
耐候性鋼板用溶接材料について

On Welding Materials for Atmospheric Corrosion Resisting Steel Plates

坪井 潤一郎(Junichiro Tsuboi) 杉江 英司(Eiji Sugie)

要旨：

耐候性鋼板用の溶接材料の開発を目的として、溶接部の耐候性をその電極電位の測定と大気暴露試験で判定し、さらに溶接材料の機械的性質を試験してつぎのことを確認した。1) 適当量の Cu, Ni, Cr などを含んだ溶接金属は大気暴露により、母材耐候性鋼板とほぼ同時の耐候性を示す。2)開発した耐候性鋼板用の被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接材料はすぐれた機械性能をもち、実際構造物に供しうる。

Synopsis：

For the purpose of developing welding materials specially suited for welding the atmospheric corrosion resisting steel plates, the atmospheric corrosion resistance of the weld part was tested by measuring its electrode potential and exposing it to atmospheric corrosion, and also the mechanical properties of welding materials were tested. The results obtained were as follows; (1) The atmospheric corrosion test showed that the weld metal containing an adequate amount of Cu, Ni and Cr had an anti-corrosive property nearly equal to that of the mother plate of atmospheric corrosion resisting steel. (2) It was proved that the coated electrodes and the submerged-arc wires and fluxes designed for use on the atmospheric corrosion resisting steels, possessed excellent mechanical properties and that they could well be put to practical constructional uses.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

耐候性鋼板用溶接材料について

On Welding Materials for Atmospheric Corrosion Resisting Steel Plates

坪 井 潤一郎*

Junichiro Tsuboi

杉 江 英 司**

Eiji Sugie

Synopsis

For the purpose of developing welding materials specially suited for welding the atmospheric corrosion resisting steel plates, the atmospheric corrosion resistance of the weld part was tested by measuring its electrode potential and exposing it to atmospheric corrosion, and also the mechanical properties of welding materials were tested.

The results obtained were as follows;

(1) The atmospheric corrosion test showed that the weld metal containing an adequate amount of Cu, Ni and Cr had an anti-corrosive property nearly equal to that of the mother plate of atmospheric corrosion resisting steel.

(2) It was proved that the coated electrodes and the submerged arc wires and fluxes designed for use on the atmospheric corrosion resisting steels, possessed excellent mechanical properties and that they could well be put to practical constructional uses.

耐候性鋼板の需要が増えるにつれて、それに用いる溶接材料が要求されるようになった。

当研究所では耐候性のみならず靱性、耐亀裂性、作業性などにもすぐれた被覆アーク溶接棒とサブマージアーク溶接材料を研究開発した。

1. 溶接部の耐候性

溶接部の耐食性についての研究発表は多数あるが、“耐候性”に関する報告はきわめて少ない。それは耐候性を直接的に判定できる大気暴露試験が最低数カ月から数年の年月を要し、しかもそれに代わる短期間の促進試験方法が確立されていないからであろう。

一般的な腐食という観点からすれば、以下の要因が溶接部の耐候性に影響すると考えられる。

- (1)溶接金属の化学組成
- (2)溶接部のミクロ組織
- (3)溶接残留応力
- (4)溶接部の受けた熱サイクル
- (5)溶接後の熱処理の有無
- (6)アンダーカット、ピットなどの溶接欠陥
- (7)ビード形状
- (8)溶接ビード上の残留スラグ

これらの要因について、遠藤、大谷¹⁾は軟鋼圧延板を被覆アーク溶接棒（酸化鉄系）で溶接し、顕微鏡組織、硬さ試験、腐食試験、電極電位測定などを行なって、溶接部の組織を、

