

鉛直壁への波作用時に発生する飛沫特性に関する基礎的研究

河海工学分野 魚住 健治

Abstract

栈橋や護岸などの構造物に波が作用することによる海水飛沫の発生特性は、十分には把握されていない。そこで、本研究では、高速ビデオカメラを用いて鉛直壁に波が衝突する際に発生する飛沫の発生過程を撮影し、一方数値モデル CADMASSURF-3D を用いて鉛直壁への作用波浪の再現計算を行い、飛沫の特徴量に関する知見を得ることを目的とする。本研究によって飛沫の発生数は作用波の周期及び波形勾配によって大きく異なり、飛沫のモード径が $1 \sim 2 \times 10^{-3} \text{m}$ 程度であること、さらに発生する飛沫径の時間変化も波浪条件によって異なり、平均粒径としては大きな差異はないが 10^{-2}m を越える大粒径を有する飛沫が発生する場合としない場合があることが分かった。また、実験において飛沫が発生したケースと発生しなかったケースとで鉛直壁への衝突速度が大きく異なることが明らかとなった。

1. はじめに

2010 年代初頭より今後にかけて更新投資が増大すると見込まれている港湾施設は、ユーザーである市民の要請、公共投資使用に関する透明性、及び施設使用料水準の維持などが一層求められる。飛来塩分に対する耐久性が課題である港湾施設に効果的かつ効率的な維持管理を講じるためには、飛来塩分量の高精度な予測が急務であるが、本研究で対象とする栈橋構造物は部材の位置ごとの劣化変状が異なるため [1]、塩分供給量の定量評価は困難な現状である。

海洋で発生した砕波 (white cap) を発生要因とする海水飛沫に関する知見は、いくつかの研究によって蓄積され、発生から陸域への移流拡散までの素過程を同一プログラムで表現できる数値モデルが提案され、風で輸送されて陸域の構造物に付着する飛来塩分濃度の定量的評価を行う試みがなされている。他方、栈橋や構造物に波が作用することによる海水飛沫の発生状況については、発生機構及び飛沫径を決定する物理的要因が不明なため、発生飛沫の影響を定量評価することは困難な現状である。

栈橋構造物への塩分供給量の定量評価という最終目的として、本研究では直立堤や護岸などの鉛直壁に波浪が作用して発生する飛沫の特徴量と作用波諸元の影響に関する知見を得ることを目的とする。まず、高速ビデオカメラを用いた可視化実験として鉛直壁に波浪が衝突して発生する飛沫の発生過程を撮影し、撮影画像から抽出した飛沫特徴量の時系列変動やそれに及ぼす作用波諸元の影響を検討する。さらに数値モデル CADMASSURF-3D を用いて、鉛直壁への作用波浪

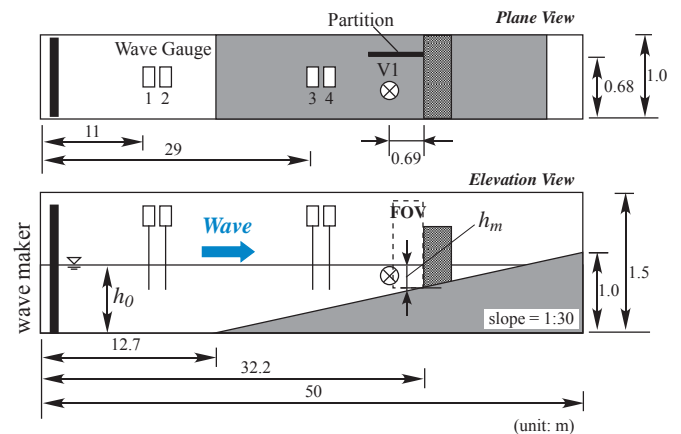


図-1 実験水槽

の再現計算を行い、鉛直壁作用時の流体運動を定量的に推定し、飛沫発生との関係性について定性的に検討する。

2. 画像計測を用いた水理模型実験

2.1 実験概要

実験は、長さ 50m、幅 1.0m、高さ 1.5m の片面ガラス張りの二次元造波水槽を用いて行った。造波機から 12.7m 離れた地点から 1:30 の斜面が設けられており、水平床部の水深 h_0 を 0.71m と一定にして実験を行った (図-1 参照)。実験にあたっては鉛直壁前面に水路幅が 0.68m になるように、黒色に塗装した板を波進行方向に平行に設置した。さらに、水深 $h_m = 0.06 \text{m}$ の位置に設置した高さ $h_w = 0.28 \text{m}$ の鉛直不透過壁に規則波を作用させた。表-1 より発生させた規則波の周期は $T_0 = 1.20 \sim 2.05 \text{s}$ 、水平床部における波高

