一般報文

現地における超音波式水位計のうちあげ高観測手法としての適用性検証

福原直樹・加藤史訓

1. はじめに

波のうちあげ高は、海岸堤防等の天端高を検討するための指標の一つとして用いられており、施設設計にあたって把握すべき重要な指標である。うちあげ高観測は現地において少数ながらも実施されており[1)~4)]、いずれの研究においても十分な精度のうちあげ高が計測あるいは算出されたことが報告されているが、機器の設置条件の制限や設置に要するコスト、うちあげ高算出に要する時間等に関する課題が残されており、これらの手法による観測の現場適用は普及していない状況にある。従って、現状の施設設計にあたっては規則波を対象とした改良仮想勾配法に代表されるうちあげ高推定式を活用することが多い。近年では、波の不規則性を考慮したうちあげ高推定式も提案されているが、うちあげ高推定式は沖合の波浪情報を必要とすることから、沖合に波浪観測施設が設置されていない箇所ではうちあげ高の推定も難しい。

他方、河川分野においては、安価に設置及び維持管理が可能な危機管理型水位計[5)]の開発・導入を推進しており、超音波式水位計や水圧式水位計等の洪水観測の適用性の検証が進められているところである。危機管理型水位計は洪水観測を目的とし、1秒以内の計測間隔で得られた水位から20秒以上の平均値を出力するとの仕様が規定されている機器であるが、計測間隔や出力時間の設定変更等の簡易な改良を加えることで、水位変化が速い波のうちあげ高を観測できる可能性があり、これら機器の海岸分野への適用性が確認された場合には、機器導入コスト等に対して大きなメリットを有することとなる。

これらの背景を踏まえ、著者らは、うちあげ高の安価な現地観測手法について検討を進めている。本稿では、危機管理型水位計の一つである超音波式水位計を、計測間隔等を変更した上で海岸堤防に設置し、うちあげ高の観測可否及び観測精度について検証を行った一例[6)]について、さらに検証を進めた結果を報告する。

2. うちあげ高の現地観測

2.1 観測箇所

波のうちあげ高の観測は、駿河海岸の田尻地先（静岡県焼津市）（図-1）の海岸堤防にて実施した。駿河海岸田尻地先には、消波堤が設置されているため、その効果により波の遡上が小さくなることを考慮し、消波堤の開口部の位置や既往の越波情報等を参考の上観測箇所を決定した。

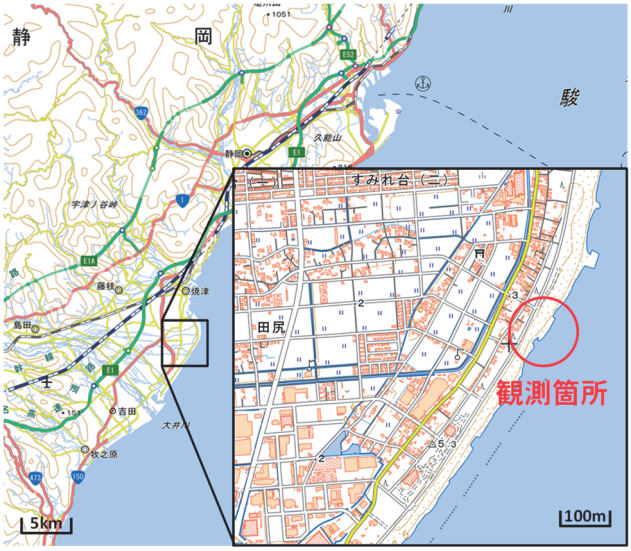

図-1　観測箇所

2.2 観測機器設置条件及び観測期間

観測は、波のうちあげを検知可能と考えられる間隔を考慮し、計測間隔及び出力時間を0.3秒に変更した超音波式水位計を2台設置することで実施した。本機器はメーカーの室内試験において検知可能な範囲の目安が示されているものであり、海岸堤防の天端高を参考とし、計測可能距離4.0mの超音波式水位計を選定した。1台目（以下「水位計A」という。）は海岸堤防波返し工から沖側に2.25m、2台目（以下「水位計B」という。）は沖側に3.50mの位置に設置した。なお、超音波

Field Investigation on Applicability of Ultrasonic-type Water Level Gages to Wave Runup Height Observation

