

建材用高耐食フェライト系ステンレス鋼YUS220Mの開発

Development of Ferritic Stainless Steel YUS220M with High Rust Corrosion Resistance for Building Material

中 田 潮 雄⁽¹⁾ 小 野 直 人⁽¹⁾ 西 村 敏 郎⁽²⁾ 柿 原 豊 彦⁽²⁾
Michio NAKATA *Naoto ONO* *Toshiro NISHIMURA* *Toyohiko KAKIHARA*

梁 井 和 博⁽³⁾ 高 畑 繁 則⁽⁴⁾
Kazuhiro YANAI *Shigenori TAKAHATA*

抄 録

屋根や壁などの外装用建材には、SUS304とSUS316が用いられてきたが、臨海地区では必ずしも耐食性が十分でなく、低コストで臨海地区に対応できるステンレス鋼の要望があった。これに対して、TiとNbの複合添加により極力CrとMoの添加量を抑制し、耐食性と共に加工性と溶接部の靱性を備えたフェライト系ステンレス鋼のYUS220M(22Cr-1.5Mo-Ti,Nb-LC,N)を開発した。本鋼種は屋根、壁材への適用が進んでいる。

Abstract

SUS304 and SUS316 have been used for exterior equipments such as roof, wall and so, but these do not necessarily have enough corrosion resistance in a littoral district. Therefore, such a stainless steel as it copes with the littoral district and can be manufactured at a lower cost was in keen demand. Nippon Steel has developed YUS220M, a ferritic stainless steel with a composition of 22Cr-1.5Mo-Ti,Nb-LC,N in which a compound adding of Ti and Nb holds down the additive amount of Cr and Mo to the utmost and which has not only the rust corrosion resistance but also workability together with toughness at a weld zone. The use of YUS220M to the exterior equipments is now increasing.

1. 緒 言

ステンレス鋼は加工性、耐食性と共に表面の意匠性が生かせることから、建材部材への適用が進んでいる。従来、屋根や壁材にはSUS304とSUS316が用いられてきたが、臨海地区では必ずしも耐食性が十分でなく、SUS316を越える耐食性を有しかつ低コストの建材用ステンレス鋼のニーズが高まった。

過去フェライト系ステンレス鋼が大型の公共物件に使用された例として、幕張メッセの屋根に使用された22Cr鋼(新日本製鐵ではYUS220)がある。そのYUS220屋根について、経年変化調査を行った結果、屋根上面は6年半後も30 μ m前後の孔食が散在する程度であり、一部の部材に使用されていたSUS316と同等以上の耐食性を有していた。この知見を基に、より耐食性が優れかつ近年要請が強まっている防眩性表面を有するフェライト系ステンレス鋼を検討した。本報告では開発鋼YUS220Mの成分系の特徴と諸特性について述べる。

2. 成分設定

2.1 耐食性の目標

臨海地区で発錆を抑制できる成分系設定のため、まず既存鋼種の耐食性を調査し、目標を設定した。

2.1.1 実験方法

供試材は表1に示すオーステナイト系ステンレス鋼4鋼種とフェライト系ステンレス鋼5鋼種を用い、150W×200lの試験片を#500エメリー研磨仕上げして腐食試験に供した。腐食試験は、瀬戸内海に面した光製鐵所内の時折海水飛沫がかかる岸壁5mの位置に30°傾斜させて試験片を設置し、2か月間の暴露試験を行った。また、JIS法(JIS G0577, 3.5%NaCl, 30°C)による孔食電位試験を行った。

2.1.2 実験結果

2か月暴露後の孔食の発生有無とその深さの測定結果を、合金成分のP.I.値(Pitting Index)との関係で整理して図1に示す。また、図2には暴露試験における孔食深さと孔食電位との関係を示した。図

