写真 3

母材熱影響部（境界部）顕微鏡組織の数例

5%ピクリン酸アルコール溶液腐蝕

×300

写真 4

ビード下亀裂の一例

5%ピクリン酸アルコール溶液腐蝕 ×300

会社久末達雄、大阪府工業奨励館鈴木英二の諸氏より多大の御援助をいただいた。また実験の一部遂行には新成夫、森垣脩兩工学士が熱心に協力された。諸氏に厚く御礼申し上げる。なお本研究の一部は著者の一人に交付された昭和24年度科学研究費「オーステナイト系溶接棒による各種鋼材溶接境界部組織の研究」によって行われた。記して感謝の意を表する。

註：T, 板厚, v, 溶接速度を表わす。

軟鋼用市販被覆電弧溶接棒の機械的性質に関する統計的研究（第2報）*

—— 熔着鉄の機械的性質の代表位について ——

横 田 清 義**

Statistical Examination of the Mechanical Properties of Mild Steel Arc-Welding Electrodes Marketed in Japan (Report II)*

—On representative value of mechanical properties of deposited metals—

By K. Yokota**

Abstract

After statistical treatment of test results on all the specimens, representative values of tensile strength, elongation and shock of commercial electrodes have been found. First, possible application of law of large numbers was examined by establishment of an equation for frequency probability curve. It was confirmed that, with a wide range of variance elongation values are delicately subject to the state of deposit metal; and that among those tested. Class A core wire is found to be highly sensitive to flux with a tendency to produce inferior results to Class B if the flux composition does not match.

1. 統計的考察

検定試験に提出された溶接棒は、軟鋼用溶接棒の規格（臨時 JES 196 号）に合格する目的をもって製造されたものであるから、製造業者によって心線および被覆剤に多少の差異があるかも知れないがその目的は一つである。

当時原料資材はすべて国産に依存せねばならず、しかも強度の統制経済のために優良資材の入手が極めて困難であった。しかしこの条件はすべての業者に対して同一である。

また製造方式はすべて泥状手塗式で粉砕法、混捏法、塗布法、乾燥法は皆大同小異で、溶接棒の性質に決定的影響を与える程の相異はないと思われる。かように観すれば製造条件は大同小異であるから、一般市販溶接棒の機械的性質は必然的にある代表値に集中せねばならぬ。そして異常に大いなる差異があるとすれば、それは軟鋼用範疇に入らないものと断定することができる。

溶着鉄の機械試験の結果は溶着鉄に内在する多くの原因の総合結果であるが、それらの原因が結果に及ぼす影響が箇々の試験片について大同小異であって、特に決定的影響力を有するものがない場合には、全測定値の適当な等差の数系列の範囲内にある度数の分布は確率分布函数によって与えられねばならない。かようにして、実験の結果がこのような方程式で表現されることになればその少数の係数を定めることによって極めて簡単に事物の比較及び計算ができる。

2. 抗張力の代表値

1. ヒストグラム及び頻度曲線

たとえば第 2 期試験の抗張試験結果から

各銘柄の 2 ケの試験片の測定値差が第 1 報で決定した棄却限界よりも大なるものを除いた残余について 2 ケの試験片の測定値の平均の度数表を作れば、第 1 表の如くである。これより、ヒストグラム及び頻度曲線を作れば第 1 及び 2 図に示す如くである。

試験期間別抗張力比較：第 2 期試験におけるヒストグラム及び頻度曲線（第 1 図及第 2 図）によると心線種別に関係なく全試料の抗張力の分布は一般的にいわれる単モード度数分布をなしているが、少数の異常に低い値を除けば正規分布に非常に近似している。これは抗張力が溶着鉄の状態に左右されることが少く、ある代表値に密集することを示すものである。

第 3 期試験においても同様な傾向を示す。第 1 期試験においては多少異なる傾向を示し、分散率 σ^2 がかなり大である。これは第 1 期においては業者の製造目標が定まらない

オ 1 表 第 2 期 総 合 抗 張 力 の 度 数 表

代 表 値 x kg/mm ²	代表指示数		度 数 y		累 加 度 数 $\Phi(x)$	
	γ	ξ	実 測	計 算	計 算	実 測
8	1		1			1
12	2		0			1
16	3		3			4
20	4		1			5
24	5		6			11
28	6	0	5	3.9	3.9	16
32	7	1	10	15.5	19.4	26
36	8	2	50	52.4	$71.8\Phi(x_{t-1})$	76
$40x_i$	9	3	174	$134.9f(xi)$	206.7	250
44	10	4	233	219.8	$426.5\Phi(x_{s-1})$	483
$48x_s$	11	5	222	$195.4f(xs)$	621.9	705
52	12	6	82	83.	705.1	787
56	13	7	9	13.7	718.8	796
60	14	8	1	0.8	719.6	797
$x = x_0 + hr$ $x_0 = 28 \text{ kg/mm}^2 \quad h = 4$			797	719.6		

* 原稿受付 昭和 27 年 3 月

** 正員、早稲田大学理工学部 Member, Science and Engineering Faculty, Waseda Univ.

ために、極めて不良品が多く抗張力の値が廣範囲に分散したと思われる。（第 1 期及び第 3 期試験のヒストグラム及び頻度曲線は省略す）

オ 1 図 第 2 期試験抗張力
総合頻度分布

オ 2 図 第 2 期試験抗張力
総合確率曲線

モード値及び分散率は低測定値の度数の影響により変動するものであるから、累加頻度曲線を比較して見るとその優劣を比較するのに便利である。第 1 期、第 2 期及び第 3 期における抗張力の累加頻度曲線を重ねて示したものが第 3 図である。これによると第 1 期における抗張力には多数の低い値が含まれているため、第 2 及び第 3 期の曲線と遙かに離れて左側にある。

かようにして見るときは第 2 期試験における抗張力は、余り多くの低い値を含まず高い値によく集中することが分る。また第 3 期試験は第 2 期に多少勝れていることがわか

