

## 岩盤掘削刃の摩耗とハードフェーシング対策

### WEAR OF A ROCK EXCAVATING TIP AND ITS COUNTERPLAN DUE TO HARDFACING

室 達朗\*・深川良一\*\*

By Tatsuro MURO and Ryoichi FUKAGAWA

As an important problem of construction machinery, it is necessary to study the boundary region of mechanical properties between metal and rock mass to get a rational maintenance of rock excavating tip. Here, the amount of wear and wear length of pure rippertip and hard surfaced one by means of spraying or welding were measured respectively at several different ripping operation sites of land reclamation. It was clarified that the amount of wear of pure tip is fairly correlated to the index of rock mass strength for wear, and the wear resistance and self-sharpness of tip coated by carbide composite welded metal presents to be higher than the other metals. And also, the effect of hardfacing of sprayed metal can not present under high contact pressure, but develops considerably under low pressure.

#### 1. ま え が き

今日、岩盤を掘削する建設機械としてリッピング装置を搭載したブルドーザが活躍している。従来の爆破工法に代わるこの機械化掘削工法はリッパ工法とも称されており、ブルドーザ後端に設置したシャンク先端のリッパチップによって岩盤を掘削するのである。近年出現した大型ブルドーザの強大なけん引力はこの岩盤掘削刃にも大きな掘削力を与え、かなり高い強度を有する硬岩の掘削をも可能ならしめてきた。掘削機械の大型化に伴って、機械各部位に対する新しい設計法が検討されてきた<sup>1)</sup>。そのうち、リッパチップについては寸法の大型化とともに新しい金属材料として発熱に対する耐摩耗鋼が開発された<sup>2)</sup>。

われわれ土木技術者にとって、岩盤掘削刃の摩耗の実態について十分に究明し必要な摩耗対策を樹立していくことは、入念で合理的な施工計画の上に立った部品交換によって建設機械を円滑に維持保守していくために非常に重要なことと考える。また、土木施工学上、掘削刃の

メンテナンスを完全なものとするためには金属材料と岩盤との間の境界領域を力学的に追究していく必要がある。

ここでは、リッピング作業を行った宅地造成地9か所の岩盤において、4種類の純正部品である小型および大型リッパチップについて摩耗試験を実施し、さらに耐摩耗性を向上させるために溶射および肉盛金属でハードフェーシングしたリッパチップについてその摩耗寿命と摩耗長を計測した。その後、リッパチップの摩耗寿命と岩盤特性の関係およびチップの掘削性と摩耗寿命に与える各溶着金属のハードフェーシング効果について整理し考察した。

#### 2. 岩 盤 特 性

9か所のリッピング作業現場において、岩盤の弾性波伝播速度を計測するとともに、採取した岩塊について室内岩石試験を行った。Table 1はこれらの試験結果を示したものである。現場A, DおよびFは花崗岩、現場B, CおよびEは花崗閃緑岩、現場Gは安山岩、現場Hは火山礫凝灰岩、および現場Iはチャートで構成されている。表中、摩耗に対する岩盤強度指数  $\sigma_c^{3)}$  は次式より算定したものである。

\* 正会員 工博 愛媛大学教授 工学部海洋工学科  
(〒790 松山市文京町3)

\*\* 正会員 工修 京都大学助手 工学部土木工学科  
(〒606 京都市左京区吉田本町)

Table 1 Physical Properties of Rock Mass and Rock Specimen.

Site	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Name of Rock	Granite	Granodiorite	Granodiorite	Granite	Granodiorite	Granite	Andesite	Lapilli Tuff	Chert
Apparent Specific Gravity G	2.68 ± 0.01	2.59 ± 0.04	2.58 ± 0.01	2.67 ± 0.01	2.58 ± 0.01	2.63 ± 0.04	2.61 ± 0.02	1.89 ± 0.03	2.61 ± 0.02
Specific Gravity G <sub>s</sub>	2.72 ± 0.04	2.63 ± 0.02	2.64 ± 0.03	2.82 ± 0.03	2.60 ± 0.02	2.67 ± 0.03	2.64 ± 0.02	2.64 ± 0.02	2.64 ± 0.01
Natural Water Content W (%)	0.19 ± 0.02	0.22 ± 0.05	0.30 ± 0.04	0.25 ± 0.02	0.22 ± 0.03	0.38 ± 0.11	0.22 ± 0.04	2.14 ± 0.15	0.70 ± 0.05
Absorption W' (%)	0.20 ± 0.02	0.25 ± 0.06	0.34 ± 0.04	0.30 ± 0.02	0.23 ± 0.02	0.59 ± 0.03	0.27 ± 0.05	8.21 ± 1.60	0.89 ± 0.08
Uniaxial Compressive Strength $\sigma_{co}$ (MPa)	96.6 ± 11.0	180.9 ± 19.2	148.4 ± 33.9	80.8 ± 7.4	187.1 ± 18.8	43.3 ± 14.3	186.1 ± 17.5	0.66 ± 0.04	72.1 ± 6.3
Shore hardness H <sub>s</sub>	65.1 ± 12.2	68.2 ± 11.2	72.8 ± 7.3	66.6 ± 9.4	76.1 ± 10.0	50.3 ± 12.7	72.9 ± 11.2	10.6 ± 2.1	87.8 ± 10.6
Amount of Los Angeles Abrasion U (%)	68.4	16.2	21.1	28.9	43.3	61.0	18.5	98.0	20.6
Elastic Wave Velocity of Non-fissured Rock Sample V <sub>1</sub> (m/sec)	4815 ± 40	5246 ± 498	5092 ± 252	4284 ± 169	5035 ± 118	2871 ± 707	5531 ± 254	562 ± 34	3247 ± 154
Elastic Wave Velocity of Rock Mass V <sub>2</sub> (m/sec)	1251 ± 86	1404 ± 220	1031 ± 66	990 ± 24	963 ± 68	1074 ± 18	867 ± 10	336 ± 11	1650 ± 202
Coefficient of Crack C <sub>r</sub>	0.93	0.93	0.96	0.95	0.96	0.86	0.98	0.64	0.74
Index of Rock Mass Strength for Wear $\sigma_c$ (MPa)	7.08	11.47	9.81	5.10	5.81	3.86	5.54	0.04	29.60
Mineral Composition									
Quartz (%)	34.4	40.0	70.0	50.0	18.9	40.0	56.1	15.4	98.0
Feldspar (%)	42.8	23.3	26.7	43.3	55.0	50.0	30.0	84.6	2.0
Mica (%)	18.9	30.0	3.3	6.7	15.6	6.7	10.6	0	0
Amphibole (%)	3.9	6.7	0	0	10.5	3.3	3.3	0	0

