造船における溶接自動化の経済性*

寺井 清** 金谷文善** 中尾次郎***

Economic Aspects of Automation of Welding in Shipbuilding*

by Kiyoshi Terai**, Fumiyoshi Kanatani** and Jiro Nakao***

1. ま え が き

日本の造船界は過去において溶接技術の進歩を核として2回の技術革新の洗礼を受けてきた。その第1期は第2次大戦後米国より導入されたサブマージ・アーク溶接法による自動溶接と高酸化鉄系の大径溶接棒による水平スミ肉溶接の2つを主体として地上工程の合理化を計ろうとするもので、これによりわれわれは造船界にいわゆるブロック建造法なるプレハブの概念の導入に成功した。また最近の第2期では筆者の提案による造船工程全般にわたる溶接の自動化、専用化の推進を動機とするもので造船を construction type から production type に発展させる努力が行なわれつつあり、なかでも筆者の造船所は図1に示すようにそのリーダー・シップをにぎる中心的存在の1つとなってきた。本論文では筆者の造船所におけるそれらの状況について大型船を具体例にとり

溶接の自動化の方法と使用溶接材料の使用実績(重量比)からみた自動化率ならびに自動化による節減工数とともに自動化の問題点について述べたものである。

2. 溶 接 の 自 動 化

2.1 片面自動溶接

この数年来片面自動溶接法の導入の機運は造船を中心とする組立業界においていちじるしく高まりつつある。とくに造船の場合には現在多くの工場において広範な浸透をみせており、地上の板つぎ工程における片面自動溶

図一 造船における溶接技術の変遷

* 原稿受付 46年9月2日 (46年4月英国溶接学会主催国際シンポジウムに発表)

** 正 員 川崎重工業株式会社技術研究所 Member, Welding Research Dept., Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

*** 川崎重工業株式会社技術研究所 Welding Research Dept., Kawasaki Heavy Industries Ltd.

図二 地上の板継ぎ工程におけるアセンブリ・ライン型片面自動溶接装置例 (写真上は平板の場合を, 下は曲り外板の場合を示す)

接の実用化はもちろんのこと船台における各種の片面自動溶接もすでに実施の段階に入っている。この溶接法はコンベアなどの各種の付属機器を伴った工場の生産システム全体に関連するところのアセンブリ・ライン型のもので、船台上の最終組立工程での溶接を近代化するエレクトロ・ジョイント型の二者に大別され、それぞれがさらに各種の方法に区分される。前者はブロックの板継ぎに使用されるが、この方法によって従来継手の片側すなわちバックিং・パス側を溶接ののちパネル全体を反転してしかるのち他の片側すなわち表面側を溶接した複雑な工程を直接化して単一工程にまとめることができる。これにはサブマージ・アーク溶接法が用いられ地上組立工程における上部構造をのぞくすべての平板ブロックの板継ぎに適用されている。さらに筆者は曲りブロックの板継ぎに対してもポジショナーを用いてこれの被溶接面を継ねに水平に制御することにより曲り外板の全継手に片面自動溶接法の適用を研究中であり、近い将来に実用化できるみとおしを得ている(図2)。また後者にはサブマージ・アーク溶接あるいはCO₂ガス・アーク溶接法が用いられ、船台工程におけるフラットな主

板の板継ぎ、ならびに船体平行部側外板および縦横隔壁のロンジ・フレームに適用されるが、従来水平におかれた板材同志の継手の片側はかならず熟練と忍耐を要する上向溶接によらなければならなかったのが、この方法によって下向溶接のみで行なえるようになった。

2.2 立向自動溶接

立向自動溶接は最初日本では1960年に造船部門に導入された。大型船の側外板の現場継手にエレクトロスラグ溶接法を適用したのが最初の例である。さらにその後1966年には内部構造部材を対象とした消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接法も開発され、これにより底部外板ならびに上甲板づきロンジ材の現場溶接の自動化が可能になった。またこの他の立向自動溶接として最近開発されたものに、ブロック組立工程においてトランス材とロンジ材の取合個所となる立向スミ肉継手の専用自動溶接機がある。この場合溶接法はノンガス・アーク溶接法を用いている。

2.3 その他の自動溶接

その他の自動溶接法としては地上工程においてロンジ材と主板の取合部水平スミ肉継手に適用されるサブマー

表一 1 巨大船建造に使用される溶接材料の使用比率の変遷 (川崎重工)

