

CLASHデータベースに基づく統一的越波流量 推定式の提案

PROPOSAL OF UNIFIED FORMULAS FOR WAVE OVERTOPPING RATE OF SEAWALLS BASED ON CLASH DATABASE

合田良実
Yoshimi GODA

名誉会員 工博 横浜国立大学名誉教授 (株) エコー (〒110-0014 東京都台東区北上野 2-6-4)

A set of unified formulas for prediction of wave overtopping rate at coastal structures have been derived by analyzing the CLASH database. The new formulas are applicable for vertical seawalls, smooth impermeable slopes, and composite seawalls with frontal mounds built with Tetrapods. The formulas are simple but cover the full range of water depth from the shoreline to deep water. The effects of the toe depth and the seabed slope on wave overtopping rate are duly incorporated in the formulas. Prediction performance of the new formulas is better than the EurOtop formula for both vertical walls and inclined seawalls.

Key Words : *Wave overtopping rate, vertical seawall, sloped seawalls, seawalls with Tetrapods, CLASH database*

1. まえがき

海岸護岸や海岸堤防の計画では最初に天端高を設定する必要があり, そのため計画潮位・波浪による越波流量を適切に推定することが要求される. 重要な海岸保全施設については, 設計のつど水理模型実験を行って防波機能を確認するけれども, 基本設計の段階では合田ら¹⁾による越波流量推定図表その他が利用される. ただし, 図表のままでは設計に不便な場合があり, 高山ほか²⁾は直立護岸の越波流量図表を複数の経験式の組合せで近似している. 一方, 緩傾斜護岸については玉田ほか³⁾が3割, 5割および7割勾配傾斜護岸の越波流量算定図表を発表しているが, 越波流量の推定式は未だ作成されていない.

ヨーロッパ諸国, 特にイギリス, オランダ, ドイツでは高潮防御が重要な課題であり, 堤防への波の打ち上げや越波についての活発な研究が行われてきた. この三国では, それまで独自に展開してきた越波流量算定法の統一を図るために共同研究を行い, 2007年7月に「EurOtop越波マニュアル」と略称される報告書⁴⁾を発表した. このマニュアルの全文181頁は www.overtopping-manual.com からダウンロード可能である.

このマニュアルのデータは複数のEUの科学技術共同プロジェクトの成果, なかでも CLASH (Crest Level Assessment of coastal Structures by full-scale

monitoring, neural network prediction and Hazard analysis on permissible wave overtopping) と名付けられた, 越波の現地観測, 縮尺効果, 許容越波量に関するプロジェクトに負うところが大きい. このプロジェクトでは, これまでに各研究機関で実施された越波実験ならびに現地越波観測のデータを収録した大規模なデータベース (Van der Meerほか⁵⁾) も構築している. Verhaeghe⁶⁾はこのデータベースに基づいてニューラルネットワークを開発するとともに, データベースの内容を解説した学位論文を発表している. この論文およびデータベースそのものも, www.clash-eu.org からダウンロードできる.

「EurOtop越波マニュアル」では傾斜護岸と直立護岸の越波流量推定式が記載されており, いずれも堤前有義波高をパラメータとしている. これはわが国で使われている越波流量図表のパラメータが換算沖波波高であることと異なっている. また, 無次元越波流量を相対天端高の上昇に応じて指数関数的に低減するとして扱っている. しかし, これらの越波流量推定式の信頼度については明確には記述されていない. そこで, CLASHデータベースに記載されている諸データのうちから直立護岸ならびに不透過滑斜面の越波量データを抽出して解析し, 新しい統一的越波流量推定式を案出した. この成果が今後の海岸保全施設の計画・設計に役立つことを期待するものである.

