要約版

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.2 (1970) No.2

車両用耐候性高張力薄鋼板 RIVER TEN R の特性

Properties of RIVER TEN R Sheet for Railway Cars

高田　　庸(Isao Takada)　西山　　昇(Noboru Nishiyama)

要旨：
RIVER TEN R は国鉄規格 SPA に準じて開発された鉄道車輌用耐候性高張力鋼である。RIVER TEN R の深絞り性，張り出し性，および伸びフランジ性などのプレス成形性は高張力鋼としては良好であり，また車輌の施工に際して行なわれる各種溶接および熱加工において特別な注意を必要としない。

Synopsis：
RIVER TEN R is a high-strength, atmospheric corrosion resisting steel sheet used for making railway cars and its chemical compositions and nominal properties are the same as those of "SPA" steel, which is specified by Japan National Railway's Standard. Forming properties such as deep-drawability, stretchability and stretch-flangeability of RIVER TEN R sheet are superior to those of other steels with the same tensile strength level of 50 kg/mm2. Various welding and heat-treating techniques used for construction of railwaycars can be applied without special precautions.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

UDC 669.14.018.295.82-41 : 539.4/.5

車両用耐候性高張力薄鋼板 RIVER TEN R の特性

Properties of **RIVER TEN R** Sheet for Railway Cars

高田 庸* 西山 昇**
Isao Takada Noboru Nishiyama

Synopsis:

RIVER TEN R is a high-strength, atmospheric corrosion resisting steel sheet used for making railway cars and its chemical compositions and nominal properties are the same as those of "SPA" steel, which is specified by Japan National Railway's Standard

Forming properties such as deep-drawability, stretchability and stretch-flangeability of **RIVER TEN R** sheet are superior to those of other steels with the same tensile strength level of 50 kg/mm^2.

Various welding and heat-treating techniques used for construction of railwaycars can be applied without special precautions.

1. はじめに

鉄道の高速化に伴って車両の軽量化が必須の条件となり，したがって使用する鋼板も板厚を薄くするために強度が高くかつ耐候性がよい材料が要求されるようになってきた。それに応ずる鋼板として国鉄規格SPAが定められたが，これは，Cu, P, Ni, およびCrの添加により耐候性を向上させるとともに，引張り強さが熱延板で49kg/mm^{2}以上冷延板で46kg/mm^{2}以上あることを規定している。

当社では一連の耐候性鋼板— RIVER TEN シリーズーに加えて，新たにこの SPA 規格にもとづいた鉄道車両用耐候性鋼板 RIVER TEN Rを開発した。この鋼板の製造にあたっては，強度や耐候性だけでなく，実際使用時に要求されるプレス成形性や溶接性も満足するようにとくに注意が払われている。

本報では，このような特性について広範な試験を行なった結果を紹介するが，耐候性に関しては本誌別報[1]に譲る。

2. 母材の特性

2・1 化学成分および一般機械的性質

RIVER TEN R の化学成分および機械的性質の規格はそれぞれ**表1**および**表2**に示すとおりであるが，ここでは二，三の代表例について母材の性質を紹介する。

RIVER TEN R および比較対照材とした普通

* 技術研究所薄板研究室（現水島研究室）
** 技術研究所溶接研究室

表 1 RIVER TEN Rの化学成分規格（wt %）

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.12以下	0.25～0.75	0.20～0.50	0.07～0.15	0.035以下	0.25～0.55	0.45以下	0.30～1.00

表 2 RIVER TEN Rの機械的性質規格

製造法	引張り性質			曲げ性質	
	降伏点 (kg/mm²)	引張り強さ (kg/mm²)	伸び (%)	曲げ角度	内側半径
冷延	32以上	46以上	26以上	180°	0.5t *
熱延	35以上	49以上	22以上	180°	0.5t *

* t：板の厚さ

表 5 RIVER TEN R（6.0mm）の衝撃特性

方向	vTrs (°C)	vE_0 (kg·m/cm²)	vE_{20} (kg·m/cm²)
L	−51	19.1	19.4
C	40	13.5	14.0

注；試片寸法 5×10×55(mm) 2mmVノッチ

鋼供試材の化学成分を**表3**に，引張りおよび曲げ性質を**表4**に示す。RIVER TEN R は降伏点と引張り強さが高いにもかかわらず伸びが大きくかつ曲げ性も良好で，加工性がすぐれていることがわかる。