る。心線別抗張力比較：第 2 期試験における心線種別による抗張力のヒストグラム及び頻度曲線（図は省略す）によると甲、乙及び普通線を使用したものは共にその頻度曲線が正規分布によく近似的であって、代表値に密集している。但し甲を使用したものは多少左傾的であって分散度が大である。

第 3 表は心線種別による抗張力の統計値を示す。

第 4 図累加度数曲線の比較図によれば甲種心線の累加度数曲線は、乙及び普通線のものに比して遙かに右に偏っている、従って甲種心線を使用せるものは比較的多くの高い値を含み高抗張力を生じ易い傾向のあることを示す。換言すれば甲種心線を使用した場合には、抗張力が一般に高目

オ 3 図 期間別総合抗張力
累加度数確率

オ 4 図 第 3 期試験心線別抗
張力累加度数確率

オ 2 表 総合抗張力の統計値

	試験数	最小値 kg/mm ²	最大値 kg/mm ²	平均値 kg/mm ²	標準偏差 kg/mm ²	(1) 平均誤差 kg/mm ²	(1) 分散率 %	(2) モード値 kg/mm ²	(2) モード頻度 %
第 1 期試験	117	19.4	53.0	40.15	6.31	0.58	14.0	40.0	0.28
第 2 期試験	797	6.6	58.2	44.14	5.61	0.19	12.9	46.21	0.33
第 3 期試験	390	10.04	61.55	46.18	6.23	0.32	13.5	42.24	

オ 3 表 心線種別抗張力の統計値

	試験数	最小値 kg/mm ²	最大値 kg/mm ²	平均値 kg/mm ²	標準偏差 kg/mm ²	平均誤差 kg/mm ²	分散率 %	モード値 kg/mm ²	モード頻度 %
甲種心線	151	6.6	57.8	43.83	6.43	0.524	14.65	47.34	0.305
乙種心線	461	15.0	58.0	44.06	6.20	0.289	14.06	45.09	0.342
普通線	136	23.0	53.9	44.03	5.36	0.470	12.23	44.63	0.300

る。

以上の測定値より求めた抗張力の平均値、モード値及びモード頻度は第 2 表の通りである。

$$1) \text{ 標準偏差 } \sigma^2 = \frac{\sum (M - x)^2}{N}, \text{ 平均誤差 } \Delta_m = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

$$\text{分散率 } \lambda = \frac{\sigma}{M} \times 100$$

但し M は算術平均値、 N は測定数である。

2) 度数確率曲線上で求めた数値。

になる傾向があり、乙及び普通線を使用した場合には、平均値とモード値とがほぼ等しく中庸を得た抗張力を得る傾向がある。

2. 単モード度数確率曲線の方程式

x なる主因数が x なる値をとる確率を y とし、もし y が x の函数であって、 x の小なる方より漸次増大し、或る最大値を経て再び漸次減少する性質のものであるならば、 $y = f(x)$ はいわゆる単モード度数確率曲線の方程式であ

る。

Korl Pearson は主因数 x の原点をモードを与える点に移し、こゝから測った x の値を t として上述の度数曲線の微分方程式を

$$\frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dt} = \frac{t}{F(t)} = \frac{t}{B_0 + B_1 t + B_2 t^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

と假定した。 B_0 , B_1 , 及び B_2 は恒数である。

単モード曲線の性質上 $y > 0$ であり、かつ $t < 0$ に対し $\frac{dy}{dt} > 0$; $t > 0$ に対して $\frac{dy}{dt} < 0$ であるから常に $F(t) < 0$, $B_0 < 0$ である。

また少くともモードの近くでは

$$\sqrt{-B_0} = \sigma_0, \quad p = -\frac{\sqrt{-B_0}}{B_1}, \quad H = \sigma_0 p$$

なる関係がある。ただし σ_0 はモード附近の標準偏差である。微分方程式 (1) をマクローリンの定理を用いて積分して得られる形を t に関して三次までとるとして

$$\log y = \log y_0 - \frac{1}{2} \left(\frac{t}{\sigma_0} \right)^2 \left[1 - \frac{2}{3} \left(\frac{t}{H} \right) + \dots\dots \right] \log e \quad \dots\dots\dots (2)$$

を得る。ただし y_0 はモードの度数である。また (2) は常用対数を用いるために $\log e$ を乗じたものである。上式をもし

$$\log y_0 = \alpha \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$-\frac{1}{2\sigma_0^2} \log e = \beta \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{1}{3\sigma_0^2 H} \log e = \gamma \quad \dots\dots\dots (5)$$

とすれば (2) 式は

$$\log y = \alpha + \beta t^2 + \gamma t^3 \quad \dots\dots\dots (6)$$

故に (6) 式は主因数 x の代表指示数 ξ で表わせば

$$\log y = A_0 + A_1 \xi + A_2 \xi^2 + A_3 \xi^3 \quad \dots\dots\dots (7)$$

の形と考えられる。たゞし $\xi = x - x_0 + h\xi$ なる関係から定まる数値で、0, 1, 2, 3……正の整数とする。 h は主因数 x の等差である。

(7) 式の $\log y$ と ξ の関係図は拋物線を示すが故に度数表から度数の対数を縦座標に、代表指示数 ξ を横座標にとって曲線を書いて見てこれが拋物線らしいものであれば、この曲線は (7) 式の形におくことができる。従って (7) 式の係数 A_0 , A_2 , A_2 及び A_3 を決定することができれば、度数確率曲線が定まり、これから種々の理論統計値を求めることができる。

第 1 表の実測度数 y を片対数方眼紙の縦軸、代表指示 r 数を横軸としてその各点を図示すると第 5 図 —○— で示す如き度数多角形を得る。

これによれば $r=6$ 以上の各点はあたかも一つの拋物線上にあるように見える。故にこの度数分布は (7) 式の形で表わされるものと假定してチェビシェフ q 函数³⁾を用いて

