



大地震後の係留施設の利用可否判断と取組

(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
小濱英司





能登半島地震における係留施設の被害と 利用可否判断

現地調査（TEC-FORCE）



港湾法第55条の3の3の規定に基づき、能登半島内の港湾施設（七尾港，輪島港，飯田港，小木港，宇出津港，穴水港の計6港）の国による管理代行が地震発生翌日の1月2日に開始。TEC-FORCE（国総研、港空研、本省、整備局）が構成されて現地調査実施。

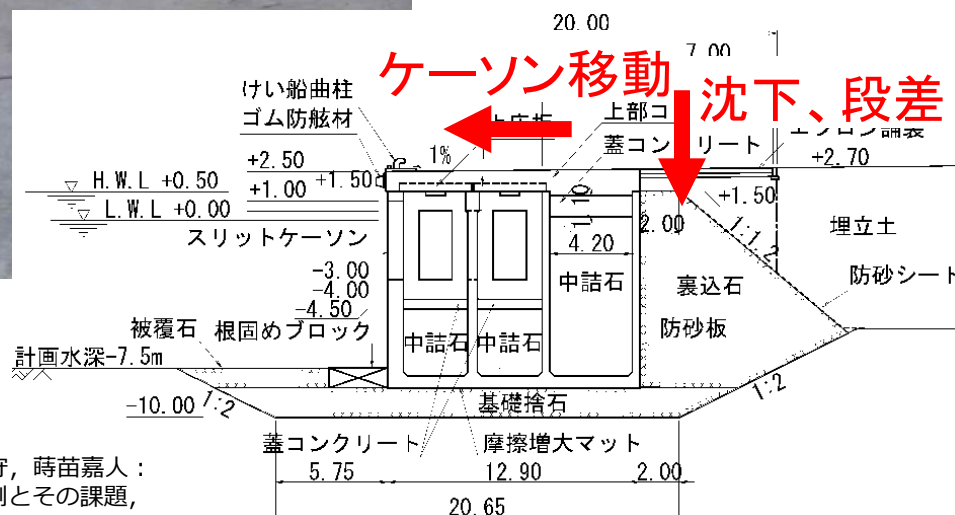
	調査日	場所	調査班
七尾港	2024/1/3	矢田新栈橋（耐震強化）	国総研1、北陸地整4
	2024/1/5	矢田新地区（-9m岸壁等）	国総研1、港空研1、本省2、北陸地整2、中部地整2
	2024/1/6	寿町地区、府中地区、万行地区	国総研1、港空研2、北陸地整1
	2024/1/8	大田地区、矢田新地区	国総研1、港空研2、北陸地整2、近畿地整3
	2024/1/9	能登島、三室地区、鹿渡島地区	港空研2、北陸地整1、中部地整2
輪島港	2024/1/2	-7.5m岸壁	石川県が調査し、調査結果に対して研究所がコメント
	2024/1/3	-7.5m岸壁	国総研1、北陸地整4（夜間のため翌日再調査）
	2024/1/4	-7.5m岸壁	北陸地整4
	2024/1/9	その他	港空研3、本省2、北陸地整2
	2024/1/10	-7.5m岸壁	北陸地整4
飯田港	2024/1/3	飯田地区	港空研1、本省2、北陸地整3
	2024/1/10	その他	港空研3、本省1、北陸地整1
小木港	2024/1/5	九十九湾地区、本小木地区、小木地区	北陸地整3が調査し、調査結果に対して研究所がコメント
	2024/1/8	九十九湾地区、本小木地区	港空研3、本省1、北陸地整1
	2024/1/10	全て	北陸地整3（1/9震度4再調査）
宇出津港	2024/1/3	全て	北陸地整4が調査し、調査結果に対して研究所がコメント
	2024/1/10	全て	本省1、北陸地整1、中部地整2（1/9震度4再調査）
穴水港	2024/1/6	全て	港空研3、本省1、北陸地整2、近畿地整3
	2024/1/12	内浦地区	北陸地整1、関東地整4
金沢港	2024/1/4	無量寺岸壁、御供田岸壁、戸水岸壁、大浜岸壁	国総研1、港空研1、本省2、北陸地整1、中部地整2
福浦港	2024/1/11	全て	港空研2、本省1、北陸地整1
滝港	2024/1/11	全て	本省1、北陸地整1、中部地整2
和倉港	2024/1/4-5	全て（七尾市管理）	北陸地整4
班ノ浦港	2024/1/5	全て（七尾市管理）	北陸地整4



輪島港マリンタウン岸壁（-7.5m, スリットケーソン式）



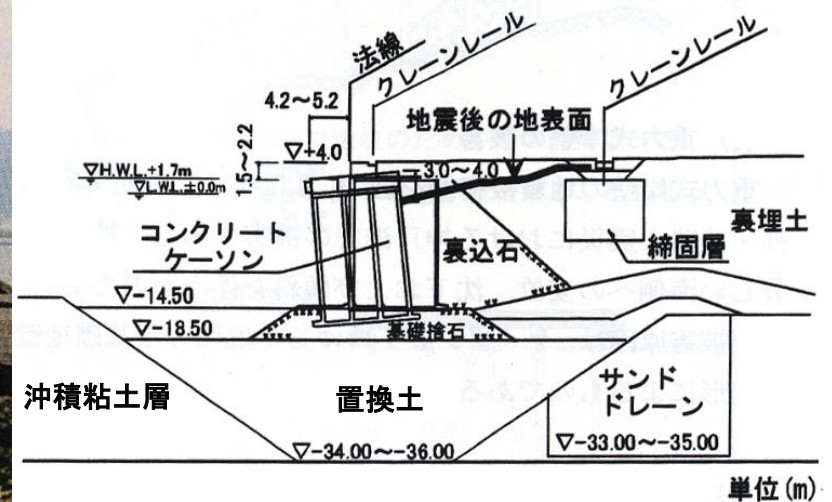
ケーソン背後に最大2m程度の段差、ケーソンの水平変位も同程度と想定
堤体に大きな傾斜無し



竹信正寛, 宮田正史, 野津厚, 大矢陽介, 小濱英司, 石野芳夫, 志賀守, 時苗嘉人:
令和6年能登半島地震の発災直後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, 2024, 80巻, 18号.

ケーソン式岸壁の被害

神戸港ポートアイランド、1995年兵庫県南部地震



稲富ら（1997）：1995 年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告, 港湾技研資料No.857

輪島港マリンタウン岸壁 (-7.5m, スリットケーソン式)



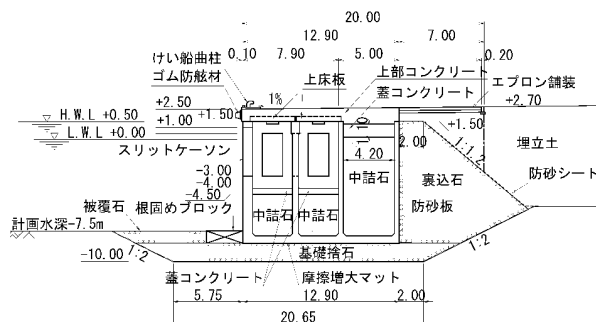
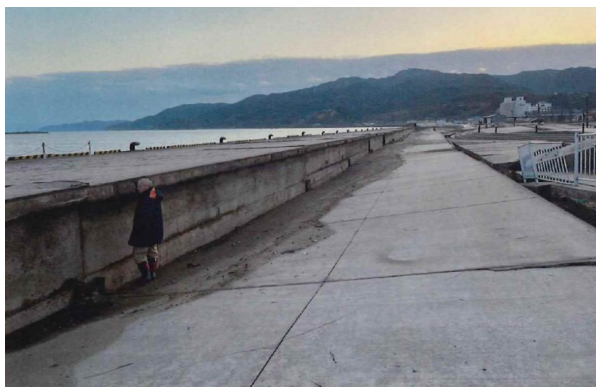
- ケーソンの傾斜が大きい
- 過去のケーソン式岸壁の被災事例においてケーソン堤体そのものの破壊が問題となった事例は報告されていない



耐震強化バースではないが、岸壁構造の安定性は保たれていると判断し、沈下部に砕石を敷設して応急復旧実施

地震発生3日後の1月4日には船舶が接岸し緊急物資輸送に利用

⇒地震後の暫定供用におけるケーソン式岸壁の優位性



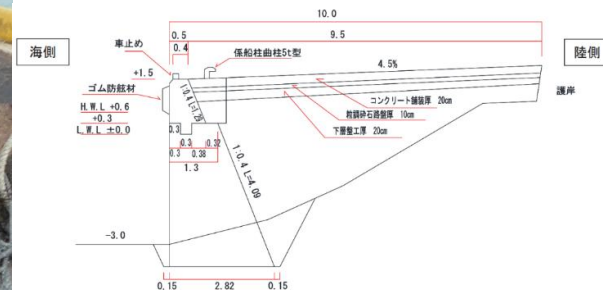
竹信ら：令和6年能登半島地震の発災直後に おける係留施設の利用可否判断事例とその課題，土木学会論文集，2024，80巻，18号．

他の重力式岸壁の被害



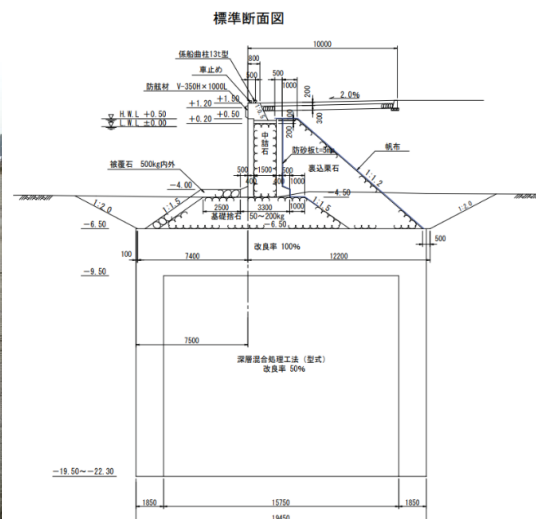
輪島港1号物揚場
(-3.0m コンクリート塊)

堤体が大きく傾斜
(23.3度)



穴水港川島物揚場
(-4.0m セルラーブロック式)

変位が大きく、上部工が
大きく海側に傾斜



壁体幅が狭く大きく傾斜している場合には転倒の恐れがあり、暫定供用が難しい



多くの地域で地震後に国土地理院基準点の成果の公表が停止された ⇒測量実施が不可能に

令和6年能登半島地震に伴う基準点成果の公表停止について

お知らせ

「令和6年能登半島地震」により大きな地殻変動が確認された地域では位置の基準（国家座標）である基準点（電子基準点、三角点、水準点）の経緯度や標高の値が大きく変化しており、地震発生前の測量成果を使用して測量を行った場合、正確な測量成果を得ることができない可能性があります。このため、国土地理院では該当する基準点の測量成果の公表を停止しております。

当該地域及びその周辺で公共測量を現在実施中又は今後実施予定の場合、[北陸地方測量部又は関東地方測量部](#)にご相談ください。

また、測量成果の公表を停止した基準点の今後の措置等は、随時本ページに掲載していきます。

- 測量成果の公表停止（2024年1月5日）

測量成果の公表停止（2024年1月5日）

電子基準点

当該地域及びその周辺に位置する電子基準点の測量成果の公表を停止しました。

測量成果の公表を停止した点は、以下の60点です。

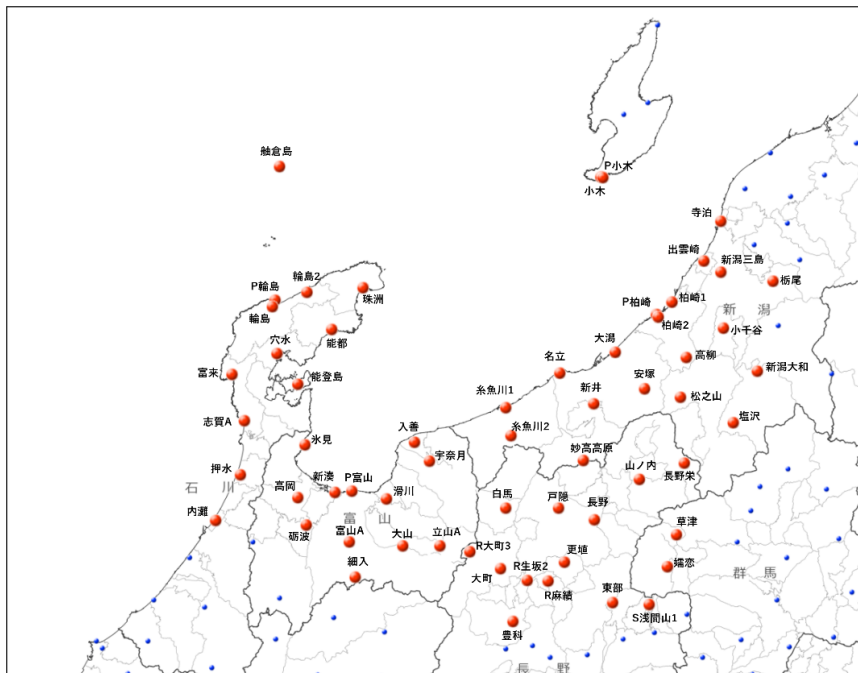
[詳しいリストについてはこちら](#)をご覧ください。

<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/R6-notopeninsula-earthquake-seika.html>

国土地理院基準点成果の公表停止

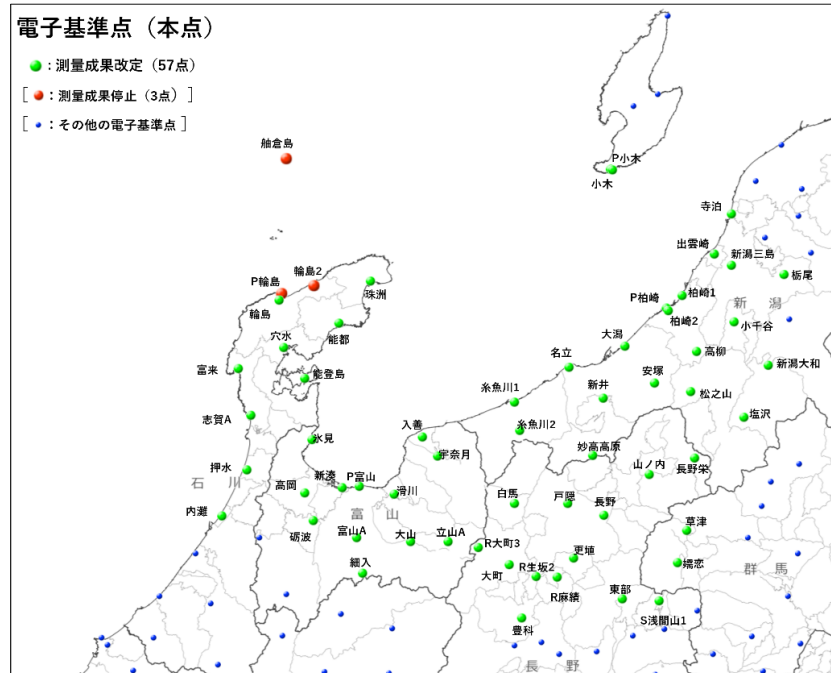


地震後の電子基準点の測量成果の公表停止 (60点)



電子基準点（本点）57点の測量成果の改定・公表（2024年2月7日）

2024年2月7日



<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/R6-notopeninsula-earthquake-seika.html>

多くの電子基準点（57点）再開に1か月程度

一か月後でもまだ再開されていない電子基準点（3点）もある

⇒多くの地域で1か月程度GNSSでの正確な測量できなかった。

七尾港矢田新第1ふ頭西側岸壁 (-7.5m 耐震)



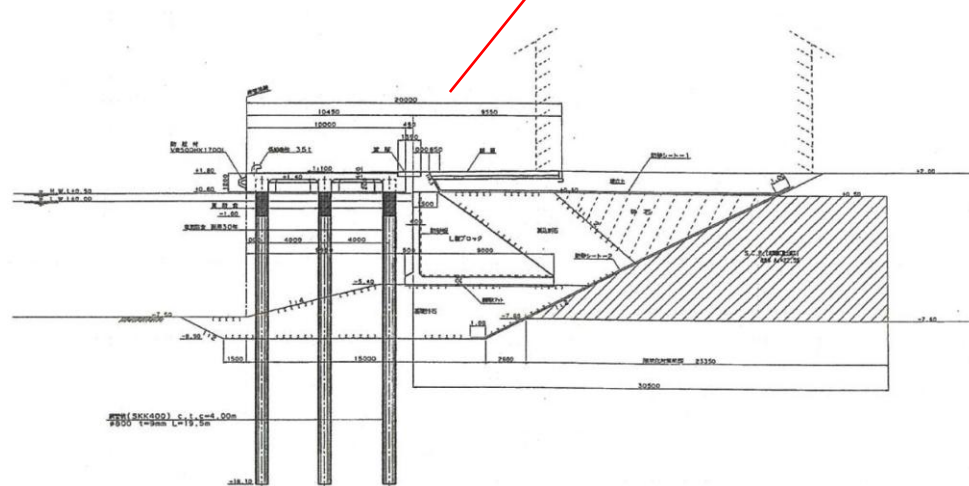
法線の出入りはあまり見られない

一方、渡版部に20cm程度の段差があり、さらに背後の地盤に複数のクラックもある

⇒ 桟橋が全く動いていないわけではない

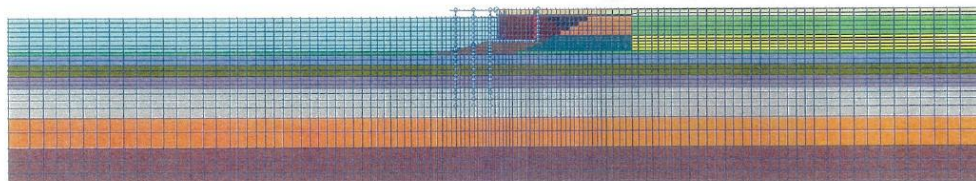
⇒ クラック幅の合計は20cm程度で、桟橋も同程度変位している可能性

(1/3調査時点)



竹信正寛, 宮田正史, 野津厚, 大矢陽介, 小濱英司, 石野芳夫, 志賀守, 蒔苗嘉人: 令和6年能登半島地震の発災直後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, 2024, 80巻, 18号.

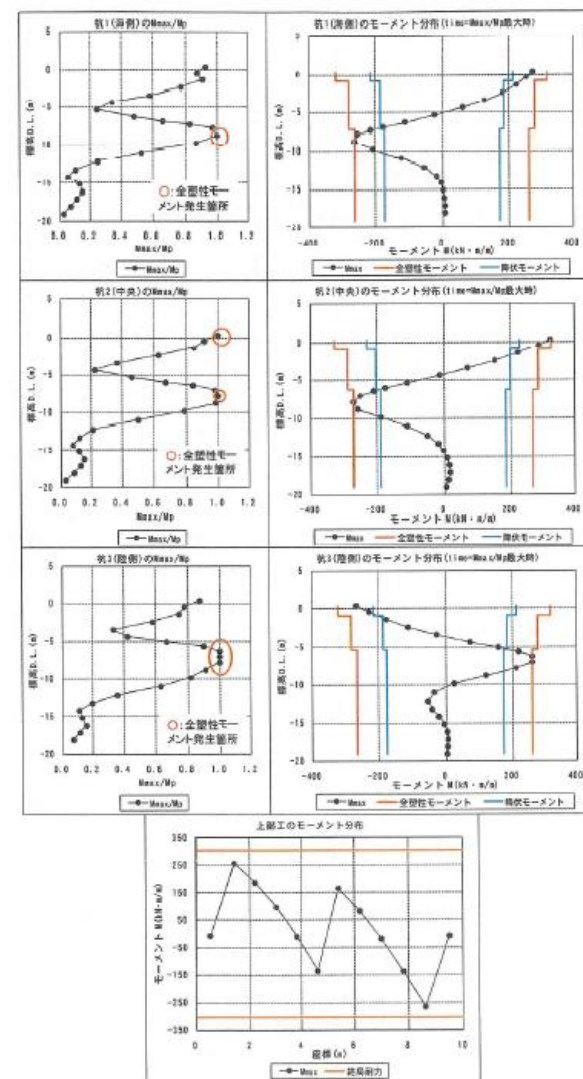
七尾港矢田新第1ふ頭西側岸壁 (-7.5m 耐震)



過年度に実施されたFLIPによる耐震性能照査の結果があった

M6.5直下地震による地震動（法線直交成分）を入力したケースにおいて、残留水平変位7cm（栈橋上部工）、13cm（L型ブロック天端）

⇒栈橋上部工に20cm程度の水平変位が生じているとすれば、杭に局部座屈が生じている可能性
⇒栈橋上に重量物を載せることは不可と判断（1/3時点）



七尾港矢田新第1ふ頭西側岸壁 (-7.5m 耐震)

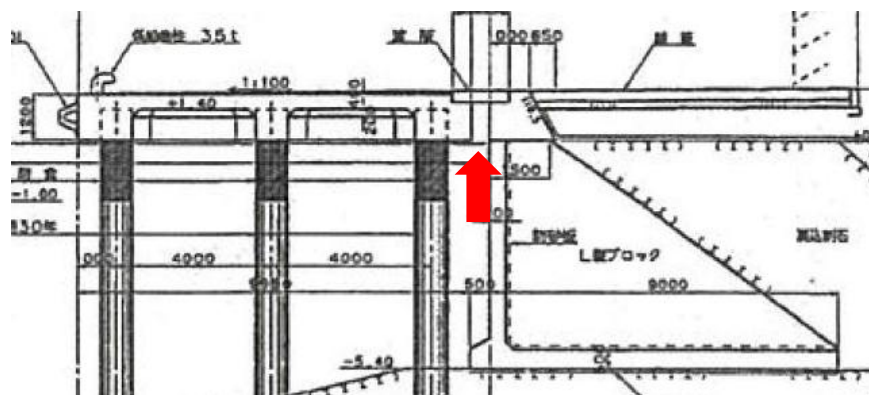


1/3午後に供用可否判断の報告
⇒夕方に巡視船のと接岸（給水支援）



(海上保安庁のXより)

