

FN式潜弧溶接法 (シリーズ①)

富士製鉄KK中央研究所* 堀 田 知 道

1. 緒 言

近年、船舶、压力容器、高層建築物などの構造物の大型化にともない、使用される鋼板の板厚が増加しつつあるがこの、厚板を如何に工数を少くし能率よく健全な溶接物を製作するかに苦心がはられる。厚板の溶接の高能率化のため、各種の自動溶接法が活用され普及されつつあり、夫々の分野で自動溶接の能力が発揮されているが、それとともに溶接部の切欠靱性に対する要求もますます高度化しつつある。FN式潜弧溶接法はこの溶接能率の向上と溶接部の切欠靱性の改善目的として開発したもので、FN式サブマージアーク溶接法とFNバーサブマージアーク溶接法の2種がある。ここでは本溶接法の概要を述べ、軟鋼、高張力鋼および低温用鋼に応用した例と、表面硬化肉盛溶接に応用した場合について述べる。

2. FN式サブマージアーク溶接法の装置

図1にFN式サブマージアーク溶接法の装置の概略図を示す。a型は電極ワイヤの送給モーターと同一軸を使

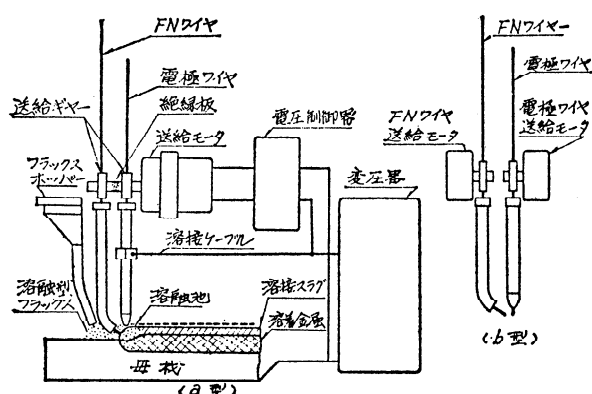
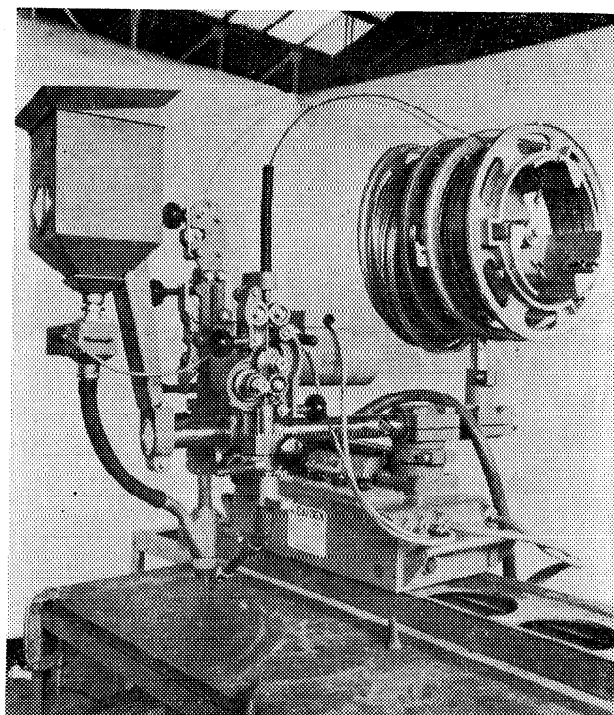


図1 FNによるサブマージアーク溶接装置の略図

用し、さらに1つの送給ギヤーをつけてFNワイヤの送給を行う方法であり、b型は電極ワイヤの送給モーターと別個のFNワイヤ送給モーターを取りつけ、FNワイヤの送給は電極ワイヤの送給より更に高速度で送給出来るようにしたものである。写1は大阪電気機製の“DAIDEN MELT”, G1-C₂型のものであり、電極ワイヤとFNワイヤの送給比は1:1あるいは1:2の2段

階に切換えることが出来る。



写1 FNa型サブマージアーク溶接機

FN法はFNワイヤと呼ぶ合金成分、脱酸剤および造滓材などを内蔵する有芯複合ワイヤを電極ワイヤの側面から添加してサブマージアーク溶接する方法で、このFNワイヤはアークの熱エネルギーによって2次的に溶融させるようにしたものである。

