

部分更新による効率的更新工事事例紹介

Introduction of Efficient Procedure for Partial Renewal

川口 敦史 KAWAGUCHI Atsushi JFE スチール 西日本製鉄所(福山地区)設備部 設備技術室 主任部員(課長)
渡邊 豪伸 WATANABE Hidenobu JFE スチール 西日本製鉄所(福山地区)設備部 設備技術室 主任部員(課長)

要旨

製鉄所内の港湾荷役設備である連続アンローダや製品出荷クレーンの、主要構造部分の劣化更新工事を実施するにあたり、従来工法とは異なる、荷重状態下での効率的な部分更新工法を採用することで、設備の健全化と工程短縮を達成した。

Abstract:

JFE Steel has achieved rehabilitation and shortening work periods by means of adopting partial renewal process with loading state different from the conventional one in renewal works of main structure part for the Continuous Ship Unloader and the Shipping Crane which are the harbor loading and unloading facilities in steelworks.

1. はじめに

製鉄所内の港湾荷役設備である連続アンローダや製品出荷クレーンは、稼働後20年以上が経過し、各部の腐食磨耗による経年劣化が進行している。重大事故防止と設備安定稼働を担保するため、設備の劣化更新を順次実施している。更新にあたっては、長期間の設備停止による滞船料の増加や操業への影響が大きいことから、設備停止期間の短縮が求められる。大規模な更新工事になるほど、工期は長くなり更新費が増加する。これらを回避するため、劣化の著しい範囲を部分更新し設備の健全化を図ることで、工期短縮と更新費削減を実現する。本稿では、原料荷役用連続アンローダのポータルフレームと製品出荷用橋形クレーンガーダの設備劣化状況より更新範囲と構造改善方法を決定し、従来工法とは異なる荷重状態下での部分更新工事を実施した。その部分更新工法の検討内容及び工事概要について紹介する。

2. 連続アンローダポータルフレーム部分更新

2.1 設備概要

西日本製鉄所(福山地区)原料岸壁に設置されている連続アンローダの設備概要図を図1に示す。連続アンローダは原料を船内からバケットエレベータでブームコンベアへ搬送し、シュートを通じてポータルフレーム下の機内コンベアへ搬送する装置構成となっている。原料は機内コンベアから機外に設置されたコンベアを乗継ぎ、原料ヤードに貯蓄される。今回更新対象となる連続アンローダは、稼働後

24年が経過した国内最大級の能力を有する設備である。図1中のポータルフレームには、旋回体上部の荷重が車輪を介して負荷される構造となっている。ポータルフレーム全体構造図を図2に示す。

2.2 ポータルフレーム劣化状況

ポータルフレーム旋回レール下の構造図を図3に示す。旋回レールレベル調整用の敷板とガーダ上フランジの間に雨水が侵入し、ガーダ上フランジ部の腐食が進行することで、溶接部から疲労亀裂が発生している。亀裂発生状況を写真1に示す。写真1は旋回レールと敷板を取外した状態で浸透探傷検査を実施した時のものであり、中央部に貫通亀裂が確認できる。

