

VI-29

TBMにおけるローラーカッタービットの摩耗

愛媛大学工学部 正員 深川良一
愛媛大学工学部 正員 室 達朗

はじめに TBMによる長距離の掘削が増加しているが、円滑な施工を達成するためには耐摩耗性に優れたカッタービットを採用する必要がある。従来よりメーカー各社はデータを集積し、独自の摩耗量推定式を提案してきているが、ここではより詳細な岩盤物性の調査を実施し、それらの結果に基づく”摩耗に対する岩盤強度指数（室・深川、1985）”による結果の評価を試みた。

施工現場の岩石・岩盤特性 現場は、地質的には砂岩、粘板岩を主体とした健岩部から、頁岩等より構成される軟弱部まで、複雑な構造を示している。およそ20mおきに採取された岩石試料より以下の5種類の岩盤に大別された：(1)砂岩+頁岩（0-400m）、(2)粘板岩（400-600m）、(3)粘板岩+砂岩（600-750m）、(4)石英斑岩（750-950m）、(5)変質凝灰岩（950-1200）。岩石・岩盤特性を把握するために以下の項目を調べた：(1)一軸圧縮強度、(2)無亀裂岩石の弾性波速度、(3)岩盤の弾性波速度、(4)吸水率、(5)ショア硬度、(6)石英・長石含有量、(7)見かけ比重。先に上げた5区間でのこれらの値の平均値をTable 1に示す。

TBM TBMの主要諸元をTable 2に示している。掘削はローラーカッタービットにより成されたが、その外形をFig.1に示す。摩耗後のビットより供試材を切り出し、金属特性を調べた。化学組成分析の結果、C:1.55%, Si:0.28%, Mn:0.42%, P:0.024%, S:<0.001%, Cr:11.9%, Ni:0.12%, Mo:0.71%, V:0.75%となり、高Cr合金工具鋼であると推定された。また、平均的な機械的性質は以下の通りである：引張り強さ1200 N/mm, シャルピー衝撃値：3.0 J/cm², 硬度：40.1 HRC。

ローラーカッタービットの摩耗特性 現地計測に際しては摩耗減量及び形状変化を測定したが、ここでは形状変化つまりローラーカッタービットの半径方向厚みの変化を摩耗の指標として選択している。Fig.2にローラーカッターの単位転動距離当たりの摩耗量を掘進距離に対して示している。岩盤の違いを反映して摩耗特性が大きく変動していることがわかる。

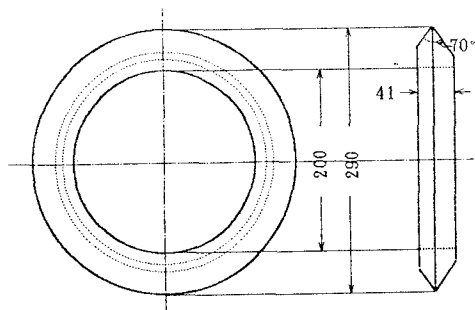


Fig.1 Outline of roller cutter bit

Table 1 Calculation of index of rock mass strength for wear σ .

	0-400 (m)	400-600 (m)	600-750 (m)	750-950 (m)	950-1200 (m)
Rock	Sandstone +Shale	Slate	Slate+ Sandstone	Quartz Porphyry	Altered Tuff
Apparent specific gravity	2.696	2.695	2.701	2.529	2.455
Water absorption (%)	0.48	0.61	0.23	1.50	2.79
Los Angeles abrasion amount (%)	15.9	14.5	14.5	13.6	20.5
Shore hardness	53.5	53.3	56.0	77.9	68.3
Unconfined compressive strength (kgf/cm ²)	1104	896	7331	1469	1430
Elastic wave velocity of intact rock sample (m/sec)	4883	5649	5222	4688	4056
Elastic wave velocity of rock mass (m/sec)	4650	3950	3950	3550	2950
Index to degree of fissuring	0.093	0.511	0.428	0.427	0.471
Quartz content (%)	10	81	81	23	15
Feldspar content (%)	3	0	0	74	73
Index of rock mass strength for wear (kgf/cm ²)	26.0	523.1	876.3	409.9	218.6

