

2025/12/05

建設コンサルタンツ協会  
港湾専門委員会講演会

## 耐震関連の最近の話題

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 野津 厚

謝辞: パワーポイント作成にあたり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方策検討会」での資料を活用させていただいている。一部のスライドは地震防災研究領域の小濱領域長から提供を受けました。

## 1 能登半島地震に関して強く印象に残ったこと

1－1 輪島港マリントウン岸壁(-7.5m, ケーソン式)

1－2 金沢港御供田 1号岸壁(-10m, 矢板式)

1－3 能登半島地震を踏まえた課題

## 2 兵庫県南部地震を振り返って

2－1 ケーソン式岸壁の被害メカニズム

2－2 完全に倒壊した桟橋の事例

2－3 ガントリークレーンの倒壊要因

# 1 能登半島地震に関して強く印象に残ったこと

1－1 輪島港マリントウン岸壁(-7.5m, ケーソン式)

1－2 金沢港御供田 1号岸壁(-10m, 矢板式)

1－3 能登半島地震を踏まえた課題

# 2 兵庫県南部地震を振り返って

2－1 ケーソン式岸壁の被害メカニズム

2－2 完全に倒壊した桟橋の事例

2－3 ガントリークレーンの倒壊要因

## 輪島港マリンタウン岸壁(-7.5m, ケーン式)



※ 1/2 9:30頃 自衛隊の艦船「あさぎり」に関する利用可否の相談が国総研+港空研にあった。

※ ケーン式岸壁の背後に最大2m程度の段差が生じ、ケーンの水平変位もおそらく同程度である状況であった。しかし、堤体には大きな傾斜が生じておらず、過去のケーン式岸壁の被災事例で堤体そのものの破壊が問題となつた事例が報告されていないことも踏まえ、短時間で利用可否に関して前向きな回答をすることができた。

※ 地震のわずか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された。

※ ケーン式岸壁のロバスト性!

1 能登半島地震に関して強く印象に残ったこと

1-1 輪島港マリントウン岸壁(-7.5m, ケーソン式)

1-2 金沢港御供田1号岸壁(-10m, 矢板式)

1-3 能登半島地震を踏まえた課題

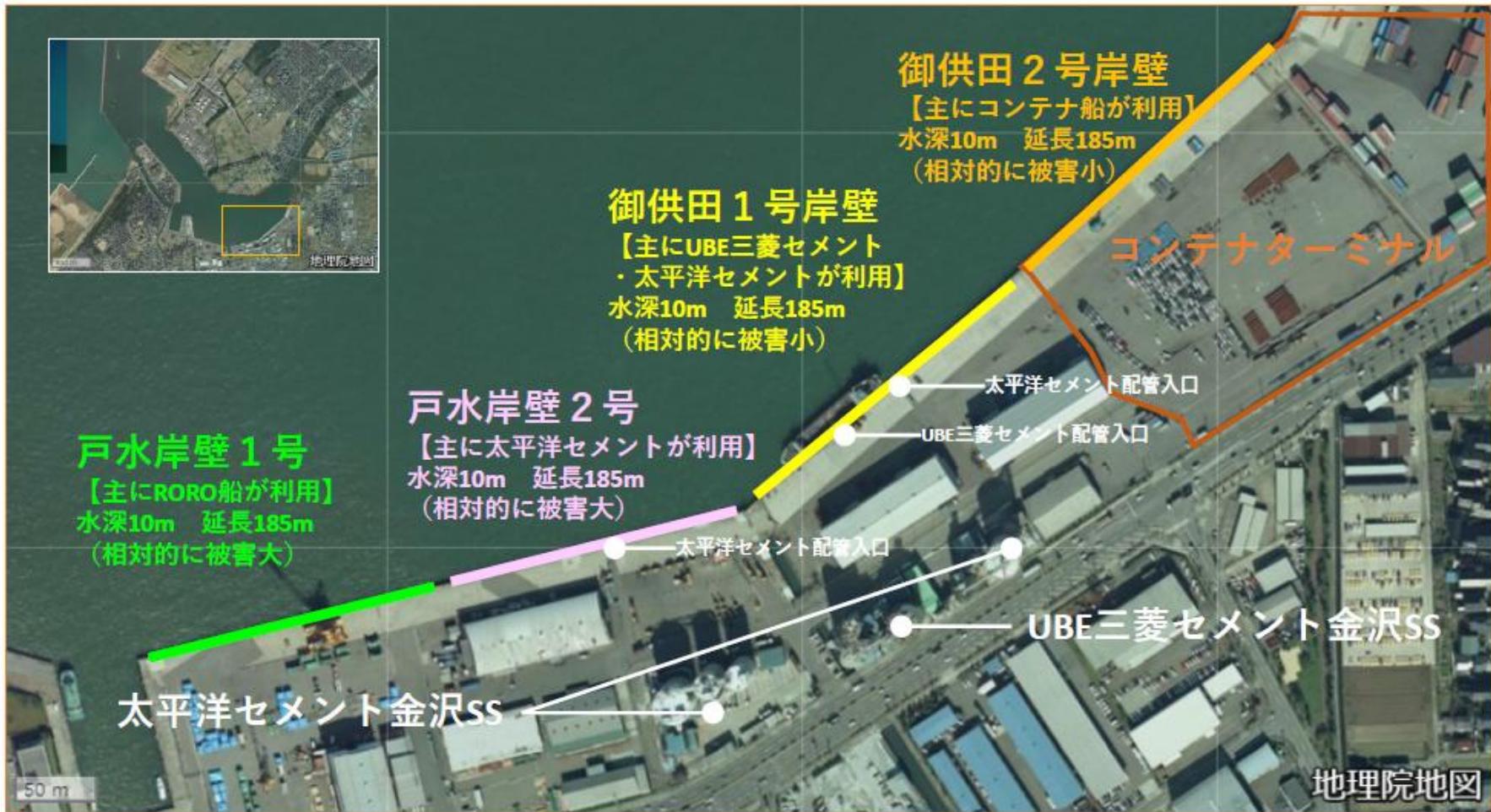
2 兵庫県南部地震を振り返って

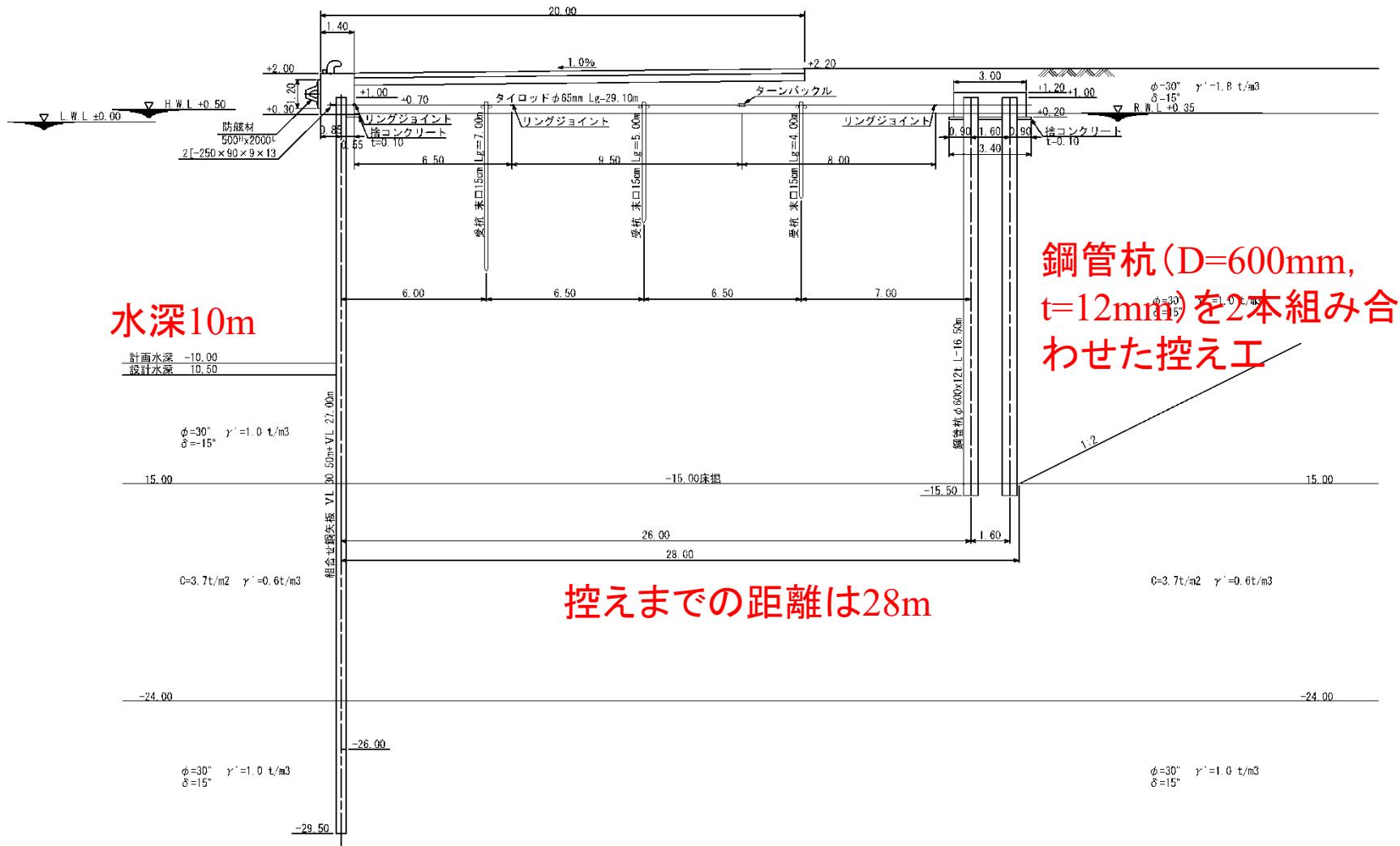
2-1 ケーソン式岸壁の被害メカニズム

2-2 完全に倒壊した桟橋の事例

2-3 ガントリークレーンの倒壊要因

# 金沢港 戸水岸壁・御供田岸壁の利用形態





鋼矢板

1月4日 初期の照査(北陸地整+本省+国総研+港空研)

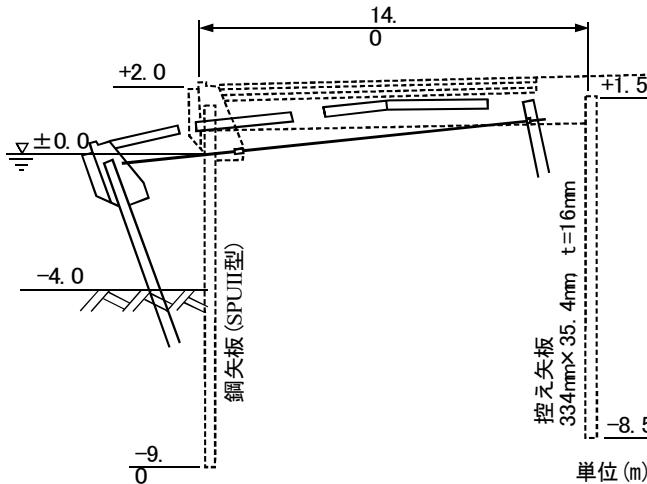
※控え背後に30cm程度の法線平行方向のクラックが見つかった.



(ここに示す写真は1/17に別のグループが撮影)

# 矢板式岸壁の被災モードに関する過去の知見

★過去の矢板式岸壁の被災事例において、もっとも多く発生している被害は、控えが海側に移動し、それに伴い矢板天端も海側に移動するモード



★北島・上部(1979, 港研報告第18巻第1号)は矢板式岸壁の安定解析結果に基づき「現行設計法により適正に設計されていれば、地震時被害は控え工前方移動に起因する現象が先行する」と述べている。

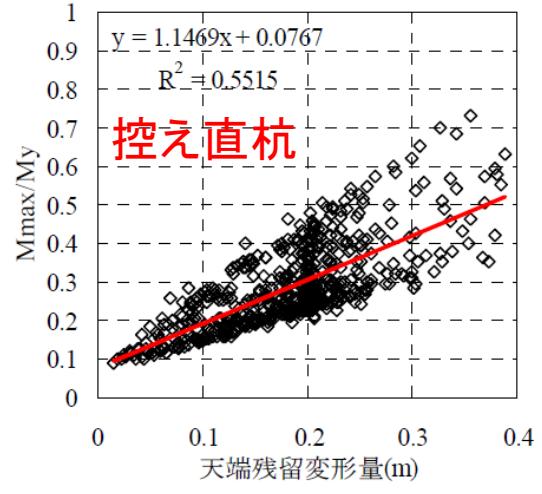
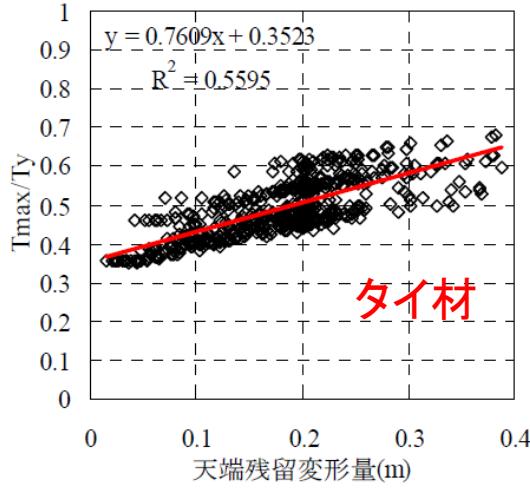
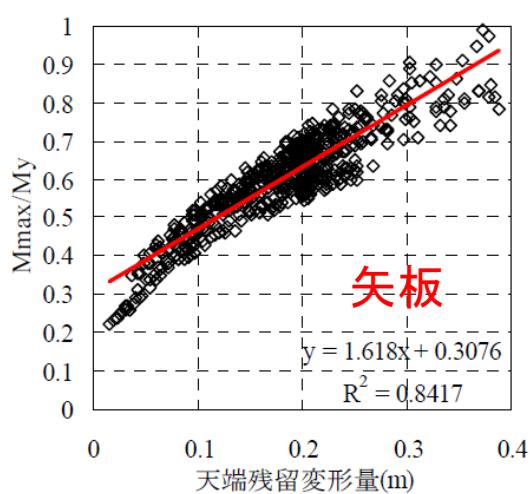
## 要　　旨

新潟、十勝沖、根室半島沖地震などの大地震において被災した矢板岸壁などの被害状況を分析し、現行設計法による安定解析結果と対比している。また、矢板模型に関する一連の振動実験において、矢板構造物が地震時に示す挙動を計測し、その破壊過程を明らかにしている。

1. 控え鋼矢板構造物に関する現行設計法は実用上完成されている。ただし、撓み性控え工形式に関しては、改良の必要性を検討する必要あり。また、改良の方向および手掛りを提示している。
2. 同構造物に関する作用震度と最大地盤加速度との関係は重力式構造物に関する当該関係を準用できる。
3. 現行設計法により適正に設計されていれば、地震時被害は控え工前方移動に起因する現象が先行する。軽率な控え工補強は構造物の崩壊を促進する。
4. 控え工移動はタイ張力の特定振動数帯(2~4 Hz)における厳しい変動によって誘起される。

## 矢板式岸壁の被災モードに関する過去の知見

★長尾・尾崎(2005)は控え直杭式矢板式岸壁を対象に多数のFLIP解析を繰り返すこと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)の関係を求めており, 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ことを示している.



