様式Ｆ－１９

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成２５年５月３１日現在

機関番号：14301
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2011～2012
課題番号：23760157
研究課題名（和文）　海表面への雨滴衝突により引き起こされる水面波の波高減衰現象の解明

研究課題名（英文）　An experimental study on wind-wave damping by raindrops’ impingement

研究代表者
高垣直尚（TAKAGAKI NAOHISA）
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：00554221

研究成果の概要（和文）：上部に降雨発生装置を取り付けた風波水槽を用い，風波の波高減衰実験を行った．その結果，波高減衰が起こるか否かは，風速および吹送距離よりもむしろ風波の大きさ（高さ）に強く依存することを明らかにした．また，降雨を伴う風波乱流場における気液両相の速度変動および水位変動計測，および単一の着色液滴を使用した液側界面極近傍の流動場の可視化実験を通して，気液両相の乱流場が降雨により強く影響を受けることを明らかにし，また，低風速時には雨滴の界面衝突により波高減衰が起こるにもかかわらず下降流が生じることも確認した．

研究成果の概要（英文）：The measurements in a wind-wave tank with rainfall show that the wind-wave damping by raindrops’ impingement more strongly depends on wind-wave height than wind speed and fetch. In addition, both measurements of velocity fluctuations in air and liquid and water-level fluctuation and visualization of water flow induced by falling drop show that turbulent fields in both air and liquid are strongly affected by rainfall and the downward flow on the liquid side is generated by impingement of raindrops nevertheless wind waves are damped by rainfall.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
交付決定額	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学
科研費の分科・細目：機械工学・流体工学
キーワード：風波，降雨，運動量輸送

１．研究開始当初の背景

大気・海洋間の運動量やスカラ（熱および物質）の輸送量を正確に評価することは，集中豪雨や台風などの局所風況を数値的に再現するメソ気象（Mesoscale Model, MM）モデルや大気や海洋の流れを解くことにより地球温暖化を数値的に予測する大気海洋大循環モデル（General Circulation Model, GCM）の計算精度をより高めるうえで，非常に重要である．近年，大気・海洋間のスカラ輸送量を正確に評価するためには雨滴（降雨）の海表面への衝突により生成される乱流渦の影響を考慮することが重要であると指摘されているが，このような雨滴衝突の効果は未だ明らかにされていない．

２．研究の目的

（1）降雨を伴う風波乱流場における波高減衰実験を行うために必要となる降雨下における気液両相の速度変動および水位変動計測手法を確立する．具体的には，気液両相の

速度変動まで測定可能なレーザドップラ流速計（LDV）を降雨下の乱流場における速度変動測定に対して適用することを試みる．また，風波水槽にためられた水の量は，降雨により時々刻々と増加する．そのため，降雨による水の増加量と同量の水を常に風波水槽から排水するための水位調整システムを開発する．さらに，開発された水位調整システム，降雨下における速度変動および水位変動測定手法を用いて波高減衰現象が起こるかどうかを確認する．

（2）降雨を伴う風波乱流場における風波の波高減衰実験を行うことにより，風波の波高減衰現象に及ぼす降雨の影響を解明する．具体的には，さまざまな降雨・風速状態において，降雨下における気液両相の速度変動および水位変動の計測を通して，風波の波高減衰現象が引き起こされる条件を明らかにし，さらに液側界面極近傍の流動構造を解明する．

３．研究の方法

（1）降雨を伴う風波乱流場における波高減衰実験を行うために必要となる，気液両相の速度変動および水位変動計測手法の開発を行った．開発では，上部に降雨発生装置を取り付けた風波水槽を用いた．気側速度変動測定のために，風波水槽の内部側壁に雨滴の付着を防止する雨滴付着防止装置を取り付けた．また，水位変動測定のために，波高計の上部にも雨滴付着防止のカバーを取り付けた．さらに，水位調整システムを開発し，風波水槽下端に設置した．

本研究で開発された降雨下における気液両相の速度変動および水位変動計測手法，そして水位調整システムを使用し，波高減衰現象の再現と確認を行った．

（2）降雨を伴う風波乱流場中における波高減衰実験では，上部に降雨発生装置を取り付けた風波水槽を用いた．実験は，さまざまな降雨状態および風速状態に対して実施した．降雨下における実験では風波水槽にためられた水の量は，降雨により時々刻々と増加するため，水位調整システムを使用し水位を一定とした．また，降雨下における気液両相の速度変動および水位変動計測手法を使用し，乱流・水位変動計測を行った．

４．研究成果

（1）各種計測手法の確立と波高減衰現象の確認：

降雨を伴う風波乱流場における気側速度変動測定のために，図 1 に示す雨滴付着防止装置を開発した．本装置は，風波水槽外に設置したコンプレッサから圧縮空気を風波水槽内部に設置されたパネルへと送り込み，風波水槽側壁に付着した雨滴を圧縮空気により吹き飛ばす機構を持つ．さらに，定量式波高計，電磁弁，ポンプ，シーケンサを併用した水位調整システムを開発し，風波水槽下端に設置した．

