

現地観測結果に基づく越波流量空間分布の推定式の構築

九州大学 学生会員 ○原 温紀 小川大輔
九州大学 正会員 山城 賢

1. はじめに

越波には大きく分けて2つのタイプがあり、1つは海水が護岸天端を越流するタイプ、もう1つは打ち上がった水塊が風に押されて護岸背後の陸域に落下するタイプである。後者の場合、護岸からの距離に応じて落下してくる海水量は異なり、すなわち単位面積当たりの越波流量は空間的に分布を有する。既往の研究(例えば、Fukuda ら¹⁾、Pullen ら²⁾など)から、その分布形状は護岸からの距離に対して指数関数的に減少することが分かっているが、分布形状に対する風の影響など不明な点が多い。越波流量の空間分布特性を把握できれば、荒天時の海岸道路の規制や、護岸背後の距離に応じた越波防災など、海岸防護の高度化に繋がるものと期待される。

越波流量の空間分布を検討するには、造波風洞水路を用いた縮尺模型実験が有用な検討手段となるが、越波流量の空間分布に強く影響する風速について適切な相似則が存在しないため、定量的な検討が難しいという問題がある。このことは、従来の護岸等の計画・設計において風の影響が考慮されていないことの大きな要因である。著者らはこれまでに、Fukuda ら¹⁾による観測結果をもとに越波流量空間分布の推定式を構築し、水理模型実験を行って、現地風速と模型風速との対応について検討した³⁾。さらに護岸に垂直方向と風下方向の2通りの推定式を構築した⁴⁾。しかし、これらの推定式には改善の余地があり、本研究では、越波流量空間分布の推定式の改良を試みた。

2. Fukuda ら¹⁾による現地観測の概要

Fukuda ら¹⁾は1971~1972年に新潟東港の消波護岸において図-1に示す観測施設により越波流量空間分布の観測を行った。1回の観測時間は3時間であり、越波流量、入射波、風向風速が観測されている。なお、波高は換算沖波波高、風速は海上風に補正し整理されている。観測結果は越波流量の水平分布の傾向によって、A~Dの4つのタイプに分けられ、護岸から離れるほど越波流量は小さくなり、越波流量が多いほど水平分布の勾配が急になるといった特徴がある。

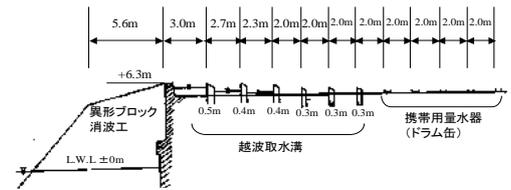


図-1 現地観測施設 (Fukuda ら¹⁾)

3. 越波流量空間分布の推定式

図-2にFukuda ら¹⁾による越波流量空間分布の観測結果の例(タイプB)を○で示す。横軸は護岸前面からの距離であり、縦軸は単位面積あたりの越波流量を対数表示している。凡例の風速は護岸に垂直な風速成分である。図より越波流量の空間分布は、指数関数 $q(x) = \alpha e^{-\beta x}$ で近似できる。Fukuda ら¹⁾の観測は図-3に示すように、護岸に垂直方向に計測されており、風速も垂直方向の成分で整理されている。新潟東港の護岸は延長が長く、計測された越波流量は風上から飛来したと仮定すると、観測結果から風向に応じた風下方向の越波流量空間分布を容易に推定できる。図-2の●はそのように推定した風下方向の分布を示しており、凡例の風速は実際の風速を示している。

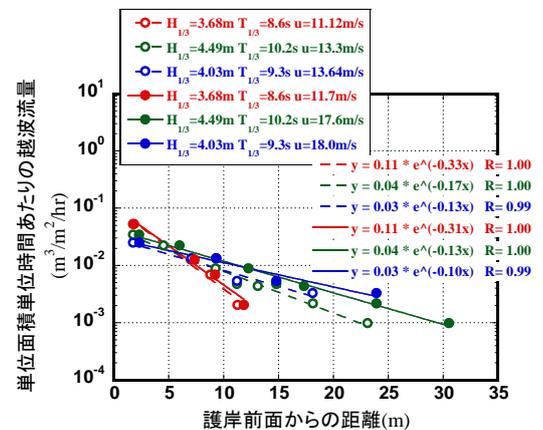


図-2 越波流量空間分布の現地観測結果の例 (Fukuda ら¹⁾より作図)

