

鑄鉄の繰返衝撃荷重に対する強さについて

河原 英 磨* 吉 田 公 隆**

Durability of Cast Iron Against Repeating Impact Load

By Hidemaro Kawahara and Kimitaka Yoshida
Wakamatsu Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

In spite of its brittleness, cast iron has been used extensively as machine parts in such applications where the comparatively heavy impact load imposes, because of its many excellent properties which far outweigh the defect. It is a typical example of cast iron applications that the cast iron roll is used generally in the hot mill on account of its excellent wear resistance, at the risk of breakdown under comparatively heavy repeating impact. However, we have had to date little knowledge of the properties of cast iron to be shown under the repeating impact load.

This report provides the results of the writers' experiments on the durability of pearlite cast iron, which constitutes roll body, against the repeating bending impact.

The results are summarized as follows:

- (1) Temperature variation over the range of 3°—30°C has no influence upon the durability of cast iron against the repeating impact load.
- (2) The logarithm of number of cycles to failure, log N, is inversely proportional to the magnitude of impact load, P.
- (3) Under light impact load, the tensile strength of material is proportional to log N.
- (4) When the characteristics of material are to be evaluated, it is preferable to apply heavy impact load to the specimen.
- (5) Cracks in specimen emanate from the nib of flaky graphite and in free cementite. Cracks in pearlite matrix propagate in transcrystalline type in case of plain gray cast iron, while they become intercrystalline in Cr alloy cast iron.
- (6) These materials containing much C.C. in comparison with T.C., or having graphite carbon distribution in network form in their structure, are weak to impact load.
- (7) Log N is inversely proportional to the notch factor of specimen.
- (8) The material containing much C.C. is sensitive to notch.

〔I〕 緒 言

鑄鉄は衝撃荷重に対して脆弱な材料であるが、鋼にまさる幾多の特質を有するために、かなり強い衝撃、重荷が作用する部品にまで使用されることがある。たとえば金属熱間圧延用鑄鉄ロールは材料咬込時に相当大きな衝撃荷重が作用する。しかしその耐磨性は鋼に比較してはるかに優秀であるため、折損の点では多少の犠牲を払つ

ても鑄鉄ロールが用いられている現状である。勿論金属圧延用ロールには衝撃荷重の他に繰返荷重が作用するので、ロールの折損をすべて繰返衝撃荷重のために発生する事故とみなすことはできないが、繰返衝撃荷重がかなり大きな影響を与えていることは疑う余地がないようである。

しかるに繰返衝撃荷重に対する鑄鉄の性質に関してわれわれが持っている知識はかなり貧弱なものであり、特に圧延用鑄鉄ロールの母体となるパーライト地高級鑄鉄

* ** 日立製作所若松工場

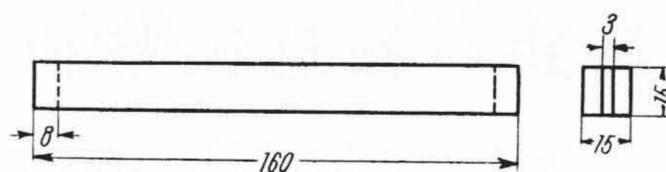
の繰返衝撃荷重に対する強さはいかなる要素に支配されるか、まだ把握されていないような現状である。したがって筆者は鑄鉄のロールと類似の金属組織をしたパーライト地鑄鉄について少しばかり実験を試み、その性質の一部を知ることができたのでここに報告する次第である。

〔II〕 実験試料と実験方法

繰返曲げ衝撃試験機は島津製作所製の西原式を使用した。試験棒は第1図に示すような角棒であり、切欠をつける場合には第2図に示すように、試験棒の中央部上下面に深さ 1mm で 1, 2, 3, 5, 50R などの切欠を入れた。試験棒は 120mm の間隔を有する支持台によつて両端を自由支持され、その中央部から左右に 20mm 隔つた 2 点において同時に衝撃荷重を受けるようになっている。

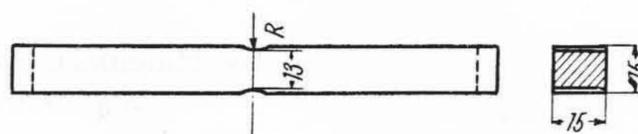
したがつてこの 2 点間において試験棒は均一な曲げモーメントを受ける筈である。また試験棒は 1 回衝撃を受けるたびに半回転せしめられて、試験棒の上下面が交互に叩かれるような構造になっている。実験に使用した試験棒はサンドロールおよび各種グレーンロール鑄造の際の湯道にあたる部分から切出した。各材質間の条件を一樣にするために湯道の直径は 5.5~6 吋のもののみを選定し、第3図に示すように内径 3 吋、外径 4.5 吋の円筒を削出し、これを円周方向に 12 等分して 1 本の湯道から鑄造条件の相等しい多数の試料を切出した。なお参考のため湯道の同一位置から抗張力測定用の試験棒を各試料とも 2 本づつ切出した。

実験はまず平滑試験棒に繰返衝撃荷重を与えた場合、試験棒が折損するまでの衝撃回数（以後耐久限度と仮称する）を測定した。最初に温度の影響を調査したが、3°~30°C の範囲においては繰返衝撃荷重を加えた場合の耐久限度に対して温度の影響は認められなかつた。元來動的な破壊試験を行うとデータはかなりバラツクものであるから、このバラツキが衝撃荷重の大きさによつてどのように変わるか検定し、この試験棒に対する最適荷重の決定を試みた。つぎに繰返衝撃荷重に対する耐久限度と抗張力との関係を検討してみることにした。また繰返衝撃荷重によつて生じた亀裂は鑄鉄の組織中をどのように進行して行くか、換言すれば、組織中の弱点はどの部分であるか調べてみた。最後に切欠を持った試験棒について、一定繰返衝撃荷重を加えた場合の耐久限度を測定し、切欠の形状係数と耐久限度との関係を調査するとともに、形状係数の増加に伴い、耐久限度の低下する割合を求めて、いかなる材質が切欠に対して鋭敏であるか考察した。



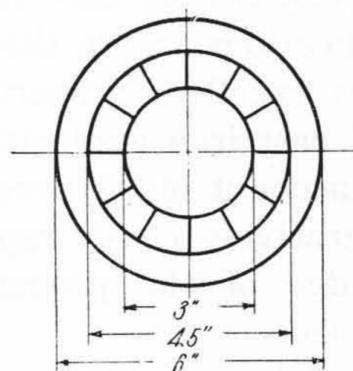
第1図 平滑試験片

Fig.1. Unnotched Specimen



第2図 切欠試験片

Fig.2. Notched Specimen



第3図

試験片切出し位置

Fig.3.

