

解 説

UDC 669.14.018.295 : 621.791.019 : 620.191.33

高張力鋼の溶接割れ感受性の推定について*

伊 藤 慶 典**・別 所 清***

Weld Crackability Formula of High Strength Steels

Yoshinori ITO and Kiyoshi BESSYO

1. 緒 言

最近では、50キロ級高張力鋼は船舶、橋梁、鉄骨をはじめほとんどあらゆる鋼構造物に広く実用されるようになっており、さらに強度の高い60キロ～100キロ級高張力鋼も圧力容器、ペンスティック、橋梁、特殊船舶などに実用されあるいは実用化のための開発が進められつつある。

高張力鋼を利用した溶接構造物では、その溶接工上および設計上考慮すべきいくつかの問題点があるが、溶接割れは溶接構造物で破壊事故が起こると、まっ先に溶接割れが原因になったのではないかと考えられるほど、重要な問題のひとつである。

溶接割れはその発生時期により高温割れと低温割れに分けることができる。高温割れには片面溶接における溶接終端部に生じる終端割れ¹⁾あるいはHY 80鋼などでみられる溶接熱影響部のマイクロ割れ²⁾などがあげられるが、高張力鋼を利用した溶接構造物に発生する溶接割れの大部分は低温割れである。たとえば日本鋼構造協会の溶接割れ研究班³⁾が橋梁・鉄骨構造を対象に溶接割れの事例を調査した結果をみても表1に示すごとく割れ発生件数の90%以上が溶接金属と溶接熱影響部を通る低温割れである。

本資料では一応溶接金属に生じる割れは別にして、鋼材の溶接割れ感受性の評価という観点から、溶接熱影響部に生じる低温割れについて述べることにする。

さて高張力鋼の溶接性を判定する尺度として炭素当量値なるものがWES規格⁴⁾をはじめ種々の鋼材規格において採用されている。ところでこれらの炭素当量式はもとをたどると硬化性をあらわすための式であり、溶接熱影響部が硬化すれば溶接割れ感受性が大になるという考えに立っているものである。筆者もそれがまちがっているとは思わないが、しかし溶接割れ感受性は溶接熱影響

部の硬化性のみで決まるものでもない。鋼材の低温割れは溶接熱影響部の組織がマルテンサイトあるいはベイナイトになり、かつ溶接金属から拡散してくる水素量がある量以上あって、しかも引張応力が作用している場合に生ずる。すなわち鋼材の溶接割れ発生の要因としては溶接熱影響部の組織(鋼材の化学組成および溶接部の冷却速度によつてきまる)、溶接部における水素の存在と分布、外的拘束および内部応力の存在などがあげられる。このうちで溶接熱影響部の硬化に関係するのは組織のみである。それゆえ水素量も拘束度も同じ場合には溶接熱影響部の最高硬さによつて溶接割れ感受性を判断することが可能であるが、このような機会は実際には少ない。

鋼材の低温割れに対する水素の影響についてはBERRY, ALLAN⁵⁾, INTERRATE, STOUT⁶⁾, 鈴木, 稲垣, 中村⁷⁾らの研究があり、また外的拘束の影響については渡辺, 佐藤, 松井⁸⁾, ADAMS et al⁹⁾らの研究があるが、これらの研究はいずれも鋼材あるいは試験条件を一定のものとしてそれぞれ個々の要因を単独に取り上げているものである。

鋼材の溶接割れ感受性の適切な評価、溶接割れ感受性の低い鋼材の開発ならびに溶接割れの発生しない合理的な施工法の確立を行なうためには前述の主要因を総合的に評価することが望まれるが、これまではこの方面の研究はあまり行なわれていながった。そこで筆者らは高張力鋼のルート割れ発生におよぼす主要因、すなわち鋼材の化学組成、水素、外的拘束の効果をひとつのパラメータで表わし、これで鋼材の溶接割れ感受性を評価し、同時に与えられた鋼材に対する溶接割れを防止する施工条件を明らかにすることを試みた。以下その概要を紹介したい。

* 昭和47年2月24日受付(依頼解説)

** 住友金属工業(株)中央技術研究所 工博

*** 住友金属工業(株)中央技術研究所

表 1 構造物における溶接割れの実例調査³⁾

割れ形式		かど継手	T 継手	十字継手	斜継手	突合せ継手	計
大分類	lc	低温割れ	1	14	26	4	48
	lh	高温割れ	2	3	1	0	6
	l	溶接中溶接後数日中の割れ	3	2	2	2	11
中分類	W	溶接金属割れ	3	12	13	3	34
	H	溶接熱影響部割れ	0	8	15	2	27
	B	溶接母材割れ	4	0	1	1	7
小分類	1	縦割れ	3	7	6	2	19
	2	横割れ	0	1	0	0	1
	3	ル—ト割れ	0	7	10	1	21
	4	止端下割れ	0	7	13	1	22
	5	ビ—ド割れ	0	0	0	0	0
	6	星ミク割れ	0	0	0	0	0
	7	開裂割れ	0	0	0	1	1
	8	開裂割れ	4	0	2	1	8

2. 鋼材の溶接割れ感受性推定式について

2.1 溶接割れ感受性の見地からの現行の炭素当量の検討

高張力鋼の溶接性を判定するために提案されたこれまでの炭素当量式はほとんど溶接熱影響部の硬化性を推定するためのものであるが、比較的よく用いられているいくつかについて簡単に紹介する。

溶接熱影響部の硬化性を提案する炭素当量として1940年に DEARDEN and O'NEILL¹⁰⁾ によつて提案された次式がよく知られている。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \left(\frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \right) (\%) \dots (1)$$

(Cu, P はそれぞれ 0.5% および 0.05% 以上のときのみ考慮する.)