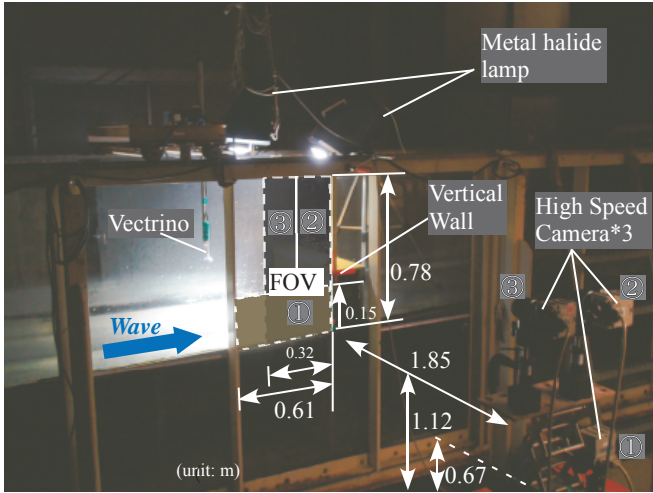


図-2 実験装置

表-1 解析波浪条件

Sec.	case	$T[s]$	$H'_0[m]$	$L'_0[m]$	H'_0/L'_0	$h_b[m]$	Ur
1	1	1.20	0.058	2.17	0.027	-	0.76
	2	1.20	0.081	2.17	0.037	-	1.07
2	1	1.60	0.086	3.44	0.025	0.083	2.84
	2	2.05	0.073	4.79	0.015	0.087	4.68
	3	2.05	0.134	4.79	0.028	0.093	8.60

$H_0 = 0.058 \sim 0.134\text{m}$, 波形勾配 $H_0/L_0 = 0.015 \sim 0.037$ であった。同表の Section1 は非砕波, Section2 は鉛直壁前面 $0.7 \sim 0.9\text{m}$ の位置での重複波形成による崩れ波型の砕波となり, 砕波する Section2 のケースで飛沫の発生が確認された。本稿では Section2 の 3 ケース (1) $T_0 = 1.60\text{s}$, $H'_0/L'_0 = 0.025$, (2) $T_0 = 2.05\text{s}$, $H'_0/L'_0 = 0.015$, (3) $T_0 = 2.05\text{s}$, $H'_0/L'_0 = 0.028$ で得られた結果を基に飛沫特徴量と作用波諸元との関係について検討する。ここに, 同表の Ur は相対水深と波形勾配の相対的な大きさを表すパラメータである (式 (1))

$$Ur = \frac{HL^2}{h^3} = \frac{(H/h)^3}{(H/L)^2} \quad (1)$$

図-2 に示すように水路上方から 2 台のメタルハライド光源を照射し, 3 台の高速度ビデオカメラを用いて, ① 波が鉛直壁に作用する様子, ② 鉛直壁に衝突した波が上方へと打ち上がるとともに飛沫が発生する様子, ③ 発生した飛沫が上方かつ沖側へと飛散していく様子を撮影した。撮影には高速度カメラ (Photron 製) を用いた。レンズは焦点距離 55mm , Ai Micro Nikkor, Nikon 製である。撮影諸元は露光時間 10^{-3}s , 撮影間隔 1000fps で計測解像度 $5 \times 10^{-4}\text{m/pixel}$ であった。

2.2 画像処理手法

本研究では, 実験で撮影した画像 (原画像) を用いて, 図-4 に示す画像処理フローに従い, 各画素の輝度値を操作することで波頂部の除去及び飛沫抽出画像の

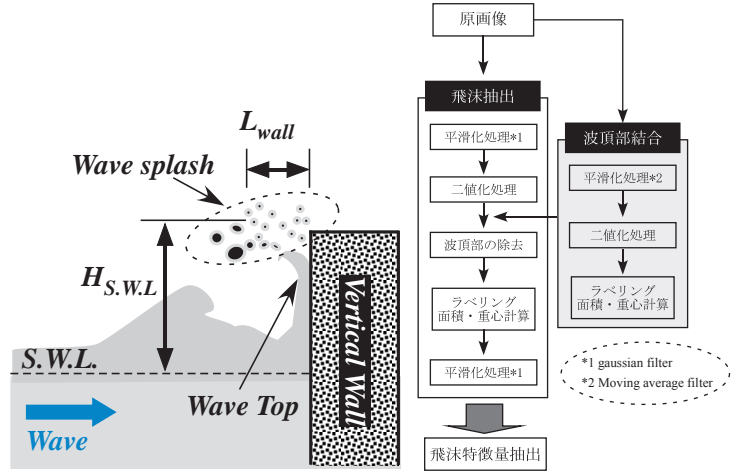


図-3 飛沫の定義

図-4 画像処理フロー

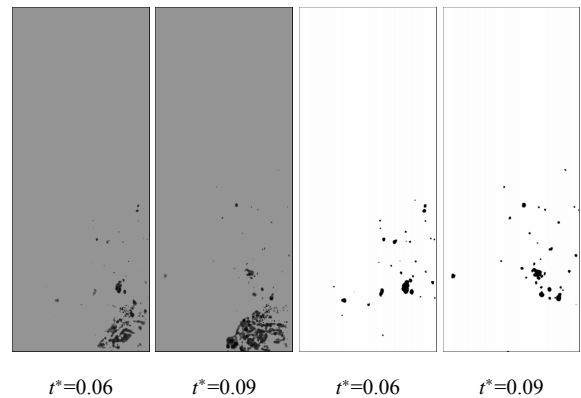


図-5 画像処理結果 (左: 原画像, 右: 飛沫抽出画像)

