

テザードフロート消波堤の水槽試験

高橋 賢一*¹ 渡辺 正之*¹ 浮田 基信*¹

テザードフロート消波堤は、顕著な特性と多くの利点を持っている。今後の実用化のための基礎資料を得るため、小型のタイヤを用いて製作したフロートによる水槽試験を実施した。

規則波の周期とフロートの固有振動周期とが一致する付近では、顕著な消波効果を示し、僅か5列のフロートで最大36%の消波率が得られた。

Water Tank Tests on the Tethered Float Breakwaters of Small Cylindrical Models

Ken-ichi Takahashi*², Masayuki Watanabe*², Motonobu Ukita*²

Tethered Float Breakwaters (TFB) have remarkable characteristics, and many merits as a floating breakwater. For the purpose of obtaining fundamental data for designing practical TFB, tank tests have been carried out with small cylindrical models made of small rubber tires.

Whenever the period of the incidental regular wave and the natural oscillation period of the float coincides, conspicuous breakwater ability is exhibited. Maximum efficiency reached 36% (transmission ratio=64%) using only five rows of floats.

*1 海洋利用技術部

*2 Marine Exploitation Technology Department

1. ま え が き

テザードフロート消波堤 (TFB, Tetherd Float Breakwaters) は、米国のスクリップス海洋研究所 (Institute of Marine Resouces, Scripps Institution of Oceanography) で、水槽および海域で多くの実験が行われ、理論的にも深く研究されている。TFBは、他の浮消波堤と形式上、全く異なった形状をしているが、顕著な特性と利点を有しており、実用性がきわめて高いことが確認されている。

当センターではスクリップス海洋研究所における実験、研究のデータを検討するとともに、基礎的な確認追加試験を行った。これらは現在、継続中であるが、TFBの概略とともに、これまでに得た結果を紹介する。

2. T F B の概略

2.1 T F B の形態

TFBは、球型または円筒状のフロート群と海底または海中に横たわる台枠と、これらを接続する索から成立っている (図1参照)。

フロートは水面下、僅かの深さに沈めるか、僅かに頭の出る程度とし、フロートの動揺固有周期が波の周期に合致するとき、フロートは最大の振幅で運動する。このとき、消波効果は最大となる。このことから、波の周期の短いときはフロートの比重を小さくし、長い周期のときは大きく調整することが望ましい。

スクリップス海洋研究所では、経済性を考慮し、フロートに古タイヤを用いることを提案している。この場合は比重の0.4~0.6調整範囲内で、波の周期6 sec以内の消波が最適であると報告している。

また、設置水深が浅海の場合は、海底に台枠を設置し、フロートの索を直接接続し、水深が深い場合は長い索が必要となり、固有周期が長過ぎてしまう。そこで、海面からある程度の海中に台枠を浮かせ、鎖で係留する方式が考案されている。

その後、スクリップス海洋研究所では台枠を海底に設置する方法として、浮力タンクを取付け、注排水をコントロールし、設置、水深調整および撤去が自由に行える方式の実験を行って

いる。海上工事等で、一時的な消波が必要な場合には、この方式の実用性は大変大きいものと考えられる。

2.2 T F B の有利性

TFBの最大の利点には、次のものがある。

(1) 安全性がすぐれている

係留索の切断時には、小さなフロートが流れるだけで、他に危害を与えることが少なく、消波堤の機能を失うことが少ない。

このことは、他の形式の消波堤では消波機能が全くなくなるばかりでなく、大きな二次災害を引起す危険が伴うことがあるのとは対称的である。

(2) 経済的である

古タイヤなどを利用するため、係留力が小さく、消波領域の拡大には数を増加しても、他の形式よりもきわめて安価に製作できる。

(3) 景観を損わない

フロートの水面にでる部分が全くないか、僅かであるため、海上の景観を損うことが少ない。

(4) 沈設が容易である

陸上、または仮泊地で組立て、現地に曳航し、そのまま沈めるため、工事がきわめて簡単である。

これらの長所に対する難点は、長周期の波に対して、効果が小さく、索と台枠との結合部に生じる繰返し応力対策である。この繰返し応力対策には、結合部にゴム製のブーツを取付けることで、スクリップス海洋研究所では対処している。

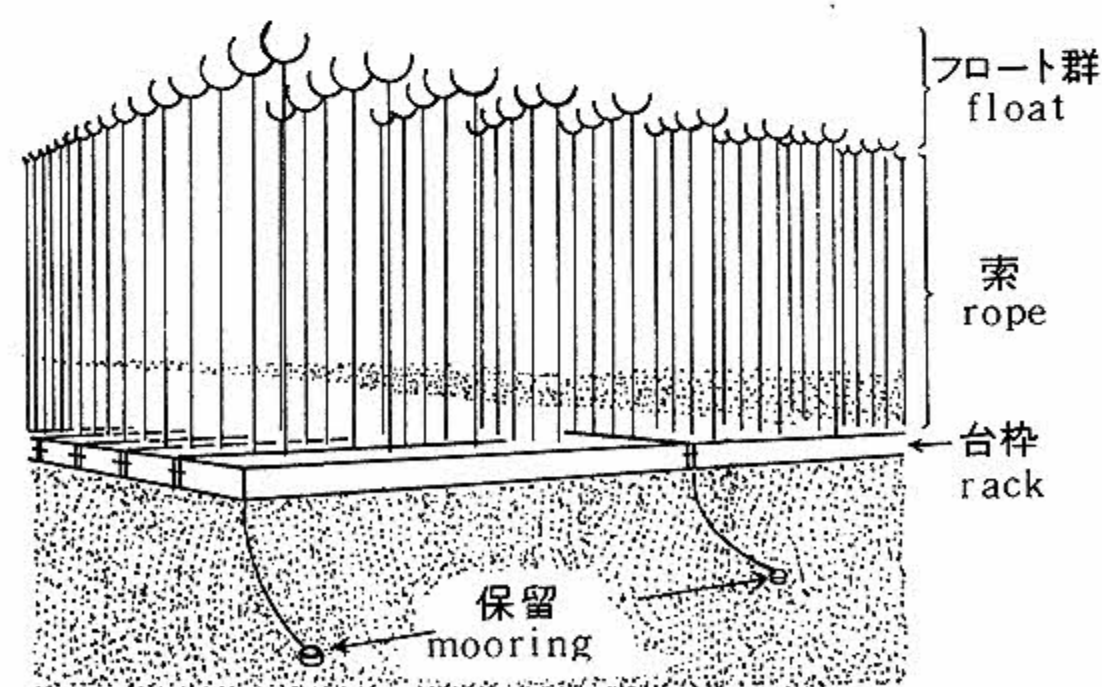


図1 テザードフロート消波堤の構造
Structure of tetherd float breakwaters

表1 円筒形フロートの仕様
Specification of cylindrical floats

項 目 item	寸 法 dimensions
フロート外径 (mmφ) outside dia. of a float	200
フロート部の高さ (mm) height of float part.	365
タイヤの本数 / セット (本) number of tire / 1 set	5
タイヤの重量 / 本 (g) weight of a tire	780
フロートの比重 / セット specific gravity of a float	$\begin{cases} 0.455 \\ 0.514 \\ 0.574 \\ 0.633 \end{cases}$
フロートの個数 (セット) number of float (set)	40

