

鋼管防波堤の配列による効果

川 端 猛

1. 緒 言

わが国の主要港湾に使用されている防波堤は従来ほとんどが混成堤であって、堤体内に波の透過を許さない構造のものであり、自重により波力に抵抗するために自重が当然大きくなり、そのために築造する地点での海底地盤も安定したものである必要があった。それに比べて、近年大阪港北港防波堤に採用された鋼管防波堤のごときは、鋼管を海底に打込んで並べたものであり、自ずと混成堤などよりは自重は軽く、波力に対しては鋼管の曲げモーメントで抵抗し、堤体内を波が透過する構造のものである。また海底地盤が軟弱の地点でも築堤が可能であろう。このようなものであるので、今後の社会・経済情勢につれて建設が期待されるものと推察される。

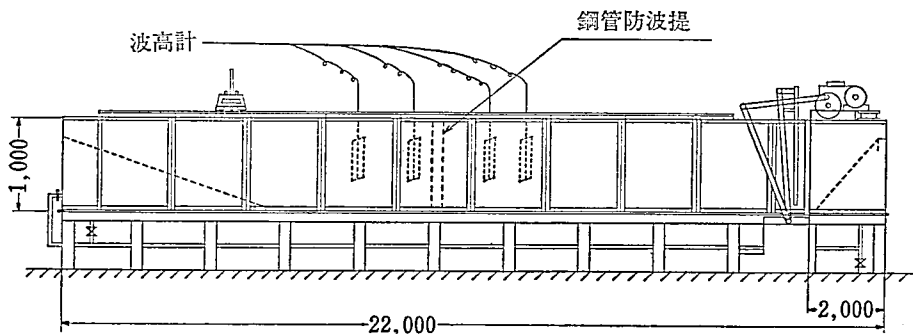
この種の透過性防波堤については従来から内外で多くの研究が進められており、外国にあっては Castello, Wiegel 等の研究、わが国にあっては、林泰造を中心とするグループ、永井荘七郎を中心とするグループ、運輸省港湾技術研究所等の研究がある。

当実験研究にあっては鋼管を一行に並べるだけでなく種々の配列にしたら、その効果はどのようなかを検討するものである。

2. 実験装置及び方法

使用した水槽は全長 22m, 幅 0.8m, 高さ 1.0m, で造波装置はフラッター型である (図一)。実物に対する模型の大きさは 1/25 である。

実験に用いた波は波高 $H=12.5\text{cm}$, 波長 $L=1.05\text{m}$, 周期 $T=0.75\text{sec}$, 波速 $C=1.50$



図一 実験水槽概略図

m/sec, 程度であり, 水深 $h=0.52\text{m}$ とした。鋼管は前列の直径 $D_1=6\text{cm}$, 後列の直径 $D_2=3\text{cm}$ の 2 種類を使用した。防波堤に作用する波圧強度は鋼管前面に, 静水面を中心に 6 cm 間隔で 9 地点に半導体による波圧計を設置し, ビジグラフで記録し, その鉛直分布を測定した。波高の測定は鋼管模型を中心に, 港外側に 1 m 間隔に 2 点, 港内側にも同じく 2 点, 抵抗線式波高計を設置し, ビジグラフに記録した。周期, 波速, 波長等はビジグラフ記録紙より読み取った。鋼管の配列方法は図-2 のように 6 種類とする。鋼管の間隙比 d/D (d : 鋼管の間隔, D : 鋼管の直径, ここでは前列の値) は I 列及び II 列 (30, 20, チドリ) 配列では $d/D=1.22, 0.905, 0.667, 0.483, 0.333, 0.212, 0.111, 0.050$ の 8 種類とした。また II 列異径チドリ配列では $d/D=0.111$ の 1 種類とした。

