

トンネル坑内からの地質調査

阿部 俊* 岩田 二男*
Suguru Abe Tsugio Iwata

1. はじめに

近年、発注形態として、詳細設計発注方式、デザインビルド方式等様々な発注方式が増加している。有馬北トンネル工事についても、詳細設計付き発注方式で受注している。従来は、トンネル工事着手前に必要な事前調査は実施されており、その調査データに基づき、設計、施工されるのが通常であった。しかし、本工事では、工事着工にあたっては、概略調査段階での設計であり、しかも施工区間には地権者との関係により、未調査区間（約400m）が存在した。特に未調査区間については、施工を進める段階で、広範囲に精度の良い地質調査の必要性が求められた。

本報は、事前情報が少ない状況で、トンネル掘削と地質調査を同時に進める際、必要な情報を的確に、しかも精度よく得るための手法を提案するものである。

2. 調査工の流れ

未調査区間の調査方法は、概査としては、切羽前方弾性波探査を用いて地質構造、岩質または断層の性状・規模の把握を行う予定であった。しかし、この段階では、トンネル支保決定の判断因子が、弾性波速度のみに限定されていた。そこで、地質を的確に判断するため、ボーリング調査を実施し、精査することを計画した。

切羽前方弾性波探査としては、一般的には、TSP法、HSP法などがあるが、今回は既設のボーリング孔を利用した坑内弾性波探査を考案、実施した。また、ボーリング調査については、ボーリングの施工費用、トンネル掘削作業工程等を考慮して、水平ボーリングは、弾性波探査において何らかの変状があり、精査の必要な箇所だけに限定した。その他の区間については、先行削孔ボーリングで調査することとした。図-1に、地質調査工のフローを示す。

3. 切羽前方弾性波探査

トンネル切羽前方探査において、切羽前方の弾性波伝播速度を精度良く求めるために、既設ボーリング孔を利用した坑内弾性波探査法を考案した。一般的に、弾性波

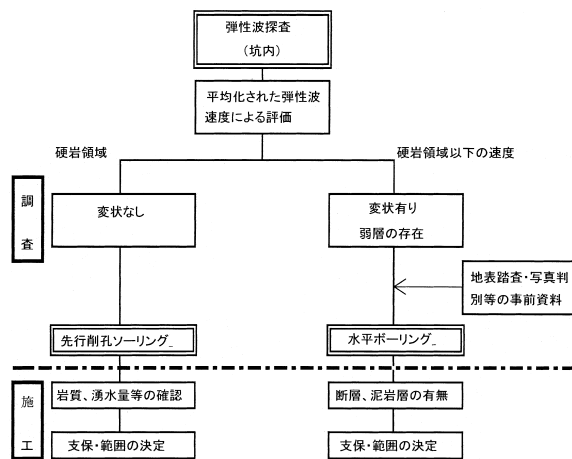


図-1 地質調査工フロー

速度を求めるためには、トンネル地表面に一定間隔に受振計を配置する。しかし、今回実施した方法は、トンネル切羽面からの弾性波を発注させ、調査区間前方の既設ボーリング孔中の受振計を用いて、トンネル予定深度の弾性波速度を直接計測する方法である。

一般的に、弾性波は、起振点から受振点に向かって最も速い箇所を伝播することから、トンネル掘削位置よりも、深部に向かって速度が速くなる構造であれば、トンネル掘削部分を通過屈折した弾性波の平均速度を求めるのは可能である。しかし、地表面からトンネル掘削深度に達するまでに、断層などの弱層があると弾性波が屈折・反射し、その部分を通過してきた区間速度を測定することとなる。これでは、トンネル掘削深度での弾性波速度とは異なった結果となる。そこで、断層破碎帯の状況等、複雑な地盤状況をより詳細に解明するために、トンネル掘削深度での弾性波を直接測定する方法である坑内弾性波探査を採用した。