⁽¹⁾ 技術開発本部 光技術研究部 主任研究員

⁽²⁾ 光製鐵所 生産管理部

⁽³⁾ 光製鐵所 生産管理部 室長

⁽⁴⁾ 光製鐵所 ステンレス鋼板工場 部長代理

表1 供試材の化学成分 (mass%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Ti	Nb	N	O
SUS304	0.052	0.57	0.91	0.029	0.0042	9.11	17.95	0.13	0.13	0.004	0.003	0.0167	0.0040
SUS316	0.018	0.57	0.82	0.025	0.0011	12.25	17.26	2.07	0.28	0.006	0.006	0.0268	0.0055
YUS170	0.025	1.02	0.72	0.035	0.0016	13.50	24.69	0.80	0.15	0.004	0.002	0.3330	0.0038
YUS270	0.012	0.55	0.57	0.017	0.0005	17.99	20.32	6.18	0.65	0.005	0.002	0.2240	0.0020
YUS436S	0.007	0.15	0.15	0.024	0.0028	0.10	17.19	1.19	0.04	0.220	0.002	0.0080	0.0021
YUS180	0.014	0.48	0.11	0.025	0.0006	0.33	19.49	0.01	0.42	0.005	0.400	0.0194	0.0112
YUS190	0.005	0.22	0.15	0.021	0.0048	0.09	18.84	1.88	0.04	0.180	0.320	0.0101	0.0022
YUS220	0.014	0.44	0.14	0.027	0.0037	0.13	21.52	0.82	0.44	0.005	0.370	0.0073	0.0106
YUS250	0.007	0.40	0.14	0.020	0.0105	3.93	25.35	4.06	0.03	0.003	0.003	0.0201	0.0081

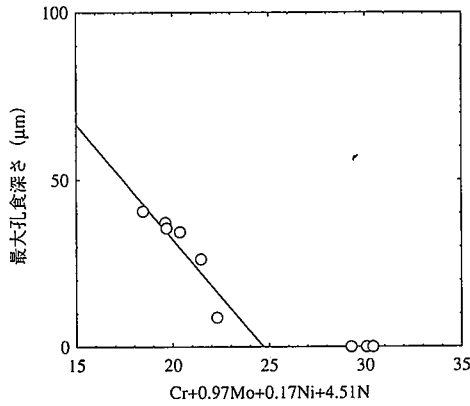


図1 暴露試験結果(岸壁5m, 2か月)

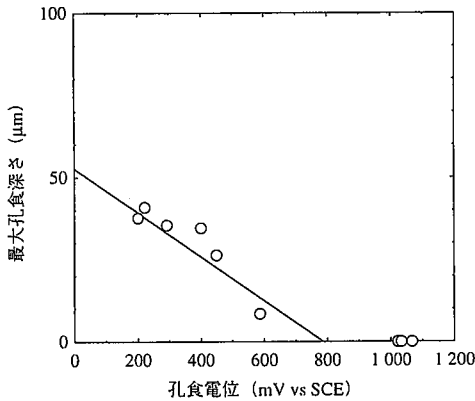


図2 暴露試験における孔食深さと孔食電位の関係(孔食電位: JIS法)

1より、P.I.値が25以上あれば孔食発生による発錆を抑制でき、また、図2に見られるように孔食電位と暴露試験での孔食深さとに相関がみられ、孔食電位(Vc'100)を800mV vs SCE以上にすれば孔食発生を抑制でき、耐食性の目標は孔食電位で800mV vs SCEとした。

2.2 耐食性に及ぼすCr, Mo量及び安定化元素の影響

Cr, Mo量の設定に当たって、フェライト系ステンレス鋼では靱性や溶接部の耐食性を確保のためにTiやNbの添加が不可欠であり、その耐食性への寄与を含め検討した。

2.2.1 実験方法

Nb単独添加鋼(YUS180, YUS220, YUS250)とTi単独添加鋼(YUS430D, YUS436S)及び複合添加鋼(YUS190)の既存フェライト鋼に加え、より安定化元素の影響を明確にするため、真空溶解により溶製した鋼で補足し、孔食電位800mV vs SCEを達成するに要する

Cr, Mo量を求めた。試験には前記と同様#500エメリー研磨して供した。

2.2.2 実験結果

JIS法によって測定した孔食電位(Vc'100)とP.I.値との関係を図3に示す。フェライト系ステンレス鋼単独での孔食電位はCr+1.7Moで整理され、また、安定化元素ではNb単独に比べTi単独あるいはTi+Nbを複合した場合の方が孔食電位が約100mV高い結果を得た。このTiの効果はTi単独添加鋼YUS430D(17Cr-0.4Ti)や複合添加鋼YUS190(19Cr-2Mo-0.15Ti-0.25Nb)での知見によると、介在物が腐食の起点になり難い難溶性となること、不動態皮膜中にTiが酸化物として濃化し素地自体の耐食性を向上することによる。Ti量としては、0.18%以上で孔食電位に顕著な効果があり、0.4%でもその効果は変わらないことから、約0.2%が良い。

