東日本大震災における港湾設備の被災状況と復旧

Disaster Situation and Restoration of the Port Facilities in the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami

伊勢典央* 沢田 昇 古川正典 Norio ISE Noboru SAWADA Masanori FURUKAWA

抄 録

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災において,新日鐵住金(株)の釜石製鉄所および鹿島製鉄所 での被災状況,被災の原因究明,復旧方針,および実際の復旧工事の概要について述べた。釜石および 鹿島ともに被災の主原因は地震そのものではなく,津波によるものであった。本復旧においては,地震発 生直後から社内外関係者の協力を得ることにより,初動が早かったこともあり,周辺地域と比べても非常 に早期に復旧を完了した。

Abstract

This paper reports the damage to facilities, cause of damage, restoration plan and outline of restoration at Kamaishi Works and Kashima Works in the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami. The main cause of damage for both mills was not from the earthquake itself, but from the tsunami. The mills were restored in a much shorter period than surrounding affected regions, since all participators worked even immediately after the earthquake.

1. はじめに

東日本大震災において,新日鐵住金(株)では主に釜石製 鉄所と鹿島製鉄所が港湾設備を中心に被災した。本文では その被災と復旧の状況について述べる。

2. 釜石製鉄所の被災と復旧

2.1 被災と復旧状況概要

東日本大震災は岩手県沿岸地域に甚大な被害をもたらした。新日鐵住金釜石製鉄所においても地震発生直後の大津 波により港湾設備を中心に大きな被害を受けたが,関係者 の懸命な努力によって震災から14か月後の2016年5月に 改修工事を終え完全復旧を果たした。

ここでは港湾設備の被害状況を整理するとともに,早期 復旧のための基本的な考え方,復旧構造仕様や施工方法に ついて紹介する。写真1に釜石港と釜石製鉄所専用岸壁を 示す。

2.2 港湾設備の被災状況

釜石製鉄所の専用岸壁は釜石港須賀地区に位置し, 南桟 橋, 北桟橋(全天候バース)および中央バースからなる。



写真1 釜石港配置図 (東北地方整備局釜石港湾事務所提供写真) Layout of Kamaishi Port (provided by Kamaishi Port Office)

この東日本大震災により、図1に示すように港湾設備のほ とんどで大きな被害を受けた。南桟橋の二重鋼矢板構造部 は陥没、桟橋上のコンベアは倒壊し、ビレット荷役専用の 5号クレーンも半壊した。中央バースは倒壊し、全天候バー スは半壊した。



図1 釜石製鉄所港湾設備の被災状況 Damage situation of Kamaishi Works Port facilities



Section view of South Pier

2.2.1 被災状況の詳細

南桟橋は原料・製品荷役の拠点で,主要工場である線材 工場のビレット,線材製品の荷役と電力工場(IPP)用の石 炭の揚陸をしている。桟橋は歴史ある全長 511mの構造物 で,基部から 200mは 1936 年に築造された図2に示す二 重鋼矢板構造で,鋼矢板は YSP-V型,コーピングを兼ね たクレーン基礎には松杭が使用されている。二重鋼矢板構 造から沖側は鋼管杭桟橋構造で 1969 年に 138m, 1979 年 に 150m 延長されている。水深は二重鋼矢板構造部で 9.5m, 鋼管杭桟橋部で 14m であり,ケープサイズの石炭船を受 け入れることができる。

震災直後に二重鋼矢板部の先端付近, すなわち基部より 150m~200mで写真2に示すような深さ1.0mを超える陥 没が複数個所見られたことから, 早急にソナー探査とダイ バーによる水中調査を実施して鋼矢板の変形・損傷状況を 調査した。その結果, 法線外側方向に3mを超えるはらみ 出しが見られ, 水中写真からは写真3に示すように2段目 タイロッドの腹起し固定ボルトの抜けが確認された。ただ し, 二重鋼矢板構造より沖側の鋼管杭桟橋構造部について は大きな被害は無かった。

中央バースは 1960 年のチリ地震後に復旧されたタイロッド控式鋼矢板構造で, 鋼矢板は FSP-III 型 (16.3 m 長)であった。写真4に示すように鋼矢板の嵌合がはずれ, 一部が大



