

橋梁用予熱低減型／大入熱溶接用 SM570Q鋼溶接施工試験

横山 幸夫¹⁾ 庄山 修²⁾ 佐藤 健一³⁾

最近、橋梁用の予熱低減型／大入熱溶接用SM570Q鋼が開発され、実際の工事に適用されている。本試験は、現場溶接継手を対象とした実物大試験体を製作し、その継手性能の調査・検討を行ったものである。

まえがき

現在、鋼橋は、外国企業および他構造形式との競合などから、コストダウンを目指した設計・製作方法が要求されている^{1)~3)}。その一方策として、構造形式を多数主桁構造から少数主桁構造に、また、現場継手を溶接接合とする形式が考えられる。この場合、設計の観点から主要部材に使用する鋼材の極厚化および高強度化が考えられる。さらに、製作および現場工事の観点から溶接施工性の良好な鋼材が求められるが、最近、橋梁用の予熱低減型で大入熱溶接用のSM570Q鋼が開発され、実際の工事に適用されている。

本報告は、SM570Q鋼を用いた現場溶接継手のI桁実物大試験体を製作し、その継手性能の調査・検討を行ったものである。

1. 試験体

図-1に試験体の形状・寸法を示す。試験体は、断面の形状・寸法をI-3000×700×28×75としたI桁橋の実物大モデルであり、現場溶接部を試験の対象としている。用いた鋼材はすべてSM570Q鋼で、その機械的性質および化学成分を表-1に示す。フランジの溶接は下向き姿勢の炭酸ガスシールドアーク溶接(CO₂溶接)とし、また、腹板の溶接は能率化を図った立向姿勢のエレクトロガスアーク溶接(EGW)を使用し、板

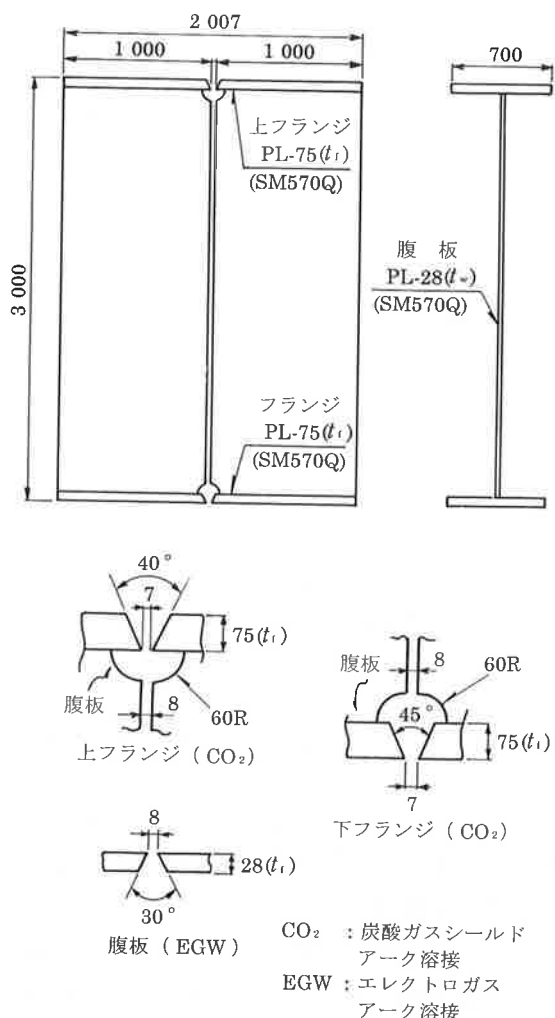


図-1 試験体の形状および寸法

1) 東京工場技術部技術課課長 2) 富津工場橋梁部次長 3) 東京工場技術部技術課

表-1(a) 鋼材の機械的性質

材 質	板 厚 (mm)	引 張 試 験			衝 撃 試 験
		降 伏 点 (N/mm ²)	引 張 強 さ (N/mm ²)	伸 び (%)	シャルピー吸収エネルギー (J)
SM570Q	28	548	624	49	363
	75	559	648	31	332

- [注] 1) 鋼材メーカー：NKK
 2) 試験片および採取位置は JIS G 3106 による。
 3) 衝撃試験の試験温度：-5℃

表-1(b) 鋼材の化学成分 (mass %)

