

まえがき

波を測定する方法として、海面の上下動に追随して運動する浮体の変位を内蔵した変位計により測定し波高に換算する方法があり、この種の波浪計は *Waverider* と呼ばれている。この方法によれば水深の深いところでも比較的簡単に波の測定が可能であり、データの伝送にもテレメータシステムが利用できることから、外洋における波浪観測の有力な手段になると考えられる。しかしながら、このような波浪計については我が国はもとより諸外国においても十分に検討されているとはいえ、特に長期間海上に設置し、定常的な波浪観測に利用されている例はほとんどないようである。

著者らは、すまにブイを利用した波浪観測法の1つとして、海中に浮力をまかせたブイを係留して、これを固定点の代りとし、ブイの内部に設置した水圧式液高計や傾斜計、その他のセンサーにより波及び液向を測定する方法を開発したが、それと並行して上述の表面ブイ方式の波浪計についても検討を行っており、その成果としてパイロットブイを開発するとともに、静岡県富士海岸に現地実験を開始した。パイロットブイの開発にあたって、その目標としたのは次の事柄である。

- (1) 短周期から長周期の波に対して正確に追随するとともに、液向も測定可能であり、しかも荒天時にのみ転覆する事態が生じても容易に復元するような浮体形状の開発
- (2) 荒天時における強大な波浪外力に対しても耐えうるような浮体構造と測定機器の開発
- (3) 浮体の運動に影響を及ぼすことなく、しかも荒天時における衝撃力を緩和できる係留システムの開発
- (4) 観測データの処理(記録、伝送、解析)システムの開発

本報告ではパイロットブイの概要と波浪中における応答特性ならびに係留システムを中心に報告し、その他については簡明扼要に述べることとする。

1. ブイ式波浪計の基本形状

海洋観測ブイの形状としては *Discus* (円盤) 型、*Spur* (円筒) 型が主流であり、*Discus* 型の代表的なものとしては NAVY のモンスターブイがあり、*Spur* 型としては *Uryu* 研究所の FILP が有名である。*Discus* 型は波に対する追随性がよく、共振時の運動も小さい、また流れに対する抗力も没水面積が少ないため *Spur* 型に比べて小さいという利点をもつが、復元性に難点があり、転覆しても元にもどるように設計するには実際上困難なことが多い。外洋に設置する小規模な波浪計の形状としては問題がある。

これに対して、*Spur* 型は波に対する追随性能があまりよくなく、共振時の運動も大きい、また没水面積が大きくなるため流れに対する抗力が大きくなるという欠点を持つが、このような形状を有する浮体では静止時にのみ安定であれば、メタセンターは常に正の値をとり転覆する事態が生じても容易にもとにもどるという特徴がある。したがって、今回製作したパイロットブイでは、荒天時の安全性を考慮して *Spur* 型を基本的な形状として採用した。またブイには波に対する追随性能を改良し、余裕浮力を増すことを目的として上部に円盤を取付け、下部には共振時の運動を小さくするために、スリット型のダンパーを取付けている。係留索は下部に取付ける構造となっており、1点係留マーカーに係留する。パイロットブイの概要図を図-1に示す。

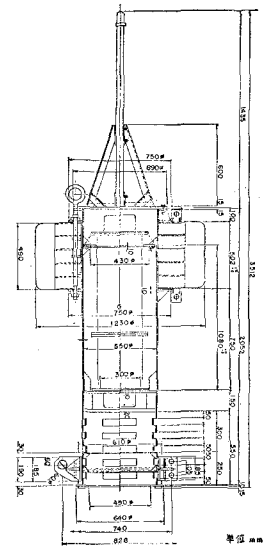


図-1 表面ブイ式波浪計

エ. ファイ式波浪計の波浪中応答解析

海上に浮バたブイが波浪計として機能するためには、ブイ船体が実際の海域において支配的な波の周波数の範囲内で共振を起すことなく、正確に波の上下動に追従することが必要の条件であり、したがってブイ船体の波に対する動揺特性は明確に把握しておく必要がある。ここでは9種類の Spear 型ブイの模型を用いて波浪計としての最適形状を理論及び実験によって検討した結果を述べる。