表 3 供試材の化学成分

鋼種	製造法	板厚 (mm)	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
RIVER TEN R	冷延	1.2	0.07	0.35	0.41	0.081	0.007	0.31	0.31	0.50
		1.6	0.09	0.40	0.34	0.087	0.008	0.30	0.32	0.57
	熱延	1.6	0.07	0.35	0.41	0.081	0.007	0.31	0.31	0.50
		2.3	0.08	0.35	0.40	0.090	0.008	0.32	0.32	0.59
		6.0	0.09	0.40	0.34	0.087	0.008	0.30	0.32	0.57
SPHC	熱延	1.2	0.07	tr.	0.38	0.014	0.029	0.06	0.02	0.02
		1.6	0.06	tr.	0.28	0.016	0.028	0.11	0.03	0.02
		2.3	0.06	tr.	0.34	0.017	0.029	0.10	0.02	0.03
SS41	熱延	6.0	0.18	0.05	0.47	0.017	0.023	0.08	0.03	0.03

表 4 供試材の引張りおよび曲げ性質

鋼種	製造法	板厚 (mm)	引張り性質* 降伏点 (kg/mm²)		引張り強さ (kg/mm²)		伸び(%)		曲げ性質** 曲げ角度180° 内側半径0.5t	
			L	C	L	C	L	C	L	C
RIVER TEN R	冷延	1.2	39.1	40.6	49.6	50.6	34	35	良	良
		1.6	36.8	39.3	50.8	51.4	32	34	〃	〃
	熱延	1.6	39.5	43.0	49.4	49.9	38	35	〃	〃
		2.3	40.6	44.6	51.9	52.3	37	37	〃	〃
		6.0	41.8	41.7	55.4	56.4	35	36	〃	〃
SPHC	熱延	1.2	24.3	25.7	33.0	35.7	39	35	〃	〃
		1.6	27.2	28.3	35.2	35.6	39	31	〃	〃
		2.3	29.2	31.4	37.2	37.0	46	43	〃	〃
SS41	熱延	6.0	31.5	33.7	45.8	45.0	39	39	〃	〃

* JIS 5 号試験片
** JIS 3 号試験片

つぎに，RIVER TEN R 6.0mm厚熱延板について2mm Vノッチ試片での衝撃特性を**表5**に示す。E_{20}，E_0およびTrsとも高張力鋼としては良好であるが，とくに圧延方向に平行な方向および直角方向での吸収エネルギーの差が小さいことが注目される。これは熱延後に適切な組織を得るための成分組成の配分と熱延時における厳格な温度管理によるものであり，さらに**表3**に示すように，S含有量が非常に少なくしたがって圧延方向に伸長する硫化物系介在物が少ないことによるものである。

2・2 プレス成形性

車両用鋼板はまずプレス成形が可能でなければならない。これは50kg/mm² 程度の引張り強さを有する鋼板に

とってはかなり厳しい要求である。プレス成形は一般に曲げ成形，伸びフランジ成形，張り出し成形および深絞り成形の4種に分類される。

本供試材のこれらの性質について以下に述べる。

2・2・1　曲げ成形性

母材の曲げ性については，**表4**に示したように，JIS 3号試験片（幅40mm）の場合C方向試片で内側半径0.5t，180°の曲げが可能であるが，一般に鋼板の曲げ性は試片の幅が大きくなるほど変形の際の拘束が大きくなるので苛酷となる。そこで試片の幅を100mmに大きくして試験を行なった結果**表6**に示すように，いずれも内側半径0.5tまでの180°曲げが可能であり，実際に想定される条件でのプレス曲げ加工には十分耐えられる良好な成績であった。

2・2・2　伸びフランジ成形性

薄板の伸びフランジ成形限はその端面の状況によって大きく左右されることが知られている。せん断端面はせん断により生じた加工硬化層の影響で，切削あるいは研磨された端面のものを加工するときより成形限は劣るのが普通である。

薄板の伸びフランジ成形性を評価する試験法として一般には，丸穴をあけたブランク板を絞りもしくは張り出し加工し，破断が起きるまでの穴広がり率を調べることが行なわれる。ここではその穴を切削してあけた場合についての試験結果を述べ，さらにせん断端面での加工性については当社で開発した独自の試験法（サイドベンド試験と称している）で評価した結果を述べる。

（1）穴広がり率

円板ブランク試片（外径180mmφ，内径20mmφリーマー仕上げ）を50mmφの球頭ポンチで押し広げたときの，破断が起きたときまでの内径の増加率すなわち穴広がり率を**表6**に示す。熱延板の場合，RIVER TEN RはSPHCに比べて1.6mm厚では劣っているが，2.3mm厚では逆にすぐれている。また6.0mm厚ではSS41よりも良好で，全般に50kg/mm^{2}級の引張り強さを有する鋼板としては非常にすぐれているといえる。また同じ板厚では熱延板より冷延板の方が良い成績を示している。

