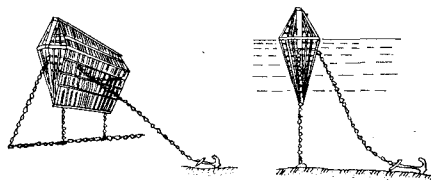


浮防波堤の係留について

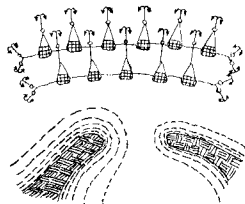
久宝雅史*・久宝啓作**
石黒久***・中川善雄***

1. 概 説

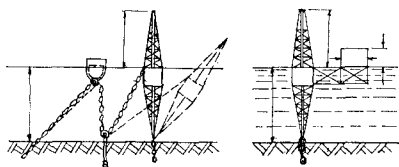
浮防波堤の歴史はかなり古く Brighton (イギリス) で 1845 年木製のものの anchor の chain が切れて流失している¹⁾。そのほか浮防波堤の流失が主としてその係留部にあるので、どんな方法で係留したらよいのかという点で、Djourkovski と Bojito の著書から若干の例を引用すると²⁾、図—1~5 のとおりである。図—1 は 1843 年 Ciotat で使用されたもの、図—2 は 1854~1855



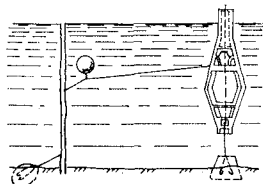
図—1 Ciotat の浮防波堤



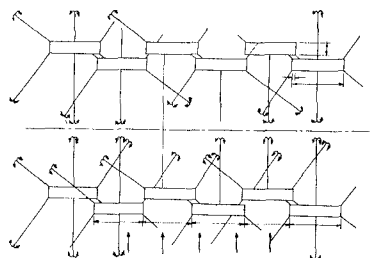
図—2 Renards 岬の浮防波堤



図—3 Sakhanski 提案



図—4 Gueneralog 提案



図—5 Joukovski 提案

年に Kronstadt の対岸 Renards 岬で使用衝突破損したもの、図—3 は 1882 年 Sakhanski 技師の提案したもの、図—4 は Gueneralog 技師提案のもの、図—5 は Joukovski 教授提案の係留方法を示したものである。そのほか W. Marks²⁾ は Baie Comeau 港 (カナダ) の孔あき浮防波堤の係留に関する提唱をしている。またわが国では本間・堀川・望月が pontoon 式、いかだ式、2 重いかだ式に関する模型実験結果から³⁾、anchor 用の chain の長さは長いほど浮防波堤の効果を高めるが、水深の約 4 倍がよいであろうとしている。さらに筆者ら⁴⁾はこのような anchor のほかに、数多くの sinker (沈鍾) を用いて、浮防波堤の固定をはかろうとしている。

浮防波堤の種類もきわめて多く、その研究や模型実験例もまた多いけれども、その係留に関しては pontoon や船舶の係留に準ずればよいとせられるためか、その研究が比較的少なく、わが国では前述の本間・堀川・望月の研究³⁾ などだけである。本研究は浮防波堤を係留する際にその chain に作用する力、anchor や sinker の設計に必要な資料などを得るために、若干の基礎的考察から模型実験^{4), 5)} 結果によって、係留に必要な引張力の推算方法について記したものである。

2. 浮防波堤に働く波力

浮防波堤は波の屈折、干渉、分散および反射を応用して入射波高を減衰透過させようとしたものである⁶⁾。その種類を分類すると、なお反射式のものが多く^{7), 8)}、その効果あるいは作用も他のものより大きいように思われる。

反射式のものとして、

水平板式：水面に板を浮かせて波の上下振動を反射減

* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部土木学科

** 正会員 三井造船 (株)

*** 学生会員 日本大学大学院生

衰させようとするもの⁹⁾

鉛直面式：水面に鉛直壁面をつくり波を反射させようとするもの⁹⁾

とになる。前者は相当幅広いものになり、水位変動による若干の上下動を許さねばならないが、後者はその水面以下の部分がかなり影響し、その係留がやや困難になる。筆者はこのうち鉛直面式のものがもっとも効果的であると考え、pontoon式にして、これをできるだけ固定して、波の鉛直面反射を応用しようとした¹⁰⁾。ここにそのような鉛直壁面に作用する波力を考え、これより係留に要する anchor 用の wire, rope あるいは chain に作用する引張力や sinker の重さなどの大きさの推定をしようとした。もちろんこのような反射式 pontoon 浮防波堤でも波の水平反射、pontoon の rolling による作用などが二次的に防波堤の効果を有するであろうが、ここでは一応鉛直反射のみによるものとした。

