

超大型振り構造ゲート

エマージング式

TeraMatsu

目 次

頁

1 . はじめに	1
2 . 構想設計の課題	3
2 . 1 断面拘束	3
2 . 2 浮体状態と没水状態	3
2 . 3 断面拘束ブロック構成部位の位置的干渉	3
2 . 3 . 1 拘束金物の干渉	5
2 . 3 . 2 拘束金物と底部止水ゴムの干渉。	5
2 . 3 . 3 止水シル（底部止水ゴム当たり）と反力ローラの干渉	5
2 . 4 側部止水ゴム（P型）のステム方向修動	5
3 . 構想設計	7
3 . 1 基本データ	7
3 . 2 一般配置図	8
3 . 2 . 1 全体配置	8
3 . 2 . 2 タンク配置と扉体傾斜	8
3 . 2 . 3 支持・止水機構	11

4 . 細部説明	12
4 . 1 全体配置	12
4 . 1 . 1 バラスト	12
4 . 1 . 2 捩りモーメントの最大値と変形	13
4 . 1 . 2 . 1 最大捩りモーメント	13
4 . 1 . 2 . 2 高潮圧による扉体の変形	15
4 . 1 . 3 扉体の全閉と全開	15
4 . 1 . 3 . 1 全閉と全開	15
4 . 1 . 3 . 2 全閉時の衝撃力	15
4 . 2 タンク配置と扉体傾斜	17
4 . 2 . 1 均衡タンクと沈降タンク	17
4 . 2 . 2 開閉操作中のローラ摩擦力	18
4 . 2 . 2 . 1 水圧荷重とローラ荷重	18
4 . 2 . 2 . 2 ローラ摩擦力	19
4 . 2 . 3 開閉操作中の扉体の縦傾斜角度	20
4 . 2 . 3 . 1 没水状態	20
4 . 2 . 3 . 2 浮体状態	23
4 . 2 . 4 復原性	25
4 . 2 . 4 . 1 浮体状態	25
4 . 2 . 4 . 2 没水状態	25
4 . 3 支持・止水機構	25
4 . 3 . 1 支持機構	25
4 . 3 . 1 . 1 潮流圧支持機構の寸法	26
4 . 3 . 1 . 2 高潮圧支持機構の寸法	26
4 . 3 . 1 . 3 断面拘束ブロック詳細	26
4 . 3 . 2 側部止水	27
4 . 3 . 2 . 1 側部水止め詳細	27
4 . 3 . 2 . 2 戸溝挿入ステップ	29
添付資料 1 計算方法：浮力による捩りモーメントの増加（図 4.-2）	34
添付資料 2 計算方法：没水状態の開閉操作に伴う縦傾斜角度（図 4.-10）	34
添付資料 3 計算方法：扉体縦傾斜に伴う摩擦力の変化（図 4.-11、図 4.-12）	35
添付資料 4 計算方法：浮体状態の開閉操作に伴う縦傾斜角度（図 4.-13）	35
添付資料 5 計算方法：浮体状態の復原性（表 4.-1）	36

1. はじめに

振り構造は曲げ構造等の構造形式に比較して重量的に優れていて、その優位性は構造の大型化に伴い顕著になるので、防潮堰の超大型ゲートへの適用メリットが大きいと考えられる。

表 1.-1 は振り構造が適用できる超大型ゲートの開閉方式を示す。列番 ① は開閉方向を示す。平行移動は流れ方向、これと直交する水平方向、これらと直交する垂直方向と分類され、回転運動は流れ方向軸周り、これと直交する水平軸周り、これらと直交する垂直軸周りに分類される。列番 ② は振り構造の可能性を示す。行番 1 と 4 は適用不可能である。行番 1 の流れ方向は扉体操作が困難であり、行番 4 の流れ軸周りは径間が数百メートルに及ぶことを考慮すると非現実的である。列番 ③ は技術提案の対象を示す。行番 5 はフラップ式として実在する普及技術である。列番 ④ は超大型振り構造ゲートの実現を目的とした新技術を示す。ローリング式とスイング式は既に検討が済んでおり、残るエマージング式の可能性確認が本書の目的である。

表 1.-1 超大型振り構造ゲートの開閉形式

行 番	①開閉方向		②振り構造の適用		③ 技術提案 の対象	④ 技術提案の形式名称
	様態	方向	可能性	理由		
1	平行移動	流れ方向	×	操作困難	—	—
2		水平方向	○		○	ローリング式
3		垂直方向	○		○	エマージング式
4	回転運動	流れ軸	×	非現実的	—	—
5		水平軸	○		普及技術	—
6		垂直軸	○		○	スイング式

エマージング式は海底を掘り込んで設けた格納スペースから扉体が垂直方向に移動して水面上に姿を現し、更に上昇して航路スペースを閉鎖する方式で、実例や提案例がある(例：セントペテルスブルグ防潮堤、ミシシッピー川水門、パナマ運河 Deep Draft Lock Plan 等)。しかしこれ等のゲートは曲げ構造であり、振り構造の適用でコスト低減を計ると共に更なる大型化を経済的に実現することが本技術提案の目標である。

エマージング式に振り構造を適用するに当たっての課題を以下に示す。

高潮圧と潮流圧に対応する断面拘束が必要である。

扉体運動は浮体状態と没水状態がある。

断面拘束ブロック構成部位の位置的干渉

- 1)コンクリート壁拘束金物（支承・楔）と扉体側拘束金物（反力軸・楔）の干渉。
- 2)コンクリート壁拘束金物（支承）と底部止水ゴムの干渉。
- 3)コンクリート壁止水シル（底部止水ゴム当たり）と反力ローラの干渉
側部止水ゴム（P型）のステム方向修動

本書では、最初に、課題の詳しい説明を行い、構想設計2例で対応方法を示し、更に、浮力による扉体応力半減案を含めて設計の細部説明を行う。構成は以下の通り。

- (1) 課題説明
- (2) 構想設計
- (3) 細部説明

検討結果から次の結論が得られた。

- (1) エマージング式超大型捩り構造ゲートは実現可能である。
- (2) エマージング式超大型捩り構造ゲートで大巾なコスト低減が可能と考えられる。
- (3) 施工段階で全閉時衝撃力に対する支承アツカ強度吟味が必要である。

2 . 構想設計の課題

2 . 1 断面拘束

振り構造は薄肉閉断面と断面拘束により特徴付けられる。断面拘束は扉体の横断面が一点で拘束されている状態で、条件は平行移動拘束、回転運動自由である。防潮扉は台風時に高潮の水圧力に耐え、開閉操作時は潮流圧を受ける。拘束点は二つの荷重の反力点である。荷重の性質が著しく異なるので、扉体の長大化に伴い二重の断面拘束が必要になる。負荷条件の相違は以下の通りである。

(1) 高潮圧の負荷条件

大きさが潮流圧に比較して著しく大きい(例：50倍)。

扉体全閉状態で作用する。

海側から作用する。

(2) 潮流圧の負荷条件

高潮圧に比較して著しく小さい。

開閉操作中の全開度で作用する。

海側・陸側の両方向から作用する。

2 . 2 浮体状態と没水状態

従来のエマージング式は機械式開閉装置であった。機械的開閉では浮体状態と没水状態の区別は存在しない。径間が数百メートルに及ぶ超大型ゲートでは浮力タンクによる開閉が不可避と考えられる。その結果、扉体の安定性が異なる浮体状態と没水状態が発生する。以下の記述ではこれ等の定義を次の様に割り切る。自重と釣り合う浮力タンクがあって、浮力タンクが100%水没している状態を没水状態、浮力タンクが全部又は一部水面より上に露出している状態を浮体状態と呼ぶ。バラストウエートを含んだ扉体部材の排水量は無視する。没水状態と浮体状態では扉体の復原力メカニズムが全く異なる。浮体状態では浮力と自重が均衡するが、没水状態では扉体は上昇状態又は下降状態にあり、静止状態を保つことは困難である。

2 . 3 断面拘束ブロック構成部位の位置的干渉

図2.-1は断面拘束ブロックを示す。拘束ブロックは断面拘束と底部止水の機構を含む。断面図は扉体と格納スペースを示す。詳細Aは断面拘束ブロックを示し、詳細A(全閉)は扉体の全閉、詳細A(半開)は扉体の半開状態を示す。コンクリート壁には拘束金物

(支承)、止水シル(底部止水ゴム当たり)、ローラ逃げがある。半開状態に於いて扉体側にある拘束金物(反力軸)、底部止水ゴム、反力ローラは扉体と共に上昇して、全閉状態には反力軸が支承と一体となり、止水ゴムは止水シルに乗り、底部止水と底部支持が完成する。反力ローラは上昇する扉体を受ける潮流圧の反力点として作用するが、全閉状態ではローラ逃げの位置に停止して役目を終える。

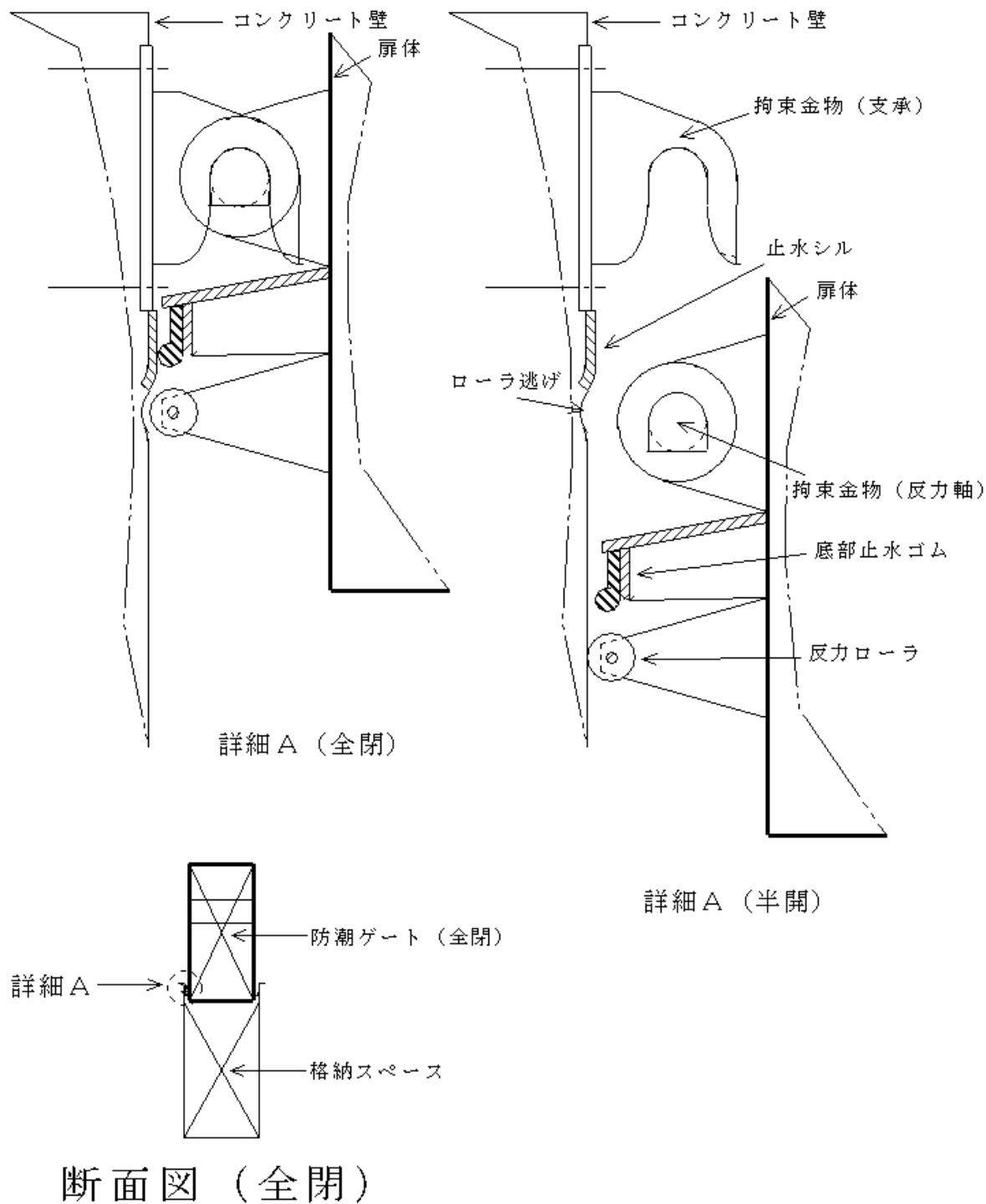


図 2.-1 断面拘束ブロック

2.3.1 拘束金物の干渉

図 2.-1 で示されるようにコンクリート壁の拘束金物（支承）と扉体側の拘束金物（反力軸）は開閉操作時は支障なく機能するが、建設時や維持管理時にお互いが干渉し、扉体の戸溝内での降下・上昇が妨げられる。

2.3.2 拘束金物と底部止水ゴムの干渉。

図 2.-1 で示されるようにコンクリート壁の拘束金物（支承）と扉体側の底部止水ゴムは開閉操作時は支障なく機能するが、建設時や維持管理時にお互いが干渉し、扉体の戸溝内での降下・上昇が妨げられる。

2.3.3 止水シル（底部止水ゴム当たり）と反力ローラの干渉

図 2.-1 で示されるようにコンクリート壁の止水シルと扉体側の反力ローラは開閉操作時は支障なく機能するが、建設時や維持管理時にお互いが干渉し、扉体の戸溝内での降下・上昇が妨げられる。

2.4 側部止水ゴム（P型）のステム方向修動

図 2.-2 はシル上の側部止水ゴム（P型）の摺動方向を示す。クランプバーで扉体に取り付けられた P 型ゴムはバルブとステムで構成されている。図はバルブ方向とステム方向の 4 方向の摺動を示している。門扉が稼働中の摺動方向はバルブ方向であり、支障無く機能する。建設時と維持管理時にはステム方向の摺動が加わるが、×印のついた方向はバルブがクランプバーとシルに挟み込まれ、止水機構の寿命が著しく低下する。