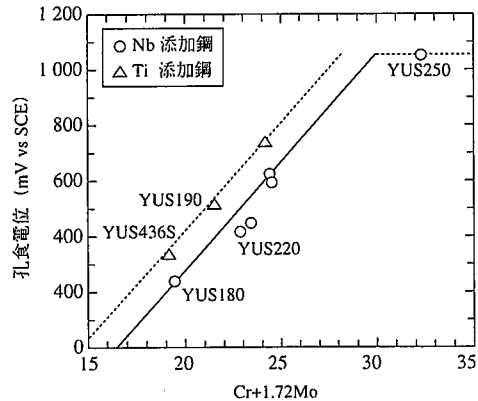


図3 フェライト系ステンレス鋼におけるP.I.値と孔食電位の関係

Ti単独系とするか複合系とするかについては、電気温水器用缶体に適用されているYUS190はフェライト系ステンレス鋼では初めてTiとNbを複合させた鋼種であり、その利点は耐食性に加え、それぞれの特長と弊害を相補うことを狙い、例えば、Tiは溶接部の延性を向上するが添加し過ぎると靱性劣化や表面疵の発生をきたし、一方Nbは高Cr, Mo鋼の靱性確保に必要な元素であると同時にC, Nを固定し鋭敏化防止に必要な(Ti+Nb)/(C+N)≥16を補っている²⁾。このことからTiとNbの複合系を選定したが、この系で孔食電位800mV vs SCEを達成するに必要なP.I.値はCr+1.72Moで24.5であり、22%CrでのMoの必要量は1.5%である。

2.3 22Cr鋼の耐食性及び加工性に及ぼすMo量の影響

Ti0.2%+Nb0.3%添加した低C,N 22Cr鋼についてMo量(0.8~2.0%)の影響を調査した。

2.3.1 実験方法

真空溶解により溶製した45kg鋼塊を熱間圧延後1mm厚の冷間圧延板とし、焼鈍酸洗板を製造した。耐食性の評価は0.8%Moと2%MoでP.I.値が約2と小さいため、腐食試験は促進発錆試験の0.5%及び5%のNaClにH₂O₂を0.2%添加した改良型塩水噴霧試験を行った³⁾。また、加工性は断面のピッカース硬さを測定した。

2.3.2 実験結果

二種類の溶液による24時間の改良型塩水噴霧試験の結果を発錆ランクで図4に示す。発錆ランクAは発錆なしを示すが、図に見られるように5%NaClで発錆を防止するに要するMo量は1.5%以上である。一方、硬さについては図5に示すようにMo量の増加と共に上昇し硬質となり、前記耐食性を考慮してMo量は1.5%とした。

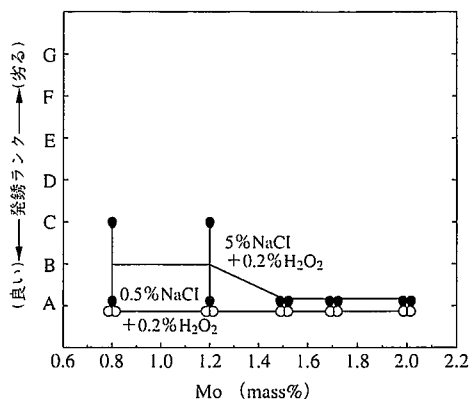


図4 改良型塩水噴霧試験結果 (22Cr-0.2Ti-0.3Nb ベース, 35℃, 24h噴霧)

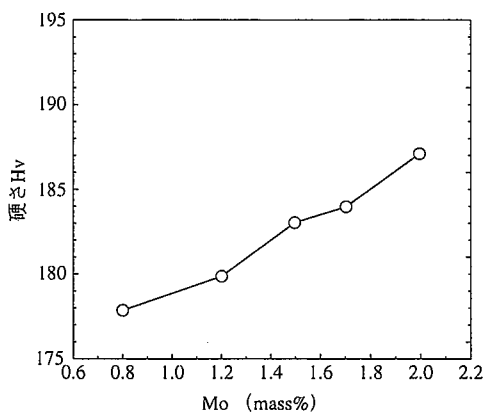


図5 Mo量と硬さの関係(22Cr-0.2Ti-0.3Nb ベース)

3. 防眩性表面肌

ステンレス鋼には多くの表面仕上げの種類があるが、特に防眩性が必要とされる壁や屋根には主に2D仕上げが使用されてきた。近年、より防眩性に優れた表面の要求が強まっており、二種類の防眩性肌を有するYUS220Mを開発した。

