抗折試験に依り鑄鉄の引張強さを求める新しい公式⁽¹⁾

(昭和11年4月5日 第3回工学学会大会講演會に於て講演)

正員 石田 鑛 一⁽²⁾

摘 要

従来は抗折試験の結果鑄鉄の強弱を破断係数に依つて比較してゐたが、破断係数は便宜上の数値で何等理論的の根據なきのみならず、試験片の支点距離の如何がその値に影響することから云つても、これを強弱を判断する目安とするのは適當でないと考へる。故に著者は抗折試験から直ちに引張強さを求めることが出来ればこれを以て材料強弱の目安にするを可なりと信じ、その実験式に就て研究したのが本論文である。公式を定める前提として著者は2種の材料に就き、断面積を異にする正方形試験片を種々なる支点距離に於て試験し、鑄鉄の抗折試験には略完全に相似の法則が成立することを確めた。この法則に基き著者自身及び山田福治君⁽³⁾の実験結果により

$$P = \frac{374 + 1.29 f_t}{l^{1.06}} \cdot a^3$$

なる実験式を定めた。但し本式は稍計算複雑なる故使用に便利なるやう共線図表に表はした。而して種々なる支点距離に於て行はれた諸研究結果に対し Bach の古くより知られたる公式と比較し本式との優劣を論じた。鑄鉄の抗折試験結果の喰違ひの程度をも考究した。

1. 緒 言

日本標準規格に定める所では第1種の鑄鉄には抗折試験のみを規定し第2種乃至第4種に対しては引張試験と抗折試験との両方を規定⁽⁴⁾してゐる。但し第2種には引張試験は特に註文者の指定ある場合に限り行ひ第3種、第4種には必ず引張と抗折試験の双方を行ふことを定めてゐる。斯くの如く強度の大なることを必要とする物に対しては、抗折試験の外に引張試験を行ふといふのは、引張試験の方が正確で信頼す可きものであるといふ考へが存在するためであらう。然し考へて見ると引張試験には幾多の欠陥がある。この点に関し B. Osann⁽⁵⁾氏は引張試験では設備に余計の経費を要し、又試験片の工作費が高くなるのみならず、鑄鉄の場合には伸率を求めることが出来なため、靱性の多少を定め得ないのに反し、抗折試験では伸率に代はる可き撓が得られるといふ理由でこれを推奨してゐる。この外に著者は、引張試験の場合に試験片の取付箇所に球座⁽⁶⁾を用ひないと屢正しく軸方向に引張られぬために、眞の強さ以下で切れる虞れのあることを附加したい。殊に著者は抗折試験片には相似の法則の成り立つことを確め得たから、或る制限内に於て任意の寸法を有する試験片を用ひることが出来るから、従来より一層簡易な

る装置で行ひ得ることになつて抗折試験の容易さを大いに加へたことになつた。

今一つ引張試験の行はれるのは、設計などの際に引張強さといふものを基礎とするために、これを行はねばならぬ事情にあつたと思ふ。然し抗折試験の結果から直ちに相當信頼性ある引張強さを求めることが出来たならば、殆ど總ての場合に抗折試験のみで事足ることになる。殊に従来抗折試験から求めてゐた破断係数は何等合理的の意義を有しないから、この点から云つてもこれを引張強さに代へることが必要であると思ふ。そのための実験式を求めるのが本論文の目的である。

然し破断係数と引張強さとの關係に就ては、古く Bach⁽⁷⁾の種々なる断面に関する実験結果が知られて居り、又現在独逸に於て行はれてゐる実験式⁽⁸⁾もある。これ等と著者の実験式とを比較して優劣を論じた。猶本研究を行ふに當つて鑄鉄の試験規格決定に関する諸種の研究と討論が鉄と鋼⁽⁹⁾に記載されており、大いに参考となつたことを附記して置く。

上記の如く抗折試験に優れた点あるに鑑み、諸外国でも次第にこれを重視する傾向があり、従つてこれに対する研究も甚だ豊富である。即ち独逸に於ては鑄鉄の試験法としては、抗折試験が推奨されて居り最近決定された自動車用鑄物に対する S.A.E. 規格⁽¹⁰⁾に於ても、抗折試験を基本とし引張試験は註文者と製作者との協議にその採否を任してゐる。

(1) An Empirical Formula to find Tensile Strength of Cast Iron from Transverse Test Results. (2) Kōiti ISIDA, Member. The Yonezawa Technical College. 米澤高等工業学校 (3) 神戸製鋼所 (4) JES 第134号 (5) Die Giesserei, 1935-4-12, S. 170 (6) Spherical or ball seat.

(7) Bach: Elastizität und Festigkeit (6 aufl.) s. 293.

