

橋脚の耐震補強鋼板巻き現場溶接施工法の検討

Field Welding for Seismic Reinforcement of RC Bridge Piers by Steel Jacketing

高橋 秀幸* 佐藤 利四郎**
 Hideyuki TAKAHASHI Rishiroh SATOH

Summary

The Kobe earthquake damaged viaduct piers and integral concrete bridge columns, and collapsed expressways. Specialists concluded that collapses of main bridge structures were due to shear fracture of viaduct piers and integral concrete bridge columns. Based on this lesson, such members are being reinforced on a national scale. One reinforcement method being used, called steel jacketing, involves surrounding a pier or column with steel plates and filling the gaps between plate and pier or column with epoxide resin adhesive to connect them. The backing strips between the steel plates must be less than 4 mm thick because of the limited clearance, and must be produced according to the results of field measurement of the clearance. This makes it difficult to secure the dimensional accuracy of welded joints, and weld quality could suffer as a result.

This paper reports on the selection of conditions that enable welders working in vertical and horizontal positions to produce joints with good weld quality. It also describes studies on the limits of root gaps and on backing strip specifications.

1. まえがき

阪神大震災により橋脚や高架橋の柱が破壊し、高速道路などが崩壊した。これは、脚や柱がせん断破壊したことが構造物倒壊の原因と結論づけられており、これらを教訓に全国規模でRC製（鉄筋コンクリート製）橋脚の耐震補強工事が進行している（写真-1）。

建設省や各道路公団・道路公社を中心とした橋脚の補強工法の1つとして、補強鋼板 $t=6\text{mm}\sim 12\text{mm}$ をRC製橋脚に巻きため、コンクリートと補強鋼板の隙間4mmにエポキシ樹脂を注入し接着するものが採用されている（図-1）。

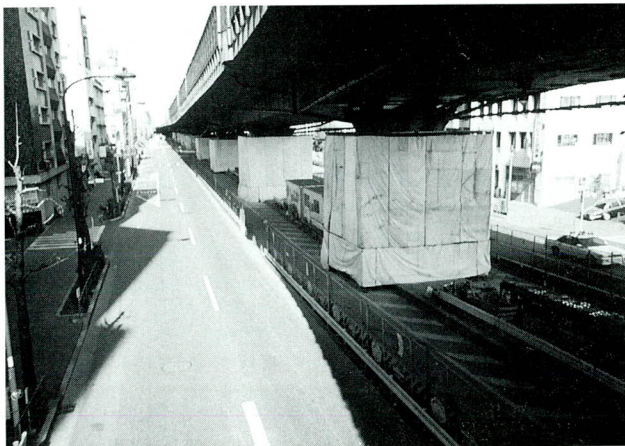


写真-1

補強鋼板を巻きためる際、橋脚周囲方向に2から8に分割された鋼板の継手を現場溶接として立向溶接を行い、橋脚高さにあわせ数分割された鋼板の継手を横向溶接するが（図-1参照）、エポキシ樹脂を注入する隙間4mmの関係から、各溶接継手の裏当材はそれ以下の厚みに限定され、その鋼材（市中品）を調べると最厚で板厚 $t=3.2\text{mm}$ の裏当金となる。

補強鋼板の製作は、既設RC製橋脚を実測量し、その値により工場製作を行うことになっており、溶接部の設計ルートギャップを確保する。しかし、実測量誤差や製作誤差などにより設計ルートギャップを確保することが困難と想定され、過大ルートギャップとなることも考えられる。また、立向・横向溶接を行うまでの補強鋼板の固定方法は、アンカーボルトによる締付けとしており、コ

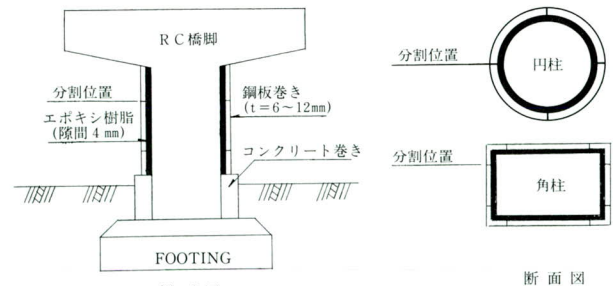


図-1 耐震補強形状

* 千葉工場製造部品品質管理課

** 千葉工場製造部品品質管理課

ンクリート表面の平滑度程度により鋼板と裏当金に隙間ができる可能性がある。

これら諸問題により本報では、裏当金 $t=3.2\text{mm}$ に限定した場合の現場溶接を考慮した立向・横向溶接の溶接条件および施工方法を検討し、ルートギャップの適用範囲や裏当金の厚さあるいは、その隙間について実験を行い、検討したので報告する。