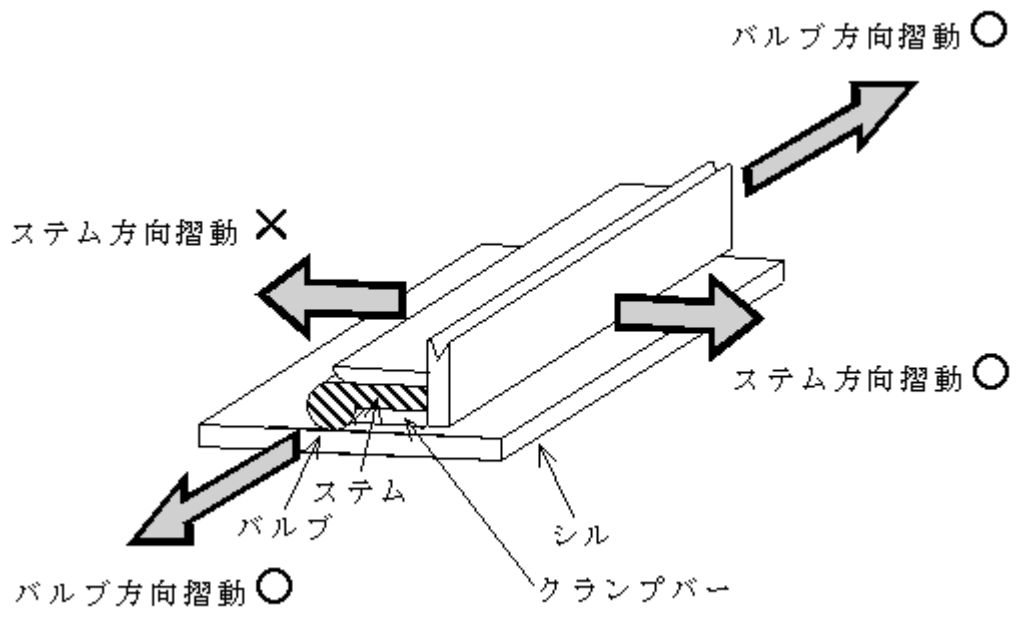


図 2.-2 止水ゴムの摺動方向

3. 構想設計

構想設計の目的は提案方式の実現性検証である。事例以外にもケースがあり得る。

3.1 基本データ

表 2.-1 計画データ

項目		条件値	単位	備考
全体寸法	径間	450	m	〇〇港設計結果A案 (超大型 Tidal Gate) (鋼重除く)
	扉高	23		
	扉巾	12.5		
水位条件	設置水深	16		
	潮位差	5		
	乾舷	2		
鋼重 (超概算)	扉体	18000	tf	
	戸当たり	1500		
	開閉機	500		
	合計	20000		
重心 (仮定値)	水平方向	18.75	m	径間中心より
	垂直方向	11		扉高中心

表 2.-2 操作条件

条件項目	単位	操作条件1	操作条件2	操作条件3
操作流速:	m/sec	1.00	1.30	1.60
	kt	1.94	2.53	3.11

表 2.-1 及び表 2.-2 は構想設計の基本とした計画データと操作条件を示す。表 2.-1 の水位条件は平常時水位を設置水深で表し高潮時の潮位差を 5 m としいる。即ち、高潮時の港側水深が 16 m で高潮時の海側水深が 21 m である。潮位変動は常時存在していて扉体設置時、開閉操作時、高潮時の港側水位は一定であり得ない。しかし本書の目的が実現性検証であり、検討単純化の為に扉体設置時、開閉操作時、及び、高潮時の港側水深を一定として設置水深で表した。本書の中で設置水深は設置水位とも呼ぶ。又、表中の鋼重は超概算値である。開閉操作は表 2.2 に示す操作条件 3 で検証した。

3.2 一般配置図

図 3.-1 と 3.-2 は 2 例の一般配置を示す。共通点は浮力タンクによる開閉、扉体中央分割、分割ブロック片側端末支持、相違点は側部止水達成の為の扉体・コンクリート間の塞ぎ方である。図 3.-1 が固定式側部止水であるのに対し、図 3.-2 は開閉式側部止水である。

一般図は全体配置、タンク配置、支持・水密機構から構成されている。2 案の全体配置とタンク配置は同一内容であり、支持・水密機構のみが若干異なる。

3.2.1 全体配置

2 案の全体配置は同一である。平面図（全閉状態と全開状態）とその断面図から成り、断面図は両端の断面も示した。平面図に防潮ゲート、間隙ゲート、サイドローラブロックを示した。断面 A と B に防潮ゲート、間隙ゲート、断面 A に格納スペースを示した。更に、断面 A には扉体の水密隔壁、断面拘束ブロック、底部ローラ、及び、格納スペースの底部ローラ受け、サイドローラガイドを示した。又、断面図の右端断面に偶力楔を示した。

3.2.2 タンク配置と扉体傾斜

2 案のタンク配置及び扉体傾斜は同一である。バラストを含めた扉体重量 = 10061tf である。タンクは左均衡タンク、右均衡タンク、沈降タンクであり、均衡タンクの浮力中心は扉体重心（バラスト含む）に一致し、浮力は扉体重量より若干大きい。沈降タンクは右均衡タンク内に設置され、その中心は扉体重心に一致し、均衡タンクから沈降タンクを引いた容積浮力は扉体重量より若干小さい。均衡タンクの天井高さは扉体の設置水位と一致している（断面 A 参照）。稼働時の開閉操作は総て没水状態で行われる。操作は沈降タンクへの注水・排水による。扉体傾斜は没水状態の下降時と上昇時、及び、浮体状態を示した。3 状態に於ける浮力と扉体傾斜は以下の通りである（課題 2.2 浮体状態と没水状態）。

【没水状態・沈降時】

左均衡タンク = 4163tf（浮力）

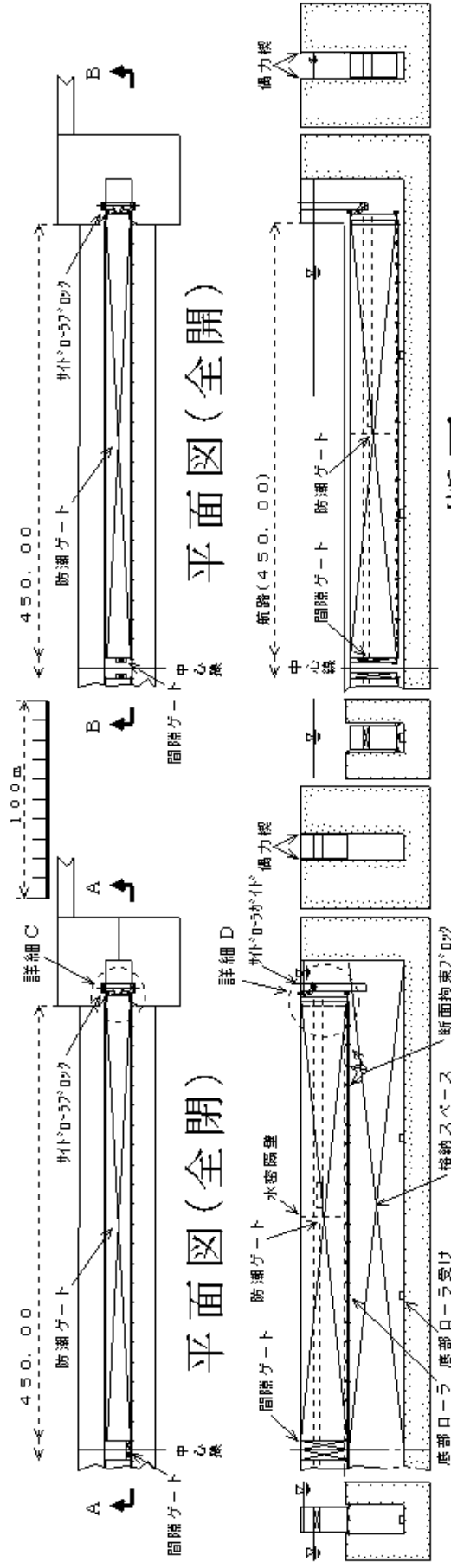
右均衡タンク = 6098tf（浮力）

沈降タンク = -403tf（充水状態）

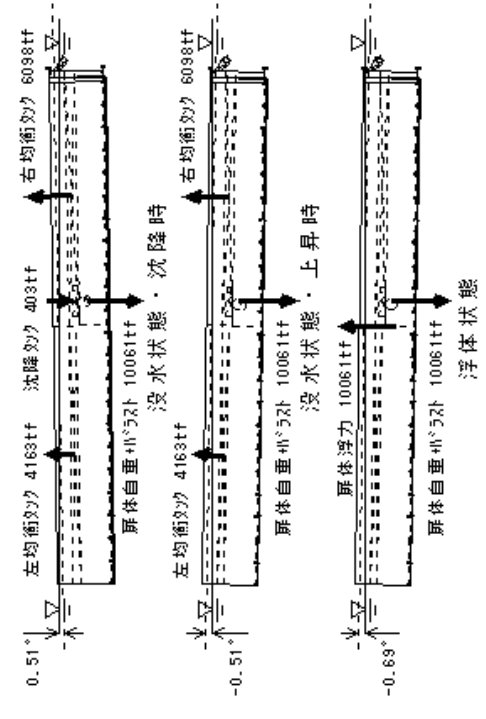
合計浮力 = 4163+6098-403 = 9858tf

自重 = 10061tf

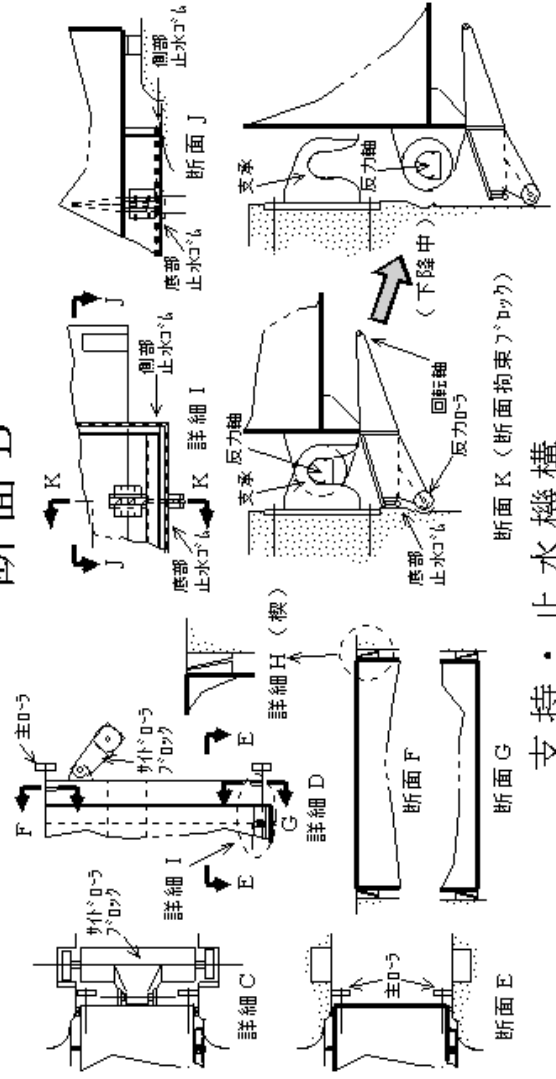
沈降力 = 10061-9858 = 203tf



断面 A



断面 B



タンク配置と扉体傾斜

支持・止水機構

図3.-1-一般配置図(側部止水固定)

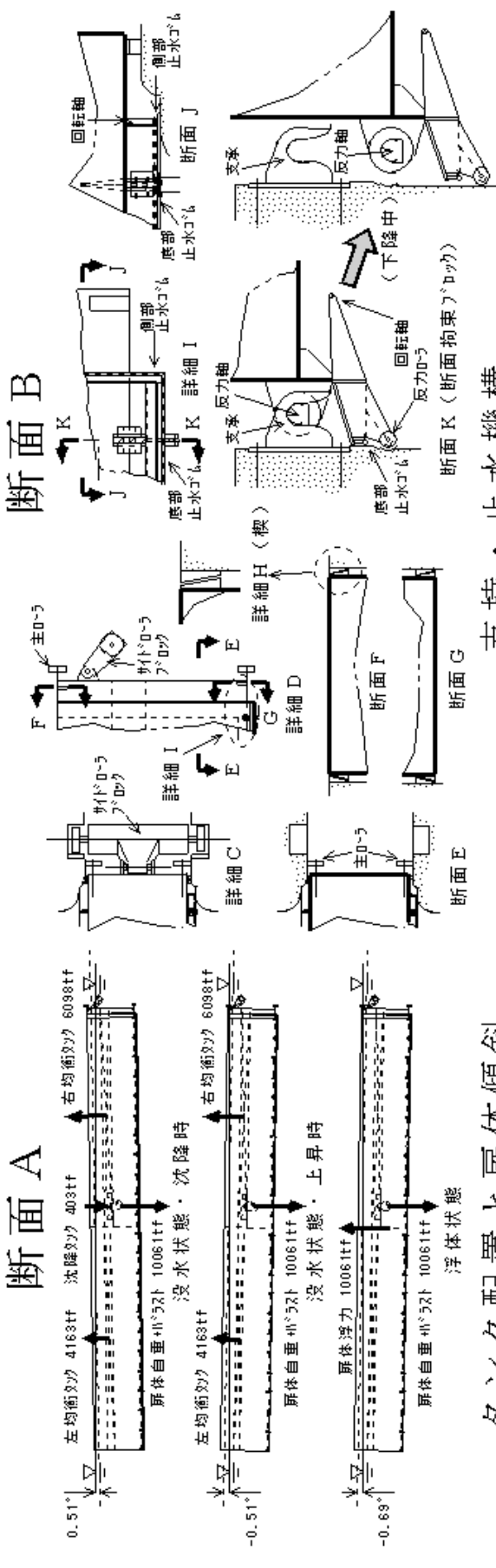
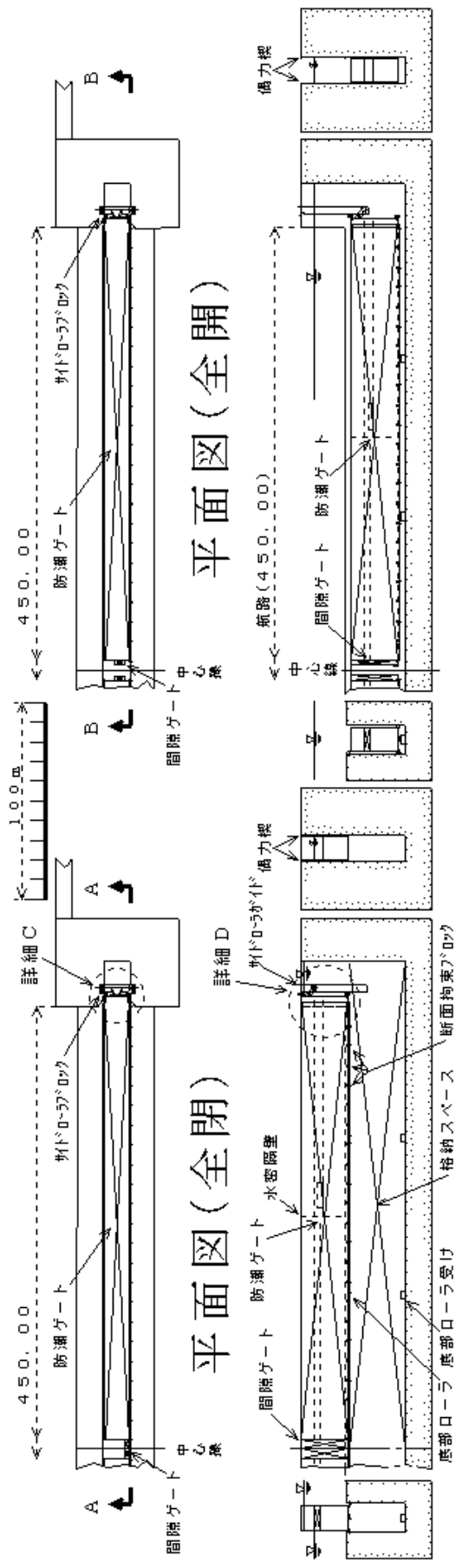


