

消波工をもつ直立壁に作用する波圧の推定

室蘭工業大学 正会員 ○近藤 俊郎

室蘭工業大学 正会員 葛西 勝栄

1. ま え が き

防波堤、離岸堤、海岸堤防などの防波構造物は、苛酷な海の自然条件のもとで、波浪を効果的に防ぐことを要求される。その際、防波機能としては、岸側のみを防ぐことに留まらず、構造物の大型化・大水深化にもなつて、海側への反射波エネルギーを小さくする機能をも含めて評価されるべきである。

1950年代以降、我国で普及した不透過壁体の海側を石や異形ブロック積で被覆するいわゆる消波工は、上記の反射波に加えて、波の打上げや越波量を軽減できることが多くの実験や実施例に関する観測などから認められている。しかし、被覆された不透過壁に作用する波力については、個々の消波工ごとにかなり詳しく研究されているが、機構が複雑なためその統一的な推定法は確立されていなかった。

筆者の一人は¹⁾、先に立体格子型の材料を消波工とした一連の波圧実験を行ない、一般に透水性消波工を有する直立壁に働く波圧の一つの推定法を提案している。

本論文は、異形ブロック消波工についての既往の波圧実験値について、筆者の方法で計算値を求めて、その適用性を検討するとともに、消波工構造のあり方についても考察するものである。

2. 波 圧 推 定 法¹⁾

消波工天端を波が越えないような場合について、透水性材料からなる消波工をもつとき、その背後の壁体に作用する波圧は図-1のような分布をするものとする。消波工天端を越えないという条件は、消波工天端高を h_{ca} 、入射波高を H とするときおよそ、

$$h_{ca} \geq H, \text{ として良い。}$$

右図において、静水面上に出現する最大波圧強度

p_{max} 、水底の波圧強度 p_b は下式で与えられる。

$$(i) \quad p_{max} = \alpha w_0 H_T \quad \text{--- (1)}$$

ただし H_T は不透過壁がないとしたとき消波工部を通過して陸側水域に伝達される伝達波高である。

また α は波圧係数であつて、

$$\alpha = 2.0, \text{ ただし } B/L \geq 0.4 \quad \text{--- (2)}$$

$$\alpha = 3.0, \text{ ただし } B/L \geq 0.3,$$

$$\text{かつ } p_{0, max}/w_0 H \geq 2.0 \quad \text{--- (2')}$$

こゝで B は消波工の幅員、 L は消波工内の波長であり、また $p_{0, max}$ は消波工が無い場合の直立部に作用する最大波圧強度である。

$$(ii) \quad p_b = 1.25 w_0 H_T \quad \text{--- (3)}$$

(iii) R_a は波圧作用の最大高である。実際には消波工を有する壁体への打上げ高をとることとする。

式(1), (3)における H_T は理論的に推定することができる。(2), (2')の条件に合わない場合については、 α は $\alpha_0 (= p_{0, max}/w_0 H)$ よりも相当大きいこともある。ただし、 w_0 は水の単位体積重量、 H は入射波高である。

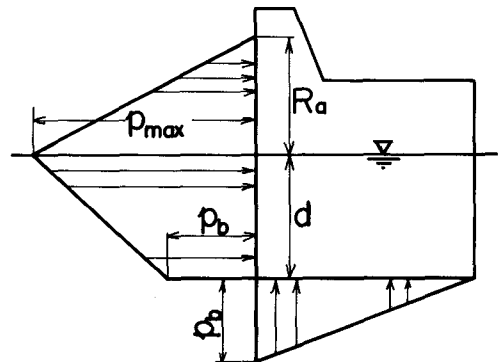
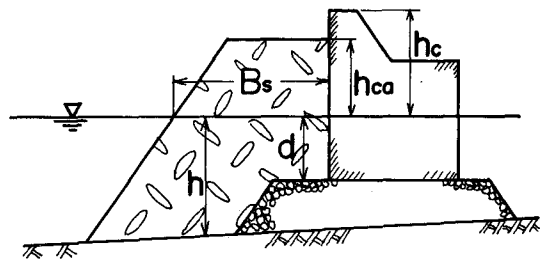