係数 A_0 , A_1 , A_2 及び A_3 を求めることが出来る。故に $\log y$ をチェビシェフの q -函数を用いて、

$$\log y = a_0 q_0(n, \xi) + a_1 q_1(n, \xi) + a_2 q_2(n, \xi) + a_3 q_3(n, \xi) \quad \dots\dots\dots (8)$$

と考へ、係数 a_0 , a_1 , a_2 及び a_3 ⁴⁾ を求めると

$$a_0 = 1.46892, \quad a_1 = -0.03997, \quad a_2 = -0.087284, \\ a_3 = -0.004459$$

第 5 図 第 2 期試験総合抗張力の対数度数曲線

を得る。これらの数値と $q_r(n, \xi)$ の値を用い、(8)式より各 ξ に対する度数を計算すると、第 1 表第 5 欄に示す数値を得る。これらの点を図示すると第 5 図 ——— で示す如き度数確率曲線を得る。

実測点は抗張力の低い部分を除外すれば、満足し得る程度によく確率曲線 ——— に寄り沿っている。

次に脚註に示す $q_r(n, \xi)$ の値を (8) 式に代入し、これと (7) 式とを比較して (但しこゝでは $n=9$, $v=0, 1, 2, 3$)

$$3) \quad q_v(n, \xi) = \frac{v!}{2^v} \sum_{l=0}^v \binom{v+l}{l} \binom{Y-n}{v-l} \left(\frac{\xi}{l} \right)$$

n, ξ, v を自然数とし

$$q_0(n, \xi) = 1, \quad q_1(n, \xi) = \frac{1}{2} (1 - n + 2\xi)$$

$$q_2(n, \xi) = \frac{1}{2} \left(\frac{2-n}{2} \right) + 3(2-n) + 6 \left(\frac{\xi}{2} \right)$$

$$q_3(n, \xi) = \frac{3}{4} \left[\left(\frac{3-n}{2} \right) + 4 \left(\frac{3-n}{2} \right) \xi + 10(3-n) \left(\frac{\xi}{2} \right) + 20 \left(\frac{\xi}{3} \right) \right]$$

こゝでは $n=9$ である故

$$q_0(n, \xi) = 1, \quad q_1(n, \xi) = \xi - 4$$

$$q_2(n, \xi) = 1.5\xi^2 - 12\xi + 14$$

$$q_3(n, \xi) = 2.5\xi^3 - 30\xi^2 + 9.5\xi - 42$$

$$A_0 = a_0 - 4a_1 + 14a_2 - 42a_3$$

$$A_1 = a_1 - 12a_2 + 90.5a_3$$

$$A_2 = 1.5a_2 - 3a_3$$

$$A_3 = 2.5a_3$$

なる関係を得る。よって a_0, a_1, a_2 及び a_3 の値を用いて A_0, A_1, A_2 及び A_3 の値を計算すれば

$$A_0 = 0.594102 \quad A_1 = 0.6038985$$

$$A_2 = 0.002844 \quad A_3 = -0.0111475$$

となる。

これで総合抗張力の度数確率曲線の方程式 (7) が決定した。よって種々の理論統計値を計算すれば次の通りである。

(7) 式を微分して 0 とおき

$$\frac{d}{d\xi} \log y = A_1 + 2A_2\xi + 3A_3\xi^2 = 0$$

を解いてうる根の一つはモードを与える ξ_m である。

$$\xi_m = -\frac{A_2}{3A_3} \pm \sqrt{\left(\frac{A_2}{3A_3}\right)^2 - \frac{A_1}{3A_3}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

(9) 式に A_1, A_2 及び A_3 の値を代入して ξ_m を計算すると、

$$\xi_m = 4.3406 \dots\dots \text{或は} -4.1705 \dots\dots$$

従ってモード $M_0 = x_0 + h\xi_m = 28 + 4.3406 \times 4 = 45.36 \text{ kg/mm}^2$

原点をモードの ξ_m に移せば

$$\xi = t + \xi_m$$

(7) 式に代入して

$$\log y = A_0 + A_1\xi_m + A_2\xi_m^2 + A_3\xi_m^3 + (A_1 + 2A_2\xi_m + 3A_3\xi_m^2)t + (A_2 + 3A_3\xi_m)t^2 + A_3t^3 \dots\dots\dots (10)$$

(6) と (10) 式とを比較して

$$\alpha = A_0 + A_1\xi_m + A_2\xi_m^2 + A_3\xi_m^3 \dots\dots\dots (11)$$

$$\beta = A_2 + 3A_3\xi_m \dots\dots\dots (12)$$

$$\gamma = A_3 \dots\dots\dots (13)$$

(11); (12) 及び (13) 式に A_0, A_1, A_2, A_3 及び ξ_m の値を代入して

$$\alpha = 2.3573 \dots\dots, \beta = -0.14229 \dots\dots, \gamma = -0.0011 \dots\dots$$

これらの数値と (3) 及び (12) 式から

$$\text{モード度数 } y_0 = 227.75 \text{ (確率} 0.317)$$

$$\text{標準偏差 } \sigma_0 = 1.235 \text{ (} 4.94 \text{ kg/mm}^2)$$

$$\text{モード確率誤差 } \rho_0 = 0.6745 \frac{\sigma_0}{\sqrt{N}} = 0.1252 \text{ kg/mm}^2$$

故にモード $M_0 = 45.36 \pm 0.125 \text{ kg/mm}^2$ である。

次に能率法⁵⁾により、第 1 表の計算度数を用いて能 μ_2, μ_3 及び μ_4 を計算すれば

$$\mu_2 = 1.7450, \mu_3 = -0.7446, \mu_4 = 9.4474$$

更に

$$\beta = \frac{\mu_3}{\mu_2}, \beta_1 = \frac{\mu_3^2}{\mu_2^3}, \beta_2 = \frac{\mu_4}{\mu_2^2}, R = \frac{6(\beta_2 - \beta_1 - 1)}{-2\beta_2 + 3\beta_1 + 6}$$

