

ステンレスクラッド鋼を用いた 実寸断面橋梁部材の試作について

A PROTOTYPE OF THE BRIDGE MEMBER USING STAINLESS-CLAD STEEL PLATES

後藤信弘^{*}、関口信雄^{**}、松田英光^{***}、藤田泰^{****}、安波博道^{*}、藤井堅^{*****}、三木千壽^{*****}
Nobuhiro GOTO, Nobuo SEKIGUCHI, Hidemitsu MATSUDA, Yasushi FUJITA, Hiromichi YASUNAMI,
Katashi FUJII and Chitoshi MIKI

^{*}正会員 新日本製鐵株式会社 鋼構造研究開発センター (〒293千葉県富津市新富20-1)

^{**}新日本製鐵株式会社 若松鉄構海洋センター (〒808福岡県北九州市若松区大字安瀬64)

^{***}新日本製鐵株式会社 鉄構海洋事業部 技術開発部 (〒100東京都千代田区大手町2-6-3)

^{****}正会員 新日本製鐵株式会社 鉄構海洋事業部 橋梁構造部 (〒100東京都千代田区大手町2-6-3)

^{*****}正会員 工博 広島大学助教授 工学部第四類建設構造工学 (〒724広島県東広島市鏡山1-4-1)

^{*****}正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科 (〒152東京都目黒区大岡山12-12-1)

The study on the fabrication of a test specimen was carried out focusing on the basic concept of bridge members using stainless clad steel plates. The followings are the findings in this study.

- 1) The enough tensile strength and bending strength of welded joints are confirmed based on the tests of welded joints.
 - 2) For the prevention of residual deformation, it is necessary to use jigs as many as possible and to prevent welding method from the concentration of the heat input at a particular part using an adequate welding process.
 - 3) As the result of the test on the fabricability of field welded joints, V-groove is much better regarding the quality and the efficiency of welding.
- key Word: stainless-clad steel, fabrication, welding, steel bridge

1. まえがき

強度面で優れている鋼は、橋梁をはじめ様々な構造物に用いられているが、耐久性の面では錆びるという弱点がある。例えば、鋼橋の場合、防食対策としては一般的に塗装が用いられているが、供用期間中に実施される塗装塗り替え費の合計は、決して少ない費用ではない。従って、塗装塗り替え作業を低減する、あるいはなくすことは、今後の鋼橋の進むべき1つの方向であると言える。

このような背景のもと、土木学会鋼構造委員会鋼構造新技術小委員会では対策法案の1つとして橋梁部材へのステンレスクラッド鋼の適用を検討している¹⁾。ステンレスクラッド鋼は、ステンレスと普通鋼を金属組織的に接合したもので、強度面で優れた鋼と耐食性に優れたステンレスのそれぞれの長所を活かした鋼である。このステンレスクラッド鋼は、既にダム・水門・圧力容器等への適用に関する基本技術^{2)~6)}は整備されており、適用実績も多い。このような新しい材料を橋梁部材に適用することにより、初期の材料費・製作費などは幾分増加するが、メンテナンス費を大幅に低減でき、ライフサイクルコストの観点から見れば経済的な橋梁となる可能性が見込まれる。

そこで、本研究では、このステンレスクラッド鋼を

橋梁部材に適用する上での構造に関する基本コンセプトの提案と、疲労強度、座屈耐荷力、加工性等の橋梁固有の課題の中で、加工性に焦点を当て実寸断面橋梁部材の試作（以降、本論文ではこれをパイロットメンバーと称す。）を実施したので、以下にその内容を報告する。

2. ステンレスクラッド鋼を用いた橋梁部材の 基本的な構造コンセプト

2.1 ステンレスクラッド鋼の特徴

クラッド鋼は複合材料の1種で、鋼材を他の鋼材で被覆し、かつその境界面が金属組織的に接合しているものである。クラッド鋼では、被覆している鋼材を合わせ材、被覆される鋼材を母材という。クラッド鋼は、単一の鋼材では得られない新しい機能、より高度な性能が期待できるという特徴があり⁷⁾、合わせ材の種類により、ステンレスクラッド鋼、チタンクラッド鋼等がある。ステンレスクラッド鋼の一般的な特徴を表1に示す。

2.2 橋梁部材の基本的な構造コンセプト

上記のステンレスクラッド鋼の特徴を踏まえ、クラッド鋼を橋梁部材に適用する場合の基本コンセプトとして、構造断面およびディテールをまとめてみると以

下のものとなる。また、これらを考慮した箱桁断面の例を図1に示す。

- ①鋼重当りの外表面積の比率が高くなるプレートガーターは避け、箱桁断面とする。
 - ②下フランジ・ウェブ接合部の角溶接は避け、下フランジを隅角部で折り曲げてウェブと突合せ溶接するか、ウェブ下端にR曲げ部を設け下フランジと突合せ溶接をする。
 - ③腐食環境が比較的マイルドな箱桁内部は、普通鋼を使用する。
 - ④現場継手部は、ステンレスの隙間腐食が懸念されるボルト接合は避け、現場溶接継手とする。
 - ⑤桁端部は、クラッド鋼の材端部で炭素鋼が露出しないディテールとする。
- この方法としては、桁端部ではステンレス鋼単一材を接合する、端面にステンレス溶材を肉盛するなどが考えられる。

このような基本コンセプトのもと、ステンレスクラッド鋼を用いた実橋梁を試設計し、この結果を用いた実物大のパイロットメンバーの製作、およびステンレスクラッド鋼の溶接加工性を検討した。

3. パイロットメンバーの試作

3.1 パイロットメンバーの概要

試設計の対象とした実橋梁はコンクリート床版の鋼単純箱桁構造である。パイロットメンバーは、代表的な主桁断面を実物大で構成し、これに補剛材や桁端部、横桁取り付け部等のディテールを織り込んだものである。概要を図2に示す。

耐食性を配慮し、ステンレスクラッド鋼（SM490YA+SUS316L）をウェブ（母材7mm+合わせ材2mm）および下フランジ（母材14mm+合わせ材2mm）に適用し、桁端部や横桁仕口、上フランジ両端部の材端面については、炭素鋼の露出を回避するため、ステンレス鋼単一材（SUS316L）を板継ぎし、外気と接触しない構造にしている。下フランジとウェブの溶接は、T継手を避けウェブ下端にR曲げを設け下フランジとは突合せ溶接としている。