材 質	板厚 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Ceq	PCM
SM570Q	28	0.08	0.22	1.34	0.008	0.001	0.32	0.163
	75	0.09	0.26	1.46	0.006	0.001	0.40	0.191

- [注] 1) $Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$ (%)
 2) $PCM = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$ (%)

表-2 溶接材料

	規 格		銘 柄	ワイヤ径	備 考
炭酸ガスシールドアーク溶接	JIS Z 3312	YGW21	MG-60	1.4 φ	・フランジ
	JIS Z 3313	YFW-C602R	DW-60	1.2 φ	・腹板残し部
エレクトロガスアーク溶接	JIS Z 3319	YFEG-32C 該当	DWS-60G	1.6 φ	・腹板

- [注] 1) 溶材メーカー：神戸製鋼所

表-3 溶 接 記 録

溶接部位	上フランジ	下フランジ	腹 板	腹板残し部溶接
溶 接 方 法	炭酸ガスシールドアーク溶接	炭酸ガスシールドアーク溶接	エレクトロガスアーク溶接	炭酸ガスシールドアーク溶接
姿 勢	下 向	下 向	立 向	立 向
溶 接 装 置	自 動	半自動	自 動	半自動
溶 接 材 料	MG-60	MG-60	DWS-60G	DW-60
ワ イ ヤ 径	1.4 φ	1.4 φ	1.6 φ	1.2 φ
シールドガス	CO ₂ 100 %	CO ₂ 100 %	CO ₂ 100 %	CO ₂ 100 %
裏 当 材	FBB-3A	FBB-3A	KL-4GT	FBB-3T
層 数	14	13	1	5
パ ス 数	38	35	1	6
電 流 (A)	300	300	360	200
電 圧 (V)	34	36	41	25
速度 (cm/min)	20	17.5 ~ 20	6.6	8.7 ~ 14.5
入熱量 (kJ/cm)	30.6	31.5 ~ 36	134	20.7 ~ 32.8
パス間温度	207℃以下	156℃以下	—	137℃以下

厚28mmで長さ2,600mmの溶接線を1パス約40分で行った。なお、腹板およびフランジの溶接は、裏当材を用いた裏波溶接としている。表-2に溶接材料を、表-3に溶接記録、また腹板のEGW溶接の状況を写真-1に示す。その溶接は、下フランジ、上フランジ、腹板の順に行い、鋼材の溶接割れ感受性組成 P_{CM} がフランジ、腹板ともに0.29%以下であるために予熱なしとした⁴⁾。最大溶接入熱は、フランジのCO₂溶接で36kJ/cm、腹板の

EGW溶接で134kJ/cmであった⁴⁾。溶接終了後、道路橋示方書・同解説⁴⁾に示す。溶接施工試験の試験項目を基本としてフランジおよび腹板の溶接部から各種の試験片を採取して、引張試験、衝撃試験、側曲げ試験、マクロ試験および非破壊試験を行った。表-4に試験項目を、図-2に試験片の採取位置を示す。

本試験では、特に、70kJ/cmを超え、130kJ/cm程度の溶接入熱が加えられ、溶接熱影響部の軟化

が考えられる腹板のEGW溶接部に着目している。既往の研究結果によると、溶接金属の強度が母材の強度と比べて低いundermatching継手（軟質溶接継手）において平板継手の引張強度は、 $H/t(H$:軟質部の厚さ、 t :母材の板厚)と $w/t(w$:板幅)に依存し、また w/t が7程度以上になると、 w/t に無関係に一定の値になるとされている⁵⁾。大入熱溶接により溶接熱影響部に軟化域が生じ、その幅が一定に発生した場合のEGW溶接部の引張強度が、母材の規格値を満足する w/t および一定となる w/t を調査するために、平行部の幅を実験変数とした継手引張試験を行った。

