

西松建設株式会社

正会員 石山宏二, 稲葉 力

サンコーコンサルタント株式会社

林 久夫, 土屋彰義, 橋本 励

1. はじめに

掘削中のトンネル切羽前方の地山状態を把握するために、トンネルHSP法、TSP法などの坑内で発振・受振が行われる坑内地震探査法が適用されつつある¹⁾。本手法は、測線配置を坑（側）壁に沿って設けるため、トンネル掘削に伴い坑壁周辺に生じるゆるみ領域により地震波の伝播速度・経路など波動特性に影響が及び、探査を実施する上で問題になると考えた。

本報告では、トンネル周辺地山を伝播・反射してくる地震波の波動特性を把握するために、側壁および側壁奥の地山内についてそれぞれ3成分受振器を設置し、坑内で起振された地震波の観測結果および探査における受振方法について論じている。

計測を実施したトンネルの地質は、塊状砂岩や砂岩・頁岩の互層などから構成されている。

2. 坑内地震探査における受振

坑壁設置型の単成分（トンネル軸直角方向）受振器による坑内地震探査が既に試みられているが、これはゆるみ領域の存在を逆に利用した方法といえる。3次元的に発散した波動が反射してきた場合、新鮮な岩盤と境界で屈折が生じ、結果的に受振器の指向性が高い坑壁とほぼ垂直方向に地震波が入射するため、探査が十分可能であると評価されていた²⁾。

そこで、トンネル側壁に測線を設け、従来の坑壁型受振器に加えて地山内に2成分（トンネル軸、直角方向）受振器を設置し、その波動特性の比較検討をまず行った。観測波形を図-1に示す。坑壁型の場合、P波初動後の後続波形（S波、境界波等）の振幅が大きい。地山内受振器の場合、トンネル軸直角成分の後続波振幅は坑壁型と同様に大きいですが、軸方向成分の後続波形の振幅は比較的小さい。したがって、切羽前方からの波動（反射波）を観測する場合、地山内のトンネル軸方向に受振器を設置した方が、S/N比に関してより良い計測ができるといえる。また周波数においても、地山内で観測された波形の方がやや高い周波数成分を有することがわかった。

両者の受振器により得られた走時曲線の比較および速度構造を図-2に示す。坑壁型では浅部のゆるみの影響を大きく受けているが、地山内ではその影響は比較的小さく、ディレイタイムも破碎部を除けばほぼ均一で、補正量も小さい。

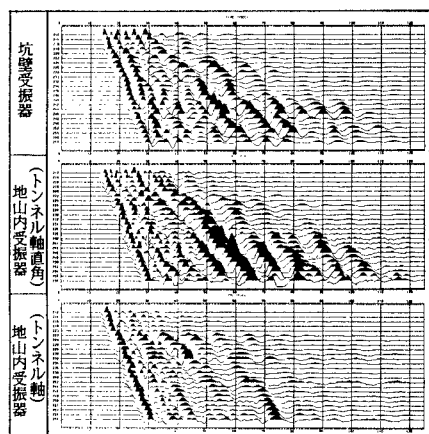


図-1 観測波形

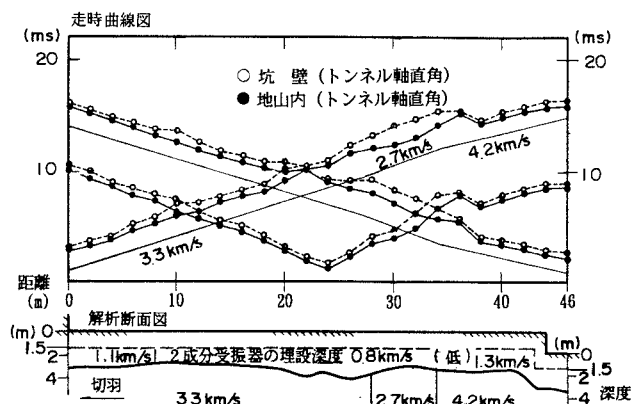


図-2 走時曲線の比較及び速度構造

したがって、坑内地震探査を行う場合は、坑壁よりも地山内に受振器を設置した方が有利であるといえる。

3. 3成分受振器による地震波の伝播分析

坑壁型単成分と地山内2成分の受振器による波動特性の比較では、トンネル周辺における地震波伝播状況の把握が十分とはいえない。そこで、図-3に示すような測線配置とし、側壁および地山内に受振器を設置して地震波を計測した。深さ1.5 mの受振孔を側壁から削孔し、孔内（地山内）に2成分受振器を、また30 m地点に3成分（トンネル軸、直角方向、鉛直方向）受振器を側壁と孔内に設置した。この時の地山の手速度構造を図-4に、また3成分受振器による観測波形を図-5に示す。