図-1 消波工をもつ直立壁に作用する推定波圧

3. 伝達波高 (H_T) の計算

前節の諸式から知れるように、波圧を計算するには、消波工のみを通過して岸側水域に出現する仮想的な伝達波高 H_T を知らなければならない。石あるいは異形ブロックなどの透水性材料でつくられた構造物を通過する伝達波高を推定する理論的方法は、近年急速な進歩を遂げ、その有効性が認められている^{2)~6)}。

それらは、透水層内を進行する水波を線形抵抗を受ける不定流の基礎方程式から導き、その解をもとにして、表面などでの境界条件によって、伝達波あるいは反射波を求めているものである。 H_T の理論的計算法に関する、現段階での基本的な仮定はおおよそ次のようなものである。

- (1) 構造物は均一な材料からなるとみなされる直方体、あるいはいくつかの直方体の重ね合わされたものとする。すなわち、表面あるいは境界面は鉛直である。
- (2) 抵抗則としては Forchheimer 則をとることとするが、その場合、方程式中の抵抗項は線形化して置き、解について試算法を用いて、非線形抵抗の場合の近似解とする。
- (3) 抵抗係数としては定常流の値をそのまま使用する。
- (4) 波は微小振幅波である。

上述の(1)に関連して、実際の透過性防波堤などの場合は表面が傾斜しているのが通例であるが、そのような場合には等価とみなされる直方体に置き換えて計算する。したがって、波の変形に及ぼす斜面の効果やそれに関連する抵抗は考慮に入らない。等価直方体の幅員としては、近似的に水中部分の平均幅員とか静水面の幅員 B_g (図-1参照)をとることがある。

以下に示す波圧の推定においては、 H_T の推定は長波理論に基づく筆者らの方法^{3)~5)}を用いて行なわれる。その際、定常流のエネルギー勾配 ($\Delta h/l$) は次式の表現を使用する。

$$\left(\frac{\Delta h}{l}\right) = \frac{C_1}{D \lambda^5} \cdot \frac{V^2}{2g} = \frac{1}{D \lambda^5} \cdot \left[C_2 \left/ \left(\frac{DV}{\nu} \right) + C_3 \right] \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

ここで V は平均流速、 g は重力加速度、 D は材料の代表的寸法、 λ は空隙率、 ν は動粘性係数である。 C_1 は抵抗係数であるが、それはまた近似的に層流と乱流の抵抗に関する係数 C_2, C_3 を用いて表現できる。異形ブロックの C_2, C_3 は首藤^{7), 8)} のデータから定めることにするが、その場合、(4)式との関連でいわゆる“管抵抗モデル”に従って決める必要がある。等価直方体の幅員は、 d/H が小さいことと、 p_{max} が静水面付近に出現していることを考慮して B_g を採用することにする。 H_T および L^* の計算に際しての水深としては d をとることとするが、 L^* は $L/L = (C/\sigma)$ を計算しその値に小振幅波理論による L を乗じて求められる。

4. 計算結果と考察

以下、既往の異形ブロック消波工に関する実験について計算結果を、各実験値と類似した様式で示す。

- 1) 近藤の実験⁹⁾ 北海道開発局土木試験所の大型造波水路 (73.4 × 1.8 × 1.8 m) でテトラポッド消波工を対象に行なわれたものである (図-2)。

図-3の実験値は各点の最大波圧強度を示すもので、同時波圧ではない。直立堤のみにおける波圧強度は、同図中の(a)は重複波圧に近いものであり、(b)はかなり強い砕波圧、(c)は

