

捩り構造式スイングゲート

潮流利用操作

扉体の衝撃力

TeraMatsu

目 次

頁

1 . はじめに	1
2 . 扉体の角加速度と歪みエネルギー	3
2 . 1 角加速度	3
2 . 2 歪みエネルギー	4
2 . 2 . 1 外板板厚の選定	4
2 . 2 . 2 歪みエネルギー算出式	4
2 . 2 . 3 衝突時振りモーメント算式	5
2 . 2 . 4 底部支持座反力	7
2 . 3 計算結果	8
2 . 3 . 1 計算板厚と採用板厚	8
2 . 3 . 2 扉体重量	8
2 . 3 . 3 修正係数と外力モーメント	9
2 . 3 . 4 歪みエネルギー	10
2 . 3 . 5 衝突時の底部支持座反力と扉体速度	11
3 . 扉体の運動エネルギー	12
3 . 1 運動エネルギー算式	13
3 . 1 . 1 定数関数	13
3 . 1 . 2 直線関数	14
3 . 1 . 3 放物線関数	16
3 . 2 計算結果	18
3 . 2 . 1 定数関数	18
3 . 2 . 2 直線関数	25
3 . 2 . 3 放物線関数	32
3 . 3 扉体の操作方法	40
3 . 3 . 1 操作条件	41
3 . 3 . 2 計算結果の分析	41
3 . 3 . 2 . 1 操作条件 1	42
3 . 3 . 2 . 2 操作条件 2	45

3.3.2.3	操作条件3	49
3.3.3	分析結果の整理	52
3.3.3.1	操作方法の整理	52
3.3.3.2	分類項目の説明	54
3.3.3.3	移動手手段と運動エネルギー	55
(1)	整理結果の説明	55
(2)	結果の関係付け	56
3.3.4	操作方法の考察	58
(1)	確認できたこと	58
(2)	プロジェクト段階での実施事項	58
(3)	参考事項	58

4.	おわりに	59
----	------	----

1. はじめに

別冊「スイング方式」で振り構造によるスイング式ゲートを提案し、構想設計を示した。スイング方式は潮流を利用して開閉操作を行う。扉体は潮流力で加速され全閉位置で底部支持座が水底コンクリート構造に衝突して停止するが、潮流エネルギーは扉体の摩擦力で減勢されると共に扉体の運動エネルギーは扉体の歪みエネルギーとして柔軟な扉体に吸収されるので、衝突力が著しく緩和されることが期待される。本書の目的は 扉体衝突時のエネルギー解析を行い、 摩擦力による減勢と扉体の柔軟性による衝撃力緩和の可能性を確認することにある。

解析はスイング方式の提案書に示した構想設計について行う。表 - 1 はその計画データである。

表 - 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		

扉体に作用する潮流力を水位差に換算して潮位差 h 又は h なる名称 / 記号で表す。

まず、衝突時の歪みエネルギーが高潮時の 1 倍、乃至、2 倍以下でなければならないとの条件を設定して歪みエネルギーを解析し、衝突に関する多くの情報と扉体衝突時の運動エネルギー上限値を得た。

次に、潮位差 h を扉体開度の定数関数、直線関数、放物線関数で表し運動エネルギーを求めた。3 ケースとも扉体海側から h が作用しているが、定数関数は陸側に潮流が存在せず、即ち、陸側からの作用圧力は零の場合に相当し、直線関数と放物線関数は陸側に潮流が存在し、その影響度が直線関数 < 放物線関数である場合に相当する。代表的な摩擦係数値に対する 3 関数の運動エネルギーをグラフ表示し、各々について潮流の中での具体的な操作方法を考察して次ぎの結論を得た。

(1) 扉体の運動エネルギーが扉体の柔軟性でゆっくりと扉体の歪みエネルギーに変換されるので、扉体に作用する力は慣性力とその反力として扱える。

(2) 扉体底部支持座は、上記反力に加えて、衝突による扉体断面の回転起動に伴う衝撃力を受ける。従って、支持座は柔軟性と高強度が求められる。

(3) 摩擦力チャートで潮流エネルギー減勢が可能である。チャートは模型と実機による実験結果で作成する。

2. 扉体の角加速度と歪みエネルギー

2.1 角加速度

潮流推力で与えられる扉体の角加速度算出式を導く。

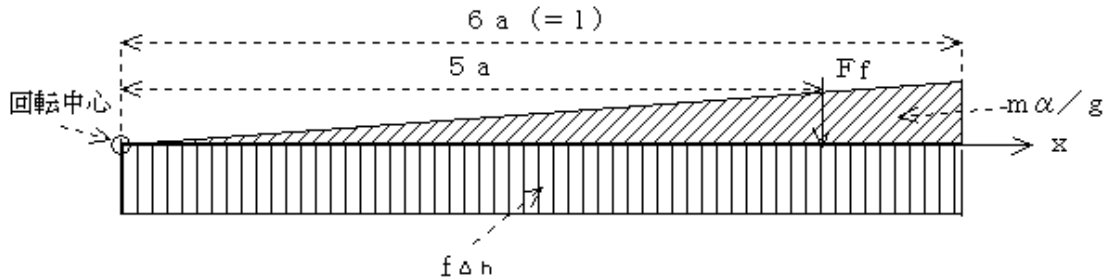


図 - 1 扉体の作用力

図 - 1 は扉体の半径間と作用力を示す平面図である。左端が支持端（回転中心）、右端が非支持端、 l が径間長 $\div 2$ 、 F_f が摩擦靴の摩擦力、 m / g が単位巾慣性力、 m は単位巾重量、 α が加速度、 g が重力加速度、 $f \Delta h$ が潮位差 h による単位巾推力、 x が回転中心を原点とする x 軸の方向を示す。 $f \Delta h$ は x の関数で直線分布、 m は付加質量と扉体の合計重量で一定分布である。

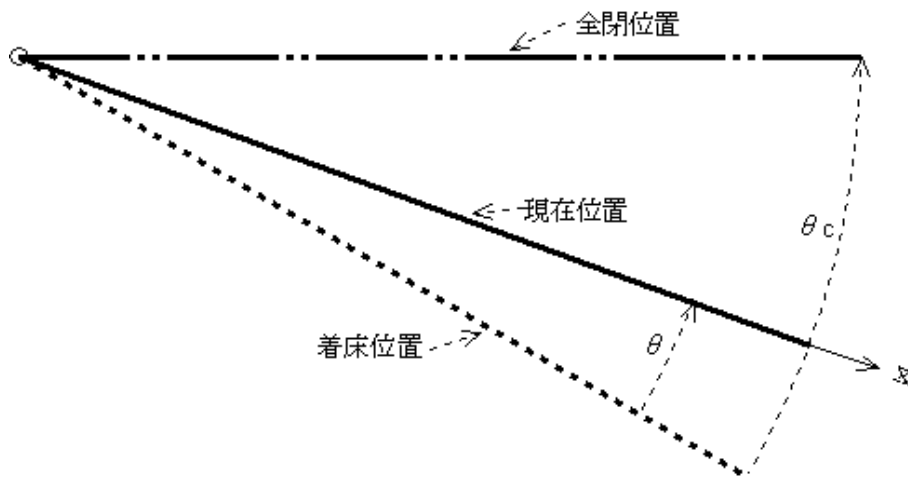


図 - 2 扉体の現在位置と全閉位置

回転中心のモーメントの釣り合いから、運動方程式は以下で表す。

$$\int_0^{6a} m \cdot g \cdot x \cdot dx + 5 a F_f = \int_0^{6a} f \cdot h \cdot x \cdot dx \quad \dots\dots (2.1)$$

図 - 2 は扉体の現在位置と全閉位置を着床位置からの角度、 θ 及び θ_c で示す。 θ_c を式 (2.2) で表し、これを式 (2.1) に代入、積分して式 (2.3) を得る。

$$\dots = \ddots \times \dots \dots \dots (2-2)$$

$$m \ddots a \ddots (6 a) \div (3 g) + 5 a F f = f \ddots h 6 a (6 a) \div 2 \dots \dots \dots (2-3)$$

上式にて $m \ddots a = M$ (全重量)、 $f \ddots h 6 a = F \ddots h$ (全推力)、 $6 a = l$ と置き換えて整理すると、次の角加速度算出式を得る。

$$\dots = 3 g \div (2 M l) \times (F \ddots h - 5 F f \div 3) \dots \dots \dots (2-4)$$

2.2 歪みエネルギー

検討簡素化の為に歪みエネルギーは外力振りモーメントに対応する剪断歪みのみを対象とし、それ以外の成分は無視する。この近似化は全体像把握を損なうものでない。

2.2.1 外板板厚の選定

板厚選定は高潮時の扉体に作用する外力モーメントに対して行う。

材質と許容応力：表 - 2 に示す材質（鋼種）と許容応力を適用する。

表 - 2 剪断応力の許容値と降伏点

材質 (JIS 基準等)		SM400	SM490	SM570	70HT	80HT	100HT
降伏点	Kgf/mm ²	22	30	40.8	52	58.2	69.2
剪断 τa		7.0	9.5	13.0	16.5	18.5	22.0

板厚選定：表 - 2 の許容応力と表 - 3 の選定条件を適用する。

表 - 3 板厚選定条件

板厚区間最小長	10	m
最小板厚	12	mm
最大板厚	50	mm

2.2.2 歪みエネルギー算出式

歪みエネルギー算出式は各種便覧に示されている次の一般式から導く。

$$U = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^2}{(8 A G)} \div t_i L g \quad L_i \dots \dots \dots (2-5)$$

$$i = T_i \div (2 A t_i) \quad \dots\dots (2.-6)$$

但し、 T_i : i 断面の外部捩りモーメント

A : 箱断面の面積

G : 剪断弾性係数

t_i : i 断面区画の板厚

L_g : A のガース長

L_i : i 断面区画の長さ

U : 扉体内の剪断歪みエネルギー

i : i 断面の捩り剪断応力

式 (2.-6) にて $i = a_i$ (i 断面の許容剪断応力) と置き換えて T_i に付いて解き、 T_i を式 (2.-5) に代入して歪みエネルギー算出式が得られる。

$$U = \sum_{i=1}^n L_g t_i a_i^2 \div (2 G) L_i \quad \dots\dots (2.-7)$$

更に、式 (2.-6) にて $i = a_i$ (i 断面の許容剪断応力) と置き換えて t_i に付いて解き、 t_i を式 (2.-7) に代入すると共に \int を積分に置き換えて次の算出式が得られる。

$$U = \int_0^1 L_g a^2 \div (4 A G) T dx = C \int_0^1 T dx \quad \dots\dots (2.-8)$$

但し、 C : x に対して一定値

式 (2.-5) は捩りモーメントに対応する歪みエネルギーを与え、式 (2.-8) と式 (2.-7) は、それぞれ、計算板厚応力と選択板厚応力が許容値にある状態の値が得られる。

2 . 2 . 3 衝突時捩りモーメント算式

扉体の底部支持座のコンクリート構造衝突で扉体に生じる捩れは扉体の慣性力によるものと考えられる。扉体断面の単位巾に作用する慣性力がその扉体断面の移動速度に比例するものと仮定すれば、扉体の単位巾当たりに作用する捩りモーメントは次の形となる。

$$m_i = a x \div l \quad \dots\dots (2.-9)$$

但し、 a : 定数

l : 径間長 $\div 2$

x : 図 - 1 の定義による x 軸上の値

これに対し、高潮時に扉体の単位巾当たりに作用する水圧力による捩りモーメントは次の形である。

$$m_w = l \quad \dots\dots (2.-10)$$

これらを x 軸に沿って l から x 迄積分すれば、扉体の任意断面に於ける外力振りモーメントが得られる。

$$\text{衝突時： } T_i = a (1 - x^2 \div l) \div 2 \quad \dots\dots (2-11)$$

$$\text{高潮時： } T_w = 1 - x \quad \dots\dots (2-12)$$

二つの外力振りモーメントによる歪みエネルギーが一致する係数 a の値を式 (2-8) を用いて近似的に決定する。

$$\text{衝突時： } U_i = C \int_0^l a (1 - x^2 \div l) \div 2 dx = a C l \div 3 \quad \dots\dots (2-13)$$

$$\text{高潮時： } U_w = C \int_0^l (1 - x) dx = C l \div 2 \quad \dots\dots (2-14)$$

$U_i = U_w$ より $a = 1.5$ が得られる。図 - 3 は式 (2-9) ~ (2-12) で表す外力モーメントの形状を示す。表示の都合で $l = 4$ と設定した。近似度を高める為に a を下記で表し、修正係数を歪みエネルギーの数値計算で定める。

$$a = 1.5 \times \text{修正係数} \quad \dots\dots (2-15)$$

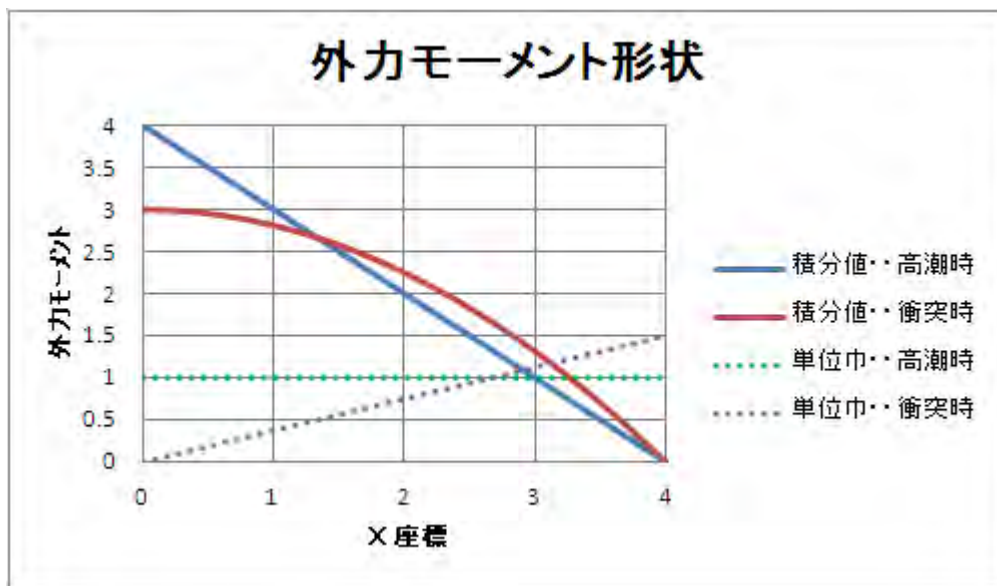


図 - 3 外力モーメント形状

2.2.4 底部支持座反力

衝突時の扉体底部支持座に生じる反力は式(2.-9)に対応する外力モーメントの偶力であって、その大きさは次の式で算出する。

$$\text{支持座反力} = \text{高潮時外力モーメント} \times a \div \text{慣性力中心} \sim \text{支持座垂直距離} \cdots \cdots (2.-16)$$

aは式(2.-15)の値を用いる。式(2.-16)は慣性力に対応する反力であって、衝突時は零、歪みエネルギー蓄積が進んで許容最高値に達してこの値になる。底部支持座が水底コンクリート構造に衝突して支持座を中心とした回転運動が扉体に生じるが、支持座は回転起動に伴う衝撃力を吸収する構造設計が必要と考えられる。

2.3 計算結果

2.3.1 計算板厚と採用板厚

表 - 4 計算板厚と採用板厚

区間番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
区間長(m)	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
支点距離(m)	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	
外力 モーメント (tf-m)	積分値 $\times 10^{-3}$	204	200	190	181	172	163	154	145	136	127	118	109
	単位巾	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907
τa (Kg/mm ²)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	
計算板厚(mm)	49.6	48.5	46.3	44.1	41.9	39.7	37.5	35.3	33.1	30.9	28.7	26.5	
採用板厚(mm)	50.0	50.0	48.0	46.0	42.0	40.0	38.0	36.0	34.0	32.0	30.0	28.0	
比率	1.01	1.03	1.04	1.04	1.00	1.01	1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	
区間番号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23		
区間長(m)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		
支点距離(m)	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	
外力 モーメント (tf-m)	積分値 $\times 10^{-3}$	100	91	82	73	63	54	45	36	27	18	9	0
	単位巾	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907
τa (Kg/mm ²)	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0		
計算板厚(mm)	24.3	22.1	19.9	17.6	15.4	13.2	11.0	8.8	6.6	4.4	2.2		
採用板厚(mm)	25.4	24.0	20.0	18.0	16.0	14.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0		
比率	1.05	1.09	1.01	1.02	1.04	1.06	1.09	1.36	1.81	2.72	5.44		

2.3.2 扉体重量

表 - 5 扉体重量

区間番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
区間外板重量(tf)	141	283	271	260	237	226	215	203	192	181	170	158
区間番号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
区間外板重量(tf)	144	136	113	102	90	79	68	68	68	68	68	
重量 (tf)	外板合計	3540										
	その他合計	2124										
	合計	5665										

2.3.3 修正係数と外力モーメント

修正係数

衝突時外力モーメントの修正係数は歪みエネルギー計算結果から 1.066 が得られた。従って a (式(2.-15)) は下記となる。

$$a = 1.5 \times 1.066 = 1.6 \quad \dots (2.-17)$$

外力モーメント

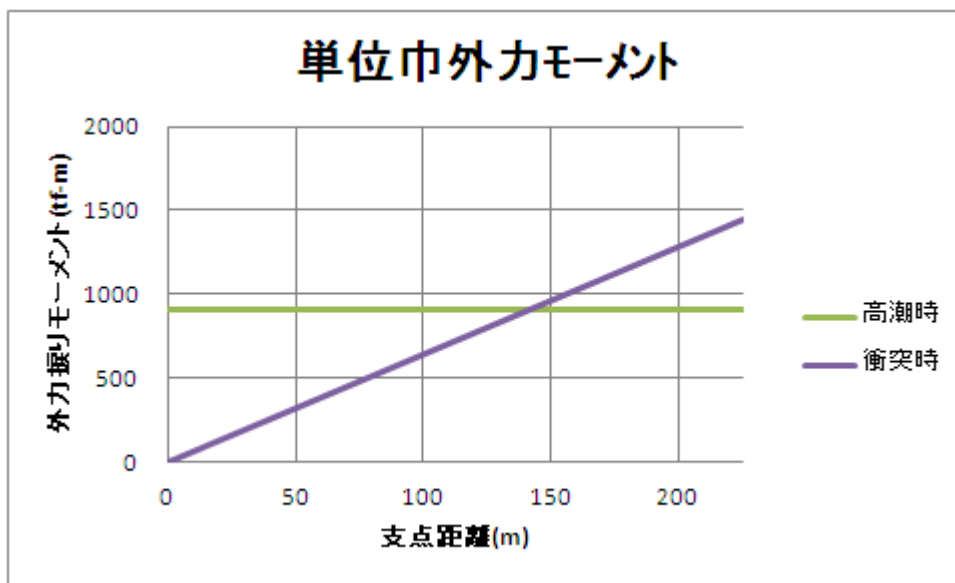


図 - 4 外力モーメント (単位巾)

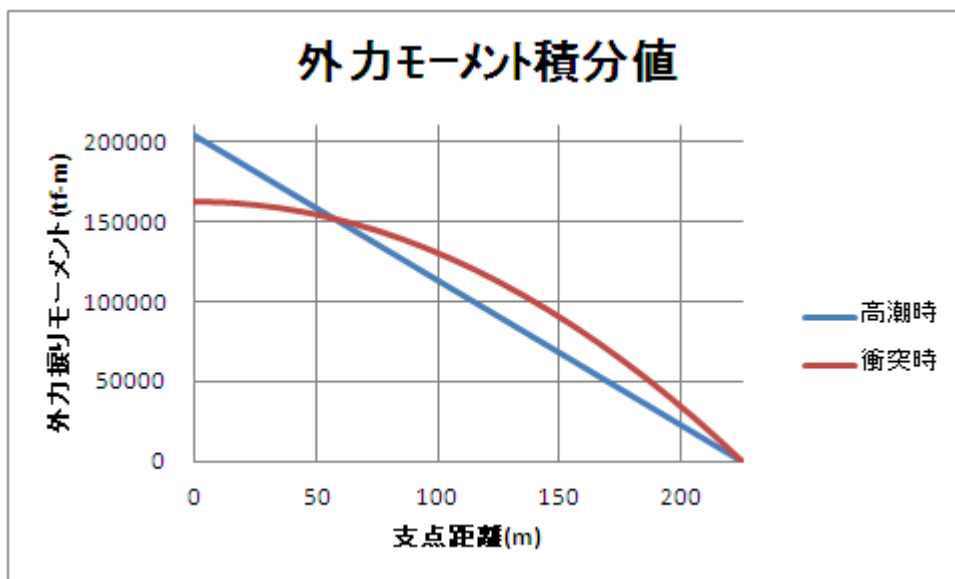


図 - 5 外力モーメント (積分値)

図 - 4 及び 5 は外力モーメントの計算結果である。図 - 4 が単位巾当たりの外力モーメント分布、図 - 5 がその積分値を示す。衝突時の外力モーメントの大きさは扉体剪断歪みエネルギーが高潮時のそれと等しくなるよう設定されている。歪みエネルギーは外力モーメントの積分値に対して算出される。

2.3.4 歪みエネルギー

表 - 6 高潮時歪みエネルギー (U_w)

区間番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
外力 モーメント (tf-m)	積分値 $\times 10^{-3}$	204	200	190	181	172	163	154	145	136	127	118	109
	単位巾	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907
区間 U_w (tf-m)	$\tau = \tau_a$	55	109	105	100	92	87	83	79	74	70	66	61
	$\tau = 2\tau_a$	218	437	419	402	367	349	332	314	297	280	262	245
区間番号		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
外力 モーメント (tf-m)	積分値 $\times 10^{-3}$	100	91	82	73	63	54	45	36	27	18	9	0
	単位巾	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907	907
区間 U_w (tf-m)	$\tau = \tau_a$	55	52	44	39	35	31	26	26	26	26	26	
	$\tau = 2\tau_a$	222	210	175	157	140	122	105	105	105	105	105	
合計 U_w (tf-m)	$\tau = \tau_a$ (限界1)	1368											
	$\tau = 2\tau_a$ (限界2)	5472											

