

耐摩耗用鉄鋼材料の硬度と耐アブレーション性

丹 羽 良 平*

Relation between Hardness and Abrasion Resistance of Wear Resistant Irons and steels

Ryohei Niwa

Wearing parts of crusher plants and mill etc. are consumed rapidly by severe scratching or gouging actions of mineral abrasives. Then the selection of suitable material for such wearing parts is the most important for the purpose of saving money and increasing of mechanical efficiency. In this paper relation between hardness and adrasion resistance of widely used principal wear resisant irons and steels are investigated. As in the case of field tests operating conditions were variable and it was difficult to compare the performance of each material, the results of laboratory tests under the constant conditions are reported in this paper. From these test results it was confirmed that if the materials were classified to the groups of micro-structures, the hardness and the abrasion resistance in each métalic structure were related nearly as a curved line.

1. 緒 言

製鉄・窯業・鉱山・建設・碎石等の各業界で広範囲に稼動する破砕機・粉碎機を始め、ブルドーザー、シュートライナー、ホッパー、サンドポンプ、ミキサーなど、一般に岩石・鉱物・土砂を処理する機械装置では、鉱粒による引掻摩耗やすりむき摩耗 (Abrasion) により消耗することが多く、摩耗速度が非常に大きいので、適切な耐摩耗材料の選定および改良は各ユーザーとも極めて重要な事項となっている。

今回はこの鉱粒による摩耗に対し広く使用されている鉄鋼材料の主要なもの、およびその改良材について、材料選定の最重要項目となっている硬度と耐アブレーション性の関係に問題をしばって考察することとした。

現場の実測値は貴重であるが、長期にわたる使用条件が変動しやすいため、各種の材質の耐摩耗性の比較測定が正確に得られないうらみが残ることが多い。

広範囲の各種の材料の耐摩耗性をつかむためには、なるべく同一の機械を用い、同一条件で測定

し、同時に取付けた基準材との比較摩耗量で扱わないと Data の收拾がつかないことはよく経験されている。

そこで筆者らはよりよい材質を開発する必要上から

鉱粒に対する湿式摩耗、 (Sand erosion)

珪石に対する乾式引掻摩耗、
(Sand abrasion)

岩石に対する衝撃摩耗、
(Rock impact abrasion)

に対する摩耗試験機を製作しかなりの精度 (再現性) になってきたので、これらに各種の鉄鋼材料 (鑄造材が多い) を選定して、同時に取付けた基準材 S S 41 との比較摩耗量 (摩耗比 Wear ratio) を測定した。

この中にはサンドポンプ材料やホッパーライナー用の硬質合金鑄鉄から、ジョークラッシャーの歯板やコーンクラッシャーのマントル・コンケーブなどに強じん性が必要なため今なお使用せざるを得ない高 Mn 鋼類、また走行建設機械やボール

* 鑄物事業部金属材料技術部

ミルのライナー、スクリーンプレートに高Mn鋼に代って多用されるようになった、焼入焼もどし調質して硬度を上げ強じん性もある程度保たせたLMn、LMn-Cr、LSi-Mn-Cr、LCr-Mo、LNi-Cr-Mo鋼などの低合金鋼、3Cr~13Cr-Mo鋼などの中~高合金鋼など、世間一般に使用される鉄鋼材料を広く試験し、またその改良材をも加え、耐摩耗性に対する熱処理条件の影響も概観した。

この測定を多年にわたり集積した結果、その耐摩耗性比 (Relative wear resistance) は実際の寿命比と比較的によく対応している経験を得ているのでここに報告する次第である。

2. 鉍粒に対する湿式摩耗試験

2.1 湿式摩耗試験機の構造

縦軸の周りに周速約 2 m/sec で回転する4本のアームにそれぞれ 25φ×40mm l の試料を取付け、うち1ケをSS41 (40φ丸棒より削出し) と

する。縦型タンクの上部斜めにじゃま板が4ケついでいてアーム回転にともない泥砂鉍粒がスムーズに盛上り移動する状況になっている。

鉍粒は普通 1~2 mm φ とし、水は腐食による Pitting Corrosion の生ずるのを防ぐため消石灰の水溶液の上澄みを鉍粒が水に浸る程度に加えた。摩耗は試料円筒の大体片面のみで生ずるので、この面積当りの摩耗量として算出するものとした。鉍粒は角が次第にとれるので1回毎に新しいものに取替えねばならない。

2.2 湿式攪摩耗試験機の精度

4本ともSS41を取付けアーム位置による摩耗量のバラつきを調べたものである。

この試験機ではシャフトのふれが少ないこととアームの長さおよび水平度が大切である。従ってアームは同一木型で1体鑄造し機械加工の精度に留意した。

以下にこの試験機による2、3の測定 data を述べる。

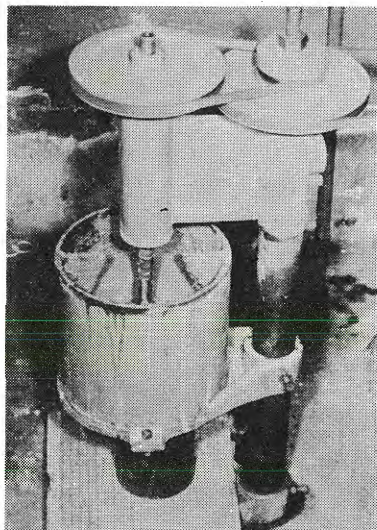


図 1 湿式攪拌摩耗試験機

Fig.1 Sludge agitating wear tester

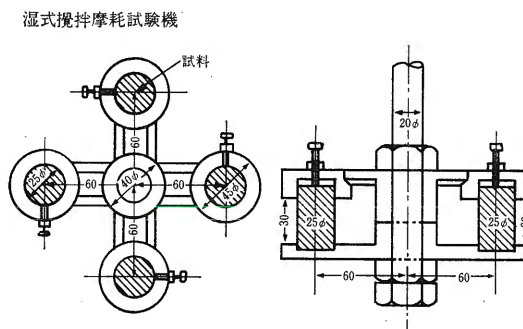


図 2 回転翼と試料取付け状況

Fig.2 agitating arm and set specimen

表 1 湿式摩耗試験機の精度

Table 1 Accuracy of wet abrasion tester

定位置法		g/cm^2		
取付位置	試料記号	摩耗量 g	単位表面積当りの摩耗量	平均値との差 %
1	S A	0.0499	0.00419	- 1.08
2	S B	0.0488	0.00414	- 2.30
3	S C	0.0514	0.00432	+ 2.09
4	S D	0.0511	0.00429	+ 1.29

