(昭和 33 年 11 月造船協会秋季講演会に於て講演)

非磁性金属艀装品の試作について

(アンカーチェン, ボラード, フェアリーダー)

正員 馬 場 義 補^{*}

正員 菱 田 一 郎^{**}

渡 辺 精 三^{***}

On Trial Production of Non-Magnetic Equipment

By Yoshisuke Baba, *Member*

Ichiro Hishida, *Member*

And Seizo Watanabe

Abstract

It is very important to use the non-magnetic materials in the equipment of a mine sweeping boat, and these weight is massive compared with the other machinery and fittings.

We determined the chemical composition of a high magnetic steel with the careful consideration from the point of view its use, and carrying out tests on mechanical properties, magnetic characters, weldability, castability and forgeability of the material, thus we got good sufficient results for the purpose.

1. 緒 言

従来所謂木造船は磁気機雷に対しては安全と見做されていたが、第2次世界大戦終結以後の磁気機雷の急速な発達によつて、消磁装置を装備すると同時に、その搭載品の非磁性化に関して甚大な努力が払われている。その中木造船の消磁に関しては、さきに木下博士¹⁾及び田口氏⁽¹⁾によつて、その研究成果の一部が発表せられているが、本報告はこれと表裏一体をなす木造船用艀装品の非磁性化に関する研究結果に関するものである。

従来艀用艀装品としては鍛鋼材、铸鋼材など強磁性金属が主として使用されているが、後述するアンカーチェン、ボラード、およびフェアリーダーなどは木造船に搭載される艀装品としては重量的に大きな部類に属するものである。先ず最初にこれらの艀装品の非磁性金属化が強く要求されていた。このような状況において筆者らは種々その材料を選択考慮した結果、高マンガン鋼系非磁性金属を用いることに着目し、数次に亘る試作研究の結果、遂に非磁性艀装品として充分その目的に適合したと認められるアンカーチェン、ボラードおよびフェアリーダーの試作（以降単に試作艀装品と呼ぶ）を完成することができた。

2. 材 料 の 選 定

非磁性金属材料としては非鉄合金ではモネルメタル及び高力黄銅などの高力合金があり、鉄合金ではステンレス鋼を代表とするオーステナイト系鋼などが考えられるが、铸造性、溶接性、機械加工性ならびに製作費などの点をも併せ考へて、筆者らは高マンガン鋼に着目した。ボラード、およびフェアリーダーについては铸造性が最も大きな問題になるので、従来から使用されている铸造用高マンガン鋼の材料を使用し、アンカーチェン用材料

原稿受付、7 月 14 日

* 防衛庁技術研究本部

** 日立造船神奈川工場

*** 日立造船技術研究所

第1表 組成成分

	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%
アンカーチェーン材	0.70	0.42	15.45	0.042	0.009	1.75	0.49
ボラードフェアリーダー材	1.22	0.40	13.45	0.066	0.015	—	—

については後述するように溶接性に関する強い要求があるので、その点を重視して、溶接施工に適するように組成成分を調製するとともに、特殊元素を添加した新しい特殊高マンガン鋼を考案して、これを使用することにした。以上のような考察のもとに筆者らは第1表* に示す組成成分の高マンガン鋼を用いて本研究を行った。

3. 素材試験

第2表
機械的試験成績表

	引張り強さ kg/mm ²	伸び(標準間 距離50mm) %	断面収縮率 %	衝撃値 kg/cm ²			曲げ試験 180°
				+16°C	0°C	-40°C	
アンカーチェーン材	101.3	72	50	36.7	36.8	37.0	180°
ボラード材	95	45.6	38.6	—	—	—	—
フェアリーダー材	92.5	44.0	36.9	—	—	—	—

第1表に示したような高マンガン鋼を用いて、アンカーチェーン、ボラード並びにフェアリーダーの非磁性艀装品を製作したが、これらの素材に対して行つた機械的試験、比誘磁率試験及び腐食試験の結果は次に記述する通りである。

