

# 大水深防波堤における潜水災害リスクを低減する機械化施工について

進藤 琢磨<sup>1</sup>・中村 伸夫<sup>2</sup>・松屋 百合男<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 宮崎港湾・空港整備事務所 工務課 (〒880-0858 宮崎県宮崎市港1-16)

<sup>2</sup>九州地方整備局 宮崎港湾・空港整備事務所 沿岸防災対策室

(〒883-0062 宮崎県日向市大字日知屋字新開17371-1)

細島港南沖防波堤は、太平洋に直接面しており、周期の長いうねり性の波が港内に入し、貨物船の荷役に支障をきたしていることから、港内静穏度確保のため、計画されたものである。施工場所は、大水深で高波浪域の非常に厳しい自然条件の中で工事を行っており、特に水中部における潜水士の作業は、陸上とは異なる特殊環境の中で、常に重大事故が発生する可能性が高い状況で行っている。このため、潜水士の作業負担が最も大きい基礎捨石の均し作業について、船舶に搭載した施工管理システムを併用し、重錘を用いた機械化施工を行っている。これにより、潜水作業を軽減し災害発生リスクの低下、均しの作業効率と精度が向上し、防波堤全体の品質向上につながる効果について発表する。

キーワード 潜水作業、基礎捨石均し、機械化施工、災害リスク低減、品質向上

## 1. はじめに

宮崎県の北部に位置する細島港は、古くから東九州の海上交通の要衝として栄え、四国、阪神方面との定期航路が開設されて以来、港湾の利用は増加し、昭和26年重要港湾の指定を受け、以後臨海工業地帯の土地造成及び港湾整備が進められてきた。さらに、日向市は日向延岡地区新産業都市の指定を受け、東九州地域を支える流通の拠点として発展し、その後、関東関西との国内定期フェリー航路や韓国との国際定期コンテナ航路が開設された。現在、東九州自動車道等の陸上交通網の整備も進展し、新たな国際港を目指して、4万トン級国際物流ターミナルが本年6月28日に供用を開始した。本発表は、港内の静穏度を確保するため、平成10年度より事業着手している南沖防波堤600mの施工において、課題となっている大水深潜水作業の災害回避について、機械化施工によりそのリスクを低減した取り組みと施工品質についても向上したことを報告するものである。



写真-1 細島港全景

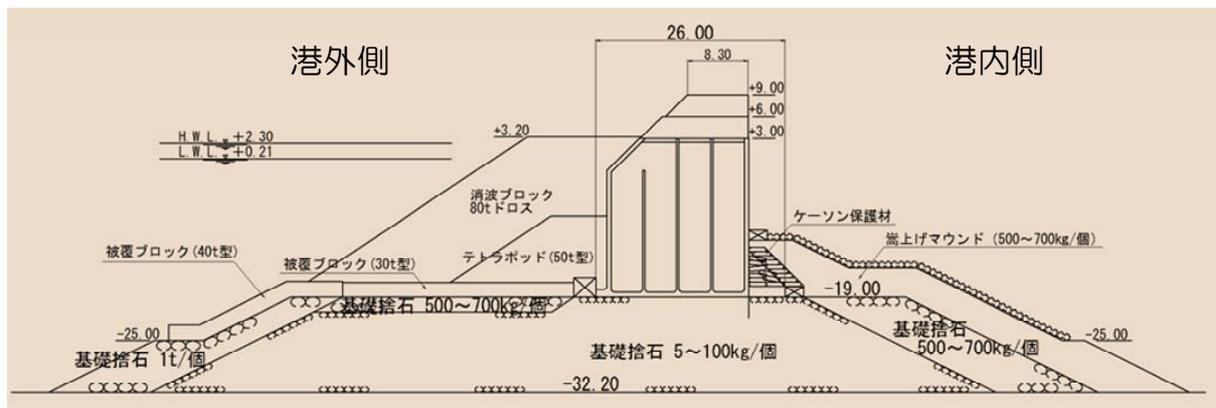


図-1 南沖防波堤標準断面図

## 2. 施工上の課題と問題点

### (1) 大水深で高波浪域の施工条件

細島港南沖防波堤は、太平洋に直接面しており、周期の長いうねり性の波が港内に進入することにより、貨物船が動揺し荷役に支障をきたしていることから、港内静穏度確保のため、計画されたものである。施工場所は、大水深で高波浪域の非常に厳しい自然条件であることから、大断面となりコストの増大が懸念されたため、防波堤の構造形式は、経済性に配慮した新形式の半没水型上部斜面堤が採用された。図-1に示すように海底の現地盤高は標準部で-32m、ケーソン据付マウンドの高さは-19mとなっている。

### (2) 大水深における潜水作業の災害リスク

防波堤の基礎となる捨石マウンドは、異なる3種類の石材を使用しており、港外側の先端部には1t/個程度の石材を設置し、中央部に5~100kg/個程度、その両サイドは500~700kg/個程度の石材で覆う形で形成している。石材の設置方法は、底開式投入船及びガット船により水面下から投入を行うため、捨石マウンド上はかなりの不陸が生じてしまう。そのため、捨石マウンド上に構造物を設置するには、センチ単位の精度で石材の均しを行う必要があり、この作業は一般的に潜水士が行っている。このことから、本作業場所のような大水深の現場では、潜水士の身体に作用する圧力も大きくなり、陸上工事とは異なる特殊環境の中で、減圧症等の労働災害の発生リスクが高い状況で作業が行われている。



写真2 ガット船による石材の投入状況

### (3) 高圧則改正に伴う事業者の今後の課題

今年度より高圧室内業務や潜水業務に係わる減圧症、酸素中毒症等に対応するため、厚生労働省が所管する「高気圧作業安全衛生規則」（以降「高圧則」という）が改正された。高圧則は、昭和47年の施行以来、根本的な改正が行われておらず、世界各国で運用される各種減圧表の中でも最も減圧時間が短く、日本潜水協会が過去に会員に行ったアンケートでは、潜水工事に係わる潜水士の3人に1人が減圧症を経験しており、減圧症のリスクが高いものとなっていた。また、今回の改正により潜水作業計画は、事業者が作業状況に応じて作成するこ

とになり、労働者の負担がより少ない作業方法の確立や作業環境の整備に努めることを、事業者の責務として規定した。このことから事業者は、より安全な潜水作業を計画するため、これまで以上に減圧時間を長く設定する必要があり、これにより潜水作業時間が減少し、作業工程を検討する上で、潜水作業に対する新たな課題が発生することになった。

## 3. 施工上の工夫

### (1) 潜水作業に対する機械化施工の取り組み

潜水士による捨石均し作業は、水深が深いほど減圧時間を長くとる必要があることから潜水作業時間が短くなり、施工能力も大幅に低下するため、多くの潜水士を配置し作業しなければならない。しかし、同一場所で集中して複数の潜水士を配置することは、その分災害リスクも高くなり、更に本事業で取り扱う石材は重量も大きく、潜水士の作業にかかる負担はかなり大きい。この様な現場条件から本事業の着工時の受注業者から現在の受注業者まで均しの機械化に対する取り組みが引き継がれており、その結果、特に潜水作業に対する安全性の向上に大きく貢献している。なお、捨石均し作業の機械化施工にも水中バックホウ方式や着座型タンバ式等、多種多様に存在するが、本作業現場で主に活用されている重錘を使用した施工方法は、一見単純作業ではあるが、水中部の均し面を水面上の起重機船に搭載したクレーンを操作し、重錘を落下させて均しを行う画期的な手法である。



写真3 重錘（平面転圧用・法面転圧用）

## (2) 光波式自動追尾による施工管理システムの併用

重錘を使用した施工については、着工当初は潜水士による目視とレベルによる高さ管理を行っていたことから、起重機船のクレーンオペレーターの習熟度が求められる作業であり、安定した作業能力の確保が難しかった。しかし、近年の技術開発により光波式自動追尾機能を持った光波測距儀をパソコンに連動させてシステム化し、施工途中のリアルタイムな測定管理を行うことが可能となった。これにより海底面の施工状況を陸上部で確認できるため、視覚的管理が可能となり、確実な作業が容易に行えるようになった。