表 - 7 衝突時歪みエネルギー (U_i)

区間番号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
外力 モーメント (tf-m)	積分値 $\times 10^{-3}$	163	163	162	161	159	157	153	150	145	140	134	128
	単位巾	0	32	97	161	226	290	355	419	483	548	612	677
区間 U_i (tf-m)	$\tau = \tau_a$	34	69	71	73	78	79	80	80	80	79	77	75
	$\tau = 2\tau_a$	138	275	284	292	312	317	320	321	320	316	310	301
区間番号		13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
外力 モーメント (tf-m)	積分値 $\times 10^{-3}$	121	113	104	95	86	75	64	53	41	28	14	0
	単位巾	741	806	870	935	999	1064	1128	1193	1257	1321	1386	1450
区間 U_i (tf-m)	$\tau = \tau_a$	74	68	70	65	59	52	45	30	18	8	2	
	$\tau = 2\tau_a$	296	274	282	261	237	210	179	120	71	33	9	
合計 U_i (tf-m)	$\tau = \tau_a$	1369											
	$\tau = 2\tau_a$	5474											

表 - 6 及び 7 は扉体の歪みエネルギーの計算結果である。表 - 6 が高潮時の外力モーメント、表 - 7 が衝突時の外力モーメントに対応する。歪みエネルギーは剪断応力が許容値にある状態 ($\tau = \tau_a$) と許容値の 2 倍 ($\tau = 2\tau_a$) の状態について算出した。高潮時 (表 - 6) の $\tau = \tau_a$ の合計 U_i を潮流推力による扉体運動エネルギーの限界 1、 $\tau = 2\tau_a$ の値を限界 2 とする。限界 1 は扉体内応力が許容応力レベル、限界 2 は降伏点の 95% レベル

に達した状態に対応する。衝突時（表 - 7）の歪みエネルギーはこれらに対応している。両ケースの値がほぼ一致するように式（2.-15）の修正係数の値を定めた。尚、限界2の外力モーメントは限界1の2倍、歪みエネルギーは4倍である。

2.3.5 衝突時の底部支持座反力と扉体速度

表 - 8 底部支持座反力

計算項目	記号	計算値	単位	
自重中心高さ	X_g	11.25	m	
付加質量中心高さ	X_a	7.75	m	
支持座中心高さ	X_s	-0.5	m	
慣性力中心高さ	X_i	8.536	m	
偶力の腕長さ	L_a	9.036	m	
支持座反力	$\tau = \tau_a$	$F_{\text{限界1}}$	161	tf/m
	$\tau = 2\tau_a$	$F_{\text{限界2}}$	321	tf/m

表 - 8は衝突時の力を受ける扉体底部支持座の反力計算結果である。図 - 4の外力モーメント最大値に対するものであり、値レベルは通常の土木技術で対応できる範囲である。衝突時の反力は零で扉体の歪みエネルギーが限界値に達した時点でこの値に達する。尚、底部支持座の水底コンクリート構造衝突に伴い扉体に支持座を中心とした回転運動が生じるので、支持座は、表 - 8の反力に加え、回転起動に伴う衝撃力を吸収する構造設計が求められる（衝撃に対しては柔らかさ、反力に対しては強度）。

表 - 9 衝突時の扉体速度

エネルギー条件		限界1	限界2
慣性重量	tf	80179	
重力加速度	m/sec	9.8	
扉体半幅	m	225	
エネルギー	tf-m	1368.1	5472.2
角速度	°/sec	0.26	0.51
先端速度	m/sec	1.0	2.0

表 - 9は衝突時の扉体角速度と扉体先端速度の計算結果である。表 - 6のUw合計値(限界1および限界2のエネルギー条件値)を式(3.-8)及び式(3.-9)のWkに代入して算出した。結果は表 - 8の支持座反力に対応する。尚、慣性重量は扉体と付加重量(水)の加算値で、計算精度の低い付加重量が全体の90%近くを占める。仮に慣性重量が半分なら速度は $2^{1/2}$ 倍になる。実際の値は二つの間にあると考えられる。

3. 扉体の運動エネルギー

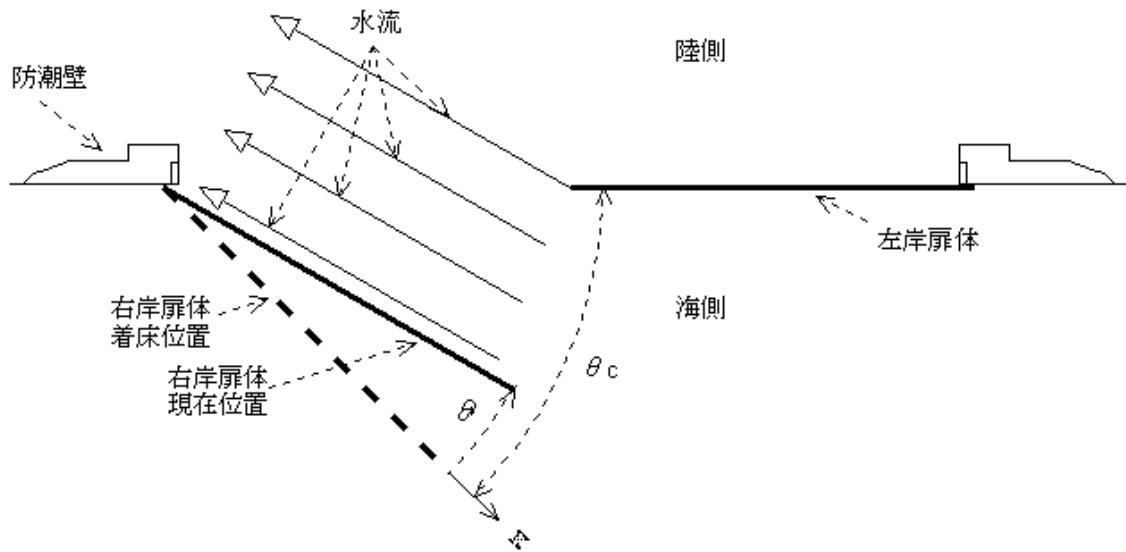


図 - 6 潮流の影響

扉体の運動エネルギーは作用力の仕事量または作用力から扉体が蓄える運動エネルギーとして捉えることができる。作用力は潮流を水位差に換算した値、即ち、潮位差 h 或いは h がその値と考えられるが、現実には全閉時を除いて扉体の海側と陸側に潮流が存在することが常であり、作用力はその影響を受けて h とは異なった値となる。例として、図 - 6 に於いて陸側と海側に潮位差 h が存在する場合を考える。 θ は扉体の着床位置からの角度、 θ_c は全閉位置迄の角度である。扉体の陸側に潮流が存在して水面勾配が形成されるので、差圧は勾配分だけ減少する。 θ が増加するにつれて潮流の影響範囲が狭まるに従い圧力差は h に近づき、 $\theta = \theta_c$ で潮流が零となって圧力差が h になる。このような圧力差の変化を次の3例の関数に置き換え、運動エネルギーへの影響を把握する。定数関数は海側からのみ潮位差 h が作用する場合に相当し、海側と陸側の潮流影響が無視されているのでエネルギーレベル的には過大ケースである。直線関数は陸側の潮流影響が近似的に反映されているが海側の潮流影響が無視されているので、過大ケースかも知れないし、過小ケースかも知れない。放物線関数も陸側の潮流影響が近似的に反映されていて、その反映度が直線関数よりも大きいので3関数の中ではエネルギーレベル的に最も低い。即ち、実際の潮流エネルギーのレベルは定数関数と放物線関数の間に落ちる可能性が最も高い。

$$\text{定数関数： } h = h \quad \dots (3-1)$$

$$\text{直線関数： } h = h \times \left(\frac{\theta_c - \theta}{\theta_c} \right) \quad \dots (3-2)$$

$$\text{放物線関数： } h = h \times \left(\frac{\theta_c - \theta}{\theta_c} \right)^2 \quad \dots (3-3)$$

3.1 運動エネルギー算式

3.1.1 定数関数

潮流推力に起因する扉体運動エネルギーの算出式を潮流推力の仕事と扉体が蓄える運動エネルギーの両面から導く。

(1) 仕事 (W_w)

$$W_w = \text{力} \times \text{移動距離} = \int_0^l c \times f_h dx - c l \times 5 F_f \div 6 \quad \dots\dots (3-4)$$

上式を積分し、 $f_h l = F_h$ と置換して下式を得る。

$$W_w = c l \div 2 (F_h - 5 F_f \div 3) \quad \dots\dots (3-5)$$

(2) 運動エネルギー (W_k)

$$\begin{aligned} \text{角速度} &= \dot{\theta} = \ddot{\theta} t \\ \text{最終角度} &= \theta = \ddot{\theta} t^2 \div 2 = c \dots \text{従って } t = (2 \dots c \div \dots)^{1/2} \\ \text{最終角速度} &= \dot{\theta} = \ddot{\theta} (2 \dots c \div \dots)^{1/2} = (2 \dots c \dots)^{1/2} \\ \text{最終速度} &= v = x (2 \dots c \dots)^{1/2} \end{aligned}$$

$$W_k = \text{質量} \times \text{最終速度}^2 \div 2 = \frac{1}{2} m \div g \times x^2 \dots c \dots dx \div 2 \quad \dots\dots (3-6)$$

上式を積分し、 $m l = M$ と置換し、式(2.4)を代入して次式を得る。

$$W_k = c l \div 2 (F_h - 5 F_f \div 3) \quad \dots\dots (3-7)$$

即ち、 W_k と W_w は一致する。

衝突時扉体速度の算式を導く。

$$\begin{aligned} \text{扉体速度} &= V = x \dot{\theta} \\ W_k &= \text{質量} \times \text{最終速度}^2 \div 2 = \frac{1}{2} m \div g \times (x \dot{\theta})^2 dx \div 2 = M (1 \dots)^2 \div (6 g) \end{aligned}$$

従って、

$$\text{衝突時扉体角速度} = \dot{\theta} = (6 g W_k \div M)^{1/2} \div 1 \quad \dots\dots (3-8)$$

$$\text{衝突時扉体先端速度} = V = (6 g W_k \div M)^{1/2} \quad \dots\dots (3-9)$$

3.1.2 直線関数

運動エネルギーの算出式を潮流推力の仕事と扉体が蓄える運動エネルギーの両面から導く。

(1) 仕事 (Ww)

$$W_w = \text{力} \times \text{移動距離} = \int_0^c f \cdot h \cdot dx = \int_0^c \left(\frac{F}{h} \cdot x \right) \cdot h \cdot dx = \frac{F}{2} \cdot c \cdot h \quad \dots (3-10)$$

上式を積分し、 $f \cdot h = F \cdot x / c$ と置換して下式を得る。

$$W_w = \frac{F}{2} \cdot c \cdot h \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{c}{c} \right) = \frac{F}{4} \cdot c \cdot h \quad \dots (3-11)$$

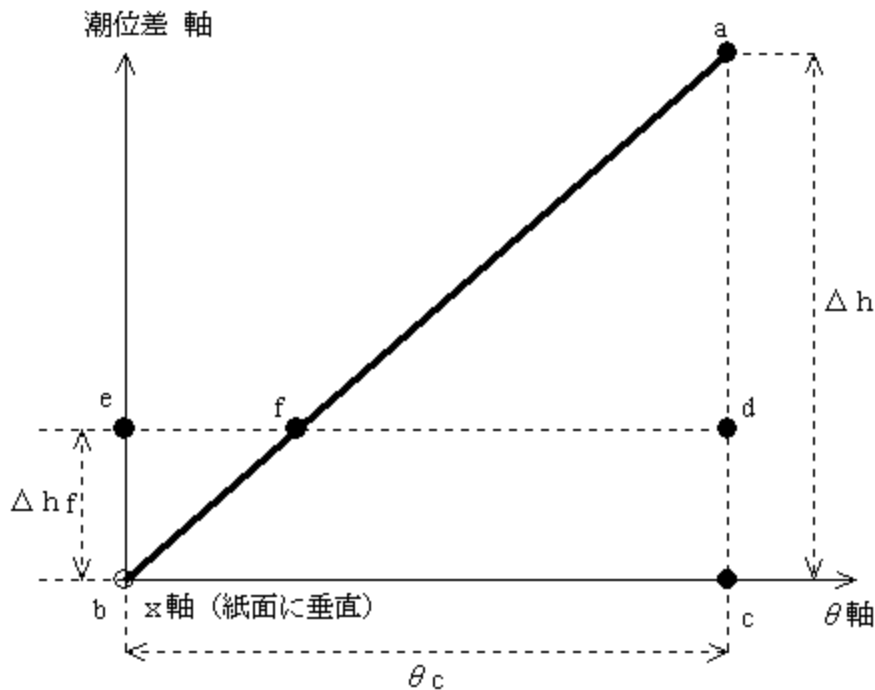


図 - 7 潮位差分布 (直線関数)

図 - 7 は 軸に沿った潮位差分布を示す。 軸、x 軸 (紙面に直角)、 c は図 - 6 と同一定義である。縦軸は潮位差、 hf は h による推力が靴の摩擦力と等しい潮位差である。 abc の面積は式 (3-11) の第 1 項に比例し、 bcde の面積は第 2 項に比例する。 h hf の範囲では潮位差による扉体の移動が起こらないので、結果として式 (3-11) は ebf の面積に比例する量だけ多く差し引かれているので、式は次式のように修正される。

$$W_w = \frac{F}{2} \cdot c \cdot h \cdot \left\{ \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{c} \cdot \left(1 + \frac{hf}{h} \right) - \frac{5}{6} \cdot \frac{hf}{h} \right\} \quad \dots (3-12)$$

(2) 運動エネルギー (Wk)

潮位差直線関数の仮定で式(2.4)は次式の様に変更される。

$$\ddot{d} = 3g \div (2Ml) \{ F_h \times (\ddot{c} \div 2) - 5Ff \div 3 \} \dots\dots\dots (3.-13)$$

加速度の平均値を算出する。

$$\int_0^c \ddot{d} = 3g \div (2Ml) [F_h \times (\ddot{c} \div 2) - 5Ff \div 3] \times \frac{c}{0}$$

$$= 3g \div (2Ml) \times c (F_h \div 2 - 5Ff \div 3)$$

平均角加速度 = $\ddot{\theta} = \ddot{c} \div c = 3g \div (2Ml) \times (F_h \div 2 - 5Ff \div 3) \dots\dots\dots (3.-14)$

角速度 = $\dot{\theta} = \ddot{\theta} t$
 最終角度 = $\theta = \ddot{\theta} t^2 \div 2 = c \times \ddot{\theta} \div 2$ 従って $t = (2 \times c \div \ddot{\theta} m)^{1/2}$
 最終角速度 = $\dot{\theta} = \ddot{\theta} (2 \times c \div m)^{1/2} = (2 \times c \times \ddot{\theta} m)^{1/2}$
 最終速度 = $v = \dot{\theta} \times (2 \times c \times m)^{1/2}$

$$Wk = \text{質量} \times \text{最終速度}^2 \div 2 = \frac{1}{0} m \div g \times \times 2 \times c \times m \times \ddot{\theta} \times \div 2 \dots\dots\dots (3.-15)$$

上式を積分し、 $m l = M$ と置換し、式(3.-14)を代入して次式を得る。

$$Wk = c l \div 2 (F_h \div 2 - 5Ff \div 3) \dots\dots\dots (3.-16)$$

即ち、Wk と式(3.-11)のWwは一致する。

式(3.-11)を修正して式(3.-12)とした同じ理由で式(3.-16)を修正して式(3.-17)が得られる。

$$Wk = c l \div 2 \{ F_h \div 2 \times (1 + hf \div h) - 5Ff \div 3 \} \dots\dots\dots (3.-17)$$

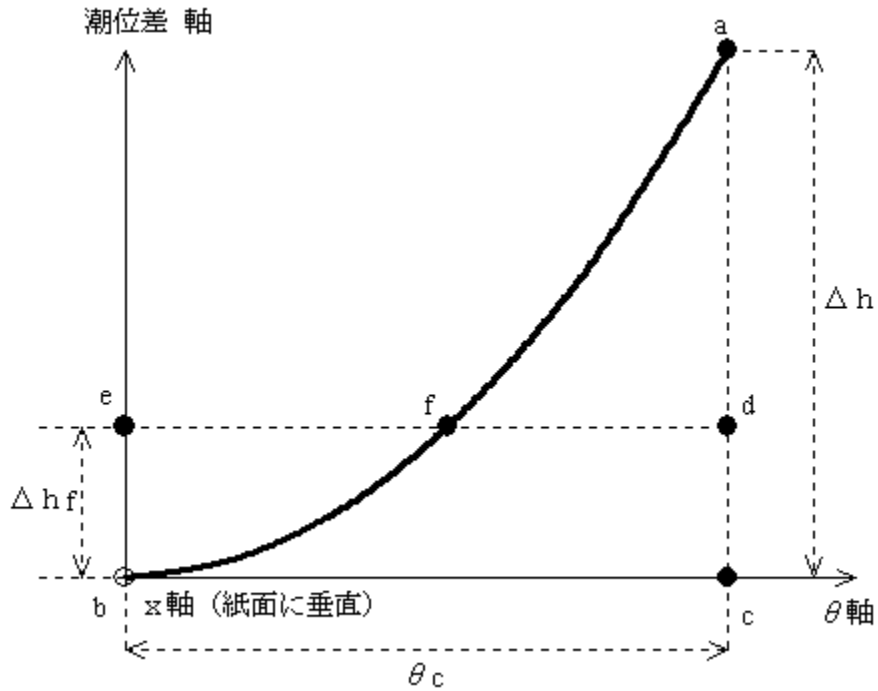


図 - 8 潮位差分布 (放物線関数)

3.1.3 放物線関数

運動エネルギーの算出式を潮流推力の仕事と扉体が蓄える運動エネルギーの両面から導く。

(1) 仕事 (Ww)

$$W_w = \text{力} \times \text{移動距離} = \int_0^c f h \left(\frac{c}{c} \right)^2 dx - c l \times 5 F f \div 6 \quad \dots (3-18)$$

上式を積分し、 $f h l = F h$ と置換して下式を得る。

$$W_w = c l \div 2 (F h \div 3 - 5 F f \div 3) \quad \dots (3-19)$$

図 - 8 は 軸に沿った潮位差分布を示す。 軸、x 軸 (紙面に直角)、 c は図 - 6 と同一定義である。縦軸は潮位差、 hf は h による推力が靴の摩擦力と等しい潮位差である。面積 abc は式 (3-11) の第 1 項に比例し、面積 bcde は第 2 項に比例する。 h

hf の範囲では潮位差による扉体の移動が起こらないので、結果として式 (3-19) は面積 ebf に比例する量だけ多く差し引かれているので、式は次式のように修正される。

$$W_w = c l \div 2 \{ F h \div 3 \times [1 + 2 (hf \div h)^{3/2}] - 5 F f \div 3 \} \quad \dots (3-20)$$

(2) 運動エネルギー (Wk)

潮位差放物線関数の仮定で式(3.-13)は次式の様に変更される。

$$\ddot{\theta} = 3g \div (2Ml) \{ F_h \times (\div c)^2 - 5Ff \div 3 \} \dots\dots (3.-21)$$

加速度の平均値を算出する。

$$\begin{aligned} \int_0^c \ddot{\theta} d\theta &= 3g \div (2Ml) [F_h \times (\div 3 \div c)^2 - 5Ff \div 3 \times \div c] \\ &= 3g \div (2Ml) \times c (F_h \div 3 - 5Ff \div 3) \end{aligned}$$

$$\text{平均角加速度} = \ddot{\theta}_m = \ddot{\theta} \div c = 3g \div (2Ml) \times (F_h \div 3 - 5Ff \div 3) \dots\dots (3.-22)$$

$$\begin{aligned} \text{角速度} = \dot{\theta} &= \ddot{\theta}_m t \\ \text{最終角度} = \theta &= \ddot{\theta}_m t^2 \div 2 = c \div 3 \times \text{従って } t = (2 \div c \div m)^{1/2} \\ \text{最終角速度} = \dot{\theta} &= \ddot{\theta}_m (2 \div c \div m)^{1/2} = (2 \div c \div m)^{1/2} \\ \text{最終速度} = v &= \dot{\theta} \times (2 \div c \div m) \end{aligned}$$

$$W_k = \text{質量} \times \text{最終速度}^2 \div 2 = \frac{1}{2} m \div g \times \times 2 \div c \div m d \times \div 2 \dots\dots (3.-15)$$

上式を積分し、m l = Mと置換し、式(3.-22)を代入して次式を得る。

$$W_k = c l \div 2 (F_h \div 3 - 5Ff \div 3) \dots\dots (3.-23)$$

即ち、Wk と式(3.-19)のWwは一致する。

式(3.-19)を修正して式(3.-20)とした同じ理由で式(3.-23)を修正して式(3.-24)が得られる。

$$W_k = c l \div 2 \{ F_h \div 3 \times [1 + 2 (h f \div h)]^{3/2} - 5Ff \div 3 \} \dots\dots (3.-24)$$

3.2 計算結果

潮流推力で扉体が全閉位置に移動して水底コンクリート構造に衝突する時の扉体の運動エネルギーの算出結果を図 - 9 (定数関数)、図 - 10 (直線関数)、及び、図 - 11 (放物線関数) に示す。それぞれの図の 1 / 13 ~ 13 / 13 は摩擦係数 $f = 0 \sim 0.4$ に対応している。横軸が潮流 (m/s)、縦軸が運動エネルギー $W_k (tf - m)$ 、系列名は着床角度 c (= 全閉位置からの角度) である。更に、系列名として限界 1 と限界 2 を追加し、潮流利用の開閉操作で限界となる運動エネルギーレベルを示したので、グラフから扉体の剪断応力を限界 1 以下または限界 2 以下に維持できる f と h の組み合わせを読み取ることができる。グラフは f 値の増加に伴い右に移動する。摩擦力による適用流速の押し上げ効果である。尚、0.2 以上の f 値維持はコスト的、技術的に現実的でないかも知れない。本計算では摩擦靴の荷重を $1074 tf$ と設定しているが、これを 2 倍にすると 2 倍の減勢力、3 倍にすると 3 倍の減勢力が得られるので f が 2 倍、3 倍の計算結果がそのまま適用できる。左下がりのグラフが潮流軸に到達してグラフが終わるが、到達点は f の増加に従い右方向に移動する。到達点より左側では摩擦力が潮流力に勝って扉体が移動できない。