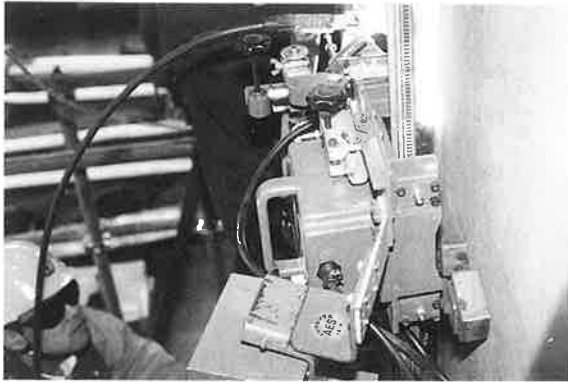


写真-1 腹板の溶接状況

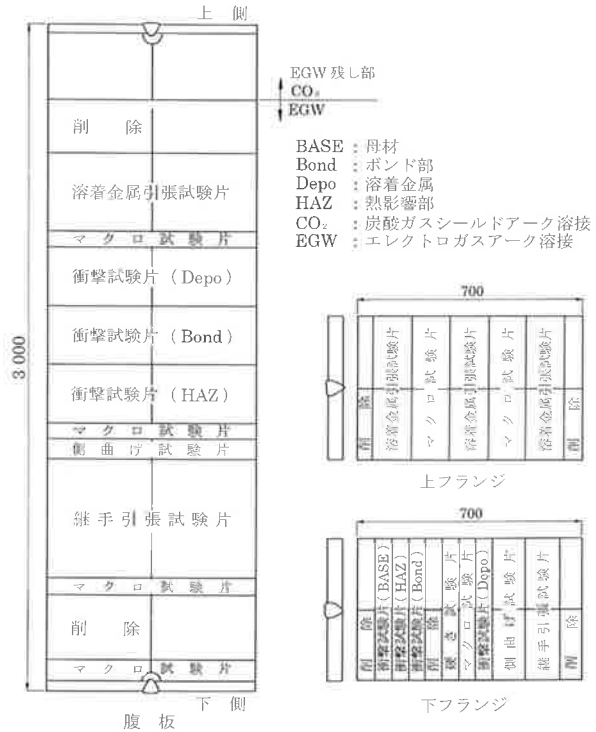


図-2 試験片採取位置

2. 試験結果およびその考察

(1) 腹板エレクトロガスアーク溶接部 (EGW 溶接)

表-5に、継手引張試験結果を示す。T1試験片

表-4 試験項目一覧

試験部位	試験項目	試験片の形状	試験片採取位置	試験片個数	試験方法
腹板 (EGW)	継手引張試験	JIS Z 3121, 1号	—	2	JIS Z 2241
		" ,1A号	—	2	"
		JIS Z 3121,1A号に準じ、幅を7, 14, 28, 56, 96 mmと変化させた試験片	—	各1	"
	溶着金属引張試験	JIS Z 3111, A2号	板厚の1/4の位置	3	"
	側曲げ試験	JIS Z 3122	—	2	JIS Z 3122
	衝撃試験	JIS Z 2202, 4号	板厚の1/4の位置で Depo, Bond, HAZ 各部	各3	JIS Z 2242
	マクロ試験	—	—	4	JIS G 0553 に準ずる
フランジ (CO ₂)	放射線透過試験	—	—	継手全長	JIS Z 3104
	継手引張試験	JIS Z 3121, 1号	—	2	JIS Z 2241
	溶着金属引張試験	JIS Z 3111, A2号	板厚の1/4の位置と3/4の位置	各3	"
	側曲げ試験	JIS Z 3122	—	2	JIS Z 3122
	衝撃試験	JIS Z 2202, 4号	板厚の1/4と3/4の位置で Depo, Bond, HAZ 各部	各3	JIS Z 2242
	マクロ試験	—	上フランジ: 2カ所 下フランジ: 1カ所	3	JIS G 0553 に準ずる
超音波探傷試験	—	—	継手全長	JIS Z 3060	

は一般的に溶接施工試験⁴⁾で用いられる平行部の幅が25mmで、平行部の長さを溶接金属から6mmとした JIS Z 3121,1号試験片(JIS型試験片)で、その引張強さは母材の規格値を満足した。また、T2試験片は平行部の幅が25mmで、平行部の長さを溶接金属から30mmとした JIS Z 3121,1A号試験片(ISO型試験片)で、その引張強さも母材の規格値を満足した。JIS型試験片とISO型試験片を比較した場合、引張強さに相違は少なく、平行部の長さによる影響は、本試験の範囲では少ないと考えられる。

T2~T7試験片は、平行部の幅のみを変化させた試験片で、平行部の幅が $t_w/2$ 以下のT3およびT4試験片で母材の引張強さの規格値を満足していない。これは、図-3のEGW溶接部の硬さ分布にも示されるように、熱影響部に軟化域が生じているためと考えられる。なお、EGW溶接部熱影響部で、母材の規格値を満足しない(178HV未満)と考えられる軟化域の幅は約10mmと考えられる。ここで、図-4に引張強さと平行部の幅との関係を示す。図より、試験片の平行部の幅が板厚の約0.6倍以上の場合、継手の引張強さは母材の引張