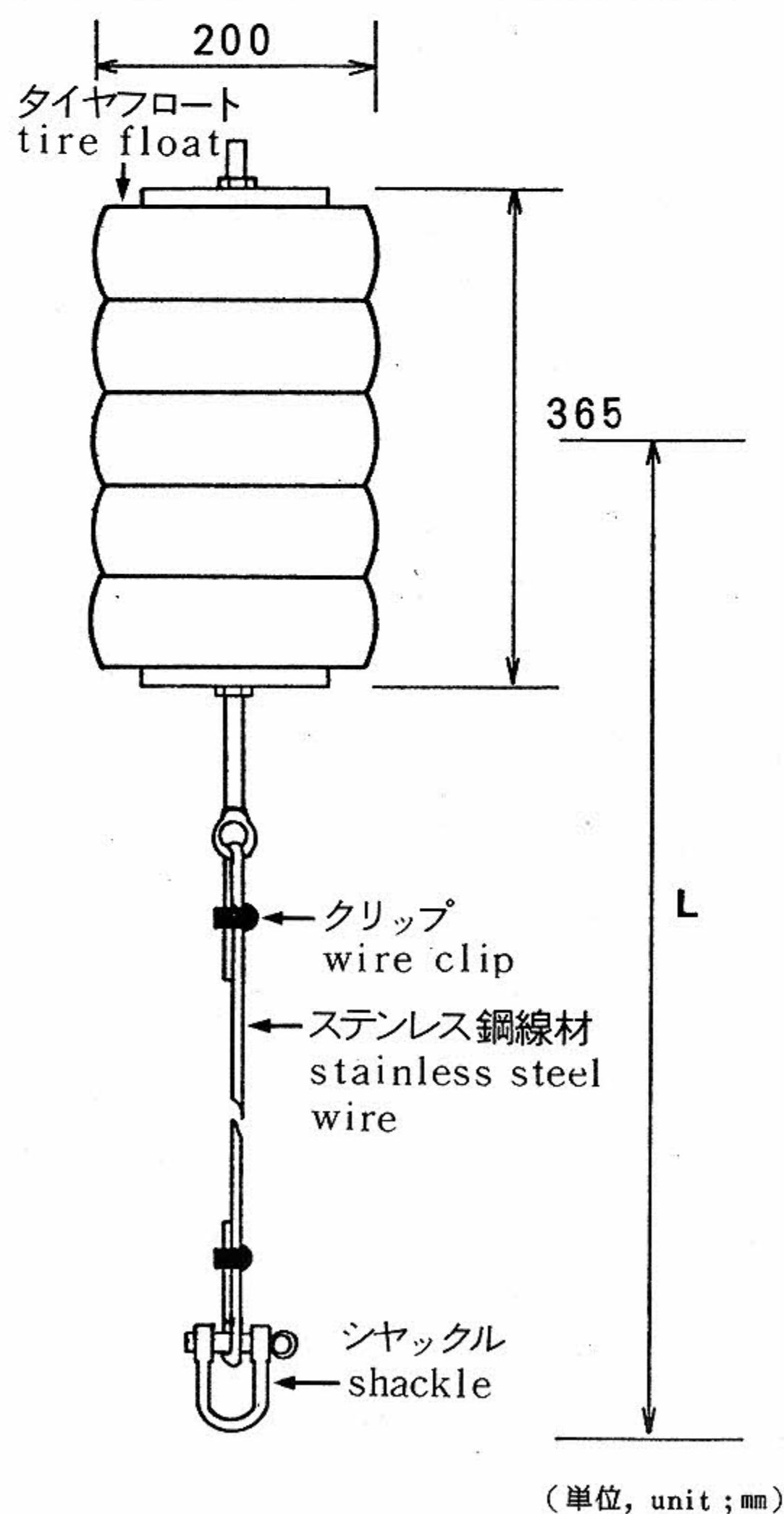


図2 フロート模型の外観
View of float model

3. T F B 模型試験

3.1 目 的

ゴムタイヤを重ねて製作した円筒形フロートによる T F B に各種の条件を与え、規則波による試験を行い、その特性を把握し、実用化のための設計資料を得ることである。

3.2 供試模型

T F B 円筒形模型のフロートは、小型のゴムタイヤを重ね、その内部に必要な浮力を得るため、耐水性エーテル系独立気泡の硬質ウレタンフォームを注入し、発泡させて製作した。フロートの上面および下面には、比重調節用の取外し可能な鉄板を取付けた。また、フロートの係止のための索は、ステンレス鋼線材 (2 mmφ) とステンレス鋼シャックル (8 mmφ) を用いた。

表1にはこの試験で使用したフロートの仕様、図2にはフロート模型の外観を示す。

3.3 フロート単体の試験

3.3.1 自然振動周波数 (固有振動周期) の計測

スクリップス海洋研究所報告では、T F B の自然振動周波数 $F_N^{(1)}$ は、次式で表わされている。

$$F_N = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{g}{L} \frac{\rho_w - \rho_F}{\rho_w \cdot C_M + \rho_F} \right]^{1/2} \dots\dots(1)$$

タイヤ型フロートは円筒形のため、付加質量係数²⁾ C_M があらかじめ決まると仮定し、 F_N は索長 L の平方根に反比例し、フロートの質量の変化に関係する。

図2に示したフロート模型を静水中に沈め、初期外力を与え、索に生じた張力の変化から F_N を測定した。

図3はそのときの張力の自由振動を示す。

索の張力は、フロートが1サイクル運動するのに対して2サイクル変化する。図4はフロートの比重 ρ_F を一定とし、索長の変化に対する F_N を示す。

この図によれば、実測値は実線で示した計算値 ($C_M = 1$ の一定とみなす) よりも多少小さいが、ほぼ一致している。

図5は L を一定とし、フロートの比重に対する F_N の変化を示す。フロートの比重を大きく変化させることができなかったため、実測値は少ないが C_M を一定とみた計算値とはほぼ一致している。

