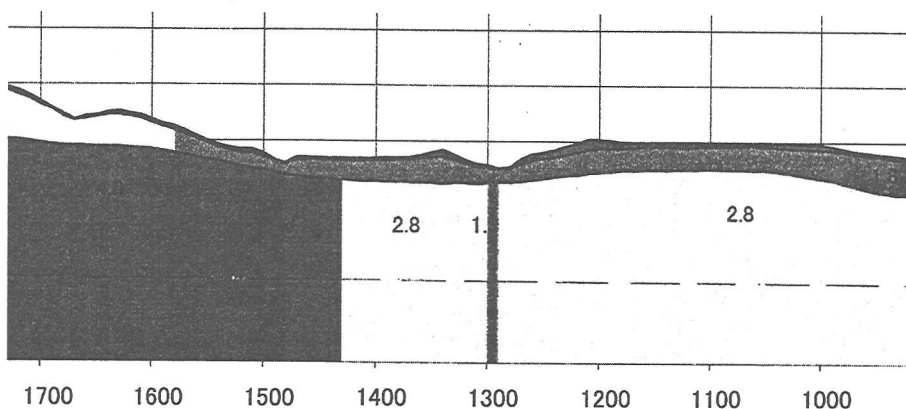
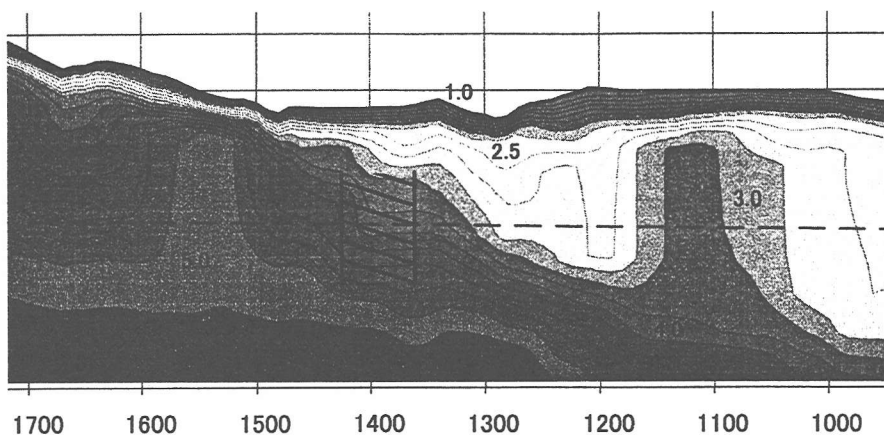


図-3 従来の屈折法地震探査による探査結果

この2つの弾性波速度分布断面図を比較すると、高精度屈折法地震探査による探査結果は、従来の屈折法地震探査による探査結果に比べて、はるかに細かい弾性波速度の分布状況を表していることが分かる。

