

(昭和 57 年 5 月 日本造船学会春季講演会において講演)

# 原子力船の耐衝突船側構造の強度実験

正員 渋 江 唯 司\* 正員 伊 藤 久\*\*  
 正員 北 村 勝 英\* 正員 吉 村 信 敏\*\*  
 正員 吉 田 章 一\*\*\* 正員 長 沢 準\*\*\*\*

Experimental Study on the Strength of Collision Barriers in Nuclear Ships

by Tadashi Shibue, *Member* Hisashi Itoh, *Member*  
 Katsuhide Kitamura, *Member* Nobutoshi Yoshimura, *Member*  
 Shoichi Yoshida, *Member* Hitoshi Nagasawa, *Member*

## Summary

The purpose of this study is to examine the ultimate strength of resisting type collision barriers which are installed in nuclear ships. Two kinds of ship side structures containing such barriers were designed by way of experiment as examples. The characteristic of one is that it consists of a grillage of horizontal and vertical webs, and the other's is that more deck plates are set than usual. Four series tests were carried out on these structures as follows, (1) one deck element model tests against a rigid bow model, (2) structural model tests against a rigid bow model, (3) double-hull element model tests against a rigid bow model, (4) structural model tests against two actual bow models.

From the analysis of the test results, the collapse modes were classified into two patterns such as crushing collapse of only the loaded region and bending collapse of the whole structure. The strength in the former collapse could be attributed to the ultimate strength of the members which were carrying a load directly beneath it, where an effective sectional area, which was calculated by the effective width formula, was taken into account. The latter could be explained considering a limit load obtained by the plastic hinge method, where an effective full plastic moment, which was calculated with a sectional area excepting the ineffective parts due to buckling, was taken into account.

Finally, a way to estimate ultimate strength was derived for the above-mentioned two kinds of ship side structures.

## 1 緒 言

原子力船は、衝突による損傷から原子炉を防護するために、原子炉区画の船側部分を耐衝突構造としている。従来、原子力船の耐衝突船側構造は、衝突のエネルギーを自船の船体構造の破壊により吸収する方式、すなわちエネルギー吸収型であった<sup>1),2),3)</sup>。しかし、近年にいたり、海外では衝突時の自船の損傷を許容できる小程度にとどめ、衝突のエネルギーを主として相手船船首の破壊により吸収する方式、すなわち抵抗型の開発が行われている<sup>4),5)</sup>。

そこで本報では、抵抗型耐衝突構造の開発を行ううえで最も重要な問題の一つである耐衝突構造の最終強度について、実験的な検討を行った。このために、まず原子力船としてコンテナ船を考え、その抵抗型耐衝突構造として Fig. 1 に示すような格子防撓型と多層甲板型の 2 種類の構造を重量がほぼ等しくなるように試設計した。Fig. 1 (a) は船側二重殻内に桁を格子状に配し、船側甲板厚を増して、二重殻部分を補強した型であり格子防撓型と称する。Fig. 1 (b) は甲板数と甲板厚を増して甲板部分を補強した型であり多層甲板型と称する。次に、これらの構造および構造要素の模型実験を行い、最終強度を求めるとともに破壊状況について調べた。さらに、実験結果をもとにしてこれら 2 種類の耐衝突船側構造の最終強度を求めるための計算法を導いた。また、この計算法を用いて上記試設計船の最終強度解析を行った。

\* 石川島播磨重工業(株)技術研究所

\*\* 日本鋼管(株)津研究所

\*\*\* 石川島播磨重工業(株)船舶海洋事業本部

\*\*\*\* 船舶技術研究所

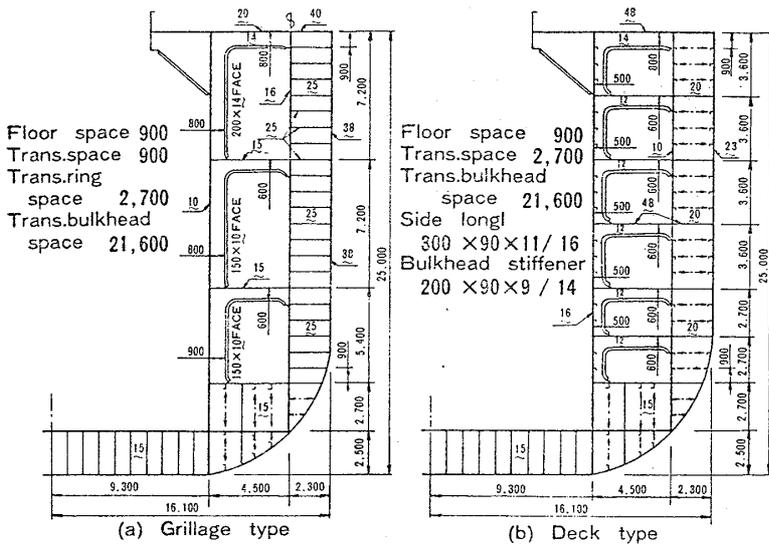


Fig. 1 Cross sections of the resisting type side structures

2 模型実験

2.1 実験の概要

まず耐衝突船側構造の甲板要素模型、構造模型、二重殻要素模型にそれぞれ先端が平らな船首をモデル化した剛体（剛船首）により荷重を加え、破壊特性と最終強度を求める実験を行った。これらを甲板要素模型実験、構造模型実験、二重殻要素模型実験と称する。次に耐衝突船側構造模型に船首模型を準静的に衝突させて、相互の変形が最終強度に及ぼす影響と相対強度を調べる強度比較実験を行った。

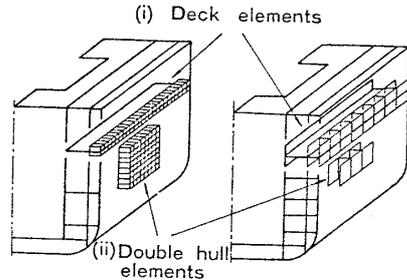
甲板要素模型は、Fig. 2 (a), (b) の (i) に示すように甲板1層とそれに続く二重殻部分をモデル化したもので、その仕様を Table 1 に示す。模型 No. 1 および No. 2 はそれぞれ格子防撓型、多層甲板型の 1/6 縮尺模型である。模型 No. 3 は多層甲板型の、模型 No. 4~10 は格子防撓型の、それぞれ 1/10 縮尺模型で、二重殻内のロンジを省略している。模型 No. 4~7 は甲板構造を同じ