一般に穴広がり限は材料の塑性ひずみ比r値の大小およびその面内異方性によっても影響を受ける[2]が，熱延鋼板の場合それらは鋼種によってはほとんど変わらない。一方穴広げ試験で得られる穴周辺での破断ひずみの大きさは，吉田ら[3]によって説明されているように，通常の引張り試験における全伸びよりもはるかに大きく，このような高ひずみ領域では，材料中の介在物の量および形状が変形限に大きな影響をおよぼす[4]ので，実際にはそれが穴広がり率を左右することが多い。引張り試験における全伸びがSS41に比べて劣るに

表 6　供試材の曲げ性と伸びフランジ成形性

鋼種	製造法	板厚 (mm)	C方向広幅曲げ性質 内側半径 0.5t	穴広がり率 (%)	サイドベンド伸び (%) L	C	D*	180°曲げ加工後のサイドベンド伸び(%) C方向曲げ L 0.5t	0t	L方向曲げ C 0.5t	0t
RIVER TEN R	冷延	1.2	良	164	41	50	56	—	—	—	—
		1.6	〃	168	48	42	50	—	—	—	—
	熱延	1.6	〃	148	50	40	50	56	53	56	34
		2.3	〃	174	50	40	53	—	—	—	—
		6.0	〃	336	51	49	50	—	—	—	—
SPHC	熱延	1.2	〃	177	42	30	35	—	—	—	—
		1.6	〃	198	40	28	44	—	—	—	—
		2.3	〃	145	46	20	56	—	—	—	—
SS41	熱延	6.0	〃	225	46	12	24	—	—	—	—

* Dは圧延方向と45°の方向

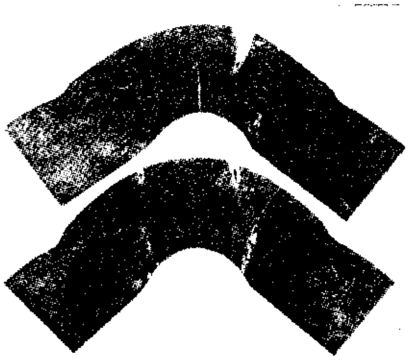

写真 1 RIVER TEN R 16mm厚熱延板のサイドベンド試験後の試片――上：L方向 下：C方向

もかかわらずRIVER TEN Rの穴広がり率が逆にすぐれていることは，非金属介在物とくにA型介在物の量が少ないことによるものである。また冷延板では冷間圧延によって介在物が細くくだかれているためその影響が軽減され，さらに後述するようにr値が高くなるために同一板厚では熱延板より穴広がり限が向上している。

（2）サイドベンド伸び

サイドベンド試験とは当社で開発した試験法の名称で，板厚×40mm×170mmの試片を板面に垂直な方向を軸として幅方向に曲げ，破断が起きたときの試片端面の長さ方向中央部50mmの伸びを測定する。この方法により求めた供試材の破断伸びを**表6**に，そして試験後の試片を**写真1**に示す。RIVER TEN Rのサイドベンド伸びはすべての試片についてSS41およびSPHCより良好で，とくに圧延方向に直角な方向ですぐれているのが注目される。これは材料の伸びフランジ成形性におよぼす介在物の影響が，仕上げられた端面の場合よりもせん断端面の場合に大きく現われることによるものである。

車両用部品としては，後述する深絞り加工または張り出し加工などに比べてせん断端面の伸びフランジ加工が行なわれる頻度が高く，実際に割れの発生率も高いのでこの性質は非常に重要である。またこの加工性が良好であれば，加工前のせん断端面の手入れなども省略でき，作業能率の大幅な向上が期待できる。

（3）曲げ加工後のサイドベンド伸び

車両用部品のプレス加工には，90°曲げを受けた部分にさらに伸びフランジ変形が加わるようなものがある。そこでRIVER TEN R 1.6mm厚熱延板について，180°曲げを行なった試片を曲げの部分を外側にしてさらにサイドベンド試験した。その結果を**表6**に示す。

実際の加工では圧延方向を軸とする90°曲げを行なった後，圧延方向に平行な方向に伸びフランジ変形を加えるようなものがもっとも厳しい加工条件なので，RIVER TEN Rはこれに十分耐えられることがわかる。

表 7 供試材のn値，r値とエリクセンおよびコニカルカップテスト結果

鋼種	製造法	板厚 (mm)	n (8-15)* L	n (8-15)* C	n (8-15)* D	n(εu)* L	n(εu)* C	n(εu)* D	エリクセン値 (mm)	r値** L	r値** C	r値** D	r値	C.C.V.***
RIVER TEN R	冷延	1.2	0.183	0.181	0.187	0.188	0.185	0.182	11.17	1.01	1.41	1.33	1.27	46.49
		1.6	0.176	0.170	0.176	0.164	0.155	0.167	11.73	0.96	1.29	1.16	1.14	61.02
	熱延	1.6	0.197	0.192	0.200	0.192	0.168	0.175	11.46	0.68	0.76	0.91	0.82	62.06
		2.3	0.187	0.189	0.191	0.179	0.184	0.170	—	0.83	0.91	0.93	0.92	
		6.0	0.148	0.147	0.151	0.146	0.144	0.150		0.89	0.89	0.97	0.94	--
SPHC	熱延	1.2	0.196	0.186	0.222	0.197	0.207	0.212	11.29	0.72	0.90	1.00	0.92	46.61
		1.6	0.197	0.207	0.208	0.198	0.202	0.210	11.79	0.76	0.91	1.02	0.94	61.02
		2.3	0.219	0.207	0.223	0.230	0.215	0.230	—	0.80	0.90	0.99	0.92	--
SS41	熱延	6.0	0.200	0.200	0.208	0.197	0.199	0.201	-	0.86	0.94	0.97	0.94	-

