

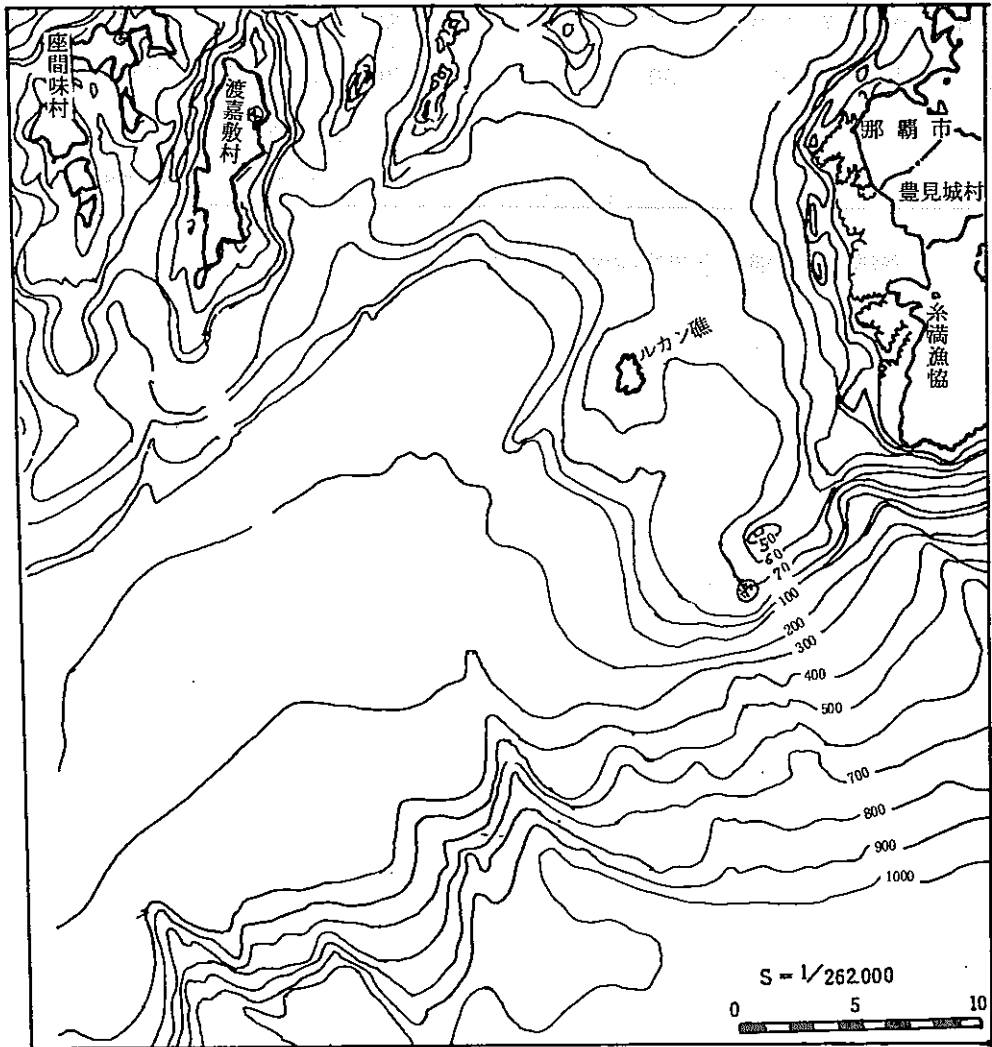
8. 浮魚礁の設計と構造

1. 設計条件

(1) 試験地区の環境

ア、地形（海岸線および海底状況）

試験地区の海岸線および海底状況を図8-1-1に示す。糸満市の西側はなだらかな傾斜であり、南東、南側は比較的急な勾配である。海底は全体的にサンゴ礁まじりの砂泥となっている。



資料………糸満地区人工礁漁場造成事業調査報告書 沖縄県（昭和56年4月発行）

図8-1-1 試験地区の海岸線、海底状況

（⊗は中層浮魚礁設置位置）

イ、気象

沖縄県那覇地区の月別最大風速、風向の第1位～第10位の表8-1-1 (気象庁資料1927～1980年) から試験地区における波浪の推定を試みた。

浮魚礁設置計画場所のN、NNE、NE、ENEの風向は沖縄本島の影響で強風は受けにくいものと推定される。したがって他の風向で過去の最大風速、風向を表8-1-1からみると、1957年9月26日に記録された47^m/_{sec}、SWが最大である。

表8-1-1

(日本気候表「おもな気象要素についての極値と順位、観測開始から1980年まで」気象協会 昭和57年1月発行)

RANKING OF DAILY MAXIMUM WIND SPEED (M/SEC)

936 NAHA

JAN. 1928-	21.7 N	1956 04 20.6 NW	1931 10 20.0 NNW	1967 16 19.9 NNE	1936 17 19.9 N	1936 02
FEB. 1928-	23.7 NNE	1944 18 23.3 N	1943 06 21.3 N	1944 24 19.8 N	1955 20 19.8 N	1938 16
MAR. 1928-	21.8 NNW	1934 21 21.6 N	1935 21 20.2 WNW	1978 09 19.8 NNE	1933 11 19.6 N	1937 25
APR. 1928-	21.2 SW	1956 24 19.6 N	1962 03 18.3 ESE	1959 19 17.9 W	1954 11 17.7 NNW	1943 08
MAY. 1927-	19.0 SW	1957 13 18.0 NNE	1951 09 18.0 E	1948 13 18.0 E	1947 28 17.9 NNW	1965 03
JUL. 1927	49.5 ENE	1949 20 24.8 SSW	1952 23 19.2 WSW	1944 20 18.6 SE	1963 18 18.3 SW	1929 05
JUL. 1927-	46.4 NNE	1949 23 41.0 SSW	1930 17 39.0 SSW	1940 12 36.7 ENE	1943 17 35.2 NNE	1930 27
AUG. 1927-	42.5 NNE	1941 07 37.4 SSW	1933 02 36.1 ENE	1933 01 36.0 SW	1951 18 35.7 ENE	1954 15
SEP. 1927-	47.0 SW	1957 26 43.5 S	1956 08 38.7 SSE	1956 25 36.3 NE	1966 02 35.0 WNW	1929 28
OCT. 1927-	44.8 WNW	1945 09 41.3 N	1959 17 40.0 N	1961 02 39.7 WNW	1948 04 38.6 SE	1961 03
NOV. 1927-	45.2 N	1959 13 37.2 NNE	1932 13 35.7 N	1944 11 35.6 S	1950 11 31.0 NNE	1947 10
DEC. 1927-	26.8 NNE	1934 04 24.8 NNE	1947 28 24.3 NNE	1944 06 22.3 N	1943 04 22.2 N	1934 05
T.P.1927. 5	- 49.5 ENE	1949 0620 47.0SW	1957 092646.4NNE	1949072345.2 N	1959111344.8WNW	1945 1009