FNワイヤの送給の方法によりa, b 2つの型に分けられる又FNワイヤ(4mmφ)を長さ100cmないし70cmに真直ぐ切断したもの(FNバー)を開先内に一ぱいに埋め込んで従来のサブマージアーク溶接する方法をFNバー式サブマージアーク溶接と云いこの方法は同様の効果が得られる。

3. FN法の特徴

FN法の詳細についてはすでに溶接学会誌等に(1)(2)報告済みであるが、その概要を以下に述べると

(1) 溶接金属の切欠靱性の向上

FNワイヤ中に脱酸剤および塩基性フラックスを含有

* 神奈川県相模原市淵野辺977

しているため、溶接中に脱酸反応が充分行われ、溶接金属中の酸素含量が減少し、又スラグが塩基性となるため、還元されて溶接金属に入る Si 量が少なくなり、溶着鋼中の介在物の量が著しく少くなる。これらの効果により切欠靱性が向上している。その他、写2に示すように、



写2 溶接金属組織の比較

FN法は組織が微細化されており、これはFN法の溶接温度が従来法より低く、又冷却速度が大きいためと考えられる。すなわち溶着鋼の凝固時のデンドライトの生成温度範囲および変態温度範囲の冷却速度が大きいため、溶着鋼の柱状晶の成長および変態時の各相の成長も妨げられ組織が微細化されたものと考えられ、この組織の微細化も衝撃値の改善に寄与するものである。

(2) 溶接能率の向上

FNワイヤ添加しているため当然従来法より能率すなわち、溶着速度（単位時間内に溶着金属となる量）が増大することになる。電極ワイヤとFNワイヤの線径の組み合わせによって溶着速度が変り、FN a型の能率は、表1に示すような値となる。またFN b型の溶接能率はFNワイヤの送給速度によって変えることが可能であり、その節図は、130%~160%である。

表1 FN(a)型の溶着効率

電極ワイヤ径	FN ワイヤ径	効 率 η
4.0	3.6	130 %
4.8	4.0	135 %
6.4	4.8	125 %

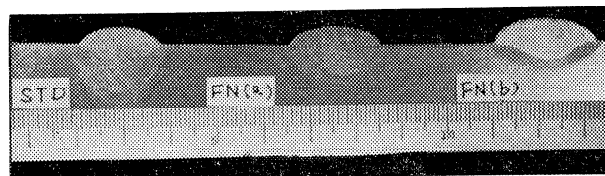
表2 FN 法と従来法との溶接金属の化学成分の比較

電極ワイヤ 4.8mm 径	フラックス	FN ワイヤ 3.6mm 径	溶 接 金 属 の 化 学 成 分							溶接スラグの塩基度 (B. L)
			S	P	C	Si	Mn	Ni	Mo	
W-10 ^a	C-300	—	0.029	0.023	0.10	0.70	1.55	—	—	-0.26
〃	〃	FN-43	0.023	0.019	0.13	0.20	1.43	—	—	+0.09
〃	〃	FN-60	0.022	0.018	0.08	0.27	1.51	0.71	0.21	+0.33
〃	XF	—	0.033	0.029	0.08	0.34	1.30	—	—	-0.11
〃	〃	FN-43	0.024	0.021	0.12	0.13	1.31	—	—	+0.31
〃	〃	FN-60	0.023	0.022	0.08	0.18	1.36	0.76	0.23	+0.27

註) a W-10 は # 36 に相当する

(3) ビード形状

FN法と従来法の主な相違は、ビードや、余盛高さがFN法の方が従来法より大きく、逆に溶け込み深さが少なくなっている。FN b型になるとこの傾向は更に著しくなる。溶接ビードの断面形状を写真3に示す。このよう



溶接電流：800 Amp
アーク電圧：38V
溶接速度：Cm/min

写3 各溶接法のビード断面形状の比較

なビード形状は厚板の片側からの1層溶接は上述の溶着量の大きいこととあいまって一層有利となり、また肉盛溶接の場合は母材の溶け込み量も少く大いに能率が向上出来る。

(4) 耐亀裂性にすぐれている

前述のようにビード形状がFN法の場合従来法にくらべて、溶け込みが浅くなるので、開先内を溶接した場合従来法によるような梨形に近いビードにならず、高温割れに対して安全であると云える。また表2に示すようにFN法は従来法に比較して、高温割れに非常に敏感である溶着鋼中のP、Sの含量が低下しているため、ビードの形状と共に耐亀裂性をよくする原因となっている。

4. 軟鋼 50kg/mm², 60kg/mm² 高張力鋼および低温用鋼に対する結果

FNワイヤ中に適量の脱酸剤、合金成分を配合し、各鋼種に対するFNワイヤを製造し溶接継手性能試験を行い従来法と比較した。使用した電極ワイヤとフラックスの成分を表3、4に示す。

