(昭和 49 年 5 月日本造船学会春季講演会において講演)

船底盤木に関する二、三の考察

正員 加 藤 豪 雄* 正員 真 鍋 芳 郎*
正員 小 野 靖 彦* 正員 北 村 義 克*

Some Observations on the Efficiency of Wooden Blocks During Hydraulic
Test and Final Docking

by Takeo Kato, *Member* Yoshiro Manabe, *Member*
Yasuhiko Ono, *Member* Yoshikatsu Kitamura, *Member*

Summary

At the time of hydraulic test and drydocking, there are possibilities that the bottom shell of large vessel and the foundation of dock are locally damaged.

As an example for the former, we measured the reaction in the blocks and deflection in the bottom shell, etc. at the hydraulic test of No.3 C. O. T. (C) of 125,000 DWT tanker in the building dock, and calculated the reaction and deflection on modelled conventional framed structure, considering the hull to be supported by springs composed of wooden blocks and foundation.

We had little difference between measurement and our calculation and it proved that our assumed calculation was correct and proper.

As an example for the latter, we have selected the case as our countermeasure against the damage (her bottom shell had partial plastic deformation by block reaction), which we experienced at the final docking of 215,000 DWT type tanker.

We have changed our previous practice of softwood liner touched with bottom shell to the practice of sandwiching it in between hardwood blocks.

We could, consequentially, succeed to prevent any damage on and after.

1 ま え が き

建造船が大型化するにつれて、船底盤木の構成と配置、これに接する船体構造の局部的強さ、建造ドック床版あるいは船台の耐力などにきびしい配慮が必要となってきた。

油槽船を例にとると、わずか 10 年の間に数万重量トン級から 40 万重量トン級へと急速に大型化し、船底単位面積当りの重量は増加の一途をたどっている。しかし底部外板は MS から 50 キロ HT への材質変化はあるがその板厚は一定に近く、骨の間隔も若干広がる傾向にある。

当然のことながら船体は就航中すなわち海上での強度を第一義としており、建造中の強度について論議することは少ない。しかし局部的ではあるが、盤木に接する底部外板とか反転移動中のブロックなどでは、就航中には考えられないほどの過大な集中荷重によるひずみを受けることがある。

建造ドックにおける水圧試験は船体、盤木、ドック底部床版のいずれにとっても、荷重条件がきびしく、ひとつ間違えば損傷に結びつく可能性を持っている。油槽船の場合、荷油槽は水荷重の絶対量が大いことで、また船尾の燃料油槽などでは船型的に盤木による受圧面積を確保しにくいことで問題が多い。

ここでは前者の例としてまず第 1 に 125 型油槽船の荷油槽について建造ドックで水圧試験を行なった結果につき報告する。大型船の荷油槽は進水までに気密試験を行なってタイトネスを確認し、進水後強度の確認を主体とした水圧試験を行なうのが通例である。著者らの工場もその例外ではなく、ここに報告するのは、実験的に建造

* 川崎重工業(株)

ドック内で水圧試験を行なった唯一の例である。この試験では船底のたわみ、盤木荷重、盤木の圧縮量などを実測し、一方、それぞれ固有のバネ常数をもった盤木および渠底地盤上に置かれ船体剛性をもった骨組構造について底部に発生する反力およびたわみを計算し、実測値と計算値の対比を行なった。

船体の支持方法が問題となるもう1つの例はドッキングである。修繕ドックでの船体支持方法を建造ドック並みとすれば強度上の問題は解消するはずであるが、船底塗装のため盤木による受圧面積を最小にしたいこと、新造船のファイナル・ドッキングで盤木位置を建造ドックでの位置からずらしたいこと、船底のたわみに合わせて盤木高さを調整することは困難なこと、船ごとに盤木配置を大規模に替えることは避けたいことなど多くの制約条件がある。著者らの工場で215型油槽船のファイナル・ドッキングをした際に、船首尾部の底部外板に局所的な変形を経験し、その原因を調査し対策を講じた結果、それ以後は損傷の発生をみないのでその経緯についても報告する。

2 荷油槽水圧試験時に船底の盤木支柱に加わる荷重について

2.1 実験の目的

この実験自体は数年前に行なったもので、当時は水圧試験がドック床版に及ぼす影響の確認をおもな目的としていた。その後建造した大型船で荷油槽の水圧試験を建造ドック上で行なった例はない。

Fig. 1 Tank Arrangement of 125,000 D. W. T. Tanker

Fig. 2 Block and Pillar Arrangement under No. 3 and No. 4 C. O. T.

