
溶接構造用耐海水鋼 MARIWEL の特性

Properties of Seawater Corrosion Resistant Steel MARIWEL for Welded Structure

栗栖 孝雄(Takao Kurisu) 今津 司(Tsukasa Imazu) 西山 昇(Noboru Nishiyama)
鈴木 健人(Taketo Okumura) 久野 忠一(Tadakazu Kyuno)

要旨：

使用環境に応じた3種類の溶接構造溶接用耐海水鋼“MARIWEL”を開発した。MARIWEL Hは飛沫帯用 50kgf/mm² 級, MARIWEL Kは海中用 41 および 50kgf/mm², MARIWEL Rは飛沫帯, 海中両環境用 41 および 50kgf/mm² 低合金鋼である。上記鋼種のうち, 主に 50kgf/mm² 級現場工程について確性試験を行った結果, 母材特性, 溶接性および溶接継手性能は優れた特性を示し, それぞれの使用環境で普通鋼の約 2 倍の耐食性を示した。

Synopsis：

Three Types of weldable seawater corrosion resistant steels, "MARIWEL", have been developed: MARIWEL H50 is a 50kgf/mm² class low alloy steel containing Cu, Ni and Mo, and has good corrosion resistance in splash zone; MARIWEL K is a 41 or 50kgf/mm² class low alloy steel containing Cr, and Mo, and has a good corrosion resistance in submerged zone; and MARIWEL R is a 41 or 50kgf/mm² class low alloy steel containing Cr, Cu and Ni, which shows good corrosion resistance in both splash and submerged zone. The test results for the commercially produced steel plates indicate that these steels have good mechanical properties and weldabilities as well as excellent seawater-corrosion resistance. These steels show about twice corrosion resistance compared with that of ordinary steels such as SM50B.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

溶接構造用耐海水鋼 MARIWEL の特性

Properties of Seawater Corrosion Resistant Steel MARIWEL for Welded Structure

栗栖 孝雄*

Takao Kurisu

今津 司**

Tsukasa Imazu

西山 昇***

Noboru Nishiyama

鈴木 重治****

Shigeharu Suzuki

奥村 健人*****

Taketo Okumura

久野 忠一*****

Tadakazu Kyuno

Synopsis:

Three types of weldable seawater corrosion resistant steels, "MARIWEL", have been developed: **MARIWEL H50** is a 50 kgf/mm² class low alloy steel containing Cu, Ni and Mo, and has a good corrosion resistance in splash zone; **MARIWEL K** is a 41 or 50 kgf/mm² class low alloy steel containing Cr and Mo, and has a good corrosion resistance in submerged zone; and **MARIWEL R** is a 41 or 50 kgf/mm² class low alloy steel containing Cr, Cu and Ni, which shows good corrosion resistance in both splash and submerged zone. The test results for the commercially produced steel plates indicate that these steels have good mechanical properties and weldabilities as well as excellent seawater-corrosion resistance. These steels show about twice corrosion resistance compared with that of ordinary steels such as SM50B.

1. はじめに

海洋資源の開発および海洋空間の利用などの海洋開発にあたり、海洋構造物用鋼材として、海洋環境における耐食性を向上させた鋼材、すなわち耐海水鋼が製品化されている。耐海水鋼は、その用途により、一般構造用耐海水鋼と溶接構造用耐海水鋼に分けられる。当社では、一般構造用耐海水鋼として、マリナー・スチールを、昭和42年以来U.S. Steel社と技術提携し、製造、販売している。マリナー・スチールはP, Cu, Niを含有し、海洋環境中もっとも腐食性の激しい飛沫帯におい

て、優れた耐食性を有する低合金鋼であり、鋼矢板、鋼管杭、H杭などに使用されている。しかし、マリナー・スチールはPを多量に含有するため、靱性、溶接性が劣り、また海中部の耐食性も必ずしも良好とは言えず、改良の余地が残されていた。

