

17. ドリルビット用超硬合金の 岩石に対する摩耗特性

愛媛大学：室 達朗・河原莊一郎・*渡辺 公浩

1. まえがき 従来、岩盤の爆破用穿孔やトンネル掘削のNATM工法におけるロックボルト穿孔のための穿孔機械として、回転式穿孔機および回転打撃式穿孔機が使用されてきているが、こうした中で、これら穿孔機用ドリルビットの摩耗が穿孔速度及び交換経費等経済的な問題となってきた。ここでは、これら穿孔機用ドリルビットのチップ等硬岩の掘削工具に使用されている超硬合金（タングステンカーバイド）の岩石に対するひっかけ摩耗特性について自作した摩耗試験機を用い、金属の摩耗量と接触面圧の関係、摩耗量の急増する遷移接触面圧の確認、摩耗量に与える乾燥及び水浸状態からなる雰囲気の影響及び接触点の発熱温度の摩耗量に与える影響等について明らかにした。また、他の耐摩耗鋼や肉盛・溶射金属との摩耗特性についての比較も行った。

2. 金属及び岩石供試体 ドリルビットを始めアースオーガ用ビットやカッタービット等に使用されている超硬合金（タングステンカーバイド）について試験を行った。金属供試体の寸法は、直径7.35mm、長さ40mmである。その化学組成は、W（88%）、Co（12%）であり、硬度（HRA）88～90.5、抗折力280kgf/mm²及び圧縮強度480kgf/mm²である。岩石供試体には、愛媛県内より採取した安山岩、砂岩及び花崗岩を使用した。その岩石物性を、表1に示す。安山岩は高被削性岩石、砂岩及び花崗岩は低被削性岩石に分類される。

3. 摩耗試験法 図1は前報¹⁾に詳細な説明がなされた室内摩耗試験機であり、今回もこの装置を使用した。まず回転テーブル上に岩石供試体を設置し、アームに固定した金属供試体を上方のエアシリンダーによる35～600kgf/cm²の荷重のもと岩石上で半径8～14cmの円周上を摺動させる。乾燥・水浸状態の2つの状態を設定し、水浸状態としては、金属供試体と岩石供試体の接触部分に先端口径1.6mmのノズルで水道水を約30cm³/secの流量で噴射させて行った。摺動速度は、他の金属との

表1 岩石試験結果及び鉱物組成

		花崗岩	砂岩	安山岩
見かけ比重	比	2.45±0.01	2.71±0.01	2.48±0.02
真比重	比	2.74±0.05	2.72±0.01	2.60±0.04
自然含水率(%)	比	0.39±0.03	0.62±0.08	1.07±0.10
吸水率(%)	比	0.49±0.04	0.64±0.08	2.53±0.28
単軸圧縮強度(kgf/cm ²)		1670±45	2010±100	1862±249
ショア硬度		69.5±3.3	68.1±13.1	70.1±4.8
超音波伝播速度(m/sec)		3755±17	1837±211	4761±155
鉱物組成 (%)	石英	34	28	0
	斜長石	33	42	17
	カリウム長石	22	0	0
	黒雲母	10	0	0
	角閃	1	0	0
	基岩	0	18	77
	岩屑	0	12	0
	輝石	0	0	3
	沸石	0	0	3

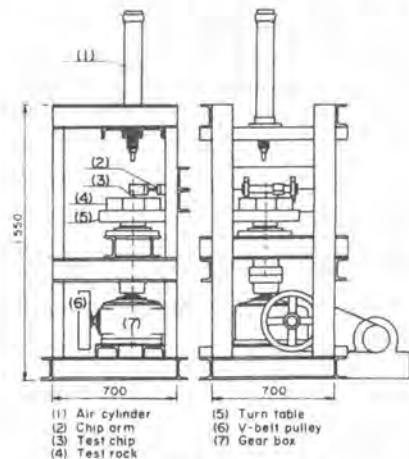


図1 室内摩耗試験機

比較のため前報と同様の5 km/hを使用した。接触面圧は、最大600kgf/cm²として、各段階における摩擦係数と金属の摩耗重量を測定した。また同時に放射温度計を使用して金属と岩石の接触点における温度の測定を行った。

