

第II部門

高潮・高波同時生起実験に基づく越波量に及ぼす潮位変動の影響の検討

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○松木 謙太
 関西大学環境都市工学部 正会員 安田 誠宏
 京都大学防災研究所 正会員 森 信人

元関西大学環境都市工学部 甲田 友里花
 沿岸技術研究センター 正会員 平石 哲也

1. 研究の目的

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懸念されている。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。そこで、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、同時生起の影響を明らかにする。また、IFORM と実験値を比較することで、モデルの精度検証および実験結果に基づく精度向上を行う。

2. 実験概要

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 0.8 m の水平床が設置されており、水平床の沖側端に高さ 0.25 m の直立堤防模型を設置した。静水深 0.89 m とし、余裕天端高は 0.16 m である。堤防背後に越波量を計測するための採水箱（幅 0.5m、長さ 1.5 m、高さ 0.15m）を設置した。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。また、高潮が発生しない定常

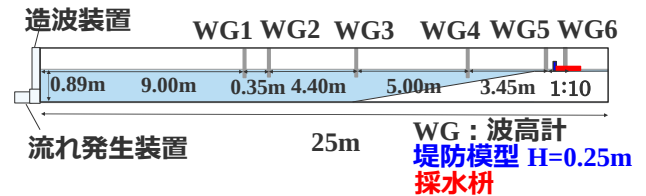


図-1 津波再現水槽の断面図

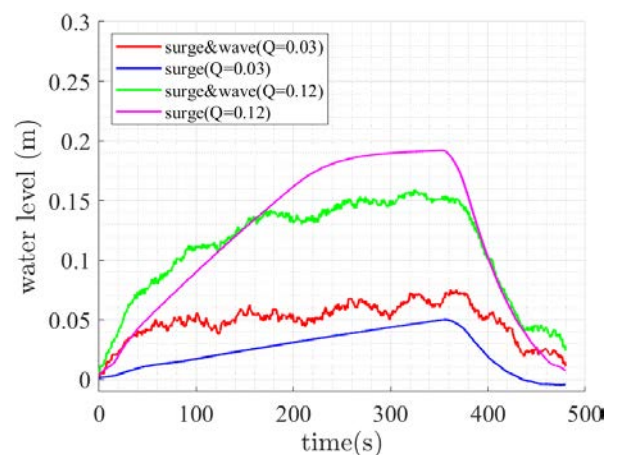


図-2 同時生起時の 30 s 平均した水位の変化（赤線：ポンプ流入量が小さい同時生起、青線：ポンプ流入量が小さい高潮、緑線：ポンプ流入量が多い同時生起、オレンジ：ポンプ流入量が多い高潮）

状態の実験も行った。越波量は、採水箱に設置した波高計によって計測された水位を用いて算定する。

3. 実験結果

高潮・高波同時生起の影響として、水位変化が挙げられる。同時生起時の水位変化を 30 s で移動平均したものと高潮のみの水位変化を、図-2 に示す。ポンプ流入量が小さい場合においては、同時生起時の水位（赤線）は高潮のみの水位（青線）より高いことが示されている。これは、砕波によるセットアップの影響と推察する。一方で、流入量が多い場合には、同時生起時の水位（緑線）は高潮のみの水位（オレンジ線）よりも低いことがわかる。これは高潮の影響により水位が上昇することで、波が砕波しないため

である。

IFORM と実験値を比較する。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-3 は、高潮が大きく、波が大きい条件における比較結果を示している。縦軸は 1 分間平均した IFORM から算出した越波・越流流量 q ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$)、横軸は 1 分間平均した実験値 q ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$) である。また、すべての実験条件を比較した結果を図-4 に示す。これらの結果から、以下の 2 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。

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、定量的に評価するために 2 乗平均平方根誤差 (RMSE) を用いた。直立堤の場合は $C=0.5$ とされているが、RMSE より $C=0.1$ が最適であると考えた。図-5 は、 $C=0.1$ とした場合の IFORM と実験値の比較である。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。

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

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

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

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

参考文献

間瀬 肇, 金洙列, 由比政年, 武田将英, 榎田真也, 川崎浩司, 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, No.1, pp.7-19, 2020.

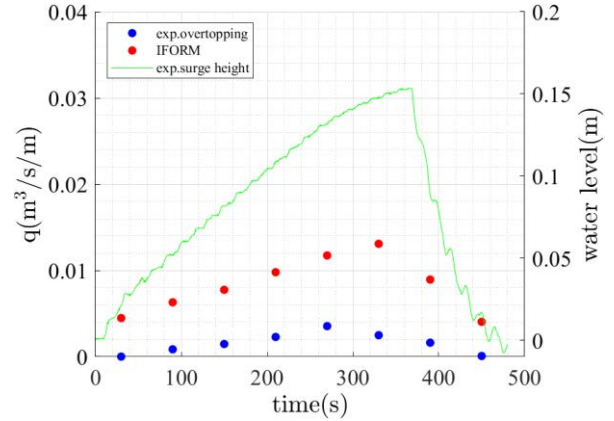


図-3 高潮が大きく、波が大きい条件における IFORM と実験値の比較と堤防前面の波高変化：緑線 ($Q = 0.08 \text{ m}^3/\text{s}$)

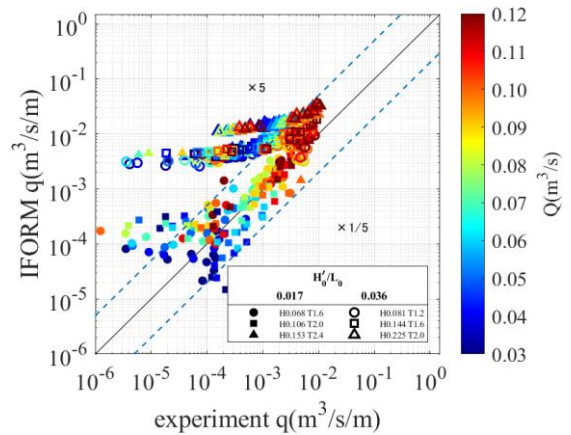


図-4 IFORM と実験値の比較 (改良前, $C = 0.5$)

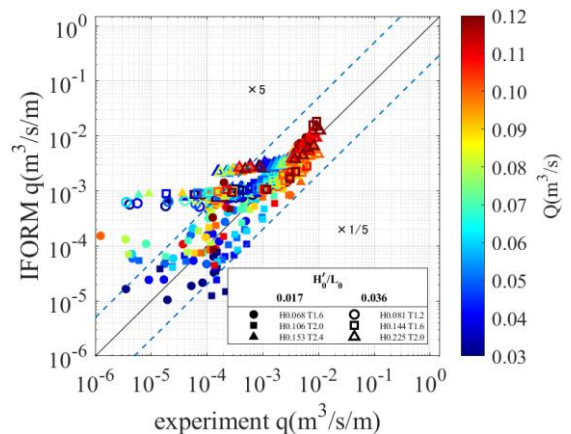


図-5 IFORM と実験値の比較 (改良後, $C = 0.1$)