当社では長期にわたる海水腐食試験を実施し、飛沫帯、海中部などの各種海洋環境における耐食性に対する合金元素の影響を把握した。この結果にもとづいて、海洋構造物用鋼材としての性質を備えた低合金鋼、すなわち優れた耐食性に加えて41kgf/mm²級あるいは50kgf/mm²級高張力鋼に相当する靱性、溶接性を具備した溶接構造用耐海水鋼“MARIWEL”を開発した。

* 技術研究所第2研究部腐食防食研究室主任研究員（課長補）・理博

*** 技術研究所第2研究部溶接研究室主任研究員（課長）

***** 千葉製鉄所管理部厚板管理室主任（課長）

〔昭和57年7月1日原稿受付〕

** 技術研究所第2研究部腐食防食研究室

**** 技術研究所第2研究部特殊鋼研究室室長

***** 技術本部製鋼鋼材技術部製鋼鋼材技術室主任（課長）

本報では MARIWEL の規格、機械的性質、溶接性および耐食性について報告する。

2. 規格および特性

MARIWEL シリーズは Table 1 に示す 5 鋼種からなっている。その規格を Table 1 に、特徴を Table 2 に示す。

MARIWEL H50 は、Cu, Ni, Mo を添加した 50 kgf/mm² 級低合金鋼で、飛沫帯において普通鋼の約 2 倍の耐食性を有し、ケーソン、ブイ、ドルフィンあるいは洋上施設などの用途に適している。

MARIWEL K41, K50 は、Cr, Mo を添加した 41 kgf/mm² 級および 50 kgf/mm² 級低合金鋼で、海中において、普通鋼の約 2 倍の耐食性を有し、海中構造物などの用途に適している。また必要に応じて、Ni の添加により、さらに耐食性を向上させることも可能である。

MARIWEL R41, R50 は、Cr, Cu, Ni を添加

した 41 kgf/mm² 級および 50 kgf/mm² 級低合金鋼で、飛沫帯および海中において普通鋼の約 2 倍の耐食性を有し、基礎杭、船舶、石油掘削リグなどの用途に適している。また必要に応じて、Mo の添加により、さらに耐食性を向上させることも可能である。

各鋼種とも、Nb, V の添加などにより、機械的性質を向上させることも可能である。

3. 母材特性および溶接性

溶接構造用耐海水鋼に要求される特性としては、耐海水性が優れていること以外に、溶接構造用として使用されるため、母材、溶接部の強度・靱性が良好であること、溶接性の良いことが挙げられる。Table 3 に示した MARIWEL 供試材について、これらの特性を調査した結果は、次のとおりである。

Table 2 Grade and characteristics of MARIWEL

Designation	Suitable environments	Characteristics	Main uses
MARIWEL H50	Splash zone	Offers about two times the corrosion resistance of ordinary steel in splash zone and about the same time in submerged zone	Caissons, Buoys, dolphins etc.
MARIWEL K41 MARIWEL K50	Submerged zone	Offers about two times the corrosion resistance of ordinary steel in submerged zone and about the same time in splash zone	Subsea structures, piping systems etc.
MARIWEL R41 MARIWEL R50	Splash zone and submerged zone	Offers about two times the corrosion resistance of ordinary steel in both splash and submerged zones	Foundation piles, pipe piles, ships, piers, floats etc.

Table 3 Chemical composition of tested steel plates

Designation	Chemical composition (%)											
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	C _{eq} *	P _{CM} **
MARIWEL H50C	0.08	0.61	1.22	0.018	0.002	0.45	0.21	—	0.10	0.027	0.34	0.19
MARIWEL K50C	0.08	0.50	1.07	0.017	0.005	—	—	1.08	0.21	0.020	0.55	0.22
MARIWEL R41C	0.05	0.52	0.75	0.014	0.003	0.32	0.17	1.03	—	—	0.41	0.18
MARIWEL R50C	0.11	0.52	1.24	0.018	0.004	0.32	0.18	1.03	—	—	0.55	0.26

