

# 調質高張力鋼の溶接施工

成宮隆雄\*

## 1. まえがき

大型橋梁においては主桁の死荷重軽減を図るため調質高張力鋼を用いることが多い。一般には板厚50mm未満の60<sup>kg</sup>級高張力鋼が多く用いられているが、本州四国連絡橋においては50mm以上の60<sup>kg</sup>級、70<sup>kg</sup>級または80<sup>kg</sup>級高張力鋼が多量に用いられている。

現在では極厚の60<sup>kg</sup>級調質高張力鋼および70～80<sup>kg</sup>級調質高張力鋼を橋梁鋼材として用いることも、製作施工上特に溶接施工上での作業標準が完備されてきていることもあり、それ程特別扱いされることがなくなってきている。しかし調質高張力鋼の製作、特に溶接施工にあたっては調質高張力鋼の特性と構造物の力学的な特徴を十分理解して、きめ細かい溶接施工計画を立てることが重要である。

本報では調質高張力鋼の溶接設計及び溶接施工にあたって留意すべき点を千葉工場での実験結果及び作業標準を中心に記述し今後の参考に資するものである。

## 2. 溶接設計の留意点

調質高張力鋼の溶接設計にあたって入熱制限を考慮する必要がある。60<sup>kg</sup>級高張力鋼までは入熱制限は70,000 Joule/cm、70～80<sup>kg</sup>級高張力鋼では、50,000Joule/cmである。通常入熱を考慮すべき溶接方法は潜弧自動溶接の場合である。ただし、CO<sub>2</sub>又はMAG溶接の場合でもウィングする場合および片面裏波溶接の場合は溶接速度が極端に遅くなるので、入熱を考慮する必要がある。潜弧自動溶接における入熱50,000Joule/cmと70,000Joule/cmの違いはパス数を別にすると初層における溶け込み深さが問題となる。図-1に板継ぎ×開先完全溶け込み溶接継手における標準開先の1例を示した。

先に溶接する側（B・P）の開先角度は70°とし初層溶接の溶け落ちを防いでおり、後から溶接する側（F・P）の開先角度は90°とし、十分な溶け込みを確保している。しかし、70～80<sup>kg</sup>級高張力鋼では入熱50,000Joule/cmの制限があるためF・Pの初層の溶接電流では7mmのルートフェイスを完全に溶け込ますことにや、問題があること、および後述する高温割れ防止の立場から裏ガウジングを原則としている。

一方部分溶け込み継手特にレ形開先継手の設計のど厚を確保するためにも、開先角度が重要である。開先角度45°では溶接方法に関係なくルートを溶かすことが出来ず、のど厚確保ができない。写真-1にレ形開先角度45°の場合のルート部の溶け込み不足の状況を示した。従って通常の場合レ形開先角度45°とする場合は設計のど厚に3mm

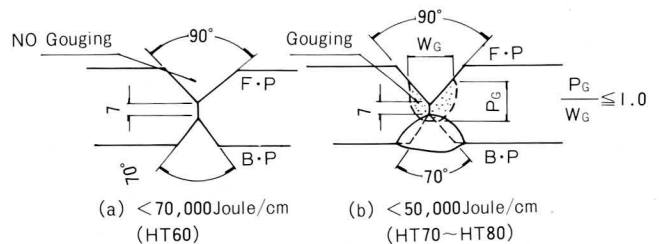


図-1 板継ぎ×開先継手の標準開先

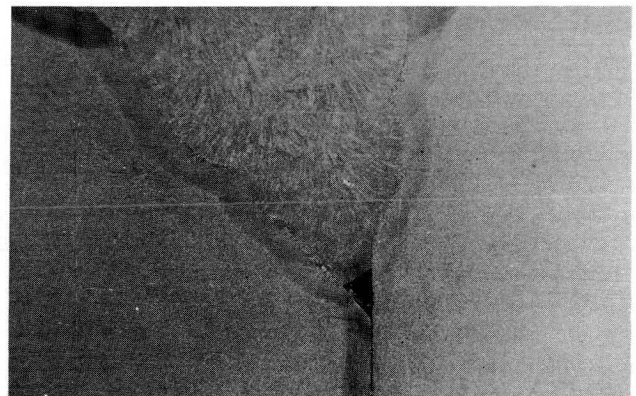


写真-1 レ形開先継手の溶け込み不足

\* 千葉工場製造部長

付加した開先深さとするか開先角度を60°とすることが必要である。たゞし千葉工場においては70~80<sup>kg</sup>級高張力鋼のトラス弦材等の部分溶け込みかど継手を潜弧自動溶接する場合後述する高温割れ防止、入熱制限および溶け込みの確保等を考慮してJ開先とすることになっている。

すみ肉溶接の場合は、その溶接姿勢によってパス数や溶け込み量が異なる。水平すみ肉溶接では溶接方法に関係なく1パスの場合脚長7~8mmが限度であるが、潜弧自動溶接を下向きで溶接できる場合は、溶接速度を調整することにより脚長14~15mmまで1パス溶接が可能である。

たゞし下向きポジションを取る関係上、部材の断面寸法が2m程度までとなりそれ以上の場合は水平溶接となる。一般にはすみ肉溶接継手での設計のど厚は溶け込みを考慮していないが、下向き潜弧自動溶接でのすみ肉溶接継手は約3mm程度の溶け込みが確保できると共に、仮付け溶接ビードは完全に再溶融出来る。本四橋の場合1部に溶け込みを考慮した設計のど厚が設定された。

