直立防波堤における大規模打上げの発生メカニズムについて

九州大学　学生会員　○大田 将大　　白尾 國貴
九州大学　　正会員　　山城　賢　　吉田 明徳

１．はじめに

台風来襲時や冬季風浪時などの暴風暴浪時には防波堤や護岸等の海岸構造物において**図-1**に示すような大規模な打上げが頻繁に生じる．打ち上がった水塊は大量の飛沫となり，強風によって陸域の広い範囲に拡散し塩害を引き起こす原因となっている．これまで，防波堤や護岸等の海岸構造物に対する作用波圧や越波流量については数多くの研究がなされ，得られた成果は実際の設計等に反映されている．しかしながら，大量の飛沫を生じる大規模な打上げの発生メカニズムを詳細に検討した例は少ないと思われる．本研究では，塩害を引き起こす海水飛沫や飛来塩分の発生源の一つである直立防波堤での大規模な打上げについて，その発生メカニズムを解明するため水理模型実験を実施した．

図-1　直立防波堤における大規模な打上げ
(山口県下関市和久漁港地区にて撮影)

２．実験内容

実験には**図-2**に示す反射吸収式二次元造波水路を用いた．この水路は波の打上げの状況を観察しやすいように，一部大きなガラス面を有している．直立防波堤及び海底地形は，著者らが別途飛沫の現地観測を実施している山口県下関市の和久漁港地区における直立防波堤と海底地形を対象とし，縮尺 1/70 の模型を作成した．入射波は修正 Bretschneider-光易型スペクトルを有する不規則波とし，有義波高 5.41cm，有義波周期 $T_{1/3}$=1.1s とした．これは現地の水深 21m の海域における有義波高 $H_{1/3}$=3.8m，有義周期 $T_{1/3}$=9.2s の波に相当し，当該漁港地区に 0416 号台風が来襲した際の波浪をエネルギー平衡方程式により推算した結果に基づき決定したものである．造波時間は約 22 分（有義波で約 1200 波）とした．まず，防波堤前面に 6 本の波高計を設置し，水面変動および壁面での打上げ高さを計測した．サンプリング周波数は 10Hz である．この時，デジタルビデオカメラにより防波堤前面での打上げの様子を記録した．これら打上げ高の時系列とビデオ記録から，波が防波堤に作用する典型的な瞬間を幾つか選定し，それらの瞬間のみを対象に可視化実験を行った．可視化の際にはナイロン樹脂のトレーサー（粒径 20μm）を水中に投入し，レーザーを照射して高速度カメラ（120fps）により撮影を行った．高速度カメラによる撮影記録をもとに PIV 解析を行い，波が防波堤に作用し打上げが生じる際の流速ベクトルを求めた．なお，全ての実験において水路中央部に設置した波高計で水面変動を測定し，入反射分離推定法により入射波のスペクトルが目標のスペクトルにほぼ一致していることを確認した．

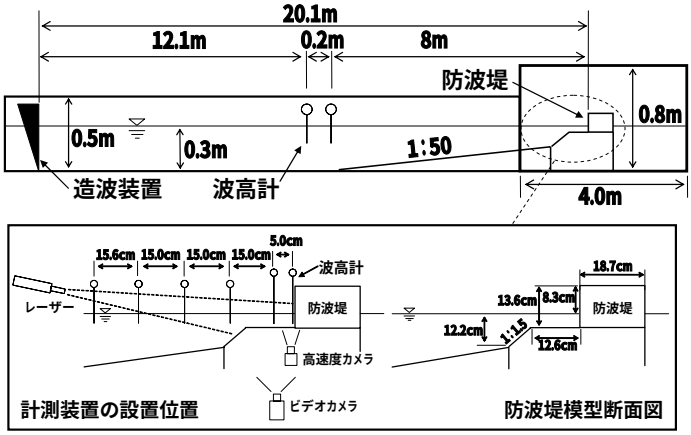

図-2　実験装置の概略

３．結果と考察

図-3は防波堤前面（壁面）に取り付けた波高計により計測した打上げ高の時系列の一部である．図より 10㎝を超える大きな打上げが生じていることがわかる．この打上げは実際には水塊が分裂し飛沫が発生するような

大きな打上げであるが，波高計による計測では飛沫の打上げ高は記録されていない．このような飛沫の発生を伴う激しい打上げは造波中に頻繁に生じていた．この時系列とデジタルビデオカメラの撮影記録から，図中の(1)～(3)で示す 3 つの波を選定した．それぞれ，(1)大規模な打上げには至らなかった場合，(2)大規模な打上げが生じた場合，(3)滑らかに反射している場合である．**図-4** に，(1) ～(3)のそれぞれの状況について PIV 解析により得られた流速ベクトルを示す．図中には経過時間を示している．大規模な打上げが発生する(2) の場合，壁面に波が作用する直前の波頂部の水平流速が特に大きいことが分かる．ビデオ記録からも大きな打上げが生じる場合は波頂部の水平流速が大きく，壁面に直接衝突するような状況が多く見られた．これらのことから図中に示すような壁面に作用する直前の波頂部の水平流速 u と壁面に沿う鉛直流速 v の大小関係が，打上げの発生を判別する 1 つの基準として考えられる．そこで幾つかの波について，**図-4** に示すようなベクトル解析を行い前述の水平流速 u と鉛直流速 v との関係を調べた．その結果を**図-5** に示す．図のプロットは大規模な打上げが生じた場合，反射する場合，その中間の場合で区別している．この図より，波が防波堤に作用する直前の壁面に沿う鉛直流速 v が水平流速 u よりも大きいと，打上げが生じず滑らかに反射される．そして，流速そのものが大きく水平流速 u が鉛直流速 v の 2 倍以上になると，大規模な打上げが発生するものと思われる．