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &= K \cdot K_0^2 \sigma_{c0} (1 - C_r) \\ K &= \frac{1}{4} (K_1 + K_2 + K_3 + K_4) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $K_0$ =(石英+石基)含有量+0.5×硬質長石類含有量

$$K_1 = (\text{見掛け比重}) / 2.60$$

$$K_2 = 30.0 / (\text{ロサンゼルスすりへり減量})$$

$$K_3 = 2.00 / (\text{吸水率})$$

$$K_4 = (\text{ショア硬さ}) / 60.0$$

$\sigma_{c0}$ =無亀裂岩石の一軸圧縮強度

$C_r$ =岩盤の亀裂係数

その結果、現場 A, B, C, D, E, G および I は重摩耗域に属し、現場 F と H は軽摩耗域に属していることが判明した。

### 3. 金属材料特性

4種類のリップチップの母材金属、4種類の溶射金属および2種類の肉盛金属の材料特性を Table 2 に示した。それぞれの金属のピッカース硬さ  $H_v$ 、ロックウェル硬さ  $H_{RC}$  および化学成分を示すとともに対応する小型および大型リップチップの番号を併記した。

また、リップチップの母材金属については引張強度、絞り、伸びおよびシャルピー衝撃値をも示した。なお母材金属 a は Ni-Cr-Mo 鍛造品 STKS 2 で、金属 b と c は Si-Cr-Mo 鍛造品であり、金属 d は Si-Mn-Cr-Mo 鋳鋼品である。これらの金属組織はいずれも焼き戻しマルテンサイトである。表中、記号 R は発熱による焼き戻し軟化抵抗であり、薩摩林らの研究<sup>2)</sup>に基づいて次式のように新しく定義したものである<sup>4)</sup>。

$$R = \frac{1}{4} \left( \frac{C}{0.31} + \frac{Si}{1.75} + \frac{Cr}{4.00} + \frac{Mo}{1.00} \right) \dots\dots\dots (2)$$

リップチップの母材金属については、この発熱による焼き戻し軟化抵抗 R はその金属の強靱性と焼き戻し軟化抵抗とともに増大させるために  $R=1.00$  近傍が最適である。しかし、溶着金属については、R 値は高い値ほど焼き戻し軟化抵抗を増大させることができる。なぜなら、Si はマルテンサイトの分解を高温側へ移動させ、他の元素は高温での炭化物反応によって焼き戻し軟化抵抗を付与しているからである。

溶射金属 e, f, g および h は、けい素とほう素を溶剤として加えたニッケルクロム自溶合金粉末をガス熱源で溶融させサーモスプレイによって母材面に噴射衝突させて皮膜層を形成し、さらにフェーシングによって再溶融処理したものである。母材金属との強固な結合により耐摩耗性と耐衝撃性に富んだ硬度の高い表面被膜を形成している。

肉盛金属 i, j は肉盛被覆アーク溶接により母材金属

と溶融結合させ、密度の高い厚い被膜を形成している。金属 i は複合カーバイド系、金属 j はクロム炭化物系であるが、いずれも高クロム鉄合金である。その組織はマルテンサイトまたはオーステナイト地にクロム炭化物などの分布したものであり、耐摩耗性に優れている。