次に溶接設計上留意すべき点として高強度高張力鋼における低強度溶接材料の使用がある。一般に溶接材料の強度レベルは母材の希釈を含まない全溶着金属の強度によって分けられている。従って溶接継手の強度としては必ずしも溶接材料の強度レベルだけでは決まらない。特に70~80<sup>kg</sup>級高張力鋼では、必要以上に溶接金属の強度

を高くすると、低温割れの可能性が高くなる。板継ぎ継手の場合は母材と同強度レベルの溶接材料を用いるが部分溶け込み継手またはすみ肉継手では、母材板厚、溶接パス数、溶接入熱および母材希釈率等を考慮して1~2ランク低強度の溶接材料を用いることが望ましい。

表-1 HT70における部分溶け込みおよびすみ肉継手の全溶接金属の強度

かど継手形式	継手記号	溶接条件				全溶接金属引張試験			母材希釈率
		溶接方法	* 溶接材料	パス数	入熱	記号	引張強さ	伸び(%)	
部分溶け込みかど継手	AB-A1	SAW	US49	2	KJ/cm 42 48	-1	kg/mm <sup>2</sup> 72.0	22	45
						-2	73.2	22	
	AB-A2	SAW	Y-GM	2	42 48	-1	68.4	20	31
						-2	69.0	22	
	AB-B1	MIG Ar+ 20%CO <sub>2</sub>	MGS -63B (1.6φ)	4	22	-1	74.3	22	44
						-2	75.8	23	
AB-B2	MIG Ar+ 20%CO <sub>2</sub>	YM -60A (1.6φ)	4	22	-1	75.2	20	25	
					-2	74.8	23		
C	SAW	Y-DM (4.8φ)	3	46 49	-1	69.9	24	49	
					-2	69.0	28		
すみ肉溶接かど継手	AB-C1	SAW (水平)	US-49	2	26	-1	80.1	31	55
						-2	79.6	31	
	AB-C2	SAW (水平)	Y-DM	2	26	-1	84.7	31	55
						-2	82.8	31	
	C-C3	SAW (下向)	Y-DM	1	28	-1	75.6	23	55
						-2	74.6	24	

\* 溶接材料は全て60<sup>kg</sup>級

		Butt Joint	Corner Joint (J Groove)	Corner Joint (Fillet)	Corner Joint (Fillet)
Kind of Joint					
Welding Method		SAW	SAW	SAW	SAW
Weld Material		Flux A X 70kg/mm <sup>2</sup> Wire	Flux A X 60kg/mm <sup>2</sup> Wire	Flux A X 60kg/mm <sup>2</sup> Wire	Flux A X 60kg/mm <sup>2</sup> Wire
Welding Conditions	Current	650~700A	580~600A	650A	1st; 600A. 2nd; 500A
	Voltage	32V	30V	32V	1st; 32V. 2nd; 29V
	Welding Speed	30cm/min	30cm/min	32cm/min	1st; 40cm/min. 2nd; 70cm/min
Preheating Temperature		100℃	100℃	100℃	100℃
Preheating Method					

Flux A; Neutral fused type

図-2 HT70を用いたトラス弦材の各継手の溶接設計

表-1に70<sup>kgf</sup>級高張力鋼のレ形部分溶け込み継手及びすみ肉継手の全溶接金属の引張強度と溶接材料の関係の例を示した。溶接金属の強度は溶接方法、溶接材料、パス数、入熱および母材希釈率等によって、かなり異なることが分る。一方仮付け溶接の溶接材料は割れ防止の立場から母材の強度に関係なく50<sup>kgf</sup>級溶接材料を用いることが多い。図-2に70<sup>kgf</sup>級高張力鋼を用いたトラス弦材の各継手の溶接設計の1例を示した。

### 3. 継手性能上の留意点

調質高張力鋼の継手性能は溶接材料だけで決まるのではなく、母材の特性、溶接方法、溶接条件、母材の希釈率および溶接層間温度等多くの要因に影響されることを留意しなければならない。特に溶接金属の靱性（シャルピー衝撃値）はその傾向が大きい。

図-3にHT80における溶接金属のシャルピー値と溶接方法および溶接材料の関係の1例を示した。

溶接金属の強度については表-1に示したように、必要に応じて母材より低強度レベルの溶接材料を用いることも必要である。

いずれの場合も調質高張力鋼の継手性能に関しては実施工に即した継手の溶接施工試験を行ない要求性能に合致することを確認することが必要である。

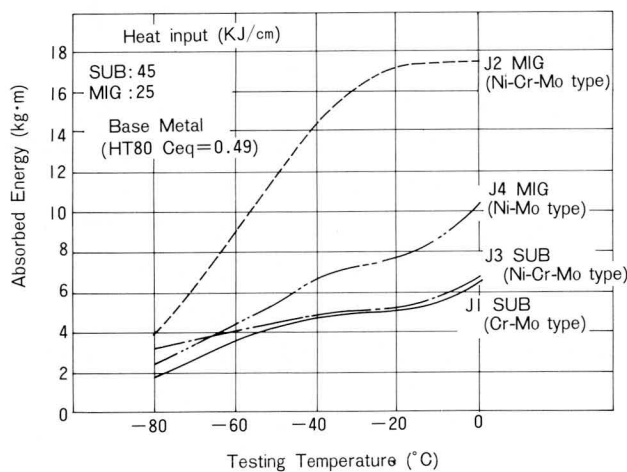


図-3 HT80における溶接金属のシャルピー衝撃値と試験温度の関係

### 4. 実施工上の留意点

調質高張力鋼の溶接施工において留意すべき点は当然のことながら溶接欠陥の防止であるが、全てに共通する対策として組立時の開先精度特にルートギャップ（G）のG≈0指向および継手清浄度の確保が重要である。

