195

(昭和 39 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

船舶建造時における船体変形の研究 (第2報)

正員 小 田 道 隆*

梶 原 儀 親

The Deformation of Ship's Hull under Construction (No.2)

By Michitaka Oda, *Member* Yoshichika Kaziwara

Summary

In the previous report, the deformation of sihp's hull on berth caused by simple loading, temperature variation, or welding shrinkage was discussed,

In this report, superimposed deformation and lowering of ship's hull as well as building berth through construction and testing period over one month will be discussed, and it will be shown that the unexpectedly large amount of lowering of ship's bottom, amounting to $20\sim30$ mm, is not necessarily due to overloading, but nature of wood, in other terms, the accumulation of both unrecoverable deformation with loading cycles and time effect in keel blocks or wooden supports.

In addition, some ideas will be developed which will be useful in the prediction and interpretation of ship's condition, sagging or hogging, encountered immediately after ship's launching.

1まえがき

第1報では荷重,温度,溶接の各要素が独立に作用したときの船台上における船体の収縮,曲げ変形などについて述べたが,本報では,これらの要素が合成された場合の,船体変形,船台沈下,盤木支柱の圧縮,進水前後の hog, sag の問題などについて述べる。

2 水圧期間中の船底沈下(長期間)

これまで取扱つた荷重による船底沈下は水張りの直後におけるものであるが,ここには,水圧期間中,各タン クを次々に水張りしてゆくときの船底沈下量の変化についてのべる。

2·1 船首尾方向

図・1 は鉱石船 S24 の水圧期間中における,船底外板と船台間距離の変化を示す。

計測は、定刻(8時半)にスライド式ゲージを用いて行なつた。正の値が短縮(沈下)をあらわす。水張りの 順序は図・3 に示したとをりである。図・1 の基本線は 10 月 30 日の定刻における船底外板(キール)の形状を 基本にとつてある。したがつて、水張りの影響を含めて、基本を設定した日までに船体にすでに生じていた変形 は入つてこない。

また,船台が変形しなければ,図・1の量がそのまま船底沈下量を表わすことになるが,船台も変形するので,不動の基準に対する船底の沈下は図・1の量と船台の沈下量とを組合わせたものとなる。その船台の沈下量は図・2に示してある。

この船台沈下量の基本も図・1 と同じ 10 月 30 日にとり光の見透しによつて計測したものであるが、見透しの原点は船体とは独立に船台上に設けた。すなわち、船尾は AP から約 10m 船尾側にある水門扉に、船首は

原稿受付 昭和 38 年 12 月 16 日 * 三菱日本重工 横浜造船所





図 1 水圧期間中の船底〜船台間距離の変化 (S24)



図 2 水圧期間中の船台沈下量 (S24)

F108 の直下の船台上に型鋼を立てて標点をとつた。したがつて、F108 における船台自身の沈下量は入つてこない。

図・1,図・2 からわかるように、船底の上下の動きはwに比べて船首(尾)部がはげしい。すなわち AP では 440tの A/P TK の水張りによつて 10~15mm の沈下がみられ、船首ではデープタンク (1,000~1,500tのタ ンクが 4つ)、F/P TK の水張りによつて F108 においても約 25mm の変動がみられる。もちろん、これらの 値のなかには塔載ブロックの重量、溶接収縮力の影響、温度差による曲げの影響も入つているが、船首(尾)は 水張りの量に対して I の値が小さく、且つ、盤木、支柱をかいにくいので沈下量が大きくなるのであろう。また、 図 1 の 12 月 8 日、12 月 11 日 (進水は 12 月 14 日)は、全タンク空であるが、空になると、一たん沈下し た船底が時間の経過とともに浮上すること、しかし元どをりにはならないことがわかる。一方、図・2 のように、 船台沈下は最大 8mm に達し、船台沈下も無視できないこと、および、タンクが空になれば船台も復原するこ とがわかる。図・2 で、タンクが空のときに船台が基本線よりも上がるような結果を示しているのは、基本線を 船舶建造時における般体変形の研究(第2報)