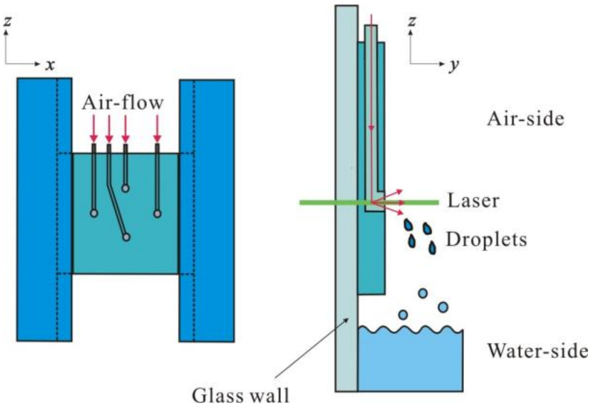

図 1：雨滴付着防止装置

開発された気側速度変動の計測法などを使用し，降雨を伴う風波乱流場において実施し，降雨下における気液両相の速度変動および水位変動を高精度に行えることを確認した．さらに，風波と降雨が共存する場合の波高減衰実験を行うために，風波水槽および全長 1m の降雨発生装置を使用した準備実験を行った．本実験では，先に確立された降雨下における気液両相の速度変動および水位変動計測手法および水位調整システムを使用した．その結果，本装置を用いた場合であっても波高減衰現象が起こることを確認し，さらに，気液両相の乱流状態が降雨により強く影響を受けていることを示した．

（2）風波の波高減衰現象に及ぼす降雨の影響：

風波水槽とその上部に設置した全長 4m の降雨装置を用い，波高減衰現象の発生条件について検証した．雨が降り，風が吹く状態において，水位調整技術を用い実験中の水位を一定に保った．降雨中での速度変動および水位変動計測手法を用いて水位変動および気流速度を測定した．図 2 に，吹送距離が x=6.0m および 13.5m の場合における，風波の波高 H_S と気側一様流速 U_∞ との関係を示す．図より，降雨強度，風速および吹送距離

によらず，波高が 0.02m 以下の場合には，雨滴の界面衝突により波高が減衰するものの，0.02m 以上ではその影響は小さいことが分かる．以上より，波高減衰が起こるか否かは風速よりもむしろ風波の大きさ（高さ）に強く依存することを明らかにした．

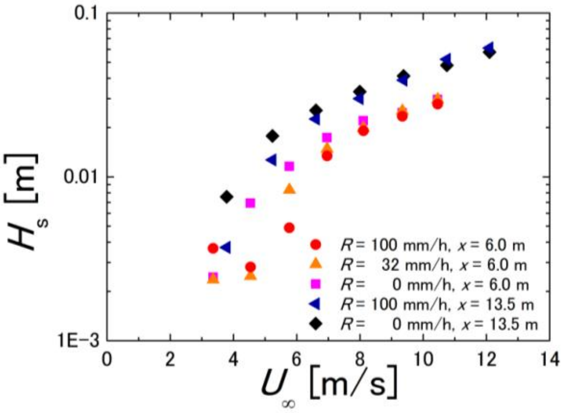

図 2:気側一様流速と波高の関係

さらに，24 年度に購入したカラーの高速度カメラを用いて，雨滴衝突時の液側界面近傍の流動構造の可視化を行った．可視化実験においては，同風波水槽および降雨装置を用いた．可視化のための撮影は，風速 0m/s，3.6m/s および 11m/s の場合に，水槽側面および底面から行った．その結果，風波の有無によらず，また風速によらず，雨滴の気液界面への衝突により液側界面近傍には雨滴衝突に特有の下降流が生じることを確認した．また，低風速時（3.6m/s）には雨滴の界面衝突により波高減衰が起こるにもかかわらず，下降流が生じることも確認した（図 3 参照）．これは，風が吹いている場合であっても，雨滴衝突により気液界面を通しての物質移動は降雨により促進される可能性を示唆している．

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１件）

(1) N. Takagaki, S. Komori, N. Suzuki, K. Iwano, T. Kuramoto, S. Shimada, R. Kurose, and K. Takahashi, Strong correlation between the drag coefficient and the shape of the wind sea spectrum over a broad range of wind speeds, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 39, 2012, L23604, doi:10.1029/2012GL053988.

