

耐食性厚鋼板用専用溶接材料の開発

Development of Exclusive Welding Consumables for Corrosion-resistant Steel Plates

| | | |
|-------------------|------------------|------------------|
| 橋 場 裕 治* | 伊 藤 実 | 鹿 島 和 幸 |
| Yuji HASHIBA | Minoru ITO | Kazuyuki KASHIMA |
| 菅 江 清 信 | 千 葉 竜 太 朗 | 笹 木 聖 人 |
| Kiyonobu SUGAE | Ryutaro CHIBA | Kiyohito SASAKI |
| 坂 林 直 樹 | 戸 塚 康 仁 | 齋 藤 佑 介 |
| Naoki SAKABAYASHI | Yasuhito TOTSUKA | Yusuke SAITO |

抄 録

新開発厚鋼板の上市には、その厚鋼板の新たな機能に適う溶接材料の開発と提供が必要である。近年の耐食性厚鋼板の開発と連携した専用溶接材料の開発成果を紹介した。一つ目に、原油タンカー用高耐食性厚鋼板 (NSGP[®]-1&2) 専用溶接材料について、二つ目に、塗装欠陥部において耐腐食性を発揮する塗装周期延長鋼 (CORSPACE[®]) 専用溶接材料について事例を示した。いずれの溶接材料も既存の普通鋼用溶接材料と同等の溶接性および溶接作業性が得られることを確認した。

Abstract

It is also necessary to have developed and deliver welding consumables suitable for a new feature of developed base metal when the steel plates are launched. Development achievements of exclusive welding consumables are introduced in connection with recently developed corrosion-resistant steel plates. The first one is welding consumables for exclusive use of high corrosion-resistant steel for crude oil tankers (NSGPTM-1 & 2). The second one is welding consumables for exclusive use of coating cycle extension steel (CORSPACETM) which has superior atmospheric corrosion resistance under defects of paint film. It was confirmed that the weldability and welding performance of the welding consumables as mentioned above were equal to those of an existing popular welding consumable.

1. 緒 言

船舶をはじめ、高層建築あるいは鋼橋等の大型鋼構造の多くは厚鋼板(母材)を素材とし、溶接材料とともに溶接することで構築されている。厚鋼板が有する機能を構造物全体にわたり適切に反映させるためには、自ずと溶接部が母材に準じた機能を具備することが期待される。例えば、構造物全体の力学的な挙動は、溶接部の機械的性質に大きく依存すること、あるいは、使用環境での溶接金属の耐食性が、母材のそれに比較して著しく劣れば、構造物全体の寿命にも大きな影響を及ぼすであろうことなどが挙げられる。したがって、新しい機能を備えた厚鋼板を開発、提供するには、溶接継手としても同等の機能が発揮できるように配慮した専用溶接材料の開発が必要となる。特に耐食性のよう、化学組成に特別な配慮を必要とする耐食性厚

鋼板には、溶接金属が母材と同等の耐食性を具備するような化学組成設計が必須である。例として、これまでに開発された耐食性厚鋼板とこれらに対応する専用溶接材料について、主な製品群を表1に示す。

新日鐵住金(株)では、提供する厚鋼板の特長を最大限に生かすべく、母材特性に最も適した溶接材料、溶接技術について研究、開発を行っている。さらに、グループ会社である日鐵住金溶接工業(株)と深い協力関係のもとで新開発溶接材料の商品化をすすめ、厚鋼板需要家への迅速な提供を可能としている。

本報告では、画期的な耐食性厚鋼板である、原油タンカー用高耐食性厚鋼板 (NSGP[®]-1&2) および塗装周期延長鋼 (CORSPACE[®]) を事例として、これら耐食性厚鋼板に適した専用溶接材料の開発成果を紹介する。