しかし船の大型化にともなって、燃料油槽などの水圧試験、進水やドッキング時のバラスト支持などについてもきびしい配慮が必要となってきた。また新しいドックの計画にあたり、荷油槽の水圧試験に耐えうる余地を残したいという意見がある。

このような意味から比較的簡便な計算方法で水圧試験時などの荷重分布を推定したいと考え、その確認のため前述の実測値を活用することとした。

2.2 水圧試験要領と計測結果

125 型油槽船の No. 3 C. O. T. (C) に全注水し、水試タンク直下および周辺の盤木支柱に加わる荷重、底部外板、上甲板および床版のたわみ、盤木の圧縮量などを計測した。Fig. 1 に本船のタンク配置をまた Fig. 2 に水試時の盤木支柱配置と荷重計測箇所を示す。盤木反力はロードセルを組み込んだ特殊なコンクリート盤木により、また支持反力は平板型盤圧計を支柱と当て板の間にはさんで計測した。

Fig. 3 Increasing Reaction of Wooden Blocks before Hydraulic Test

Fig. 4 Reaction of wooden Blocks during Hydraulic Test

Fig. 3 にブロック搭載前から水試直前までの盤木反力の変化を示す。ビルジ部盤木の反力は他の盤木に比べてかなり小さく、外板の重量がトランスリングを介して縦壁下の盤木などにも分担支持されていることがうかがわれる。また長さ方向についてみると、盤木地盤の弾性により横隔壁の重量は外板、縦壁などを介してトランスリングに分散され、各フレーム下の盤木反力は平均化されているとみてよい。

No. 3 C. O. T. (C) に注水を始める直前から水頭 24.35 m に満水するまでの支柱および盤木反力をそれぞれ

Fig. 5 Reaction of Pillars during Hydraulic Test

Fig. 6 Model for Calculation

Table 1 Section Properties of Members

PART	PROPERTY	BENDING INERTIA	SHEAR AREA
LONGITUDINAL MEMBERS	SIDE SHELL	$I(SS)=0.21$ $=116.0 M^4$	$A(SS)=$ VERTICAL SECTIONAL AREA OF SIDE SHELL $=0.790 M^2$
	LONGITUDINAL BULKHEAD	$I(LB)=0.31$ $=174.0 M^4$	$A(LB)=$ VERTICAL SECTIONAL AREA OF LONGITUDINAL BULKHEAD $=0.635 M^2$
	CENTER GIRDER	$I(CG)=0.5 \times$ MOMENT OF INERTIA OF CENTER GIRDER $=0.628 M^4$	$A(CG)=0.5 \times$ WEB PLATE SECTIONAL AREA OF BOTTOM GIRDER $=0.135 M^2$
TRANSVERSE MEMBERS	OILTIGHT BULKHEAD	$I(OTB)=$ INFINITE	$A(OTB)=$ VERTICAL SECTIONAL AREA OF BULKHEAD $=0.640 M^2$ (CENTER) $=0.631 M^2$ (WING)
	SWASH BULKHEAD	$I(WB)=$ INFINITE	$A(WB)=$ EFFECTIVE SHEAR AREA $=0.410 M^2$
	CENTER TANK BOTTOM TRANSVERSE	$I(CT)=$ MOMENT OF INERTIA OF CENTER TANK TRANSVERSE $=0.096 M^4$	$A(CT)=$ WEB PLATE SECTIONAL AREA $=0.033 M^2$
	WING TANK STRUCTURE	$I(WT)=$ INFINITE	$A(WT)=$ EFFECTIVE SHEAR AREA $=0.059 M^2$ (STRUT) $=0.040 M^2$ (NO STRUT)

