

洋上ブイの最適形状・重量に関する研究

永井 莊七郎*・角 野 昇 八**・芝 原 平***

1. ま え が き

最近、海洋開発を促進する必要上、あるいは地球上の気象を巨視的に検討、解析する目的などから、世界的に沿岸部や海洋上の気象・海象データを集録する必要性が唱えられ、また一部はすでに実施されている。海洋上の気象・海象データの集録方法としては、固定構造物、浮構造物(有人、無人ブイロボットシステム)、船舶などによる方法が考えられるが、現在のところ無人ブイロボットシステムによる方法が最も経済的、かつ簡便であるとされており、また実際に多く用いられている。このブイシステムに対しては、ブイの設置地点の波浪、風、および潮流等の自然条件に左右されることなく、データを集録、伝達する性能が要求されよう。特に海洋上のブイの場合には、これらの自然条件のうち、波浪、および風に対して転覆することなく安定であることが最も要求される場所である。波浪、および風に対してブイの安定性を検討する方法の一つとしては、その復原力曲線を描き、それより安定性を検討する方法がある。

本研究では、沿岸、海洋を問わず実際に多く用いられている円盤型ブイに関して、ブイの形状、大きさ、重量、重心の位置を様々に変化させ、それぞれの場合のブイの復原力曲線を描くことによって、円盤型ブイの安定性について検討を加えた。

2. 計 算 方 法

ブイの復原力とは、ブイが風や波浪などの力によって傾いたときに発生する、ブイを元の直立位置に戻そうとするモーメント $W \cdot GZ$ のことである(図-1 参照)。復原力 $W \cdot GZ$ は、ブイの重量が既知である場合には、復原て GZ を計算すれば求められる。この GZ は次式より計算される。

$$GZ = M_{XZ} / V \dots\dots\dots (1)$$

ここに M_{XZ} は、ブイの静水面下の部分の XZ 面に関する一次モーメントであり、 V は同部分の容積である。

式(1)の計算方法としては、シンプソンの法則やチェ

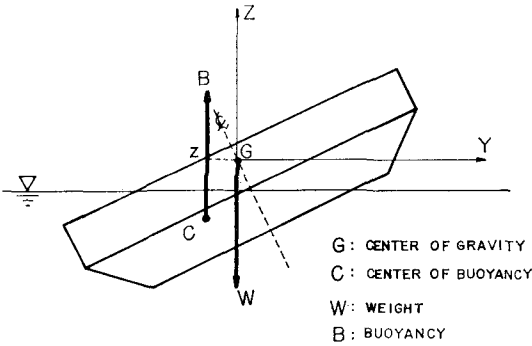


図-1 ブイの復原力

ビシェフの法則に従って分割された浮体の何枚かの横断面図より、水線と浮体の各横断面との交点の値を読みとり、計算表にまとめて計算する方法や、横断面図に対してインテグレーターを操作する方法、あるいはコンピューターによる方法などがある。しかしこれらの方法は浮体の形状を表わす諸元が変われば、そのたびに横断面図を描いて計算を行なう必要があり、しかもコンピューターによる方法を除けばすべて多大の時間と労力を要する。しかしながら円盤型ブイの場合には、その形状が円筒形部分と円錐台部分とから成り立っており、したがって横断面の形状は、直線と双曲線の一部とで表わされ、その横断面と水線との交点も代数的に求められる。このような考察より、著者らは、図-2 に示すような円盤型ブイの浮体としての特性を表わす6つの諸元、すなわち甲板の直径 DD 、底部の直径 DK 、浮体部の厚さ HH 、円筒部の厚さ EH 、底部から重心までの鉛直距離 KG 、重量 W 等が与えられれば、復原力の値がただちに算出されるようなコンピューターのプログラムを作製し、計算を行なった。なお、式(1)を計算する際の積分は、シンプソンの法則を用いて行なった。

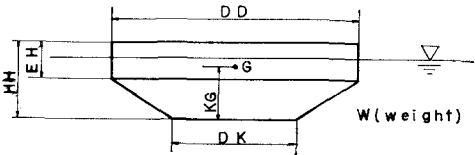


図-2 円盤型ブイの形状

* 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科
** 正会員 工修 大阪市立大学助手 工学部土木工学科
*** 正会員 工修 兵庫県

3. 復原力曲線

上述のように、円盤型ブイの復原力曲線はブイの6つの諸元が定めれば決定される。得られた復原力曲線は一般に図-3のような形状をしており、この曲線より復原性が検討される。すなわち、最大復原力 $W \cdot GZ_{\max}$ 、最大復原力の角度 $\theta_{\max}$ 、復原力消失角 θ_v 、動的復原力(復原力曲線の囲む面積)、傾心高 GM 等の値が読みとれる。