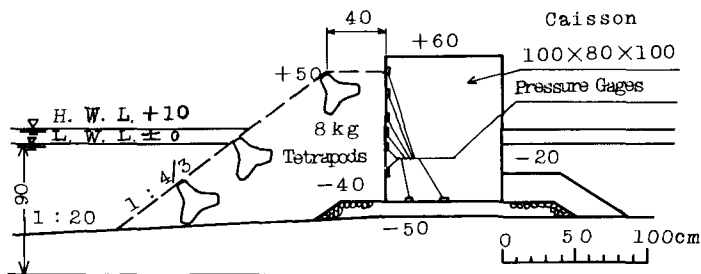


図-2 近藤による波圧実験堤体断面⁹⁾

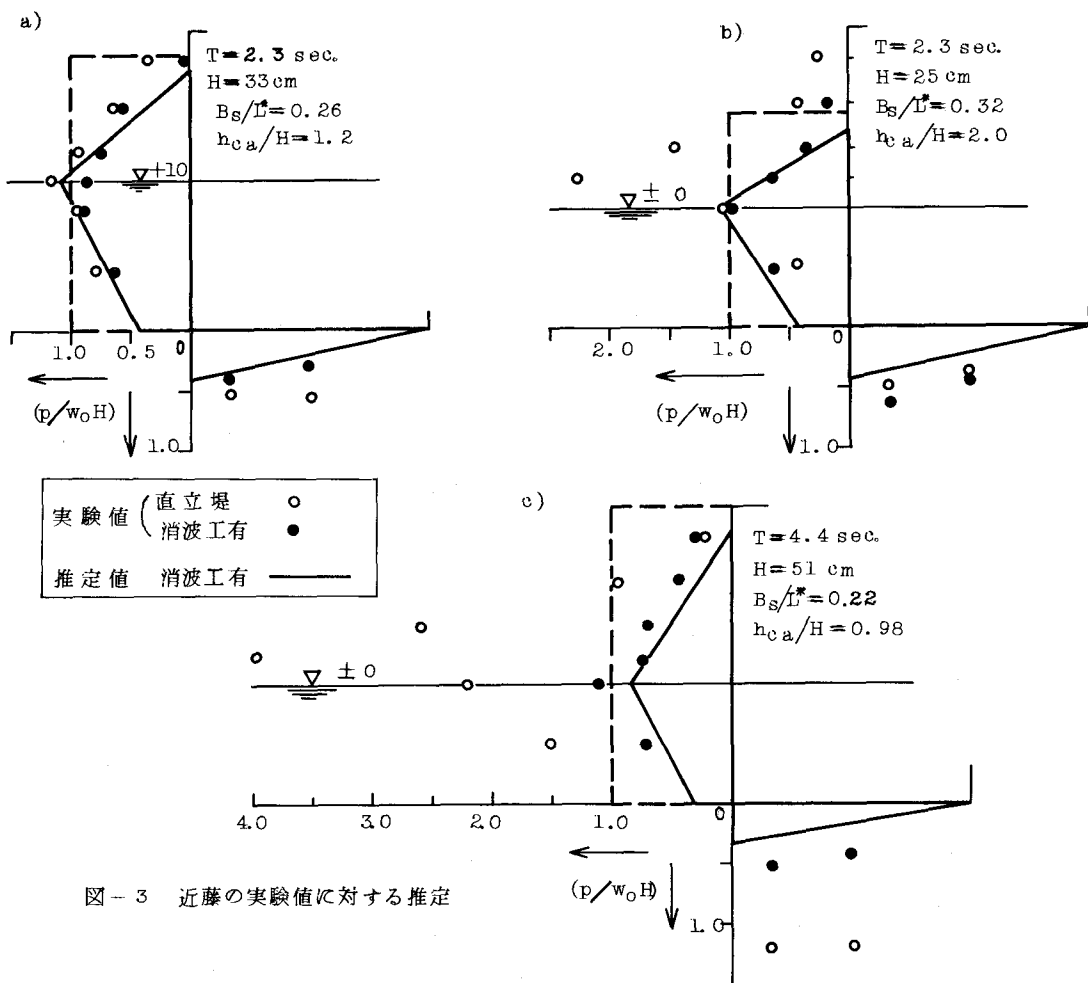


図-3 近藤の実験値に対する推定

実験のうちで最も強い波圧の例である。消波工で被覆後の波圧は直立堤の場合よりも小さくなっている。3例のうちで、厳密に2節の適用範囲にあるものは(b)のみであるが、(a), (c)についても $p_{\max}$ は(2)式で計算してある。実線で示してある推定値をみると、水平波圧に関しては(a), (b)はかなり良い近似を与えるが、(c)では小さい値を与える。この例では B/l^* の条件をかなりはずれていることもその原因となつている。揚圧力については、(3)式にもとづく推定値が小さい値を与えているが、これは本実験の揚圧力は比較的大きいことに関連している。