七尾港矢田新第1ふ頭西側岸壁 (-7.5m 耐震)



その後の調査 (1/25) で、土留めL型ブロック上部工 (上部工とL型ブロックの接合部) が割れていることを確認

栈橋上部工とL型ブロックの間隔が10cm程度縮まっていることを確認



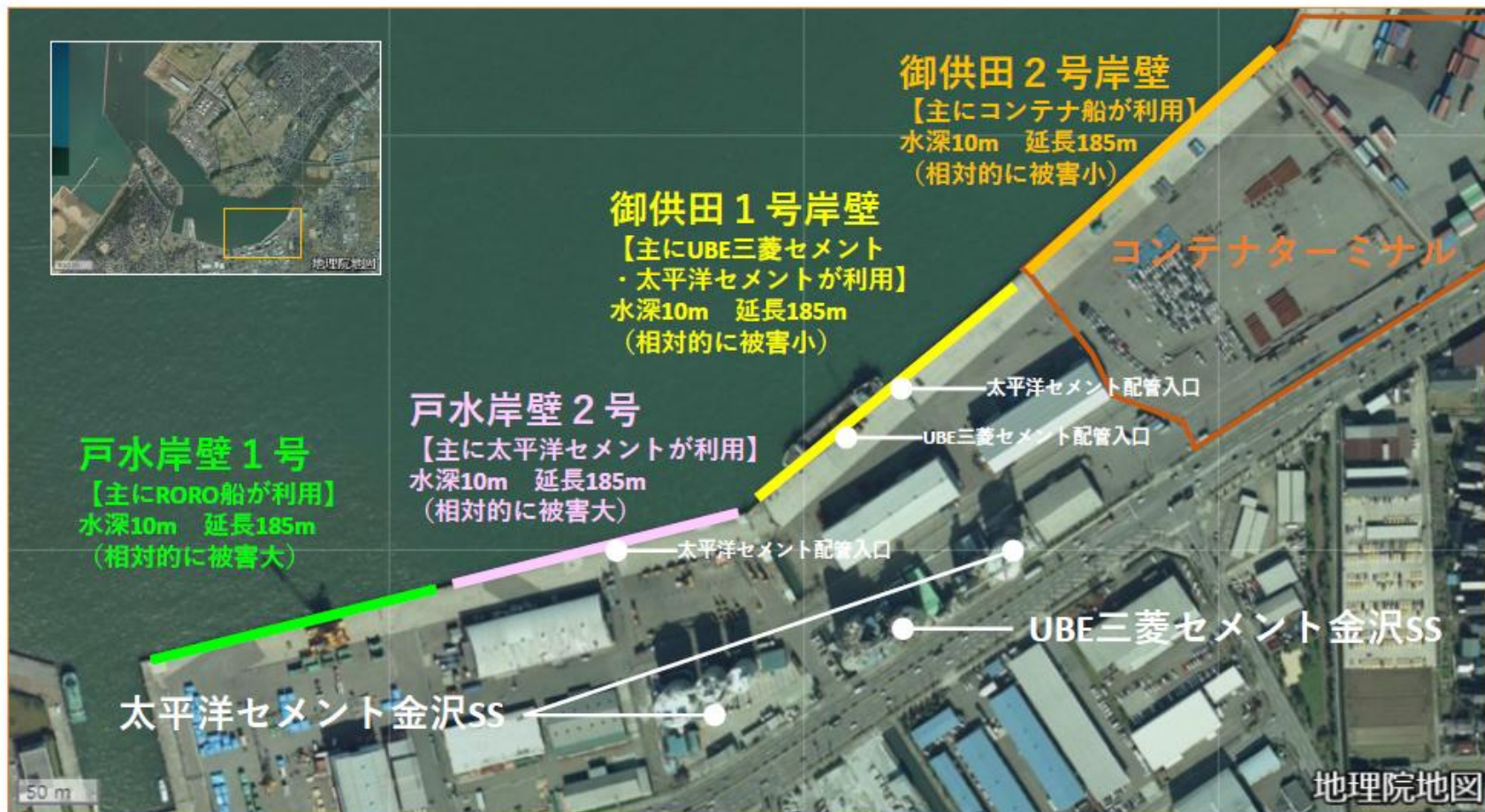
⇒L型ブロックは20cm程度、栈橋上部工は10cm程度変位したと想定される

⇒杭に局部座屈が生じている可能性の評価は変更無し

金沢港御供田 1 号岸壁 (-10m)



金沢港 戸水岸壁・御供田岸壁の利用形態



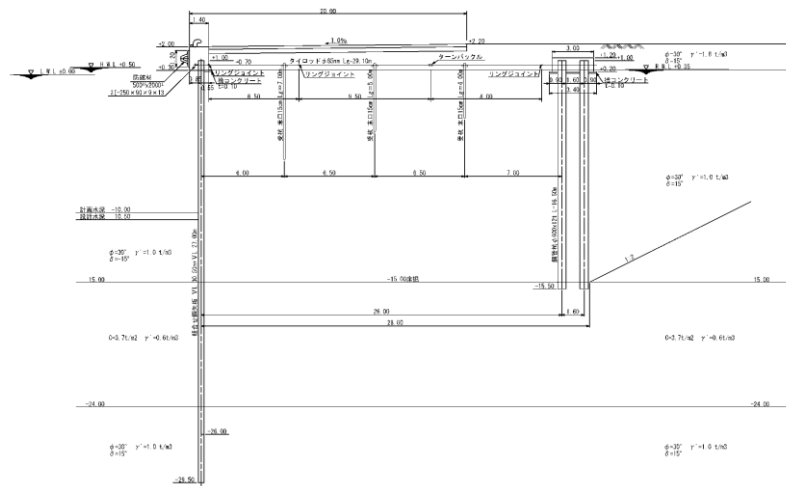
金沢港御供田 1 号岸壁 (-10m)



控え杭背後に30cm程度の法線平行方向のクラック、沈下を確認（1/4調査時）

⇒変位量は不明であるが矢板が海側へ変位している可能性が大きい

⇒過去の研究成果より、矢板壁が降伏している可能性があると判断

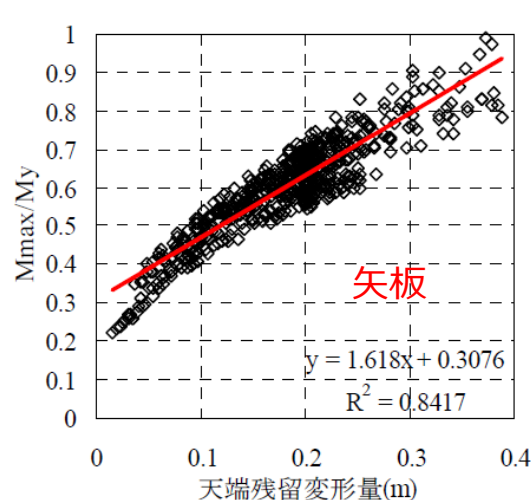


矢板式岸壁の被災モードに関する過去の知見

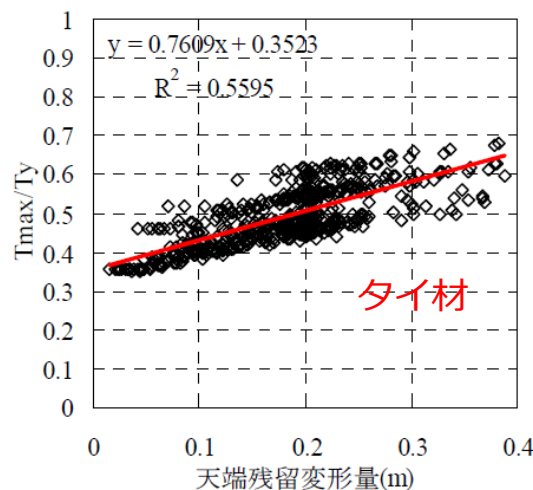


控え直杭式矢板式岸壁を対象とした多数のFLIP解析により、天端残留水平変位と断面力（矢板本体，タイ材，控え直杭）の関係を求めた（長尾・尾崎、2005）

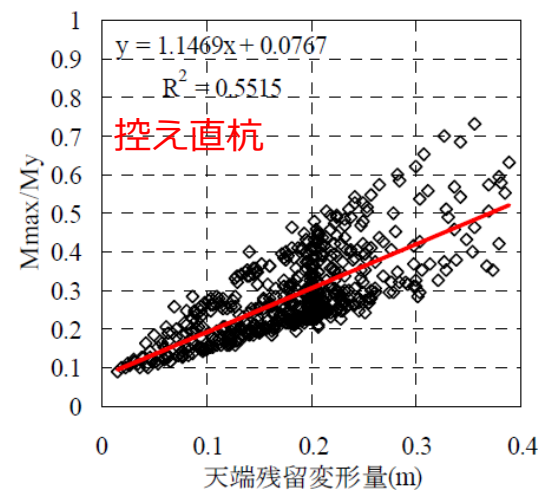
天端残留水平変位の増加とともに断面力は増え，天端残留水平変位が約35cmとなったときに矢板本体の作用耐力比が1を上回るケースがある



i) 矢板



ii) タイ材



iii) 控え直杭

2) 水深-11m

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，2005。

金沢港御供田 1 号岸壁 (-10m)



その後の測量（石川県実施）により、矢板天端変位量が30～40cmであることを確認（1/14時点）

（金沢港の地域では国土地理院基準点成果公表は停止されておらず、測量が実施できた）



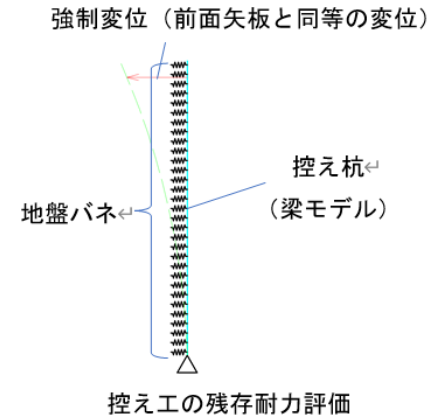
フレーム計算による控え工耐力の検討（解析担当コンサルタント実施）



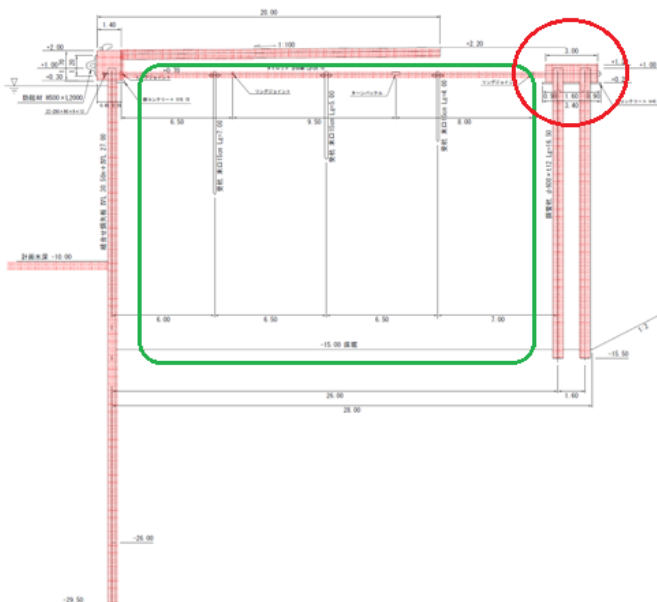
測量で確認された39.5cmの強制変位を控え杭に作用させて評価

⇒フレームモデルでは控え杭が限界曲率を超え、船舶けん引力に対してさらに変形が進む可能性

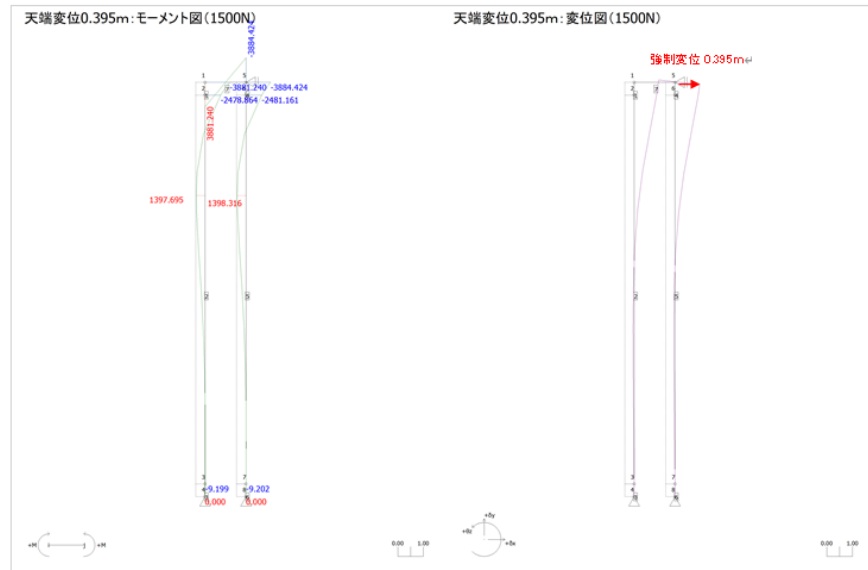
控え前面地盤が全く変位しないとしているから？



③標準断面図

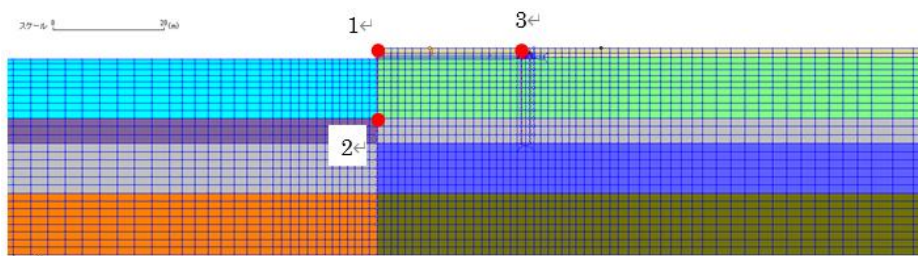


バネ値 1500N/m

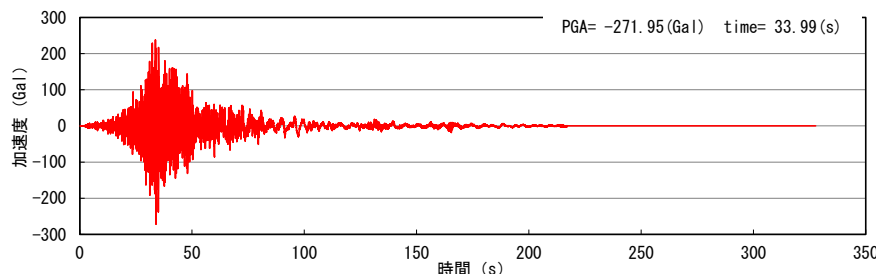


骨組解析結果（控え杭：1500N）

FLIPによる検討（解析担当コンサルタント実施）



能登半島地震の金沢港での強震記録を
工学的基盤に引き戻した波形を入力



変位量計算値が実測値にほぼ整合する
ことを確認

Node No.	出力位置	地震後						地震後＋牽引力		位置
		残留変位 (cm)		最大変位 (cm)		最大加速度 (GAL)		残留変位 (cm)		
		水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	
1354	矢板天端	-41.34	0.22	-43.30	0.34	366.6	41.5	-42.93	0.22	1
3410	矢板(海底面位置)	-13.62	0.22	-13.75	0.34	157.9	42.7	-13.69	0.22	2
3452	控杭位置	-39.35	-2.63	-41.06	-2.71	145.8	60.1	-40.59	-2.67	3

現地実測値

・矢板天端: 39.5cm

・海底面位置 27.5cm

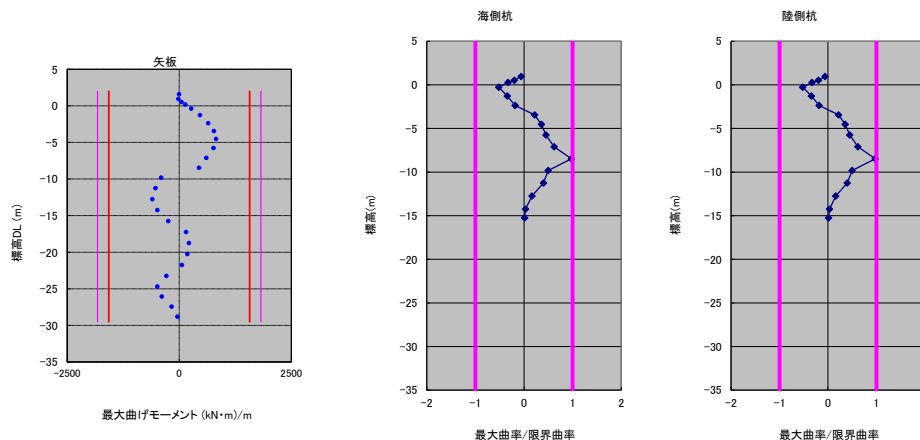
柴田ら：令和6年能登半島地震で被災した矢板式岸壁の暫定供用に向けた残存耐力評価事例、地震工学研究発表会、2024

FLIPによる検討（解析担当コンサルタント実施）

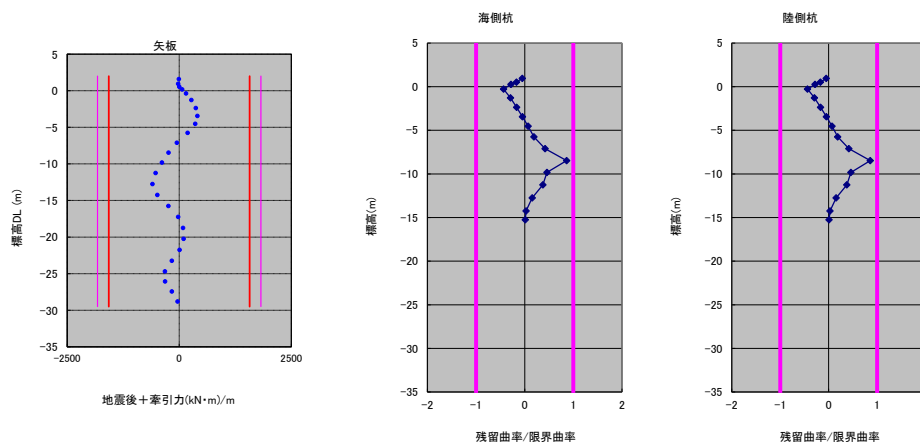


鋼矢板とタイ材は弾性範囲内、控え杭は弾性範囲内ではないが限界曲率には至っておらず、
暫定供用可能と判断（仮係船直柱を置く等の対応必要）（1/26時点）

加振時最大値



加振後牽引時

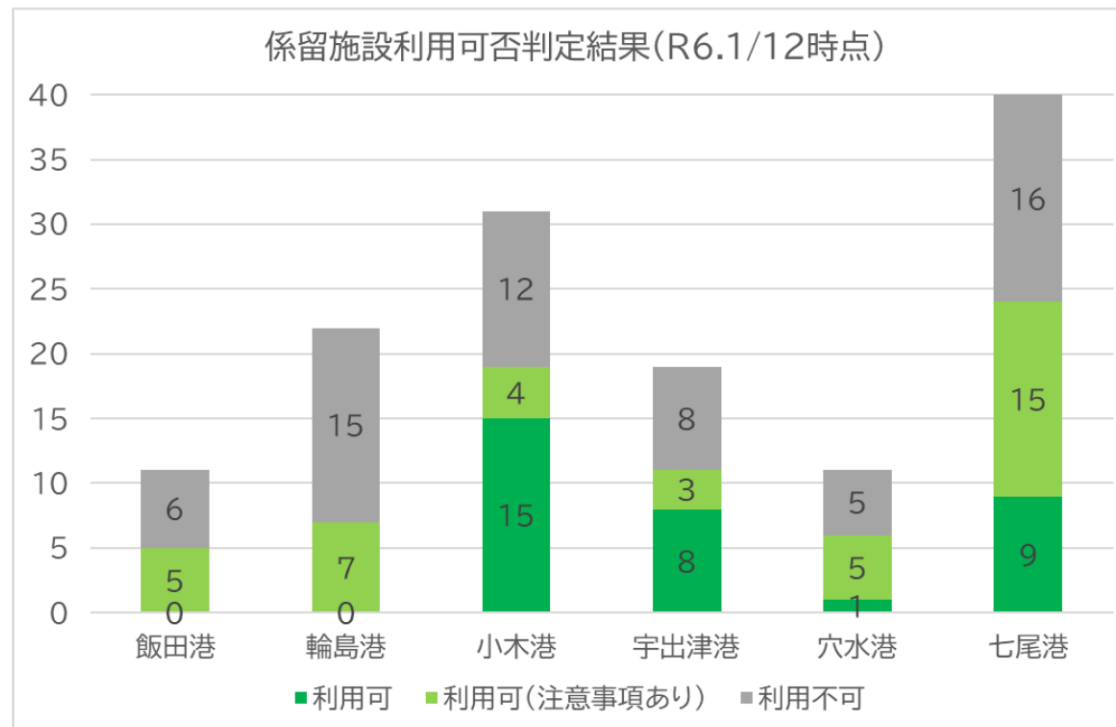


柴田ら：令和6年能登半島地震で被災した矢板式岸壁の暫定供用に向けた残存耐力評価事例、地震工学研究発表会、2024

現地調査 利用可否判断



1月12日までに現地調査、管理代行港湾全6港130施設について利用可否判断を完了。
(石川県から依頼の金沢港4施設も調査、利用可否判断実施(1/4))