* n(8-15)は伸び8%と15%時の荷重から求めた値，n(εu)は一様伸びの値から求めた値

** 15%引張り時の値

*** JIS：Z2249による

2・2・3　張り出し成形限

一般に薄板の張り出し性は，加工硬化係数（n値）が大きい材料ほど良好であるが[5]，鋼板の引張り強さが高いものほどn値が小さくなるので，それに伴い張り出し性も低下するのが普通である。またとくに熱延鋼板においては介在物の影響も大きい。以下に供試材の引張り試験で得られたn値とエリクセン試験の結果を述べる。

（1）n値

供試材のn値を**表7**に示す。RIVER TEN Rのn値はSPHCおよびSS41に比べて小さいが，これはRIVER TEN Rの引張り強さが高いことによるものである。

（2）エリクセン値

JISB777法によって求めたエリクセン値を**表7**に示す。RIVER TEN Rのn値はSPHCに比べてかなり小さいにもかかわらずエリクセン値はそれほど悪くなっていない。このことは張り出し性においても介在物の影響がかなり大きいことを示唆している。

2・2・4　深絞り性

一般に薄板の深絞り性は平均塑性ひずみ比$\bar{r}$値が大きい材料ほどすぐれていることが知られており[6]，またこの$\bar{r}$値は板の集合組織によって定まるものである。熱延鋼板の集合組織は鋼種による差がほとんどなく，これに対し冷延鋼板では冷間圧下率および再結晶焼鈍によって集合組織を調整でき，大きい$\bar{r}$値の材料を得ることができる。

供試材のr値およびコニカルカップテスト値（C.C.V.）を**表7**に示す。上記のように$\bar{r}$値は熱延板どうしでは差がなく，冷延板は熱延板より良好である。

C.C.V.は主として深絞り性評価の対象となる値であるが，この試験での破断は張り出しによって生ずるため張り出し性も加味されている。SPHCより$\bar{r}$値がよく，n値がやや悪いRIVER TEN R冷延板のC.C.V.は熱延SPHCに比べて1.2mm厚では若干よく，1.6mm厚では同じである。SPHCと$\bar{r}$値がほとんど同じで，n値が劣るRIVER TEN R熱延板のC.C.V.は，同じ熱延板のSPHCよりやや劣っている。

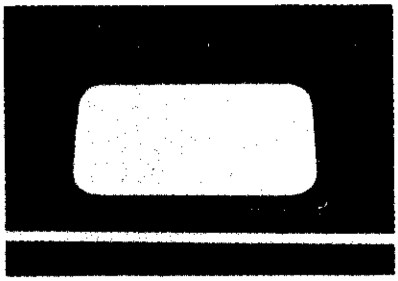

写真 2　新幹線車両用側戸袋点検口外板
RIVER TEN R 1.6mm厚熱延板

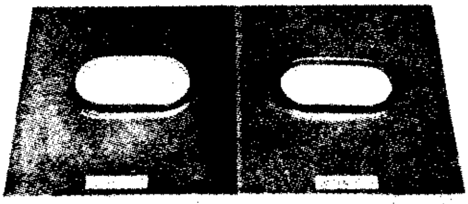

写真 3　新幹線車両用屋根カール
左：RIVER TEN R 1.6mm厚熱延板
右：RIVER TEN R 1.6mm厚冷延板

以上種々の加工性について実験室的な試験結果について述べてきたが，実際の部品に加工した例として，新幹線車両用側戸袋点検口外板および同屋根カールをRIVER TEN R 1.6mm厚熱延板および冷延板で成形したものをそれぞれ**写真2**および**写真3**に示す。前者はかなりきびしいコーナー部の張り出し加工があり，また後者は穴の周辺で約55％の伸びフランジ加工を受けているが，いずれも問題なく成形可能であった。

3. 熱加工による材質変化

車両の製作にあたっては種々の熱加工が行なわれることが多いので，それによる母材材質の変化を知っておく必要がある。ここではガス切断やアークエアガウジングあるいは板の歪矯正のためのガス炎による点加熱急冷，または単なる加熱水冷などによる材質変化について述べる。

