
橋梁用厚板耐候性高張力鋼の溶接施工法試験

Experiments on the Welding Properties and Processes of Atmospheric Corrosion Resisting High Strength Steel

大庭 浩(Hirosi Oba) 高野 哲郎(Tetsuro Takano)

要旨：

耐候性鋼材を用いて溶接構造物を製作する場合には、使用鋼材の溶接性や溶接施工法について十分検討する必要がある。本研究は、引張強さが 41, 50 および 60kg/mm² 級の耐候性鋼 RIVER TEN を用いて、その使用性能ならびに工作性を確認するため、つぎの項目について試験を行なった。(1)溶接最高硬さ試験 (2)溶接割れ感受性試験、溶接ビード曲げ試験 y 型溶接割れ試験 仮付溶接割れ試験 (3)溶接継手性能試験、標準条件溶接継手性能試験 突合せ溶接継手性能試験 十字型溶接継手性能試験 (4)すみ肉施工試験 (5)交差部継手模型試験 以上の諸試験の結果供試鋼材はいずれも溶接構造用鋼と同等の溶接性を有することがわかった。また溶接施工に対するいくつかの指針が得られた。

Synopsis：

In case of using atmospheric corrosion resisting steel for steel structure, it is essential to closely investigate the steel's welding properties and the welding processes. This paper treats the results of various tests listed below, which were conducted on the specimen plates taken from the atmospheric corrosion resisting steel RIVER TEN of 41, 50 and 60 kg/mm² class high tensile strength respectively, in order to confirm their weldability and workability. (1) Maximum hardening test of weld parts (2) Weld ductility tests (Bead bend test, Y-type restraint cracking test, Cracking test) (3) Weld joint tests (Standard weld joint test, Butt weld joint test, Cross-weld joint test) (4) Fillet weld joint test (5) Weld joint model test. The above tests showed that the RIVER TEN atmospheric corrosion resisting steels were fully qualified as weldable structural steels, as they possessed all the specified properties of JIS G 3106 "Rolled Steel for Welded Structure". The tests also gave us several important clues to the welding processes for steel structures.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

橋梁用厚板耐候性高張力鋼の溶接施工法試験

Experiments on the Welding Properties and Processes of
Atmospheric Corrosion Resisting High Strength Steel大 庭 浩*
Hirosi Oba高 野 哲 郎**
Tetsuro Takano

Synopsis:

In case of using atmospheric corrosion resisting steel for steel structure, it is essential to closely investigate the steel's welding properties and the welding processes.

This paper treats the results of various tests listed below, which were conducted on the specimen plates taken from the atmospheric corrosion resisting steel **RIVER TEN** of 41, 50 and 60 kg/mm² class high tensile strength respectively, in order to confirm their weldability and workability.

- (1) Maximum hardening test of weld parts
- (2) Weld ductility tests
 - Bead bend test
 - Y-type restraint cracking test
 - Cracking test
- (3) Weld joint tests
 - Standard weld joint test
 - Butt weld joint test
 - Cross-weld joint test
- (4) Fillet weld joint test
- (5) Weld joint model test

The above tests showed that the **RIVER TEN** atmospheric corrosion resisting steels were fully qualified as weldable structural steels, as they possessed all the specified properties of JIS G 3106 "Rolled Steel for Welded Structure." The tests also gave us several important clues to the welding processes for steel structures.

1. 緒 言

鋼橋における耐候性鋼材の普及は数年来、著しいものがあり、昭和43年4月、JIS規格において「溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材」規格の制定を

みるにおよんで、さらに新時代を迎えたと考えられ、しだいに大型かつ重要な構造部に適用されることが多くなった。しかし耐候性高張力鋼は、「溶接構造用圧延鋼材」に比べて、C当量がやや高くなる傾向があり、また耐候性向上のために、Cu、Crその他の合金成分が添加されているので、そ

* 川崎重工業株式会社野田工場次長兼工作部長

** 神戸鋼材技術室 課長

3. 試験方法および試験結果

3.1 母材試験

母材の外観および内部検査の結果は何等欠陥は

認められず、また非金属介在物試験でもきわめて
 清浄度が高く健全な鋼材であった。供試材の化学
 成分を表4に、顕微鏡組織を写真1に示す。

(1) 引張試験

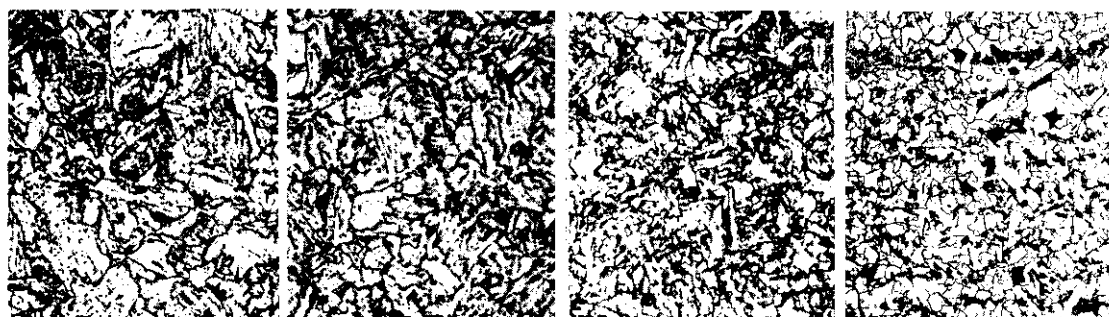
試験片は鋼板の圧延方向(X方向)とそれに直

表4 供試鋼板の化学成分

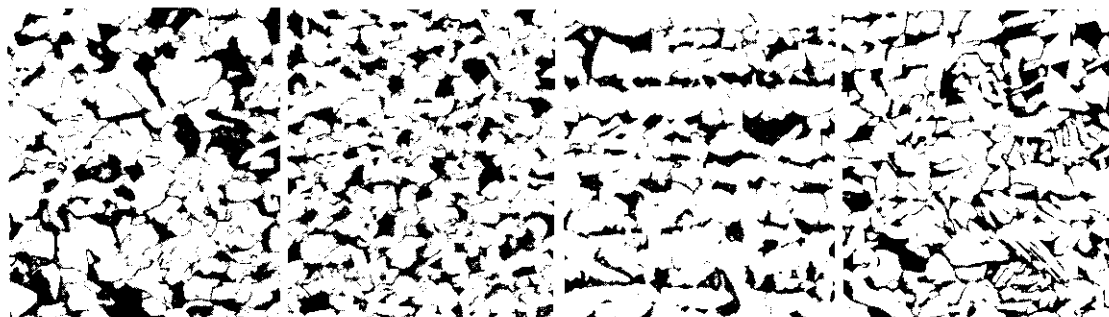
鋼種	板厚mm	分析	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Nb	Al	Ceq
SMA58Q	50	取鍋	0.14	0.47	0.93	0.014	0.010	0.23	0.40	0.35	0.09	0.049	0.016	0.027	0.424
		照合	0.14	0.47	0.92	0.015	0.009	0.23	0.38	0.33	0.082	0.046	0.019	0.035	0.413
SMA58Q	38	取鍋	0.14	0.45	0.93	0.011	0.008	0.25	0.41	0.34	0.12	0.029	0.018	0.022	0.424
		照合	0.14	0.44	0.94	0.012	0.008	0.25	0.41	0.33	0.105	0.032	0.021	0.027	0.419
SMA58Q	25	取鍋	0.13	0.38	0.96	0.019	0.007	0.23	0.29	0.36	0.11	0.030	0.019	0.026	0.415
		照合	0.14	0.39	0.99	0.021	0.009	0.24	0.27	0.35	0.100	0.032	0.023	0.031	0.425
SMA50C	50	取鍋	0.13	0.46	1.07	0.011	0.007	0.29	0.17	0.35	0.03	—	0.017	0.029	0.409
		照合	0.13	0.49	1.09	0.011	0.008	0.28	0.15	0.34	0.016	0.002	0.016	0.034	0.408
SMA50B	38	取鍋	0.13	0.42	0.95	0.009	0.007	0.22	0.29	0.36	—	—	0.014	0.024	0.385
		照合	0.14	0.45	0.97	0.010	0.007	0.22	0.21	0.33	—	—	0.013	0.031	0.395
SMA50B	25	取鍋	0.13	0.42	0.95	0.009	0.007	0.22	0.29	0.36	—	—	0.014	0.024	0.385
		照合	0.14	0.44	0.96	0.010	0.006	0.22	0.30	0.36	—	—	0.013	0.031	0.398
SMA41C	50	取鍋	0.12	0.92	0.87	0.009	0.017	0.24	0.15	0.33	—	—	—	—	0.336
		照合	0.13	0.92	0.89	0.009	0.017	0.26	0.16	0.35	—	—	tr.	0.002	0.353
耐候性SS41	22	取鍋	0.16	0.03	0.82	0.009	0.021	0.25	0.01	0.01	—	—	—	—	0.300
		照合	0.17	0.03	0.88	0.009	0.021	0.25	0.02	0.01	—	—	tr.	0.001	0.321

注1 $Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

注2 ()内の分析値は特に合金元素として添加したものではない。



(a) SMA58Q, 板厚50mm (b) SMA58Q, 板厚38mm (c) SMA58Q, 板厚25mm (d) SMA50C, 板厚50mm



(e) SMA50B, 板厚38mm (f) SMA50B, 板厚25mm (g) SMA41C, 板厚50mm (h) 耐候性SS41, 板厚22mm

写真1 供試鋼板の顕微鏡組織

角方向(Y方向)の場合は JIS Z2201(金属材料引張試験片)による1号または4号試験片を用い、4号試験片は板厚の4/5部から採取した。板厚方向(Z方向)の場合に図1に示す長ゲージおよび短ゲージの試験片を用いた。試験はいずれの試験片の場合も JIS Z2241(金属材料引張試験方法)にもとづいて行なった。

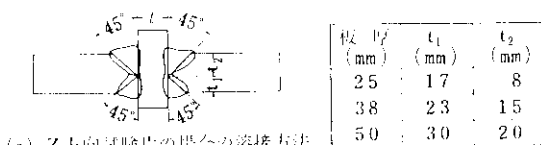
試験結果は、表5(a)、(b)に示したように、どの供試材についても X、Y 方向にかかわらず規格値を十分満足しており、また Z 方向の引張強さおよび降伏点も X、Y 方向と大差ない良好な値を示した。

(2) 曲げ試験

曲げ試験は JIS Z2204(金属材料曲げ試験片)による1号試験片(試験片幅35mm)を用い、JIS Z2248(曲げ試験方法)の押曲げ法にもとづいて行なった。試験条件は各鋼板規格にもとづき、SMA41C 内側曲げ半径 $R=1.0t$ (t =板厚)

で、他の鋼種はすべて $R=1.5t$ とし、いずれも曲げ角度 180° まで曲げた。

試験結果を表5(a)、(b)に示す。どの鋼種、板厚についても、X、Y 方向とも割れ発生はみら



板厚 (mm)	平均長 (mm)	標点距離 (mm)
25	19	19
38	32	32
50	44	44

板厚 (mm)	平均長 (mm)	標点距離 (mm)
25	220	200
38	220	200
50	220	200

(c) Z方向長ゲージ試験片

図1 Z方向引張試験片

表5(a) 母材引張および曲げ試験結果

鋼種	板厚 mm	方向	引張試験				試験片 JIS4号	試験片 JIS4号
			降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	耐力比		
SMA580Q	50	X	58.0	66.9	30A	67	JIS4号	良
			59.0	66.8	31A	68		
		Y	58.7	67.1	29A	68		
			58.9	67.0	28A	68		
		Z	58.5	68.5	11Z	68		
			57.5	66.2	11W	68		
	38	X	58.2	66.1	10W	80	JIS4号	良
			57.5	67.1	32A	80		
		Y	59.5	67.1	28A	80		
			58.8	66.9	27B	80		
		Z	58.1	68.0	9Z	80		
			59.0	66.5	11Z	80		
SMA580	25	X	57.6	68.73	27A	80	JIS4号	良
			57.9	67.3	35A	80		
		Y	58.2	67.3	36A	80		
			58.2	67.2	31A	80		
		Z	57.6	67.6	32Z	80		
			57.7	64.6	16X	80		
	50	X	57.3	62.9	38A	70	JIS4号	良
			56.3	65.3	17A	70		
		Y	56.3	62.1	10A	70		
			56.5	62.1	13A	68		
		Z	53.9	36Z				
			53.6	36Z				

表5(b) 母材引張および曲げ試験結果

鋼種	板厚 mm	方向	引張試験				試験片 JIS4号	試験片 JIS4号
			降伏点 kg/mm ²	引張強さ kg/mm ²	伸び %	耐力比		
SMA580Q	50	X	58.0	66.9	30A	67	JIS4号	良
			59.0	66.8	31A	68		
		Y	58.7	67.1	29A	68		
			58.9	67.0	28A	68		
		Z	58.5	68.5	11Z	68		
			57.5	66.2	11W	68		
	38	X	58.2	66.1	10W	80	JIS4号	良
			57.5	67.1	32A	80		
		Y	59.5	67.1	28A	80		
			58.8	66.9	27B	80		
		Z	58.1	68.0	9Z	80		
			59.0	66.5	11Z	80		
SMA580	50	X	57.6	68.73	27A	80	JIS4号	良
			57.9	67.3	35A	80		
		Y	58.2	67.3	36A	80		
			58.2	67.2	31A	80		
		Z	57.6	67.6	32Z	80		
			57.7	64.6	16X	80		
	38	X	57.3	62.9	38A	70	JIS4号	良
			56.3	65.3	17A	70		
		Y	56.3	62.1	10A	70		
			56.5	62.1	13A	68		
		Z	53.9	36Z				
			53.6	36Z				
耐震用 S541	50	X	57.4	44.3	30A	62	JIS4号	良
			57.4	44.3	30A	62		
		Y	57.7	44.3	30A	58		
			57.5	44.3	30A	59		
		Z						

注1 表中Z方向試験片の破断位置は次の記号で示した。

Z : 供試材のZ方向に垂直に破断した。

X : 供試材のX方向に垂直に破断した。

W : 供試材の溶接金属に破断した。

れず良い成績を示している。

(3) 衝撃試験

JIS Z2202 (金属材料衝撃試験片) による 4 号試験片 (2 mmV ノッチ) を用い、JIS Z2242 (金属材料衝撃試験方法) に基づいて試験した。なお、試験片の採取位置は図 2 に示したように、X および Y 方向の場合は板厚の $\frac{1}{4}$ 部および $\frac{1}{2}$ 部、Z 方向の場合には、各鋼種とも、板厚の $\frac{1}{4}$ 部から採取した。

試験結果を表 6 に、板厚 50mm の SMA 58Q、SMA 50C および SMA 41C の遷移曲線を図 3 (a), (b), (c) に示す。試験の結果はいずれの鋼種についても、X、Y 方向とも規格値を十分満足している。板厚の $\frac{1}{4}$ 部と $\frac{1}{2}$ 部では切欠靱性は大差ないが、X 方向の切欠靱性が Y 方向よりかなり良いのは、圧延比の影響による

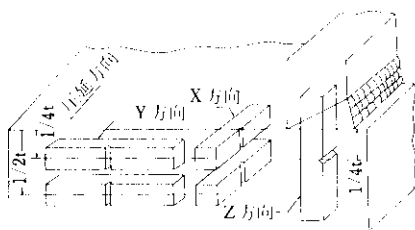
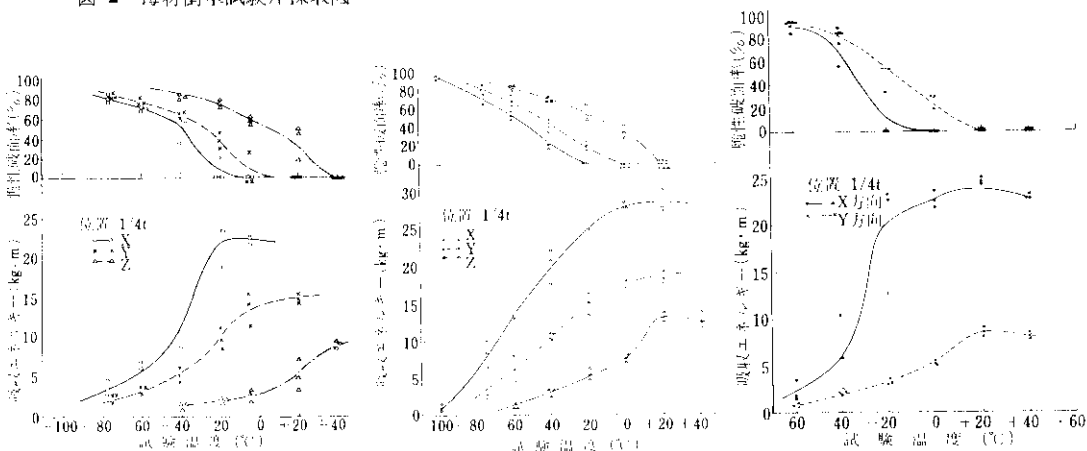