(8) 脚註(5)参照 (9) 昭和4年12月 (10) Foundry, May, 1935, p. 48.

2. 抗折試験片の相似律に関する実験

(i) 序説 試験片の断面を正方形としその1辺の長さを a にて表せば従来破断係数の計算に用ひてゐた式では、同一の材料に対して破壊荷重 P は a^3 に比例することになつてゐる。然しこの式は元来弾性界限内に於て求めたる所であり鑄鉄に於ては弾性界限が極めて低く、且圧縮に対しては引張りに対するよりも大なる應力を呈するために、曲げ作用を受けた際中立軸が中央よりも上に移動し、勿論應力分布も直線的ではない。この点に関し Bach⁽¹¹⁾ は理論上より次式を與へてゐる。

$$M_b = \sigma_1 b \left[m_1 e_1^2 / (2m_1 + 1) + \{ a_1 e_2 / (a_2 e_1) \}^{1/m_2} m_2 e_2^2 \sigma_1^{m_1 - m_2 / m_2} / (2m_2 + 1) \right]$$

この式に関しては後に Pinegin⁽¹²⁾ 最近には中西不二夫君⁽¹³⁾ が実験結果と一致せざることを指摘してゐる。即ち著者は実験的に M_b 或は P が1辺 a に対して如何なる関係を有するかを第一に知らんとした。これと同時に撓も靱性の目安になるものであるから撓 δ が1辺の長さ a 、及び支点距離 l と如何なる関係があるかを調べてみた。尤も撓に就ては百々初男君⁽¹⁴⁾ に依り大体 l^2 に比例することが報告されて居り、又 δ と a との積が一定なること⁽¹⁵⁾ も知られてゐるが更にこれを確かめてみようとした譯である。斯る諸点を研究するために1辺の長さを 25, 21, 16, 10 mm の四通りにかへ1種

類の材料 (以下材料 A と称す) はこれを 330, 295, 260, 215, 170 mm の支点距離に於て、他の1種類の材料 (以下材料 B と称す) は 350, 305, 260, 215, 170 mm の支点距離に於て抗折試験を行つた。抗折試験はアムスラー 5 t 試験機に第1図に示す如き装置を取付け、中央荷重に於て行ひ撓はダイヤルゲージで測り、破壊の際の撓は荷重-撓線図より破壊荷重に対応する値を取つた。

(ii) 試験片に就て 先づ A, B 両材料の配合を第1表に記して置く。

鑄込の寸法は出来るだけ大

にして、黒皮附近の影響を避けようとした。即ち材料 A に対しては次の寸法を用ひた。

材料 A 鑄込寸法	仕上寸法	箇数
40 mm 角 $\times$ 370 mm	25 mm 角 $\times$ 350 mm	12
40 mm 角 $\times$ "	20 mm 角 $\times$ "	6
35 mm 角 $\times$ "	16 mm 角 $\times$ "	6
" $\times$ "	10 mm 角 $\times$ "	6

即ち削り代を 15 乃至 25 mm 附けて両方の黒皮を等分に削り中央の部分から試験片を作製した。この結果黒皮の影響はこの程度にては殆ど無いことを確かめ得たから、材料 B に対しては削り代を次の如く減じて見たが、その結果はよろしい様に思つた。

材料 B 鑄込寸法	仕上寸法	箇数
35 mm 角 $\times$ 400 mm	25 mm 角 $\times$ 370 mm	14
" $\times$ "	20 mm 角 $\times$ "	8
30 mm 角 $\times$ "	16 mm 角 $\times$ "	8
" $\times$ "	10 mm 角 $\times$ "	8

即ち削り代は 10 乃至 20 mm に減じた。

斯く多数の試験片を一度に鑄込むことは、キューボラの容量から困難であつたから A 材料は 18 本と 12 本、 B 材料では 22 本と 16 本との二つに鑄形を分ち二度に鑄込まざるを得なかつたが、出来るだけ均一の材質が得られる様に能ふ限り注意し、鑄込温度は A に対しては 1,250° 乃至 1,350°C に於て、 B に対しては 1,280° 乃至 1,300°C であつた。又仕上げの程度は寸法の誤差、普通 20/100 mm 以内であつた。

第1表 地金の配合表		
地 金	材料 A	材料 B
合せ地金	75%	73.9%
兼二浦 3 号	15%	14.7%
釜石 1 号	10%	—
釜石 3 号	—	9.8%
ニッケル	—	1.9%

