

港湾施設の利用可否判断に係るガイドライン（第2版）

令和8年5月

国土交通省港湾局

四面を海に囲まれた我が国において、港湾は、大規模地震が発生した際に救助・救援活動や被災者支援のための人員・物資輸送等に必要不可欠である。例えば、平成 28 年熊本地震においては、支援物資を積載した海上自衛隊の輸送艦や海上保安庁の巡視船が熊本港、八代港や大分港等に入港し、支援物資や支援部隊の輸送拠点として機能を発揮した。この教訓を踏まえ、平成 29 年 7 月に港湾法が改正され、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。国が港湾施設の管理を代行した際には、地震後の施設点検により得られた調査結果から、速やかに係留施設等の利用可否判断が求められる。

このため、平成 30 年に改訂した「港湾の施設の技術上の基準・同解説」においては、平成 23 年東北地方太平洋沖地震における対応を踏まえ、大規模な地震後に実施すべき被災状況の全体把握や係留施設等の利用可否判断等に関する調査内容を取りまとめた。また、九州地方整備局においては、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）が令和 4 年 2 月に取りまとめられ、専門知識を有しない担当者であっても迅速に利用可否の判断が可能となるような取り組みが実施されている。

こうした中で、令和 6 年 1 月に発生した能登半島地震では、最大震度 7 を計測した石川県を中心に、新潟県、富山県、福井県の計 22 港で被害が発生した。石川県内の半島地域 6 港（七尾港、輪島港、飯田港、小木港、宇出津港、穴水港）においては、港湾法に基づく港湾管理者からの要請を受け、国による管理代行を実施し、利用可否の判断の結果を国土交通省 HP で順次公表しながら、緊急物資の輸送等の支援活動が行われた。これらの活動に際して、想定地震による岸壁の変位量と被害の程度を事前に解析していた施設では、現地調査で岸壁の変位量を測定後、直ちに利用可否の判断を行うことが出来た。一方で、事前の解析を行っていなかった施設においては、現地調査後に解析を実施したために、利用可否の判断に時間を要した事例があった。

これらの課題等を踏まえ、交通政策審議会より「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～港を核とした海上支援ネットワークの形成～」が令和 6 年 7 月に答申され、今後の大規模災害リスク等を見据えて取り組むべき施策の 1 つとして、迅速な施設点検・利用可否判断が示された。

以上の背景を踏まえ、港湾局、地方整備局、研究所等によるワーキンググループを立ち上げ、能登半島地震の経験を踏まえつつ、各機関がこれまで蓄積してきた知見を結集し、港湾施設の利用可否判断に係る基本的な考え方をまとめたガイドライン（初版）を令和 7 年 4 月に公表した。ガイドライン（初版）では、事前の計測及び数値解析等の事前準備から、発災後の調査、利用可否判断に至るまでの流れと基本的な考え方を示した。その後も、引き続きワーキンググループを開催し、利用可否の判断で求められる事前の数値解析を行う上で必要な考え方と検討項目の具体的な例などを検討し、これらを第 2 版に追加した。

本ガイドラインは、現時点で得られている知見に基づき整理したものであり、今後、防災に関する各種施策、技術開発、ならびに地震被害に関するデータの蓄積や経験・教訓を踏まえ、継続的に見直し・充実を図っていくものとする。

ワーキンググループ参加機関

国土交通省

港湾局：参事官（技術監理・情報化）室、海岸・防災課災害対策室

北海道開発局：港湾空港部

東北地方整備局：港湾空港部、仙台港湾空港技術調査事務所

関東地方整備局：港湾空港部、横浜港湾空港技術調査事務所

北陸地方整備局：港湾空港部、新潟港湾空港技術調査事務所

中部地方整備局：港湾空港部、名古屋港湾空港技術調査事務所

近畿地方整備局：港湾空港部、神戸港湾空港技術調査事務所

中国地方整備局：港湾空港部、広島港湾空港技術調査事務所

四国地方整備局：港湾空港部、高松港湾空港技術調査事務所

九州地方整備局：港湾空港部、下関港湾空港技術調査事務所

国土技術政策総合研究所

内閣府沖縄総合事務局：開発建設部、那覇港湾・空港整備事務所

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

目次

第1章 総則	1
1.1 背景・目的	1
1.2 適用範囲	1
1.3 他の基準類との関係	2
第2章 利用可否判断等の概要	3
2.1 対象とする災害	3
2.2 対象とする施設	3
2.3 発災後の調査の全体手順	5
2.4 利用可否判断等の手順	5
第3章 事前準備	7
3.1 事前準備の概要	7
3.2 利用方法の想定	7
3.3 基本情報の収集・整理	9
3.4 事前の計測	10
3.5 事前の数値解析	12
3.6 利用可否の判断基準の設定	13
3.7 発災後の調査への備え	14
3.8 事前準備資料の共有・更新	14
第4章 発災後の調査	15
4.1 発災後の調査の概要	15
4.2 基本情報の収集・整理	16
4.3 被災状況の概略把握	16
4.4 現地での調査	18
4.5 係留施設周辺の調査	18
4.6 その他の調査・計測等	19

第 5 章	利用可否の判断	20
5.1	共通事項	20
5.2	重力式係船岸	21
5.3	矢板式係船岸	23
5.4	栈橋	26
5.5	利用可否の判断後の対応	28
第 6 章	情報共有・情報発信	29
付 録		
付録 A	利用可否の判断基準の設定に関する参考情報	30
付録 B	災害時に利用可能性がある船舶等に関する参考情報	37
付録 C	地震後の利用を念頭においた施設設計時の工夫等	45
付録 D	利用可否判断のための事前の数値解析の方法の例	47
参考文献		66

第1章 総則

1.1 背景・目的

本ガイドラインは、自然災害発生時における港湾施設の利用可否の判断に必要な情報の収集、利用可否の判断および利用可否情報の提供（以下、利用可否判断等という。）に関する基本事項を示すことにより、発災後、速やかな港湾施設の利用に資することを目的とする。

国土強靱化基本法¹⁾では、大規模自然災害等から国民、国土を守るため、発災後72時間を経過するまでの間において、人員、物資、資金等の資源を、優先順位を付けて大規模かつ集中的に投入することができるよう、事前に備えておくことが必要とされている。港湾・空港等の交通インフラの利用可否情報は、発災直後から、国民、国土の安全確保のため必要不可欠かつ緊急度の高い重要な情報であり、迅速に広く提供すべきものである。平成28年熊本地震、令和6年能登半島地震をはじめ、近年発生した自然災害においても港湾を通じた海上からの緊急物資輸送等の支援が実施されており、発災後の港湾施設の利用可否情報の重要性は一層高まっている。

本ガイドラインは、利用可否の判断に必要な情報収集、利用可否の判断、利用可否情報の提供に関する基本事項を示すものである。ここで、利用可否の判断には、被災した施設が使えるか使えないかの判断だけでなく、どのような使い方であれば施設を利用できるか提案することを含む点に留意する必要がある。本ガイドラインに沿った制度、体制、マニュアル等が整備されることにより、迅速かつ正確な港湾施設の利用可否情報の提供が可能となる。

1.2 適用範囲

本ガイドラインは、自然災害発生時における港湾施設の利用可否判断等に関わる調査、技術的な検討、情報共有および情報発信に適用する。

本ガイドラインは、自然災害により被災した港湾施設が利用可能か否かを、各種の調査とその結果に基づく技術的な検討により判断し、判断した結果を情報共有・発信する一連の業務に適用する。

1.3 他の基準類との関係

港湾施設の利用可否判断等は、本ガイドラインの他、関連する法令等に従い適切に実施する。

港湾施設の利用可否判断等にあたっては、本ガイドラインに従うとともに、関連する法令等にも従う必要がある。関連する法令として、港湾法²⁾、港湾の施設の技術上の基準を定める省令³⁾、港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示⁴⁾等が挙げられる。本ガイドラインで述べる事項の多くは、港湾の施設の技術上の基準と密接に関わっており、港湾の施設の技術上の基準・同解説⁵⁾（以下、基準・同解説という。）の記載内容を参考にすることができる。

第2章 利用可否判断等の概要

2.1 対象とする災害

本ガイドラインは、地震および津波による災害を対象とする。

本ガイドラインは、地震、津波により被災した港湾施設の利用可否判断等に適用する。対象とする地震、津波の規模は問わない。また、地震と津波が連続して発生する場合のみならず、地震、津波が独立して発生する場合も対象とする。

なお、本ガイドラインに示す利用可否判断等の基本事項は、高潮、高波による災害の場合にも参考とすることができる。その他の自然災害発生時における利用可否判断等については、本ガイドラインに示す基本事項を参考としつつ、それぞれの災害の特性を考慮した対応方針を検討する必要がある。

2.2 対象とする施設

本ガイドラインは、係留施設の利用可否判断等に適用する。係留施設の利用可否判断等においては、当該係留施設と一体となって機能する水域施設、外郭施設、臨港交通施設等の被災状況等を考慮する必要があることから、これらの施設の被災状況に関する調査、技術的な検討、情報共有および情報発信にも適用する。

(1) 基本事項

本ガイドラインは係留施設の利用可否判断等を対象としているが、係留施設は単独で機能するものではなく、水域施設、外郭施設、臨港交通施設等と一体として機能するものであることから、これらの施設についても本ガイドラインに従って各種の調査とその結果に基づく技術的な検討、検討結果の情報共有・発信を行う必要がある。係留施設の利用可否判断等を行うために考慮する必要がある施設と、その施設の調査、技術的な検討を行う際の着眼点の例を**表 2-1**に示す。

表 2-1 係留施設の利用可否判断等に関する施設と、調査、技術的な検討における着眼点の例（基準・同解説 p.1853 に加筆）

施設、代表的な構造形式 等	調査、技術的な検討における着眼点の例
係留施設 重力式係船岸、矢板式係船岸、栈橋	<ul style="list-style-type: none"> ・構造の安定が確保されているか ・前面地盤に大規模な洗掘が発生していないか ・所要の水深が確保されているか ・船舶が接岸できるか ・荷役ができるか ・車両でアクセスできるか
防波堤 ケーソン式防波堤、消波型重力式混成堤	<ul style="list-style-type: none"> ・外洋からの波を防ぐことができているか
臨港交通施設 道路、橋梁、トンネル	<ul style="list-style-type: none"> ・通行の障害となるような変状、構造物の損傷が生じていないか
水域施設 航路、泊地	<ul style="list-style-type: none"> ・所要の水深が確保されているか ・水面上に支障物や多量の浮遊物がないか ・海面から障害物が飛び出していないか
防潮堤、護岸、堤防、水門、陸閘	<ul style="list-style-type: none"> ・構造物や地盤の沈下、変状等が生じていないか
荷さばき地、周辺の用地、道路等	<ul style="list-style-type: none"> ・液状化が生じていないか ・地耐力、トラフィカビリティーは確保できるか ・利用可能な面積はどの程度か ・利用が想定される車両、交通量に対応可能か ・周辺地域の被災状況はどの程度か*

* 利用可否判断等に直接影響するものではないが、利用方法やその後の活動展開を考える上で参考となる。

(2) 耐震強化施設との関係

港湾の施設の技術上の基準では、大規模な地震による災害が発生した際に、港湾およびその周辺地域の復旧・復興に資する施設等を耐震強化施設とし、レベル 2 地震動に対する要求性能を設定している。耐震強化施設である係留施設は、レベル 2 地震動の作用を受けた際の構造物の変形、部材の損傷が一定程度以下であることが照査されているため、大規模な地震による災害が発生した場合でも施設が利用できる蓋然性が高い。しかしながら、災害発生時の実際の地震動が照査で使用するレベル 2 地震動と完全に一致することはなく、地震後の施設の被災状況も照査の結果と完全には合致しないと推測されることなどから、耐震強化施設であっても、本ガイドラインに従って地震後の利用可否判断等を行う必要がある。

一方、耐震強化施設ではない係留施設であっても、地震の規模や被災状況等により緊急物資輸送等に利用できる可能性があることから、本ガイドラインに従って利用可否判断等を実施し、利用可能な施設を少しでも多く確保することが望ましい。このようなことから、本ガイドラインの対象施設は、耐震強化施設であることを要件としていない。

2.3 発災後の調査の全体手順

本ガイドラインは、発災後の初期調査段階および緊急復旧調査段階に適用する。

発災後の調査の全体手順を図 2-1 に示す。調査は、初期調査、緊急復旧調査、本格復旧調査という手順で進められる。このうち、本ガイドラインで取り扱う利用可否判断等は、主として初期調査段階で行われる業務である。また、本ガイドラインに示す事項は、緊急復旧工事により利用できる可能性が高い施設の抽出、緊急復旧工事のための情報収集などにも活用されることから、緊急復旧調査の初期の段階についても本ガイドラインの対象と考えられる。

2.4 利用可否判断等の手順

利用可否判断等は、次の手順で実施する。

- ①事前準備
- ②発災後の調査
- ③利用可否の判断
- ④利用可否情報の共有および発信

発災後に行う 1 回目の利用可否判断等は、発災直後から数日のうちに完了することが求められる。発災後の利用可否判断等の迅速な実施にむけ、平時から十分な情報収集および事前検討を行うとともに、利用可否判断等の対象とする施設の優先順位、発災後の調査項目、調査方法等を明確にしておく必要がある。事前準備に関する事項は 3 章で述べる。

発災後の調査で収集する情報の種類およびその取得方法については、原則として情報取得にかかる早さと安全性が優先される。夜間、津波警報等の発表時、外郭防波堤等の立ち入りが困難な時期および場所では、航空機（無人航空機を含む）による空撮画像、衛星画像等による情報収集、机上での被災状況等の推定が必要となる。発災後の調査に関する事項については 4 章で述べる。

利用可否の判断にあたっては、構造形式毎に必要な情報とその精度が異なる点に注意を要する。利用可否の判断に関する共通事項および構造形式毎の着眼点等について 5 章で述べる。5 章に記した構造形式毎の利用可否の判断における着眼点等は、事前準備（3 章）、発災後の調査（4 章）においても考慮しておくべき内容である。

利用可否情報の共有および発信に関する事項は 6 章で述べる。ただし、事前準備で収集した資料等の情報共有については、事前準備の一環として実施されるべき内容であることから 3.8 で述べる。

なお、余震の影響を受けたとき、利用に伴い構造物の変状が進行したときなど、複数回にわたり利用可否判断等を行う必要が生じる場合もあるので注意を要する。

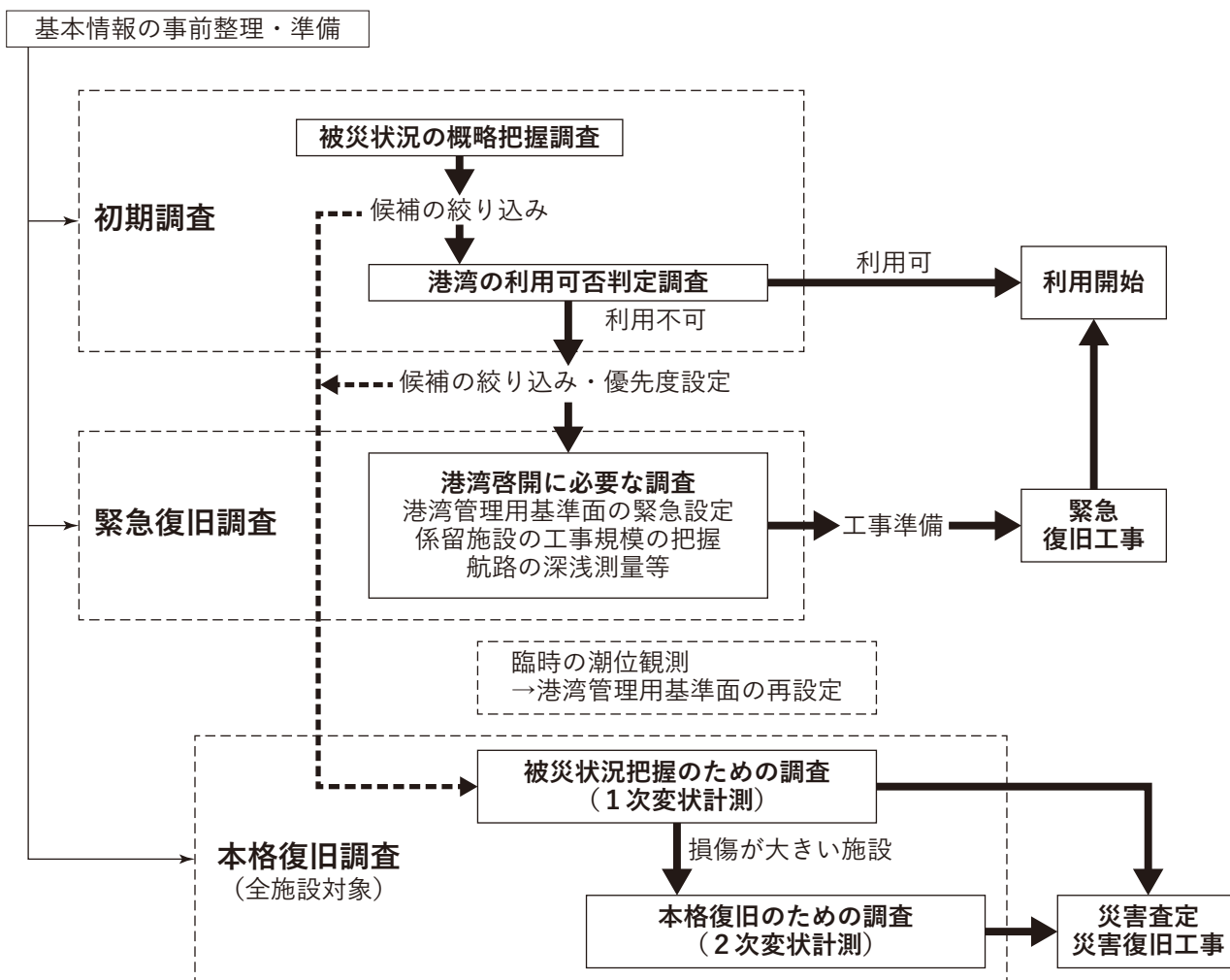


図 2-1 大規模な地震、津波による災害発生後の被災状況の調査の全体手順（基準・同解説 p.1851 を基に作成）

第3章 事前準備

3.1 事前準備の概要

利用可否判断等の事前準備として、対象とする施設の災害発生時の利用方法の想定、基本情報の収集・整理、事前の計測、事前の数値解析、利用可否の判断基準の設定を行う。また、発災後の調査に備えた準備を行う。あわせて、事前準備の実施状況、実施結果等を資料としてとりまとめ、関係者の間で共有する。

利用可否判断等の事前準備として、対象施設に関する様々な情報を収集・整理するとともに、技術的な検討を行う。また、収集・整理した情報、検討の結果、発災後の調査への準備状況等についてとりまとめ、関係者の間で共有しておく必要がある。

3.2 利用方法の想定

事前準備を行う際の前提条件として、対象とする施設の災害発生時の利用方法を複数想定することが望ましい。

(1) 基本事項

発災後の利用可否判断等においては、施設の利用可能性を広げるため、対象施設の被災状況に応じ、どのような利用方法であれば利用可能か、という視点で利用可否の判断ができるように準備しておくことが理想的である。そのため、対象施設の災害発生時の利用方法をあらかじめ複数設定し、利用可否判断等の事前準備の前提条件とすることが望ましい。施設の利用可否は、想定した利用方法毎に判断することになる。利用可能性を少しでも広げるため、幅広くかつ効率的な事前準備ができるよう、利用方法を適切に想定することが重要である。また、時間の経過に伴い施設に求められる利用方法が変化することも考慮する。ただし、施設の利用可否判断は主として構造物の状態に依存するものであり、発災後の時間経過は判断の基準等に直接的には影響しないという点に注意が必要である。

ここで想定する利用方法は、事前準備として行う技術的な検討等に用いる仮定であり、対象施設の具体的な利用計画を定めることを目的としたものではない。一方で、地域防災計画、港湾BCP等とかけ離れた利用方法を想定することは不合理であることから、地域防災計画、港湾BCP等も参考にしつつ、理想的な利用方法から極めて限定的な利用方法まで幅広く想定するのがよい。

利用方法の想定にあたっては、利用フェーズおよび利用形態の観点から分析し、その組み合わせを検討する。利用フェーズと利用形態には、重複あるいは相互に関連する部分もあるが、施設の利用方法を異なる観点から分析することで、より具体的かつ明確な利用方法を想定することができる。利用フェーズ、利用形態の考え方については(2)、(3)で述べる。

(2)、(3)により分析した結果を基に、対象施設で想定される利用フェーズ、利用形態の組合せを抽出し、その組合せ毎に、作用(載荷重、接岸力、牽引力等)、余震として想定する地震動、地震後の施設

に求められる耐力、必要な安全余裕等を具体的に設定する。この際、作用を複数段階に分けて設定することで、利用方法をより細分化して想定することも考えられる（例えば、利用フェーズ 1、利用形態 A という組み合わせについて、利用船舶のトン数により 2、3 の段階にさらに細分化するなど）。

(2) 利用フェーズ

発災後の利用可否判断等において、どのような人員、船舶が施設を利用するかという点に着目し、主として被災後の施設に求められる耐力を検討するための条件を設定する。

平時から災害対応等への訓練が行き届いた人員、船舶等による利用であれば、施設利用中の構造物の状況の変化に即時対応することが可能と考えられるため、施設を利用可と判断できる範囲を広げることができる。ただし、この場合においても、施設の安全性を十分に確保する必要があることは言うまでもない。一方、災害対応等に不慣れな人員、船舶等による利用を想定する場合や、人員、船舶が長期滞留することを想定する場合には、構造物の安定性確保に一定の安全余裕を設ける必要が生じる。利用フェーズの想定例を表 3-1 に示す。それぞれの利用フェーズに対して求められる施設の機能、耐力等については、地域の事情、港湾の特性等も考慮し慎重に検討する必要がある。

(3) 利用形態

発災後の利用可否判断等において、被災した施設をどのように利用するかという点に着目し、主として構造物への作用を検討するための条件を設定する。

3.5 で述べる事前の数値解析では、災害発生時の利用形態に対応した解析条件を用いるのが理想的である。様々な利用形態に対応できるよう数値解析によりパラメトリックスタディを行うことも可能ではあるが、計算コストを考えるとあまり現実的ではない。また、実際に地震が発生した後に、「このような船が接岸したい」、「このような使い方をしたい」といった要望に対し、対応する解析条件をただちに見極めることは困難である。そのため、想定される利用形態をいくつかのパターンに分類し、それに対応した事前の数値解析等の準備をしておくのがよい。利用形態の想定例を表 3-2 に示す。

なお、災害時には、自衛隊の艦艇、海上保安庁の船艇等、主要諸元の標準値が示されていない船舶の接岸、係留が行われる場合がある他、ホテルシップの長期に渡る係留、建設機械等の重量物の陸揚げ等の特殊な荷役作業といった、通常時とは大きく異なる形態での施設の利用が考えられる。このため、利用が想定される船舶の船型や風の受圧面積を想定した牽引力、想定される荷役作業に対応した載荷重等、利用形態にあわせて種々の作用を適切に設定する必要がある（災害時に利用される可能性のある船舶の諸元については付録 B 参照）。

表 3-1 利用フェーズの想定为例

フェーズ	想定される利用状況の例
1	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自衛隊、海上保安庁、地方整備局の船舶等による必要最小限の人員、物資等の輸送 ・ 極めて慎重な作業 ・ 可能な限り短時間の利用
2	<ul style="list-style-type: none"> ・ 多様な船舶の利用 ・ 長期係留を伴う災害対応基地、緊急物資の中継点等を含む幅広い用途に利用
3	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害前に日常的に利用していた人員、船舶による利用

表 3-2 利用形態の想定为例

利用形態	想定される利用の状況の例	施設に求められる要件／解析条件設定の前提の例
A	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急物資の陸揚げ（単発） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急物資の積み降ろし作業が可能であること ・ 車両による緊急物資の輸送が可能であること
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 自衛隊、海上保安庁、地方整備局等の船舶、民間の小型船舶等の接岸、係留 ・ 人力または小型貨物車程度の利用（最寄りの道路等まで） ・ 物資等の載荷重（載荷する範囲を限定）
B	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急物資の集積地、中継拠点 ・ 災害対応の基地的な機能 ・ ホテルシップ等の活用による被災者等支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 重量のある物資等の荷役作業が可能であること ・ 必要な面積、地耐力を有する作業用地等を確保できること
		<ul style="list-style-type: none"> ・ 多様な船舶の接岸、長期の係留 ・ 中型以上の貨物車等の利用 ・ 物資等の載荷重
C	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害前の日常的な利用状況 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害前の利用形態で必要とされる要件を概ね満足すること ・ 災害前に利用している船舶や利用状況に対応した解析条件