作成を行う。ここで, 図-3 に示すように波頂部は鉛直壁に衝突して打ち上がった波浪と連続している部分, 飛沫は波頂部から分離して完全に独立している水塊と定義する。波頂部の結合・除去および飛沫の分離・抽出にはそれぞれ原画像に対して移動平均フィルター, ガウシアンフィルターを適用して平滑化処理を施した。平滑化処理では式 (2) に示すように, 画像座標 (x, y) における注目画素の輝度値 $f(x, y)$ を周囲の輝度値を用いて平均値を算出し, 新しい輝度値 $g(x, y)$ に置き換えるという処理を行う。

$$g(x, y) = \{f(x-1, y-1) + f(x, y-1) + f(x+1, y-1) + f(x-1, y) + f(x, y) + f(x+1, y) + f(x-1, y+1) + f(x, y+1) + f(x+1, y+1)\} / 9 \quad (2)$$

移動平均フィルターで平滑化した後に二値化処理した画像から取得した波頂部の画素位置情報^{*1}を用いて, ガウシアンフィルターで平滑化した画像から波頂部を除去することによって飛沫抽出画像 (図-5 参照) を作成した。同図より波頂部が除去されて飛沫が抽出されていることが確認できる。ここで, t^* は撮影領域内

^{*1} 画像中の画素のうち, 波頂部を表す二値濃度が 1 の画素の座標 (i, j) のことを指す。

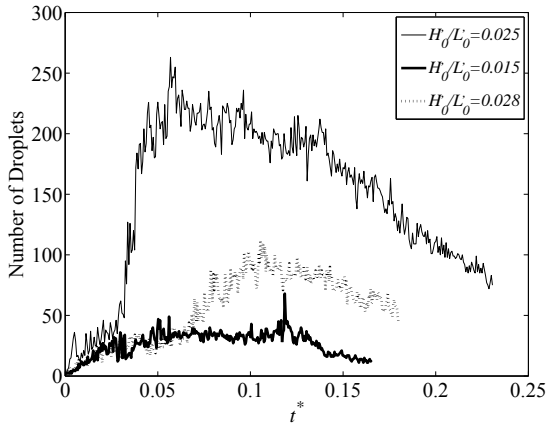


図-6 飛沫数の時間変化

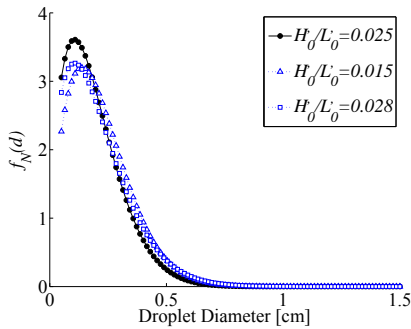


図-7 飛沫径分布

で飛沫の発生が確認された時刻を $t=0s$ とした時の経過時刻を周期で除した無次元量である。

3. 飛沫特徴量の時系列変動と作用波諸元の影響

3.1 飛沫数の時間変化

ここでは、波の打ち上がりで発生した飛沫の個数の時間変化と、それに影響を与える作用波諸元の関係について述べる。飛沫個数の時間変化をケース別に示したのが図-6である。時間軸は2.2節の t^* に準ずる。飛沫個数のピークを見ると、 $H'_0/L'_0 = 0.025$ では200～250、 $H'_0/L'_0 = 0.028$ では80～100、 $H'_0/L'_0 = 0.015$ では30～50となり、周期が同じ、あるいは波形勾配が同等であっても飛沫数が最大で100程度異なることが明らかとなった。波浪特性に関する既往の知見として以下のことが知られている。

1. 短周期の波ほど流速の速い「節」が鉛直壁側に近づく
2. 飛沫発生 of 支配要因の一つは水衝突速度である [2]
3. 直立壁に作用する波圧は波高に比例する
4. 砕波後の波高変化は海底勾配 $1/30$ の場合 $h/h_b=0.5$ で $H/H_b=0.4$ 、 $h/h_b=0.8$ で $H/H_b=0.7$ 程度である [3]

これら既往の知見に基づくと、最も飛沫数のピーク数が大きい $H'_0/L'_0 = 0.025$ のケースでは周期が短く、砕波水深が小さいために鉛直壁に衝突する速度が速かったことが飛沫数に影響を与えたと考えられる。また、 $H'_0/L'_0 = 0.015, 0.028$ の2ケースを比較すると後者のほ

