

鑄造クランクシャフトについて

Study on Cast Crankshafts

小池 義夫* 山根 昭久* 遠藤 三郎*
Yoshio Koike Akihisa Yamane Saburō Endō

内 容 梗 概

クランクシャフトの鑄造化は鑄造材料と鑄造技術の発達により盛んになってきた。鑄造クランクシャフト材として最も多く使用されており、日立金属工業株式会社でも生産している高力可鍛鑄鉄とダクタイル鑄鉄はすぐれた機械的性質を有するだけでなく、切削性、耐摩耗性においても鍛造鋼よりまさっており、コスト低減に寄与するところが大きい。また実体の疲労強度をたしかめるため、4気筒中空形クランクシャフトのねじり疲労試験を行い、鋼材を含む他材質に比し、遜色ないという結果を得た。

1. 緒 言

近年における強じん鑄鉄ならびに鑄造法の進歩はまことに目ざましいものがある。古来鑄造品の欠点は量産に必要欠くべからざる品質水準ならびに寸法の確保が困難な点にあったが、今日の鑄造技術の進歩は非破壊検査法の発達とあいまってこれらを十分可能なものとした。それはシェルモールドをはじめとする一連の精密鑄造法、さらにこれを助け飛躍せしめたものは高力可鍛鑄鉄あるいはダクタイル鑄鉄、黒鉛鋼、強じん鑄鉄の発展で、これによりコスト高につく鍛造品を駆逐して鑄造品が大きく飛躍したのである。

クランクシャフト特に自動車の心臓部であるクランクシャフトの鑄造化はフォード社が1933年に先鞭をつけ、その後ダクタイル鑄鉄の進歩とあいまって今日の中空クランクシャフトに発展した。また一方高力可鍛鑄鉄によるクランクシャフトの製造はG. M. 社が独自の方式で発展させたが、これらはいずれもシェルモールド法により完成したわけである。

鑄造クランクシャフトの特長は

- (1) 鍛造品に比し同一剛性で重量が軽いので材料を節約できる。
- (2) 同一エンジンの鍛造クランクシャフトよりも仕上代が少なく加工工数が大幅に低減できる。
- (3) 粗材自身の耐摩耗性が良好で軸受部の焼入れが不要となる。
- (4) 中空にしうるので鍛造品よりも軽く、バランスウェイトも小さくてすみ回転特性が良好である。この場合油孔はパイプを鑄込むことにより孔明け加工が不要となる。

など著しい利点がある。

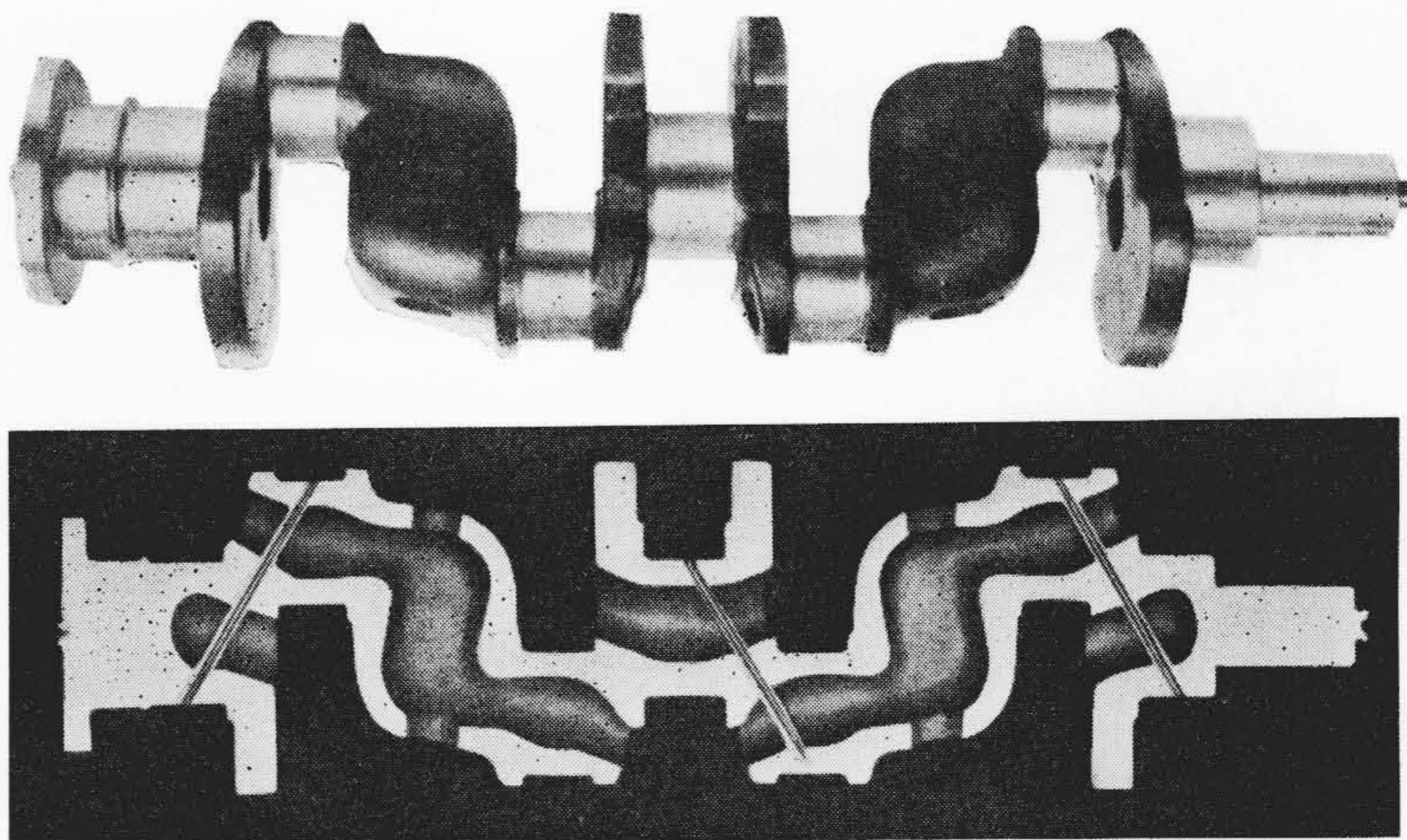
日立金属工業株式会社においては鑄造クランクシャフトに早くから着目し調査研究を重ね、現在これら鑄造クランクシャフトの量産を行っており、自動車メーカーの好評を得ている。第1, 2図に製品の一例を示す。

2. 鑄造クランクシャフト材とその機械的性質

2.1 機械的性質

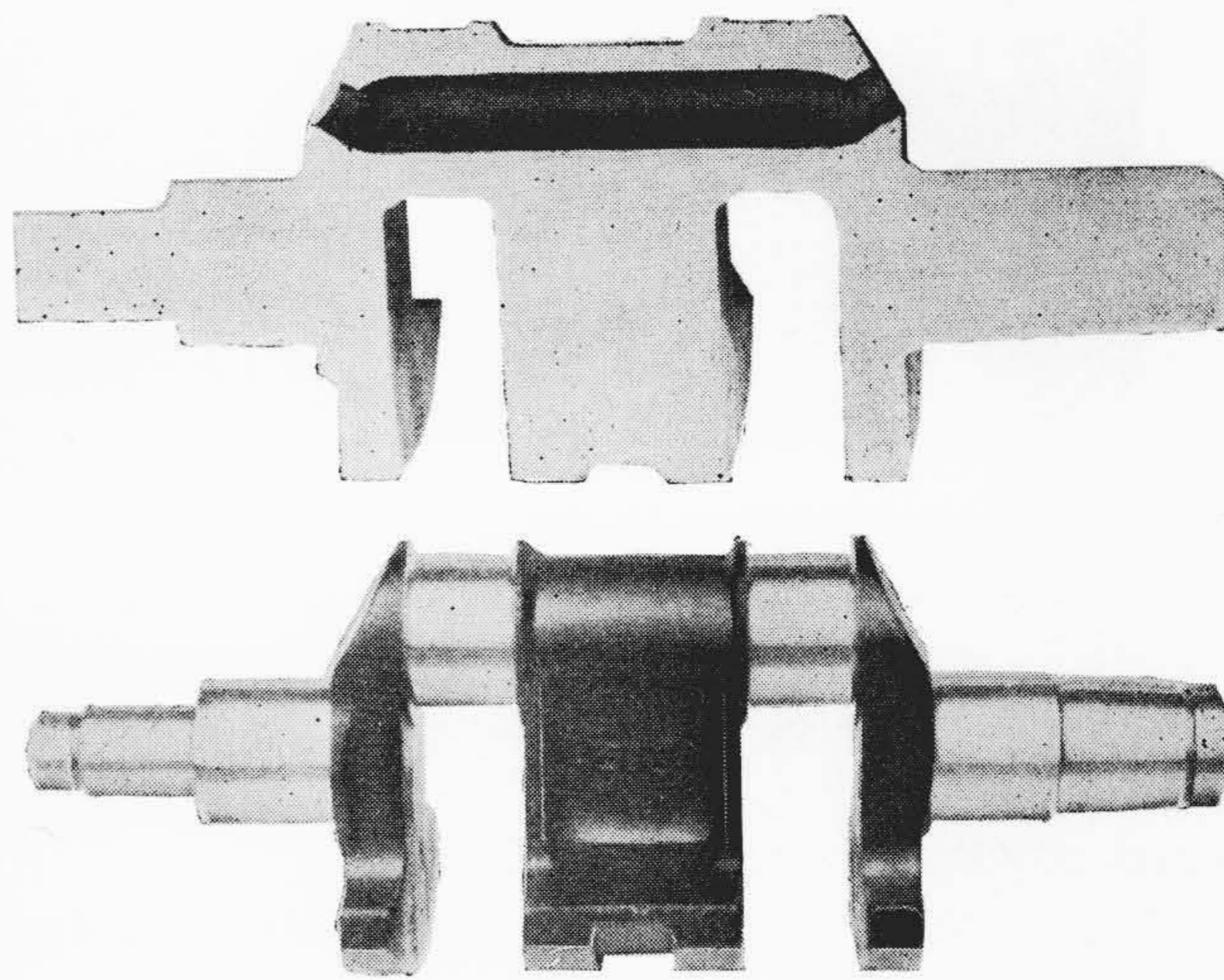
鑄造クランクシャフト材は種々あるが、最も多く使用されているのは前述のごとくダクタイル鑄鉄、高力可鍛鑄鉄の2種類である。たとえばG. M. 社の8気筒エンジンには高力可鍛鑄鉄を、フォード社ではダクタイル鑄鉄を使用している。

* 日立金属工業株式会社戸畑工場



上：外 観 下：断 面

第1図 ダクタイル鑄鉄製4気筒クランクシャフト



上：外 観 下：断 面

第2図 高力可鍛鑄鉄製2気筒クランクシャフト

日立金属工業株式会社においては高力可鍛鑄鉄、ダクタイル鑄鉄両材質のクランクシャフトを生産しているが、両者のいずれを選択するかは主としてエンジンの仕様ならびにクランクシャフトの形状に左右される。第1表は一般に使用されている鍛造用材とこれら鑄造材の機械的性質の比較を示す。日立高力55、高力60 および日立DCI 55、DCI 60 はいずれもパーライト地に球状黒鉛が点在した組織である。(第3, 4図)

