

トンネル切羽前方探査の新技術導入に対する評価手法について

ハザマ ○正会員 大沼和弘、正会員 伊藤彰

1. はじめに

山岳トンネル建設における事前調査段階の地質調査として、地表面から弾性波探査屈折法やボーリング調査が実施されることが多い。弾性波探査屈折法ではトンネルルート縦断面における弾性波速度構造が把握されるが、地質構造の位置決定精度は比較的低い。一方、ボーリング調査は地質構造の位置決定精度が高いものの、ボーリング線上の地質情報を与えるのみで地質構造の空間的な分布を把握に對し限界を有する。このため、事前の地質調査から推定した断層や破碎帯がトンネル内で予想と異なる位置に出現したり、予想せぬ地質構造が出現することがあり、トンネル切羽において変状等が発生する等、トンネル施工に大きな影響を与える場合がある。このため、トンネル施工中に切羽前方の断層や破碎帯の位置を的確に把握し、トンネルの設計や施工に反映することが求められている。

トンネル施工中に切羽前方の地質状況を把握する方法として、トンネル坑内からの水平ボーリングや弾性波探査反射法等の物理探査が実施されることが多い。水平ボーリングは調査精度が高いものの、調査に長時間を要する等の欠点がある。弾性波探査反射法は短時間で実施可能であり、比較的安価であるといった利点を有するものの、探査精度等に関する特性評価等が行われている状況となっている¹⁾。一方、トンネル切羽前方探査の選定においては、要する費用と得られる便益について総合的に検討する必要があると思われるが、これまで、探査精度の面から議論されることが多い。本報告は、トンネル切羽前方探査手法の新技術導入に対する評価手法として、探査に要する費用と得られる便益について整理を行い、弾性波探査反射法の導入に対して検討を行った事例を報告する。

2. トンネル切羽前方探査に要する費用と得られる便益

トンネル切羽前方探査における新技術(A)に要する費用： $Cost_A$ 、新技術(A)により得られる便益： $Benefit_A$ 、従来技術(B)に要する費用： $Cost_B$ 、従来技術(B)により得られる便益： $Benefit_B$ とする。新技術を導入するにあたっては、式(1)、(2)に示すように、費用に對し得られる便益が上回るとともに、従来技術の費用対便益が新技術の費用対便益を上回ることが必要と考えられる。

$$Cost_A \leq Benefit_A \quad (1)$$

$$(Benefit_A/Cost_A) \geq (Benefit_B/Cost_B) \quad (2)$$

費用の算出においては、前方探査の実施に伴い失われる利益（一日あたりの損失： $Loss$ ）についても考慮し、それぞれの探査による損失が発生する日数を n_A 、 n_B の場合、それぞれの費用は次式のようなになる。

$$Cost_A = Cost_{A0} + Loss \cdot n_A \quad (3)$$

$$Cost_B = Cost_{B0} + Loss \cdot n_B \quad (4)$$

一方、新技術は実績が少ないなどの要因から得られる便益は確立されていない。このため、新技術により得られる便益については、従来技術の便益との比： x によって表すものとする。

$$x = Benefit_A / Benefit_B \quad (5)$$

ここで、従来技術に要する費用が従来技術の便益に等しいと仮定する。

$$Cost_B = Benefit_B \quad (6)$$

このとき、新技術の便益は、従来技術の便益との比と従来技術の費用から次式のように求められる。

$$Benefit_A = x \cdot Benefit_B = x \cdot Cost_B = x \cdot (Cost_{B0} + Loss \cdot n_B) \quad (7)$$

また、新技術の便益が新技術の費用と一致するとき、情報の便益は実施に要する初期費用($Cost_{A0}$ 、 $Cost_{B0}$)

キーワード：新技術評価、費用、便益、トンネル、切羽前方探査、TSP

連絡先：〒105-8479 東京都港区虎ノ門 2-2-5・TEL:03-3588-5770・FAX:03-3588-5755

および損失から次式のように求められる。

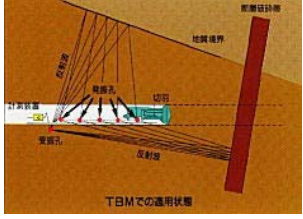
$$Cost_A = Benefit_A \times Benefit_B \quad (8)$$

$$x = Benefit_A / Benefit_B = Cost_A / Cost_B = (Cost_{A0} + Loss \cdot n_A) / (Cost_{B0} + Loss \cdot n_B) \quad (9)$$

