

地震時の港湾の利用可否判断

— 能登半島地震における事例と施設の変位評価 —

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所地震防災研究領域耐震構造研究グループ長 大矢 陽 介

1. はじめに

令和6年1月1日に発生した令和6年能登半島地震では、最大震度7を計測した石川県内の多数の港湾施設が甚大な被害を受けた。応急復旧により施設の利用が可能と判断された施設については、数日の間に応急復旧が実施され、発災後の支援物資輸送の拠点として利用された。発生から1年が経った現在、一部の港湾施設では本格復旧工事が進められている。

本稿では、発災後に国交省緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）の一員として派遣され実施した船舶の早期着岸の実現に向けた取り組みと、施設の損傷を評価するための残留水平変位評価に関わる取り組みについて紹介する。

2. 港湾施設の利用可否判断

平成28年熊本地震では、最大震度7を計測し、家屋等の甚大な被害があった内陸部と比べて、港湾の被害は軽微であったため、地震発生直後から緊急物資

輸送や人員輸送のための支援船の拠点として利用することができた。このため、熊本港や八代港では平時の輸送に利用されるとともに、緊急物資等の輸送を目的とした、自衛隊、海上保安庁、国土交通省からの支援船の利用が集中し、混雑する状況が発生した¹⁾ (図-1)。この時の教訓を踏まえて、平成29年には非常災害時において、港湾管理者からの要請に基づき、国が直接港湾施設の管理を行う新しい制度が創立された。これが「港湾法第55条の3の3」の規定であり、令和6年能登半島地震においても七尾港、輪島港、飯田港、小木港、宇出津港、穴水港の6港湾について港湾管理者の石川県の要請を受けて港湾施設の一部を国が管理することとなった。

国が管理代行した6港湾について、1月12日までに全施設の利用可否判断が完了した²⁾。利用可否判断の結果については、国土交通省のHPで利用実績と一緒に公開され、情報が加わる度に更新された。

当規定は、令和2年に八代港にて豪雨による漂流物被害に関して、令和3年に運天港にて軽石被害に関して適用事例があるものの、地震被害に関しては1月の能登半島地震が初めての適用となった。

筆者はこれまでも地震発生後の被災調査へTEC-FORCEの一員として参加経験があるが、利用可否判断を目的とした派遣は初めてである。派遣当初は、被害程度が小さく、利用できる岸壁を判断することが目的であったが、調査初日の時点で、ほぼ全ての施設が少なからず被害を受けている点を踏まえて、被害を受けた施設の中で、応急復旧実施を前提に、どのような利用制限を設ければ施設が利用できるか判断することが要求されることとなった。

国が管理代行した全ての施設について利用可否判断を完了したのは、1月12日であったが、調査は1月2日より4.5m以深の岸壁を優先して実施され、輪島港は4日、飯田港は4日、七尾港は3日より一部施設の供用が再開された。



資料：国土交通省 https://www.bousai.go.jp/updates/h280414jishin/h28kumamoto/pdf/h281114shiryo01_2.pdf

図-1 平成28年熊本地震時の港湾の混雑状況

図－2は3港湾において実施された応急復旧状況と船舶の利用状況、図－3は入港実績である。発災の2日後までに利用可否判断が行われ、直ぐに緊急物資輸送に利用された。一部は応急復旧が実施される前に利用制限を設けて利用され、実績より発災後約3週間の間、支援船で

混雑した状態と読み取れる。すなわち、地震発災後の初期段階の概ね3日以内に利用可否判断が求められる想定であったが、プッシュ型支援が実施された能登半島地震では、発災後翌日には利用可否判断が求められ、全ての施設の判断が完了するまでに発災後11日要した。筆者が

3日に飯田港を調査して、金沢までの帰路は13時間掛かった交通事情のように、アクセス面における課題で調査完了までに時間を要したと考えているが、将来発生する南海トラフ地震等の大規模地震を想定すると利用可否判断の迅速化が課題として明らかとなった。