図3.2-2 一般配置図(側部止水開閉)

ローラ摩擦力中心と重心のずれによる傾斜角度 = 0.51° (反時計方向)

【没水状態・上昇時】

左均衡タンク = 4163tf (浮力)

右均衡タンク = 6098tf (浮力)

沈降タンク = 0tf (空隙状態)

合計浮力 = $4163+6098 = 10261$ tf

自重 = 10061tf

上昇力 = $10261-10061 = 200$ tf

ローラ摩擦力中心と重心のずれによる傾斜角度 = -0.51° (時計方向)

【浮体状態】

扉体浮力 = 10061tf

自重 = 10061tf

扉体浮力中心及びローラ摩擦力中心と重心のずれによる傾斜角度 = -0.69° (時計方向)

3.2.3 支持・止水機構

2案は側部止水機構を除き同一内容である。共通部分及び側部止水に分けて説明する。

【共通部分】

全体配置(全閉)に示す詳細CとDが支持・止水機構図の始点である。詳細CとDにサイドローラブロック、詳細Dと断面Eに主ローラ、断面F、G、及び、詳細Hに偶力楔を示した。断面Iと断面Jに底部止水ゴムと側部止水ゴムを示した。断面Kは支承、反力軸、底部止水ゴム、反力ローラで構成する断面拘束ブロックの扉体全閉時姿を示し、扉体下降中の姿も矢印で示した。

全閉状態の扉体に作用する高潮圧は断面Kに示す支承と反力軸で受け、扉体に残る捩りモーメントは捩り剛性で扉体の端末に伝達され、断面F、G、及び、詳細Hに示す偶力楔に作用する偶力と釣り合い、開閉操作中の扉体に作用する潮流圧は断面Kに示す反力ローラで受け、扉体に残る捩りモーメントは捩り剛性で扉体の端末に伝達され、詳細Dと断面Eに示す主ローラに作用する偶力と釣り合う(課題2.1 断面拘束)。

詳細CとDに示すサイドローラブロックは扉体と軸結合されていて、建設時や維持管理時に軸を中心としたブロックの回転による戸溝内扉体位置の変更で断面Kに示す支承と反力軸の位置的干渉回避が可能であり(課題2.3.1 支持金物の干渉)、断面Kに示す底部止水ゴムと反力ローラは一体構造で建設時や維持管理時に断面Kに示す回転軸を中心に 90° 回転して扉体底面に格納することにより、断面Kに示す支承と底部止水ゴムの位置的干渉回避が可能であり(課題2.3.2 支持金物と底部止水ゴムの干渉)、また、図2.-1に示す止水シルと断面Kに示す反力ローラの位置的干渉回避が可能である(課題2.

3.3 止水シルと反力ローラの干渉)。

【側部止水】

詳細 I と詳細 J に示す側部止水ゴムは、図 3.-1 (側部止水固定) では扉体に固定されているのに対し、図 3.-2 (側部止水開閉) では扉体と軸結合されていて、建設時や維持管理時に軸を中心とした止水ゴムの回転で扉体・コンクリート間隙を開閉して図 2.-2 (止水ゴムの摺動方向) に×印で示したステム方向摺動の回避が可能である (課題 2.4 側部止水ゴム (P 型) のステム方向修動)。側部止水固定では建設時や維持管理時の本課題に対して扉体の開閉操作で対応する。

4. 細部説明

前項で説明した構想設計の全体像の個々の事項を詳細に説明する。

4.1 全体配置

4.1.1 バラスト

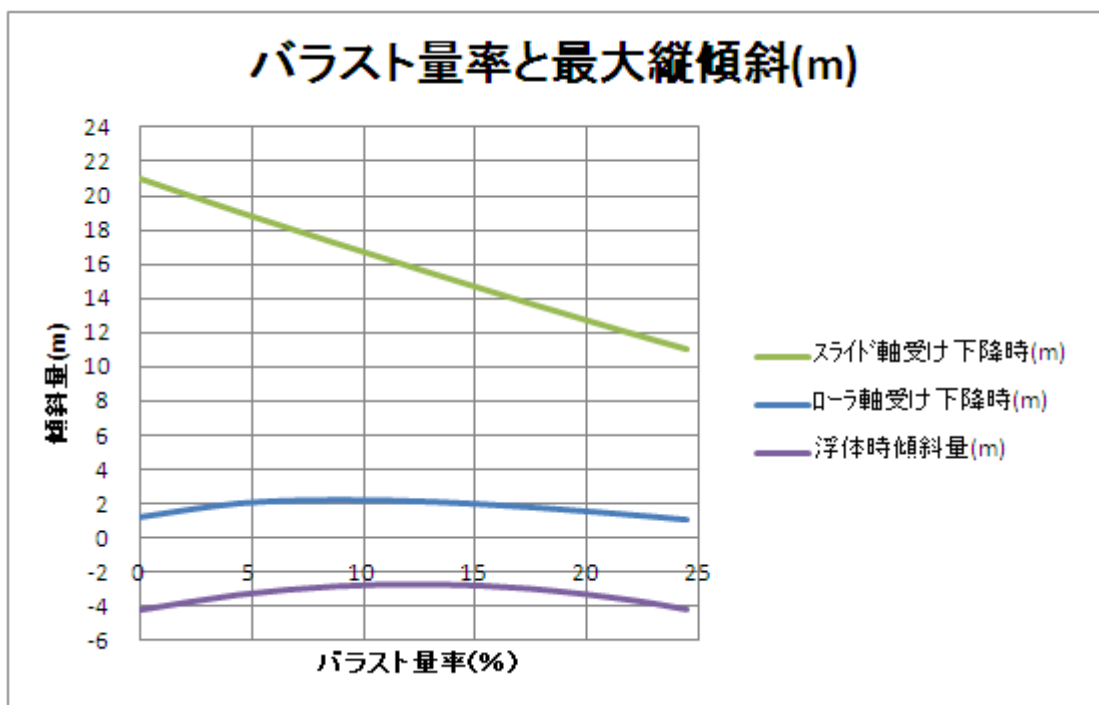


図 4.-1 バラスト量率 (%) と扉体最大傾斜量

捩り構造の重心は支持端側に大きくずれるので浮体状態に於ける大きな扉体傾斜を緩和する目的で鋼製バラストを搭載する。尚、浮体状態に於ける扉体安定性は極めて大きい

で、ローラ摩擦の縦傾斜への影響は軽微である。 バラスト量は下記の条件で設定した。

積み込み位置：扉体底板上全幅で非支持端寄り

積み込み高さ:0.1m

容積及び積み込み長を浮体状態傾斜が最小となるバラスト率で決定する。

(バラスト率 = バラスト重量 ÷ 扉体鋼重量 × 100。)

バラスト比重 : 7.85

図 4.-1 はバラスト率に対する扉体の最大縦傾斜量(非支持端喫水 - 支持端喫水)の計算結果である。これから次の結果が得られた。尚、計算では扉体とバラストの排水量を無視している。

- ・浮体状態傾斜量が最低となるバラスト率 = 12%
- ・バラスト容積 = 135m³
- ・積み込み長さ = 108m
- ・バラスト重量 = 1060tf

4.1.2 捩りモーメントの最大値と変形

4.1.2.1 最大捩りモーメント

全閉状態の扉体には位置保持の為の浮力とその反力(支承から作用する)で形成される捩りモーメントが作用するので、高潮捩りモーメントに浮力捩りモーメントを加算した値が扉体に作用する最大捩りモーメントである。図 4.-2 は浮力による捩りモーメントの増加を示している。高潮捩りモーメントの最大値を 100%として浮力捩りモーメントおよび両者の合計値の増加状況を潮位に対して表した。浮力による捩りモーメントの増加率は 7%程度である。同図に示す減殺捩りモーメントは図 4.-3 に示す支承&反力軸(断面拘束点)を海側に配置した場合の値で、浮力捩りモーメントが逆符号になる為に合計値に減殺効果が現れて 7%程度の減殺が期待できる。