3.2.1 定数関数

図 - 9 は潮位差 h が定数関数分布の計算結果である。着床角度 $c = 20^\circ$ で運動エネルギーが許容値内の潮流範囲が極めて狭い。計算条件は扉体前後面に潮流が無く潮位差 h が存在すると設定したが、現場の扉体周りに水の流れが存在するので実際的でなく、運動エネルギー的にはシビアな、扉体操作力面からは過大な設定と言える。

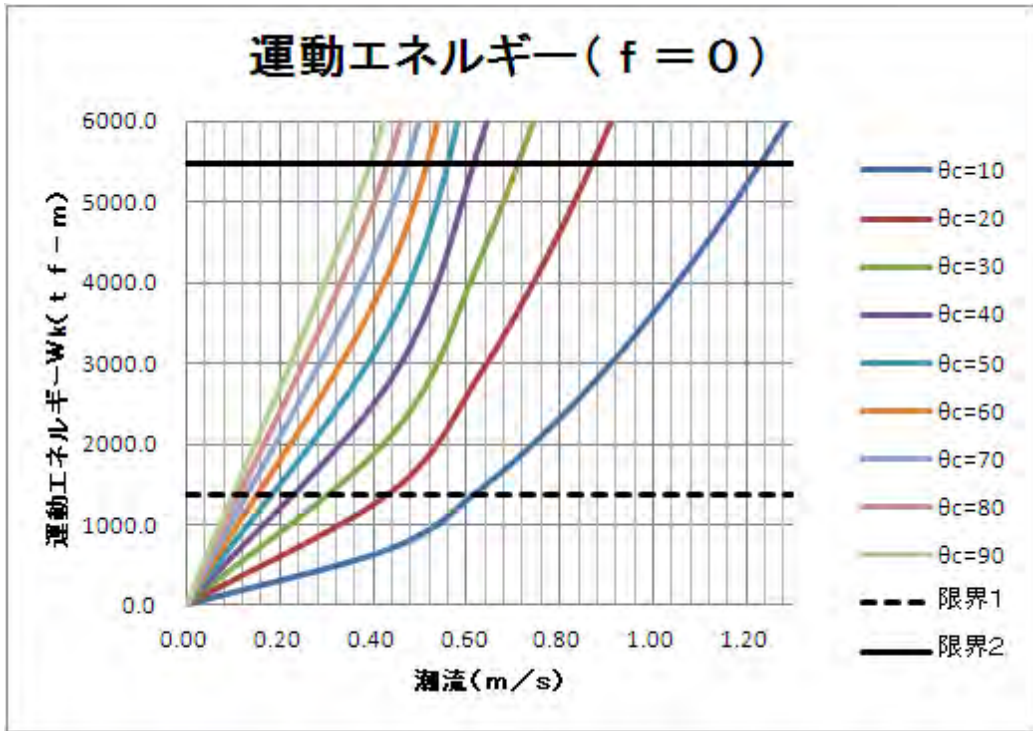


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (1 / 1 3)

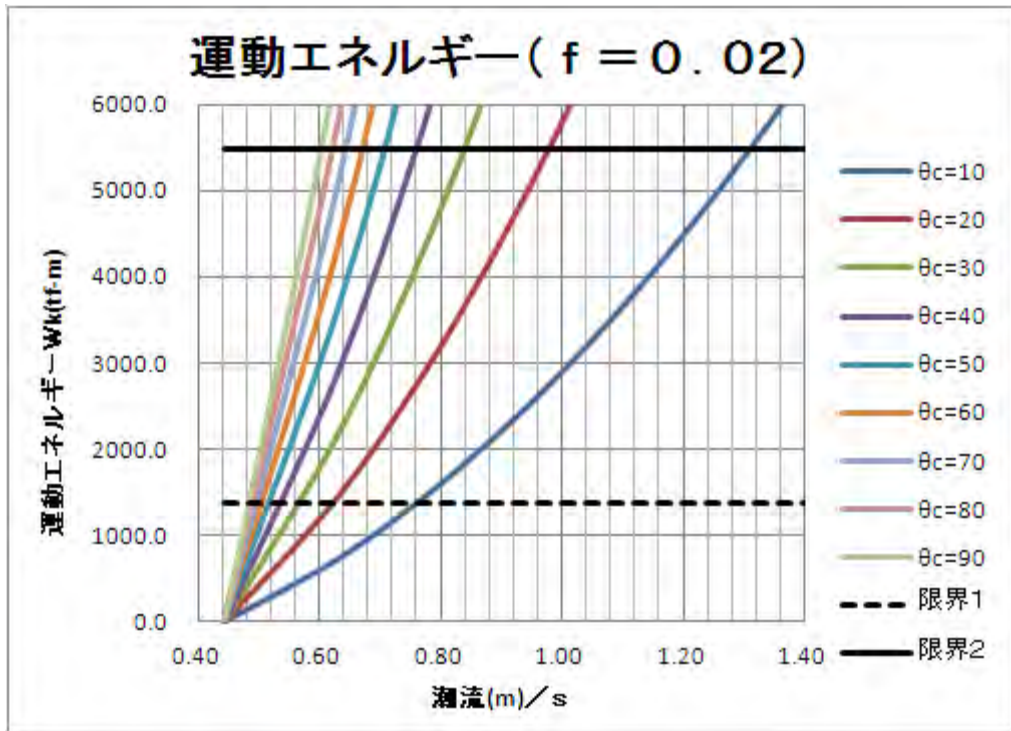


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (2 / 1 3)

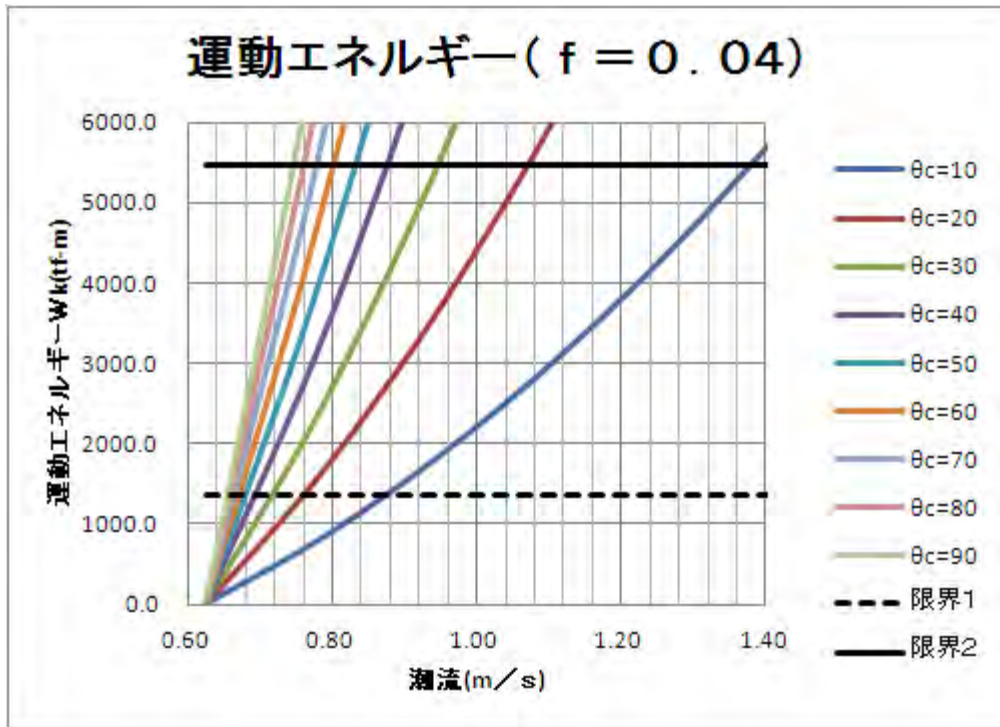


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (3 / 1 3)

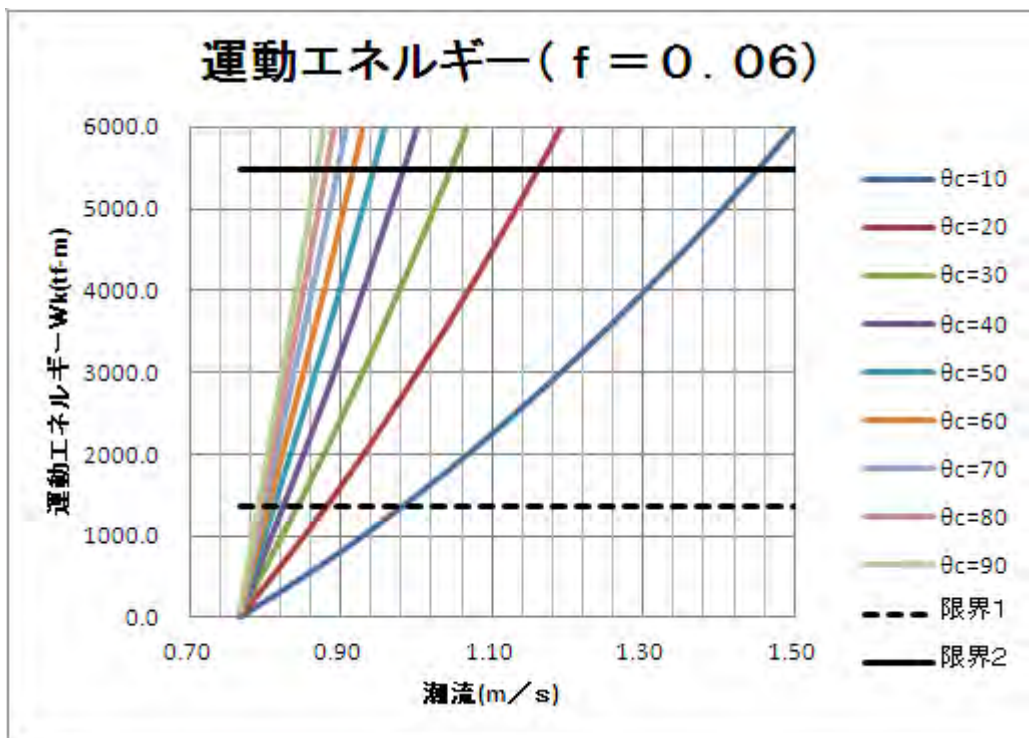


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (4 / 1 3)

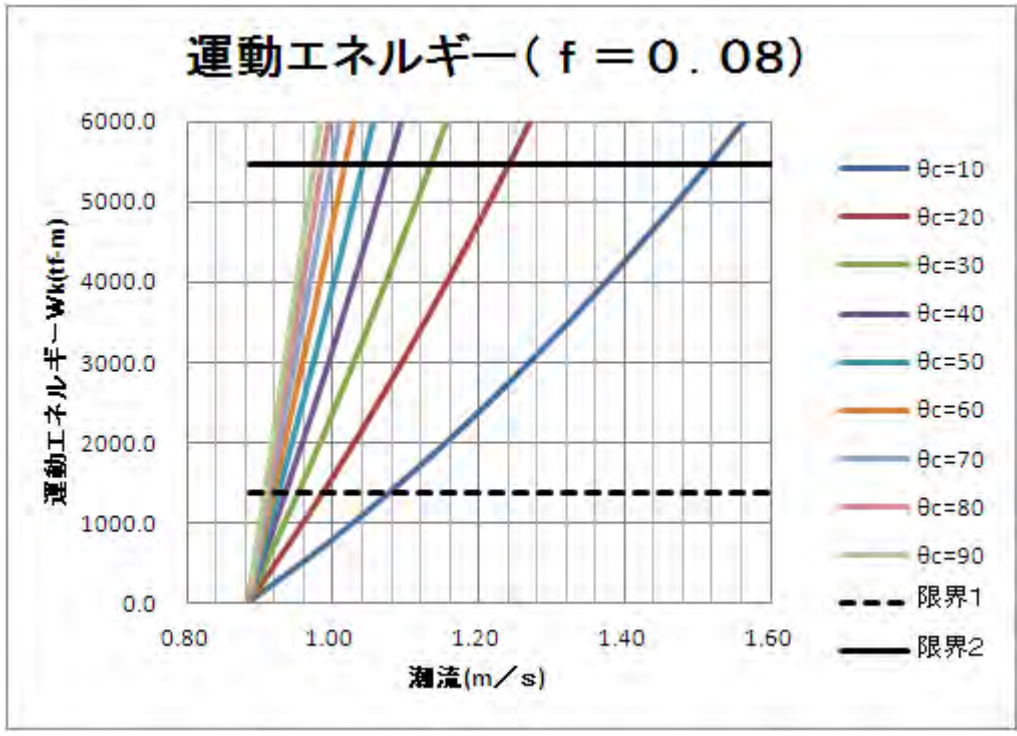


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (5 / 13)

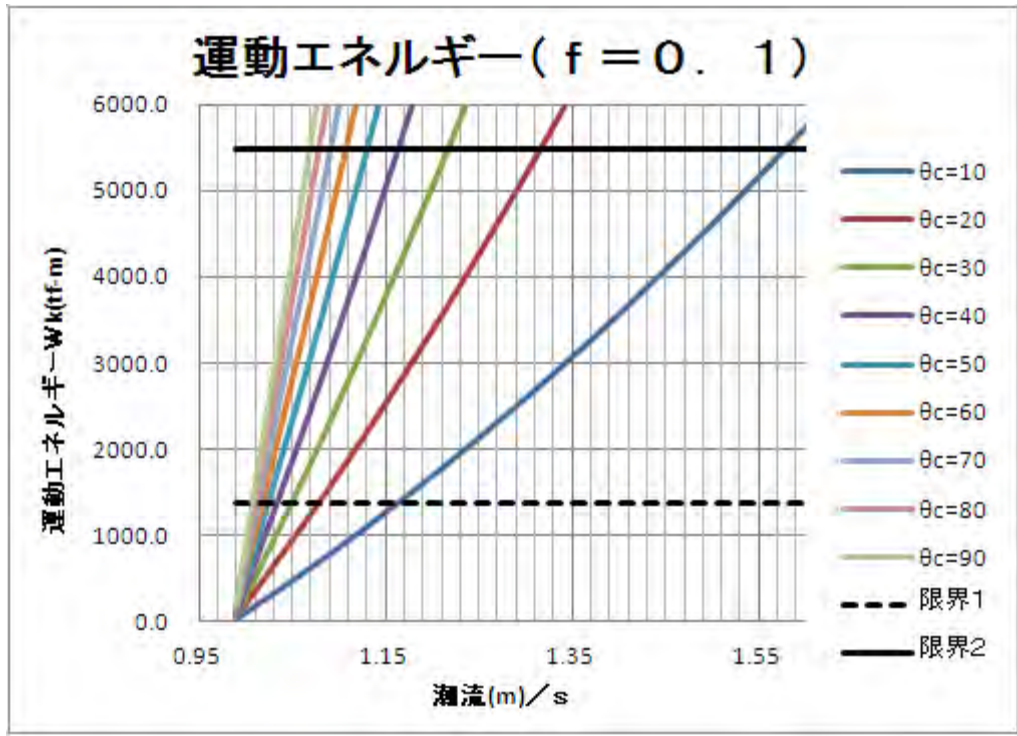


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (6 / 13)

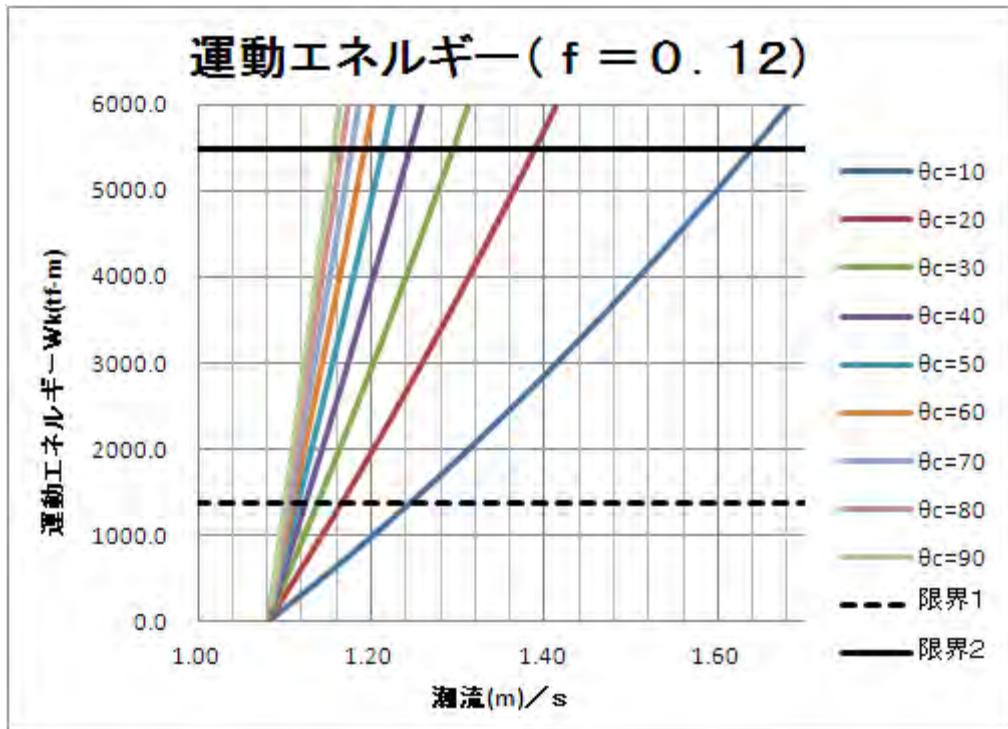


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (7 / 13)

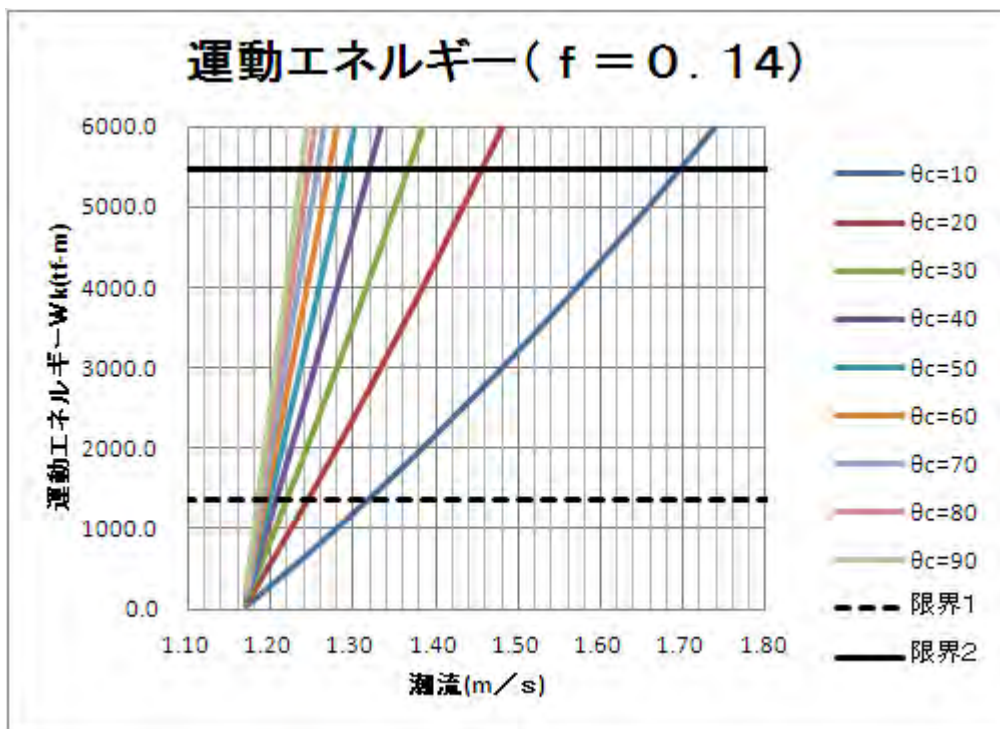


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (8 / 13)

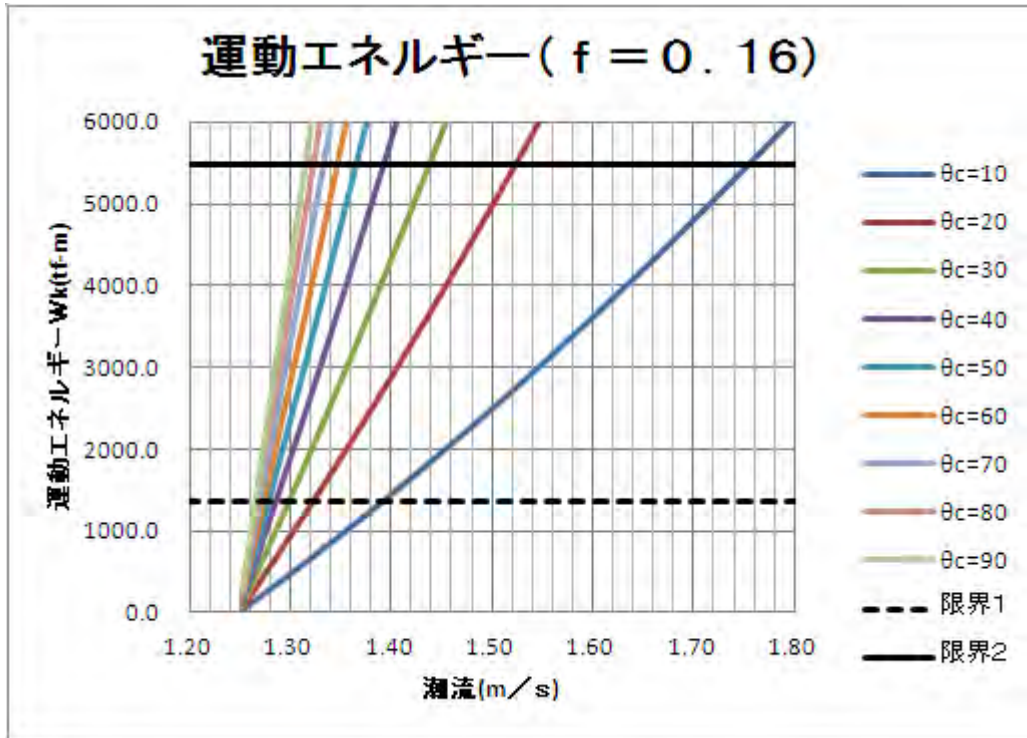


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (9 / 13)