※同一施設でも一部利用可(又は不可)等のケースがあるため箇所数として整理した

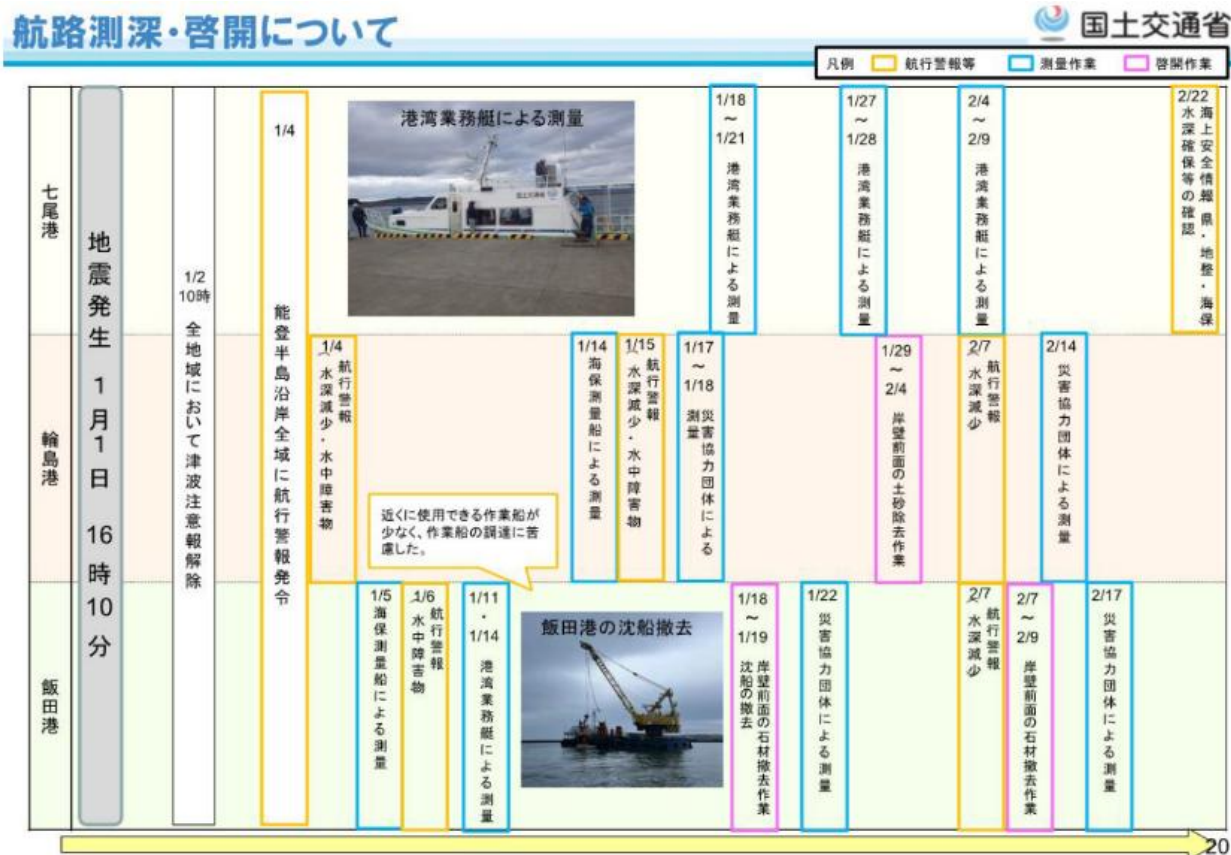
※本情報は 1/12 時点情報で、利用可否判定後の応急復旧等により利用可等になったケースもある。

航路測深・啓開



海底隆起や津波による海域への流出物の懸念から海上保安庁より包括的航行警報（1月4日）、港湾毎の航行警報発出（1月4日輪島港、1月6日飯田港等）。

よって、陸上の現地調査の他に航路泊地の水深確認のための航路測深が海上保安庁測量船や北陸地方整備局、災害協定団体より実施。沈船や岸壁前面土砂・石材等撤去の航路啓開作業も実施。



出典:交通政策審議会 港湾分科会 防災部会(資料2, R6.3.29)

Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所/National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

地震直後の港湾利用実績（地震直後の港湾利用の二ーズ）



令和6年1月5日17時00分時点

地震の2日後から給水支援で入港

1/3～3/1で、海上自衛隊、海上保安庁、防衛省、九州地整、民間支援団体の延べ142隻の支援船舶が入港

水、保存食、燃料等の災害支援物資ほか、インフラ復旧用資材、仮設住宅用資材なども輸送

⇒津波警報解除直後から、素早い現地調査、供用可否判断の対応が必要

1. 七尾港

岸壁名	位置 ※2	日付	船舶所有者	船舶名	活動内容	備考
大田3号岸壁	⑤	1/4（木）～ 1/4（木）	海上保安庁	巡視船ざおう	災害支援物資の運搬	離岸済み
矢田新さん橋（第一西）	⑦	1/3（水）～ 1/5（金）	海上保安庁	巡視船のと	給水支援	離岸済み
矢田新さん橋（第一西）	⑦	1/5（金）～ 1/5（金）	九州地方整備局	海翔丸	災害支援物資の運搬	離岸済み
矢田新さん橋（第一西）	⑦	1/5（金）～ 係留中	海上保安庁	巡視船だいせん	災害支援物資の運搬 給水支援	

2. 輪島港

岸壁名	位置 ※2	日付	船舶所有者	船舶名	活動内容	備考
マリントウン岸壁	①	1/4（木）～ 1/5（金）	海上保安庁	巡視船さど	給水支援	離岸済み

3. 飯田港

岸壁名	位置 ※2	日付	船舶所有者	船舶名	活動内容	備考
-4.5m岸壁	②	1/5（金）～ 係留中	ピース・ウィンズ・ジャパン（民間）	豊島丸	災害支援物資の運搬	

災害支援船による被災地支援



1/3巡視船「のと」による給水支援活動(七尾港)
出典:海上保安庁X(旧Twitter)投稿



1/10 民間支援船(フェリー栗国)による災害支援物資輸送(輪島港)



1/10 民間支援船(豊島丸)による災害支援物資輸送(飯田港)

港湾	施設	水深	延長	1/3 (水)	1/4 (木)	1/5 (金)	1/6 (土)	1/7 (日)	1/8 (月)	1/9 (火)	1/10 (水)	1/11 (木)	1/12 (金)	1/13 (土)	1/14 (日)	
輪島港	マリンタウン 【実質 -5.5m】	200m					巡視船さと (海上保安庁)			多用途支援艦 ひうち (海上自衛隊)	フェリー栗国 (日本財団)		ひうち			
													巡視船かがゆき (海保)			新丸
飯田港	-4.5m 【実質 -3.5m】	300m				豊島丸 (ピースウィンズ・ Japan)			豊島丸			豊島丸	フェリー栗国			フェ
七尾港	矢田新 (第二東)	-9m	165m					豊島丸	高橋丸 (九州地方 整備局)			豊島丸	さだ	巡視船みうら (海上保安庁)	でじま	やひこ は船主と 船客
	矢田新 (第一西)	-7.5m	220m		巡視船のと (海上保安庁)	高橋丸 巡視船だい せん (海上保 安庁)	巡視船のと	巡視船ざおう (海上保安庁)	巡視船 でじま (海上保安 庁)	さと	巡視船 でじま (海上保安 庁)	さと	でじま	ナッキャンRorid (防衛省)		
	大田3号	-11m	260m		ざ お う										豊島丸 (海ソーサリス ト)	
									護衛艦せんだい (海上自衛隊)							

120

支援船の利用調整状況(パースウィンドウ)

北陸地方整備局HP: 発生から6か月の取り組みのとりまとめ, R6.6.28. <https://www.hrr.mlit.go.jp/press/2024/6/240628honkyoku1.pdf>

災害支援船による被災地支援



<民間船舶による海上輸送事例>

①（公財）日本財団による、和幸船舶（株）のRORO船「フェリー栗国」を活用した物資輸送

輪島港（1/10,17,18,2/7）、珠洲飯田港（1/11,14,19）に入港。

発電機や灯油、軽油、シャワールーム等の支援物資を輪島市及び珠洲市に輸送



輪島港に支援物資を積み下ろす（1/10）飯田港に支援物資を積み降ろす（1/14）珠洲市に設置された水道橋式シャワー室及び手洗い場（1/14）

②コーウン・マリン（株）（荷主（東ソー（株））、オペ（東ソー物流（株）））の「東駿丸」を活用した物資輸送

七尾港（1/12）に入港。

水や保存食等の支援物資を七尾市に輸送。



七尾港への着岸の様子

積み下ろしの様子

③（株）田中建材による、新川内航海運（協）の「第十二神徳丸」を活用した物資輸送

珠洲飯田港（1/31～）に入港。

道路用資材・仮設住宅資材を輸送。



第十二神徳丸



出典(国交省HP):令和6年のと半島地震における被害と対応(令和6年10月)https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_240101.html

国土交通省：港湾施設の利用可否判断に係るガイドライン

参考資料 令和6年能登半島地震の際の利用可否判断等の状況



https://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000378.html

https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk5_000018.html

The screenshot displays the MLIT website interface. The main content area shows the title '港湾施設の利用可否判断に係るガイドライン' (Guidelines for the Use/Non-use of Port Facilities) and a sub-section '参考資料' (Reference Materials). Below this, it mentions '令和6年能登半島地震の際の利用可否判断等の状況' (Status of Use/Non-use Judgment during the 2024 Noto Peninsula Earthquake). To the right, a table of contents is visible, listing chapters from 1 to 6, including '現地調査および利用可否判断の全体概要' (Overall Overview of On-site Investigation and Use/Non-use Judgment) and '通信関係および各種情報共有について' (Regarding Communication and Information Sharing).

目次	
第1章 現地調査および利用可否判断の全体概要	1
第2章 現地調査体制	4
2.1 現地事務所を中心とした調査体制の概要	4
2.2 研究所・港湾局内における現地調査へのサポート体制	4
第3章 現地調査に用いた機材類	6
第4章 現地調査および利用可否判断の実態	7
4.1 利用可否判断の更迭要請時における状況（当日午前10:30前ごろ）	7
4.2 現地調査の手法（11:15～12:00前）	7
4.3 最初の報告とFLIP結果の存在の判明（当日12:00前後）	11
4.4 利用可否判断メモの作成（当日12:00前後～14:00ごろ）	11
4.5 利用可否判断結果の扱い	12
第5章 通信関係および各種情報共有について	13
第6章 その他の現地調査・利用可否判断の代表例	14
6.1 輪島港マリンタウン岸壁	14
6.2 金沢港御供田1号岸壁	17
参考文献	20

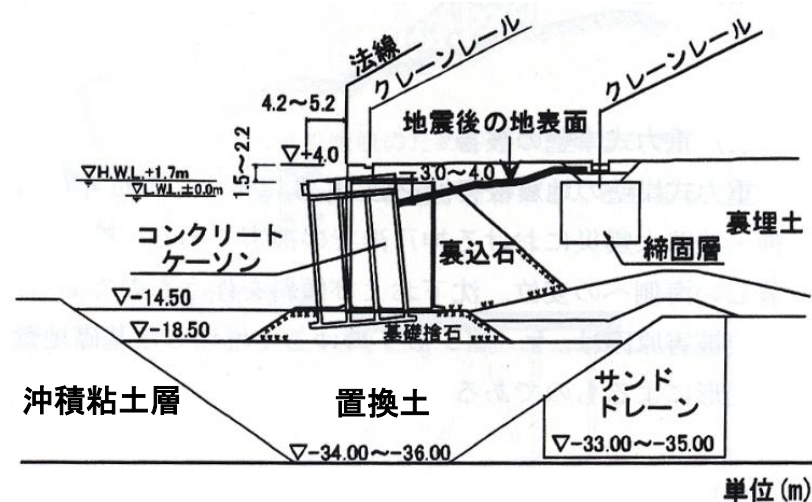


係留施設の地震被害の特徴

重力式（ケーソン式）岸壁の被害



- 基礎地盤が変形し、堤体に海側への水平変位と傾斜、沈下が生じる。
- 堤体背後の地盤との間に段差。水平変位が大きいほど背後の段差も大きい傾向。
- 堤体構造（ケーソン）そのものの破壊が問題となった事例報告は無い。
 - 堤体傾斜が大きくなければ安定していることが多い。



神戸港ポートアイランド、1995年兵庫県南部地震

稲富ら（1997）：1995年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告，港湾技研資料No.857

重力式（ケーソン式）岸壁の被害



利用可否判断の観点

- 堤体傾斜が大きくなければ安定していることが多く、大きな法線凹凸等が無ければ、背後段差を埋める等により暫定供用できることが多い。



茨城港常陸那珂工区北ふ頭-14m、-12m岸壁
2011年東北地方太平洋沖地震



輪島港マリンタウン岸壁、2025年能登半島地震

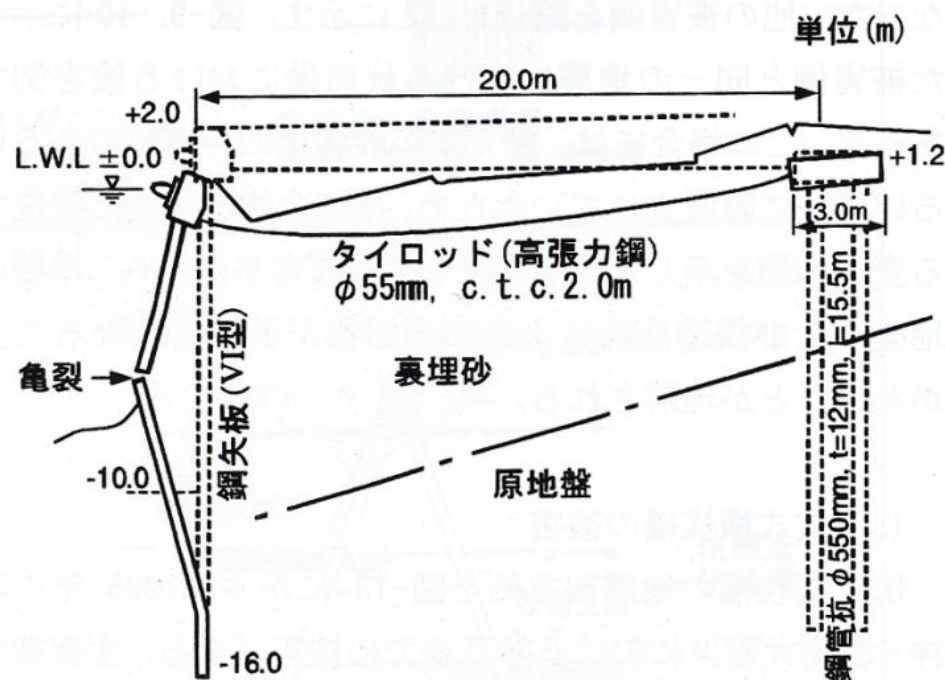


相馬港3号埠頭岸壁（C-1-13）、2022年福島県沖地震

矢板式岸壁の被害



- 背後地盤が液状化し、矢板本体に亀裂発生。1993年釧路沖地震の際の釧路港でも同様の被害。
 - 矢板壁損傷により全体安定性低下（変状が進行する可能性高い）

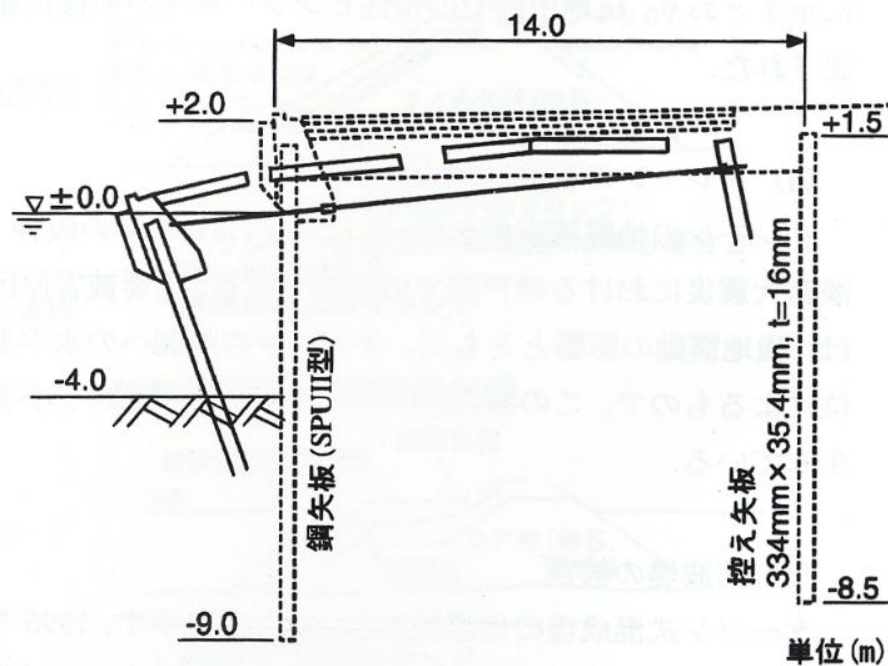


秋田港大浜埠頭 1983年日本海中部地震

矢板式岸壁の被害



- 控え工移動により矢板頭部が海側に変位。矢板根入れ部損傷の可能性も。
 - 控え工移動、矢板根入れ部壁損傷により全体安定性低下（変状が進行する）の可能性。

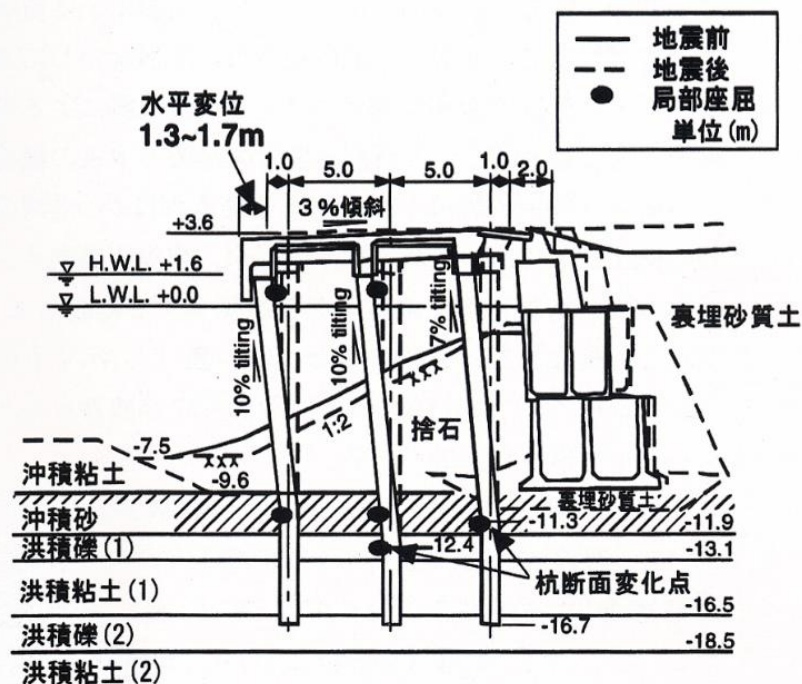


秋田港下浜埠頭、1983年日本海中部地震

栈橋の被害



- 栈橋背後の土留め護岸が海側に変位。
- 渡版を介して栈橋床版が海側に変位、杭が座屈。
- 杭損傷により全体安定性低下（変状が進行する）の可能性。



神戸港高浜埠頭 1995年兵庫県南部地震

栈橋の被害



- 栈橋上部表面の目視だけでは、下部の杭頭の損傷は認識しにくい。

神戸港高浜埠頭 1995年兵庫県南部地震

棧橋の被害



- 杭損傷により棧橋が倒壊。

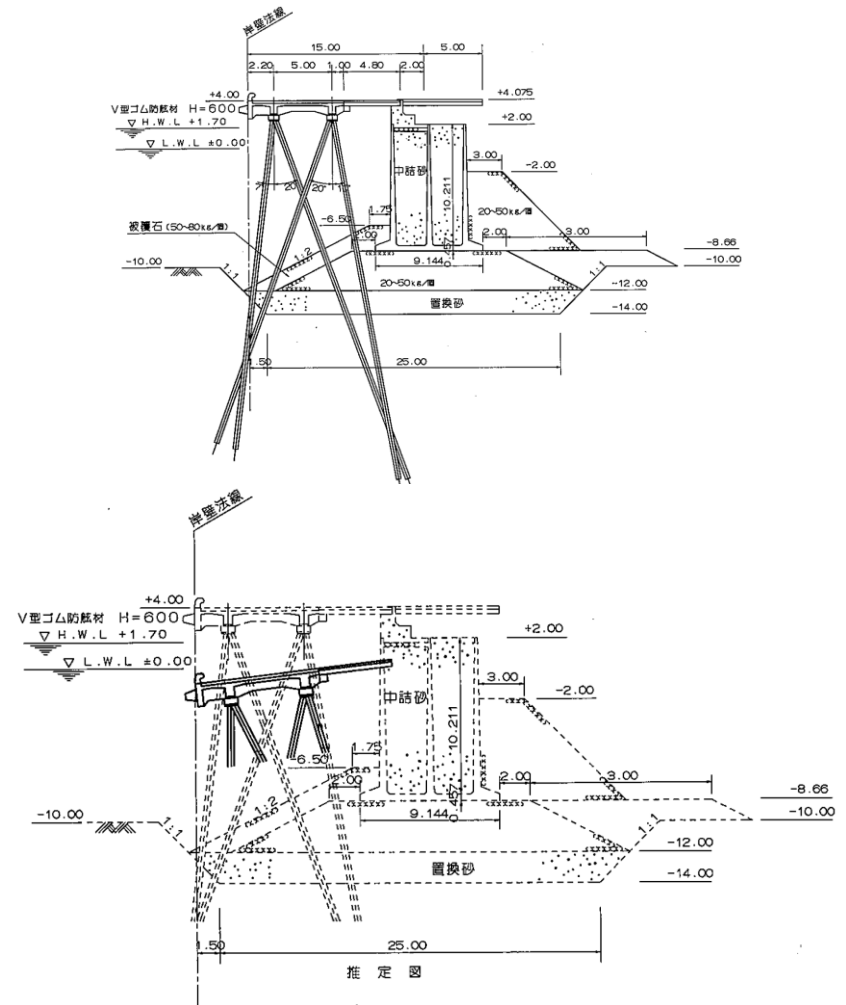


図-4.2.3.13 摩耶埠頭第1突堤第5岸壁被災状況断面図 (A-A)

