

高潮・高波同時生起実験に基づく越波・越流遷移モデルの高精度化と高潮浸水計算への実装 Improvement of Accuracy of Wave Overtopping to Surge Transition Models Based on Simultaneous Experiments of Surge and Waves and Implementation to Storm Surge Inundation Calculations

○松木謙太・今井優樹・安田誠宏・金洙列・Junbeom Jo・山上路生・馬場康之・森信人・平石哲也
○Kenta MATSUKI・Yuki IMAI・Tomohiro YASUDA・Sooyoul KIM・Junbeom JO・Michio SANJOU・Yasuyuki BABA・Nobuhito MORI・Tetsuya HIRAISHI

It is necessary to reexamine the transition state of water level rise caused by storm surges and the effects of the simultaneous occurrence of high waves and storm surges. In this study, changes in wave overtopping and overflow were measured experimentally under conditions of transitional rise in water level due to storm surge and a series of phenomena from a state in which only wave overtopping occurs to a state in which wave overtopping and overflow occur simultaneously were reproduced by hydraulic experiment. Furthermore, the results were compared with IFORM, and the accuracy of the existing model was examined. To improve the accuracy of IFORM, the coefficients of the overtopping formula were adjusted to improve agreement with experimental data.

1. 序論

気候変動の影響による台風の強大化や海面水位の上昇が予測されている。現在、海岸護岸の天端高の設定では、越波流量と越流公式が別々で用いられており、両者の遷移過程は考慮されていない。間瀬ら(2020)は、フルスケールで実施された越波・越流遷移実験を基に、越波・越流遷移モデル（以下、IFORM）を開発した。このモデルの精度検証・向上のためには、波浪と高潮が同時生起した条件での実験データが必要である。しかし、実験装置の制約から、高潮による潮位変化を起こした上に、波を同時に作用させた実験はこれまで実施されていない。そこで本研究では、高潮により潮位が徐々に上昇することで護岸の余裕天端高が変化する条件下で越波量を測定し、直立護岸および1割・2割勾配護岸における同時生起の影響を明らかにする。また、実験結果と比較することで、IFORMの精度検証および精度向上を行う。

2. 実験概要

本研究は京都大学防災研究所宇治川オープンラボラトリーの津波再現水槽を用いて実験を行った。この水槽は、流れ発生装置とピストン型造波装置を有しており、同時に作動させることができる。また、長さ25m、幅4m、高さ2mのサブ水槽が併設され、大口径管で連結されており、ポンプで水を循環させることができる。実験では、流れ発生装置で高潮を、造波装置で不規則波を造波する。水槽の断面図を図-1に示す。実験

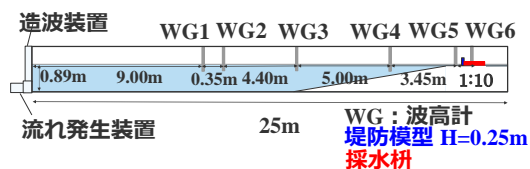


図-1 津波再現水槽の断面図

表-1 実験条件（越流卓越時）

H_0' (m)	$T_{1/3}$ (s)	Q (m ³ /s)
0.068	1.6	0.12~0.21(0.03 毎)
0.106	2.0	0.18~0.27(0.03 毎)
0.153	2.4	0.24~0.33(0.03 毎)
0.081	1.2	0.12~0.21(0.03 毎)
0.144	1.6	0.18~0.27(0.03 毎)
0.225	2.0	0.27~0.36(0.03 毎)

Q (m³/s) : 流入量, H_0' (m) : 換算沖波波高,
 $T_{1/3}$ (s) : 有義波周期

縮尺は1/25とした。水槽内には勾配1/10の海底地形とそれに接続する高さ0.8mの水平床が設置されており、水平床の沖側端に高さ0.25mの直立護岸、1割・2割勾配護岸模型を設置した。静水深を0.89mとし、余裕天端高は0.16mである。高潮を6分間、不規則波を8分間同時に作用させ、8分間計測した。高潮による潮位上昇だけでなく、ポンプ停止後の2分間で潮位低下の再現も試みた。越波が卓越する実験条件では全ての波浪条件において、流入量 Q (m³/s) = 0.03 ~ 0.09 (0.02 毎) に設定した。越流が卓越する実験条件を表-1に示す。越流卓越時の流入量は、波高によって異なるため、予備実験によって決定した。

3. 実験結果

実験値と IFORM を比較する。IFORM は Hughes and Nadal の実験結果に基づいて構築された。IFORM は浸水流量 q_{ws} を、越波流量 q_w 、越流流量 q_s 、波の影響度 Ratio を用いて式(1)で表している。また、Ratio と越波流量 q_w は式(2), (3)である。図-2 は、1 勾配護岸におけるすべての実験条件を比較した結果を示している。縦軸は 1 分間平均した IFORM から算出した越波・越流流量 q (m³/s/m)、横軸は 1 分間平均した実験値 q (m³/s/m) である。この結果から、3 点について明らかになった。

