

鋼鉄道橋における高耐候性鋼材を採用したローゼ桁の構造と製作

井田 明志^{※1}, 天藤 晴朗^{※2}

北岡公園橋梁は、北岡自然公園の上空に架かる鋼ローゼ橋である。都市部にかかることから景観に配慮した橋梁形式が採用された。また、本橋は海浜近接地区に架設される構造物のためニッケル系高耐候性鋼材に鍍安定化处理を施した無塗装橋梁としている。

本橋では当社での施工実績の少ない高耐候性鋼材を採用しており、また構造が複雑で施工が難しい箇所が存在することから、それぞれの箇所について原寸大の溶接試験体を製作し施工試験を行うことにより構造と製作に関する検討を行った。

施工が難しい箇所の品質確保を主目的として施工方法を選定し、溶接品質を確認した結果、破壊試験、非破壊試験ともに良好な結果が得られた。本橋の施工にあたっての着目部位と検討事項について報告する。

キーワード：鋼鉄道橋，高耐候性鋼材，ローゼ桁，溶接施工試験

1. はじめに

近年、橋梁分野においては、初期建設コストの縮減や維持管理コストの低減が求められており、最小限の維持管理で最大限の長寿命化を目指す「ミニマムメンテナンス橋」が指向されている。

今回、製作を行った北岡公園橋梁は、熊本駅の北に位置する北岡自然公園の上空に架かる鋼ローゼ橋（スパン 70m，アーチライズ 12m）である。また、都市部に架かる橋梁で多くの人の目に触れることから、景観に配慮した橋梁形式としてこの形式が採用された。図-1 に構造一般図を示す。

本橋梁は海岸から約 7km の位置に架設される海浜近接地区の構造物であるためニッケル系高耐候性鋼材に鍍安定化处理を施した無塗装橋梁としている。

鋼鉄道橋においては、構造が複雑で溶接品質を確

認する、特殊材料を使用する、現場溶接を施工する等の場合には溶接施工試験の実施を原則としている。

本橋では当社における施工実績の少ない高耐候性鋼材を採用していることから、各種試験により鋼材の溶接施工性および溶接材料とのマッチングの確認を行った。また橋梁形式から構造が複雑で施工が難しい箇所が存在するため、特に溶接施工が難しい 3 箇所に着目し構造と製作に関する検討を行った。着目部位を以下に示す。

- ・ アーチ起拱部
- ・ 鉛直材との取り合い部
- ・ アーチリブと横支材の剛結部

検討にあたっては、原寸大の溶接試験体を製作して施工試験を行うことにより計画した施工手順および溶接品質の検討を行った。

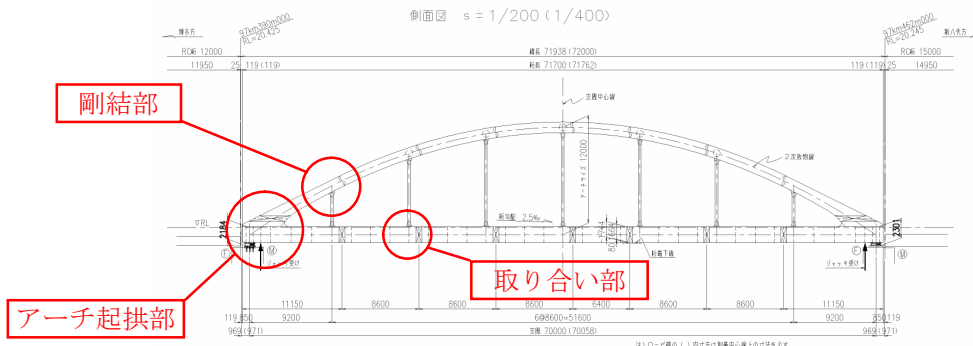


図-1 構造一般図

※1 橋梁事業部 富津工場 橋梁部 品質管理課

※2 橋梁事業部 富津工場 橋梁部 製造課長

2. 高耐候性鋼材の施工性確認

各種試験の対象部位は、施工範囲内において材質、板厚が最大となる箇所を選定した。試験項目は突合せ溶接（完全溶込み：サブマージアーク溶接）、首溶接（部分溶込み：半自動溶接）、スタッド溶接、最高硬さ試験：すみ肉溶接（半自動溶接、被覆アーク溶接）を対象とした。突合せ溶接においては最高材質と最大板厚の組合せが異なるため、最高材質試験体と最大板厚試験体の2種類の突合せ溶接試験を実施した。表-1に試験項目の一覧を示す。