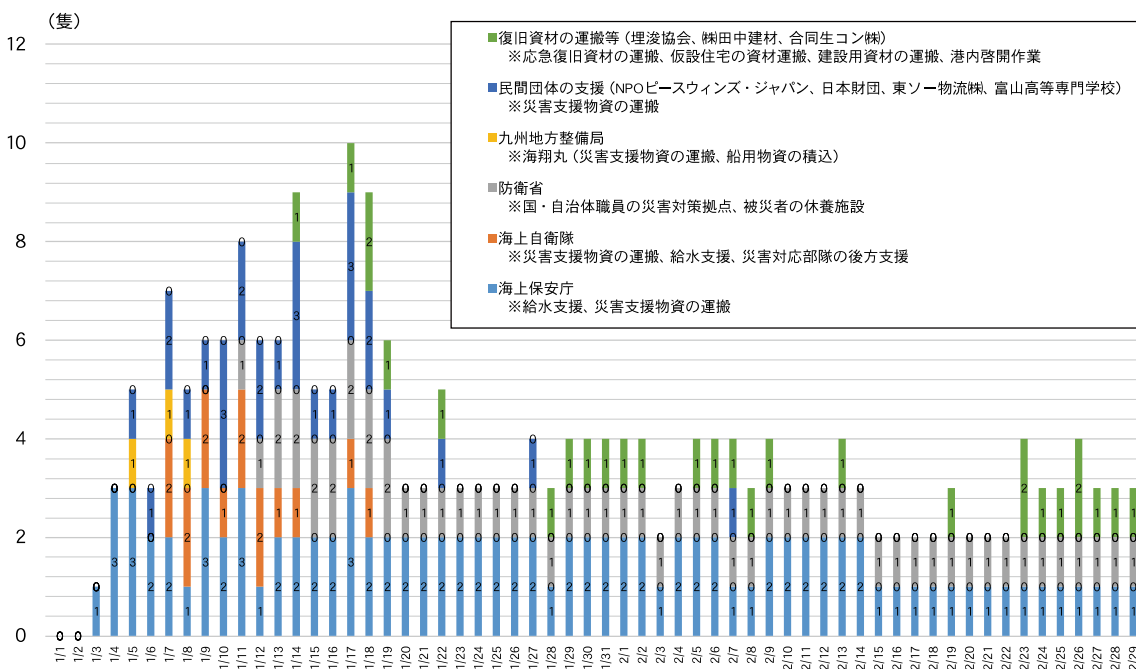


資料：令和6年1月31日 交通政策審議会 第91回港湾分科会

図－2 被災した港湾施設の応急復旧と利用状況

七尾港、輪島港、飯田港における入港実績

※国土交通省港湾局HPに掲載されている入港実績データをグラフ化



図－3 国が港湾施設の一部を管理する港湾へ入港実績

3. 利用可否判断の基準

地震後、被災した施設が利用可能か、耐力がどの程度残っているか判断することは、これまでも耐震設計において重要な課題であり、港湾法が改正された平成28年以前よりもさまざまな取り組みが実施されていた。改正後に取りまとめられたガイドラインには、利用可否判断に関する各地方整備局や研究所の取り組みについて示された。利用可否判断の基準値の一例を表－1 および図－4で示す。

施設の利用可否判断を行うためには、船舶の接岸や車両によるアクセスといった利用上の観点からの判断だけでなく、構造上の安全性を評価することが必要である。重力式係船岸のように地震時に内的安定が問題になることがないケーソン構造の場合、ケーソンが基礎マウンドの端部まで移動して不安定な状態になる変位よりも、利用上の観点から設定される変位の方がより厳しい設定となる。利用可否判断の基準として、過去の地震被害において緊急物資輸送船舶の係船実績が多かった岸壁法線の凹凸変位量およびケーソンの傾斜角について制限が設けられている。岸壁法線の凹凸変位量は、ケーソン間の相対変位をメジャーで、ケーソンの傾斜角は傾斜計で測ることができる。

一方、矢板式係船岸や栈橋のように矢板や杭等の鋼部材の損傷により構造上の安定が失われる可能性がある構造では、鋼部材の損傷や応力状態を把握することが重要となる。矢板や杭は水中または地中に存在するため、直接構造全体の変状を把握することは困難であり、観察できる地上からの情報より評価することになる。多くの場合、矢板や栈橋の上部工の残留水平変位を計測することで、矢板や杭がどの程度曲げ変形しているか、最終的には応力状態を評価する。

残留水平変位の評価には、地震前と地震後との座標の移動量のうち、施設の変形に寄与する変位を評価する必要がある。大地震時に見られるような地殻変動分の移動を取り除く必要がある。地殻変動分を取り除くには、施設背後で施設周辺の局所的な地盤の変位による影響は受けないと考えられる基準点（地盤変位の影響が小さい杭基礎のRC建屋の屋上など）を確保し、基準点と評価対象の施設との相対変位を評価する必要がある。このような施設の残留変位を評価する方法はいくつかあるが、港湾施設を対象とした場合、衛星測位の内、RTK-GNSS方式を用いた方法を提案している。詳細は後述する。

