

地震時における港湾利用と係留施設の利用可否判断技術、今後の展開



小濱 英司

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

近年の度重なる地震被害発生に加え、南海トラフ地震のような巨大地震の切迫性が指摘されており、国全体として地震被害の最小化や迅速な復旧・復興に向けた備えが求められている。港湾においては、地震時に背後圏の社会経済活動を維持するための港湾物流を確保する観点から、港湾施設の耐震性向上が進められてきた。また、地震後の被災地への緊急支援としての海上輸送の役割が広く認識されてきており、その拠点となる港湾機能の確保が不可欠である。特に、地震後に係留施設へ船舶が安全に接岸し、荷役作業を実施できるかを迅速かつ正確に判断することの重要性が高まっている。本稿では、これまでの巨大地震時における港湾利用について整理するとともに、係留施設の利用可否判断のための技術と今後の展開、課題について述べる。

1. 地震時における港湾利用

港湾の地震後の利用については1995年兵庫県南部地震において注目された。この地震では神戸市を中心に甚大な被害が発生し、港湾施設も大きな被害を受けたが、地震後の被災地支援においては船舶による物資・人員輸送が多く活用され、港湾がその拠点として重要な役割を果たした。このような港湾利用状況は整理・分析されて取りまとめられており¹⁾、この頃より災害時における港湾利用への関心が高まってきたことが認識される。

2011年東北地方太平洋沖地震および2016年熊本地震においても、船舶による被災地への緊急支援が実施された。利用実態の分析²⁾によれば、東北地方太平洋沖地震では、地震動および津波の被害により利用可能な係留施設が著しく限定され、港湾の受入能力が大きく低下していたことが確認されている。一方、熊本地震では熊本港および八代港の被害が比較的軽微であったため、発災直後から平常利用船と緊急支援船の双方

の係留需要に対応できていた。ただし、それら港湾では自衛隊や海上保安庁、国土交通省などの艦船の利用が集中し、過度に混雑する状況となっていた。このため、港湾管理者である熊本県は国土交通省に対して管理者代行としての岸壁利用の調整を要請し、その結果、港湾を通じた海上輸送による支援活動が円滑に行われた。

この教訓を踏まえ、港湾法が平成29年7月に改正され、非常災害時に港湾管理者の要請に基づき国が港湾施設の管理を代行できる制度が創設された（港湾法第55条の3の3）。この制度により、非常災害時に国は港湾施設の利用調整に加え、その前提となる施設点検、利用可否判断、応急修繕等を実施することが可能となった。

2024年能登半島地震では、この制度に基づき、輪島港など6港において国による管理代行が行われた。これに伴い、国土技術政策総合研究所および港湾空港技術研究所は地方整備局と連携して研究職員をTEC-FORCEとして現地に派遣し、管理代行された港湾の係留施設（131施設）を対象として、施設の安定性評価および利用可否判断の支援が実施された。その結果、地震発生2日後の1月3日には海上保安庁の巡視船が七尾港に接岸し、給水支援活動が開始された。以降、1月末までに海上自衛隊、海上保安庁や九州地方整備局の艦船が延べ142隻日、港湾を利用して被災地支援に貢献した。

2. 耐震性能評価技術、利用可否判断技術

地震後の海上輸送による被災地支援の重要性の高まりに伴い、地震作用を受けた係留施設の利用が注目されるようになった。1995年兵庫県南部地震では、主に重力式岸壁を対象として、船舶が実際に利用した岸壁の利用実績と被災変形量の関係が分析され、岸壁法線の凹凸の程度が利用可能性を示す指標となり得ることが示された³⁾。

重力式岸壁では、地震時に壁体の変位して背後地盤が沈下する被害は多く見られるものの、壁体自体の構造が損傷する事例はこれまで報告されていない。一方、矢板式岸壁や栈橋構造では、矢板や杭といった構造部材が損傷し、場合によっては倒壊に至る事例も報告されている^{例えば、4)}。これらの構造部材の多くは地中または水中に存在しており、直接目視できないため、その損傷状況を把握することは容易ではない。そのため、陸上からの外観上で大きな異常が認められない場合でも、地中・水中において損傷が進行し、構造的安定性が低下している可能性がある。そのような状態で施設を使用すると、荷役荷重や船舶の接岸・牽引力、さらに余震の影響によって不安定化し、二次被害を引き起こすおそれもある。このため、係留施設の利用可否を判断する際には、目視できない地中・水中部を含めた構造部材の状態を評価することが不可欠である。

