

トンネルTBM切羽前方調査技術の開発

大成建設株式会社	技術センター	建築研究所	正会員	今井 博*1)
大成建設株式会社	技術センター	土木技術開発部	正会員	小川 普史*1)
大成・西松・佐藤JV	飛騨トンネル工事作業所		正会員	島屋 進*2)
大成建設株式会社	技術センター	建築研究所		八木下修満*1)
大成建設株式会社	技術センター	土木研究所	正会員	谷 卓也*1)

1. はじめに

トンネル掘削工事では、切羽状況の把握や前方地質の予想が重要なことは言うまでもない。NATMであれば、切羽を直接見ることができ、掘削前に地質の確認が容易で、切羽状況の把握が可能である。切羽前方調査技術としては、弾性波を用いたTSP法およびHSP法があり、いずれの場合も、火薬もしくはそれに相当する振源により起振し、得られた反射データを解析することで切羽前方の100～150mの軟弱層を検出することが出来る。但し、この方法では、亀裂層に水が含まれる場合、速度変化が少なく反射境界の特定が難しい場合があるという問題がある。また、切羽前方60m程度の比抵抗分布探査が出来るEM探査法があるが、解像度は十分であるとは言えない。他の直接的な技術としては、切羽位置からボーリングを行い、時には、コアを採取して地質状況を推定する先進ボーリングがあるが、ボーリング孔付近の情報しか得られず、特に大断面では十分な情報とは言えない。さらに、シールドマシンやTBMのような機械掘削の場合には、面盤が切羽を塞いでいることから、切羽を直接観察することは容易ではなく、したがって、切羽状況はもとより切羽前方の地質予測は一層難しいのが現状である。

そこで、本研究では、TBMの面盤に電磁レーダのアンテナやカッター荷重計を設置し、円測線解析法¹⁾を応用し、切羽および切羽前方の反射面を非破壊で精度よく検出することを試みた。また、面盤のカッターにかかる荷重を測定することで面盤の荷重分布を評価し、切羽状況を推察する方法も試みた。

2. TBMトンネル掘削切羽前方探査

ここでは、飛騨トンネルの掘削を行っているTBMにおける状況を例として述べる。本TBMは直径が12.84mという世界最大級の硬岩掘削機である。この面盤に、カッター荷重計および電磁レーダアンテナを設置した。図-1はTBM面盤におけるカッター荷重計および電磁レーダアンテナ設置位置を示す。前者では、切羽掘削に伴って荷重がかかるカッターにロードセルを設置して、切羽岩盤の状況を面で連続的に測定し、3次元的地質構造を把握することを目的としている。また、後者では、電磁波の反射波を用いて切羽前方の破碎帯や帯水層を空間(3次元)的に予測することを目的としている。

図-2は計測機器の接続状況を示す。カッター荷重計や電磁レーダからのデータ伝送線は、いずれも、面盤の回転によるケーブルの捩れを回避するため、スリッピングを介して計測室へ配線している。切羽位置のほか、グリッパ反力、ストローク長などの力学的なデータは機械データ取り込みパソコンを通じて、TBM操作室から取得している。電磁レーダのデータについては、同期信号と反射信号がアンテナから伝送され、TBM操作盤端子から直

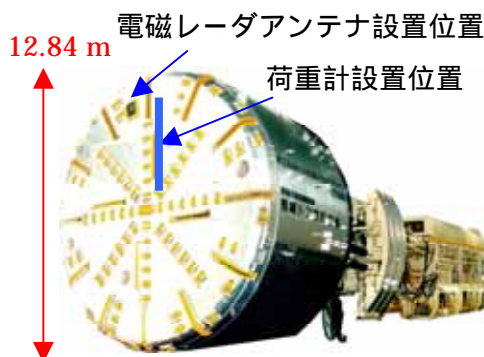


図-1 TBMと電磁レーダアンテナ位置

キーワード：切羽地質予測，電磁レーダ，反斜面解析，TBMカッター，面盤荷重分布，ロードセル

連絡先：*1) 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 電話 045-814-7247

*2) 〒501-5627 岐阜県大野郡白川村荻町字寺田 3296 電話 05769-6-1886

接取得した面盤回転角度信号とともに、A / D変換器で同時サンプリングして、連続モニタリングおよび解析を行った。

3. 解析と結果

ここでは、紙面の都合上電磁レーダによる解析とその測定結果についてのみ述べる。

切羽前方に断層や亀裂などが面的に存在した場合、電磁レーダが面盤と共に回転する際に、得られる反射波の深度 h は回転角度を変数とする正弦波に沿う形になる：

$$h_{\theta} = | r \cos \theta \sin \alpha \sin \beta - r \sin \theta \cos \beta + L \cos \alpha \sin \beta |, \text{ where } -\pi/2 < (\alpha, \beta) < \pi/2, \alpha \beta \neq 0$$