2.2 物理的性質

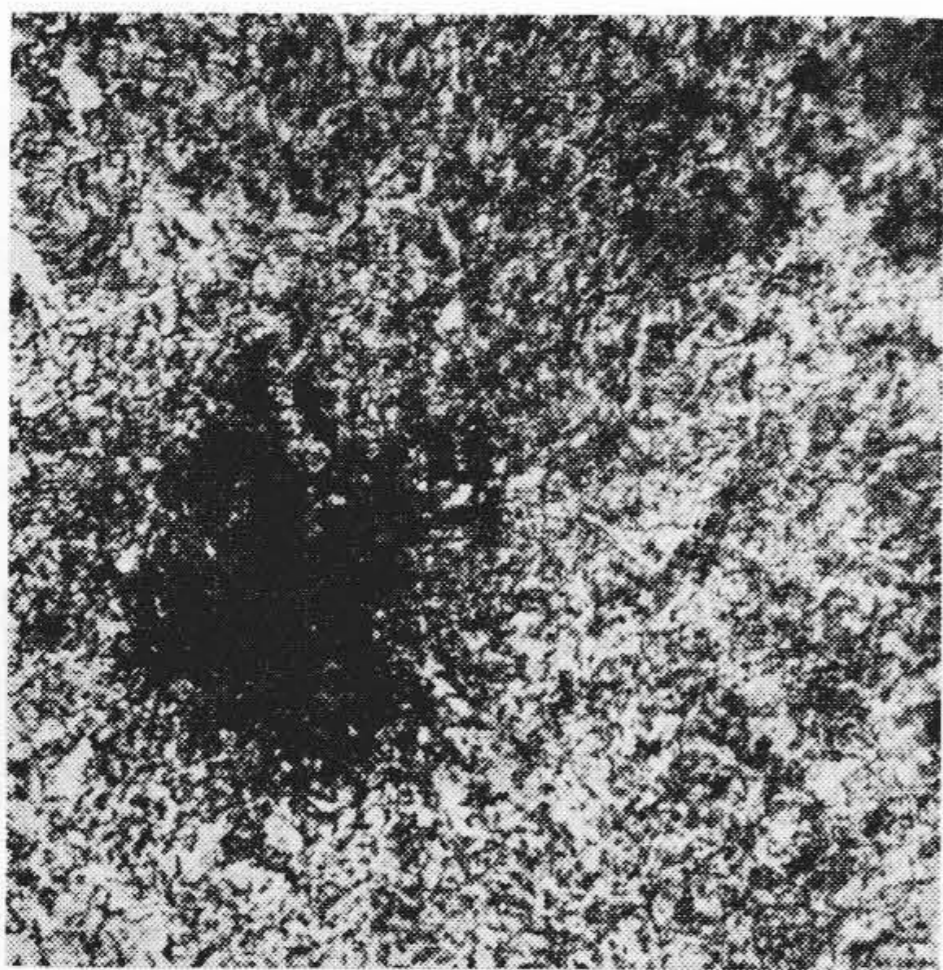
高力可鍛鑄鉄とダクタイル鑄鉄の弾性係数、熱膨張係数、熱伝導

第 1 表 クランクシャフト材の機械的性質

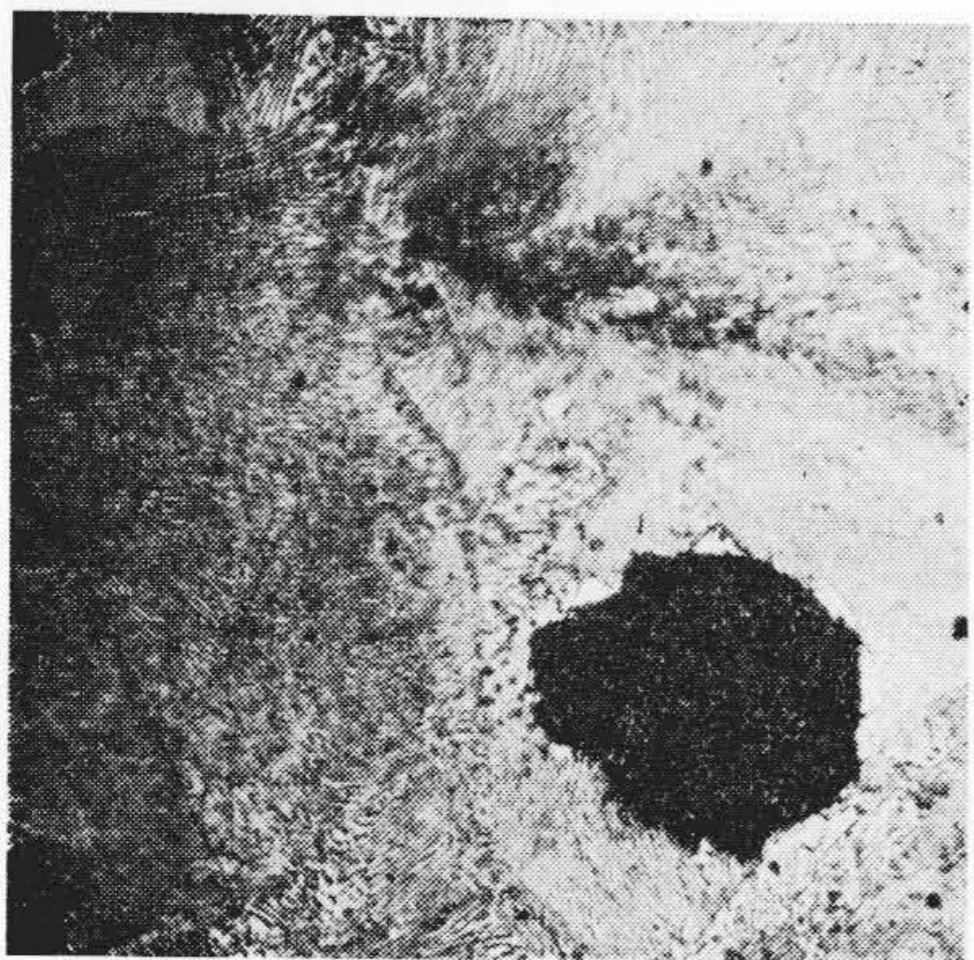
材 質	引張強さ (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸 び (%)	硬 度 (HB)	備 考	
炭 素 鋼	S45C焼準	>58	>35	>20	167~229	
	S45C焼入	>70	>50	>17	201~269	
	S50C焼入	>75	>55	>15	212~277	
高力可鍛鋳鉄	日立高力55	>55	(>38)	> 4	197~241	
	日立高力60	>60	(>40)	> 3	223~269	
ダクタイル鋳鉄	日立DCI55	>55	(>38)	> 1	192~302	低温焼鈍 焼 準
	日立DCI60	>60	(>40)	> 1	197~277	

第 2 表 高力可鍛鋳鉄とダクタイル鋳鉄の物理的性質

	弾 性 係 数 (kg/mm ²)	熱 膨 脹 係 数 (/°C)	熱 伝 導 率 (cal/cm.S.°C)
日立高力 55.60.	1.80~1.85×10 ⁴	12.0×10 ⁻⁶ (30°~300°C) 15.4×10 ⁻⁶ (300°~600°C)	0.072~0.094
日立DCI 55.60.	1.75~1.80×10 ⁴	11.4×10 ⁻⁶ (30°~300°C) 15.5×10 ⁻⁶ (300°~600°C)	0.074~0.082



(×400)
第 3 図 高力可鍛鋳鉄の組織



(×400)
第 4 図 パーライト形ダクタイル鋳鉄の組織

率は第 2 表のとおりである。

2.3 疲 勞 強 度

クランクシャフトはねじり、曲げなどの繰り返し応力をうけるので疲労強度が重要である。以下両材質につき回転曲げ試験を行った結果につき述べる。

高力可鍛鋳鉄

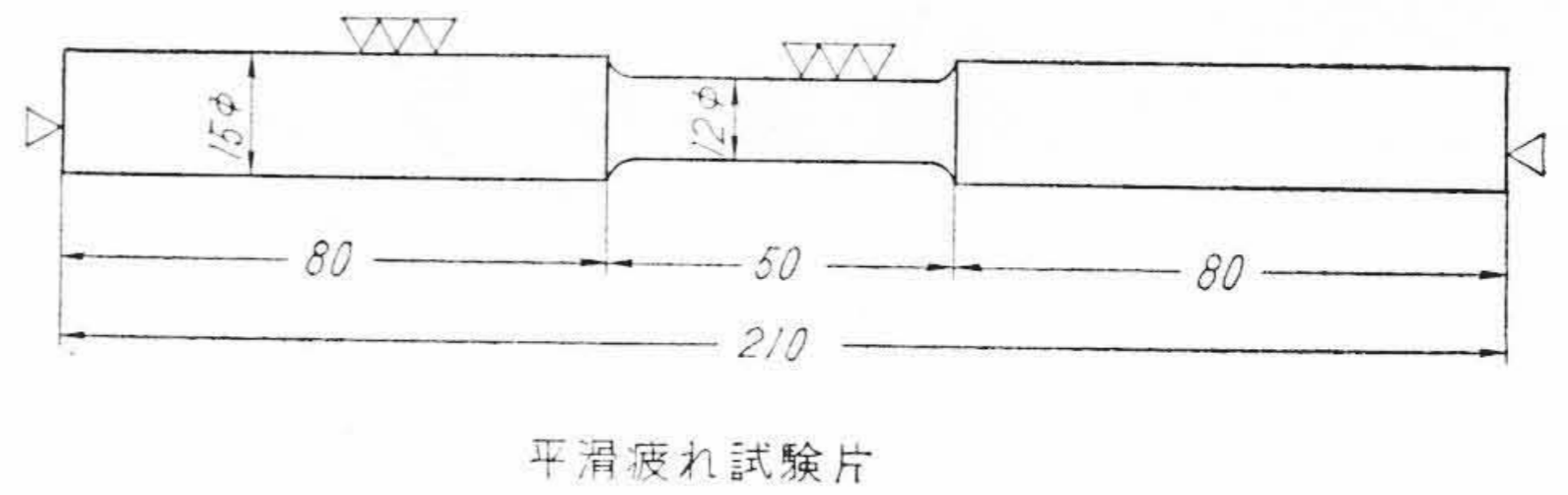
試験片は第 5 図のとおりで小野式回転曲げ疲労試験機により測定を行った。結果を第 6 図に示すがまとめると次のようになる。

引 張 強 さ (σ_B)	58 kg/mm ²
伸 び	9.0%
平滑材疲れ強さ (σ_{w0})	22 kg/mm ²
切欠材疲れ強さ (σ_{wk})	14 kg/mm ² (ただし形状係数 $\alpha=2.63$)
耐 久 比 ($\frac{\sigma_{w0}}{\sigma_B}$)	0.38
切 欠 係 数 ($\frac{\sigma_{wk}}{\sigma_{w0}} = \beta$)	1.57

