

大入熱対応鋼を用いた溶接施工試験

Weldability Test Using Highly Heat-input-resistant Steel

櫻井 謙次*1 千葉 正幸*2 大月 真一*3
 Kenji SAKURAI Masayuki CHIBA Shin-ichi OHTSUKI

Summary

As a result of Notification No. 1464 of the revision of the Japan Building Standards Law, to strictly observe the provision on the discordance of connecting joints between columns and beams, the diaphragm thickness has been increased by one size greater than the connection flange thickness. Therefore, the heat input for electroslug welding has been increasing. As the large buildings are being built, steel plates have diversified and their impact property is a concern. However, impact toughness of steel plates is decreased due to large heat input. The present paper is the first report on the weldability test concerning the causes of the lower toughness and effects of large heat input by electroslug welding.

キーワード：溶接施工試験，入熱量，パス間温度，大入熱対応鋼板，衝撃値

1. はじめに

近年、阪神淡路大震災における溶接部の脆性破壊事例を背景に建築鉄骨溶接部の要求性能の1つとして衝撃値が重要視されている。また、柱-梁溶接部の管理については、入熱量、パス間温度を厳重に管理することが要求されている。

従来、衝撃値に対しては、一般的に鋼材規格値である27Jや47Jが溶接部の要求性能値として取り扱われてきた。また、管理に対しては、JIS Z 3312の解説に基づき、衝撃値47J以上（0℃）を前提として、入熱量（30kJ/cm以下，40kJ/cm以下）やパス間温度（250℃以下，350℃以下）等で柱-梁溶接部を管理することとされてきた。

しかし、現在では建築物へのニーズの多様化に伴い、

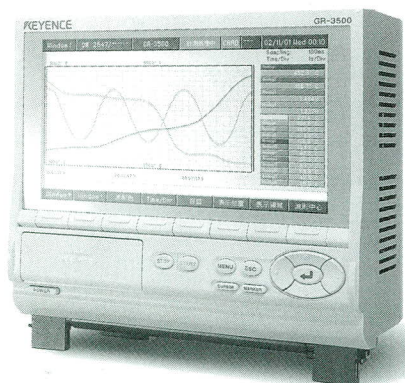
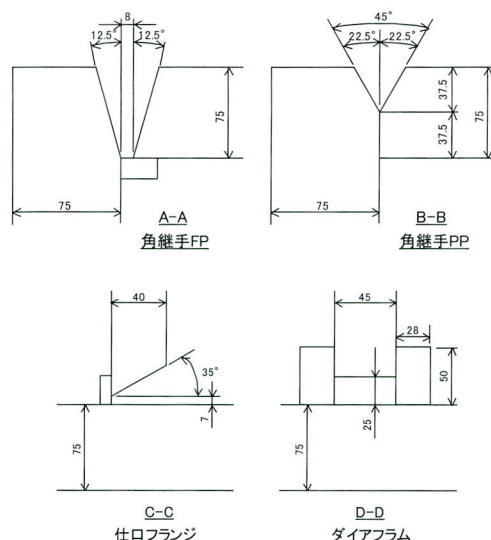
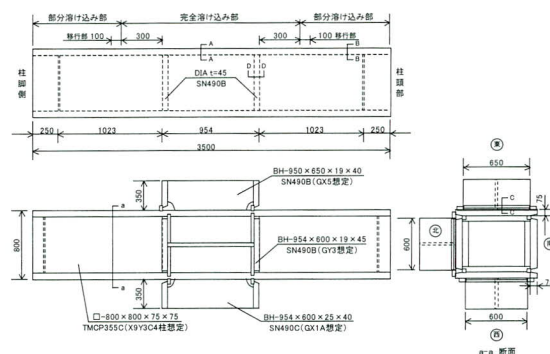