* $C_{eq} = C + Si/24 + Mn/6 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

** $P_{CM} = C + Si/30 + Mn/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + Cu/20 + 5B$

Table 1 Specification of MARIWEL

Designation	Thickness range (mm)	Chemical composition (%)									Thick-ness (mm)	Tensile properties (JIS No. 1A)			Charpy impact value, min. $\sqrt{E_0}$ (kgf·m)	
		C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cu	Ni max.	Cr	Mo max.		Other elements	Yield point min. (kgf/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)		Elongation min. (%)
MARIWEL H50	A	0.15	1.00	1.50	0.030	0.030	0.20 ~ 0.60	0.50	—	0.50		≤16	33	50 ~ 62	18	—
	B											2.8				
	C											>16	32	21	4.8	
MARIWEL K41	A	0.15	1.00	1.20	0.030	0.030	—	0.80 ~ 1.50	0.50		≤16	25	41 ~ 52	19	—	
	B										2.8					
	C										>16	24	22	4.8		
MARIWEL K50	A	0.15	1.00	1.50	0.030	0.030	—	0.80 ~ 1.50	0.50	Alloying elements may be added if necessary	≤16	33	50 ~ 62	18	—	
	B										2.8					
	C										>16	32	21	4.8		
MARIWEL R41	A	0.15	1.00	1.20	0.030	0.030	0.20 ~ 0.60	0.50	0.80 ~ 1.50		≤16	25	41 ~ 52	19	—	
	B										2.8					
	C										>16	24	22	4.8		
MARIWEL R50	A	0.15	1.00	1.50	0.030	0.030	0.20 ~ 0.60	0.50	0.80 ~ 1.50		≤16	33	50 ~ 62	18	—	
	B										2.8					
	C										>16	32	21	4.8		

3・1 母材特性

母材の機械的性質を Table 4 に示す。強度、靱性とも十分規格を満足し、良好な特性が得られている。

3・2 溶接性および溶接継手性能

Table 5 に示した被覆アーク溶接棒は、母材と同等の耐海水性を有するように、溶接作業性をそこなわない範囲で、化学成分を母材と一致させたものであるが、機械的強度を調整するために低C化をはかった。

まず、各鋼種(板厚32mm)の斜めY形拘束割れ試

験結果を Fig. 1 に示す。もっとも割れ感受性の高い MARIWEL R50C でも、割れ阻止温度は100℃であり、Cr含有量が高いにもかかわらず、低C化により溶接性は良好である。

つぎに、3種類の MARIWEL(板厚32mm)の(4mmφ)溶接継手諸特性を調査した。溶接入熱は下向姿勢で18kJ/cmである。

溶接金属の化学成分を Table 5 に、溶接継手材の機械的性質を Table 6 に、溶接継手部の硬さ分布を Fig. 2 に、また衝撃試験結果を Fig. 3 にそれぞれ示す。

