黒心可鍛鋳鉄の - 200~450℃ の温度範囲における 機 械 的 性 質 に つ い て

Mechanical Properties of Black Heart Malleable Cast Iron in the Range from -200°C to 450°C

近藤賢治*
Kenji Kondô

内 容 梗 概

黒心可鍛鋳鉄が比較的低い温度から高い温度までにわたって使用される設備,装置,機械類の構成部分用鋳物材として,適応性を有するかいなかを検討する目的で,一200~450℃の温度範囲における引張性質および衝撃性質,ならびに350℃における長時間連続加熱あるいはくり返し加熱が両性質に及ぼす影響を調べた。

その結果によれば、黒心可鍛鋳鉄の引張性質は $-100\sim400$ ℃、またその衝撃性質は $-50\sim350$ ℃ の温度範囲においてすぐれた水準を有しており、これらはまた 350℃ で種々の熱履歴を与えても変化しないことが確かめられた。したがって、本可鍛鋳鉄は $-50\sim350$ ℃ の温度範囲で使用される各種の鋳造部品用材料として広い適応性を備えていると考えられる。

1. 緒 言

黒心可鍛鋳鉄は種々の鋳物材のうちでも、それ独特のすぐれた諸性質を備えており、常温付近から比較的高い温度までにわたって使用される設備、装置、機械類の構成部分用鋳物材として、十分な適応性を有するものと考えられる。しかも、過去長年にわたって研究され、進歩した製造技術により、高度の品質を備えた製品が安定して得られ、そのうえ比較的安価であるという利点をも備えている。日立金属工業株式会社桑名工場では、本可鍛鋳鉄の新しい応用分野を開拓する試みの一環として、数年前からバルブの製造に着目し、その後試作、改良を重ねて、3年前から実際の生産を進めてきた。

この黒心可鍛鋳鉄バルブは、約200℃以下の温度範囲で使用され るいわゆる汎用バルブとしては、着実にその販路を拡大してきたが、 より高い温度に加熱されるようなボイラ用バルブとしては、従来わ れわれが当初に期待したほど広くは用いられなかった。その訳は, JIS B8201 および昭和34年労働省告示第10号⁽¹⁾の定めるところに より、すべての鋳鉄製品が230℃以上の温度で使用されることが許 されていないからである。しかし, 近年鋳鉄の高温における諸性質 が順次明らかにされるに及び、黒心可鍛鋳鉄ならびに数種の特定の 鋳鉄に関しては,上記の制限温度の不合理なことが認められてきた。 諸外国においては、早くから可鍛鋳鉄の高温における機械的諸性質 に関する研究が行なわれており(2)-(6),それらの結果に基づいて、従 来の使用温度範囲に関する制約を改訂しようとする気運にある。た とえば ASTM(7) では 1961 年の見直しに際して, 鉄道, 船舶用および そのほかの比較的きびしい条件下で使用される黒心可鍛鋳鉄製フラ ンジ,管継手およびバルブの使用制限温度を,従来の450°F(232°C) から 650°F (343°C) に引き上げている。

このような状勢の中にあって、日立金属工業株式会社としても従来の規格を改訂しようとして、それに必要な種々の施策をとってきた。特に研究面においては、黒心可鍛鋳鉄の衝撃性質について日立製作所中央研究所と共同研究を行ない、その結果をさきに本誌上で発表した⁽⁸⁾。一方、高温における静的機械性質については、従来の研究はクリープ強さを除いて、すべて単なる"Short-Time High Temperature Properties"であり、問題となる高温に長時間連続加熱あるいはくり返し加熱された場合における同性質の変化の有無については、何らの知見も得られていない。ここにわれわれはそれらの不備を補い、規格改訂に必要な資料を得ようと意図した。

なお、この規格改訂の問題はたまたまバルブを契機として起こっ

* 日立金属工業株式会社桑名工場

たが、これは本可鍛鋳鉄がバルブのほかにフランジ、管継手などの一般配管部品、あるいはそのほかの設備、装置、機械などの構成要素として熱的影響のもとに使用される場合には、必然的に関連してくるものである。したがって、この問題を黒心可鍛鋳鉄製品全般に関することとしてとりあげ、推進することにした。

本文は、黒心可鍛鋳鉄試料に高温用配管部品などが使用される状態に近い熱履歴を与えたものの、低温ないし高温における引張りおよび衝撃性質を調べた結果をとりまとめ、さらにそれにクリープ試験の結果を加味して検討を加えたものである。

2. 実 験 方 法

2.1 試料の製造方法

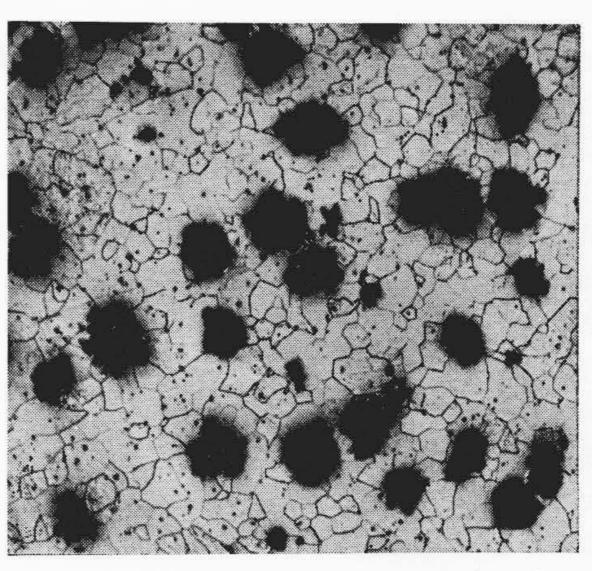
本試料は日立金属工業株式会社桑名工場で通常の作業方式にしたがって溶製した。すなわち、地金の配合を高ケイ素銑8%、鋼くず40%、戻りくず52%とし、冷風キュポラ電気炉二重溶解法によって得た溶湯を生砂型に鋳込んで、JIS 4号引張試験片および18×18×85mmの衝撃試験片用粗材を作った。これらをトンネル式焼鈍炉で75時間のサイクルで可鍛化焼鈍した。

2.2 試料の化学成分および顕微鏡組成

上記の自銑粗材の化学成分を**第1表**に、また焼鈍後の引張試験片の顕微鏡組織を**第1図**に示す。

第1表 試 料 の 化 学 成 分

元	素	С	Si	Mn	S	P	Cr
含有量	(%)	2.41	1.14	0.34	0.110	0.060	0.030

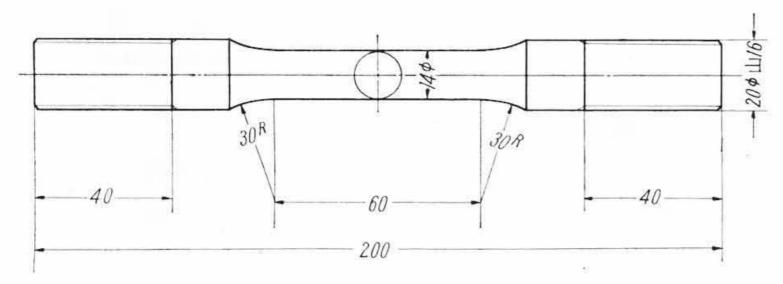


第1図 引張試験片の顕微鏡組織 (×65)

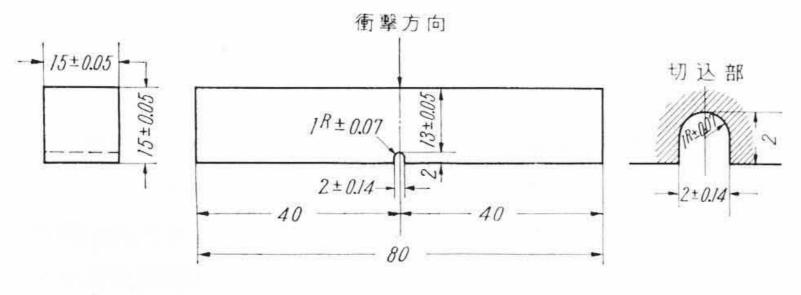
日

第2表 試料の熱処理方法

熱処理記号	熱	処	理
0		L ts 1	, x
1	350℃	×100 時間,	炉 冷
2	350℃	×1,000 時間	, 炉冷
3	350℃	×2時間,空冷	5×50回



第2図 引張試験片の形状および寸法



第3図 衝撃試験片の形状および寸法

2.3 試料の熱処理

以上のようにして製造された試料について実験を行なったが、焼鈍されたままの試料のみでなく、前に述べたように、配管部品などが使用中に受ける加熱状態に近い熱処理を施したものについても検討する必要があった。これには、今までに明らかにされている高温の機械的性質から考えて、それが特に劣化する恐れのない温度として350℃を選んだ。これはまた、黒心可鍛鋳鉄製配管部品の使用制限温度の改訂値として設定された温度でもある。そして、試料をその温度に長時間連続加熱あるいはくり返し加熱した。その熱処理方法を第2表に示す。