材 料	溶 接 法	工 程	継 手	適 用	溶 接 材 料 使 用 比 率					
					1950以前	1950～1960	1960～1965	1965～1970	1970以降	
									第1段階	第2段階
自動溶接材料	サブマージ	地上	突合せ	平板ブロック	0%	11%	12%	13% (片面自動を含む)	13%	13%
	"	"	"	曲りブロック	0	0	0	3	4 (片面自動を含む)	4
	"	船台	"	主 板	0	1	1	1	1	1
	CO ₂	"	"	"	0					
	サブマージ	地上	スミ肉	ロンジ・フレーム	0	0	0	0	9	28
	サブマージ または CO ₂	船台	突合せ	"	0	0	0	1	1	1
	エレクトロスラグ	"	"	側 外 板	0	0	1	1	1	1
	消耗ノズル型 エレクトロスラグ	"	"	ロンジ・フレーム	0	0	0			
	ノンガス	地上	スミ肉	枠 組	0	0	0	0	6	18
専用型溶接棒	そ の 他	全工程	スミ肉 突合せ	—	0	0	0	0	0	0～3
	E5020 または E6027	全工程	スミ肉	グラビティ溶接法も 含む	0	28	28	28	19	自動溶接に 置換する
	E5016 (立向)	"	スミ肉 突合せ	—	0	0	6	18	12	
	E6016 (水平)	船台	突合せ	—	0	0	0	1	1	
自動溶接材料および専用型材料の合計					0	40	48	66	67	67～70

(注) 表中の0%の表示は汎用型溶接棒もしくは銲接の適用を100%とする。

溶接アーク溶接法がある。この場合ブロックの組立法はロジック先付け法(いわゆるライン・ウエルド方式)を採用している。また曲った外板の板継ぎにもフラックスの対傾斜性が改善されてサブマージ・アーク溶接法が、傾斜角 $7^{\circ} \times 7^{\circ}$ まで適用可能となっているが、特に最近ではこれにエレクション・ジョイント型の片面自動溶接方式が組合わされてこれらブロック溶接の近代化に役立っている。

3. 溶接の自動化率(溶接材料の使用結果)

表1は筆者の造船所においてすでに適用しているか、または将来適用しようとしている自動溶接法についてその溶接材料を溶接法別、ステージ別、継手の種類別および適用部材別の使用比率の変化を時代の推移により経験的に示したものであり、これにより溶接の自動化の程度と推移を知ることができる。この結果をみると自動溶接材料では1960年から1970年にかけて約8%の増加を示している。これは平板ブロックにおけるサブマージ・アーク溶接の適用範囲の拡大、曲り外板ブロックにおけるサブマージ・アーク溶接の適用、さらには立向自動溶接法などの採用による増加とみなされる。しかしこの間には内容的に特筆すべきものとして平板ブロックの板継ぎにおける片面自動溶接法の採用があったが、これは自動化率のうえではあまり表面にあらわれてきていない。また1970年以後においてはロジック・フレームの水平スミ肉溶接にサブマージ・アーク溶接を採用する場合および枠組みの立向スミ肉溶接にノンガス・アーク溶接を採用する場合に自動化率は大きく増加する。さらにまた曲り外板ブロックの板継ぎにおいてポジショナーを使用することにより全継手に対して自動溶接(片面溶接)の適用を可能とするが自動化率は1%程度の増加率を示すにすぎない結果となっている。

4. 溶接の自動化による節減工数

4.1 溶接工事量と溶接アーク時間

溶接工事量を評価する場合、ふつう船体にあてはまらず溶接長(あるいは継手長)が示され、さらにこれから時間あたりの能率資料にもとづいて配員その他の計画が行なわれる。一般には溶接工事量は溶接長(または継手長)であることが多い。しかしながら溶接長(または継手長)といってもその継手にはスミ肉と突合せの2種類があり、さらに前者は脚長あるいはのど厚、また後者は使用鋼材の板厚により溶接能率はいちじるしく変化し、かつこれはいずれも溶接時の姿勢、溶接法、使用溶接棒の種類と心線径、溶接条件、開先の状態などのいかに

