

2024年能登半島地震の被害から見えてきた 港湾における地震災害対策の課題



野津 厚

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
港湾空港技術研究所 地震防災研究領域長

2024年能登半島地震の発生から現時点で約1か月が経過した。この間、筆者は、本省港湾局や北陸地方整備局が行う様々な災害対応活動に研究所職員としてオンラインミーティングなどを通じ参加する機会を与えていただき、現地にも行かせていただいた。その中で、これまで行ってきたことが間違っていないと感じた点や、今後考え直さなければならないと感じた点などがあつた。ここではそれらについて書かせていただきたい。

まず、大きな環境の変化として、港湾法第55条の新しい規定により、国が被災港湾の管理を代行できるようになった。能登半島地震においても輪島港など6港で国が権限代行を行っている。それにともない、係留施設の利用可否判断を国が行いホームページに掲載するという新たな試みがなされている。その点に関する支援が、特に災害対応の初期(1月10日まで)において、研究所の役割のかなりの部分を占めた。重力式岸壁、矢板式岸壁、栈橋、セル式岸壁など、それぞれの力学特性に応じて、利用可否判断において着目すべき点は異なっている。久里浜の2研究所は、その前身である港湾技術研究所の時代から、構造形式毎の力学特性、地震時挙動特性について研究を行ってきた長い歴史を有しており、研究者がその知見を生かして利用可否判断に参加することの意義は非常に大きいと感じた(ただし、南海トラフ地震などより大規模な災害において、多数の港湾が同時に被災した場合において、研究者がすべての港湾を訪問することは困難であるため、対応の方法について工夫が必要である)。

その中で改めて感じたのはケーソン式岸壁のロバスト性である。写真1は輪島港のケーソン式岸壁(-7.5m)でありケーソン背後に最大2m程度の段差が生じている。ケーソンの水平変位もおそらく同程度であったと考えられる。しかしながら、ケーソンそのものは健全な状態で残ったため、碎石による応急対策がなされ、地震のわずか3日後の1月4日には船舶が接岸



写真1 輪島港のケーソン式岸壁(-7.5m)の被害(左)と応急対策(右)

し緊急物資輸送に利用された。一般に矢板式岸壁や栈橋のような鋼部材を主体とする施設は、過去の地震において鋼部材の損傷(矢板の折損や鋼管杭の座屈)が生じた例があることから、利用可否判断は慎重に行う必要があり、天端残留水平変位の測量結果に基づいて鋼部材の健全性を確認する必要がある¹⁾²⁾。しかしながら、能登半島地震のように地殻変動が生じ国土地理院が基準点のサービスを停止している状況では信頼性のある測量結果を得るのに時間がかかる。加えて鋼部材の健全性の確認にはフレーム解析(状況に応じてFLIP解析)が必要となりこの点でも時間を要する。その点、ケーソン式岸壁は迅速な判断が可能であり、上述の輪島港の岸壁は、耐震強化バースではなかったにも関わらず、地震の3日後には使えている。筆者はもともと緊急物資輸送対応の耐震強化バースはケーソン式が良いとの考えであったが、今回の地震を経験しその思いを一層強くした(ただし、ケーソン式は変位が出やすいことは事実であり、ケーソン上にガントリークレーンのレールがある場合、レールが曲がりやすい。したがって、幹線貨物輸送対応の耐震強化バースにケーソン式が適しているかはまた別問題である)。

研究所の職員が利用可否判断に参加していた災害対応の初期段階(1月10日まで)では、天端残留水平変位の測量結果は得られていなかった。そのため、矢板式岸壁や栈橋のように本来は天端残留水平変位の測量結果に基づいて判断すべき施設であっても、現地で確認できる情報から判断せざるを得なかつ