図4は縦軸にポータルフレームに発生した亀裂の長さと同軸に旋回レール下ガーダフランジ部の腐食減肉量、横軸に設備

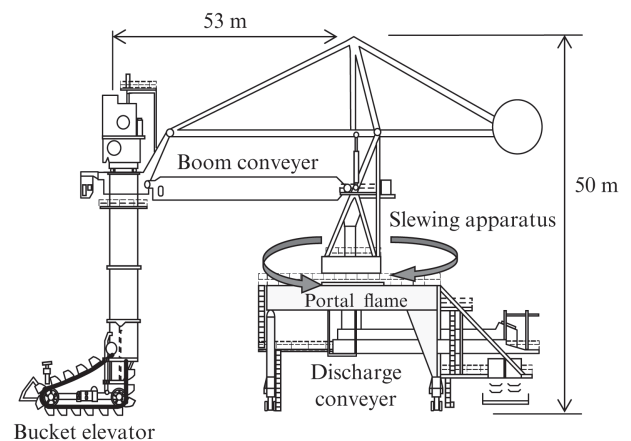


図1 連続アンローダ設備概要図

Fig. 1 Outline drawing of continuous ship unloader

2019年3月19日受付

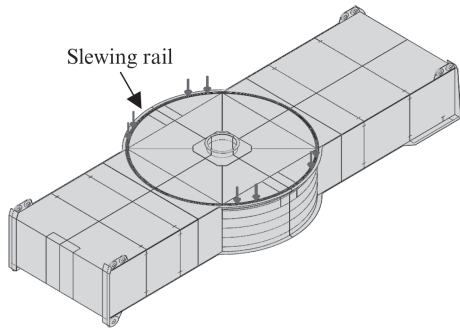


図2 ポータルフレーム全体構造図

Fig. 2 Structural drawing of the portal frame

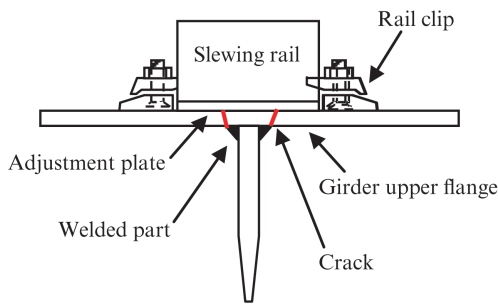


図3 旋回レール下構造図

Fig. 3 Structural drawing under the slewing rail

稼働年数を示したものである。腐食減肉の進行に伴い、設備稼働後10年目以降から亀裂が発生したため、それ以降亀裂補修を繰り返し実施してきた。亀裂補修方法は、旋回レールと敷板を取外し、亀裂発生部位をガウジングした後、溶接で補修する方法とした。しかし、図4に示すように亀裂発生周期が短くなり、かつ全周にわたり亀裂が発生していること、また、ガーダ上フランジ部の腐食減肉も進行していることから、設備倒壊防止及び安定操業確保のため、ポータルフレーム旋回レール下全周の更新が必要であると判断した。

2.3 更新方法検討

2.3.1 構造改善検討

ポータルフレーム旋回レール下亀裂発生部は図3に示した通り、雨水が容易に侵入する構造となっている。そのため、ガーダ上フランジ部の腐食減肉が進行し、稼働後短期間で亀裂が発生した。そこで、雨水侵入防止対策として、旋回レール下ガーダ上フランジ厚をアップさせ、かつ水勾配をつけることで、周囲からの雨水の侵入を防止し、強度アップも図れる構造を考案した。また、同時に、ウェブ厚をアップさせることによりレール下圧縮応力の低減を図り、効率的な現場施工性を併せ持つ構造を目指した。ポータルフレーム旋回レール下構造改善比較検討図を図5に示す。部分更新に当たり、上記検討に基づき図5のCase2案を採用した。

2.3.2 従来技術でのポータルフレーム部分更新方法

これまで、連続アンローダポータルフレームの更新実績



写真1 ガーダ上フランジ部の亀裂発生状況写真

Photo 1 Condition of crack initiation on the girder upper flange

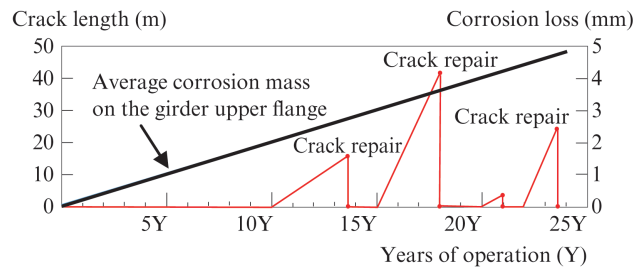


図4 亀裂発生状況図

Fig. 4 Condition of crack initiation

	M-1CUL (Existing)	Case1 (Plan)	Case2 (Plan)
Overview			
Corrosion measures	Drainage hole	Increasing flange thickness + Drainage slope	Increasing flange thickness + Drainage slope
Measures to reduce stress	-	Flange: 16→36 t	Flange: 16→36 t Web: 40→60 t
Maximum load (t/Wheel)	212	212	212
Compressive stress affected under the rail (MPa)	121	115	76

