

RIVER TEN 製リベットについて

Weathering Steel RIVER TEN Rivets for Bridge Construction

嶋 文 雄*

Fumio Shima

石 渡 正 夫**

Masao Ishiwata

Synopsis :

Bridges are given a longer life by use of weathering steel. Ever since this theory was proved true, the weathering steel has been finding an increasing application in bridge construction. In Japan, one half of such member-joining field work is done with high-strength bolts and nuts, the other half with rivets. It is by far the better to use weathering steel for the joints as well as for the members.

With its sufficient strength and elongation properties, Kawasaki Steel's weathering steel (RIVER TEN 41V & 50V) demonstrates superior performance and field workability as rivet joint material. An investigation has revealed that weathering steel rivet is quite competitive with conventional rivet (SV 41) strength and performance.

1. まえがき

耐候性鋼材を橋梁部材として用いることにより橋の耐久性が増し、塗装費など維持管理費を大幅に減少させることが可能となった。橋梁の現場継手としては高力ボルト、リベット継手が用いられているが、溶接継手はほとんど用いられていない。これは現場溶接に対する信頼性が十分でなく、また継手部に発生する応力集中を避けるためである。国内での高力ボルトとリベットとの使用比率は大略50%づつとみられている。熟練リベット工の不足にもかかわらずリベットの使用比率が高いのはリベット一本当りコストが安いことや

リベットに対する従来からの安心感が大きく働いているためと考えられる。さらに腐食環境のきびしい海岸部の橋梁では橋梁部材として耐候性鋼を使用し、継手部にも耐候性リベットを使用する例が多い。

本報告においては川鉄規格耐候性リベットがリベット素材として十分な性能と現場作業性を有しているか、またリベット継手部材として十分な強度、伸び能力を有するかを明らかにすることを目的として試験を行なった。

2. RIVER TEN 製リベット規格

JISリベット規格としてはSV34, SV41がありこ

* 本社建材開発部土木開発室副部長

** 本社建材開発部土木開発室部長

の化学成分および機械的性質を表1に示す。SV34はSS41級に、SV41は50キロ鋼以上の母材結合に用いられている。最近では長大橋などに80キロ鋼の使用が検討されているが、これに見合う高張力リベットの規格はまだ定められていない。表2はRIVER TEN 製リベット規格を示す。RIVER TEN 41VはSV41に対応し、RIVER TEN 50Vは耐候性高張力リベットである。

表3に道路橋で用いられている各国のリベット許容応力度を示す。

3. 試験方法および試験結果

供試材 RIVER TEN 41V および RIVER TEN 50V の化学成分と機械的性質を表4に示す。試験の時期が異ったためリベット素材試験、鉋鉋試験

表1 JIS リベット規格の化学成分および機械的性質 (JIS G3104)

種類 および記号	化学成分 %		引 張 試 験		曲 げ 試 験		縦 圧 試 験
	P	S	引張強さ (T) kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	伸び 試験片 %	曲げ 角度 曲げ半径 急冷曲げ	
SV 34	0.050 以下	0.050 以下	34~41	-	2号 27以上 3号 34以上	180° 密着	径の2倍の長さの試験片を約950℃に加熱したまま、原長の場に至るまで縦方向に圧縮しても有害なきず、割れを生じないこと。
SV 41A	"	"	41~50	-	2号 25以上 3号 30以上	" "	
SV 41B	0.040 以下	"	41~48	T×0.5以上 23以上	特2号 21以上	" " d≤19mm0.5d d>19mm0.75d	

表2 RIVER TEN 製リベット規格の化学成分および機械的性質

種 類 および 記 号	化 学 成 分 %										引 張 試 験				曲 げ 試 験		縦 圧 試 験
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Nb	引張強さ kg/mm ²	降伏点 kg/mm ²	試験片	径 mm	伸び %	曲げ 角度	曲げ 半径	
RIVER TEN 41V	0.17	0.35	0.50	0.040	0.040	0.20	0.50	0.20		41	-	JIS 2号	25以下	25以上			径の2倍の長さ の試験片を終 950℃に加熱し たまま、原長の 場に至るまで縦 方向に圧縮して も有害なきず、 割れを生じない こと。
	以下	以下	1.00	以下	以下	0.50	以下	0.60		52	23以上	" 3号	25超	30以上	180°	密着	
RIVER TEN 50V	0.15	0.15	0.50	0.040	0.035	0.20	0.10	0.30	0.040	50	-	JIS 2号	25以下	20以上			径の2倍の長さ の試験片を終 950℃に加熱し たまま、原長の 場に至るまで縦 方向に圧縮して も有害なきず、 割れを生じない こと。
	以下	0.55	1.00	以下	以下	0.50	0.50	0.60	以下	62	32以上	" 3号	25超	25以上	180°	密着	