3-1 機械的試験

非磁性艀装品用素材の引張り強さ試験、衝撃試験及び曲げ試験を JIS 規格によつて実施した結果は第2表に示す通りである。

3-2 比誘磁率試験

比誘磁率試験は各々の素材で楕円形環の試験片を製作し、この試験片について実施した。その試験結果は第3表に示す通り磁場の強さ $H=10$ エルステッドで比誘磁率はアンカーチェーン材料で 1.3 以下、ボラード及びフェアリーダー材料で 1.1 以下の値を示した。

第3表 (1) アンカーチェーン材料

巻数 NI	励磁電流 mA	H(Oer)	θ	2N ₂ 区	B	μ
401	100	1.895	0.2	2.500	2.32	1.224
"	200	3.810	0.4	5.000	4.64	1.288
"	300	5.680	0.6	7.500	6.96	1.226
"	400	7.580	0.8	10.000	9.28	1.222
"	500	9.680	1.0	12.500	11.60	1.200

第3表 (2) ボラードおよびフェアリーダー材料

巻数 NI	励磁電流 mA	H(Oer)	θ	2N ₂ 区	B	μ
453	100	2.16	0.30	2.400	2.23	1.042
"	199	2.26	0.60	4.800	4.46	1.045
"	300	6.42	0.90	7.200	6.70	1.043
"	401	8.60	1.3	10.000	9.30	1.081
"	490	10.50	1.5	12.000	11.40	1.062

注: $N_2 = 424$ $\theta: 10 = 8.250$

3-3 腐食試験

アンカーチェーン材料並びにボラード、フェアリーダー材料の高マンガン鋼と SF55 材の耐食性(耐塩水)を比較するために耐食性試験を実施した。本実験は第1図に示すような試験装置により 10% NaCl 腐食液を用いて1分間1回転の乾湿交替方法で実施した。

腐食量の測定は重量法で行つたが、その結果は第2図に示す通りである。

第1図 腐食試験装置

第2図 腐食試験結果

* アンカーチェーン材は特許出願中

4. 試作艦装品の寸法および試作方法

4-1 寸 法

試作したアンカーチェンならびに付属品の寸法は JIS-F 3303 規格に従い第 3 図に示す寸法を目標寸法とした。なおボラード、フェアリーダーの寸法は第 4 図、第 5 図に示す通りである。

4-2 試作方法

(1) アンカーチェン……先ず高周波電気炉で溶製した高マンガン鋼を圧延加工して 22mmφ および 40mmφ のアンカーチェン用丸棒を製作した。この丸棒 (22mmφ) を所要の寸法に切断し、熱間加工で U 字型に曲げて半環を作り、その 2 個ず

第 3 図 アンカーチェンおよび付属部品寸法

第 4 図 ボラード寸法

- 注：1. 図中寸法は図面寸法を示す。
2. 図中括弧内寸法は実測寸法を示す。

第 5 図 フェアリーダー寸法

- 注：1. 図中寸法は図面寸法を示す。
2. 図中括弧内寸法は実測寸法を示す。

つを各々金型電極にはめ込み火花突き合せ溶接法により環を製作した。この環をさらに 900℃～950℃ に加熱してスタッドを圧着してチェンの製作工程を完了した。なおシャックル本体およびピンは 40mmφ の丸棒を鍛造して形成し、ピンの止孔は放電加工法により開孔した。これらの製品はいずれも 1,050℃ により焼入を実施して熱処理した。

(2) ボラードおよびフェアリーダー……高マンガン鋼は加工性が悪く、かつ鑄造の際収縮が大きいいため取り付け用ボルト孔は現型で取り、全部黒皮とした。また伸び尺は 27/1000 を用い鑄造の際には充分の押湯を付した。なおボラードにはケレンを必要としたが、高マンガン鋼製のケレンを特製して使用し、鑄込み方法は横鑄込み方式を採用した。材料の溶解は塩基性エール式電気炉を使用して 1,480℃ の鑄込み温度で鑄造した。