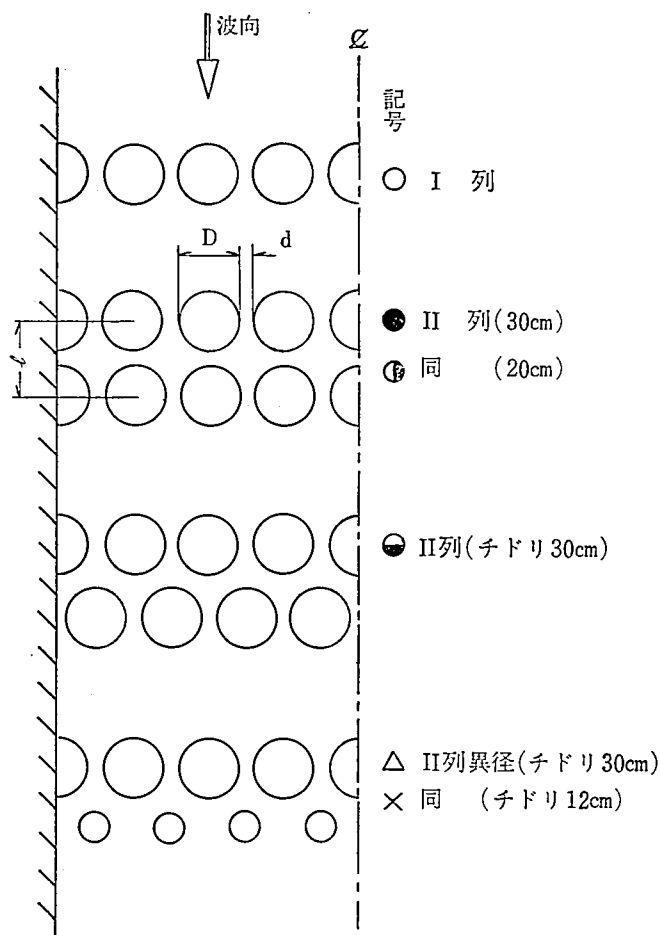


図-2 鋼管配置平面図

3. 防波堤によるエネルギー損失

鋼管防波堤は透過性構造であり, その間隙を波が通過することにより, また鋼管に反射することにより港外側の波の持っているエネルギーを損失し, 港内側に伝えられる訳である。ここではエネルギーの損失の割合を検討する。

一波長、単位峯幅当りの波のエネルギー(E)は

$$E = \frac{1}{2} \rho g \lambda H^2 \quad \dots\dots\dots(1)$$

であり、エネルギーの連続性より

$$E_i = E_r + E_t + E_l \quad \dots\dots\dots(2)$$

(ただし i, r, t, l : 入射, 反射, 透過, 損失)

エネルギー損失による波高の減少高を H_l , 入射波高を H_i とすると, 損失エネルギー比は

$$E_l/E_i = (H_l/H_i)^2 \quad \dots\dots\dots(3)$$

となる。

図-3 は防波堤による損失エネルギー比と鋼管間隙比を示す。図では各配列とも $d/D=0.1$ 付近でエネルギーの損失が最大で、その値は 0.5 程度である。また d/D が大きくなるにつれて、各配列のエネルギー損失の差異が大きくなるようである。実際に施工されるものでは鋼管間隙比をそれほど大きくはしないであろうから、エネルギーの損失による各配列の差は判断しがたい。また林、狩野等の理論式〔下記(5)、(6)式を使用〕とは最大値の生ずる鋼管間隙比に多少の差異が生じている。

