低水素系溶着金属の機械的性質に対する 炭素当量の算出(第1報)*

— as weld の場合 —

伊藤 慶典** 小泉 勇**

Calculation of Carbon Equivalents for Mechanical Properties of Basic Weld Deposits (Report 1)*

— as-welded —

By Yoshinori Ito** Isamu Koizumi**

This study was conducted to investigate effects of alloying elements for mechanical properties of high strength basic weld deposit as-welded.

High strength basic electrodes having the combination of alloying elements based on $L_8(2^7)$ orthogonal array table were made and these mechanical properties were measured.

Analyzing these measured mechanical properties of test electrodes, the authors calculated Ceq for mechanical properties (yield point, tensile strength, elongation, impact value) of high strength basic weld deposit as-welded, and searched for equations between Ceq and values of the mechanical properties of weld deposits.

The results obtained are as follows ;

$$Ceq(Y.P) = C + 0.08 Si + 0.17 Mn + 0.06 Ni + 0.11 Cr + 0.27 Mo$$

$$Ceq(T.S) = C + 0.07 Si + 0.10 Mn + 0.04 Ni + 0.11 Cr + 0.14 Mo$$

$$Ceq(EL) = C + 0 \times Si + 0.07 Mn + 0.05 Ni + 0.05 Cr + 0.11 Mo$$

$$Ceq(E_0) = C + 0.13 Si + 0.01 Mn + 0.02 Ni + 0.20 Cr + 0.16 Mo$$

$$Ceq(E_{-40}) = C + 0.28 Si - 0.02 Mn + 0.04 Ni + 0.27 Cr + 0.13 Mo$$

$$Y.P(kg/mm^2) = 27.2 + 64.4 Ceq(Y.P)$$

$$T.S(kg/mm^2) = 26.6 + 135 Ceq(T.S)$$

$$EL(\%) = 37.6 - 43.1 Ceq(EL)$$

$$E_0(kg-m/cm^2) = 32.7 - 62.6 Ceq(E_0)$$

$$E_{-40}(kg-m/cm^2) = 18.4 - 32.8 Ceq(E_{-40})$$

I. 緒 言

高張力鋼溶接棒は高張力鋼板と同様、その機械的性質は合金元素の添加によりえられているのであり、すぐれた機械的性質を有する溶着金属をうるには、溶着金属に対する合金元素の効果が明らかにされていなくてはならない。高張力鋼板に対する合金元素の影響については、これまで多くの研究がおこなわれてきた^{1,2,3)}。しかし、溶着金属に対する合金元素の影響を明らかにした研究は比較的少ない^{4,5)}。

今回、直交配列表を使用して、溶着金属の機械的性質に対する影響を明らかにすることを試みた。

本報は as weld の溶着金属の結果についてのべる。

II. 実験方法

1. 供試溶接棒の製作

炭素当量を求める元素として、高張力鋼溶接棒に、もっとも一般的に用いられる C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo の6元素をとりあげた。これら元素間に交互作用はないものと考え、Table 1 に示す $L_8(2^7)$ の直交配列表を使用し、C, Si, Mn, Ni, Cr, Mo をそれぞれ(1)列、(2)列、(3)列、(4)列、(5)列、(6)列にわりつけた。各合金元素の1水準、2水準の目標値を Table 2 のように決めた。すなわち、引張強さが 50 kg/mm² から 90 kg/mm² の範囲をとるようにした。

供試溶接棒として直交配列表に示された各水準の合金元素の組合せをもつ A1, A2, A3……A8 の8種の溶接棒を製作した。被覆は低水素系被覆を使用した。したがって、本実験でえられた結果は低水素系溶着金属にの

* 原稿受付 昭和39年6月29日 (溶接学会昭和39年度秋季全国大会にて発表)