NII-Electronic Library Service

設定したときにすでに船台が沈下していたためであろう。

2·2 左右玄方向

図・4 は特殊船 S35 の水圧期間中における左右玄方向の船底沈下量を示す。水張りの順序は図・5 のとをりで



ある。計測位置は No.5C TK の F61 T.BHD (300 mm 離す) と F62 トランスの位置で,毎日,定刻 (13 時半)に計測したものである。沈下量は 図・4 に示した ように船台の両端に立てたポールの頂点間にピアノ線を 張り,このピアノ線と船底外板の距離を測定したもので ある。基準は 8 月 12 日に設定した。S35 は船尾のな いタンカーであつて,船首は船台の海側を向けて据え付 けられた。また,塗装の都合でキール盤木を打ち替えた 点が一般の船と異なる条件である。

図・4 からわかるように,船底沈下は,計測位置の直 上のタンクの水張りの影響だけでなく,隣接のタンクの 水張りの影響も強く受ける。この水圧期間中,8月14~ 16日と,8月19~21日の各48hは同じ水張り状態の

まま放置されたが, その間の船底沈下 (時間効果とみなされるもの) は平均 1mm であつた。

図・4 からさらにわかることは、水張り工程が進むにつれて沈下量が左右玄方向に次第に平均化されるという ことである。そして T.BHD の下とボトム・トランスの下とでは変化量は余り違わないということ、さらに、 一たん沈下した船底は、タンクを空にしても浮上(復原)する量は余り大きくない、ということである。これは 単一木材の場合にもみられる現象であるが、このほかに、重ねた盤木ブロック同志間の間隙、支柱と矢(くさ び)との間の間隙が荷重のためにウメられるので、この傾向が強められる。(これについては4でもふれる。)

また,9月16日のものは進水の3h前に計測したものであるが、ほとんどの盤木、支柱をとり払つて、船体 重量を盤木、支柱から進水台に移しかえたために起きたものである。

左右玄方向の沈下に関しては 5万t 鉱石船でも計測したが傾向は同じであり、最初の水張りを右玄タンクだけ に行なうと、船底は右玄側に傾斜するが水張り工程が進むにつれて左右玄方向の沈下量は平担化してくる。

3 船台の沈下

水圧期間中の船首尾方向の船台沈下については 2·1 (図·2) でも述べたが、図·6 は、連続した船体の一部に 水張りするのではなくて、一つの独立したタンクに注水したときの船台の沈下を示す。測定は、船台のアーチの 脚の一点Aを標点とし、これを船台から約 20m 離れた点からトランシットでのぞいて、その沈下量を求めたも のである。タンクは自重が約 600t で、満水時の水の量は 6,150t である。

図・6 から分ることは、船台脚の沈下は注水量に比例して沈下するのではなくて、水の重量が小さいときは全



図 6 船台沈下の一例

く沈下しないが,ある一定量(図・6の場合は約4,000t)に達すると急に沈下が始まるということである。排水の場合も同じで,図・6では1,000t未満になつてはじめて船台脚は浮上を始める。

これは,船台脚を支えている,地中に埋めこまれた基礎杭が,そのマサツ力のために,小荷重のときは全く動かないが,荷重が限界値に達すると,マサツ力に打ちかつて,上下の動きが突然に始まるためではないかと思われる。

4 船底沈下と盤木支柱の圧縮量

図・1,図・4 で説明したように(そして 図・13~16 に示すように),船底沈下は水圧期間中には 20~30 mm に および,とくに図附近は水圧期間が終つても僅かしか復原しない。(図・4 の例では,復原量は高々 1/4 である。) 盤木,支柱の材料としての米松,杉,けやき,などの弾性係数³⁾から逆算すると 20~30 mm という圧縮量は, 非常に大きな荷重に対応することになるので,不審に感じられるのであるが,実際には,主に次の2つの原因の ために,それほど大きくはない荷重でも相当大きな圧縮量を示すことになる。すなわち

(1) 変形の残留, (2) 時間効果, がそれである。

4・1 変形の残留

ーたん圧縮変形をうけた盤木,支柱は,荷重を除去しても完全には原形に復さず,幾分,圧縮変形が残る。すなわち,圧縮力が加わると,横方向にふくらむと同時に,細かいヒビ割れを生じて永久変形を起こす。ヒビ割れを生じなくても,いくつかのブロックを積み重ねた盤木や,矢をかつた支柱では,表面のアラサのために各ブロック間(または盤木と船体,盤木と船台間)にスキ間を生じ,これが初期の小荷重でも容易につぶれる(つまり,お互い同志がなじむ)ために残留変形となる。