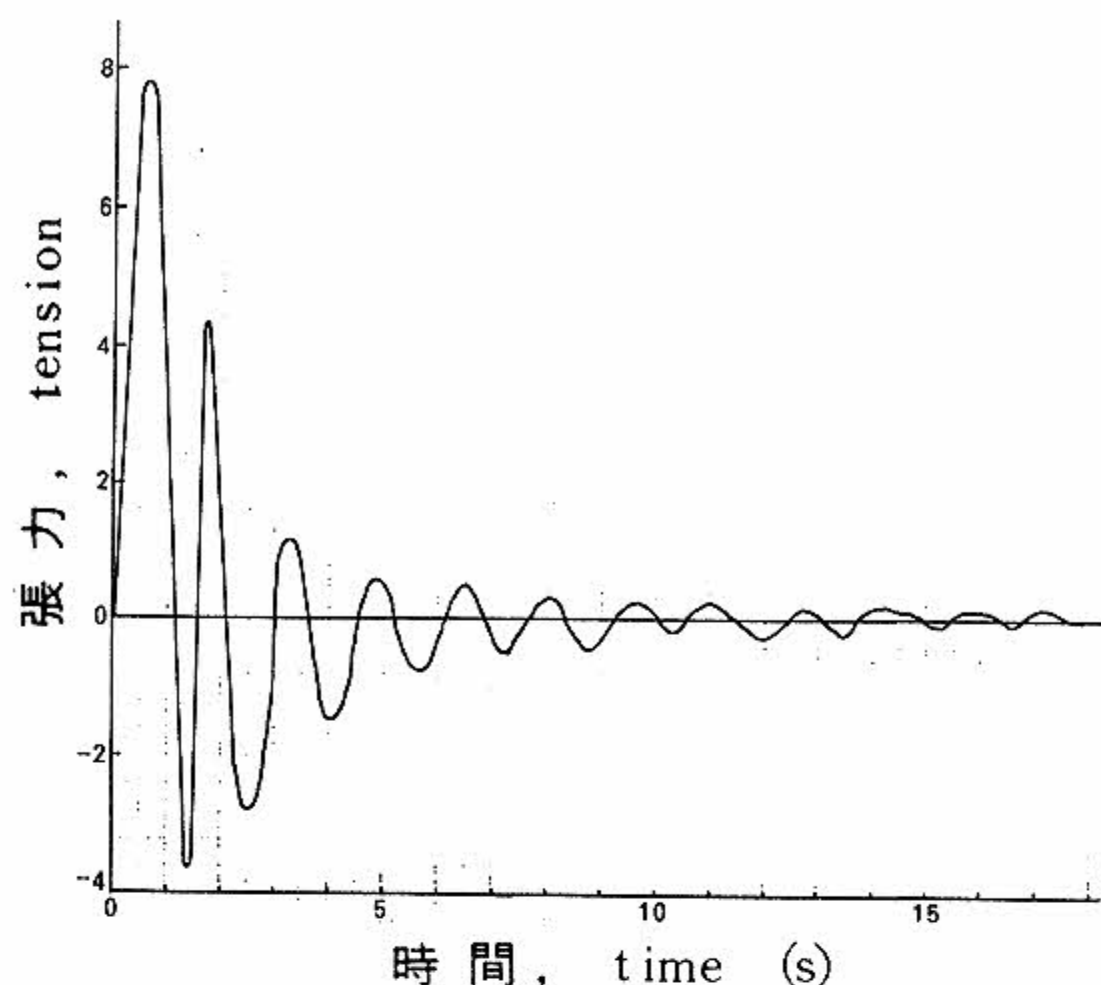


図3 係留索の張力
Tension of mooring rope

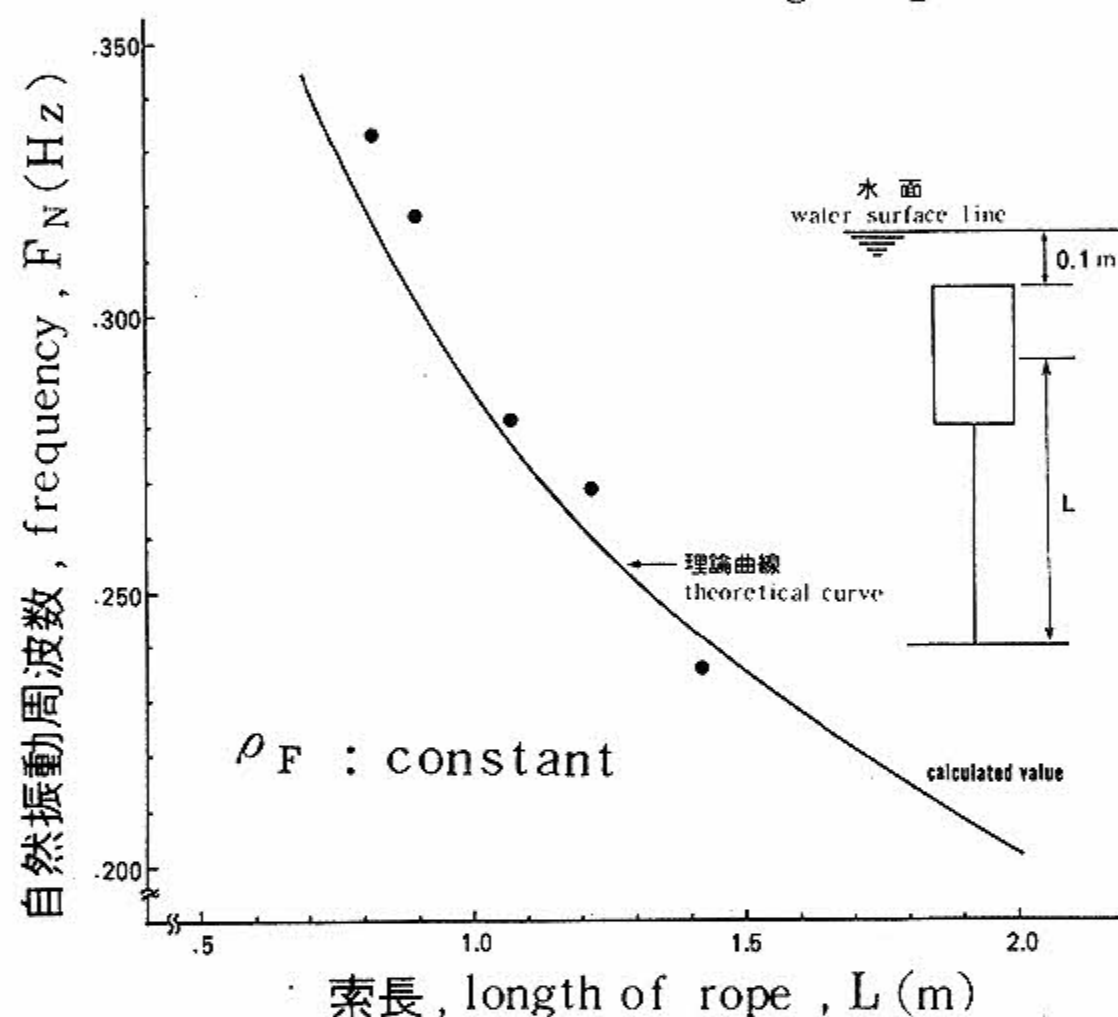


図4 索長と自然振動周波数
Length of mooring rope and frequency of natural oscillation

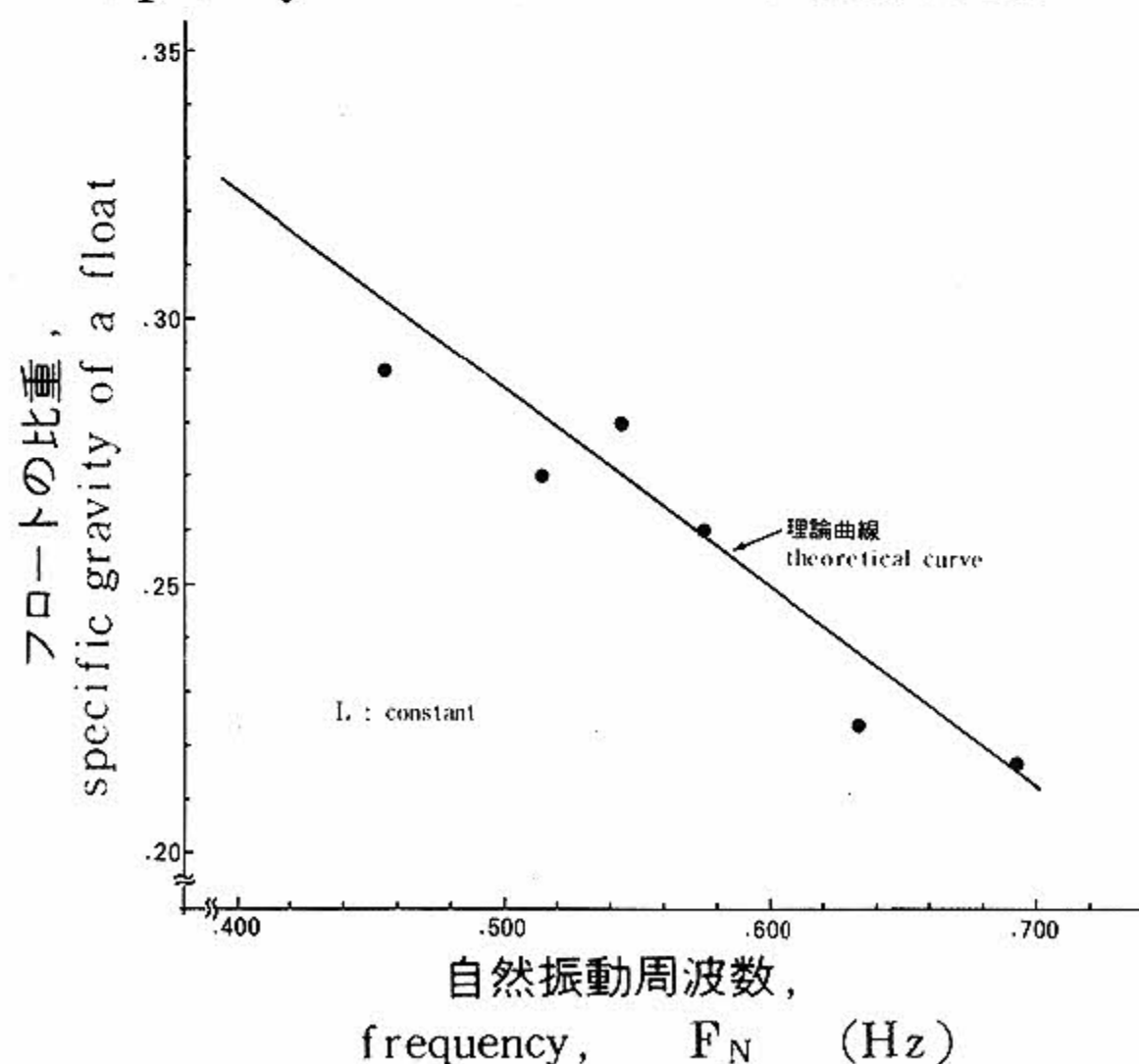


図5 フロートの比重と自然振動周波数
Specific gravity of a float and frequency of natural Oscillation

3.3.2 フロートの索に掛かる張力

波力によって生じる円筒形フロートの索に掛かる張力は、フロートの設置水深 ℓ 、索長および波の条件で変化すると考えられるが、詳細について、他で多くの試験研究が行われている。

この試験ではフロート模型の索に掛かる張力の概略推定とその変化を調べてみた。

図6には表2の試験条件Cにおけるフロートの索に掛かる張力の測定例を示す。

表2 試験条件
Examination condition

項目 条件 condition	ρ_F	L	ℓ
A	0.455	1.42	0.15
B	0.455	1.12	0.19
C	0.455	0.82	0.10
D	0.455	1.54	0.02