写真-4 測定管理状況(青色：完了)

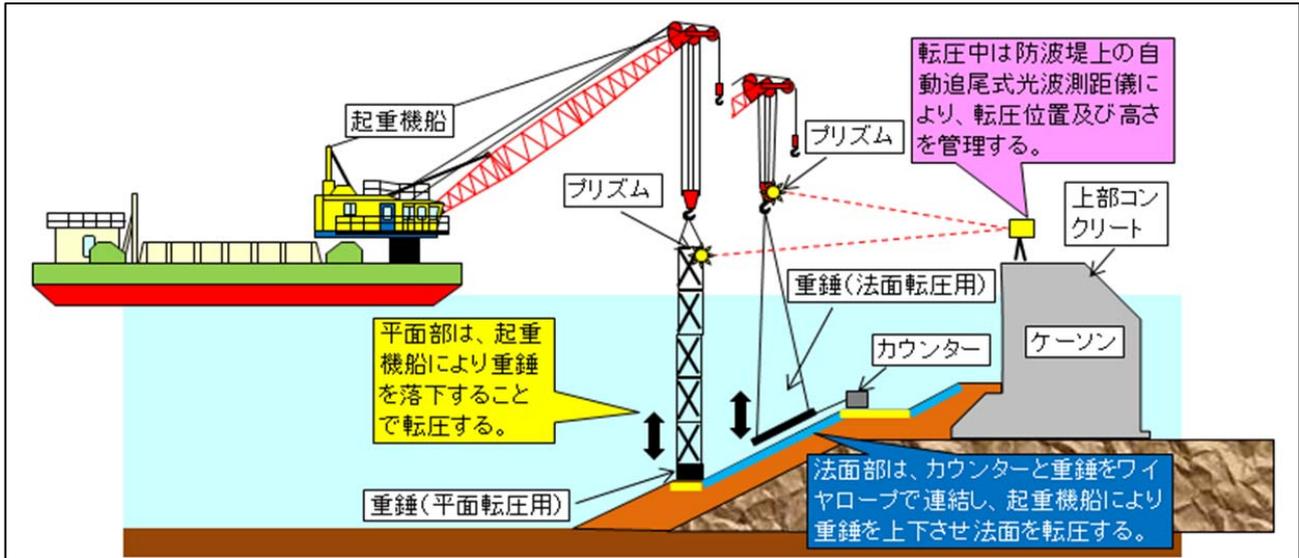


図-2 重錘均しの機械化施工概念図

## 4. 機械化施工の検証

### (1) 重錘均しによる機械化施工の安全性

一般的な捨石均し方法は、潜水士により作業を行っているが、水深の深い本作業現場で捨石本均し作業を潜水士1名で行った場合、1日当たり作業できる面積は約12m<sup>2</sup>である。防波堤全体の整備スケジュールや細島港特有の波浪条件等を考慮すると、捨石均し作業が可能な日には、1日当たり約100m<sup>2</sup>の均しを仕上げる必要があった。これを潜水士により実施すると8名を配置することになるが、30m四方の狭い捨石本均しエリアで同時に作業を行うため、潜水士の配置間隔の問題や潜水ホースのからみ等が発生する懸念も想定された。このような災害のリスクを低減するため、重錘均しによる機械化施工を検討し採用した。

### (2) 重錘均しによる機械化施工の品質の検証

細島港南沖防波堤の計画延長は600mであり、昨年度までにケーソン14函の設置が完了し、現在の施工延長は390mとなっている。ケーソン据付マウンドの施工は、過去の経験値から想定沈下量を60cmと設定し、石材の余盛りを実施しているが、重錘均しによる機械化

施工が行われてきた結果、マウンド沈下量は最も高い数値で40cm程度に収まっていた。また、捨石マウンド厚が13mあるにも関わらず、著しい不等沈下も発生していない。これは潜水士による人力では捨石マウンド表面の不陸整正しか行えないが、重錘を使用して表面を均すことで必然的に捨石層の内部まで締固めが施されていると考えられる。



