

# 潮流および波浪のイタヤガイに及ぼす影響について

西田輝巳・谷口武夫<sup>※</sup>

鳥取県沿岸の大部分を占める砂浜域は有用二枚貝の重要な生活の場であり、また沿岸漁業の各種漁業の漁場となっている。

イタヤガイはこれら二枚貝の中で、最も多獲される貝であり、浮遊期を除いて全生活を沿岸域で最も荒い底質で占められる水深35 m～55 mの範囲で過すものとされている。

ここでは鳥取県沿岸の粗砂域（水深50 m）におけるイタヤガイが潮流および波浪により、どの程度の影響を受けているかを類推する手立てとして、先づ各イタヤガイの主要諸元（寸法、重量、容積、投影面積、抗力係数および固定係数等）を実測し、これを基に外力の大きさ、並びに貝・砂礫等の移動限界流速等を推計した。なお、これには貝の吸着力など生物的要因は一切加味されていない。

## I. イタヤガイ諸元の観測

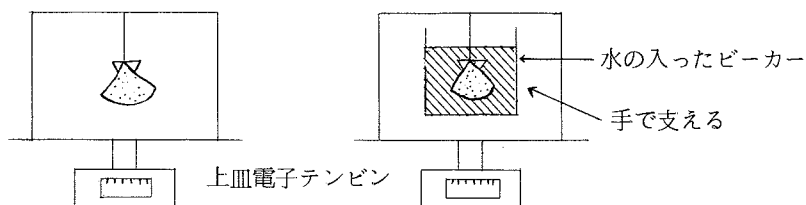
### 1. 主要寸法、重量、容積および投影面積の測定

#### 測定方法

測定に使用したイタヤガイは昭和54年より57年にかけて試験船第2鳥取丸にてひき網採集した貝と、昭和56・57年実施した天然採苗貝により、殻長30 mm以上のものは天然分布貝を、殻長30 mm未満のものは採苗貝を用いた。なお、供試貝は全てホルマリン固定1カ月以上の貝であり、活貝時と較べて重量が多少少ないものと予想されるが、他の諸計測値は固定により影響を受けていないものと想定した。

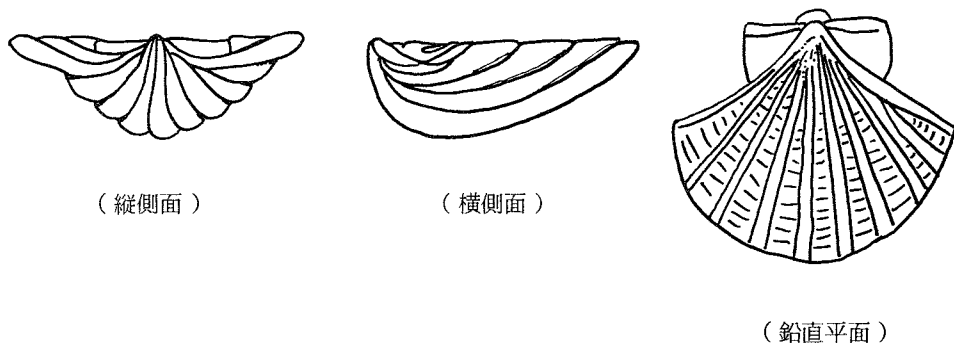
測定は、殻長、殻高および殻幅についてはノギス或いは顕微鏡マイクロメーター、重量については上皿テンピン或いは自動テンピンにより、また貝の容積および投影面積についてはそれぞれ下記の手法により行なわれた。

貝の容積 : 下図の如く、貝の空中および水中重量を測定し、水の比重を1として、差重量( $g$ )を容積( $ml$ )とした。



※ 水産大学校漁具学教室

投影面積 : 下図の如き、貝の縦、横両側面および鉛直平面のコピーを撮り、それぞれプランメータで面積を読みとる。



### 測定結果

殻長 1.35 ~ 116 mm の 29 個のイタヤガイについて、それぞれ殻高、殻幅、重量、容積および各投影面積等を測定した結果を表 I-1 に示す。これから、各殻長  $L_s$  に対する殻高  $H_s$ 、殻幅  $B_s$ 、貝重量  $W_s$ 、容積  $V_s$  および投影面積  $A_s$  等との関係を見ると、図 I-1 ~ 7 に示す如くで、それぞれ次の関係式が成立する。

(i) 殻高  $H_s$  (cm) および殻幅  $B_s$  (cm) と殻長  $L_s$  (cm) との関係

$$H_s = 0.94 L_s^{0.976} \dots\dots\dots (I-1)$$

$$B_s = 0.22 L_s^{1.11} \dots\dots\dots (I-2)$$

(ii) 貝重量  $W_s$  (g) と  $L_s$  (cm) との関係は  $L_s$  の範囲で異なり、

$$\left. \begin{array}{l} L_s < 1 \quad : W_s = 0.051 L_s^3 \\ 1 < L_s < 5 : W_s = 0.078 L_s^3 \\ L_s > 5 \quad : W_s = 0.100 L_s^3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (I-3)$$

(iii) 貝容積  $V_s$  (cm<sup>3</sup>) と  $L_s$  (cm) との関係は上式と同様に、

$$\left. \begin{array}{l} L_s < 1 \quad : V_s = 0.028 L_s^3 \\ 1 < L_s < 5 : V_s = 0.041 L_s^3 \\ L_s > 5 \quad : V_s = 0.063 L_s^3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (I-4)$$

(註)  $L_s < 1$  の範囲は式 (I-3) および (I-5) を参考に推定。

(iv) 重量  $W_s$  (g) と容積  $V_s$  (cm<sup>3</sup>) との比

$$W_s / V_s = 1.55 \dots\dots\dots (I-5)$$

(v) 貝の投影面積  $A_s$  (cm<sup>2</sup>) と  $L_s$  (cm) とは、各投影面で異なり、

$$\text{縦側面} : A_{Ls} = 0.23 L_s^2 \dots\dots\dots (I-6)$$

$$\text{横側面} : A_{cs} = 0.22 L_s^2 \dots\dots\dots (I-7)$$

$$\text{鉛直平面} : A_{vs} = 0.76 L_s^{1.934} \dots\dots\dots (I-8)$$

表 I - 1 イタヤガイの主要寸法、重量、容積および投影面積の測定値

No	殻長 Ls (mm)	殻高 Hs (mm)	殻幅 Bs (mm)	重量 Ws (g)		容積 Vs (cm <sup>3</sup> )	投 影 面 積		
							縦側面 ALs (cm <sup>2</sup> )	横側面 Acs (cm <sup>2</sup> )	鉛直平面 Avs (cm <sup>2</sup> )
1	115.6	98.5	31.8		147.0	98.3	39.1	20.4	85.1
2	98.9	86.5	30.9		95.3	62.0	21.9	20.7	61.9
3	89.9	80.1	26.4		74.5	50.9	17.9	17.7	53.2
4	85.6	76.7	23.6		62.0	40.8	17.1	17.5	47.8
5	82.2	71.5	25.0		60.4	41.3	15.8	16.4	42.6
6	77.0	65.9	20.0		46.3	30.7	11.6	13.1	38.9
7	72.9	62.6	18.2		35.6	21.5	11.3	10.7	34.5
8	69.3	63.1	18.7		34.7	21.1	9.7	12.6	33.4
9	64.5	55.8	17.2		26.3	16.6	8.3	8.9	27.9
10	63.1	55.7	16.2		25.0	16.5	8.2	8.6	26.0
11	49.1	40.4	11.4		6.89	4.6	4.85	5.10	13.58
12	47.4	43.9	11.3		8.02	5.0	3.45	3.81	16.18
13	42.6	38.9	10.3		5.43	3.2	3.25	3.20	12.52
14	30.6	29.3	8.3		2.17	1.3	2.50	1.90	6.48
15	30.5	27.9	8.9		2.64	1.7	2.68	2.88	6.40
16	27.3	24.8	6.4		1.64	0.6	1.78	1.30	5.18
17	20.9	19.9	6.3		0.93		0.90	1.10	3.10
18	23.3	21.8	5.4	1.040	0.95		0.90	1.48	3.95
19	18.7	17.7	4.3	0.584	0.58		0.90	1.28	2.58
20	18.3	17.4	4.3	0.466	0.49		0.98	0.93	2.45
21	14.2	13.7	3.1	0.223	0.22		0.35	0.35	1.63
22	11.2	11.5	2.0	0.105	0.10		0.28	0.25	1.00
23	8.5	8.2	1.5	0.315	0.02		0.10	0.18	0.60
24	7.50	7.12	1.7	0.019					
25	6.00	5.88	1.6	0.009					
26	4.12	4.00	1.3	0.003					
27	3.00	2.75		0.001					
28	2.18	2.05		0.0003					
29	1.35	1.15		0.0005					