表-5 エレクトロガスアーク溶接部の引張試験結果

試験片 No.	試験片の形状	平行部の幅: W(mm)	引張強さ (N/mm ²)	破断位置	備考
T1	JIS Z 3121,1号	25	582 586	HAZ HAZ	
T2	JIS Z 3121,1A号	25	579 582	HAZ HAZ	ISO4136による試験片 $w=0.89t_w$
T3	平行部の幅以外	7	548	HAZ	$W=t_w/4$
T4		14	565	HAZ	$W=t_w/2$
T5	JIS Z 3121,1A号	28	582	HAZ	$W=t_w$
T6	に準ずる。	56	596	HAZ	$W=2t_w$
T7		98	594	HAZ	$W=3.5t_w$

[注] 1) t_w : 腹板の板厚 2) HAZ: 熱影響部
3) 試験片の形状

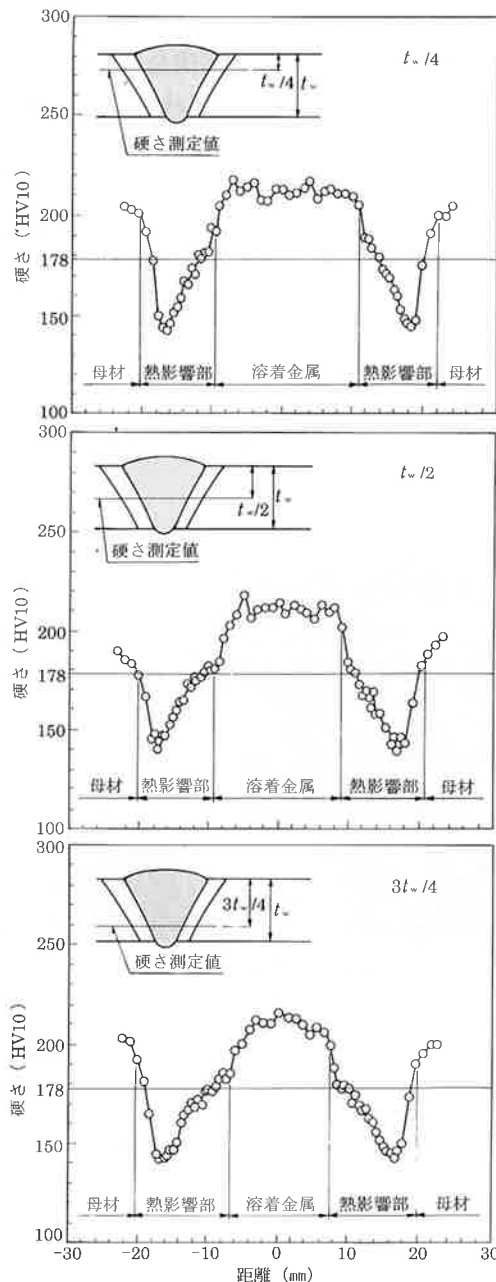
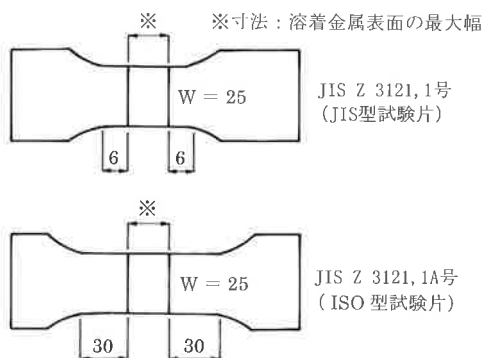


図-3 エレクトロガスアーク溶接部の硬さ分布

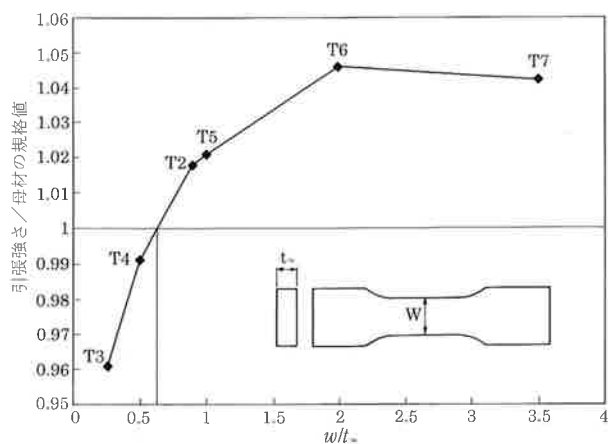


図-4 引張強さと試験片幅との関係

強さの規格値を満足し、2倍以上の場合、一定の値となると考えられる。以上から130kJ/cm程度の溶接入熱を加えた板厚28mmのSM570Q鋼の電極付ガスアーク溶接部においては、継手性能への熱影響部の軟化による影響はほとんどないものと考えられる。