#### (1) リップチップ母材金属の耐摩耗性

すでに報告した高面圧下における室内摩耗試験機<sup>5)</sup>を用いて、種々の岩石試料に対するリップチップ母材金属の摩耗特性について乾燥・水浸状態において試験を行った<sup>6)</sup>。摺動速度はリッピング作業時の走行速度を参考にして約 140 cm/s (5 km/h) とし、接触面圧は最高 40 MPa まで実験を行った。その結果、母材金属 a, b, c および d の金属摩耗量は砂岩の乾燥で最も少なく、安山岩の乾燥、砂岩の水浸、花崗岩の水浸、安山岩の水浸および花崗岩の乾燥の順に増大するが、それぞれの摩耗条件における金属材料間の摩耗量の差異は比較的少ないことが判明した。すなわち、岩石に対する金属の摩耗量を支配する要因は、その岩石の被削性<sup>7)</sup>、摺動面の表面あらさ、金属の摩耗抵抗値および摩耗粉の有無とその材質等であり、乾燥状態においては岩石の摩耗粉が金属の摩耗量を大きく支配していた。また、岩石・金属の種類、乾燥・水浸状態いずれの場合も、金属の摩耗量は接触面圧の指数関数で与えられた。さらに、接触面圧 10 MPa 近傍で金属の接触面は赤熱融解し、それ以上の接触面圧においては溶融摩耗を引き起こし摩耗量が急増することが明らかとなり、リップチップ母材金属の摩耗に対する降伏圧力が 10 MPa 近傍に存在することが判明した。

#### (2) 溶着金属の耐摩耗性

前述した室内摩耗試験機を使用して、同様な試験方法で溶射金属、肉盛金属と安山岩<sup>8)</sup>、花崗岩<sup>9)</sup>および砂岩<sup>10)</sup>についてひっかけ摩耗試験を実施した。その結果、溶着金属の摩耗量は乾燥状態の方が水浸状態と比較して増大しており、摩耗量と接触面圧との関係は指数関数で与えられた。接触面圧 40 MPa の範囲内では多くの溶射金属ではひっかけ摩耗が卓越しており溶融摩耗を引き起こすことはなく摩耗に対する降伏圧力はかなり高いものと推定される。低面圧下においては、リップチップ母材金属と溶着金属の摩耗量には大差はないが、高面圧下では溶着金属の摩耗量は母材金属の摩耗量の 10 数分の 1 となり優れた耐摩耗性を発揮していた。硬度の高いタングステンカーバイド粒子を含有する溶射金属 h は低面圧下においては耐摩耗性を発揮するが、高面圧下では遊離した硬いタングステンカーバイドの摩耗粉のために摩耗量は急増していた。また、複合カーバイド系肉盛金属 i が溶着金属の中で最も優れた耐摩耗性を示した。これは金属の初期硬さと焼き戻し軟化抵抗が最も高いこと、およびバナジウム、ニオブウムおよびタングステンの炭

Table 2 Metal Properties of Rippertip and the Hardfacings.

Metal		Parent Metal of Rippertip				Thermal Spraying Metal				Welding Metal	
Metal		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
H <sub>v</sub>	kgf/mm <sup>2</sup>	458	429	502	480	657	645	663	677	880	737
	MPa	4488	4204	4920	4704	6439	6321	6497	6635	8624	7223
H <sub>R</sub> C		46.0	43.5	49.3	48.0	58.3	57.7	58.6	59.2	66.4	61.7
Tensile Strength (MPa)		1723	1682	1707	1385	—	—	—	—	—	—
Contraction of Area (%)		43.9	49.0	33.7	6.5	—	—	—	—	—	—
Elongation (%)		10.8	10.4	10.2	2.2	—	—	—	—	—	—
Charpy Impact Value (Nm/cm <sup>2</sup> )		26.1	29.7	11.5	15.2	—	—	—	—	—	—
Chemical Composition (%)	Cr	0.5	0.5	2.9	1.9	17.0	14.0	16.0	11.0	21.0	33.0
	Si	0.3	1.8	1.7	1.8	4.0	4.5	4.0	2.5	0	0
	Fe	97.2	96.6	93.5	94.6	4.0	4.5	4.0	2.5	45.5	62.0
	C	0.3	0.3	0.3	0.3	1.0	0.6	0.5	0.5	5.5	5.0
	Ni	0.7	0	0	0	70.5	73.4	64.3	46.0	0	0
	Mn	0.8	0.7	0.4	1.0	0	0	0	0	0	0
	B	0	0	0	0	3.5	3.0	4.0	2.5	0	0
	V	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0
	W	0	0	0	0	0	0	2.4	0	8.0	0
	Nb	0	0	0.1	0	0	0	0	0	9.0	0
	Mo	0.2	0.1	1.0	0.4	0	0	2.4	0	10.0	0
	Cu	0	0	0	0	0	0	2.4	0	0	0
	WC-8Ni	0	0	0	0	0	0	0	35.0	0	0
	P	0.01	0.01	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0
S	0.01	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0	0	0	
R *		0.37	0.56	0.93	0.69	2.44	2.00	2.57	1.48	8.25	6.09
Small Tip No.		1	2	3	4	5			6	7	
Giant Tip No.				I		II	III	IV	V	VI	

\* Softening Resistance at Tempering

化物粒子の硬さおよび溶融点が十分に高いことに起因するものである。このように、鋳鍛造鋼と比較して溶着金属の耐摩耗性はかなり優れており、母材金属に対するハードフェーシング効果は十分に期待できる。

