

波浪うちあげ高予測システムの精度検証

姫野一樹・福原直樹・加藤史訓

1. はじめに

高潮・高波による被害は、高潮に伴う潮位上昇により堤防等を超える越流等に加え、沿岸に打ち寄せる高波が堤防等を超える越波によってもより頻繁に発生する。近年でも、平成 30 年 9 月台風第 21 号等による浸水被害が越波により発生している。しかしながら現在発表されている高潮に関する予警報では、高潮による潮位上昇は考慮されているが、沿岸に打ち寄せる波は考慮されていないため、越波がいつから生じるかは分からない。地球温暖化の進行により波浪の影響も大きくなることが懸念される中、越波による被害に対し、確実かつ安全な施設操作や水防活動、住民の迅速な避難等を行うためには沿岸に打ち寄せる波が堤防等にうちあがる高さ（波浪のうちあげ高）を含めた高潮予測の導入が必要である。

波浪のうちあげ高については、国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）において現地の海浜地形、海岸保全施設の整備状況等を考慮できる「高潮・高波減災支援システム¹⁾」を開発している。



写真-1 兵庫県芦屋市における浸水事例²⁾

高潮・高波減災支援システムでは、海岸の地形・施設形状データと気象庁の潮位・波浪予測値を用いて、全国約500地点でのうちあげ高をリアルタイムで波浪うちあげ高を予測し、予測値を提供している。現在、国土交通省では、波浪のうちあげ高予測を活用し、実際の現場における安全で確実な施設操作や防災体制の構築等への利活用面での課題の抽出、波浪のうちあげ高観測や高潮・高波発生時の痕跡調査を通じた予測精度の検証等を実施している。

本稿では、近年越波が発生した事例及び大規模な浸水被害が発生した平成 30 年 9 月台風第 21 号による兵庫県芦屋市の南芦屋浜（写真-1）の浸水事例に対するうちあげ高予測値の検証について報告する。

2. 波浪うちあげ高予測システムの概要

波浪うちあげ高予測システムの詳細については、既報³⁾のとおりであるため、ここでは概要を述べる。波浪うちあげ高予測システム（図-1）は、対象地点の地形及び施設の形状を考慮して 39 時間先までのうちあげ高（潮位+潮位から波の遡上点

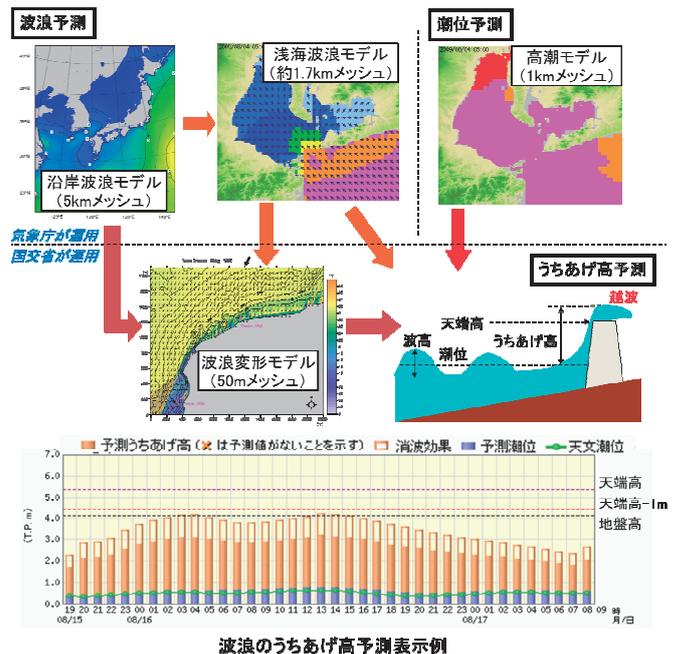


図-1 波浪うちあげ高予測システムの概要

までの高さ)を予測するものである。うちあげ高の予測値は、気象庁の潮位・波浪予測値の配信(潮位:3時間間隔、波浪:6時間間隔)に合わせて更新される。海岸堤防・護岸の高さは、設計高潮位に必要高(うちあげ高等)を加えて設定されていることから、高潮・高波時に波が堤防等に打ちあがっている高さを予測することで、越波がいつから、どの程度の時間生じるか視覚的に分かる。なお、気象庁の波浪や潮位の予測は、台風の進路に大きく依存するため、台風接近時には、台風の進路予報円の中心及び周囲4点(最も速い、最も右寄り、最も遅い、最も左寄り)を通る計5コースを対象に、うちあげ高を予測している。

