P38. トンネル掘削発破を起振源とした切羽前方探査の開発

Development of prediction ahead of tunnel face using excavation blasting

○中谷匡志,大沼和弘,山本浩之(安藤ハザマ)

Masashi NAKAYA, Kazuhiro ONUMA, Hiroyuki YAMAMOTO

新妻弘明(東北大学) Hiroaki NIITSUMA

1. はじめに

山岳トンネルの施工において,断層等の地山不良部 や地質境界の正確な出現位置を事前に把握することは, 安全や工程管理の面から重要である.しかしながら, 地表から実施される事前の弾性波探査などの物理探査 では,土被りが大きい場合や複雑な地質構造の場合な どには探査精度に限界がある.そこで,掘削中の坑内 において切羽前方探査を実施し,精度良く地質変化を 把握することが求められており,数多くの研究・開発 が進められている.

筆者らは、掘削発破によって発生する発破エネルギーを起振源とする、坑内弾性波探査システム「トンネルフェイステスター(TFT 探査)」の開発を進めている¹⁾.今回、施工中の山岳トンネルにおいて、想定されている多亀裂帯を対象とした既往の探査技術 TSP202との比較検証を実施し、良好な結果が得られたので、試験探査の内容および結果について報告する.

2. 試験探査

今回実験対象とした国道108号花渕山2号トンネル は、中生代白亜紀花崗閃緑岩を主体とした地質から構 成される.本トンネルの地質縦断図を図-1に示す.図 -1より、事前調査からTD.597.0m付近(土被り210m 程度)において多亀裂帯の出現が想定されていた.こ の多亀裂帯の出現位置を予測するために、TSP202

(AMBERG 社製)と TFT 探査による試験探査を同時 に行った.探査計器配置図を図-2に示す.

具体的な方法として、図-2 に示すように、切羽



探查条件一覧 表-1 TSP探查 TFT探查 受振器 加速度計(2成分) 速度計(1成分) ロックボルト頭部に 固定方法 岩盤中に固定 機械的に固定 サンプリング周波数 25kHz 48kHz 分解能 24bit 24bit

(TD.554.0m)から 5.0m 後方より坑壁に 1.5m 間隔で 削孔(削孔長 L=1.5m)を 24 孔行い発破孔とした.

TSP202 の受振器については, TD.499.0m の坑壁に受 振孔(削孔長 L=2.5m)を削孔し, セメントミルクのグ ラウトで孔内に固定したケーシングに加速度計(2 成 分)を設置した.発破孔と受振孔については, どちら も削孔径 ϕ 50mm,削孔角度20度(下向き)とし,孔 口の高さについては SL-1.5m とした.

ー方 TFT 探査については, TD.499.6m に設置された 支保工のロックボルト(L=3.0m, SL-1.5m) 頭部に速 度計(1成分)をクランプで機械的に固定した.

起振源は2号榎爆薬 50g を使用し,各発破孔底において逐次点火し,弾性波データを両探査計器で同時に記録した.なお,TSP202 と TFT 探査のサンプリング 周波数はそれぞれ,25kHz,48kHz であるため,両探



図-1 花渕山2号トンネル地質縦断図(当初想定)

査を比較するにあたり, TFT 探査の結果をレート変換 (ダウンサンプリング)し,同一のサンプリング間隔 とした. さらに TSP202 で得られた 2 成分データから 最大振幅を合成した.図-3 に TSP202 の合成した波形 と、レート変換後の TFT 探査の波形例を示す.

図-3より,初動の到達時間は,概ね同程度の時刻で 捉えられている.また,後続波を比較するとTFT探査 において大きな振幅が認められた.この後続波につい てはTSP202 では確認されないこと,反復して現れる ことから,起振によって発生する坑内音波の反響によ るものであると考えられる.なお,これらの影響は, マイグレーションによって打ち消されることにより, 解析上大きく影響しないものと考えられる.

今回の解析については、坑内電源の影響と考えられるノイズが大きいデータを除いた 18 データで行うこととした. 各探査の走時曲線より算出した弾性波速度は、TSP202 では Vp=4.0km/s、TFT 探査では Vp=3.7km/sとなり、概ね一致した結果が得られている.

3. 切羽前方予测

ディフラクションスタックマイグレーション法に より、反射点における振幅の重合値から反射エネルギ ーを求めた.図-4、5に両探査の解析結果を示す.

解析結果については、各データの振幅の伝播距離減 衰の補正および起振エネルギーの正規化を行った.次 に、受振点を原点とする半径 r (50 \leq r \leq 200m)が 2m, 中心角 θ (0 \leq $\theta \leq$ 90°)が 2°間隔毎の座標点 (rcos θ , rsin θ)を反射点とした.なお、両図はマイグレ ーション後の反射エネルギーの最大値に対して、約 20%以上の反射点のみをバブルチャートで表示した. また、反射面は反射点と原点を結ぶ直線に直交するも のとし、反射面の出現位置をバーチャートで表示した.

図-4,5より、両探査ともトンネル基面からの距離 200m 付近に反射エネルギーの大きい範囲があり、こ れらは探査区間の土被りと一致することから、地表か らの反射と考えられる.さらに、TD.610~620m にお いて反射面が確認でき、実施工においてもTD.610m 付 近に多亀裂帯の出現が確認されたことから、当初想定 されていた多亀裂帯を予測できたものと考えられる.

4. まとめ

今回 TFT 探査の探査精度の検証のため,施工中のト ンネル現場において, TSP202 と同一条件において試 験探査を行った. 両探査において明瞭な弾性波波形が 得られており,切羽前方予測から得られた反射面と同 程度の位置で,実施工においても多亀裂帯が確認され た. このことから,ロックボルト頭部に速度計を取り 付けた簡便なシステムにより,実用性に特化した TFT 探査においても,加速度計を岩盤中に設置する TSP202 と同等の性能を有することが確認できた.



図-5 TFT 探査解析結果(18 データ使用)

今後は、坑内音波の除去などにより、探査精度を向 上させるための方法を検討していくとともに、様々な 地質状況における検証を行う予定である. 文献

中谷ほか(2013):掘削発破を用いた切羽評価シス テムの開発と適用事例,土木学会「第23回トンネ ル工学研究発表会」報告 I-31, pp.209-215.