3. トンネル切羽前方探査における適用例

トンネル切羽前方探査に対する検討では、新技術を弾性波探査反射法（TSP 法）、比較する従来技術を水平ボーリングとして検討を行った。トンネル切羽前方探査の新技術と従来技術の特徴²⁾を表-1に示す。

表-1 トンネル切羽前方探査手法の特徴（調査距離=100m のケース）

分類	新技術	従来技術
名称	弾性波探査反射法（TSP 法）	水平ボーリング
探査概要	- トンネル坑内において小発破により弾性波を発生させ、切羽前方の断層破碎帯等で反射する弾性波を検出することで、切羽前方の断層破碎帯等のトンネル出現位置を予測する。 - 地質構造が複雑な場合は位置精度が低下する - 反射面における硬軟の変化を把握可能 - 調査コストが比較的安価で、調査時間は短時間である。 	- トンネル坑内において、ボーリングを実施し、採取されるコア観察により、切羽前方の断層破碎帯のトンネル出現位置を予測する。 - 断層位置や地質性状が詳細に把握できる - 断層の空間的な分布推定においては限界がある。 - 調査コストが比較的高価で、調査時間は比較的長く、トンネル掘削が中断する。 
経済性	2,300 千円	5,600 千円
調査時間	2 日	20 日

式(3)により、新技術の便益と費用との関係は図-1に示すことができる。ここで、探査に伴う損失額により費用と便益が一致する点が変わることがわかる。また、この探査に伴う損失額と新技術の便益との関係を図-2に示す。損失を考慮しない場合、新技術の便益は従来技術の便益の40%程度を要求されるが、600 千円/日の損失が生ずる場合には要求される便益は20%程度まで低下することが分かる。

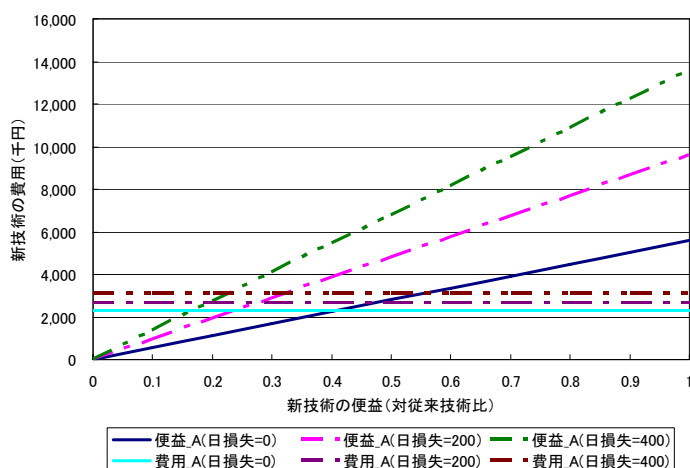


図-1 新技術の便益と費用の関係

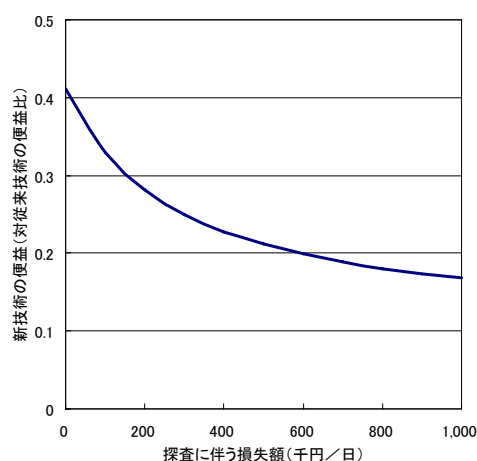


図-2 探査に伴う損失額と便益の関係

4. まとめ

トンネル切羽前方探査における新技術の導入に対する評価手法として、探査に伴う損失を考慮した評価手法について検討を行った。この結果、トンネル施工中の探査の実施に伴う損失が発生する場合、新技術による便益が従来技術による便益に比べて小さい場合であっても十分合理的となる場合があると考えられる。

参考文献

- 1) Onuma et.al, Tunneling information - An oriented construction technique using geological information, IAEG2006 Paper number 716, 2006
- 2) NETIS No. KT-980233-A, TSP 探査技術（切羽前方探査技術）, <http://www.netis.milt.go.jp/>