図5 構造改善比較検討図

Fig. 5 Comparison of design improvements

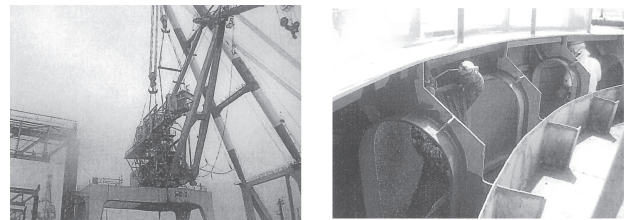


写真2 従来工法の一例写真

Photo 2 A case of conventional method

がないので、同類の小型水平引込式クレーンリングガーダ更新の手順を以下に簡潔に述べる。まず、リングガーダ上部の旋回体を大型重機にて下架する。次に、リングガーダ更新部を切断除去し、新作したリングガーダを上架接合する。最後に下架した旋回体を、更新したリングガーダ旋回レール上へ上架する。旋回体一式を600T起重機船にて下

架している状況と、リングガーダ切断手入れ後の状況を写真2に示す。従来の技術による施工方法は、上述したように荷重を除荷した状態で更新するのが一般的である。しかし、今回の更新対象の連続アンローダは国内最大級の設備である。その旋回体一式を下架及び上架するためには、国内に数基しか存在しない最大級の起重機船が必要であり、更新費が高額となる。また、別工法として地上より荷重を支える方法も考えられるが、岸壁の構造上基礎杭を海中に設置しなければならない。そのため、長期間の操業停止が必要であり、実現は難しい。

2.3.3 荷重状態下でのポータルフレーム更新方法

荷重負荷状態下でポータルフレームを部分更新するにあたり、FEM解析を実施して、ポータルフレームの補強方法と更新手順を検討した。FEM解析における境界条件を図6(a)に示す。境界条件は、ポータルフレーム中央部の応力が高くなる単純梁の条件を採用した。また、FEM解析の前

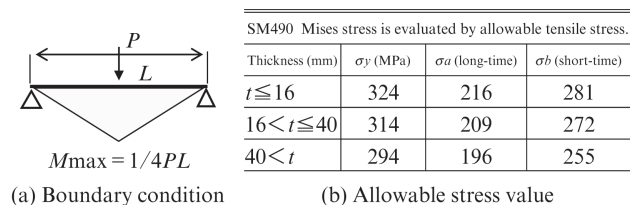


図6 FEM解析の条件

Fig. 6 FEM analysis condition

提条件として許容応力は図6(b)に示す短期の許容応力以下とした。事前補強実施後から、部分更新完了までのポータルフレーム部分更新手順を図7に示す。

図7の部分更新手順について以下に説明する。Iはポータルフレーム事前補強実施後の状態を示すFEM3Dコンター図である。ポータルフレーム内外部には剛性を高めるため、補強板等の取付けを行った。なお、図中の↓は荷重点を示す。IIは四隅部対角(2箇所)を部分更新する時の状態を示すFEM3Dコンター図である。Iの状態よりポータルフレーム上部旋回体の停止位置(荷重点)を、切開する位置から最も離れた位置に移動させることで、開口部周辺の発生応力を最小化することができる。残りの四隅部対角(2箇所)も同様の手順で荷重点を移動させ、更新を行う。その後も同様の手順で旋回体を回転させ、荷重点を切開する位置から最も離れた位置に移動させ、部分更新を順次繰返し行う。IIIはポータルフレーム東西中央部を切開した時の状態を示すFEM3Dコンター図であり、IVはポータルフレーム東西残り部(4箇所)を切開した時の状態、Vはポータルフレーム南北を切開した時の状態を示す。本手順に従い、旋回レール下ポータルフレーム全周を部分更新することで、開口部周辺の発生応力は図6(b)に示す短期の許容引張応力以下にすることができる。VIはポータルフレーム全周更新後の状態を示したFEM3Dコンター図である。Iの状態に比べ、前述した構造改善による強度アップ効果により、更新部位の発生応力が低下していることがわかる。