また、現場溶接継手の施工性（品質・能率等）を検討するため、3種類の開先形状を現場継手に設け比較検討を行った。これらの現場継手の仕様を図3に示す。

さらに、ステンレスクラッド鋼の合わせ材の耐食性の劣化防止と橋梁に適した美観を考察するため、合わせ材のステンレス面の表面仕上げとして、研磨処理・電解洗浄処理・ブラスト処理の3水準を試作部材に施し、作業性や溶接焼け除去の比較を実施した（図2）。

ステンレスクラッド鋼の溶接では、母材強度の確保と共に、合わせ材と同等以上の耐食性の確保が要求される。特に初層溶接部は、母材の希釈を受ける異材接合となるため母材および合わせ材の種類・溶接方法

（溶接法、溶接材料、開先形状、溶接条件）を考慮し最適な組合せを選択する必要がある。これらについては、パイロットメンバーの製作に先立ち、溶接施工試験を行い、適正条件を選定しパイロットメンバーの製作に反映した。この溶接施工試験は、現場溶接継手仕様および図4に示す溶接継手形状について行い、その施工方法の可否を確認したので、まずその内容を以下に報告する。

3.2 溶接確性試験

(1) 試験の種類と概要

パイロットメンバーの製作に必要なクラッド鋼の9種の突合せ溶接継手について確性試験を実施した。試験は、JIS Z 3043「ステンレスクラッド鋼溶接施工方法の確認試験方法」に準拠し引張試験、曲げ試験を行った。各継手の概要を表2に示す。

(2) 試験結果

引張試験は、JIS Z 3121「突合せ溶接継手の引張試験方法」に定める1号試験片を使用し、JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」に準じて行った。その結果いずれの結果もJIS Z 3601「ステンレスクラッド鋼」に定める規定値（0.2%耐力で9mmは323N/mm²、16mmは342N/mm²）を満たし、十分な強度を有していた。

また、曲げ試験もJIS Z 3043に定める規定値（曲げ表面に長さ3.0mm以上の割れがないこと）を満足しており、十分な曲げ性能を有することも確認できた。

(3) 溶接材料の希釈

炭素鋼と異なりステンレスクラッド鋼および異材継手の溶接は、溶接金属の化学成分が溶け込み率（希釈率）によって変化し、これに伴い溶接金属組織も変化する。したがって、溶接材料の選定または溶け込み率などの施工方法を誤ると、機械的性質の低下、低温割れや高温割れを発生する危険性があるため、継手形状に対する溶接方法の決定においては、シェフラーの状態図⁸⁾が有用とされている。今回の確性試験の施工法の選定に際しても、上記状態図を用い、開先形状、溶接方法を選定した。さらに、確性試験後の成分分析結果からもシェフラーの状態図の安全域の組織であることを確認している。

また、溶接継手断面を面分析してCrの分布状況を調査した。この代表例として試験片NoCの結果を写真1に示す。初層溶接部では溶接材料が炭素鋼により希釈を受けるためCr量は溶接材料の初期値（23.44%）に比べ低下しているものの、合わせ材とはほぼ同じCr量となっている。2層目では、初層溶接部と合わせ材との溶け込みとなり、両者ともCr量が多い金属であることから溶接希釈によるCr量の減少はほとんどない。これらの結果より、希釈により溶接金属の性能が著しく低下することはないことが確認できた。

さらに、溶接部の耐食性を確認するためにCCT試験（サイクル腐食試験：人工海水噴霧4時間、乾燥2

表1 ステンレスクラッド鋼の特徴

優れている点	注意すべき点
1) ステンレス鋼単一材に比べて ①母材部を強度部材として活かせる ②大板製造が可能 ③溶接費の軽減（普通炭素鋼よりは高い） ④熱変形が小さい ⑤ガス切断が可能 ⑥材料費が安価 2) 普通鋼単一材に比べて ①腐食に強いメンテナン스가軽減	①異種金属接触腐食 ②ステンレス側のもらい錆 ③継ぎ手部の隙間腐食 ④溶接の拘束 異種材料が含まれるため溶接施工が複雑、継ぎ手に対する配慮が必要 ⑤端面で異種金属が露出するため、防食上端面処理が必要 ⑥熱膨張率が異なることによる加熱冷却過程でのひずみが大きい ⑦構造物の製作工程が複雑 ⑧鋼単一材に比べ高価