取付位置による最低と最高の差 4.2%

任意取付位置 3 回繰返し後

	S A	0.1423	0.01191	- 0.15
	S B	0.1404	0.01175	- 0.50
	S C	0.1436	0.01202	+ 0.62
	S D	0.1425	0.01193	+ 0.04

最低と最高の差 2.3%

2.3 灰流し管用低 Cr 鋳鉄における Cr 量の影響

表 2 耐摩耗用低 Cr 鋳鉄試料

Table 2 Wear test specimens of low Cr cast iron

記号	C	Si	Mn	P	Cr	呼称	H _B	H _s	平均	組織
CR 1	3.32	1.96	0.51	0.195	0.02	FC 25	193	36~37, 36		P(パーライト)
CR 2	3.32	2.29	0.49	0.125	0.87	0.9% 低Cr 鋳鉄	232	41~43, 42		P+C ₂ ~3%
CR 3	3.29	1.85	0.38	0.085	1.43	1.5% "	369	57~60, 58		P+C 15%
CR 4	3.29	2.24	0.41	0.120	2.40	2.5% "	421	62~66, 64		P+C 20%
CR 5	3.56	2.28	0.40	0.125	3.66	3.5% "	421	62~67, 64		P+C 22%
SS	0.13	0.21	0.59	0.029	0	軟鋼棒	120	19~20, 20		F(フェライト)
LMC	0.32	0.55	1.66	0.030	1.25	LowMn-Cr鋼	200	29~31, 30		P

この鋳粒には微粉炭の燃焼灰 3kg、5号珪砂 3kg、3号珪砂 1.5kg の割合に配合したものを使用した。

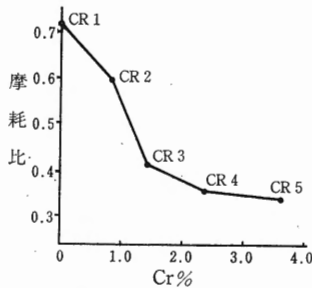
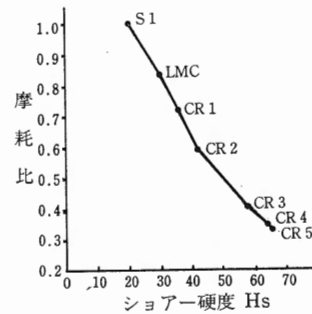


図 3 Cr 量と摩耗比の関係

Fig. 3 Relation Cr contents and wear ratio



硬度と摩耗比の関係

Relation between hardness and wear ratio

2.4 鉄鋼材料の硬度と耐摩耗性におよぼす鉍粒硬さの影響

表 3 各種鉄鋼材料の湿式摩耗試験

Table 3 Various iron and steels for wet abrasion test

試料種類 処理	記号	化 学 成 分 %							Hs 硬度 範囲、平均
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	
軟鋼 圧延材	S1	0.12	0.23	0.49	0.014	0.0188	—	—	18~19, 19
高Mn鋼 水靱	HM	0.92	0.46	11.50	0.068	0.008	—	—	27~29, 28
低Mn-Cr鋼 焼鈍	LM	0.32	0.55	1.66	0.030	0.033	—	1.25	29~31, 30
低Si-Mn-Cr鋼 "	SM	0.48	1.12	1.32	0.022	0.008	—	1.04	36~38, 37
低Mn-Cr " 焼入	LQ	0.32	0.55	1.66	0.030	0.033	—	1.25	57~60, 59
低Cr 鑄鉄 鑄放	C2	3.56	2.28	0.40	0.125	0.090	—	3.65	59~65, 61
16Cr-Ni 鑄鉄 "	CN	2.84	0.68	0.71	0.014	0.065	0.51	16.40	63~67, 65
Ni-Hard " "	DK	3.08	1.08	1.03	0.220	0.025	5.02	1.94	68~73, 70
18-8 不銹鋼 焼入	ST	0.10	0.42	1.20	0.011	0.010	8.22	19.90	24~26, 25

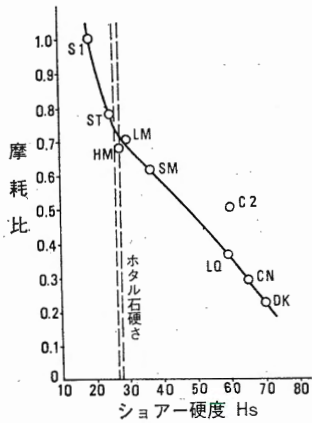


図 4 螢石に対する摩耗

Fig. 4 Relation between hardness and wear ratio by fluorspar

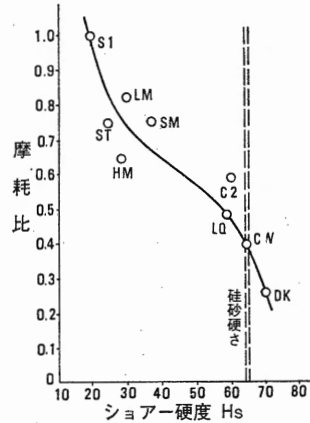


図 5 珪砂に対する摩耗

Fig. 5 Relation between hardness and wear ratio by silica sand

建設機械に関係がうすい鉍物の大部分は省略し代表的なものを上に示した。

このシリーズの実験結果をまとめると

- (1) 湿式攪拌摩耗は最も軽応力摩耗に属し、硬度の高い金属ほど摩耗が少ない傾向が存在しているが、その関係は直線的ではない。ねずみ鑄鉄から焼入鋼、白鑄鉄まで含めたため摩耗量と硬度の関係はかなりバラつきを示した。
- (2) 低Cr 鑄鉄はセメントイトの多い斑鑄鉄であ

