

TBM掘削の機械データと支保工パターンに関する研究

日本道路公団静岡建設局 森田達夫、清水建設名古屋支店 正 深尾延弘
日本大学生産工学部土木工学科 F 高崎英邦、同大学院 学 O関伸也

1. はじめに

トンネルボーリングマシン（以下TBM）工法は、導入にかかる費用負担が大きく、またわが国のように岩盤が複雑にもまれて一様でない場合には不向きな工法といわれてきた。しかし、地質条件に適合すれば掘進速度が非常に速いため、たとえば長距離トンネルのように工期が長いトンネルにおいてはその特徴を活かすことが可能であること、また機械掘削には高い安全性があることなどから最近見直されてきている。工事において急速施工を達成するためには、地質の変化に対応できる適切なTBM自体の設計はもちろんであるが、そのトンネル構造の設計すなわち支保工パターンの適切かつ迅速な選定が必要である。

本論文の目的は、TBM掘進を行った際に得られた機械データと、実績支保工パターンの相関性を調べることにある。支保工パターンと機械データとの相関性が見出せれば、TBM工法における地山性状に適合した支保工パターンの選定作業において、人の判断を軽減して客観性を増すことができる。すなわち地山性状ないし地山分類をTBMの機械データで評価し支保工パターンを選択する新たな設計・施工管理の方法の可能性が期待できる。

2. トンネルの概要および利用機械データ

富士川トンネルは、第二東名高速道路の富士インターチェンジ～清水インターチェンジ間に位置し、富士川町から芝川町に抜ける延長 4,754mのトンネルである。本報告の研究対象としたTBMによるトンネルは本坑下方に位置するずり搬出用トンネルであり、直径 3.5mである。地質は主に新生代第四期の安山岩系と第三期の砂岩・礫岩系に二分され、ほぼ中央付近には入山断層破礫帯が500～700mに渡って存在しており、地山等級は良い方から（CⅠ、CⅡ、DⅠ、）の3段階に分類されている。それぞれに対する支保工パターンは図-1に示すように4つが設定されている。設計段階で予め地山分類のもとに支保工パターンは定められているが、施工段階では地山状況に応じて柔軟に支保工パターンの変更がなされている。

様々な機械データの中から、掘削エネルギー値 E_t を採用することにした。掘削エネルギー値は式（1）に示すように、カッターフェイスを押し出すスラスト系エネルギー {スラスト力（F）×掘削速度（V）×掘削時間（S）} に、回転させる回転系エネルギー {トルク（T）×回転速度（N）×掘削時間（S）} を加算し、それを総掘削体積 {断面積（A）×掘削速度（V）×掘削時間（S）} で除して求められるものである。たとえば掘削エネルギー値が大きければTBMの掘進に対して抵抗が大きいことを意味するので、硬岩地山で軽装備の支保工パターンで良いことが推測される。このように掘削エネルギー値は地山の評価となりえると予想されるので、支保工パターンとの相関性が期待できることになる。

$$E_t = \text{総エネルギー} / \text{掘削体積} \\ = (F \cdot V \cdot S + T \cdot N \cdot S) / (A \cdot V \cdot S) \dots\dots\dots (1)$$

3. 掘削エネルギー値と支保工パターンの相関性

富士川トンネルにおける実際の掘削エネルギー値と支保工パターンの関係の一部を図-2に示す。この図表において、視覚的に相関性を見出すことはできないので統計処理を行なった。まず、実績支保工パターンごとに掘削エネルギー値を分類しヒストグラムに整理した。図-3に支保工パターンCⅡ-tの例を示すが、他も同様にそれぞれのヒストグラムは正規分布の密度関数の形状を示した。掘削エネルギー値を確率変数とする正規分布を、4つの支保工パターンを合わせて図-4および表-1に示す。これらから分かるように、TBM、支保工パターン、掘削エネルギー値

支保工パターンCⅠ-T、CⅡ-Tすなわち地山が良好な場合には大きな差は認められないが、DⅠ-T、DⅠ-T1と地山が悪くなるにしたがって掘削エネルギー値は小さくなっているのが明瞭に認められる。

4. まとめ

富士川トンネルのTBM掘削において、掘進時のマシンの掘削エネルギー値と実際に適用された支保工パターンとの間には明らかな相関性が認められた。すなわち、掘削エネルギー値が小さくなるにつれて、これは地山等級が悪くなることを意味するが、支保工パターンが重装備になっている。

トンネル施工においては、地質や走向、傾斜、さらには湧水などにより支保工パターンの選定には複雑な判断を要するので、機械データの掘削エネルギー値のみで判断することは困難であると考えられる。しかし、本研究で得られたTBMの掘削エネルギー値と支保工パターンの明らかな相関性は、今後事例を積み重ねることによって新たなTBM工法の情報化施工の一助になる可能性がある。