Figs. 4, 5 に示す。

2.3 水圧荷重による船体たわみおよび盤木支柱反力の計算

船体構造を平面格子構造としてモデル化し、これを支持する盤木支柱および床版をパネとする簡単な立体骨組構造に置き換えて、当社開発の骨組構造解析用プログラム STAN-2 により計算した。計算で求めたのは各支点における船体のたわみと盤木反力である。電子計算機は FACOM 230—60 を使用した。

計算における仮定および前提条件は次のとおりである。

(1) No. 3 C. O. T. (C) 周辺の船体構造および盤木支柱、床版を Fig. 6 のようにモデル化した。水試荷重が影響するのは隣接タンクまでと考え、No. 3 C. O. T. の制水隔壁 (FR. 67) から No. 2 C. O. T. の前端壁 (FR. 79) までの片舷をとった。

FR. 67 を中央とする前後方向およびセンターラインを中心とする両舷は対称とした。厳密には No. 2 および No. 4 C. O. T. の一部が非共通部にかかるとかウイング・タンクの FR. 59 が油密隔壁になっているといった違いがあるがモデルでは共通部とみなした。船体構造に対応する部材特性は Table 1 のとおりとした。

(2) 外力としては水重量だけを考え、船体重量は無視する。水重量は No. 3 C. O. T. (C) 直下の横壁およびトランスに等分布するものとした。

(3) 床版にのった盤木支柱はパネとみなし、パネ定数は次のようにして求めた。盤木は上から米松の当て板、マイアンの上ごま、マイアンの大矢、コンクリート盤木からなる。まず米松とマイアンの機械的性質を知るため、400t プレスを利用し、繊維に直角な方向の圧縮荷重試験を行なった結果を Fig. 7 に示す。

しかし実際の盤木では加工誤差や切断後の変形のために盤

Fig. 7 Compression Test of Oregon Pine and Maiyang

木が面タッチとならないことや載荷時間が長いためのクリープが折り込めないため単体のパネ定数を合成しただけでは、パネ定数が過大になる。そこで No.3 C. O. T. の水圧試験中に観測した盤木反力と圧縮量から実際のパネ定数を求めた。このようにして求めた盤木だけのパネ定数は 128 t/cm で単体試験の結果から求めた値の 40% 前後となる。支柱のパネ定数も同様にして求め、 12.5 t/cm とした。

コンクリート盤木およびコンクリート床版のパネ定数は無限大とするが、床版下の地盤は実測により地盤係数 $K=3 \text{ kg/cm}^3$ であることが判明している。また荷重は厚さ 800 mm の床版中を断面の中央まで 45° の角度で広がり、そのあと地盤まで垂直に伝わると考えればよいことが土木実験により確認されている。これらの前提条件にしたがい、盤木支柱と地盤を合成し、パネ定数を求めると次のようになる。

盤木+地盤 68.6 t/cm

支柱+地盤 8.4 t/cm

支柱による支持点を忠実にモデルに組み込むことは事実上不可能なので、もっとも近い盤木に集約した。そのため No.3 C. O. T. (C) 直下の盤木は見かけ上パネ定数が大きくなる。2 個の盤木の中央にある支柱は両盤木に折半した。

Fig. 8 Comparison of Reaction between Calculated and Measured

Fig. 9 Comparison of Bottom Shell Deflection between Calculated and Measured

2.4 計算と実績の対比

No. 3 C. O. T. (C) に水を 20,700 t 積んだ状態での計算による 盤木支柱反力と実測値を対比すると Fig. 8 のようになる。これによれば両者はかなりよく一致しており、実測していない盤木支柱の反力も、この計算結果から推定してはば間違いないと思われる。