にして二重殻構造の剛性を変え、また模型 No. 8~10 は二重殻構造を No. 6 と同じにして甲板構造の剛性を変え、それぞれ二重殻構造および甲板構造の剛性の影響を調べるためのシリーズ模型である。

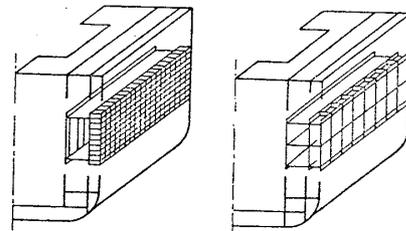
構造模型は、Fig. 2 (c), (d) に示すように、格子防撓型では甲板2層、多層甲板型では甲板3層をそれぞれ含む横隔壁間の部分を取り、1/10 縮尺したものである。

二重殻要素模型は、Fig. 2 (a), (b) の (ii) に示すように、甲板間の二重殻を横隔壁間距離の 1/3 だけとり、1/6 縮尺したものである。従って格子防撓型では8ロンジスペース分が、多層甲板型では4ロンジスペース分がそれぞれ対象とな

層甲板型では4ロンジスペース分がそれぞれ対象とな



(a) Grillage type elements (b) Deck type elements



(c) Grillage type structure (d) Deck type structure

Fig. 2 Models for experiments

Table 1 Deck element models

No.	SCALE	TYPE	SCANTLINGS (mm)		$D_w \times H_s \times t_w / t_s / t_i, D_1 \times t_1 + D_2 \times t_2$	
			SCALE MODEL OF Fig. 1 (a) WITH DOUBLE HULL (2 LONGL SPACES)			
1	1/6	GRILLAGE	SCALE MODEL OF Fig. 1 (a) WITH DOUBLE HULL (2 LONGL SPACES)			
2		DECK	SCALE MODEL OF Fig. 1 (b) WITH DOUBLE HULL (4 LONGL SPACES)			
3	1/10	DECK	200x150x4.5/3.2/1.6	450x4.5		
4		GRILLAGE	200x100x5.5/8.0/8.0			450x1.6
5			200x100x8.0/12./12.			
6			200x200x8.0/12./12.			
7			200x200x10./16./16.			
8		200x200x8.0/12./12.		100x2.3+350x1.6		
9		200x200x8.0/12./12.		313x2.3		
10		200x200x8.0/12./12.		225x3.2		

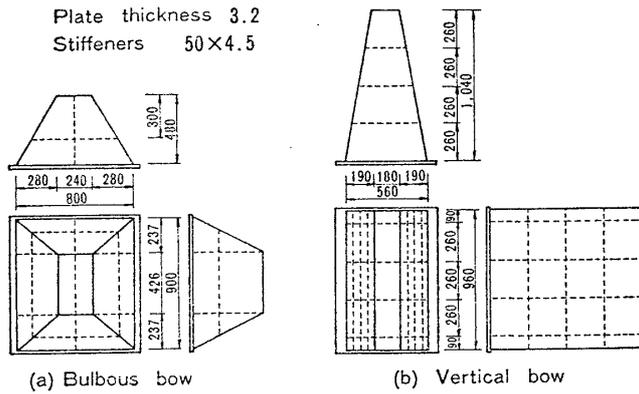


Fig. 3 Bow models

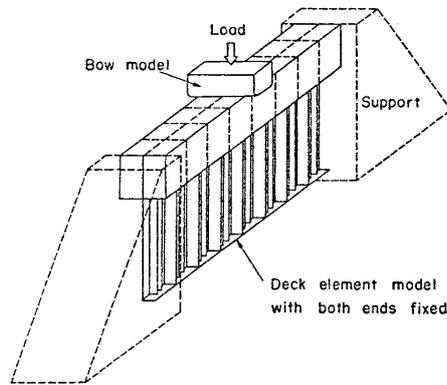


Fig. 4 Test setup

る。

船首模型は、Fig. 3 に示すように 40 万トン級タンカーの球状船首と 3 万トン級コンテナ船の垂直船首の 2 種類でそれぞれ実船の 1/10 縮尺相当模型である。

甲板要素模型および構造模型は横隔壁位置を固定，二重殻要素模型は模型の 4 周を固定となるように，それぞれ支持した。実験装置を Fig. 4 に示す。

各実験では段階的に荷重を与え，各段階での荷重値，模型各点の変位および歪の計測を行い，破壊特性を観察し，写真などにより記録した。

2.2 甲板要素模型実験

荷重は，縮尺 1/6 の模型に対して幅 360 mm，縮尺 1/10 の模型に対して幅 180 mm の剛船首で，それぞれのスパン中央に加えた。模型 No. 1 および No. 2 の荷重-突入量関係を Fig. 5 に，模型 No. 3 および No. 6 の荷重-突入量関係を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。また，模型 No. 1 および No. 2 の変形の状況を Fig. 8 に，模型 No. 1 の歪分布を Fig. 9 (a) に，模型 No. 2 の歪分布を Fig. 9 (b) にそれぞれ示す。

模型 No. 1 および No. 4~10 は格子防撓型の甲板要素である。これらはいずれも Fig. 8 (a) に示すように，荷重位置と固定端を直線で結んだような V 字状の変形を示し，荷重直下部分の局所的な変形はわずかであった。