写真-5 捨石本均し状況

これにより防波堤の基礎部が堅固に構築され、その上に設置される構造物が安定することで、防波堤全体の品質向上につながっている。なお、施工管理システムを導入後の重錘均し工法は、平成23年度からと実績が少ないため、今後も本工法がもたらす高い安全性と水中作業時間の制限を受けない効率的な施工性、捨石沈下量を軽減し安定した構造物が設置できる品質の高さについて、引き続き検証し、今後の工法検討等に役立てたいと考えている。

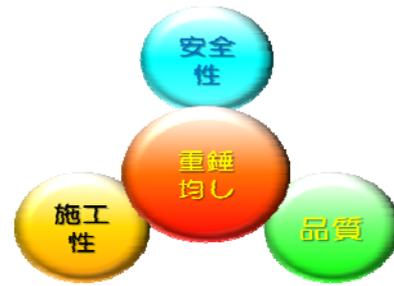


図-3 検証結果による重錘均しの特性



写真-6 南沖防波堤の現況

## 5. おわりに

今回報告した重錘と施工管理システムを活用した機械化施工については、安全性や施工品質は高く評価できるものであるが、細島港のような水深が深い作業条件の現場は少なく、水深の浅い海域ではコスト面の問題もあり、施工実績がほとんどない。しかし、今年度改正された高圧則では、潜水作業時間の制限が厳しくなるなど、事業者への安全に対する責務が強化されており、本工法を採

用する施工現場は増えてくると思われる。また、本工法以外にも安全性を考慮した施工システムの導入や機械化施工も数多く普及しており、大規模な土木工事でも安全に精度良く施工できる環境が構築されることで、より土木の魅力が向上し、若手技術者の人材確保につながることを期待する。

謝辞：本論文を作成するにあたり、ご協力頂いた皆様に感謝致します。

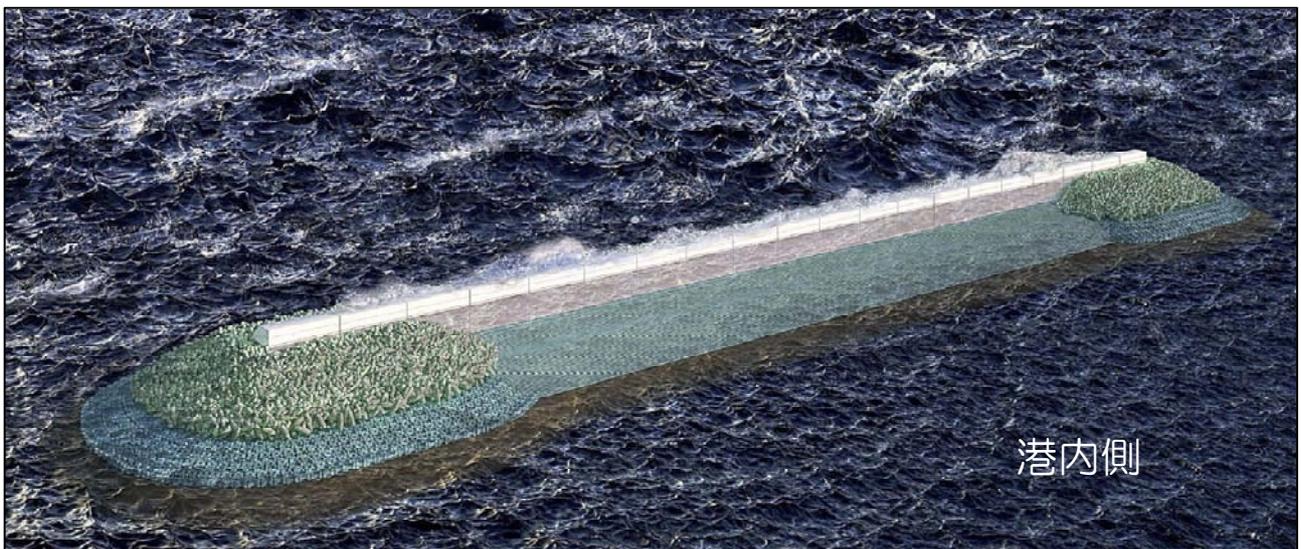


図-4 南沖防波堤完成イメージ図