DEARDEN and O'NEILL は上式を用い板厚 12mm の隅肉溶接の場合について硬化能に関する実験式として(2)式が成立することを述べている。

$$H_{max} = 1200C_{eq} - 200 \dots (2)$$

木原, 鈴木, 田村¹¹⁾ は DEARDEN and O'NEILL の炭素当量式に Si の項の追加と Ni の係数の修正を行ない, (3)式に示す炭素当量式を提案している。

$$C_{eq} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} (\%) \dots (3)$$

現在わが国では(3)式にさらに V の項を追加した炭素当量式が広く用いられており, WES 規格 (WES-135)⁴⁾ および JIS 規格 (JISG-3106)¹²⁾ でもこの式が採用されている。

$$C_{eq} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} (\%)$$

表 2 鋼種別炭素当量の規定 (WES-135)⁴⁾

鋼種	機械的性質		炭素当量 (%)	
	耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	調質鋼	非調質鋼
HW 36	≥36	53~65	not specified	≤0.47
HW 40	≥40	57~69	not specified	≤0.49
HW 45	≥45	60~72	≤0.44	≤0.50
HW 50	≥50	62~74	≤0.46	≤0.54
HW 56	≥56	68~82	≤0.53	—
HW 63	≥63	72~86	≤0.57	—
HW 70	≥70	80~95	≤0.63	—
HW 80	≥80	88~105	≤0.69	—
HW 90	≥90	97~115	≤0.76	—

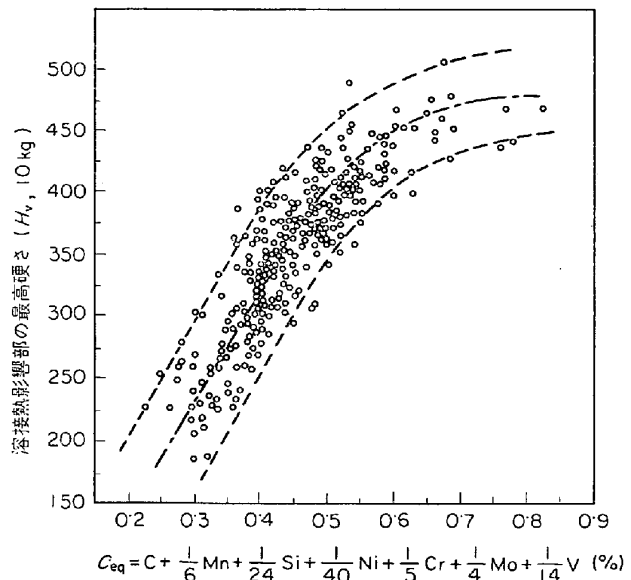


図 1 炭素当量値と溶接熱影響部の最高硬さの関係⁴⁾

$$\dots (4)$$

WES 規格では多数の高張力鋼についての炭素当量値と溶接部最高硬さの実績 (図 1) をもとに各鋼種の炭素当量の上限值を表 2 のごとく定めている。また JIS 規格

では SM 58 の炭素当量値を 0.44% 以下と規定している。

鈴木, 田村¹³⁾は高張力鋼の再現熱影響部延性試験結果をもとに新しい炭素当量式を提案し, 最高硬さについても 60 キロ以上の高張力鋼では(3)式よりもよく合うと述べている。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{9} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{8} + \frac{V}{10} (\%) \dots (5)$$

イギリスでは(1)式を修正した(6)式が用いられており, BS 規格 (BS-2642)¹⁴⁾ に取り入れられており, また I. I. W. 第 IX 委 Sub-Commission G¹⁵⁾でも(6)式の 50 キロ高張力鋼 (Micro-Alloyed Steel) への適用を推奨している。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} (\%) \dots (6)$$

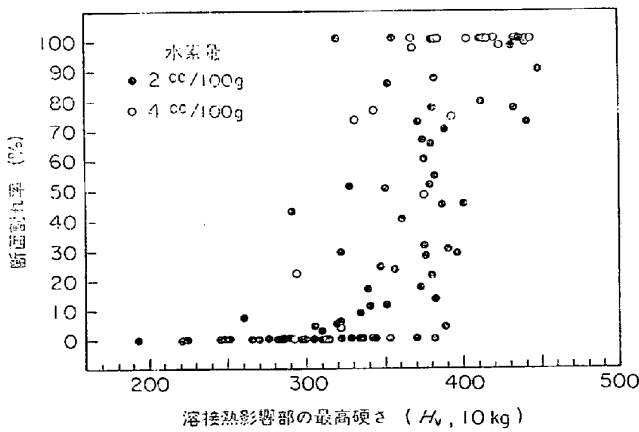


図 2 溶接熱影響部の最高硬さと y 開先拘束割れ試験結果の関係

WINTERTON¹⁶⁾ はマルテンサイト変態 90% 終了温度 M_{90} と合金元素の関係をもとに(7)式に示す炭素当量式を求め, 割れ感受性を推定することを提案している。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{10} - \frac{Mo}{50} - \frac{V}{10} + \frac{Cu}{40} \dots (7)$$

ところで溶接割れ感受性と溶接熱影響部の最高硬さの関係は図 2 に示すようなものである。図 2 は横軸に最高硬さを, 縦軸に y 開先拘束割れ試験における断面割れ率をとっている。

図 2 から溶接熱影響部の最高硬さが増せば, 溶接熱影響部の割れ感受性も高くなる傾向があるが, しかしながら最高硬さから溶接割れ感受性を正確に推定することは困難であることが認められる。

2.2 溶接割れ感受性指数 F_c

前項で述べたように溶接熱影響部の最高硬さ, すなわち現在用いられている炭素当量式をもつて溶接割れ感受性を推定することにはかなり問題を含んでいる。

このため筆者らは約 200 鋼種について y 開先拘束割れ試験を実施した。高張力鋼の溶接熱影響部のルート割れ感受性を調査する試験法として, リーハイ拘束割れ試験法¹⁷⁾, CTS 割れ試験法¹⁸⁾, TRC 試験法⁷⁾, RRC 試験法⁷⁾ などもあるが, y 開先拘束割れ試験法が 1) 割れが溶接熱影響部に発生すること, 2) 割れ感度が良好であること, 3) とくに装置を必要としないことなどの点からわが国では広く実用されている。y 開先拘束割れ試験片の形状および割れ率の定義を図 3 に示す。割れは写真 1 に示すようにルート部から発生し溶接熱影響部を通じて進展する。