しかしながら、能登半島地震発災後の初期段階において、残留水平変位量に関

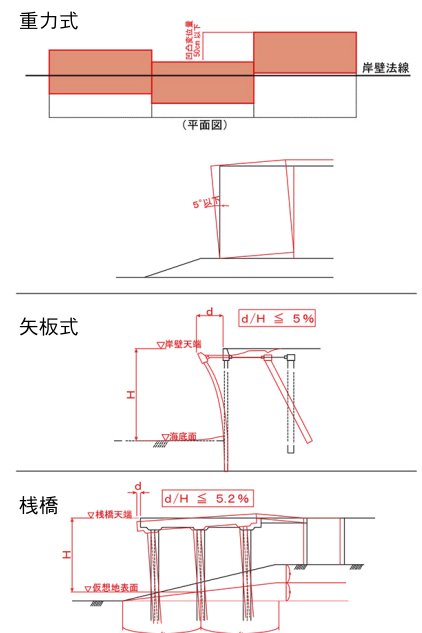
する情報は無く、矢板式係船岸および栈橋については、目視による変状より施設の変位量を推察し、利用可否判断が行われた。

4. 能登半島地震での利用可否判断

ここでは、施設の残留水平変位量に着目した施設の損傷状況と利用可否判断の結果について記載し、利用可否判断に必要な津波漂流物、係留方法等に関する検討、利用に際する制約については、例えば竹信ほか(2024)⁴⁾、柴田ほか(2024)⁵⁾を参照されたい。

(1) 重力式係船岸の事例

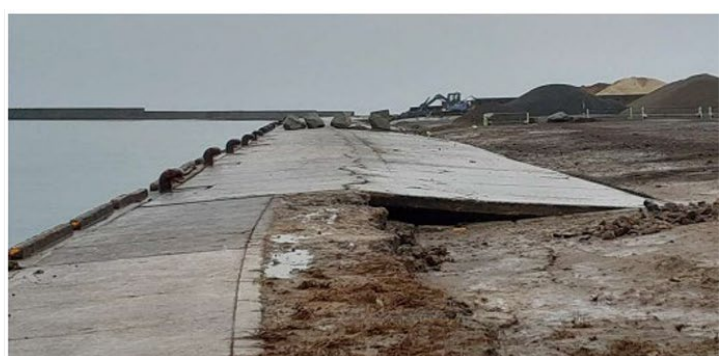
地震発災翌日の2日に輪島港の重力式係船岸（設計水深：-7.5 m）に対して、支援船を接岸させるため、利用可否判断が実施された。写真－1左より、ケーソンと背後地盤の間に人の背丈ほど段差が



図－4 係留施設の利用可否判断の目安の例

表－1 係留施設の利用可否判断の目安の例³⁾

係留施設の構造形式	目安
重力式	- 岸壁法線の凹凸変位量：50cm - 海側への傾斜角：5°以下
矢板式	- 矢板の正規化水平変位 d/H：5%以下 d：堤体天端の残留水平変位 H：海底面から矢板天端までの高さ
栈橋	- 栈橋の変形率 d/H：5.2%以下 d：栈橋天端の残留水平変位 H：栈橋高さ（仮想地表面～栈橋天端）



資料：国土交通省 令和6年能登半島地震を踏まえた港湾の防災・減災対策のあり方
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001736478.pdf>

写真－1 重力式係船岸（左：輪島港，右：飯田港）の被災状況

発生していることから、段差と同程度、ケーソンが水平方向に変位している可能性があると想定されたため、被災程度としては必ずしも軽微ではないと考えられた。しかし、ケーソンの傾きが顕著ではないこと等を踏まえて、ケーソン本体に船舶接岸力および牽引力が作用しても、本体構造に関する安定性は大きく損なわれないと考えられ、利用可能と判断された。

同じく重力式係船岸である飯田港（写真－1右）の岸壁（設計水深：-4.5 m）に対して、3日に現地調査が実施された。現地の計測結果として、ケーソンの最大傾斜角4.3°、岸壁法線の最大値凹凸変位約30cmであり、構造物の被害程度としては軽微であると考えられ、利用可能と判断された。

（2）栈橋の事例

3日に調査が実施された七尾港の栈橋（設計水深：-7.5 m）では、写真－2より法線のずれや天端水平変位量はわずかなように見えたものの、渡版と背後地盤の間には約20cm程度の段差が生じているとともに、栈橋背後のL型土留め壁が渡版を介して栈橋上部工を海側に押し出すような変状であった。また、栈橋背後には栈橋法線平行方向に複数のクラックが発生していて、クラック幅の累積値から、栈橋の残留水平変位は20cm程度と推察された。