2.4 部分更新工事概要

ポータルフレームの部分更新工事は2017年9月初旬より開始し、当初計画(80日)に対し11日短い69日間で工事を完了することができた。これは3次元自動切断機の導入により、仕上げ切断時間及び手入れ時間が大幅に短縮できたこと、および屋外での切断及び溶接作業が主体となるため、防災シートで作業範囲の養生を行い作業能率の向上を図ったことなどによる。写真3に自動切断状況と防災シート内での作業状況を示す。

また、ポータルフレーム部分更新状況の一例として、西側中央部の粗切断開口状況と新規ポータルフレームの仮付け状況を写真4に示す。新規ポータルフレームは全周を16分割して、図7に示した取替手順に基づき更新した。工事

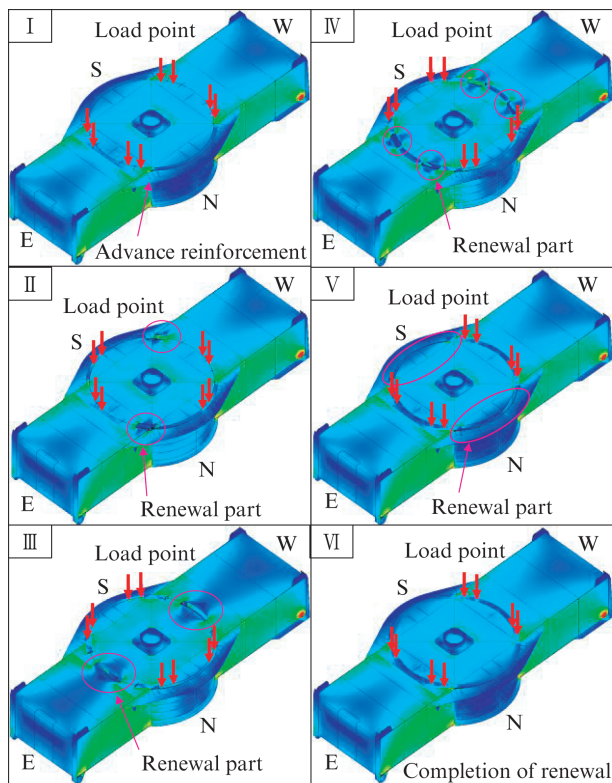


図7 ポータルフレーム部分更新手順図

Fig. 7 Procedure of partial renewal in portal frame

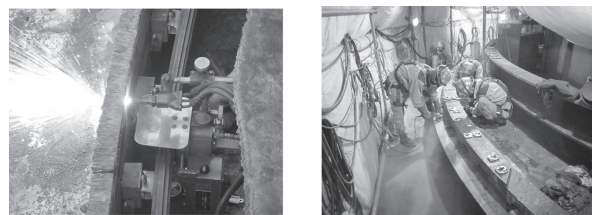


写真3 自動切断状況及び防災シート内での作業状況

Photo 3 Automatic cutting and working condition



写真4 ポータルフレーム部分更新状況
Photo 4 State of partial renewal in portal frame

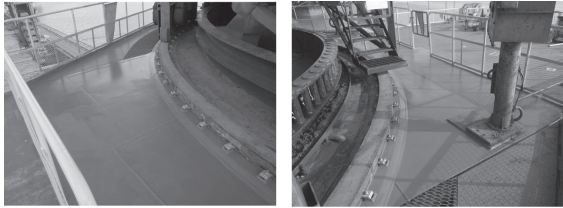


写真5 ポータルフレーム部分更新完了後
Photo 5 Completion of partial renewal in portal frame

完工後の状況を写真5に示す。

2.5 ポータルフレーム応力測定結果

2.5.1 工事中の応力測定結果

荷重負荷状態下においてポータルフレームを開口するにあたり、想定外の大変形防止を図るため、開口時の実変動応力を工事中連続して監視した。FEM解析結果と差異が生じた場合を考慮し補強方法の検討を行い、事前に補強部材を製作した。また、応力測定用の歪ゲージは、施工に影響が出ないように開口位置から距離をおいて取り付け、開口部の実変動応力をFEM解析により推定した。この推定変動応力が管理応力値を超えた場合、切断開口を停止し、開口部の補強を実施することとした。図8にポータルフレーム東西中央部を切断開口した時の歪ゲージ貼付位置とFEM解析結果を示す。図9はその前後の歪ゲージ貼付位置での実変動応力値のトレンドを示すものである。図9よりトレンドaの応力は、切断開始直後に上昇し、逆にトレンドb,cでは低下

