

II-587 防波堤周辺の越波飛沫の飛散に及ぼす風の影響

北海道開発局 開発土木研究所 正会員 水野雄三・谷野賢二・木村克俊
日本データサービス㈱ 三船修司

1. まえがき

近年ウォーターフロントへの関心の高まる中で、海への最もアクセス可能な施設である防波堤は大きな魅力を秘めている。しかしながら、防波堤上は波浪時には、しぶきや越波水によって利用者が転落するなどの危険性が大きくなる。これまで越波流量といったマクロスケールの現象への風の影響は検討されているが、人間への影響という視野に立って飛沫飛散への風の影響を検討した例は少ない。本報では、こうした問題解決の最初のステップとして、水理模型実験と簡単な数値計算を行って、実験室レベルでの越波飛沫の飛散に及ぼす風の影響を検討した。

2. 防波堤背後の風況特性

実験および計算はすべて断面2次元とし、風が防波堤法線に直角方向に沖側から作用する場合を対象としている。模型実験は開発土木研究所の2次元風洞付造波水槽（長さ27.0m、幅0.6m、深さ1.2m）を使用した。この水槽には出力20kwの送風機が備えられており、最大20m/sまでの定常風を発生させられるとともに、無反射性造波機により波の発生も可能である。

図-1は実験に用いた消波ブロック被覆堤の断面を示している。消波ブロック模型の重量は約500gで、天端2個並びとしている。風速は熱線式風速計を使用して測定し、1測点あたり1024個のデータをサンプリングタイム0.05sで取得し、パソコンでオンライン処理した。実験では無堤時の水平方向の風速を基準風速 u_0 と定義し、 $u_0 = 3, 5, 7$ m/sの3種類の風速に関する実験を行った。

風況計算の基礎式は、非圧縮性粘性流体のNavier-Stokes運動方程式と連続の式で、それぞれ次のように表される。

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right], \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g_y + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \quad (3)$$

ここに、 ρ は密度、 u 、 v はそれぞれ x 、 y 方向の速度成分で、 g_x 、 g_y はそれぞれ x 、 y 方向の加速度で、 ν を動粘性係数としている。計算はSOLAスキームによりタイムステップごとに解いた。

図-2は基準風速 $u_0 = 3, 5, 7$ m/sの3種類について、防波堤背後の風況の実験値をプロットしたものである。同図には、それぞれの位置における計算結果も実線で示してある。測定された風速は u_0 で除して無次元化してあるが、その値は防波堤天端上で最も大きく1.3~1.4程度である。計算結果はおおむね実験結果の傾向を再現しているけれども、防波堤背後の弱風域については、 u_0 が大きくなるにつれて両者に差が生じている。これは実験で使用した熱線風速計が一方向風速しか測定できないため、逆風の状況をとらえられなかったことが理由と考えられる。

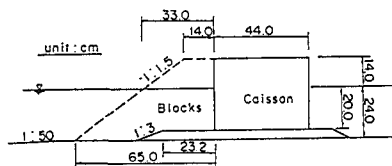


図-1 実験断面

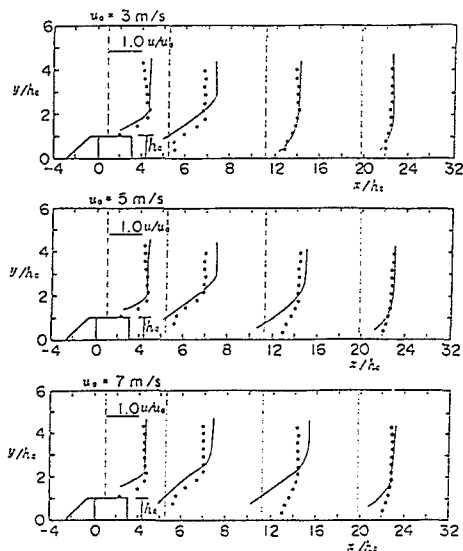


図-2 防波堤背後の風況

3. 越波飛沫の飛散によぼす風の影響

3. 1 飛沫の打ち上げ高さ

越波実験は周期1.56sの規則波で行った。まず無風状態で波高と越波による飛沫打ち上げ高さの関係を調べた。図-3は沖波高 H_0' と飛沫打ち上げ高さ R の関係を示している。無風時の結果では、波高とともに打ち上げ高が増大し、堤体直前が碎波点となる $H_0' = 14.5\text{cm}$ でピークとなり、その後は変化していない。

