

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

加藤史訓・井樋世一郎・湯浅直美

1. はじめに

近年、台風接近時に高潮・高波による浸水被害が各地でしばしば発生している。このような高潮・高波による被害から海岸の背後地を守るためには、海岸堤防等の整備とともに、高潮・高波による浸水の危険性を適切なタイミングで予測・周知し、避難等により人的被害の軽減を図る必要がある。市町村による避難指示は高潮警報の発表に合わせて行われることが多いが、高潮警報だけでは海岸堤防で越波が生じるか判断できないため、波浪の影響を考慮した海岸での浸水危険性を予測する情報が求められている。

国土交通省国土技術政策総合研究所では、高潮・高波時の水防活動を支援することを目的として、高潮・高波による浸水の危険性をリアルタイムで予測する「高潮・高波減災支援システム」を平成16年度以来開発してきた。本稿では、そのシステムの概要とともに、その予測精度の検証結果を紹介する。

2. 高潮・高波減災支援システムの概要

2.1 概要

「高潮・高波減災支援システム」とは、気象庁の波浪・潮位予測をもとに、全国約150地点でのうちあげ高を予測する「うちあげ高予測機能」（平成19年度から「うちあげ高予測システム」として試験運用中¹⁾）と、高潮・高波等による浸水危険度を予測し、日本全国（一部島嶼部を除く）の海岸線における浸水発生の危険度を色分け表示する「浸水危険度予測機能」（令和3年度から運用予定）から構成されるシステムである。その予測は、地方整備局や都道府県の海岸担当者がブラウザを用いて閲覧することができる。

2.2 うちあげ高予測機能

うちあげ高予測機能は、対象地点の海底勾配に応じて選択したうちあげ高の算定式を用いて、対

象地点の地形及び施設の形状のほか、一部の地点では消波施設の効果も考慮して、気象庁の波浪・潮位予測と同じく39時間先までのうちあげ高（波の遡上点の標高）を予測し、堤防等の天端高と比較できるものである（図-1）。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、うちあげ高は予測される（図-2）。

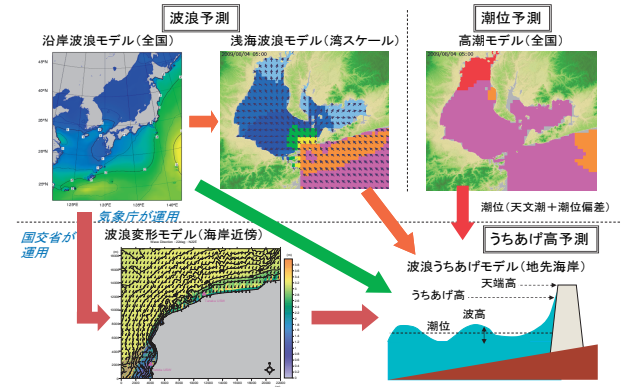


図-1 うちあげ高予測機能の全体構成

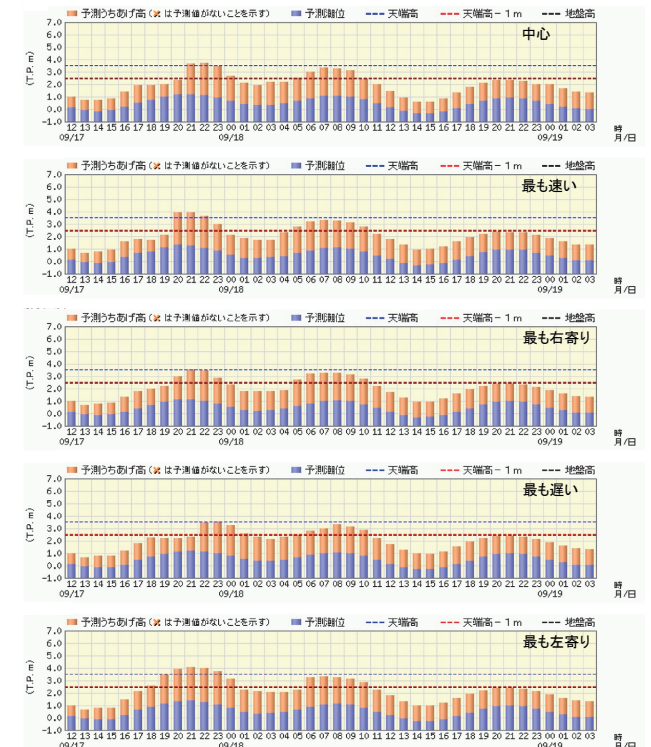


図-2 うちあげ高予測の例

うちあげ高予測に用いる波浪は有義波（一定時間内の波浪のうち波高が大きいものから1/3の個数を取り出して平均した波高・周期を持つ波）であり、気象庁の沿岸波浪モデル²⁾の出力値、浅海波浪モデル³⁾の出力値、沿岸波浪モデルの出力値を沖側境界で与えた波浪変形モデルの出力値のいずれかである。波浪変形モデルは、沖合での波のさまざまな条件（波高：1m刻み、周期：1秒刻み、波向：10度刻み）について、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算で対象地点近傍の波高を求め、その沖波波高との比を整理した波浪変形テーブルである。また、うちあげ高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⁴⁾の出力値を加えたものである。