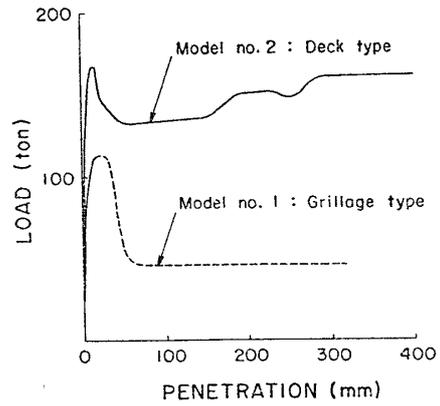


Fig. 5 Load-penetration curves of deck element models No. 1 and No. 2

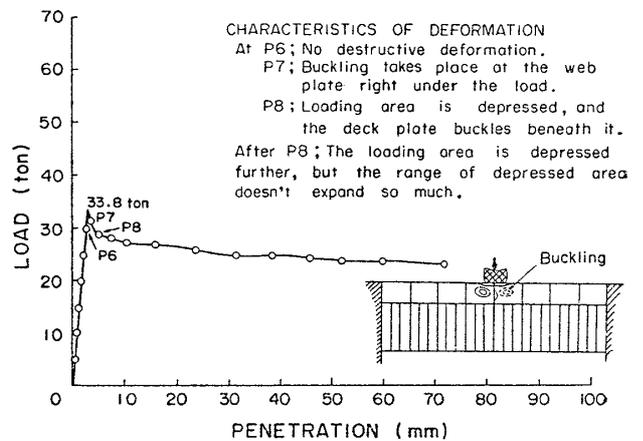


Fig. 6 Load-penetration curve of model No. 3

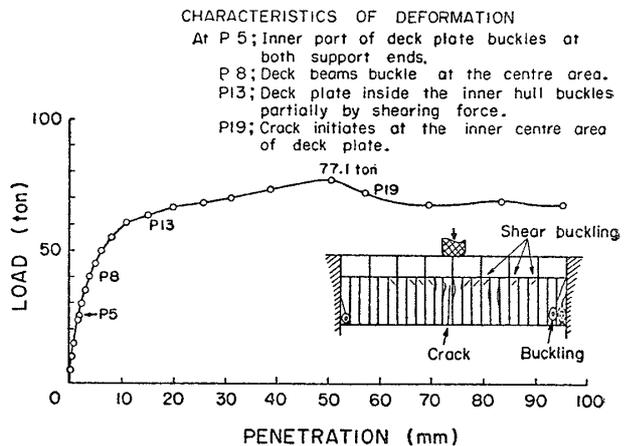


Fig. 7 Load-penetration curve of model No. 6

また，固定端近くの甲板の内側の部分に，甲板の面内曲げによると思われる座屈変形が観察された。模型 No. 1 および模型 No. 4~8 では，二重殻近くの甲板部分で剪断座屈波形が観察された。これは，模型 No. 1 の歪履歴を示す Fig. 10 で，荷重直下の二重殻と甲板との接合部に歪のおくれが現われていることから裏づけられる。しかし，最高荷重付近では，歪はともに増加する挙動を示した。

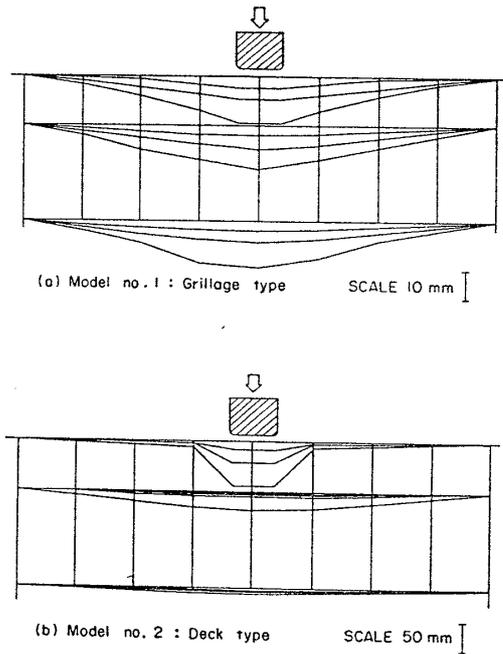


Fig. 8 Deformation diagrams of model No. 1 and No. 2

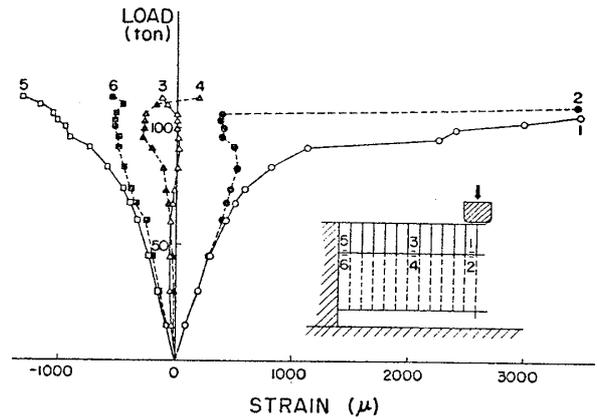


Fig. 10 Load-strain curves of model No. 1

模型 No. 2 および No. 3 は多層甲板型の甲板要素である。この 2 つはともに荷重直下で二重殻内の桁に座屈変形を生じたときに最高荷重となり、その後 Fig. 8 (b) に示すように荷重直下の部分だけが押し込まれ、それ以外の部分の変形はわずかであった。Fig. 9 (b) の歪分布も荷重直下の二重殻内の桁の部分だけが局部的に破壊したことを示している。

### 2.3 構造模型実験

荷重は深さ 360 mm、幅 540 mm の矩形の加力面をもつ剛船首により模型の船側外板面の中央、すなわち格子防撓型では 2 層の甲板の間に、多層甲板型では中央の甲板位置にそれぞれ加えた。

格子防撓型の荷重-突入量関係を Fig. 11 に、実験終了時の模型の変形の状況を Fig. 12 (a) にそれぞれ示す。変形は格子防撓型の甲板要素模型の場合と同様で、荷重位置と固定端を直線で結んだような V 字状の変形を示すほか、固定端近くの甲板の内側の部分に座屈波形が観察された。最高荷重に達した後、スパン中央で甲板の内側から亀裂が入り、荷重は減少した。

多層甲板型の荷重-突入量関係を Fig. 11 に、実験終了時の模型の変形の状況を Fig. 12 (b) にそれぞれ示す。変形は多層甲板型の甲板要素模型の場合と同様で、荷重直下の部分だけが局部的に押し込まれ、荷重領域に隣接

