

大型消波コンクリートブロックに作用する揚圧力

荻原 国宏*・古川 正美**

1. はじめに

大型消波コンクリートブロックに作用する波圧については、あまり明確になっていない。通常ケーソングブロックに作用する揚圧力のように、三角形圧力分布が用いられている。しかしながら、ケーソングブロックの底面に敷き並べられた栗石の場合に比して、消波コンクリートブロックは中空構造物に近いわけであって、三角形圧力分布となるとは考えにくい。むしろ栈橋の様な水平部材のある構造物に作用する場合の波力に近いと考えられる。

ここに2年間にわたり、小型、中型コンクリートブロックに作用する波圧について模型実験をした結果をまとめて報告する。

2. 実験結果

まず理論的な検討をする前に、模型実験の結果についてとりまとめておこう。このタイプのコンクリートブロックは、各種のタイプが製造されているが、全種について実験するには時間的な制約もあるので、この実験には日建工学のダイヤブロックをモデルとして使用した。

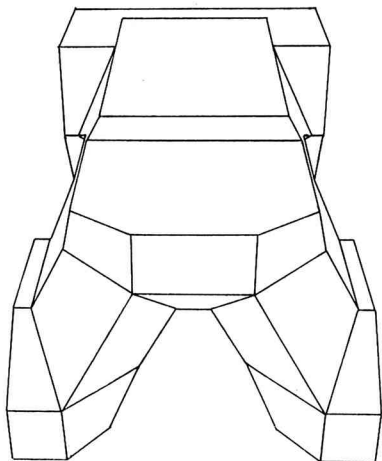


図-1 ダイヤ-S型ブロック立体図

昭和56年に実施したのは、ダイヤ-S型と言われる傾斜型のものであり、これについてはアクリル板によって小型模型を製作し、圧力計を配置した。圧力型は共和電業製のPS-2KBである。コンピューターによる三次元グラフィックで書いたものは図-1に示してある。その断面は図-2に示しておく。また、昭和57年の実験に使用した模型は、模型用型枠で白色のスチレンゴムを使って成形したものである(写真-1)。圧力計の配置および寸法は図-3である。図-2,3に示すごとくダイヤ-S型をType-1、ダイヤ型ブロック非透過型のものをType-2、透過型のものをType-3として以下扱うことにする。Type-3は、正面から見た時の開口部面積の50%に相当

Type 1

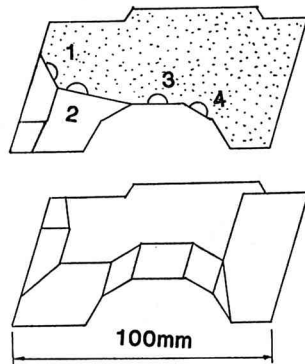


図-2 ダイヤ-S型ブロック断面図

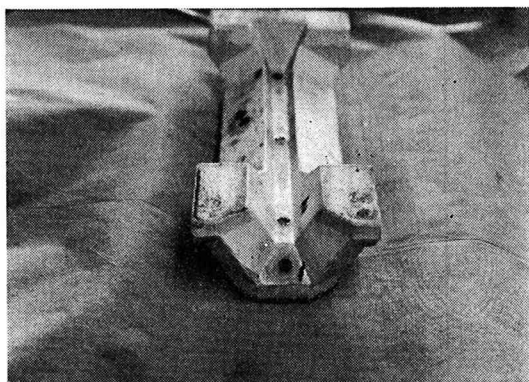


写真-1 圧力センサー

* 正会員 工博 東洋大学教授 工学部土木工学科

** 運輸省港湾技術研究所 海洋水理部

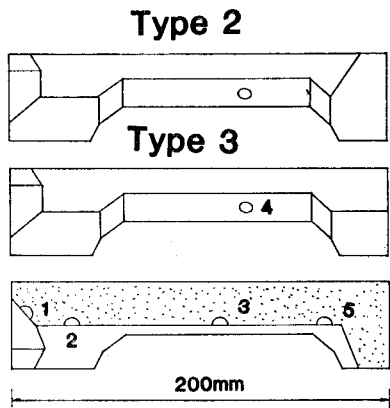


図-3 ダイヤーブロック断面図

する波の透過する穴を Type-2 のブロックの後面部に作ったものである。

(1) Type-1 の実験結果

傾斜型ブロック内に取り付けた小型圧力計 No. 1~4 (図-2) で測定した圧力 P を波高 H で割って無次元化した圧力 $\bar{P}=P/wH$ を横軸に、鉛直軸に測定ブロックの設定された位置を水底から水面に向かって 1~9 番までとって、圧力分布を示したのが 図-4 である。図-4 (1) は水深 30.5cm で波の周期が 1.02s の場合である。図-