E	0.455	0.82	0.20
F	0.455	0.82	-0.08*

*フロートが水面上にある。 The float head appear on the water surface

この図によれば波のピークに対して、索張力のピークは、約 $\frac{1}{4}\lambda$ のおくれがあり、さらに波1サイクルの変化に対して索張力は2サイクルの変化をしている。索張力は、静止状態の浮力に対する増減を示す。

図7は波形勾配 (H/λ) に対する索張力の変化 $\{(T - V_F)/V_F\}$ を示す。ただし、波形勾配は規則波の波高 H および波長 λ との比で、索に掛かる張力 T 、フロートの浮力 ($\div 4.4 \text{ kg}$) V_F とした。

波形勾配に対する張力の関係は、多少バラツキはあるが、ほぼ直線である。表2の試験条件AおよびBはほぼ同程度の変化であり、Cは他に比べて、索長が短いため張力の増加が著しい。また、Dは水深を極端に浅くして行ったため、波高が大きいときはフロートの上部が水面に現われ、入射波を攪乱していたが、索の張力には極端な変化はない。

3.4 消波効果

表1に示した40セットのフロートを用い、図8のような配置で、消波効果を求める試験を表2の試験条件に従ってフロートと水面間の距離 ℓ を変化させた。写真1には実験の状況を示す。波高計は容量式を用い、入射波 W_1 と2箇所