このような残留変形は、荷重の増減(水圧期間中は、荷重はサイクル状に加えられる)のたびに積算されるの で圧縮量がふえることになる。(つまり、

一種のヒステレシスのように,サイクルII の出発は零点からではなく,サイクルIで すでに残留している変形の位置を新しい原 点として出発する。)

図・7 は盤木のくり返し圧縮試験の結果 で、最初(サイクルI)20tまで加圧した あと荷重を零にし、そのあと再び40t(サ イクルII)まで加圧してから荷重を除去し た場合である。いずれのサイクルでも変形 が残留している。(図・7 では2つのサイク ルの原点を重ねて書いてあるが、実際には サイクルIIの始点はサイクルIの終点にく る。)

この試験は、現場で使用しているままの ものを用い、上下の二つに分けて試験した 結果を加算したものである。サイクルIIの なかの数字は、荷重をかけ(またはおろし) 始めてからの時間を示し、図中例えば6.18 とあるのは荷重かけ始めてから 6 分 18 秒 経過したことを示す。サイクル I に比べ て、サイクルIIは見掛上の初期剛性が大き い。これは前のサイクルで各ブロック間の スキ間がつぶれてきたためであろう。



図7 キール盤木の、荷重~圧縮量の関係

この試験では 40 t まではほとんど異常はなかつたが,40 t を過ぎるとミシッというヒビの入る音がし始め. 55 t を超えるころから,一番上のブロックにワレが現われ,110 t に達すると,もはやそれ以上の支圧力を示さ なかつた。そのときの破壊の状態も図・7 に参考のために記してある。

× 10⁵

100

80

∿\$4 60

₩ 40

2

悊



図 11 けやき矢の圧縮における時間効果 (図・9のⅡ)

図 10 米松の圧縮における時間効果(図9の1)

船舶建造時における般体変形の研究(第2報)

図・8 は支柱の圧縮試験で、サイクルI、サイ クルII(40t,同図では省略)のあと、サイクル IIで100tまで加圧したが、鋼製支柱座はもちろ ん、支柱には何ら異常はなかつたが、50tを越え ると矢(けやき材)が音を立てて割れ始め、65t を超えると矢がソリ始め、結局、100t では、矢 の破壊のために、(支柱)+(矢)の組合せとしては 100t以上の支圧力はほとんどないと判断された。 この(支柱)+(矢)のサイクルIIの場合も変形の 残留(その約 90% は矢の永久変形によるもの) が明らかにみとめられる。

4・2 木材の圧縮における時間効果

盤木材の, 圧縮による時間効果については第1 報(6)でもふれれたが, この時間効果も船底沈 下が意外に大きくなる原因の一つである。図・9は 盤木材の米松(I), けやき矢(II), 支柱材の杉 丸太(III)の時間効果を調べた試験の説明図で荷 重, 圧縮量の代りに圧縮応力と圧縮歪をとつてあ る。(支柱に対する応力はスケールが他と異なつ ている)



図 12 杉丸太の圧縮における時間効果(図9のⅢ)

同一材料について,種々の応力状態(①,②,③,…)で,それぞれ 24h 経過したときの圧縮歪の増加の模様を図・10,11,12 に示してある。(点線は測定していない時間)

これらの図から一般的に云えることは (1) 圧縮応力が大きくると時間効果が大きくなる, (2) 支柱(縦 センイ)の場合は,盤木または矢(横センイ)の場合に比べて,時間効果が少ない。ということである。このよ うな時間効果のために,荷重は増加しなくても,圧縮量(船底沈下)は増大するのである。

5 進水前後の hog, sag の問題

喫水標は,船台上でキール見透しと関連して船体にマークされるものであるから,船体が喫水標の位置を決め た瞬間のままの形を保持しつづけるならば,進水後も hogging や sagging は生じないはずである。すなわち, トリムはあつても, FP と AP の喫水標の読みの算術平均は図の喫水に等しいはずである。しかし一般にはそう いうことはなく,進水後の喫水の読みからは,船の状態は hog とか sag とかに判断され,しかも,その hog, sag の状態は絶えず変動しつづけるのである。このことは,船台上の船形から進水後の船形を推定する場合の問 題と関係がある。

