

神戸大学工学部 正会員 西村 昭

神戸市港湾局 正会員 ○島田喜十郎

神戸市港湾局 玉岡 了

1. ま え が き

構造物の巨大化、複雑化に伴い高性能の新材料が必要とされるようになってきたが、新材料の採用にあたっては、その特性、問題点等を十分に把握するとともに、従来用いられていた材料と単純に置換して使用するのではなく、その効力を十分発揮できるように活用しなければならない。

耐候性鋼材は防食、防錆上の要求を満たすために開発されたもので、Cu、Cr等の含有合金元素の関係から溶接性に若干の問題がある。厚板の高張力鋼材ではさらに一段と細心の注意が必要とされる。この場合溶接継手部の板厚方向に力が作用するすみ肉継手では鋼材固有の強度上の弱点とさらにラミネーション等の影響を大きくうける。

本文はSMA500、 $t=44$ mmの耐候性鋼材を用い、板厚方向の強度上の問題点が顕著に現われる十字型すみ肉溶接継手を用いて、主として疲労強度の面から検討を行なった結果について報告するものである。

2. 供試耐候性鋼材

供試鋼材は神戸大橋本橋部および取付道路部に用いた神戸市制定の製造仕様にもとづくもので、その主要内容は表-1に示す。本試

験に用いた鋼材の化学成分、引張試験結果を表-2、8に示す。衝撃試験結果は図-1に示したが、板厚方向についても試験を行なっているので、試験片の採取位置も併せて記した。さらに歪時効およびOOT試験結果は図-2、8に示した。

表-1 耐候性鋼板の製造仕様

鋼種	板厚 (mm)	化 学 成 分 (%)										機 械 的 性 質	
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ceq	②	③	④	⑤
耐候性S45C	≤22	≤0.17	—	—	≤0.004	≤0.003	—	—	≤0.38	224	11-52	—	400/1号 215以上
A	≤32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SMA500B	≤38	≤0.17	≤0.35	≤1.70	≤0.004	≤0.003	0.20	0.30	≤0.38	224	11-52	2200	400/1号 215以上
C	≤50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A	≤25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SMA500B	≤38	≤0.16	≤0.35	≤1.70	≤0.004	≤0.003	0.20	0.30	≤0.38	224	11-52	2200	400/1号 215以上
C	≤50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A	≤25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SMA500B	≤38	≤0.16	≤0.35	≤1.70	≤0.004	≤0.003	0.20	0.30	≤0.38	224	11-52	2200	400/1号 215以上
C	≤50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A	≤25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
SMA500B	≤38	≤0.16	≤0.35	≤1.70	≤0.004	≤0.003	0.20	0.30	≤0.38	224	11-52	2200	400/1号 215以上
C	≤50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
A	≤25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(注) ① SMA500およびSMA500Bについては、Nb、Mo、Nb、V、Ti、Zrのいずれも1種類以上添加した。

② 炭素当量(Ceq)の計算は次式による。

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

③ JISでは50~62℃の範囲を使用した。

④ JISでは68~73℃の範囲を使用した。

表-2 供試鋼材の化学成分分析結果

鋼種	分析	化 学 成 分 (%)												Ceq (%)
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Nb	B	Al
171V		0.12	0.08	1.18	0.012	0.004	0.30	0.37	0.03	0.01	0.03	—	—	0.011
172V		0.14	0.53	1.11	0.021	0.004	0.31	0.47	0.02	0.03	0.05	0.005	—	0.012

※ $Ceq (%) = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14$

表-3 母材引張、曲げ試験結果

試験片	採取位置	降伏点 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	曲げ試験
L-1	L	37	53	36	73	良
L-2	L	37	55	36	71	良
C-1	C	37	53	37	68	良
C-2	C	38	53	32	70	良
Z-1	Z	36	53	22	20	—
Z-2	Z	36	53	19	21	—