るが、黒鉛が析出しているため、鉍粒に対する引掻摩耗においては硬度のわりに摩耗量が常の上離れ、同等の硬度の他の鋼より摩耗が大きい。

- (3) 金属の摩耗は相手鉍粒の硬さによって影響を受け、鉍粒より軟かい金属は摩耗が大きく、硬い金属は摩耗が少なく、かつ相手鉍物の硬度附近で摩耗量の勾配がかなり急になる傾向が現れた。

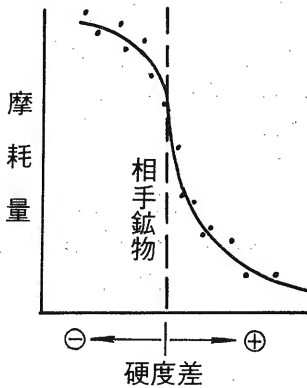


図 6 相手鉱物との硬度差の影響

Fig. 6 Influence of hardness difference between metal and abrasive mineral

従って耐摩耗材料選定に当たって、相手鉱石の硬度より幾分硬い材料を使うと寿命が大巾に増すが、逆の場合は著しく寿命が減退することが考えられる。

例えば珪砂に対しては、そのモース硬度6~7すなわちショアー硬度65~70より硬い金属材料、例えばHs70以上の焼入焼戻し鋼や高Cr 鑄鉄などを選定する必要がある。

(4) 鉱粒の軟かいものに対しては金属の耗摩比に大差があり、硬いものに対しては摩耗比の差は比較的少ない。

3. 珪砂に対する乾式引掻摩耗

3.1 乾式摺動摩耗試験機の構造

直径約600mmφの水平円筒タンクの中央に通した回転軸に4本のアームを付け、アームは側壁から等距離とし砂による摩擦抵抗を4本とも等条件にしてある。試料は40×60×10mmtとし、アームの回転方向と平行に取付ける。鉱粒として鑄鋼用3号珪砂または製鉄用焼結鉱(2~9mmφ)をタンクのシャフトの直下まで満たし、周速10cm/sec

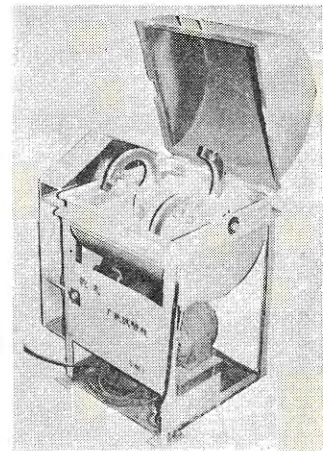


図 7 乾式(引掻)摩耗試験機

Fig. 7 Dry scratching abrasion tester

表 4 乾式引掻摩耗試験機の精度

Table 4 Accuracy of dry scratching abrasion tester

定位置法				
取付位置	試料記号	摩耗前 g	摩耗後 g	摩耗量 g
1	S 1	157.5566	157.3689	0.1877
2	S 2	157.4175	157.2464	0.1711
3	S 3	156.5823	156.4013	0.1810
4	S 4	156.1318	155.9554	0.1764
取付位置による最低と最高の差				9.3%
取付位置移動法(8回の合計)				
	S 1	156.6488	155.6625	0.9863
	S 2	155.7811	154.8204	0.9607
	S 3	156.6187	155.6496	0.9691
	S 4	155.3528	154.3871	0.9657

最低と最高の差 2.6%

の低速で砂層中を突き進ませる方式である。この試験条件は中応力摩耗に属すると思われる。

3.2 乾式摩耗試験機の精度

この試験機も4本のアームの取付位置によって1割近い差を生じるが、その矯正はなかなか困難であった。そこで取付位置移動法として、1回8hr 運転後試料をアーム No 1→2→3→4→4→3→2→1 と毎日移動して各アームを経過させ、8日間でテストを完了する方法を考え、摩耗量の差を2~3%に止めることが出来、かなり信頼さ

れる data が得られるようになった。

3.3 特殊球状黒鉛鑄鉄の摩耗試験

ねずみ鑄鉄は黒鉛が存在しているため、金属間摩耗には潤滑作用をし有利であるが、対鉍物引掻摩耗ではこの黒鉛がすぐにえぐられ疵がつき概して摩耗が早いので、合金元素を添加してその改良をはかったものである。その結果を表5に掲げる。しかし後述する焼入鋼や白鑄鉄にはかなり劣ることはまぬがれない。

表 5 特殊 DCI の耐摩耗性試験

Table 5 Scratching abrasion test results of ductile cast irons

SS41 を1.00とした珪砂

	材 質 名	O	Si	Mn	Cr	etc	組 織	HR _B 硬 度	乾 式 摩 耗 比	湿 式 摩 耗 比
A	F C D45	3.25	1.92	0.30	—		P15%+F	84	0.855	1.600
B	F C 20	3.38	2.11	0.32	—		P+F10%	91	1.185	1.575
C	0.5Cr F C	3.52	2.02	0.35	0.50		P	97	0.890	1.300
D	1 MnDC ^{as} Cast	3.55	1.92	1.22	—		C 2~10%+P	107	0.463	0.960
E	1 MnDC 焼鈍	3.46	2.23	0.87	—		P+F15~20%	105	0.690	1.519
F	2 Mn DC ^{as} Cast	3.52	2.06	1.88	—		C 8~10+P	111	0.699	1.141
G	2 Mn DC 焼鈍	3.08	2.34	2.19	—		C 1~2%+P	100	0.431	1.368
H	0.6 Cu DC ^{as} Cast	3.43	2.22	0.36	—	Cu 0.58	P	105	0.578	0.860
I	0.6 Cu DC 焼鈍	3.25	1.96	0.36	—	Cu 0.50	+C 1% %P+F 20~30	95	0.778	1.540
J	1.5 Ni DC ♪	3.17	2.01	0.38	—	Ni 1.50	P+F 55~60%	93	0.862	1.414
K	4 Mn DC ♪	3.50	1.88	4.02	—		C 5~7%+P	103	0.597	1.720
L	Ni-Cr-Mo DC	3.38	1.84	0.30	0.49	Ni Mo 1.75*0.83	C 5~7%+B	122	0.453	0.836