3.3 基本情報の収集・整理

施設の基本情報として、平面図、標準断面図、土質条件等の情報を収集・整理する。

利用可否判断等にあたり、対象施設の平面図、標準断面図、土質条件等は重要かつ不可欠な情報である。これらの情報を収集・整理し、必要なときにすぐに参照できるように準備しておく必要がある。維持管理計画書、設計計算書（地震応答解析を実施している場合はその結果を含む）、施設の出来形図（完成図）、維持管理点検診断の結果などの情報も入手し、あわせて整理しておくことが望ましい。また、過去に地震被害を受けた施設では地盤の液状化発生履歴等が参考になるため、港湾空港技術研究所資料や各学会の被害調査報告書等を基に、被災履歴を取りまとめておくことよい。

地震後の利用を念頭においた施設設計上の工夫、緊急復旧用資材の準備等（付録 C 参照）が行われている場合、発災後の現地での調査にあわせてその状況等を確認する必要性が生じる可能性があるため、工夫、準備等の内容、確認を要する事項等を事前にとりまとめておくことが重要である。

3.4 事前の計測

発災後の構造物の残留変位および変形状況を把握するための基本情報として、災害発生前に、構造物に設置した計測点の座標を計測する。あわせて、防災基準点を設置することが望ましい。

(1) 基本事項

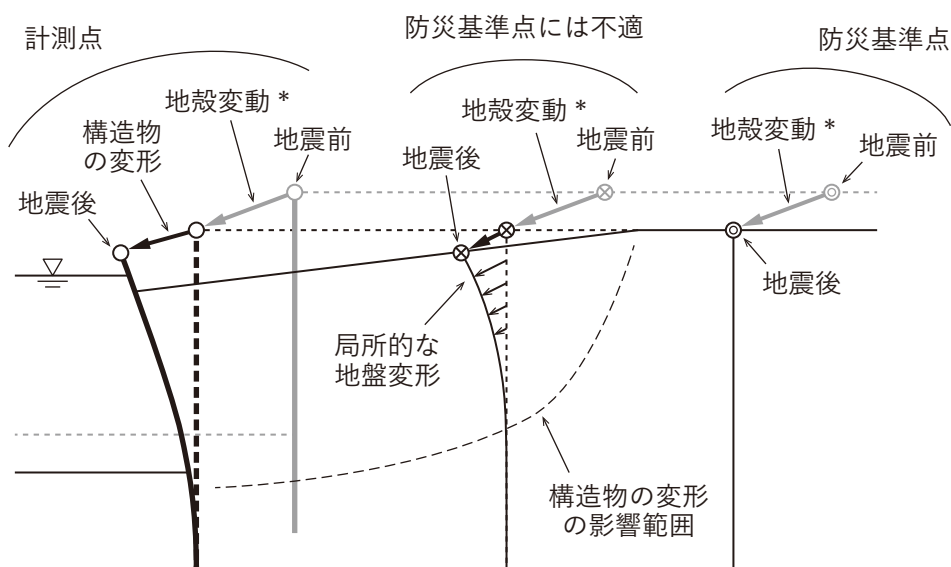
施設の利用可否判断等においては、発災後の構造物の残留変位および変形状況を把握することが重要であり、その準備として、災害発生前の構造物の位置を正確に計測しておく必要がある。構造物に複数の計測点を設け、災害発生前後の各計測点の座標の変化（変位）を求めることにより、構造物の残留変位、変形状況等を知ることができる。特に、矢板式係船岸や栈橋などの鋼部材を含む構造形式においては、部材の変形状況を把握するため、災害発生前後の変位の計測が重要である。

一方、大規模な地震が発生した場合、地殻変動の影響により地域全体の広い範囲で変位が生じる。このような地域全体の変位に対しては、構造物は一体として平行移動するだけであり、構造物自体に大きな変形は生じない。従って、施設の利用可否判断等の観点からは、地殻変動の影響を取り除き、施設周辺で生じている局所的な地盤変形や構造物の変形に対応した変位を計測する必要がある。しかしながら、地殻変動による地域全体の変位を発災後ただちに評価することは難しい。また、地殻変動の影響が大きい場合、国土地理院の基準点等が長期間に渡り利用できなくなり、発災後の計測点の座標を短時間のうちに必要な精度で計測することが困難となる可能性がある。

このような状況に備え、あらかじめ防災基準点を設定しておくことが望ましい。特に、耐震強化施設、地域や港内に代替となる施設が存在しない施設、地震後の利用の優先度が高いと想定される施設等については、防災基準点を設定しておくことが求められる。また、矢板式係船岸や栈橋などでは、地震後の構造部材の状態を精度よく把握するために、防災基準点を設置しておくことが望ましい（5章参照）。防災基準点は、対象施設の近傍の地点で、地殻変動の影響は構造物と同じように受けるが、地殻変動以外の影響（近隣の構造物の変状や周辺地盤の液状化に起因する局所的な地盤変形による影響等）を受けず、かつ、発災後にも計測が可能な地点に設ける。発災後、防災基準点と構造物に設置した計測点の相対的な位置関係を計測することで、地殻変動の影響を取り除き、施設周辺の局所的な地盤変形や構造物の変形に対応した計測点の変位を求めることができる。防災基準点を活用した計測の概念を図 3-1 に示す。

発災後、防災基準点、計測点が遅滞なく活用できるよう、定期的に設置状況を確認し、可能であれば再計測を行って座標を更新することが望ましい。施設を新規に建設または改良する際は、竣工時に防災基準点、計測点を設定するとよい。なお、計測点は維持管理計画書に定める座標系、位置座標と同一としておくことが望ましい⁶⁾。

防災基準点、計測点の適切な配置は、計測方法によっても異なるので、計測方法をあらかじめ検討しておく必要がある。また、計測方法等を検討する際は、対象施設の構造形式毎の利用可否の判断における着眼点（5章参照）等も考慮する必要がある。



* 地殻変動による変位はいずれの点においても平行

図 3-1 防災基準点を活用した計測の概念 (伊藤・小濱⁷⁾ に加筆修正)

(2) 計測方法の例

計測には様々な方法があるが、発災後、短時間かつ必要な精度で計測を行うには、RTK方式のGNSS測位(以下、RTK-GNSSという。)が適している。防災基準点に基地局を設置し、構造物に設置した計測点を移動局で順次計測していくことで、防災基準点と各計測点の相対的な位置関係を数センチメートルの精度で計測することができる。

係留施設の発災後の迅速な利用可否判断等に資するため、RTK-GNSSを用いた係留施設の変位測定・安定性評価支援アプリが開発されている⁷⁾。耐震強化施設、地域や港内に代替となる施設が存在しない施設、地震後の利用の優先度が高いと想定される施設等については、あらかじめこのようなアプリの利用が可能となるよう準備しておくことが望ましい。また、矢板式係船岸や栈橋などについても、地震後の構造部材の状態を迅速に把握するため、アプリが利用できるよう準備しておくことよい(5章参照)。

発災後、国土地理院の基準点等が利用できない状況で、防災基準点、計測点の相対的な位置関係だけでなく、計測点の座標を計測する必要がある場合は、PPP-AR方式のGNSS測位により防災基準点の座標を計測する(あるいは、別途、仮の基準点を設置する)方法もある。ただし、港湾施設の利用可否判断等で求められる精度で座標を得るには長時間の計測が必要となるため、座標を計測する目的に応じて適用方法を適切に検討する必要がある。詳細は基準・同解説 p. 1877等を参照されたい。

RTK-GNSSの機材の準備等が難しい場合は、防災基準点と計測点の配置を工夫することで、防災基準点と計測点の相対的な位置関係をトータルステーションやスチールテープ等の在来の機材により計測することも考えられる。また、写真、UAVで取得した画像等を解析することで変位を求める方法など、様々な方法も開発されている。個々の技術については、基準・同解説 pp. 1850-1899等を参照する他、最新の計測技術に関する情報収集に努め、その時点で適用可能な最適な方法を選択していく必要がある。

なお、重力式係船岸については、事前に防災基準点を設けていない場合でも、現地での目視観察、簡易的な計測等により構造物の変形状況等を把握できる可能性がある。具体的な方法については5.2で述べる。

3.5 事前の数値解析

利用可否判断等のために事前に行う技術的な検討として、構造物の地震時の挙動を把握するため、地震応答解析等の数値解析を実施することが望ましい。

(1) 基本事項

係留施設を構成する構造物は、多くの部分が地中または海面下に位置しており、発災後の目視調査、計測等が容易でない。そのため、事前に地震応答解析等の数値解析を行い、様々な地震動に対する構造物の挙動を把握し、施設天端の残留水平変位など地震後に比較的入手しやすい情報から地中または海面下の部材の状態を推定できるようにしておくことが望ましい。あわせて、本震の地震動に続いて、想定される利用方法に対応した荷重、余震による地震動等を作用させることにより、被災した状態における構造物の耐力を調査する。

一般には地震応答解析により一連の検討を行うことが想定されるが、必ずしもすべての検討を地震応答解析により行う必要があるわけではない。例えば、本震に対する構造物の挙動を地震応答解析で確認した後、利用方法に対応した荷重、余震による地震動等を時間変化のない荷重として扱う静的解析により、構造物の応答を検討することが可能な場合もある。構造物の形式、想定される作用の種類、大きさ等に応じて、適切な方法を選択するのがよい。解析方法の例を付録Dに示す。

特に、耐震強化施設、地域や港内に代替となる施設が存在しない施設、地震後の利用の優先度が高いと想定される施設等については、このような事前の数値解析を実施しておくことが求められる。また、矢板式係船岸や棧橋などでは、地震後の構造部材の状態を精度よく把握するために、事前の数値解析を実施しておくことが望ましい。利用可否の判断における着眼点等は、構造物の形式により異なるので、5章の内容もあわせて参照されたい。

(2) 作用の設定

事前の数値解析では、構造断面の照査に用いるレベル1地震動、レベル2地震動に加え、数段階の規模の地震動を本震による地震動として想定し、地震動の大きさによる構造物の挙動の変化を把握する。レベル1地震動、レベル2地震動以外の本震の地震動の設定方法としては、一般的な施設設計におけるL1地震動の設定方法と同様な方法により再現期間を様々に変化させて作成した確率論的時刻歴波形を用いる方法、レベル1地震動またはレベル2地震動を振幅調整した波形を用いる方法など、様々な方法が考えられる。

利用方法に対応した荷重としては、3.2で想定した利用方法に基づき、載荷重の大きさ、載荷する範囲、船舶による作用（接岸力、牽引力）の大きさ等を適切に設定する。解析に要するコストを低減するため、本震後に作用する接岸力、牽引力等を漸増載荷させていくプッシュオーバー解析により、構造物が所定の状態に達するまでの構造部材の損傷過程を確認することも有用である。

余震の地震動の設定方法としては、レベル1地震動を代用する方法、レベル1地震動またはレベル2地震動を振幅調整して作成する方法などが考えられる。利用フェーズ、本震の特性などを考慮し、適切な地震動を設定する必要がある。

(3) 結果の整理

数値解析の結果の整理にあたっては、発災後の現地での調査で確認することが容易な値（例えば法線の残留水平変位、構造物の残留傾斜角等）と構造物の状態または各部材の状態との関係がわかる図表を作成する。その際、利用フェーズ、利用形態、構造物の状態の対応関係を意識し、想定されている利用方法毎に必要な構造物の耐力を確保できる閾値が確認できるように工夫する。

また、発災直後の被災状況の概略把握（4.3 参照）に用いるため、地震動の規模を代表する値（速度 PSI 値等）と構造物の状態または各部材の状態との関係がわかる図表もあわせて作成する。この際、地震動の規模を代表する値として、4.2 で入手可能な情報に基づいて算定できる値を設定することが重要である。例えば、速度 PSI 値を用いる場合、地震動の計測位置が地表面か工学的基盤面か、サイト増幅特性をどのように取り扱うか等を考慮し、速度 PSI 値の算定方法を適切に定め、それを明示した上で解析結果をとりまとめる必要がある。

(4) その他の注意点

接岸力は防舷材、牽引力は係船柱の耐荷能力等に関係するため、施設の原設計時に想定されている以上の船舶の係留の可否を判断する場合は、防舷材や係船柱の性能に関する検討を別途行う必要がある。

3.6 利用可否の判断基準の設定

利用方法の想定、収集・整理した基本情報、事前の数値解析の結果等に基づき、施設毎に利用可否の判断の指標となる項目を抽出し、利用可否の判断基準を設定する。

発災後に利用可否判断等を行う際は、施設の実際の被災状況、施設周辺の状況等を確認し、総合的に判断を行うこととなる。しかしながら、判断の手掛りとなる指標等が全く存在しない状態では、利用可否の判断を行うことが非常に難しい。そこで、あらかじめ対象とする施設毎に利用可否の判断基準を設けておく。判断基準は、施設を構成する構造物の安定の観点と、施設の利用の観点から検討する。指標とする項目は、発災後に確認、計測等が可能であるものを抽出する必要がある。また、利用可否の判断は利用方法により異なると考えられるため、利用可否の判断基準は 3.2 で想定した利用方法の想定毎に設定するのが理想的である。

最も基礎的で定量的な指標として、施設を構成する構造物の残留変位等が挙げられる。比較的計測しやすい法線天端の残留水平変位、残留鉛直変位、残留傾斜角等に対し、構造物の状態等との対応関係から適切な基準値を設定し、発災後の調査でこれらの値が基準値を超過しているか否かを確認する。その他の指標としては、法線の変状（凹凸、はらみ出し等）、エプロン、背後地盤等おける段差やクラックの発生状況、対象施設前面の水域の水深、浮遊物、障害物の有無、周辺の道路までのアクセスの状況等が挙げられる。それぞれについて、構造の安定の観点、施設の利用の観点から、定性的または定量的な基準を設定するとよい。また、施設の利用の観点からの基準には、緊急復旧工事に対応可能と考えられる範囲についての情報もあわせてとりまとめておくとなおよい。

対象施設に対して 3.5 で述べた事前の数値解析を実施している場合は、主としてその解析結果に基づいて指標とする項目、判断基準を設定する。また、耐震強化施設で施設の設計時に地震応答解析を実施している場合は、その解析結果を参考とすることができる。事前の数値解析を実施していない場合は、

収集・整理した基本情報に基づき、既往の知見等から、指標とする項目、判断基準を設定してもよい。既往の知見等から判断基準を設定する際に参考となる情報を**付録 A**に示す。

3.7 発災後の調査への備え

発災後の現地での調査に備え、現地で使用する資料、計測機器、その他の装備品を準備し、その収納場所を関係者に広く周知する。

発災後、速やかに現地に赴き調査を行うため、現地で使用する装備品として、資料、計測機器、調査用具、通信機器、安全用具、作業服等をあらかじめ準備しておく必要がある。準備した備品は庁舎等が被災することも想定した上で適切な場所に収納し、担当者が不在の場合でも収納場所がただちに把握できるように、明示・周知する。あわせて、保管数量、収納状況等を定期的に確認し、管理することが重要である。

通信機器については、災害時に携帯電話等の移動体通信ネットワークに障害が発生する可能性を考慮し、衛星電話、衛星インターネットアクセス等の利用を検討しておくことよい。

装備品の準備にあたっては、防寒用品や暑さ対策用品などの季節用品も十分な数量を揃えておくのがよい。また、水、食料の他、ウェットティッシュ、携帯トイレ等の衛生用品、モバイルバッテリー等、災害発生時には様々な物品の調達が困難になることも想定される。一般的な非常用保存食、防災用品等を、庁舎等の災害対策用の備蓄とは別に準備しておくことよい。

3.8 事前準備資料の共有・更新

利用可否判断等の事前準備として収集・整理した資料および技術的な検討の結果等は、利用可否判断等の事前準備資料としてとりまとめ、発災後に滞りなく活用できるよう関係者間で適切に共有する。

3.2 から 3.7 で実施した情報収集、技術的な検討の結果、発災後の調査のための準備の状況等は、事前準備資料としてとりまとめ、必要なときにすぐに活用できるように、関係者間で適切に共有する。とりまとめにあたっては、必要な情報を読み取りやすく整理することが重要である一方、利用可否判断等の際に、より高度な技術的判断を行う可能性を考慮して、バックデータとなる原資料も参照できるようにしておくことが望ましい。

事前準備資料の共有方法として、サイバーポートなどのデジタルプラットフォームへの情報の登録および参考資料の添付が考えられる。なお、大規模な災害の直後には、停電、通信ネットワークの障害等が発生する場合も多いので、重要な情報については印刷物として保管することも検討するとよい。

利用可否判断等を正しく実施するためには、作成した事前準備資料を適切に更新する必要がある。防災基準点、計測点の座標が更新されたとき、施設の改良等が行われたとき、地域で想定される地震動が更新されたとき、地域防災計画、港湾 BCP 等が更新されたときなど、時宜を捉えて事前準備資料の内容を確認し、必要に応じて更新しなければならない。

第4章 発災後の調査

4.1 発災後の調査の概要

発災後、速やかに、地震動に関する基本情報、現地の画像等を入手し、被災状況の概略を把握する。把握した被災状況に応じて、現地での調査および施設周辺の調査等を行い、利用可否判断等に必要な情報を収集・整理する。

施設の利用可否判断等に当たっては、速やかに現地および施設周辺（2.2 で述べた係留施設の利用可否判断等に関する施設等）の調査等を行うのが理想的である。しかしながら、地震の後に津波警報が発令され、現地での調査が可能となるまでに一定程度の時間を要する場合がある。また、大規模な地震等により広い範囲で施設が被災していることが予想される場合には、限られた人的資源の中で効率的に調査を行い、短時間のうちに可能な限り多くの施設の利用可否判断等を進められるように努める必要がある。そのため、発災後、速やかに地震動に関する基本的な情報、現地の画像等を入手し、被災状況の概略を把握した上で、被災状況に応じて現地での調査を適切に計画し、利用可否の判断に必要な情報を効率的に収集・整理する。発災後の調査フローの例を図4-1に示す。なお、情報収集、調査方法の詳細については、基準・同解説 pp.1850-1899 をあわせて参照されたい。

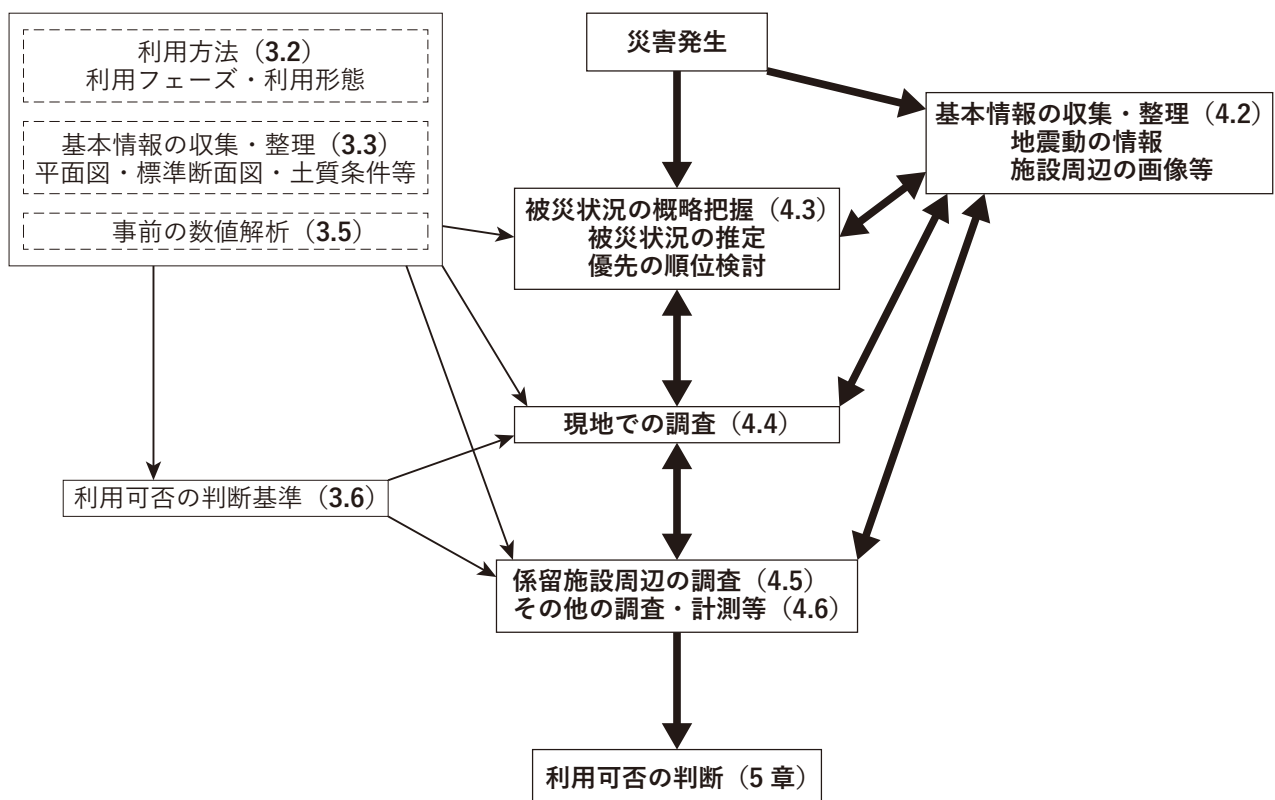


図4-1 発災後の調査フローの例

4.2 基本情報の収集・整理

災害の基本情報として、地震動に関する基本情報、利用可否判断等の対象とする施設周辺の画像等を収集・整理する。あわせて、対象施設の事前準備資料を入手する。

発災後、収集・整理すべき情報として、地震動に関する基本情報が挙げられる。その他、利用可否判断等の対象とする施設周辺の画像等を収集するとともに、対象施設の事前準備資料を手元に揃える。

地震動に関する情報は、港湾地域強震観測網⁸⁾で得られる強震観測記録の他、近傍のK-NET（全国強震観測網）⁹⁾、KiK-net（基盤強震観測網）⁹⁾の強震観測点の記録を利用できる可能性がある。その他、気象庁から発表される震源・震度情報等も参考となる。

現地の画像は、みなとカメラ、航空機（無人航空機を含む）等による空撮画像、衛星画像などの他に、近年では様々な場所にカメラが設置され、ライブ映像がインターネットで公開されている場合もある。平時より、対象施設について、近隣の強震観測点、画像の入手可能性（カメラの設置状況）等を確認しておくといよい。

なお、大規模な災害の直後には、通信ネットワークの障害等により情報の入手が困難となる場合も多い。一度にすべての情報を揃えようとするのではなく、ある程度入手できた段階で4.3以降の作業に移り、並行して、随時、情報を更新していくことが望ましい。

4.3 被災状況の概略把握

得られた基本情報に基づき、被災している地域、被災状況の概略を把握するとともに、利用可否判断等の対象となる施設の被災状況を推定し、現地での調査の必要性の有無、調査の可否、優先順位等を検討する。

(1) 基本事項

発災後に収集した基本情報により、被災している地域の範囲、被災状況の概略等を把握する。その上で、対象施設の被災状況の推定を行う。施設の画像等が入手できれば、画像から被災状況をある程度把握できる場合がある。また、強震計により観測された地震動の速度PSI値を基に、施設の被災状況を把握する方法等も提案されている。施設周辺の被災状況に加え、施設までの経路等も勘案した上、現地での調査の必要性、調査の可否、優先順位等を検討する。

(2) 施設の被災状況の推定

被災状況の推定方法として、港湾地域強震観測網から得られる地表面の速度 PSI 値を用いた港湾単位での被災有無の概略判定方法が提案されており、参考にできる¹⁰⁾。提案されている判定表を表 4-1 に示す。また、施設の画像等が入手できている場合は、画像から施設の被災状況を確認する。

3.5 の事前の数値解析を実施している場合は、結果の整理において作成した、地震動の規模を代表する値（速度 PSI 値等）と構造物の状態または各部材の状態との関係がわかる図表を用いて、被災状況を推定することができる。また、発災後、自動的に地震動情報等を入手し、数値解析等を実施して被災度診断を行うシステムが導入されている事例も報告されており、参考となる¹¹⁾。

なお、利用可否の判断における着眼点等は、構造物の形式により異なるので、5 章の内容もあわせて参照されたい。

(3) 優先順位の考え方

現地での調査の優先順位は、施設の被災状況の他、地域の事情、港湾の特性等も考慮し、適切に検討する必要がある。

施設の被災状況に関しては、現地での調査をすることで利用可と判断できる可能性があるか、現地へのアクセスが可能か、複数施設の調査を想定した際に効率的な経路設定等が可能かといった観点が考えられる。