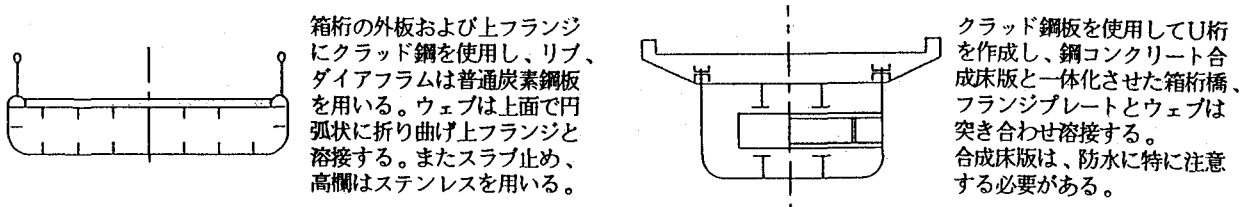


図1 基本的な構造コンセプト

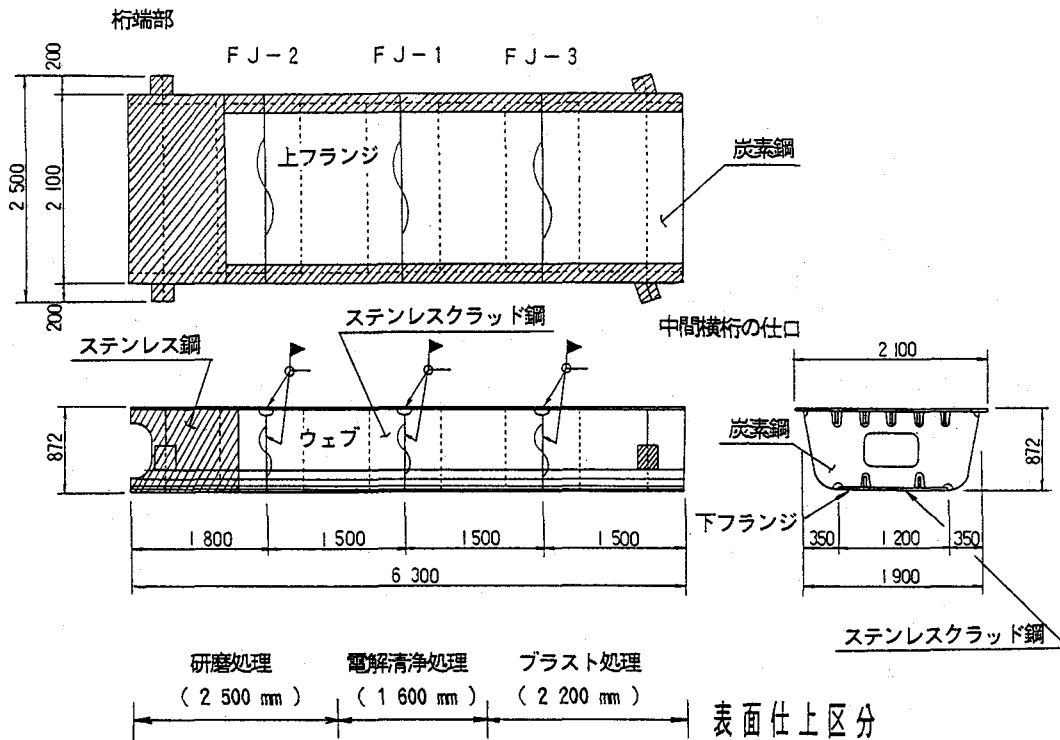


図2 パイロットメンバーの概要図

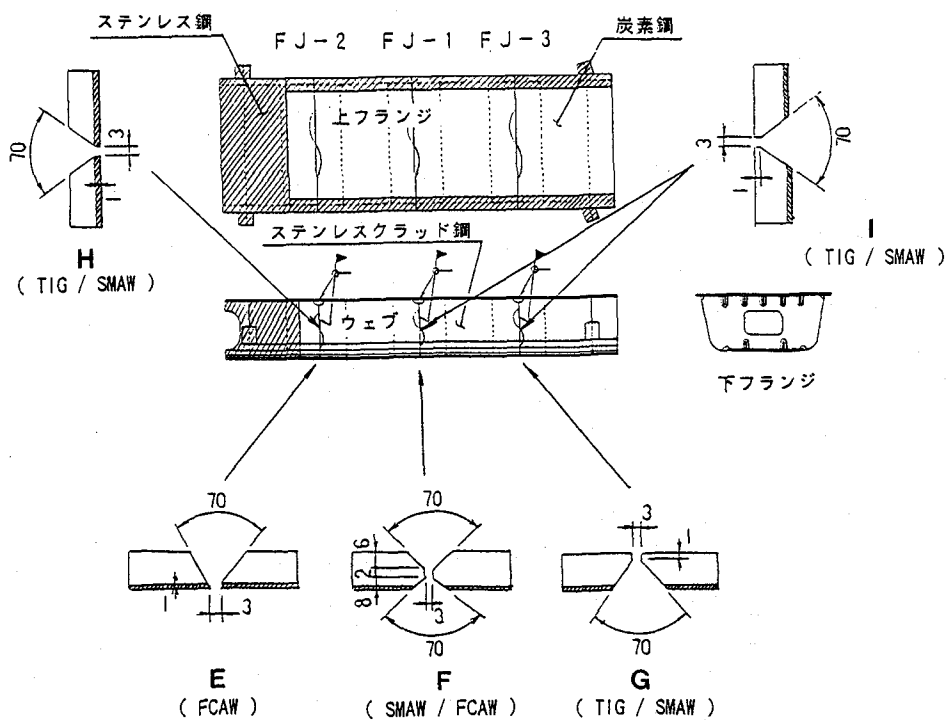


図3 現場溶接の開先形状

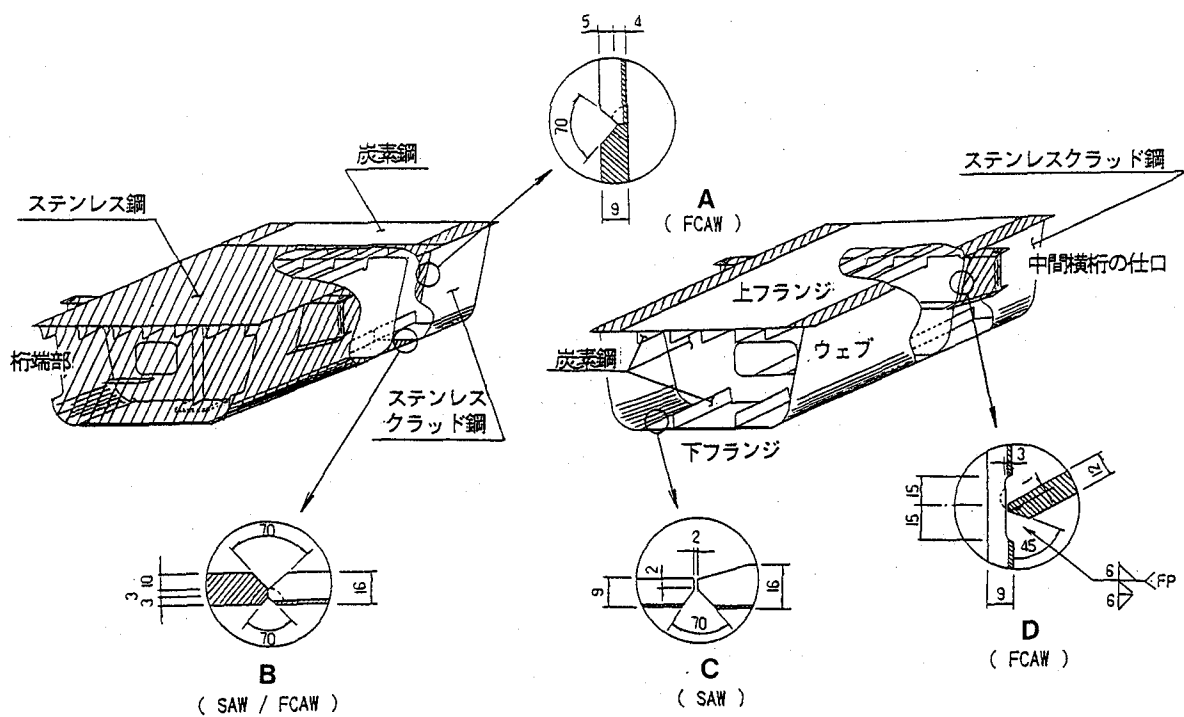
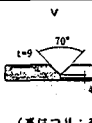
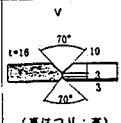
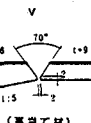
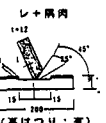
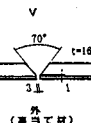
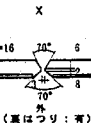
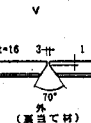
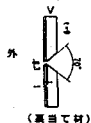
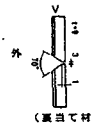


