

トンネル切羽前方探査システムの開発

Prediction System for Geological Conditions Ahead of the Tunnel Face

戸井田 克 稲 生 道 裕
山 本 拓 治 宮 嶋 保 幸

Ⅰ. はじめに

トンネルの施工に際して切羽前方の地質状況を精度よく予測することは、経済的な施工や安全性の確保を達成する上で重要である。しかしながら、従来は必要に応じて切羽からの先進コアボーリングを実施することが多いため高額の費用が必要とされ、ボーリング作業中は掘削を中断しなければならないなどの問題点もあるため、新たな調査技術の開発が望まれている。

筆者らは、施工への影響ができるだけ少なく、支保設計に利用可能な切羽前方の地質の情報を得るためには、短時間での測定・評価が行えることや地質不良部の岩盤物性をより定量的に把握することが必要と考えた。今回、複数の簡便な調査手段を組み合わせた切羽前方予測システムを開発し、本手法を実際のトンネルへ適用することによって本システムの性能試験を試みた結果、実用的な調査・評価システムであることが確認できた。

Ⅱ. システムの概要

本システムは、「TSP (Tunnel Seismic Prediction)」, 「削孔検層」及び「速度検層」の三つの技術から構成される。TSPは、今回、筆者らがスイスのアンペルグ・メジャリング・テクニク社から導入した弾性波探査手法であり、トンネル壁面に複数の発破孔と受信孔を設置し、発破による振動を受信器で観測することによって、切羽前方の不連続面を検出する。また、削孔検層は、山岳トンネルの掘削や支保に際して用いられることの多い油圧式ドリルの削孔データ(削孔速度・打撃エネルギーなど)を測定・解析し、削孔深度の地山状況を評価する手法である。速度検層は、「削孔検層」の実施によって生じたパーカッション・ボーリング孔を有効利用して、地山の弾性波速度(P波)を簡便に測定する技術である。また、Table 1には、本システムを構成する各技術ごとの探査距離や長短所を従来から行われている切羽前方予測手法である「コアボーリング」と比較して示した。これより、本システムを構成する三つの技術は、いずれもコアボーリングのように切羽を長時間にわたって止めることがなく、簡便かつ迅速に調査結果が得られることが特徴であることが分かる。これを最大限に活用するために各技術の短所を相互に補う形でシステムを構成した。すなわち、システムの適用ステップを二つに分け、以下の手順で実施することとした (Fig. 1参照)。