Sampling Location of Specimen

〔III〕 実験結果とその考察

(1) 衝撃荷重の大小と耐久限度のバラツキとの関係

先にも述べたように同一素材の同一条件の位置から切出し試験棒を用い、同一条件で繰返衝撃を加えた場合でも、その耐久限度は一定せず、ある範囲のバラツキを生ずる。このバラツキは少い程、小数の試験棒によつてえられたデータを用い実験結果を取纏めることができる。また実験の精度も上昇するものと考え一、二の材質について繰返衝撃値の大小と、耐久限度測定値のバラツキの度合との関係を調査してみた。バラツキ、すなわち分散の度合を表わすためには、標本標準偏差 σ によつて示すのが最も便利である。

さて、繰返曲げ衝撃を受ける試験棒が折損するまでの衝撃回数 N の分布形状について考えてみよう。疲労試験は一種の寿命試験であり、一般に正規分布ではなく、対数正規分布となるので、この場合の N も対数正規分布ではないだろうかという予想をすることができる。しかしこの分布の形を正確に掴むには検定を行つてみなければならぬが、検定のためには普通 100 箇以上のデータを必要とし、同一材質の試験棒を多数用意しなければならないので、多少不正確ではあるがつぎのような便法によつてその分布の形状を推定した。後に説明するように抗張力 σ_b と耐久限度 N との間には次式に示すような相関関係がある。

$$\sigma_b = a + C \log N$$

ただし a および C は常数

故にもし σ_b を正規分布として取扱つて大過ないものとすれば、 $\log N$ もまた正規分布として取扱うる筈である。したがつて繰返衝撃試験によつてえられた材料の耐久限度 N に変換をほどこし、 $\log N$ を統計量として実験結果を取纏めることにした。

第1表に示すような化学成分の2種類のグレンロール材からえられた試験棒にそれぞれ衝撃荷重 20, 30, 40, 50 kg-cm を加えた場合の耐久限度 N および $\log N$ の値(以後耐久限度指数と仮称する)を第2表に示した。この結果から各荷重に対する $\log N$ の標準偏差 σ を計算したものが同表最下行の数値である。衝撃荷重の値が大きくなればなる程 $\log N$ の標準偏差 σ は増大しており、荷重変化による $\log N$ の分数の均斉性を検討してみた結果

第1表 試験棒の化学成分
Table 1. Chemical Composition of the Specimens

試料記号	ロール材質	T.C	C.C	Si	Mn	P	S	Cr
A	#1	3.21	1.44	1.10	0.47	0.21	0.061	0.86
B	#2	2.31	1.10	2.06	0.60	0.21	0.048	0.35

第2表 繰返衝撃荷重に対する耐久限度

Table 2. Fatigue Life of Specimen for Repeating Bending Impact

実験回数	試料記号 衝撃荷重 (kg-cm)	A (#1)				B (#2)		
		20	30	40	50	20	30	40
1	N_1 ($\log N_1$)	726 (2.86)	106 (2.03)	24 (1.38)	6 (0.78)	3,158 (3.50)	480 (2.68)	79 (1.99)
2	N_2 ($\log N_2$)	583 (2.77)	89 (1.95)	20 (1.30)	5 (0.70)	3,034 (3.48)	423 (2.63)	43 (1.63)
3	N_3 ($\log N_3$)	577 (2.76)	68 (1.83)	18 (1.26)	2 (0.30)	2,640 (3.42)	368 (2.57)	36 (1.56)
4	N_4 ($\log N_4$)	573 (2.76)	64 (1.81)	17 (1.23)	1 (0.00)	2,332 (3.37)	210 (2.32)	11 (1.04)
5	N_5 ($\log N_5$)	463 (2.67)	59 (1.77)	11 (1.04)	1 (0.00)			
logN の平均値		2.76	1.88	1.24	0.36	3.44	2.55	1.56
logN の標準偏差 σ		0.060	0.095	0.112	0.338	0.052	0.136	0.342