エ.1 模型実験

模型実験は静水中および波浪中において実施し、ファイの動揺特性について検討した。模型は図-2に示す9種類のブイを使用した。(I)型が Spear 型であり、(II)、(III)型は(I)型に円筒にスリット状の切込みが入ったダンパーを取付けたものである。(II-1)と(II-2)はダンパーの長さの比が1:2となっている。(III)型は(II)型とスリットの幅が異なり、その比は1:2である。(III-1)と(III-2)は(III)型と同様ダンパーの長さの比が1:2となっている。(IV)型は半潜式海洋構造物のカラムとして多く使用されている形状であり、下部にダンパーとして円盤を取付けたものである。(IV-1)と(IV-2)は円盤の径が1:2となっている。(V)型は波乗りをよくするために円筒の上部に円盤を取付けたものである。(VI)型は(V)型にスリット状のダンパーを取付けたものであり、パイロットブイの $1/6.9$ の縮尺である。

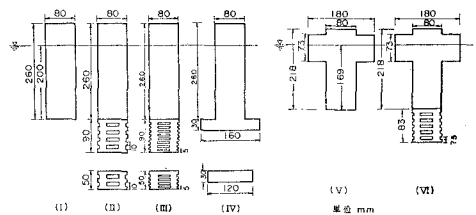


図-2 ファイ 模型

表-1 模型諸元及び静水中動揺試験結果

	型 型									
	I	II-1	II-2	III-1	III-2	IV-1	IV-2	V	VI	
重 量 (g)	1004	1,045	1,026	1,045	1,026	1,809	1,342	1,573	1,620	
メタセンター高 (cm)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.8	1.2	3.4	3.3	
重 心 位 置 (cm)	10.5	11.0	10.8	11.0	10.8	13.5	13.3	5.6	5.6	
上下振動周期 (sec)	0.94	1.05	1.03	1.03	0.99	1.61	1.23	0.66	0.68	
上下振動減衰定数	0.016	0.030	0.042	0.062	0.041	0.036	0.034	0.048	0.120	
横揺動周期 (sec)	1.34	2.25	1.55	2.11	-	2.35	1.56	0.81	1.25	
横揺動減衰定数	0.024	0.180	0.103	0.127	-	-	0.026	0.043	0.227	

これらの模型によって上部円盤やダンパーの効果、それらが応答特性に与える影響等を検討した。なお、模型の縮尺、重量、浮力、重心位置等はブイを設置する海域の海象条件や内蔵する測定機器の重量を考慮して決定したものであり、必ずしも同一の条件にはなっていない。

エ.1.1 静水中動揺実験

模型重心の上下揺、重心回りの横揺の固有周期及び減衰定数を測定するため静水中において動揺実験を行った。鉛直運動に対してはブイを鉛直に沈めることにより、回転運動に対してはブイを傾斜させることにより復元力を与えた後、静かに手を離して自由振動させ、振幅が徐々に減衰していく様子も16mmカメラで撮影した。測定はそれ以後5回ずつ行い、その中で良好な記録を5回選びX-Yアナライザーによって減衰曲線を求めた。模型諸元及び実験結果を表-1に示す。表からわかるように、スリット型ダンパーは上下揺、横揺の両方に効果があり、特に横揺においてその効果が著しい。円盤型ダンパーは上下揺に大きな効果がみられるが、横揺においては効果が小さい。また、上部に円盤を取付けた場合には上下揺の復元力が大きくなるため減衰定数が大きくなり追従性がよくなることがわかる。

エ.1.2 上下揺及び横揺の付加質量

後述するように、波強制力、運動方程式の係数を求めるにあたっては、付加質量を表-1の実験値にもとづいて算定する必要がある。ここでは(VI)型の場合を例にとり上下揺と横揺の付加質量の算定法について述べる。(VI)型の場合、上下揺においては上部円盤の付加質量を $m_{x,1}$ 、ダンパーの付加質量を $m_{x,2}$ として、次のように近似する。

$$m_{x,1} + m_{x,2} = \left(\frac{T_s}{2\pi} \right)^2 \times \rho g A_w - M \quad (1)$$

