

再生可能エネルギー 風力分野向け溶接材料について

技術本部 市場開発技術部 商品技術グループ 主幹 中澤 博志

技術本部 市場開発技術部 商品技術グループ 主査 千葉 竜太郎

1 はじめに

洋上風力発電は、海洋上（湖、港湾内を含む）における風力発電設備のことであり、陸上での風力発電に比べ、風の流れを遮る障害物（山、樹木、建築物など）がないことにより安定的に大きな風力が得られるため、再生可能エネルギーの一つとして注目を浴びています。本稿では、カーボンニュートラル社会実現に向け、重要なエネルギーとして位置づけられる洋上風力発電および洋上風車の敷設工事に使用されるSEP船（Self-Elevating Platform：自己昇降式台船）向け溶接材料について紹介します。

2 洋上風力発電に適用される鋼材の一例

洋上風力発電に適用される代表的な鋼材を表1および表2に示します。

表1 洋上風力に適用される鋼材一例（国内）

鋼材種類			機械的性質		
区分	規格番号	記号	0.2% 耐力 MPa	引張強度 MPa	衝撃性能 vE0℃ J
溶接構造用 圧延鋼材	G 3106	SM490A	≥ 315	490-610	—
		SM490B			≥ 27
		SM490C			≥ 47
		SM520B	≥ 355	520-640	≥ 27
		SM520C			≥ 47

表2 洋上風力に適用される鋼材一例（海外）

規格	YP クラス			
EN10225	S355	—	S420	S460
各船級	YP355 (A～F)	YP390 (A～F)	YP420 (E～F)	YP460 (E～F)

3 洋上風力発電向け溶接材料

洋上風力発電は、ジャケットやモノパイルと呼ばれる着床式とセミサブタイプの浮体式に区分されます。日本国内の場合、着床式は地中に杭を打ち込み、その上にトランジションピースおよびタワーを設置するため、建築基準法が適用され、国土交通省の管轄となりJISで運用されるケースが多いです。

一方で、水深が深いところに設置する際は浮体式が採用され、鋼材はEN10225規格および各種船級協会の海洋構造物用鋼板が使用されます。風車の大型化に伴い、タワーや下部構造のモノパイルなど板厚が80mmを超える極厚鋼板が使用されます。

洋上風力発電向け溶接材料の一例を表3に示します。



写真1 洋上風力発電（モノパイルタイプ）一例
ブレード・タワー・トランジションピース・鋼管杭（基礎）

表 3 洋上風力発電向け溶接材料の一例

区分	溶接材料		特徴	該当 JIS or AWS	TS MPa	vE J	適用鋼種例
国内向け	FCAW	SF-1	全姿勢 (CO ₂)	Z 3313 T49J0T1-1CA-UH5	580	0℃ : 95	SM490
		SF-60L	全姿勢 (CO ₂)	Z 3313 T592T1-1CA-N3M1-UH5	630	-20℃ : 100	SM520
	GMAW	YM-26	下向・横向 (CO ₂)	Z 3312 YGW11	560	0℃ : 120	SM490
		YM-60C	下向・横向 (CO ₂)	Z 3312 G59JA1UC3M1T	655	-20℃ : 95	SM520
	SAW	NF-1 & Y-D	狭開先	Z 3183 S532-H	560	-20℃ : 140	SM490,520
		NSH-60 & Y-DL	大入熱 (15kJ/mm以下)	Z 3183 S582-H	650	-20℃ : 100	SM490,520
	SMAW	L-55	低水素系全姿勢	Z 3211 E4916-U	550	-20℃ : 160	SM490
		L-53	低水素系全姿勢	Z 3211 E5716-U	590	-20℃ : 210	SM520
海外向け	FCAW	SM-3A	裏波 (Ar-CO ₂)	A5.18 E70C-GM H4	595	-40℃ : 70	S355
		SF-3A	全姿勢 (Ar-CO ₂)	A5.20 E71T-9M-J H4	615	-40℃ : 80	S355
		SF-3M	全姿勢 (CO ₂)	A5.20 E71T-9C-J H4	595	-40℃ : 115	S355
		SM-47A	裏波 (Ar-CO ₂)	A5.28 E80C-Ni1 H4	630	-40℃ : 110	S460
		SF-3AM	全姿勢 (Ar-CO ₂)	A5.29 E81T1-Ni1M H4	640	-40℃ : 105	S460
		SF-47E	全姿勢 (CO ₂)	A5.29 E81T1-Ni1C-J H4	620	-40℃ : 115	S460
	SAW	NF-1 & Y-E	狭開先	A5.23 F8A4-EG-G	600	-40℃ : 130	S355
		NB-55E & Y-D	大入熱 (10kJ/mm以下)	A5.17 F7A8-EH14	610	-40℃ : 200	S355
		NB-60L & Y-DM3	多層盛	A5.23 F8A8-EG-G	640	-40℃ : 170	S460
	SMAW	L-55SN	極低水素系全姿勢	A5.5 E7016-G	580	-40℃ : 140	S355
		L-57SN	極低水素系全姿勢	A5.5 E8016-G	610	-40℃ : 160	S460