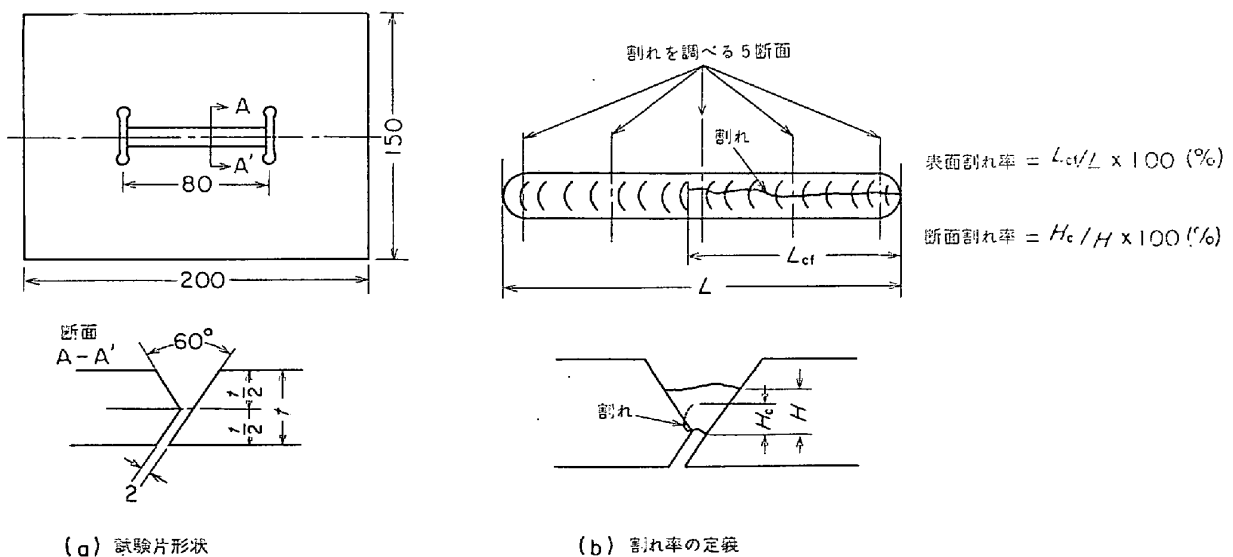


図 3 y 開先拘束割れ試験片の形状と割れ率の定義

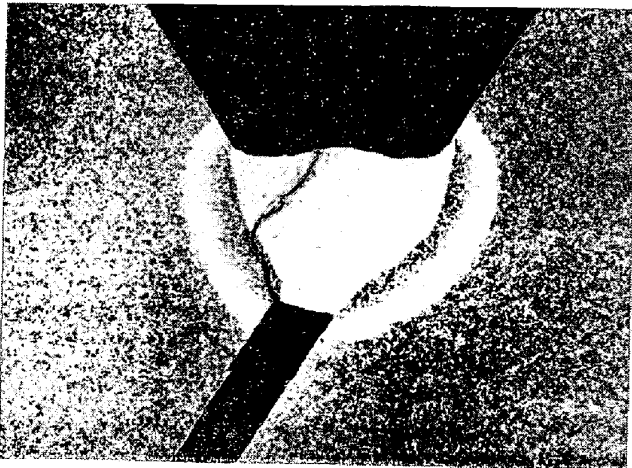


写真 1 y 開先拘束割れ試験で認められた割れの代表例

y 開先拘束割れ試験に供試した 200 鋼種の内には軟鋼から HT 100 までを含み、板厚も 19 mm から 50 mm のものまでにわたっている。溶接棒としては低水素系溶接棒を使用した。室温において y 開先拘束割れ試験を行なった結果から鋼材の溶接割れ感受性を推定できる実験式を求めた¹⁹⁾。

$$P_C = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{h}{600} + \frac{H}{60} (\%) \dots\dots\dots (8)$$

この P_C は鋼材の溶接割れ感受性指数を示すものである。実験式の内には鋼材の化学組成以外に溶着金属の拡散性水素量の項と板厚の項が入っている点で従来の炭素当量式とは異なっている。適用範囲はつぎのようなものである。

- | | |
|---|---------------------|
| C : 0.07~0.22% | Si : 0~0.60% |
| Mn : 0.40~1.40% | Cu : 0~0.50% |
| Ni : 0~1.20% | Cr : 0~1.20% |
| Mo : 0~0.70% | V : 0~0.12% |
| Nb : 0~0.04% | Ti : 0~0.05% |
| B : 0~0.005% | h (板厚) : 19~50 mm |
| H (急冷法により測定した拡散性水素量) : 1.0~5.0 cc/100 g | |

この P_C 値と前記約 200 鋼種の割れ試験結果の関係および JIS 炭素当量値と割れ試験結果の関係を図 4 ならびに図 5 に示す。 C_{eq} 値と割れ試験結果の関係はかなりのバラツキがあり、炭素当量式をもつて溶接割れ感受性を表わすことが困難であることを表わしている。そのほかの炭素当量式の例として BS 規格の炭素当量値と割れ試験結果の関係を図 6 に示す。図 5 と同様にかんがりのバラツキがある。これに対し図 4 にみるごとく P_C 値で整