なお溶接方法は、作業効率から現場で一般的に使われると思われる炭酸ガス溶接とし、実験条件を固定するためウィーピング機能を持つ簡易走行台車を用いて行った。

2. 供試材料および形状

(1) 供試材料

本体板厚を $t=6\sim 12\text{mm}$ とし、裏当金板厚を $t=3.0\text{mm}$ とした。現場施工における裏当金板厚は $t=3.2\text{mm}$ であるが、材料入手が容易なことから $FBt=3.0\text{mm}$ とした。本体の材質はSS400を使用し、裏当金はFBのためSS400相当である(表一1)。供試体寸法は $PL250\times t\times 600\text{mm}$ とし裏当金は $FB50\times 3.0\times 600\text{mm}$ を使用した。

溶接材料は、フラックス入りワイヤーのSF-1およびSF-1V [日鐵溶接工業]、DW-100VおよびMX-100T [神戸製鋼所]を使用し、ソリッドワイヤーはYM-25 [日鐵溶接工業]とした(表一2)。

表一1 供試体寸法

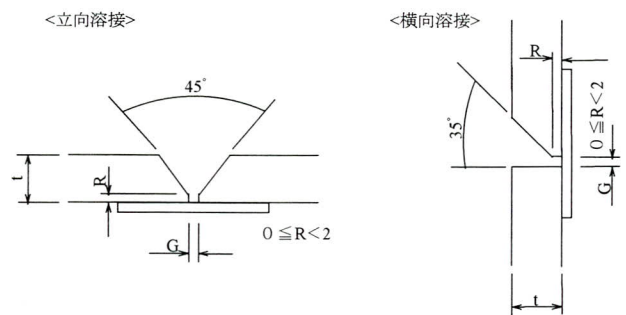
鋼種	材質	寸法 (mm)
鋼板	SS400	PL 6.0 × 250 × 600
	SS400	PL 9.0 × 250 × 600
	SS400	PL 12.0 × 250 × 600
裏当材	SS400相当	FB 3.0 × 50 × 600

表一2 溶接材料

種類	ワイヤー銘柄	径 (mm)	メーカー
フラックス入り ワイヤー	SF-1	φ 1.2	日鐵溶接工業
	SF-1V	φ 1.2	日鐵溶接工業
	DW-100V	φ 1.2	神戸製鋼所
	MX-100T	φ 1.2	神戸製鋼所
ソリッドワイヤー	YM-25	φ 1.2	日鐵溶接工業

(2) 開先形状

開先形状は立向溶接は両開先の $2\theta=45^\circ$ 、横向溶接は片開先の $\theta=35^\circ$ とし、ルートギャップは過大ルートギャップを考慮し $4.0\text{mm}\sim 10.0\text{mm}$ 、ルートフェイスは目標を 0mm とする。これら形状を図一2に示す。立向・横向溶接の開先角度は、(社)日本鋼構造協会のがスシールド溶接の開先標準である。



図一2 開先形状

3. 溶接電源

溶接電源は、サイリスタ溶接機のMEL_AUTO500G [三菱電器]と、インバータ溶接機のPANA_STAR A500 [松下電器]を使用し、溶接機はPICO_MAX-2 [神戸製鋼所]により行った。一覧表を表一3に示す。

サイリスタ溶接機による正極性・逆極性の違い、および低電流域でのアーク特性のよいインバータ溶接機による溶接性を確認する。

表一3 溶接電源

種類	名称	メーカー
溶接電源	MEL AUTO 500G (サイリスタ)	三菱電器
	PANA STAR AA500 (インバータ)	松下電器
溶接機	PICO MAX -2	神戸製鋼所

4. 溶接施工条件

サイリスタ溶接機により立向溶接を行う場合はSF-1およびYM-25の溶接材料での施工実験とした。インバータ溶接機による溶接施工は、既述した各溶接材料により行う。サイリスタ溶接はフラックス入りワイヤーとソリッドワイヤーを確認する目的でワイヤー銘柄を選定し、また正極性・逆極性の違いをSF-1で調査を行った。インバータ溶接は各溶接材料による溶接性・作業性を確