(1) 全溶着鋼および溶接継手衝撃試験結果

全溶着鋼および溶接継手の2mmV ノッチシャルピー

表3 電極ワイヤ, 化学成分 %

種 類	線 径	C	Si	Mn	P	S	Cu
W - 20	4.8mm	0.07	0.01	0.35	0.015	0.015	0.15

表4 フラックス 化学成分 %

種 類	メ ッ シ ュ	SiO ₂	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO
C - 300	20×D	44.40	8.15	24.01	6.48	1.48	4.50	0.73

衝撃試験結果を、図2, 3, 4および5に示す。夫々軟鋼, 50kg/mm²(F TW-52), 60kg/mm²(F TW-60)および低温用鋼 (F LT-2 B) の各鋼板に対する溶接結果である。軟鋼についてはFN法は、従来法にくらべ全溶着鋼, 溶接継手ともすぐれた切欠靱性を示した。50 kg/mm² 級高張力鋼の溶接はFN法のみ結果であるが室温低温においても充分良好な結果が得られた。60kg/mm²級では従来法よりわずかにまさった結果が得られた。低温用鋼に対する結果は継手の場合 $E_{60}=7.0$ kg-m/cm² $vT_{rE}=-49^{\circ}$ と云う良好な結果が得られた。

(2) 機械的性質

表5に全溶着鋼の化学成分および機械的性質を表6にこれら溶接継手の機械的性質を示す。このような結果は

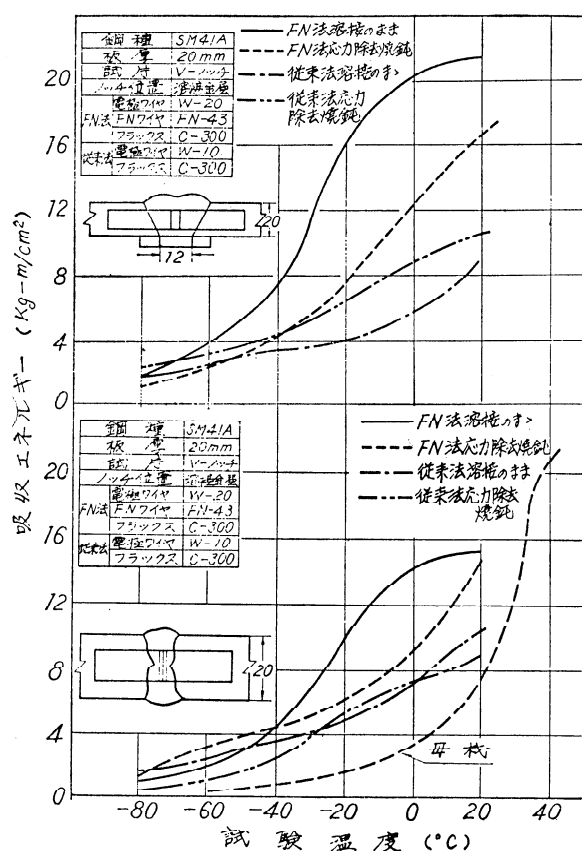


図2 軟鋼の全溶着金属と溶接金属のシャルピ遷移曲線

引張試験, 曲げ試験ともFN法が溶接継手性能のすぐれていることを示している。表7にFN法の各種板厚に対する適正溶接条件を示した。

5. 厚板の高能率自動溶接法への適用

厚板を片側1層溶接するような高能率自動溶接を行う際には能率がa型にくらべ更によく, また溶け込みが少く溶け落ちの心配がない理由からFNb型が有利となる。

板厚32mmの造船材E級鋼をV開先で片側から一層溶接する場合, 被覆アーク溶接棒で2層溶接を行なった後, FNb法で一層溶接し溶接継手を仕上げた。この場合, FNワイヤの送給速度は電極ワイヤの約2.5倍であった。この溶接継手の引張, 曲げ試験結果は表5に示したがなんら問題なく, 溶接継手の衝撃試験結果を図6に示す。