表-6に溶着金属引張試験結果を示す。降伏点は、すべて569N/mm²以上、引張強さは659~673N/mm²の値を示し、母材の規格値を満足した。

表-7および図-5に衝撃試験結果を示す。溶着金属およびボンド部では試験温度-20℃において、熱影響部では-80℃において、シャルピー吸収エネルギーは、母材の規格値(47J)以上の値を示し、EGW溶接の大入熱による溶接部の脆化はな

いものと思われる。

写真-2に側曲げ試験結果例を、写真-3にマクロ試験結果例を示す。側曲げ試験ではすべての試験片において180°に曲げられた外面に欠陥はなく、曲げ性状はすべて良好であった。マクロ試験では、すべての試験片において溶込み良好で無欠陥であった。

JIS Z 3104に従い、継手全長にわたり、放射線透過試験を行い、欠陥のないことが確認された。

(2) フランジの炭酸ガスシールドアーク溶接部 (CO₂溶接)

表-8に継手引張試験結果を示す。引張強さは660~672N/mm²と母材の規格値を満足した。

表-6 エレクトロガスアーク溶接部の溶着金属引張試験

試験片形状	採取位置	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	試験片採取位置
JIS Z 3111,A2号	t _w /4	569	659	31	69	
		574	673	30	70	
		576	666	29	71	

表-7 エレクトロガスアーク溶接部の衝撃試験結果

採取位置	温度	シャルピー吸収エネルギー (J)					試験片採取位置
		+20℃	-5℃	-20℃	-40℃	-60℃	
t _w /4	溶着金属	126(10)	124(10)	71(37)	34(57)		
	ボンド部	209(20)	130(40)	78(50)	46(57)		
	熱影響部中央		311(0)		275(18)	174(45)	