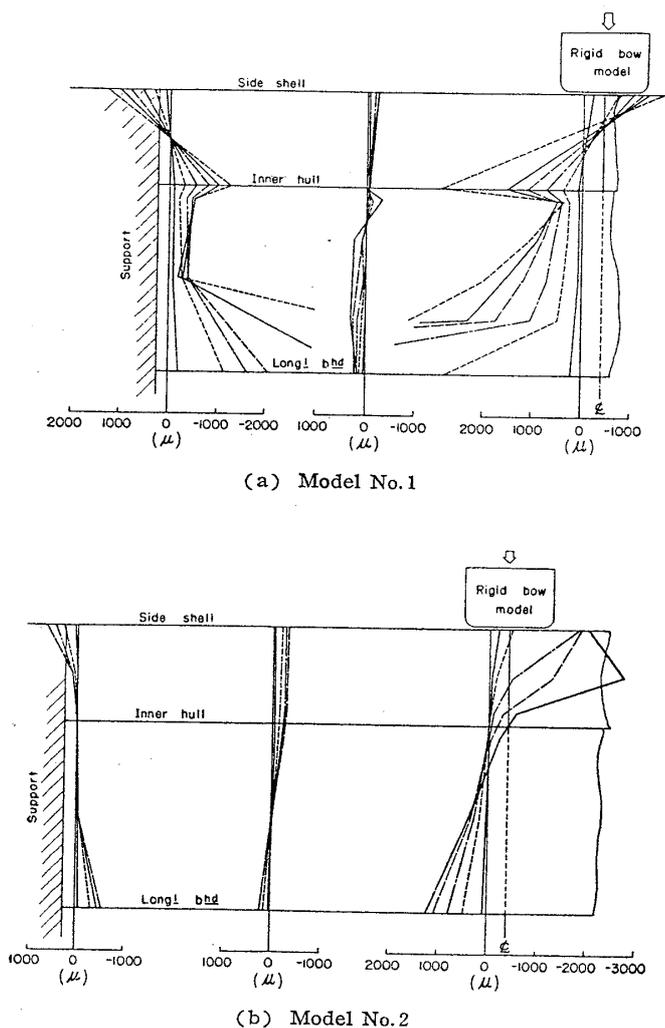


Fig. 9 Strain distribution diagrams

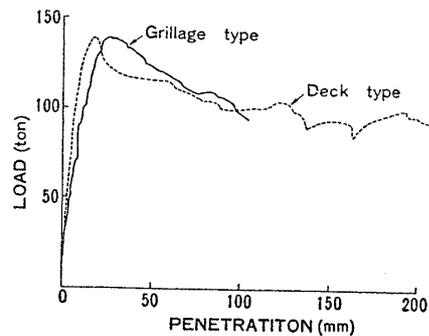
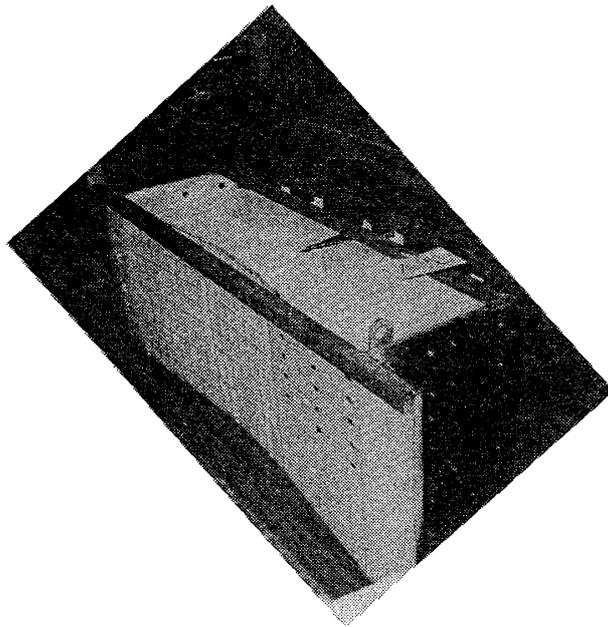
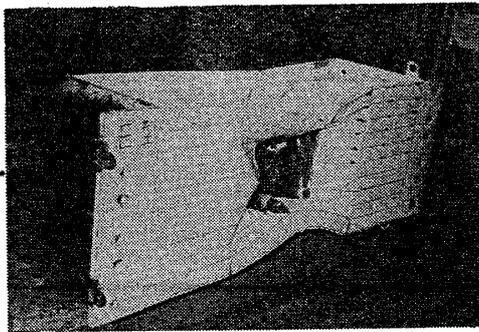


Fig. 11 Load-penetration curves of structure models



(a) Grillage type



(b) Deck type

Fig. 12 Structure models after experiments

する2層の甲板および垂直桁を境として角錐台状の変形を示したが、その外側ではほとんど変形を生じていない。剛船首の縁にあたる船側外板部分には、最高荷重に達した後に亀裂が発生し、荷重領域の全周にわたった。

2.4 二重殻要素模型実験

荷重は深さ 300mm、幅 450mm の矩形の加力面をもつ剛船首により模型の船側外板面の中央に加えた。格子防撓型および多層甲板型の荷重-突入量関係を Fig. 13 に、また変形の状況を Fig. 14 に示す。両方の模型とも、船側外板は荷重直下の部分だけが局部的に押し込まれ、荷重領域に隣接する桁または固定治具を境として角錐台状の変形を示したが、二重殻内壁の変形は少なく、二重殻内の桁が主として破壊された。いずれも船側外板の破断により荷重が減少した。

2.5 船首と船側の強度比較実験

球状船首と格子防撓型船側、球状船首と多層甲板型船側、および垂直船首と格子防撓型船側の組み合わせで、合計3組の実験を行った。それぞれの実験の最終状態の写真を Fig. 15 に示す。