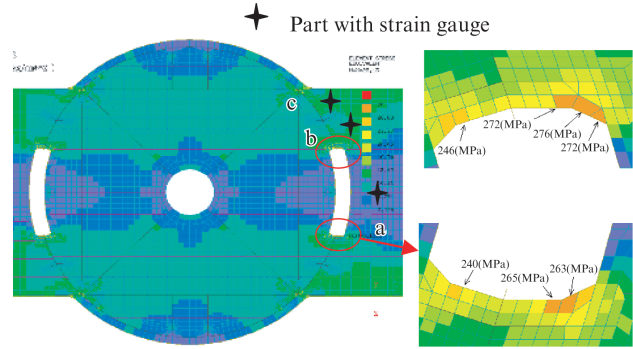


図8 歪ゲージ貼付位置とFEM解析結果の例
Fig. 8 Part with strain gauge and FEM analysis result

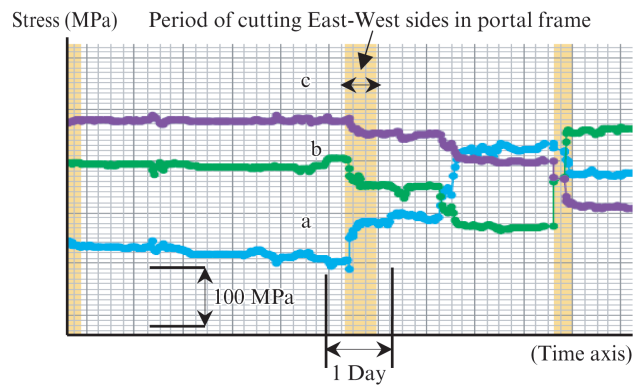


図9 工事中の応力測定データの一例
Fig. 9 Stress measurement data during construction

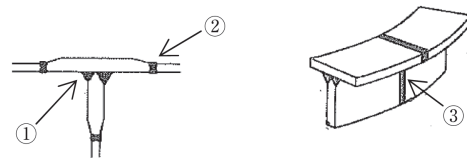


図10 応力評価部位
Fig. 10 Stress evaluation position

表1 疲労強度評価結果のまとめ
Table 1 Summary of fatigue strength evaluation result

Item/Evaluation part		① T-joint under the rail	② Butt welding of the existing parts and new element	③ Butt welding of new elements
Occurred stress (Calculated value)		78 Mpa	15	38
Occurred stress (Measured value)		70 Mpa	20	40
Fatigue strength	Type of joint	Complete penetration weld toe finishing	Non-finish single-sided back bead welding	Complete penetration weld toe finishing
	Basic fatigue strength	100 Mpa	100	125
	Fatigue limit	89 Mpa	89	115
Fatigue check result		Below the fatigue limit	Below the fatigue limit	Below the fatigue limit
Judgement		○	○	○

している。この変動応力値を管理することで、切断開口部周辺の最大変動応力値を管理することができる。また、同時に工事中のポータルフレームたわみ量の計測管理を行い、FEM 解析値との差異を確認しながら工事を推進した結果、大きな変形等の発生もなく、工事を完遂させることができた。

2.5.2 実負荷作業時の応力測定結果

ポータルフレーム部分更新完了後、原料荷役作業状態で変動応力測定を実施した。図 10 に応力評価部位を示す。応力評価部位は①旋回レール直下の T 字継手、②既存部材（ガーダ上フランジ部）との現地突合せ溶接部、③旋回レール直下の腹板（ウェブ）の新規部材同士の現地突合せ溶接部の 3 箇所 で評価した。表 1 に上記応力測定部位の計算値と実測値をまとめた。作業中の変動応力測定結果から、変動応力は疲労許容応力以下であり、疲労強度は問題ないことが確認できた。