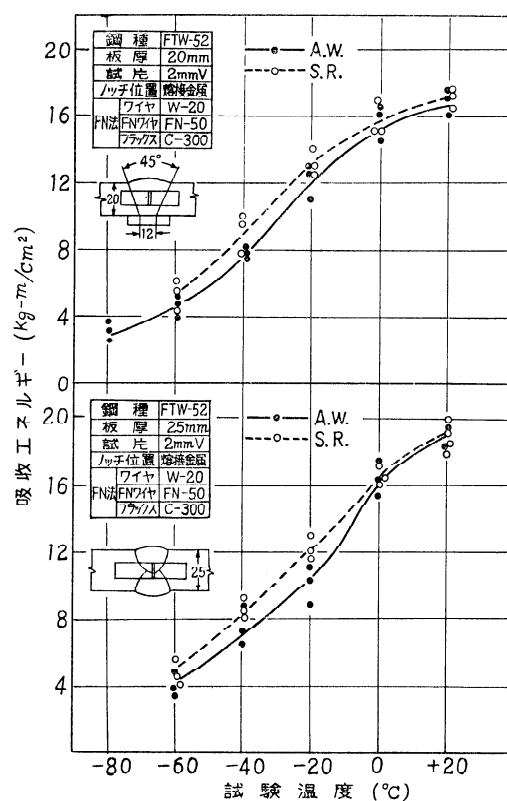


図3 F FN法によるF TW-52の全溶着金属および溶接継手の衝撃試験結果

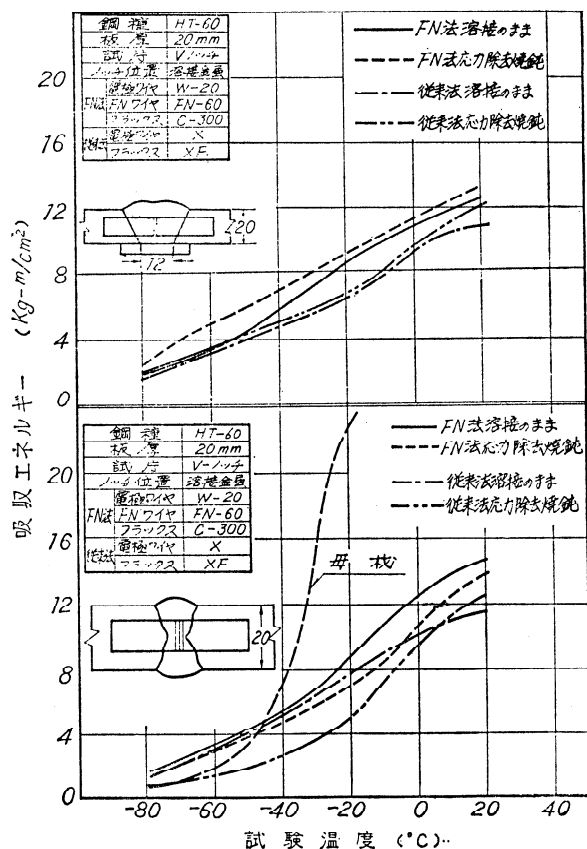


図4 60キロ高張力鋼の全溶着金属と溶接金属のシャルピ遷移曲線

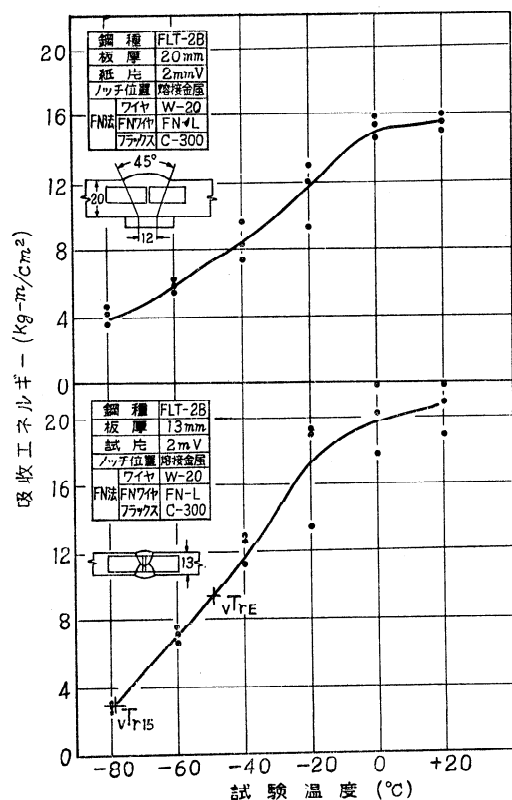


図5 FN法によるFLT-2B低温用鋼の全溶着金属および溶接継手の衝撃試験結果

表5 全溶着金属の化学成分と機械的性質

鋼種	溶接法	電極 ワイヤ 4.8 mmφ	FN ワイヤ 線径 (mm)	フラックス (20× D)	化学成分 (%)								処 理	機械的性質			
					C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	O ₂		降伏点 kg/ mm ²	引張強 さ kg/ mm ²	伸び %	絞り %
軟鋼	従来法	W-10	—	C-300	0.08	0.56	1.21	0.020	0.022	—	—	0.073	AW	47.3	57.2	27.6	54.8
	FN法	W-20	FN 43 (3.6)	C-300	0.05	0.12	0.63	0.015	0.014	—	—	0.042	SR	42.4	54.2	32.0	61.0
50キロ高張力 鋼(FTW 52)	FN法	W-20	FN 50 (4.0)	C-300	0.07	0.34	1.26	0.018	0.012	—	0.25	—	AW	48.1	59.6	26.6	62.0
													SR	45.6	56.7	28.0	64.1
60キロ高張力 鋼(FTW 60)	従来法	X	—	XF	0.06	0.25	1.01	0.024	0.023	0.03	0.40	0.067	AW	49.9	61.4	24.6	57.1
	FN法	W-20	FN-60 (3.6)	C-300	0.04	0.26	0.98	0.016	0.014	1.12	0.36	0.062	SR	50.2	60.5	25.0	69.5