**正 員 住友金属工業KK中央技術研究所 Member, Sumitomo Metal Industries Co. Ltd. Central Research Laboratories

Table 1 $L_8(2^7)$ orthogonal array table

electrode	element No.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) (7)
A 1		1	1	1	1	1	1
A 2		1	1	1	2	2	2
A 3		1	2	2	1	1	2
A 4		1	2	2	2	2	1
A 5		2	1	2	1	2	1
A 6		2	1	2	2	1	2
A 7		2	2	1	1	2	2
A 8		2	2	1	2	1	2

Table 2 Aimed values of alloying elements for level 1 and level 2 (%)

alloying element level	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
level 1	0.06	0.30	0.80	0.04	0.04	0.02
level 2	0.12	0.65	1.60	2.00	0.55	0.75

Table 3 Chemical composition of deposit metals obtained by test electrodes (%)

	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P	S	Cu
A-1	0.06	0.28	0.83	0.03	0.03	0.02	0.013	0.010	0.07
A-2	0.06	0.28	0.82	2.08	0.51	0.76	0.013	0.009	0.08
A-3	0.06	0.63	1.56	0.05	0.04	0.76	0.013	0.008	0.08
A-4	0.06	0.71	1.68	2.05	0.54	0.01	0.014	0.007	0.08
A-5	0.12	0.28	1.51	0.04	0.54	0.01	0.014	0.009	0.08
A-6	0.12	0.30	1.69	2.06	0.04	0.76	0.015	0.008	0.08
A-7	0.13	0.65	0.79	0.05	0.53	0.76	0.015	0.009	0.08
A-8	0.12	0.65	0.79	2.00	0.04	0.03	0.013	0.009	0.08

み適用される。

Table 3 に供試溶接棒の溶着金属化学分析値を示した。供試溶接棒は Table 1 の直交配列表に示された合金元素の組合せをみだしている。P, S, Cu はそれぞれ 0.014%, 0.009%, 0.08% 前後で供試溶接棒の間に差はない。

Table 4 に各合金元素の 1 水準成分平均値, 2 水準成分平均値およびその差を計算し示した。

Table 4 Mean values of each element of level 1 and level 2 and their differences

alloying element level	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	P	S	Cu
level 1	0.06	0.29	0.81	0.04	0.04	0.02	0.014	0.009	0.08
level 2	0.12	0.66	1.62	2.05	0.53	0.76	0.014	0.009	0.08
difference	0.06	0.37	0.81	2.01	0.49	0.74	—	—	—

2. 実験条件および測定値

とりあげた溶着金属の機械的性質は次の 5 つである。

1. 降伏点
2. 引張強さ
3. 伸び
4. 衝撃値 E_0 (0°C における衝撃値)
5. 衝撃値 E_{-40} (-40°C における衝撃値)

供試溶接棒 A1, A2, A3, ……A8 について, 高張力鋼被覆アーク溶接棒 (JIS Z 3212-1961) に準じて, それぞれ, 溶接盛金を行い, Fig. 1 に示す全溶着金属引張試験片 (JIS Z 3111-1961 A1 号引張試験片), および溶着金属 2 mm V ノッチ, シャルピー衝撃試験片 (JIS Z 3112-1961 4 号衝撃試験片) を採取した。

引張試験は 50 トン引張試験機により, 常温で引張試験を行なった。なお, 降伏点は精密のび計により, 0.2%

Fig. 1 Dimension of test pieces

耐力を求めて降伏点とした。衝撃値は試験片を 0°C および -40°C に保持し, シャルピー衝撃試験機により測定した。試験片はすべて溶接のままである。

以上のようにして求めた各供試溶接棒の降伏点, 引張強さ, 伸び, 衝撃値の測定値を Table 5 に示した。

III. 解 析

1. 炭素当量の算出

Table 5 Mechanical properties of test electrodes

electrode	measured value (as-welded)				
	Y.P (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	EL (%)	E ₀ (kg-m/cm ²)	E ₋₄₀ (kg-m/cm ²)
A 1	43.6	52.7	33	25.5	17.4
A 2	73.3	82.8	21	6.8	3.3
A 3	72.4	79.4	29	12.5	7.2
A 4	68.4	85.2	24	11.8	5.6
A 5	63.8	77.9	25	13.0	8.7
A 6	81.6	95.8	11	9.8	7.9
A 7	68.5	84.8	24	3.9	1.4
A 8	61.2	73.6	28	13.7	5.1

