

港湾域における高潮・高波による浸水予測と その対策について



平山 克也

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
港湾空港技術研究所 沿岸水工研究領域 領域長

1. はじめに

近年、我が国沿岸では、防潮堤よりも海側に立地する港湾域での高潮・高波による浸水被害が相次いでいます。例えば、神戸港では2018年台風21号、清水港では2019年台風19号により岸壁が浸水し、空コンテナが流されたりソーラスフェンスが倒壊するなどの被害が生じました。人的被害こそ少ないにせよ、重量ベースによる我が国の貿易貨物量の99%以上を取り扱う港湾が被災することは、我が国の経済活動や人々の豊かな生活に著しいダメージを与えかねません。そこで、2024年3月には、国土交通省港湾局が2021年より設置した有識者委員会において「港湾における気候変動適応策の実装方針」が発出され、そのなかで港湾における主に耐浸水性を確保するための「協働防護」の概念が示されました。この実現に向けては官民の関係者間の緊密な連携が不可欠であることは言うまでもありませんが、この取り組みを技術的に支援する海岸工学分野にお

ける研究開発もまた重要と考えられます。そこで、本稿では、国の支援を受けて港湾空港技術研究所（港空研）が取り組んでいる研究事例を中心として、その一端を紹介させていただければと存じます。

2. 岸壁上の越波浸水現象に対する理解

神戸港を襲った2018年台風21号や清水港を襲った2019年台風19号による高潮はそれぞれ各港におけるそれまでの既往最高潮位を上回るものでしたが、被災直後の現地調査結果やその後の検証計算等により、岸壁上の顕著な浸水被害は高潮に重畳した高波の越波による影響が大きかったものと考えられています。したがって、これらの浸水現象を正しく捉えるためには岸壁での越波現象に関する理解が不可欠となりますが、前面にパラペットを有する護岸とは異なり、背後の地盤高と同等または低い天端を有する施設では、図1に示すように、押し波時

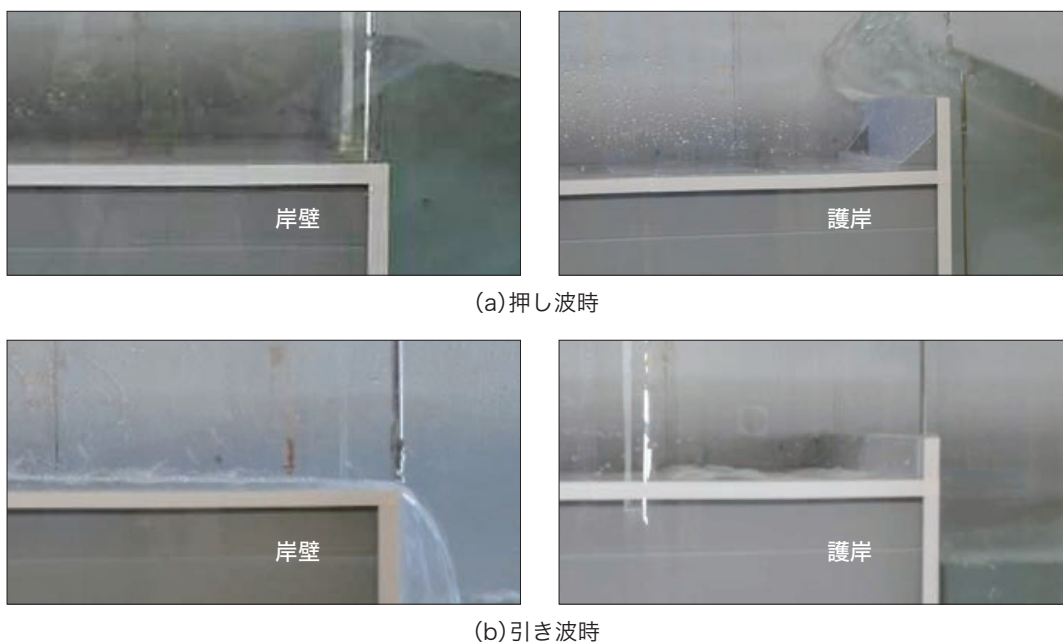


図1 護岸と岸壁における越波現象の違い

に越波した水塊の一部は引き波時に海へと戻ることになりま
す。そこで、高山¹⁾は、これらがバランスする定常状態を仮定
して越波が生じる岸壁上の浸水深を概算する方法を提案しまし
た。これによると、例えば、押し波時のみを考慮した時間平均
越波流量が一般的な護岸の許容越波流量と同じ0.02m³/s/mの
とき、岸壁上の浸水深は約8cmと見積もられます。ただし、
このとき引き波時には押し波時と同じ水量が排水されるため、
岸壁法線上の正味の時間平均越波流量はゼロとなることに注意
が必要です。なお、高山¹⁾は、潮位が天端高に迫った押し波時
の越波流量を合田の護岸越波流量算定図と天端高ゼロの越波流
量との間で内挿して算定しましたが、田中ら²⁾はこのような場
合に適用できる越波越流統合モデルを提案しています。