注 () 内は数値は、脆性破面率 (%) を示す。

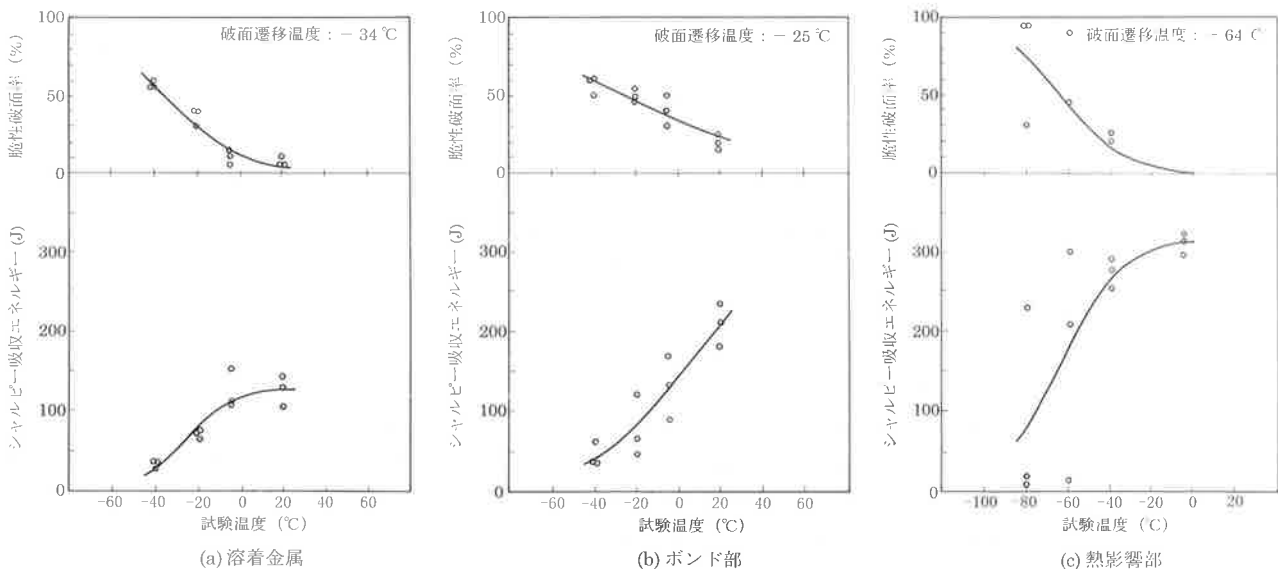


図-5 エレクトロガスアーク溶接部の衝撃試験結果

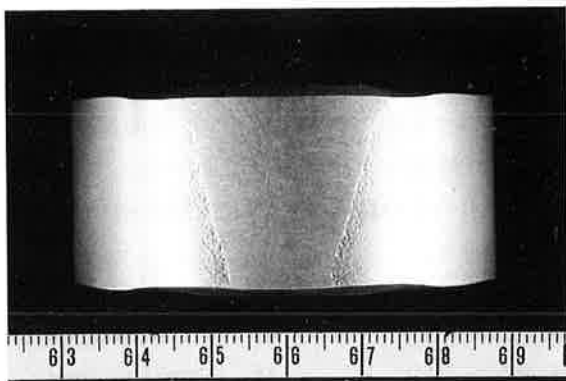


写真-2 エレクトロガスシールドアーク溶接部
側曲げ試験結果例

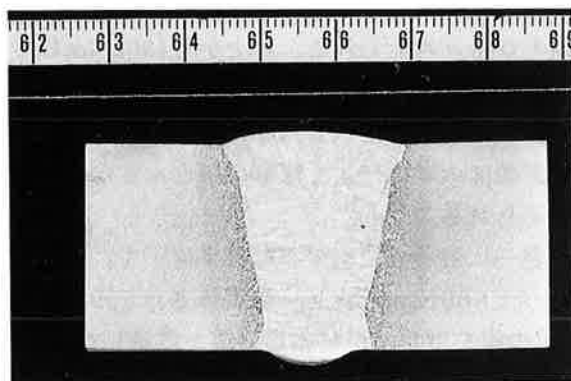


写真-3 エレクトロガスアーク溶接部
マクロ試験結果例

表-8 炭酸ガスシールドアーク溶接部
継手引張試験結果

試験片形状	引張強さ (N/mm ²)	破断位置
JIS Z 3121,1号	660	母材
	672	母材

表-9に溶着金属引張試験結果を示す。降伏点は603N/mm²以上、引張強さは674~707N/mm²と母材の規格値を満足した。

表-10に衝撃試験結果を示す。試験温度-5℃で、溶接部各部のシャルピー吸収エネルギーはすべて69J以上の値を示し、母材の規格値を満足した。

写真-4に側曲げ試験結果例を、写真-5にマクロ

試験結果例を示す。側曲げ試験では180°に曲げられた外面に欠陥はなく、側曲げ性状はすべて良好であった。マクロ試験では、すべての試験片において溶込み良好で無欠陥であった。

JIS Z 3060に従い、継手全長にわたって超音波探傷試験を行い、欠陥のないことを確認した。

3. まとめ

橋梁用予熱低減型／大入熱溶接用SM570Q鋼を用いてI桁橋現場溶接を対象とした実物大の試験体を製作し、溶接部の継手性能を調査、検討し、以下のことが確認された。

表-9 炭酸ガスシールドアーク溶接部溶着金属引張試験結果

試験片形状	採取位置	降伏点 (N/mm ²)		引張強さ (N/mm ²)		伸び (%)		試験片採取位置
		610	610	679	678	29	30	
JIS Z 3111,A2号	$t_r/4$	603	674	30	66			
		659	707	30	71			
		649	695	27	66			
	$3t_r/4$	660	707	28	66			
		649	695	27	66			
		660	707	28	66			

表-10 炭酸ガスシールドアーク溶接部衝撃試験結果

採取位置	温度	シャルピー吸収エネルギー (J)				試験片採取位置
		-5℃	-20℃	-40℃	-60℃	
$t_r/4$	溶着金属	80(35)	62(53)	38(57)		
	ボンド部	150(30)	98(45)	42(70)		
	熱影響部中央	324(0)		319(0)	317(0)	
$3t_r/4$	溶着金属	69(37)	54(50)	26(63)		
	ボンド部	205(15)	262(12)	149(35)		
	熱影響部中央	313(0)		316(0)	250(20)	