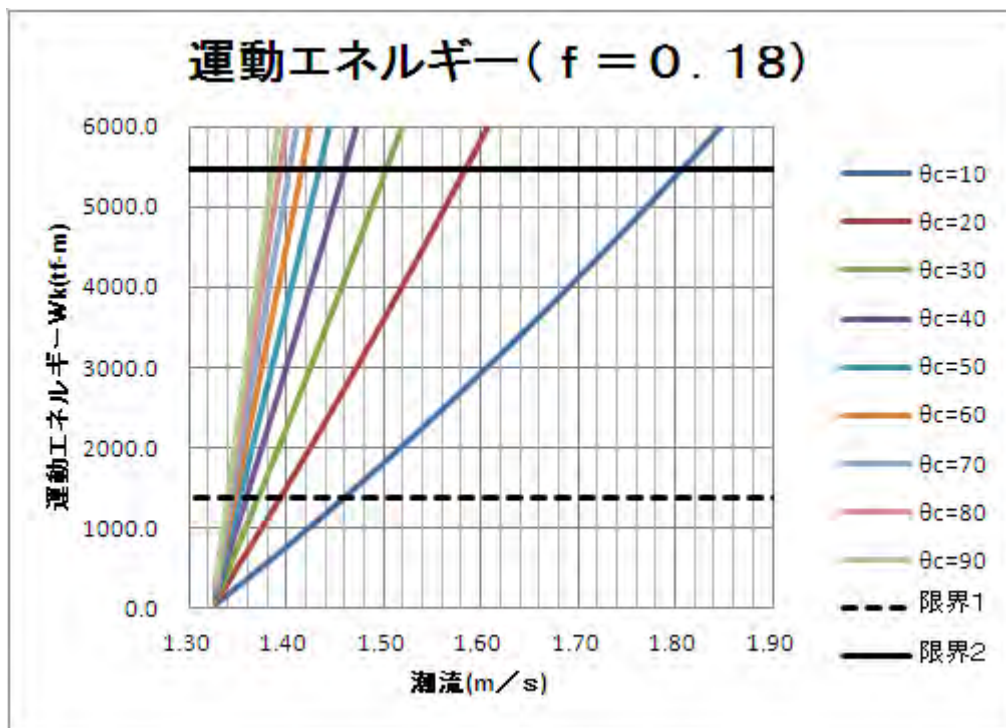


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (10 / 13)

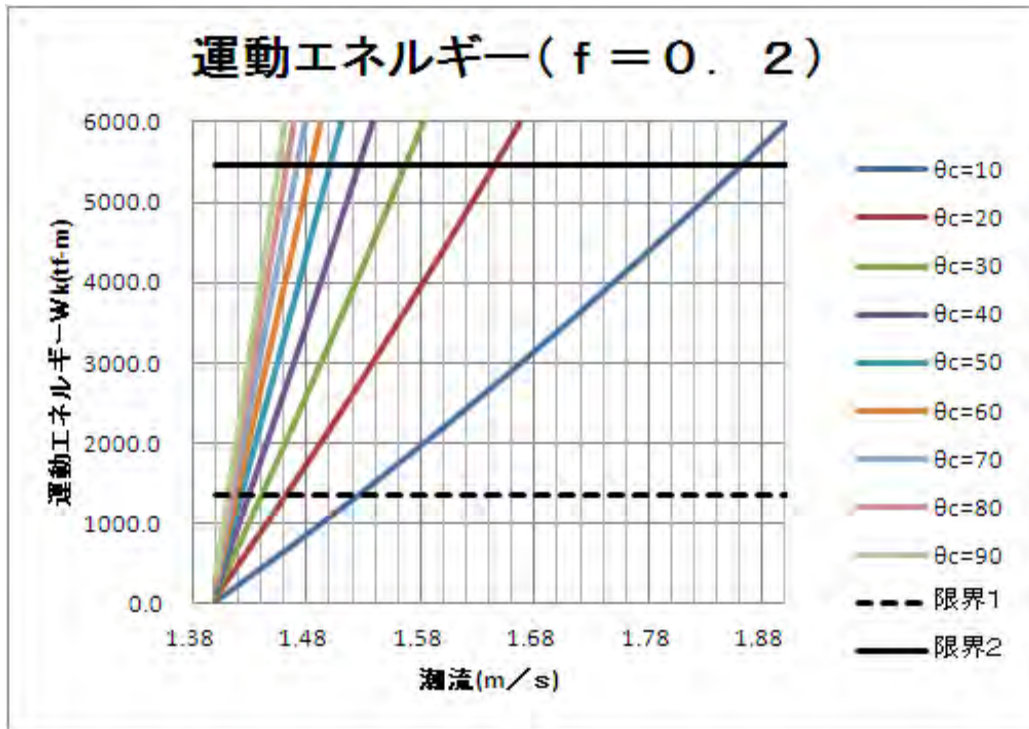


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (1 1 / 1 3)

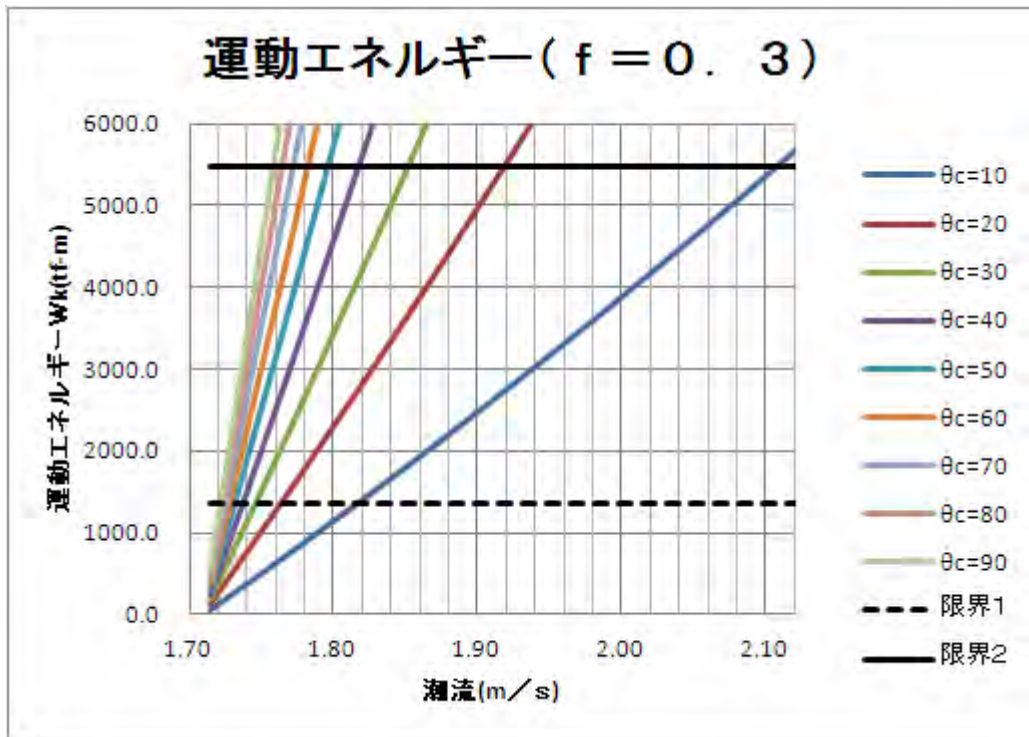


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (1 2 / 1 3)

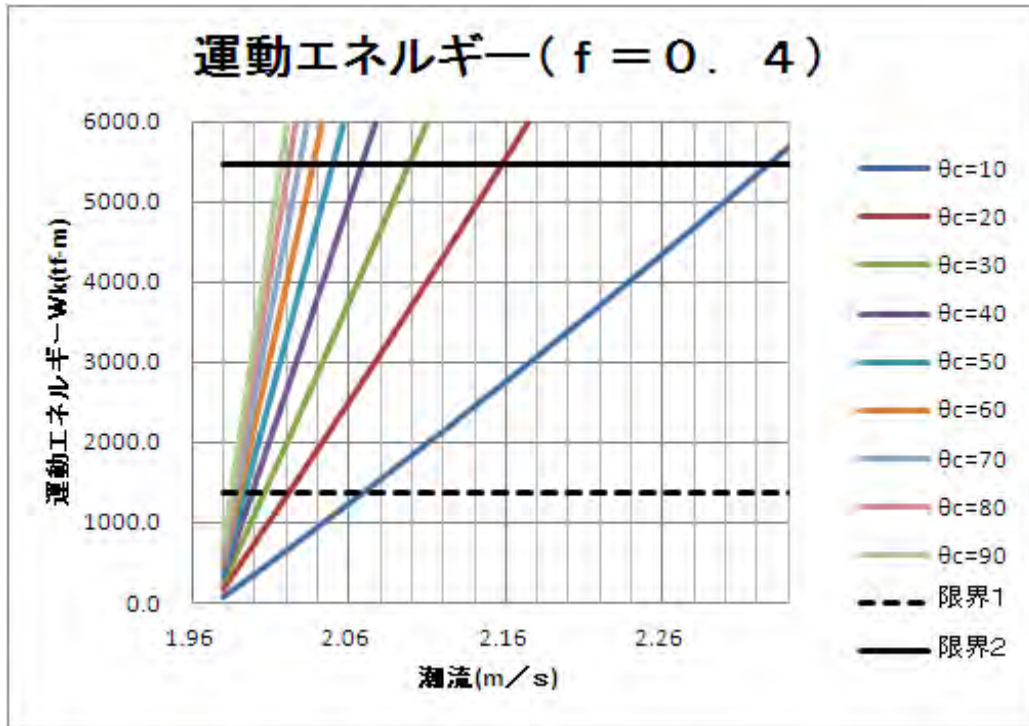


図 - 9 定数関数の運動エネルギー (1 3 / 1 3)

3.2.2 直線関数

図 - 10 は潮位差 h が直線関数分布の計算結果である。定数関数に比較して開閉操作に利用可能な潮流の範囲が広い。扉体の陸側に存在するとした潮流の影響であるが、潮流分布の仮定が未検証であり、計算結果の定量的信頼性は低い。

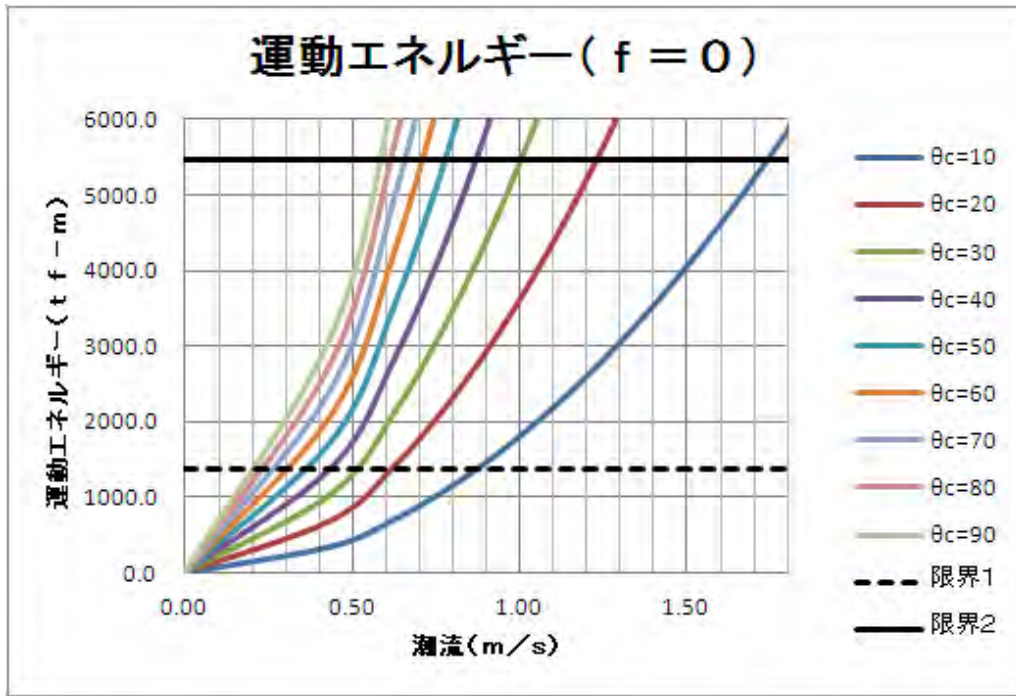


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (1 / 13)

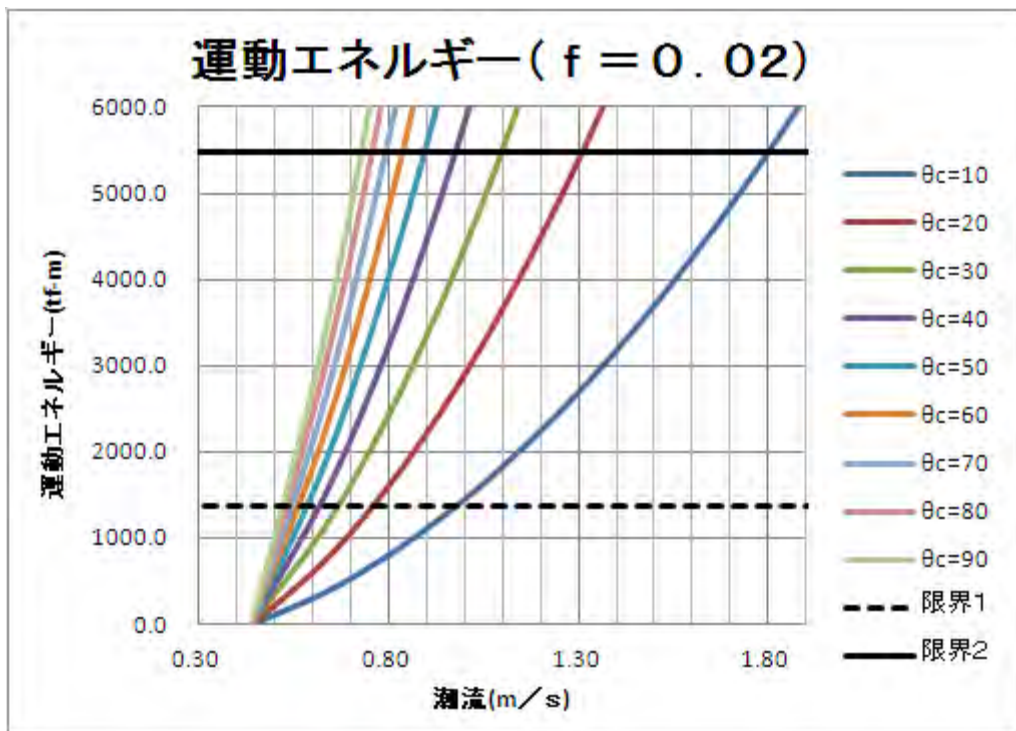


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (2 / 13)

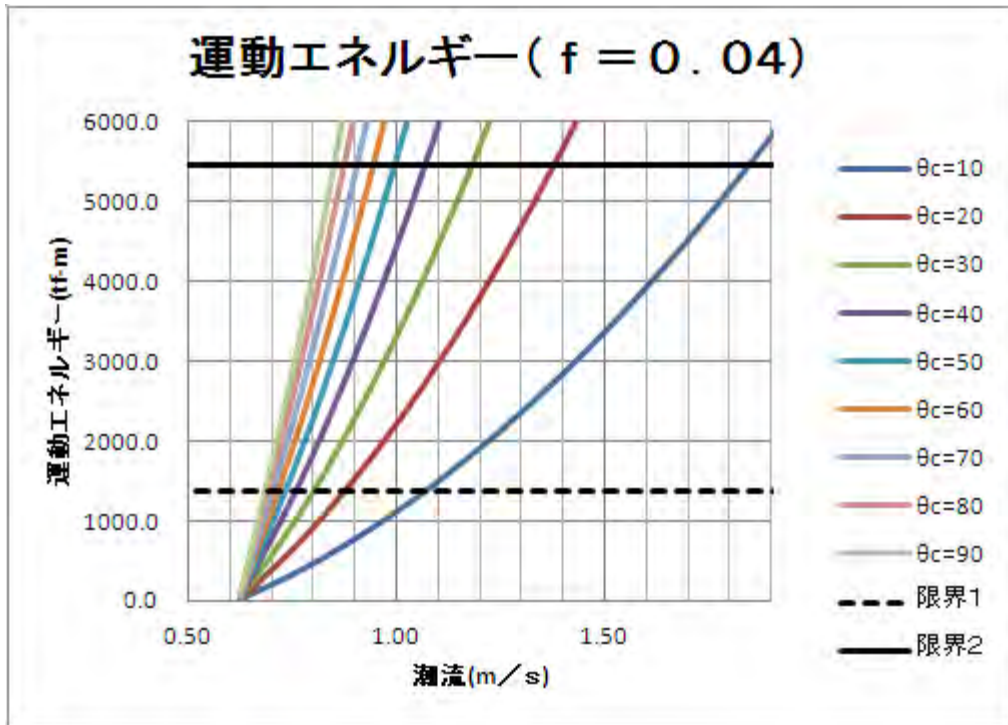


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (3 / 13)

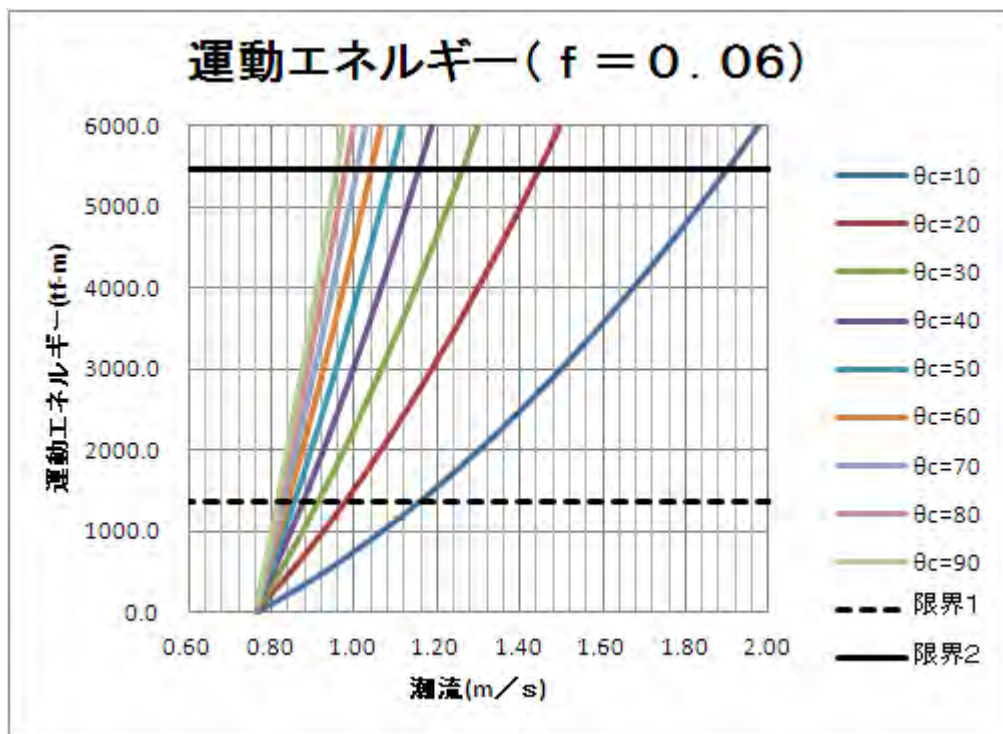


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (4 / 13)

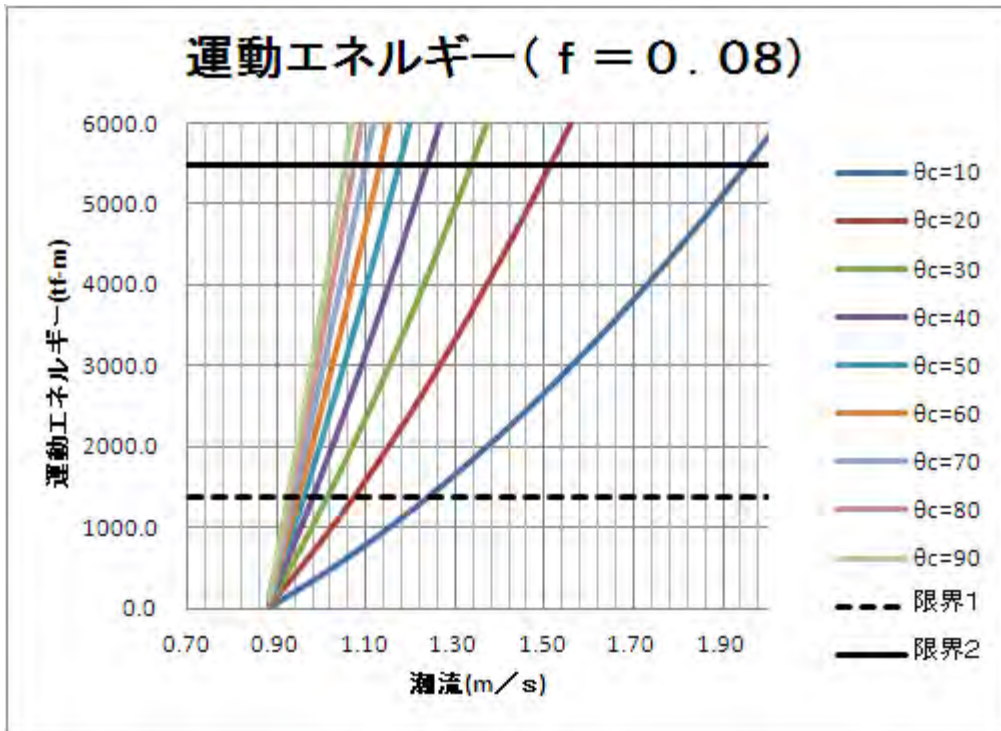


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (5 / 13)

