

# 未 FRONT 来

## 迅速・確実・強靱 鋼矢板工法による港湾災害復旧の最前線

### 金沢港「戸水岸壁」災害復旧工事

2024年1月1日に発生した能登半島地震は、地域の暮らしに深刻な影響を与えると同時に、物流と防災の要である港湾機能にも大きな試練を突きつけた。

金沢港「戸水岸壁」では、地盤の液状化に起因する変形が発生し、岸壁としての機能が一時失われた。しかし復旧は、「港を止めない」という強い使命感のもと、設計条件の見直しや構造形式の選定など、技術的検討を積み重ねながら着実に進められた。

本稿では、被災直後の現場状況から、復旧方針を左右した構造検討と設計判断、さらに鋼矢板工法の性能と施工上の工夫を通して、戸水岸壁再構築のプロセスを紹介する。

金沢港「戸水岸壁」における鋼矢板の打設状況

## 揺れた元日 港もまた試練にさらされた

2024年1月1日午後4時10分。能登半島を震源とするマグニチュード7.6の地震が、日本海側の沿岸地域を激しく揺さぶった。石川県内では広範囲で強い揺れが観測され、志賀町や輪島市では最大震度7、金沢市周辺でも最大震度5強を記録した。元日とも重なり、住宅被害や火災、道路の寸断、長期にわたる断水など、生活基盤に直結する深刻な被害が各地で顕在化した。

地震の影響は海にも及んだ。能登半島北部では、珠洲市から志賀町にかけて広範囲で海底や海岸が大規模に隆起

し、輪島市西方の猿山岬付近では最大5.2mもの隆起が観測された（日本財団調べ）。水深が浅くなったことで船舶の出入港が困難となるなど「数千年に1度」とも表現されるまれな被害状況で、港湾機能そのものが揺さぶられる事態となった。

## 広がった港湾被害と非常時の役割

能登半島地震では、北陸地方の重要港湾・地方港湾など29港のうち、22港で被害が確認された。特に、能登地域の港湾では、エプロン部の液状化による陥没、ふ頭用地の沈下、防波堤の倒壊、護岸の損壊など、被害は港湾全体に及んだ。金沢港においても、地震発生直後から施設の安否を気遣う関係者の間に緊張が走った。

港は平時には物流と観光を支える経済基盤であり、非常時には人命と生活を守る最前線の拠点となる。能登半島地震は、その両方の役割を兼ね備えているかという命題を一気に突きつける出来事となった。

実際、地震発生後まもなく、能登地域では深刻な断水が続くなか、自衛隊や海上保安庁、自治体による支援活動が本格化した。緊急支援物資輸送や給水のための支援船が相次いで入港し、港湾は「陸路が断られた地域を支える生命線」としての役割を担う一方、その足

