

(昭和 36 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

潜水艦“おやしお”の溶接工事について

正員 松 永 和 介* 正員 寺 井 清*
 正員 金 谷 文 善*

Welding of Submarine “Oyashio”

By Wasuke Matsunaga, *Member*Kiyoshi Terai, *Member*and Fumiyoshi Kanatani, *Member*

Summary

Japan's first postwar submarine “Oyashio” was launched at No.1 Building Berth at Kawasaki Dockyard on May 25, 1959. Representing the latest fabrication techniques in the construction of all-welded undersea craft, this vessel is now commissioned under the Japanese National Defense Agency.

This paper deals with the records of fabricating and welding techniques used for the construction of this craft. Summarized below are the points worthy of special mention :

- 1) Used for inner hull structure were weldable high tension steels, HT 50 and HT 60, and various quality tests were performed on each of the steel plates used.
- 2) The so-called unit cylinder assembling system was adopted in order to shorten the period of construction.
- 3) The length as well as the fabricating sequence of the unit cylinder assembly were decided in accordance with the results of the fabricating tests on models.
- 4) Many kinds of special jigs were devised in order to maintain the circularity of the inner hull structure and used successfully in the construction.

1 ま え が き

戦後における国産第一号潜水艦“おやしお”は、防衛庁の発注により、昭和 32 年 12 月 25 日、川崎重工業株式会社第一船台において起工し、昭和 34 年 5 月 25 日進水、その後艤装工事を完了し、30 回におよぶ水中運転を終えた後、昭和 35 年 6 月に無事引渡しを行つた。

本艦は戦後わが国で建造された最初の潜水艦であるというだけでなく、内殻板にすべて厚板高張力鋼を使用した全溶接構造であるという点で画期的なものといえよう。また建造法としては従来艦のロンジ方向に配置していた鋼板を本艦ではトランス方向に配置することによつて内殻構造の輪切ブロック建造法を採用し、肋骨はもちろん内殻内諸構造や外殻の一部まで定盤上で取付けを完了したことや、船台上における艤装工事をきわめて早期より着手し、進水時にはすでに主発電機、主電動機などの積込を完了し、その積込口の溶接による復旧も終えていたという点など、工期短縮のための全く新しい建造方針がとられた。このような新しい材料と新しい構造と新しい建造法という難関を見事に克服できたということは、関係者の施工中における非常な努力の結果であることはいうまでもないが、実際施工前にそれに数倍する周到な準備が着々と積み重ねられていたことも原因として見逃すことはできない。すなわち、厚板高張力鋼の溶接という点に関しては防衛庁、船舶設計協会などの主催する高張力鋼の試作および施工に関する各種委員会に加わつて鋼材の選定と溶接施工法の確立のための龐大な実験研究が続けられ、また輪切りブロック建造方式における内殻板の真円度確保に対しては、実際の施工に先立つて、約 80 個におよぶ内殻模型の圧壊実験や実物大の内殻管胴輪の試作などが行なわれ、それらの結果を十分検討した結果、本

原稿受付 昭和 36 年 6 月 20 日

* 川崎重工業 KK

艦の詳細な施工要領が決定されている。

本報告はそれらの予備研究と、さらに本艦の建造に平行して行なわれた鋼材の抜取試験結果などを含めて、“おやしお”建造に当つての溶接工事を中心とした諸問題を記録するために書かれたものである。

今後、潜水艦が国土防衛の主幹となつて“おやしお”につづく第2、第3の国産潜水艦がつぎつぎと建造せられ、やがて近い将来において必ずや原子力潜水艦に発展するであろうことをわれわれは確信している。この時に当り過去の幾多の先輩が残してくれた輝やかなしい潜水艦建造の歴史に、この“おやしお”施工記録を、新たな一頁としてつけ加えることを許されるならば関係者のこの上もないよろこびとするところである。

2 “おやしお”の主要目および使用鋼材

“おやしお”の主要目および概略配置図は Table 1 および Fig.1 に示すとおりである。

Table 1 Principal particulars of “OYASHIO”

Item	Length over all	78 ^M .800
	Extreme breadth	7 ^M .000
	Depth	5 ^M .920
	Draft	4 ^M .600
	Standard displacement tonnage	1,100 ^T
	Total weld length	about 40,000 ^M
	Number of rivet used	about 1,000
Const- ruction	Number of inner hull assembly	14
	Number of outer hull assembly	32
Schedule	Keel laying	Dec. 25, 1953
	Launching	May 25, 1955
	Delivery	June 30, 1956

Fig. 2 は内殻板の板割図と高張力鋼の種類を示しているが、設計上板厚が 30mm をこえる部分には調質鋼 (2H 鋼), その他はすべて50 キロ高張力鋼が使用されている。なお例外として内殻の一部ではあるが、前・後端材には軟鋼が使用された。

潜水艦用の厚板高張力鋼規格は本艦の建造に先立ち防衛庁を中心とした潜水艦高張力鋼工作基準委員会 (HK 委員会) において立案されたものであるが、当時は本艦用の暫定規格ということで、軟鋼には NS 23, 高張力鋼には SM 52 W (仮称) が規定された。規格の内容は、Table 2 に示すとおりであるが、高張力鋼で板厚が 30mm 以上のものは降伏点 40 kg/mm² 以上が規定されているため、本艦の内殻板で板厚 30mm 以上のものはすべて調質鋼が使用された。また以上は圧延鋼材に関するものであるが、本艦には種々のコーミング、貫通ピース用に高張力鋼の鍛鋼がかなり多数使用されており、これらの鍛鋼の場合にも上述の厚板の場合の規定に準じてすべて調質処理が行なわれている。

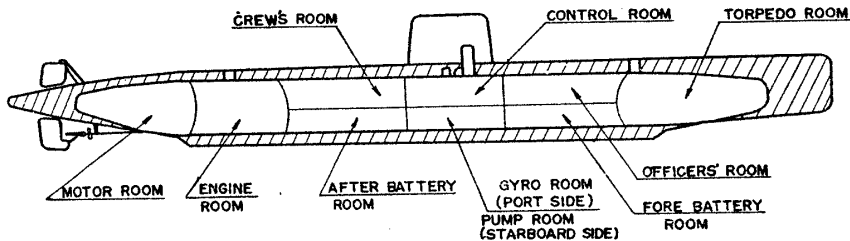
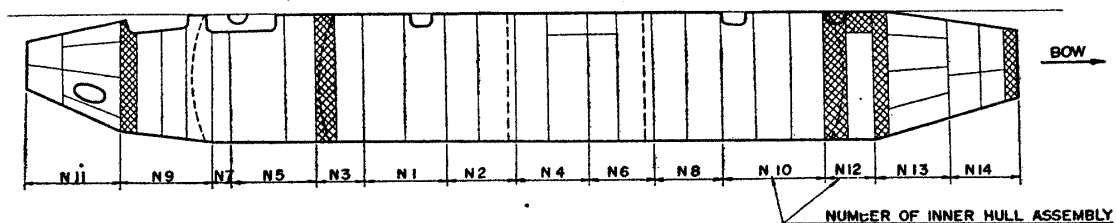


Fig.1 Schematic drawing of submarine “Oyashio”.



NOTE : IN HATCHED PARTS QUENCHED AND TEMPERED STEEL (HT 60) WAS USED AND IN OTHER PARTS HIGHTENSION STEEL (HT 50) WAS EMPLOYED

Fig.2 Arrangement of inner hull plates.

3 鋼材試験

内殻板に使用された 50 キロ高張力鋼は川崎製鉄および八幡製鉄から、2H 鋼は日本製鋼から納入されたが、川重では鋼材加工前に全鋼板について超音波探傷によるラミネーション検査を実施した。その結果成績の悪い一部の 50 キロ高張力鋼に対しては取替え処置がとられた。

Table 2 National Defence Agency specification of steels at the time of construction of “Oyashio” (provisional).

(I) National defence agency specification of rolled plates of high tension steels for war ship

Designation	Plate thickness range	Kind of ingot
NS 23A	Over 2.3 mm to 6 mm incl.	_____
NS 23B	Over 6 mm to 13 mm incl.	_____
NS 23C	Over 13 mm to 25 mm incl.	Killed or semi-killed steel
NS 23D	Over 25 mm to 30 mm incl.	Killed steel

(II) National defence agency specification of rolled plates of high tension steel plates for war ships.

Plate thickness (mm)	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Specimen	Bending test	
					Bending radius	Bending angle
6 ~ 13	50 ~ 58	>32	>20	No. 1	1.0 T	180°
13 ~ 30	50 ~ 56	>32	>20	No. 1	1.5 T	180°
>30	<65	>40	>18	No. 1	1.5 T	180°

	Chemical compositions (%)				* Ceq
	C	Mn	P	S	
NS 23A	_____	_____	< 0.040	< 0.050	_____
NS 23B	_____	_____	< 0.040	< 0.050	_____
NS 23C	< 0.20	> 0.60	< 0.040	< 0.050	< 0.40
NS 23D	< 0.18	> 0.60	< 0.040	< 0.050	< 0.38

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cu (%)	Ni (%)	Cr (%)
< 0.16	< 0.55	< 1.35	< 0.04	< 0.04	< 0.30	< 0.25	< 0.10

	Tensile test				Bending test		
	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield strength (kg/mm ²)	Specimen	Elongation (%)	Bending angle	Inside radius	Specimen
NS 23A	41 ~ 50	> 23	No. 5	> 21	180°	0.75t (t = thickness)	No. 1
NS 23B C D	41 ~ 50	> 23	No. 1	> 21	180°	0.51 (b < t < 20) 0.1 (20 < t < 30)	No. 1

Plate thickness (mm)	Max. hardness (VHN)
> 16	< 350

Plate thickness (mm)	Absorbed energy (kg-m/cm ²)
13 ~ 16	> 3.5 (0°C)
> 16	> 6.0 (0°C)

In following cases hardness test will be omitted

- 1) t ≤ 20mm Ceq ≤ 0.38
- 2) 20 < t < 30mm Ceq ≤ 0.36

Note: * Ceq = C + 1/4 Mn + 1/2 Si (%)

なお高張力鋼板に対してはほとんど各板毎にその残材の板耳から試験片を採取して、化学成分分析、引張試験、シャルピー衝撃試験などを行ない、製鉄所側の試験結果をチェックし万全を期した。またそれらの鋼板が内殻板として水圧機または曲げローラーによる冷間曲げ加工をうけたり、線状加熱や焼鈍

Impact test (t > 18mm)	Kind	Testing temperature	Absorbed energy of Charpy test (kg-m/cm ²)
	NS 23C	0°C	> 4.0
	NS 23D	0°C	> 6.0

(前後端材構造は溶接後応力焼鈍が行なわれた)による熱処理をうけた後でもなお十分な使用性能を示すかどうかをチェックするため、内殻板の各種抜取材から試験片を採取して同様の試験を行なった。

加工材の試験結果については第6章のところで述べることにし、ここでは as-received の鋼材試験結果のみについて言及する。まず鋼材残材より採取した試験片の化学成分分析結果と製鋼所側から提出されたミル・シートにおける化学成分とを比較したところ、Table 3 に示すごとくその差はきわめて小さく、ともに規格を十分満足すべきものであった。

つぎに鋼材の切欠靱性についてであるが、鋼板の残材 35 枚から各 3 個の試験片を採取して衝撃試験を実施したところ、その結果は、Fig. 3 に示すとおりであった。Fig. 3 においては 0°C の衝撃値 (E₀) と破面遷移温度 (T_{r_s}) との関係をとつてデータを整理しているがほぼ直線関係にあることがわかる。

つぎに引張性能に関しては、Fig. 4 に内殻板用の 50 キロ高張力鋼の製鋼所のミル・シートにおける値と川重において行なつた引張試験結果との両者を比較して示している。この図でみると両者の間には大きな差はみられずしかもいずれも NS-30 C の規格に合格する良好な結果を示していることがわかる。なお Fig. 4 に示された引張試験は約 30 枚の鋼板からそれぞれ 2 枚の試験片を採取して行なわれたものである。

さて、前述のごとく、本艦用の 50 キロ高張力鋼の素材の一部にはかなりラミネーションのみられるものがあつたわけであるが、この問題とも関係して川重ではやはり鋼板残材からミク

Table 3 Comparison of chemical compositions on mill sheet and those obtained in chemical analysis in Kawasaki Dockyard.