ここで、 T_s は上下揺の固有周期、 A_w は水線面積、 M はブイの質量、 ρ は水の密度、 g は重力の加速度である。

$m_{x,1}$ が(VI)型の実験結果より求まると、 $m_{x,2}$ は式(1)から計算できる。

横揺の付加質量 m_y は慣性モーメント J_0 との合計量として次式で求める。

$$T_0 + j_0 = \left(\frac{T_0}{2\pi} \right)^2 \times W \cdot \overline{GM} \quad (2)$$

ここで、 T_0 は横揺固有周期、 W は排水量、 $\overline{GM}$ は傾心高である。

2.1.1 左右揺の付加質量

円筒部に作用する単位長さ断面あたりの水平方向の付加質量は近似的に

$$m_x = \rho \pi r^2, \quad r = \text{円筒の半径} \quad (3)$$

で与えられるがスリット型ダンパーについては実験によって求める必要がある。しかしながら、左右揺については復元力が存在せず、通常の方法では困難であるため図-3に示すような一種の強制動揺試験装置を用いて実験を行った。図からわかるように復元力はバネによって与えられ、バネはヒズミゲージを貼付けた板バネに取り付けてある。このバネの先端にダンパーを取付け、空気中および水中に自由振動させ、それぞれの固有周期、減衰定数を測定した。この方法による付加質量 m_w は次式で与えられる。

$$\frac{M_a + m_w}{M_a} = \frac{T_w^2(1 - \beta_w^2)}{T_a^2(1 - \beta_a^2)} \quad (4)$$

ここに、 M_a は空気中における質量、 T_a 、 T_w はそれぞれ空気中、水中における減衰固有周期、 β_a 、 β_w は空気中および水中における減衰定数である。

式(4)から計算されるダンパーの左右揺付加質量を $m_x = \alpha \cdot \rho \pi r^2$ とおいて比例定数 α を求めると(Ⅱ-1.2)、(Ⅲ-1.2)、(Ⅵ)型ともほぼ $\alpha \approx 1$ となりダンパーの長さ及び形状による相違はみられない。したがって、スリット型ダンパーの左右揺付加質量は上下揺、横揺の場合と違って予想以上に小さく、応答特性に及ぼす影響は小さいことがわかる。

2.1.4 実験試験

波浪中動揺実験に先立ち、実機の下揺、横揺の固有周期、減衰定数を測定した。測定は横浜工科大学の水槽で行い、測定には加速度計を用いた。測定結果と(Ⅵ)型の実験換算値を表-2に示す。表からわかるように、実機と(Ⅵ)型はほぼ一致した特性を有しており、(Ⅵ)型の実験結果から、実機の運動は精度よく推定できると考えられる。

2.1.5 波浪中動揺実験

波浪中における浮体の運動を2次元とすると、上下揺、左右揺、横揺の3成分の運動を行い、これに水平方向の漂流の影響が加わる。したがって、実験では、重心位置の上下揺、左右揺について測定し、一部の模型では横揺についても測定した。実験は土木研究所赤羽支所内の不規則波造波水路(60m×0.6m×1.0m)で行った。水路床は水平であり、水路終端部には消波装置が設けられている。実験は(Ⅰ)、(Ⅱ-1)、(Ⅳ-2)、(Ⅴ)、(Ⅵ)型の5種類について行い、波高は理論との対応を考慮してほぼ2cm一定とした。ただし、(Ⅵ)型については波高の大きい時の動揺特性を検討し、理論の適用範囲を定めるために5cmでも実験を行った。周期はブイの固有周期、模型縮尺を考慮して0.65～2.4秒とした。波高は容量式波高計によって測定し、ブイの運動は適当な動揺計測装置がないため8mmカメラを使用した。

