

(昭和 41 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

中心二条進水方式について

正員 武 藤 昌太郎
 阿 部 武
 正員 北 村 昌 一

On Single Way Type Launching Method

By Masataro Muto, *Member*
 Takeshi Abe
 and Masakazu Kitamura, *Member*

Summary

In usual launching method, we used two ways having the gauge of about 1/3 to 1/4 of ship-breadth.

On the other hand, there was the single way launching method, in which only one way was placed at ship's centerline. We find many advantages in this single way launching, such as saving of man-hours, saving of material and wide-range for ship positioning, but its application was confined to smaller ship whose max launching weight was about 2,000 t, because of the problems on ship stability, ship strength, and so on.

The present paper concerns about the modified two way launching method developed by Mitsubishi Yokohama shipyard in which the gauge is so small that it is considered almost single way launching. This single way type launching method was applied at first to smaller ship, but was extended to larger ship step by step after careful study on ship stability, ship strength and so on. Up to date, eleven ships were launched successfully by this method including eight fish factory ships whose launching weight was about 8,000 t and $L \times B \times D = 140 \text{ m} \times 24 \text{ m} \times 14.8 \text{ m}$.

1 まえがき

通常の進水方式では二条の進水台が船体中心対称に船幅 B の 1/3~1/4 程度の位置に配置される。これに対し船体中心線上に一条の進水台を配置するいわゆる一本足進水 (single way launching method) は資材, 工費, 船体据付面等で色々利点を有する方式であるが, その安定性, 船体強度上等の危惧で進水重量 2,000 t 程度までの小型船に限つて採用されて來た。筆者等は立体ブロックによる船体建造方式の開発と並行して船体中心に極めて接近した二条の進水台 (台の中心間隔 1.1 m~2 m) を有するほとんど一本足型の二条進水方式を考案し, その安定性, 船体横強度等の問題に終始慎重な検討を加え, 逐次大型船に適用を拡大し, 現在までに進水重量 8,000 t 級 ($L \times B \times D = 160 \text{ m} \times 24 \text{ m} \times 14.8 \text{ m}$) 8 隻を含み 11 隻の船を本方式で無事進水させた。

この結果本方式による進水が極めて安全かつ有利なものであることが判明しており, 以下この中心二条進水式とそれに伴う諸問題の検討について述べる。

2 中心二条進水の利点と台構造

表 1 の進水例について中心二条進水の台構造を図 1~11 図で具体的に紹介し, 併せて本進水方式の利点について記す。なお当所の中心二条進水の台間隔は表 1 に示すごとく 1,300 m/m を標準としているがこれと同型船を 1,100 m/m の間隔で進水させた実例もある。

2・1 船首部構造 (図 1~3)

原稿受付 昭和 41 年 7 月 10 日

* 三菱重工業株式会社横浜造船所

表1 S 871 進水要目 (第3号船台)
(L) 160.00 m × (B) 24.00 m × (D) 14.80 m ボール進水 No. 116

| 項目 | | | | 計画 |
|------------|---|---|---|--|
| 一般事項 | 期日 | (昭和) | (時分) | 41-5-20 (金) |
| | 時刻 (潮高) | (時分) | | 17.00 (1.75m) |
| | 高潮時刻 (潮高) | (時分) | | 17.57 (1.83m) |
| | 水深 (固定台後端においてて) | (m) | | 3.85 |
| 重量 | 船体 | 船殻 (鋼材約 99% 搭載) 艤装 (約 20% 搭載) 齊備品 機関 (約 63% 搭載) 雜 その他 (工場機械) | (t) (m) (m) (m) (m) | 5.835 493 6 447 339 175 |
| び重心 | 卸台 ドラッグ バースト 進水重量 (合計) 船体中央より重心までの距離 (後方へ) | (m) (m) (m) (m) | 175 57 — 7.840 7.34 | |
| 据付関係 | 滑面の曲率半径 | (m) | 20.540 | |
| | 傾斜 | 竜骨 固定台 滑動台 | | 1/19.5 1/70.562 1/20.833 |
| | 使用条数 | | 2 | |
| 固定台 | 長さ (滑動台前端より固定台後端まで水平) | (m) | 150.805 | |
| | 幅 | (m) | 0.914 | |
| 滑動台 | 長さ | (m) | 131.000 | |
| | 幅 | (m) | 1.000 | |
| オハバン ング | 前部 後部 | (m) (m) | 12.460 16.540 | |
| | 進水台 (両舷) 中心間の距離 | (m) | 1.300 | |
| 進水距離 | 船体 (竜骨) が海面に達するまで 船尾浮揚初めまで 重心が固定台後端に達するまで 船体浮揚終りまで | (m) (m) (m) (m) | — 79.0 85.0 133.0 | |
| 進水 | 進水後の喫水 (卸台付のまま) | 前部 後部 平均 トリム | (m) (m) (m) (m) | 1.04 4.98 3.01 3.94 |
| | 進水後の GM | | (m) | 6.08 |
| 荷重分布等 | 発進前 | 前部 後部 平均 局部最大 (附近) ボール個に対して (平均) | (t/m ²) (m) (m) (m) (t/個) | 17.2 47.5 30.0 — 2.0 |
| 能 | 固定台後端がうける進水中最大圧力 | | (t/m ²) | 79.0 |
| | 固定台後端におけるチッピングに抗する最小力率 | | (t-m) | 109.000 |
| | 船尾浮揚初め時の滑動台前端における最大圧力 | | (t) | 1.450 |
| | 固定台後端における船首部の落下 | | (m) | (-) 1.24 |
| | 初発進水力 ($\mu=0.015$) として | | (t) | 259 |
| | 最大進水速度 | | (Kn) | 約 10.0 (5.1m/sec) |
| | 最大進水速度に達する進行距離 | | (m) | 約 70 |
| | 浮泛後風圧 (正横 15m/sec のとき) の影響による傾斜角度 | (度) | | 1.1 |