図 2 母材衝撃試験片採取図

表 6 母材 2 mmV ノッチシャルビー衝撃試験結果

鋼種	板厚 mm	方向	位置	規格 kg·m	1/4 kg·m	1/2 kg·m	3/4 kg·m	AT ₅₀ ℃	AT ₁₀₀ ℃	AT ₁₅₀ ℃
SMA58Q	40	規格	X 1/4	1.8	22.2	21.6	21.3	11	29	12
			X 1/2	1.8	22.0	20.3	17.6	13	14	6
			X 3/4	1.8	13.3	10.1	6.9	7	5	2
		Y	1/4	1.8	17.9	16.6	14.9	12	20	11
			1/2	1.8	17.4	16.0	13.9	12	20	11
			3/4	1.8	7.5	5.9	4.1	4	4	2
SMA50C	38	規格	X 1/4	1.8	21.3	20.2	21.5	12	31	12
			X 1/2	1.8	20.6	19.3	18.5	14	18	7
			X 3/4	1.8	15.4	11.0	8.5	12	18	2
		Y	1/4	1.8	19.2	17.9	17.6	10	11	8
			1/2	1.8	18.8	17.9	17.3	10	11	8
			3/4	1.8	7.8	7.9	4.3	5	5	1
SMA58Q	35	規格	X 1/4	1.8	26.3	26.9	23.1	12	37	10
			X 1/2	1.8	15.5	14.8	12.9	11	22	7
			X 3/4	1.8	9.4	6.5	2.2	7	3	1
		Y	1/4	1.8	23.0	22.7	19.7	12	36	10
			1/2	1.8	23.0	22.2	17.2	12	35	9
			3/4	1.8	17.5	14.7	10.5	10	14	8
SMA50C	30	規格	X 1/4	1.8	18.2	15.6	10.7	10	16	8
			X 1/2	1.8	7.6	5.1	3.1	8	15	4
			X 3/4	1.8	2.8	1.0	0.7	6	2	1
		Y	1/4	1.8	10.4	6.3	3.7	6	7	3
			1/2	1.8	7.4	3.8	1.5	5	7	2
			3/4	1.8	6.4	4.8	3.1	2	20	18
SMA41C	50	規格	X 1/4	2.8	11.9	8.3	7.5	1	5	2
			X 1/2	2.8	11.4	6.6	2.5	1	4	1
			X 3/4	2.8	7.4	5.2	3.8	2	8	9
		Y	1/4	2.8	6.0	4.3	3.8	2	3	1
			1/2	2.8	4.9	3.6	2.5	2	3	1
			3/4	2.8	2.7	1.0	0.7	2	3	1
SMA50C	35	規格	X 1/4	2.8	27.1	27.0	10.8	18	10	2
			X 1/2	2.8	5.3	3.1	2.3	9	11	1
			X 3/4	2.8	6.1	4.0	1.9	12	12	3
		Y	1/4	2.8	4.6	2.9	1.9	1	10	9
			1/2	2.8	3.9	1.4	1.7	1	9	7
			3/4	2.8	3.0	1.5	0.8	1	10	1



(a) SMA58Q, 板厚50mm

(b) SMA50C, 板厚50mm

(c) SMA41C, 板厚50mm

図 3 母材 2 mmV ノッチシャルビー衝撃試験結果

表 7 母材歪時効後の 2mmVノッチシャルピー衝撃試験結果

鋼 種	板厚 mm	方向	位置	歪量 %	E=0 kg・m	E=5 kg・m	E=20 kg・m	E=40 kg・m	vTr ₀ °C	vTr ₅ °C	vTr ₁₅ °C
SMA58Q	50	X	1/4	0		22.2	21.6	11.3	-41	39	92
				2.5		21.8	20.7	9.0	-36	-35	-75
				5.0		21.6	19.1	5.0	-32	-31	56
				7.5		17.8	16.8	3.7	-20	-21	51
SMA58Q	38	X	1/4	0		24.3	24.2	21.7	-63	61	94
				2.5		23.2	23.0	19.9	-56	-54	81
				5.0		23.0	23.0	21.5	-54	-51	-74
				7.5		23.5	23.0	16.2	-45	-44	67
SMA58Q	25	X	1/4	0		28.5	28.0	23.7	-62	-62	100
				2.5		28.0	27.8	23.0	-58	57	-82
				5.0		26.8	26.1	17.7	-47	45	80
				7.5		27.2	25.5	17.0	-44	-43	-75
SMA50C	50	X	1/4	0	28.2		25.1	19.7	-57	58	94
				2.5	25.2		25.0	20.3	53	-50	-87
				5.0	24.8		21.6	13.2	41	-40	-87
				7.5	25.2		20.2	6.6	-30	-30	57
SMA50B	38	X	1/4	0	10.4		6.5	3.7	6	-2	55
				2.5	7.0		4.5	1.5	5	7	35
				5.0	6.0		2.9	1.2	8	9	-30
				7.5	4.5		2.0	0.8	9	15	-21
SMA50B	25	X	1/4	0	11.9		8.2	5.3	1	-5	65
				2.5	10.8		4.5	2.1	-1	4	43
				5.0	8.3		3.1	1.0	4	7	-27
				7.5	8.3		2.5	1.7	3	3	27
SMA41C	50	X	1/4	0							
				2.5	18.6		4.5	1.5	-14	-17	-35
				5.0	18.3		5.3	1.0	-9	9	34
				7.5	14.7		1.8	0.9	4	-2	-18

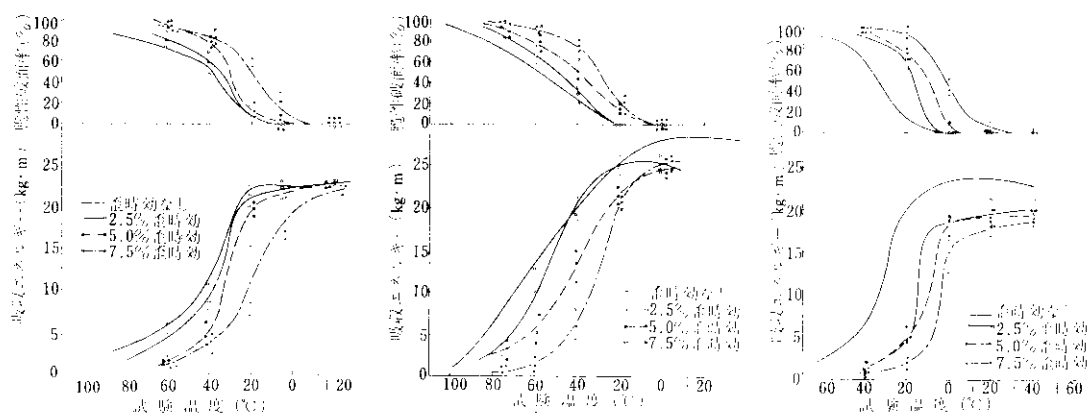
ものである。

(4) 歪時効試験

歪量2.5%、5.0%および7.5%の引張歪を与えたのち、加熱温度250°C、保持時間1hrの時効処理を施し、板厚の1/4部から試験片方向が引張歪方向に一致するように、JIS Z2202 4号試験片を加工し衝撃試験を行なった。

試験結果を表7に板厚50mmのSMA58Q、SMA50CおよびSMA41Cの遷移曲線を図4(a)、(b)、(c)に示すが、いずれの供試材も規格値を十分満足している。

以上、母材についての各試験結果を同強度のSM材と比較した場合、特に差異は認められず、十分使用できるものである。ただ、SMA58Qの化学成分は試験的に規格値の上限をねらったため、一部試験値にその影響がでているがまず問題はない。なお通常の生産では低目の線で製造管理されている。



(a) SMA58Q, 板厚50mm

(b) SMA50C, 板厚50mm

(c) SMA41C, 板厚50mm

図 4 母材歪時効後の 2mmVノッチシャルピー衝撃試験結果

3.2 溶接硬化性試験

溶接熱影響部の硬化性を調べるため最高硬さ試験を行なった。

試験はJIS Z3101(溶接部の最高硬さ試験方法)の規定にもとづいて行なった。

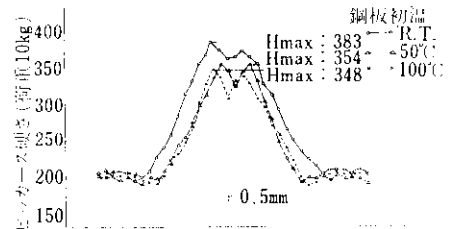
表8に示す溶接条件で、鋼板初温度を室温(R.T), 50°C, 100°Cの3温度について、図5に示す試験材の表面の中央部に長さ125mmの手溶接によるビードを置き、溶接後12hrののち、図5に示す要領にもとづいて、硬さ試験片を採取した。測定断面を研磨し、マクロ組織が見えるように腐食したのち図6に示すように溶着金属の底部(ボンド部)をとる板面に平行な直線上を0.5mm間隔でビッカース硬さ(荷重10kg)を測定し、測定値のうちもっとも大きい値を最高硬さとした。

試験結果を表8に示し、板厚50mmのSMA58Q, SMA50CおよびSMA41Cの硬さ分布を図7(a), (b), (c)に示す。SMA58Q, SMA50CおよびSMA50Bにおける熱影響部の最高硬さは、室温においていずれもIIW最高硬さ規格値($H_v=350$)をやや上回っているが、50~100°Cの予熱を行なうことにより硬さは低下し、規格内に収まってお

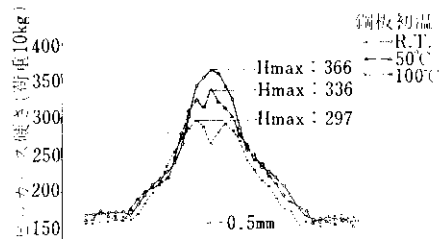
表8 溶接条件および最高硬さ試験結果

鋼 種	板厚 mm	溶 接 条 件				最高硬さ試験 $H_v 10kg$		
		溶 接 棒		電 流 (A)	速 度 (mm/min)	鋼板初温度		
		銘 柄	棒径mm			R.T	50°C	100°C
SMA58Q	50	KS86 Cu	4	170 ± 10	150 ± 10	383	354	348
	38					373	345	339
	25					342	309	299
SMA50C	50	LBW52A	4	170 ± 10	150 ± 10	366	336	297
SMA50B	38					358	336	323
SMA50B	25					353	331	320
SMA41C	50					254	236	235

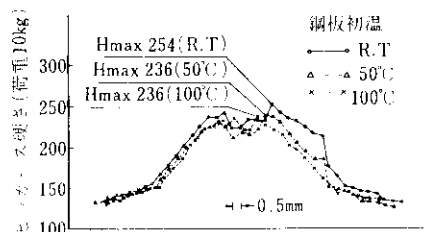
り、SM材と比較してはほぼ同程度の値を示した。ただSMA58Qは C_{eq} の上限をねらったものであるため、多少その影響がみられ、最高硬さは高い値にあるが(通常の生産においては、 C_{eq} は十分低めに管理されている)、問題はないと考えられる。



(a) SMA58Q, 板厚50mm



(b) SMA50C, 板厚50mm



(c) SMA41C, 板厚50mm

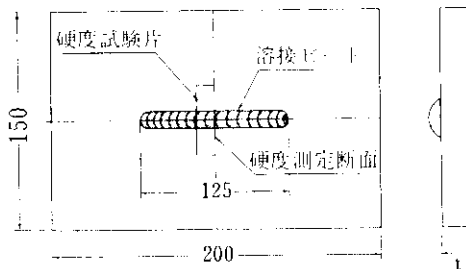


図5 最高硬さ試験材形状寸法および試験片採取要領

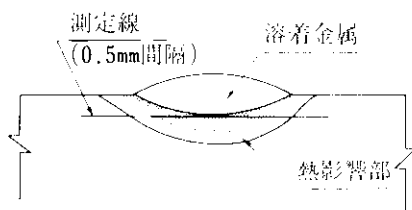


図6 最高硬さ測定要領

図7 最高硬さ試験結果

表 9 溶接条件

鋼 種	板 厚 (mm)	溶 接 棒		電 流 (A)	速 度 (mm/min)	鋼板初温度 (℃)
		銘柄	棒径(mm)			
SMA58Q	50	KS86 Cu	4	170 ± 10	150 ± 10	R.T., 50, 100
	38					
	25					
SMA50C	50	LHW 52	4	170 ± 10	150 ± 10	R.T., 50, 100
SMA50B	38					
	25					

3.3 溶接割れ感受性

(1) 溶接ビード曲げ試験

試験はJISZ3161(溶接ビード曲げ試験方法)にもとづいて行ない、試験の要領は図8に示す試験材の表面溝に表9に示す溶接条件で、手溶接による所定長さの溶接ビードを置き、室温において、図9に示すように、溶接ビード面を下側にしてローラー曲げ治具を用いて曲げ(荷重速度75mm/min)、溶接部における割れ発生の有無およびその状況を

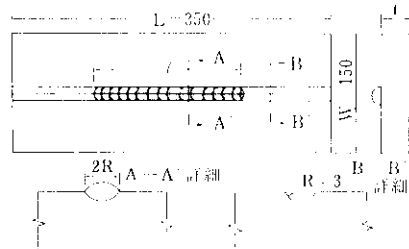


図 8 溶接ビード曲げ試験片の形状寸法

表 10 溶接ビード曲げ試験結果

鋼 種	板 厚 (mm)	鋼板初温度 (℃)	初 期 溶 接		熱影響部2mm 亀裂発生角度
			全長	位置	
SMA58Q	50	R.T.	50	120°	> 120°
		50	50	120°	> 120°
		100	50	120°	> 120°
	38	R.T.	50	120°	> 120°
		50	50	120°	> 120°
		100	50	120°	> 120°
SMA58Q	25	R.T.	50	120°	> 120°
		50	50	120°	> 120°
		100	50	120°	> 120°
	50	R.T.	50	120°	> 120°
		50	50	120°	> 120°
		100	50	120°	> 120°
SMA50C	50	R.T.	50	120°	> 120°
		50	50	120°	> 120°
		100	50	120°	> 120°
	38	R.T.	50	120°	> 120°
		50	50	120°	> 120°
		100	50	120°	> 120°
SMA50B	25	R.T.	50	120°	> 120°
		50	50	120°	> 120°
		100	50	120°	> 120°
	38	R.T.	50	120°	> 120°
		50	50	120°	> 120°
		100	50	120°	> 120°

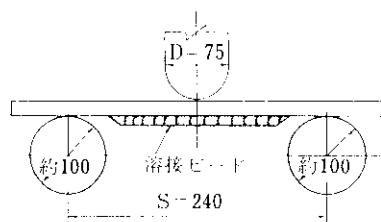


図 9 試験材の板厚に対する治具の寸法

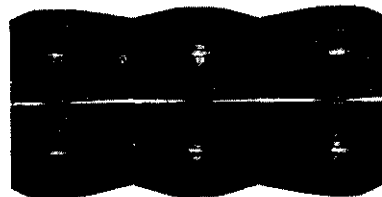
鋼板初温 (R.T.) (50℃) (100℃)
(a) SMA58Q 板厚50mm鋼板初温 (R.T.) (50℃) (100℃)
(b) SMA50C 板厚50mm鋼板初温 (R.T.) (50℃) (100℃)
(c) SMA50B 板厚38mm

写真 2 溶接ビード曲げ試験片曲り形状例

観察するとともに割れの発生時の曲り角度を調べた。なお板厚25mmを越える試験材は、曲げ試験材の容量により、原厚のままで溶接を行なったのち、反対側(裏面)より板厚25mmにまで削減した(WES135“溶接構造用高張力鋼板”規格による)。