RANKING OF DAILY MAXIMUM WIND SPEED (M/SEC)

936 NAHA

19.7 NNW	1976 15 19.2 NNW	1959 17 19.2 N	1955 09 18.8 NE	1938 22 18.7 N	1960 16
19.8 NNB	1932 22 18.8 NNW	1937 13 18.3 SSE	1968 14 18.3 N	1955 19 17.8 NNE	1935 11
19.1 N	1933 10 18.8 NNE	1930 31 18.5 NNW	1969 12 18.5 NNW	1947 02 18.2 N	1936 08
17.7 SSW	1940 03 17.0 SW	1958 03 17.0 SW	1955 02 16.9 NNW	1936 04 16.7 N	1967 04
17.3 SW	1936 30 17.3 NNE	1936 20 16.8 SSW	1944 04 16.5 SSW	1961 21 16.5 ENE	1948 16
18.0 SE	1944 19 17.5 SW	1957 17 17.4 SW	1947 24 17.2 SSW	1969 19 17.1 S	1952 22
34.0 NNW	1930 26 32.6 E	1930 16 32.3 SSW	1936 21 30.2 SW	1972 24 29.7 ESE	1956 31
35.3 ENE	1943 10 35.2 ESE	1953 16 34.8 ESE	1969 20 33.7 NE	1943 09 32.7 ESE	1956 01
33.8 WSW	1956 26 33.4 NW	1945 17 31.8 W	1929 29 31.2 S	1968 23 30.7 SW	1954 25
38.3 NNE	1959 16 36.5 NNE	1936 18 36.1 N	1936 19 36.0 SSE	1951 14 34.5 SSW	1939 16
26.5 N	1971 14 26.0 NNE	1943 18 24.5 N	1971 15 24.5 N	1962 15 24.0 NNE	1959 19
21.8 NNE	1944 02 21.6 N	1932 06 20.9 NNW	1931 12 20.8 NNE	1934 03 20.4 N	1964 17
43.5 5	1956 0908 42.5NNE	1941 0807 41.3 N	1959 1017 41.0 SSW	19300717 40.0 N	1961 1002

この最大風速 ($47 \frac{m}{sec}$) と設置位置までの吹送距離を 100 km と設定し、図 8-2 に示す風波の予知曲線 (水理公式集46年改訂版、土木学会編) から波高 $H \frac{1}{3} (m) \doteq 10 \text{ m}$ 、周期 $T \frac{1}{3} (sec) \doteq 10.7 \text{ sec}$ を得た。

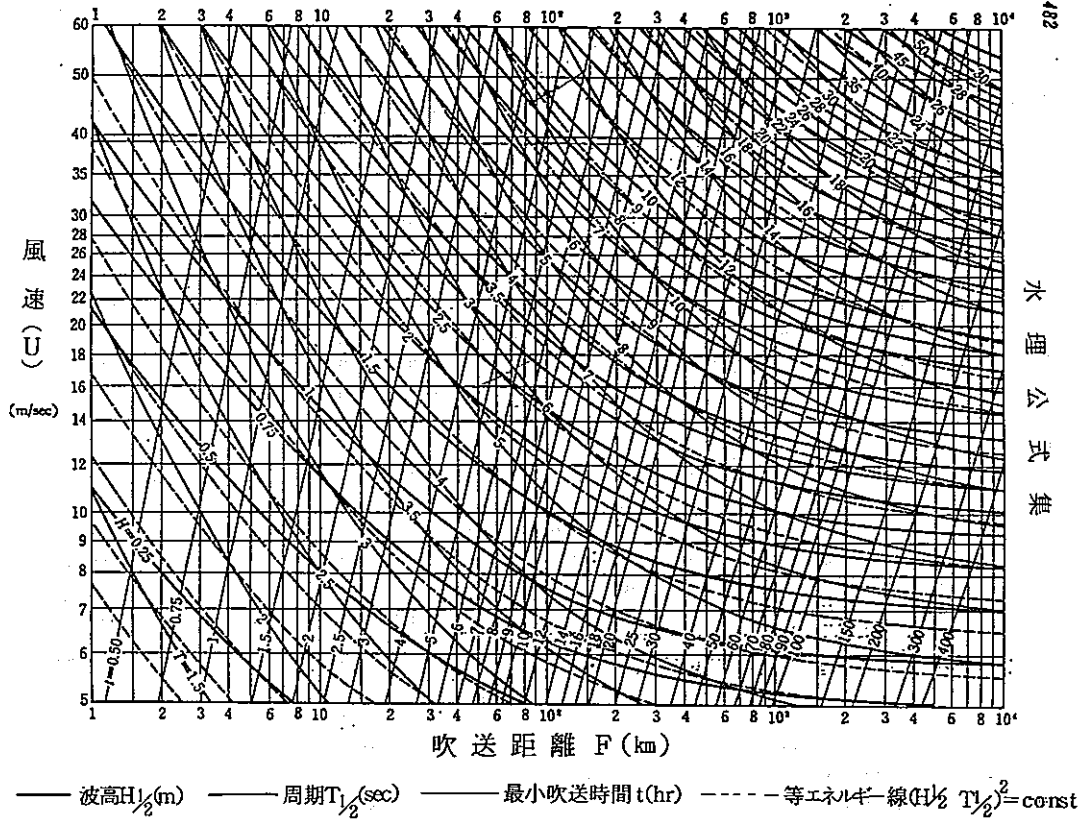
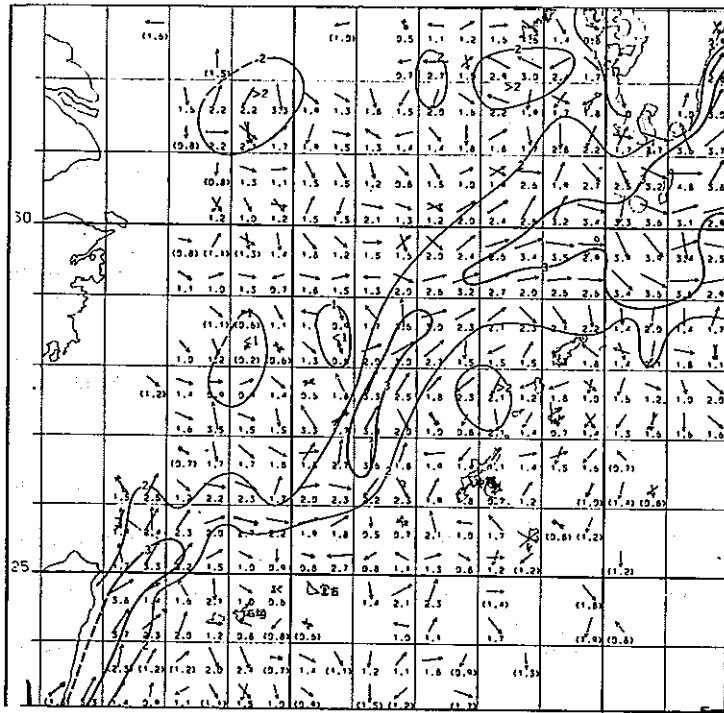