4. 摩耗量と接触面圧 金属の摩耗量は金属供試体の単位滑動距離当り単位接触面積当りの摩耗量としてg/cm²なる単位で表示している。図2は、3種類の岩石に対する金属の乾燥状態における接触面圧と摩耗量の関係を示したものである。どの岩石に対するものも金属供試体の岩石との接触部分の接触面圧が、250kgf/cm²に達すると赤熱し始め、さらに約300kgf/cm²以上になると溶融し岩石に付着する。そのため、金属供試体の摩耗量は約300kgf/cm²を境に急増する。従って、タングスタンカーバイドの摩耗量の急増する遷移接触面圧は約300kgf/cm²ということになる。砂岩に対する摩耗量が最も大きく次いで花崗岩、安山岩となっている。他と比較して安山岩に対する摩耗量は非常に小さいことがわかる。図3に水浸状態におけるものを示す。摩耗量は、どの岩石に対するものも接触面圧の増大とともに直線的に増大し、遷移接触面圧以下では乾燥状態の約1/2に、それ以上では1/10程度まで減少していることがわかる。花崗岩に対する摩耗量が最も大きく砂岩に対するものがその1/2程度であり、安山岩に対するものは接触面圧約360kgf/cm²でピークに達しそれ以上では減少している。これは、安山岩が高被削性岩石であることに起因すると考えられる²⁾。つきに、接触面圧P(kgf/cm²)と摩耗量M(g/cm²)の関係を表すと、次のような実験式が得られた。これらの間には非常に高い相関がある。

安山岩 (乾燥状態)

$$0 \leq P \leq 324 \text{ kgf/cm}^2 \quad M = 2.76 \times 10^{-9} P^{1.23} \quad (r = 0.97) \quad (1)$$

$$324 \text{ kgf/cm}^2 \leq P \quad M = 3.07 \times 10^{-22} P^{6.89} \quad (r = 0.99) \quad (2)$$

(水浸状態)

$$0 \leq P \leq 359 \text{ kgf/cm}^2 \quad M = 2.64 \times 10^{-18} P^{1.48} \quad (r = 0.99) \quad (3)$$

$$359 \text{ kgf/cm}^2 \leq P \quad M = 8.90 \times 10^{-3} P^{-1.55} \quad (r = 0.99) \quad (4)$$

砂岩 (乾燥状態)

$$0 \leq P \leq 319 \text{ kgf/cm}^2 \quad M = 1.80 \times 10^{-8} P^{1.22} \quad (r = 0.96) \quad (5)$$

$$319 \text{ kgf/cm}^2 \leq P \quad M = 7.94 \times 10^{-28} P^{5.75} \quad (r = 1.00) \quad (6)$$

(水浸状態)

$$0 \leq P \quad M = 4.03 \times 10^{-11} P^{2.84} \quad (r = 0.97) \quad (7)$$

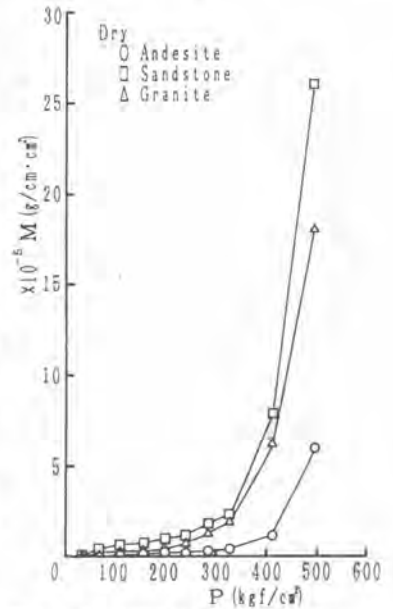


図2 種々の岩石に対する摩耗量Mと接触面圧Pの関係(乾燥状態)

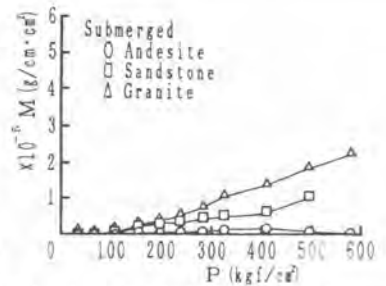


図3 種々の岩石に対する摩耗量Mと接触面圧Pの関係(水浸状態)

