

平成21年 5月22日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760368
 研究課題名（和文） 暴風波浪下に発達する気液混相波浪の衝撃碎波圧応答モデルの構築
 研究課題名（英文） Impact pressure responses in aerated turbulent flows under violent breaking waves
 研究代表者
 渡部 靖憲（WATANABE YASUNORI）
 北海道大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号：20292055

研究成果の概要：

沿岸域の波浪の碎波に伴い大量の空気が海中に混入すると共に空気中には飛沫が放出され、複雑な空気と海水が混合した乱流が発達する。この状態で波浪が海岸構造物に衝突する時気体と液体との相互の作用から非常に強い衝撃力が発生し、被災の主要な原因となる。この衝撃力とエアレーションとの関係を最新の計測技術と計算技術によって定量化し、モデル化を行いその信頼性と実用性を検証した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,000,000	0	2,000,000
2007年度	900,000	0	900,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	210,000	3,810,000

研究分野：海岸工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：防災、減災

1. 研究開始当初の背景

荒天時の大波浪から人命及び人間活動を護るため、我が国では国際的に耐災害能力の高い海岸構造物が建設されているにもかかわらず、強力な台風通過時には護岸の崩壊、防波堤の倒壊さらに沿岸道路橋の倒壊等依然として大規模な災害が頻発している。これらは、複数の悪条件が重なり発生したものと考えられるが、安全性の高い海岸構造物の耐力を遥かに凌ぐ極めて強い衝撃力の発生が主要な被災因子の一つと考えられている。一方、強力な台風通過時には、大波浪が広領域に渡

って碎波を繰り返すため、波浪下において非常に高濃度の空気混入が観測されている。甚大な被害の原因となる極めて強力な衝撃荷重は、封入空気塊の大波浪による極度の圧縮に起因する爆発的な膨張及び高濃度空気混合による圧力変動の急変が強く影響している可能性がある。

碎波ジェットが海岸構造物に衝突する際に発生する衝撃碎波圧及び栈橋等杭式構造物上部工に上向きに働く衝撃揚圧力をはじめとする衝撃波力に関して室内実験による数多くの研究が行われているものの、それらの

発生発達機構の一般化及び最大衝撃力の定量化には至っていない。さらに気液混相波浪下の圧力場は、水と空気の力学的応答が完全に異なるため、混入気泡数とサイズ分布に依存する極めて複雑なものとなる。碎波ジェットと構造物に封入されるエアチューブの衝撃碎波圧への影響については以前から指摘されてきたにも関わらず、その複雑さから、碎波圧の混入空気による影響は直接のパラメータとしては扱われず、水面波の条件のみで経験的に見積もられているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、台風等強力な低気圧の通過時の暴風下で発達した大波浪の碎波に伴い広範囲に渡って空気混合された気液混相波浪が海岸構造物へ衝突する際に発生する極めて強い衝撃波力の発生機構並びに波一構造物応答を解明し、混入空気の物理パラメータに対する衝撃碎波圧応答モデルを構築することである。申請者が独自に開発した三次元混相流計測技術及び碎波数値モデルによる物理・数値実験さらに申請者が継続的に行ってきた碎波帯気液混相乱流に関する研究成果を基に、ジェットの壁体衝突実験、碎波の壁体衝突時のエアレーション計測、そして数値計算を並行して行い、この最終目的を達成する。

3. 研究の方法

以下の要素研究を並行して行い、碎波によるエアレーションと衝撃碎波圧との関係を明らかにする。

- (1) 暴風下の気液界面相互作用と衝撃碎波圧発生過程を解明するための碎波数値モデルの導入
- (2) 気液混在下のデッキスラムによる流体一構造物揚圧衝撃応答の解明のための水理実験
- (3) Flip-through時のエアレーション過程の特定
- (4) 微生物を利用した局所的衝撃圧の面的分布の画像計測法の確立と流体衝撃力問題への適用
- (5) ジェット下の気泡混入数値モデルの開発

4. 研究成果

(1) 既に開発している自由水面の境界条件を厳密に満足される数値計算コードに申請者が独自に開発している碎波乱流数値モデルを導入し、渦一自由水面相互作用を含む碎波過程を再現し、ジェットの着水から飛沫への分裂過程を再現し検証を行った。暴風波浪の特徴である大規模な碎波を伴った大量の飛沫への分裂について、種々の Weber 数、Froude 数に対して数値実験を行い分裂時間と飛沫サイズの確率密度分布との関係をモ