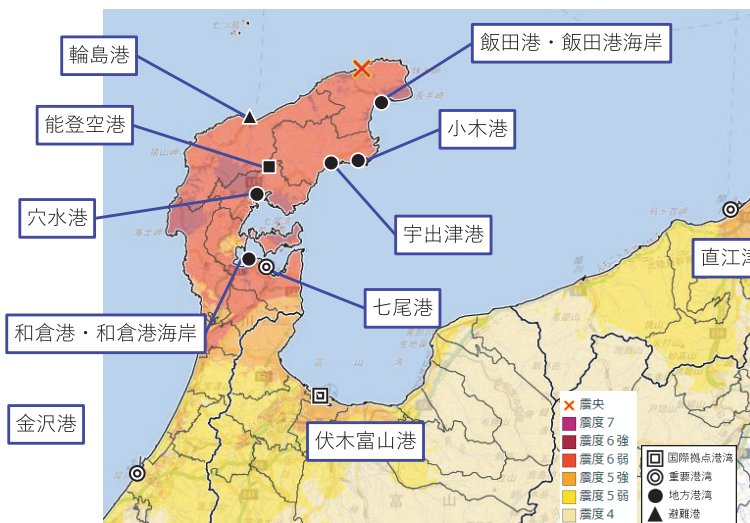
元では地震による被害の全容把握が急がれていた。

## 被害が集中した戸水岸壁「面」で変形した構造物

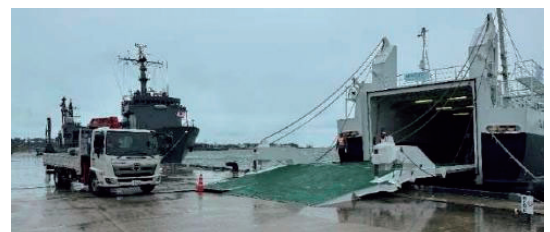
江戸時代に北前船の寄港地として栄え、1970年に重要港湾として開港した金沢港は、その後も国際物流拠点として発展を続けてきた。1988年の定期コンテナ航路開設、2008年の大型船入港可能な国際物流ターミナル供用開始、2011年のRORO船（トラックやトレーラーが自走して積み込み、積み降ろしができる貨物船）の国際航路開設など、背後地域の基幹産業の経済活動を支える物流拠点として重要な役割を担っている。さらに、2020年には「無量寺岸壁」において金沢港クルーズターミナルが完成し、観光交流拠点としての機能も強化された。

金沢港「戸水岸壁」は、全長約370m、水深-10m、2バース構成の多目的岸壁である。背後にはセメントサイロが立ち並び、その供給や建設機械の輸出入、RORO船の利用、クルーズ船の係留まで、金沢港の中でも特に幅広い用途を担ってきた。

この岸壁が整備されたのは1971～1972年。当時の設計基準では現在のようないくつかの耐震設計や液状化対策の考え方が一般的ではなく、構造的には「非耐震岸壁」に分類される。背後地盤は沖積



■ 金沢港に入港する輸送艦おおすみ



■ 金沢港に入港するフェリー栗国と護衛艦

地震による液状化で露わになった岸壁耐震性能の差

低地に分布する軟弱な沖積層からなり、周辺はかつて湿地や農地として利用されていた履歴を持つことから、地震時には液状化の影響を受けやすい地盤条件とされていた。

地震後、津波警報解除の翌日から関係機関による詳細な被災調査が行われた。その結果、戸水岸壁は局所的な損傷ではなく、岸壁全体が海側に押し出されるように変形していることが明らかになった。測量では、岸壁法線の残留水平変位が最大で約68cm、鋼矢板のたわみ量は約23cm（傾斜角4°）、エプロン部の沈下は最大約40cmに達していた。

これらの数値は、単なる表層の損傷ではなく、構造全体に設計では想定されていない事象が発生したことを物語っている。背後地盤が液状化したことで土圧が急激に増大し、鋼矢板と、タイロッド、鋼管杭からなる控え工に想定を超える力が作用したと同時に控え工の水平抵抗も減少した。数値解析による構造検討の結果、既存の鋼矢板および控え工には許容応力度を大幅に超過する応力が発生していることが確認されたため、船舶の安全な接岸は不可能と判断され、「使用不可」の判定が下された。