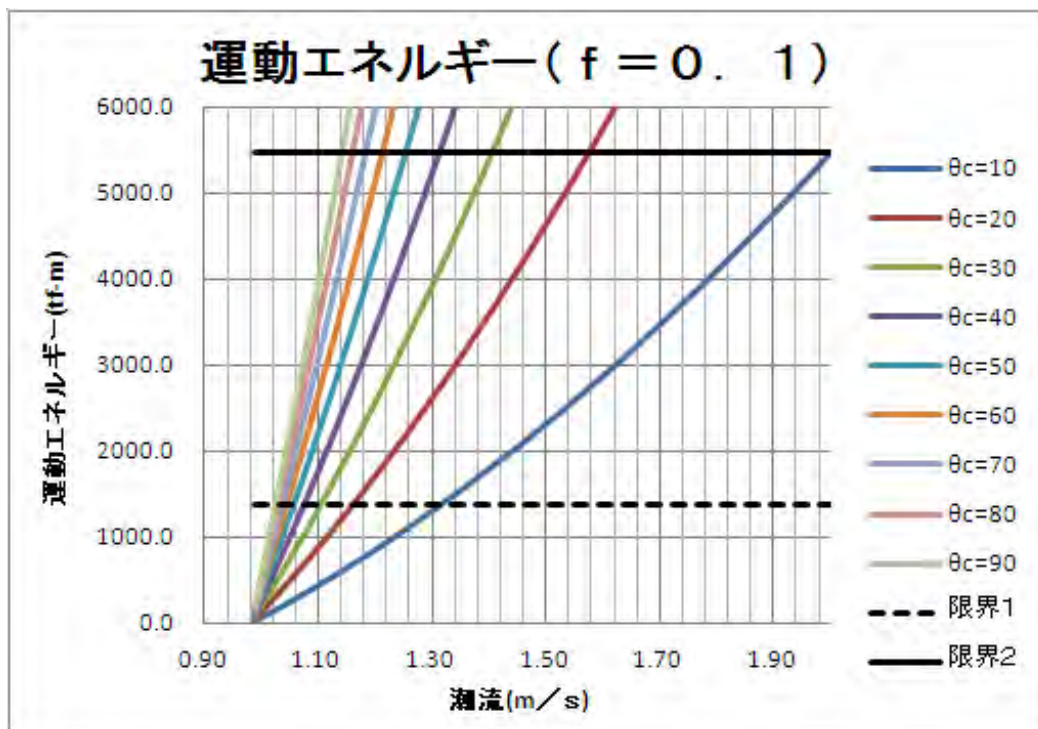


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (6 / 13)

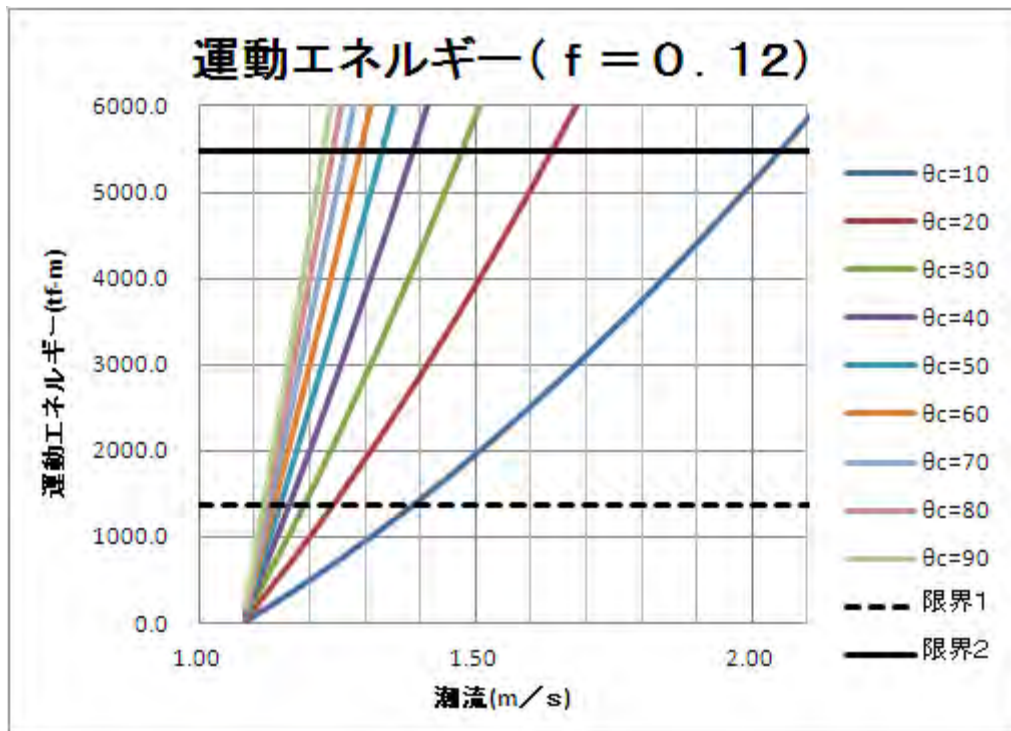


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (7 / 13)

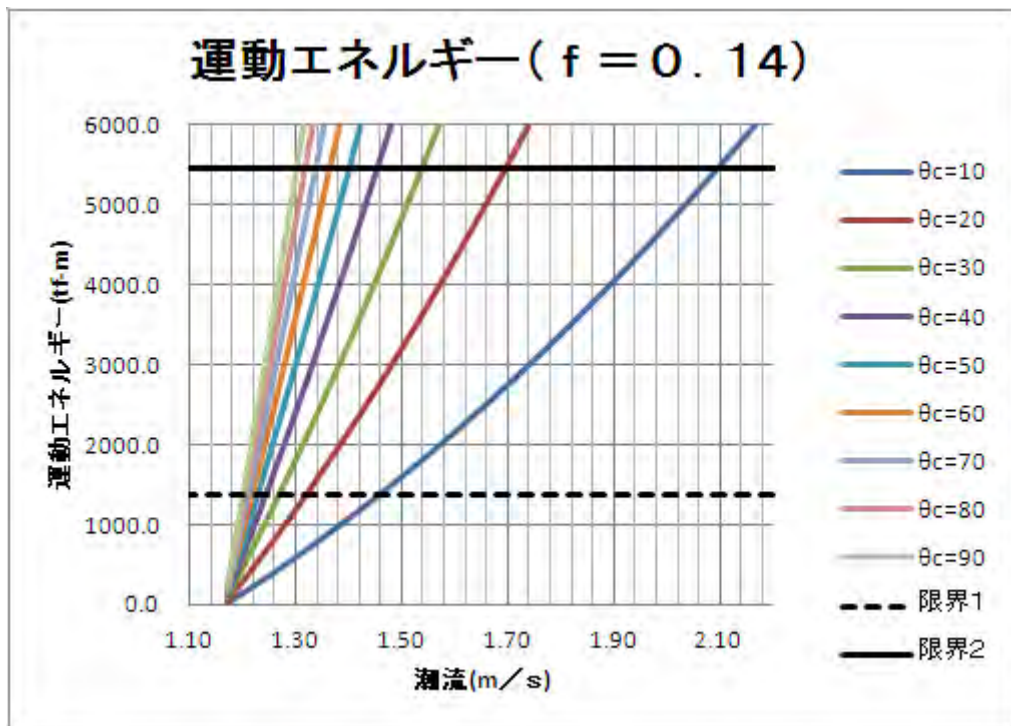


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (8 / 13)

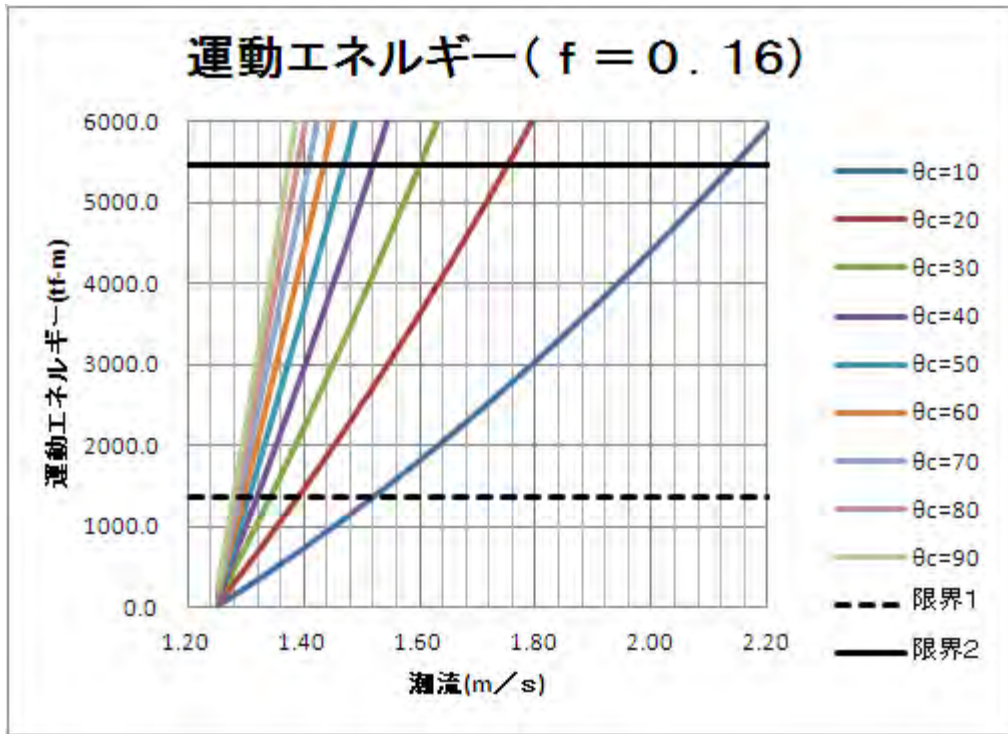


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (9 / 13)

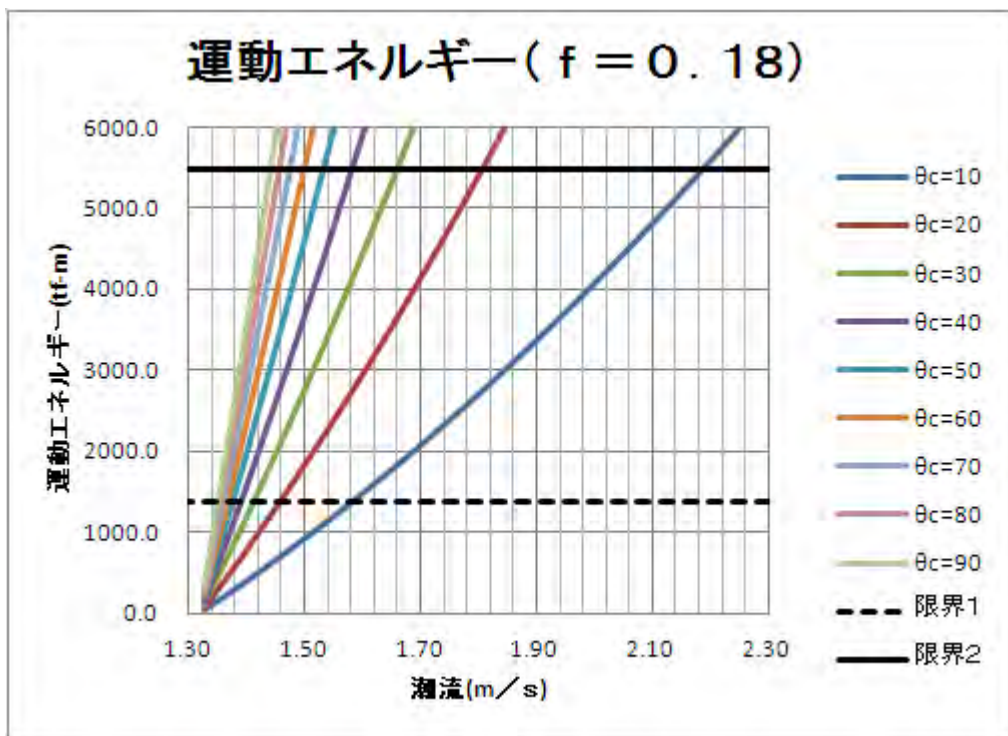


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (10 / 13)

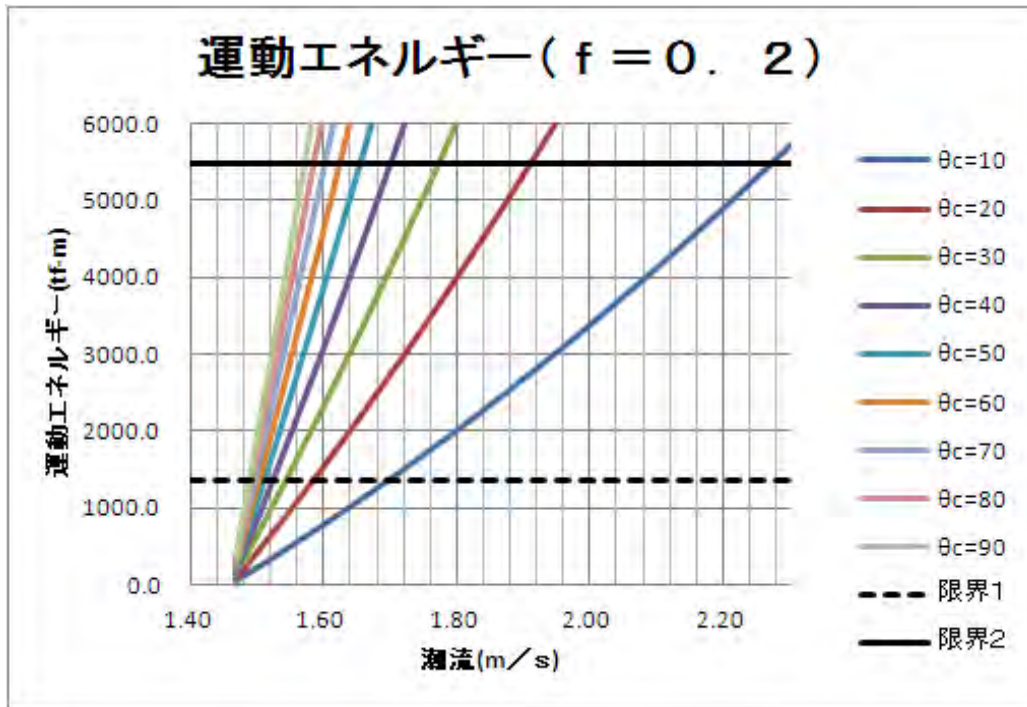


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (11 / 13)

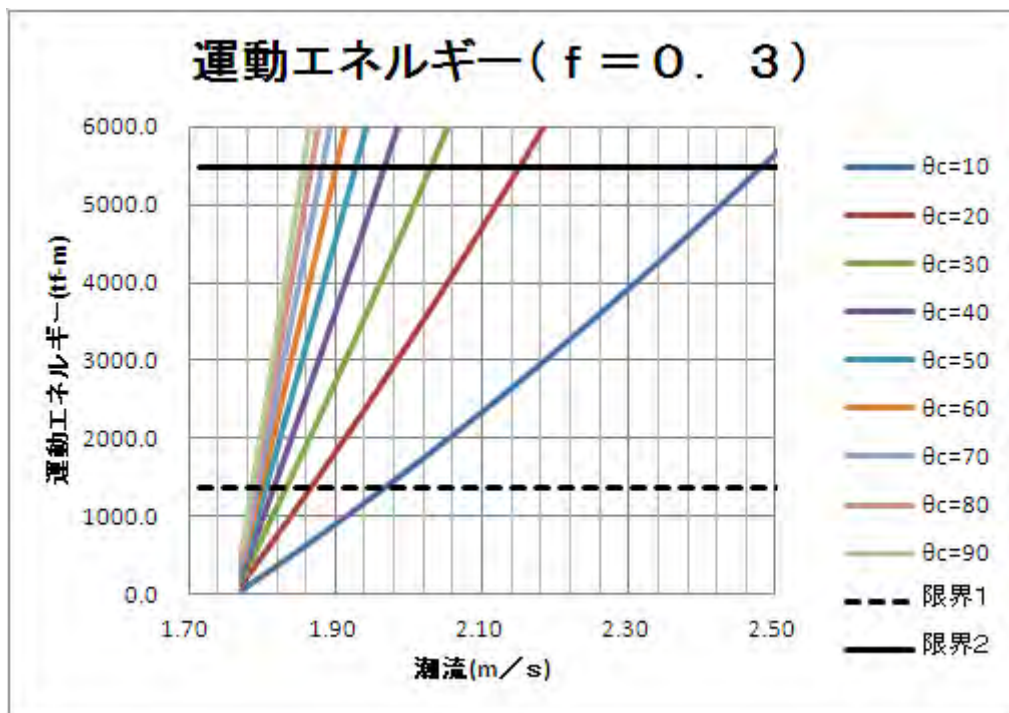


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (12 / 13)

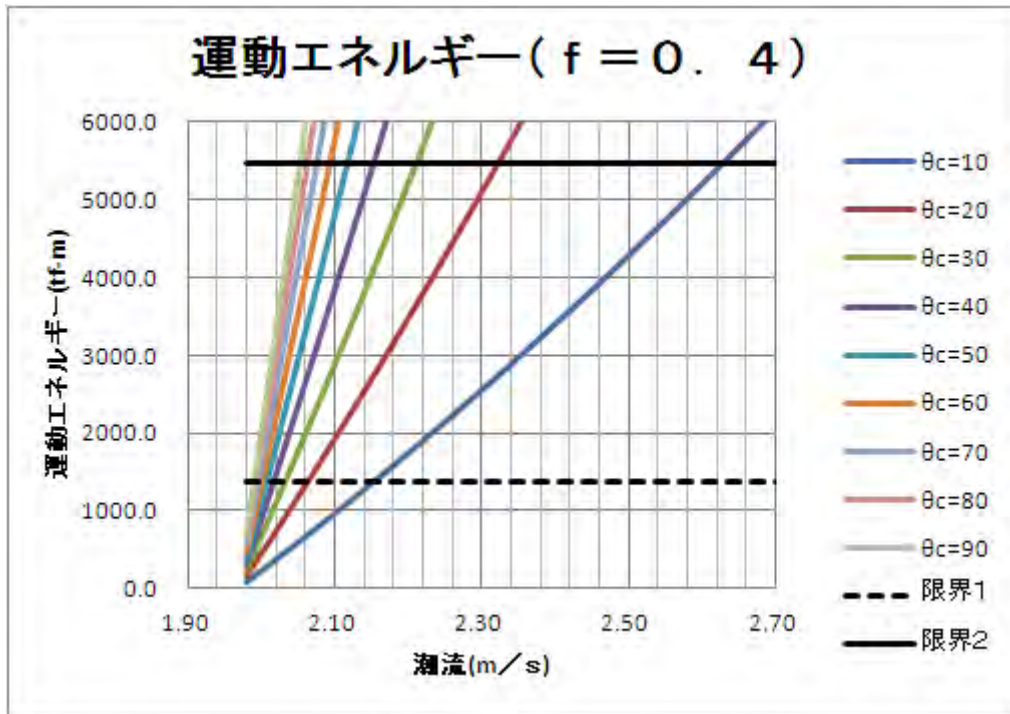


図 - 10 直線関数の運動エネルギー (13 / 13)

3.2.3 放物線関数

図 - 11 は潮位差 h が放物線関数分布の計算結果である。直線関数に比較して開閉操作に利用可能な潮流範囲が更に広い。これらは扉体の陸側に存在するとした潮流の影響であるが潮流分布の仮定が未検証であり、計算結果の定量的信頼性は低い。方向 (図 - 6 参照) の潮位差換算潮流分布を放物線 (図 - 8 参照) と設定したが、運動エネルギー的及び扉体操作力的に過小な設定と考えられる。

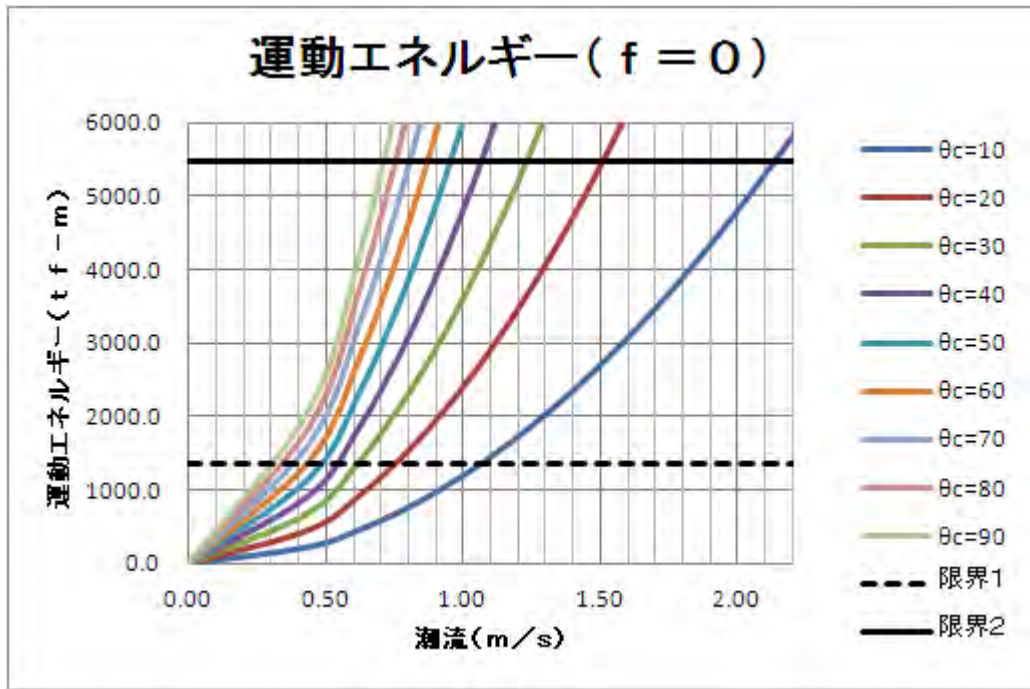


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (1 / 1 3)