Items Compositions	Values in mill sheet	Results of chemical analysis	Deviation of values obtained in chemical analysis from values in mill sheet	Specification of National Defence Agency
C	0.14	0.13 ~ 0.16	-0.01 ~ +0.02	< 0.16
Mn	1.04 ~ 1.23	1.05 ~ 1.26	-0.07 ~ +0.09	< 1.35
Si	0.28 ~ 0.43	0.34 ~ 0.39	-0.05 ~ +0.10	< 0.55
P	0.014 ~ 0.020	0.016 ~ 0.026	-0.004 ~ +0.006	< 0.04
S	0.014 ~ 0.020	0.015 ~ 0.022	-0.04 ~ +0.004	< 0.04
Cu	0.10 ~ 0.13	0.14 ~ 0.16	+0.02 ~ +0.04	< 0.30
Ni	0.02 ~ 0.03	0.01 ~ 0.03	-0.01 ~ -0.02	< 0.25
Cr	0.02 ~ 0.05	0.03 ~ 0.05	-0.01 ~ +0.02	< 0.10

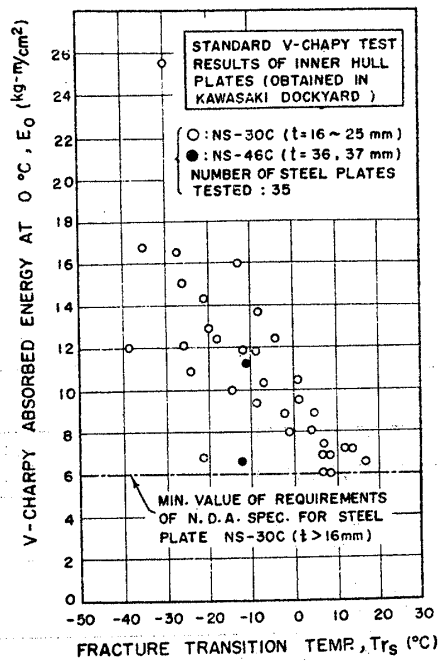


Fig.3 Relation between E_0 and T_{rs} obtained in V-Charpy test of inner hull plates.

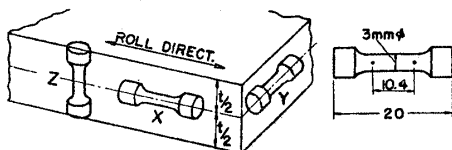
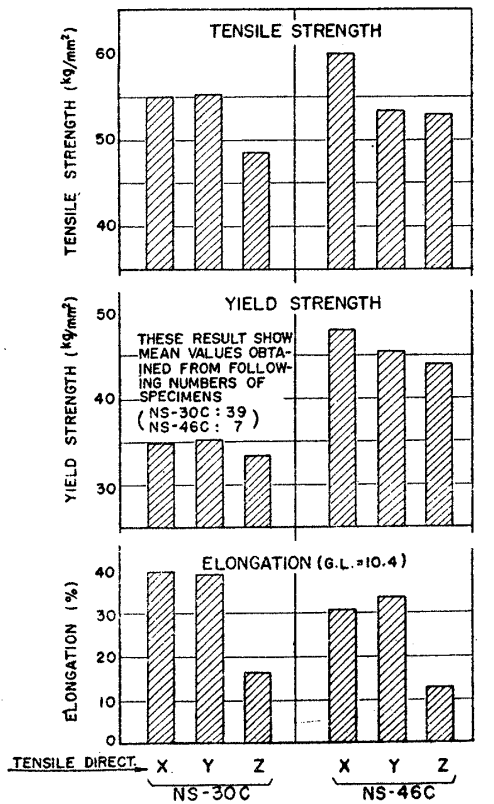


Fig.5 Micro tensile test results for inner hull plates.

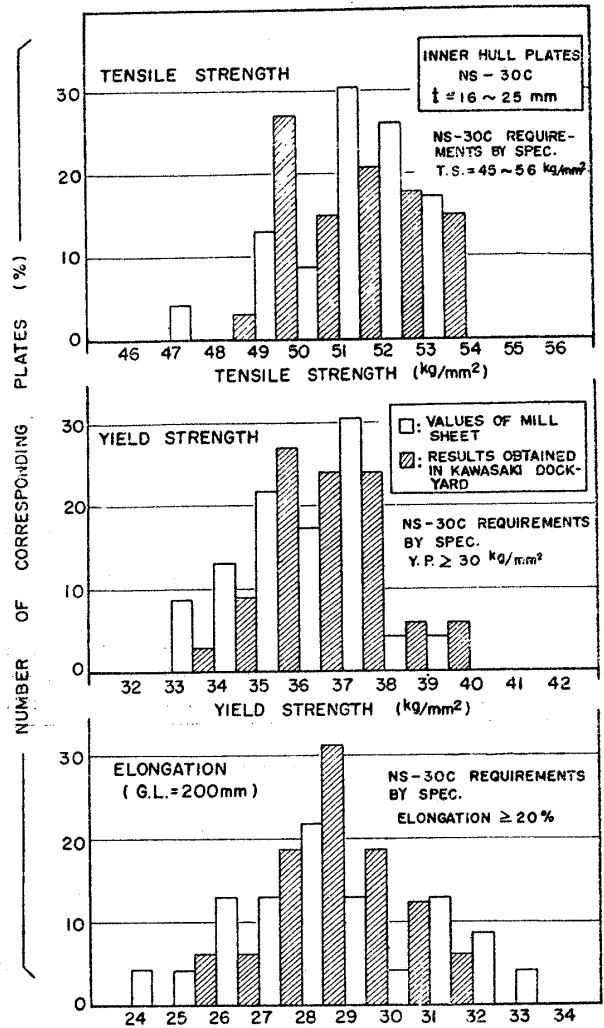


Fig.4 Tensile test results of high tension steels for inner hull plates according to JIS-No.1 specimen (comparison of the data in mill sheet with the results obtained in Kawasaki Dockyard)

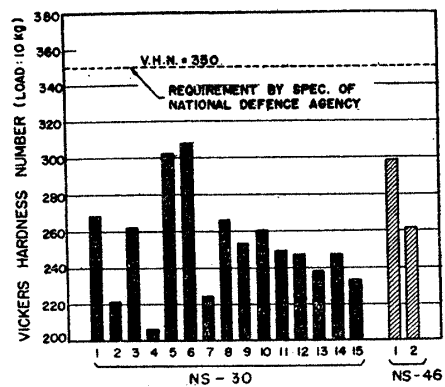


Fig.6 Results of maximum hardness test of heat-affected zone of the steel plates for inner hull construction.

口引張試験片 (GL=10.4mm) を採取して引張の異方性試験を行なつた。その結果を Fig.5 に示す。

これで見るとXおよびY方向に比べてZ方向の引張性能はかなり低下していることがわかるが、この傾向は現在市販のあらゆる構造用圧延鋼板に共通にみられる現象で、とくに問題にする必要もないと考えられる。

つぎに 17 枚の鋼板について最高硬度試験も実施したが、その結果は Fig.6 に示すごとく、JIS 試験要領によるピッカース硬度値はいずれも、200~310 の範囲にあり、規格を十分に満足していることがわかる。

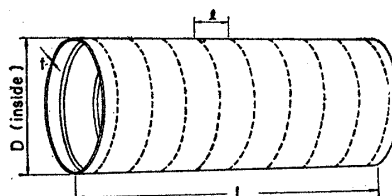
4 建造法に関する予備研究

まえがきのところでも述べたように本艦の建造法をいかにするか、たとえば、輪切り建造法を採用するにしても管胴輪の長さをいくらにとるべきか、また全溶接の内殻構造で規定の真円度を確保するためにはいかなる点が施工上問題となるかといったような点についての確実な資料をうるために、川重において昭和 30 年から 31 年にかけて防衛庁とともに計画実施していた内殻模型圧壊実験においてこの問題を取入れ、さらに別の実物大の管胴輪を試作して施工試験を行なつた。以下これらについて概要を述べる。

4.1 内殻模型圧壊実験

この実験は昭和 30 年から防衛庁および川崎重工の共同研究として実施されているもので、内殻を溶接構造にした場合、その歪の大小、真円度の良否、構造上の諸要素

Table 4 Collapse test of inner hull cylinder

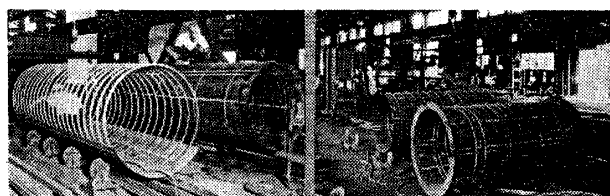


Group	Number of assembly	Purpose of testing	Size (mm)				Kind of hull steel plate	Collapse pressure (kg/cm ²)
			L	l	t	D		
①	4	Study on method of fabrication	2,500	130	5	1,200	SM 41 W	20.7~22.7
②	5	Study on bodily collapse (with variation of space l between internal frames)	2,500	50~70	5	1,200	SM 41 W	15.2~22.6
③	2	" (with riveted internal frames)	2,500	70~130	5	1,200	SM 41 W	17.0~20.9
④	13	" (with variation of L and l)	720~3,900	50~160	7	1,200	SM 41 W	19.5~34.5
⑤	4	Effect of welded internal frames (with variation of l)	2,500	50~150	5	1,200	SM 41 W	14.8~19.8
⑥	2	Effect of pressure trans. bulkhead	2,500	130	5	1,200	SM 41 W	19.4~20.6
⑦	4	Effect of welded internal frame (with variation of frame size)	3,600	120	5	1,200	SM 41 W	8.9~21.3
⑧	5	Effect of L/D (with variation of L and l)	720~3,200	40~130	5	1,200	SM 41 W	14.2~15.8
⑨	8	Effect of use of high tension steels (with variation of L and l)	1,700~3,200	50~145	5	1,200	SM 52 W	24.6~28.8
⑩	8	" (with variation of frame size)	2,500	60	5	1,200	SM 52 W	19.6~33.1
⑪	12	Study on collapse of shell of SM 52 W (with variation of l between internal frames)	840~2,500	70~350	5	1,200	SM 52 W	10.9~34.2
⑫	2	" (with riveted internal frames)	840	105	5	1,200	SM 52 W	28.7~37.6
⑬	3	" (with welded external frames)	840	70~105	5	1,200	SM 52 W	20.9~29.2
⑭	2	" (without frames)	550~840	—	5	1,200	SM 52 W	8.8~12.9
⑮	5	Study on collapse of shell of SM 41 W (with welded internal frames)	840~2,500	105~228	5	1,200	SM 41 W	12.5~21.4
⑯	4	Study on collapse of shell of SM 52 W, yield strength of which was lowered to 32 kg/mm ² by heat treatment.	840~1,060	70~133	5	1,200	SM 52 W annealed	17.5~27.9
Total	83							

が外圧による挫屈荷重にどのような影響を与えるかを調査研究するのが目的であるが、ここでは本実験を通して内殻真円保持のために検討した事項のみを記述することとする。

Table 4 は昭和 30 年より昭和 33 年にかけて行なわれた内殻模型圧壊試験の要目一覧表である。

まず、施工法検討のための模型の製作に当り、Table 4 の①グループの4個をそれぞれ異なつた製作方法で



(In case of internal frame) (In case of external frame)

Fig.7 A view of fabricating the inner hull models to be used for the collapse test.