第3表 試験棒の化学成分と抗張力

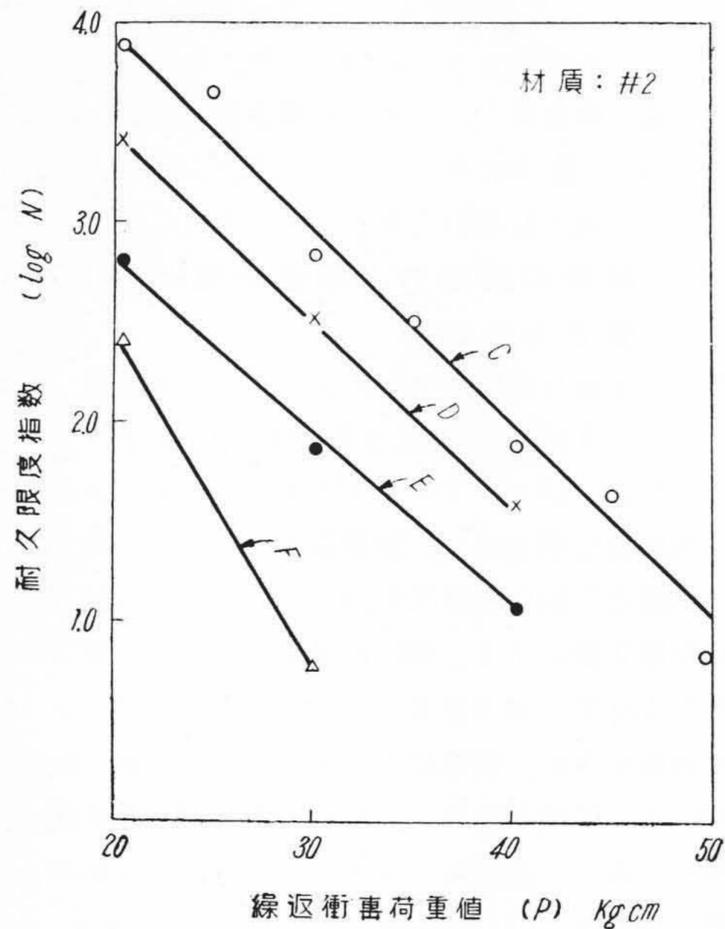
Table 3. Chemical Composition and Tensile Strength of the Specimens

試料記号	ロール材質	化 学 成 分 (%)									抗張力 (kg/mm ²)
		T.C	C.C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
C	#2	2.18	1.11	1.79	0.24	0.29	0.066		0.27		41.2
D	#2	2.31	1.10	2.06	0.60	0.21	0.048		0.35		35.8
E	#2	2.22	1.30	2.24	0.84	0.23	0.053		0.39		30.5
F	#2	2.06	1.08	2.29	0.62	0.27	0.060		0.34		28.6
G	#5x	2.63	1.26	1.71	0.62	0.19	0.057	1.30	0.74	0.75	32.3
H	#5x	2.38	1.36	1.84	0.55	0.19	0.054	2.30	1.03	0.74	30.1
I	#5x	2.46	1.36	1.97	0.68	0.15	0.060	1.76	0.99	1.10	27.2
J	#5x	2.41	1.88	1.47	0.62	0.17	0.056	1.99	1.14	1.16	27.1
K	#1	3.21	1.44	1.11	0.47	0.21	0.061		0.86		26.3
L	#3	3.00	1.48	1.52	0.51	0.26	0.055		1.05		21.9
M	#4	2.86	1.32	1.70	0.62	0.25	0.059		0.76		24.6
N	#7A	3.10	1.64	1.02	0.45	0.19	0.122		1.11		26.1
O	サンド	2.95	1.20	0.54	0.24	0.54	0.089		0.03	0.30	22.8

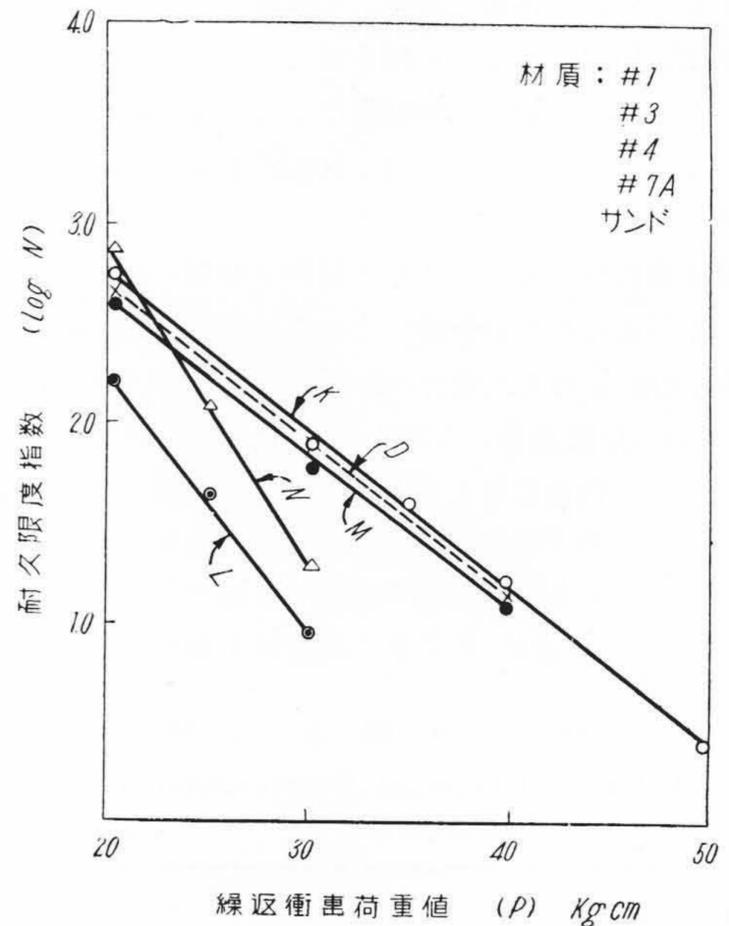
も、1% 以下の危険率をもつて、各荷重間における $\log N$ の分散には差があることを知りえた。以上の結果から、衝撃荷重の値を小さくする程繰返衝撃回数 N は増加し、かつ統計量 $\log N$ のばらつく度合は小さくなり、実験結果の取纏上好都合であることがあきらかになつた。