図 8-1-2 風波の予知曲線 (Wilson (1965) の式で修正したもの)

ウ、海流 (最大潮流速度)

日本水路協会発行の海洋環境図 (1979) を図 8-2 に示す。図 8-2 によると浮魚礁設置計画場所周辺の最大潮流速度は 2.1 knot と推定されるが、黒潮の潮流速度に関する文献などを参考にし糸満地先の最大潮流速度を 3.0 knot と設定した。



エ、設置場所の水深、および浮魚礁の設置位置

設置場所は対象魚種、漁法により選定され、魚群探知機による調査の結果72mであり、浮魚礁の設置水深は船舶の航行の安全性なども考慮して20m前後と設定した。設置位置 北緯26°-0.13' 東経127°-35.1' (図8-1-1)

(2) 生物付着量の設定

生物付着量の設定にあたってはプラスチック類は各部材の表面に10mm厚さで平均に比重 $\rho = 1.30$ の生物が付着、繊維類(人工海藻含む)は各部材の表面に5mm厚さで平均に比重 $\rho = 1.30$ の生物が付着するものとして算出した。

上記(1)、(2)から浮魚礁の設計条件を表8-1-2のように設定した。

表8-1-2 設計条件

設置場所	沖縄県糸満地先
水深(h)	72m
設置水深(h ₀)	18m
波高(H)	10m
波長(L)	232m
周期(T)	12.2sec
潮流速度(v)	3knot
底質	砂泥
生物付着量(水中)	1.35~2.70kg/m ²

2 浮魚礁の構造

浮魚礁の基本構造を構成する枠体（フレーム）は力学的に安定なトラス構造（正三角形）を基本とした。この基本枠体を複数個連結固定することにより種々の形状の枠体を構成させ、枠体を構成する棒状支持体の長さを変更することにより浮魚礁本体の大きさを自由に設計できるようにした。さらに垂直方向（深さ方向）は合成繊維製ロープを用い、複数個の枠体とロープを連結固定させ、このロープ（枠体連結索）の長さにより、浮魚礁本体の高さを自由に設計できるようにした。

本試験に用いた浮魚礁の概要図を図8-2-1に、浮魚礁を構成する各主要部の拡大図を図8-2-2～図8-2-3に示す。図8-2-1～図8-2-3に示すように棒状支持体とプラスチック固定具で枠体を構成し、上部枠体と下部枠体を枠体連結索で固定した。さらに魚礁本体の周囲に網状物、内部に人工海藻を取り付け魚礁の陰影効果、渦流効果、餌料効果を高めるよう設計した。

浮力体は上部枠体に平均して取り付け、浮力がほぼ均一に魚礁本体に加わるよう設定した。

なお材料の選定にあたっては耐海水性、耐疲労性にすぐれた合成樹脂材料、合成繊維材料を主材料とし長期間の実用に耐えるよう設計した。

本試験に用いた浮魚礁各部材の規格、数量および生物付着量予測表を表3-2-1に示す。

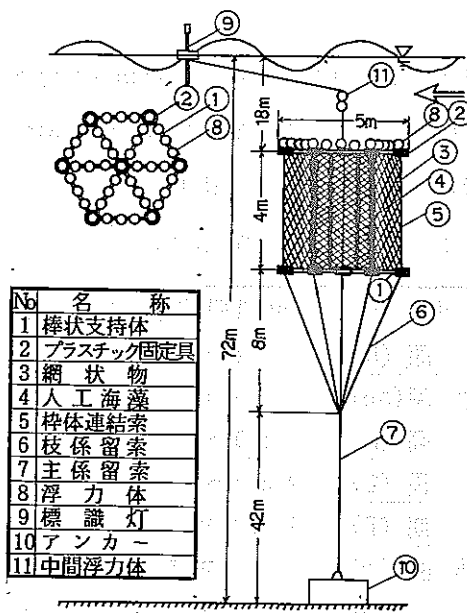


図8-2-1 浮魚礁概要図

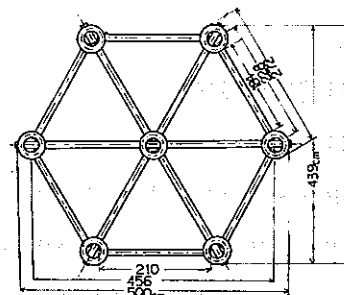
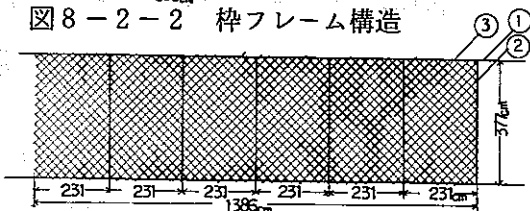