デル化し、サイズスペクトルは対数正規分布で、分裂過程における飛沫体積率は正規分布の確率密度で記述できることを明らかにした。

碎波ジェットから放出される飛沫の分散過程を計算し、飛沫の体積率を見積もる確率モデルを開発した。蛍光励起を利用した可視化実験により数値実験と同一の碎波条件に対する飛沫形成過程を調査した結果、数値実験では解像できない微細飛沫が、碎波ジェットの着水時に形成され 5m/s を超える高速度で拡散することが明らかになった。

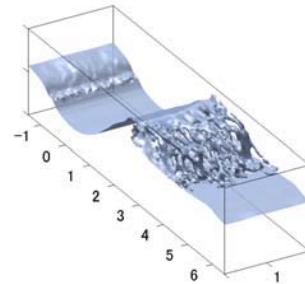


図-1 数値モデルを適用した碎波の飛沫への分裂過程の再現結果

(2) 2004年台風18号による沿岸道路橋崩落事例に基づく、鉛直壁前面の静水位上に固定された水平板下面に働く重複碎波衝撃圧応答特性と構造物と水面で形成された封入空気塊の影響を調査するため、淡水及び海水による水塊落下衝撃力実験を行った。封入空気は衝撃力ピークを著しく減少させ、ジェットの衝突速度の増加と共に振動周波数を増加させる特徴が明らかになった。海水による衝撃力は淡水のそれよりも常に10%程高いが、周波数応答に差異はない。

碎波ジェットの落下速度だけでなく空気塊の封入、メディアの違いをパラメータとした次のような衝撃圧時間変化の統計モデルを開発した。

$$P = a_1 a_2 t / T_1 \exp(-bt / T_2)$$

ここで、 $a_1 = 1$ (淡水)、 $a_1 = 1.3$ (海水)、 $a_2 = 1$ (封入空気なし)、 $a_2 = 0.4$ (封入空気存在)

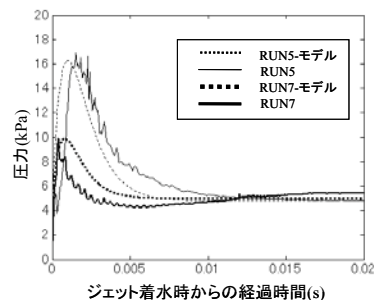


図-2 衝撃圧の実験結果とモデルによる予測結果の比較

下), $b=1$, $T_1 = -C_1V + d_1$, $T_2 = -C_2V + d_2$, $C_1 = 2 \times 10^{-5}$ (s²/m), $d_1 = 8 \times 10^{-5}$ (s), $C_2 = 3 \times 10^{-4}$ (s²/m), $d_2 = 1.9 \times 10^{-3}$ (s) (封入空気なし), $d_2 = 1.4 \times 10^{-3}$ (s) (封入空気存在下) である。

このモデルによりジェットの影響直後の急峻な圧力上昇と最大圧力そしてその後の減衰過程を実用上十分な精度で見積もることが可能となる(図-2参照)。

(3) 砕波が構造物に衝突する直前のジェットの発達度に依存して、爆発的な力が衝突面に働き、流体が加速され飛沫が高速で分散すると同時に水中も急速にエアレーションが進行する。バックライト法を用いた可視化実験により、衝突時の飛沫形状を計測し、飛沫サイズスペクトルを取得した。このサイズスペクトルは0.7-0.8mmにピークを持ち、衝突点からの距離に応じてその勾配がピークより小径側で急に、大径側で緩やかになることが明らかになった。

砕波の壁体への衝突は、混入空気の圧縮過程を経て越波ジェットのフィンガー化を誘発し、その加速度に応じて表面張力の不安定性が増幅し飛沫へと分裂する(図-3参照)。この飛沫及びフィンガージェットのサイズスペクトルの変化を動画像計測により決定し、モデル化を行った。

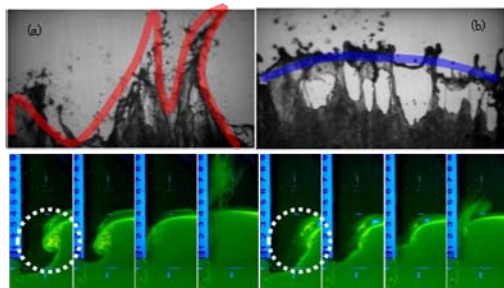


図-3 封入空気塊の有無で異なる越波ジェット形状が形成されることが明らかになった。バックライト法による計測結果(上)と砕波が壁体に衝突する直前の水面形(下)