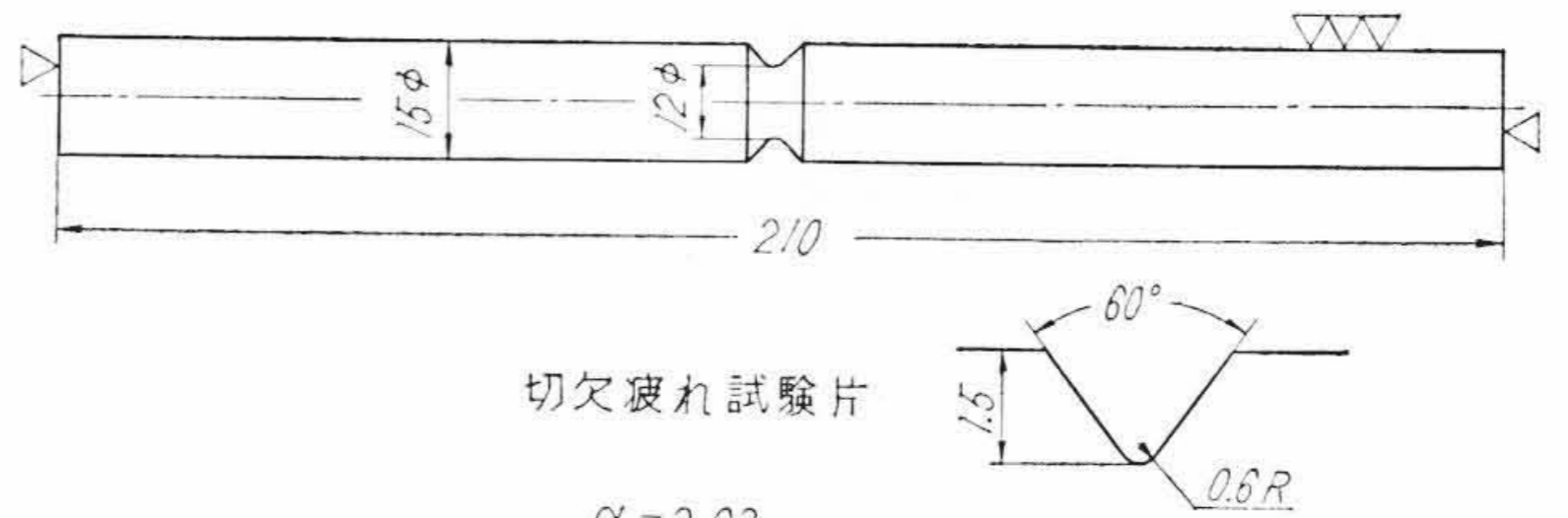
ダクタイル鋳鉄

試験方法、試験片形状は高力可鍛鋳鉄の場合と同様である。結果は第 7 図に示すとおりでまとめると次のようになる。

引 張 強 さ (σ_B)	73 kg/mm ²
------------------------	-----------------------



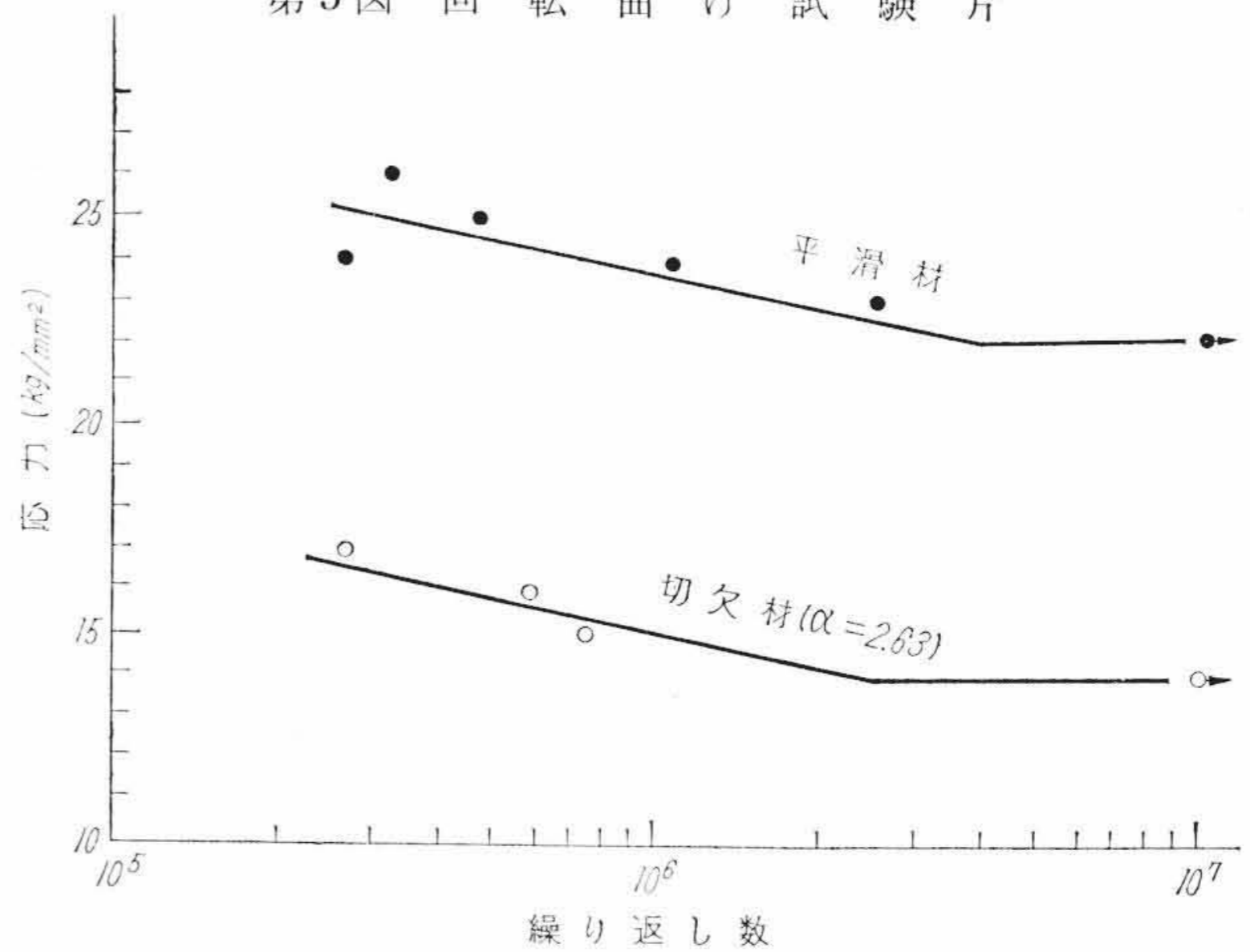
平滑疲れ試験片



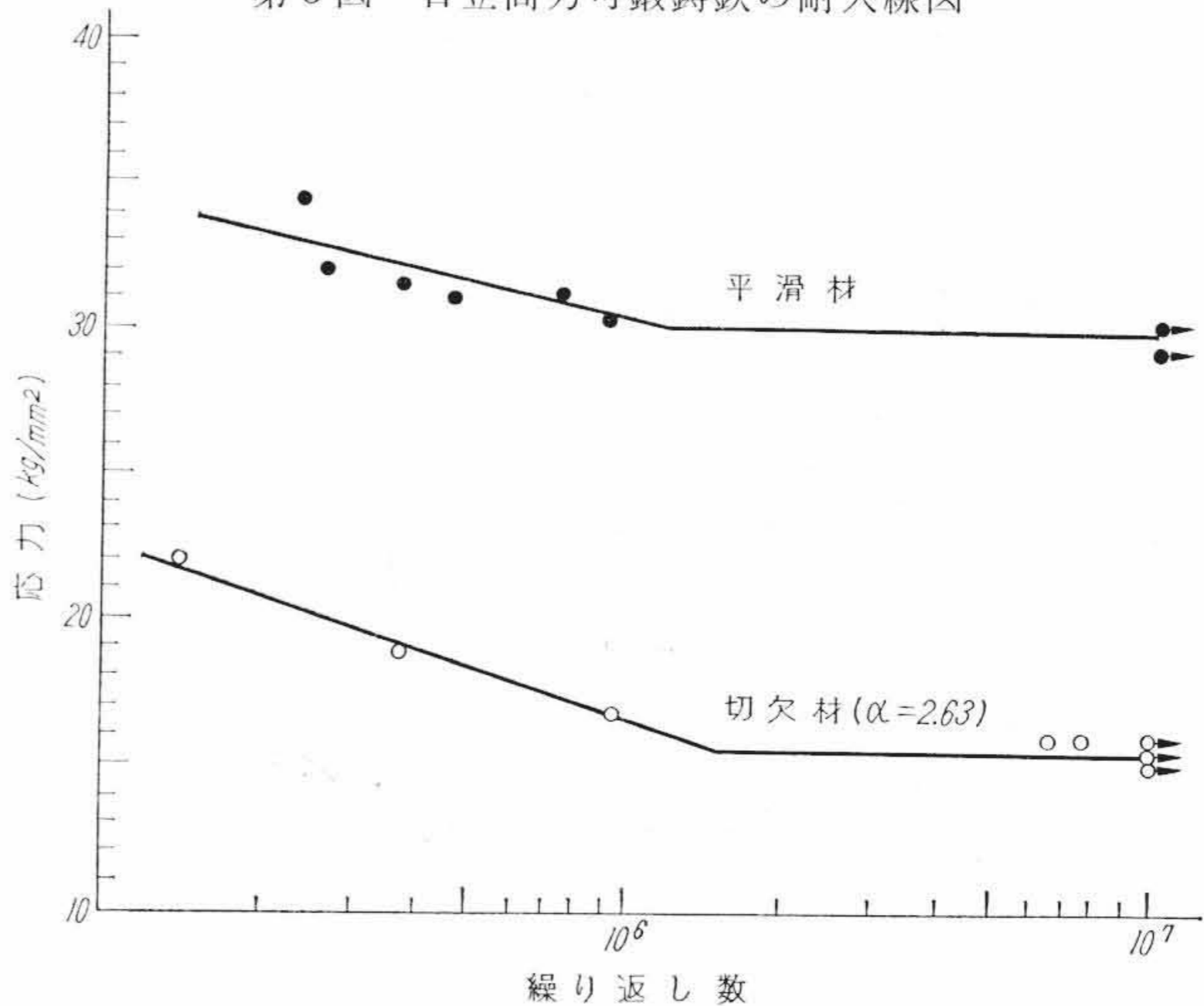
切欠疲れ試験片

$\alpha=2.63$

第 5 図 回 転 曲 げ 試 験 片



第 6 図 日立高力可鍛鋳鉄の耐久線図



第 7 図 日立 DCI-55 の耐久線図

伸 び	2.0%
平滑材疲れ強さ (σ_{w0})	30 kg/mm ²
切欠材疲れ強さ (σ_{wk})	15 kg/mm ² (ただし $\alpha=2.63$)
耐 久 比 ($\frac{\sigma_{w0}}{\sigma_B}$)	0.41
切 欠 係 数 ($\frac{\sigma_{wk}}{\sigma_{w0}} = \beta$)	2.0

一般に炭素鋼の場合切欠が鋭く(形状係数が大きく)なるに従って切欠係数 β が増加し 3 に近くなるが、高力可鍛鋳鉄やダクタイル鋳鉄の場合 $\beta=2$ をこえることは少ない。これは組織中に点在している球状の黒鉛が、外部よりの切欠に対する感度をにぶくしている

第3表 高力可鍛鉄製8気筒クランクシャフト
実用摩耗試験結果⁽¹⁾

		直径減少量 (in)					
		50,000 mile 走行 (シンクロメッシュ トランスミッション)		50,000 mile 走行 (ハイドラマティ ックトランスミ ッション)		100,000 mile 走行 (ハイドラマティ ックトランスミ ッション)	
		最小	最大	最小	最大	最小	最大
高力可鍛 鉄	メインジャーナル ロッドジャーナル	(3個のエンジン につき)		(5個のエンジン につき)		(1個のエンジン につき)	
		0.0000	0.0003	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000
鍛造品	メインジャーナル ロッドジャーナル	(1個のエンジン につき)		(1個のエンジン につき)		(2個のエンジン につき)	
		0.0003	0.0006	0.0002	0.0005	0.0001	0.0004

注: 1. G.M.社ポンティヤック用
2. 軸受材質 ロッドベアリング: パビットメタル (Sn 10% Sb 15%)
ロッドベアリング: パビットメタル (Sn 4.25% Sb 3.5%)
メインベアリング: パビットメタル (Sn 4.25% Sb 3.5%)

第4表 高力可鍛鉄製空冷2気筒クランクシャフト
実用摩耗試験結果⁽²⁾

	運 転 量	径 減 少 量 (mm)		備 考
		ジャーナル部	ピン部	
台上試験	1.78×10 ⁷ 回転	0.004	0.005	1. 表面焼入をしていない 2. 軸受はホワイトメタル
走行試験	10,000 km	0.008	0.009	

第5表 ダクタイル鉄製と鍛鋼製クランクシャフト
との摩耗量の比較⁽³⁾

	径 摩 耗 量 (in)		備 考
	ジャーナル部	ピン部	
鍛 鋼	0.00028	0.00125	4,000 rpm で 200 時間運転
ダクタイル鉄	0.00020	0.00045	

ためと考えられる。この点は両材質がクランクシャフト材として強度的にすぐれている点の一つである。なお両材質とも焼入が可能で表面焼入を行うことにより疲労限が増加することは炭素鋼の場合と同様である。

3. 鑄造クランクシャフト材の耐摩耗性

高力可鍛鉄、ダクタイル鉄ともに基地がパーライト組織で硬度が高く、潤滑作用を助ける黒鉛が組織中に内在しているため耐摩耗性が良く、熱処理を行うことなく軸受部に使用できる。第3, 4表は高力可鍛鉄製、第5表はダクタイル鉄製クランクシャフトの実用摩耗試験の例である。これらから明らかなように鍛造クランクシャフトに比しむしろすぐれている。

4. 機械加工性

高力可鍛鉄やパーライト基地のダクタイル鉄が自動車エンジン用クランクシャフトとして賞用されている最大の理由はその加工仕上費が安価だからである。これは仕上代が少ないことと切削性が良いことに基因している。第6表は AISI B1112 快削鋼の切削性を100とした場合の比較値であるが、数字が示すとおり鍛造材に比し切削性がすぐれている。また実際の例としては第3表に示したG.M.社8気筒クランクシャフトを高力可鍛鉄で生産した場合鍛造品に比し次の利益があったと報告されている⁽¹⁾。

- (1) 工具寿命が56~58%長くなる。
ドリル寿命が147~267%長くなる。
- (2) 所要工具が21個から6個に減った(ある職場の例)。
- (3) 1個のと石で処理量が45%増加した。
- (4) 仕上品と粗材との重量比が76.8%から84.5%と増加した。
またわが国においても三輪車用2気筒エンジン用クランクシャ

第6表 切削性の比較

材 質	硬度(H.B.)	切 削 性
B1112(C:0.13以下, Mn:0.70~1.00, S:0.16~0.23)	179~229	100 †
C1045(C:0.43~0.50 Mn:0.60~0.90)	179~229	60 †
C1050(C:0.48~0.55 Mn:0.60~0.90)	179~229	50 †
黒心可鍛鉄	110~145	120†*
高力可鍛鉄	180~200	90 †
高力可鍛鉄(日立高力55)	197~241	80~70 *
ダクタイル鉄(日立DCI60)	179~277	80~60 *

† 文献4)より引用

* 工場実験による測定値

第7表 工具寿命の比較⁽²⁾ (%)

	バイト	ドリル	Tスロット カッタ	チェーザ	研削車
高力可鍛鉄製	140	266	333	236	120
S 45 C 製	100	100	100	100	100

第8表 加工工数と加工重量歩留⁽²⁾

	加工工数(1体当り)	仕上品対粗材重量比
高力可鍛鉄製	1724時間(82%)	0.924
S 45 C 製	2103時間(100%)	0.835

第9表 試験片の機械的性質と化学成分

試 験 片	機 械 的 性 質			化 学 成 分 (%)				
	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	かたさ (H.B.)	C	Si	Mn	P	S
DCI-55規格	73.7	4.5	255	4.03	2.50	0.34	0.048	0.008
	>55	>1	192~302					

トについて高力可鍛鉄とS45C材と比較した実例を第7, 8表に示す⁽²⁾。

5. 実体疲労強度

鑄造クランクシャフトは前述のように多くの利点を有しているが、実体の疲労強度については内外ともに発表されたものが少ない。今回動的試験としてダクタイル鉄製4気筒中空形クランクシャフトのねじり疲労強度を自家製共振式試験機により測定したのでその概要について述べる。なおクランクシャフトの疲労強度の測定には回転曲げとねじりとの2方法があるが、実用時の破損側はねじりによるものも多いのでねじり疲労試験を行った。

