

# ドック用トーションタイプフラップゲートの開発

横浜造船所 寺 田 博\*  
重 永 憲 明\*\*

## Torsion Type Flap Gate for Dockyard

Large repair docks came to be built to cope with increasing ship sizes and those with such large gate spans as 80 m and 100 m have been built recently.

In this paper, torsion type flap gates for dockyards designed to be suitable for long spans are introduced: (1) superior features of this type, (2) actual examples, (3) special design features, (4) method of installation, (5) results of measurement of stresses, (6) maintenance and inspection.

### 1. ま え が き

本論文で紹介するドック用トーションタイプフラップゲートは昭和45年、船舶の超大形化が盛んに進められていたころ、当社の長崎造船所香焼工場修繕ドック用に開発されたものである。当ドックは幅100m、長さ400m、渠(きょ)口部の高さ13.5mで、現在修繕ドックとして世界最大のものである。続いて、シンガポール政府と当社の共同出資で設立された、三菱シンガポール重工(略称MSHI)の修繕ドックにも採用された。MSHIドックゲートは幅80mである。

修繕ドック用ゲートは、建造船用ドックゲートに比較し、ひんばんに開閉する必要があるところから、フラップゲートが多く用いられている。従来は、上部にボックスガダを設けたフラップゲートが多く用いられてきたが<sup>(1)(2)</sup>、ゲートスパンが100mに近い大形のものになると、重量、土木構造、水密性などに問題が生じることが予想された。これらの問題点を解消するために開発されたのが、本トーションタイプフラップゲートである。

船舶の大形化が一段落したこの時期まで本稿の発表を遅らせたのは、特許の関係である。本考案は、日本以外に米国、英国、シンガポールの特許を取得済みであり、韓国にも出願中である。

本論文は、トーションタイプフラップゲートの特徴、設計思想、製作、据付上のトピックスから、応力測定と計算値との比較、更に昭和54年8月に行われた、香焼ドックゲートの取外し作業状況等を中心に紹介する。

### 2. 本ゲートの特徴

#### 2.1 ドック用ゲートのタイプ

ドック用ゲートのタイプを大きく分類すると扉船形(ポンツーン)ゲートと、フラップゲートに分けられる(図1, 2)。ポンツーンゲートはゲート内にバルブを内蔵しており、ゲート内に設けられた各区画に注水または排水することにより、ゲート自身で喫水を変え、戸当たりとの着脱が行われる。しかし、水平に移動する能力を持っていないので、船の入出渠時、渠口を外れたゲートを移動させるためにはタグボートを必要とし、また、開閉時間も100万トンクラスのドックでは約1時間を要する。

建造ドックは、船の出渠は平均4回/年であり、開閉時間の長

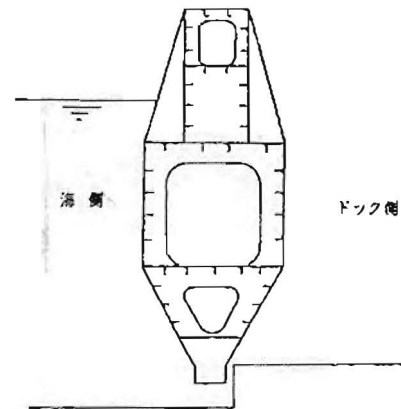


図1 扉船式(ポンツーンタイプ)ゲート  
Pontoon type gate

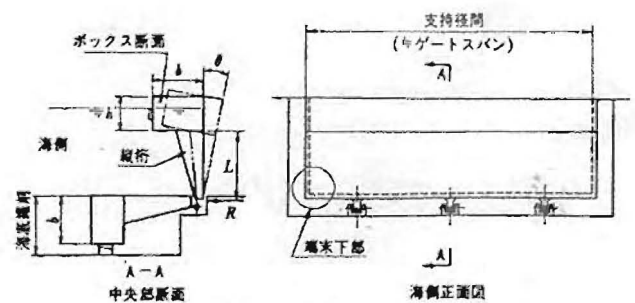


図2 ボックスガダタイプフラップゲート  
Box girder type flap gate

さは問題にはならない。しかし、修繕ドックは平均3回/月とひんばんに船の入出渠があり、ゲートの開閉を迅速に行う必要がある。フラップゲートであればポンツーンゲートの1/5以下の時間で行うことができる。したがって、ポンツーンゲートは船の入出渠の少ない建造ドックに適しており、フラップゲートは修繕ドックに適しているといえる。

参考までに、上記以外の大形ドックゲートとしては、積み重ね式二段ゲート<sup>(4)</sup>、コンクリート製ゲート<sup>(5)</sup>などの実例がある。また、フラップゲートにもボックスガダタイプ、トーションタイ

\* 鉄構部水門・鉄管設計課長  
\*\* 鉄構部水門・鉄管設計課

ブ以外にカンティレバータイプ<sup>(2)</sup>がある。

2.2 ボックスガーダタイプフラップゲート(従来のタイプ)  
従来のドック用フラップゲートはボックスガーダタイプ(図2)であったが、ドック渠口部の幅が大きくなるにつれ、次の不具合が生じていた。

(1) 端部下端の水密性不良

ゲートに海側から水圧が作用すると、ゲート中心部は図2の二点鎖線で示すように変形する。上部のボックス断面がねじりに対して強い構造となっているため、回転は主にボックス断面のねじり剛性によって両端部に伝わるが、ねじり剛性はボックス断面積の2乗に比例する。

一方、ボックスの断面積は、ゲート下部の反力を無視し等分布荷重を受ける梁(はり)と仮定した場合、作用するモーメントにはほぼ比例する。更に作用するモーメントはゲートスパンの2乗に比例するので、結果的に回転しようとする傾向はスパンの4乗に比例する。したがって、ゲートのスパンが限界を超えると両端部では、静水圧による回転を阻止しようとするモーメントが、中央部の変位による回転モーメントに負けて、上端を支点として回転する。すなわち、端部下端が跳ね上げるため、水密が確保し難い。

(2) 中央部縦桁(けた)の曲げモーメントの増大

この現象は、(1)に述べたゲート端部下端の跳ね上がりと相対関係にある。ゲート中央部において縦桁の受ける曲げモーメントは図2にて  $R \times L$  であるが、(1)に述べた端部下端の跳ね上がった部分は底部の反力  $R$  が0となるため、その分だけ中央付近の反力が増加し、曲げモーメントも増加する。ゲートスパンが増せばこの傾向は強くなり、極端に大きな部材断面が必要となってくる。

(3) フラップゲートの転倒に必要な掘削量の増大

ゲートスパンの2乗に比例し曲げモーメントが大きくなり、応力を一定に抑えるにはボックス断面の幅をこれに比例して大きくしなければならない。したがって、ゲートを完全に倒伏させるには、ボックス断面の幅に見合った量だけ海側の海底を掘削する必要がある。

2.3 トーションタイプフラップゲートの特徴

本ゲートは、ボックスガーダタイプフラップゲートの欠点をすべて克服した。すなわち、

- (1) 水密性は極めて良好
  - (2) 中央部の曲げモーメントの増大問題は解消
  - (3) 掘削量は少なくともすむ
- 以上の利点のほかに、次の特徴を有している。
- (4) 軽量
  - (5) 製作が容易
  - (6) 開閉が容易
  - (7) 波に対して強い
  - (8) 保守・点検が容易