2. CLASH データベースと検定データの抽出

このデータベースは、これまでに実施された各種の越波実験・観測データを整理し、広く利用されることを目的としたもので、2002年の段階で5909データが収集された。著者もこの企画に賛同して港湾技術研究所の実験データ¹⁾のデータを提供した。また、電力中央研究所の現地観測データ⁷⁾も榊山氏が提供した。2005年に完成したときには、163種類の実験・観測シリーズから引き出された10,532個のデータを記載している。

このデータベースの記載事項は、波浪諸元と越波量に関する11項目、護岸・堤防の形状諸元に関する17項目、データセット番号ほかの5項目からなっている。波は最も沖側の測定地点と構造物の前面地点の2個所のスペクトル有義波高と3種類の周期(T_p , $T_{m-1,0}$, および T_{mean})の測定結果が記入されている。ただし、全ての波高・周期が観測されているわけではなく、沖波のみのデータに対してはSWANモデルを適用して構造物の前面地点のスペクトル有義波高を計算している。

今回の解析では、直立壁の越波データならびに一樣な滑斜面の越波データを抽出した。前者は11シリーズのデータセットから715組のデータを抽出した。データベースには、これ以外にも壁面が不透滑面以外のデータや、波返し工が付いた護岸の実験データも記載されていたが、これらは対象外とした。

滑斜面のデータは、斜面が不透滑であって、形状が複雑でない1254データを24シリーズのデータセットから抽出した。直立壁、滑斜面とも、直入射のデータに限定している。

これらのデータの概要ならびに越波流量推定式との適合度の詳細については、合田⁸⁾を参照されたい。

3. 護岸前面波高の推定法の検定

「EurOtop越波マニュアル」のように護岸前面の有義波高を用いて越波流量を推定する際には、波高の推定精度を確認する必要がある。ここでは、著者⁹⁾が1975年に提案した碎波帯内の波高の略算式を用いる。この略算式では、水深 h における有義波高 $H_{1/3}$ を次式で算定する。

$$H_{1/3} = \begin{cases} K_s H_0' & : h/L_0 \geq 0.2 \\ \min\{\beta_0 H_0' + \beta_1 h, \beta_{max} H_0', K_s H_0'\} & : h/L_0 < 0.2 \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 H_0' は換算沖波波高、 K_s は浅水係数であり、 β_0 , β_1 , および β_{max} は式(2)のように海底勾配 $\tan\theta$ と波形勾配 H_0'/L_0 の関数として与えられる。

なお浅水係数は、本来は非線形浅水効果を考慮して算定するけれども、越波流量のデータ解析では、計算を簡単にするため線形浅水係数を使用した。

$$\left. \begin{aligned} \beta_0 &= 0.028(H_0'/L_0)^{-0.38} \exp[20 \tan^{1.5} \theta] \\ \beta_1 &= 0.52 \exp[4.2 \tan \theta] \\ \beta_{max} &= \max\{0.92, 0.32(H_0'/L_0)^{-0.29} \exp[2.4 \tan \theta]\} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

この波高推定法の信頼度を確認するため、CLASHデータベースで有義波高が沖側と構造物設置地点の2個所で測定されているデータ1525組を抽出した。このデータに対して式(1), (2)を用いて堤前有義波高を推定し、測定値との比を求めたところ、図-1のような結果が得られた¹⁰⁾。

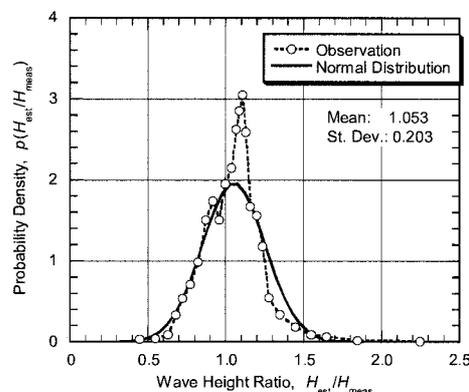


図-1 波高推定値と測定値との比の頻度分布

すなわち、波高比の平均値が1.053、標準偏差が0.203であり、データごとの変動は大きいものの、平均的には推定波高が測定値と一致しており、この波高推定法の信頼度が高いことが確認された。これによって、CLASHデータベースのうちで堤前波高がSWANモデルで推定されていたものは、式(1), (2)による推定波高に置き換えてデータ解析を行った。これによって、初期水深 0 の汀線における越波流量の解析も可能となった。

4. 直立護岸に対する越波流量の推定式

(1) 越波流量の推定式

越波流量の推定式としては、以下の関数表示を用いる。

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{s,toe}^3}} = q^* = \exp\left[-\left(A + B \frac{h_c}{H_{s,toe}}\right)\right] \quad (3)$$