2.6 工事結果のまとめ

FEM 解析と応力測定を行い、荷重負荷状態でポータルフレームの部分更新工事を問題なく完工することができた。特に FEM 解析では開口寸法、開口形状及び補強方法を決定するまで試行錯誤の連続であったが、変動応力測定結果と大きな差異はなかったことから、今後の解析技術向上にも繋がるものと考えられる。また、従来工法にとらわれない荷重負荷状態で部分更新工法を採用することで更新費を 3 億円程度削減でき、かつ作業影響を最小限に抑えることができた。

3. 製品出荷用橋形クレーンガーダ部分更新

3.1 設備概要

更新方法、更新手順等は、前項で紹介した連続アンローダと同様であるため、本事例については、実施例を主体に述べる。当該クレーンの設備概要図を図 11 に示す。本クレーンはパイプ、コイル及びスラブの製品出荷を行う定額荷重 50 Ton の橋形ロープトローリー式クレーンである。全長は 77 m あり、走行レールの長さは 70 m である。

3.2 設備劣化状況と更新範囲の決定

設備稼働後 42 年が経過し、ガーダトップフランジが横行レールとトップフランジ間で叩かれ、磨耗が進行し、トップフランジは部分的に磨耗管理限界値を超えていた。また、磨耗減肉による強度低下でガーダトップフランジが倒れ、変形が進行し、ガーダ内部の溶接部にも亀裂が発生していた。上記に加え、横行レール下トップフランジの磨耗による間隙でレールが動き、荷振れが発生しており、この影響で船積み、荷揚げの運転作業能率が低下していた。以上の状況から、ガーダトップフランジの早期更新が必要であると判断した。図 12 にガーダトップフランジの磨耗量を示す。作業積込み

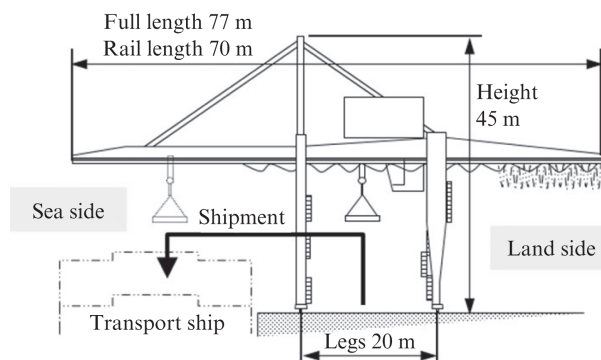


図 11 設備概要図

Fig. 11 Outline drawing of bridge crane for product shipment

[View from the top of the main girder]

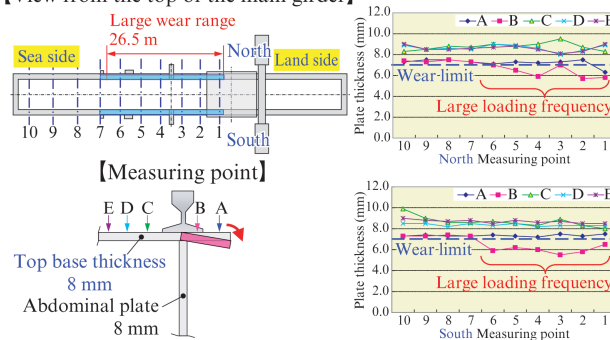


図 12 ガーダ厚み測定結果

Fig. 12 Result of thickness measurement in the main girder

で頻繁に横行する範囲のガーダトップフランジレール下の磨耗量が、南北とも顕著であることがわかる。図 12 に示す磨耗測定結果及びトップフランジ変形・亀裂発生状況から判断して、南北ガーダとも 26.5 m の範囲を更新することとした。

3.3 構造改善検討

本クレーンのガーダトップフランジの主な劣化要因は摩耗であることから、横行レール下ガーダトップフランジの板厚を厚くし、かつ亀裂発生防止、工期短縮のため CT 鋼を採用することとした。図 13 に構造改善方法を示す。

3.4 部分更新工事概要

ガーダ切断時の変形・倒壊防止対策として、FEM 解析結果に基づき事前にガーダの補強を実施した。ガーダ補強概要図を図 14 に示す。主要部材を約 4 割切断するため、切断方向と平行に、溝形鋼で南北共全長に渡り補強した。また、レール間距離の変形防止を図るため、南北両ガーダを H 形鋼で補強した。一方、工事期間短縮を目的として、切断能率向上、切断後の手入れ簡素化が可能となる丸鋸による切断を採用することにした。写真 6 (a) に丸鋸によるガーダ切断状況を示す。ガス切断に比べ綺麗な形状であり、CT 鋼