写真2 南桟橋エプロン部の陥没状況 Sunk apron of South Pier



写真3 2段目タイロッド付近鋼矢板状況 Damage to second tie-rod



写真4 倒壊した中央バース Destroyed Center Berth



写真5 半壊した全天候バース Partially destroyed All-weather Berth

きく海側へ倒壊した。

全天候バースは線材製品の国内出荷に対応する,スパン 長 35m の鉄骨構造である。写真5に示すように海側からの 大きな水平力により建家の一部が大変形した。

2.2.2 被災原因の推定

釜石港では震災時の映像がいくつか残されており,特に 釜石港合同庁舎屋上からの映像(海上保安庁提供)による と,南桟橋で荷役作業中のアジアンシンフォニー号(5000 DWT)が津波で逸走し,全天候バースに数回衝突する様 子が鮮明に映されており,全天候バースの損傷はこの船の 衝突が原因と推測する。

また,同じ映像で激しい"引き波"の様子が映っている。 その規模は周辺護岸の海底面(-6~-8m)が確認できる 程である。よって中央バースの鋼矢板倒壊および南残橋の 二重鋼矢板の崩壊の一つの要因はこの"引き波"ではない かと考える。すなわち,"押し波"によるエプロンの崩壊と 背後地の水位の上昇および"引き波"による鋼矢板前面の 急激な海水位の低下,さらにその状況下で鋼矢板頭部に "引き波"の圧力が加わったことで一気に倒壊に至ったの ではないかと推定する。

2.3 復旧方針と構造仕様

復旧の大きな方針として釜石製鉄所の主力である"線材 工場"の早期生産開始と、電力需要が増加する夏場前の"電 力工場(IPP)"稼働再開を目標に進めることとし、IPPにお ける発電の主原料である石炭を荷役するための南桟橋の復 旧を最優先とした。

2.3.1 南桟橋復旧

荷役の主力設備である南桟橋については,早期再開を実 現し,かつ安価で確実な桟橋復旧方法および構造仕様を見 出すことが最重要課題であった。そのため,海中ソナーに より桟橋の詳細損傷状況を把握した後,短期間で基本計画 と仕様比較を実施し,課題解決を図った。

1)損傷部の最小撤去範囲の設定

損傷の著しい二重鋼矢板部は,機能上,構造上の観点から撤去せざるを得ないと判断した。桟橋基部から125mは 探査結果から充分に健全であることを確認し,撤去範囲は 125m~200m間の75mとした。図3に海中ソナー探査結 果を示す。125m地点には新たに鋼矢板を打設し,境界面 の補強を目的として高圧噴射撹拌工法による地盤改良を施 した。



図3 南桟橋二重鋼矢板変形(海中ソナー探査結果) Findings of underwater sonar at South Pier

2) 2段階での桟橋の復旧計画

復旧する桟橋の構造は,短工期化を図るために鋼管杭式 桟橋とした。ただし,桟橋上の石炭搬送用パイプコンベア について早期の復旧要請があり,その対応策として,第一 段階で仮設桟橋(H杭+覆工板)を築造することにより, パイプコンベアの据付け,稼働を優先させた。第二段階に てコンベアを稼働させながら,損傷部の撤去と本復旧とな る鋼管杭式桟橋を築造する方案とした。

3)パイプコンベア近接での確実な鋼管杭施工の選定

復旧する桟橋の範囲は、3バース側(5号クレーン側) の幅員15mのみとし,建設費の削減を図った。鋼管杭(1100 mm径,39.5m長,45本)はコンベア仮設桟橋との干渉を 避けて配置し,打込みは近接施工条件で確実に支持層に貫 入できる"バイブロハンマー(180kW)+油圧フライングハ ンマー(IHC S-90)による最終打撃"工法とした。図4に鋼 管杭桟橋の断面図,写真6に杭打ちの近接施工状況,写真 7に仮桟橋でのパイプコンベア復旧と杭打設状況を示す。



図4 南桟橋復旧鋼管杭桟橋断面図 Repair section view of South Pier



写真6 フライングハンマーによる近接施工 Piling by flying hammer method



写真7 パイプコンベア復旧と杭打設状況 Repair situation of South Pier



写真8 鋼製函体による仮締切り工法を用いた杭頭処理 Pile head treatment by dry method using the steel box

4) 鋼製函体を用いた確実な杭頭部の品質確保

釜石港では全体の地盤が数十 cm 沈下しており, 鋼管杭 の杭頭位置は海中となり, 杭頭処理の品質低下が懸念され た。そこで, 鋼製函体による仮締切り工法を採用し, ドラ イ空間を構築して溶接の品質を確保した。写真8に状況を 示す。

