

透過性構造物の防波機能におよぼす 抵抗係数と空隙率の効果

正 員 近 藤 俣 郎*

正 員 ○藤 間 聡**

1. ま え が き

近年消波用異形ブロックを始めとして種々の透過性防波構造物が研究開発され実施に移されている。

しかし、現在透過性防波構造物の反射率、透過率、抵抗係数等の水理的測定は石積及び異形ブロックを除いては、非常に少数である。この種の透過性構造物の水理現象は複雑なため理論的解析が困難で、従来実験的に研究されてきた。しかしながら最近電子計算機が長歩の発展をなしたのでこれらの構造物の理論的解析が可能になった。

著者らは、規則的な空隙を有する構造物を用いて実験を行ない構造物の空隙及び幅員の効果を調べ、加えて著者の一人が発表した長波理論により反射率、透過率を求めた。また Le Méhauté 等の既往の直立石積構造物の実験値を長波理論を用いて反射率等を求め両者の比較をした。以上はいずれも実験室規模の構造物を対象としたが、また実物構造物について空隙率及び抵抗係数を種々組合せて防波機能におよぼす効果を調べた。なおこの研究の一部は第17回海岸工学講演会において発表済みである。¹⁾

2. 長波理論による反射率及び透過率の計算法

この計算法の理論展開は発表済み^{1), 2)}であるので計算に必要な式のみをあげておく。

構造物の空隙率を λ 、透水係数を k とする。

波形

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{H}{2} \sin(\sigma t - mx) \\ &= \frac{H_0}{2} e^{-n \cdot x} \sin(\sigma t - mx) \end{aligned} \quad (1)$$

上式中 H は x における波高で H_0 は $x = 0$ の波高である。

$$\sigma = (2\pi/T)$$

$$m = \left[-\frac{\tau \sigma^2}{2gh} (\sqrt{1 + F^2} + 1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$n = \left[-\frac{\tau \sigma^2}{2gh} (\sqrt{1 + F^2} - 1) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

但し F は次式で示される無次元数である。

$$F = (\lambda g / \tau k \sigma)$$

透過性防波構造物の内の流れは工学的に重要な波高の大きい場合には乱流となっている場合が多いと考えられる。乱流の場合には定常流の動水勾配が次式のように近似できる。

$$I_e = \frac{V}{k} (1 + \beta V) \quad (4)$$

β は定数で透水係数と空隙によって定まる。

また波による水粒子の速度は

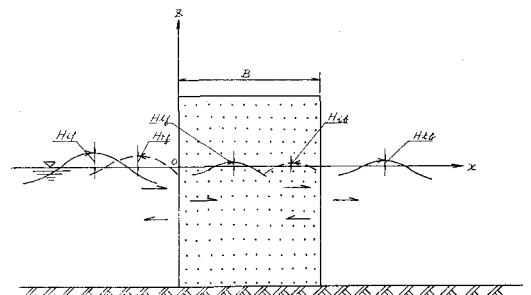
$$u = U(x) \sin(\sigma t - \phi(x)) \quad (5)$$

で表現されるから、 k の代りに次式で定義した kt をもって、透水係数を表わす。

$$k_t = k / \left[1 + \frac{8}{3\pi} \beta U(x) \right] \quad (6)$$

計算は鉛直面を有する防波構造物を考え、前述のように、その空隙率を λ 、透水係数を k とし、水底は水平で不浸透であるような理想化された条件で行なう。

一波の入射波が上記構造物に作用する場合、最初に前面で反射伝達を行ない、伝達波が構造物内で変形を受け



図—1

* 室蘭工業大学 助教授

** 室蘭工業大学 助手

ながら進行し後面で再び反射伝達を行ない後方水域で伝達波を発生させる。後面で発生した反射波が前面に戻り前面における反射伝達に影響を与えるが、ここではその影響を無視する。