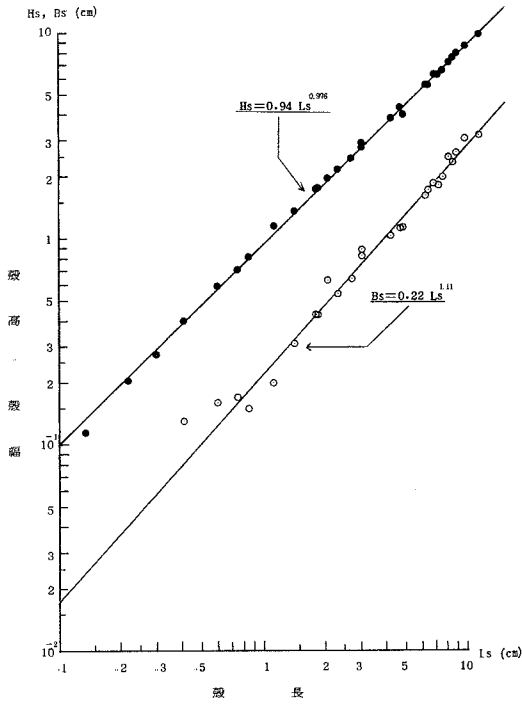


図 I - 1 殻高●および殻幅○と殻長との関係

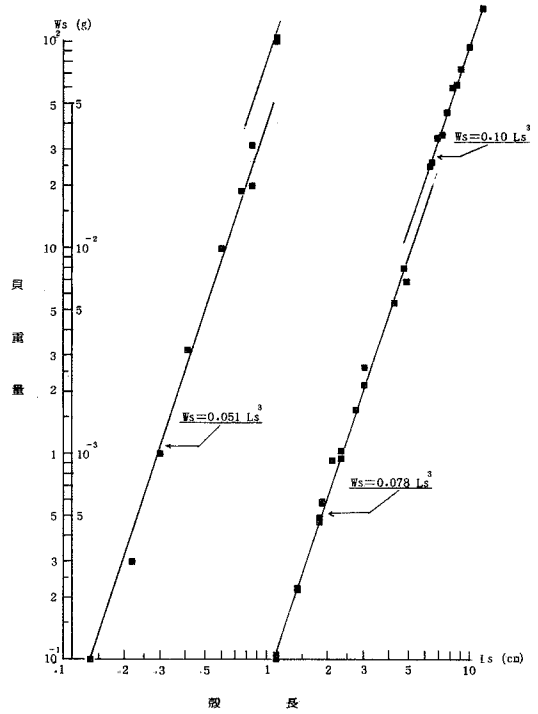


図 I - 2 貝重量と殻長との関係

(注：殻長 1 cm 以下は内側の座標目盛を適用)

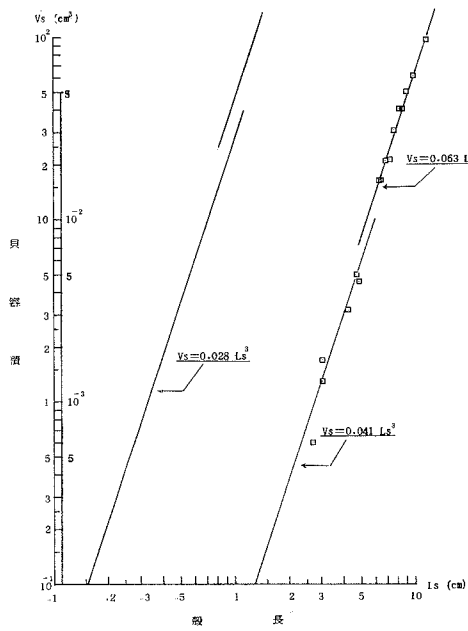


図 I - 3 貝容積と殻長との関係

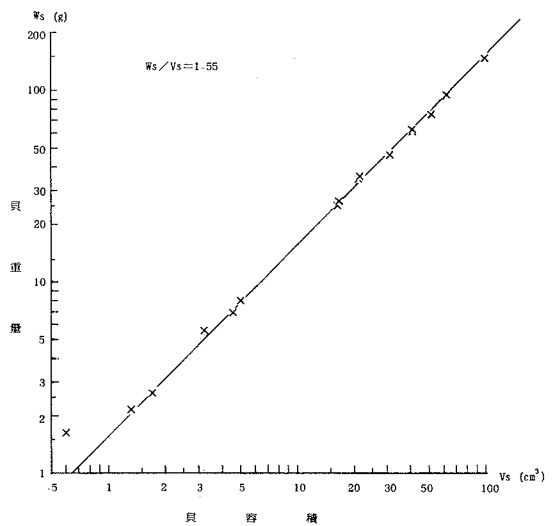


図 I - 4 貝重量と貝容積との関係

(注：殻長 1 cm 以下の値は図 I - 4 から推定)

(注：殻長 1 cm 以下は内側の座標目盛を適用)

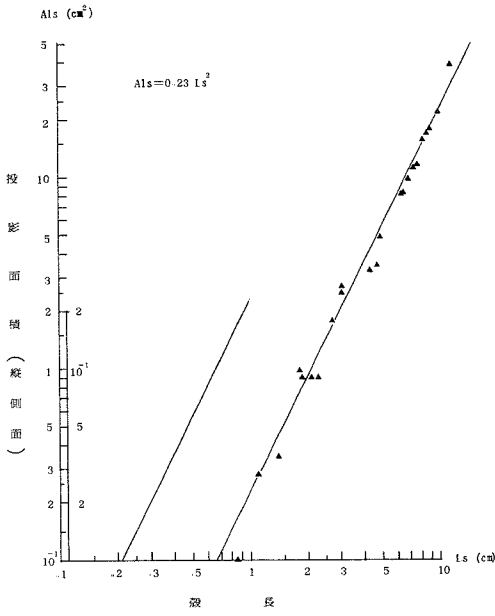


図 I - 5 貝の縦側面に対する投影面積と殻長との関係

(注：殻長 1 cm 以下は内側座標の目盛を適用)

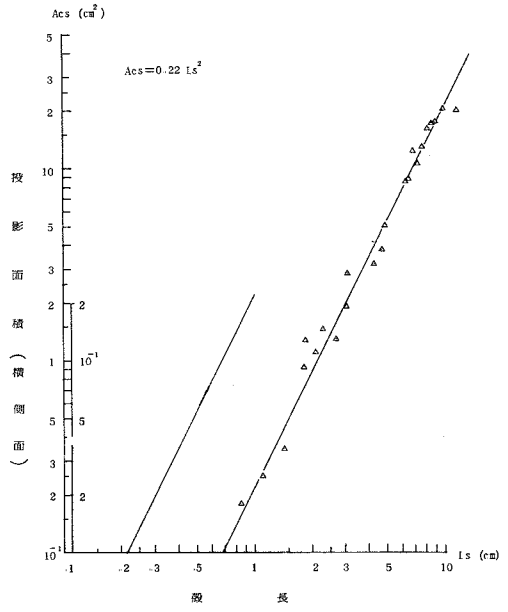


図 I - 6 貝の横側面に対する投影面積と殻長との関係

(注：殻長 1 cm 以下は内側座標の目盛を適用)

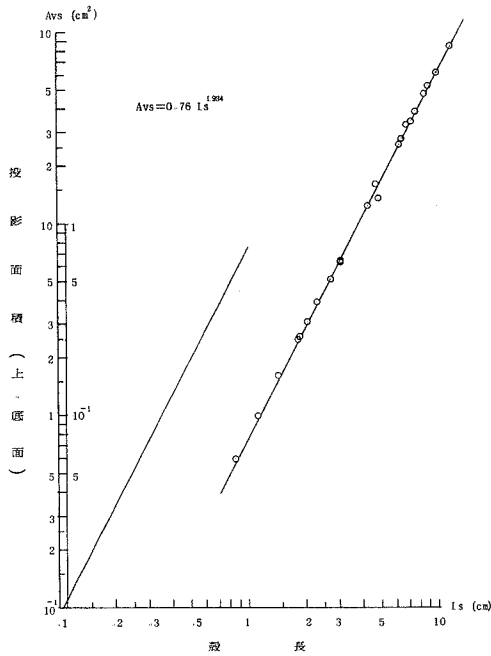


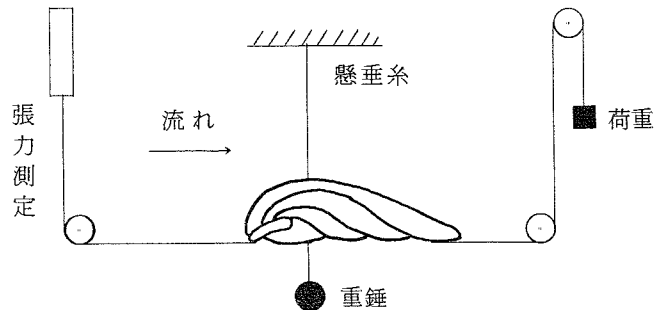
図 I - 7 貝の上・底面に対する投影面積と殻長との関係

(注：殻長 1 cm 以下は内側座標の目盛を適用)

## 2. 抵抗および抗力係数の測定

### 測定方法

イタヤガいの抵抗を直接測定することは困難なため、ここではそれにほぼ相似の木製模型(殻長 11.4 cm、殻高 10.1 cm、殻幅 3.3 cm)を作成し、下図の如く、模型の縦・横両側面および上・底面に流れが垂直に当たるようセットし、各流速におけるそれぞれの抗力を測定した。



#### 〔実験装置〕

試験水槽 : 水車駆動式涵流水槽

流速計 : CM-IAS型微流速計(感度  $3 \text{ cm/s}$ )

張力計 : 電気歪式張力計(ラベット RMS-11型電磁オンログラフ、120 T-100 C および 120 T-500 C 荷重変換器)

### 測定結果

貝の縦側面に流れが垂直に当たるようセットし、各流速  $U$  における抗力の測定値  $R$ 、投影面積  $A_{ls}$  ( $25.61 \text{ cm}^2$ ) とした時の抗力係数  $C_d$ 、およびレイノルズ数  $Re$  の基準長に殻長  $L_s$  を採用し算出した数値などを表 I-2 に示す。また、同様に横側面 ( $A_{cs} = 25.4 \text{ cm}^2$ )、底面および上面 (共に  $A_{vs} = 84.36 \text{ cm}^2$ ) を流れに垂直にセットした時のそれらを表 I-3、4、5 に示す。

表 I-2 ~ 5 から流速  $U$  ( $\text{cm/s}$ ) と  $R$  ( $g$ ) との関係をみると図 I-8 および 9 に示す如く、 $U$  が  $10 \text{ cm/s}$  より大きい範囲では、何れもほぼ  $R \propto U^2$  の関係が成立し、 $R$  は縦側面から流れを受ける時が最も小さく、上面から受ける場合が最も大きい。