1月4日 初期の照査(北陸地整+本省+国総研+港空研)

※控え背後に30cm程度の法線平行方向のクラックが見つかった.

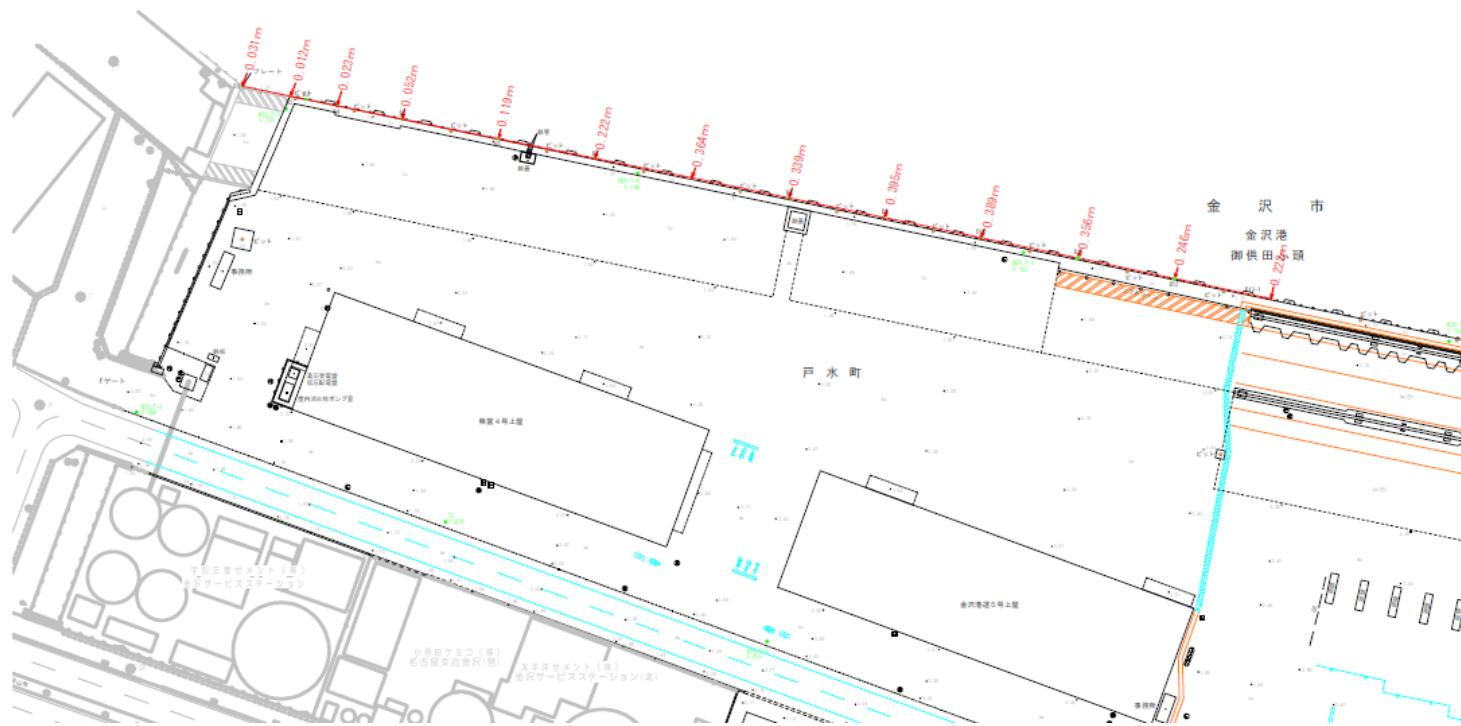


(ここに示す写真は1/17に別のグループが撮影)

「矢板背後の舗装に30cm程度のクラック、沈下が発生していることから、矢板が海側へ変位している可能性が高い。矢板本体の海側変位量は不明確であるが、降伏に至っている可能性や、タイロッドの伸びが懸念される等、供用不可と判断できる」

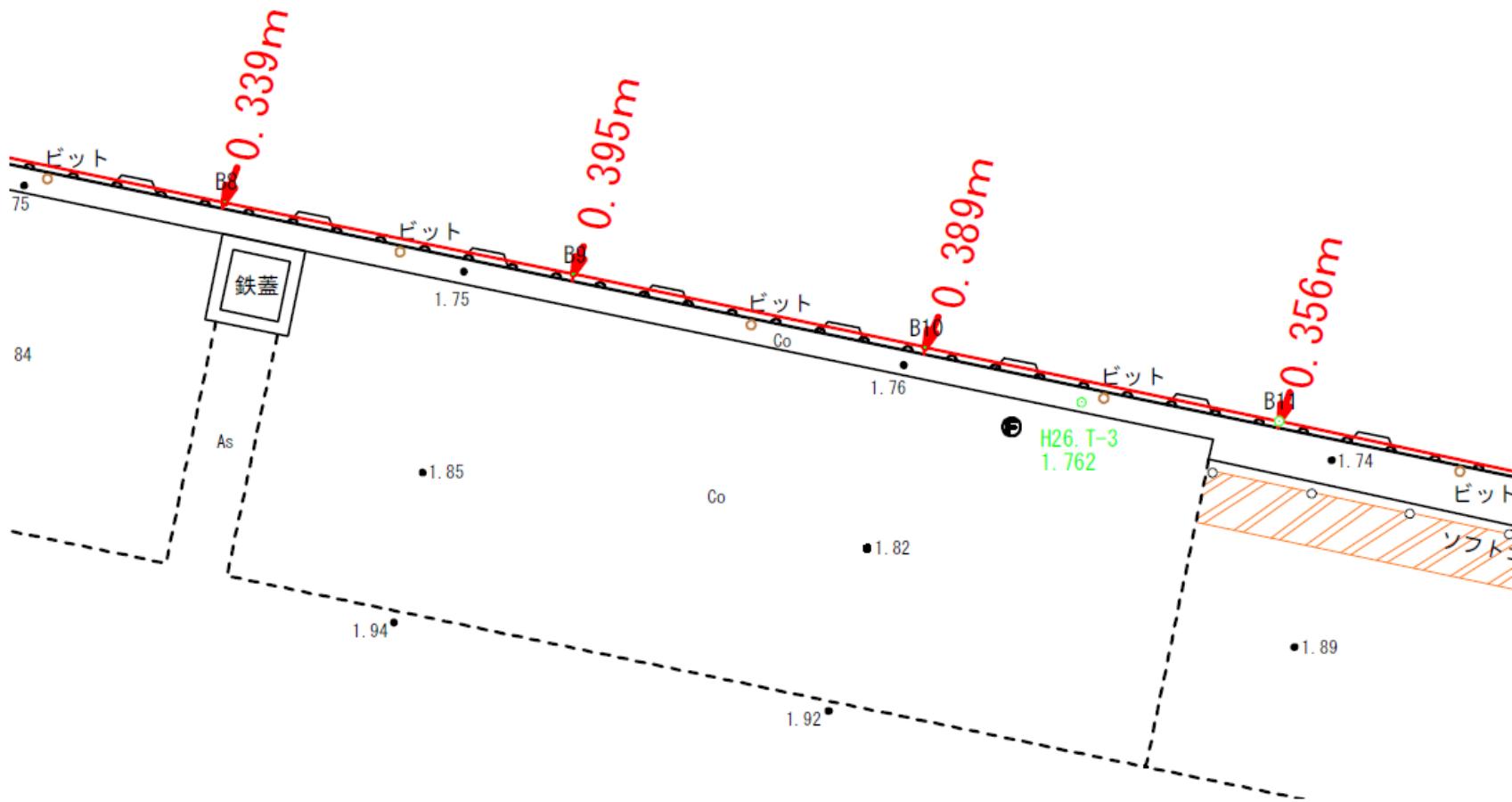
## 1月14日打合せ(本省, 北陸地整, 石川県, 国総研, 港空研)

## ※石川県による測量結果の共有



## 1月14日打合せ(本省, 北陸地整, 石川県, 国総研, 港空研)

### ※石川県による測量結果の共有



# 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、隨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。



図2 三角点等 測量成果公表停止範囲

1月15日打合せ(本省, 北陸地整, 石川県, 港湾利用者, 国総研, 港空研)

1月19日打合せ@国総研(本省, 国総研, 港空研)

※石川県の測量結果は十分に信頼性が高いとの認識を共有

※控えが海側に移動し, それに伴い矢板天端も海側に移動するモードが発生しているとの認識を共有

(理由)

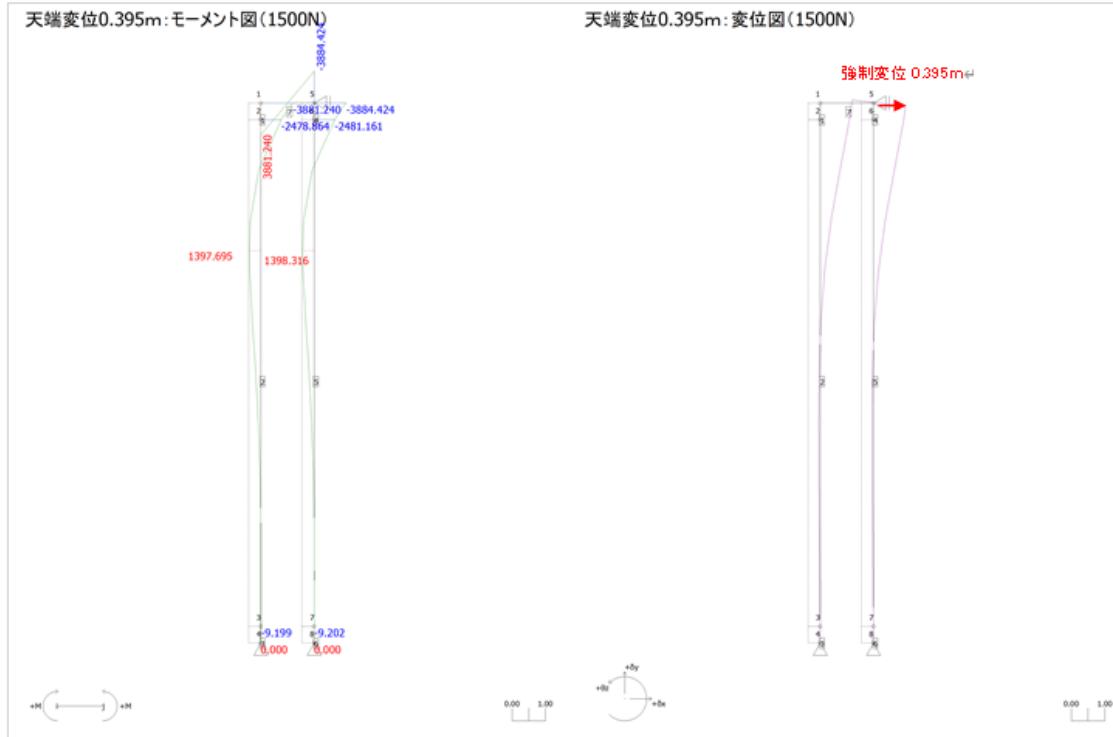
- ・矢板天端の水平変位と背後のクラック幅が概ね対応
- ・矢板上部工に陸側への傾斜は見られない(里村氏/藤木氏/中澤氏の調査結果)



