

(株) 興村組技術研究所 正員 小林 義美
 “ “ “ “ 北角 哲
 “ “ “ “ 〇芳賀 憲三

1. まえがき

国内における岩石トンネル掘進機 (TBM) の使用実績は20数例に達するが、まだ十分に実用の段階にいたっていないといえない。その原因はさまざまであるが、TBMを有効に適応させる地質の範囲のせまいことが最も大きい点であろう。そのための事前に正確かつ詳しい地質調査法を確立することは重要な課題であるが、さらにTBMの掘削性と地質との関連性を定量的につかんでおくことが必要である。

今回、神奈川県広域導水路トンネル工事において使用したTBM (小松ロビンス TM-480G; 掘削径4.8m) の実績と地質との関連性、特に掘進速度、カッタの摩耗との関係および現状でのTBMの適応範囲について考察を試みたので報告する。

2. 調査地域の地質概要

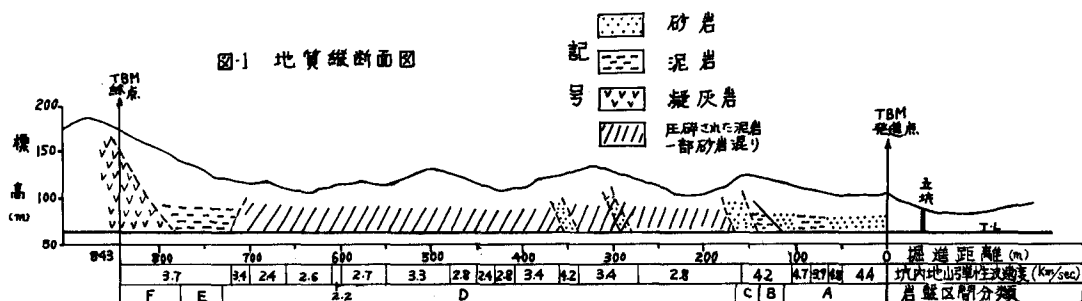
地質は第三紀中新世の堆積岩で同一地層に属する砂岩・泥岩・凝灰岩より成り、東側 (図-1の右端付近) に大規模な構造線があり、そのためTBM掘削箇所は全体として破碎されている。地層の走向はほぼ構造線と平行で、北西-南東であり、トンネルの方向はそれと直交に近く、土かぶり厚は45~120mである。岩質と破碎程度により全掘削長843mを地質的にA~F区間に分類することができ、

3. 調査項目及び結果

1) 調査項目: 調査は坑内の地質スケッチ及び坑内地山弾性波速度の測定その他、20mごとの岩石供試体により、一軸圧縮強度 ($\phi 30\text{mm} \times l 60\text{mm}$)、圧裂引張強度 ($\phi 30\text{mm} \times l 30\text{mm}$)、P-S波速度、ショア硬度、比重、空隙率、ヤング率、ポアソン比の測定を行なった。なお、破碎が著しく整形不可能なため、B、D、E区間では圧縮・引張試験が行なえなかった。(表-1に岩石試験の結果を示す)

2) 調査結果: TBMの掘削に対する岩盤の掘削抵抗は複雑であるが、ソロバン玉型のディスクカッタに関しては、主に岩盤の圧縮強度、剪断強度が考えられる。今回はそれらの試験と十分行なえなかったため、直接岩盤強度とTBMの掘削性との関連性をつかむことができなかった。

岩石試験の結果、F区間の凝灰岩を除き、試料の弾性波速度 (V) は4~5 km/sec 前後を示しており、試料自体のクラックを考慮するなら、この地域の岩石の V は、岩種にかかわらず、もともと5.2 km/sec 前後のものと考えられる。F区間の凝灰岩は、坑内の試料ではクラックが多く粘土化が進んで V は低い値を示すが未破碎部では5.3 km/sec と高い値を示している。また、S波速度、ショア硬度、比重などをみても完全に粘土化しているものと



除くと大きな変化は見られない。従って、今回掘削した地域の地質はもともと5.2^ksec程度の弾性波速度をもつものであり、地山での速度低下は岩盤の破碎によるクラックの形成、粘土化に基づくものと考えられる。

TBMの掘進速度とキレツ係数

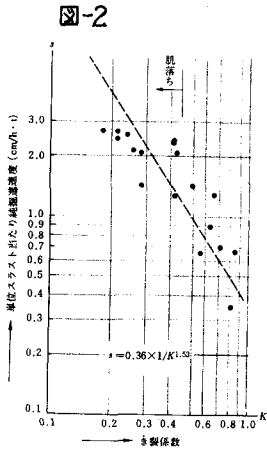
クラックの有無がTBMの掘進速度を左右する重要な要因となることは、従来認められているが、今回の調査結果からキレツ係数とTBMの純掘進速度との関係を考察した。キレツ係数(K)は一般に次式で表わされる。