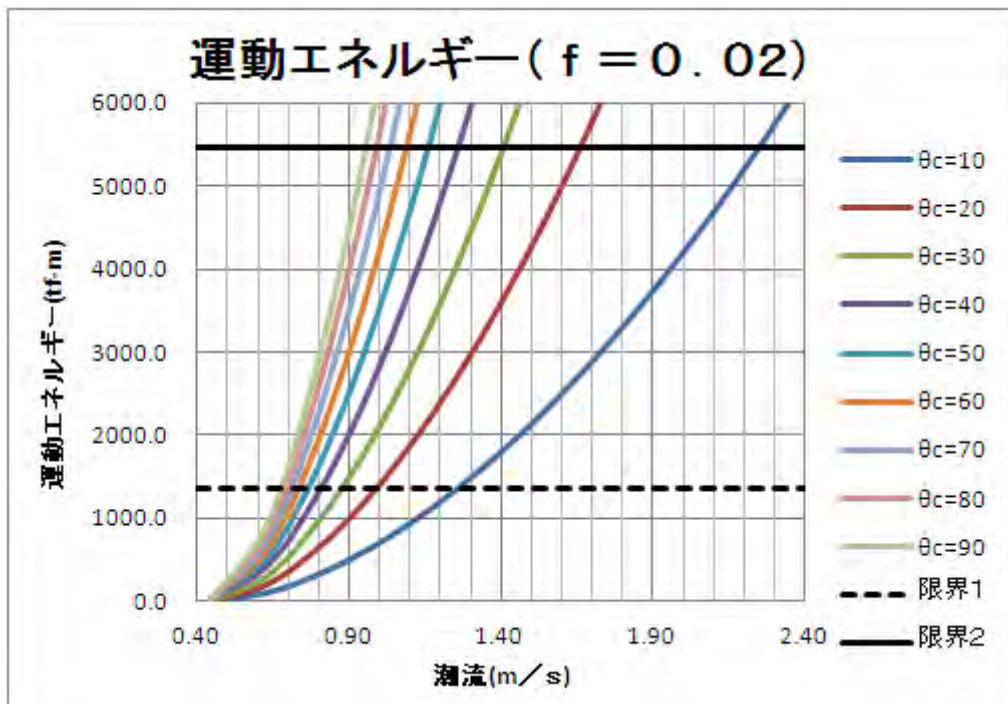


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (2 / 1 3)

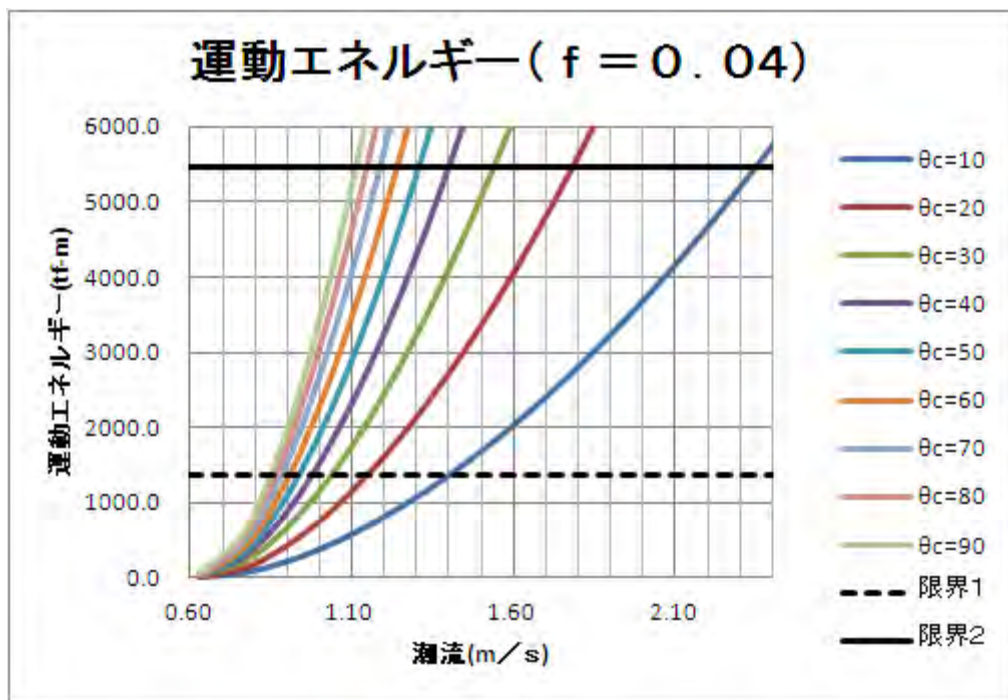


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (3 / 1 3)

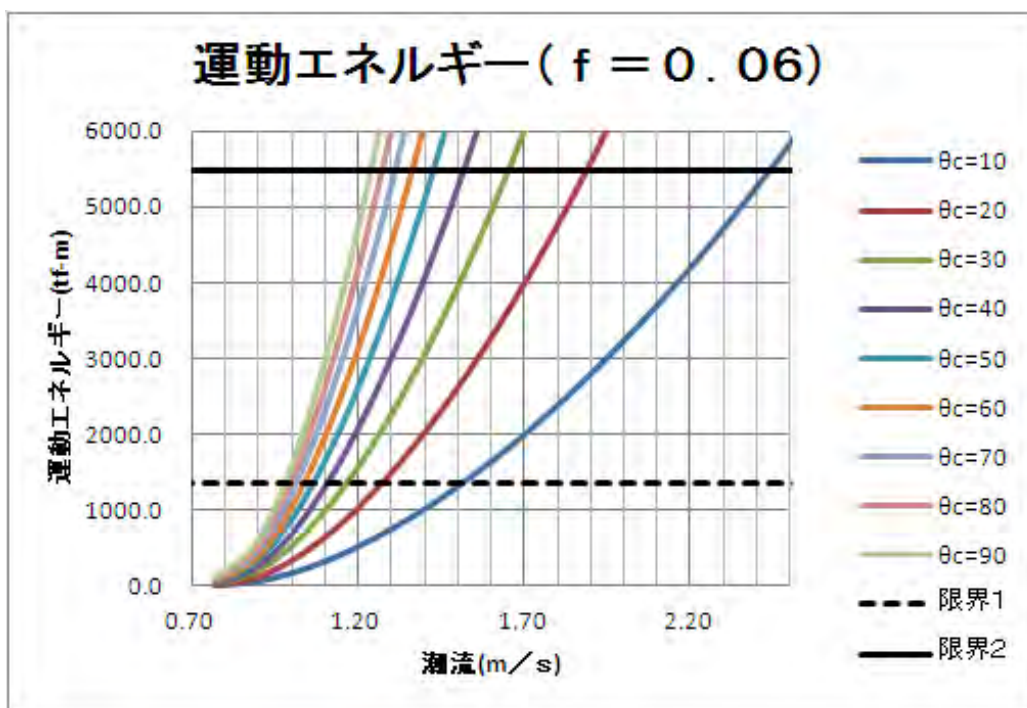


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (4 / 1 3)

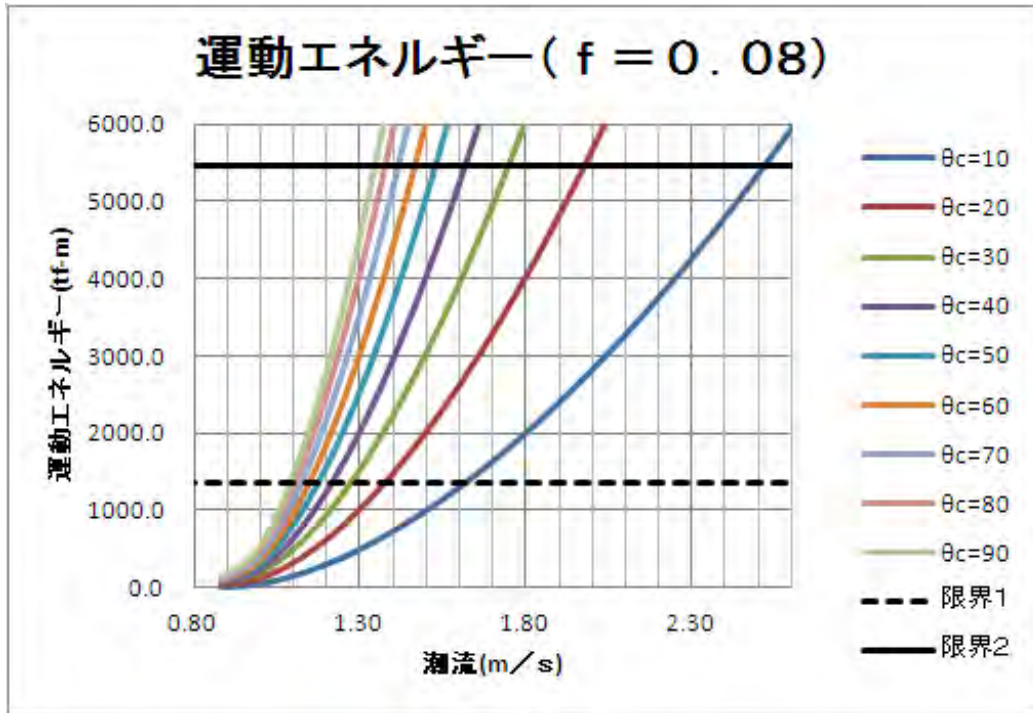


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (5 / 1 3)

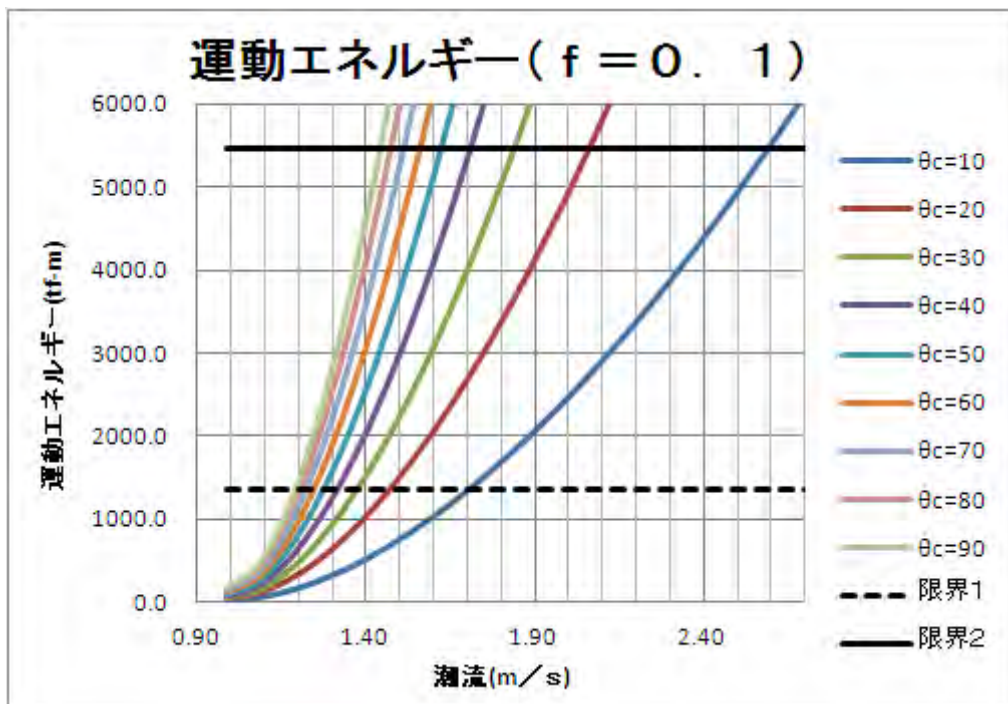


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (6 / 1 3)

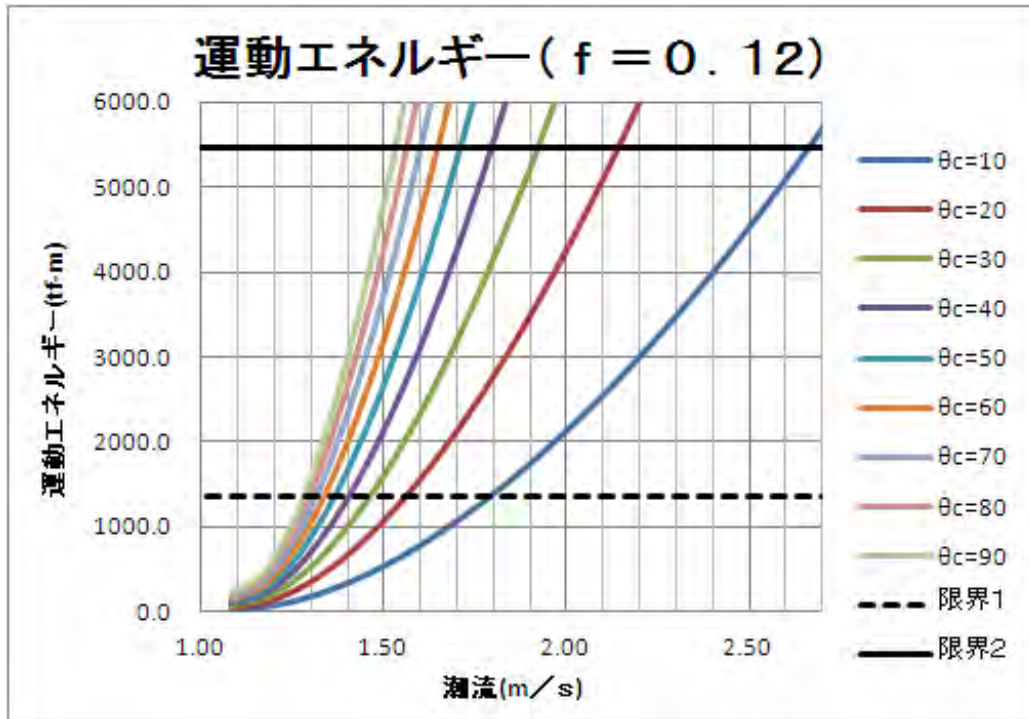


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (7 / 1 3)

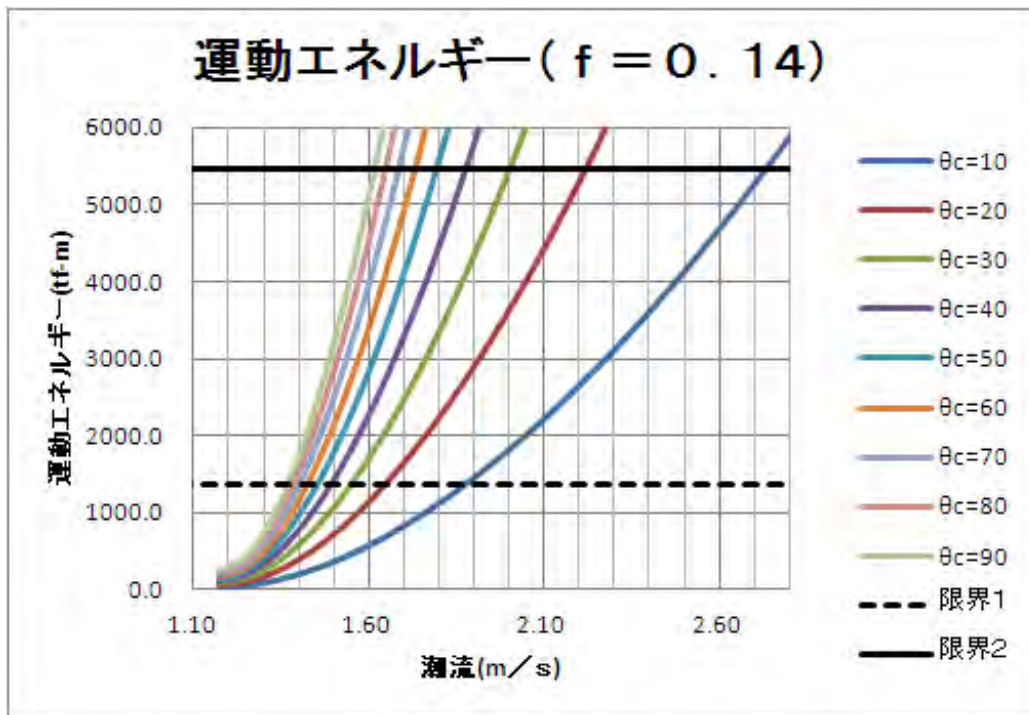


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (8 / 1 3)

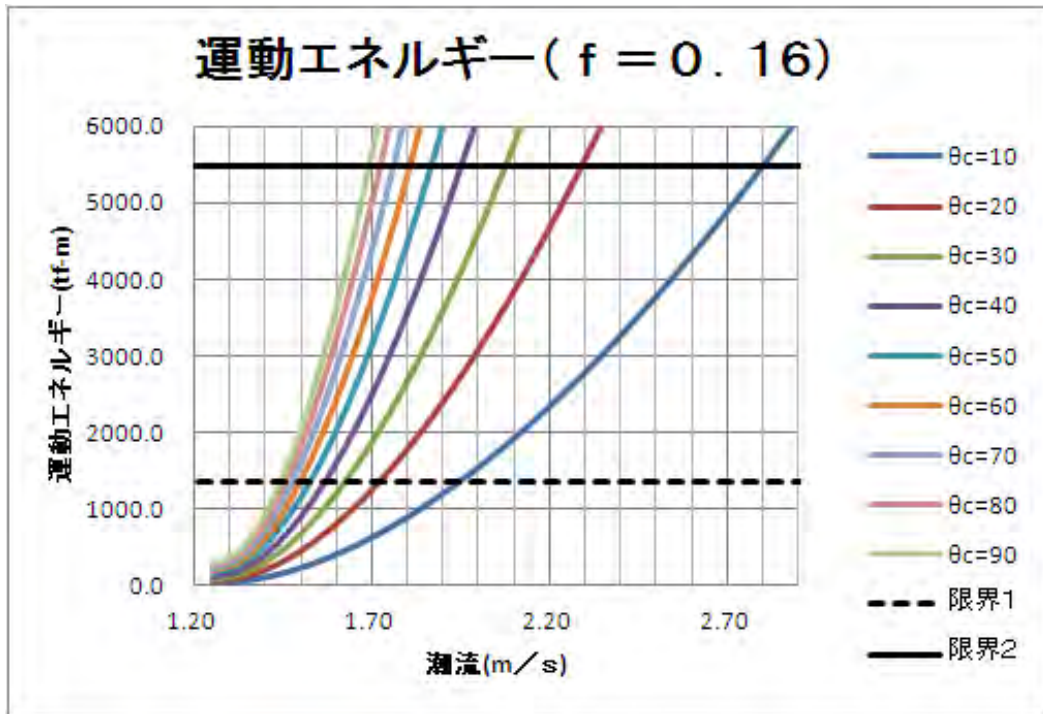


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (9 / 1 3)

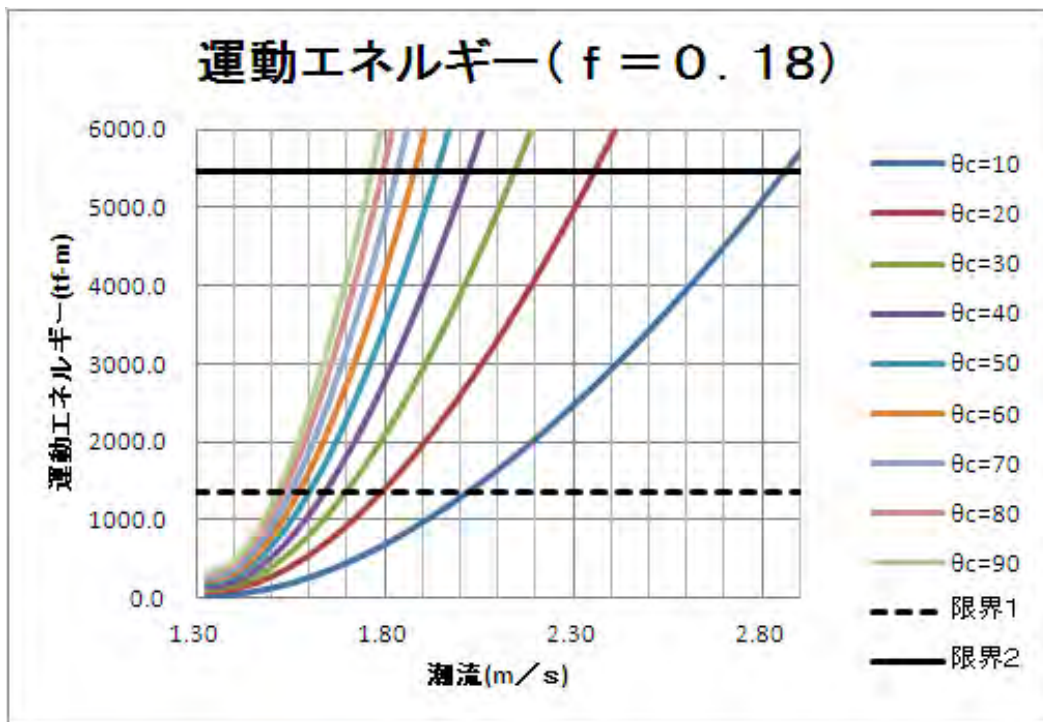


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (1 0 / 1 3)

