

鉄道シールドにおける総推力およびカッタートルクの実績に関する一考察

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 ○井浦 智実, 高橋 源太郎, 松永 卓也

1. はじめに

施工環境が厳しく、多くの制約条件を有する都市域におけるトンネル構築には、主としてシールド工法を採用するのが一般的である。鉄道シールドトンネルのように、比較的大口径の密閉型シールド(単線φ7m, 複線φ10m程度)を採用する場合、その装備能力については、計算結果から得られる理論値や施工実績値と比較し、潜在的なトラブル等に対するリスク低減の観点から、相当の余裕を見込んで設計されているのが実情である。そこで、鉄道・運輸機構がこれまでに施工した鉄道シールドトンネルの施工実績データに基づき、シールド装備能力の代表的な指標である総推力およびカッタートルクに着目した分析、評価を行い、より合理的なシールド装備能力に関する検討を実施した。

2. 検討の概要

検討の対象とした鉄道シールドの概要を表-1に示す。鉄道・運輸機構が過去に施工した鉄道シールドのうち、21件(泥水式:14件, 泥土圧:7件, 延長約17km)を分析対象とした。分析項目としては、シールド装備能力の代表的な指標である総推力とカッタートルクに着目し、蓄積されている施工実績データベースから各トンネルの実績値(最大, 平均)を抽出した。施工実績値については、シールド形式別の整理を行ったほか、シールド外径の違いによる影響を考慮し、切羽単位面積あたり推力やトルク係数といった指標による評価とした。

3. 分析および評価の結果と考察

1) 総推力

総推力の実績を図-1に示す。装備総推力に対する最大実績推力の比率は、泥水式で0.40～0.87, 泥土圧で0.21～0.87, 平均実績推力の比率は、泥水式で0.26～0.63, 泥土圧で0.17～0.55となっている。また、平均実績推力の比率を全トンネル

表-1 分析の対象とした鉄道シールドの概要

トンネル	シールド形式	単線・複線	シールド外径(m)	推進ジャッキ		装備総推力(kN)	単位面積あたり推力(kN/m ²)	装備カッタートルク(kN・m)		延長(m)	土被り(m)	主な掘削対象地質
				装備数(本)	能力(kN/本)			常用(100%)	最大			
A	泥水式	単線	7.15	28	1,500	42,000	1,046	3,770	5,650	1,394	6～17	沖積粘性土, 洪積砂礫
B	泥水式	単線	7.15	28	1,500	42,000	1,046	4,250	6,370	1,413	6～17	沖積粘性土, 洪積砂礫
C	泥水式	単線	7.26	24	2,000	48,000	1,160	4,705	7,057	1,319	28～44	洪積砂礫・洪積砂質土
D	泥水式	単線	7.26	24	2,000	48,000	1,160	4,812	7,219	1,331	24～33	洪積粘性土
E	泥水式	単線	7.26	24	2,000	48,000	1,160	7,883	9,460	224	14～21	洪積砂礫・洪積砂質土
F	泥水式	単線	7.26	24	2,000	48,000	1,160	7,883	9,460	237	11～13	洪積粘性土
G	泥水式	単線	7.25	24	2,000	48,000	1,163	4,920	5,910	587	20～28	洪積砂質土・土丹
H	泥水式	単線	7.25	24	2,000	48,000	1,163	4,920	5,910	573	20～28	洪積砂質土・土丹
I	泥水式	単線	7.25	24	2,000	48,000	1,163	4,780	5,730	983	21～28	洪積砂質土・土丹
J	泥水式	単線	7.25	24	2,000	48,000	1,163	4,875	5,851	984	21～28	洪積砂質土・土丹
K	泥水式	複線	10.00	30	3,000	90,000	1,146	10,310	15,470	530	16～22	沖積粘性土
L	泥水式	複線	10.60	32	3,000	96,000	1,088	11,362	13,634	1,043	7～22	沖積粘性土・沖積砂質土
M	泥水式	複線	10.30	30	3,500	105,000	1,260	11,989	14,387	431	10～24	洪積粘性土
N	泥水式	複線	10.30	30	3,500	105,000	1,260	11,989	14,387	426	21～35	洪積砂礫・土丹
O	泥土圧(偏心多軸)	単線	7.15	22	2,000	44,000	1,096	1,505	2,258	452	14～17	沖積粘性土・沖積砂質土
P	泥土圧(偏心多軸)	単線	7.15	22	2,000	44,000	1,096	1,505	2,258	432	14～17	沖積粘性土・沖積砂質土
Q	泥土圧	単線	7.45	24	2,000	48,000	1,101	6,951	10,426	303	4～7	洪積砂質土
R	泥土圧	単線	7.45	24	2,000	48,000	1,101	6,951	10,426	303	4～7	洪積砂質土
S	泥土圧	複線	9.98	24	3,500	84,000	1,074	16,081	19,298	448	13～17	沖積砂礫
T	泥土圧	複線	10.20	30	2,940	88,200	1,079	13,970	18,160	655	8～22	洪積砂質土
U	泥土圧	複線	11.44	30	3,000	90,000	876	22,750	27,310	3,014	8～34	洪積砂質土・洪積粘性土