地域の事情、港湾の特性等に関しては、耐震強化施設、地域や港内に代替となる施設が存在しない施設、地震後の利用の優先度が高いと想定される施設等を優先して調査することが望ましい。また、発災後、現に利用要請が寄せられている施設がある場合は、優先的に現地での調査を行い、利用可否判断等を実施することが求められる。

なお、一般に重力式係船岸の利用可否の判断は、発災後の調査により得られる情報量が少ない場合でも比較的容易に行える傾向があるので、状況により重力式係船岸を優先して現地での調査を実施するのも一案である。

表 4-1 地表面の速度 PSI 値を利用した港湾単位での係留施設を対象とした被害有無・被害程度の判定表¹⁰⁾

速度 PSI 値 ($\text{cm/s}^{0.5}$)	係留施設の被害有無・被害程度	過去の代表的な被害事例
50 以上	甚大な被害が発生している可能性が高い。	1995 年兵庫県南部地震：神戸港 PSI 値 = 99 1983 年日本海中部地震：秋田港 PSI 値 = 61
25 以上 ～50 未満	相当程度の被害が発生している可能性が高い。 ただし、被害が軽微である場合もある。	2016 年熊本地震：別府港 PSI 値 = 46 2021 年福島県沖地震：相馬港 PSI 値 = 32
10 以上 ～25 未満	軽微な被害または無被災である可能性が高い。	2011 年東日本大震災：釜石港 PSI 値 = 24 1993 年釧路沖地震：十勝港 PSI 値 = 21
10 未満	無被災である可能性が極めて高い。	

4.4 現地での調査

把握した被災状況に応じて適切に調査計画を立案し、現地での調査を行い、利用可否判断等に必要情報を収集する。

施設の被災状況を把握し、調査計画を適切に立案した上で、現地に人員を派遣し、現地での調査を実施して、利用可否判断等に必要情報を収集する。調査のための人員配置、連絡体制、行動計画等に関しては、各組織において整備されている地震・津波時の対応マニュアル等に伝えればよいが、利用可否判断等に特有の事項として、後方支援体制の重要性が挙げられる。

施設の利用可否判断等のための現地での調査では、事前準備資料をはじめ多数の資料・図面等を確認しながら、必要な箇所を観察、計測していく必要がある。また、現地の状況を見ながら、追加的に観察、計測を行うべき箇所等が生じる場合もある。さらには、**4.2**、**4.3**で述べた情報収集、被災状況の概略把握の作業が並行して進むことにより、必要とされる観察、計測の内容が変化することもある。このような状況下において、現地に赴いた職員が調査を実施しつつ、情報を整理し、適切に対応するのは困難である。後方支援ができる体制を構築し、現地での調査にあたっている職員と連絡を密にとりながら、現地で確認すべき事項を的確に、もれなく調査できるよう支援することが重要である。また、大規模な災害が発生した場合には、施設の調査に必要な技術、知見を有する職員が不足することも想定される。従って、例えば、現地での調査の状況をリアルタイムで研究所等に配信し、遠隔から技術的な助言等を受けられる体制を構築することも有用である。さらに、現地での調査と後方支援、遠隔支援等の体制の構築について定期的に訓練を行うなど、発災後に短時間で体制を構築できるように準備しておくことが望ましい。あわせて、衛星電話、衛星インターネットアクセスの活用方法等も検討しておくことよい。

現地での調査の着眼点は**表 2-1**に、計測方法は**3.4**に示したとおりであるが、確認が必要な箇所や計測で求められる精度等は構造形式により異なるため、**5章**を参照し適切に調査を実施する。その際、観察、計測が必要な箇所をもれなく調査できるよう、あらかじめ調査フロー、調査票の様式等を作成し、**3.6**で設定した利用可否の判断基準を記載しておくことよい。

4.5 係留施設周辺の調査

利用可否判断等の対象となる施設の調査に加え、その施設の利用可否判断等に関する施設等を調査する。

利用可否判断等の対象となる係留施設の調査を行うと同時に、係留施設の利用に関する施設、施設周辺の状況等を調査する。調査のおおまかな観点は**表 2-1**に示したとおりである。詳細は基準・同解説 pp.1850-1899などをあわせて参照されたい。

防波堤等の状況に関しては、陸上からの調査では十分な観察が難しいことも想定されるが、その場合でも安全に配慮しつつ可能な限り近接する地点から状況を把握し、係留施設への船舶の接岸への影響や海上からの調査等の必要性の有無を確認することが望ましい。

係留施設の利用という観点からは、係留施設へのアクセス可否の把握が非常に重要となる。特に橋梁・トンネル等の構造物に関しては、車両通行の障害となるような変状が生じていないことを確認する必要

がある。これらの構造物の点検方法に関しては、文献 12)～14)などが参考となる。構造物の維持管理計画書などに点検方法・着目点等が記載されている場合もあるので、あらかじめ確認しておくといよい。また、構造物の状況等により被災後の判断が難しいことが予想される場合には、事前に代替ルートの可能性を検討しておくといよい。

表 3-2 に示した利用形態 B のような利用形態を想定する場合は、ある程度まとまった交通量が発生することが予想されるため、その交通量に見合ったアクセス経路が確保できるか確認する。そのため、施設の利用が想定される船舶の積載能力や対象貨物等から発生輸送量をあらかじめ概算しておくといよい。概算にあたっては過去の事例^{15)、16)}等が参考となる。また、地域防災計画等により対象施設の使用方法が想定されている場合は、その内容も参考にするとよい。

調査の際に、観察、計測が必要な箇所をもれなく調査できるよう、利用可否判断等の調査対象となる係留施設の調査フロー、調査票の様式等に、当該係留施設の利用可否判断等に関係する施設等の調査に関する調査内容を付記するとともに、**3.6** で設定した利用可否の判断基準を記載しておくといよい。

4.6 その他の調査・計測等

必要に応じ、航路・泊地について、十分な水深が確保されていることを確認する。

地震に伴って津波が発生した場合や、地殻変動に伴い地盤の隆起・沈降が発生した場合などには、航路・泊地等に障害物が沈没したり水深が変化したりすることにより、船舶の航行に支障をきたす恐れがある。このような場合には、陸上からの調査とは別に海上からの調査を行い、障害物の有無、水深等を確認する必要がある。この確認は暫定の水深の情報として利用に耐え得る十分な精度で行う必要があるため、ナローマルチビーム方式で行うことが望ましい。測深データの解析時間の短縮やデータ共有、一元管理等を促進するマルチビームデータクラウド処理システム (MBC)¹⁷⁾についても、あわせて導入を検討するとよい。

近年、最低水面モデルと GNSS 鉛直測位による測深方法が提案されており¹⁸⁾、この方法を活用することで、地震に伴う地殻変動で基本水準標と最低水面の位置関係が変わり、あるいは検潮所が被災した場合でも、航路・泊地の水深の計測を迅速に開始することが可能となる。これらの方法の適用をあらかじめ検討しておくことも有用である。その他、水深の計測に関する詳細は基準・同解説 pp.1863-1868 等を参照されたい。

なお、地殻変動による施設近傍の隆起、沈降量を緊急的に把握したい場合には、あくまでも参考値ではあるが、天文潮位を利用する方法も考えられる。海面が天文潮位に一致していると仮定すれば、海面と係留施設の天端または係留施設前面の海底面との比高をスタッフ、レッド等により計測することで、それぞれの標高を簡易的に求めることができる。

第5章 利用可否の判断

5.1 共通事項

事前準備資料および発災後の調査の結果に基づき、施設の利用可否を判断する。

発災後の調査により一定の情報が得られた段階で、施設の利用可否を判断する。主として、現地での調査結果と、3.6 で設定した利用可否の判断基準との対比により利用可否を判断することが基本であるが、機械的に対比するのではなく、視野を広く持ち多角的に判断することが重要である。また、単に利用可・利用不可と区分するのではなく、どのような使い方ができるか（想定されている利用方法を修正することで利用可とできないか）、どのようにすれば使えるか（緊急復旧工事等により利用可とできないか）といった観点で、柔軟に判断することが望ましい。そのためには、複数人で議論をするなど、多様な観点が期待できる検討体制を整え、組織的に判断するとよい。利用可否の判断フローの例を図5-1に示す。なお、地震後の利用を念頭においた施設設計時の工夫等について付録Cに示しているので参照されたい。

係留施設の利用可否の判断の観点は、施設の構造形式により大きく異なる。各構造形式の利用可否の判断の観点を次節以降に概説する。

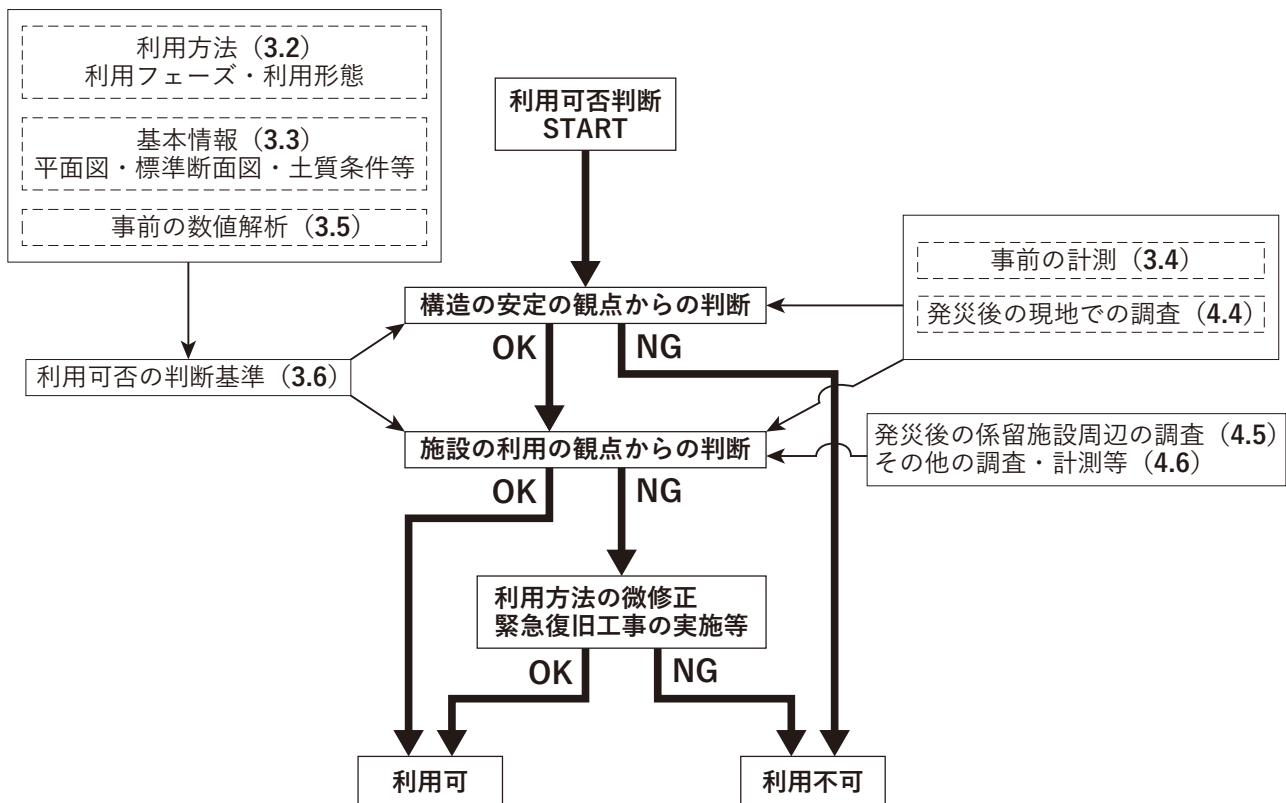


図 5-1 利用可否の判断フロー

5.2 重力式係船岸

(1) 代表的な被災形態

重力式係船岸では、**図 5-2**、**図 5-3** に示すように、壁体が沈下、傾斜を伴いながら海側へと変位し、それに伴い壁体の背後に段差が生じる被災形態が多く見られる。また、壁体を構成する函体の変位差により、法線にずれが生じる場合もある。一方で、大きな地震動を受けた場合でも、壁体そのものが破壊した事例は報告されていない。大規模な津波を受けた場合には、壁体の前面で洗掘が生じている可能性があるため注意が必要である。

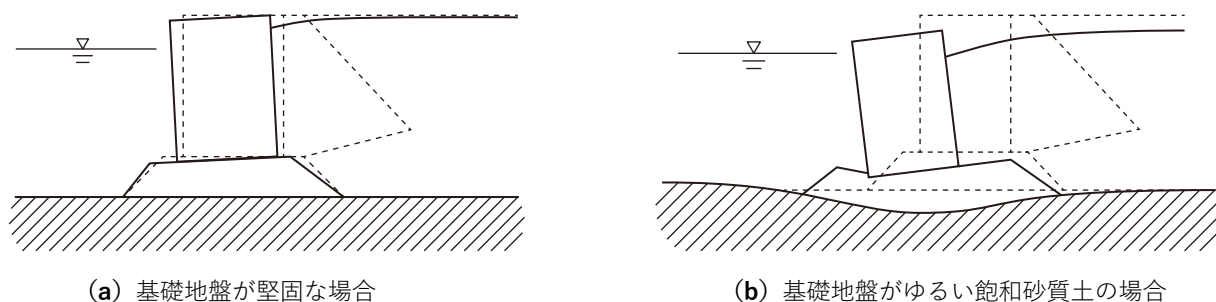


図 5-2 重力式係船岸の地震時の被災形態の例¹⁹⁾



図 5-3 兵庫県南部地震における重力式係船岸の被災事例（写真は左右反転）（基準・同解説 p.1854）

(2) 利用可否の判断における着眼点等

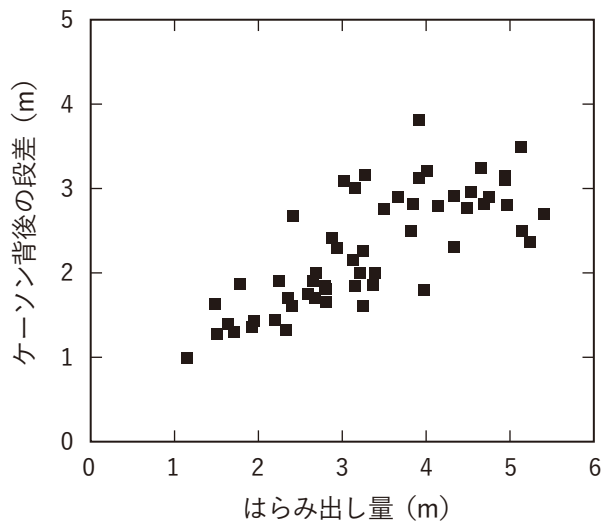
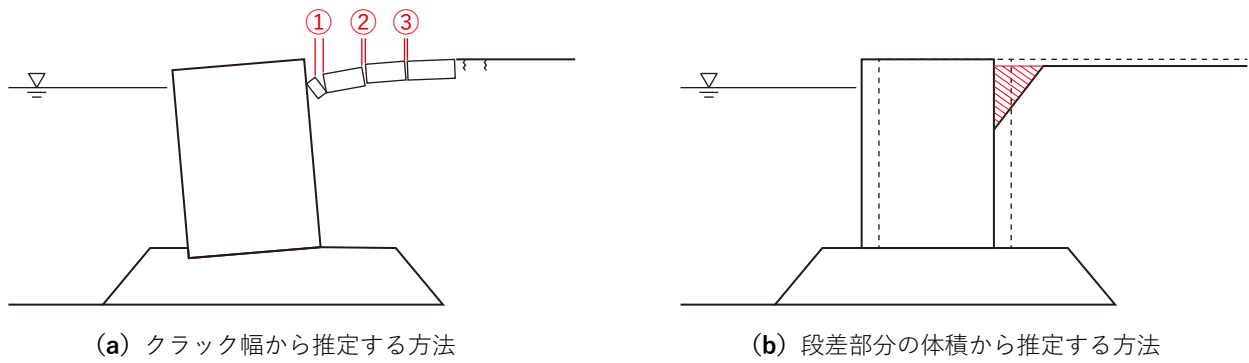
重力式係船岸では、これまで壁体そのものが破壊した事例がないことから、構造の安定の観点からは、壁体の変位、傾斜の残留値が壁体の安定性に与える影響が主たる課題となる。すなわち、地震後の状態で(津波による前面の洗掘が推定される場合は洗掘が生じた状態で)、地震後に想定した利用形態に対応した作用(船舶による作用、載荷重等)、余震による地震動等に対し壁体の安定が維持されることを確認する。また、壁体がブロック積みの場合には、ブロック間のずれ量を確認し、ブロックの安定性を検討する必要がある。

既往の潜水調査結果、模型振動実験結果、数値解析結果によれば、壁体の水平変位は、捨石マウンド上での壁体の滑動ではなく、捨石マウンドを含めた基礎地盤全体の変形によって生じることがほとんどである。ただし、壁体の水平変位が非常に大きい場合には、壁体と捨石マウンド法肩の位置関係を確認すると良い。

次に、施設の利用の観点から、壁体の変位、傾斜等が、船舶の接岸、陸上側からの車両のアクセス等に与える影響を確認する。壁体の傾斜が大きいと壁体天端での作業に危険が生じるなど施設の利用が難しくなる。また、壁体を構成する函体毎の変位の差(法線のずれ)が大きいと船舶の接岸が困難となる。そのため、施設内でこれらの変状が船舶の接岸、荷役等の作業に影響しない程度におさまっている範囲を特定し、想定している利用方法に対して必要な法線延長が確保できるか確認する必要がある。あわせて、係船柱、係船環と係留施設本体との接合部の損傷等を確認し、係船柱、係船環の利用可否を検討する。

壁体の水平変位に伴う壁体背後の段差、エプロン、背後地等の舗装、地表面の段差、クラックの発生等が著しい場合は、車両によるアクセスが困難となることから施設の利用用途が限られる。このような場合には、砕石、敷鉄板等による整地、スロープ形成等の緊急復旧工事により、荷役等の作業性の確保、車両によるアクセスの確保、作業用地の確保等が可能かといった検討も行うとよい。

重力式係船岸の場合、構造の安定の観点よりも施設の利用の観点の方が課題となるケースが多いと考えられ、構造物の変位の計測にそれほど高い精度は要求されない。そのため、事前に防災基準点等を設置していない場合でも、簡易的な方法により壁体の変位を把握し、その他の目視調査の結果等と組み合わせ利用可否を判断できる場合もある。例えば、**図 5-4 (a)** に示すように、壁体背後の地盤に生じたクラック幅を計測し、クラック幅の和から壁体の水平変位を推定できる可能性がある。また、**図 5-4 (b)** に示すように、壁体背後に大きな沈下(赤斜線部)が生じていれば、沈下した地盤の体積から壁体の水平変位を推定できる可能性がある。さらに、兵庫県南部地震による神戸港での被災事例を分析して得られたケーソン背後の段差とケーソンのはらみ出し量の関係(**図 5-4 (c)**)を基に、岸壁の水平変位を推定する方法もある。いずれの方法も重力式係船岸の地震時の挙動を十分に理解した上で活用する必要があるため、これらの方法を安易に用いることなく、研究所等の専門技術者に相談するなど慎重に判断することが求められる。



(c) 岸壁のはらみ出し量と段差との関係²⁰⁾

図 5-4 重力式係船岸の水平変位の簡易推定の例

5.3 矢板式係船岸

(1) 代表的な被災形態

矢板式係船岸は、矢板と控え工の間をタイ材で連結した構造形式であるため、これらの構造部分の変形、損傷の状態の組み合わせにより、様々な被災形態が生じる。代表的な被災事例として、**図 5-5** に示すように、控え工の変位は比較的小さいが、矢板が「く」の字形に変形し損傷した事例がある。また、**図 5-6** に示すように、控え工の損傷または大きな変位の発生に伴って、矢板の頭部が海側に大きく変位し矢板が前傾した事例がある。これらの中間的な挙動として、控え工に大きな変位が発生し、それに伴って矢板の頭部が海側に変位、矢板が前傾するとともに、矢板そのものも「く」の字形に変形するような被災形態が生じる場合もある (**図 5-7** 参照)。その他、タイ材が降伏したりタイ材が抜け出すことで、控え工に大きな変位が生じたときと同様な被災形態が生じることも考えられる。また、ひとつのバースの中で矢板の水平変位の大小が変化し、法線の直線性が損われる場合もある。これにより、バース中央部分が平面的に海側にはらみ出すような変形傾向がしばしば見られる。

矢板に大きな変位、傾斜、変形等が発生した場合は、矢板の背後地盤に大きな沈下等が生じる。また、控え工が大きく変位した場合には、控え工の頭部付近に大きな段差、クラック等が生じる。

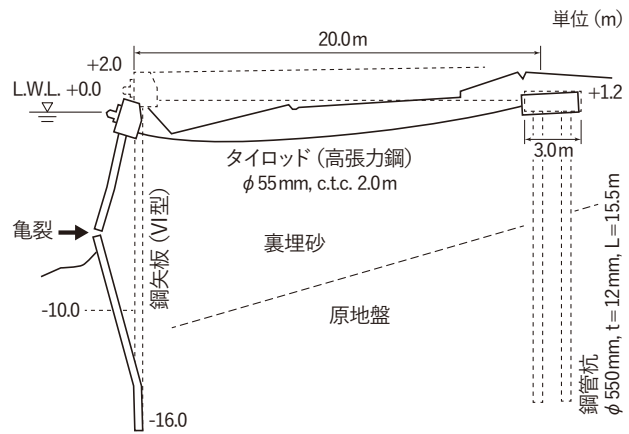


図 5-5 矢板が変形、損傷した事例（日本海中部地震）¹⁹⁾

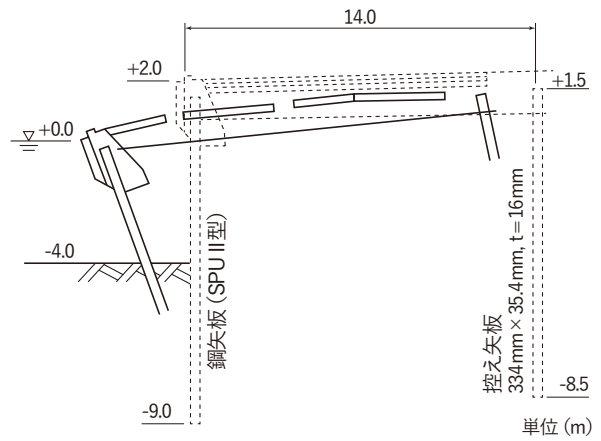


図 5-6 控え工の大きな変位に伴って矢板頭部が変位、矢板が傾斜した事例（日本海中部地震）¹⁹⁾

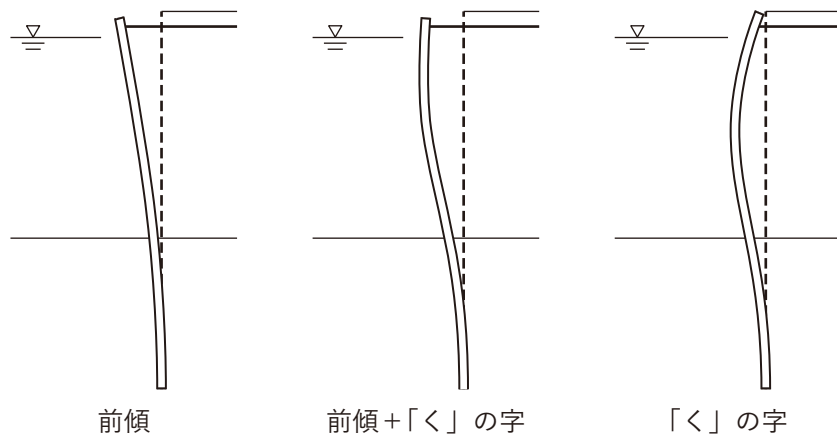


図 5-7 変形モードの概念図

(2) 利用可否の判断における着眼点

矢板式係船岸では様々な被災形態が生じるため、現地の状況を詳細に観察し、どのような破壊形態が生じているのか、どの構造部分の変位、変形等が支配的な要因となっているのか等を推定する必要がある。続いて、推定した被災形態を念頭に、各部材の状態を把握し、災害発生時の利用形態を想定した作用に対し十分な耐力を維持しているかどうか、構造の安定の観点から検討する。しかしながら、矢板式係船岸では、海面下、地中部など、陸上からの短時間の調査では観察、計測が難しい場所に位置する部材が多く、被災形態の特定、各部材の状態の把握に困難を伴う。そのため、矢板式係船岸では発災後の利用可否の判断に時間を要する傾向がある。