写真-1 GR-3500

図-1 試験体形状および開先形状

*1松本工場品質管理部品質管理課
 *2松本工場製造部製造課長

*3松本工場製造部製造課

衝撃値70J, 100Jという高い値を要求する傾向が強く、これに対応すべく鋼材メーカー各社が、柱主材に用いる大入熱対応鋼の開発を進めている。また、入熱量、パス間温度の管理対象となる接合部が柱-梁溶接部に留まらない傾向にある。

このような要求を考慮し、神戸製鋼によって開発された大入熱対応鋼をBOX柱のスキンプレートとして使用し、施工試験を実施した。また、同時にロボット溶接する角継手部のパス間温度を確認することとした。

2. 試験概要

本試験結果の内、以下の2点の結果について報告する。

- 1) 衝撃値要求性能の確保
- 2) 施工条件と管理方法の確立

3. 試験要領

(1) 試験概要

箱形断面柱の製作に関わる3種類の溶接方法を試験体に適用し、施工条件を確認するとともに表-1に示す各種検査・試験により継手性能を確認することとした。

また、仕口部の工場製作における溶接姿勢は、すべて横向きとなるが、入熱・パス間温度などの管理項目に対する影響を確認するために、下向き姿勢となる現場溶接部を1箇所想定した。

(2) 鋼材

本試験に使用する鋼材を表-2に示す。また、柱スキンプレートに用いた大入熱対応鋼板のミルシート値を表-3に示す。

(3) 試験体形状

図-1に試験体形状および開先形状を示す。柱長を3500mmとし、柱断面形状および断面寸法については、近年製作実績の多い柱をモデルとした。なお、角継手の開先は機械切削により加工した。

(4) 溶接材料

溶接材料は従来から使用している表-4に示す銘柄を適用することとした。なお、表-5, 6にESWのワイヤおよびフラックス、表-7にGMAW-robotワイヤのミルシート値を示す。

(5) 溶接条件

溶接条件は、表-8に示す範囲内で施工するものとする。

(6) 入熱量およびパス間温度測定

パス間温度および入熱量を測定し、溶接管理の参考とする。表-9にパス間温度および表面温度測定要領を示す。なお、入熱量については電流・電圧・溶接速度を各パス毎に記録し、入熱量を計算により算出した。また、溶接前に室温及び鋼材表面温度、溶接中にアークタイム及び休憩時間を測定した。

図-2に温度測定位置を示す。ESWの計測位置は、スタート・エンドから内側100mmの間を100mmピッチで測定する。また、角継手は、FP部両端より150mmとダイヤフラム芯かつ、開先面から10mmの位置とし、仕口フランジは、フランジ幅の中央部かつ、開先面から10mmの位置とした。