* 鉄鋼研究所 接合研究部 主幹研究員 千葉県富津市新富 20-1 〒 293-8511

表 1 耐食性厚鋼板と専用溶接材料の例
Example of welding consumables used exclusively for corrosion-resistant steel plates

| Type of corrosion-resistant steels | Developed steel plates | Developed welding consumables: product names |
|---|--|---|
| High corrosion-resistant steel for crude oil tankers | NSGPT TM -1, NSGPT TM -2 | FCAW: NSSW SF-1-GP, NSSW SM-1F-GP SAW: NSSW NSH-50M × NSSW NSH-1RM × NSSW Y-DL (3 electrodes) |
| Coating cycle extension steel | CORSPACE TM | SMAW: NSSW L-55-PX, NSSW L-60-PX FCAW: NSSW SF-1-PX, NSSW SM-1F-PX FCAW: NSSW SF-60-PX, NSSW SM-60F-PX GMAW: NSSW YM-26-PX, NSSW YM-55C-PX, NSSW YM-60C-PX SAW: NSSW YF-15 × NSSW Y-D-PX, NSSW YF-800 × NSSW Y-D-PX SAW: NSSW YF-15B × NSSW Y-DM3-PX, NSSW NF-820 × NSSW Y-D-PX SAW: NSSW YF-15B × NSSW Y-DM-PX, NSSW NF-820 × NSSW Y-DM-PX |
| Sulfuric-acid/hydrochloric-acid dew-point resistant steel | S-TEN TM 1 | SMAW: NSSW ST-16M FCAW: NSSW SF-1ST SAW: NSSW Y-1ST × NSSW NB-1ST |
| | S-TEN TM 2 | SMAW: NSSW ST-16Cr FCAW: NSSW FC-23ST GMAW: NSSW FGC-55 |
| Nickel-based high weather-resistant steel | NAW-TEN TM 15 | SMAW: NSSW CT-50N, NSSW CT-60N GMAW: NSSW YM-3N FCAW: NSSW SF-50WN, NSSW SF-60WN SAW: NSSW NF-320M × NSSW Y-3NI |
| Seawater corrosion resistant (undersea) steel | MARILOY TM | SMAW: NSSW RS-55 GMAW: NSSW YM-55RSA FCAW: NSSW SF-55RS |

2. 原油タンカー用高耐食性厚鋼板 (NSGP-1, NSGP-2) 用専用溶接材料の開発

2.1 NSGP-1 および NSGP-2 の概要¹⁻³⁾

原油タンカー用高耐食性厚鋼板 (NSGP-1&2) は、タンカーの油槽特有の腐食環境において著しい耐食性を示す画期的な厚鋼板である。

油槽内部の腐食発生形態は、油槽の底部と天井部で異なる。底部は穴状の腐食 (以下、ピット)、天井部では全面腐食が生じる。底部に生じるピットは深く、タンク 1 区画あたり数百個も発生するケースがあることから、既存の普通鋼で建造された油槽では、定期検査やピットの補修等、多大なメンテナンスコストを必要とする。

油槽底部にピットが発生する機構は、原油に混入する塩水に起因するものであり、腐食の進行に伴う pH の低下がさらに累進的なピットの成長をもたらす。また、天井部での腐食は、主に原油由来の H₂S 雰囲気に加え、船体の昼夜温度変化を受けた天井部表面での乾湿繰り返し環境が重畳することで進行する。

このような腐食機構の解明に基づき、耐食性の発現に有効な化学組成の探索と鋼材製造条件の適正化を行うことで原油タンカー油槽底板用として NSGP-1 を、天井用として NSGP-2 をそれぞれ開発した。開発鋼 (NSGP-1) と従来鋼の耐腐食性能の比較を図 1 に示す (腐食条件: 10%NaCl-HCl 溶液 (pH0.85), 温度 30°C, 72h 浸漬)。

このような優れた耐食性能の実績が認められ、2013 年に

発効された原油タンカーの原油タンク防食基準において、船舶分野では初めて塗装と代替可能な腐食対策 (耐食鋼適用) として定められた。これにより油槽内部の塗装が省略可能となり、油槽の安全性向上だけでなく、建造時塗装コストの削減および塗料からの有機揮発物質 (VOC) 排出量削減、竣工後のメンテナンスコストの低減にも貢献している。

