

ブロックの摩擦係数と波高透過率との関係について

(株) 新日本技術コンサルタント 正員 工博 神月隆一
正員 工博 劉 世輝

一般に異形ブロック又は捨石に依つて構成される消波堤の消波形式としては、(a)波がブロックの凹凸表面を流れる際に摩擦に依つてエネルギーを消散させるもの、(b)波がブロック間に生じた空隙を流れる際の乱れに依る渦に依つてエネルギーを消散させるもの、(c)水流を相互に衝突させ回転させるからエネルギーを消散させるもの、(d)ブロックの空隙に依り水の弾性圧縮の効果を利用してエネルギーを吸収消散させるもの等がある。これらの形式に対する消波効果を量的に検討することは消波堤の形式、規模、設置条件、波の特性、海底地質、水深等の影響に依り水理現象が非常に複雑多様であるため、非常に難しい問題である。現在に至つて適切な方法はまだ確立されておらず、これらの各因子に依る効果を量的に検討するためには細部に亘つて大がかりな解析及び水理実験を行う必要があらう。

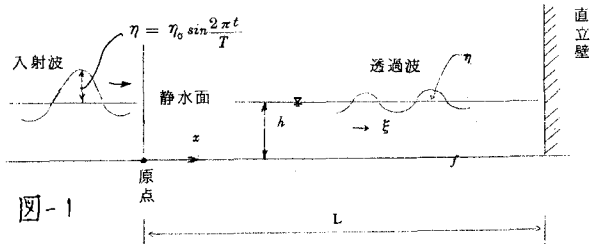
本研究は消波堤を表わす総合特性としてブロックの摩擦係数に着目し、開水路へ理論が適用（うるものとして）波高の透過率について二次元的に考察したものである。

図-1に示す模型について自由表

面下にある任意点の圧力は静水圧分布を仮定し、垂直方向の加速度効果を無視すると運動及び連続方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial \xi}{\partial t^2} + f \frac{\partial \xi}{\partial t} - gh \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = 0 \quad (1)$$

$$\eta = -h \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (2)$$



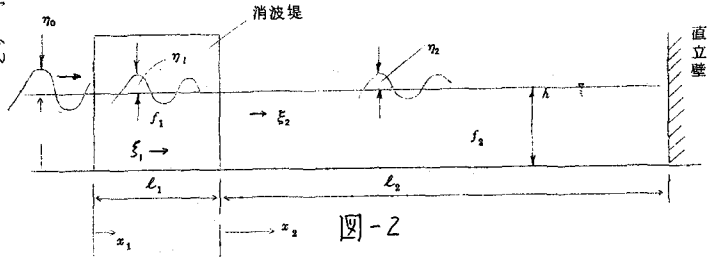
ここに、 ξ : 水粒子の変移量、 η : 静水面からの変化量、 η_0 : 入射波の半波高、 f : 相当摩擦係数 ($f = \frac{\tau}{\rho h} = \frac{\tau}{\rho h} \cdot \frac{P}{A}$)、 f_0 : 摩擦係数、 h : 水深、 g : 重力の速度、 P : 潤滑、 ρ : 水の単位重量、 t : 時間、 T : 波の周期、 L : 消波堤より直立壁迄の距離、 A : 流域。

(1) 及び (2) 式に依り一般解は次のようになる。

$$\begin{aligned} \xi = e^{px} \left[C \cos \left(\frac{2\pi t}{T} + qx \right) + D \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + qx \right) \right] & \quad \frac{\partial \xi}{\partial t} = e^{px} \left[-\frac{2\pi}{T} C \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + qx \right) + \frac{2\pi}{T} D \cos \left(\frac{2\pi t}{T} + qx \right) \right] \\ + e^{-px} \left[C' \cos \left(\frac{2\pi t}{T} - qx \right) - D' \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - qx \right) \right] & \quad + e^{-px} \left[-\frac{2\pi}{T} C' \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - qx \right) - \frac{2\pi}{T} D' \cos \left(\frac{2\pi t}{T} - qx \right) \right] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \eta = -he^{px} \left[(C_p + D_q) \cos \left(\frac{2\pi t}{T} + qx \right) + (D_p - C_q) \sin \left(\frac{2\pi t}{T} + qx \right) \right] \\ + he^{-px} \left[(C'_p - D'_q) \cos \left(\frac{2\pi t}{T} - qx \right) - (D'_p + C'_q) \sin \left(\frac{2\pi t}{T} - qx \right) \right] \end{aligned} \quad (4)$$