完成し、その真円度の測定結果から最適の施工法を選定した。Fig.10 はその際の内殻模型の組立方法と溶接部の拘束方法を図示したもので、2種類の組立方法と溶接部の拘束のあるものとなないものの2種類とを組合せて計4種類のものをつくつている。組立方法の2種類とは Fig.10 に示すように(1)内殻板組立後に肋骨を挿入する方法、と(2)内殻板と肋骨を同時に組立てる方法、とである。

これらの4個の完成された模型について歪と真円

度を計測した結果、組立法として(1)の内殻板組立後に肋骨を挿入し、溶接部に拘束を行なつたものが最良の値を示した。したがつてこの結果は実艦の建造法にも適用され、実艦はすべて内殻板縦接手両面溶接完了後、肋骨を挿入する施工法がとられた。

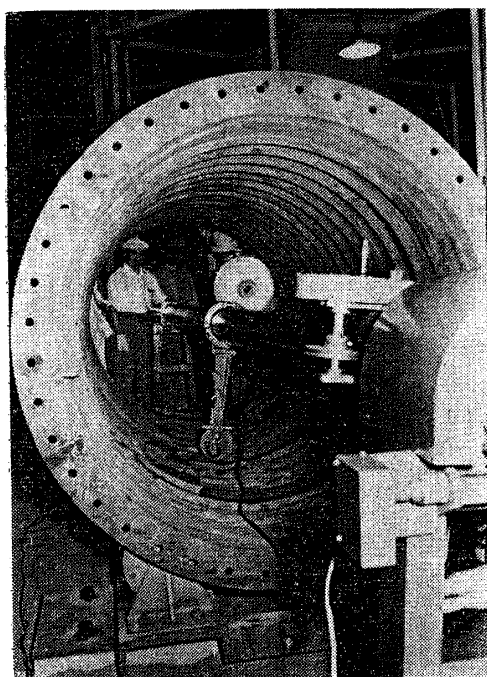


Fig.8 Measuring of circularity of the completed model by using special measuring apparatus.

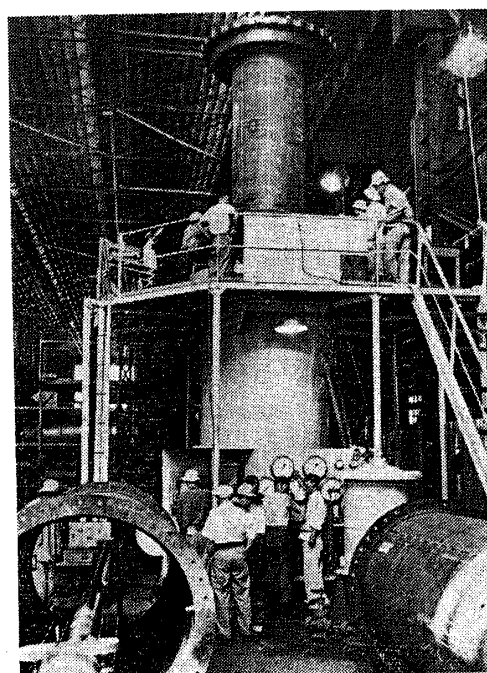


Fig.9 Inner hull model is now set in the pressure tank for the collapse test.

またそれ以後の実験用の模型はすべて上述の組立法が採用されたわけであるが、多くの完成された模型についてその真円度を計測してみると、真円度の良否は模型の長さによつて大きく影響されることがわかつた。そこで縦歪量の最大値 δ_{max} と最大直径差 h_{max} との関係をしらべてみると Fig.11 の左半分の図のごとき関係がみられ、また一方模型長さとの縦歪量の最大値との関係を検討してみると Fig.11 の右半分のような関係が出てくる。つまり模型長さが長くなるほど真円度の確保が困難になるということがこれでわかるのであるが、潜水艦の内殻の真円度は圧壊強度の関係上一般に直径の $\pm 0.3\%$ 以内でなければならないとされているから、そのためには 1m 200 径の模型の場合 Fig.11 によりその長さを 925mm におささなければならない。

この結果を実艦の場合にあてはめて考えれば内殻の真円度保持からいつて管胴輪の単位ブロック長は短いほどよく、4m をこえることは好ましくないという結論がでてくる。

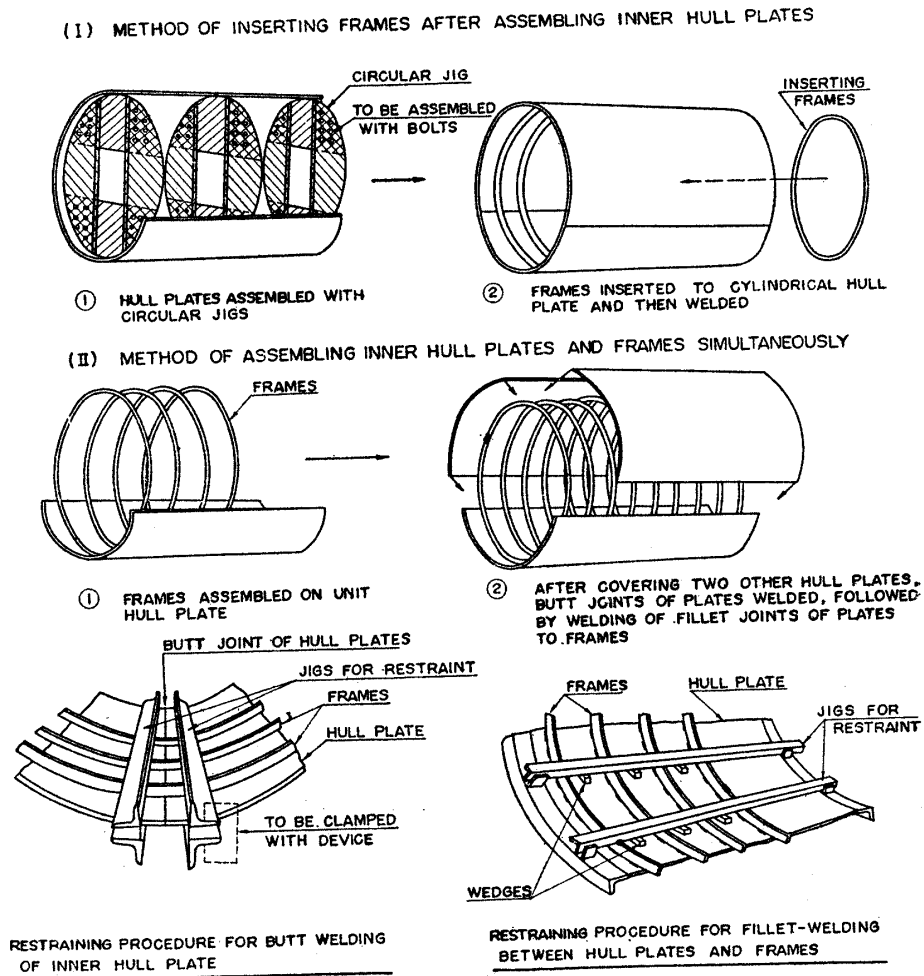
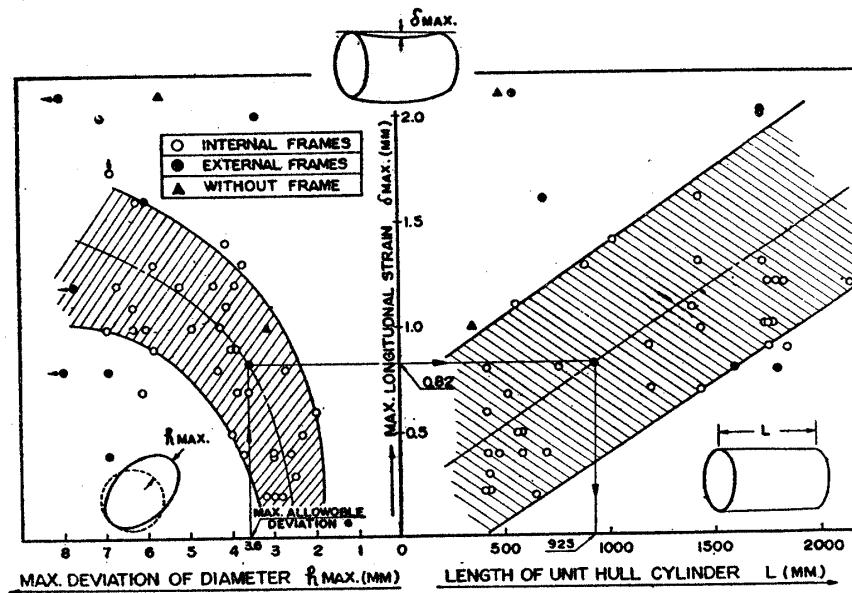


Fig.10 Method of fabricating inner hull construction model as assembly.



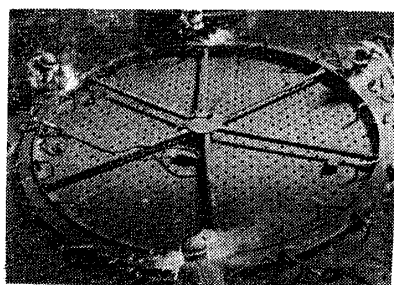
* ALLOWABLE DEVIATION OF DIAMETER IS DETERMINED LESS THAN 0.3% SO THAT ITS AMOUNT IS $1 \times 200 \times 0.3\% = 3.6$ MM

Fig.11 Relation between max. longitudinal strain and max.-diameter as well as length of unit cylinder.

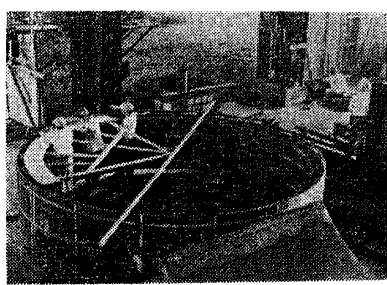
実艦の建造法はこの結論を応用して管胴輪の最大長さを決め従来の鉄構造艦にみられたように内殻板鋼板のロール方向を艦のロンジ方向に配置するのはやめ、すべての鋼板をトランス方向に配置して輪切り建造法を採用した。

4.2 実物大管胴輪製作

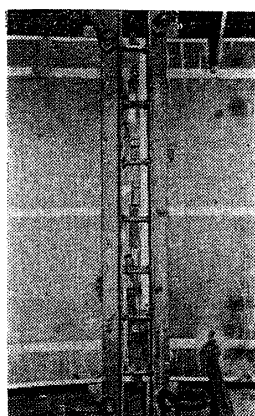
前述の内殻模型実験により“おやしお”建造法の大綱は決定されたのであるが、なお詳細な施工法に関する資料をうるために実物大の管胴輪ブロック（肋骨3本を含む）が実艦建造に先立つて製作された。材質は軟鋼とし施工法のみ高張力鋼のそれに準じた。組立方式は上述の溶接完了せる管胴に肋骨を挿入する方式がとられた。この実験においては現図、展開、罫書、加工、取付、溶接のあらゆる職種についてのデータをうることを目的としたが、えられた結論の中から主なものをあげればつぎのとおりであり、これらの結論はすべて実艦の施工要領の中に織りこまれた。



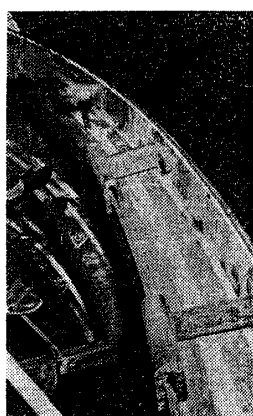
(a) Fitting and welding of frames.



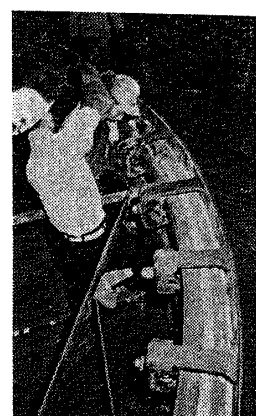
(e) Measuring circularity of full-scale unit cylinder model.



(b) Jig used experimentally for the restraint of longitudinal joint of unit cylinder.



(c) Jig used experimentally for the prevention of angular distortion which takes place in inner hull plates(1).



(d) Same as the left (2).

Fig.12 Welding of full-scale model of unit cylinder.