* 技術研究所溶接研究室主任研究員

** 技術研究所溶接研究室

A₁: 溶着部上層の柱状鑄造組織

A₂: 溶着部下層のブローホール, 不純物またはパーライトの偏析などが多い不均一組織

B₁: 溶着部に隣接し, 冷却速度も速く, 粗大過熱組織でフェライトが網目状となったところ

B₂: B₁とほとんど同じであるが, 少し腐食され難いところ

B₃: 1000°C程度に加熱されて組織が粗大化したところ

B₄: 焼ならし部の端で組織が細かくなったところ

C: 母材原質部

に分類して, 諸試験結果から次のように結論している。

(1)腐食の激しいのは組織急変部である。

(2)溶着部の腐食は母材よりも激しく, それはこの部分が不均一鑄造組織で不純物や炭化物などの偏析が多いからである。また溶着部内では柱状のA₁より細粒のA₂が腐食されやすく, これはA₂では陰, 陽極の粒界が多くて電気化学的腐食作用が活発なことからA₂が母材原質部に隣接することのためである。

(3)腐食量と電極電位の傾向はほぼ一致するが, 溶着部の腐食は主として組織の不均一性によるものである。

(4)600°Cで6時間焼なましした結果は溶接のままのものとほとんどかわらず, 800°C, 1h焼なましではB, C部はほとんど同一の標準組織となり, 歪の差も消えて腐食量は50~60%に減ずる。

以上は3% H₂SO₄中での腐食結果であるが, ほかの腐食液では溶接部がとくに腐食されやすいとは限らないと渡辺²⁾は報告している。

当室では腐食液として中性のNa₂SO₄溶液を用い, いろいろな成分のサブマージアーク溶接金属と母材RIVER TEN 50Bの電極電位を測定した。溶接は1000A-36V-38cm/minで行なった。

試験片は,

A: 溶接金属 (Cu添加)

B: " (Cu, Cr添加)

C: " (Cu, Cr, Ni添加)

D: " (Cu, Mo添加)

E: 母材 RIVER TEN 50B

の5種とした。

各試料の化学成分を表1に示す。

試験片寸法は5×10×15mmで溶液中の浸漬面が片面10×10mmとなるようにパラフィンでシールした。

測定は,

電極 飽和甘汞電極

溶液 ½N Na₂SO₄ (O₂sat), 液量1ℓ, 温度25°C, 攪拌器により攪拌,

で行ない, 浸漬時間ごとの電位を図1に示す。

どの試料も約3hで最低値となり, その後, やや上昇して24h後にはほぼ一定の値となる。母材と溶接金属とを比較すると初期には母材がやや貴となるが60hを越えるとはほとんど差がなくなる。溶接金属の化学成分でも, Cuのみ添加したものと, さらにCr, Ni, Moなどを添加したものの差は認められない。

表1 電位測定試験片の化学成分 (%)

試験片記号	試料	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo
A		0.10	0.40	0.98	0.018	0.018	0.26			
B	溶接金属	0.10	0.40	0.96	0.018	0.018	0.26	0.38		
C		0.10	0.42	1.00	0.018	0.018	0.27	0.38	0.13	
D		0.11	0.40	1.24	0.019	0.012	0.28			0.22
E	母材 RIVER TEN 50B	0.16	0.37	0.91	0.021	0.015	0.26	0.45	0.14	

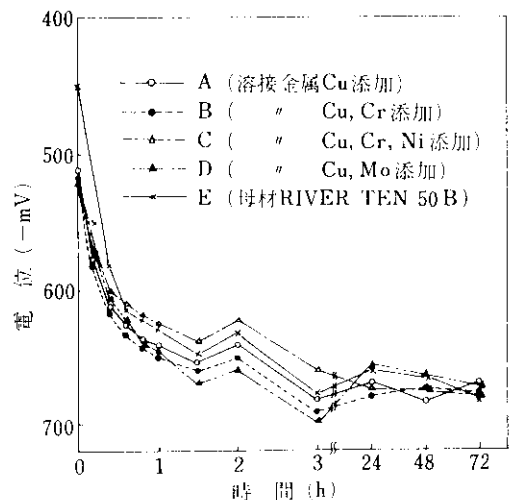


図1 ½N Na₂SO₄中の電極電位測定結果

表 2 暴露試験片の化学成分(%)