図 4.-3 は捩りモーメント減殺に浮力を利用する断面拘束点配置を示す。要点は下記の通りである。

支承と反力軸(断面拘束点)を海側に配置する(構想設計と異なる)。

均衡タンク天端を扉体天端に合わせる(構想設計と異なる)。

底部止水ゴムと反力ローラ配置は構想設計と同一とする。

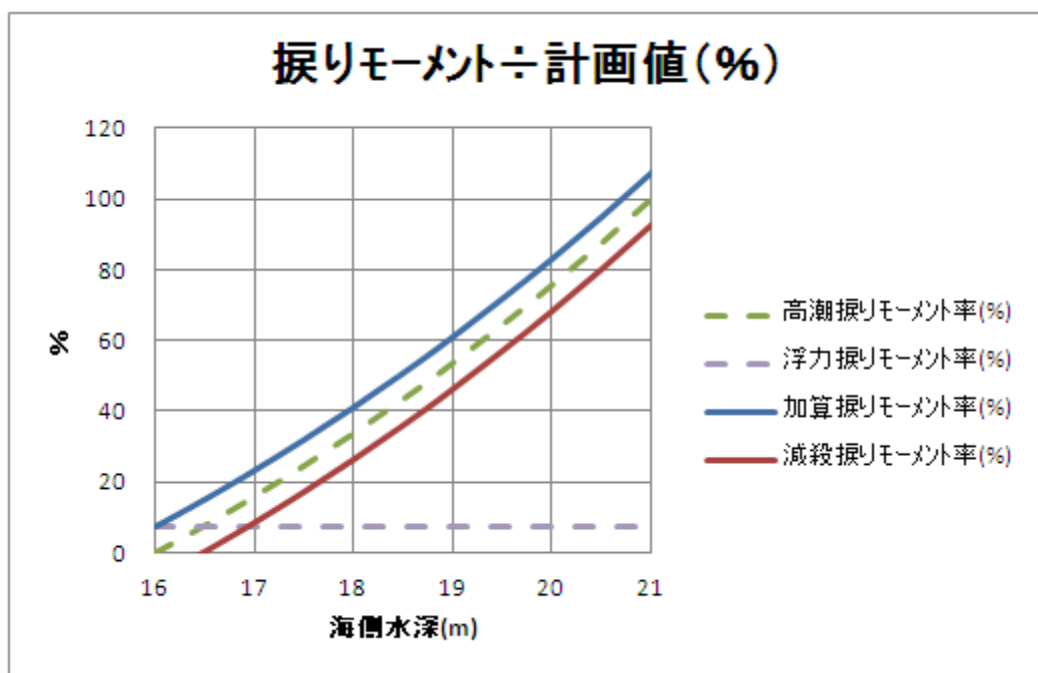


図 4.-2 浮力による振りモーメントの増加

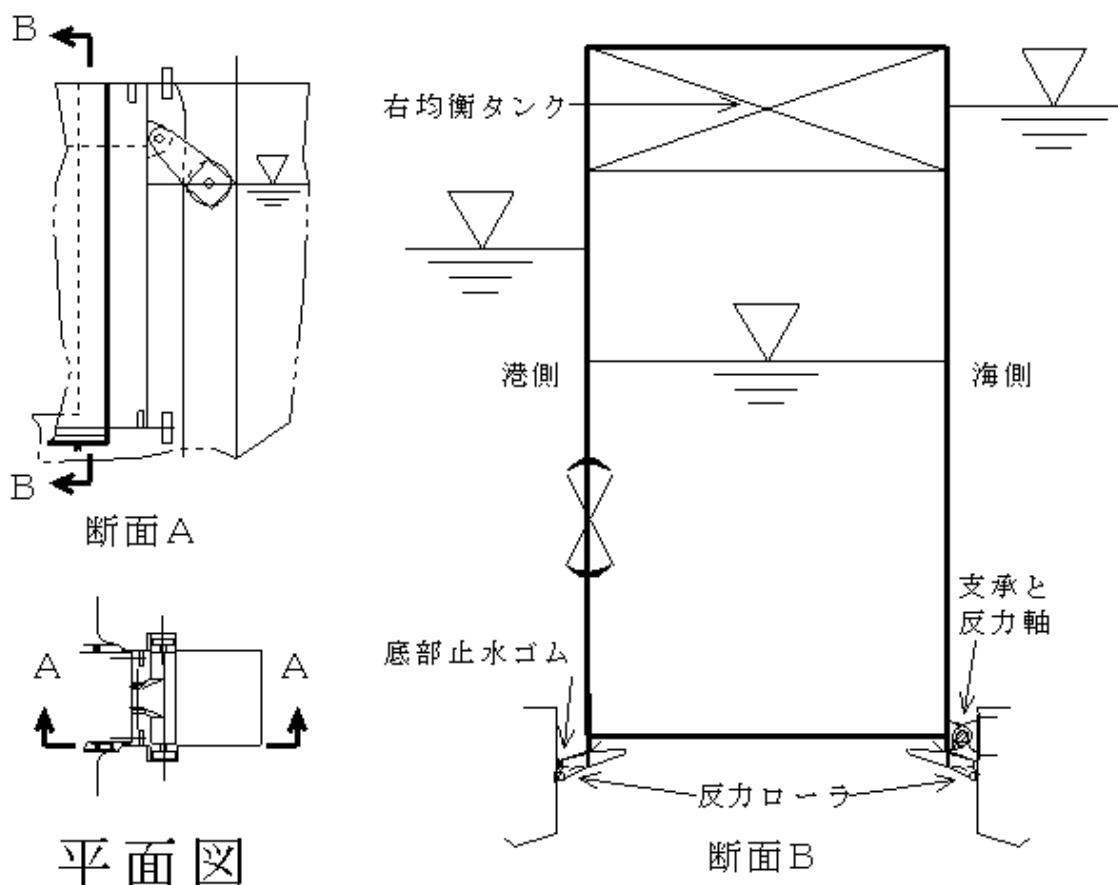


図 4.-3 振りモーメント減殺に浮力を利用する断面拘束点配置

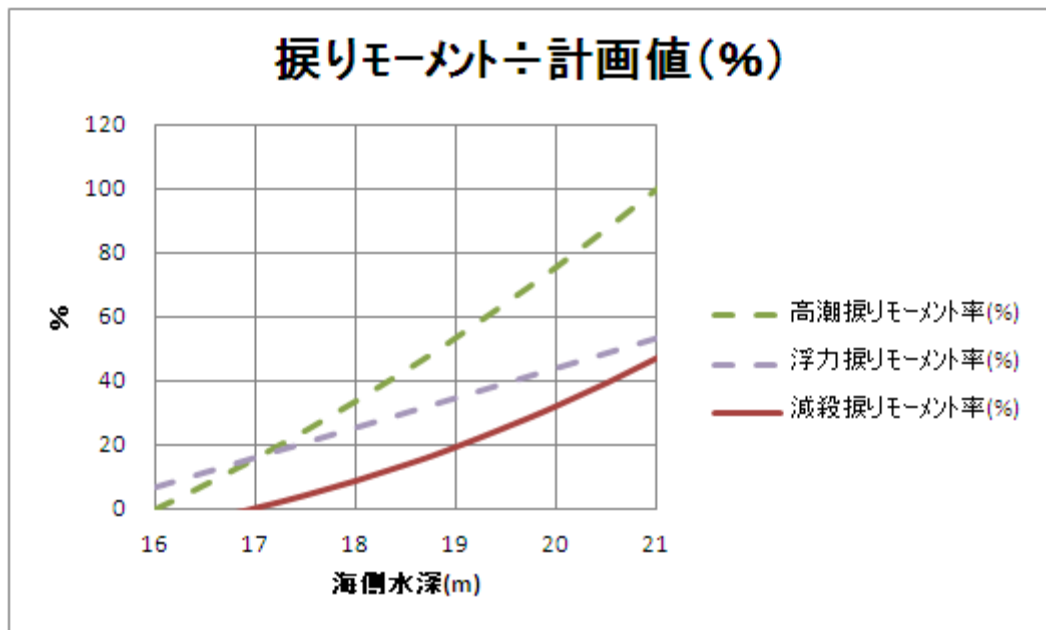


図 4.-4 断面拘束点変更の効果（浮力による振りモーメント減殺）

図 4.-4 は断面拘束点変更の効果（浮力による振りモーメント減殺）を示す。最高潮位時に 53% の減殺が期待できる。コンクリート壁の荷重負担が増加するが、大きなコスト的メリットには変わりはない。尚、計算方法は添付資料 1 に示した。

4.1.2.2 高潮圧による扉体の変形

高潮時変形量 回転角 = 1.20°（最大）

変位 = 49.2cm（最大、扉体天端）

4.1.3 扉体の全閉と全開

4.1.3.1 全閉と全開

図 4.-5 は扉体の全閉・全開状態の詳細を示す。全閉状態では断面 B、C、D で底部支持ブロック、側部止水ゴム、及び、偶力楔の状態を示し、全開状態では断面 A で格納スペース内の扉体、断面 C と D で偶力楔の配置詳細を示す。

4.1.3.2 全閉時の衝撃力

扉体は一定浮力で加速されて上昇を続けるので、蓄積エネルギーが全閉位置で解放され

る際に衝撃力が発生する。エネルギーは扉体の歪みエネルギーとして吸収され、衝撃力が緩和される（資料”スイング方式”参照）。施工段階では衝撃力に対する支承のアンカ-強度吟味が必要である。

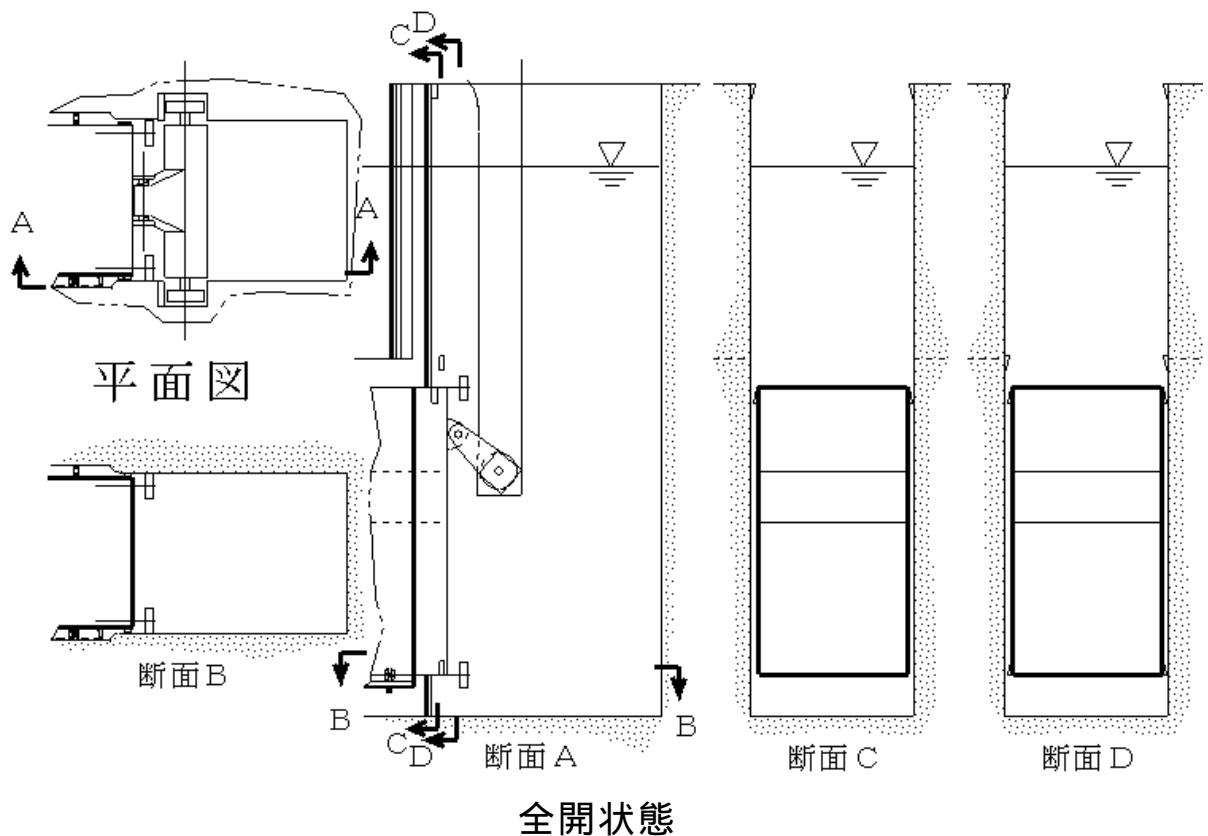
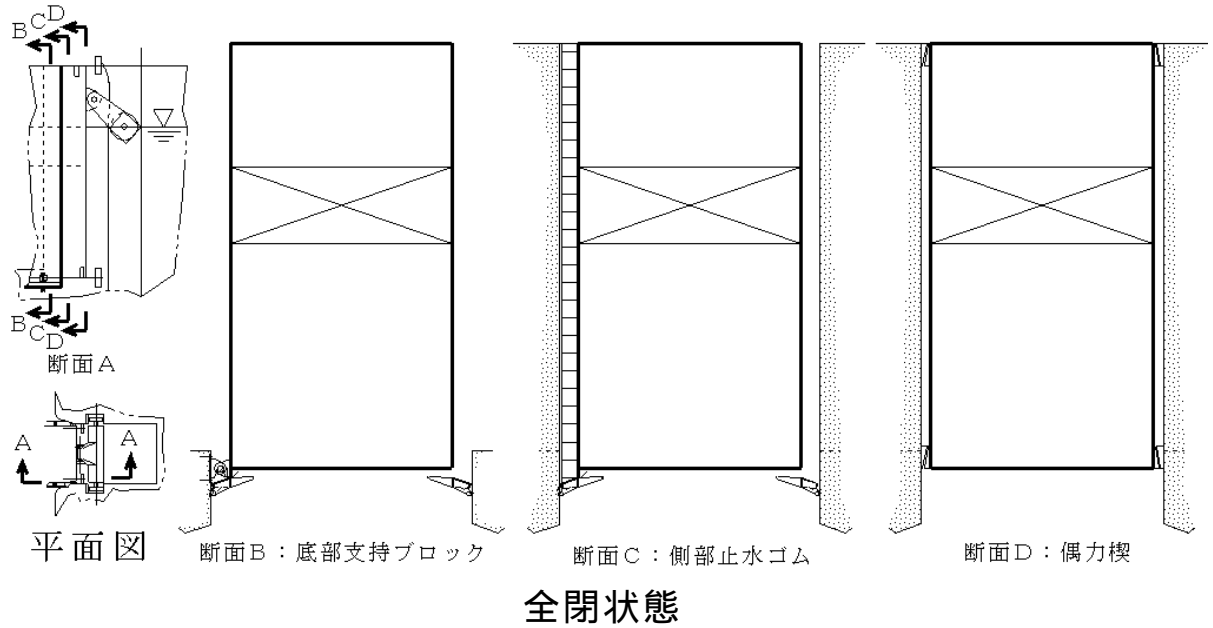


図 4.-5 全閉・全開状態

4.2 タンク配置と扉体傾斜

4.2.1 均衡タンクと沈降タンク

均衡タンク（左、右）と沈降タンクを扉体内に設置する。均衡タンクの目的は没水状態に於ける自重（扉体 + バラスト）の減殺であり、沈降タンクの目的は没水状態に於ける扉体の沈降・上昇操作である。

(1) 均衡タンク

左右均衡タンクの高さを次の条件で決定した。

タンク巾は扉巾とする。

左、右それぞれのタンク長は扉体全長（225m）の半分とする。

左右タンクの浮力中心は扉体重心（扉体 + バラスト）と一致させる。

重量計算誤差 1%と仮定して合計排水量は扉体自重の2%増しとする。

（扉体重量の1～3%に当たる上昇浮力を確保する）

計算結果

尚、計算結果は扉体とバラストの排水量を無視して得られた。

- ・ 排水量 = $F_b = \text{計算値} \times 1.02 = 10260.945\text{m}^3$ (計算値)、 10266m^3 (採用値)
- ・ 半扉長 = $L = 225\text{m}$
- ・ 扉巾 = $l = 12.5\text{m}$
- ・ 高さ 右 : $a = 4.337\text{m}$ (計算値)、 4.300m (採用値)
左 : $b = 2.960\text{m}$ (計算値)、 3.000m (採用値)

(2) 沈降タンク

沈降タンクの長さを次の条件で決定した。

設置位置：右均衡タンク内底面で、容積中心と扉体重心を一致させる。

巾は均衡タンク巾と同一。

高さ = $h_{ch} = 2.5\text{m}$

重量計算誤差 1%と仮定してタンク排水量を扉体自重の4%とする。

（扉体重量の1～3%に当たる沈降重量を確保する）

計算結果

- ・ 容積 = $V = \text{排水量} \times 0.04 = 402$ (計算値)、 403.125m^3 (採用値)
- ・ 長さ = 12.876m (計算値)、 12.9m (採用値)
- ・ 高さ = $h_{ch} = 2.5\text{m}$
- ・ 巾 = 12.5m

