

Ⅲ - B58

トンネル切羽における弾性波速度の現場測定

清水建設技術研究所 正会員 多田浩幸

清水建設土木本部 正会員 山本和義 竹内伸光 上岡真也

1. はじめに

山岳トンネル工法において、切羽が自立しない場合、切羽安定のための補助工法を採用してトンネルを掘削するが、現在、切羽の安定性を評価する方法が確立されていないために、必ずしも安全かつ合理的な切羽安定対策が実施されているとは言えない。このため、切羽の安定性を定量的かつ簡便に評価する手法の確立が求められている。本研究では、切羽で測定される弾性波速度が切羽の安定性評価指標のひとつとして適用可能であるかを検討するための基礎資料を得ることを目的として、亀裂の卓越するトンネル切羽において弾性波速度測定を行った。

2. 測定方法

砂岩・泥岩の互層から成る岩盤中に掘削されたトンネル切羽において、切羽面に受振計を配置した切羽弾性波速度測定と切羽に近い側壁で通常の坑壁弾性波速度測定を実施した。測定を行った切羽は、図1の切羽観察に示すように、約30°の角度で傾斜する層理面に沿った亀裂が卓越し、切羽右側にはやや岩片の脆い部分、左側には破碎帯と推定される脆弱な部分が認められた。特に、左側肩部は不安定な状態にあり、切羽安定対策を実施していた。以下に2つの弾性波速度測定の測定方法を示す。

(1)切羽弾性波速度測定：切羽面において図2に示す位置に24点の受振点を設け、同図に示す8点の起振点でハンマー打撃による起振を行い、生じた波動を観測した。ただし、切羽では測定区間の外側からの起振が不可能であり、通常のトンネル側壁で行う弾性波速度測定のような解析が困難なことが予想されたため、図3に示す切羽より22m坑口側の左右側壁近傍に深さ1.5mの発振孔を設け、その中で爆薬を発破して、その時の波動も観測した。

(2)坑壁弾性波速度測定：切羽より坑口に向かって8～35.6m区間の右側側壁において、図3に示すように1.2m間隔で24点の受振点を設け、測線の両側および測線内の計8箇所の起振点でカケヤ打撃による起振を行い、生じた波動を観測した。

3. 解析結果

切羽である程度測線長が確保できたA-B測線（図2）のハンマー打撃による観測データと坑壁弾性波の観測データについては、通常用いられているハギトリ法によって解析した。各々の解析結果を図4に示す。これによると、坑壁弾性波の結果は厚さ1.0～2.0mのゆるみ領域、新鮮岩盤および両者の漸移帯の3つの速度層に解析された。また、切羽弾性波のA-B測線の結果も厚さ1.0～3.0mのゆるみ領域、漸移帯、新鮮岩盤の3層に解析された。

一方、切羽での発破起振による観測データについては、測線状でない受振点配置の場合の解析法であるタイムーム法を用いることが適当である

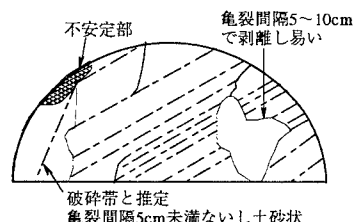


図1 切羽観察

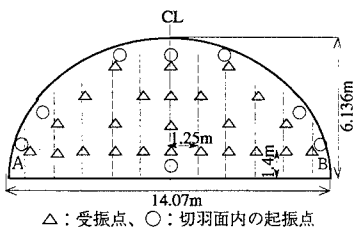


図2 切羽弾性波速度測定

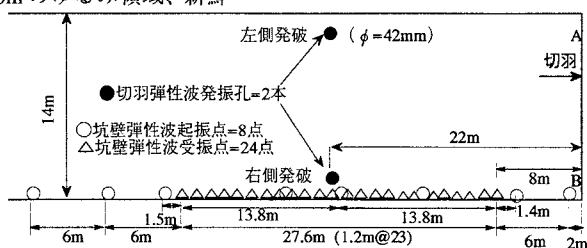


図3 坑壁弾性波速度測定

キーワード：トンネル切羽、弾性波速度、亀裂、地質状況、安定性

連絡先：〒135 東京都江東区越中島3-4-17 TEL 03-3820-5520 FAX 03-3820-5955

と考えた。タイムターン法は、本来、2層構造を仮定した場合の第2層の速度と各受振点の深度走時を未知数として最適化手法により解析する方法であるが、今回の場合、起振・受振点間距離が23～29mと極めて狭い範囲に限定されたため、解析データに偏りが生じ、精度よい解を得ることが困難であると判断した。そこで、今回は、受振点での初動到達時間と起振・受振点間距離との関係から切羽に到達した波の平均速度を最小二乗法により求め、その近似直線と各受振点の観測走時との残差が切羽表層（第1層）の弾性波速度特性を表すと考えた。

