

3. 岩盤掘削におけるリップチップの耐摩耗評価

愛媛大学 *室 達 朗・榎 明 潔

1. まえがき 岩盤の掘削作業においては爆破工事が制限されることが多く、リップチップ[®]による機械化掘削に対する需要が増大するに至っている。今日、重機械の大型化にともなうかなり硬い岩盤をも掘削の対象とされ、リップチップの耐摩耗性が追究されるようになってきた。ここでは、種々の岩盤掘削現場において使用されているリップチップの耐摩耗性の実態を把握するとともに、チップの摩耗に重要な影響を及ぼす岩盤強度特性および金属材料特性の両面よりリップチップの耐摩耗性を評価することを主眼とした。まず、13種類のリップチップについては、室内における高面圧下での摩耗試験を実施するとともに、16ヶ所のリップング作業現場において現地摩耗試験を行なった結果について報告する。つぎに、リップチップの摩耗寿命を「摩耗に対する岩盤強度指数」および「金属の摩耗抵抗値」によって評価する方法を提案するとともに、耐摩耗対策について検討する。

2. リップチップの金属材料質 使用した13種類のリップチップの金属材料を大別すると、鍛造された特殊合金鋼 STKS 2 や SNCM 8、熱処理された Si-Mn-Cr-Mo 鋳鋼、および高マンガン鋳鋼 SCMnH11 などとなる。ここで使用したチップは、いずれも長さ 375 mm、先端幅 88 mm、初期重量約 15 kg である。表-1 に、新品時の各リップチップについて行なった金属材料試験の結果を示した。試験項目はピッカース硬さ Hv Kg/mm²、ロックウェル硬さ HRC、引張強度 Kg/mm²、伸び %、絞り %、弾性係数 E Kg/mm²、シャルピー衝撃値 Kg/cm² および化学組成である。チップ No.1 は、Ni-Cr-Mo 鋳鋼品であり、その金属組織は焼戻しマルテンサイトである。チップ No.2, No.6 および No.9 は、Ni-Cr-Mo 鍛造品 STKS 2 で焼戻しマルテンサイトである。チップ No.3 と No.4 は、Si-Cr-Mo 鍛造品で焼戻しマルテンサイトであり、No.5 は Si-Mn-Cr-Mo 鋳鋼品で焼戻しマルテンサイトである。No.7, No.8 は、熱処理された Si-Mn-Cr-Mo 鋳鋼品であり、No.10 は高 Mn-Cr 鋳鋼品 SCMnH11 で水焼入を行なったものである。また、No.11 と No.12 は、Ni-Cr-Mo 鋳鋼品で焼戻しマルテンサイトである。なお、ここで標準リップチップとして選定したチップ No.0 は、鍛造された特殊合金鋼であり、その金属組織はベイナイト変態にあり緻密な羽毛状構造を形成している。

3. 室内摩耗試験 図1は摩耗試験機の概略であり、7.5 KW のモータによって駆動される 400^φ 回転テーブル上に岩石試料(325×325×100mm)を設置し、岩石面上において直径 7mm、長さ 25mm のチップ供試体を摺動させて摩擦および摩耗試験を実施するものである。回転テーブルの最大