このようなことから、耐震強化施設、地域や港内に代替となる施設が存在しない施設、地震後の利用の優先度が高いと想定される施設等については、**3.5** で述べた事前の数値解析を行い、どの程度の地震動でどのような被災形態が生じ得るかをあらかじめ推定しておくことが求められる。また、数値解析の結果から、矢板頭部の残留水平変位、傾斜等と構造物の状態、各部材に発生する応力等の関係を整理しておき、発災後にこれらの値を計測することで構造物全体や各部材の状態を間接的に把握することができる。このとき、単に矢板頭部の水平変位の計測に拘泥するのではなく、矢板の傾斜、控え工頭部位近での地表面の変状の発生等も十分に観察し、事前の数値解析で想定されている被災形態と実際の被災形態が概ね一致していることを確認することが重要である。特に、矢板の水平変位の規模に対し矢板背後の沈下が著しい場合は、矢板の損傷の可能性を検討する必要がある。部材の状態を矢板頭部の水平変位等を指標として間接的に判断するため、矢板頭部の水平変位を精度よく計測することが求められる。従って、事前に防災基準点、計測点を設置し、発災後、速やかに施設の変位を精度よく計測できる準備をしておくことが望ましい (**3.4** 参照)。

なお、地震動により鋼管矢板に発生する応力が降伏応力を超過しても、曲率が限界曲率を超過せず、地震後の残留応力が降伏応力を下回っていれば、鋼管矢板は一定の強度、剛性を維持していると考えてよい。ただし、地震動により鋼管矢板に発生する曲率が限界曲率を超えた場合、発生応力が降伏応力を多数回超過した場合などには、残留状態で降伏応力以下となっても鋼管矢板の性能が低下している可能性があるため、地震後の利用形態に対応した作用に対する応答を算定する際に注意が必要となる。

次に、施設の利用上の観点から、矢板の変形、エプロン、背後地等に生じた沈下、段差、クラック等が、船舶の接岸、陸上側の車両のアクセス等に与える影響を確認する。矢板の変位、変形、または、法線の平面的なはらみ出しが大きいと、船舶の接岸に支障が生じる。そのため、施設内でこれらの変状が船舶の接岸、荷役等の作業に影響しない程度におさまっている範囲を特定し、想定している利用方法に対して必要な法線延長が確保できるかどうかを確認する必要がある。あわせて、係船柱、係船環と係留施設本体との接合部の損傷等を確認し、係船柱、係船環の利用可否を検討する。

エプロン、背後地等で沈下、段差、クラック等の発生が著しい場合は、車両等によるアクセスが困難となることから、施設の利用用途が限られる。このような場合には、砕石、敷鉄板等による整地、スロープ形成等の緊急復旧工事により、荷役等の作業性の確保、車両によるアクセスの確保、作業用地の確保等が可能かといった検討も行うとよい。また、船舶の牽引力に対する耐力が不足する場合は、重力式の仮係船柱を手配して、控え工の背後に設置することを検討するとよい。

なお、矢板式係船岸の場合、緊急復旧工事に伴い矢板に作用する土圧が変化することで、矢板にさらなる変位、変形が生じる恐れがあるため、構造の安定の観点から慎重に検討し、工事を行う必要がある。

5.4 栈橋

(1) 代表的な被災形態

栈橋の被災形態としては、上部工、載荷重（荷役機械等含む）等の慣性力による変形、土留部が変位し渡版を介して栈橋を押しすることによる変形、地盤の側方への移動に伴い杭が押されることによる変形等が挙げられ、過去の被災事例では後二者が多く見られる（**図 5-8** 参照）。兵庫県南部地震の被災事例では、**図 5-9** に示すように杭頭部、杭地中部で複数の局部座屈が生じていたことが確認されている。土留部は重力式または矢板式の構造形式を採用している場合が多く、土留部の被災形態は **5.2**、**5.3** に述べたものと同様に考えてよい。また、栈橋のブロック毎の水平変位の差により、法線のずれが発生することもある。その他、渡版が持ち上がったたり、落下するなどといった被害も起こりうる。大規模な津波を受けた場合には渡版が揚圧力で飛散した事例がある。

なお、栈橋の変形に伴い、上部工の梁、床版などの部材が損傷することも想定される。栈橋の変形が大きくなると、梁の破壊、床版の落下等、上部工に大きな損傷が発生する可能性もあるので、注意する必要がある。

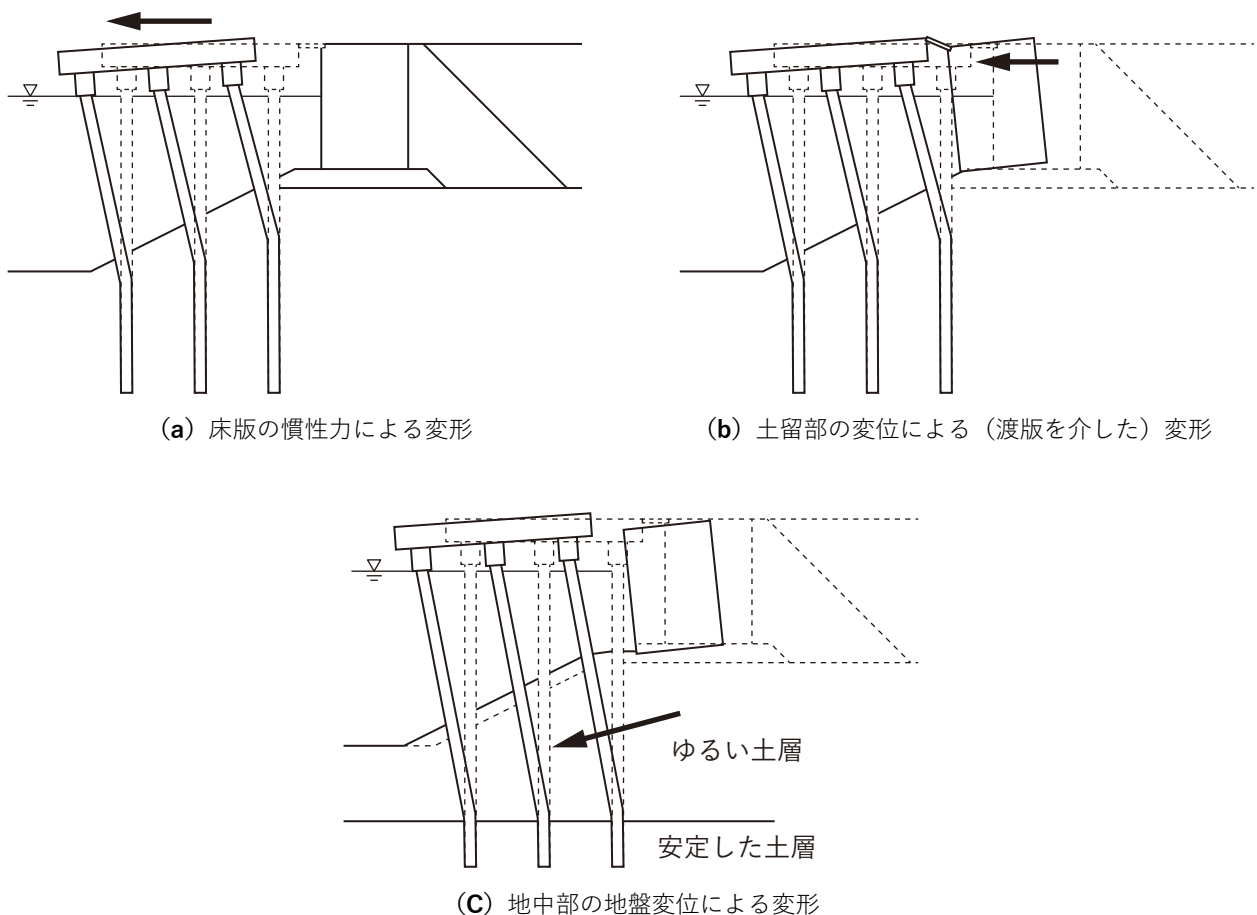


図 5-8 栈橋の代表的な被災形態¹⁹⁾

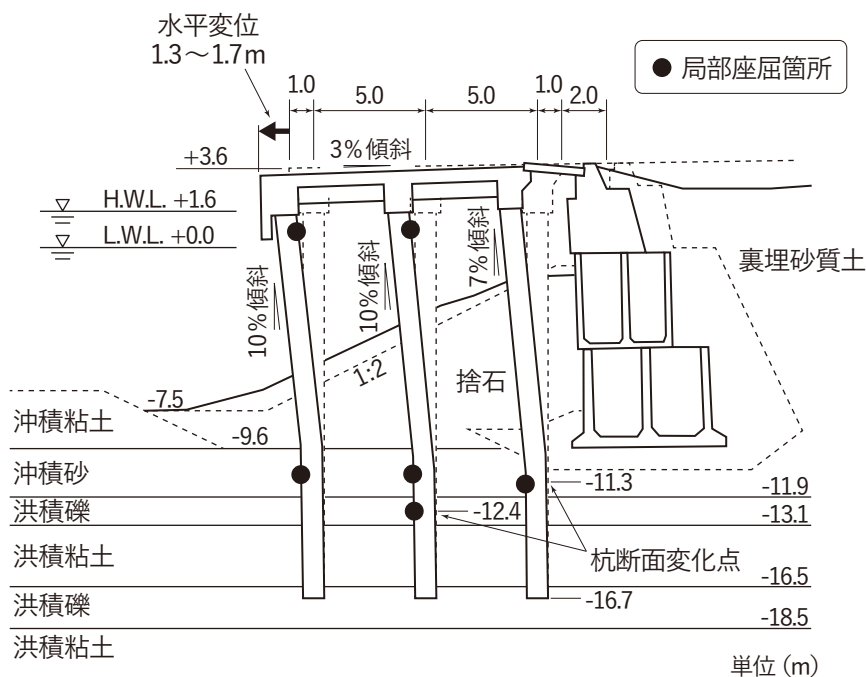


図 5-9 兵庫県南部地震における栈橋の被災事例（井合ら¹⁹⁾ に加筆修正）

(2) 利用可否の判断における着眼点

栈橋の被災は杭の変形、損傷に関係するものが多く、発災後の現地での調査では直接的な観察、計測が難しい。そのため、構造の安定の観点からの評価が困難である。特に地中部の杭の状況を把握する技術は現時点では非常に限られており、杭内部を掘削して傾斜計を挿入する方法など調査に長期間を要する方法しかないため、発災後の早期の段階では地中部の杭の状況把握は行われぬのが実情である。

そのため、耐震強化施設、地域や港内に代替となる施設が存在しない施設、地震後の利用の優先度が高いと想定される施設等については、3.5 で述べた事前の数値解析を行い、どの程度の地震動でどのような被災形態が生じ得るかをあらかじめ推定しておくことが有用である。また、数値解析により、法線天端の残留水平変位と構造物の状態、上部工、杭等の部材に発生する応力等の関係を整理しておき、発災後に法線の残留水平変位を計測することで構造物全体や部材の状態を間接的に把握することができる。このとき、栈橋の被災状況が、事前の数値解析で想定されている変形状況と概ね一致していることを確認する必要がある。部材の状態を法線天端の水平変位等を指標として間接的に判断するため、法線天端の水平変位を精度よく計測することが求められる。従って、事前に防災基準点、計測点を設置し、発災後、速やかに施設の変位を精度よく計測できる準備をしておくことが望ましい（3.4 参照）。

なお、地震動により鋼管杭に発生する応力が降伏応力を超過しても、曲率が限界曲率を超過せず、かつ、地震後の残留応力が降伏応力を下回っていれば、鋼管杭は一定の強度、剛性を維持していると考えてよい。ただし、地震動により鋼管杭に発生する曲率が限界曲率を超えた場合、発生応力が降伏応力を多数回超過した場合などには、残留状態で降伏応力以下となっても鋼管杭の性能が低下している可能性があるため、地震後の利用形態に対応した作用に対する応答を算定する際に注意が必要となる。

次に、施設の利用上の観点から、栈橋天端の変位、傾斜、法線のずれ、土留部の背後地盤等に生じた段差、クラック等が、船舶の接岸、陸上側の車両のアクセス等に与える影響を確認する。栈橋天端の変位、傾斜、法線のずれが大きい場合などには船舶の接岸、荷役等の作業に支障が生じる。そのため、施設内でこれらの変位が船舶の接岸、荷役等の作業に影響しない程度におさまっている範囲を特定し、想

定している利用方法に対して必要な法線延長が確保できるかどうかを確認する必要がある。あわせて、係船柱、係船環と係留施設本体との接合部の損傷等を確認し、係船柱、係船環の利用可否を検討する。

土留部の背後地盤に生じる段差、クラックの発生が著しい場合は、車両等によるアクセスが困難となることから、施設の利用用途が限られる。このような場合には、砕石、敷鉄板等による整地、スロープ形成等の緊急復旧工事により、荷役等の作業性の確保、車両によるアクセスの確保、作業用地の確保等が可能かといった検討も行うとよい。また、船舶の牽引力に対する耐力が不足する場合は、重力式の仮係船柱を手配して、控え工の背後に設置することを検討するとよい。

栈橋の場合、栈橋の本体と土留部の間をつなぐ渡版が落下するなどして栈橋へのアクセスが困難となる事例がある。このような場合、最低限のアクセスを確保できるよう、渡版の仮設についても検討すると良い。

5.5 利用可否の判断後の対応

利用可と判断した施設の利用にあたっては、特に利用開始時において、構造物の状態の変化に注意し、慎重な接岸、荷役等の作業を行うことが求められる。また、状況の変化に伴い再度の利用可否判断等を行う場合に備え、必要な措置を講ずる。

利用可と判断した施設であっても、構造物に何らかの変状や損傷が生じている可能性があることを想定し、慎重に利用する。特に利用開始時においては、構造物の状態の変化に注意し、変位の増加などの変状が生じないことを確認しつつ、接岸、荷役等の作業を進めることが求められる。利用開始直後に大型の船舶の接岸、重量物の荷役等を行うのは、可能な限り避けることが望ましい。利用開始時には、小型の船舶による少量の緊急物資輸送など、構造物の状況を確認しつつ短時間の利用にとどめ、これにより構造物に変状が生じなければ、徐々に大型の船舶の接岸や大量の緊急物資・重量物の荷役などへ利用方法を拡大していく、というステップを踏むのが理想である。係留施設へのアクセスについても、被災後の調査で地耐力等を精度よく把握することが困難であることを念頭に、利用開始時には小型の車両による徐行運転（必要に応じて同乗者が降車して誘導する）などにより試験的な走行を行って安全性を確認した後に、徐々に大きな車両の通行、重量物の運搬などを実施することが望ましい。

また、気象庁の呼び掛けなどによると、大きな地震が発生した後、1週間程度（特に地震発生後2～3日の間）は、最初の大地震の規模と同程度の地震に注意することが基本とされている²¹⁾。この間は、大きな地震が再び発生することを念頭に、施設の利用を必要最小限の範囲に制限するなどの対策をとることが考えられる。

ひとたび利用可否判断等を完了した後も、余震の影響、施設の利用に伴う変状の進行等、施設の状況の変化に応じて再度の利用可否判断等が求められる場合がある。その際に迅速な判断ができるように備えておくことが必要である。そのため、利用可否を判断した際は、判断に用いた情報、判断の根拠等を詳しく記録するとともに、必要に応じて、再度の利用可否判断等を想定した着眼点（何を計測すべきか、何がボトルネックになり得るか等）の整理、計測器の追加設置、追加の数値解析の実施等の検討を行うことが望ましい。

第6章 情報共有・情報発信

施設の利用可否の判断の結果は速やかに公表しなければならない。あわせて、現地での調査の結果等について関係者で共有することが望ましい。

発災後の港湾施設の利用可否情報は、国民、国土の安全確保のため、必要不可欠かつ緊急度の高い重要な情報であるため、利用可否を判断した場合は速やかにその結果を公表しなければならない。また、現地での調査の結果をはじめ、発災後に収集した様々な情報等は、港湾施設の利用可否判断等以外（例えば応急的な復旧工事等）にも活用できる可能性が高いため、関係者の間で共有する体制を整えておくことが望ましい。そのため、平時より、利用可否の判断結果の公表方法、各種情報の共有方法等を検討し、手順を確認しておくことが重要である。

公表の際は、利用可・不可の区別を示すだけでなく、利用可能となる利用方法の範囲（想定している利用方法と利用可否情報の組合せ）がわかるように工夫する必要がある。可能であれば今後の見通し（例えば、「緊急復旧工事を実施中。○時間程度で利用可となる見込み。」など）をあわせて公表することが望ましい。また、災害時の施設の利用にあたっては、平時にその施設を利用したことがない人員、船舶により施設が利用されることを前提とし、丁寧な情報発信を行うよう努めることが望ましい。施設前面の水域等の概況、気象・海象条件の想定、余裕水深の考え方など、実際に船舶が入港を検討する際の参考となり得る情報は可能な限り備考として表記するなどの対応を検討するのがよい。

情報共有、情報発信にあたっては、各機関の web ページを活用する他、SNS による発信、各機関の防災情報プラットフォームへの登録、統合災害情報システム（DiMAPS）²²⁾、基盤的防災情報流通ネットワーク（SIP4D）²³⁾ への連携等が考えられる。これらのシステム類は開発が継続されているため、常に最新情報を入手し、利用方法を確認しておくことよい。

付録 A 利用可否の判断基準の設定に関する参考情報

A.1 概要

本章では利用可否の判断基準を検討する際に参考となる情報を紹介する。本章で紹介する文献等は、文献が公表された当時の設計・照査の体系、構造物の形式・規模等の実状、技術的な常識等の時代背景の下、一定の範囲で調査、解析などを行った結果を基に考察・提案された内容である。構造の安定に関わる変位等の値に対しては、施設固有の特性（構造形式の詳細、使用部材の規格等）、条件（設計条件、地盤条件等）の影響が大きいが、これらの文献では一般的、平均的な施設に対する値として整理されている。また、いずれの文献も施設の利用方法を詳細に想定したものではないため、どのような利用方法が対象に含まれているか個別に検討する必要がある。特に、**3.2** で述べた手法により施設の利用方法を複数想定し、それぞれの利用方法に対して利用可否の判断基準を定めたい場合や、施設固有の特性、条件の影響をより詳細に考慮するためには、本章で紹介する情報では不十分であり、別途、**3.5** で述べた事前の数値解析を行うことが求められる。

利用可否の判断の指標とする項目の設定例を表 A-1 に示す。表 A-1 は、**3.2** の利用方法の想定の例に示した利用フェーズ 2、利用形態 A を念頭に、利用可否の判断の指標とする項目を設定した例であり、参考として、本章で紹介する文献において頻出する表現、数値を基にした判断基準の目安を記載している。実務において利用可否の判断基準を設定する際には、前述のとおり、各文献に示されている情報の詳細を確認し、また、利用可否判断等の対象としている施設の特性等を十分に考慮する必要があることは言うまでもない。

なお、本章で紹介している文献等は代表的なものに限られている。実務において判断基準を設定する際には、幅広く情報収集を行い、新しい知見、参考情報等が示されていないかについても十分に確認し、適切に利用可否の判断基準を設定することが求められる。

表 A-1 利用方法 (3.2 参照) として利用フェーズ 2、利用形態 A を想定した場合の利用可否の判断の指標とする項目の設定例

構造の安定の観点からの判断基準		
構造形式	指標とする項目	判断基準の目安
重力式係船岸	壁体の状態	<ul style="list-style-type: none"> 確認できる範囲において大きな損傷が見られないこと 壁体と上部工の間(ブロック式の場合はブロック間)で大きなずれが生じていないこと(基準・同解説 p.1854 参照)
	残留傾斜角	<ul style="list-style-type: none"> 3~5° 未満
矢板式係船岸	矢板の状態	<ul style="list-style-type: none"> 確認できる範囲において大きな変状が見られないこと
	矢板背後地盤の状態	<ul style="list-style-type: none"> 矢板の水平変位に比して極端に大きな沈下等が見られないこと(基準・同解説 p.1856 参照)
	矢板の変形モード	<ul style="list-style-type: none"> 陸側への傾斜となっていないこと²⁴⁾
	矢板頭部残留傾斜角	<ul style="list-style-type: none"> 海側へ3° 未満
	残留水平変位	<ul style="list-style-type: none"> 控え組杭式 水深-7.5 m 以上:15 cm 以下²⁵⁾ 控え直杭式 水深-7.5 m 以上:30 cm 以下²⁶⁾ 水深-7.5 m 未満:10 cm 以下²⁷⁾
	控え工近傍の地盤の状態	<ul style="list-style-type: none"> 極端に大きな変状が見られないこと(5.3 参照)
栈橋	杭、上部工の状態	<ul style="list-style-type: none"> 確認できる範囲において大きな変状が見られないこと
	残留傾斜角	<ul style="list-style-type: none"> 2~3° 未満
	残留水平変位	<ul style="list-style-type: none"> 杭を両端(仮想固定点、上部工接続部)が固定端の梁とみなし、片側の固定端を変位させて発生する曲げモーメントが降伏モーメントとなる水平変位量以下²⁴⁾
	渡版の状態	<ul style="list-style-type: none"> 想定される人員、物資の輸送に耐えられること

施設の利用の観点からの判断基準		
施設等	指標とする項目	判断基準の目安
係留施設	直線性を保持した法線延長	<ul style="list-style-type: none"> 利用が想定される船舶の接岸に対し十分な延長を確保できること
	法線の凹凸変位	<ul style="list-style-type: none"> 50 cm 以下²⁸⁾
	係船柱、係船環の安定性	<ul style="list-style-type: none"> 利用が想定される船舶の牽引力に対し、係船柱、係船環、およびそれらの基礎の安定性が確保できること
エプロン等*	平坦部の面積	<ul style="list-style-type: none"> 想定される荷役作業に対し十分な広さを確保できること 想定される物資の仮置き、蔵置に対し十分な広さを確保できること
	地表面、舗装面等の段差	<ul style="list-style-type: none"> 3~10 cm 以下
	傾斜	<ul style="list-style-type: none"> 海側へ2~3° 以下
	地耐力、トラフィカビリティー	<ul style="list-style-type: none"> 舗装下に空洞の恐れがないこと 液状化が生じていないこと
	車両通行経路	<ul style="list-style-type: none"> 船舶の接岸、荷役、物資の仮置き、蔵置等に必要な車両のアクセス経路が確保できること
防波堤	堤体の欠損状況	<ul style="list-style-type: none"> 必要な静穏度等を確保できる程度の欠損状況にとどまること

* 地耐力、トラフィカビリティー低下の恐れが無く、砕石、敷鉄板等を用いた整地等によりクラックや段差等を解消することで荷役、通行等が可能になると考えられる場合は、緊急復旧工事を行う前提で利用可否を検討する。

A.2 基準・同解説

基準・同解説には、施設の利用可否の判断基準となるような情報は明示されていないが、レベル1地震動に関する変動状態の照査において、許容される変形量を用いることとなっており、参考情報の一つとなる。重力式係船岸の場合、標準的な変形量の許容値を10cmとしている。この値は、レベル1地震動の作用に対して施設の機能が損われないことを担保するために必要な安全余裕等を考慮して定めたもので、実際の施設の許容限界変形量よりも十分に小さな値である（基準・同解説 p.1065 参照）。矢板式係船岸については、標準的な変形量の許容値を15cmとすると同時に、矢板壁、タイ材、控え直杭のいずれも、使用上の観点から制限値である30cm程度の変形までは断面力に余裕があるが、壁高が低くなると、変形量に対する断面力の余裕が相対的に少なくなることに注意が必要としている（基準・同解説 p.1091 参照）。なお、控え組杭の場合には、変形量15cm以下の範囲で部材の断面力に余裕があるとの報告がある²⁵⁾。栈橋に関しては、照査用震度の設定の考え方が異なることから、許容される変形量に関する記述は見あたらない。

平成19年版の基準・同解説²⁹⁾でも同様な記述がなされている（平成19年版の基準・同解説 p.956 及び p.994 参照）。矢板式係船岸の矢板壁、タイ材、控え直杭の断面力に関して、長尾・尾崎の検討結果²⁶⁾を引用し少し詳しく説明しており参考となる。

平成11年版の基準・同解説³⁰⁾は、港湾の施設の技術上の基準が性能規定に移行する以前の出版であり、耐震設計の考え方も現行の基準・同解説とは大きく異なる。平成11年版の基準・同解説には、岸壁の許容変形量の目安として表A-2、A-3が示されている（平成11年版の基準・同解説 p.250）。なお、表中の値は、岸壁上のクレーンの安定性、機能性を考慮していない点に注意が必要である。