ところが、岸壁上で実際に生じる越波浸水現象は平面的な
広がりをもつ、また台風の通過に伴い時間的にも変動するた
め、ある岸壁法線での越波流量と排水流量は必ずしも一致し
ません。そこで、港空研では、このような岸壁上の越波浸水現
象をより適切に推定するために、異常時の港内静穏度解析だけ
でなく護岸背後の越波浸水計算にも適用例のあるブシネスクモ
デルを拡張して用いる研究³⁾を行っています。なお、この方法
では岸壁法線で算定図式による時間平均越波流量を与えるの
ではなく、岸壁法線を行き来する各時刻の越波または排水流量
を越流公式に基づく越波モデルで与え、初期水位での水域及び陸
域を一体として計算します。また、被災後の痕跡調査だけでは
容易に知り得ない浸水過程や、これを再現した浸水計算の精度
を明らかにするために、造波水槽を用いた大規模な平面越波浸
水実験³⁾を実施しています。特に、時間変化する波浪と潮位を再
現できるよう2023年度末に改修を終えた平面水槽を用いた越
波浸水実験では、浸水の発生から終息に至る一連の過程を再現
し、有効な浸水対策のあり方に関する知見を得ることなどが期
待されています。

3. 岸壁上の越波浸水予測及び対策に関する港空 研での取り組み

岸壁上が高潮の越流または高潮に重畳した越波により浸水す
る場合、これらの様子をブシネスクモデルで再現することは実
はそれほど容易ではありません。その理由は、浸水時には岸壁
法線の前後で海底地形に大きな段差が生じ、緩勾配近似が導入
されたブシネスク方程式をそのまま適用することができないた
めです。そこで、岸壁上の越波浸水計算ではこの段差を行き来
する流量を線形長波式で陽的に与える方法⁴⁾が用いられていま
す。また、波浪と潮位の時間変化は遷移時間を設けて段階的に
考慮しますが、この際にも波形の連続性は担保されるほか、高

潮計算で得られる潮位の時間波形をそのまま与える方法につい
ても現在検討が進んでいます。さらに、岸壁法線に対して斜め
入射する波の越波現象に関する研究も進められています。

一方、岸壁の浸水対策の1つに挙げられる岸壁上の胸壁につ
いて、この設計外力の算定方法が検討されています。例えば、
岸壁法線上に胸壁を設置した断面は護岸断面とよく似ていま
すが、港内での多重反射波が作用する岸壁前面での換算沖波波
高を算定することは必ずしも容易ではありません。そこで、岸壁
(直立壁)に作用する重複波圧の鉛直分布を港内波浪変形計算
と同時にブシネスクモデルにより直接算定するために、ブシネ
スク方程式の弱非線形性・弱分散性を補う圧力式の補正項及び
算定した波圧分布の補正式を提案しています⁵⁾。また、ブシネ
スクモデルで算定された越波流量または波力に既存の算定式を
適用して、換算沖波波高を逆推定する方法の妥当性について検
討しています⁶⁾。さらに、警戒時における現場でのソフト対策
等に活用していただくことを念頭に、台風接近に伴う高潮・波
浪の予測値に基づき、そのリードタイムを利用した準リアルタ
イムの浸水予測の実現を目指して、ブシネスクモデルによる越
波浸水計算の高速化にも取り組んでいます。

4. おわりに

本稿で紹介した港湾域における越波浸水予測及び対策に関す
る研究は、すでに一定の成果が得られているものがある一方、
未だ研究途上にあるものや実用化に向けて別のアプローチを模
索しているものもあります。また、これら以外にも、気候変動
適応策としての岸壁の協働防護を今後進めるうえで必要となる
技術や検討すべき課題は数多く残されていることでしょう。言
わば、従来は防波堤で守ることを基本としていた港内施設の性
能設計を新たに導入するにあたり、皆様による取り組みやお力
添えが大いに期待されることです。

参考文献

- 1) 高山知司：沿岸防災技術研究所の活動について（平成29年度）、沿岸技術研究センター論文集、No.18、pp.69-75、2018。
- 2) 田中陽二、鈴山勝之、樋口直人、柴木秀之：堤前波高を用いた越波モデルの改良と越波越流統合モデルの作成、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.74、No.2、pp.1015-1020、2018。
- 3) 濱野有貴、平山克也：岸壁上での流入・流出を考慮した越波浸水の算定手法に関する検討、港空研報告、Vol.62、No.3、pp.142-165、2023。
- 4) 平山克也：高波及びうねりによる越波災害と技術的対応、2019年度(第55回)水工学に関する夏期研修会講義集、水工学シリーズ、19-B-4、2019。
- 5) 平山克也、平井翔太：弱非線形ブシネスクモデルにより算定された重複波力の補正式の提案、土木学会論文集、Vol.81、No.18、25-18122、2025。
- 6) 濱野有貴、平山克也：越波流量や波力から換算沖波波高を逆推定する手法の平面波浪場への適用性に関する考察、土木学会論文集、Vol.81、No.17、25-17158、2025。