

19. シールド掘進機用鑄ぐるみビットの開発

日立造船(株)：*桑原 努・浅田 健次
 (株)栗本鉄工所：藤沢 義之

1. ま え が き

シールド掘進機の需要は年々増加し、その使用条件も厳しくなる傾向にある。通常、シールド掘進機の掘削距離は1km未満で、その間カッタビットは交換なしに使用するものの、土質の状況によっては数回の交換を余儀なくされている。今後、大深度・長距離対応シールドにおいてはビット交換なしで、いかに長距離を掘進できるかが重要な課題である。カッタビットの掘進摺動距離が数百kmにおよぶ状況下で砂や砂礫等の混在した土質を掘進するには、ビット形状もさることながら硬さならびに靱性の高い材料が必要となる。このため、ビット材料は先端のチップに超硬合金が、チップを保持するシャンク(台金)は高硬度を有する各種硬化肉盛を施した材料が使用されている。そこで、土質の状況によりチップ材料の選定を行うとともに硬化肉盛材料を含めたシャンク材料をいかにすべきかがビットの長寿命化の重要な要素となっている。

以上の背景から、従来ビットに比べて数倍の耐久性を有するカッタービットを開発中であり、その結果について報告する。

2. 実 験 方 法

2.1 掘削条件

実機摩耗テストを行った掘進場所の縦断面図(地層区分図)および掘進条件を図1および表1に示す。外径 3,080mmの泥しょうシールドは、発進立坑から図中左側へ 293m掘進(第1回掘進)後、再び発進立坑から右側へ 526m掘進(第2回掘進)した。土質はシルト~粘土(有機粘土)と砂礫からなり、第1回、第2回共に同様な条件である。シールドの平均掘進速度は42.4mm/minで、カッタ最外周部における第1回および第2回掘進時の摺動距離は70.3kmおよび134.2kmで計204.5kmである。

表1 掘削条件

	第1回掘削	第2回掘削	合計
回転速度, RPM	1.1	1.1	1.1
セグメント数(L=900mm)	325.0	584.0	909.0
掘削距離, m	292.5	525.6	818.1
平均掘削速度, mm/min	43.7	41.2	42.4
掘削時間, h	111.6	212.8	324.4
最外周部摺動距離, Km	70.3	134.2	204.5
最外周摺動速度, m/min	10.5	10.5	10.5

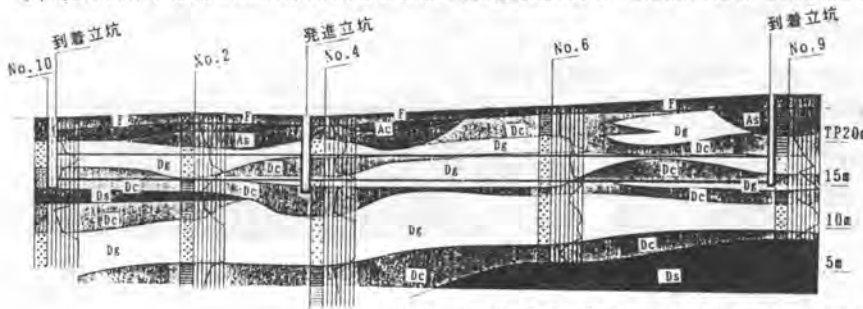


図1 掘進場所縦断面図(地層区分図)

2.2 試験ビットの種類

試験に供したビットの材料構成を表2に、化学組成と硬さを表3に示す。試験ビットはカッタビットとセンタービットの2種類で、前者の形状は先端部の幅80mm、後端部の幅65mm、長さ140mmで先端部の高さは50mm、後者の形状は $\phi 50 \times 50$ mmである。

表2 試験ビットの材料構成

材料名	記号	シャンク		チップ	備考	
		母材	肉盛			
カッタビット	鑄ぐるみ	UCX0	UCX	-	-	
	ビット	UCX1	UCX	E-5	-	
	従来ビット	BR-1W	SCM440	HF-800	E-5x1	1枚歯
		BR-2W	SCM440	HF-800	E-5x2	2枚歯
センタービット	90	SCM440	-	E-5	-	
	91	シリコロイA	-	E-5	-	
	92	SCM415	ステライト#6	E-5	-	
	93	SCM415	EV-2	E-5	-	
	H-1	HAP40	-	-	-	
	H-2	SKH51	-	-	-	