備考 合せ地金はスクラップ 38% 輪西 1 号 58% 外に FeMn 2.4%, FeSi 1.9% を含む。

第1図

第2図

(iii) 実験結果とその考察 荷重-撓線図を A 材料に就て示すと第2図の如くである。それより求めた破壊荷重及び撓は第2表及び第3表に示す通りである。

この結果より試みに同じ支点距離における破断荷重を a^3 に対し図示したのが第3図甲、乙であつて、破壊荷重が a^3 に比例せることを示してゐる。これより更に推論すれば断面矩形ならば bh^2 に、又円形ならば直径 d^3 に比例する筈である。この点を確かめるために B 材料より断面矩形の試験片を数種作つて荷重 P が試験片の高さ h^2 に比例することをも確かめ得た。第

4 表及び第4図に示せるがそれである。

第2表及び第3表より a/l , δ/l を計算しこれを夫々縦軸、

[第2巻第9号

(11) Bach: Elastizität und Festigkeit, s. 263. (12) Z. d. V. D. I., S. 2029, 1906. (13) 機械学会誌 昭和8年7月 (14) 鉄と鋼 昭和4年12月 p. 1041. (15) Symposium on Cast Iron, 1933, p. 67

第2表 “A” 材料

試験片記号	支点距離 (l, mm)	試験片1辺の長さ (a, mm)	破壊荷重 (P, kg)	破壊荷重 (平均)	撓 (平均) δ , (1/100mm)
A ₂	330	25	830	760	425
A ₃	330	25	690		
B ₆	295	25	770		
B ₇	295	25	840		
B ₈	295	25	782		
B ₉	295	25	875	842	318
A ₄	260	25	1,030		
B ₁	260	25	980		
B ₄	215	25	1,220		
B ₅	215	25	1,320		
B ₂	170	25	1,570	1,555	143
B ₃	170	25	1,540		
A ₅	330	21	454	452	558
A ₁	330	21	450		
A ₆	260	21	595		
A ₇	260	21	588		
A ₉	170	21	965		
A ₈	170	21	775	870	137
C ₂	330	16	201		
C ₁	330	16	197		
C ₃	260	16	227		
C ₄	260	16	190		
C ₅	170	16	385	388	172
C ₆	170	16	390		
C ₈	330	10	41.5		
C ₇	330	10	45.5		
C ₉	260	10	60		
C ₁₀	260	10	64	62	639
C ₁₁	170	10	89		
C ₁₂	170	10	89		

第3表 “B” 材料

試験片記号	支点距離 (l, mm)	試験片1辺の長さ (a, mm)	破壊荷重 (P, kg)	破壊荷重 (平均)	撓 (平均) δ , (1/100mm)
G ₁	350	10	43	45	1,035
G ₂	350	10	46		
G ₄	260	10	66		
G ₆	260	10	71		
G ₈	170	10	98		
G ₁₀	170	10	102	100	238
G ₃	350	16	210		
G ₅	350	16	227		
G ₇	260	16	304		
G ₉	260	16	313		
G ₁₂	170	16	501	471	186
G ₁₄	170	16	440		
E ₁	350	21	440		
E ₂	350	21	452		
E ₃	260	21	565		
E ₄	260	21	590	571	251
E ₉	170	21	570		
E ₁₀	170	21	560		
E ₅	170	25	895	914	122
E ₆	170	25	932		
D ₁	350	25	770		
D ₂	350	25	812		
D ₃	305	25	895	913	292
D ₄	305	25	930		
D ₅	260	25	1,080		
D ₆	260	25	1,120	1,100	219
D ₇	215	25	1,320		
D ₈	215	25	1,335		
D ₉	170	25	1,677	1,723	118
D ₁₀	170	25	1,768

に於ては $\delta a/l^2 = 1/960$, 後者に於ては $\delta a/l^2 = 1/1,212$ なる式より計算にて求めた値が図中白点で示したもので、これ等の白点を連ねたる曲線を示して置いた。

以上の結果をみるに破壊荷重は Bach が理論的に求めた所と異り、試験片1辺の長さ a の3乗に比例するといふ簡

第4表 “B” 材料

試験片記号	支点距離 (l, mm)	試験片断面の寸法	破壊荷重 (P, kg)	破壊荷重 (平均)	撓 (平均) δ , (1/100mm)
D ₁₁	260	25×16	420	405	303
E ₁₁	260	25×16	390		
G ₁₅	260	25×10	183		
G ₁₆	260	25×10	177		
E ₇	260	25×21	790		
E ₈	260	25×21	700	745	252
D ₅	260	25×25	1,080		
D ₆	260	25×25	1,120

單なる關係にあり、又撓に関しては $\delta a/l^2 =$ 一定なる關係が成立し従つて抗折試験に對して相似の法則が存在することを確かめることを得た。されば抗折試験に於ては規格に定めた試験片以外の寸法を用ひても、その結果を標準試験片に換算することが出来る譯である。上述の法則の中撓に關