表3 各国のリベット鋼材とリベット許容応力 (現場リベット)

国 別	リベット鋼材	通 用 鋼 材	リベット用鋼の機械的性質			リベットの許容応力(現場)		備 考
			引張強度	降伏点	伸 び	せん断応力	圧縮応力	
アメリカ	A141 58	軟 鋼 (A7, A36)	kg/mm ² 37~44	kg/mm ² 20	in 8" 24%	kg/cm ² 950	kg/cm ² 1900	リベット穴径は リベット径+1.6mm
	A195 50	高 張 力 鋼 (A242, A440)	48~58	27	in 8" 20%	1400	2800	
イギリス	BS 15	軟 鋼 (BS15, BS2762)	44~52	23	in 8" 20%	940	2200	リベット穴径は リベット径+1.6mm
	BS 548	高 張 力 鋼 (BS548, BS968)				1340	3070	
ドイツ	St 34	軟 鋼 (St33, St37)	41~42		in 8" = 5d 30%	1120	2800	リベット穴径は リベット径+1.0mm
	St 44	高 張 力 鋼 (St 52)	41~52		in 8" = 5d 24%	1680	4300	
日本	SV 34	軟 鋼 (SS41)	34~41		2号 27% 3号 34%	990	1980	リベット穴径は リベット径+1.5mm
	SV 41	高 張 力 鋼 (SM30A)	41~50		2号 25% 3号 30%	1260	2700	

および継手引張試験とが、同一チャージの素材を用いることが出来なかったが、両者とも川鉄規格を満足している。

3.1 リベット素材試験

(1) 縦圧試験

リベット規格 (JIS G3104) で定められている試験方法により行なった。22mmの RIVER TEN 41V および RIVER TEN 50V について直径の2倍の長さの試験片を約950°Cに加熱し、ドロップハンマーで原長の7/8まで縦方向に圧縮したが、写真1に示したように有害な割れは発生しなかった。

(2) 加熱温度と機械的性質

鉋鉋後のリベットの機械的性質を調べるため、RIVER TEN 41V および RIVER TEN 50V の丸棒を700~1,200°Cで30min間加熱し、これを空冷または水冷したもの、これを厚さ100mmの割型治具に鉋鉋し、抜き出したりベットについて引張試験および衝撃試験を行なった。図1、2で示しているように、割型治具に鉋鉋したリベットの引張試験結果は空冷と水冷の中間的性質を示している。加熱温度とシャルピー衝撃値