No	Hv Kg/mm ²	HRC	引張強度 Kg/mm ²	絞り %	伸び %	弾性係数 Kg/mm ²	シャルピー 衝撃値 Kg/cm ²	化 学 組 成 %							
								C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P	S
0	448	45.1	156.5	27.8	6.2	20800	5.90	0.27	0.29	0.77	0.61	0.51	0.12	0.02	0.02
1	397	40.9	128.0	45.0	5.7	19557	3.42	0.44	0.33	0.74	0.56	0.63	0.31	0.01	0.02
2	458	46.0	175.8	43.9	10.8	20904	2.66	0.32	0.27	0.84	0.65	0.46	0.18	0.01	0.01
3	429	43.5	171.6	49.0	10.4	20500	3.03	0.31	1.80	0.66	0	0.50	0.10	0.01	0.01
4	502	49.3	174.2	33.7	10.2	20500	1.17	0.33	1.70	0.40	0	2.90	0.95	0.02	0.01
5	480	48.0	141.3	6.5	2.2	21230	1.55	0.28	1.75	1.00	0	1.87	0.37	0.02	0.02
6	443	44.7	174.3	43.1	7.9	19557	2.24	0.32	0.26	0.78	0.42	0.44	0.18	0.01	0.02
7	505	49.3	172.5	—	3.5	20300	1.65	0.29	1.65	1.20	0	1.82	0.38	0.02	0.02
8	465	46.4	142.5	—	4.5	20100	1.10	0.38	0.88	1.02	0	1.20	0.32	0.02	0.02
9	546	52.1	174.9	46.8	14.9	20904	6.30	0.32	0.30	0.87	0.52	0.54	0.18	0.03	0.03
10	225	19.8	82.1	26.2	22.0	20050	8.60	1.14	0.50	12.10	0	2.18	0	0.04	0.01
11	444	44.7	149.0	27.8	9.7	19557	2.89	0.42	0.30	0.72	1.79	0.78	0.19	0.03	0.03
12	443	44.7	147.8	29.4	10.3	20738	2.99	0.42	0.24	0.64	1.71	0.72	0.18	0.03	0.03

表-1. リップチップの金属材料試験結果

出力トルクは 81.2 Kg \cdot m, 回転数 90 r.p.m. である。載荷重は空気圧シリンダーによって与え、本実験においては、岩石とチップ供試体との接触面圧を 250 Kg/cm 2 までの各段階における摩擦抵抗と摩擦重量を計測した。なお、摺動速度は 141.4 cm/sec (約 5 Km/h) とし、直径 30 cm の同一円周上を摺動させた。試験は、いずれも乾燥状態で行ない、摺動面上の摩擦粉はサンドペーパーにより完全に除去した。岩石試料としては、安山岩を使用した。その物性は、ショア硬さ 70.1 \pm 4.9, 見かけ比重 2.48 \pm 0.02 g/cm 3 , 単軸圧縮強度 1861.9 \pm 248.8 Kg/cm 2 である。チップ供試体は、前述のリッパチップ No. 2, No. 3, No. 4, No. 5 および No. 9 から切り出したものである。図 2. および図 3. に、接触面圧と摩擦量, 摩擦係数との関係を示した。摩擦試験中のチップ供試体の岩石との摺動部分は、接触面圧の増加とともに 50 Kg/cm 2 で赤熱しはじめ 100 Kg/cm 2 以上で溶融してくるため摩擦量は急激に増大している。また、高面圧下での高温摩擦領域では、摩擦後の摺動面でのロックウェル硬さが高い程摩擦量が減少していることが判明した。また、低接触面圧下では岩石表面あがりの影響を受けて摩擦係数は高い値を示しているが、50 Kg/cm 2 以上の高接触面圧下においては比較的安定した摩擦係数値をとることが図より明らかである。