Table 5 の各供試溶接棒の引張試験結果, 衝撃試験結果から, 合金元素が溶着金属の諸性質にどのような割合で影響を与えているか算出してみる。

Table 6 は降伏点に対する計算例を示している。

たとえば, C について考えると, C が 2 水準である

A5, A6, A7, A8 の各降伏点の和は 271.5 kg/mm², 1 水準である A1, A2, A3, A4 の各降伏点の和は 257.7 kg/mm² である。

したがって直交配列表の性質より, $271.5 - 257.7 = 17.4$ kg/mm² は C のみによる降伏点の変化量である。この値は 1 水準, 2 水準それぞれ 4 個の試料の和に対する値であるから, $\frac{17.4}{4} = 4.35$ kg/mm² が, 1 水準から 2 水準に C 量が増加したことにより生じた降伏点の増加をあらわしている。Table 4 より, C の 1 水準, 2 水準の含有量の差は 0.06% であるから, C 0.1% 増加に対する降伏点の増加量は次式で求まる。

$$4.35 \text{ kg/mm}^2 \times \frac{0.1}{0.06} = 7.25 \text{ kg/mm}^2$$

同様に, Si, Mn, Ni, Cr, Mo の 0.1% 当りの降伏点の変化量を計算し, Table 6 に示した。

炭素当量は各合金元素の効果を C の効果との比であらわしたものである。したがって, 各合金元素の 0.1% 当りの降伏点の変化量を C のそれで除すことにより求められる。

Table 6 に示した $Ceq(Y.P)$ は上記のようにして求めたものである。

Table 6 より, 降伏点に対する溶着金属の Ceq は各元素間に交互作用がないものと考え, 次式であらわされる。

$$Ceq(Y.P) = C + 0.08 Si + 0.17 Mn + 0.06 Ni + 0.11 Cr + 0.27 Mo \dots\dots (1)$$

Table 6 Calculation table for carbon equivalent (yield point)

No.	alloying element	Sum of level 2 (A)	Sum of level 1 (B)	(A)-(B)	increase of Y.P per 0.1% increment alloying element.	$Ceq(Y.P)$
(1)	C	275.1	257.7	17.4	7.25	1
(2)	Si	270.5	262.3	8.2	0.55	0.08
(3)	Mn	286.2	246.6	39.6	1.22	0.17
(4)	Ni	284.5	248.3	3.62	0.45	0.06
(5)	Cr	274.0	258.8	15.2	0.78	0.11
(6)	Mo	295.8	237.0	58.8	1.99	0.27

Fig. 2 Change in mechanical properties of deposit metal per 0.1% increment of each alloying element

同様な計算を引張強さ, 伸び, 衝撃値についておこない, 各元素の0.1%増加にともなう溶着金属の各機械的性質の変化量および C_{eq} を求めた. これらの結果を Fig. 2 および (2) 式 ~ (5) 式に示した. なお, Si の伸びに対する C_{eq} は $-0.13 Si$ となるが $0 \times Si$ とした方が実測値により一致するので $0 \times Si$ とした.

$$C_{eq}(T.S) = C + 0.07 Si + 0.10 Mn + 0.04 Ni + 0.11 Cr + 0.14 Mo \dots\dots\dots (2)$$

$$C_{eq}(EL) = C + 0 \times Si + 0.07 Mn + 0.05 Ni + 0.05 Cr + 0.11 Mo \dots\dots\dots (3)$$

$$C_{eq}(E_0) = C + 0.13 Si + 0.01 Mn + 0.02 Ni + 0.20 Cr + 0.16 Mo \dots\dots\dots (4)$$

$$C_{eq}(E_{-40}) = C + 0.28 Si - 0.02 Mn + 0.04 Ni + 0.27 Cr + 0.13 Mo \dots\dots\dots (5)$$

2. 炭素当量と溶着金属機械的性質の間の関係式

1. によって, 溶着金属機械的性質に対する炭素当量がえられたが, これら炭素当量より各機械的性質の値を推定できれば便利である.