認する。

横向溶接はインバータ溶接により行い、SF-1・SF-1V・YM-25・MX-100Tの溶接材料での施工実験とした。立向溶接でサイリスタ溶接機とインバータ溶接機の相違、およびサイリスタ溶接機の正極性・逆極性が確認出来たため、横向溶接の溶接電源はインバータ溶接機のみである。

溶接条件は各溶接施工により表-4に示す。トーチ角度およびウィービング条件は、立向溶接で1パス目はトーチ角度-10~-15度・装置角度+15度とし、2パス目以降はトーチ角度0~15度・装置角度+15度程度、また、横向溶接は1パス目はトーチ角度-10度・装置角度-15、2パス目以降はトーチ角度0~-10度・装置角度0~-10程度

表-4 溶接条件

溶接 No	溶接電源	溶接姿勢	ワイヤ-銘柄	ギヤップ G	本体板厚	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (CPM)		
A-1	サイリスタ 溶接機	立向溶接	SF-1	4.0	9.0	160	20	2.0		
A-2				6.0	9.0					
A-3				10.0	9.0					
B-1			YM-25	4.0	9.0	80	18	2.0		
B-2				4.0	9.0					
B-3				10.0	9.0					
C-1	インバータ 溶接機	立向溶接	SF-1	4.0	9.0	160	20	2.0		
C-2				8.0	6.0					
C-3				10.0	9.0					
D-1			SF-1V	4.0	6.0	100	20	2.0		
D-2				10.0	6.0					
E-1			YM-25	4.0	6.0	80	18	2.0		
E-2				4.0	9.0					
E-3										
E-4				4.0	12.0					
E-5				10.0	6.0					
E-6				10.0	6.0					
E-7				10.0	9.0					
E-8	10.0	12.0								
E-9	10.0	12.0								
F-1	DW-100 V	横向溶接		SF-1	4.0				12.0	160
F-2			4.0		12.0					
F-3			4.0		9.0					
E-4			4.0	12.0	~ 220	~ 24	~ 12.0			
E-5			4.0	12.0						
E-6			10.0	12.0						
G-1	MX-100 T	横向溶接	SF-1	4.0	12.0	100	16	2.0		
G-2				4.0	12.0					
H-1	SF-1	横向溶接	SF-1	4.0	12.0	160	20	20.0		
H-2				4.0	12.0					
H-3				4.0	12.0					
I-1	SF-1V	横向溶接	SF-1V	4.0	6.0	160	20	20.0		
I-2				10.0	6.0					
J-1	YM-25	横向溶接	YM-25	4.0	12.0	120	20	20.0		
J-2				4.0	12.0					
K-1	MX-100 T	横向溶接	MX-100 T	4.0	6.0	160	20	20.0		
K-2				4.0	6.0					
K-3				4.0	12.0					
K-4				10.0	6.0					

とし、これら条件形式を図-3に示す。

また、溶接施工中を写真-2に示す。



写真-2

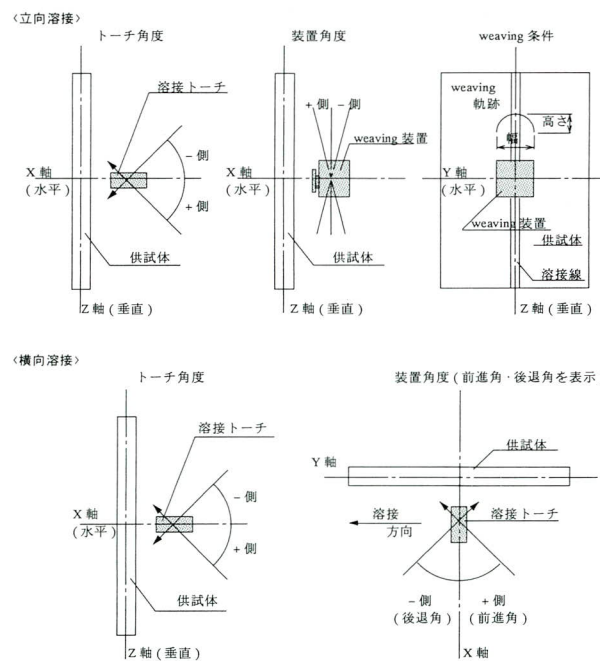


図-3

5. 溶接施工結果

溶接施工結果として、マクロ試験を行った結果とビード外観・溶接作業性について、表-5に示す。

立向溶接の問題点として、溶落ちは低電流域の使用できるMX-100TおよびYM-25が良い結果となった。しかし溶接材料に関係なく1パス溶接により仕上げを行うと、溶着量増加のため電流をある程度高く設定し、速度を遅くすることが必要となり、これにより裏当金の溶落ちが