本ゲートは図3に示すように全体が閉断面構造となっており、断面の幅は高さ  $h$  に比べ約2/5以下である。内部に浮力タンク室を設け、自重と相殺させることにより、ゲート開閉用の巻上機を極小形にすることが可能である。支承金物はスパン方向に3個設けるが、後に述べる反力を拘束するものは両端の2個のみであり、中央の1個は自重と浮力の差の荷重を一部負担するだけである。スキムプレートはドック側の外板であり、浮力タンク室以外のゲート内部には水が自由に入出入り可能なよう底部及び頂板付近に水抜孔を設けてある。更に、頂部には空気抜孔、スキムプレートには、ゲートメンテナンス時を考慮してエアパイプ接続口

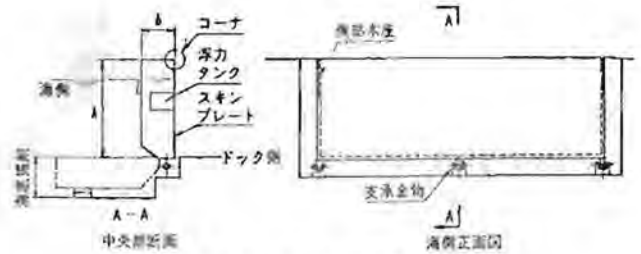


図3 トーションタイプフラップゲート  
Torsion type flap gate

等が設けてあるが、これら付設設備の詳細については後述する。次に、各利点について詳しく説明する。

(1) 良好な水密性

全体が閉断面構造となっているため、ねじり剛性が大きい。ゲートに水圧が作用すると転倒モーメントが発生するが、このモーメントはゲートのねじりせん断により両端に伝達され、側部木座と支承金物から作用する反力によって形成されるモーメントとバランスする。すなわち、両端の支承金物を最端末に移し端部下端を押さえているため、この部分の跳ね上がりがなく、水密性が確保される。

(2) 縦桁のモーメント増大の問題が解消される

各横断面に作用した水圧は、第一次近似的にはその下端に作用する反力とつり合うと考えられるが、作用点の相異から生ずるモーメントは扉体横断面のねじりモーメントとつり合うので、ガーダタイプに見られた縦桁のモーメント増大の問題は必然的に解消される(図4)。

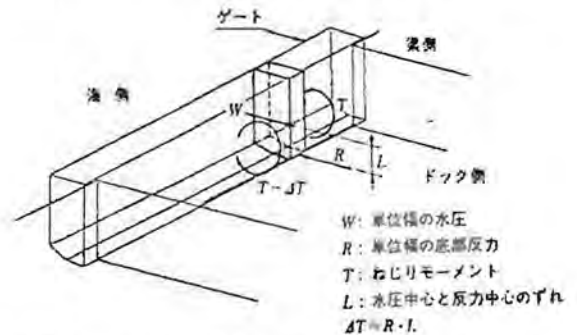


図4 ねじりモーメントと反力によるモーメントのつり合い  
Balance between twisting moment and moment due to reaction force at the bottom

(3) 掘削量が少ない

トーションタイプのゲートはボックスガーダタイプに比べ横断面の幅が小さくてすむが、その理由は、ボックスガーダタイプが曲げだけで荷重を支えるのに対して、トーションタイプは主にねじり剛性で荷重を受け持つためである。つまり、曲げに対する断面係数は断面の幅に比例して大きくなり、一方曲げモーメントは、ゲートスパンの2乗に比例して増すので、ボックスの幅は、ドック幅の2乗に比例して大きくしなければならない。

一方、ねじりに対する断面係数は横断面の面積に比例し、ねじりモーメントはゲートスパンに比例するので、横断面幅はドック幅の増大に伴い必ずしも大きくする必要はない。すなわち、断面形状とドック幅とは概略次のような傾向になる。

$$\text{曲げ剛性主体} \quad b \times h^3 \propto (\text{ドック幅})^2$$

ねじり剛性主体  $b \times h \infty$  ドック幅

$h$ : ゲート高さ

$h'$ : ボックス高さ

したがって、トーショナルタイプのゲート断面幅  $b$  は、ボックスガダタイプのものに比べてかなり小さくなる。香焼修繕ドックゲートを例にとりて試設計すると、表 1 に示すように大幅に差が出る。

以上で明らかのように、ゲート断面幅  $b$  が小さいので、海側海底の掘削量が少なくてすむ。

表 1 トーショナルタイプとボックスガダタイプの比較

Comparison table between torsion type and box girder type

	ゲート幅 $b$	重量	備考
トーショナルタイプ	5.0 m	1270 t	ゲート寸法 幅 100 m 高さ 13.5 m
ボックスガダタイプ	9.0 m	1900 t	

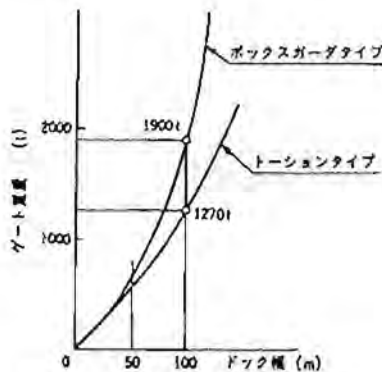


図 5 ドック幅とゲート重量の関係  
Comparative weights of box girder and torsion type gate

#### (4) 軽量

閉断面形状は断面積を大きくとれば、ねじりに対して極めて有効に抵抗することができるため、ねじり主体の設計が可能になり、部材の所要板厚を著しく減らすことができ、結果的にゲート重量は著しく軽減される。ボックスガダタイプとトーショナルタイプのドック寸法とゲート重量の関係を試算すると、概略表 1 及び 図 5 に示すようになる。すなわち、ゲートスパンが 50 m を超えるとトーショナルタイプが著しく軽量になり、経済的である。

#### (5) 製作が容易

各部は防錆パネルで構成され、しかも全体が閉断面であるので製作は容易である。

#### (6) 閉閉が容易

2.1 に述べたようにフラップゲートは、ポンツーンタイプに比べ閉閉は容易で早い。またフラップゲートの閉閉は渠側から圧縮空気を送り込んだり、抜いたりすることにより閉閉するもの<sup>(2)(3)</sup>と、閉閉機を渠側に設け、ワイヤロープを介して閉閉するもの<sup>(4)</sup>があるが、本ドックゲートは、閉閉機方式を採用することにより、閉閉操作は確実かつ迅速になっている。

なお、圧縮空気でゲートを閉閉する場合、常に問題となるのは、閉閉操作中の全閉及び全開直前の状態での衝撃力である。例えばゲートを倒伏する際は、ゆっくり倒れ始め、ゲートが傾斜を増すに従い加速され全開直前で最大の角速度となる。この

ときの衝撃力の緩衝について十分検討する必要がある。また全開付近での衝撃力を弱めるため、及び全開時ゲートの上を船舶が通過することによりゲートがあおられることを防ぐために、図 6 に示す調節壁を設けた例もある<sup>(2)(3)</sup>。しかし、逆に全閉付近での衝撃に対しては有効でないため、計画時に十分検討する必要がある。