とすれば曲線の性質を次に与えられる条件によって吟味することができる

$\mu_3 > 0$ ならば左傾分布, $\mu_3 < 0$ ならば右傾分布

$\mu_3 = 0$ あるいは $\beta = 0$ ならば対称分布

$\beta_1 = 0, \beta_2 = 3$ ならばガウス正規分布

$\beta_2 > 3$ ならば狭項性, $\beta_2 < 3$ ならば廣項性,

δ/σ は非対称度

すなわち β, β_1, β_2 及び R を計算すれば

$$\beta = -0.4267, \beta_1 = 0.10339, \beta_2 = 3.10256, R = 111.12$$

よって抗張力の度数確率曲線は、単モード、右傾、狭項性を有するが、 β_1 及び β_2 の値から見てガウスの正規分布に極めて近似の曲線である。

また $R > 2$ であるからこの曲線は兩極限を有する。

平均値とモード値との偏倚を δ とすれば

$$\delta = \frac{1}{2} \beta \left(\frac{R+2}{R-2} \right) \dots\dots\dots (14)$$

故に $\delta = -0.22117$

従って平均値 M は

$$M = M_0 + \delta h = 45.36 - 0.22117 \times 4 = 44.47 \text{ kg/mm}^2$$

また標準偏差 σ は

$$\sigma = \sqrt{\mu_2} = \sqrt{1.745} = 1.32 \text{ (} 5.28 \text{ kg/mm}^2)$$

平均値に対する確率誤差 P は

$$P = 0.6745 \times \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 0.6745 \frac{5.28}{\sqrt{719.56}} = 0.13277 \text{ kg/mm}^2$$

故に平均値 M は $44.47 \pm 0.1328 \text{ kg/mm}^2$ である。

3. 主因数 x の存在する常範囲

Q_i を低位 4 分の 1, Q_s を高位 4 分の 1, $\Phi(x)$ を累加度数とし、

$$\Phi(x_{i-1}) < \frac{N}{4}, \Phi(x_i) > \frac{N}{4}$$

なる条件を満足する x を x_i とすれば Q_i は

$$4) \quad a_v = \frac{\sum_{\xi=0}^{n-1} \log y_{\xi} q_v(n, \xi)}{\sum_{\xi=0}^{n-1} q_2^v(n, \xi)}$$

5) ヒストグラムによる度数能; 度数曲線は $x_r - \frac{1}{2}h <$

$x < x_r + \frac{1}{2}h$ の範囲では $y = f(r)$ なる恒数と考え、 r の平均値に関する四次までの度数能率 $\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3$ 及び μ_4 は

$$\mu_0 = 1, \mu_1 = 0, \mu_2 = h^2 \left[v_2 - v_1^2 + \frac{1}{12} \right]$$

$$\mu_3 = h^3 \left[v_3 - 3v_2v_1 + 2v_1^3 \right]$$

$$\mu_4 = h^4 \left[v_4 - 4v_3v_1 + 6v_2v_1^2 - 3v_1^4 + \frac{1}{2}(v_2 - v_1^2) + \frac{1}{80} \right]$$

$$v_1 = N_1/N, v_2 = N_2/N, v_3 = N_3/N, v_4 = N_4/N$$

$$N = \sum_{r=1}^n f(r), \quad N_s = \sum_{r=1}^n r^s f(r)$$

表 4 表 第 2 期 總 合 抗 張 力 の 統 計 値 比 較

	最 小 値 x_1 kg/mm ²	最 大 値 x_2 kg/mm ²	平 均 値 M kg/mm ²	標 準 偏 差 σ kg/mm ²	モ ー ド M_0 kg/mm ²	モ ー ド 標 準 偏 差 σ_0 kg/mm ²	モ ー ド 確 率 %	正 常 範 囲	
								Q_t kg/mm ²	Q_s kg/mm ²
実 測 値	6.60	58.20	44.13±0.1336	5.61	46.21	—	32.9	—	—
理 論 値	28.63	60.31	44.47±0.1328	5.28	45.36±0.1252	4.94	31.7	41.2	48.3

$$Q_i = x_i - \frac{h}{2} + \frac{h}{f(x_i)} \left[1 + \frac{(N-1)}{4} - \Phi(x_{i-1}) \right] \quad (15)$$

なる関係から求められる。また

$$\Phi(x_{s-1}) < \frac{3}{4}N, \quad \Phi(x_s) > \frac{3}{4}N$$

なる条件を満足する x を x_s とすれば Q_s は

$$Q_s = x_s - \frac{h}{2} + \frac{h}{f(x_s)} \left[1 + \frac{3}{4}(N-1) - \Phi(x_{s-1}) \right] \quad (16)$$

なる関係から求められる。

(15) 及び (16) 式に第1表中の特定の数値

$$x_i = 40 \text{ kg/mm}^2, \quad f(x_i) = 134.9, \quad \Phi(x_{i-1}) = 71.8$$

$$x_s = 48 \text{ kg/mm}^2, \quad f(x_s) = 195.4, \quad \Phi(x_{s-1}) = 426.5$$

を代入して

$$Q_i = 41.216 \text{ kg/mm}^2, \quad Q_s = 48.322 \text{ kg/mm}^2$$

存在する両極限確率曲線の両極限は全観測数が標準偏差の±3倍の間に含まれると云う公理を用いて求めると次のようになる。

$$\text{低極限 } x_1 = M - 3\sigma = 28.63 \text{ kg/mm}^2 \quad \dots\dots(17)$$

$$\text{高極限 } x_2 = M + 3\sigma = 60.31 \text{ kg/mm}^2 \quad \dots\dots(18)$$

以上第2期試験について求めた総合抗張力の理論統計値と第2表に示した実測のまゝの統計値とを比較すれば第4表に示す如く両者の数値が極めてよく一致する。

表 5 表 第 2 期 總 合 伸 び の 度 数 表

代 表 値 x kg/mm ²	代 表 指 示 数		度 数 y		累 加 度 数 $\Phi(x)$	
	r	t	実 測	計 算	計 算	実 測
2	1	0	9	13.24	13.24	9
6	2	1	33	17.06	30.30	42
10	3	2	29	26.61	56.91	71
14	4	3	42	46.03	102.94	113
18	5	4	56	79.43	182.37 $\Phi(x_{i-1})$	169
22 x_i	6	5	101	123.60 $f(x_i)$	305.97	270
26	7	6	142	157.80	463.77 $\Phi(x_{s-1})$	412
30 x_s	8	7	195	148.90 $f(x_s)$	612.67	607
34	9	8	147	93.97	706.64	754
38	10	9	38	39.24	743.88	792
42	11	10	4	7.50	751.38	796
46	12	11	1	0.62	752.00	767
$x = x_0 + hr$ $x_0 = -2, h = 4$			797	752.00		