継手精度の確保に関しては組立部品の寸法精度、継手の清浄度に関してはプライマー塗膜、黒皮等の除去および開先部の汚染防止がポイントとなる。

調質高張力鋼溶接継手の溶接欠陥のうち溶接割れは最も重大な欠陥である。

溶接割れをその発生時期を基に大別すると、高温割れと低温割れに分けられる。

調質高張力鋼の溶接割れの発生原因、防止対策およびそれに基づく作業標準について、千葉工場で行なった実験結果および管理データ等を中心に記述する。

#### (1) 高温割れ防止

一般に高温割れは溶接金属が凝固する時、柱状組織の会合部または粒界に未凝固偏析や不純物が残存している状態で溶接収縮により開裂を起したものである。

図-4に高温割れの発生形態模式図を、写真-2に典型的な高温割れの例を示した。

通常の継手における高温割れの発生要因の1つにビード形状があげられる。例えば図-4における継手において開先内の溶接ビード高さ（P<sub>f</sub>）とビード巾（W<sub>f</sub>）の比

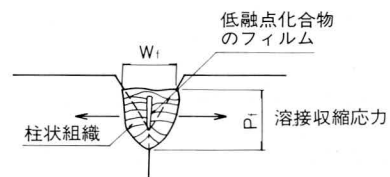


図-4 高温割れ発生模式図

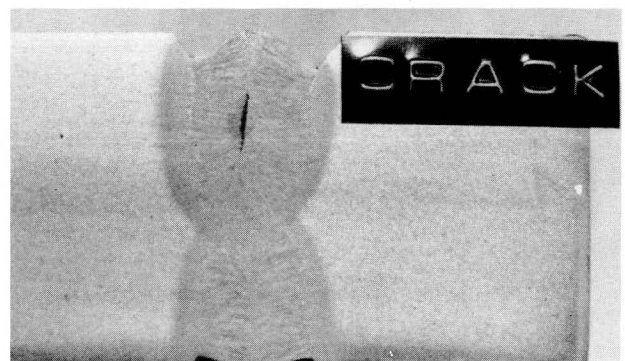


写真-2 X開先継手高温割れ

$\alpha$  ( $\alpha = P_f / W_f$ ) が大きくなると高温割れを起し易くなる。特に潜弧自動溶接またはCO<sub>2</sub>溶接等の比較的大入熱で溶け込みが深い場合高温割れを起し易く被覆アーク溶接では、ほとんど高温割れの危険はない。

1例として、図-5に潜弧自動溶接における開先内のビード高さ $\alpha$ とビード巾の比 $\alpha$ と高温割れの関係を示した。

図-5の実験はHT50非調質高張力鋼を用いたものであるが、調質高張力鋼特にHT70~80では合金元素としてNiが添加されているため、溶接金属はNiS等の低融点化合物を生じ高温割れの感受性が高くなる。

作業標準として高温割れ防止のためビード形状が $\alpha \leq 1$ となるような開先形状及び溶接条件を選定している。即ち

- 1) 潜弧自動溶接継手のX開先形状は図-1を標準とし、部分溶け込み継手の開先形状は60°レ形またはJ開先を標準とする。
- 2) 潜弧自動溶接の初層電流はHT60の場合800A以下とし、HT70~80の場合は600A以下を標準とする。

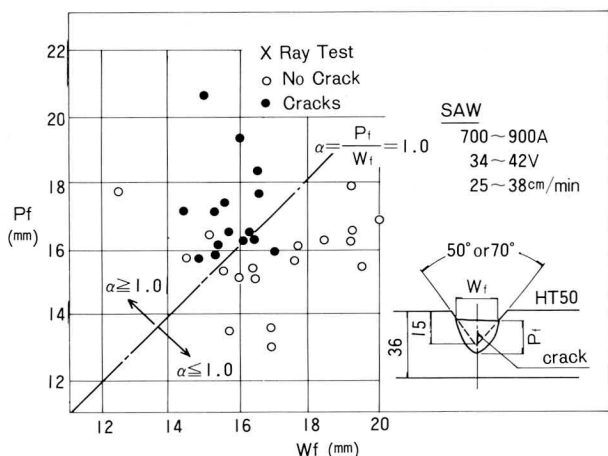


図-5 ビード形状と高温割れの関係

## (2) 低温割れ防止

低温割れは約200°C以下の低い温度で起り、ルート割れ、ビード割れ等がある。低温割れの発生原因として、

- ① 溶接による硬化(母材や溶接材料の炭素当量、母材の板厚および溶接入熱等)
  - ② 拡散性水素量(溶接方法、溶接材料、溶接材料の乾燥、溶接時の温湿度、入熱、および予熱温度等)
  - ③ 拘束応力(板厚、継手形式および溶接順序等)
- 等が考えられる。