すなわち、越波流量の実験値を式(3)の左辺のように護岸前面の有義波高 $H_{s,toe}$ を用いて無次元越波流量 q^* に変換する。ここに、 h_c は天端高である。

式(3)の指数関数表示の妥当性を示したのが図-2である。データは合田らの実験値¹⁾であり、元々は $H_0'/L_0 = 0.012, 0.017$, および 0.036 の三通りの実験値であったけれども、式(1)を用いて堤前波高に換算することによって、沖波波形勾配の差異がほぼ解

消されている。また、汀線における越波流量は絶対値としては最小であるけれども、波高が小さくなっているために、堤前波高を用いた無次元流量としては最大となっている。

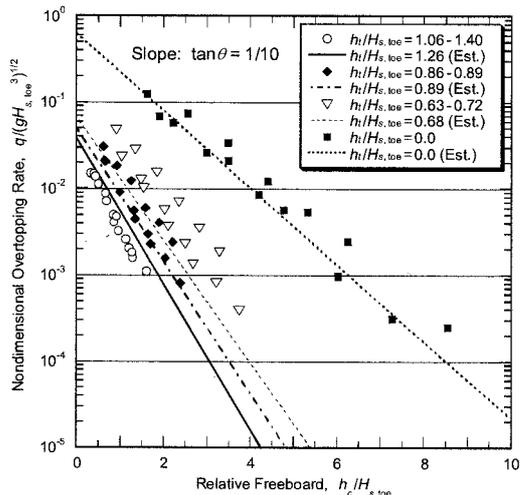


図-2 越波流量の指数関数表示 (海底勾配1/10)

図中に示す各種の直線は、後述する越波量推定式によるものである。相対水深 $h_t/H_{s, toe} = 0.63, 0.89$ のデータに対して推定値が過小となっているのは、CLASHデータベースの多数の全データに対して最適となるように推定式の係数を設定したため、この程度の不具合は受容せざるを得ない。なお、 h_t は堤脚水深である。

(2) 越波流量推定式の係数の定式化

越波流量の測定データに式(3)を適用する際には、原式を次のような線形式に変換する。

$$y = -\ln q^* = A + Bx \quad : \quad x = h_c/H_{s, toe} \quad (4)$$

そして、 x と y の関係に直線回帰式を当てはめて係数 A と B を求める。この係数 A をここでは越波流量の比例係数、 B を勾配係数と名付ける。

図-3は直立護岸の715データを相対水深 $h_t/H_{s, toe}$ によってグループ分けし、そのうち3グループのデータならびに各グループに当てはめられた直線回帰式を表示したものである。データの散らばりが大きいけれども、相対水深が小さいものほど縦軸の $y = -\ln q^*$ の値が小さい、すなわち無次元越波流量が大きい傾向が認められる。

ここに示した3グループのうち、 $h_t/H_{s, toe} = 4 \sim 23$ のグループ131データでは、無次元越波流量が相対水深 $h_t/H_{s, toe}$ の影響をほとんど受けず、変動が大きいものの、相対天端高のみによって決まっている。合田らが1975年に取りまとめた越波流量図表¹⁾では、大水深域では相対水深が増すにつれて越波流量が顕著に減少する結果となっている。しかし、CLASHデータベースに記載されている実験値では、 $h_t/H_{s, toe} > 4$ の範囲における相対水深の影響が見られない。

このCLASHデータベースのデータを尊重するならば、大水深護岸に対しては図表から求めた越波流量が過小となるおそれがある。したがって、大水深護岸に対してはその適用を見合わせ、越波流量を水理模型実験で確認する必要がある。今後の諸研究を通じて、この点が解明されることを期待したい。