①探査精度は他の手法に比べてやや劣るが比較的長距離の探査が可能なTSPで、切羽前方に破碎帯のような地質不良部を伴う不連続面が存在するかどうかを予測する。

②TSP結果から不連続面の存在が予測された場合には、不連続面

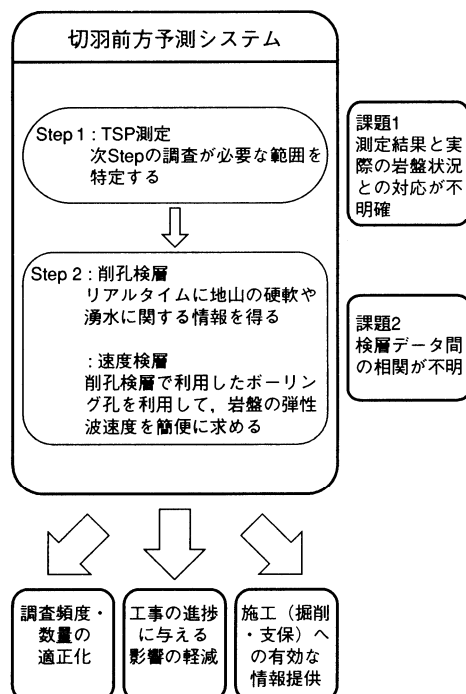


Fig. 1 Concept of the Prediction System

Table 1 Characteristics of the Prediction System

	調査手法	掘削への影響を考慮した探査距離 短 中 長	長所	短所
切羽前方予測システム	削孔検層	↔	原位置岩盤の硬軟、湧水に関する情報が直接得られる	測定値に及ぼす地質や使用機器の影響が大きい(定量的情報として使いにくい)
	速度検層	↔	測定結果を掘削方法や支保パターンに反映できる	測定の前段階として削孔が必要である
	TSP測定	↔↔↔	短時間の作業・解析でアウトプットが得られる	測定結果と実際の岩盤状況との対応が不明確
(従来方法)	コアボーリング *	↔oooooooooooooooooooooooooooo↔	地質状況を直接的に確認できる	作業に時間がかかり、作業中は、切羽が止まる

* コアボーリングは実質的な探査距離は最も長くなるが、掘削作業への影響が最も大きいと考えられるため、点線表示とした。

本報は、地下空間シンポジウム論文・報告集、第3巻、(1998.1)
pp.113~122掲載論文の要約である。

キーワード：山岳トンネル、地質調査、先進ボーリング、物理探査

にトンネル切羽が近づいた時点で削孔検層を実施し、地質や湧水に関する情報を直接入手する。また、削孔検層によって得られたボーリング孔を利用して速度検層を行い、地山の力学的性質との相関性が大きい弾性波速度を測定してトンネルの施工に反映させる。

このように本システムの適用により切羽前方に対する調査頻度・数量の適正化、前方予測作業によるトンネル掘削休止期間の低減、及び施工（掘削、支保）に有効な情報入手が期待できる。

III. 試験結果

Fig. 2は、新第三紀の凝灰岩、泥岩及びその互層で構成される岩盤で施工中のトンネルで実施したTSP測定・削孔検層・速度検層結果を示したものである。また、コアボーリング結果によるRQD（Rock Quality Designation）や実際にトンネル掘削時に得られた地質や岩級に関する情報を併せて示した。Fig. 2より、TSP測定から検出した不連続面が深度60m付近の地質境界や深度20m、40m付近の地質変化部に対応していると判断される。また、深度5mや12m付近の不連続面については岩級のRQDの変化に対応しているようであり、削孔検層や速度検層での測定値の変曲点にも対応して