これは採用せる標本が大量観察を充分代表し得た事を証明するものである。

以上を要するに総合抗張力の度数分布は多少右傾性を示してはいるがモード偏倚が極めて僅少であるから対称分布と見て差支えない。従って熔接棒の心線及び被覆の化学成分が抗張力に与える影響は大同小異であって、試験数の50%は普通41kg/mm²と48kg/mm²との間にある。

41kg/mm²よりも低いものは特に欠陥に富み、一般水準以下のものと断定される。48kg/mm²以上のものは抗張力を高める化学成分が優勢に働くと見ねばならない。また60.3kg/mm²を越すものは軟鋼用としての範疇に入らない。

3. 伸びの代表値

表 6 図 第 2 期 試 験 伸 綜 合 頻 数 分 布

表 7 図 第 2 期 試 験 伸 綜 合 確 率 曲 線

1. ヒストグラム及び頻度曲線

第5表は第2期試験における総合伸びの度数表を示す。

第2期試験における総合伸びのヒストグラム及び頻度曲線(第6及び7図)によると伸の分布は、右傾モードで多数の低い値を含むことを示している。換言すれば伸びは熔着鉄の状態に左右され易く、代表値が低い値の影響をうけ分散率が大となる。このことは第1報*で述べた2ケの伸差に関する推論と一致する。

試験期間別伸び比較; 期間別に作ったヒストグラム及び頻度曲線(図は省略する)によれば第1期試験における伸び分布は第2期試験におけるものとは反対に

* 熔接学会誌, 第21巻 第4号 6~11頁

左傾モードをなし、ほとんど大部分が低い値から成立している。また第2期試験におけるものと極めてよく似ている。

試験期間別の伸びの統計値を求むれば第6表に示す如し。

オ 6 表 総 合 伸 び の 統 計 値

	試 験 数	最 小 値 %	最 大 値* %	平 均 値 %	標準偏差 %	平均誤差 %	分 散 率 %	モ ー ド 値 %	モ ー ド 頻 度 %
第1期試験	117	0	35.6	14.7	7.08	0.56	48.0	11.9	0.282
第2期試験	797	0	44.4	25.7	8.21	0.29	32.0	29.9	0.251
第3期試験	354	0	38.7	26.4	8.64	0.46	32.7	26.8	?

これによれば第2期試験における伸びの平均値は26%、モード値は約30%であって総試験数の約25%(モード頻度)である。この信用程度は抗張力の約1/2にすぎない。

要するに伸びは熔着鉄の状態に密接な関係があって、その代表値は動揺し易い。また累加度数曲線の比較図(第8図)によれば、第2期及び第3期試験における伸びの累加頻度曲線はよく似ていて共に第3期試験のものゝ遙かに離れて右にある。故に第1期のものは多数の低い値を含み、極めて不良なることを示している。

心線種別伸び比較; 第2期試験における心線種別の伸びのヒストグラム及び頻度曲線(図は省略する)によれば

オ 8 図 期 間 別 総 合 伸 累 加 度 数 確 率

オ 9 図 第 2 期 試 験 心 線 別 伸 累 加 度 数 確 率

オ 7 表 心 線 種 別 伸 び の 統 計 値

	試 験 数	最 小 値 %	最 大 値 %	平 均 値 %	標準偏差 %	平均誤差 %	分 散 率 %	モ ー ド 値 %	モ ー ド 頻 度 %
甲 種 心 線	151	1.7	38.9	27.7	9.03	0.734	35.65	30.66	0.31
乙 種 心 線	461	0	44.4	28.3	8.32	0.328	31.30	30.29	0.25
普 通 線	136	2.2	38.4	26.5	8.12	0.712	33.90	27.87	0.30

甲、乙及び普通線の分布は共に右傾単モードで全く同一傾向を示しているが、こゝでも低い値の度数が非常に多い。

心線種別による伸びの統計値を求むれば第7表に示す如し。

これによれば甲種心線及び乙種心線を使用したものの伸びの平均値及びモード値は、共にそれぞれ28%及び30%でほとんど差異がない。たゞ甲種心線を使用したものは乙のものに比して分散率が稍大である。

普通心線を使用したものは甲及び乙に比して伸びの平均

値及びモード値は多少劣る。分散率は甲に等しい。

また累加頻度曲線の比較図(第9図)によれば、甲、乙及び普通線の間にほとんど差異が認められない。

要するに熔着鉄の伸びはその性質によって左右され易く、抗張力に比して分散率が大きい。この性質は心線の種別に関係なく同様である。

2. 単モード度数確率曲線の方程式

第5表の度数 y を片対数方眼紙の縦軸、代表指示数 r を横軸として各点を度数多角形で図示して見ると、第10図一〇—〇—に示す如く各点は大体一つの拋物線上にあるように見える。故にこの曲線を(7)式の形と考へて、その係数 A_0, A_1, A_2 及び A_3 を抗張力の場合に行つたと同様の順序で求めて見よう。

先づ(8)式の係数 $a_0, a_1, a_2, 0$ 及び a_3 を求めると

$$a_0 = 1.50852, \quad a_1 = -0.04695, \quad a_2 = -0.03638, \\ a_3 = -0.002907$$