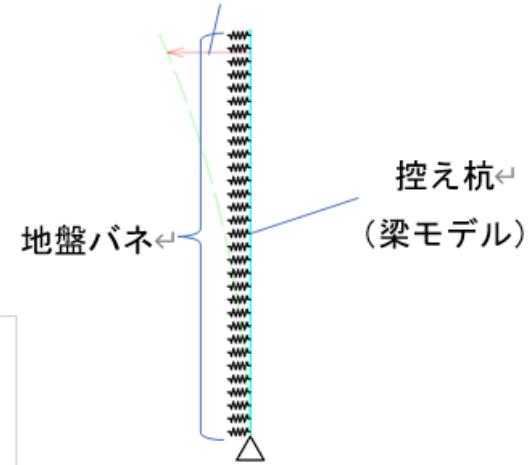
# 1月25日打合せ(担当コンサルタント会社+国総研+港空研)

※フレームモデルでは控え杭が全くもたない。  
控えが門型のラーメンだから。

バネ値 1500N



強制変位 (前面矢板と同等の変位)



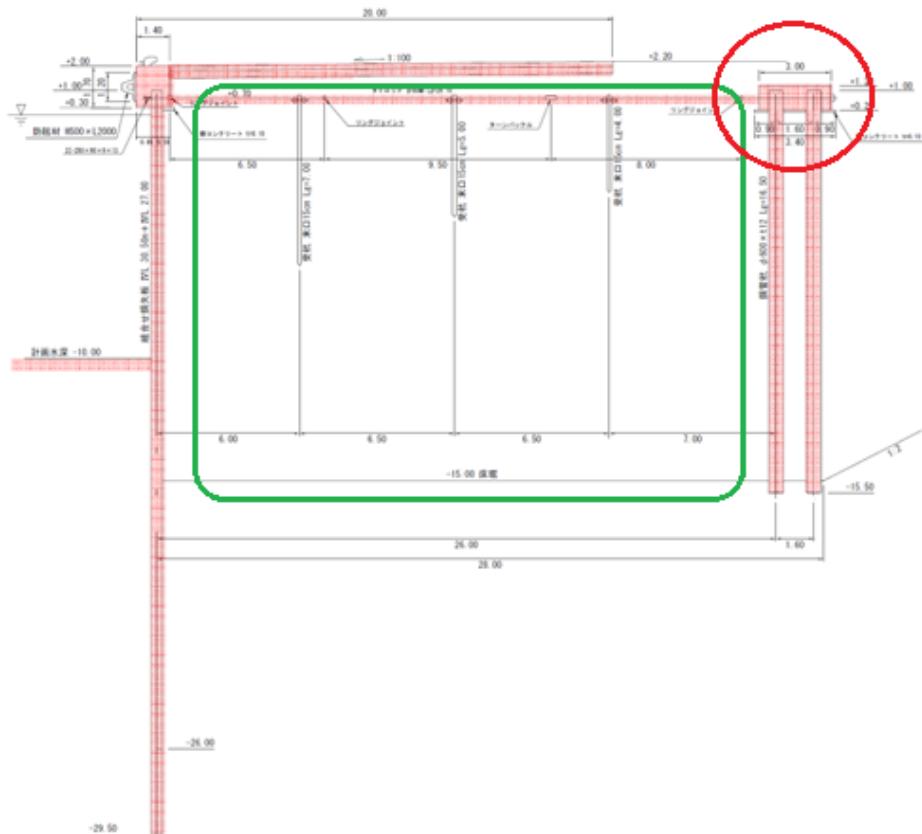
## 1月25日打合せ(担当コンサルタント会社+国総研+港空研)

※本来は控えの前の地盤も動くのに、フレームモデルでは控えの前の地盤は動かず控えだけ40cmも動くと考えるのだから厳しくなるのは当然。

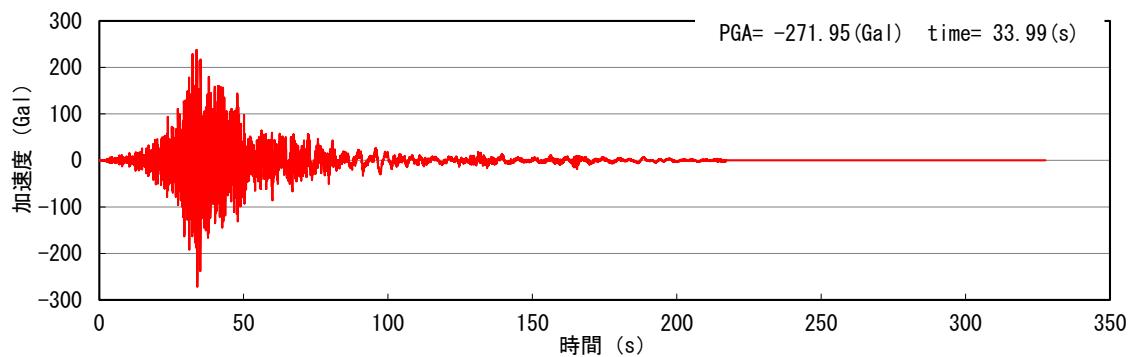
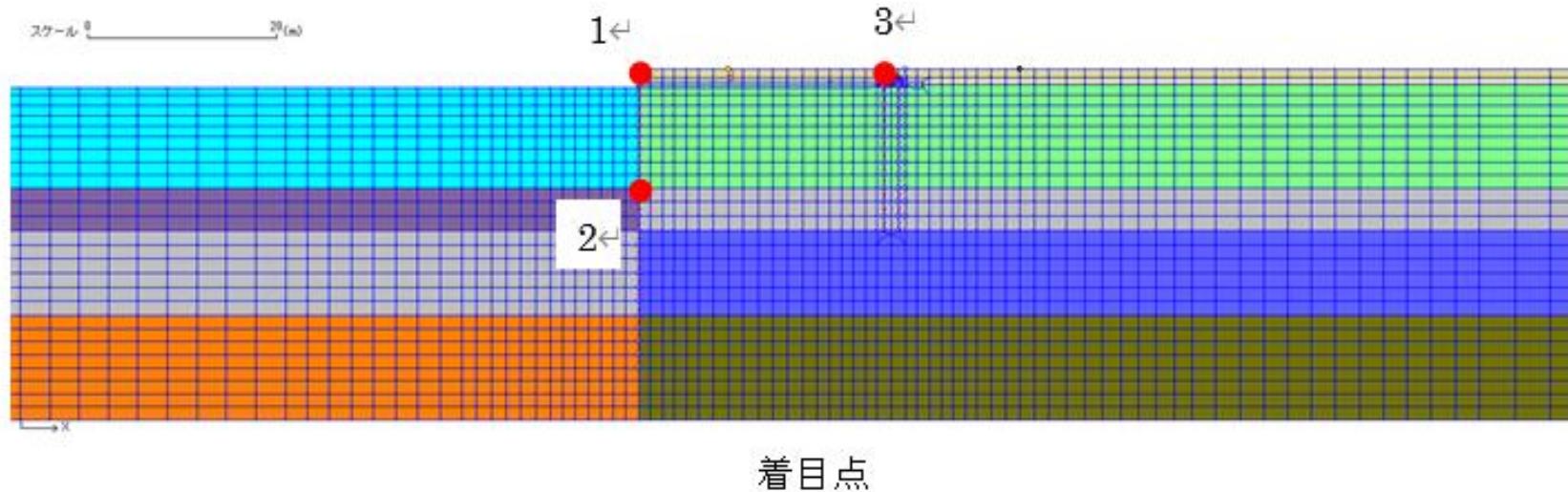
※図の緑の部分にも強大な慣性力がかかっている。

※ 担当コンサルタント会社が  
FLIP解析を用意.

### ③標準断面図

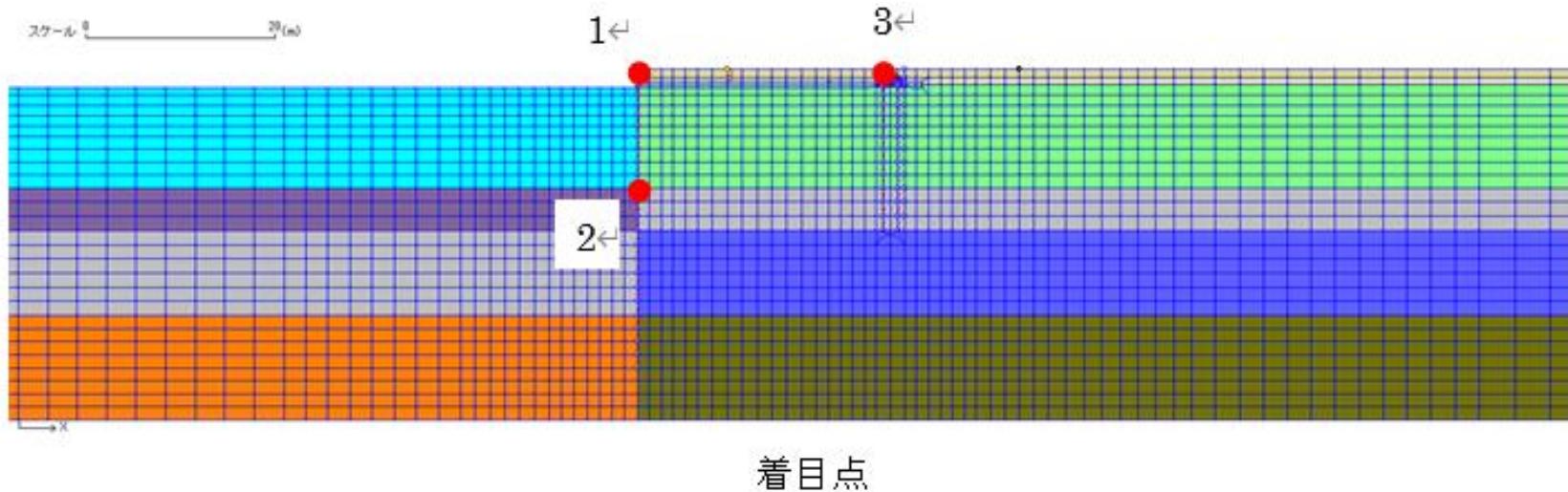


# 1月26日打合せ(担当コンサルタント会社+国総研+港空研)



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

# 1月26日打合せ(担当コンサルタント会社+国総研+港空研)

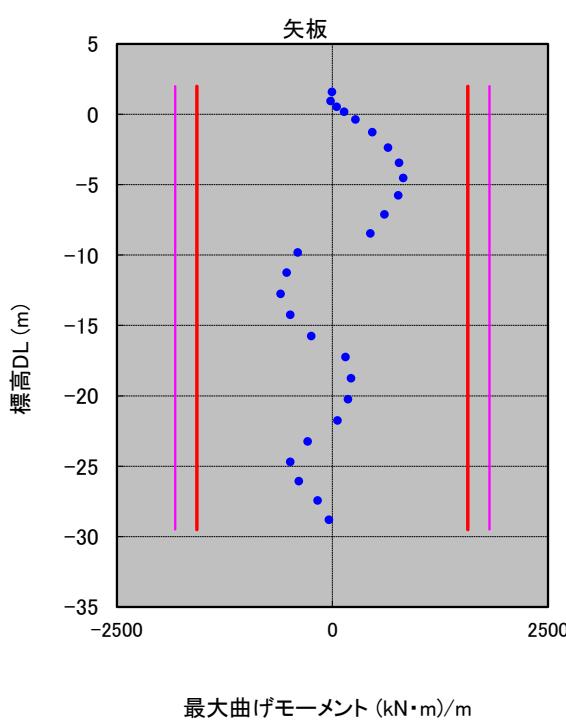


Node No.	出力位置	地震後						地震後+牽引力		位置	
		残留変位 (cm)		最大変位 (cm)		最大加速度 (GAL)		残留変位 (cm)			
		水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向		
1354	矢板天端	-41.34	0.22	-43.30	0.34	366.6	41.5	-42.93	0.22	1	
3410	矢板(海底面位置)	-13.62	0.22	-13.75	0.34	157.9	42.7	-13.69	0.22	2	
3452	控杭位置	-39.35	-2.63	-41.06	-2.71	145.8	60.1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

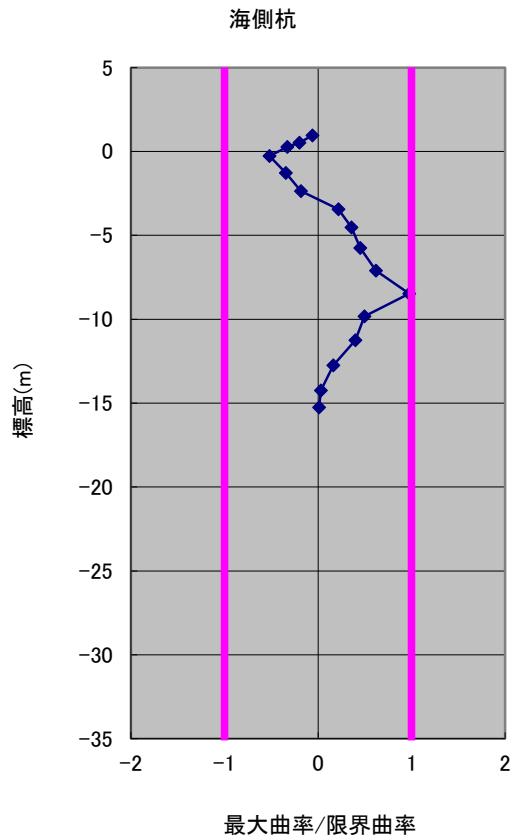
現地実測値

- ・矢板天端: 39.5cm
- ・海底面位置 27.5cm

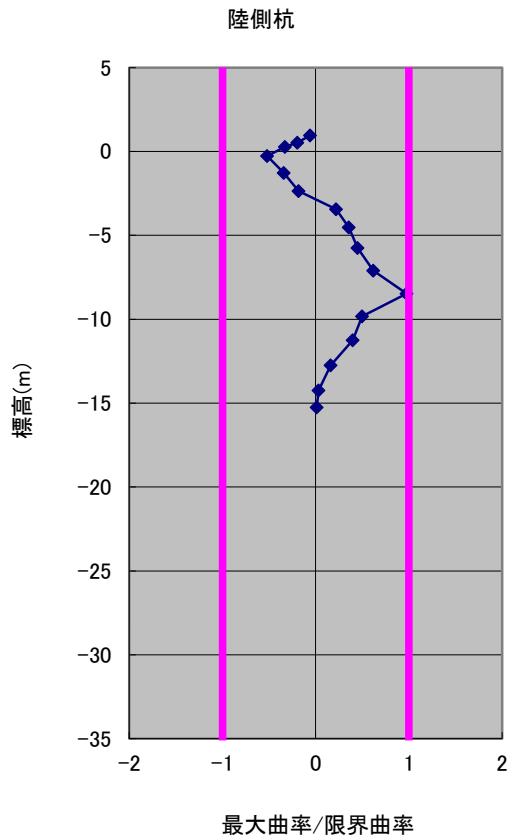
# 1月26日打合せ(担当コンサルタント会社+国総研+港空研)