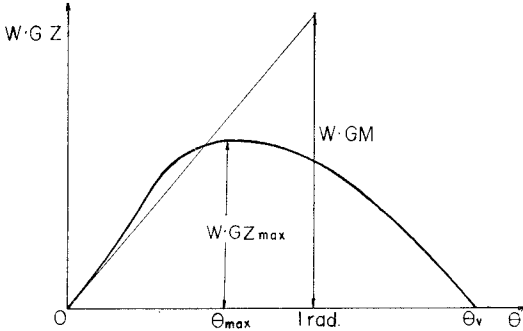


図-3 復原力曲線

4. 考 察

表-1 に示すような諸元を有するブイを基本形状ブイとし、これをもとに大きさや重量などの各諸元を変化させ、ブイ諸元の変化が復原力曲線に与える影響について考察した。

表-1 基本形状ブイの諸元

DD (m)	DK (m)	HH (m)	EH (m)	KG (m)	W (t)
6.00	4.25	1.00	0.50	0.59	14.6

(4) 重量の変化

基本モデルにつき、重量のみを変化させ、その他の諸元は一定にして、ブイの重量が復原性に与える影響を検討してみた。図-4 は、基本モデルにつき、その重量を

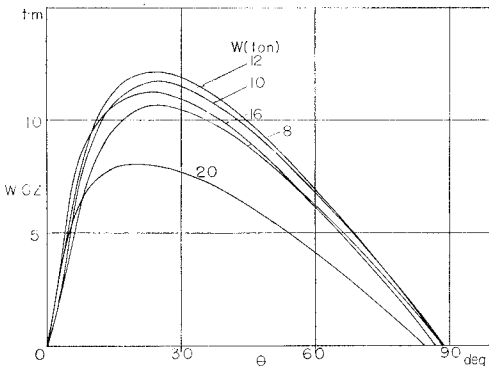


図-4 重量の変化による影響

8t~20t まで変化させた場合の復原力曲線である。この図より、最大復原力および動的復原力を最大にする重量が存在し、それは 12t の近傍にあることが認められる。なおその他に、基本モデルにつきブイ重量を変化させても、最大復原力の角度、および復原力消失角はそれほど変動しないということが認められる。

(2) 円盤型ブイの最適重量

基本モデルの最適重量は約 12t であることが前節に示された。一般の円盤型ブイの最適重量の値は、以下に示すようにして誘導される。

復原て GZ は、ブイの重量 W と傾斜角 θ の関数であり、その関係を表わしたものが図-5 に示されるような復原力クロスカーブと呼ばれる曲線である。図-5 に示されているように、円盤型ブイの復原力クロスカーブは、普通、ブイの設計に用いられる重量の範囲においては、復原てこを最大とする傾斜角(図-5 では 30°)のとき、直線で表わされる。ゆえに GZ を

$$GZ = p \cdot W + q \quad \dots\dots\dots (2)$$

と表わす。ここでブイを全没させるのに必要な重量 (= ブイの重量+余裕浮力)を $W_{\max}$ とおき、そのときの GZ の値を r とする。すなわち

$$r = p \cdot W_{\max} + q$$

$$\therefore q = -p \cdot W_{\max} + r \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(3)を式(2)に代入すれば

$$GZ = p \cdot W - p \cdot W_{\max} + r$$

このときの復原力モーメントは、

$$W \cdot GZ = p \cdot W^2 - p \cdot W_{\max} \cdot W + r \cdot W \quad \dots\dots\dots (4)$$

であり、その値を最大とするのは、

$$\frac{d(W \cdot GZ)}{dW} = 2 \cdot p \cdot W - p \cdot W_{\max} + r = 0$$

のときである。ゆえに

$$W_{\text{opt}} = 1/2 \cdot W_{\max} - r/2p \quad \dots\dots\dots (5)$$

が得られる。 r は、傾いているブイの重心とブイの容積の重心との水平距離と考えられ、これは一般に円盤型ブイの場合には、図-5 に示されるように微小である。ゆ

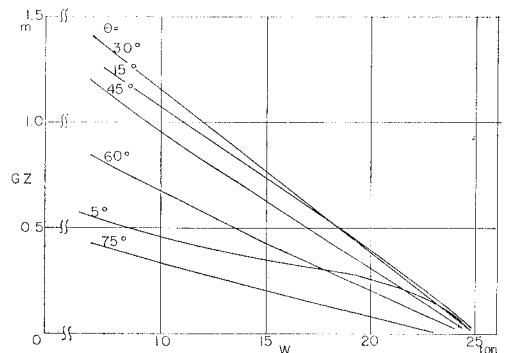


図-5 復原力クロスカーブ

えに式 (5) は近似的に

$$W_{opt} = 1/2 \cdot W_{max} \dots\dots\dots (6)$$

とおける。

これが求める最適重量の値である。すなわち、最適重量はブイを全没させるのに要する重量の 1/2 の重量である。ちなみに基本モデルの場合、 W_{max} は約 25t であり、したがって W_{opt} は 12.5t と求められる。