調質低温用鋼 (FLT-2B)	FN法	W-20	FN-L (4.0)	C-300	0.07	0.29	1.32	0.017	0.013	—	0.22	—	AW	52.8	60.8	24.2	54.8
													SR	52.2	60.1	28.0	64.9

−10℃の衝撃値は造船用E級鋼の規格値を充分満足する値を示し、またその溶接熱影響部の中も狭く、脆化の程度が従来法にくらべて少ない結果が得られた⁽³⁾。

6. 表面硬化肉盛溶接への適用

FN法は従来方にくらべ用材の溶け込みが少く、またFNワイヤ中に合金元素を任意に添加出来るので、表面硬化肉盛溶接に適している。FNワイヤ中に硬さを増加

させる合金元素として Si, C, Mn, Cr, Mo, W などを添加した。これらのワイヤを用いて 800A, 38V, 40 cm/min の溶接条件で、4 層肉盛溶接を行い最終層の硬さの測定を行った表 8 に溶接金属の化学成分および硬さを示す。硬さの範囲は250~700までの各段階の硬さが得られ、そのばらつきの範囲は被覆アーク溶接棒のそれと同程度であった。FNb型で溶接法を行った場合、合金元素の添加量が多くなるので硬さも50~100高くなる。

磨耗試験の結果 FN法によって得られた溶接金属の耐磨耗性は被覆アーク溶接棒による従来の結果に優るとも劣らないものであった。

7. FN バー式溶接について

この溶接方法は、溶接の高効率化を主たる目的としている。この FNバー溶接法は FN式サブマージャーク溶接法で使用している FNワイヤと同一成分のものを真直ぐ 4 mm に伸線加工しそれを長さ 1 m あるいは、70cm の長さに切り（これを FNバーと呼ぶ）溶接する際、この FNバーを開先内に置き、板表面までいっばいにうめ、その上をサブマージャーク溶接する方法である。FNバー溶接法の能率は約 145% 程度であって特別な治具を必要とせず溶接を行い得る。また衝撃値は FN法と比較してあまり大差なく良好である。