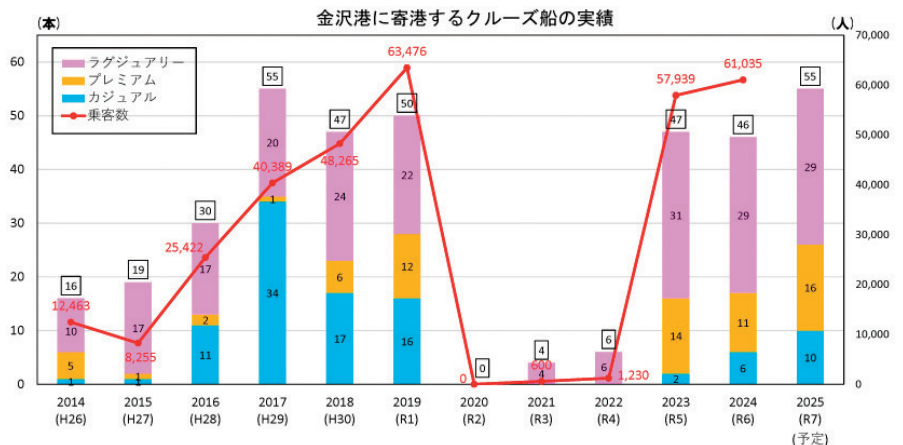
■金沢港の概要



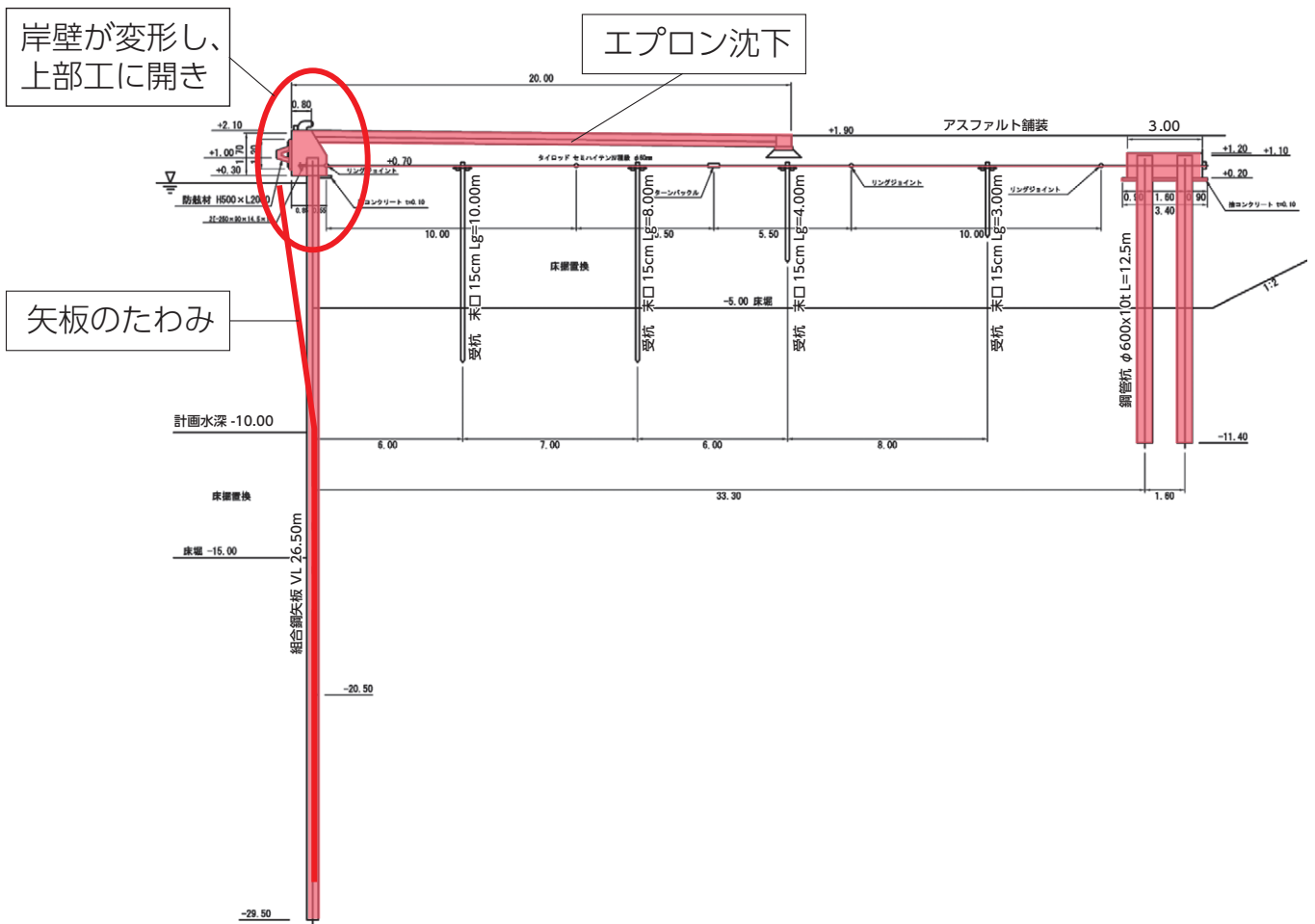
■RORO船



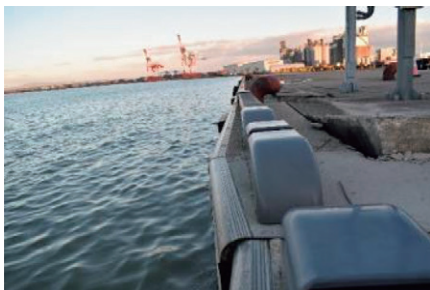
■戸水ふ頭とセメントサイロ



■金沢港に寄港するクルーズ船



■ 金沢港・戸水ふ頭の被災状況



■ 金沢港・戸水ふ頭の被災状況 (岸壁法線のずれ)



■ 金沢港・戸水ふ頭の被災状況 (液状化による噴砂)

### 耐震化の有無が分けた明暗 災害時に問われた港湾の備え

同じ金沢港内にありながら、地震後の被災状況には明確な差が生じた。

隣接する耐震強化岸壁「無量寺岸壁」では、地震後の詳細な点検においても構造的な重大損傷は確認されず、地震発生直後から支援船の接岸や給水、燃



■ 金沢港・戸水ふ頭の被災箇所



■ 金沢港・戸水ふ頭の被災状況 (2024年1月14日撮影)

来 港を止めないため、鋼矢板工法に託した早期復旧

料補給、物資輸送の拠点として機能し続けた。実際、被災地への支援物資等を積んだ船舶が次々と接岸し、港湾が非常時の物流拠点として果たす役割を現実のものとして示した。

無量寺岸壁では、2020年までに耐震補強と地盤改良が実施され、レベル2地震動を想定した設計が採用されていた。今回の能登半島地震は、その想定範囲内に位置づけられる揺れであり、結果として設計時に意図された耐震性能が発揮されることとなった。