表-1 試験項目一覧

試験項目 (溶接方法)	試験体材質 (板厚)	溶接材料 (ワイヤ径)
突合せ溶接 (サブマージアーク)	SMA490BW -MOD (t22×t22)	US-50WT×MF-38 (4.8φ)
	SMA400CW -MOD (t36×t36)	US-50WT×MF-38 (4.8φ)
最高硬さ (CO ₂ 半自動) (被覆アーク)	SMA490CW -MOD(t30)	DW-50WT (1.2φ)
		LB-50WT (4.0φ)
首溶接 (CO ₂ 半自動)	SMA490BW -MOD(t22)	DW-50WT (1.2φ)
	SMA490CW -MOD(t30)	
スタッド溶接	SS400 相当材 (スタッド:φ19)	—
	SMA490BW -MOD(t22)	

計画した施工方法に従い試験体を溶接した後、試験項目ごとに所定の品質確認試験を行った。各試験項目について以下に示す。

2-1. 突合せ溶接試験結果

品質確認試験として非破壊試験（放射線透過試験）および破壊試験を実施した。表-2-1に試験項目と判定基準を示す。非破壊試験、破壊試験共に合否判定基準を満足しており良好な結果が得られた。表-2-2、表-2-3に試験結果を示す。

2-2. 最高硬さ試験結果

JIS Z 3101に基づき半自動溶接、被覆アーク溶接による最高硬さ試験を実施した。表-3-1に試験項目と判定基準を示す。半自動溶接、被覆アーク溶接試験体共に合否判定基準を満足しており良好な結果が得られた。表-3-2に試験結果を示す。

2-3. 首溶接試験結果

品質確認試験として破壊試験を実施した。表-4-1

に試験項目と判定基準を示す。マクロ試験、硬さ試験共に合否判定基準を満足している。ただし、マクロ試験においてルート先端部に溶込み不足（0.5mm程度）が確認された。表-4-2に試験結果を示す。

2-4. スタッド溶接試験結果

品質確認試験として破壊試験を実施した。表-5-1に試験項目と判定基準を示す。引張試験、曲げ試験共に合否判定基準を満足しており良好な結果が得られた。表-5-2に試験結果を示す。

表-2-1 試験項目と判定基準（突合せ溶接）

	合否判定基準
放射線透過試験	JIS Z 3104 : 1類
引張試験	引張強さが母材の規格値以上 (SMA490BW-MOD : 490~610 N/mm ²) (SMA400CW-MOD : 400~540 N/mm ²)
曲げ試験	原則として亀裂が生じてはならない
衝撃試験	溶着金属および熱影響部で母材の規格値以上（3個平均） (SMA490BW-MOD : 27J(0°C)) (SMA400CW-MOD : 47J(0°C))
マクロ試験	有害な欠陥がないこと
硬さ試験	Hv ≤ 370

表-2-2 品質確認試験結果（突合せ溶接：t=22 mm）

	試験結果（SMA490BW-MOD）				
放射線透過試験	1類：(BH:1.0φ×1)				
引張試験	594N/mm ² , 590N/mm ²				
曲げ試験	欠陥無し				
衝撃試験	位置	No.1	No.2	No.3	Ave
	DEPO	86	84	84	85J
	HAZ	208	180	216	201J
マクロ試験	有害な欠陥無し（写真-1）				