これらの結果から、溶接継手性能は良好であることがわかる。

Table 4 Mechanical properties

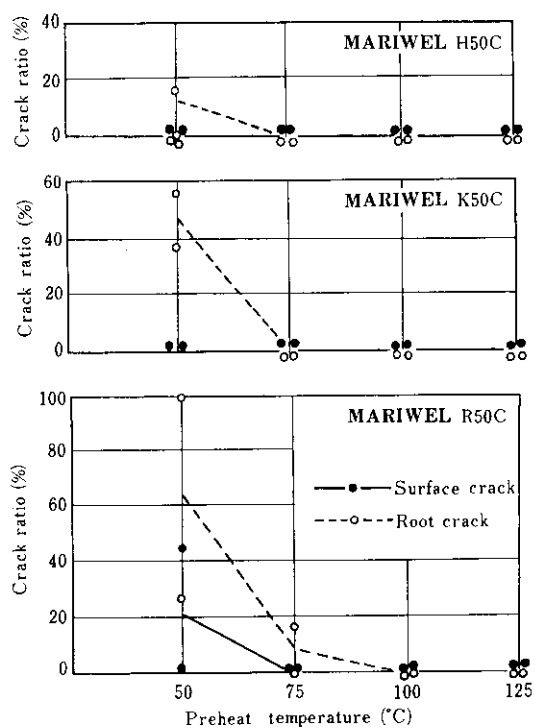
Designation	Thickness (mm)	Direction	Tensile test (JIS No. 1A)			Charpy impact test (JIS No.4)			Bend test (JIS No. 1A) 180°, 1.5t
			Yield point (kgf/mm ²)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	$\sqrt{E_{20}}$ (kgf·m)	$\sqrt{E_0}$ (kgf·m)	$\sqrt{T_5}$ (°C)	
MARIWEL H50C	32	L	—	—	—	10.7	17.1	-15	—
		C	46.3	58.5	28	12.1	17.6	-20	Good
MARIWEL K50C	32	L	—	—	—	13.6	19.6	-30	—
		C	43.3	58.0	25	12.5	15.9	-22	Good
MARIWEL R41C	32	L	—	—	—	36.4	35.9	-74	—
		C	35.0	45.2	39	36.8	35.6	-63	Good
MARIWEL R50C	32	L	—	—	—	19.1	24.5	-25	—
		C	35.3	53.2	34	20.0	20.5	-18	Good

Table 5 Chemical composition of weld metals (%)

Designation	Electrode	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo
MARIWEL H50C	KSM-50H	0.038	0.61	0.98	0.014	0.004	0.36	0.27	—	0.17
MARIWEL K50C	KSM-50K	0.040	0.58	0.88	0.014	0.005	—	—	1.00	0.19
MARIWEL R50C	KSM-50R	0.041	0.55	0.87	0.015	0.004	0.31	0.22	1.08	—

Table 6 Mechanical properties of welded joints (SMAW)

Designation	Tensile test (JIS Z 3121)		Side bend test (JIS Z 3122) 180°, 1.5t
	Tensile strength (kgf/mm ²)	Fractured position	
MARIWEL H 50 C	59.5	Base metal	Good
MARIWEL K 50 C	62.8	Base metal	Good
MARIWEL R 50 C	57.2	Base metal	Good



Welding condition : 24V, 170A, 150mm/min, using electrodes dried at 350°C for an hour