地山内で受振した3成分波形では、軸方向成分のP波初動が卓越し、それに続くS波、境界波の振幅は軸直角方向および鉛直成分が大きい。しかし、側壁で観測された3成分波形は、後続波形の位相が皆調和しており、S/N比も同程度である。これは、新鮮な新鮮な岩盤ではある成分に卓越していた波動がゆるみ領域との境界で屈折・乱反射が生じ、各成分とも類似した波形になったと考える。

観測波形から求めたパーティクルモーションを図-6に示す。側壁ではそれと垂直に近い角度でP波初動は入射するが、地山内ではトンネル軸に近い角度で入射している。本計測における孔内受振器の位置は、図-4に示す速度構造よりゆるみ領域内であったと考えられるが、坑壁部との入射角の違いからゆるみ領域内の地山状態は一樣でなく、特に自由面近傍で大きくゆるんでいると推定される。

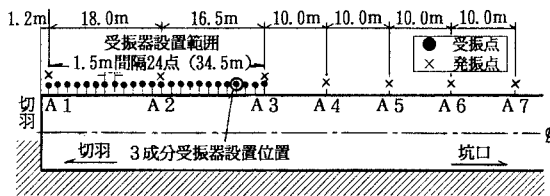


図-3 測線配置図

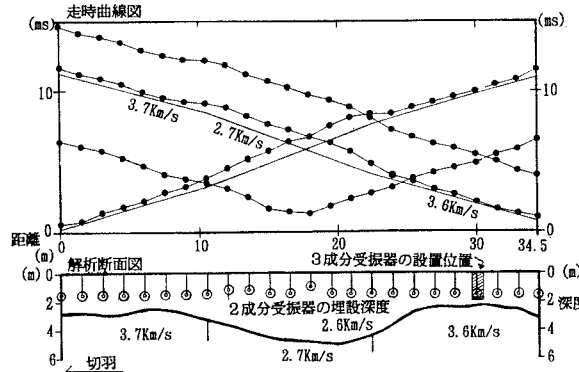


図-4 地山の手速度構造

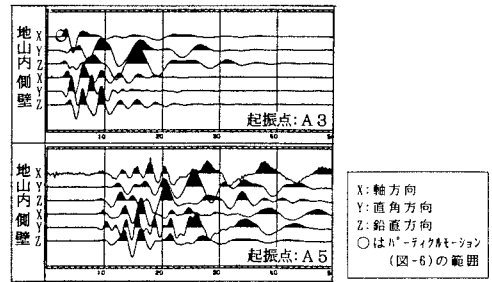


図-5 3成分受振器の観測波形

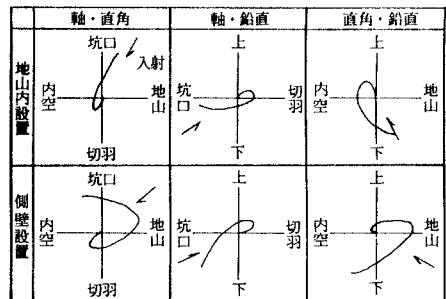


図-6 パーティクルモーション図（起振点A3）

4. おわりに

トンネル坑内にて切羽前方地震探査を実施する場合、地震波はゆるみ領域の影響を受ける。したがって、受振位置とその指向性はこれらを考慮した設置・選定をし、探査計画・実施を行う必要があると考える。

参考文献

- 1) 石山宏二, 土屋彰義, 千田敬二, 中村康夫: 弾性波によるトンネル前方探査の現地適用実験（その1）—トンネルHSP法の計測法に関する検討—, 第4回トンネル工学研究発表論文・報告集, pp. 439-444, 1994.
- 2) 今吉隆, 斎藤秀樹, 長田正樹: 地震探査法によるトンネル切羽前方岩盤調査—基礎実験結果—, 第25回岩盤力学に関するシンポジウム論文集, pp. 296-300, 1993.