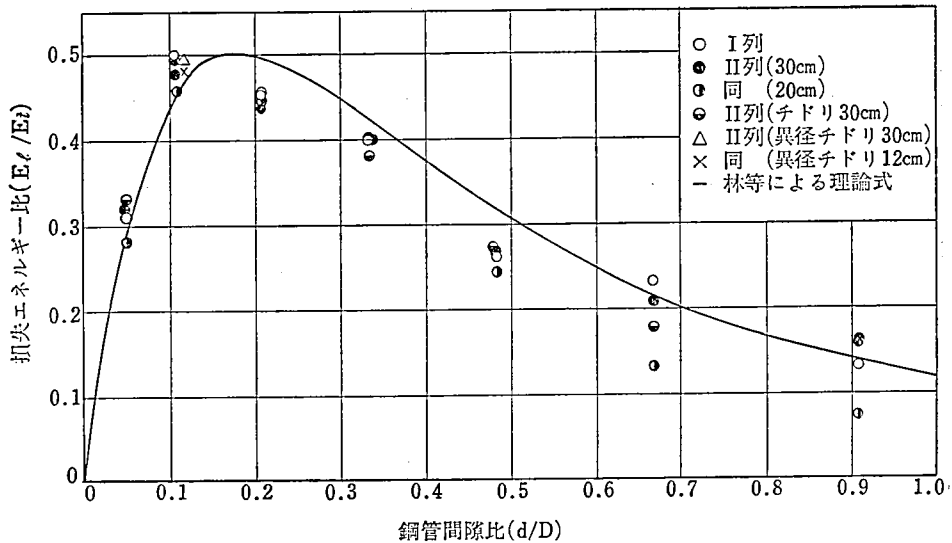


図-3 損失エネルギー比

4. 波の透過と反射

鋼管防波堤は透過構造物であり、波の透過を許容するものであるから、透過の割合(同時に反射の割合)を検討してみる。

一般には透過率(γ_t), 反射率(γ_r)は

$$\gamma_t = H_t/H_i, \quad \gamma_r = H_r/H_i \quad \dots\dots\dots(4)$$

であり、林、狩野等は長波理論の適用により

$$\left. \begin{aligned} \gamma_t &= \frac{1}{2} \left[-\frac{eh}{H_i} + \sqrt{\left(\frac{eh}{H_i}\right)^2 + 4\left(\frac{eh}{H_i}\right)} \right] \\ \gamma_r &= 1 - \gamma_t \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(5)$$

としている。

また(3)式は透過率 γ_t を使用すると

$$E_t/E_i = (H_t/H_i)^2 = 2\gamma_t(1-\gamma_t) \dots\dots\dots(6)$$

となる。

図-4 は反射率と鋼管間隙比の関係を示す。図では各配列の差異は鋼管によるエネルギー損失の最大付近で現われている。Ⅰ列の場合よりもⅡ列にした場合の方が反射が大きいようにみえる。またエネルギー損失最大付近以外、特に d/D が小さい場合には各配列の差が小さくなっている。また林、狩野等による理論式とは割合よく適合しているが、実験資料は d/D が 0 から 0.2 付近までは反射率の変化が急である。

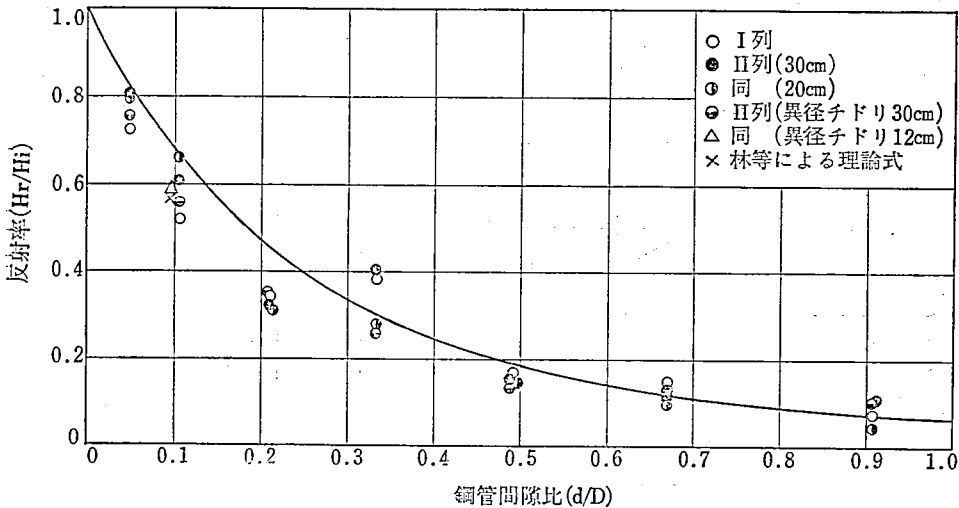


図-4 反射率

5. 防波堤に働く波圧

鋼管防波堤の前面にて測定した波圧強度を水深毎に示すのが図-5である。 d/D が小さくなる程波圧強度は大きくなるであろうが、特に鋼管防波堤によるエネルギーの損失が最大付近である $d/D=0.111$ の場合を示している。この図によると、鋼管をⅡ列にすることによって相当に波圧強度を小さくできるようである。最大波圧強度時（静水面）で比較すると、Ⅱ列異径チドリ (30cm) 配列はⅠ列の場合の38%程度、またⅡ列異径チドリ (12cm) の場合は50%程度である。同じチドリ配列でもⅡ列チドリ (30cm) の場合は後列の影響で相当に大きな波圧強度を出している。

6. 波力による鋼管の曲げモーメント

鋼管防波堤の鋼管の設計は波力によって生ずる曲げモーメントに支配される。モーメントを求める理論式が現段階ではないために、鋼管を直立壁にたとえて、重複波が壁体に作用する水圧を求める Sainflow の簡略公式に準じて波圧が作用するとして、曲げモーメントを求める方法が行なわれている。

静水面を原点に縦座標を Z として (上向き正)