- (i) 管胴板の展開内径は計画内径より約 6mm 大きくしておく必要がある。この場合肋骨の外径は設計外径どおりとする。

曲げの局部的不均一による直径の減少	=2mm
曲げ加工中の鋼板の縮みによる直径の減少	=1.5mm
縦接手（2本）の溶収縮による直径の減少	=0.5mm
肋骨挿入のための間隙	=2mm
	計 6mm

- (ii) 正規寸法に仕上げられた肋骨面材をウェブ材の中に挿入できるためにはその間に少なくとも 1mm の間隙が必要である。
- (iii) 管胴輪縦接手の自動溶接時の角変化は Fig. 12-b のとき拘束治具で防止できたが、管全体が鼓形になる溶接線の反り変形の防止に対しては効果がなかつたので、もう少し治具に剛性をもたせる必要がある。

- (iv) 肋骨と管胴板との隅肉溶接による角変形は管胴板の自由端において、とくに著しくこのための強力な逆歪治具の作製が必要である。
(この試験では Fig. 12-c および Fig. 12-d に示されるような治具が用いられたが管胴板の自由端に対しては全く効果がなかつた。)
- (v) 管胴輪完成後に真円度を計測した結果からみて防衛庁が規定している実艦の真円度を確保することは比較的容易である。

5 建造大要

5.1 建造法の決定

前章でのべたごとく“おやしお”の建造法の大綱は各種の予備実験の結果から Fig. 13 のごとく決定され、工事が進められた。すなわち、内殻管胴板と隔壁または肋骨は別々に組立てておき、隔壁と肋骨を胴板中に挿入して管胴輪ブロックを作り、つぎにその管胴輪ブロックを2個ないし3個、溶接でつないで単位管ブロックを作り、工場内で甲板その他の内殻ブロックをできるだけ完成して現場塔載を行なうという方針が採用された。

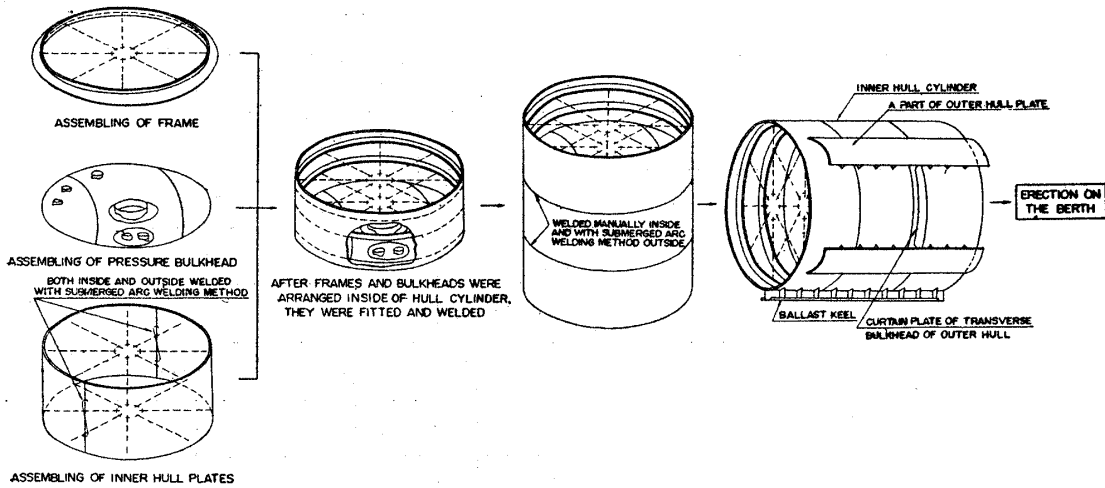


Fig. 13 Assembling sequence for inner hull assembly.

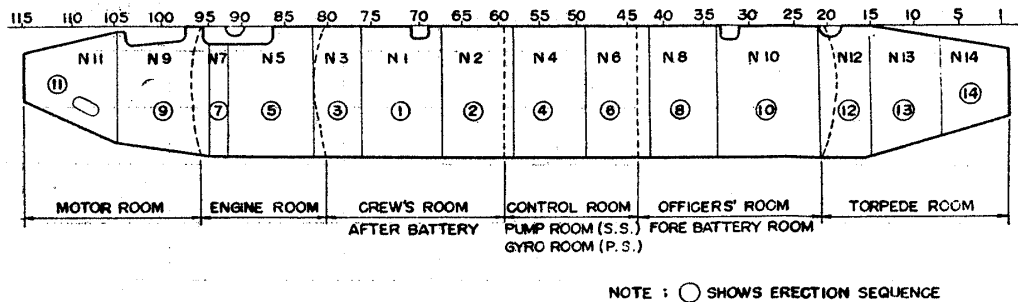


Fig. 14 Erection sequence for inner hull assemblies.

この場合、たとえば隔壁の貫通ピースその他はすべて隔壁の管胴輪への挿入前に取付けを完了している。また工場内では内殻ブロックだけでなく外殻板の一部およびバラスト・キールなどが現場塔載前に取付けを終わっている。Fig. 14 はこうしてできた内殻ブロックの配置と現場船台上への塔載順序を示している。

5.2 建造実績

“おやしお”の建造工程実績は Table 5 に示すとおりである。この表には一番下の欄に主要溶接工事の工程実績をのせているが、これでもみてもわかるとおり、内殻板の現場円周接手溶接およびそれに付随する狭隘な艦内での現場溶接は7月、8月の夏期にまたがったため、溶接作業者の苦闘はいうにおよばず艦内の換気その他安全上の処置については関係者により非常な苦心が払われたことをつけ加えておかねばならない。なお Fig. 15~20 には工程写真の数例を示す。

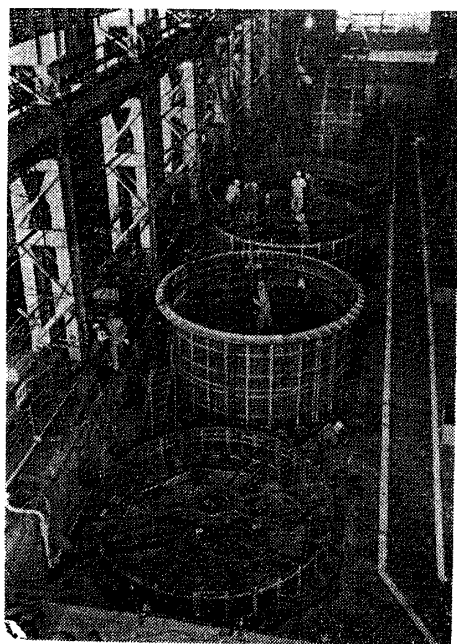


Fig. 15 A view of fabricating unit cylinders in shop. In the inner part of shop submerged-arc welding of longitudinal joint is being performed.

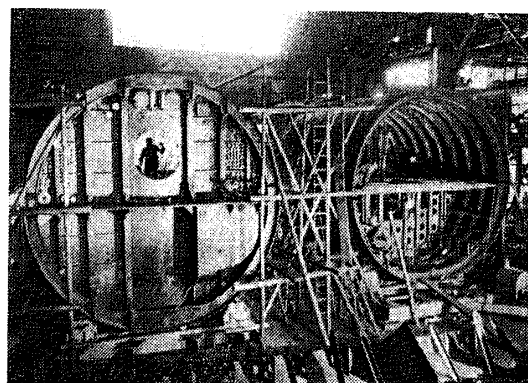


Fig. 16 Fitting of deck plates, floor and other structures to inner hull plates is in progress in the same shop as mentioned above.

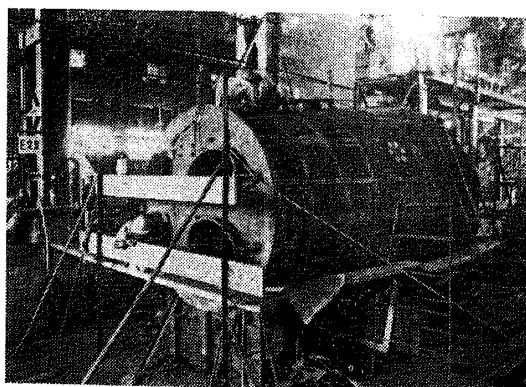


Fig. 17 A view of fabricating fore and inner hull constructions. The whole fore end structure was finally subjected to stress-relief.

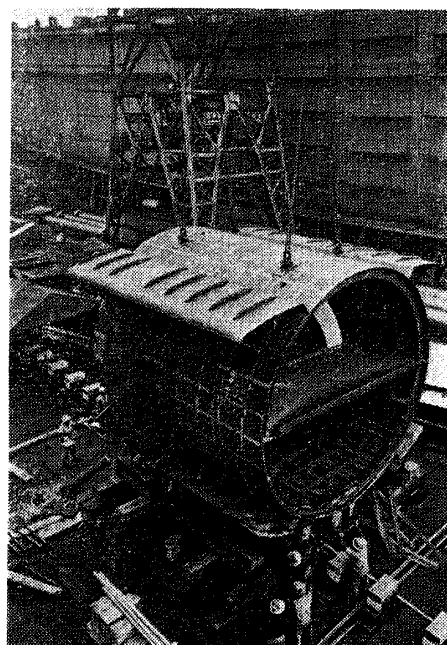


Fig. 18 A view of erecting No. 1 inner hull assembly on the berth.

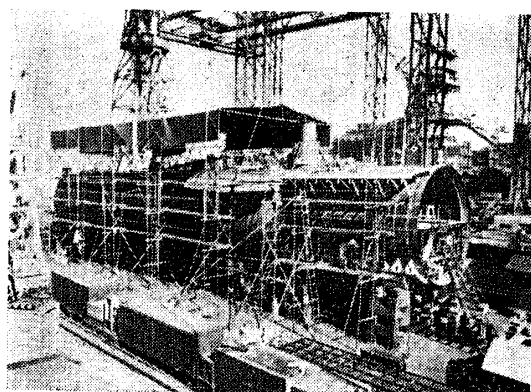


Fig. 19 The work on the berth is in progress under the awning.

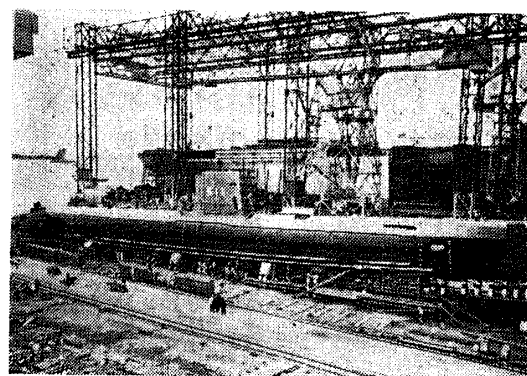


Fig. 20 The first submarine "Oyashio" just before launching. Loading of main engine and generator has been already finished.

6 溶接工事の問題点

6-1 加工後の内殻鋼材試験

鋼材試験の項でものべたごとく、素材の状態で規格に合格した内殻用高張力鋼板が、水圧機または曲げローラーによる冷間曲げ加工をうけたり、線状加熱や焼鈍（前後端構造は溶接後応力焼鈍が行なわれた）による熱処理をうけた後でもなお十分な使用性能を示すかどうかをチェックしておく必要から、内殻板に加工後の各種抜取材から試験片を採取して、引張、衝撃試験などが行なわれた。

試験結果によれば降伏強さ、引張強さともに素材と加工材とではほとんど変化はないが、伸びはやや低下するようである。また衝撃値も全般にやや低下の傾向を示しているがその主な原因はやはり線状加熱ではないかと考えられ、その点からいつて過度の線状加熱による高張力鋼の曲げ加工は極力避けるべきであろう。焼鈍処理をうけたものとしては、内殻の前端部近傍に使用された 2H 鋼があるが、熱処理後の E_0 は $7\sim 9\text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ という値を示し問題はなかつた。

上述の鋼板の加工による材質悪化の傾向は試験した素材と加工材とが必ずしも同じチャージの鋼板でなく、試験片の採取位置もまちまちなので低下量を定量的に示すことはできないがその量は大了ことはなくいずれにしても各鋼板の伸び、衝撃値とも防衛庁高張力鋼規格を辛うじて満足していたので本艦の使用性能上問題はないものと考えられる。

6-2 溶接関係の承認用諸試験

(1) 自動溶接施工法承認試験

自動溶接施工法承認試験は板厚 $4.5\sim 10\text{ mm}$ の軟鋼および板厚 $6\sim 14\text{ mm}$ の高張力鋼に対しては、さきに川崎重工において乙型および甲型警備艦を建造した際にすでに受験し承認されているので本艦に対してはこの範囲の板厚以上のものに対して試験が行なわれた。

試験は船体溶接規程に従い、昭和 32 年 10 月 26~29 日につぎの主要目について行なわれた。

(i) 受験材質および板厚

SM 52 W, $t=16, 18, 20, 25\text{ mm}$

2H 鋼, $t=32, 36\text{ mm}$

(ii) 溶接方法

縦接手：自動溶接（両面）

円周接手：手溶接（内面）と自動溶接（外面）の併用

(iii) 溶接材料

{	自動溶接	{	SM 52 W 用	Linde No. 36×G 80
				Linde No. 40 A×G 80
				Lincoln L-70×G 840
{	手溶接：神戸製鋼	{	2H 鋼用	Linde No. 36×G 80
				Linde No. 40×G 80
				Lincoln L-70×G 840
				LB 55