熱電対にて計測する計測器は、PCリンク型高性能レコーダ「GR-3500」(株)キーエンス製を使用する。計測器の

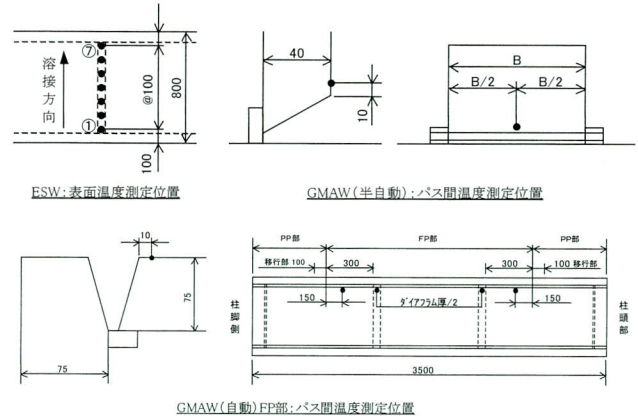


図-2 温度測定位置

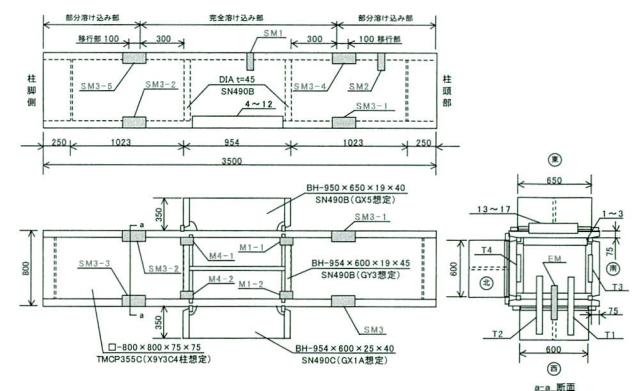


図-3 試験片採取位置

外観を写真-1に示す。この計測器は、標準で16チャンネルの計測が可能である。また、各チャンネルが独立しており、他チャンネルの電圧の影響を受けないため、より正確な温度計測が可能である。更に、ノートパソコン等を使用せず、計測中の波形状況をモニターで確認することも可能である。

表-1 試験概要

溶接施工区分	溶接部	溶接方法	溶接姿勢	検査・試験
工場溶接	ダイアフラム	非消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接 (ESW)	立向き	寸法測定 UT検査 引張試験 衝撃試験 マクロ試験
	角継手	炭酸ガスアーク自動溶接 (GMAW-robo)	下向き	
		炭酸ガスアーク半自動溶接 (GMAW-H)	横向き	
現場溶接	仕口フランジ	炭酸ガスアーク半自動溶接 (GMAW-F)	下向き	硬さ試験

※以下溶接方法は () 内で示す。

表-2 使用鋼材

対象	適用部位	規格	板厚	材質	メーカー
C4柱	柱スキンプレート	大臣認定材	75mm	TMCP355C-MS	神戸製鋼所
-	ダイアフラム	JIS G 3136	45mm	SN490B	
GY3	仕口(フランジ)	JIS G 3136	45mm	SN490B	
	仕口(ウェブ)	JIS G 3136	19mm	SN490B	
GX1A	仕口(フランジ)	JIS G 3136	40mm	SN490C	
	仕口(ウェブ)	JIS G 3136	25mm	SN490B	
GX5	仕口(フランジ)	JIS G 3136	40mm	SN490B	
	仕口(ウェブ)	JIS G 3136	19mm	SN490B	

※各部の裏当て金の材質は、SN490Bとする。

表-3 スキンプレート (TMCP355C-MS)

(mass%,*:ppm) (Y.P., T.S.:N/mm ² EL., YR:% vEo:J)										
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Y.P.	T.S.	EL.	YR
0.13	0.34	1.44	0.011	0.002	0.01	0.02	425	565	33	75
Cr	Mo	V	Nb	B*	Ceq	Pcm	vEo①	vEo②	vEo③	vEoAV
0.04	0.00	0.00	0.017	1	0.39	0.22	285	323	325	311

表-4 使用溶接材料

溶接方法	溶接材料	メーカー
ESW	YM-55S 1.6φ × YF-15I	日鐵住金溶接工業
GMAW-robo	MG-55 1.6φ	神戸製鋼所
GMAW-H,F	YM-55C 1.2φ	日鐵住金溶接工業

表-5 ESWワイヤ

(mass%)						
C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo
0.04	0.07	1.86	0.009	0.009	0.27	0.27
電流	電圧	速度	Y.P.	T.S.	EL.	vEo
380	52	2.4	390	555	26.2	41

(電流:A, 電圧:V, 速度:cm/min, Y.P.・T.S.:N/mm², EL.・YR:%, vEo:J)

(7) 試験片採取要領

表-1に示した検査および試験項目ごとに表-10に示す数量の試験片を採取する。また、同表にそれぞれの試験片マークを示す。なお、図-3に採取位置を示す。

表-6 ESWフラックス

(mass%)		
SiO ₂	SiO ₂ +MnO+TiO ₂	CaO+MgO
32	47	26

表-7 GMAW-roboワイヤ

(mass%)									
C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Al	Ti+Zr	
0.08	0.91	1.71	0.012	0.007	0.24	TR.	0.01	0.20	
電流	電圧	Y.P.	T.S.	EL.	vEo				
350	36	438	538	33	139				