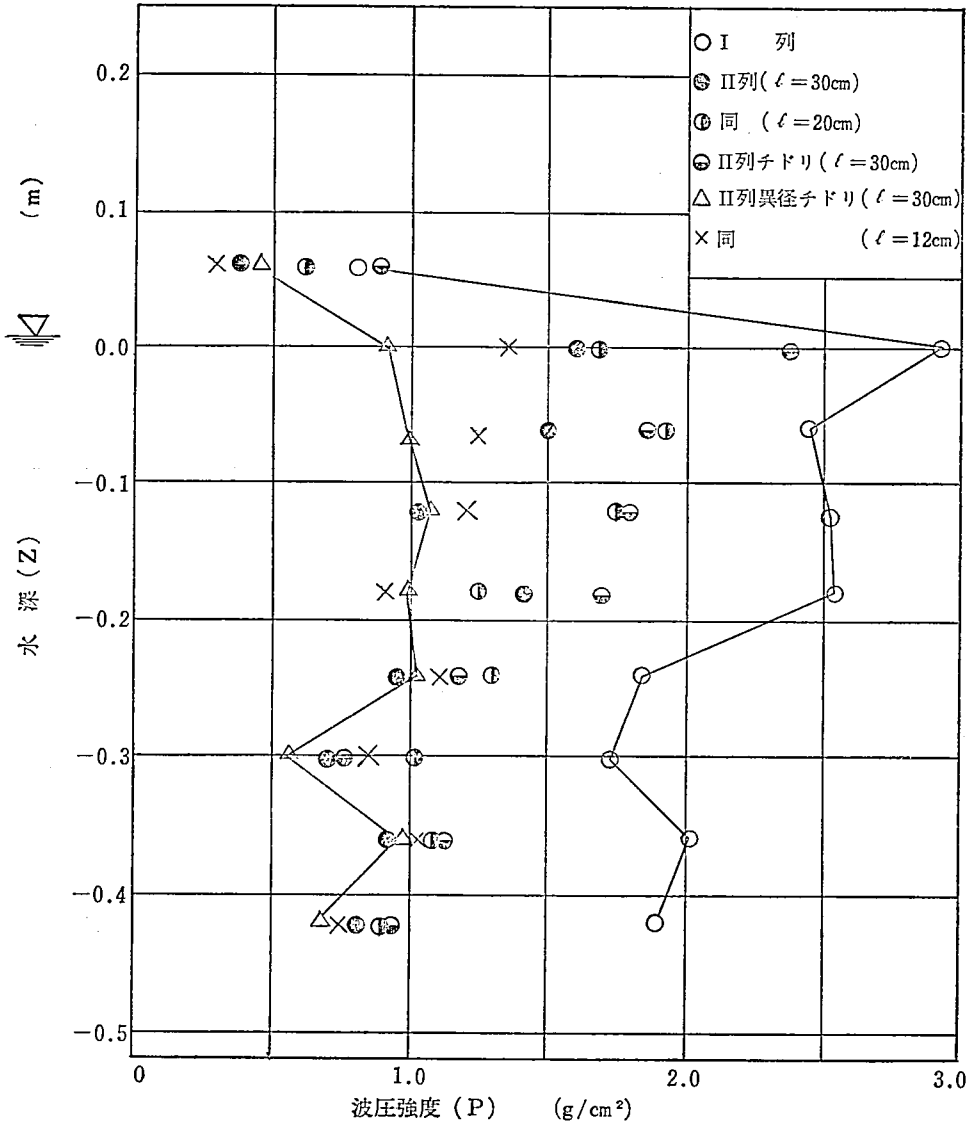


図-5 波圧分布

$0 \leq Z \leq H+h_0$ では

$$M = \frac{(H+h_0-Z)^3}{6(H+h_0)} p_1$$

$-h \leq Z \leq 0$ では

$$M = \frac{1}{6}(H+h_0)(H+h_0-3Z)p_1 + \frac{1}{6}Z^2 \left\{ 3p_1 + \frac{1}{h}(p_1-p_2)Z \right\}$$

.....(7)

ただし $p_2 = \frac{wH}{\cosh 2\pi h/L}$

$$p_1 = (p_2 + wh) \frac{H+h_0}{H+h_0+h}$$

$$h_0 = \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L}$$

.....(8)