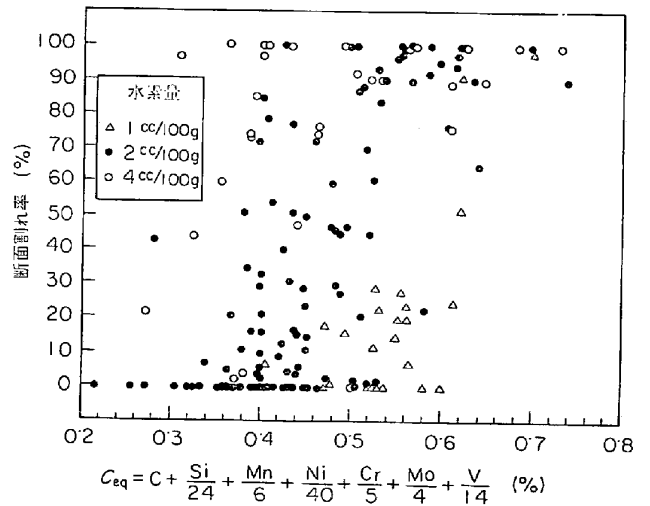


図 5 JIS 炭素当量値と溶接割れ試験結果の関係

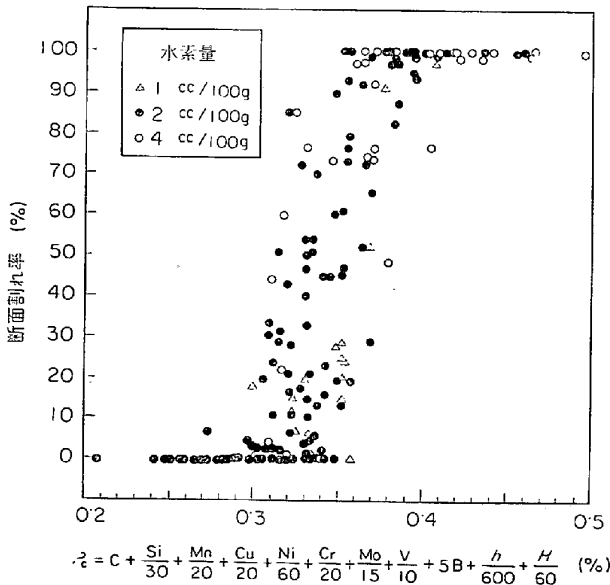


図 4 P_C 値と溶接割れ試験結果の関係

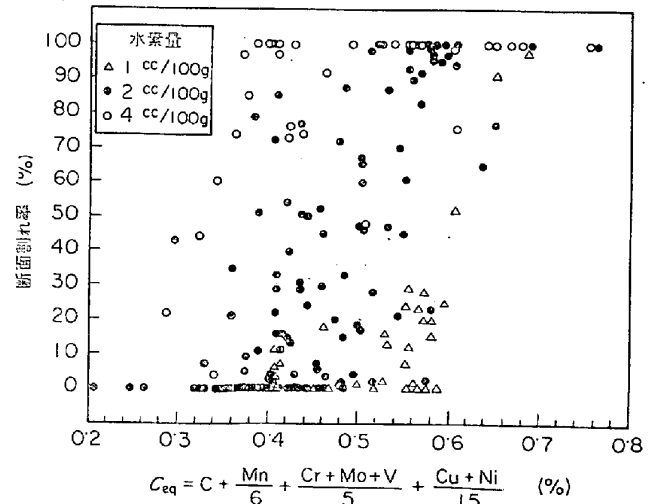


図 6 BS 炭素当量値と溶接割れ試験結果の関係

理するとかかなり精度よく鋼材の溶接割れ感受性が推定できる。

溶接割れ感受性指数 P_c は溶接割れに対する鋼材の化学組成の影響、水素の影響、板厚の影響を一つのパラメータで表わしたのが特色であるが、はたして水素の影響および板厚の影響を考慮した効果はどの程度であろうか。まず拡散性水素の影響は表3に示すごとくで、同一板厚、同一化学組成の試験材を JIS 規格 (JIS Z 3212)²⁰⁾ の範囲内で溶接棒の拡散性水素量を変えて溶接すると、その割れ感受性は大幅に異なってくる。また図5の C_{eq}

表 3 溶接割れに及ぼす水素の影響

(a) 供 試 鋼

化 学 組 成 (wt %)					板 厚 (mm)	引張強さ (kg/mm ²)
C	Si	Mn	Ni	V		
0.16	0.28	1.29	0.32	0.07	38	64.3

(b) y 開先拘束割れ試験結果

溶 接 棒	溶着金属の水素量 (cc/100g)	予熱温度 (°C)	断面割れ率 (%)
A	1.4	14	11
		50	8
		75	0
		100	0
B	4.3	14	100
		50	79
		75	47
		100	30

値と割れ試験結果の関係をみると、水素量の少ないものは図の右側に、多いものでは図の左寄りに点が寄っている。このように溶接部の拡散性水素量を規定した一定の条件下でないと、鋼材の溶接割れ感受性に対してまったく異なつた判定を下すおそれがある。

つぎに板厚の影響は表4に示すように板厚を順次減少させた同一化学組成の試験材について試験した結果をみると、板厚の増加に伴つて溶接割れ感受性は急激に増加している。炭素当量値と溶接割れ試験結果の関係における板厚の影響は図7に示すように、板厚が厚いものほど小さい炭素当量値で割れを生じる傾向がみられる。

以上の例からわかるように鋼材のルート割れ感受性を推定する指標として、鋼材の化学組成の項以外に水素の

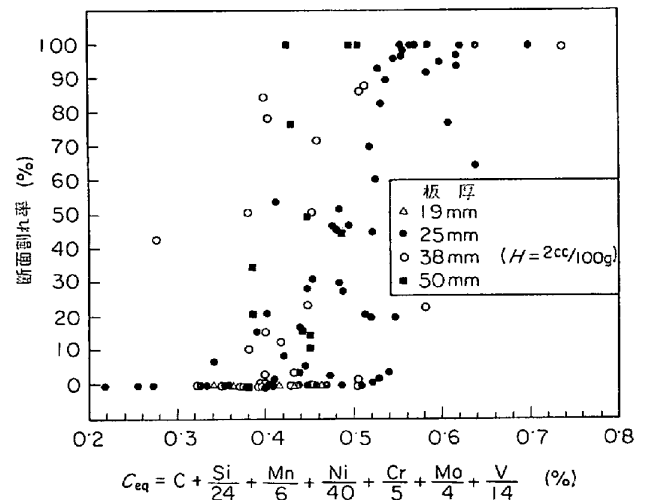


図 7 JIS 炭素当量値と溶接割れ試験結果の関係 (板厚別)

表 4 溶接割れに及ぼす板厚の影響

(a) 供 試 鋼

供試鋼	化 学 組 成 (wt %)							引張強さ (kg/mm ²)	初期の板厚 (mm)
	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo		
A	0.11	0.29	1.35	—	0.55	—	0.15	63.7	45
B	0.14	0.51	0.77	0.49	0.37	0.79	—	55.0	40

(b) y 開先拘束割れ試験結果

供 試 鋼	試験時の板厚 (mm)	溶着金属の水素量 (cc/100g)	試験温度	断面割れ率 (%)
A	45	1.7	RT (13°C)	58
	38	//	//	3
	25	//	//	0
B	40	2.1	RT (13°C)	87
	32	//	//	33
	25	//	//	15
	19	//	//	0