(電流:A, 電圧:V, Y.P.・T.S.:N/mm², EL.・YR:%, vEo:J)

表-8 溶接条件

溶接方法	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱 (kJ/cm)	バス間温度 (°C)
ESW	380~400	52~54	1.3~1.5	≤850	-
GMAW-robo	280~450	28~45	15~60	≤70	350°C以下
GMAW-H,F	280~450	28~45	15~80	≤40	350°C以下

表-9 バス間温度および表面温度測定要領

溶接方法	計測ツール	計測ピッチ	計測点
ESW	接触式温度計	10min	7点
GMAW-roboFP部	熱電対	1sec	4点
GMAW-H, F	熱電対	1sec	1点

表-10 試験片採取位置

検査項目	試験対象部位	試験数量	マーク
寸法検査	各溶接の前後の寸法変化量	全数	-
UT検査	角継手FP部、ESWの内部欠陥	全数	-
	ESWの溶け込み幅	全数	-
引張試験	ESW-GMAW部(十字型試験体)	2本	T1, T2
	ESW全溶着金属部引張試験	2本	T3, T4
衝撃試験	ESW-DEPO	4本	1
	ESW-BOND FL, +1mm, +2mm	各4本	2, 2-1, 2-2
	ESW-BOND(FL)-A	4本	2A
	ESW-HAZ(中央)	4本	3
	ESW-HAZ(中央)-A	4本	3A
	角継手-DEPO	各4本	4, 4B
	角継手-BOND(FL)	各4本	5, 7, 9, 11
	角継手-HAZ(中央)	各4本	6, 8, 10, 12
	GMAW-DEPO	各4本	13, 18
	GMAW-BOND(FL)	各4本	14, 16
GMAW-HAZ(中央)	各4本	15, 17	
マクロ試験	ESW+仕口部GMAW	1個	EM
	角継手FP部	1個	SM1
	角継手PP部	1個	SM2
	角継手FP-PP移行部	6個	SM3, SM3-1, SM3-2 SM3-3, SM3-4, SM3-5
硬さ試験	仕口部GMAW端部	4個	M1-1, M1-2, M4-1, M4-2
	ESW(マクロ試験片EMを兼用)	2線	H1, H2
	GMAW(マクロ試験片SM1を兼用)	2線	H3, H4
	角継手(マクロ試験片SM1を兼用)	3線	H5, H6, H7

4. 施工試験結果

(1) 表面温度およびパス間温度測定結果

図-4にESWの表面温度の測定結果を示す。ESWの溶接時間は約52分であった。スタート側は溶接開始から10分間は急激な温度上昇を示し、約280℃をピークに温度は低下した。これに対し、600mm離れたエンド側⑦では溶接開始から約30分後まではあまり温度変化がみられなかったが、その後、急激な温度上昇がみられた。

また、②～⑥では最大表面温度が350℃前後の結果となった。

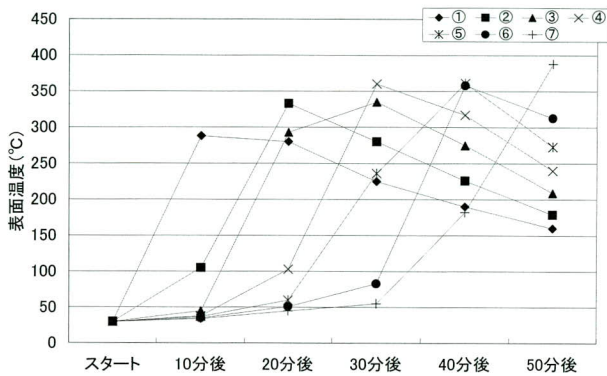


図-4 ESW

図-5にGMAW- roboのパス間温度測定の一例を示す。パス間温度の管理値として、広く用いられる350℃を超えることはなく、また管理値を250℃としても、特別に待ち時間を確保せずに充分施工可能であることが確認された。