また、この方法の特徴としては、実際のボーリングコアと弾性波速度を直接、観察比較し、さらなる地質データの精査に使用できるという利点もある。

4. 切羽前方弾性波探査調査方法

今回の調査状況を図-2に示す。

起振源としては切羽での発破を利用している。受振計としては、多連のハイドロフォン（水中圧力センサー）を孔中に設置し、水面下で受振を行った。

測定は、切羽、坑口、既設ボーリング孔と分散した場所で行った。

具体的には、発破による起振時刻をトンネル坑口まで有線で伝送し、GPSの時刻信号と同時記録することで解析時に発破時刻の決定を行う方法を採用した。

また、発破時刻の秒時精度を確保するために、発破の際に、瞬発の電気雷管を使用した。調査には、データ記録器、ハイドロフォンケーブル、GPS時計、データレ

*関西（支）有馬（出）

コードを使用した。さらに、上記の測定に加え精度を向上させるため、地表面で起振し、ボーリング孔中で受信する速度検層も同時に行い、精度の向上を目指した。

5. 調査結果

今回の調査によって得られた、トンネル施工基面での弾性波速度 V_p を抜き出すと、**図-3** のようになる。

また、解析においては、簡単なモデルを仮定して、パス計算を行い、イタレーションを10回程実施している。初動走時は、誤差の範囲内でほぼ一致していた。

以下に、解析結果に対する考察を示す。

(1) 考察1

図-3 で No. 24+50 付近、No. 26+50 付近で速度層に、急激に落差が生じ、地質の変状、地下水の胚胎が考えられた。

1) No. 24+50 付近について

空中写真判読より、リニアメントの存在を確認しており、断層の可能性が高い。また、資料調査結果からも、有馬層群（中生代）と神戸層群（新第三紀）の境界点とも考えられ、非常に複雑な地質構造であると判断した。

2) No. 26+50 付近について

既設のボーリングデータより、泥岩の存在が、部分的に認められ、地表面踏査の結果からも、泥岩による弱層部が存在する可能性があるかと判断した。

上記の判断から、トンネル設計・施工のためのデータ収集を行うために、この2箇所について、水平ボーリングを実施した。水平ボーリング調査については、コア観察・強度試験・孔内水平載荷試験だけでなく、将来的に膨張性に対する影響などを考慮し、X線分析・CEC・膨潤圧試験などの室内試験を行った。これらの試験結果より、支保パターン、施工延長、インバートの必要性、補助工法、変形余裕量等の検討を行った。

(2) 考察2

トンネル施工基面付近の弾性波速度は、距離程に応じて多少の変動があるが、概ね 3.0km/s 以上である。よって、施工基面付近には、C I～C II の硬質な岩盤が分布すると判断した。したがって、この区間については、比較的安定した地山であることが予想できた。そこで、先行削孔ボーリングにて、地山強度、湧水量等を確認しながら、トンネル掘削を実施した。

上述のように、二種のボーリング調査を使い分けることにより、効率よく調査を行い、調査で得た情報をトンネルの設計・施工に反映できたと考える。

6. まとめ

今回は、全く調査が実施されていないトンネルの施工をしなければならないという特異な条件であった。その状況の中で、トンネル掘削を進めると同時に、坑内からの地質調査工を実施し、その調査結果を、設計・施工にフィードバックできた。

しかも、有馬北トンネルで考案した既設ボーリング孔を利用した坑内弾性波探査は、地表面からの制約を受けることなく、トンネル深度の弾性波データを確実に得られる方法として、非常に有効であると考えられる。また、従来までの弾性波探査に比べ、地上に受振点を数多く設置する必要がないため、延長が長ければ経済的という大きな長所がある。

しかし、解析データ処理は、複雑で、しかも技術者によって見方、考え方が異なることも多いようである。そのため、数多くのデータを収集、分析し、精度の向上を行えば、今後のトンネル工事の地質調査には、十分に反映できると考える。

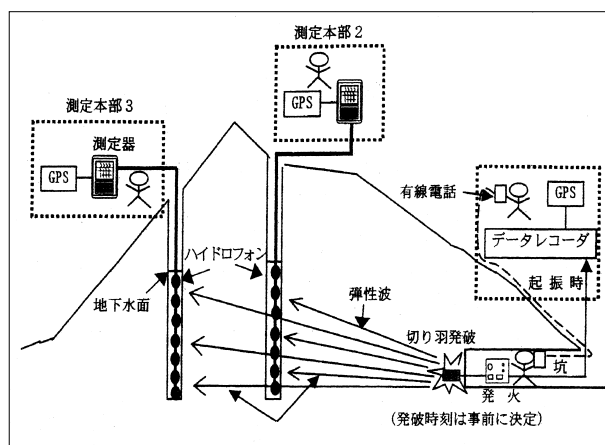


図-2 測定概念図

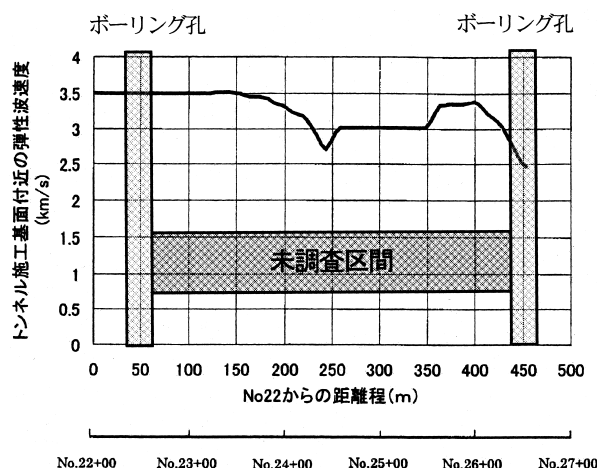


図-3 切羽前方の施工基面付近の弾性波速度