各鋼板に対する溶接ビード曲げ試験鋼板初期温度における割れ発生時の曲り角度をまとめたものを表10に示し、曲げ試験材の曲り状況例を写真2(a), (b), (c)に示す。表10に示したように、鋼板初温度が常温、50℃および100℃のいずれの場合も曲り角度は120°以上となり、熱影響部の曲

げ延性は十分良好であるといえる。

(2) y型溶接割れ試験

試験は JIS Z3158 (斜めy型溶接割れ試験方法) にもとづき、図10に示すy型溶接割れ試験片を用い、表11の溶接条件で、鋼板初温度が室温(10°C)、50°, 75°および100°Cの4温度について試験を行った。

試験片は溶接終了後48hr以上経過してから、塗料滲透検査で表面の割れの有無を検査し、割れの有ったものについては図11(a)に示した方法で表面割れ率を算出した。また表面の割れを検査した試験片を5断面に切断し、研磨および肉眼腐食試験により断面内の割れの有無を検査し、割れのあった断面については、その高さを測定し、図11(b)に示した方法で横断面割れ率を算出した。

各供試鋼材の予熱温度に対する表面割れ率および横断面割れ率をプロットしたものを図12(a), (b), (c)および図13(a), (b), (c)に示す。SMA 58QおよびSMA50Cともに室温で表面割れはまったく発生していないが、断面割れは板厚38mm以上の場合、SMA

58QおよびSMA50Bにわずかに認められた。しかし75°C以上の予熱により割れは発生していない。新埠頭連絡橋の施工においては、SMA 58 Q

表11 溶接条件

板種 鋼種 mm	SMA58Q			SMA50B		SMA 50C
	25	38	50	25	38	50
溶接条件						
溶接棒	KS-86Cu(4mmφ)			LBW 52A(4mmφ)		
溶接電流	175A					
溶接速度	156 mm/min					
溶接電圧	21V					
入熱量	14,135 J/cm					
予熱温度	R.T.(10℃), 50℃, 75℃, 100℃					

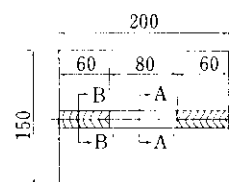
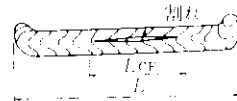
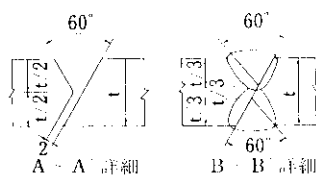


図10 y型溶接割れ試験片形状



(a) 表面割れ率: $\Sigma L_{cr}/L \times 100(\%)$



(b) 横断面割れ率: $H/H_0 \times 100(\%)$

図11 割れ率算出法

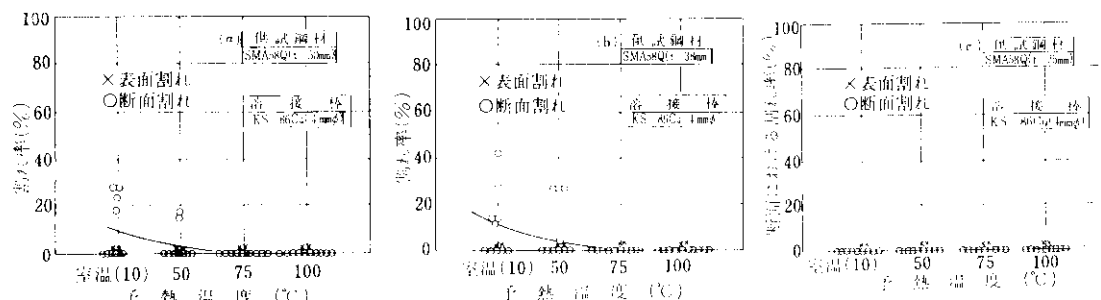


図12 y型スリット拘束割れ試験における表面割れ率および横断面割れ率と予熱温度との関係

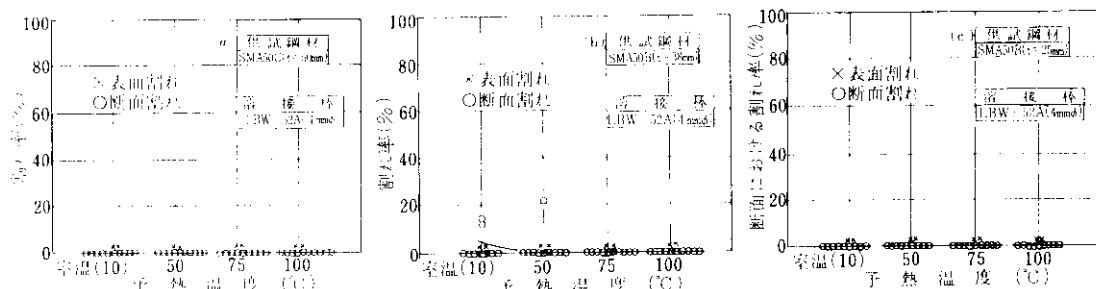


図13 y型スリット拘束割れ試験における表面割れ率および横断面割れ率と予熱温度との関係

表 12 供試鋼板と使用溶接棒の組合せおよび溶接条件

供試鋼板	使用溶接棒		溶接条件			
	仮付用	本溶接用	仮付溶接長さ	板の初温度	ルート間隔	溶接入熱条件
SS41(t=25mm) ×	KE1 川鉄	KS78Cu 川鉄	20, 50, 75mm	常温 10℃	0, 0.5, 1.0mm	10,000 J/cm 170A200mm/min
SMA41C(t=50mm)	LB52A 神鋼	" "				15,000 " 170A150mm/min
SMA50B(t=25mm) ×	KE1 川鉄	LBW62 28A 神鋼	"	"	"	"
SMA50C(t=50mm)	KB52A 神鋼	" "				
SMA58Q(t=25mm) ×	KE1 川鉄	LBW62 28A 神鋼	"	"	"	"
SMA58Q(t=50mm)	LB52A 神鋼	" "				
	KS86Cu 川鉄	" "				

(注) 使用溶接棒はすべて4mmとした。

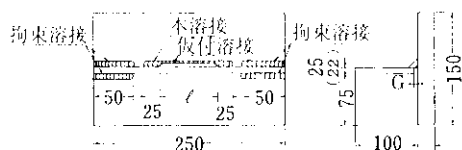


図 14 仮付溶接割れ試験片の形状および寸法

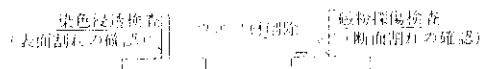


図 15 仮付溶接割れの検査要領



写真 3 断面割れの例

では75~100℃、SMA50Cでは60~80℃の予熱を行なうので、割れ発生は十分回避できるものと考えられる。

(3) 仮付溶接割れ試験

厚板耐候性鋼板の工作組立時における仮付溶接について、その溶接割れ感受性を調査するため、工作時の組立精度および仮付溶接長さ、さらに拘束力を考慮し、小入熱条件におけるT型隅肉割れ試験を実施した。仮付溶接割れ試験片の形状および寸法を図14に供試鋼板と使用溶接棒の組合せおよび溶接条件を表12に示す。

表面割れの有無は、染色浸透法によって検査し断面割れについては図15に示す要領で、磁粉探傷法により割れの有無を確認した。

断面割れの例を写真3に示すが、このような断面割れが確認されたのは、189個の試験片のうち6個であった。これらはいずれも0.5mmまたは1mmのルート間隔があるものに発生しているが、入熱量の変化、溶接長さの変化による有意差はみられなかった。したがって、このような仮付時における割れに対してはルート間隔の影響は大きい

が、今回の実験における程度の入熱量溶接長さの影響はあまりないと考えられる。この断面割れ発生は、むしろ常温（予熱なし）という試験片初期温度の影響によるものと考えられ、ある程度の予熱で割れ発生が防止できることは、表10のy形

溶接割れ試験結果からも十分推察できよう。

さらに、SS41とSMA41C材を組合せた試験片においては、本溶接部の溶着金属部に主に見られるような縦割れが観察された。この溶接

に使用した溶接棒は鉄粉低水素系であり、他の溶接棒（低水素系）に比べて、比較的拡散性水素量が多く、この水素の影響によるものと考えられる。

極低水素系の溶接棒の使用によっても、拘束条件が苛酷でしかも予熱を行なわない場合には、確率的には非常に少いといえるが、割れ発生の危険性がある。したがって、仮付溶接に対しても、十分拘束条件を勘案することにより予熱を行なう必要があると考えられる。また隅肉用の本溶接棒としては鉄粉低水素の棒の使用範囲を制限する必要があると考えられる。

3.4 溶接継手性能試験

3.4.1 標準条件溶接継手性能試験

板厚50mmのSMA58QおよびSMA50Cについて、入熱量35,000および70,000 J/cm、30°のV形開先形状でサブマージアーク溶接により行なわれた溶接継手の性能を試験した。表13に溶接条件を示す。

(1) 継手硬さ試験

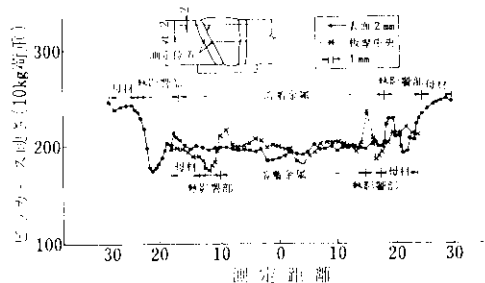
継手硬さの測定は、表面から2mmと板厚の1/2の位置を0.5mmピッチおよび1mmピッチで行ない、組織が変る個所では0.5mmピッチとした。



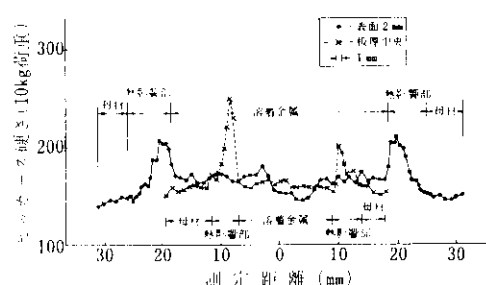
写真 4 溶着金属部の縦割れ例 SS41(t=22mm)×SMA 41C(t=50mm)

表 13 溶接条件

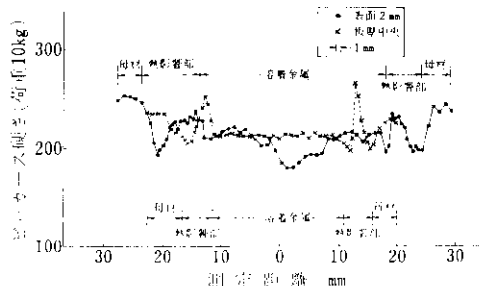
鋼 種	溶 接 材 料	入熱量(J/cm)	電流(A)	電圧(V)	速度(mm/min)	開 先 形 状
SMA58Q (t=50)	US49×MF38 (4.8φ, 6.4φ) (20×200) (20×D)	35,000	700	29	350	
SMA50C (t=50)	US36×MF38 (4.8φ, 6.4φ) (20×200) (20×D)	70,000	950	34	280	



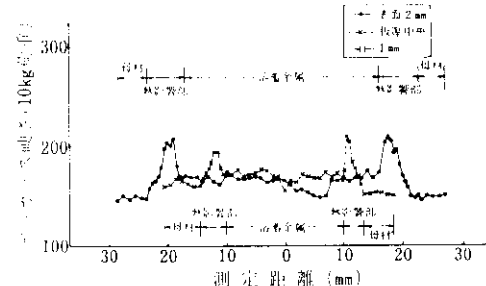
(a) 鋼材SMA58Q, 板厚50mm, 入熱70,000J/cm



(c) 鋼材SMA50C, 板厚50mm, 入熱70,000J/cm



(b) 鋼材SMA58Q, 板厚50mm, 入熱35,000J/cm



(d) 鋼材SMA50C, 板厚50mm, 入熱35,000J/cm

図 16 断面硬さ分布

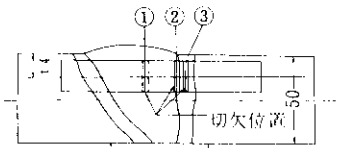
硬さはビッカース（荷重10kg）で測定した。

測定結果を図16(a), (b), (c), (d)に示す。

熱影響部の3箇所について、 -78°C 、 -60°C 、 -40°C 、 -20°C 、 0°C 、（または -5°C ）の温度で行ない遷移曲線を求めた。

(2) 衝撃試験

試験片は JIS Z2202 の 4 号とし、試験の繰返し数は 3 個、1 枚の初期温度は常温とした。試験片の切欠部は図17に示すように板厚の $t/4$ とした。試験は溶着金属、ボンドおよび



① 溶着金属 ② ボンド ③ 熱影響部

図 17 衝撃試験片採取要領

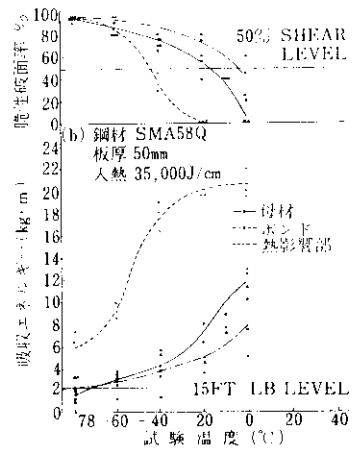
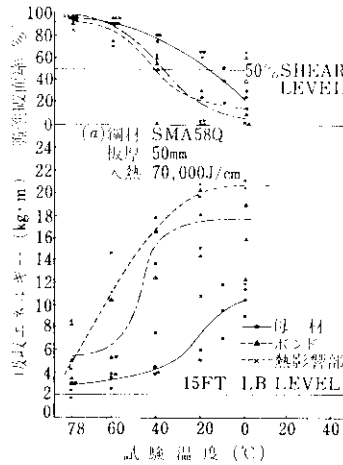


表 14 標準条件溶接継手衝撃試験結果

入熱 J/cm	鋼板 種厚 mm	試験片 採取 位置	切欠 位置	衝 撃 値 kg・m						vTrs ℃	vTrs ℃
				0℃	-10℃	-20℃	-40℃	-60℃	-78℃		
70,000	SMA 58Q 50mm	1/4t	溶着 金属	10.6	7.2	11.0	4.1	3.8	3.1	18	< 78
				11.6	12.0	6.1	4.5	3.9	2.6		
				9.2	9.7	5.3	4.1	2.7	3.1		
				(11.6)	(9.6)	(7.5)	(4.2)	(3.5)	(2.9)		
				19.0		18.1	17.8	10.6	8.3		
				12.3		14.4	16.7	3.9	5.1		
			熱影 響部	15.9		20.2	12.5	5.4	3.6	38	< 78
				(15.7)		(17.5)	(15.7)	(6.6)	(5.5)		
				12.0		15.1	7.7	11.3	2.0		
				20.6		19.8	13.8	14.7	4.4		
				21.1		20.8	20.1	5.4	8.7		
				(17.9)		(18.6)	(13.9)	(10.5)	(5.0)		
35,000	SMA 58Q 50mm	1/4t	溶着 金属	12.9	8.9	6.4	3.8	3.4	1.7	16	-74
				10.3	7.4	8.1	3.3	2.6	2.0		
				12.6	7.7	8.0	4.2	3.5	1.3		
				(11.9)	(8.0)	(7.5)	(3.8)	(3.2)	(1.6)		
				4.5	7.5	3.6	5.6	1.3	2.2		
				11.4		5.0	5.2	3.3	1.0		
			熱影 響部	5.0		4.5	1.4	2.9	3.3	4	-78
				(8.0)		(4.4)	(4.1)	(2.5)	(2.1)		
				22.0		19.6	16.4	10.0	3.0		
				20.0		21.4	19.0	8.5	6.4		
				19.5		19.6	18.1	9.1	7.4		
				(20.5)		(20.2)	(17.8)	(9.2)	(5.7)		
70,000	SMA 50C 50mm	1/4t	溶着 金属	15.0		16.1	5.2	6.6	1.9	28	-78
				12.2		12.9	6.4	4.0	1.4		
				15.1		14.1	5.2	1.8	2.2		
				(14.1)		(14.1)	(5.8)	(6.1)	(1.8)		
				16.1		8.9	6.4	4.2	1.4		
				6.0		3.4	2.2	1.4	1.3		
			熱影 響部	6.2		4.4	3.3	1.1	2.4	11	< 60
				(9.4)		(5.6)	(3.9)	(2.3)	(1.7)		
						22.8	15.0	15.0	9.7		
						19.2	18.9	5.3	1.8		
						20.6	10.2	7.5	1.8		
						(20.8)	(14.7)	(9.3)	(4.3)		
35,000	SMA 50C 50mm	1/4t	溶着 金属	15.2		13.5	7.7	5.6	2.0	40	< 78
				14.6		14.0	12.4	5.3	2.9		
				15.1		12.5	9.7	6.0	3.8		
				(15.0)		(13.3)	(10.0)	(5.6)	(2.9)		
				21.8			22.3	1.5	1.3		
				17.0			26.6	10.6	1.0		
			熱影 響部	26.7			7.4	10.9	5.4	44	< 78
				(21.8)			(18.8)	(2.7)	(2.6)		
							19.6		28.8		
							26.8		8.6		
							29.6		13.5		
							(25.3)		(17.6)		