(2) 材料の抗張力と繰返衝撃荷重に対する強さとの関係

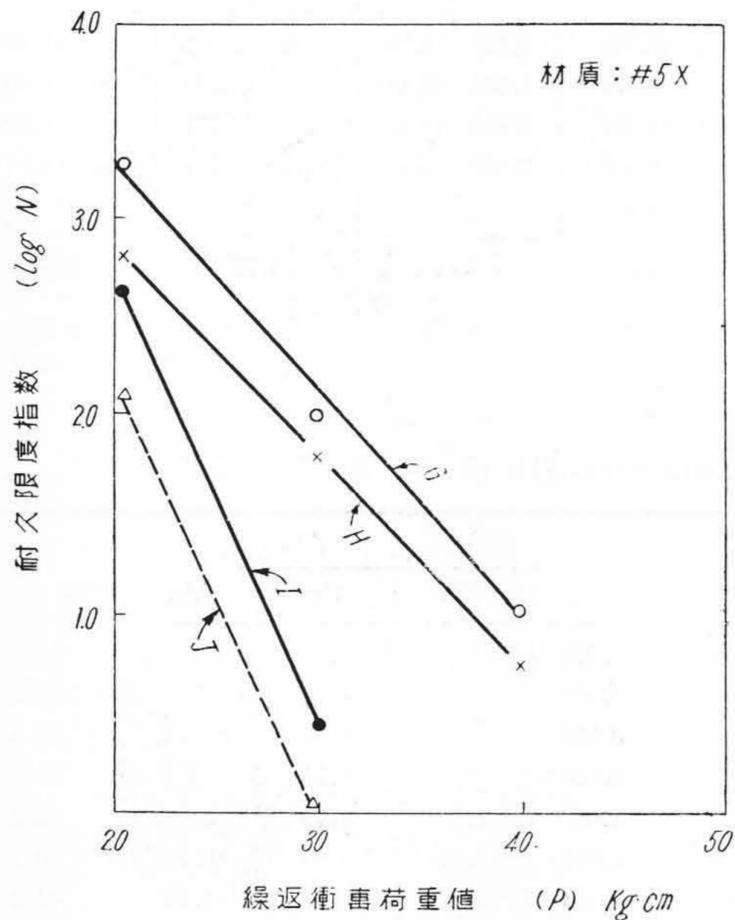
多少化学成分の異なる #2 グレンロール 4 種類、#5x グレンロール 4 種類と #1, #3, #4, #7A グレンロール 各 1 種類およびサンドロールの湯道からおのおの 9~18 本の試験棒を切り出し、衝撃荷重の大きさを種々変えた場合の繰返し耐久限度 N を測定した。これら試料の化学成分を第3表に示す。測定結果えられた耐久限度のデータから $\log N$ の値を計算し、各試料、各荷重ごとに $\log N$ の平均値を求め、衝撃荷重の大きさ P と耐久限度指数 $\log N$ との関係を図示したものが第4図~第6図(次頁参照)である。多少のバラツキはあるが、各試料とも荷重 P と $\log N$ とは逆比例しており、 P と $\log N$ との関係は $P-\log N$ 図面上に直線をもつて表すことができる。



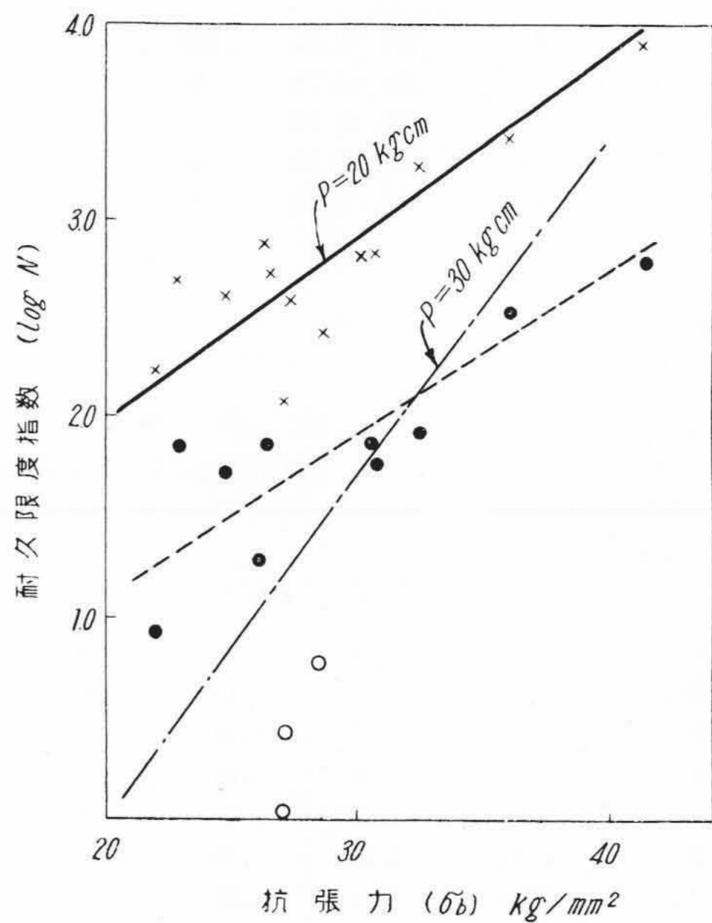
第4図 グレーン#2の繰返曲げ衝撃に対する耐久限度指数
Fig. 4. Index of Fatigue Life of Material “#2” for Repeating Bending Impact



第6図 各種材質試料の繰返曲げ衝撃に対する耐久限度指数
Fig. 6. Index of Fatigue Life of Several Material for Repeating Bending Impact



第5図 グレーン#5xの繰返曲げ衝撃に対する耐久限度指数
Fig. 5. Index of Fatigue Life of Material “#5x” for Repeating Bending Impact



第7図 材料の抗張力と繰返曲げ衝撃に対する耐久限度指数との関係
Fig. 7. Relation between Tensile Strength and Index of Fatigue Life for Repeating Bending Impact

つぎに上記のデータから材料の抗張力 σ_b と繰返衝撃荷重 20 kg-cm および 30 kg-cm に対する耐久限度指数 $\log N$ との関係を探ってみると第7図のようになる。