2) 鴻上・時川の実験¹⁰⁾ 鴻上と時川は長さ28mの水路において2, 3種類の異形ブロック消波工について、その施工段階に対応して波圧がどのように変化してゆくかにつき調べている。ここでは、そのうちで直立部および消波工天端が最も高い場合について、最大同時波圧で示している。図-4は中空三角ブロックと六脚ブロックの消波工について、2種類の周期についての結果をあらわす。いずれも $h_{ca}/H = 0.6$ であるから、波は消波工天端を越えて直立部に作用しているようである。このため、静水面上では実験値の方がかなり大きいこともある。しかし $B_s/l^* \geq 0.25$ の場合は、かなり良く推定されていると認められる。

3) 森平らの実験¹¹⁾ 森平らはテトラポッド消波工について全波力測定装置を用いて、3種類の消波工形状について、水底勾配と入射波高を変化させて波力を測定した。ここではそのうち最も大型の消波工につ

実験値	直立堤	○
	$h_{ca} = -27.5 \text{ cm}$	○
	$h_{ca} = 15 \text{ cm}$	●
推定値	$h_{ca} \geq H$	—

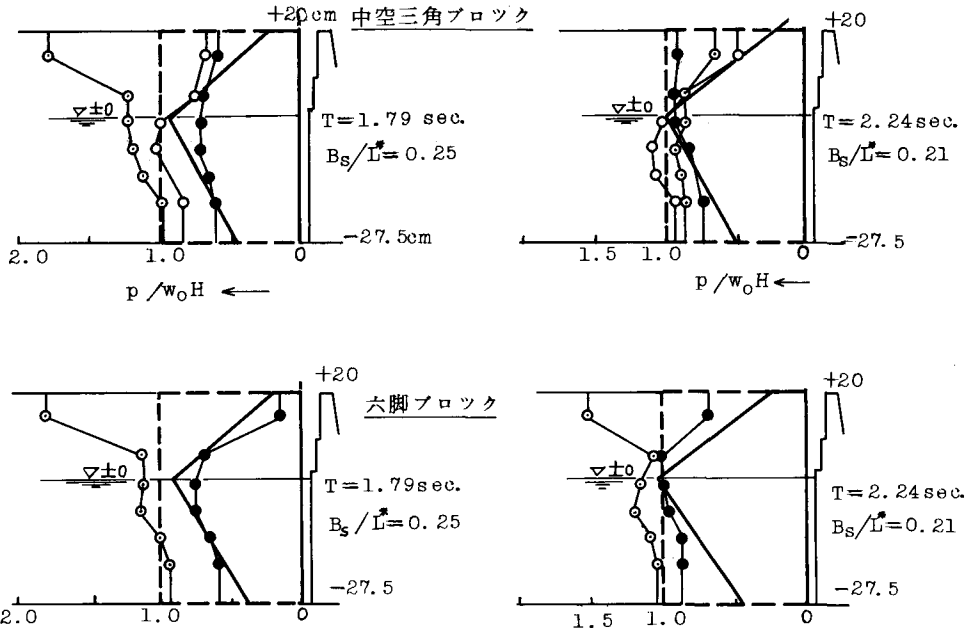


図-4 湧上・時川の実験値¹⁰⁾に対する推定 ($H=25 \text{ cm}$, $h_{ca}/H=0.60$)