防眩性は官能で示され、外観上では光沢がなく白ぼい表面が望まれるようであるが、これを数値化することを検討した。その結果、図6に示すような光沢度計で測定される光沢度(GS45)と色差計で測定される色調(L*値)の座標で表すことができることが分かった。これを基に、BA(光輝焼鈍プロセス)とダル圧延の組み合わせによ

て主に耐食性を主眼としたBAダルと、AP(焼鈍-酸洗プロセス)とダル圧延の組み合わせによって主に防眩性を主眼としたAPダルの製造技術を確立した。代表的な仕上げと比較して図6に示した。

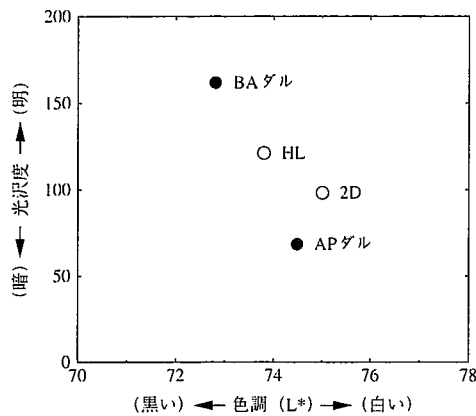


図6 ダル仕上げ材の防眩性

4. YUS220M の諸特性

4.1 化学成分

化学成分の代表例を表2に示す。22Cr-1.5Moを基本とし、安定化元素としてTi, Nbを複合添加し、更に軟質化と靱性向上のため低Si化したことを特徴とする。

表2 YUS220Mの化学成分例 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	Nb	N
代表値	0.006	0.10	0.13	0.026	0.0015	0.12	22.29	1.63	0.18	0.30	0.0106

4.2 物理的性質

他鋼種と比較して表3に示す。YUS220MはSUS304などのオーステナイト系に比し熱膨張率が小さく、長尺屋根にも適する。

表3 YUS220Mの物理的性質

特性値	YUS220M	YUS220	SUS304	SUS316
密度(g/cm ³)	7.75	7.75	7.93	7.98
熱膨張係数(10 ⁻⁶ /℃)	10.4	10.0	17.3	16.0
熱伝導率(cal/cm/℃/s)	0.050	0.047	0.039	0.033
比熱(cal/g/℃)	0.11	0.10	0.12	0.12
比電気抵抗(μΩ-cm)	55	68	72	74
縦弾性係数(×10 ³ N/mm ²)	2.12	2.00	1.93	1.93

4.3 機械的性質

機械的性質の一例を表4に示すように、SUS304やSUS316に比し耐力が高く伸びは低いが、Mo量を約2倍高めているにもかかわらず同じ22Cr系のYUS220(22Cr-0.8Mo-Nb)と同等である。

表4 YUS220Mの機械的性質

特性値	YUS220M	YUS220	SUS304	SUS316
0.2%耐力(N/mm ²)	389	373	284	280
引張強さ(N/mm ²)	522	530	696	650
伸び(%)	28	28	50	50
硬さ(Hv)	180	175	161	170

4.4 耐食性

海水を用いた乾湿繰返し試験の結果を図7に示すように、YUS220MはSUS316を越えた耐食性を有する。また、HClに対する耐食性を図8に示すように、YUS220MはSUS304やSUS316に比し、より高い濃度まで耐食性を有する。

4.5 溶接性及び溶接部の特性

0.4mm厚の鋼板を2枚重ねたシーム溶接部のピール強度の測定結果を図9に示す。YUS220Mの溶接電流はSUS304より若干高めと

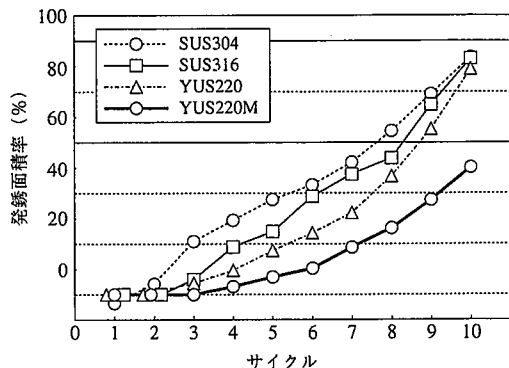


図7 海水による乾湿繰返し腐食試験結果[海水噴霧(室温)→乾燥(60℃, 15分)→湿潤(50℃, 100%RH, 30分)の繰返し]