すなわち、近似直線に一致する受振点の表層は切羽全体の平均的な表層の速度特性を示し、負の誤差の地点は表層が平均より薄く、逆に正の誤差の地点は表層が平均より厚いことを表すとした。右側、左側発破時の観測データによる近似直線からの残差分布を図5に示す。なお、近似直線の傾きから求められる平均速度は、右側発破の場合、1.92km/sとなり、左側発破の場合、2.45km/sとなった。

4. 考察

図4より、切羽近傍の同一水平面での弾性波速度分布はトンネル側壁と切羽とともに3層構造で解析されほぼ一致した。また、A-B測線のA側で第2層が厚くなっており、図1の切羽左側に見られる脆弱部に対応すると考えられる。

図5より、残差が大きい切羽近傍の岩質が悪く、速度の遅い層が平均よりも厚く分布していると考えられるが、全体の傾向として切羽左側に残差の大きい部分が存在し、図1の切羽観察および施工中不安定な状態にあったことと調和している。このことは、切羽の弾性波速度が切羽の安定性評価指標としての適用の可能性があることを示している。また、右側発破と左側発破で平均速度が異なったが、右側発破の場合は波の進行方向が亀裂に直交するのに対して、左側発破では亀裂に平行となる。つまり、波動は発破地点～切羽面の約22m間では坑壁弾性波で得られた第3層の新鮮岩盤部分を伝播し、そこでの亀裂の影響は小さいが、切羽では第1層あるいは漸移層を伝播するため亀裂の影響は大きく、右側発破の波は多くの亀裂と交差することとなり、速度差が生じたものと考えられる。図5を詳細に見ると、図5(b)が切羽左側の残差の大きい部分を明瞭に表わしているのに対し、同図(a)ではそれ程明瞭ではない。この違いも亀裂の方向と波動の進行方向との関係による影響と考えられる。

5. まとめ

亀裂の卓越するトンネル切羽と切羽近くの側壁において弾性波速度測定を行い、切羽の弾性波速度特性を調べた。その結果、以下の知見が得られた。i) 切羽と側壁の弾性波速度分布はほぼ一致した。ii) 切羽の弾性波速度は切羽の地質状況とよい対応を示した。iii) 亀裂の卓越する切羽での弾性波速度は亀裂の方向と波動の進行方向との関係に影響される。

参考文献：1)池口正晃，真下英人，宮川順一：トンネル切羽における簡易弾性波の現場計測試験，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-B63，pp.126-127，1996。

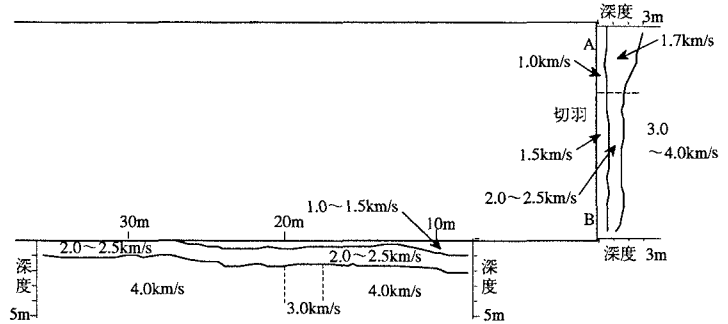
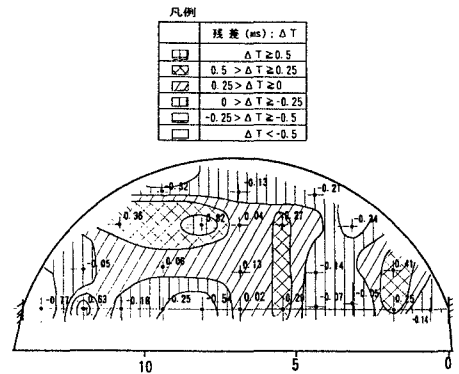
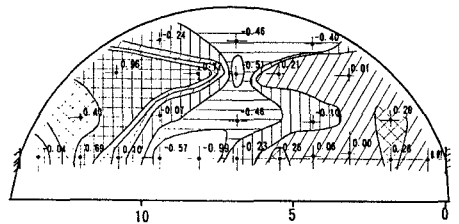


図4 切羽周辺の弾性波速度分布



(a)右側発破時



(b)左側発破時

図5 発破起振データによる残差分布