5.1 船台上における船底沈下の傾向と進水後の hog, sag の傾向

船台上における船体建造期間中の船底〜船台間距離の短縮, すなわち盤木, 支柱の圧縮量については第1報 (図・13) でも少しふれたが, ここでは図・13~16 に示すように船尾 (A_0), 中央 (M_0), 船首 (F_0) の3点にお ける盤木圧縮量の時間的変化と進水後の hog, sag の傾向という形でとらえる。図・13~16 で, A_0 , M_0 , F_0 は \pounds に沿う3点であつて, その位置, 計測開始日などは第1報 (2・1) に説明したとをりである。計測開始の日は 一般的には $M_0 \rightarrow A_0 \rightarrow F_0$ の順となるが, キール盤木の頂面は, 特別な場合を除いては, 一直線になるように 設置される (つまり, 船首尾のキール盤木を, 図の盤木にすでに船体ブロックが塔載されたあとで, 設置する場 合には図のキール盤木はすでに若干沈下しているが, それとは無関係に船首尾のキール盤木は, 沈下する前の図 キール盤木の高さに揃えて設置される) のであるが, M_0 , A_0 , F_0 における計測のための基準寸法は, すでに若 干ずつ沈下した M_0 (または A_0 , F_0) のある日時 (ブロック・バットの溶接完了日) を基本にとつてあるから, 例えば何日目か後の M_0 盤木圧縮量に比べて $A_0(F_0)$ の圧縮量が大きいからといつても, 必ずしも船体が, hog 状態にあるとはいえない。しかしながら, A_0 , M_0 , F_0 の3点における船底の沈下, 浮上の傾向は (従つて sag 化しようとするか, hog 化しようとするかの傾向は) 相対的には把握できるのである。











340(3/1)

ç Ð 20

ę







図 14 船底〜船台間距離の短縮(鉱石船)

NII-Electronic Library Service

船底〜船台間距離の短縮(タンカー)

13

X

25

船舶建造時における般体変形の研究(第2報)

図・13 はタンカー,図・14 は鉱石船・ 図・15 は貨物船, 図・16 は特殊船であり 計測値は 10 日目ごとのものであるが横 軸(日数)の右端に最終計測日を記入し, またキール見透しの月日(すなわち、喫 水標の位置を定めた月日)を()に入 れて示してある。さらに, 各船ごとにそ の船の進水の,日時,気温,海水温度, 天候を記入してある。また進水直後(進 水後,約30分~60分)の喫水標の読み から算定した hog (または sag)の量, 重心試験(軽荷状態)のときの hog, sag の量,海上運転(貨物船の場合を除 いては満載に近い)のときの hog, sag の量(運転を2~3回実施したときは、 その都度の hog, sag) を記入してある。 (記入の要領は図・13の S14 の例で説明 してある。)

図・13~16 に示した例は 22 隻で, こ の少ない資料から結論らしいものをひき 出すのは危険ではあるが, この例を調べ ると下記のような2つの事柄に気づく。

(1) 船は進水後 sag になる傾向が 強い。

直水直後に sag であつた船はもちろん,進水直後に hog であつた船でも完成 状態または運転状態では sag になつてい る例が圧倒的に多い。就航状態では,荷 の積みつけの工合では,もちろん hog に



図 15 船底〜船台間距離の短縮(貨物船)



図 16 船底〜船台間距離の短縮(特殊船)

なることもあり得るわけであるが,船の完工までに限つて考えると,やはり sag 状態になろうとする傾向が強い と云えるのではあるまいか。

したがつて,例えば,船台上で軸心を決める場合には,船は今後 sag 化する傾向が強いという前提で仕事を するのが賢明であろう。このことは,プロペラの重量のためにテイル・シャフトに曲げモーメントがかかる場 合,シャフトとスターン・チューヴの接触圧力(摩耗)の面からみても,軸心を hog 気味に(つまり船体が sag

203

204

造船協会論文集 第115号

気味になつて,はじめて,シャフトとスターン・チューヴの当り工合が良いというように)きめておいた方が良い,ということとも関連するのであるが,これらについては後報で述べる。

(2) 船台上の変形の型式は進水直後の hog, sag と関係がある。

進水直後の hog, sag は後述するように,船体が海水に浮くことによつて外力,内力の影響を,船台上に比べると,遙かに大きく受けるわけであるが,それにもかかわらず,船台上における上下方向の変形の型式(タイプ)が進水直後の hog, sag に関係があるように思われることは興味深いことである。その変形の型式には図・16 の右端に示したような3つの型がある。すなわち,