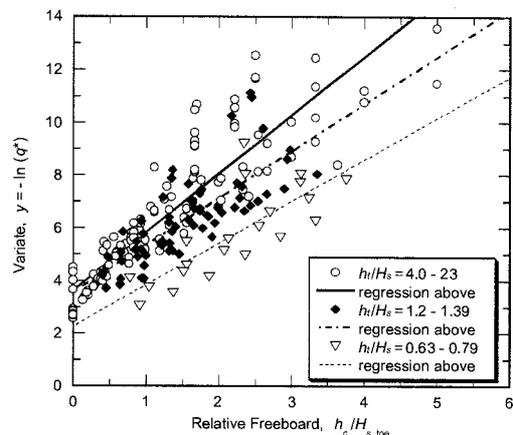


図-3 直立壁の越波流量データと直線回帰式

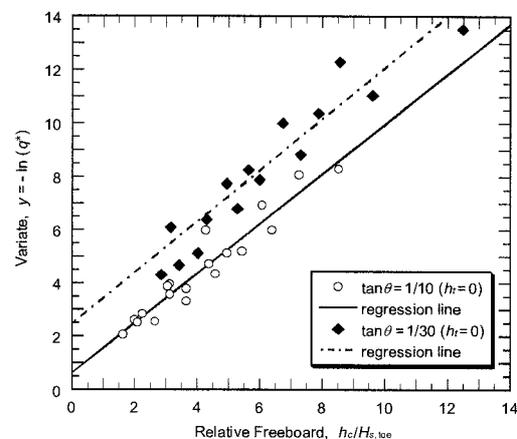


図-4 海底勾配による無次元越波流量の差異 ($h_t = 0$)

直立護岸の越波流量は海底勾配にも影響され、特に相対水深が小さいときに顕著に現れる。図-4は堤脚水深が0の場合を取り出したものである。明らかに、勾配1/10のほうが $y = -\ln q^*$ の値が小さく、すなわち無次元越波流量が大きくなっている。

式(4)による比例係数 A と勾配係数 B の推定は、相対水深ごとのグループに対する直線回帰分析を基本としたけれども、全体の傾向から外れるものも見られたため、図-3のようなプロット図上で相関係数最大の回帰式にこだわらず、データからのずれが大きくなる範囲で回帰直線を引き直し、係数値が相対水深によって比較的滑らかに変化するように選定した。

海底勾配については、勾配1/10と勾配1/20以下とに分けてデータを解析した。このようにして求めた回帰直線の切片 A (比例係数)と勾配 B (勾配係数)の値を表-1に示す。

表-1 直立護岸の相対堤脚水深のグループごとの係数值

相対堤脚水深 $h_t/(H_{1/3})_{toe}$			比例係数A		勾配係数B	
範囲	代表値	データ数	海底勾配 1/10	海底勾配 1/100	海底勾配 1/10	海底勾配 1/100
4.0~23	6	131 (0)	-	3.64	-	2.21
3.0~3.9	3.5	61 (0)	-	3.72	-	2.34
2.0~2.9	2.5	117 (1)	3.8	3.5	2.67	2.14
1.80~1.99	1.9	47 (3)	3.6	3.5	2.16	2.33
1.60~1.79	1.7	59 (2)	3.4	3.5	2.03	2.06
1.40~1.59	1.5	78 (28)	3.5	3.24	2.0	1.81
1.20~1.39	1.3	65 (28)	3.4	3.15	2.0	1.97
1.00~1.19	1.1	47 (29)	3.22	3.5	2.3	2.0
0.80~0.99	0.9	57 (30)	3.45	3.1	1.97	1.71
0.63~0.79	0.72	21 (15)	2.27	-	1.58	-
0	0	34 (34)	0.62	2.0	0.93	1.0

注：1) データ数の括弧内は合田ら¹⁾のデータである。

2) 海底勾配 1/100は勾配 1/20~1/1000の略記である。

このようにして選定した係数AとBの値に対する定式化としては、 $h_t/H_{s,toe} \geq 4.0$ 以上では一定値をとるものと仮定し、そうした特性を持つ漸近関数として双曲線正接関数を選んだ。すなわち、式(1)の比例係数Aと勾配係数Bを次のように相対設置水深 $h_t/H_{s,toe}$ の関数で表した。

$$\left. \begin{aligned} A &= A_0 \tanh[b_1 \times h_t/H_{s,toe} + c_1] \\ B &= B_0 \tanh[b_2 \times h_t/H_{s,toe} + c_2] \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

これらの関数の定数 A_0, B_0 は、 $h_t/H_{s,toe}$ が十分に大きいときの漸近値を表す。また、係数 b_1, b_2 は定数 A_0, B_0 への漸近の速度をコントロールする。一方、係数 c_1, c_2 は関数の切片の値を制御する。表-1に示した係数A,Bの値を相対水深に対してプロットし、 (b_1, c_1) と (b_2, c_2) の値をいろいろ変え、式(5)の関数がほぼ表-1の値に適合するような係数值を試行錯誤的に選定した。この結果が表-2である。