2.4 試験片の形状および寸法

2.4.1 引張試験片

引張試験片は、JIS で定められているとおり、鋳肌のままで試験に供した。ただし室温以外の諸温度で試験を行なうためには、試験片に pull rod を接合することが必要であるため、試験片の両端に約 $40 \, \mathrm{mm}$ の長さの $20 \, \phi$ 、 $16 \, \mathrm{H}$ のネジを切った。参考までに本試験片の形状および寸法を**第**2図に示す。

2.4.2 衝擊試験片

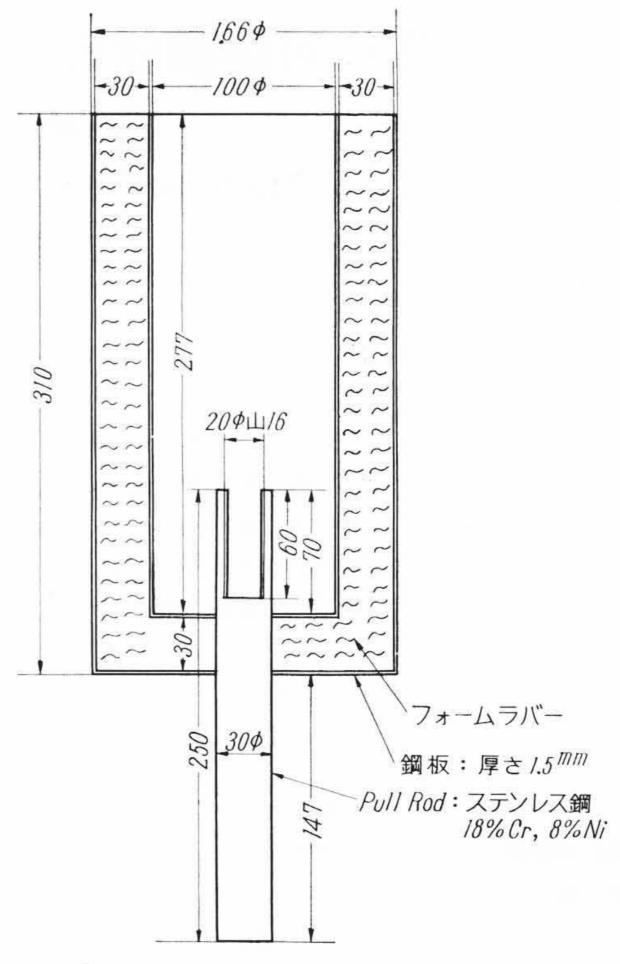
本可鍛鋳鉄の衝撃吸収エネルギーは、鋼に比べて低いので、その微小な変化あるいは差異を精密に検出するためには、鋼に一般に使用されている JIS 3 号試験片($10\times10\times55\,\mathrm{mm}$, $2\,\mathrm{mm}$ Uノッチ付)では不適当である。そこで、われわれが従来使用してきた $15\times15\times80\,\mathrm{mm}$, $2\,\mathrm{mm}$ Uノッチ付試験片を本実験においても採用した。第 3 図はその形状および寸法を示す。

2.5 試 験 機

引張試験には、島津万能試験機 RH-50 形を使用し、その引張速度を 11 mm/min に一定した。また、衝撃試験には 10 kg-m シャルピー衝撃試験機を用い、スパンを 60 mm とした。

2.6 試 験 温 度

黒心可鍛鋳鉄製配管部品の需要開拓を進めるにあたり,近年石油精製工業,化学工業などの低温工業が著しく発達してきたので,高温のみでなく低温における本可鍛鋳鉄の機械的性質が問題にされる場合が少なくない。このような事情を考慮して,引張性質および衝撃性質の測定を行なう温度範囲を−196~450℃とした。



第4図 引張試験片の冷却用容器

試験片を-196℃に冷却するには液体窒素,-100~-50℃に冷却するにはエチルアルコールに液体窒素を混ぜたもの,0℃に冷却するには水と氷の混合物をそれぞれ用いた。引張試験を行なう場合には,上記の冷却剤を第4図に示す冷却用容器に入れ,その pull rodに試験片をねじ込んで,各試験温度に保持した。また衝撃試験片の冷却用容器としては魔法びんを使用した。低温(-50, -100℃)の測定はアルコール温度計を用いて行なった。

 $50\sim450$ °Cで引張試験を行なう際には、試験機に取り付けた縦割形の管状=クロム線電気炉で試験片を加熱した。また、衝撃試験片を $50\sim100$ °Cに加熱するには水、 $150\sim450$ °Cに加熱するには箱形電気炉をそれぞれ使用した。

なお、引張および衝撃両試験において、おのおのの試験温度に試験片を20分間保持したのち試験を行なった。

2.7 耐力 (Proof Stress) の測定法

引張試験においては、引張強さおよび伸びのほかに、耐力も求めた。耐力の測定法としては、試験機に付属している記録計によって得た荷重-伸び線図から、0.2%の永久伸びを生ずる応力を求めて、これを耐力とした。

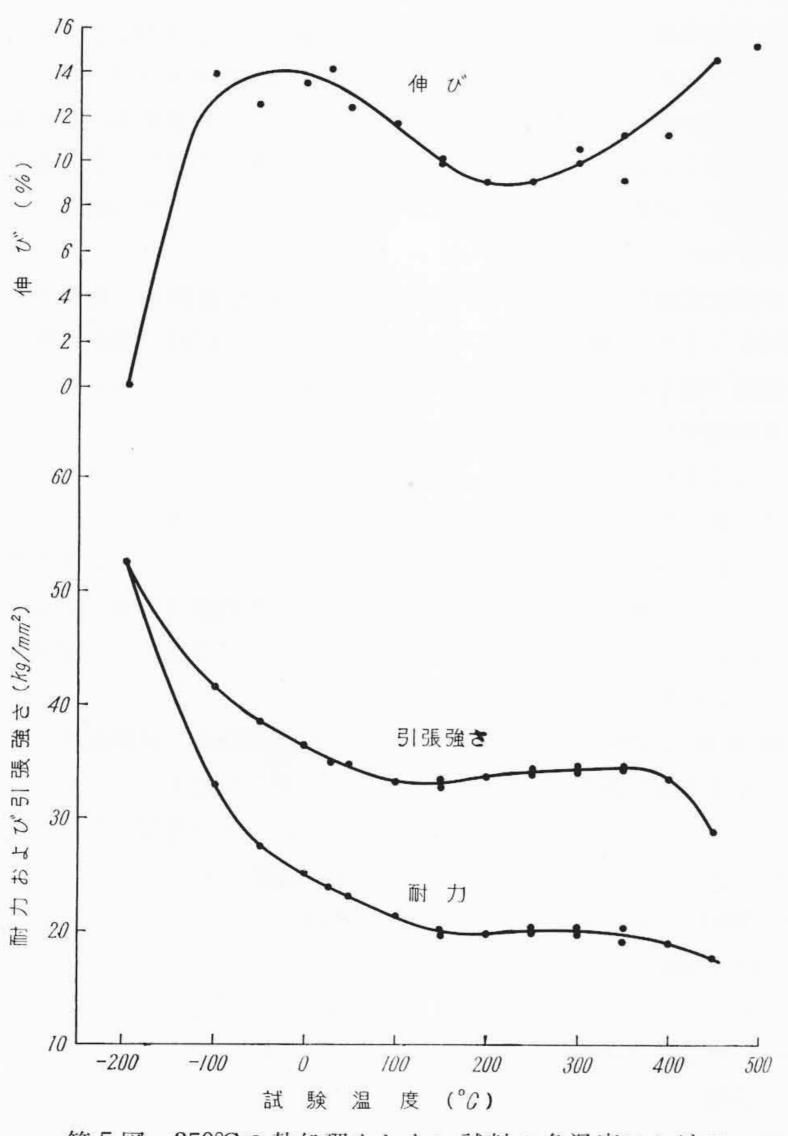
2.8 衝擊遷移温度

試験によって得られる衝撃遷移曲線上の衝撃遷移点の表わし方として、次の2種類の方法を採用した。すなわち、その一つは衝撃遷移曲線上で吸収エネルギーが15 ft・Lb ($2.1 \, \mathrm{kg-m}$)を示す温度 ($\mathrm{Tr.}_{E15} \, \mathrm{と記す}$)をもってする方法であり、ほかの一つは吸収エネルギーが同曲線上の最高値と最低値の平均値を示す温度 ($\mathrm{Tr.}_{EM} \, \mathrm{Em}_{EM} \, \mathrm{Em}_{EM}$)で表わすものである。