D~J : 二段焼鈍 K : 980°焼鈍 L : 焼入焼戻し (400°C)

4. 岩石に対する衝撃摩耗

4.1 衝撃摩耗試験の構造

乾式摺動摩耗試験機と大体同じ方法で、800mm φ × 1ml の頑丈な構造でアーム先端の試料取付け面は回転方向に垂直となっている。試料の周速は無段変速できるが普通の場合 14^m/sec (ほぼ 10m の高さからの自然落下速度に相当) で運転する。使用岩石は恒久的に安定した同質岩石の得られる M社 K 碎石場の石英斑岩 13~27mm φ を用い、タンクの約 1/3 の容積量を毎回使用する。タンク内面に

反撥板がついて衝突して跳ね上がった岩石を試料平面が叩く状況になっているため、試験後の試料面は角のとれた全面均等なきなし地、状粗面になっている。1回のテストは投入岩の約半分が粉碎された状況になる5分間で終了し、毎回新石ととり替え、これも取付位置を4回移動させて、その後摩耗量を測定し、同時にとりつけた S S 41 (25mm 厚板から10mm厚に削り出したもの) との摩耗比を算出するものである。この試験法は高応力摩耗に属し、材料は加工硬化する傾向がきわめて強い。

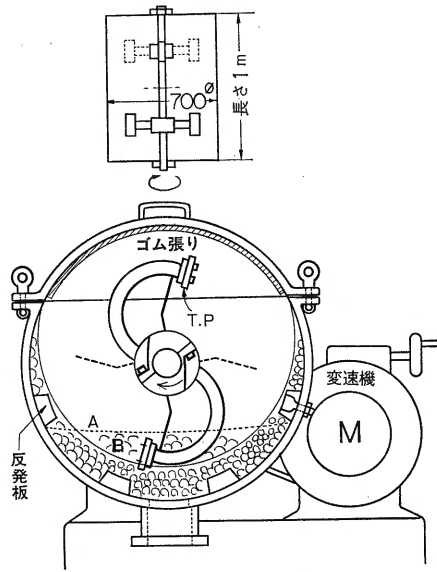


図 8 衝撃摩耗試験機

Fig. 8 Impact abrasion tester

4.2 衝撃摩耗試験機の精度

表 6 衝撃摩耗試験機の精度

Table 6 Accuracy of impact abrasion test

定位置法

取付位置	試料記号	摩耗前 g	摩耗後 g	摩耗量 g
1	S 1	170.5324	169.8569	0.6755
2	S 2	172.3215	171.6822	0.6393
3	S 3	172.7536	172.0393	0.7143
4	S 4	172.6780	171.9928	0.6852

取付位置による最低・最高の差 11.1%

取付位置移動法 (4回の合計)

S 1	173.8294	169.7562	4.0732
S 2	173.6450	169.7005	3.9445
S 3	174.3811	170.1739	4.2072
S 4	172.8832	168.8966	3.9866

最低と最高の差 6.5%

4.3 各種耐摩耗鋼の乾式引掻および衝撃摩耗試験

次に現在わが国でよく使用されている建設機械用耐摩耗鋼を含め約20余種について、その熱処理

条件をもいろいろ変化して、かなり高硬度 (C量増加につれ靱性は低下するが) のものまで測定し、硬度と耐摩耗性のみに着目して data を整理してみると次のようである。

表 7 試料の化学成分 (%) と機械的性質
Table 7 Chemical composition (%) and mechanical properties

鋼 種	記 号	C	Mn	Mi	Cr	Mo	処 理	kg/m ² kg-m/cm ²	
								抗張力	シャルピー 衝 撃 値
軟 鋼 板	SS41	0.22	0.54	—	—	—	焼 鈍	56	12.5 V
SC Mn 1	LM	0.26	1.34	—	—	—		72	6.2 V
SC Mn Cr 3	LMC	0.35	1.35	—	0.63	—		78	4.0 V
SC PH 21	LCM	0.15	0.66	—	1.20	0.55		58	5.5 V
SC Mn H 2	MH 2	1.16	12.2	—	—	—	水 焼 入	82	13.0 U
SC MN H11	MH11	1.20	12.1	—	1.96	—		68	8.6 U
HMn-Cr 4	MC 4	1.27	11.7	—	2.61	—		62	6.2 U
Si Mn-Cr	C 1	0.40	0.98	V 0.05	1.00	—	水 ま た は 油 焼 入 ・ 焼 戻 し	161	0.54 V
"	C 2	0.48	0.90	"	1.25	0.31		158	0.42 V
Mn-Cr-Mo	KH	0.42	<1.0	"	<2.0	0.33		122	1.7 V
"	11S	0.27	1.01	—	2.24	0.42		180	1.5 V
Ni-Cr-Mo	NC	0.31	1.20	Ni 0.50	1.82	0.35		172	1.6 V
"	CS	0.28	0.69	0.58	1.01	0.41		157	1.8 V
"	WH	0.38	1.30	2.25	1.28	0.47		88	1.2
Cr-Mo	CML	0.5~0.6	<1.0	—	<3.0	<1.5	空 冷 焼 入 ・ 焼 戻 し	132	0.63 V
"	CMH	0.6~0.9	<1.0	—	<5.0	<1.5		110	0.35 V
3Cr-Mo	3CK	0.3~0.5	<1.5	—	<4.0	<1.5		125	2.1 V
5Cr-Mo	5CK	0.4~0.6	<2.0	—	<6.0	<1.5		98	1.24 n
13Cr-Mo	13CK	1.0~1.5	<2.0	—	<15.0	<1.5		73	0.93 n
16Cr-3Mo	3Mo	2.5~3.5	<1.5	—	<18.0	<4.0	空 冷 焼 入 ・ 焼 戻 し	<40	0.25 n
25Cr 鑄鉄	HC 1	2.4~3.0	<3.0	Ni <0.3	<29.0	—		54	0.92 n
26Cr-Ni V, Mo W	CX	2.0~3.5	<2.0	Ni <3.0	<32.0	W, B, Mo V < 3		52	0.55 n