より大きく左右される。しかも船体の溶接長(または継手長)はDW 100,000 ton級の船で400,000 m(継手長で200,000 m) DW 200,000 ton級の船で600,000 m(継手長で300,000 m)を超えるぼう大なものであるため、以上のような諸種の条件が十分わかっていてもこれをいちいち正確にまとめることの煩雑さのために、単に工程を計画するには経験的な溶接長(継手長)一能率で算定される方法の案外実用的なことから一般化しないで今日にいたっている。しかし本論文においては船体溶接工数の節減方法を、現在考えられるところの各種の自動化によりこれらの効果を評価しようというのがねらいであるから、ここでは当然前記の各種の因子を考慮した工事量が必要となる。幸い溶接施工において標準で定められた方法によるかぎりアークを出している時間はいわゆる機械時間の1種と考えられるから、これにある一定の

図-3 スミ肉および突合せ継手における各種溶接能率

溶接条件を適用すれば、与えられた寸法(脚長または板厚)の溶接継手を組立方法による溶接姿勢から判断してアーク発生率が100%のときの溶接時間を求めることができる。図3の各図は筆者の使用している基本的溶接条件を示す。図の上側はスミ肉継手の場合であって手溶接では水平、立向、上向の各姿勢に対してD4301(イルミナイト系)の溶接棒を使用して求めた場合のアーク時間、また自動溶接では立向の姿勢にノンガス・アーク溶接を、水平にはライン・ウエルド式のサブマージ・アーク溶接法を適用した場合のアーク時間を示す。図の下側は突合せ継手の場合であり、手溶接では下向、水平、立

向、上向(ただし両面とも上向で溶接する継手というのは事実上存在しないので実際には上向+下向となる)の各姿勢に対してD4301の溶接棒を使用して求めたアーク時間を示す。また自動溶接で平板ブロックおよび曲りブロックの下向きにはサブマージ・アーク溶接による片面自動溶接法(FCB法は2電極、カタフラックス法の場合は2または3電極)および両面溶接法を、さらに立向ではエレクトロスラグまたは消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接の場合を、また船体内構材(たとえばサイドロンジ)のような下向継手にはCO₂ガス・アーク溶接による片面自動溶接を用いて求めたアーク時間を示した

図一4 大型船の中央横裁断面の例

ものである。これにより開先は標準の状態にあるとして、いっぽう別に求めたモデル船の継手長(図3の場合溶接長ではなく継手長をとっている)を種類と姿勢別に適用すればアーク率100%の場合のアーク時間が求まることになる。ここではアーク率を地上工程においては50%, 船台工程では35%と仮定して以下計算を行なっている。したがって結局この場合溶接時間=計算による工数=アーク時間(アーク100%の場合)

$\times \frac{100}{50 \text{ (地上工程) または } 35 \text{ (船台工程)}}$ として求められることとなる。

4.2 モデル船とアーク時間の算出法

まずモデル船であるが、これについては筆者は DW 100,000 ton 型タンカーおよび DW 230,000 ton 型タンカー(図4)を選んだ。前者の場合は1隻分全区画について溶接時間を算出したが、後者の場合は油槽区画全体およびそれ以外の区画については1タンク分の溶接時間より、これに適当な係数を乗じて推定値を出している。この推定の根拠は2種のモデル船の方形肥せき係数

(Cb) の大きさをくらべてこれがほぼ等しかったこと (Cb 100,000/Cb 230,000=0.812/0.821=0.99) になり、両者の船型はほぼ相似形であると判断した。したがって DW 230,000 ton 型における油槽区画全体は油槽区画全体の長さ(Ltp)と1タンク分の長さ(Lot)の比率(Ltp/Lot=4.30)を DW 230,000 型の1タンク分の溶接時間に乗じて算出した。また油槽区画以外の区画についても同様な考え方で DW 100,000 型の油槽区画以外の区画と油槽区画全体のアーク時間の比率(ATf & a/ATtp=0.354)を DW 230,000 ton 型の油槽区画全体分の溶接時間に乗じて算出した。これらの計算において使用したアーク時間は手溶接の場合を使用した。また各種自動溶接法適用個所に対する溶接時間の場合についてもまったく同様な考え方でそれぞれ DW 100,000 ton 型の油槽区画全体のアーク時間と自動溶接の適用個所のアーク時間との比率を DW 230,000 ton 型の油槽区画全体分の溶接時間に乗じて算出した。なお、推定値の誤差をチェックするために、DW 230,000 ton 型タンカーの実際の継手長を求めた。その結果実際値は 329,179 m