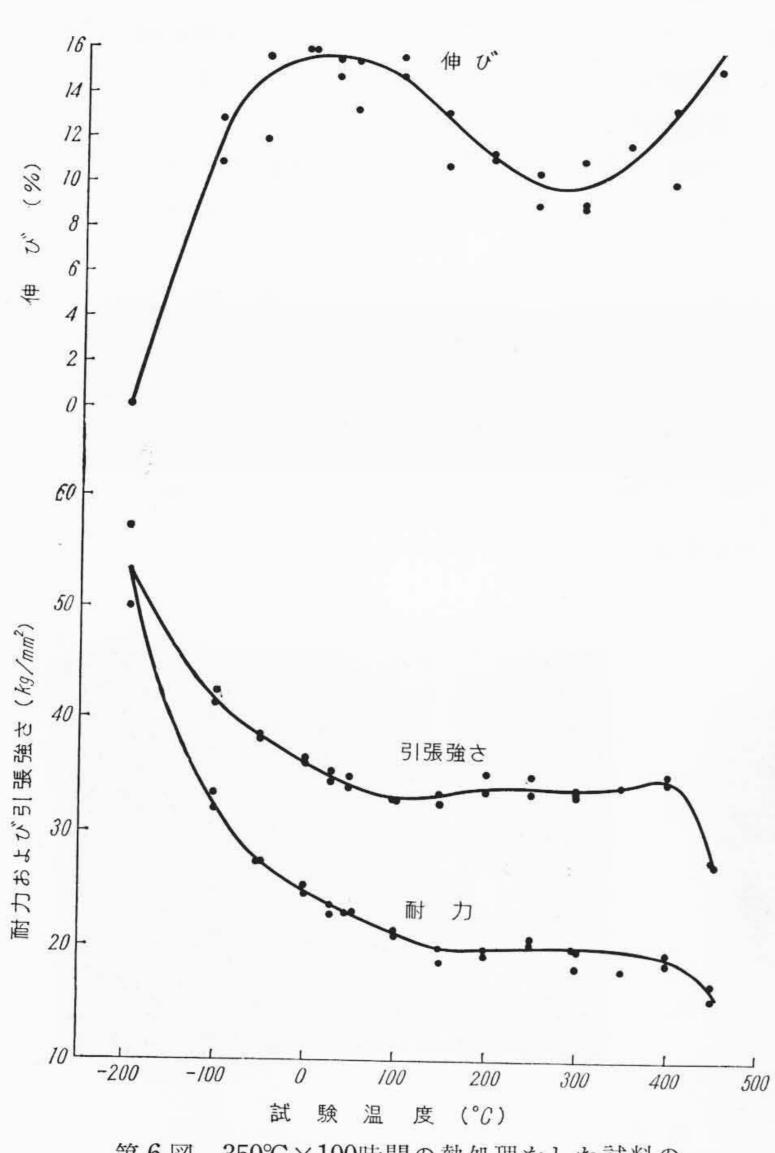
3. 実 験 結 果

3.1 引 張 試 験

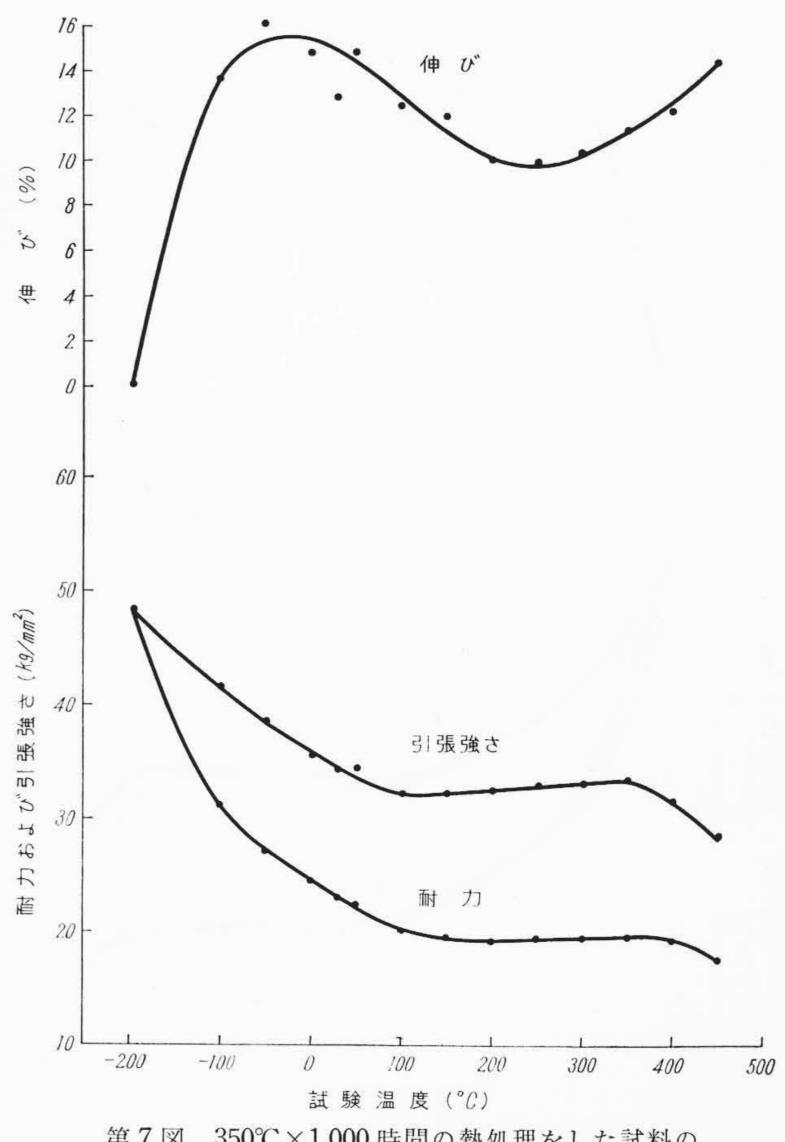
350°C で熱処理を行なわない本可鍛鋳鉄試料,ならびに同温度で 100, 1,000 時間および 2 時間×50 回の各種の熱処理を行なった試料 について得た引張試験結果を 第 5~8 図 に示す。第 9 図はそれらの 相互の関係を見やすくするために一括したものである。