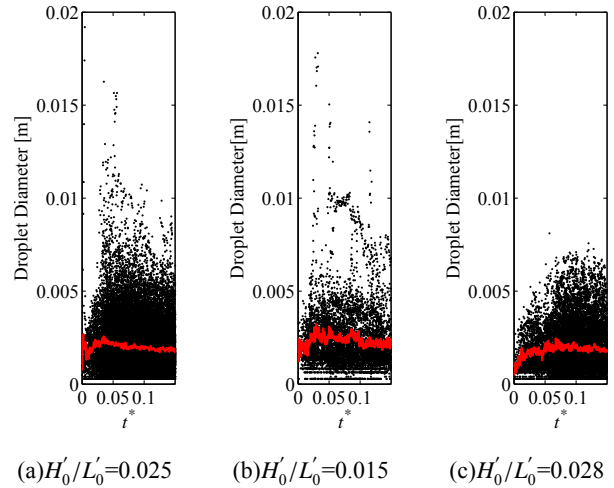


図-8 飛沫径の時間変化

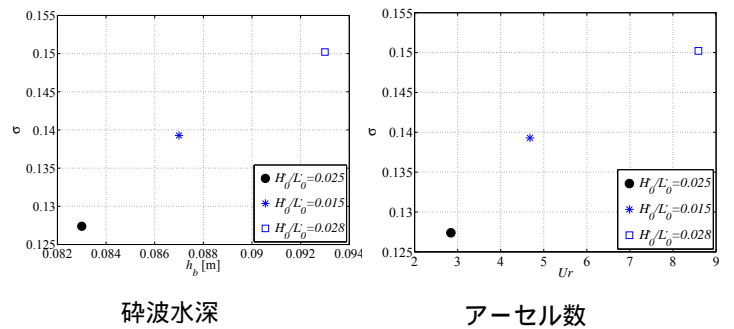


図-9 飛沫径の分散性と各種パラメーターとの関係

うが波高が大きいことで衝突波圧が大きくなり、結果として飛沫の発生数に影響を与えたということが推察される。以上まとめると、周期、沖波波高、砕波水深が飛沫個数に影響を与える要因であることが示唆された。

3.2 飛沫径の頻度特性及び飛沫径の時間変化

図-6で全ケースの飛沫数がおよそピーク数を示す時刻 $t^* = 0.12$ における飛沫径の頻度分布を連続関数として表したものが図-7である。同図の縦軸に示す $f_N(d)$ は頻度分布の各区間にある飛沫数 n_i を範囲 Δd 間の飛沫数の増分 Δn と考えて式(3)の関数で表したものである。

$$f_N(d) = \lim_{\Delta d \rightarrow 0} \frac{\Delta n_i}{N \Delta d} = \frac{1}{N} \frac{dn}{dd} \quad (3)$$

ここに、 N は全飛沫数とする。分布関数 $f_N(d)$ の極大値は最も頻度が高い飛沫径(以下、モード径 D_{peak} と称す)を表す。これを踏まえると、各ケースの比較によりモード径にほとんど差異が見られず、3つのケースでの飛沫のモード径 D_{peak} は $10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}m$ 程度であることが明らかとなった。作用波浪条件の違いによってモード径の差異があまり見られないという結果は、あ