表-2 係数A,Bに対する当てはめ関数式(5)の係数

海底勾配 $\tan\theta$	係数A			係数B		
	A_0	b_1	c_1	B_0	b_2	c_2
1/10	3.6	1.4	0.1	2.3	0.6	0.8
1/20~1/1000	3.6	1.0	0.6	2.3	0.8	0.6

この係数の (b_1, c_1) と (b_2, c_2) の組に対し、これらの値は海底勾配 $\tan\theta$ に比例すると仮定(ただし、 c_1 については $\tan\theta$ の1/4乗に比例と仮定)し、勾配1/20~1/1000の代表値として1/100を用いて、これらを海底勾配の関数として表示して定めたところ、係数A,Bの推定式が次のように求められた。

$$A = A_0 \tanh \left[\begin{aligned} &(0.956 + 4.44 \tan\theta) \\ &\times (h_t/H_{s,toe} + 1.242 - 2.032 \tan^{0.25}\theta) \end{aligned} \right] \quad (6)$$

$$B = B_0 \tanh \left[\begin{aligned} &(0.822 - 2.22 \tan\theta) \\ &\times (h_t/H_{s,toe} + 0.578 + 2.22 \tan\theta) \end{aligned} \right] \quad (7)$$

ここに、

$$A_0 = 3.4, \quad B_0 = 2.3 \quad (8)$$

この定式化においては、全データに対する適合度を高めるために、式(8)の比例係数Aの定数を本来の $A_0=3.6$ から $A_0=3.4$ に低減させている。

なお、Grüneほか¹¹⁾は $H_{s,toe} = 0.60 \sim 1.45$ mという大波高の波を使って直立護岸の越波流量を測定し、式(3)の推定式で $A=4.3, B=1.65$ に設定したものが実験データに適合するとしている。護岸前面の海底勾配は1/13.3、堤脚の相対水深は $h_t/H_{s,toe} = 0.9 \sim 2.5$ である。この条件に対して式(6),(7)を適用すると $[A=3.36, B=1.82] \sim [A=3.40, B=2.24]$ となる。

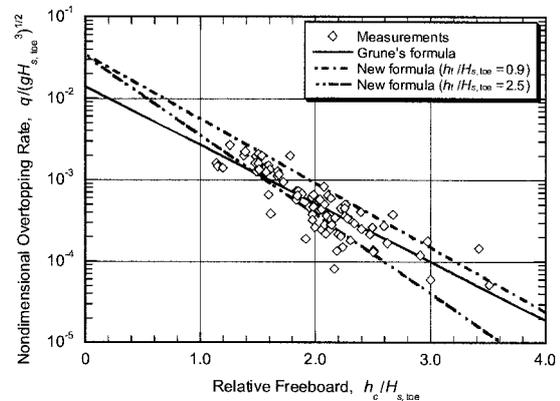


図-5 Grüneほか¹¹⁾の実験データに対する当てはめ

この実験値を論文の図表から読みとって再プロットしたのが図-5である。図中には $h_t/H_{s,toe} = 0.9$ と2.5に対する二つの推定式ならびにGrüneほかの経験式も示してあり、式(6),(7)による推定式がGrüneほかの実験データをほぼ上下に挟む形となっている。したがって、式(6)~(8)の係数を用いた越波流量の推定式は、この大型実験によっても検証されたと言えよう。

(3) 直立護岸に関するCLASHデータベースに対する新越波流量推定式の適合度

新しく導いた式(6)~(8)の係数を使い、式(3)を用いてCLASHデータベースの715データについて越波流量 q_{est} を推定し、実験値 q_{meas} と比較した結果を図-6に示す。ただし、推定値、実験値ともに無次元流量 q^* で示している。図中の記号は、データセットの種別を表す。図には推定値が実験値に等しいケースおよび推定値が実験値の10倍と0.1倍の範囲を示す斜めの直線を引いてある。データのばらつきが大きいため、この限界値を超えるものもかなり見られる。

新しい越波流量の推定式による値 q_{est} と実験値 q_{meas} の比の幾何平均は1.023、その幾何標準偏差は3.09である。なお、幾何標準偏差とは流量比の自然対数について標準偏差を求め、それを指数関数の値に変換したものである。