摩耗に対する岩盤強度指数 σ_c

金属の摩耗に及ぼす岩盤特性の影響を総合的に表現した指標としてここでは室・深川（1985）の提案した摩耗に対する岩盤強度指数 σ_c (kgf/cm²)を採用した。 σ_c は以下のように定義される。

$$\sigma_c = K \cdot \sigma_{c0} \cdot (1 - C_r)$$

$$K = K_0 \cdot \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{4}$$

ここに、 σ_{c0} ：一軸圧縮強度(kgf/cm²)
 $C_r (=1 - (V_2/V_1)^2)$ 、 V_1 ：無亀裂岩石に対する弾性波速度(m/sec)、
 V_2 ：岩盤の弾性波速度(m/sec)：亀裂係数、 $K_0 = (\text{石英分含有量}) + (\text{長石分含有量}) \times 0.5$ 、 $K_1 = (\text{見かけ比重}) / 2.60$ 、 $K_2 = 30.0 / (\text{ロサンゼルスすり減り減量}(\%))$ 、 $K_3 = 2.00 / (\text{吸水率}(\%))$ 、 $K_4 = (\text{シオア硬さ}) / 60.0$ 。計算結果をTable 1に同時に示している。

摩耗量測定結果との比較 Fig.3に摩耗に対する岩盤強度指数と単位転動距離あたりの摩耗量（カッターリングの厚みの変化）の関係を示す。ただしこの図においては、Fig.2における1000～1150m区間での摩耗量のかかなり多いデータ群（破線で囲まれた部分）は、同じ区間の多数を占める他のデータ群に比して異常に摩耗が高進しているために省いている。原因は不明であるが、岩盤との関係から応力集中的な現象が起こった可能性がある。室・深川(1985)は、リップチップの摩耗が σ_c によって軽摩耗域と重摩耗域に分類できることを指摘している。Fig.3はそうした整理が可能である

ことを示唆しているが、軽摩耗域での直線を決定するためには更にデータを蓄積する必要がある。Fig.3より重摩耗域における単位転動距離あたりの摩耗量 w は、

$$w \text{ (mm/m)} = 5.17 \times 10^{-8} \times \sigma_c^{1.0} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

となる。ローラーカッターおよびTBM特性が変化しない限り上式は有効な摩耗の予測式となり得る。

まとめ TBMによる掘削現場においてTBMローラーカッタービットの摩耗量を計測した。岩石・岩盤特性を考慮した摩耗に対する岩盤強度指数による結果の整理を試みたところ摩耗量との間に良好な対応関係が得られた。

謝辞 研究を進めるに当たり御協力を頂いた建設機械化協会関西支部摩耗対策委員会の各位に感謝します。

参考文献 室達朗・深川良一(1985):土木学会論文報告集、364号/111-4, pp.87-95.

Table 2 Outline of TBM

Diameter of excavated tunnel (mm)	2000
Length of TBM (mm)	7231
Total length of TBM system (m)	≈ 70
Total weight (ton)	≈ 70
Maximum cutter-head torque (ton·m)	≈ 20
Number of equipped cutters	center cutter (set) 5 inner cutter (set) 8 (16 rings) gauge cutter (set) 4 (4 rings)
Number of cutter-head rotation (r.p.m.)	0-10
Maximum pushing force (ton)	160
Maximum pushing stroke (mm)	950
Maximum excavating speed (mm/min)	60

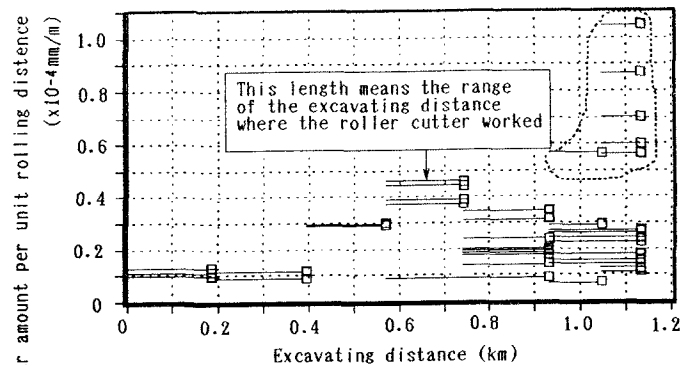


Fig.2 Relationship between wear amount per unit rolling distance and excavating distance

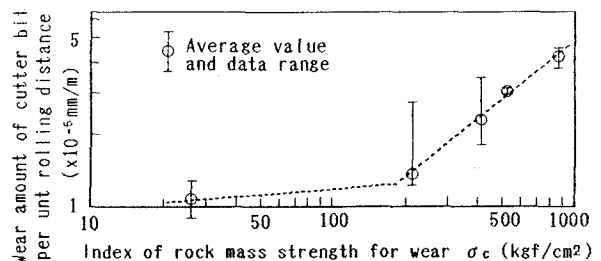


Fig.3 Relationship between index of rock mass strength for wear and wear amount of cutter bit per unit rolling distance