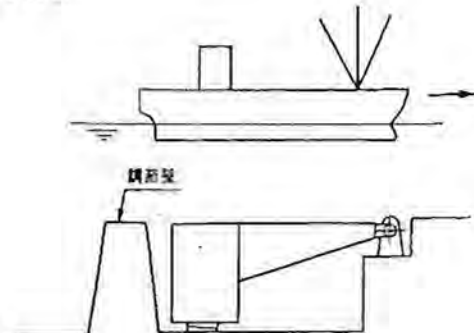


図 6 調節壁  
Baffle wall

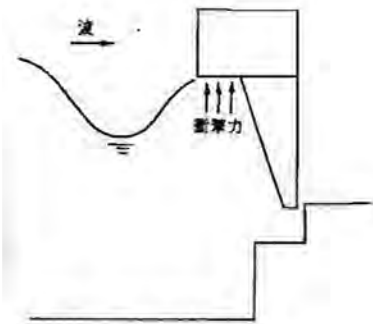


図 7 波による衝撃  
Impact due to wave

#### (7) 波に対して強い

ドックゲートの海側の面に凹凸があると、海からの波に注意して設計を行う必要がある(図 7)。すなわち、波がゲートの下に潜り込むと、ゲートは異常に大きな衝撃力を受けるため、ボックスガダタイプでは、通常、干潮位に波が襲来しても波の谷がボックスより下にこないようボックスの高さが決められる<sup>(1)</sup>。

しかし、トーショナルタイプのゲートは、全体が閉断面で波を受ける側に凹凸面がないので、波の上下方向の衝撃力は問題にならない。この点でもトーショナルタイプのゲートは有利である。

#### (8) 保守・点検が容易

前にも述べたように、両端の支承金物部に作用する荷重の方向は、水平方向はドックより海側へ向い、鉛直方向は常に下向きとなる。また、中央の支承部は自重と浮力の差の一部を負担する。したがって、支承部は図 8 に示すような形状とすることができる。この形状により、従来は潜水夫が行っていた水中での支承部の金物の取外し作業<sup>(2)</sup>がなくなり、ゲートの取外し及び取付けが極めて容易になった。すなわち、図 9 に示すように、ゲートを水中に倒した状態でクレーンで容易につり上げることができる。また、海洋生物が付着しやすい海側外板が平面構造である点も、清掃の際には有利である。

### 3. 実績の紹介

当社、長崎造船所香焼工場修繕ドックゲート(図 10, 11)及び

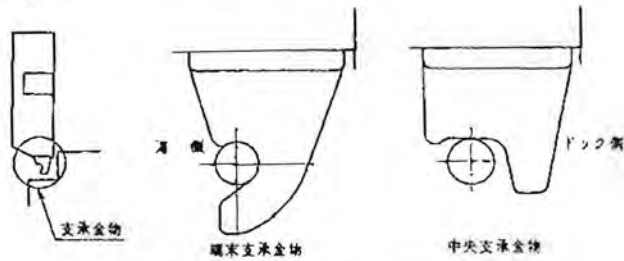


図 8 ゲート付支承金物詳細  
Hinge detail fitted to gate

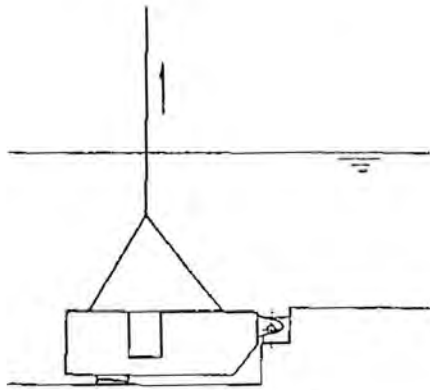


図 9 ゲートの取外し  
Displacement of gate

MSHI 修繕ドックゲート(図 12, 13)の主要目を表 2 に示す。構造について、図 13 を用いて説明する。

ゲート横断面は、幅 4.5 m、高さ 12.4 m のほぼ長方形断面であるが、倒伏の際土木構造物と干渉しないよう底部海側を一部切上げている。スキンプレートは、ドック側のプレートであるが、全体は閉断面をしており、ゲート内には過大な浮力が発生しないよう、海側底部に設けた通水孔より水が自由に出入り可能な構造となっている。

ゲート内には、全スパンにわたり、幅 3.3 m、高さ 2.0 m の浮力タンクがあり、更に開閉操作をより確実にするために、浮力タンク室の中にコンクリートバラストが積まれている。自重 810 t に対して、浮力タンクによる浮力 555 t、コンクリートバラスト 30 t である。

ダイヤフラムは 3.16 m ピッチに設け、浮力タンクは安全性を高めるため、八つの区画に分割した。端部下端には、このゲートの生命ともいえる支承金物(炭素鋼鋳鋼製)を取付けてある。ちなみに、この金物 1 個に作用する反力は 1100 t である。

端部上端に作用する反力は、木製(ケンバス)の支圧板で受ける。なお、コンクリート側の受圧板とコーミングの初期すき間は、10 mm 以上とした(図 14)。水止ゴムは変形しやすい、P 形で頭に空洞のあいたものを採用した。底部の受圧及び水密機構も側部と同一である。

ゲートの海側上部にはゲート倒伏時、台座に休止させるための木製の座を 3 か所取付けた。更に船舶の衝突を考慮して、海側に幅 300 mm、高さ 250 mm のフェンダを全スパンにわたって設けた。浮力タンク室内へのマンホールは 4 個、頂部のエアホールは 8 個、浮上時に水面に浮かせるためと、安定をとるためのバルブ付エアホールを上部に 8 個、下部に 8 個設けてある。

主要部の板厚は、ねじりモーメントの大きい端部より、モーメントの小さい中央部へ近づくにつれて、薄くして軽量化を図っている。スキンプレート以外の外板は、上部が下部に比べて厚い、



図 10 香焼修繕ドックゲート  
Koyagi repair dock gate

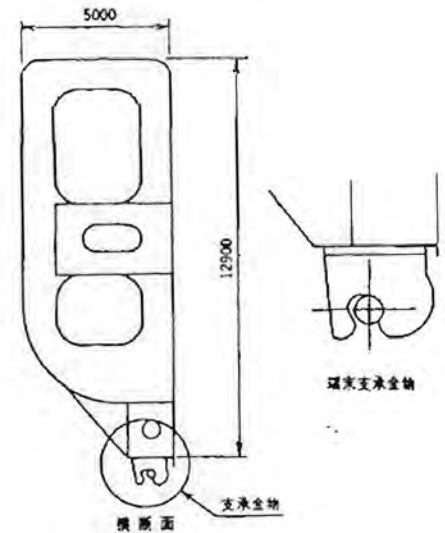


図 11 香焼ドックゲート  
Koyagi dock gate



図 12 MSHI 修繕ドックゲート  
MSHI repair dock gate

これはねじりモーメントによるせん断流の方向と、曲げに伴うせん断流の方向とが上部で一致し、下部で逆方向になるためである(図 15)。板厚は 1100 t の反力をほぼ全部受ける端部の板が最も

