

段上り型直立消波構造物の機能について

近 藤 俊 郎*

1. ま え が き

近年における直立消波構造物の発達、港湾・海岸の防波施設の歴史において特筆されるべきものであるが、さらに洗練されたものとするためには、研究されるべき問題が少なくない。

直立消波構造物の場合、設計波高や水深が大きい地点では、安定性や施工上の理由でマウンド上に設置したり、透水部が堤体の上部のみになっているなど、消波工(透水)部分が前後の水域に対して段上りとなっている型式が多いようである。この段上り部の反射率や伝達率に対する効果は実験的にはかなり知られている^{1)~3)}。しかし、段上り型消波構造物による反射や伝達などの理論的研究は少なく、うすい透水壁をもつ不透過堤を対象とした解⁴⁾や透水層がサンドイッチ状に挟まれた透過性防波堤を扱った理論⁵⁾が目につく程度である。それらにしても、実物への応用の立場からすると適用範囲がかなり限定されると思われる。本論文は消波工部を有限幅とし、沖側、岸側の水深が異なる段上り型消波構造物を対象とし、反射率、伝達率、堤体内水粒子速度などの推定理論を導びこうとするものである。この種の波浪変形問題は浅水波理論によるのが一般的であるが、計算が煩雑な割には長波理論によるものに比べてあまり精度は上っていない⁶⁾。ここでは一様水深の場合の透過堤に関する Madsen ら^{7),8),9)}と Kondo¹⁰⁾による長波理論解を拡張して、段上り型直立消波構造物に関する理論を導き、その効果を明らかにしようとするものである。

なお対象とする段上り型構造物は図-1, 4 に示すような透過堤および不透過堤であるが、段上り部が消波工部に比べてかなり透水性が低い石積マウンドのような場合にも、その解は近似的に適用できると考えられる。

2. 長波近似の解

(1) 基本式

透水性の堤体内の長波の連続、運動の方程式は下式で表現される¹¹⁾。

$$\lambda \frac{\partial \eta}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\frac{\tau}{\lambda} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + f \frac{\sigma}{\lambda} u = 0 \quad \cdots \cdots (2)$$

ここで、 u は水平水粒子速度(流量流速)、 η は水位、 h は水深、 λ は堤体の空隙率、 f は抵抗係数、 σ は角周波数 $=2\pi/T$ 、 T は周期、 τ は一種の慣性係数である。この式の解は次のようになる。

$$\eta = a e^{i(\sigma t - \bar{k}x)} + b e^{i(\sigma t + \bar{k}x)} \quad \cdots \cdots (3)$$

$$u = \sqrt{\frac{g}{h}} \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{\tau - if}} \cdot [a e^{i(\sigma t - \bar{k}x)} - b e^{i(\sigma t + \bar{k}x)}] \quad \cdots \cdots (4)$$

上の、 η , u の解は複素振幅 a , b が原点 $x=0$ で定義されている形となっているが、境界で発生すると考えられる波の場合は、その位置 x_1 で定義する方が便利である。その場合は上の解において、 x によって $(x-x_1)$ とおく。

$\bar{k}$ は次式で与えられる波数である。

$$\bar{k} = k \cdot \sqrt{\tau - if} = m - in \quad \cdots \cdots (5)$$

ここで

$$m = \sigma \sqrt{\frac{\tau}{gh} \left[\frac{1}{2} \{1 + \sqrt{1 + (f/\tau)^2}\} \right]} \quad \cdots \cdots (6)$$

$$n = \sigma \sqrt{\frac{\tau}{gh} \left[\frac{1}{2} \{-1 + \sqrt{1 + (f/\tau)^2}\} \right]} \quad \cdots \cdots (7)$$