供試溶接棒 A1, A2, A3……A8 全体の溶着金属各成分平均値および各機械的性質の平均値を計算し Table 7 に示した.

たとえば, 降伏点についてみると, Table 7 は組成値が C: 0.09%, Si: 0.47%, Mn: 1.21%, Ni: 1.04%, Cr: 0.28%, Mo: 0.39% である溶着金属の降伏点は 66.6 kg/mm^2 であることを示している. したがって, C%, Si%, Mn%, Ni%, Cr%, Mo% の溶着金属の降伏点は次式で求められる.

$$\begin{aligned} Y.P.(\text{kg/mm}^2) &= 66.6 + 72.5\{(C-0.09) + 0.08(Si-0.47) \\ &\quad + 0.17(Mn-1.21) + 0.06(Ni-1.04) \\ &\quad + 0.11(Cr-0.28) + 0.27(Mo-0.39)\} \\ &= 28.0 + 72.5 C_{eq}(Y.P.) \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

同様な計算により, 引張強さ, 伸び, E_0 , E_{-40} と C_{eq} との関係式が求められる.

$$T.S(\text{kg/mm}^2) = 29.5 + 133 C_{eq}(T.S) \dots\dots\dots (7)$$

$$EL(\%) = 41.7 - 79.2 C_{eq}(EL) \dots\dots\dots (8)$$

$$E_0(\text{kg-m/cm}^2) = 32.4 - 67.5 C_{eq}(E_0) \dots\dots\dots (9)$$

$$E_{-40}(\text{kg-m/cm}^2) = 23.0 - 43.3 C_{eq}(E_{-40}) \dots\dots\dots (10)$$

3. 実測値との対応

1. 2. において, 各溶着金属機械的性質に対する C_{eq} ,

および C_{eq} と機械的性質との関係式を算出した. この実験によってえられたこれらの式が実際の溶着金属の実測値とどの程度よく一致するものであろうか. この点について検討するため, $0.06\% \leq C \leq 0.13\%$, $0.28\% \leq Si \leq 0.95\%$, $0.66\% \leq Mn \leq 2.01\%$, $0.04\% \leq Ni \leq 2.79\%$, $0.03\% \leq Cr \leq 0.54\%$, $0.01\% \leq Mo \leq 0.88\%$ の化学組成範囲の70種に近い50キロ級から100キロ級の高張力鋼溶接棒の各機械的性質を実測し, その実測値を本実験でえられた C_{eq} でまとめてみた. Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5 Fig. 6, Fig. 7 は C_{eq} とそれぞれの機械的性質の実測値の関係を plot 示したものである. これらの図からわかるように, (1) 式 ~ (5) 式の C_{eq} を用いることにより, 50キロ級から100キロ級の溶着金属機械的性質が一直線上にまとめられることがわかる. 溶着金属の各機械的性質実測値と C_{eq} との相関係数を求めると次のようであり, かなりの相関関係がみつめられる.

$$r = 0.949 \quad (\text{降 伏 点})$$

$$r = 0.951 \quad (\text{引 張 強 さ})$$

$$r = -0.695 \quad (\text{伸 び})$$

$$r = -0.847 \quad (\text{衝 撃 値 } E_0)$$

$$r = -0.553 \quad (\text{衝撃値 } E_{-40})$$

以上のことから, 1. で求めた各機械的性質に対する炭素当量がかなりよく, 溶着金属の C_{eq} をあらわしている

Fig. 3 Correlation between C_{eq} (Y.P.) and yield point

Table 7 Mean values of chemical composition and mechanical properties of deposit metals obtained by test electrode A1, A2...A8