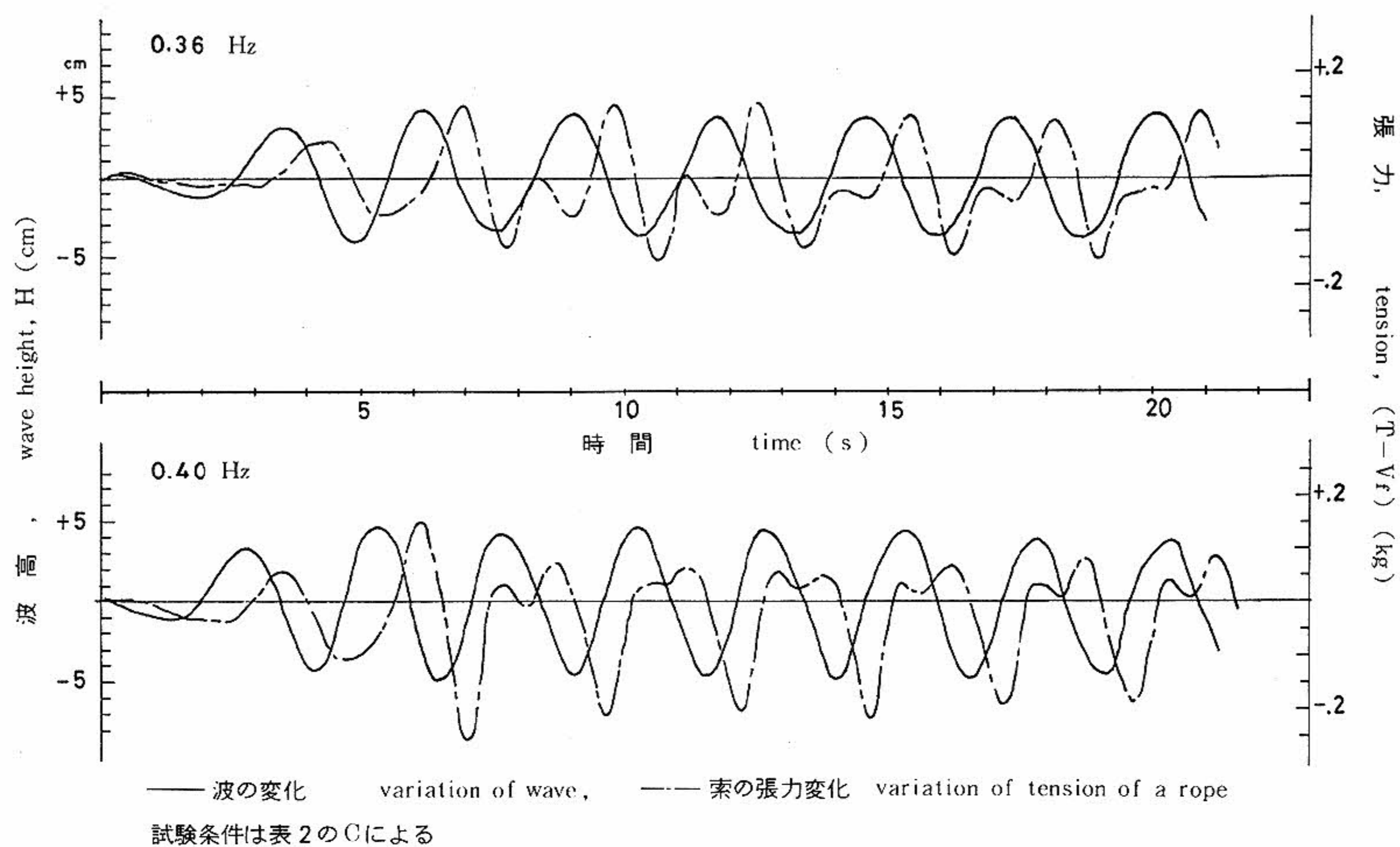


図6 フロートの索に掛かる張力
Tension of the rope of float

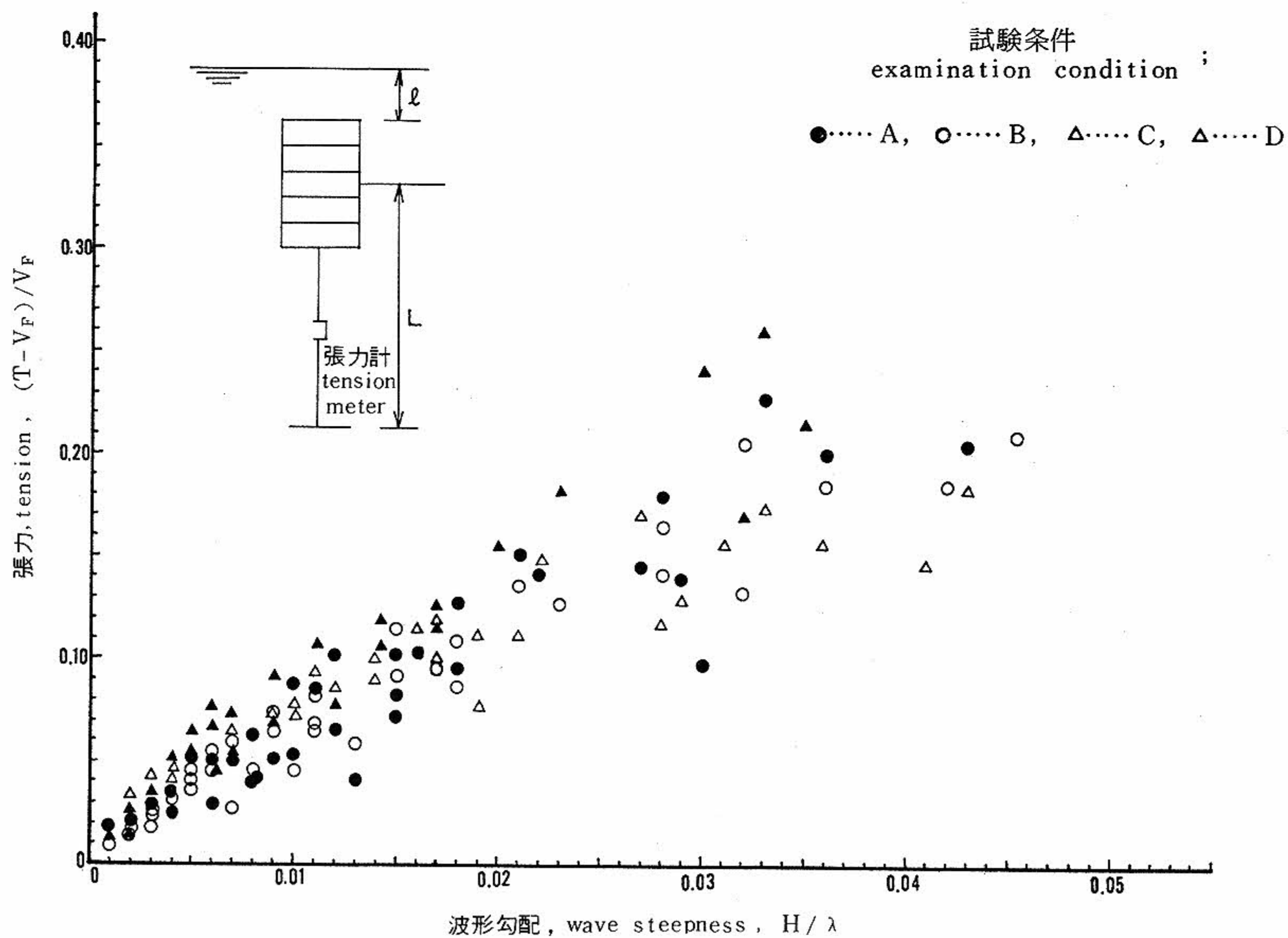
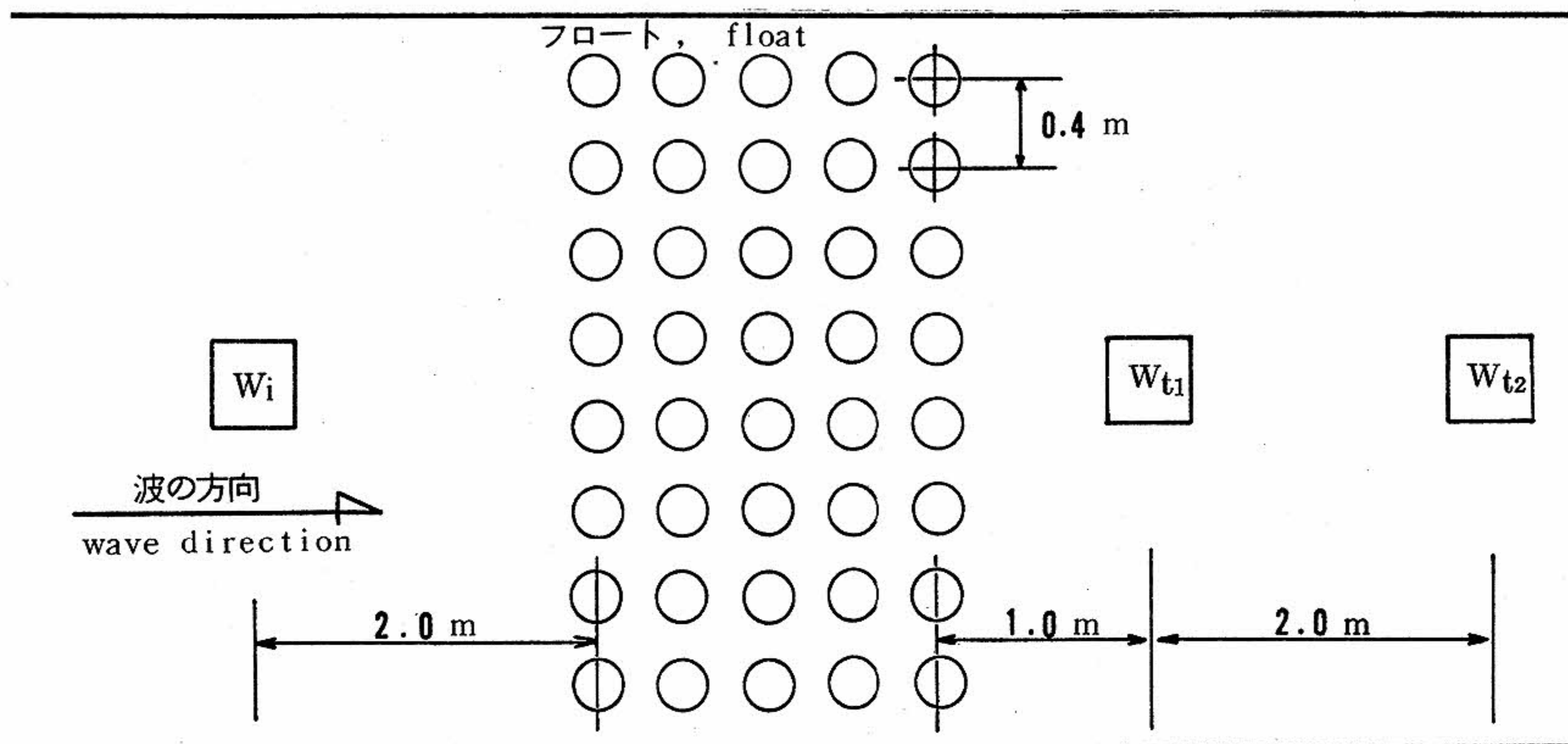