4.2.2 開閉操作中のローラ摩擦力

4.2.2.1 水圧荷重とローラ荷重

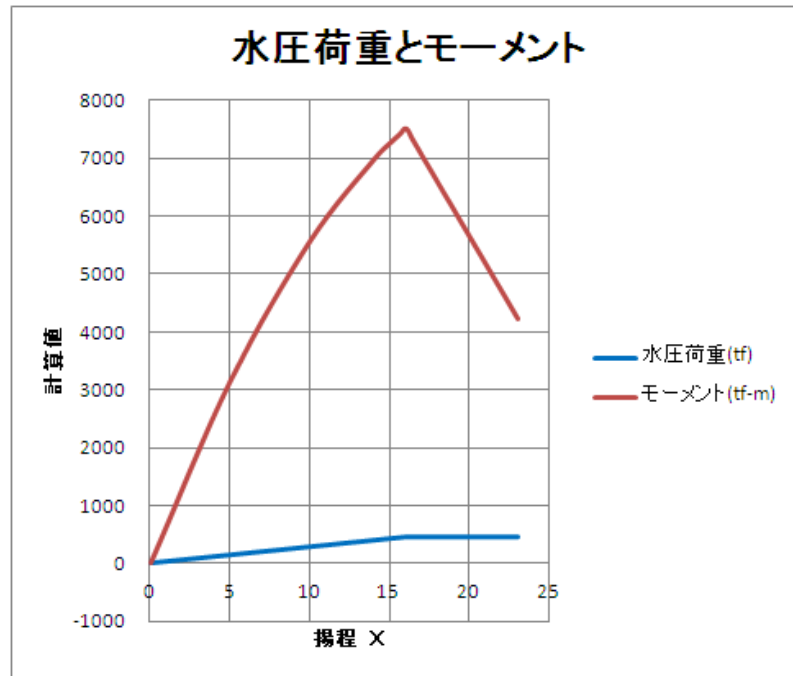


図 4.-6 開閉操作中の水圧荷重と外部捩りモーメント

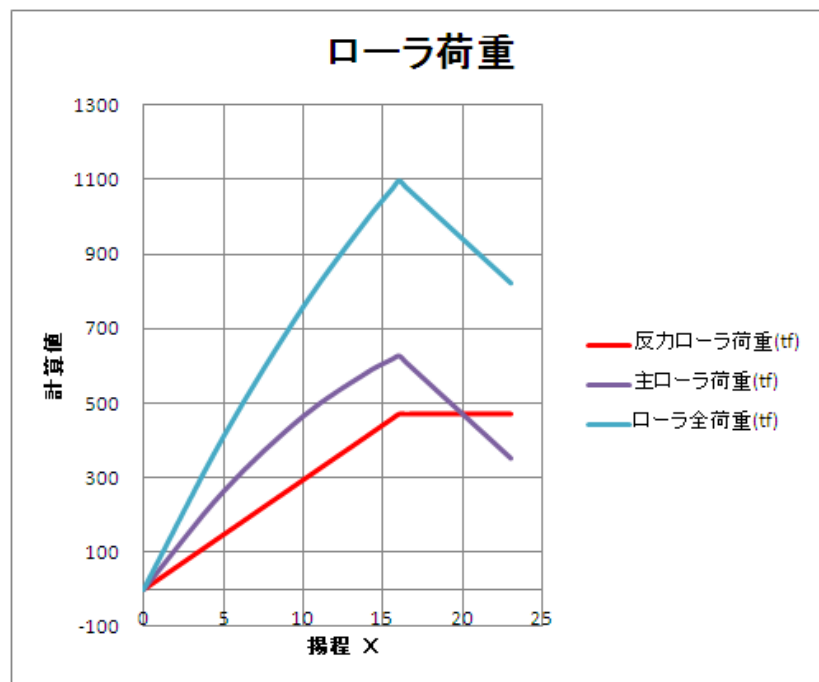


図 4.-7 ローラ荷重

開閉操作時の扉体に潮流圧が作用する。開閉操作は操作条件3、設置水深潮位で行われ、潮流圧は扉体格納スペースから水中に現れた扉体面積に等しく分布すると仮定する。図4.-6及び図4.-7がゲート揚程（格納スペース上面から全閉時扉体頂面迄の高さ）に対する水圧荷重とモーメント及びローラ荷重の計算結果である。水圧荷重は扉体半分に作用する値、モーメントは支持端末への伝達値、反力ローラ荷重は扉体半分の合計値で水圧荷重に等しく、主ローラ荷重は2個分の単純合計値であるが、作用方向が逆の偶力である。

4.2.2.2 ローラ摩擦力

開閉操作時の反力ローラ及び主ローラに図4.-7の荷重が作用して図4.-8のローラ摩擦力が発生する。反力ローラはスライドベアリング、主ローラはローラベアリングで、それぞれのころがり摩擦係数を0.05と0.01とした。結果はそれぞれのローラの合計である。図4.-9は主ローラ摩擦に対する反力ローラ摩擦の比率である。別項で示す扉体傾斜角度の参考情報である。没水状態での開閉操作に於ける扉体傾斜角度緩和の目的で主ローラにローラベアリングを採用した。図4.-1がスライドベアリングの傾斜角度との差を示している。

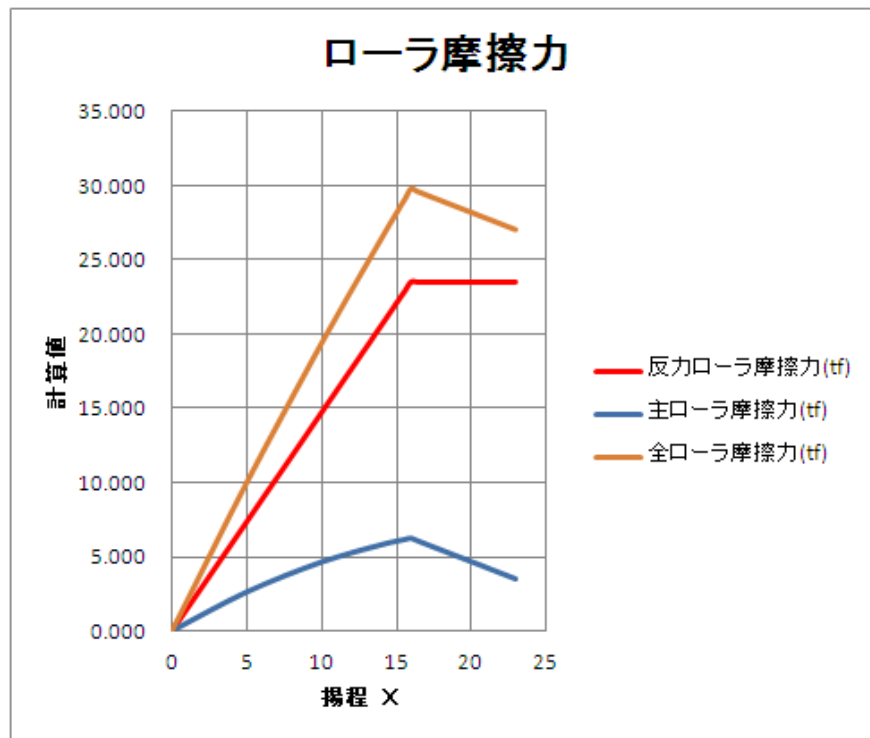


図 4.-8 ローラ摩擦力

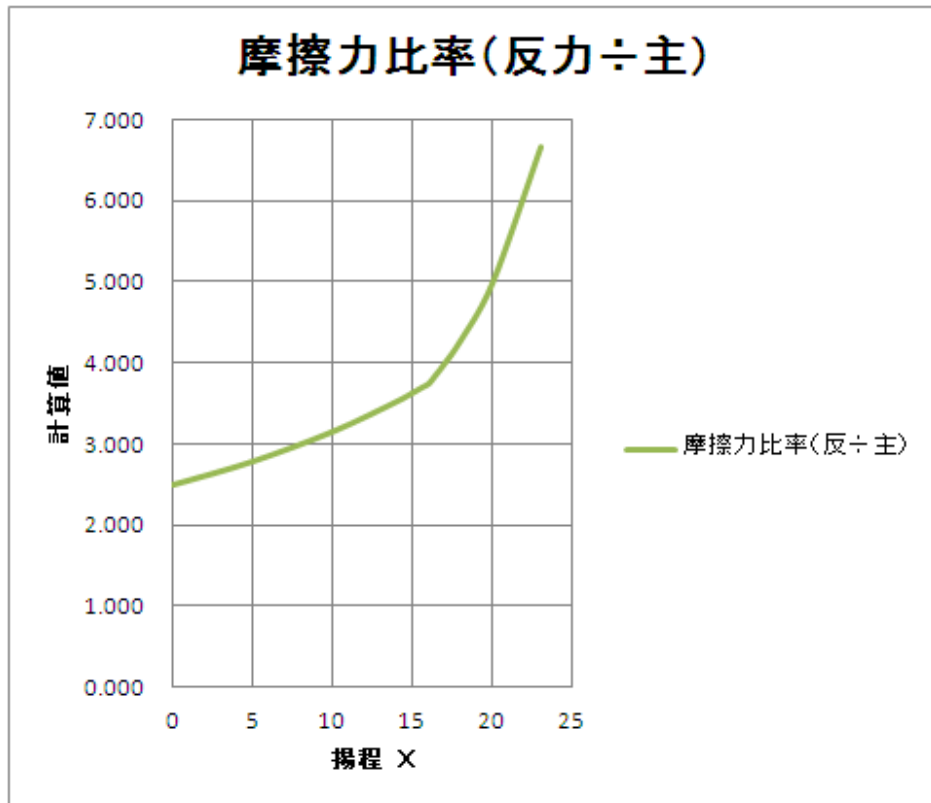


図 4.-9 ローラ摩擦力の比率

4.2.3 開閉操作中の扉体の縦傾斜角度

4.2.3.1 没水状態

全閉状態に於いて均衡タンクの天井が扉体の設置水位と一致しているので、全閉から全開迄の全揚程で没水状態での開閉操作を選択することができる。開閉操作中の扉体には図 4.-3 に示すローラ摩擦力が作用して、摩擦力中心と浮力/重力中心の水平方向のずれから扉体に縦傾斜が発生する。傾斜は摩擦力による傾斜モーメントと浮力中心と重力中心の垂直方向のずれによる起立モーメントが等しくなる角度で均衡する。図 4.-10 は没水状態の開閉操作に伴う縦傾斜角度(°)で、ゲート揚程(格納スペース上面から全閉時扉体頂面迄の高さ)に対して示している。尚、計算方法は添付資料 2 に示した。

計算条件は下記の通りである。

潮位：設置水位

均衡タンク：空隙状態

沈降タンク：充水状態(沈降時)、空隙状態(上昇時)

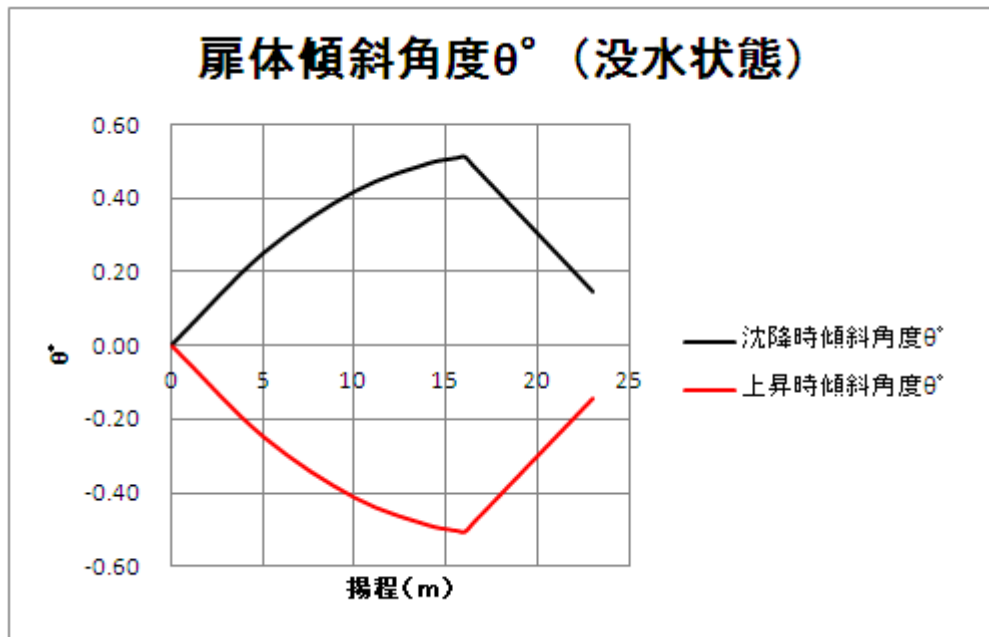
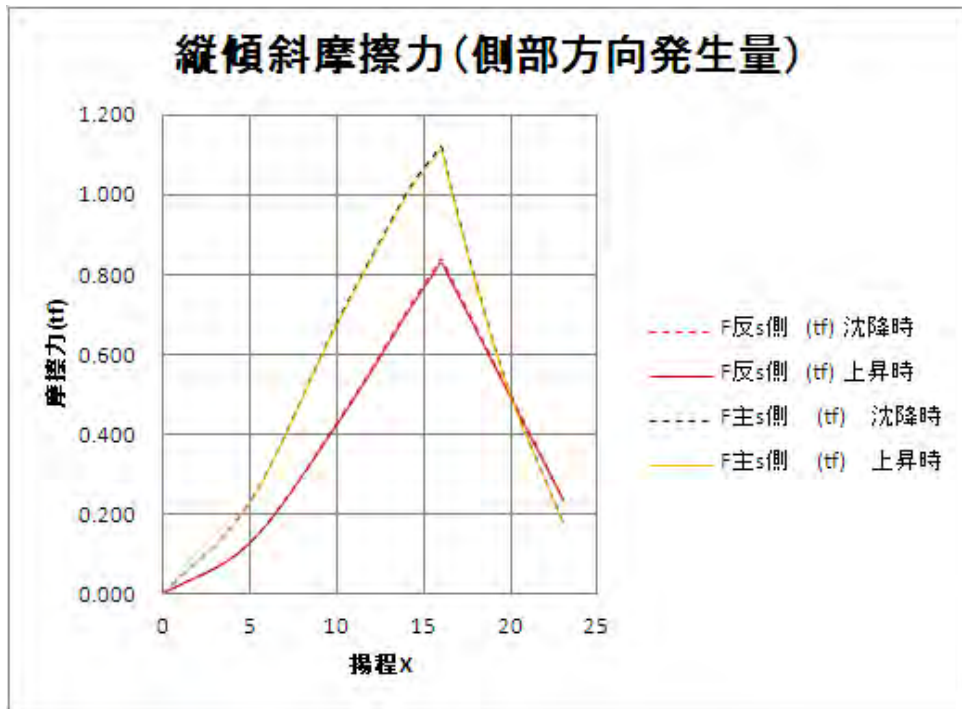


図 4.-10 没水状態の開閉操作に伴う縦傾斜角度（反時計回り）

図 4.-10 の最大傾斜角度に相当する傾斜量（扉体両端の喫水差）は沈降時 2.01m（反時計方向）、上昇時-1.99m（時計方向）であり、開閉操作に支障は無い。又、扉体傾斜に伴い反力ローラと主ローラが傾斜するので摩擦力の作用方向が変わり、扉体の非支持端に向かう水平分力（側部方向）が生じ、垂直分力が減少する。図 4.-11 と-12 は扉体縦傾斜に伴う摩擦力の変化を示し、図 4.-11 は水平成分（側部方向）発生量、図 4.-12 は垂直成分減少量の計算結果である。どちらも量的に僅少であり、エマージング式実現性への影響は無視できる。尚、計算方法は添付資料 3 に示した。