2.3.2 全天候バース建家・基礎復旧

全天候バースは線材製品の国内出荷を担っており, 南桟 橋と同様に早期の復旧が望まれた。

1) 建家の詳細調査と流用範囲

建家長 60m のうち海側の通り 45m の範囲は,船の衝突 による衝撃と基礎の損壊水没により,屋根面ごと海面に引 き込まれている状態であった。復旧については,衝突を免 れた残存部の健全性を評価し,構造上の保持が可能な範囲 で既存を流用する方針とした。

海側 15m と陸側 60m については, 基礎, クレーンガー ダー面のレベルの不陸や柱間のスパン, 通りのずれや傾斜 が小さく, 部材のねじれや曲がりによる変形がないことを 確認し流用可能と判断した。最終的な撤去範囲は図5に示 す 45m の範囲の海側の通りと屋根面とした。

2) 建家基礎の損傷状況調査と復旧計画

ドルフィン形式の海側の建家基礎3基については海中部 の杭が大きく変形し、フーチングは水没している状況であっ た。海側の建家基礎は800mm径の斜杭式の鋼管杭で支持



図5 建家流用および撤去・復旧方針 Repair plan of all-weather berth building



図6 全天候バース海側基礎復旧概要 Repair plan of All-weather Berth foundation

されており、変形の状況から杭の引抜きは困難であったた め、既設杭は海底面で切断し、その内側に図6に示すよう な鋼管杭を直杭で配置する方針とした。杭径については基 礎の水平剛性が既設と同等となるように1000mm 径とし、 これにより建家については既設と同一の構造・部材仕様で 復旧が可能となった。また、建家基礎のフーチング施工に 関しては、工期短縮のためにプレファブ化を図った。 3)建家被災部の撤去と復旧部の建方方案

建家については、屋根面ごと海面に引き込まれており、 張力が作用した不安定な状態であったため、倒壊を防ぎな がら流用部に影響を与えない撤去方法が求められた。その ため、写真9に示すように変形部材の切断前に建家内に仮 構台を設け屋根面下部を仮受けにより支持し、ワイヤー張 りによる建家の固定と損傷部材の接合や補強により構造保 持を図り、張力解放に起因する部材の跳ね上がりによる流 用部の損傷を防止した。解体は荷重負荷を軽減するため屋 根面から行い、陸上からレッカーで部材を吊った状態でゴ ンドラより人力溶断し搬出した。

復旧建家の鉄骨建方は、陸上より流用部を棟越して通常 の建方ピースにて作業半径が確保できる400tのクローラー クレーンを使用して行った。一次部材の建方は1ピースご とに行い、流用部との通りやレベル測量を実施することで



写真9 仮構台設置状況 Temporary structure for repairing building

建方精度を確保し復旧を完了した。

3. 鹿島製鉄所の被災と復旧

3.1 鹿島製鉄所における震災概要

東日本大震災の地震は、鹿島製鉄所の所在する鹿嶋市中 心部において地表面加速度で658galを記録、鹿島製鉄所 構内においてもプラント並びにインフラストラクチャで基 大な被害が発生した。土木建築設備への影響としては、一 部大深度基礎構造物周辺で地盤液状化現象による大きな 被害が発生したが、工場建屋等建築物は倒壊等なく被害と しては比較的軽微であった。一方、製品出荷エリアにおい ては、浸水高約80cmの津波被害を受けており、全長約4.1 kmの入出荷にかかる岸壁構造物についても鋼管矢板の倒 れ変形等が発生した。

3.2 岸壁構造物の被災状況並びに復旧方針

3.2.1 岸壁構造物の被災状況

鹿島製鉄所構内のレイアウトを図7に、岸壁構造物概要 並びに震災後の当該被害状況等をまとめて表1に示す。こ の震災の特徴の一つとしては、地震力による被害のみでな く、津波影響と共に、釜石の被害と同様に船舶が漂流しク レーンを含む岸壁構造物と接触、被害を拡大させたことが 挙げられる。図8は、製鉄所構内の海水取水設備における 潮位記録を示したものであり、引き潮の規模としてはDL -6m 近くにまで達していることが分かる。また、津波影響 による船舶漂流の様子は、写真並びに伝聞等でもその実態