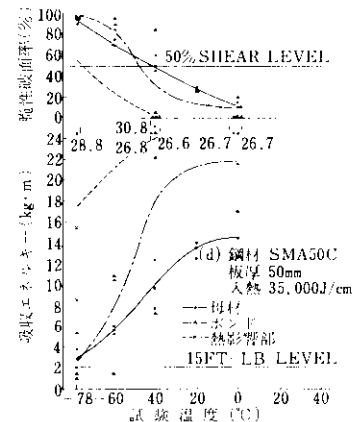
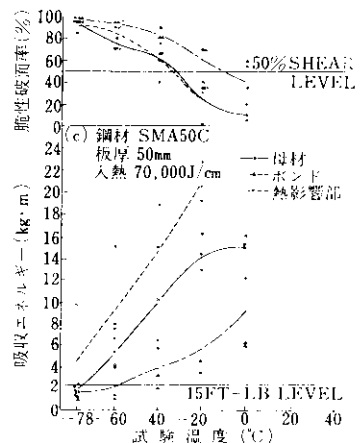


図 18 標準条件溶接継手衝撃試験結果

試験結果を表14に、遷移曲線を図18(a), (b) (c), (d)に示す。

溶接入熱量を 35,000 J/cm, 70,000 J/cm の 2 段階に変化させたサブマージアーク溶接試験結果については、継手の硬さおよび衝撃値ともに良好な値を示した。実際施工においても、70,000 J/cm 程度の大入熱溶接でもまったく問題はないといえよう。

4.3.2 突合せ溶接継手性能試験

SMA58Q の板厚 38 および 50mm は手溶接，サブマージアーク溶接および消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接，他の鋼種については手溶接およびサブマージアーク溶接により突合せ溶接された継手性能について調査した。

(1) 手溶接突合せ溶接継手性能試験

各鋼種についての手溶接条件を表15に示す。

(1) 継手引張試験結果

試験は、JIS Z3121（突合せ溶接継手の引張試

験方法）の規定に基づき、試験片の形状を 1 号試験片として、試験は室温で引張試験機で引張って破断させ、引張強さおよび破断位置を測定した。その結果を表16に示す。SMA 58 Q の板厚 38mm, 50mm の破断位置は溶着金属部で、その他はすべて母材部であったが、いずれの鋼種板厚とも引張特性において母材規格値を下廻るものはなく、良好な結果を示している。

ii) 継手型曲げ試験結果

JIS Z3122（突合せ溶接継手の型曲げ試験方法）の規定に基づき、試験片の形状は側曲げ試験片の 3 号とし、室温でアムスラー試験材の曲げ治具を用いて曲げ、表面の欠陥の有無を調べた。その結果いずれの鋼種とも表面欠陥はまったく認められずすべて良好であった。

iii) 衝撃試験結果

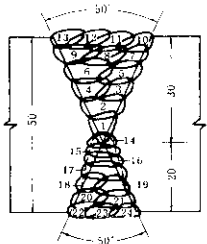
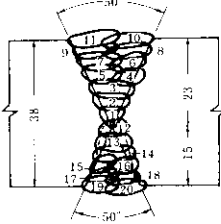
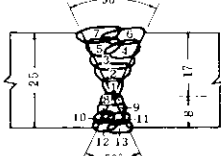
試験片形状は JIS Z2202 の 4 号試験片とし、溶着金属の中央部で最終層側の板厚の 1/4 (Rim部)，

表 15—(a) 各試験材の手溶接条件

鋼種	層数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱 (J/cm)	溶接棒 (径mmφ)	継手形状
SMA58 (50mm)	1~2	230	25	120	24,000 31,000	5 KS-86Cu	
	3~6	230	25	135			
	7~9	225	25	140			
	10~12	220	25	135			
	13	225	25	135			
	14~15	230	25	125			
	16	235	25	115			
	17~18	230	25	135			
	19~23	225	25	140			
	24	220	25	130			
	1	235	25	130			
	2~3	215	25	135			
SMA58 (38mm)	4~5	225	25	125	24,000 30,000	5 KS-86Cu	
	6	230	25	120			
	7	225	25	130			
	8~9	220	25	140			
	10	230	25	135			
	11~12	230	25	125			
	13~14	220	25	140			
	15	225	25	130			
	16	220	25	140			
	1	230	25	140			
SMA58 (25mm)	2	230	25	130	24,000 31,000	5 KS-86Cu	
	3	235	25	115			
	4	230	25	135			
	5	220	25	140			
	6	215	25	135			
	7~8	230	25	133			
	9	225	25	140			

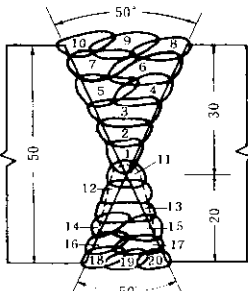
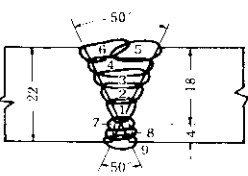
予熱温度：100℃

表 15—(b) 各試験材の手溶接条件

鋼種 (板厚)	層数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱 (J/cm)	溶接棒 (径mmφ)	継手形状
SMA50C (50mm)	1~2	235	25	130	23,000 30,000	5	
	3~4	220	25	135		5	
	5~6	230	25	125		5	
	7~10	225	25	140		5	
	11~13	215	25	130		5	
	14~16	235	25	120		5	
	17	230	25	130		5	
	18~21	225	25	135		5	
	22~23	220	25	140		5	
	24	220	25	145		5	
SMA50B (38mm)	1~2	220	25	140	18,000 29,000	5	
	3	230	25	125		5	
	4~7	220	25	130		5	
	8~10	230	25	120		5	
	11	215	25	145		5	
	12~13	180	24	130		4	
	14	185	24	120		4	
	15~19	175	24	140		4	
	20	180	24	130		4	
SMA50B (25mm)	1	225	25	135	18,000 28,000	5	
	2~3	230	25	125		5	
	4~6	215	25	140		5	
	7	170	24	135		4	
	8~9	230	25	145		5	
	10~12	180	24	140		4	
	13	175	24	130		4	

予熱温度：75℃

表 15—(c) 各試験材の手溶接条件

鋼種 (板厚)	層数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱 (J/cm)	溶接棒 (径mmφ)	継手形状
SMA41C (50mm)	1	230	25	140	22,000 32,000	5	
	2~3	230	25	110		5	
	4~7	220	25	130		5	
	8~9	215	25	140		5	
	10	210	25	145		5	
	11	235	25	135		5	
	12~13	230	25	125		5	
	14~17	220	25	140		5	
	18~19	220	25	145		5	
	20	210	25	130		5	
耐候性S41 (22mm)	1	185	24	140	19,000 26,000	4	
	2~3	225	25	130		5	
	4	235	25	135		5	
	5	220	25	140		5	
	6	205	25	140		5	
	7~8	180	24	135		4	
	9	175	24	120		4	

予熱温度：除湿程度 (50℃)

表 16 手溶接突合せ溶接継手引張試験結果

鋼 種	板 厚 (mm)	引 張 試 験	
		引張強さ(kg/mm ²)	破断位置
SMA 58Q	50	71.6	溶着金属
		71.7	"
	38	71.9	"
		71.9	"
SMA 50C	25	67.3	母材
		67.4	"
	50	58.7	"
		59.2	"
SMA 50B	38	60.7	"
		60.5	"
	25	59.1	"
		60.0	"
SMA 41C	50	47.7	"
		48.2	"
耐候性SS41	22	49.3	"
		48.9	"

1/2 (Core 部) および熱影響部の板厚の 1/4 (Rim 部), 1/2 (Core 部) の位置より採取した。試験片の採取および切欠位置を図19に示す。

試験は -120°C から +60°C の間で 20°C おきに行ない遷移曲線を求めた。試験結果を表17に、板厚50mmの SMA58Q, SMA50C および SMA41C の遷移曲線を図20(a), (b), (c)に示すが、いずれも母材規格を十分満足している。

iv) 断面硬さ試験結果

継手断面の板面より 2 mm 入った部分と板厚の中央部をビッカース (荷重10kg) で硬さ分布を測

表 17—(a) 手溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

() 内数字は平均値を示す。

鋼 種 (板厚mm)	切欠 位置	採取位置	衝 撃 値 (kg・m)										Trs (℃)	Tre (℃)		
			60	40	20	0 (E 0)	-20 (E -20)	-40 (E -40)	-60 (E -60)	-80 (E -80)	-100 (E -100)	-120 (E -120)				
SMA58Q (t=50)	溶着金属	t/4 (Rim)	18.1 18.4 20.1 (18.9)	18.1 17.2 19.7 (18.3)	15.8 16.1 15.7 (15.9)	9.8 11.1 16.8 (12.6)	10.0 7.7 8.9 (8.8)	6.8 4.6 3.0 (4.8)	1.5 1.5 2.0 (1.7)					195	-15	
		t/2 (Core)	14.8 14.4 16.5 (15.2)	14.6 12.9 13.5 (13.7)	9.5 13.1 10.3 (11.0)	8.2 6.9 6.4 (7.2)	4.3 5.6 3.7 (4.5)	1.6 3.9 3.2 (2.9)	1.5 2.0 1.7 (1.7)					15	+5	
	熱影響部	t/4 (Rim)				20.4 20.6 (20.5)	18.7 19.2 17.5 (18.5)	10.7 16.4 12.2 (13.1)	5.2 4.8 10.4 (6.8)	3.3 2.7 2.4 (2.8)	1.2 1.8 2.5 (1.8)			48	-45	
		t/2 (Core)				20.6 20.0 20.1 (20.2)	17.9 18.7 19.2 (18.6)	10.6 16.1 16.2 (14.3)	9.2 7.4 5.7 (7.4)	2.8 3.4 5.2 (3.8)	3.7 1.0 1.0 (1.9)	0.8 1.4 1.8 (1.3)			44	-31
	溶着金属	t/4 (Rim)		18.3 17.9 17.0 (17.7)	16.9 14.4 12.3 (14.5)	12.8 9.7 10.2 (10.9)	8.0 8.0 6.5 (7.5)	5.1 4.6 2.9 (4.4)	1.6 3.4 2.3 (2.4)	1.2 1.3 1.3 (1.3)				20	-7	
		t/2 (Core)		15.5 15.4 14.7 (15.2)	8.6 14.3 15.6 (12.8)	8.8 9.1 11.5 (9.8)	5.1 6.2 7.3 (6.2)	2.0 3.0 5.2 (3.4)	1.2 1.6 1.7 (1.5)	1.1 0.9 1.0 (1.0)				13	-7	
SMA58Q (t=38)	熱影響部	t/4 (Rim)						20.3 21.1 19.5 (20.3)	14.9 18.5 17.6 (17.0)	16.2 6.8 9.1 (10.7)	4.3 5.0 6.2 (5.2)	1.3 0.9 2.0 (1.4)		-72	80	
		t/2 (Core)						20.3 21.5 20.2 (20.7)	9.0 7.6 8.6 (8.4)	3.2 3.2 6.2 (4.2)	1.6 2.5 1.8 (2.0)	1.9 0.6 0.8 (1.1)		52	51	
	溶着金属	t/4 (Rim)		20.1 17.2 20.1 (19.1)	13.7 16.0 15.0 (14.9)	9.7 12.7 10.6 (11.0)	7.2 8.5 7.5 (7.7)	4.4 5.2 4.8 (4.8)	2.2 2.2 2.3 (2.2)	0.8 1.0 0.7 (0.8)				-33	4	
		t/2 (Core)		16.6 17.2 17.2 (17.0)	11.1 13.6 12.5 (12.4)	8.3 8.6 8.3 (8.4)	5.8 5.8 5.2 (5.6)	2.9 5.8 1.5 (3.4)	1.4 2.1 1.3 (1.6)	0.4 0.8 1.3 (0.8)				25	+5	
	熱影響部	t/4 (Rim)						22.4 24.1 24.3 (23.6)	18.9 18.9 22.1 (19.9)	15.0 5.0 9.8 (12.4)	5.2 2.0 8.6 (7.0)	1.0 1.0 3.0 (3.4)	1.0 1.0 1.0 (1.0)		64	-61
		t/2 (Core)						23.9 23.9 23.8 (23.9)	24.1 20.0 13.4 (19.2)	7.8 8.4 13.2 (9.8)	1.5 1.0 5.2 (2.6)			-92	95	

表 17—(b) 手溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

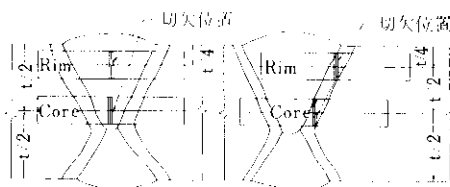
()内数字は平均値を示す

鋼種 (板厚mm)	切欠位置	採取位置	衝擊値 (kg・m)								Trs (℃)	Trt (℃)		
			40	20	0 (E 0)	20 (E 20)	-40 (E -40)	-60 (E -60)	80 (E 80)	100 (E 100)			120 (E 120)	
SMA50C (t=50)	溶着金属	t/4 (Rim)	19.2	17.0	14.8	6.0	3.8	1.3	0.8			-17	-16	
			19.5	18.8	17.0	10.1	2.5	1.9	1.2					
		18.9	13.0	12.0	10.3	4.4	1.2	0.7						
		(19.2)	(17.9)	(14.6)	(8.8)	(3.6)	(1.5)	(0.9)						
	t/2 (Core)	18.6	17.0	14.3	6.2	8.5	2.4	2.0				-19	-12	
		18.6	17.4	13.1	9.3	3.4	4.7	1.4						
		17.4	17.0	11.0	8.0	5.2	1.9	1.6						
		(18.2)	(17.1)	(12.8)	(7.8)	(4.7)	(3.0)	(1.7)						
SMA50B (t=38)	溶着金属	t/4 (Rim)			22.8	20.6	14.0	3.0	1.6	1.1		-47	-43	
					23.6	19.0	14.6	7.2	1.2	0.7				
				23.2	23.4	11.6	5.7	1.8	0.8					
				(23.2)	(21.0)	(13.4)	(5.3)	(1.5)	(0.9)					
	t/2 (Core)			22.5	19.5	16.1	11.0	3.2	3.1	1.4		43	51	
				24.6	21.4	15.3	6.9	5.8	1.3	0.9				
		23.4	23.9	18.1	8.1	3.6	1.9	1.4						
		(23.5)	(21.6)	(16.5)	(8.7)	(4.2)	(2.1)	(1.2)						
SMA50B (t=25)	溶着金属	t/4 (Rim)	17.2	13.0	10.9	6.5	4.1	1.8	1.5			24	-	
			17.4	13.7	9.9	8.0	4.9	2.2	1.0					
		18.6	14.9	9.5	5.6	2.9	3.2	2.3						
		(17.7)	(13.9)	(10.1)	(6.7)	(4.0)	(2.4)	(1.6)						
	t/2 (Core)	18.8	17.5	11.1	7.9	3.3	3.7	1.5				-29	-	
		18.9	17.0	16.0	8.4	7.2	2.7	2.2						
		18.1	15.6	13.4	8.9	3.9	2.4	1.8						
		(18.6)	(16.7)	(13.5)	(8.4)	(5.0)	(2.9)	(1.8)						
SMA50B (t=25)	熱影響部	t/4 (Rim)			17.0	18.6	16.3	13.3	9.3	4.5	2.9	-39	-	
					19.4	16.3	12.6	8.8	5.2	2.5	2.2			
				22.1	17.7	13.7	6.4	5.0	6.5	4.2				
				(19.5)	(17.5)	(14.2)	(9.5)	(6.5)	(4.5)	(3.1)				
	t/2 (Core)			21.6	18.0	6.4	4.4	1.5	0.9	1.7		+ 1		
				16.9	16.4	7.9	5.9	3.1	1.7	0.6				
		17.6	10.3	10.6	3.3	2.7	1.7	1.0						
		(18.7)	(14.9)	(8.3)	(4.5)	(2.4)	(1.4)	(1.1)						
SMA50B (t=25)	溶着金属	t/4 (Rim)	15.8	12.1	8.4	4.4	2.4	0.9	0.7			+ 4		
			15.4	11.6	7.5	5.7	3.0	1.9	0.6					
		15.7	10.2	8.7	6.1	3.9	1.4	1.1						
		(15.6)	(11.3)	(8.2)	(5.4)	(3.1)	(1.4)	(0.8)						
	t/2 (Core)	18.1	13.8	11.3	5.3	4.4	1.5	1.1				12	7	
		18.1	17.8	12.2	5.3	4.8	2.2	1.0						
		18.5	17.9	10.7	10.1	1.8	1.4	1.5						
		(18.3)	(16.5)	(11.4)	(6.9)	(3.7)	(1.7)	(1.2)						
SMA50B (t=25)	熱影響部	t/4 (Rim)			21.4	21.4	14.8	13.1	5.7	4.3	0.8	-55		
					24.2	20.3	15.8	9.7	9.5	2.5	0.7			
				22.1	18.0	17.1	11.1	4.6	2.2	1.5				
				(22.6)	(19.9)	(15.9)	(11.3)	(6.6)	(3.0)	(1.0)				
	t/2 (Core)			19.5	12.8	12.0	6.5	1.0	0.9			31	-	
				23.4	14.9	13.4	8.1	3.1	0.9					
		20.7	19.1	4.9	2.5	4.3	0.7							
		(21.2)	(15.6)	(10.1)	(5.7)	(2.8)	(0.8)							