第 5 圖 甲

第 5 圖 乙

するものは前述の百々君の結果⁽¹⁴⁾と脚註⁽¹⁵⁾に掲載せられた

ものと一致しこの兩者を打つて一丸となしたるものに外ならない。

次にこの相似の法則の適用範囲を吟味してみる。第3図甲、乙を見るに支点距離 170mm の場合に、他の場合よりも実験値の喰ひ違ひの甚だしいやうである。又第5図甲、乙でも 170mm の撓が $\delta a/l^2 = \text{一定}$ なる曲線から離れる傾向を示してゐる。この傾向は百々君の報告中に掲げられたる

支点距離 150mm の試験結果⁽¹⁶⁾にも明らかに表はれてゐる。故に破壊荷重からいつでも又撓からいつでも、支点距離は 200mm 以上に選ぶを適當と考へられるから、これを以て相似律適用範囲の制限としたい。支点距離の最大限は別に定めないが、実用上 1m を超えることはあるまい。

3. 実験式の誘導

前節第3図の結果から破壊荷重は $P = ka^3$ なる形に記すことが出来る。この比例常数の中には當然 a を含んでゐないから、 k の値が何に依つて決定されるかを調べれば公式が定まつて来る。そのため

(16) 脚註 (14) p. 1044

第 9 圖

第 6 圖

に著者は

$$k = f(l, f_t) \dots \dots \dots (1)$$

と假定して k と l, f_t との関係を実験に依つて確めたのである。茲に f_t は試験片の引張強さを表はす。

先づ k に対する l の影響を見るために第2表、第3表より同じ支点距離に対する k を求むれば第5表の如き結果を得、これを対数方眼紙上に図示して k が $l^{1.06}$ に比例することを知つた(第6図)。猶誤差の計算に必要なため $k-l$ 曲線も第7図に示して置く。次に k と材料の引張強さ f_t との関係を調べるため A, B 2 種の外に C, D, E なる3種の

第 8 圖

材料に就き引張試験と抗折試験とを行ひ、その結果より k と f_t との関係を求めたのが第6表である。但し抗折試験は支点距

離 300mm にて行つたが、これを $l^{1.06}$ に比例するといふ前述の法則に依り 305mm の場合に換算した。これは後に山田君の試験結果と比較に便するためである。

以上の結果を図示すれば第8図 × 印に示した点であつてこれ等の値は大體

$$K = 10 + 0.0345 f_t \dots \dots \dots (2)$$

なる直線式にて表はされることを知つた。然しこれだけの実験のみにて実験式の形を定めるのは少し心許ないが、幸ひ神戸製鋼所山田福治君の報告⁽¹⁷⁾に係る正方形試験片の

(17) 脚註 (14) p. 1052

極めて多数 (総数 231 本) に
対して行へる抗折試験結果より

次の如き方法に依つて平均
値を出して第 8 図に記入し
た。即ち平均値を求めるには
引張強さ f_t の範囲を例へば
25.0 より 25.9, 26.0 より
26.9 kg/cm² といふ風に分ち、
この範囲に属する破壊荷重を
調べてその各を表示したのが
第 7 表である。但し試験片の
箇數 10 以下は省いたから、
上記の試験片中茲に採用せる
は 168 本である。

これを第 8 図には小円にて
表はした。特に 20 箇以上の
試験片は他のものより尊重す
可きであるから、表中下線を
附せる四つの値は黒点にて區
別した。図示したる所に依れ

ばこれ等の実験値は (2) 式の表はす直線の上に相當に均一
に分布し、殊に実験値として價值大なる黒点の極めて近くを
通過してゐるから (2) 式を以て k と f_t との関係づける実
験式に定めた。

上述に依り

$$k = \frac{k_1}{l^{1.06}} \dots \dots \dots (3)$$

と置くことが出来る。但し k_1 は f_t にのみ関する定数である。
然るに $l=30.5$ cm に於て (2) 式が成立するから

第 6 表 係数 k と f_t との関係

材料 記号	抗折試 験片 寸法 a , cm	a^3	破壊荷重 P_{300} kg	破壊荷重 (平均)	305 mm における 破壊荷重 P_{305}	k	引張強さ (平均) f_t kg/cm ²
A						50.4	1,194
B						58.4	1,340
C	2.0	8.0	300	307	302	37.8	861
"	"	"	320				
"	"	"	335				
D	2.5	15.63	1,650	1,620	1,590	101.8	2,695
"	"	"	1,590				
"	"	"	1,660				
E	"	"	1,680	1,663	1,635	104.6	2,700
"	"	"	1,650				