図 7 鹿島製鉄所レイアウト Layout of Kashima Works



が確認されている。写真 10 は輸出向け製品出荷バースに おける船舶との接触により出荷クレーンが倒壊した状況で あり,写真 11 は,船首部分が岸壁前面の鋼矢板へ衝突し 破損している状況を示した。

これら被害の内,大深度水深である原料バース並びに輸 出向け製品出荷バースにかかわる被害が比較的軽微であっ た理由としては,鹿島港が掘込み式港湾であり,かつ,背 面地が砂礫地盤であったこと,背面土砂の流出防止対策と して過去地盤改良対策を実施したこと,等により液状化現 象による大規模変形が生じなかったことによるものと考え る(表1参照)。

これと比較して、国内向け製品出荷バースは、一部で背

Items	Length of the berth line	Depth of water line	Typical damages in relation to the earthquake and the tsunami
Pier for raw materials	1 824 m	$-14 \mathrm{m}19 \mathrm{m}$	Breaks of the steel pipe sheet pile joint
			• Reduces of the depth of water by covering sand due to the tsunami
Pier for shipping products			Damages of the steel pipe sheet piles
(for exports)	1100 m	-12 m	(due to the collision with the carrying vessel)
			Breaks of the steel pipe sheet pile joint
Pier for shipping products	1 170 m	-7.5 m	Inclination of berth line
(for domestics)			• Breaks of the steel pipe sheet pile joint

表1 震災による岸壁構造物被災状況 Damage situation of pier structures

面土砂の液状化および側方流動による鋼管矢板の岸壁法線 からの倒れ変形が発生している(写真12参照)。これは, 当該地の土質性状が比較的緩い砂質地盤であったことに加 え,津波による引き潮で岸壁前面洗掘と岸壁背面からの残 留水圧増大の影響が大きいものと考えられる。

3.2.2 復旧方針

岸壁構造物復旧にあたっては,製造ライン復旧計画に合 致した対応が重要であるが,陸海送含め輸送にかかる自由 度を高めるためには極力前倒しでの復旧計画を立案すべき である。

当該主旨を鑑み,当時の岸壁復旧方針を,操船操業復旧 にかかる関係部門と綿密に協議した結果,震災による損傷



写真 10 製品出荷クレーン倒壊状況 Damage to shipping crane



写真 11 船舶との衝突による岸壁構造損傷の一事例 Damage to shore protection facilities due to collision with a vessel by the tsunami



写真 12 岸壁法線の倒れ変形状況 Displacement of the berth line (berth 2)

がない代替のバースがある原料バース並びに輸出向け製品 出荷バースは2011年内での完全復旧を,また,国内向け 製品出荷バースは,陸上輸送での振替措置をとっているも のの海上輸送用の代替バースが構内になく,かつ,現代重 工業(株)とのRORO船就航岸壁も兼用していたことから, 船舶着岸に際して必要な強度部材復旧を2011年8月中旬 まで,一部土間舗装等出荷影響のない付帯構造物復旧は9 月末までとの目標を立てた。

本稿は,これら復旧対象岸壁の内,コーピング部の岸壁 法線からの倒れ変形が発生した国内向け製品出荷バースに かかる復旧実績について報告する。

3.3 復旧構造検討並びに施工計画と実績3.3.1 復旧構造検討

国内向け製品出荷バースの配置は、図9に示すように、 北航路から湾内へ入り込む形式である。港湾計画における 設計水深はDL-7.5m,岸壁構造としては、タイロッド控え 版式構造等であり、対象船舶条件 4000 DWT で設計されて いる。当該バースにおける被害規模としては、法線延長距 離合計約 65m の範囲でコーピング部の倒れ変形が発生、 倒れ量としては最大で 90 cm であった(図9,写真 12 参照)。 倒れ変形の原因としては、タイロッド破断または控え版の 滑動等控え工損傷の可能性も考えられたため、掘削調査を 実施したが、タイロッド破断等大きな損傷はなかった。

次に,復旧にかかる対策であるが,基本案として,岸壁 法線前面を補強する案並びに岸壁背面を補強する案の二つ が考えられた。しかしながら,前者の場合は岸壁法線の変 更に伴う船舶操船制約が発生し,かつ,補強対象範囲が船 舶着岸部全長にわたるため,コスト面並びに復旧方針で示 された工期での完工が困難であると判断し,後者案を採用 することになった。