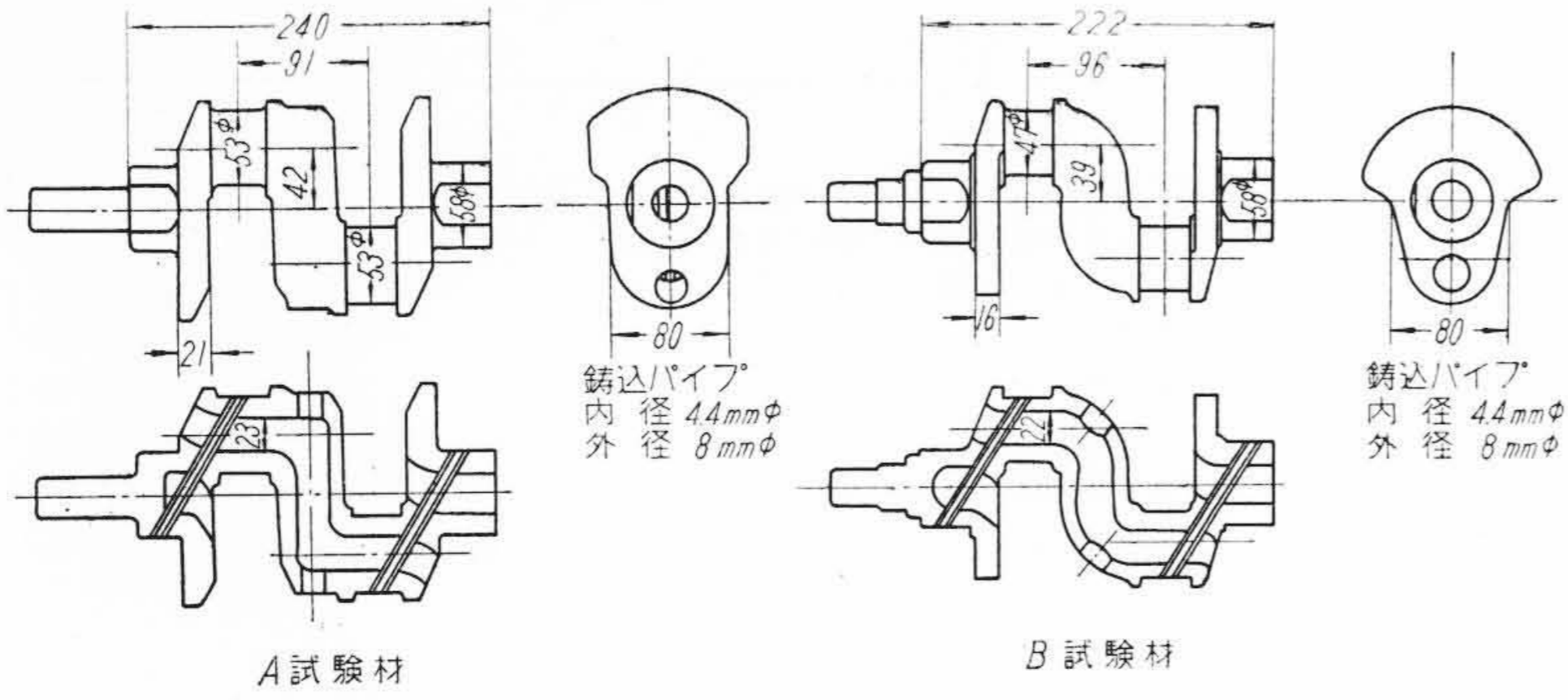
5.1 試 験 材

試験材はA, B2種の4気筒中空形クランクシャフトの中心ジャーナル部より切断したものを使用した。その形状を第8, 9図に示す。材質は日立 DCI55 である。試験材と同一熔湯にて鑄造し、同一熱処理を行った1吋キールブロックより採取した JIS4号試験片の機械的性質および化学成分を第9表に示す。また任意に選んだA試験材の実体各部より8mmφ試験片を採取して機械的性質を測定した。採取位置と測定値を第10図に示す。その試験材各部の組織は第11図のとおりでパーライト地に球状黒鉛が点在している。

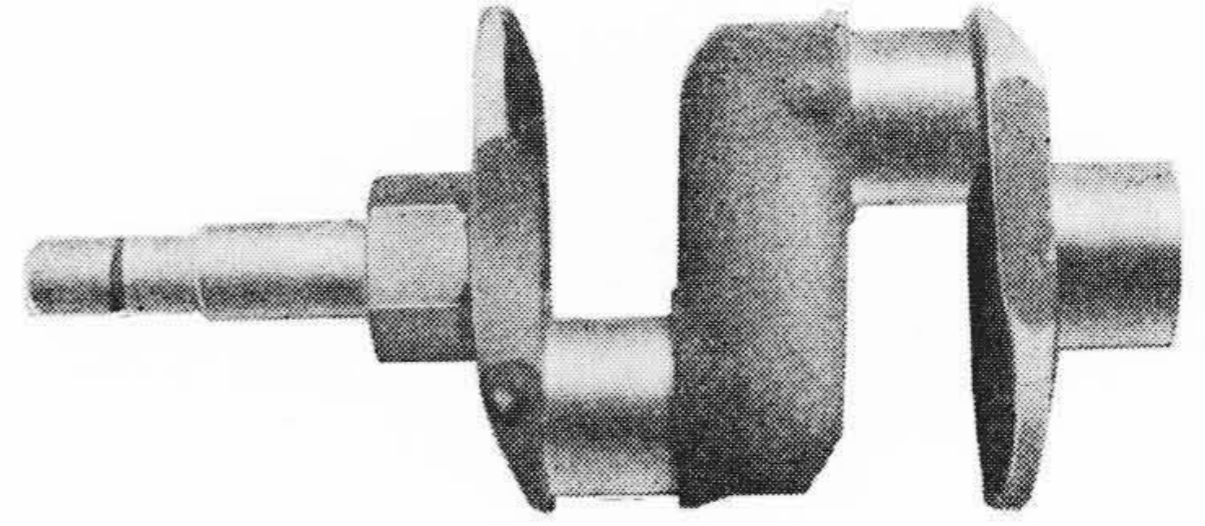
5.2 試 験 方 法

試験は前述のごとく自家製共振式ねじり試験機により行った。試験機の外観および概略を第12, 13図に示す。試験材はばねでつられた左右2組の重錘に治具によってしっかり固定される。重錘の片側にアンバランスロータが保持されており同一軸により駆動回転される。アンバランスマスの位相差は180度であるからロータの回転によって試験材にねじり振動が与えられる。振動数はロータの回転数と同一である。回転数を変えるといわゆる共振をおこすが回転数とねじりモーメントとの間には一定の関係があるので回転数を適当にえらぶことにより任意のねじりモーメントをうる事ができる。A試験材の場合の共振曲線を第14図に示す。

応力とねじりモーメントの測定はクランクピン部と試験機のチャ



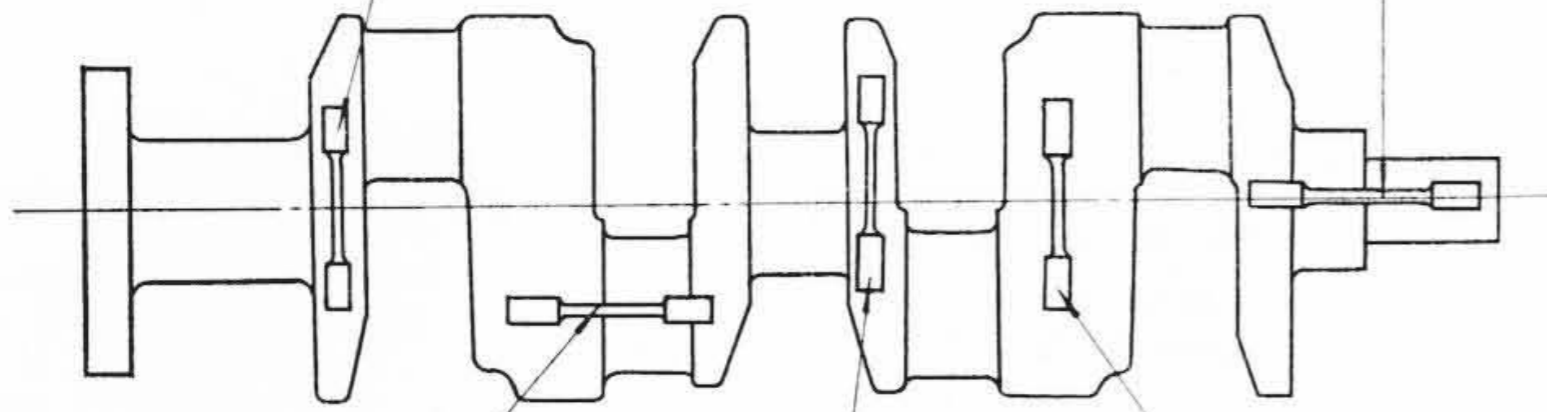
第8図 実体疲労試験材寸法



第9図 A試験材

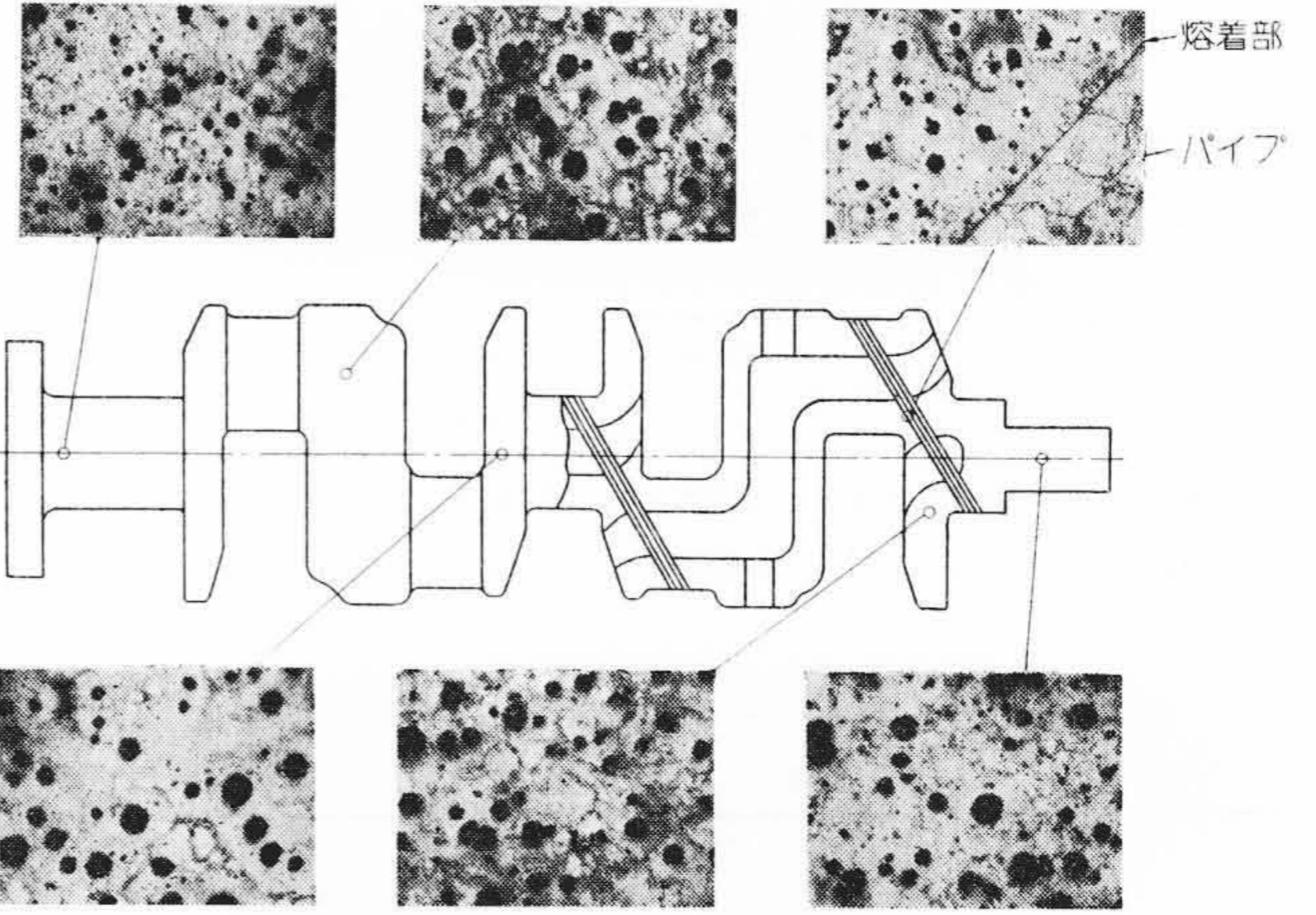
引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
73.0	3.3
79.7	4.0