図中、実線および鎖線はそれぞれ $P=20$ kg-cm および $P=30$ kg-cm に対して求めた回帰直線である。実験結果から σ_b と $\log N$ の相関係数 r を求めてみると

$$P=20 \text{ kg-cm の場合 } r=0.87$$

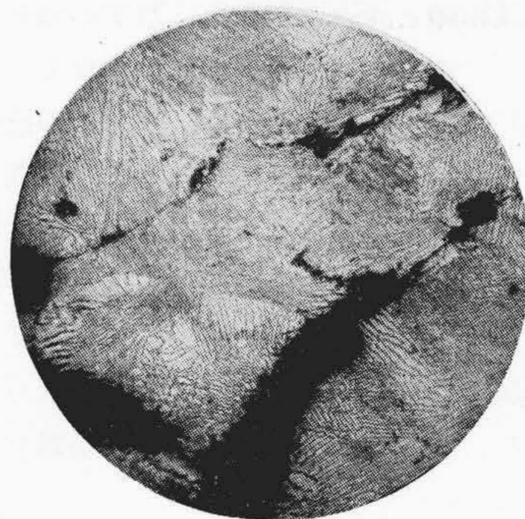
$$P=30 \text{ kg-cm の場合 } r=0.61$$

となり、かなり相関は密接であることがわかる。また σ_b と $\log N$ 間の母相関の有無を検定した結果、 $P=20$ kg-cm の場合には 1% 以下の危険率で母相関があり、 $P=30$ kg-cm の場合には 5% 以下の危険率で母相関のあることを知りえた。つぎに衝撃荷重 20 kg-cm の場合と 30 kg-cm の場合の相関係数の有意差を 15% の危険率で検定してみた結果、同一母集団から抽出した標本とはみなされないことが判明した。したがって上に述べた二つの場合の相関係数に差があるとすれば、 $P=20$ kg-cm の場合の σ_b と $\log N$ の相関の方が $P=30$ kg-cm の場合の相関より密接であることになる。抗張力の小さな材料は、衝撃荷重 $P=40$ kg-cm の場合の耐久限度 N を測定することができなかつたために、 σ_b と $\log N$ との相関係数は求めなかつたが、実験の結果から想像して、この場合の σ_b と $\log N$ の相関性は $P=30$ kg-cm の場合よりもなお一層疎になるように思われる。結局衝撃荷重が軽い場合には、繰返衝撃荷重に対する耐久限度とその材料の抗張力との間には密接な関連があり、材質が多少異つていても抗張力が相等しければ、繰返衝撃耐久限度も近似の値を示す。これに反して衝撃荷重の値が大きくなると σ_b と $\log N$ とはかならずしも比例的な関係を保たず、抗張力の相等しい材料でもその材質、組織の相違によつて繰返衝撃に対する耐久限度はかなり差異を生ずることになる。結局、衝撃荷重値が大きい程耐久力は材質組織の良否を鋭敏に反映することを知りえた。したがって繰返衝撃荷重に対する材料の強度を判定するためには衝撃荷重の値を大きく選ぶ方が妥当であると思われる。このことは前節(1)に述べた結果と相反する。すなわちデータのバラツキを少なくして実験の精度を上げるためには衝撃荷重の値を小さくした方がよいが、このようにして測定したデータはその材料の抗張力に比例した値を示すにすぎない。故に静的な引張試験の結果からは推測し難い繰返衝撃荷重に対する材料の特性を知るためには、多少実験の精度は低下しても、比較的高い衝撃荷重を加えて実験する必要がある。しかしてデータのバラツキによつて生ずる判定の誤を避けるためには、できるだけ測定回数を多くしてその平均値を取る必要があるものと思われる。

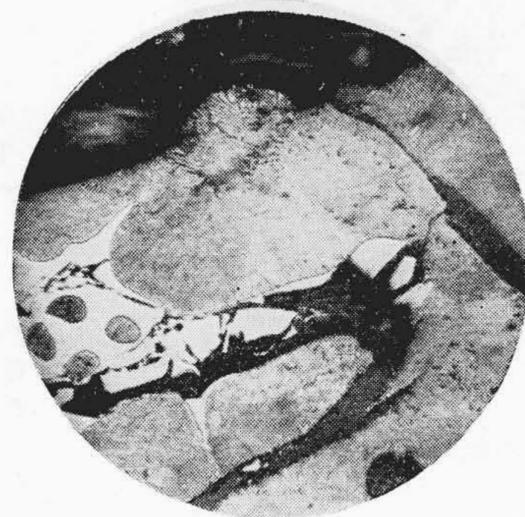
振返つて実物ロールの場合について考えてみよう。ロールに作用する衝撃荷重が比較的小さい場合には、抗張力および繰返曲げ疲労限の高い材質であれば衝撃荷重に対する耐久力も抗張力に比例して大きいので問題はないが、衝撃荷重が大きい場合には抗張力および繰返曲げ疲労限の高い材料でも、その材質によつては極端に弱い場合がありうることになる。

(3) 繰返衝撃荷重を与えた場合、材料中に発生する亀裂

繰返衝撃試験実施中、試験棒に亀裂が発生すると衝撃音が変わるので、音が変わった場合にはただちに試験機を停めて、試験片の亀裂に垂直な面を研磨し、亀裂の先端部における進行状況を観察してみた。第8図および第9図は試験棒中に発生した亀裂の状況を示したものである。どの材質の試料でも亀裂は片状黒鉛の先端から発生し、黒鉛と黒鉛を連結して発達している。また遊離セメントタイトの存在する材料ではセメントタイト中に多くのひび割が発生しており、このひび割が亀裂になつて発達している。結局亀裂は黒鉛と遊離セメントタイトを連結して進行しており、黒鉛と遊離セメントタイトが材料中の弱点をなしていることがあきらかである。



第8図 サンドロール材中に発生した亀裂
Fig.8. Cracks in Microstructure of Sand Roll Material



第9図 グレーンロール材(#3)中に発生した亀裂
Fig.9. Cracks in Microstructure of Grain Roll Material "#3"

