

TBM 施工における掘削ずりの形状と二次破碎の関係

大阪大学	学生員	○上野	宇顕
大阪大学	正会員	谷本	親伯
大阪大学	学生員	津坂	仁和
大阪大学	学生員	小泉	悠
鹿島建設	正会員	宮嶋	保幸

1. はじめに

TBM の掘削効率是一次破碎および二次破碎の観点から論じることができる．一次破碎とは地山を直接掘削することであり，二次破碎とは主として地山とカッタヘッドの間で掘削ずりを再破碎することである．二次破碎が多く生じると，TBM の掘削効率は低下する．また，二次破碎の規模は地山中のき裂性状に大きく依存する．TBM 施工において，経験的にき裂の少ない地山では扁平な掘削ずりが，き裂の多い地山ではブロック状の掘削ずりが採取されることが知られている．そのため，掘削ずりの形状を観察することで地山性状を把握することができると考えられる．これまで掘削ずりの形状は定性的に論じられることが多く，今後は定量的に考察されることが望まれる．そこで，本研究では，花崗岩地山を掘削径 5.0m の TBM により施工した事例を対象として，掘削ずりの形状と二次破碎について考察する．

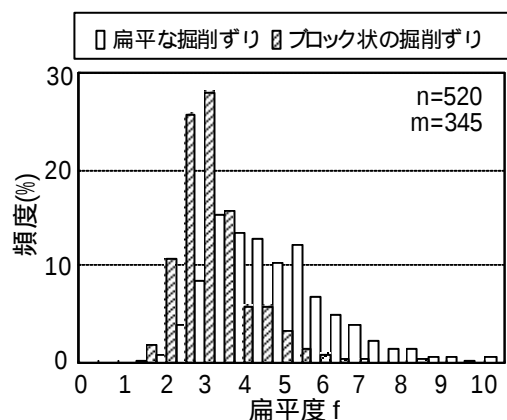
2. 掘削ずりの形状評価

T.D.1800～3190m において採取した掘削ずりに対し，JIS 規格に準ずるふるい分け試験を行い，粒径 37.5mm 以上の計 865 個の掘削ずりについて長辺 s ，短辺 t ，厚さ d を計測した．長辺 s は最大の面積をもつ平面の最大幅，短辺 t は長辺 s を定義した平面上で長辺 s と直交する最大幅，厚さ d は長辺 s を定義した平面に対して直交する平面の最大幅である．掘削ずりの長辺 s ，短辺 t ，厚さ d を 0.05mm まで計測した．

掘削ずりの形状は厚さ d が薄く，長辺 s が大きいものが扁平なものと判断される．また，扁平な掘削ずりの短辺 t は隣接破碎¹⁾によりカッタ間隔に依存し，ほぼ一定の値となると考えられる．これらから，掘削ずりの形状は長辺 s および厚さ d により決まると考えられることから，掘削ずりの形状を定量的に表すために，扁平度 f を次式で定義した．

$$f = \frac{s}{d} \quad (1)$$

これまでに得られた掘削ずりの形状に関する知見^{1), 2)}に基づいて，扁平とブロック状の掘削ずりに判別したところ，扁平な掘削ずりは 520 個，ブロック状の掘削ずりは 345 個であった．図 1 に扁平な掘削ずりとブロック状の掘削ずりの扁平度 f の頻度分布を示す．扁平な掘削ずりは白棒で，ブロック状のそれは斜線棒で表した．扁平な掘削ずりの扁平度 f は 2～15 で分布し，最頻値は 3.5，中央値は 4.5 であり，ブロック状の掘削ずりの扁平度 f は 1～8 で分布し，最頻値は 3.0，中央値は 2.5 であった．扁平な掘削ずりの 81% が扁平度 f は 3.5 以上であり，ブロック状の掘削ずりの 84% のそれは 3.5 未満であった．このことから，扁平度 f が 3.5 以上であるならば扁平な掘削ずり，3.5 未満であるならばブロック状の掘削ずりとした．

図 1 扁平度 f の頻度分布

キーワード TBM，掘削ずり，扁平度，扁平重量百分率，二次破碎率

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL06-6879-7558

粒径 37.5mm 以上の掘削ずりを T.D.2930, 3150 および 3190m で約 10～25kg 採取した。掘削ずりが採取された地点における扁平な掘削ずりが採取された量を評価するために、扁平重量百分率 r_f を次式で定義した。

$$r_f = \frac{m}{M} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 r_f は扁平重量百分率(%), m は扁平度 f が 3.5 以上の掘削ずりの重量(kg), M は掘削ずりの総重量(kg) である。扁平重量百分率 r_f が 100% に近づくほど、扁平な掘削ずりが多く採取されていると評価できる。