	銘 柄	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
鋼 板	RIVER TEN50B	0.13	0.38	0.98	0.018	0.014	0.28	0.30	0.54
※	KS- 73Cu	0.10	0.12	0.75	0.018	0.013	0.29	0.31	0.30
溶 接 材	KS- 76Cu	0.07	0.43	0.65	0.015	0.010	0.30	0.50	0.35

※ 溶接材の溶接金属の化学成分を示す

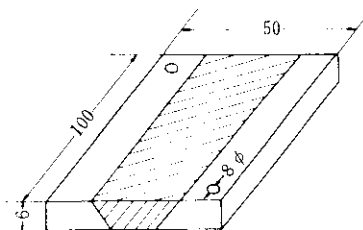
図2 暴露試験片形状
(表面および端面はヘール仕上げ)

表 3 暴露試験結果

試験場所	母 材	溶 接 棒	1 年 暴 露		2 年 暴 露	
			腐食量 mg/cm ²	母材に 対する比 %	腐食量 mg/cm ²	母材に 対する比 %
四 日 市	RIVER TEN 50B	—	59.6	100	70.9	100
	"	KS-73Cu	62.3	105	68.5	97
	"	KS-76Cu	53.7	90	66.7	94
潮 の 岬	RIVER TEN 50B	—	34.5	100	62.6	100
	"	KS-73Cu	34.5	100	53.1	85
	"	KS-76Cu	34.6	100	55.0	88

表 4 耐候性鋼板用溶接材料一覧

区 分	適 用 鋼 種	被 覆 アーク 溶 接 棒		自 動 溶 接 材 料	
		銘 柄	被 覆 系	心 線	溶 剤
41kg/mm ² 級 耐候性鋼板	RIVER TEN 41				
	41S 41A 41B 41C	KS-63Cu KS-76Cu	ライムチタニア系 低 水 素 系	KW-43	KB-50Cu
50kg/mm ² 級 耐候性鋼板	RIVER TEN 50M				
	50A 50B 50C 50K	KS-73Cu KS-76Cu	ライムチタニア系 低 水 素 系	KW-43	KB-50Cu
60kg/mm ² 級 耐候性鋼板	RIVER TEN 58 62	KS-86Cu	低 水 素 系	KW-40C	KB-60Cu

電極電位測定は試験片の表面にさび
ができない期間だけに意味があるが、
構造物の腐食ではさびができてからが
問題であり、実際の腐食状況を調べる
には長期間の大気暴露試験によらねば
ならない。

RIVER TEN 50B の溶接部の大気
暴露試験結果は以下のとおりである。

実験場所

工業地帯…三重県四日市市

海岸地帯…和歌山県潮の岬

暴露期間

昭和42年7月～昭和44年7月

試験片

鋼材 RIVER TEN 50B

溶接材 RIVER TEN 50B に被覆アーク

溶接棒 KS-73 Cu (ライムチタニア

系), KS-76Cu(低水素系) で多層溶

接したもの。

試験片の化学成分を表2に形状を図2に
示す。試験片は南面 30° 傾斜に設置し
た。

試験結果

表3に試験結果を示すが、被覆剤から
Ni, Cr, Cu を適量添加すれば溶接部の
腐食量はほとんど母材のそれと変わらない
ものとなる。

2. 耐候性鋼板用溶接材料の性能

前章の試験結果に基づいて、耐候性の溶着金属が得られるように設計した溶接材料の一覧を表4に示す。

2.1 41kg/mm²級溶接材料の性能

(1) KS-63Cu

溶接作業性に重点をおいたライムチタニア系の被覆アーク溶接棒である。

全溶着金属の機械的性質を表5に、化学成分を表6に示す。

表5 KS-63Cu 全溶着金属の機械的性質の一例

降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	衝撃値 vEo(kgm)
45	52	30	58	9.0

表6 KS-63Cu 全溶着金属の化学成分の一例(%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.08	0.10	0.65	0.015	0.018	0.30	0.30	0.31