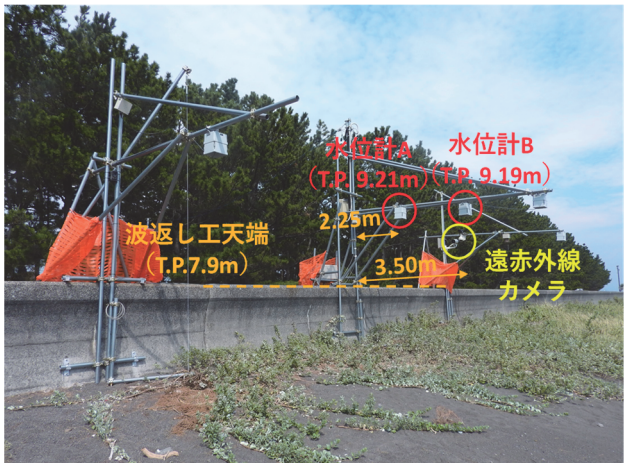

写真-1　観測機器設置状況（駿河海岸）

の拡散による機器間の干渉を避けるため、各機器の水平方向の拡散範囲である1.20mを踏まえて、機器は1.25m離した位置に設置した。また、検証用として容量式波高計及び遠赤外線カメラも併せて設置した。容量式波高計を含めた設置状況を写真-1及び図-2に示す。

なお、観測は、2019年9月11日から2019年12月11日までの期間において実施した。

3. うちあげ高の現地観測結果

以降は、大きなうちあげが発生した2019年台風19号接近時（2019年10月11日0時～12日18時）を中心に結果を報告する。なお、駿河海洋観測所（現地観測箇所から南西約5km、水深45m）では、10月12日17時に既往最大に匹敵する波高8.6m、周期13.8秒の波浪が確認されており、同市内の焼津験潮場では同日18時4分に既往最高潮位を0.4m上回るT.P. 1.8mの潮位が記録されていた。

3.1 水位計A及び水位計Bの観測結果

水位計Aの観測結果の一例を図-3上段に示す。図-3に見られるように、極端な水位変動（水位を検知していない時点から0.3秒後に最大値を記録する等）を示している時間もあるが、同時刻における遠赤外線カメラ映像からはうちあげは確認できなかったことから、これらはノイズと考えられ、観測期間のうち、多くの期間は断続的なノイズを含んでいることが確認された。ノイズは数時間単位で発生・未発生を繰り返すこともあるが、数日に渡って発生しない日もあり、規則性は確認できなかった。水位計Bの観測結果（図-3中段）も同様であったが、水位計Aとはノイズ発生の時間帯が異なっていることも多く確認された。

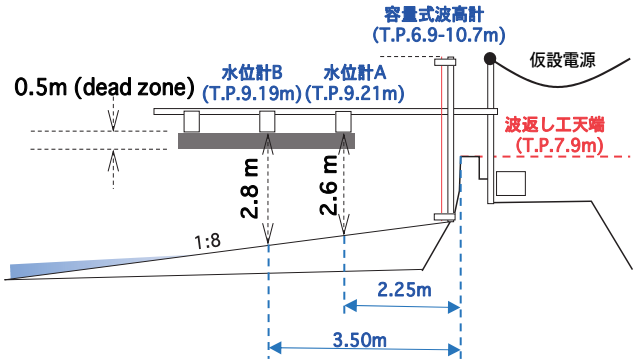

図-2　観測機器設置位置図（駿河海岸）

3.2 ノイズの発生要因

ノイズは、供給電力の周期ノイズによっても発生するが、上記で示したように、水位計A及びBが異なる時間帯にもノイズが発生していることから、必ずしも供給電力の周期ノイズのみが発生要因とは言い切ることはできない。機器の振動や音もノイズの発生要因となり得るが、大きな波のうちあげは台風に伴って頻度が増すため、うちあげ高の観測においては台風接近時のような降雨強度及び風速が大きな状況を想定する必要がある。これらから、超音波式水位計を用いてうちあげ高情報を取得するためには、同時に発生する観測ノイズ情報との分離が必要であることが示唆された。

4. ノイズ除去の手順及び結果

4.1 ノイズ除去の手順

ノイズの除去は、超音波式水位計の機器特性及び波の遡上特性を考慮し、2手順で実施した。

用いた超音波式水位計は、設置高（T.P.9.21m）から0.5m内の範囲は計測不可領域の仕様であったため、理屈上は水位計AにおいてT.P.8.71m以上の値を取得することはないが、頻度は少ないものの、上記以上の観測値も確認された。これらの観測値はノイズと見なし、地盤高相当の値に変換することでノイズの除去を実施した。なお、地盤高相当の値は、対象時間から過去10分間における計測値のうち、下端（地盤高近傍）の計測値を抽出した平均値と定義した。

ただし、上記処理のみではノイズは除去しきれない。そのため、上記処理後は、波は沖から岸に向かって遡上する特性に着目し、水位計Aで反応したものの、その直前に水位計Bで反応していない値はノイズと判断し、それらの値は上記と同様に地盤高相当の値に変換した。参照する水位計B