#### 4. 現地摩耗試験

##### (1) 小型チップ

小型リップチップの初期重量は130~160 N (質量13.3~16.3 kg) であり、長さ375 mm、先端幅88 mmで初期刃先角は約18°である。チップNo.1~No.4は、それぞれ異なる母材金属を有する純正部品であり、チッ

プNo.5~No.7は純正部品No.1を母材金属としてチップ表面を溶着金属によってハードフェーシングしたものである。また、チップNo.5とNo.6はそれぞれ溶射金属eとhをチップ全周面にわたってハードフェーシングしたものであり、その溶射被膜の厚さは約1 mmである。なお、チップNo.7はチップ先端摩耗の激しい逃げ面、側面およびエッジ部分のみに肉盛金属を溶接したものである。肉盛厚さは全体で約8 mmであり、下盛に金属jを上盛に金属iに使用した。

現地試験に際しては、これらの小型チップを自重約440 kNのブルドーザのリップシャック先端に装着し、

掘削深さを 50 cm と設定してリッピング作業を行った。リッパチップに作用する掘削力の大きさと方向についてはシャंक上部に貼り付けたひずみゲージを通して作用する軸圧縮力とモーメントを計測する方法<sup>11)</sup>により現場 F において実測した。Fig. 1 は、リッパチップに作用する水平力  $P_H$  と鉛直力  $P_V$  の関係を黒丸で示し、その変動範囲を外枠で表示したものである。その結果、掘削力は  $P_H$  と  $P_V$  の合力で示され、ブルドーザの走行に伴ってその大きさおよび方向はかなり激しく変動しており、掘削力の大きさ  $P$  は  $173.3 \pm 56.5$  kN で、その方向  $\theta$  は鉛直に向かって水平と  $67.7 \pm 31.8$  度傾斜していることが判明した。

次に、4 種類の純正チップの摩耗量と摩耗長を所定のリッピング作業時間ごとにシャंकより取りはずして計測した。ここで、摩耗長とはチップ先端部の摩耗した長さであり、チップ軸上に沿って計測した各チップ長を新品時の値から差し引いて算定するものである。Fig. 2 は、種々の現場で稼動した小型チップ No. 1~No. 4 の摩耗量とリッピング作業時間の関係であり、Fig. 3 はそれぞ

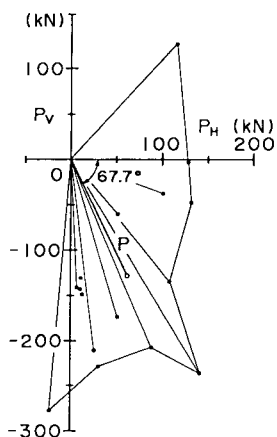


Fig. 1 Relations between horizontal force  $P_H$  and vertical force  $P_V$  acted on a small rippertip at site F. (Average resultant force  $P=173.3$  kN)

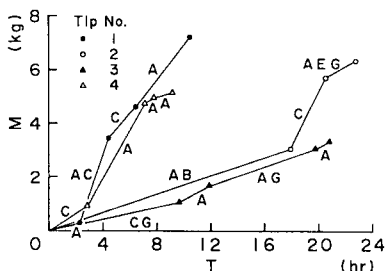


Fig. 2 Relations between wear amount of small tip  $M$  and ripping operation time  $T$ . (A, B, C, E and G means operation site respectively)

れの摩耗長とリッピング作業時間の関係を示したものである。図中の記号は稼動した現場名 A~G である。

また、小型チップ No. 5~No. 7 について 3 種類の溶着金属によるハードフェーシング効果を求めるために、現場 H において純正チップ No. 1 との比較試験を行った。その結果、Fig. 4 に示すように、溶射金属 e でハードフェーシングしたチップ No. 5 が最も優れた耐摩耗性を発揮した。また、この場合、肉盛金属よりも溶射金属の方がより高いハードフェーシング効果を示しているが、いずれにしても初期摩耗段階でのみ効果を発揮しているにすぎない。というのは、溶射金属は比較的溶射被膜が薄いためにエッジ部分から剥離現象を引き起こし母材金属が容易に露出するためである。一方、肉盛金属の場合は被膜厚さがかなり大きいので、摩耗量は溶射金属と比較してわずかに多いがチップのエッジ部をかなり長時間にわたって保護することができ、セルフシャープ性の維持によって掘削性能を高くしている。普通のチップでは衝撃摩耗によって先端部が丸味を帯びて摩耗していくのに対し、発熱に対して硬度低下を引き起こさない肉盛金属をチップ先端に溶接した場合や他の特殊合金鋼で構成されたチップでは先端部での摩耗による形状変化は少ない。ここで、セルフシャープ性とは、摩耗の進行に伴って先端部の形状がとがったまま掘削性能が低下しない状態を意味しており、チップの摩耗量の増加に対する摩耗長の進行割合が相対的に小さいことで判断される。

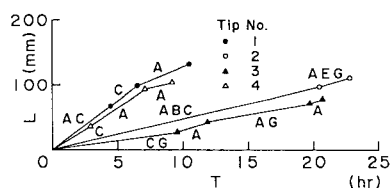


Fig. 3 Relations between wear length of small tip  $L$  and ripping operation time  $T$ . (A, B, C, E and G means operation site respectively)

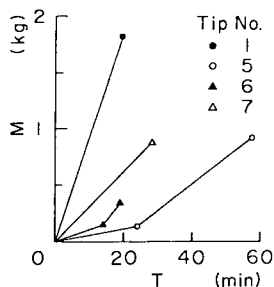


Fig. 4 Relations between wear amount of small tip  $M$  and ripping operation time  $T$  measured at operation site H.