Fig. 1 Results of y groove cracking test

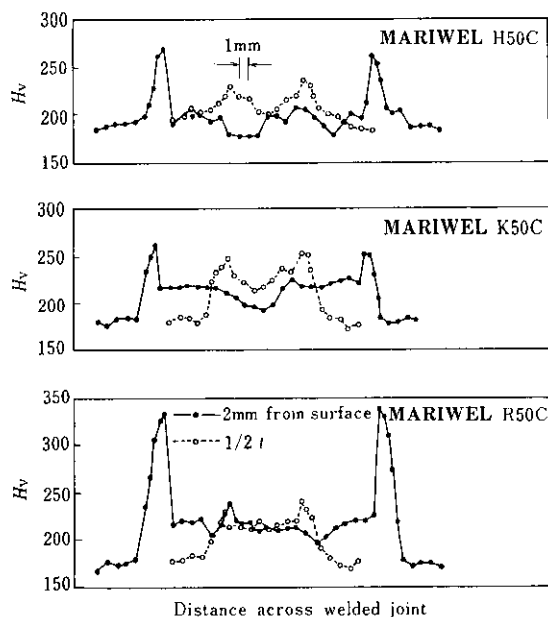


Fig. 2 Distribution of Vicker's hardness (10kg load) in welded joints

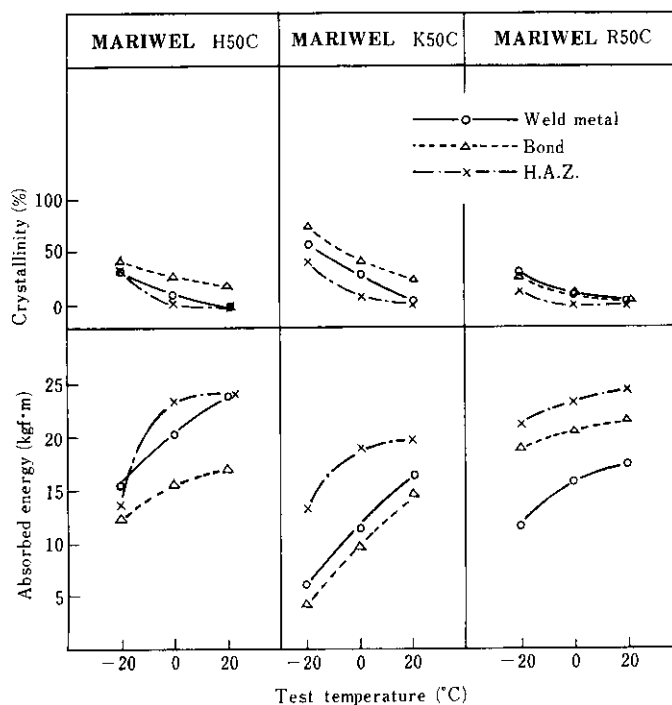


Fig. 3 Results of V-notch charpy test of welded joints

4. 耐海水性

同じく MARIWEL H50C, K50C, R50C の現場工程材から長尺試験片 (8 t×50×5 500mm) と小型試験片 (8 t×200×300mm) を作製し、千葉海岸において 3～4 年間の海水腐食試験を行った。比較材として SM50B, マリナー・スチールを用い、試験片表面は機械切削により仕上げた。

長尺試験片の平均板厚減少量から求めた腐食速度を Fig. 4 に示す。Fig. 4 に顕著に示されているように、海上大気部から土中部にまたがる連続した鋼材の場合、飛沫帯、海中部の腐食速度が大きいのにに対し、海上大気部、干満帯、土中部の腐食速度は比較的小さいのが一般的な傾向である。MARIWEL H50C は飛沫帯で、MARIWEL K50C は海中部で、MARIWEL R50C は飛沫帯と海中

部の両環境で、それぞれ普通鋼の約 1/2 の腐食速度を示し、優れた耐食性を有していることが確認された。

また、Photo. 1 に示すように、MARIWEL R50C の腐食後の表面は、飛沫帯では細かい凹凸面であり、干満帯、海中部になるにつれて浅くてやや不均等な凹凸面となり、普通鋼とほぼ類似の表面状況を呈した。

小型試験片による試験では、Fig. 5 に示すように、飛沫帯での MARIWEL H50C および海中部での MARIWEL K50C の腐食量はいずれも時間の経過とともにほぼ直線的に増大し、それぞれの試験環境で MARIWEL H50C あるいは MARIWEL K50C の腐食量は普通鋼の約 1/2 であった。また飛沫帯では MARIWEL H50C とマリナー・スチールはほぼ同程度の腐食量であった。