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、うちあげ高予測に用いる算定式は、表-1の式から、対象地点の海底地形に応じて選定している。いずれの式も、海岸堤防の設計において多用されている中村ら⁵⁾の改良仮想勾配法と同様に、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、一様勾配ではない海浜断面や堤防形状を考慮できる。離岸堤・人工リーフ・消波工といった消波施設が設置されている一部の予測地点については、波高伝達率等により波浪減衰効果も考慮して予測値を算出している。

表-1 うちあげ高の算定式

算定式	出典
仮想勾配法	中村ら (1972) ⁵⁾
改良仮想勾配法 1/30	中村ら (1972) ⁵⁾ の実験のうち、海底勾配1/30程度のケースの結果から得た近似式
改良仮想勾配法1/100	加藤ら (2010) ⁶⁾
玉田らの式	玉田ら (2009) ⁷⁾

2.3 浸水危険度予測機能

前述のうちあげ高予測機能は全国約150地点を対象にしているが、現時点では日本全国の海岸線を網羅していない。そのため、一部島嶼部を除く各沿岸市町村の一連の海岸で現況堤防高が低く、防護人口密度が高い地区を重点監視箇所として約500箇所選定し、各重点監視箇所では越波や越流に

よる浸水の危険度を予測する機能を構築した。

浸水危険度は、重点監視箇所の堤防・護岸の天端高と気象庁の潮位及び警戒指標（潮位予測値+波高予測値×1/2）の予測値との比較により、下記の通り3段階で評価することとした。

- ・浸水危険度1
警戒指標 ≥ 堤防・護岸の天端高 - 1m
- ・浸水危険度2（越波状態）
警戒指標 ≥ 堤防・護岸の天端高
- ・浸水危険度3（越流状態）
潮位 ≥ 堤防・護岸の天端高

浸水危険度の予測精度は、別途計算したうちあげ高の計算結果と警戒指標との比較、越波・浸水の実績と浸水危険度の予測結果との比較等により検証した。なお、検証の結果、一部の重点監視箇所では予測値が過小にならないように、警戒指標設定時の係数を1/2より大きくしている。

浸水危険度の予測結果は、図-2のうちあげ高予測の結果と同様に時系列表示も可能な他、地図上の海岸線に着色して表示することもできる（図-3）。



図-3 浸水危険度予測の表示イメージ

3. うちあげ高予測の精度検証例

3.1 令和2年台風第10号時の検証

令和2年台風第10号は、発達しながら九州の南を北上し、9月6日夜に屋久島の西を通過した後、7日未明に五島列島を通過した。この間の中心気圧は945hPaと低く、九州などでは高潮や高波の発生が予想されていた。このため、最大潮位偏差は鹿児島県の奄美で1.4m、枕崎で1.0mが観測され、宮崎海岸の波浪観測所では既往最大を超える有義波高10.9mを6日22時に観測した。

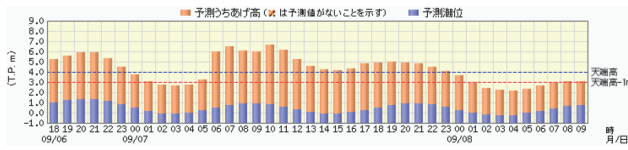


図-4 宮崎海岸でのうちあげ高予測 (予測初期時刻：令和2年9月6日18時)



図-5 宮崎海岸のCCTV画像 (令和2年9月6日18時)

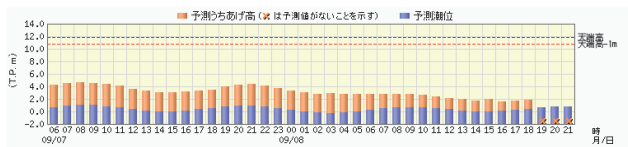


図-6 高知海岸でのうちあげ高予測 (予測初期時刻：令和2年9月7日6時)



図-7 高知海岸のCCTV画像 (令和2年9月7日8時)

図-4は、サンドバックが砂丘の海側に設置されている宮崎海岸測線No.65を対象とした予測初期時刻9月6日18時のうちあげ高予測である。この図のように、9月6日18～23時に、うちあげ高がサンドバックの天端高 (T.P. 4m) を上回る予測となっていた。それに対し、宮崎海岸に設置されているCCTVの画像では、図-5のように、9月6日

18時時点においてサンドバックの天端に波がうちあがる様子が確認された。

図-6は、高知海岸長浜工区を対象とした予測初期時刻9月7日6時のうちあげ高予測である。この図のように、9月7日のうちあげ高は最高でT.P. 5m程度となる予測となっていた。それに対し、高知海岸長浜工区に設置されているCCTVの画像 (図-7) では、9月7日8時時点においてT.P. 5m程度 (堤防前面の砂浜の高さ) となっており、うちあげ高予測と概ね一致していた。