図7 波形勾配に対する索の張力
Wave steepness and tension of ropes



W_i, W_{t1}, W_{t2} ; 波浪計, wave meter

図8 水槽テスト中のフロートの配置
Arrangement of floats at the tank test

の透過波 W_{t1}, W_{t2} を測定した。

測定結果, 透過波の基本周波数は入射波に対して, ほとんど変化が見られなかった。透過波高 H_{t1}, H_{t2} は, 入射波高 H_i に対して, 図9の測定例のように, あるバラツキで変化している。このバラツキはフロートの運動で生じる水面の乱れなどによると考えられる。そこで H_i と H_t の線形回帰モデルを作り, $H_i = 5\text{ cm}$ を代表値とし, 消波効果およびその周波数特性を調べてみた。

図10には消波効果と波の周波数特性を示す。

試験条件C, EおよびFを通じて, H_{t1} は消波されている周波数帯がほぼ一致し, それぞれの消波効果の最大値は前項で求めた F_N (0.32 Hz 付近)にはほぼ一致している。試験条件Eでは, H_{t1} の消波効果は36%に達しているが, 周波数帯は狭く, H_{t2} の消波効果は小さいが, 周波数帯は広い。試験条件Cでは H_{t1} と H_{t2} の消波効果がともに良く, 特に H_{t2} の消波する周波数帯が広い。

表3

条 件	ρ_F	L	ℓ
E	0.455	0.82	0.20
F	0.455	0.82	0.08 (水面より上)