表 17—(c) 手溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

()内数字は平均値を示す

鋼種 (板厚mm)	切欠位置	採取位置	衝撃値 (kg・m)								Trs (°C)	T ₁₀ (°C)
			20°C (E:0)	0°C (E:0)	20°C (E:-20)	40°C (E:-40)	60°C (E:-60)	80°C (E:-80)	100°C (E:-100)	120°C (E:-120)		
SMA41C (t=50)	溶着金属	t/4	23.4 16.0 27.2 (22.2)	19.5 15.5 5.2 (13.4)	7.7 12.7 18.9 (13.1)	2.4 5.2 9.4 (5.7)	0.6 1.3 1.8 (1.2)	1.0 1.0 0.4 (0.8)			16	-20
			22.9 19.7 19.3 (20.6)	17.8 20.9 16.6 (18.4)	10.9 4.4 18.4 (11.2)	7.4 10.0 7.3 (8.2)	1.5 1.3 3.8 (2.2)	0.9 0.7 0.8 (0.8)			-23	-31
		t/2										
	熱影響部	t/4	22.8 21.3 22.3 (22.1)	21.2 20.3 19.3 (20.3)	16.2 12.3 14.4 (14.8)	6.4 8.2 4.3 (6.3)	2.3 0.7 1.4 (1.5)	1.1 2.3 1.1 (1.5)			26	-29
			17.8 17.5 18.8 (18.0)	17.5 18.1 18.0 (17.9)	12.0 17.4 16.5 (15.3)	14.8 17.2 19.6 (17.2)	0.7 0.8 1.6 (1.1)	2.5 1.0 1.5 (1.7)			-45	-54
SS 41 (t=22)	溶着金属	t/4	18.4 18.7 17.5 (18.2)	8.4 12.0 8.9 (9.8)	1.8 2.4 2.4 (2.2)	1.0 1.5 0.9 (1.1)	1.4 0.5 0.9 (0.9)	0.6 0.8 0.4 (0.6)			1	0
			28.5 22.4 18.7 (23.2)	15.5 17.8 21.5 (18.3)	9.1 9.4 8.2 (8.9)	2.0 1.4 8.7 (4.0)	0.8 1.8 3.0 (1.9)	0.9 0.7 0.3 (0.6)			13	14
		t/2										
	熱影響部	t/4	18.5 18.1 18.9 (18.5)	20.6 9.0 16.0 (15.8)	10.0 14.0 7.9 (9.4)	1.9 12.0 1.6 (5.2)	1.0 1.2 4.2 (2.1)	0.8 2.4 2.2 (1.2)			-14	23
			15.8 14.2 17.1 (15.7)	8.2 12.1 21.1 (13.8)	2.8 15.1 5.6 (7.8)	6.7 3.0 8.2 (6.0)	0.8 0.8 1.1 (0.9)	0.8 1.0 0.4 (0.8)			10	-28



a) 溶着金属衝撃試験片 b) 熱影響部衝撃試験片

図 19 衝撃試験片の採取要領

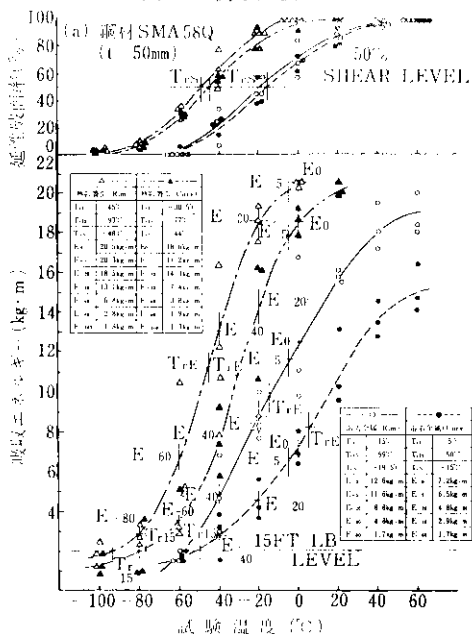


図 20—(a) 手溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

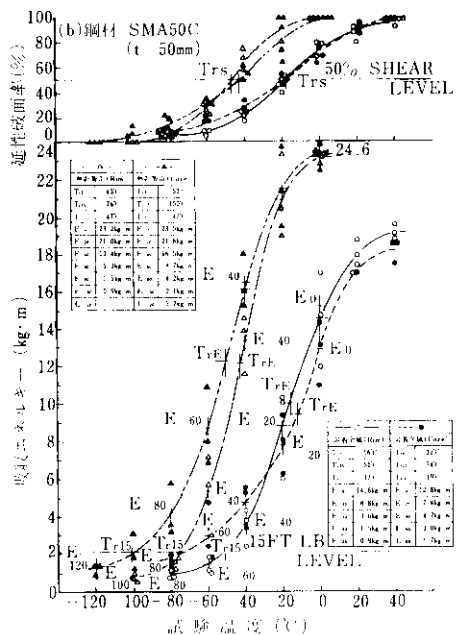


図 20—(b) 手溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

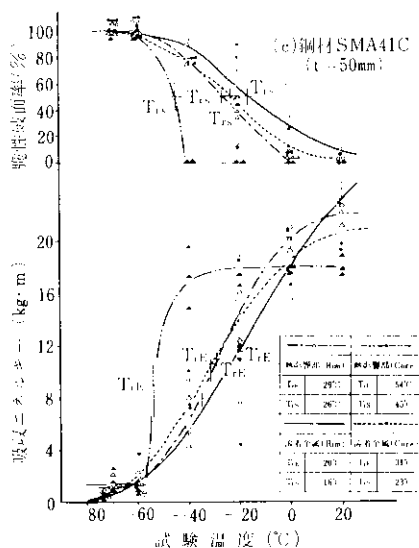
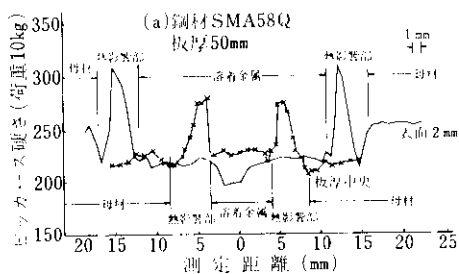
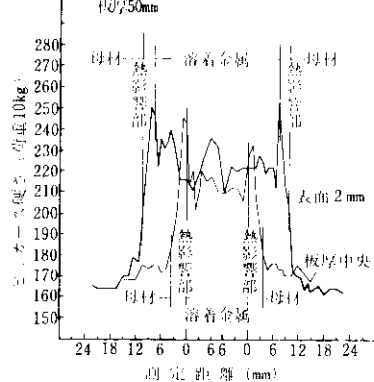


図 20—(c) 手溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果



(b)鋼材 SMA50C

板厚50mm



(c)鋼材 SMA41C

板厚50mm

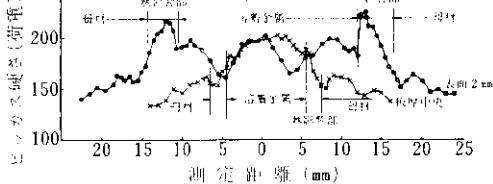


図 21 手溶接突合せ溶接継手断面硬さ分布

表 18-(a) 各試験材のサブマージアーク溶接条件

鋼種 (板厚)	層数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱 (J/cm)	心線 × フラックス	継手形状
SMA58Q (50mm)	1	680	33	300	45,000 61,000	US-49(4.8mmφ) MF-38(20×D)	
	2	800	35	300			
	3	850	36	300			
	4-5	780	35	320			
	6	840	34	300			
	7	800	36	300			
	8	840	35	300			
	9	800	35	300			
	10	800	35	300			
	11	780	35	300			
	12	700	34	320			
SMA58Q (38mm)	1	680	31	420	30,000 62,000	US-49(4.8mmφ) MF-38(20×D)	
	2	800	34	300			
	3	860	34	300			
	4	750	33	380			
	5	700	34	400			
	6	800	33	400			
	7	880	35	300			
	8	850	35	300			
SMA58Q (25mm)	1	700	33	280	50,000	US-49(4.8mmφ) MF-38(20×D)	
	2	750	34	280	58,000		
	3	780	34	300			
	4	810	36	300			

表 18-(b) 各試験材のサブマージアーク溶接条件

鋼種 (板厚)	層数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	入熱 (J/cm)	心線 × フラックス	継手形状
SMA50C (50mm)	1	740	30	430	31,000 75,000	US-36(4.8mmφ) MF-38(20×D)	
	2	860	32	220			
	3	850	35	300			
	4-5	810	34	390			
	6	800	32	350			
	7-8	850	35	300			
	9	800	34	350			
	10	820	34	390			
SMA50B (38mm)	1	700	32	420	33,000 62,000	US-36(4.8mmφ) MF-38(20×D)	
	2	800	34	300			
	3	850	35	290			
	4	800	33	380			
	5	850	34	300			
	6	860	35	290			

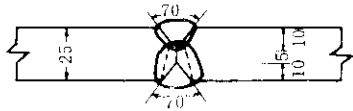
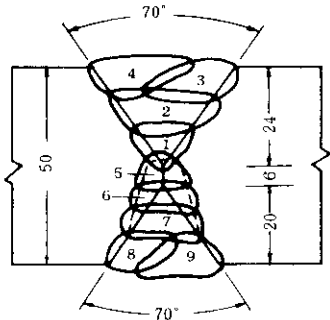
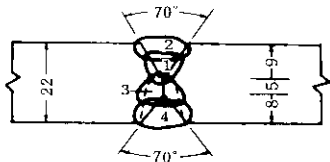
SMA50B (25mm)	1	750	32	300	48,000	US-36 (4.8mmφ) × MF-38 (20×D)	
	2	960	33	280	68,000		

表 18—(c) 各試験材のサブマージアーク溶接条件

鋼 種 (板厚)	層 数	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (mm/min)	入 熱 (J/cm)	心 線 × フラックス	継 手 形 状
SMA41C (50mm)	1	650	31	450	27,000	KW-43(4.8mmφ) × KB50Cu(20×D)	
	2	800	33	350			
	3	900	34	300			
	4	350	36	250			
	5	900	31	400			
	6	850	32	400			
	7	800	34	300			
	8-9	850	32	350			
耐候性SS41 (22mm)	1	680	31	280	45,000	KW-43(4.8mmφ) × KB50Cu(20×D)	
	2	950	32	300			
	3	700	31	280			
	4	950	32	300			

定した。測定結果の代表例を図21(a), (b), (c)に示すが、いずれも問題はない。

(2) サブマージアーク溶接突合せ溶接継手性能試験

表18に示す溶接条件にもとづき、各試験材の溶接継手性能試験を行なった。

i) 継手引張試験結果

JIS Z3121の規定にもとづき、1号試験片を用いて行なった。その結果を表19に示す。引張特性において母材規格値を下まわるものはなく、いずれも良好な結果を示した。

ii) 継手型曲げ試験結果

表 19 サブマージアーク溶接突合せ溶接継手引張試験結果

鋼 種	板 厚 (mm)	引 張 試 験 引張強さ(kg/mm ²)	破 断 位 置
SMA58Q	50	70.4	溶着金属
		71.4	"
	38	70.7	"
		71.3	"
SMA50C	25	67.3	母 材
		66.8	"
	50	58.3	"
		58.3	"
SMA50B	38	60.6	"
		60.3	溶着金属
	25	61.7	母 材
		60.6	"
SMA41C	50	47.0	"
		49.0	"
耐候性SS41	22	46.9	"
		46.7	"

JIS Z3122 にもとづき、側面げ3号試験片を用いて行なった。表面の割れは認められず、すべて良好であった。

iii) 衝撃試験結果

JIS Z2202 の4号試験片を用い、溶着金属の中央部で最終層側の板厚 $\frac{1}{4}$ (Rim 部), $\frac{1}{2}$ (Core 部) および熱影響部の板厚 $\frac{1}{4}$ (Rim 部), $\frac{1}{2}$ (Core 部) の位置より採取した。試験片の採取