波の鉛直面に作用する力については Sainflou その他の式があるが、壁面前の波高 H 、波長 L 、水深 h に関して、波の峯が壁面に生じたときの波力に関して

$$\frac{p}{\rho g} + y = K \frac{H}{2}$$

$$K = \frac{\cosh 2\pi(y+h)/L}{\cosh 2\pi h/L}$$

とせられる。ここに y は水面より上向きの高さ、 ρg は水の単位体積重量で、 K は Wiegel によると図-6のように示される¹¹⁾。もしも pontoon の係留固定ことができると、ポンツーン部で波が反射され、その下部では透過するとして、図-7のような模式図が得られるものとする。ここで吃水 d を y にとり、ポンツーン

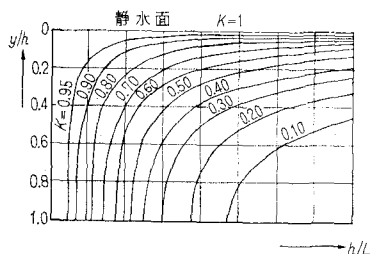


図-6 波圧係数

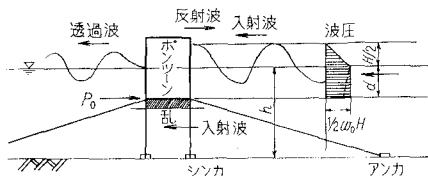


図-7 反射波の模式図

底面より上の波力と h の間の全波力との比を求めると、図-6 より表-1 が得られ、これが透過波高に対する入射波高の比を与えることになる。

次に反射波の波力を大き目に考えると、静水面以上の圧力とポンツーン底面と静水面間の圧力の和は、

表-1 透過波高/入射波高

h/L	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
d/h								
0.00	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.05	0.894	0.863	0.827	0.778	0.730	0.678	0.653	0.616
0.10	0.842	0.799	0.751	0.688	0.627	0.563	0.540	0.486
0.15	0.791	0.759	0.681	0.607	0.536	0.465	0.420	0.382
0.20	0.741	0.701	0.616	0.536	0.457	0.383	0.316	0.300
0.25	0.692	0.646	0.557	0.471	0.389	0.313	0.249	0.235
0.30	0.643	0.594	0.502	0.414	0.330	0.253	0.195	0.186
0.35	0.594	0.543	0.452	0.362	0.280	0.205	0.150	0.140
0.40	0.546	0.495	0.406	0.317	0.239	0.164	0.116	0.114

$$p_0 = \rho g \left(\frac{1}{8} H^2 + \frac{1}{2} H d \right)$$

となり、 H は入射波高、 d は吃水である。

鉛直方向の力としては pontoon の浮力を考慮するものとしよう。その水平鉛直合力が anchor に作用すると考えれば、この種の pontoon は理論的には固定されることになるであろう。しかし、実際には anchoring の wire あるいは chain がたわむので pontoon が rolling して実際に若干の差があり、その波力を p とすると、

$$p/p_0 \leq 1$$

となる見込みがある。

3. 模型実験結果

筆者は浮防波堤について、1回目に pontoon の形をえらび¹⁰⁾、2回目にその係留より反射波力をはかり⁵⁾、3回目に pontoon の固定化の方法を考え⁷⁾、4回目に3回目の場合の透過波高と入射波高を測定した⁷⁾。これらの結果から前節2.に関連して、そのような係留力が作用しているかどうか、あるいは防波堤の効果が表-1のとおりであったかどうかを検討してみよう。この波力の測定には図-8に示すような spring-balance を用い、pontoon は図-9のようなものを用いた。

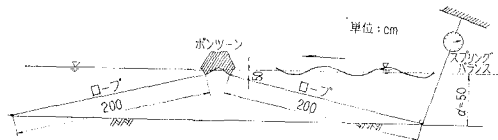


図-8 実験状況図

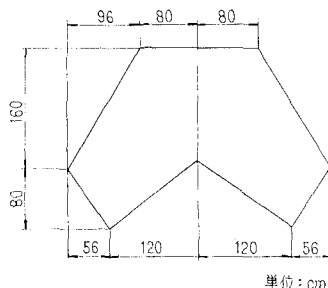


図-9 pontoon 断面図

まず透過波高の入射波高に対する減衰比を求めると、第2回目の実験結果が図一10で、第4回目の実験結果が図一11に示したとおりである。図一11の直線が前述の表一1より算出した減衰比を示したもので、理論的計算とほぼ一致し、防波堤の効果が pontoon の固定が十

分ではないのに若干大きく示されていることがわかる。第3回目の実験では sinker を多数用いたので、その効果が計算以上に大きく示されているようである。第3回目の実験に比する減衰比も表一1によると大体0.3ぐらいである。ゆえに、表一1により推定した減衰比はほぼ正しいといえる。すなわち pontoon の固定化の不十分さを、他の浮防波堤の効果で補っているといえよう。また第3回目の実験からその固定化が減衰比を小さく有効にするのに役立っていることも明白である。