堤体外の水域では、上出の(1)~(7)式について、 $\tau=1$, $f=0$, $\bar{k}=k=2\pi/L$ とおくことで所要の式となる。

堤体表面などのように異なる水域の境界における境界条件は、境界面の前後での質量ならびに運動量の保存から次式が成立する。質量保存則は、堤体の長さを B として下付 j は水域の番号を意味するものとして、下式となる。

$$(Bhu)_j = (Bhu)_{j+1} \quad \cdots \cdots (8)$$

また、運動量の保存則は一般に下式で表わされる¹²⁾。

$$\eta_j = \eta_{j+1} + M \frac{\partial u_{j+1}}{\partial t} + K |u_{j+1}| u_{j+1} \quad \cdots \cdots (9)$$

上式の右辺の第二、第三項については不明な点が多いが、ここでは第二項を無視し、第三項は後述のように堤体内の抵抗係数 f の中に含めて扱うことにして、(9)式は形式的には

$$\eta_j = \eta_{j+1} \quad \cdots \cdots (9')$$

* 正会員 室蘭工業大学教授 土木工学科

として解を求めることに
する。

(2) 透過堤

図-1 のようにモデル
化した透過堤につい
て解く。この場合、領
域3には進行波だけが
存在することに留意

し、単位長さ当りについて、境界条件の式、(8)、(9') を
 $x=0$ および l に適用すると下式の関係が得られる。

$$\sqrt{gh_1}(a_1 - b_1) = \sqrt{gh_2} \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{\tau - if}} \cdot (a_2 - b_2 e^{-i\bar{k}_2 l}) \quad (10)$$

$$a_1 + b_1 = a_2 + b_2 e^{-i\bar{k}_2 l} \quad (11)$$

$$\sqrt{gh_2} \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{\tau - if}} \cdot (a_2 e^{-i\bar{k}_2 l} - b_2) = \sqrt{gh_3} \cdot a_3 \quad (12)$$

$$a_2 e^{-i\bar{k}_2 l} + b_2 = a_3 \quad (13)$$

ここで入射波振幅 a_1 に対する比を

$$R_j = b_j / a_1, \quad T_j = a_j / a_1, \quad (j=1, 2, 3)$$

のように定義し、また、

$$\xi_{j\pm 1, j} = \left[\sqrt{\frac{h}{\tau - if}} \cdot \lambda \right]_j / \left[\sqrt{\frac{h}{\tau - if}} \cdot \lambda \right]_{j\pm 1}$$

とし、ここでは $j=2$ の場合とすると、(10)~(13) 式か
ら R_1, R_2, T_3 は次のように求まる。

$$R_1 = [(1 - \xi_{1,2})(1 + \xi_{3,2})e^{i\bar{k}_2 l} - (1 + \xi_{1,2})(1 - \xi_{3,2})e^{-i\bar{k}_2 l}] / B \quad (14)$$

$$R_2 = -2(1 - \xi_{3,2}) / B \quad (15)$$

$$T_2 = (2 + \xi_{3,2})e^{i\bar{k}_2 l} / B \quad (16)$$

$$T_3 = 4\xi_{3,2} / B \quad (17)$$

ここで

$$B = (1 + \xi_{1,2})(1 + \xi_{3,2})e^{i\bar{k}_2 l} - (1 - \xi_{1,2})(1 - \xi_{3,2})e^{-i\bar{k}_2 l} \quad (18)$$

また堤体内の水粒子速度の振幅 U_2 は次のように求ま
る。

$$U_2 = \frac{2a_1}{h_2} \cdot \sqrt{gh_1} \cdot \xi_{1,2} [(1 + \xi_{3,2})e^{i\bar{k}_2(l-x)} + (1 - \xi_{3,2})e^{-i\bar{k}_2(l-x)}] / B \quad (19)$$