本考察に対象となる模型を図-2に示すように考え、透過後の波は直立壁に於いて完全に反射すると(2)次に示す境界条件について(3),(4)及び(5)式を解くと(b)式のようになる。



境界条件:

$$(1) \quad x_1 = l_1, x_2 = 0 \text{ に於いて,}$$

$$\eta_1 = \eta_2, \quad \frac{\partial \eta_1}{\partial t} = \frac{\partial \eta_2}{\partial t}$$

$$(2) \quad x_1 = 0 \text{ に於いて,}$$

$$\eta_1 = \eta_0 \sin \delta t, \quad (\delta = \frac{2\pi}{T})$$

$$(3) \quad x_2 = l_2 \text{ に於いて, } \frac{\partial \eta_2}{\partial t} = 0$$

ここに、 l_1 : 消波堤の平均幅、 l_2 : 消波堤終点より直立壁迄の距離、 η_2 : 透過後の半波高、 η_1 : 消波堤に於ける半波高、 f_1 : 消波堤の相当摩擦係数($= \frac{g f_1 P}{A}$)、 f_2 : 水路の相当摩擦係数($= \frac{g f_2 P}{A}$)、 f_1, f_2 : 欠々ブロックと水路の摩擦係数。

透過後 x_2 点に於ける半波高 η_2 は

初期値 $\eta_0, l_1, l_2, h, f_1, f_2, T$ を与え、(b)式により各係数の求まり、(4)式に依り

$$\eta_1 = M_1 \sin \delta t + M_2 \cos \delta t \quad (8)$$

を得る。

$$\text{ここに} \quad M_1 = [(c \cdot e^{-\beta x_1} + a \cdot e^{\beta x_1}) \sin q_1 x_1 - (d \cdot e^{-\beta x_1} + b \cdot e^{\beta x_1}) \cos q_1 x_1]$$

$$M_2 = [(d \cdot e^{-\beta x_1} - b \cdot e^{\beta x_1}) \sin q_1 x_1 + (c \cdot e^{-\beta x_1} - a \cdot e^{\beta x_1}) \cos q_1 x_1]$$

$$a = h(C_1 p_1 + D_1 q_1)$$

$$b = h(D_1 p_1 - C_1 q_1), \quad c = h(C_2 p_2 - D_2 q_2)$$

$$d = h(D_2 p_2 + C_2 q_2)$$

$$\text{定常状態に於いての透過後の最大半波高 } \eta_{2(\max)} \text{ は } \eta_{2(\max)} = \sqrt{a^2 + b^2} + \sqrt{c^2 + d^2} \quad (9)$$

と(2)表わされる。結局ブロック消波堤に依る最大透過率 $\eta_{r(\max)}$ はブロックの摩擦係数 f_1 が知れば次のように求まる。

$$\eta_{r(\max)} = \eta_{2(\max)} / \eta_0$$

(10)

図-3は一例として $l_1 = 50 \text{ cm}$, $l_2 = 500 \text{ cm}$, $f_2 = 0$, $f_1 = 5.0, 7.5, 10.0$, $h = 20 \text{ cm}$, $\eta_0/h = 0.4$, $T = 0.2 \sim 2.4 \text{ sec}$ と(2)初期条件に対して透過率 $\eta_{r(\max)}$ と $T_* = \frac{\delta}{\sqrt{2gh}} \cdot L_0$ (ここに L_0 は入射波の波長)との関係について(2)の計算結果を示す。図-4は5を定数として(2)透過率