第4表 材料の抗張力, 繰返衝撃に対する耐久限度指数および C.C/T.C の関係
Table 4. Relation between the Tensile Strength, Index of Fatigue Life for Repeating Impact and C.C/T.C

試料記号	点線より上にある点				点線より下の点 (遙か下の3点を除く)						点線より遙か下の点		
	A	K	M	O	C	G	E	H	N	L	F	I	J
抗張力 (kg/mm ²)	35.8	26.3	24.6	22.8	41.2	32.3	30.5	30.1	26.1	21.9	28.6	27.2	27.1
耐久限度指数 (log N)	2.55	1.88	1.74	1.88	2.80	1.94	1.86	1.77	1.30	0.94	0.77	0.43	0.00
T.C (%)	2.31	3.21	2.86	2.95	2.18	2.63	2.22	2.38	3.10	3.00	2.06	2.46	2.41
C.C (%)	1.10	1.44	1.32	1.20	1.11	1.26	1.30	1.36	1.64	1.48	1.08	1.36	1.88
C.C/T.C	0.48	0.45	0.46	0.41	0.51	0.48	0.58	0.57	0.53	0.49	0.52	0.55	0.78

つぎにパーライト基地中における亀裂の進行状況を観察してみよう。第8図に示したサンドロール材においては、亀裂はパーライトの層を横切つて進行しており、その他のグレンロール材の場合にはパーライトの粒界に沿つて進行している。サンドロール材は Ni, Cr を含有しないのでパーライトの層は粗く、かつその粒界には Cr の炭化物などの析出が少ないので、亀裂はパーライト中を横切つて進行したものと思われる。これに反し、グレンロール材は Cr を含有しており、パーライトの層はこまかくなつて強力になるのに対し、その粒界には Cr の炭化物が析出して脆くなるため、粒界が弱点になつてこの部分を亀裂が進行したものと考えられる。

(4) 金属組織と繰返衝撃荷重に対する強さとの関係

(2) において述べたように軽い繰返衝撃を加えた場合には、その耐久限度指数 logN はその材料の抗張力にほぼ比例した値を示す。しかるにパーライト鑄鉄の抗張力は片状黒鉛の増加とともに低下し、黒鉛が粗大である程弱くなる。また遊離セメントが増加すると抗張力は減少する。したがつて軽い繰返衝撃荷重を加えた場合の耐久限度と試料の材質間にも、抗張力の場合と同様な傾向が覗かれる。すなわち全炭素量および遊離セメント

トの少い #2 グレンロール材は繰返衝撃荷重にも強く #5x も同様の理由によつて強力である。

繰返衝撃荷重の値が大きくなると耐久限度指数 logN はその材料の抗張力とかならずしも比例しないようになる。第7図に示す点線は衝撃荷重 30 kg-cm の場合における全データ中から抗張力に比較して繰返衝撃に対する耐久限度が極端に低い場合のデータ 3 箇 (図中○印で示す) を除いて耐久限度指数と抗張力の関係を示した回帰直線である。この点線より上方にある点と下方にある点とを分類して第4表に纏めてみよう。この表からあきらかなように点線から上部に存在する点はすべて C.C/T.C が 0.5 以下であり、点線より下の点はほとんど 0.5 またはそれ以上である。また極端に C.C/T.C の値が大きなものおよび黒鉛が第10図に示すように網目状に連続して発達した組織のものは点線より極端に下の方に位する。結局 T.C% に比較して C.C% が高い材料および黒鉛が網目状に発達したものはその抗張力の大きさに比較して繰返衝撃荷重に弱いことがわかる。

以上の結果を取纏めてみると、つぎのような推論を下すことができる。

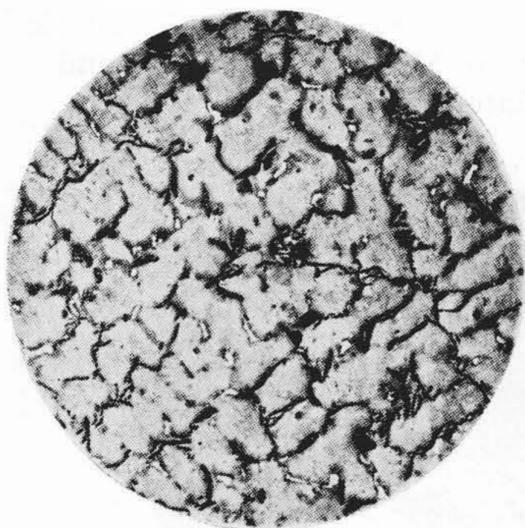
(i) 全炭素量が増加すると抗張力および繰返衝撃荷

第5表 切欠部の曲率半径 R と形状係数 α との関係
Table 5. Relation between the Curvature of Notch "R" and the Notch Factor "α"

切欠底の曲率半径 R	1 mm	2 mm	3 mm	5 mm	50 mm
切欠の形状係数 α	2.18	1.82	1.48	1.26	1.03

第6表 切欠試験棒の化学成分
Table 6. Chemical Composition of the Notched Specimens

試料記号	ロール材質	化学成分 (%)									抗張力 (kg/mm ²)
		T.C	C.C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	
P	#2	2.20	1.14	1.88	0.52	0.30	0.068		0.42		35.3
Q	#2	2.15	1.20	1.87	0.26	0.25	0.064		0.23		
R	#5x	2.63	1.26	1.71	0.62	0.19	0.057	1.30	0.74	0.75	32.3
S	#1	3.21	1.44	1.10	0.47	0.21	0.061		0.86		26.3
T	#3	3.00	1.50	1.52	0.51	0.26	0.055		1.05		21.9
U	#4	2.86	1.32	1.70	0.62	0.25	0.059		0.76		21.6
V	#7A	3.10	1.64	1.02	0.45	0.19	0.122	2.41	1.11		26.1
W	サンド	2.95	1.20	0.54	0.24	0.54	0.089		0.03		22.8