鋼矢板



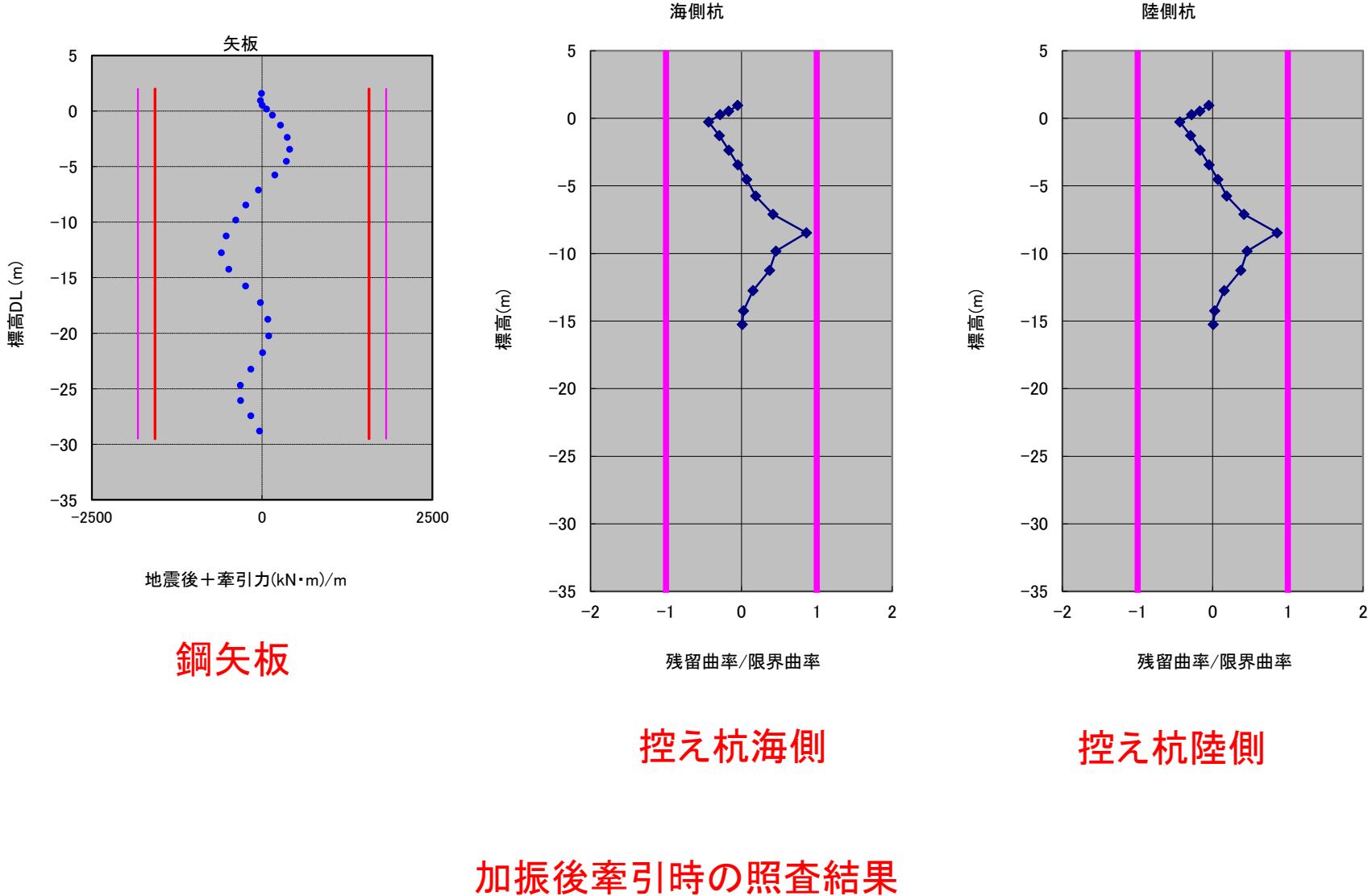
最大曲率/限界曲率



最大曲率/限界曲率

加振時最大値の照査結果

# 1月26日打合せ(担当コンサルタント会社+国総研+港空研)



## 1月26日打合せ(担当コンサルタント会社+国総研+港空研)

※鋼矢板、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(鋼管部材に局部座屈が生じて不安定化する恐れのある曲率)には至っていない

※暫定供用可能

※担当コンサルタント会社のたいへんな努力!

※事前準備の重要性!

※Berth SurveyorとFLIP解析が事前に導入されていれば同等の判断は地震後2~3日でできていた可能性があり、今後は重要性の高い矢板・桟橋に対して Berth SurveyorとFLIP解析を事前に導入することが課題である。

## 1 能登半島地震に関して強く印象に残ったこと

1－1 輪島港マリントウン岸壁(-7.5m, ケーソン式)

1－2 金沢港御供田 1号岸壁(-10m, 矢板式)

1－3 能登半島地震を踏まえた課題

## 2 兵庫県南部地震を振り返って

2－1 ケーソン式岸壁の被害メカニズム

2－2 完全に倒壊した桟橋の事例

2－3 ガントリークレーンの倒壊要因

◎改めて感じたのはケーン式岸壁のロバスト性. 輪島港のケーン式岸壁はケーン背後に最大2m程度の段差が生じ, ケーンの水平変位もおそらく同程度であったと考えられるが, 堤体には大きな傾斜が生じておらず, 碎石による応急対策がなされ, 地震のわずか3日後の1月4日には船舶が接岸し緊急物資輸送に利用された. 一般に矢板式岸壁や桟橋のような鋼部材を主体とする施設は, 過去の地震において鋼部材の損傷(矢板の折損や鋼管杭の座屈)が生じた例があることから, 利用可否判断は慎重に行う必要があり, 天端残留水平変位の測量結果に基づいて鋼部材の健全性を確認する必要がある. しかしながら, 能登半島地震のように地殻変動が生じ国土地理院が基準点のサービスを停止している状況では信頼性のある測量結果を得るのに時間がかかる. 加えて鋼部材の健全性の確認にはフレーム解析(状況に応じてFLIP解析)が必要となりこの点でも時間を要する. その点, ケーン式岸壁は迅速な判断が可能であり, 上述の輪島港の岸壁は, 耐震強化バースではなかったにも関わらず, 地震の3日後にはを使っている. 小職はもともと緊急物資輸送対応の耐震強化バースはケーン式が良いとの考えであったが, 今回の地震を経験しその思いを一層強くした.

◎併せて応急復旧用の資機材(碎石, 重機など)を事前準備しておくことはぜひ検討されるべきである.

## 資機材の備蓄



※迅速な応急復旧のための資機材の備蓄については**交通政策審議会答申**(防災部会)(令和6年7月)(p.11)でも言及されている。

[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/port01\\_sg\\_000485.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/port01_sg_000485.html)

「応急復旧に必要となる**碎石・敷鉄板等の資材**や、**バックホウ等の機材**を、発災後の港湾内外でのニーズの急増にも備えてあらかじめ備蓄しておくとともに、関係事業者等との協定を締結するなど、過去の災害時における応急復旧での事例も踏まえ、迅速な復旧作業の着手に資する備えが重要である」

◎災害対応の初期段階(1月10日まで)に研究所職員も参加して行われた利用可否判断は一定の役割を果たしたが、必ずしも理想通りとはいかなかった。この段階では天端残留水平変位の測量結果は得られていなかった。そのため、矢板式岸壁や桟橋のように本来は天端残留水平変位の測量結果に基づいて判断すべき施設であっても、現地で確認できる情報から判断せざるを得なかった。

◎矢板式岸壁の場合、控えが前方に移動するモードの変状が生じる場合が多い。したがって、特に控えの周辺に着目し、控えの直背後に段差やクラックが生じている場合は控えと矢板本体が前方に移動している可能性が高いと判断した。

◎桟橋の場合、背後の土留めが前方に移動し、それに伴い上部工や杭が海側に押されるモードの変状が生じる場合が多い。したがって、特に土留めの挙動に着目し、土留めが前方に移動した形跡が認められる場合は、上部工や杭が海側に押されている可能性があると判断した。

◎こうした判断は、測量結果が得られていないという制約条件の下でやむを得ず実施したものであり、本来、矢板・桟橋については、天端残留水平変位の測量結果に基づいて定量的に利用可否判断できるようにすべきである。そのためにはBerth Surveyorのより広範な導入が望まれる。

◎金沢港の御供田1号岸壁の場合, ①継続的に実施してきた強震観測, ②港空研の先輩研究者が開発したFLIP, ③比較的最近開発された鋼管杭の新しいモデル化手法(限界曲率など)がすべて結びついた結果, 利用可否判断が可能となった. その点で, これまで進めてきた研究は無駄ではなかったと実感できた.

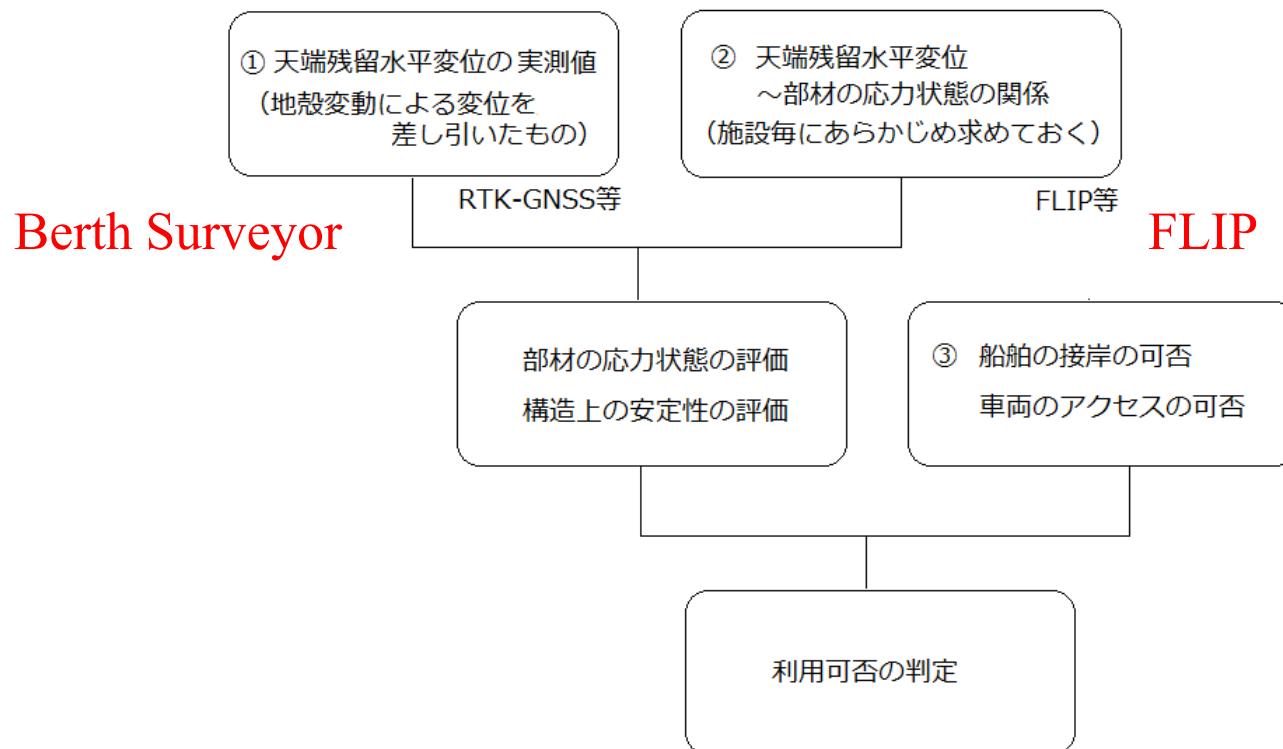
◎ただし, Berth SurveyorとFLIP解析が事前に導入されていれば同等の判断は地震後2~3日でできていた可能性があり, 今後は重要性の高い矢板・桟橋に対して Berth SurveyorとFLIP解析を事前に導入することが課題である.

## その他の課題

◎地殻変動を設計においてどのように考慮するか.

◎レベル2地震動の設定方法の検証.