一般に鋼材の低温割れ感受性を調べる試験として斜めY型われ試験が行なわれている。JIS Z3158斜めY型拘束われ試験方法およびわれ率の算出方法を図-6に示した。

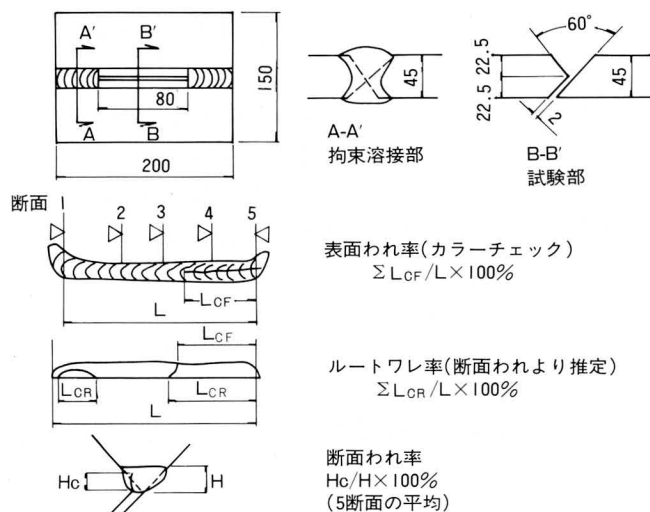


図-6 斜めY型拘束われ試験方法(JIS Z3158)

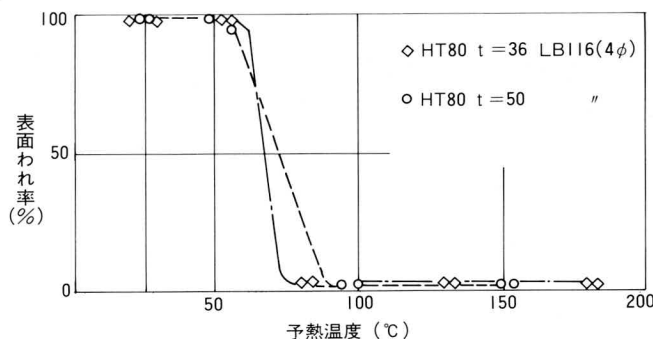


図-7 斜めY型われ試験の表面われ率と予熱温度

また、図-7に調質高張力鋼HT80の斜めY型われ試験の表面われ率と予熱温度の関係を示した。予熱温度100°Cで割れは停止している。

一般に溶接による母材の硬化の目安として炭素当量(Ceq)が用いられている。炭素当量が増加すると硬化性が増加する。一般に最高かたさ試験(JIS Z3101)における最高かたさと炭素当量の関係は、1部の調質高張力鋼を除いて次式が良く相関することが知られている。

$$Hv_{max} = (666Ceq + 40) \pm 40$$

図-8に当社で行なった各鋼種の最高かたさ試験における最高かたさと炭素当量の関係を示した。

図-8によるとHT60~HT80の調質高張力鋼は最高かたさがかなり高いことが分る。

道路橋示方書によると、われ防止の立場から炭素当量0.44以上または最高硬さHv $\geq$ 370の場合は所定の予熱を行なうよう定められている。一方道路橋示方書の溶接施工試験項目の最高かたさ試験の判定基準にHv $\leq$ 370が記載されているため、予熱によって最高かたさを下げなければならないと解釈される場合が多い。しかし100°C程

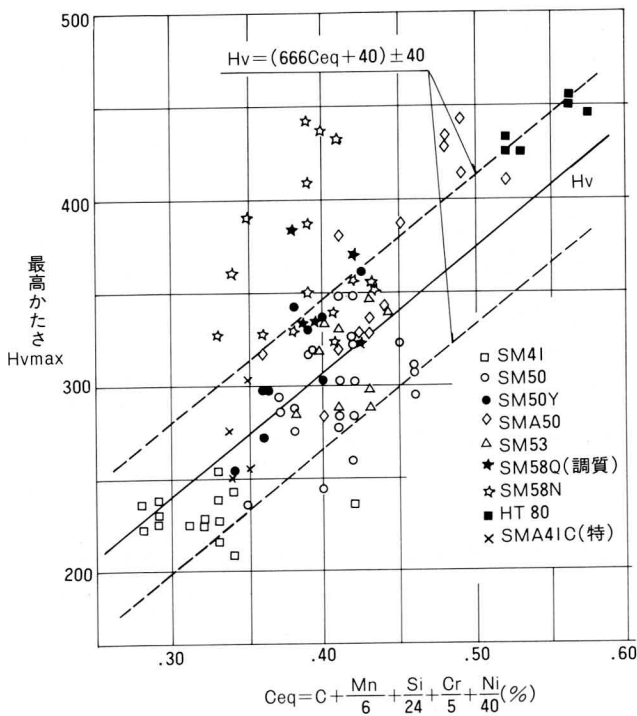


図-8 各鋼種の炭素当量と最高かたさHvmaxの相関 (JIS Z3101による試験)