(2) KS-76Cu

低水素系の被覆アーク溶接棒で溶着金属の機械的性質、耐亀裂性がすぐれている。

表7, 8に全溶着金属の機械的性質と化学成分を示す。

表7 KS-76Cu 全溶着金属の機械的性質の一例

熱処理	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	衝撃値 vEo(kgm)
AW	52.4	58.6	29	65	24
SR(625°C, 1h)	47.6	55.2	31	72	25

AW: 溶接のまま

表8 KS-76Cu 全溶着金属の化学成分の一例(%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.06	0.45	0.62	0.014	0.008	0.30	0.46	0.37

2.2 50kg/mm²級溶接材料の性能

2.2.1 被覆アーク溶接棒

(1) KS-73Cu

ライムチタニア系の溶接棒で、50kg/mm²級耐候性鋼板の薄板の溶接を目的としたものである。

表9, 10に全溶着金属の機械的性質と化学成分を示す。

表9 KS-73Cu 全溶着金属の機械的性質の一例

降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	衝撃値 vEo(kgm)
49	55	32	70	8.0

表10 KS-73Cu 全溶着金属の化学成分の一例(%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.09	0.10	0.72	0.018	0.013	0.30	0.32	0.29

(2) KS-76Cu

全溶着金属の性能は前述したが、以下は

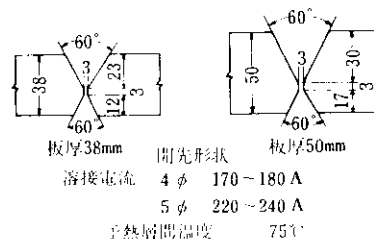


図3 RIVER TEN 50手溶接継手の開先形状および溶接条件

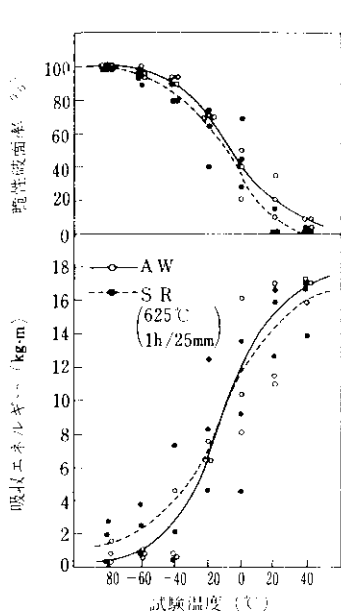
表11 RIVER TEN 50手溶接継手の引張および曲げ試験結果

板厚 (mm)	熱処理	引張試験(短ゲージ)			引張試験(長ゲージ)				曲げ試験		
		降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び(%) (GL=200)	破断位置	表曲げ	裏曲げ	側曲げ
38	AW	45.2	60.5	母材	42.0	56.2	22	母材	良	良	良
		46.0	60.4	"	42.6	55.5	25	"	"	"	"
	※SR	45.3	59.8	母材	41.2	55.0	25	母材	良	良	良
		45.6	59.7	"	41.5	55.3	24	"	"	"	"
50	AW	41.1	56.9	母材	39.2	53.8	27	母材	良	良	良
		41.8	57.2	"	38.6	53.1	28	"	"	"	"
	※SR	41.0	56.2	溶接金属	38.8	53.2	28	母材	良	良	良
		40.1	55.2	母材	39.3	53.4	27	"	"	"	"

※ SR条件は625°C 1h/25mm

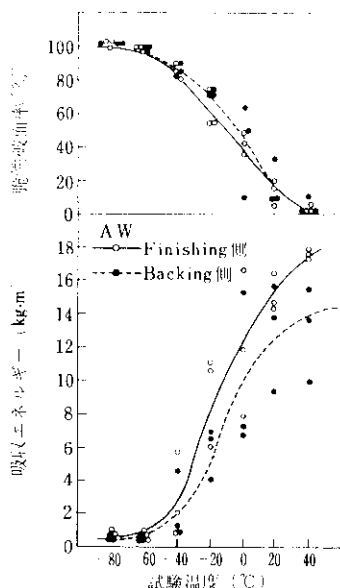
RIVER TEN 50Bの板厚38mm(圧延のまま),
50mm(焼ならし)の溶接継手性能である。
開先形状と溶接条件を図3に示す。