4 高能率溶接施工用溶接材料のご紹介

4-1 高能率サブマージアーク溶接法

板厚 100mm を適用した一般的なサブマージアーク溶接では、40 パス程度の多層溶接が必要となります。本稿ではモノパイルの長手および円周方向のシーム溶接などの狭開先・多層盛りが可能な熔融型フラックス NF-1 を適用したサブマージアーク溶接を紹介します。

表 4 に示しますように、狭開先においても優れた剥離性が得られることから、板厚 100mm では 25 パス程度の高能率な溶接が可能となり、かつ開先断面積を小さくすることで溶接材料使用量の削減および生産性向上に貢献できます。

また、大入熱溶接を適用したボンドフラックス NSH[®]-60 のラインナップも取り揃えており、お客様のご要望に応じた最適な溶接施工法が提案可能です。NSH[®]-60 の詳細については、『びいど』No.74 溶接フォーラム P7-8 をご覧ください。

表 4 NF-1 を適用した狭開先多層溶接の一例

溶接材料		鋼材		溶接条件					
フラックス	ワイヤ	鋼種	板厚 mm	電極	電流 A	電圧 V	速度 cm/min	入熱 kJ/cm	パス数
NF-1	Y-D or Y-E	SM490B	100	L (3.2 φ) T (3.2 φ)	500 500	34 32	50	40	25

溶接材料		鋼材				
フラックス	ワイヤ	0.2% 耐力 MPa	引張強度 MPa	衝撃値 vE-40℃ J		
				上面側	中央側	下面側
NF-1	Y-D	550	598	76	88	91
	Y-E	579	628	131	118	118



写真 2 マクロ断面写真の一例 (板厚 100mm)

※ NSH は日鉄溶接工業株式会社の登録商標です。

4-2 全姿勢用シームレスフラックス入りワイヤ

風車の大型化に伴う極厚鋼板の溶接では、高能率かつ補修率の低い高品質な溶接施工が求められます。そこで、板厚100mmを適用した全姿勢用シームレスフラックス入りワイヤSF-3Mの特徴について紹介します。

SF-3MはCO₂ガス用のルチル系シームレスフラックス入りワイヤで、全姿勢溶接にて優れた溶接作業性を有し、溶接部の極めて低い拡散性水素量を達成することから、低温割れ発生のリスクを抑え、また-40℃の低温域で良好な靱性が得られます。

表 5 SF-3M を適用した立向上進溶接の一例

溶接材料			鋼材		溶接条件				
銘柄	ワイヤ径 mm φ	シールド ガス	鋼種	板厚 mm	姿勢	電流 A	電圧 V	速度 cm/min	入熱 kJ/cm
SF-3M	1.2	100% CO ₂	S420ML	100	立向 上進	220	23	15	20

溶接金属機械的性質				
0.2% 耐力 MPa	引張強度 MPa	衝撃値 vE-40℃ J		
		上面側	中央側	下面側
561	629	103	112	112

溶着金属拡散性水素量 (JIS Z 3118)	2.95 ml/100g
-------------------------	--------------

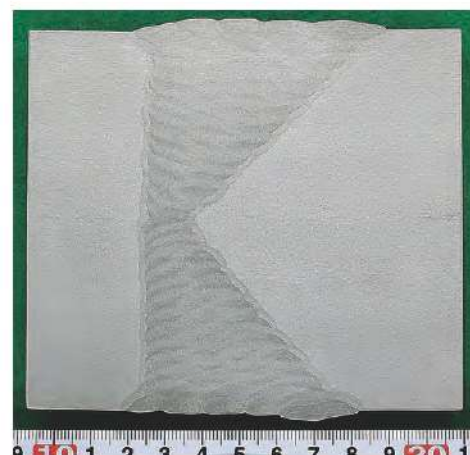


写真3 マクロ断面写真の一例
(板厚 100mm)

5 YP690級鋼用溶接材料について

洋上風車の敷設工事に使用される SEP 船は、海面から船体を持ち上げる長尺レグに高強度極厚の YP690 級鋼材が適用されます。長尺レグは、ラック (Rack) 部材と半円状のコード (Chord) 部材を組み合わせたラック&コードの適用が多く、ラック部材は 178mm (7inch) と板厚が非常に厚いものが多いため、溶接部における品質要求としては、優れた機械的性質はもちろんのこと、低温割れ発生の防止や溶接欠陥のない極めて高品質な要求があります。そこで、当社では厳しい要求品質に対応した YP690 級鋼用溶接材料を取り揃えているため、表 6 に一例を示します。