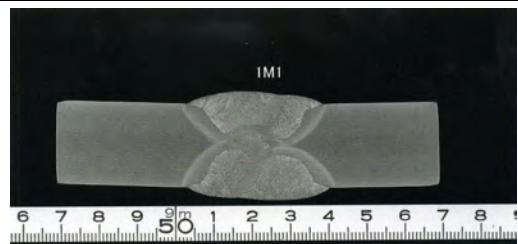


写真-1 断面マクロ（突合せ）

硬さ試験 下表による

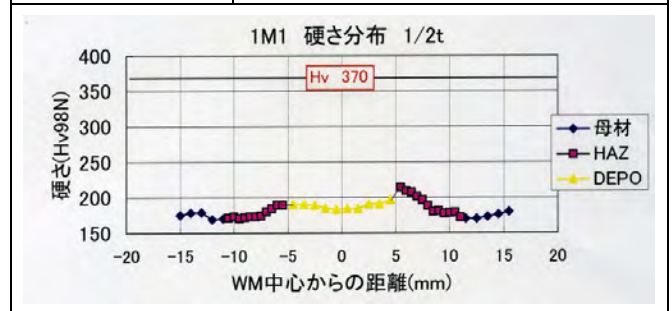


表-2-3 品質確認試験結果 (突合せ溶接:t=36 mm)

試験結果 (SMA400CW-MOD)					
放射線透過試験	1 類 : (BH:1.4 φ × 1, 1.0 φ × 1)				
引張試験	535N/mm ² , 547N/mm ²				
曲げ試験	欠陥無し				
衝撃試験	位置	No.1	No.2	No.3	Ave
	DEPO	84	82	82	83J
	HAZ	289	298	256	281J
マクロ試験	有害な欠陥無し (写真-2)				

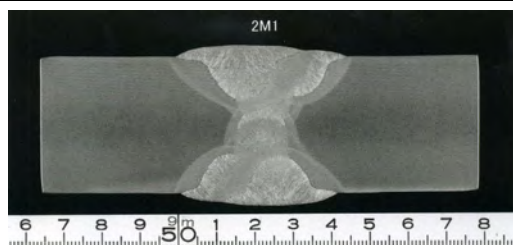


写真-2 断面マクロ (突合せ)

硬さ試験 下表による

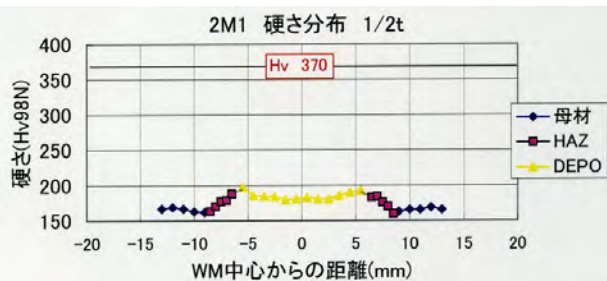
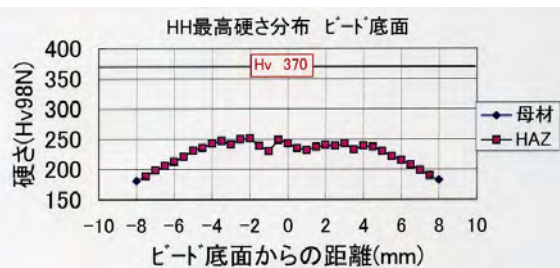


表-3-1 試験項目と判定基準 (最高硬さ試験)

合否判定基準	
硬さ試験	Hv ≤ 370

表-3-2 品質確認試験結果 (最高硬さ試験)

硬さ試験 (半自動溶接) 下表による



硬さ試験 (手アーク溶接) 下表による



表-4-1 試験項目と判定基準 (首溶接)

合否判定基準	
マクロ試験	有害な欠陥がないこと
硬さ試験	Hv ≤ 370

表-4-2 品質確認試験結果 (首溶接)

マクロ試験 有害な欠陥無し (写真-3)