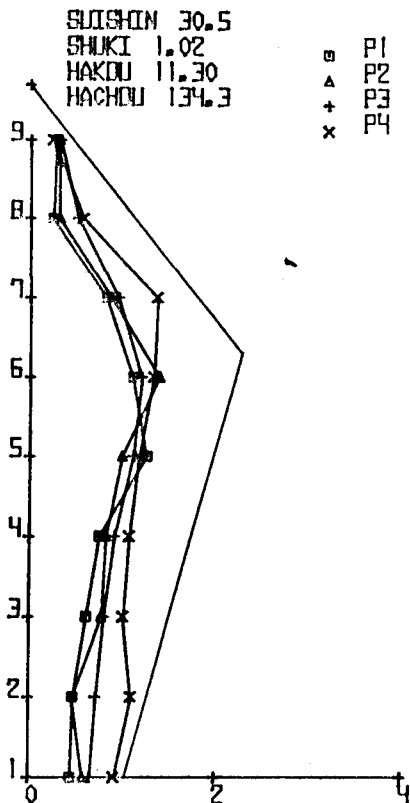


図-4 (1) 波圧分布 (Type 1)

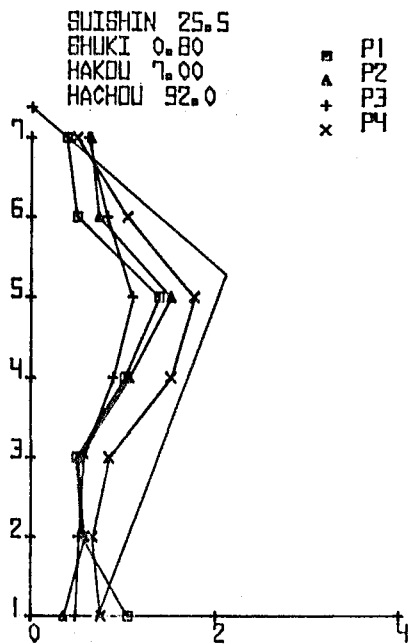


図-4 (2) 波圧分布 (Type 1)

4 (2) は水深 25.5cm で周期 $T=0.8$ s の場合である。いずれの場合も水面付近で圧力が最大になる傾向を示し、水底に向かって減少する傾向を示している。

ブロック内の圧力分布は、かなり散らばっており、ほぼ各点同じ様な圧力を示していると考えたほうがよい。

(2) Type-2 の実験結果

ブロック長の長い Type-2 の水深 35cm での実験結果を示したのが 図-5 である。周期 0.6s, 1.05s, 1.45s と 2.05s の 4 ケースについて示してあるが、他のケースも同じ様な傾向を示している。このグラフも横軸が無次元波圧であり、鉛直軸が測定位置である。この場合も各点の圧力には大きな差があるとは言え、ブロック内は一様な圧力分布をしていると考えてよい。

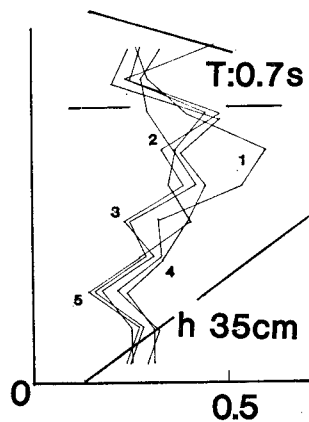


図-5 (1) 波圧分布 (Type 2)

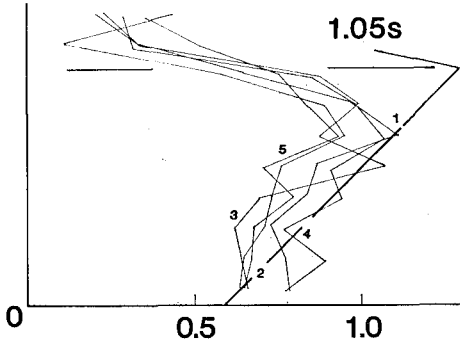


図-5 (2) 波圧分布 (Type 2)