写真4 SEP 船の一例

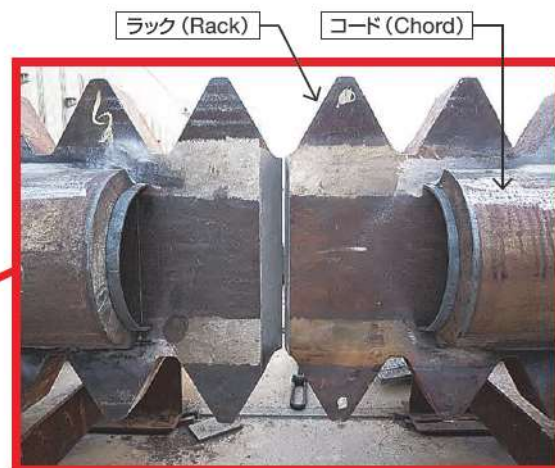


写真5 ラック & コード部材の一例

表 6 YP690 級鋼用溶接材料の一例

溶接材料		極性	溶接 姿勢	船級				
				NK	ABS	DNV	LR	BV
SMAW	L-80SN	AC/DC	全姿勢	KMW5Y69 H5	5YQ690MW	5Y69 H5	5Y69m H5	5Y69 H5
SAW	NB-250J [Flux] Y-80J [Wire]	AC/DC	下向	KAW4Y69M H5	5YQ690M H5	V Y69M H5	5Y69M H5	A4Y69M H5
GMAW	YM-80A (Ar-CO ₂)	DCEP	下向	KSW4Y69G (M2)	4YQ690SA	IV Y69MS	—	—
FCAW	SF-80A (Ar-CO ₂)	DCEP	全姿勢	KSW4Y69G (M2) H5	4YQ690SA H5	IV Y69MS H5	4Y69S H5	SA4Y69 H5
FCAW	SM-80A (Ar-CO ₂)	DCEP	下向	—	4YQ690SA H5	IV Y69MS H5	—	—

6 YP690級鋼溶接試験結果の一例

表7にYP690 鋼用溶接材料を適用した溶接金属性能の一例を示します。

表7 YP690級鋼用溶接材料の溶接金属性能一例

	溶接材料	極性	溶接姿勢	鋼種 板厚	入熱 kJ/cm	溶接金属機械的性質			拡散性水素量 JIS Z 3118 ml / 100g
						0.2% 耐力 MPa	引張強度 MPa	vE-40℃ J	
SMAW	L-80SN (4.0 φ)	AC	立向 上進	YP690 相当 50mm	36	758	835	107	2.4
		DCEP				799	861	98	
SAW	NB-250J × Y-80J (4.0 φ)	AC	下向	YP690 相当 60mm	32	773	869	112	2.5
		DCEP				749	851	104	
FCAW	SF-80A (1.2 φ) × Ar-CO ₂	DCEP	立向 上進	YP690 相当 38mm	22	795	825	76	2.5

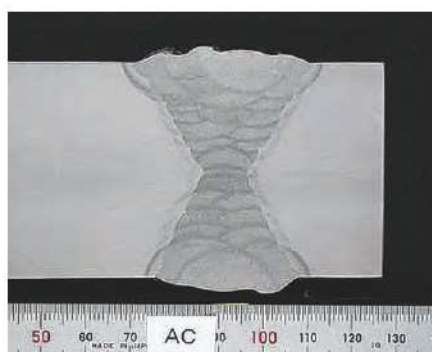


写真6 L-80SN 板厚 50mm 立向上進溶接による断面マクロ

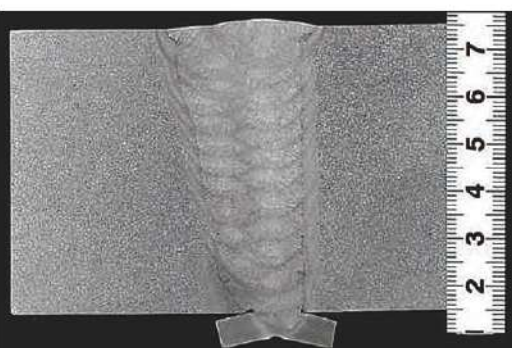
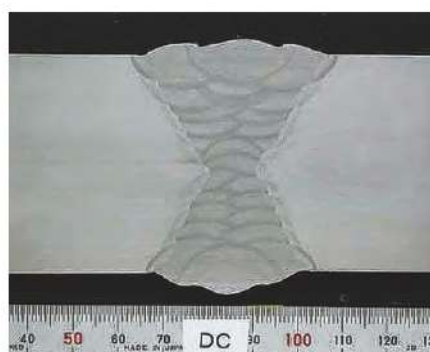


写真7 NB-250J&Y-80J 板厚 60mm 断面マクロ



写真8 SF-80A 板厚 38mm 立向上進溶接による断面マクロ

7 施工上の注意点および留意事項

- 構造物の設計強度や使用目的に合わせた鋼材および溶接材料の選定が必要になります。
- 予熱温度の設定は、鋼種、板厚、適用溶接材料、拘束状態、溶接条件などの影響を受けます。
必要予熱温度の決定についてご不明な点があれば、当社までお問い合わせください。
- YP690 級鋼を適用した溶接の際には、低温割れ防止のため 100℃以上の予熱を推奨いたします。
また、大入熱での溶接は避けるようにしてください。

8 おわりに

以上、カーボンニュートラル社会実現に向け、重要なエネルギーとして位置づけられる洋上風力発電および洋上風車の敷設工事に使用されるSEP船向け溶接材料について紹介しました。本稿で紹介した溶接材料および新技術適用により、お客様の溶接に際しての品質向上および生産性向上、かつコスト低減の一助となれば幸いです。