表3 供試材の化学組成と硬さ

材料名	化学組成 (%)										熱処理	硬さ		
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	Co	他	残		Hv	一般硬さ	
E-5	-	-	-	-	-	-	-	12.9	-	WC	-	1179	-	70
SCM440	0.4	0.3	0.7	-	1	0.25	-	-	-	Fe	QT	295	≥ 300	29.8
SCM415	0.15	0.3	0.7	-	1	0.25	-	-	-	Fe	QT	150	≥ 246	21.5
シリコロイA	0.02	4	4	4	12	0.3	-	-	Co=0.6	Fe	-	435	-	-
ステライト#6	1	1	-	-	28	-	4	-	-	Co	-	460	480	-
EV-2	-	-	-	-	15	-	5	5	Ti=2 Al=4	Ni	-	-	-	-
HAP40	1.3	0.3	-	-	4	5	6	8	V=3	Fe	QT	-	-	67
SKH51	0.8	0.3	0.3	-	4	5	6	-	V=2	Fe	QT	870	≥ 780	≥ 63
UCX母材	2.58	0.5	0.6	1.21	25.5	0.27	-	-	-	Fe	-	610	-	-
超硬	-	-	-	-	-	-	-	12.9	-	WC	-	1178	-	70

カッタビットは高Cr鋼鉄(UCX)を母材とし、耐摩耗性が要求されるビット表面に超硬粒子(E-5)を鑄ぐるんだ後、超硬チップ(E-5)をろう付けしたもの(記号:UCX1)および超硬チップのないもの(同:UCX0)の2種類(以降鑄ぐるみビットと呼称す)である。なお鑄ぐるみビットとの比較のため、Cr-Mo低合金鋼に硬化肉盛(HF-800)を施し、超硬チップ1個をろう付けした従来ビット(同:BR-1W)と2個付けたもの(同:BR-2W)を供試材とした。

一方、センタービットは材質の検討を行うため母材をCr-Mo低合金鋼(SCM440)としたもの(記号:90)と高Si-Cr鋼(シリコロイA)としたもの(同:91)、母材をCr-Mo低合金鋼(SCM415)とし、Co基硬化肉盛材(ステライト#6)で10mm肉盛したもの(同:92)、ステライト#6を2mmとし、その上に4mmのNi基硬化肉盛材(EV-2)を肉盛したもの(同:93)、母材を粉末ハイス(同:H-1)および溶製ハイスとしたもの(同:H-2)の計6種類である。なおH-1およびH-2は母材硬さが高いため超硬チップ(E-5)は取り付けなかった。

2.3 試験ビット取付要領

カッタの概略図ならびに試験ビット取付位置を図2に示す。鑄ぐるみビットは従来ビットの配置の中に中心から930mmおよび1,160mmの位置に取り付けた。比較材である従来ビットは鑄ぐるみビットと摩耗状況を合わせるため、鑄ぐるみビットの外周側および内周側の7個とした。一方、6種類のセンタービットはカッタの中心から740~1,340mmの範囲に取り付けた。