キレツ係数(K) = $\frac{\text{地山の弾性波速度 (v)}}{\text{供試体の弾性波速度 (V)}}$

vとして、坑内の地山弾性波速度を用い、Vとしては、試料自体のもつクラックや応力解放による影響を考慮して、5.2^ksecの値を用いてキレツ係数(K)と単位スラスト当りのTBMの純掘進速度(S)との関係を図-2に示した。Sは、各ストロークごとの純掘進速度をスラスト圧で割り、それを各vの区間ごとに平均した。図のようにバラツキは大きい。SはKの増加に従い、逆に減少しており、キレツが岩盤の強度を低下させ、Sに影響を及ぼしていると考えられる。

カッタの摩耗速度と岩質

カッタの摩耗速度は、図-3のカッタ軌跡延長と摩耗量の関係から明らかに、A区間とB~F区間の摩耗速度に顕著な差が見られる。B~F区間のうち約60mは $v=4.2^{ksec}$ のA区間と同質の砂岩であり、又岩種によるシヨア硬度等の差がみられないことを考えると、カッタの摩耗に関しても、岩盤のキレツ状態が著しく影響するものと考えられる。



岩盤区間	供試体採取箇所 TBM掘削 地点より	岩質	供試体 状態	比重 γ_s	空けき率 (%)	軸圧縮 強度 (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/cm ²)	弾性波速度(km/sec) P波 S波	坑内の 地山弾性 波速度 (km/sec)	キレツ 係数 #2	シヨア 硬度
A	0m	砂岩	コア	2.644	2.90	509~1897 1218	136~150 144	5.07 2.88	4.4	0.75	69.9
	19	*	*	2.654	1.88	636~1302 978	124~170 150	5.22 2.85	4.4	0.71	71.3
	41	*	*	2.652	1.96	835~1228 1030	75~113 89	4.88 2.84	4.4	0.81	74.5
	60	*	*	2.636	2.34	1332~1437 1395	37~100 65	5.36 3.01	4.8	0.80	80.6
	80	砂質泥岩	*	2.654	1.30	1541~1947 1744	69~163 108	5.33 2.97	3.9	0.54	83.3
	100	*	*	2.657	1.53	1023~1259 1150	98	5.35 2.94	4.7	0.77	81.8
B	120	砂岩	岩片	2.634	2.58			4.66 2.91	4.2	0.81	74.6
	140	*	*	2.530	4.90			4.95 2.51	4.2	0.72	89.7
C	160	砂岩	コア	2.658	1.44	657~976 847	58	4.93 3.03	4.2	0.74	74.0
D	180	泥岩 (砂岩系)	岩片	1.747							
	200	*	*	2.190							
	240	*	*	1.980							
	247	泥岩	*	2.523	2.38			4.85 2.48	2.8	0.33	82.3
	260	泥岩	*	1.978							
	287	砂岩	*	2.613	3.02			4.56 2.96	3.4	0.56	84.9
	300	*	*	2.632	2.57						
	310	*	*					4.41 2.62	3.4	0.59	61.4
	330	*	*	2.653	1.98			4.49 2.87	3.4	0.57	74.1
	360	泥岩	*	2.411	5.71						
	380	*	*	2.637	3.06			4.60 2.61	3.4	0.55	67.4
	400	*	*	2.616	2.31			5.15 3.25	3.4	0.44	83.0
	420	砂岩	*	2.598	1.94			5.33 2.80	2.8	0.28	91.3
	440	泥岩	*	2.630	2.70			5.05 2.97	2.4	0.23	78.2
	460	*	*	2.591	4.24			4.78 2.68	2.8	0.34	68.9
	479	*	*	2.582	4.66			4.66 2.09	2.8	0.36	67.7
	540	泥岩 (砂岩系)	*	1.642							
	580	*	*	2.492							
	620	泥岩	*	2.646				4.71 2.93	2.6	0.30	82.5
	640	凝灰質泥岩	*	2.608	6.58			4.03 2.10	2.6	0.42	67.0
F	660	*	*	2.617	1.94			4.04 2.53	2.4	0.35	75.6
	680	*	*	2.591	3.49			4.73 2.59	2.4	0.26	57.0
	700	泥岩	*	2.625	1.53			4.73 2.95	3.4	0.52	75.2
	720	*	*	2.603	2.17			4.68 2.50	3.7	0.63	87.2
	780	凝灰岩	コア	2.524	6.73	344~430 387	25~27 26	#3 2.93	1.55	3.7	53.0
	作業立 比定	砂岩	*	2.670		1060~1429 1215	100~172 136				
相模 川 砂 石 場		凝灰岩	*	2.625	3.17	859~1641 1196	78~118 101	5.30 2.91			75.4