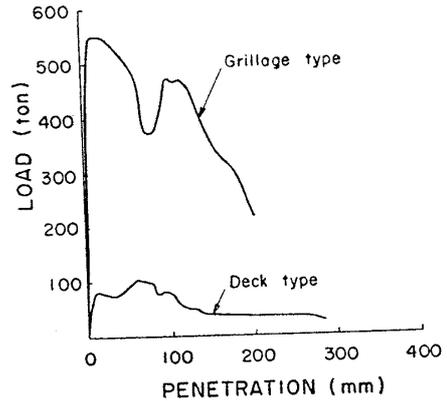


Fig. 13 Load-penetration curves of double-hull element models

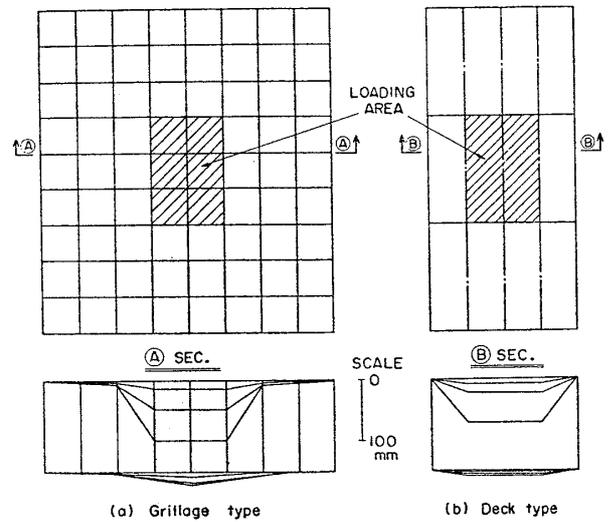


Fig. 14 Deformation diagrams of double-hull element models

球状船首と格子防撓型船側の場合は、船首の衝突位置を2層の甲板の中間とした。最高荷重に達する前に、船首模型の船側外板および船側模型の固定端近くの甲板の内側の両方に座屈波形が発生するが、その後は船首模型が一方的に破壊しアコーディオン状に折りたたまれていく。船側模型の船側外板面にはわずかな凹損が生じたのみで、亀裂は発生していない。

球状船首と多層甲板型船側の場合は、船首の衝突位置を中央の甲板位置とした。船首模型は船側の甲板位置に接触する部分のみが押され、その他の部分は船側模型の側外板を突き破り、互いに相手構造に食い込むような変形を生じる。最高荷重に達した後、船側模型の船側外板の破断により荷重は減少する。

垂直船首と格子防撓型船側の場合は、船首が2層の甲板にまたがるものとした。最高荷重に達する前に、船首模型の船側外板および船側模型の固定端近くの甲板の内側の両方に座屈波形が発生するが、その後は船首模型が一方的に破壊しアコーディオン状に折りたたまれてい

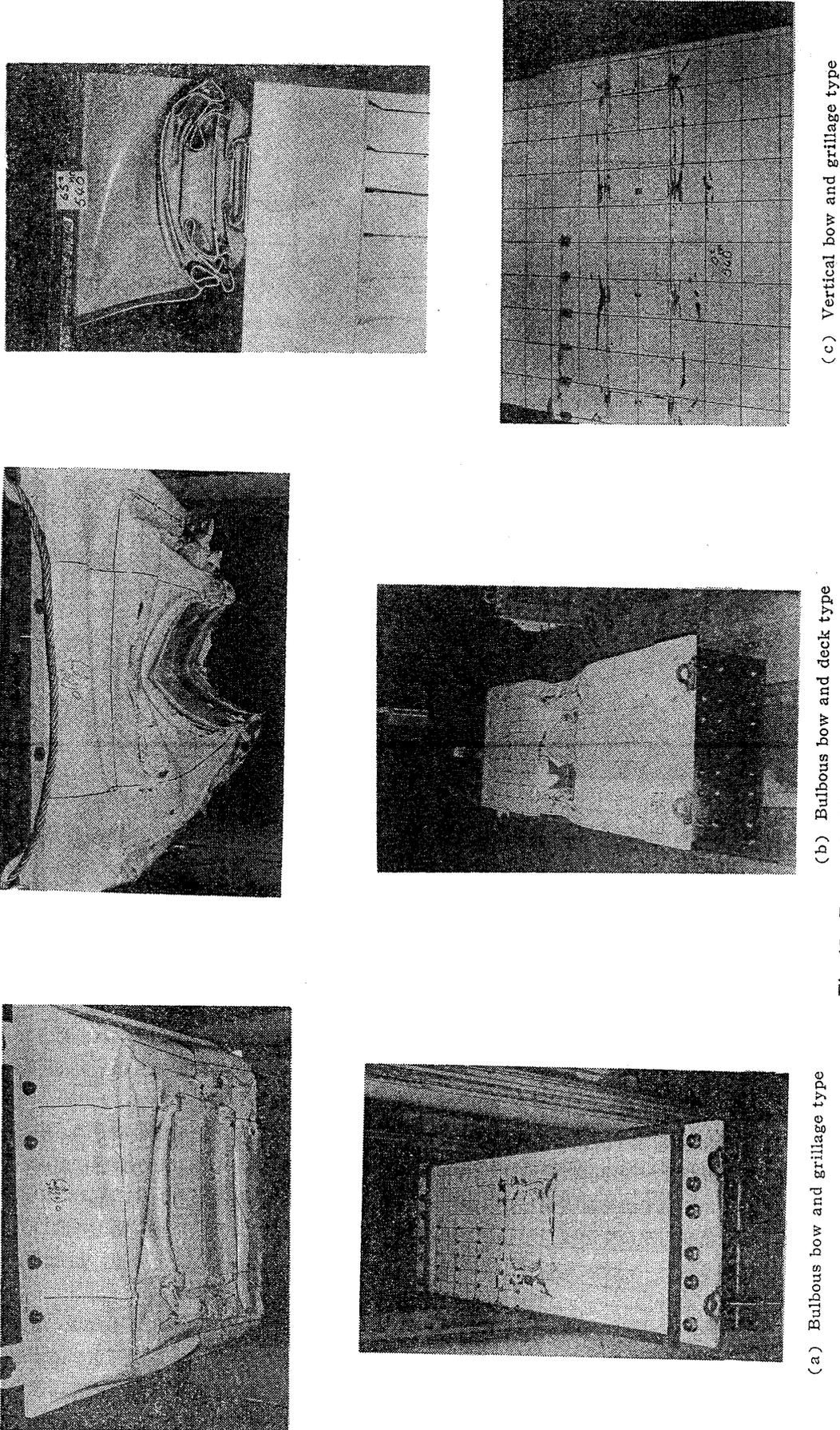


Fig. 15 Bow and side structure models after experiments

く。船側模型の船側外板面には深さ 15 mm 程度の凹損が生じたのみで、亀裂は発生していない。

### 3 実験解析

実験結果にもとづいて実験模型の最終強度の計算方法を検討する。まず甲板要素模型実験の結果から、破壊形式は①荷重位置と固定端を直線で結んだようなV字状の変形を生じる破壊と、②荷重直下部分の局所的な破壊とに分類できる。