参考文献…森田 達夫・高橋 幸三・千葉 隆：大規模断層破碎帯をTBMで突破、トンネルと地下、1999年8月号、685～696頁

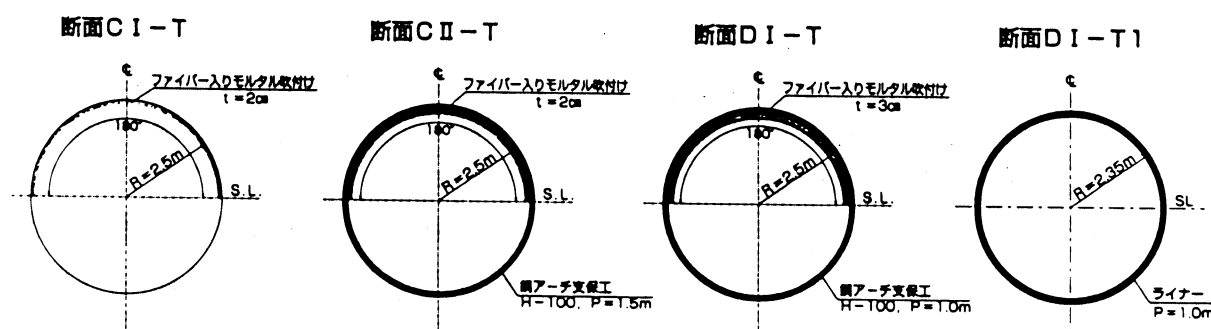


図-1 支保工パターン図

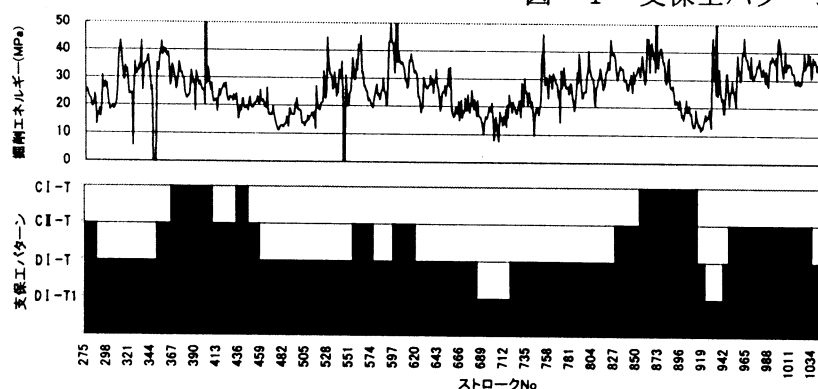


図-2 支保工パターンおよび掘削エネルギー値の相関 (一部)

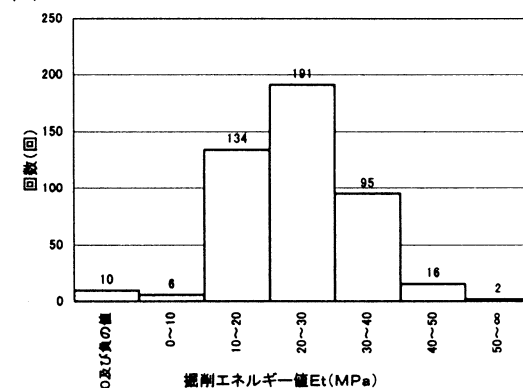


図-3 CⅡ-Tパターンにおける掘削エネルギー値のヒストグラム

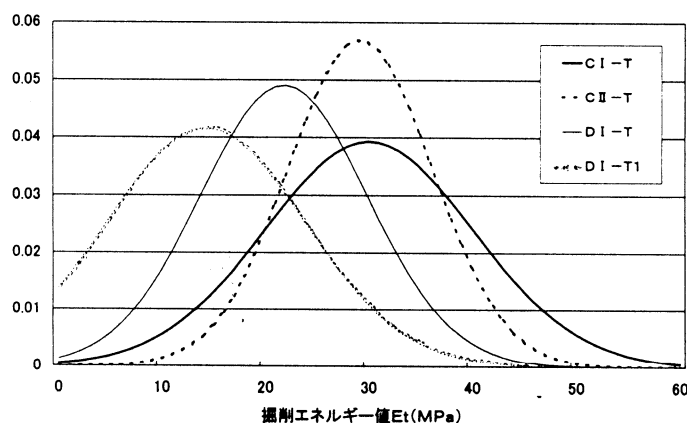


図-4 支保工パターンごとの掘削エネルギー値の正規分布図

表-1 支保工パターンごとの掘削エネルギー値の平均値と標準偏差

支保工パターン	平均値 (MPa)	標準偏差
CⅠ-T	30.1	10.1
CⅡ-T	29.2	7.0
DⅠ-T	21.8	8.1
DⅠ-T1	14.3	9.6