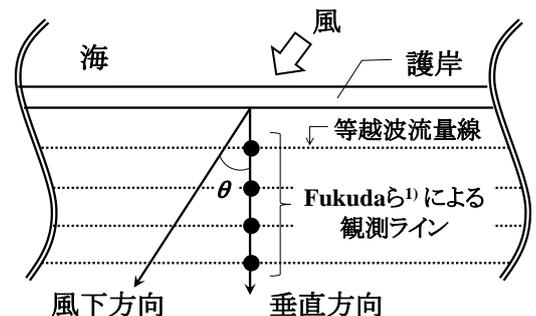


図-3 越波流量空間分布の仮定

著者らは越波流量の空間分布が越波流量の規模(一般的に利用される単位幅あたりの越波流量)と風速で決まると考え、式中の係数 α, β を重回帰分析により、護岸に垂直な方向の推定式(1), (2)と風下方向の推定式(3), (4)を構築した⁴⁾。

$$\alpha' = 0.953q_p' - 0.057u_p^{2'} \quad (1) \quad \alpha' = 1.054q_L' - 0.147u_L^{2'} \quad (3)$$

$$\beta' = 0.287q_p' - 0.774u_p^{2'} \quad (2) \quad \beta' = 0.262q_L' - 1.000u_L^{2'} \quad (4)$$

ここで、式(1)、(2)の q_p は垂直方向の単位幅あたりの越波流量($m^3/m/hr$)、 u_p は風速の垂直成分(m/s)である。式(3)、(4)の q_L は風下方向の単位幅あたりの越波流量($m^3/m/hr$)、 u_L は風速(m/s)である。なお、各変数は平均値と標準偏差により基準化しており、「'」は基準化していることを示す。図-4に式(1)~(4)の推定精度を示す。全体的に比較的推定精度は高い。図-5は、図-4中のAとBで示すケースについて越波流量空間分布の観測値と推定値を比較したものである。ケースA、Bの α, β の誤差は図に示す程度の空間分布の誤差となる。

図-3の点線で示すように、単位面積単位時間あたりの越波流量は護岸からの距離に対して一様であると仮定すると、垂直方向と風下方向の2つの推定式は以下に示すように1つの式にまとめられる。

$$\alpha' = 0.930(q_L \cos \theta)' - 0.190(u_L \cos \theta)^{2'} \quad (5)$$

$$\beta' = 0.308(q_L \cos \theta)' - 0.807(u_L \cos \theta)^{2'} \quad (6)$$

ここで、角度 θ は護岸に垂直方向を 0° とした角度である(図-3参照)。図-6に式(5)、(6)の推定精度を示す。風下方向の β の推定精度が若干低下したが、他は比較的推定精度が高い。

ところで、推定式においては α, β は正の値でなければならない。しかし、単位幅あたりの越波流量と風速によっては α, β が負の値を取る場合があり、現地観測結果のタイプDの2ケース(図-8に●で示す)はこれまでの推定式では空間分布を再現できなかった。そこで、 α, β の推定値が負とならないよう、推定式を越波流量と風速の積の形で表し、その対数を取って重回帰式を構築した。

$$(\log \alpha)' = 0.940\{\log(q_L \cos \theta)\}' - 0.364\{\log(u_L \cos \theta)\}' \quad (7)$$

$$(\log \beta)' = 0.056\{\log(q_L \cos \theta)\}' - 0.906\{\log(u_L \cos \theta)\}' \quad (8)$$

図-7に式(7)、(8)の推定精度を示す。若干推定精度は低下するものの、図-8に示すように、推定できなかったケースも推定可能となった。

4. おわりに

本研究では、以前にFukudaらによる現地観測結果をもとに構築した越波流量空間分布の推定式⁴⁾を改良した。今後は、本研究の成果を踏まえ、越波の模型実験における風速の設定方法について検討する。