3. 扁平重量百分率と二次破碎率の関係

谷本ら³⁾は、TBM 施工において一次破碎仕事量を高めて地山を掘削することが重要であると考え、二次破碎量を定量的に把握するために、TEI (TBM 掘削指数) を提案している。今回は、それに基づく二次破碎率と提案した扁平重量百分率 r_f との関係を考察する。ただし、二次破碎率はばらつきを考慮するため、トンネル距離程におけるその 10m 平均を用いた。その際、支保区分が 2 区分変化する場合 (例えば、B から CII, D から CI など)、その区間において地山状況の変化が大きかったと考え、その区間は除いた。

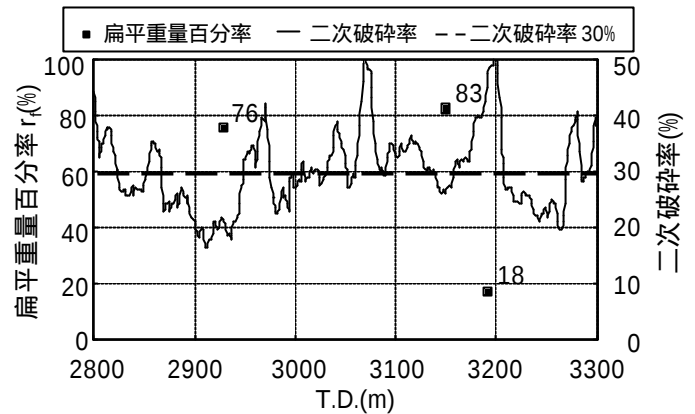


図2 扁平重量百分率 r_f と二次破碎率の推移

図2に扁平重量百分率 r_f と二次破碎率の推移を示す。図中の四角印は扁平重量百分率 r_f を、実線は二次破碎率を表している。扁平重量百分率 r_f はおよそ 80% が 2 地点、およそ 20% が 1 地点で分布し、二次破碎率はおおよそ 20～50% で変動している。ここで、谷本ら³⁾が行った複数の TBM 施工における掘削効率に関する考察において、二次破碎率が 20～30% の場合、高い掘削効率であると判断され、順調に掘進しているとされる。そこで、その値を図中に太い破線で示した。今回もそれに習うと、2880～2930m、2975～3030m、および 3130～3160m において、二次破碎率が 30% 以下で推移することが認められる。この区間において、扁平重量百分率 r_f がおよそ 80% となる掘削ずりが採取されている。一方、T.D.3190m 付近では二次破碎率が 40～50%、扁平重量百分率 r_f はおよそ 20% である。これらのことから、扁平重量百分率 r_f がおよそ 80% となる掘削ずりが採取される地山においては、おおむね二次破碎率が 30% 以下で、掘削効率の観点から TBM の掘進が順調に行われていると考えられる。

4. まとめ

本研究では、花崗岩地山を掘削径 5.0m で掘削した事例を対象として、掘削ずりの形状と二次破碎の関係を考察した。掘削ずりの形状を定量的に表す扁平度 f および扁平重量百分率 r_f を提案し、採取された 10～25kg の掘削ずりより算出した扁平重量百分率 r_f と、二次破碎を定量的に表した TEI に基づく二次破碎率との関係を示した。その結果、掘削ずりの扁平重量百分率 r_f がおよそ 80% になる地点では、それがおよそ 20% である地点に比べ、二次破碎率は低くなり、TBM の掘進が順調に行われていると考えられる。今回、掘削ずりの形状と二次破碎率の関係について考察できた地点が少ないため、今後もこの関係についてデータの採取と分析を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 社団法人トンネル技術協会：TBM ハンドブック，pp.24～29，2000。
- 2) 橋詰茂・井上博之：TBM 掘進データを用いた地山判定基準の作成，前田技術研究所報，Vol.41，pp.127～134，2000。
- 3) 谷本親伯・中根達人・津坂仁和・山仲俊一郎・平野實：TBM 掘削指数 (TEI) による掘削効率および地山評価に関する研究，材料，Vol.55，No.8，pp.777～784，2006。