表 20—(a) サブマージアーク溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

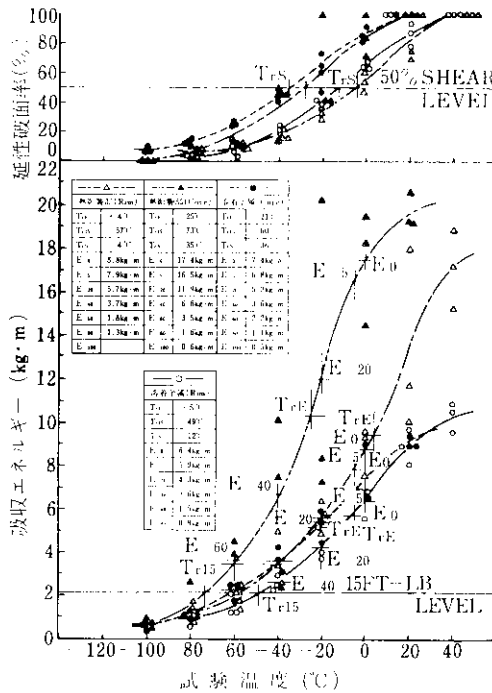
()内数字は平均値を示す														
鋼種 (板厚mm)	切欠 位置	採 取 位置	衝撃値 (kg・m)										T _{ms} (℃)	T _{FE} (℃)
			40	20	0 (E ₀)	20 (E ₂₀)	40 (E ₄₀)	60 (E ₆₀)	80 (E ₈₀)	100 (E ₁₀₀)	120 (E ₁₂₀)			
SMA58Q (t=50)	溶着金属	t/4 (Rim)	10.9 10.5 9.5 (10.3)	9.7 8.9 8.1 (8.9)	6.8 6.8 5.6 (6.4)	5.2 3.7 4.0 (4.3)	2.9 2.5 2.4 (2.6)	2.1 1.2 1.2 (1.5)	1.0 1.0 0.6 (0.9)			-12	-5	
		t/2 (Core)		9.0 9.5 9.0 (9.2)	6.6 5.4 6.6 (7.4)	5.9 5.4 4.4 (5.2)	3.0 3.6 4.2 (3.6)	1.7 2.5 2.5 (2.2)	1.1 1.3 0.9 (1.1)	0.5 0.4 0.6 (0.5)		36	21	
		t/4 (Rim)	15.3 17.4 18.9 (17.2)	11.7 18.0 10.1 (13.3)	7.5 9.4 9.5 (8.8)	4.9 6.4 5.8 (5.7)	2.6 3.4 5.0 (3.7)	1.6 2.5 1.3 (1.8)	1.5 0.7 1.7 (1.3)			-4	14	
		t/2 (Core)		19.2 20.6 19.3 (19.2)	18.2 14.5 19.5 (17.4)	8.3 20.3 7.2 (11.9)	10.1 7.4 2.3 (6.6)	2.1 4.5 3.9 (3.5)	1.2 2.6 1.0 (1.6)	0.5 0.6 0.8 (0.6)		-35	-25	
	熱影響部	t/4 (Rim)		12.1 11.1 11.6 (11.6)	10.1 8.6 8.0 (8.9)	6.4 6.4 6.1 (6.3)	4.5 3.0 5.1 (4.2)	2.8 1.3 3.4 (2.5)	1.5 1.3 1.4 (1.4)	0.8 0.5 0.8 (0.7)		26	-17	
		t/2 (Core)		11.6 10.1 10.1 (10.6)	9.2 8.9 8.1 (8.7)	5.9 5.4 8.3 (6.5)	4.6 4.4 4.4 (4.5)	1.7 3.4 3.0 (2.7)	1.3 1.5 2.0 (1.6)	0.4 0.5 0.5 (0.5)		35	-30	
		t/4 (Rim)	17.8 17.4 15.4 (16.9)	15.3 16.0 13.1 (14.8)	9.5 15.6 9.4 (11.5)	8.0 6.9 6.7 (7.2)	4.4 4.4 3.8 (4.2)	2.1 1.8 3.0 (2.3)	1.3 1.6 1.5 (1.5)			-16		
		t/2 (Core)				22.6 22.6 19.3 (21.7)	18.9 17.5 20.6 (19.0)	10.0 12.9 15.8 (12.9)	3.9 5.8 10.4 (6.7)	1.9 2.0 4.0 (2.6)	0.3 1.9 0.5 (0.9)		-64	-65
SMA58Q (t=38)	溶着金属	t/4 (Rim)	11.8 9.4 11.5 (10.9)	10.2 10.3 9.2 (9.9)	8.7 8.7 7.5 (8.3)	5.7 6.2 6.4 (6.1)	3.4 4.4 4.2 (4.0)	1.3 3.2 2.1 (2.2)	1.3 1.0 1.3 (1.2)			25	-18	
		t/2 (Core)		9.4 9.2 10.3 (9.6)	8.5 8.2 8.7 (8.5)	6.9 6.9 7.3 (7.0)	5.3 4.9 5.4 (5.2)	3.8 3.6 3.7 (3.7)	1.9 2.2 2.5 (2.2)	1.3 0.4 1.3 (1.0)		16	-20	
		t/4 (Rim)	21.9 21.4 20.8 (21.4)	21.9 17.9 21.1 (20.3)	17.5 19.2 16.7 (17.8)	11.4 9.7 17.0 (12.7)	4.4 8.6 6.3 (6.6)	4.9 2.4 1.9 (2.9)	0.8 1.3 0.6 (0.9)			-49	45	
		t/2 (Core)	21.7 20.8 22.4 (21.6)	17.1 19.5 20.1 (18.9)	12.0 13.7 14.8 (13.5)	12.6 7.1 7.1 (8.0)	7.1 5.4 4.9 (5.8)	4.6 3.2 3.0 (3.6)	0.8 2.4 2.9 (2.0)			-25	7	

表 20—(b) サブマージアーク溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

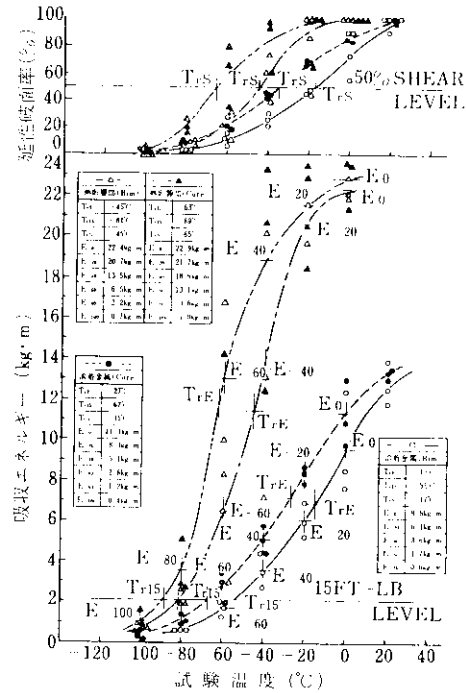
鋼種 (板厚mm)	切欠位置	採取位置	衝撃値 (kg・m)								Trs (℃)	TrF (℃)		
			40	20	0 (E ₀)	20 (E ₂₀)	40 (E ₄₀)	60 (E ₆₀)	80 (E ₈₀)	100 (E ₁₀₀)				
SMA 50C (t=50)	溶着金属	t/4 (Rim)		13.9 12.6 11.9 (12.8)	7.7 12.5 8.6 (9.6)	6.0 5.3 7.0 (6.1)	3.5 2.8 4.5 (3.6)	1.8 2.0 1.3 (1.7)	0.6 0.6 0.6 (0.8)		-17	15		
		t/2 (Core)		13.5 13.6 13.3 (13.5)	9.8 13.1 11.0 (11.3)	8.6 7.9 8.4 (8.3)	4.4 5.1 5.8 (5.1)	3.0 3.4 2.0 (2.8)	1.2 1.0 1.4 (1.2)	0.4 0.2 0.5 (0.4)	-35	27		
		熱影響部	t/4 (Rim)											
			t/2 (Core)											
			t/4 (Rim)											
			t/2 (Core)											
	t/4 (Rim)													
	t/2 (Core)													

および切欠位置は図19と同様である。試験は、
-100°Cから+40°Cの間で20°Cおきに行ない、

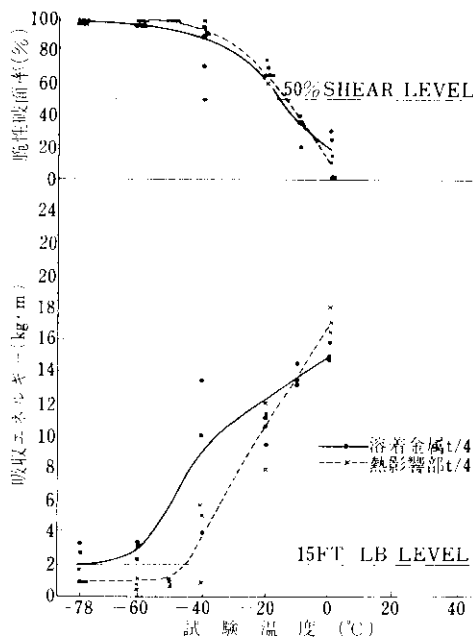
遷移曲線を求めた。試験結果を表20に、遷移曲線
の代表例を図22(a), (b), (c), (d)に示す。



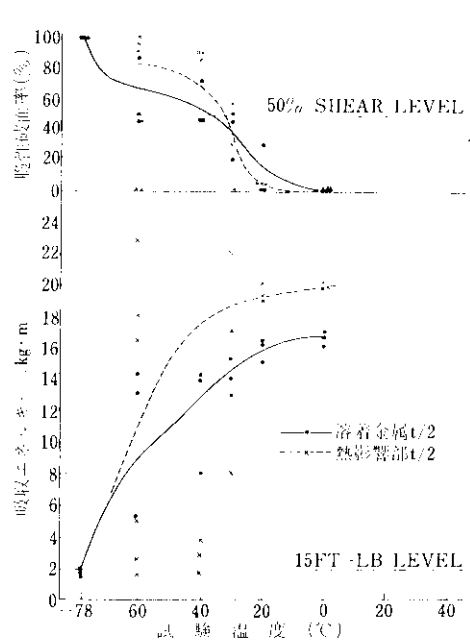
(a) 鋼材SMA58(t=50mm)



(b) 鋼材SMA50C(t=50mm)



(c) 鋼材SMA41C(t=50mm)



(d) 鋼材SMA41C(t=50mm)

図 22 サブマージアーク溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

いずれの鋼種についても母材規格値を十分満足しており良好な結果を示している。

iv) 断面硬さ試験結果

試験結果の代表例 ($t=50\text{mm}$) を図23(a), (b), (c)に示す。いずれの鋼種板厚についても溶接部の硬さ分布で特に異常硬化はみられず問題はない。

(3) 消耗ノズル式コレクトロスラグ溶接突合せ溶接継手性能試験

SMA58Qの板厚38および50mmについてのみ行なった。表21に溶接材料および溶接条件を示す。

i) 継手引張試験結果

JIS Z3121 の1号試験片を用いて行なった。

その結果を表22に示す。板厚38, 50mmとも規格値を満足しており良好な結果を示した。

ii) 継手型曲げ試験結果

JIS Z3122 の側曲げ試験片を用いて行なった。

いずれの鋼種についても表面欠陥は認められな

った。

iii) 衝撃試験結果

衝撃試験片は溶着金属の中央部および熱影響部

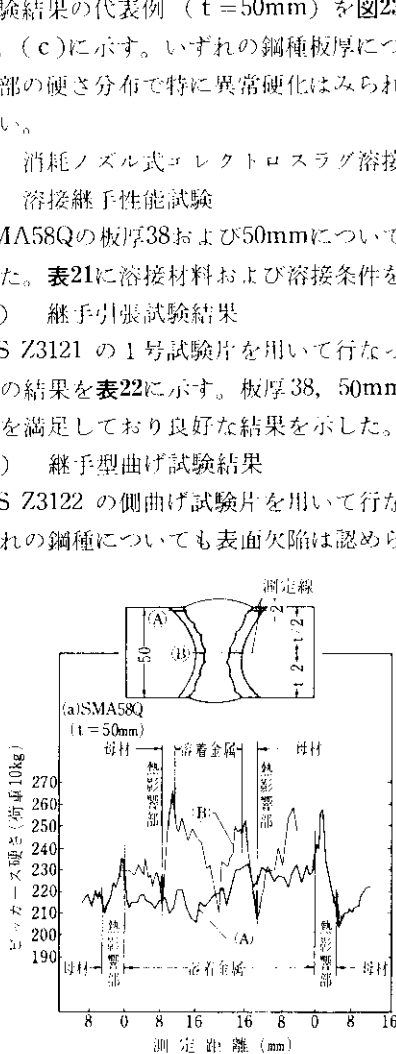


図 23—(a) サブマージアーク溶接突合せ溶接継手断面の硬さ分布

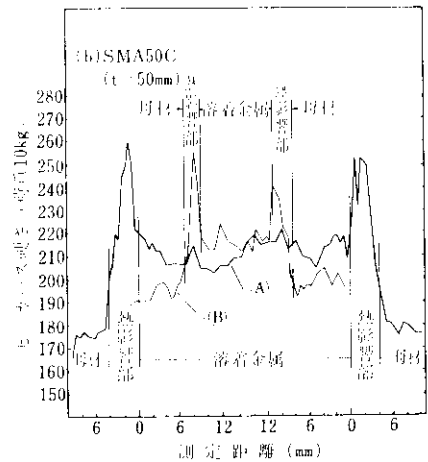


図 23—(b) サブマージアーク溶接突合せ溶接継手断面の硬さ分布

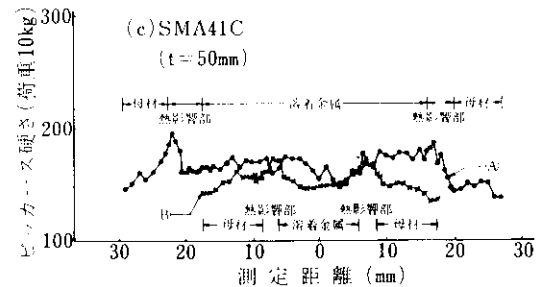


図 23—(c) サブマージアーク溶接突合せ溶接継手断面の硬さ分布

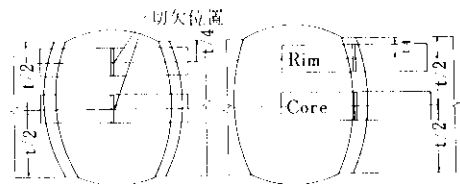


図 24 衝撃試験片採取要領

表 21 溶接材料および溶接条件

鋼種 (板厚)	心線	フลักス	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	継手形状
SMA58Q (50mm)	ES65 (3.2mmφ)	MF38 (12×65)	600	38	18	
SMA58Q (38mm)	ES65 (3.2mmφ)	MF38 (12×65)	600	36	27	

表 22 エレクトロスラグ溶接突合せ溶接継手引張試験結果

鋼種	板厚 (mm)	引張り試験 引張り強さ (kg/mm ²)	破断位置
SMA58Q	50	71.0	母材
	—	71.7	溶着金属
	38	69.4	母材
		72.2	溶着金属

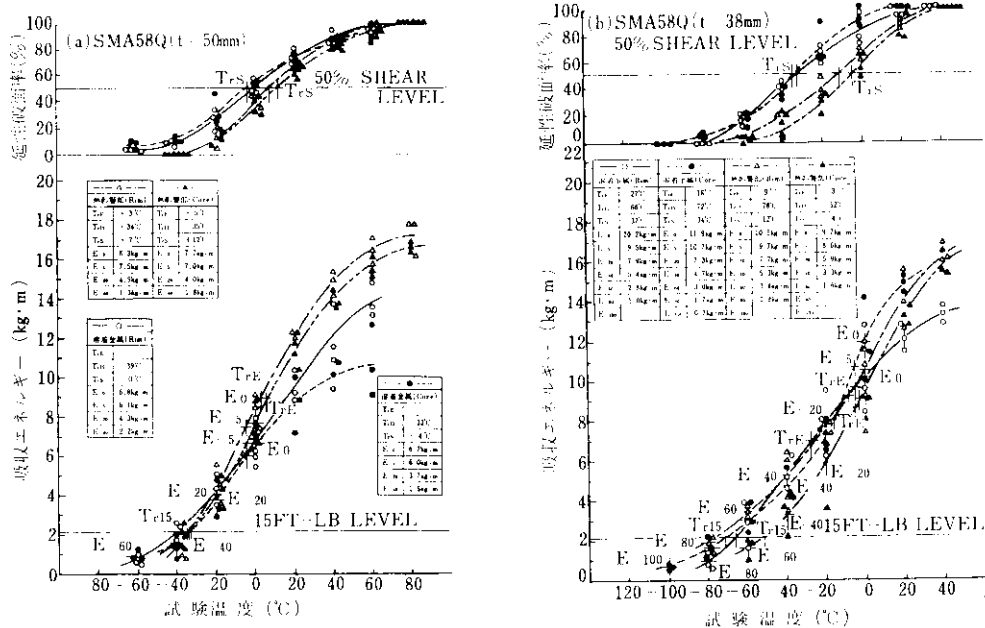


図 25 エレクトロスラグ溶接突合せ溶接継手衝撃試験結果

の板厚の $\frac{1}{4}$ と $\frac{1}{2}$ より図24に示す要領により採取した。試験は板厚50mmでは -60°C から $+80^{\circ}\text{C}$ 、38mmでは -100°C から $+40^{\circ}\text{C}$ まで 20°C おきに行ない、遷移曲線を求めた。その結果を、図25 (a), (b)に示す。どの板厚についても母材規格値($E_{15} \geq 4.8 \text{ kg} \cdot \text{m}$)を十分満足しており問題ではない。

iv) 断面硬さ試験結果

硬さ分布を図26に示すが、ピッカース硬さはいずれも約250以下で、350をはるかに下まわっており問題はないといえる。

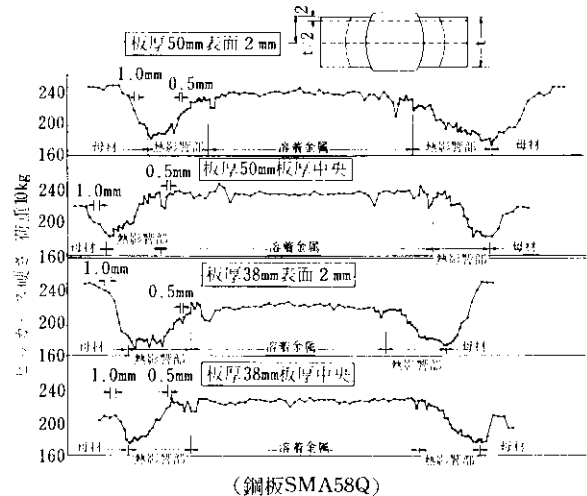


図 26 エレクトロスラグ溶接部の硬度分布

表 23 十字溶接継手の溶接条件

鋼 種	溶 接 棒	電 流 (A)	電 圧 (V)	速 度 (mm/min)	溶 接 方 法
SMA58Q (t=50)	KS86Cu (4.5mmφ)	170~190 (210~250)	22~24 (24~27)	180~220 (150~200)	手 溶 接
SMA58Q (t=50)					
SMA50C (t=50)	LBW52 (神鋼) (4.5mmφ)	650~800	33~38	350~500	サブマージ アーク溶接
SMA50B (t=25)					
SMA58Q (t=50)	US 49 (4.8mmφ, 6.4mmφ)	500~600	35~42	40~55	消耗ノズル式 エレクトロスラグ溶接
SMA58Q (t=50)	MF 38 (20×200)				
SMA50C (t=50)	US 36 (4.8mmφ, 6.4mmφ)	500~600	35~42	40~55	消耗ノズル式 エレクトロスラグ溶接
SMA50B (t=25)	MF 38 (20×200)				
SMA58Q (t=50)	ES 65 (3.2mmφ)	500~600	35~42	40~55	消耗ノズル式 エレクトロスラグ溶接
SMA58Q (t=50)	MF 38 (12×65)				