表-2 手溶接による溶接所要時間

アーク発生率 {地上工程の場合 50%
船台工程の場合 35%

船種	項目	工 程		地 上 (含内業)			船 台			合 計
		構 造 区 画	継 手							
				突 合 せ	ス.ミ 肉	小 計	突 合 せ	ス.ミ 肉	小 計	
100,000 DWT タンカー	(m)	油 槽 区 画	1 タノク計	3,056 17,655	16,475 94,451	19,531 112,106	1,594 10,448	2,196 13,881	3,790 24,329	23,321 136,435
		そ の 他	船 首・尾 部	7,259	31,895	39,154	3,153	5,477	8,630	47,784
			立 体 構 造	2,361	11,568	13,929	1,747	2,833	4,580	18,509
			小 計	9,620	43,463	53,083	4,900	8,310	13,210	66,293
	合 計		27,275	137,914	165,189	15,348	22,191	37,539	202,728	
	(hr.)	油 槽 区 画	1 タノク計	5,335 28,473	6,126 37,883	11,461 66,356	7,208 41,655	2,434 15,442	9,642 57,097	21,103 123,453
		そ の 他	船 首・尾 部	11,983	13,689	25,672	10,896	6,258	17,154	42,826
			立 体 構 造	2,666	4,213	6,879	4,388	2,180	6,568	13,447
小 計			14,649	17,902	32,551	15,284	8,438	23,722	56,273	
合 計		43,122	55,789	98,907	56,939	23,880	80,819	179,726		
230,000 DWT タンカー	(m)	油 槽 区 画	1 タノク計	4,090 16,940	38,756 160,518	42,846 177,458	3,724 15,425	4,207 17,460	7,931 32,885	50,777 210,343
		そ の 他	船 首・尾 部	5,930	56,181	62,111	5,399	6,146	11,545	73,656
			立 体 構 造	2,287	21,666	23,953	2,082	2,357	4,439	28,392
			小 計	8,217	77,847	86,064	7,481	8,503	15,984	102,048
	合 計		25,157	238,365	263,522	22,906	25,963	48,869	312,391	
	(hr.)	油 槽 区 画	1 タノク計	7,544 32,409	17,521 75,272	25,065 107,681	16,016 68,807	2,763 11,870	18,779 80,677	43,844 188,358
		そ の 他	船 首・尾 部	11,960	27,775	39,735	25,390	4,378	29,768	69,503
			立 体 構 造	3,468	8,054	11,522	7,363	1,270	8,633	20,155
			小 計	15,428	35,829	51,257	32,753	5,648	38,401	89,658
	合 計		47,837	111,101	158,938	101,560	17,518	119,078	278,016	

表—3 溶接の自動化による溶接所要時間の変化

アーク発生率 (地上工程: 50%
船台工程: 35%)

