

トンネル掘削時の発破振動を利用した切羽前方地山予測の取り組み

飛島建設株式会社 土木事業統括部 正会員 ○兼松 亮
 飛島建設株式会社 首都圏土木支店 正会員 藤本 克郎 宇都宮 基宏
 神戸測器株式会社 正会員 山下 伸一

1. はじめに

山岳トンネル工事では、技術的、経済的な理由により、全線にわたり精度の良い事前調査を実施することが困難である場合が多く、施工時に各種の切羽前方探査を用いて前方の地山予測をすることが重要となる。切羽前方探査手法としては、削孔機械によるものが一般的であるが、最近では施工サイクルへの影響を考慮し掘削時の発破振動を活用する方法が試みられている¹⁾。本取り組みにおいても切羽前方の地山状態を予測する方法として、掘削時の発破振動を起振源として活用するとともに、探査作業の簡略化を目的に、各受振点間における走時差に着目した地山予測手法を検討した(図1)。

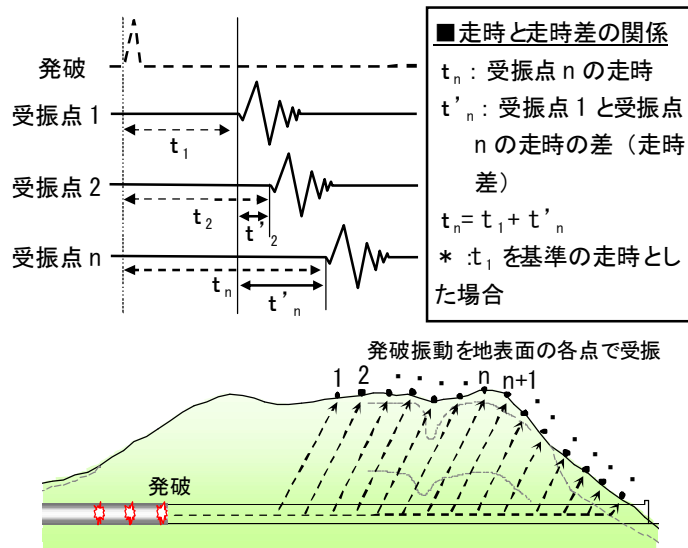


図1 発破振動記録のイメージ

2. 発破振動データの計測方法

発破振動の受振点として、トンネル直上に振動速度計を10mごとに計25箇所設置した。すべての受振点は伝達ケーブルにより1つの記録装置につなげ、各受振点における発破振動の伝播時刻を記録した。記録装置は常時作動させ、振動を受振した前後1秒のみを記録した。発破時刻については数か所で記録し、発破時刻と受振点の記録装置は定期的に時刻同期を行った。計測作業は受振点1と切羽の水平距離が約200m位置から開始し、切羽が受振点設置区間の中間地点に到達するまで続けた。

3. 走時差の特徴

図2に発破位置No. 119+1とNo. 106+8.8における受振点1~25の走時差と各受振点の水平距離の関係を示す。また、受振点設置区間のトンネル縦断面図、実績の支保パターンおよび区間平均した爆薬消費量を載せたトンネル施工実績縦断面図を示す。走時差の算出には、切羽から最も遠い受振点25の走時を基準とした。

No. 119+1(グラフ下)のグラフから、距離と走時差は比例関係を示しているものの、その傾き(距離/走時差)は一定ではなく、概ね以下の4区間に分類できることがわかる。