また、上述の条件で求めた抗力係数  $C_d$  とレイノルズ数  $Re$  の関係は図 I-10 に示す如くで、 $Re$  が小さくなると  $C_d$  はその減少と共に急激に増大する傾向がみられるが、 $Re$  が  $10^4$  より大きい範囲では、

縦側面	:	$C_d = 0.43$	}	( I-9 )
横側面	:	$C_d = 0.70$		
底面	:	$C_d = 0.91$		
および上面	:	$C_d = 1.37$		

とそれぞれほぼ一定値となる。

〔註〕  $Re$  が  $10^4$  より小さい範囲、すなわち  $U$  が  $10 \text{ cm/s}$  より小さい場合では、測定器の精度に限界があり、正確な観測は困難であった。

表 I - 2 貝模型の縦側面に流れが当たる  
場合の抗力測定値と抗力係数

項目 No.	流速 U (cm/s)	抗力 R (g)	抗力係数 Cd	レイノルズ数 Re
1	3.0	0.1	0.85	3.42×10 <sup>3</sup>
2	4.0	0.2	0.96	4.56
3	5.0	0.2	0.61	5.70
4	10.0	0.9	0.69	1.14×10 <sup>4</sup>
5	15.0	1.9	0.65	1.71
6	21.0	3.0	0.52	2.39
7	25.0	3.6	0.44	2.85
8	29.0	4.6	0.42	3.31
9	35.0	5.6	0.35	3.99
10	39.0	8.0	0.40	4.45
11	44.0	12.0	0.47	5.02
12	48.0	13.8	0.46	5.47
13	54.0	15.6	0.41	6.16
14	58.0	18.9	0.43	6.61
15	64.0	20.9	0.39	7.30
16	69.0	25.2	0.41	7.87

$$Cd = \frac{2Rg}{W_0 A l_s U^2}$$

$$= 76.53 \frac{R}{U^2}$$

$g : 980 \text{ cm/sec}^2$   
 $W_0 : 1.0 \text{ g/cm}^3$   
 $A l_s : 25.61 \text{ cm}^2$

$$Re = \frac{L_s U}{\nu}$$

$$= 1.14 \times 10^3 U$$

$L_s : 11.4 \text{ cm}$   
 $\nu : 0.01$

表 I - 3 貝模型の横側面に流れが  
当たる場合の抗力測定値

項目 No.	流速 U (cm/s)	抗力 R (g)	抗力係数 Cd	レイノルズ数 Re
1	3.0	0.26	2.23	3.42×10 <sup>3</sup>
2	5.0	0.52	1.61	5.70
3	11.0	1.1	0.70	1.25×10 <sup>4</sup>
4	15.0	2.2	0.76	1.71
5	21.0	3.1	0.54	2.39
6	25.0	4.8	0.59	2.85
7	29.0	7.1	0.65	3.31
8	35.0	13.2	0.83	3.99
9	39.0	16.7	0.85	4.45
10	44.0	22.2	0.89	5.02
11	48.0	25.4	0.85	5.47

$$Cd = \frac{2Rg}{W_0 A c_s U^2}$$

$$= 77.17 \frac{R}{U^2}$$

$g : 980 \text{ cm/sec}^2$   
 $W_0 : 1.0 \text{ g/cm}^3$   
 $A c_s : 25.4 \text{ cm}^2$

$$Re = 1.14 \times 10^3 U$$

$L_s : 11.4 \text{ cm}$

$\nu : 0.01$

表 I - 4 貝模型の底面に流れが  
当る場合の抗力測定値

項目 No	流 速 U (cm/s)	抗 力 R (g)	抗力係数 Cd	レイノルズ数 Re
1	15.8	8.9	0.83	$1.80 \times 10^4$
2	20.5	16.2	0.90	2.34
3	25.0	25.7	0.96	2.85
4	29.5	33.2	0.89	3.36
5	35.0	49.4	0.94	3.99
6	39.8	64.0	0.94	4.54
7	45.3	78.7	0.89	5.16
8	49.5	97.5	0.92	5.64
9	54.0	117.6	0.94	6.16
10	58.0	138.9	0.96	6.61
11	64.5	156.5	0.87	7.35
12	68.0	177.9	0.89	7.75

表 I - 5 貝模型の上面に流れが  
当る場合の抗力測定値

項目 No	流 速 U (cm/s)	抗 力 R (g)	抗力係数 Cd	レイノルズ数 Re
1	15.0	11.9	1.23	$1.71 \times 10^4$
2	19.0	21.8	1.40	2.17
3	25.0	31.5	1.17	2.85
4	31.0	56.9	1.38	3.53
5	35.8	80.1	1.45	4.08
6	40.0	97.7	1.42	4.56
7	45.0	124.0	1.42	5.13
8	49.5	195.0	1.85	5.64

$$Cd = 23.23 \frac{R}{U^2} \quad g : 980 \text{ cm/sec}^2$$

$$W_o : 1.0 \text{ g/cm}^3$$

$$A_{vs} : 84.36 \text{ cm}^2$$

$$Cd = \frac{2Rg}{W_o A_{vs} U^2} \quad g : 980 \text{ cm/sec}^2$$

$$= 23.23 \frac{R}{U^2} \quad W_o : 1.0 \text{ g/cm}^3$$

$$A_{vs} : 84.36 \text{ cm}^2$$

$$Re = 1.14 \times 10^3 U \quad L_s : 11.4 \text{ cm}$$

$$v : 0.01$$

$$Re = 1.14 \times 10^3 U^2 \quad L_s : 11.4 \text{ cm}$$

$$v : 0.01$$



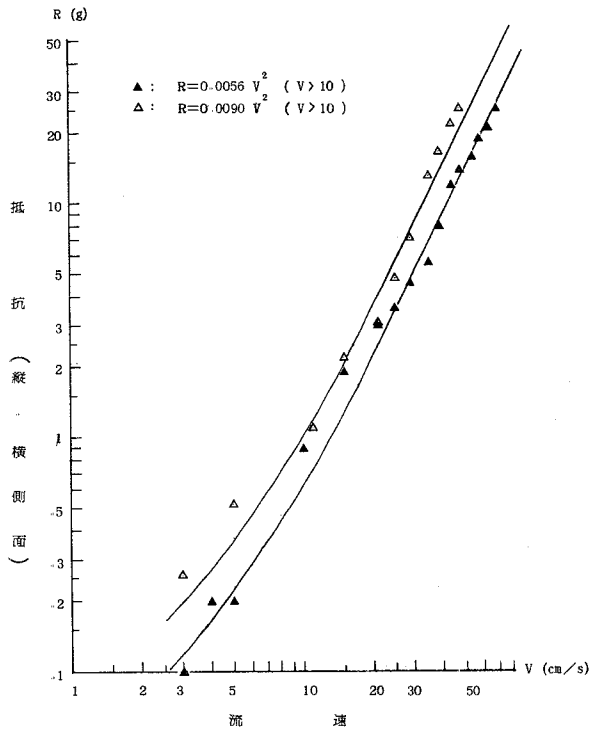


図 I - 8 貝模型の縦側面 ▲ および横側面 △ に対する抵抗と流速との関係

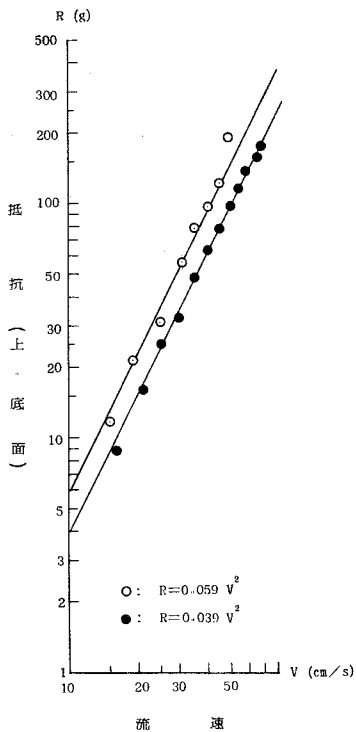


図 I - 9 貝模型の上面 ○ および底面 ● に対する抵抗と流速との関係

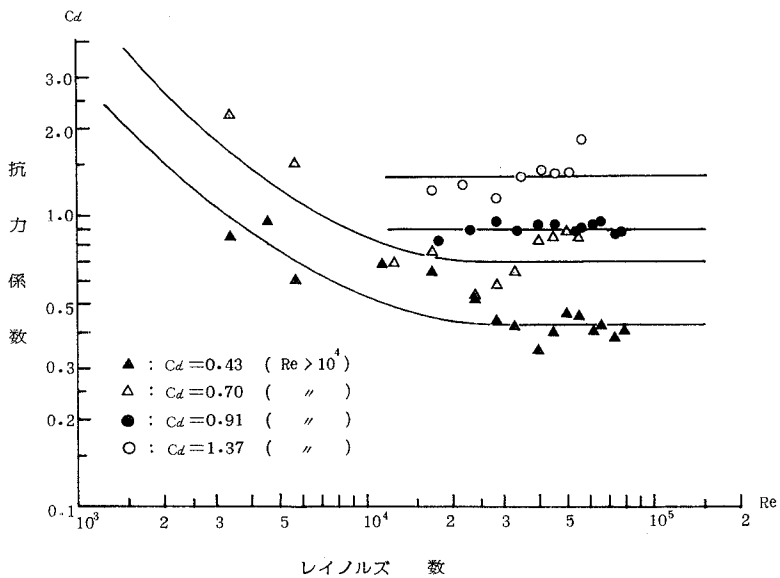


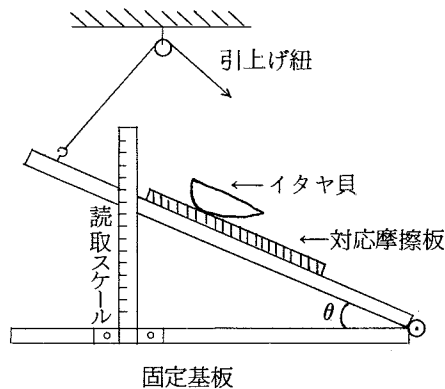
図 I - 10 貝模型の抗力係数とレイノルズ数との関係

(注, ▲: 貝の縦側面, △: 横側面, ●: 底面, ○: 上面に対する値)