図4 各溶接継手部の開先形状

表2 溶接確性試験の種類と概要

試験No	A	B	C	D	E	F	G	H	I
溶接法	FCAW	SAW	SAW	FCAW	FCAW	SMAW+FCAW	GTAW+SMAW	GTAW+SMAW	GTAW+SMAW
溶接材料	JIS Z3323 YF309MoLC	JIS Z3324 S309Mo	JIS Z3324 S309Mo	JIS Z3323 YF309MoLC	JIS Z3323 YF309MoLC	JIS Z3321 D309MoL-16 +JIS Z3323 YF309MoLC	JIS Z3321 Y309Mo +JIS Z3321 D309MoL-16	JIS Z3321 Y309Mo +JIS Z3321 D309MoL-16	JIS Z3321 Y309Mo +JIS Z3321 D309MoL-16
板厚(mm)	SUS, CLAD:9	SUS, CLAD:16	CLAD:16.9	SUS, CLD:12.9	CLAD:16	CLAD:16	CLAD:16	CLAD:9	CLAD:9
開先形状	 (裏はつり有り)	 (裏はつり有り)	 (裏当て材)	 (裏はつり有り)	 (裏当て材)	 (裏はつり有り)	 (裏当て材)	 (裏当て材)	 (裏当て材)
適用箇所	ウェブ板継	下フランジ板継	下フランジ箱組 後の板継	横桁仕口	下フランジの 現場溶接継手	下フランジの 現場溶接継手	下フランジの 現場溶接継手	ウェブの 現場溶接継手	ウェブの 現場溶接継手
溶接要領	両面溶接 1stサイト:2 π ス FCAW 下向き 2ndサイト:2 π ス FCAW 下向き 裏はつり有り	両面溶接 1stサイト:3 π ス SAW 下向き 2ndサイト:4 π ス SAW 下向き 裏はつり有り	片面溶接 2 π ス SAW 下向き 裏当て有り*	両面溶接 1stサイト:6 π ス FCAW 下向き 2ndサイト:6 π ス FCAW 下向き 裏はつり有り	片面溶接 1 π ス FCAW 下向き 裏当て有り*	両面溶接 1stサイト:2 π ス SMAW 上向き 2ndサイト:6 π ス FCAW 下向き 裏はつり有り	両面溶接 1stサイト:1 π ス GTAW1, SMAW10 上向き 2ndサイト:1 π ス GTAW 下向き 裏はつり有り	片面溶接 3 π ス GTAW1, SMAW2 立向き 裏当て有り*	片面溶接 3 π ス GTAW1, SMAW2 立向き 裏当て有り*