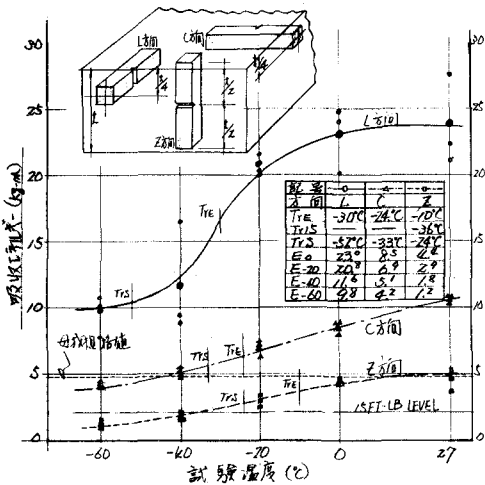


図-1 SMA50C R44 鋼成鋼製試験片の遷移曲線

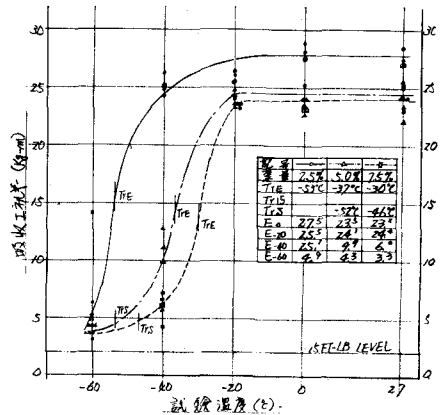


図-2 SM50C R44 鋼成鋼製試験片の遷移曲線

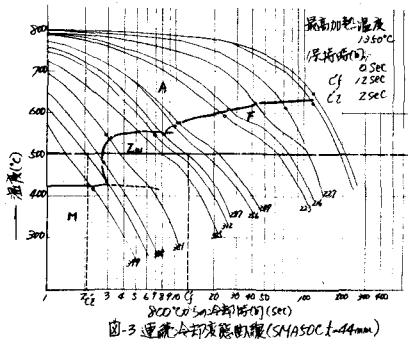


図-3 遷移曲線 (SMA50C R44 鋼)

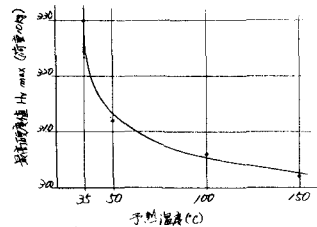


図-4 最高硬さ試験に於ける予熱温度の影響

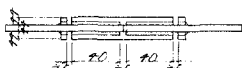
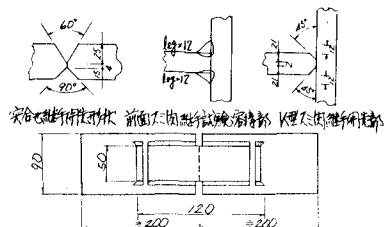


図-5 各試験片用試験片形状

8. 溶接性試験および溶接継手の静的試験

(1) 溶接性試験

本試験は溶接電流 170 ± 10 A, 溶接速度 150 ± 10 mm/min, 予熱温度 $r.1(85^\circ\text{C})$, 50, 100, 150 °C 等の条件で, LBW-52-28A(4φ)の溶接棒を用い J I S に準拠して行なった。その結果, 最高硬さと予熱温度の関係は図-4 に示したように, また Y スリット割れ試験ではルート, 断面, 表面等の割れ発生はなく良好な結果を得た。

溶接法	継手の種類 (kg/mm²)			
	空合せ	前面スミ肉	K型肉入スミ肉	側面スミ肉
手溶接	—	58	53	50
—	—	59	53	48
溶接溶接	57	67	53	51
—	58	69	53	48

表-7 静的試験結果

(2) 溶接継手の静的試験

溶接継手の種類は、突合せ、前面すみ肉、側面すみ肉で、その継手部の開先は図—5に示す。突合せ継手はユニオンメルトによる自動溶接で溶接したが、すみ肉継手は自動溶接と手溶接の2種類の継手試験片を製作した。試験片および試験法はJISに準拠して行なった。その結果は表—4に示したとおりである。なお、突合せ継手の溶着金属部と熱影響部の衝撃試験結果を参考的に示すと図—6のようになっている。