花崗岩（乾燥状態）

$$0 \leq P \leq 298 \text{ kgf/cm}^2 \quad M = 2.32 \times 10^{-9} P^{1.49} \quad (r = 0.97) \quad (8)$$

$$298 \text{ kgf/cm}^2 \leq P \quad M = 5.23 \times 10^{-10} P^{5.29} \quad (r = 1.00) \quad (9)$$

（水浸状態）

$$0 \leq P \quad M = 4.01 \times 10^{-11} P^{2.12} \quad (r = 0.99) \quad (10)$$

一般に使用されているドリルビットは図4に示す口径65～75mmφのクロスビット及びボタンビットが主流である。穿孔機の押付力を実測平均値の800kgf³⁾とし、新品時におけるビットと岩石の接触面積をクロスビットの場合 $S_c = 2\text{mm} \times 20\text{mm} \times 4 = 1.6\text{cm}^2$ 、ボタンビットの場合 $S_b = 2.5\text{mm} \times 2.5\text{mm} \times \pi \times 11 = 2.2\text{cm}^2$ と仮定すると接触面圧は、それぞれ500kgf/cm²、370kgf/cm²になる。また、これはビットの使用が進むに従い接触面積は増大し接触面圧は減少すると予想される。これより、多くの場合遷移接触面圧以上でドリルビットは使用されていることがわかる。また、新品時のビットの摩耗速度が大きく使用が進むに従い摩耗速度は減少する。クロスビットとボタンビットでは前者の方が摩耗速度が大きい。使用がかなり進んだ時点で押付力を増大させて使用しても摩耗はさほど大きくならないことなどが予測される。

5. 摩擦係数と接触面圧

図5、図6はそれぞれ乾燥・水浸状態における摩擦係数と接触面圧の関係について表したものである。接触面圧が増大するにしたがい摩擦係数は減少し高面圧下では0.2前後で安定している。低面圧下では岩種による差は殆どないが高面圧下では安山岩に対するものが少し大きな値を取っている。これは、安山岩が高被削性の岩石であることによると考えられる。水浸状態の場合、接触面圧100kgf/cm²前後で1つのピークがあり接触面圧の増大とともに摩擦係数は減少し、これも約0.2で安定しそうである。全体的に水浸状態の方が乾燥状態よりも大きな摩擦係数を示す。これは、乾燥状態の場合、金属や岩石の摩耗粉が両供試体間に入り込みそれらが転がるか目詰まりし岩石面を滑らかにすることにより摩擦係数を小さくしているのに対し、水浸状態の場合、噴流水により摩耗粉が洗い流され金属が常に新しい岩石面と接するためと考えられる。

6. 摩耗量と接触点温度

測温範囲600～3000℃の放射温度計を使用し、摩耗試験中の各接触面圧における岩石と金属供試体間の接触点温度を測定した。乾燥状態における結果を図7に示す。水浸状態に対するものは接触面圧500kgf/cm²においても、600℃以下であるため測定不可能であった。接触面圧の増大にともない接触点温度は緩やかに増大する。岩石による差は殆どない。遷移接触面圧の300kgf/cm²での接触点温度は約950℃であるがC₀及び