引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
76.5	3.3
79.5	4.0

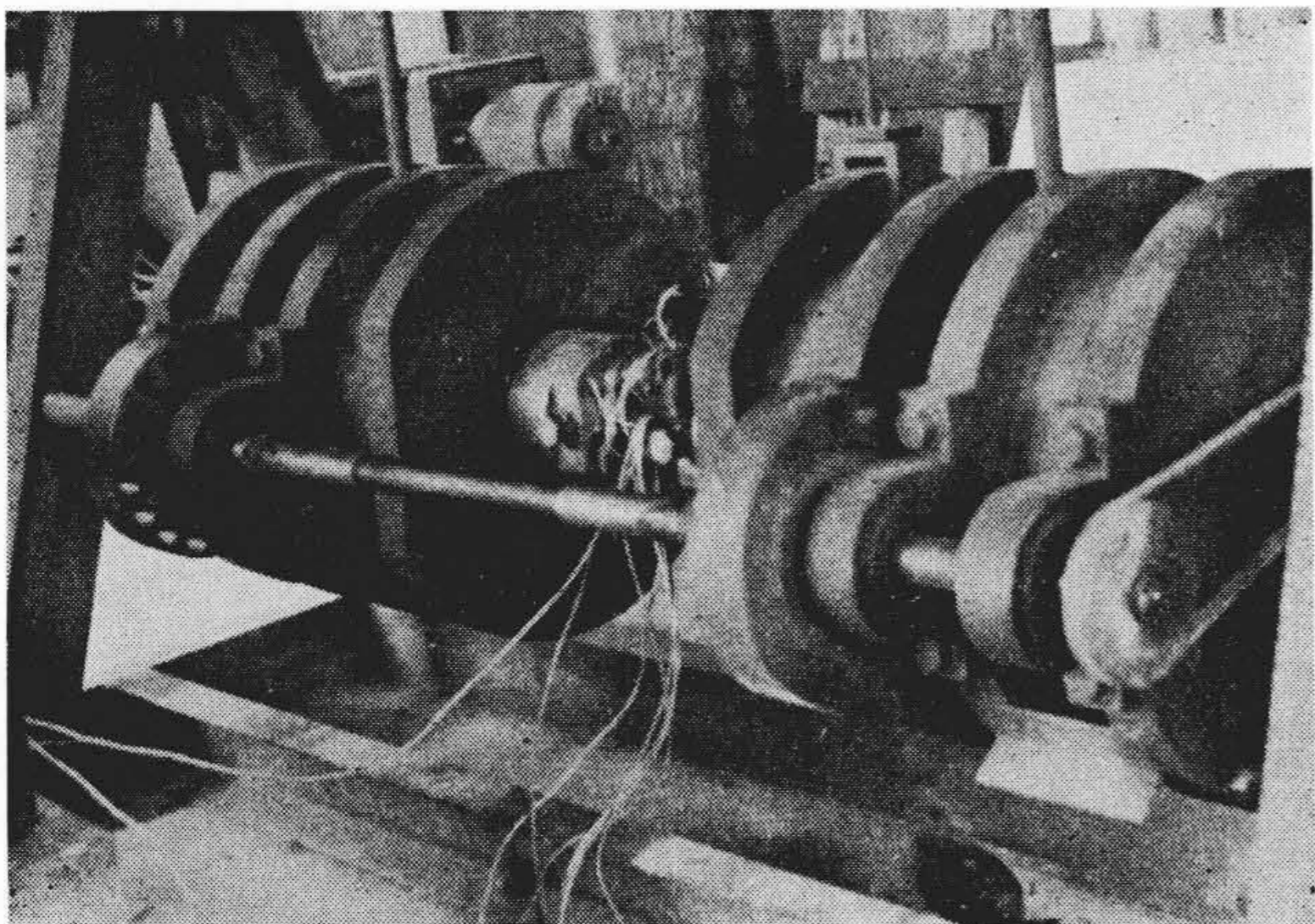


引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)
73.5	3.7	75.5	5.0	73.0	3.7
71.5	3.5	75.5	5.7	74.5	3.0

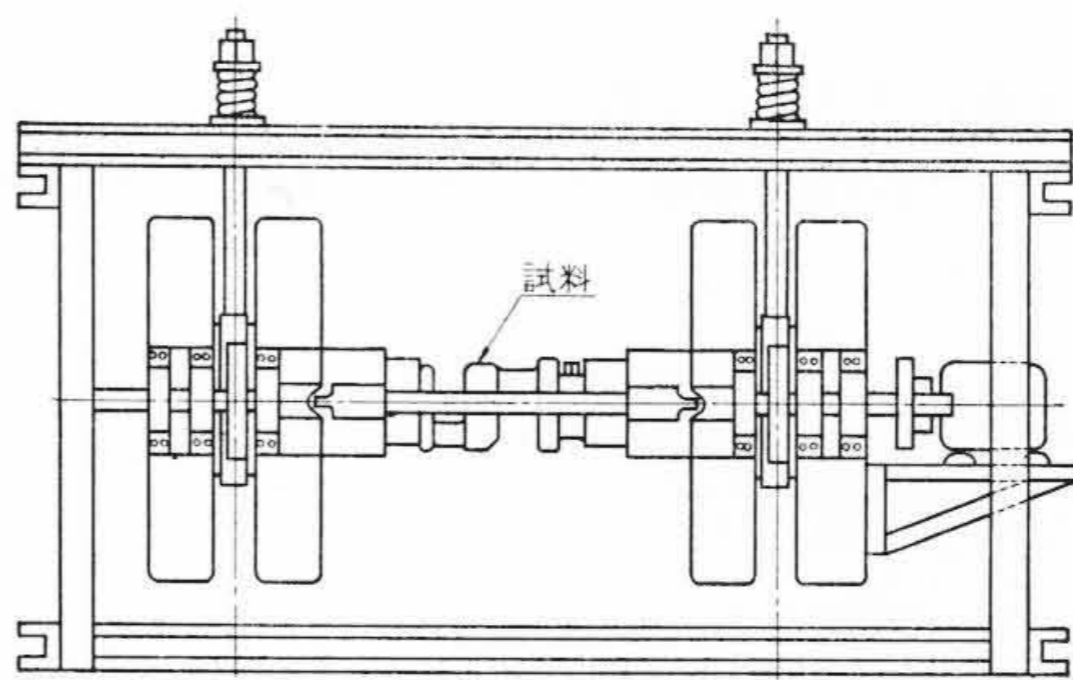
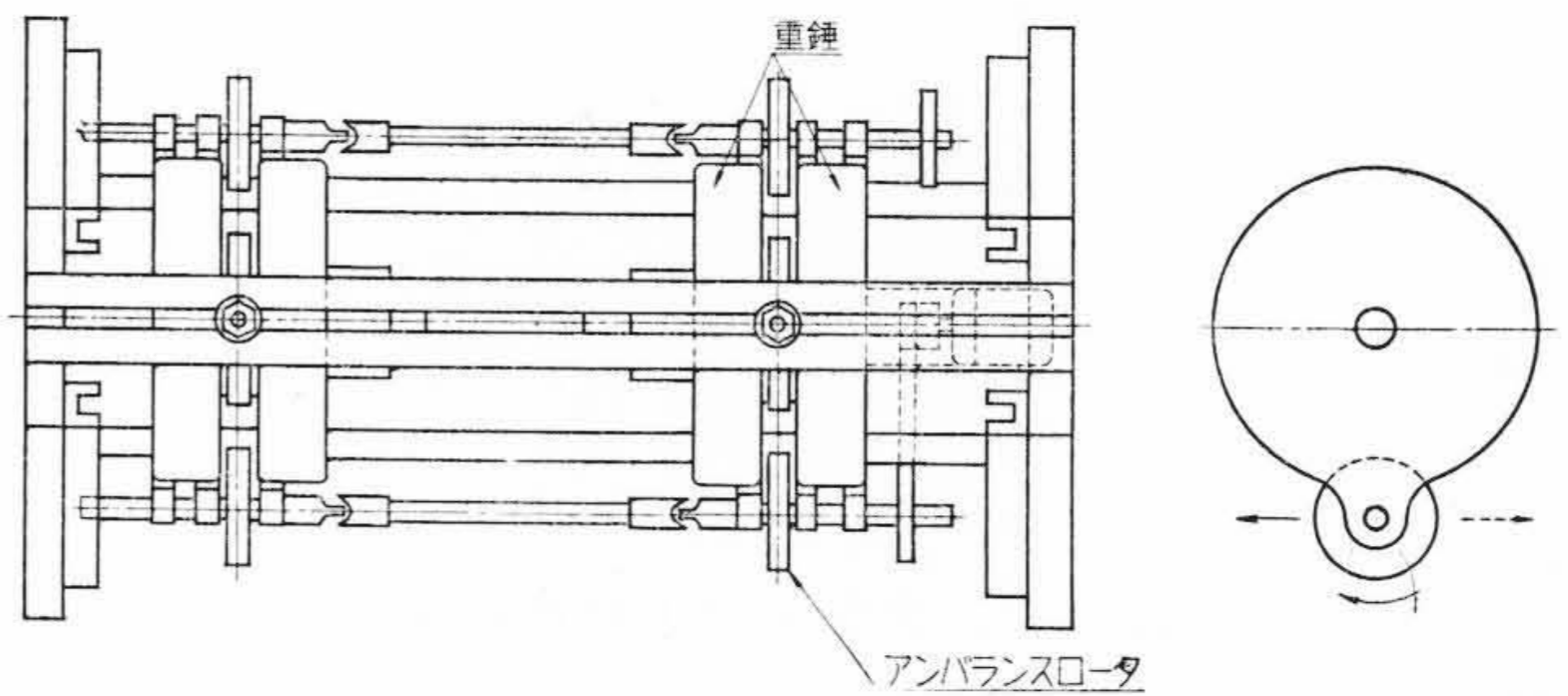
第10図 8mmφ試験片の採用位置および引張強さと伸び(A試験材)



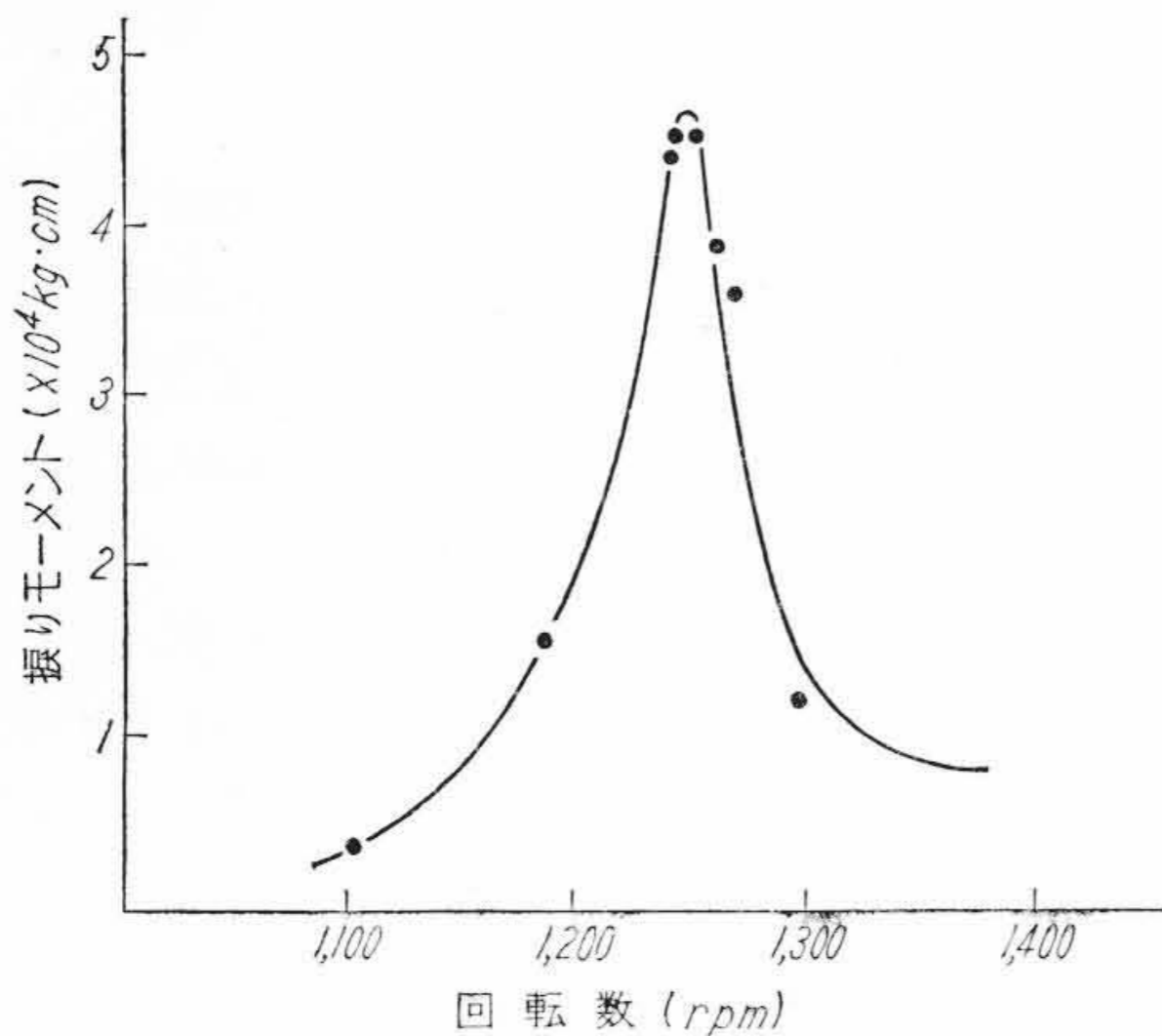
第11図 クランクシャフト実体各部の組織 (×25)