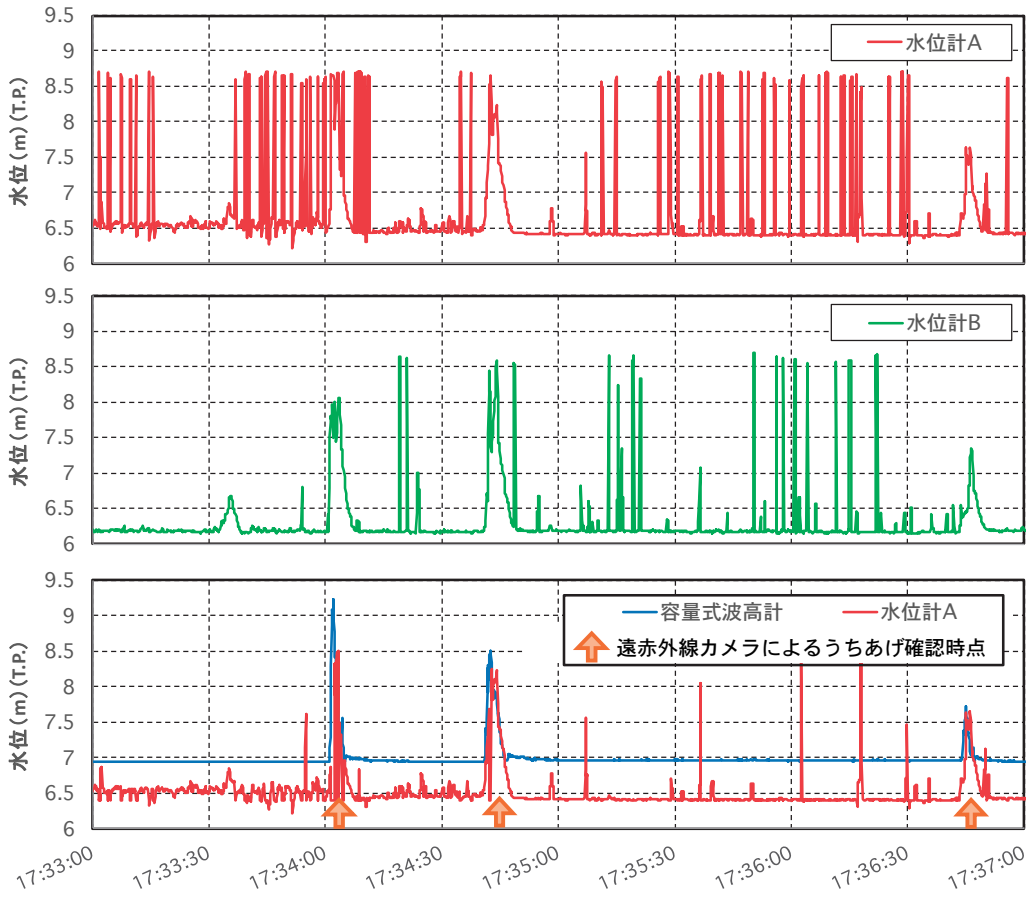

図-3　うちあげ高観測結果時系列データ（2019年10月12日）
（上段：水位計Aデータ、中段：水位計Bデータ、下段：ノイズ除去後データ）

の観測値は、遠赤外線カメラによる確認結果から、水位計Aの反応から過去1.5秒間と設定した上で処理を実施した。

4.2 うちあげ高の検出率及び誤検出率

図-3下段にノイズ除去処理後の水位計A、容量式波高計の観測結果及び遠赤外線カメラによりうちあげが確認された時点を付した時系列図を示す。上記に示した処理では、遠赤外線カメラにより確認されたうちあげ高を正とした波の検出率は93.3%（60波中56波）であり、9割以上の波が検出された。一方、容量式波高計における波の検出率は86.7%（60波中52波）であり、超音波式水位計には劣るものの、波の検出率は高いことが分かる。なお、容量式波高計は超音波式水位計に比べ、ノイズの発生頻度は非常に少ないという特徴が確認された。

一方、台風19号の期間における誤検出数（遠赤外線カメラでは波が確認されなかったものの、検出された波の数）は、超音波式水位計0.83波/時間に対し、容量式波高計は0.04波/時間であった。本検討のノイズ除去手法では、1.5秒以内に