摩耶埠頭第1突堤第5岸壁 1995年兵庫県南部地震

稲富ら (1997) : 1995 年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告, 港湾技研資料No.857



今後の対応

能登半島地震における被害と利用可否判断のまとめ



- 幅の広いケーソン式岸壁は変形量が大きかったものの、沈下部を砕石で埋める応急復旧がなされて早い段階で暫定供用がなされた（輪島港マリンタウン岸壁）
- 耐震強化栈橋では背後地盤クラック幅から栈橋変位量を想定し、過去に実施されたFLIP解析結果を用いて安定性を評価し、重量物を載せることは不可として暫定利用可と評価した（七尾港矢田新第1ふ頭西側岸壁（耐震））
- 矢板式岸壁において30cm以上の矢板天端変位が確認され、FLIP解析を実施して部材変状を評価して暫定供用可と評価した（評価に4週間程度を要した）（金沢港御供田1号岸壁）
- 多くの地域で国土地理院基準点成果公表が停止されて測量が行えず、不正確な変位量値により利用可否を判断するしかなかった

⇒国土地理院基準点停止時の変位量測定、FLIP解析（変位量－部材損傷関係）の事前準備により、地震後の素早い利用可否判断が可能になると考えられる

現地調査 (TEC-FORCE)



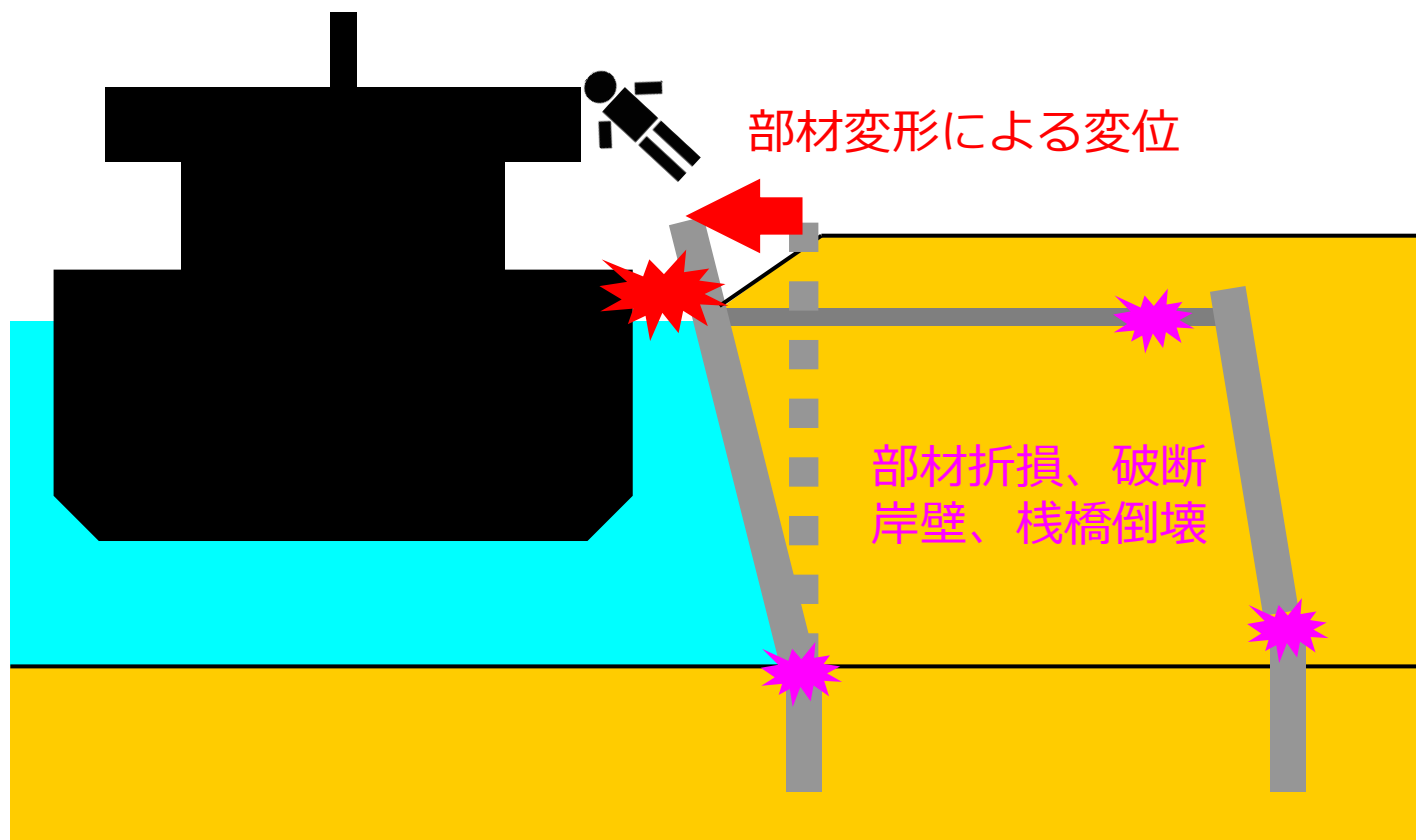
国総研、港空研は1/2～11（10日間）で8港湾を調査

⇒南海トラフ地震で多数の県にまたがる被害が起こると、港空研、国総研が全ての港湾施設を調査することは困難

⇒調査効率化、現地技術者による現地調査ができないと、支援物資のための緊急利用に間に合わない

	調査日	場所	調査班
七尾港	2024/1/3	矢田新栈橋（耐震強化）	国総研1、北陸地整4
	2024/1/5	矢田新地区（-9m岸壁等）	国総研1、港空研1、本省2、北陸地整2、中部地整2
	2024/1/6	寿町地区、府中地区、万行地区	国総研1、港空研2、北陸地整1
	2024/1/8	大田地区、矢田新地区	国総研1、港空研2、北陸地整2、近畿地整3
	2024/1/9	能登島、三室地区、鹿渡島地区	港空研2、北陸地整1、中部地整2
輪島港	2024/1/2	-7.5m岸壁	石川県が調査し、調査結果に対して研究所がコメント
	2024/1/3	-7.5m岸壁	国総研1、北陸地整4（夜間のため翌日再調査）
	2024/1/4	-7.5m岸壁	北陸地整4
	2024/1/9	その他	港空研3、本省2、北陸地整2
	2024/1/10	-7.5m岸壁	北陸地整4
飯田港	2024/1/3	飯田地区	港空研1、本省2、北陸地整3
	2024/1/10	その他	港空研3、本省1、北陸地整1
小木港	2024/1/5	九十九湾地区、本小木地区、小木地区	北陸地整3が調査し、調査結果に対して研究所がコメント
	2024/1/8	九十九湾地区、本小木地区	港空研3、本省1、北陸地整1
	2024/1/10	全て	北陸地整3（1/9震度4再調査）
宇出津港	2024/1/3	全て	北陸地整4が調査し、調査結果に対して研究所がコメント
	2024/1/10	全て	本省1、北陸地整1、中部地整2（1/9震度4再調査）
穴水港	2024/1/6	全て	港空研3、本省1、北陸地整2、近畿地整3
	2024/1/12	内浦地区	北陸地整1、関東地整4
金沢港	2024/1/4	無量寺岸壁、御供田岸壁、戸水岸壁、大浜岸壁	国総研1、港空研1、本省2、北陸地整1、中部地整2
福浦港	2024/1/11	全て	港空研2、本省1、北陸地整1
滝港	2024/1/11	全て	本省1、北陸地整1、中部地整2
和倉港	2024/1/4-5	全て（七尾市管理）	北陸地整4
班ノ浦港	2024/1/5	全て（七尾市管理）	北陸地整4

基本構造安定性（岸壁・栈橋の倒壊危険性）の確認



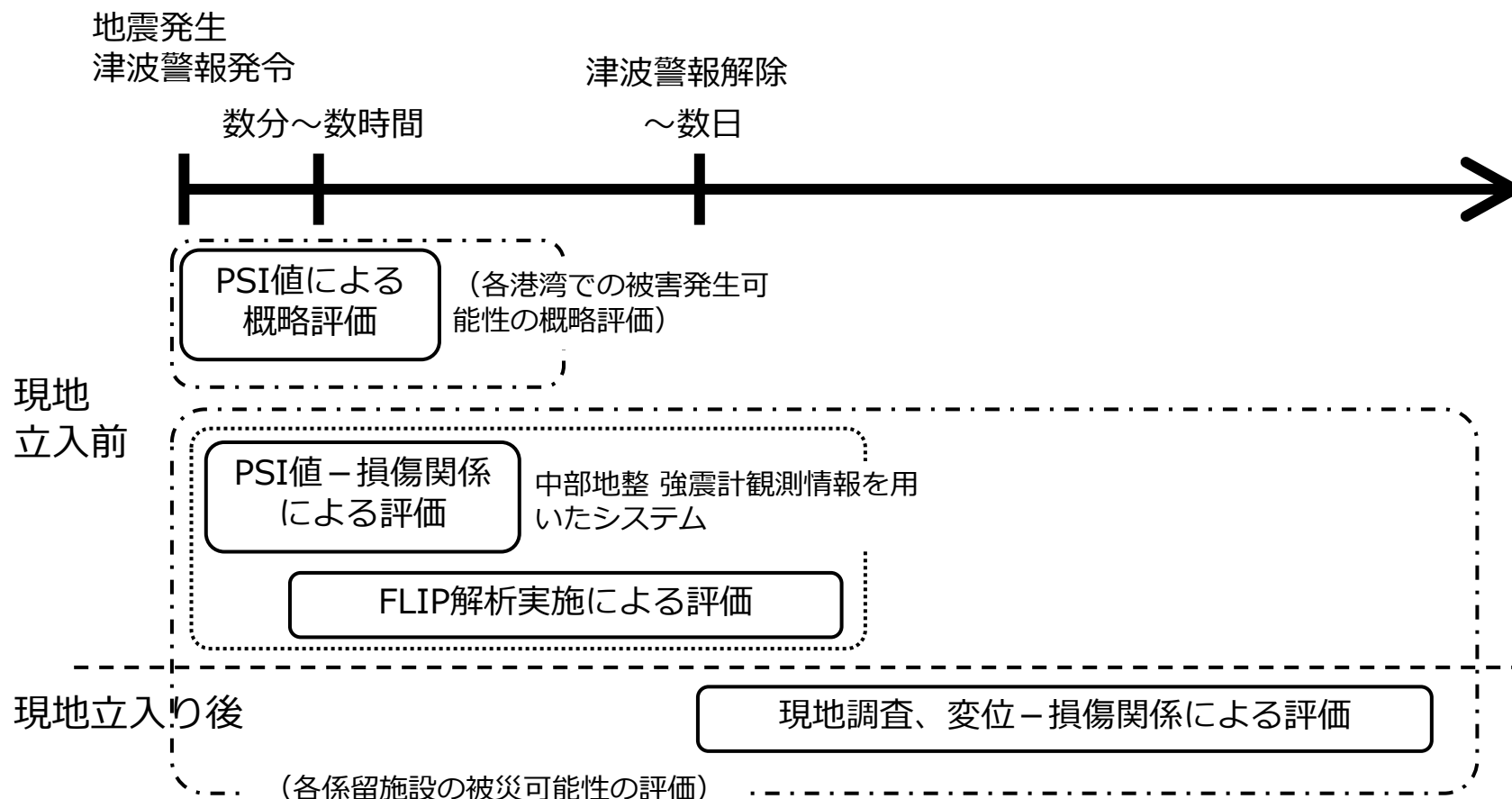
- 設計で考慮している部材変形（応力）を確認したいが、土中、水中の部材が多く、直接目視確認できない
⇒部材変形による変位量を測ることにより、土中、水中の部材変形を評価（想像）して、基本構造安定性（供用可否）を判断

今後想定される地震発生後の被害評価、利用可否判断の流れ

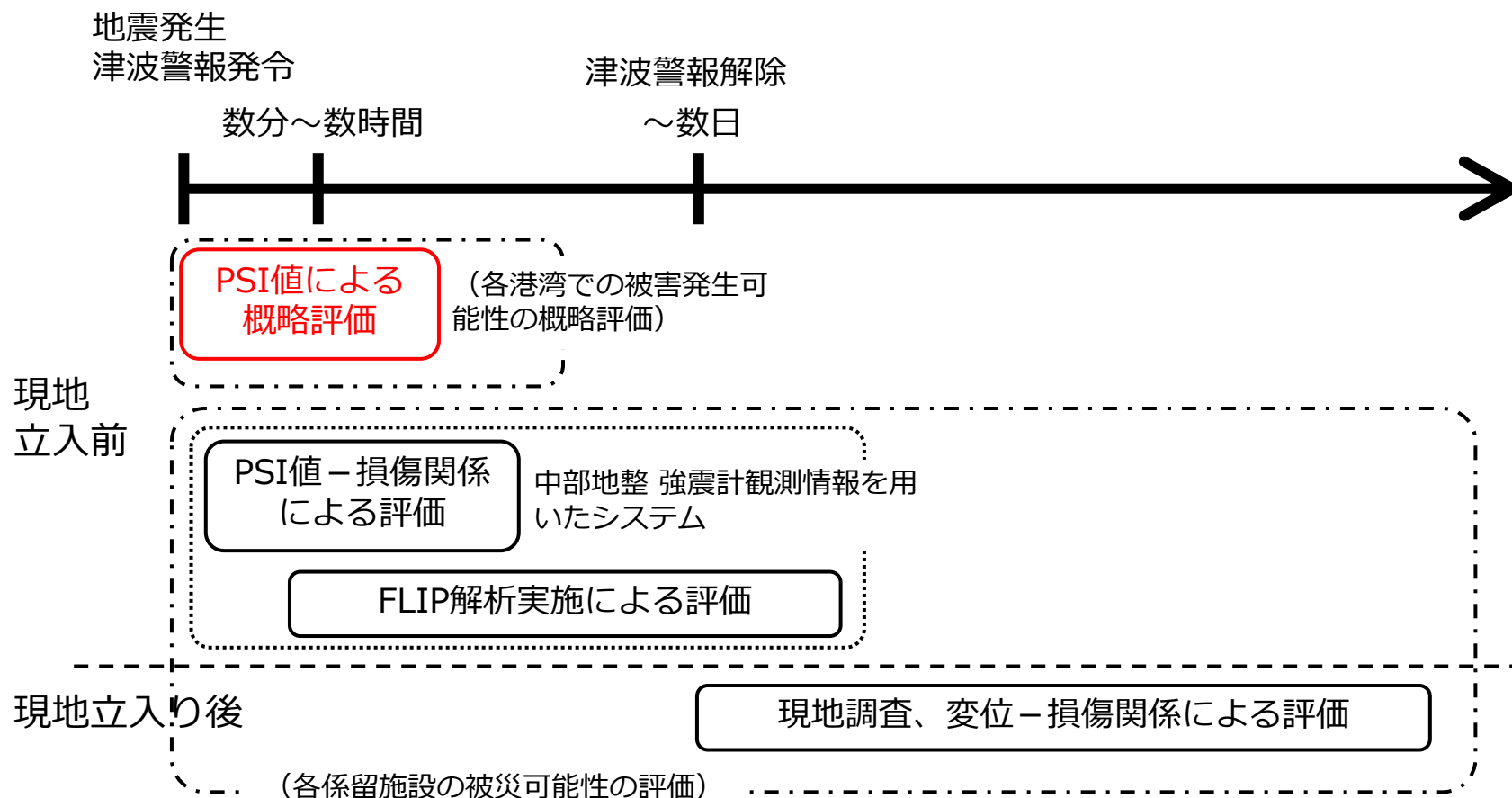


- 地震直後の地震動情報だけによる即時概略評価（港湾単位）
- その後の構造情報も考慮した評価（現地立入り前・後）（施設単位）

※一部導入済

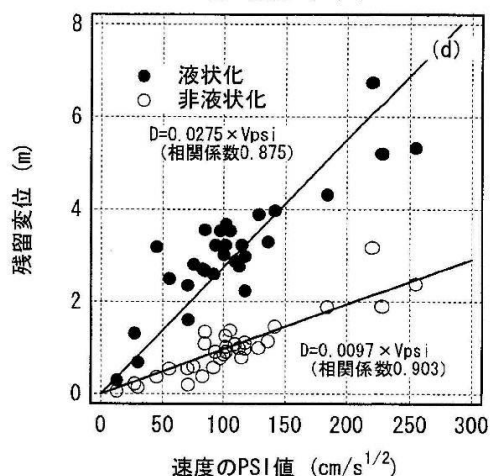
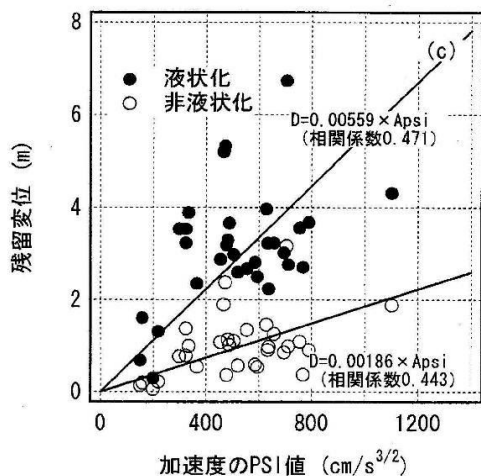
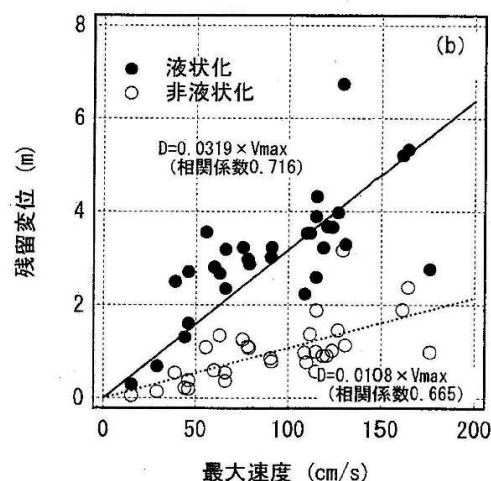
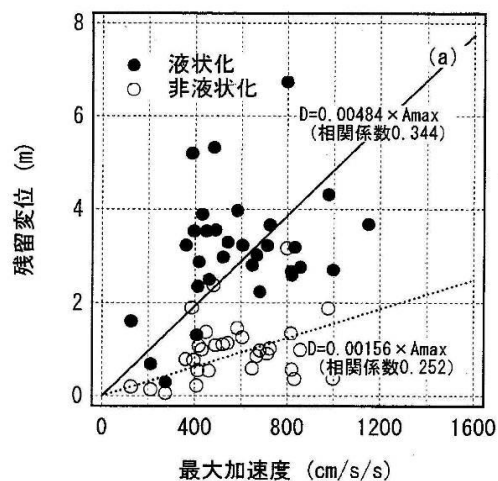


今後想定される地震発生後の被害評価、利用可否判断の流れ





● 港湾構造物の変形量と相関が高い地震動指標



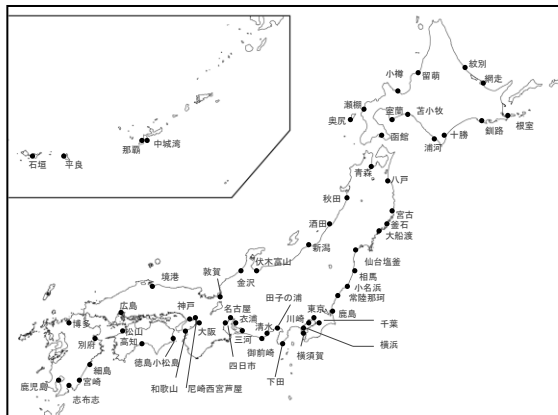
$$\text{速度のPSI値} = \int_{-\infty}^{+\infty} v^2(t) dt$$

野津厚・井合進：岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察，第28回関東支部技術研究発表会講演概要集，土木学会関東支部，pp.18～19，2001.

港湾施設の地震被害即時推定への速度PSI値の活用



■ 港湾地域強震観測網



■ 携帯へのPSI値の自動配信※※

地震波形の速度(cm/s) を二乗し、
時間で積分した値の平方根※

$$PSI := \sqrt{\int_0^{\infty} (v(t))^2 dt}$$

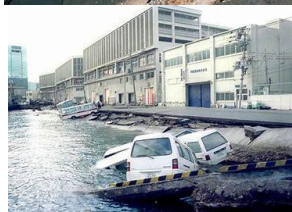
※野津厚，井合進：岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察，第28回関東支部技術研究発表会講演概要集，土木学会関東支部，pp.18-19，2001.



港湾施設の甚大な被害ありそうか？
(初動で重要！)

※※若井淳，野津厚，菅野高弘，長坂陽介：港湾地域地震観測におけるデータ伝送方法の改良－地震動情報即時伝達システムの開発－，港湾空港技術研究所資料No. 1310，2015.