備考 A, B 材料の k は第 7 図 $k-l$ 曲線より求めた値である。

$$k_1 = (10 + 0.034 \cdot 5 f_t) \cdot 30.5^{1.06} \\ = 374 + 1.29 f_t$$

$$\text{従つて } k = \frac{374 + 1.29 f_t}{l^{1.06}} \dots \dots \dots (4)$$

故に求むる破壊荷重に対する実験式は

$$P = \frac{374 + 1.29 f_t}{l^{1.06}} \cdot a^3 \quad \text{但し } l \geq 20 \text{ cm} \dots (5)$$

を得る。茲に總ての値は cm 及び kg の單位にて表はされ
昭和 11 年 11 月]

第 5 表

“A” 材料

“B” 材料

支点距離 l , mm	試験片 寸法 a , cm	a^3	破壊荷重 (平均) kg	係数 k	支点距離 l , mm	試験片 寸法 a , cm	a^3	破壊荷重 (平均) kg	係数 k
330	2.5	15.63	760	48.6	350	2.5	15.63	791	50.6
"	2.1	9.26	452	48.8	"	2.1	9.26	446	48.2
"	1.6	4.1	199	48.6	"	1.6	4.1	219	53.5
"	1.0	1.0	43.5	43.5	"	1.0	1.0	45	45.0
			平均	47.4				平均	49.3
295	2.5	15.63	842	53.9	305	2.5	15.63	913	58.4
260	2.5	15.63	1,005	64.4	260	2.5	15.63	1,100	70.5
"	2.1	9.26	592	63.9	"	2.1	9.26	571	61.6
"	1.6	4.1	209	51.0	"	1.6	4.1	309	75.4
"	1.0	1.0	62	62.0	"	1.0	1.0	69	69.0
			平均	60.3				平均	69.1
215	2.5	15.63	1,273	81.5	215	2.5	15.63	1,328	85.0
170	2.5	15.63	1,605	102.7	170	2.5	15.63	1,723	110.2
"	2.1	9.26	870	93.8	"	2.1	9.26	914	98.6
"	1.6	4.1	388	94.8	"	1.6	4.1	471	114.9
"	1.0	1.0	89	89.0	"	1.0	1.0	100	100
			平均	95.1				平均	105.9

てゐる。本式は計算稍複雑であるから実用に便するために共
線図表に表はしたのが第 9 図である。

4. 新公式と他の公式及び実験結果との比較

引張強さと破断係数⁽¹⁸⁾との関係に就ては、古くより Bach
の公式⁽¹⁹⁾が知られてゐる。次式がそれであつて

$$f_b = \mu f_t \sqrt{\frac{y}{z}}$$

にて表はされる。茲に f_b は破断係数であり、 μ, y, z は試

第 7 表 山田福治君の実験結果

$l=30.5$ cm

試験片 寸法 a , cm	a^3	破壊荷重 (平均) P , kg	k	引張強さ (平均) f_t kg/cm ²	平均値を 出したる 試験片数 n
2.54	16.39	1,710	104.4	28.6	15
"	"	1,657	100.1	27.4	10
"	"	1,672	102.0	26.4	16
"	"	1,717	104.7	25.5	16
"	"	1,582	96.6	24.4	26
"	"	1,494	91.2	23.6	23
"	"	1,463	89.4	22.4	25
"	"	1,475	90.5	21.5	21
"	"	1,392	84.5	20.5	16

験片の形状より定る値にして断面正方形の場合には

$$f_b = 1.70 f_t \dots \dots \dots (6)$$

となることは周知である。然るに正方形断面の試験片に就て
は $f_b = 3Pl/(2a^3)$

であるから (6) 式の関係より

$$P = \frac{1.13 f_t}{l} a^3 \dots \dots \dots (7)$$

(18) Modulus of Rupture.

(19) 脚註 (7) 参照

$$\text{即ち } k_B = 1.13 f_t / l$$

又独逸に於ては次の如き公式が行はれてゐる⁽²⁰⁾。

$$f_b = 2f_t - 200 \dots\dots\dots(8)$$

これに依れば破壊荷重の実験式は

$$P = \frac{1.33f_t - 133}{l} a^3 \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{即ち } k_G = \frac{1.33f_t - 133}{l} \dots\dots\dots(9)'$$

故に概算としては破断係数は $2f_t$ と表はしてよいが、これでは

高い抗張力を有する鑄鉄に対し、差違の著しいことを A. Leon⁽²¹⁾ が指摘してゐる。後述する様に第 8 図にもこれと同一の傾向が表はれて K_G を

第 10 圖

第 8 表 支点距離 100 cm (黒皮のまゝ)