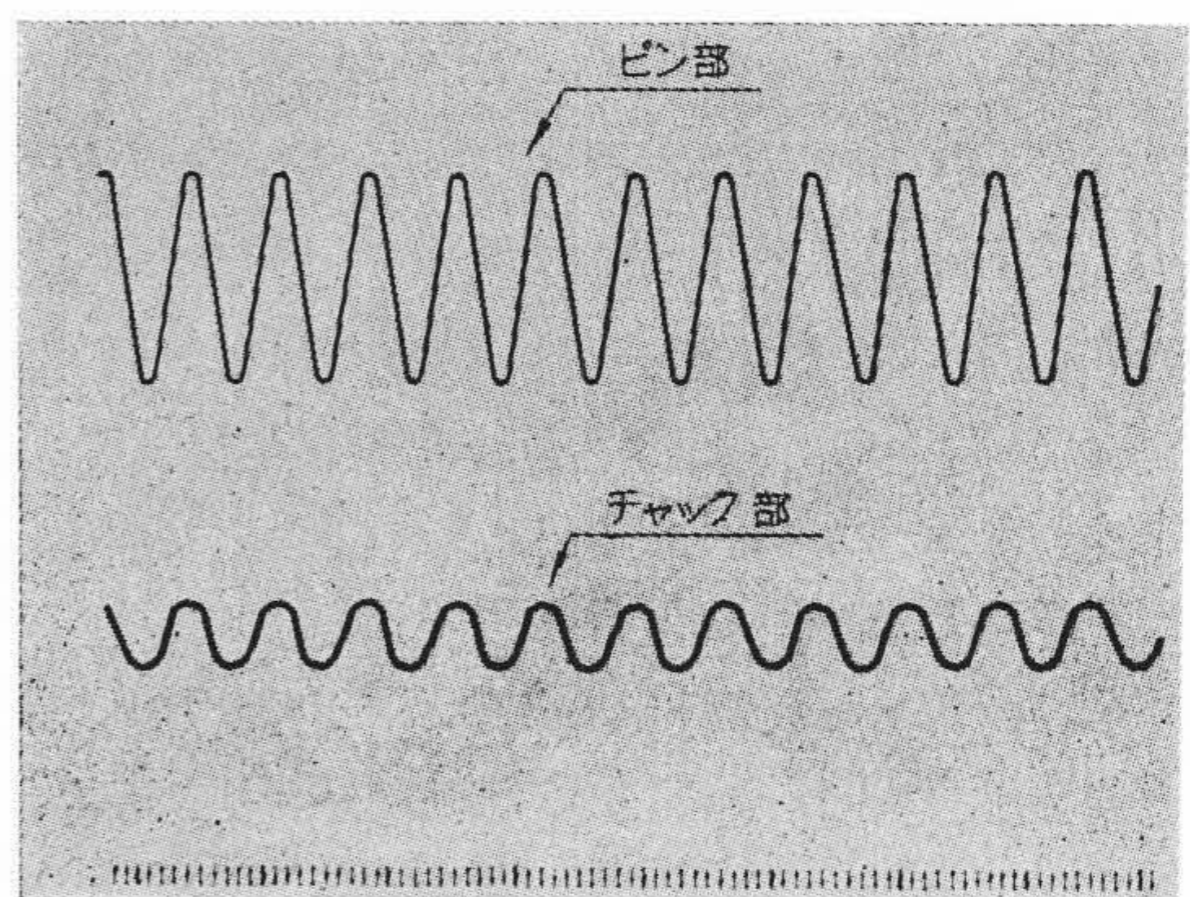
第12図 共振式クランクシャフト振り疲労試験機



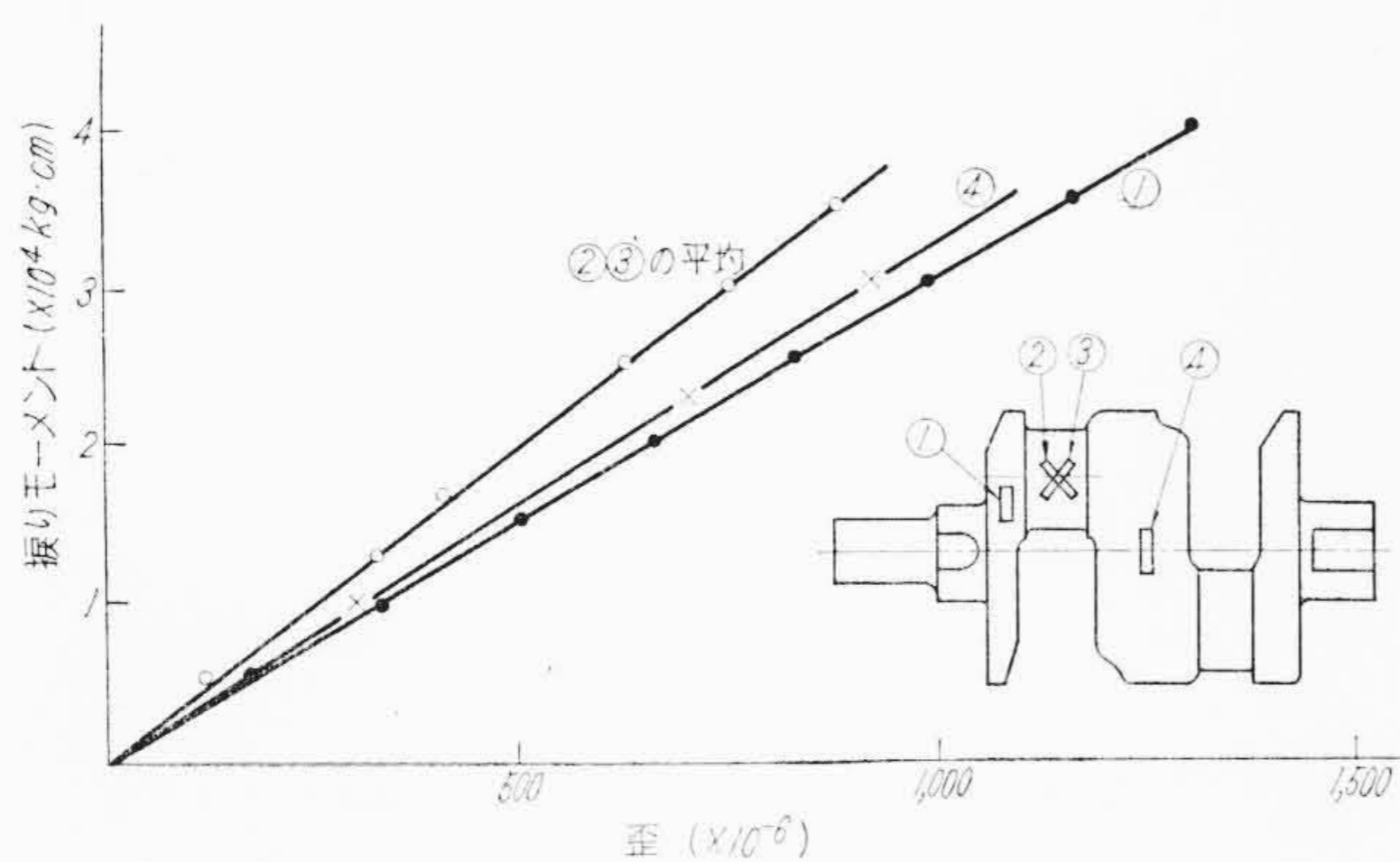
第13図 試験機の機構略図



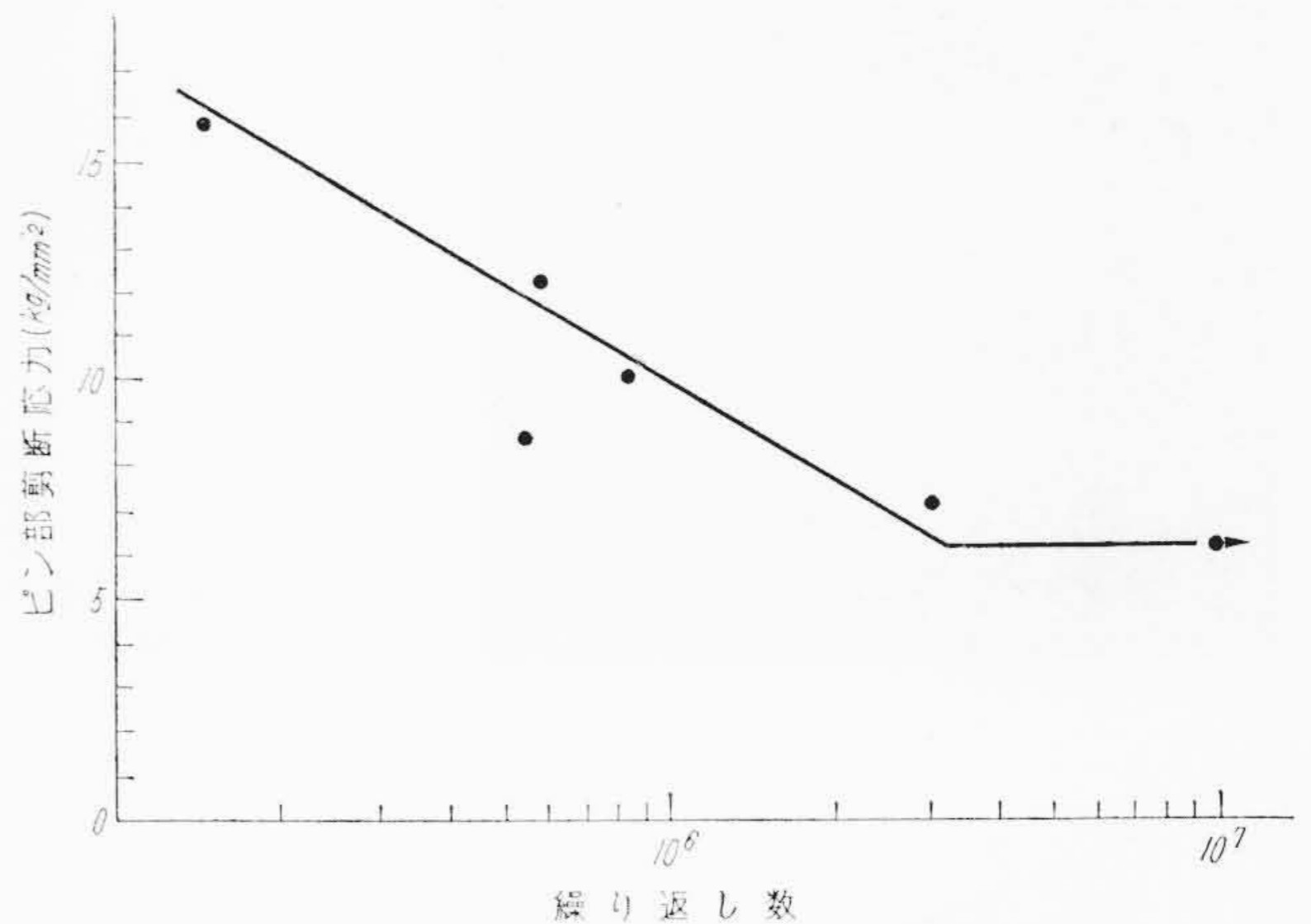
第14図 共振曲線



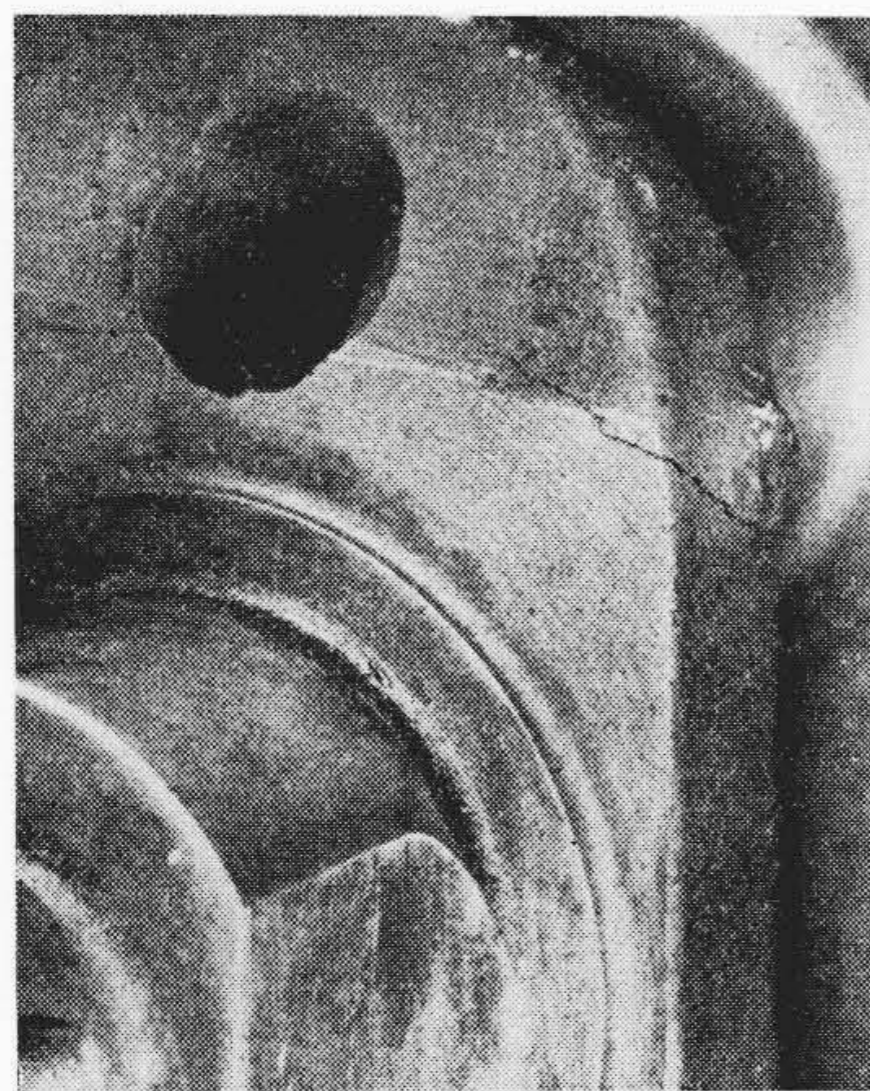
第15図 オシログラムの一例



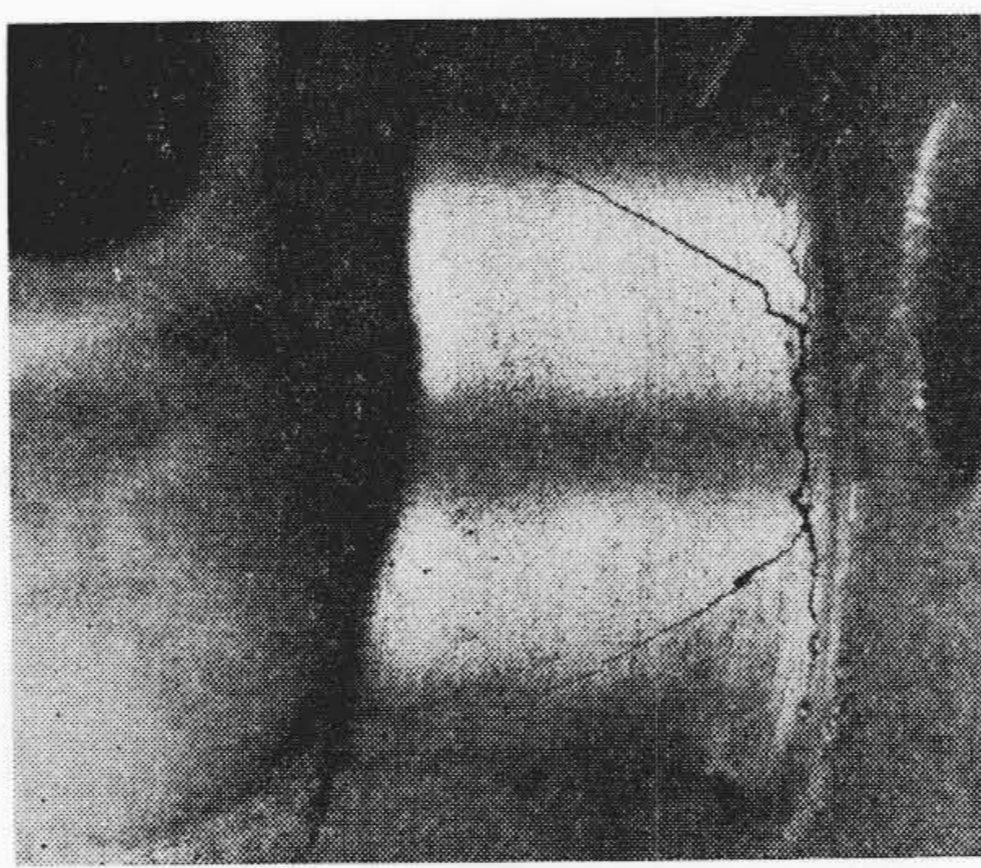
第16図 ねじりモーメントと各部発生ひずみの関係(A試験材)



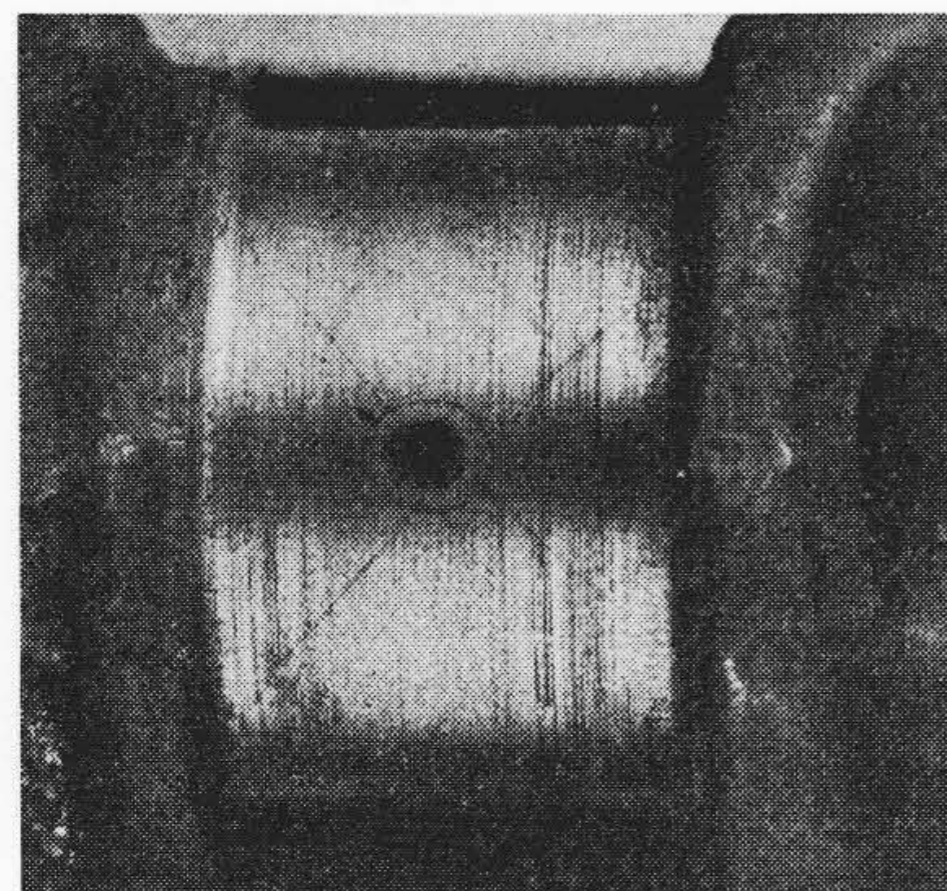
第18図 ピン部剪断応力と繰返し数との関係(A試験材)



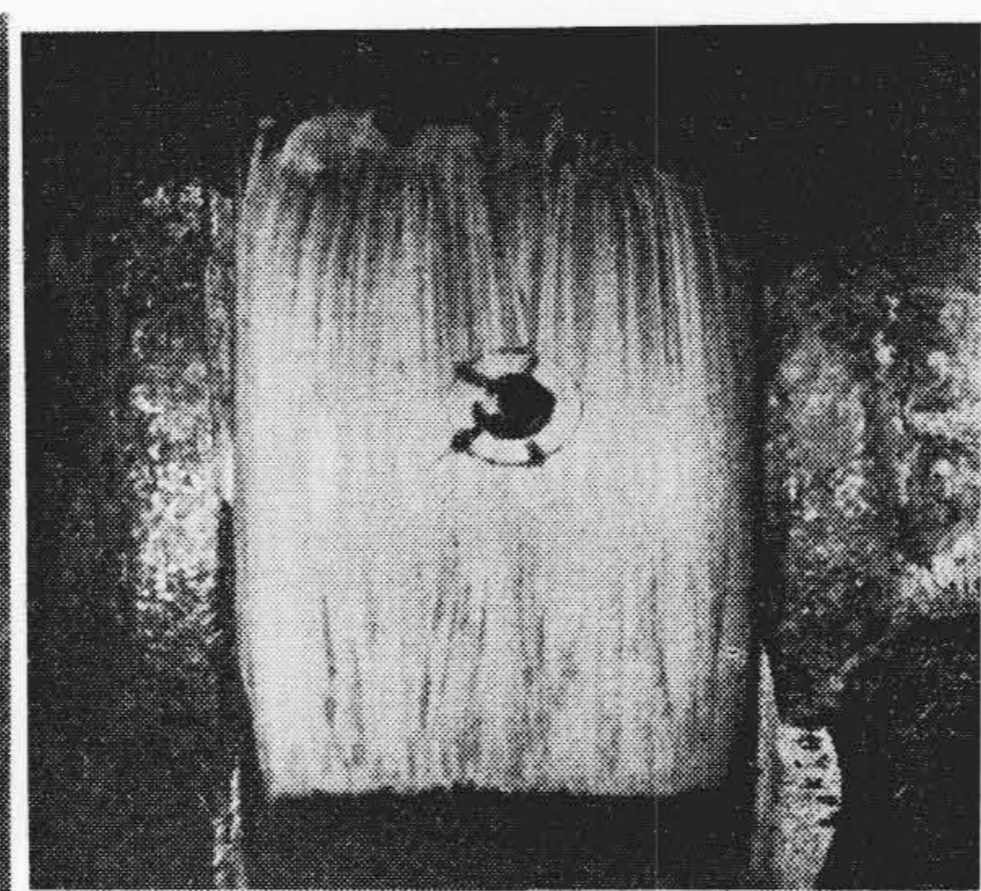
A-3



A-3



A-4



A-5(染色浸透探傷したもの)

第17図 疲労破壊の状況(A試験材)

ね常数が変化した時をもって破断とした。なお疲労試験にさきだち、静的ねじり試験によりピン部とウェブ部のひずみを測定した結果を第16図に示す。

5.3 試験結果

5.3.1 A 試験材

疲労試験を行ったA試験材は全数9本で疲労破壊はすべてクランクピン部に発生し、しかもフィレットR部からきれつが進行した2本を除きほかはすべて給油孔縁より破壊がはじまっている。きれつの方向は軸線に対し約45度の傾きをもち4方向ほぼ同じ長さである。第17図に破壊の状況を示す。また各試験材のピン部剪断応力およびねじりモーメントと繰返し数をまとめると第10表および第18図のとおりである。疲労限はピン部の公称剪断応力で示せば 6.2 kg/mm^2 である。

5.3.2 B 試験材