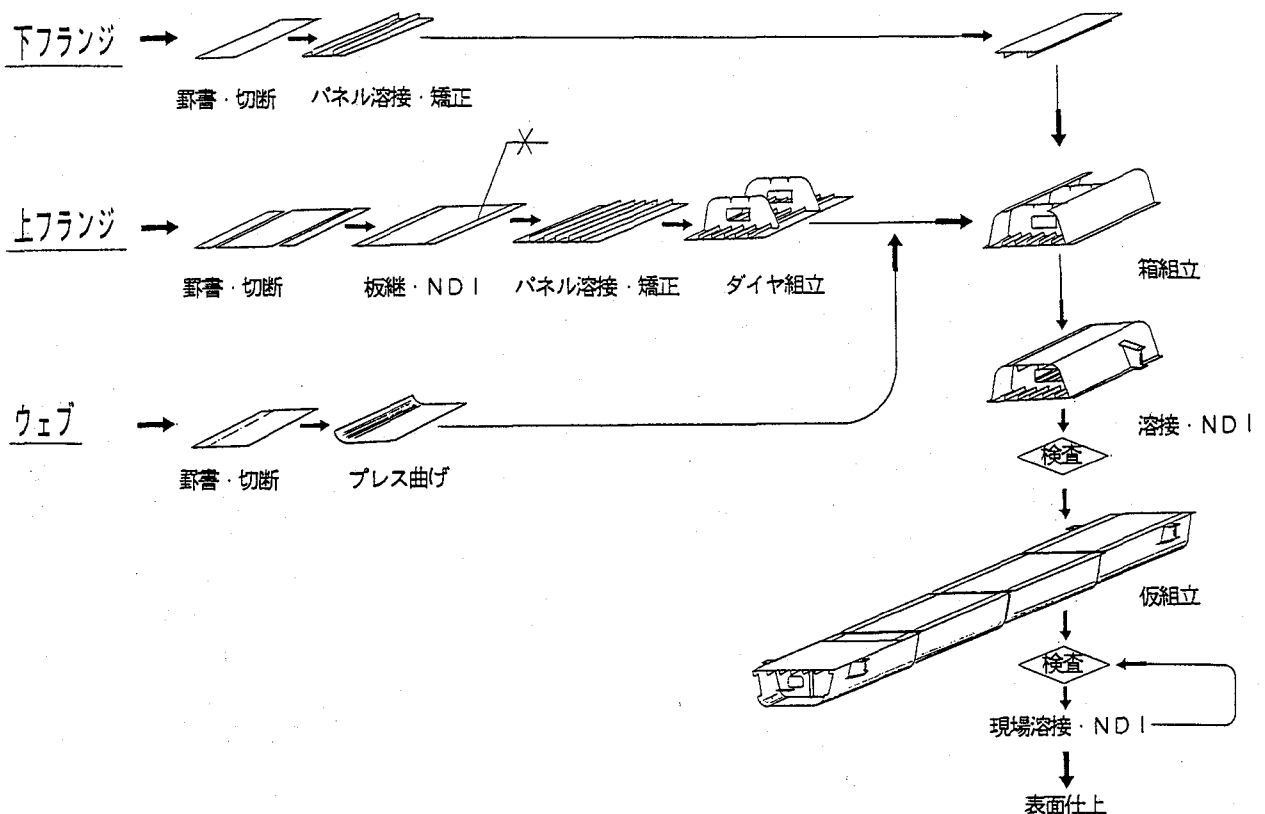


図5 パイロットメンバーの製作フロー

時間、湿潤2時間を1サイクル)を実施した。10サイクル後の試験結果では、すべての試験片でさび発生面積率は0.5%以下であり、溶接部の耐食性が低下した試験片はなかった。なお、本CCT試験の促進倍率は、60サイクルが海浜環境(兵庫県赤穂市御崎東福浦山: $\text{NaCl}/0.15\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$, $\text{SO}_2/\text{mg}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)での10年暴露に相当するものである。

3.3 パイロットメンバーの製作

(1) パイロットメンバーの製作概要

橋梁構造物へのステンレスクラッド鋼の適用は、実績のある水門・圧力容器などに比べ、薄肉多補剛構造であるため溶接による変形が懸念される。橋梁の場合、都市景観形成の重要な要素(地域のシンボル)となるため美観への配慮は強く求められる。

そこで、パイロットメンバーの製作にあたっては、異材継手の溶接施工管理、溶接変形の防止対策、耐食性の劣化防止対策、更に各種NC機器の適用と高能率溶接法の導入を図るなど、製品品質の確保と工場製作の経済性に配慮して製作した。

製作工程は、従来の橋梁加工と同様に、フランジ部材をパネル状態にし箱組立および溶接後、仮組立を行い、寸法・外観検査を実施したのち、現場継手部の全断面溶接と表面仕上げを実施した。その製作フローを図5に示す。

(2) 野書・切断

ステンレスクラッド鋼の野書・切断の方法としては、母材側からの切断、合わせ材側からの切断が考えられるが、加工精度の確保と野書塗料による合わせ材の腐食懸念、さらに効率の良い生産を考慮し、炭素鋼で使用する各種NC機器を用い母材側からの野書およびプラズマ切断を実施した。その状況を写真2に示す。

切断時の電流および速度は通常の炭素鋼と同一切断条件で良好な切断面の品質が得られた。また、切断後の板厚方向の曲がり量は1~2mm/mと炭素鋼に比べ大きい、製作の組立に支障がない変形であった。

切断における留意点は、合わせ材面に切断で発生したヒュームが付着する点である。この切断ヒュームは鉄成分が主成分であり、合わせ材の耐食性を低下させる懸念がある。したがって、切断後、合わせ材を水洗いとエアブローを行い、付着したヒュームを完全に除去する必要がある。

(3) 製作中の耐食性の劣化防止

ステンレスクラッド鋼の取扱いについては、合わせ材表面のゴミ・水分・鉄粉・油などの付着による耐食性の劣化を防止するために、必要に応じ写真3に示すカバーシートで保護した。

また、部材の移動や組立・曲げ作業時は、ステンレス専用のハンドリング器具やシート養生を施した緩衝材の当て物などを用いて、キズの発生防止と鉄地肌が直接接触しないように留意して製作した。溶接に使用

する工具類についても、ステンレス鋼と炭素鋼の専用のワイヤブラシとグラインダーを準備し、間違えて使用しないようにテーピングの色分けで管理した。

(4) 工場溶接

異材継手の溶接は、前述した確性試験結果をもとにパイロットメンバーの溶接を施工した。

下フランジのステンレスとクラッド鋼の異材板継ぎ溶接は、従来から施工されている太径($\phi 3.2\sim 4.8\text{mm}$)ワイヤに替わり、細径($\phi 2.4\text{mm}$)の低入熱サブマージアーク(試験 No. B SAW)を採用し、過大溶け込みによる母材希釈の影響を少なくさせた。

箱桁内の縦リブ隅肉溶接は、従来の炭素鋼の橋梁製作と同様に8電極隅肉の自動溶接機で施工し高能率化を図った。その8電極隅肉溶接状況を写真4に示す。下フランジとウェブ下端R曲げとの突合せ溶接は、箱組立後の施工となるため、安定した溶接品質の確保・狭隘な箱内作業の回避・施工能率の向上を考え、低入熱SAW(試験 No. C)による裏当材(バックアップテープ)を使用した片面裏波溶接法を採用して施工した。その作業状況を写真5に示す。

上記以外の溶接法は、近年、普及してきているフラックス入りワイヤによる半自動ガスシールドアーク溶接(試験 No. A D FCAW)を選定し隅肉・突合せ継手に適用した。FCAWの特徴は、被覆アーク溶接より、高能率でしかもスパッタが少ない、特に隅肉については、滑らかな溶接ビードが得られ、橋梁に求められている疲労強度面で期待できると考えられている。

(5) ひずみ防止

ステンレスクラッド鋼は、熱膨張係数が大きく、熱伝導率も悪いいため溶接時に大きな変形や歪みが発生しやすい。そこで、製作にあたっては、以下の変形対策を図った。

- ①ウェブ・フランジの縦リブ溶接によって発生した変形は、パネル専用プレス機で矯正した。作業状況を写真6に示す。
- ②上フランジとウェブの隅肉溶接は、写真7に示すように箱部材どうしのフランジ面を抱合せながら逆歪みを与え変形量を少なくさせた。
- ③ウェブと下フランジとの突合せ溶接部は、現場継手断面の寸法保持と溶接部の角変形を防止するため、予め溶接開先部の裏側に拘束プレートを溶接し、高さ方向での収縮を抑えるための斜材を設けて、断面の形状を保持した。写真3に使用した形状保持材を示す。また、溶接は細径($\phi 2.4\text{mm}$)のワイヤを用いた低入熱片面SAWの裏波溶接を採用したことで、従来の太径大入熱SAWに比べ、変形量を極力減少させた。