- 備考
1. メカニカルトリッガー 4 基使用
 2. ボール使用総数 4,230 個 (滑動台下 3,966 個, 滑動台後端より後方 264 個)
 3. 基線上重心までの高さ 9.95m
 4. 船尾浮揚初め時の後部最大喫水 6.79m (A.P. にて)
 5. 進水時復原性能
 - ① 船尾浮揚初めときの "EGM" 3.8m
 - ② 復原性範囲 70°
 - ③ 復原機 1.8m
 - ④ 船台上横倒れを生ずる風速および力率 47m/sec (7,370t-m)
 - ⑤ ④のモーメントを生ぜしめるアンバランス重量 (Eより 12m の位置として) 621t

図1に示すごとく中心二条進水は船体中心部に進水台を配置するので必然的に平坦部が多くなり船首船尾部のいわゆるボベット構造が中央部同様全く平らかあるいは極めて小型となり資材、工数面で大幅な節減が可能である。本船の場合も船首部は全く平坦であり Pivoting load 1,450t に対し 50m/m 厚さの軟材を 5段、長さ 8m の範囲に配置しただけの極めて簡単な構造である。滑動台、腹駒とともに材質は米松で一番台の腹駒のみ左右両玄に跨る通し駒を用い、1フレーム 2個宛配

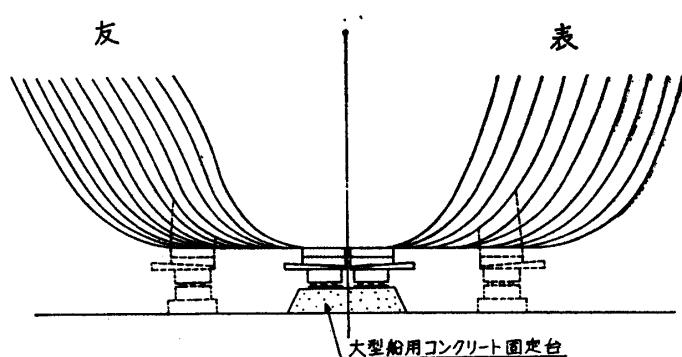


図1 中心二条による進水台平坦部の増加

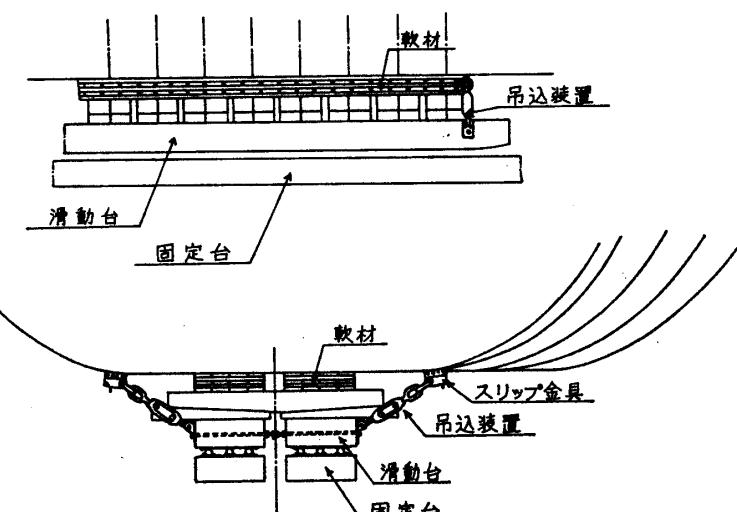


図2 船首部構造図

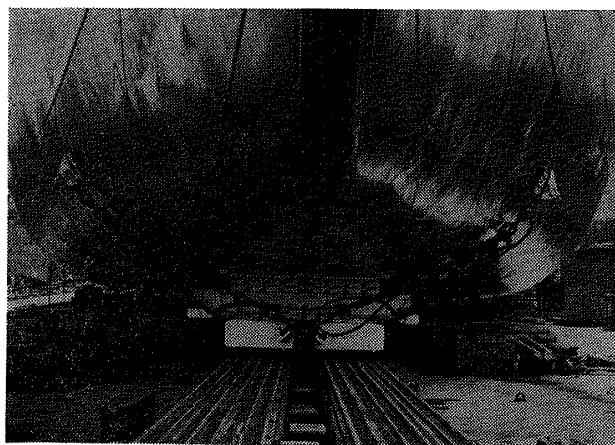


図3 同上 (写真)