1995年兵庫県南部地震【神戸港】 (PSI値=99， 計測震度= 5.8 (震度5強))



× 港湾全体が
甚大な被災を受けた

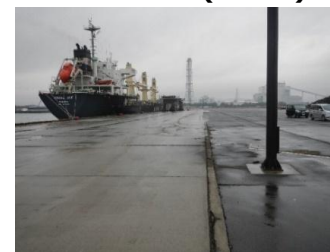
2021年福島県沖地震【相馬港】 (PSI値=32， 計測震度= 5.4 (震度5弱))

通常岸壁(-10m)



× 岸壁変位(20cm程度)
⇒エプロン破損⇒供用停止

耐震強化岸壁(-12m)



○ ほぼ無被災
⇒地震直後から供用可能

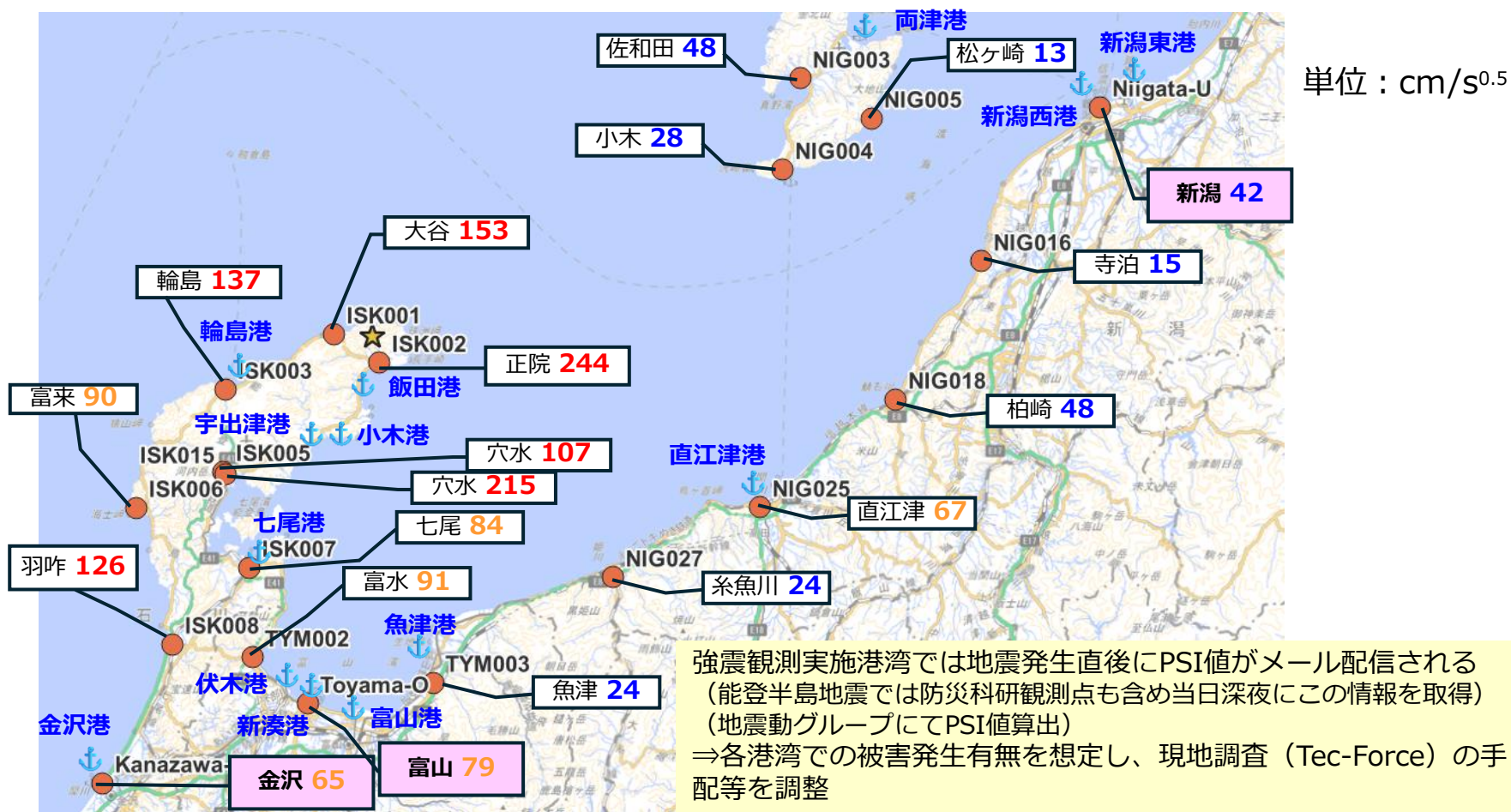
PSI値を利用した港湾単位での係留施設を対象とした被害有無・被害程度の判定表



地表面の速度 PSI値(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	<u>甚大な被害が発生</u> している <u>可能性が高い</u> 。	<ul style="list-style-type: none"> ● 1995年兵庫県南部地震 【神戸港（PSI=99）】 ● 1983年日本海中部地震 【秋田港（PSI=61）】
25 以上 ～50 未満	<u>相当程度の被害が発生</u> している <u>可能性が高い</u> 。ただし、被害が軽微である場合もある。	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<u>軽微な被害又は無被災</u> である <u>可能性が高い</u> 。	<ul style="list-style-type: none"> ● 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	<u>無被災</u> である <u>可能性が極めて高い</u> 。	

※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：港湾地域強震観測から得られる速度PSI値を用いた港湾単位での被害有無の概略判定手法，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，80(18)，24-18144，2024。

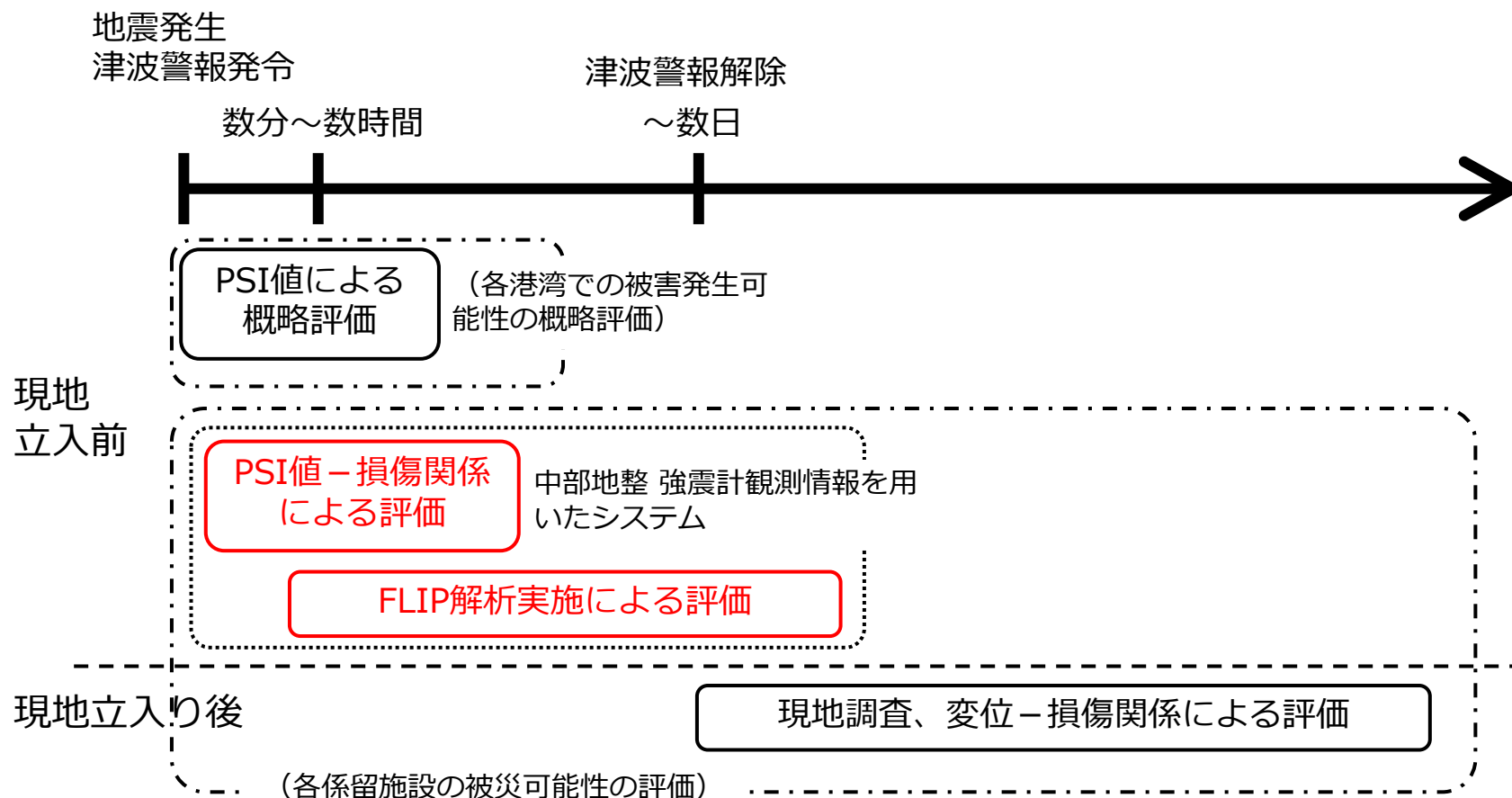
令和6年能登半島地震による強震観測地点での速度PSI値



(データ提供：港湾空港技術研究所 地震防災研究領域)

<色塗地点：港湾地域強震観測網、その他：防災科学技術研究所、による観測地点>

今後想定される地震発生後の被害評価、利用可否判断の流れ



PSI値－損傷関係による評価

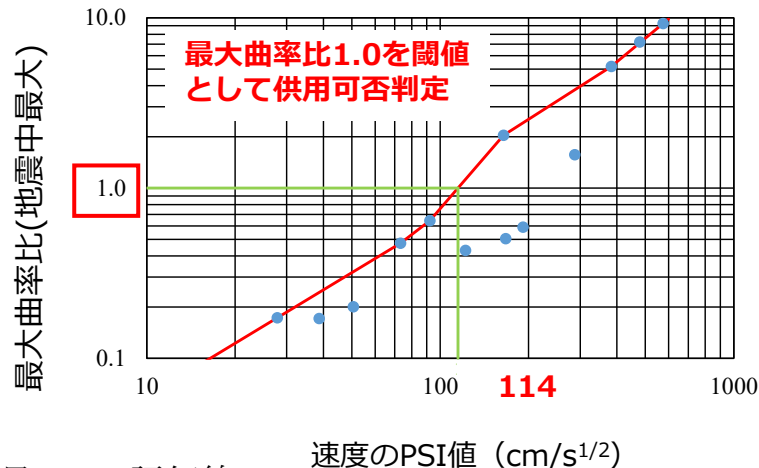
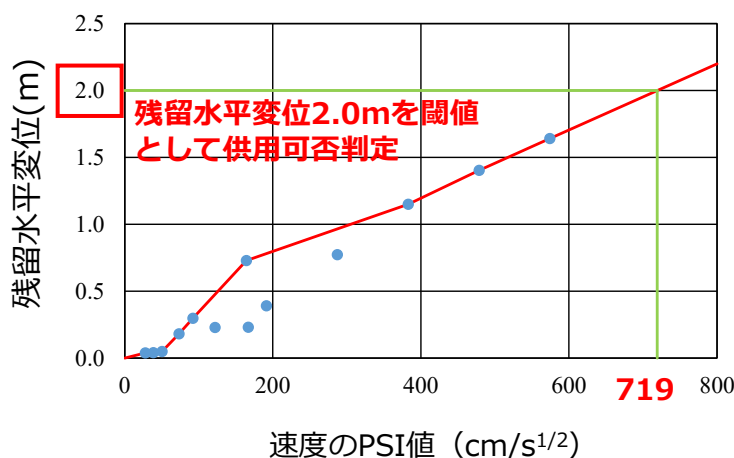
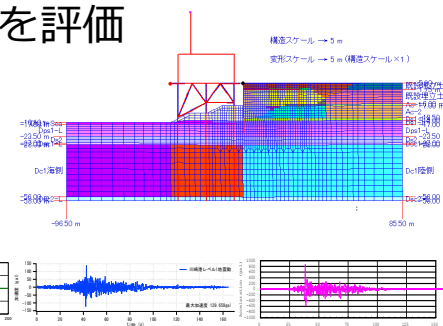
中部地整名古屋港湾空港技術調査事務所
強震計観測情報を用いた係留施設供用可否判定システム



- 各個別の施設に対して様々な大きさの地震動（50年～500年の再現確率地震、L2地震等）を入力する複数のFLIP解析を実施
- 速度PSI値と残留水平変位、鋼部材の最大曲率比等の関係から利用不可となる速度PSI値を求め、強震観測から得られるPSI値と比較して供用可否を評価

※最大曲率比 = 最大発生曲率 / 限界曲率

$$\text{速度のPSI値} = \int_{-\infty}^{+\infty} v^2(t) dt$$



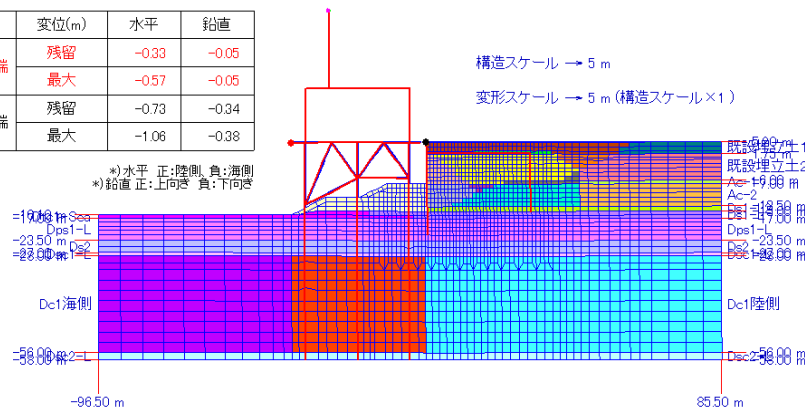
● 解析結果 — 評価線



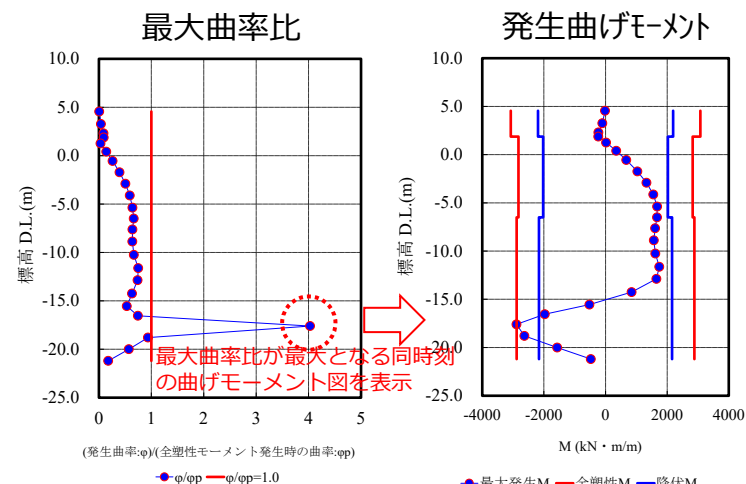
- 地震後に観測地震動を用いて施設個別にFLIP解析を自動実施し、詳細判定する

位置	変位(m)	水平	鉛直
岸壁天端	残留	-0.33	-0.05
	最大	-0.57	-0.05
岸壁天端	残留	-0.73	-0.34
	最大	-1.06	-0.38

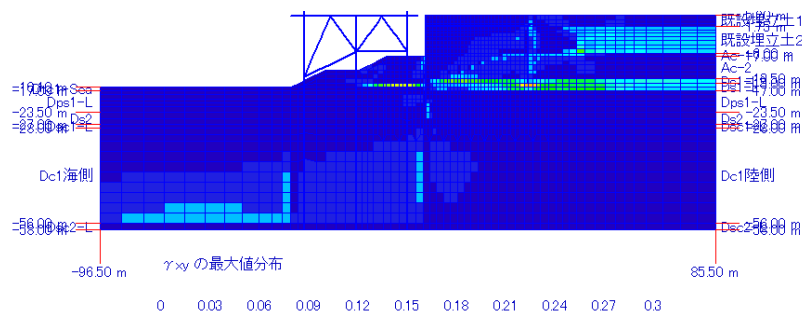
*) 水平 正:陸側 負:海側
*) 鉛直 正:上向き 負:下向き



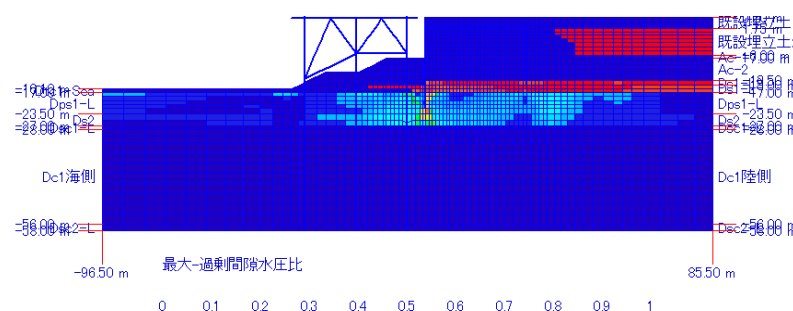
残留変形図



鋼材（土留矢板や栈橋杭等）の照査例



γ_{xy} の最大値分布



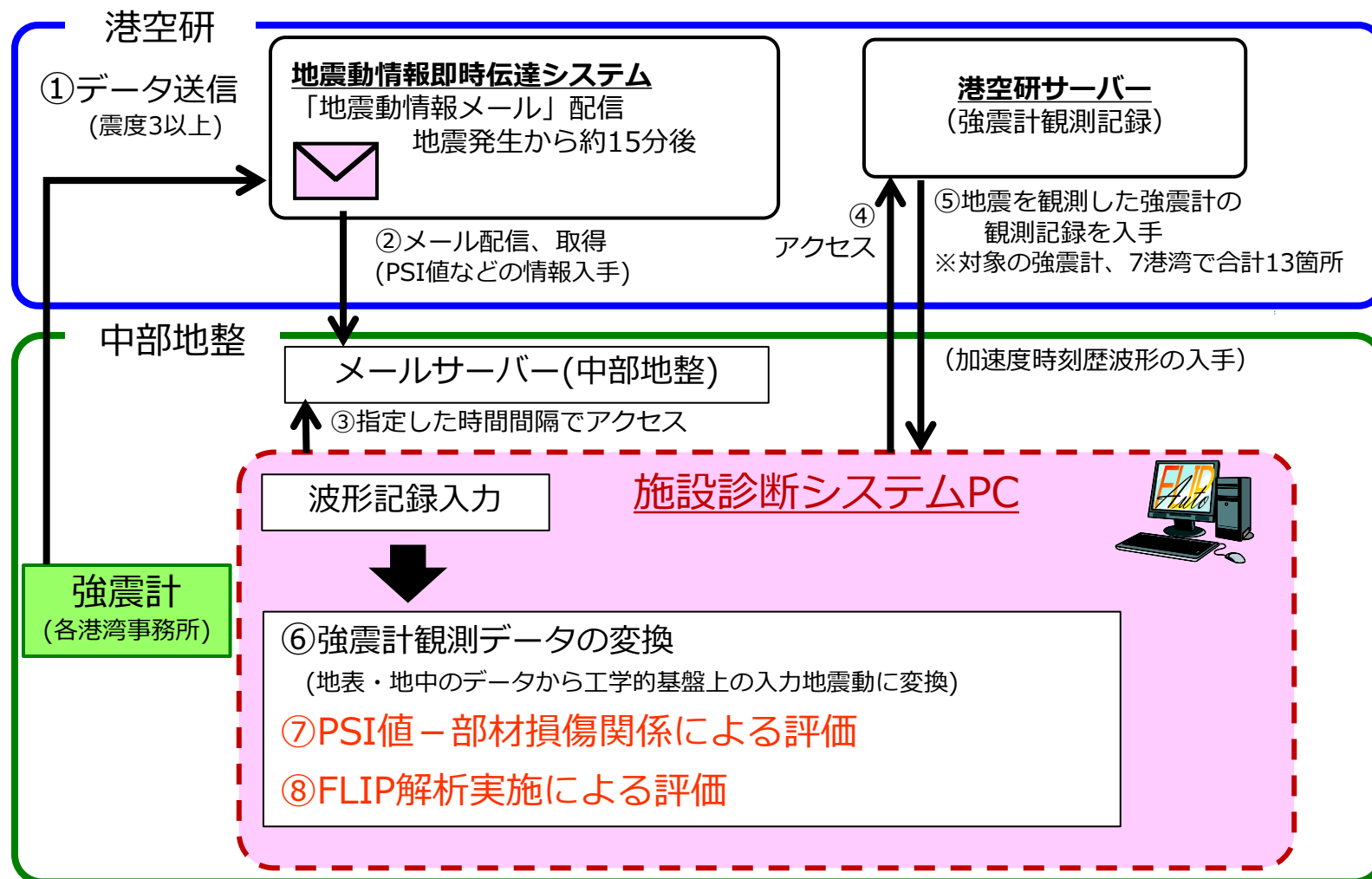
過剰間隙水圧比の最大値分布

強震計観測情報を用いた係留施設供用可否判定システム



中部地整名古屋港湾空港技術調査事務所

● システム概要



地震動情報即時伝達システム（港空研）の配信メール



地震後に港空研から強震動情報がメール配信される

※本メールは港湾地域強震観測網から(独)港湾空港技術研究所経由で自動配信されています。

2016年4月1日 11時40分頃、強震計が揺れを検知しました。
地震によるものかどうか確認中です。

興津-UB

PSI値：0.5 $\text{cm/s}^{0.5}$

計測震度相当値：1.2

最大加速度：1 Gal

三河-U

PSI値：0.8 $\text{cm/s}^{0.5}$

計測震度相当値：1.8

最大加速度：3 Gal

名古屋飛島-UB

PSI値：2.6 $\text{cm/s}^{0.5}$

計測震度相当値：1.8

最大加速度：2 Gal

衣浦-UB

PSI値：2.2 $\text{cm/s}^{0.5}$

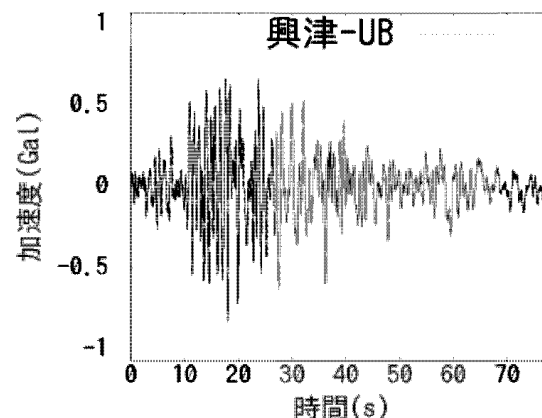
計測震度相当値：2.0

最大加速度：3 Gal

地震動が観測された強震計ごとに“速度のPSI値”、“計測震度相当値”、“最大加速度”が表示。

波形

波形 (SOUTH)