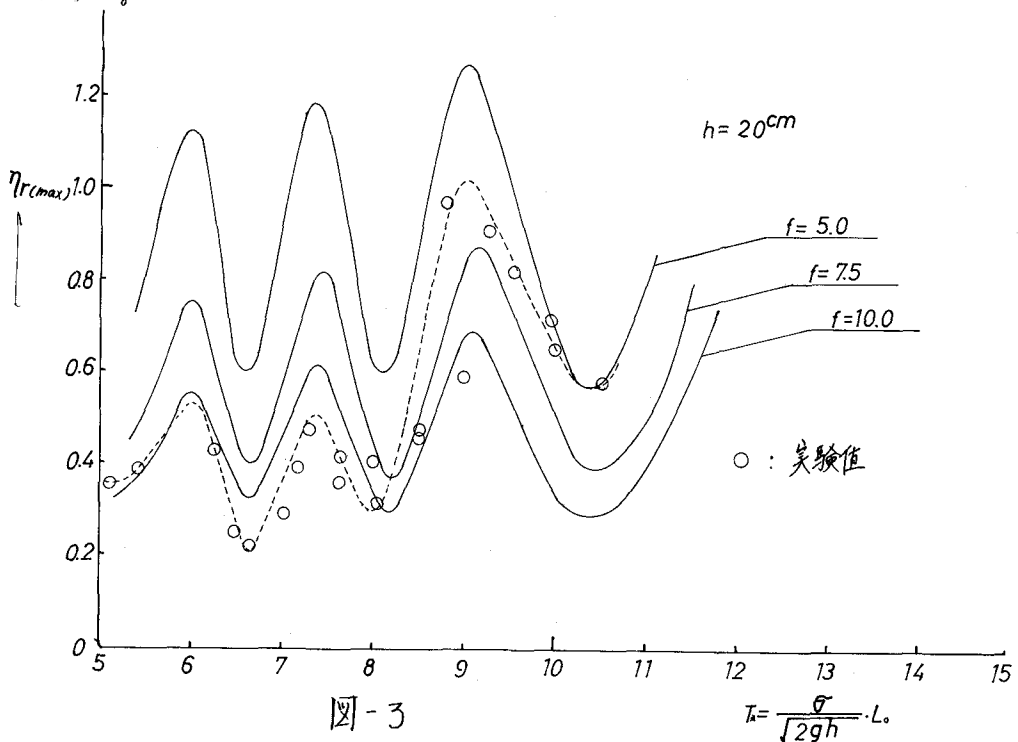
$\eta_{r(max)}$ と消波堤の相当摩擦係数 f_1 との関係について示したものである。図-5 は $f_1 = 10.0$ と $h = 10, 15, 20 \text{ cm}$ について2の計算結果を示したものである。

こゝらの計算結果により以下に示す結論が得られる。

(1) 同一入射波に対して、消波堤の相当摩擦係数 f_1 又はブロックの摩擦係数 f_1' が大きくなるに伴い波高の透過率は小さくなる。 f_1 の小さい領域にあつては、 f_1 の増大に伴い、透過率は急激に減少する傾向を示すが、 f_1 がある値以上に達すると、 f_1 即ち消波堤の規模をさらに大きくしても、透過率を小さくするに對する期待は薄いことを意味する。このことから消波堤を設計するときには、この点について十分検討し経済的の規模を選定する必要があることを意味する。 f_1 の小さい領域にあつては、入射波の特性に依り透過率が1.0以上に達することもある。これは重複波の形成であり、この点については今後さらに検討したい。

(2) 同一入射波に対して、水深が大きい程、透過率が高い。さらに入射波の特性に依り水深が大きい程、透過率の変化範囲が大きいためである。又透過率の最大及び最小値に対応する入射波周期の値は水深に依つて異なる。この位相のずれについても今後さらに検討したい。

(3) 同一消波堤の規模及びその設置地点に対しては、入射波の特性に依り透過率が大きく変わる。このことは消波堤を設計するときには、入射波の特性を十分に把握（あるいは、所定の透過率に達するように経済的消波堤規模とその設置地点を選定）しなければならないことになりかねない。



上記に示す計算結果を確認する意味で、計算に用いた諸元に基づいて模型を作製し、水深 $h = 20\text{cm}$ について実験を行った結果が図-3に示した通りである。実験に使用した水槽は幅 1.0m 、高さ 1.0m 、長さ 37.0m のものであり、造波機はピストン型である。消波堤の模型は実験名称「8トンテトラポット」縮尺 $1/25$ 、標準積材のものを用いた。実験に用いた入射波の波高は $2.0\text{cm} \sim 8.0\text{cm}$ で波形分配は $0.1 \sim 0.01$ の範囲であった。