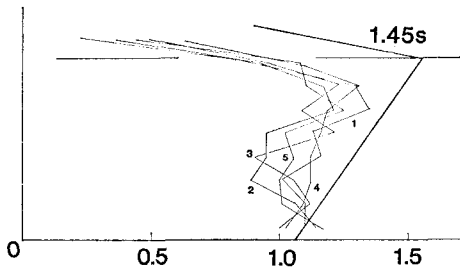


図-5 (3) 波圧分布 (Type 2)

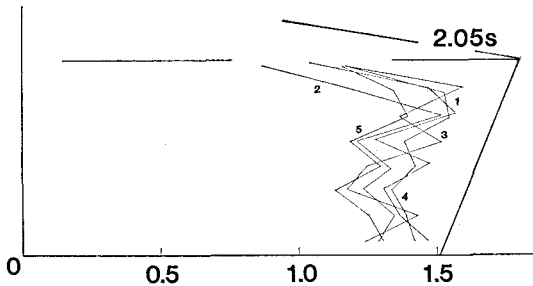


図-5 (4) 波圧分布 (Type 2)

(3) Type-3 の実験結果

Type-3 の水深 30 cm での結果が 図-6 である。この場合も No. 1 の測点を除くと、各点の大きさには大差がないと考えられるが、一番前面にある No. 1 の点が全体を通じて最大の値を示している。これと Type-2 の結果とを比較すると、波圧が小さくなっていることがわかる。波が透過した分だけ波圧が小さくなっているわけである。

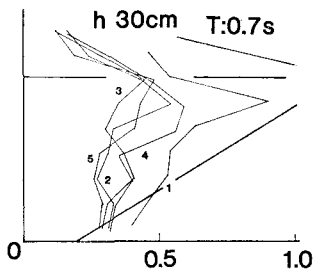


図-6 (1) 波圧分布 (Type 3)

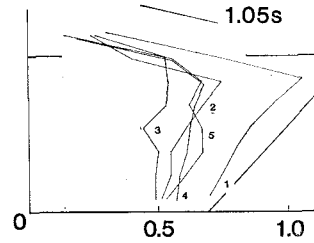


図-6 (2) 波圧分布 (Type 3)

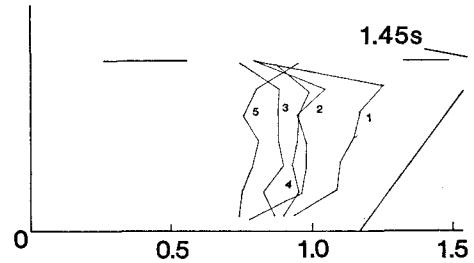


図-6 (3) 波圧分布 (Type 3)

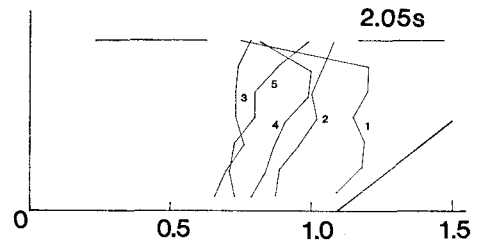


図-6 (4) 波圧分布 (Type 3)

(4) Type-2 と Type-3 との比較

Type-2 と Type-3 の波圧の相違を見るべく、図-5, 図-6 における波圧分布の最大と最小を示す範囲を周期との関係でプロットしてみた (図-7)。

横軸は周期であり、鉛直軸は波圧である。2つの曲線で囲んだゾーンが、それぞれ波圧の分布している部分を示している。この図を見るとわかるごとく、Type-2 で

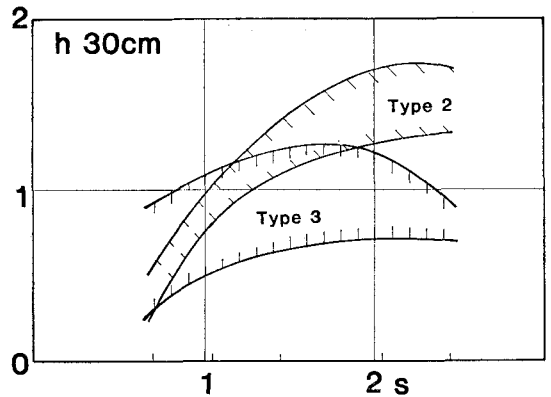
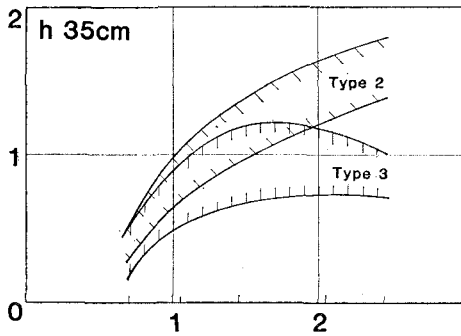


