

I-51 耐候性2主桁橋の現場溶接施工法に関する研究

榑崎製作所 正員 宮内 博英
 日本道路公団 高橋 昭一
 日本道路公団 川尻 克利
 榑崎製作所 正員 林 芳文
 榑崎製作所 進藤 裕幸

1. はじめに

近年、鋼橋において施工の省力化の観点から採用が検討されている少数主桁橋では、従来桁に比較して主桁断面寸法や使用板厚が大となるため、高力ボルトを使用した現場継手接合が困難になることが予想される。したがって、同橋の現場継手には重量軽減、維持管理、美観の面からも全断面現場溶接接合を採用するケースが多くなると思われる。一方、北海道では架橋地点の環境条件から耐候性鋼を使用した鋼橋の建設が可能であることが多い。少数主桁橋に耐候性鋼を使用すればトータルコスト削減効果が期待できる。

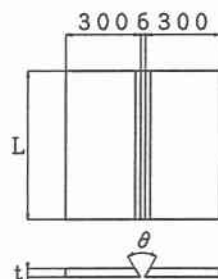
しかしながら、厚板の耐候性鋼材の現場溶接施工には、普通鋼に比較して、添加合金元素による溶接性の低下や裏波溶接に適した溶接材料の開発の遅れなどの課題がある。また、1桁の全断面現場溶接に関する技術資料も不足しているのが現状である。そこで、本研究の対象である耐候性2主桁橋のキウス第一橋で実施した現場溶接施工法に関する基礎的溶接試験、予熱低減鋼材の溶接性試験および実物大試験体を用いた溶接施工試験について報告する。

2. 基礎的溶接試験

地組ヤードでの現場溶接では、施工能率の面から主桁を横置きにして溶接する案が考えられる。また、下フランジの下向きの突合わせ溶接では、ウェブがあるため2名の溶接士でアークの受け渡しを行うアークリレー溶接法を採用する必要がある。

そこで、実験桁の溶接試験に先だち、溶接条件の確認、横置き溶接法の適否の把握、自動溶接機の操作の習熟およびアークリレー溶接法の訓練を目的として基礎的な溶接試験を行った。

試験体の形状は実断面を想定して図-1に示す寸法とした。(但し、ウェブは二分の一)鋼種は便宜上、SMA490W材と同強度のSM520B材を用いた。溶接条件と溶接結果を合わせて表-1に示す。なお、下フランジの下向き溶接は、ウェブのスカラップをR50とした遮蔽板を立てて実施した。



対 象	t (mm)	L (mm)	θ
上フランジ	35	760	30°
ウェブ	20	1300	45°
下フランジ	30	850	30°

図-1 試験体の形状寸法

表-1 溶接条件と溶接結果

対 象	姿勢	溶接方法	溶接材料	パス数	試験長さ	放射線透過試験結果
上フランジ	下向き	自動 GMAW	YM-55W 1.2*	8~9	20	ほとんどが1級(欠陥なし)
	立向き	自動 GMAW	SF-50W 1.2*	3	10	開先面の層間に融合不良(FL)
ウェブ	立向き	自動 GMAW	SF-50W 1.2*	2	20	1級(欠陥なし)8割、1級(FL)2割
下フランジ	下向き	半自動 GMAW	YM-55W 1.2*	7~8	20	1級(欠陥なし)3割、1級(FL)7割
	立向き	自動 GMAW	SF-50W 1.2*	3	10	開先面の層間に融合不良(FL)

注) GMAW : ガスシールドアーク溶接 自動溶接機 : 下向きはNSRボーマルチとビコマックス2、立向きはユニオコンとビコマックス2を使用

A Study on Field Welding Procedures for 2-Girder Bridge Using Weathering Steel
 By Hirohide MIYAUTI, Shoichi TAKAHASHI, Katutoshi KAWASHIRI, Yoshihumi HAYASHI and Hiroyuki SHINDOU

この溶接試験より得られた結果を以下に示す。

- (1) 厚板の立向き自動溶接では所定の溶接品質を確保することは難しい。したがって、主桁の横置き溶接法は採用しない。
- (2) フランジ材の下向きとウェブ材の立向き自動溶接には大きな問題はない。
- (3) アークリレー溶接では、リレー前後の運棒法を工夫することにより溶接品質を確保できる見通しを得た。

3. 予熱低減鋼材の溶接性試験

3. 1 目的と試験内容

本橋の現場溶接時期は平成 9 年 4 月を予定しており、溶接部に発生する低温割れの防止が溶接施工上の重要課題のひとつと考えられた。一般に、低温割れの防止には予熱が有効であるが、現場での高熱作業に伴う作業工数の増加や作業安全性の低下などの面から予熱低減が求められた。