Mean values of chemical composition (%)						Mean values of mechanical properties				
C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Y.P. (kg/mm ²)	T.S (kg/mm ²)	EL (%)	E ₀ (kg-m/cm ²)	E ₋₄₀ (kg-m/cm ²)
0.09	0.47	1.21	1.04	0.28	0.39	66.6	79.0	24	12.0	7.1

Fig. 4 Correlation between Ceq (T.S) and tensile strength

Fig. 5 Correlation between Ceq (EL) and elongation

といえよう。

Fig. 3~Fig. 7 において、Ceq と各機械的性質（実測値）の関係式を最小二乗法により求めると、(11)式~(15)式が得られる。

$$Y.P(kg/mm^2) = 27.2 + 64.4 Ceq(Y.P) \quad \cdots(11)$$

$$T.S(kg/mm^2) = 26.6 + 135 Ceq(T.S) \quad \cdots(12)$$

$$EL(\%) = 37.6 - 43.1 Ceq(EL) \quad \cdots(13)$$

$$E_0(kg-m/cm^2) = 32.7 - 62.6 Ceq(E_0) \quad \cdots(14)$$

$$E_{-40}(kg-m/cm^2) = 18.4 - 32.8 Ceq(E_{-40}) \quad \cdots(15)$$

(11)式~(15)式と直交配列表より直接導いた(6)式~(10)式と比較するとよく一致しており、このことから直交配列表から求めた諸式がかなり信頼のおけるものであることが裏付けされる。

Fig. 6 Correlation between Ceq (E₀) and impact value (E₀)

Fig. 7 Correlation between Ceq (E₋₄₀) and impact value (E₋₄₀)

IV. 考 察

この研究によりおもな合金元素の溶着金属機械的性質に対する影響を定量的に明らかにすることができた。

Fig. 2 が示すように、降伏点の増加に一番大きな効果をもつ元素はCであり、0.1%の増加により、7.25 kg/mm²の降伏点の増加がえられる。次に大きく影響を与える元素は Mo, Mn であり、0.1%の増加により、それぞれ、1.99 kg/mm², 1.22 kg/mm²の増加がえられる。Si, Ni, Cr は降伏点に対しその効果は小さい。引張強さに対して、大きな影響を与える元素はやはり C であり、0.1% 当り 13.3 kg/mm²の増加がえられ、他の元素に比較してその効果はきわめて大きい。その他の元素では、Mn, Mo, Cr が引張強さの増加に対して有効であり、Ni はその効果が比較的小さい。伸びはCによって一番影響をうけ、溶着金属の伸びは低下する。Mn, Ni, Cr, Mo はいずれも伸びを減少させるが、Mo による伸びの低下が比較的大きい。

衝撃値 E₀ は各元素の増加とともに減少する。中でもCによる衝撃値 E₀ の低下がいちぢるしい。Si, Mo, Cr はいずれも衝撃値 E₀ に対して有害であるのに対し、

Mn, Ni によってあまり衝撃値 E_0 は低下せず, 衝撃値 E_0 に対して有利な元素である. この傾向は衝撃値 E_{-40} に対しても同様であり, C, Si, Cr, Mo は衝撃値 E_{-40} を著しく低下させるのに対し, Ni による衝撃値 E_{-40} の低下は少なく, Mn はわずかにあるが衝撃値 E_{-40} を上昇させる.

高張力鋼溶接棒の溶着金属に対する元素の効果を考える場合, 引張強さ 1 kg/mm^2 増加当りの各機械的性質の変化量が重要である. そこで, 各元素による単位引張強さ増加当りの降伏点, 伸び, 衝撃値の変化量を計算し, Fig. 8 に示した.

Fig. 8 より降伏比を上昇するには Mn, Ni, Mo が比較的有効である. C, Si, Cr は引張強さの50~60%の降伏点を上昇するにすぎない.