構造物のない水域では

$$\lambda = 1.0, m = (\sigma / \sqrt{gh}), n = 0, \tau = 1.0$$

であることを考慮して、前面についての反射率透過率は次式のように求められる。

$$K_{tf} = \frac{2}{[C_f^2 + 2Mf(1+jf) + 1]^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

$$K_{rf} = \left[\frac{C_f^2 - 2Mf(1+jf) + 1}{C_f^2 + 2Mf(1+jf) + 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$M_f = \frac{\lambda}{\sqrt{2\tau}} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1+F_f^2}} \right] \sqrt{\frac{1}{1+\sqrt{1+F_f^2}}}$$

$$C_f = \frac{\lambda}{\sqrt{\tau} \sqrt{1+F_f^2}}$$

後面については、エネルギー損失を入射波のもつエネルギー損失係数を乗じた表現をすることにして前面と同様に反射率と透過率を求める。

$$K_{tb} = \frac{4 - 2jb}{[C_b^2 + 2Mb + 1]^{\frac{1}{2}}} \quad (9)$$

$$K_{rb} = \left[\frac{(1-jb)(C_b^2 + 1) - 2Mb}{C_b^2 + 2Mb + 1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

$$M_b = \frac{\sqrt{2\tau}}{\lambda} \sqrt{\frac{1 + \sqrt{1+F_b^2}}{1 + \frac{1}{\sqrt{1+F_b^2}}}}$$

$$C_b = \frac{\sqrt{\tau} \sqrt{1+F_b^2}}{\lambda}$$

これらの関係式を用いて反射率及び透過率を求めると次のようになる。

a 反射率, K_R

前述のように前面の反射率は後面からの再反射の影響を無視すると入射波高 $H_I = H_{if}$ に対する反射波高 H_R の比を構造物に関する反射率 K_R とすると $K_R = K_{rf}$ として求められる。

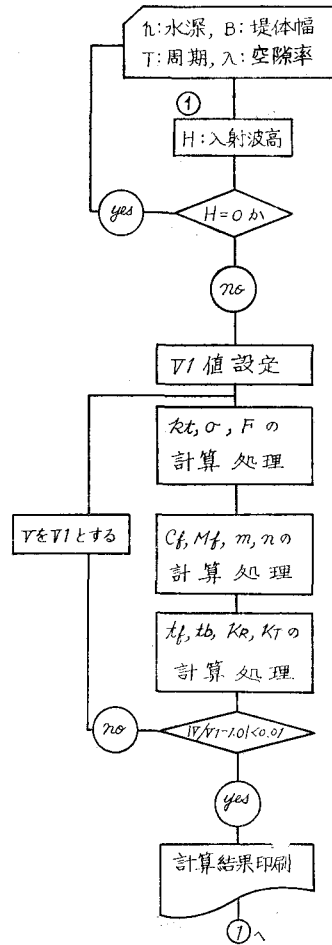
b 透過率, K_T

入射波高 H_I に対する後方水域に出現する伝達波高 H_T の比を構造物に関する透過率 K_T とすると $H_T = H_{tb}$ であるから

$$K_T = \frac{H_{tf}}{H_{if}} \cdot \frac{H_{tb}}{H_{tf}} \cdot \frac{H_{tb}}{H_{tb}} = K_{tf} \cdot e^{-nB} K_{tb}$$

となる。

以上の式を使用して計算する際の flow chart を書くとき次の図一2になる。



図一2 透過率と反射率の計算 flow chart

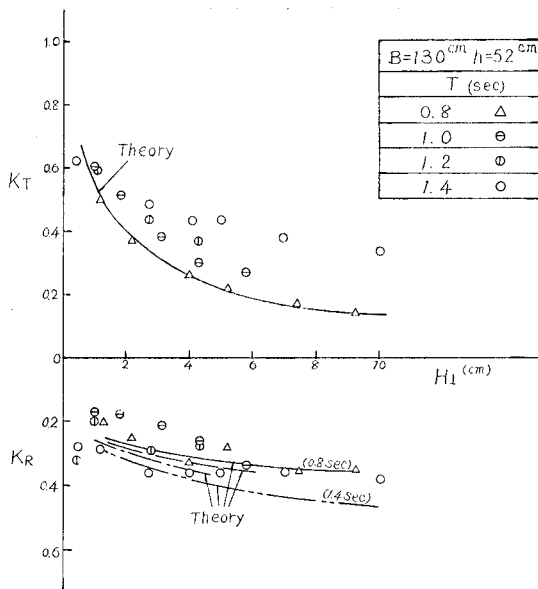
3. 理論値と実験値との比較

実験は塩ビ製の34mmのパイプで製作した空隙率60.7%幅員Bが1.3mの格子構造物に、周期を0.8, 1.0, 1.2, 1.4秒とした4種の入射波の波高を変えて行った。この場合抵抗係数は一定であった。