### 3. 摩擦係数の測定

#### 測定方法

転石での実験は困難なため、摩擦面がこれに比較的類似すると考えられる各種タイル板を代用し、下記の手法で測定した。図の如く、対応摩擦面の傾斜角を任意に変化できるように工夫した装置に、イタヤガイ殻底の縞模様（殻高方向）と滑動方向とが平行または直交するようセットし、摩擦面の傾きを徐々に大きくして貝が面上を滑動し始める時の勾配を読みとり、それぞれの静止摩擦係数（ $\mu = \tan\theta$ ）とした。



#### 測定結果

透明ガラス並びに平滑、艶消、粗目および疣目タイル板等を対象に、殻長 10.2～116 mm の 6 個のイタヤガイについて、その殻高および殻長方向への静止摩擦係数の測定結果をそれぞれ表 I-6、7 および 8 に示す。

これから、摩擦面が乾時における殻長  $L_s$  と摩擦係数  $\mu$  との関係を見ると図 I-12 に示す如くで、殻向と滑動方向とによる差はあまりなく、摩擦面が極めて滑かなガラス並びに平滑タイル板に対しては、

$$\mu = HL_s^{-0.25}, (H = 0.43 \sim 0.52) \dots\dots\dots (I-10)$$

少々滑かでない艶消および粗目タイル板に対しては、

$$\mu = HL_s^{-0.11}, (H = 0.56 \sim 0.60) \dots\dots\dots (I-11)$$

なる関係が成立し、 $\mu$  の値は  $L_s$  が小さくなるにつれ共に増大し、3～5 mm 以下のものでは両者による差はほとんどみられなくなると推定される。

また、摩擦面が湿時の場合には、貝が小型或いは摩擦面が粗目では殻底が面に附着し、正確な  $\mu$  の測定は困難となるが、乾時のそれらと大差ないものといえる。

〔註〕 疣目タイルでの試験結果では、小型の貝は凸部にはばまれ滑動しないこともしばしばあり、実際の転石帯でも凹部にはまったものは少々の外力では流動されないと推定される。

表 I - 6 イタヤガイ殻底の殻高方向の静止摩擦係数  $\mu$  の測定値 (摩擦面乾時)

対応摩擦面 殻長	透明板ガラス	平滑タイル板	艶消タイル板	粗目タイル板	疣目タイル板
115.6 <i>mm</i>	0.23 (0.20~0.26)	0.25 (0.23~0.27)	0.48 (0.45~0.52)	0.51 (0.45~0.54)	0.77 (0.69~0.86)
89.9	0.24 (0.20~0.27)	0.24 (0.22~0.27)	0.43 (0.4~0.47)	0.40 (0.38~0.44)	—
63.1	0.28 (0.26~0.30)	0.29 (0.26~0.31)	0.42 (0.41~0.44)	0.44 (0.42~0.46)	0.83 (0.76~0.89)
30.6	0.28 (0.26~0.31)	0.30 (0.27~0.32)	0.53 (0.49~0.56)	0.52 (0.48~0.57)	—
18.7	0.36 (0.31~0.40)	0.43 (0.39~0.46)	0.61 (0.56~0.64)	0.66 (0.58~0.74)	0.94 (0.85~0.97)
10.2	0.43 (0.40~0.47)	0.49 (0.47~0.52)	0.56 (0.49~0.60)	0.59 (0.54~0.67)	0.96 (0.90~1.03)

(注) 数値は各 10 回づつ測定の平均値を示す。

表 I - 7 殻底の殻長方向の摩擦係数  $\mu$  の測定値 (乾時)

対応摩擦面 殻長	平滑タイル板	粗目タイル板
115.6 <i>mm</i>	0.27 (0.26~0.28)	0.46 (0.44~0.5)
89.9	0.27 (0.26~0.28)	0.44 (0.41~0.46)
63.1	0.34 (0.31~0.35)	0.46 (0.44~0.49)
30.6	0.42 (0.39~0.44)	0.5 (0.47~0.53)
18.7	0.45 (0.42~0.53)	0.51 (0.48~0.54)
10.2	0.55 (0.5~0.6)	0.58 (0.53~0.61)

表 I - 8 殻底の殻高方向の摩擦係数  $\mu$  の測定値 (湿時)

対応摩擦面 殻長	透明ガラス板	粗目タイル板
115.6 <i>mm</i>	0.24 (0.22~0.28)	0.62 (0.58~0.71)
89.9	0.27 (0.25~0.30)	0.62 (0.47~0.70)
63.1	0.23 (0.21~0.29)	0.60 (0.54~0.65)
30.6	0.29 (0.26~0.31)	0.61 (0.51~0.67)
18.7	面に附着測定 できず	面に附着測定で きず
10.2	〃	〃