3·1 ガス切断およびアークエアガウジングによる熱影響部の硬化

RIVER TEN RとSS41のいずれも6.0mm厚熱延板について，ガス切断，アークエアガウジングあるいはガウジング後高張力鋼用低水素溶接棒（川鉄KS—76)を用いて溶接した場合の熱影響部の硬さ分布を，それぞれ図1—(A),(B),(C)に示す。

ガス切断部の最高硬さはSS41のHv 165に比べRIVER TEN Rは206で約40高くなっているが，

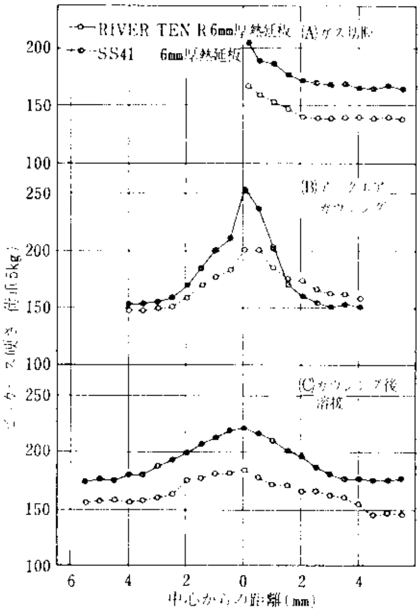

図 1 ガス切断，アークエアガウジングおよびアークエアガウジング後溶接部の硬度分布

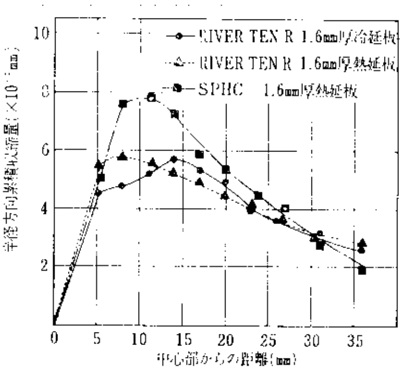

図 2 点加熱急冷試験片の収縮量

この差は母材自身の硬度差と同じであり，RIVER TEN Rの熱硬化能が高いわけではない。

アークエアガウジングによる硬化は，ガス切断の場合よりやや大きいが，図1(C)に示したように溶接後はガス切断の場合と同程度に低下している。いずれの場合もこの程度の硬さ上昇は使用時における顕著な性能劣化をもたらすことはないといえる。

3·2 点加熱急冷による板の収縮および硬化

1.6mm厚×150mm角のRIVER TEN RおよびSPHCの中央をガス吹管で最高約650°Cに点加熱後水冷（全体で約10sec間）した場合の収縮量を図2に示す。

RIVER TEN Rは熱延板および冷延板ともSPHCより収縮量は小さいが，これは降伏点の差によるもであろう。しかしながら熱影響による硬度の上昇率はSPHCに比べてRIVER TEN Rの方が小さい。

3·3 加熱冷却による機械的性質および衝撃特性への影響

車両の台枠や鋼体骨組の曲り直し作業ではガスバーナー加熱とその後の水冷が行なわれることが多いが，これに類似した熱処理を施した後の機械的性質および衝撃特性を調べた。RIVER TEN Rの6.0mm厚熱延板につ

表8 熱処理後の機械的性質

熱処理		方向	降伏点 (kg/mm²)	引張り強さ (kg/mm²)	伸び (%)	曲げ性質 内側半径 1.5t	衝撃値 (20°C) (kg·m/cm²) 2mmV	2mmU	Hv (5kg)
熱延のまま		L	47.1	55.3	36	良	16.2	22.2	164
		C	50.2	56.9	33	〃	11.4	14.6	
650°C ×1hr	空冷	L	45.0	53.4	38	〃	24.3	23.1	166
		C	48.2	55.8	36	〃	14.5	17.5	
	水冷	L	48.2	55.8	36	〃	22.8	27.5	196
		C	49.0	55.8	34	〃	15.2	18.5	
850°C ×1hr	空冷	L	41.9	52.1	38	〃	23.5	25.3	171
		C	41.6	51.5	36	〃	16.8	19.1	
	水冷	L	56.6	73.0	24	〃	11.4	13.7	321
		C	54.7	73.4	22	〃	5.5	8.4	

いて試験結果を表8に示す。

850°C から水冷した試片の引張り強さは熱処理なしの試片に比べて約10kg/mm² 高く，逆に伸びが約10%そして vE_{20} が約 5 kg•m/cm²，$_{U}E_{30}$ が約 7 kg•m/cm²低下している。これは Ar_3 変態点以上からの水冷のためにベーナイト＋フェライト組織になったためである。しかし850°C からの空冷を含めて他の熱処理条件のものは強度，延性および靱性とも母材のそれとほとんど変わらず問題はない。

