

VI-85

コーン型プランジャーをもつシュミットハンマーを用いたロードヘッダーの掘削能力予測に関する検討

山口大学工学部 正会員 ○荒木義則, 古川浩平, 中川浩二
 日本国土開発(株) 正会員 宮地明彦
 日本道路公団 正会員 中原浩明

1. はじめに

近年, 市街地近傍におけるトンネル工事での岩盤掘削は, 騒音・振動の問題からロードヘッダーによる機械掘削が行われる場合が多くなっている。最近では, 中硬岩や硬岩にも対応できるロードヘッダーが開発され, その適用範囲も広がっておりロードヘッダーの施工性の評価は重要な問題である^{1, 2)}。特に, ロードヘッダーの掘削能力は, 一軸圧縮強度やシュミットロックハンマーの反発度などを基準にして予測されているものの, 掘削能力は岩盤状態の影響によって変化することが指摘されており, 精度の高い予測は非常に困難である。そこで本研究では, ロードヘッダーのビット形状を模擬したコーン型プランジャーをもつシュミットハンマーを用いた現場における反発度試験から, その有用性及びロードヘッダー掘削能力の予測精度の向上に関する検討をした。

2. 現場における反発度試験の概要

実験を行った現場は, 市街地近傍の道路トンネル工事であり, ロードヘッダー(三井三池製作所製S200)による単独掘削が行われた。岩盤を構成する岩石は大部分が変質した安山岩で, 地山の一軸圧縮強度は $150 \sim 800 \text{ kgf/cm}^2$ 程度であり, 地山等級もCまたはDであった。この現場では極端に脆弱な岩盤や非常に硬い岩盤はなく, ロードヘッダーによる順調な切削が行われた。実測データ

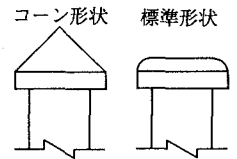


図-1 プランジャー形状

は, 切羽断面毎に10地点で測定したシュミットハンマー反発度と, これとは別に一日の進行長より求めたロードヘッダー掘削能力(m^3/hr), 現場技術者によって毎日記録された切羽観察記録を用いた。反発度の測定は, 上半掘削断面当たり10地点とし, 各地点10回連続して測定を行なった。現場実験に用いたシュミットハンマーの先端形状は, 図-1に示すように通常岩盤に用いられるプランジャーの代わりに, ロードヘッダーのビットを参考に製作した形状のプランジャーを装着している。以後この形状のプランジャーをコーン型プランジャーと呼ぶことにする。また比較のため通常のプランジャーを用いた計測も併せて行った。

3. 実験結果および考察

反発度の測定は, 通常のシュミットハンマーの使用方に準じて行い, 岩盤表層部の浮石部分の測定は, 極力避けることにした³⁾。そして各切羽面を代表する反発度として以下の4ケースを考えロードヘッダー掘削能力との関係を調べた。

表-1 反発度と掘削能力の相関係数

計算ケース	①	②	③	④
標準形状	-0.258	-0.348	-0.456	-0.471
コーン形状	-0.596	-0.628	-0.684	-0.696

ケース①: 1断面10地点, 各地点最初に得られた反発度の平均。ケース②: 1断面10地点, 初めの3回で得られた反発度の中の最大値の平均。ケース③: 1断面10地点, 各地点10回の反発度全ての平均。ケース④: 1断面10地点, 各地点10回の反発度中の最大値の平均。各ケース毎の反発度と掘削能力の相関係数を表-1に示す。表-1より, 最も相関が高いのは, ケース4の場合であり, 各プランジャー形状ともケース4が最大となっている。これは, 連続打撃をしたことによって岩盤表面の状態が平均化され, 反発度測定値に岩盤本来の反発度が反映されたと考えられる。また, 全てのケースにおいて, 標準形状よりもコーン形状のプランジャーを用いた方が, ロードヘッダーの掘削能力との相関が高くなった。この結果から, シュミットハンマーの反発度は, コーン型プランジャーによる各地点10回の反発度の最大値の10地点の平

均値を用いることがロードヘッダー掘削能力の予測には有効であると言える。また掘削能力に最も関係があるのは岩盤の強度と考えられ、最大値に着目することは妥当であると考えられる。