図8-2-2 枠フレーム構造



No	部品名
1	枠ロープ 26φ
2	連結ロープ 30φ
3	網目合30cm63000d
4	繰り紐 5φ

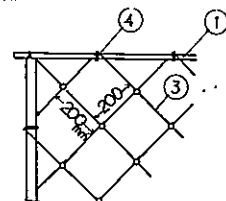


図8-2-3 網状物展開図および取付図

表8-2-1 浮魚礁各部材の規格・数量および生物付着量予測表

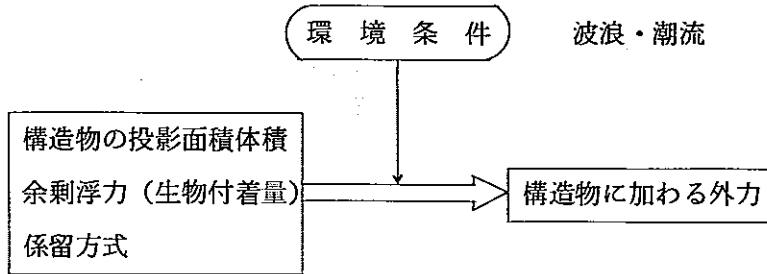
名称	規格	数量	生物付着なし				生物付着有り				備考	
			水平投影面積 (㎡)	体積 (m ³)	空中重量 (kg)	水中重量 (kg)	水平投影面積 (㎡)	体積 (m ³)	空中重量 (kg)	水中重量 (kg)		
浮力体	ABS 360φ 耐圧浮子 浮力 25kg 浮力 21kg	36コ 8コ	4.47	1.07	162	↑11068	4.99	1.26	409	↑11017	付着生物水中重量、その他 (kg/㎡) (厚さcm)	2.7 (1.0cm) 比重1.3
プラスチック固定具	PE 440φ	14組	150	0.15	145	↑ 10	1.83	0.22	236	9	同上	同上
棒状支持体	FRP 90φ×75φ	676m	359	0.28	252	116	4.38	0.42	434	154	〃	〃
バネ	耐海水ゴム 130×285×2t	84枚	-	-	8	2	-	-	8	2	-	-
ボルト・ナット	SS41 亜鉛メッキ M16×200t	84組	-	-	48	41	-	-	48	41	-	-
連結索	NY30φ×4m クロス	7本	0.55	0.02	19	2	0.73	0.03	32	5	1.35 (0.5cm)	同上
枝保留索	NY30φ×9m クロス	7本	1.23	0.05	45	4	1.73	0.08	84	12	同上	同上
主保留索	PET48φ×45m パラエイト	1本	1.35	0.07	45	4	1.63	0.11	97	15	〃	〃
網状物	NY210/100φ 目合400	523㎡	1.23	0.01	8	1	4.30	0.10	125	25	〃	〃
人工海藻	PET100 ^W ×7 ^M ×5枚	6本	1.58	0.02	10	2	1.58	0.21	257	53	〃	〃
固定用ロープ・他	NY10φ・20φ・30φ塩化ポリエチレン	400m	-	-	58	6	-	-	-	6	-	-
合計	-	-	15.50	1.67	800	↑900	21.17	2.43	1730	↑695	付着生物水中重量205 kg 〃 空中 〃 930 kg	-
フック	コンクリート 2m×2m×1.65m	1コ	3.30	66	158t	9.0t	-	-	-	-	比重2.4	-

(注) ※：水平投影面積は45°傾斜時の場合。

3 安全計算

(1) 浮魚礁本体に加わる外力算出

浮魚礁の設計にあたっては次のフローチャートによって強度計算を行なった。



なお各部の安全率は $\frac{\text{各部強度}}{\text{部材に加わる応力}}$ で求めた。

ア、浮魚礁本体の深度変化および吹かれ角度変化

浮魚礁の各構成部材に加わる外力を求めるために、設計外力（波高、潮流速度）を与えた場合の浮魚礁本体の深度および吹かれ角度を求めた。外力が負荷された時の浮魚礁の深度変化模式図を図3-3-1に示す。浮魚礁の吹かれ角度（ θ ）、深度（ h ）は次式で示される。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_{\max}}{F} \right) \dots\dots (1) \quad F_{\max}: \text{全水平抗力}$$

$$h = h_0 \cos \theta \dots\dots (2) \quad F: \text{余剰浮力}$$

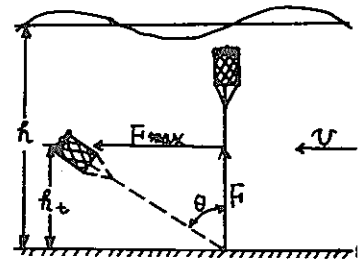


図8-3-1 浮魚礁深度変化模式図

余剰浮力（ F ）は浮魚礁の総浮力－総重量として求め、全水平抗力（ F_{\max} ）は流れによる水平抗力（ F_D ）と質量力（ F_M ）の和とした。

すなわち、海中における物体の受ける力（モリソン・オブライエンの式）により、

$$F_D = \frac{W_0}{2g} C_D \cdot S_Q \cdot (U + u)^2 \dots\dots (3)$$

$$F_M = \frac{W_0}{g} C_m \cdot V \cdot \frac{2u}{2t} \dots\dots (4)$$

で示される。なお

$$F_{\max} = F_m \quad (2F_D < F_m \text{ の場合})$$

$$F_{\max} = F_D + \frac{F_m^2}{4F_D} \quad (2F_D > F_m \text{ の場合})$$

- W_0 : 海水比重 (1030 kg/m³)
- g : 重力の加速度 (9.8 m/sec²)
- C_D : 抗力係数 (1.0)
- C_m : 質量係数 (2.0)
- S_Q : 任意の角度における魚礁投影面積
- V : 魚礁全部材体積
- U : 潮流速度 (表層 3 knot、水深に比例水深 300m で 0 と設定)

となり、 $u \cdot \frac{2u}{2t}$ は Bretschneider
の微小振幅波浅深波理論により、

u : 水粒子速度
 $\frac{2u}{2t}$: 水粒子加速度
 Z : 浮魚礁上端部の位置
 h : 水深

$$u = \frac{\pi \cdot H}{T} \cdot \frac{\text{Cosh}\{2\pi(h+Z)/L\}}{\sin h(2\pi h/L)} \cdot \cos\left\{2\pi\left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right)\right\} \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{2u}{2t} = \frac{2\pi H}{T^2} \cdot \frac{\text{Cos} h\{2\pi(h+Z)/L\}}{\sin h(2\pi h/L)} \cdot \sin\left\{2\pi\left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right)\right\} \dots\dots\dots(6)$$

で示され、 u 、 $\frac{2U}{2t}$ は各々の最大値を使用した。

なお余剰浮力 (F) は設計波による垂直方向の力によって主係留索が弛まないものと設定し算出した。設計外力が $H=10m$ 、 $T=3.86\sqrt{H}=12.2 \text{ sec}$ 、 $L \doteq \frac{g}{2\pi} T^2 = 232W$ 、 $Z=18m$ の場合、(3)、(4)式から $F_D=538kg$ 、 $F_m=275kg$ となり、 $2F_D > F_m$ であるから $F_{max} = F_D + \frac{F_m^2}{4F_D}$ となり $F_{max}=573kg$ を得る。したがって余剰浮力 (F) は F_{max} より大きくし生物付着なしの場合 $900kg$ 、生物付着後で $700kg$ と設定した。

上記結果から波高 $3m$ 、波高 $10m$ の場合の潮流速度 (u)、水平抗力 (F_{max}) 吹かれ角度 (θ) との関係を図 8-3-2~図 8-3-3 に示す。図 8-3-2 より波浪条件が標準状態 (波高 $3m$ 、潮流速度 1.5 knot) の場合、浮魚礁の吹かれ角度はほぼ 45° となり、その時の浮魚礁に対する水平抗力は約 $650kg$ となる。波浪条件が波高 $10m$ 、潮流速度 3 knot と最大の場合図 8-3-3 に示すように浮魚礁の吹かれ角は 75° となり、その時の水平抗力は 3.2 トンに達する。