そこで、溶接時の予熱作業を軽減する目的で非水冷型 T M C P 鋼の予熱低減鋼材を使用することとした。この鋼材の耐低温溶接割れ感受性を確認する溶接試験として、JIS Z3101 の最高硬さ試験と JIS Z3158 の斜め y 形溶接割れ試験を予熱温度を変化させて行った。

また、予熱温度が溶接部の脆性破壊特性に及ぼす影響を把握するためシャルピー衝撃試験も合わせて実施した。

供試鋼材の化学成分を表一 2 に、この試験の溶接条件、溶接材料および予熱温度を表一 3 に示す。

表一 2 供試鋼材の化学成分 (%)

板厚	材 質	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Nb	Ceq	Pcm
22	SMA490BW	0.08	0.36	1.34	0.32	0.24	0.49	0.018	0.42	0.200
35	SMA490CW	0.07	0.41	1.28	0.35	0.14	0.51	0.023	0.40	0.200

表一 3 最高硬さ、斜め y 形溶接割れ試験の溶接材料と溶接条件

板厚 (mm)	溶接 方法	溶 接 材 料	溶 接 条 件				予熱温度		
		規 格 (銘 柄)	電流	電圧	速度	入熱量	(℃)		
22	GMAW	YFA-50W (SF-50W, 1.2*)	230A	27V	13cpm	29KJ/cm	室		
35	GMAW	YGA-50W (YM-55W, 1.2*)	250A	26V	13cpm	30KJ/cm	温	50	75

3. 2 試験結果

最高硬さ試験、斜め y 形溶接割れ試験およびシャルピー衝撃試験の結果を表一 4～表一 7 に示す。これらの結果から、本橋で使用する予熱低減鋼材は、予熱を施さなくても低温割れを防止でき、良好な溶接性を有することを確認できた。尚、本溶接試験は平成 8 年 11 月 19、20 日に実施され、室温は 5～10℃であった。

表一 4 最高硬さ試験結果

板厚 (mm)	溶接 方法	判定 基準 (Hv10)	試験結果 (Hv10)		
			予熱温度 (℃)		
			室温	50	75
22	GMAW	≤370	218	225	232
35	GMAW		215	226	216

表一 6 衝撃試験結果 (0℃)

板厚 (mm)	判定 基準 (J)	シャルピー吸収エネルギー (J)		
		室温	50℃	75℃
22	0℃ 27≤	70.8	51.7	55.3
35	0℃ 47≤	105.4	77.2	56.4

表一 5 斜め y 形溶接割れ試験結果

板厚 (mm)	溶接 方法	試験結果 (割れ率%)			
		予熱温度 (℃)	室温	50	75
22	GMAW	表面割れ	0	0	0
		断面割れ	0	0	0
		ルート割れ	0	0	0
35	GMAW	表面割れ	0	0	0
		断面割れ	0	0	0
		ルート割れ	0	0	0

表一 7 衝撃試験結果 (-10℃)

板厚 (mm)	判定 基準 (J)	シャルピー吸収エネルギー (J)		
		室温	50℃	75℃
22	—	55.4	41.8	40.2
35	—	97.2	51.0	40.6

4. 溶接施工試験

4. 1 試験体形状

本橋の現場溶接継手部の板厚構成は2種類である。この板厚構成を有する試験体をそれぞれ2体、合計4体の実物大試験体を製作した。試験体の形状寸法を図-2に示す。

4. 2 溶接施工

溶接条件は、前述の溶接試験結果から表-8に示す条件とし、予熱は行わないこととした。施工試験は平成8年12月2~5日に実施し、1継手/1日の工程で行った。施工試験時の室温は3~7℃であった。

溶接順序と継手部の拘束度は継手性能や溶接変形に影響を与えると考えられたので、各試験体ごとに図-2に示すような溶接順序とエレクションピースを採用した。また、万が一のことを考え、B2試験体の下フランジ溶接では、意図的に溶接を一時中断した。

