

さく孔探査における探査深度の影響除去に関する検討

西松建設 (正) ○山下 雅之, (正) 石山 宏二
東京大学 (正) 福井 勝則, (正) 大久保 誠介

1. はじめに

近年、山岳トンネル掘削時に油圧さく岩機の長尺さく孔データから、切羽前方の岩盤性状を定量的に評価する手法（さく孔探査）の適用事例が増えている。本手法は施工時に簡便かつ迅速に切羽前方の地山性状が定量把握できるという利点があるが、さく孔ロッドを連結させた長尺さく孔が探査精度に与える影響についての検討はまだ十分とはいえない。本研究では、とくに長尺さく孔時においてロッド中を伝播する弾性波エネルギー（打撃エネルギー）の減衰・干渉が探査精度に及ぼす影響の評価およびその影響除方法について検討した。

2. さく孔探査による地山評価手法

さく孔探査の概要を図1に示す。本探査による地山評価は、さく孔データから求めた掘削体積比エネルギーを用いて行う。掘削体積比エネルギーは単位体積の岩盤掘削に要するエネルギーで定義され、下式で表すことができる。

また、式中の E_d は打撃による岩盤への入力エネルギーを示し、この値が小さいほど“より脆弱”な地山と評価される。

$$E_d = (E_i \times T_{rod} \times bpm) / (P_R \times A_H) \quad (1)$$

ここで、 E_d は掘削体積比エネルギー (J/cm^3)、 E_i は油圧削岩機のピストン打撃によってロッド中に発生した打撃（弾性波）エネルギー (J)、 bpm は打撃数 ($blow/min$)、 T_{rod} は打撃エネルギーのロッド中における伝達係数、 P_R はさく孔速度 (cm/min)、 A_H は孔断面積 (cm^2)

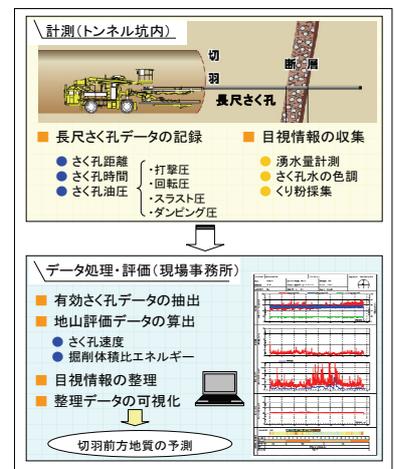


図1 さく孔探査の概要

3. 長尺さく孔による探査精度低下要因

図2に示すように、ロッドを連結して実施する長尺さく孔では、継ぎ手における打撃エネルギーの減衰（式(1)の T_{rod} ）により、削岩機で発生した打撃エネルギーとビット先端部に到達した打撃エネルギーの値の差が探査深度の増加に伴い大きくなる。また、ビット先端部に到達した打撃エネルギーの一部は反射波として再び削岩機側へ伝播するが、特定の探査深度において発生打撃エネルギーと反射波の干渉により発生打撃エネルギー（式(1)の E_i ）の値が変化する可能性がある。

さく孔探査では、掘削体積比エネルギーの算出に必要な打撃エネルギーの値を所定のピストン打撃条件で求めており、上述の打撃エネルギーの減衰・干渉による影響を考慮していない。減衰・干渉の影響によりビット先端部に到達する打撃エネルギーの値が大きく変化した場合、所定のピストン打撃条件で求めた打撃エネルギーで求めた掘削体積比エネルギーによる地山評価と実際の地山性状が合致しない（探査精度が低下する）可能性がある。

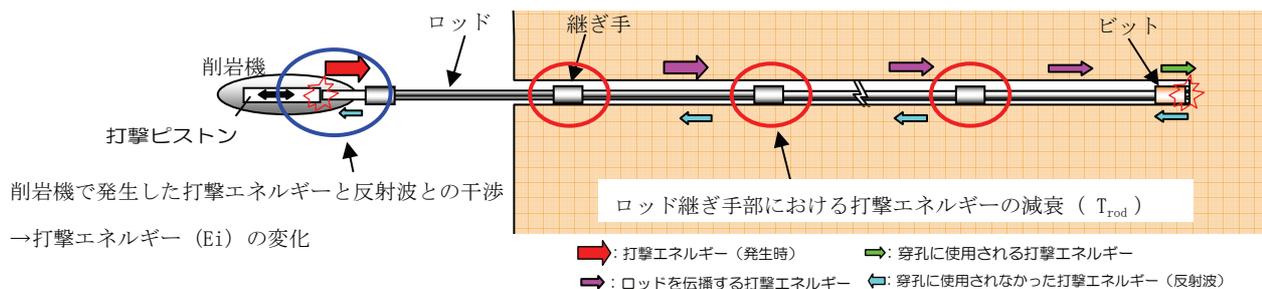


図2 長尺さく孔時において探査精度に影響を及ぼすと考えられる要因

キーワード さく孔探査, 長尺さく孔, 打撃エネルギー, 減衰, 干渉

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門 1-20-10 TEL. 03-3502-0273 FAX. 03-3502-0228

4. 打撃エネルギーの減衰・干渉状況の把握

打撃エネルギーの減衰・干渉については、同一のさく孔条件で実施した複数の長尺さく孔データの深度毎平均さく孔速度分布（マスターカーブ）による評価手法が提案されており^{1), 2)}、本報告もそれに従ってマスターカーブを作成した(図3, 4参照)。

各 Case は何れも同型の継ぎ手一体型ロッド（表1参照）を使用しており、その他条件（岩種、削岩機の機種、さく孔条件、ロッド長）の違いに関わらず、大局的には1.5%の減衰傾向が共通して認められる。