FN バー溶接法による板厚 20, 25, 32mm 鋼板の片側溶接の試験結果を表 9 に示す、SS材 SM材の衝撃値の試

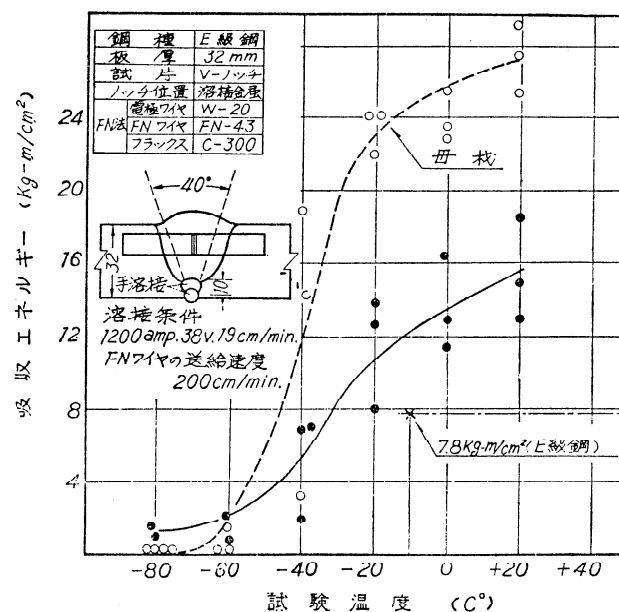


図 6 E級鋼片面1層溶接金属シャルピ遷移移曲線

表 6 溶接継手の機械的性質

鋼 種	板厚 (mm)	溶接法	電極ワイヤ 4.8 mmφ	フラックス	FN ワイヤ	開先 形状	溶接条件			層 数	処 理	機械的性質			ローラ ー曲げ	側曲げ
							電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/分)			降伏点 kg/mm²	引張強 さ kg/mm²	伸び%		
軟 鋼	20	従来法	W-10	C-300	—	X	B 750	35	40	2	AW	29.2	54.7	24.1	good	good
		FN(a) 法	W-20	C-300	FN 43 (3.6)	X	F 850	38	40	2	SR	26.9	51.3	25.8	"	"
							B 800	38	40	2	AW	27.3	52.6	25.1	"	"
							F 850	38	40	2	SR	27.0	49.1	27.0	"	"
E 級 鋼	32	FN(b) 法	W-20	C-300	FN 43 (3.6)	V	1200	38	19	1	AW	33.9	45.1	30.9	"	"
50キロ高張力 鋼 (FTW-52)	25	FN(a) 法	W-20	C-300	FN 50 (4.0)	X	B 800	36	40	2	AW	*53.8	61.2	—	"	"
							F 850	36	40	2	SR	49.8	57.6	—	"	"
60キロ高張力 鋼 (FTW-60)	20	従来法	X	X F	—	X	B 750	35	40	2	AW	52.6	63.0	17.2	"	"
		FN(a) 法	W-20	C-300	FN 60 (3.6)	X	F 850	38	40	2	SR	52.6	62.9	17.2	"	"
							B 800	38	40	2	AW	51.2	63.1	19.5	"	"
							F 850	38	40	2	SR	46.9	62.4	22.1	"	"
調質低温用鋼 (FLT-2B)	13	FN(a) 法	W-20	C-300	FN50L (4.0)	X	B 750	36	40	2	AW*	—	51.5	—	"	"
							F 650	36	40	2						

* 短ゲージ引張試験

表 7 FN(a) による各種板厚に対する溶接条件

板 厚 mm	電 極 径 mm	開 先 形 状					パ ス	溶 接 条 件			備 考
		a	b	c	θ ₁	θ ₂		①	②	③	
13	4.8	8	5	—	80	—	2	700 35 40	650 35 40		
16	4.8	5	6	5	90	90	2	650 36 40	700 35 40		
20	4.8	6	7	7	90	90	2	800 35 40	850 35 40		
25	4.8	9	7	9	70	80	2	900 35 25	1100 36~38 25		
32	6.4	12	9	11	70	90	2	1050 38 20	1100 38~40 20		
38	6.4	14	10	14	70	70	2	1100 38~40 20	1100 38~40 20		

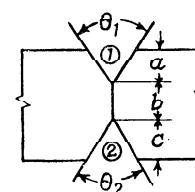
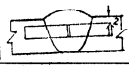
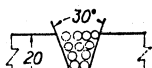
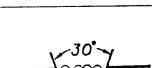
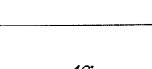