写真-1に下フランジのアークリレー溶接状況を、写真-2に全線自動溶接ができるようにトーチ部を改良したウェブの立向き自動溶接状況を示す。

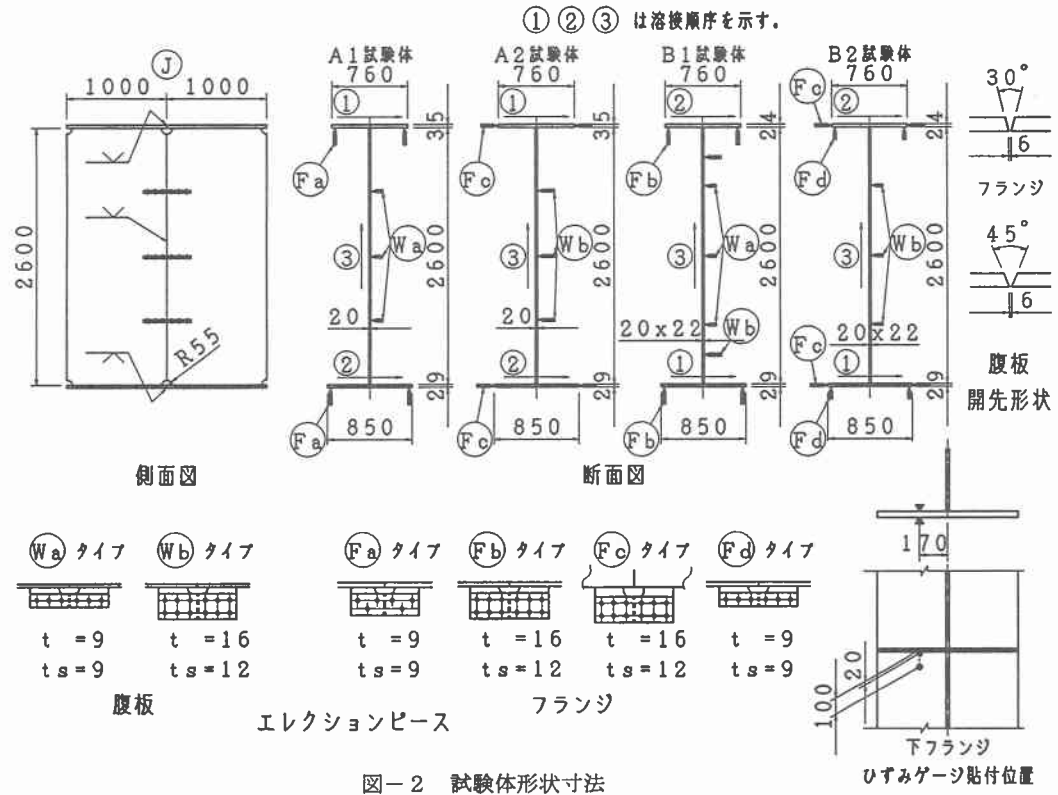


図-2 試験体形状寸法

表-8 溶接条件 (実物大試験体)

試験体	対象	鋼種 (板厚)	溶接方法 (姿勢)	溶接材料 (ワイヤ径)	パス 数	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/min)	入熱量 (KJ/cm)
A1, A2	上フランジ	SMA490CW (35)	自動 GMAW (下向き)	YM-55W (1.2 [*])	1	260	27	11	38
B1, B2					2~7	290~330	34~35	16~28	21~41
		SMA490BW (24)			1	250	27	15	27
					2~4	290~310	33~35	18~30	20~34
A1, A2, B1, B2	下フランジ	SMA490BW (29)	半自動 GMAW (下向き)	YM-55W (1.2 [*])	1	220	28	13	28
					2~6	280~300	30~35	18~27	19~34
A1, A2, B1, B2	ウェブ	SMA490BW (20), (20, 22)	自動 GMAW (立向き)	SF-50W (1.2 [*])	1	180	23	5	50
					2~3	200~230	25~28	6~9	33~64



写真-1 下フランジのアークリレー溶接

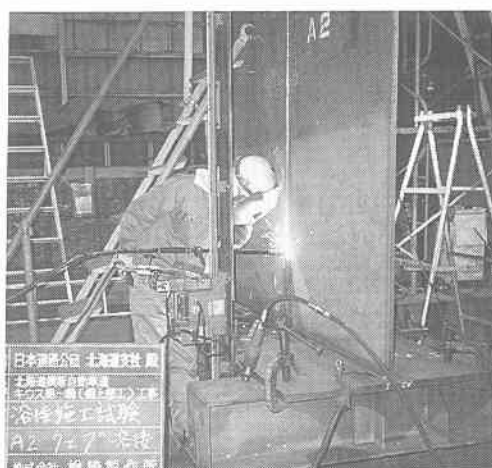


写真-2 ウェブの立向き自動溶接

4. 3 残留応力の測定

試験体の下フランジの溶接線直角方向（部材軸方向）の溶接残留応力を測定した。残留応力の測定は、溶接後、図-2に示すように溶接線から 20 mm、100 mm の位置のフランジ上面と下面に 1 軸ゲージ貼付し、その周囲 30 mm 四方に深さ約 10 mm 程度の井桁状のスリットを入れて、応力を解放させる方法によった。写真-3にその残留応力測定状況を示す。