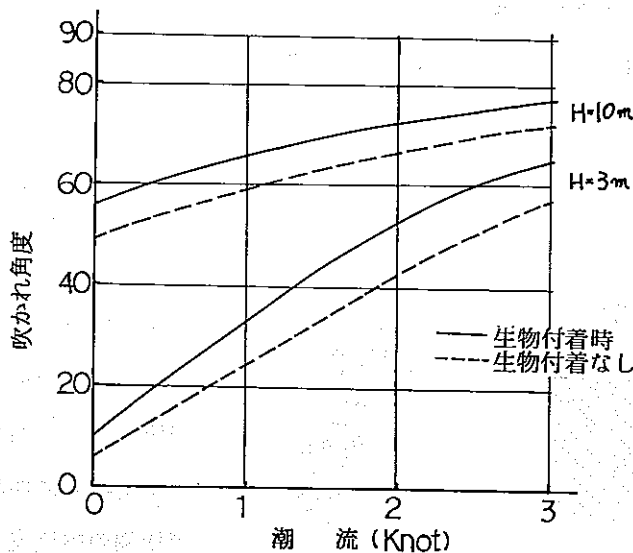


図 8-3-2 潮流と魚礁吹かれ角度との関係

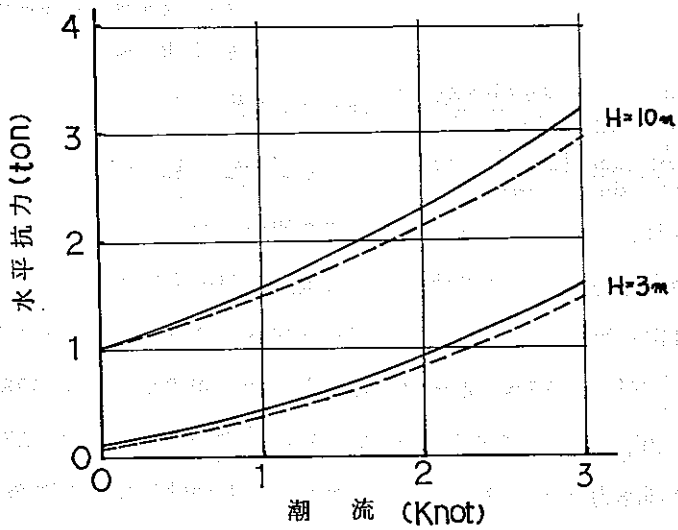


図8-3-3 潮流と魚礁水平抗力との関係

(2) 浮魚礁各部に加わる外力算出

浮魚礁本体および係留索、アンカーに加わる外力を模式化した状態を図8-3-4に示す。

ア、魚礁の上部枠体に加わる外力

魚礁の上部枠体（枠フレーム）に作用する力を図3-3-5、さらにモデル化した状態を図8-3-6に示す。

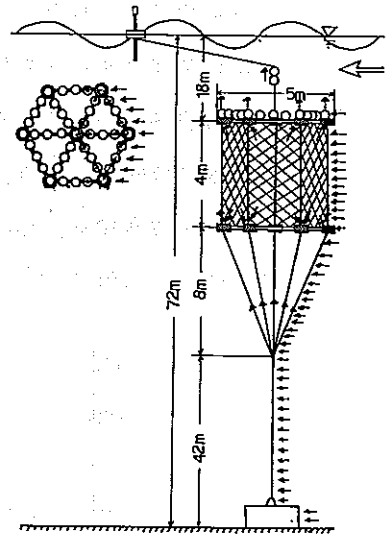


図8-3-4 浮魚礁に作用する力

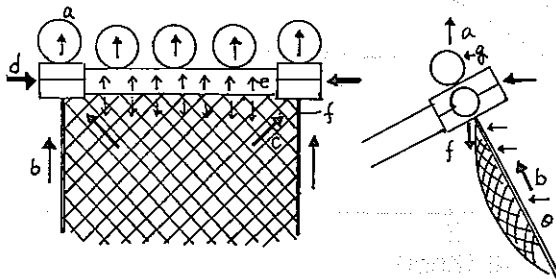


図8-3-5 上部枠体に加わる力

- a : 浮力体の浮力
- b : 連結索張力
- c : 網状物のプラスチックブロックへの張力
- d : 棒状支持体に加わる座屈力
- e : 棒状支持体に加わる波力
- f : 網状物の棒状支持体に加わる張力
- g : 浮力体の受ける波力

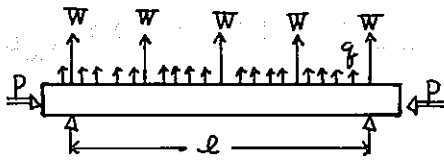


図 8-3-6 上部棒状支持体に作用する力のモデル図

1. プラスチック固定具にゴムパッキンを使用しているので自由支持とする。
2. Wは浮力体の浮力と浮力体の受ける波力とを加算し、力の方向は同一方向であり、集中荷重とする。
3. gは棒状支持体の受ける波力で分布荷重としWと同一方向とする。
4. Pは網状物一面が受ける波力の $\frac{1}{4}$ を棒状支持体の軸力に加算する。

モデル図により棒状支持体に加わる外力算式は曲げ荷重と軸力とが同時に起るとして次式を用いた。軸荷重の他横荷重を受ける円柱に発生するモーメント(Mx)は

$$M_x = C_1 \sin \alpha x + C_2 \cos \alpha x + f(x) \dots (7)$$

$$\text{ここで } \alpha = \left(\frac{P}{EI} \right)^{\frac{1}{2}}$$

図 3-3-6 のモデル図を例にして最大モーメント ($x = \frac{l}{2}$) を求めると

C_1, C_2 : 荷重、支点間、距離などによって決まる定数
 P : 軸荷重
 E : 材料の弾性定数
 I : 断面 2 次モーメント

$$M_{\max} = \frac{W}{2\alpha} \left\{ \tan\left(\frac{\alpha l}{2}\right) + \frac{2 \sin(\alpha l/4)}{\cos(\alpha l/2)} \right\} + \frac{g}{\alpha^2} \left\{ \frac{\cos(\alpha l) - 1}{2 \cos(\alpha l/2)} \cos(\alpha l/2) + 1 \right\} \dots (7')$$

となる。この結果、図 3-3-6 を例にした場合、この材料に加わる外力は

$$\alpha a = \frac{W \cdot P}{A} + \frac{M_0}{Z} + C_1 \dots (8)$$

で表わすことができる。次に

このモデルにおける部材強度試験を行な

った結果、棒状支持体強度は

$$\alpha a = 4.46 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2 \text{ を得た。}$$

αa : 棒状支持体に加わる応力
 P : 軸力
 A : 棒状支持体の断面積
 M_0 : 最大モーメント
 Z : 断面係数
 W : 単純圧縮の座屈への換算係数
 C : 補正定数