有利である。図5にこの吊込みの配置を示すが図中*印は安全荷重 20t の金具を用い他はすべて 10t 型である。進水後潜水夫がこのスリップ金具を外しその後曳船を用いて進水台を引抜く。本船のごとく両玄で 30 台程度までは一回で引抜きが可能であるが大型船では二、三回に分けて引抜くこともある。外板付のビースは入渠時撤去する。この外中心二条の進水台総幅は最大 2,300m/m 程度であるから図4で示されるごとく大型船用のコンクリート固定台の片玄が利用できることが多く固定台の据付費が節減されるし、二条の進水台を結ぶ内張材、締込ワイヤー等の節減も大きい。

2・3 船尾部構造 (図 6・7)

置している。なお滑動台の引込みに関しては進水台部分の盤木、支柱があらかじめかわして設けてあるので従来方式同様進水前 1 カ月位に行なうが先行工作で腹駒をキール盤木兼用に使用することもある。

2・2 中央部構造と吊込要領 (図 4・5)

中央部では長さ 1,200m/m、幅 300m/m の米松製腹駒を 3 フレームに 2 個の割合で配置し駒当りの荷重は約 30t である。進水台の船体への吊込みは図4のごとくスリップ金具を船底外板に溶接する方法を用いている。これは従来の吊込みワイヤーを船体に大回しする方法と比べて資材、工数さらには進水直前のクレーン使用節減等で極めて

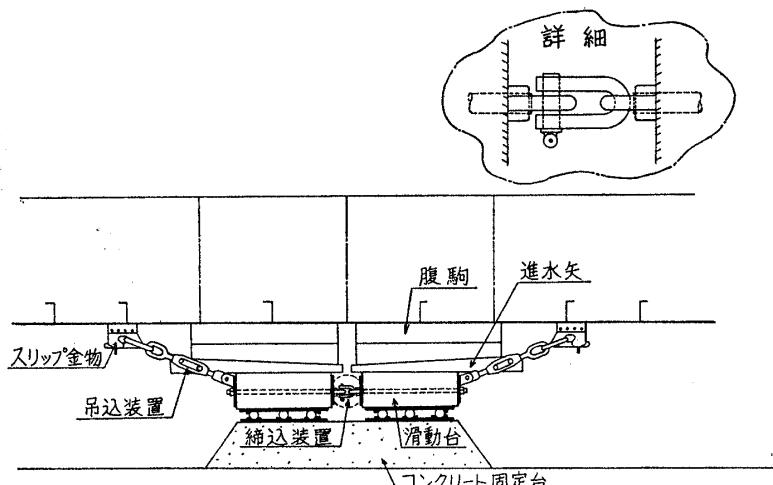


図4 中央部構造図

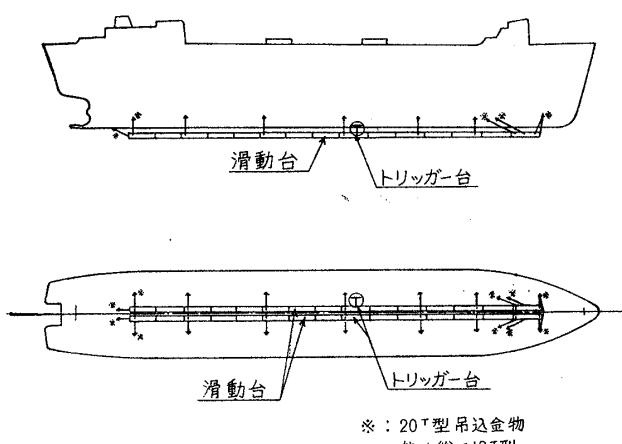


図5 卸台吊込要領

本船では台の後端荷重が 42.5 t/m^2 と高いので船首部同様腹駒を密に配置しているが通し駒は使用しない。台後端を水中に突入する際の抵抗を考慮して直ぐに方向に吊込む外は中央部構造と特に異なる点はない。

以上の2.1~2.3による工数の節減は表1の進水例の場合で約 1,200 H に達している。

2.4 トリッガーよりスリップ装置 (図 8~11)

中心二条進水では能力 130 t のメカニカルトリッガー 4 基を左右の進水台の外側面に直し、表 2 基宛配置している。4 基のトリッガーを一組

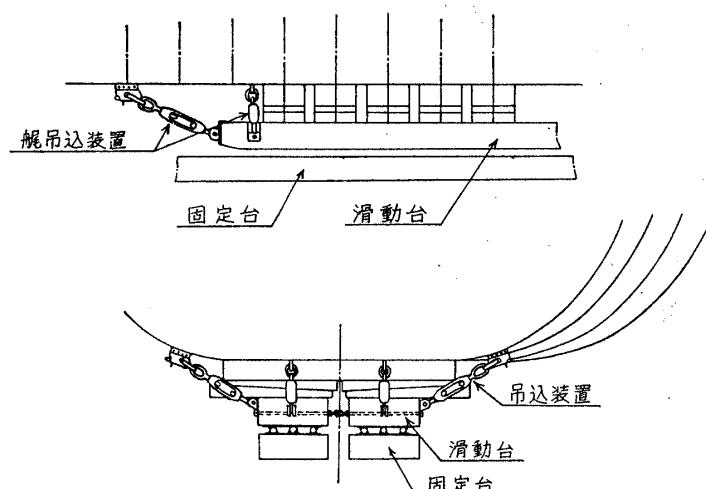


図6 船尾部構造図

にして使用する場合二条の進水台の内外両面一軸上に配置するのが一般的であるが進水台間隔をより狭く決めて置くことは四条進水の場合も含めてコンクリート固定台の幅設定の問題や幅方向据付自由度を少しでも大きくする意味で好ましいから内側面のトリッガーを取り止め外側のみ直し・表とタンデムに配置することにした。この場合トリッガーの同時作動という点は図 8 のごときワイヤー取りで 1 個のスリップ装置で切離す方式 (それぞれのワ