伸びについてみると, Si が有効で, その他の元素は引張強さとともに伸びは減少し, Fig. 8 より, C, Ni によって引張強さを増加するのは伸びの点から有利でないと考えられる.

衝撃値 E_0 では C, Si, Cr, Mo が単位引張強さに対して, 衝撃値を比較的大きく低下させるのに対して, Mn, Ni による衝撃値の低下は小さい.

衝撃値 E_{-40} では単位引張強さ当りで考えた場合, 特に悪影響をおよぼす元素は Si, Cr であり, Si によって引張強さ 1 kg/mm^2 増加することにより E_{-40} は 1.31 kg-m/cm^2 低下する. C, Mo は単位引張強さで考えた場合, 衝撃値 E_{-40} に対する影響は Ni とほぼ同程度である.

以上の結果から, 同一高張力レベルの高張力鋼溶接棒でも溶着金属組成によって, その機械的性質はかなり差が生ずることが考えられる.

たとえば, 衝撃値 E_0 について考えた場合, Mn, Ni を多く含有した溶着金属は C, Si, Cr, Mo を多く含む溶着金属に比較し, 同一引張強さでも衝撃値 E_0 は高いことが推察できる. Table 8 はその一例を示したもので,

Fig. 8 Variation of mechanical properties with increase of tensile strength of 1 kg/mm^2 by increasing content of each alloying element

Table 8 Some examples of high-strength electrodes

class	Chemical composition						Tensile Strength		Impact Value (E_0)	
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	$C_{eq}(T.S)$	T.S (kg/mm²)	$C_{eq}(E_0)$	E_0 (kg-m/cm²)
60 kg/mm²	0.12	0.69	0.81	0.03	0.41	0.01	0.217	64.0	0.305	12.0
	0.08	0.42	1.16	0.73	0.04	0.29	0.299	67.1	0.176	22.0
70 kg/mm²	0.12	0.85	0.75	0.04	0.06	0.85	0.379	75.3	0.387	4.8
	0.07	0.62	1.19	1.98	0.04	0.41	0.372	75.1	0.277	18.0
80 kg/mm²	0.13	0.65	0.79	0.05	0.53	0.76	0.421	84.8	0.452	3.9
	0.07	0.60	1.60	2.04	0.07	0.43	0.422	85.5	0.288	12.7

$$C_{eq}(T.S) = C + 0.07 \text{ Si} + 0.10 \text{ Mn} + 0.04 \text{ Ni} + 0.11 \text{ Cr} + 0.14 \text{ Mo}$$

$$C_{eq}(E_0) = C + 0.13 \text{ Si} + 0.01 \text{ Mn} + 0.02 \text{ Ni} + 0.20 \text{ Cr} + 0.16 \text{ Mo}$$

$Ceq(T.S)$ はほぼ同じ値であるにもかかわらず、 $Ceq(E_0)$ はかなり異なり、ほぼ同一引張強さであっても衝撃値 E_0 はかなりの差異がみられる。

本研究によって求めた Ceq より溶着金属の各機械的性質が一つの直線上にまとめられることを示した。しかし、衝撃値 E_{-40} に対して、 $Ceq(E_{-40})$ が 0.55 以上では、 $Ceq(E_{-40})$ が増加しても衝撃値 E_{-40} はほとんど低下していない。したがって、 $Ceq(E_{-40})$ が 0.55 以上では (5) 式が必ずしも成立しないことがわかる。これは合金元素含有量が大きくなると合金元素間の交互作用が大きくなり、炭素当量を (5) 式のような一次式であらわせないことをしめしている。

Ceq と溶着金属の各機械的性質の間の関係式を直交配列表の性質をもちいて直接導いた。また、50キロ級から 100キロ級の高張力鋼溶接棒の機械的性質を実測し、その実測値から Ceq と各機械的性質の間の関係式を算出し

Fig. 9 Correlation between the measured value and calculated value (Yield point)

Fig. 10 Correlation between the measured value and the calculated value (tensile strength)