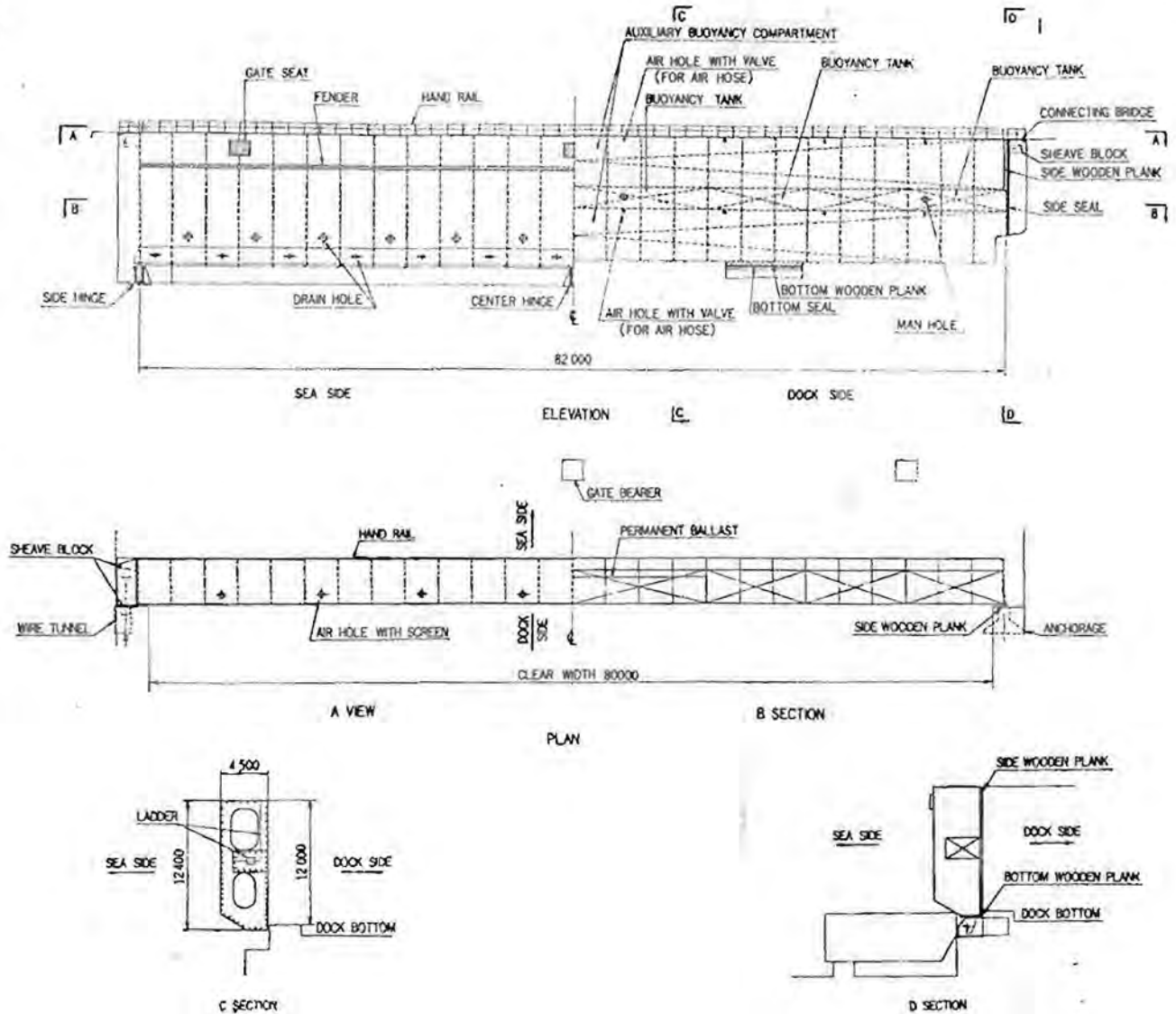


図 13 MSHI ドックゲート  
MSHI dock gate

表 2 香焼・MSHI 修繕ドックゲート主要目表  
Design criteria for Koyagi and MSHI repair dock gate

項目	香焼修繕 ドックゲート	MSHI 修繕 ドックゲート	備考
1. ドック規模	500 000 DWT	400 000 DWT	最大入夏船
2. 開口部寸法	100 m×13.5 m	80 m×12 m	幅×高さ
3. 設計基準	鋼道橋構設計示方書	DIN	
4. 許容応力			JIS SS 41 降伏点 2 500 kg/cm <sup>2</sup> に対して
引張応力	1 400 kg/cm <sup>2</sup>	1 450 kg/cm <sup>2</sup>	
せん断応力	800 kg/cm <sup>2</sup>	840 kg/cm <sup>2</sup>	
直交方向合成応力	2 100 kg/cm <sup>2</sup>	1 875 kg/cm <sup>2</sup>	
5. ゲート自重	1 270 t	780 t	バラストを除く
6. 横断面	図11	図13	
7. 主要部材質			
外板	SS 41, SM 50	SS 41 SMA 41 A, B, C	
梁体付 支承金物	SC 49	SC 49	
端部 支圧板	S 35 C	キャンパス	
木座	タブ	キャンパス	
水密ゴム	ネオプレン	ネオプレン	
B. 防食板	アラノード P-05	アラノード P-10 S	

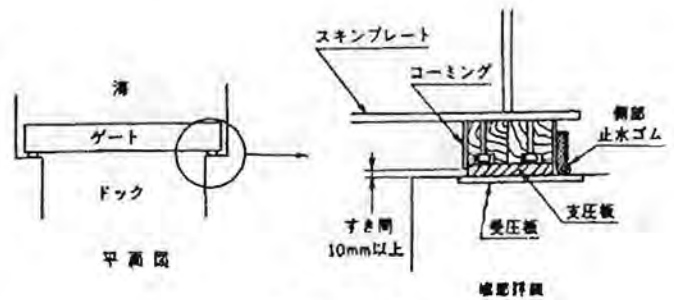


図 14 水止詳細  
Seal detail

厚く 65 mm、外板の平均板厚は約 13 mm である。端部上部には、開閉用のシーブを取付けるためのシーブボックスを設けてある。

ゲート以外の主要構造物として、水密戸当以外に、片側 1 100 t の反力 (引張力) を土木構造物に伝達するための金物がある。これはゲート付支承金物と取合う軸、大荷重をコンクリートに分散させる支圧板、及び軸で受けた荷重を支圧板に伝達するための梁から成る。この構造物は、当然コンクリート打設時に埋設しておく。

第 1 号機である香焼ドックゲート完成後、MSHI ドックゲート

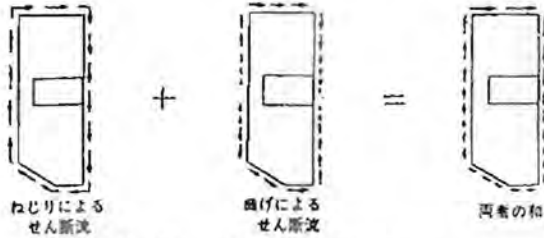


図 15 頂・底板に生ずるせん断応力  
Shearing stress on top and bottom plate

を設計製作したが、第1号機を一部改善したので改善点のみ紹介する。

(1) コーナ

香焼ドックゲートでは、ねじりせん断が流れやすいよう、断面のコーナに丸みを設けたが、MSHI ドックゲートは製作の容易さを優先させて角(ナックル)とした(図3)。

(2) 支承金物

香焼ドックゲートは、取外す際は全閉位置から約10°倒したうえでつり上げる予定であったので、図11に示す形状をしている。しかし、MSHI ドックゲートでは改良を加え、ゲートを全開まで倒して水平に近い状態でゲートが外せるよう配慮している(図8)。

(4) 補助タンク

香焼ドックゲートは通常使用している上部の浮力タンクのほかに下部にも補助の浮力タンクを設け、ゲートを取外した後水面に浮かせてえい航する際、安定させるのに用いられる(図16)。