この結果から明らかに実験値の透過率は入射波の特性によって変化することが判る。その変化の傾向も計算値と一致し、理論の妥当性を確認することができた。入射波の特性 $T_k < 8$ の領域にあつては消波堤の相当乗継係数 $f_t = 10.0$ に対応し、 $T_k > 8$ にあつては $f_t = 7.5$ に相当するようである。この相異はテトラポットに依る消波堤の断面形状が計算に用いた仮定とある相違点のために起こる。透過後の波が有限振幅波の性質を帯びることが考えられる。 f_t が 10.0 程度と、これをテトラポットの乗継係数 f_t に換算すれば 0.11 程度になる。しかしこの値は模型値であり、実験にあつてはどの程度になるかは、今後さらに縮尺効果について実験を行うと検討（を）付けられる。

(本研究は昭和43年3月～5月の期間に於いて行つたものであることを付記する。)

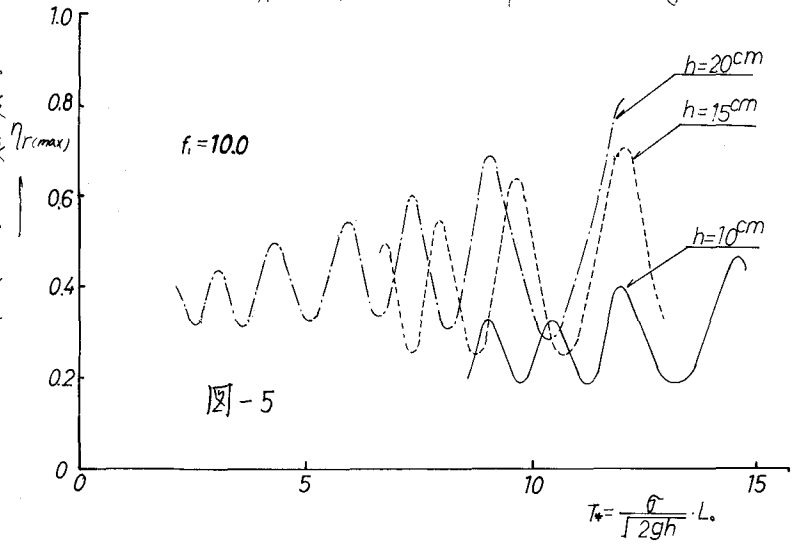


図-5

参考文献:
GEORGE R. RICH, HYDRAULIC TRANSIENTS, DOVER PUBLICATION, INC., NEW YORK, 1963.

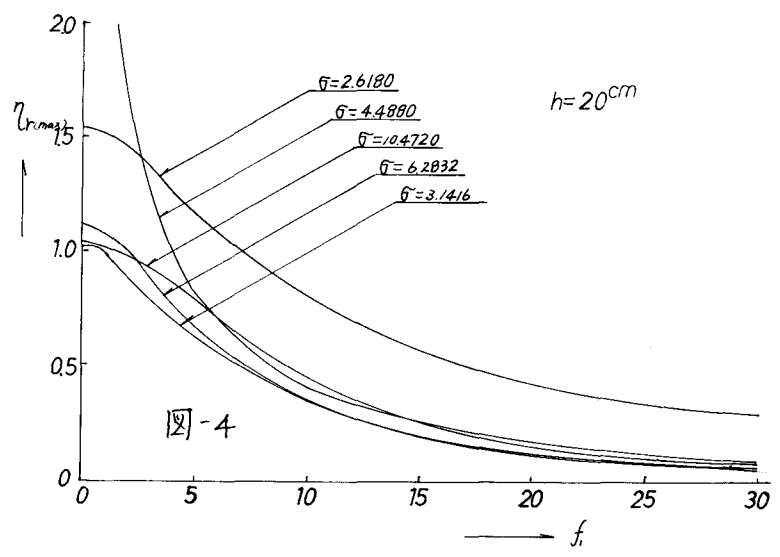


図-4