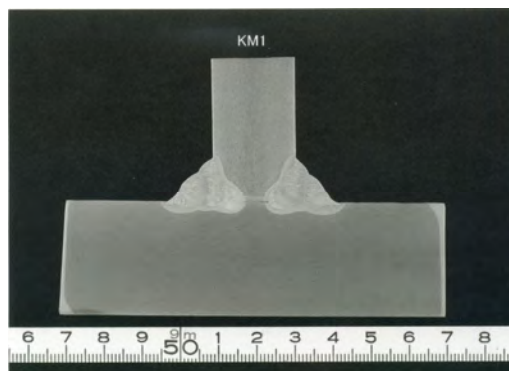


写真-3 断面マクロ (首溶接)

硬さ試験 下表による

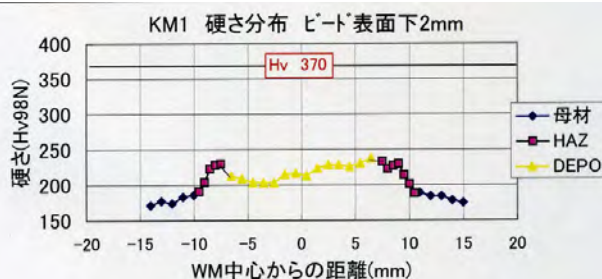


表-5-1 試験項目と判定基準 (スタッド溶接)

合否判定基準	
引張試験	降伏点は 240N/mm ² 以上、引張強さは 410~560N/mm ² 、伸びは 20% 以上とする。ただし溶接部で破断してはならない
曲げ試験	溶接部に亀裂が生じてはならない

表-5-2 品質確認試験結果 (スタッド溶接)

	試験結果			
	降伏点	引張強度	伸び	
引張試験	1	349 N/mm ²	476 N/mm ²	37%
	2	352 N/mm ²	482 N/mm ²	36%
	3	356 N/mm ²	485 N/mm ²	36%
曲げ試験	欠陥無し			

3. アーチ起拱部の施工検討

本橋のアーチ起拱部はアーチリブフランジと補剛桁フランジが鋭角(47°)に交わる構造であるため、狭隘部となり溶接施工が難しい箇所となる。特に起拱部腹板近傍ではコーナー部に溶接線が集中することもありその傾向がより顕著となる。図-2に試験体の形状を示す。施工にあたっては鋭角側の施工を先行して行い、はつり側を鈍角側に設けることで溶接施工性の確保を図った。また、溶接欠陥の発生を抑えるために、溶接線が交差するコーナー部に溶接始終端を設けない溶接手順を定めた。

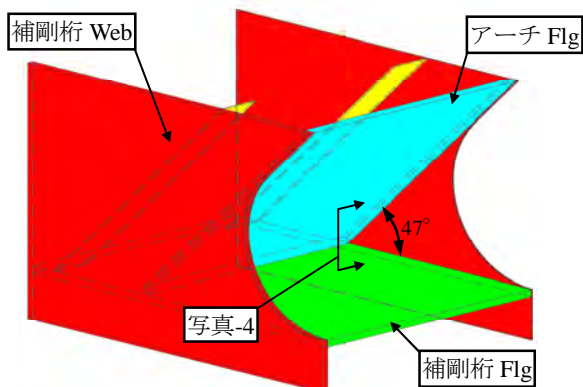


図-2 試験体形状 (起拱部)

溶接部に対する品質確認試験として、超音波探傷試験とコーナー部近傍での断面マクロ観察を行った。超音波探傷試験を行った結果、溶接部からきずは検出されなかった。写真-4に起拱部溶接施工試験の断面マクロを示す。断面マクロ観察の結果、溶接部の強度に影響を与える有害なきずは確認されず良好な結果が得られた。