注:PSI値は速度波形の二乗積分値の平方根として定義される量で、港湾構造物の被害程度と良い相関を示します。
参考までに1995年兵庫県南部地震の際、神戸港工事事務所では $\text{PSI}=99\text{cm/s}^{0.5}$ 、1983年日本海中部地震の際、秋田港工事事務所では $\text{PSI}=61\text{cm/s}^{0.5}$ です。

注:計測震度相当値を公表される際には「計測震度相当値」という名称で公表して下さい。

注:最大加速度は港湾施設の被害の大小と結びつかない場合が多いので御注意下さい。

詳細は以下のページを参照して下さい。

興津-UB http://www.eq2.pari.go.jp/mobile/mobile_record_view.php?recorddata_id=79232

三河-U http://www.eq2.pari.go.jp/mobile/mobile_record_view.php?recorddata_id=79238

名古屋飛島-UB http://www.eq2.pari.go.jp/mobile/mobile_record_view.php?recorddata_id=79223

名古屋飛島-U http://www.eq2.pari.go.jp/mobile/mobile_record_view.php?recorddata_id=79224

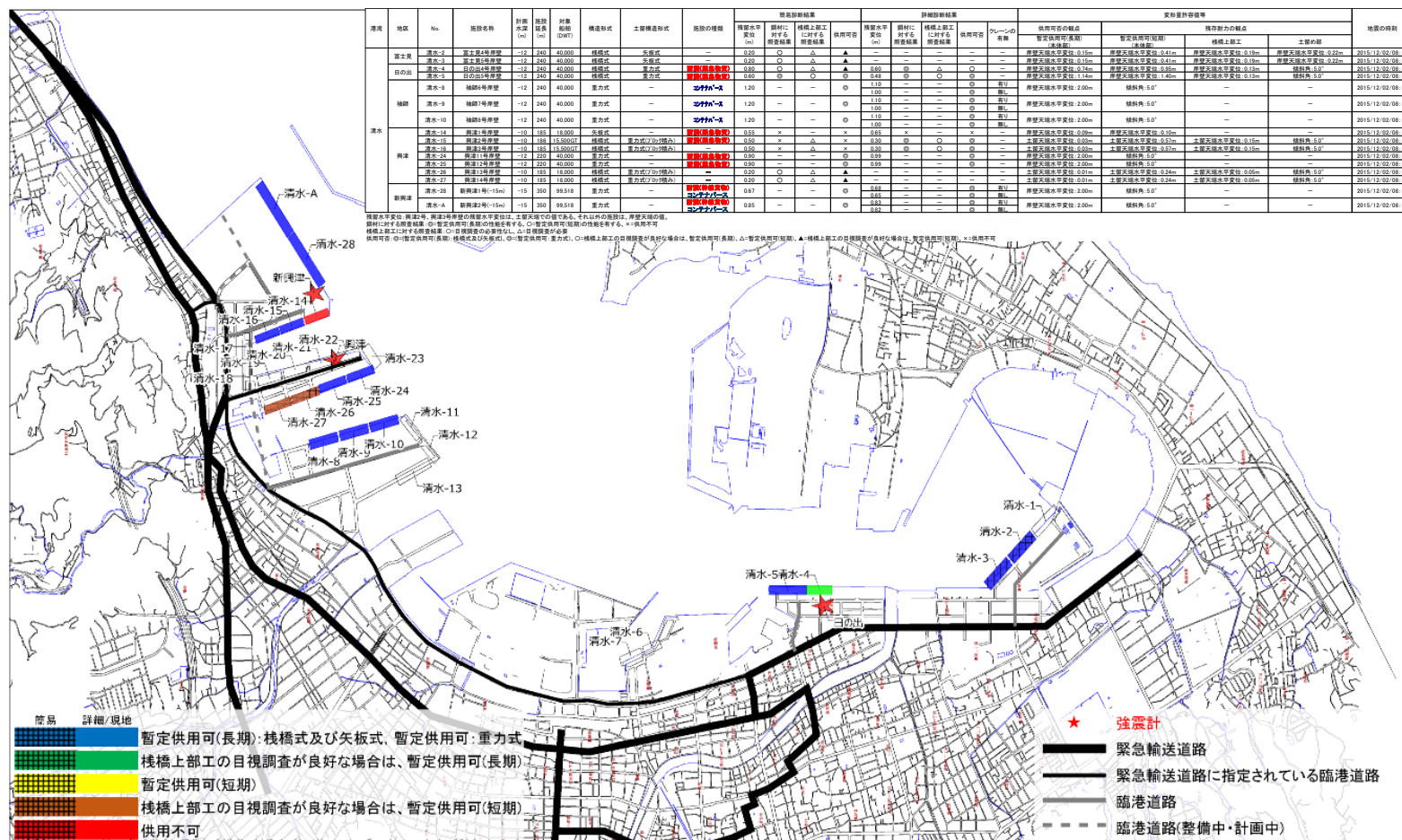
衣浦-UB http://www.eq2.pari.go.jp/mobile/mobile_record_view.php?recorddata_id=79221

地震の波形情報の
在処を表示

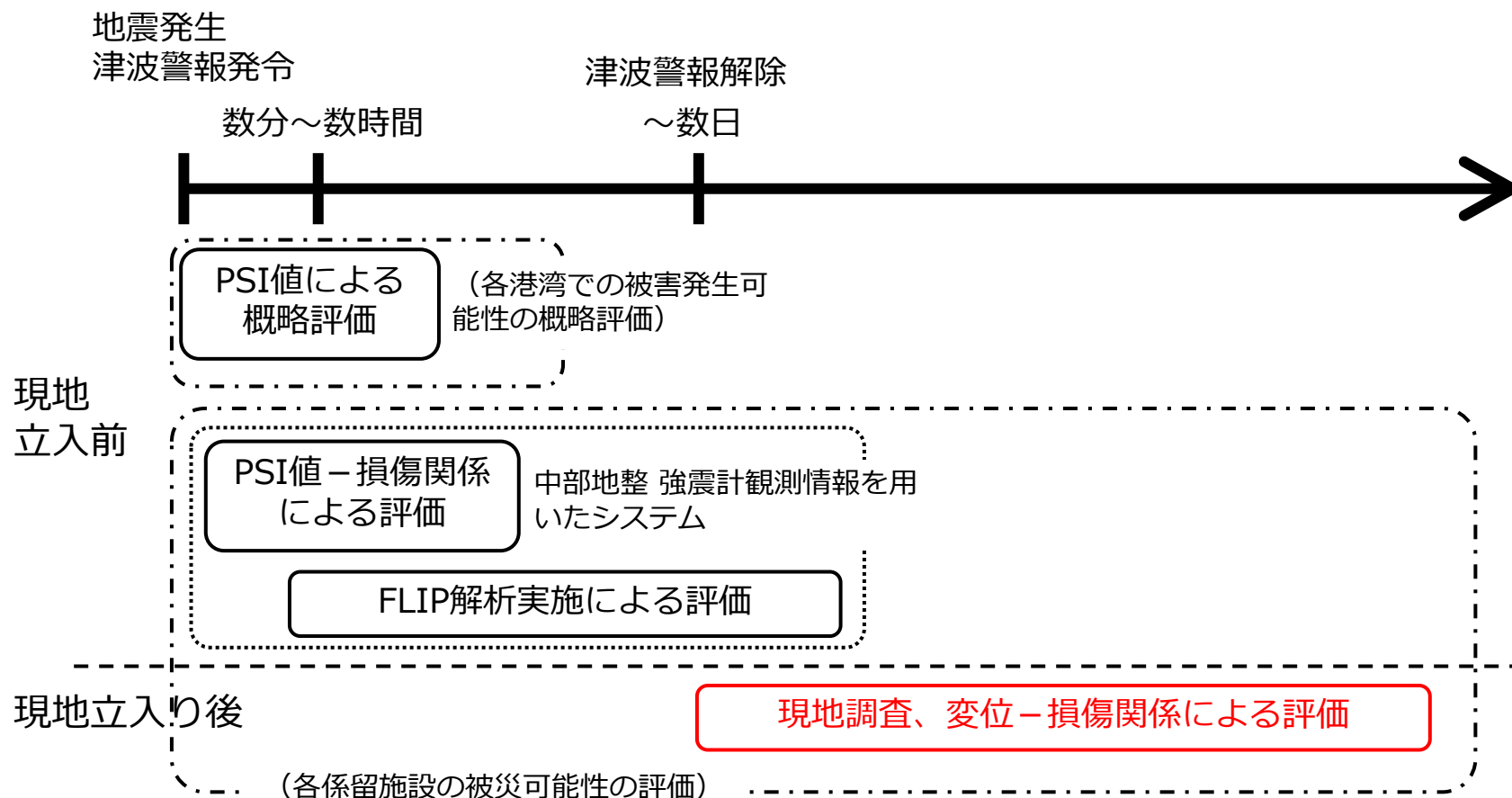
A diagram of a crane lifting a load. The crane has a horizontal beam supported by a vertical post. A cable is attached to the beam and runs over a pulley to a weight hanging below. The weight is labeled 'W'.

中部地整名古屋港湾空港技術調査事務所

- PSI値－損傷関係、FLIP自動実施による評価結果をマップ上に表示
- 津波警報等で現地調査が出来ない間に活用



今後想定される地震発生後の被害評価、利用可否判断の流れ

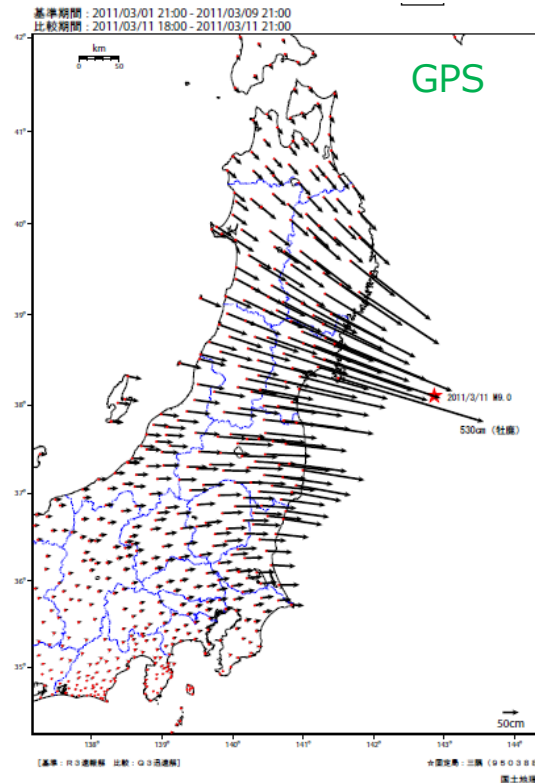


変位測定において、地殻変動の影響も考慮する必要

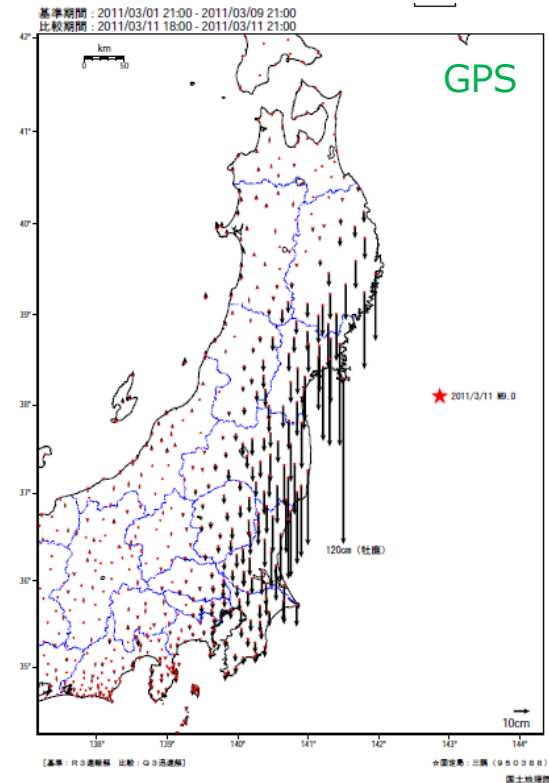


2011年東北地方太平洋沖地震での地殻変動

水平変位



鉛直変位



(国土地理院)

地殻変動により非常に大きな水平変位と鉛直変位が発生した。国土地理院のGPS連続観測によると牡鹿半島は約120cm沈下した。海上保安庁によると、震源付近の海底は約24m東南東に移動した。海底の移動は約50mという報告もある（海洋研究開発機構）。

施設の変形による変位と地殻変動による変位

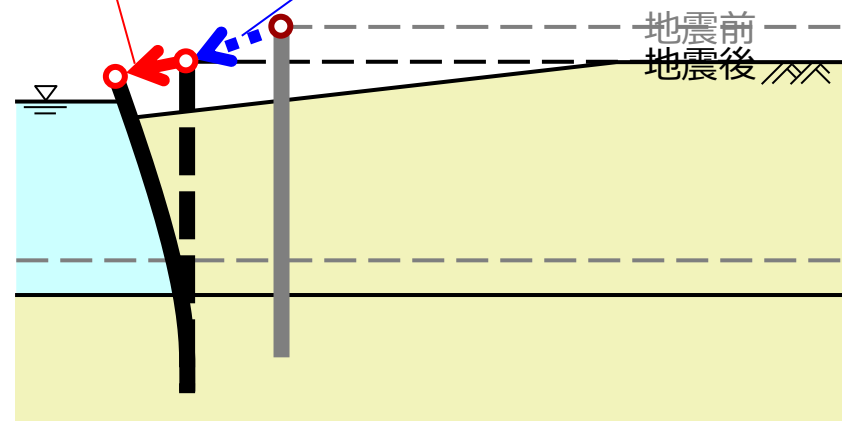
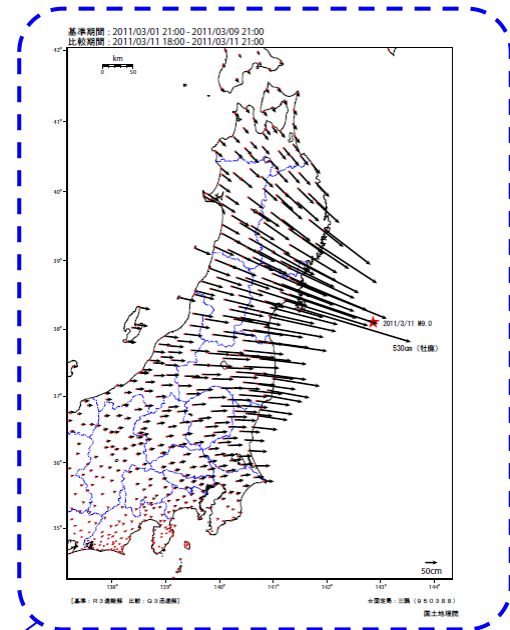


- 大地震時で大きな地殻変動が生じた場合には、絶対座標の単純な差分（変位）には、施設の変形による変位のほかに、地殻変動による変位が含まれる

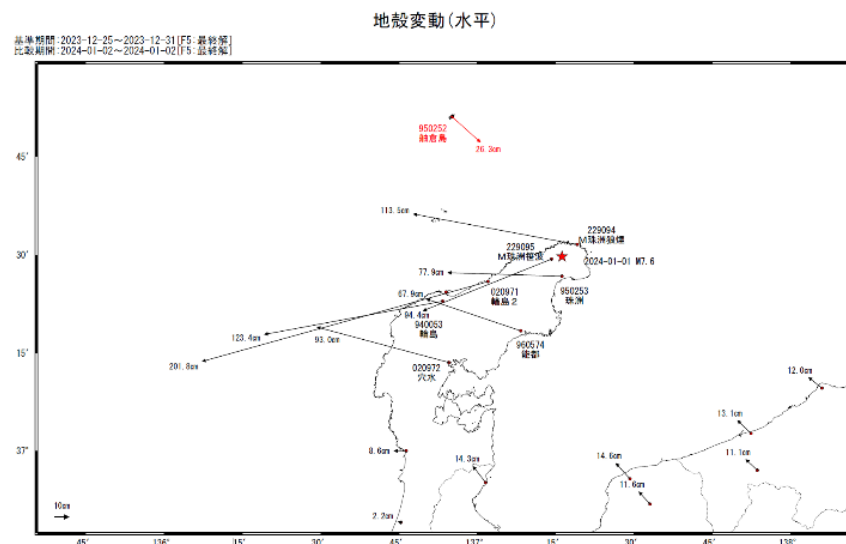
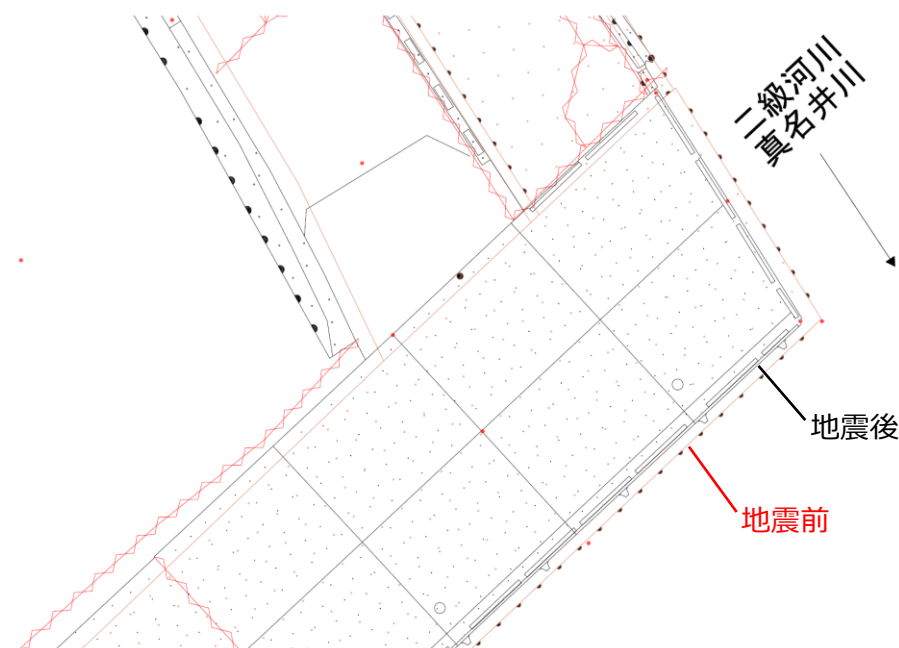
⇒地殻変動による変位が含まれないようにする必要

係留施設の変形を伴わない地殻変動による全体移動

係留施設の変形による変位（観測したい変位）



穴水港 地殻変動の測量への影響



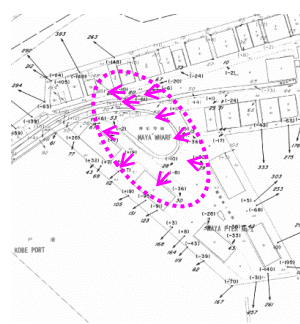
地震前後に測量した平面図を重ねると、地震後の岸壁法線が陸側に移動したような図となったが、岸壁が土圧に押されて海側に変形する通常地震時挙動とは異なり、不自然。地震後の図は停止されていた電子基準点の測量成果（座標，標高）が改定・公表された（2月7日）後に測量されており、地震により穴水で生じたおよそ西側への90cm程度の地殻変動量が含まれているため、陸側に移動したような図となった。

⇒ 構造物の変形による変位量を求めるには、その構造物の位置での地殻変動量を差し引くことが必要

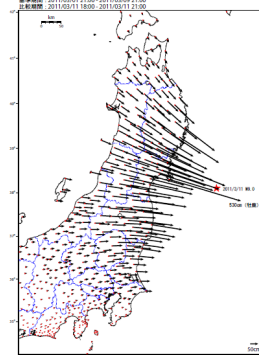
施設安全性（施設の変形）に関する変位の測定方法



- 地殻変動分による変位を取り除くため、基準点を決め、そこからの地震前後の相対位置を比較して変位とする
- 基準点は地殻変動でのみ移動する点とする。地殻変動以外の護岸移動や液状化等のローカルな変状によって移動する箇所に置かない。



護岸移動、液状化等による変位



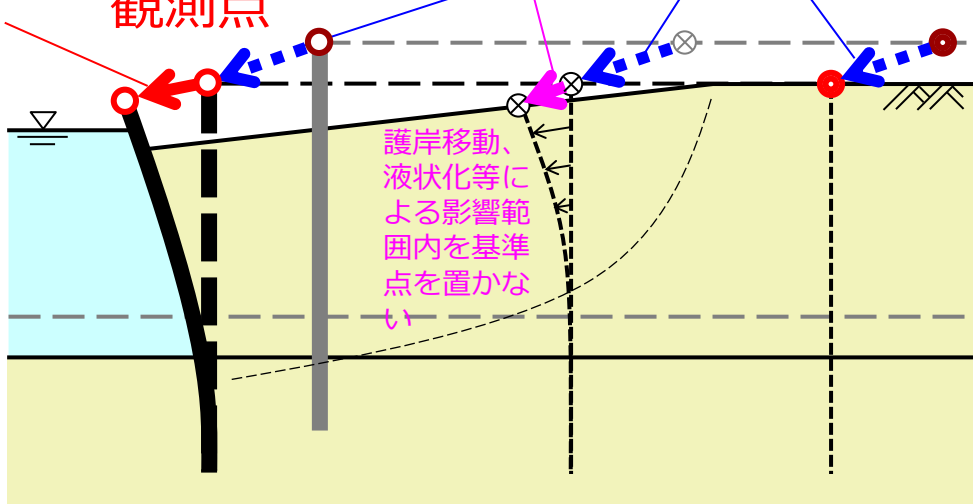
係留施設の変形を伴わない地殻変動による全体移動

係留施設の変形による変位
(観測したい変位)