また、越波流量の推定値と実験値との差は、無次元越波流量が小さくなるにつれて増大する。式(3)

による無次元越波流量の推定値 q^*_{est} を横軸とし、流量比 q^*_{est}/q^*_{meas} を縦軸にとって、誤差範囲の形で図示したのが図-7である。

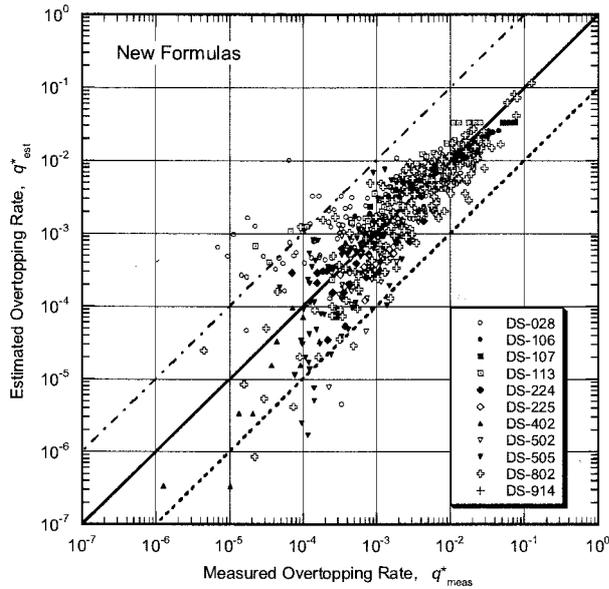


図-6 CLASHデータベースの直立護岸の越波流量の推定値と測定値の比較

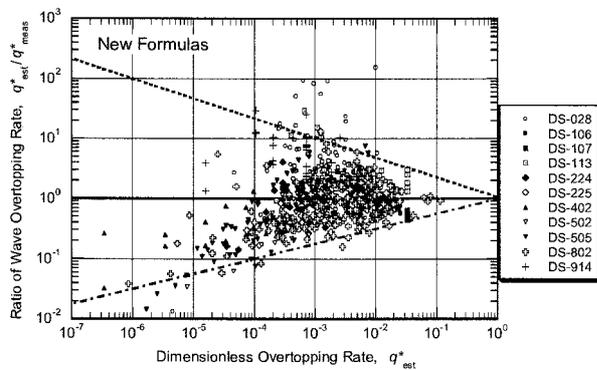


図-7 直立護岸に対する越波流量推定値の変動範囲

一部に実験値の100倍近い推定値を与えるケースもあるけれども、大半のデータは図中の破線と1点鎖線に挟まれる次の変動範囲に入っている。

$$q^*_{est}/q^*_{meas} = 1.0 \times q^{*1/4}_{est} \leftrightarrow 1.0 \times q^{*-1/3}_{est} : q^* < 1.0 \quad (9)$$

この変動幅は、合田ら¹⁾が越波流量推定図表に対して与えたものよりも相当に拡大している。これは、CLASHデータベースの多様なデータに対して適用可能な推定式を導いたことによるものである。

5. 傾斜護岸に対する越波流量の推定式

(1) 法面傾斜に対する係数補正の導入

傾斜護岸の検討では、玉田 崇氏のご厚意によってExcel ファイルで提供して頂いた、玉田ほか³⁾に

よる法面勾配3割, 5割, および7割の緩勾配傾斜堤の実験データ198組を、CLASHデータに欠けている浅海域のデータとして補足して使用した。

越波流量に及ぼす堤脚水深の影響については、直立護岸を対象として式(6), (7)の経験式が得られているので、滑斜面の越波流量に対してもこの両式が適用できるものと仮定し、定数 A_0, B_0 に法面勾配の影響を取り入れることにした。すなわち、 $1.0 < h_s/H_{s, toe} < 2.0$ では堤脚水深の影響が若干予測されるけれども、データ数を多く取るために堤脚水深の影響を無視し、データを法面勾配ごとにグループ分けして式(4)の直線回帰式を当てはめ、係数 A, B の値を求めた。この係数は、式(6), (7)における定数 A_0 , 定数 B_0 に対応するものである。