船種	項目	工 程		地 上 (含内業)								船 台						合 計
				突 合 せ					ス ミ 肉			突 合 せ						
		継 手		ブ ロ ッ ク					水 (ロンジ・ フレーム)	平 立 (枠 組)	小 計	主 板	主 板	ロンジ・ フレーム	外 板	ロンジ・ フレーム	小 計	
		溶接法	構造区画	平 板 ブロック	平 板 ブロック	曲 り ブロック	曲 り ブロック	小 計										
		MW→ UM	UM→ UM _{Os}	MW→ UM	UM→ UM _{OSP}	MW→ UM _{Os}	CO _{2Os}	CO _{2So}	ES	ES _{cn}								
100,000 DWT タンカー	縦 手	油槽区画	1 タンク	2,739	(1,965)	—	—	2,739	3,941	615	4,556	564	67	150	74	74	929	8,224
			小 計	15,216	(10,919)	1,019	(1,019)	16,235	19,990	3,832	23,822	2,719	400	733	278	376	4,506	44,563
		そ の 他	船首・尾部 立体構造	4,268	(3,209)	923	(923)	5,191	—	1,263	1,263	—	—	—	—	—	—	6,454
			小 計	890	(824)	—	—	890	—	57	57	—	—	—	—	—	—	947
	合 計	5,158	(4,033)	923	(923)	6,081	—	1,320	1,320	—	—	—	—	—	—	—	7,401	
	合 計	20,374	(14,952)	1,942	(1,942)	22,316	19,990	5,152	25,142	2,719	400	733	278	376	4,506	51,964		
	改善前④ (hr.)	油槽区画	1 タンク	4,639	380	—	—	—	1,159	875	2,034	2,082	319	381	380	451	3,613	—
			小 計	23,941	1,911	1,515	218	—	5,887	5,464	11,351	10,109	1,839	1,879	1,408	1,928	17,163	—
		そ の 他	船首・尾部 立体構造	5,893	396	1,072	121	—	—	1,770	1,770	—	—	—	—	—	—	—
			小 計	1,015	88	—	—	—	—	78	78	—	—	—	—	—	—	—
	合 計	6,908	484	1,072	121	—	—	1,848	1,848	—	—	—	—	—	—	—	—	
	合 計	30,849	2,395	2,587	339	—	5,887	7,312	13,199	10,109	1,839	1,879	1,408	1,928	17,163	—		
	改善後⑤ (hr.)	油槽区画	1 タンク	562	263	—	—	—	408	529	937	148	103	60	84	83	478	—
			小 計	2,936	1,110	218	88	—	1,037	3,830	4,867	638	466	350	318	417	2,189	—
		そ の 他	船首・尾部 立体構造	658	304	121	76	—	—	1,227	1,227	—	—	—	—	—	—	—
			小 計	97	59	—	—	—	—	55	55	—	—	—	—	—	—	—
	合 計	755	363	121	76	—	—	1,282	1,282	—	—	—	—	—	—	—	—	
	合 計	3,691	1,473	339	164	—	1,037	5,112	6,149	638	466	350	316	417	2,189	—		
	差⑥⑦⑧ (hr.)	油槽区画	1 タンク	4,077	117	—	—	4,194	751	346	1,097	1,934	216	321	296	368	3,135	8,426
			小 計	21,005	801	1,297	130	23,233	4,850	1,634	6,484	9,471	1,373	1,529	1,090	1,511	14,974	44,691
そ の 他		船首・尾部 立体構造	5,235	92	951	45	6,323	—	543	543	—	—	—	—	—	—	6,866	
		小 計	918	29	—	—	947	—	23	23	—	—	—	—	—	—	970	
合 計	6,153	121	951	45	7,270	—	566	566	—	—	—	—	—	—	—	7,836		
合 計	27,158	922	2,248	175	30,503	4,850	2,200	7,050	9,471	1,373	1,529	1,090	1,511	14,974	52,527			

230,000 DWT タンカー																	
縦手長 (m)	油槽区画	1 タンク 小 計	4,017 17,273	(3,060) (13,158)	— 1,591	— (1,591)	4,017 18,864	9,454 40,652	3,086 13,270	12,540 53,922	902 3,879	197 847	212 912	150 645	104 447	1,565 6,730	18,122 79,516
		船首・尾部 立体構造 小 計	6,115 916 7,031	(4,658) (903) (5,561)	421 — 421	(421) — (421)	6,536 916 7,452	— — —	4,698 190 4,888	4,698 190 4,888	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	11,234 1,106 12,340
		合 計	24,304	18,719	2,012	(2,012)	26,316	40,652	18,158	58,810	3,879	847	912	645	447	6,730	91,856
		油槽区画 小 計	7,338 31,553	688 2,958	— 2,638	— 319	— 12,586	2,927 20,502	4,768 33,088	7,695 17,824	4,145 5,685	1,322 2,571	598 2,571	830 3,569	806 3,466	7,701 33,115	— —
改善前 ④ (hr.)	油槽区画 小 計	船首・尾部 立体構造 小 計	11,170 1,126 12,296	1,047 113 1,160	631 — 631	78 — 78	— — —	7,258 295 7,553	7,258 295 7,553	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
		合 計	43,849	4,118	3,269	397	—	12,586	28,055	40,641	17,824	5,685	2,571	3,569	3,466	33,115	—
	油槽区画 小 計	船首・尾部 立体構造 小 計	813 3,496	276 1,187	— 319	— 144	— 4,571	1,063 14,482	3,368 19,053	4,431 1,079	251 1,088	253 533	124 740	172 740	232 998	1,032 4,438	— —
		合 計	4,831	1,658	397	196	—	4,571	19,851	24,422	1,079	1,088	533	740	998	4,438	—
改善後 ⑤ (hr.)	油槽区画 小 計	船首・尾部 立体構造 小 計	6,525 28,057	412 1,771	— 2,319	— 175	6,937 32,322	1,864 8,015	1,400 6,020	3,264 14,035	3,894 16,745	1,069 4,597	474 2,038	658 2,829	574 2,468	6,669 28,677	16,870 75,034
		船首・尾部 立体構造 小 計	9,932 1,029 10,961	627 62 689	553 — 553	26 — 26	11,138 1,091 12,229	— — —	2,131 53 2,184	2,131 53 2,184	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	13,269 1,144 14,413
		合 計	39,018	2,460	2,872	201	44,551	8,015	8,204	16,219	16,745	4,597	2,038	2,829	2,468	28,677	89,447
		油槽区画 小 計	6,525 28,057	412 1,771	— 2,319	— 175	6,937 32,322	1,864 8,015	1,400 6,020	3,264 14,035	3,894 16,745	1,069 4,597	474 2,038	658 2,829	574 2,468	6,669 28,677	16,870 75,034