4.-11 扉体縦傾斜に伴う摩擦力の変化：側部方向成分の発生量

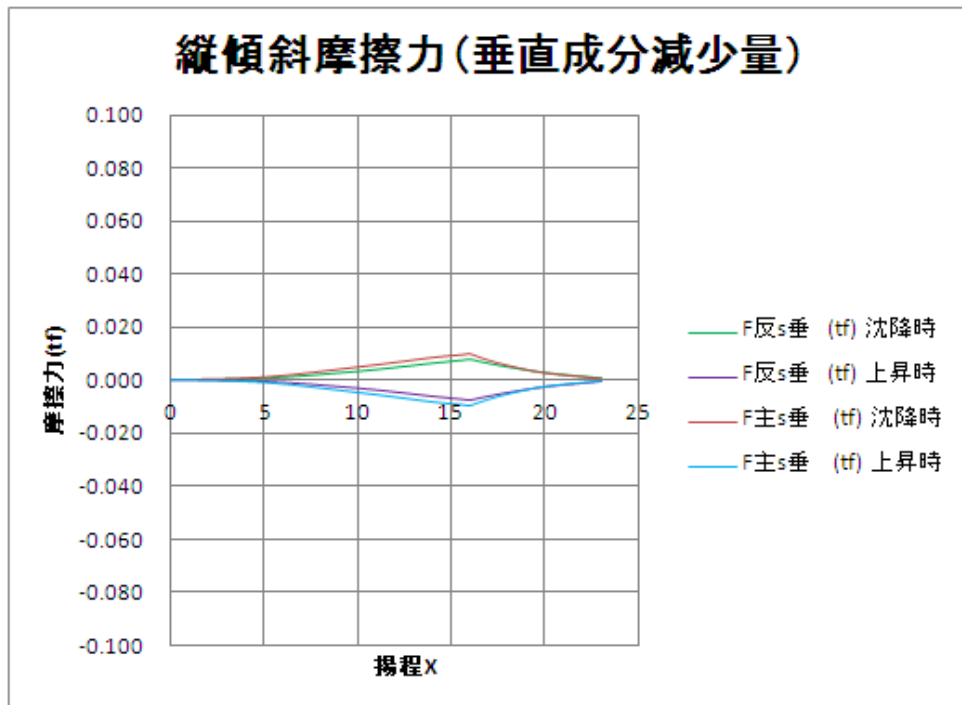


図 4.-12 扉体縦傾斜に伴う摩擦力の変化：垂直成分の減少量

4.2.3.2 浮体状態

均衡タンクと扉体内空間を適宜使用して全閉から設置水位迄の揚程で浮体状態での開閉操作を選択することが可能である。しかし、浮体状態の開閉操作は戸溝挿入、又は、抜き取りが必要な設備の維持管理時に限られるので、操作は揚程 2.1 m 以上の潮流零の状態で行われる。図 4.-13 は浮体状態の縦傾斜角度 (°) で、ゲート揚程 (格納スペース上面から全閉時扉体頂面迄の高さ) に対して示している。尚、浮体状態の安定性が大きいので、開閉操作時に潮流圧が作用しても計算結果に影響がない。添付資料 4 に計算方法を示した。計算条件は下記の通りである。

潮位 = 設置水位、潮流 = 零

沈降タンク：空隙状態

均衡タンク：揚程 (x) により充水率を調整する。

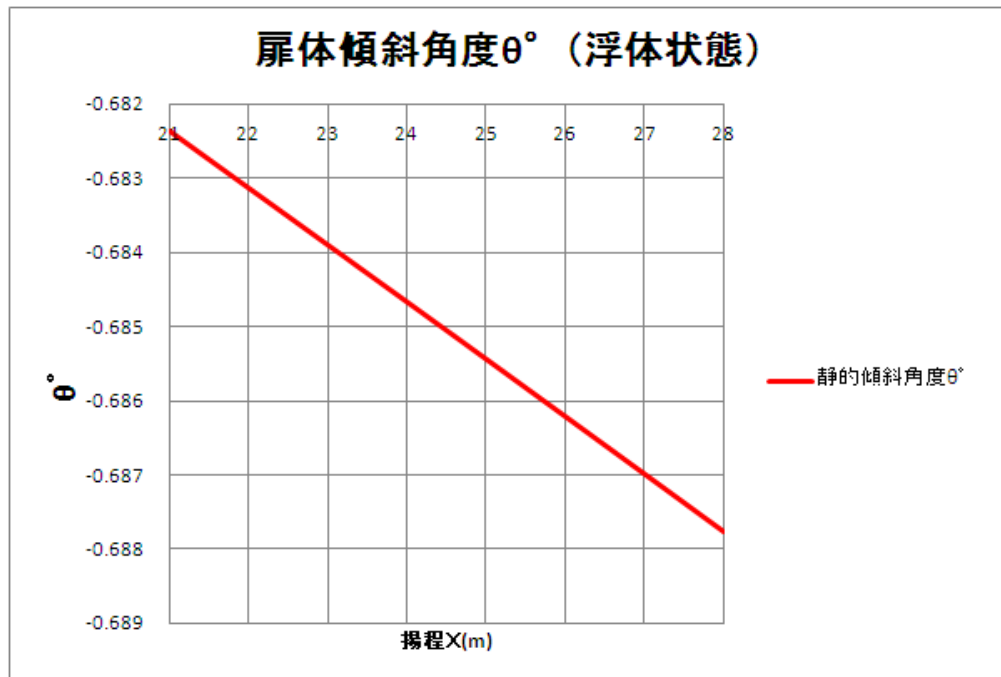


図 4.-13 浮体状態の開閉操作に伴う縦傾斜角度 (°)

浮体状態の扉体浮力は設置水位と扉体内水位の差であり、浮力に見合う扉体内水位の高さに従って均衡タンク内及び扉体中央隔壁左右区画の充水率を調整する必要がある。操作には電子制御が有効と考えられる。図 4.-14 は扉体内水位高さ a ~ d と均衡タンクの関係高さを示す。図 4.-15 は扉体内水位高さ a ~ d を基準とした揚程 (格納スペース頂面からゲート天端迄の高さ) と均衡タンクの充水状況を示す。尚、扉体内水位に対応したゲート揚程の算出に当たって扉体傾斜は図 4.-13 に示す値の平均値を使用した。

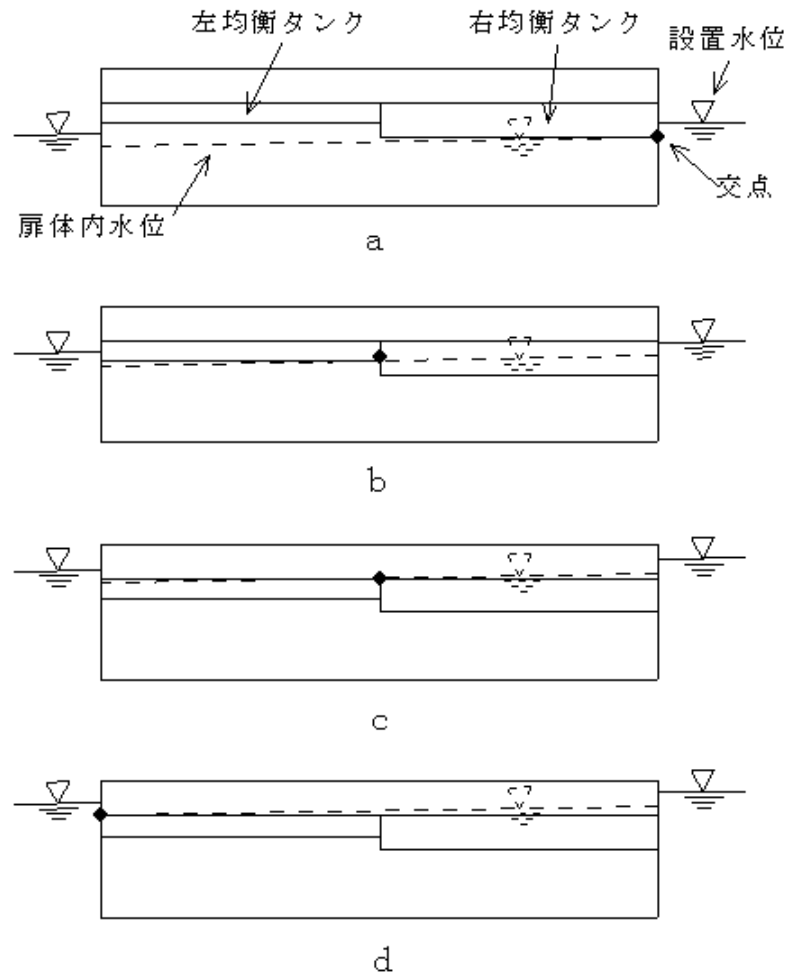


図 4.-14 扉体内水位と均衡タンクの関係位置（高さ）

扉体内 水位	揚程(×) m	均衡タンク充水率	
		左	右
	↑	空隙	空隙
a	25.07		
	↕	半充水	半充水
b	22.42		
	↕	満水	満水
c	19.42		
	↕	満水	満水
d	18.08		
	↓		

図 4.-15 均衡タンクの充水率

4.2.4 復原性

ここで述べる復原性は横傾斜の復原性で、戸溝の中で反力ローラが閉じられている状態、及び、戸溝から取り外された状態の復原性能に関わる。浮体状態と没水状態では復原力メカニズムが異なるが、復原性能はどちらも復原挺で評価できる。算出結果はどちらのケースも復原挺 > 0 である。

4.2.4.1 浮体状態

表 4.-1 は浮体状態での復原挺の算出結果である。尚、計算方法は添付資料 5 に示した。

表 4.-1 浮体状態での復原挺

揚程=X(m)	16	16.4	17	18	20	23
Draft=d=hb-(x-16)(m)	24	23.6	23	22	20	17
$\nabla = d \times L \times l (m^4)$	67500	66375	64688	61875	56250	47813
$BM = I / \nabla (m)$	0.54	0.55	0.57	0.59	0.65	0.77
$BK = d / 2 (m)$	12	11.8	11.5	11	10	8.5
KG(m)	10.21	10.01	9.71	9.21	8.21	6.71
GM(m)	2.33	2.34	2.35	2.38	2.44	2.55
$GG0 = i / \nabla (m)$	0.54	0.55	0.57	0.59	0.65	0.77
復原挺=GM-GG0 (m)	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79

4.2.4.2 没水状態

計算方法及び結果を下記に示す。

復原挺 = $h = hb - hf - hg$ 沈降時 = 4.248m

上昇時 = 4.370m

4.3 支持・止水機構

4.3.1 支持機構

支持機構は開閉操作中の扉体に作用する潮流圧を支持する反力ローラと主ローラ、及び、全閉状態の扉体に作用する高潮圧を支持する反力軸・支承と偶力楔の 2 系統がある。扉体に作用する水圧力と反力ローラ / 反力軸・支承に作用する反力が捩りモーメントを形成し、

これが扉体の捩り剛性で支持端末に運ばれて主ローラ / 偶力楔に作用する偶力と釣り合う。それぞれの支持機構を構成する部位の採用寸法を荷重、設計許容値と共に示す。

4.3.1.1 潮流圧支持機構の寸法

(1) 反力ローラ

荷重：21tf

許容輪圧係数：120Kg/cm²

寸法：径 = 0.3m、巾 = 0.07m

(2) 主ローラ

荷重：627tf

許容輪圧係数：120Kg/cm²

寸法：径 = 2.125m、巾 = 0.6m

4.3.1.2 高潮圧支持機構の寸法

(1) 反力軸

荷重：925tf

ベアリング圧許容値：450Kg/cm² (無給油軸受けの静荷重)

寸法：径 = 0.36m、巾 = 0.3 × 2 = 0.6m

反力軸 (軸径=360mm) のベアリング面は高潮圧により最大 3.8mm 摺動する。潮位変化は緩慢 (6 時間程度) であるので、軸受け荷重は静荷重と見なせる。

(2) 支承

荷重：925tf

支圧許容値：26Kg/mm² (降伏点の約 71%)

寸法：径 = 0.36m、巾 = 0.2m

(3) 偶力楔

荷重：8070tf

支圧許容値：71Kg/mm² (降伏点の約 71%)

寸法：高さ = 1.25m、巾 = 0.4m

4.3.1.3 断面拘束ブロック詳細

図 4.-16 は断面拘束ブロックの詳細を示す。断面拘束ブロックは支承、反力軸、底部止水ゴム、反力ローラで構成する。側面図は全閉状態を示し、支承と反力軸は合体し、止水ゴムと反力ローラは扉体とコンクリート壁の間隙を閉じている。二つの矢印の先に半開状態および止水ゴムと反力ローラが開いた状態を示す。断面 A は支承、断面 B と C は反力軸、