5. 試作艦装品の製品試験

前述した方法により試作したアンカーチェン、ボラード及びフェアリーダーについて次のような製品試験を実施した。

5-1 アンカーチェン

火花突き合せ溶接法によつて製作したリンクの溶接部における金属組織、引張り強さ、ならびに 3 個リンク、

5個リンクの強度などについて基礎的試験を行った。

第6図 リンク溶接部引張り試験片採取要領

(1) リンクの溶接部における引張り強さ……第6図のごとく火花突き合せ溶接して製作したリンクのA部およびB部から試験片を採取して引張り試験を行った。その試験結果は第4表の通りである。

(2) リンク断面のマクロ試験……2個のリンクをそれぞれ縦割り、横割りして、その断面のマクロ試験を行い、溶着の状態、およびスタッドのはまり具合を調査した。その結果は第7図に示すように溶接部には全く欠陥はなく、充分密着している。またスタッドも完全に固着されていることが判明した。

(3) リンク溶接部のミクロ試験……溶接部の溶着状態を調査するため溶接部の金属顕微鏡組織試験を実施した。第8図はこの場合のミクロ組織を示したものであり、全体にオーステナイト組織を呈しており溶接部には全く欠陥は認められない。

第4表 リンクの溶接部引張り試験成績

試験片番号	断面積 mm ²	荷重 kg	引張強さ kg/mm ²	伸び % (軸間距離 mm)
A - 1	30.1	2770	92.0	66.9 (25.4)
B - 1	32.0	2960	92.5	60.0 (25.4)

第7図 リンク断面のマクロ試験

第8図 溶接部組織 (×100)

(4) 3個リンクおよび5個リンクの強度試験……強度試験にはチェン用 250t 横型引張り試験機を使用し、3個リンク及び5個リンクについて各荷重における変型量（変型量の測定は荷重 2t を加えた場合を基準とした。すなわち本論文に記述した各リンクの伸び寸法は各荷重より 2t に戻した状態で測定したものである）を測定す

第5表 3個リンク強度試験成績

リンク番号	点検前	5 t	10 t	18.2 t	21.8 t	26.8 t	切断荷重 t
A	126/76	125/76	126/75	128/75	131/74	136/74	44.6
B	125/78	—	—	128/78	—	—	45.0
SESS 試	120/78	126/78	126/78	127/78	129/78	—	36.6

注: (2)(3) 中央リンクについて 96 と計測した

第6表 5個リンク強度試験成績

リンク番号	無負荷	無負荷 2	無負荷 3	無負荷 4	18.2 t (2)	18.2 t (3)	18.2 t (4)	切断荷重
A	125/78	126/77	125/77	129/77	129/77	129/77	129/76.5	42.5
B	125.5/77	125.5/76	125/77	129/76	129/75.5	128/77	—	46.5

注: (2)(3)(4) 中央 23.4 3個リンクについて 4回試験(注)と同様な要領で測定した表中(2)(3)(4)は測定リンク NO を示す

るとともに規格の耐力荷重 18.2t を加えて耐力試験を行った。この試験結果は第5表、第6表に示す通り充分耐力荷重 18.2t に耐えるとともに、切断荷重はいずれも 42t 以上の値を示した。

なお本実験における3個リンクの切断後の状態の1例を第9図に示す。

5-2 ボラード及びフェアリーダー

鋳造して製作したボラード、およびフェアリーダーの外観を、肉厚検査ならびに耐力強度について基礎的な実験を試

第9図 3個リンク強度試験

(1) 外観検査……ボラード、およびフェアリーダーの鑄造製品は第 10 図に示す通りであり、外観検査での欠陥は全く認められなかった。

(2) 肉厚検査……製品を縦方向にガス切断して鑄造後の肉厚測定を実施した。その結果は第 4 図、第 5 図の括弧内数字に示す通りであり、図面寸法と大差なく充分使用に耐えることが判明した。

(3) 耐力試験……アンカーチェンの場合と同様にチェン用 250t 横型引張り試験機を用いて試験を実施した。すなわちシャックルをボラード、フェアリーダーの各々の腕に掛けてボラードには 8.06t、フェアリーダーには 1.3t の引張り荷重を加えて耐力試験を実施したが、いずれもサケキズ、割れなどの欠陥は認められなかった。