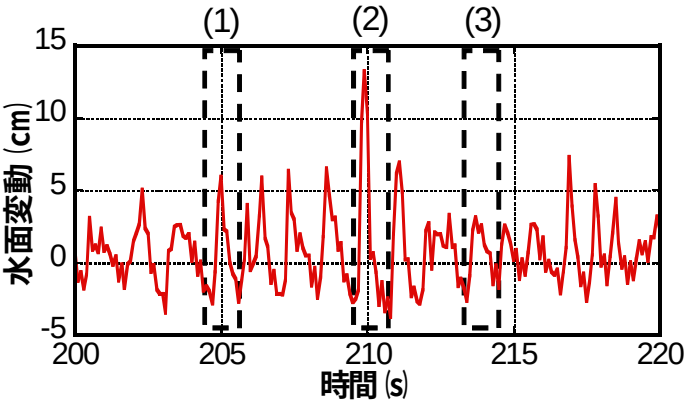

図-3　打上げ高の時系列

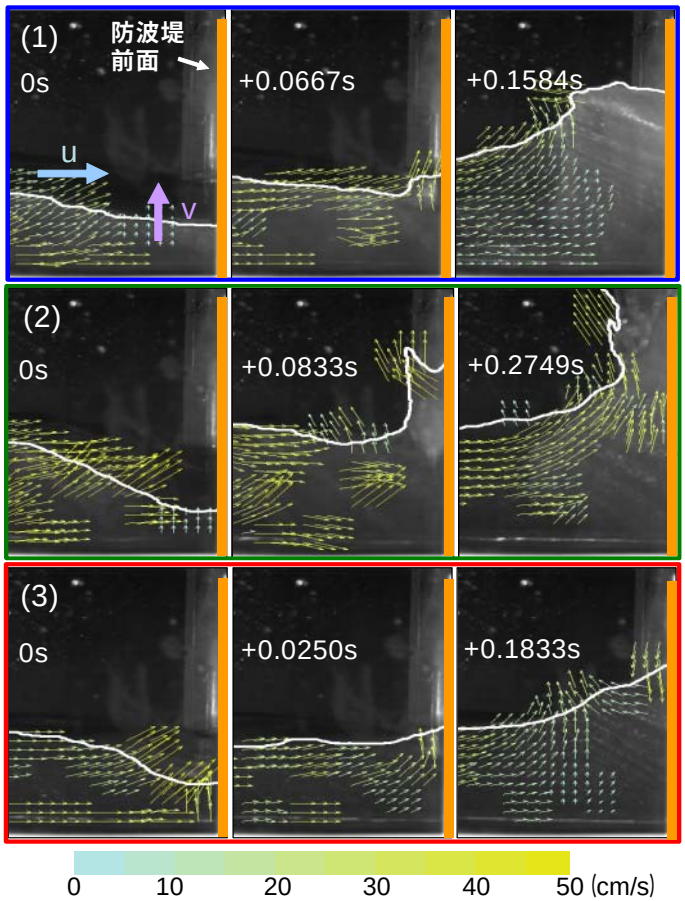

図-4　流速ベクトル図

4．おわりに

直立防波堤で生じる大規模な打上げの発生メカニズムを解明するため水理模型実験を行い，防波堤に波が作用する状況を PIV 解析により調べた．その結果，波が防波堤に作用する際に波頂部の流速が速く，壁面に直接衝突する場合に大きな打上げが生じることを確認した．しかしながら,堤前では砕波や壁面での反射波が強く影響し，波が防波堤に作用する状況は千差万別であるため，今後詳細な検討が必要である．さらに，入射波の諸元（有義波高や有義波周期）と大規模打上げの発生頻度や飛沫の打上げ高等との関係についても検討する予定である．

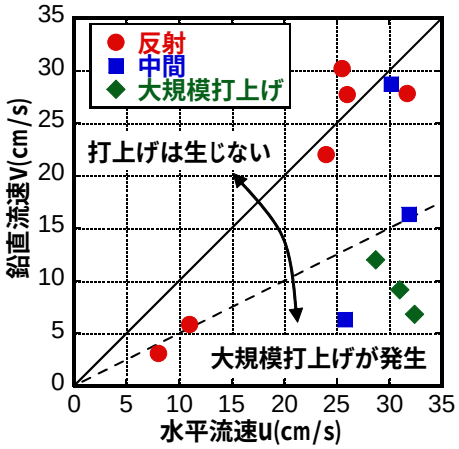

図-5　直立提に波が作用する直前の波頂部の水平流速 u と壁面に沿う鉛直流速 v の関係