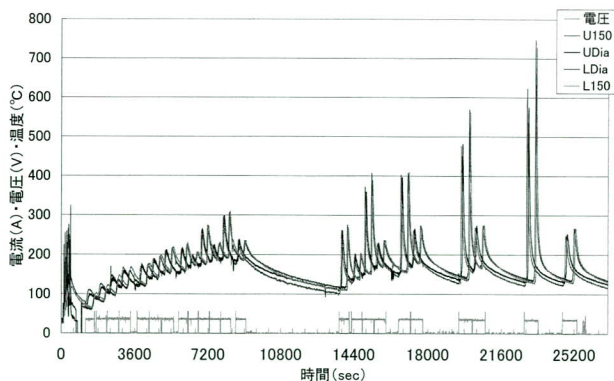


図-5 GMAW- robo

図-6に下向きGMAWのパス間温度測定の一例を示す。仕口部の下向き溶接では、パス間温度が上昇しやすい結果となった。

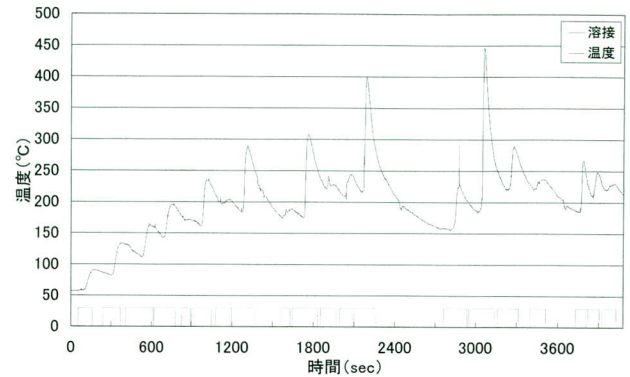


図-6 GMAW-F

(2) 衝撃試験結果

図-7に衝撃試験片ノッチ位置を示す。また、表-11に衝撃試験結果を示す。ESWについては、BOND+1mmで平均値54.6Jとなったが他の採取位置では平均値70Jを超える結果となった。角継手および仕口部については、全ての採取位置で平均値70Jを超える結果となった。

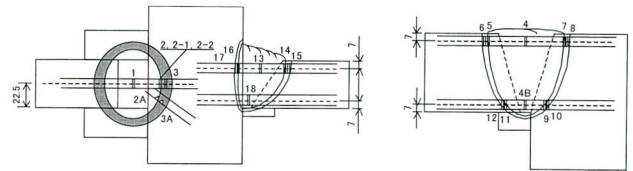


図-7 衝撃試験片ノッチ位置

表-11 衝撃試験結果

試験片No.	1	2	3	17	18	13	14	15
採取位置	DEPO	BOND	HAZ	HAZ	BOND	DEPO	BOND	HAZ
個々	34.4	139.7	105.6	66.1	39.8	105.6	229.8	201.3
平均	109.9	70.5	210.8	243.1	231.8	143.9	213.6	218.2

試験片No.	2-1	2-2	3A	18
採取位置	BOND+1mm	BOND+2mm	BOND+45°	HAZ+45°
個々	57.1	88.8	117.8	114.1
平均	84.6	107.0	125.4	79.8

試験片No.	6	5	4	7	8
採取位置	HAZ	BOND	DEPO	BOND	HAZ
個々	283.8	263.0	263.5	192.2	241.3
平均	283.2	217.0	153.2	171.9	196.1

試験片No.	12	11	4B	9	10
採取位置	HAZ	BOND	DEPO	BOND	HAZ
個々	289.4	250.4	281.1	269.4	252.3
平均	281.0	255.4	116.0	255.4	182.4

部材	仕様	材質
柱主材	75mm	TMCP355C
柱フランジ	45mm	SM490B
仕口フランジ	45mm	SM490B

5. 衝撃試験結果に対する考察

図-8~10に衝撃試験結果のグラフを示す。ESWのBONDの結果は、DEPO、HAZに比べばらつきやすい傾向がみられる。また、本試験結果からBOND+1mmとBOND+2mmの結果には大きな差異が見られ、BOND (FL)のみならずBOND+1mmにおいても70Jを確保することは困難であると考えられる。