第 10 図 試作ボラードおよびフェアリーダー

6. 試作艦装品の破壊試験

前述した 250t 横型引張り試験機で 1 連のアンカーチェンならびにボラード、およびフェアリーダーの破壊試験を実施した。

6-1 アンカーチェンの破壊試験

1 連 25m のアンカーチェンの引張り試験の状態は第 11 図の通りであり、この場合の荷重とチェン全長の見掛の伸び、および永久歪の関係は第 7 表に示す通りである。なお 1 連 25m のチェンに試験荷重 18.2t を加え、チェンの任意の 3 個所において 10 個リンクの長さを測定した結果はおのおの 920, 911, 910mm であった。最後に 1 連 25m チェンの切断試験を実施したが、この場合の切断荷重は 30.5t であった。なお切断後に於いてもチェンの任意の 2 個所に於ける 10 個リンクの長さを測定したが、その結果はおのおの 1035, 1040mm であった。

第 11 図 1 連 25m チェン引張り試験

第 7 表 1 連 25m チェン引張り試験成績

荷重 t	2 t	5 t	10 t	15 t	18.2 t	21.8 t
見掛の伸び mm	0	36	69	125	290	1090
永久歪 mm	0	0	5	5	183	925

注：1. 見掛の伸びとは各重を加えた状態における伸び

2. 永久歪とは負荷面を 2 つまで下げた場合の残留伸びの量を示した

6-2 ボラード、フェアリーダーの破壊試験

前述した耐力試験と同様な方法により、ボラード、および、フェアリーダーの破壊試験を実施した。

(1) ボラード……耐力試験荷重より、さらに大きい荷重を加えたが 30t まではなんら異状は認められなかった。30t を越えると次第に変型を越し 39.5t で第 12 図に示すような状態で破壊した。

(2) フェアリーダー……ボラードの場合と同様に耐力試験荷重以上に荷重を増加したが、この場合は第 13 図に示す通り荷重 18.6t に於いて変型を起しはじめ 20t に於いて図のごとく大きく彎曲して破壊した。第 14 図はその破壊状態を示す。

第12図 ボラード破壊試験結果

第13図 フェアリーダー破壊試験

第14図 フェアリーダー破壊試験結果

7. 結 言

非磁性金属によるアンカーチェン、ボラードおよびフェアリーダーの試作実験ならびに、これに付随した諸試験の結果については上述した通りであるがこれらの実験結果を総括すると次の通りである。

(i) 上述の3種の非磁性艀装品に使用した材料は何れも高マンガン系オーステナイト鋼であり、特にアンカーチェンについては溶接性をも併せ考慮した特殊高マンガン鋼である。

(ii) 素材の機械的性質は非常に優れた成績を示した。即ちアンカーチェン用素材は引張り強さ 100 kg/mm^2 、伸び率 70% 以上、衝撃値 $36 \text{ kg} \cdot \text{m/cm}^2$ 以上の値を示し、低温脆性も全く認められず、一般チェン用鍛造鋼に比べて約2倍の強度を持つことが判明した。一方ボラードおよびフェアリーダー用素材においても引張り強さ $92 \sim 95 \text{ kg/mm}^2$ 、伸び率約 45% を示している。

(iii) 比誘磁率はアンカーチェン用材料で 1.3 以下の値を示し、ボラード、およびフェアリーダー用材料においては 1.1 以下の値を示しているため木造用非磁性材料として、充分目的に適した材料と言うことができる。

(iv) 濃縮海水 (10% NaCl) に対する耐食性も一般構造用鋼に比して優れた値を示した。

(v) 上述した素材を使用して製作した非磁性艀装品はいずれも初期の目的を充分達することが出来た。即ち

アンカーチェンに於ては3個リンク、5個リンクならびに1連25mのチェンに付いて実施した耐力試験ならびに破壊試験のいずれも極めて優秀な成績を示した。またボラード、およびフェアリーダーについても鑄造上の肉厚変動寸法誤差はいずれも少なく、耐力試験並びに破壊試験においても優秀な成績を示した。

参 考 文 献

- (1) 木下昌雄，田口正雍“木造船舶の消磁法について”造船協会論文集 第100号 p.209.
-