

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

九州大学大学院 学生会員 ○小川 大輔 仲村 渉
九州大学大学院 正 会 員 山城 賢

1. まえがき

護岸で越波が生じる際に強風が作用すると、護岸からの距離に応じて落下してくる海水量は異なり、単位面積当たりの越波量（越波流量でも同様）は空間的に分布を有する。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。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、越波の実験においては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。

著者らは、Fukuda et al.¹⁾ による消波護岸における越波流量の空間分布の観測結果について推定式を構築し、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²⁾。しかし Fukuda et al.¹⁾ による観測では、護岸に対し垂直方向の越波流量空間分布が計測されている。本来は、風によって海水が運ばれていることから、越波流量の空間分布を考える際には風向が重要であると思われる。そこで、本研究では Fukuda et al.¹⁾ の観測結果をもとに風向を考慮した越波流量空間分布の推定式を求め、さらに現地と模型との風速の対応について検討した。

2. Fukuda et al.¹⁾ による現地観測の概要

観測は 1971～1972 年に新潟東港の消波護岸を対象に行われており、図-1 に示す観測施設により越波水を集水している。1 回の観測時間は 3 時間で、越波流量に加え入射波および風向風速も観測されている。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。観測結果は分布の傾向によって A～D の 4 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、また、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。

3. 越波流量空間分布に関する検討

図-2 に Fukuda et al.¹⁾ によるタイプ B の越波流量の空間分布を●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。また凡例の風速は護岸に垂直な風速成分である。越波流量の空間分布は、図中に示す指数関数 $q(x) = \alpha_P e^{-\beta_P x}$ でよく近似できる。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以下のように定式化した。ただし、以下の式はデータを見直し再定式化したもので既発表²⁾のものとは異なる。

$$\alpha_P' = 0.953q_P' - 0.057u_P'^2 \quad (1)$$

$$\beta_P' = 0.287q_P' - 0.774u_P'^2 \quad (2)$$

ここで、 q は単位幅あたりの越波流量 ($m^3/m^2/hr$) (図-2 の空間分布の積分値に相当)、 u は風速 (m/s) で越波水を押す力として作用すると考え 2 乗の形で用いた。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-3 に式(1)、(2)の推定精度を示す。 α 、 β ともに高い相関が認められる。

Fukuda et al.¹⁾ による観測結果は、護岸に垂直な方向に観測されている。しかし、実際には観測位置での越波水は

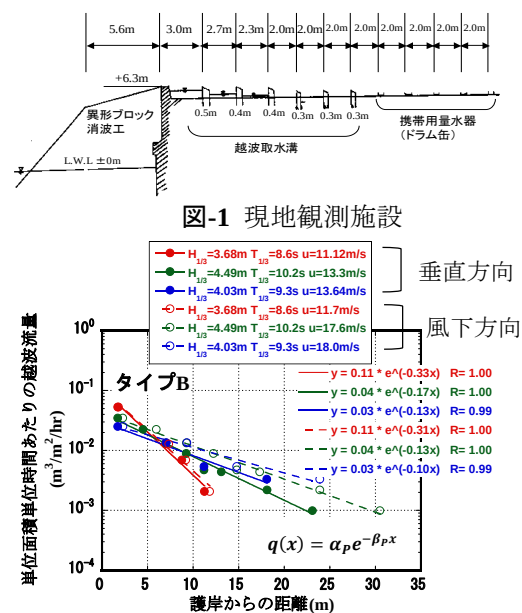


図-1 現地観測施設

図-2 現地観測結果の例
(Fukuda et al.¹⁾により作成)

キーワード 越波 越波流量空間分布 現地観測 水理模型実験

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 ウエスト 2 号館 1003 号室 沿岸海洋工学研究室 TEL092-802-3415

風上方向の護岸から飛来したものと考えられる．図-2 の○は風向と護岸のなす角度に応じて，護岸から観測位置までの距離を算出したもので，凡例に示す風速は実際の風速である．この場合の係数 α ， β は以下ようになる．

$$\alpha_p' = 1.054q_p' - 0.147u_p' \quad (3)$$

$$\beta_p' = 0.262q_p' - 1.000u_p' \quad (4)$$

図-4 に重回帰式の精度を示す．垂直方向とほぼ同程度の精度である．

4. 水理模型実験

反射吸収式二次元造波風洞水路を用い，前述の現地観測の条件をもとに，縮尺 1/45 の模型で実験を行った．図-5 に実験装置を示す．入射波は，修正 Bretschneider-光易型スペクトルを有する($H_{1/3}$, $T_{1/3}$) = (9cm, 1.5s), (10cm, 1.6s), (12cm, 1.8s) の3通りとし，風速は 0, 4, 5, 6, 7, 8m/s の6通りに変化させた．造波時間は 20 分（現地の 2 時間）で，越波流量は護岸の背後に水位計を取り付けた柵を並べて測定した．