4. 4 溶接継手性能試験

溶接の完了した試験体は、放射線透過試験、手動超音波探傷試験、自動超音波探傷試験を行い、引張試験、側曲げ試験、衝撃試験およびマクロ試験を実施した。写真-4に溶接を一時中断したB2試験体下フランジの自動超音波探傷状況を示す。これらの試験結果は現在整理中であり、発表会当日に発表する予定であるが、溶接欠陥もなく良好な結果が得られている。

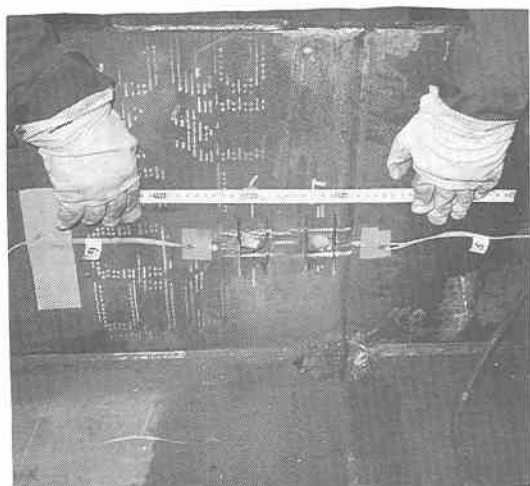


写真-3 残留応力測定状況

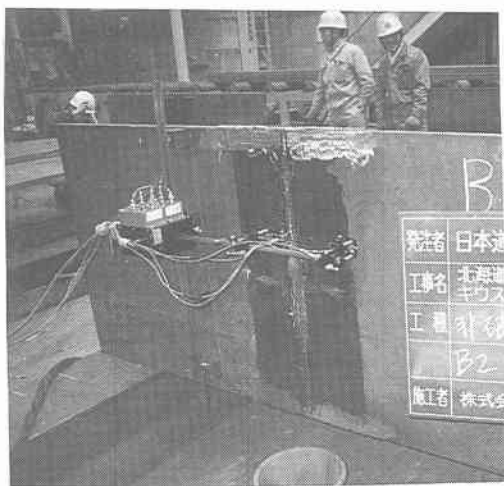


写真-4 B2試験体 自動超音波探傷状況

4. 5 溶接変形測定結果と考察

図-3に溶接收縮量、図-4に上、下フランジの収縮過程、図-5に下フランジの角変形量を示す。ウェブの収縮量がフランジに比べて大きいのは、先に溶接したフランジの収縮量がウェブに加算されたためと考えられる。図-3、4からフランジの収縮量は、溶接順序の影響をあまり受けないと推察される。桁の収縮量を上、下フランジとウェブの収縮量の相加平均で推定すると、A試験体は2.7 mm、B試験体は2.5 mmとなる。

拘束度の小さいA1試験体の収縮量は、他に比べてやや大きい程度で、拘束度の差により収縮量に顕著な影響は生じていない。しかし、ウェブの面外変形はA1、B1試験体がA2、B2試験体の2〜3倍程度の変形を生じており、ウェブについては(Wa)タイプのエレクトロシースでは拘束度不足と考えられる。

フランジのエレクトロシースをフランジ下面に取り付けた理由は、現場での開先の目違い矯正作業やフランジの突合せ溶接による角変形防止に有利と考えられたためである。図-5から角変形防止効果は横付けより下付けの方が高いことが伺われる。しかしながら、フランジ下付けのエレクトロシースは、撤去時の作業性が横付けより劣り、その採用には現場溶接工期等を勘案する必要があると思われる。