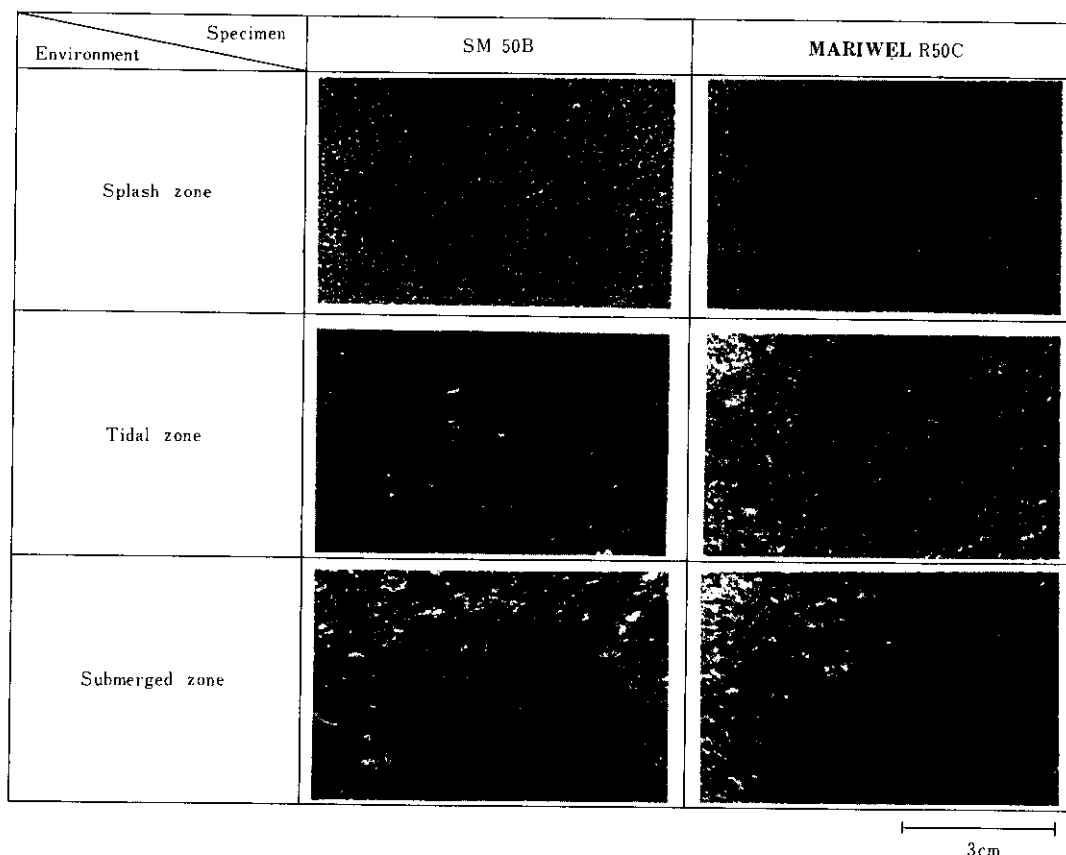


Photo. 1 Appearance of corroded steel surface after 3 years exposure

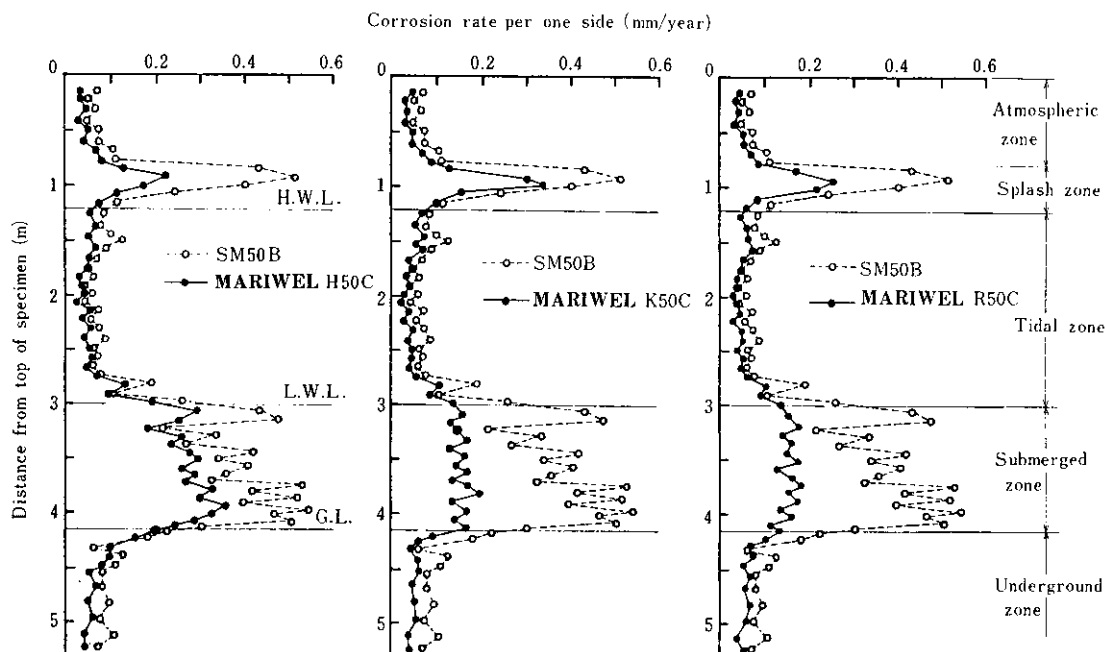


Fig. 4 Results of seawater exposure tests at Chiba for 3 years (Specimen : $8 \times 50 \times 5$ 500mm)

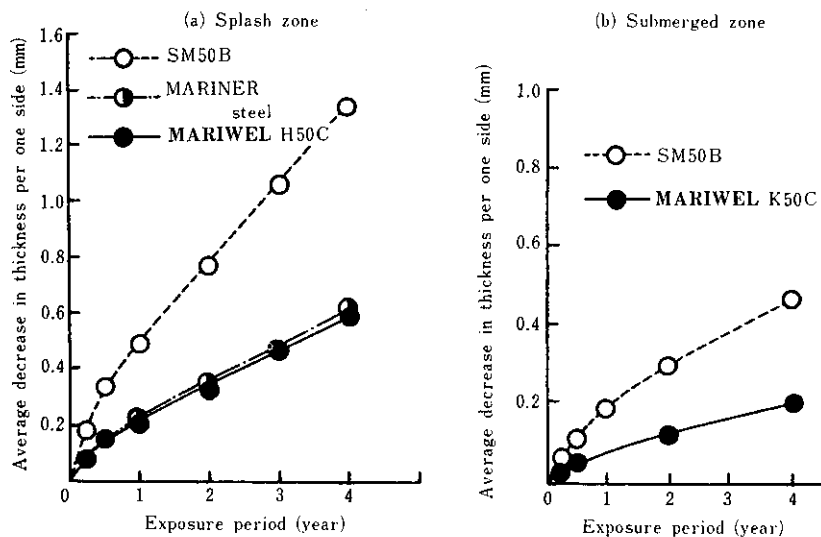


Fig. 5 Results of seawater exposure tests at Chiba (Specimen : $8 \times 200 \times 300$ mm)

5. まとめ

使用目的に応じた3種類の溶接構造用耐海水鋼“MARIWEL”を開発した。MARIWEL H 50は飛沫帯での耐食性に優れた50kgf/mm²級、