図 8 耐摩耗特殊鋼の硬度と耐摩耗性

Table 8 Hardness vs. Abrasive wear ratio of abrasion resistant alloy steels
(relative wear resistance=1/wear ratio)

(耐摩耗性は摩耗比の逆数である。)

鋼種	材質	記号	HS 硬度	乾式引掻摩耗比		衝撃摩耗比	
				対珪砂	対焼結鈹	対珪石	
軟鋼板	S S 41	SS 1	19 ~ 22, 21 ^{平均}	1.000	1.000	1.000	
低合金鋼 焼鈍材	SC Mn 1	M	25 ~ 28, 26	0.950	0.820	—	
	SC Mn Cr 3	LMC	28 ~ 32, 30	0.834	0.780	—	
	SC PH 21	LCM	21 ~ 23, 22	0.970	0.952	—	
高 Mn 鋼 韌材	SC Mn H 2	MH 2	27 ~ 30, 28	0.567	0.396	0.34	
	SG Mn H11	MH11	31 ~ 35, 33	0.555	0.355	0.328	
	HMn Cr 4	HMC 4	33 ~ 36, 35	0.508	—	0.304	
低合金鋼 水又は油焼入・焼戻し材	ハイテン 60	H60	28 ~ 32, 30	0.920	0.890	—	
	Si-Mn-Gr	C 1	60 ~ 65, 63	0.449	0.388	0.332	
	〃	C 2	68 ~ 75, 73	0.459	0.307	0.290	
	MnCr-Mo	KH	65 ~ 70, 67	0.625	—	0.392	
	〃	12S	61 ~ 66, 64	0.530	—	0.388	
	NiCr-Mo	N C	63 ~ 69, 66	0.558	—	0.429	
	〃	C S	57 ~ 60, 59	0.611	—	0.439	
低中 C・Mo	鋼空冷焼入・焼戻し材	Cr—Mo	CML	67 ~ 72, 70	0.478	—	0.295
	〃	CMH	71 ~ 77, 74	0.340	—	0.250	
	3 Cr—Mo	3 CM	50 ~ 60, 53	0.583	0.282	0.606	
	5 Cr—Mo	5 CM	63 ~ 69, 66	0.505	0.155	0.330	
	13Cr—Mo	13CM	77 ~ 80, 78	0.290	0.058	—	

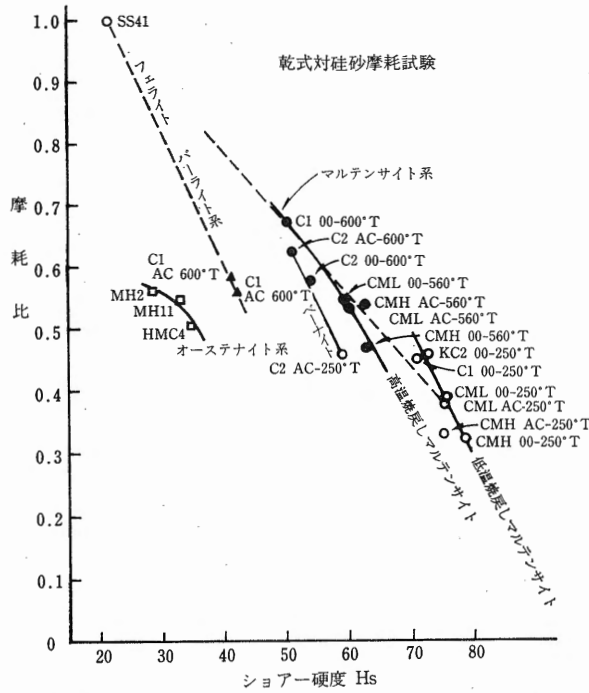


図 9 耐摩耗鋳鋼の硬度と摩耗比の関係【組織の影響】乾式対砂摩耗試験

Fig. 9 Relation between hardness and abrasive wear ratio of abrasion resistant cast steels by scratching abrasion test by dry silica sand [effect of micro-structure]

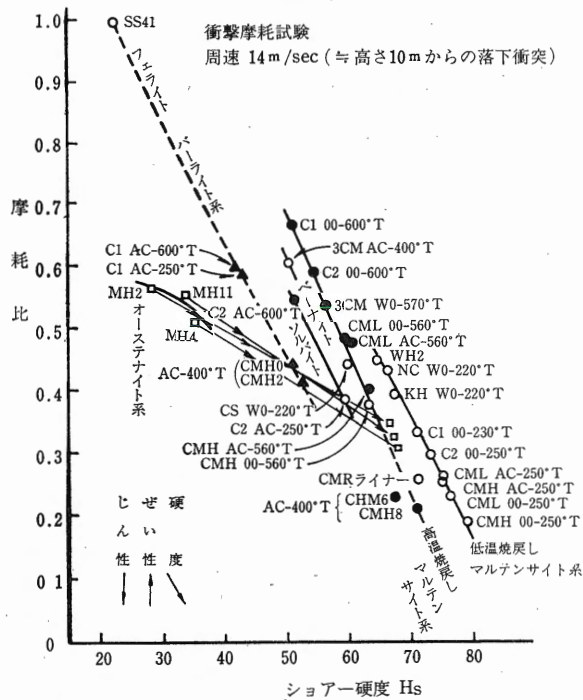


図 10 耐摩耗鋳鋼の硬度と摩耗比の関係【組織別分類】衝撃摩耗試験

Fig. 10 Relation between hardness and abrasive wear ratio of abrasion resistant cast steels by impact abrasion test [classification by microstructure]

4.4 耐摩耗特殊鑄鉄の摩耗試験

走行建設機械には関係がうすいかも知れないが、碎石場やミキサープラントの打撃刃やライナー類、サンドポンプ、ミキサー羽根などには、鑄鉄系も多く使われ、特にNi-Hard鑄鉄や高Cr鑄

鉄などの高炭化物系白鑄鉄は、焼入れした低合金鋼より遙かに土砂摩耗に対して優れているので、最高級耐摩耗材として賞用されている。(とりわけ当社の高Cr鑄鉄系CIXシリーズとChampion(CH-S)は建設業界で高く評価されています)