観測点

基準点

地震前
地震後



護岸移動、
液状化等
による影響範
囲内を基準
点を置かな
い

基準点位置の選定

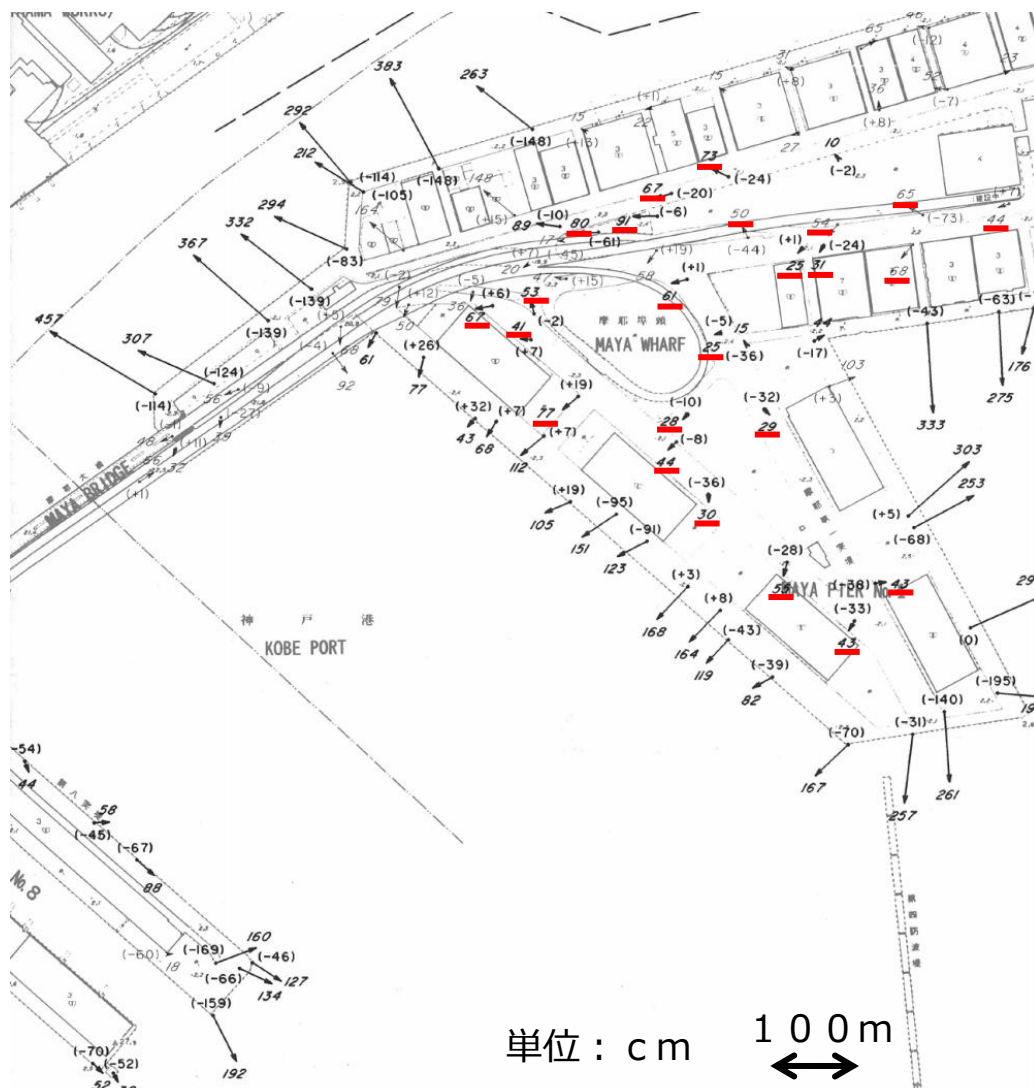


基準点は、液状化、側方流動等で動かない場所とする

- 埠頭内（埋立地内）では、護岸移動や液状化によって、かなり陸側の位置でも地盤の移動が生じており、基準点設置に適さないところも多い
- 法線から100m程度陸側でも、数十~100cm程度の移動がある

⇒ 構造物変位測定のための基準となる点を、地盤の局所的な変位（護岸移動、液状化等）の影響を受けない場所に設置する必要

濱田政則，磯山龍二，若松加寿江：
1995年兵庫県南部地震液状化，地盤変位及び地盤条件，1995
神戸港摩耶埠頭

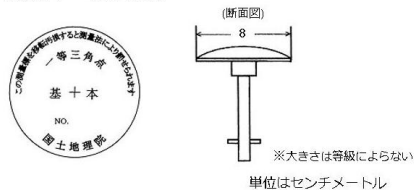


基準点位置の選定

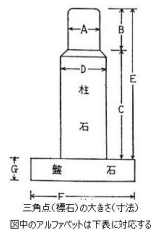


大規模な液状化、側方流動が生じるような場所では、基準点も簡単に動いてしまう

金属標（一〜四等三角点）



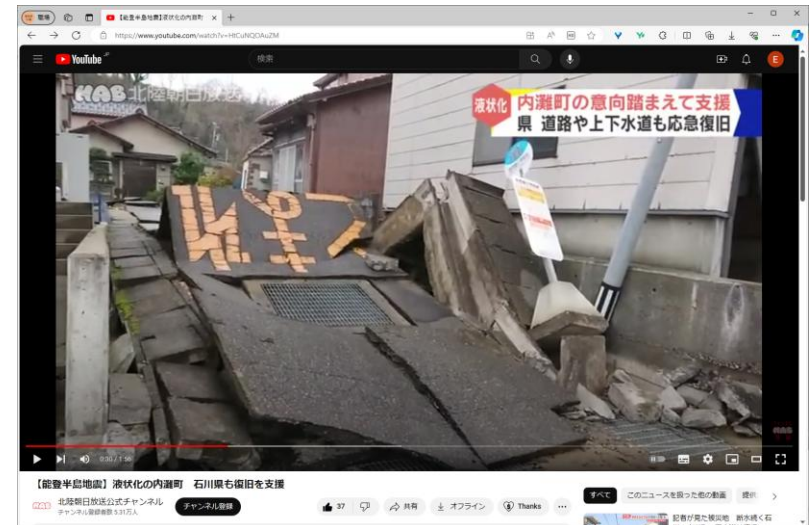
三角点（金属標）の大きさ（寸法）



種類	A	B	C	D	E	F	G
一等三角点標石	18	21	61	21	82	41	12
二等・三等三角点標石	15	18	61	18	79	36	11
四等三角点標石	12	15	48	15	63	30	9

単位はセンチメートル

等級ごとの標石の寸法



自然地盤での大規模な側方流動（能登半島沖地震、内灘町）

<https://youtu.be/IXJLX0JdjU?feature=shared&t=118>

国土地理院三角点

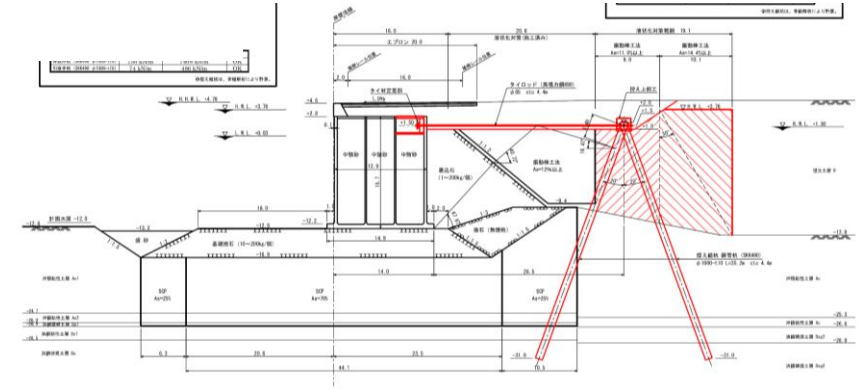
<https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sankaku-QA.html>

⇒液状化、側方流動が生じないような場所、動かない場所に基準点を置く

基準点の例（広島港 五日市地区）



- 海老山三等三角点
- 山地形、液状化しない



基準点の例（横浜港）



横浜技調



並木寮

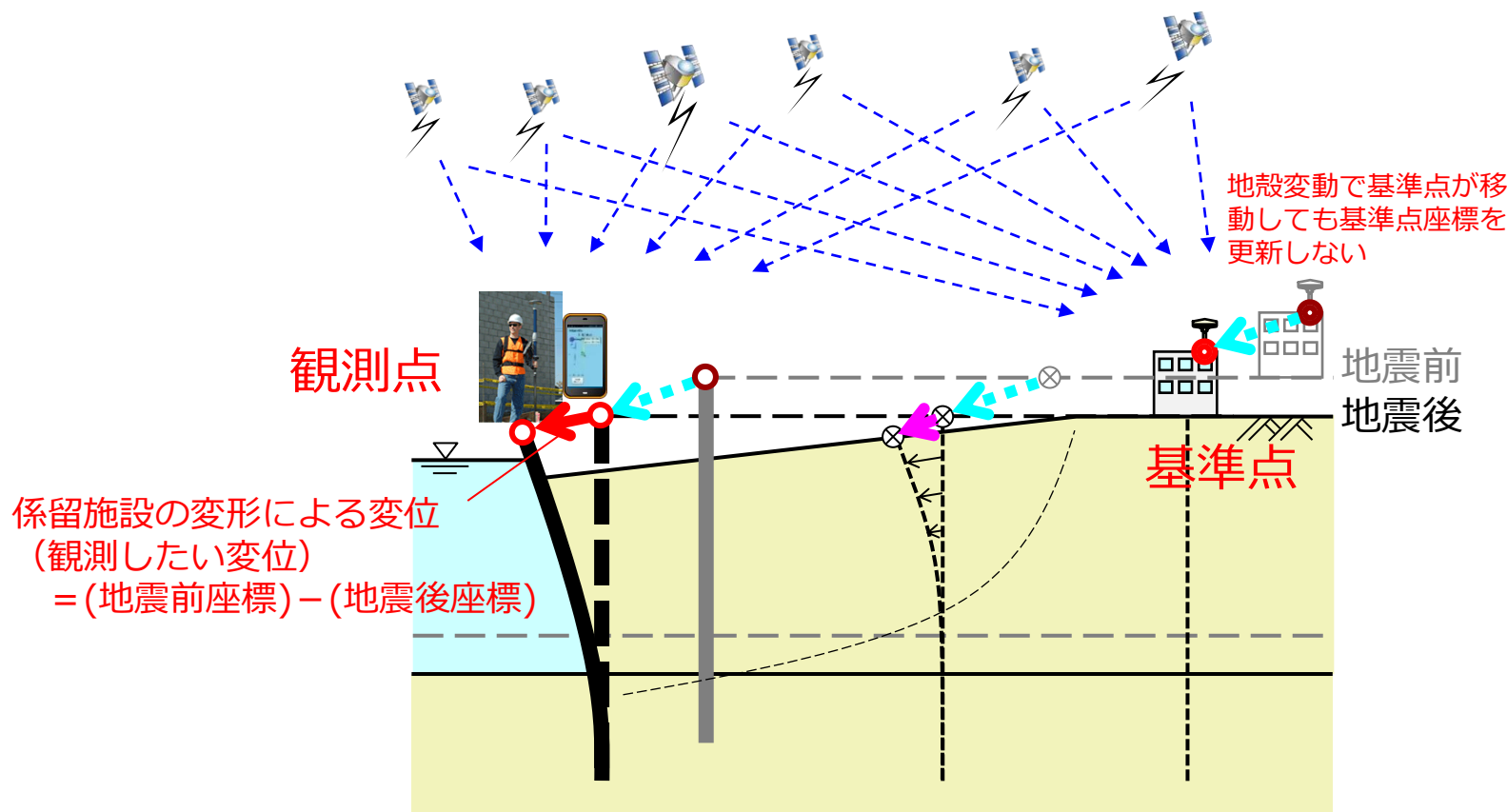


伊藤宏高，小濱英司：RTK-GNSS を活用した地震後の係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発，港湾空港技術研究所資料No.1370，2020。

RTK-GNSSを用いた係留施設の変形による変位の計測



- 基準点と観測点にGNSS受信機を置いて同時観測し、基準点座標を参照して観測点座標を精度よく計測する方法
- 地震前の基準点座標を用いて観測点座標を測定し（地殻変動で基準点が移動しても基準点座標を更新しない）、地震前後の観測点座標の差分から地震後残留変位を求める

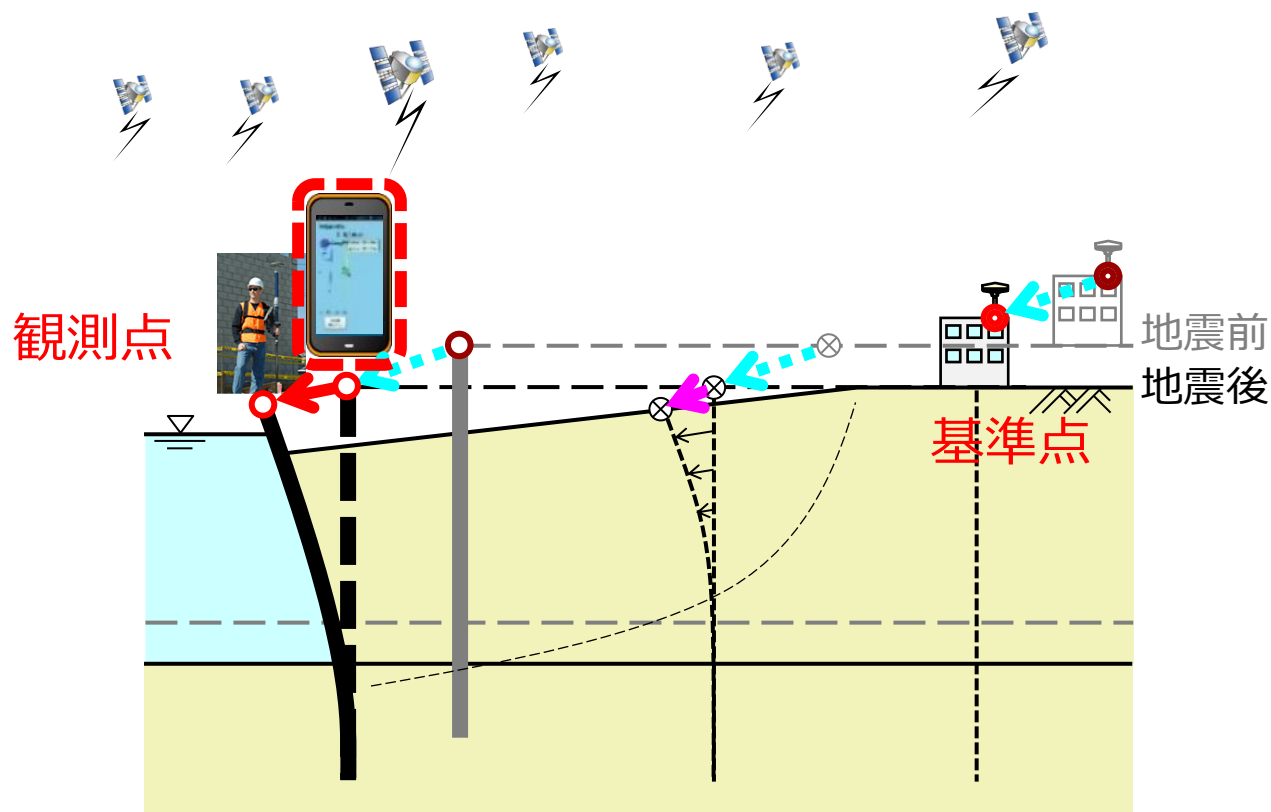


伊藤宏高，小濱英司：RTK-GNSSを活用した地震後の係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発，港湾空港技術研究所資料No.1370，2020.

利用可否判断支援装置 Berth Surveyor

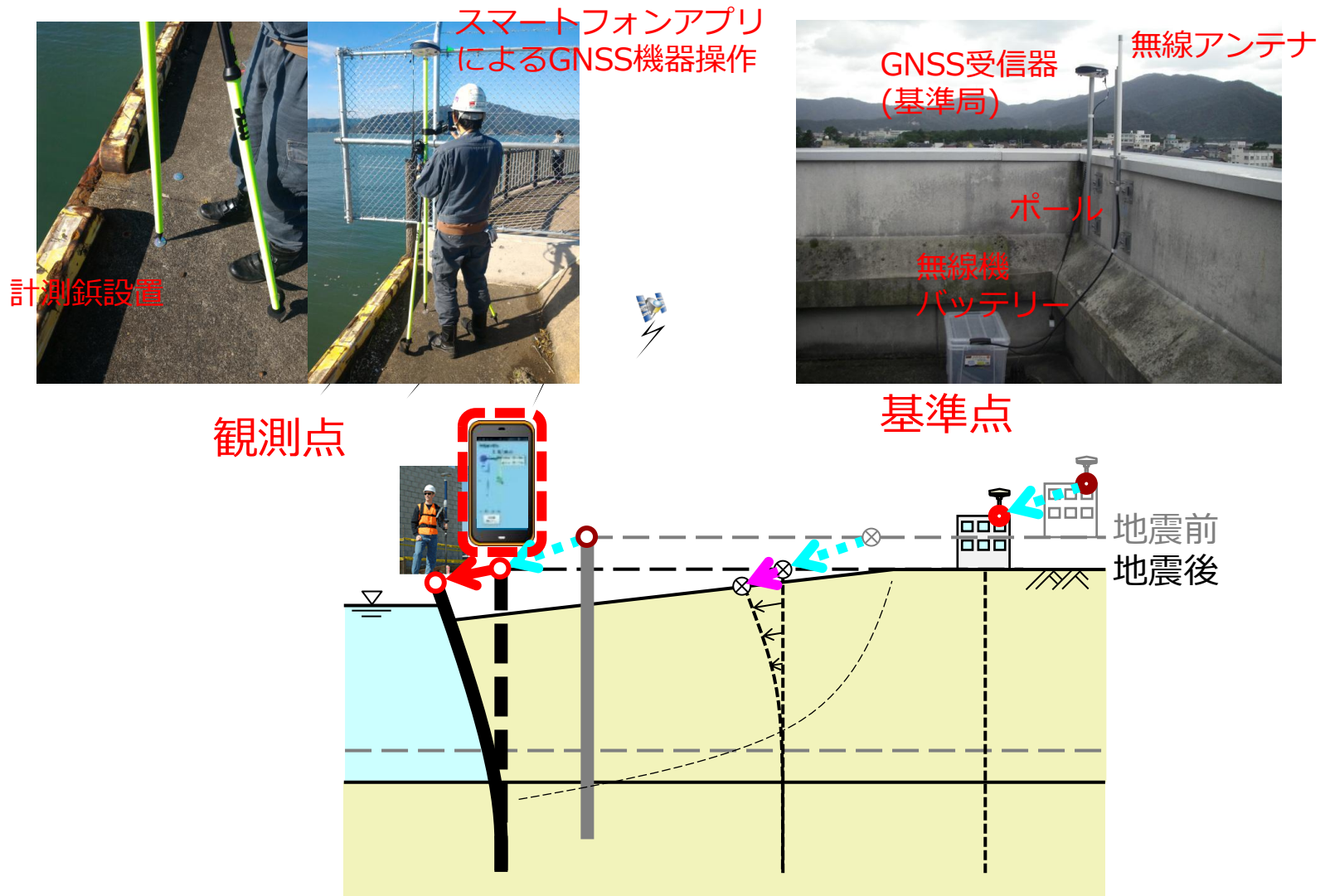


- RTK-GNSSを用いた岸壁変形量計測・利用可否判断支援ツール
- スマートフォン、Androidアプリにより簡単にGNSS受信機を操作，1人でも計測可能
- 地震前の座標情報を記憶、地震後測定時にその場でアプリ上に変位量を表示
- 変形量－部材損傷関係を用いて，供用可否判定結果の表示



伊藤宏高，小濱英司：RTK-GNSSを活用し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.

利用可否判断支援装置 Berth Surveyor



伊藤宏高, 小濱英司: RTK-GNSS を活用し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.

利用可否判断支援装置 Berth Surveyor



- GNSS機器を簡単操作
- 過去の測定座標を保持し、地震後の測定座標との差分により、その場で地震時変位量を確認可能
- CAD平面図上に測定結果を表示

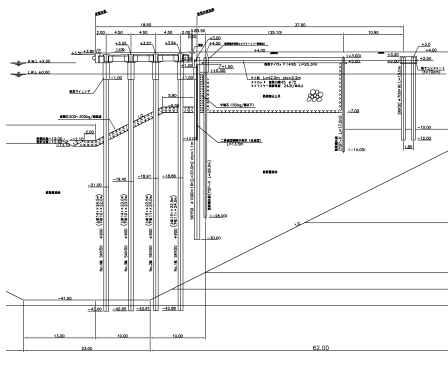


伊藤宏高, 小濱英司: RTK-GNSS を活用した地震後の係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発, 港湾空港技術研究所資料No.1370, 2020.