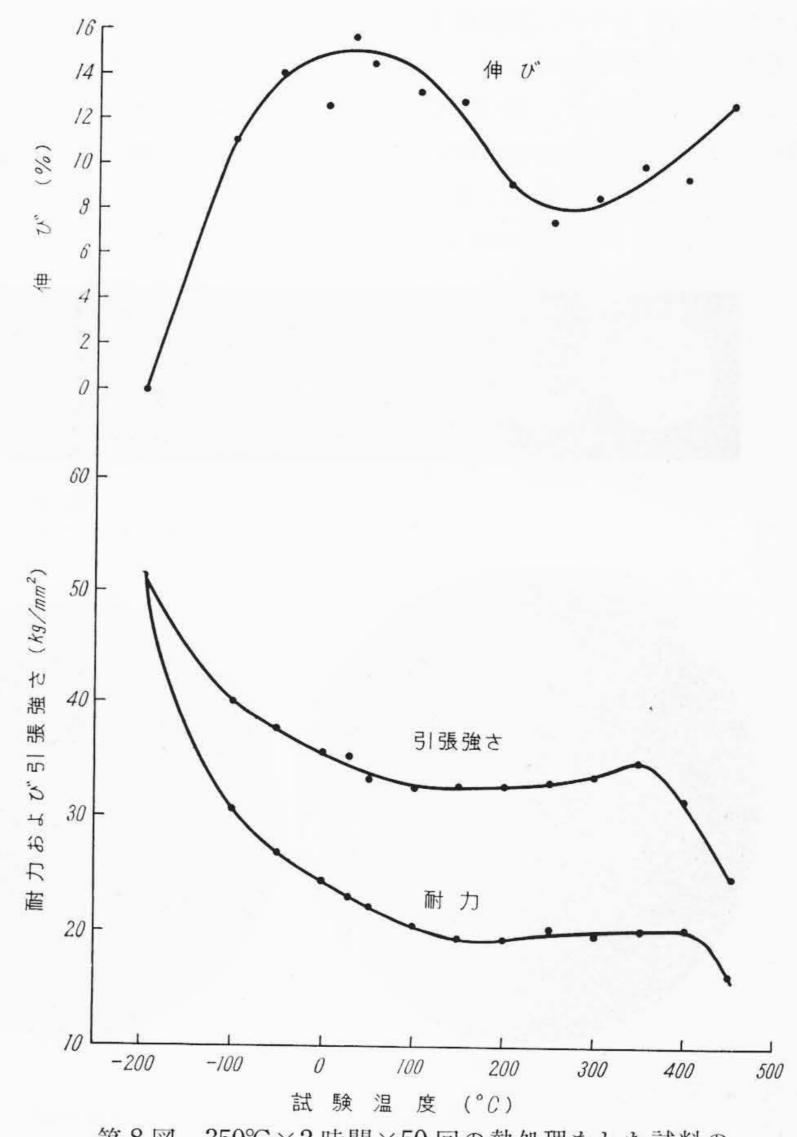
第5図 350℃の熱処理をしない試料の各温度における 引張性質



第6図 350℃×100時間の熱処理をした試料の 各温度における引張性質

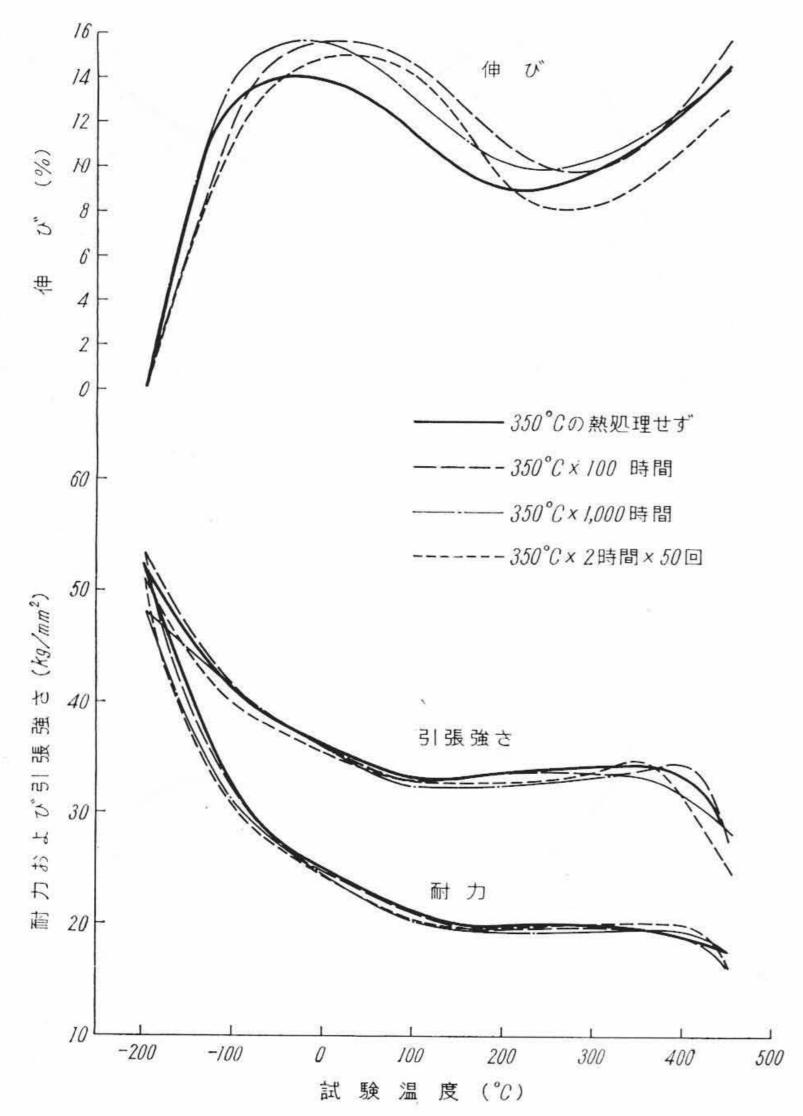


第7図 350℃×1,000 時間の熱処理をした試料の 各温度における引張性質



第8図 350℃×2時間×50回の熱処理をした試料の 各温度における引張性質

H



第9図 350℃ で0~1,000 時間熱処理した試料の 各温度における引張性質

これらの結果によれば、引張強さは常温すなわち 20 では約 35 kg/mm² であるものが、試験温度が高くなるにしたがって減少し約 100 で極小値約 33 kg/mm² となる。温度がさらに高くなると引張強さはわずかに増して、約 350 で極大値約 34 kg/mm² を示し、400 以上の温度では急激に減少する。一方、温度が常温より低くなるにしたがって引張強さは著しく増大し、-196 では約 52 kg/mm² で、常温における値の約 1.5 倍に相当する。

耐力は常温で約 24 kg/mm² であり、試験温度が約 150℃まで高くなるにしたがって減少し、150~350℃の温度範囲ではほぼ一定の値約 20 kg/mm² を示すが、350℃以上ではふたたび減少する。また温度が常温より低下するにしたがって、耐力は著しく増して引張強さに近づき、試験温度の最低限である -196℃ ではついに引張強さと一致するにいたる。

伸びは常温付近,すなわち $-50\sim50$ $^{\circ}$ $^{\circ}$ 0 の温度範囲内で極大値約15%を示すが,試験温度が高くなるにしたがって減少し, $200\sim300$ $^{\circ}$ 0 の範囲で極小値約9% を呈する。これは鋼について広く知られている青熱脆性(ぜいせい)に相当するものである。温度が300 $^{\circ}$ $^{\circ}$ 0 以上に高くなると伸びは増大する。また温度が-50 $^{\circ}$ 0 以下に低下すると伸びは急激に減少し,-196 $^{\circ}$ 0 ではほとんど00 に近い値を示す。

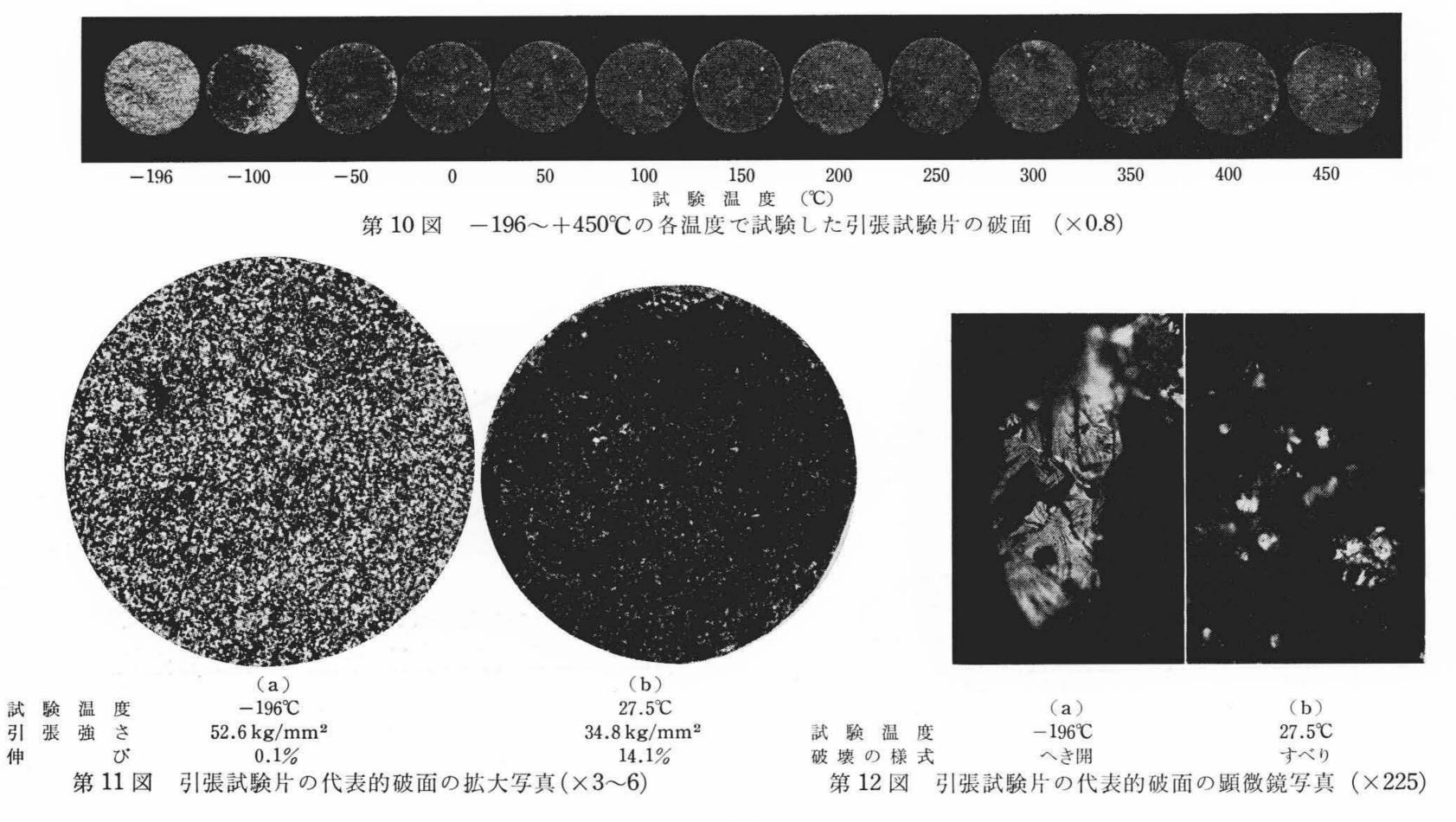
本可鍛鋳鉄の引張性質は、試験温度に伴って上に述べたような変化を示すが、第9図によれば350℃における熱処理の有無、あるいはその時間などの条件を変えても、それによってはほとんど変化しないことが明らかである。

