

河川砂防技術研究開発【開発成果概要】

①開発事業者	組 織 名 (ふりがな)	開発代表者名	役 職
	情報通信研究機構	村田健史	主任研究員
②開発経費 (単位: 万円) ※端数切り捨て。	令和5年度	令和6年度	総 合 計
	972 万円	972 万円	1,944 万円
③共同開発者氏名 (開発代表者以外の開発者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏 名		所属機関・役職 (※令和7年3月31日現在)	
菊田和孝		情報通信研究機構・研究員	
上野勝利		徳島大学大学院・准教授	
水原隆道		クレアリンクテクノロジー・代表取締役	
④開発の目的・目標 (様式革新-2に記載した開発の目的・目標を簡潔に記入下さい。) 現在、日本の多くの海岸では潮位や沖合での波高は観測されているところであるが、堤防・護岸における波浪うちあげ高を観測するための機器は十分には導入されていない。近年、たとえば平成 20 年富山県の寄り回り波や令和元年台風 15 号の横浜市金沢区での越波被害など、潮位がそれほど高くない状況でも、越波による浸水被害が発生しており、陸間やひ門等の施設操作や水防活動、沿岸住民の避難等に活用するため、波浪の堤防・護岸における波浪うちあげ高の即時把握が必要とされている。 しかし現状では、リアルタイムうちあげ高の確認方法は海岸設置の CCTV カメラでの目視程度しか手段がなく、常時監視することは困難な状況である。リアルタイムで波浪うちあげ高を観測できる技術の開発が急務となっている。その際、観測対象は連続的な水塊であり、波浪うちあげ時の飛沫は除外することが望ましい。 海岸管理者が管理・観測する全国の海岸線延長は約 13,700km と広範囲であり、常時潮風や強風にさらされる過酷な環境化での観測が求められることから、設置する観測機器は、設置及び維持管理コストを抑え、かつ耐久性を有したものでなければならない。また、波浪うちあげ高の観測においては、瞬間的な現象を捉えることや波の不規則性を踏まえた処理の必要があるなど、多くの性能が求められる。そのため、安価、維持管理が容易、高い耐久性を兼ね備え、短い時間間隔で波浪うちあげ高を観測可能な技術の開発を行う必要がある。 高潮や波浪うちあげによる護岸構造物の被災防止や、越波・浸水に対する避難の判断に用いるため、本研究開発では、護岸や堤防への波浪うちあげ高のリアルタイム観測システムを開発する。開発するシステムは、次の 3 つの要素により構成されたものである。すなわち、①リアルタイム映像による IoT システム、②静電容量計による水位・浸水長計測システム、および③両者の測定データを統合しリアルタイムに提示するハイブリッドシステムである。③については全データをクラウドに集約し、両者を直接比較するシステムとなる。 映像 IoT システムでは、高速ネットワークに接続されたカメラを用いて観測対象となる護岸全体に到達する波浪を比較的広域にわたり録画し観測する。波浪うちあげによって発生する白波画像をオプティカルフローを用いて処理し、水界の頂点となる到達高さをリアルタイムに評価する。静電容量計による観測では、護岸に数 m～数 10m 程度の長さの電極を取り付け、静電容量を測定する。水浸した電極の長さに応じて静電容量が変化するため、波浪うちあげ高を観測することができる。電極の敷設を工夫することにより天端を越える越波や陸側への浸水も検知することもできる。実証試験では直立堤前面での波浪うちあげ高、直立堤の越波高、直立堤の越波幅、傾斜堤の遡上長を測定する電極を設置し、これらの観測方法を開発する。ハイブリッドシステムは①の映像による観測値と②の静電容量計による観測値をクラウドシステム上で統合して可視化するシステムである。これは①の映像による観測と②の静電容量計による観測の長所を活かし、同時に互いの欠点を補う相補的な手法であり、リアルタイムデータと同時に過去の任意の日時のアーカイブデータにもアクセス可能である。			

⑤開発成果

本研究開発では、映像 IoT システムと静電容量計による海岸堤防・護岸における波浪うちあげ高観測システムを開発し、富山県下新川海岸の2か所にシステムを設置して、その性能を検証した。特に、①観測のリアルタイム性、②システムの耐久性（連続稼働）、③打ち上げ高観測値処理による統計処理を行った。これらの観測データは数値化され、映像とともにクラウド上で可視化され、海岸管理者やその他の目的（たとえば一般市民への情報提供）なども可能である。

システム開発においては、次の要求事項を満足することを目標とした。①波浪うちあげ高をリアルタイムに観測・処理を行うこと。最大遅延時間は30分程度とする。②波の不規則性を踏まえ、10分観測値から最大値および上位10、1/5、1/3の平均した波浪うちあげ高を算出する。③将来の多地点設置を目指して、観測施設1基あたり100万円以下を目標とする。④堤防・護岸等の前面（海側）の波浪うちあげ高を定量的に観測する。特に天端を超過する場合は重要であるため、可視化の際には天端の位置も表示する。⑤強風、高波浪、降雨、夜間、低温等の条件下において常時観測できること。⑥波には周期があることや波浪のうちあげは瞬間的な現象であることを踏まえ、観測間隔を0.1s程度にするなど、波浪うちあげ高を捉える工夫すること。⑦一定の精度（目標は±50cm程度）で波浪うちあげ高を観測できる技術であること。