表8 溶接金属の化学成分とたたき

溶接法	マ ー ク	電 極 ワイヤ	F N ワイヤ	フラッ クス	化 学 成 分 (%)						硬さ範囲 NHv Load: 20kg	平均硬さ
					C	Si	Mn	Cr	Mo	W		
F N (A)	K 013	W-10	—	C-300	0.08	0.57	1.21	—	—	—	191~222	200
"	K 211	"	K 2	C-100a	0.10	0.62	1.18	1.53	0.31	—	242~284	265
"	K 221	W-20	K 2	"	0.08	0.46	0.78	2.55	0.48	—	232~312	269
"	K 321	"	K 3	"	0.06	0.37	0.64	3.16	0.24	—	254~297	272
"	K 323	"	K 3	C-300	0.08	0.35	0.98	2.75	0.22	—	243~289	272
"	K 421	"	K 4	C-100	0.07	0.42	0.73	3.41	0.30	—	274~327	302
"	K 223	"	K 2	C-300	0.10	0.35	1.18	2.23	0.46	—	289~333	315
"	K 311	W-10	K 3	C-100	0.08	0.46	1.12	3.24	0.23	—	309~357	337
"	K 423	W-20	K 4	C-300	0.10	0.40	1.15	3.13	0.31	—	339~351	344
"	K 411	W-10	K 4	C-100	0.09	0.62	1.28	3.61	0.33	—	342~387	369
"	K 313	"	K 3	C-300	0.11	0.49	1.60	3.01	0.23	—	345~397	370
"	K 413	"	K 4	"	0.11	0.49	1.64	3.17	0.29	—	373~417	386
"	K 213	"	K 2	"	0.12	0.49	1.81	2.23	0.46	—	380~417	401
"	K 523	W-20	K 5	"	0.32	0.62	1.83	1.80	0.73	—	490~543	524
"	K 521	"	K 5	C-100	0.28	0.79	1.40	1.85	0.76	—	493~543	526
"	K 513	W-10	K 5	C-300	0.34	0.77	2.60	1.88	0.75	—	529~606	515
"	K 511	"	K 5	C-100	0.33	0.80	1.91	1.74	0.66	—	540~610	581
"	K 313	"	K 8	C-300	0.58	0.02	1.45	—	—	11.89	652~741	698
F N (B)	K 423M	W-20	K 4	"	0.12	0.40	1.37	5.78	0.52	—	376~417	396
"	K 413M	W-10	K 4	"	0.14	0.46	1.93	6.77	0.61	—	390~446	419
硬化肉盛用 被覆アーク 溶接棒	H-2(5 mm径)				0.05	1.06	0.91	0.67	—	—	225~275	233
	H-3(")				0.10	1.08	0.89	1.36	0.53	—	325~325	367
	H-6(")				0.64	1.58	1.16	2.72	(V) 0.25	—	650~740	719

註) a C-100 はグレード 20 に相当する

表9 FNバー溶接法による溶接金属の性質

No	鋼 種	溶 接 材 料				溶 接 条 件				機 械 的 性 質				衝 撃 値 ノッチ位置 
		FN バー	電 極 ワイヤ	フラッ クス (粒度)	FN バーの本 数	開 先 形 状	電流 (A)	電圧 (V)	速度 (cm/ min)	降伏点 (kg/ cm ²)	引張強 (kg/ cm ²)	伸び (GL =50)	絞り (%)	
1	SS. 41 20mm	FN-43	W-20 4.0 mm	C-300 (20× D)	8		1,000	36	22	26.1	45.2	39.0	32.2	VEo 15.54 16.98 14.79 (15.76)
2	"	"	"	"	12		1,100	36	20	26.7	44.0	38.3	33.0	VEo 14.79 9.80 9.80 (11.13)
3	S.M41 (B) 25mm	"	"	"	11		1,100	36	20	32.9	49.5	36.2	47.0	VEo 8.76 9.10 10.49 (9.45)
4	S.M 41 (B) 25mm	"	"	"	15		1,200	38	18	26.4	43.7	37.3	55.0	VEo 15.51 17.34 16.24 (16.38)
5	グレード (E) 32mm	"	"	"	21		1,200	38-40	18	29.1	48.9	37.6	51.2	VE-10 12.25 7.10 14.79 (11.38)

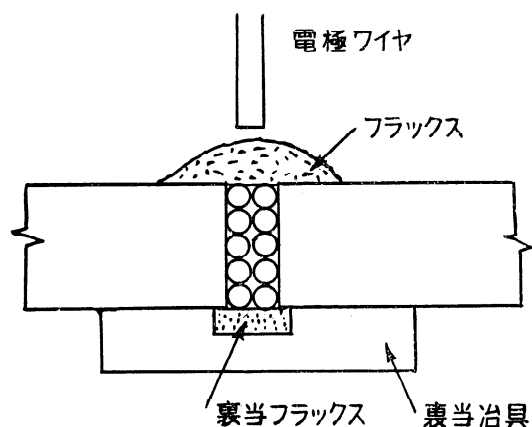
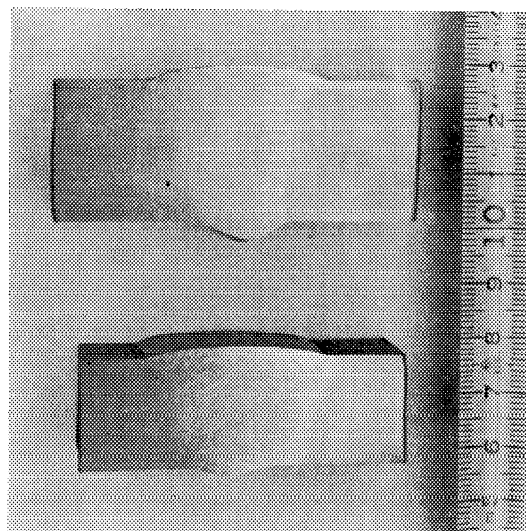