2.4 摩耗量の測定方法

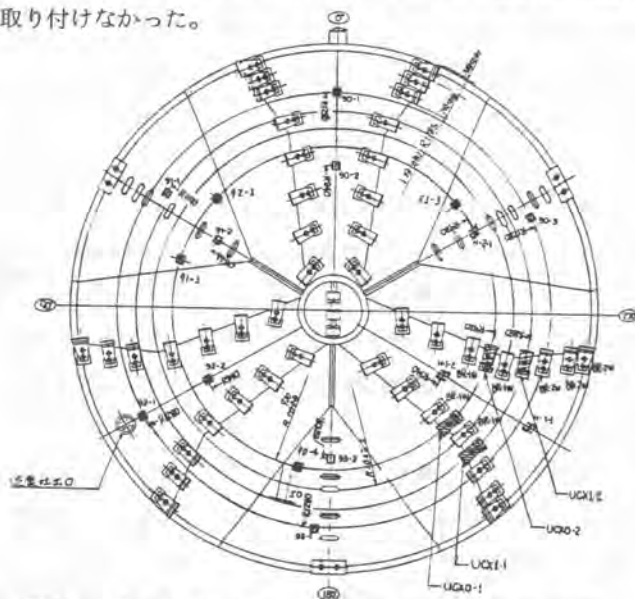


図2 カッタ概略および試験ビット取付位置

ビット後部の取付け台は摩耗が極めて少ないため、この位置を基準点とした測定ゲージを製作し、このゲージとビット表面の高さの差から第1回および第2回掘削後の摩耗量を算出した。さらに実機テスト後は各試験ビットを取り外し、三次元座標測定機（東京精密製、XYZAX:M-760）でビット表面の形状測定を行い、使用前の形状との差から摩耗量を算出した。

3. 実験結果および検討

3.1 鋳ぐるみビットの耐摩耗性

従来ビットおよび鋳ぐるみビットの実機テスト後の外観状況を図3に、摺動距離と母材の摩耗量との

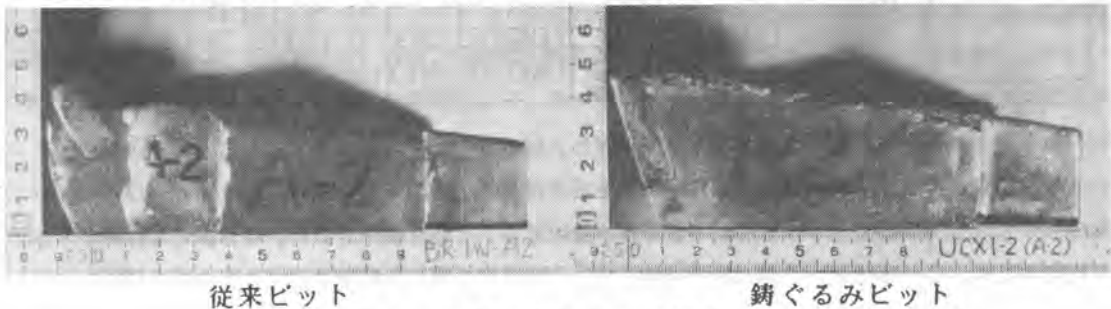


図3 実機テスト後の外観状況

関係を図4に示す。摺動距離の増加に伴って摩耗量は増加するが、炭化物生成元素が多く高Crによる微細な炭化物を母地とし、極めて硬度の高い超硬粒子を当母地で包含した構造を有する鋳ぐるみビットは従来ビットの4~5倍、超硬チップを付けないビットでも2倍以上の耐摩耗性を有する。

3.2 摩耗に及ぼす摺動距離の影響

センタービットについて摺動距離と母材およびチップの摩耗量との関係を図5に示す。チップ健全品、欠損品ともに摺動距離の増加に伴って摩耗量は増加する。土岩による摩耗形態は通常アブレイブ摩耗⁽¹⁾、実機テスト後の表面状態から、この分類中のえぐり摩耗（ガウジング摩耗）と低応力摩耗（スクラッチング摩耗）