本研究開発では、①～⑦の要件を満たす映像 IoT システムおよび静電容量計システムを設計・開発した。映像 IoT システムでは PTZ（パン・チルト・ズーム）対応の IP ネットワークカメラを用いることで、複数地点の観測をカメラの方向やズーム率を切り替えて行うシステムとして設計した。静電容量計システムでは複数の電極を同じ地点に設置する（最大で4パターン）ことで、護岸の低い場所での打ち上げ高や天端を超える打ち上げ高を効果的に計測できる設計とした。

システム性能検証として、これらのシステムを富山県・下新川海岸の2か所（赤川および田中）に設置した。これら2か所は国土交通省の CCTV カメラや他の計測システムが設置されている箇所であり、それらのデータとの比較も可能であることを加味して選定した。赤川は直立堤と傾斜堤を対象とした。

映像 IoT システムは両者の中間点に1台設置し、30分毎に両者を切り替えて遠隔からの映像を取得することとした。静電容量計は直立堤に2パターン、傾斜堤に1パターン設置した。前者は護岸に垂直に垂らすセンサーと天端上のポールに垂直設置するセンサーにより、越波する波を識別できる設定とした。田中については、映像 IoT システムを1セット、静電容量計を4パターン設置した。映像 IoT は天端に直接設置することで護岸をのぞき込む形で撮影を行う。静電容量計は護岸に垂直に垂らすことで低い波を計測、天端上のポール（実際には北陸地整局の設備）に垂直に設置することで越波を計測、護岸に水平に貼り付けることで広い範囲で越波の有無を確認することとした。4パターン目は護岸そばの傾斜堤に設置した。

田中直立堤においては、映像 IoT システムにより次のことが明らかになった。垂直方向からの計測においても直立堤壁面の波の位置を検出できることを、肉眼による検証にて確認できた。また、赤外 LED による照射にて、夜間も映像で波をとらえられることがわかった。また、静電容量計により次のことが明らかになった。i) 【設置の自由度】静電容量式のセンサ電極からセンサアンプまでの間を最長40m程度の同軸ケーブルを介して接続した。加えてセンサ電極自体も20m弱ならびに35m弱と長延長のものを使用した。静電容量式としてはス様な長延長のケーブルによるセンサ接続は、測定レンジを圧迫する大きな静電容量が生じるため大変不利となり、行われぬのが通常である。しかしながら、高価な電子回路部を波浪うちあげの影響を受ける箇所から極力離して設置できることは、被災の可能性を低減出来るため運用経費の点から有利である。本件で提案する高分解能広レンジな静電容量計は波浪うちあげの観測に活用できることが明らかとなった。また、天端付近に水平に長く電極を敷設することにより、線的な範囲での越波の発生を検知できることが実証された。

ii) 【応答性】一方、充電時間から静電容量を測定するという測定原理から、センサ電極が長くなり静電容量が大きくなると、計測に必要な時間も長くなる。また、水切り性能の低下や損傷の可能性も高くなる。波の応答性の点から電極には改善の余地があることが分かった。用いた電極のうちでは、ダクターチャンネルを用いた傾斜堤用の ch3 の電極は、材料の入手性、強度、施工性ならびに応答性の点で良好であった。

iii) 【分解能と雑音】ch3 傾斜堤のうちあげ高計を対象に、静穏時の雑音レベルを確認した。その結果、14.6 m の測定範囲に対して雑音の振幅は1.5 cm 程度であり、要求される精度に対して雑音は十分小さく分解能も十分であることが確認できた。

赤川傾斜堤においては、映像 IoT システムにより次のことが明らかになった。また、静電容量計により次のことが明らかになった。傾斜堤には背割されたコルゲート型保護管内に収めた ETFE 線を電極として用いた。コスト的には有利であったものの、保護管内面の凹凸に水が停留し降雨の影響を強く受ける結果となった。傾斜堤電極としては田中で用いたダクターチャンネルを用いるもののほうが良いことが分かった。

赤川直立堤については、ハイブリッドシステムの検証を行った。両観測データはリアルタイムにクラウドに伝送され、いったんデータベース化されたのちに、グラフ表示用の Web アプリ (amCharts) で可視化される。並行して、取得画像はフレーム画像、静止画像、動画画像、タイムラプス画像の 4 種類を閲覧する Web アプリ (HpVT Web) で可視化される。これらにより、両者の統計的描像は基本的に一致しており、ハイブリッド観測の有効性を確認した。同時に、イベント解析を行うと両者のセンサー特性により定量的な打ち上げ高の一致を得ることはできなかった。

なお、映像 IoT システムは画像という面的な情報を処理できる利点がある。一定範囲の波全体をモニタリングし、さらにズーム機能によりその範囲を可変に設定できる。一方、夜間の画像処理は容易ではなく、とくに対象領域がカメラ設置場所から離れている（一般には数 10m 以上）場合には打ち上げ高の評価が難しい。一方、静電容量計は波浪を直接観測するため、観測の信頼度が高い。一方で、幅広い護岸のうちセンサー設置個所でのみ計測を行うため、映像と比較すると点的な観測となる。そのため、局所的な波浪現象については打ち上げ高を正確に計測することができない場合がある。本研究開発では両者の計測を同箇所において同時に行い、両者の長所を活かし、欠点を補うハイブリッドシステムとして開発することで、より信頼性の高いシステムとして開発した。

最後に、観測手法を現場実装するための設計仕様、標準図、メンテナンスマニュアルを作成した。