BOND+1mmの試験片 (2-1) およびBOND斜め (2A) については、それぞれ最低値が、27Jを下回ったことから、破面観察、亀裂進展経路観察、介在物観察を実施した。この結果、試験片加工におけるノッチ位置については狙いどおりであることが確認されたが、試験片のBOND (FL) の形状変化が3次元的に存在し、亀裂の進展に伴いHAZの様々なマイクロ組織を通過することで、バラツキが発生したものと考えられる。

角継手については、全ての採取位置で非常に良好な結果が得られた。表層側と底面側との結果を比較すると、DEPOについては表層側のほうが高く、BONDについては底面側が高い結果となった。

仕口部についても、全ての採取位置で非常に良好な結果が得られた。DEPOの表層側と底面側との結果に差異はほとんどみられなかった。

6. まとめ

(1) 施工条件と管理方法の確立

角継手のバス間温度の管理値を350℃から250℃に引き下げて施工することが充分可能であることを確認した。

製作時のバス間温度管理方法としては、角継手については、230℃、仕口部については320℃の温度チョークを用いて管理することとした。

また、仕口部の入熱量については、特に制限値を超える恐れのないことが確認されたが、標準積層図の条件を厳守することとした。

(2) 衝撃値要求性能の確保

ESWについては、BOND+1mmで平均値54.6Jとなったが他の採取位置では平均値70J以上の性能が確認された。

角継手溶接部に70J以上の性能要求を指定された柱に対しては、大入熱対応鋼材を適用することにより従来の溶接条件で、平均70J以上の性能が確認された。

仕口部においても、十分な衝撃値が得られ、角継手と

同様に従来の溶接条件で、平均70J以上の性能が確認された。

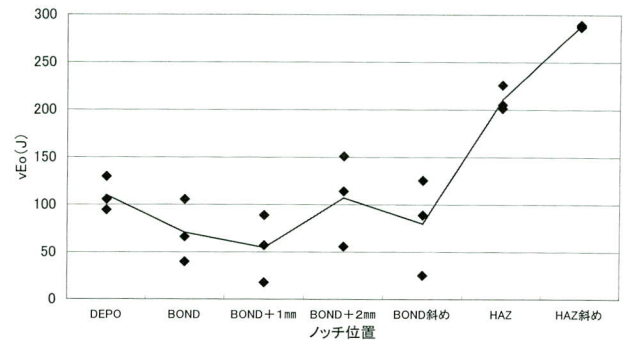


図-8 ESW衝撃試験結果

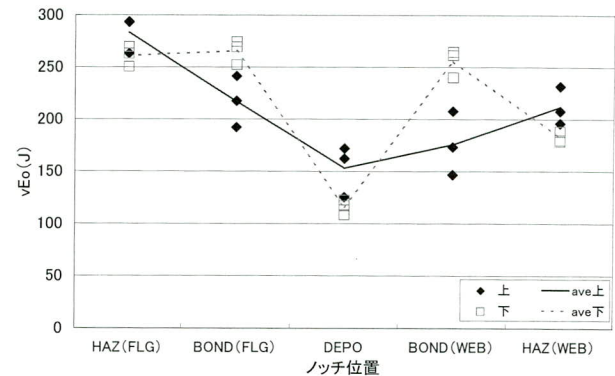


図-9 GMAW-robo衝撃試験結果

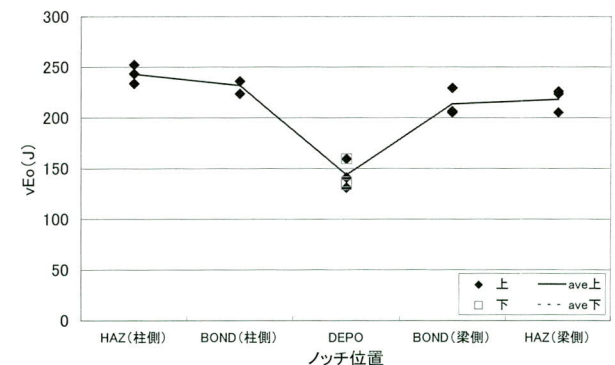


図-10 GMAW-H衝撃試験結果

7. 今後の課題

今後も溶接継手部に対して70J, 100Jという高い衝撃値を要求する傾向が強くなるものと思われるが、現状では施工条件によりクリアできる幅はかなり狭く厳しいと考えられる。鋼材・溶材メーカー各社と協力して開発材料の性能確認を進めていく必要がある。一方、発注サイドに対しては経済性を考慮し、構造物の中で高い靱性を求められる部位を識別した仕様の配慮をお願いするところである。