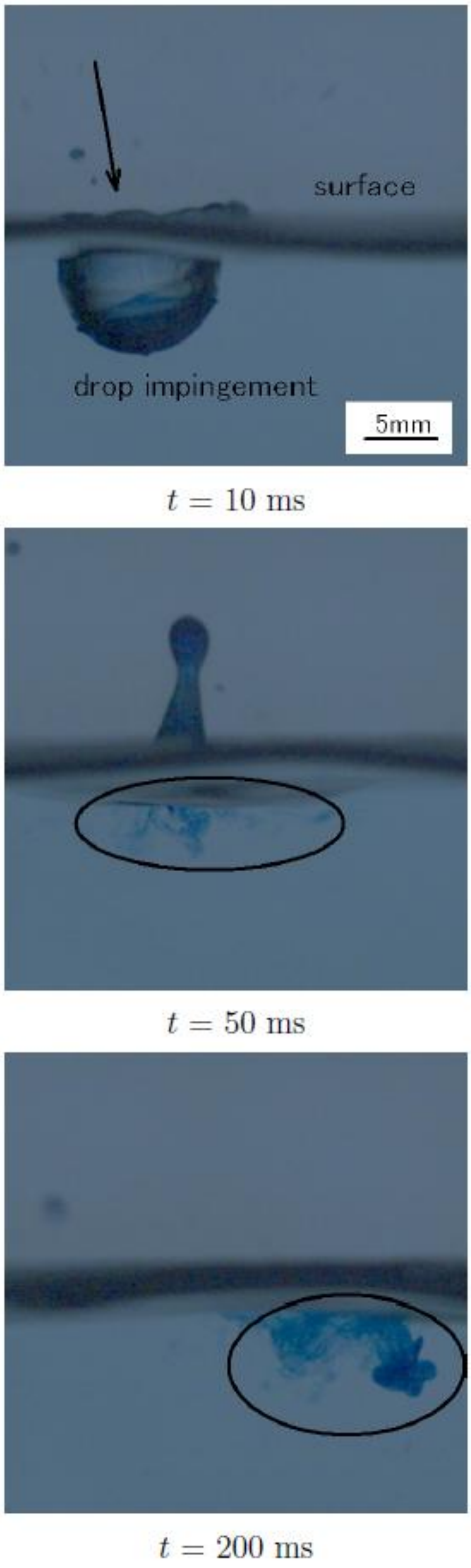

図 3:液滴衝突後の液側流動場の可視化（風速 3.6m/s）

〔学会発表〕（計９件）

(1) 高垣直尚, 倉本武典, 神内浩行, 岩野耕治, 黒瀬良一, 小森 悟, 強風速下における風波の波形勾配の評価, 第 90 期　日本機械学会　流体工学部門講演会, 2012 年 11 月 17 日, 同志社大学.

(2) 高垣直尚, 島田 暁, 倉本武典, 岩野耕治, 神内浩行, 黒瀬良一, 小森 悟, 砕波を伴う高風速下における水位変動の測定, 日本流体力学会 年会 2012, 2012 年 9 月 16 日, 高知大学.

(3) 高垣直尚, 坂本遼平, 藤井一穂, 岩野耕治, 黒瀬良一, 小森 悟, 風波乱流場における気液間 CO2 移動に関する降雨パラメータの検討, 日本流体力学会 年会 2012, 2012 年 9 月 16 日, 高知大学.

(4) N. Takagaki & S. Komori, Measurement of momentum flux across the air-water interface in high-speed wind-wave tank", ***Invited lecture***: *Japan Geoscience Union Meeting 2012*AAS02-01, 2012.May 20-25, Makuhari Messe – International Convention Complex, Japan.

(5) K. Iwano, N. Takagaki, E. Ilyasov, R. Kurose & S. Komori, Effect of Fetch and Entrained Bubbles on Mass Transfer Velocity across the Wind-Driven Air-Water Interface with Wave Breaking, The 8th KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, Incheon, Korea, 2012. May 18-21.

(6) 高垣直尚, 岩野耕治, 島田　暁, 倉本武典, 黒瀬良一, 小森　悟, 高速風洞水槽を用いた風波界面上の抗力測定, 2012 年度日本海洋学会春季大会, 2012 年 3 月 27 日, 筑波大学.

(7) N. Takagaki, S. Shimada, T. Kuramoto, K. Iwano, R. Kurose & S. Komori, Momentum transfer at the air-water interface in extremely-high wind conditions, 2012 Ocean Sciences Meeting, Salt lake City, Utha, USA, 2012.Feb. 19-24.

(8) 岩野耕治, 高垣直尚, Ilyasov Emil, 黒瀬良一, 小森 悟, 砕波を伴う高風速域における物質輸送量の評価, 日本機械学会 2011 年度年次大会, 2011 年 9 月 13 日, 東京工業大学大岡山キャンパス.

(9) 倉本武典, 島田 暁, 岩野耕治, 高垣直尚, 黒瀬良一, 小森 悟, 高風速下における砕波気液界面を通しての運動量輸送, 日本流体力学会年会 2011, 2011 年 9 月 7 日, 首都大学東京南大沢キャンパス.

６．研究組織

(1)研究代表者

高垣　直尚（TAKAGAKI　NAOHISA）

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：00554221

(2)研究分担者　　なし

(3)連携研究者　　なし