2.2 NSGP-1 および NSGP-2 専用溶接材料の開発

NSGP-1 および NSGP-2 の化学組成に基づいて専用溶接材料の設計を行った。油槽の構築には、突合せ溶接のほか、リブ材取付けのためのすみ肉溶接が多用される。また、NSGP-1 と NSGP-2 どうしの溶接のほか、NSGP-1 または

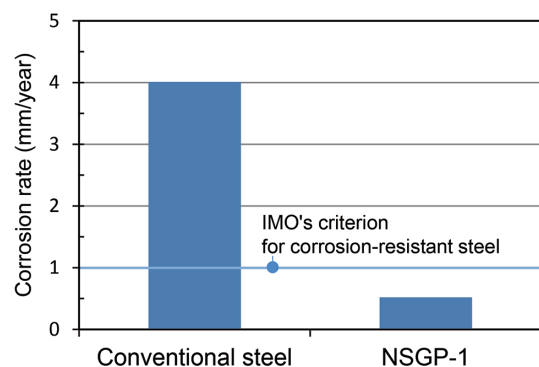


図 1 開発鋼 (NSGP-1) と従来鋼の腐食速度の比較
Comparison of corrosion rate between developed steel (NSGP-1) and conventional steel plate

NSGP-2 と一般の造船用鋼材とを溶接する場合が想定される。このような様々な部材の組み合わせを想定し、油槽内環境における溶接金属の耐食性が、NSGP-1 および NSGP-2 母材に準じた耐食性を確保可能なように溶接材料の化学組成設計を行った。全姿勢溶接用フラックス入りワイヤとして NSSW SF-1・GP を、また、水平すみ肉溶接用フラックス入りワイヤとして NSSW SM-1F・GP をそれぞれ開発した。

これら専用溶接材料は、優れた溶接作業性を持つ日鐵住金溶接工業の普通鋼用フラックス入りワイヤ (FCW) 製品 NSSW SF-1 および NSSW SM-1F をベースに開発しており、耐食性組成を加えた本製品もそれらと同等の良好な溶接作業性を確保している。また、開発した両製品ともシームレスタイプのフラックス入りワイヤであり、溶接材料中の含有水素量低減に配慮し、溶接金属の水素割れ感受性を低減している。

開発した専用溶接材料の耐食性能を普通鋼用の既存溶接材料の場合と比較した。腐食試験片の母材と溶接金属の境界における断面マクロ組織を図 2 に示す (腐食条件: 6N-HCl 15mL-1.93mol NaCl-1L 純水の 10 倍希釈 (pH2.1), 温度 30℃, 168h 浸漬)。左側は普通鋼用フラックス入りワイヤである NSSW SF-1 を適用しており、右側は開発した専用溶接材料 NSSW SF-1・GP を適用している。溶接金属の腐食減厚を比較すると、専用溶接材料による溶接金属は母材との境界で段差を生じていないことから、溶接金属の腐

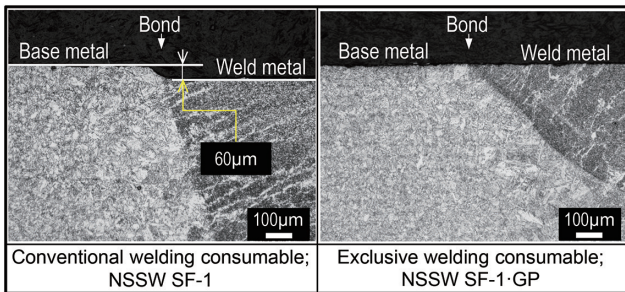


図 2 腐食試験後の NSGP-1 溶接部の断面マクロ組織
Macrostructure of welds of NSGP-1 after corrosion test

食減量は、母材と同等とみなすことができる。

溶着金属の主要な化学組成を表 2 に示す。耐食性に関与する元素以外の主要元素は、普通鋼用溶接材料による溶接金属と同様の化学組成および炭素当量 (Ceq) であり、良好な溶接性を確保している。また、溶着金属の機械的性質を表 3 に示す。NSGP-1 および NSGP-2、その他油槽部材として用いられる造船用鋼材の強度規格に合致する十分な強度および靱性を確保している。