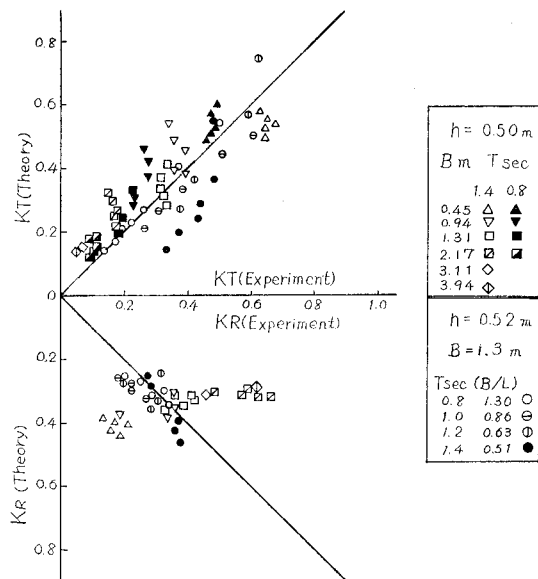
図一3によれば、透過率 K_T は入射波高 H_I の増大と共に減少していく傾向があり、その減少の割合は周期 T が小さい程減少率は大きい。入射波高がかなり小さい場合には透過率はほぼ同じ値をとるが、波高が大きくなるにつれて周期 T による違いが生じている。

反射率 K_R は入射波高の増大につれて次第に増大していくが透過率程明瞭ではない。

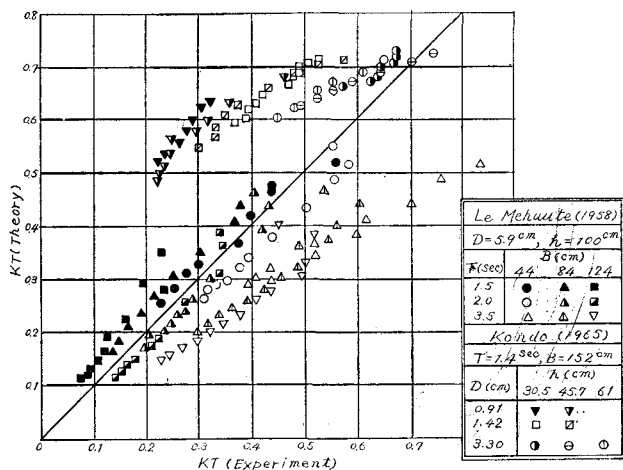
図一4は実験の反射率透過率の理論値と実験値とを対応させたものである。透過率は実験値と理論値とはだいたい近似しているといえる。一方反射率は実験値の反射率が一部増加しても理論値反射率は一定値をとる傾向を



図—3 反射率 K_R と透過率 K_T



図—4 理論値と実験値との比較



図—5 透過率 K_T の理論値と実験値 (石横堤)

示すが全体的にはよく一致する。構造物幅員の効果は余り生じていない。

図—5は Méhauté の実験と筆者の一人の実験から求めた透過率と理論透過率を対比させたものである。

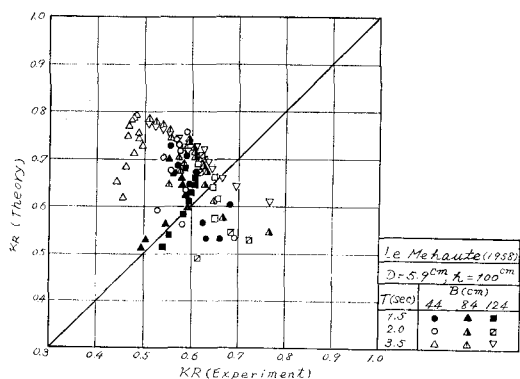
入射波周期が1.5秒及び2.0秒は良くあい、また周期が1.5秒以下であると理論値が大きくなり、周期が2.0秒以上であると実験値が大きくなる。また構造物幅員 B は周期が1.5秒以下では B が大きくなると理論透過率が大きくなり、周期が2.0秒以上では B が大きくなると実験透過率が大きくなる。一方粒径 D の効果は D が小さいと理論値が大きくなる。