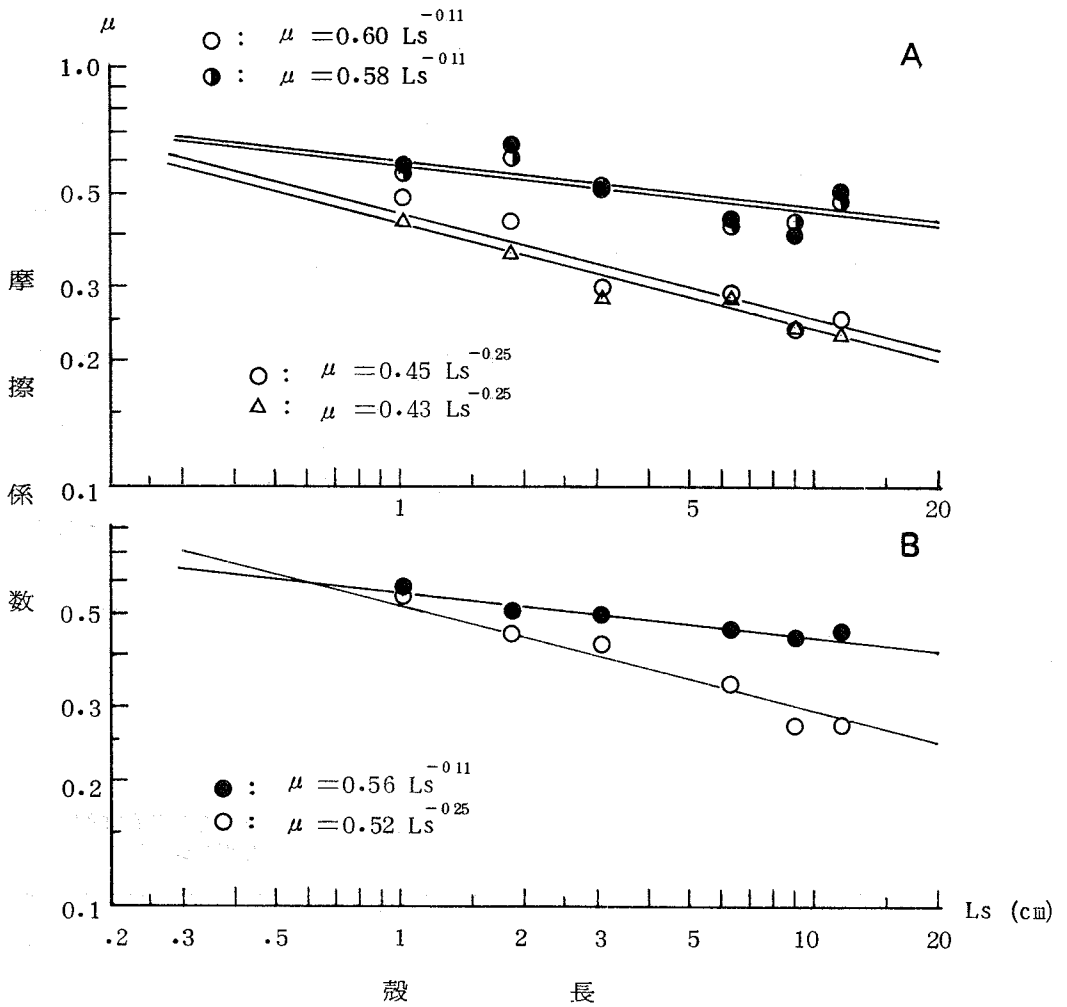


図 I - 11 貝の縦側面(A)および横側面(B)に対する摩擦係数と殻長との関係

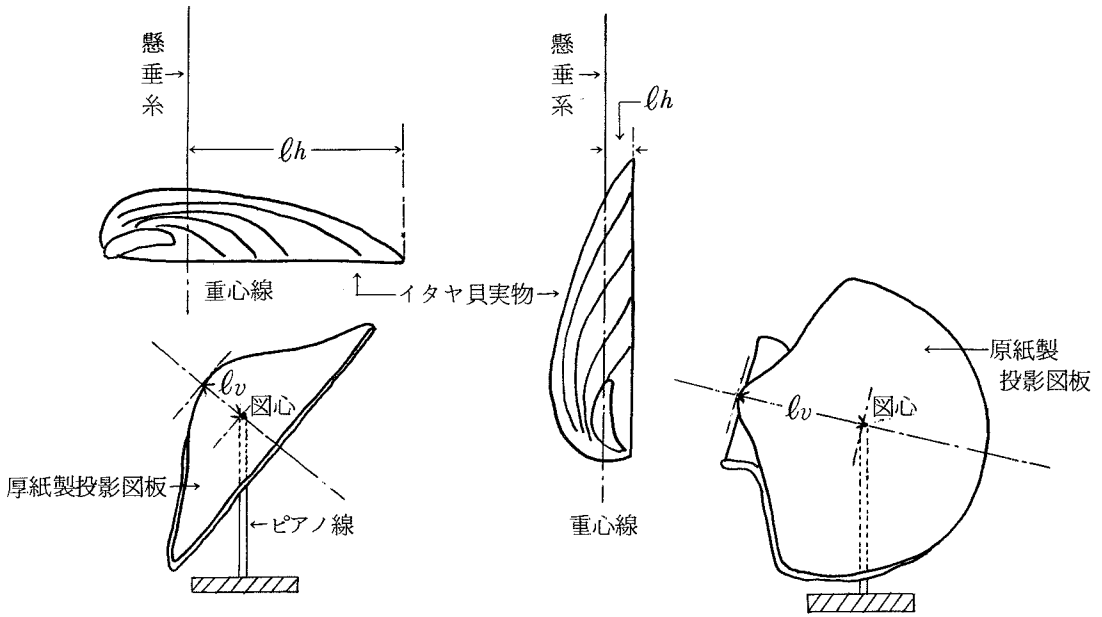
(注, △:透明ガラス, ○:平滑タイル, ●:艶消タイル, ●:粗面タイル)

#### 4. 転倒安定係数の測定

##### 測定方法

物体は外力を受けると滑動の外、状況によっては転倒する。この運動の難易は、外力の作用点と物体の重心位置とに関係し、イタヤガイでは流れに垂直な鉛直面への投影図の図心までの高さ  $l_v$  とその状態における重心の底面への射影点から後方稜線までの距離  $l_h$  との比により決まり、この逆数  $l_h/l_v$  をここでは転倒に対する安定係数と呼ぶことにする。

測定は下図の如く、各殻面に対する重心および投影図心を懸糸法および置心法によりそれぞれ決定、各  $lh/l_v$  を求めた。



〔縦側面に対する測定法〕

〔底面に対する測定法〕

## 測定結果

殻長 18.7 ~ 115.6 mm の 5 個のイタヤガイについて、それぞれ縦側面、横側面、底面および上面に対応する重心から殻の後端までの水平距離  $lh$ 、投影図の図心までの高さ  $lv$  および安定係数  $lh/l_v$  等の測定値を表 I-9 に示す。

これから殻長  $L_s$  と各面に対する安定係数  $lh/l_v$  との関係は図 I-13 に示す如くで、 $lh/l_v$  は貝の大きさにかかわらずほぼ一定値：

縦側面に対しては	$lh/l_v$	=	2.41	}	( I - 12 )
横側面	"		2.60		
底面	"		0.274		
上面	"		0.395		

となり、縦・横両側面に対しては大きい、底および上面に対しては極めて小さく、殻が直立状態あるときは非常不安定であることが知れる。

表 I - 9 イタヤガイの外力の作用点・重心および安定係数 $l_h/l_v$ の測定値

(A) 流れを縦側および横側面に受ける場合

$L_s(mm)$	流れを縦側面に受けるとき			流れを横側面に受けるとき		
	$l_h(mm)$	$l_v(mm)$	$l_h/l_v$	$l_h(mm)$	$l_v(mm)$	$l_h/l_v$
115.6	53.3 (0.542 Hs)	22.7 (0.650 Bs)	2.35	57.8 (0.5 Ls)	22.7 (0.65 Bs)	2.55
89.9	42.6 (0.535 Hs)	19.1 (0.637 Bs)	2.23	45.0 (0.5 Ls)	19.1 (0.637 Bs)	2.35
63.1	28.8 (0.518 Hs)	11.5 (0.596 Bs)	2.50	31.6 (0.5 Ls)	11.5 (0.596 Bs)	2.74
30.6	14.5 (0.512 Hs)	6.1 (0.623 Bs)	2.38	15.3 (0.5 Ls)	6.1 (0.623 Bs)	2.51
18.7	8.5 (0.483 Hs)	3.3 (0.635 Bs)	2.61	9.4 (0.5 Ls)	3.3 (0.635 Bs)	2.83

(B) 流れを上および底面に受ける場合

$L_s(mm)$	流れを殻底面に受けるとき			流れを上蓋面に受けるとき		
	$l_h(mm)$	$l_v(mm)$	$l_h/l_v$	$l_h(mm)$	$l_v(mm)$	$l_h/l_v$
115.6	13.3 (0.381 Bs)	51.9 (0.527 Hs)	0.256	21.6 (0.619 Bs)	51.9 (0.527 Hs)	0.416
89.9	11.2 (0.373 Bs)	41.3 (0.519 Hs)	0.271	18.8 (0.627 Bs)	41.3 (0.519 Hs)	0.455
63.1	7.3 (0.378 Bs)	27.6 (0.496 Hs)	0.265	12.0 (0.622 Bs)	27.6 (0.496 Hs)	0.435
30.6	4.7 (0.480 Bs)	14.4 (0.509 Hs)	0.326	5.1 (0.521 Bs)	14.4 (0.509 Hs)	0.354
18.7	2.3 (0.442 Bs)	9.2 (0.522 Hs)	0.250	2.9 (0.558 Bs)	9.2 (0.522 Hs)	0.315

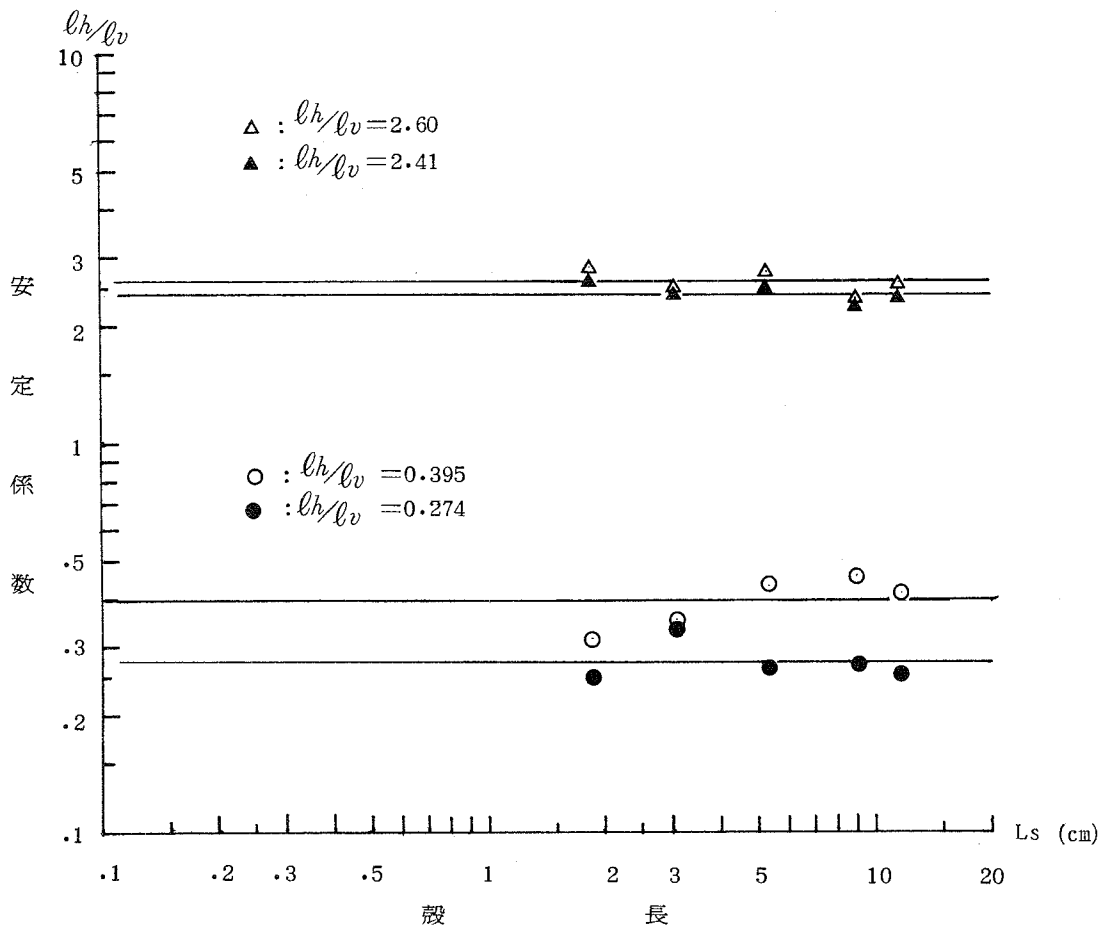


図 I - 12 貝の縦側面  $\blacktriangle$ ，横側面  $\Delta$ ，上面  $\circ$ ，および底面  $\bullet$  に対する転倒安定係数と殻長との関係

## II. 潮流および波浪による外力とイタヤガイ並びに砂礫の移動限界流速の推計

### 1. 潮流および波浪による外力の概算式

#### 1-1 潮 力

一般に、液体中の物体が受ける抵抗  $F_d$  は、その物体の抗力係数を  $C_d$ 、流れに対して垂直な平面への投影面積を  $A$ 、流体の単位体積重量を  $w_0$ 、重力加速度を  $g$ 、流速を  $U$  とすると、次式で示さ