表 A-2 供用の観点からの岸壁の変形量の目安³⁰⁾

構造形式	被災変形量：最大はらみ出し量または最大エプロン沈下量			
	重力式係船岸		矢板式係船岸	
岸壁水深	-7.5m 以上	-7.5m 未満	-7.5m 以上	-7.5m 未満
供用可能	0~30 cm	0~20 cm	0~30 cm	0~20 cm
供用制限	30~100 cm	20~50 cm	30~50 cm	20~30 cm

表 A-3 機能上の観点からの岸壁の変形量の上限の目安³⁰⁾

構造物本体	エプロン全体の沈下量	20~30 cm	
	傾斜	3~5°	
	法線の出入り	20~30 cm	
エプロン	沈下	エプロン上の段差	3~10 cm
		エプロンと背後地の段差	30~70 cm
	傾斜	順勾配	3~5%
		逆勾配	0%

A.3 港湾技術研究所資料等

井合ら¹⁹⁾は港湾構造物の耐震性能照査型の設計体系にむけた基礎検討として、菅野ら²⁰⁾は既存施設の耐震診断、耐震補強、被災時の復旧工法等の観点から、過去の被災事例の分析結果等を基に、許容される被害程度の目安を示している。許容被害程度の分類、構造形式毎の許容被害程度の目安を表 A-4～A-7 に示す。

人命や財産の保全、震災復興、緊急防災拠点、有害物または危険物取扱いなど、特別な機能を期待する施設では、表 A-4 に示す一般的な事項に加え、これらの施設特有の機能の観点からの検討が必要であるとされている。表 A-5～A-7 は、走行式クレーン等が設置されておらず、危険物や人命関連施設に該当しない施設で、前面海域が十分に広い場合を対象に提案されている。また、表 A-7 は栈橋の杭と床版を対象としており、栈橋の土留部については構造形式に応じて表 A-5 または表 A-6 を参照して検討する。施設の被災状況を検討する際は、表 A-5～A-7 に示された各項目について該当する被災状況を判定し、判定された被災状況のうちもっとも大きなものをその施設全体の被災状況として採用する。

時代を逆のぼると、上部³¹⁾は被災変形量と被災額に関する研究の一環として、小泉ら³²⁾は被災した係留施設の残存耐力評価手法の検討の一環として、震災事例を分析し、被災程度と変形量、残存耐力の関係をまとめている。被災程度の分類を表 A-8 に、各被災程度の被災変形量の範囲を表 A-9、A-10 に、残存耐力の目安を表 A-11、A-12 に示す。表 A-12 の被災モード「前傾」の欄は、タイロッドが健全であることを前提としている点に注意が必要である。

いずれの研究も被災施設の利用可否の判断を行うことを研究の主たる目的とはしていないことに注意が必要である。特に、井合ら、菅野らの研究は、港湾構造物の性能設計体系の構築に向けた試論的な意味合いが強く、それらの成果を発展、具体化させることで、平成 19 年版以降の基準・同解説における性能規定が定められている点に注意する必要がある。従って、利用可否の判断基準の参考として、ここに示した表の内容を参照する場合は、それぞれの研究の観点、被災事例の分析方法等を確認の上、慎重に検討する必要がある。

表 A-4 港湾構造物の許容被害程度（菅野ら²⁰）に加筆修正）

許容被害程度		構造被害（直接被害）	機能被害（間接被害）
被害程度Ⅰ	使用可能	無災害ないし軽微な被害	機能維持ないし軽微な機能低下
被害程度Ⅱ	補修可能	限定被害*	短期間の機能停止 [†]
被害程度Ⅲ	非崩壊限界	著しい被害（崩壊はしない）	長期間の機能停止ないし機能喪失
被害程度Ⅳ	崩壊 [‡]	構造喪失	機能喪失

* 塑性応答ないし残留変位

[†] 短期間の応急復旧完了までの機能喪失

[‡] 構造物崩壊時の周辺への影響は著しくない

表 A-5 重力式係船岸の許容被害程度基準の目安（菅野ら²⁰）に加筆修正）

許容被害程度		被害程度Ⅰ	被害程度Ⅱ	被害程度Ⅲ	被害程度Ⅳ
壁体	法線変形率（d/H）*	1.5%未滿 [†]	1.5～5%	5～10%	10%以上
	海側への残留傾斜角	3°未滿	3～5°	5～8°	8°以上
エプロン	エプロン上の段差	0.03～0.1 m未滿	- [‡]	-	-
	エプロン背後地間の段差	0.3～0.7 m未滿	-	-	-
	海側への傾斜	2～3°未滿	-	-	-

* d：壁体天端の残留水平変位、H：壁体の高さ

[†] 代替基準として法線の出入りが30 cm未滿であることを基準とする考え方もある

[‡] 該当する値がないことを示す

表 A-6 矢板式係船岸の許容被害程度基準の目安（井合ら¹⁹、菅野ら²⁰）を基に作成）

許容被害程度			被害程度Ⅰ	被害程度Ⅱ	被害程度Ⅲ	被害程度Ⅳ
残留変位	矢板	正規化水平変位（d/H）*	1.5%未滿 [†]	1.5～5%	5～10%	10%以上
		海側への傾斜角	3°未滿	3～5°	5～8°	8°以上
	エプロン	段差、傾斜	表 A-5 参照			
最大応答	矢板	根入れ上部	弾性	塑性1 [‡]	塑性1	塑性2 [‡]
		根入れ部	弾性	弾性	塑性1	塑性2
	タイロッド	弾性	弾性	塑性2	塑性2	
	控え工	弾性	弾性	塑性1	塑性2	

* d：矢板壁天端の残留水平変位、H：海底面から矢板壁天端までの高さ

[†] 代替基準として法線の出入りが30 cm未滿であることを基準とする考え方もある

[‡] 塑性1：許容塑性率・許容ひずみの範囲内、塑性2：許容塑性率・許容ひずみを超過

表 A-7 栈橋の許容被害程度基準の目安（菅野ら²⁰）に加筆修正）

許容被害程度		被害程度Ⅰ	被害程度Ⅱ	被害程度Ⅲ	被害程度Ⅳ
残留変位	床版と背後地盤間の段差	0.1～0.3 m未滿	-*	-	-
	海側への傾斜角	2～3°未滿	-	-	-
地震時発生最大応答値	杭の状態	実効的な弾性範囲内 [†]	修復可能な範囲の限定的な塑性応答および残留変位	崩壊に近い塑性応答 [‡]	被害程度Ⅲの状態を超えた状態

* 該当する値がないことを示す

[†] 軽微な残留変形ないし残留変形が皆無であるような状態

[‡] 杭頭および地中の2箇所塑性ヒンジが発生する杭が1本ないし限定された本数にとどまる

表 A-8 被災程度の分類³¹⁾

被災程度	被災の状況
0	無被災
I	本体に異常はないが、付属構造物に破壊や変状が認められるもの。
II	本体にかなり変状の起こったもの。
III	形はとどめているが、構造物本体に破壊が起こったものと認められるもの。
IV	全壊して形をとどめていないもの。

表 A-9 各被災程度の被災変形量の範囲（重力式係船岸）³¹⁾

被災程度	最大はらみ出し量 (cm)	平均はらみ出し量 (cm)	天端沈下量 (cm)	エプロン沈下量 (cm)	傾斜角 (°)
0	0	0	0	0	0
I	25 以下	25 以下	30 以下	50 以下	5 以下
II	25~70	40	50 以下	20~80	1~8
III	70~200	40~200	100 以下	30~100	2~15
IV	200 以上	200 以上	100 以上	100 以上	15 以上

表 A-10 各被災程度の被災変形量の範囲（矢板式係船岸）³¹⁾

被災程度	最大はらみ出し量 (cm)	平均はらみ出し量 (cm)	天端沈下量 (cm)	エプロン沈下量 (cm)	傾斜角 (°)
0	0	0	0	0	0
I	0~30	10 以下	30 以下	20 以下	3 以下
II	30~100	10~60	40 以下	50 以下	5 以下
III	100~200	60~120	50 以下	50~100	10 以下
IV	200 以上	120 以上	50 以上	100 以上	10 以上

表 A-11 ケーソン式岸壁の傾斜角度による常時の残存耐力の目安³²⁾

壁体の傾斜角	残存耐力	暫定使用の評価
3° 以下	残存耐力をほぼ有している。	概ね可。
3~5°	残存耐力をほぼ有している可能性もある。	概ね可であるが十分な調査検討が必要。 (上載荷重、接岸けん引の制限等)
5~8°	残存耐力を有していない可能性が高い。	やむを得ない場合に限り十分な検討の上判断する。
8° 以上	条件により残存耐力を保持している場合もあるが殆ど残らない。	原則不可。

表 A-12 矢板式岸壁の残存耐力の目安³²⁾

矢板種別	残留変形 (cm)	被災モード		
		くの字	前傾くの字	前傾
U 型	10	弾性領域	弾性領域	弾性領域
	30	弾塑性~塑性	弾塑性~塑性	弾性領域
	60	弾塑性~塑性	弾塑性~塑性	弾性領域
鋼管矢板	10	弾塑性領域	弾塑性領域	弾性領域
	30	弾塑性~塑性	弾塑性~塑性	弾性領域
	60	塑性領域	塑性領域	弾性領域

A.4 その他の文献等

一井ら²⁸⁾は、兵庫県南部地震後の重力式岸壁の利用状況と岸壁の被災変形量との関係から、許容被災変形量について検討を行った。調査対象は設計水深 -10 m 前後の重力式岸壁である。検討の結果、法線の最大水平変位ではなく、連続する一定の区間内における法線の凹凸変位量が利用可否の指標となり得ること、兵庫県南部地震の後に実際に利用された岸壁においては、連続する 100 m における凹凸変位量が最大 1 m 程度、そのうちのほとんどの岸壁では 0.5 m 以下であったと報告している。一方、岸壁の凹凸変位量を事前に予測することは難しいことから、ばらつきは大きいものの、最大水平変位から凹凸変位量を推定する方法を提案している。

水産庁水産基盤整備調査委託事業²⁷⁾では、漁港で用いられる矢板式係船岸の典型的な断面について、地震時の変形量と部材の発生応力の関係等が調査されている。調査結果として、水深 -2.1～-5.1 m で控え工が直杭の矢板式係船岸において、岸壁天端の残留変形量が 10 cm では部材の応力が降伏値に至るケースはほとんどなかったが、残留変形量が 20 cm の場合には控え杭、タイロッドが降伏に至るケースが多かったことが報告されている。なお、この検討では第 III 種地盤（軟弱地盤）の場合のみを対象としている。

その他、これまでに各地方整備局において港湾施設の利用可否判断に関するマニュアル等が作成されている。作成された時期等により内容は様々であるが、その時々最新の知見が反映されており、参考となる^{24), 33)}。

付録 B 災害時に利用可能性がある船舶等に関する参考情報

B.1 概要

災害発生時には、海上自衛隊の艦艇、海上保安庁の船艇、地方整備局等が所有する作業船、防衛省がチャーターする船舶、民間企業が所有するフェリー、貨物船等、大小様々な船舶等による係留施設の利用が求められる。そのため、係留施設の設計時に対象とした船舶だけでなく、多様な船舶等に対して利用可否の判断ができるよう、事前に情報収集しておくことが望ましい。

本章では、災害時に施設を利用する可能性のある船舶等に関する参考情報として、中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所が中心となって収集・整理した情報を示す。情報収集の対象は、令和 6 年能登半島地震および平成 28 年熊本地震の災害対応で使用された船舶等の諸元その他、海上自衛隊の艦艇、海上保安庁の船艇、地方整備局等が所有する作業船等の諸元である。詳細は次節以降に示すが、概要は以下のとおりである。

令和 6 年能登半島地震、平成 28 年熊本地震で使用された船舶等（基準排水トンで示される海上自衛隊の艦艇は除く）のほとんどは総トン数 5,000 GT 以下であり、2,000 GT 以下のものが全体の 7 割程度を占める。また、500 GT 以下の比較的小型の船舶等も多く用いられている。全長は海上自衛隊の艦艇を含めてもほとんどが 200 m 以下であり、120 m 以下のものが全体の 7 割程度を占める。一方で、大量の物資輸送、ホテルシップ等の目的で用いられる船舶等の中には、総トン数が 10,000 GT、全長が 150 m を超えるものも見受けられる。

海上自衛隊の艦艇は全長が長いものが比較的多く、令和 6 年能登半島地震および平成 28 年熊本地震で使用された護衛艦や輸送艦は全長 120 m を超えるものが大半である。

海上保安庁の船艇は、総トン数 1,000～1,500 GT のものと 500 GT 以下のものが多く、全長は長いものでも 130 m 程度、大半は 100 m 程度以下である。令和 6 年能登半島地震、平成 28 年熊本地震では、総トン数 1,000～1,500 GT、全長 100 m 程度の 1000 トン型巡視船等が多く用いられている。

地方整備局等が保有する作業船は、浚渫兼油回収船（白山、清龍丸、海翔丸）のみが比較的大型で、総トン数 4,000～5,000 GT、全長 100 m 程度であるが、その他の作業船は総トン数 200 GT 以下、全長 40 m 以下である。

なお、臨海部防災拠点マニュアル³⁴⁾には、防災拠点に整備される耐震強化岸壁の利用船舶の想定を目的として船種別の船舶諸元が示されており、参考にすることができる。

B.2 地震時に利用された船舶等の情報

(1) 令和6年能登半島地震

インターネットに公開されている情報^{35), 36), 37)}を中心に収集・整理した。得られた情報に基づき整理した、令和6年能登半島地震の対応で使用された船舶等の一覧を表B-1に示す。なお、文献36)には、施設の具体的な利用状況や利用調整等に関する情報も示されており参考となる。

表B-1 令和6年能登半島地震の対応で使用された船舶等の一覧

船主等	船名等	船種等	総トン数 (GT)	全長 (m)	型幅 (m)	喫水 (m)
海上自衛隊	おおすみ	輸送艦	8900*	178.0	25.8	6.0
	すずなみ	護衛艦	4650*	151.0	17.4	5.3
	ありあけ	護衛艦	4550*	151.0	17.4	5.2
	ゆうだち	護衛艦	4550*	151.0	17.4	5.2
	せとぎり	護衛艦	3550*	137.0	14.6	4.5
	さわぎり	護衛艦	3550*	137.0	14.6	4.5
	あさぎり	護衛艦	3500*	137.0	14.6	4.4
	せんだい	護衛艦	2000*	109.0	14.0	3.8
	おおよど	護衛艦	2000*	109.0	13.4	3.8
	てんりゅう	訓練支援艦	2450*	106.0	16.5	4.1
	ひうち	多用途支援艦	980*	65.0	12.0	3.5
	はつしま	掃海艇	570*	60.0	10.1	2.4
	あいしま	掃海艇	510*	54.0	9.4	3.0
	はやぶさ	ミサイル艇	200*	50.0	8.4	1.7
海上保安庁	だいせん	ヘリコプター1機搭載型巡視船	3100	105.0	15.0	-†
	ざおう	ヘリコプター1機搭載型巡視船	3100	105.0	15.0	-†
	みうら	3000トン型巡視船	3000	115.0	14.0	-†
	さど	1000トン型巡視船	1250	92.0	11.0	-†
	やひこ	1000トン型巡視船	1250	91.4	11.0	-†
	のと	1000トン型巡視船	1250	92.0	11.0	-†
	でじま	1000トン型巡視船	1200	91.4	11.0	-†
	とさ	1000トン型巡視船	1200	91.4	11.0	-†
	かがゆき	巡視艇	100	32.0	6.5	-†
防衛省	はくおう	貨客船	17345	199.5	25.0	7.2
	ナッチャン World	高速フェリー	10712	112.0	30.5	3.9
九州地方整備局	海翔丸	浚渫兼油回収船	4659	103.0	17.4	5.7
一般社団法人日本埋立 浚渫協会	第七番神	浚渫兼起重機船 (210t吊り)	-‡	50.0	21.0	-‡
	新世丸	多目的作業船	697	61.0	11.8	4.6
NPO 法人ピースウィンズ・ジャパン	豊島丸		240	40.0	8.0	2.8
公益財団法人日本財団	フェリー栗国	フェリー	451	65.0	11.6	3.4
株式会社田中建材	第十二神徳丸	貨物船	199	50.2	3.0	3.0
東ソー物流株式会社	東駿丸	ケミカル船	499	64.7	4.5	4.5

* 海上自衛隊の艦艇については基準排水トンで示されている。

† 海上保安庁の船艇については喫水に関する情報が確認できなかった。

‡ 情報が確認できなかった。

(2) 平成 28 年熊本地震

インターネットに公開されている情報^{38), 39), 40)}を中心に収集・整理した。得られた情報に基づき整理した、平成 28 年熊本地震の対応で使用された船舶等の一覧を表 B-2 に示す。

表 B-2 平成 28 年熊本地震の対応で使用された船舶等の一覧

船主等	船名等	船種等	総トン数 (GT)	全長 (m)	型幅 (m)	喫水 (m)
海上自衛隊	いずも	ヘリコプター搭載護衛艦	19950*	248.0	38.0	7.1
	ひゅうが	ヘリコプター搭載護衛艦	13950*	197.0	33.0	7.0
	おおすみ	輸送艦	8900*	178.0	25.8	6.0
	しもきた	輸送艦	8900*	178.0	25.8	6.0
	あたご	護衛艦	7750*	165.0	21.0	6.2
	きりさめ	護衛艦	4550*	151.0	17.4	5.2
	やまぎり	護衛艦	3500*	137.0	14.6	4.4
	あまくさ	多用途支援艦	980*	65.0	12.0	3.5
海上保安庁	おおすみ	ヘリコプター1機搭載型巡視船	3500	120.0	14.0	-†
	こしき	警備実施等強化巡視船	1300	89.0	11.0	-†
	あまぎ	1000トン型巡視船	1300	89.0	11.0	-†
	いわみ	1000トン型巡視船	1250	92.0	11.0	-†
	さつま	救難強化巡視船	1200	91.4	11.0	-†
	とさ	1000トン型巡視船	1200	91.4	11.0	-†
	かとり	500トン型巡視船	650	72.0	10.0	-†
	とから	350トン型巡視船	335	56.0	8.5	-†
防衛省	はくおう	貨客船	17345	199.5	25.0	7.2
北陸地方整備局	白山	浚渫兼油回収船	4185	93.9	17.0	5.4
中部地方整備局	清龍丸	浚渫兼油回収船	4792	104.0	17.4	5.6
九州地方整備局	海翔丸	浚渫兼油回収船	4659	103.0	17.4	5.7
	海煌	海洋環境整備船	195	35.0	11.0	2.2
	海輝 [‡]	海洋環境整備船	99	27.0	9.0	1.2
中国地方整備局	おんど 2000	海洋環境整備船	144	30.7	11.6	1.8
	りゅうせい	港湾業務艇	30	18.9	4.5	0.9
四国地方整備局	いしづち	海洋環境整備船	191	37.0	10.6	2.1
	くるしま	港湾業務艇	28	18.0	4.4	0.8
近畿地方整備局	はやたま	港湾業務艇	19	17.1	4.2	0.7

* 海上自衛隊の艦艇については基準排水トンで示されている。

† 海上保安庁の船艇については喫水に関する情報が確認できなかった。

‡ 2023年4月運航開始の新造船の海輝の諸元は表 B-6 を参照のこと。

B.3 各組織の保有船舶等の情報

(1) 海上自衛隊の艦艇等

海上自衛隊の艦艇および艦艇（補助艦）について、インターネットで公開されている情報⁴¹⁾を整理し、表B-3に示す。なお、海上自衛隊の艦艇については、船の大きさを基準排水トンで表示している点に注意が必要である。

表B-3 海上自衛隊の艦艇の一覧

艦種	艦級	基準排水量 (トン)	全長 (m)	型幅 (m)	喫水 (m)	隻数
護衛艦	もがみ型	3900	133.0	16.3	—*	8
	むらさめ型	4550	151.0	17.4	5.2	9
	たかなみ型	4650	151.0	17.4	5.3	5
	あさぎり型	3500	137.0	14.6	4.4～4.5	7
	あきづき型	5050	151.0	18.3	5.4	4
	あさひ型	5100	150.5	18.3	—	2
	ひゅうが型	13950	197.0	33.0	7.0	2
	いずも型	19950	248.0	38.0	7.1	2
	こんごう型	7250	161.0	21.0	6.2	4
	あたご型	7750	165.0	21.0	6.2	2
	まや型	8200	170.0	21.0	—	2
	あぶくま型	2000	109.0	13.4	3.8	6
掃海艦	あわじ型	690	67.0	11.0	—	4
掃海艇	えのしま型	570	60.0	10.1	2.4	3
	ひらしま型	570	57.0	9.8	3.0	3
	すがしま型	510	54.0	9.4	3.0	7
掃海母艦	うらが型	5650	141.0	22.0	5.4	2
ミサイル艇	はやぶさ型	200	50.0	8.4	1.7	6
輸送艦	おおすみ型	8900	178.0	25.8	6.0	3
輸送艇	1号型	420	52.0	8.7	1.6	1
エアクッション艇	1号型	85	28.0	14.7	—	6
練習艦	かしま型	4050	143.0	18.0	4.6	1
	はたかぜ型	4600	150.0	16.4	4.8	1
	あさぎり型	3500	137.0	14.6	4.4	1
訓練支援艦	くろべ型	2200	101.0	16.5	4.0	1
	てんりゅう型	2450	106.0	16.5	4.1	1
多用途支援艦	ひうち型	980	65.0	12.0	3.5	5
海洋観測艦	ふたみ型	2050	97.0	15.0	4.2	1
	にちなん型	3350	111.0	17.0	4.5	1
	しょうなん型	2950	103.0	16.4	4.5	1
音響観測艦	ひびき型	2850	67.0	29.9	7.5	3
砕氷艦	しらせ型	12650	138.0	28.0	9.2	1
敷設艦	むろと型	4950	131.0	19.0	5.7	1
潜水艦救難艦	ちはや型	5450	128.0	20.0	3.0	1
	ちよだ型	5600	128.0	20.0	—	1
試験艦	あすか型	4250	151.0	17.3	5.0	1
補給艦	とわだ型	8100	167.0	22.0	8.1～8.2	3
	ましゅう型	13500	221.0	27.0	8.0	2
特務艦	はしだて型	400	62.0	9.4	2.0	1

* 情報が確認できなかったことを示す。

(2) 海上保安庁の船艇の例

海上保安庁が保有する船艇の代表例として、中国地方整備局管内を担当する管区（第六、第七、第八管区）が保有する船艇に関する情報^{42), 43), 44)}をインターネットで収集し、整理したものを表 B-4 に示す。情報の収集にあたっては、B.2 を参考に、災害時の派遣される機会が多い巡視船を主たる対象とした。海上保安庁の船艇については喫水に関する情報が得られなかったため、表に示していない。あわせて海上保安庁の巡視船艇の全国での配備隻数⁴⁵⁾を表 B-5 に示す。

表 B-4 海上保安庁の船艇の例

所 属	船 名	船 型	総トン数 (GT)	全長 (m)	型幅 (m)
第六管区	いぶき	PM 型 350 トン型巡視船	249	56.0	7.5
	いよ	PM 型 500 トン型巡視船	650	72.0	10.0
	いつくしま	PL 型 練習船	5500	134.0	16.3
第七管区	やしま	PLH 型 ヘリコプター2 機搭載型巡視船	5300	130.0	15.5
	くにさき	PL 型 1000 トン型巡視船	1500	96.0	11.5
	いまり	PL 型 1000 トン型巡視船	1500	96.0	11.5
	でじま	PL 型 1000 トン型巡視船	1200	91.4	11.0
	あそ	PL 型 1000 トン型巡視船	770	79.0	10.0
	おおみ	PM 型 350 トン型巡視船	335	56.0	8.5
	きくち	PM 型 350 トン型巡視船	335	56.0	8.5
	むろみ	PM 型 350 トン型巡視船	335	56.0	8.5
	ふくえ	PM 型 350 トン型巡視船	335	56.0	8.5
	まつうら	PM 型 350 トン型巡視船	335	56.0	8.5
	ちくご	PM 型 350 トン型巡視船	335	56.0	8.5
	やまくに	PM 型 350 トン型巡視船	335	56.0	8.5
	ほうおう	PS 型 高速特殊警備船	220	50.0	8.0
	あさじ	PS 型 180 トン型巡視船	195	46.0	7.5
	らいざん	PS 型 180 トン型巡視船	195	46.0	7.5
第八管区	ふそう	PLH 型 ヘリコプター2 機搭載型巡視船	5300	130.0	15.5
	だいせん	PLH 型 ヘリコプター1 機搭載型巡視船	3100	105.0	15.0
	みうら	PL 型 3000 トン型巡視船	3000	115.0	14.0
	きそ	PL 型 2000 トン型巡視船	1800	95.0	12.6
	おき	PL 型 1000 トン型巡視船	1500	96.0	11.5
	つるが	PL 型 1000 トン型巡視船	1500	96.0	11.5
	えちぜん	PL 型 1000 トン型巡視船	1500	96.0	11.5
	わかさ	PL 型 1000 トン型巡視船	1500	96.0	11.0
	いわみ	PL 型 1000 トン型巡視船	1250	92.0	11.0
	ほたか	PS 型 高速特殊警備船	220	50.0	8.0
	あさま	PS 型 高速特殊警備船	220	50.0	8.0
	さんべ	PS 型 180 トン型巡視船	195	46.0	7.5