港湾施設の耐震性能照査技術は、巨大地震による被害とその経験を踏まえて発展してきた。特に1995年兵庫県南部地震を契機として、有効応力有限要素解析プログラムFLIPは大きく発展し、地震時の地盤と構造物の挙動を高精度で再現することが可能となり、耐震強化施設の耐震設計において標準的に用いられるようになった。また、数値解析手法により変形量や矢板・杭などの構造部材の評価が可能となり、地震後に数値解析を行って、地中・水中の杭や矢板などの構造部材を含めた施設の損傷状態の評価が検討されるようになってきた。中部地方整備局においては、地震後に得られる港湾強震観測データを用いてFLIPによる地震応答解析を自動的に行い、構造物の地震後の状態を評価して利用可否判断に活用するシステムが開発されている⁵⁾。

また、観測地震動による数値解析ではなく、地震動を受けた施設の状態を直接計測して評価する手法として、岸壁天端の残留変位を直接計測し、その値から施設の安定性を評価する手法（利用可否判断支援装置 Berth Surveyor）も提案されている⁶⁾。RTK-GNSSを用いた計測により地殻変動の影響を除去した施設構造の変形による変位を取得し、あらかじめ数値解析により整理した変位と損傷の関係を用いて安定性を評価して利用可否判断を行う。

このような地震後の係留施設の安定性評価や利用可否判断に関して、技術基準や運用マニュアルの整備も進められている。2018年港湾技術基準では、大地震後に実施すべき調査内容が整理された⁷⁾。また、九州地整では専門的知識を有しない行政担当者でも迅速に判断できるマニュアルが作成されている⁸⁾。さらに、2025年には国土交通省により、事前準備や判断のポイントを整理したガイドラインが策定され⁹⁾、今後の研究や技

術開発の進展を踏まえて改訂が行われるとされている。

3. 今後の展開

地震後の係留施設の安定性評価や利用可否判断においては、現行の手法は変位や解析結果から損傷を間接的に推定するものであるため、構造部材の変形・損傷を直接計測する手法の検討が進められている¹⁰⁾。ただし、施設のすべての部位に計測センサー等を設置することは、コスト面等から現実的ではない。よって、代表箇所での計測による評価とともに数値解析等を併用して全体の損傷状況を推定することが考えられ、このような多様な情報を整理・統合して可視化し、利用可否判断に活用するシステムの構築が検討されている¹⁰⁾。数値解析による性能評価においてもさらなる高精度化が求められており、施設全体の性能を踏まえた地震動作用後の構造部材の耐力に関する検討等も行われているが¹¹⁾、今後もさらなる検討が望まれる。

参考文献

- 1) 高橋ら：兵庫県南部地震時の震災直後における海上輸送モードの対応状況に関する分析、港湾技研資料、No.861、1997。
- 2) 赤倉、小野：大規模地震・津波後における被災港湾のパス・ウィンドウの把握・分析、土木学会論文集B3（海洋開発）、Vol.73、No.2、pp.1_1001-1_1006、2017。
- 3) 一井ら：地震時における重力式岸壁の許容被災変形量の評価、日本地震工学シンポジウム論文集、Vol.10、pp.3241-3244、1998。
- 4) 稲富ら：1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告、港空研資料、No.857、p.237、1997。
- 5) 曾根ら：強震計観測情報を用いた係留施設の供用可否判定システムの開発、地盤工学会誌、64-7（702）、pp.16-19、2016。
- 6) 伊藤、小濱：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、港空研資料、No.1370、2020。
- 7) 国土交通省港湾局監修：港湾の技術上の基準・同解説、pp.1850-1899、2018。
- 8) 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手法マニュアル（案）、<https://www.pa.qsr.mlit.go.jp/gityou/products/pdf/r4daikibozisin0208.pdf>、2022。
- 9) 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、https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk5_000018.html、2025。
- 10) 国土交通省：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_r7.pdf、2024。
- 11) 荒木ら：栈橋支持杭のレベル2地震動に対する性能規定の提案、港空研資料、No.1429、2025。