表9 耐摩耗特殊鑄鉄の硬度と耐摩耗性(耐摩耗性は摩耗比の逆数をとること)

Table 9 Hardness vs abrasive wear ratio of abrasion resistant cast irons (relative abrasion resistance=1/wear ratio)

分類	材質 C 量	記号	処理	ショア硬度 Hs	乾式引掻摩耗比		衝撃摩耗比
					対珪砂	対焼結鉄	対珪石
黒鉛鑄鉄系	SS41 0.22	SS41	An	19 ~ 22, 21	1.000	1.000	1.000
	FC20 3.5	FC20	As	30 ~ 34, 32	1.185	—	—
	FC25 3.2	FC25	As	36 ~ 37, 36	1.077	—	—
	FCD40 3.5	D40	An	24 ~ 27, 25	1.050	—	—
	FCD45 3.5	D45	As	31 ~ 34, 32	0.920	—	—
	ECD55 3.2	D55	N	39 ~ 44, 42	0.660	0.659	—
	Ni-cr-MoDC3.2	NCD	NT	58 ~ 62, 60	0.450	—	—
低Cr鑄鉄	0.8 Cr FC 3.3	CF1	As	41 ~ 43, 42	0.820	—	—
	1.5 Cr FC 3.1	CF2	As	57 ~ 60, 58	0.670	—	—
	3.5 Cr FC 2.9	CF3	As	62 ~ 67, 64	0.550	—	—
白鑄鉄系	白鉄 2.6	WI	As	59 ~ 64, 62	0.350	—	—
	Ni-Hard 2 3.1	DK	As	68 ~ 75, 72	0.205	—	0.230
	Ni-Hard 4 3.0	NH4	NT	65 ~ 75, 67	0.180	—	—
高Cr鑄鉄系	25Cr FC 2.5	HC1	As	65 ~ 75, 71	0.155	0.033	0.160
	28Cr FC 2.9	HC2	As	70 ~ 80, 75	0.133	0.030	0.125
	27Cr-1Ni 1.5	HC4	As	45 ~ 52, 47	0.225	0.040	0.237
	27Cr-1Mo 2.0	HC5	An	55 ~ 61, 58	0.173	0.034	0.203
	26Cr-Ni+α 2.6	CX	NT	76 ~ 82, 78	0.122	0.028	0.157
	25Cr-Mo-3W 3.5	HC3	An	64 ~ 67, 66	0.131	0.027	—
	16Cr-3Mo 3.5	3Mo	NT	76 ~ 85, 82	0.098	—	0.135

An ; Anneal. As ; As cast. NT ; Normarize+Temper

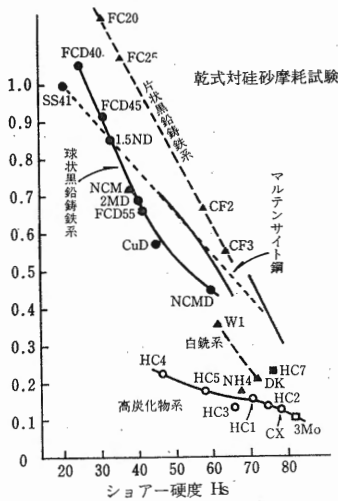


図 11 耐摩耗鑄鉄の硬度と摩耗比
【組織の影響】
乾式対珪砂摩耗

Fig. 11 Relation hardness and abrasive wear ratio of abrasion resistant cast irons scratching abrasion test by silica sand [effect of microstructure]

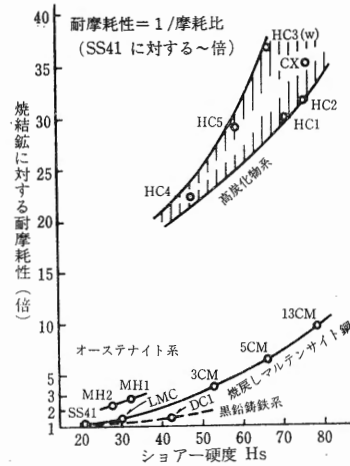


図 12 焼結鉄鉱石に対する乾式
引掻摩耗試験

Fig. 12 Dry scratching abrasion test by sintered iron ore

以上の結果を硬度と摩耗比の関係についてまとめると、図7～図8に見られるように、鑄鋼系だけに限定してもかなり幅広い傾向範囲線になる。単なる引掻摩耗ではその傾向範囲線は比較的狭く、衝撃摩耗では比較のプロードになる。

しかし、これらを顕微鏡で組織別に分類すれば、パーライト系、ソルバイト系、ベーナイト系、高温焼戻しマルテンサイト系、低温焼戻しマルテンサイト系およびオーステナイト系に分類され、それぞれかなりよい直線関係が存在していることが判明した。すなわち同種類の組織毎に、硬度と耐摩耗性は一元的関係が成立すると考えられる。

高Mn鋼の如きオーステナイト鋼は加工硬化性が著しいので、使用後の摩耗面のシヨア硬度がこの関係線に乗ってくるわけで、その硬度を実効硬度と解しなければならない。

鑄鉄系も片状黒鉛系と球状黒鉛系とは耐摩耗性にかなりの開きがあり、高Cr鑄鉄系は土砂摩耗に対して非常に優れているが、Ni-Hard鑄鉄や白鉄系とはまた別の関係線に乗っている。

すなわち鉄鋼材料全般に関しても、顕微鏡組織を金相学的に分類してかかれれば、その硬度からSS41に対する摩耗比、逆数をとれば耐摩耗性を推定することが可能である。

図 13 基準試料と代表的耐摩耗鋼の組織

Fig. 13 Microstructure of standard specimen and representative wear resistant cast steels