試験片記号	試験片		$b h^3$ cm ³	破壊荷重 P , kg	係数 k	引張強さ f_t kg/cm ²
	巾 b cm	厚さ h cm				
A 1	2.99	2.97	26.4	698	26.4	
A 2	3.00	2.98	26.7	672	25.2	
A 3	3.04	2.99	27.1	678	25.0	
				平均	25.5	2,666
B 1	3.01	3.10	29.0	770	26.6	
B 2	3.11	2.95	27.0	750	27.6	
B 3	3.00	3.07	28.4	740	26.0	
B 4	2.96	3.07	28.0	720	25.7	
				平均	26.5	2,542
C 1	3.10	3.05	28.9	650	22.5	
C 2	3.08	2.98	27.4	625	22.8	
C 3	2.97	3.04	27.5	650	23.6	
C 4	3.01	3.07	28.5	670	23.5	
				平均	23.1	2,381
D 1	3.07	3.10	29.5	615	20.8	
D 2	3.05	3.17	30.6	580	19.0	
D 3	3.05	3.15	30.3	620	20.4	
				平均	20.1	1,956
E 1	3.05	3.22	31.7	840	26.5	
E 2	3.01	3.12	29.4	820	27.9	
E 3	3.01	3.21	31.0	830	26.8	
				平均	27.1	2,750

(20) Die Giesserei, 1935-4-12, S. 170. S. 281.

(21) V.D.I., 1936.

表はす直線は大きな f_t の場合に実験結果と離れてゐる。この外 DIN 1691 に鑄鉄の規格として與へたる所を式として表せば

$$f_b = 1.5f_t + 700^{(22)}$$

となり、又 E. Dubi⁽²³⁾ は次の如き式を與へてゐる。

$$f_b = 1.1f_t + 1,500 \text{ 又は } 13.1f_t^{0.13} + f_t$$

全くこれに反して破断係数は引張の強さと、一定の關係にないと主張するものもあるが⁽²⁴⁾、著者はやはり相互間に一義的な關係があるものとして実用上差支ないと思ふものである。

こゝにはこれ等の諸式の代表として、Bach の式と (8) 式

第 11 圖

を取り著者の実験式と比較しよう。即ち先づ (7)' 及び (9)' 式を $l = 30.5$ cm の場合に計算し (4) 式と比較のために第 8 図に記入して置いた。実験結果に照して

見るに k_G の式は $f_t = 10 \sim 26$ kg/mm² の範囲では大体実験結果に一致するも 26 kg/mm² 以上即ち高級鑄鉄に対しては過大になり、又 k_B の式はこれに反し概して過小で、これ等に比較して新公式 (4) 式が勝つてゐる。

次に支点距離の異なる場合にこの新公式が、どの程度に実験と一致するかを確かめてみる。それに先だつて式の形の上か

第 9 表 支点距離 60 cm における百々君の実験結果

材料	鑄込直径 25 mm に 対する強さ (平均) kg/mm ²	仕上直径 20 mm に 対する強さ (平均) kg/mm ²	引張強さ (平均) kg/mm ²	破壊荷重 (平均) kg	試験片 寸法 $= 2.5$ cm cm ³	k
符号						
A	13.64	13.21	13.4	490	15.68	31.4
B	20.45	19.87	20.2	656	"	42.0
C	25.48	24.25	24.9	762	"	48.8

第 10 表 支点距離 300 mm 及び 150 mm
における内田君の実験結果

a cm	a^3 cm ³	P , kg		k		f_t kg/cm ²
		支点距離 300 mm	支点距離 150 mm	支点距離 300 mm	支点距離 150 mm	
2.54	16.4	1,250	2,652	76.2	162	17.1
"	"	1,250	2,967	"	181	16.7
"	"	1,190	2,601	72.0	159	15.6
"	"	1,190	2,723	"	166	15.5
"	"	1,550	3,007	94.5	184	23.9
"	"	1,880	3,475	115.0	212	25.7
"	"	1,450	2,946	88.4	180	20.8
"	"	1,350	2,967	82.4	181	22.6

(22) 305 mm の支点距離では本式は著者の式と殆ど一致してゐる。

(23) Materialprüfungskongress Zürich 1931.

(24) A. Gimmy, Giesserei 1933, S. 235 u. 280.

第 11 表 甲 A 材 料

l , cm	k (第 6 図より)	a , cm	a^3 , cm ³	破壊荷重平均 値 P_m , kg
33	47.5	1.0	1.0	47.5
"	"	1.6	4.1	195
"	"	2.1	9.26	440
"	"	2.5	15.6	743
29.5	53.5	"	"	836
26	61.0	1.0	1.0	61
"	"	1.6	4.1	250
"	"	2.1	9.26	565
"	"	2.5	15.6	954
21.5	75.0	"	"	1,173
17	96.5	1.0	1.0	96.5
"	"	1.6	4.1	396
"	"	2.1	9.26	895
"	"	2.5	15.6	1,510