とが単独もしくは複合して起こっているものと考えられる。しかもチップが一部分でも欠損すると母材

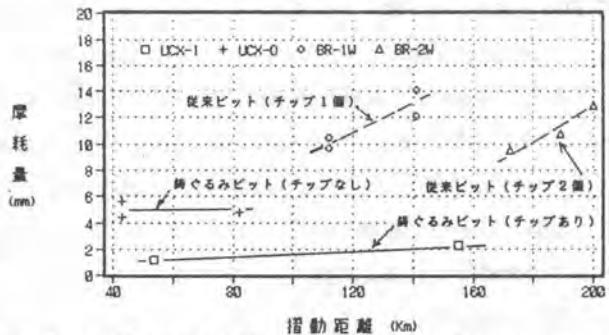


図4 摺動距離と母材摩耗量との関係:カッタービット

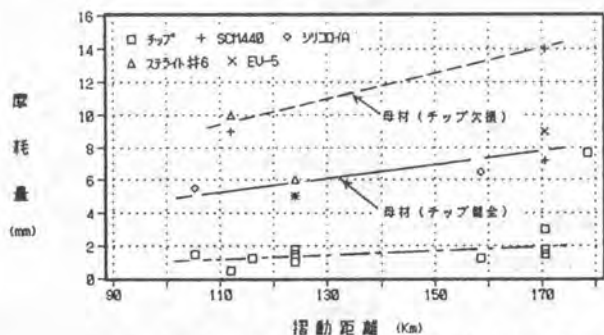


図5 摺動距離と摩耗量の関係:センタービット

の摩耗は2倍以上の速さで進行し、超硬チップの存在が母材の摩耗を著しく抑制していることが明らかである。なおチップは母材の1.4～4倍の硬さを有し摩耗量が極めて少ないが、母材同様摺動距離の増加に伴ってわずかながら増加している。

3.3 摩耗に及ぼす硬さの影響

センタービットの母材硬さと摩耗量の関係を図6に示す。図中Cr-Mo低合金鋼、高Si-Cr鋼、Co基およびNi基硬化肉盛材の順に硬さは高く、この硬さの増加に伴って摩耗量は減少している。通常、硬さと相対耐摩耗度(摩耗量)は比例する⁽²⁾が、アブレシブ摩耗の場合、材料の組織特に化合物の析出形態によって摩耗状況が異なる⁽³⁾ため、

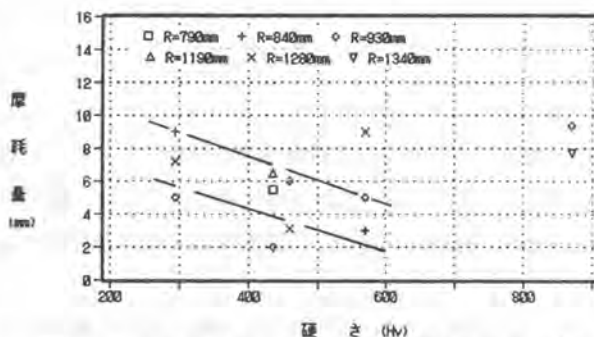


図6 母材硬さと摩耗量の関係:センタービット

帯状の範囲内での相関性を示している。図中Hv=570の×印は前述したようにCo基硬化肉盛材(2mm)の上にNi基の硬化肉盛(4mm)をしたものである。当材料の硬化肉盛層厚みが6mmであること、およびこれら境界層の強度が不連続であることから、初期状態では極めて高い耐摩耗性を有するものの、摺動距離の増加に伴って摩耗が順次進行したものと考えられ、実機テスト後の表面にも一部母材の露呈が認められる。一方、図中Hv=870の点は粉末および溶製ハイスの摩耗量を示すが、当材料は化合物生成元素が他の材料に比べて少なく熱処理によって母材硬度を高めているため、硬さは高いものの摩耗の進行が速くなっているものと考えられる。

4. まとめ

高硬度合金、硬化肉盛金属、粉末および溶製ハイス等の母材の材質検討のための材料ならびに母材の耐摩耗性向上のため超硬粒子を包含した鋳ぐるみビットを製作し、実機による摩耗テストを行った。その結果を要約すると次の通りである。

- (1) 開発した鋳ぐるみビットは従来ビットの4～5倍の耐摩耗性を有する。
- (2) ビットの摩耗はアブレシブ摩耗で、時間経過とともにほぼ直線的に進行するが、超硬チップの存在が母材の摩耗を著しく抑制する。
- (3) 母材の硬さと耐摩耗性は相関性を有するが、開発した鋳ぐるみビットが最も耐摩耗性に優れ、ついでステライト#6、シリコロイA、EV-2の順に従来材(SCM440)より良好になる。

参考文献

- (1) 日本学術振興会：鋳鉄の摩耗と材料特性、(1984)、P. 2
- (2) 佐藤健児：金属の魔耗とその対策、養賢堂、(1969)、P. 3
- (3) 山本雅彦 他：製鉄用耐摩耗材料の開発、製鉄研究、(1979)、No.298、P. 82