表-5(1) 溶接施工結果

溶接電源	溶接姿勢	ワイヤー 銘柄	ルート ギヤツプ	パス 数	溶接 No.	溶 込 不 足	ス ラ グ 巻 込	ビ ード 外 観	溶 接 時 間	作 業 性	断面 マ ク ロ
MELATO 500G ファイリス	立	SF1	4.0	1	A1	×	×	○	○	○	
				1	A2	△	×	○	○	○	
				1	A3	×	×	○	○	○	
	向	YM25	4.0	2	B1	◎	◎	×	×	△	
				2	B2	◎	◎	×	×	△	
				2	B3	◎	◎	×	×	△	
PANASTAR AAS00 アバイク	立	SF1	4.0	2	C1	◎	○	◎	×	◎	
				2	C2	○	△	○	△	◎	
				2	C3	×	×	○	△	◎	
	向	SF1V	4.0	2	D1	◎	○	◎	○	◎	
				2	D2	◎	○	◎	○	◎	
				2	E1	△	◎	△	△	△	
	向	YM25	4.0	2	E2	○	◎	△	×	△	
				2	E3	◎	◎	△	×	△	

発生する。パス数は、1パス内の溶着量を少なくすることから、2パス溶接とすれば溶落ちは起きにくくなる結果となる。

スラグ巻込みについては、SF-1・DW-100Vで多く見

表-5(2)溶接施工結果

溶接電源	溶接姿勢	ワイヤー 銘柄	ルート ギヤツプ	パス 数	溶接 No.	溶 込 不 足	ス ラ グ 巻 込	ビ ード 外 観	溶 接 時 間	作 業 性	断面 マ ク ロ
PANASTAR AAS00 (インパ)	立	YM25	4.0	2	E4	◎	◎	△	×	△	
				1	E5						溶落ち
				2	E6	◎	◎	△	×	△	
				2	E7	○	◎	△	×	△	
				2	E8	◎	◎	△	×	△	
				2	E9	◎	◎	△	×	△	
	向	DW100V	4.0	1	F1	×	×	○	○	○	
				1	F2	×	×	○	○	○	
				1	F3						溶落ち
			4.0	2	F4	○	△	○	○	○	
				2	F5	○	△	○	○	○	
				1	F6						溶落ち
MX100T	4.0	2	G1	◎	◎	◎	△	○			
		2	G2	◎	◎	◎	×	○			

表-5(3) 溶接施工結果

溶接電源	溶接姿勢	ワイヤー銘柄	ルートギャップ	パス数	溶接No.	溶込不足	スラグ巻込	ビード外観	溶接時間	作業性	断面マクロ
PANA STAR AAS00 インバータ	横 向	SF-1	4.0	6	H1	○	◎	○	○	◎	
			4.0	8	H2	○	◎	○	○	◎	
			4.0	7	H3	○	◎	○	○	◎	
		SF-1V	4.0	4	I1	◎	◎	○	○	◎	
			10.0	6	I2	◎	◎	○	○	◎	
		YM-25	4.0	6	J1	○	◎	△	○	△	
			4.0	6	J2	○	○	△	○	△	
		MX-100T	4.0	4	K1	◎	◎	○	○	◎	
			4.0	5	K2	◎	◎	○	○	◎	
			4.0	6	K3	◎	◎	○	○	◎	
			10.0	6	K4	◎	◎	○	○	◎	

良：◎ ← ○ ← → △ → × : 悪

られた。フラックス入りワイヤーのためスラグ発生量が多く、電流が低いとスラグが放出されるまえに溶着金属が凝固するためと考えられる。SF-1VおよびMX-100Tはスラグの発生量を極力抑えてあるワイヤーのためスラグ巻込みが少なくなっており、YM-25はソリッドワイヤーであり良好な結果となる。