以上のように、宮崎海岸や高知海岸において予測が現地での実態に合っていたことが確認された。

3.2 令和元年台風第19号時の検証⁸⁾

台風第19号 (令和元年東日本台風) の接近により、相模湾沿岸では、小田原海岸の水深13mに設置されていた波高計で、10月12日20時に、有義波波高8.1m、有義波周期11.2sを観測した。また、気象庁の小田原検潮所では、同日16時50分に既往最高潮位とほぼ同じT.P.1.22mを記録した。

小田原海岸及び大磯海岸におけるうちあげ高の計測値 (遡上痕跡の高さ) と各初期時刻のうちあげ高予測値 (予報円中心コース) の時系列を図-8～9に示す。図-8のように、小田原海岸のうちあげ高予測値 (玉田らの式 (上位1/3平均)) は12日18時前後に高くなっており、その時間最大値はT.P. 10m程度で、計測値とほぼ一致した。なお、小田原海岸のうちあげ高予測に用いた潮位の予測値と小田原検潮所の観測値の差は、うちあげ高予測値のピーク前後の時間帯では0.1m以下であった。一方、図-9のように、大磯海岸のうちあげ高予測値 (改良仮想勾配法1/100) の時間最大値はT.P.11m程度で、遡上痕跡の計測結果より約4m高かった。

予測値が計測値より高かった大磯海岸を対象に、12日12時を初期時刻とする潮位・波浪予測値を用いて、複数の算定式のうちあげ高を推算したところ、計測値と比べ、玉田らの式 (上位2%) の推算値はやや大きく、改良仮想勾配法1/30や玉田らの式 (上位1/3平均) はやや小さかった (図-10)。このように算定式によりうちあげ高予測値が大きく変わることから、海底勾配に応じて算定式を適切に選定する必要があることが改めて確認された。

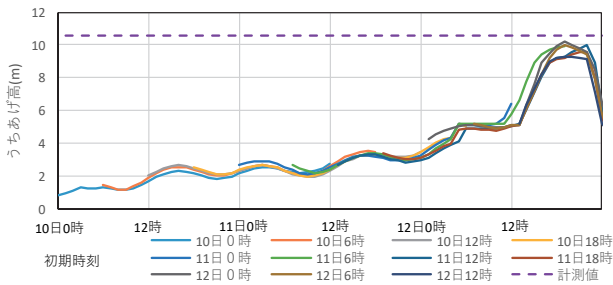


図-8 予測値と計測値の比較（小田原海岸）

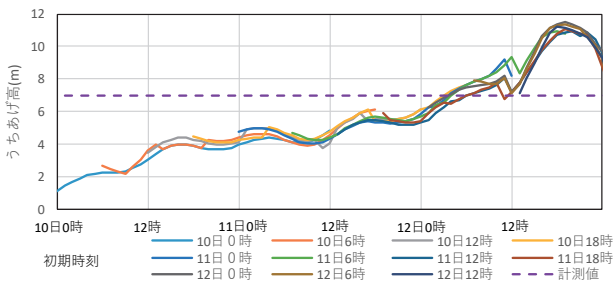


図-9 予測値と計測値の比較（大磯海岸）

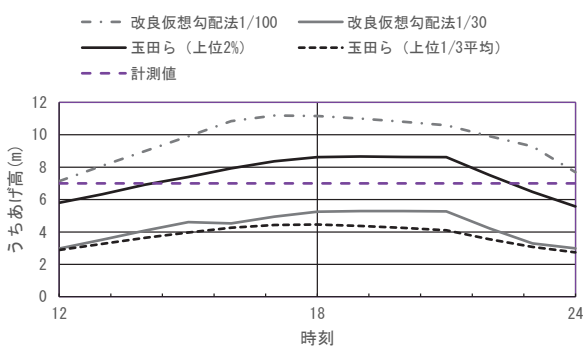


図-10 推算値と計測値の比較（大磯海岸、10月12日）

4. まとめ

開発した高潮・高波減災支援システムにより、うちあげ高が海岸堤防等の天端高をいつ、どれくらい超えるのかが予測できるようになる。うちあげ高等の予測精度は台風の進路や強度の予測、対象海岸が存在する沿岸の高潮や高波の特性、対象海岸の地形・施設条件に影響されることから、検

証を継続するとともに、必要に応じて予測精度の向上策を検討していきたい。

謝 辞

西湘海岸周辺での痕跡高データは東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻の田島芳満教授から、CCTV画像及び波浪観測データは関東、四国、九州の各地方整備局から提供を受けた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 高橋裕輔、諏訪義雄、漆原和也、渡辺昌彦、桶川勝功、菊池秀之、鎌田卓、工藤雄一：高波災害対策に関する研究、平成21年度国土交通省国土技術研究会論文集、2009、
<http://www.mlit.go.jp/chosahokoku/h21giken/program/kadai/pdf/shitei/shi1-04.pdf>.
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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、2011
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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

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

井樋世一郎



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
IBI Yoichiro

湯浅直美



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
YUASA Naomi