これら専用溶接材料は、開発のベースとした普通鋼用 FCW 製品 NSSW SF-1 (全姿勢溶接用) および NSSW SM-1F (水平すみ肉溶接用) と同等の船級の認定 (NK, ABS, LR) を取得している。したがって、NSGP-1, NSGP-2 および一般の造船用鋼材とが互いに混在した施工部位においても溶接材料の使い分けが不要であり、施工能率を妨げることなく、油槽全体の耐食性の確保に寄与することができる。

3. 塗装周期延長鋼 (CORSPACE) 用専用溶接材料の開発

3.1 CORSPACE の概要^{4,5)}

塗装周期延長鋼 (CORSPACE) は、塗装して用いられる鋼構造物において、塗装欠陥部からの腐食の進展を抑制することで次の塗替え補修までの期間の延長を可能とする新しいタイプの画期的な耐食性厚鋼板である。これにより、鋼構造物のライフサイクルコスト (以下、LCC) を大幅に縮減することが可能である。鋼構造物の多くは防食塗装されたうえで使用されるが、部材鋭角部など塗装膜厚の十分な確保が難しい箇所や施工時に確認できない塗装欠陥部などでは、経年により腐食が発生するケースが多い。とくに、塩化物が多量に飛来する沿岸部や凍結防止剤が付着するような厳しい腐食環境においては、著しく腐食が進行し、累進的な塗膜剥離の進行や板厚の減少が懸念される。

塗装欠陥部における腐食進展の基礎的な機構を解明するとともに、鋼材中への微量の Sn 添加によって塗装欠陥部に想定される薄膜水中への Fe の溶解反応が大幅に抑制さ

表 2 溶着金属の化学組成 (主要元素) の一例

Typical chemical compositions (principal elements) of deposited metal of exclusive welding consumables for NSGP-1 and NSGP-2

| Welding method | Welding consumables | Chemical compositions (mass%) | | | | | Ceq (IIW)* (mass%) |
|----------------|---------------------|-------------------------------|------|------|-------|-------|-----------------------|
| | | C | Si | Mn | P | S | |
| FCAW | NSSW SF-1・GP | 0.05 | 0.42 | 1.16 | 0.017 | 0.006 | 0.305 |
| | NSSW SM-1F・GP | 0.04 | 0.45 | 1.46 | 0.018 | 0.013 | 0.347 |

* Ceq (IIW) = C+Mn/6+(Cu+Ni)/15+(Cr+Mo+V)/5

表 3 溶着金属の機械的性質の一例

Typical mechanical properties of deposited metal of exclusive welding consumables for NSGP-1 and NSGP-2

| Welding consumables | Plate thickness (mm) | Wire diameter (mm) | Heat input (kJ/mm) | Tensile test | | Charpy impact test |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--|---|--|
| | | | | 0.2% proof stress YS (N/mm ²) | Tensile strength TS (N/mm ²) | Charpy absorbed energy at 0°C vE ₀ (J) |
| NSSW SF-1・GP | 20 | 1.2 | 1.8 | 553 | 613 | 111 |
| NSSW SM-1F・GP | 20 | 1.2 | 1.7 | 524 | 598 | 66 |

れることを見出した。この作用により、塗装欠陥が生じた場合でも、塗膜剥離や腐食進展を抑制し、塗替え周期の延長が可能な CORSPACE 鋼を開発した。

3.2 CORSPACE 専用溶接材料の開発

CORSPACE の耐食性を特徴付ける Sn 量の確保および塗装欠陥下での腐食を促進する元素の低減に配慮した専用溶接材料の設計、開発を行った。CORSPACE は幅広い適用分野を想定しており、ほぼすべてのカテゴリーの溶接材料（手溶接棒、FCW、ソリッドワイヤ、サブマージアーク溶接（SAW）用溶接材料）について専用溶接材料を設定した。CORSPACE の各強度グレードに対応する、開発した専用溶接材料の一覧を表 4 に示す。