第10 図は 350℃ で熱処理しない試験片の破面が、試験温度によって変化する状況を示している。これから明らかなように、通常みられる十分な強さと伸びをあわせ有する 0℃ 以上の温度においては 黒色の破断面を示し、すべり破壊の状態が認められる。一方極低温の -196℃ では、特徴のある白色の破断面を示し、完全なへき開破壊(cleavage fracture)の起こっていることがうかがわれる。そして、それらの中間の -100℃ および -50℃ では黒色、白色混在破面がみられる。試験温度と破面との関係は 350℃ で種々の熱処理を施した試料においてもまったく同じようにあらわれた。

第11図は白色および黒色破面の代表的なものを拡大して示した 写真である。

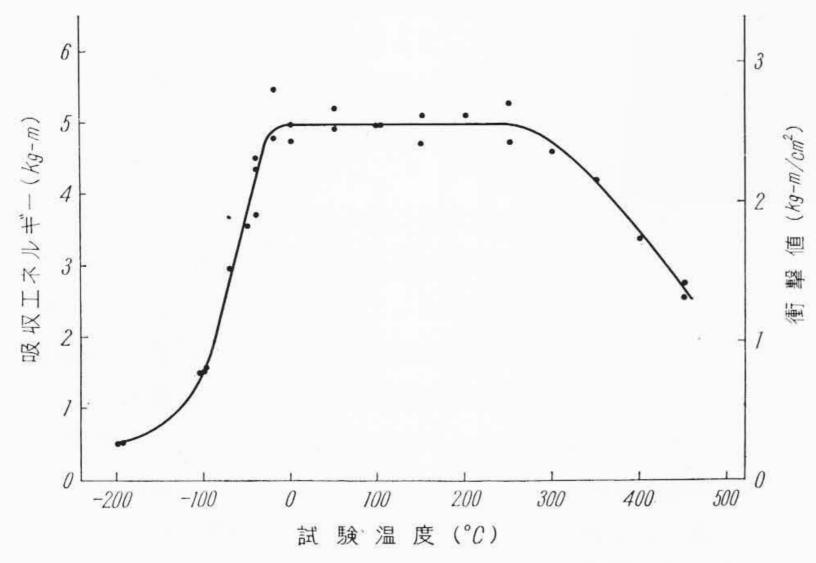
次に第12図はそれらの一部分をさらに高倍率に拡大、検鏡したもので、第12図(a)には幾何学的な模様を示すへき開面の状態が明確にうかがわれる。一方、フェライトの塑性変形が起こっているすべり破壊面においては、第12図(b)に示すように、前者とは異なった無定形的な明暗が認められる。

なお350℃で種々の熱処理を行なった試験片および各温度で試験 した試験片のいずれにも、もちろん金属組織の変化は認められてい ない。

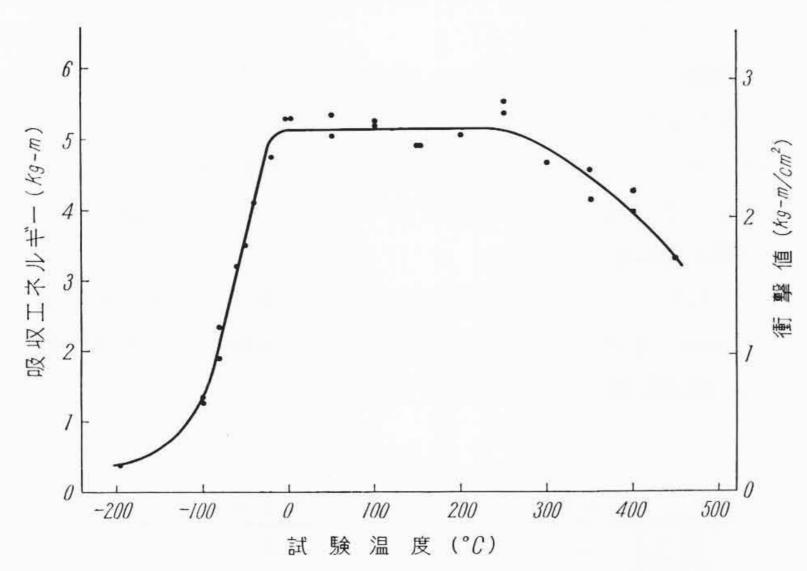


3.2 衝 撃 試 験

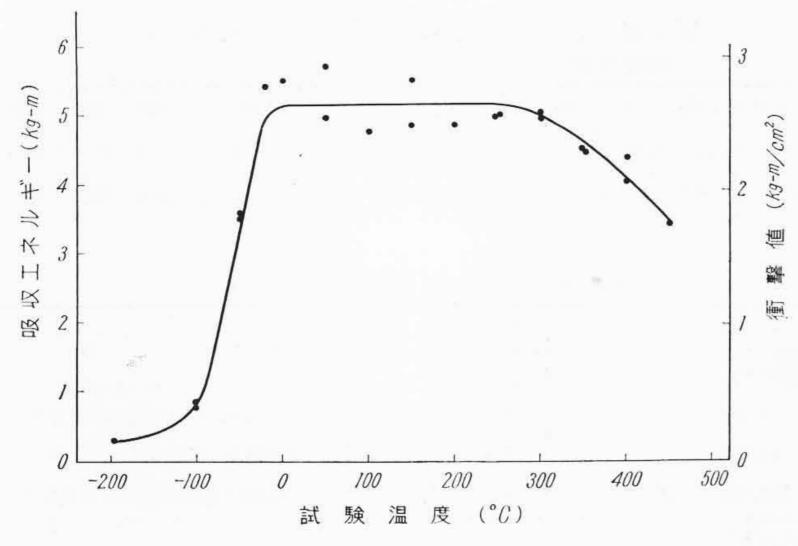
350℃ で熱処理を行なわない本可鍛鋳鉄試料,ならびに同温度で 100 時間, 1,000 時間および 2 時間×50 回の各種の熱処理を行なった 試料について得た衝撃試験結果を第 13~16 図に示す。第 17 図はそれらの相互の関係を見やすくするために一括したものである。これらの各図から,おのおのの最高,最低および平均吸収エネルギー,ならびに遷移温度 Tr. Em および Tr. Els を求めると第 3 表のとおり



第13図 350℃の熱処理をしない試料の衝撃遷移曲線



第 14 図 350℃×100 時間の熱処理をした試料の衝撃遷移曲線

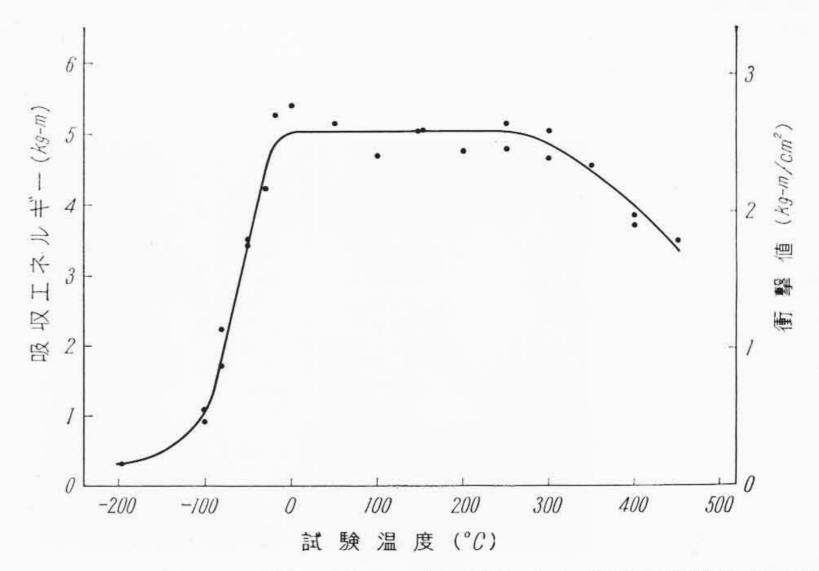


第15図 350℃×1,000 時間の熱処理をした試料の衝撃遷移曲線

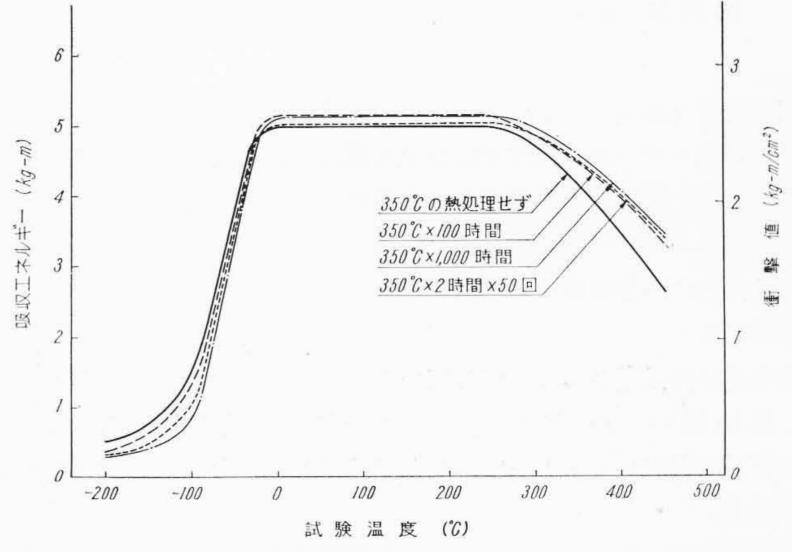
である。

これらの結果によれば、試験温度が-20°C以下になると吸収エネルギーが急激に低下して、明確な靭性-脆性遷移が現われている。そして 350°C で種々の熱処理を行なっても遷移温度の差異はあまり認められない。0°C 以上 250°C 付近までは、約 5 kg-m の最高吸収エネルギー、すなわち 2.6 kg-m/cm 2 の衝撃値を示して一定であり、この値は 350°C の熱処理によって変化しないことがわかる。さらに試験温度が高くなると、徐々に吸収エネルギーが低下し、その際熱処理しないものと 350°C 処理したものとでは、後者のほうが低下率の小さいことが認められる。以上から、黒心可鍛鋳鉄の衝撃性質は 350°C における長時間の熱処理によって悪影響を受けないと考えることができる。