岸壁背面補強に関しては、図10に示すような新設補強



図9 国内向け製品出荷バースにおける変形発生状況 Damages of Pier for Shipping Products (for domestics)



図 10 棚式構造による岸壁復旧案 Basic idea of restoration for pier structure



図 11 岸壁補強構造概要 Image of restoration plan (reinforcement frame)



図 12 岸壁補強図(確定仕様) Final details of restoration plan

フレームとの一体化による対策をベースに,同上復旧方針 を満足し,かつ,安価な工法を採用する必要があった。検 討を進めた結果,補強フレームを構成する鋼管杭および既 設岸壁構造物との一体化を図る鉄筋コンクリート躯体の各 数量を最小にすることができる図11の案を採用することと した。図12は,実施設計断面の一例を示したものである。 当該案は,主働土圧および船舶の牽引力に対して,控え工 の代替えとして斜杭の引抜力で抵抗する構造であり,仮に 今後控え工が損傷等により機能しなかった場合においても 必要強度を担保できるように斜杭の必要根入れ長を設定し ている。また,斜杭は,既存タイロッド間に納まるように 配置した。

3.3.2 施工計画と実績

当該復旧工事にあたっての大きな課題は, 鋼管杭調達並 びに鋼管杭打設工程が工期上でのクリティカル要件であ り,これら短納期での解決が復旧方針で示された工期を厳 守するための前提条件となっていた。調達が必要な鋼管杭 スペックとしては,最大で1000mm径×40.5m長,数量と しては杭総本数35本,総重量313tである。また,当該補 強計画においては,陸側に向かって鋼管杭を傾斜して打設 することになるため,海上より打設が可能な杭打船の手配 が必要であった。

まず,鋼管杭調達に関する解決策としては,中央航路を 挟んで鹿島製鉄所の対岸に工場が立地するグループ会社で もある住金大径鋼管(株)(現:日鉄住金大径鋼管(株))へ依 頼することがデリバリー面からも効率的かつ有利であると 判断し協議を進めた結果,最速5月下旬での鋼管杭納入が 可能となった。

次に,杭打船手配については,構内岸壁復旧担当施工者 へ全国にわたる配船手配調整を依頼,種々工程調整した結 果,6月10日より25日迄の16日間で鋼管杭全数を打設で きるように各種準備を進めることで確定した。鋼管杭打設 より補強フレーム完成までの施工状況を写真13~15に示 す。一部鋼管矢板継手部において発生した破損箇所につい ては,鋼管矢板前面部への鋼板補強とあわせて背面部分へ 高圧噴射撹拌工法による地盤改良を実施している。



写真 13 斜杭打設状況 Piling works



写真 14 鉄筋組立状況 Reinforcement bar works



写真 15 施工完了状况 Completion of restoration works

4. おわりに

本報文では東日本大震災で被災した釜石製鉄所および 鹿島製鉄所の港湾設備について,被災状況と早期の操業再 開に向けた取組みについて述べた。

釜石製鉄所では,全天候バースについては震災1年後の 2012年3月11日に復旧し,南桟橋については2011年9月 1日にパイプコンベアを稼働させた上で2012年5月10日 に全面復旧を果たした。写真16に全天候バースの復旧状 況,写真17に南桟橋の復旧状況を示す。

鹿島製鉄所では,前述の効率的な施工計画等により,工 事完了エリアは順次操業部門へ引き渡され,結果,当初の



写真 16 復旧した全天候バース Completion of All-weather Berth restoration works



写真 17 復旧した南桟橋 Completion of South Pier restoration works

方針であった国内向け製品出荷バースは9月30日,その 他バースについても年内完工し,当初目標を達成すること ができた。

謝 辞

釜石および鹿島ともに,これほどの規模を同時並行で立 ち上げることは極めてまれなケースであり,携わっていた だいた多くの関係者に深く感謝を申し上げたい。特に余震 が続き,宿泊もままならない時期から港湾土木工事の調査, 計画,施工を担当いただいた五洋建設(株),(株)大林組, 太平工業(株)(現:日鉄住金テックスエンジ(株)),および (株)日建設計シビルの方々には改めて厚く御礼申し上げま す。



伊勢典央 Norio ISE 設備・保全技術センター 土木建築技術部 土木技術室 主幹 千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



沢田 昇 Noboru SAWADA 釜石製鉄所 製造部 設備室 主幹



古川正典 Masanori FURUKAWA 大分製鉄所 設備部 土建水室長