同様に船底のたわみについて計算と実績を対比すると Fig. 9 のようになる。実測値はセンター・ラインしかないが、計算と実績はほぼ一致する。

3 修繕ドックの船底盤木について

3.1 損傷の事例

船底盤木の構成は造船所によりさまざまであるが、著者らのドックでは、かつて堅材の盤木と船底の間に軟材を挿入していた。これは船底のたわみとか盤木上面の不揃いのため一部の盤木に過大な荷重が加わった場合に軟材がクッションとして働き外板や床版の損傷を防ぐことを期待したものであった。

ところが 215 型油槽船がファイナル・ドッキングした際に船首燃料油槽直下の底部外板で最大 24 mm、機関室二重底から No. 5 C. O. T. にかけての底部外板で最大 23 mm の変形が発見された。変形が大きい箇所の軟材は圧壊し一応クッションとしての役割を果たしたものの骨の直下とスキンだけの部分では圧縮量が異なり、このため外板に局所的な変形をもたらしたものと推定された。

変形が特に大きい部分は盤木を撤去し、盤木の反力を解放した状態で再び変形量を計測したところ船首部は最大 24 mm から最大 17 mm に、また船尾部では最大 23 mm から最大 11 mm に減少した。

後者のほうがスプリング・バックが大きかったのは外板が HT 材だったことも原因であろう。変形が過大な箇所に対してはひずみ取りを施工した。なお盤木 1 個当りの計画荷重は船首燃料油槽で 142 t、No. 5 C. O. T. で 85 t だったが、外板が変形した箇所ではこれらを大幅に上回ったことは明らかである。

3.2 模型試験

底部外板のたわみに合わせて盤木の上面を整面することは事実上不可能であり、クッションとしての軟材は不可欠だということを前提条件として模型試験を行なった。

Fig. 10 Compression Test of Combined Blocks with Hull Model

軟材の配置としては従来の施工法のように外板に接触させる方法と、堅材を外板に接触させ軟材をサンドイッチ状に堅材の間にはさむ方法とを比較した。

模型の寸法、構成および試験結果を Fig. 10 に示す。外板模型の寸法詳細は省略しているが、ロンジ・スペース 1,000 mm、外板板厚 25 mm を想定している。軟材としては米松、堅材としてはマイアン材を使用した。これは修繕ドックでの材質と同じである。修繕ドックの盤木は幅 350 mm、長さ 2,000 mm であるが、模型実験では長さを 1,200 mm にした。

圧縮荷重は内業工場の 400 t プレスに加え、油圧管に直結した荷重計でコントロールした。盤木の圧縮量は鋼製スケールとサーフェス・ゲージにより計測した。

試験結果は次のとおりである。

(1) 米松を上段にした場合は、骨の直下と中央の変位が大差ないのは 60 t ま

Fig. 11 Docking Block Arrangement and Weight Distribution of 200,000 D.W.T. Tanker during Final Docking

で、それ以上になると骨の直下だけが沈下し、中央はむしろ原点に戻るようになった。160t までの荷重を通算 43 分でかけ、荷重を解放したのち外板にはスパン 1m で約 11mm の永久ひずみを生じた。

(2) マイアンを上段にした場合は、骨直下の変位は米松の場合の半分ぐらいで、そのかわり中央も値は小さいが荷重の増加につれて変位が増加した。160t までの荷重を通算 48 分でかけ、荷重を解放したのち、外板に約 4mm の永久ひずみを生じた。この場合については、さらに 260t まで荷重を上げたのち解放したところ、約 10mm の永久ひずみが残った。

(3) 外板のひずみを小さくするためには堅材のマイアンを上段にするのが明らかに有利である。

(4) 修繕ドックでは実験と同様な悪条件で船体重量を支持することが少なくないので、盤木の長さを考慮にいらても 1 丁当りの荷重 200t が外板に損傷を与えない限度であろう。

3.3 底部外板の変形防止対策とその効果

底部外板の局部的変形を防ぐため、次の対策を実施した。

(1) 従来は上ごまと船底の間に米松を入れていたが、実験結果に基づき、マイアン製大矢と上ごまの間に米松をはさみ、堅材が船底に接するようにした。またマイアンが船底の塗膜を損傷しないように船底との間にハードボードをはさんだ。