一方、非耐震岸壁の戸水岸壁は、前述のとおり背後地盤の液状化に伴って岸壁全体が海側へ押し出される大きな変形が生じた。

この対照的な結果は、耐震化の有無が港湾施設の機能維持を大きく左右することを、極めて分かりやすく示している。港は大規模災害時には、

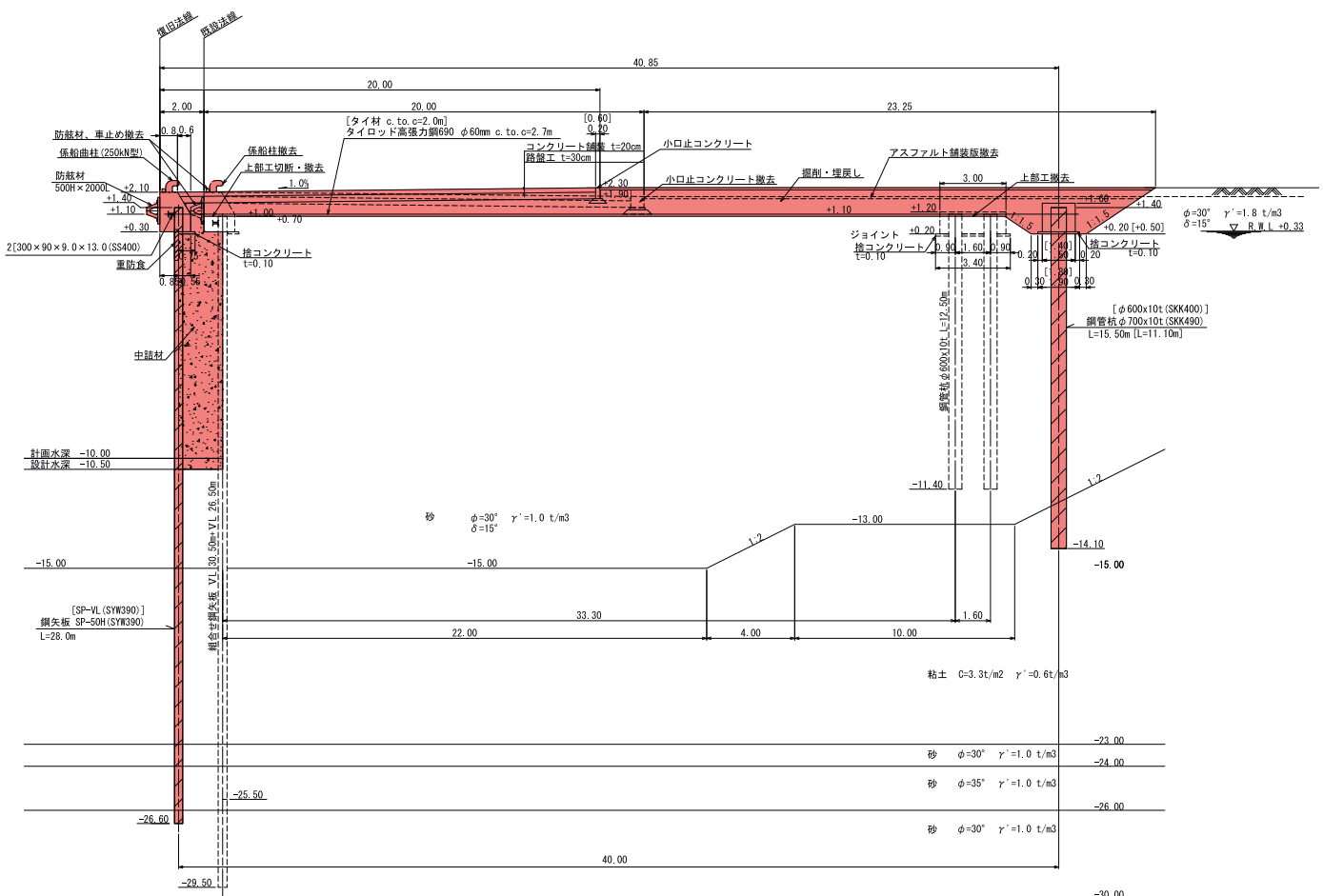
緊急物資や支援部隊を海上から被災地へ輸送する重要な拠点となる。耐震強化岸壁は、その機能を地震後も確保するために整備される施設であり、今回の被害は非常時の支援拠点としての港湾機能を維持するうえで耐震化が重要であることを改めて示した。

止まった岸壁が物流と運用に与えた影響

戸水岸壁が使用できなくなったこと



■大浜岸壁に搬入される鋼矢板



■金沢港戸水3頭復旧断面

は8区間

は、金沢港全体の運用に大きな影響を及ぼした。

セメントや建設機械といった災害復旧やインフラ整備に不可欠な物資を扱ってきた岸壁が使えなくなったことで、荷役は代替岸壁への振り替えを余儀なくされた。

さらに影響は、近年力を入れてきたクルーズ船の受け入れにも及んだ。金沢港は、税関、出入国管理、検疫を効率化したCIQ機能を備えたクルーズターミナルを有し、日本海側を代表するクルーズ拠

点の一つとして、年間50隻以上の外国クルーズ船が寄港している。戸水岸壁はターミナルに隣接する利便性の高い岸壁であり、その使用不能は、受け入れ体制への影響を与えることとなった。

### 早期復旧を実現した「前出し」という決断

戸水岸壁の災害復旧において、最大のテーマとなったのは「港の機能を止めないこと」であった。

災害復旧事業では、原則として被災前の姿に戻す原形復旧が求められる。しかし、既存の戸水岸壁は構造的な安全性を失っており、同じ断面を再現することは現実的ではなかった。結果として、復旧でありながら最新の設計基準を適用した再構築が不可欠となった。