度の子熱では、硬さに影響する800°C~300°C間の冷却時間または冷却速度を著しく変えることは不可能であり予熱の有無によって最高かたさはHvでせいぜい0~40程度下げられるに過ぎない。1例としてHT80の子熱温度と硬さ分布の図を図-9に示した。Hv≤370はあくまで予熱を行なう条件の1つと考えるべきである。

予熱が割れ防止に効果があるのは主として200°C以下の冷却が緩やかになることによる拡散性水素の早期放出によるものである。

溶接金属の拡散性水素量はJIS Z3113のグリセリン置換法またはこれに準じた方法で測定される。

拡散性水素量は溶接方法、溶接材料の種類、溶接材料の吸収および溶接時の雰囲気等によって決まる。

被覆アーク溶接棒は被覆剤の系統(大別として非低水素系と低水素系)、棒の乾燥状態および溶接までの放置時間等によって拡散性水素量が決まる。

高張力鋼には低水素系溶接棒を用いるのを標準としており、低水素系溶接棒はJISによって拡散性水素量の上限が定められている。その規格値を表-2に示した。

前述したように被覆アーク溶接棒は乾燥後、大気に放置すると大気中の水分の吸湿により拡散性水素量が増加する。図-10に被覆アーク溶接棒の大気放置時間と拡散性水素量の関係の1例を示した。

表-2 低水素系溶接棒の拡散性水素量のJIS規格

種類	水素量mℓ/100g
D5016・D5026	10以下
D5316・D5326	8以下
D5816・D5826	6以下
D6216・D6218	5以下
D7016・D7018	5以下
D7616・D7618	4以下
D8016・D8018	3以下

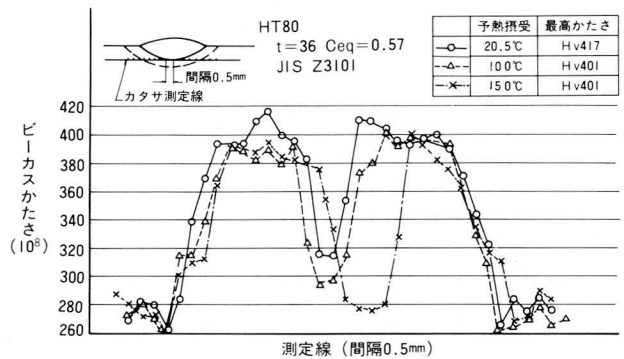


図-9 最高かたさ試験の最高かたさと予熱温度の関係

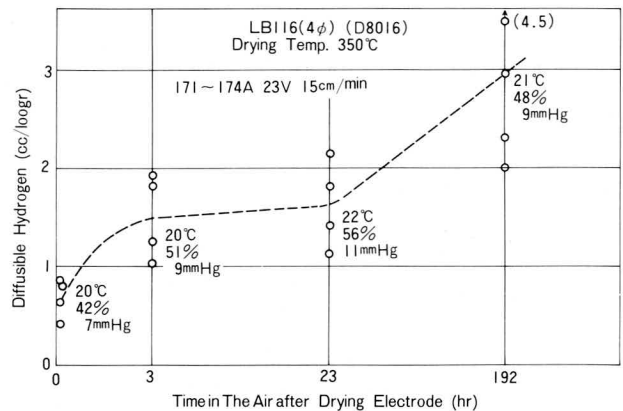


図-10 低水素系溶接の大気放置時間と拡散性水素量の関係

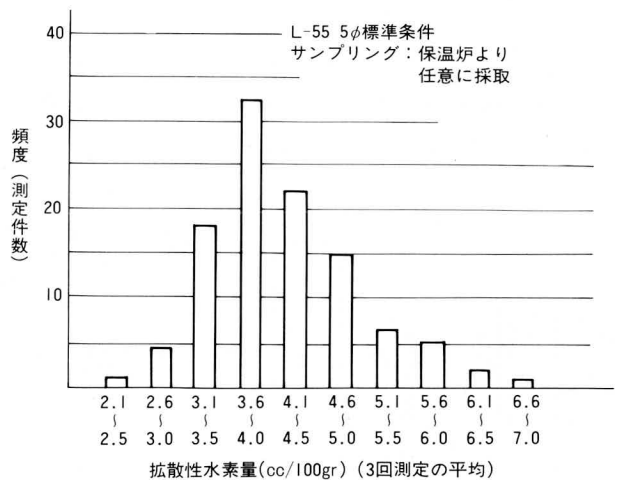


図-11 千葉工場における溶接棒の管理状況

これらの結果により作業標準では低水素系溶接棒は乾燥炉から出炉後4hr以内に使用することを義務づけている。また低水素系溶接棒は必ず350°C×1hrの再乾燥して使用することを義務づけているが乾燥状態が完全かどうか調べるため月に数回保温炉または作業者手持ちの溶接棒を抽出し拡散性水素量の測定を行ない監視を続けている。千葉工場における溶接棒の乾燥管理の状況(S56年以後)を図-11に示した。抽出測定する溶接棒はL-55(D5016)、5φであり、拡散性水素量は出炉後の大気放置時間および溶接時の雰囲気考慮した管理目標6cc/100gr以下にほとんどが入っており管理状況は良好である。