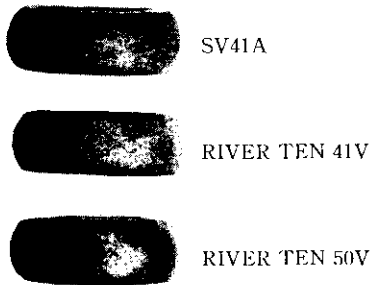


写真1 縦圧試験結果

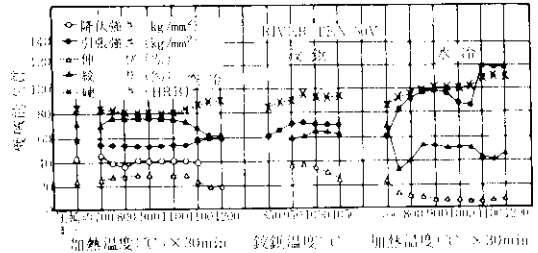


図1 RIVER TEN 41Vの加熱温度と機械的性質

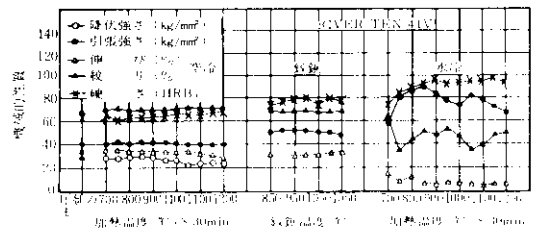


図2 RIVER TEN 50Vの加熱温度と機械的性質

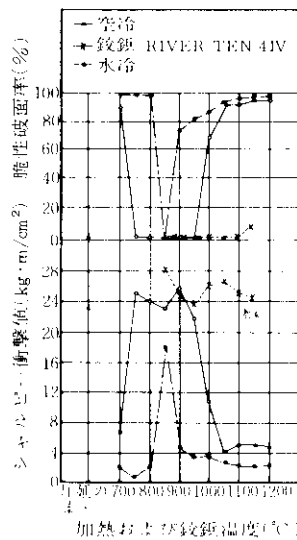


図3 RIVER TEN 41Vの温度と衝撃値加熱

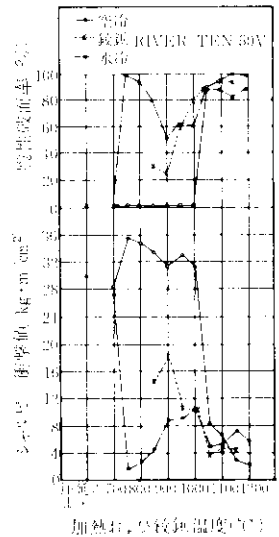


図4 RIVER TEN 50の熱加熱温度と衝撃値

表4 供試材の化学成分および機械的性質

供 試 材	化 学 成 分 (%)									引 張 試 験				試験項目
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Nb	降伏点 (kg/mm ²)	引張り強さ (kg/mm ²)	伸び(%)	絞り(%)	
RIVER TEN 41V	0.13	<0.01	0.69	0.007	0.012	0.31	0.21	0.26	0.002	29.0	41.5	35.5	68.5	リベット
RIVER TEN 50V	0.12	0.34	0.88	0.021	0.011	0.33	0.34	0.44	0.014	42.0	58.0	25.0	72.0	素材試験
SV 41A	0.21	<0.01	0.60	0.018	0.034	0.08	0.02	0.03		31.5	42.2	37.0	66.0	鉋鉋試験
RIVER TEN 41V	0.14	0.21	0.61	0.012	0.022	0.29	0.20	0.24		36.4	45.2	34.0	68.0	継手引張
RIVER TEN 50V	0.11	0.37	0.68	0.017	0.019	0.27	0.32	0.34	0.015	41.6	52.2	29.0	69.0	試 験
SM 50Y (鋼板)	0.16	0.05	1.30	0.013	0.015		0.16	0.15		42.0	58.0	20.0		継手母材

(JIS 4号2mmVノッチ, 試験温度0℃)との関係を図3, 4に示す。RIVER TEN 41Vは加熱温度に関係なく鉸鉚後の衝撃値は高い値を示している。RIVER TEN 50Vは空冷, 鉸鉚, 水冷ともに加熱温度1,050℃以上で衝撃が著しく低下する。これは図2に示されるようにRIVER TEN 50Vは加熱温度の上昇とともに焼入性が上ることによるものと考えられる。

(3) リベット成形試験

RIVER TEN 41V, RIVER TEN 50Vを700~1,100℃で熱間リベット頭部成形試験を行なった。これらの外観検査の結果, 700~750℃の低温で成形したものは一部に頭部寸法不足などの欠陥が発生し, 一方1,100℃で成形すると表面の酸化が大きくなるが, 各素材とも800~1,100℃で成形すればなんら欠陥は認められなかった。

(4) 試作リベットの頭部偏平つぶし試験

リベット頭部を約800℃に加熱後ドロップハンマーを用いて, リベットの直径の2.5倍(55mmφ)まで偏平につぶしたが, 写真2に示したようにいずれも良好な結果を示した。