試験結果を第11表、第20図に、破壊の状況を第19図に示す。破壊はA試験材と同様油孔周辺に45度方向にきれつが進行している。疲労限はピン部の公称剪断応力で 5.8 kg/mm^2 である。

5.4 検討

5.4.1 疲労限

疲労破壊はフィレットR部より破断したもの(A試験材)、平面加工したジャーナル部にきれつがはいったもの(B試験材)もあるが全体としてはクランクピンの給油孔鑄込みパイプの周辺より発生している。きれつの方向は写真に示すように、軸線に対し45度の傾きをもち、その進行速度は各方向等しい。このことは材質が均質で方向性のないことを示している。疲労限はピン部の公称剪断応力で表わして $5.8 \sim 6.2 \text{ kg/mm}^2$ である。

5.4.2 試算

実体の疲労限と平滑材の疲労限との関係は影響する因子が多く

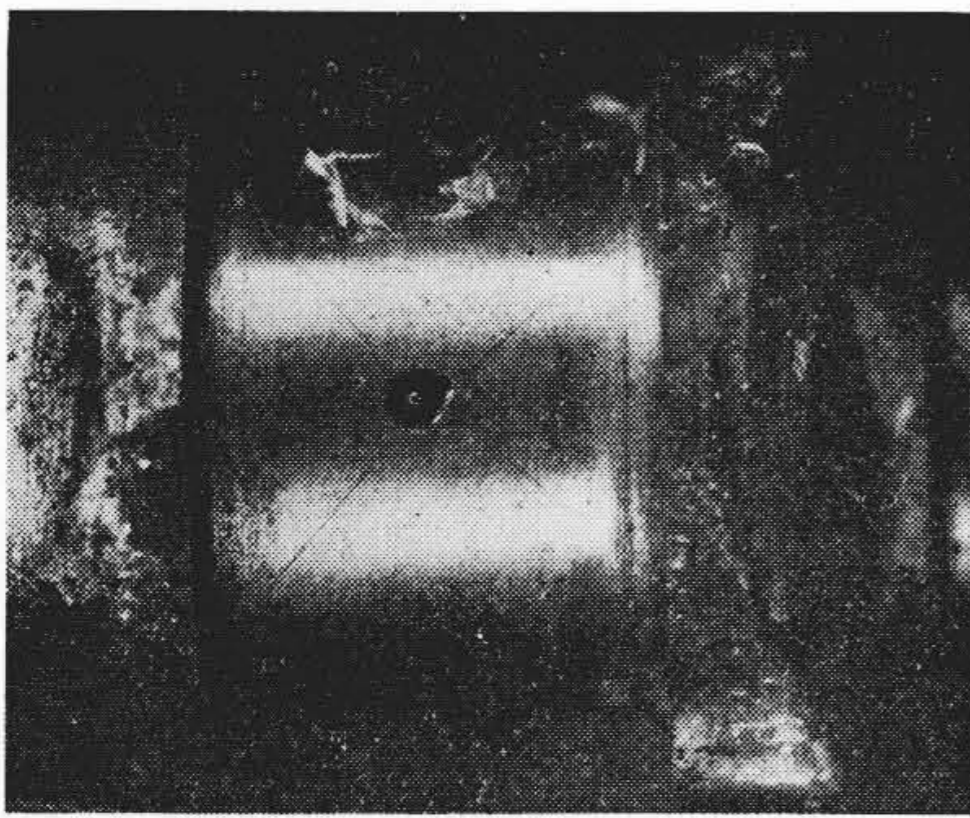
第10表 A試験材のねじり疲労試験結果

試験片番号	クランクピン部剪断応力 (kg/mm ²)	ねじりモーメント (kg.cm)	繰返し回数	破断部	備考
A-1	—	—	—	クランクピンR部より発生(バランスウェイト部破損)	モーメントの変動がはげしくモーメント回転数記録できず
A-2	22.9	64,000	1.17×10^4	クランクピン部給油孔より	約 70,000 kg.cm 以上で破断
A-3	—	—	—	A-1に同じ	
A-4	15.8	44,000	1.46×10^5	A-2に同じ	
A-5	12.2	34,000	5.76×10^5	A-2に同じ	
A-6	10.0	28,000	8.34×10^5	A-2に同じ	
A-7	8.6	24,000	5.39×10^5	A-2に同じ	
A-8	7.2	20,000	2.97×10^6	A-2に同じ	
A-9	6.2	17,000	10^7	破断せず	