表-1 岩石試験結果

4. まとめ

一般にTBMの地質適応性に対する判断の要素として

- 岩種および風化・変質の状態
- 弾性波速度（地山および供試体）
- 供試体の一軸圧縮強度および圧裂引張強度
- 湧水状態
- 地圧状態

があげられる。d, eは調査にいがa～c項のデータは比較的容易に入手できる。今回TBMの適応性の基本となる掘進速度、カッタの摩耗については、岩盤の圧縮強度とキレツによる影響が大きいと考えられるので、岩盤強度を推定し、a～c項を中心として今回の掘削実績より、今までの主な国内の掘削実績を含めて図-4のようなTBMの適応範囲の推定を試みる。なお今回の場合、 v が 3.5 k/sec （キレツ係数 0.45 ）以下の所では必ずと言ってよい程「肌落ち」が発生し、

将来さらに岩種、岩石物性と掘進速度、カッタの摩耗速度などの関連性を考えていかねばならないが、今回のように岩盤が同一地層に属し、さらに V が 10 以下のような値をもつ時、TBMの掘削性と地山の弾性波速度より判断することが有効であると考えられる。

図-3

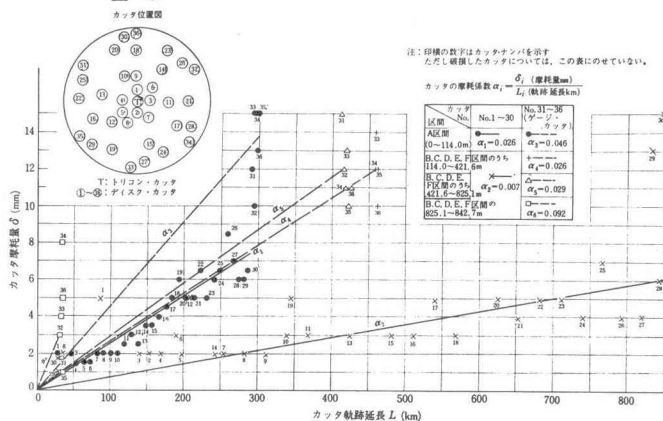
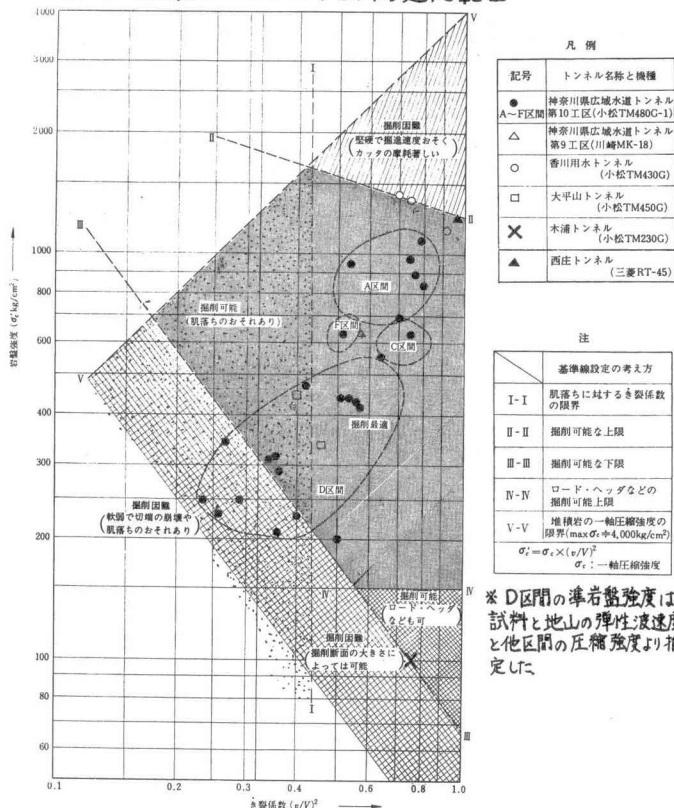


図-4 堆積岩におけるTBMの適応範囲



参考文献

- 1) 高岡三郎, 速水博考「ディスクカッタによる岩盤の破碎について」第2回岩の力学国内シンポジウム (1967)
- 2) 津建介 他「TBMの地質適応性と大型化」一土木学会誌 161 57-4 (1972)
- 3) 池田和彦「トンネルの岩盤強度分類」一鉄道技術研究報告 No. 695 (1969)
- 4) 三沢清扶, 高橋昭敬, 桜井孝「RTMに関する岩石・岩盤調査法」一鉄道技術研究所速報 (1972)
- 5) 池田功, 井上亮一「西宮導水トンネル第10工区の施工実績」建設の機械化 (1972.7)