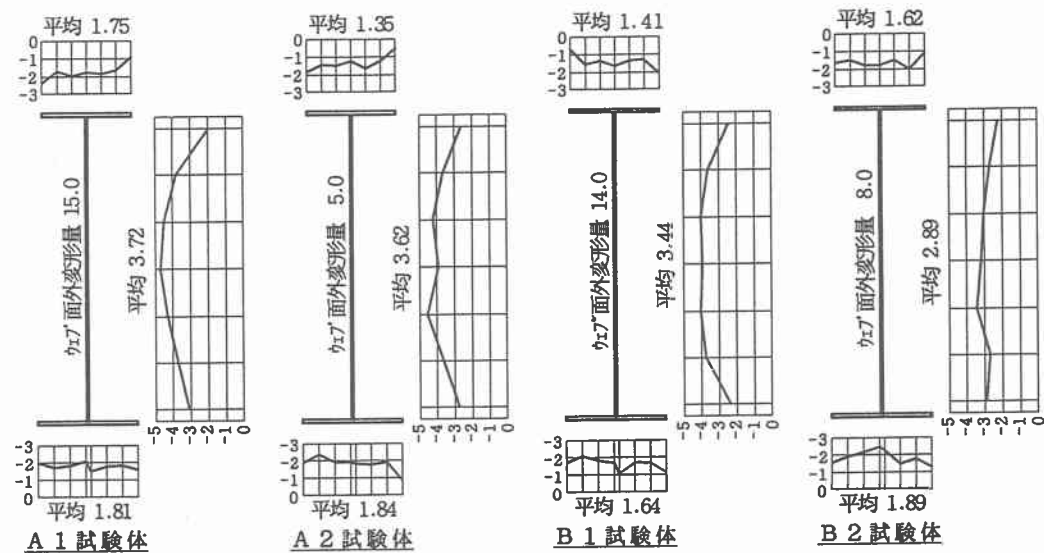


図-3 溶接收縮量 (単位 mm)

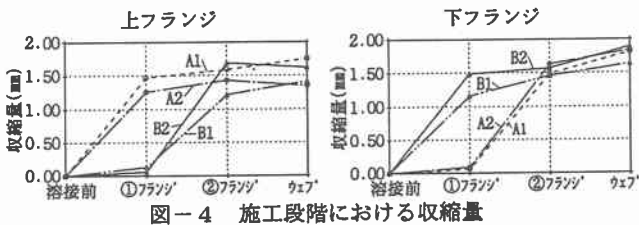


図-4 施工段階における収縮量

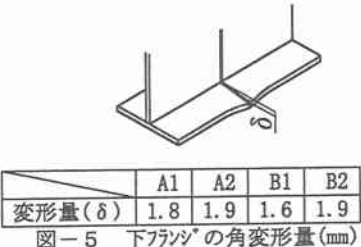


図-5 下フランジの角変形量 (mm)

4. 6 下フランジの残留応力の測定結果と考察

表-9に下フランジの部材軸方向の残留応力とその応力状態から算出した軸方向応力と曲げ応力を合わせて示す。下フランジの残留応力はどの試験体も上面に引張応力、下面に圧縮応力が生じており、その最大値はそれぞれ 887 kgf/cm²、-2131 kgf/cm²であった。溶接線近傍の部材軸方向の応力状態は、発生応力から軸方向圧縮応力と板曲げ応力が連成していると考えられる。

フランジの角変形量が小さく、かつ、ウェブ面においてエレクションピースをフランジ側に設置したB1試験体が軸方向圧縮応力、板曲げ応力ともに小さい結果であった。

このことから、下フランジの残留応力は、フランジの突合せ溶接による角変形と後施工のウェブの溶接収縮による影響が大きいものと考えられる。

したがって、フランジの残留応力を軽減するためには、ウェブのエレクションピースの配置とフランジの角変形防止対策などに配慮する必要があると思われる。

表-9 下フランジの残留応力度(kgf/cm²)

			A1	A2	B1	B2
位置 20mm	測定応力	上面	779	610	887	564
		下面	-1664	-2131	-1378	-1770
	軸応力: (上+下)/2		- 443	- 761	- 246	- 603
	曲げ応力: (上-下)/2		±1222	±1371	±1133	±1167
位置 100mm	測定応力	上面	1180	1021	1074	1077
		下面	-1219	-1643	-1274	-1656
	軸応力: (上+下)/2		- 20	- 311	- 100	- 290
	曲げ応力: (上-下)/2		±1200	±1332	±1174	±1367

6. あとがき

耐候性 2 主桁橋であるキウス第一橋の現場溶接施工法の確立を目的に各種の施工試験を行った。実物大試験体を用いた溶接施工試験の継手性能試験結果と実施工で用いる溶接部の構造細目については、現在取りまとめ中であり、当日発表する予定である。これらの成果をもとに平成 9 年 4 月から現場溶接を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 坂本・村上・安田：I 桁全断面現場溶接施工法に関する研究、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、I-A359、1996.9
- 2) 村田・中西・平野・山内：少数主桁橋梁の溶接施工技術開発、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、I-A364、1996.9
- 3) 湯田坂・竹鼻・森下・倉本：箱桁の現場全断面溶接施工方法試験、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集、I-409、1995.9
- 4) 亀ヶ谷・大場・上田・中野：1 BOX 鋼床版箱桁の現場溶接施工について、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集、I-412、1995.9