掘削発破を用いた切羽評価システム「トンネル フェイステスター」の開発と現場への適用

安藤ハザマ 土木事業本部 正会員〇中谷匡志 正会員 山本浩之 安藤ハザマ 東北支店 尾肝要トンネル南(作) 正会員 大沼和弘

1. はじめに

山岳トンネルの支保パターンの設計は,通常事前調査にお いて,地表面からの弾性波探査やボーリング調査を実施し決 定する.しかし,これらの地質調査は,土被りが厚い場合や 複雑な地質構造の場合,探査精度が低下することがある.こ のため施工時には,切羽観察などにより,設計支保パターン の妥当性を確認しながら掘削を進めている.また,定量的な 地質評価手法として,切羽における簡易弾性波測定による探 査が行われることがあるが,切羽での作業は危険を伴うため, 日常管理として行うことは極めて困難である.

そこで筆者らは,掘削用の発破を起振源として発生する弾 性波(直達波)を測定することで,安全に地山の地質状況を評 価するとともに,切羽前方の断層などで反射した反射波を抽 出することで切羽前方探査が行える,切羽評価システム「ト ンネルフェイステスター(図-1)」を開発した.本報告では, 開発したシステムの構成と,施工中のトンネル現場において 実施した直達波の測定事例について紹介する.

2. システムの概要

本システムの構成は写真-1に示すように、「トンネルフェ イステスター本体①」と、「周辺機器②~④」から構成される. 具体的には、図-1に示すように、発破母線に取り付けた電流 センサから得られる発破信号と、坑壁のロックボルトに設置 した地震計から得られる直達波(弾性波)を集約器を通じて 記録器で同時収録するものである.記録器としては、一般に 市販されている IC レコーダを使用している.図-2に、本シス テムを用いて測定した弾性波の波形データを示す.発破信号 と弾性波の波形データは、同一時間軸で出力されるため、弾 性波の初動の到達時間を測定することが可能である.

図-3 に,弾性波速度の測定概念図を示す.ここで,地震計 と切羽間の距離:L_i,弾性波の初動の到達時間:t_iから,切羽 から地震計へ伝播する弾性波速度は次式のようになる.

$Vp_i = L_i / t_i \cdots (1)$

また,掘削進行に伴い同一直線上で前進する切羽位置から の弾性波を,地震計の位置を変えずに測定した場合,伝播経 路は既測定区間と同一であると考えられる.その際の弾性波

キーワード:トンネル,掘削発破,弾性波,支保パターン 連 絡 先:〒107-8658 東京都港区赤坂六丁目1番20号 TEL:03-6234-3670 FAX:03-6234-3704





写真-1 トンネル フェイステスター全体図





-749-

速度は,既測定区間と進行区間との合成であると考えられ,既 測定区間より n 基掘削が進行した場合の区間弾性波速度:Vp' は次式のように表すことができる.

 $Vp_{i \sim i+n}' = (L_{i+n} - L_i) / (t_{i+n} - t_i) \cdots (2)$

地震計の位置が同一の場合,任意区間における区間弾性波速 度:Vp'は,切羽と地震計間の距離:Lと弾性波の初動到達時間: tの関係を走時曲線から求めることができる.走時曲線および区 間弾性波速度を次式に示す.

$$L=t/a-b\cdots(3) \qquad \qquad Vp'=dL/dt=1/a\cdots(4)$$

3. 掘削中のトンネル現場での測定例

測定は中生代白亜紀花崗岩類の均一な地質から構成されるトンネル工事において実施した.測定結果例として①TD.931~1,086mと②TD.1,005~1,145mの結果を図-4~6に示す.

図-4に示す走時曲線は,発破により発生する弾性波が地震計ま で伝わる時間を,切羽位置が①TD.1,053~1,086m,②TD.1093~ 1,145mまでプロットしたものである.得られた相関関数はどち らもr=0.99程度を示し,測定結果のばらつきは小さかった.

図-5では(4)式を用いて進行区間での区間弾性波速度:Vp'を求めた. ①Vp'=5.40km/sec, ②Vp'=5.32km/secであった.

図-6では(1)式を用いて発破毎に求めた弾性波速度から、① TD.931~1,086m, ②TD.1,005~1,145mの範囲での平均弾性波速 度:Vp"を求めた. ①Vp"=4.76km/sec, ②Vp"=4.71km/secであった.

図-7に当区間の設計・実績支保パターンとそれぞれの支保パタ ーンに対応する弾性波速度を示す.当初B, CIが設計されてい たが、実績支保パターンは全区間においてCIであった.

以上の結果より,平均弾性波速度は,CIパターンの弾性波速 度と概ね一致しており,地山状況を捉えることができていると 考えられる.また,区間弾性波速度は事前の弾性波探査と同程 度の結果であったが,掘削に伴う緩み領域の影響を比較的受け ていないため,平均弾性波速度と比較すると,大きな値を示す ことになった可能性が考えられる.





4. まとめ

本システムの開発により、トンネルの掘削発破を用いることで、施工サイクルに影響を与えることなく坑壁を 伝わる弾性波速度を測定することを可能とした.走時曲線から求めた相関関数は、非常に強い相関を示しており、 本システムの測定精度を確認することができた.本システムは、切羽進行分の区間弾性波速度を取得することが でき、切羽近傍の地山状況を定量的に評価することが可能となる.さらに、測定された弾性波速度を支保パター ンの選定に反映することが可能となる.

また,測定される波形データには,直達波と同時に,断層などで反射した反射波データも含まれており,反射 波のみを抽出することで,反射法弾性波探査による切羽前方探査が可能であると考えている. 今後は,当社施工 の様々な地質構造でのトンネル工事に適用し,実績を増やしていくとともに,切羽近傍における弾性波速度の算 出手法と,切羽前方探査の検討を行っていく予定である.

最後に,実験を行うにあたり,現場をご提供頂いた東北地方整備局三陸国道事務所に心より御礼を申し上げる.