第 11 表 乙 B 材 料

l , cm	k (第 6 図より)	a , cm	a^3 , cm ³	破壊荷重平均 値 P_m , kg
35	50.4	1.0	1.0	50.4
"	"	1.6	4.1	206
"	"	2.1	9.26	466
"	"	2.5	15.6	775
30.5	58.0	"	"	907
26	69.0	1.0	1.0	69
"	"	1.6	4.1	283
"	"	2.1	9.26	639
"	"	2.5	15.6	1,080
21.5	84.0	"	"	1,312
17	107.5	1.0	1.0	107.5
"	"	1.6	4.1	441
"	"	2.1	9.26	996
"	"	2.5	15.6	1,681

ら k と k_B , k_G とを比較すれば、 k_B , k_G に於ては何れも l に逆比例してゐるから、これで正しければ破断係数は支点距離には無関係で一定値を取る筈であるが、著者の A, B 両材料に関する実験では少しく l に影響せられることになつて居り、百々君の結果でも同一の傾向があるから、外の支点距離に対しても k の式の方が他よりも実際に近いものと推察を下すことが出来る。

そのために Bach の支点距離 1 m の実験結果⁽²⁵⁾ に就て兩式を比較する。第 8 表はその結果を示す。

第 10 図点線の表はすがそれである。これに對し比較のために k 及び k_B を示す直線を記入して置いた。この場合には $k = 2.84 + 0.009,8 f_t$, $k_B = 0.011,3 f_t$ となり、実験値に比して k 及び k_B は何れも過大の値を與へる。此處に注意すべきはこの実験が黒皮のまゝに行はれたことで、黒皮附の試験片と機械仕上を施したものとで、破断係数が如何に影響されることは古くより議論のあることで例へば Segundo and Robinson⁽²⁶⁾ に依れば、黒皮附の方が強いと稱してゐる。然し J.T. Mackenzie⁽²⁷⁾ の報ずる所では、同一の引張強さに対して破断係数の値は仕上げたもの

第 12 圖

第 13 圖

k 方が大であり、最近の G. L. Harbach⁽²⁸⁾ の結果もこれと一致してゐる。どの位仕上げたために抗折係数の値が増すかといふに、Harbach の結果に依れば、引張強さ 15 kg/mm² に於て機械仕上の方 1.09 倍、30 kg/mm² に於て 1.13 倍となつてゐるから、この補正を施すと k 、及び k_B 式は何れも大体実験結果と一致したと見做すことが出来る。

支点距離 600 mm の場合には百々君の実験結果⁽²⁹⁾ と k , k_B 兩式を比較する。この材料の引張強さとしては、直径 20 mm のものに就て平均値を出した。

以上の結果を図示したる第 11 図に就て見るに、 k 式が大体実験値と平行してゐるから、如何なる強さの場合にも

よき近似値を與へるに反し、 k_B 式では 25 kg/mm² 以上の強力なる材料に対しては引張強さが過大になる恐れがある。

最後に 300 mm 及び 150 mm の支点距離に行はれたる三菱造船所内田君の結果⁽³⁰⁾ を借用して比較を試みてる。

これを図示したのが第 12 図であつて、この場合には明かに k 式がかなり k_B 式よりも勝れてゐること

(25) V.D.I., 1908, S. 2065 u. 1909, S. 299.
Hyde: Mechanical Testing, Vol. 1, p. 143.
on Cast Iron, 1933, p. 57.

(26) Batson and
(27) Symposium

(28) Foundry Trade Journal, Aug. 1, 1935, p. 86.
(29) 脚註 (14) 1041 頁 (30) 脚註 (14) 1044 頁

第 12 表 甲 A 材 料

試験片 記号	l , cm	a , cm	P_m , kg	P , kg	誤差 %
A_2	33	2.5	743	830	+11.7
A_3	"	"	"	690	-7.1
B_6	29.5	"	836	770	-7.9
B_7	"	"	"	840	+0.48
B_8	"	"	"	782	-6.5
B_9	"	"	"	875	+4.7
A_4	26	"	954	1,030	+8.0
B_1	"	"	"	980	+2.6
B_4	21.5	"	1,173	1,220	+4.0
B_5	"	"	"	1,320	+12.5
B_2	17	"	1,510	1,570	+4.0
B_3	"	"	"	1,540	+2.0
A_5	33	2.1	440	454	+3.2
A_1	"	"	"	450	+2.3
A_6	26	"	565	595	+5.3
A_7	"	"	"	588	+4.1
A_9	17	"	895	965	+7.8
A_8	"	"	"	775	-13.4
C_2	33	1.6	195	201	+3.0
C_1	"	"	"	197	+1.0
C_3	26	"	250	227	-9.2
C_4	"	"	"	190	-24.0
C_5	17	"	396	385	-2.8
C_6	"	"	"	390	-1.5
C_8	33	1.0	47.5	41.5	-12.6
C_7	"	"	"	45.5	-4.2
C_9	26	"	61	60	-1.6
C_{10}	"	"	"	64	+4.9
C_{11}	17	"	96.5	89	-7.8
C_{12}	"	"	"	89	-7.8