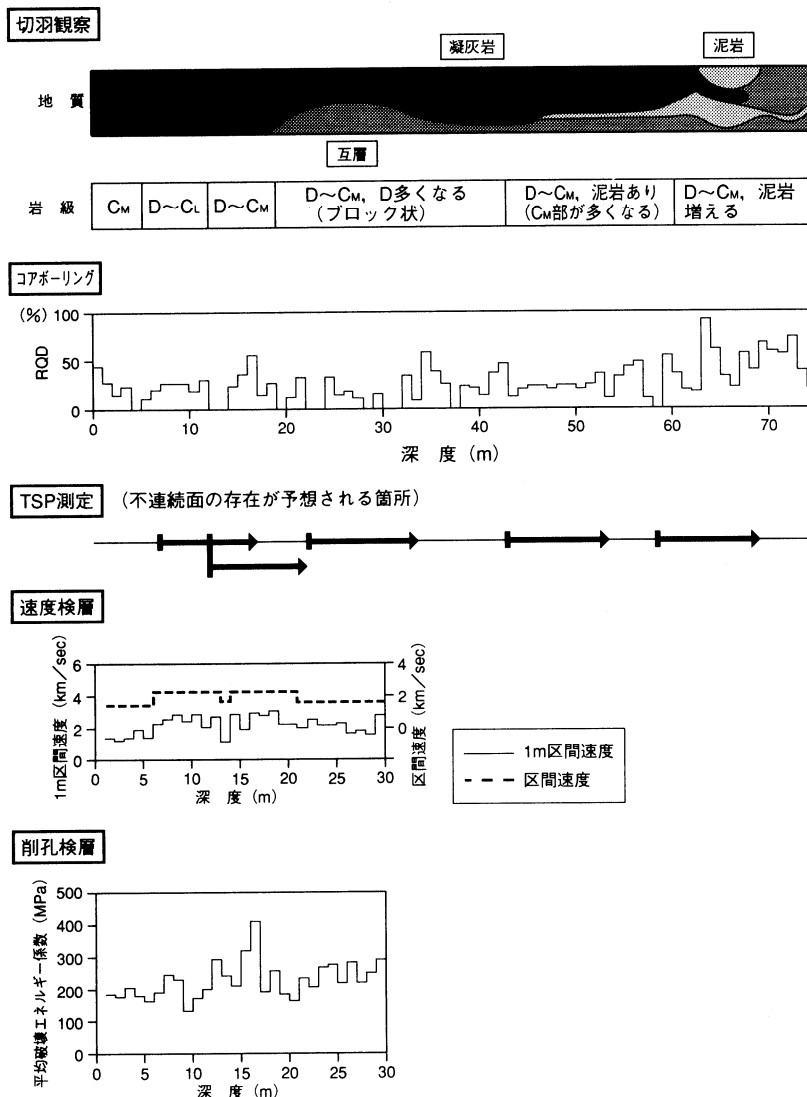


Fig. 2 Results by Prediction System

いる。また、削孔検層では深度20m付近の地質の変化、特に弱層の出現をよくとらえており、速度検層でも同様の結果が表れている。

IV. おわりに

本論文では、筆者らの開発した切羽前方予測システムについて、現場実験を踏えて、実用上の有用性について考察を加えたものである。その概要は以下の通りである。

- ①切羽前方の約50～100mを対象としたTSP測定は、信頼性は劣るが地質不良部の有無を掘削前の段階で予測できる。
- ②TSP測定結果から地質不良部の存在が想定される場合には、不連続面に切羽が近づいた（約30～50m）時点で削孔検層を実施すれば、地質不良部の位置や性状を直接的に把握できる。
- ③削孔検層を行ったボーリング孔で速度検層を実施した結果、両検層データの相関は良好である。したがって、削孔検層結果から速度検層データとの相関関係を利用して施工方法や支保パターンの設定に参考となるデータを得ることができる。

Fig. 3は、今回の原位置試験結果に基づいて設定した具体的な切羽前方予測システムのフローである。各トンネルごとに地質や施工条件の違いによって切羽前方の予測対象が多少異なる可能性はあるが、施工時に最も問題となるような断層・破碎帯などの地質不良部の出現予測は共通の問題点と考えられる。この観点からは、本システムの適用性が十分確認できたものと判断され、今後は地質や施工条件の異なるサイトでのデータ蓄積と、これに基づく本システムの高精度化を図る予定である。

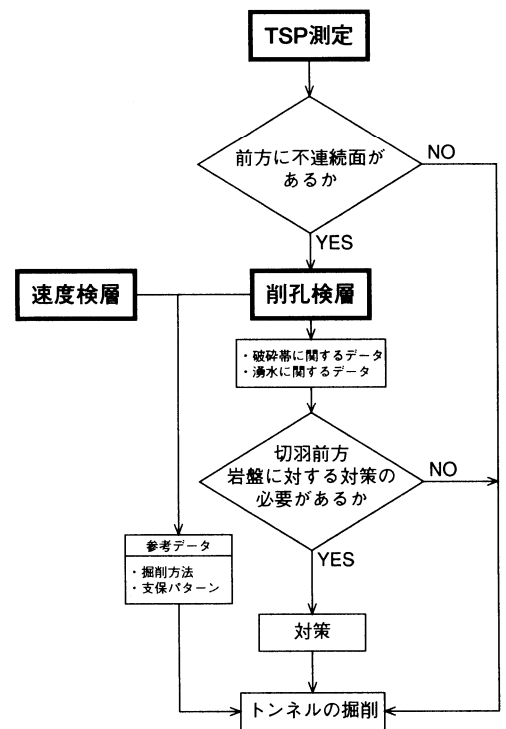


Fig. 3 Flowchart of the Prediction Procedure