当該施設においては、過去の数値シミュレーションによる試算結果があり、10cm程度の残留水平変位により、栈橋杭

に損傷が発生する可能性があることが確認できた。そのため、栈橋の推定水平変位量を踏まえて、少なくとも施設の通常利用は困難であると判断された。しかしながら、栈橋上部工の変状や法線出入りがほとんどなかったことなどから、栈橋上部工に重量物を積載しないなどの利用に際して制限を設けて利用可能と判断された。

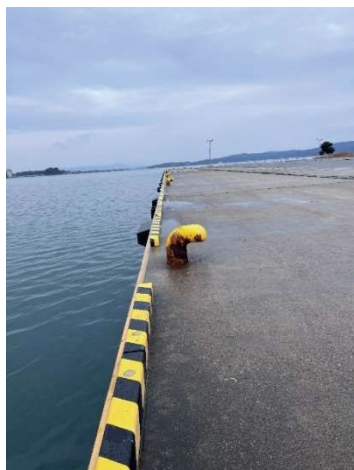
（3）矢板式係船岸の事例

4日に調査が実施された金沢港の矢板式係船岸（設計水深：-10 m）では、矢板上部工の背後に段差が生じ、控え工の背後に30cm程度の法線平行方向のクラックが発生していたことから、矢板と控え工が少なくとも30cm程度海側に移動したと推察された（写真－3）。そのため、施設が損傷を受けている可能性が高いた

め、利用不可と判断された。

その後、14日までに測量が実施され、地震前後の座標の差より矢板の残留水平変位は最大で約40cmと評価された。さらに潜水調査および数値シミュレーションによる検討が実施され、矢板は健全であるが、控え工が降伏応力を超えている可能性が確認でき、船舶の牽引力に対して岸壁が耐えることが困難と判断された。そのため、26日までに係留方法について条件付けすることで利用可能と判断が変更され、その後、応急復旧として控え工より後ろに仮設係船柱を設置され、6月5日には船舶が接岸した。

このように、矢板式係船岸については、矢板根入れ部、控え工およびタイ材の全てが地中部であることから、施設の変状により鋼部材の損傷が想定される場合、利用可否判断には矢板天端等の残留水平

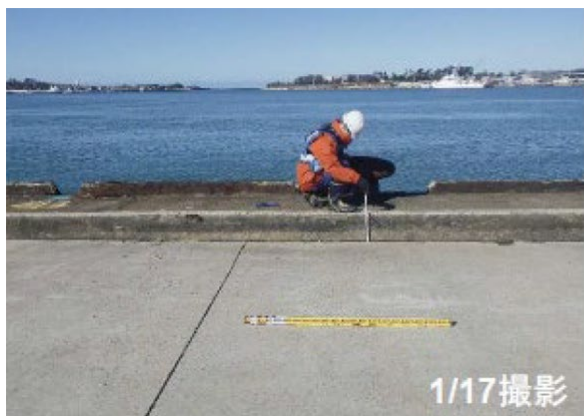


←法線は被害少なく見える
栈橋背後は被害あり↓



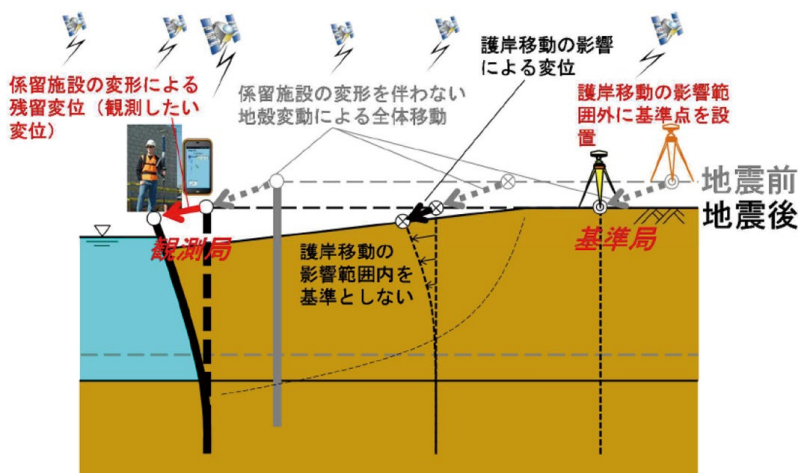
資料：国土交通省 令和6年能登半島地震を踏まえた港湾の防災・減災対策のあり方
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001736478.pdf>

写真－2 栈橋（七尾港）の被災状況



資料左：国土交通省 令和6年能登半島地震を踏まえた港湾の防災・減災対策のあり方
<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001736478.pdf>
資料右：柴田ほか（2024）^{51）}