そこで採用されたのが、

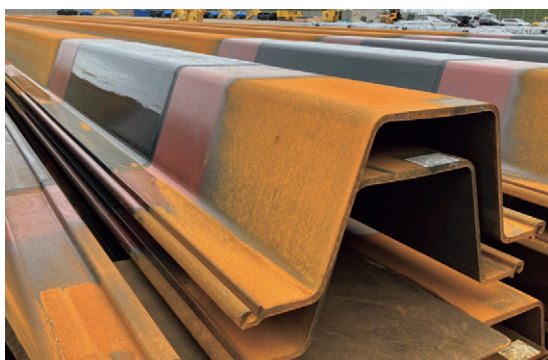
既存岸壁の前面に新たな岸壁を構築する「前出し方式」である。この方式は、被災した既存構造物を全面的に撤去することなく、新しい構造体を前面に構築することで、安全性を確保しながら工期短縮を図る手法だ。

既存岸壁の撤去には多大な時間と費用を要するだけでなく、港の利用制限が長期化するリスクも伴う。前出し方式は、そうした制約を踏まえたうえで、「できるだけ早く港を使える状態に戻す」ための現実的かつ戦略的な判断だった。

設計にあたっては、最新の港湾設計基準を適用し、レベル1地震動に対応した構造となったため、結果として岸壁の性能は被災前よりも確実に引き上げられることとなった。

### 復旧の骨格を支えたタイロッド式鋼矢板壁工法

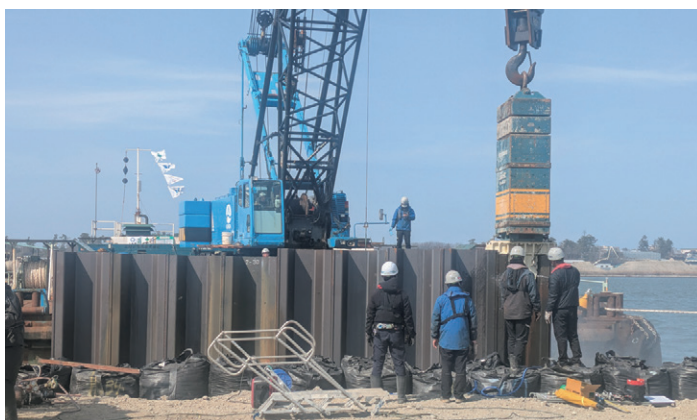
新たな岸壁の構造形式として採用されたのが、タイロッド式鋼矢板壁工



■重防食塗装のなされた鋼矢板



■海上台船からの鋼矢板の打設状況



■鋼矢板打設（停止位置確認）



■鋼矢板の打設状況



■打設後の鋼矢板配置状況

# 鋼矢板工法で実現した、次の災害に備える強靱な港

法である。タイロッド式鋼矢板壁工法は、前面の鋼矢板と背面の控え工（鋼管杭）をタイロッドで連結し、水平力に対する抵抗機構を形成する工法である。鋼矢板が海側へ倒れ込むのを、背後の鋼管杭が引張材で拘束することで抑制し、港湾護岸等での安定した水際構造を実現する。

前面にはハット形鋼矢板SP-50H（有効幅900mm・SYW390）を使用し、1バースあたり207枚、2バース合計で414枚を打設した。1枚の長さは約28mに及ぶ長尺材である。

この鋼矢板は、従来型に比べて断面性能が高く、曲げ剛性に優れるのが特長だ。港湾構造物として求められる耐久性、施工性、経済性のバランスに優れ、災害復旧という時間制約の厳しい条件下でも高い効果を発揮する。

鋼種には港湾用途に適した高靱性鋼が採用され、低温環境下でも粘り強さを維持できる仕様とした。控え工には、長さ約15.5mの鋼管杭（SKK490）を計138本配置し、鋼矢板と一体となって液状化による地盤変状にも耐えうる構造を形成している。応力度計算では、レベル1地震動を想定し、鋼矢板・鋼管杭ともに許容応力度内で十分な余裕を確認していることを確認した。

さらに、物流ニーズが特に高い2号岸壁側では、今回新たに地盤改良による液状化対策を実施した。地盤改良には

高圧噴射攪拌工法が採用された。地盤改良機により液体の固化材を高圧・高速噴射・攪拌することで固結する工法であり、既設の地下構造があっても施工可能であることが特徴である。控え工としての鋼管杭は控え工としての性能を満足するために粘土層に根入れするように長尺化された。これは被災前にはなかった対策であり、結果として岸壁の安全性は「元に戻す」だけでなく、「一段階引き上げる」こととなった。