イ、下部棒体に加わる外力

下部棒体に作用する各応力、方向を模式化した結果を図 3-3-7、図 3-3-8 に示す。

下部棒体に作用する力は上部棒体で求めた方法と同様に行なった。

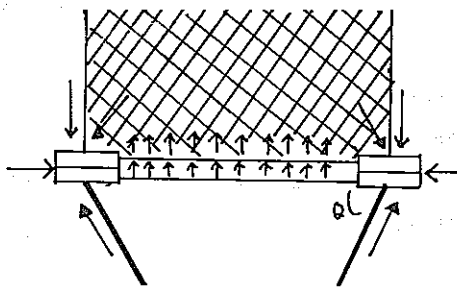


図8-3-7 下部樁体に作用する力

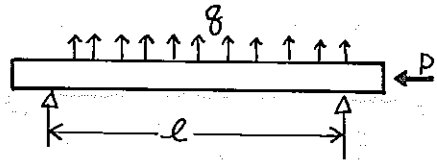


図8-3-8 下部棒状支持体に作用する力

P : 枝係留索張力の軸力換算および下部網状物の受ける $\frac{1}{4}$ の力の軸力換算。

g : 棒状支持体の受ける波力

ウ、連結索、係留索に加わる張力

連結索、係留索の実用時の強力減少率を考慮し、 n 年実用後のロープ強力(f_n)を次式により求めた。

$$f_n = f_0 (1 - r)^n \dots\dots\dots (9)$$

f_n : n 年経過後のロープ強力

f_0 : ロープ初期強力

r : 強力減少率

n : 年数

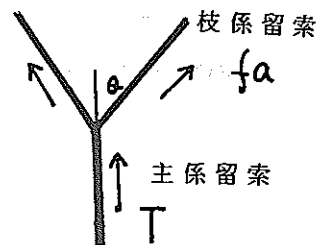
a、連結索に加わる外力

連結索に加わる外力は魚礁全抵抗力から下部樁体、枝係留索、主係留索の各部に加わる抗力を差し引いた力を2本の連結索で支えるものとした。(水槽実験等により浮魚礁の動きを観察した結果、7本の連結索を有しているが種々の方向からの外力に対し最低でも2本の連結索で支えることを認めた。)

b、枝係留索に加わる外力

枝係留索に加わる外力は主係留索を2本の枝係留索で固定するものとして、主係留索張力を角度分配して求めた。枝係留索張力を f_a とすると、

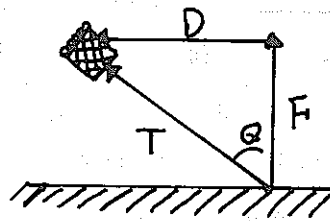
$$f_a = \frac{1}{2} \cdot \frac{T}{\cos \theta} \dots\dots\dots (10)$$



c, 主係留索に加わる外力

主係留索張力をTとすると

$$T = \sqrt{F^2 + D^2} \dots \dots \dots (11)$$

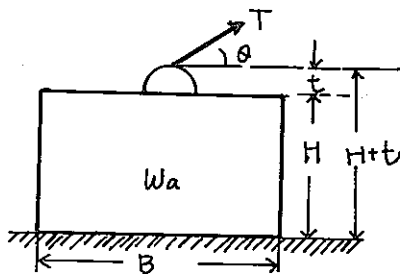


エ, アンカー・ブロック

a, 滑動安定度

アンカー・ブロックの滑動安定度は次式より算出した。

$$\phi = \frac{W a}{T_{\max} \left(\frac{\cos \theta}{u} + \sin \theta \right)} \dots \dots \dots (11)$$



T_{\max} : 最大係保留張力

$W a$: アンカー・ブロック水中重量

u : アンカー・ブロックの把駐力係数
(海底砂泥、アンカーコンクリートにより 0.5)

b, 転倒安定度

アンカー・ブロックの転倒安定度は次式より算出した。

$$\phi = \frac{W a}{\frac{2}{B} (H+t) T_{\max} \cos \theta + T_{\max} \cdot \sin \theta} \dots \dots \dots (12)$$

B : アンカー・ブロック幅

H : アンカー・ブロック高さ

$H+t$: 海底から係留点までの距離

表 8-1-2 でまとめた設計外力に対する浮魚礁各部の安全率算出結果を表 3-3-1 にまとめた。

表3-3-1 部材安全率

項目 部材名	荷重	応力 (σ_a)	15年後 推定強度 (σ_b)	安全率 (σ_b/σ_a)	初期強度
浮力体	圧力	62 kg/cm ²	28.3 kg/cm ²	4.5	45 kg/cm ²
棒状支持体 (上部)	曲げと圧縮の複合	147.1 "	2809 "	19.0	4460 "
" (下部)	"	71.4 "	2809 "	39.3	4460 "
枠体固定部	棒状支持体の固定	215.4 kg	81.9 "	3.8	1300 kg
連結索引	引張り	1.28 ton	7.40 ton	5.8	18.5 ton
枝係留索	"	1.66 "	7.40 "	4.4	18.5 "
主係留索	"	3.29 "	12.40 "	3.8	31.0 "
アソカ	滑動	7.15 "	8.94 "	1.2	-
	転倒	7.15 "	8.94 "	1.2	-

強度減少率：プラスチック類1年に3%、繊維類1年に6%とした。

4. 模型実験

(1) 模型実験の目的

潮流に対する浮魚礁の水中安定性および係留索に負荷される応力を求めるために、浮魚礁の形状（体積、表面積）、浮力体の量（余剰浮力）を種々変更して、水槽によるモデル実験を行なった。得られた知見を浮魚の基本設計技術として応用し、浮魚礁本体の設計、係留索設計の基準化を試みた。

(2) 実験方法

実験に用いた水槽は水平型回流水槽である。回流水槽の流れはスクリュ-2基を回転することにより発生し、整流板により流れを均一化している。回流水槽の概要を図8-4-1に示す。

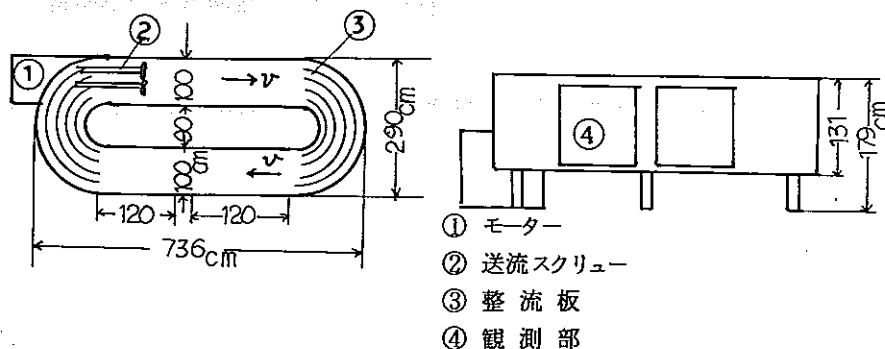


図8-4-1 回流水槽概要図

(3) 測定方法

回流水槽にモデル実験概要図を図8-4-2に示す。図に示すように観測部中央に回転摩擦の小さいプーリーを設置し、モデルの係留部をプーリーを介して記録計とつないだ。浮魚礁モデルの上端部を標準試験条件では水面下10cmになるように設定した。流速を変化させ、浮魚礁モデルが流れによって吹かれた状態を係留角度(θ)で求め、さらにその時の係留張力を動ひずみ計で測定した。なお係留角度は大分度器と写真によって測定した。