風を作用させた実験は、 $H_0' = 12.2\text{cm}$ および 14.5cm を対象として風速を3種類（ $u_0 = 3, 5, 7\text{m/s}$ ）に変化させて飛沫の飛散特性を調べた。 u_0 が 3m/s では、無風時とほとんど差がないが、 5m/s 、 7m/s と風速が大きくなるにつれて打ち上げ高さ R が増大している。これらは、風により発生飛沫の細分化が起こり飛び易くなったことや、消波ブロックの法面に沿って生じた上昇流によってしぶきが持ち上げられたためと考えられる。

3. 2 飛沫の水平飛散距離

図-4は、 $H_0' = 14.5\text{cm}$ のケースを対象として、風速 u_0 と飛沫の水平飛散距離 l の関係を示したものである。横軸の u_0 は越波本体の水平移動速度 c^* で無次元化している。 c^* の値は高橋¹⁾によって波速の0.3倍に等しいことが実験的に確かめられており、今回の実験条件に対して $c^* = 0.43\text{m/s}$ である。一方、縦軸の飛沫の水平飛散距離 l は鉛直打ち上げ高さ R で除して無次元化してある。実験結果では相対風速が10程度から水平飛散距離が増大し、鉛直方向の打ち上げ高の5倍程度となっている。図中の計算曲線は数値計算で、一定速度 v で落下するトレーサの移動距離を求めたものである。落下速度 v は 1.0m/s 程度が実験値をよく説明しているようである。正野²⁾によると、この値は小雨の物理量であり、実験で観察された飛沫のスケールとも一致している。

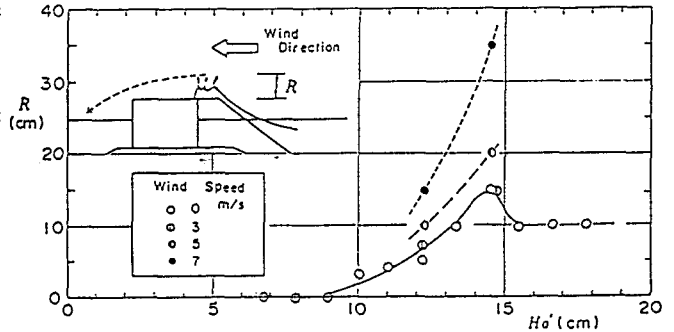


図-3 飛沫の鉛直方向飛散高さ

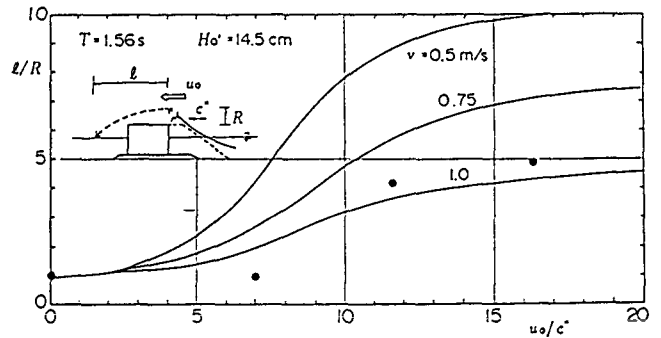


図-4 飛沫の水平飛散特性

4. あとがき

防波堤背後の風況特性と、越波飛沫の飛散に及ぼす風の影響を実験によって明らかにするとともに、飛沫の落下速度をパラメータとして飛散距離の計算結果を示した。

以上の結果はすべて2次元的な検討であり、防波堤や護岸に波や風が斜めに作用する場合を想定した3次元的な検討が必要である。また飛沫の飛散に関しては、石田³⁾が指摘しているように越波現象と飛沫現象の相似則を同時に満足できないため、これを現地にそのまま適用することはできない。今後は実験や計算で定性的な検討を進める一方で、現地データの蓄積を進め、現象の解明を行う予定である。

- 参考文献 1) 高橋重雄・遠藤仁彦・室 善一郎：親水性防波堤上の越波水の運動に関する研究、第38回海岸工学講演会論文集、pp.536～540、1992。
2) 正野重方：気象学総論、地人書館、pp.115、1969。
3) 石田 昭・花田昌彦・細井正延：飛沫の発生に関する実験的研究、第29回海岸工学講演会論文集、pp.385～388、1982。