写真2 リベット頭部偏平つぶし試験結果

(5) 試作リベットの軸部常温曲げ試験

リベット軸部を常温でR=0, 180°密着曲げ試験を行なったが, 写真3に示したようにどのリベットにも割れの発生はみられなかった。

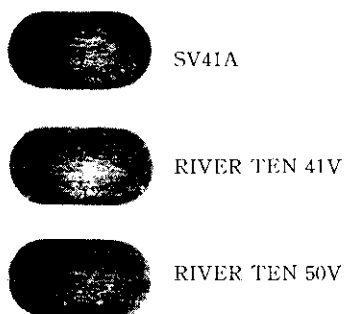


写真3 リベット軸部常温曲げ試験結果

3.2 鉸鉚試験

(1) リベット焼き温度のバラツキ

実際作業におけるリベット焼き温度は鉸鉚技能者の経験に頼っているが, 耐候性リベットの現場適用性を明らかにするためには実際にどの程度の加熱温度のバラツキを持っているかを知る必要がある。そこで技能者に目標温度を指示し, コークス炉で焼かせ, より取出したリベットの温度を測定し, 目標温度に対してどのような分布を示すか調べた。測温はリベット(SV41A, 22mmφ, L=46mm)の軸端(鉸頭の反対側)に孔(4mmφ×10mm)をあけPt-Pt-Rh接触型熱電対を差込んで測温した。リベット焼き技能者はいずれも20年以上の経験者である。表5はコークス炉におけるリベット温度の測定値に関する統計量を示している。この結果, リベット焼き温度の標準偏差σは技能者による差はほとんどなく約50℃であることがわかった。したがってリベット焼き温度はほぼ目標温度の±100℃(2σ)以内におさまることがわかった(95%信頼率)。

SV41リベットの現場鉸鉚温度は900~1,100℃と言われているが, 目標温度を1,000℃とすればこの範囲に入り妥当である。

表5 焼きリベット温度測定値の統計量

因子	水準	統 計 量			
		測定値の平均	分散	標準偏差	測定値の95%信頼区間
技能者	目標温度(℃)	測定値 X(℃)	S ²	σ	(2σ)(℃)
A	900	945	2548	50	845~1045
A	1000	1010	2438	49	922~1108
A	1100	1121	2047	45	1031~1211
B	900	916	2714	52	812~1020
B	1100	1102	2731	52	998~1206

(2) 鉸鉚作業性試験

RIVER TEN 41VおよびRIVER TEN 50Vについてグリップ長さ40mmおよび70mm, 鉸鉚温度900℃および1,100℃の条件で, リベット各20本の鉸鉚作業時間を測定した。なお比較のためSV41についても行なった。リベット打はニューマチックハンマーおよび空気当盤を使用した。表6に試験結果を示す。グリップの比較的短いリベット

表 6 鉋鉋条件および鉋鉋時間の平均値とその95%信頼区間

グリッ P (mm)	鉋鉋温度 (°C)	材料	鉋鉋時間の平均値とその95%信頼区間 (sec)												
			6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
20	900	SV 41													
		RIVER TEN 41V													
		RIVER TEN 50V													
30	1100	SV 41													
		RIVER TEN 41V													
		RIVER TEN 50V													
40	900	SV 41													
		RIVER TEN 41V													
		RIVER TEN 50V													
15	1100	SV 41													
		RIVER TEN 41V													
		RIVER TEN 50V													

(G=40mm) の鉋鉋作業時間は鉋鉋温度のみに影響し、材質による差は認められないが、グリッ
Pの長いリベット (G=70mm) ではSV41A,
RIVER TEN 41V に比してRIVER TEN 50V の
作業性がやや低下する。

(3) リベット締め具合検査と外観検査

作業性試験に用いた試験片により締め具合検査
と外観検査を行なった。表7に鉋鉋検査結果を示
す。SV41, RIVER TEN 41VはグリッPおよび
鉋鉋温度に関係なく締め具合は良好であった。
RIVER TEN 50Vは鉋鉋温度 900°C で若干のゆる
み鉋がでているが、1,100°C では締め具合は良
好であった。

外観検査では、ハンマースナップ側の鉋頭外観
は材質、グリッP長、鉋鉋温度に関係なく良好で
あるが、裏当スナップ側の鉋頭外観はSV41に比

表 7 鉋鉋検査結果

グリッ P (mm)	鉋鉋 温度 (°C)	材料	外 観 検 査 点		テストハンマーに よる締め具合
			ハンマー スナップ側	スナップ側	
70	900	SV 41	10点	10点	良 好
		RIVER TEN 41V	10	7~8	良 好
		RIVER TEN 50V	10	7~8	鉋鉋番号1,3,5 にゆるみあり
	1100	SV 41	10	10	良 好
		RIVER TEN 41V	10	8	良 好
		RIVER TEN 50V	10	9	良 好
40	900	SV 41	10	10	良 好
		RIVER TEN 41V	10	7	良 好
		RIVER TEN 50V	10	7	鉋鉋番号8にゆるみあり
	1100	SV 41	10	7	良 好
		RIVER TEN 41V	10	7	良 好
		RIVER TEN 50V	10	8	良 好