(iv) 溶接々手の性能試験

全線 X 線検査

接手引張試験

接手自由曲げ試験

接手側曲げ試験

溶着金属の V シャルピー衝撃試験

接手断面マクロ試験

以上の主要目について防衛庁監督官御立会のもとに試験片の溶接および機械試験を行つた結果、いずれの施工法も規程に合格し、承認された。

(2) 溶接工技術試験（軟鋼および高張力鋼の溶接）

溶接工技倆試験は防衛庁船体溶接規程にもとづいて施工された。級種は3種1級（試験片の材質：50 キロ HT，板厚：25mm，溶接姿勢：横向，立向，下向）受験者総数 153 名の中 137 名が合格した。

なお技倆試験とは別に，社内的に内殻板現場接手溶接のための練習として，曲がりのついた突合接手を有する試験片について溶接作業員全員に対して入念な溶接訓練が行なわれた。

(3) 溶接工技倆試験（不銹鋼の溶接）

本艦のシュノーケル排気管（不銹鋼）の溶接に対しては防衛庁溶接工技倆検定基準に準じてつぎのごとき溶接工技倆試験が行なわれた。

(i) メタルアーク溶接技倆試験

受験項目：2種1級

5種1級

試験用材料：316 L ($t=9\text{mm}$)

溶接棒：神鋼 NC 36 (3.2mm)

日本油脂 MU 3 (")

機械試験：船体溶接規定に従う。

(ii) 不活性ガス・アーク溶接技倆試験

受験項目：TIG（下向，立向，横向）

MIG（下向）

試験用材料：316 L ($t=6.9\text{mm}$)

溶加棒：316

機械試験：引張試験および曲げ試験

川崎重工造船工作部からは，本試験のメタルアーク溶接に6名，TIG 溶接に8名，MIG 溶接に6名それぞれ受験し，全員合格した。

6.3 内殻板接手の溶接施工法

(1) 接手開先

内殻板の突合接手のうち，縦接手および現場円周接手は両面ともそれぞれ自動溶接および手溶接であるため，従来川崎重工の船殻工事の，standard となつている KA および KM 開先（ただしV型およびX型の場合 0~2mm の肩をとる）により施工された。

しかし工場内円周接手は内殻の真円度保持のため円周接手溶接中に内部のスライダをを外すことができないので内面は手溶接を余儀なくされ，開先も Fig. 21 に示すような内面手溶接，外面自動溶接の開先がとられた。

(2) 溶接材料

溶接材料としては，自動溶接に対しては施工法承認試験で承認された心線フラックスの組合せの中，実際にはLinde No. 36×G 80 が用いられ，手溶接棒には防衛庁船体溶接規程の溶接棒規程に合格した神戸製鋼の LB 55 が使用された。

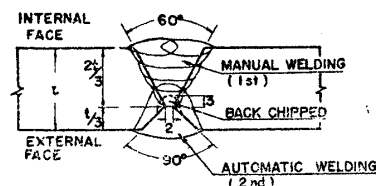


Fig. 21 Details of the edge preparation and weld metal of circumferential joint of hull plates welded in the shop.

Table 6 Examples of joint performance test results for butt joints in inner hull plates.

Kinds of joint	Plate thick. (mm) and (material)	Tensile test of welded joint*			Guide bend test (side bend) 180°	V-Charpy** test of weld metal, E ₀ (kg·m/cm ²)	Max. hardness test (V.H.N.)
		Yield S. (kg/mm ²)	Tensile S. (kg/mm ²)	Fracture location			
Manual welding	25 (NS 23)	36.1	55.5	Base plate	Good	10.7	197
Automatic welding	21 x 12 (NS30)(NS 23)	34.4	49.3	Base plate (NS 23)	Good	6.7	175

* Tensile test results of welded joint show mean values of two specimens.

** E₀ in V-notch Charpy test show mean values of three specimens.

6.4 内殻溶接部の接手性能試験

前述のごとく内殻板用鋼材の材質試験は素材および加工材の両方について実施し，品質の管理に万全を期したのであるが，これらの鋼材を前項の溶接施工法にしたがつて溶接した場合その接手が十分な性能を有するかどうかを抜取的にチェックするために溶接々手を含んだ内殻板の抜取部から多数の試験片を採取して接

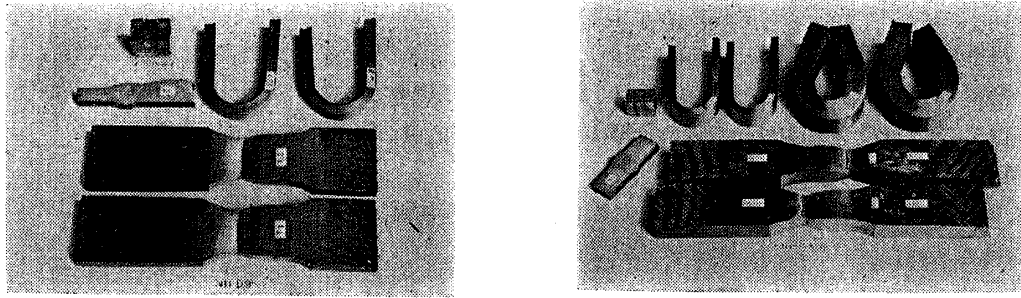


Fig. 22 Examples of joint performance test pieces of butt joint in inner hull plates.

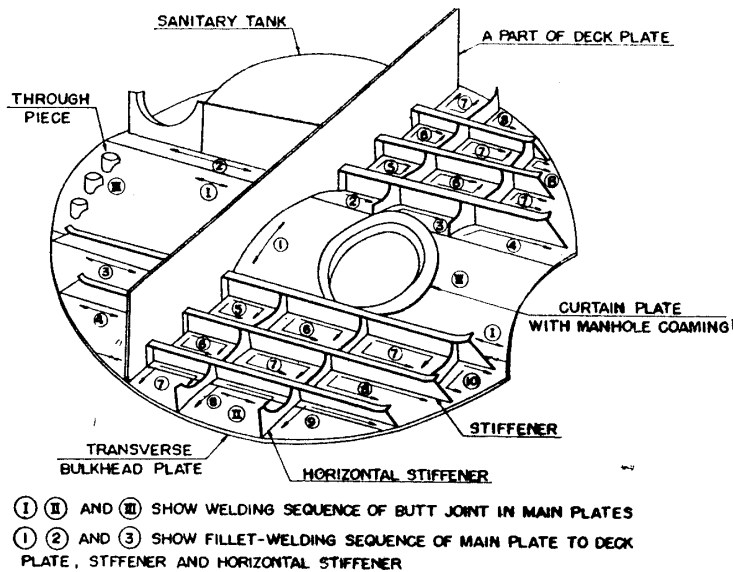
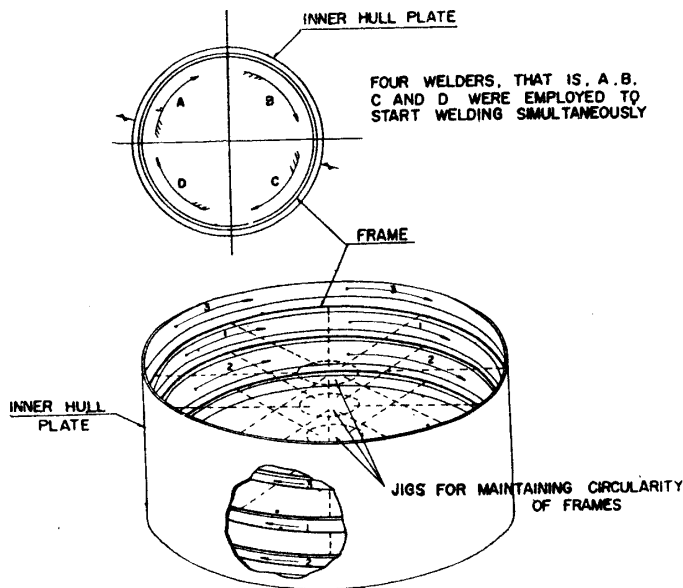


Fig. 23 Welding sequence for pressure transverse bulkhead.



- i) NUMBERS IN DRAWING SHOW WELDING SEQUENCE
- ii) AT FIRST THE WELDING OF FRAMES AND BULKHEADS NEAR THE MIDDLE PART OF THE CYLINDER WAS SET ON AND NEXT THE WELDING ON BOW OR STERN SIDE WAS PERFORMED

Fig. 24 Sequence of welding frames and bulkhead to cylinder.

手性能試験を行った。Table 6 にはそれらの試験結果のうち手溶接々手と自動溶接々手のそれぞれの代表的なものを示している。この結果で代表されるように、いずれも十分満足すべき接手性能をもっていることが確認されたのである。

なお Fig. 22 はこれらの接手性能試験片の一例を示している。

6.5 溶接順序

細部における溶接順序はすべて従来の船殻工事における溶接順序の原則に従ったが、潜水艦に特有な内殻構造の二三の例について、その溶接順序を示せば Fig. 23, 24, 25 のごとくである。

6.6 溶接の歪防止治具

内殻ブロックの溶接による歪の防止治具としては、本艦建造に先立つて行なわれた前述の実物大管胴輪製作によりえられた経験をもとにして作製され使用されたが、そのうち比較的目新しいものをあげればつぎの3つであろう。

- (i) 肋骨真円保持具
- (ii) 内殻板真円保持具
- (iii) 内殻板板耳の歪防止用リングガーダー

(内殻板と肋骨との隅肉溶接により内殻板の自由端が内側へ折込むのを防ぐためのもの)

Fig. 26 および Fig. 27 にそれらの治具の図面および使用中の状況を示す。

なお現場円周接手の溶接の際には、Fig. 28 に示すようなストロング・

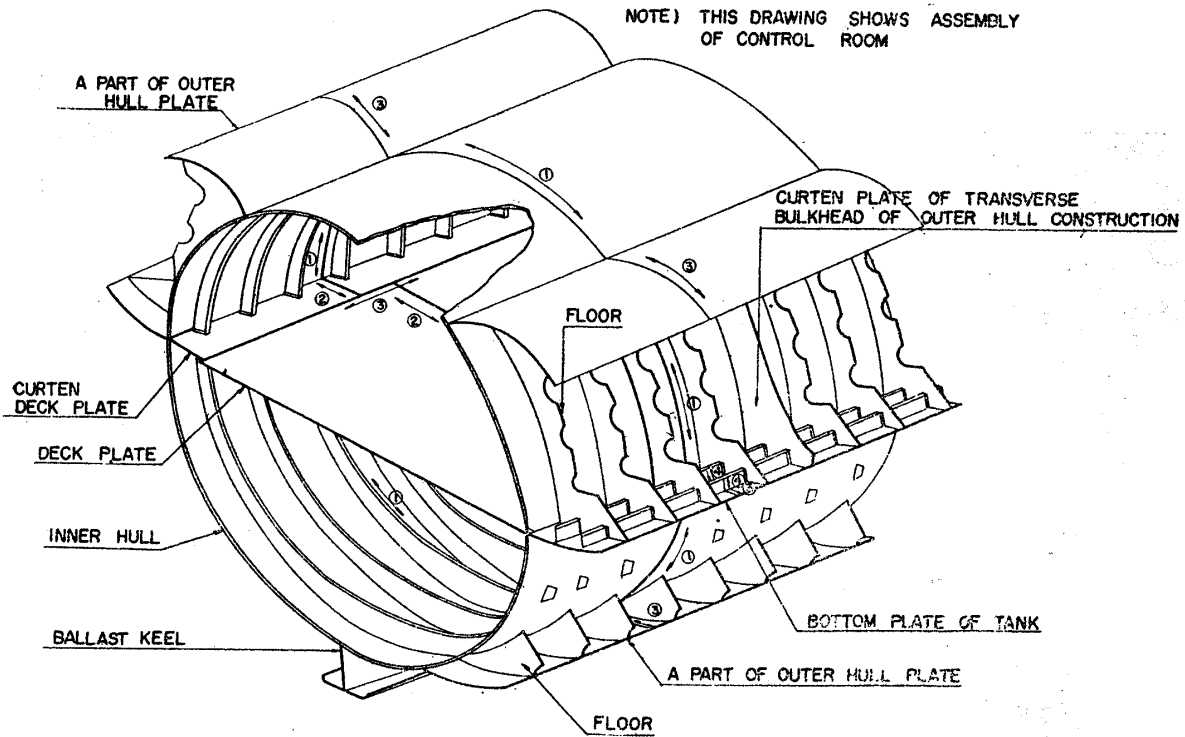
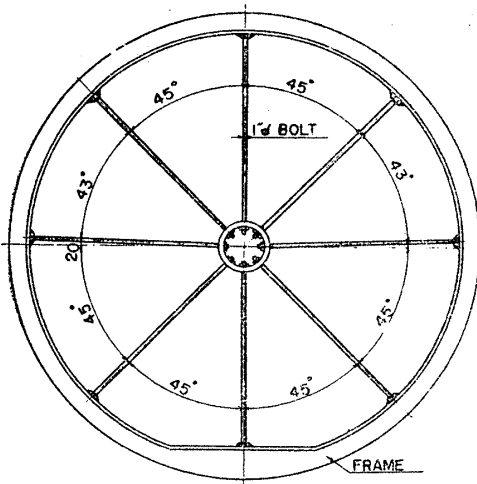
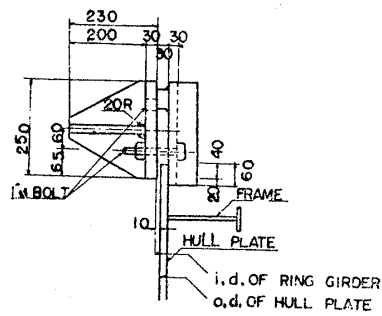


Fig. 25 Welding sequence for butt joints in inner hull assembly.