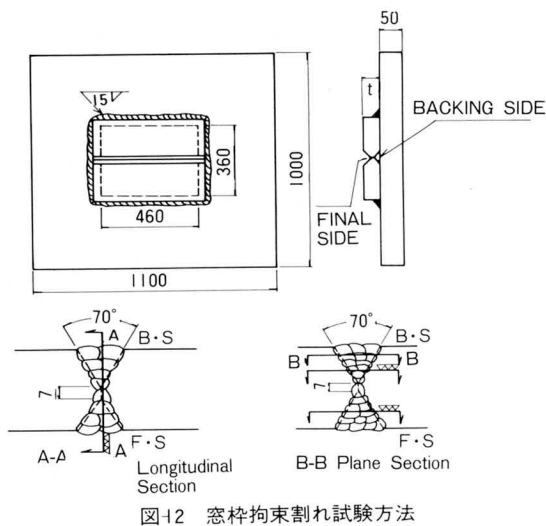


図-12 窓枠拘束割れ試験方法

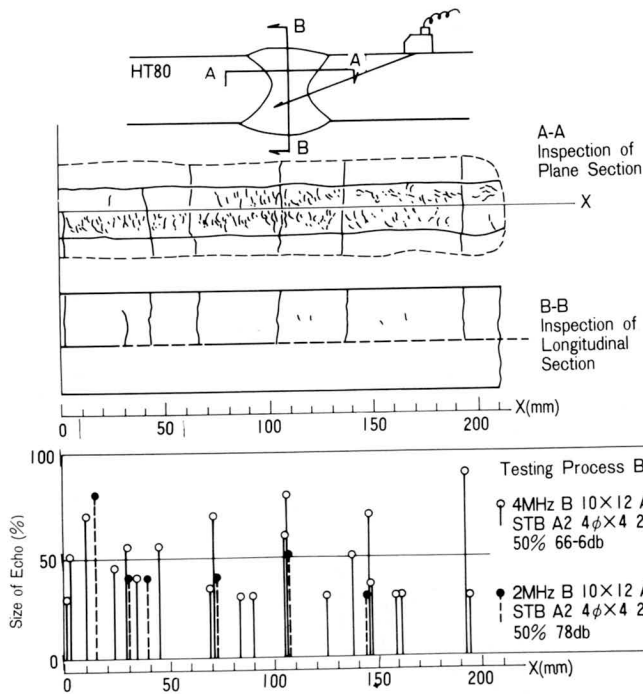


図-13 潜弧自動溶接継手の窓枠拘束割れ試験における横割れ(マイクロ割れ)の発生例

一方CO<sub>2</sub>溶接(ソリッドワイヤ)では溶接材料そのものに水素発生源がないことおよびアークがCO<sub>2</sub>ガスで雰囲気より遮断されているため拡散性水素量は極端に少ない。

また潜弧自動溶接では、60<sup>kg</sup>級高張力鋼以下の場合大入熱溶接のため拡散性水素量が問題となることは少ないがHT70~80<sup>kg</sup>高張力鋼の場合は溶接金属の強度と相俟って拡散性水素量が多いとマイクロ割れが発生することがある。図-12に潜弧自動溶接における窓枠拘束割れ試験方法を、図-13に同試験におけるビード横割れの発生状況のスケッチおよび超音波探傷の結果の1例を示した。

表-3に潜弧自動溶接における拡散性水素量の測定結果の1例を示した。潜弧自動溶接での拡散性水素量はフラックスの種類およびフラックスの吸湿によって決まる。従ってHT70~80<sup>kg</sup>級高張力鋼では潜弧自動溶接でも低温割れが起ることがあるので溶接金属の強度を必要以上に高くしないことおよび溶接材料の選択を慎重に行なうことが必要である。

その他の低温割れとしてすみ肉溶接の割れがある。

図-14にすみ肉溶接継手の低温割れの種類を示した。

表-3 潜弧自動溶接における拡散性水素測定結果の1例

Wire and Flux	at Welding		Drying Condition	Number	Diffusible Hydrogen Av(cc/100gr)
	Temp.	Humidity			
Y-80ML×YF15*	16°C	67%	250°C×1hr	4	2.5
US80B×MF38*	12°C	78%	250°C×1hr	4	3.1
Y-80ML×YF200**	10°C	80%	250°C×1hr	4	4.7
Y-80ML×YF200**	—	—	250°C 1h Left in The Air for 2 days	4	5.2

\* Neutral fused type    \*\* Highly basic, fused type  
700A, 34~36V, 30cm/min

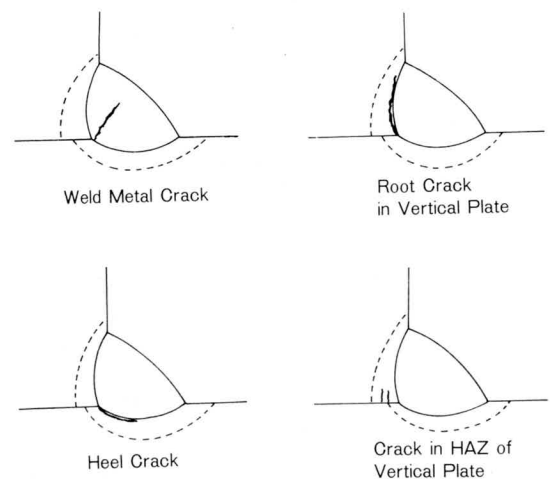
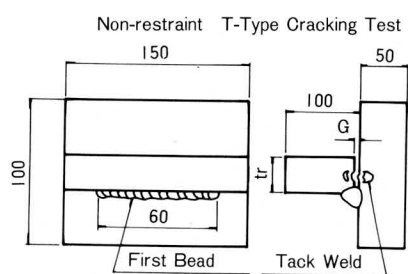
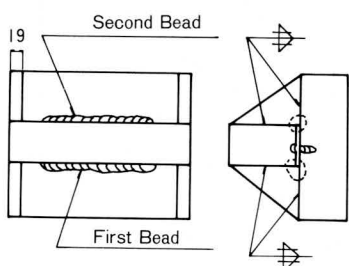