4. 溶接性

現在鉄道車両のほとんどは溶接構造で作られており，したがって使用材料の溶接性の良否は非常に重要な問題である。RIVER TEN 材の一般的

表 9　試験片の溶接条件と溶接部の機械的性質および X 線試験結果

溶接方法	板厚 (mm)	母材組合せ*	開先形状	溶接棒，ワイヤおよびガス流量	溶接電圧 (V)	溶接電流 (A)	溶接速度 cm/min	** 引張り強さ (kg/mm²)	破断位置	*** 衝撃値 20℃ kg-m/cm² 2V	2U	**** 型曲げ試験	X線試験
アーク手	1.6	RC×RC	I 型	KS76Cu3.2mmφ	25～30	90	50	53.9	RC 母材		—	180° 良	1 級
		RC×SP						37.7	SP 母材	—		〃	〃
		RH×RH						52.5	RH 母材	—		〃	〃
		RH×SP						38.8	SP 母材	—	—	〃	〃
	6.0	RH×RH	V 型	KS76Cu4.0mmφ	25～30	120～130	8～12	58.2	RH 母材	11.4	15.7	〃	〃
		RH×SS						54.7	SS 母材	10.0	18.5	〃	〃
サブマージドアーク	1.6	RC×RC	I 型	KF 50 KW 36 2.4mmφ	18	250～260	180～200	55.4	RC 母材		—	〃	〃
		RC×SP						37.5	SP 母材		—	〃	〃
		RH×RH						52.8	RH 母材	—		〃	〃
		RH×SP						39.5	SP 母材	—	—	〃	〃
	6.0	RH×RH	I 型	KB 50 KW－43 4mmφ	32	600～630	60	60.1	RH 母材	8.2	14.4	〃	〃
		RH×SS						52.5	SS 母材	6.1	10.2	〃	〃
CO_2自動アーク	1.6	RC×RC	I 型	YM 50 1.2mmφ CO_2 20 l/min	19～20	100～105	45～55	54.0	RC 母材	—		〃	〃
		RC×SP						39.0	SP 母材		—	〃	〃
		RH×RH						52.1	RH 母材			〃	〃
		RH×SP						38.1	SP 母材		—	〃	〃
	6.0	RH×RH	I 型	YM－50 1.6mmφ CO_2 20 l/min	30	370	30～35	60.2	RH 母材	9.0	10.9	〃	〃
		RH×SS						52.8	SS 母材	8.1	10.3	〃	〃
CO_2－O_2 自動アーク	1.6	RC×RC	I 型	DS 1 1.2mmφ CO_2 15 l/min O_2 5 l/min	19	90	45～55	55.1	RC 母材	—		〃	〃
		RC×SP						39.0	SP 母材		—	〃	〃
		RH×RH						52.7	RH 母材		—	〃	〃
		RH×SP						37.2	SP 母材	—	—	〃	〃
	6.0	RH×RH	I 型	DS－1 1.6mmφ CO_2 15 l/min O_2 5 l/min	32～35	350～380	40～45	59.4	RH 母材	13.1	20.4	〃	〃
		RH×SS						54.0	SS 母材	8.8	19.0	〃	〃
CO_2半自動アーク	1.6	RC×RC	I 型	YM－50 1.2mmφ CO_2 20 l/min	20	120	40～50	55.9	RC 母材	—		〃	〃
		RC×SP						38.4	SP 母材	—		〃	〃
		RH×RH						53.0	RH 母材	—		〃	〃
		RH×SP						38.7	SP 母材	—		〃	〃
	6.0	RH×RH	I 型	YM－50 1.6mmφ CO_2 20 l/min	32	370	25～30	59.5	RH 母材	10.2	16.1	〃	〃
		RH×SS						55.0	SS 母材	9.5	10.6	〃	〃
CO_2－O_2 半自動アーク	1.6	RC×RC	I 型	DS 1 1.2mmφ CO_2 15 l/min O_2 5 l/min	20	120	40～50	54.3	RC 母材	—		〃	〃
		RC×SP						39.2	SP 母材		—	〃	〃
		RH×RH						51.2	RH 母材	—		〃	〃
		RH×SP						38.7	SP 母材		—	〃	〃
	6.0	RH×RH	I 型	DS－1 1.6mmφ CO_2 15 l/min O_2 5 l/min	32	340	25～30	59.4	RH 母材	14.0	17.7	〃	〃
		RH×SS						55.1	SS 母材	10.1	14.6	〃	〃
CO_2有心複合ワイヤ自動アーク	6.0	RH×RH	I 型	HS 50A 2.4mmφ CO_2 20 l/min	先28 後28	390 350	32 48	58.8	RH 母材	9.6	12.8	〃	〃
		RH×SS			先28 後27	370 350	28 49	55.4	SS 母材	9.3	11.9	〃	〃