引張、曲げ試験結果を表11に、衝撃試験結果
を図4, 5, 6に、ビッカース硬さ(荷重10kg)
試験結果を図7, 8に示す。



板厚 (mm)	熱 処理	vTr ₁ (°C)	vTr ₂ (°C)	vTr ₃ (°C)	vE ₁ (kg-m)	vE ₂ (kg-m)
38	AW	-12	-6	-44	11.7	6.6
	SR	-13	-9	-61	11.5	6.9

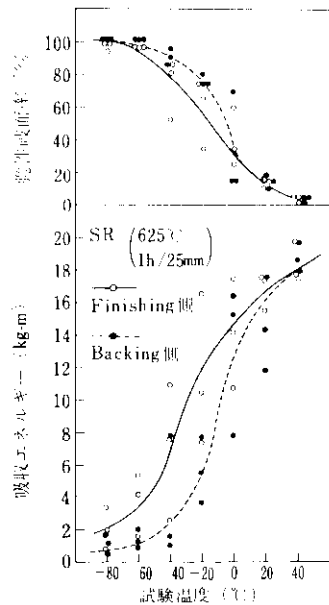
図4 RIVER TEN 50 板厚38mm
手溶接継手溶接金属衝撃試
験結果



板厚 (mm)	熱 処理	側	vTr ₁ (°C)	vTr ₂ (°C)	vTr ₃ (°C)	vE ₁ (kg-m)	vE ₂ (kg-m)
50	AW	F.S.	17	6	-45	12.7	8.4
		B.S.	14	1	-39	10.3	5.3

F.S.: Finishing side B.S.: Backing side

図5 RIVER TEN 50 板厚50mm
手溶接継手溶接金属衝撃試
験結果(AW)



板厚 (mm)	熱 処理	側	vTr ₁ (°C)	vTr ₂ (°C)	vTr ₃ (°C)	vE ₁ (kg-m)	vE ₂ (kg-m)
50	SR	F.S.	30	-14	-76	14.8	11.5
		B.S.	10	4	-44	12.8	5.7

F.S.: Finishing side B.S.: Backing side

図6 RIVER TEN 50 板厚50mm
手溶接継手溶接金属衝撃試
験結果(SR)

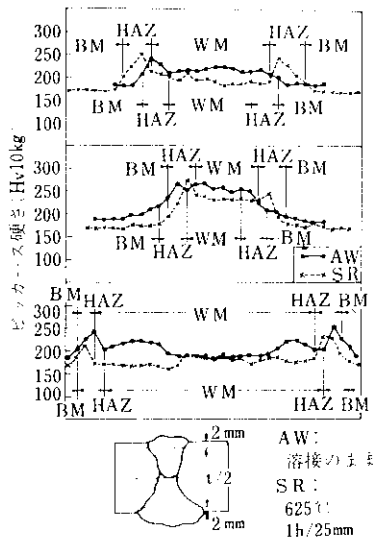


図7 RIVER TEN 50 板厚38mm
手溶接継手硬さ試験結果

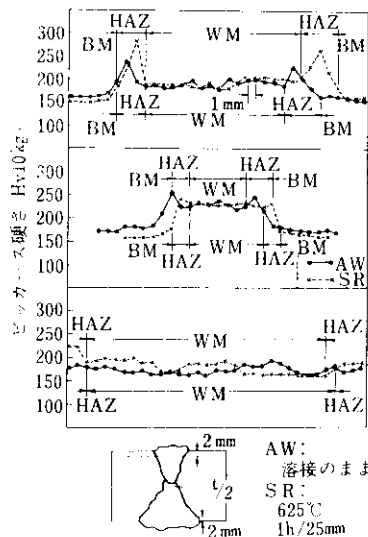


図8 RIVER TEN 50 板厚50mm
手溶接継手硬さ試験結果

2・2・2 サブマージアーク溶接材料

心線KW-43と溶剤 KB-50Cuの組合わせは50キロ級耐候性鋼板の単層および多層溶接用のもので、とくに切欠靱性に重点を置いている。

全溶着金属の機械的性質を表12に、化学成分を表13に示す。

表 12 KW-43×KB-50Cu 全溶着金属の機械的性質の一例

降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	衝撃値 vEo(kgm)
41	52	34	65	11.8