すでに M. A. Moore<sup>12)</sup>は、数多くの溶着金属で表面処理した農業機械用掘削刃の摩耗試験として、フリントとの接触面圧を  $0.97 \text{ MN/m}^2$  とした室内試験および玉石まじり砂礫地盤での野外試験を実施しており、タングステンカーバイド複合物の耐摩耗性が優れていることを報告した。これは、現場 H で実施した本実験とは異なった傾向を示した。すなわち、現場 H の摩耗に対する岩盤強度指数は  $0.04 \text{ MPa}$  ときわめて低い軽摩耗域に属するとはいえ、軟岩掘削時の接触面圧は砂礫地盤と比較してかなり高面圧にあるものと考えられるからである。

## (2) 大型チップ

大型リッパチップの初期重量は  $265 \sim 294 \text{ N}$  (質量  $27 \sim 30 \text{ kg}$ ) であり、長さ  $460 \text{ mm}$ 、先端幅  $80 \text{ mm}$  で初期刃先角は約  $24^\circ$  である。チップ No. I は純正部品であり、これを母材金属として溶射被覆を行ったのがチップ II ~ V で肉盛被覆したのがチップ VI である。表面処理工程は小型チップと同様である。なお、チップ VI は Photo 1 に示すように、リッパチップ先端の逃げ面、側面およびエッジ部分を約  $220 \text{ cm}^2$  にわたって肉盛溶接した。

現地試験に際しては、これらの大型チップを自重約  $745 \text{ kN}$  のブルドーザのリッパシャック先端に装着した。各現場においては、掘削深さを  $55 \text{ cm}$  と設定してリッピング作業を実施した。Fig. 5 は、現場 E において実測した掘削力の大きさと方向を前述と同様な方法で示したものである。掘削力の方向の変動は比較的少ない。その

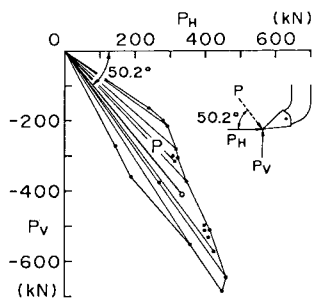


Fig. 5 Relations between horizontal force  $P_H$  and vertical force  $P_V$  acted on a giant rippertip at site E. (Average resultant force  $P=531.0 \text{ kN}$ )

結果、掘削力  $P$  の大きさは  $531.0 \pm 131.5 \text{ kN}$  で、その方向  $\theta$  は鉛直下方に向かって水平と  $50.2 \pm 8.1$  度傾斜していることが判明した。

Fig. 6 は、各作業現場で稼動した 6 種類のチップの摩耗量とリッピング作業時間の関係である。純正のチップ No. I と肉盛金属を溶接したチップ No. VI は、溶射金属で表面処理したチップ No. II ~ No. V と比較して優れた耐摩耗性を示している。Fig. 7 はチップの摩耗長とリッピング作業時間の関係である。初期摩耗域においては肉盛金属を溶接したチップ No. VI の摩耗長が最も小さく、ついで溶射金属で被覆したチップ No. III の摩耗長が純正チップ No. I より小さいので両者とも優れたセルフシャープ性を発揮していることが判明した。

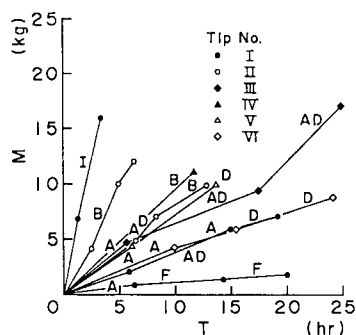


Fig. 6 Relations between wear amount of giant tip  $M$  and ripping operation time  $T$ . (A, B, D, F and I means operation site respectively)

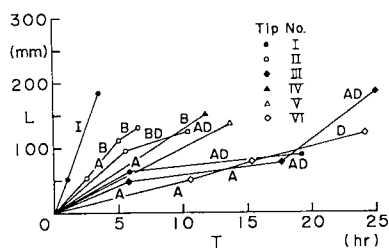


Fig. 7 Relations between wear length of giant tip  $L$  and ripping operation time  $T$ . (A, B, D and I means operation site respectively)

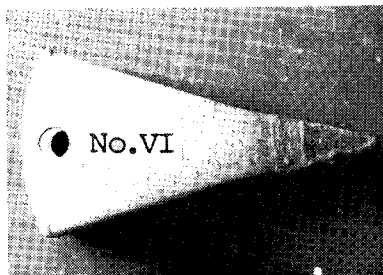
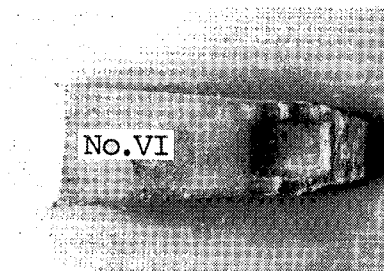


Photo 1 Welded point of giant tip No. VI.