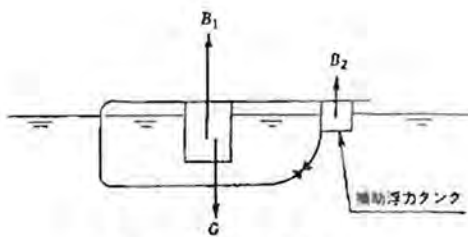


図 16 香焼ゲートの安定性  
Balance of Koyagi dock gate

しかし、MSHI ドックゲートでは補助タンクを設けず、水面に浮上した際に上部浮力タンクで区切られるゲート内のスペースを利用して浮力及び安定性を得ることにした。すなわち、ゲートはスキンプレートを上にして水面に浮かせるわけであるが、あらかじめ頂部の空気孔にプラグをしておく。これにより、図17の $S_2$ 、 $S_3$ の区画がそれぞれ密閉されるが、ゲート内の水は自由に入出力できるよう、水抜穴はそのままにしておく。この状態で海上クレーンでつり上げたまま、 $S_2$ 及び $S_3$ の区画にエアホースで空気を送り、水面に浮かせることが可能である(図18)。

したがって、下部の補助タンクは不要となる。

この手法は、ゲートの据付の際にも用いられた(表3)。

4. 設計時の主要検討項目

MSHI ドックゲートを中心に紹介する。

4.1 全体強度

ゲート全体強度の内力解析は、ゲート本体をスペースフレームに置き換えて行った。

(1) 計算モデル(図19)

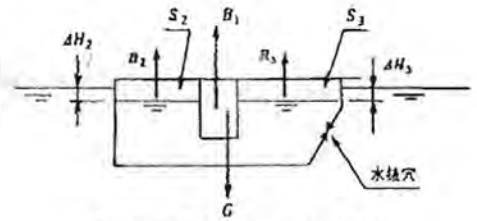


図 17 MSHI ゲートの安定性  
Balance of MSHI dock gate



図 18 据付時水面に浮上したゲート(MSHI)  
Gate floating on water for installation (MSHI)

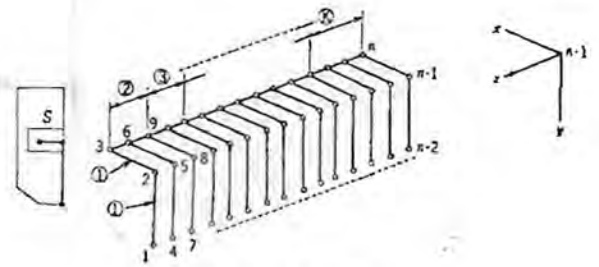


図 19 計算モデル  
Model for calculation

拘束条件は、下部戸当にあたる節点1, 4, …, n-2, 及び端上部にあたる2をドックの長手方向(x軸)変位を拘束、ゲート端節点3は主としてねじりを受けるのでドックの幅方向(z軸)回りの回転及び長手方向(x軸)変位を拘束とした。またゲートはドックの幅方向が対称であるため、節点n-2, n-1, nは片側のみ計算を行う条件とし、n-2は各方向(x, y, z軸)変位と長手及び上下方向(x, y軸)回りの回転を拘束、n-1, nは幅方向(z軸)変位と長手及び上下方向(x, y軸)回りの回転を拘束した。

部材②~④はせん断中心線と一致させ、ゲート横断面全体の曲げ剛性及びねじり剛性を用いた。部材①は、トランスバースフレームの位置の横断面内に設定した架空のメンバである。横断面の変形は、全体強度からみて僅少と考えられるので、このメンバはむしろ剛体と見なし、十分大きな曲げ剛性を用いた。

以上のように、かなり複雑な構造を非常に簡単なモデルに置き換えることにより設計作業の簡略化を図ったが、この方法で設計上必要な精度が得られることは、スパン17m、高さ1mの模型強度実験により確認した。

(2) 入力荷重

1フレームピッチ間の荷重をせん断中心であるS点(節点3,

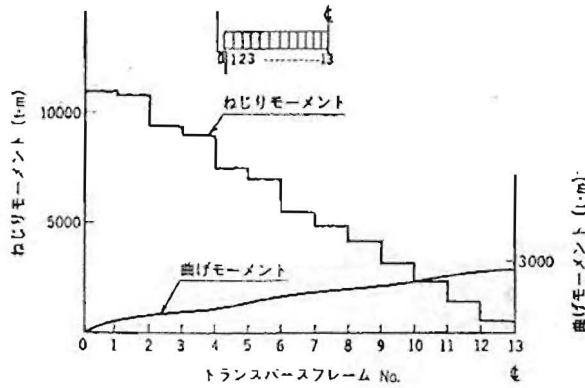


図 20 ねじりモーメント及び曲げモーメント  
Distribution of twisting moment and bending moment

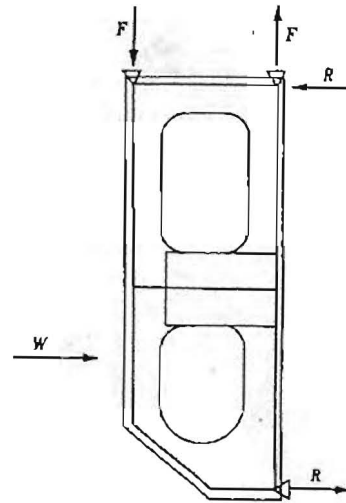


図 21 トランスバースフレームの計算モデル  
Model of transverse frame for calculation

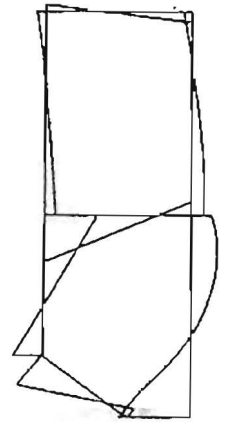


図 22 トランスバースフレームの曲げモーメント  
Bending moment on transverse frame

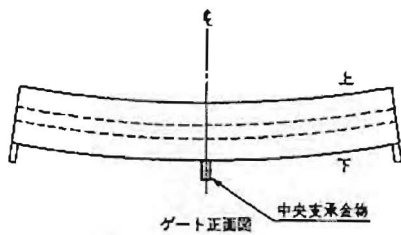


図 23 溶接によるゲートの変形  
Deformation of gate due to welding

6, …… , n) (図 19) に集中荷重として作用させ、同時に S 点と水圧中心のずれにより生ずるモーメントを作用させた。

(3) モーメント及び変位

以上のようにして求められた結果を図 20 に示す。ねじりモーメントは端部で最大約 11 000 t・m となるが、曲げモーメントは中央部でわずかに 3 000 t・m 弱である。ちなみにボックスガーダタイプ(従来形)の場合、曲げモーメントは中央で約 66 000 t・m となる。この相違は、トーションタイプでは曲げ剛性に比べ十分ねじり剛性が大きいので、ねじりモーメントが卓越し、結果として曲げモーメントが小さくなり得るためである。ここにトーションタイプの本質的な面が示されている。全荷重 6 410 t のうち、曲げ剛性で端末に伝達される荷重は 430 t である。したがって、全荷重の 94 % はねじりにより伝達されることになる。また、同時に求めた中央部の計算上のたわみは 84 mm、すなわち支持径間の 1/976 であった。

4. 2 合成応力

4. 1 にて示したモーメントを用いて、主断面に発生する応力を求めたが、特に外板には曲げ応力、せん断応力以外に水圧による局部応力(外板の面外曲げ、スチフナ曲げ等)が発生する。これらの応力の合成は、Mises の理論(せん断ひずみエネルギー説)に従った。

4. 3 トランスバースフレームの強度

平面フレームに置き換え解析した。モデルは図 21 に示す。曲げモーメントの分布は図 22 に示すようになり、底部戸当及び浮力タンク付近で最大となる。また、製作完了後溶接ひずみが解放され、ゲートが図 23 のように変形した場合、ゲート据付時に仮締切内の水を抜くと、中央支承にゲート全自重に近い鉛直荷重