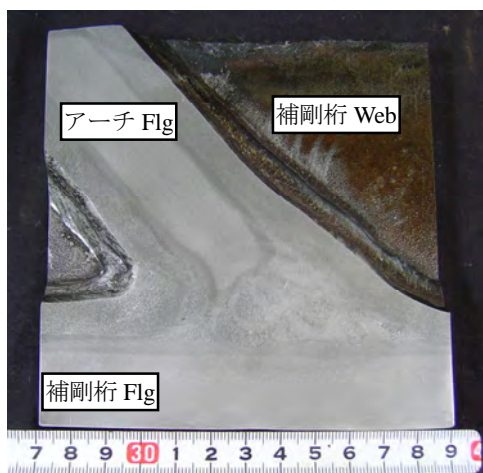


写真-4 断面マクロ (起拱部)

4. 補剛桁格点上フランジガセット部の施工検討

本橋のアーチ部材および補剛桁はフランジ間に腹板がはさまれる構造となっているが、アーチ部材と補剛桁をつなぐ鉛直材との取り合い部においては腹板がフランジを貫通しガセットプレートとして突出する構造となっている。このため、ガセットプレート端部は腹板とフランジの板組みが変化する複雑な構造となっており、溶接施工および非破壊検査の適用が難しい部位となっている。図-3に試験体の形状を示す。

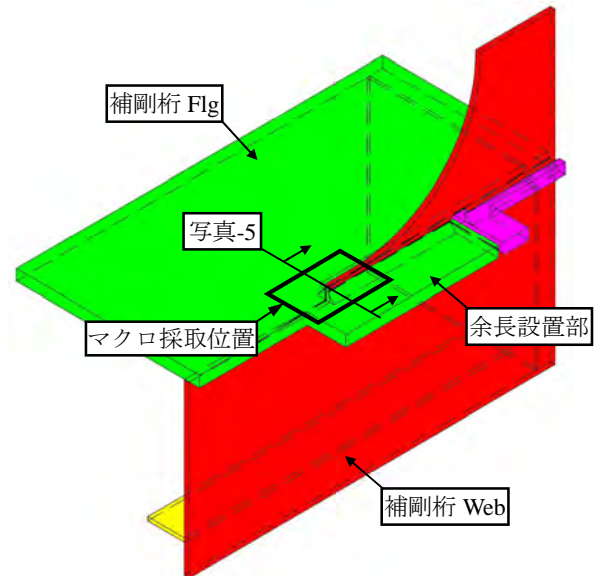


図-3 試験体形状 (取り合い部)

施工にあたっては、施工範囲において最も未溶着の発生しやすいスリット端部の溶接品質の確保を優先し、はつり側を桁外面に設けるとともにスリット端部に溶接始終端を置かないよう施工手順を決定した。また、補剛桁フランジに余長を設けることで非破壊検査精度の確保を図った。

溶接部に対する品質確認試験として、超音波探傷試験および断面マクロ観察を行った。断面マクロ観察では板組み変化部を10mmピッチでスライスして断面の変化を確認した。写真-5に補剛桁格点ガセット部施工試験の断面マクロ(スリット端部)を示す。

断面マクロ観察の結果、溶接部の強度に影響を与える有害なきずは確認されず良好な結果が得られた。

超音波探傷試験を行った結果、溶接部からきずは検出されなかった。またフランジに余長を設けることで探触子の走査範囲を確保し、超音波探傷試験の精度を向上させることができた。

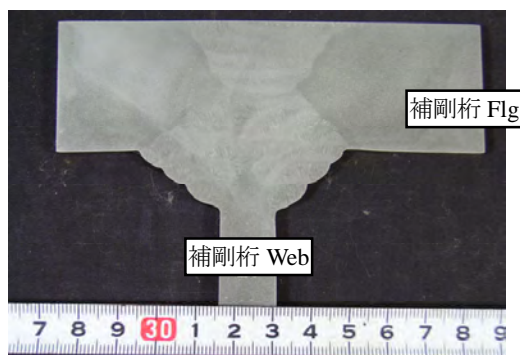


写真-5 断面マクロ (スリット端部)