実験はブイを水面に浮かべた後、波を起し、波が定常状態になったことを確認してブイを自由運動させ、その様子を8mmカメラで撮影した。波高、周期の観測及び撮影は反射波の影響の少ない10波について行い、波高についてはその平均値を入射波高とした。運動振幅については、良好な記録4波の平均値をその振幅とした。なお、左右揺、横揺振幅については漂流の影響を除いたものを振幅として定義した。

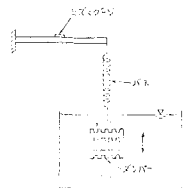


図-3 左右揺付加実験装置

表-2 実験試験結果

	パイロットブイ	(Ⅵ)型換算値
上下揺固有周期 (sec)	1.80	1.78
上下揺減衰定数	0.117	0.120
横揺固有周期 (sec)	3.65	3.28
横揺減衰定数	—	0.237

2.2 理論展開

浮遊式海洋構造物の波浪中における動揺あるいは構造物に作用する流体力は、ポテンシャル流れの線型境界値問題の解として与えられ、領域分割法、変分法、特異点分布法などによって解くことができるが、ここでは取扱う浮体形状が複雑なため船舶流体力学において一般に用いられる近似理論に基づいて解析した結果を述べる。

2.2.1 運動方程式の構成

ここでは取扱う浮体の運動は二次元の定常周期運動とし、運動は微小とする。漂流力はないものとし、簡単のため係留索のない自由浮体の場合を考えることとすれば、波浪中における浮体の運動方程式は線型理論に基づいて次のように構成される。

$$(\text{慣性力}) + (\text{静水中で運動する物体に作用する流体力学的な力}) + (\text{静的復元力}) = (\text{拘束された物体に作用する波の強制力}) \quad (5)$$

式(5)に従えば、アイの運動方程式は連成項も含めて次式で与えられる。

$$\sum_{k=1}^{\infty} [(M_{ik} + A_{ik})\ddot{\eta}_k + B_{ik}\dot{\eta}_k + C_{ik}\eta_k] = F_i \quad (i = 1, 2, 3), \quad (k = 1 \text{ 下振}, 2 \text{ 左右横}, 3 \text{ 横傾})$$

ここで、 M_{ik} はアイの質量あるいは慣性モーメント、 A_{ik} は付加質量、 B_{ik} は遣波減衰係数、 C_{ik} は復元力あるいはモーメント係数、右辺は波強制力である。

右辺の波強制力は浮体の全表面に作用する圧力を積分することによって求める *Froude-Kryloff* の力と進行してきた波がアイのために攪乱される結果アイに働く *Diffraction wave Force* の和として与えられ、次のように近似できる。

$$(\text{波強制力}) = (\text{Froude-Kryloff の力}) + (\text{付加質量}) \times (\text{水粒子の軌道加速度}) + (\text{減衰係数}) \times (\text{水粒子の軌道速度}) \quad (7)$$

以上のような取扱いのもとに (IV) 型の運動方程式の係数、波強制力を求めることとする。(IV) 型を除いて、その他の型式は (IV) 型の特別な場合であり、(VI) 型の方程式から簡単に計算できる。また (IV) 型についても *Froude-Kryloff* の力の算定方法が少し異なるのみであり、同様な計算によって解析することができる。

2.2.2 波強制力の計算

円筒についての計算が容易なように円筒座標を用いる。座標軸を図-4 のように定め、(-x) 方向に進行する規則波を考えるのと等しい入射波の速度ポテンシャルはベッセル関数によって次のように展開される。

$$\phi = \zeta_0 \frac{ig}{\omega} \frac{\cosh k(A+z)}{\cosh kH} \sum_{m=0}^{\infty} i^m \varepsilon_m J_m(kr) \cos m\theta \cdot e^{i\omega t} \quad (8)$$

ここで、 ζ_0 は入射波の振幅、 ω は角波数、 g は重力の加速度、 J_m は m 次の第 1 種ベッセル関数である。また、 $\varepsilon_0 = 1$ 、 $\varepsilon_m = 2(m \neq 0)$ 、 $i = \sqrt{-1}$ である。