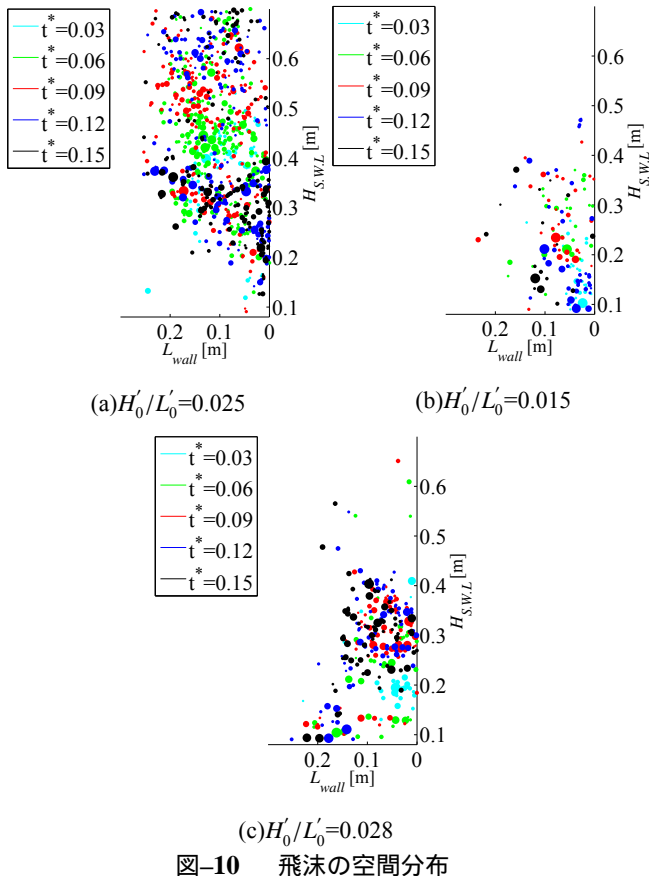


図-10 飛沫の空間分布

る液滴径にはピークがあり、それより大きい液滴も小さい液滴も少なくなるという抜山-棚澤分布 [4] として知られる既往の知見と一致する結果となった。また、図-8 には飛沫径の時間変化を示す。赤線で示すのは、各時刻における飛沫の平均径である。これより飛沫の平均径は時間経過による変動幅が最大でも 10^{-3} m 未満であることが示された。また、 $H'_0/L'_0 = 0.025, 0.015$ の 2 ケースで飛沫径が 10^{-2} m を越える大粒径の飛沫が発生していることが確認されたのに対し、 $H'_0/L'_0 = 0.028$ のケースではこのような大粒径の飛沫は発生していないことがわかる。つまり、波浪条件によって大粒径の飛沫が発生するケースとしないケースが生じることが明らかとなった。一方、図-9 には飛沫径の分散性と碎波水深及びアーセル数との関係を示す。ここで、アーセル数は相対水深 H/h と波形勾配 H/L という 2 つのパラメータの相対的な大きさを表す指標である。同図の縦軸に示す σ は標準偏差を表す。同図より、碎波水深及びアーセル数が大きくなるとバラつきが大きくなる傾向が見られる。以上まとめると、飛沫のモード径は $10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}$ m 程度であり、飛沫径のバラつき度合いを表す分散性は碎波水深や波形勾配の大きさに影響を受けることが示唆された。

3.2 飛沫の空間分布

鉛直壁からの水平飛散距離及び静水面からの到達高さを縦軸として飛沫の空間分布を図-10 に示す。図

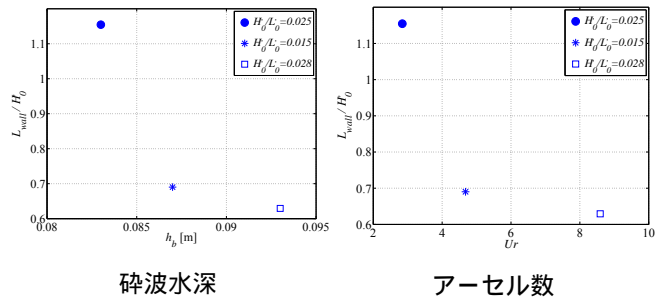


図-11 飛沫の水平飛散距離と各種パラメーターとの関係

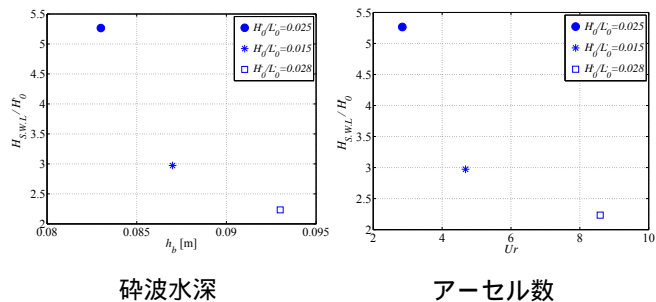


図-12 飛沫の鉛直到達高さとの関係

のプロットの大きさは飛沫径の大きさを表している。全体的な傾向として、時間経過とともにサイズが大きい飛沫は図中で下方へ分布し、サイズが小さい飛沫は図中で上方へ分布していることが見られる。また、図-11~12 には飛沫の水平飛散距離と到達高さに対する各種パラメーターの影響を示す。水平飛散距離 L_{wall} 及び到達高さ $H_{S,WL}$ は沖波波高 H'_0 で除した無次元量で表す。図-11 より碎波水深が小さいほど飛沫の水平飛散距離が大きくなる傾向が明らかとなった。これは先に述べたように、碎波水深が小さいほど碎波に伴う波高減衰が抑えられるという既往の知見に基づく。碎波水深が飛沫の水平飛散距離の支配要因の一つであることが示唆された。一方、アーセル数と水平飛散距離の関係も同様に反比例する傾向になることが明らかとなった。アーセル数は波形勾配に反比例する。これより、波形勾配が大きくなるほど飛沫の水平飛散距離は小さくなることが推察される。既往の知見として、波形勾配が大きくなるほど碎波波高は小さくなることが知られている [3]。この知見に基づく、図-11 で示される飛沫水平飛散距離とアーセル数の反比例の関係は、波形勾配の変化で鉛直壁に作用する碎波波高が小さくなることが一要因であることが示唆された。図-12 を見ると、水平飛散距離と同じ傾向が見られる。よって、静水面からの到達高さも碎波水深や、波形勾配に影響を受けるということが示唆された。

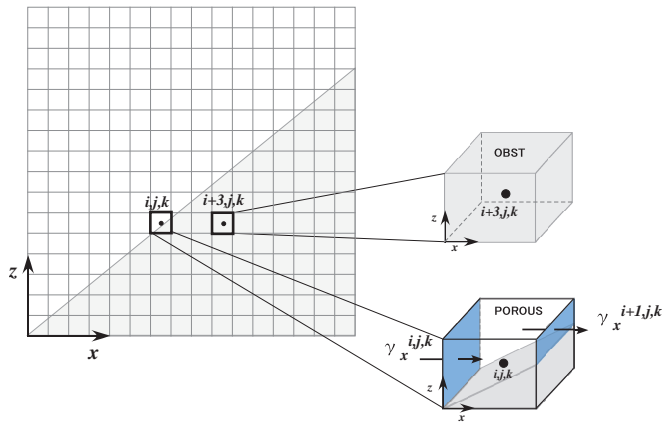


図-13 構造物の面積透過率 γ_x

表-2 造波条件

Sec.	case	$T[s]$	$H_0[m]$	$L_0[m]$	H_0/L_0
1	1	1.20	0.081	2.17	0.037
2	2	1.60	0.086	3.44	0.025
	3	2.05	0.073	4.79	0.028