キーワード シールドトンネル, 総推力, カッター装備能力, カッタートルク, トルク係数
連絡先 〒231-8315 横浜市中区本町 6-50-1(横浜アイランドタワー) 鉄道・運輸機構 設計技術部 TEL:045-222-9083

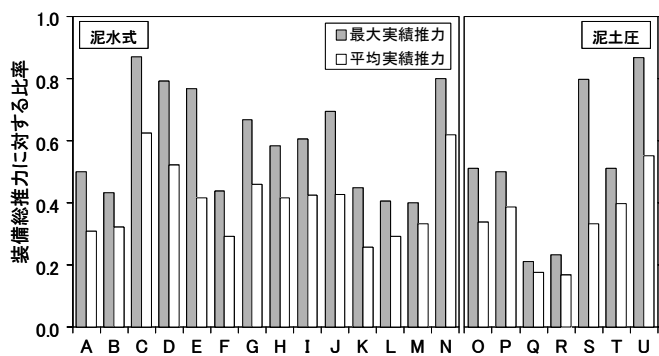


図-1 総推力の実績

で平均した値は 0.42 であり、実績値は装備総推力に対して小さい結果となっていることがわかる。また、切羽単位面積あたり推力の実績を図-2 に示す。装備推力は、一般値¹⁾とされている 1,100~1,400kN/m² の範囲にほぼ収まっている。一方、実績値は、ほとんどのケースで 750kN/m² を下回る結果となっており、装備総推力は十分に余裕を持った設定とされている傾向がうかがえる。ただし、一部では泥岩優勢の土丹層等、地質的要因による掘進トラブルが生じ、装備能力(最大)に近い実績値を示している事例があることに留意を要する。

2) カッタートルク

カッタートルクの装備値および実績値(最大、平均)から、一般的な理論式¹⁾である $\alpha = T/D^3$ (ここに、 α :トルク係数, T :カッタートルク(kN・m), D :シールド外径(m))によってトルク係数 α を算出した。その結果を図-3 に示す。装備トルク係数は、図中に示すシールド形式ごとの一般的な目安の範囲¹⁾にほぼ収まっている。一方、最大実績トルク係数は、泥水式で 4.1~18.8, 泥土圧で 2.3~16.2, 平均実績トルク係数は、泥水式で 2.1~10.0, 泥土圧で 1.6~7.5 となっている。平均実績トルク係数は、一般的な目安の下限値程度あるいはそれを下回っており、カッタートルクは総推力と同様に十分に余裕を持った設定とされている傾向がうかがえる。ただし、一部では地盤改良区間や玉石混じり砂礫層等の掘進時に、一時的に実績値が装備能力(最大)に達している事例があることに留意を要する。