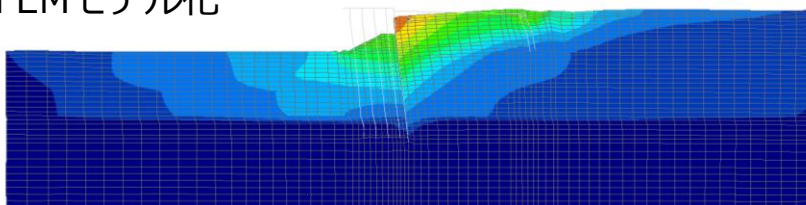
法線変位量と部材損傷状態の関係の整理



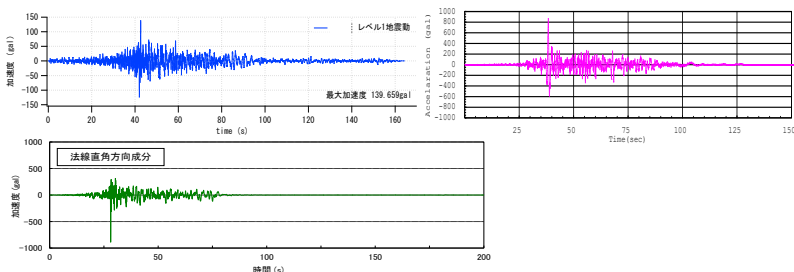
個別の施設ごとに地震動の振幅を変えた複数の地震応答解析を実施し、変形率（法線変位量/水深）と損傷状態を杭や矢板など部材ごとに整理



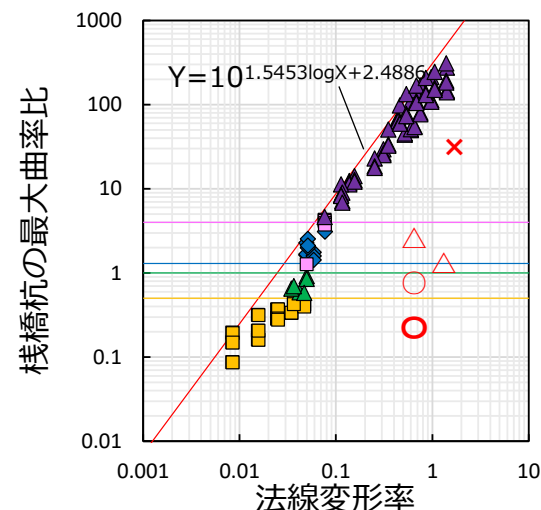
FEMモデル化



振幅調整をして、様々な大きさの地震動を入力



変位量と各部材損傷の関係を整理

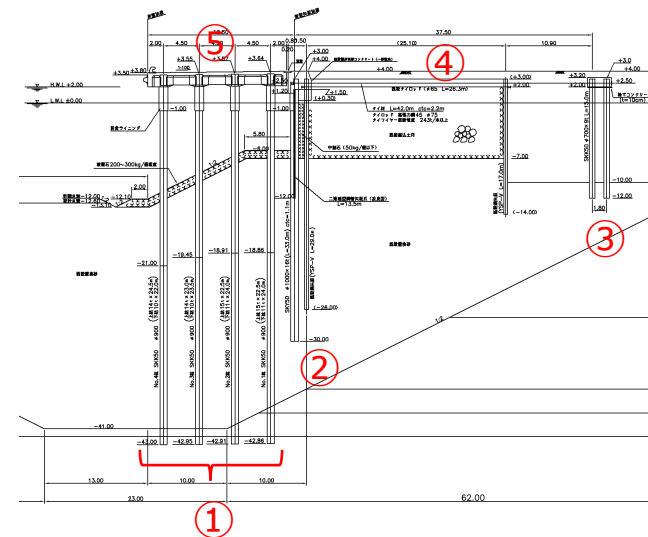
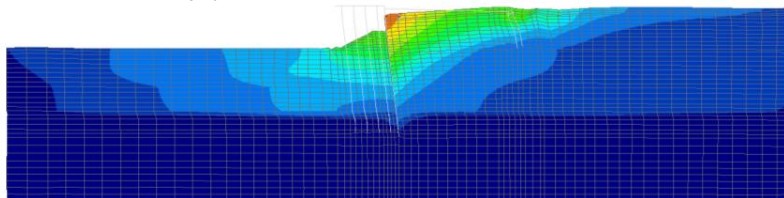
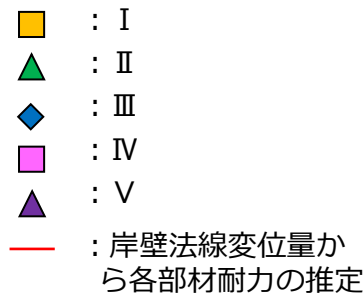
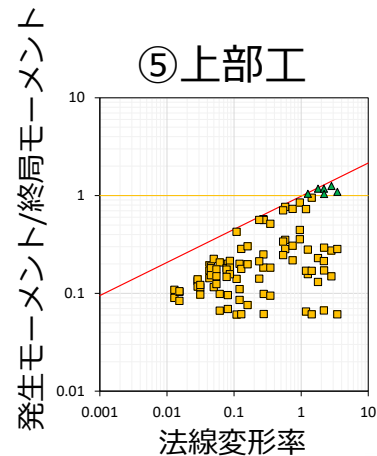
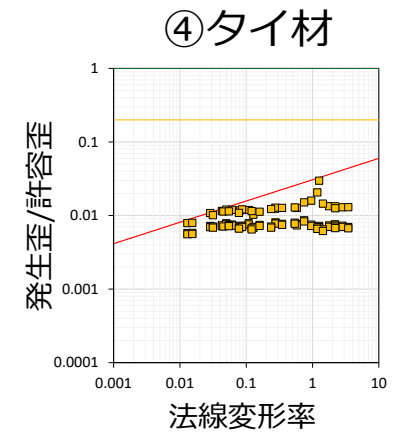
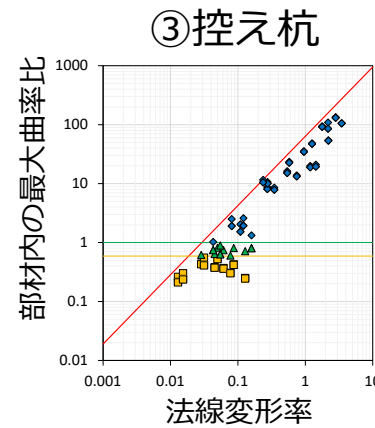
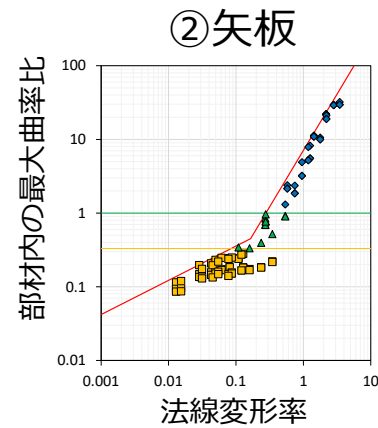
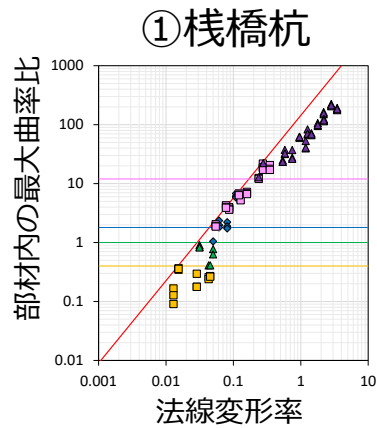


例えば、栈橋杭の場合、

- : 全ての杭で降伏応力度未滿、○
- ▲ : 全ての杭で限界曲率未滿、○
- ◆ : ある杭で限界曲率が発生、△
- : ある杭で2箇所以上の限界曲率が発生、△
- ▲ : 全ての杭で2箇所以上の限界曲率が発生、×
- : 岸壁法線変位量から各部材耐力の推定

伊藤宏高, 小濱英司: RTK-GNSS を活用し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.

法線変位量と部材損傷状態の関係の整理



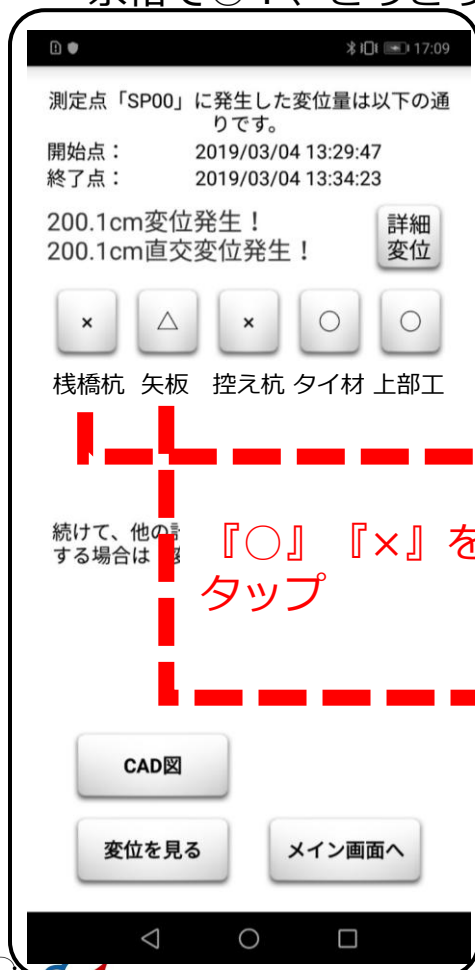
伊藤宏高, 小濱英司: RTK-GNSS を活用した地震後の係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発, 港湾空港技術研究所資料No.1370, 2020.

部材損傷判定結果の詳細のアプリ上での表示



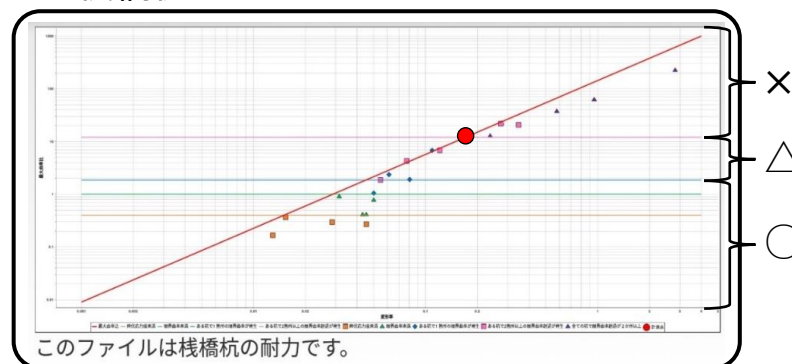
- 変位－部材損傷関係グラフ上への測定値のプロット
- 損傷判定閾値との位置関係の確認

余裕で○？、ぎりぎり○？、ぜんぜん×？

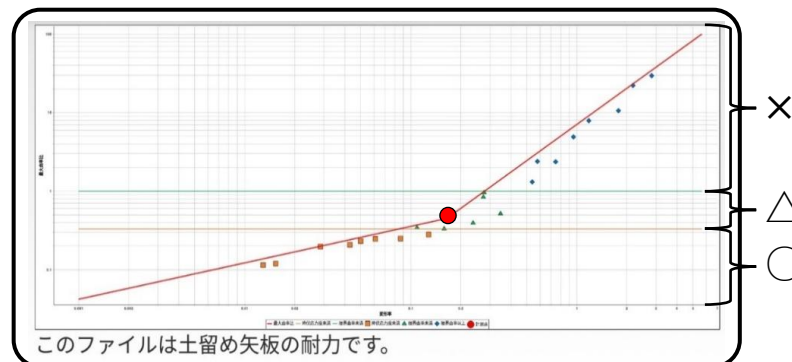


● 栈橋杭

●：計測点



● 土留め矢板

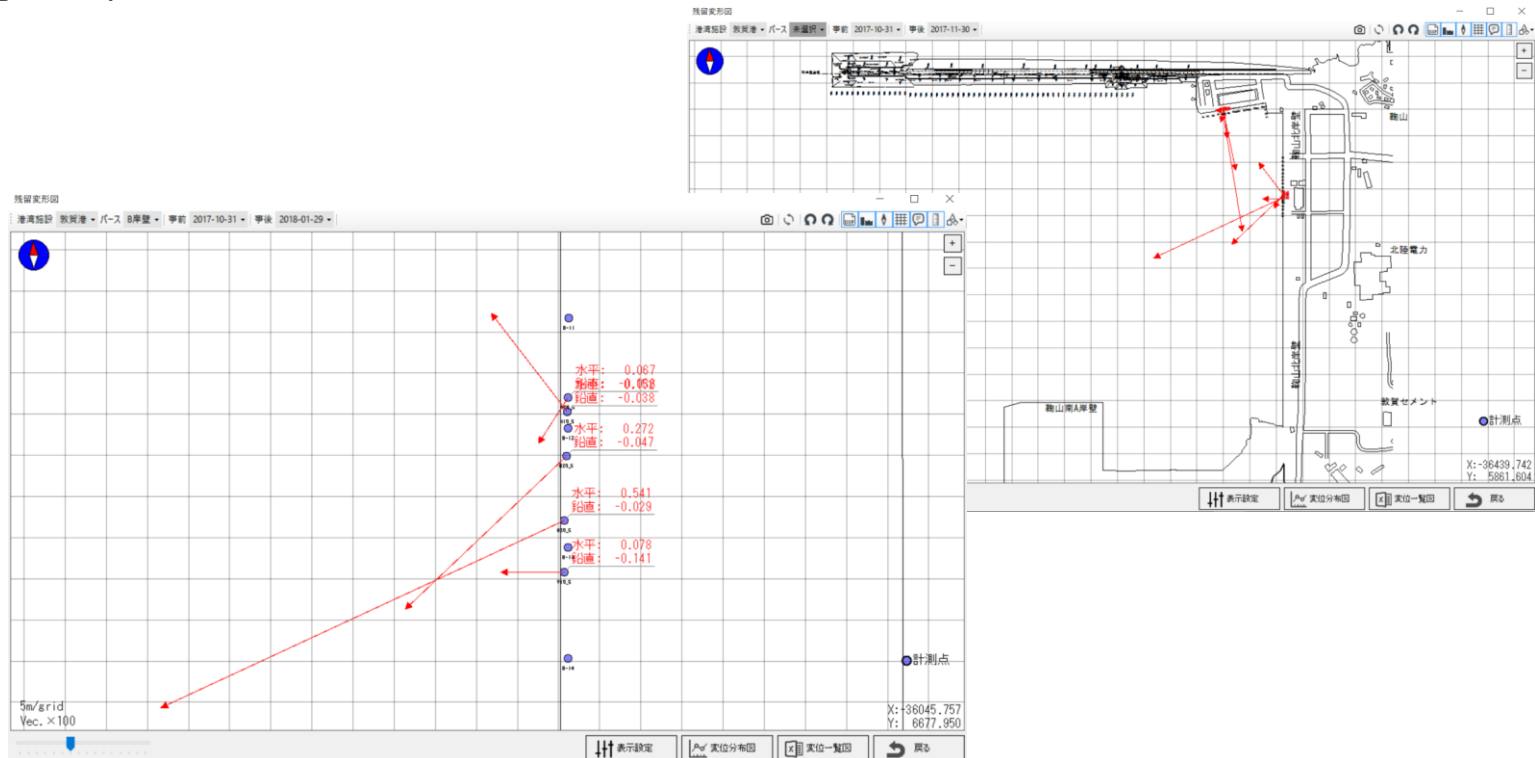


伊藤宏高, 小濱英司: RTK-GNSS を活用した地震後の係留施設の変位量計測・安定性評価支援システムの開発, 港湾空港技術研究所資料No.1370, 2020.

PCソフトウェア (Berth Surveyor for Desktop)



- スマホアプリの設定、計測点等の編集・管理
- 岸壁全延長や港全体の変形量分布を把握するための残留変形図描画等の機能

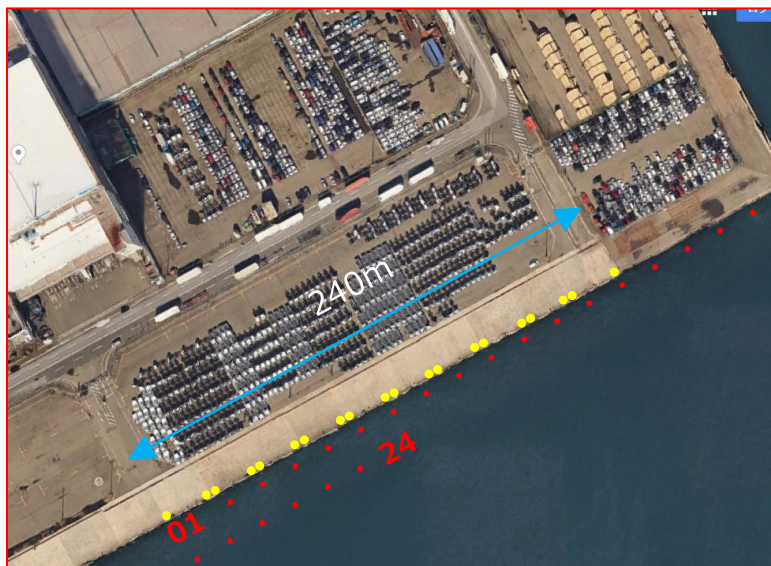
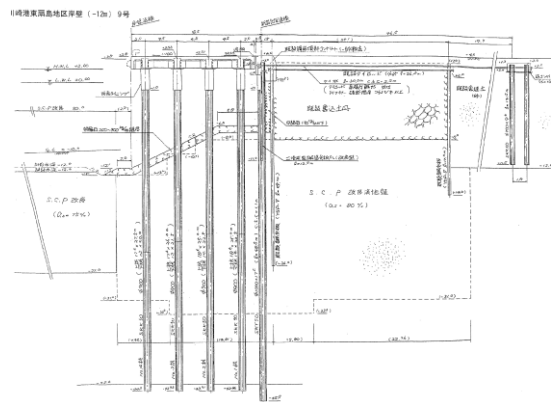


Berth Surveyor 適用事例



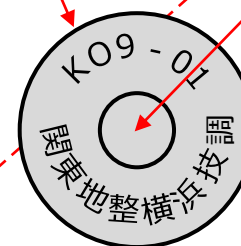
川崎港東扇島地区 (-12m) 9号岸壁

- 全長240mの栈橋式係船岸
- 1 スパンの両端に金属鈎を設置



アルミ製

ステンレス製



設置した金属鈎

伊藤宏高, 小濱英司: RTK-GNSS を活用し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.

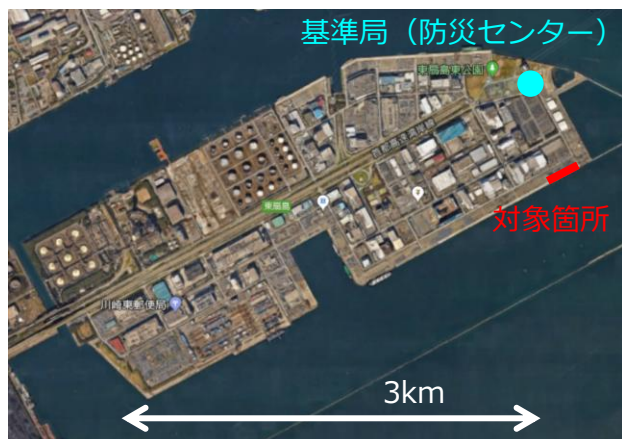
Copyright © 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所/National Institute of Maritime, Port and Aviation Technology. All rights reserved.

Berth Surveyor適用事例 基準局の設置

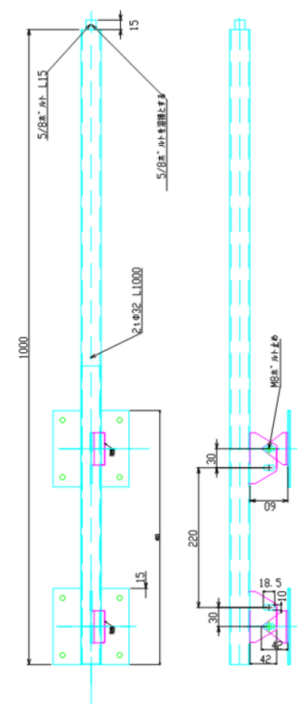


関東地方整備局首都圏臨海防災センター屋上に基準局設置

一部建物の陰で無線強度が低いところもあったが、東扇島のほぼ全域で基準局－観測局の無線通信は可能であった



GNSS、アンテナ設置用ポール
(常時残存)



伊藤宏高, 小濱英司: RTK-GNSS を活用し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.

今後の地震後利用可否判断手法の研究開発

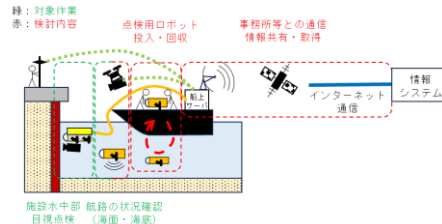


内閣府BRIDGE「港湾施設の被災状況把握・利用可否判断の迅速化」 (R6d~R8d)

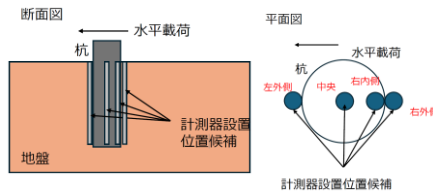
https://www8.cao.go.jp/cstp/bridge/keikaku/r6-14_bridge_r6.pdf

地表・地中部材変状計測、水面変動計測の技術開発、現地画像整理等、多様な現地情報とともに、数値解析結果も集約して閲覧し、専門家、技術者が総合的に利用可否判断できるシステムを目指す。

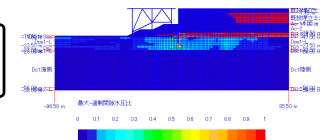
現地写真情報
業務艇活用、等



地表・地中変状計測
水面変動計測、等



PSI値による評価
数値解析自動実施による評価



BRIDGE統合結果表示システム

https://www8.cao.go.jp/cstp/bridge/keikaku/r6-14_bridge_r7.pdf

A diagram of a crane lifting a load. The crane has a horizontal beam supported by a vertical post. A cable is attached to the beam and runs over a pulley to a weight hanging below. The weight is labeled 'W'.

https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk5_000018.html





- 能登半島地震における被害、対応
 - 重力式（輪島港マリンタウン岸壁）
 - 矢板式（金沢港御供田 1 号岸壁）
 - 栈橋式（七尾港矢田新第 1 ふ頭西側岸壁）
 - 地殻変動による国土地理院基準点停止
 - 部材損傷評価（FLIP解析）
- 係留施設の地震被害の特徴
- 今後の港湾施設（係留施設）の大地震発生後の対応
 - 現地確認前、強震動情報による評価
 - PSI値による評価、FLIP解析実施による評価
 - 現地立入可能後（現地調査実施後）の評価
 - 変位計測の難しさ、変位－損傷関係による評価（BerthSurveyor）
 - 利用可否判断ガイドライン、内閣府BRIDGEにおける検討