5. 実験における越波流量の空間分布

図-6 に有義波高 $H_{1/3}=10.0\text{cm}$ ，有義波周期 $T_{1/3}=1.6\text{s}$ の結果を現地換算して示す．現地観測結果と同様に越波流量は指数関数 ($\alpha_M e^{-\beta_M x}$) 的に減少しており，重回帰分析により以下の式を得た．

$$\alpha_M' = 1.381q_M' - 0.618u_M'^2 \quad (5)$$

$$\beta_M' = 0.785q_M' - 1.336u_M'^2 \quad (6)$$

ただし， q は現地換算した越波流量($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$)， u は実験風速(m/s)で，ともに基準化している．図-7 に重回帰式の精度を示す．現地の結果より若干相関が低いが比較的精度は高い．

6. 現地と模型との越波流量空間分布の比較

式(1)～(6)を比較すると，模型では係数 α に対する風の影響が現地に比べ非常に強く，逆に，係数 β に対しては越波流量の影響が相対的に大きい．また，これらの式から現地と模型とで越波流量の空間分布が等しくなるための実験風速を求める式を導出した．

$$u_M = \sqrt{0.31u_p^2 + 20.41q_p - 20.78} \quad (\text{垂直方向, } u_p: \text{風速の垂直成分}) \quad (7)$$

$$u_M = \sqrt{0.18u_p^2 + 34.35q_p - 22.10} \quad (\text{風下方向, } u_p: \text{実際の風速}) \quad (8)$$

実験風速は現地風速と一対一で対応せず，現地の越波流量が影響する．

7. あとがき

既往の現地観測結果をもとに越波流量空間分布の推定式を構築し，現地の風速と越波流量から実験風速を得る関係式を得た．これにより，消波護岸の場合に限られるが，越波実験での模型風速を適切に設定でき，海岸防護の高度化に寄与するものと思われる．本研究の実施にあたり一般社団法人九州地域づくり協会の助成を受けた．ここに記して謝意を表します．

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) 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 No2 p.1_835-1_835, 2015

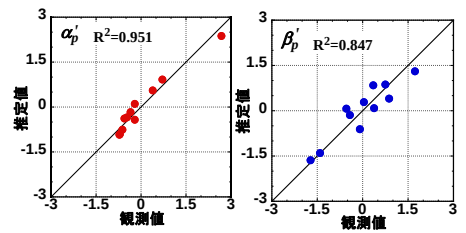


図-3 重回帰式の精度（垂直方向）

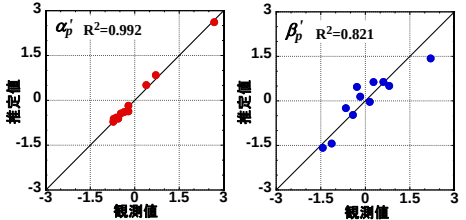


図-4 重回帰式の精度（風下方向）

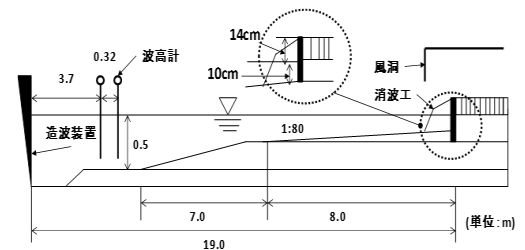


図-5 反射吸収式二次元造波風洞水路

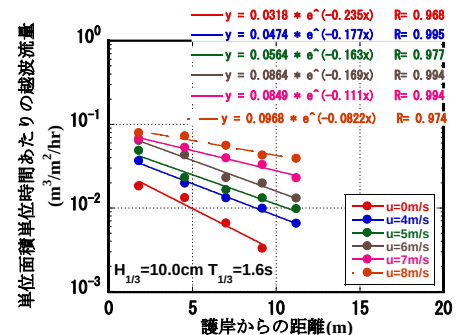


図-6 水理模型実験結果の例

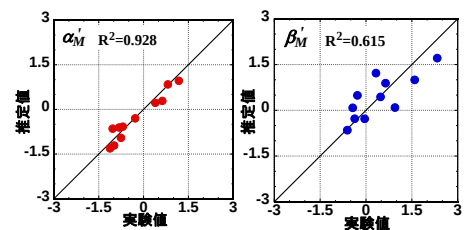


図-7 重回帰式の精度（実験結果）