反射率 K_R 、伝達率 K_T は下式で与えられる。

$$K_R = |R_1|, \quad K_T = |T_3| \quad (20)$$

K_R, K_T は本解法では、 $\lambda/\sqrt{\tau}, f/\tau, \lambda k_2 l, h_2/h_1, h_2/h_3$ の5変数の関数である。ここでは堤体内水深 h_2 の影響を明らかにするため、 $h_1 = h_3, \lambda/\sqrt{\tau} = 0.45$ のケースについての K_R, K_T の計算図表の例を図-2, 3に示してある。 K_R は h_2/h_1 の値が大きいくらい小さいが、その効果は f/τ が小さい堤体ほど顕著である。 K_T は逆に h_2/h_1 が小さい程小さくなり、その効果は f/τ が大きい程大きい。ただし、 h_2/h_1 の値によって f の値も支配されるので、図示のような K_R, K_T の変化がそのまま h_2/h_1 の

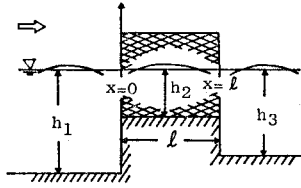


図-1 Cross Section of Pervious Structure

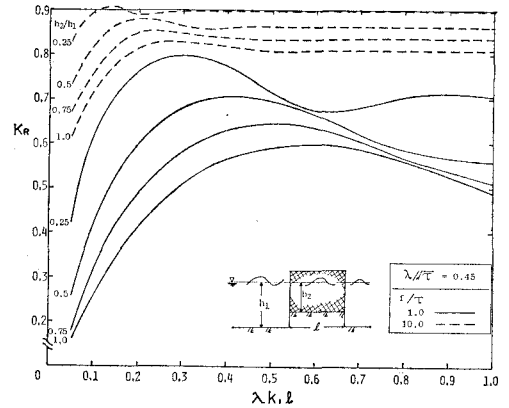


図-2 Reflection Coefficient of the Pervious Structure

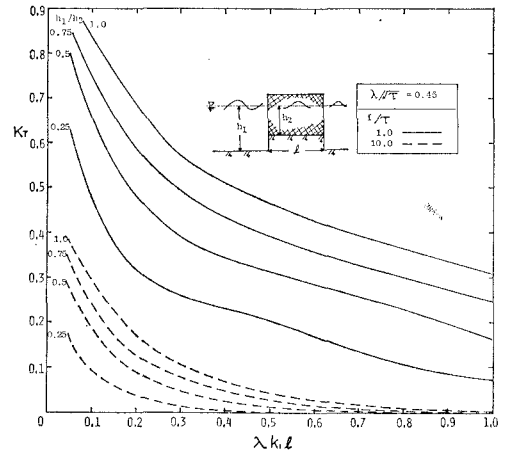


図-3 Transmission Coefficient of the Pervious Structure

効果とはならない。 K_R は $\lambda k_2 l$ によって振動するが、それは $\lambda k_2 l$ が小さいところで著しく、そこでは h_2/h_1 の効果も大きく現われている。精しく f/τ の効果を調べるには、 $h_1 = h_2 = h_3$ の場合についての Madsen (1976) の図表が参考になる。

(3) 不透過堤

図-4 のような不透過堤を対象とすると、 $x=0$ の条件式は透過堤と同じで、(10)、(11) 式が成立するが、領域3では後退波も出現することと、 $x=l_1+l_2$ で $u=0$ という条件が加わる。これより $x=l_1, l_1+l_2$ の条件は

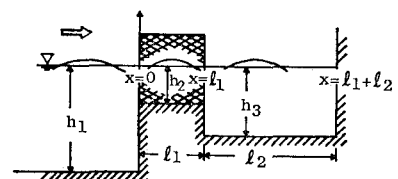


図-4 Cross Section of Impervious Structure

$$\sqrt{gh_2} \cdot \frac{\lambda}{\sqrt{\tau - if}} \cdot (a_2 e^{-i\bar{k}_2 l_1} - b_2) \\ = \sqrt{gh_3} (a_3 - b_3 e^{-i\bar{k}_3 l_2}) \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$a_2 e^{-i\bar{k}_2 l_1} + b_2 = a_3 + b_3 e^{-i\bar{k}_3 l_2} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$a_3 e^{-i\bar{k}_3 l_2} = b_3 \quad \dots\dots\dots (23)$$