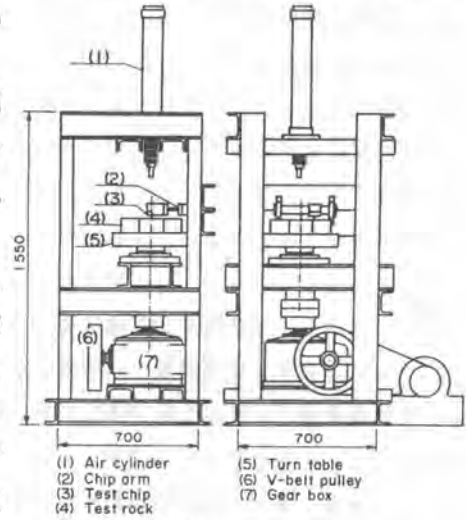


図 1. 摩擦試験機概略図

4. 現地摩擦試験 車輛重量, 機種ともに同一で、最大けん引

力 30 トン級のブルドーザによるリッピング作業を行っている比較的摩擦の著しい 16ヶ所の作業現場を選定し、種々の岩盤を掘削するチップの摩擦重量の経時変化と岩盤特性, 金属材質との関係を調査した。リッパチップの摩擦寿命 T_c は、摩擦重量がリッピング作業時間とともに直線的に増大するとし、限界摩擦量 7Kg に対して算定した。また、岩盤特性は、岩盤の亀裂係数 C_r , 無亀裂岩石の単軸圧縮強度 σ_{co} , 硬度の高い鉱物の含有量 K_o , および岩石

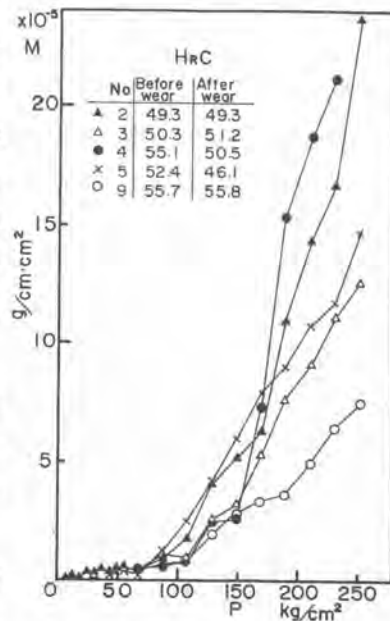


図 2. 接触面圧 P と摩擦量 M との関係

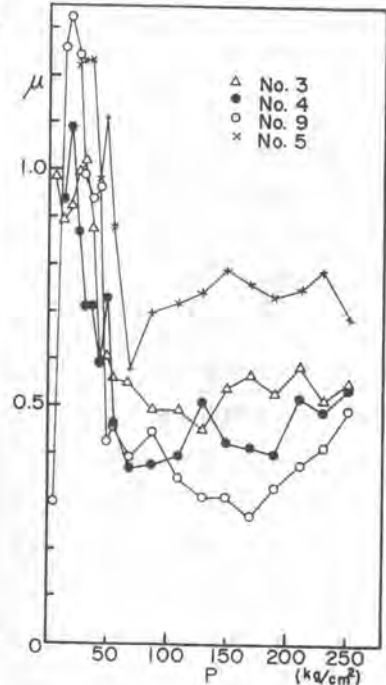


図 3. 接触面圧 P と摩擦係数 μ との関係

の風化程度を表現する見かけ比重、口サンゼルスすりへり減量、吸水量、ショア硬さによって定まる定数 K によって次式で表現される「摩耗に対する岩盤強度指数」 σ_c によってチップの摩耗に影響を与える岩盤の強度を評価することとした。^{1), 2)}

$$\sigma_c = K \sigma_{c0} (1 - Cr), \quad K = K_0^2 (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) / \Delta \quad (1)$$

ここに、 K_0 =(石英含有量)+(長石類含有量) $\times 0.5$, K_1 =(見かけ比重)/2.60, K_2 =30.0/(口サンゼルスすりへり減量), K_3 =2.00/(吸水量), K_4 =(ショア硬さ)/60.0

図4は、チップの寿命 T_c (hr) と摩耗に対する岩盤強度指数 σ_c (Kg/cm^2) との関係を両対数紙上にプロットしたものである。图中、黒丸印で示した11ヶ所の作業現場ではいずれも標準リップチップについて試験したものであり、その他は種々の金属材料相互の比較試験を行なったものである。標準リップチップについては、図より明かかに、摩耗に対する岩盤強度指数が 43 Kg/cm^2 で折点を有する2本の直線で表現されることが判明した。すなわち、

$$\text{軽摩耗域 } (0 < \sigma_c \leq 43 \text{ Kg/cm}^2) \text{ で } T_c = 4.10 \times 10^2 \sigma_c^{-0.33} \quad (2)$$

$$\text{重摩耗域 } (\sigma_c > 43 \text{ Kg/cm}^2) \text{ で } T_c = 2.40 \times 10^5 \sigma_c^{-2.03} \quad (3)$$