(2) 高精度屈折法地震探査と断層破砕帯の位置の比較

高精度屈折法地震探査による探査結果と、断層破砕帯区間の位置を比較する。その結果を図-4に示す。



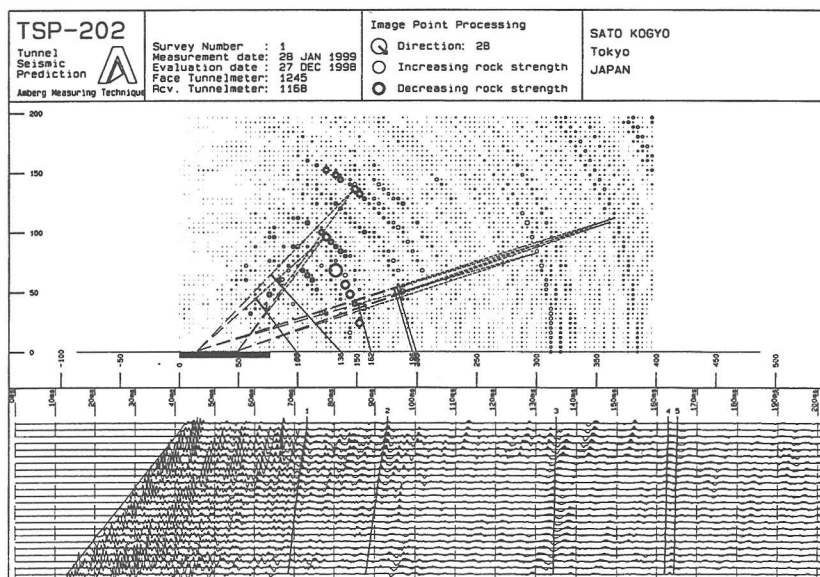
図－４ 高精度屈折法地震探査の結果と断層破碎帯位置

これによると、断層破碎帯は弾性波速度のコンターが階段状となっている TD. 1360～TD. 1425 付近（ L ＝約 65m）に位置している。高精度屈折法地震探査の結果では、一般に断層破碎帯は、凹状や階段状のコンター形状を示すと言われている。今回の地質構造では、断層破碎帯が中古生層と新第三紀層の境界となっており、断層の前後で弾性波速度の値が異なる。弾性波速度の小さい新第三紀層と断層破碎帯構成物質との弾性波速度の差がほとんどないため、階段状のコンター形状となっているものと思われる。

なお、TD. 1120 付近と TD. 1550 付近に上に凸となるコンター形状が見られる。このようなコンターの形状は、凸部に比較的堅硬な岩石が分布していることを示している場合が多いが、凸部の前後に断層破碎帯のような弱層部が分布していることも考えられるので、その解釈には注意が必要である。ただし、今回の施工では、あまり地山状況の顕著な違いは見られなかった。

(3) 水平先進コアボーリングと T S P 試験の比較

T S P 試験による反射波形および反射強度円分布図と予測結果図、そして水平先進コアボーリングによって得られた結果と T S P 試験による結果の比較図を図－5，6，7 に示す。