第10図
黒鉛が網状に分目布した鑄鉄組織
Fig. 10.
Microstructure of Cast Iron in which the Graphite distribute in Net-Work Form

重に対する耐久力ともに低下する。

(ii) 遊離セメントイトが増加すると抗張力および繰返衝撃荷重に対する耐久力ともに低下するが、特に T.C% に比較して C.C% が高い材料は繰返衝撃荷重に対して非常に弱くなる。

(iii) 低炭素の鑄鉄で黒鉛が網目状に生長した場合は、抗張力の低下も認められるが、特に繰返衝撃荷重に対する強度の低下がはなはだしい。

(5) 切欠の形状係数と繰返衝撃荷重に対する耐久限度との関係

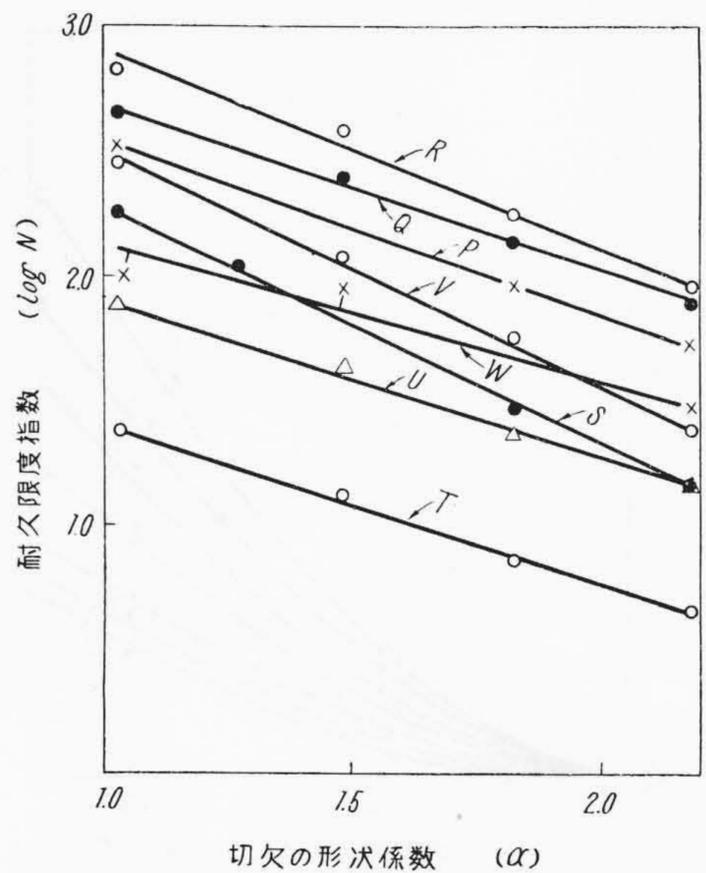
試験片中央部に切欠をつける場合にはその溝底における断面積を全試料とも同一にするため、切欠の深さは一定にした。しかして切欠の鋭さを変えるために切欠先端の曲率半径を変化せしめて第2図に示すような試験片を製作した。なおこの場合、切欠底の曲率半径 R と切欠の形状係数 α との関係を Neuber⁽¹⁾ の図表から求めてみると第5表のようになる。試験片に切欠をつけると溝底の断面積は小さくなり、繰返衝撃荷重に対する耐久力も減少するので、切欠をもつ試験片に加える衝撃荷重の値は平滑材の場合より小さく選び $P=16 \text{ kg-cm}$ とした。この実験に使用した試料の材質および化学成分は第6表に示すようなものである。なお耐久力測定の際、データのバラッキによる誤判をできるだけ少なくするために同一材質同一切欠形状の試験片を各試料とも 3~5 本づつ用意し、実験結果の取纏には測定値の平均を用いることにした。

実験の結果から切欠の形状係数 α と繰返衝撃荷重に対する耐久限度指数 $\log N$ との関係を求めてみると第11図に示すような結果をうる。この実験の範囲内ではどの材質の場合でも形状係数の増加に逆比例して耐久限度指数は減少し、 α と $\log N$ は一つの直線であらわされるようである。換言すれば材料は切欠が鋭くなる程繰返衝撃荷重に対して弱くなっている。

試験片の表面に拡大鏡を用いてやつと発見できる程度の亀裂が発生すると、どの材質の場合でもほとんど 1~3 回の衝撃で折損する。この亀裂の先端は非常に鋭い切欠と考えられるから、切欠が鋭くなる程耐久力が減少することは疑う余地がないようである。しかし以上の実験結果から $\log N$ と α との関係が、 $\alpha > 2.2$ の範囲においても常に直線的関係を保つか否かを推測することは困難である。

(6) 切欠に対する材料の感受性

鑄鉄に繰返衝撃荷重が作用する場合、切欠の有無および切欠の鋭さによつてその耐久力に差異を生ずることは前節において説明したが、切欠をつけた場合、平滑材に比較して耐久力の減少する割合は材質によつて多少異なる