項および板厚の項を含んだ P_C を用いることが炭素当量を用いるより適当ではないかと考えている。

つぎに P_C 値から溶接割れの防止できる予熱温度を推定できるように P_C 値と予熱温度の関係を求めるために、予熱温度を 50°C, 100°C, 150°C の3段階に変えて、追加の γ 開先拘束割れ試験を実施した。その結果を整理すると図8のような関係図が得られた。すなわち予熱温度と P_C 値との間には、つぎの一次式で表わされる関係にあることが認められた。

$$T_0(°C) = 1440 P_C - 392 \dots\dots\dots (9)$$

$T_0(°C)$: γ 開先拘束割れ試験における割れ防止のための最低予熱温度

このようにして P_C によつて鋼材の溶接割れ感受性が判定でき、また γ 開先拘束割れ試験における割れ防止のための予熱温度も推定できるようになった。

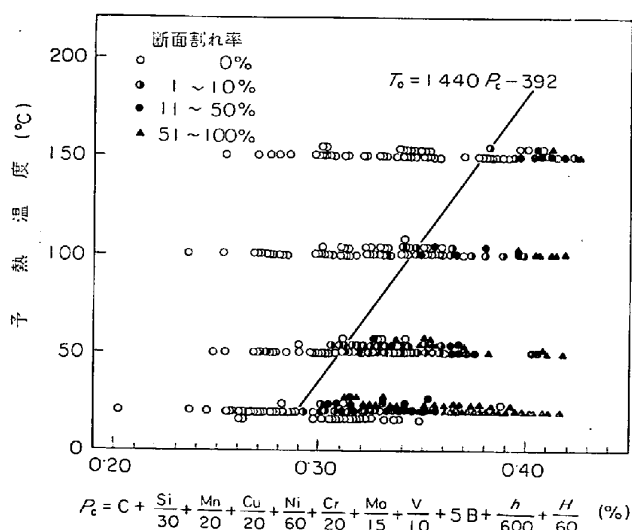


図8 P_C 値と予熱温度の関係

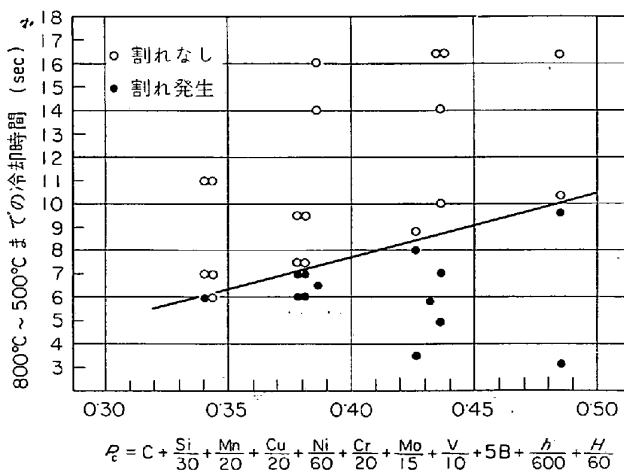


図9 P_C 値と γ 開先拘束割れ試験結果の関係 (P. ONDREJČEK)²¹⁾

2.3 P_C の溶接割れ感受性推定式としての妥当性

P_C の鋼材の溶接割れ感受性推定式としての妥当性については ONDREJČEK²¹⁾ および日本溶接協会鉄鋼部会 JC 委員会の共同研究²²⁾により確認されている。前者についてはチェコスロバキヤの鋼板 10 鋼種を用いて γ 開先拘束割れ試験を実施し、図9に示す結果を得ている。後者については国内鉄鋼8社の 50~100 キロ高張力鋼板 24 鋼種につき試験を行ない、その妥当性を確認している。(図10)

この結果 WES 規格(WES-135)に P_C を導入することになり、現在原案が作成されている²³⁾。WES-135 は鋼板の規格であるので、 P_C より板厚および水素の項を除外した(10)式で表わされる P_{CM} 値(溶接割れ感受性組成)をもつて規定することになり、当面は炭素当量あるいは溶接割れ感受性組成のどちらかで規格値を満足すれば

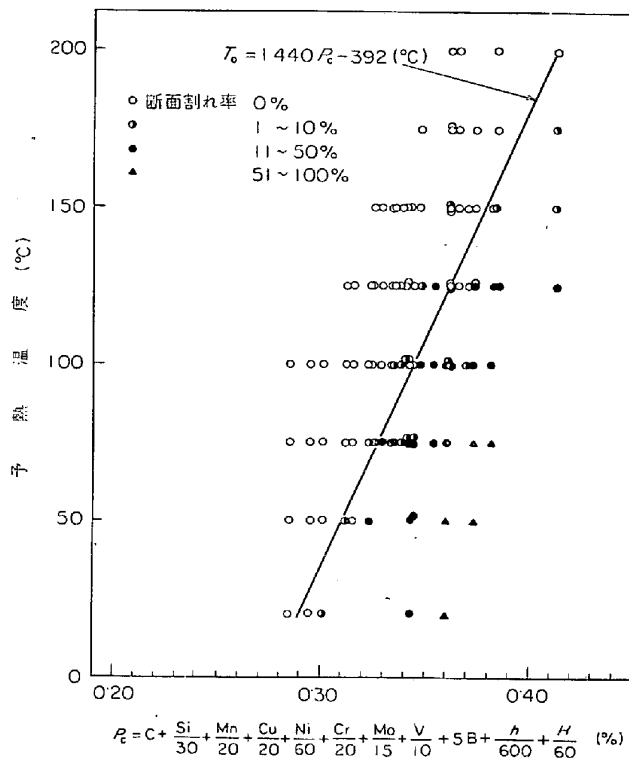


図10 P_C 値と γ 開先拘束割れ試験結果の関係 (JC委員会)²²⁾

表5 溶接割れ感受性組成 (P_{CM})²³⁾

種類	溶接割れ感受性組成 (%)
HW 45	0.28 以下
HW 50	0.28 以下
HW 56	0.30 以下
HW 63	0.30 以下
HW 70	0.33 以下
HW 80	0.35 以下
HW 90	0.36 以下

備考 1. 板厚 50mm 以下の鋼板について適用する。

よいという alternative rule として運用される予定である。鋼種別の P_{CM} 値の原案は表 5 に示すとおりである。

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{50} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \text{ (\%)} \dots\dots\dots (10)$$