図一12と13は同じく第2回目と第3回目の実測反射波力 p と前の式で計算した p_0 との比を示したものである。これらの実験を通じて、

$$p/p_0 = 0.2 \sim 0.6$$

で、前の式で計算した p_0 がきわめて大きいことを示している。これは pontoon が完全に固定されていないことや spring balance を用いたこと、wire の遊び、その他によるが、設計計算上

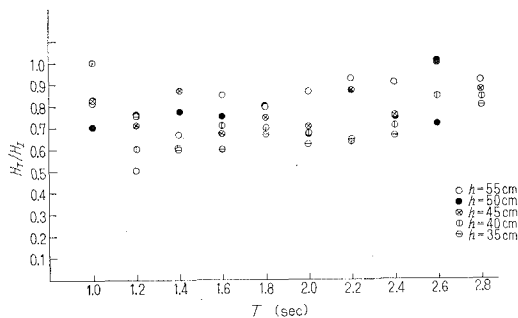
$$p/p_0 = 1$$

としておけば、anchor の計算に有効で安全側であるといえる。図一13は sinker を種々に変えたのでバラツキが多く、図一13は spring balance の初期張力を変えたのであるが、あまり判然とした差は見出されていない。ゆえに、この種 pontoon が若干移動をしても、その波を減衰させる効果には著しい差が生じるとは思われない。しかし、anchor 用の wire, rope あるいは chain の遊びがその効果に影響があると思われる。

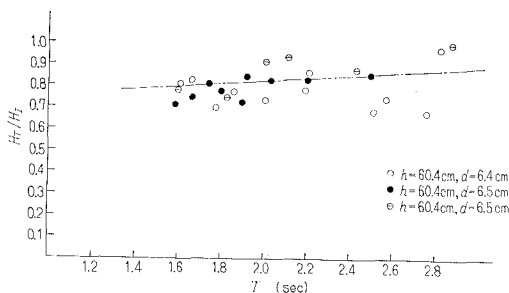
こうしてこの種の浮防波堤は sinker とその wire などの係留によって、水位の若干の変動にも応じ、特に大きい波に対してはこれを越すようにすると pontoon に作用する力が小さくなることがわかっているので⁵⁾ 将来さらに大きい実験を試みたいと考えている。

参 考 文 献

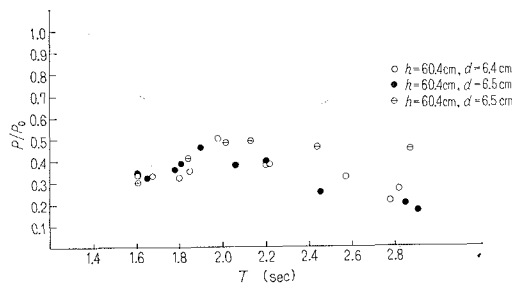
- 1) N.N. Djourkovski, P.K. Bojitch: "La houle et son action sur les côtes et les ouvrages cotiers." 1959.
- 2) Wilbur Marks: "A perforated mobile breakwater for fixed and floating application", 10th Conf. on Coastal Eng., 1966, Vol. II, p. 1079.
- 3) 本間 仁・堀川清司・望月博正: "浮防波堤に関する一研究", 第10回海岸工学講演集, 1963, p. 144.
- 4) 久宝雅史・久宝啓作・中川善久: "浮防波堤の係留に関する実験的考察", 土木学会第26回年次学術講演会,
- 5) 久宝雅史・大橋一彦・牧野勝典: "浮防波堤の模型実験" 第15回海岸工学講演集, 1968, p. 289.
- 6) John H. Carr: "可動性防波堤", 土木学会海岸工学委員会誌, 海岸工学, II, p. 472.
- 7) P.S. Bulson: "Transportable breakwaters", Dock and Harbour Authority, Vol. XLVIII, No. 560, June, 1967, p. 41.
- 8) 田村徳一郎: "水産土木", 1968, p. 113,
- 9) R.L. Wiegel: "Oceanographical Engineering", p. 141.
- 10) 久宝雅史・大橋一彦・牧野勝典: "浮防波堤の模型実験について", 土木学会第23回年次学術講演会, p. 39.
- 11) 9) の p. 20.



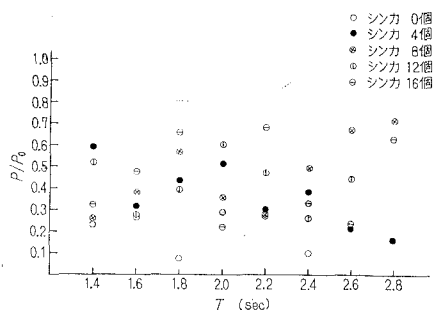
図一10 実験第2の減衰比



図一11 実験第4の減衰比



図一12 実験第2の波力比



図一13 実験第3の波力比