第11図 切欠のある試験片の耐久限度指数
Fig.11. Index of Fatigue Life for Noched Specimen

ようである。切欠をつけた場合に耐久力の減少する割合を表すために、次式に示すような係数 β を用いることにしよう。

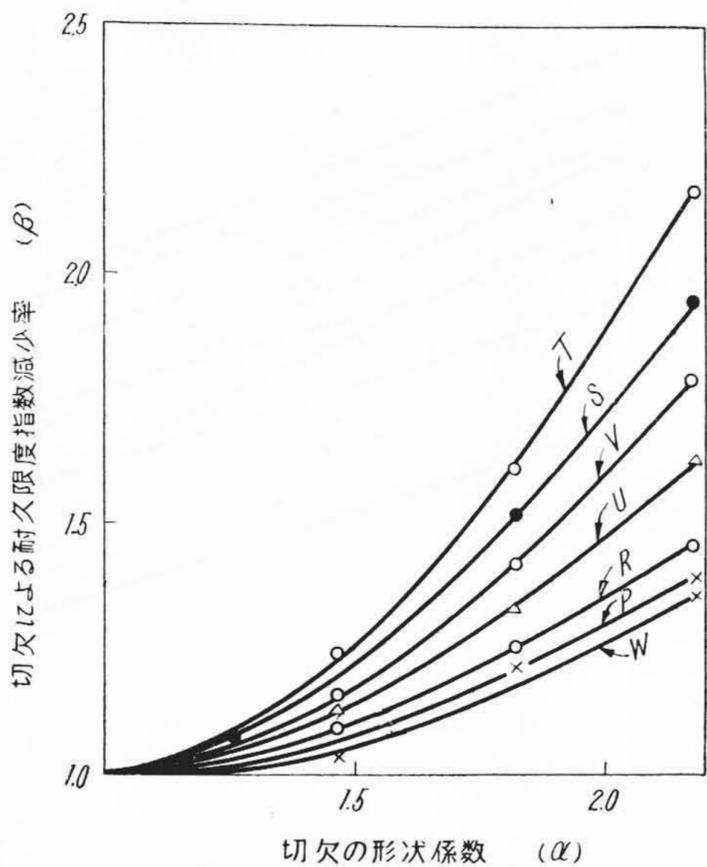
$$\beta = \log N / \log n$$

ただし N : 切欠材と同一断面積を有する平滑材の耐久限度 ($\alpha=1$)

n : 切欠材の耐久限度 ($\alpha > 1$)

β をこのように定義すると、 β が大きくなる程切欠材の耐久力は低下したことになる、 β は切欠による材料の弱化程度を示す係数とみなしうる。また同一形状の切欠の場合には β が大きな材質程切欠による材料の弱化が顕著であることになり、 β は材料の切欠に対する感受性の大小を表わす係数とみなすこともできる。

前節に示した実験結果から、各試料別に α と β の関係を図示したものが第12図(次頁参照)である。どの試料の場合にも切欠が尖鋭になり、 α の値が大きくなつた場合には β の値も大きくなっている。換言すれば切欠が尖鋭になる程材料は弱化している。つぎに材質別に観察してみれば、C.C% が高く、遊離セメントイトが多量に存在する材料は β が一般に大きくなつており、 β の大小は全炭素量の多寡には無関係であるように思われる。セメントイトは脆い結晶であり、変形し難い性質を有するので、このような結晶が応力の集中する溝底部に多数存在する場合にはセメントイト中に多くの亀裂を発生し、材料を弱化せしめるから C.C% の高い材料は β の値が大きくなるのではないかと考えられる。



第12図 形状係数 α と耐久限度指数減少率 β との関係

Fig.12. Relation between α and β

〔IV〕 結 言

本実験の結果を取纏めてみると、パーライト鑄鉄の繰返し曲げ衝撃荷重に対する性質として以下列記するような項目を挙げることができる。

- (1) $3^{\circ} \sim 30^{\circ}$ の温度範囲内では、温度の差異により繰返衝撃荷重に対する材料の耐久力に差異を生ずることは認められない。
- (2) 試料に加えた衝撃荷重の大きさ P を横軸にとり、繰返耐久限度指数 $\log N$ を縦軸にとつて $P - \log N$ の関係を図示すれば一つの直線となり、 P と $\log N$ は反比例する。またこの直線の傾は材質によつて変化する。
- (3) 同一材質の試験片に同一繰返衝撃荷重を加えた場合における耐久限度指数 $\log N$ のバラツキは荷重 P が小さい程小さい。

- (4) 材料の抗張力と繰返衝撃荷重に対する耐久限度指数との間には相関関係があり、衝撃荷重 P が小さい程相関は密接である。
- (5) 繰返衝撃荷重に対する材料の強弱を判定するためには、衝撃荷重 P の値を大きく選ぶ方が適當である。 P の値が小さい場合は繰返衝撃耐久限度指数は抗張力と比例して、材料の繰返衝撃荷重に対する特性を知ることが困難である。
- (6) 鑄鉄に繰返衝撃荷重を加えた場合に発生する亀裂は片状黒鉛の先端および遊離セメント中にも発生し、亀裂はこれらを連結して進行する。しかして Ni, Cr を含有しない材料中では亀裂はパーライト結晶粒を横切つて進行しており、 Ni ならびに Cr を入れてパーライト組織をこまかくした材料中ではパーライト粒界に沿つて亀裂が進行する。
- (7) 繰返衝撃荷重に対する強さに対しては、鑄鉄中の黒鉛および遊離セメントの量とその分布状態が大きな影響をおよぼすようである。衝撃荷重 P を大きくした場合には全炭素量に比較して化合炭素量の多いものおよび黒鉛が網目状に発達しているものは極度に耐久限度が低下する。
- (8) 試料に切欠のある場合には切欠の形状係数 α と繰返衝撃に対する耐久限度指数 $\log N$ の値とは逆比例する。すなわち α および $\log N$ を縦横軸にとつて $\alpha - \log N$ の関係を図示すれば一つの直線となり、 α が増大する程 $\log N$ の値は小さくなる。
- (9) 平滑材に対する耐久限度指数 $\log N$ と切欠材の耐久限度指数 $\log n$ との比を β とすれば、材質のいかんを問わず α の増大とともに β の値は大きくなる。しかして遊離セメントの多い材料は α の増大にともなう β の増加率が大きく、切欠が鋭くなるにしたがつて極度に耐久力が低下する。片状黒鉛の量は β に対して大きな影響を与えないように思われる。

参 考 文 献

(1) H. Neuber: "Kerbspannungslehre" Berlin Verlag von Julius Springer (1937)