うちあげ高予測に用いる波浪は、浅海効果を考慮するため、気象庁の浅海波浪モデル^{4),5)}の出力値(格子間隔約5km)または沿岸波浪モデル⁴⁾及び浅海波浪モデル出力値(格子間隔約1.7km)を沖側境界で与えた波浪変形モデル(格子間隔50m)の出力値を用いている。また、予測に用いる潮位は、気象庁の面的天文潮位の予測値に、気象庁の高潮モデル⁶⁾の出力値(格子間隔1km)を加えたものである。

うちあげ高予測に用いている算定式は、対象地点の海底地形に応じて選定^{7),8)}している。海岸堤防の設計において多用されている中村ら⁷⁾の改良仮想勾配法をベースに、砕波点から遡上点までの平均的な勾配(仮想勾配)を用いて、潮位から波の遡上点までの高さを計算するものであり、複雑な海浜断面や堤防形状を反映できる。

波浪のうちあげ高を常時観測している施設がないため、予測精度の検証に使えるデータは少ない。このため、現地での限られた観測結果や遡上痕跡の計測結果を用いて検証が行われており、潮位・波浪の予測精度が良ければ、適切な算定式を用いることで波浪のうちあげ高を精度良く予測できることが確認されている^{1),3),8),9)}。

3. 波浪うちあげ高予測システムの精度検証

3.1 近年越波が発生した事例に対する検証

予測精度の現地での検証事例は限られており、さらなる波浪のうちあげ高予測と現地状況との整合性を確認するため、平成28年1月から令和3年1月までの間に発生したうちあげ高予測地点100地点近傍での越波事例を海岸管理者から収集した。

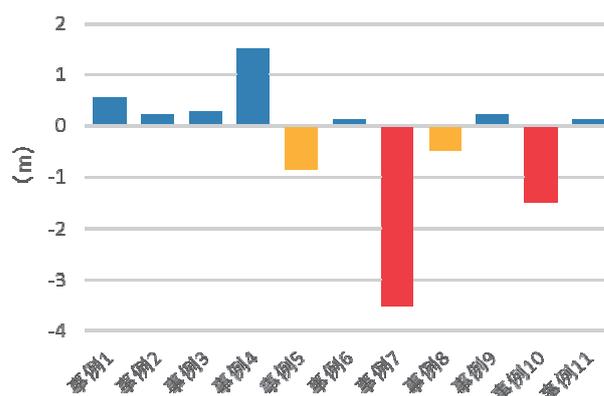


図-2 うちあげ高予測の最大値と天端高の差

越波事例は、現地やCCTVカメラでの越波の確認や越波発生後の流木等の飛散状況の確認等により得られたものである。収集した越波事例のうち、越波の程度が大きい11事例を抽出し、予測初期時刻から3時間以内のうちあげ高予測の最大値が天端高を上回っていたか整理した。

図-2は越波事例のうちあげ高予測の最大値と天端高の差である。7事例(青色)については、天端高を超える予測となっており、現地の越波実態を的確に捉えていた。海岸保全施設の技術上の基準・同解説¹⁰⁾では、海岸堤防等の天端高の決定にあたっては、不確実性を考慮して余裕高を設定することとされており、最大1.0m程度を限度として余裕高を設定されることが多い。このため、うちあげ高予測の最大値と(天端高-1m)を比較したところ、2事例(橙色)については、(天端高-1m)を超える予測となっており、越波の危険性の高まりを表現できていた。一方、2事例(赤色)については、(天端高-1m)を下回る予測であった。

波浪うちあげ高予測システムで用いているうちあげ高の算定式は、規則波を対象としたものである。しかし、実際の波浪は不規則性があるため、現地では瞬間的に予測値より高い波浪のうちあげ高になっていることが考えられる。このため、(天端高-1m)を下回る予測となった2事例(赤色)について、不規則波を対象とした玉田ら¹¹⁾による算定式を用いて、統計的に有意と考えられる最大のうちあげ高である2%最大うちあげ高を算出したところ、いずれも天端高を超える結果となり、越波が発生していた実態を再現できることを確認した。

3.2 南芦屋浜における精度検証

3.2.1 南芦屋浜における浸水被害

平成30年台風21号は、8月28日に発生し、徳島県に950hPaで上陸、その後淡路島、兵庫県神戸市を通過した。台風21号は、上陸時の移動速度も速く、近畿を中心とした広い範囲に、近年にない強風及び高潮・高波をもたらした。特に大阪湾においては、大阪の検潮所でT.P.+3.29mを記録し、観測史上最高の潮位となった。