5. 考 察

(1) 摩耗寿命

従来、小型チップの摩耗寿命を推定するために次式で示す標準リップチップ<sup>4)</sup>の摩耗寿命  $T_c$  と摩耗に対する岩盤強度指数  $\sigma_c$  との関係式<sup>13),14)</sup>がよく利用されている。

軽摩耗域 ( $\sigma_c \leq 4.21$  MPa)  
 $T_c = 1.90 \times 10^2 \sigma_c^{-0.33}$  ..... (3)  
 重摩耗域 ( $\sigma_c > 4.21$  MPa)  
 $T_c = 2.15 \times 10^3 \sigma_c^{-2.03}$  ..... (4)

Fig. 8はこの関係式を図示したものであり、図中棒線で示したのは母材金属の異なる他の小型チップについて実施した摩耗試験の結果<sup>4)</sup>である。また、本実験で使用した4種類の小型チップに対する実測値を同図にプロットした。チップの金属材質が摩耗寿命に与える影響は、標準リップチップに対する図中の実線からの偏差量で示されるので、両対数軸上に表示された同図より明らかに、重摩耗域において  $\sigma_c$  が増大するほど小さくなるが軽摩耗域においては  $\sigma_c$  が減少するほど大きくなっている。したがって、軽摩耗域においては母材金属の表面硬さが高いほど耐摩耗性を向上させるのに役立つと考えられる。しかし、現場Hでのハードフェーシングしたりッパチップに対する試験結果からも明らかなように必ずしも表面硬さだけで評価することはできない。

次に、大型チップの限界摩耗重量を156.8 N (質量16.0 kg)として摩耗寿命  $T_c$  を算定し、摩耗に対する岩盤強度指数  $\sigma_c$  との関係性を求め Fig. 9に示した。ここで、純正部品である大型チップNo. Iを標準チップに指定して両者の関係を求めると

$T_c = 2.90 \times 10^3 \sigma_c^{-2.03}$  ..... (5)

なる関係式を得た。

なお、大型チップは主として重摩耗域において使用さ

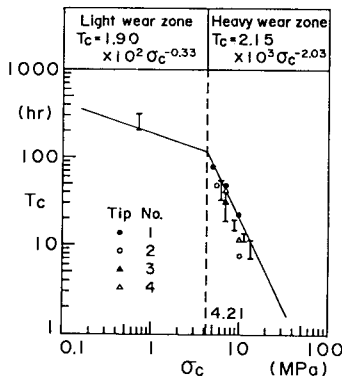


Fig. 8 Relation between wear life of standard small rippertip  $T_c$  and index of rock mass strength for wear  $\sigma_c$  (critical amount of wear 68.6 N) and test results.

れているので、上式は  $\sigma_c$  が 4.21 MPa 以上において適用されるべきである。また、仮にリップチップの摩耗寿命がブルドーザの自重に比例して発生する最大掘削力と反比例の関係にあると考えたとしても、大型と小型の限界摩耗重量の差異を考慮すると上式は標準小型チップに対する関係式(4)とよく対応している。

掘削力の実測例よりリップチップ先端に作用する平均接触面圧を算定すると、先端面積 100 cm<sup>2</sup> の場合大型チップで 53.1 MPa、小型チップで 17.3 MPa となり、さらに、エッジ部においてはこれらの値の数倍の大きさの面圧が作用するものと考えられる。いずれにしてもチップ母材金属の摩耗に対する降伏応力約 10 MPa を超過しており、重摩耗域において母材金属が溶融摩耗を引き起こしていることは確かである。そのために、高面圧において溶融摩耗を引き起こしにくい溶着金属によってハードフェーシングすることは効果的であるといえる<sup>15)</sup>。大型チップの摩耗寿命を増大させるうえで肉盛金属は多少効果的(全周面溶接した場合はさらに効果的となると期待される)であるが、Fig. 9にみるように溶射金属ではほとんどその効果が認められなかった。これは、溶射金属で表面処理する工程で、母材金属を加熱によりかなり軟化させたことによる。一例として、現場Bに

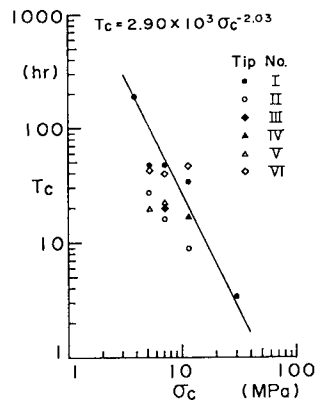


Fig. 9 Relation between wear life of standard giant rippertip  $T_c$  and index of rock mass strength for wear  $\sigma_c$  (critical amount of wear 156.8 N) and test results.