※国鉄構造物事務所のアバタ限界見本(1,2,3)と対比すると、

10点: 限界見本1に相当するリベットが全部(20本)

9点: 20本中2本(10%)が限界見本2、他は限界見本1に相当する

8点: 20本中1本(5%)が " " " "

7点: 20本中6本(30%)が " " " "

し若干劣っている。最近リベット外観検査
に国鉄構造物設計事務所のリベット頭アバ
タ限界の見本(写真4)が判定基準に用い
られるようになっているが、この判定基準
によると(限界見本との関係は表7下段に
示されている)外観検査結果はいずれの場
合でも鉄道橋の現場リベットまたは鉄道橋
以外の橋梁の工場リベット(限界見本2)
として合格している。



判 定 基 準	鋼鉄道橋の一般部材の工場リベット	1の限界まで可
	鋼鉄道橋の一般部材の現場リベット	2の限界まで可
	鋼鉄道橋の歩道張板の工場リベット	2の限界まで可
	鋼鉄道橋以外の橋梁の工場リベット	3の限界まで可
	鋼鉄道橋の歩道張板の現場リベット	3の限界まで可

写真 4 国鉄構造物設計事務所

「リベット頭限界見本」

(4) 充填度検査

鉋鉋試験片をリベット中心線で切断し、リベッ
ト充填度の検査を行なった。写真5にSV41,
RIVER TEN 41V, RIVER TEN 50V リベットに
ついて鉋鉋温度 1,100°C, G=70
mmのリベット断面のマクロ写真を
示す。充填度検査の結果グリッ
P長さ 40 mmの場合SV41, RI-
VER TEN 41V, RIVER TEN 50

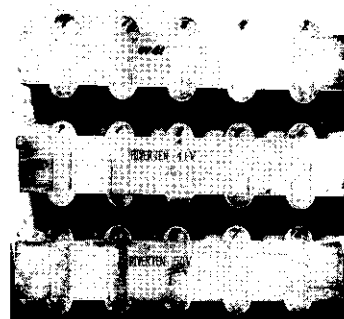


写真 5 リベットの縦断面

(鉋鉋温度1,100°C G=70)

Vとも鉋銀温度に関係なく充填度は良好であった。グリップ長70mmの場合、鉋銀温度900°Cでは各リベットとも裏当スナップ側に充填度不足の鉋が見られたが、特に材質による差は見られなかった。鉋銀温度1,100°Cでは各リベットとも20個中1~2個の裏当スナップ側に充填度不足のものが認められたが、ほぼ良好であった。

3.3 継手引張試験

SV41の継手性能と RIVER TEN 41V, 50Vの継手性能試験を比較するため、表8に示したような継手諸元を有し、図5に示した試験片形状を有する複せん断継手の引張試験を行ない、引張荷重と突合せ部材の開き量、母材と添接板のズレ分布、母材側面における縦方向平均応力および継手部の破断荷重を求めた。なお鉋銀温度はいずれも1,050°Cとし、コークス炉により加熱した。

T2継手の引張試験はアムラー式300t横型試験機により、T6およびT10は東京大学工学部総合試験所の2,000t大型試験機を使用した。試験

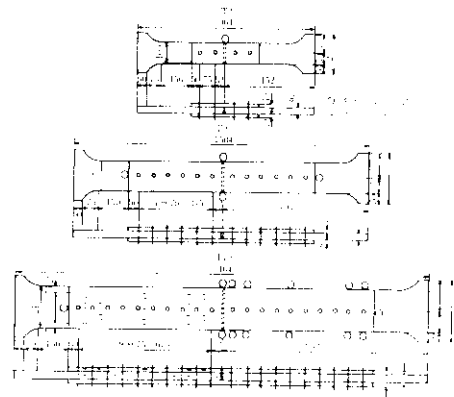


図5 継手形状とゲージ位置

片にとりつけられたダイヤルゲージにより、ずれ測定を行ない、ストレンゲージにより応力を測定した。(図3参照)