ここで

$$F_+ = 1 + e^{-2i\bar{k}_3 l_2} \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$F_- = 1 - e^{-2i\bar{k}_3 l_2} \quad \dots\dots\dots (25)$$

なる関数を定義し、 $R_1 \sim R_3$, T_2 , T_3 を解くと下式となる。

$$R_1 = (1 - \xi_{1,2})(F_- + \xi_{3,2} F_+) e^{i\bar{k}_2 l_1} \\ - (1 + \xi_{1,2})(F_- - \xi_{3,2} F_+) e^{-i\bar{k}_2 l_1} / W \quad \dots\dots\dots (26)$$

$$T_2 = 2(F_- + \xi_{3,2} F_+) e^{i\bar{k}_2 l_1} / W \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$R_2 = -2(F_- - \xi_{3,2} F_+) / W \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$T_3 = 4\xi_{3,2} / W \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$R_3 = 4\xi_{3,2} e^{-i\bar{k}_3 l_2} / W \quad \dots\dots\dots (30)$$

ここで

$$W = (1 + \xi_{1,2})(F_- + \xi_{3,2} F_+) e^{i\bar{k}_2 l_1} \\ - (1 - \xi_{1,2})(F_- - \xi_{3,2} F_+) e^{-i\bar{k}_2 l_1} \quad \dots\dots\dots (31)$$

また堤体内の水平水粒子速度の振幅は、

$$U_2 = \frac{2a_1}{h_2} \cdot \sqrt{gh_1} \cdot \xi_{1,2} [(F_- + \xi_{3,2} F_+) e^{i\bar{k}_2(l_1 - x)} \\ + (F_- - \xi_{3,2} F_+) e^{-i\bar{k}_2(l_1 - x)}] / W \quad \dots\dots\dots (32)$$

となる。反射率 K_R は、下式で求められる。

$$K_R = |R_1| \quad \dots\dots\dots (33)$$

K_R は透過堤の場合の $\lambda/\sqrt{\tau}$, f/τ , $\lambda k_2 l_1$, h_2/h_1 , h_2/h_3 に加えて、 l_2/l_1 の関数でもある。図-5 は $l_1 = l_2$, $h_2 = h_3$, $\lambda/\sqrt{\tau} = 0.45$, $f/\tau = 1.0$, 10 の場合の K_R の計算結果を図示したものである。これによれば不透堤の

K_R は f/τ が大きいときは、 $\lambda k_1(l_1 + l_2) < 0.3$ で最小値をとり、 > 0.5 では h_2/h_1 が減少するに従って大きくなるような一定値をとる。 f/τ が小さいときには $\lambda k_1(l_1 + l_2)$ の値に従って顕著に振動し、 h_2/h_1 の効果は 0.5 付近で逆転している。

3. 抵抗係数 f の推定

f の値は $f\sigma u/\lambda$ が線形抵抗項であるので、 $\lambda g/\sigma f$ が透水係数に相当する。乱流抵抗も加えた Dupuit-Forchheimer 則型の抵抗を対象とし、一周期間の平均の第一近似を採用すれば、下式のようになる。

$$f = \frac{\lambda}{\sigma} \cdot \left[\alpha + \beta \frac{8}{3\pi} |\hat{U}| \right] \quad \dots\dots\dots (34)$$

ここで、 $\hat{U}$ は堤体全体を代表するような水平水粒子速度 $\hat{u}$ の振幅で、通常は堤体中央のそれが用いられる。 α , β は波動を対象として定められなければならないが、Shuto ら¹³⁾によれば波動に対する抵抗も、定常流の抵抗でほぼ準用できるとされている。定常流の損失水頭勾配と α , β の関係は

$$\frac{d\eta}{l} = \frac{u}{g} (\alpha + \beta u), \quad u > 0 \quad \dots\dots\dots (35)$$