(3) 重心の変化

いま、基本モデルの重心はブイの中心軸上にあるものとし、その軸上で重心の位置を変化させ、その他の諸元は一定にして、重心位置の復原力曲線に与える影響を検討してみた。図-6 は、基本モデルにつき、ブイ底部と重心の距離 KG を 0m~1.0m と変化させた場合の復原力曲線である。この図より、重心位置が低ければ低いほど最大復原力、動的復原力、復原力消失角、ならびに最大復原力の角度は大きくなるのがわかる。しかし図-6 からはまた、重心位置が低ければ低いほど、最大復原力が増大すると同時に復原力曲線の立ち上がり角度が大きくなるのがわかる。このため傾心高が大きくなり(図-3 参照)、同時にブイの動揺の固有周期の値が小さくなり、ブイの動揺が激しくなることが予想される。それゆえ復原性の面からは、ブイの重心位置は低ければ低いほど良いが、むやみに低くするのも動揺の周期の面から問題があることがわかる。

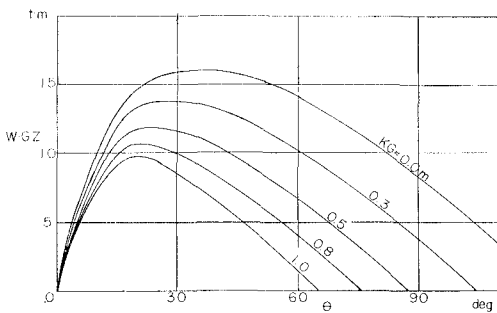


図-6 重心の変化による影響

(4) 切り込み角の変化

DD , HH , KG , W らを一定に保ち、ブイ底部の切り込み具合を図-7 および表-2 のように変化させ、復原力曲線に与える影響を検討してみた。図-8, 9, 10 はそれらの場合の復原力曲線を表わす。これらの図より、ブイ底部の切り込みの程度が小さいほど、すなわちブイの没水部の容積が大きければ大きいほど、最大復原力ならびに動的復原力は大きいことがわかる。しかし総体的に見れば、切り込みの程度が大きい TYPE 21, 22, 31, 41 などの例を除けば、ブイ底部の切り込みの程度が復原力におよぼす影響は小さいといえよう。それゆえ、ブイ底部の切り込みの程度は、復原力の観点よりはむしろ、

ブイが水から受ける抗力の観点から考慮されるべきであろうと考えられる。また、ブイ底部の切り込みの程度が小さくなり、ブイの断面形状が円筒形に近づくにつれ、重心位置を下げた場合と同様に復原力曲線の立ち上がり角度が大きくなり、ブイの動揺の周期に影響が現われることが予想される。一方、図からも明らかのように、ブイ底部の切り込みの程度を変化させても、最大復原力の角度および復原力消失角はそれほど変化しないこともわかる。