各継手試験片の引張試験結果を表9に示す。一般にリベット数が増加すると、各リベットの応力

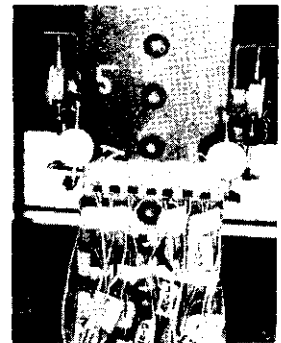


写真6 試験片にとりつけたダイヤルゲージおよびストレンゲージの一部

表8 継手の諸元

継手の種類	T2	T6	T10
試験片 SV41	T2-SV41	T6-SV41	T10-SV41
RIVER TEN 41V	T2-RIVER TEN 41V	T6-RIVER TEN 41V	T10-RIVER TEN 41V
RIVER TEN 50V	T2-RIVER TEN 50V	T6-RIVER TEN 50V	T10-RIVER TEN 50V
鉋銀条件	1050°C	1050°C	1050°C
グリップの径 mm	22φ	22φ	22φ
グリップの長さ mm	111	111	111
グリップの径 mm	71	71	71
孔の径 mm	23.5	23.5	23.5
リベット本数(片側)	2	6	10
リベットの径 mm	75	75	75
終端距離 mm	50	50	50
母材の材質	SM50Y	SM50Y	SM50Y
母材の巾 mm	100	150	210
母材の厚さ mm	36	36	36
添接板の厚さ mm	19×2	19×2	19×2

表9 引張試験結果

試 験 片 号	リベット素材 引 張 強 さ σ_t kg/cm ²	継手の設計 許容荷重* P_0 (t)	継手の破断 荷 重 P_{max} (t)	破断時リベットの 平均せん断応力 τ_{max} kg/cm ²	P_{max} P_0	τ_{max} σ_t	破 断 状 況
T2-SV 41	4220	21,240	58,300 59,000	3398 3399	2.74 2.78	0.80 0.81	いずれもリベットが 両せん断面で 同時に破断
T2-RIVER TEN 41V	4520	21,240	63,600 60,400	3664 2479	2.99 2.84	0.77 0.81	
T2-RIVER TEN 50V	5220	21,240	68,500 68,500	3946 3946	3.23 3.23	0.76 0.76	
T6-SV 41	4220	63,720	196,000	3763	3.08	0.89	いずれもリベットが 裏当スナップ側 せん断面で破断
T6-RIVER TEN 41V	4520	63,700	193,000	3706	3.03	0.82	
T6-RIVER TEN 50V	5220	63,700	216,000	4147	3.39	0.79	
T10-SV 41	4220	106,200	301,000	3668	2.83	0.82	
T10-RIVER TEN 41V	4520	106,200	308,000	3548	2.90	0.78	せん断面で破断
T10-RIVER TEN 50V	5220	106,200	327,000	3767	3.08	0.72	

*リベットのせん断許容応力は材質に関係なく $\sigma_t = 1400 \text{ kg/cm}^2$ とし、1個のリベットとして計算。

$$P_0 = \frac{\pi d^2}{4} \sigma_t \quad d: \text{公称リベット直径}(22\text{mm}\phi) \quad \tau_{max} = \frac{P_{max}}{2n} \quad d: \text{孔径}(23.5\text{mm}\phi) \quad n: \text{リベット本数}$$

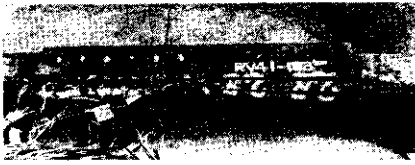


写真7 破断後の T6 RIVER TEN 41V 継手試験片



写真8 破断後の T6-RIVER TEN 41Vより抜き出したリベット（ハンマースナップ側鉋頭）の一部

分担が不均一となって、リベット一本当り破断強度が低下する（Unbuttoning）ことが考えられているが、本試験ではほぼ同程度の破断強度があった。これは RIVER TEN 41V, RIVER TEN 50V とともに破断にいたるまで十分なせん断変形が生じ、各リベットが均等に荷重を分担していることを示している。写真7に破断後の試験片の一例を写真8に破断後抜き出したリベットの一例を示す。写真9に引張試験後のリベット縦断面を示す。T6およびT10両試験片とも破断はすべて片側のリベット全部で同時に起り、試験片からとび出した。T2では全部リベットの両面で同時に切断した。