いての実験値につき計算している。全波圧 P は図-5 に示すように波力係数 P/w_0HA ，ただし A は受圧面積，で示してある。図-5 より $d/H_0 \geq 1.0$ のときには推定値はかなり良く実験値に合っている。こゝで， H_0 は深水波高である。 $d/H_0 < 1.0$ の領域は， d と h_{ca} が一定である本実験の場合， $h_{ca}/H < 1.0$ となるので推定値が小さくなる傾向をもつ。このことは， $h_{ca}/H < 1.0$ では，越波により無次元波圧強度 p/w_0H が増大するのに対して，受圧面積は変化しないためと考えられる。

4) 堀川・宮崎の実験¹²⁾ 堀川らは表層がテトラポッド，内層が石の二層からなる消波工をもつ直立部に作用する波圧などを調べ，直立部の場合と比較している(図-6)。実験値は直立部の場合の全波圧との比で与えられているが，それを整理し直すと単位長さ当りの無次元全波圧 P/w_0Hd はおよそ d/L と h_{ca}/H との関数として図-6 の破線のように示される。なお，テトラポッド単層の場合の全波圧は二層の場合の約 1.4 倍であった。

この例のような複層の透過性構造物の伝達波の推定は，従来，それを仮想的な単層に置き換える方法⁶⁾もあるが，こゝでは表層コア，コア表層などの境界による波の変形¹³⁾を考えた方法で H_T を求めている。