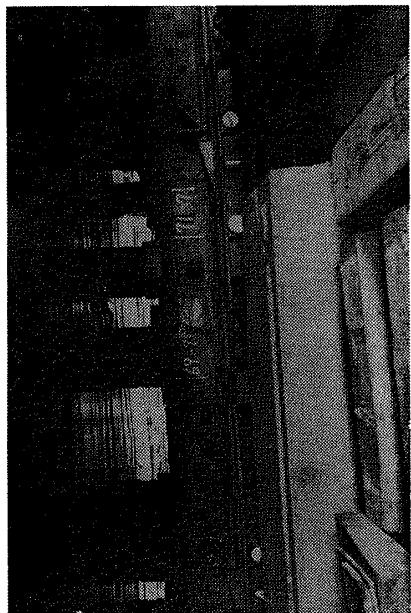


図 7 船尾構造図 (写真)

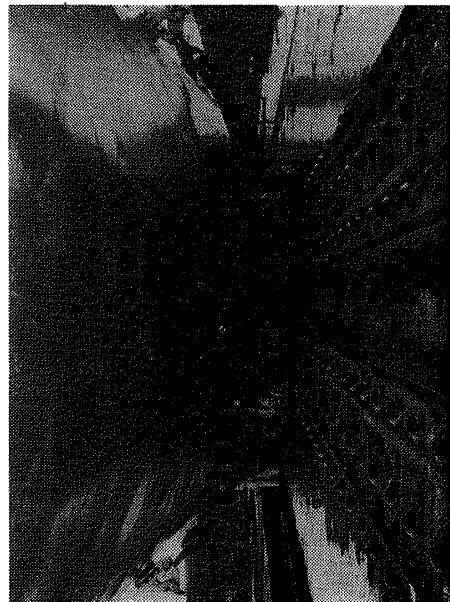


図 9 タンデム式トリッガ (写真)

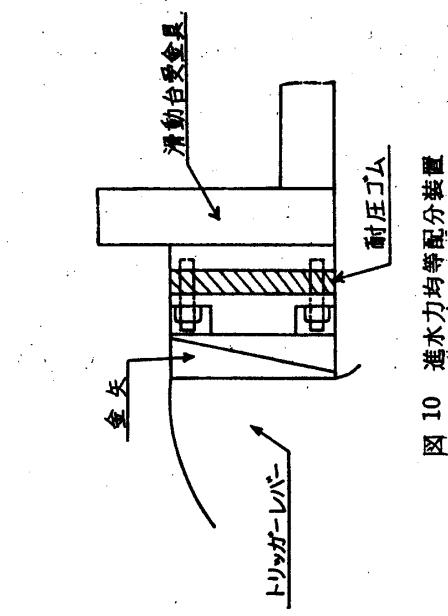


図 10 進水力均等分配装置

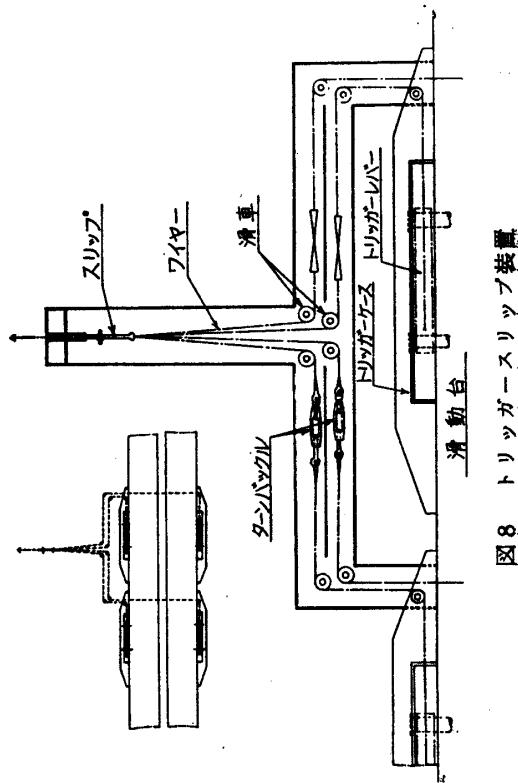


図 8 トリガースリップ装置



図 11 進水力均等配分装置

法である。耐圧ゴムの代りに船を使用しても良い。(特許申請中)

本装置を採用した船で進水時ゴムの圧縮量を計測してトリッガーの荷重分布を求めたところその配分比は 25 ± 5% と著しく改善された。

2.5 中心二条による幅方向据付自由度の増加

中心二条は普通二条に比し横方向の船体オーバーハング量が大きいことを意味する。したがつて船体の船台幅方向の据付位置決定に当つていろいろ有利な点が生ずる。すなわち図 12 で示すごとく船台耐圧部を外れることなく普通方式に比べ片玄 $1/8B$ (船幅) だけ据付範囲が広いのでこれをを利用して船体をクレーン側により近く据付けて大型クレーンの能力を最大限に利用するとか、逆にクレーンからより遠く据付けてクレーンによる据付船体幅の制約を緩和しより大型の船を建造するといった点である。さらに船台余剰面積利用上の効果も大きい。当所ではこの特色を生かして既報¹⁾のごとく立体ブロック方式による船体建造を行ないさらに三号船台上で幅 24 m の船を連続建造しつつ 4 m の船台拡幅工事を無事完了させた。