ここで、 θ 、 α 、 β 、 L は、それぞれ、走向角、傾斜角、TBM中心からトンネル軸方向に計った反斜面までの距離である。今回用意した解析プログラムでは、この正弦波を、自動決定、手動決定（2点指定、3点指定）で決定でき、計測1断面あたり5反射面が決定できる。図-3に、電磁レーダのデータから得られた反斜面結果を示す。

本データは飛騨トンネルTBM掘削における2003年1月のデータである。図-4は、図-3で得られた2つの

反射面をトンネル断面で輪切りにして、平面図として表示したものである。太線は上部、細線は下部を意味し、したがって、本反斜面は、切羽側への流れ目として得られている。これらは実際の地質調査とよく一致した結果であり、本調査法の有効性が確認できた。

4. 今後の研究

地質観察、機械データ、カッター荷重計のデータとの相関など、比較・検討し、現場のインテリジェント施工に活用したいと考えている。

参考文献

1) Imai, H. and J. Kawakami, GPR experiments using small tub and application for determining fracture, The 5th International symposium on Non-Destructive Testing Civil Engineering 2000, ed. Prof.Uomoto, 267-575, 2000.

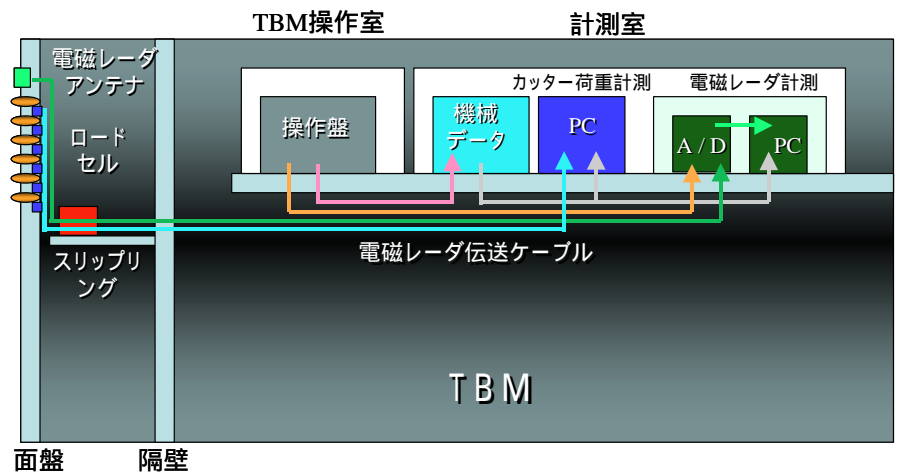


図-2 TBM内電磁レーダ関連機器接続概略

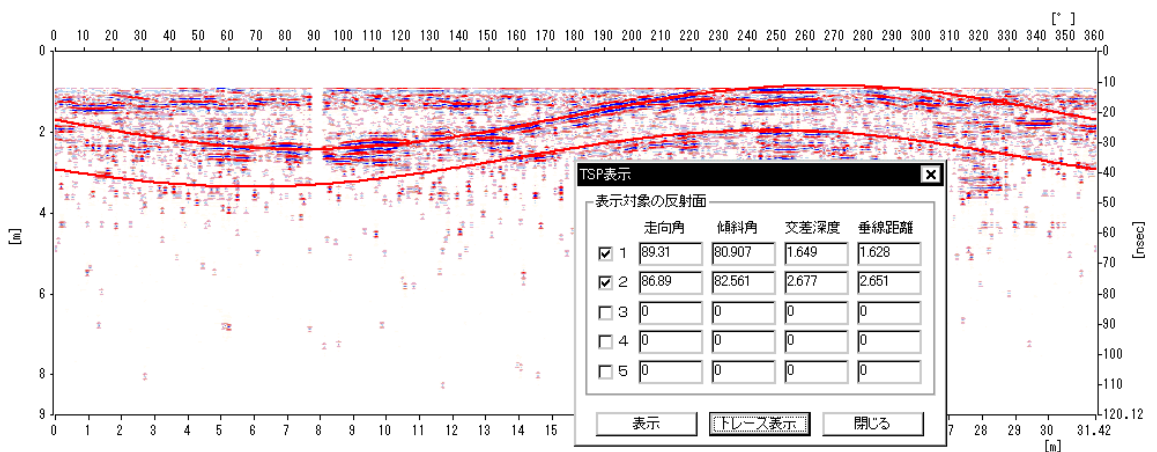


図-3 電磁レーダのデータの反斜面解析状況

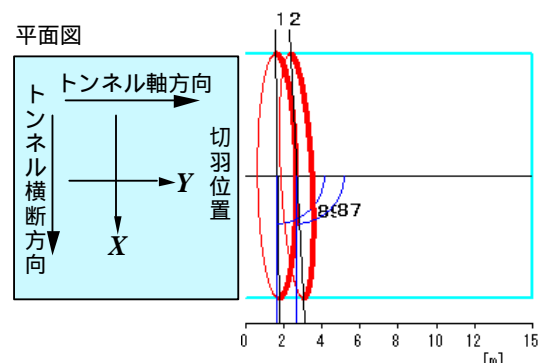


図-4 電磁レーダのデータの反斜面解析結果表示例