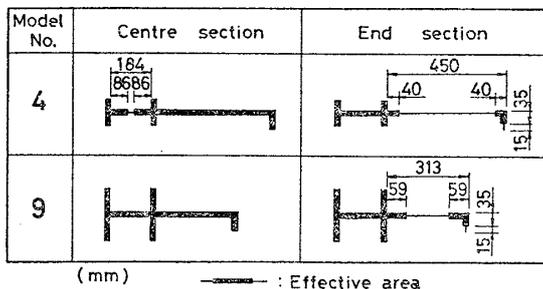
模型 No. 1 および No. 4~10 は①の破壊形式であった。これは荷重断面と固定端に塑性関節を生じるような曲げ崩壊の挙動に近いと考えられる。そこで、塑性関節法を適用する。塑性関節は荷重断面と固定端で生じるが、このときの全塑性曲げモーメントは座屈による有効断面の減少を考慮して求めることとする。実験結果によれば、固定端近くの甲板の内側の部分に圧縮座屈波形が、また二重殻近くの甲板部分で剪断座屈波形が観察された。このうち圧縮座屈については座屈領域の耐荷力は無視し、剪断座屈については、Fig. 10 に示されるように最高荷重付近では、二重殻内の桁と甲板との歪は同一の挙動を示すことから、全塑性曲げモーメントに及ぼす影響が小さいと考えて剪断座屈の影響を無視する。

そこで、座屈による有効断面の減少を次のように計算する。断面部材が曲げにより一軸応力状態にあるものと考え、圧縮側にある部材については Faulkner の式<sup>9)</sup>により有効断面を求める。引張側については全断面有効とする。全塑性曲げモーメントを有効断面に対して計算する。

模型 No. 4 および No. 9 についての有効断面の計算例を Fig. 16 に示す。

#### Faulkner の式<sup>9)</sup>

荷重に平行な 2 辺が単純支持されている幅  $B$ 、板厚  $t$



Example calculation for model no. 4		E = 21,000 $\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$			
	Centre section		End section		
	B	t	$\sigma_y$	$B_e$	
Side shell	100	8.0	336	100	100
Girder web	184	5.5	336	172	Tension side 184
Inner hull			100	100	8.0
Deck plate			100	100	1.6
Longitudinal Bulkhead			120	120	1.6
					303
					69

Fig. 16 Examples of effective area for calculating full plastic moment

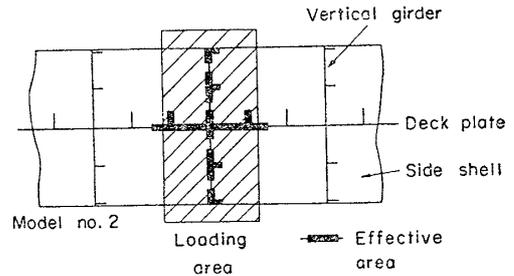


Fig. 17 Example of effective area

の板の座屈後の有効幅  $B_e$  を求める式。材料の縦弾性係数を  $E$ 、降伏応力を  $\sigma_y$  とする。

$$B/t < \sqrt{E/\sigma_y} \text{ のとき } B_e = B$$

$$B/t \geq \sqrt{E/\sigma_y} \text{ のとき}$$

$$B_e = t\sqrt{E/\sigma_y} \times (2 - t/B \times \sqrt{E/\sigma_y}) \quad (1)$$

模型 No. 2 および No. 3 は②の破壊形式であった。そして荷重直下で二重殻内の桁に座屈変形が生じたときに最高荷重となった。この荷重は、荷重直下の桁の圧壊強度に相当するものと考えられる。そこで荷重直下の桁部材について Faulkner の式を用いて有効幅を求め、有効断面積に降伏応力を乗じたものを圧壊荷重と考える。ただし、有効断面積は桁相互の交点に集中させ、これが柱として抵抗すると考える。そして荷重直下に断面の全部または一部が含まれる桁について、すべての交点の有効断面積を加えて全有効断面積とする。模型 No. 2 について、有効断面積の計算例を Fig. 17 に示す。

以上の計算方法を用いて求めた甲板要素模型の最終強度を実験値とともに Table 2 に示す。計算結果と実験値とは良く一致する。

構造模型実験の結果、破壊の状況は甲板要素模型実験と同様で、格子防撓型は①の、多層甲板型は②の破壊をそれぞれ示した。そこで甲板要素模型実験と同じ計算方法を用いて構造模型の最終強度を求め、Table 2 に実験値とともに示す。格子防撓型では計算値は実験値の 134% で、多層甲板型では計算値は実験値の 78% となる。この差は、甲板要素模型実験と構造模型実験との端部の固定度などの実験条件の違い、あるいは模型の構造領域の違い、等が考えられるが、いずれによるものかわからないために、単に①の破壊形式に対する計算方法を構造に適用する場合には、実験定数 0.7 を乗じて補正するものとした。

二重殻要素模型実験の結果、破壊の状況は格子防撓型、多層甲板型ともに主として②の破壊を示した。そこで甲板要素模型実験と同じ計算方法を用いて二重殻要素模型の最終強度を求め、Table 2 に実験値とともに示す。計算結果と実験値とは、ほぼ一致する。

以上で得られた計算結果と実験値を対応させて Fig. 18 に示す。計算で用いた降伏応力は、模型の材料について

Table 2 Ultimate strength

MODEL	DECK ELEMENT MODEL										STRUCTURE MODEL		DOUBLE HULL ELEMENT MODEL	
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	G	D	G	D
TYPE	G	D	D	G	G	G	G	G	G	G	G	D	G	D
CALCULATION	122.	176.	28.1	47.2	66.2	84.6	96.8	86.6	79.6	78.0	186.	108.	614.	95.1
EXPERIMENT	113.	167.	33.8	51.4	63.3	77.1	96.8	73.6	76.8	68.3	139.	139.	560.	101.
$\frac{\text{CALCULATION}}{\text{EXPERIMENT}}$	1.08	1.05	0.83	0.92	1.05	1.10	1.00	1.18	1.04	1.11	1.34	0.78	1.10	0.94