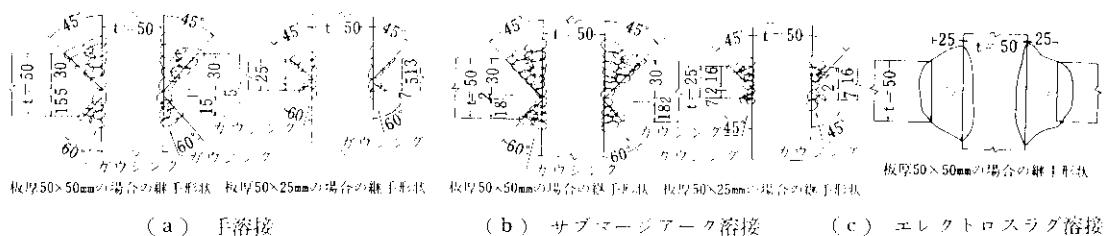


図 27 十字溶接継手開先形状

3. 5 十字型溶接継手性能試験

十字型溶接継手では、手溶接、サブマージアーク溶接および消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接の各十字型継手の性能について調査した。溶接施工は表23に示す溶接条件に基づいて行なった。開先形状は図27に示す。

(1) 十字引張試験

図28に示す形状寸法の試験片を室温にて引張って破断させその引張強さおよび破断位置を測定した結果を表24に、破断した試験片の形状を写真5に示す。いずれも破断位置は母材であり、また引張特性も良好な結果を示した。

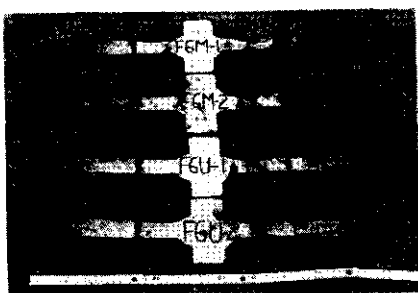
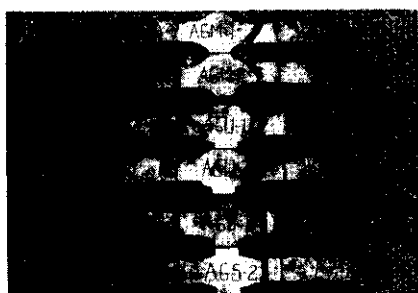


写真 5 十字型継手引張試験片の破断形状

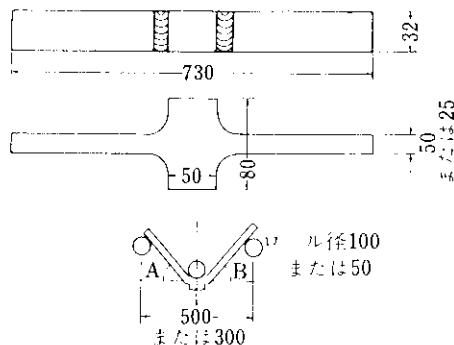
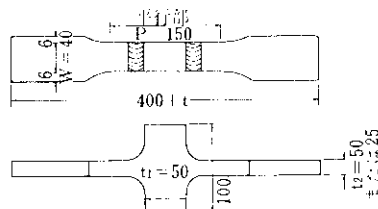
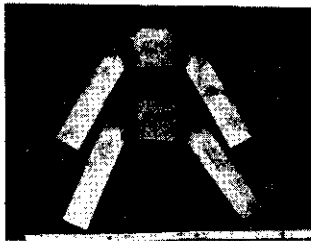


表 24 十字型溶接継手引張試験結果

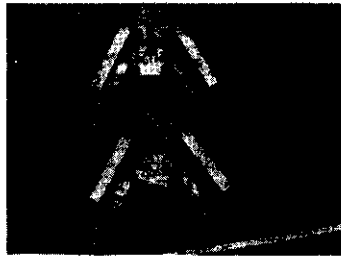
鋼種	記号	試験片寸法			引張試験				溶接方法
		厚さmm	巾mm	断面積 cm^2	最大荷重kg	引張強さ kg/mm^2	破断位置	平均値引張強さ kg/mm^2	
SMA50B	F6M1	25.3	39.6	1001.9	55,400	54.4	母材	54.6	手溶接
	C2	25.4	40.2	1021.1	55,600	54.8	"	"	
SMA50B	F6U1	25.3	39.6	1001.9	55,000	54.9	"	54.7	サブマージアーク溶接
	C2	25.4	40.2	1021.1	55,600	54.5	"	"	
SMA58Q	A6M1	50.9	39.9	2030.9	148,000	72.9	"	72.95	手溶接
	C2	50.8	39.9	2026.9	148,000	73.0	"	"	
SMA58Q	A6U1	50.5	40.0	2020.0	148,400	73.5	"	73.6	サブマージアーク溶接
	C2	50.5	39.9	2015.0	148,600	73.7	"	"	
SMA58Q	A6S1	49.9	40.0	1996.0	136,400	68.3	"	69.4	エレクトロスラグ溶接
	C2	49.8	39.6	1972.1	139,000	70.5	"	"	

表 25 十字型溶接継手曲げ試験結果

鋼 種	記 号	板厚	最大荷重 kg	最大荷重 平均 kg	割れの状況	溶接の種類
SMA50B C	F 6 M - 2	25mm	7,600 7,800	7,700	割れなし	手 溶 接
SMA50B C	F 6 G - 1 - 2	25mm	8,250 8,450	8,350	"	サブマージ アーク溶接
SMA58Q	A 6 M - 1 - 2	50mm	17,500 19,500	18,500	"	手 溶 接
SMA58Q	A 6 L - 1 - 2	50mm	19,000 19,300	19,150	"	サブマージ アーク溶接



(a) SMA58Q t=50 x 50mm



(b) SMA50C, B, t=50 x 25mm

写真 6 十字型継手曲げ試験片の曲り形状

(2) 十字曲げ試験

図29に示す形状寸法の試験片により、室温でアムスラー試験機の曲げ治具を用い、初めに溶接した側を下にして最大曲げ角度(A+B)=120°まで曲げ、スパンなどについては、JIS Z3134 (T形スミ肉溶接継手の曲げ試験)を参考に行なった最大荷重および亀裂発生の有無を調べた結果を表25に、曲げ試験片の曲り形状を写真6に示すが、割れは認められず良好な結果を示している。

(3) 断面硬さ試験

断面硬さ試験は、継手断面の溶着金属表面より2mm入った部分の硬さ分布をピッカース(荷重10kg)で測定した。エレクトロス

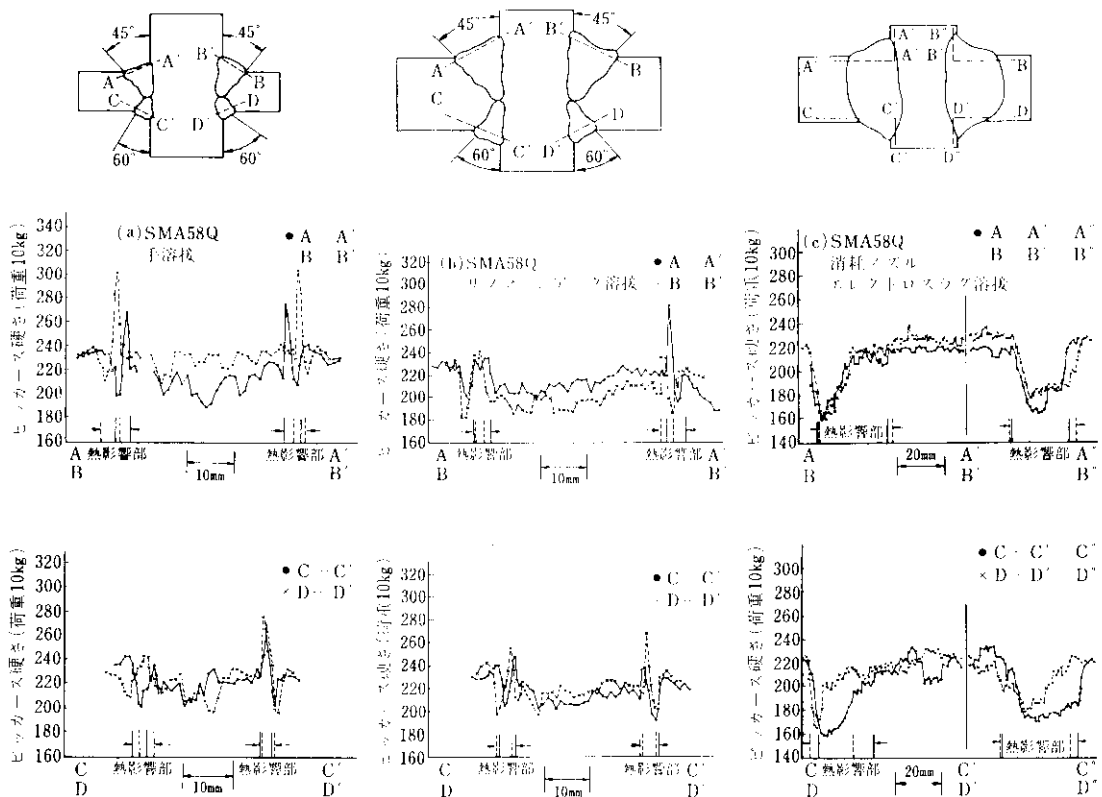


図 30-(a), (b), (c) 十字型継手断面硬度試験結果

ラグ溶接の試験材は溶接部が他と異なった形状をしているため素材表面に平行に測定した。測定結果を図30(a), (b), (c), (d), (e)に示す。手溶接, サブマージアーク溶接では熱影響部ボンド側に硬さのピークがある。その値は SMA50 B×Cでは260程度, SMA58Qでは280程度でありいずれも手溶接に比べて, サブマージアーク溶接の方が低い方へずれている。これに対してエレクトロスラグ溶接では硬化した部分がなく, 逆に熱影響部母材側に軟化ゾーンが一部認められる。

3.6 スミ肉施工試験

この試験は, 手溶接, サブマージアーク溶接方法でスミ肉溶接条件の適否を試験するものである。

試験片の形状を図31に示す。溶接姿勢は, 手溶接では図32に示すように立向, 水平姿勢の2姿勢とし, 自動溶接では水平姿勢とする。またスミ肉溶接が完了したのち試験材の充填溶接(補強盛)は所定の位置まで行なう。溶接施工は表26に示す溶接条件で行なった。

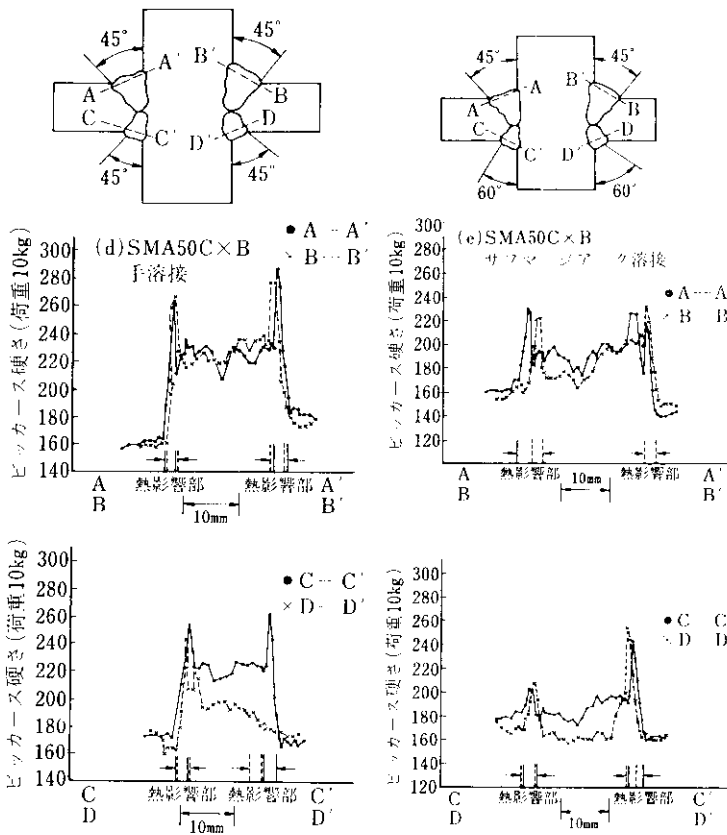


図 30-(d), (e) 十字型継手断面硬度試験結果

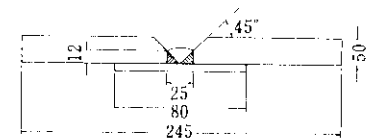


図 31 スミ肉施工試験材形状寸法

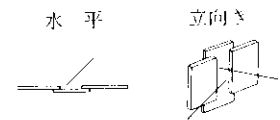


図 32 溶接姿勢

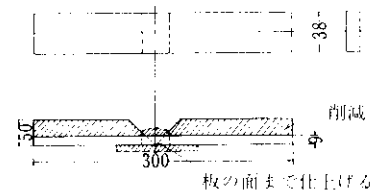
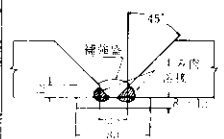


図 33 スミ肉溶接の機械試験片(裏曲げ試験片)形状寸法

表 26 溶接材料および溶接条件

SMA58Q (t=50)	SMA50C (t=50)	SMA41C (t=50)	溶接姿勢	溶接法	電流 (A)	電圧 (V)	速度 mm/min
KS86Cu (4mmφ)	LBW-52 (4mmφ)	KS76Cu (4mmφ)	立 向	手 溶 接	130~150	20~22	70~90
LBW-62-28 (4mmφ)	LBW-52-28 (4mmφ)	KS78Cu (4mmφ)	水 平	手 溶 接	170~190	21~23	180~220
US-44(48mmφ) MF-38(20×200)	US-36(48mmφ) MF-38(20×200)	KW43 (48mmφ) KB50Cu(20×200)	水 平	サブマ ージア ーク溶 接	600~650	30~32	600~650

(注) 補強盛に使用する溶接棒は, 本試験の立向姿勢に使用した溶接棒にて所定の位置まで盛り上げるもの。



(1) 型曲げ試験

各試験材より採取した試験片素材を図33に示す試験片形状寸法に加工し、JIS Z3122 に従い、スミ肉溶接側を下にして外側になるように曲げ（裏曲げ試験）表面の欠陥の有無を調べた。試験結果のまとめを表27に示すが、割れはまったく認められず良好な曲げ延性を示した。

(2) 断面硬さ試験

断面硬さ試験については、図34に示す形状寸法の試験片を切り出し、図35に示す要領でビッカース硬さ荷重 10kg により、0.5mm 間隔で測定した。結果を図36(a)～(c)に示す。硬さの最高値

表 27 スミ肉溶接型曲げ試験結果

溶接法 溶接姿勢	鋼種 板厚 (mm)	SMA58Q			SMA50C			SMA41C		
		50			50			50		
手溶接 立向	ワレの個数	0	0	3	0	0	1	0	0	1
	ワレの最大長さ (mm)	—	—	2	—	—	2	—	—	3
	ワレ発生位置	—	—	ボンド	—	—	ボンド	—	—	ボンド
	プロホールの数 (1)	0	0	0	0	0	0	0	2	0
手溶接 水平	ワレの個数	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	ワレの最大長さ (mm)	—	0.3	—	—	—	—	—	—	—
	ワレ発生位置	—	ボンド	—	—	—	—	—	—	—
サブマージ アーク溶接	ワレの個数	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	ワレの最大長さ (mm)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
水 平	ワレ発生位置	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	プロホールの数 (1)	0	1	1	0	1	0	0	0	2