た。これらの式が互いにかなりよく一致することはさきにのべたとおりである。しかし、溶着金属の機械的性質を推定する式としては実測値から求めた (11) 式～(15) 式を使用するのがより実際にあうのは当然である。したがって、溶着金属の機械的性質を推定する式として (11) 式～(15) 式を推奨したい。Fig. 9, Fig. 10 はそれぞれ (11) 式, (12) 式による降伏点, 引張強さに対する値と実測値の関係を図にあらわしたものであるが、計算値が実測値とかなりよく一致することがわかる。

V. 結 論

1. $L_0(27)$ の直交配列表を用いて、溶接のままにおける低水素系溶着金属の機械的性質に対する Ceq を求め、これら求めた Ceq がかなりよく溶着金属の降伏点, 引張強さ, 伸び, 衝撃値をあらわすことを 50キロ級から 100キロ級の高張力鋼溶接棒についてたしかめた。

溶着金属の各機械的性質 (溶接のまま) に対する Ceq は次式で示される。

$$\text{降 伏 点: } Ceq(Y.P) = C + 0.08 Si + 0.17 Mn + 0.06 Ni + 0.11 Cr + 0.27 Mo$$

$$\text{引 張 強 さ: } Ceq(T.S) = C + 0.07 Si + 0.10 Mn + 0.04 Ni + 0.11 Cr + 0.14 Mo$$

$$\text{伸 び: } Ceq(EL) = C + 0 \times Si + 0.07 Mn + 0.05 Ni + 0.05 Cr + 0.11 Mo$$

$$\text{衝撃値 } E_0: Ceq(E_0) = C + 0.13 Si + 0.01 Mn + 0.02 Ni + 0.20 Cr + 0.16 Mo$$

$$\text{衝撃値 } E_{-40}: Ceq(E_{-40}) = C + 0.28 Si - 0.02 Mn + 0.04 Ni + 0.27 Cr + 0.13 Mo$$

$$0.06\% \leq C \leq 0.13\% \quad 0.28\% \leq Si \leq 0.95\%$$

$$0.66\% \leq Mn \leq 2.01\% \quad 0.04\% \leq Ni \leq 2.79\%$$

$$0.03\% \leq Cr \leq 0.54\% \quad 0.01\% \leq Mo \leq 0.88\%$$

$$\text{但し, } Ceq(E_{-40}) < 0.55$$

2. 溶着金属の降伏点, 引張強さ, 伸び, 衝撃値 E_0 衝撃値 E_{-40} は次式によりほぼ推定できる。

$$Y.P(kg/mm^2) = 27.2 + 64.4 Ceq(Y.P)$$

$$T.S(kg/mm^2) = 26.6 + 135 Ceq(T.S)$$

$$EL(\%) = 37.6 - 43.1 Ceq(EL)$$

$$E_0(kg-m/cm^2) = 32.7 - 62.6 Ceq(E_0)$$

$$E_{-40}(kg-m/cm^2) = 18.4 - 32.8 Ceq(E_{-40})$$

参 考 文 献

- 1) 本原, 鈴木, 田村; “造船協会60周年記念英文報告” (Vol. 1)
- 2) C.E. Sims and H.M. Banta; “Development of Weldable High-Strength Steels” W.J. 1949 4 p. 178-s~192-s
- 3) J.A. Rinebolt and W.J. Harris; “Effects of alloying Elements on Notch Toughness of Pearlitic Steels” Trans A.S.M 43, p. 1173~1214
- 4) 応和俊雄; “溶着金属の衝撃値 (I)” 溶学会誌 31 (1962) 1 P. 4~10
- 5) 柳原千代; “軟鋼溶着金属の切欠特性におよぼす合金元素の影響 (第1報)~(第7報)” 溶学会誌
- 6) “やさしい直交配列の話” 島田正三, 日本規格協会 (1961), 8
- 7) “実務家のための数理統計学” 後藤忠章, 共立出版 (1961), 5