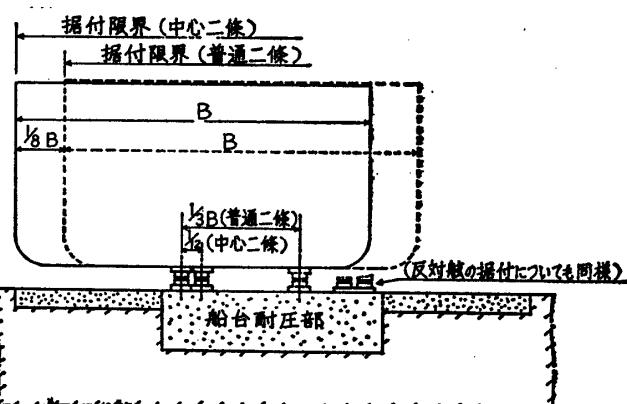


図 12 中心二条による据付可能範囲の拡大

3 諸問題に関する検討

3.1 安定性

3.1.1 風圧に対する安定性 船体中心より進水台外側のボルト中心までの距離は中心間隔 1,300 m/m の場合 940 m/m あるので表 1 の船で

$$7,800 \text{ t} \times 0.94 \text{ m} \div 7,370 \text{ t} \cdot \text{m}$$

が本船を転倒させるのに必要なモーメントと考えて良い。

一方風速による転倒モーメントは

$$M_A = 0.76 \times 10^{-4} \times A \cdot H \cdot U^2 \quad (3.1.1)$$

M_A : 風速による転倒モーメント (t-m)

A : 船の風圧側面積 (m^2)

H : 固定台上面より風圧中心までの高さ (m)

V : 風速 (m/sec)

であるからこの (3.1.1) 式に本船の $A=3,512 \text{ m}^2$, $H=12.3 \text{ m}$ を代入して転倒を生ずる風速を求める

$$v = \sqrt{\frac{7,370 \times 10^4}{0.76 \times 3,512 \times 12.3}} \div 47 \text{ (m/sec)}$$

である。したがつて安全率を考えても風速 20 m/sec 程度までは何等心配はない。

3・1・2 走行中の船体安定度の実測 走行中の船体安定度を確かめるため図 13 のごとき方法で走行中の船底傾斜の度合を実測した。すなわち弾性を有する I 型ビームにあらかじめ十分な初期撓みを与えてビームの先端の車輪を介して船底に常時密着せしめ走行中の船底の上下量をストレンジージを使用してビームの歪量として検出しこれをオシログラフに記録する方法である。2隻についての実測結果を図 14 に示す。A 船は当所五号船台で進水した船で進水重量 4,300t 進水台間隔は 2,000 m/m であり船底傾斜計測のスパンは 12 m

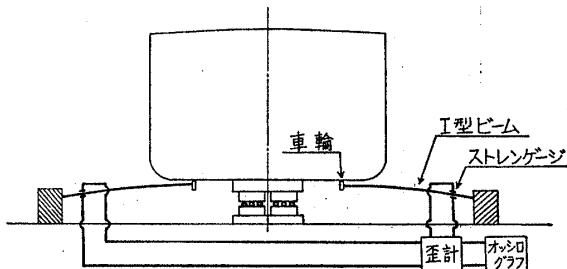


図 13 歪計を利用した走行中の船体傾斜計測

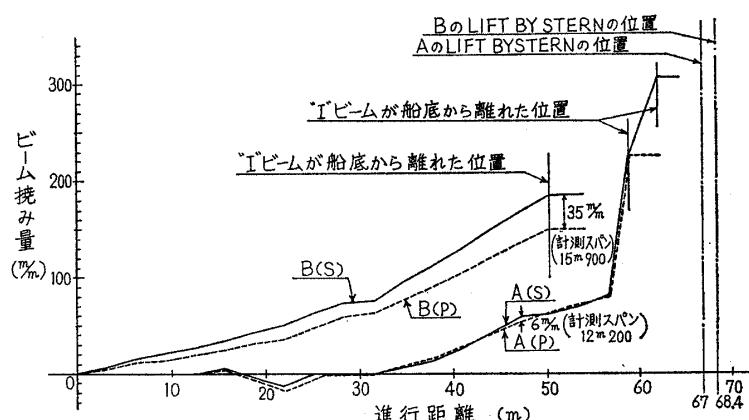


図 14 走行中の船体傾斜計測結果

である。図 14 で明かなるごとく両玄の計測カーブは全く一致しており進行中の動搖が全くなかったことが分る。I 型ビームが船底から離れる位置が右と左で異なるのは初期撓みの与え方に差があつたためである。B 船は三号船台進水で進水重量 6,650t 進水台間隔 1,100 m/m の表 1 と同型船である。この船は走行開始とともに僅かではあるが左玄側に傾斜を始め徐々に増大して lift by stern 直前の状態で約 35 m/m (計測スパン 15,900 m/m) 左玄に傾いて進水している。本船進水時の左右アンバランスモーメントは重量計算、進水後の喫水計測いずれによつてもほとんど 0 であり進水時の風向も追風 3 m/sec 程度であつたので傾斜の原因とは考えられず船台左玄側のみ岸壁が約 50 m 延びているのでこの側壁効果によるものであろう。なお傾斜量の 35 m/m は角度にして約 8' で進水に対しなんら問題はない。