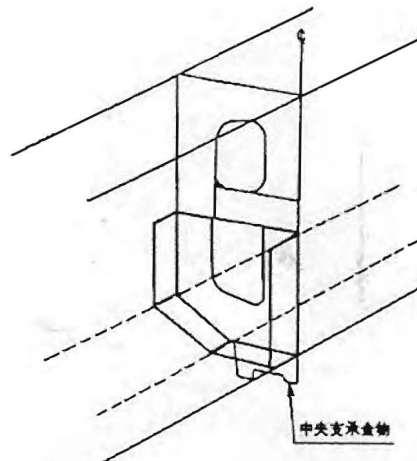


図 24 中央トランスバースフレーム  
Middle transverse frame

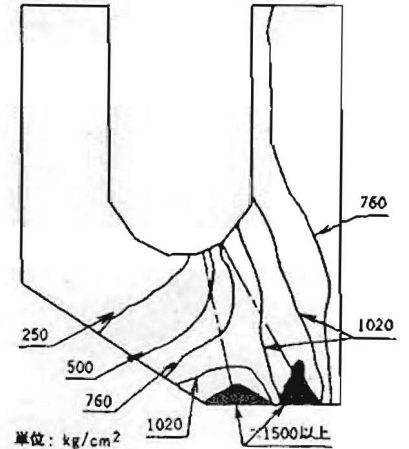


図 25 トランスバースフレームの応力分布  
Distribution of stress on transverse frame

が作用することが予想された(図 24)。この場合のフレーム強度を、有限要素法により 3 次元的に解析した。その結果得られた応力分布を図 25 に、変位を図 26 に示す。局部的には降伏点をわずかに超える応力が見られたが、実際には扉体はかなりフレキシブルなものであり、自重は中央支承と両端の支承に分散するので問題はないと考えられた。したがって、据付時のための特別な補強は行わなかった。

4. 4 通水孔の補強

扉体内部に自由に水が入り出できるよう底版に通水孔を設けたが、穴の補強は図 27 に示すように、通常用いられているダブルリングによる補強のほかに、穴の縁に円筒状に補強を行った。この目的は、開孔部周辺の応力集中を緩和することのほかに、開孔部付近の剛性の低下による座屈防止をねらった。円筒補強のアーチ<sup>(6)</sup>が少なかったため、強度検討を有限要素法により解析した。これによって得られた開口部周辺の応力分布状況及び変位を図 28 に示す。変位を見る限り、円筒補強を行うことにより、穴周辺の剛性は無開孔の場合に比べ 2 倍以上高まったことになり、所期の目的を達した。

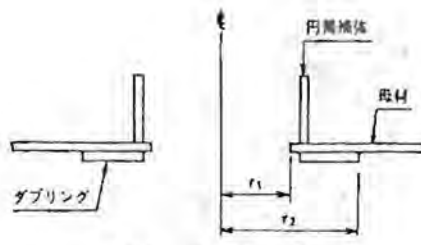
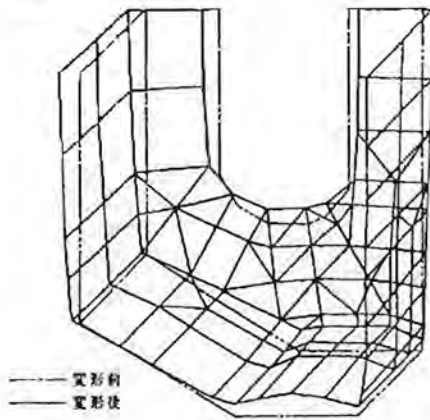


図 27 通水孔の補強  
Reinforcement for drain hole

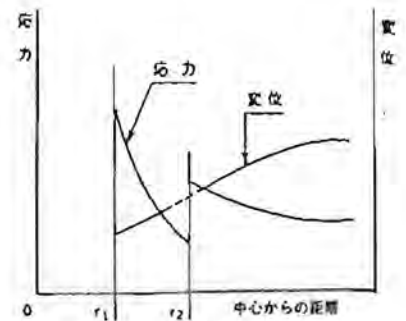


図 28 通水孔の補強の効果  
Effect by reinforcement for drain hole

図 26 トランスバースフレームの変位  
Displacement of transverse frame

4.5 開閉時の安定性

ゲート開閉操作時の安定性は次の転倒モーメントを考慮し、水位は干潮及び満潮の2ケースについて検討した。

- (1) ゲート自重(浮力及びバラストを含む)によるモーメント
- (2) ドック内外水位差によるモーメント

ゲートを開閉する場合、ゲート上部が水面より一部でも出ていると、ドック内への水の出入りはゲート端部と渠口の側壁の間のすき間を通して行われる。したがって、ドック内の水位は外海水位と異なり、水位差による水圧が抵抗モーメントとなってゲートの開閉を防げる。

- (3) ゲート内外水位差によるモーメント

また、ゲート操作中に、底部にかけた通水孔を通過してゲート内の水が出入りするが、流出入の遅れによりゲート外水位との間に水位差を生じる。これも抵抗モーメントとして作用するので考慮した。

以上のモーメントを電算シミュレーションあるいは近似計算にて求め、合計した結果(転倒モーメント)を開度ベースで整理したグラフが図29である。このときの開閉時間は平均約10分である。

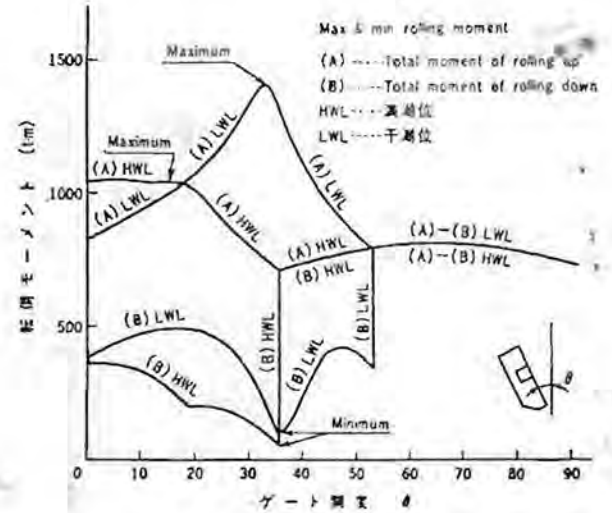


図 29 転倒モーメント  
Rolling moment

4.6 ゲート取外し時の安定性

保守・点検のためゲートを入渠させる際は、図17の状態であらねが、水面上に浮いているときの安定性に加えて、万一座礁した場合の安定性も検討した。また、入渠させ盤木に着床させたときの安定性も併せて検討を行っている。

4.7 波圧の取り方

水平方向の波圧力は、設計水位を上げることによって考慮した。すなわち、満潮時水位に Sainflou の簡略公式による波力を加えた水圧より大きくなる水位を選び(渠壁の高さとした)、これを設計水位とした(図30)。

4.8 堆泥の影響

全体が閉断面構造をしているうえ、底部に通水孔が設けられていて、海水が自由にゲート内に入り込めるため、海水中に浮遊している泥その他の異物がゲート内で沈降して、結果的に開閉荷重を増加させる。計算によると、比重1.8の異物が50cm底部に堆積すると、開閉荷重は6%上昇することが判明したが、問題となる値ではない。ちなみに、54年8月に第1回目(6年目)の点検を行った香焼修繕ドックゲート内外には、約50トン(水中重量)の堆泥及び海中生物の付着があった(図31, 32)。これはゲート自重の約4%に相当する。