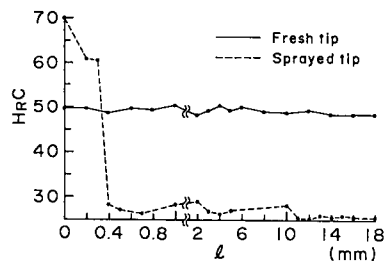


Fig. 10 Cross-sectional hardness  $H_{RC}$  and length  $l$  from worn surface of tip.

において摩耗試験を行った大型チップ No. II について、摩耗試験後のチップの断面硬度を実測し Fig. 10 に示すようなジョミニー曲線を得た。図中、実線はハードフェーシングを行っていない純正部品に対するものであり、点線は溶射したチップの断面硬度の変化を示している。

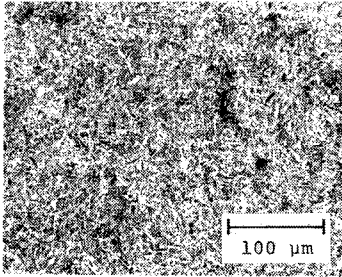


Photo 2 Metallic texture of parent metal of giant tip No. I.

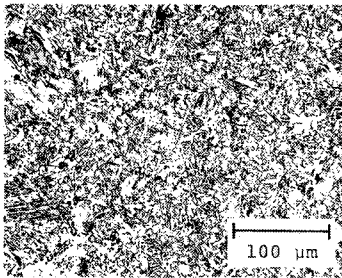


Photo 3 Metallic texture of parent metal of sprayed giant tip No. II.

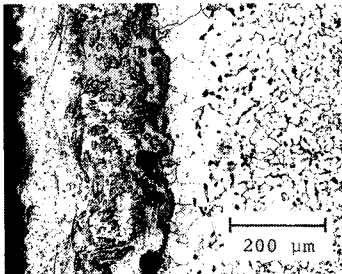


Photo 4 Metallic texture of boundary part of sprayed metal and parent metal of sprayed giant tip No. II.

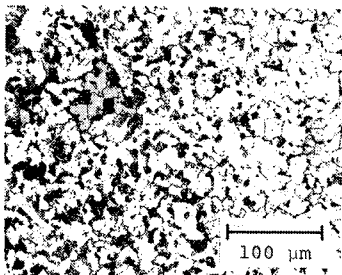


Photo 5 Metallic texture of parent metal near surface of sprayed giant tip No. II.

Photo 2 および 3 はそれぞれ純正品と溶射品のチップ中央部の断面であり、いずれも焼き戻しマルテンサイト組織を示している。また Photo 4 は溶射部と母材との境界部分であり、約 0.3 mm の溶射被膜が観察される。Photo 5 は溶射品の摩耗面から約 1 mm 程度の位置での断面写真であり焼き戻したときのフェライト・パーライト組織がみられる。このように、溶射工程において母材金属が焼き戻し軟化を受けたことは明らかであり、今後溶射工法の研究が必要とされる。

## (2) 掘削性

リップチップの掘削性は刃先角度によって左右されるので、摩耗によって初期刃先角度が増大するとチップ先端は丸くなって岩盤中への貫入が悪くなり使用不能となることが多い。そこで、刃先角度が摩耗の進行によってもあまり変化しないセルフシャープ性が要求される場所である。小型チップについては Fig. 3 に示したようにチップ No. 3 が、また、大型チップについては Fig. 7 に

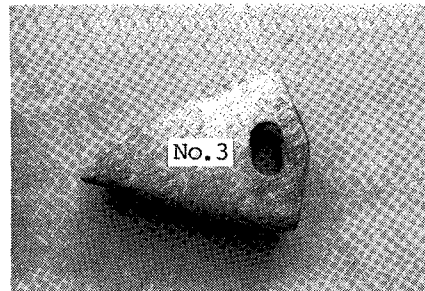
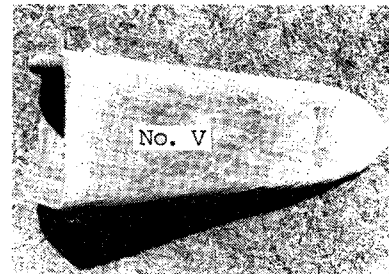
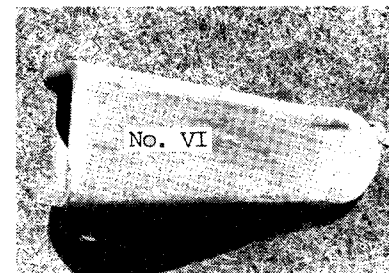


Photo 6 Worn shape of small tip No. 3.



(a) Sprayed Giant Tip No. V



(b) Welded Giant Tip No. VI

Photo 7 Initial worn shape at edge parts of giant rippertip.