* RC：RIVER TEN R の冷延板
RH：RIVER TEN R の熱延板
SP：SPHC
SS：SS41

** JIS Z3121による
*** 厚さ 5 mmハーフサイズ試片
**** JIS Z3122による

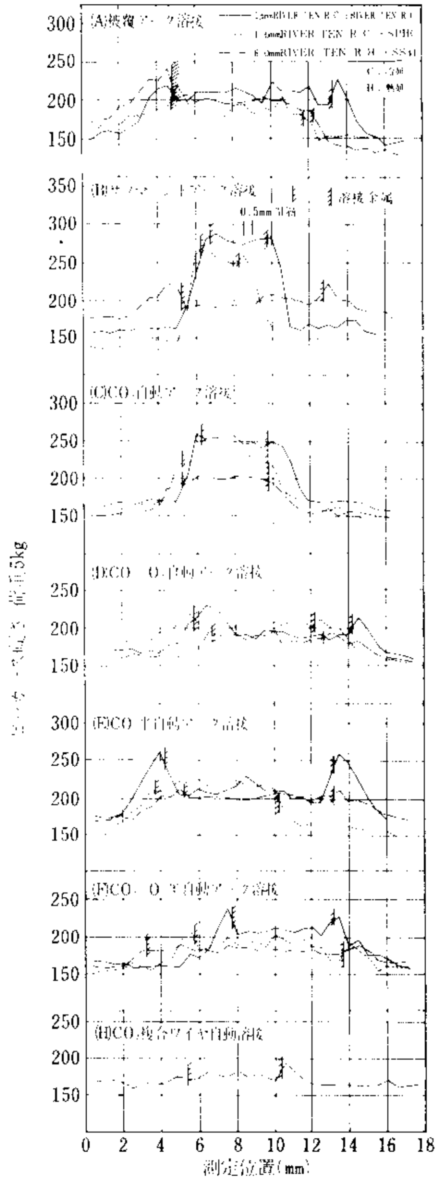

図 3 溶接継手部の硬度分布

な溶接性および溶接施工法については本誌別報[7]に詳述されているので，ここでは車両製作上とくに問題となる点について述べる。

4・1 突き合わせ溶接

表 9 に示す各種の条件で溶接した試片についてその性質を確かめた。

4・1・1 継手の機械的性質，衝撃値および欠陥

継手の機械的性質，20°C における衝撃値およびX線による欠陥判定結果を**表 9** に示す。

引張り強さは溶接方法によらずほとんど一定で，RIVER TEN R 1.6mm厚冷延板どうしの組合せでは53～56kg/mm²,同じく熱延板どうしの組合せでは51～53kg/mm²で，いずれも母材より4～5 kg/mm²高くなっている。RIVER TEN RとSPHCを組合せた場合では，すべてSPHCの母材で破断しているが，SPHC の母材に比べて2～3 kg/mm²の上昇がみられる。6.0mm厚のRIVER TEN R どうしあるいは RIVER TEN R とSS41を組合せた場合も破断は母材で起こり，やはりそれぞれの母材の引張り強さより若干高くなっている。

型曲げ特性は，すべての溶接方法および組合わせで180°まで良好であった。

つぎに 20°C における衝撃値はサブマージドアークおよび CO_2自動アーク溶接の場合他のものよりやや劣る結果となったが，それでも母材自身の値を下回っているものはない。

また溶接部の潜在欠陥についてX線検査した結果では，すべて JIS 1 級に合格するものであり，適切な施工条件で溶接すれば，構造材として満足な溶接部が得られることが明らかになった。

4・1・2 継手部の硬度

継手部の硬度分布を二，三の代表例について**図 3** に示す。サブマージドアーク溶接を行なったものの硬度が高いが，Hv300を超えるものはない。

4・1・3 継手の疲労特性

6.0mm 厚の RIVER TEN R どうしを組合わせて，サブマージドアーク溶接およびCO_2-O_2自動溶接を行ない，シェンク式 4 kg・m 試験機により繰返し曲げ疲労特性を調べた。また母材自身についても同様の試験を行なった。これらのS-N曲線を**図 4** に示す。CO_2-O_2 自動アーク溶接による継手部の疲労特性は母材自身のそれとほとんど同じで，疲労限は約28kg/mm² であるが，サブマージドアーク溶接材は約27kg/mm²である。

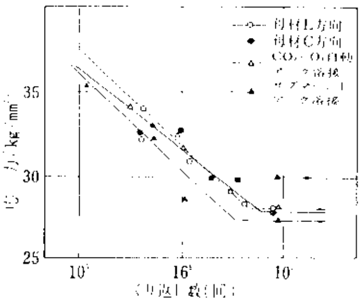

図 4　母材および溶着金属の S—N 曲線

4・2　フィスコ割れ

RIVER TEN R の溶接部における熱間割れの発生傾向を調べるため，6.0mm 厚熱延板について，**図5**に示す試片によりフィスコ割れ試験を行なった。その結果**表10**に示すように割れはまったく起こらなかった。