変動圧力を p 、上下及び水平方向の水粒子の軌道速度を u 、 w 、軌道加速度を $\dot{u}$ 、 $\dot{w}$ 、とすると、

$$p = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t}, \quad u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad \dot{u} = \frac{\partial u}{\partial t}, \quad w = \frac{\partial \phi}{\partial z}, \quad \dot{w} = \frac{\partial w}{\partial t} \quad (9)$$

を与えられる。

したがって、上下及び水平方向の *Froude-Kryloff* の力、 $F_z(F, k)$ 、 $F_x(F, k)$ はそれぞれ次式で計算される。

$$F_z(F, k) = \int_0^{R_0} \int_{-\pi}^{\pi} p(t, -l_2) r dr d\theta + \int_0^{l_0} \int_{-\pi}^{\pi} p(t, -(l_1 - l_2)) r dr d\theta \quad (10)$$

$$F_x(F, k) = - \left\{ \int_{-l_2}^0 \int_{-\pi}^{\pi} R_0 p(R_0, z) \cos \theta d\theta dz + \int_{(l_1 - l_2)}^{l_0} \int_{-\pi}^{\pi} l_0 p(l_0, z) \cos \theta d\theta dz + \frac{3}{4} \int_{-l_1}^{-(l_1 - l_2)} \int_{-\pi}^{\pi} l_0 p(l_0, z) \cos \theta d\theta dz \right\} \quad (11)$$

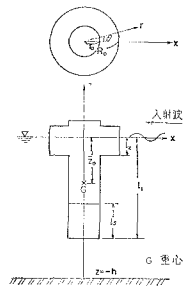


図-4 座標系—(IV)型—

ここで、式(10)、(11)において第1項は上部円盤に、第2項は円筒部に、第3項はダンパーに作用する *Boude-Kriloff* の力である。また式(11)における係数 $\frac{1}{4}$ は、ダンパーの表面積とダンパーをスリットが入っていない円筒としたときの表面積との比である。

Diffraction wave force についてはワイの径が波の波長に比べて小さければ、軌道速度に比例した力は無視できるので、ここでは軌道加速度に比例した力のみで表現することとすると、上下及び水平方向の *Diffraction wave force*, $F_z(D, F)$, $F_x(D, F)$ はそれぞれ次のようになる。

$$F_z(D, F) = \int_0^{R_0} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,1}}{\pi R_0^2} \dot{w} r dr d\theta + \int_0^{t_0} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,2}}{\pi t_0^2} \dot{w} r dr d\theta \quad (12)$$

ここで、 $m_{z,1}$ は上部円盤、 $m_{z,2}$ はダンパーの上下揺付け質量であり、(1)式より求める。軌道加速度の平均値は第1項では $\bar{z} = -L_z$ 、第2項では $\bar{z} = -(L_z - \frac{L_z}{2})$ の値を用いることとする。

$$F_z(D, F) = \int_{-L_z}^0 \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,1}}{2\pi R_0} \dot{u} R_0 d\theta dz + \int_{-(L_z-L_0)}^{-L_z} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,2}}{2\pi t_0} \dot{u} t_0 d\theta dz + \int_{-L_z}^{-(L_z-L_0)} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,3}}{2\pi t_0} \dot{u} t_0 d\theta dz \quad (13)$$

ここで、 $m_{z,1}$ は上部円盤、 $m_{z,2}$ は円筒部、 $m_{z,3}$ はダンパーの左右揺付け質量であり、(3)、(4)式から求める。また、上下及び水平方向の *Boude-Kriloff* の力と *Diffraction wave force* による重心回りのモーメントをそれぞれ $M_z(F, K)$, $M_x(F, K)$, $M_z(D, F)$, $M_x(D, F)$ とし反時計回りを正とすれば以下のようにあらわされる。

$$M_x(F, K) = \int_{t_0}^{R_0} \int_{-\pi}^{\pi} p(x, -L_z) x t dr d\theta + \int_0^{t_0} \int_{-\pi}^{\pi} p(x, -(L_z-L_0)) x t dr d\theta \quad (14)$$