[注] 1) ()内の数値は、脆性破面率(%)を示す。

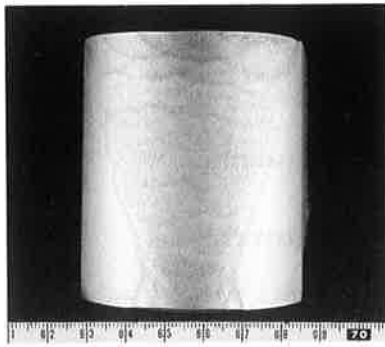


写真-4 炭酸ガスシールドアーク溶接部
側曲げ試験結果例

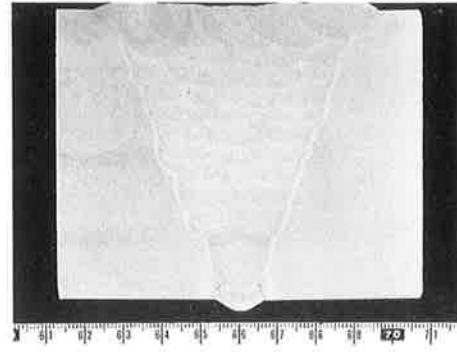


写真-5 炭酸ガスシールドアーク溶接部
マクロ試験結果例

- (1) 腹板の電極ガスアーク溶接部
- 1) 溶接は予熱なしで行い，最大溶接入熱は 134kJ/cmであった。
 - 2) 継手引張試験において，引張強さは試験片の平行部の幅が板厚の約 0.6 倍以上の場合，母材の規格値を満足すると考えられ，大入熱による熱影響部の軟化が与える影響はほとんどないと考えられる。
 - 3) 溶着金属引張試験において，すべて降伏点および引張強さは母材の規格値を満足した。
 - 4) 衝撃試験結果において，溶接部各部のシャルピー吸収エネルギーは，すべて-5℃で 90J 以上と母材の規格値を満足し，大入熱溶接による脆化はないものと考えられる。
 - 5) 側曲げ試験において，曲げられた外面に，欠陥は観察されなかった。
 - 6) マクロ試験において，すべて溶込み良好，無欠陥であった。
 - 7) 放射線透過試験において，溶接部は欠陥のないことが確認された。
- (2) フランジの炭酸ガスシールドアーク溶接部
- 1) 溶接は予熱なしで行い，最大溶接入熱は 36kJ/cmであった。
 - 2) 継手引張試験において，すべて引張強さは母材の規格値を満足した。
 - 3) 溶着金属引張試験において，すべて降伏点および引張強さは母材の規格値を満足した。
 - 4) 衝撃試験結果において，溶接部各部のシャルピー吸収エネルギーは，すべて-5℃で 67J 以上と母材の規格値を満足した。
 - 5) 側曲げ試験において，曲げられた外面に，欠陥は観察されなかった。

- 6) マクロ試験において，すべて溶込み良好，無欠陥であった。
 - 7) 超音波探傷試験において，溶接部は欠陥のないことが確認された。
- 以上から，橋梁用予熱低減型／大入熱溶接用 SM570Q鋼を使用した現場溶接部の継手性能に対する資料が得られたと考えられる。

あとがき

本溶接施工試験は，駒井鉄工株式会社とNKK鉄鋼事業部との共同研究で行ったものであり，関係各位に謝意を表す。また，溶接は株式会社神戸製鋼所溶接事業部にお願いしました。特に，NKKの松浦敏夫氏，石川博氏，大森俊道氏，および神戸製鋼所の青木貞夫氏，中野利彦氏には，お世話になりました。紙面を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省道路局国道課監修，土木工事積算研究会編著：鋼道路橋数量集計マニュアル（案），（財）建設物価調査会，pp.147-171，1995.10.
- 2) （社）日本道路協会：第 21 回日本道路会議特定課題論文集，pp.88-94，1995.10.
- 3) 西川和廣：橋梁分野における材料利用技術課題，（社）日本鉄鋼協会，pp.233-244，1996.2.
- 4) （社）日本道路協会：道路示方書・同解説，Ⅰ共通編，Ⅱ鋼橋編，pp.385-412，1996.12.
- 5) 佐藤邦彦・向井喜彦・豊田政男：溶接工学，理工学社，pp.212-215，1979.