- ◎矢板・桟橋など鋼部材を主体とする係留施設の利用可否判断においては、**地中部を含む部材の応力状態を必ず確認する必要がある**。
- ◎ところが、部材の応力やひずみは一般には直接が計測できない。
- ◎そのため、矢板・桟橋の利用可否判断においては、天端残留水平変位を確実に計測し、それに基づいて、『港湾の施設の技術上の基準・同解説』(平成30年)のp.1856に示す以下のような流れで、施設の個別性を考慮して利用可否判断を行うことが推奨されている。



# バースサーべイヤーについて

## 天端残留水平変位について

◎一見動いていないように見える岸壁でも動いていることがある。



写真-4.2.3.5 摩耶埠頭第1突堤第3岸壁

←後に航空写真測量で50cm程度動いていることが判明した。

◎係留施設の変位 = 地殻変動による変位 + 係留施設の変形による変位

- ・地震前後の絶対座標の差をとるだけではだめ
- ・地殻変動に関する変位を外部機関から入手しようとすると時間がかかる

## バースサーベイヤーについて

このような観点から、港空研ではRTK-GNSSによる岸壁使用可否判断支援システム「Berth Surveyor」の開発を行ってきた。



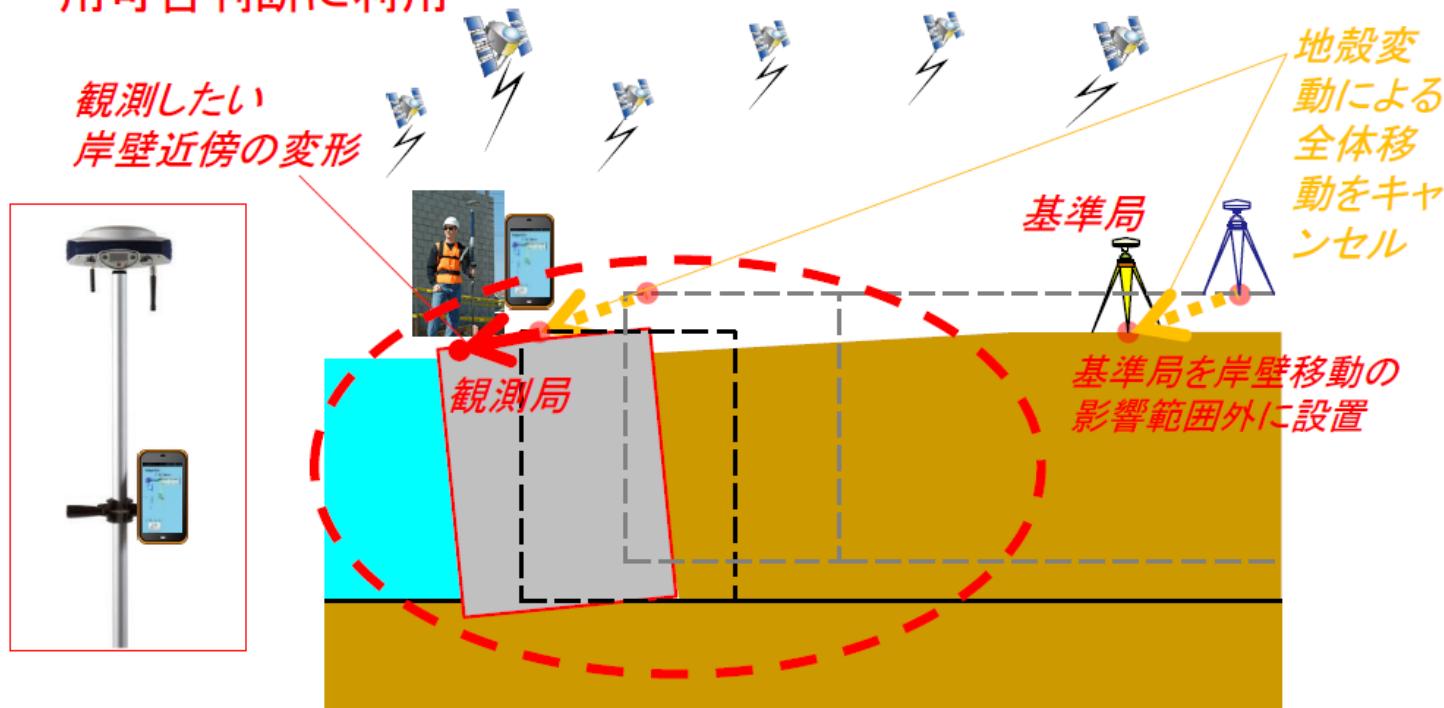
岸壁使用可否判断支援システム「Berth Surveyor」

# バースサーベイヤーについて

## RTK-GPSを用いた岸壁変形量計測ツールの検討

- Androidアプリにより、簡単にGPSアンテナを操作、計測
  - 計測時の携行機器はGPSアンテナおよび操作端末、1人でも計測が可能
- RTK-GPS方式により、誤差1-2cmの高精度な計測が可能

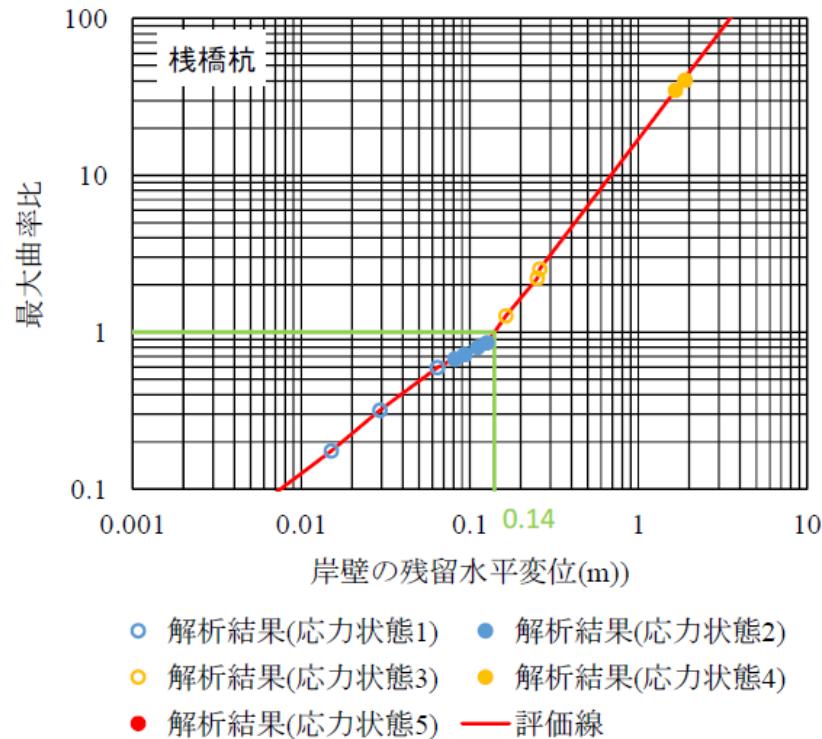
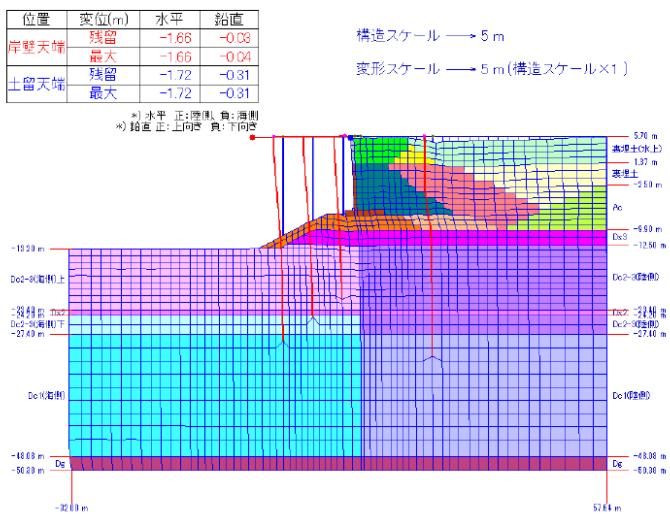
⇒現場にて即座に変位量を把握し、要詳細調査箇所を抽出、簡易使用可否判断に利用



## 事前のFLIP解析について

# 天端残留水平変位～部材の応力 状態の関係 (九州地方整備局における事例)

### (1) 残留変形図



### (1) 残留水平変位と地震中の桟橋杭の最大曲率比



※地殻変動による隆起の大きさによっては事前に対応可能な場合もあるので、まずは各地で想定される地震による地殻変動の大きさを想定しておくことが重要.

# 地方整備局のうごき

## これまで

- ・平成29年度～令和3年度 大規模地震時における係留施設の使用可否判定方策検討会(九州地整)→下関技調HPでマニュアル公開
- ・令和6年度 管内係留施設の大規模地震時における使用可否判定方策に関する検討会(中国地整)

## いま

- ・令和7年度 東北管内の大規模地震後における利用可否判断検討会
- ・令和7年度 大規模地震時における係留施設の利用可否判断技術検討会(北陸地整)

## 1 能登半島地震に関して強く印象に残ったこと

1－1 輪島港マリントウン岸壁(-7.5m, ケーソン式)

1－2 金沢港御供田 1号岸壁(-10m, 矢板式)

1－3 能登半島地震を踏まえた課題

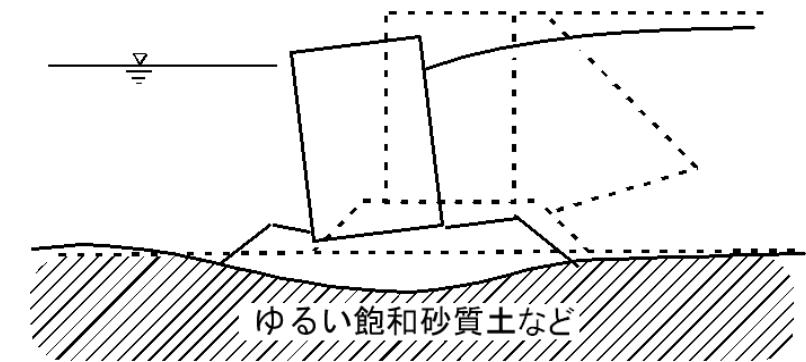
## 2 兵庫県南部地震を振り返って

2－1 ケーソン式岸壁の被害メカニズム

2－2 完全に倒壊した桟橋の事例

2－3 ガントリークレーンの倒壊要因

## ケーソン式岸壁の被害

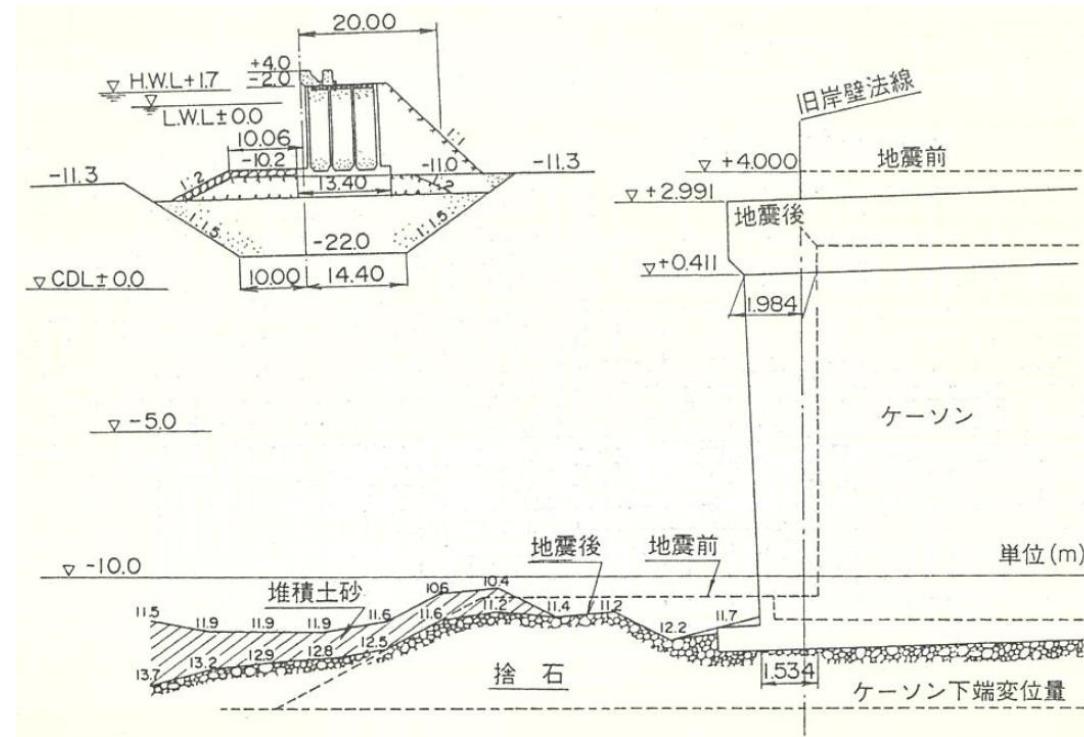


(この写真はわかりやすくするために左右反転させている)