$$M_z(F, K) = -\left\{ \int_{-L_z}^0 \int_{-\pi}^{\pi} R_0 p(R_0, z) (z - \bar{z}_0) \cos\theta d\theta dz + \int_{-(L_z-L_0)}^{-L_z} \int_{-\pi}^{\pi} t_0 p(R_0, z) (z - \bar{z}_0) \cos\theta d\theta dz + \frac{1}{4} \int_{-L_z}^{-(L_z-L_0)} \int_{-\pi}^{\pi} t_0 p(t_0, z) (z - \bar{z}_0) \cos\theta d\theta dz \right\} \quad (15)$$

$$M_z(D, F) = \int_0^{R_0} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,1}}{\pi R_0^2} \dot{w} x r dr d\theta + \int_0^{t_0} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,2}}{\pi t_0^2} \dot{w} x t dr d\theta \quad (16)$$

$$M_x(D, F) = -\left\{ \int_{-L_z}^0 \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,1}}{2\pi R_0} \dot{u} (z - \bar{z}_0) R_0 d\theta dz + \int_{-(L_z-L_0)}^{-L_z} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,2}}{2\pi t_0} \dot{u} (z - \bar{z}_0) t_0 d\theta dz + \int_{-L_z}^{-(L_z-L_0)} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{m_{z,3}}{2\pi t_0} \dot{u} (z - \bar{z}_0) t_0 d\theta dz \right\} \quad (17)$$

ここで、式(14)~(17)において右辺第1項は上部円盤に、第2項は円筒部に、第3項はダンパーに作用するモーメント、 $\bar{z}_0$ は静止状態における重心位置の座標である。

2.2.2 運動方程式の係数

式(6)に従って上下振の運動方程式をかける次のようになる。

$$(M + m_z) \ddot{z} + N_z \dot{z} + \rho g A_w \cdot z = F_z(F, K) + F_z(D, F) \quad (18)$$

ここで、 M はワイの質量、 m_z は上下揺付け質量で $m_z = m_{z,1} + m_{z,2}$ であり、 N_z は減衰係数、 A_w は水線面積である。また、左右振の減衰係数を無視して左右振と横振の連成運動方程式をかける次のようになる。

$$(M + m_x) \ddot{x} - M_{x\theta} \cdot \ddot{\theta} = F_x(F, K) + F_x(D, F) \quad (19)$$

$$(\bar{J}_\theta + J_\theta) \ddot{\theta} + N_\theta \dot{\theta} + W \cdot \sqrt{G \cdot M} + M_{x\theta} \ddot{x} = M_{\theta T} \quad (20)$$

ここで、 $M_{x\theta}$ は連成力の係数、 N_θ は横振減衰定数であり、その他の記号についてはこれまでと同様である。

また、 $M_{\theta T} = M_z(F, K) + M_x(F, K) + M_z(D, F) + M_x(D, F)$ である。

運動力の係数 M_{x0} は次のように与えられる。

$$M_{x0} = - \left\{ \int_{-L_1}^0 m_{x,1}(z - \bar{z}_0) dz + \int_{-(L_1-L_2)}^{-L_2} m_{x,2}(z - \bar{z}_0) dz + \int_{-L_1}^{-(L_1-L_2)} m_{x,3}(z - \bar{z}_0) dz \right\} \quad (2)$$

また、左右揺の付加質量 m_x は単位長さ断面当りの付加質量を長さ方向に積分することによって簡単に求まる。 $\bar{z}_0 + \bar{z}_0$ は式(2)により計算できる。

2.2.4 運動方程式の解

運動方程式の係数、波強制力及びモーメントが得られたので、これを解けば上下揺、左右揺、横揺の振幅と波に対する位相が得られる。

タイ重心の運動を

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= \ddot{x}_0 \cos(6t + \varepsilon x) \\ \ddot{y} &= \ddot{y}_0 \cos(6t + \varepsilon y) \\ \ddot{\theta} &= \ddot{\theta}_0 \cos(6t + \varepsilon \theta) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

