

# 「ICTを活用した」災害復旧工事 (金沢港防波堤) について

室 善一朗・倉石 悠生

金沢港湾・空港整備事務所 (〒920-0331 石川県金沢市大野町4-2-1)

金沢港金石地区では、2021年12月30日から翌年1月1日にかけて、冬期風浪による高波が継続して防波堤に作用したことにより、ケーソン1函の2/3程度の損壊及び消波ブロック等が飛散する等の被害が発生した。

本稿では、2023年度に行った、ICT・BIM/CIMを活用した防波堤災害復旧工事について報告する。

キーワード 防波堤、災害復旧、港湾、ICT活用施工、BIM/CIM活用

## 1. はじめに

金沢港は、金沢市街を貫流して日本海にそそぐ大野川、犀川の河口に位置し、1954年に旧大野港、旧金石港を合併して地方港湾「金沢港」となり、1964年に重要港湾に指定されている。(写真-1)

その後、地域産業を支える物流機能の整備が進められ、大浜国際物流ターミナル(水深-13m)では産業機械や建設機械の輸出、御供田国際コンテナターミナルでは韓国・中国との定期航路が就航している。

2020年には無量寺ふ頭において金沢港クルーズターミナルが完成し、クルーズ船の受入環境が大きく改善されるなど、地域の新たな賑わい・交流拠点として生まれ変わった。

旧港の金石地区は、小型船舶の基地として、1987年に小型船だまりが完成し、漁船やプレジャーボートをはじめ、現状で約2百隻が利用している。これら小型船舶が犀川河口を出入りする際の航行安全を確保するため、港湾管理者の石川県と国により金石西防波堤を整備し、現在に至っている。



写真-1 金沢港全景

## 2. 被災概要について

### (1) 施設被害の状況

2021年12月30日から翌年1月1日にかけて、冬期風浪による高波が継続して防波堤に作用し、特に、1月1日午前に最大の波浪が押し寄せた。この結果、ケーソン1函が損壊し、基礎石や消波ブロックが飛散している。

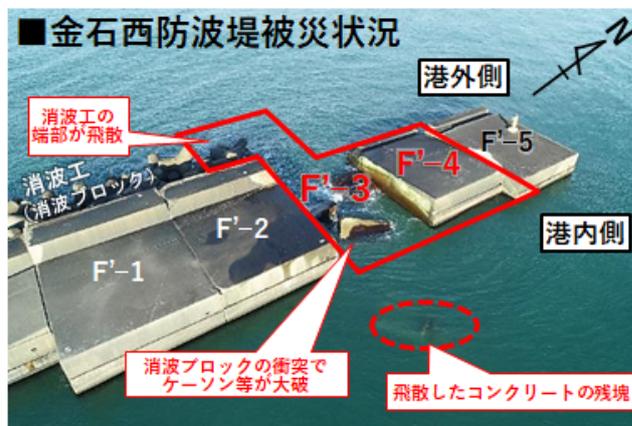


写真-2 防波堤被災状況

### (F'-3函)

上部工が全壊し、ケーソンも水深4.5m以浅の側壁・隔壁が損壊。

### (F'-4函)

ケーソン本体が港外側へ傾斜するとともに上部工にひび割れが発生。

### (水中部の調査結果)

潜水士及びナローマルチビーム音響測深機で調査した結果、港内側は損壊したF'-3函ケーソンやパラペット及び上部コンクリートの一部とみられるコンクリート塊が散乱している状況が確認された。ただし、ケーソンは、水深4.5m付近からケーソン下面(水深-8m)までは、側壁・隔壁・底板が残存していた。(図-1)

また、港外側の海底には、消波ブロックが散乱し、基礎石が崩壊していた。(図-2)

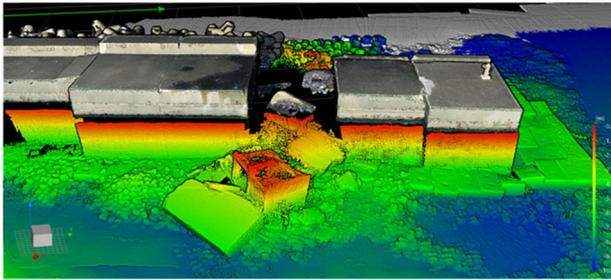


図-1 防波堤被災状況(港内側から見た状況)

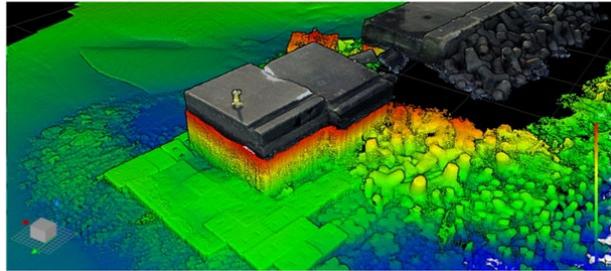


図-2 防波堤被災状況(港外側から見た状況)

