

Ⅲ-A353 坑内弾性波探査法の探査結果の評価に関する一提案

ハザマ 正員 笠博義, 清水学, 斉藤篤

1. まえがき

坑内弾性波反射法(TSP 探査法)は、長距離探査が可能な探査技術として、最近広く普及しつつあるが、この技術は、断層破碎帯等の地質的な問題点とトンネルとの遭遇位置の予測が可能であり、比較的短時間にわかりやすい探査結果を得られるという特長がある。このような探査技術の適用性について検討する際は、探査結果を客観的に評価する必要があるが、現状では、必ずしもこうした評価がなされていないものと考えられる。この理由の一つとして、探査結果の妥当性を判定するための指標が確立されていないことがあげられる。換言すれば、探査結果を評価するための判定方法やその基準が示されれば、異なる場所や条件で実施した探査結果についても客観的な比較が可能となるものと考えられる。

本研究は、こうした背景を受けて、TSP 探査法の探査結果を評価する指標について、評価すべき項目を整理し、その前提条件を設定した上で、いくつかの提案を行ったものである。

2. TSP 探査法の概要

TSP 探査はトンネル側壁に受振点(1点)と、発振点(通常 20 点以上)を設けて、弾性波反射法を行うもので、切羽前方 100m 程度までの断層破碎帯などがトンネルと遭遇する位置を推定するものである。すなわち、発振孔内に設置された少量の火薬を振源として、これによって発生した弾性波のうち断層や地質境界などの反射面(以下、単に反射面と呼ぶ)からの反射波を測定するもので、その到達時間と弾性波の伝搬速度から、反射面の位置を推定し、それをもとにトンネルと反射面とが交差する場所を推定するものである。

このように、TSP 探査法は基本的には反射面との遭遇位置を予測するものであるが、反射波の位相から、反射面の性状(硬軟の変化)も同時に推定される。また、探査結果の解析の過程において、対象となる反射面群の走向を仮定することにより、その傾斜を推定することが可能である。

3. 探査結果の評価項目

TSP 探査結果を評価するために必要な項目には、探査可能距離(どこまで探査できたか)、探査結果の妥当性(探査ができた範囲の結果の正しさはどうだったか)があげられる。さらに、探査の妥当性については、実際の掘削結果と予測結果の合致の度合、予測された面の位置の精度、反射面の傾斜や硬軟の変化の妥当性などが考えられる。以下にそれぞれの項目について整理する。

1) 探査可能距離: TSP 探査では、解析の対象領域を一定の範囲内で任意に選定できる。このため、地山の状況や探査実施条件によらず、設定した領域内の反射面について解析することが可能となる。しかし、実際には弾性波の減衰状況や不要な反射波の発生原因となるような地形・地質条件により、有効な探査距離は大きく異なることが考えられる。すなわち、各探査結果として得られたデータのどの部分までが有意なデータであるかを最初に判断する必要がある。

2) 探査結果の合致の度合い: 探査結果を評価する

表-1 探査結果と掘削実績の比較

掘削実績	探査結果	
反射面あり	反射面あり(合致)	反射面なし(見逃し)
反射面なし	反射面あり(誤判別)	反射面なし(合致)

上で、最も重要である項目が、その探査結果が実際の状況を正しく反映していたかどうかである。この点に着目して、探査結果と掘削実績の関係をさらに

詳細に分類したものが表-1 である。この表に示すように、探査結果は、①両者が合致した場合、②探査結果では見逃した場合、③探査結果では虚像を捉えた場合に分類され、①の合致した場合は、実際に反射面が存在した場合と実際に何もなかった場合に分類される。なお、こうした判断を行う場合には、どの程度の位置

キーワード: トンネル、坑内弾性波探査(TSP 探査)、評価、探査精度

連絡先: 東京都港区北青山 2-5-8, TEL03-3423-1801, FAX03-3405-1854

のずれまでを合致と見なすが問題となる。

3) 探査精度：探査結果と実際の状況が合致して、反射面が存在する場合には、その位置的な誤差、傾斜の誤差および硬軟の変化の整合性が問題となる。なお、ここで、反射面の走向については、前述したように仮定の値を入力することとなっているため、探査結果の評価の対象とはならないものと考えられ、これについては、むしろ、事前に仮定する基準について、別に検討する必要があるものと考えられる。