の形であらわれ、(18)、(19)、(20)式にそれぞれ代入して計算すると $(\ddot{x}_0, \varepsilon x, \ddot{y}_0, \varepsilon y, \ddot{\theta}_0, \varepsilon \theta)$ が求まり、運動が確定することになる。

3. 計算結果と実験結果の比較

計算結果と実験値との比較を図-5～9に示す。計算結果は横揺を除いて実験結果をよく説明しており、上述の計算方法が妥当であったことを示している。また、計算値は微小振幅波による線型理論に基づいたものであるが図-9に示すように、波高約5cm(実験換算波高約6cm)における実験結果も5cmの場合とはほぼ同程度の値を与えており、線型理論によってもある程度大きな波高時の運動が推定可能であることを裏付けている。

横揺については特に(V)型の場合、実験値が計算値よりも大きく適合性があまりよくない。この原因としては、実験データ解析の精度、Radiation Forceに

粘性抵抗などの非線型力を考慮していないこと、また、波強制力に水粒子の軌道速度に比例する力を考慮していないことなどが考えられるので、今後は強制動揺試験などにより、二次、三次の力を推定し、計算方法を改良する必要があるだろう。

上部円盤の効果については、寄模型の上下揺応答関数を比較すれば明らかのように、円盤を取付けた(V)、(VI)型の場合、他の模型に比べて波に対する追随性能が非常に改善されている。

スリット型ダンパーの効果については、(I)、(IV)、(V型)と(II)、(III)、(VI)型の横揺応答関数を比較すれば明らかのように非常に大きい。

円盤型ダンパーは円盤の径が大きくなると波なし点が低周波側に移ってくるため、波に対する追随性が悪くなる。したがって、波浪計のダンパーとして使用する場合には注意する必要がある。

以上のように、上記の計算方法の妥当性が明らかとなったため、現地海域の条件にあわせて波浪計の運動特性

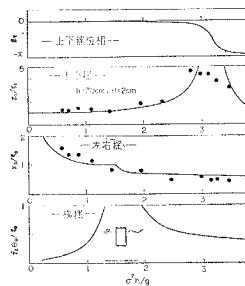


図-5 理論値と実験値の比較—(I)型—

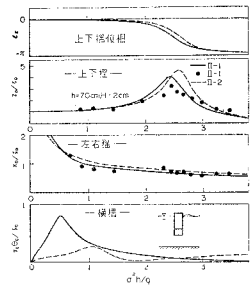


図-6 理論値と実験値の比較—(II)型—

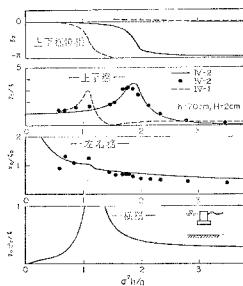


図-7 理論値と実験値の比較—(V)型—

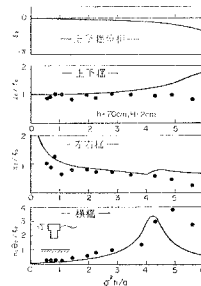


図-8 理論値と実験値の比較—(VI)型—

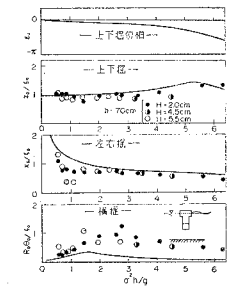


図-9 理論値と実験値の比較—(III)型—

を計算した結果が図-10である。上下振の運動振幅 $\%$ は約1桁程度までほとんどであり、風波からうねりまで正確に追従を要することがわかる。横振の固有周期は小波と風波の周期に近いところにあるが、ダンパーの作用によってほとんど共振は起らないと考えられる。係留索がある場合についても、この実験を行った結果ではブイの優え力に対して、係留索の重量が小さければ応答性にはほとんど影響がないようであり、係留システムを工夫することによって、係留浮体の場合でも自由浮体と同等な応答特性をもたらせることが可能であると考えられる。