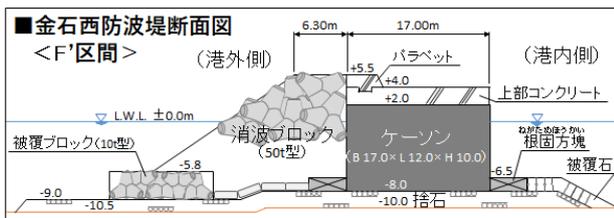


図-3 金石防波堤 標準断面図

## (2) 施設被害の原因(メカニズム)

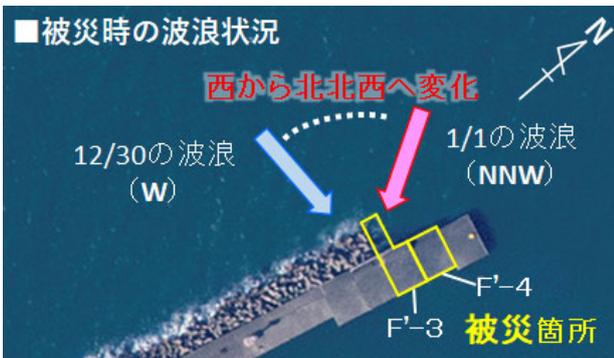


写真-3 被災時の波浪状況

冬期風浪により消波ブロック(50t型)のかみ合わせが緩くなっていたところに、設計波高以下の波浪ではあったものの、西寄りの波浪が継続して押し寄せたことにより消波ブロックの動揺が発生した。

その後、波向きを変え北北西からの波浪により、衝撃砕波が発生し、消波ブロックがF'3函に衝突してケーソンが破壊に至ったものと推測される。

隣接するF'4函はF'3函ケーソンが破壊したことに伴い、F'3函側からの波圧により防波堤先端側へ傾斜し不安定な状態となり、引き波により港外側へ傾斜が発生し

たものと推測される。

## (3) 災害の復旧方針

F'3函は、本体工のケーソン下部3.5m程度(4.5m~8.0m)の側壁・隔壁が残存しているため、残存部分を活かして復旧。この他の上部工、消波工、被覆工、基礎工の被災箇所は原型復旧することとした。

F'4函は、上部コンクリートに貫通ひび割れが発生しており、今後の高波等で大きく欠損する恐れがあるほか、複数の部位に欠損が生じたため、上部工全体を撤去・再打設する。また、F'4函の基礎工の被災箇所は原型復旧することとした。

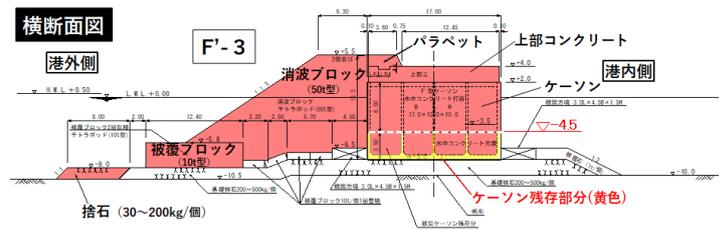


図-4 金石防波堤 標準断面図(F' -3)

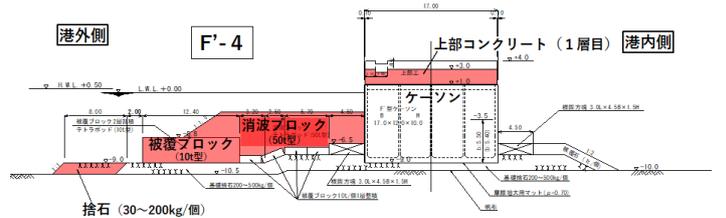


図-5 金石防波堤 標準断面図(F' -4)

## (4) 災害復旧工事の課題

### 1) 被災施設の現況把握

損壊したケーソンのコンクリート塊や消波ブロックの飛散位置、ケーソンの傾き等、水中部の状況を詳細に把握した上で施工する必要があった。

### 2) 作業イメージの共有

複雑な水中の被害状況や効率のかつ適切な施工計画を作業員全体へ共有することが困難であった。

### 3) 難しい施工への対応

被災を受けた施設の撤去、復旧を行う工事であり、損壊した残存ケーソンを利用した水中型枠設置とコンクリート打設、また、犀川からの流下土砂による濁りやうねりの頻発する現場において、安全を確保した上で品質の確保も求められる高度な技術力を必要とした工事であった。