4.9 木材

メンテナンスを考慮して、入手しやすく、しかも強度が500 kg/cm<sup>2</sup>程度の高いものを選定し、キャンバスとした。特に端上

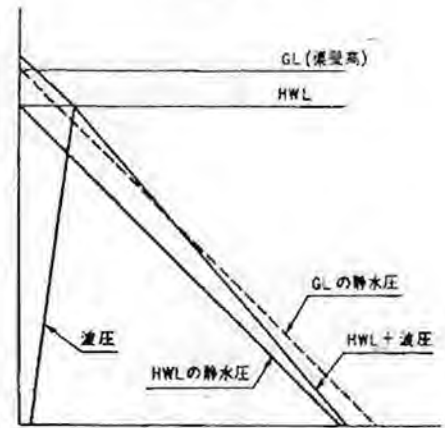


図 30 設計水位  
Water level for design

部の支圧部には片側1100tの反力が作用するので、コンクリートに埋設される戸当との当り面は、据付時の誤差も考慮して慎重に加工した。

4.10 防食板

コンクリートに埋設される支承金物は、ドック完成後は取替はもちろんのこと、補修・塗装すら不可能なので、腐食対策として陽極電極板を取付けた。アルミニウム電極、アラノード P-10Sで、耐用年数は約10年である。取付数は各支承に2本とした。

4.11 コンクリート構造物に作用する荷重

本ゲートからコンクリートに作用する荷重は、ゲート構造上、



図 31 点検のため入渠したゲート（香焼）  
Gate in dry dock for maintenance (Koyagi)



図 32 支承金物付近の海洋生物の付着（香焼）  
Shell fishes living near hinge block (Koyagi)

従来のボックスガートタイプフラップゲートに比べ傾向が異なることは既に述べたが、設計上及び施工上最も重要な部分なので更に詳しく説明する。

海側からの水圧は、ゲート底部より高さ  $L_C$  の部分（図 33）に作用する。一方、反力はゲート底部に作用するので、二つの外力の作用点が異なることからモーメントを生ずる。なお、全水圧の 6% が曲げ剛性により両端に伝達されるので、反力  $R_B$  は水圧  $R_W$  に比べやや小さくなる。反力を  $R_B$  とすれば、モーメントの大きさは、

$$M = R_B \times L_C$$

このモーメントは、ゲートのねじり剛性により左右の端末まで伝達される。このモーメントを支えるため、圧縮力の作用する端末上部にはベアリング木座を、引抜力の働く底部には支承ピンを配置した（図 34）。ベアリング木座に作用する反力を  $R_T$ 、ピンの反力を  $R_H$  とすれば、ほぼ  $R_H = R_T$  となる。 $R_H$  と  $R_T$  の距離を  $L_E$  とすれば、これらの反力によるモーメントは先に述べた

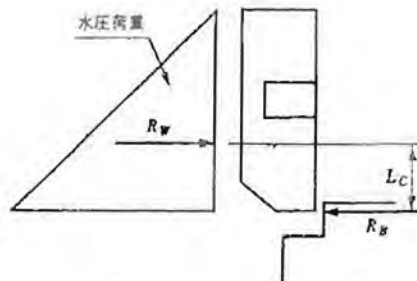


図 33 中央付近の荷重作用図  
External force on near center

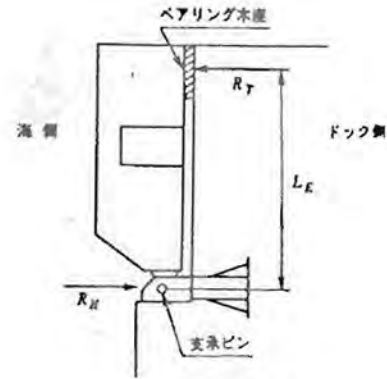


図 34 端末の反力作用  
Reacting force at both ends

外力によるモーメントとつり合わなければならないので、

$$\begin{aligned} R_H \times L_E &= \frac{1}{2} M \\ &= \frac{1}{2} \times R_B \times L_C \end{aligned}$$

したがって、支承ピンの反力は次式にて表される。

$$R_H = \frac{1}{2} \cdot R_B \cdot \frac{L_C}{L_E}$$

反力  $R_H$  の向きは、海側→ドック側であり、端末壁のコンクリートには大きな引抜力が作用する。各外力及び反力の大きさは、概略次のとおりである。

$$\begin{aligned} R_W &= 78 \text{ t/m} \\ R_B &= 73 \text{ t/m (平均)} \\ R_H = R_T &= 1100 \text{ t} \end{aligned}$$

## 5. 据付手順

ゲートの建造は、ドックの建造と並行してドック内で行った。ゲートの製作完了後、仮締切のドック内に注水し、ゲートを浮上させて（図 18）所定の位置にセットしたが、その手順を表 3 に示す。この据付手順により工期は大幅に短縮された。

## 6. 応力、たわみ等の計測

竣工後ドック内の水を抜いて応力、たわみをはじめとする各機能のチェックを行ったが、ここでは昭和 51 年 4 月及び 7 月の 2 回にわたって実施された MSHI ドックゲートの計測結果を紹介する。なお、2 回目の計測は、ゲートの経時変化のないことを確認するためのものである。

### 6.1 応力測定結果

応力測定は 45°-3 方向ひずみゲージを使用し、取付けはゲート頂板上の端部、中央部及びその中間の 3 か所とし、正確を期するため各測定点ともゲージを二つずつ張付けた（図 35）。結果は 2 回とも同じような傾向を示し、いずれも計算値より 10% 程度低い値を示した。一例を 図 36 に示す。なお、ゲート構造の経時変化は認められなかった。

### 6.2 たわみ測定結果

中央部のたわみは、ゲート頂部にスケールをセットし、両渠側からトランシットでのぞいて計測した。結果は 図 37 に示すように計算値と良く一致している。

### 6.3 ゲートの伸縮

計測中ゲート端末を観察したところ、外気温度 13°C の変化に対して、左側 8 mm、右側 6 mm の移動が計測された。これは、13°C の温度変化による伸縮量の計算値 6.4 mm と良く一致して

表3 ドックゲートの据付手順  
Installation procedure for MSHI dock gate

ステップ	ゲートの状態	説明
1		(1) ゲートをドック内にて一体に製作
2	仮締切内に注水	
3		(1) 所定の水位に達したとき、スキンプレート側に取り付けたエアバルブを閉じ、ゲートを浮上させる (図14)
4	ゲートを渠口までえい転し、半回転させる	
5		
6	仮締切内を排水	
7		(1) ゲートを支承金物にセット (2) 巻上機とゲートをワイヤリング (3) エアバルブを開け、ゲート内外の水位を同一にした後、再びバルブを閉める
8	仮締切内に注水	
9		(1) 仮締切内の水位が十分上がった後、巻上機にてゲートを起立させる
10	据付完了	

いる。

6.4 開閉荷重

巻上機に流れる電流値から開閉荷重を推定すると、約11tであった。これは設計値13tに比べ18%の余裕を持っていることになる。なお、計算値との食い違いは、開閉時のゲート内の水の挙動及びドック内の水の挙動を安全側にみているためと思われる。

6.5 その他の点検項目

以上の計測に加えて、次の点をチェックし安全性と設計機能を確認した。

- (1) 止水機能
- (2) 底部及び側部木座の当り
- (3) 座屈強度
- (4) 支承部強度及び機能

7. 香焼ドックゲートのメンテナンス

去る昭和54年8月、完成後6年を経た時期に、香焼修繕ドックゲートの総合的な定期点検が行われた。これは、ドック用トーションタイプフラップゲートにおける最初の経験であったので、その結果を報告する。