を得る。

これらの数値と $q_1(n, \xi)$ の値とを用い、(8)式の各々に対する度数を計算すると、第5表第5欄に示す数値を得

$$\begin{aligned} 6) \text{ 脚註 3) に対しこゝでは } n=12 \text{ である故に} \\ q_0(n, \xi) = 1, \quad q_1(n, \xi) = \xi - 6.5 \\ q_2(n, \xi) = 1.5\xi^2 - 16.5\xi + 27.5 \\ q_3(n, \xi) = 2.5\xi^3 - 41.25\xi^2 + 173.75\xi - 123.75 \end{aligned}$$

る。これらの点を図示すると第10図——で示す如き度数確率曲線となる。実測値はモード付近において確率曲線から多少偏倚しているが大体においてよく似ている。

次に $q_0(n, \xi)$ を (8) 式に代入し、これを (7) 式に比較して、

※10図 第2期試験総合伸の対数度数曲線

$$A_0 = a_0 - 5.5a_1 + 27.5a_2 - 123.75a_3$$

$$A_1 = a_1 - 16.5a_2 + 173.5a_3$$

$$A_2 = 1.5a_2 - 41.25a_3$$

$$A_3 = 2.5a_3$$

なる関係を得る。よって a_0, a_1, a_2 及び a_3 の値を用いて A_0, A_1, A_2 及び A_3 の値を計算すれば

$$A_0 = 1.126036, A_1 = 0.0489555, A_2 = -0.0653438,$$

$$A_3 = -0.0072675$$

を得る。これで総合伸びの度数確率曲線の方程式が決定した。よって抗張力の例に倣って統計値を計算すれば次の通りである。

(9) 式より

$$\xi = 6.348 \text{ 或は } -3.536$$

$$\text{モード } M_0 = x_0 + h\xi_m = 2 + 4 \times 6.348 = 27.39\%$$

(7) 式の係数を (11) (12) 及び (13) 式に代入し計算すると

$$\alpha = 2.210899, \dots, \beta = -0.07308852, \gamma = -0.0072675$$

を得る。これらの数値と (3) 及び (4) 式とから

$$\text{モード度数 } y_0 = 162.52 \text{ (確率0.216)}$$

$$\text{標準偏差 } \sigma_0 = 1.723 \text{ (6.89\%)}$$

$$\text{モードの確率誤差 } \rho_0 = 0.6745 \frac{\sigma_0}{\sqrt{N}} = 0.6745$$

$$\times \frac{6.89}{\sqrt{752}} = 0.16951\%$$

故にモード M_0 は $27.39 \pm 0.16951\%$ である。

次に度数確率曲線の性質を論ずるため、抗張力におけると同様な方法で平均値に関する能率を計算すると、

$$\mu_2 = 4.23394, \mu_3 = -4.78925, \mu_4 = 56.93023$$

及び

$$\beta = -1.131568, \beta_1 = 0.302204, \beta_2 = 3.17527,$$

$$R = 20.2101$$

を得る。

よって総合伸びの度数確率曲線は、公理により単モード右傾狭項性であって、 $R > 2$ により兩極限を有する。

(14) 式よりモード偏倚 δ を求めると

$$\delta = -0.6898$$

従って平均値 M は

$$M = M_0 + h\delta = 27.39 - 4 \times 0.6898 = 24.63\%$$

また標準偏差 σ 及び平均値に対する確率誤差 ρ は

$$\sigma = \sqrt{\mu_2} = \sqrt{4.23394} = 2.059 \text{ (8.236\%)}$$

$$\rho = 0.6747 \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 0.6745 \frac{8.236}{\sqrt{752}} = 0.2025764\%$$

故に平均値 M は $24.63 \pm 0.2026\%$ である。

3. 主因数 x の存在する正常範囲

(15) 及び (16) 式において、次の各項は第5表より

$$x_i = 22\%, f(x_i) = 123.60, \Phi(x_{i-1}) = 182.38$$

$$x_s = 30\%, f(x_s) = 148.90, \Phi(x_{s-1}) = 463.77$$

なるが故に (15) 及び (16) 式に代入して計算すると

$$Q_j = 20.21\% \quad Q_s = 30.69\%$$

となる。

4. 存在しうる兩極限

(17) 及び (18) 式より

$$\text{低極限 } x_1 = -0.072\% \sim 0\% \quad \text{高極限 } x_2 = 49.34\%$$

以上第2期試験について求めた総合伸びの理論統計値と

※8表 第2期総合伸の統計値比較

	最小値 x_1 %	最大値 x_2 %	平均値 M %	標準偏差 σ %	モード M_0 %	モード標準偏差 σ_0 %	モード確率 ρ %	正常範囲	
								Q_j %	Q_s %
実測値	0	44.4	25.72 ± 0.1964	8.21	29.93	—	25.1	—	—
理論値	0	49.34	24.63 ± 0.2026	8.236	27.39 ± 0.1695	6.89	21.6	20.21	30.69

実測値とを比較すれば第8表に示す如く、両者の数値は多少の差異があるが大体近似している。

これは伸びの値の変動が可成り大なることによって、大量観察を代表するには観測数が不充分であることを示している。

以上を要するに統合伸びの度数確率曲線は右傾性を示し、標準偏差及びモード偏倚が可成り大、モード確率が小である。これは伸が熔着鉄の状態によって強く影響されることを物語る。

伸びの正常範囲は抗張力の場合に比して可成り廣い範囲に変化する。30%以上の伸びを表わす熔接棒は、心線あるいは被覆の配合に特別の注意が払われているものと考えられる。

しかし理論的には49%以上を期待することはできない。

4. 衝撃値の代表値

1. ヒストグラム及び頻度曲線

第9表は第2期試験における総合衝撃値の度数表を表わす。

第2期試験における総合衝撃値のヒストグラム及び頻度曲線(第11及び12図)によれば衝撃値の分布は正規分布に近似して多少左傾的傾向を示す。しかし、抗張力の分布に比較すれば分布範囲が廣く、少数ながら高い値が存在する。これは衝撃抵抗は熔着鉄の状態にある程度左右され、熔