(注) MW: 手溶接 UM: サブマージ・アーク溶接 UM_{OS}: 片面自動溶接 (サブマージ・アーク) LW: スミ肉サブマージ・アーク溶接 (ライン・ウエルド式)
 NG: ノンガス・アーク溶接 CO_{2OS}: 片面自動溶接 (CO₂・アーク) ES: エレクトロスラグ溶接 ES_{cn}: 消耗ノズル式エレクトロスラグ溶接

であるのに対して推定値は 312,391 m であり、その差は 16,788 m (実際の場合の約 5.1%) であったので推定値はほぼ実際値に近いと判断した。

4. 3 自動化による節減工数の計算例

前記の 2 種のモデル船を用いた計算においては自動溶接法を採用したことによる経済性を検討する必要があるから、この点を考慮し、まずあらゆる継手をすべて手溶接で行なった場合のアーク時間を前記の溶接条件をもとにして算出した。この場合溶接姿勢は自動溶接法の場合とまったく同一条件としているし、またプリエレクションについては考慮しなかった (表 2)。つぎに各種自動溶接法をモデル船に適用する場合のそれぞれのアーク時間とこれに対応する継手を手溶接で行なった場合のアーク時間を求めた。両者の差が自動化による工数の節減効果となる。各種自動化の工数節減効果を表 3 に示す。この表に示した各種の自動溶接法が適用されると最終的には手溶接の場合にくらべて DW 100,000 ton 型で 1 隻あたり 52,527 hr. (このうち地上工程は 37,553 hr.), DW 230,000 ton 型では 89,447 hr. (このうち地上工程は 60,770 hr.) の節減ができることになる。したがって 1 隻建造するのに要する全溶接工数は DW 100,000 ton 型の場合 127,199 hr., DW 230,000 ton 型の場合で 188,569 hr. となり、その節減効果を比率で表わすと手溶接の場合にくらべて DW 100,000 ton 型で約 29%, DW 230,000 ton 型で約 32% となる。しかしながら平板ブロックおよび曲りブロックにおける片面自動溶接の側からみると、直接的な工数節減ということではとらえると

片面自動溶接法の適用による工数節減効果は、手溶接から両面自動溶接に変わったときの効果にくらべてはるかに小さいことを示している。

5. 自動化の今後の問題点

筆者はこれまで主として溶接の自動化の手段とこれによる直接的な省力効果と自動化率を通じて溶接自動化の経済的效果を論じてきたが、今後は単に自動化比率の増大あるいはこれによる表面的なアーク時間の節減のみにこだわることなく、たとえば半自動溶接を全自動化させるとか片面溶接にするなどの例にみられるごとく作業時の熟練要素を除去するとか、余分な工程を省略するなどの諸工夫がますます必要となるであろう。そしてこの観点からすれば既述の曲り外板の片面自動溶接法や、また船底外板のバットに下部から狭隙開先溶接法を上向姿勢で使用するなどの各種の方法の実用化が必要となる。これらはいずれも手のこんだ費用のかかるもので直接的な節減工数だけで議論できないものもあるが、その反面組立精度の向上と工程の直接化を通じてこれらの施工法による間接的省力効果が非常に大きいと考えられ、近代化が進めば進むほどこの種の傾向はますます大きくなっていくであろう。さらに、この論文ではアーク発生率を地上工程では 50%, 船台工程では 35% としているが、この値は自動化が進み造船業を “production type” へ発展させることにより増大する可能性があることを忘れてはならない。