断面 D、E、及び、F は反力軸の断面、断面 G は反力ローラと底部止水ゴムの背面を示す。

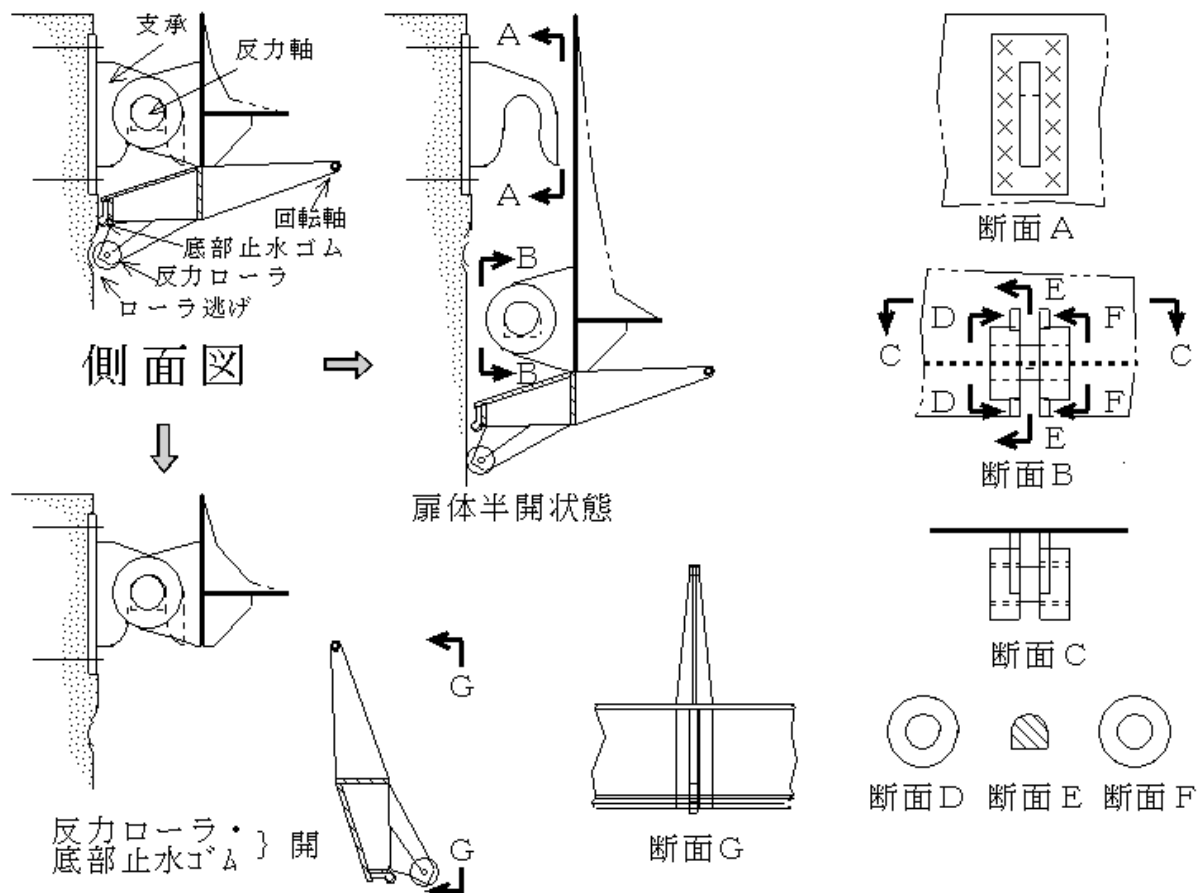
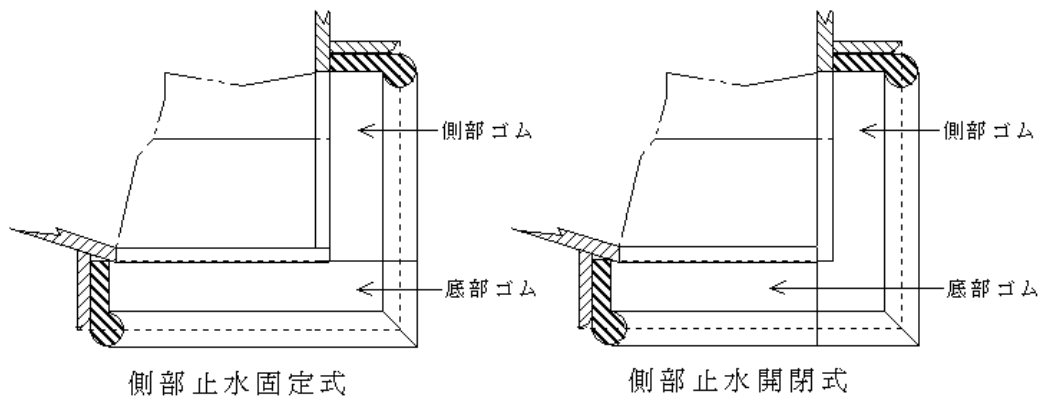


図 4.-16 断面拘束ブロック詳細

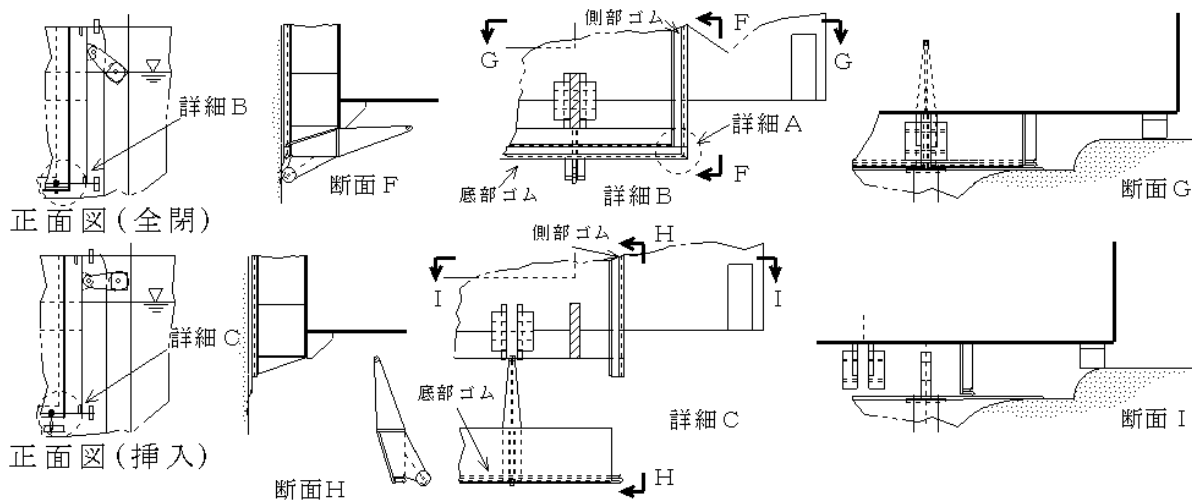
支承・反力軸は扉体とコンクリート壁に挟まれた狭隘間隙に設置される。一方、荷重は高潮圧で極めて大きい。反力軸の中央断面（断面 E）は蒲鋒形状として支圧面設計を適用し、又、円形断面部分（断面 D と F）に用いる無給油軸受けは静荷重設計の適用で小型化を図っている。底部止水ゴムは高潮圧による捩り変形によりゴム当たり面（止水シル）から 22.2mm 移動する。バルブ径 93.75mm の止水ゴムを使用して影響を緩和する。反力ローラも同様の原因で 30.1mm 移動する。扉体反対側のローラの損傷を避ける為にコンクリート壁面に深さ 62.5mm のローラ逃げを設ける。

4.3.2 側部止水

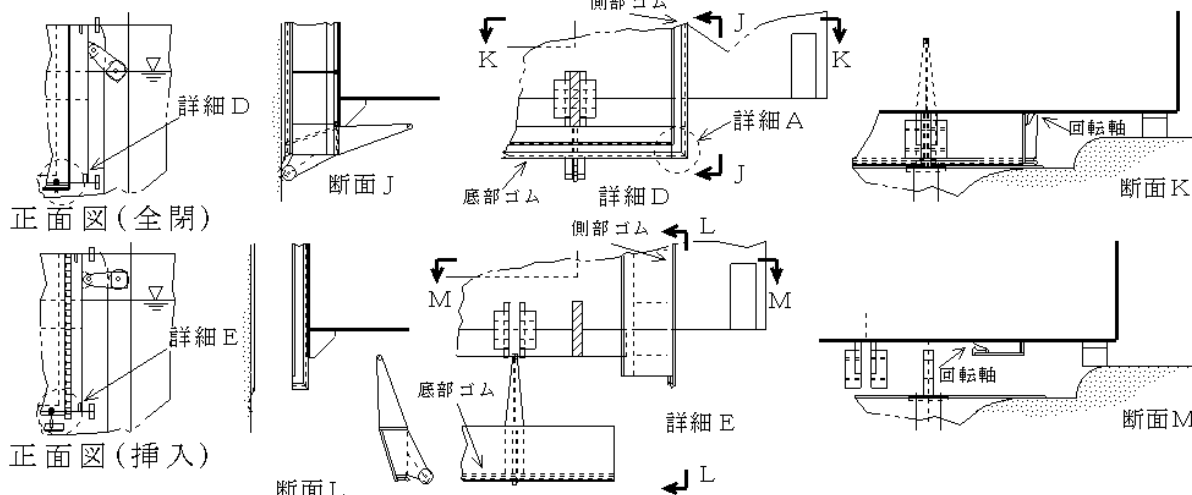
4.3.2.1 側部水止め詳細



詳細 A



側部止水固定式



側部止水開閉式

図 4.-17 側部水止め詳細

図 4.17 は側部水止め詳細を示す。対象は側部ゴムであるが、底部ゴムは側部ゴムと取り合い関係にあるので、底部ゴムも表示した。図は詳細 A、側部止水固定式、および、側部止水開閉式から構成されている。

【詳細図 A】

側部止水固定式と側部止水開閉式のコーナー部詳細を示す。両者はコーナー部先端ゴムの所属が側部か底部かの違いだけで、外見的には同一である。

【側部止水固定式】

正面図（全閉）は全閉状態にある扉体端部の正面図であり詳細 B の位置を示す。詳細 B は側部ゴムと底部ゴムを示し、又、詳細 A の位置および断面 F と G の方向を示す。正面図（挿入）は戸溝挿入作業時の扉体端部の正面図であり詳細 C の位置を示す。詳細 C は側部ゴムと底部ゴムを示し、又、断面 H と I の方向を示す。

【側部止水開閉式】

正面図（全閉）は全閉状態にある扉体端部の正面図であり詳細 D の位置を示す。詳細 D は側部ゴムと底部ゴムを示し、又、詳細 A の位置および断面 J と K の方向を示す。断面 K は側部ゴムの回転軸を示す。正面図（挿入）は戸溝挿入作業時の扉体端部の正面図であり詳細 E の位置を示す。詳細 E は側部ゴムと底部ゴムを示し、又、断面 L と M の方向を示す。断面 M は側部ゴムの回転軸を示す。

上記から明らかな如く、固定式と開閉式の構造的相違はゴムコーナー部の所属（底部か側部か）及び側部ゴム回転軸の有無であり、また、稼働時の扉体操作は全く相違がなく、維持管理時の戸溝挿入ステップに相違が現れる。

4.3.2.2 戸溝挿入ステップ

表 4.-2 及び図 4.-18 と図 4.-19 は扉体の戸溝挿入ステップを示す。挿入作業は建設時および維持管理時に行われる。表 4.-2 は側部止水固定式と側部止水開閉式の各ステップの作業内容とサイドローラ、反力ローラ、底部止水、側部止水の開閉状態を示す。開度 A、B、及び、それ等の中間開度に於ける作業は浮体状態、開度 B から C 迄の開度に於ける作業は没水状態で行われる。図 4.18 は側部止水固定式、図 4.19 は側部止水開閉式の挿入ステップを示す。両図にサイドローラ、反力ローラ、底部止水、及び、側部止水を示した。両形式のステップ 1 ~ 3 は同一内容で、ステップ 4 と 5 で側部止水の取り扱いに相違が現れる。

開閉式は全ステップが浮体状態で行われる。ステップ4でサイドローラの閉操作が行われた後に側部止水の開操作が行われるので、側部止水ゴムは図2.-2に×印で示したステム方向摺動を回避して稼働位置に収まる（課題2.4 側部止水ゴム（P型）のステム方向修動）。

固定式ではサイドローラ閉操作による扉体移動が全閉時に行われる。この位置では側部止水ゴムの止水シルがコンクリート面に存在しないので、側部止水ゴムは図2.-2に×印で示したステム方向摺動を回避して稼働位置に収まる（課題2.4 側部止水ゴム（P型）のステム方向修動）。この操作は没水状態で行われるが、底部ローラ（一般配置図参照）によって扉体移動が円滑に行われる（課題2.2 浮体状態と没水状態）。

以上は扉体挿入時の説明であるが、抜き取り時の作業ステップは挿入ステップと逆になる。

表 4.-2 側部止水固定式と側部止水開閉式の挿入ステップ

ステップ 番号	側部止水固定式					側部止水開閉式						
	作業内容	開度	開閉状態				作業内容	開度	開閉状態			
			サイト ローラ	反力 ローラ	底部 止水	側部 止水			サイト ローラ	反力 ローラ	底部 止水	側部 止水
1	サイトローラ挿入	A	開	開	閉	サイトローラ挿入	A	開	開	閉	開	
2	降下1					降下						
3	底部止水閉じる	B	閉	閉	閉	底部止水閉じる	B	閉	閉	閉	閉	
4	降下2					サイトローラ閉じる						
5	サイトローラ閉じる	C				閉	側部止水閉じる					閉
凡例:	1. 開度 A: 全開+サイトローラ高さ、B: 拘束ブロックが底部止水シル通過、C: 全開											
	2. 開閉状態 開: 開状態、閉: 閉状態											

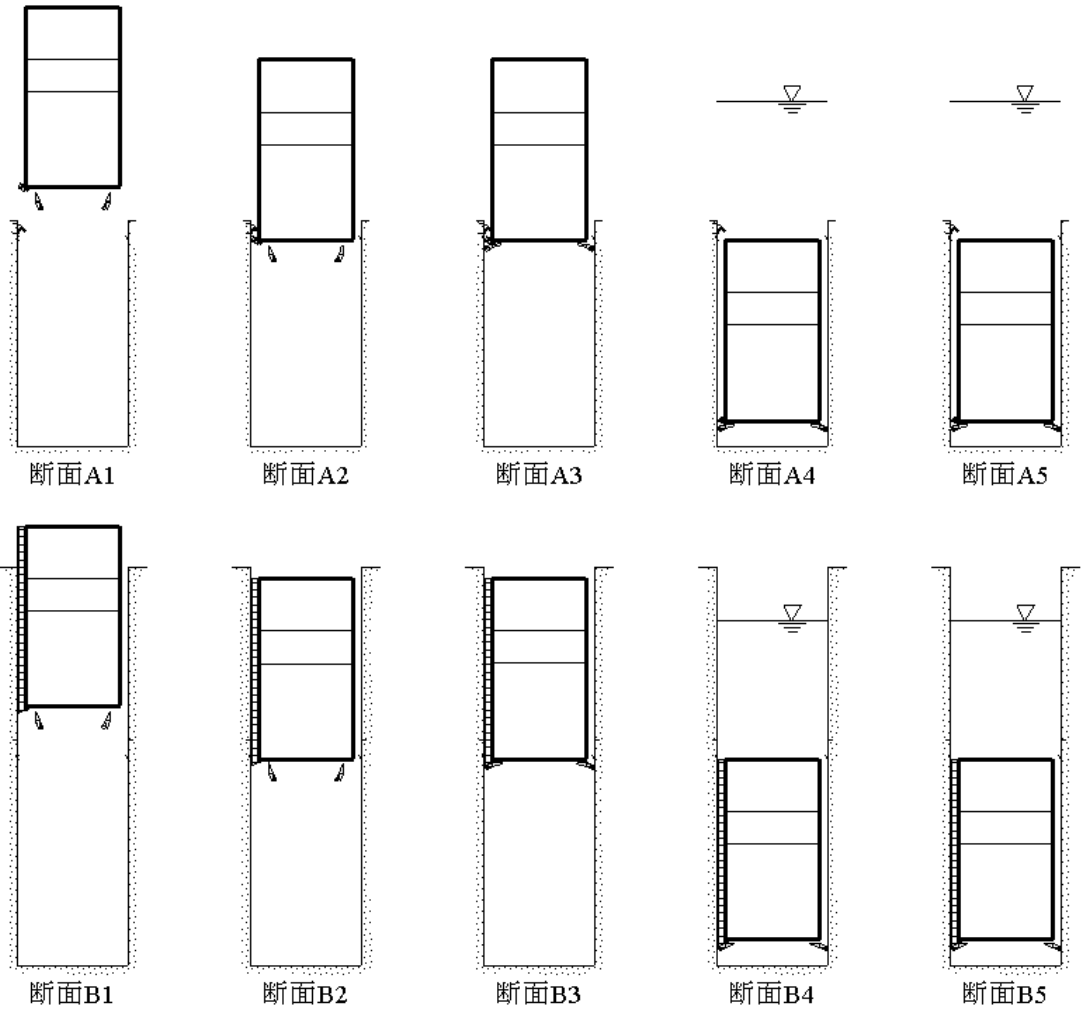
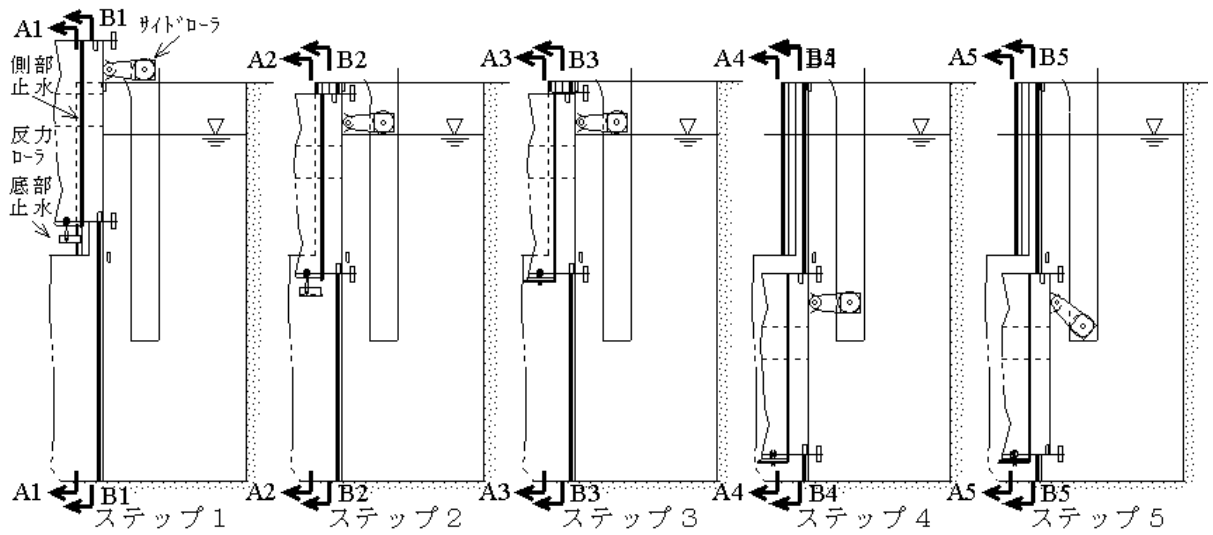