…これは sag になる傾向がある。

- ② M_0 の沈下量に比べて A_0 (または F_0) が建造期間の中途で一たん M_0 より沈下し, それが再び M_0 より少なくなる。(つまり初期は hog 化傾向にあつたものが, 中途から sag 化傾向に転じる型) …これは hog になる傾向がある。
- ③ M_0 の沈下量に比べて A_0 (または F_0) が建造期間の中途から M_0 より大きな沈下量となり sag それが 進水まで続くもの。(つまり初期は sag 化傾向にあつたものが、中途から hog 化傾向に転じる型) …これは sag になる傾向がある。

図・13~16 には、この分類された型式の番号が記入してある。上記の関係は例外もあるが、例えば ① につい ての理由としては、溶接の収縮力のために生じる sag 化の傾向が、船台上では船体自体の 重量と 盤木反力のた めに制約を受けているが、進水後は、これらの制約から開放されるために sag の傾向が自由に現われてくる た めではなかろうか。(後にも述べるように、溶接の収縮力の影響は温度差の影響、浮力の影響に比べて同等また はそれ以上のものである。)①、②、③ の傾向は、約言すれば、進水直後の船体の形は、船台上における、水圧 開始前の形で大体きまるものであつて、水圧期間中に(とくに船首尾で)盤木を局部的に押しつぶして、その上 に船体が自重のために横たわつている状態は、むしろ、変則的な(仮の)形であるという見方もできるのではな いだろうか。

5·2 進水直後の hog, sag をきめる要素

5.1 では船台上の変形のしかたと進水直後の hog, sag の関係について述べたが、ここでは、進水直後の hog, sag をきめる要素と、その影響の大いさについて考える。船台上でつけた喫水標にもとづいて、進水直後に、その喫水標の読みから算出して船が hog (または sag) であると云う場合、その hog (sag) を生じさせる主な原因としては、下記の4つが考えられる。

(1) 浮力によるもの

船体重量と浮力との船首尾方向の分布が異なるために生じる曲げモーメントによるものであつて、たとえ船台上では全く平らに造られた船であつても、このモーメントのために変形する。一般に hog をもたらす。

(2) 温度差によるもの

DK と船底の温度が異なるために生じるわん曲である。船台上で喫水標の位置を決定した瞬間と進水直後とで は,船体の上下方向の温度勾配が異なるために曲げ変形をうける。仮にその温度勾配がひとしくても,船台上と 水上とでは,船体の支持条件が異なるために,温度差にもとづく hog, sag の量はひとしくはならない。

(3) 溶接(または歪取り)の収縮力によるもの

一般には、喫水標の決定後にも溶接作業が続行されるので、喫水標決定後、進水直前までの間にも船体変形は 進行する。仮に喫水標決定後は一さい溶接を行なわなかつたとしても、喫水標決定までに行なわれた溶接による 収縮力のために、一般に DK には引張力が、船底には圧縮力が作用しているが、船体は自重と盤木反力に拘束 されて自由に変形できない状態にある。

これらの内力は、船が進水すると一気に開放されて船は曲げ変形をおこす。一般には sag をもたらす。

(4) 水張との影響

2.1 でも述べたように,船首尾タンクの水張りによつて船首尾部は大きく沈下するが,排水後は時間の経過 とともに(完全に,ではないけれども)復原しつづける。したがつて,一般には船首尾の水圧が最後になるので あるが, F/P TK あるいは A/P TK の水圧,排水直後に喫水標の位置をきめたとすると,船体を船台上で無理 に hog 状態にした瞬間をとらえて水線面を決めた結果になるので、(というのは、一般には AP, FP の喫水標 は直接にキールから垂直に 測れないので、図から延長して空間に設定したキール・ラインから測るより他はな い)、盤木(船底)が復原した状態は、たとえ even keel であつても、その水線面を基準にとれば sag と判定 されることになる。

進水後の喫水の読みにもとづく hog, sag は,上記(1)~(4)の影響の集積である。実際には,このほか, 盤木配置方法の影響とか,左右玄方向の船体変形の影響なども考慮しなければならないのであるが,ここでは上 記(1)~(4)に関し,図·17を用いて,さらに模型的に説明する。