表 10　フィスコ割れ試験結果

鋼　　種	板厚 (mm)	試験温度 (°C)	溶接棒	溶接条件 溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	ルート間隔	割れ感度
RIVER TEN R	6.0	21	KS76Cu 4mmφ	170	34	0	0
						1	0
						2	0
				190	34	0	0
						1	0
						2	0

4・3　スポット溶接

RIVER TEN R 1.2mm および1.6mm 厚冷延板と1.6mm 厚熱延板を対象としてスポット溶接を行ない，溶接部の破断強度および硬度分布を調べた。**図6**に代表例を示すように，せん断強さはいずれの場合もテンパー処理と無関係にほぼ一定であるが，引張り強さは供試材により以下のように異なっている。

(1)　1.2mm 厚冷延板では，テンパー電流／溶接電流の比が77%（および73%）の場合，テンパー電流通電時間が 45cyc（サイクル）以上で約 790～800kg とほぼ一定となるが，時間が長くなるとともにやや低下する傾向がみられる。

(2)　1.6mm厚冷延板では，テンパー電流／溶接電流の比が 73% の場合，テンパー電流通電時間が増加するとともに引張り強さが漸近し，85cycで最大（1450 kg）になる。77%の場合は45cyc 以上でほぼ一定（1430～1450 kg）となる。

(3)　1.6mm厚熱延板では，テンパー電流／溶接電流の比が73%の場合，テンパー電流通電時間が 85cyc 以下ではほぼ 1530～1550 kgで一定であるが105cycではやや低下している。77%の場合は，45 cycで 1600kg あるが，時間がそれ以上になると徐々に低下して105cyc

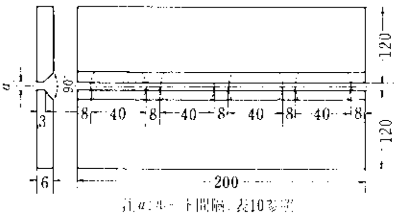

図 5　フィスコ割れ試験片

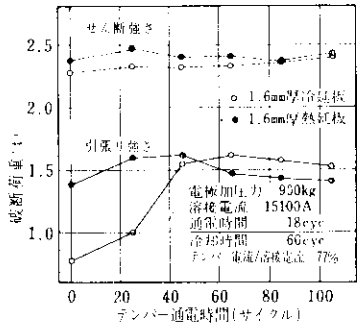

図 6　点溶接部のせん断強さおよび引張強さにおよぼすテンパー通電時間の影響

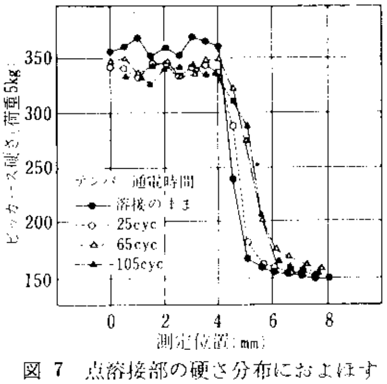

図 7　点溶接部の硬さ分布におよぼすテンパー通電時間の影響

では約1420kgとなる。以上の結果からそれぞれの溶接の最適条件を選ぶと，破断強さ／母材強さの比は大体63～70％である。

図7にスポット溶接部の硬度分布の一例を示す。硬度はHvで最高約370であるが，テンパー通電によって軟化し350以下にすることができる。

5. おわりに

高張力と耐候性を兼備した薄鋼板として開発したRIVER TEN Rは，母材の特性，加工性および溶接性とも車両用鋼板として要求される性能を十分に満足している。とくに圧延方向に直角な方向の衝撃値やせん断端面の伸びフランジ性が非常に良好で，高張力鋼にもかかわらず加工性にすぐれていること，また熱加工や溶接も特別な注意を払うことなく施工でき，重大な障害が起こらないことは実際使用上きわめて有利な点である。

本報では記述を省略したが，本鋼板は耐候性にもすぐれており，今後車両用のみならず広範な用途への適応性があるといえよう。

参考文献

1) 久野，中井，今津，嶋中：本誌，**2** (1970) 2, 8
2) 小嶋，吉井，吉田：理研報告，**44** (1968)，67
3) 吉田：理研報告，**34** (1958)，103
4) 山本，深瀬，守谷：塑性と加工，**3** (1962)，309
5) 宮内，小森田，吉田：塑性と加工，**9** (1968)，139
6) 福田：塑性と加工，**5** (1964)，3
7) 大庭，高野：本誌，**2** (1970) 2, 97