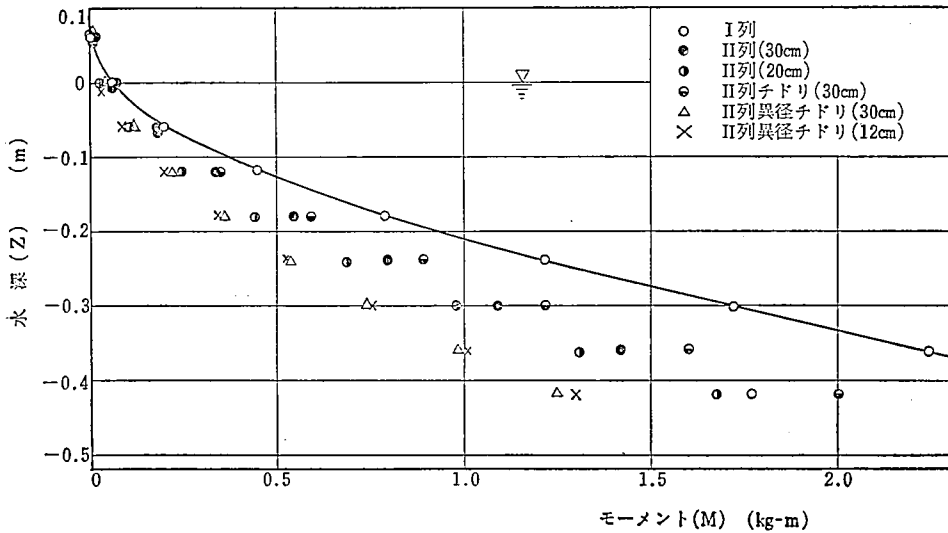
H: 鋼管前面での進行波の波高

h: 鋼管前面での水深

w: 水の単位体積重量

図-6 は曲げモーメントと縦座標の関係を示す。ここでも鋼管によるエネルギー損失の最大時付近の $d/D=0.111$ の場合を示す。図-5 のような波圧強度の測定を行ない、 p_1, p_2 を決定し (7) 式より曲げモーメントを計算した。実測 p_1, p_2 と式 (8) による波圧強度の差異は最大 3kg/m^2 程度である。図に示すように各配列の効果がはっきりと現われている。Z=-h の最大曲げモーメント時と比較すると、最も曲げモーメントを減少させる効果があるのが II 列異径チドリ (30^{cm}) 配列で 58%, 同 (12^{cm}) 配列で 57% の減少率である。また II 列 (20^{cm}) 配列 44%, 同 (30^{cm}) 配列 43%, II 列チドリ配列 35% の順に減少する。

図-6 波力による曲げモーメント



7. 結論

当実験研究での結果として次のような事を推察する。

(1) 鋼管間隙比 d/D が 0.1 付近でどの配列も最大のエネルギー損失を生じ、ほぼ 50% 程度に低下する。

(2) II 列異径チドリ配列のように後列に補助的な鋼管のあるものは、特に波圧強度も曲げモーメントも小さい。よって鋼管の設計には有利となるであろう。前後列の間隔は断定は出来ないが効果に影響を与えるであろう。

(3) II 列 30^{cm} 配列と同 20^{cm} 配列との比較では、この資料だけでは前後列の間隔の良否を判定しにくい。

(4) II 列 30^{cm} 配列と II 列チドリ 30^{cm} 配列の比較では、曲げモーメント、波圧強度、損失エネルギー、反射率等の面で前者の方が有利に思える。(2) の事を考慮に入れると、チドリ配列では前後列の管径比 D_2/D_1 は効果に影響を与えると思える。

今後の問題として II 列配列の前後間隔、II 列チドリ配列での前後列の管径比 D_2/D_1 と鋼管間隙比 d/D_1 の関係や鋼管前後間隔 l との関係、さらには不規則波による鋼管の疲労等

を検討してみたいと考えています。

＊ ＊ ＊

末筆ではありますが、当実験研究を進めるにあたり、終始暖かい御指導を賜りました明星大学、加藤正晴教授並びに参考文献として引用させていただいた論文の著者の諸先生方に深く感謝する次第です。また実験に参加した安田清己、大坂文人、神崎伸治、酒井蔵雄の諸君の御助力に敬意を表します。

参 考 文 献

- ・ 林 泰造・狩野徳太郎・白井増次郎・服部昌太郎：筒型透過性防波堤の水理特性について
第12回海岸工学講演会講演集
- ・ 林 泰造・服部昌太郎・白井増次郎：透過性鋼管防波堤の水理
第13回海岸工学講演会講演集
- ・ 永井莊七郎・久保 直・時川和夫：鋼管防波堤に関する研究（第一報）
第12回海岸工学講演会講演集
- ・ Wiegel, R. L. : Closely spaced piles as a breakwater.
Dock and Harbour Authority, September, 1961