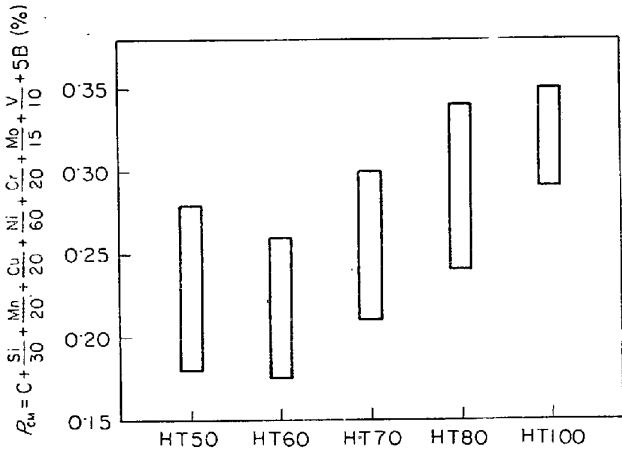


図 11 鋼材の強度と P_{CM} 値の関係²²⁾

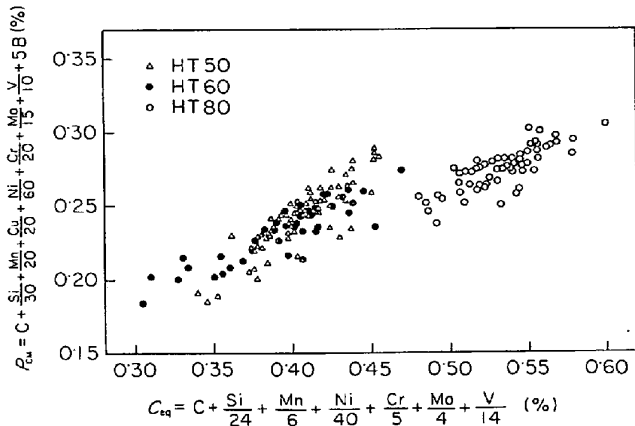


図 12 C_{eq} 値と P_{CM} 値の関係

ところで現在実用されている高張力鋼の P_{CM} 値ならびに溶接棒の H 値がどの程度であるかふれてみよう。JC 委の調査²³⁾によれば図 11 のように同じ強度レベルの鋼でも P_{CM} 値は広い範囲にひろがっており、HT 50 の上限値は HT 60 のそれよりもむしろ高い。炭素当量値と P_{CM} 値との間には厳密な 1 対 1 の対応は成立しえないが、図 12 のごとく C_{eq} 値の高いものはおおむね P_{CM} 値も高くなるのは当然である。

また H 値の調査結果は表 6 のごとくであるが、最近 HT 50 用 (D 5016) でも HT 60 用 (D 5816) あるいは HT 80 用 (DK 7016) に近い H 値のものが開発されている。図 13 および図 14 は H 値におよぼす湿度の影響を示したもので²⁴⁾、パンストックの現地溶接など高温多湿の環境で行なわれる場合には H 値はかなり高くなるので注意を要する。また表 7 に示す条件で十分乾燥した溶接棒を用いても、図 14 に示すように時間の経過とともに吸湿するので、このような場合は再乾燥処理を行なつてから用いることが必要である。

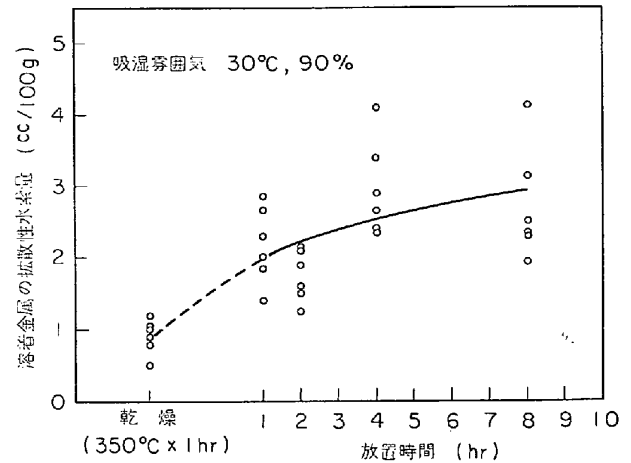


図 14 溶着金属の水素量と放置時間の関係

表 6 溶着金属の水素量²²⁾

溶 接 棒	溶着金属の水素量
HT 50 用	2.9~4.4 cc/100 g
HT 60 用	1.6~3.0 cc/100 g
HT 80 用	1.0~2.1 cc/100 g

表 7 溶接材料の乾燥条件

		乾燥条件	保管温度	再 乾 燥
被覆アーク溶接	低水素溶接棒	350~400°C 1 hr 以上	150°C	取出し後 2 hr 経過 した場合 再乾燥
	溶融フラックス	150~200°C 1 hr 以上		
サブマージ溶接	焼成フラックス	200~250°C 1 hr 以上		

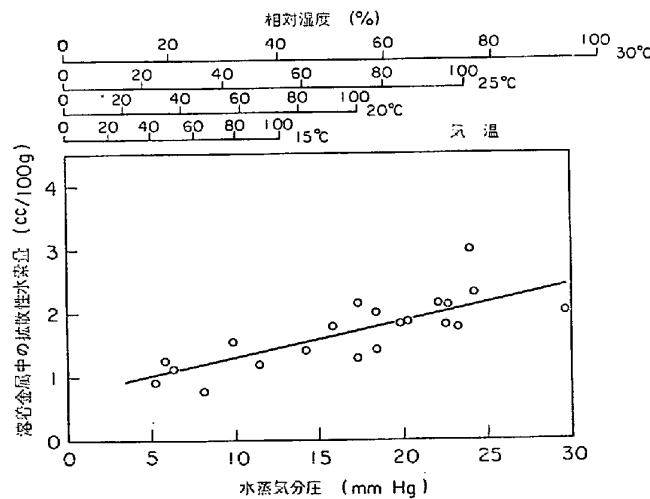


図 13 溶着金属の水素量におよぼす湿度の影響 (HT 60 用溶接棒)

ここまでで一応鋼材の溶接割れ感受性を推定できる段階に達したが、実際の溶接構造物について溶接割れを防止するための施工条件を決定するために、引き続き研究を行なっている。ここに簡単にその概要を紹介したい。

3. 溶接施工への溶接割れ感受性指数の応用

小型の拘束割れ試験片を用いた実験にもとづいて求めた P_C 値と予熱温度の関係を実際の溶接構造物の溶接施工に拡張適用しようとするには、まず小型試験片と構造物において拘束度ならびに冷却過程の大きな相違に着目し、両者間におけるそれらの対応を明らかにする必要がある。すなわち、開先拘束割れ試験片の拘束度は板厚によりきまってしまうのに対し、実際の構造物では構造や溶接順序によつて種々変化する。また、開先拘束割れ試験片では全体予熱で、しかも溶接条件が一定であるのに対し、構造物では一般に溶接線の近傍だけを予熱する局部予熱が行なわれ、溶接条件も一定でないので、たとえ同じ予熱温度に予熱しても冷却過程には大きな差が生じる。したがって構造物の溶接において割れを防止するための予熱温度は(9)式により推定することはできない。