MARIWEL K 41, 50は海中部での耐食性に優れた41kgf/mm²および50kgf/mm²級、MARIWEL K 41, 50は飛沫帯、海中部両環境での耐食性に優れた41kgf/mm²および50kgf/mm²級低合金鋼である。

上記鋼種の主に50kgf/mm²級現場工程材につい

て確性試験を行った結果、母材性能、溶接性および溶接継手性能は良好であり、またそれぞれの試験環境で普通鋼の約2倍の耐食性を示した。

海洋環境における防食法として、飛沫帯、干満帯に対しては塗装、有機ライニング、無機ライニング、耐食性金属被覆などが、また、海中部、海底土中部に対しては電気防食、または電気防食と塗装の併用などが用いられており、新しい防食被覆材料や被覆システムの開発も進められている。しかし、耐久性・施工性・補修性・経済性などを

考慮した総合的な防食法の優劣はまだ確定しておらず、使用目的、腐食環境などにより、使い分けられている。防食の一手段として当社の溶接構造用耐海水鋼“MARIWEL”を海洋構造物に使用すれば、耐用年数の増大、構造物の軽量化などが可能であり、また別途実験したところでは、塗装あるいは電気防食などを施した場合でも普通鋼より有利となることが多いなどの利点があるので、海洋構造物の防食法の一翼を担うものと考えられる。