なる式で示され、両者の相関性はきわめて高い。^{3), 4)}

つぎに、金属材料の摩耗寿命に与える影響について調査した結果、発熱による焼もどし軟化抵抗の大きなチップ程寿命が長くなる傾向がある。⁵⁾ また、写真1に示したように、摩耗表面部における金属組織がかなり変化しており、摩耗したチップの表面硬さ HRC がかなり摩耗寿命を支配していることが判明した。

したがって、金属の耐磨耗性を評価するためには、摩耗したチップ表面の硬さ HRC と次式で示す発熱による焼もどし軟化抵抗 R を用いるのが適切である。^{6), 7)}

$$R = \frac{1}{4} \left(\frac{C}{0.31} + \frac{Si}{1.75} + \frac{Cr}{4.00} + \frac{Mo}{1.00} \right) \quad (4)$$

金属材料による摩耗寿命の差異について、5ヶ所のリッピング作業現場I, II, ..., Vにおいて試験をした結果、摩耗寿命と金属材料特性の間で、正の相関係数が最も高くなるのは、摩耗抵抗 R と摩耗したチップ表面の硬さ HRC およびシャルピー衝撃値 CH の相

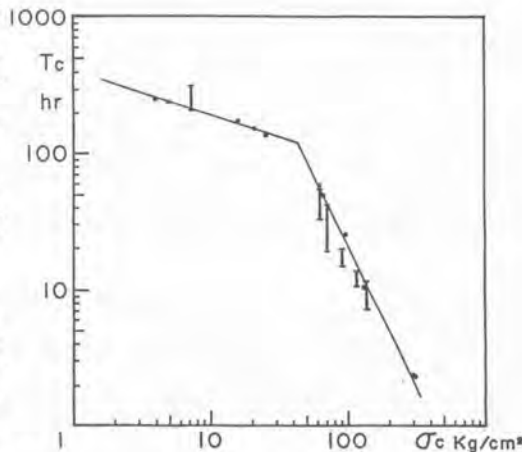


図4. リップチップの摩耗寿命 T_c と摩耗に対する岩盤強度指数 σ_c との関係

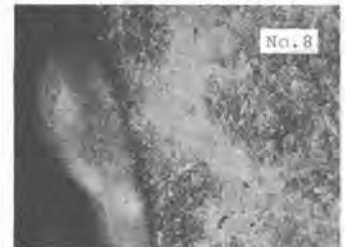
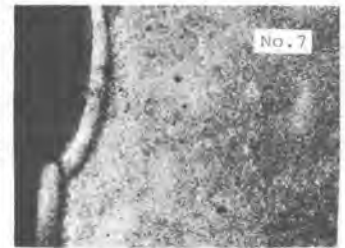


写真1. チップ断面の摩耗表面部における金属組織変化

乗積となることが判明した。表2は13種類のリップチップの発熱による焼もとし軟化抵抗 R, 摩耗した表面硬さ HRC および摩耗抵抗値 R・HRC・CH, と摩耗寿命の測定結果を示したものである。また、図5に摩耗寿命 Tc と摩耗抵抗値 R・HRC・CH との関係も種々の摩耗に対する岩盤強度指数 σ_c に対して示した。

ここで、岩盤特性の影響を消去してチップの摩耗寿命に与える金属材質の影響のみを把握することは困難であるが、今仮に、標準リップチップの摩耗抵抗値によって各現場での摩耗寿命 Tco を算定し、Tc と Tco との比率と摩耗抵抗値との関係を求めること次式がえられた。

$$Tc/Tco = 3.78 \times 10^{-3} R \cdot HRC \cdot CH + 0.653 \quad (\text{相関係数 } 0.33) \quad (5)$$