CORSPACE 用専用溶接材料は、優れた溶接作業性を持つ日鐵住金溶接工業の普通鋼用溶接材料をベースに開発しており、耐塗装剥離性に配慮した化学組成を採用した本製品も、同様に良好な溶接作業性を確保している。また、開発した FCW 製品は、すべてシームレスタイプのフラックス入りワイヤであり、溶接金属の水素割れ感受性を低減している。

開発した専用溶接材料の耐食性能の代表例として、FCW 製品である NSSW SF-1・PX による溶接金属の評価結果を示す。比較対象として普通鋼用の既存 FCW である NSSW FCM-1F を適用した。普通鋼用評価試験体である溶接継手の開先形状を図 3 に示す。突合せ溶接試験体を作製し、溶接金属を含む腐食試験片を継手より平板状に採取し、図 4 のブロック図に示す SAE J 2334⁶⁾ による乾湿繰り返し加速試験により腐食を行い、溶接金属部分の板厚減少量を評価した。開発した NSSW SF-1・PX による溶接金属の耐腐

食性能を図 5 に示す。板厚減少量は、既存の普通鋼用溶接材料を適用した場合と比較して 1/4 程度に減少している。

開発した各 CORSPACE 専用溶接材料による溶着金属の主要な化学組成および機械的性質を表 5 に示す。耐食性に関与する元素以外の主な元素は、普通鋼用溶接材料を適用した溶接金属と同様の炭素当量 (Ceq) であり、良好な溶接性を確保している。また、耐食性組成に起因する割れ等の溶接欠陥は生じないことを確認済みである。これら専用溶接材料は、対応する CORSPACE の規格に準じた十分な強度および靱性を確保しており、手溶接棒、FCW、ソリッドワイヤについては JIS の認証を取得している（SAW 用溶接材料については JIS に該当することを確認している）。