4. 鉛直壁への打ち上がり波浪の再現計算

4.1 数値モデルの概要

本研究では、鉛直壁への打ち上がり波浪の再現計算を行う数値モデルとして、数値波動水槽 [CADMAS - SURF]3D (以下, C3D) を用いる。この数値モデルはもともと海域施設の耐波設計の実務に適用することを目的として開発された、自由表面を含む非圧縮性流体解析プログラム (CADMAS - SURF) を 3次元に拡張した解析プログラムである。C3D は構造物の機能や安定性を検討できるように、自由表面の影響や碎波の影響を考慮できるという特徴を有している。これらの影響を考慮するために必要な自由表面解析モデルには複雑な表面形状を解析可能な VOF 法を採用している。VOF 法は、セル中を占める流体の割合を表す VOF 関数 F の移流方程式と、自由表面の向きを示すフラグ NF を計算することにより自由表面の挙動を解析するものである。なお C3D は 3次元領域の計算を目的に開発された数値解析モデルであるが、3次元領域の計算では膨大な時間を要することや、模型実験の水槽が二次元性を有することから、本研究における数値計算では二次元領域の計算を行うものとした。

4.2 構造物に関する条件

C3D では波と構造物との相互干渉を数値計算で反映させるために空隙率や面積透過率などの構造物を考慮した条件設定を行う。図-13 に示すように構造物 (図中で灰色部) を含むセルには 2種類ある。同図より OBST セルはセル中を構造物が全て占めており、流体が通過しない。一方、POROUS セルはセル中の一部を構造物が占め、それ以外の部分は流体が通過する。面積透過

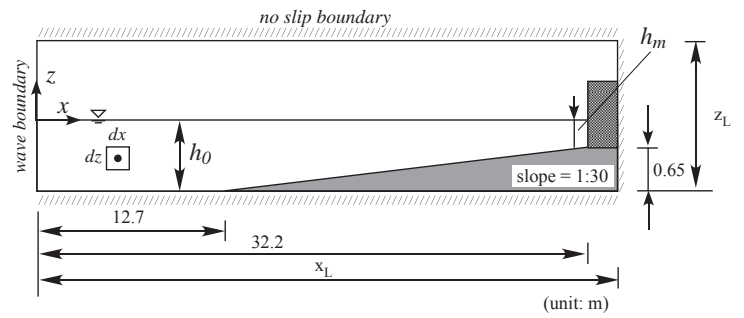


図-14 計算領域

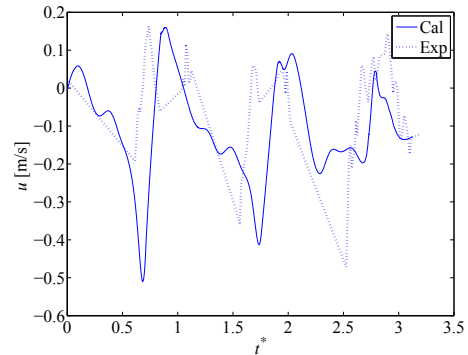


図-15 流速値の比較 ($T_0 = 1.6s$, $H'_0/L'_0 = 0.025$)

率とは、この POROUS セルの界面において流体の通過し得る面積の割合を表す。面積透過率 γ_x をすべての POROUS セルの界面で設定し、式 (4) から算出される慣性力効果 λ_I として支配方程式の移流項に構造物の影響を反映する。

$$\lambda_I = \gamma_I + (1 - \gamma_I)C_M \quad (4)$$

ここで、 λ_I : 慣性力効果、 γ_I : 面積透過率、添え字 I : 各軸方向の x, y, z 、 C_M : 慣性力係数である。

4.3 計算条件

計算領域は図-14 に示す通り $xL=33m$ 、 $zL=1.2m$ の二次元領域で、斜面や鉛直壁の設置位置は 2.1 節で述べた実験水槽の諸元に準じ、 $h_0 = 0.71m$ 、 $h_m = 0.06m$ とした。壁面及び構造物表面には no-slip 条件を課した。空間解像度は水平方向 $dx=0.005\sim 0.6m$ 、 $dy=0.005m$ 、鉛直方向 $dz=0.005\sim 0.01$ で、格子数はそれぞれ $N_x=1497$ 、 $N_z=148$ である。造波条件は、実験で飛沫が発生しなかった Section1、及び飛沫が発生した Section2 の計 3 ケースとした (表-2 参照)。

4.4 計算結果

4.4.1 実験値と計算値の流速比較

図-15 には $H'_0/L'_0 = 0.025$ のケースにおける $x = 31.51m$ 、 $z = -0.05m$ の位置での流速値を示す。同図より流速 u の位相が実験と計算で同じ傾向を示していることが確認できる。また、流速の正のピーク値は局所的に $0.1m/s$ 程の誤差を生じるが、概ね実験波を再現出来ることが示された。一方、流速の負の値を比較す