表13 KW-43×KB-50Cu 全溶着金属の化学成分の一例(%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.05	0.44	1.41	0.017	0.015	0.39

溶接継手性能を以下の材料を使用して試験した。

鋼板 RIVER TEN 50B 板厚25mm
(圧延のまま)
板厚50mm
(焼ならし)

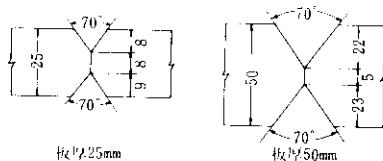


図 9 RIVER TEN 50自動溶接継手の開先形状

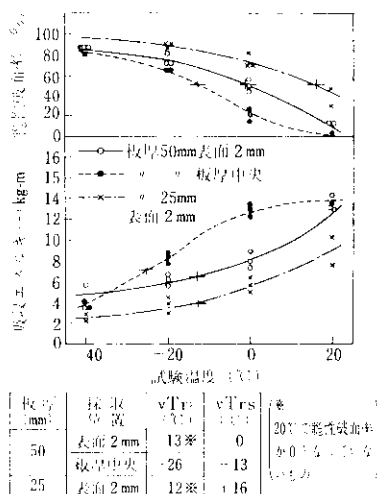


図10 RIVER TEN 50自動溶接継手溶接金属衝撃試験結果

表14 RIVER TEN 50自動溶接継手の溶接条件

板厚 (mm)	予熱 温度 (℃)	積層法	層	バス	溶 接 条 件			
					電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (Joule/cm)
25	100		1	1	900	33	26	68,600
			2	2	1000	36	28	77,000
50	100		1	1	800	34	36	45,300
			4	7				
			5	8	800	34	36	45,300
			8	14				

表 15 RIVER TEN 50自動溶接継手の引張および曲げ試験結果

板 厚 (mm)	引 張 試 験		曲 げ 試 験		
	引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	自由曲げ 判 定	側曲げ 判 定	側曲げ 値
25	54.6	母 材	良	43	良
	54.2	"	"	40	"
50	55.7	母 材	良	38	良
	56.2	"	"	36	"

心線 KW-43 径4.8mm

溶剤 KB-50Cu

開先形状を図9に、溶接条件を表14に示す。

引張、曲げ試験結果を表15に、衝撃試験結果を図10に、硬さ試験結果を図11に示す。

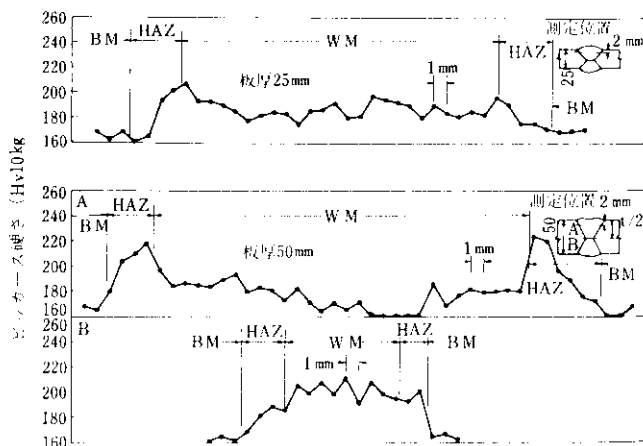


図11 RIVER TEN 50自動溶接継手硬さ試験結果

2.3 60kg/mm²級溶接材料の性能

2.3.1 被覆アーク溶接棒KS-86Cu

KS-86CuはKS-76Cuと同じく、低水素系溶接棒で被覆剤よりMn, Si, Cu, Ni, Crなどの元素を溶着金属中に添加して、耐候性と機械的性能を向上させたものである。