れる。

$$F_d = C_d \cdot \frac{\rho_0}{2g} \cdot A \cdot U^2$$

イタヤガイの抵抗は流れに対する殻の向きでそれぞれ異なり、先づ海底流  $U_b$  ( $cm/sec$ ) を殻の縦側面に受けた場合の抵抗  $F_d$  ( $g$ ) は、前述の式 I-6 および 9 から、投影面積  $A_{ls} = 0.23 L_s^2$  および抗力係数  $C_d = 0.43$  であり、

$$F_d = 0.43 \frac{1}{2 \times 980} \cdot 0.23 L_s^2 U_b^2 = 5.05 \times 10^{-5} L_s^2 U_b^2 \dots\dots (II-1)$$

となる。

また、貝の横側面、底面および上面に流れを受ける場合には、式 I-7、8 および 9 から抗力係数並びに投影面積はそれぞれ  $C_d : 0.70, 0.91$  および  $1.37$  並びに  $A_{cs} = 0.22 L_s^2$  および  $A_{vs} = 0.76 L_s^{1.934}$  と与えられ、同様にして

$$F_d = 7.86 \times 10^{-5} L_s^2 U_b^2 \dots\dots (II-2)$$

$$F_d = 3.53 \times 10^{-4} L_s^{1.934} U_b^2 \dots\dots (II-3)$$

$$F_d = 5.31 \times 10^{-4} L_s^{1.934} U_b^2 \dots\dots (II-4)$$

なる関係が成立する。上の各式から、それぞれの殻面に対する任意の殻長並びに潮流における抗力を求めることができる。

## 1-2 最大波力

波による水粒子の運動は、水面から下方に向うにつれ少くなり、波長の  $1/2$  より深い所では波の影響は全く受けないとみて差支えない。従って、水深  $50 m$  では波長  $100 m$ 、すなわち波高  $4.3 m$  より小さい波浪の場合は全く考慮しなくてもよいということになる。

過去数年に亘る海況資料（海洋保全施設設計便覧）によると、鳥取県沖合の最大波浪は、波高  $H = 6 m$ 、周期  $T = 95 sec$  および波長  $L = 140.8 m$  であり、これは水深  $h = 50 m$  の浅海域では、 $H = 5.4 m$ 、 $T = 9.5 sec$ 、 $L = 1 = 6.7 m$  の波に減衰すると推定される。

そこで、この波による海底での水平流  $Um$  ( $m/sec$ ) を求めると、

$$\begin{aligned} Um &= \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{1}{\sinh \cdot 2\pi \cdot h/L} \\ &= \frac{3.15 \times 5.4}{9.5} \times \frac{1}{\sinh \cdot 2 \times 3.14 \times 50/126.7} = 0.30 (m/sec) \end{aligned}$$



となる。この場合の最大波力  $F_m$  は、

$$\beta = \left| \frac{2\pi \cdot C_m \cdot V}{C_d \cdot A \cdot T \cdot Um} \right| \leq 1 \text{ のとき}$$

$$F_m = \frac{C_d \cdot A \cdot \omega_0 Um^2}{2g} + \frac{2\pi^2 \cdot C_m^2 \cdot V^2 \cdot \omega_0}{C_d \cdot A \cdot g \cdot T^2}$$

ここに、 $C_d$  および  $C_m$  は物体の抗力係数および見掛の質量係数

$A$  および  $V$  は流れに垂直な面への物体の投影面積および容積

$\omega_0$  および  $g$  は流体の単位体積重量および重力加速度を表わす。

から求まるが、イタヤガイではこの波力も前述の潮力の場合と同様殻の方向によって異なり、それぞれ次式で表わされる。

波による水平流を貝の縦側面から受ける場合 :

式 I-4、および 9 から、

$$\left\{ \begin{array}{l} C_d : 0.43, \quad C_m : 1 \text{ (但し、貝を近似的に円板とみなす)} \\ A : A_{1s} = 0.23 L_s^2 \text{ (cm)} \\ V : V_s = 0.028 L_s^3 \text{ (} L_s < 1 \text{ cm)}, 0.047 L_s^3 \text{ (} 1 \text{ cm} < L_s < 5 \text{ cm)} \text{ および} \\ \quad 0.063 L_s^3 \text{ (} L_s > 5 \text{ cm)} \end{array} \right\}$$

において、

$$\beta = \left| \frac{2 \times 3.14 \times 1 \times (2.8 \sim 6.3) \times 10^{-2} \times L_s^3}{0.43 \times 0.23 \times 9.5 \times 30 \times L_s^2} \right| = 0.000624 \sim 0.14 \leq 1$$

$$\therefore F_m = \frac{0.43 \times 0.23 \times 30^2 \times L_s^2}{2 \times 980} + \frac{2 \times 3.14^2 \times 1^2 \times \begin{matrix} 0.028 \\ 0.047 \\ 0.063 \end{matrix} L_s^6 \times 1}{0.43 \times 0.23 \times 980 \times 9.5^2 \times L_s^2}$$

$$= 4.79 \times 10^{-2} L_s^2 + \begin{cases} 1.77 \times 10^{-6} : L_s < 1 \text{ cm} \\ 4.98 \times 10^{-6} : 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 8.95 \times 10^{-6} : L_s > 5 \text{ cm} \end{cases} L_s^4 \dots\dots (II-5)$$

波による水平流を貝の横側面から受ける場合 :

式 I-7 および 9 から、 $C_d : 0.70$ 、 $A : A_{cs} = 0.22 \text{ (cm}^2)$  となるので、

$$\beta = 0.00041 \sim 0.0901 \leq 1$$

$$\therefore F_m = 7.45 \times 10^{-2} L_s^2 + \begin{cases} 1.14 \times 10^{-6} : L_s < 1 \text{ cm} \\ 3.20 \times 10^{-6} : 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 5.75 \times 10^{-6} : L_s > 1 \text{ cm} \end{cases} L_s^4 \dots\dots (II-6)$$

波による水平流を貝の底面から受ける場合 :

式 I-8 および 9 から、 $C_d : 0.91$ 、 $A : A_{vs} = 0.76 L_s^{1.934} \text{ (cm)}$  となるので、

$$\beta = 0.0000892 \sim 0.02 \leq 1$$

$$\therefore Fm = 0.335 L_s^{1.934} + \left\{ \begin{array}{l} 2.53 \times 10^{-7}: L_s > 1 \text{ cm} \\ 7.12 \times 10^{-7}: 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 12.8 \times 10^{-7}: L_s > 5 \text{ cm} \end{array} \right\} L_s^{4.1} \dots\dots\dots (\text{II}-7)$$

波による水平流を貝の上面から受ける場合 :

式 I-8 および 9 から、 $Cd : 1.37$  ,  $A : A_{vs} = 0.76 L_s^{1.934} (\text{cm})$  となるので、  
 $\beta = 0.0000593 \sim 0.0133 \leq 1$

$$\therefore Fm = 0.504 L_s^{1.934} + \left\{ \begin{array}{l} 1.68 \times 10^{-7}: L_s > 1 \text{ cm} \\ 4.73 \times 10^{-7}: 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 8.50 \times 10^{-7}: L_s > 5 \text{ cm} \end{array} \right\} L_s^{4.1} \dots\dots\dots (\text{II}-8)$$

(註) 上述の式 II-5 ~ 8 は何れも第 1 項に比べ第 2 項は非常に小さく、実用上第 2 項は無視できる。すなわち最大波力は流速  $30 \text{ cm/sec}$  の潮力と等しいと考えてよい。

## 2. イタヤガイ安定の概算式

転石帯に棲息する貝類は、潮流或いは波により流動されるが、これには滑動と転倒の 2 通りが考えられる。

従って、この貝類が外力  $F$  に対して安定であるためには、

$$\text{滑動に対しては、} \quad F < \mu \left( 1 - \frac{w_0}{w_s} \right) W_s$$

$$\text{転倒に対しては、} \quad F < \frac{\ell h}{\ell_v} \left( 1 - \frac{w_0}{w_s} \right) W_s$$

でなければならない。ここに  $\mu$  : 貝と基盤との摩擦係数  $\ell h / \ell_v$  : 貝の転倒に対する安定係数、 $w_0$  および  $w_s$  : 海水および貝の単位体積重量、 $W_s$  : 貝の重量を表わす。

実際のイタヤガイでは上述の安定力は、外力を受ける貝殻の向きによって異なり、前述の基礎試験の I-10、11 および 12 式から、

(A) 外力  $F$  を殻の縦或いは横側面から受ける場合の最大静止摩擦力は、

基盤表面が極めて平滑なとき :

$$\begin{aligned} \mu \left( 1 - \frac{w_0}{w_s} \right) W_s &= 0.45 L_s^{-0.25} \left( 1 - \frac{1}{1.55} \right) \left\{ \begin{array}{l} 5.1 \times 10^{-2} \\ 7.8 \times 10^{-2} \\ 1.0 \times 10^{-1} \end{array} \right\} L_s^3 \\ &= \left\{ \begin{array}{l} 8.1 \times 10^{-3}: L_s < 1 \text{ cm} \\ 1.3 \times 10^{-2}: 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 1.6 \times 10^{-2}: L_s > 5 \text{ cm} \end{array} \right\} L_s^{2.75} \dots\dots\dots (\text{II}-9) \end{aligned}$$

基盤表面が少々滑がさを缺くとき :

$$\mu \left( 1 - \frac{w_0}{w_s} \right) W_s = 0.60 L_s^{-0.11} \left( 1 - \frac{1}{1.55} \right) \left\{ \begin{array}{l} 5.1 \times 10^{-2} \\ 7.8 \times 10^{-2} \\ 1.0 \times 10^{-1} \end{array} \right\} L_s^3$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 1.1 \times 10^{-2} : L_s < 1 \text{ cm} \\ 1.7 \times 10^{-2} : 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 2.1 \times 10^{-2} : L_s > 5 \text{ cm} \end{array} \right\} L_s^{2.89} \dots\dots\dots (\text{II}-10)$$