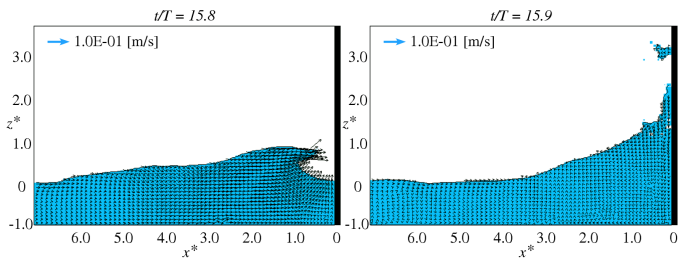


図-16 鉛直壁近傍の断面二次元速度場 ($T_0 = 1.6s, H'_0/L'_0 = 0.025$)

ると誤差が最大で0.3mに及ぶことが見られるため、実験波の再現上考慮すべき点であろう。これは実験で波群が入射した際の非線形干渉を数値計算で考慮することが困難である[5]ことが要因であると推察される。

4.4.2 鉛直壁近傍の流速分布

図-16~17は波浪が鉛直壁に衝突する前後における鉛直壁近傍の鉛直断面の二次元速度場を示したものである。 x^*, y^* はそれぞれ鉛直壁からの水平距離及び水面からの鉛直高さを壁前水深 h_m で除した無次元量である。流速ベクトルの基準値を $10^{-1}m/s$ とする。また図中の青色で示す範囲はVOF関数が $0 \leq F \leq 1$ であることを示している。なお図-16には実験で飛沫の発生が確認された $T_0 = 1.6s, H'_0/L'_0 = 0.025$ 、及び図-17には飛沫が発生しなかった $T_0 = 1.2s, H'_0/L'_0 = 0.037$ の2ケースの作用波諸元で計算した結果について述べる。図-16より $t/T = 15.8$ では衝突前に碎波している様子が再現されていること、また $t/T = 15.9$ の衝突後で流速ベクトルが大きく変化し、それに伴い波浪の打ち上げが生じている様子が確認できる。図-17では衝突前後で流速分布の差異が先のケースほど見られないこと、また衝突前後で波の打ち上げが先のケースと比較して低いことが確認できる。この結果から波の衝突速度が打ち上げに影響を及ぼしていることが示唆された。

4.4.3 鉛直壁への衝突速度比較

図-18には飛沫が発生した $H'_0/L'_0 = 0.025, 0.028$ 、飛沫が発生しなかった $H'_0/L'_0 = 0.037$ の3ケースで鉛直壁前面の水路床において水平方向流速が最大になる時の水平方向流速の鉛直分布を示す。 u^* は水平方向流速を代表流速 u_p (壁前水深を周期で除したもの)で除した無次元量である。 $t = t_{waveNo.5}$ は例えば各ケースにおける造波開始後5波目の時刻を指す。縦軸は水路床からの鉛直高さを示し、流速データは縦方向に $5 \times 10^{-4}m$ の間隔でプロットしている。同図より、 $H'_0/L'_0 = 0.037$ では、水平方向流速がほとんど変化しないことが見られる。一方、 $H'_0/L'_0 = 0.025, 0.028$ の2ケースは水平床からの高さが $0.04 \sim 0.08m$ あたりから流速が増大していることが明らかとなった。これは石田ら[2]による既往研究で、水の衝突速度が飛沫発生 of 支配的な要因となるという知見と一致する結果となった。

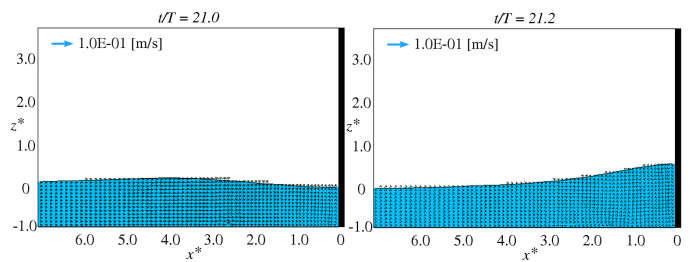


図-17 鉛直壁近傍の断面二次元速度場 ($T_0 = 1.2s, H'_0/L'_0 = 0.037$)