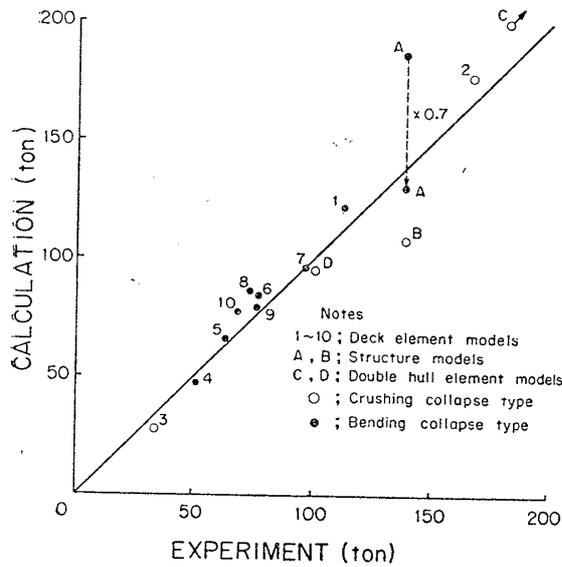


Fig. 18 Correlation diagram of ultimate strength between experiments and calculations

引張試験を行って求めた。

#### 4 船側構造の最終強度計算法

前章の実験解析結果にもとづいて耐衝突船側構造の最終強度計算法をまとめると以下になる。計算法のフローチャートを Fig. 19 に示す。

船首が耐衝突船側構造に衝突する場合には、それぞれの構造の強度比較によりどちらに破壊を生じるかが決定される。船側構造の強度は一般に様ではないので、衝突船首により加えられる荷重領域が与えられた場合に、それに対応して船側構造の強度が求められる。

ここでは衝突船首による荷重面を剛な平面とする。耐衝突船側構造の最終強度をその破壊形式により全体強度と局部強度に分けて取り扱う。全体強度は前章で述べた①荷重位置と固定端を直線で結ぶようなV字状の変形を生じる破壊に対する強度であり、局部強度は②荷重直下部分の局部的な破壊に対する強度である。最終強度は、全体強度と局部強度のいずれか小さい方の値とする。全

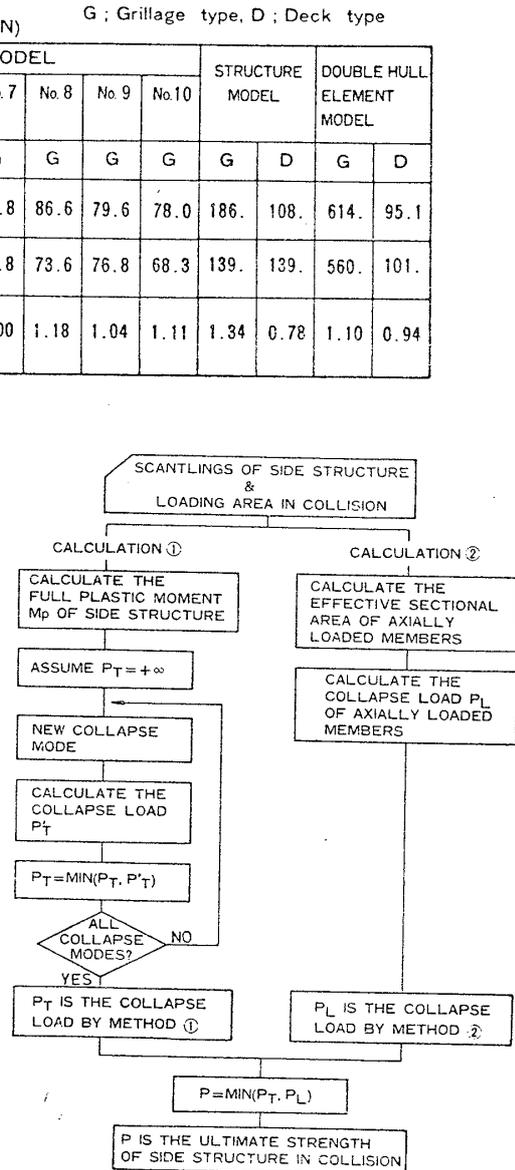


Fig. 19 Flow chart of ultimate strength calculation

体強度は、与えられた荷重条件に対して起り得る崩壊形式を種々仮定して崩壊荷重を求め、その中で最も小さい値とする。個々の崩壊形式に対する崩壊荷重は、前章で述べた①に対する計算方法を用いる。局部強度を計算するうえで、荷重領域が特に小さい場合には荷重直下部分に桁などの軸圧縮部材がない場合も考えられる。この場合には、外板膜の破断強度を最終強度とする方法が考えられる。しかし本報では、この場合に相当する実験結果が得られていないので計算法から除いた。局部強度は、前章で述べた②に対する計算方法を用いて求められる。

以上の計算法を用いて、試設計した格子防撓型と多層甲板型の耐衝突構造について行った最終強度計算例を Fig. 20 に示す。簡単のため、甲板間隔は等間隔とし、横隔壁位置で固定、二重底位置で単純支持、上甲板位置で自由とした。荷重は深さ 3,600 mm、幅 5,400 mm の

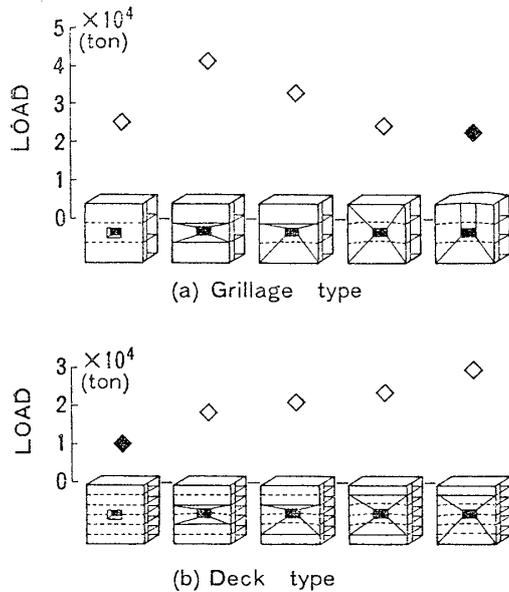


Fig. 20 Examples of ultimate strength calculation

矩形領域を考えた。この結果、格子防撓型では最下層の甲板以外の3層の甲板を含む全体破壊が、多層甲板型では荷重直下部分の局部破壊が、それぞれ最も低い崩壊荷重を与えることがわかる。これは、構造模型実験で得られた破壊特性の傾向と一致する。ここで求められた最も低い崩壊荷重を最終強度とする。