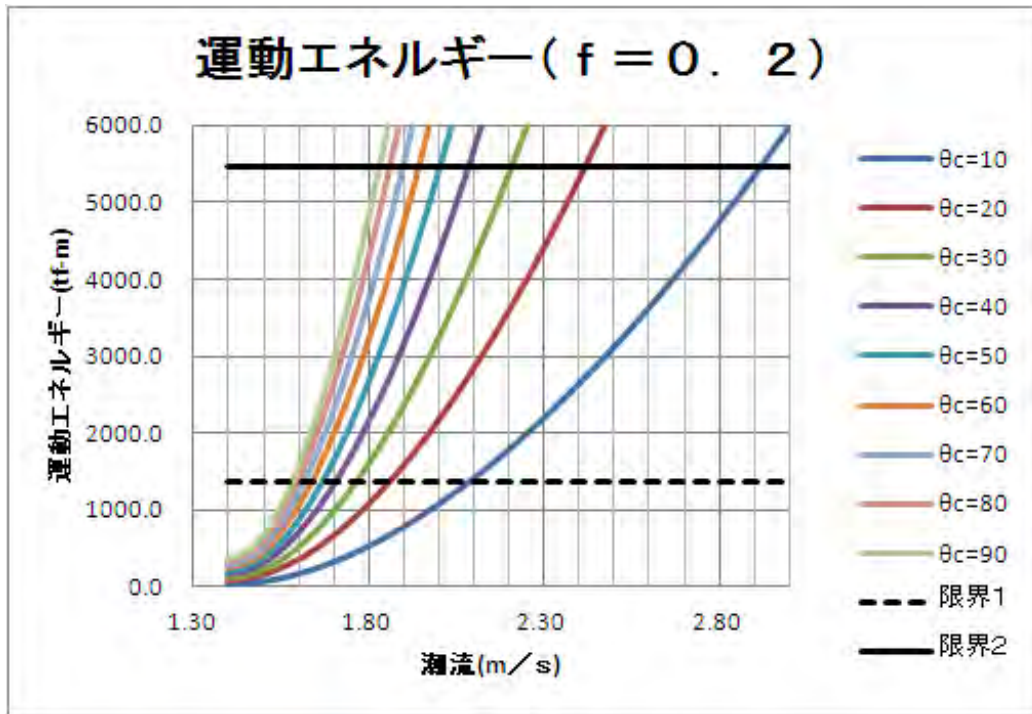


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (1 1 / 1 3)

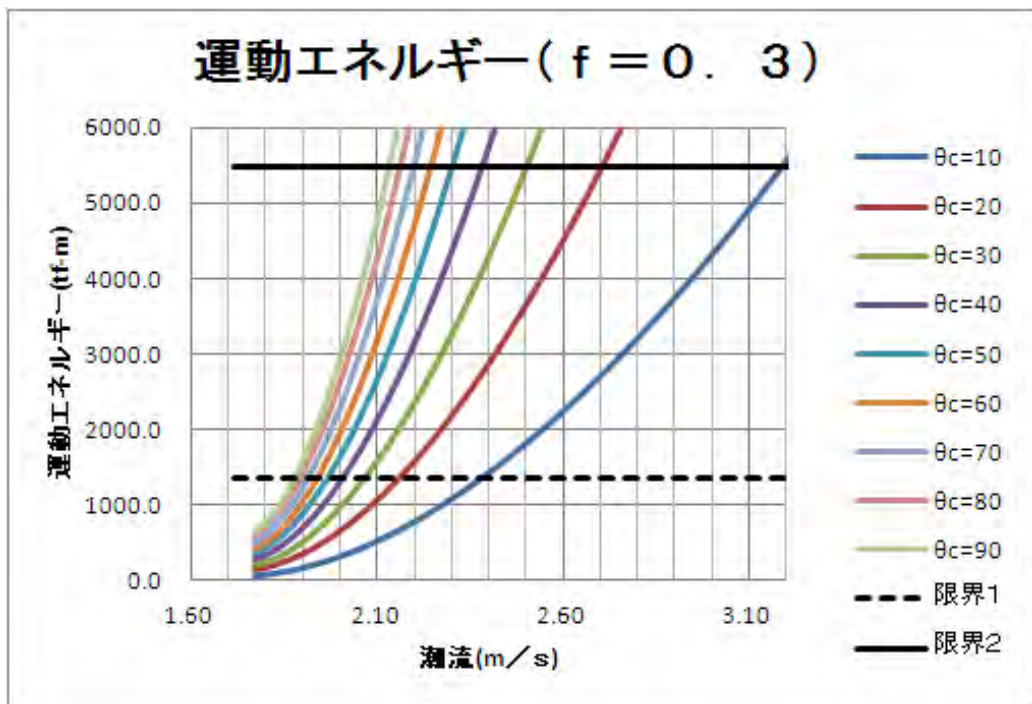


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (1 2 / 1 3)

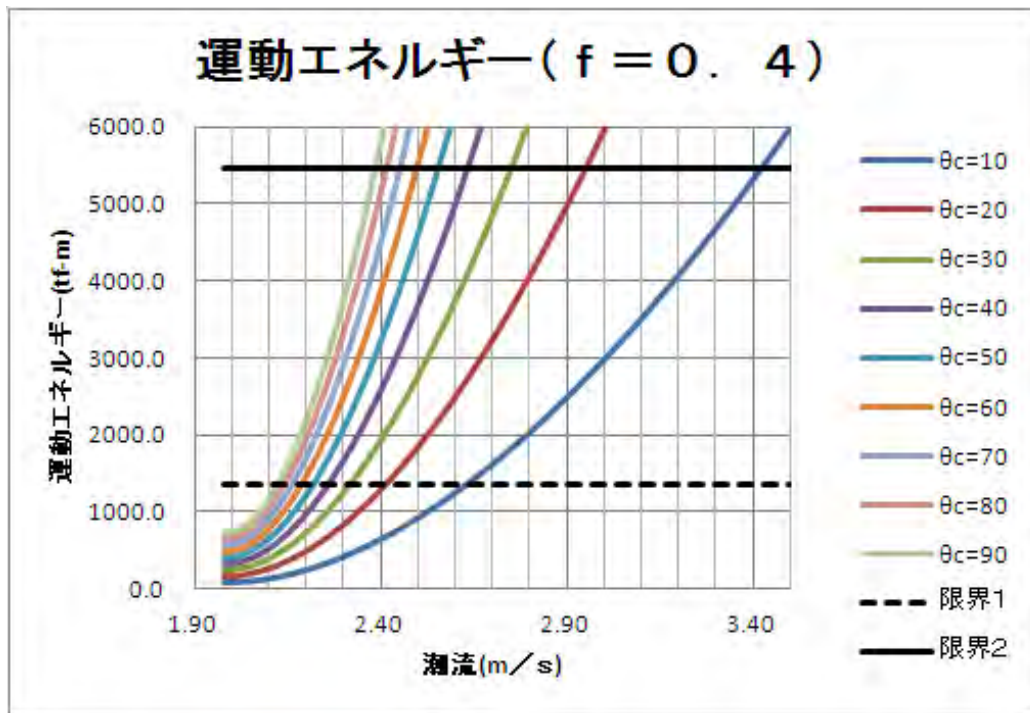


図 - 1 1 放物線関数の運動エネルギー (1 3 / 1 3)

3.3 扉体の操作方法

先ず、衝突時の歪みエネルギーが高潮時の1倍、乃至、2倍以下でなければならないとの条件を設定して歪みエネルギーを解析し、衝突に関する多くの情報と扉体衝突時の運動エネルギー上限値を得た。

次に、前項で運動エネルギーへの潮流影響顕在化を目的として潮位差 h を扉体開度の定数関数、直線関数、放物線関数とした場合のエネルギー計算式を導いた。

潮流の強さは 堰の建設地点により異なり、時刻により変化する。潮流の強さは防潮堰操作の影響を受け、又、操作方法による抑制も可能である。例えば図 - 12 が示す様に、スルースゲート開の状態の主ゲート閉操作を行えば主ゲート周りの潮流が弱まる。又、開閉操作時の潮流強さは設備利用者のニーズにより定まる。上述の潮流強さに関する理解を考慮しながら運動エネルギーの計算結果について操作方法の分析を行い、潮流中での閉操作について歪みエネルギーの結果も含めて本項で考察を行う。

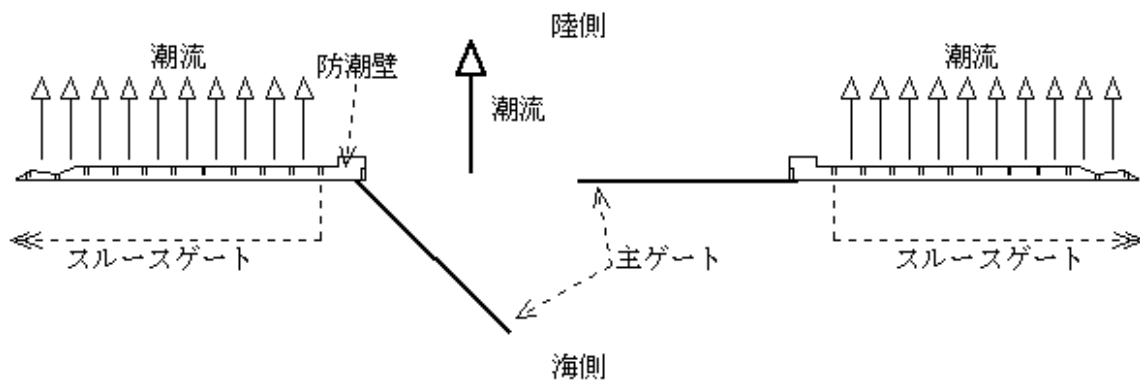


図 - 12 防潮堰操作による潮流の抑制

3.3.1 操作条件

表 - 10 搭載サイドスラスタと扉体の操作条件

サイド スラ スタ	仕様	推力:	40	tf
		台数:	2	
		合計推力:	80	tf
	管理 限界	水位差:	4.44	cm
		流速:	0.93	m/sec
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
着床時流速:	m/sec	0.80	0.80	0.80
	kt	1.56	1.56	1.56
摩擦係数 f		0.1		

表 - 10 は搭載サイドスラスタの仕様とコントロール限界、及び、操作方法考察目的で設定した扉体の操作条件である。操作流速は扉体操作時の最大流速で設備ニーズから設定され、着床時流速はサイドスラスタで扉体を着床位置に移動する時の最大流速である。サイドスラスタの仕様推力は着床時流速に余裕率を乗じて決定する。尚、流速は m/s と kt で示した。減勢目的の摩擦力の大きさを操作浮力で調節することとし、摩擦係数は $f = 0.1$ と固定する。

3.3.2 計算結果の分析

運動エネルギーレベルの判定に用いる図 - 9 ~ 11 の各図に対応する具体的操作方法を表 - 10 の操作条件に従い明確にする。図 - 9 (定数関数) は、潮流影響が無視されていて、運動エネルギー的にシビアで操作力的に過大な条件設定で算出されている。図 - 10 (直線関数) と 11 (放物線関数) は潮流影響が織り込まれているが定量的信頼性が充分ではない。図 - 11 (放物線関数) は運動エネルギー的および操作力的に過小な条件設定で算出されている。尚、摩擦係数 f は表 - 10 で 0.1 と設定したので、摩擦力を靴荷重で調整する考え方から操作方法の中に操作浮力を示した。靴荷重 = 1074 - 操作浮力である。

着床位置(図 - 6 参照)は図 - 11 の $c = 90^\circ$ 系列の潮位差分布から導いた下記式を用いる。

$$\text{着床位置角度} = \alpha = 90 \times (1 - \text{着床時流速} \div \text{操作流速}) \quad \dots\dots (3.-25)$$

潮流推力が靴摩擦力に等しい潮流、即ち、摩擦流速の算出には下記式を用いる。

$$\text{摩擦流速} = (2g \times \text{靴荷重} \times (5/3) \div \text{扉板ウエット面積} \times f)^{0.5} \quad \dots\dots (3.-26)$$

着床後にサイドスラスタ稼働を要する回転角、即ち、 t の算出には下記式を用いる。

$$\text{直線関数の場合: } t = \alpha \times (\text{摩擦流速} \div \text{操作流速})^2 \quad \dots\dots (3.-27)$$

$$\text{放物線関数の場合: } t = \alpha \times \text{摩擦流速} \div \text{操作流速} \quad \dots\dots (3.-28)$$

3.3.2.1 操作条件1

$$\text{着床位置角度} = \alpha = 90 \times (1 - 0.8) = 18^\circ$$

《定数関数・操作条件1》

1) $f = 0$ (図1 / 13)

操作浮力 = 1074 f で着床。

摩擦流速 = 0 m / s < 1.0

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界2 ・ ・ 損傷)

2) $f = 0.02$ (図2 / 13)

操作浮力 = 1074 $\times 4 \div 5 = 859$ $t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.44 m / s < 1.0

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー 限界2)

3) $f = 0.04$ (図3 / 13)

操作浮力 = 1074 $\times 3 \div 5 = 644$ $t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.62 m / s < 1.0

スラスタ停止

潮流で移動 (限界1 < 運動エネルギー < 限界2)

4) $f = 0.06$ (図4 / 13)

操作浮力 = 1074 $\times 2 \div 5 = 430$ $t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.76 m / s < 1.0

スラスタ停止

潮流で移動 (限界1 < 運動エネルギー < 限界2)

5) $f = 0.08$ (図5 / 13)

操作浮力 = 1074 $\times 1 \div 5 = 215$ $t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.88 m / s < 1.0

スラスタ停止

潮流で移動 (限界 1 < 運動エネルギー < 限界 2)

6) $f = 0.1$ (図 6 / 13)

操作浮力 = 0 t f で着床。

摩擦流速 = $0.99 \text{ m/s} < 1.0$

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー 限界 1)

7) $f = 0.12$ (図 7 / 13)

操作浮力 = - 215 t f で着床。

摩擦流速 = $1.08 \text{ m/s} < (1.0^2 + 0.8^2)^{0.5} = 1.28$

潮流 + サイドスラスタで移動 (運動エネルギー 0)

8) $f = 0.14$ (図 8 / 13)

操作浮力 = - 430 t f で着床。

摩擦流速 = $1.17 \text{ m/s} < 1.28$

潮流 + サイドスラスタで移動 (運動エネルギー 0)

9) $f = 0.16$ (図 9 / 13)

操作浮力 = - 644 t f で着床。

摩擦流速 = $1.25 \text{ m/s} < 1.28$

潮流 + サイドスラスタで移動 (運動エネルギー 0)

10) $f = 0.18$ (図 10 / 13)

操作浮力 = - 859 t f で着床。

摩擦流速 = $1.32 \text{ m/s} < 1.28$

移動不可能

11) $f = 0.2$ (図 11 / 13)

操作浮力 = - 1074 t f で着床。

摩擦流速 = $1.40 \text{ m/s} < 1.28$

移動不可能

12) $f = 0.3$ (図 12 / 13)

操作浮力 = $-1074 \times 2 = -2148 \text{ t f}$ で着床。

摩擦流速 = $1.71 \text{ m/s} > 1.28$

移動不可能

13) $f = 0.4$ (図 13 / 13)

操作浮力 = $-1074 \times 3 = -3222 \text{ t f}$ で着床。

摩擦流速 = $1.97 \text{ m/s} > 1.28$

移動不可能

《直線関数・・操作条件 1》

1) $f = 0$ (図 1 / 13) :

操作浮力 1074 t f で着床

摩擦流速 = 0 m/s

スラスタ停止

潮流力で移動 (限界 1 < 運動エネルギー < 限界 2)

2) $f = 0.02$ (図 2 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 4 \div 5 = 859$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.44 m/s

$$t = 18 \times (0.44 \div 1)^2 = 3.51^\circ$$

サイドスラスタで約 4° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (限界1 < 運動エネルギー < 限界2)

3) $f = 0.04$ (図3 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 3 \div 5 = 644$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.62 m/s

$$t = 18 \times (0.62 \div 1)^2 = 7.02^\circ$$

サイドスラスタで約 7.5° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (限界1 < 運動エネルギー < 限界2)

4) $f = 0.06$ (図4 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 2 \div 5 = 430$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.76 m/s

$$t = 18 \times (0.76 \div 1)^2 = 10.52^\circ$$

サイドスラスタで約 11° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー 限界1)

5) $f = 0.08$ (図5 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 1 \div 5 = 215$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.88 m/s > 着床時流速 = 0.8

スラスタ再移動不可

《放物線関数・・操作条件1》

1) $f = 0$ (図1 / 13) :

操作浮力 1074 tf で着床

摩擦流速 = 0 m/s

スラスタ停止

潮流力で移動 (限界1 < 運動エネルギー < 限界2)

2) $f = 0.02$ (図2 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 4 \div 5 = 859$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.44 m/s

$$t = 18 \times (0.44 \div 1) = 7.95^\circ$$

サイドスラスタで約 8° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー 限界1)

3) $f = 0.04$ (図3 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 3 \div 5 = 644$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.62 m/s、

$$t = 18 \times 0.62 \div 1 = 11.24^\circ$$

サイドスラスタで約 11.5° 回転

サイドスラスタ-停止

潮流で移動 (運動エネルギー << 限界 1)

4) $f = 0.06$ (図 4 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 2 \div 5 = 430$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.76 m/s

$$t = 18 \times (0.76 \div 1) = 13.76^\circ$$

サイドスラスタ-で約 14° 回転

サイドスラスタ-停止

潮流で移動 (運動エネルギー <<< 限界 1)

5) $f = 0.08$ (図 5 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 1 \div 5 = 215$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.88 m/s > 着床時流速 = 0.8

スラスタ-再移動不可

3.3.2.2 操作条件 2

$$\text{着床位置角度} = c = 90 \times (1. - 0.8 \div 1.3) = 34.6^\circ$$

《定数関数・・操作条件 2》

1) $f = 0$ (図 1 / 13)

操作浮力 = 1074 f で着床。

摩擦流速 = 0 m/s < 1.3

スラスタ-停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・損傷)

2) $f = 0.02$ (図 2 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 4 \div 5 = 859$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.44 m/s < 1.3

スラスタ-停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・損傷)

3) $f = 0.04$ (図 3 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 3 \div 5 = 644$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.62 m/s < 1.3

スラスタ-停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・損傷)

4) $f = 0.06$ (図 4 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 2 \div 5 = 430$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.76 m/s < 1.3

スラスタ-停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・損傷)

5) $f = 0.08$ (図 5 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 1 \div 5 = 215$ tf で着床。

摩擦流速 = $0.88 \text{ m/s} < 1.3$

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 ・ ・ 損傷)

6) $f = 0.1$ (図 6 / 13)

操作浮力 = 0 tf で着床。

摩擦流速 = $0.99 \text{ m/s} < 1.3$

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 ・ ・ 損傷)

7) $f = 0.12$ (図 7 / 13)

操作浮力 = -215 tf で着床。

摩擦流速 = $1.08 \text{ m/s} < 1.3$

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 ・ ・ 損傷)

8) $f = 0.14$ (図 8 / 13)

操作浮力 = -429 tf で着床。

摩擦流速 = $1.17 \text{ m/s} < 1.3$

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (限界 1 < 運動エネルギー < 限界 2)

9) $f = 0.16$ (図 9 / 13)

操作浮力 = -644 tf で着床。

摩擦流速 = $1.25 \text{ m/s} < 1.3$

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (限界 1 < 運動エネルギー < 限界 2)

10) $f = 0.18$ (図 10 / 13)

操作浮力 = -859 tf で着床。

摩擦流速 = $1.32 \text{ m/s} < (1.3^2 + 0.8^2)^{0.5} = 1.53$

潮流 + サイドスラスタで移動

潮流で移動 (運動エネルギー = 0)

11) $f = 0.2$ (図 11 / 13)

操作浮力 = -1074 tf で着床。

摩擦流速 = $1.40 \text{ m/s} < 1.53$

潮流 + サイドスラスタで移動 (運動エネルギー = 0)

12) $f = 0.3$ (図 12 / 13)

操作浮力 = $-1074 \times 2 = -2148 \text{ tf}$ で着床。

摩擦流速 = $1.71 \text{ m/s} > 1.53$

移動不可能

13) $f = 0.4$ (図 13 / 13)

操作浮力 = $-1074 \times 3 = -3222 \text{ tf}$ で着床。

摩擦流速 = $1.97 \text{ m/s} > 1.53$

移動不可能

《直線関数 ・ ・ 操作条件 2》

- 1) $f = 0$ (図1 / 13) :
- 操作浮力 1074 tf で着床
 摩擦流速 = 0 m / s
 スラスタ停止
 潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 ・ ・ 損傷)
- 2) $f = 0.02$ (図2 / 13) :
- 操作浮力 = $1074 \times 4 \div 5 = 859$ tf で着床。
 摩擦流速 = 0.44 / s m
 $t = 34.6 \times (0.44 \div 1.3)^2 = 3.99^\circ$
 サイドスラスタで約 4 ° 回転
 サイドスラスタ停止
 潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 ・ ・ 損傷)
- 3) $f = 0.04$ (図3 / 13)
- 操作浮力 = $1074 \times 3 \div 5 = 644$ tf で着床。
 摩擦流速 = 0.62 m / s
 $t = 34.6 \times (0.62 \div 1.3)^2 = 7.98^\circ$
 サイドスラスタで約 8 ° 回転
 サイドスラスタ停止
 潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 ・ ・ 損傷)
- 4) $f = 0.06$ (図4 / 13)
- 操作浮力 = $1074 \times 2 \div 5 = 430$ tf で着床。
 摩擦流速 = 0.76 m / s
 $t = 34.6 \times (0.76 \div 1.3)^2 = 11.97^\circ$
 サイドスラスタで約 12 ° 回転
 サイドスラスタ停止
 潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 ・ ・ 損傷)
- 5) $f = 0.08$ (図5 / 13)
- 操作浮力 = $1074 \times 1 \div 5 = 215$ tf で着床。
 摩擦流速 = 0.88 m / s > 着床時流速 = 0.8
 スラスタ再移動不可