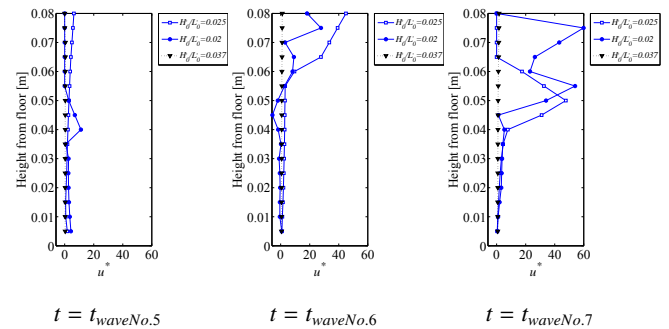


図-18 鉛直壁への衝突速度の鉛直分布

5. おわりに

以下に、本研究で得られた主要な知見を示す。

- 飛沫径の最頻度径を表すモード径は、作用波諸元の影響は受けず $10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}m$ であった。また飛沫径の分散性は碎波水深やアーセル数の増大によって高くなることが分かった。
- 飛沫数は周期、沖波波高、碎波水深によってピーク数が最大で100程度異なる。
- 鉛直壁からの飛沫水平飛散距離及び静水面からの飛沫到達高さは碎波水深やアーセル数が大きいほど減少する傾向が示唆された。
- 数値計算における実験波流速の再現では正の進行波成分は概ね再現出来るが、負の成分は最大で0.3m/s程の誤差が生じ、再現上考慮すべき点である。
- 鉛直壁前面での波浪の衝突速度は、飛沫が発生するケースと発生しないケースでは流速の値が大きく異なることが明らかとなった。

参考文献

- [1] 網野貴彦・大即信明・斎藤豪・羽淵貴士(2010): 構造形式や波の作用の影響を考慮した栈橋上部工部材の表面塩化物イオン濃度の推定方法に関する提案, コンクリート工学論文集, Vol.21, No.1, pp1-11.
- [2] 石田昭・花田昌彦・細井正延(1982): 飛沫の発生に関する実験的研究, 海岸工学講演会論文集, No.29, pp385-388.
- [3] 堀川清司(1991): 海岸工学, 東京大学出版会, p57.
- [4] 越塚誠一(2005): 粒子法, 日本計算工学会編, 丸善出版, pp96-98.
- [5] 善岡渉・北野利一・肥後克紀(2010): 鉛直壁による波群の反射について, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.B2-66, No.1, pp16-20.

討議等

討議 [大内一 教授]

現場でコアサンプルの収集解析などによって塩害劣化の劣化速度や劣化メカニズムを解明する研究が蓄積されているが、塩分供給量に対して精密な把握がなされていない現状である。一方で、本研究のように飛沫径や飛沫の発生数などの特徴量を通して塩分供給量を緻密に解析する研究は、前述の研究とどのように組み合わせていくのか。

回答：現場では、棧橋の部材位置によって劣化状況が異なることが課題とされている現状がある。塩分供給量を緻密に把握することによって、被害状況の調査を効率的に行うことが可能になると考えられる。また、アセットマネジメントの観点から、補修工法の費用対便益を向上させるためには適切な補修箇所を選択することが必要であり、そのためには本研究で最終的に目標とする塩分供給量の定量評価により得られた知見が必要とされると考える。

討議 [角掛久雄 助教・鬼頭宏明 准教授]

水理模型実験において、鉛直壁の材質が打ち上がり現象に影響を与えることが考えられるが、鉛直壁の材質はどのようなものを使用しているのか。なぜその材質を使用しているのか。

回答：鉛直壁には材料の加工が容易な木材を使用した。材質（固体）にはそれぞれ異なる臨海表面張力を有するため、鉛直壁の材質の違いによる飛沫発生現象への影響は考慮されるべきであると考えられる。しかし、本研究では材質の違いによる飛沫発生現象の物理的要因の把握が目的ではなく、作用波による飛沫特徴量の影響を把握することが目的であるため、木材を使用した。

討議 [木内龍彦 講師]

1. 数値計算では、水理模型実験で使用した二次元造波水槽を模した領域を計算条件としているが、現場（港湾海域などの広域）のスケールに適用するなど、汎用性はあるのか。
2. 真水と海水の違いによって飛沫特性が異なると考えられるが、計算では塩分（粘性）は考慮しているか。

回答：1. 計算領域及び作用波条件は自由に設定できるため、汎用性は有している。2. 流体の塩分は、飛沫が連続した流体から分離して生成される際に働く表面張力に影響を与えると考えられる。本研究で使用した

数値解析モデルでは、計算手法の都合上、飛沫を再現することが困難であるため、塩分などの影響は考慮せずに計算を行うこととした。数値計算では鉛直壁への波浪の打ち上がり現象の再現計算を行うことにより、水理模型実験で計測できない鉛直壁前面における流体運動を定量的に推定した。

討議 [中尾正喜 教授]

海水飛沫が風で陸域まで輸送され、建築物表面に付着して塩害劣化が生じるといった問題が生じていることから、風で運ばれる程度の小さい粒径の飛沫の解析が重要であるとされる。それを踏まえて、本研究では、どれくらいの粒径の飛沫まで解析することが可能であるのか。

回答：本研究では、構造物に波浪が衝突して発生する飛沫を対象としているため、風で運ばれる程度の粒径を対象とはしていない。高速度カメラによる画像計測では、空間解像度が $5 \times 10^{-4} \text{m}$ であり、解析可能な最小粒径がこれに相当する。

討議 [木内龍彦 講師]

1km先まで風で輸送されるような小さい粒径を有する飛沫は数値計算で解析できるのか。

回答：本研究で用いた数値解析モデルでは、飛沫の生成を再現することは困難である。飛沫の発生源が異なるが、海洋で発生した飛沫を砕波による波の減衰エネルギーから定量的に推定して、風速場で飛沫の輸送を数値計算により再現する研究はいくつか蓄積されている。