3・1・3 進水作業について

表 1 の進水の場合左右の転倒モーメントは 7,350 t-m でありこれは本船の玄側に約 620t のアンバランス重量を積んだ場合に相当するので中心二条進水に対しては何等不安を感じていないが一応次のステップを進水作業に折込んでいる。

- 1) 進水前日に計画設計立会で船内点検も行ない残水の処理確認、アンバランス重量の解消指示を行なう。
- 2) 進水当日すべての盤木、支柱類が取外され進水式用片玄 5 個の盤木だけが残つた状態で左右船底の沈下量を計測しつつこれ等の盤木を徐々に緩め盤木船体間のギャップ 10 m/m の点でしばらく様子を見て異状が無いことを確かめた後復旧を行なう。このバランス確認作業時の船体沈下量はいずれの場合も 3~7 m/m 程度で問題を生じたことがない。なお進水時のタンブラー支柱は設けていない。

3・2 船体横強度

中心二条進水の場合は船体強度に關し従来の pivoting pressure, way end pressure 等に対するチェックの外に横方向オーバーハングによる stress の増加を合せて考えることが是非共必要である。このため船底構造の

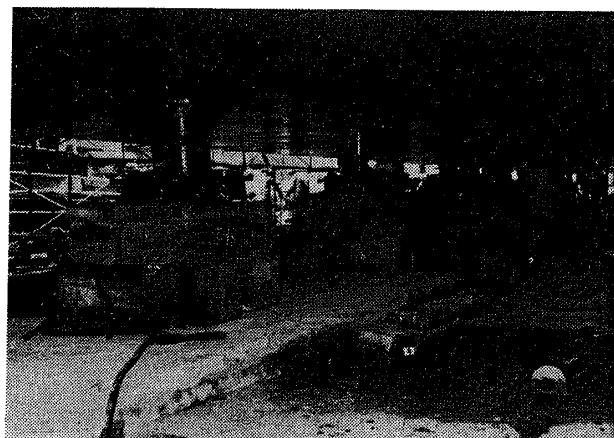
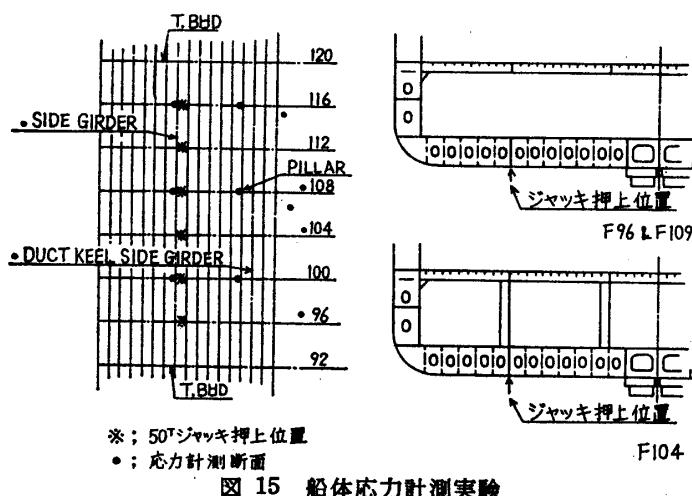


図 16 船体応力計測実験

外力に対する応答を確かめる目的で船殻設計課、生産技術課の援助を得て図 15, 16 に示すごとく進水直前の利用しその No. 4 カーゴーホールド船底を 50t ジャッキ 12 台で押上げ船底応力の変化を実測した。この測定値を用いて二重底を有する船の船底構造を図 17 のごとくクロスガーターと見なした場合の端末固着度を求め以下のごとき船底強度計算式を定めた。すなわち測定結果よりフロアは両端の固着度 $f=0$ 支持と考えて良くガーターは BHD 部で固着度 $f=0.4 \sim 0.5$ であることが分つたので図 17 で

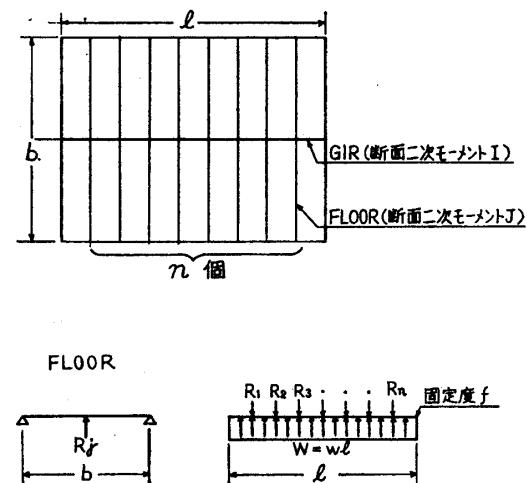


図 17 モデル化した船底構造による船体横強計算

l = GIRDER のスパン (m)

b = FLOOR の " (m)