また、溶接時の管理については、JIS Z 3312の解説の規準値にとらわれず、施工試験等により確認された場合はその性能にあう緩和された管理値の選定が可能となるような運用を望むところである。以上で報告を終了するが、今後も経済性と安定した品質の鋼構造物を製作すべく取り組む所存である。最後に試験に御協力頂いた㈱神戸製鋼所の関係者に御礼申し上げます。

<参考文献>

- 1) JIS Z 3312: 「軟鋼及び高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤ 解説」, 1999
- 2) 鉄骨建設業協会: 入熱、パス間温度の管理について
- 3) 中込, 坂本, 三宅: 「強制冷却機構を備えたパス間温度・入熱 管理装置を用いた溶接部の品質と施工効率」鉄構技術, 2002.3
- 4) 西, 岩田: 「鉄骨CO₂多層盛溶接における施工管理」鉄構技術, 2002.4
- 5) 湯田, 藤田, 津山, 橋場, 吉田, 志村: 「多層盛溶接金属の靱性支配要因について」鉄構技術, 2002.5
- 6) 津山: 「性能設計とパス間温度・入熱の管理」鉄構技術, 2002.7
- 7) 稲田, 倉持, 原田, 志村, 吉田: 「(仮称) 丸の内1丁目1街区計画C棟における高HAZ靱性鋼の適用について」鉄構技術, 2002.7
- 8) 田中: 「溶接部における入熱・パス間温度の管理について」鉄構技術, 2002.11
- 9) 中野, 高橋, 浜氏, 武井: 「軟鋼および高張力鋼用マグ溶接ソリッドワイヤYGW-11,18を用いた溶接入熱・パス間温度の限界試験および考察」宮地技報No.17
- 10) 大月, 千葉, 百瀬, 大月, 櫻井, 岩波: 「マグ溶接における建築鉄骨柱-梁溶接部の溶接入熱およびパス間温度の工場溶接管理方法の検討」宮地技報No.17

2003.1.20 受付

グラビア写真説明

荒川横断橋梁〔仮称〕

放射16号線の荒川渡河部にかかる本橋は、ケーブル一面吊りの斜張橋です。地下鉄東西線の荒川橋梁との近接施工による河積阻害から両橋の橋脚を合わせて設置しなければならない為、非対称構造となっています。(右岸側径間170.0m、中央径間230.0m、左岸側径間147.3m) 荒川を渡る交通の分散を図り、湾岸道路等の交通渋滞の緩和に寄与するものです。(菊地)

新橋

初代新橋は、大正14年に木橋として架橋され、昭和20年に2代目木橋、昭和34年に3代目永久橋(PC橋)として、交通の用に供していましたが、交通量の増加、及び老朽化のため、4代目新橋として、架け換えられました。

石狩川に架かる金星橋、旭橋、新橋の3橋は、旭川市の都市形成を見守ってきた歴史的記憶のある橋で、まちあかり三橋として夜間のライトアップ作戦等により、歴史性を醸し出し、道筋との連帯も図っています。(斎木)