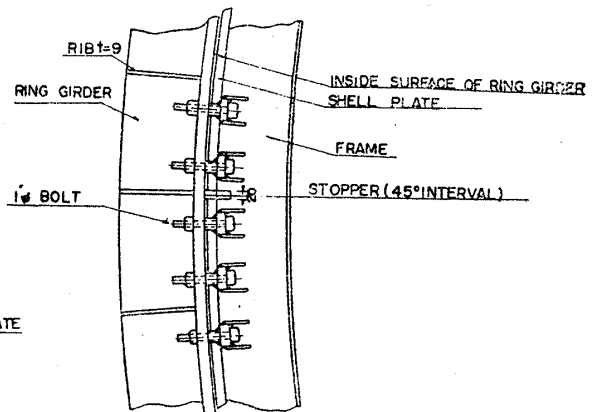
THE SPIDER FOR MAINTAINING CIRCULARITY OF FRAME



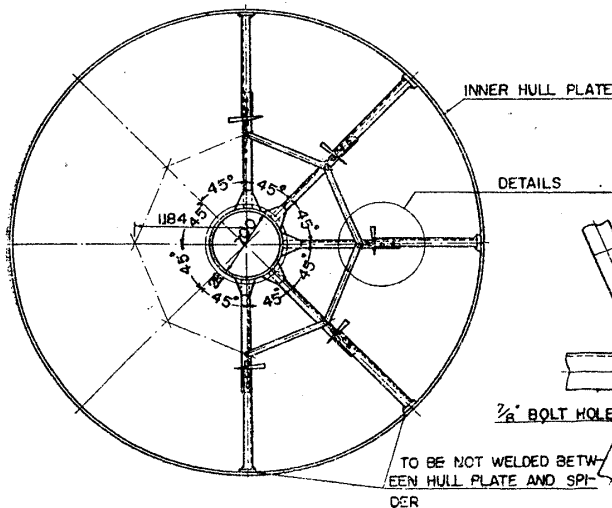
DETAILS OF THE RING GIRDER FOR RESTRAINING OF WELD DISTORTION OF HULL PLATE



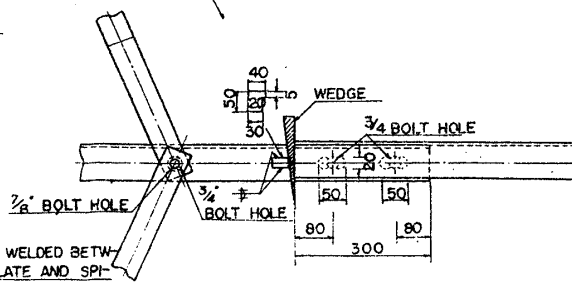
PLAN



THE SPIDER FOR MAINTAINING CIRCULARITY OF INNER HULL PLATE



DETAILS



TO BE NOT WELDED BETWEEN HULL PLATE AND SPIDER

Fig. 26 Fitting procedures of the jigs used for fabricating inner hull assemblies.

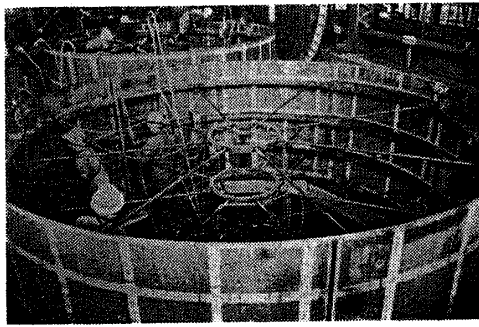


Fig. 27 (a) Jigs for maintaining circularity of frames (The photo. shows tack welding of frames to inner hull plates).

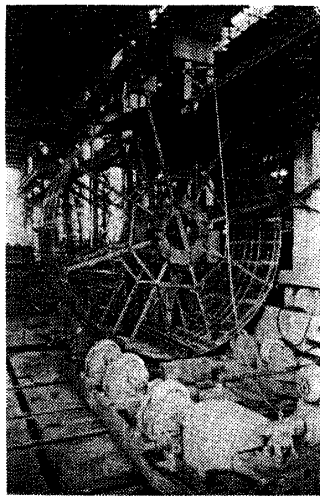


Fig. 27 (b) Jigs for maintaining circularity of frames (The photo. shows submerged-arc welding of outside of longitudinal joint).

バックが使用された。これはストロング・バックを内殻板や肋骨に仮付せず肋骨のフランジの間にはめこむように工夫されている。

6.7 はめこみ溶接

“おやしお”の溶接施工に当つては、溶接部にワレなどの発生しやすいいわゆる“はめこみ”溶接部が、小は隔壁の貫通ピース類から大は内殻板の主機、主電動機積込口にいたるまで多数存在し、その場合、場合に応じて適切な取付方法、溶着順序がとられたのであるが、構造上きわめて重要な二三の例について実際にとられた施工法を説明すれば Fig. 29 に示すとおりである。この図は内殻の主機積込口、主電動機積込口、補機積込口、および耐圧隔壁の補機積込口の各々の抜取口の復旧溶接の際の手順を示しているが、いずれの場合も開先形状はX型とし、最初に接手の両側約 100 mm の幅にわたつて 50~100°C に予熱しておき、まず環状の接手の半分を4名の溶接工により一気に表裏とも溶接完了し、それからあとの半分をまた4名の

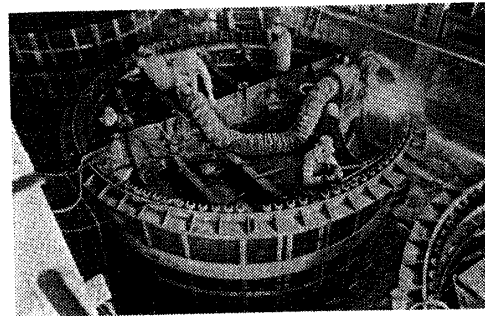


Fig. 27 (c) Ring girder for preventing distortion of curtain plate of inner hull plate (The photo. shows welding of plates).

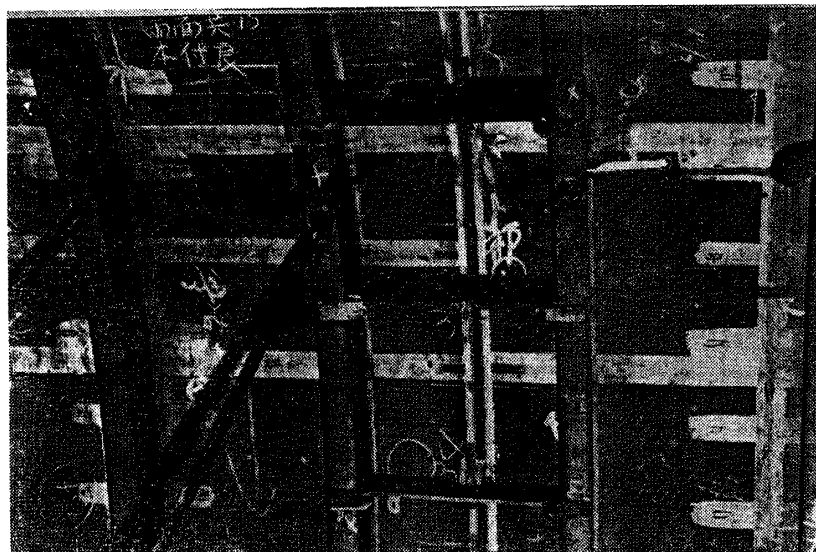
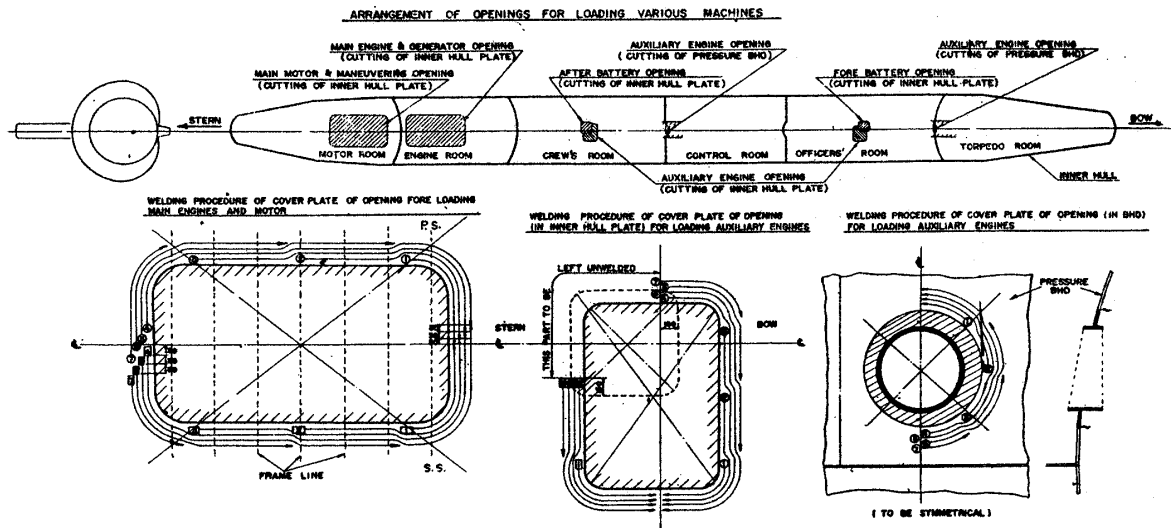


Fig. 28 Strong back used for welding circumferential joint on berth. (The strong back is of inserting type so that it is unnecessary to tack-weld it to inner hull plates or frames).