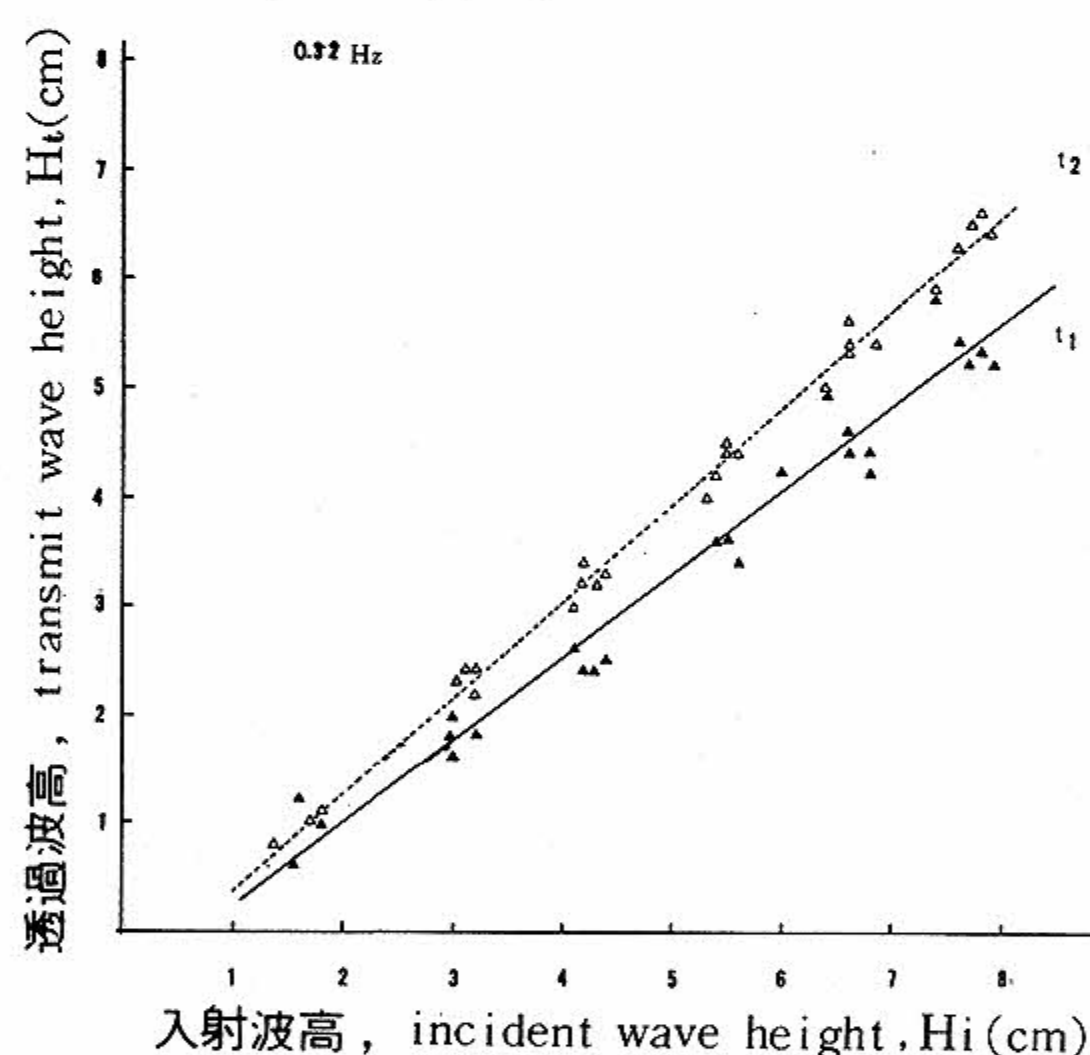


図9 入射波高と透過波高
Incident wave height and transmit wave height

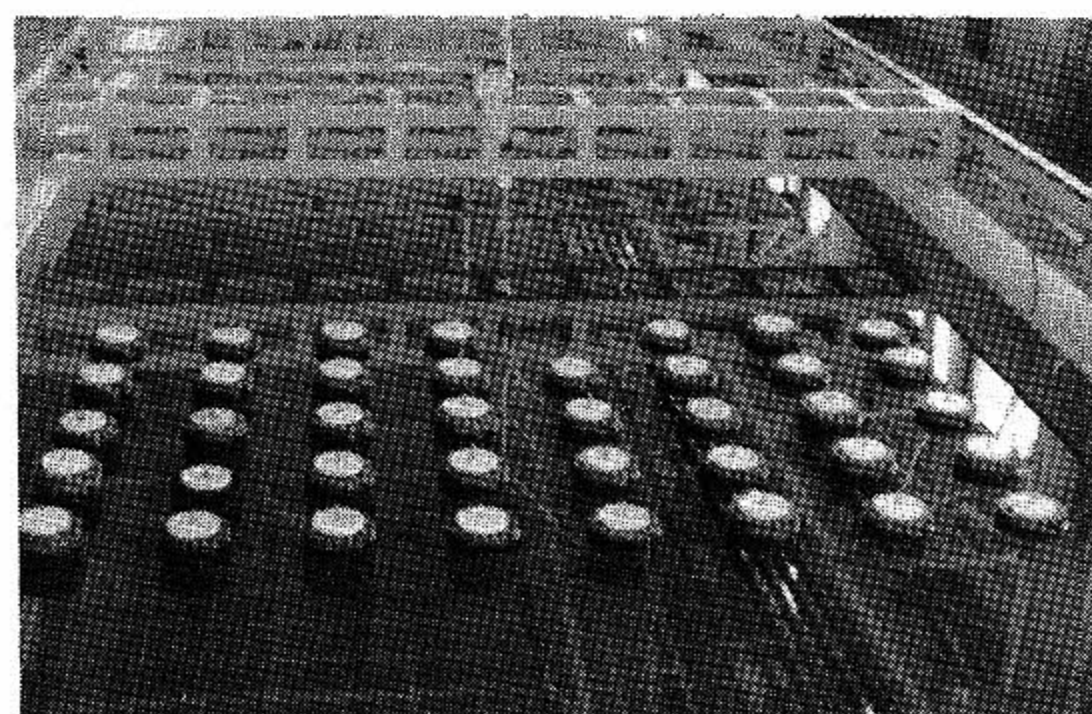
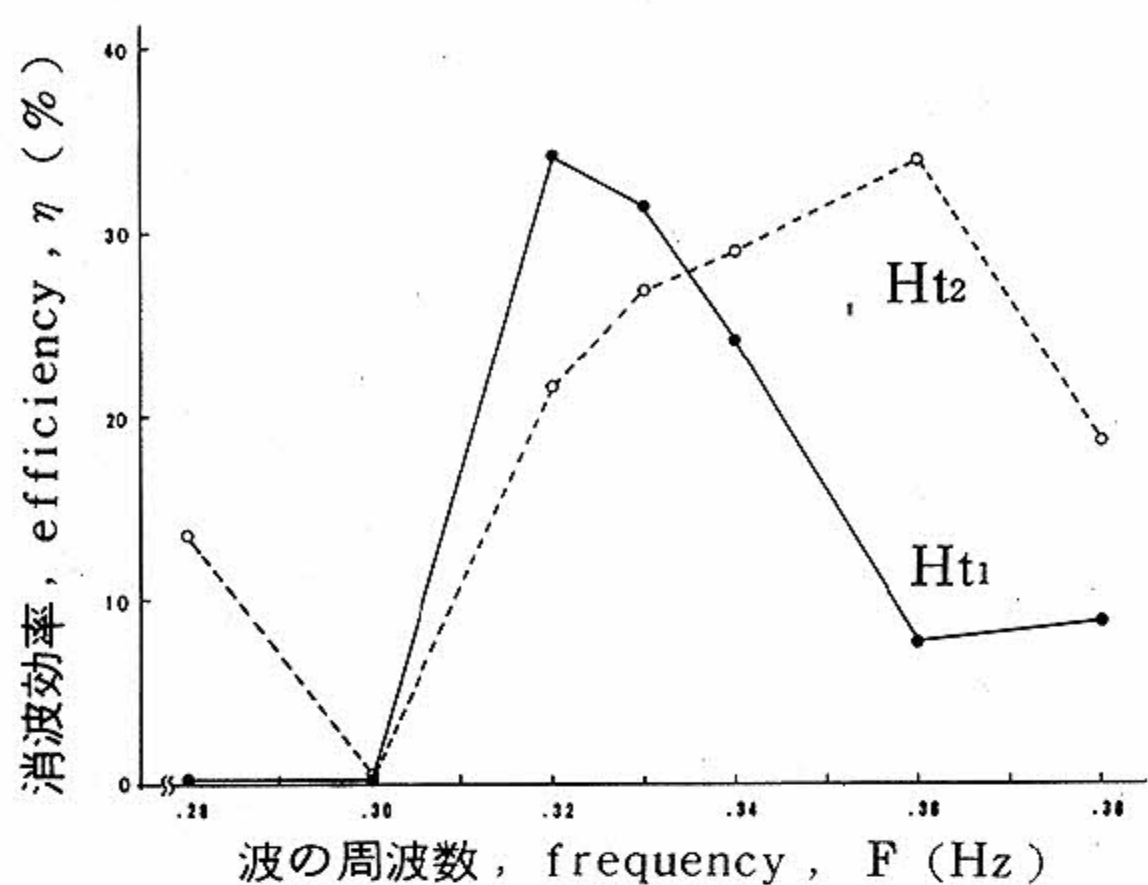
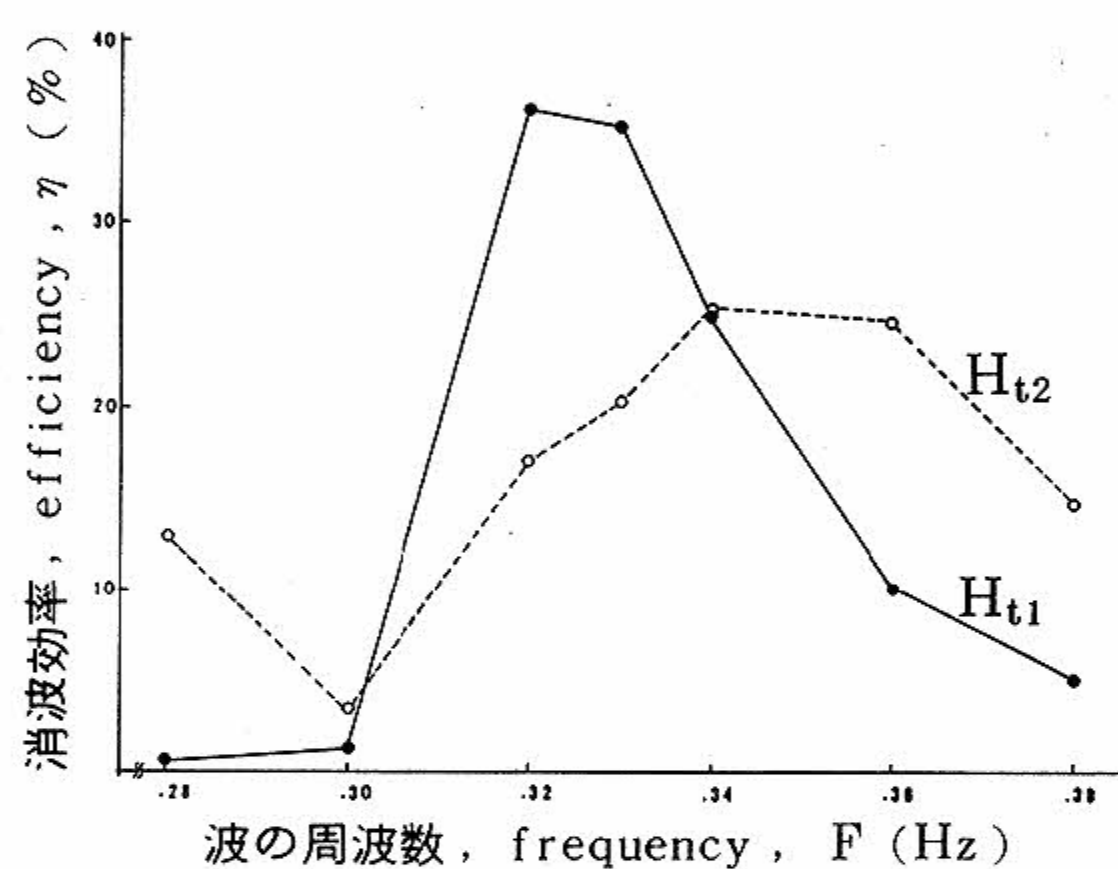