作業性および溶接時間は、SF-1・SF-1V・DW-100Vが安定したアーク状態であり溶接速度が速く、MX-100T・YM-25は低電流域を使用するため、溶接速度が遅くなる。ビード外観は全てのワイヤーで滑らかな外観であり、問題となるオーバーラップやアンダーカット等は

ない。

横向溶接は、溶接材料の種類やルートギャップ4.0mm～10.0mmの差等は、特に問題はない。横向溶接は基本的に溶接速度が速く、狭ビードであるため立向溶接に比べ高めの電流を使用しても、裏当金の溶落ちが起こりにくい

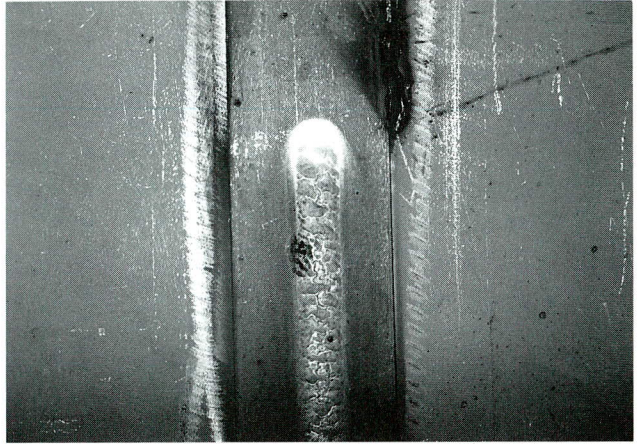


写真-3

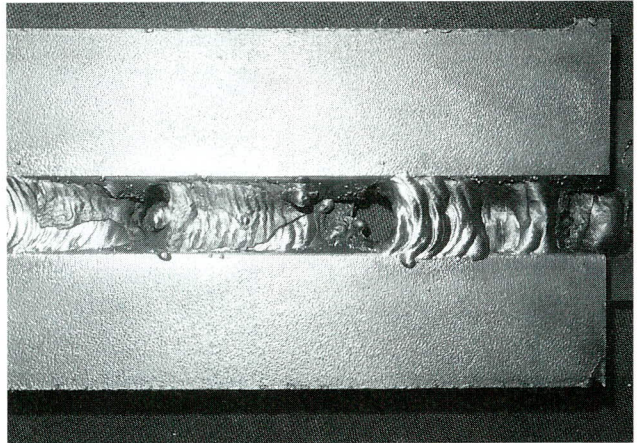


写真-4

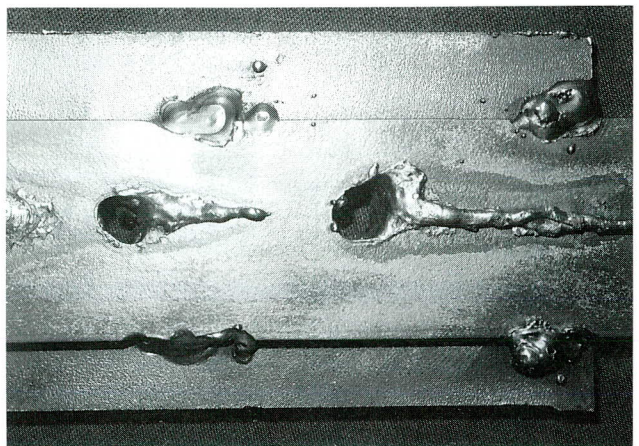


写真-5

ことによる。パス数の横向溶接への影響もないが、パス数が多くなることは溶接ビード境部に欠陥を生じやすいことや作業性が悪くなることから、極力少なくすることが望ましい。

サイリスタ溶接機の正極性・逆極性の違いは、溶接欠陥および作業性等、特に変化がない。また、インバータ溶接機は低電流域でもアークが安定し作業性が良好な結果となり、裏当金 $t=3.2\text{mm}$ の溶接施工においても使用できる。

6. 問題点

本溶接施工の問題点として以下のようなことがある。裏当金が $t=3.0\text{mm}$ の薄板であり、また現場施工の実測量誤差や製作誤差等を想定し、過大ルートギャップの溶接施工実験としたためアークが裏当金に集中し、温度拡散効果が少なく溶接熱上昇による溶落ちが発生した。これは現場施工の裏当金 $t=3.2\text{mm}$ においても大差はないと考えられる。写真-3のように溶接中、裏当金が赤熱状態となり、溶接電流を上げる・溶接速度を遅くする・アークをつめるなどを行うと溶落ちが発生することがわかる。溶落ち状況を写真-4に、裏当金を写真-5に示す。