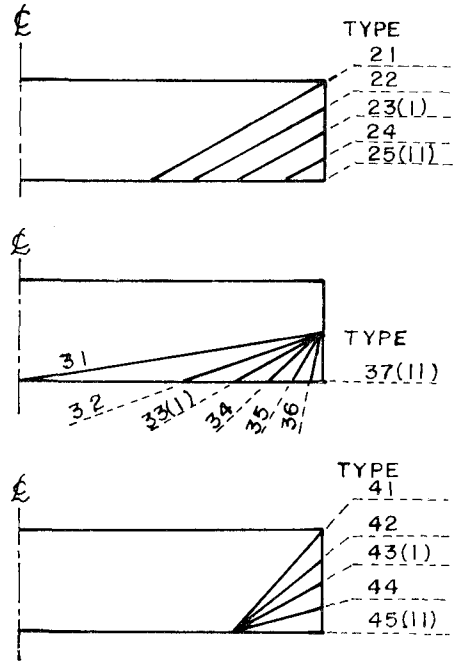


図-7 ブイ底部の切り込み

表-2 切り込みの程度

TYPE	DD (m)	DK (m)	HH (m)	EH (m)	KG (m)	W (t)	切り込み角 (度)
21	6.00	2.50	1.00	0.00	0.59	14.6	30
22	"	3.38	"	0.25	"	"	"
23 (1)	"	4.25	"	0.50	"	"	"
24	"	5.13	"	0.70	"	"	"
25(11)	"	6.00	"	1.00	"	"	"
31	"	0.00	"	0.50	"	"	10
32	"	3.20	"	"	"	"	20
33 (1)	"	4.25	"	"	"	"	30
34	"	4.98	"	"	"	"	45
35	"	5.40	"	"	"	"	60
36	"	5.77	"	"	"	"	75
37	"	6.00	"	"	"	"	90
41	"	4.25	"	0.00	"	"	50
42	"	"	"	0.25	"	"	40
43 (1)	"	"	"	0.50	"	"	30
44	"	"	"	0.75	"	"	15
45(11)	"	"	"	1.00	"	"	0

* 表中の (1) は基本形状ブイを、(11) は円筒形状ブイを示す。

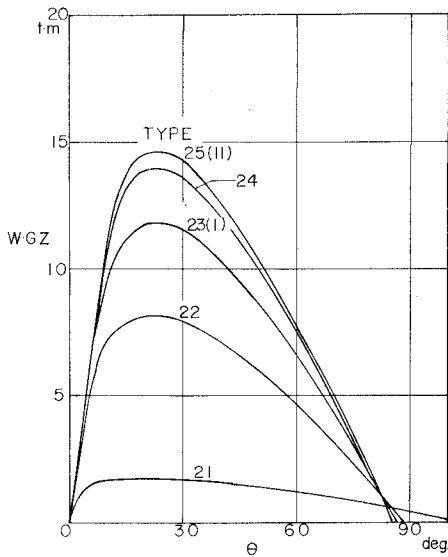


図-8 切り込み角の影響

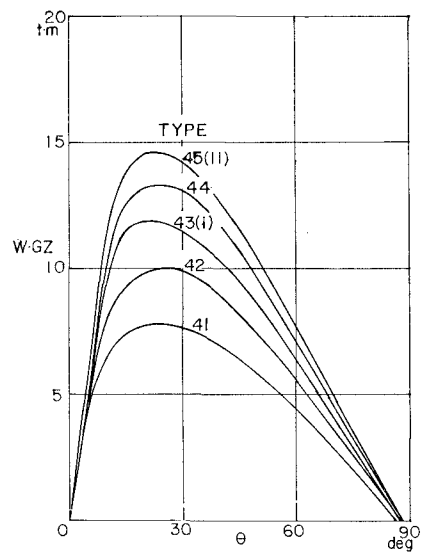


図-10 切り込み角の影響

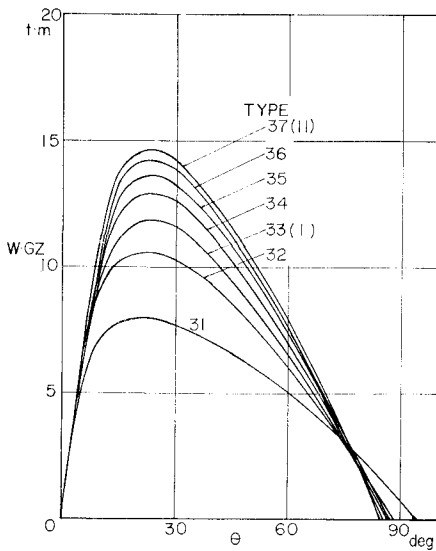


図-9 切り込み角の影響

線の立ち上り角度が大きくなるようにする必要がある。また、直径を大きくした場合には、最大復原力の角度は小さくなり、一方復原力消失角は変化しないことが明らかである。

表-3 直径の変化

TYPE	1	2	3	4
DD (m)	6.00	8.00	10.00	12.00
DK (m)	4.25	5.67	7.08	8.50
W (t)	14.6	27.3	44.1	65.0