1. Arrangement of welders...three welders
 2. Welding sequence
 - (1) Butt welding of inner hull plates
 - (i) Welding of internal side on the port side (welding sequence ①②③④...), three welders start welding simultaneously
 - (ii) Dye-penetrant inspection (including the fore back chipped)
 - (iii) Welding of external side on the port side (welding sequence ①②③④...), three welders start welding simultaneously
 - (iv) Dye-penetrant inspection
 - (v) Welding of internal side on the starboard side (welding sequence ①②③④...), three welders start welding simultaneously
 - (vi) Dye-penetrant (including the face back chipped)
 - (vii) Welding of external side on the starboard side (welding sequence ①②③④...), three welders start welding simultaneously
 - (viii) Dye-penetrant inspection
 - (ix) X-ray inspection of all weld length
 - (2) Butt welding of flange plates of frames
 - (3) Butt welding of web plates of frames
 - (4) Plug welding of scallop in the web
 - (5) Fillet-welding of flange plates to each web plates
 - (6) Fillet-welding of each frames to inner hull plates
 - (7) X-ray inspection of all weld length
 3. Preheating procedure

Both sides of joints in the 100mm width from joint were heated at 50° to 100°C.
1. Arrangement of welders...three welders
2. Welding sequence
 - (1) Butt welding of inner hull plates
 - (i) Welding of internal side on the bow side (①②③...in order)
 - (ii) Back chipping of external side on the bow side
 - (iii) Dye-penetrant inspection
 - (iv) Welding of external side on the bow side (①②③...in order)
 - (v) X-ray inspection
 - (vi) Welding of internal side on the stern side (①②③...in order)
 - (vii) Back chipping of external side on the stern side
 - (viii) Dye-penetrant inspection
 - (ix) Welding of external side on the stern side (①②③...in order)
 - (x) X-ray inspection
 - (2) Welding of frames
3. Preheating procedure

Same as in case on main engine and motor opening.
1. Arrangement of welder...one welder
2. Welding sequence
 - (i) Welding of bow side on the starboard side (①②③...in order)
 - (ii) Back chipping of bow side on the starboard side
 - (iii) Dye-penetrant inspection
 - (iv) Welding of stern side on the starboard side (①②③...in order)
 - (v) X-ray inspection
 - (vi) Welding of bow side on the port side (referred to the case of starboard side)
 - (vii) Back chipping stern side on the port side
 - (viii) Dye-penetrant inspection
 - (ix) Welding of stern side on the port side (referred to the case of starboard side)
 - (X) X-ray inspection
3. Preheating procedure

Same as in case of main engine and motor opening.

Fig. 29 Welding procedure of cover plates of openings for loading various machines.

溶接工により表裏とも仕上げるといった方法がとられた。この溶接順序は、なるべく多くの溶着金属を一度において、接手近傍の鋼材温度の冷却に伴う収縮応力に対してこれを受けもつ溶着金属の断面積を大きくし、ワレに対する抵抗力を強くしようという考え方からきたものであるが、この方法で行なわれた上記の溶接部には全くワレの発生はみられなかつた。この場合はめこみ板と主板との間隙の大小がワレに対して大きく影響するわけであるが、溶接施工前に仮付の状態でその間隙を計測した結果では主機積込口の場合 0~3mm (局部的に最大 4.6mm) であつたことが報告されているので、かなり良好な仮付状態であつたことがわかる。なおすべてのめこみ板は最初にぬき取つた板がそのまま使用された。

さて上述の構造上重要なめこみ溶接部の施工要領の決定に当つては前もつて種々の実験がおこなわれたことはいふまでもない。

すなわちほぼ実物に近い R をもつた試験板で実際に鋼板の抜取りとはめこみ溶接を実施しガス切断要領、溶接開先、溶接部の歪などについて十分な検討がなされたのである。

めこみ溶接部の X 線試験結果については Table 8 を参照されたい。

6.8 シュノーケル排気管の溶接

“おやしお” のシュノーケル排気管および排気筒は内部を 300~400°C の高温の排気ガスが通り、外部はたえず海水に曝されるため、耐食性と高温における強度とがともに良好な 316 L 不銹鋼が使用され、川崎重工造船工作部はそのうち排気管の製作を担当した。316 L 不銹鋼はその化学成分および機械的性質を Table 5 に示すとおりで、C 量を 0.03% 以下におさえて耐食性の向上をはかり、Mo を添加して高温における強度の確保をねらつたオーステナイト系不銹鋼である。

Table 7 Example of chemical compositions and mechanical properties of stainless steel for snorkel exhaust pipe

Specification	Plate thick. (mm)	Chemical analysis (%)								Mechanical properties		
		C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Mo	Y. S. (kg/mm^2)	T. S. (kg/mm^2)	Elong. G.L.=50 (%)
AISI-316I (SUS-13)	6	0.03	0.80	1.58	17.91	13.71	0.016	0.018	2.55	24.2	54.6	61

この鋼材の使用に関しては昭和 32 年 9 月防衛庁の委託をうけた日本溶接協会が各研究所、造船所、材料メーカーなどにより構成された「ステンレス鋼工作基準作製委員会」をつくり工作基準作製のための諸実験を重ねた結果、昭和 33 年 2 月基準案が作製された。したがつて本艦の排気管の施工要領はすべてこの基準

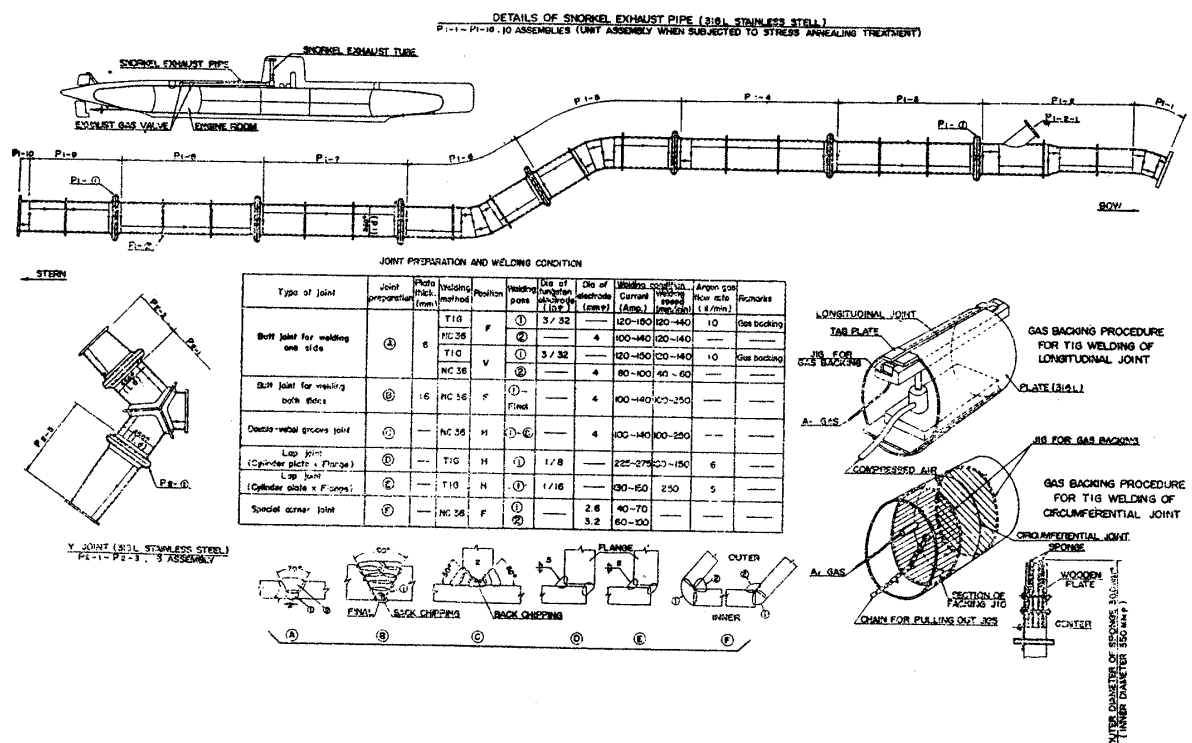


Fig. 30 Welding procedure for snorkel exhaust pipe.

に準拠して行われた。

シユノーケル排気管の構造概略図，溶接施工要領を一まとめにして示したのが Fig. 30 である。

この図でもわかるとおり，溶接に当つてはメタル・アーク溶接法と不活性ガス溶接法とが併用され，裏溶接の不可能な片面突合接手の第1層目には特殊な開先とガス・パッキングにより不活性ガス溶接（TIG 溶接）が適用され，その他はすべてメタル・アーク溶接法によつた。これらの溶接部の X 線検査成績については Table 8 を参照されたい。

なお組立順序としては Fig. 30 の構造図に示された各ブロックごとに溶接を完了しそれらを一体につなぐ前に各ブロックを単位として応力焼鈍が行なわれた。この焼鈍の目的は応力腐食割れと炭化物の析出に起因する耐食性の低下を防止することで，焼鈍により溶接残留応力除去と炭化物の固溶化をねらつたものである。

焼鈍には横型電気炉を使用し，加熱速度 $200^{\circ}\text{C}/\text{Hr}$ ，加熱温度 1050°C ，保持時間 15 分，大気下放冷とした。焼鈍を終つた管の表面はスケールにおおわれており外観と耐食性を損うので酸洗いおよび研磨処理が施された。なお排気管は完成後に水圧試験を行ない，その溶接部の soundness が確認された。

また突合溶接部は全線 X 線検査が行なわれその結果は Table 8 に示すとおりきわめて良好であつた。

Table 8 X-ray inspection results of welded parts of "Oyashio".

Location of inspection	Material	Item	Classification of X-ray test results						Total
			1st class	2nd class	3rd class	4th class	5th class	6th class	
Seam joints of inner hull plates	HT	A	404	70	12	4	1	13	504
		B	181,800	31,590	5,400	1,800	450	5,850	226,800
		C	80.3	14.0	2.4	0.7	0.1	2.5	100.0
Butt joints of inner hull plates (In shop)	HT	A	443	73	8	2	0	2	528
		B	199,350	32,850	3,600	900	0	900	237,600
		C	84.0	3.9	1.5	0.3	0	0.3	100.0
Butt joints of inner hull plates (On berth)	HT	A	299	21	6	3	0	3	332
		B	134,550	9,450	2,700	1,350	0	1,350	149,400
		C	90.0	6.4	1.8	0.9	0	0.9	100.0
Web plates and flange plates of frames	HT	A	555	159	45	18	12	2	790
		B	91,890	25,490	6,270	2,300	1,750	140	127,840
		C	71.9	19.9	4.9	1.8	1.4	0.1	100.0
Fore and after escape trunks	HT	A	65	28	10	0	4	0	107
		B	16,250	7,000	2,500	0	1,000	0	26,750
		C	60.6	26.2	9.3	0	3.7	0	100.0
Inner hull fore and after end pieces	MS	A	82	30	12	0	0	0	124
		B	21,550	7,500	3,000	0	0	0	32,050
		C	66.2	25.0	8.8	0	0	0	100.0
Snorkel exhaust pipes (Stainless steel)	SS (316 L)	A	399	146	32	3	4	1	585
		B	65,800	31,800	6,400	600	800	200	125,600
		C	68.3	25.0	5.4	0.5	0.6	0.2	100.0
Low pressure exhaust pipes	SS (316 L)	A	120	42	9	0	0	1	172
		B	24,000	8,400	1,800	0	0	200	34,400
		C	69.9	24.3	5.2	0	0	0.6	100.0
Welded joint between cover plate of opening and inner hull plate in engine room	HT	A	25	11	4	0	0	0	40
		B	10,000	4,400	1,600	0	0	0	16,000
		C	62.5	27.5	10.0	0	0	0	100.0
Welded joint between cover plate of opening and inner hull plate in motor room	HT	A	22	13	7	0	0	0	42
		B	8,800	5,200	2,800	0	0	0	16,800
		C	52.4	31.0	16.6	0	0	0	100.0
Welded joint between cover plate of opening and inner hull plate in fore and after battery rooms	HT	A	21	1	1	0	0	0	23
		B	8,400	400	400	0	0	0	9,200
		C	91.4	4.3	4.3	0	0	0	100.0
Welded joint between after escape trunk and inner hull plates	HT	A	15	6	1	0	0	0	22
		B	3,750	1,500	250	0	0	0	5,500
		C	68.1	27.2	4.7	0	0	0	100.0
Welded joint in cover plates of openings in pressure bulkhead	HT	A	194	106	54	6	4	1	365
		B	48,500	26,500	13,500	1,500	1,000	250	91,250
		C	53.2	29.0	14.8	1.6	1.1	0.3	100.0
Welded joints in cover plates of openings except for above mentioned ones	HT S MS	A	92	73	50	1	1	1	218
		B	23,600	19,000	12,800	250	250	250	56,150
		C	41.9	33.8	22.8	0.5	0.5	0.5	100.0
Other welded joint in tank, through pieces and supporting pieces	HT S MS	A	429	373	231	35	24	23	1,115
		B	96,610	86,790	56,900	8,750	5,850	5,700	260,600
		C	37.1	33.3	21.8	3.4	2.2	2.2	100.0
Total		A	3,165	1,151	482	72	50	47	4,967
		B	954,650	297,780	119,920	17,450	11,100	14,840	1,415,940
		C	63.9	23.4	9.2	1.6	1.0	0.9	100.0

A: Number of films

B: Total welding length (m)

C: Percent to total welding length (%)

6.9 溶接部の X 線検査結果

“おやしお”の内殻ブロックはタンク区画を除いて一般に水圧試験を実施せず，そのかわり突合接手のほとん

Table 9 Results of measuring circularity of inner hull structure in "Oyashio"
(measured after completing welding of butt joints in inner hull plates).