全溶着金属の機械的性質と化学成分を表16, 17に示す。

表 16 KS-86Cu 全溶着金属の機械的性質の一例

降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	衝撃値 vEo(kgm)
56	65	30	62	8.0

表 17 KS-86Cu 全溶着金属の化学成分の一例(%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
0.06	0.53	0.66	0.014	0.012	0.30	0.53	0.10	0.30

溶接継手性能を以下の材料を用いて試験した。

銅板 RIVER TEN 60, 板厚26mm
(焼入焼戻し)

溶接棒 KS-86Cu 径4.0mm, 5.0mm

開先形状, 溶接条件を図12に示す。

引張, 曲げ試験結果を表18に, 衝撃試験結果を図13に, 硬さ試験結果を図14に示す。

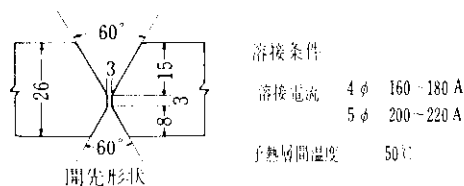


図12 RIVER TEN 60手溶接継手の開先形状および溶接条件

表18 RIVER TEN 60手溶接継手の引張および曲げ試験結果

板厚 (mm)	熱処理	引張試験(短ゲージ)			引張試験(長ゲージ)			曲げ試験		
		降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び(%) (GL=200)	破断位置	表曲げ	裏曲げ 側曲げ
26	AW	—	68.4	母材	52.2	67.4	16	母材	良	良
		—	69.9	"	53.9	68.2	19	"	"	"
	※ SR	—	64.5	溶接金属	56.9	66.5	15	母材	良	良
		—	63.9	"	53.3	66.2	17	"	"	"

※ SR条件は625℃, 1h

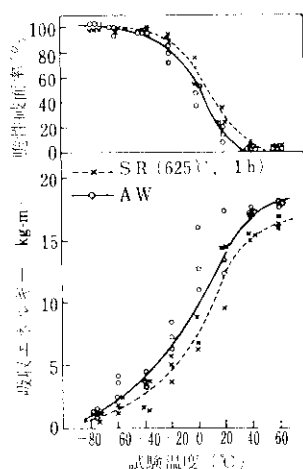


図13 RIVER TEN 60板厚26mm手溶接継手溶接金属衝撃試験結果

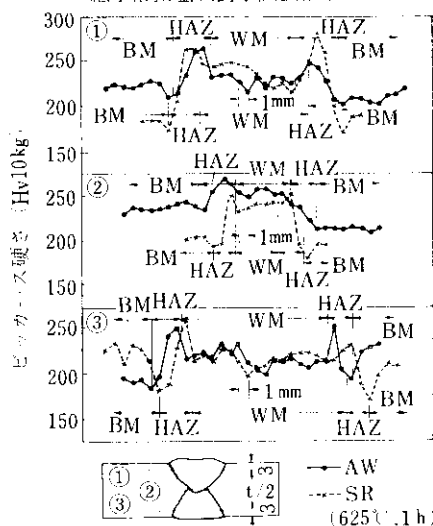


図14 RIVER TEN 60板厚26mm手溶接継手硬さ試験結果

2.3.2 サブマージアーク溶接材料

心線KW-40Cと溶剤 KB-60Cu とを組合わせて溶接する。

KB-60Cu は高塩基性の焼成型溶剤で心線 KW-40C と組合わせることにより溶着金属中にNi, Mo, Cuを添加し、耐候性と切欠靱性とを具備させたものである。

全溶着金属の機械的性質と化学成分を表19、表20に示す。

表 19 KW-40C×KB-60Cu

全溶着金属の機械的性質の一例

降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	衝撃値 vEc(kg _m)
57	66	27	62	11.0

表 20 KW-40C×KB-60Cu

全溶着金属の化学成分の一例 (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Mo
0.08	0.47	1.49	0.016	0.012	0.28	1.00	0.49