表 B-5 海上保安庁の巡視船艇の全国での配備隻数

		船 型	隻数	代表的な船型の大きさ
巡視船	PLH 型	ヘリコプター2 機搭載型巡視船、ヘリコプター1 機搭載型巡視船	20	全長 150 m
	PL 型	1000～3500 トン型巡視船	58	3500 トン型：全長 120 m 1000 トン型：全長 96 m
	PM 型	350～500 トン型巡視船	33	500 トン型：全長 72 m
	PS 型	180 トン型巡視船、高速特殊警備船等	35	180 トン型：全長 46 m
	FL 型	消防船	1	総トン数 280 GT、全長 35 m、幅 12.2 m
巡視艇	PC 型	23～35 メートル型巡視艇	70	30 メートル型：総トン数 100 GT、全長 32 m
	CL 型	18～20 メートル型巡視艇	169	20 メートル級型：総トン数 26 GT、全長 30 m

(3) 地方整備局等の所有する作業船の例

災害時には、地方整備局等が所有する作業船も緊急物資輸送等に使用されることが多い。地方整備局等が所有する作業船のうち、浚渫兼油回収船と海洋環境整備船の一覧を表 B-6 に、港湾業務艇の一覧を表 B-7、B-8 に示す。

表 B-6 地方整備局が所有する浚渫兼油回収船・海洋環境整備船の一覧

所 属	船 名	船 種	総トン数 (GT)	全長 (m)	型幅 (m)	喫水 (m)
北陸地方整備局	白山	浚渫兼油回収船	4185	93.9	17.0	5.40
中部地方整備局	清龍丸		4792	104.0	17.4	5.60
九州地方整備局	海翔丸		4659	103.0	17.4	5.70
関東地方整備局	べいくりん	海洋環境整備船	193	33.5	11.6	2.64
中部地方整備局	白龍		198	33.5	11.6	2.64
近畿地方整備局	海和歌丸		198	32.2	11.4	2.64
	クリーンはりま		197	32.2	11.4	2.64
	Dr. 海洋		196	32.5	11.6	2.64
中国地方整備局	おんど 2000		144	30.7	11.6	1.82
四国地方整備局	美讃		196	33.5	11.6	2.64
	いしづち		191	37.0	10.6	2.13
	みずき		154	29.5	11.6	2.10
九州地方整備局	がんりゅう		195	32.3	11.6	2.00
	海煌		195	35.0	11.0	2.20
	海輝		128	29.5	9.0	1.30

表 B-7 地方整備局等が所有する港湾業務艇 (1)

所 属	船 名	総トン数 (GT)	全長 (m)	型幅 (m)	喫水 (m)
北海道開発局	りんどう	18.0	14.80	4.20	0.86
	みずなぎ	19.0	17.00	4.20	0.76
	ゆりかもめ	19.0	16.80	4.20	0.77
	たんちょう	19.0	16.60	4.20	0.78
	みさご	19.0	16.60	4.20	0.71
	はやぶさ	19.0	16.80	4.20	0.81
	はまなす	19.0	16.60	4.20	0.71
	ふよう	10.0	13.00	3.50	0.58
東北地方整備局	つがる	30.0	19.20	4.40	0.83
	ほくと	19.0	16.50	4.10	0.80
	くろがね	19.0	16.50	4.10	0.80
	ひより	19.0	16.50	4.10	0.80
	翔洋	19.0	16.50	4.10	0.85
	あきかぜ	19.0	16.50	4.10	0.85
	みずほ	19.0	13.70	4.20	0.88
	そうめい	29.0	18.30	4.40	0.88
おきかぜ	19.0	16.50	4.10	0.80	

表 B-8 地方整備局等が所有する港湾業務艇 (2)

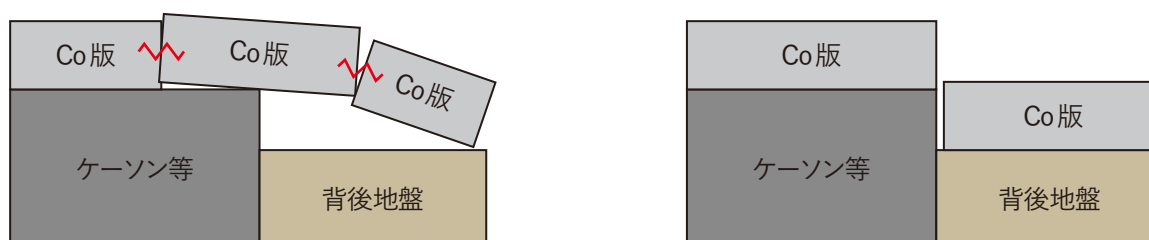
所 属	船 名	総トン数 (GT)	全長 (m)	型幅 (m)	喫水 (m)
関東地方整備局	たかしまⅡ	53.0	21.45	5.40	0.90
	江戸	24.0	18.95	4.77	0.65
	うらなみ	43.0	21.05	4.69	0.85
	べいさーち	75.0	27.40	6.00	1.25
	かしまⅡ	29.0	17.40	4.58	0.75
	ひたちⅡ	19.0	16.70	4.20	0.68
	あいりすⅡ	19.0	16.70	4.20	0.68
北陸地方整備局	あさひ	19.0	17.40	4.10	0.75
	こはく	29.0	18.60	4.50	0.81
	しらゆり	12.0	14.80	3.50	0.62
	なごかぜ	19.0	15.70	4.20	0.81
	わかなⅡ	19.0	17.10	4.00	0.70
中部地方整備局	まさき	19.0	15.80	4.00	0.80
	しおさい	19.0	17.00	4.10	0.80
	翔龍	19.0	18.00	4.20	0.70
	ふじ	22.0	16.50	4.20	0.75
	しもだ	22.0	16.50	4.20	0.75
	四日市庭浦	19.0	17.40	4.20	0.77
近畿地方整備局	いずみⅡ	19.0	17.40	4.20	0.70
	ゆうづる	19.0	17.40	4.20	0.70
	はやたま	19.0	17.10	4.20	0.68
	洲浪	19.0	16.40	4.00	0.68
中国地方整備局	はくしゅう	19.0	16.70	4.20	0.80
	まつかぜ	23.0	16.50	4.20	0.85
	おおつ	33.0	22.20	4.80	1.05
	たましおⅡ	19.0	18.00	4.20	0.75
四国地方整備局	さんせと	18.0	16.00	3.99	0.90
	ひのみね	19.0	16.70	4.20	0.63
	くるしま	28.0	18.00	4.40	0.80
	とさかぜ	27.0	18.00	4.44	0.78
九州地方整備局	たちかぜ	19.0	16.50	4.00	0.80
	あみかぜ	33.0	18.00	4.80	1.05
	海燕	76.0	29.50	8.34	1.15
	鎮西	42.0	22.00	5.10	1.00
	すいせい	19.0	16.90	4.10	0.80
	なじま	19.0	18.15	4.00	0.80
	かがしま	19.0	17.90	4.20	0.80
沖縄総合事務局	うりずん	19.0	16.20	4.20	0.75
	せきせい	19.0	16.30	4.20	0.75

付録 C 地震後の利用を念頭においた施設設計時の工夫等

C.1 施設設計時の工夫

(1) 舗装版の目地位置の工夫

重力式係船岸が地震動により海側へ変位する際、壁体の背後に大きな段差が生じる場合がある。このとき、舗装版が壁体と壁体背後の地盤上にまたがるように設置されていると、**図 C-1 (a)** のように舗装版が浮いた状態となる。浮いた舗装版の上を通行することは危険であるため、舗装版を切断した後に捨石等でスロープを作って段差を解消する必要があるが、舗装版を切断する作業には時間を要し、係船岸の早期利用の妨げとなる。そこで、**図 C-1 (b)** に示すように、あらかじめ舗装版の目地位置を、壁体と背後地盤の境に一致させておき、舗装版に大きな浮きが生じないようにする工夫が有効である。



(a) 舗装版が壁体と背後地盤にまたがっている場合 (b) 舗装版の目地位置を壁体と背後地盤の境に一致させた場合

図 C-1 舗装版の目地位置の工夫により舗装版の浮きを防止する例

(2) 岸壁までのアクセスの確保

地震後に岸壁が比較的健全で早期に使用できる状態でありながら、荷さばき地、周辺の用地、道路等の液状化に伴う沈下等により岸壁へのアクセスが確保できず、岸壁の利用が制限された事例が見られた。このような場合に備え、荷さばき地等において部分的な液状化対策等を行い、地震直後においても岸壁から近隣の道路等までの必要最小限のアクセスが確保できるよう工夫することが考えられる。可能であれば、複数のアクセス経路が確保できるような配置を工夫するとよい。

C.2 資機材等の事前準備

地震後に岸壁が比較的健全であっても、岸壁の背後地盤等に大きな段差、クラック等が生じ、利用が制限される事例が多い。また、**C.1** で述べたように、背後の荷さばき地等の液状化により岸壁へのアクセスが確保できない場合もある。特に重力式係船岸の場合、**5.2** で述べたとおり、壁体が沈下、傾斜を伴いながら海側へと変位し、それに伴い壁体の背後に段差が生じる被災形態が多く見られる一方、壁体そのものが損傷した事例は見受けられないことから、岸壁背後地盤の大きな段差、クラック等を解消することができれば幅広い用途に対し利用可能となることが期待できる。そこで、段差、クラック等の解消、地表面の整形に必要な量の砕石等の地盤材料、敷鉄板等を施設の近隣にストックしておき、地震後に活用することが考えられる。

また、栈橋の場合、栈橋の本体と土留部の間をつなぐ渡版が落下するなどして栈橋へのアクセスが困難となる事例がある。このような場合に最低限のアクセスを確保できるよう、渡版の仮設の可能性をあらかじめ検討することも考えられる。

その他、係船柱が十分な耐力を有していない場合に、重力式の仮係船柱を手配して設置した事例もある。なお、資材等の準備を行う際は、あわせて、作業に用いる機材の調達性についても検討しておくとうよい。

C.3 設計時の工夫等に関する情報の共有

設計時の工夫、資機材等の事前準備等に関する情報は施設の利用可否判断等を行う上で非常に重要な情報となり得る。これらの情報が 4.3 で述べた調査の優先順位の検討に影響する可能性がある他、4.4、4.5 の現地での調査において、当該工夫、資機材等の準備が有効に機能する／しているかどうか検討する必要が生じる場合がある。そのため、施設設計時の工夫、資機材の事前準備等に関する情報は施設の基本情報として収集し共有するとともに、定期的に資機材の状況を確認するなど、適切に管理する必要がある（3.3、3.8 参照）。

付録 D 利用可否判断のための事前の数値解析の方法の例

D.1 概要

(1) 適用範囲

本章では、3.5 で述べた事前の数値解析について、具体的な検討方法の例を紹介する。ここで紹介する検討方法には、現時点の知見に基づき、事前の数値解析として最小限実施しておくことが望ましいと考えられる検討項目が含まれている。しかしながら、この検討方法は、実際の災害事例等により十分に検証されたものではない。実務への適用にあたっては、最新の知見を確認するとともに、地域の事情、港湾の特性、検討対象施設の構造的な特徴等も考慮し、必要に応じて数値解析の条件を追加するなど、適切に検討を進める必要がある。

本章で述べる事前の数値解析の方法はあくまでも暫定利用を想定したものであり、その後の本格復旧以降の利用を想定したものではない。例えば、鉄筋コンクリート等では、ひび割れの発生等によって内部の鋼材腐食が進むことで、経時的な性能低下が懸念される。短期的な利用に留めればこれらの影響は軽微であると判断できるが、長期間の利用には別途検討が必要である。

本章で述べる事前の数値解析の方法では、一般的な施設設計における構造物の照査と同様の手法により検討を行う。地震応答解析については、耐震強化施設の L2 地震動に関する照査で十分な実績を有する 2次元の有限要素法による有効応力解析プログラムの利用を前提としている。各手法の詳細については、基準・同解説を参照されたい。

また、本章で述べる事前の数値解析の方法は、一般の技術者が典型的な構造形式を有する施設を対象に検討することを前提とし、比較的安全側の判断となるように作成されている。そのため、研究所等の専門技術者を交えた高度な検討を行った場合とは、結果の解釈等が異なる場合がある点に注意が必要である。

事前の数値解析では、構造の安定の観点からの利用可否の判断基準が検討課題の中心となる。施設の利用の観点からの判断基準は、施設の利用方法の想定に基づき、別途、検討する必要がある。また、事前の数値解析は、あくまでも利用可否の判断基準の一部を設定するための検討であって、検討結果からただちに利用可否の判断が実施可能となるものではない。利用可否の判断は、その他の事前準備や発災後の調査により得られる情報を吟味し、総合的な判断として適切に実施される必要がある。

(2) 検討の目的

係留施設を構成する構造物の部材は、多くの部分が地中または海面下に位置しており、発災後の目視調査、計測等が容易でない。そのため、施設天端の残留水平変位など地震後に比較的入手しやすい情報から地中または海中の部材の状態を推定できるようにしておくことが、事前の数値解析の主たる目的である。つまり、係留施設法線の残留水平変位や残留傾斜角など利用可否の判断基準の指標とする項目(3.6、付録 A 参照)と、構造物の状態または各部材の状態との関係を表す図表を作成することが大きな目的となる。また、構造物が、本震の地震動を受けた後の状態で、地震後に想定される作用に対する耐力を有しているかを確認することも重要である。さらに、検討の過程で得られる本震の地震動の大きさ(速度 PSI 値等)と、係留施設の法線付近の残留水平変位、残留傾斜角等との関係は、発災直後の被災状況の概略把握(4.3 参照)に用いることができるため、あわせて整理しておくことが望ましい。

なお、事前の数値解析は、構造形式毎の被災形態や利用可否の判断における着眼点等を十分に考慮して実施する必要がある。そのため、検討に先立ち、**5章**、**付録 A**、およびそれらで引用されている参考文献等を熟読し、理解を深めておくことが求められる。

(3) 検討手順

検討は、利用方法の想定、作用の設定、利用可否の判断基準の設定、数値解析、結果の整理の順に進める。利用方法の想定について **D.2**、作用の設定について **D.3** で述べる。判断基準の設定、数値解析、結果の整理については、検討方法が施設の構造形式により異なる。重力式係船岸について **D.4**、矢板式係船岸について **D.5**、栈橋について **D.6** で説明する。また、その他留意事項について **D.7** で述べる。

D.2 利用方法の想定

事前の数値解析の検討条件は、地震後の施設の利用方法に整合するように設定する必要がある。そのため、検討に先立ち、**3.2** に従って検討対象施設の利用方法を想定する。同じ施設であっても、被災状況や地震後の時間経過とともに利用方法が変化する。地域の事情、港湾の特性等も考慮しつつ、あらかじめ多数の利用方法を可能な限り具体的に想定し、事前の数値解析を行うことが望ましい。

利用方法の想定の例を表 **D-1** に示す。

D.3 作用の設定方法

(1) 事前の数値解析で用いる作用

利用可否判断のための事前の数値解析では、構造物に対して本震の地震動が作用した後、引き続いて地震後の施設の利用に伴う載荷重、牽引力、接岸力や、余震の地震動が作用したときの構造物の状態を推定する。事前の数値解析に用いる各作用の設定方法の例を以下に示す。

(2) 載荷重

本震の地震動と同時に作用する載荷重は、検討対象施設の設計時と同様に設定するとよい。地震後の施設利用時については、**D.2** で想定した利用方法に即して、適切な範囲に適切な大きさの載荷重を設定する。その際、クレーン等の荷役機械の荷重についても、想定した利用方法に即して適切に考慮する必要がある。

なお、例えば利用形態 C などで利用方法を具体的に想定できる場合に、載荷重の値や作用させる範囲を詳細に設定することも可能ではあるが、実際に利用する際の自由度も考慮し、ある程度の余裕を持たせた設定とする必要がある。載荷重の値や作用させる範囲について、過度に詳細な設定をすることは適切でない。利用方法の想定に基づいて載荷重を設定した場合は、利用可否情報において、想定している利用方法の詳細を明示する必要がある。

載荷重の設定の例を表 **D-2** に示す。

表 D-1 利用方法の想定为例

利用方法の分類	想定される利用状況の例	施設に求められる要件／解析条件設定の前提の例
1-A フェーズ1 利用形態 A	<ul style="list-style-type: none"> 地震発生直後から1週間程度の期間 自衛隊、海上保安庁、地方整備局の船舶等による必要最小限の人員、物資等の輸送 極めて慎重な作業 可能な限り短時間の利用 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急物資の積み降ろし作業が可能であること 車両による緊急物資の輸送が可能であること
		<ul style="list-style-type: none"> 自衛隊、海上保安庁、地方整備局等の船舶の接岸、係留 人力または小型貨物車程度の利用（最寄りの道路等まで） 物資等の載荷重（載荷する範囲を限定）
2-A フェーズ2 利用形態 A	<ul style="list-style-type: none"> 地震の数日後から災害対応が概ね終了するまでの期間 多様な船舶の利用 緊急物資の陸揚げ（単発） 	<ul style="list-style-type: none"> 緊急物資の積み降ろし作業が可能であること 車両による緊急物資の輸送が可能であること
		<ul style="list-style-type: none"> 自衛隊、海上保安庁、地方整備局等の船舶、民間の小型船舶等の接岸、係留 人力または小型貨物車程度の利用（最寄りの道路等まで） 物資等の載荷重（載荷する範囲を限定）
2-B フェーズ2 利用形態 B	<ul style="list-style-type: none"> 地震の数日後から災害対応が概ね終了するまでの期間 多様な船舶の利用 緊急物資の集積地、中継拠点 災害対応の基地的な機能 ホテルシップ等の活用による被災者等支援 	<ul style="list-style-type: none"> 重量のある物資等の荷役作業が可能であること 必要な面積、地耐力を有する作業用地等を確保できること
		<ul style="list-style-type: none"> 多様な船舶の接岸、長期の係留 中型以上の貨物車等の利用 物資等の載荷重
3-C フェーズ3 利用形態 C	<ul style="list-style-type: none"> 災害前の日常的な利用状況 	<ul style="list-style-type: none"> 災害前の利用形態で必要とされる要件を概ね満足すること
		<ul style="list-style-type: none"> 災害前に利用している船舶や利用状況に対応した解析条件

表 D-2 載荷重の設定の例

利用形態	想定される利用状況の例	載荷重の設定の例
A	必要最小限の人員、物資等の輸送（極めて慎重な作業、可能な限り短時間の利用）	重量物の荷役禁止、エプロンへの大型の車両の進入禁止、法線近くでの作業は必要最小限にする、といった利用条件を利用可否情報に明記することを前提に、数値解析においては載荷重をゼロとする。
	緊急物資の陸揚げ（単発）	
B	緊急物資の集積地、中継拠点	検討対象施設の設計時と同様の載荷重を設定する。設定した載荷重を利用可否情報に明記する。
	災害対応の基地的な機能 ホテルシップ等の活用による被災者等支援	
C	災害前の日常的な利用状況	

(3) 本震の地震動

本震の地震動は、L1 地震動、L2 地震動、およびその中間的な規模の地震動を複数設定する。L1 地震動、L2 地震動の設定方法等については基準・同解説を参照されたい。L2 地震動として複数の地震動が作成されている場合は、それらの地震動についても検討を行うとよい。

中間的な規模の地震動としては、一般的な施設設計における L1 地震動の設定方法と同様な方法により、再現期間を様々に変化させて作成した確率論的時刻歴波形を用いるとよい。このような地震動の作成が困難な場合は、L1 地震動の振幅を拡大して作成した地震動を用いることもできる。作成方法の違いにより地震動の継続時間、周波数特性等が異なるため、同程度の速度 PSI 値の地震動であっても解析により得られる構造物の残留変位等が異なる可能性があるため注意を要する。しかしながら、施設の利用可否の判断基準の検討に用いる構造物の残留変位と部材の発生応力等との関係については、地震動の継続時間や周波数特性の影響が比較的小さいと考えられ、いずれの方法で作成した地震動を用いても検討に必要な情報を得ることが可能である。

検討対象施設に適用すべき L2 地震動が作成されていないときは新たに作成する。L2 地震動を作成することが困難な場合は、L1 地震動と同様な手法により再現期間が長い地震動を作成し、L2 地震動の代替として用いることも考えられるが、高度な技術的判断が必要となるため、研究所等の専門技術者の意見を聞くなどして慎重に検討する必要がある。

なお、解析に用いる地震動の設定の考え方の詳細は、**D.4**、**D.5** を参照されたい。

(4) 余震の地震動

事前の数値解析では本震の地震動として L1 地震動を超える規模の地震動を想定するため、構造物の部材に何らかの変位、変形が生じる可能性が高い。本震後、そのような状態の施設を利用中に余震が発生しても利用者の安全が確保されるよう、本震の地震動に続いて余震の地震動が作用することを考慮しておく必要がある。余震の地震動に関する研究は現在進められているものの、現時点においてどのような地震動を用いるべきか十分な知見がない。当面の措置として、L1 地震動を余震の地震動として使用することが考えられる。

(5) 牽引力、接岸力

牽引力、接岸力に関しては、特定の値を設定するのではなく、構造物が安定を喪失する限界の牽引力、接岸力や、部材が特定の損傷状態に達する限界の牽引力、接岸力を調査する手法をとるのがよい。具体的な手法は解析方法により異なる。

重力式係船岸などを対象として、静的な力のつり合いにより検討する場合は、力のつり合い式において作用と耐力が等しいと仮定し、そのときの牽引力または接岸力を算定する方法が考えられる。詳細は **D.4** で述べる。

矢板式係船岸や棧橋などを対象として、地震応答解析により検討する場合は、本震の地震動に引き続き、牽引力または接岸力を漸増载荷させていくプッシュオーバー解析により、構造物が所定の状態に達するまでの構造部材の損傷過程を確認する方法が考えられる。詳細は **D.5** および **D.6** で述べる。

牽引力、接岸力の作用方向等に関しては、基準・同解説を参考に、一般的な施設設計時と同様に考えればよい。なお、牽引力、接岸力に関して、どのような船舶がどのような条件で施設を利用する際にどの程度の牽引力、接岸力が生じるのか、複数の事例を具体的に例示しておくことが望ましい。**付録 B**などを参考に、地震後に利用が想定される船舶や、通常時にその施設を利用する船舶により生じる牽引力、接岸力などを確認しておくこととよい。

(6) その他の作用

(2) から (5) で述べたもの以外の作用については、基準・同解説に基づき設定することができる。地震後の施設の利用方法が特定される場合には、利用の状況に即した作用の向き、大きさ等を設定してもよい。ただし、実際に利用する際の自由度を考慮し、ある程度の余裕を持たせた設定とすることが望ましい。利用方法の想定に基づいて作用を設定した場合は、利用可否情報において、想定している利用方法の詳細を明示する必要がある。

D.4 重力式係船岸の検討方法

(1) 検討方法の概要

5.2 で述べたとおり、重力式係船岸では、地震動により壁体が沈下、傾斜を伴いながら海側へと変位し、それに伴い壁体の背後に段差が生じる被災形態が多く見られる。一方で、大きな地震動を受けた場合でも、壁体そのものが破壊した事例は報告されていない。そのため、構造の安定の観点から施設の利用可否を検討する際には、地震後の状態で壁体が安定性を保っているか、さらに地震後の施設の利用に伴う作用に対して壁体の安定性が維持できるか、という点が重要な検討課題となる。