図—6は K_R に関するものであるが、 B 、 T による変

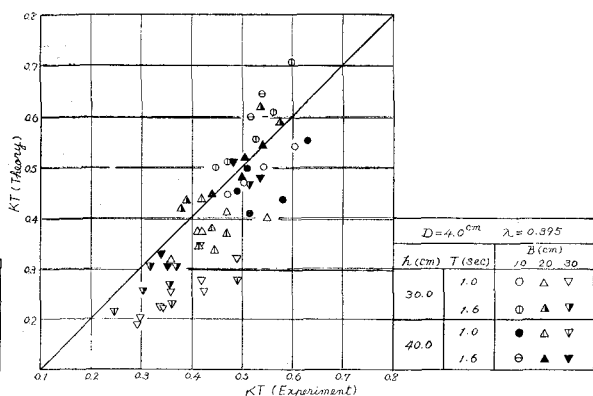
化が小さく狭い範囲にあるので全体的な傾向を見出すことは困難であるが実験値よりわずかに理論値反射率が大きく、平均的には良く合っていると思われる。

図—7は富永、坂本両氏が発表された実験値の一部を使用したものであるが、全体として良く一致している。但し図—5のように構造物幅員の効果は明白ではない。

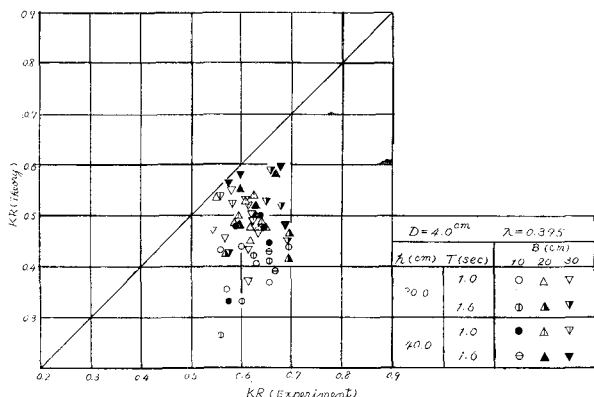
図—8は反射率の理論値と実験値の比較であるが理論値が小さい傾向を示す。図—8に示した値を含めて富永、坂本両氏の実験値全体について検討したところでは水深が大きくまた幅員が大きくなるにつれて実験値と理論値が一致していることが認められる。



図—6 反射率 K_R の理論値と実験値 (石積堤)



図—7 透過率 K_T の理論値と実験値 (石積堤)



図—8 反射率 K_R の理論値と実験値 (石積堤)

4. 抵抗係数と空隙率の効果の計算例

現在種々の実験から抵抗係数を表わす数式が発表されているが、抵抗係数を表わす方法がいろいろで、即座に比較検討することが出来ない。そこでここでは Cohen de Lara の空隙率の5 剰法則を用いて、空隙率のほぼ等

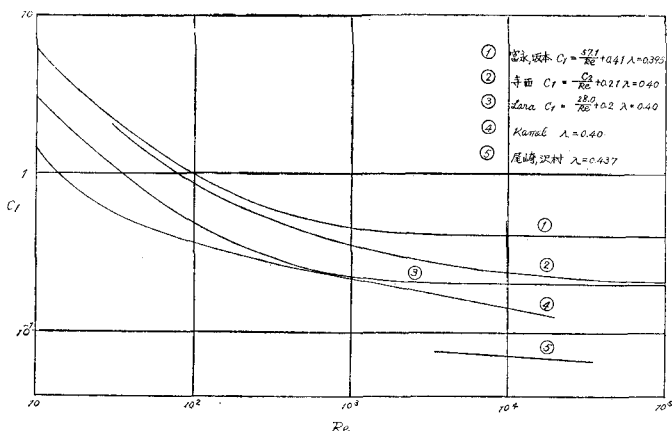
しい式を書き直してみた(図—9)。図—9 で実問題となる完全乱流域($Re > 10^4$)では抵抗係数はこれらの式では0.07から0.4の範囲にある。この範囲で抵抗係数を変化させてみて反射率、透過率がどのような影響を受けるかを調べた。