溶接部は、母材表面のように連続した平滑面にはならず、

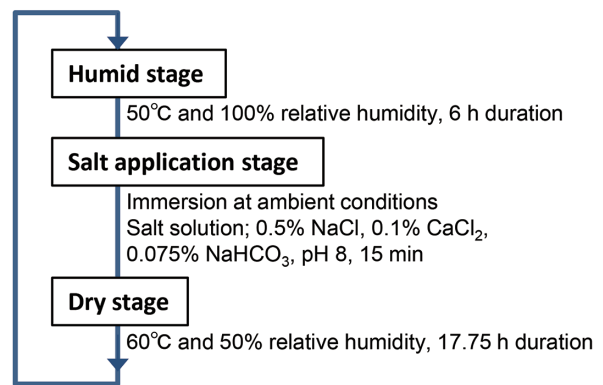


図 4 SAE J 2334 試験サイクルの条件⁶⁾
Test cycle condition of SAE J 2334⁶⁾

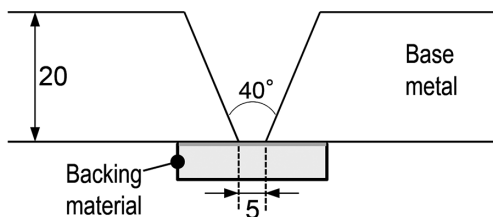


図 3 試験体の開先形状
Groove shape of welds

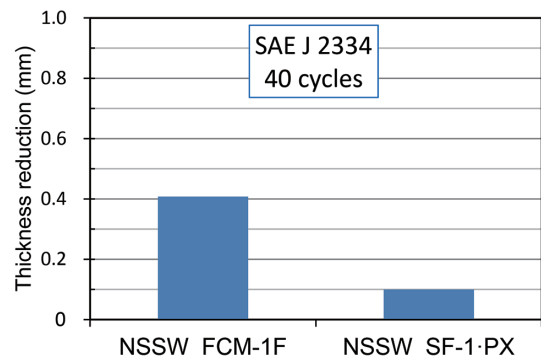


図 5 溶接金属の耐食性能の比較
Comparison of corrosion-resistance of weld metals

表 4 CORSPACE 専用溶接材料の一覧
List of exclusive welding consumables for CORSPACE

| Tensile strength rank of CORSPACE | Covered electrodes | | Flux cored wire | | Submerged arc welding materials | |
|-----------------------------------|--------------------|------------|-----------------|-----------|---------------------------------|------------------|
| | All position | Solid wire | All position | Fillet | Butt | Fillet |
| SS400-CORSPACE | | | | | | |
| SM400-CORSPACE | | | | | | |
| SM490-CORSPACE | L-55-PX | YM-26-PX | SF-1-PX | SM-1F-PX | YF-15 × Y-D-PX | YF-800 × Y-D-PX |
| SM490Y-CORSPACE | | | | | | |
| SBHS400-CORSPACE | | | | | | |
| SM520-CORSPACE | — | YM-55C-PX | — | — | YF-15B × Y-DM3-PX | NF-820 × Y-D-PX |
| SM570-CORSPACE | L-60-PX | YM-60C-PX | SF-60-PX | SM-60F-PX | YF-15B × Y-DM-PX | NF-820 × Y-DM-PX |
| SBHS500-CORSPACE | | | | | | |

表5 CORSPACE 専用溶接材料による溶着金属の化学組成および機械的性質の一例
 Typical chemical compositions and mechanical properties of deposited metal of exclusive welding consumables for CORSPACE

| Product names | JIS | Chemical compositions (mass%) | | | | | | | | Tensile test | | Charpy impact test | | |
|-----------------|----------------------|-------------------------------|------|------|-------|-------|------|------|-------|--|---|----------------------------|--|-----|
| | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Mo | Sn | 0.2% proof stress YS (N/mm ²) | Tensile strength TS (N/mm ²) | Test temperature T (°C) | Absorbed energy vE _T (J) | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| L-55・PX | Z 3211 E4916-U | 0.07 | 0.61 | 1.10 | 0.012 | 0.003 | — | — | | | 503 | 607 | -30 | 145 |
| L-60・PX | Z 3211 | 0.07 | 0.56 | 1.07 | 0.010 | 0.006 | 0.70 | 0.24 | | | 612 | 700 | -20 | 126 |
| | E57J16-N1M1U | | | | | | | | | | | | | |
| YM-26・PX | Z 3312 YGW11 | 0.08 | 0.39 | 0.97 | 0.005 | 0.011 | — | — | | | 483 | 571 | 0 | 133 |
| YM-55C・PX | Z 3312 YGW18 | 0.06 | 0.46 | 1.02 | 0.004 | 0.010 | — | 0.22 | | | 521 | 606 | 0 | 140 |
| YM-60C・PX | Z 3312 | 0.05 | 0.48 | 1.06 | 0.004 | 0.010 | — | 0.23 | | | 554 | 629 | -5 | 127 |
| | G57JA1UC3MIT | | | | | | | | | | | | | |
| SF-1・PX | Z 3313 | 0.06 | 0.44 | 1.19 | 0.013 | 0.006 | — | — | | | 539 | 612 | 0 | 136 |
| | T49J0T1-1CA-UH5 | | | | | | | | | | | | | |
| SM-1F・PX | Z 3313 | 0.05 | 0.54 | 1.46 | 0.018 | 0.014 | — | — | | | 510 | 597 | 0 | 64 |
| | T49J0T1-0CA-UH5 | | | | | | | | | | | | | |
| SF-60・PX | Z 3313 | 0.05 | 0.55 | 1.57 | 0.011 | 0.006 | 0.53 | — | | | 595 | 665 | -5 | 78 |
| | T57J1T1-1CA-N1-UH5 | | | | | | | | | | | | | |
| SM-60F・PX | Z 3313 | 0.05 | 0.57 | 1.80 | 0.014 | 0.010 | — | — | Added | | 567 | 642 | -5 | 81 |
| | T57J1T1-0CA-G-UH5 | | | | | | | | | | | | | |
| YF-15×Y-D・PX | Z 3183 | 0.07 | 0.45 | 1.54 | 0.016 | 0.006 | — | — | | | 511 | 601 | 0 | 93 |
| | S50J2-H (applicable) | | | | | | | | | | | | | |
| YF-800×Y-D・PX | Z 3183 | 0.04 | 0.68 | 1.55 | 0.009 | 0.011 | — | — | | | 415 | 534 | 0 | 49 |
| | S501-H (applicable) | | | | | | | | | | | | | |
| YF-15B×Y-DM3・PX | Z 3183 | 0.08 | 0.31 | 1.76 | 0.013 | 0.006 | — | 0.21 | | | 553 | 648 | 0 | 108 |
| | S532-H (applicable) | | | | | | | | | | | | | |
| NF-820×Y-D・PX | Z 3183 | 0.05 | 0.63 | 1.83 | 0.007 | 0.011 | — | — | | | 478 | 588 | 0 | 81 |
| | S532-H (applicable) | | | | | | | | | | | | | |
| YF-15B×Y-DM・PX | Z 3183 | 0.08 | 0.31 | 1.70 | 0.013 | 0.005 | — | 0.37 | | | 595 | 699 | -20 | 67 |
| | S624-H4 (applicable) | | | | | | | | | | | | | |
| NF-820×Y-DM・PX | Z 3183 | 0.06 | 0.59 | 1.81 | 0.005 | 0.011 | — | 0.40 | | | 564 | 662 | -5 | 70 |
| | S582-H (applicable) | | | | | | | | | | | | | |