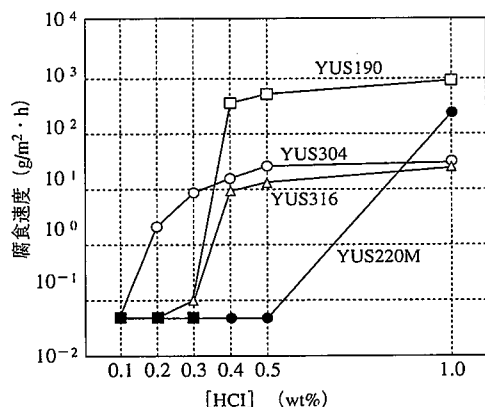


図8 耐酸性(沸騰, 1~6h浸漬)

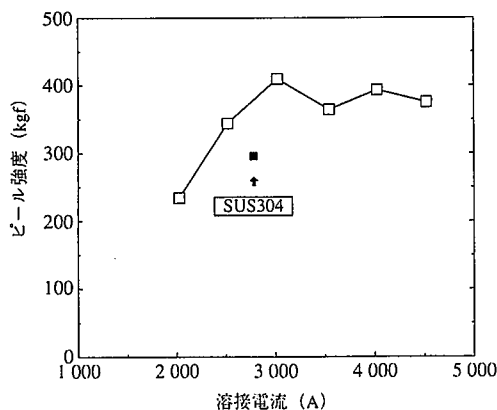


図9 シーム溶接材のピール強度

することが良く、それによってSUS304より高い強度が得られる。

一方、TIG溶接材では1t, 180°曲げの結果では母材同様割れの発生はなく、また、溶接部の靱性も図10に示すように、-40℃でも5kgf-m/cm²のシャルピー衝撃値を有している。

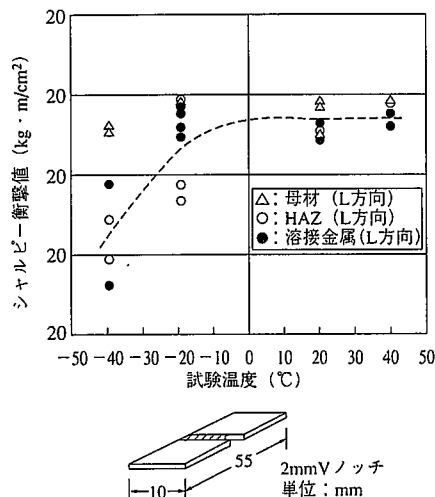


図10 TIG溶接材の靱性(1.2mmt, JIS4号)

5. 施工例

当鋼種の施工実績として、青森卸売市場、習志野プール、東京国際展示場、東京テレコムセンター、中野坂上再開発ビル及び大阪ドームなどの屋根や壁パネルに適用または適用中であり、その一例を写真1に示す。



写真1 YUS220Mの壁パネルへの適用例(東京中野坂上サンライツビル)

6. 結 言

建材の外装用ステンレス鋼として、SUS316を超える耐食性を有し、加工性及びシーム溶接性も備えたフェライト系ステンレス鋼としてYUS220M(22Cr-1.5Mo-Ti-Nb)を開発した。その成分系の特徴などを以下に要約して示す。

(1)高Cr,Mo化によるコストアップ及び加工性の低下を考慮して耐食性を向上するTiを活用し、溶接による鋭敏化防止と靱性向上のため、Nbを複合添加した。

(2)22%Crにおいて、耐食性と加工性からMo量を1.5とした。本鋼

は、SUS316を越える耐食性を有している。

- (3)防眩性は、光沢度(GS45)と色差(L*)で表せることが分かった。
これを基に、焼鈍(酸洗)とダレル延を組み合わせたダレル仕上げ材を開発した。
- (4)開発鋼はシーム溶接が可能で、TIG溶接部の曲げ加工性も良く、溶接工法屋根にも適用できる。

- (5)当開発鋼は屋根や壁材への適用例が増えつつある。

参考文献

- 1) 中田潮雄 ほか: 鉄と鋼, 65(4), 329(1979)
- 2) 小野山往生 ほか: 鉄と鋼, 63(5), 641(1977)
- 3) 中田潮雄 ほか: 第28回腐食防食討論会, 1981, 腐食防食協会, 18