5. アーチリブと横支材の剛結部の施工検討

本橋のアーチリブと横支材の剛結部は、高さ 1,200 mm, 幅 1,000 mm のアーチリブの腹板を直径 800 mm の横支材が貫通する構造となっており、桁内部に狭隘部が生じ溶接施工が難しい部位となる。また、剛結部に隣接する鉛直材との取り合い部についても狭隘部での施工となるため併せて検討を行った。図-4 に試験体の形状を示す。

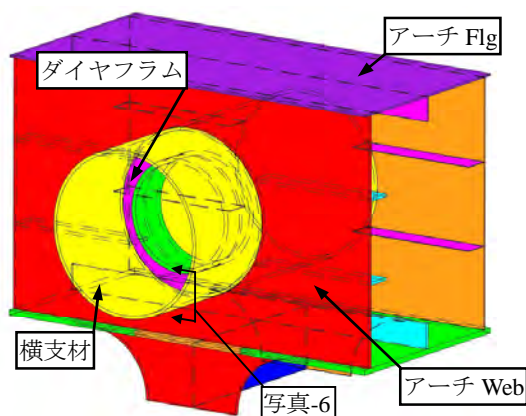


図-4 試験体形状 (剛結部)

施工にあたっては、剛結構造における溶接時の拘束度の低減を目的として、横支材とダイヤフラムの溶接を先行して完了させた後に横支材とアーチ腹板の溶接を行う施工手順とした。また、同様の目的で支材ダイヤフラム開口部補強材の取り付けを後付け施工にて行うことにした。鉛直材との取り合い部については前述のガセット部と構造が類似しているため、同様の施工手順を適用し、施工性の確認を行った。

溶接部に対する品質確認試験として、超音波探傷試験を行った結果、微細なきずはあったものの判定基準を超えるきずは検出されなかった。写真-6 にアーチリブ剛結部施工試験の断面マクロを示す。

断面マクロ観察の結果、溶接部の強度に影響を与える有害なきずは確認されず良好な結果が得られた。

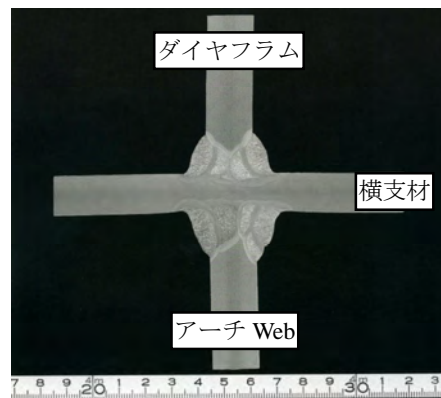


写真-6 断面マクロ (剛結部)

6. まとめ

高耐候性鋼材の施工性確認試験結果は各試験項目とも良好であり、溶接施工性および溶接材料とのマッチングについても大きな問題は見られなかった。

ただし、半自動溶接に使用する溶接材料はソリッドワイヤーが存在せずフラックスコアードワイヤーのみであるため材料特性として溶込みが浅く、特に部分溶込み溶接ではルート先端部に溶込み不足が生じやすい状態となっている。そのため首溶接試験体の試験結果に有るようにルート先端部に 0.5~1.0mm 程度の溶込み不足が残り、設計のど厚に対しど厚不足が生じる可能性が考えられる。より確実に設計のど厚を確保し、品質向上を図るために実施における開先深さを設計値より 1 mm 深く設定した。

溶接施工が難しい部位の製作検討にあたっては狭隘部での品質確保を優先し、狭隘側からの施工を先行し施工性の良い外面よりはつり、仕上げを行う施工手順を採用した。着目部位に対する品質確認試験の結果はいずれも良好な結果が得られた。

検討結果を基に実施した実橋の施工においても良好な結果が得られており、選定した施工方法は本橋梁の溶接品質の確保に対し有効であったと考える。

最後に本橋の製作、施工にあたりご指導ご協力をいただいた鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部の方々をはじめ、関係者各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

1) 近藤, 藤原他: 鋼とコンクリートとの合成上路トラスの構造と製作, 土木学会第 62 回年次学術講演会 1-110, P219-220, 2007. 9