重力式係船岸の場合、発災後の現地での調査において比較的容易に計測できるのは、法線の残留水平変位と壁体の残留傾斜角である。いずれも地震後の施設の利用の観点からは重要な指標となるが、壁体の安定性に与える影響が比較的大きいのは壁体の残留傾斜角であると考えられる。従って、壁体の残留傾斜角を利用可否の判断の指標とし、その計測値から利用可否を判断するための基準値を設定するため、本震の地震動により壁体に生じる残留傾斜角と、壁体の安定性との関係を確認することが重力式係船岸の場合の事前の数値解析の主な目的となる。

壁体の残留傾斜角と壁体の安定性との関係は、壁体の傾斜を考慮した力のつり合いに基づく安定計算により確認することができる（(4) 参照）。そのため、重力式係船岸の場合、必ずしも本震時の挙動を確認するために地震応答解析を行う必要はない。しかしながら、地震応答解析を行い本震の地震動の規模と構造物の残留水平変位、残留傾斜角との関係を把握しておくことで、発災直後の被災状況の概略把握（4.3 参照）の際に参考とすることができる。また、地震応答解析を行うことで、余震の影響の検討精度を高めることができる。さらに、地震応答解析により、地震後に直接確認することが難しい捨石マウンド部、基礎地盤部、裏込部、裏埋部等の変形状況や、地盤の液状化の発生状況を推定することができ、利用可否の判断の精度向上に寄与することができる。そのため、重力式係船岸の場合でも、可能な限り地震応答解析を実施することが望ましい。

重力式係船岸の利用可否判断のための事前の数値解析では、地震応答解析による本震時および余震時の構造物の挙動の推定と、力のつり合いに基づく安定計算による地震後の作用（牽引力）に対する壁体の安定性の検討の二段階で実施する。なお、余震の影響は静的な安定計算により検討することも可能であるが、本震の地震動に対する地震応答解析を行う場合は、あわせて地震応答解析により余震の影響を検討することが望ましい。

(2) 利用可否の判断基準の設定

(1) で述べたとおり、重力式係船岸においては壁体の残留傾斜角を利用可否の判断の指標とするのがよいと考えられる。そこで、残留傾斜角の計測値から利用可否を判断するための判断基準を設定する。判断基準は、地震後の施設の利用方法毎に、本震時、余震時、地震後の施設の利用時において必要な性能が担保されるよう、適切に定める必要がある。

判断基準の設定のための確認項目と、本震時、余震時、地震後の施設の利用時に想定される作用の組合せに対して構造物の応答が満たすべき条件の組み合わせの例を表 D-3 に示す。表に示した確認項目、構造物の応答が満たすべき条件をすべて満足する残留傾斜角の上限値を求め、その値を利用可否の判断基準とする。

基準・同解説による一般的な施設設計においては、壁体の安定性に関して、永続状態、変動状態における壁体の滑動、転倒、基礎地盤の支持力、および永続状態における地盤の円弧すべりが照査項目となるが、表 D-3 の例では壁体の滑動、転倒のみを条件として設定している。これは、地震による基礎地盤の乱れや捨石マウンドの変形等の影響を考慮しつつ、傾斜した壁体に関する基礎地盤の支持力や地盤の円弧すべりを検討する方法について十分な知見がないためである。ただし、本震後に壁体の安定が保たれていて、その後に特に作用を受けていない状態で壁体が大きく動いたという事例はあまり見られないため、地盤の円弧すべりに関する検討は省略しても問題ないと想定される。一方、基礎地盤の支持力については判断が難しいが、壁体の残留水平変位および残留傾斜が十分に小さければ、基礎地盤の乱れや捨石マウンドの変形等が基礎地盤の支持力に与える影響も少なく、支持力不足により壁体が直ちに危険な状態になる可能性は低いと考えられる。従って、本震後の現地での調査において、壁体の残留水平変位に十分な注意を払い、利用可否の判断を慎重に行うことを前提として、事前の数値解析においては基礎地盤の支持力に関する検討を省略することとした。このようなことから、利用可否の判断の精度を高めるため、重力式係船岸についても地震応答解析を行い、変形図等から地盤の変形状況等を確認することが望ましい。

表 D-3 重力式係船岸について判断基準を設定するための確認項目の例（フェーズ 1、2、3 共通）

確認項目	想定される作用の組合せに対して構造物の応答が満たすべき条件		
	本震時	余震時	地震後の施設利用時 (牽引時)
壁体の安定性	— *	(地震応答解析による場合) 余震により壁体の変位、傾斜が急増しない (安定計算による場合) 滑動、転倒に対する壁体の安定性 に関して安全余裕を確保	滑動、転倒に対する壁体の安定性 に関して安全余裕を確保

* 構造の安定の観点からは構造物の応答が満たすべき条件を設定しないが、別途、施設の利用の観点からの判断基準を満足する必要がある。

(3) 地震応答解析

施設が本震の地震動を受けたときの挙動を把握するため地震応答解析を実施する。地震応答解析の方法は、基準・同解説を参考とし、一般的な施設設計と同様に行うことができる。重力式係船岸について地震応答解析を行う際は、余震の地震動による影響を同時に検討するのが効率的である。すなわち、本震の地震動と余震の地震動を連続させた波形を入力地震動として解析を行う。本震の地震動を L2 地震動、余震の地震動を L1 地震動と設定した場合の入力地震波形の例を図 D-1 に示す。

なお、本震と余震を一連の地震動として入力する方法では、本震の地震動により地盤の液状化が発生した場合に、その状態を維持したまま余震の地震動が作用することとなる。実現象において、本震から余震まで十分な時間間隔がある場合とは条件が異なる点に注意が必要である。ただし、重力式係船岸については、地盤の液状化が発生した状態の方が施設の変状が大きく算定される場合が多いと考えられ、利用可否の判断のための資料としては安全側（構造物の安定評価として厳しい側）の解析結果を与えるものと推定される。

(4) 力のつり合いに基づく安定計算

力のつり合いに基づく安定計算の方法は基準・同解説を参考にすることができる。力のつり合いに基づく安定計算においては、本震の地震動による壁体の残留傾斜を考慮する必要がある。傾斜を考慮する方法として、傾斜した状態で壁体に作用する荷重を整理し、それぞれの荷重を壁体の底面に対して直交する方向の成分と平行方向の成分に分解した上で、壁体の滑動、転倒を検討する方法³²⁾がある（図 D-2 参照）。なお、実際の被災形態として、壁体と背後地盤の間に段差が生じる例が多く見られるが、地震後の施設の利用に先立ち、その段差を砂・砕石等により据りつけ、解消することが一般的である。そのため、壁体の安定性の検討の際は、図 D-2 のように、壁体の天端と背後地盤の天端が連続したモデルで検討しておくといよい。

地震後の利用に伴う作用として、載荷重と牽引力を考慮し、壁体の安定性を検討する。壁体の傾斜角を様々に変化させ、力のつり合い関係から、その傾斜角で壁体の安定性が喪失しない（滑動または転倒が生じない）上限の牽引力を算定する。変化させる壁体の傾斜角は、地震後の施設の利用に支障が生じない範囲で適切に設定する。牽引力の作用角等は基準・同解説を参考に設定するとよい。

地震後の施設利用時の壁体の安定性検討にあわせ、係船柱取付部および防舷材取付部の上部工の安定性に関する検討も行う。一般的な施設設計では、牽引力に対して係船柱取付部の上部工の重量で抵抗する考え方を採ることが多いため、牽引力に対して係船柱取付部の上部工の安定性が確保されなければ施設を安全に利用することができない。ただし、地震後に仮設の係船柱を設ける場合などは、上部工の安定に関わらず、仮設の係船柱から壁体に伝達される牽引力に対して壁体の安定を確保できれば施設の利用が可能となる。

また、地震応答解析を実施しない場合は、余震の影響についても検討する。まず、基準・同解説を参考に余震の地震動から照査用震度を算定し、それをを用いて地震時土圧等を算出する。次に、壁体の傾斜角を未知数とし、力のつり合い関係から余震の地震動に対して壁体の安定性が喪失しない（滑動または転倒が生じない）上限の傾斜角を求める。

なお、壁体の安定性を検討する際は、適切な安全余裕を設ける必要がある。安全余裕の設定方法は、基準・同解説を参考にすることができる。

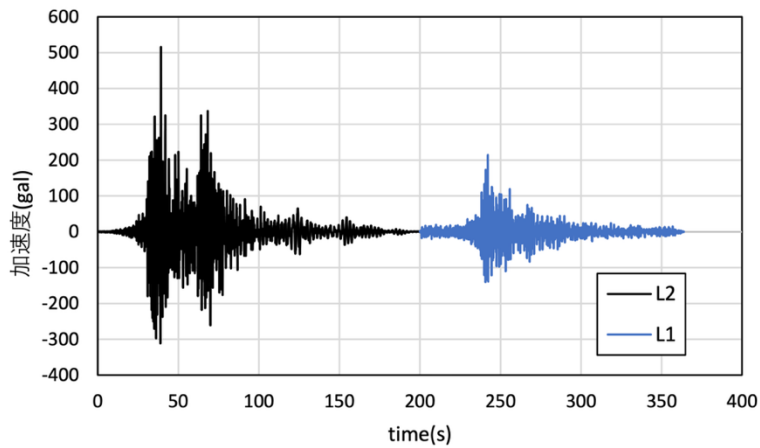
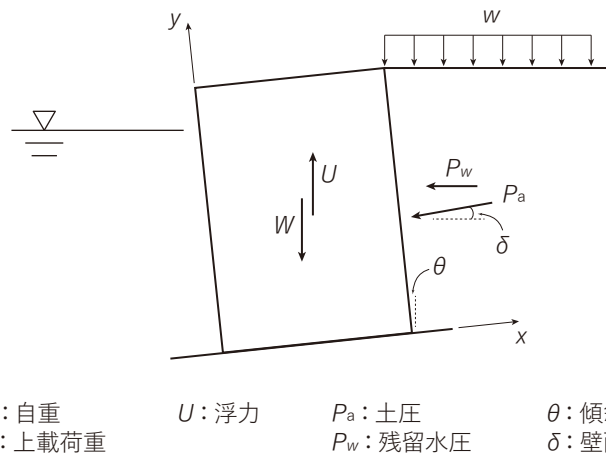


図 D-1 本震の地震動と余震の地震動を連続させた入力地震波形の例



W: 自重 U: 浮力 Pa: 土圧 θ: 傾斜角
w: 上載荷重 Pw: 残留水圧 δ: 壁面摩擦角

図 D-2 傾斜を考慮した安定性検討モデルの例 (小泉ら³²⁾ に加筆修正)
(各作用を x 方向、y 方向に分解して滑動、転倒に関する検討を実施)

(5) 結果の整理

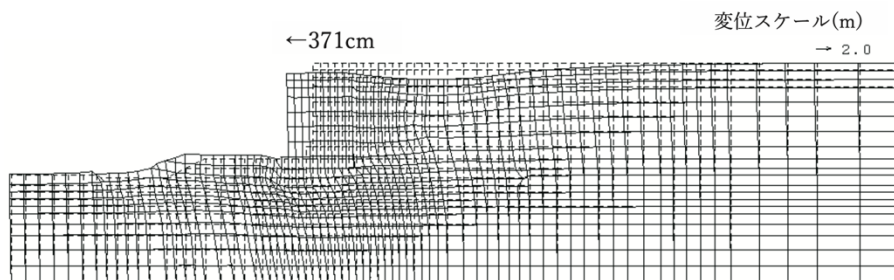
数値解析を行った後、解析結果をまとめた資料を作成した上で、結果を総括する代表図として以下のような図面を作成するとよい。これらの図面は利用方法の想定毎に作成する必要がある。

地震応答解析を行った場合は、本震の地震動を受けた後の変形図を作成する。地盤の液状化が発生する場合には、過剰間隙水圧比の分布図もあわせて作成する (図 D-3 参照)。また、本震の地震動の大きさ (速度 PSI 値等) と残留水平変位、残留傾斜角の関係図を作成する (図 D-4 参照)。あわせて、本震後に余震の地震動を受けた際の残留水平変位、残留傾斜角を同じ関係図に記入する。このとき、表 D-3 に照らして利用不可と判断される範囲をハッチング等により明示するとよい。

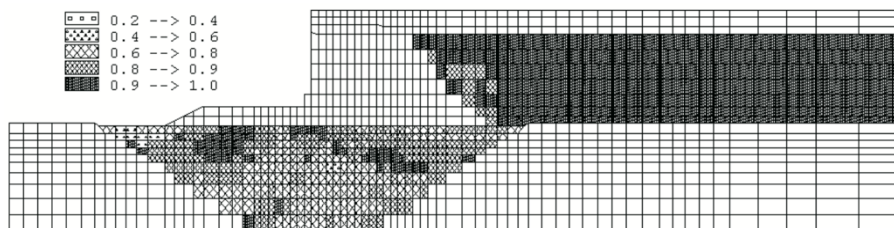
力のつり合いに基づく安定計算の結果は、本震後の壁体の残留傾斜角と、壁体が安定性を喪失する牽引力の関係図として整理する (図 D-5 参照)。図中には、安定性を喪失する牽引力が、滑動、転倒のいずれにより決定されているか明示する。また、表 D-3 に照らして利用不可と判断される範囲をハッチング等により明示する。あわせて、検討対象施設において地震後に接岸することが想定される代表的な船舶等について、それらの牽引力がどの程度の値になるかを示しておくるとよい (利用形態 C の場合は、実際に利用する予定の船舶の情報を記入する)。

図 D-4 の例では、本震の地震動として、L1 地震動、L2 地震動、および、中間的な規模の地震動 a、b、c の計 5 ケースの地震動を設定し地震応答解析を行っている。地震動 c のケースの解析結果から余震に対して十分な安定性が担保できないと判断されたため、地震動 c より速度 PSI 値が小さい地震動 b のケースで得られた残留傾斜角 B までの範囲を利用可能な範囲として示している。このとき、地震動 b と c の間の速度 PSI 値を有する地震動を作成し、追加の解析を行うことで、利用可能な範囲を広げられる可能性がある。特に、地震動 b と地震動 c の解析で得られる残留傾斜角の差が大きい場合は、このような追加ケースを実施し、利用可能となる範囲を広げることを試みるのがよい。

一方、図 D-5 は、壁体の傾斜角 1~6 °の範囲で牽引力を受ける壁体の安定性について検討し、滑動、転倒のいずれかにより安定性が喪失する牽引力をプロットした例である。図 D-5 中の B は図 D-4 の B と対応しており、これよりも残留傾斜角が大きい場合は余震に対して十分な安定性が得られないため利用不可としている。地震応答解析を省略した場合は、余震に対する力のつり合いに基づく安定計算により得られた、余震に対して壁体が安定を失わない上限の傾斜角を B としてプロットすることになる。図 D-5 から読み取れるとおり、残留傾斜角が B 以下であっても無条件に利用できるわけではなく、その施設を利用しようとする船舶の牽引力に応じて利用可否が判定される。



(a) 変形図



(b) 過剰間隙水圧比分布図

図 D-3 地震応答解析で得られる変形図と過剰間隙水圧比の分布図の例
(基準・同解説 pp.1942-1944)

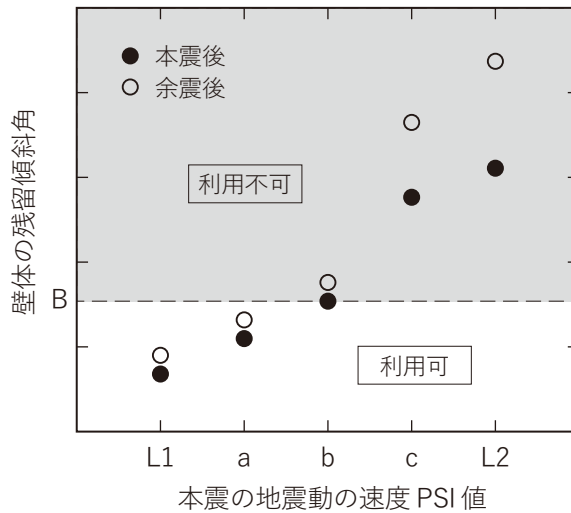


図 D-4 地震応答解析により得られる本震の地震動と壁体の残留傾斜角との関係図の例

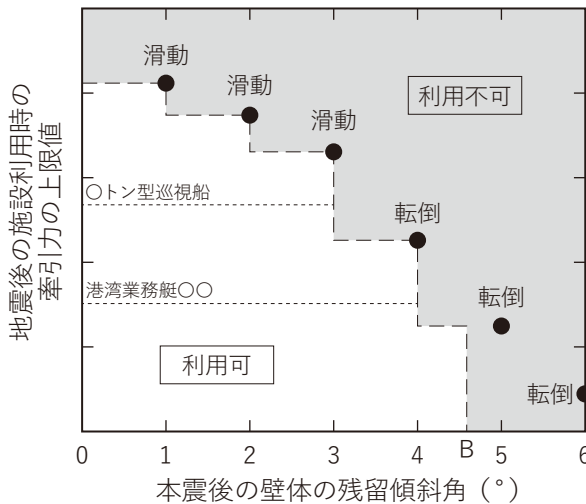


図 D-5 力のつり合いに基づく安定計算により得られる本震後の壁体の残留傾斜角と壁体の安定性が喪失する牽引力との関係図の例

D.5 矢板式係船岸の検討方法

(1) 検討方法の概要

本節では、矢板と控え工の間をタイ材で連結した構造形式を有する矢板式係船岸を対象とする。自立矢板式係船岸や二重矢板式係船岸は対象外である点に注意されたい。

5.3 で述べたとおり、矢板式係船岸では、これらの構造部分の変形、損傷の状態の組み合わせにより、様々な被災形態が生じる。しかしながら、矢板式係船岸の構成部材の大部分は海中、地中に位置しており、地震後に構造物の変状や各部材の変形等を直接的に確認することは困難である。そのため、地震後の利用に対し構造物が十分な耐力を保有しているか検討するためには、地震応答解析を実施して被災形態、構造物の状態、各部材の状態等を推定する必要がある。

矢板式係船岸の場合、発災後の現地での調査において構造物の状態を直接計測できるのは、岸壁の法線すなわち矢板頭部の残留水平変位と残留傾斜角である。その他に、矢板頭部や控え工の頭部付近に生じる地表面の段差等を確認することができる。以下で行う事前の数値解析の結果を施設の利用可否の判断の参考とできるのは、これらの計測結果等を基に推定した被災状況と、事前の数値解析により得られる被災状況が概ね一致している場合に限られる点に注意が必要である。

矢板頭部が陸側に傾き、残留水平変位が小さい「く」の字の変形モード（図 5-7 参照）の場合、残留傾斜角の計測値のみから矢板の変形状況を精度よく推定することが難しい。地震応答解析の結果、このような変形モードが生じる結果が得られた場合には、利用可否の判断基準を無理に設定することはせず、研究所等の専門技術者の意見を聞くなどして慎重に検討する必要がある。

以下では、矢板頭部の残留水平変位が比較的大きい前傾または前傾+「く」の字の変形モード（図 5-7 参照）が生じることを前提とし、残留水平変位を利用可否の判断の指標とする場合の事前の数値解析の考え方について述べる。

(2) 利用可否の判断基準の設定

(1) で述べたとおり、本章では矢板頭部の残留水平変位を利用可否の判断の指標とする場合の考え方について紹介する。残留水平変位から利用可否を判断するための判断基準は、地震後の施設の利用方法毎に、本震時、余震時、地震後の施設の利用時において必要な性能が担保されるよう、適切に定める必要がある。

判断基準の設定のための確認項目と、本震時、余震時、地震後の施設の利用時に想定される作用の組合せに対して構造物の応答が満たすべき条件の組み合わせの例を表 D-4 に示す。表中の各値は基準・同解説を参考に算定することができる。表に示した確認項目、構造物の応答が満たすべき条件をすべて満足する残留水平変位の上限值を求め、その値を利用可否の判断基準とする。なお、本震時および余震時に対する条件は、地震動の継続時間をとおして満たすべき条件であり、残留値のみで判断するものではない点に注意する。

表 D-4 では構造物を構成する部材毎に条件を定めているが、地震後の施設の利用可否を考える場合、本来は、構造全体として必要な性能が保持されていればよいのであって、必ずしも部材毎の性能が課題となるわけではない。しかしながら、構造全体として性能の評価は非常に高度な技術判断を必要とするため、表 D-4 のように部材毎に条件を設けることで構造全体として必要な性能を間接的に担保してもよい。表 D-4 の例では、フェーズ 1 については、本震の地震動により部材の性能が多少低下する可能性はあるが構造全体の挙動に大きな影響を与えない範囲にとどまること、余震や地震後の利用に伴う作用により構造物の大きな変形等が生じないことを目指した条件としている。また、フェーズ 2、3 については、本震、余震、地震後の利用に伴う作用のいずれに対しても、構造物の大きな変形や性能低下が生じない範囲にとどまることを目指した条件としている。

表 D-4 矢板係船岸について判断基準を設定するための確認項目の例

確認項目	想定される作用の組合せに対して構造物の応答が満たすべき条件		
	本震時	余震時	地震後の施設利用時 (牽引時)
矢板の損傷	(フェーズ 1) 限界曲率以下* (フェーズ 2、3) 設計降伏応力度以下	設計降伏応力度以下	設計降伏応力度以下
控え杭・控え矢板の損傷	(フェーズ 1) 限界曲率以下* (フェーズ 2、3) 設計降伏応力度以下	設計降伏応力度以下	設計降伏応力度以下
控え杭の支持力	(フェーズ 1) 作用する軸方向押込み力、引抜き力が抵抗力の特性値以下 (フェーズ 2、3) 軸方向押込み力、引抜き力に対する抵抗力に関して安全余裕を確保	軸方向押込み力、引抜き力に対する抵抗力に関して安全余裕を確保	軸方向押込み力、引抜き力に対する抵抗力に関して安全余裕を確保
控え版の断面破壊	設計断面耐力以下	設計断面耐力以下	設計断面耐力以下
タイ材の張力	(フェーズ 1) 設計破断強度以下 (フェーズ 2、3) 設計降伏応力度以下	設計降伏応力度以下	設計降伏応力度以下
上部工の断面破壊†	設計断面耐力以下	設計断面耐力以下	設計断面耐力以下

* 鋼管杭の場合および軸方向力が作用しない鋼管矢板の場合に限る。鋼矢板の場合や軸方向力が作用する鋼管矢板の場合には設計降伏応力度以下とする。

† 上部工の場合、ひび割れ等の損傷の発生・進展に伴って耐力や剛性の低下が生じるが、これを数値解析で正確に予測することは難しい。このため、フェーズ 2、3 においては応答値が設計断面耐力に対して十分に余裕があることが望ましい。

(3) 地震応答解析

地震応答解析の方法は、基準・同解説を参考とし、一般的な施設設計と同様に行うことができる。地震応答解析では、まずはじめに、本震の地震動と余震の地震動の影響を同時に検討するのが効率的である。すなわち、本震の地震動と余震の地震動を連続させた波形を入力地震動として解析を行う（図 D-1 参照）。

本震と余震を連続して入力した地震応答解析の結果、表 D-4 を満足することができたケースについて、本震の地震動に引き続き牽引力を漸増载荷（図 D-6 参照）する解析を行い、表 D-4 を満足する牽引力の上限値を確認する。牽引力は、係船柱の配置等を考慮し、適切な位置（節点）に作用させる。本震と余震を連続して入力する解析で、表 D-4 を満足するケースが少なかった場合は、速度 PSI 値等が小さい範囲で改めて本震の地震動を作成するなど、追加の解析を実施することが望ましい。

なお、本震の地震動と余震の地震動、または、本震の地震動と牽引力を連続して入力する方法では、本震の地震動により地盤の液状化が発生した場合に、その状態を維持したまま余震の地震動や牽引力が作用する。一方、実現象において、本震から余震まで、あるいは本震後の利用に伴い牽引力が作用する

までに十分な時間経過がある場合は、その間に地盤内の過剰間隙水圧が消散し、液状化が解消した状態で余震の地震動や牽引力が作用する。本震と余震、本震と牽引力を連続させることにより、地盤の液状化の影響が実現象と著しく乖離すると考えられる場合には、余震や牽引力が作用する際に液状化が発生しない条件での地震応答解析も実施するなど、追加の解析を実施することが望ましい。このような解析には高度な技術的判断を要するため、研究所等の専門技術者の意見を聞き、検討を進める必要がある。

(4) 検討結果の整理

数値解析を行った後、解析結果をまとめた資料を作成した上で、結果を総括する代表図として以下のような図面を作成するとよい。これらの図面は利用方法の想定毎に作成する必要がある。