図-14 すみ肉継手の低温割れの種類



Welded Specimens were left for 48 hrs after first welding and Second beads were placed on the opposite side of the first bead.

Restraint T-Type Cracking Test



Cross Sectional Test

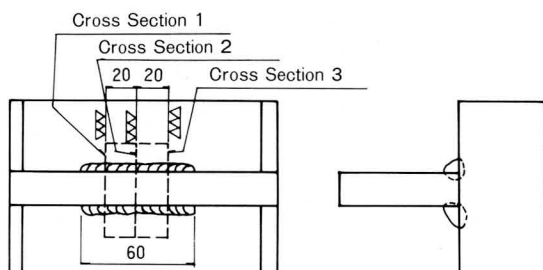


図-15 被覆アーク溶接のすみ肉溶接T型割れ試験方法

T-type Restraint Weld Cracking Test

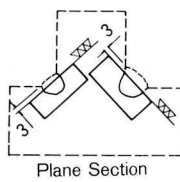
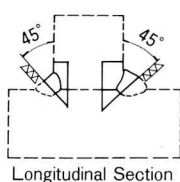
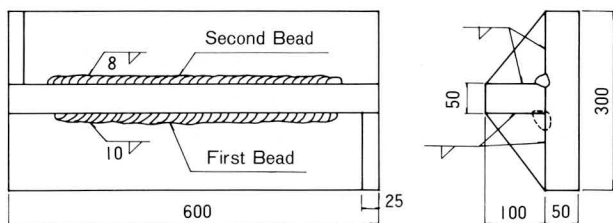


図-16 潜弧自動溶接のすみ肉溶接T型割れ試験方法

千葉工場におけるすみ肉溶接継手の低温割れ試験方法を図-15~16に示した。図-15のT型割れ試験は主として被覆アーク溶接または少入熱CO<sub>2</sub>溶接等に、図-16のT型割れ試験は潜弧自動溶接またはCO<sub>2</sub>溶接に用いられている。

表-4~6に、HT80における被覆アーク溶接および仮付け用CO<sub>2</sub>溶接のT型割れ試験の結果を示した。

表-7にHT80における潜弧自動溶接のT型割れ試験の結果を示した。

これらの結果を総合的に見ると割れ防止には下記の対策が有効であることが分る。

- 1) 拡散性水素量の低い溶接方法および溶接材料を用いる。
- 2) 軟質溶接材料を用いる。
- 3) 予熱を行なう。
- 4) ルートギャップ (G) を小さくする。  
(G ≈ 0 指向)

これらの結果と構造物の継手毎に拘束の大きな継手を明確にして、溶接施工標準を決め溶接割れ防止に万全を期している。

### (3) その他の溶接欠陥防止

溶接継手のうち非破壊検査(放射線透過試験又は超音波探傷試験)を行なう場合は別として、部分溶け込み継手およびすみ肉継手の溶接欠陥防止には施工保証によらざるを得ない。割れ以外の溶接欠陥は著しい場合は別として静的強度をそれ程損うものではないが疲労を考慮しなければならない場合は厳しい対応が要求される。

図-17に、かど継手の部分溶け込み継手ルート部に生じる溶接欠陥の模式図を示した。これらの防止対策については宮地技報NO. 1で詳しく述べたので、本報では省略するが溶接技量の向上は重要な要因である。特に溶接作業者の技量に頼るところの多い手溶接または半自動溶接を自動化していくことは溶接欠陥防止の主要な対策である。

千葉工場においては積極的に溶接の自動化に取り組んでいる。

表-4 T型割れ試験結果 (その1 80<sup>#</sup>級溶接棒使用)

Vertical Plate Thickness (mm)	Mark	Root Gap (mm)	Preheat Temp. (°C)	Cracking Percentage (%)										
				First Bead					Second Bead					
				Surface	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Sec. Av	Surface	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Sec. Av	
50 (HT80)	P-7	0	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-8	1	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-9	2	R・T	0	1~2	86	95	60	0	0	0	0	0	0
36 (HT80)	P-10	0	R・T	0	0	0	0	0	67	100	100	1~2	67	
	P-11	1	R・T	0	1~2	80	1~2	27	0	0	0	0	0	
	P-12	2	R・T	60	73	100	100	91	0	1~2	1~2	0	1~2	
25 (HT80)	P-13	0	R・T	0	0	0	0	0	50	100	1~2	0	33	
	P-14	1	R・T	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	
	P-41	1	50	0	0	0	0	0	0	0	0	80	21	
	P-42	1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	P-43	1	125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	P-15	2	R・T	70	100	100	100	100	0	95	68	0	54	
19 (HT80)	P-16	0	R・T	0	1~2	1~2	1~2	1~2	0	0	95	53	50	
	P-17	1	R・T	0	1~2	1~2	1~2	1~2	100	100	100	100	100	
	P-18	2	R・T	0	0	95	56	50	100	100	100	100	100	