I = GIRDER の断面二次モーメント (cm^4)

J = FLOOR の " (cm^4)

n = FLOOR の個数

$x_j = j$ 番目の FLOOR の位置 (m)

$R_j =$ " の " の荷重 (t)

$\alpha_j =$ FLOOR の荷重の分担率

$f =$ GIRDER の固着度 ($f=0$ 支持, $f=1$ 固定)

$W =$ 船底荷重 (GIRDER の全長に分布するとして) (t)

と定めれば

FLOOR (j 番目)

$$\text{荷重 } R_j = \frac{(5-4f)c}{8} \left(\frac{J}{I} \right) \left(\frac{l}{b} \right)^3 W \sin \frac{\pi}{l} x_j \quad (3 \cdot 2 \cdot 1)$$

$$\text{分担率 } \alpha_j = \frac{n(5-4f)c}{8} \left(\frac{J}{I} \right) \left(\frac{l}{b} \right)^3 \sin \frac{\pi}{l} x_j \quad (3 \cdot 2 \cdot 2)$$

$$\text{モーメント } M_j = \frac{R_j b}{8} \quad (t-m) \quad (3 \cdot 2 \cdot 3)$$

GIRDER

$$\text{端部モーメント } M_E = \frac{f \cdot W \cdot l}{12} \left(1 - \frac{1.22}{n} \sum_{j=1}^n \alpha_j \right) (t-m) \quad (3.2.4)$$

$$\text{中央モーメント } M_c = \frac{W}{12} (1.5-f) \left\{ 1 - \frac{3.82}{n} (0.5 - 0.318f) \sum_{j=1}^n \alpha_j \right\} (t-m) \quad (3.2.5)$$

ここに $C = \frac{1}{1 + 0.775(1 - 0.785f) \left(\frac{J}{I} \right) \left(\frac{l}{b} \right)^3 \sum_{j=1}^n \sin \frac{\pi}{l} x_j}$
 $f = 0.4$

で表わされる。

中心二条進水の船底強度をチェックする場合 pivoting load に関してはその生ずる位置が明確であるから船内補強等の対策が可能でありかつ船体強度の大なる中心部で受けるので有利である。次に走行前の滑動台後端の荷重に対しては荷重位置が明確なこと静的荷重であることよりこの対策も比較的容易である。これに反し走行中の way end pressure はその生ずる位置がある幅を持つておりかつ動的な影響があるので最も注意を要する問題である。

いま表 1 の進水船の No. 4 ホールドについて (3.2.1)～(3.2.5) 式を用いて船底強度の計算を行なつて見る。この場合 No. 4 ホールド部の船体重量による船底圧力は 27.2 t/m^2 であるが走行中の最大 way end pressure が約 29 t/m^2 であるので反方向へのオーバーハンゲーなどの理由でこの程度の圧力がこの 27.2 t/m^2 に加つた場合を想定して 2 倍の 54.4 t/m^2 の船底圧力に対して計算を行なつた。計算結果を表 2 に示すが進水時の瞬間かつ一回限りの応力としては問題ないと考える。このように一般の進水台幅ではこの way end pressure の検討だけで済ませている点も中心二条進水ではオーバーハンゲーによる影響を十分考慮しなければならない。

3.3 中心二条進水と大型船の進水台間隔

3.1, 3.2 の検討で中心二条は安定性に全く問題なく船体強度面のみ慎重に扱う必要があることを示したが

このことは大型船の進水台間隔を決めるに当つて重要な意味を有する。すなわち大型船の進水台間隔も船体強度面さえ許せばできるだけ小さく決めた方が有利である。例えば図 18 のごとく幅 40m の大型船を考えた時従来通り幅 B の $1/3$ にとれば図中 (A) のごとく固定台間隔は $40 \text{ m} \times 1/3 = 13.3 \text{ m}$ 必要であり船台耐圧部もそれに応じた幅となる外、同じ船台で幅 24m の貨物船を進水させる場合も考えると $24 \text{ m} \times 1/3 = 8 \text{ m}$ の固定台を別に必要とする。これに対し当所では中心二条の検討から幅 32m の船を水進台間隔約 6m で進水させた実例もあり (強度上の最小限界ではない) (B) のごとく幅 40m の $1/5$ に進水台間隔を決定すれば $40 \text{ m} \times 1/5 = 8 \text{ m}$ で小型船の進水台も兼用できるしさらには本進水のごとく中央二本足の進水も可能となる。このようにすれば船台耐圧部が縮少し船台建設費の大