図7 パーによる裏波溶接

験温度は0℃（E級鋼は-10℃で行った、SS材 SM材の0℃の衝撃値は9.5kg-m/cm²以上、E級鋼の-10℃における衝撃値は8.3kg-m/cm²以上であった。

また FNバーを利用して裏波ビードを出し片面から一層溶接する方法も可能である。図7に示すように、開先形状はI型のままでよく、適当な間隔をあけ、その間に FNバーを積み重ね 裏当治具を用いて、特殊な裏波用のフラックスを散布し片面より溶接する方法である。これによって美しい裏波ビードを得、かつ片側溶接することによって工数の節減を図ったものである。



写4 裏波溶接断面写真

上 板厚 25mm 下 板厚 20mm

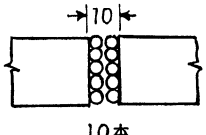
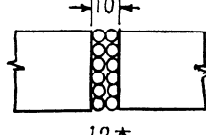
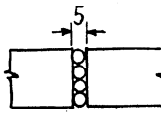
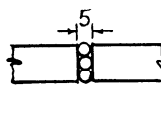
実験結果を表10に示す、また断面写真を写4に示す。

8. 船級協会 NK, ABS 承認について

FN式溶接法の溶接材料として NK および ABS の承認は FN43, FN50 について完了している。

NK では心線 W-20, フラックス C-300 との組み合わせで、FN43, FN50 共に溶接部規格 3号に合格し、W

表10 FNバー裏波溶接の溶接条件および試験結果

鋼板 および 板厚	溶接材料				溶接条件		引張試験 J I S A 1 号				溶接金属衝撃値	
	電極 ワイヤ	FN バー	フラックス (粒度)	裏当フ ラックス 粒度	開先形状 FNバー本数	電流 電圧 速度	降伏点 kg/ mm ²	引張強 さ kg/ mm ²	伸び %	絞り %	採取位置中央部	
											vEo m/cm ²	kg- vE-10
SS 41 20mm	W-20 6.4 mm	FN43 4.0 mm	C-300 (20× D)	F (20× D)	 10本	1000A 35V 20 cm/min	33.6	47.2	34.0	66.0	13.0 14.1 13.3 (13.5)	14.1 8.7 8.1 (10.3)
SM 41 25mm	"	"	"	" (8× 48)	 12本	1200 35 20	34.0	47.0	32.0	64.5	10.8 8.1 9.1 (9.3)	—
SS 41 15	"	"	"	" (8× 48)		900 34 28	—	—	—	—	—	—
SS 41 12	"	"	"	" (8× 48)		800 34 28	—	—	—	—	—	—

-20にC-100の組み合わせでは2号に合格している。
ABSについてもNK 3号、2号に該当と承認された。
現在ロイド規格の承認試験を受けている。

9. む す び

新しいサブマージーク溶接法であるFN法を従来法と比較しながら説明し、軟鋼、50キロ、60キロ高張力鋼、低温用鋼に対する適用と、表面硬化肉盛溶接の結果についてその性能をのべ、FN法の簡便法としてFNバー溶接法の溶接施工例と、その性能について示した。

FN法の溶接には 種々な方法があるがそれを総括すると次のようになる。

種 別	用 途 及 び 特 徴	能 率
FN a型 (同軸式)	一般鋼材、HT および 低温用鋼など高切欠靱 性を要求される溶接、 肉盛溶接。	130%

FN b型 (異軸式)	溶け落ち防止。 船台の高エネルギー溶接。 肉盛溶接。	130～ 160
FN バー溶接法	簡単に行える。 船台溶接。 高エネルギー溶接が可能。 溶け落ち防止。 裏波溶接可能。 層数の節減が出来る。	145%

以上その用途に応じて適当な形式のFN式溶接法を行えば、それぞれの方法の特徴が発揮され、非常に有利な溶接法となり、衝撃値の改善と共に溶接施工の改善に役立つものである。

文 献

- (1) 堀田、馬田他 溶誌 Vol.33 No.1 p.38～54 (1964)
- (2) 堀田、馬田他 富士鉄技報 vol.13 No.1 p.113～122 (1964)