を示してゐる。又この結果より支点距離 150 mm は撓の量は、先の $\delta a/l^2 = \text{一定}$ といふ法則に従はず、これより遙に大なる値を與へるが破壊荷重の方は猶 a^3 に比例してゐることは注目すべきことである。

5. 破壊荷重値とそれ等の平均値との差

同一の鑄鉄材より製作したる試験片であつても、その破壊荷重値は或る場合には相當の差違を生ずることは、第 2 表及び第 3 表にも表はれてゐる。 A, B 兩材料は夫々 30 本に就て試験したから、1 回の破壊荷重値とそれ等の平均値の差がどれ位であるかを知る。目安として公算誤差を計算して見た。これ等の試験片は断面積と支点距離を異にするものであるから、第 6 図の $\log k - \log l$ 曲線から夫々の支点距離に対する k の平均値を求め $P = ka^3$ といふ関係から、破壊荷重値の平均値を知り誤差を見出した。以上の計算の経路は第 11, 12 表に示して置く。

この結果より一つの実験値の公算誤差 $0.675 \sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}$ を計算してみると A 材料に対しては 5.5%, B 材料に対しては 5.0% といふ値を得る。故に若し 2 本の平均値から、破壊荷重値を定めることにすれば、その平均値の観測の重さは 2 であるから、その公算誤差は $\frac{5.3\%}{\sqrt{2}}$ 即ち 3.8% となり、抗折試験から求めた値が工業的試験としては、十分の正確さを有するものといふことが出来やう。日本標準規格では各鑄鉄

第 12 表 乙 B 材 料

試験片 記号	l , cm	a , cm	P_m , kg	P , kg	誤差 %
D_1	35	2.5	788	770	-2.3
D_2	"	"	"	812	+3.1
D_3	30.5	"	907	895	-1.3
D_4	"	"	"	930	+2.5
D_5	26	"	1,080	1,080	0
D_6	"	"	"	1,120	+3.7
D_7	21.5	"	1,312	1,320	+0.6
D_8	"	"	"	1,335	+1.8
D_9	17	"	1,681	1,677	-0.24
D_{10}	"	"	"	1,768	+5.2
E_1	35	2.1	466	440	-5.6
E_2	"	"	"	452	-3.0
E_3	26	"	639	565	-11.6
E_4	"	"	"	590	-7.7
E_9	"	"	"	570	-10.8
E_{10}	"	"	"	560	-12.4
E_5	17	"	996	895	-10.1
E_6	"	"	"	932	-6.4
G_3	35	1.6	206	210	+1.9
G_5	"	"	"	227	+10.2
G_7	26	"	283	304	+7.4
G_9	"	"	"	313	+10.6
G_{12}	17	"	441	501	+13.6
G_{14}	"	"	"	440	-0.2
G_1	35	1.0	50.4	43	-14.7
G_2	"	"	"	46	-8.4
G_4	26	"	69.0	66	-4.3
G_6	"	"	"	71	+2.9
G_8	17	"	107.5	98	-8.8
G_{10}	"	"	"	102	-5.1

品又は各鑄鉄毎に抗張、抗折試験片を各 1 本と規定してゐるが、寧ろ抗折試験片のみ 2 本に変へては如何と思ふものである。

6. 結 論

1. 鑄鉄の抗折試験には相似の法則が成立する。即ち破壊荷重は a^3 に比例し、撓に関しては試験片寸法との間に $\frac{a\delta}{l^2} = \text{一定}$ なる関係が存在する。
2. 破壊荷重は a^3 に比例する故 Bach が理論的に求めた所があてはまらぬことを知つた。
3. 以上の相似則を基礎として次の如き実験式を得る。

$$P = \frac{374 + 1.29 f_l}{l^{1.06}} a^3 \quad (\text{但し } l \geq 20 \text{ cm})$$

4. 上の実験式を用ふれば如何なる寸法の試験結果をも断面正方形なれば比較することが出来る。

5. 抗折試験による 1 回の実験値の公算誤差は約 5% である。故に 2 本の試験片に対する平均値を取ることにすれば一層誤差を小にすることが出来るから、抗折試験片の数はなるべく 2 本に定めたく思ふ。

最後に本実験の一部を米澤高等工業学校における卒業実験として努力せられたる松本保、河股一男両君の勞と試験片の製作に種々配慮を煩はしたる同校助教目崎友衛君に対して厚く感謝の意を表するものである。