★ケーソンが沈下・傾斜を伴いながら海側に移動し、背後地盤は沈下し、堤体と背後地盤との間に段差が生じた。

★これは、ケーソン式岸壁の典型的な被害形態であるが、神戸港の場合は特にその程度が著しかった。

ケーンの水平変位はケーン-マウンド間の滑動で生じているわけではない!  
← 兵庫県南部地震における最大の発見の一つ



# ケーソン式岸壁の潜水調査結果の一例(六甲アイランド) (一井他, 港空研報告Vol.36, No.2)

- ・ケーン前趾の移動量とマウンド法肩の移動量がほぼ同等となっている。
  - ・菅野他(港空研資料No.1145)にはより多くの事例が示されている。



2021年



2022年

★兵庫県南部地震以降、ケーソン－マウンド間の滑動の有無を潜水調査で調べた事例は少ない。

★2022年福島県沖の地震で被害を受けた相馬港のケーソン式岸壁(水平変位は最大79cm)に対して久しぶりに潜水調査が行われた。

★その結果、やはり、ケーソン－マウンド間で滑動は生じていないことがわかった(港空研資料No.1414)。

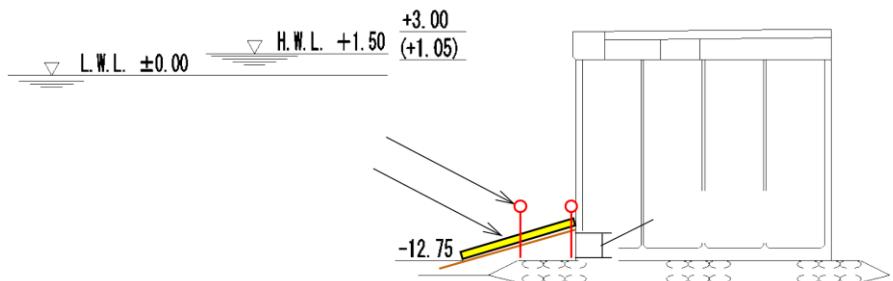
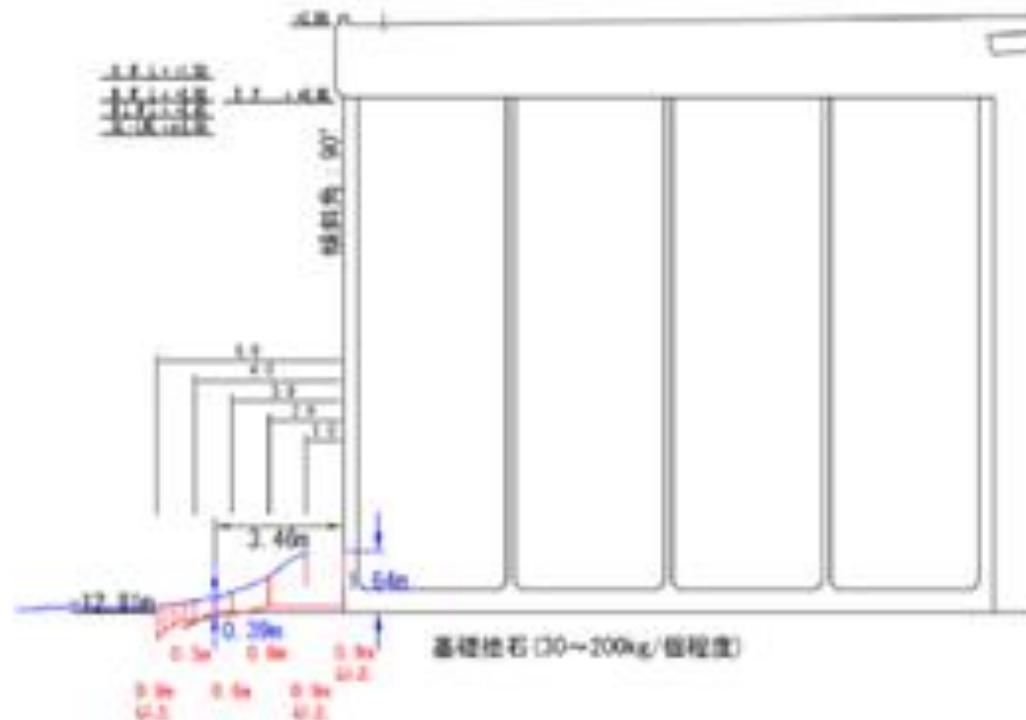


図 3-7 基礎マウンド状況の確認

10

青実績：マルチピーム測量結果  
赤実績：ピンホール読み取り



- ・標準断面から想定される岸壁からの基礎マウンド法肩位置 : 3.46m
  - ・岸壁前面～1mは、0.9m以上の堆積を確認した。
  - ・変化点は岸壁前面より 4.4m 地点。

これが意味すること…

- ★滑動は設計計算において便宜上仮定している変位モードに過ぎず, 実際の変位はマウンドやその下の地盤の変形で生じている.
- ★ケーソン式防波堤に対して有効な摩擦増大マット(下迫他, 2001)はケーソン式岸壁の耐震性向上には寄与しない.

なお, 地震時のケーソン式岸壁の挙動が波力を受けける防波堤の挙動と異なるのは, 波力がケーソンだけに作用するのに対し, 地震時の慣性力はケーソンだけでなくマウンドやその下の地盤にも作用するためであると考えられる.

## 1 能登半島地震に関して強く印象に残ったこと

1－1 輪島港マリントウン岸壁(-7.5m, ケーソン式)

1－2 金沢港御供田 1号岸壁(-10m, 矢板式)

1－3 能登半島地震を踏まえた課題

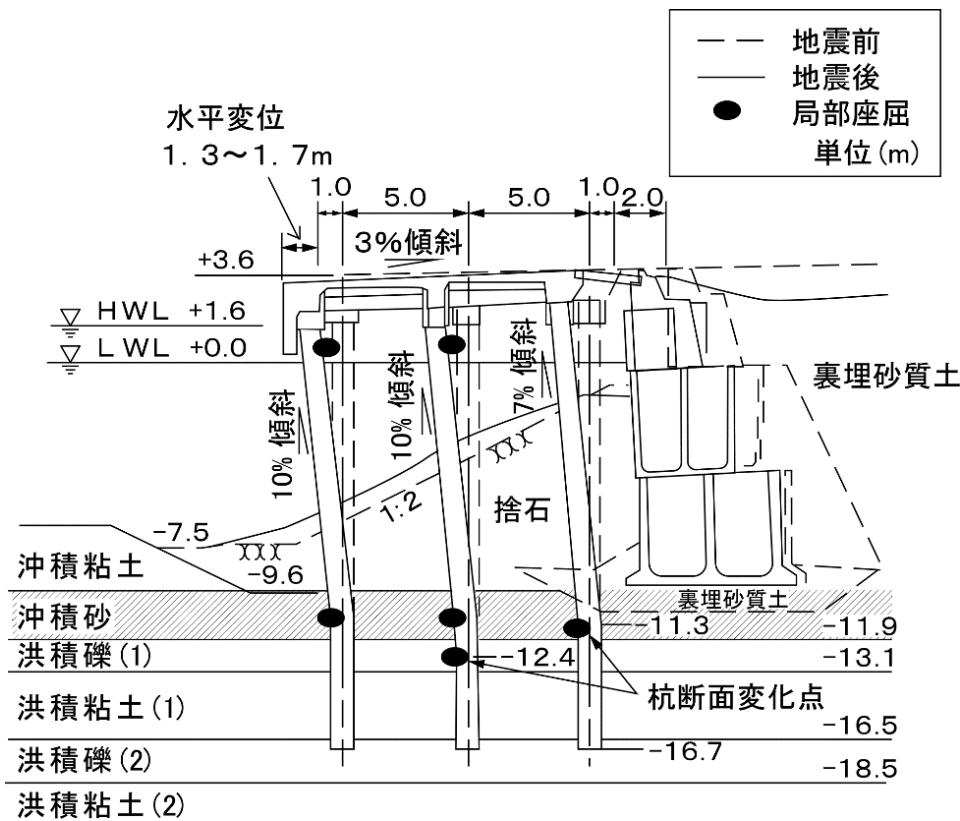
## 2 兵庫県南部地震を振り返って

2－1 ケーソン式岸壁の被害メカニズム

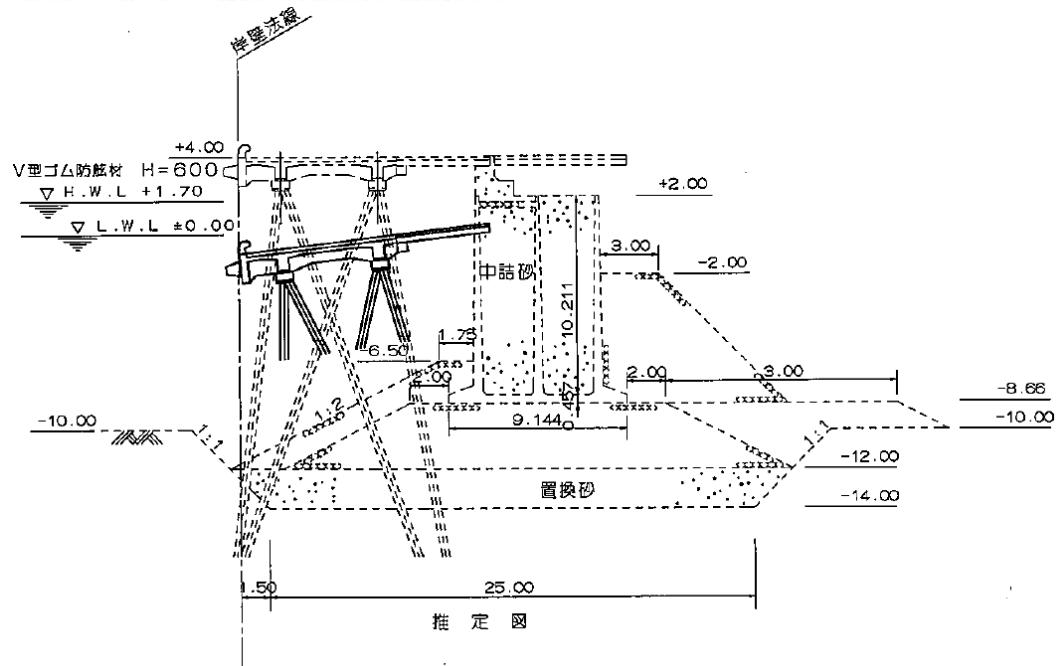
2－2 完全に倒壊した桟橋の事例

2－3 ガントリークレーンの倒壊要因

兵庫県南部地震による桟橋被害として高浜桟橋の被害が有名だが…



高浜桟橋の被害



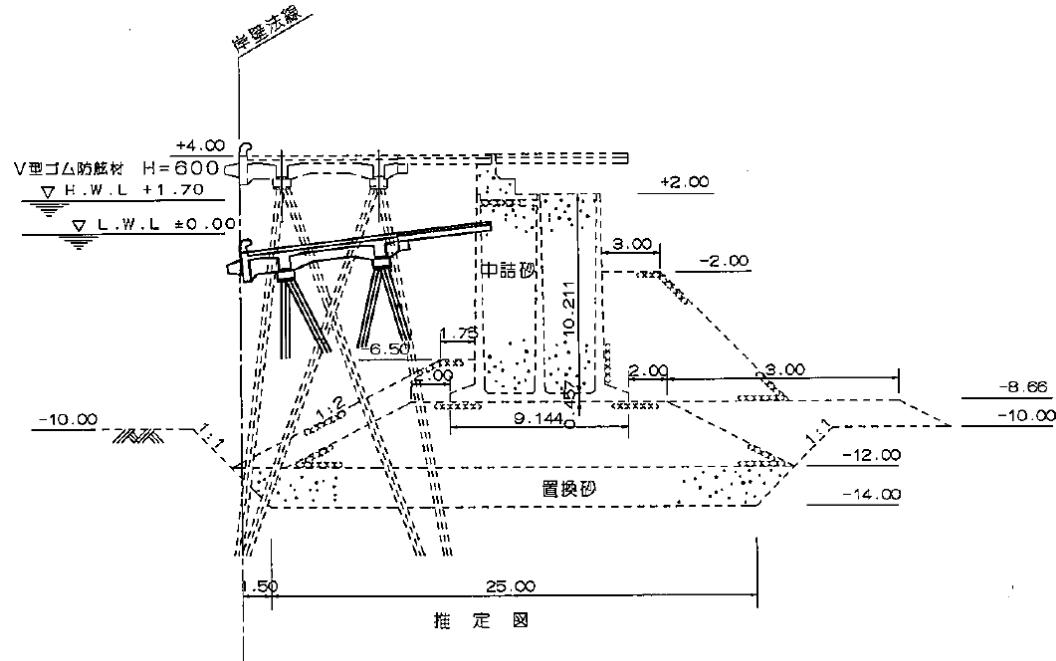
桟橋が完全に倒壊した事例  
(神戸港摩耶埠頭桟橋、  
1995年兵庫県南部地震)

★摩耶埠頭桟橋の被害メカニズムに関する詳しい解析等を小職は見たことがないが、背後には土留め(ケーソン)があり、ケーソンの海側への移動に伴い鋼管杭に局部座屈が生じ、構造全体として不安定化したものと考えられる。

★一方、高浜桟橋は倒壊を免れた事例である。

摩耶埠頭桟橋の倒壊が意味すること…

★高浜桟橋の被害があまりにも有名であるため、桟橋は鋼管杭に局部座屈が生じても倒壊に至らないものであるかのような錯覚に陥ることがあるが、実際には倒壊した桟橋も存在している。桟橋の鋼管杭にいったん局部座屈が生じれば、その後の構造全体としての挙動予測は極めて難しいと考えられる。桟橋は鋼管杭に局部座屈が生じない範囲で使うべきものであることが改めて確認できる。



## 1 能登半島地震に関して強く印象に残ったこと

1－1 輪島港マリントウン岸壁(-7.5m, ケーソン式)

1－2 金沢港御供田 1号岸壁(-10m, 矢板式)

1－3 能登半島地震を踏まえた課題

## 2 兵庫県南部地震を振り返って

2－1 ケーソン式岸壁の被害メカニズム

2－2 完全に倒壊した桟橋の事例

2－3 ガントリークレーンの倒壊要因

## はじめに

- ・大地震時にガントリークレーン等の港湾構造物が、仮に大きな損傷を受けたとしても、最終的に倒壊しないことは、人命の安全確保のために重要。
- ・1995年兵庫県南部地震の際、神戸港の55基のガントリークレーンは全て損傷を受け、うち1基が倒壊した（藤本、1995、港湾技研資料No. 813；稻富他、1997、港湾技研資料No. 857）。



## はじめに

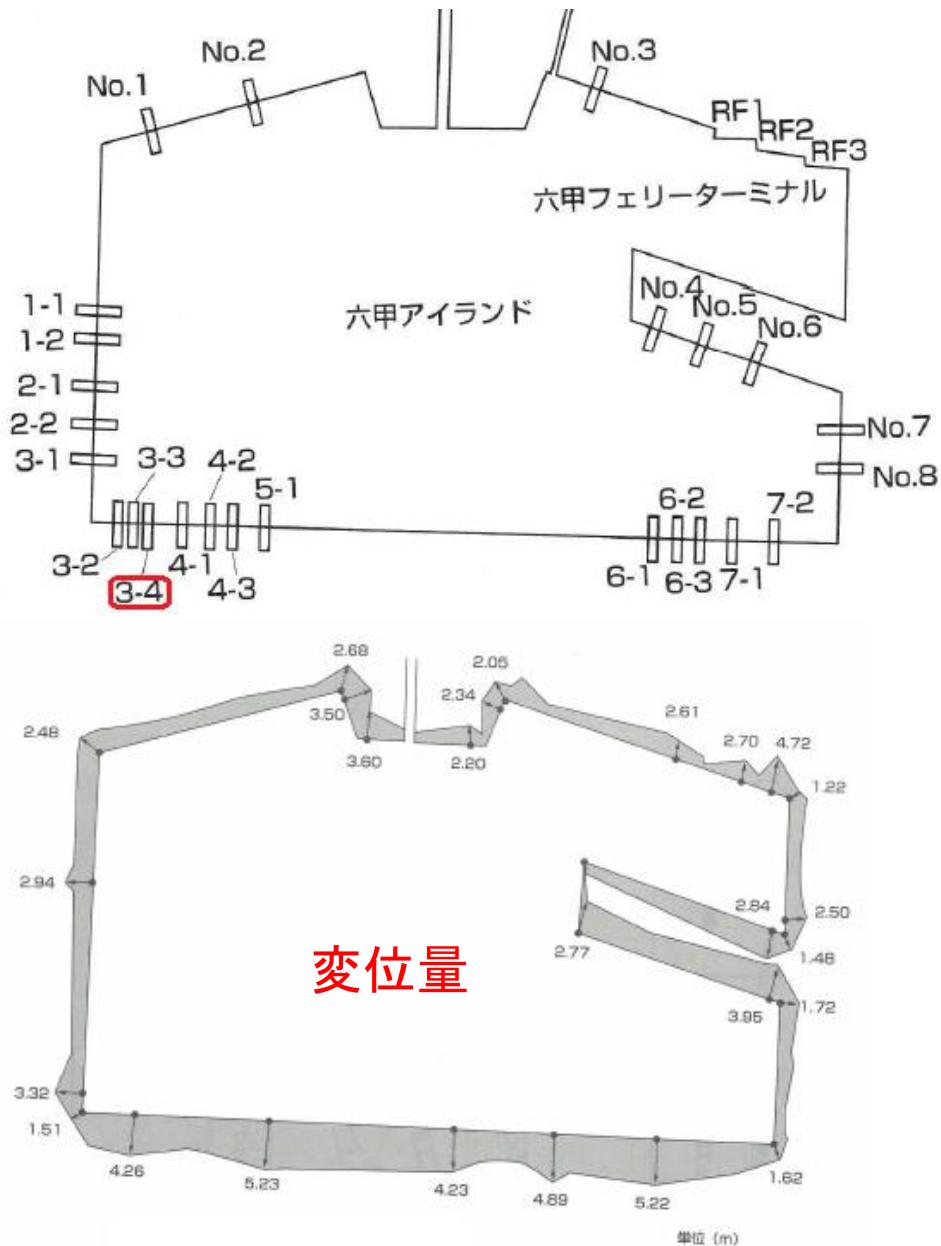
- ・ 大地震時にガントリークレーン等の港湾構造物が、仮に大きな損傷を受けたとしても、最終的に倒壊しないことは、人命の安全確保のために重要。
- ・ 1995年兵庫県南部地震の際、神戸港の55基のガントリークレーンは全て損傷を受け、うち1基が倒壊した（藤本、1995、港湾技研資料No. 813；稻富他、1997、港湾技研資料No. 857）。
- ・ この1基は、兵庫県南部地震時に変位量の大きかった六甲アイランド南側岸壁に位置しており、岸壁の変位量の大きさが倒壊要因の一つであると推察されたが、六甲アイランド南側岸壁だけでも12基のガントリークレーンがあった中で、なぜこの1基だけが倒壊したのか、その理由は長年にわたり筆者には不明であった。
- ・ 最近になり、倒壊要因に関して思い至る点があったため、この場を借りて報告する。

## 倒壊クレーンの位置

- 倒壊したガントリークレーン「3-4」は六甲アイランド南側岸壁に位置していた。

- 六甲アイランド南側岸壁は兵庫県南部地震の際に特に大きな水平変位が生じた場所である（4m以上）。

- しかし、六甲アイランド南側岸壁だけでも12基のガントリークレーンが存在しており、変位量だけでは「3-4」が倒壊した理由を説明できない。



## 基礎構造の違いの影響

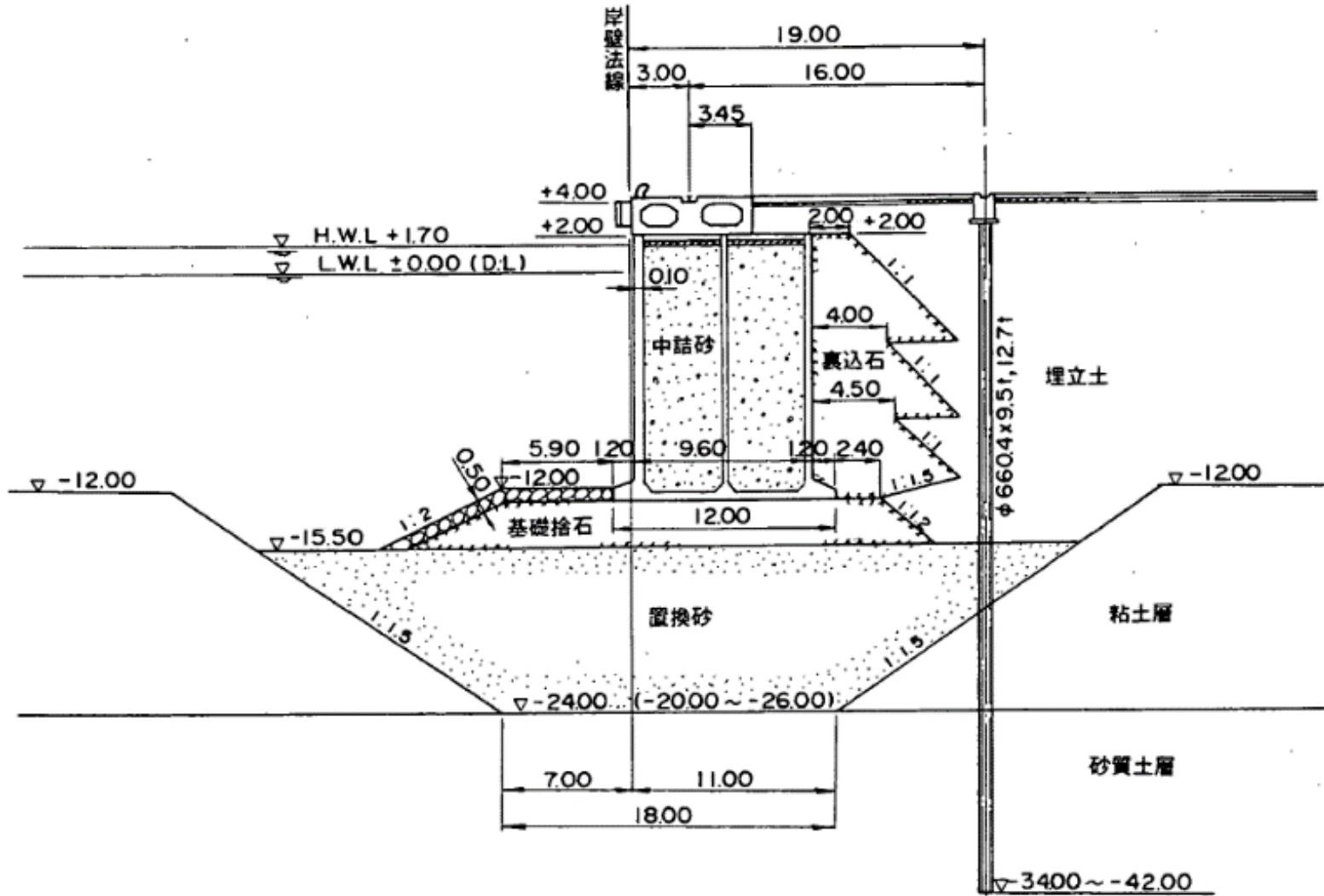
- 稻富他（港湾技研資料No. 857）の1623ページ～1627ページでは、神戸港の55基のガントリークレーンの被害状況について、
  - 本体構造
  - レール幅
  - レールの基礎構造
- を含め一覧表の形で詳しく整理されている。

表-6.2.6 神戸港コンテナクレーン被害状況(六甲アイランド)〈その1〉

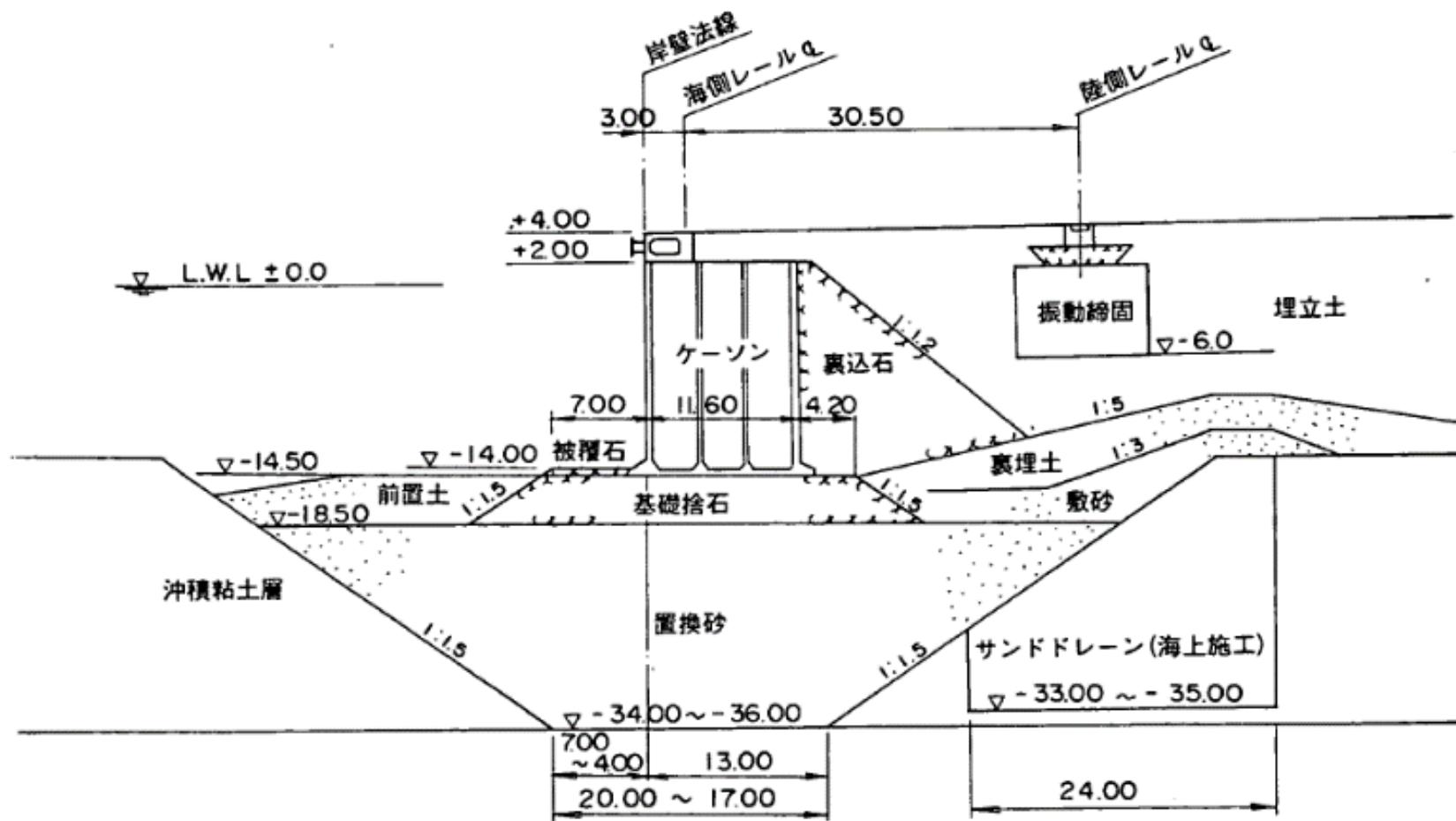
地区名	岸壁名	番号	水深m	延長m	所有者	本体構造		定格荷重t	レール幅m	クレーン重量t	設置年月	岸壁構造	レール		被災時の状態		被害状況				
						フレーム	ポータル						基礎構造	方向	ブーム	アンカー	レール被害	クレーン被害			
六甲アイランド	E-I	No.1	10.0	925	神戸市	H	トラス	30.5	20.0	537	S54.12	ケーソン	ケーソン	鋼管杭	EW	垂直	係留	1.120	-0.583	1.120	
	〃	No.2	〃			〃	〃	30.5	20.0	537	S55.01	〃	〃	〃	〃	〃	〃	0.885	-0.500	0.050	
	KLM	No.3	10.0		300	〃	A	ラーメン	30.5	16.0	530	S43.01	〃	〃	地盤改良	〃	〃	〃	-0.040	0.216	-0.315
	WXYZ	No.4	12.0			〃	H	トラス	30.5	20.0	548	S62.11	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.760	0.285	1.760
	〃	No.5	〃		960	〃	〃	30.5	20.0	550	S62.11	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.060	0.086	0.045	
	〃	No.6	〃			〃	〃	30.5	20.0	550	S63.07	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.945	-0.269	0.230	
	L-1	No.7	13.0		300	〃	H	ラーメン	40.0	30.5	820	H5.12	〃	〃	〃	NS	〃	〃	1.810	0.068	0.600
	〃	No.8	〃			〃	〃	40.0	30.5	820	H5.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.940	-0.086	1.010	
	RC-1	1-1	13.0	350	埠頭公社	H	トラス	40.0	30.5	770	S59.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.602	0.400	1.000	
	〃	1-2	〃			〃	〃	40.0	30.5	770	S59.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.665	0.400	1.000	
	RC-2	2-1	〃		350	〃	〃	40.0	30.5	770	S59.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.691	-0.271	-0.200	
	〃	2-2	〃			〃	〃	40.0	30.5	770	S59.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	1.435	-0.271	0.795	
	RC-3	3-1	〃		350	〃	〃	40.0	30.5	770	S60.03	〃	〃	鋼管杭	〃	〃	〃	1.940	-0.753	0.550	
	〃	3-2	14.0			〃	〃	40.0	30.5	770	S62.03	〃	〃	〃	EW	〃	〃	3.420	-1.129	1.990	
	〃	3-3	〃		350	〃	〃	40.0	30.5	770	S62.03	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.505	-1.195	3.000	
	〃	3-4	〃			〃	〃	40.0	30.5	770	S60.03	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	
	RC-4	4-1	〃	350	〃	ラーメン	40.0	30.5	800	S63.02	〃	〃	地盤改良	〃	〃	〃	2.870	-0.354	2.230		
	〃	4-2	〃			〃	〃	40.0	30.5	800	S63.02	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.655	0.544	1.620	
	〃	4-3	〃		350	〃	〃	40.0	30.5	800	S63.02	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.910	-0.330	1.635	
	RC-5	5-1	〃			〃	〃	40.0	30.5	800	S63.02	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.990	-0.440	2.065	
	RC-6	6-1	〃	350	〃	〃	40.0	30.5	870	H5.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.800	-0.500	1.700		
	〃	6-2	〃		350	〃	〃	40.0	30.5	870	H5.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	3.740	-0.600	2.600	
	〃	6-3	〃			〃	〃	40.0	30.5	870	H5.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.950	2.900	2.900	
	RC-7	7-1	〃	350	〃	〃	40.0	30.5	870	H5.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.850	-0.600	1.800		
	〃	7-2	〃		〃	〃	40.0	30.5	870	H5.12	〃	〃	〃	〃	〃	〃	2.480	-0.300	1.500		