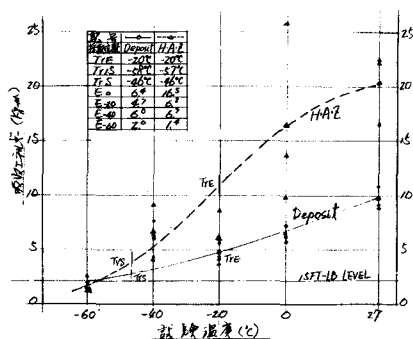


图-6 SM 60 1944 年 10 月 14 日 1944 年 10 月 14 日 1944 年 10 月 14 日

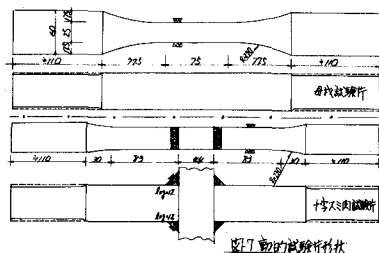
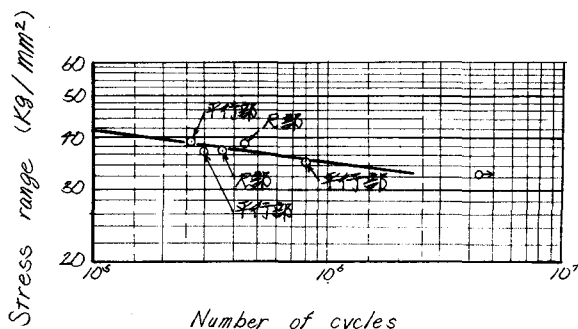


图7-8 動的試驗片形狀

4. 溶接継手の疲労試験

疲労試験は母材と十字型すみ肉継手について行ったが、試験片の形状寸法は疲労試験機の容量を考慮し、図-7に示したようなものにした。十字型すみ肉継手のつかみ板と試験板の幅との関係は、つかみ板の板厚の8倍の幅にすれば実際の鋼構造物と同じ挙動を示すことができますので報告されているので、¹⁾ここでは $8 \times 44 = 182 \text{ mm}$ にすることにした。

本試験に使用した試験機は土
60トンサーボバルサー型疲労試
験機で、正弦波、繰返し速度
600~700回/分、下限応力 2 Kg/cm^2
のもとに片振試験を行なった。
試験の結果は図-8、9に示した。



Number of cycles

5. 考 察

耐 候 性 鋼 材 は Cu, Cr 等 の 含 有
合 金 元 素 の 関 係 か ら 溶 接 上 若 干
問 題 が あ る が, こ こ で 行 な っ た
溶 接 性 試 験, 溶 接 継 手 の 静 的 試
験 等 か ら は 良 好 な 結 果 が 得 ら れ
て い る。 す な わ ち, 最 高 硬 度 は
850 HV 以 下 で, Y ス リ ッ ト 割 れ

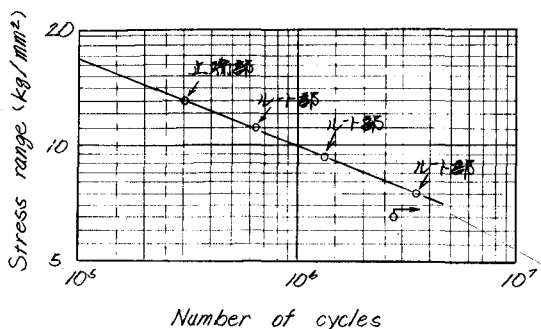


図-9 十字型すみ肉継手のS-N線図

試験結果も常温では割れが発生していない。また母材の C.T 試験結果では初析フェライトの出はじめる臨界冷却曲線の硬度は 287HV であり、衝撃試験、歪時効試験でも同様に良好な結果を示している。溶接継手の静的引張試験ではいずれの試験片も十分な強度を有している。特にシビヤーな条件の十字型継手の K 開先隅肉継手は破断部が母材部ではなく離れ開裂現象が認められ