Root Cracks in Vertical Plate or Weld Metal Cracks

表-5 T型割れ試験結果 (その2 軟鋼用溶接棒使用)

Vertical Plate Thickness (mm)	Mark	Root Gap (mm)	Welding Position	Preheat Temp. (°C)	Cracking Percentage (%)									
					First Bead					Second Bead				
					Surface	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Sec. Av	Surface	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Sec. Av
50 (HT80)	P-1	0	H	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-3	08	H	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-5	19	H	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36 (HT80)	P-2	0	H	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-4	08	H	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-6	2	H	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25 (HT80)	P-38	0	H	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-39	1	H	R・T	0	17	1~2	0	6	0	0	0	0	0
	P-33	1	V	R・T	0	50	40	40	43	0	0	0	0	0
	P-25	1	OH	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-40	2	H	R・T	(100)	(100)	(100)	(100)	(100)	0	0	0	0	0
19 (HT80)	P-35	0	H	R・T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-36	1	H	R・T	0	45	20	12	29	0	0	0	0	0
	P-44	1	H	R・T	0	30	0	0	10	—	—	—	—	—
	P-45	1	H	50	0	1~2	0	0	1~2	—	—	—	—	—
	P-46	1	H	75	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—
	P-47	1	H	100	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—
	P-37	2	H	R・T	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—

Heel Cracks ( ) Weld Metal Cracks

H; Fillet Weld in The Horizontal Position  
 V; in The Vertical Position  
 OH; in The Overhead Position



表-6 T型割れ試験結果 (その3 CO<sub>2</sub>溶接)

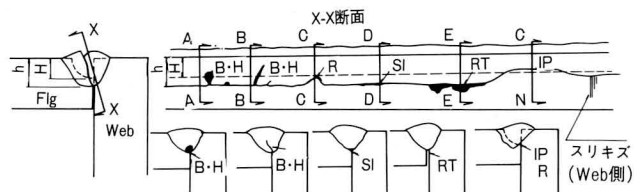
Vertical Plate Thickness (mm)	Mark	Root Gap (mm)	Welding Position	Preheat Temp. (°C)	Cracking Percentage (%)										
					First Bead					Second Bead					
					Surface	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Sec. Av	Surface	Sec. 1	Sec. 2	Sec. 3	Sec. Av	
25	P-27	I	H	R · T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-28	I	H	R · T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-29	I	V	R · T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-30	I	V	R · T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-31	I	OH	R · T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	P-32	I	OH	R · T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

H; Fillet Weld in The Horizontal Position  
 V; in The Vertical Position  
 OH; in The Overhead Position

表-7 HT80T型割れ試験結果(その4 潜弧およびMIG自動溶接)

Welding Procedure	Strength of Wire (kg/mm <sup>2</sup> )	Preheating Temp (°C)	Mark	Surface	During machine working	Cross Section		Longitudinal Section	Plane Section	Hv of Weld Metal
						1	2			
SUB	60	50	M-7-1	○	○	○	○	○	○	246
			M-7-2	○	○	○	○	○	○	256
	60	Room Temp.	M-13-1	○	●	○	○	○	○	254
			M-13-2	▲	▲	○	○	○	○	252
	80	100	M-5-1	○	○	○	○	○	○	255
			M-5-2	○	○	○	○	○	○	255
80	50	M-6-1	○	○	○	○	○	○	257	
		M-6-2	○	○	○	○	○	○	255	
MIG	60	Room Temp.	M-8-1	○	○	○	○	○	○	237
			M-8-2	○	○	○	○	○	○	251
	80	Room Temp.	M-9-1	○	●	○	○	○	▲	287
			M-9-2	▲	▲	■	■	●	▲	307
	80	50	M-10-1	○	●	○	○	○	○	265
			M-10-2	○	○	○	○	○	○	284
	80	Room Temp.	M-11-1	○	○	○	○	○	○	274
			M-11-2	○	○	○	○	○	○	271
80	50	M-12-1	○	○	○	○	○	○	273	
		M-12-2	○	○	○	○	○	○	269	

○No Crack ● Transverse Cracks ▲ Longitudinal Cracks ■ Root Cracks



A-A 球状ブローホール D-D スラグ巻き込み  
 B-B パイプ状ブローホール E-E 垂れ込み  
 C-C 溶込み不整及び不足

図-17 ルート部溶接欠陥の模式図

## 5. あとがき

溶接の標準化は全てきめの細かい標準化実験に基づき制定されているが、標準はあくまで標準であり全てのケースに対応出来るものではない。標準が制定された意義およびその限界を知ることは非常に重要なことである。

本報では、これらのことを考慮して全て千葉工場で行なった実験結果を基に溶接継手の品質保証の立場から、調質高張力鋼の溶接について解説を加えた。若干まとまりのない記述になってしまったが、意のあるところを読み取って今後の溶接設計および溶接施工に少しでも役に立てば幸いである。