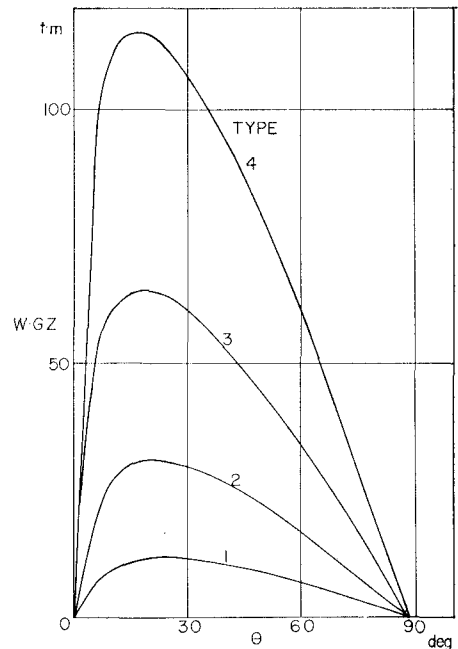


図-11 直径の変化による影響

(5) プイ直径の変化

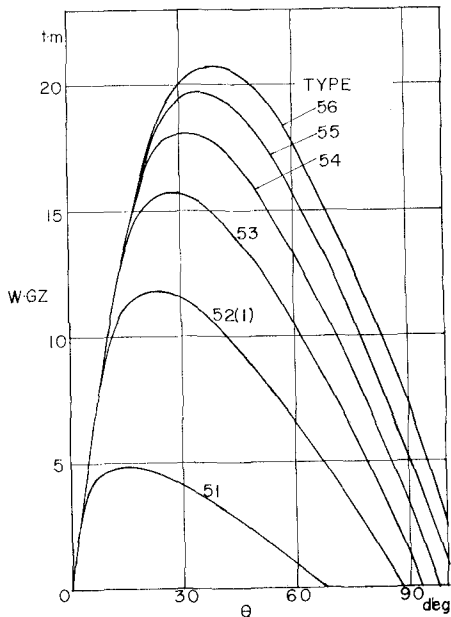
KG, HH および EH を一定に保ち、DD, DK を表-3 に示すように変化させ、復原力曲線に与える影響を検討した。ただしこの場合、ブイの重量 W も変化させ、常に吃水が一定となるようにした。その計算結果は図-11 に示されている。この図より、ブイの直径を大きくすると、最大復原力ならびに動的復原力は著しく増大することがわかる。しかし同時に、重心の位置を下げた場合と同様に、復原力曲線の立ち上り角度も著しく大きくなっている。このため、復原力を増すためにブイの直径を大きくするような場合には、ブイの厚さも同時に増し、すなわち HH/DD の値を大きくとり、復原力曲

(6) 乾舷の変化

KG , DD , DK および W を一定に保ち, EH を表—4 のように変化させ, その復原力曲線に与える影響を考察してみた。この場合には, 重量 W を一定としているので, 円筒部の高さ EH を変化させることはブイの乾舷部の高さを変化させることになり, 乾舷の変化が復原力曲線に与える影響を検討することにもなる。図—12 は, その計算結果を示す。この図より, 乾舷の増大にともなう, 最大復原力および動的復原力は大きく増大するこ

表—4 乾 舷 の 変 化

TYPE	51	52 (1)	53	54	55	56
EH (m)	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
HH (m)	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00



図—12 乾舷の変化による影響

とがわかる。また乾舷の増大にともなう, 最大復原力の角度および復原力消失角も増している。これは, 重心の位置を一定に保っているため, 乾舷を増すことは, 重心の位置を相対的に低くすることになる。このため, 乾舷を大きくすると, 重心を低下させた場合と同様に, 最大復原力の角度および復原力消失角が増すと考えられる。このように乾舷部を増すことは, ブイの安定性を大きく増大させることになる。しかしその反面, それはブイの風圧面積を大きくすることになる。このため, 乾舷部の高さの決定は, 復原力ならびにブイに作用する風圧の両面から検討されるべきであろうと考えられる。

5. 結 論

円盤型ブイの形状, 重量を復原性の面から検討した結果, 次の点が明らかとなった。

(1) 円盤型ブイでは, 形状を定めれば, 復原力を最大にする最適排水量が存在し, その値は式 (6) によって算定できる。

(2) 円盤型ブイでは, 直径を一定にした場合, 復原力に最も影響をおよぼす諸元は, 重心位置および乾舷部の高さである。

(3) 大きな復原力を求めるためには, ブイの直径を大きくすればよい。ただしこの場合, ブイの厚さも同時に厚くする必要がある。

(4) 復原力消失角は, ブイの厚さに対して相対的に重心の位置が低ければ低いほど, 大きくなる。

(5) ブイの底部の切り込み角は復原力にそれほど影響しない。

最後に本研究は文部省科学研究費による研究の一部であり, この研究においては, 大阪市立大学計算機センターの FACOM 270-20/30 が使用された。またこの研究にあたり, 熱心に協力して頂いた大阪市立大学工学部学生柳沢正行君 (現在大林組) に感謝の意を表します。