写真－3 矢板式係船岸（金沢港）の被災状況



図－5 RTK-GNSSによる係留施設の残留水平変位計測の概要⁷⁾



図－6 利用可否判断支援装置（パースサーベイヤー）のアプリ操作イメージ⁷⁾

変位および数値シミュレーション等による残存耐力評価が必要不可欠である。

5. 利用可否判断に必要な変位評価

残留水平変位評価に必要な座標情報は、GNSS測位等を用いた測量に基づいて比較的簡便に把握可能である。しかし、地殻変動が発生した場合、座標に地殻変動による移動分が含まれてしまう可能性がある。また、能登半島地震では、能登半島周辺における電子基準点の移動に伴い、国土地理院による配信サービスが停止された⁶⁾ため、通常の測量による変位量の正確な把握は困難な状況であった。このような課題は大規模地震で想定されるため、港湾施設を対象とした利用可否判断では、図－5に示すように港湾内に基準局を設定し、基準局と施設の観測局の両地点においてRTK-GNSS方式を用いて計測し、両地点の相対座標を把握することにより、地殻変動の影響を取り除いた上で、誤差1cm程度の高精度な計測を実

施する方法を提案している。

筆者の所属グループでは、RTK-GNSS方式に基づき、以下の特徴を有する利用可否判断支援装置（パースサーベイヤー）を開発している（図－6）。

- ①Androidアプリにより、簡単にGNSS受信機を操作、1人でも計測可能
- ②アプリに事前の測点情報（座標）を保存し、地震後の測定座標と比較することでその場で地震時変位量を算出することが可能、CAD図面上にベクトル表示
- ③天端残留水平変位と部材応力（損傷）状態の関係を取り込んでおくことで、アプリ上に推定された部材応力状態を表示可能

本装置は、能登半島地震における利用可否判断においては活用されなかったものの、導入されていれば精緻な残留水平変位評価に基づく、より迅速かつ客観的判断が出来た可能性は高かったと考えている。

6. おわりに

本稿では、令和6年1月能登半島地震において港湾施設の利用可否判断の概要、重要な施設の残留水平変位に関する情報が不足した状況における対応を紹介した。発災後、交通政策審議会より「能登半島地震を踏まえた港湾の防災・減災対策のあり方」が答申され、残留水平変位評価を含む迅速な施設点検・利用可否判断は今後取り組むべき施策として示された。そして、内閣府BRIDGE施策「港湾施設の被災状況把握・利用可否判断の迅速化」⁸⁾が採択され、その中で筆者らは、施設の残留水平変位評価の迅速化に取り組んでいる。利用可否判断支援装置の操作は使いやすいAndroidアプリが実装されているが、GNSS機器と簡易無線機を使用するため災害時に誰でも使える機器ではない。将来発生が予想される南海トラフ地震等の広域災害では、非技術者が施設を点検することが想定される。そこで、スマートフォンやデジタルカメラ等からの撮影画像から施設の損傷、残留水平変位等を評価する方法を検討している。現地調査員は、スマートフォン等で写真を撮り、岸壁法線付近を歩くだけで利用可否判断に必要な情報を得る方法を考えている。成果が次の施設の利用可否判断の現場で活用されることが目標である。

【参考文献】

- 1) 神谷昌文：港湾法の一部を改正する法律について、運輸政策研究，Vol.20，2018. https://www.jttri.or.jp/members/assets/no76_topics05.pdf
- 2) 加邊ほか：令和6年能登半島地震における港湾の対応について，2024. <https://www.hrr.mlit.go.jp/library/happyoukai/R6/d/d-02.pdf>
- 3) 国土交通省港湾局：港湾施設の利用可否判断に係るガイドライン（係留施設編），2019.
- 4) 竹信ほか：令和6年能登半島地震の発災後初期調査における係留施設の利用可否判断事例とその課題，土木学会論文集B3（海洋開発），Vol.80，No.18，24-18116，2024.
- 5) 柴田ほか：令和6年能登半島地震で被災した矢板式岸壁の暫定供用に向けた残存耐力評価事例，土木学会地震工学研究発表会，2024.
- 6) 国土地理院：<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/R6-notopeninsula-earthquake-seika.html>
- 7) 伊藤広高，小濱英司：RTK-GNSSを用いた地震後係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発，港湾空港技術研究所資料No.1370，2020
- 8) 内閣府BRIDGE：港湾施設の被災状況把握・利用可否判断の迅速化，https://www8.cao.go.jp/cstp/bridge/keikaku/r6-14_bridge_r6.pdf