(2) 盤木荷重は計算上区画別に平均 160t/丁を越えないようにした。

(3) 盤木上面の高さを慎重にそろえ、肌すきのある盤木は若干高めにするなど、きめのこまかい対策をした。

対策実施直後にドッキングした 200 型油槽船の船底盤木配置と長さ方向の区画別荷重分布を Fig. 11 に示

Table 2 Number of Keel and Bilge Blocks Classified into Several Strain Ranges

STRAIN OF OREGON PINE (%)	SUPPOSED LOAD (TON)	NUMBER OF BLOCKS	
		FORE & AFT	MIDSHIP
0 ~0.2	0~ 40	50 (24)	50 (18)
0.3~0.5	50~ 90	23 (11)	36 (13)
0.6~0.8	100~140	34 (17)	49 (17)
0.9~1.5	150~190	31 (15)	76 (27)
1.6~	200	68 (33)	70 (25)
TOTAL		206 (100)	281 (100)

NOTE 1) FORE & AFT.....A.P.~FR. 64, FR. 94 ~F.P.

MIDSHIP.....FR. 64~FR. 94

2) () SHOWS PERCENTAGE

す。荷重は米松の圧縮量から求めた。計測箇所はキール盤木および左舷腹盤木のほぼ全数で、米松の中央および端部にゲージ長約 50 mm となるようにマークを入れ、ひずみを計測した。ひずみから荷重への換算は前述した Fig. 7 の米松応力ひずみ線図によった。ただし載荷時間の差によるクリープを補正するため荷重換算で 200 t を越えたものはすべて荷重 200 t とみなした。

計測重量が計算重量をかなり上回っているのは、前述したクリープに対する仮定がなお過小評価であることを示すものであろう。区画別荷重分布の傾向は計算と計測結果の間に大きな違いはない。

しかし個々の盤木についてみると、Table 2 のように盤木による荷重の不均衡が目につく。船体のひずみ、盤木の不揃い、盤木の形状不良による肌すき、床版の沈下などが原因であろうが、これらの要因を改善する余地は少ないし、その必要もないと考える。この不均衡が軟材を必要とする理由である。

過大な荷重のため小数の米松に割れが観察されたが、クッションとしての役割からみてやむをえないことである。計測の対象となった本船を含めて、その後多数の大型船をドッキングしたが、外板の変形が発見された例はなく、対策が妥当だったことを証明している。

4 あ と が き

水圧試験の際に盤木支柱に加わる荷重は船体の剛性と盤木支柱および地盤の弾性により、当該タンク直下だけでなく周囲のタンク下にも分散することが実測により明らかとなった。

また隣接するタンクを含めて簡単な骨組構造にモデル化した計算によって、実測値に近い盤木支柱反力および船底たわみを計算できることが確認された。

修繕ドックへのドッキングでは、盤木からの反力を平均化することは困難であるが、盤木の構成を変えることにより軟材の特性を有効に利用し、底部外板の損傷を防止することができた。

最後に本実験に当たり有益なご助言をいただいた川崎重工の長谷川副社長、松永理事ならびに計算にご協力いただいた安川、宮崎両課長ほかの方々へ心から謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 荒谷俊司：大型ドックの構造設計と施工，(1969)。
- 2) LRS : Determination of the Scantlings of Primary Webs and Girders in Tankers by Direct Calculation Technical Memorandum No.2, (1969)。
- 3) 永元隆一，船岡宏一郎，竹下博史：着床過程の船体撓み及び盤木反力の計算方法について，西部造船会々報第 46 号 (1973)。
- 4) 永元隆一，坂田 穰，小沼 守：大型油槽船入渠時の船体撓み検討，西部造船会々報第 36 号 (1968)。
- 5) 小田道隆，梶原儀親：船体支柱，盤木の必要量の算定，造船協会論文集第 111 号 (1962)。