4. ロードヘッダー掘削能力の予測

これまでの結果よりコーン型プランジャーをもつシュミットハンマーの反発度がロードヘッダー掘削能力とある程度の相関性をもつことが明らかになった。これに岩盤の状態を表す要因として表-2に示した切羽観察項目と土被り厚を加えることで、より正確に掘削能力が予測できるのではないかと考えた。そこで、目的変数をロードヘッダー掘削能力とし、説明変数にコーン型プランジャーの反発度測定値と切羽観察記録9項目、さらに土被り厚を用いて重回帰分析を行った。重回帰分析では、ステップワイズ法を用い、式(1)に示すような予測式が得られた。

$$Y = 23.58 - 0.23X_1 - 0.11X_2 - 0.87X_3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、Y：ロードヘッダー掘削能力(m³/h)、X₁：コーン型プランジャーによる反発度、X₂：土被り厚(m)、X₃：割れ目の状態(ランク)である。なお、回帰式については、重相関係数R=0.77、寄与率R²=59.21%、分散比F₀=36.78であり、5%有意水準F₀=2.76を十分に回っており、この回帰式は予測式として利用できる。すなわち重回帰分析によるロードヘッダーの掘削能力は、コーン型プランジャーを用いたシュミットハンマーによる反発度と土被り厚さらに割れ目の状態によって説明でき、その他の要因は関係が認められなかった。ここで、式(1)を用いた掘削能力の予測値と実測値の関係を図-2に示す。図-2より、掘削能力の予測値は、実測値と良く一致していることがわかる。したがってロードヘッダーの掘削能力は、岩盤強度としてシュミットハンマー反発度のみでなく、岩盤の状態として切羽観察記録と土被り厚を用いることにより予測精度が向上することが示された。

5. おわりに

今回の現場実験により、コーン型プランジャーをもつシュミットハンマーによる反発度と掘削能力との相関性は高く、掘削能力の予測には有効である結果が得られた。また、測定方法としては10回程度の連続打撃を行い、その中で現れる最大値をその地点における反発度として利用した方がよいことが確認できた。さらに、ロードヘッダー掘削能力の予測精度の向上には、岩盤の強度だけでなく岩盤の状態を客観的な数値データとして取り込む必要があり、その試みとして切羽観察記録と土被り厚を用いた結果、予測精度の向上につながることが示された。しかしながら本研究では、同一トンネルでの現場実験であり、より多くの岩種、岩盤の状態における実験を行うことで掘削能力に影響する要因を抽出する必要があると思われる。

<参考文献>

- 1) ジョフロンテ研究会編纂：山岳トンネルの新技術，土木工学社，pp.288-301，1991年11月
- 2) 三谷 哲：ロードヘッダーの施工性評価基準案，熊谷技報，第45号，pp.1-7，1989年3月。
- 3) 菊地宏吉，齊藤和雄：岩盤計測におけるロックハンマーの考案とその適用，発電水力，No.145，pp.1-7，1976年11月。

表-2 切羽観察記録

④ 切羽の状態	1. 安定	2. 鏡面から岩塊が抜け落ちる	3. 鏡面の押出しを生じる	4. 鏡面は直立せず崩れあるいは流出	5. その他
⑤ 高掘面の状態	1. 自立 (骨幹不要)	2. 時間がたつと破み脱落する (骨幹あり)	3. 自立困難掘削後破面に支保する (骨幹あり)	4. 掘削に先行して山を乗せておく必要がある	5. その他
⑥ 圧縮強度	1. $\sigma_c \geq 1000 \text{ kg/cm}^2$ ハンマー打撃はお通る	2. $1000 > \sigma_c \geq 200$ ハンマー打撃でくだける	3. $200 > \sigma_c \geq 50$ 軽い打撃でくだける	4. $50 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_c$ ハンマー万全くい込む	5. その他
⑦ 風化性状	1. なし・健全	2. 岩目に沿って紫色，強度やや低下	3. 全体に紫色，強度相当に低下	4. 土砂状・粒土状・砂状，当初より未固結	5. その他
⑧ 割れ目の程度	1. 間隔 $d \geq 1 \text{ m}$	2. $1 \text{ m} > d \geq 20 \text{ cm}$	3. $20 \text{ cm} > d \geq 5 \text{ cm}$	4. $5 \text{ cm} > d$ 破砕，当初より未固結	5. その他
⑨ 割れ目の状態	1. 密着	2. 部分的に開口	3. 開口	4. 粘土をはさむ，当初より未固結	5. その他
⑩ 割れ目の形態	1. ランクA 四方形	2. 柱状	3. 層状，片状，板状	4. 土砂状，細片状，当初より未固結	5. その他
⑪ 湧水	1. なし・湧水程度	2. 湧水程度	3. 基中湧水	4. 全面湧水	5. その他
⑫ 水による劣化	1. なし	2. 破みを生ず	3. 軟弱化	4. 崩壊・流出	5. その他

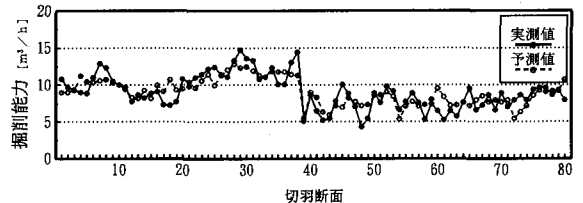


図-2 掘削能力の予測