溶接継手性能を以下の材料を使用して試験した。

鋼板 RIVER TEN 62板厚25mm, 50mm
(ともに焼入焼戻し)

心線 KW-40C 径4.8mm

溶剤 KB-60Cu

開先形状を図15に、溶接条件を表21に示す。

引張、曲げ試験結果を表22に、衝撃試験結果、硬さ試験結果を図16、17に示す。

表 21 RIVER TEN 62自動溶接継手の溶接条件

板厚 (mm)	予熱 温度 (℃)	積層法	層	パス	溶 接 条 件			
					電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (Joule/cm)
25	100		1	1	900	33	26	68,600
			2	2	1000	36	28	77,000
50	100		1	1	800	34	36	45,300
			4	7				
			5	8	800	34	36	45,300
			8	14				

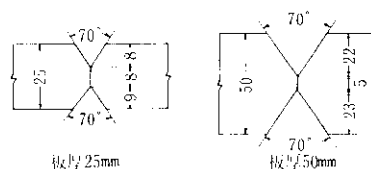
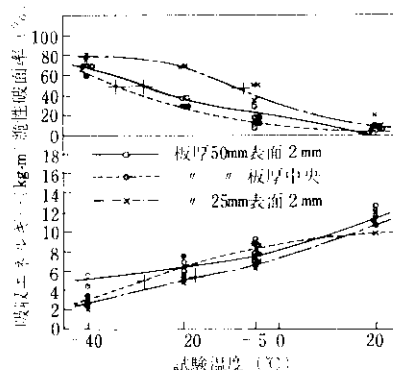


図15 RIVER TEN 62自動溶接継手の開先形状

表 22 RIVER TEN 62自動溶接継手の
引張および曲げ試験結果

板 厚 (mm)	引 張 試 験		曲 げ 試 験		
	引張強さ (kg/mm ²)	破断位置	自由曲げ 判 定	伸 び	側曲げ
25	67.8	母 材	良	40	良
	68.2	"	"	41	"
50	66.4	母 材	良	32	良
	66.2	"	"	31	"



板厚 (mm)	採取 位置	vTrs (℃)	vTrs (℃)	注
50	表面2mm	-28	28	20℃で脆性破断 率が0となる 場合あり
50	板厚中央	-28	33	
25	表面2mm	-17*	7	

図 16 RIVER TEN 62自動溶接継手溶接
金属衝撃試験結果

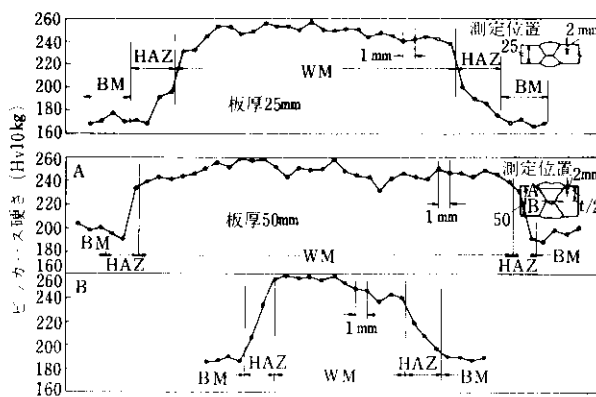


図 17 RIVER TEN 62自動溶接継手硬さ試験結果

3. むすび

耐候性鋼板用溶接材料の溶接部の耐候性と機械的性能を検討して、次の結論を得た。

(1)溶接金属中に適当量の Cu, Ni, Crなどを添

加するような溶接材料を用いれば、大気暴露で、耐候性鋼板と同程度の耐候性をもった溶接部が得られる。

(2)41~60kg/mm²級の耐候性鋼板用に開発した各種溶接材料はいずれも良好な機械的性能をもち、十分使用しうる。

参考文献

- 1) 速藤, 大谷: 金属学会誌, 17 (1953), 10, 479
- 2) 渡辺: 溶接設計と管理 (1963) 187 (オーム社)