その他、溶接の入熱集中をさけるため、溶接順序を変えて熱の分散を行うなどして、変形を極力減少させて施工した。上記以外の矯正方法としては、ステンレ

スクラッド鋼の母材側から加熱矯正を行い、変形の修正を行った。

(6) 製品寸法および非破壊検査結果

製品寸法の測定は、テープやピアノ線を用い全長・横曲がり・キャンバー・板の平坦度について行った。製品寸法は、道路橋示方書⁹⁾精度基準の許容値内であることを確認した。特に、板平坦度は、許容値の1/2程度で、美観を大きく損なわずに製作できた。溶接継手部の内部品質は、放射線透過試験 JIS Z 3106 に従い、全継手に対し各1枚X線撮影を行った。試験結果は、全て1級合格であった。

(7) 現場溶接部の目違いおよび開先隙間

仮組立は、小断面箱桁のため縦リブのボルト孔にピンが挿入しにくいことから、上フランジの現場継手箇所にエレクトロニクスピースを取付け、各ブロックの組立作業を行った。一方、溶接開先部の目違い修正は、外面のステンレス側へのピース取付けを避け、箱桁内側にピースを溶接して行った。

現場継手部の溶接前に発生した目違い量および開先隙間量の最大値を表3に示す。この表より、目違い量はR曲げ部の一部を除き2mm以内となっている。R曲げ部の目違い量が2.8～3.5mmとなった原因は、R曲げ部の加工精度が低下したためで、この課題に対しては図6に示すようにウェブのR曲げ部延長上に直線部を設けることで曲げ加工の精度が向上し目違い量を低減できるものと考えられる。

一方、開先隙間量は、2～4mmの範囲となっており、FCAW、GTAW (TIG) の裏波溶接施工上、問題とならない精度であった。

(8) 現場溶接継手の施工性の比較検討

現場溶接継手の施工性を検討するため、3種類の開先形状について作業能率比、作業性、溶接欠陥防止性、耐食性の項目で比較した結果を表4に示す。

能率は、溶接と付帯作業（ガウジング・グラインダー）時間を計測し、合計時間の比率で評価している。この結果、箱内で施工するFJ-2の方法が能率的である。

ここでの作業性とは、溶接作業者の疲労度と作業環境について評価したものであり、外面から溶接できるFJ-3が下フランジでの上向溶接があるものの、他の狭隘な箱内で溶接するよりは疲労度が少なく、溶接

ヒュームの換気面で優位であった。

溶接欠陥については、X線透過試験の結果、全て1級で合格しており優劣はなかったものの、溶接技量と溶接施工法からはFJ-3、1、2の順に欠陥発生の可能性が高くなるものと推測される。

耐食性に関しては、CCT腐食試験の結果、各継手で差異はなく、ステンレスクラッド鋼の合わせ材と同等の耐食性を有していることが確認できた。

以上、能率と品質を重視するとFJ-2の箱内V開先溶接施工が優れていることがわかる。ただし、この箱内V開先溶接ではステンレス部分の溶接が初層溶接となることから、母材との希釈不良によって耐食性を損なう可能性がある。また、ステンレスクラッド鋼の溶接ビード仕上げについても、合わせ材の板厚が2mmと薄いため、溶接目違い箇所をグラインダーで研削修整し、母材金属を露出しやすくする懸念がある。これらのことから、ステンレスクラッド鋼の現場溶接部においては、まず目違いを少なくさせることが重要である。さらに、外面の裏波ビードの平滑仕上げは避け、凹凸ビードを整形し、仕上がりの滑らかなTIGでドレッシング溶接を施すことが、美観と耐食性の観点から好ましいと考えられる。

(9) 表面仕上げの比較検討

試作部材の概要図である図2に示したように、今回表面仕上げとして3水準の表面仕上げを実施した。この表面仕上げ仕様・施工条件を表5に示す。

この表の中でブラスト処理は、研掃材にサンドおよびグリッドを使用した場合、ステンレス表面に鉄または鉄粉などが付着し耐食性を著しく阻害する理由からガラスビーズの研掃材を用いた。電解洗浄は、廃液処理のしやすさから中性液の電解液を採用した。研磨仕上げに関しては、作業コストおよびステンレス特有の光沢を考慮し、最低表面粗さ仕上げの#80程度とした。

表6は、表面外観、能率、耐食性などの項目について比較した結果を示す。電解洗浄や研磨処理は、一般部の溶接焼けや汚れ除去に効果はあるものの、溶接止端部の汚れ除去には不向きであるためワイヤブラシによる入念な手入れが必要である。全体的な美観についても、電解洗浄は、傷や現場溶接部のグラインダーした箇所と周辺部との光沢差が目立ち、また研磨処理は

表3 目違いおよび開先隙間量 (単位: mm)

継手No. 測定箇所	FJ-2		FJ-1		FJ-3	
	目違い	隙間	目違い	隙間	目違い	隙間
上フランジ	1.0	3.0	1.0	2.7	1.5	2.6
ウェブ	1.5	3.4	1.0	3.3	1.0	3.0
R曲げ部	3.5	3.5	2.5	3.0	2.0	2.8
下フランジ	2.0	3.0	1.0	2.9	0.5	2.0

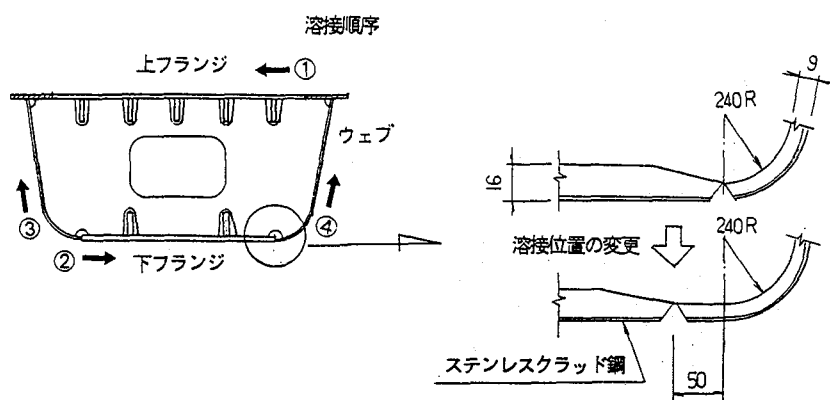


図6 R曲げ部の変更案

表4 現場溶接継手の施工性比較

継 手 NO.		FJ-2	FJ-1	FJ-3
溶接区分	上フランジ	箱外V開先		
	ウェブ	箱内V開先	箱外V開先	
	下フランジ		箱内外X開先	箱外V開先
作業能率比		◎ (1.0)	△ (1.7)	△ (1.9)
作業性		△	△	○
溶接欠陥防止		○	○	○
耐食性		○	○	○