となるが、実際の計算では殻長  $L_s$  が  $0.1 < L_s < 10 \text{ cm}$  の範囲なれば、式 II-9 および 10 を次式で代用しても実質的にはほとんど変わらない。

$$\mu = \left(1 - \frac{w_0}{w_s}\right) W_s \approx 1.0 \times 10^{-2} L_s^3 \dots\dots\dots (\text{II}-9')$$

および  $\mu \approx 1.5 \times 10^{-2} L_s^3 \dots\dots\dots (\text{II}-10')$

〔註〕 殻の上、底面に外力を受けるとは、殻が基盤に直立した時を想定したもので、この場合は滑動以前に転倒が問題となる。

(B) 外力  $F$  を殻の各面から受けた場合の転倒に対する安定力は、

縦側面から受けるとき : I-12式より  $\ell h / \ell_v = 2.41$  であるから、

$$\frac{\ell h}{\ell_v} \left(1 - \frac{w_0}{w_s}\right) W_s = 2.41 \left(1 - \frac{1}{1.55}\right) \left\{ \begin{array}{l} 5.1 \times 10^{-2} \\ 7.8 \times 10^{-2} \\ 1.0 \times 10^{-1} \end{array} \right\} L_s^3$$

$$= \left\{ \begin{array}{l} 4.36 \times 10^{-2} : L_s < 1 \text{ cm} \\ 6.67 \times 10^{-2} : 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 8.55 \times 10^{-2} : L_s > 5 \text{ cm} \end{array} \right\} L_s^3 \dots\dots\dots (\text{II}-11)$$

横側面から受けるとき :  $\ell h / \ell_v = 2.60$  であるから、

$$\frac{\ell h}{\ell_v} \left(1 - \frac{w_0}{w_s}\right) W_s = \left\{ \begin{array}{l} 4.71 \times 10^{-2} : L_s < 1 \text{ cm} \\ 7.20 \times 10^{-2} : 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 9.23 \times 10^{-2} : L_s > 5 \text{ cm} \end{array} \right\} L_s^3 \dots\dots\dots (\text{II}-12)$$

底面から受けるとき :  $\ell h / \ell_v = 0.274$  であるから、

$$\frac{\ell h}{\ell_v} \left(1 - \frac{w_0}{w_s}\right) W_s = \left\{ \begin{array}{l} 4.96 \times 10^{-3} : L_s < 1 \text{ cm} \\ 7.58 \times 10^{-3} : 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 9.72 \times 10^{-3} : L_s > 5 \text{ cm} \end{array} \right\} L_s^3 \dots\dots\dots (\text{II}-13)$$

上面から受けるとき :  $\ell h / \ell_v = 0.395$  であるから、

$$\frac{\ell h}{\ell_v} \left(1 - \frac{w_0}{w_{ss}}\right) W_s = \left\{ \begin{array}{l} 7.15 \times 10^{-3} : L_s < 1 \text{ cm} \\ 1.09 \times 10^{-2} : 1 < L_s < 5 \text{ cm} \\ 1.40 \times 10^{-2} : L_s > 5 \text{ cm} \end{array} \right\} L_s^3 \dots\dots\dots (\text{II}-14)$$

となる。

### 3. 潮力および波力によるイタヤガイの移動限界流速

殻長  $L_s = 0.1 \sim 10 \text{ cm}$  のイタヤガイについて、前述した式 II-1 ~ 14 から各流れに対する外力  $F_d$  (掃流力) とそれに対する貝の固定力をそれぞれ計算し、それらの関係を図表で示すと図 II-1 (A : 流れを貝の縦側面、B : 横側面から受ける時) および図 II-2 (C : 流れを貝の底面、D : 上面から受ける時) が得られる。図中の破線および鎖線はそれぞれ貝の摩擦力  $F_f$  および転倒に対する安定力  $F_s$  の限界ラインを表わす。

この結果は、何れの場合も貝に対する掃流力は殻長および流速のほぼ自乗に比例して増大するのに対して、滑動或いは転倒等の安定力は殻長の3乗に比例して増大している。

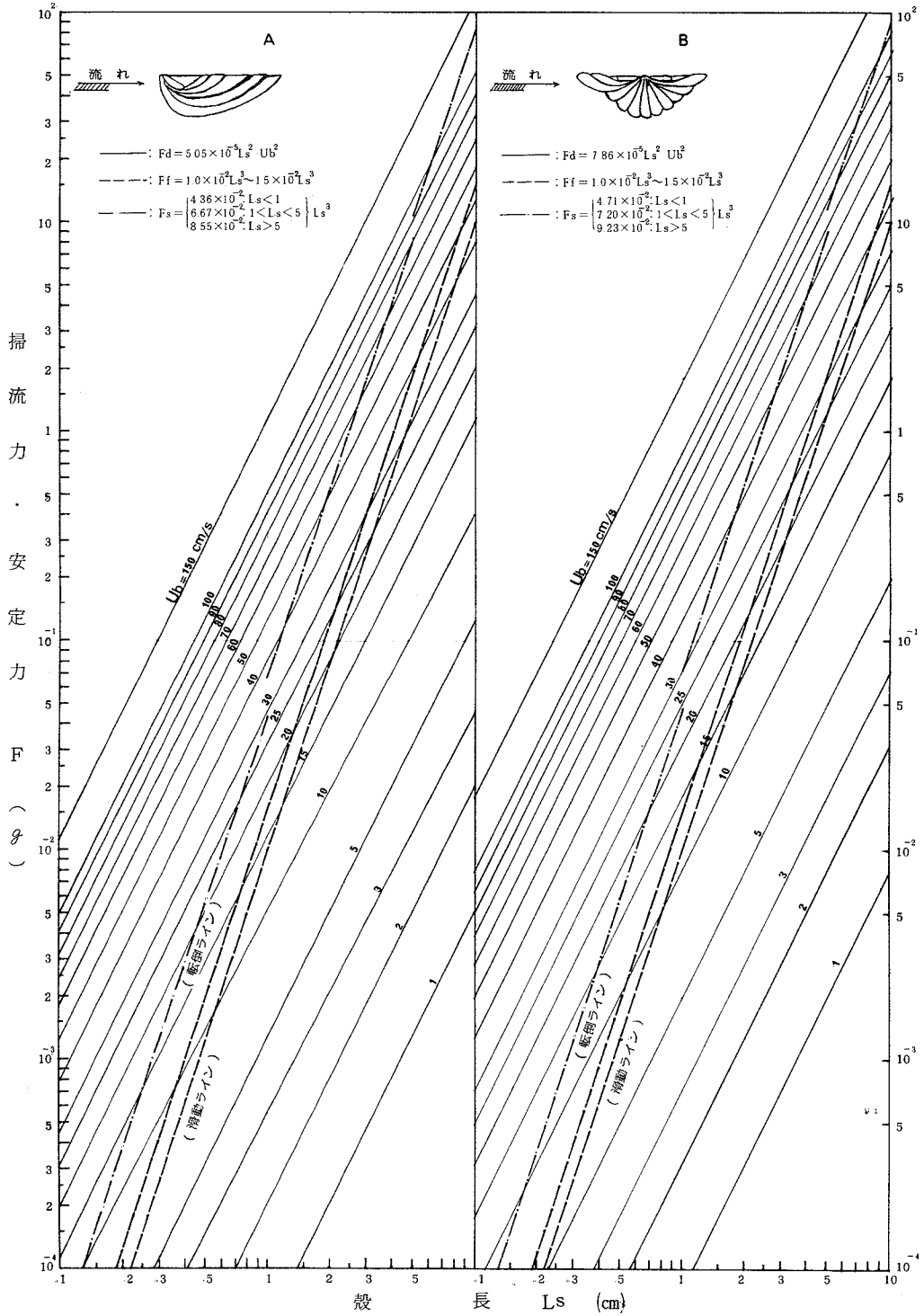
このことは、イタヤガイは大型の貝に較べ小型の貝程流れに対して不安定な事を示している。しかし、この不安定である事は潮流等の流れに乗り易く、その特殊な水噴射による遊泳能力と合せ、小型の貝程移動能力が大きい事を予想させた。

なお、イタヤガイの浮遊幼生後の稚貝は足糸による他物への付着期(殻長0.3~10mm)であり、この時期は他物に付着しているため流れに対しては、付着基質の固定力にたよっていると推定される。従って、この基質が砂面上の砂礫とすれば後述の「砂礫の移動限界流速」項により移動限界流速を知りうる事ができる。