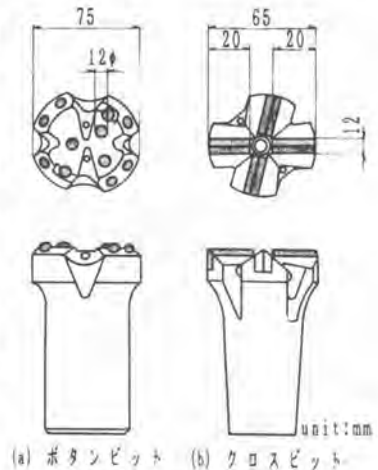


図4 ドリルビット



図5 種々の岩石に対する摩擦係数μと接触面圧Pの関係（乾燥状態）

Wの融点がそれぞれ1494℃, 3387℃であることにより測定箇所の
 真実接触面における温度はそれ以上であり, 溶融が生じているも
 のと考えられる。

7. 他の耐摩耗鋼との比較

他の耐摩耗金属として鍛造鋼, 鑄造鋼⁴⁾, 肉盛金属, 溶射金属¹⁾をあげ, タングスタンカーバイドとそれらの摩耗量, 遷移接触面圧及び摩擦係数について比較した。接触面圧200kgf/cm²における各金属の摩耗量を表2に示す。但し, ()内の数字は乾燥状態における安山岩に対するタングスタンカーバイドの摩耗量を1とした場合の倍数である。水浸状態におけるタングスタンカーバイドの耐摩耗性が最も優れており, 次いで肉盛金属, 溶射金属の順である。岩石別にみると花崗岩に対する摩耗量が最も大きい, これは, 花崗岩の石英類含有量の多さによるものと考えられる。遷移接触面圧を比較すると, 鍛造鋼・鑄造鋼は75~150kgf/cm², 肉盛金属は100~200kgf/cm²及び溶射金属は60~120kgf/cm²であることより, タングスタンカーバイドの高面圧下における耐摩耗性の優れた点が伺える。摩擦係数については, 他の金属は乾燥状態において平均0.43±0.10, 水浸状態において0.50±0.15で安定する。これもタングスタンカーバイドと比べ大きな値となっている。金属の硬さによると考えられる。

8. 結論

今回用いた超硬合金(タングスタンカーバイド)は, 乾燥状態の接触面圧約300kgf/cm²以下において優れた耐摩耗性を示した。しかし, それ以上の高面圧下においてはタングスタンカーバイド粒子の溶融による岩石への付着のため摩耗量は急増する。また, 水浸状態においては, 乾燥状態の1/10程度に摩耗量を抑えることが可能である。他の耐摩耗金属との比較においては, 特に高面圧下並びに水浸状態下においてその耐摩耗性が優れていることが判明した。

参考文献

- 1)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, 建設機械と施工法シンポジウム論文集, pp.71-74, 1984.
- 2)Tatsuro Muro: CHARACTERISTICS OF SHAPE VARIATION OF RIPPERTIP BY WEAR AND ABRASIVENESS OF ROCK, PROC. OF JSCE, No. 274, PP. 119-130, 1978.
- 3)室 達朗, 深川良一, 渡邊公浩: 打撃式ドリルの穿孔速度と岩盤特性, 愛媛大学工学部紀要, 第11巻第2号, pp.381-392, 1987.
- 4) 高 昭治郎: 建設機械学, 鹿島出版会, PP. 102-113, 1987.



図6 種々の岩石に対する摩擦係数μと接触面圧Pの関係(水浸状態)

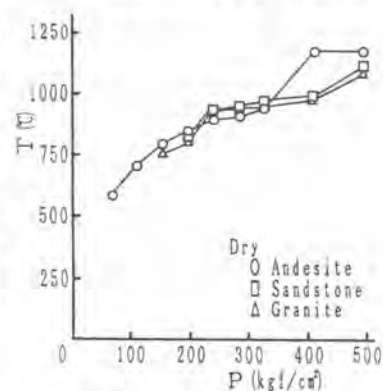


図7 種々の岩石に対する接触点温度Tと接触面圧Pの関係(乾燥状態)

表2 他の耐摩耗金属との摩耗量の比較

(単位: ×10⁻⁶g/cm²・cm)

	安山岩	砂岩	花崗岩	
乾燥状態	タングスタンカーバイド	0.16 (1)	1.00 (6)	0.45 (3)
	鍛造鋼	10.7 (67)	10.3 (64)	17.2 (108)
	鑄造鋼	9.89 (62)	11.3 (71)	19.6 (123)
	肉盛金属	4.29 (27)	0.91 (6)	1.85 (12)
	溶射金属	3.30 (21)	1.71 (11)	2.73 (17)
水浸状態	タングスタンカーバイド	0.04 (0.2)	0.33 (2)	0.37 (2)
	鍛造鋼	21.1 (132)	14.8 (93)	13.6 (85)
	鑄造鋼	32.9 (206)	12.8 (80)	12.8 (80)
	肉盛金属	0.74 (5)	0.76 (5)	0.67 (4)
	溶射金属	1.65 (10)	1.68 (11)	2.25 (14)

※ ()内の数字は乾燥状態における安山岩に対するタングスタンカーバイドの摩耗量を1とした場合の倍数