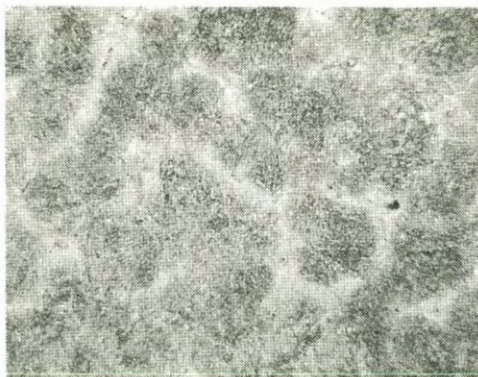
×100



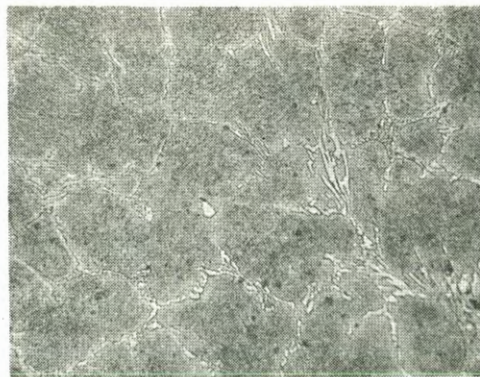
基準試料 S41



3 Cr-Mo 鋼 N-T



5 Cr-Mo 鋼 N-T

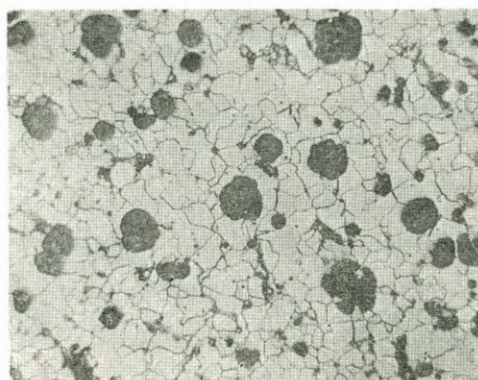


13 Cr-1 Mo-0.4 V 鋼 N-T

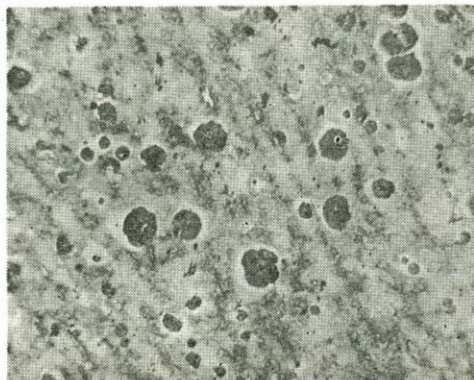
図 14 黒鉛鉄系摩耗試料の組織

Fig. 14 Microstructure of graphitized cast irons used for abrasive wear test

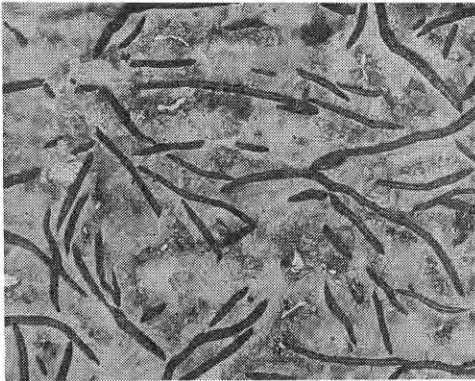
×100



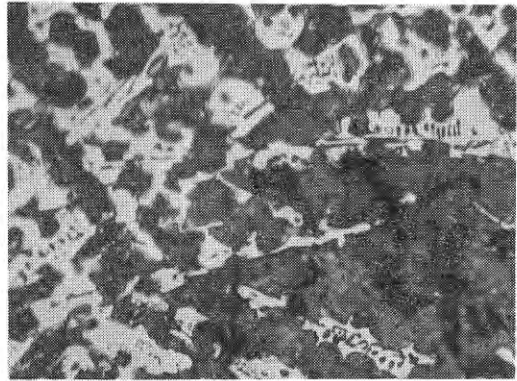
FCD 40 (F)



FCD 55 (P)



FC 20 (P)

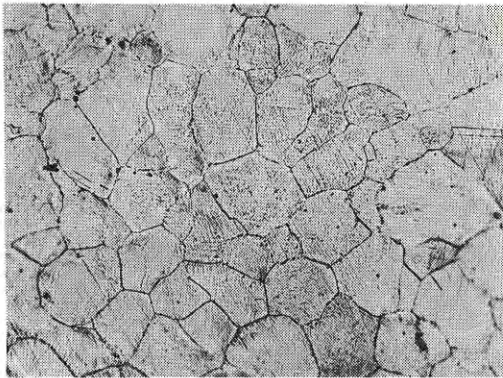


低 Cr 鑄鉄 Cr 3.5% (C+P)