第18図は350℃で熱処理しない試験片の破面が試験温度によっ



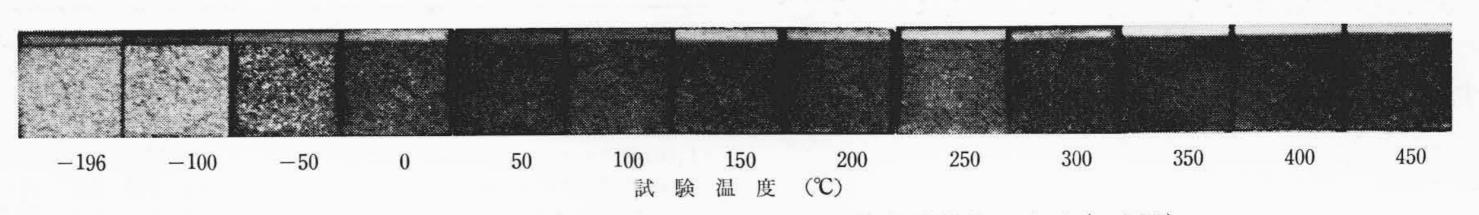
第 16 図 350℃×2 時間×50 回の熱処理をした材料の衝撃遷移曲線



第17図 350℃で0~1,000時間熱処理した試料の衝撃遷移曲線

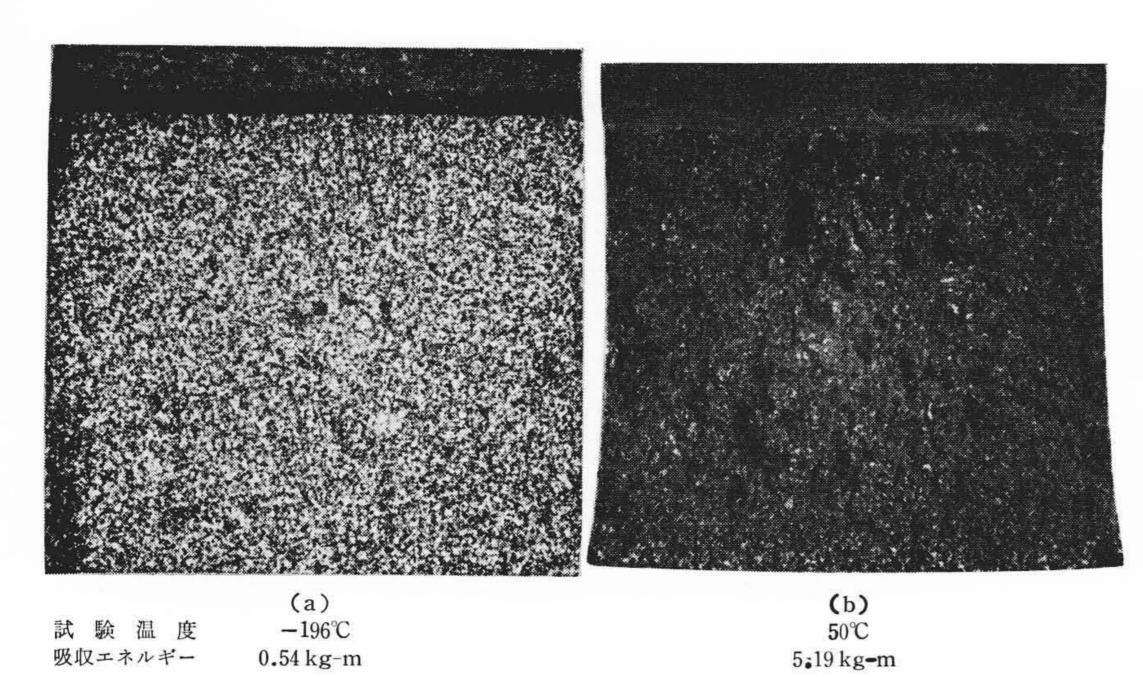
第3表 最高,最低および平均吸収エネルギーならびに遷移温度

	最高吸収	最低吸収	平均吸収	遷移温度		
熱 処 理	エネルギー (kg-m)	エネルギー (kg-m)	エネルギー (kg-m)	$\operatorname{Tr.EM}_{(\mathcal{C})}$	$\operatorname{Tr._{E15}}({}^{\circ}\!$	
しない	5.0	0.5	2.8	-69	-83	
350℃×100 時間	5.1	0.4	2.8	-66	-80	
350℃×1,000 時間	5.1	0.3	2.7	-61	-72	
350℃×2 時間×50 回	5.0	0.3	2.7	-64	-76	

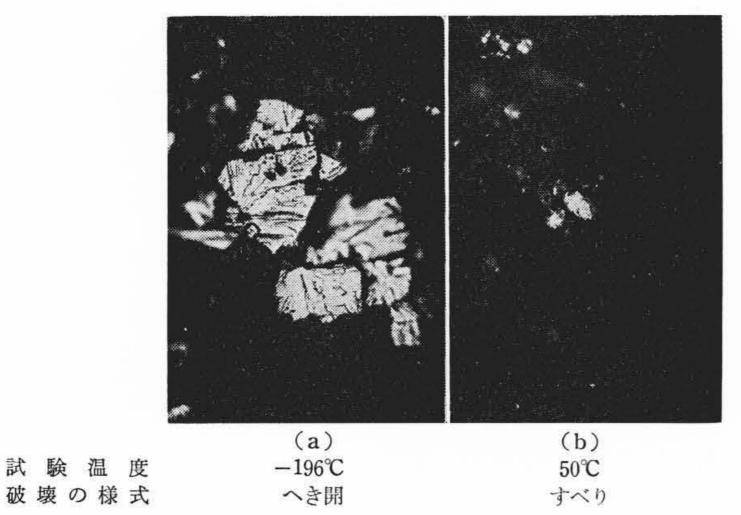


第 18 図 -196~+450℃の各温度で試験した衝撃試験片の破面 (×0.72)

日



第19図 衝撃試験片の代表的破面の拡大写真 (×3.3)



第20図 衝撃試験片の代表的破面の顕微鏡写真 (×225)

て変化する状況を示している。 第 18 図 にみられるように、高度の 吸収エネルギー値を示す 0 以上の温度においては黒色の破断面が 現われて、塑性変形を伴うすべり破壊の状態が認められる。また低い吸収エネルギーを示す -100 以下の低温域においては、特徴の ある白色のへき開破壊の状態がみられる。そしてそれらの中間の -50 においては黒色、白色混在破面が観察されるが、この温度は 衝撃遷移の温度範囲に相応している。

第18図中の脆性および靭性破面の代表的なものとして,最低および最高吸収エネルギーを示した試験片の破面を拡大して第19図に示す。

試験温度と破面との間のこれらの関係は350℃で種々の熱処理を施した試料においても同様にあらわれた。

第20図は第19図と同じ試料の一部を拡大,検鏡したもので,第20図(a)には幾何学的な模様を示すへき開面の状態が明確にうかがわれる。一方,フェライトの塑性変形が起こっている靭性破面には,第20図(b)に示すような前者と異なった模様が認められる。

4. 結果の検討

4.1 引張試験結果

黒心可鍛鋳鉄の引張性質に関する本実験の結果によれば、引張強さおよび耐力のいずれも、常温より温度が高くなるとはじめは減少するが、前者は100~400℃、後者は150~400℃の範囲でほぼ一定の値を示す。そして、それらがかなり顕著な減少を示すのは400℃以上においてである。他方、伸びは常温より温度が高くなると減少するが、200~300℃で極小値を示し、それ以上の温度では増大する。また低温において伸びは減少するが、その傾向が顕著になるのは