第11図 第2期試験衝撃値頻度分布

第12図 第2期試験衝撃値総合確率曲線

第13図 期間別総合衝撃値累加度数確率

第14図 第2期試験心線別衝撃値累加度数確率

第9表 第2期総合衝撃値の度数表

代表値 x kg-m/cm ²	代表指示数		度数 y		累加度数 $\Phi(x)$	
	r	t	実測	計算	計算	実測
2	1	0	51	45.93	$45.93\Phi(x_{i-1})$	51
$6x_i$	2	1	147	$190.70f(x_i)$	236.63	198
10	3	2	276	268.00	$504.63\Phi(x_{s-1})$	474
$14x_s$	4	3	237	$160.40\Phi(x_s)$	665.03	711
18	5	4	37	50.87	715.90	748
22	6	5	11	10.80	726.70	759
26	7	6	2	1.92	728.62	761
$x = x_0 + hr$ $x_0 = -2, h = 4$			761	728.62		

着鉄の改善によりなお多数の高い値が出現し得る可能性を示唆するものである。

試験期間別の衝撃値比較；第10表は各期間の衝撃値の統計値を示す。これによれば第1期における衝撃値の平均は第2及び第3期におけるものに比して極めて低い(第13図参照)第2期においては、平均値とモード値とがほぼ等しくその値は約 10.5kgm/cm² である。(第1期及び第2期試験のヒストグラム及び頻度曲線は省略す)

心線別衝撃値比較；第2期試験における心線別の衝撃値のヒストグラム及び頻度曲線(図は省略す)によれば甲、乙及び普通線は全く同一傾向を有し、左傾モード分布をなし、少数の高い値が散点していることが特徴である。

心線別の衝撃値の統計値を求めれば第11表に示す如し。

これによれば衝撃値は、甲種心線を用いたものが乙種心線及び普通線を用いたものよりも高い。また累加頻度曲線の比較図(第14図)によれば普通線を使用したものは、甲及び乙種心線を使用したものよりも遙かに低い値を多く含

第10表 衝撃値の統計値

	試験数	最小値 kgm/cm ²	最大値 kgm/cm ²	平均値 kgm/cm ²	標準偏差 kgm/cm ²	平均誤差 kgm/cm ²	分散率 %	モード値 kgm/cm ²	モード頻度
第1期試験	68	0.5	14.1	6.53	3.93	0.473	60.2	4.86	0.411
第2期試験	761	0.9	24.0	10.52	4.88	0.18	46.5	10.7	0.372
第3期試験	378	0	20.2	12.4	3.05	0.16	24.6	7.84	0.465

表 11 心 線 別 衝 撃 値 の 統 計 値

	試 験 数	最 小 値 kgm/cm ²	最 大 値 kgm/cm ²	平 均 値 kgm/cm ²	標 準 偏 差 kgm/cm ²	平 均 誤 差 kgm/cm ²	分 散 率 %	モ ー ド 値 kgm/cm ²	モ ー ド 頻 度
甲 種 心 線	147	0.9	24.0	11.19	4.26	0.353	38.0	11.11	0.415
乙 種 心 線	458	0.9	22.4	10.44	4.14	0.194	41.4	11.06	0.373
普 通 線	128	3.0	21.6	9.83	3.43	0.303	34.9	8.94	0.420

んでいる。

要するに熔着鉄の衝撃値は、甲及び乙種心線による差異は認められないが、普通線によるものは劣る。

2. 単モード度数確率曲線の方程式

第9表に示す実測度数 y を片対数方眼紙の縦軸、代表指示数 r を横軸としてその各点を図示すると第15図——で示す如き度数多角形を得る。

これによれば度数の各点はあたかも一つの拋物線上にあるように見える。故にこの度数分布は(7)式の形で表わされるものと假定して、係数 A_0, A_1, A_2 及び A_3 を求めて見よう。

先づ(8)式の係数 a_0, a_1, a_2 及び a_3 を求めると

$$\begin{aligned} a_0 &= 1.6573, \\ a_1 &= -0.2622965, \\ a_2 &= -0.091136, \\ a_3 &= 0.0065777 \end{aligned}$$

表 15 第 2 期試験総合衝撃値の対数度数曲線

を得る。

これらの数値と $q_v(n, \xi)$ の値 η を用いて、(8)式より各 η に対する度数を計算すると第9表第5欄に示す数値を得る。これらの点を図示すると第15図——で示す如き度数確率曲線となる。

これによると実測点はモード付近において確率曲線から

- 7) 脚註 3) に対して η では $n=7$ である故に
- $$\begin{aligned} q_0(n, \xi) &= 1, & q_1(n, \xi) &= \xi - 3 \\ q_2(n, \xi) &= 1.5\xi^2 - 9\xi + 7.5 \\ q_3(n, \xi) &= 2.5\xi^3 - 22.5\xi^2 + 50\xi - 15 \end{aligned}$$

多少偏倚しているが、大体において満足し得る程度に確率曲線に寄り沿っている。

次に $q_v(n, \xi)$ を(8)式に代入し、これを(7)式と比較して

$$A_0 = a_0 - 3a_2 + 7.5a_3 - 15a_3$$

$$A_1 = a_1 - 9a_2 + 50a_3$$

$$A_2 = 1.5a_2 - 22.5a_3$$

$$A_3 = 2.5a_3$$

なる関係を得る。よって a_0, a_1, a_2 及び a_3 の値を用いて A_0, A_1, A_2 及び A_3 の値を計算すれば

$$\begin{aligned} A_0 &= 1.6620029, & A_1 &= 0.8868163, & A_2 &= -0.2847039, \\ A_3 &= 0.016444 \end{aligned}$$