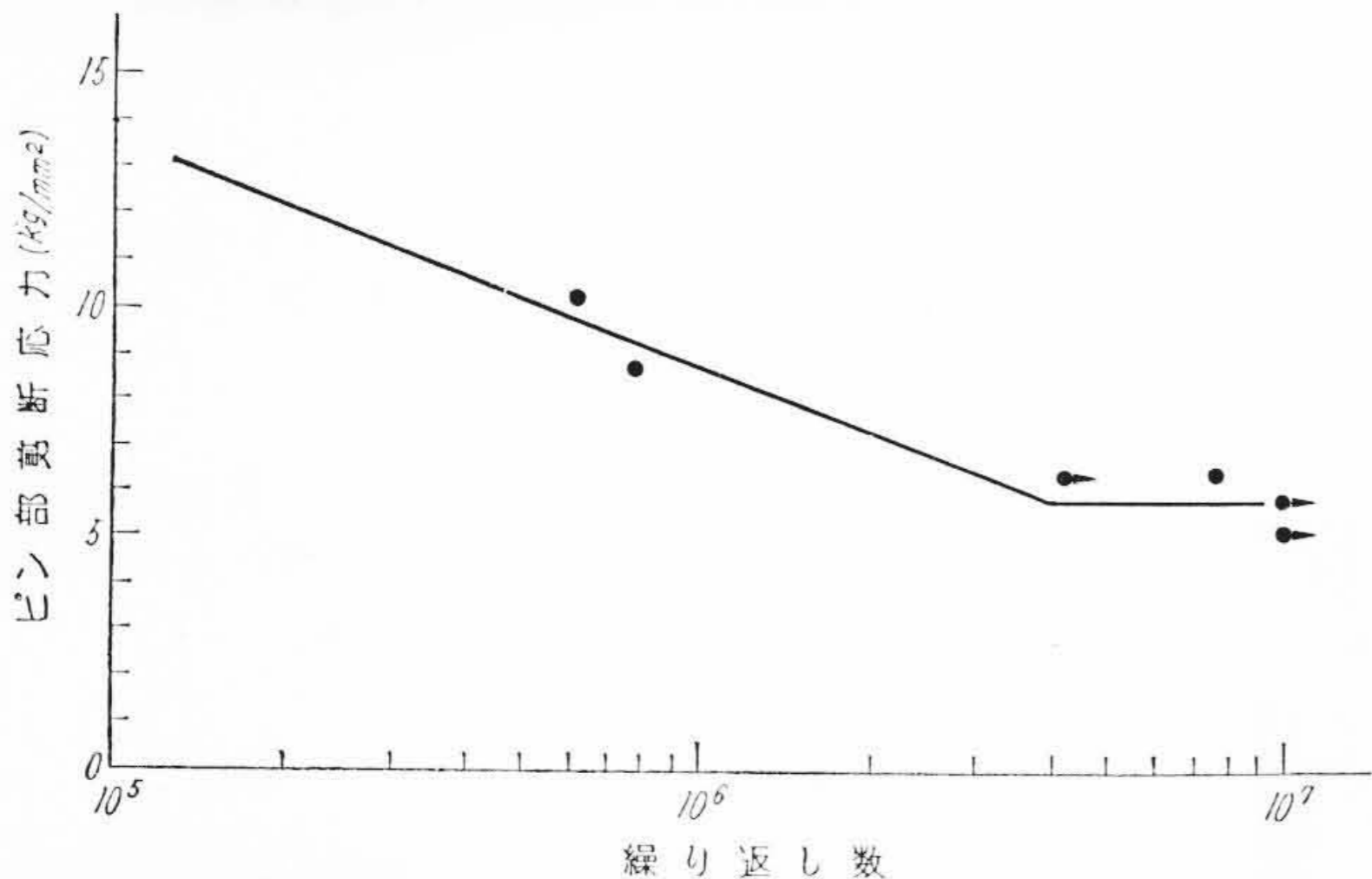
ック部との2箇所にクロス形ひずみゲージをはり付け、ひずみ量をオシログラフで記録することにより行った。記録の一例を第15図に示す。応力の値およびねじりモーメントの大きさはあらかじめ行った補正試験により算定した。破断の判定はきれつが発生し回転ば

第11表 B試験材のねじり疲労試験結果

試験片番号	クランクピン部剪断応力 (kg/mm ²)	ねじりモーメント (kg.cm)	繰返し数	破断部
B-1	8.6	17,000	7.7×10^5	ピン部油孔
B-2	10.1	20,000	6.2×10^5	ピン部油孔
B-3	20.7	40,000	8.5×10^3	ピン部油孔
B-4	6.3	12,000	7.6×10^6	ピン部油孔
B-5	6.3	12,000	4.2×10^6	破断せず
B-6	5.1	10,000	1.0×10^7	破断せず
B-7	5.8	11,000	1.0×10^7	破断せず



第19図 疲労破壊の状況(B試験材)



第20図 ピン部剪断応力と繰返し数との関係 (B試験片)

正確な算定は困難であるが、ここでは両者の関係の目安をつける程度の試算を行った。試験材の機械的性質は第10図に示すとおり引張強さ71.5~79.7kg/mm²であるが、この程度のDCI 55材の12φ平滑材回転曲げ疲労限は2.3項で述べたように約30kg/mm²である。径 a の小孔を有する外径 d の丸棒にねじりモーメントを加えた場合、小孔周辺に発生する最大応力は次式により求められる⁽⁵⁾。

$$\sigma_{\max} = 2\tau_{\max} = 2\alpha\tau_{\text{nom}}$$

$$\text{ただし } \tau_{\text{nom}} = \frac{d}{2I_P} M \left(\frac{1}{1 - \frac{8a}{2\pi d}} \right)$$

α : 形状係数 (第21図より求める)

$\frac{d}{2I_P} M$ に疲労限剪断応力の値を代入して σ_{\max} を求め平滑材の疲労限 σ_{w0} と比較すると第12表のようになる。両値が一致しないのは σ_{w0} が純粋な引張圧縮の疲労限でないこと、形状係数が切欠係数と一致しないこと、そのほか複雑な因子によるものと考えられる。表中の両値の比 K は参考値として掲げたものである。

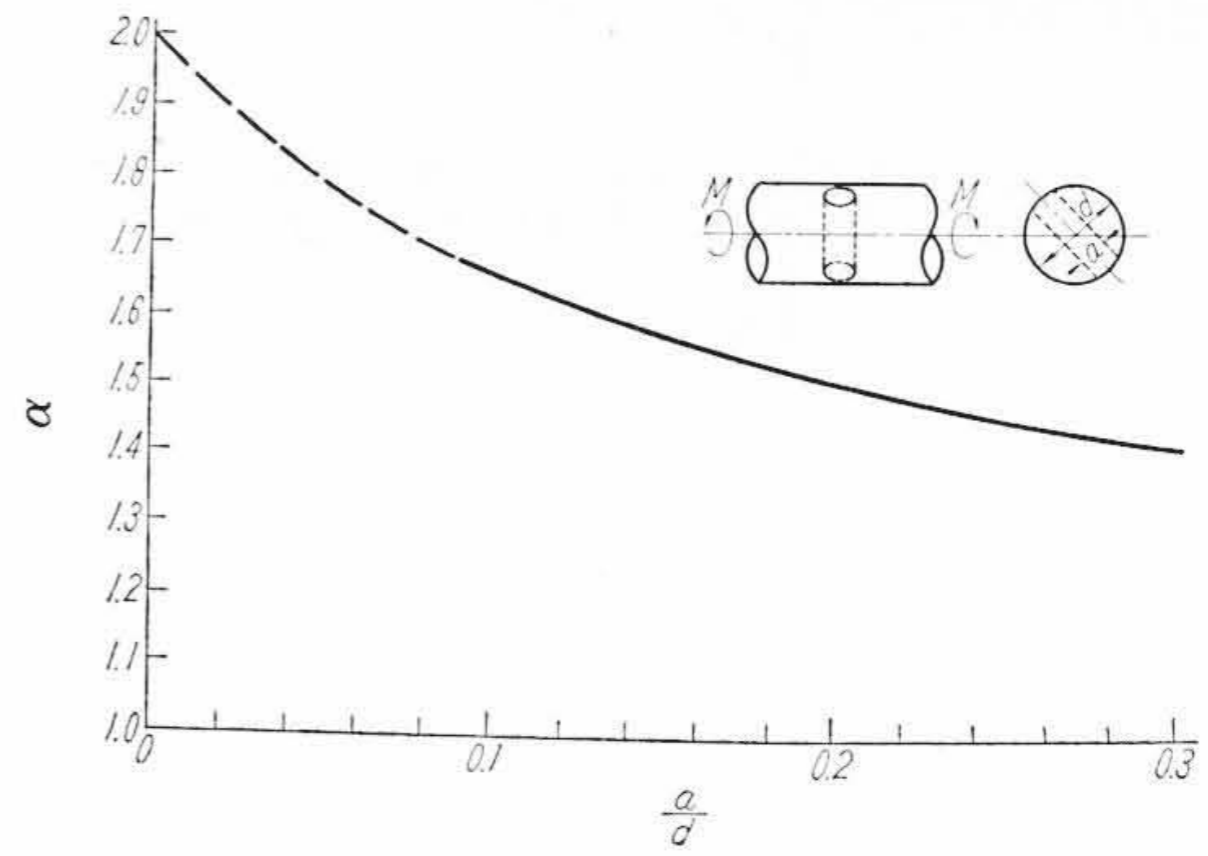
5.4.3 他材質のクランクシャフトとの比較

種々の材質のクランクシャフトの実体疲労強度について文献から引用すると第13表のごとくなる。一般に疲労限は試験片の大きさ、形状および仕上げの状態により異なるので、第13表の値と直接比較して優劣はきめられないが、疲労限剪断応力が5.8~6.2kg/mm²という値は一般に使用されている他材質のものに比してそんな色ないといえる。

5.4.4 結論

給油孔を有するDCI 55製中空形クランクシャフトの実体ねじり疲労試験の結果をまとめると次のようになる。

- (1) 疲労破壊は給油孔周辺より進行する。もし給油孔がなければフィレットRの部分から破壊すると推定される。
- (2) 疲労限はピン部の剪断応力で表わして5.8~6.2kg/mm²である。
- (3) 鋼材を含む他材質のクランクシャフトに比して強度的になんらそんな色がない。
- (4) 鋳込みパイプの形状およびその熔着状態を良くし、油孔端部の面取加工を入念に行えば疲労限はさらに上昇するものと



第21図 α (切欠係数と $\frac{a}{d}$ との関係)

第12表 σ_{w0} との比較

	d (mm)	a (mm)	α	疲労限ピン部 剪断応力 (kg/mm ²)	σ_{\max} (kg/mm ²)	$K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{w0}}$
A試験材	56	8	1.57	6.2	22.3	0.74
B試験材	47	8	1.54	5.8	21.0	0.70

第13表 クランクシャフト実体疲労限の例^{(6)~(8)}

材 質	粗材抗張力 (kg/mm ²)	クランク ピン径 (mm)	公称剪断応力 (kg/mm ²)*	公称曲げ応力 (kg/mm ²)†	備 考
stc 45. 61.	61 以上	48.0	8.0~8.3	—	油孔なし ⁶⁾
stc 45. 61.	61 以上	44.5	8.0~8.5	—	油孔なし ⁶⁾
0.35~0.4% 鋼	55 ~ 64	245.0	4.2	—	油孔あり ⁷⁾
鍛 造 鋼	54 ~ 70	60.0	4.5	—	油孔あり ⁸⁾
高炭素 鋳鋼	68 ~ 74	50.0	8.4	10.4	油孔なし ⁸⁾
1.4~1.6% C パーライト 鋳鉄	28 ~ 31	50.0	5.4~5.9	—	上と同一形状 ⁸⁾
パーライト 鋳鉄	28 ~ 31	48.0	5.9~6.3	—	Volkswagen形 ⁸⁾ 中空油孔なし
特殊 鋳鉄	36	75.0	3.9~5.6	4.6~5.4	中空油孔あり ⁸⁾

* ねじり疲労試験

† 曲げ疲労試験

思われる。

なお高力可鍛鋳鉄製クランクシャフトの実体疲労強度は今後の実験をまたねば明らかでないが、切欠試験片の回転曲げ疲労限がDCI 55 とほぼ同一の値を示していることからダクタイル鋳鉄クランクシャフトと似たものであろうと推定される。

6. 結 言

高力可鍛鋳鉄、ダクタイル鋳鉄製鋳造クランクシャフトを採用することにより加工費を大幅に節減しうるとともに、自由な形状をとり軽くすることができるなどエンジン設計上にも寄与する点が多い。また、両材質は耐摩耗性が良く十分な強度を有している。実体の疲労強度も鋼材に比しそんな色ないことが明らかとなった。すでに欧米においてはクランクシャフトの鋳造化は一般化しており、わが国においても今後急速に普及するものと思われる。

本研究には九州大学石橋正教授より親切なご討議とご指導をいただき、また実験にあたっては九州工業大学井上順吉助教授に多大のご援助をいただいた。ここに厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) General Motors: Automobile Engineer, May 1957
- (2) 池田, 木下: 高力マリアブルクランクシャフトについて (自動車技術会 1960年夏季講演会)
- (3) H. N. Bogart: Shell Molded Cast Crankshafts, SAE 1957年年度会合にて発表
- (4) Woldman and Gibbons: Machinability and Machining of Metals (1951)
- (5) R. E. Peterson: Stress Concentration Design Factors, (1953) Fig. 89
- (6) A. Thum, K. Bandow, Zeits: VDI 80 (1936) 23
- (7) Ostor J. Horger: Fatigue (Published by ASM) (1953) p. 107~108
- (8) R. J. Love: Journal of The Iron and Steel Institute 159 (1948) 247