ある時刻において,船台上の状態①で喫水標〇印 がマークされたとする。しかし状態①は F/P TK の排水完了直後であつたとすれば,水重量で圧縮さ れていた盤木は水張り前の高さに向つて復原しつつ ある。そして若干の残留変形を残して静止した位置 が状態②である。盤木の残留変形は船首端では大き くても,船首尾方向の大きな距離にわたつて滑らか に変化しているので,船体は必ずしも盤木から離れ て空中に跳ね出す必要はなく,自重のために,残留 変形のある盤木の上に横たわつている。しかも状態 ②は,建造中の溶接(または歪取り)による収縮力 のために吊上がりの状態にあるものとする。しか し,この吊上がりの量は船体重量と盤木反力のため に拘束をうけて自由に変形できる場合に比べると, はるかに小さい値にとどまつている。

いま状態②は 13 時の状態であつて, DK と船底 の船体温度がそれぞれ 22° および 15° で 7° の温度





差があるものとする。これが 16 時には, DK 18° 船底 14°(仮に,進水時の温度もこれと同じとしよう)となつ たとすれば,その温度差は 4°となる。かくて温度差が 7°から 4°になつたことは,状態②に対しては,船体 には sag のモーメントを作用させたことになり,状態③となる。しかし,この温度差の変化による sag の量も 拘束のために,自由変形のときに比べれば,小さい。この状態③で喫水標をマークしたとすれば(これを×印で 示す),状態①で設定された喫水標は,状態③で設定された喫水標より上方にあることになる。

さて,進水後は上下方向の曲げ変形に対する拘束が激減するので変形量は大きくなる。すなわち,状態③に対して,進水後の,温度差にもとづく変形は状態④のようになり,DK が船底より高温にあれば,状態③を基準にとれば,hog のモーメントが作用したような結果となる。

つぎに,状態②で拘束されていた溶接による内力は,船体自重と盤木反力の拘束から解放されて状態⑤のよう に,一般に, sag のモーメントを受けたような結果となる。さらに,船体が水に浮いたために自重と浮力の分 布の相違からくるモーメントが作用することにより,状態⑥のようになるわけである。

ここで注意すべきことは、状態①で設定された喫水標(〇印)と状態③で設定された喫水標(×印)は喰違いを生じ、極端な例としては、例えば状態⑥は〇印喫水の読みからは sag と判定されるが、×印喫水の読みから は hog と判定されることになる。

このことはすべて船体の変形によるものであるが、傾斜ステムや図の側部外板につける喫水標はキールから直接垂直に測るわけにはゆかないので水盛りなどの方法で間接的に高さをきめるのであるが、その作業が全く正確 であつたとしても、そのようにしてつけられた喫水標とキールとの垂直距離は、その瞬間においてだけ正しいと 云うべきであろう。

また仮に,船首尾および⊗の喫水標が直接キールから測つてきめられたとしても,そのキール自体が変形する 以上,喫水標は浮動する標点であることには変りがない。したがつて,その喫水標の読みから判定される進水後 の hog, sag およびその量については,この点に留意する必要がある。このことは,喫水標の読みから載貨重 量などを算定する場合にも注意すべき問題である。 206

造船協会論文集 第115号

5·3 進水後の hog, sag の具体例

5.2 であげた,進水直後の hog, sag に影響する4つの要素に関し,S24 を例にとつて,略算してみる。(S 24 は 12 月 5 日 15 時現在の状態で喫水標をきめ,進水は 12 月 14 日 15 時 40 分。進水後の喫水標の読み から sag 27 mm と判定された。)

(1) 浮力によるもの

S24 の重量曲線, 浮力曲線から図・18 に示すように曲げモーメント曲線が得られる。(せん断力, 曲げモーメントの修正には Purvis の方法を用いた。)また, S24 の *I*を計算し, *M*/*I*の一次, 二次積分から, 船体が水に浮いたために生じる曲げモーメントによる撓みが図・19 のように求められる。(せん断力による変形は考慮して







いない。) hog 47 mm である。

(2) 温度差によるもの

進水後の,上下の温度差による 曲げ変形の量は図・20 に示すよう な実測結果から、(例えば F27~ 94 間の 75m について 12 月 24 日のものと 12月 19日、1月12 日のものとを比べると) 10℃ の温 度差で約 23mm と考えられる。 これは第1報 (3·1) 式 $d = \alpha \beta_0 x^2$ $/2 \ \ \alpha = 1.15 \times 10^{-5}, \ \beta_0 = 10^{\circ}/15$ m, x=75m とすれば d=21.5mm となるから,この式が近似的に成 立するものとみてよい。S24の進 水時の温度差は約2℃とみられ るので,この温度差によるものは x=L/2=110 mのときは d=(1/2) $(1.15 \times 10^{-5}) (2^{\circ}/15 \,\mathrm{m}) (110 \,\mathrm{m})^2 \mathrm{m}$ =9 mm(hog) となる。