各試験片のリベットは破壊にいたるまでかなりの塑性変形をしているが、材質による差はみられなかった。また表9引張試験結果より破断強度（ P_{max} ）／設計強度（ P_0 ）は RIVER TEN 41V で 2.84～3.03, RIVER TEN 50V で 3.08～3.23でありSV41の2.74～3.08と同等の安全性を有している。図6にT2, T⁶およびT10継手の母材突合せ間隔の変化量（突合せ部

材の開き量）と荷重の関係を示す。図7にT10継手の各リベット位置における母材と添接板のズレ分布を示した。ズレ分布は各材質とも同じ傾向を示している。

図8, 図9にT6, T10継手の応力分布を示す。応力分布は両側面の歪の平均値より算出している。この応力分布がほぼ直線的に変化することから、各リベットは破断にいたるまで均等に荷重を分担していることがわかる。また応力分布の傾向からリベット材質によるリベット変形量の差が

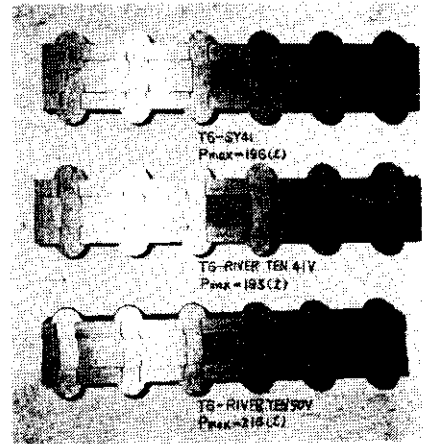


写真9 引張試験後のリベット縦断面

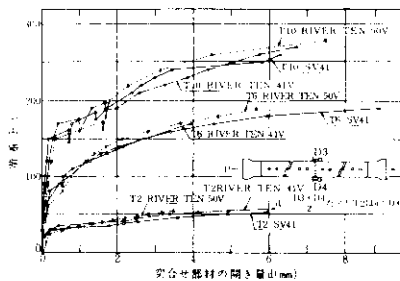


図6 突合せ部材の開き量と荷重曲線図

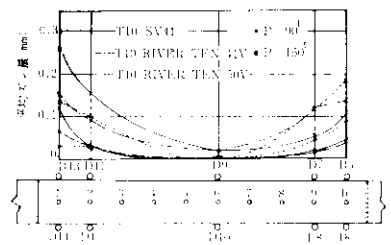


図7 リベット位置における母材と添接板のズレ分布

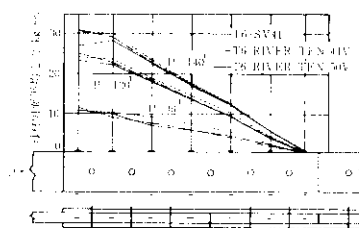


図8 T6継手の母材側面における縦方向平均応力分布

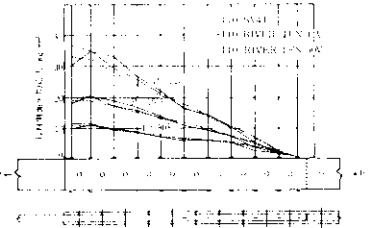


図9 T10継手の母材側面における縦方向平均応力分布

ないことがわかった。

4. ま と め

耐候性リベットの素材試験，鉋鉋試験，継手引張試験を行なった結果次のことがわかった。

- (1) 耐候性リベット RIVER TEN 41V は普通リベット S V 41 とまったく同様に使用することが出来る。
- (2) 耐候性リベット RIVER TEN 50V は十分実用に供し得ることがわかったが，鉋鉋温度が低いと充填不足が起り易く，また温度が高くなると衝撃値が低下するので，施工上十分注意する必要がある。
- (3) 高張力リベットとして RIVER TEN 50V は若干強度不足があるので，今後さらに素材の

性質，施工性に関する検討を行なう必要がある。

耐候性リベットの大気ばく露結果については現在当社が各地で行なっている腐食試験結果および実橋のリベット腐食状況について後日報告の予定である。

本報告のうち鉋鉋性および継手引張試験については K K 宮地鉄工所技術部の協力のもとに実施されたものであり，日本国有鉄道構造物設計事務所田島次長より種々ご指導いただいた。また引張試験は東京大学工学部大型構造物試験機を使用させていただいた。リベット素材試験については当社技術研究所で行なわれた試験結果を引用させていただいた。ここに関係の方々に深謝の意を表する。