表5 表面仕上げ仕様および施工条件

処理方法	仕 様 ・ 施 工 条 件	使 用 設 備
電解洗浄処理	電解液：中性塩 ステンブライトCL 作業手順：ウエス抜き→電解研磨→水洗い ↓ 乾 燥	電解器：スーパーステンブライト W-2000
研 磨 処 理	仕上仕様：ヘアライン #80 突合溶接：余盛ビードを平滑に仕上げて研磨 T型隅肉：そのままの状態での研磨	フレキシブル研磨 #80ペーパーホイル #80スコッチフライン
ブラスト処理	研掃材：ガラスビーズ UB-1315L ノズル径：φ10 mm (300~425 μm) 空気圧力：5 kg/cm ² 距 離：400 mm 角 度：90°	エアーコンプレッサー エアードライヤー ブラスト装置

表6 表面仕上げの比較

項 目 処理方法	表面外観				全体評価	能率	耐食性
	溶接焼け	溶接止端	さび除去	汚れ・疵			
電解洗浄処理	○	×	○	△	△	△	○
研 磨 処 理	○	×	○	○	△	×	○
ブラスト処理	△	○	○	△	○	○	○

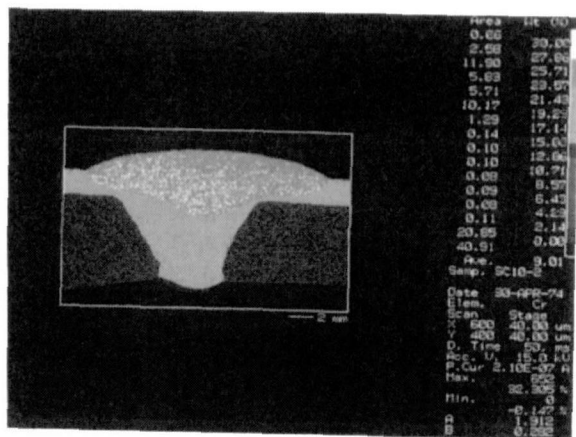


写真1 面分析結果（試験片C）

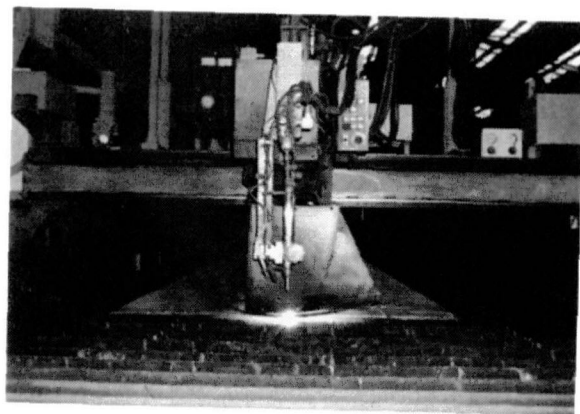


写真2 プラズマ切断

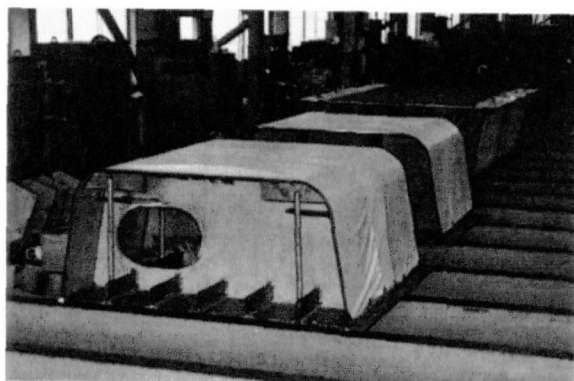


写真3 カバーシート保護

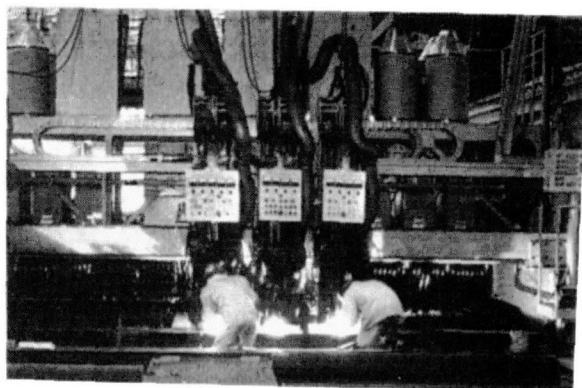


写真4 8電極隅肉溶接

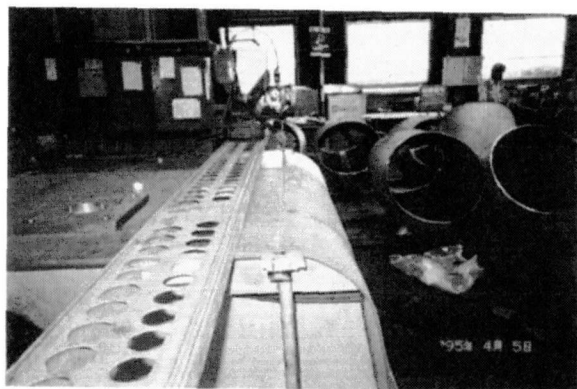


写真5 片面裏波溶接

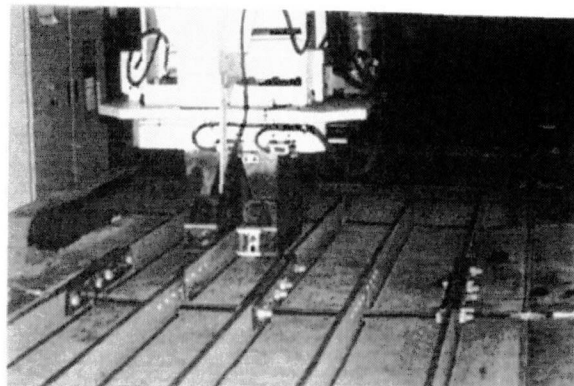


写真6 プレス矯正

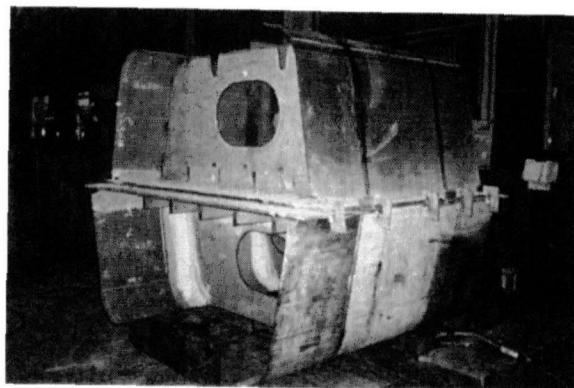


写真7 溶接変形対策

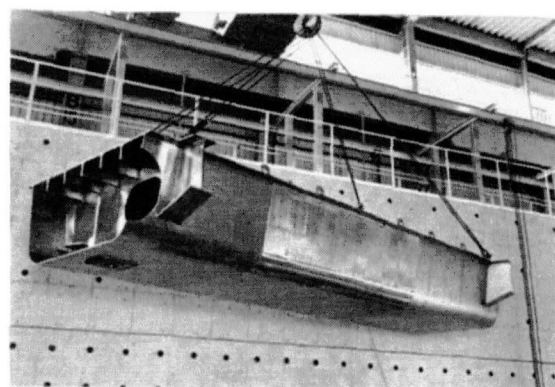


写真8 完成後のパイロットメンバー

全体的に光沢を帯びた仕上がり面であった。

能率面では、両者とも手作業となるため高い能率は期待できない。

一方、ブラスト処理は溶接止端部の汚れ除去に優れ、ガラスビーズの研掃材自体の研削能力が劣るため溶接焼けがわずかに残るものの、美観的には全体に均一な灰色の仕上がりになる。能率は、ブラスト装置を用いるため他の処理に比べ優れているが、研掃材が高価となるためコスト面では、熟練工を要す研磨処理とほぼ同等になった。

耐食性については、#400程度の研磨処理や硝酸酸洗がブラスト処理に比べ耐食性が高くなる試験報告¹⁰⁾¹¹⁾があるが、今回のCCT耐食性試験の結果では3水準とも優劣はなくいずれも良好な結果であった。

以上のことから、仕上げ方法の選択は各仕上げ方法の特徴を十分理解した上で、橋梁の架設場所の環境などを十分考慮し決定することが好ましいと考えられる。

4. まとめ

ステンレスクラッド鋼を用いた橋梁部材の基本コンセプトおよびそれに基づきステンレスクラッド鋼の溶接加工性に焦点を置き、試作部材の製作に関し報告した。

パイロットメンバーの製作を通じて得られた知見および留意点を以下にまとめる。

- 1) 溶接確性試験の結果、溶接部は引張強度、曲げ強度は十分な強度を有していた。また、溶接金属の希釈に関しても、面分析結果および腐食試験結果は溶接品質上問題となる結果ではなかった。