## 自然と向き合う、 港湾工場の現場から

施工は決して平坦なものではなかった。

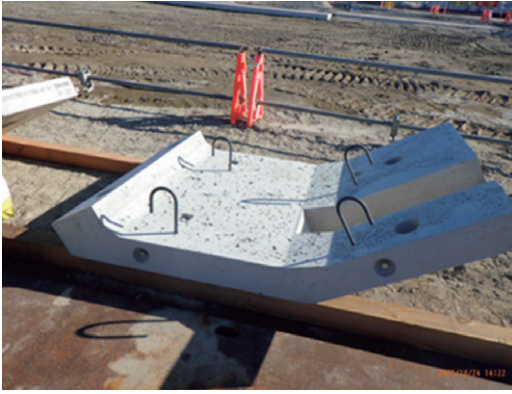
日本海側の冬季は強風や荒天の日が多く、28mに及ぶ鋼矢板をクレーンで吊り込む作業は、風速次第で即座に中断を余儀なくされる。安全確保を最優先とし、風況を見極めながら施工可能な時間帯を慎重に選定する必要があった。

また、被災した岸壁には船を直接接岸できないため、鋼矢板は一度別の岸壁で荷揚げし、必要量を台船に積み替えて現場へ運搬するという手順を取った。長尺材はヤードを占有するため、通常の港湾利用との調整も欠かせなかった。

鋼矢板の打設は海上の台船からパイプロハンマを用いて行われたが、地盤内の一部区間で硬い土層の影響とみら



■タイロッドの施工状況



■プレキャスト上部工



■プレキャスト上部工



■プレキャスト上部工の設置



■プレキャスト上部工の設置状況

済性が総合的に発揮された象徴的な事例である。

災害時において、時間は何よりも貴重だ。ハット形鋼矢板の採用により施工効率は大きく向上し、厳しい気象条件下においても工事を着実に前進させることができた。

また、液状化によって生じる大規模な地盤変状に耐えうる高い剛性と、最新の設計に基づく確実な支持力は、将来の地震を見据えた港湾の強靱化、すなわちレジリエンスの向上に直結している。既存構造物を生かした前出し工法との組み合わせにより、コストを抑制

れる打設困難箇所があった。そうした箇所ではウォータージェットを併用するなど、現場の判断による工夫が取り入れられた。

計画どおりに進まない状況に直面しながらも、安全管理と品質確保を最優先に、現場力によって一つひとつ課題を克服していった。

天候という不確定要素は残るものの、安全を最優先に、確実な復旧が続けられている。

### 鋼矢板がつかない金沢港の「復旧」と「未来」

戸水岸壁の復旧は、鋼矢板工法が持つ迅速性、信頼性、施工性、そして経

しつつ高品質な復旧を実現した点も大きな成果である。

港は地域経済を支え、非常時には人命を支える社会基盤である。鋼矢板によるこの強固な構造は、北陸の物流を守り、金沢港の機能と信頼を取り戻すための礎となった。戸水岸壁の再生は、その役割を未来へと確かにつなぐための重要な一歩である。

### 着実な復旧の先に港が再び動き出す日へ

鋼矢板の施工は2025年3月に着手され、控え杭も含めた打設作業は同年7月初旬に完了した。鋼矢板の1日あたりの打設枚数は平均して約9枚、最大で12枚と、厳しい自然条件の中でも安定した施工実績を残した。

地盤改良工事も計画どおり進み、現在は上部工および背後地整備が進められている。上部工では、現場でのコンクリート打設期間を短縮し、冬期の品質確保を図るため、プレキャスト部材が採用された。

今後、埋め戻しや舗装工事を経て、2026年3月下旬の供用開始を目指す。



■2025年7月の金沢港・戸水ふ頭の復旧状況

取材協力・資料提供：国土交通省北陸地方整備局 金沢港湾・空港整備事務所