図 4.18 側部止水固定式の挿入ステップ

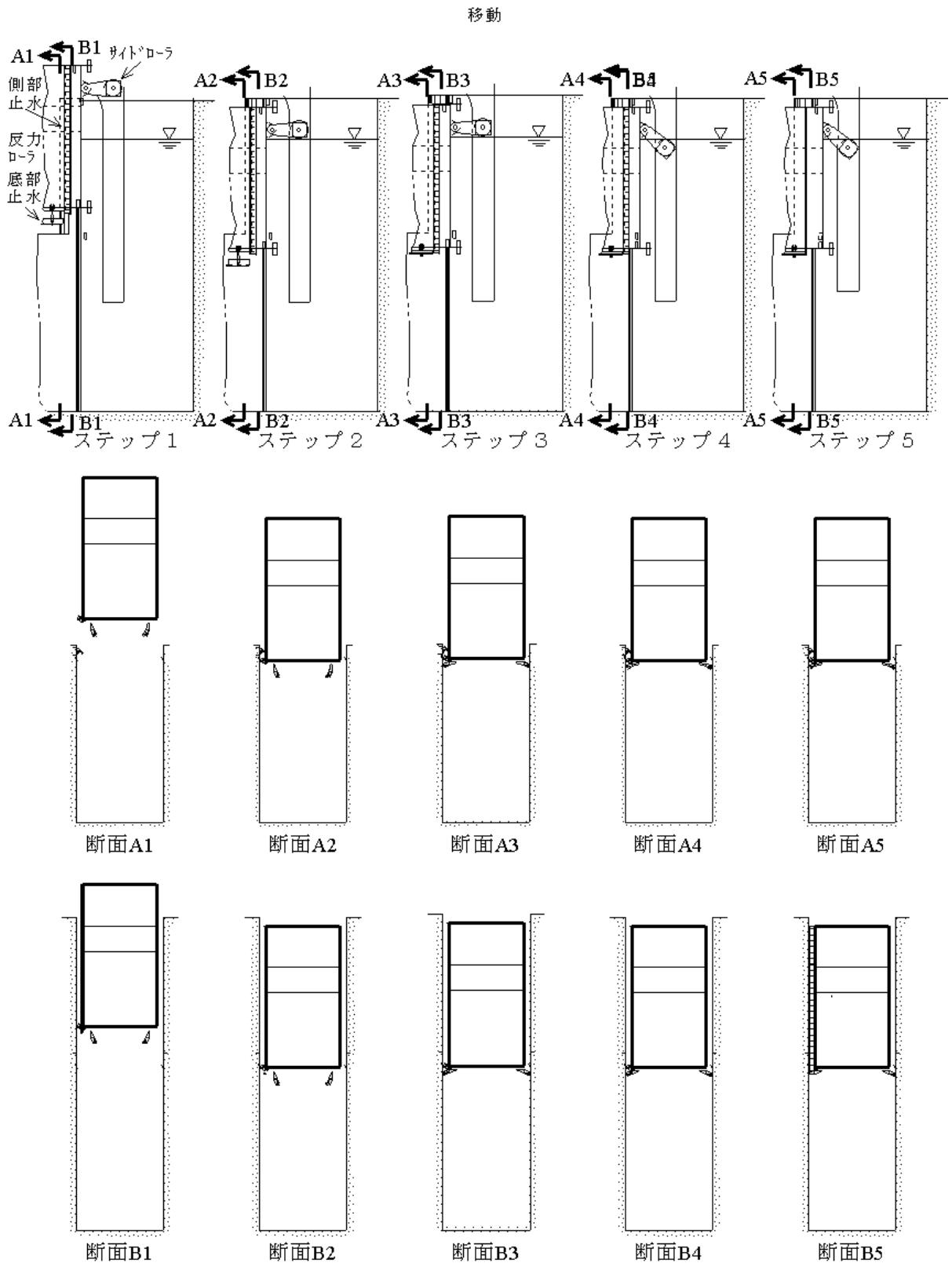


図 4.19 側部止水開閉式の挿入ステップ

5 . おわりに

以上の検討結果から下記の結論が得られた。

- (1) エマージング式超大型掀り構造ゲートは実現可能である。
- (2) エマージング式超大型掀り構造ゲートで大巾なコスト低減が可能と考えられる。
- (3) 各施工段階で全閉時衝撃力に対する支承部強度吟味が必要である (4 . 1 . 3 . 2 参照) 。

添付資料1 計算方法：浮力による振りモーメントの増加（図4.-2）

扉体浮力（没水状態）

仮定条件1．全閉状態

2．港側水深 = 16m

3．コンクリート剪断許容応力 = 15Kg/cm²

4．底部支持点高さ = -0.5m

没水状態排水量 = $g = 10261\text{m}^3$

扉体安定浮力 = $s = 2000\text{tf}$

扉体全浮力 = $g + s = 12261\text{tf}$

浮上止め荷重 = 扉体全浮力 - $(Wg + Vbx) = 2201\text{tf}$

浮上止め単位荷重 = 浮上止め荷重 ÷ $L = 9.783\text{tf/m}$

減殺振りモーメント = 外力モーメント - 振りモーメント

添付資料2 計算方法：没水状態の開閉操作に伴う縦傾斜角度（図4.-10）

浮心 = $h_f = (a^2/2 + b^2/2)/(a+b) + t = 8.889\text{m}$ （頂板から）

沈降時重心 = h_g

= $(Wgxhb/2 + Wchx(hb - (a + t) + hch/2) + Vbx \times (Yb + (hb - H)))/(Wg + Wch + Vbx)$

= 10.86m（函体底面から）

上昇時重心 = $h_g = (Wgxhb/2 + Vbx \times (Yb + (hb - H)))/(Wg + Vbx) = 10.74\text{m}$ （函体底面から）

復原挺 = $h = hb - hf - hg =$ 沈降時 = 4.248m

上昇時 = 4.370m

沈降力 = $Wg + Wch + Vbx - Fb = 270 \sim 90^\circ$ ローラ摩擦力 = 55

上昇力 = $Fb - (Wg + Vbx) = 270 \sim 90^\circ$ ローラ摩擦力 = 55

沈降時起立モーメント = $h \times \sin \times Fb$

上昇時起立モーメント = $h \times \sin \times (Wg + Vbx)$

F底 = 反力ローラ摩擦力

F端 = 主ローラ摩擦力

摩擦力中心 = $L_f = (F_{主} \times L / 2) / (F_{主} + F_{反})$

摩擦傾斜モーメント = $(L_f - L_g) \times (F_{主} + F_{反})$

沈降時傾斜角度 = $= \sin^{-1} \text{摩擦傾斜モーメント} / (h \times F_b)$

上昇時傾斜角度 = $= \sin^{-1}(-\text{摩擦傾斜モーメント}) / (h \times (Wg + Vbx))$

添付資料3 計算方法：扉体縦傾斜に伴う摩擦力の变化（図4.-11、図4.-12）

計算条件：1．水没状態時の揚程 = X = 23m

2．サイドローラ高さ=喫水線高さ= Ls=17m

滑り方向ローラ荷重 = ローラ荷重 × sin

滑り方向摩擦力 = Fs = 滑り方向ローラ荷重 × 滑り摩擦係数

= ローラ荷重 × sin × 滑り摩擦係数

Fs 側部方向分力 = Fs × cos = ローラ荷重 × sin² ÷ 2 × 滑り摩擦係数

Fs 垂直方向分力 = Fs × sin = ローラ荷重 × sin² × 滑り摩擦係数

F反s側 = 反力ローラ摩擦側部方向分力 = F底 × sin² ÷ 2 × 滑り摩擦係数

F反s垂 = 反力ローラ摩擦垂直方向分力 = F底 × sin² × 滑り摩擦係数

F主s側 = 主ローラ摩擦側部方向分力 = F主 × sin² ÷ 2 × 滑り摩擦係数

F主s垂 = 主ローラ摩擦垂直方向分力 = F主 × sin² × 滑り摩擦係数

垂直摩擦力中心 = Lf = (F主s垂 × L / 2) / (F主s垂 + F反s垂)

摩擦傾斜モーメント = 縦傾斜による摩擦傾斜モーメントの増加量

= (Lf - Lgx) × (F主s垂 + F反s垂) +

Ls × (F主s側 ÷ 2 + F反s側) - (函体高さ - Ls) × F主s側 ÷ 2

没水状態 沈降時 = sin⁻¹ 傾斜モーメント / (h × Fb)

上昇時 = sin⁻¹ 傾斜モーメント / (h × (Wg + Vbx))

浮体状態 = sin⁻¹ 傾斜モーメント / (復原挺 ×)

サイドローラ作用力 = F主s側 + F反s側

添付資料4 計算方法：浮体状態の開閉操作に伴う縦傾斜角度（図4.-13）

仮定条件 1．下隔壁左右の空気圧力が等しい。

Draft=d=hb-(x-16)

= d × L × l

I = l × L³ / 12 = 11865234.38m⁴

BM = I /

BK = d / 2

KM = BM + BK

db = (Wg + Vbx) / (l × L) = 3.5768m

KG = { (Wg + Vbx) × (Lgy + (hb - H)) + (- (Wg + Vbx)) (d - db) / 2 } /

GM=KM-KG=BM+BK-KG

扉体分割数 = n = 2

i = l × (L / n)³ × n / 12 = 2966309m⁴

$$GG0 = (\quad / \quad 0) (i / \quad)$$

$$\text{復原挺} = G0M = G M - GG0$$

$$\text{静的傾斜モーメント} = (W g + Vbx \quad) \times L g x = 106754.625 \text{tf-m}$$

$$F \text{ 反} = \text{反力ローラ摩擦力}$$

$$F \text{ 主} = \text{主ローラ摩擦力}$$

$$\text{摩擦力中心} = L f = (F \text{ 主} \times L / 2) / (F \text{ 主} + F \text{ 反})$$

$$\text{摩擦傾斜モーメント} = (L f - L g x) \times (F \text{ 主} + F \text{ 反})$$

$$\text{沈降時傾斜モーメント} = \text{静的傾斜モーメント} - \text{摩擦傾斜モーメント}$$

$$\text{上昇時傾斜モーメント} = \text{静的傾斜モーメント} + \text{摩擦傾斜モーメント}$$

$$\text{静的傾斜角度} = \quad = \sin^{-1} \text{ 静的傾斜モーメント} / (\text{復原挺} \times \quad)$$

$$\text{沈降時傾斜角度} = \quad = \sin^{-1} \text{ 沈降時傾斜モーメント} / (\text{復原挺} \times \quad)$$

$$\text{上昇時傾斜角度} = \quad = \sin^{-1} \text{ 上昇時傾斜モーメント} / (\text{復原挺} \times \quad)$$

添付資料5 計算方法：浮体状態の復原性（表4.-1）

仮定条件 1. 下隔壁左右の空気圧力が等しい。

$$\text{Draft} = d = hb - (x - 16)$$

$$= d \times L \times l$$

$$I = L \times l^3 / 12 = 36621 \text{m}^4$$

$$B M = I /$$

$$B K = d / 2$$

$$K M = B M + B K$$

$$d b = W g / (l \times L) = 3.5768 \text{m}$$

$$K G = \{ W g \times h b / 2 + (\quad - W g) (d - d b) / 2 \} /$$

$$GM = KM - KG = BM + BK - KG$$

$$\text{扉体分割数} = n = 1$$

$$i = L \times (l / n)^3 \times n / 12 = 36621 \text{m}^4$$

$$GG0 = (\quad / \quad 0) (i / \quad)$$

$$\text{復原挺} = G0M = G M - GG0$$