(4) 生物発光を利用して、瞬時衝撃圧分布の新たな画像計測システムを開発し、その精度を検証した。このシステムにより液体ジェットの壁体衝突時の衝撃圧分布をおおよそ算定可能となった(図-4参照)。

(5) ジェットの水中への突入に伴い発生する気泡の生成と輸送を、乱流理論と界面の動力学からモデル化を行った。この数値モデルにより、ジェット近傍の高曲率界面から乱れスケールに応じて発生する気泡と気液相互作用を経て運動する気泡群を再現した(図-5)。

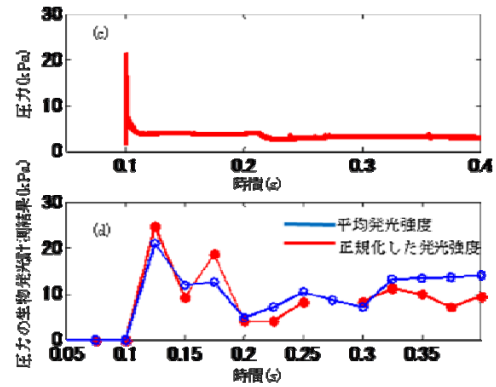


図-4 圧力計によって計測したジェット下の衝撃圧(上)と新たに開発した生物発光計測法による圧力(下)との比較

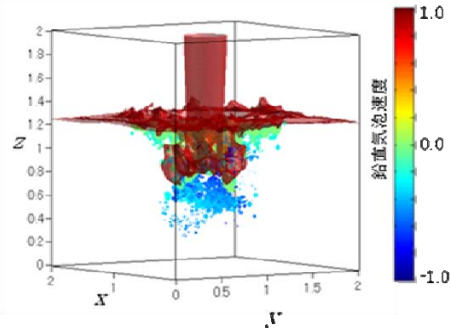


図-5 円柱ジェットが静水に着水する時に混入する気泡の分布(モデル適用例)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

① Watanabe Y., Mori N, Infrared measurements of surface renewal and sub-surface vortices in near-shore breaking waves, J. Geophys. Res., 113, doi:10.1029/2006JC003950, 2008 (査読有)

② 渡部靖憲, 田中康文, Bioluminescenceによる波浪中の衝撃圧力分布計測法の開発へ向けた基礎的研究, 海岸工学論文集, 55, 846-850, 2008 (査読有)

③ 渡部靖憲, 石崎真一郎, Flip-through型越波飛沫のサイズスペクトル, 海岸工学論文集, 55, 76-80, 2008 (査読有)

④ 猿渡亜由未, 渡部靖憲, フィンガージェットの分裂と飛沫の生成機構, 海岸工学論文集, 55, 61-65, 2008 (査読有)

⑤ Watanabe Y., Saruwatari, A., Ingram, D.M, Free-surface flows under impacting droplets, J. Comp. Phys., 277, 2344-2365,

2008 (査読有)

⑥猿渡亜由未, 渡部靖憲, 自由水面をもつジェットの分裂分散モデル, 海岸工学論文集, 54, 66-70, 2007 (査読有)

⑦大塚淳一, 田中康文, 渡部靖憲, 衝撃砕波圧の発達メカニズムの解明に向けた基礎的研究, 海洋開発論文集, 23, 195-200, 2007 (査読有)

⑧Watanabe Y., Hideshima Y., Shigematsu T., Takehara K., Application of three-dimensional hybrid stereoscopic particle image velocimetry to breaking waves, Measurement Science and Technology, 17, 1456-1469, 2006 (査読有)

⑨大塚淳一, 渡部靖憲, 横山馨, 武田靖, 三次元的砕波遷移に伴う波峰方向流速と渦スケールの時空間変化, 海岸工学論文集, 53, 86-90, 2006 (査読有)

⑩大塚淳一, 渡部靖憲, 三次元砕波混入気泡流と気泡群による砕波乱流強化について, 海岸工学論文集, 53, 91-95, 2006 (査読有)

⑪渡部靖憲, 猿渡亜由未, ジェットの着水過程における局所自由水面及び渦のダイナミクス, 海岸工学論文集, 53, 71-75, 2006 (査読有)

[学会発表] (計 1 件)

① Watanabe Y., LIF measurements of carbon dioxide dissolution in wave-breaking turbulence, Int. Conf. Coastal Eng., 2008年9月2日, CCH-Congress Center Hamburg, ハンブルグ, ドイツ

[その他]

ホームページ等

<http://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/ocean>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡部靖憲 (WATANABE YASUNORI)

北海道大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 20292055

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし