

第 21 回 国土技術開発賞 入賞

浮標画像追跡システム 「i-ByTs」(アイ・バイツ)

〔受 賞 者〕 東洋建設株式会社

〔本稿執筆者〕 土木事業本部 総合技術研究所 鳴尾研究所 やまの たかし 山野 貴司

以下に、第 21 回 国土技術開発賞に入賞した「浮標画像追跡システム」を紹介します。

1. はじめに

海上工事では、ケーソンやブロック等の据付、杭打設や地盤改良、浚渫など、施工時に波浪による動揺の影響を受ける作業が多い。静穏な海象時でも、突発的な高波や一般船舶の航行に伴う航跡波により、函体や作業船が大きく動揺する。従来は、水圧式や超音波式などの波浪計測装置を設置し、リアルタイムに波浪を観測する方法や、監視員を配置して目視により危険波浪の来襲を監視してきた。

しかしながら、波浪計測装置は高価なものが多く、係留アンカーやワイヤとの接触により損傷することがある。また、監視員による波浪監視では、波浪の状況や水面の射光によって危険な波浪かどうかの判断に誤差が大きく、施工の安全性や効率性への影響があった。このような背景から、当社は、東京大学大学院工学系研究科 下園武範准教授のグループと共同で研究し、来襲波浪を安価に計測・解析し、リアルタイムに作業船の動揺を予測・警報するシステムを開発した。

2. i-ByTs の概要

浮標画像追跡システム「i-ByTs」(アイ・バイツ: Image-based Buoy Tracking System) は、沖合の波浪をリアルタイムに観測し、異常波浪の来襲を予測・警報するシステムである(図-1)。これにより、作業船や吊荷が動揺する海上工事において、突発的な異常波浪時(一時的な高波や航行船舶による航跡波など)の危険回避の行動を確実に実施することができる。

本システムは、市販のビデオカメラと PC で構成され、従来の波浪計測装置と比較して極めて安価である。撮影対象とする浮標は、工事区域表示用の灯浮標や既存の航路ブイなどを利用する。ま

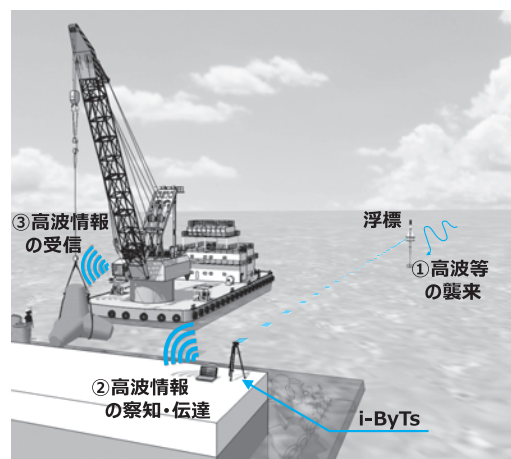


図-1 i-ByTs 利用イメージ

た、設置が簡易なため、複数の浮標を対象とすることで、複数方向からの来襲波浪を同時観測し、広域的な波浪状況の把握が可能となる。さらに、視認性に優れた浮標を対象とするので、正確な波浪観測が可能である。工事海域の沖合に位置する浮標を岸壁等の固定点に設置したビデオカメラで撮影し、浮標の画像解析から水位の時間変動を特定し、波高と周期を算定する。

加えて、PC画面上での警告表示や、携帯端末への情報伝達による警報音の発信システムが連動しており、特異な高波高や長周期を検知すると、これらの警報装置が稼働して確実に危険を周知する。

従来の施工現場では、波浪の把握は監視員による目視監視が主たる手法であり、施工可否の判断は全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）による予測値や速報値を用いて行われる。これらの方法では、以下の課題がある。

- ① 目視監視は十分な知識と経験を積んだ熟練技術者が行う必要があり、監視員の熟練度によって危険判断にばらつきがあるため、施工の安全性だけでなく、頻繁に作業を停止させることにより効率性も低下するなどの影響がある。
- ② 波浪計測装置は高価であり、設置には専門技術者と潜水士が必要なうえ、泊地などへの設置では係留アンカーやワイヤの接触に対する十分な防護が必要となる。
- ③ ナウファスは、設置場所が限定されるうえ、沖合に設置されているので施工海域での実際の波浪とは異なる。よって、施工海域でのリアルタイムなデータとして利用できない。

本システムを用いることにより、以下の効果がある。

- ① 実際の観測データから突発的な異常波浪を判定して自動で警報することにより、知識や経験の少ない技術者でも的確に危険を判断して対応できるので、施工の安全性や効率性が向上する。
- ② 簡易かつ安価なシステムであり、制約のない陸上部に固定するだけで複雑な設置作業がないため汎用性が高く、複数台設置することにより

作業海域の広範囲な波浪状況把握が可能となる。

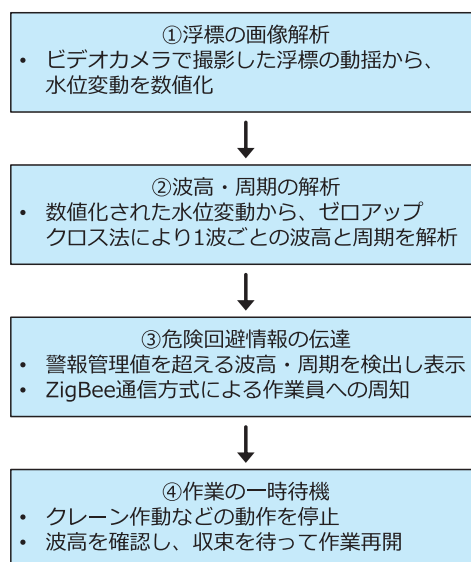
- ③ 施工海域での実際の波浪をリアルタイムに把握することができる。

3. i-ByTs の特徴

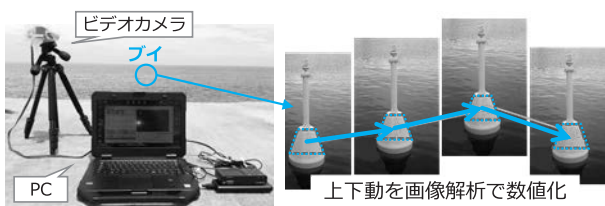
図－2に、i-ByTsのシステムフローを示す。本システムでは、浮標の動揺をビデオカメラで撮影し、画像解析ソフトにより浮標の上下変動の画像をリアルタイムに解析して、波高や周期を画面に表示する。本システムで使用するビデオカメラは一般的な市販品を利用する。

解析ソフトは、共同研究者である下園准教授が開発したアルゴリズムを利用している。図－3に示すように、使用時には、ビデオカメラを岸壁等の固定点に設置し、撮影動画をダイレクトにPCに取り込み、浮標の移動軌跡と経過時間から個々の波の波高と周期を解析する。

最初に、撮影対象である浮標に対して、画像解析の範囲（検査窓）を設定する。その後、映像に



図－2 i-ByTs のシステムフロー



図－3 画像解析による水位変動の取得

映る浮標の長さを指定し、浮標の寸法を入力する。この設定により、映像の1ピクセルあたりの実寸が設定される。i-ByTsで使用する解析ソフトは、浮標の画像解析により水位変動を時系列で数値化する。画像解析に要する時間は、ソフトウェア画面上に表示される処理時間で確認できる。

また、同じくソフトウェア画面上に表示される浮標の動画と検査窓の動きに対して、水位変動のグラフが追従することで時々刻々の水位変動を確認できる。動画の画像解析において、連続する画像間で浮標として認識する像の相関については、図－4に示すように、ソフトウェア画面上に表示される相関値の時間変動を確認できる。相関値の低い時間帯の計測は、測定精度および処理速度の低下につながる。

波高、周期の解析には、水位が負から正方向に上昇するゼロアップの時刻から、次のゼロアップの時刻までを1波と定義し、その1波における最大水位と最小水位の差を波高として算出し、その1波の時間の長さを周期として算出するゼロアップクロス法を用いている。

危険回避情報の伝達は、設定した管理値を超える波高や周期を検知した際に警報システムが作動して危険を周知する。警報システムは、ソフトウェ

ア画面上での警告表示や、携帯端末への情報配信による警報音の発信機能を備えている。

携帯端末との通信方式としては、図－5に示すように、消費電力が小さく、かつ携帯端末が比較的安価であり、インターネット回線サービスエリア外でも使用できることからZigBee通信方式(IEEE802.15.4)を採用している。

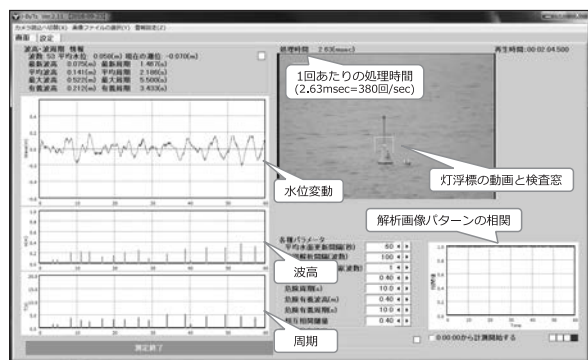
4. i-ByTsの精度検証

波浪計測手法としての精度を検証するため、従来の波浪計測手法として加速度計および水圧式波高計と比較した。

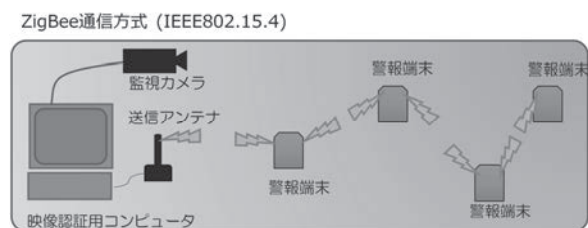
計測された水位変動の確からしさについては、異なる2地点から計測した結果を比較することにより確認した。異なる2地点から浮標を撮影することで、撮影場所から浮標までの距離や相対的な動きが異なる条件での処理結果を比較した。また、施工海域の波浪を別法計測(対象浮標に取り付けた加速度計、および浮標位置と同位置の海底に設置した水圧式波高計)による水位変動と比較することにより確認した。

本システムで取得した異なる2地点(「i-ByTs_east」および「i-ByTs_west」)からの計測により数値化された水位変動、および加速度計により計測された水位変動の相関係数を算出した結果、図－6に示すように、i-ByTs_eastとi-ByTs_westで $R=0.95$ 、i-ByTs_eastと加速度計で $R=0.88$ 、i-ByTs_westと加速度計で $R=0.91$ であった。これらの相関は高く、良好に一致していると言える。水圧式波高計は水圧を水位に換算するため、微小な水位変動を捉えることは困難であることが一般に知られているが、周期の長い変動においては定性的に概ね一致している。

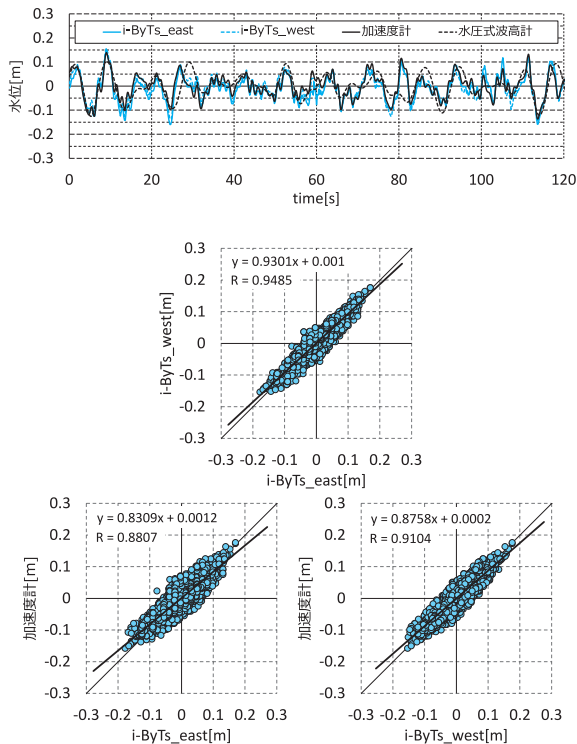
本システムにより得られた水位変動から算出した波高と、加速度計により得られた加速度から算出した波高、および水圧式波高計により得られた水位変動から算出した波高の計測期間中の平均値および有義値を図－7に示す。波高の大きさは、平均波高で1cm、有義波高でも最大で2cmの差



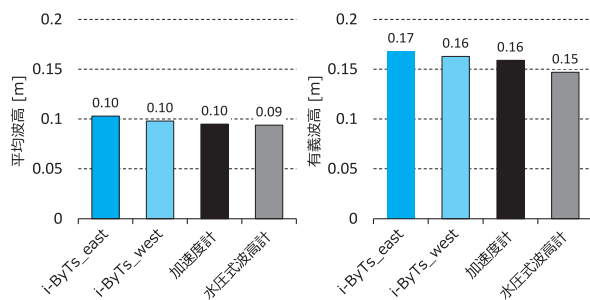
図－4 計測中のソフトウェア画面



図－5 危険回避情報の伝達イメージ



図－6 水位変動時系列の比較

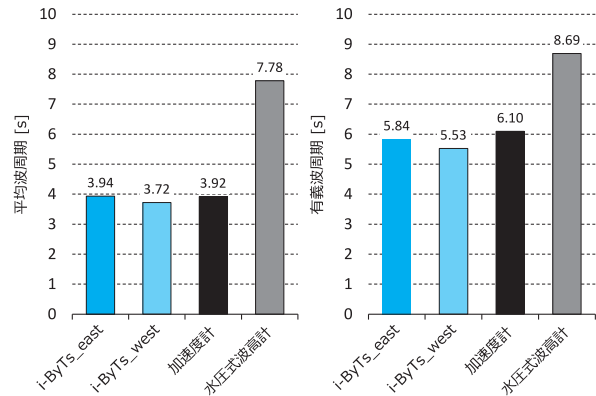


図－7 波高の比較

であった。一般的に海上工事の施工時に把握する波浪の精度としては十分であり、いずれの手法においても良好に一致している。

図－8に、水位変動から算出した周期と、加速度計により得られた加速度から算出した周期、および水圧式波高計により得られた水位変動から算出した周期の計測期間中の平均値および有義値を示す。本手法（画像解析）での異なる2地点からの計測により算出された周期および加速度計により算出された周期の差は平均波周期で最大0.20 s、有義波周期で最大0.57 sと小さく、概ね一致していると言える。

水圧式波高計により算出された周期は、本手法に比べて平均値で2倍程度、有義値で1.5倍程度



図－8 周期の比較

の周期であった。水圧式波高計は、前述のとおり微小な周期での水位変動を捉えるのは困難であり、本計測でも周期の長い波浪に対する変動のみが計測されたため、周期が大きくなったと判断される。

5. おわりに

本システム導入による効果は以下のとおりである。

- ① 海上工事の安全性が格段に向上する。
- ② 省力化と効率化により海上工事の生産性が向上する。
- ③ 経験豊富な熟練作業員を補完し将来の建設技術力低下を補う。
- ④ 海上での多様な事業者が利用できる汎用性がある。
- ⑤ 海上工事における将来の自動化施工の関連技術として高度利用できる。

今後は、波向推定機能の追加、複数台のカメラによる精度向上に取り組み、本システムのさらなる堅牢化を目指す。

【参考文献】

- 1) 島津希来, 下園武範, 小竹康夫: 浮標動揺の画像解析によるリアルタイム波浪観測手法の開発, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.73, No.2, p.I_1669-I_1674, 2017.
- 2) 澁谷容子, 佐藤あかね, 山野貴司, 小竹康夫, 中村友昭: リアルタイム波浪観測を用いたケーソン据付時の施工精度向上の可能性について, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.74, No.2, p.I_623-I_628, 2018.