大阪湾港湾等における高潮対策検討委員会最終とりまとめ資料²⁾によると、南芦屋浜背後に位置する芦屋市涼風町において、9月4日14~15時頃、越波により浸水被害が発生した。2018年台風21号Jebi沿岸災害調査団¹²⁾によると、同地点の近傍でT.P.+5.58mの遡上痕跡が確認されている。

南芦屋浜については、浸水被害発生時はうちあげ高予測を行っていなかった。そのため、当時の気象庁の波浪・潮位の予測値を元にうちあげ高の再現計算を行い、越波により背後地で大きな浸水被害があった事例に対する精度を検証した。

3.2.2 検証方法

波浪、潮位については、波浪うちあげ高予測システムと同様の方法で求めた推定値を用いた。

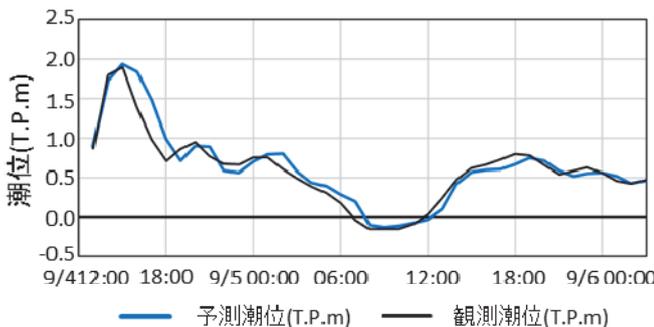


図-3 観測潮位と予測潮位の比較（神戸検潮所）

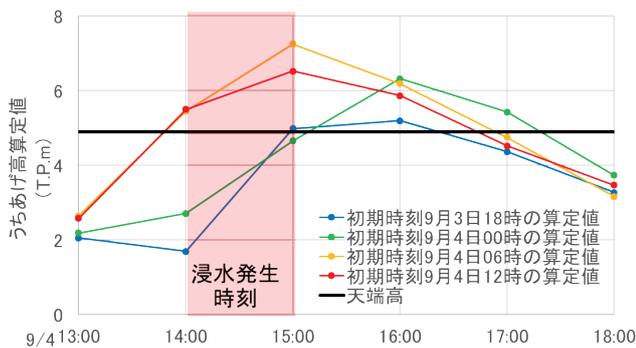


図-4 南芦屋浜における精度検証結果

また、うちあげ高算定に必要な地形は、陸域は国土地理院のDEM2、海域は海上保安庁の海図を用いて作成した。波浪うちあげ高予測システムと同様の方法でうちあげ高を算定し、算定値と浸水被害発生当時の天端高T.P.+4.9mを比較した。

3.2.3 検証結果

検証地点近傍の神戸検潮所の観測値と予測初期時刻9月4日12時の気象庁の高潮モデルの潮位予測値は、図-3のとおり最大値や時間的な変化が概ね整合していた。また、検証地点近傍のナウファス神戸港の14時20分の観測値（最大有義波高4.72m、有義波周期6.2s）に対し、予測初期時刻9月4日12時の気象庁の浅海波浪モデルによる観測所近傍の波浪予測値（14-15時）が有義波高4.2-4.6m程度、有義波周期5.7-6.4sとなっており、概ね整合していた。

図-4の赤線に示すとおり、うちあげ高の算定値は9月4日14-15時において、T.P.+5.5-6.5m程度で天端高を超える結果となっており、現地の浸水状況と整合していた。

3.2.4 うちあげ高予測のリードタイムの検証

防災対応を行う上で、いつの時点でうちあげ高が天端高を超える予測となると分かるかが重要である。そこで、台風中心コースの波浪・潮位予測値（予測初期時刻：9月3日18時、4日00時、06時、12時）を用いて浸水のあった時刻（9月4日14-15時）にうちあげ高が天端高を超えていたか確認を行った。図-4は、予測初期時刻毎の9月4日13-18時のうちあげ高算定値と天端高を重ねたものである。予測初期時刻9月4日06時、12時では、浸水被害のあった9月4日14-15時のうちあげ高が天端高を超えていた。波浪うちあげ高予測システムでは、予測初期時刻から約3時間後に計算結果が表示されることから、概ね5時間前にはうちあげ高が天端高を超える時刻を予測できていたことが分かった。また、それ以前の予測初期時刻でも、うちあげ高が天端高を超えており、概ね1日前には浸水の危険性を把握することが可能であることが分かった。