4. 探査指標の提案

TSP 探査の各項目について、ここで提案する指標について、表-2 にまとめた。以下に各指標について説明を加える。

1) 探査可能距離：有効な探査データが得られる距離は、地表面付近からの反射波を考慮すると、概ね測線設置区間の土被り程度であると考えられる。また、探査において必要な測線延長（50m）とこれまでの探査事例から得られた一般的な探査限界（100m）から、探査可能距離は 50～100m の範囲にほぼ収まるものと考えられる。

2) 合致度合い（合致率、見逃し率、

誤判別率）：合致の基準については、別に行った検討結果³⁾において、TSP 探査の位置測定誤差は±5m程度であり、最大でも±10mの範囲にそのほとんどが入ることが確認されていることから、トンネル軸における最大距離差で±10m とした。

また、後述するように、傾斜および硬軟の変化については、参考程度として、基本的には、その位置のみで合致しているか否かを判断をすることとした。以下に表-2 に示した3つの指標の意味についてまとめる。

①合致率：実際の反射面のうちどの程度を把握できたかを示し、見逃し率とは相互に補完する関係にある。

②見逃し率：実際には存在した反射面を見逃した割合で、探査結果の信頼性を反映する。

③誤判別率：探査で推定された全反射面中で実際にはないものの割合で、探査結果の信頼性を反映する。

これらの指標の組合せとそれに対する評価および、これまでの探査結果の分析から想定される地質状況を表-3 に示した。このように、こうした指標を用いることは、探査結果を総合的に評価すると同時に、探査結果を解釈する場合にも役立つものと考えられる。

3) 探査精度：反射面の推定位置の誤差については、上記のような基準で合致と判断されたものについてのみ求めるものとし、実際の反射面と探査で得られた反射面との離隔で定義できるものと考えられる。

また、反射面の傾斜はあくまでも仮定された走向に基づく予想であることから、大きく流れ盤または受け盤程度の評価とし、硬軟の変化度合いでは、位相による判定の限界を考慮して、硬軟変化のパターンによる、断層型、貫入岩型などの参考値としての評価が妥当であると考えられる。

5. まとめ

本検討では、TSP 探査法の探査結果の評価指標について一つの提案を行った。これらの指標の運用に際しては、その都度、実際のデータに即した改良を加える必要がある。また、その妥当性の検討には、ある程度のデータ数を用いた統計的な検討が必要であると考えられる。今後は、これまでの探査データを含めて、こうした指標での評価を行うことによって、TSP 探査法の総合的な適用性を検証していく予定である。

【参考文献】笠他：坑内弾性波反射法における探査精度に関する一考察、トンネル工学研究論文・報告集 Vol.6, pp.95～100, 1996

表-2 評価項目と評価指標

項 目		評価指標	備 考
探査可能距離		土被り(m)	50～100m
合致度合い	合致率(%)	$B/A \times 100$	
	見逃し率(%)	$C/A \times 100$	
	誤判別率(%)	$D/(B+D) \times 100$	
精 度	位置精度(m)	$L_p - L_a$	
	傾斜	流れ盤、受け盤	参考程度
	硬軟変化	タイプ分類	参考程度

A: 実際の反射面の数

B: 探査結果で合致した反射面の数

C: 探査結果で見逃した反射面の数

D: 探査結果で誤判別した反射面の数

L_a : 実際の反射面の位置

L_p : 探査結果での反射面の位置

表-3 提案指標による評価

分類	合致率	見逃し率	誤判別率	評 価	想定岩盤状況
1	高	低	低	良好	硬岩中の断層
2	高	低	高	虚像多く、 信頼性低い	①全体にき裂が多い ②き裂のない硬岩
3	低	高	低	見逃し多く、 信頼性低い	①減衰が大きな軟岩 ②切羽近傍に大規模断層
4	低	高	高	不良	測線区間内不良地山