まず、勾配係数 B の定数 B_0 を法面勾配 $\cot \alpha_s$ の関数として試行錯誤によって次のように定式化した。

$$B_0 = 2.3 - 0.5 \cot \alpha_s + 0.15 \cot^2 \alpha_s - 0.011 \cot^3 \alpha_s \quad (10)$$

$$: 0 \leq \cot \alpha_s \leq 7$$

そして、法面勾配ごとに分類した各グループについて、この勾配係数 B の定数 B_0 を用いたときの越波流量比の幾何平均が1.0となるような比例係数 A の定数 A_0 の値を試行錯誤によって求めた。そして、その結果を次のように定式化した。

$$A_0 = 3.4 - 0.734 \cot \alpha_s + 0.239 \cot^2 \alpha_s - 0.0162 \cot^3 \alpha_s \quad (11)$$

$$: 0 \leq \cot \alpha_s \leq 7$$

なお、式(10), (11)は直立護岸の式(8)を包含する。

(2) 傾斜護岸に対する新越波流量推定式の適合度

(10), (11)の定数を用い、(6), (7)で比例係数 A , 勾配係数 B を設定すれば、直立・傾斜護岸の越波流量が式(3)によって推定できる。CLASHデータベースの滑斜面のデータについて、越波流量の推定値と測定値の比の変動範囲を無次元越波流量に対して示したのが図-8である。また、玉田ほか³⁾の緩傾斜護岸のデータについて同様に示したのが図-9である。

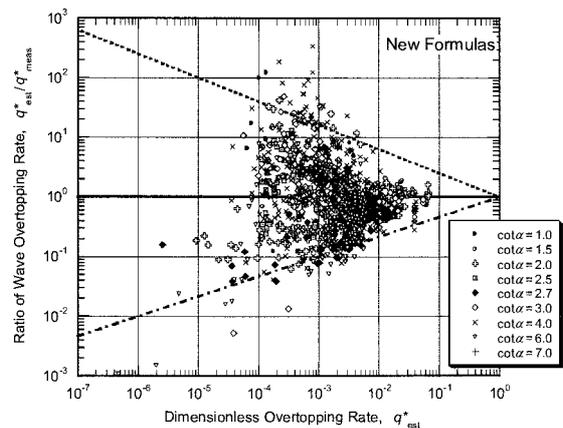


図-8 CLASH滑斜面越波流量の推定値と測定値の比較

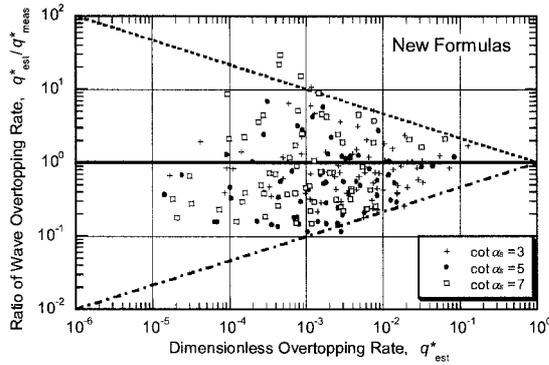


図-10 玉田ほか³⁾の緩傾斜護岸データに対する越波流量の推定値と実験値の比較

CLASH 滑斜面データに対する越波流量の推定値と測定値の比の幾何平均は1.023, 幾何標準偏差は3.78である。また, 図中に示す変動範囲は以下の通りである。

$$q_{est}^* / q_{meas}^* = 1.0 \times q_{est}^{*-1/4} \leftrightarrow 1.0 \times q_{est}^{*-1/4} : q^* < 1.0 \quad (12)$$

一方, 玉田ほかのデータに対する越波流量の推定値と測定値の比の幾何平均は0.736, 幾何標準偏差は2.98であって, 若干過小評価となっている。また, 図中に示す変動範囲は以下の通りである。

$$q_{est}^* / q_{meas}^* = 1.0 \times q_{est}^{*-1/3} \leftrightarrow 1.0 \times q_{est}^{*-1/3} : q^* < 1.0 \quad (13)$$