示したように肉盛金属を溶接したチップ No. VI の摩耗長が最も小さく両者とも優れたセルフシャープ性を発揮していることが判明した。Photo 6 は小型チップ No. 3 の完摩時の側面形状であるが、先端は鋭くとがっており最後まで掘削性を維持していたことがわかる。また、Photo 7 (a), (b) は大型チップ No. V と No. VI の初期摩耗域における平面形状であるが、溶射金属で被覆したチップ No. V の刃先先端の両エッジ部分の摩耗が著しいのに対して肉盛金属でエッジ部を溶接したチップ No. VI の両端は健全であることがわかる。

さらに、小型チップではチップ No. 2, 大型チップでは溶射金属で被覆したチップ No. III の摩耗長がそれぞれの標準チップよりも小さく優れたセルフシャープ性を発揮していたことは明らかである。

## 6. 結 論

岩盤掘削刃の摩耗の実態について現地試験を行った結果、摩耗対策としては摩耗に対する岩盤強度指数を減少させるために予備発破工やハイドロブラスト工を併用すること、および掘削刃の金属材質をより高い硬度と靱性をもち高温に対して高い軟化抵抗を有する材料へと改良することが重要である。ここでは、掘削刃表面をハードフェーシングすることが摩耗対策上どこまで効果的であるかについて純正部品と比較した。以下に新しく得られた知見について列記する。

(1) 複合カーバイド系肉盛金属で表面処理したチップおよび純正部品である Si-Cr-Mo 鍛造鋼のチップは、溶射金属で表面処理したチップと比較して優れた耐摩耗性を示した。ここでは、肉盛金属をチップ先端部分のみに溶接させていたため、セルフシャープ性には効果があったがチップの摩耗量の減少にはその偉力を十分発揮し得なかった。しかし、肉盛金属の溶着面積を増大させることにより耐摩耗性の向上を十分期待することができる。

(2) 溶射金属は軽摩耗域において初期摩耗段階でのみ効果はみられるが、高面圧下においては摩耗量は逆に増大する結果となった。これは、溶射工程において母材金属がフェーシング時の加熱によって軟化したためである。また、溶射金属は低面圧下における土砂や砂礫の掘削刃には有用なハードフェーシング効果を発揮できる。

(3) 掘削性能を維持するためのセルフシャープ性については、肉盛金属で表面処理したチップが最も優れた効果を発揮した。また、溶射金属の中ではタングステンカーバイド複合物が母材金属と比較してより高いセルフシャープ性を示した。

謝 辞：現場摩耗試験を実施するに当たっては、日本建設機械化協会関西支部摩耗対策委員会委員ならびに愛媛大学元学生井尻博之氏・平川広海氏の多大なるご援助を賜りました、心よく現地をご提供下さった大本組(株)の諸氏に感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) Terai, K., Aoki, H. and Stanage, R. H. : New Design Concept for Komatsu D 455 A Bulldozer and the Actual Results, SAE Technical Paper Series, 790902, pp.1~12, 1979.
- 2) 薩摩林和美・渡辺敏美・池田 宏・田川富啓：耐摩耗鋼 SHSC-3 の開発, 小松技報, Vol.22, No.2, pp.18~27, 1976.
- 3) Hata, S., Muro, T. and Kaneko, Y. : Estimation of Life of Rippertip due to Wear, Proc. of J.S.C.E., No.268, pp.119~127, 1977.
- 4) 室 達朗：リッパーチップの金属材質と摩耗寿命, 愛媛大学紀要, 第三部工学, Vol.9, No.4, pp.399~410, 1981.
- 5) 室 達朗・榎 明深・亀岡 均：岩盤掘削刃の摩耗に及ぼす金属材料と雰囲気の影響, 愛媛大学工学部紀要, Vol.10, No.1, pp.281~293, 1982.
- 6) 室 達朗・榎 明深・亀岡 均：耐摩耗鋼の砂岩, 花崗岩に対する摩耗特性, 愛媛大学工学部紀要, Vol.10, No.2, pp.311~320, 1983.
- 7) Muro, T. : Characteristics of Shape Variation of Ripper-tip by Wear and Abrasiveness of Rock, Proc. of J.S.C.E., No.274, pp.119~130, 1978.
- 8) 室 達朗・井尻博之：溶着金属の安山岩に対する摩耗特性, 愛媛大学工学部紀要, Vol.10, No.4, pp.383~390, 1985.
- 9) Muro, T. : Abrasive Wear Resistance of Surface Coatings on an Excavating Tip Against Rock Mass, J. of Terramechanics, 投稿中.
- 10) 室 達朗・井尻博之・平川広海：肉盛・溶射金属の砂岩に対する摩耗特性, 昭和59年度建設機械と施工法シンポジウム論文集, 日本建設機械化協会, pp.71~74, 1984.
- 11) 室 達朗：土工とロボット化——ブルドーザ作業のロボットによる管理システム——, 土と基礎, Vol.32, No.1, pp.35~41, 1984.
- 12) Moore, M. A. : The Abrasive Wear Resistance of Surface Coatings, J. Agric. Engng., Res., Vol.20, pp.167~179, 1975.
- 13) Hata, S. and Muro, T. : Relation between Wear Life of Rippertip and Rock Mass Properties, Proc. of the 6th Int. Conf., ISTVS, pp.951~981, 1978.
- 14) 室 達朗：岩盤掘削刃の摩耗寿命予測, 愛媛大学紀要, 第三部工学, Vol.9, No.3, pp.335~348, 1980.
- 15) 伊藤祐光：摩耗とハードフェーシング, 産報, pp.107~183, 1966.

(1984.11.21・受付)