## 基礎構造の違いの影響

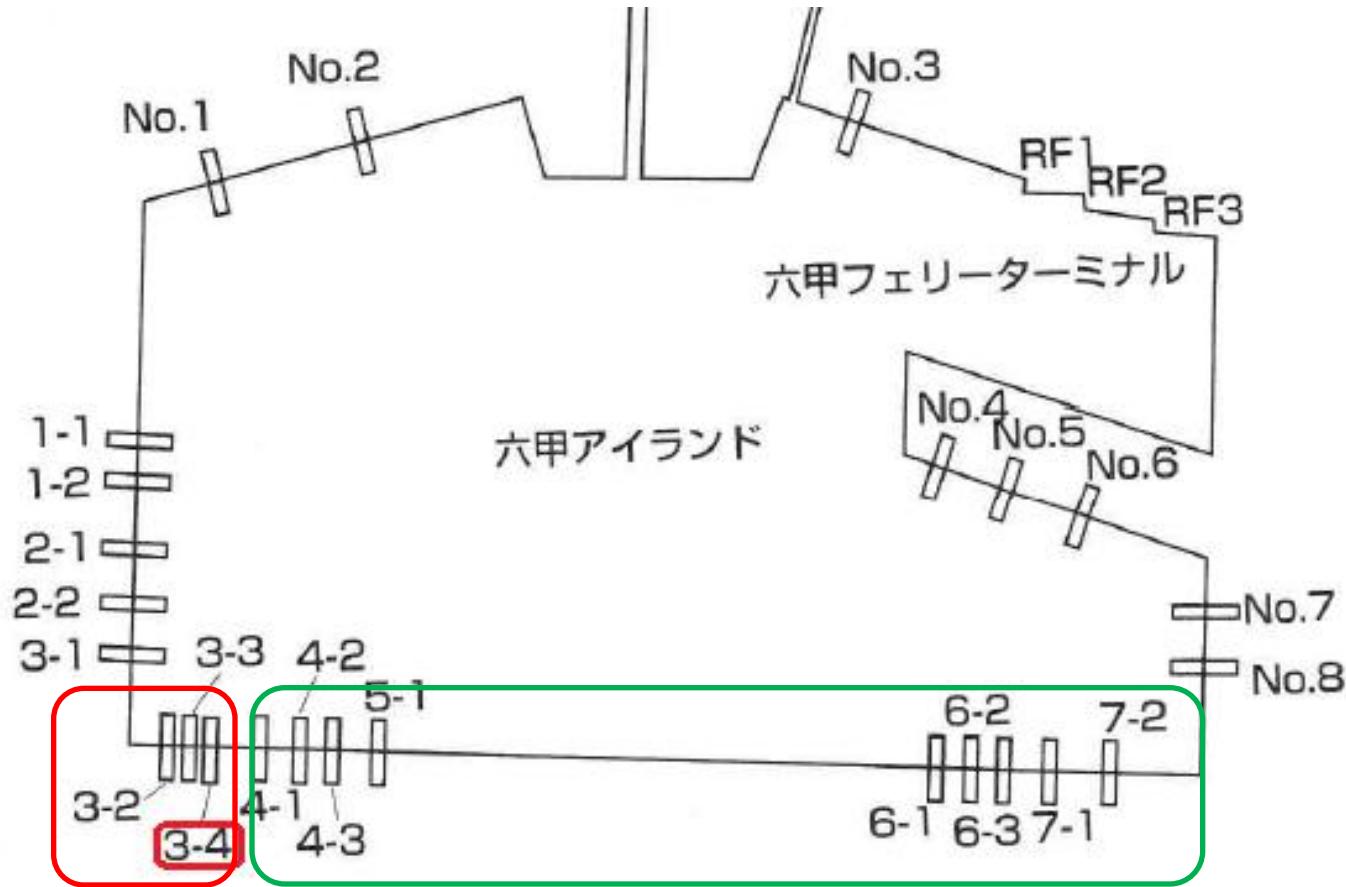
- ・ 稲富他（港湾技研資料No. 857）の1623ページ～1627ページでは、神戸港の55基のガントリークレーンの被害状況について、
  - ・ 本体構造
  - ・ レール幅
  - ・ レールの基礎構造
- を含め一覧表の形で詳しく整理されている。
- ・ この中で、陸側レールの基礎として杭基礎と地盤改良の二種類の基礎が存在したことが示されている。



陸側レール基礎が**杭基礎**である断面例



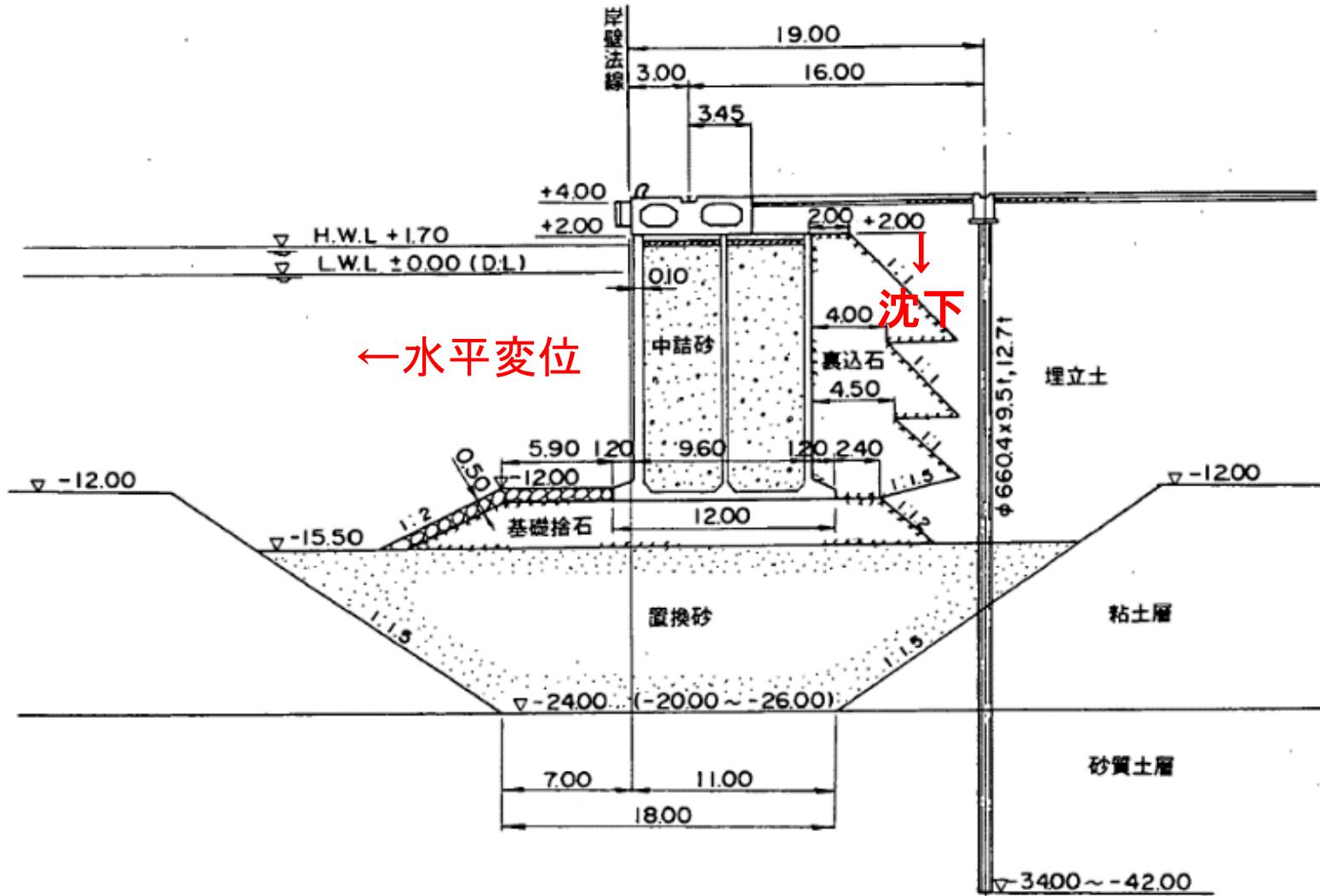
## 陸側レール基礎が地盤改良である断面例



杭基礎

地盤改良

六甲アイランド南側岸壁では3-2, 3-3, 3-4のみが杭基礎であり,  
他は地盤改良



## 陸側レール基礎が杭基礎である断面例



陸側レール基礎が杭基礎の場合  
(摩耶埠頭コンテナターミナル東側岸壁)



陸側レール基礎が杭基礎の場合  
(ポートアイランドPC-1)



陸側レール基礎が**杭基礎**の場合  
(六甲アイランド南側岸壁RC-3)

- ・ 陸側レール基礎が**杭基礎**の場合陸側レールの部分だけ高い状態で残り、その前後が崖のようになってしまう場合が多い。  
→ロッキング振動が生じると、脚を踏み外し倒壊しやすい。



陸側レール基礎が地盤改良の場合  
(六甲アイランド南側岸壁RC-6～RC-7)



陸側レール基礎が地盤改良の場合  
(六甲アイランド南側岸壁RC-5)



陸側レール基礎が地盤改良の場合  
(六甲アイランド南側岸壁RC-4)

- ・ 陸側レール基礎が地盤改良の場合、陸側レール周辺が平らになっている。  
→ロッキングし脱輪してもうまく着地できている。

## おわりに

- ・大地震時にガントリークレーン等の港湾構造物が倒壊しないことは重要.
- ・ガントリークレーンの設計震度は一般に小さいため、大地震時に脚部の浮き上がりを含むロッキング振動が生じることはやむを得ない面がある.
- ・その場合にクレーンが最終的な倒壊に至らないためには、地震後に陸側レール周辺の **ある程度の範囲が同じ高さで残ることが重要**であると考えられる.
- ・この状況を実現する上で、地盤改良による基礎は有用であると考えられる.