1 点目は、IFORM の算出値が、実験値と比較して過大評価になることである。しかし、流入量 Q 、すなわち高潮の効果が大きくなるほど、IFORM の算出値と実験値の誤差は小さくなる。2 点目は、波形勾配が大きくなるに従い、越波・越流流量が大きくなることである。本研究は 2 つの波形勾配について実験を行い、 $H_0/L_0=0.017$ (○, □, △) よりも、 $H_0/L_0=0.036$ (●, ■, ▲) の越波・越流流量の方が大きくなる傾向を確認した。3 点目は、越流現象が発生する直前では IFORM の算出値は、実験値と比較して過小評価になることである。

Ratio は閾値の範囲で、越流現象が卓越する浸水条件下では、越波の影響を無視すると定義されている。閾値の前後では越流時に越波が考慮されていないといえる。

図-3 の結果より、IFORM の精度向上の 1 つとして過大評価の改善に着目する。IFORM 算出値が実験値と比較して過大評価となる要因は、越波流量の算出に用いる式(4)中の係数 C の影響であると考えられる。同時生起実験に基づき、IFORM の精度を向上させるために、係数 C を変化させて IFORM と実験値を比較した。IFORM の精度向上について定量的に評価する指標として、2 乗平均平方根誤差 (RMSE) を用いた。1 割勾配護岸の場合は $C=0.75$ とされているが、RMSE より $C=0.15$ が最適であると考えた。図-4 は、 $C=0.15$ とした場合の IFORM と実験値の比較である。同様に、直立護岸、2 割勾配護岸についても評価し、最適な係数 C を設定した。その結果、精度向上させた係数 C は式(5)となる。図-3 と 4 のように、同時生起実験結果に基づいて、IFORM の推定精度を向上させることができた。

4. 今後の展望

高潮浸水計算モデルである SuWAT に、本研究で精度向上させたモデルを実装することで、計算結果にどのような影響があるのかを検討する。

参考文献

間瀬肇, 金洙列, 由比政年, 武田将英, 楳田真也, 川崎浩司,

$$q_{ws} = q_w \times \text{Ratio} + q_s \quad (1)$$

$$\text{Ratio} = \begin{cases} 1.0 & \text{for } (R_c/H_{m0}) \geq 0 \\ \cos\{(R_c/H_{m0}) \times (1/0.3) \times (\pi/2)\} & \text{for } -0.3 \leq (R_c/H_{m0}) < 0 \\ 0 & \text{for } (R_c/H_{m0}) < -0.3 \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{q_w}{\sqrt{gH_0^3}} = \begin{cases} C \left[\Gamma \left(\frac{R_{\max}}{H_0} \right)^2 \left\{ 1 - \left(\frac{R_c}{H_0} \right) / \left(\frac{R_{\max}}{H_0} \right) \right\}^\Omega \right] & \text{for } 0 \leq R_c \leq R_{\max} \\ 0 & \text{for } R_{\max} \leq R_c \end{cases} \quad (3)$$

$$C = \begin{cases} 0.25 \cot \alpha + 0.5 & \text{for } 0 \leq \cot \alpha \leq 2 \\ 1 & \text{for } \cot \alpha \geq 2 \end{cases} \quad (4)$$

$$C = 0.05 \cot \alpha + 0.1 \quad \text{for } 0 \leq \cot \alpha \leq 2 \quad (5)$$

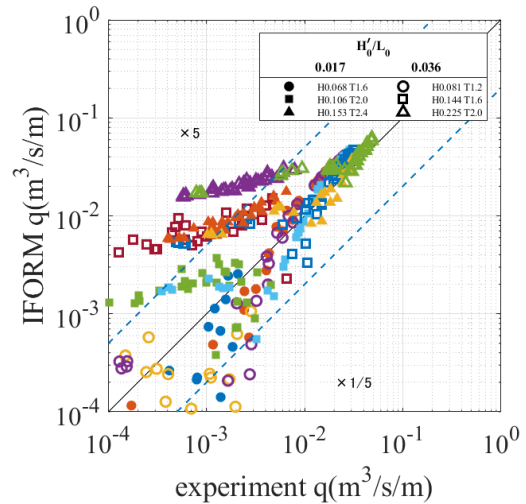


図-3 IFORM と実験値の比較 (改良前, $C=0.75$)

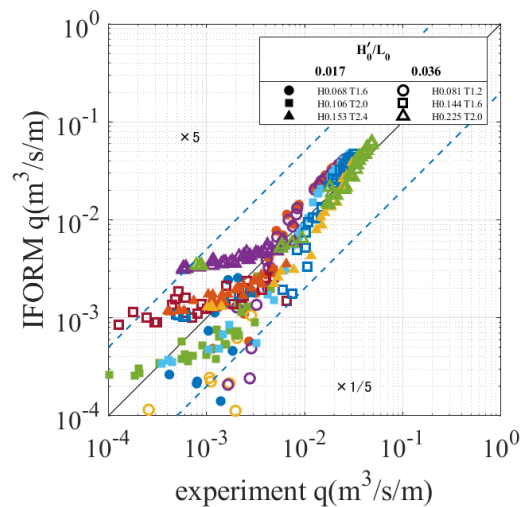


図-4 IFORM と実験値の比較 (改良後, $C=0.15$)

平石哲也, 松下紘資:フルスケール実験に基づく越波・越流遷移モデルと高波・高潮浸水シミュレーションへの実装, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.76, No1, pp.7-19, 2020.