参考文献

- 1) Fukuda, N., Uno, T. and Irie, I.: Field observations of wave overtopping of wave absorbing revetment, *Coastal Engineering in Japan*, vol.17, pp.117-129, 1974
- 2) Pullen T., Allosop, W., Burce, T. and Pearson, J.: Field and laboratory measurements of mean overtopping discharges and spatial distributions at vertical seawalls, *Coastal Engineering*, Vol.56, pp.121-140, 2009
- 3) 山城 賢, 仲村 渉, 片山 紗也香, 上久保 祐志: 越波流量の空間分布に対する風の影響に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.71 No.2 p.1_835-1_835, 2015
- 4) 小川 大輔, 山城 賢, 仲村 渉: 越波流量空間分布に基づいた越波の模型実験における現地と模型との風速の対応に関する研究, 平成28年度土木学会全国大会年次学術講演会概要集 CD-ROM

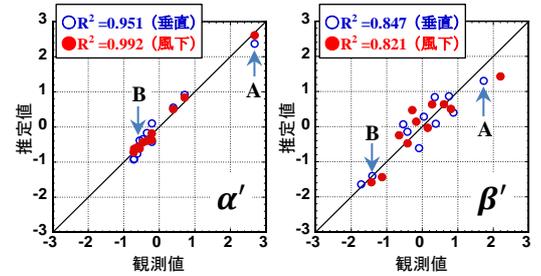


図-4 推定式の精度 (式(1)~(4))

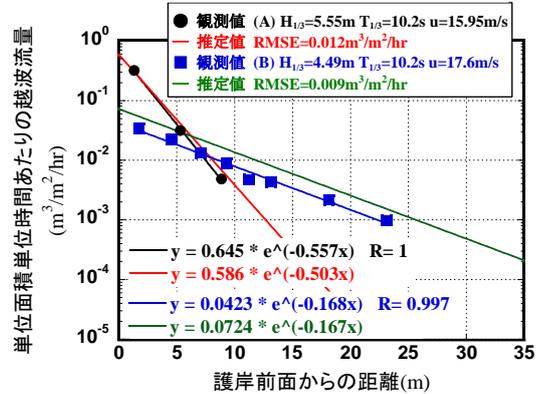


図-5 観測値と推定値の比較 (垂直成分)

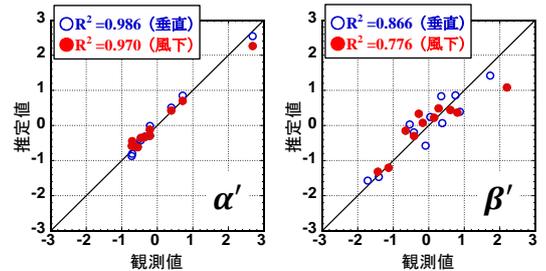


図-6 推定式の精度 (式(5), (6))

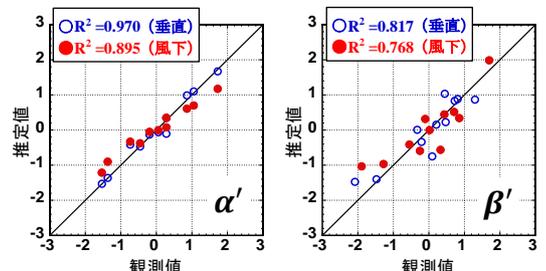


図-7 推定式の精度 (式(7), (8))

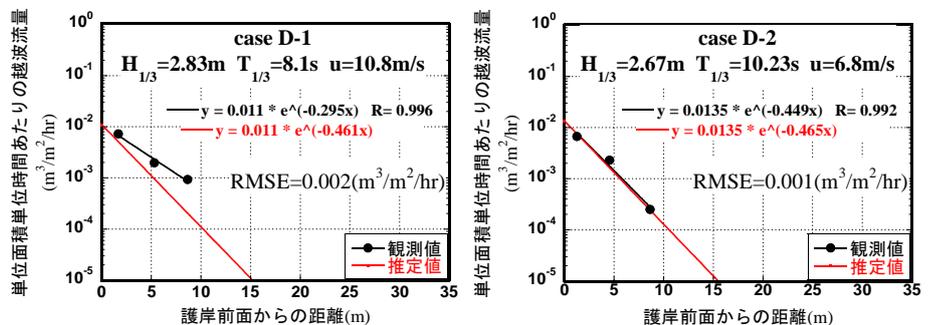


図-8 観測値と推定値の比較 (式(7), (8))