6. 消波護岸に対する越波流量推定式

消波護岸の越波流量データとしては, 合田ら¹⁾の報告に付表として記載された122組のものがある。これらのデータに対して式(3)の適用を検討したところ, 勾配係数 B を次式の消波勾配係数 D で置き換えることによって越波流量の概略値を推定できることが分かった。

$$D = (1.90 - 90 \tan^2 \theta) \times \exp\left[(0.348 + 87.7 \tan^2 \theta) \times h_t / H_{s, toe}\right] \quad (14)$$

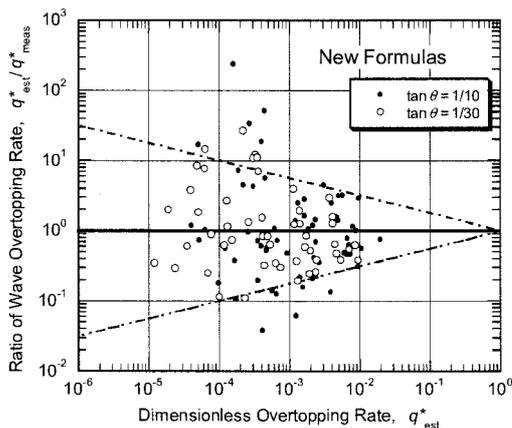


図-11 消波護岸越波流量の推定値と測定値の比較

この方法によって越波流量を推定して測定値と比べた結果が図-11である。流量比の変動範囲はほぼ次式で与えられる。

$$q_{est}^* / q_{meas}^* = 1.0 \times q_{est}^{*-1/4} \leftrightarrow 1.0 \times q_{est}^{*-1/4} : q^* < 1.0 \quad (14)$$

7. むすび

直立護岸, 緩傾斜護岸, ならびに消波護岸の越波流量が一つの経験式によって推定可能となった。すなわち, 法面傾斜に応じて比例・勾配係数の定数を式(10), (11)で設定し, 相対堤脚水深と海底勾配に応じた比例係数と勾配係数を式(6), (7)で計算する。消波護岸の場合には式(14)の消波勾配係数を用いる。これによって, 越波流量が相対天端高の関数として式(3)で推定される。

ただし, 越波流量が少ないときには推定誤差が大きいため, 推定値は予備設計などの参考値にとどめ, 実施設計に際しては水理模型実験などによって信頼できる値を求めることが望ましい。

参考文献

- 1) 合田良実・岸良安治・神山 豊: 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第14巻 第4号, pp.3-44, 1975.
- 2) 高山知司・永井紀彦・西田一彦: 各種消波工による越波流量の減少効果, 港湾技術研究所報告, 第21巻 第2号, pp.151-205, 1982.
- 3) 玉田 崇・井上雅夫・手塚崇雄: 緩傾斜護岸の越波流量算定図とその越波低減効果に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.641-645, 2002.
- 4) EA (UK)・ENW (NL)・KFKI (DE): *EurOtop Wave Overtopping of Sea Defenses and Related Structures - Assessment Manual*, June 2007.
- 5) Van der Meer, J.W., Verhaeghe, H., and Steendam, G.J.: *Database on Wave Overtopping at Coastal Structures*, CLASH WP2 database, Infram, Marknesse, The Netherlands, 2005.
- 6) Verhaeghe, H.: *Neural network prediction of wave overtopping at coastal structure*, Doctorate Dissertation to Dept. Civil Eng., Ghent University, 2005.
- 7) 榊山 勉・鹿島遼一: 消波護岸の越波に関する現地観測と水理実験の比較, 第44巻, pp.736-740, 1997.
- 8) 合田良実: CLASH データベースを利用した統一的越波流量推定式の作成, ECOH/YG 技術論文 No.8, 2008年3月, 18p. (<http://www.ecoh.co.jp/> 会社案内/顧問/論文一覧からダウンロード可能).
- 9) 合田良実: 浅海域における波浪の碎波変形, 港湾技術研究所報告, 第14巻 第3号, pp.59-106, 1975.
- 10) Goda, Y.: A performance test of nearshore wave height prediction with CLASH datasets (submitted for publication on *Coastal Engineering*).
- 11) Grüne, J., Wang, Z., Bullock, G., and Obharai, C.: Violent wave overtopping on vertical and inclined walls: Large scale model tests, *Coastal Engineering 2004 (Proc. 29th Int. Conf., Lisbon)*, ASCE, pp.4456-4468, 2004.