を得る。これで総合衝撃値の度数確率曲線の方程式が決定した。よって前に做って種々の計統値を計算すれば次の通りである。

(9)式より

$$\xi_m = 9.68603, \text{ 或は } 1.86603$$

従ってモード M_0 は

$$M_0 = x_0 + h\xi_m = 2 + 4 \times 1.86603 = 9.46 \text{ kgm/cm}^2$$

(7)式の係数を(11)、(12)及び(13)式より計算すると

$$\alpha = 2.4323456, \quad \beta = -0.1926471, \quad r = 0.016444$$

を得る。これらの数値と(3)及び(4)式とから

$$\text{モード度数 } y_0 = 270.6 \quad (\text{確率} 0.3715)$$

$$\text{標準偏差 } \sigma_0 = 1.062 \quad (4.248 \text{ kgm/cm}^2)$$

$$\begin{aligned} \text{確率誤差 } \rho_0 &= 0.6745 \frac{\sigma_0}{\sqrt{N}} = 0.6745 \frac{4.248}{\sqrt{728.62}} \\ &= 0.1072 \text{ kgm/cm}^2 \end{aligned}$$

故にモード M_0 は $9.46 \pm 0.1072 \text{ kgm/cm}^2$ である。

次に度数確率曲線の性質を論ずるため、前例に做って平均に関する能率を理論度数に就いて計算すると

$$\mu_2 = 1.27142, \quad \mu_3 = 0.48549, \quad \mu_4 = 5.03163$$

及び

$$\beta = 0.38184865, \quad \beta_1 = 0.1146815, \quad \beta_2 = 3.1126521,$$

$$R = 100.958$$

を得る。

よって総合衝撃値の度数確率曲線は、公理により、単モード左傾の狭項性であって、 β_1 及び β_2 の値から見て Gauss の正規分布に極めてよく近似的である。

(14) 式よりモード偏倚 δ を求めると

$$\delta = 0.1986$$

従って平均値 M は

$$M = \bar{M}_0 + h\delta = 9.46 + 0.1986 \times 4 = 10.25 \text{ kg/cm}^2$$

また標準偏差 σ 及び平均値に対する確率誤差 ρ は

$$\sigma = \sqrt{\mu_2} = \sqrt{1.27142} = 1.127 \quad (4.508 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\rho = 0.6745 \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = 0.6745 \frac{4.51}{\sqrt{728.62}} = 0.112656 \text{ kg/cm}^2$$

故に平均値 M は $10.25 \pm 0.1127 \text{ kg/cm}^2$ である。

3. 主因数 x の存在する正常範囲

(15) 及び (16) 式に於て次の各項は第 9 表より

$$x_i = 6 \text{ kg/cm}^2, \quad f(x_i) = 190.7 \quad \Phi(x_{i-1}) = 45.93$$

$$x_s = 14 \text{ kg/cm}^2, \quad f(x_s) = 160.4, \quad \Phi(x_{s-1}) = 504.63$$

表 12 表 総合衝撃値の統計値比較

	最小値 x_1 kgm/cm ²	最大値 x_2 kgm/cm ²	平均値 M kgm/cm ²	標準偏差 σ kgm/cm ²	モード M_0 kgm/cm ²	モード 標準偏差 σ_0 kgm/cm ²	モード 確率 %	正 常 範 囲	
								Q_i	Q_s
実 測 値	0.90	24.00	10.52 ± 0.1127	4.88	10.7	—	37.2	—	—
理 論 値	— 6.27	26.77	10.25 ± 0.1127	4.51	9.46 ± 0.1072	4.25	37.15	6.85	13.49

なるが故に、(15) 及び (16) 式に代入して計算すると

$$Q_i = 6.4847 \text{ kg/cm}^2, \quad Q_s = 13.4946 \text{ kg/cm}^2$$

となる。

4. 存在しうる兩極限

(17) 及び (18) 式より

$$\text{低極限 } x_1 = -6.274 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{高極限 } x_2 = 26.774 \text{ kg/cm}^2$$

以上第 2 期試験について求めた総合衝撃値の理論統計値と実測値とを比較すれば第 12 表に示す如く、両者の数値は極めてよく一致する。

これは採用せる標本が大量観察を充分代表し得たことを証明するものである。

以上を要するに総合衝撃値の度数分布は多少左傾的ではあるがモード偏倚が僅少であるから、対称分布と見て差支えない。

従って熔接棒の心線及び被覆の化学組成が衝撃値に与える影響は大同小異であって試験数の 50% は $7 \sim 13.5 \text{ kg/cm}^2$ の間にある。従って 7 kg/cm^2 以下のものは一般の技術水準以下のものと断定することができる。また 13 kg/cm^2 以上のものは特に注意して造られたものと考えられる。

しかし、理論上 28 kg/cm^2 を越える衝撃値を期待することはできない。

5. 総 括

熔着鉄の抗張力、伸び及び衝撃値分布曲線は何れも単モ

ード度数分布曲線にのるから大数法を用いてその等の機械的性質の確率分布方程式から諸統計値を算することができる。その結果抗張力の度数分布は大体対称で心線及び被覆剤に影響されることが少なく、試験数の 50% は $41 \sim 48 \text{ kg/mm}^2$ の中にある。伸びの度数分布は単モード右傾狭項性で、伸び理論値と実測値とは近似しているけれども伸びの変動率が大なるため大量観察の代表値としては観測値に不足しているが伸び率は通常 $20 \sim 30\%$ の範囲にあり、その最大値は 49% と推定される。衝撃値の度数分布は単モード左傾狭項性である。熔着鉄の衝撃値は心線及び被覆剤に影響されることが少なく、通常 $7 \sim 13.5 \text{ kg/cm}^2$ の範囲にあって統計上 28 kg/cm^2 を越えるものは期待できない。

資 料

尼崎第二発電所蒸氣管破損部調査報告*

(第 2 部 材質関係)

岡 田 実**

A 外 観 検 査

写真 2・1、で分るようにパイプはネジでフランジに取り付けられ漏れ止め熔接が行われている。破損を起したの

は隅肉熔接の趾端で熔接は大部分 3 列にビードがおかれている。

写真 2・1 フランジ部縦断面外観写真

* 昭和 27 年度熔接学会春季学術講演会において発表

** 大阪大学工学部熔接工学教室