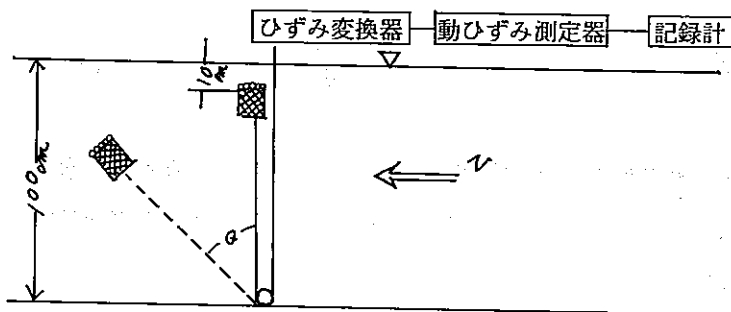


図8-4-2 水槽によるモデル実験概要図

(4) モデル縮尺の考え方

モデル縮尺は実験目的から、ひずみなしの幾何学模型にするためFroud則に従った。これによって、潮流速度 (V_p) と水槽の流速 (V_m) との間には次の関係が成立する。

$$\frac{V_p}{\sqrt{g_p \cdot \ell_p}} = \frac{V_m}{\sqrt{g_m \cdot \ell_m}} \dots \dots \dots (11)$$

g : 動力の加速度
 ℓ_m : モデル寸法
 ℓ_p : 実物寸法

ここで $g_p = g_m$ より

$$V_p = \sqrt{\frac{\ell_p}{\ell_m}} \cdot V_m \dots \dots \dots (12)$$

回流水槽の最大流速は $V_m \text{ Max} = 0.278 \text{ m/sec}$ であり、海洋の最大潮流速度を $V_p \text{ Max} = 2.09 \text{ m/sec}$ (4 knot) とすると $V_p \text{ Max}$ 、 $V_m \text{ Max}$ を (12) 式に代入して $\frac{\ell_p}{\ell_m} = 50$ を得る。この結果によりモデル縮尺を $\frac{1}{50}$ に設定した。

ア, 実験条件

実験における流速 (V_m) と海洋での潮流速度 (V_p) との関係は (12) 式から

$V_p = \sqrt{50} \cdot V_m$ で求められる。水槽の最大流速 0.278 m/sec から潮流速度の条

件としては0～3.76 knotの範囲が実験可能である。

また、余剰浮力については浮力の個数を順次増加させることによって実物換算で最大1050 kgまで実験を行なった。

(5) 実験結果および考察

ア、抗力係数

一般に流体によって水中に存在する物体に働く水平抗力は次式によって求められる。

$$D = \frac{W_0}{2g} \cdot C_D \cdot S \cdot V^2 \dots (13) \quad (13 \text{ 式により } C_D = (2g \cdot D / (W_0 \cdot S \cdot V^2)) \dots (13)')$$

$$C_D = \frac{C \cdot K}{S} \dots (14) \quad (C = \frac{2g}{W_0}, K = \frac{D}{V^2} = C \cdot C_D \cdot S)$$

ここで重力加速度(g)、海水密度(W)は定数であり、流速(V) 水平抗力(D)も測定可能であることから (13) 式(14)式のように示され、魚礁の投影面積(S)に反比例することがわかる。

また K は投影面積(S)と抗力係数(C_D)との積であらわされ、その魚礁の形状特性値と考えることができる。しかしながら異方性のある物体では $K \cdot S$ は流れに基づく魚礁の傾斜角度により変化し、その結果投影面積も変化する。その結果 $C \cdot D$ が変化し (14) 式は (15) 式に修正される。

$$C D_\theta = \frac{C \cdot K_\theta}{S_\theta} \dots (15)$$

そこでこの (15) 式に基づいて固有値(K_θ)の角度依存性及び投影面積の角度依存性を求めた。

各種魚礁モデルの傾斜角度による水平抗力変化を図3-4-3に示す。

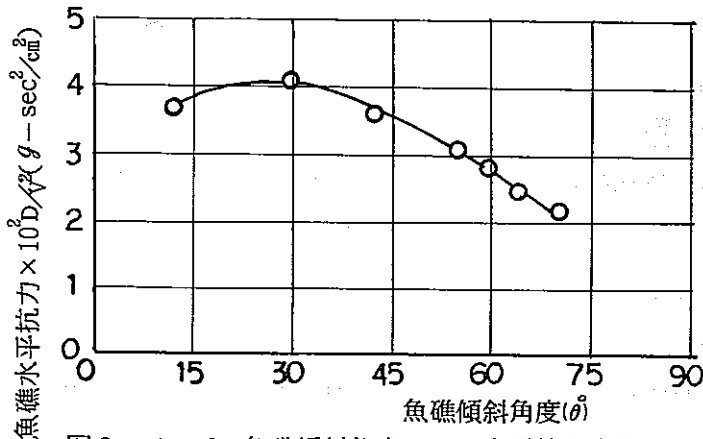


図8-4-3 魚礁傾斜角度による水平抗力変化

そこでこの(15)式に基づいて、水平抗力(C_D)を求めることができる。図8-4-3より、このモデルの抗力係数は $C_D \approx 1.0 \sim 1.25$ であり、魚礁の傾斜角度(θ)が大きくなると C_D は減少していく傾向が認められる。このことは流速が大きくなると魚礁が傾斜し、 C_D が減少することになり浮魚礁設計に好ましい傾向といえる。さらに浮魚礁の傾斜角が大きくなると、浮魚礁本体の投影面積も小さくなり、抗力係数も小さくなることから係留索への張力は流速が速い時でも急激に大きくなるという特長を有している。

イ、浮力設計

余剰浮力の大きさが浮魚礁の水中安定性に及ぼす効果

余剰浮力の大きさパラメーターとし流速に対するNT-Iモデルの水中安定性を魚礁係留角(θ)を尺度としてプロットした。その結果を図8-4-4に示す。図に示すように余剰浮力が大きいほど水中安定性はすぐれているが、流速が0.5~2.0 knotで、余剰浮力の大きさによる魚礁係留角への影響が大きいことがわかった。また、どのモデルもシグモイド型曲線の軌跡をとっており、流速の遅い時は係留角の変化が大きく速くなると飽和に近づく傾向が認められた。

この実験の結果から余剰浮力の設計が可能になった。例えば1.5 knotの海洋条件において $\theta = 45^\circ$ の係留角に設定しようとするれば、この模型では浮子35個をつければよいと設計される。