このように相関性が小さい理由は、5ヶ所のリップング作業現場を軽・重摩耗域に区別していないこと、およびそれぞれの現場において摩耗機構が全く異なるためと考える。

5. 結論 以上より、リップチップの摩耗寿命は、摩耗に対する岩盤強度指数と金属の摩耗抵抗値の関数として表現することが可能となり、合理的な施工計画を樹立する上で十分な意義がある。とくに、摩耗寿命を支配する要因は金属材質よりも岩盤特性に大きく左右されており、チップの寿命を増大させるためには、予備発破やハイドロブラスト機によるリップング予備破砕によって摩耗に対する岩盤強度指数を低下せしめることは有効な手段である。また、チップの耐摩耗性は、焼入性が優れているとともに発熱に対する軟化抵抗の大きい金属材質が有効であるが、岩盤特性に適合したチップを厳密に区別して使用するべきである。さらに、硬岩掘削に対してはジェット水等による発熱防止を検討することも有益な手段である。

6. 参考文献

- 1) T.Muro ; Characteristics of shape variation of rippertip — from field test —, Memoirs of the faculty of engineering, Fukui Univ., Vol.25, No.1, 1977, pp.1-12.
- 2) S.Hata, T.Muro, Y.Kaneko ; Estimation of Life of rippertip due to wear, Proc. of JSCE, No.268, 1977, pp.119-127.
- 3) 室 達朗;リップチップの摩耗特性, 摩耗対策委員会研究成果中間報告書(II) 日本建設機械化協会関西支部, 1978, pp.63-97.
- 4) S.Hata and T.Muro ; Relation between wear life of rippertip and rock mass properties, Proc. of the 6th International Conf., ISTVS, 1978, pp.951-981.
- 5) T.Muro ; Wear Characteristics of Rippertip with regard to Metallic Aspects, Memoirs of the Fac. of Engg., Fukui Univ., Vol.26, No.2, 1978, pp.297-308.
- 6) 室 達朗;岩盤掘削刃の摩耗寿命予測, 愛媛大学紀要第III部工学, 第9巻第3号, 昭和55年3月, pp.335-348.
- 7) 室 達朗;リップチップの金属材質と摩耗寿命, 愛媛大学紀要第III部工学, 第9巻第4号, 昭和56年2月, pp.399-410.

No	R	HRC	R・HRC・CH	Tc				
				I	II	III	IV	V
0	0.321	41.3	78.24					
1	0.519	40.3	71.53		50.47			
2	0.370	42.0	41.34		54.86		7.14	
3	0.564	45.3	77.41		48.75			17.78
4	0.928	48.5	52.66		54.56		11.62	17.64
5	0.685	47.0	49.90		41.64		9.71	14.73
6	0.368	40.0	32.97		33.18			
7	0.678	39.4	44.08	324.07				
8	0.587	31.8	20.53	208.96				
9	0.380	39.0	93.34	212.77		13.81		19.56
10	1.127	27.8	269.44					
11	0.478	44.4	61.34			12.46		
12	0.463	44.5	61.61			10.90		

表2. リップチップの摩耗抵抗値と摩耗寿命

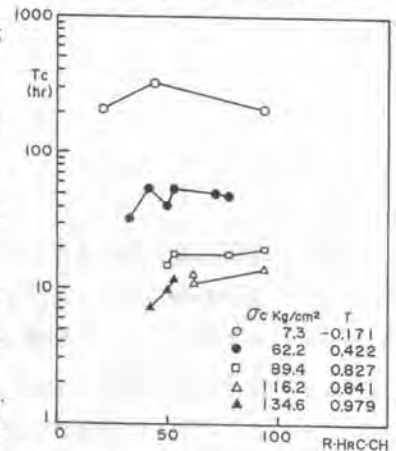


図5. 種々のリップング作業現場における摩耗寿命 Tc と摩耗抵抗値 R・HRC・CH との関係