矢板式係船岸の本震時の変形状況を確認するため、地震応答解析により得られた本震後の変形図、地盤の液状化が発生する場合には過剰間隙水圧比の分布図を作成する（**図 D-7** 参照）。また、本震の地震動の大きさ（速度 PSI 値等）と残留水平変位の関係図を作成する（**図 D-8** 参照）。あわせて、本震後に余震の地震動を受けた際の残留水平変位を同じ関係図に記入する。このとき、**表 D-4** に照らして利用不可と判断される範囲をハッチング等により明示するとともに、利用不可と判定される理由を記入する。なお、**表 D-4** に示した本震時および余震時に対する条件は、地震動の継続時間をとおして満たすべき条件であり、残留値のみで判断するものではない点に注意する。

次に、本震後の残留水平変位と、**表 D-4** を満足する牽引力の上限値の関係図を作成する（**図 D-9** 参照）。図中には利用不可と判断される範囲をハッチング等により明示し、利用不可と判定される理由を記入する。あわせて、検討対象施設を地震後に利用することが想定される代表的な船舶等について、それらの牽引力がどの程度の値になるかを示しておく（利用形態 C の場合は、実際に利用する予定の船舶の情報を記入する）。

図 D-8 の例では、本震の地震動として、L1 地震動、L2 地震動、および、中間的な規模の地震動 a、b、c の計 5 ケースの地震動を設定し地震応答解析を行っている。地震動 b のケースの解析結果から、余震に対して必要な性能が担保できないと判断されたため、地震動 b より速度 PSI 値が小さい地震動 a のケースで得られた残留水平変位 A までの範囲を利用可能な範囲として示している。このとき、地震動 a と b の間の速度 PSI 値を有する地震動を作成し、追加の解析を行うことで、利用可能な範囲を広げられる可能性がある。特に、地震動 a と地震動 b の解析で得られる残留水平変位の差が大きい場合は、このような追加ケースを実施し、利用可能となる範囲を広げることを試みるのがよい。

図 D-8 に示したとおり、この検討事例では、当初設定した本震の地震動 5 ケースのうち、利用可能と判定されるケースが 2 ケースと少なかったため、L1 地震動と地震動 a の間に 3 ケースの本震の地震動を追加した。改めて設定した本震の地震動 5 ケースについて、本震に続いて牽引力を作用させる地震応答解析を行った結果をプロットしたのが**図 D-9** である。**図 D-9** に示したとおり、残留水平変位が A 以下であっても、無条件に利用できるわけではなく、その施設を利用しようとする船舶の牽引力に応じて利用可否が判定される。

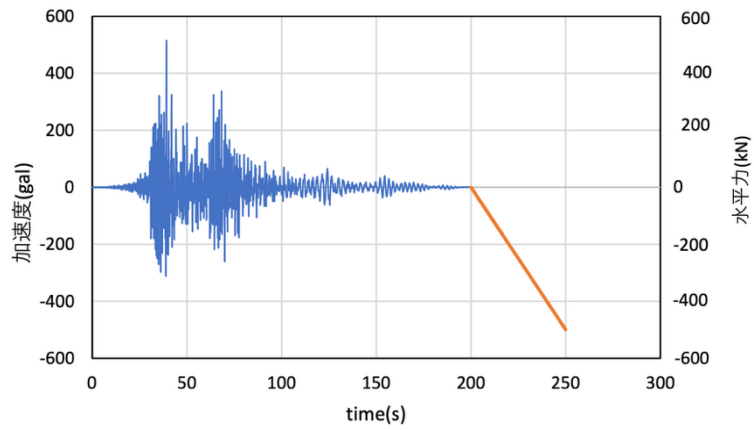
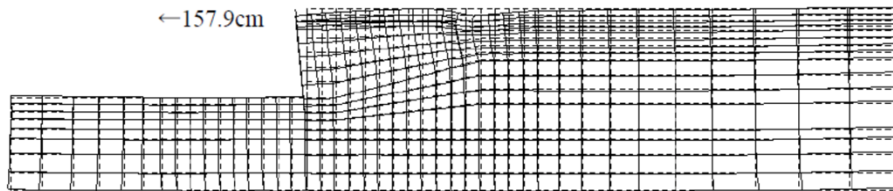
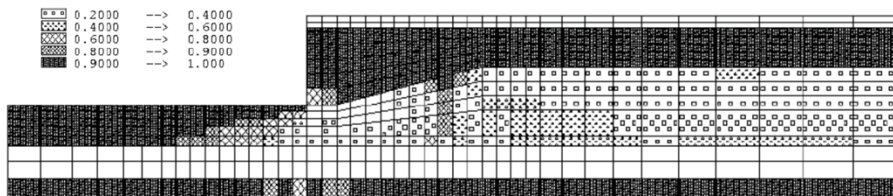


図 D-6 本震の地震動の後に牽引力を漸増载荷させる場合の作用外力の設定例
青線の本震の地震動（左軸）の後に赤線の水平力（右軸）を漸増载荷する例



(a) 変形図



(b) 過剰間隙水圧比分布図

図 D-7 地震応答解析で得られる変形図と過剰間隙水圧比の分布図の例⁴⁶⁾

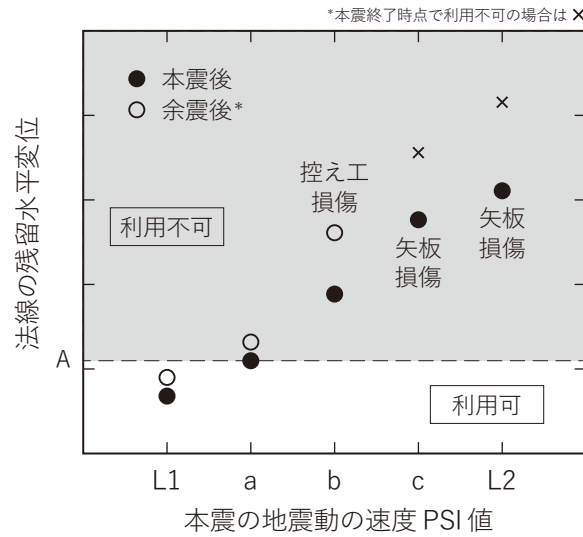


図 D-8 地震応答解析により得られる本震の地震動と残留水平変位との関係図の例

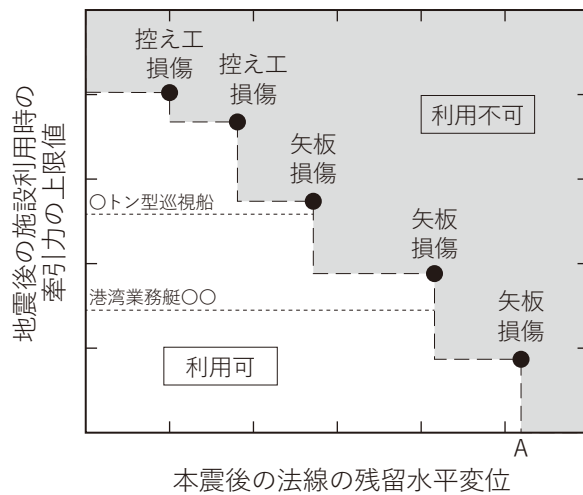


図 D-9 地震応答解析により得られる本震後の残留水平変位と地震後の利用時に載荷することが可能な牽引力の上限値との関係図の例

D.6 棧橋の検討方法

(1) 検討方法の概要

5.4 で述べたとおり、棧橋の地震時の代表的な挙動として、土留部が変位し渡版を介して棧橋を押しことによる変形や、地盤の側方への移動に伴い杭が押されることによる変形が多く見られる。棧橋の被災は杭の変形、損傷に係るものが多く、発災後の現地での調査では直接的な観察、計測が難しい。そのため、地震後の利用に対し構造物が十分な耐力を保有しているか検討するためには、地震応答解析を実施して被災形態、構造物の状態、各部材の状態等を推定する必要がある。

棧橋の場合、発災後の現地での調査において構造物の状態を直接計測できるのは、法線天端の残留水平変位と残留傾斜角である。いずれも地震後の施設の利用の観点からは重要な指標となるが、前述の地

震時の代表的な変形挙動を考慮すると、構造物の状態、各部材の状態との対応が比較的よいのは残留水平変位であると考えられる。従って、法線での残留水平変位を利用可否の判断の指標とし、その計測値から利用可否を判断するための基準値を設定するため、本震の地震動により栈橋に生じる残留水平変位と、栈橋の状態との関係を確認することが事前の数値解析の主な目的となる。

(2) 利用可否の判断基準の設定

(1) で述べたとおり、栈橋においては法線の残留水平変位を利用可否の判断の指標とするのがよいと考えられる。そこで、残留水平変位の計測値から利用可否を判断するための判断基準を設定する。残留水平変位から利用可否を判断するための判断基準は、地震後の施設の利用方法毎に、本震時、余震時、地震後の施設の利用時において必要な性能が担保されるよう、適切に定める必要がある。

判断基準の設定のための確認項目と、本震時、余震時、地震後の施設の利用時に想定される作用の組合せに対して構造物の応答が満たすべき条件の組み合わせの例を表 D-5 に示す。表中の各値は基準・同解説を参考に算定することができる。表に示した確認項目、構造物の応答が満たすべき条件をすべて満足する残留水平変位の上限值を求め、その値を利用可否の判断基準とする。なお、本震および余震の地震動に対する条件は、地震動の継続時間をとおして満たすべき条件であり、残留値のみで判断するものではない点に注意する。

表 D-5 に示した部材毎の条件設定の基本的な考え方は、矢板式係船岸の場合と同様である。詳細は D.5 (2) を参照されたい。

(3) 地震応答解析

矢板式係船岸の場合と同様な方法で実施することができる。詳細は D.5 (3) を参照されたい。栈橋の場合は、地震後の施設利用に伴う作用として、牽引力に加えて接岸力を考慮する必要がある。接岸力は牽引力とは逆の向きに作用することになるが、解析方法は牽引力と同様に考えてよい。

(4) 検討結果の整理

矢板式係船岸の場合と同様な方法で実施することができる。詳細は D.5 (4) を参照されたい。栈橋の場合は、地震後の施設利用に伴う作用として接岸力も考慮するため、残留水平変位と牽引力上限值の関係図に加え、残留水平変位と接岸力の上限值の関係図も作成する。

表 D-5 棧橋について判断基準を設定するための確認項目の例

確認項目	想定される作用の組合せに対して構造物の応答が満たすべき条件		
	本震時	余震時	地震後の施設利用時 (牽引時、接岸時)
杭の損傷	(フェーズ1) 限界曲率以下* (フェーズ2、3) 設計降伏応力度以下	設計降伏応力度以下	設計降伏応力度以下
杭の支持力	(フェーズ1) 作用する軸方向押し込み力、引抜き力が抵抗力の特性値以下 (フェーズ2、3) 軸方向押し込み力、引抜き力に対する抵抗力に関して安全余裕を確保	軸方向押し込み力、引抜き力に対する抵抗力に関して安全余裕を確保	軸方向押し込み力、引抜き力に対する抵抗力に関して安全余裕を確保
上部工の断面破壊†	設計断面耐力以下	設計断面耐力以下	設計断面耐力以下
土留部の変状	土留部の構造形式に応じて表 D-3 または表 D-4 を参照		

* 解析対象の構造断面内のいずれかの杭に、限界曲率を超える点が1ヶ所生じた時点で条件を満たさなくなると判断する。なお、鋼管杭の杭頭部に関しては、一定程度まで限界曲率の超過を許容できる可能性がある⁴⁷⁾ため、必要に応じて研究所等の専門技術者に相談するとよい。

† 上部工の場合、ひび割れ等の損傷の発生・進展に伴って耐力や剛性の低下が生じるが、これを数値解析で正確に予測することは難しい。このため、フェーズ2、3においては応答値が設計断面耐力に対して十分に余裕があることが望ましい。

D.7 留意事項

(1) その他の構造形式

一般的な重力式係船岸、矢板式係船岸、棧橋以外の構造形式の係留施設や、改良等により構造断面が複雑化している施設については、被災事例に関する十分な情報が収集できないことや、地震応答解析の方法（モデル化の方法等）の妥当性の検証、残置物等の影響の考慮方法等に関し高度な技術的判断が必要となるため、本章で述べた検討方法をそのまま適用することはできない。無理に構造形式の「あてはめ」を行うことは避けるべきである。このような構造形式の係留施設について検討を行う際は、研究所等の専門技術者に意見を聞くなどの対応をとることが望ましい。

(2) 大きな余震

気象庁の呼び掛けなどによると、大きな地震が発生した後、1週間程度（特に地震発生後2～3日の間）は、最初の大地震の規模と同程度の地震に注意することが基本とされている²¹⁾。一方で、L2地震動のような大きな地震動を受けた構造物に対し、さらに同規模の地震動が作用することを想定すると、構造物には非常に大きな変形が生じ、部材の性能も大きく低下する可能性が高い。現在の解析技術では、このような状況について解析を行うことは困難であり、従って、施設の利用可否の判断のための事前の数値解析において、このような大きな余震を想定することは現実的ではない。

しかしながら、大きな余震の影響を無視することは大変危険である。対応策として、大きな地震の発生から1週間程度の間は大きな余震が発生することを前提とし、その間の施設利用は必要最小限の範囲に制限することなどが考えられる。

(3) 係船柱、防舷材の耐力

地震後に施設を利用する際、多くの場合は既存の係船柱、防舷材を用いることとなる。そのため、事前の数値解析で得られた上限の牽引力等に関わらず、既存の係船柱、防舷材が対応可能な範囲内の牽引力、接岸力までしか作用させることはできない。検討結果の整理で作成する残留水平変位等と牽引力等との関係図（図 D-5、図 D-9）の中に、これらの数値を記入しておくことよい。

既存の係船柱等で対応できない場合には、仮設の係船柱などで対応することも考えられる。仮設の係船柱等を配置する際は、施設の構造の安定に対する影響に注意し、必要に応じて構造の安定に影響を与えない位置（例えば、重力式係船岸の場合、壁体の背後に想定される主働崩壊範囲よりも陸側の位置）に設置することを検討するとよい。

(4) 地殻変動の影響

地域によっては、地震に伴う大規模な地殻変動が生じ、係留施設付近の地盤沈降、隆起等が起こる場合がある。このような地殻変動が予想される地域においては、事前の数値解析においてその影響を検討しておくことが望ましい。なお、これらの影響の評価には高度な技術的判断を要するため、研究所等の専門技術者の意見を聞き、検討を進める必要がある。

(5) 施設の状態に関する情報提供

数値解析の結果、安全余裕が不足している等の理由により利用不可と判断した場合、実際には利用できる可能性が残されている。後の検討で、利用方法の工夫等による利用を試みる際に参考となるよう、解析の結果とあわせて安全余裕の不足状況に関する情報を示しておくことよい。このとき、施設の現状の判断としてはあくまでも利用不可である点に注意が必要である。また、安全余裕が全く失われているようなケースには、利用を試みることは避けるべきである。なお、利用方法の工夫等による対応の妥当性の検討には高度な技術的判断を要するため、研究所等の専門技術者の意見を聞き、慎重に検討を進める必要がある。

(6) 施設設計との関係

D.1 (1) で述べたとおり、本章で紹介した検討方法では、一般的な施設設計における構造物の照査と同様の手法を用いる。しかしながら、L1 地震動に対して地震応答解析を行うことや、本震後の施設の利用に伴う作用を考慮した解析を行うことなど、検討条件が異なる部分も多い。そのため、本章で紹介した方法による検討結果と、施設設計時の構造物の照査結果が整合しない可能性も想定される。

本章で紹介した検討方法は、地震後の施設の利用可否判断を迅速に行うための基礎資料を作成することを唯一の目的として新たに開発されたものである。一方、施設設計時の構造物の性能照査は、地震動以外の作用を含む様々な作用を対象とし、地盤のばらつき等も考慮しつつ、総合的な判断として適切な照査結果が得られるよう構築されたものである。そのようなことから、本章の方法による検討結果を、施設設計時の構造物の照査と直接的に対比することは適切ではない。施設設計時の構造物の照査は、こ

れまでに十分実績のある照査方法に従って実施されるべきであり、本章の検討は、その照査結果を基に決定された構造断面について、利用可否判断のための追加情報を収集するために行うものである。

施設設計と同時に利用可否判断のための事前の数値解析を行う場合において、本章で紹介した検討方法による検討結果を構造断面決定の参考とすることを妨げるものではないが、施設設計に反映させるためには高度な技術的判断を要するため、研究所等の専門技術者の意見を聞き、慎重に検討を進める必要がある。

参考文献

- 1) 強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災等に資する国土強靱化基本法（平成 25 年法律第 95 号）。
- 2) 港湾法（昭和 25 年法律第 218 号）。
- 3) 港湾の施設の技術上の基準を定める省令（平成 19 年国土交通省令第 15 号）。
- 4) 港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示（平成 19 年国土交通省告示第 395 号）。
- 5) 日本港湾協会編。港湾の施設の技術上の基準・同解説。2018。
- 6) 国土交通省港湾局。港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン。平成 27 年 4 月（令和 5 年 3 月一部変更）。
https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr5_000051.html（港湾施設の維持管理ウェブサイト）
- 7) 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。
- 8) 国土交通省港湾局。<https://www.mlit.go.jp/kowan/kyosin/eq.htm>（港湾地域強震観測ウェブサイト）。
- 9) 国立研究開発法人防災科学技術研究所。<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>（強震観測網ウェブサイト）。
- 10) 宮田正史，菅原法城，野津厚，長坂陽介，小濱英司，大矢陽介，福永勇介，竹信正寛，秋山吉寛。港湾地域強震観測網から得られる速度 PSI 値を用いた港湾単位での係留施設の被害有無の概略判保手法。国土技術政策総合研究所資料，No.1301，2025。
- 11) 淵ノ上篤史，大塚尚志。国内初！強震計観測情報を活用した港湾施設診断システムの開発～地震時初動体制支援の新たな取り組み～。平成 28 年度国土交通省国土技術研究会，イノベーション部門 II，発表番号 1，2016。
- 12) 東北地方整備局道路部，国土技術政策総合研究所道路構造物管理研究室。道路橋の震災時緊急点検・応急調査の手引き（案）。Ver.1.0，2011。
- 13) 日本道路協会。道路トンネル維持管理便覧 本土工編 令和 2 年版。
- 14) 森本悟司，菅野高弘，山本修司，山口高弘，加藤紀章，後藤正典。東京港臨港道路南北線における維持管理計画の検討。沿岸技術研究センター論文集，No.19，pp.5-12，2019。
- 15) 赤倉康寛，小野憲司。大規模災害時の緊急支援船の船型・対応係留施設の分析 一東北地方太平洋沖地震及び平成 28 年熊本地震の例一。国土技術政策総合研究所資料，No.942，2017。
- 16) 高橋宏直，中本隆，吉村藤謙。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。
- 17) 松本さゆり。効率的な航路保全に向けた研究開発～マルチビームデータ処理クラウド（Acoustic IMasing or Survey system：AIMS）の開発～。港湾，Vol.101，No.12，pp.42-43。日本港湾協会，2024。
- 18) 廣瀬大輔，川上司，辰巳大介，宮田正史，川原洋，瀬水幸治。GNSS 鉛直測位による港湾工事における測深作業の効率化～最低水面モデルの作成と海上地盤改良工における実地試験～。国土技術政策総合研究所資料，No.1278，2024。
- 19) 井合進，菅野高弘，野津厚，一井康二，佐藤陽子，小濱英司，深澤清尊。港湾構造物の耐震性能照査型設計体系について。港湾空港技術研究所資料，No.1018，2002。
- 20) 菅野高弘，野末康博，塩崎禎郎，小濱英司。地震による岸壁の被災・復旧工法・耐震補強工法。港湾空港技術研究所資料，No.1145，2006。
- 21) 気象庁。大地震後の地震活動（余震等）について。
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/now/jishin/aftershocks/index_whats_aftershock.html（知識・解説ウェブサイト）
- 22) 国土交通省。<https://dimaps.mlit.go.jp/dimaps/>（統合災害情報システムウェブサイト）。
- 23) 国立研究開発法人防災科学技術研究所。<https://www.sip4d.jp>（SIP4D 情報公開ウェブサイト）。
- 24) 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）。2022。<https://www.pa.qsr.mlit.go.jp/gityou/products/index.html>（業務概要ウェブサイト）。
- 25) 長尾毅，岩田直樹，藤村公宣，森下倫明，佐藤秀政，尾崎竜三。レベル 1 地震動に対する重力式および矢板式係船岸の耐震性能照査用震度の設定手法。国土技術政策総合研究所資料，No.310，2006。
- 26) 長尾毅，尾崎竜三。控え直杭式矢板岸壁のレベル 1 地震動に対する性能規定化に関する研究。地震工学論文集，Vol.28，p.25，土木学会，2005。
- 27) 水産庁。漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査，水産基盤整備調査委託事業，平成 27 年度年次報告書。
https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_thema/sub41.html（水産基盤整備調査事業ウェブサイト）。

- 28) 一井康二, 高橋宏直, 中本隆, 赤倉康寛. 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.
- 29) 日本港湾協会編. 港湾の施設の技術上の基準・同解説. 2007.
- 30) 日本港湾協会編. 港湾の施設の技術上の基準・同解説. 1999.
- 31) 上部達生. 地震被災事例に基づく重力式および矢板式係船岸の被災変形量と被災額の推定. 港湾技研資料, No. 473, 1983.
- 32) 小泉哲也, 山本修司, 竹地晃一郎, 門脇陽治. 被災した係留施設の残存耐力の評価手法の開発. 港湾技研資料, No. 912, 1998.
- 33) 東北地方整備局仙台港湾空港技術調査事務所. 地震・津波被災調査実施要領. 平成 26 年 3 月.
<https://www.pa.thr.mlit.go.jp/sendagicho/070/010/20200101021000.html> (技術提供ウェブサイト).
- 34) 国土交通省港湾局. 臨海部防災拠点マニュアル 改訂版. 2016.
https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_fr7_000042.html (臨海部防災拠点マニュアル改訂検討委員会ウェブサイト).
- 35) 国土交通省港湾局. 令和 6 年能登半島地震港湾法第 55 条の 3 の 3 に基づき国が港湾施設の一部を管理する港湾への入港実績. 2024 年 3 月 1 日. https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_mn7_000024.html (港湾局令和 6 年能登半島地震関係ウェブサイト).
- 36) 国土交通省港湾局. 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. 交通政策審議会 港湾分科会 防災部会, 第 1 回, 資料 2, 2024 年 3 月 29 日.
https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s303_kouwanbousai01.html (防災部会ウェブサイト).
- 37) 海上自衛隊 自衛艦隊. 令和 6 年能登半島地震に係る支援について. ニュース (2024 年 1 月 19 日更新).
<https://www.mod.go.jp/msdf/sf/news/2024/01/0119-2.html> (自衛艦隊ニュースページ).
- 38) 熊本県. <https://www.kumamoto-archive.jp> (熊本災害デジタルアーカイブウェブサイト).
- 39) 国土交通省港湾局. 平成 28 年熊本地震に係る港湾の対応状況について. 交通政策審議会 港湾分科会, 第 63 回, 資料 1, 2016 年 4 月 25 日. https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s302_kouwan01.html (港湾分科会ウェブサイト).
- 40) 海上自衛隊. <https://www.mod.go.jp/msdf/operation/disaster/> (海上自衛隊の活動, 災害派遣ウェブサイト).
- 41) 海上自衛隊. <https://www.mod.go.jp/msdf/equipment/> (海上自衛隊装備品ウェブサイト).
- 42) 第六管区海上保安本部. https://www.kaiho.mlit.go.jp/06kanku/photo_ship/new6ship/index.html (第六管区の船艇・航空機画像ページ).
- 43) 第七管区海上保安本部. <https://www.kaiho.mlit.go.jp/07kanku/aboutus/aircraft.html> (第七管区海上保安本部について, 船艇・航空機ウェブサイト).
- 44) 第八管区海上保安本部. <https://www.kaiho.mlit.go.jp/08kanku/vessel/echizen.html> (第八管区の船艇・航空機ウェブサイト).
- 45) 海上保安庁. 海上保安庁レポート 2025. <https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/books/report2025/html/top.html> (海上保安庁レポート 2025 ウェブサイト).
- 46) FLIP 研究会 14 年間の検討成果, 事例編. https://www.flip.or.jp/ja/flip_download.html (一般社団法人 FLIP コンソーシアム, FLIP 検討資料のダウンロードページ)
- 47) 荒木達斗, 松村聡, 水谷崇亮, 塩崎禎郎, 野津厚, 大矢陽介, 嘉数浩靖, 小濱英司, 川端雄一郎, 國里立紀, 村田誠. 栈橋支持杭のレベル 2 地震動に対する性能規定の提案. 港湾空港技術研究所資料, No. 1429, 2025.