そこで鋼材の溶接割れ感受性指数 P_C のうち板厚の項を拘束度と冷却速度の2つに分解し、これら拘束度と冷却速度が溶接割れにおよぼす影響を調査した。拘束度の影響については、開先拘束割れ試験片および開先拘束割れ試験片の両側から鋸溝を入れて拘束度を変化させた試験片の拘束度を実測し、溶接割れにおよぼす拘束度の影響を定量的に表わし、 P_C の式はつぎの P_W 式に書きかえられることを明らかにしている²⁵⁾。

$$P_W = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{H}{60} + \frac{K}{40000} \quad (\%) \dots \dots (11)$$

ここで K は拘束度であり、溶接継手の開先間隙を弾性的に平均 1 mm 短縮せしめるに要する単位溶接長あたりの力の大きさ (kg/mm \cdot mm) で表わされる²⁶⁾。

溶接部の冷却速度は板厚、予熱温度、被溶接物の形状および寸法、予熱の方法、溶接入熱、気温などの影響をうけるので、これらの影響を包含するひとつの冷却パラメータで表示し、割れの発生しない限界冷却速度を求めることにした。溶接部の冷却パラメータとして溶接直後から 100°C までの冷却時間を採用している。これは 100°C 付近までの冷却時間が溶接割れに大きく影響するためである。 P_W 値が大きいほど溶接割れを防止する限界冷却時間が長くなる、いいかえれば徐冷しなければ溶接割れが生じることが予想できるが、 P_W 値と限界冷却

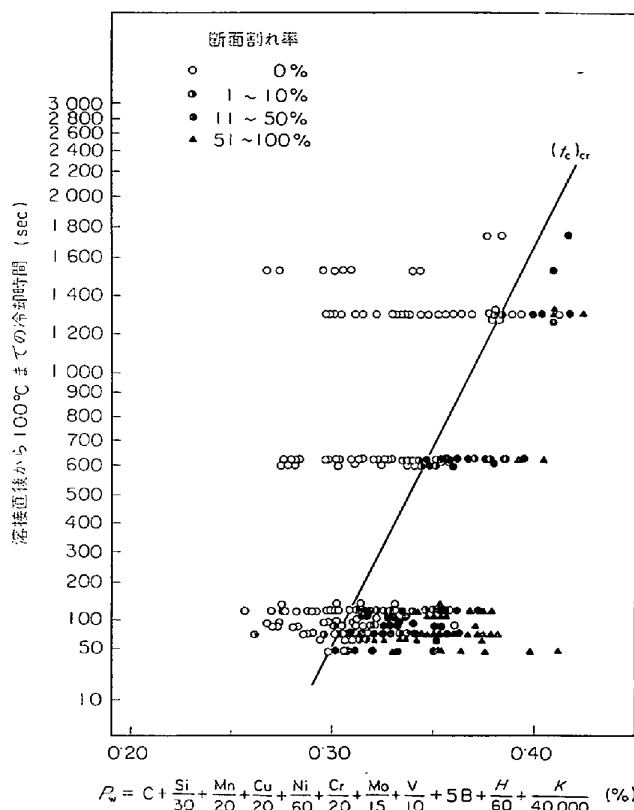


図 15 P_W 値と限界冷却時間の関係

表 8 100°C までの冷却時間 $(t_c)_{ac}$ に関する要因

要 因	$(t_c)_{ac}$ への影響
溶 接 入 熱 室 間 温 度 予 熱 方 法 溶 接 長	これらの量が大きくなるほど $(t_c)_{ac}$ は大となる
板 厚*	小なるほど $(t_c)_{ac}$ は大となる

* 入熱 30 000 Joule/cm 以下ならば板厚 $h > 80$ mm では冷却時間は板厚に無関係になる。

時間の関係を求めたのが図 15 である。

溶接構造物における溶接割れの発生を防止するために図 15 に示した P_W 値と限界冷却時間の関係を採用する場合には溶接部が 100°C に冷却するまでの冷却時間が問題になる。この冷却時間に対しては表 8 に示すような要因が影響を与えるが、これらの要因の影響は定量的には実状に即した計算と実験が必要である。

筆者らは溶接前に突き合わせ継手の両側 2b の範囲を予熱した後に溶接を開始するという場合を対象に計算および実験を行ない、溶接施工条件と冷却時間の関係を求めている²⁷⁾。このようにして求められた冷却時間と図 15 とから P_W 値と予熱温度の関係を求めると図 16 および

表 9 材料が与えられた場合の予熱温度の例 (加熱幅 20cm, 平均加熱速度 0.2°C/sec)

材 料	溶着金属の水素量 (cc/100g)	拘 束 度	h=25 mm	h=38 mm	h=50 mm
HT 50 ($P_{CM}=0.23\%$)	4.0	中 ($K=40h$) 小 ($K=10h$)	0~60°C 予熱なし	85~110°C 0~50°C	120~140°C 40~70°C
HT 80 ($P_{CM}=0.29\%$)	1.7	中 ($K=40h$) 小 ($K=10h$)	70~110°C 25~70°C	125~150°C 70~100°C	150~170°C 90~110°C

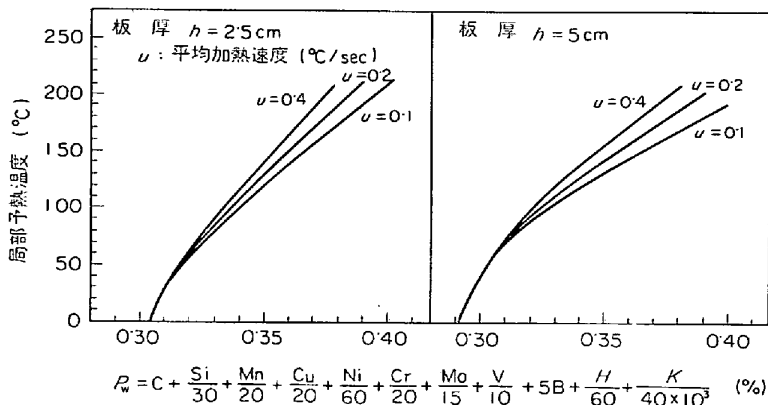


図 16 P_w 値と局部予熱温度の関係 (入熱量 17000 J/cm, 加熱幅 20 cm)