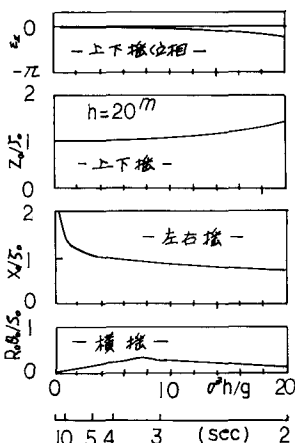


図-10 応答特性(理想)

4. 係留システムについて

この波浪計のように外洋に面した海域にブイを係留する場合に於いては、荒天時の強大な波浪外力にも耐えうる係留システムであることが前提条件である。さらに、ブイを波浪計として機能させるためには係留索によって波浪計の運動が拘束されないような係留システムにする必要があり、燈浮標や他の海洋観測用のブイとは違った特別な工夫が必要となる。荒天時に生じる衝撃力を吸収する方法としては、中間ブイ方式、中間シンカー方式、チェーン方式(ある程度の重量を持ったチェーンを海底に置く)などが考えられる。その中で波浪計の係留システムとして有効と考えられる中間ブイ方式とチェーン方式について実験的に検討した結果の一例を図-11に示す。ブイの模型は、1/10縮尺であり、係留力はリング式荷重計によって図に示すようなスケッチで測定した。中間ブイは円筒形であり、種々の形状の中間ブイによって実験した結果、衝撃力が生じなかった形状のものである。ここに使用した中間ブイの余裕浮力はブイ重量の約半分であり、チェーンは実験に使用した中間ブイと海底に長く置いた状態のときの衝撃力は波の条件、中間ブイの大きさ、余裕浮力、係留水深、チェーンの重量等によって複雑に変化するため数少ない実験結果から推論することは誤りをおかすことにもなるが、中間ブイとチェーンの効果は定性的には図-11から明らかである。現地海岸の条件に換算して、周期9秒波高10m程度で同様な実験を行った結果でも上記の中間ブイでは衝撃的な荷重に生じなかった。このような実験結果をもとに図-12のような係留システムを採用した。図からわかるように係留システムは中間ブイ方式とチェーン方式を合わせたような構成であり、施工性や維持管理の容易さ等を考慮して決定したものである。係留システムにはこれまでと全く問題は生じていないが、その安全性・妥当性については今後の現地試験によって明らかになるとのヒト考えられる。

あとがき

表面ブイ式波浪計を開発するにあたって、主として理論解析、室内実験の結果を中心に報告した。波浪計は78年10月に富山海岸に設置して現地実験を開始したばかりであり、観測データを得るまでには到っていない。現地実験の結果については、データが得られた時点で補正を改めて報告することとしたい。

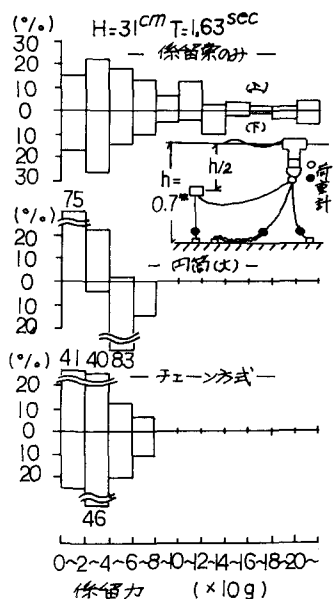


図-11 係留実験結果

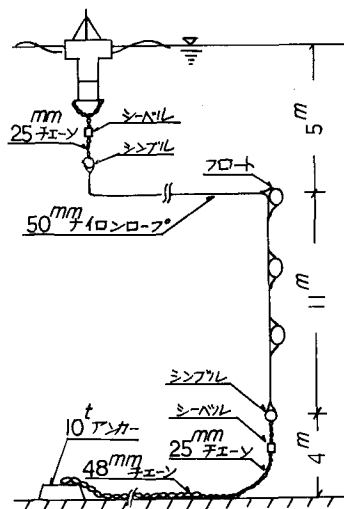


図-12 係留システム