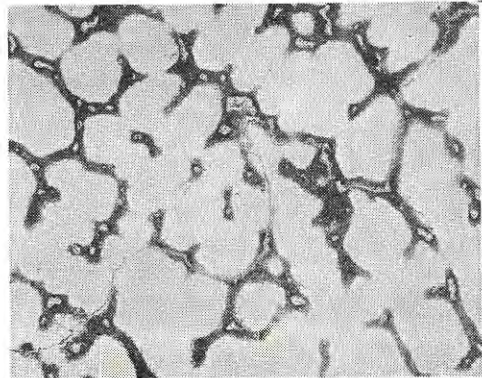
図 15 高 Mn 鋼と Ni-Hard 鑄鉄の組織

Fig. 15 Microstructure of high Mn steels and Ni-Hard cast irons

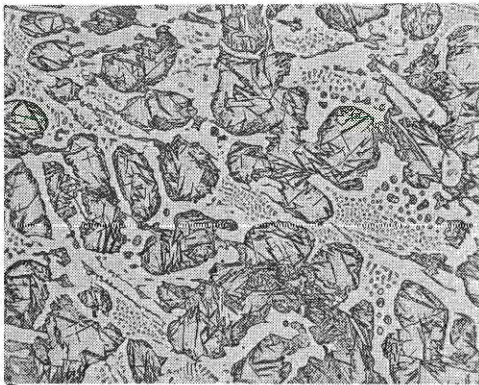
×100



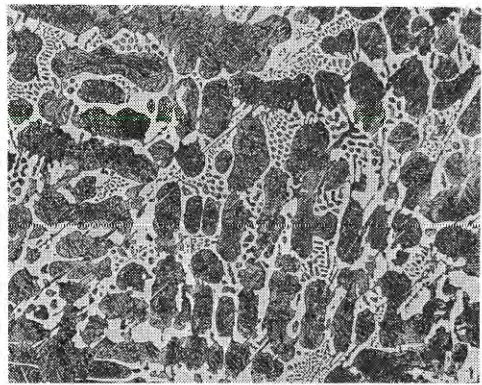
SC Mn H2 + 2% Cr



HMn-3 Cr 鑄鋼 W, Q



Ni-Hard 鑄鉄 (DK) 鑄放し

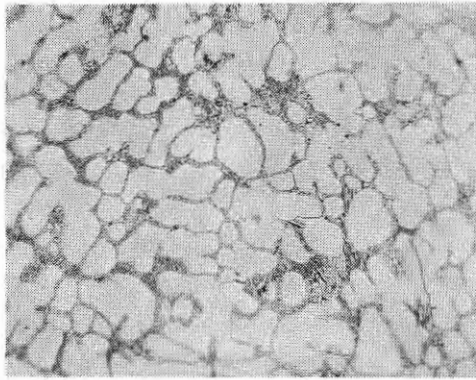


同左, 焼入 - 焼戻し後

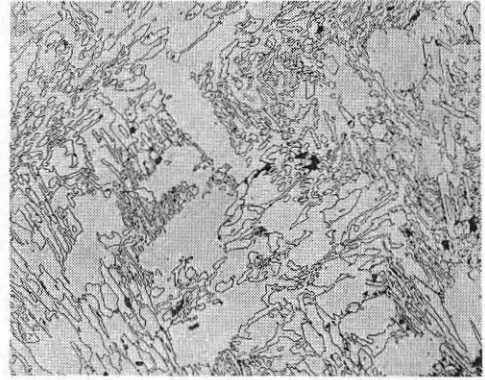
図 16 高鉻鉄のC量と鑄放し組織

×100

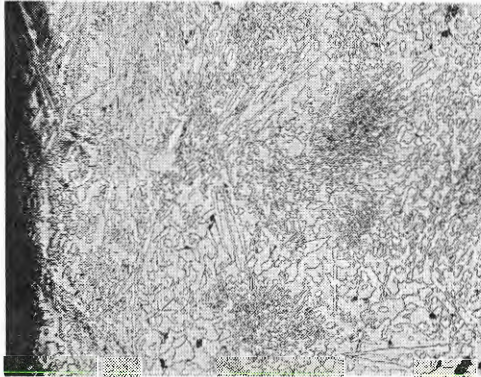
Fig. 16 Microstructure of high Cr cast iron of several different C content



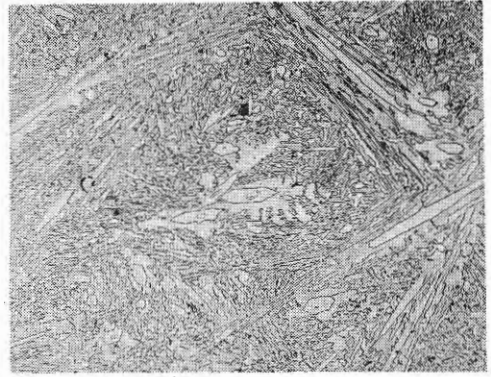
HC 4 (C1.35%) A+M₂₃C₆



HC 5 (2.0%)



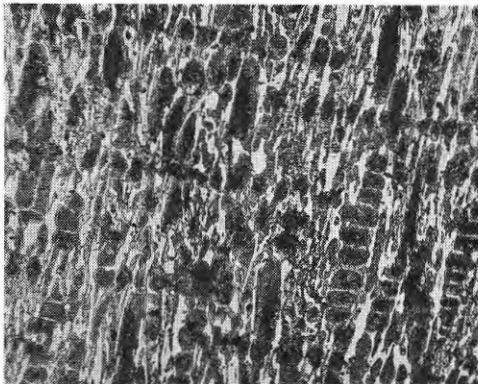
HC 2 (C2.7%) A+M₇C₃



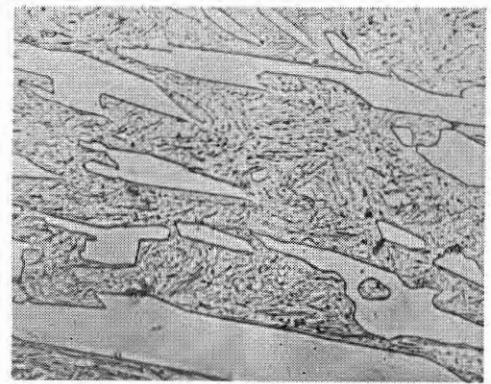
HC 3 (C3.2%)

図 17 高 Cr 鑄鉄の熱処理による基地組織の変化

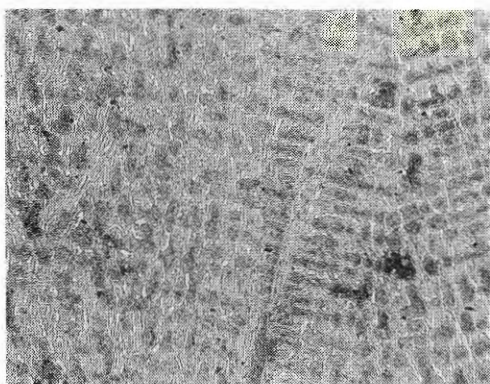
Fig. 17 Microstructure of matrix in high Cr cast iron after heat treatment



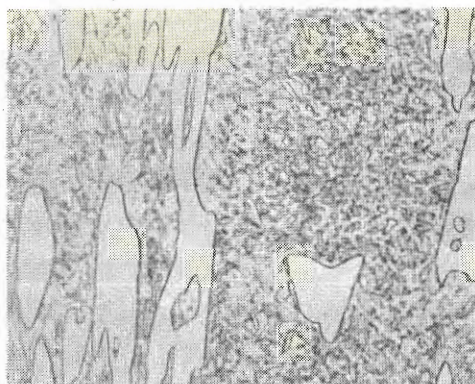
HC 2 N-T ×100



Martensite 基地 ×1000



CIX-2 A.N-T ×100



粒状炭化物 $Cr_{23}C_6$ 析出×1000