-100℃以下である。以上を総合してみると, 黒心可鍛鋳鉄の引張性質は -100~400℃ の 温度範囲において十分に高い水準を有するも のである。しかも,これらの引張性質は従来 行なわれている単なる "Short-Time High-Temperature Testing"のみの結果でなく, 350℃ において長時間連続あるいはくり返し の加熱処理を加えた試験片についての試験結 果によっても確かめられた。そして,それら の熱処理が行なわれても,本可鍛鋳鉄の引張 性質はほとんど変化しないことが明らかにな った。

なお,広く知られているとおり,高温における金属材料の機械的性質は,負荷速度や負荷時間によって著しく影響されるから,本実験で求めた短時間高温試験の結果を,高温で長時間連続使用されるような装置あるいは部

品の設計にそのまま適用することは必ずしも妥当でなく,負荷時間の影響を考慮しなければならない。したがって、本可鍛鋳鉄の高温における強さを問題にする場合には、クリープ特性を知ることが必要である。この観点に基づいて、日立製作所日立研究所で行なわれたクリープ破断試験およびクリープ試験の結果(11)を引用して検討を行なってみる。

その試験に使用された試料は、前に述べた引張および衝撃試験に 用いられた試料とほぼ同じ方法で溶製されたが、所定の形状をうる ために、キールブロック形に鋳造し、可鍛化焼鈍後約25mmの平均 肉厚をもつその底部から試験片を削り出した。それの白銑時の化学 成分を第4表に示す。

用いられたクリープ破断試験片の寸法は,直径 10 mm,平行部の長さ 50 mm,全長 120 mm であり,クリープ試験片の寸法は,直径10 mm,標点距離 100 mm,全長 186 mm である。また,同じ試料

第4表 クリープ試験片の化学成分

元	素	C	Si	Mn	S	P	Cr
含有量	(%)	2.55	1.15	0.38	0.118	0.066	0.036

第5表 クリープ試験用試料について行なわれた 引張試験の結果

試験温度(℃)		(°C)	20	300	350	400	450	500	550
引張	強さ	(kg/mm²)	30.2, 30.9	33.8	31.5, 32.4	28.0, 29.1	23.3	21.6	16.5
伸	Ω;	(%)	11.5, 15.8	11.5	9.5, 10.5	11.3, 13.4	13.0	18.3	17.9

第6表 クリープ破断強さ (kg/mm²)

		, 0 20	200	, 192	(13) 121	(118/111111)	
温度 (°C) 破断 時間(h)	300	350	400	450	500	備	考
1,000		23.4	18.3	12.4	7.5	破断時間-応力総	泉図の内そう値
10,000	-	21.2	15.5	10.0	5.5	破断時間-応力総	泉図の外そう値
100,000	25.0	17.0	11.0	6.0	3.0	Master 破断曲	線による推定値

第7表 クリープ強さ(kg/mm²)

指定条件	温度(℃)	350	400	450	備 考
クリープ速度 10-4%/	'h に対する応力	14.7	8.5	4.5	内そう値
クリープ速度 10-5%/h に対する応力			5.0	2.5	外そう値
1,000 時間でクリープ伸びが 0.1%に達する応力			7.6	4.0	外そう値
1,000 時間でクリープ	14.0	9.0	5.0	外そう値	
	プ伸びが 0.1%に達する応力	12.3	8.2	3.6	Kanter and Guarnieri (5

について、各温度における通常の引張試験も同時に行なわれたが、 その試験片の直径は8mm、平行部の長さは28mmであった。

引張試験によって得られた結果を第5表に示す。次に250~500℃の各温度で行なわれたクリープ破断試験の結果から,クリープ破断時間-応力線図および Larson & Miller の方法による Master 破断曲線を作り,これらによってクリープ破断強さを求めたのが第6表である。 L. C. Marshall および G. F. Sommer $^{(4)}$ が発表している100,000時間破断応力は、427℃で $7.3 \, \mathrm{kg/mm^2}$ 、538℃で $2.8 \, \mathrm{kg/mm^2}$ である。この値と第6表の値とを比べると450℃を境としてそれ以下の温度では本実験の結果が高く,それ以上の温度では低い。またクリープ試験の結果から,各種の指定条件に対するクリープ強さを求めて87表に示した。なお,87表には30 J. J. Kanter および30 G. Guarnieri 30 がキュポラで溶製され比較的炭素含有量の高い可鍛鋳鉄について求めたクリープ強さを参考値として掲げてある。本実験の結果はかれらの値に比べて,全般的にやや低目に出ている。

一方, ASME の Boiler and Pressure Vessel Code⁽⁹⁾ では, 各 温度における許容応力 (allowable working stress) の求め方を次のように定めている。すなわち,

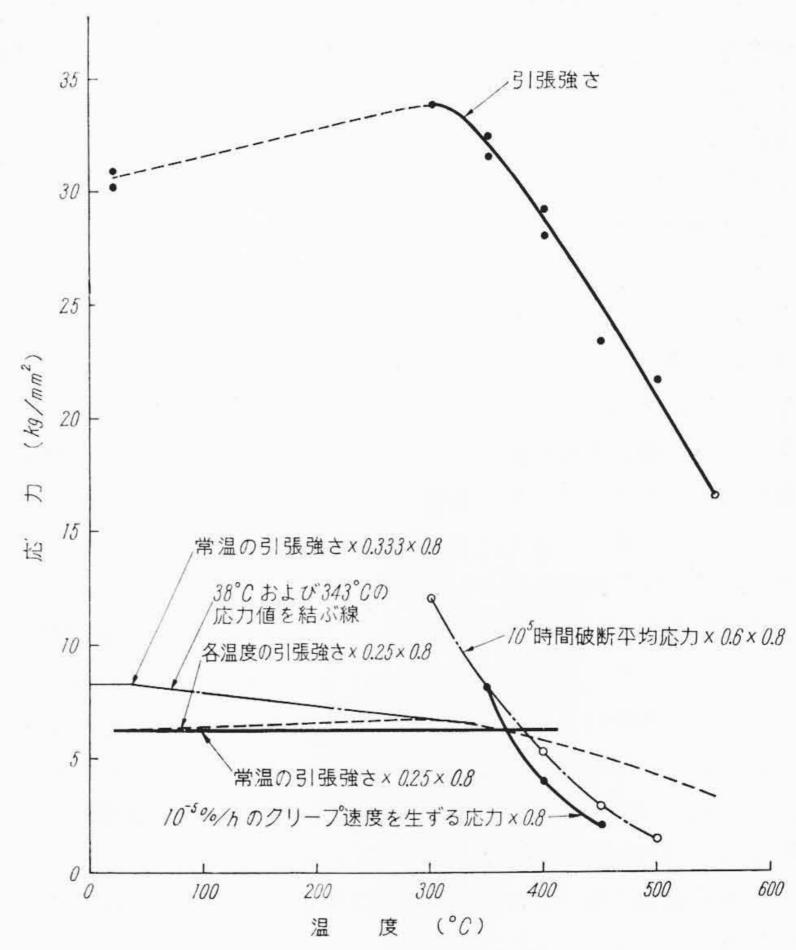
- (1) クリープ範囲以下の温度では
 - (a) 常温における規定の最低の引張強さの25%
 - (b) その温度における最低の引張強さの25%
 - (c) その温度における最低の降伏点の 62.5%
- (2) クリープを考慮すべき温度範囲では
 - (a) 1/100%/1,000hのクリープ速度を生ずる応力の100%
 - (b) 100,000 時間後に破断に至らしめる平均応力の60%
 - (c) 100,000 時間後に破断に至らしめる最低応力の80%

として得られた値のうちの最低値を許容応力とするのである。そして鋳物の場合には上記の方法によって得られた値にQuality Factorを乗じた数値をとることになっている。この係数としては,その鋳物あるいは同一ロット内のある個数のものについて,非破壊あるいは破壊検査が十分に行なわれて,有害な鋳造欠陥の存在しないことが確認されている場合には90%以下,このような検査が行なわれていない場合には80%以下の値がとられる。