写真 TFBを水槽に設置した状態
(海洋科学技術センター水槽)

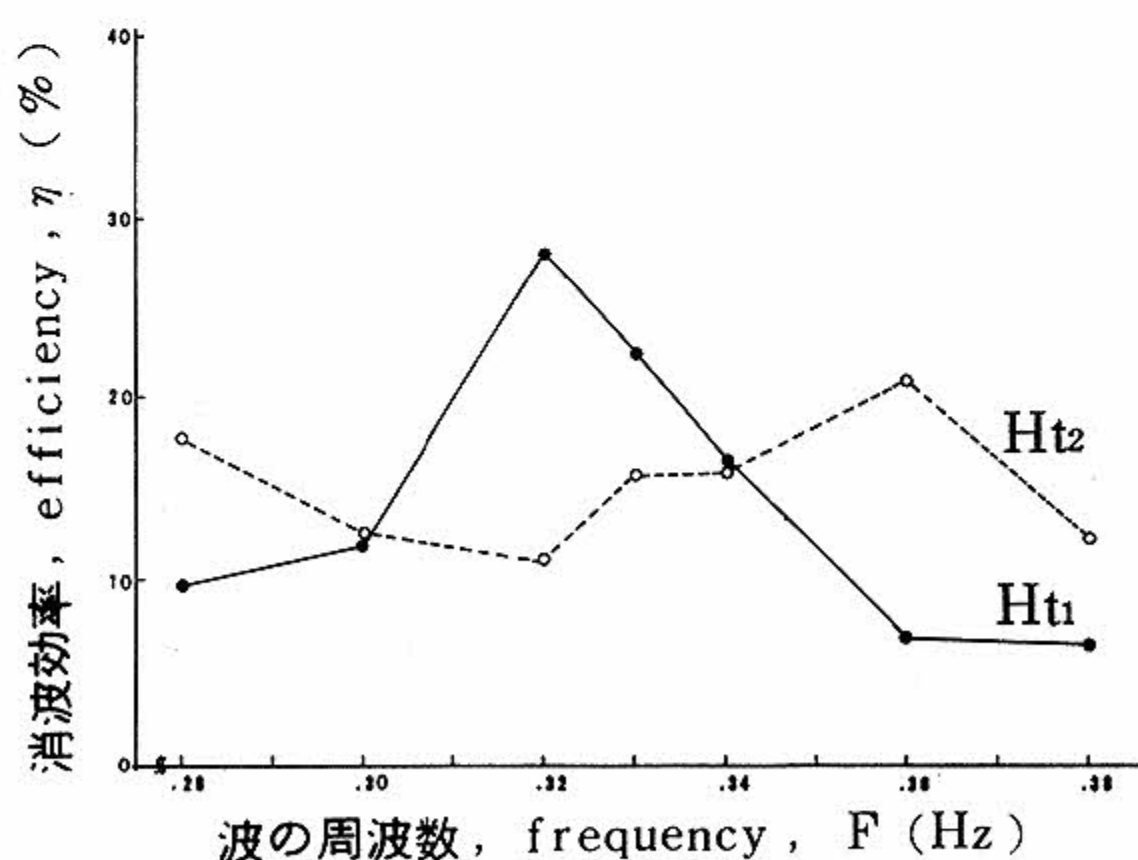
Tank test of tethered float breakwater (TFB) in JAMSTEC's Towing Test Tank



(1) 試験条件, examination condition, C



(2) 試験条件, examination condition, E



(3) 試験条件, examination condition, F

図10 波の周波数と消波効果
Breakwater ability of TFB

Ht1 では個々のフロートの運動から生じた波が重畳し、大きな波高を示すことにもなるので、透過波高にはHt2を考えていけばよいと考える。

4. ま と め

(1) スクリップス海洋研究所報告による自然振動周波数の式は、実測値とよく一致した。フロートを設計する際のよい指針となる。

また、本試験で付加質量係数を一定として行ったが、実際には波の周波数およびフロートの比重によっても変化するようであり、付加質量の変化を詳細に把握する必要がある。

(2) フロートの索に掛かる張力は、波形勾配が0~0.5で、フロートの浮力の1.5倍以下であった。

さらに激しい波の条件、たとえば、砕波帯での索張力を考慮する必要がある。

(3) 消波効果は、L 0.82 m, ℓ 0.10 mのとき、最もよく、最高の消波率は36%であった。

また消波効果のよい周波数帯は、自然振動周波数付近のきわめて狭帯域であった。

(4) 狭い波の周波数帯に限られているが、フロートの数が少ないにもかかわらず、消波効果のきわめて大きい試験結果が得られた。

フロートの数を増加した場合の消波効果の増大の程度を確認し、また消波周波数帯を広帯域にするため、さらに研究を続けることが必要であろう。

文 献

- 1) Castel David, "Tethered float breakwaters for shallow waters", Technical Note No.7, Institute of Marine Resources, Scripps Institution of Oceanography.
- 2) Myers John J, "海洋工学ハンドブックI" (1971), 岡村健三監修, 丸善株式会社
- 3) Bothman David, Castel David, Seymour Richard, "Half-scale model tests of a bottom-resting tethered float breakwater with cylindrical floats" Technical Note No.13, Scripps Institution of Oceanography.

- 4) Seymour Richard J., Isaacs John D.,
"Tethered float breakwaters", Pre-
ceeding, Floating Breakwaters confe-
rence 23-25, Apr. 1974., Newport,
Rhode Island.
- 5) Clinkenbeard J.D., "Engineering

Report, Near - shore ocean model,
Tethered float breakwater"
(Sep. 1978), Prepared for Naval
Facilities Engineering Command &
U S Army Corp's of Engineers, NOSC
Technical Report 378.