以上のことから、気象庁の潮位、波浪予測値を用いたうちあげ高の再現計算により、平成30年台風21号における南芦屋浜の浸水被害発生の危険性を事前に予測できることが確認できた。

4. まとめと今後の取り組み

近年越波が発生した事例及び平成30年9月台風第21号による南芦屋浜の浸水事例の精度検証結果から、うちあげ高の予測技術の活用により、越波が発生した実態を適切に再現できること、高潮・高波による災害発生の危険度を予見することができることが分かる。

現在、国土交通省では、波浪のうちあげ高を考慮した高潮予測の活用に向け、各地方整備局、都道府県、各地方气象台、国総研、水管理・国土保全局、気象庁が参画し、実証実験を実施している。実証実験では、波浪うちあげ高予測システムの実際の現場における施設操作や防災体制の構築等への利活用面での課題の抽出、波浪のうちあげ高観測や高潮・高波発生時の痕跡調査を通じた予測精度のさらなる検証、システムの操作性等に関する改善点の抽出を行っている。

国総研では、実証実験への参加を通じて、観測結果等を踏まえた波浪うちあげ高予測のさらなる精度向上を進めるとともに、実証実験で得られたシステムの操作性等に関する改善点への対応等を通じて、引き続き海岸管理者等の安全で確実な施設操作や防災体制の構築に貢献して参りたい。

謝 辞

近年越波が発生した事例の精度検証に用いた越波事例は、国土交通省水管理・国土保全局海岸室を通じて、地方整備局、都道府県から提供を受けた。また、平成30年台風21号における南芦屋浜の浸水被害に対する精度検証では、気象庁より過去の潮位・波浪の予測値の提供を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 加藤史訓、井樋世一郎：高潮・高波の浸水被害を事前に予測するシステムの開発～避難行動につながるわかりやすい情報発信をめざす、国総研レポート2022、pp.138~139、2022。
- 2) 大阪湾港湾等における高潮対策検討委員会：大阪湾港湾等における高潮対策検討委員会最終とりまとめ、2019。
- 3) 加藤史訓、井樋世一郎、湯浅直美：高潮・高波浸水危険度のリアルタイム予測システムの開発、土木技術資料、第63巻、第11号、pp.20~23、2021。
- 4) 竹内仁、高野洋雄、山根彩子、松枝聡子、板倉太子、宇都宮忠吉、金子秀毅、長屋保幸：日本周辺海域における波浪特性の基礎調査及び波浪モデルの現状と展望、測候時報、第79巻、特別号、pp.s25~s58、2012。
- 5) 加藤史訓、福濱方哉、橋本典明、三嶋宣明、松藤絵理子、宇都宮好博：内湾を対象としたリアルタイム波浪予測システムの開発、海洋開発論文集、Vol.23、pp.225~230、2007。
- 6) 林原寛典：気象庁の高潮数値予測モデルについて、天気、第58巻、第3号、pp.55~60、2012。
- 7) 中村充、佐々木泰雄、山田譲二：複合断面における波の打上げに関する研究、第19回海岸工学講演会論文集、pp.309~312、1972。
- 8) 加藤史訓、笹岡信吾、諏訪義雄、山本浩之、松藤絵理子、上原謙太郎、富田雄一郎：現地観測によるうちあげ高算定方法の検証、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.66、No.1、pp.711~715、2010。
- 9) 加藤史訓、福原直樹：現地観測による2019年台風19号接近時のうちあげ高予測の検証、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.76、No.2、pp.I.841~I.846、2020。
- 10) 全国農地海岸保全協会、公益社団法人全国漁港漁場協会、一般社団法人全国海岸協会、公益社団法人日本港湾協会：海岸保全施設の技術上の基準・同解説、pp.3-30-32、2018。
- 11) 玉田崇、間瀬肇、安田誠宏：複合断面に対する波の不規則性を考慮した打上げ高算定法に関する研究、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.65、No.1、pp.936~940、2009。
- 12) Nobuhito Mori, Tomohiro Yasuda, Taro Arikawa, Tomova Kataoka, Sota Nakajo, Kojiro Suzuki, Yusuke Yamanaka and Adrean Webb: 2018 Typhoon Jebi Post-Event Survey of Coastal Damage in the Kansai Region, Japan, Coastal Engineering Journal, Vol.61, pp.278-294, 2019。

姫野一樹



国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部海岸研究室 主任研究官
HIMENO Kazuki

福原直樹



国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部海岸研究室 研究官、博士
(工学)
Dr. FUKUHARA Naoki

加藤史訓



国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部 海岸研究室長、博士
(工学)
Dr. KATO Fuminori