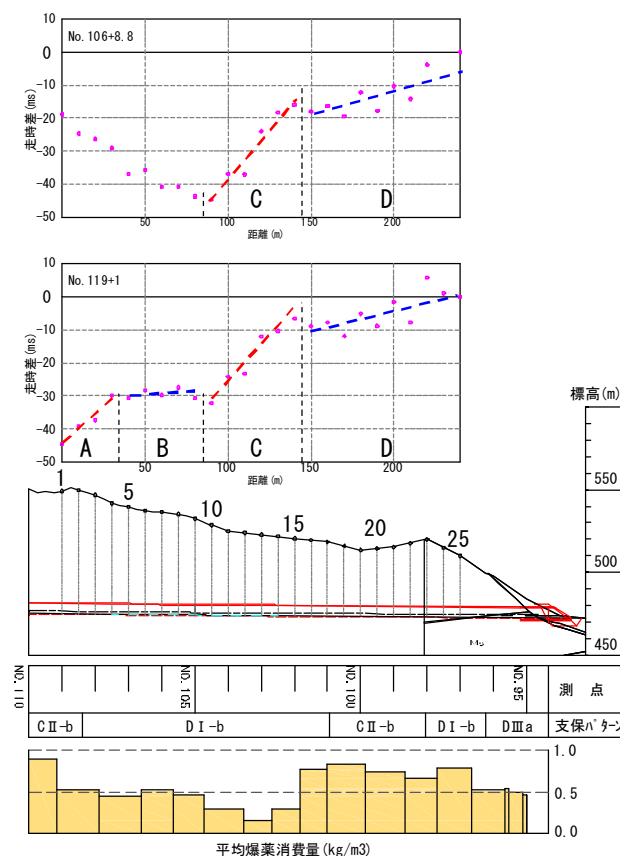


図2 走時差グラフとトンネル施工実績縦断面図

キーワード 発破振動, 走時差, 走時誤差, トモグラフィ的解析

連絡先 〒213-0012 神奈川県川崎市高津区坂戸 3-2-1 KSP R&D 棟 2F 飛島建設株式会社 TEL 044-829-9718

区間 A : 距離(30m)/走時差(15ms)=約 2.0km/s , 区間 B : 距離(40m)/走時差(2ms)=約 20.0km/s

区間 C : 距離(50m)/走時差(27ms)=約 1.9km/s , 区間 D : 距離(90m)/走時差(11ms)=約 8.2km/s

各区間の傾き(距離/走時差)や変化点は、切羽と受振点 1 の水平距離が約 30m 程度に近づくまで概ね一致し、それ以降も区間 C、D は同じ傾向を示した。各区間の傾きは見かけの弾性波速度であり、真の地山速度を示しているわけではないが、各区間の伝播経路における相対的な地山速度の違いが傾きの変化として表れていると考えられる。C 区間では手前の B 区間に比べ傾きが大きいことから、相対的に弾性波速度が低い地山が分布し、D 区間では手前の C 区間に比べ傾きが小さいことから、相対的に弾性波速度が高い地山が分布することが予想される。

4. 走時誤差を考慮したトモグラフィー的解析の検証

次に走時差を利用して地山の弾性波速度構造を予測する方法を検証するために、事前調査の弾性波探査結果と施工時の発破振動を利用してトモグラフィー的解析手法を行った。本解析では、各受振点の走時差ではなく、発破から各受振点に振動が到達するまでの時間(走時)が必要であるが、本取り組みでは起振と受振で異なる記録装置を用いたため、各受振点の走時には一定の誤差が含まれる。そこで、一定の走時誤差があることを考慮してトモグラフィー的解析できるプログラムを作成し、その有効性を検証した。

図 3 に事前調査の解析結果と、事前調査と計 4 回の発破振動を重ねて解析した結果およびトンネル施工実績縦断図を示す。解析結果の比較により、実際のトンネル施工基面における地山変化区間①～③の 3 箇所について以下のことが確認できた。

変化区間①：地山弾性波速度の低下が明瞭になっており、地山状態の悪化が推定できる。

変化区間②：地山弾性波速度の低下が明瞭になっており、地山状態の悪化が推定できる。

変化区間③：地山弾性波速度がやや高くなっているものの、その先に速度の低下区間が存在するため良好地山の存在を推定するのはやや困難。

この結果に加え、前述の走時差の変化に着目した地山予測を併用することで、切羽から 200m 以上前方の相対的な地山予測について、その信頼性が高まると考えられる。

5. まとめ

今回の実験では、発破振動の走時差変化と走時誤差を考慮したトモグラフィー的解析を利用する地山予測手法について、その有効性を検証することができた。今後、実証実験を重ね、発破振動が受振可能な切羽前方 400～500m までを対象とした切羽前方地山予測手法として、その適用性を検証していく予定である。

参考文献

1) 兼松亮, 川端康夫, 熊谷幸樹, 進士正人: 発破振動データを利用した切羽前方の日常的な地山予測の取り組み, 土木学会, トンネル工学報告書集第22巻, pp163-167, 2012. 11

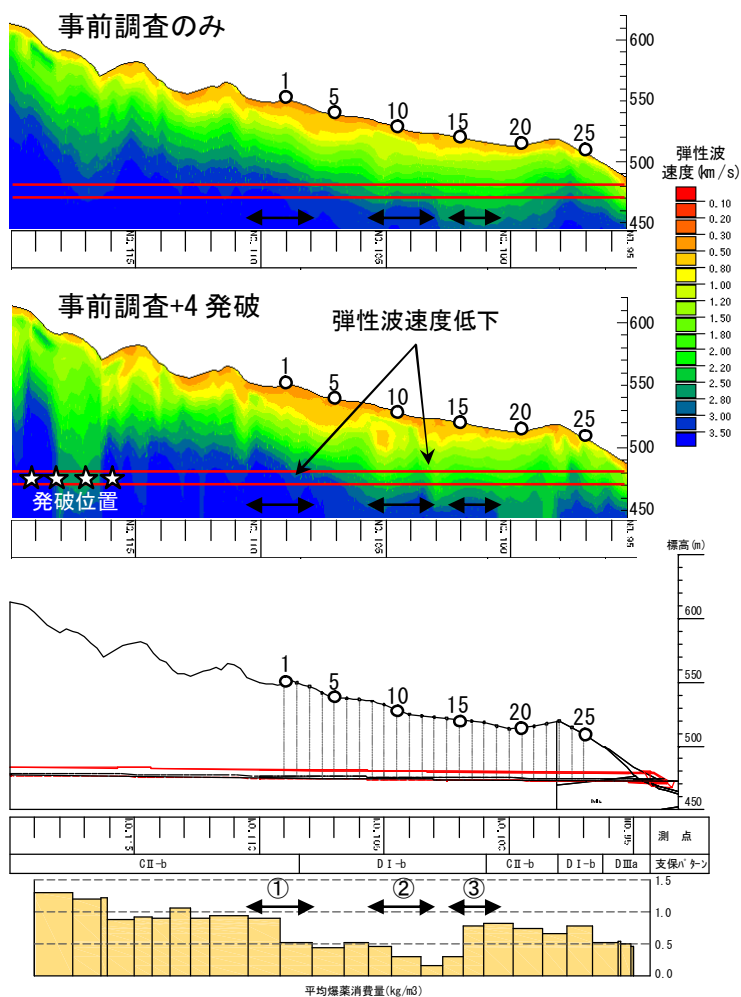


図 3 トモグラフィー的解析結果とトンネル施工実績縦断図