- 2) 野書・切断については、作業効率を重視すると炭素鋼で使用しているNC機器が使える母材側からの酸素切断が望ましい。母材側からの切断の場合、合わせ材切断面に残るヒュームの主成分は鉄であるため、耐食性を損なわないために水洗いとエアブローを行い、ヒュームを完全に除去する必要がある。
- 3) ひずみ防止対策としては、加熱矯正を極力避けるために、固定治具を多用するとともに入熱集中を避けるため溶接順序を変えて熱の分散を図る必要がある。今回の製作では箱桁どうしのフランジ面を抱合せながら逆ひずみを与え変形量を少なくさせる、また、角変形を防止するために箱内に固定治具を設置するなどの対策を講じ、板平坦度は道路橋示方書精度基準の許容値の1/2で製作できた。
- 4) 現場溶接継手の施工性の比較の結果、品質と能率を重視すると箱内V開先溶接施工が優れていることがわかった。ただし、この溶接施工では、ステンレス部の溶接が初層溶接となることから、母材との希釈不良

に注意する必要がある。これに対しては、仕上がりの滑らかなTIGドレッシング溶接を施すことが望ましい。また、この処理は目違い量が2mm程度発生した場合の耐食性向上の対策にもなる。

5) 電解洗浄処理、研磨処理、ブラスト処理の表面仕上げの比較では、溶接焼け、溶接止端などの表面外観・能率においてそれぞれ効果が異なり、橋梁の架設現場の環境などを十分考慮して決定することが望ましい。

上記の留意点に注意することで、実物大の製作を完了することができた(写真8参照)。これらの結果より、溶接加工という観点からはステンレスクラッド鋼を橋梁部材へ適用することは十分可能であることがわかった。

謝辞

本研究は、土木学会鋼構造委員会新技術小委員会耐久性研究WGの委員である東北大学池田清宏先生、東海大学北原道弘先生、長岡技術科学大学長井正嗣先生、東京大学藤野陽三先生、武蔵工業大学増田陳紀先生、法政大学森猛先生、岡山大学廣瀬壮一先生、東京都高木千太郎氏、NKK中島孝裕氏、川崎製鉄㈱中村聖三氏、住友金属工業㈱中村厚氏、㈱神戸製鋼所小川恒司氏、三菱電機㈱小池光裕氏に御協力をいただきましたことを心から感謝致します。

参考文献

- 1) 鋼構造の新技術に関する調査研究報告書(中間報告)：土木学会鋼構造新技術小委員会、1993.3
- 2) ダム・堰施設技術協会：ダム・堰施設技術基準(案)、1993
- 3) 土木研究所資料：ダム放流設備へのステンレス材料適用マニュアル(案)、1993.1
- 4) 日本高圧力技術協会：ステンレスクラッド鋼加工基準、HPIS-E-105、1980
- 5) 恩沢、福田、大尾、原、亀山：ステンレスクラッド鋼の接合強度評価法について、圧力技術、Vol. 29, No. 5, pp. 37-54, 1991
- 6) 志村、小原、田辺：ステンレス鋼構造材、新日鉄技報、No. 344, pp. 49-54, 1992
- 7) 日本高圧力技術協会：圧力技術の現状と将来、1989.3
- 8) ステンレス協会：ステンレス鋼便覧、1995.1
- 9) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1990.2
- 10) 浜村：海塩粒子を含む環境下でのステンレス鋼の防食、防錆管理、No. 11, 1989
- 11) 幸：材料と環境Q&A、材料と環境、Vol. 40, 1991
(1995年9月18日受付)