図－５ 反射波形および反射強度円分布図

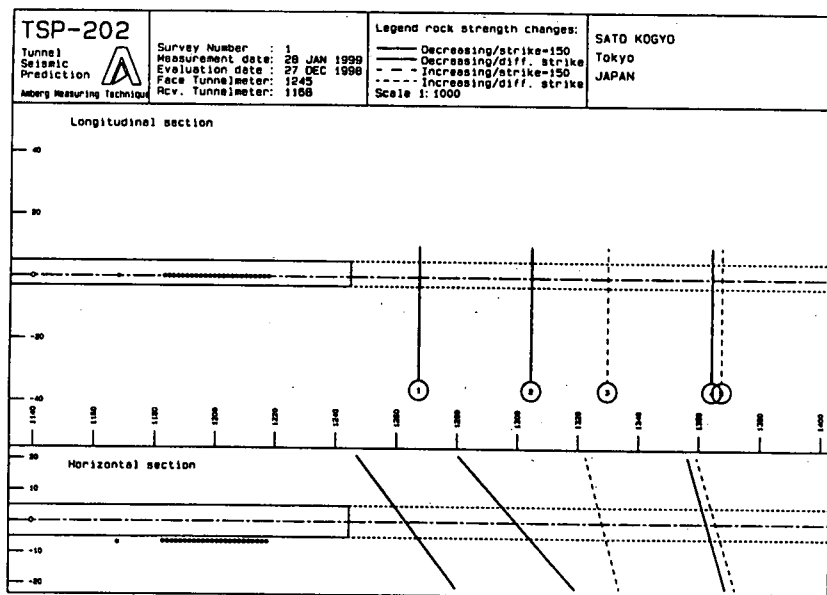


図-6 TSP試験の結果

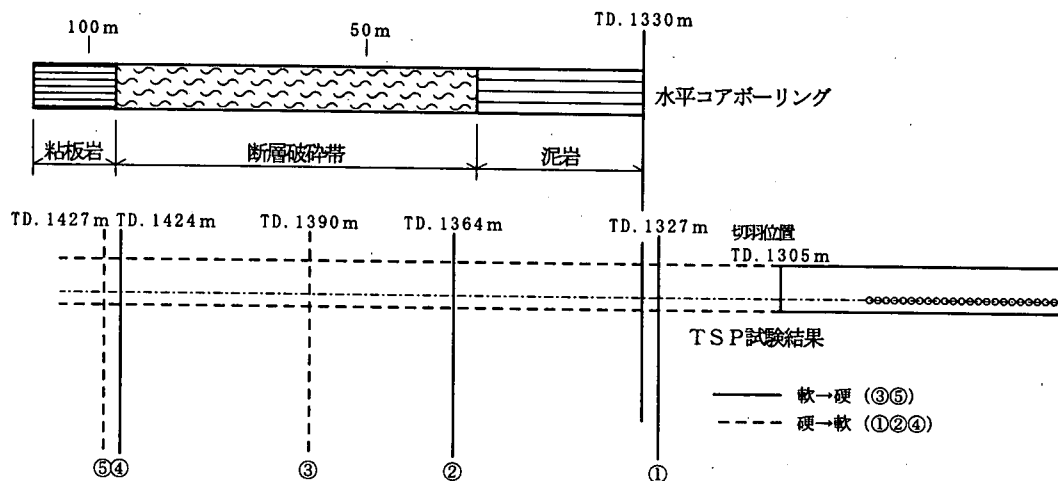


図-7 水平先進コアボーリング結果とTSP試験結果の比較

水平先進コアボーリングは、TD. 1330 から長さ 110mである。その結果、TD. 1330～TD. 1360 の区間は、主に新第三紀の泥岩が分布している。TD. 1360～TD. 1425 の区間は断層破碎帯である（断層角礫と断層粘土を伴い、全体的には粘性土質の破碎帯となっている）。TD. 1425～TD. 1440 の区間は、主に中古生層の粘板岩が分布している。

一方、TSP試験の結果は、地層の硬軟の変化として表現される。図-6および図-7のTSP試験の結果によると、切羽前方の5箇所硬軟の変化が予測された。このうち、①②④の実線が硬から軟への変化を表す（岩盤強度が減少する）不連続個所で、③⑤の点線が軟から硬への変化を表す（岩盤強度が増加する）不連続個所である。したがって、断層の位置は①②④のいずれかの位置から始まるものと考えられる。反射エネルギーの大きさを見ると、①③の不連続個所は、それほど顕著な不連続個所とは考えられないため、今回のTSP試験の結果からは、断層破碎帯の位置を不連続個所②（TD. 1364）と⑤（TD. 1427）の間に相当すると判断した。

このように、水平先進コアボーリングによって判明した断層破碎帯区間の位置とTSP試験の結果から予測した

断層破砕帯区間の位置は、比較的良好に一致していることが分かる。

なお、当該断層破砕帯では、湧水状況が滴水程度であったため、施工時には大きなトラブルもなく突破することが出来た。

5. まとめ

今回の調査では、異なる調査方法の結果を比較することによって、以下のような事柄が明らかとなった。

- ① 高精度屈折法地震探査を行うことによって、既往の屈折法地震探査結果よりも、詳細な弾性波速度の分布状況を把握できる。
- ② 弾性波速度分布状況図のコンターの形状によって、地層の変化や断層破砕帯の位置などを把握できる。
- ③ TSP試験による予測は、地質構造によっては適用困難な場合もあるが、地層の硬軟や、断層破砕帯の位置、幅などを概略的に把握するのに非常に有効である。

また、それぞれの調査方法について、その主な特徴は以下の通りである。

高精度屈折法地震探査は、地表から行う調査であるため、事前調査だけでなく施工中に行う調査としても、施工を妨げることなく調査することが可能で、しかも調査区間を長くすることが出来るという利点がある。

水平先進コアボーリングは、コアを観察することによって、実際の地山状況をほぼ正確に把握することが出来る。また、他の調査方法では、必ずしも十分に調査できない湧水状況についても、ある程度まで知ることが出来るという利点がある。ただし、時間と費用がかかるため、十分に調査の必要性を確認した上で実施しなければならない。

TSP試験は、比較的短時間かつ手軽に地層の硬軟の変化を概略的に把握できるため、それだけでも十分に有効であるが、探りボーリングを実施するかどうかを判断するための資料としての利用価値も大きい。

このように、今回用いられた高精度屈折法地震探査・水平先進コアボーリング・TSP試験は、いずれも地山の状況を調査する際に有効な方法である。ただし、実際の調査に当たっては、それぞれの調査方法の特徴をよく理解した上で、現場の状況に合わせ、適切な調査方法を選択することによって、効率的な調査を目指す必要がある。

6. 参考文献

- 1) 応用地質株式会社：「高精度屈折法地震探査」パンフレット
- 2) 稗田 肇，山本松生，西野治彦，中村康夫：反射法地震探査による切羽前方予測，26 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp. 505-509，1995
- 3) 山本松生，瀬谷正巳，中村 創：反射法地震探査結果と地質構造に関する一考察，土木学会・トンネル工学研究発表会，Vol. 7，pp. 135-140，1997