引張試験				衝撃試験			
試験値	L	C	Z	温度	L	C	Z
母材	1.00	1.01	0.97	0°C	1.00	0.37	0.19
指張力	1.00	0.98	1.01	-20°C	1.00	0.33	0.14
伸長	1.00	0.92	0.57	-40°C	1.00	0.44	0.19
破断	1.00	0.96	0.28	-60°C	1.00	0.43	0.12

表-5 L C Z 方向比較 (引張力 10t 以下)

ておらず、板厚方向の静的引張強度は十分保障されている。また静的試験の結果から圧延方向を基準として比較すると表-5 に示したような結果になっており、一般的に板厚方向の引張強度は圧延方向に比べて 20%

表-6 50kg 級高張力鋼の既報の試験結果および本試験結果

継手鋼種板厚 静的機械的性質		時間強度 (9600 時間)		参考文献		
型式 (規格)	mm	σ_b (kg/mm ²)	σ_t (kg/mm ²)	F.C (%)	10 ⁵ 回 2.4t 同	
50-60						
母材	SM50A	2.5	38.0	55.0	27.0	(70.2) 28.2 JSSC 7+9+146.6
	SM50B	2.5	71.2	51.6	58.0	(71.2) 35.0 JSSC 7+9+146.6
	SM50C	3.8	70.0	56.0	50.0	(70.8) 28.2 JSSC 7+9+146.6
	SM50A	1.0	70.2	54.9	57.0	(71.1) 32.2 JSSC 7+9+146.6
板	SM50A	2.5	71.0	57.0	27.0	30.5 JSSC 7+9+146.6
	SM50C	7.7	37.0	54.0	36.0	(71.7) 32.7 本試験結果
	50-60					
十字型 肉接手	SM71	1.6	26.8	76.5	31.8	6.5 JSSC 7+9+146.6
	(B-17)	3.2	24.6	76.8	39.6	7.0 JSSC 7+9+146.6
	SM71	1.6	36.9	77.0	73.2	17.5 JSSC 7+9+146.6
	SM71	1.2	53.0	63.0	28.0	15.5 JSSC 7+9+146.6
	SM71	7.7	37.0	54.0	36.0	(71.7) 32.7 本試験結果

~80% 低いとされているが本試験材では変らない強度を有していた。その地伸び、衝撃試験値については一般的な傾向が表われている。

疲労試験の結果、母材の $N=2 \times 10^6$ に対する疲労強度は 82.7 kg/mm^2 で十字型隅肉継手のそれは 8.6 kg/mm^2 となった。既往の試験結果を表-6 に示したが、本試験で得られた結果は厚板という条件でも非常に良い結果であった。また、十字型継手の疲労破断部は溶接部であり、試験板部の破断は認められていないので、ラミネーションによる影響はないものと考えられる。このことより厚板耐候性鋼材であることが原因で、その隅肉溶接継手の疲労強度が問題となるようなことはないといえよう。

6. あとがき

本報告は厚板耐候性鋼材の溶接継手の疲労強度に関する一連の試験計画のうち、特に隅肉継手の疲労強度についての調査結果で、同型式の継手の K 型開先、突合せ溶接継手については目下実験を継続中である。さらに 60 kg/mm^2 鋼に対しても実験を計画している。

最後に試験片の製作および静的試験等は佛駒井鉄工所、疲労試験は佛神戸製鋼所構造研究所において行なわれた。ここに付記して関係各位に深謝の意を表します。

- 1) 日本鋼構造協会材料小委員会、ラミネーションの鋼構造部材の強度におよぼす影響、JSSC Vol.4 No.30, 1968.