(1) ゲート取外し要領

当初このゲートは3. (2)にて述べたように、全閉状態より

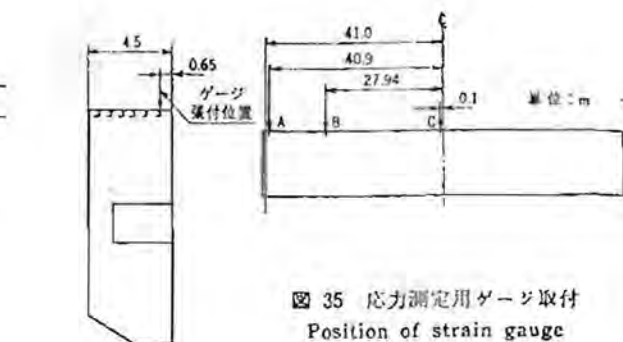


図35 応力測定用ゲージ取付  
Position of strain gauge

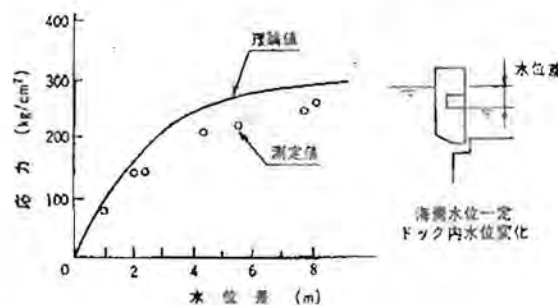


図36 応力測定結果  
Results of check on stress

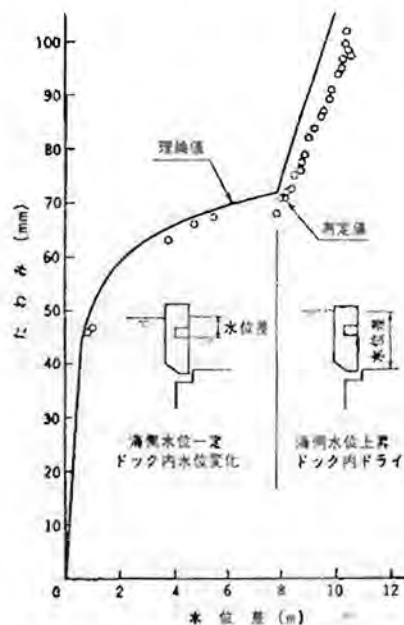


図37 たわみ測定結果  
Results of measurement on deflection

約10°海側へ傾斜させた状態で、約500tのフローティングクレーンにてほぼ真上に引き抜く予定であった。しかし、当時長崎港内で借用可能なフローティングクレーンの最大容量は120tであったため、急遽MSHIと類似の取外し要領に方針を変更した。そのために不足する浮力は、補助タンクで補うこととした。手順は図38に示すように、クレーンの主巻でゲートの水中重量をつり下げ、頂部を休止木座から約30cm離してから、補巻で底部を持ち上げつつゲートを海側に抜いた。作業は何ら問題なく順調に行われ、支承金物を外れたゲートをいったん水面下3mまでつり上げた後、隣接する建造ドックへ入渠させ、盤木上に着床させた(図31)。

(2) ゲート取外し所要機材及び時間

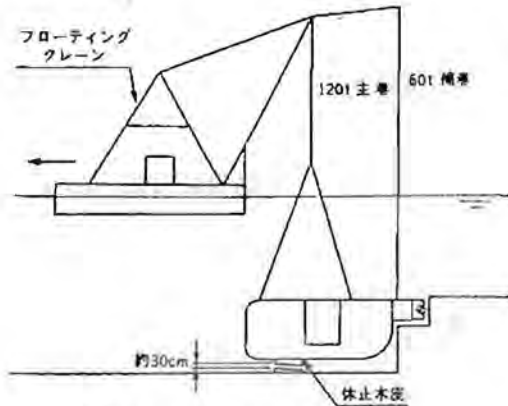


図 38 香焼ドックゲートの取外し  
Removement of Koyagi repair dock gate

ゲート取外し作業開始より盤木への着床までに要した主要機材は次のとおり。

- |                    |     |
|--------------------|-----|
| (a) 120t フロート型クレーン | 1 基 |
| (b) タグボート          | 4 隻 |

(うち 2 隻は建造ドックゲートの操作に使用)

ほかに、ゲートの水面下の状態を確認するために潜水夫 3 人が作業を行った。また、作業は早朝 5 時より始められ、同日 15 時着床が完了した。所要時間は約 10 時間であり、ほぼ予定どおりと言える。

### (3) 点検項目

本ゲートは 5 年に 1 回入渠し総点検を行うが、次の点をチェックポイントとしている。

- (a) 海洋生物の除去
- (b) 堆泥の除去
- (c) 塗装の塗り替
- (d) 水止ゴムの取替
- (e) 木座の取替
- (f) 防食板の取替
- (g) 外板の点検
- (h) シープ受梁の点検
- (i) 端末支承金物の点検
- (j) 側部支圧板の点検
- (k) シープ軸受の点検

## 8. 考 察

以上、ドック用トーショントイプフラップゲートの設計思想から構造詳細、実例、計測結果、保守点検までを紹介したが、得られた結果をまとめると以下のようになる。

- (1) トーショントイプフラップゲートの優位性が立証された。すなわち、
  - (a) 良好な水密性
  - (b) 強度的に有利 (軽量化)
  - (c) 土木の掘削量が少ない
  - (d) 製作が容易
  - (e) 開閉が容易
  - (f) 保守・点検が容易
- (2) 香焼及び MSHI の 2 件の実績を通して改善形状が得られた。すなわち、
  - (a) 支承金物形状はゲート全開付近で取外せる構造を選ぶ
  - (b) ゲート閉断面を浮力タンクとして利用することができれば補助タンクは不要
- (3) 設計値と実測応力、たわみの誤差が 10% 以内であり、設計時に行ったモデル化は妥当であった。

## 9. む す び

以上述べてきたように、大形ドックゲートとしてはトーショントイプフラップゲートが経済性、安全性などすべての面で優れている。また、2 基の実績を通じて貴重なデータも得られた。なお、香焼・MSHI 両ゲートとも完成後順調に稼動中である。今後大形(修繕)ドックを計画するに当たり、本論文が役立てられれば幸いである。

## 参 考 文 献

- (1) 高村、鯉坂、石橋、超大型ドックゲートの建造、土木技術、24 巻 6 号、p. 91~98
- (2) Sewell and Searle, A New Design of Flap Gate for No. 4 Dock, Malta, G.C., Proc. Inst. of Civil Eng. 33 (1966) paper No. 6912, p. 161~181
- (3) Lau, Rajasooria and Cheong, A Hydraulic Model Study of a Buoyancy Actuated Flap Gate for a Dry Dock, Fifth Australian Conference on Hydraulics and Fluid Mechanics at University of Canterbury, Christchurch, New Zealand (Dec. 1974) p. 26~33
- (4) 関内、野津、千葉造船所第 3 号ドックゲート、三井造船技報、第 86 号、p. 58~68
- (5) World's Largest Dock Gate, The Dock & Harbour Authority (Dec. 1973) p. 293~294
- (6) Seal H. and Seal G., Die Berechnung von Stützen in schwach gekrümmten Schalen, Der Stahlbau 5/1974, p. 147~156