写真2 穴水港の棧橋(-4.0m, 土留めは控え直杭式矢板式)の被害。左は控えの位置のクラックを示す。

た。矢板式岸壁の場合、控えが前方に移動するモードの変状が生じる場合が多い³⁾。したがって、特に控えの周辺に着目し、控えの直背後に段差やクラックが生じている場合は控えと矢板本体が前方に移動している可能性が高いと判断した。棧橋の場合、背後の土留めが前方に移動し、それに伴い上部工や杭が海側に押されるモードの変状が生じる場合が多い。したがって、特に土留めの挙動に着目し、土留めが前方に移動した形跡が認められる場合は、上部工や杭が海側に押されている可能性がある判断した。写真2は穴水港の棧橋(-4.0m, 土留めは控え直杭式矢板式)の例である。この場合は控えの位置に幅10cm程度のクラックが生じており、控えと矢板本体が少なくとも10cm程度前方に移動し、杭が海側に押されている可能性がある判断した(こうした検討が可能となった背景として国総研の御好意により維持管理計画書を閲覧できたことが大きい。あらためて御礼申し上げる次第である)。ただ、こうした判断は、測量結果が得られていないという制約条件の下でやむを得ず実施したものであり、本来、矢板・棧橋については、天端残留水平変位の測量結果に基づいて定量的に利用可否判断できるようにすべきである。そのためにはBerth Surveyor⁴⁾のより広範な導入が望まれる。

さて、以上のような初期の対応が1月10日まで続いたあとは、次のフェーズ、すなわち、初期の調査でグレーゾーンであった施設のうち特にニーズの強いものについてより詳細な調査を行い利用可とすることができないか検討するフェーズに移行した。その一例が金沢港の控え直杭式矢板式岸壁(-10m)であった。この岸壁の場合、遅くとも1月14日の時点で県による天端残留水平変位の測量結果が得られていた。幸運なことに、地殻変動の影響を受け国土地理院が基準点のサービスを停止した地域に金沢市は含まれていなかったため、関係者間で測量結果に対する信頼感が早い段階で醸成された。このことが結果的に早い段階での利用可否判断につながったことは見逃せない。測量結果によると、天端残留水平変位は最大40cm程度

であった。また、控えの直背後に30cm程度のクラックがあったことから、控え直杭式矢板式岸壁の典型的な変形モード、すなわち、控えが前に動き、それに伴って矢板天端も前に動くモード³⁾が生じていると判断できた。利用可否判断はFLIP解析により行われた。すなわち、金沢港で得られた強震記録をFLIPモデルに入力し、天端残留水平変位が40cm程度となるように地盤定数をわずかにチューニングした上で、その結果に基づいて部材の応力を照査したところ、矢板本体とタイロッドは健全であり、控え杭は弾性範囲は超えるものの限界曲率(局部座屈が生じて杭が不安定化する可能性のある曲率)には達していないため、当該岸壁は暫定供用可能と判断できた(担当された設計コンサルタントの迅速な対応に対して御礼申し上げたい)。このように、①継続的に実施してきた強震観測⁵⁾、②港空研の先輩研究者が開発したFLIP⁶⁾、③比較的最近開発された鋼管杭の新しいモデル化手法⁷⁾(限界曲率など)がすべて結びついた結果、利用可否判断が可能となった。その点で、これまで進めてきた研究は無駄ではなかったと実感することができた。ただし、Berth SurveyorとFLIP解析が事前に導入¹⁾²⁾されていれば同等の判断は地震後2~3日でできていた可能性があり、今後は重要性の高い矢板・棧橋に対してBerth SurveyorとFLIP解析を事前に導入することが課題である。

能登半島地震により明らかとなった課題はこれまで述べてきたものの以外にも多数ある。既に報道されているように漁港だけでなく輪島港も地殻変動の影響を受けている。また、能登半島地震の際に震源近傍で観測された揺れの中にはPSI値が200を超えるような大きなものもある。これまで用いてきたレベル2地震動の設定法の妥当性についても改めて検証する必要がある。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、2018年。
- 2) 九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所：大規模地震時における係留施設の使用可否判定マニュアル(案)、2022年、<https://www.pa.qsr.mlit.go.jp/gityou/products/pdf/r4daikibozisin0208.pdf>
- 3) 北島昭一・上部達生：矢板岸壁地震時被災の分析、港湾技術研究所報告、第18巻、第1号、pp.67-127、1979年。
- 4) 伊藤広高・小濱英司：RTK-GNSSを用いた地震後の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年。
- 5) 長坂陽介・野津厚：港湾地域強震観測年報(2020)、港湾空港技術研究所資料、No.1409、2023年。
- 6) 井合進・松永康男・亀岡知弘：ひずみ空間における塑性論に基づくサイクリックモビリティのモデル、港湾技術研究所報告、第29巻、第4号、pp.27-56、1990年。
- 7) 大矢陽介・塩崎禎郎・小濱英司・川端雄一郎：耐震性能照査における鋼管部材のモデル化法の提案、港湾空港技術研究所報告、第56巻、第2号、pp.3-33、2017年。