また、各 Case のマスターカーブには局所的な変動傾向が認められ、さく孔速度の上昇区間は打撃波と反射波の干渉領域と比較的良好一致している。Case1~3は打撃数がほぼ同じ条件のマスターカーブであり、岩種や削岩機の機種等の違いに関わらずほぼ同様の変動傾向を示している。一方、Case5は他のCaseに比べて局所的な変動が小さくなっているが、これは短尺ロッド（L=1.8m）の使用により継ぎ手数が増加し、反射波の減衰が増加したために干渉の影響低減されたものと考えられる。

5. 探査深度の影響除去手法

打撃エネルギーの減衰・干渉の影響除去については、さく孔速度データをマスターカーブで正規化する手法が提案されており、正規化された無時元速度パラメータ V^* の逆数と掘削体積比エネルギーは比例する^{1), 2)}。

本検討では、正規化された無時元速度パラメータ V^* の逆数に定数を乗じて探査深度の影響を考慮した掘削体積比エネルギー (Ed') を求めた。

$$Ed' = a \times (1/V^*) \quad (2)$$

ここで、定数 a は探査初期深度における掘削体積比エネルギーの逆数 ($1/Ed$) の平均値の逆数であり、探査実施区間の平均的な岩盤性状における掘削体積比エネルギーを示している²⁾。

図5にマスターカーブによる掘削体積比エネルギーの補正前・後の比較事例を示す。図のように、マスターカーブによる探査深度補正（打撃エネルギーの減衰・干渉の影響除去）により、深度29m付近の掘削体積比エネルギー低下区間（相対的に脆弱な地山区間）を明瞭に示すことができた。

6. まとめ

今回、マスターカーブによる正規化という手法を用いて長尺さく孔時における探査深度の影響除去法について検討し、比較的良好な結果を得た。今後は異なる長尺さく孔条件のマスターカーブをより多く蓄積・データベース化し、本手法の有効性について検討を進めていく。

【参考文献】

1) 福井, 大久保, 山下: 資源と素材, Vol.120, pp146-151, 2004. 2) 山下, 福井, 大久保: 資源と素材, Vol.120, pp508-514, 2004.

表1 検討 Case

| Case | さく孔条件 | | | さく孔ツール | | データ数 | |
|------|---------|------------|-----------|-----------|------------|-------------------------|-----|
| | 削岩機 | スラスト力 (kN) | 打撃圧 (MPa) | 打撃数 (bpm) | ビット | | ロッド |
| 1 | DRILL A | 10.0 | 17.5 | 3,500 | φ64 botton | φ32, L=3.0m 継手形状:M-F | 21 |
| 2 | DRILL A | 10.0 | 17.5 | 3,500 | φ64 botton | φ32, L=3.0m 継手形状:M-F | 47 |
| 3 | DRILL B | 9.6 | 15.3 | 3,460 | φ64 botton | φ32, L=3.0m 継手形状:M-F | 48 |
| 4 | DRILL C | 8.0 | 13.4 | 2,586 | φ64 botton | φ32, L=3.0m 継手形状:M-F | 15 |
| 5 | DRILL C | 5.8 | 15.5 | 2,776 | φ64 botton | φ32, L=1.8m 継手形状:M-F | 56 |

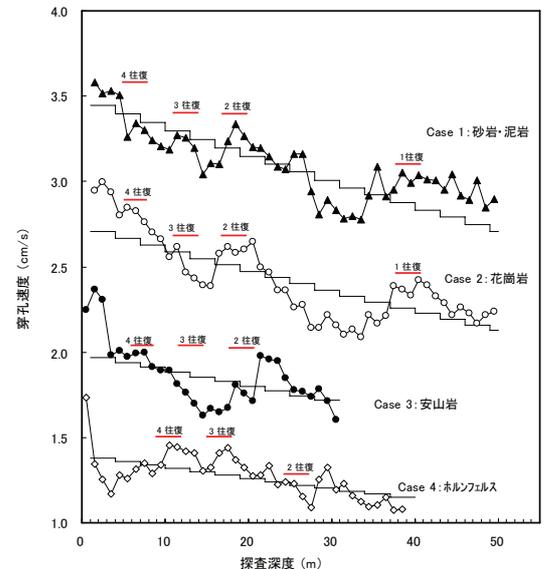


図3 マスターカーブ（ロッド長：3.0m）
階段状の直線はロッド連結部1個あたり1.5%の減衰線、赤線部は打撃波と反射波の干渉領域を示す

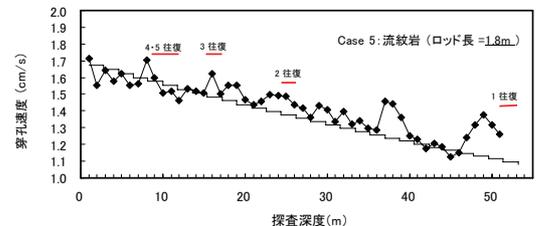


図4 マスターカーブ（ロッド長：1.8m）
階段状の直線はロッド連結部1個あたり1.5%の減衰線、赤線部は打撃波と反射波の干渉領域を示す

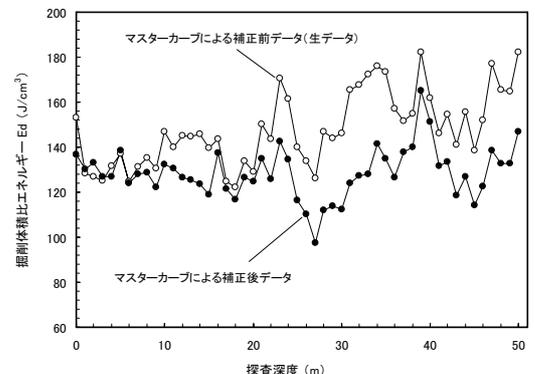


図5 マスターカーブによる補正例