である。 α , β については Madsen らは下の Engelund 表現を、石積の場合に採用している。

$$\alpha = \alpha_0 \frac{(1 - \lambda)^3}{\lambda^2} \cdot \frac{\nu}{d^2} \quad \dots\dots\dots (36)$$

$$\beta = \beta_0 \frac{(1 - \lambda)^3}{\lambda^3} \cdot \frac{1}{d} \quad \dots\dots\dots (37)$$

ここで、 ν は流体の動粘性係数、 d は石の平均径である。既往のデータを検討するとほぼ、 $\alpha_0 = 100 \sim 127$, $\beta_0 = 2.7$ が妥当とされている¹⁴⁾。異形ブロックについては富永ら¹⁵⁾は、数種類について定常流実験を行ない、その結果を (35) 式を一部修正した形の石積に関する式に適用してまとめている。その際、 α_0 , β_0 に相当する係数を一定に保ち、 d をブロックの種類、寸法に応じて変化させて整理している。しかし、その方法は合理的とは言えず、やはりブロックの種類によって α_0 , β_0 が異なるとし d はブロックの寸法により決まると考えるのが妥当である。そこで、ここでは (36), (37) 式で各ブロックの α_0 , β_0 を推定し、その場合 d としてはブロック個体の体積 V を立方体に置き変えた場合の辺長とする。すなわち

$$d = V^{1/3} \quad \dots\dots\dots (38)$$

そのようにして富永らのデータを用いて推定した、各種の異形ブロックの α_0 , β_0 は表-1 のようになる。

多孔壁やスリット壁のようなうすい透水壁の定常流の損失水頭は、1枚の壁について次のように表現する。

$$\Delta h = C_t \cdot \frac{u^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (39)$$

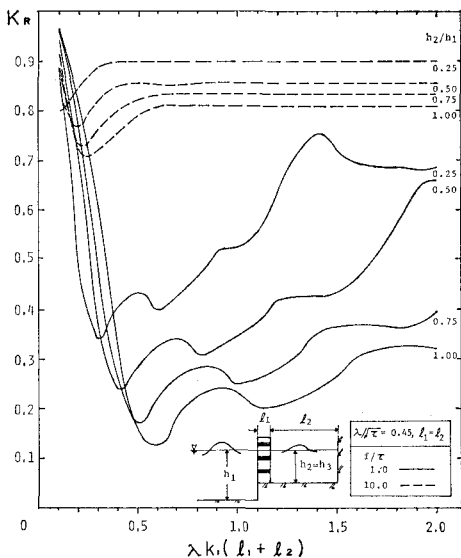


図-5 Reflection Coefficient of the Impervious Structure

表-1 各種異形ブロックの α_0 と β_0

ブロックの 種 類	テトラ ポッド		六 脚		中空三角		ホロー スケヤ		三 連	
	整積	乱積	整積	乱積	整積	乱積	整積	乱積	整積	乱積
α_0	1 200	2 100	19 000	5 000	3 500	9 600	800	1 500	1 300	2 100
β_0	1.7	2.2	7.1	3.5	2.9	4.7	1.4	1.8	1.7	2.2

損失係数 C_i は円形多孔壁については近藤ら^{16),17)}が調べ
ており、またスリット壁については Mei ら¹⁸⁾の提案が
ある。

(2) 段の上り, 下りによる損失

段上り型消波構造物の場合、段の両端での流水断面積
の急変にともなう損失抵抗が発生する。これを、二次元
定常流的に扱うとすると、管水路の断面の急縮・拡の考
え方を準用して次のように推定される。段上り部の海側
端すなわち段の上りによる損失水頭は

$$\Delta h_s = \zeta_{s,r} \cdot \frac{u_2^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(40)$$