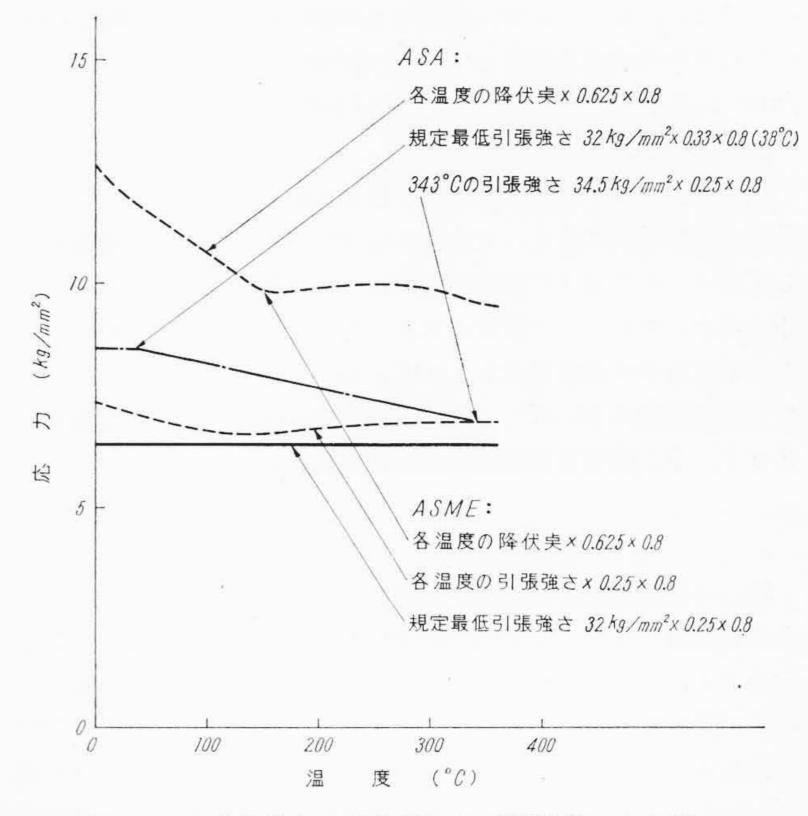
なお、このほかに許容応力に関する ASA の規定があり、これは基本的には上に述べた ASME の定め方に従っているが、常温~約 350℃ の温度範囲では、ASME よりやや高い値をとっている。すなわち

- (1) 100°F (38℃) 以下では
 - (a) 常温における規定の最低の引張強さの 33.3%
 - (b) 常温における規定の最低の降伏点の62.5%
- のうちの低い値をとる。
- (2)(a) クリープ範囲以下の温度では、その温度における平均の降伏点の62.5%以下の値をとる。
 - (b) クリープ範囲以下でかつ 650°F (343°C) より高い温度では、その温度における平均の引張強さの 25% 以下の値をとる。
- (3) 100° F (38° C) \sim 650°F (343° C) の温度範囲では、これらの各温度における応力値を結ぶ曲線あるいは直線によって与えられる値をとる。
- (4) クリープを考慮すべき温度範囲では
- (a) 0.01%/1,000hのクリープ速度を生ずる応力の100%を一般にとるが、
- (b) 100,000 時間後に破断に至らしめる応力の100%をとることもある。

なお、Quality Factor は ASME におけると同様に適用される。 上記の文中の降伏点は、ASME および ASA のいずれにおいても、 0.2% の永久変形を生ずる応力として定義されており、前章の実験で



第21図 キールブロックから削り出した試験片についての測定値に ASME および ASA の規定を適用して算定した許容応力



第22図 引張強さの規格値および測定値, ならびに 降伏点の測定値に ASME および ASA の規定を適 用して算出した許容応力

求めた耐力に合致する。

本章に示した引張強さ、クリープ破断強さおよびクリープ強さに、ASME および ASA の規定を適用して算出した応力値と温度との関係を 第 21 図 に示す。ここで常温の引張強さとしては、規定の最低値ではなく、測定値の平均を用いてある。なお Quality Factor としては、かなりきびしい値である 80% をとった。

第21 図によれば、約370℃ を境として、それ以下の温度では常温の引張強さから算出した値が最も低く、それ以上の温度ではクリープ強さから算出した値が最も低い。したがって、許容応力を定める

日

にあたって370℃以下では引張強さが支配的な立場にあり、クリープ強さを考慮しなければならないのはそれ以上の温度においてである。換言すれば少なくとも本可鍛鋳鉄の新しい使用制限温度として設定した350℃までの温度範囲では、引張強さに基づいて許容応力を算定すればよい。

さて第21図に示されている引張強さは、前に述べたとおりキー ルブロックのかなり厚肉の底部から削り出された試験片について測 定した値である。しかし JIS によれば、引張強さは平行部の直径が 14 mm の鋳放しの試験片について測定すべきことが規定されてお り、これによって得られた引張強さは、上記の切削加工された試験 片について測定された値より通常いくらか高い。このような理由で 第21図に示されている引張強さに基づいた許容応力の値をそのま ま採ることは妥当でなく,規定の試験片について測定された引張強 さ,あるいはその規格値から算出するのが正しいと考えられる。当 工場で製造している黒心可鍛鋳鉄バルブの本体の材質は FCMB 32 に準拠しており、その規格値以上に十分の余裕をもっている。そこ で、この規格値および前章の JIS に規定されている試験片に関する 実験結果に、ASME および ASA の規定を適用して、あらためて常 温~350℃の温度範囲の許容応力を算定した結果を第22図に示す。 第22図には降伏点に基づいて算出した応力も示されているが、こ れは引張強さに基づいて算出した応力に比べてはるかに高いことが わかる。

前章に示したとおり、本可鍛鋳鉄の引張強さは鋳鋼などにおけると同様に約 150 で極小値を示すが、常温における引張強さが $35 \, \mathrm{kg/mm^2}$ であれば、上記の極小値が $32 \, \mathrm{kg/mm^2}$ 以下に低下することはない。したがって、前記の ASME の規定による常温~350 の温度範囲の許容応力としては、規定の最低の引張強さである $32 \, \mathrm{kg/mm^2}$ に基づいて得た値 $6.4 \, \mathrm{kg/mm^2}$ を採ればよい。

4.2 衝擊試験結果

黒心可鍛鋳鉄の衝撃試験に関する本実験の結果によれば $0\sim250$ で長時間連続あるいはくり返しの熱処理を行なってもその報告とれば $0\sim250$ で長時間連続あるいはくり返しの熱処理を行なってもその靭性は変化せず、また衝撃遷移温度の変化もほとんど認められない。

5. 結 言

黒心可鍛鋳鉄が比較的低い温度から高い温度までにわたって使用される設備,装置,機械類の構成要素などの鋳物材としての適応性を有するかいなかを検討する目的で,一200~450℃の温度範囲における引張性質および衝撃性質,ならびに350℃における長時間連続加熱あるいはくり返し加熱が両性質に及ぼす影響を調べ,また別に行なわれたクリープ試験の結果を加味して,本可鍛鋳鉄の許容応力

に関して検討を行なった。それによって得られた結果を要約すれば 次のとおりである。

- (1) -100~400℃ の温度範囲における黒心可鍛鋳鉄の引張強さ、耐力および伸びは、それぞれ 42~32 kg/mm², 32~19 kg/mm², 8~16% であり、いずれも十分に高い水準を示している。
- (2) 本可鍛鋳鉄は -50~370℃ の温度範囲で 2 kg-m/cm²以上の衝撃値を示し、0~250℃ ではその値はほぼ一定で 2.6 kg-m/cm²である。
- (3) 350℃で長時間連続加熱あるいはくり返し加熱の熱履歴を 与えても、上に述べた引張性質および衝撃性質は変化しない。
- (4) 本可鍛鋳鉄の許容応力は 370°C 以下の温度では引張強さにより、またそれ以上ではクリープ強さによってそれぞれ支配される。 FCMB 32 級で常温における引張強さが 35 kg/mm^2 程度である本可鍛鋳鉄について、ボイラおよび圧力容器に関する ASME の規定に基づいて算出した 350°C 付近までの温度範囲における許容応力は 6.4 kg/mm^2 である。
- (5) 黒心可鍛鋳鉄は $-50\sim350$ ℃において上に述べたようなすぐれた機械的性質を有している。したがって、鋳鉄をボイラ関係に使用する場合に課せられている230℃以下という使用制限温度は、本可鍛鋳鉄に関しては不合理である。そして、本可鍛鋳鉄は少なくとも $-50\sim350$ ℃の温度範囲で使用される配管部品およびそのほかの種々の設備、装置、機械類の構成要素用鋳物材として高い適応性を備えている。

本研究を行なうにあたり、ご指導およびご援助を賜わった日立製作所日立研究所奥本氏、ならびにクリープ試験を行なっていただいた日立製作所日立研究所佐々木氏に謹んで感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) 官報号外第20号 (昭34-3)
- (2) J. R. Kattus, Bryan Mc Pherson: Special Technical Publication, No. 248 (Mar. 1959, ASTM)
- (3) G. N. J. Gilbert: BCIRA Journal of Research and Development, 7, 478 (Feb. 1959)
- (4) Lauriston C. Marshall, George F. Sommer: ASTM Proceedings, 58, 733 (1958)
- (5) J. J. Kanter, Glen Guarnieri: ASTM Proceedings, 42, 659 (1942)
- (6) L. C. Marshall, G. F. Sommer, D. A. Pearson: Metal Progress, 77, 102 (Mar. 1960)
- (7) ASTM Designation A 338-61, 1961 Book of ASTM Standards Part 1, 1546 (1961 ASTM)
- (8) 近藤, 奥本: 日立評論 別 42, 69 (昭 36-5)
- (9) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, 189 (1959 ASME)
- (10) American Standard Code for Pressure Piping, Section 3, Petroleum Rifinery Piping, 6 (1959 ASME)
- (11) 佐々木: 日本材料試験協会第 11 期学術講演会前刷 79 (昭 37-5)