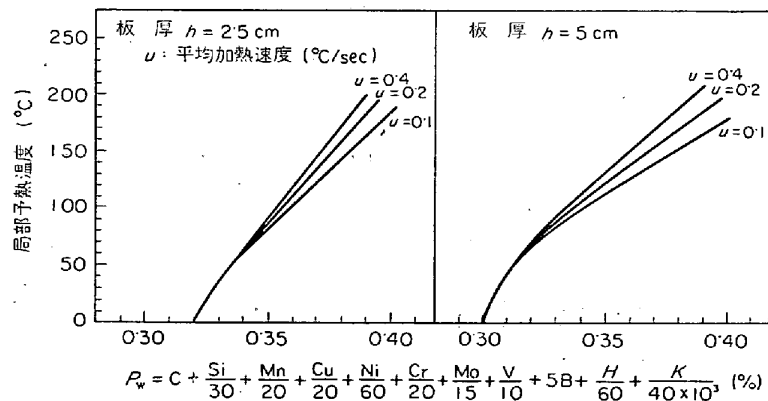


図 17 P_w と局部予熱温度の関係 (入熱量 30000 J/cm, 加熱幅 20 cm)

表 10 予熱温度を 100°C 以下にするための P_{CM} の限界 (K=40h, 平均加熱速度 0.2°C/sec, 溶接入熱 17000 Joule/cm の場合)

材 料	溶着金属の水素量 (cc/100g)	P_{CM} の限界値 (%)		
		h=25 mm	h=38 mm	h=50 mm
HT 50	4.0	0.24	0.22	0.20
HT 80	1.7	0.28	0.26	0.25

17 のようになる²⁸⁾. 図 16 は予熱幅 20cm, 室温 0°C で溶接入熱 17000 J/cm の長い突き合わせ継手の中央部についての計算例であり, 図 17 は溶接入熱が 30000 J/cm の場合の計算例である.

図 16, 図 17 のような P_w 値と局部予熱温度の関係を利用すれば, 与えられた材料と構造および予熱方法に応じて, 溶接割れ防止のために必要な予熱温度を決定することができる. また予熱温度をある温度以下(たとえば 100°C 以下)におさえるためには, 材料と設計にどんな配慮をとればよいかを知ることができる. 表 9 は一例として $P_{CM}=0.23\%$ の HT 50 と $P_{CM}=0.29\%$ の HT 80 について溶接入熱 17000 ~ 30000 J/cm の場合の予熱温度を求めたものであり, 表 10 は予熱温度を 100°C 以下にするために必要な鋼材の P_{CM} 値の限界を求めたものである.

4. む す び

鋼材の溶接割れ感受性推定方法の一手段として, 溶接割れ感受性指数 P_c について紹介した. とくに現在用いられている炭素当量式は, 鋼材の溶接熱影響部の硬化性を示すものであつて, 必ずしも溶接熱影響部の溶接割れ感受性を示すものでないことを強調した.

また溶接構造物における溶接割れの防止は材料, 設計, 施工の見地から総合的に考える必要のあることを述べ, 溶接施工条件の選定法につ

いても紹介した.

これらの内容につき, ご批判ご教示がいただければ幸いです.

文 献

- 1) たとえば奥田: 溶接学会講演概要 (第 2 集), (1968), p. 1, 安藤, 仲田, 平野: 溶学誌, 39 (1970), p. 792 など
- 2) たとえば K. MASUBUCHI and D. C. MARTIN: Welding J., 41(1962), p.375- s, C.F. MEITZNER and R.D. STOUT: Welding J., 45 (1966), p.393 - s など
- 3) JSSC 割れ研究班: JSSC, 6 (1970), p. 1
- 4) 日本溶接協会編: 溶接構造用高張力鋼板規格 WES-135
- 5) J. T. BERRY and R. C. ALLAN: Welding J., 39

- (1960), p. 105- s
- 6) C. G. INTERRANTE and R. D. STOUT: *Welding J.*, 43 (1964), p. 145- s
 - 7) 鈴木, 稲垣, 中村: *溶学誌*, 32 (1963), p. 44
 - 8) 渡辺, 佐藤, 松井: *溶学誌*, 33 (1964), p. 446
 - 9) R. E. TRAVIS, J. M. BARRY, J. V. ROBINSON, W. G. MOFATT and C. M. ADAMS Jr.: *Welding J.*, 40 (1961), p. 49- s
 - 10) J. DEARDEN and H. O'NEILL: *Trans. Inst. Weld. (UK)*, 3 (1940), p. 203
 - 11) 木原, 鈴木, 田村: I. I. W. Doc. No. IX-288-61
 - 12) 日本工業規格: 溶接構造用圧延鋼材, JIS-G 3106-1970
 - 13) 鈴木, 田村: *金材技研報*, 4 (1961), p. 240
 - 14) British Standards Institution: BS 2642, General requirements for the arc welding of carbon manganese steels
 - 15) Sub-Commission IXG: I. I. W. Doc. No. IX-535-67
 - 16) K. WINTERTON: *Welding J.*, 40(1961), p.253- s
 - 17) R. D.STOUT, S. S. TÖR, L. J. McGEADY and G. E. DOAN: *Welding J.*, 25 (1946), p. 522- s
 - 18) T. BONISZEWSKI: *Brit. Welding J.*, 12 (1965), p. 593
 - 19) 伊藤, 別所: *溶学誌*, 37 (1968), p. 983
 - 20) 日本工業規格: 高張力鋼用被覆アーク溶接棒, JIS-Z 3212-1964
 - 21) P. ONDREJČEK: I. I. W. Doc. No. IX-717-70
 - 22) 日本溶接協会鉄鋼部会 J C 委員会資料
 - 23) 日本溶接協会鉄鋼部会 P_C 小委員会
 - 24) 伊藤, 別所: 未発表
 - 25) 伊藤, 別所: *溶学誌*, 38 (1969), p. 1134
 - 26) 佐藤, 松井: *溶学誌*, 36 (1967), p. 1096
 - 27) 佐藤, 松井, 伊藤, 別所: *溶学誌*, 40 (1970), p. 1117
 - 28) 佐藤, 松井, 伊藤, 別所: *溶学誌*, 41 (1971), p. 34