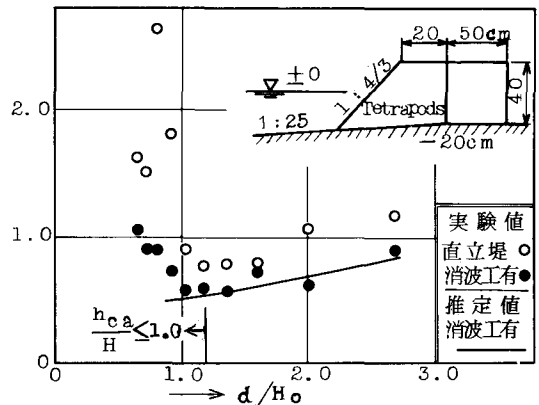


図-5 森平らの実験値¹¹⁾に対する推定

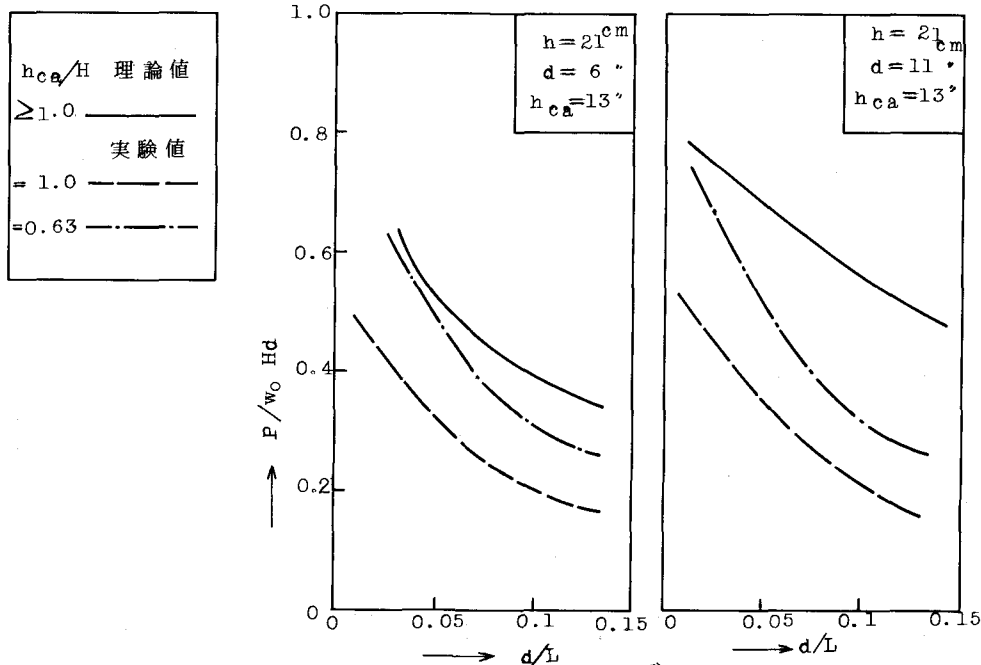


図-6 堀川・宮崎の実験値¹²⁾に対する推定

そのようにして計算した $P/w_0 Hd$ の推定値は同図の実線のように得られた。同図より推定値は全体的に大きい値を与えていることが知れる。この理由は、本実験では防波堤前方の水平部分が長いため、直立部のみの場合に作用する波圧そのものがかなり小さいことと、また内層があるので波の打上げ高が入射波高 H よりもかなり小さいことに関連している。

なお、本節の計算では空隙率や個体寸法が明確にされていない場合もあったが、その時には一般に知られている値を用いている。

5. む す び

波圧、とくに砕波の波圧は直立堤や混成堤直立部に作用する場合でさえも多くの要素が影響し、波圧式を理論的に求めることは不可能で、実験データなどに基礎をおく半経験式に頼らざるを得ない¹⁴⁾。

加えて、石や異形ブロックの消波工は空隙の寸法や空隙率が大きいし、斜面をなしていることから、その背後の壁体に作用する波圧を直接理論的に導びくことは至難である。

しかし、ここで示されたように、消波工の伝達波高を推定し、それを直立堤の場合のような波高-波圧の関係に当てはめて、消波工設置後の波圧を推定する方法は、有力な手法である。今後、伝達波高推定上の不明点を解決することによって、推定波圧の精度を上げることが期待できる。

またこの波圧推定法は、2節に示した適用条件から多少はずれている場合でもかなり良い近似値を与えている。けれども、それらの条件から大きくはずれるようなケースでは消波工の存在による波圧の減少は期待しない方が良くと考えられる。

さらに異形ブロック消波工の構造形状については、上出の実験を含む既往の研究成果を検討すると、次のようなことが言える。

- (1) 消波工を設置する際には、天端高を波の打上げ高よりも低くしない方が良い。
- (2) 内層に表層に比べて抵抗の大きい小寸法の材料を用いた複層構造が望ましい。

(3) (1)を満足させるためには、水深が大きくなると従来のようなブロック積では不経済になるので、斜面勾配がより急にできるような材料・工法、あるいは直立の消波工が開発される必要性がある。

本研究の一部は文部省科学研究費（自然災害特別研究 代表 岩垣雄一）によつてなされたことを付記する。

終りに際し、北海道開発局土木試験所の時川港湾研究室副室長から実験データについてご協力いただいたことと、室蘭工大河海工学研究室の藤間講師、加納技官の助力を得たことを記して感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) Kondo, Hideo: 土木学会論文報告集, 223号, 1974.
- 2) 富永正照・坂本忠彦: 16回海岸工学講演集, 1969.
- 3) 近藤俶郎: 16回海岸工学講演集, 1969.
- 4) 近藤俶郎・藤間 聡: 17回海岸工学講演集, 1970.
- 5) 同 . 同 : 18回海岸工学論文集, 1971.
- 6) Sollitt, C. K. and R. H. Cross.: MIT Parsons Lab. Rt. No. 147, 1972.
- 7) 首藤伸夫: 16回海岸工学講演集, 1969.
- 8) Shuto, Nobuo and H. Hashimoto: Coastal Engrg. in Japan, Vol. XIII. 1970.
- 9) 近藤俶郎: 第18回海岸工学論文集, 1971.
- 10) 鴻上雄三・時川和夫: 土木試験所報告, 53号, 1970.
- 11) 森平倫生・柿崎秀作・菊谷 徹: 港湾技術研究所報告, 6巻4号, 1967.
- 12) 堀川清司・宮崎和行: 20回海岸工学論文集, 1973.
- 13) 近藤俶郎・藤間 聡・葛西勝栄: 29回土木学会年次学術講演概要集(2), 1974.
- 14) 合田良実: 港湾技術研究所報告, 12巻3号, p31, 1973.