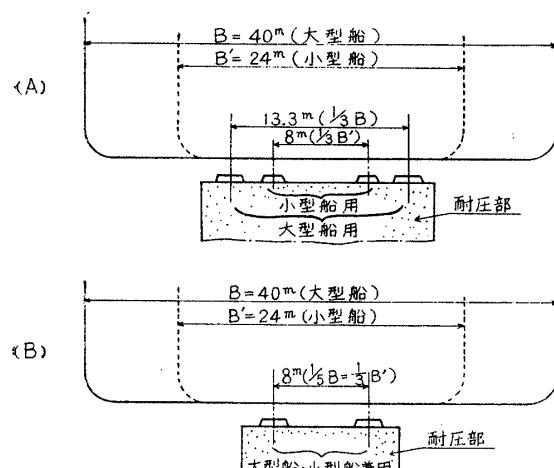


図 18 大型船の進水台間隔の決定

幅な節減ができる。

3.4 その他の

中心二条進水と直接関係はないが進水作業、盤木配置等で検討を加えた事項について簡単に紹介する。

3.4.1 船首傾斜吊込ワイヤー

滑動台のどの位置にトリッガーか設けるかという問題は水際線の制約がな

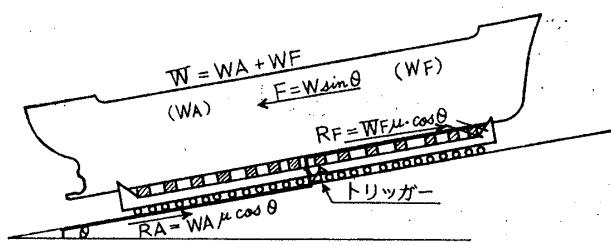


図 19 船首傾斜吊込ワイヤーの本数決定

い限りできるだけ友側に設けるのが良い。なぜならば図 19 に示すとくトリッガーを余り表側に設けると前部の船体と滑動台間の摩擦力が不足し、図の——線に沿つて滑りを生じトリッガー台後端の滑動台接手が破断して不測の事態を発生する恐れがある。そこでトリッガー台後端の接手に生ずる力を P とすれば (普通 P は負の値である)

$$P = W \sin \theta - (W_A \mu + W_F \mu') \cos \theta \quad (t)$$

(3.4.1.1)

W : 進水重量 (t)

W_A : トリッガー台後端より友の進水重量 (t)

W_F : トリッガー台後端より表の進水重量 (t)

μ : ボールの摩擦係数

μ' : 船体と腹駒間の摩擦係数

θ : 固定台傾斜

で求められるから吊込角度を考慮に入れたワイヤーの安全荷重を P_A (t) として

$$N_W = \frac{P}{P_A} \quad (\text{本}) \quad (3.4.1.2)$$

の船首傾斜吊込ワイヤーを設けこの P に対応できるようにする必要がある。当所では船体の据付位置決定に当つて必ずこの P をチェックし P による所要本数が進水重量比例の基準本数を上回る場合は必ず前者を採用しさらにこの数値が一定値を越えるときは据付位置を再検討することにしている。

3.4.2 耐震用十文字支柱 小田等²⁾の論文に見られるごとく船底支柱の支持能力は 40t/本と盤木 20t/組の二倍であるから作業性、資材面より船体支持には支柱を多く採用するのが経済的である。

したがつて当所では中心二条によるキール盤木の省略とも関連して支柱「主」盤木「従」の配置方針をとつてゐるがこの場合問題になるのは地震等による転倒の恐れであるから図 20 のごとく行止め支柱方式の耐震用十文字支柱を考案し転倒抵抗力の不足を補うことにしている。

3.4.3 行止め支柱 船体建造中の友方向への「ずれ」防止と進水作業の安全面より盤木支柱の取外し完了までは進水力に見合つだけの行止め支柱を設置しているが普通は前項で紹介した十文字支柱の友側を兼用させている。さてこの行止め支柱は盤木支柱の取外し完了後友側より逐次取外して行くがその進行につれて一本当たりの荷重が増し同時に取外しのショックで静的計算の二倍以上の力が加わることから最後に残る行止め支柱が時折り折損したので現在では表側二箇所の行止め支柱は図 20 のごとき組立式のダブル型としスクリュー式の座を用いて徐々に緩めることにしている。

4 む す び

以上中心二条進水方式は周到な準備・検討のもとに行えば安定性、強度面共なんら不安のない有利な進水方法であり大型船の進水台間隔決定にも大きな意味を持つことを述べるとともにその内容を具体的に紹介した。さらに実船の船底強度測定をもとに誘導した船底強度略算式、トリッガーにかかる荷重の均等化、船首傾斜吊込ワイヤーの本数決定、耐震用十文字支柱等にも触れ進水作業関係者の参考に供した。

終りに本進水方式の開発に当り船体強度関係を担当し船底強度の実測、計算式の誘導終始ご援助を頂いた能登船殻設計課長、鶴田主任、佐野生産技術係長以下の諸兄に対し心から感謝申上げる。

参 考 文 献

- 1) 武藤昌太郎外 “船体建造における立体ブロック方式について” 造船協会論文集 第 116 号, p. 167~p. 183
- 2) 小田道隆外 “船底支柱、盤木の必要量の算定” 造船協会論文集 第 111 号, p. 316~p. 321

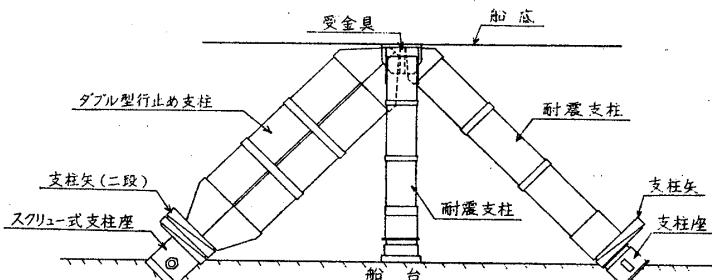


図 20 耐震用十文字支柱および行止め支柱