崇城大学正会員平田篤夫鉄建建設(株)正会員笹尾春夫(株)リコテック正会員山添雅彦北海道大学正会員金子勝比古

はじめに

トンネルの掘進時に周囲岩盤の挙動を調査する目的で弾性波検層を実施した。トンネル内部からトンネル壁面に対し て半径方向に3本の検層孔をクローラドリルで穿孔した。この検層孔を用いて切羽の進行にともなう測定断面内の岩盤 のP波速度の変化を測定した。本測定方法によるトンネル周囲岩盤のモニタリングは既設トンネルに対しても適用でき ると考えられる。

計測システム

弾性波検層には超弾性合金をボアホール内壁への振動計の押付けバネとして採用した小型弾性波検層システムを用いた。図1は検層プローブの外観である。実際の計測では孔壁が荒れていたために1セットのプローブのみを使用して左右2チャンネルの波形データを記録した。振動の励起にはハンマー打撃による加振力を採用し、同時にハンマーに内蔵した圧電素子の打撃時の出力が波形記録器へのトリガー信号となる。検層プローブはボアホール内へ20cm間隔で挿入して、超弾性合金バネによって振動計を固定した後に測定を行った。

図2は波形記録系の外観である。増幅回路およびフィルター回路を含めて全てバッテリーで動作するように設計されているので、耐電気ノイズ性は良好である。波形記録は8ビットの分解能でAD変換されて、記録長5kwordsでメモリーカードに記録される方式である。AD変換のサンプリング周波数は1MHzで行ったので、波形の記録時間は5msである。 また、記録系の総合周波数特性は100Hzから10kHzの範囲でほぼ平坦である。

図2 検層システム



図1 弾性波検層プローブ



原位置と調査法の概要

掘削対象岩盤は凝灰質堆積岩であり、発破による上部半断面先進 ベンチ掘削法を採用している。トンネルの掘削断面は図3に示すようであり、 1発破掘進長は1.2mである。検層孔はトンネル天端と左右側壁の合計3本 である。孔長および孔径は3本ともそれぞれ4.0mおよび65mmである。

上部半断面の掘削が終了した直後に切羽から1.2m後方に検層孔を穿孔し て、直ちに測定を行った。その後、下半部の掘削が行われ、下半部が測定断 面から6.5mの位置まで掘削された後、上半部がさらに2.4m掘削された後 に2回目の測定を行った。その後の測定は1日に一回の割合で、切羽の進行 に換算すると7.2m切羽が進むごとに測定を行い、最終的に5回の測定を 行って、これ以上は変化が認められないと判断したので測定を終了した。



測定結果と考察

測定波形からP波の到達時刻を読み取った初動走時と打撃点から振動計ま

での直線距離との関係は図4に示すようである。左右両側壁における測定結果は、細かい点で若干の違いがあるが、距離4mにおける走時が2ms程度とほぼ同じである。一方、トンネル天端から上向きに測定したNo.2の測定結果は4m 深度で2.5msと大きくなっている。

トンネル掘進による壁面付近の緩み領域に対応すると考えられる、初動走時と伝播距離の関係における折れ曲がり点

キーワード:トンネル、岩盤、弾性波検層 連絡先(〒860-0082 熊本市池田4-22-1・電話096-326-3111・FAX 096-326-3000) は1mから2mの範囲に認められる。特に、No.2では1m付近で顕著な折れ曲がりが存在するので、左右両側壁部に 比べて緩みの程度がかなり大きいことが予想される。この傾きはP波速度の逆数となるので傾きが大きいほどP波速度 は低い。図中の測定点の平均的な速度を算定すると、緩み領域部分については左右両側壁で1.5km/s、天端部で0.8km/ sである。また、緩み領域より奥部では、P波速度は2.0~2.7km/sである。

同じ測定深度で見るとき、トンネル掘進にともなって初動走時は、ばらつきはあるものの一般に大きくなる傾向を示している。そこで、測定された初動走時をトンネル掘進距離との関係で整理した。図5は測定断面位置を基準にしてトンネルの掘進距離をトンネル幅で正規化した掘進距離と測定初動走時の関係である。

左右両側壁では、測定1と測定2の間で急激に走時が増加している。この間では下半部の掘削が測定断面の6.5m後 方まで接近し、次いで上部半断面部の掘進が2.4m行なわれている。両者の影響が測定走時に現れたものと考えられる が、下半部の掘削の影響も相当に大きいのではないかと考えられる。右側壁部では、その後徐々に低下して、一定値に 漸近するが、左側壁部では特に岩盤の奥部について更に初動走時が増大する傾向を示す。それは測定断面からの掘進が 10m程度進むまで続く。

掘削後のトンネルはロックボルト、吹付コンクリートおよび鋼製支保工で支保されているので、トンネル壁面近くの 岩盤はそれ以上の緩みは抑制されるが、より奥部の岩盤が緩みを続けるものと考えられる。特に、天端部では継続的に 一貫して緩みつづける傾向を示し、それはトンネル壁面に近い岩盤ほど顕著である。

おわりに

トンネル掘進にともなう変化するであろうと予想された岩盤内透過弾性波を測定して、P波初動到達時刻が変化する ことを確認した。一般に、トンネル周囲岩盤はトンネル内部に向かって変形する傾向を示すことから、トンネル壁面に 沿って弱面や緩み領域が形成されると考えられるので、それに直交する方向に測線を有する弾性波検層は弱面や緩み領 域を検出する手段として有効であるといえる。当然のことながら、既設トンネルの周囲岩盤に対しても、ここで示した 新設トンネルの場合と同様な測定方法で弱面や緩み領域の存在を把握することが可能である。また、測定波形には初動 到達時刻以外の情報も含まれているので、それらを解析することによって、より多くの情報が抽出されるものと期待で きる。現在、周波数成分の変化などに関して検討中である。



図4 測定初動走時と伝播距離の関係



図5 トンネル掘進にともなう初動走時の変化