《放物線関数 ・ ・ 操作条件 2 》

- 1) $f = 0$ (図1 / 13) :
- 操作浮力 1074 tf で着床
 摩擦流速 = 0 m / s
 スラスタ停止
 潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 ・ ・ 損傷)
- 2) $f = 0.02$ (図2 / 13) :
- 操作浮力 = $1074 \times 4 \div 5 = 859$ tf で着床。
 摩擦流速 = 0.44 m / s
 $t = 34.6 \times (0.44 \div 1.3)^2 = 11.75^\circ$
 サイドスラスタで約 12 ° 回転
 サイドスラスタ停止

潮流で移動（運動エネルギー 限界2）

3) $f = 0.04$ (図3 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 3 \div 5 = 644 \text{ tf}$ で着床。

摩擦流速 = 0.62 m/s 、

$$t = 34.6 \times 0.62 \div 1.3 = 16.62^\circ$$

サイドスラスタで約 17° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動（限界1 < 運動エネルギー < 限界2）

4) $f = 0.06$ (図4 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 2 \div 5 = 430 \text{ tf}$ で着床。

摩擦流速 = 0.76 m/s

$$t = 34.6 \times (0.76 \div 1.3) = 20.35^\circ$$

サイドスラスタで約 21° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動（限界1 < 運動エネルギー < 限界2）

5) $f = 0.08$ (図5 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 1 \div 5 = 215 \text{ tf}$ で着床。

摩擦流速 = $0.88 \text{ m/s} >$ 着床時流速 = 0.8

スラスタ再移動不可

3.3.2.3 操作条件3

$$\text{着床位置角度} = c = 90 \times (1. - 0.8 \div 1.6) = 45.0^\circ$$

《定数関数・・操作条件3》

1) $f = 0$ (図1 / 13)

操作浮力 = 1074 $t f$ で着床。

摩擦流速 = 0 $m / s < 1.6$

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界2・・損傷)

2) $f = 0.02$ (図2 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 4 \div 5 = 859 t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.44 $m / s < 1.6$

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界2・・損傷)

3) $f = 0.04$ (図3 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 3 \div 5 = 644 t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.62 $m / s < 1.6$

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界2・・損傷)

4) $f = 0.06$ (図4 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 2 \div 5 = 430 t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.76 $m / s < 1.6$

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界2・・損傷)

5) $f = 0.08$ (図5 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 1 \div 5 = 215 t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.88 $m / s < 1.6$

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界2・・損傷)

6) $f = 0.1$ (図6 / 13)

操作浮力 = 0 $t f$ で着床。

摩擦流速 = 0.99 $m / s < 1.6$

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界2・・損傷)

7) $f = 0.12$ (図7 / 13)

操作浮力 = -215 $t f$ で着床。

摩擦流速 = 1.08 $m / s < 1.6$

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界2・・損傷)

8) $f = 0.14$ (図8 / 13)

操作浮力 = - 4 2 9 t f で着床。

摩擦流速 = 1 . 1 7 m / s < 1 . 6

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 . . 損傷)

9) f = 0 . 1 6 (図 9 / 1 3)

操作浮力 = - 6 4 4 t f で着床。

摩擦流速 = 1 . 2 5 m / s < 1 . 6

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 . . 損傷)

10) f = 0 . 1 8 (図 1 0 / 1 3)

操作浮力 = - 8 5 9 t f で着床。

摩擦流速 = 1 . 3 2 m / s < 1 . 6

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 . . 損傷)

11) f = 0 . 2 (図 1 1 / 1 3)

操作浮力 = - 1 0 7 4 t f で着床。

摩擦流速 = 1 . 4 0 m / s < 1 . 6

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 . . 損傷)

12) f = 0 . 3 (図 1 2 / 1 3)

操作浮力 = - 1 0 7 4 × 2 = - 2 1 4 8 t f で着床。

摩擦流速 = 1 . 7 1 m / s < (1 . 6 + 0 . 8)^{0.5} = 1 . 7 9

潮流 + サイドスラスタで移動 (運動エネルギー = 0)

13) f = 0 . 4 (図 1 3 / 1 3)

操作浮力 = - 1 0 7 4 × 3 = - 3 2 2 2 t f で着床。

摩擦流速 = 1 . 9 7 m / s > 1 . 7 9

移動不可能

《直線関数 . . 操作条件 3 》

1) f = 0 (図 1 / 1 3) :

操作浮力 1 0 7 4 t f で着床

摩擦流速 = 0 m / s

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 . . 損傷)

2) f = 0 . 0 2 (図 2 / 1 3) :

操作浮力 = 1 0 7 4 × 4 ÷ 5 = 8 5 9 t f で着床。

摩擦流速 = 0 . 4 4 / s m

$t = 4 5 \times (0 . 4 4 \div 1 . 6)^2 = 3 . 4 2 ^\circ$

サイドスラスタで約 4 ° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2 . . 損傷)

3) f = 0 . 0 4 (図 3 / 1 3)

操作浮力 = $1074 \times 3 \div 5 = 644$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.62 m/s

$$t = 45 \times (0.62 \div 1.3)^2 = 6.85^\circ$$

サイドスラスタで約 7° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・ 損傷)

4) $f = 0.06$ (図 4 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 2 \div 5 = 430$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.76 m/s

$$t = 45 \times (0.76 \div 1.6)^2 = 10.28^\circ$$

サイドスラスタで約 11° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・ 損傷)

5) $f = 0.08$ (図 5 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 1 \div 5 = 215$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.88 m/s > 着床時流速 = 0.8

スラスタ再移動不可

《放物線関数・・操作条件 3》

1) $f = 0$ (図 1 / 13) :

操作浮力 1074 tf で着床

摩擦流速 = 0 m/s

スラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・ 損傷)

2) $f = 0.02$ (図 2 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 4 \div 5 = 859$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.44 m/s

$$t = 45 \times (0.44 \div 1.6) = 9.55^\circ$$

サイドスラスタで約 10° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・ 損傷)

3) $f = 0.04$ (図 3 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 3 \div 5 = 644$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.62 m/s、

$$t = 45 \times 0.62 \div 1.6 = 13.50^\circ$$

サイドスラスタで約 14° 回転

サイドスラスタ停止

潮流で移動 (運動エネルギー > 限界 2・・ 損傷)

4) $f = 0.06$ (図 4 / 13)

操作浮力 = $1074 \times 2 \div 5 = 430$ tf で着床。

摩擦流速 = 0.76 m/s

$$t = 45 \times (0.76 \div 1.6) = 16.53^\circ$$

サイドスラスタで約 17° 回転

サイドスラスター停止

潮流で移動（運動エネルギー > 限界 2・・ 損傷）

5) $f = 0.08$ (図 5 / 13) :

操作浮力 = $1074 \times 1 \div 5 = 215 \text{ tf}$ で着床。

摩擦流速 = 0.88 m/s > 着床時流速 = 0.8

スラスター再移動不可

3.3.3 分析結果の整理

3.3.3.1 操作方法の整理

表 - 11 は ” 操作方法の整理 ” で、前項（計算結果の分析）の結果から移動手段と運動エネルギーを一覧表に整理した。

表 - 1 1 操作方法の整理 (1 / 2)

共通項目		摩擦係数 f		0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.30	0.40		
		靴荷重		0	215	430	644	859	1074	1289	1503	1718	1933	2148	3222	4296		
		靴摩擦係数 (tf)		0	21	43	64	86	107	129	150	172	193	215	322	430		
		摩擦流速 (m/s)		0.00	0.44	0.62	0.76	0.88	0.99	1.08	1.17	1.25	1.32	1.40	1.71	1.97		
操作条件1 着床時流速 0.8m/s 操作流速 1.0m/s $\theta_c = 18^\circ$	定数関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			潮流	○	○	○	○	○	○									
			潮流+スラスタ							○	○	○	不能	不能	不能	不能		
		運動 エネルギー	≈ 0							○	○	○						
			< 限界1															
			限界1~限界2		○	○	○	○	○									
	> 限界2	○																
	直線関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	3.5	7.0	10.5	不能										
			潮流	○	○	○	○											
			潮流+スラスタ															
		運動 エネルギー	≈ 0															
			< 限界1															
			限界1~限界2	○	○	○	○											
	> 限界2																	
	放物線 関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	8.0	11.2	13.8	不能										
			潮流	○	○	○	○											
			潮流+スラスタ															
		運動 エネルギー	≈ 0															
< 限界1					○	○												
限界1~限界2			○	○														
> 限界2																		
操作条件2 着床時流速 0.8m/s 操作流速 1.3m/s $\theta_c = 34.6^\circ$	定数関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			潮流	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
			潮流+スラスタ												○	不能	不能	
		運動 エネルギー	≈ 0												○			
			< 限界1															
			限界1~限界2									○	○	○				
	> 限界2	○	○	○	○	○	○	○										
	直線関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	4.0	8.0	12.0	不能										
			潮流	○	○	○	○											
			潮流+スラスタ															
		運動 エネルギー	≈ 0															
			< 限界1															
			限界1~限界2															
	> 限界2	○	○	○	○													
	放物線 関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	11.8	16.6	20.4	不能										
			潮流	○	○	○	○											
			潮流+スラスタ															
		運動 エネルギー	≈ 0															
< 限界1																		
限界1~限界2				○	○	○												
> 限界2	○																	

表 - 1 1 操作方法の整理 (2 / 2)

共通項目		摩擦係数 f		0.00	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12	0.14	0.16	0.18	0.20	0.30	0.40		
		靴荷重		0	215	430	644	859	1074	1289	1503	1718	1933	2148	3222	4296		
		靴摩擦力 (tf)		0	21	43	64	86	107	129	150	172	193	215	322	430		
		摩擦流速 (m/s)		0.00	0.44	0.62	0.76	0.88	0.99	1.08	1.17	1.25	1.32	1.40	1.71	1.97		
操作条件3 着床時流速 0.8m/s 操作流速 1.6m/s $\theta_c = 45^\circ$	定数関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
			潮流	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				
			潮流+スラスタ														○	不能
		運動 エネルギー	≤ 0														○	
			< 限界1															
			限界1~限界2															
	直線関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	3.4	6.9	10.3	不能										
			潮流	○	○	○	○											
			潮流+スラスタ															
		運動 エネルギー	≤ 0															
			< 限界1															
			限界1~限界2															
	放物線 関数	移動手段 (θ_c)	スラスタ- θt°	-	9.6	13.5	16.5	不能										
			潮流	○	○	○	○											
			潮流+スラスタ															
		運動 エネルギー	≤ 0															
			< 限界1															
			限界1~限界2															
		> 限界2	○	○	○	○												

3.3.3.2 分類項目の説明

表 1 / 2 は操作条件 1 と操作条件 2、表 2 / 2 は操作条件 3 の結果である。各操作条件は定数関数、直線関数、及び、放物線関数に分かれ、各関数は移動手段と運動エネルギーに分かれている。各表の最上段の共通項目は全項目に共通する項目である。各分類項目をそれに含まれる詳細項目 (・で表示) も含めて説明する。

【共通項目】：全項目に共通する項目で以下の詳細項目を含む。

- ・摩擦係数 f：運動エネルギーの図 (グラフ) に表示されている f。
- ・靴荷重： $f = 0.1$ (表 - 1 0) の摩擦力が靴摩擦力 (下記) に等しくなる靴荷重。(参考)。
- ・靴摩擦力： $= 1074 \text{ t f} \times \text{摩擦係数 f}$
- ・摩擦流速：靴摩擦力と等しい扉体推力を生む流速。

【操作条件 1 ~ 3】：表 - 1 0 及びその説明を参照。

【定数関数】： c 区間の潮位差分布 = 一様分布。 c は着床角度 (図 - 6 参照)。

【直線関数】： c 区間の潮位差分布 = 直線分布 (図 - 7 参照)。 c は上段参照。

【放物線関数】： c 区間の潮位差分布 = 放物線分布 (図 - 8 参照)。 c は上段参照。

【移動手段 (c)】： c 区間内の扉体移動手段。摩擦係数 f に対応。 c は上段参照。

・スラスタ- t： = 0 からのスラスタ回転角度。定数関数と $f = 0$ は適用外 (-)。

- ・潮流：潮流力による移動（該当ケースは ）。
- ・潮流 + スラスタ：潮流力とスラスタ推力による移動（該当ケースは ）。
- 【運動エネルギー】：運動エネルギーグラフに照らして該当欄を選択（単数選択）。
- ・ 0：運動エネルギーは0に近い（衝撃力はない）。
- ・ < 限度1：運動エネルギーが限度1より小（衝撃力は小）。
- ・ 限度1～限度2：運動エネルギーが限度1～限度2以内（衝撃力は中・・・許容範囲）
- ・ > 限度2：運動エネルギーが限度2より大（衝撃力は大・・・損傷発生）

【詳細項目の補足説明】

1)靴荷重：操作条件(表 - 10)で $f = 0.1$ と固定したので、操作浮力の選択で靴荷重、即ち、摩擦力を増減する考え方から、操作方法分析(前項)ではエネルギーレベル判定用グラフの f 値に対応する摩擦力が得られる操作浮力を示した(靴荷重 = $1074tf$ - 操作浮力)。表 - 11(操作方法まとめ)は f 値を基準に整理したが、靴荷重も併記したので表 - 10の操作速度に対する靴荷重の設定範囲を知ることができる。

2)スラスタ t :直線関数と放物線関数の潮位差分布では(図 - 6参照) = 0位置では潮位差が0で摩擦力が存在するので、スラスタによる t° の回転移動が必要である。スラスタ機能の限界は着床時流速であるので、摩擦流速がこれを越える場合は”不能”と入力した。

3)潮流 + スラスタ： c 区間内の扉体移動の最後の手段であるが、潮流 + スラスタの機能限界は下記式の値であるから、摩擦流速がこれを越える場合は”不能”と入力した。

$$\text{潮流 + スラスタの限界機能} = (\text{操作流速}^2 + \text{着床時流速}^2)^{0.5} (\text{m/s}) \quad \dots\dots (3-29)$$

3.3.3.3 移動手段と運動エネルギー

(1) 整理結果の説明

【操作条件1】

・定数関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.1$ は潮流、 $0.12 \sim 0.16$ は潮流 + サイドスラスタ、 0.18 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー：潮流移動では $f = 0$ で損傷、 $0.02 \sim 0.1$ は許容範囲、潮流 + サイドスラスタ移動では衝撃力無し。

・直線関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.06$ で潮流、 0.08 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー： $f = 0 \sim 0.06$ で許容範囲。

・放物線関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.06$ で潮流、 0.08 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー： $f = 0 \sim 0.02$ で許容範囲、 $0.4 \sim 0.6$ で限界1以下。

【操作条件2】

・定数関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.18$ は潮流、 0.2 は潮流 + サイドスラスタ、 0.3 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー：潮流移動では $f = 0 \sim 0.12$ で損傷、 $0.14 \sim 0.18$ は許容範囲、潮流 + サイドスラスタ移動では衝撃力無し。

・直線関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.06$ で潮流、 0.08 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー： $f = 0 \sim 0.06$ で損傷。

・放物線関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.06$ で潮流、 0.08 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー： $f = 0$ で損傷、 $0.02 \sim 0.06$ で許容範囲。

【操作条件 3】

・定数関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.2$ は潮流、 0.3 は潮流 + サイドスラスタ、 0.4 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー：潮流移動は総て損傷、潮流 + サイドスラスタ移動では衝撃力無し。

・直線関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.06$ で潮流、 0.08 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー： $f = 0 \sim 0.06$ で損傷。

・放物線関数

移動手段： $f = 0 \sim 0.06$ で潮流、 0.08 以降は摩擦力超過。

運動エネルギー： $f = 0 \sim 0.06$ で損傷。

(2) 結果の関係付け

【操作条件 1】

・定数関数

移動手段：操作流速が最小である故に移動手段の移行点は左寄りである。摩擦力超過は操作流速に対するものであり、それ故に発生点も左寄りである。

運動エネルギー： $f = 0$ で損傷が発生するが、 f の上昇に伴う摩擦力増加で許容範囲に収まる。潮流 + サイドスラスタはマニュアル操作であり、衝撃力が発生しないのは当然である。靴荷重は $215 \sim 1718 \text{ t f}$ ($1289 \sim 1718$ はスラスタが必要)。

・直線関数

移動手段：摩擦力超過は着床流速に対するもので、小さい f 値で発生する為に潮流移動の範囲が限定された。潮位差分布の仮定が変わればこの範囲も変わる。

運動エネルギー：潮流移動の範囲限定と同じ理由で運動エネルギーの許容範囲が限定された。潮位差分布の仮定が変わればこの範囲も変わる。靴荷重は $0 \sim 644 \text{ t f}$ 。

・放物線関数

移動手段：直線関数と同一。

運動エネルギー：直線関数と同一。但し、エネルギーレベルは直線関数よりも低い。靴荷重は $0 \sim 644 \text{ t f}$ 。

【操作条件 2】

・定数関数

移動手段：操作流速が高く設定されているので移動手段の移行 f 値は操作条件 1 より右寄りである。摩擦力超過点も同じ理由で右寄りである。

運動エネルギー：操作流速の高い設定で損傷範囲が拡大した。fの上昇に伴い許容範囲に収まった。潮流+サイドスラスタはマニュアル操作であり、衝撃力が発生しないのは当然である。靴荷重は1503~2148 t f (2148はスラスタが必要)。

・直線関数

移動手段：摩擦力超過は着床流速に対するもので、設定値が操作条件1と同一である故に同じf値で発生し、潮流移動も同一範囲に限定された。潮位差分布の仮定が変わればこの範囲も変わる。

運動エネルギー：操作流速の高い設定で損傷範囲が発生した。着床流速の縛りが弱まればfの上昇に伴い許容範囲に収まり、又、その傾向は定数関数の場合よりも顕著であると考えられる。

・放物線関数

移動手段：摩擦力超過は着床流速に対するもので、設定値が操作条件1と同一である故に同じf値で発生し、潮流移動も同一範囲に限定された。潮位差分布の仮定が変わればこの範囲も変わる。

運動エネルギー：操作流速の高い設定で損傷範囲が発生した。直線関数よりエネルギーレベルが低いのでfの上昇に伴い許容範囲に収まった。靴荷重は215~644 t f。

【操作条件3】

・定数関数

移動手段：操作流速が更に高く設定されているので移動手段の移行f値は操作条件2より更に右寄りである。摩擦力超過点も同じ理由で更に右寄りである。

運動エネルギー：操作流速の更に高い設定で損傷範囲が拡大した。潮流+サイドスラスタはマニュアル操作であり、衝撃力が発生しないのは当然である。靴荷重は3222 tf (スラスタが必要)

・直線関数

移動手段：摩擦力超過は着床流速に対するもので、設定値が操作条件1と同一である故に同じf値で発生し、潮流移動も同一範囲に限定された。潮位差分布の仮定が変わればこの範囲も変わる。

運動エネルギー：操作流速設定値は更に高い。着床流速の縛りが弱まればfの上昇に伴い許容範囲に収まると考えられる。

・放物線関数

移動手段：摩擦力超過は着床流速に対するもので、設定値が操作条件1と同一である故に同じf値で発生し、潮流移動も同一範囲に限定された。潮位差分布の仮定が変わればこの範囲も変わる。

運動エネルギー：操作流速の更なる高い設定で損傷範囲が拡大した。

3.3.4 操作方法の考察

以上の分析結果から見えて来た ” 潮流を利用した扉体の操作方法 ” について考察する。

(1) 確認できたこと

扉体による運動エネルギーの吸収は可能である。

靴摩擦力は潮流エネルギー減勢に有効である。

潮流利用の扉体開閉操作は可能である。

潮流中を漂う扉体のイメージからも上記の妥当性が直感できる。扉体速度が流水速度以上に成長するとは考え難く、通常地形の潮流速度は2～3kt程度以下であって靴摩擦力による減勢が有効に作用するレベルに思える。

(2) プロジェクト段階での実施事項

水理実験

摩擦力チャート作成の為に模型実験も含めた実機実験が必要である。実験条件は現地の潮流条件と使用者ニーズを反映したものとなる。運動エネルギーに関わる実験結果は定数関数と放物線関数の間に落ち着く可能性が高い。

操作マニュアルの作成

上述の実験結果を反映した操作マニュアルの作成が必要である。

(3) 参考事項

水理実験の目的

- 1) 水流影響の把握：潮流速度・開度別水理力（水理力分布）・その他
- 2) 検討結果の検証：衝突速度・衝突反力・扉体応力・摩擦係数・その他
- 3) 計画資料の収集：操作浮力・スラスタ推力・その他

操作方法。

- 1) 開閉操作の目標値：扉体先端速度、扉体先端位置
- 2) 目標値の維持手段：サイドスラスタ、操作浮力弁
- 3) 閉操作ステップ
 - a) サイドスラスタによる着床位置への移動。
 - b) 操作浮力を設定値にセットして着床（摩擦力チャート使用）。
 - c) 潮流力で移動（扉体先端速度<限界値を維持）。
 - d) 全閉位置到着
 - e) 扉体先端位置確認
 - f) 操作浮力吐き出し
 - g) スラスタ停止
 - h) 浮力防止装置セット

操作マニュアル

- 1)操作条件：操作流速、着床流速、摩擦係数、その他
- 2)摩擦力チャート（模型・実機実験の結果で作成）
- 3)その他

4．おわりに

（１）扉体の運動エネルギーが扉体の柔軟性でゆっくりと扉体の歪みエネルギーに変換されるので、扉体に作用する力は慣性力とその反力として扱える。

（２）扉体底部支持座は、上記反力に加えて、衝突による扉体断面の回転起動に伴う衝撃力を受ける。従って、支持座は柔軟性と高強度が求められる。

（３）摩擦力チャートで潮流エネルギー減勢が可能である。チャートは模型と実機による実験結果で作成する。