また、溶落ちを考慮して電流を低く抑えることや、裏当金に溶接熱が集中しないようアーク長を長くし、本体側に発生させると、溶込まずスラグ巻込みが生じる可能性がある。これはルートフェイスが大きいほど、ルートギャップが小さいほど、またフラックス入りワイヤーでスラグ発生量が多いものほど起こりやすい。

これら諸問題により本現場溶接施工法を検討すると、インバータ溶接機による低電流域の採用や、低電流域で使える溶接材料の選定・スラグ発生量の少ないワイヤーの使用などが上げられる。

7. まとめ

以上の結果から、橋脚の耐震補強鋼板巻き現場溶接施工において、裏当金を $t=3.2\text{mm}$ に限定した場合の溶接材料は、溶接内部品質・作業性(効率)・溶接ビード外観の順で考えると、立向溶接はSF-1V<日鐵溶接工業>またはMX-100T<神戸製鋼>とする。横向溶接は立向溶接と同じ溶接材料とすることが溶材の管理上望ましく、上記ワイヤーは横向溶接に用いても問題がないことが確かめられた。裏当金 $t=3.2\text{mm}$ における、これら溶接材料の推

表-6 推奨溶接条件

溶接姿勢	溶接材料	パス数	溶接電流 (A)	溶接電圧 (V)	溶接速度 (CPM)	トーチ角度	ワイピング (回/min)
立向	SF-1V	1	100 ~ 140	20 ~ 22	4 ~ 12	-10 ~ -15°	20 ~ 25
		2以降	160 ~ 220	22 ~ 24	4 ~ 12	+0 ~ +15°	20 ~ 25
	MX-100T	1	100 ~ 120	16 ~ 20	2 ~ 10	-10 ~ -15°	20 ~ 25
		2以降	100 ~ 160	16 ~ 22	2 ~ 10	+0 ~ +15°	20 ~ 25
横向	SF-1V	1	160 ~ 220	20 ~ 26	20 ~ 40	-10°	ストレート
		2以降	200 ~ 280	22 ~ 32	20 ~ 40	+0 ~ -10°	ストレート
	MX-100T	1	160 ~ 220	20 ~ 26	20 ~ 40	-10°	ストレート
		2以降	200 ~ 280	22 ~ 32	20 ~ 40	+0 ~ -105°	ストレート

奨溶接条件を表-6に示す。溶接施工方法としてはインバータ溶接機による炭酸ガス溶接を標準とし、開先角度は(社)日本鋼構造協会の開先標準である立向溶接 $2\theta=45$ 度、横向溶接 $\theta=35$ 度とする。また、ルートギャップは両溶接とも $G=6.0\text{mm}(+4.0\text{mm}, -2.0\text{mm})$ とし、ルートフェイスは $R=0\text{mm}(+2.0\text{mm}, 0\text{mm})$ とする。パス数はルートギャップ等により若干変化するものである。

8. あとがき

阪神大震災により橋脚や高架橋が破壊し、これらを教訓に全国規模でRC製橋脚の耐震補強工事に着手しており、本報告ではそれら耐震補強の補強鋼板現場溶接における施工法について一連の実験結果を述べた。現場溶接部のルートギャップは、補強鋼板の製作誤差や既設RC製橋脚の実測量誤差等により過大となることが想定され、実験では $4.0\text{mm} \sim 10.0\text{mm}$ の過大ルートギャップにおける、裏当金 $t=3.2\text{mm}$ の溶接施工法の確立を行った。しかし過大ルートギャップを 10.0mm までとする理由はなく、現場溶接部においては、所定のルートギャップを確保することは困難と想定される。ルートギャップが 10.0mm 以上の場合は裏当金の溶落ちがより一層問題となるが、MX-100Tの低電流域を使用すれば、ある程度まで対応できるものと考えられるため、今後の検討課題と思われる。

最後に、橋脚の耐震補強工事による補強工法や、それに伴う溶接部の品質確保等の問題は今後も重量な課題であり、本報告がそれら課題解決のために少しでも参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) (社)日本鋼構造協会：溶接開先標準、JSS I 03-1992、
- 2) 清水功雄・鳥越弘行：鋼桁とRC橋脚の剛結構造に関する研究(第1報)、宮地技報、No.10 1994、

1996. 10. 31受付