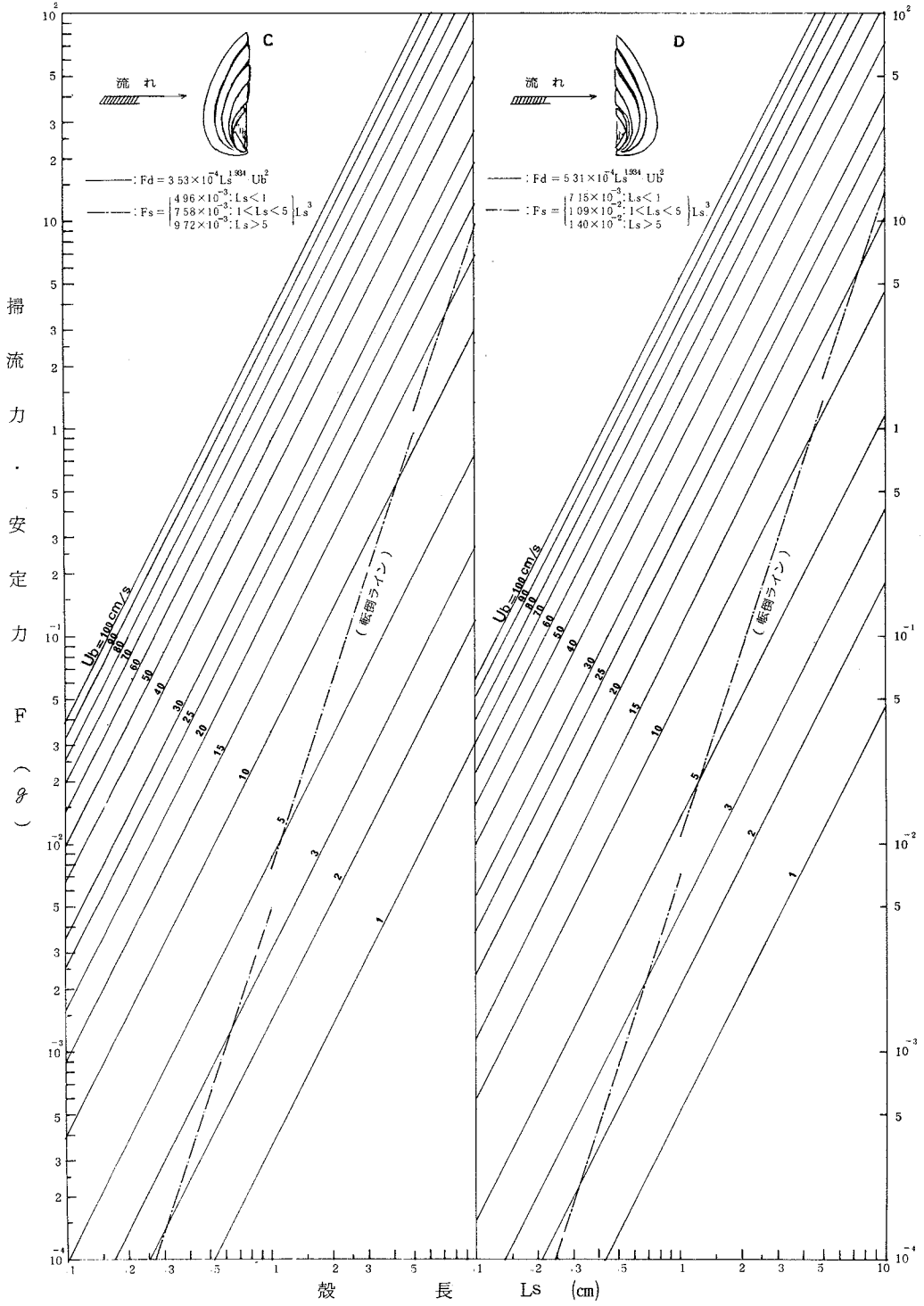
今仮りに、20cm/sの海底流を想定すると、

流れに底面或いは上面を向け基盤に直立状態の貝は何れも転倒。縦側面に流れを受けるものは、2cm以下の一部1.3cm以下の大多数が滑動し、0.45cm以下のものは転動する。また、流れに横側面を向けたものでは同様に3cm以下の一部2cm以下の大部分が滑動し、0.8cm以下のものは転動する。

しかし、上述の結果は何れも転石表面上に貝が分布している場合のものであって、天然のイタヤガイ生息状況は各貝が凹部を潜掘し、その中央に位置していた(田中 他 1983 : マリーナランディング計画イタヤガイ(3)P 31 日水研)と観察されている事、分布域は転石上ではなく粗砂を主体とした砂質である事を考慮すると、実際の移動限界流速はこれより相当大きくなると推定される。



図Ⅱ-1 イタヤガイの大きさと移動限界流速  
(注, A: 流れを貝の縦側面, B: 横側面から受ける時)



図Ⅱ-2 イタヤガイの大きさと移動限界流速  
(注, C:流れを貝の底面、D:上面から受ける時)

#### 4. 砂礫の移動限界流速

前述の如く、イタヤガイはそれぞれ一定流により滑動あるいは転動されるが、流れの大きさによっては基盤を形成する砂礫そのものの移動が考えられる。

この限界掃流力と砂礫の粒径との関係については、河川における岩垣の実験値（図Ⅱ-3）があり、10 m以深の海底では、砂礫の摩擦速度  $U_* c$  (cm/s) と海底の流速  $U_b$  (cm/s) との間には近似的に、

$$U_*^2 c = f \cdot U_b^2 \quad \text{-----} \quad (\text{II}-15)$$

なる関係で表わされる。ここに  $f$  は砂礫の状態により異なる係数で、0.0025 ~ 0.02 の値を示す。

図Ⅱ-4 は、図Ⅱ-3 および式Ⅱ-15 から、粒径 0.1 ~ 10 cm にわたる砂礫の移動限界流速を計算した結果で、図中の実線は海、潮流、破線はこの海域における最大波流（30 cm/s）を加味した場合の結果を表わす。

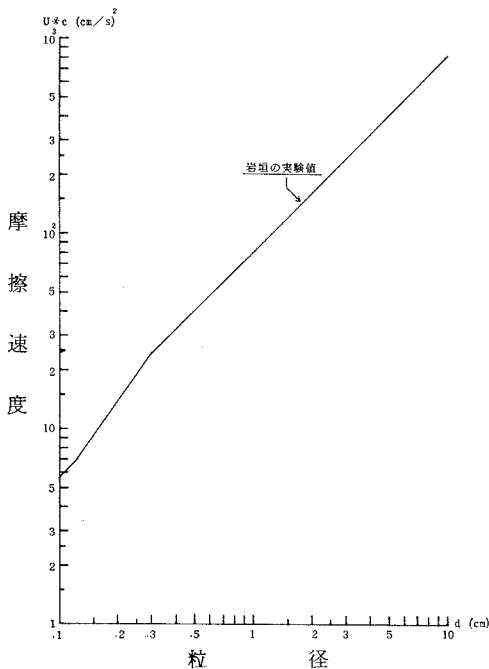
これから、各粒径  $d$  (cm) に対する移動限界流速  $U_b$  (cm/s) は、

$$d > 0.3 \text{ のとき} : U_b = 64 d^{0.50} \sim 180 d^{0.50}$$

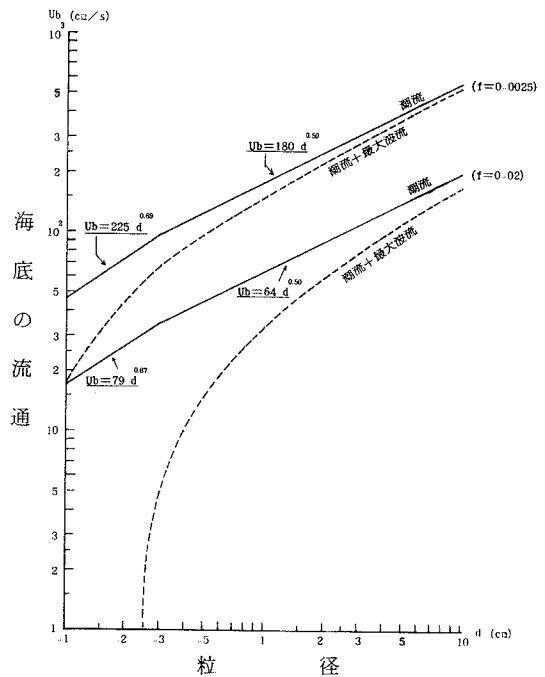
$$d < 0.3 \text{ のとき} : U_b = 79 d^{0.67} \sim 225 d^{0.69}$$

の関係が成立し、粒径 1 cm の砂礫では状態により 0.64 cm/s の流れで移動を開始、1.8 cm/s でほとんどのものが流失する。また、台風など最大波浪の発生時では、移動限界流速は 0.34 ~ 1.5 m/s に低下すると推定される。

〔註〕 砂礫等の基盤が移動する段階では、如何なる状態のイタヤガイといえども総てその移動と共に流失されることは論をまたない。



図Ⅱ-3 限界掃流力と砂礫の粒径との関係



図Ⅱ-4 砂礫の粒径と移動限界流速

### Ⅲ. 要 約

- 1) 鳥取県砂浜域に分布する有用二枚貝、イタヤガイが潮流等にどの程度影響を受けているかを実験値から推計した。
- 2) イタヤガイの殻長に対しての殻高、殻幅、貝重量（肉重量含む）、容積、各側面投影面積を計測し、それぞれの関係式を算出した。
- 3) イタヤガイの木製模型を使用して、各側面への流れに対する抗力、抗力係数、レイノルズ係数を測定又は算出した。
- 4) 続いて、底面をタイル板の傾斜方式の測定装置にてイタヤガイの静止摩擦係数を割り出した。
- 5) 実物イタヤガイを用いて、各側面の重心を実験により割り出し、流れに垂直な鉛直面への投影図の図心までの高さとその状態における重心の底面への射影点から後方稜線までの距離との比の逆数を算出し、これを転倒に対する安定係数とした。
- 6) 以上の実験値と計算よりイタヤガイの流れに対する抵抗  $F_d$  は、

$$F_d = 0.43 \frac{1}{2 \times 980} \cdot 0.23 L_s^2 U_d^2 = 5.05 \times 10^{-5} L_s^2 U_b^2$$

となった。なお上式は流れがイタヤガイの縦側面に当たる場合で他側面は別記式による。

- 7) イタヤガイ流動は滑動と転倒が考えられ、それぞれの運動の開始外力を各々の基盤、殻長、貝の側面による関係式を割り出した。
- 8) これらのとりまとめとして、各流れに対する外力とそれに対する貝の固定力の関係を流れを受ける貝の側面別に図示した。この結果、貝に対する掃流力は殻長および流速のほぼ自乗に比例して増大するのに対して、滑動或いは転倒等の安定力は殻長の3乗に比例して増大し、小型の貝程流れに対して不安定であることが判明した。