## 5 考 察

4章で整理した船側構造最終強度解析法は、計算結果が実験結果とほぼ一致したが、その適用に際して次の2つの点に注意を要する。その一つは強制変位型の荷重を想定していること、もう一つは船首から負荷される荷重の領域を既知としていることである。

一般に、衝突船の船首は抵抗型耐衝突船側構造に衝突することにより押しつぶされるが、船側構造の強度は荷重のかかり方、作用する場所により異なるため、実際には船首、船側の両方に変形を生じる。しかし、この現象を解析的に考慮することが困難であるので、本報では押しつぶされた船首はそのときの衝突面の形状をもつ先端の平らな剛体として取り扱っている。そして、このような取り扱いに対する検討のために、2.5節で述べた船首と船側の強度比較実験を行った。その結果、格子防撓型では船首模型が一方向的に破壊したが、船側模型はほとんど破壊せず、上記の取り扱いで良いことが示されたが、多層甲板型では船首模型、船側模型ともに破壊した。従って、必ずしも上記の取り扱いは妥当ではなく、このような相互の破壊が問題となる場合には別途検討を行う必要がある。ただし、この問題は耐衝突船側構造に許容される破壊がどの程度であるかという問題と関連して検討することになる。

また、船首から負荷される荷重の領域については、次のように考える。本報で想定している船首構造の強度は、剛壁に衝突した場合の強度である。船首強度は、一般に破壊長さと同様破壊荷重の関係として把握できる。このとき、破壊量が増加するにつれて破壊位置での船首断面積も増加するが、破壊荷重は複雑に増減する。従って、一つの衝突条件の下で船側構造が破壊されるか否かを評価するためには、上記の破壊長さと同様破壊荷重との関係でいくつかの荷重の極大値を与える破壊長さにおいて、そのときの衝突面を船側構造に対する荷重の領域であると決めて、それぞれの荷重領域を受ける場合の船側構造の強度を本報による計算法を適用して求める必要がある。そして、すべての荷重の極大値に対して船側構造の強度が荷重の極大値よりも大きいことが示されれば、船側構造は破壊しないことになる。なお、船首構造がどこまで破壊されるかは、衝突前後のエネルギーの釣合いから求められる<sup>7),8),9),10)</sup>。

## 6 結 言

本報は、原子力船の原子炉を衝突による損傷から防護するために、衝突船船首の強度を上回る強度をもつ船側構造、すなわち抵抗型耐衝突構造の開発を目的とした。このために、まず構造形式の異なる2種類の抵抗型耐衝突構造を試設計した。そして、これらの構造および構造要素の模型実験を行って最終強度を求め、さらに実験結果をもとにしてこれら2種類の耐衝突船側構造の最終強度を求める計算方法を作成した。得られた結論は次のとおりである。

(1) 船側構造の最終強度は、荷重位置と固定端を直線で結んだようなV字状の変形を生じる破壊に対応する全体強度と、荷重直下部分の局部的な破壊に対応する局部強度の2つに分けることができる。

(2) 全体強度は、船側構造の領域が曲げによる塑性関節で崩壊機構を形成するときの荷重として評価できる。各塑性関節では、全塑性曲げモーメントを座屈による有効断面の減少を考慮して計算する。

(3) 局部強度は、荷重直下部分の桁部材の圧壊荷重として評価できる。桁部材の圧壊荷重は、荷重直下部分の各部材の有効断面を座屈による有効断面の減少を考慮して求め、有効断面が圧縮により一様に降伏するときの荷重とする。

(4) 船側構造の最終強度は、全体強度と局部強度のいずれか小さい値をとる。計算法を Fig. 19 に示す。

(5) 同一縮尺の船側模型と船首模型との衝突実験を行った結果、甲板を補強した船側模型は船側外板を船首模型により破られる相互破壊の挙動を示したが、船側二重殻を補強した船側模型はほとんど損傷を受けず、船首

模型だけが一方的に破壊した。

最後に、本報告は昭和 53 年度から昭和 55 年度までの 3 か年にわたり、科学技術庁の原子力平和利用委託研究として (社) 日本造船研究協会原子力船委員会原子力船第 10 研究部会で行った研究の一部であることを付記する。ここに御協力をいただいた同研究部会の委員各位、事務局の各位に対し深く感謝の意を表します。

#### 参 考 文 献

- 1) 秋田好雄, 高田 健, 潮田史郎, 松澤撰津男, 片岡軍司: 原子力船の衝突防護構造について, 日本造船学会論文集, 第 118 号 (1965 年 12 月), pp. 259~270.
- 2) 日本造船研究協会原子力船委員会原子力船第 3 研究部会: 原子力船の耐衝突および耐爆発防護構造に関する研究, 日本造船研究協会報告, 第 71 号 (1971 年).
- 3) Akita, Y., Kitamura, K.: A study on collision by an elastic stem to the side structures of ships, 日本造船学会論文集, 第 131 号 (1972 年 6 月), pp. 307~317.
- 4) Woisin, G.: Die Kollisionsversuche der GKSS, Schiff & Hafen, Heft 2 (1977. 2), pp. 163~166.
- 5) Reckling, K. A.: Beitrag der Elasto-und Plastomechanik zur Untersuchung von Schiffskollisionen, Jahrbuch STG, 70. Bd. (1976), pp. 443~464.
- 6) Faulkner, D.: A review of effective plating for use in the analysis of stiffened plating in bending and compression, Journal of Ship Research, Vol.19, No. 1 (1975).
- 7) 大西登喜夫, 川上 肇, 安川 度, 長沢 準: 船首構造の最終強度について, 日本造船学会論文集, 第 151 号 (1982 年 6 月), pp. 231~243.
- 8) 日本造船研究協会 原子力船委員会 原子力船第 10 研究部会: 原子力船の耐衝突構造の評価に関する試験研究 (1979 年 9 月).
- 9) 日本造船研究協会 原子力船委員会 原子力船第 10 研究部会: 原子力船の耐衝突構造の防護能力に関する試験研究 (1980 年 9 月).
- 10) 日本造船研究協会 原子力船委員会 原子力船第 10 研究部会: 原子力船の耐衝突構造の防護能力に関する試験研究 (1981 年 9 月).