(注) 1: 曲げによって口を開き付近が変形しているがワレにまで発達していないものの数。発生位置は2例を除き他はすべてボンド近傍の溶着金属である。

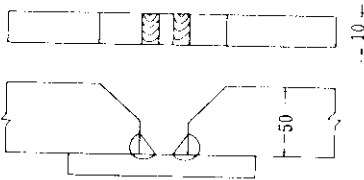


図 34 断面硬さおよび断面マクロ試験片形状寸法

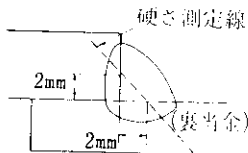


図 35 硬さ測定要領

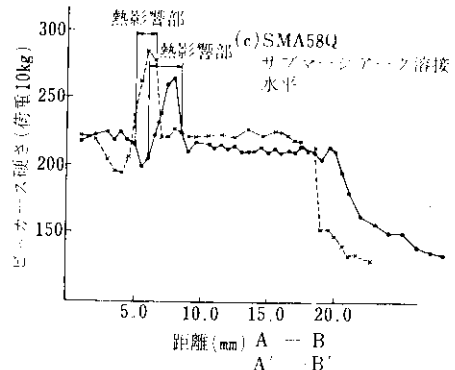
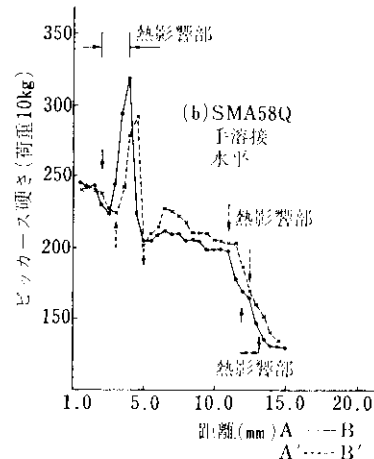
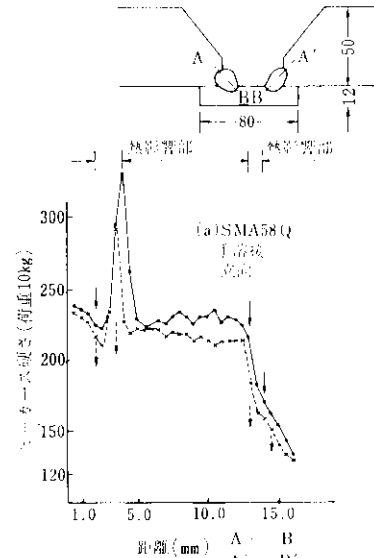


図 36 (a)(b)(c) スミ肉硬度試験結果

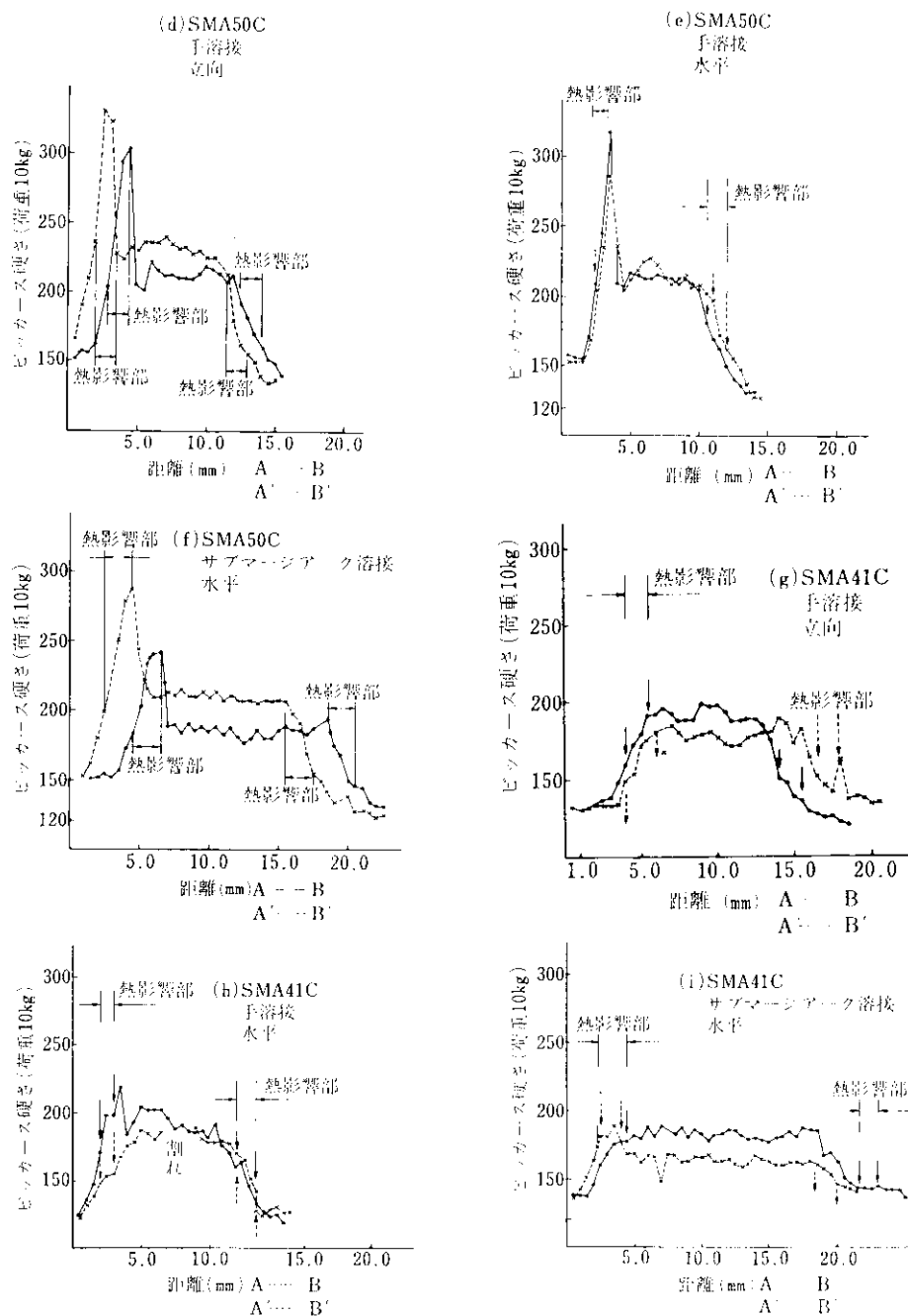


図 36 (d)(e)(f)(g)(h)(i) スミ肉硬度試験結果

は試験材側の熱影響部ボンド近くであり、その値は SMA58Q と SMA50C とではあまり変わらず手溶接でビッカース硬さ 320、サブマージアーク溶接で 290 であり、SMA41C では手溶接で 220、サブマ

ージアーク溶接では 190 あった。手溶接、サブマージアーク溶接ともビッカース硬さ 350 をはるかに下まわる値となっており問題はないといえる。裏当金側に硬さのピークがでなかったのは、寸法

の違いによる冷却速度の差のためと思われる。

(3) 断面マクロ試験

図34のような試験片を切出し、溶接部の断面を研磨し、それを腐食したのち溶込み良否、欠陥の

有無を調べた結果を写真7(a), (b), (c)に示す。SMA41C 手溶接に生じた割れは切断した面以外の所にスラグのまき込みがあり、そこから発生したクラックにより生じたものである。試験した範囲ではそれ以外に欠陥は認められなかった。

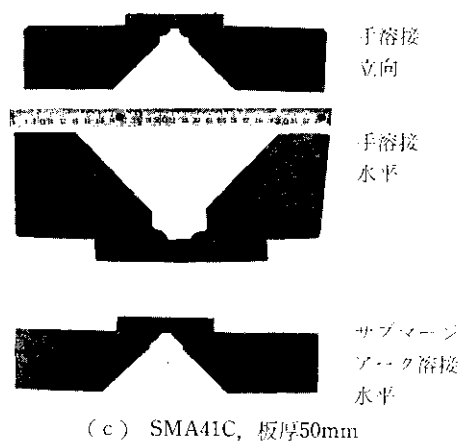
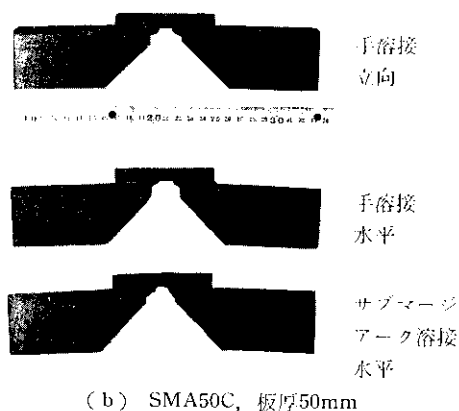
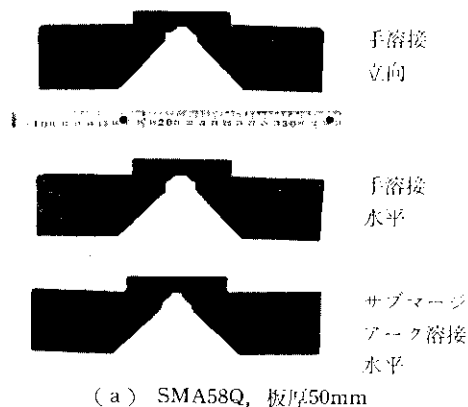


写真7 スミ肉断面マクロ写真

3.7 交差部継手模型試験

実際の橋梁などの構造物においては、十字継手のフランジ材とウェブ材との交差角 (θ) が 90° とはならない場合も多々あるが、実際溶接施工上の困難性から判断すると、交差角度は 30° 程度が限界と考えられる。したがって $\theta = 30^\circ$ となる交差部継手における溶接施工法の検討とその継手強度の確認を目的として、以下に示す模型試験を実施した。

供試材としては、板厚38および50mmの SMA58Aを用い、適用溶接方法は手溶接および消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接の2方法を用いた。使用溶接材料は、手溶接では KS86Cu (4ϕ , 5ϕ),

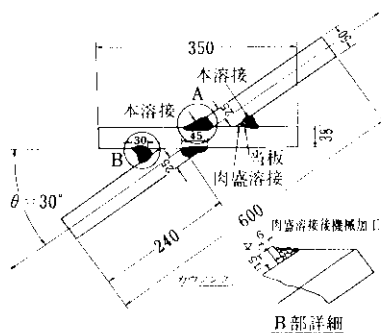


図37 手溶接における交差継手部の形状

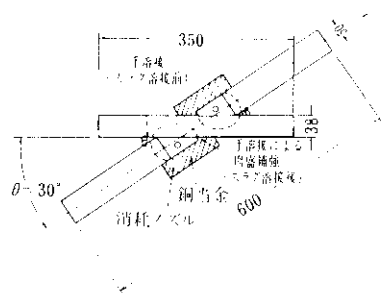


図38 消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接における交差継手部の形状

消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接ではES65 (3.2φ) × MF38 (12×65) を採用した。

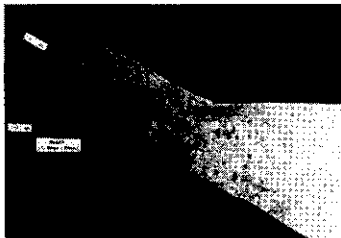
(1) 継手形状および溶接条件

継手形状は図37, 38に示すとおりであるが、手溶接継手では部分溶込型としているが、溶接部のノド厚について



SMA58Q (t=38×50)

写真 8 手溶接交差部継手の断面マクロ



SMA58Q (t=50×38)

写真 9 スラグ溶接交差部継手の断面マクロ

表 28 手溶接による交差部継手の溶接条件

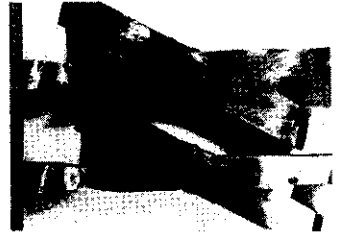
溶接部	ビード数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	溶接棒 径	溶接棒 銘柄
A 部	1~3	185	24	155~165	4mmφ	KS 86Cu
	4~35	210~230	27~29	155~175	5mmφ	
B 部	1~4	140~165	22~24	50~70	4mmφ	KS 86Cu
	5~17	170~190	27~29	60~80	5mmφ	

表 29 消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接および手溶接による交差部継手の溶接条件

溶接部	ビード数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (mm/min)	溶接棒 径	溶接棒 銘柄
スラグ溶接部	1	600	45~48	11.4	3.2mmφ	ES 65 MF×38 (12×65)
手溶接部	1~4	140~165	22~24	50~70	4.0mmφ	KS86Cu
	5~8	170~190	27~29	60~80	5.0mmφ	

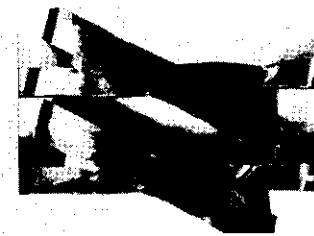


SMA58Q (t=50×50)

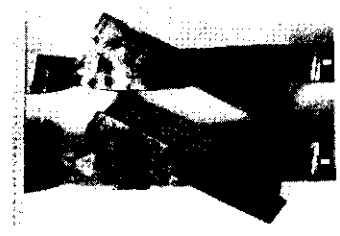


SMA58Q (t=38×38)

写真 10 手溶接交差部継手引張試験片の破断形状



SMA58Q (t=50×50)



SMA58Q (t=38×38)

写真 11 消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接交差部継手引張試験片の破断形状

表 30 交差部継手引張試験結果

継手	板厚 (mm)	破断強度 (kg/mm ²)	破断位置
手溶接継手	40	52.8	溶接部
	"	55.1	"
	38	73.2	母材
	"	71.6	"
消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接継手	50	71.1	"
	"	70.7	"
	38	65.1	"
	"	65.3	"

は母材厚さと同等(全強)という考えを採用している。この場合の溶接条件を表28に、また継手の断面マクロ組織を写真8に示す。

また消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接継手では完全溶込み型とし、溶接ビードの仕上り外観上問題となる趾端部は手溶接による化粧盛を併用している。この場合の溶接条件を表29に、継手の断面マクロ組織を写真9に示す。

(2) 継手引張試験結果

交差部の各溶接継手引張試験結果を表30、および写真10, 11に示す。完全溶

込み溶接となるスラグ溶接継手では、板厚が38および50mmの場合に、いずれも母材部で破断しているが、手溶接継手では板厚50mmの場合には写真10に示すように溶接部破断を示し、しかも母材の引張強さ以下であった。したがって、交差部継手で良好な継手を得るためには完全溶込みとするか、あるいは全強以上のノド厚の確保が必要と考えられる。新埠頭連絡橋においては、完全溶込み溶接となるよう考慮しているので問題はないといえる。

4. 総括

耐候性高張力鋼を用いた溶接構造物を製作する場合においては、使用性能面で十分な構造強度が確保されるよう、注意しなければならない。とくに使用鋼材の溶接性や実際に適用する溶接施工条件に対する十分な検討が必要であることはいうまでもない。

このような観点に立って実施した本研究からは以下に示す施工に対する指針が得られた。

- (1) 鋼材の耐候性を付加する Cu, Cr などの合金成分の添加量は必要上最低限におさえる。
- (2) 溶接施工においては、割れ発生の防止に重点

をおき、とくに仮付溶接やスミ肉溶接部の割れ発生に注意する必要がある。

- (3) 使用溶接棒の吸湿性を十分把握するとともに、現場における乾燥および取扱管理を徹底化させる必要がある。
- (4) 突合せ溶接は可能な限り、比較的入熱の大きいサブマージアーク溶接を使用して、割れ防止を計る必要がある。
- (5) 比較的狭隘な箱桁においては、予熱温度を下げてでも十分割れ防止を計るために、極低水素系溶接棒の使用が有効である。
- (6) 厚鋼板の溶接方法としては、消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接法も十分適用性をもっている。

以上の諸点について十分考慮を払うならば、耐候性鋼を用いた構造物といえども、製作時における割れ発生に対しては十分対処し得るとともに、継手の延性や切欠靱性などにおいても十分満足できる性能が得られるものと考えられる。

最後に、本研究を実施するに当たって、有益なご助言、ご指導をたまわった京都大学小西教授、東京大学奥村教授に対して心から感謝の意を表する次第です。