$u_2 \geq 0$ のときは、 h_0 を段上を縮流して通過する水流の
最小高さとする、損失係数 $\zeta_{s,r}$ は次式で示される。

$$\zeta_{s,r} = \left(\frac{h_2}{h_0} - 1 \right)^2 \quad \dots\dots\dots(41)$$

$u_2 \leq 0$ のときは

$$\zeta_{s,r} = \left(1 - \frac{h_2}{h_1} \right)^2 \quad \dots\dots\dots(42)$$

段上り部の岸側端すなわち段の下りでの損失係数 $\zeta_{s,r}$
は、 $\zeta_{s,r}$ 同様に u_2 を用いた (40) 式で定義すると

$$\zeta_{s,r} = \left(1 - \frac{h_2}{h_3} \right)^2, \quad \text{ただし } u_2 \geq 0 \quad \dots\dots\dots(43)$$

$$\zeta_{s,r} = \left(\frac{h_2}{h_0} - 1 \right)^2, \quad \text{ただし } u_2 \leq 0 \quad \dots\dots\dots(44)$$

となって $\zeta_{s,r}$ とは u_2 に関して逆の関係になる。実際
の計算には h_0 が良く知られていないから、 u_2 の正負に
関わらず上りでは (42) 式を、下りでは (43) 式を用い
ることが考えられる。

(3) 消波工部表面での流入流出による損失

消波工部すなわち透水性堤体の表面での水粒子の流
入、流出に伴う損失水頭を Δh_i とすると

$$\Delta h_i = \zeta_i u^2 / 2g \quad \dots\dots\dots(45)$$

おくことができ、それは前後両面について生ずる。流出
入の損失係数 $\zeta_{i,r}$, $\zeta_{i,l}$ は流水断面の急変によって起こ
るから、それらは (42), (43) 式の h_2/h_1 あるいは h_2/h_3
を空隙率 λ で置き換えた $\zeta_{s,r}$ あるいは $\zeta_{s,l}$ に等しい。

(4) 各種の損失を取り入れた場合の f の修正値

(2), (3) の損失は段の両端や消波工の表面など、きわ
めて短い区間で起こると考えられる。これらの損失をそ
れぞれの位置で厳密に取り入れた波の変形理論は、2 節
のような解を数度にわたって重ね合わせることになり煩雑
である。そこで (2), (3) の損失を摩擦損失 f_{ou}/λ の

中に含めてしまうと、2 節の式で計算が可能になる。具
体的には f に替えて次式で与えられる f' を用いるこ
とになる。

$$\left. \begin{aligned} f' &= f + \frac{\lambda}{2l_1 \sigma} [\zeta_{s,r} + \zeta_{s,l} + \zeta_{i,r} + \zeta_{i,l}] \cdot |u| \\ &= \frac{\lambda}{\sigma} \left[\left(\alpha + \frac{8}{3\pi} \beta U \right) \right. \\ &\quad \left. + \frac{4}{3\pi l_1} \cdot U (\zeta_{s,r} + \zeta_{s,l} + \zeta_{i,r} + \zeta_{i,l}) \right] \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(46)$$

4. 慣性係数について¹⁹⁾

(2) 式中の慣性係数 τ は、粒状体については付加質量
係数を κ 、質量係数を $C_M (=1-\kappa)$ とすると下の関係が
ある。ただし C_M は実流速 u/λ について定義する。

$$\tau = 1 + \kappa(1-\lambda) = \lambda + (1-\lambda)C_M \quad \dots\dots\dots(47)$$

ブロック積のように空隙の寸法が固体のそれと同程度
であれば κ は

$$0 \leq \kappa \leq \frac{\lambda}{1-\lambda} \quad \dots\dots\dots(48)$$

と考えられるから、結局 τ の範囲としては下の通りとな
る。

$$1 \leq \tau \leq 1 + \lambda \quad \dots\dots\dots(49)$$

スリットなどうすい透水壁に関しての一種の慣性係数
として用いられる見掛けのオリフィス長さ $\mathcal{L}$ と τ の関
係は、 Δx を透水壁の水平厚さとするとき

$$\frac{\tau}{\lambda} = \frac{\mathcal{L}}{\Delta x} = 1 + \frac{(1-\lambda)}{\lambda} \cdot C_M \quad \dots\dots\dots(50)$$