図-7 (1) 波圧比較図 (h 30 cm)

図-7 (2) 波圧比較図 (h 35 cm)

は波圧が周期の増加にしたがって増えているが、Type-3ではその増加が余り大きくない。 $T=1.0$ sec 付近以下では Type-2, 3 ではほぼ同じ値であり、 $T=2.0$ sec 以上では Type-3 は Type-2 の場合の 75% 程度の値となっている。

3. 波圧分布についての考察

実験の圧力分布の図を見るとわかるごとく、水面付近で最大となり、水面、水底に行くにしたがって、小さくなる傾向を示している。これは重複波の圧力分布と似ている。そこで、合田によるケーソン防波堤に対する圧力分布の式¹⁾との関係を調べてみる。

波圧の作用高

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta)H \quad \dots\dots\dots(1)$$

前面波圧強度

$$\left\{ \begin{aligned} P_1/wH &= (1 + \cos \beta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \beta)/2 \quad \dots\dots\dots(2) \\ P_2/wH &= (P_1/wH)/\cosh(2\pi h/L) \quad \dots\dots\dots(3) \\ P_3/wH &= (P_1/wH) \cdot \alpha_3 \end{aligned} \right.$$

$$P_3/wH = (P_1/wH) \cdot \alpha_3$$

ただし、

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh 4\pi h/L} \right]^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ \frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H}{d} \right)^2, \frac{2d}{H} \right\} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right\} \quad \dots\dots\dots(6)$$

これらの式を使って求めた無次元波圧分布を図-4, 5, 6の各図に書き入れてみた(太い実線)。その結果、分布形状としては非常に相関の良いことがわかる。しかし、その大きさは、いずれの場合も実験値のほうが小さい値を示している。傾向としては周期の短い時ほど、その差が大きく理論値の 90~70% の値となっており、周期の長い時では 80% 程度の値となっている。透過型のタイプ

(Type-3) では、周期の長いときに 60~70% の値となっており、透過型にすることによって 20% 程度の圧力減少になることがわかる。

このことは、理論式は完全反射における式であるので、ブロックの様に部分反射では、前面における波高が完全反射の場合ほど大きくならないためと考えられる。

この考えにもとづいて、前面波高が $(1+R)H$ となっていると考え、完全反射の場合との比 $(1+R)1-H/2H = (1+R)/2$ より反射率 R の値を求めてみた。その結果、周期の短い所で 0.5~0.7, 周期の長い所で 0.7~0.8 となっており、このブロックの反射率に近いことがわかった。また、透過型のものでは周期の長い所で 0.3 程度となっており、反射波がかなり小さくなっていることがわかる。

この点については、今後より詳しく研究を進めてゆく予定である。

4. ブロックの揚圧力

ブロックの揚圧力が発生するのは圧力分布のみを見ると最大圧が発生している点より上の部分であるが、これは全ブロックに作用する波圧の作用時間に位相がないとした時であって、もし位相があるとすれば、違った形式となることが考えられる。同時に波圧が作用しているとすれば、揚圧力 F は

$$F = A \cdot \frac{dP}{dz} \cdot d \quad \dots\dots\dots(7)$$

で求められる。 A : ブロックの水平射影面積, d : ブロックの高さ, dP/dz : 波圧分布の鉛直方向の勾配。

もう一つの考え方は合田²⁾が棧橋の揚圧力について提案している式の考え方で、水が上方または後方に抜けられる場合の式を求める方法である。

5. おわりに

2 年間にわたって実験より、ブロック内の波圧分布は重複波の波圧に近いことがわかった。今後に残された問題は、ブロックに作用する揚圧力を波圧の作用時間の位相をも含めて検討することである。さらに反射率、透過率との関係についても、もう少し深く検討すべきであると考えている。

参考文献

- 1) 合田良実: 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会, pp. 86~89.
- 2) 合田良実: 構造物に働く波力, 水工シリーズ 67-10, 土木学会水理委員会, p. 34, 昭和 42 年.