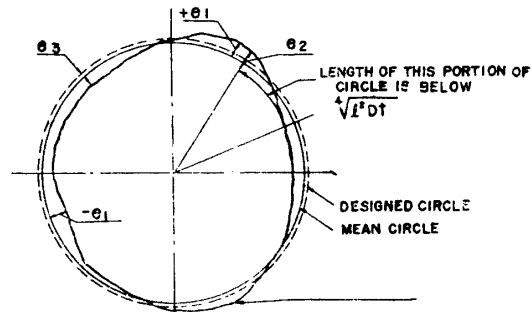
location of measurement	F 2	F 5	F 7	F 7 ^{1/2}	F 10	F 13	F 15	F 15 ^{1/2}	F 17	F 19	F 22	F 22 ^{1/2}	F 25	F 28	F 31	F 33	F 33 ^{1/2}	F 36
e1 max.	2.7	1.5	2.3	3.5	2.3	2.5	2.3	2.5	3.5	3.5	3.2	4.5	3.1	2.4	2.5	3.0	3.8	3.1
e2 max.	1.5	1.5	2.0	3.5	2.5	2.5	2.5	2.0	2.7	2.6	2.5	2.5	2.0	2.7	2.5	2.0	3.0	2.2
e3 max.	1.2	-0.2	-0.6	0.8	0.6	-0.1	-1.1	0.1	1.0	1.8	1.8	1.6	1.6	1.9	1.2	1.7	1.5	2.1

location of measurement	F 39	F 41 ^{1/2}	F 42	F 45	F 47	F 49	F 49 ^{1/2}	F 52	F 55	F 57	F 57 ^{1/2}	F 61	F 64	F 66 ^{1/2}	F 67	F 70	F 73	F 76
e1 max.	3.4	3.9	2.7	1.8	1.9	2.0	2.5	1.9	2.1	1.8	1.6	2.8	2.9	2.5	2.2	2.6	2.2	3.0
e2 max.	2.5	2.7	2.5	2.0	2.0	1.8	2.5	3.3	1.8	1.8	1.5	2.0	2.5	1.5	1.5	2.0	1.5	2.8
e3 max.	2.4	2.2	1.7	2.8	0.1	1.7	1.5	2.2	2.6	2.3	2.6	2.1	1.1	0.5	0.8	0.4	0.9	1.2

location of measurement	F 76 ^{1/2}	F 78	F 82	F 82V	F 82 ^{1/2}	F 85	F 88	F 91	F 91 ^{1/2}	F 94	F 94 ^{1/2}	F 97	F 99	F 102	F 105	F 105 ^{1/2}	F 108	F 111	F 113
e1 max.	3.7	2.0	3.4	3.3	3.7	2.9	2.3	2.4	2.0	2.0	2.5	2.0	2.3	2.2	3.5	3.0	2.5	1.5	1.7
e2 max.	2.5	1.8	2.0	3.0	3.0	2.0	2.3	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5	2.3	2.3	2.0	3.0	1.5	2.0	1.5
e3 max.	1.0	1.9	-0.2	1.2	1.8	2.1	1.3	0.4	1.3	2.0	0.8	1.0	1.8	-0.03	-1.3	-3.3	0.1	0.5	1.0

Note (1) Measuring standard (National Defense Agency)
The values of e1, e2, and e3 representing circularity of inner hull cylinder should not exceed 1/2 of plate thickness.

- e1: deviation of each point from mean circle.*
- e2: difference between lengths from each point to center of mean circle and radius of mean circle within one half lobe length.**
- e3: difference between radius of mean circle and radius of designed circle.
- * Mean circle is defined as the circle which is equal to practical shape of inner hull cylinder in area and has the least deviation from its circle.
- ** One half lobe length (L) is defined by the following formula. $L = 4\sqrt{l^2Dt}$
 l=length of space in which plate are not supported with frames
 D=planned i.d. of inner hull cylinder
 t=thickness of inner hull plate



ど全溶接線についてX線検査が行なわれ、JIS-3 級以上が合格とされた。

X線検査施行個所の詳細は、内殻板の縦接手と円周接手の全線、肋骨の面材とウェブの接手全線、その他前後端材、エスケープ・トランクなど主強度部材の突合接手全部である。

撮影されたフィルムの総数約 5000 枚、のべ溶接長は約 1,400 M に達した。これらのX線検査の成績は一覧表にして Table 8 に示すとおりであるが、全般的にみて1級が全体の 64%、2級が 23%、3級以上は全体の 96.5% というきわめて優秀な成績をおさめている。言語に絶する狭隘な艦内で折からの猛暑にあえぎながら、この輝かしい成績を達成した溶接作業員の努力と技倆は、大いにたたえられるべきであろう。

6.10 内殻板の真円度計測結果

内殻板の建造中および完成後における真円度の計測は防衛庁より計測個所が指定されその位置について建造途中のある間隔をおいて実施された。



Fig.31 Measuring circularity of inner hull cylinder by using special measuring apparatus.

計測方法としては Fig.31 に示すようなコンパス状治具が用いられた。写真でみられるコンパスの先端の内殻板に接触している部分と少し中心よりの罫書針とはつながっていて管胴の直径方向に一緒に動き、先端の内殻板の凹凸が罫書針を通して罫書板の上に記録される仕組みになっている。真円度の計測結果は Table 9

および Table 10 に示すとおりである。

Table 9 は規定されたすべての測定点の真円度を内殻板突合接手の全溶接が完了した後に計測した値を一覧表にまとめたもので、表の下には防衛庁で規定している真円度の計測値基準を示している。計測結果の表をみてもわかるとおりこの計測基準で定義されている e1, e2, e3 の各内殻断面における最大値はいずれも規程値の約 50% 以下の値を示しており全般的にみて本艦の真円度はきわめて優秀であつたことがわかる。

つぎに Table 10 は管胴輪から単位管へ、さらに現場塔載へと工程が進むにつれて特定のある内殻ブロックの真円度がいかに変化するかを計測し表にしたものである。この場合例として N1-1 ブロックの真円度の変化をとつたが他のブロックも大体これに似た傾向をもつものとみられる。この表をみてわかることはまず測定時期①の管胴輪縦接手の仮付状態では真円度はかなり悪いが、②の縦接手溶接終了後では、真円度はややよくなりその代り測定点B断面の径が小さくなつて全体として鼓形を示すようになる。これは前にものべたごとく縦接手溶接部の溶接線の反りが出ているためと考えられる。

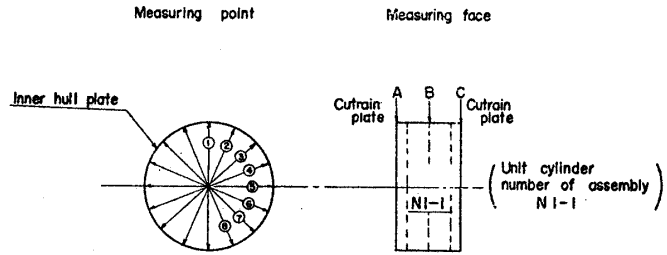
つぎに測定時期④で肋骨と内殻板の取合溶接が完了した状態では、全体にはやや大きい真円度は非常によくなつている。しかも測定点AおよびCと測定点Bとの間にほとんど差がないということは、肋骨との隅肉溶接による内殻板の自由端における折込みを防止するためのリング・ガードー治具が非常に効果があつたことを示している。

つぎに測定時期 ⑤の単位管の円周自動溶接を完了した状態では、溶接部の局所的な凹入変形があらわれて真円度はふたたび悪化しているが、その量は大したことはない。⑤の現場における円周手溶接完了後の測定点Cにおける真円度は、④の場合と比べてほとんど変つていない。このことは現場溶接時に用いたストロング・バックがかなり有効に働いたものと考えてよいだろう。

6-11 そ の 他

内殻構造の溶接に際しておこつた施工上の trouble で記録すべきものとしては耐圧隔壁と内殻板との取合溶接部の数ヶ所におこつたワレの発生があげられる。これらのワレはただちに完全に補修されたがそもそも本艦にはその接手の設計に当つて、接手性能の向上のため完全溶し込み両面隅肉溶接が多く採用されており、中には拘束度が非常に大きいはめこみ溶接々手のようなところも存在したのであるが、問題の溶接部もやはり完全溶し込み隅肉溶接部ではあるが、いわゆる拘束がワレの原因ではなく、裏面の溶接部の収縮が外力となつて働く、いわば AWS の Tee Bend Test における趾端ワレに似たものと考えられた。ワレの発生後、ただちにその発生機構の究明およびそれ以後の同じ事故の防止策に対して実験研究が行なわれた結果、その発生機構が上述のとおりのものであることを確め、それ以後の防止策としては隔壁と内殻板の隅肉接手は、開先を改良し溶接部の余盛部を完全になめらかにグラインダー仕上げを行うという処置を講じたところ、その後この種のワレの発生は全くみられなくなつた。

Table 10 Examples of results of measuring hull circularity.



Measuring time	Measuring face	Deviation from designed inside dia. (Larger than designed i.d. - Smaller than designed i.d.)							
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
① After completing tack welding of longitudinal joint of unit cylinder	A	5.0	5.2	5.2	5.7	5.3	7.5	7.0	4.5
	B	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	0.3	2.5	4.0	6.0	11.5	11.7	5.5	4.8
② After completing welding of longitudinal joint of unit cylinder Welded with submerged-arc welding method	A	3.0	2.0	2.0	7.0	7.5	8.5	3.5	2.5
	B	0	①5	0.7	3.5	11.5	9.5	①5	②3
	C	4.0	4.0	4.0	3.5	9.5	11.5	0	0
③ After completing welding of frames Fillet welding of frames to inner hull plate.	A	3.0	2.0	2.0	2.2	2.0	2.0	1.5	2.2
	B	2.5	0.5	2.0	3.2	3.5	2.0	2.0	2.6
	C	3.0	3.5	3.0	3.0	4.0	2.0	2.0	2.0
④ After completing submerged-arc welding of circumferential joint of cylinder assembly in shop Welded with submerged welding method in shop	A	4.6	0.5	1.0	1.0	③0	0	2.0	0.5
	B	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	5.2	4.0	1.2	②2	②2	0.3	0.8	5.0
⑤ After completing welding of circumferential joint of cylinder assembly on berth Manually welded on berth	A	-	-	-	-	-	-	-	-
	B	-	-	-	-	-	-	-	-
	C	5.4	3.7	1.0	②0	③3.8	②0.2	1.0	4.1

7 あとがき

以上国産第1号潜水艦“おやしお”の溶接工事についてその概略をのべてきたのであるが、厚板高張力鋼を使用した全溶接構造のはじめての潜水艦を大きな trouble もなく成功裡に完成できたことは実際建造に当つたわれわれの力であるというよりも、われわれがとつた施工法の基準となつた防衛庁を中心とする各種研究委員会の活動の成果であると考えらるべきであろう。

すなわち、今度の潜水艦の建造に直接関係のあるものとしては、昭和32年防衛庁の委託により船舶設計協会が各大学、研究所、造船所、製鉄所を含めて組織した「潜水艦高張力鋼工作基準委員会」の広範な活動の結果出された「潜水艦高張力鋼工作基準(案)」、さらに防衛庁の委託をうけた日本溶接協会が、各研究所、造船所、製鋼所、溶接棒メーカーにより構成した「ステンレス鋼工作基準委員会」の実験の結論としての「ステンレス鋼工作基準」などがあげられるが、“おやしお”の実際施工はすべてこれらの工作基準に従つて忠実に行なわれたのであつて、潜水艦“おやしお”の誕生は、各大学、研究所、造船、製鋼、溶接各業界の間の見事な協同研究による当然の成果といえよう。