となる。多孔壁の $\mathcal{L}$ や C_M については実験的に調べら
れており、またスリット壁についての理論的推定法も提
案されている。

5. む す び

入射波の諸元ならびに構造物の諸性、寸法などが与え
られると、3, 4 節の方法で f や τ を推定し、2 節の
理論によって反射率や伝達率が計算できる。その際に f
を推定するには、透過堤では (19) 式、不透堤では
(32) 式で与えられる U_2 と (34) 式とで f と U_2 を繰
返し計算により定める必要がある。本理論の実験値との
照合や実物への計算例さらには簡略計算法などについて
は紙数の都合により割愛した。今後は波力の推定方法な
どについても研究を行なう所存である。

終りに本研究の過程で、本学大学院生高橋幹夫君の熱
心な協力を得たことを記し、感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- 1) 井島武士・奥田英明・牛房幸久：直立消波護岸の構造と周
波性特性について、第 24 回海岸工学論文集, pp. 255~
260, 1977.

- 2) 中村竜二・柳島慎一・田川昌宏: スリットケーソンの消波機能に関する実験, 第 33 回土木学会年次学術講演会概要集, 第 2 部, pp. 748~749, 1978.
 - 3) 時川和夫: スリット型ケーソンタイプ特殊防波堤の開発, 第 26 回海岸工学論文集, pp. 328~332, 1979.
 - 4) Terrett, F. L., J. D. C. Osorio and G. H. Lean: Model studies of a perforated breakwater, Proc. of 11th Conf. on Coastal Engrg., ASCE, Vol. II, pp. 1104~1120, 1968.
 - 5) Steimer, R. B. and C. K. Sollitt: Non-conservative wave interaction with fixed semi-immersed rectangular structures, Proc. of 16th Coastal Engrg. Conference, ASCE, Vol. III, pp. 2209~2227, 1979.
 - 6) Madsen, O. S.: Wave transmission through porous structures, Jr. of Watys., Harbors and Coastal Engrg. Div., Proc. of ASCE, Vol. 100, WW 3, pp. 169~188, 1974.
 - 7) 前出 6).
 - 8) Madsen, O. S. and S. M. White: Reflection and transmission characteristics of porous rubble mound breakwaters, Rt. No. 207, R.M. Parsons Lab., MIT, 183 p., 1975.
 - 9) Madsen, O. S.: Discussion of 6) (Closure), Jr. of Watys., Harbors and Coastal Engrg. Div., Proc. of ASCE, Vol. 102, WW 1, pp. 94~97, 1976.
 - 10) Kondo, H.: Discussion of 6), Jr. of Watys., Harbors and Coastal Engrg. Div., Proc. of ASCE, Vol. 101, WW 3, pp. 300~302, 1975.
 - 11) 近藤俊郎: マウンド上の消波構造物に関する長波理論, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 36 号, pp. 119~124, 1980.
 - 12) Mei, C. C., P. L. F. Liu and A. T. Ippen: Quadratic loss and scattering of long waves, Jr. of Watys., Harbors and Coastal Engrg. Div., Proc. of ASCE, Vol. 100, WW 3, pp. 217~239, 1974.
 - 13) Shuto, N. and H. Hashimoto: Hydraulic resistance of artificial concrete blocks, Coastal Engrg. in Japan, Vol. 13, pp. 43~50, 1970.
 - 14) 前出 6) または 8).
 - 15) 富永正照・坂本忠彦: 異形ブロックの抵抗係数について, 土木学会第 25 回年次学術講演会講演集, 第 2 部, pp. 69~70, 1970.
 - 16) Kondo, H.: Analysis of breakwaters having two porous walls, Coastal Structures '79, ASCE, Vol. II, pp. 962~977, 1979.
 - 17) 近藤俊郎・佐藤隆一: 多孔壁の損失係数と見掛けのオリフィス長さの推定, 第 26 回海岸工学論文集, pp. 333~337, 1979.
 - 18) 前出 12).
 - 19) 前出 10) ならびに 17).
-