船台上で喫水標をきめた 15 時 の上下の温度差は約 5°C である が、温度差のない8時を基準にと れば、これはすでに約 5mm hog の状態にあつたわけで(第1報図 ・5 参照),結局、温度差による影 響は 9-4=5mm hog となる。 (上甲板と船底における鋼温、気 温の差および海水温度の時間的変 化とか、進水時の船底鋼温と海水 温度の差の時間的変化などについ ては別に述べる。)

(3) 溶接の収縮力によるもの船底外板の収縮量を 25 mm (第

1報 2·1 参照) とみて、図·21 のように、この収縮を起こした力Pが上甲板の溶接の収縮力によるものとすれば曲げモーメントMは $M=P\cdot D$ である。収縮量 25 mm は 180 m についてのものであるから船底の圧縮 (DK の引張) 応力σは $\sigma=E\varepsilon=(2.1\times10^6)(2.5/18000)=2.92\times10^2 \text{ kg/cm}^2$, DK および船底の断面積 A を A=4.3 ×3000=12,900 cm² とすれば $P=\sigma A=3.8\times10^6 \text{ kg}$ ゆえに $M=(3.8\times10^6)(1500)=5.7\times10^9 \text{ kg-cm}$ でこれに

よる最大撓み y_m は $y_m = (\frac{1}{2}EI)M(L/2)^2$ である が,簡単のために M/I がL方向に一定と仮定すれ ば, $y_m = (5.7 \times 10^9) (110 \times 10^2)^2/(2) (2.1 \times 10^6) (22 \times 10^9) = 7.5 \text{ cm} = 75 \text{ mm}(\text{sag})$ となる。この収縮力 にもとづく撓みは船台上でも吊上がり現象としてあ らわれるのであるが,この量を約 10 mm (図・1 参 照) として,進水後はこの撓みが自由に表われるも のとすれば、喫水標をつけたときを基準にとれば 75 -10=65 mm の sag となる。

(4) 水張りの影響

図・1 で船首部の 12 月 3 日, 8 日, 11 日の変 形状態をみると、喫水標の位置をきめた 12 月 5 日 以降に船首部は相当に持上がつてきている。これは F|P TK の排水後、盤木が復原しつつあつたものと考えられる。12 月 5 日以降の持上がり量を 16 mmとみて(船尾の変化を無視すると)、喫水標をつけたときを基準にとれば 16/2=8 mm だけ hog の量をふやしてしまつたことになるので、この分を差引かねばならない。つまり 8 mm だけ sag の量を増してやらねばならない。

以上を綜合すると(1)浮力によるもの hog 47 mm,(2)温度差によるもの hog 5mm,(3) 溶 接によるもの sag 65mm,(4) 水張りによるもの



DK翻题°C(時刻)

図 20 進水後の上甲板の変形 (S24)

7 Ň

sag 8mm で、結局、計算上は sag 21mm となり実際の sag 27mm より少な目の値となるが、大体合つている。(この計算では図における左右玄方向の船体変形にもとづく hog, sag への影響は考慮していない。)



船底の圧縮

以上,大まかな計算で具体例を示したが,溶接(歪取り)の影響がかなり大きな要素となることは注目すべきである。このことは 5・1 で述べた傾向を説明する裏付けの一つとも考えられるのであるが,溶接の収縮力の影響については第3 報以下にさらに述べたい。

本稿においては、1ヶ月ないし2ヶ月にわたる水圧期間中の船底沈下の情況と、 それが 20~30mm に及ぶのは、盤木、支柱の残留変形の集積と時間効果による ことを明らかにした。

す

6 む

また,進水後の hog, sag の問題については,進水後は,船体は sag 状態になる傾向が強いことを示すとと もに、喫水標の読みから判定する hog, sag の意味について論じた。

参考文献

1) 太田友弥 船体強弱学 工業図書K.K. p.47~63, p.175~178

2) 筆 者 「船底支柱,盤木の必要量の算定」造船協会論文集 第 111 号 (昭 37) p. 316

3) 〃 「船舶建造時における船体変形の研究(第1報) 〃 〃 第 114 号(昭 38) p,230