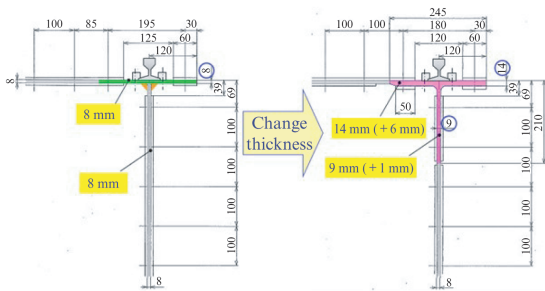


図 13 ガーダ構造改善検討

Fig. 13 Design improvement method in the main girder

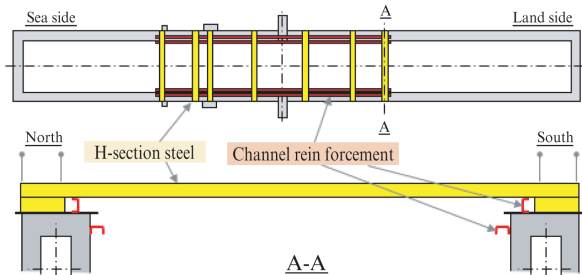
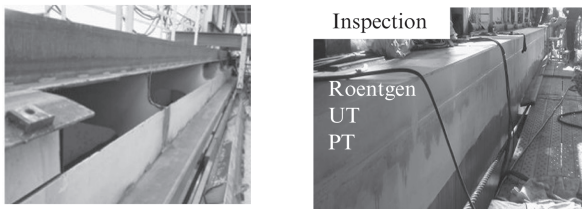


図 14 ガーダ補強概要図

Fig. 14 Outline drawing of reinforcement in the main girder



(a) Cutting in the main girder

(b) Completion of partial renewal in the main girder

写真 6 ガーダの状況

Photo 6 Condition of main girder

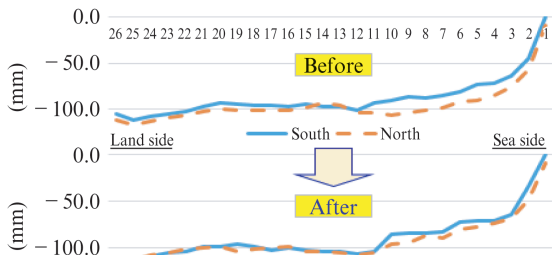


図 15 ガーダキャンバー測定比較

Fig. 15 Before-after camber measurement of girder

との合わせ・仮付も簡素化された。写真 6 (b) に溶接検査及び部分更新工事完了後の状況を示す。

3.5 工事結果のまとめ

更新部分のガーダを事前に FEM 解析結果に基づき補強することで、荷重状態で最小範囲の部分更新を問題なく完工することができた。図 15 にガーダキャンバー工事前後の測定結果を示す。測定結果から、荷重状態下の部分更新工事においても、ガーダキャンバー量の変化はなく、かつレール平行度も図寸通りに修復することができた。また、当初の工事工程（81 日）に対し丸鋸採用、専用足場等の工夫により工期を 21 日短縮した。従来工法のガーダー式更新に対し、3.5 億円程度更新費を削減できた。

4. おわりに

本稿では、大規模劣化更新工事に関し、従来工法にとられない、荷重負荷状態下において部分的に劣化部位のみを更新する手法および工法について報告した。工事規模を最小限に抑えたことで更新費を削減することができ、かつ工期も短縮することができた。今後も製鉄所内においては、同様の大型鋼構造物の劣化更新工事が発生する。従来技術、従来工法にとられない斬新な発想と最先端技術を活用することで、更なる効率的な劣化更新工事を追求していく。

謝辞

荷重状態下での更新方法の検討、FEM 解析、応力測定及び設計・施工をしていただいた IHI 運搬機械（株）関係者各位および日立プラントメカニクス（株）関係者各位に厚く御礼申し上げます。



川口 敦史



渡邊 豪伸