余盛のように、ある程度の起伏を伴う形状となる。余盛を切削除去せず塗装を施して供される構造物では、こうした形状不整に起因するなどして溶接部が塗装欠陥部となりやすい。したがって、溶接金属にも耐食性(耐塗装剥離性)を付与することは構造物の塗装周期延長に対して有益である。

現在でも、腐食した鋼構造物の塗装塗替え等を含む補修や更新に関わるコスト増大が社会問題となっている。今後においても、社会インフラストラクチャの維持管理費用の捻出はますます難しくなるとされており、CORSPACEの適用により、社会インフラストラクチャのLCC縮減に寄与する新たな長寿命化技術として活用されていくものと考えている。

4. 結 言

厚鋼板に求められる新たな機能は、耐食性能を含め、ますます高度化・厳格化していくものと考えられる。新日鐵住金および日鐵住金溶接工業は、厚鋼板の機能を最大限に

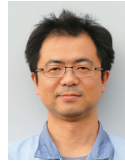
引き出すべく、連携して性能向上に向けた取り組み、また、溶接材料製品群の拡充を推進している。今後とも鋼材と溶接材料をパッケージでご使用頂くことの優位性を実感して頂けるよう、技術開発を追求していく所存である。

参考文献

- 1) 伊藤 実 ほか：新日鐵住金技報. (400), 86 (2014)
- 2) Ito, M. et al.: Proceedings of the ASME 2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. OMAE 2012-83821, 2012
- 3) Kashima, K. et al.: Proceedings of International Symposium on Shipbuilding Technology 2007. 2007, p. 5
- 4) 菅江清信 ほか：新日鐵住金技報. (400), 79 (2014)
- 5) 上村隆之, 西尾 大, 前田隆雄, 吉田直嗣, 鹿島和幸, 菅江清信, 幸 英昭, 工藤越夫：材料と環境. 62, 187 (2013)
- 6) SAE J 2334: Cosmetic Corrosion Lab Test. SAE International, Warrendale, PA, June 1998



橋場裕治 Yuji HASHIBA
鉄鋼研究所 接合研究部
主幹研究員
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



笹木聖人 Kiyohito SASAKI
日鐵住金溶接工業(株)
研究所 主幹研究員



伊藤 実 Minoru ITO
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部
主幹研究員



坂林直樹 Naoki SAKABAYASHI
日鐵住金溶接工業(株)
研究所 主任



鹿島和幸 Kazuyuki KASHIMA
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部
主幹研究員



戸塚康仁 Yasuhito TOTSUKA
日鐵住金溶接工業(株)
研究所 主査研究員



菅江清信 Kiyonobu SUGAE
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部
主任研究員



齋藤佑介 Yusuke SAITO
日鐵住金溶接工業(株)
研究所 主任



千葉竜太郎 Ryutaro CHIBA
日鐵住金溶接工業(株)
研究所 主任