これら課題への対応について後述する工事内容で報告する。

### 3. 災害復旧工事 施工の流れについて

復旧工事の施工フローは図-6のとおり。

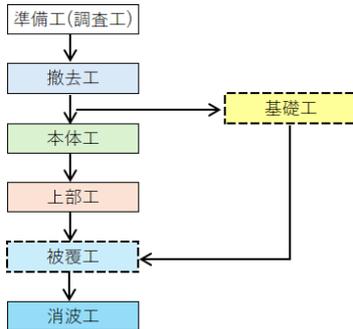


図-6 施工フロー図

準備工(調査工)として、施工に先立ち事前測量を行う。

施工準備が整い次第撤去工を開始し、本体工を施工しながら平行して基礎工を行う。その後上部工、被覆工、消波工を施工して完了となる。

#### (1) 災害復旧工事への着手

現地は2021年末から翌年初めに被災したが、冬期風浪が落ち着く時期を待って現地調査を開始し、復旧検討、災害査定、事業費配算、発注、契約、施工に着手するまで1年以上要する状況となった。

施工を行うには、現況を把握する必要があるため、着工前に改めて事前測量にて現況を把握することとした。

調査方法としては、水上部をUAVで、水中部をナローマルチビーム音響測深機にて測量することにより詳細な状況を確認した。また、水中部については、潜水士による現況調査を行うことで詳細な施工計画を立案することとした。

#### (2) 撤去工

測量結果より、損壊し飛散したケーソンのコンクリート塊の撤去について、バックホウ浚渫船に大型ブレーカを搭載させ水中にて一次破碎し、その後、起重機船にバケットを付け回収した。回収したコンクリート塊は陸に揚げ、二次破碎し処分を行った。飛散した消波ブロックは同じく起重機船で一度台船上に腹積みした上で、ブロックの損壊度合いを確認し、水中へ仮置きした。



写真-4 コンクリート一次破碎状況



写真-5 コンクリート二次破碎状況

#### (3) 本体工

コンクリートの打設方法はコンクリートミキサー船での打設を実施した。(写真-6)

損壊したF-3函ケーソンの残存部分を活かし施工する。水中部は水中コンクリート、水上部は通常のコンクリートにて打設した。水中コンクリートの内、ケーソン隔壁内に撤去工で取り切れなかったコンクリート塊が残っていることから、流動性の良い水中不分離コンクリートにて打設した。



写真-6 コンクリートミキサー船での打設状況

#### (4) 基礎工及び被覆工

被災直後の調査では捨石、被覆ブロックは飛散しているため撤去の上、復旧することとしていた。潜水士により現地調査したところ、砂の堆積は見られたものの被覆ブロックは残っていることが目視で確認できた。

基礎工の捨石については同様に砂が堆積していたが、ポール等で突いたところ、存在していることが確認でき、波等により自沈しているものの、本来の洗掘防止効果を発揮している状態であることが確認できた。

このため、基礎工及び被覆工はそれぞれ問題無く機能する形で存在することが確認できたため、災害復旧として撤去、復旧することは必要無いと判断し、施工をやめている。

#### (5) 消波工

ICT技術を活用した「ICTブロック据付工」により施工を行った。「3次元ブロック誘導システム」で目標据付位置と既設構造物(ブロックやケーソン)との位置関係をリアルタイムに表示しながらGNSSで位置決めを行い、

「Echoscope(4Dソナー)」で、水中部における据付ブロックや既設ブロックとの位置関係をリアルタイムに可視化しながら施工を行った。

#### 4. ICTを活用した施工について

本工事におけるICTを活用した事例について紹介する。

本工事は、BIM/CIM及びICTブロック据付工の活用工事であった。UAV (写真-7)で陸上部、ナローマルチビーム音響測深機(写真-8)で水中部を測量することで点群データを取得し、これをBIM・CIMモデルに落とし込み、3次元で可視化した。