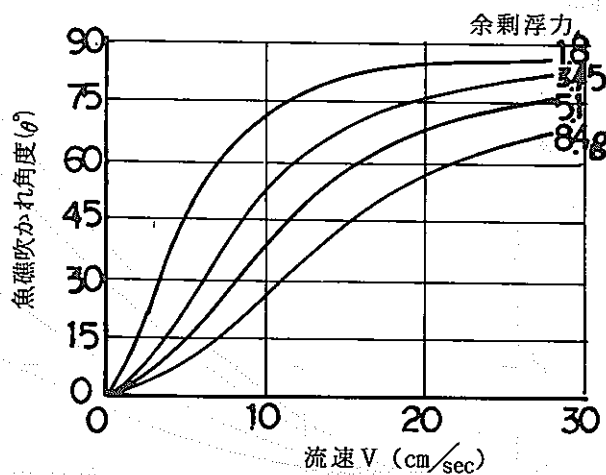


図8-4-4 余剰浮力による流速と魚礁吹かれ角度の変化

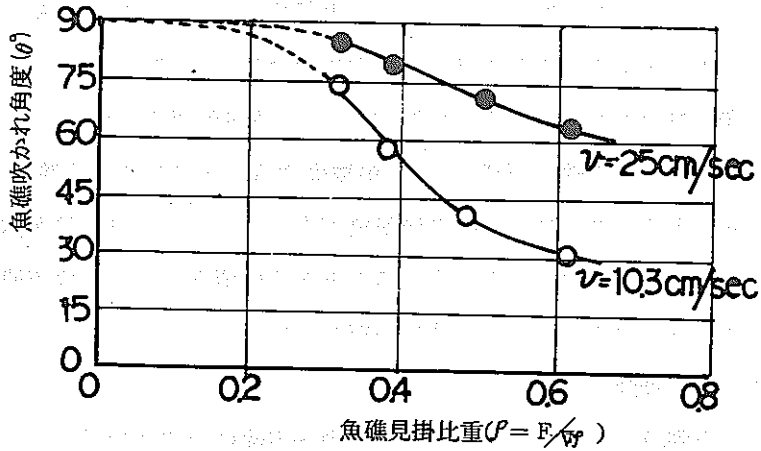


図 8-4-5 流速による魚礁見掛比重と魚礁吹かれ角度との関係

次にこのモデルの部材体積(V)×流体密度(ρ)と余剰浮力(F)との比を変化させ流速に対する係留角の変化を検討した。その結果を図 3-4-5 に示す。 $F/v\rho$ は無次元化した、形状が同一であればその大きさの因子を無視して傾斜角をみることができ、一種の形状特性値といえる。つまり 1.5 knot で潮流下で係留角を $\theta = 45^\circ$ に保つためには $F/v\rho = 0.5$ となる。

以下、余剰浮力の大きさが係留張力に及ぼす影響

余剰浮力 (浮力量) F をパラメーターとし流速(v)と係留張力(T)との関係について測定した。

その結果を図 8-4-6 に示す。

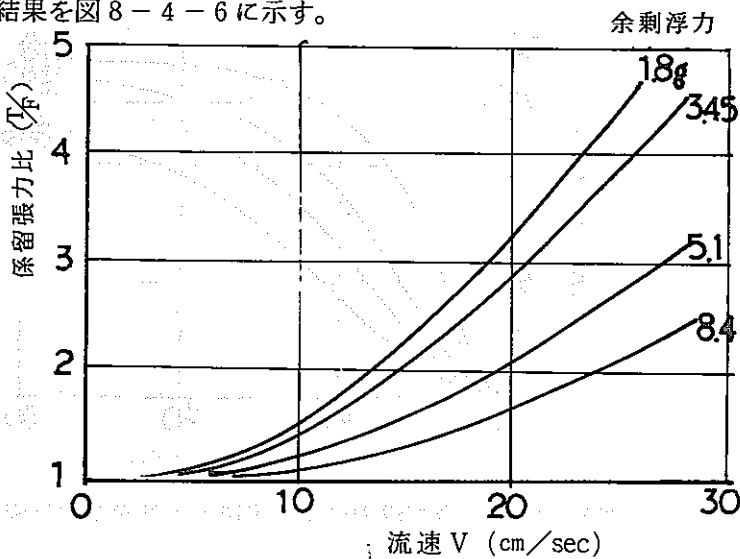


図 8-4-6 余剰浮力による流速と係留張力との関係

図3-4-6に示すようにどの浮力量モデルも流速が増すにつれて高次関数的に係留索へ負荷される張力が増大している。その傾向は浮力量の小さいものほど影響を受けやすい傾向が認められる。

このことは浮力量が小さいと係留索の疲労振幅度合が大きく、疲労しやすいことを意味しており、係留索設計時に留意する必要がある。図8-4-6を用いて疲労振幅度合の少なくするための余剰浮力の設計が可能となった。

次に見掛比重（余剰浮力／部材体積×流体密度）と係張力との関係を流速(v)をパラメーターとして求めた。結果を図8-4-7に示す。見掛比重が小さいと係留張力比は高次関数的に大きくなり、見掛比重が1に近づくことにより係留張力比 (T/P) も1に収束する傾向が認められる。

また、図8-4-6により係留張力に注目した浮力量の設計も可能となり、例えば海洋最大流速 $v = 4 \text{ knot}$ とし係留張力比 (T/P) を3.0と設定すれば図10-3-11より見掛比重 ($F/V\rho$) = 0.5が得られる。

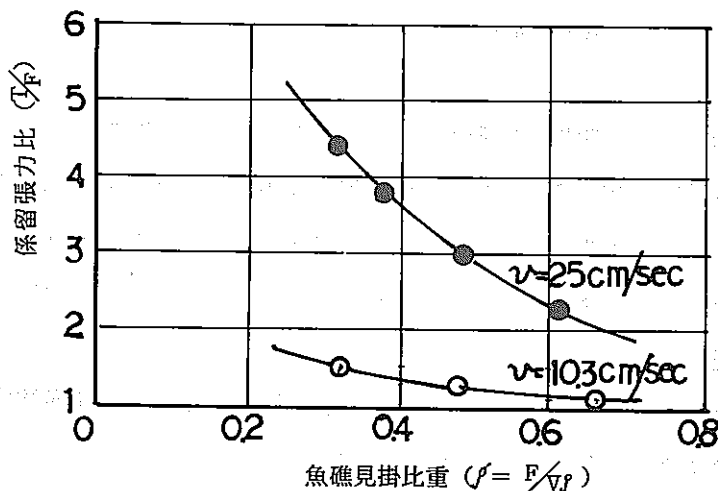


図8-4-7 流速による魚礁見掛比重と係留張力比との関係

エ、模型実験結果まとめ

標準的な浮魚礁のモデルにより回流水槽実験を実施し次の知見を得た。

a, 本タイプ浮魚礁は流速が速くなるに従って、その投影面積(S)、抗力係数(CD)が小さくなる形状に設計されており、潮流が速い時も浮魚礁本体および係留索への張力は急激に大きくならない特長を有している。

b, 余剰浮力量、浮力体の取り付け位置をパラメーターとして流速条件と浮魚礁の水中形状安定性および係留索へ負荷される張力との関係を明確にした。