このため堤体幅15m、水深15m、入射波高3, 4, 5 m, 周期8, 12秒という条件で計算を行なった。

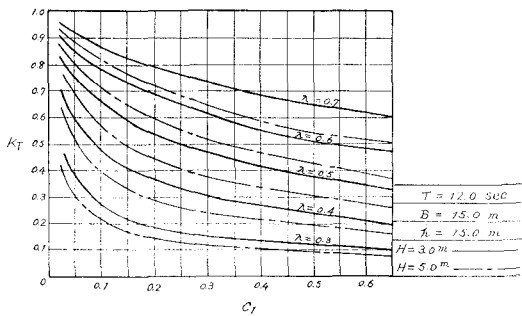
ここで抵抗係数はレイノルズ数、空隙率、粗度、粒径(粒状体以外では代表的な径)の関数であるが、空隙率は単一径の場合は径に無関係にほぼ一定となるので、抵抗係数と空隙率とを独立させて空隙率を0.3から0.7まで、抵抗係数は0.02から0.64までの値を与えた。

この結果が図—10, 11である。

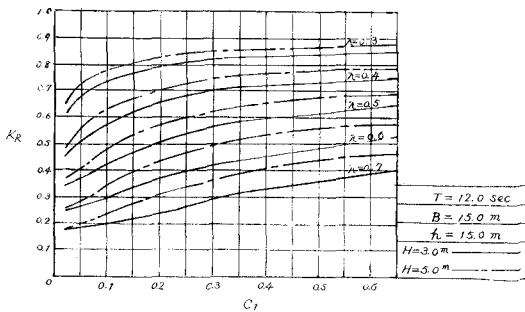
図—10で、抵抗係数が0.2位まで透過率に与える影響は非常に大きく、空隙率が小さくなる程この傾向がみられる。また空隙率が20%から30%大きくなると透過率は $\lambda = 0.6$ 位まで20%程増加する。



図—9 抵抗係数



図一10 抵抗係数と透過率



図一11 抵抗係数と反射率

図一11で、抵抗係数が透過率と同じように0.2位まで非常に影響を与える。空隙率が20～30%増加すると、反射率は約15%程減少する。概して言えば抵抗係数が0.4以上であれば反射率、透過率の変動は小さい。

5. 結 論

1) 空隙率が大きく空隙形状が比較的単純な防波構造物では反射率、透過率とも入射波の諸元の影響が大きく透過率は周期が大きくなる程、反射率は幅員が小さい程小さい値となる。

2) 透過性防波構造物の反射率、透過率を求める方法

として長波理論に基づく方法を示したが、規則的な形状の構造物及び石積のような場合かなりの範囲について使用できると認められる。

3) 幅員15m、水深15m、入射波高3, 4, 5, mで周期12秒の計算例から反射率、透過率に影響を与える抵抗係数の範囲は0.4位までである。

4) 3)と同じ計算例で、空隙率が20～30%変化すると透過率は20%、反射率は15%程変化する。

6. 後 記

抵抗係数の効果はいまだ研究不足で、明確な効果を把握することができない。さらにこれから幅員、空隙率、波高等を変えて研究する所存である。本研究は室蘭工業大学河海工学研究室にて行なわれたものであり、著者らは、境 隆雄教授の御支援と山口 一技術員の協力をえたので、ここで感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 近藤叔郎, 藤間聡: 透過性防波構造物の水理特性, 第17回海岸工学講演集, 昭45. 11.
- 2) 近藤叔郎: 透過性防波堤の伝達波, 第16回海岸工学講演会講演集, PP. 321～327, 昭44. 12.
- 3) 富永正照, 坂本忠彦: 透過性構造物による波の変形に関する研究(Ⅰ), 土木研究所報告 137 PP. 130～135.
- 4) A.M.Kamel: Water Wave Transmission through and reflection by Pervious Coastal structures WES RESEARCH REPORT H-69-1 oct. 1969
- 5) 尾崎晃, 沢村寿男, 新井泰澄: 捨石構造における空隙の効果に関する基礎的研究(Ⅱ), 第23回土木学会年次学術講演会講演概要(第Ⅱ部門), PP. 43～46. 昭43. 10.
- 6) 寺西弘治: 伊勢湾長大防波堤の計画及び設計上の諸問題に関する研究, 昭41.12.