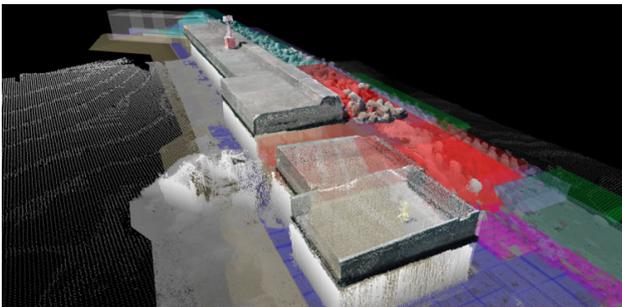


図-7 着手前モデル

##### (1) 深浅測量・調査でのICT活用状況

事前に測量した結果を3次元で可視化することで、陸上部、水中部の現況を詳細に把握することができた。

その結果、被災したケーソンが損壊して発生したコンクリート塊及び飛散したブロックの位置を把握することで、より詳細な施工計画を作成することができた。



写真-7 UAV撮影状況

写真-8 NB測量状況

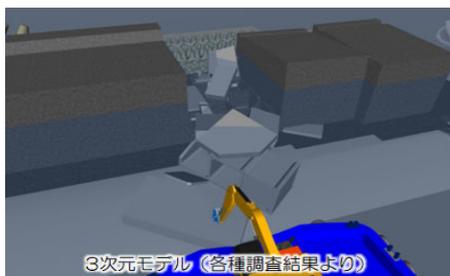


図-8 BIM・CIMモデル(測量結果より)

##### (2) 消波工でのICT活用状況

###### 1) ICTブロック据付工(図-9, 10)

消波ブロック据付では、施工に際し、GNSSと吊り上げワイヤーの繰り出し量を計測することで吊り荷の鉛直位置を計測し、3次元位置情報を計測。そして、目標位置までの水平及び鉛直方向移動距離をモニター表示させることで、リアルタイムに誘導及び管理が出来る3次元ブロック誘導システムと、水中部における据付ブロックや既設ブロックとの位置関係をリアルタイムに表示する4Dソナーを使用することで高精度かつ効率的な施工を行い、安全性の向上も図れたと考える。



図-9 3次元ブロック誘導システム



図-10 Echoscope(4Dソナー)

###### 2) 作業船と潜水作業との連携高度化(図-11)

通常は消波ブロック据付時に起重機船により吊り下げたブロックをオペレーター及び潜水士が目視により確認しつつ据付けていく。この据付け作業において、潜水士に取り付けた水中カメラの映像やトランスポンダ(水中測位装置)による位置情報を作業船内のモニターで確認することにより、普段視認することの出来ない水中部を確認しつつ作業することができ、潜水作業の安全性向上を図った。

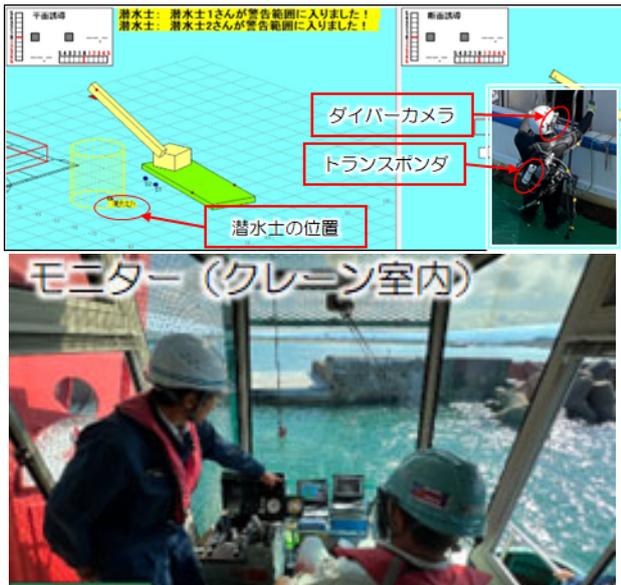


図-11 作業船と潜水作業との連携高度化 取り組み状況

### (3) BIM・CIM活用状況

本体工では、設置する型枠の他、せん断補強材（H形鋼）を設置する必要があり、水中でのセパレーター固定作業等の安全な実施や、潜水士の送気ホースの絡み防止等、安全かつ効率的な作業計画の立案や作業員に作業イメージをもたせることができた。

消波工では、BIM・CIMモデルを活用することで新設ブロックと折損したブロックを有効活用した配置モデルを作成し、適切に施工を行うことができた。



写真-9 BIM・CIMモデルを活用した施工シミュレーション

## 5. おわりに

今回、金沢港で行った災害復旧工事及び ICT を活用した施工の事例を紹介したが、従来の水中工事では、潜水士や作業船のオペレーターの技能・経験に頼るところが大きかった中で、今回のように現場状況が複雑な災害復旧工事では、施工計画や現場管理の難易度がさらに高まることとなる。

昨今、熟練技能者不足が課題となっている中で本工事では、事前調査を詳細に行い、災害を受けた施設の状況を把握することは必要不可欠であった。

BIM/CIMモデルを活用し施工計画を立案、ICTを活用した施工を行うことで、安全かつ効率的な施工を実現した。これにより工程が遅れることなく、無事故で完成することができた。