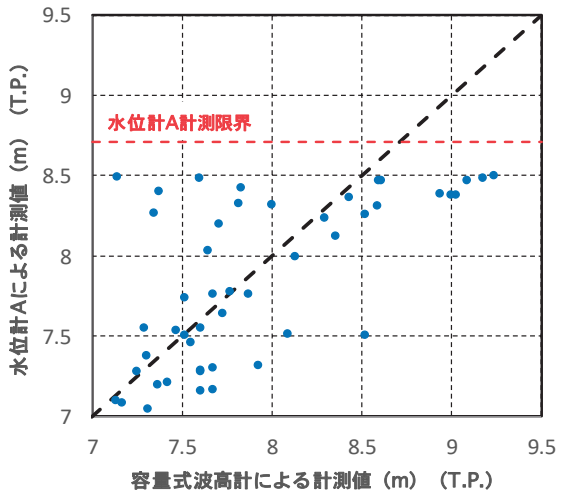

図-4　水位計Aと容量式波高計によるうちあげ高分布図

両機器にノイズが発生している場合はノイズとは判断されないため、ノイズを除去しきれていないと考えられる。

4.3 うちあげ高の相対誤差及び平均平方二乗誤差

ノイズ除去後の水位計A及び容量式波高計で計測された水位時系列のピークの値をうちあげ高とし、同時刻におけるうちあげ高の分布を整理した結果（図-4）、T.P.7.0～8.0mの範囲では、水位計

Aによる観測値が、容量式波高計よりも大きく出力されることが多く、1m以上の差が生じていることもあった。なお、小さく出力されるよりも大きく出力された場合の方が、差が大きかった。容量式波高計で計測下限付近を除いたT.P. 7.0m以上の値を計測したうちあげ高を対象とし、容量式波高計と水位計Aの相対誤差率を算出した結果は5.0%であり、平均平方二乗誤差は0.583mであった。容量式波高計は海面からの連続水塊の上限値を計測する原理に対して、超音波式水位計は海面上から下方に向けて超音波を照射する原理であるため、飛沫を含めて計測値を取得している可能性が高く、このような計測原理の違いが影響していると考えられる。

5. まとめと今後の展望

河川では、橋梁等の構造物が点在しているため風雨の影響を受けづらい箇所に設置できること、20秒間以上の平均値を出力する仕様であることから、ノイズは重要視していない。一方、海岸堤防のように風雨の影響を受ける設置条件では、ノイズの発生がうちあげ高の算出に大きく影響することから、ノイズ除去の必要性が明らかとなったが、複数台の超音波式水位計を用いてノイズ除去の処理を施すことにより、うちあげ高の計測が可能であることが確認された。また、うちあげ高のうち、9割以上の波が検出されていることに加え、観測精度も他の手法と同程度であり、超音波式水位計にて一定の検出率及び精度を確保した上で観測可能であることが明らかになった。

ただし、本稿で報告した事例は一例である。他の箇所（堤防天端高と地盤高の比高差：約5.5m）において、超音波式水位計（メーカー室内試験で示された計測可能距離：約6.0m）を用いて実施した検証では、計測可能距離の5割程度である約3.0m以内の観測結果しか得られず、天端高付近までうちあがった波は検知できたものの、のり尻近傍の波までは検出できなかった。超音波式水位計の計測可能距離は、機器が対応する電圧や超音波発射間隔（計測間隔）にも左右されるため、超音波式水位計をうちあげ高観測に用いる場合は、観測目的に応じ、計測間隔等を検討の上、機器を選定する必要がある。観測機器の選定には、今回の検証で用いた容量式波高計も選択肢として含まれるが、ごみの付着により正確な観測結果が得られない場合や漂流物による検量線の破断等のリスクがあること、砂浜の侵食が生じた場合は、検量線下端以下が観測対象外となってしまうといった可能性も考慮し、設置箇所の条件、目的を踏まえて観測機器を選定する必要がある。今後は、ノイズ除去方法や適用範囲等を整理の上、超音波式水位計や容量式波高計等の各機器によるうちあげ高観測の適用条件の明示や、各観測機器のコスト比較等を行い、今後のうちあげ高観測技術の向上及び普及に向けて検討していく予定である。

参考文献

1) 加藤史訓、笹岡信吾、諏訪義雄、松藤絵理子、上原謙太郎、冨田雄一郎、北村康司、田向順光：うちあげ高観測システムの開発、土木学会論文集B3（海洋開発）、Vol.67、pp.I_738～I_743、2011
2) 木村克俊、藤池貴史、上久保勝美、安倍隆二、石本敬志：道路護岸における波の打ち上げ特性に関する現地観測、海岸工学論文集、第45巻、pp.676～680、1998
3) 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、冨田雄一郎：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、pp.711～715、2010
4) 福原直樹、竹下哲也、加藤史訓、寺西琢矢、秋田雄大、橋本孝治：画像処理技術を用いたうちあげ高計測手法に関する検討、土木学会論文集B2（海岸工学）、Vol.75、No.2、pp.I_1267～I_1272、2019
5) 危機管理型水位計に関するポータルサイト：http://www.river.or.jp/riverwaterlevels/
6) 福原直樹、加藤史訓、田方俊輔、水戸佳祐：うちあげ高観測に対する超音波式水位計の現地適用性の検証、土木学会論文集B3（海洋開発）、Vol.76、No.2、pp.I_678～I_683、2020

福原直樹

研究当時　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、現　企画部サイバーセキュリティ対策・情報利活用推進官付　係長、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