3) 総推力とカッタートルクの関係

総推力とカッタートルクを図-4 に示す。破線範囲内のデータは、総推力およびカッタートルクがともに小さい値を示すものであり、シールドの装備能力を合理的に見直せる可能性があると考えられる。また、総推力とカッタートルクは比較的良好な相関関係を示しており、装備能力に対する実績値の割合は、推力、カッタートルクともに同じ傾向を示していることがわかる。このことから、シールドの装備能力の合理性を追求する場合には、総推力とカッタートルクを同時に考慮できるものと考えられる。

4. おわりに

本検討では、鉄道シールドの施工実績に基づき、総推力およびカッタートルクに関する分析、評価を実施した。その結果、過去の報告事例^{2),3)}と同様に、シールド装備能力をより合理的に見直せる可能性があることが確認できた。今後は、トンネル掘削線形や地質条件等の詳細な施工条件を考慮するとともに、他の評価指標も対象とした分析、評価を実施し、シールドが具備すべき合理的な装備能力について検討を深化化したいと考える。

【参考文献】

- 1) 土木学会:トンネル標準示方書 シールド工法・同解説, pp.133-140, 2006
- 2) 西林他:泥水シールドの掘進時におけるジャッキ推力とカッタートルクについて, トンネル工学報告集第6巻, pp.387-392, 1996
- 3) 西林他:掘進時における泥水式シールド機の推力・トルクに関する一考察, 土木学会論文集 No.679/VI-51, pp.47-64, 2001

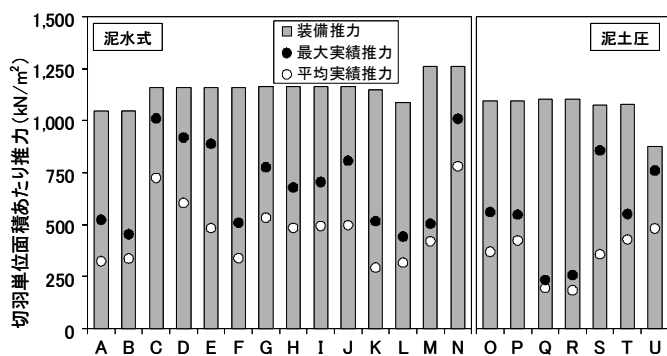


図-2 切羽単位面積あたり推力の実績

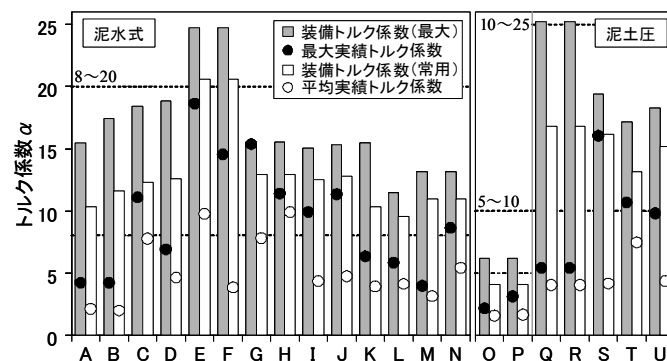


図-3 トルク係数の実績

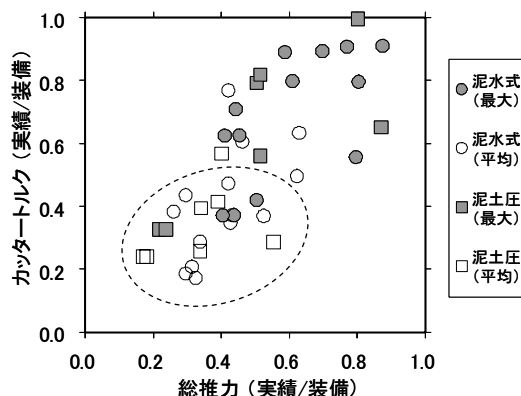


図-4 総推力とカッタートルクの関係