

# 係留施設の地震後利用可否判断技術

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

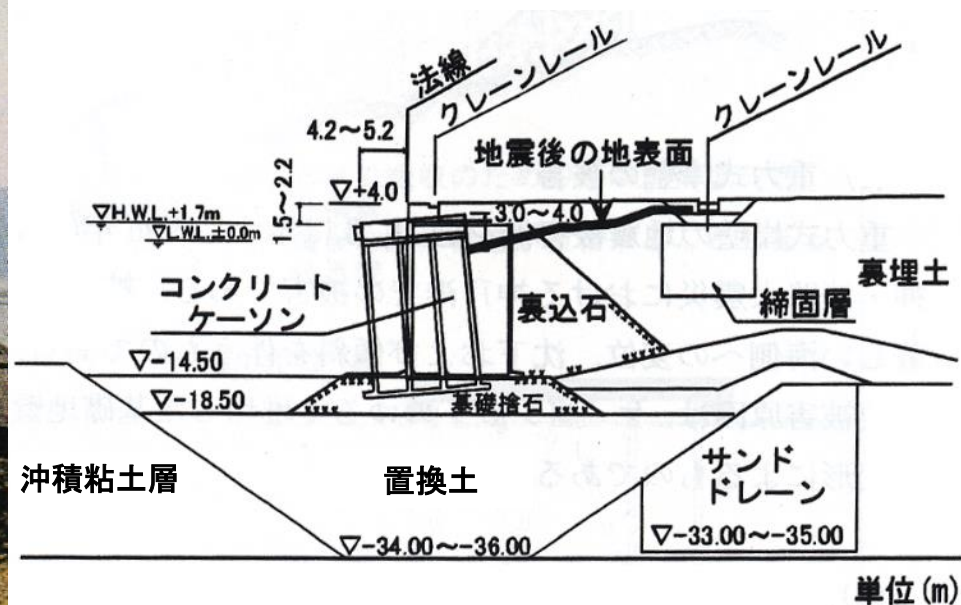
大矢 陽介

令和3年11月10日

- 係留施設の地震被害事例
  - 構造形式ごとの被災形態
  - 地震後の係留施設の利用
- 地震時の変形量調査
  - 地盤の液状化による流動変位
  - 地殻変動による地域全体の変位
  - 施設安全性に係る変位の測定方法
- スマートフォンアプリによる変位量測定・利用可否判断
  - GNSS機器操作
  - 数値解析による法線変位量と部材損傷状態の関係の検討とそれを用いた利用可否判断
  - 適用例

# 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

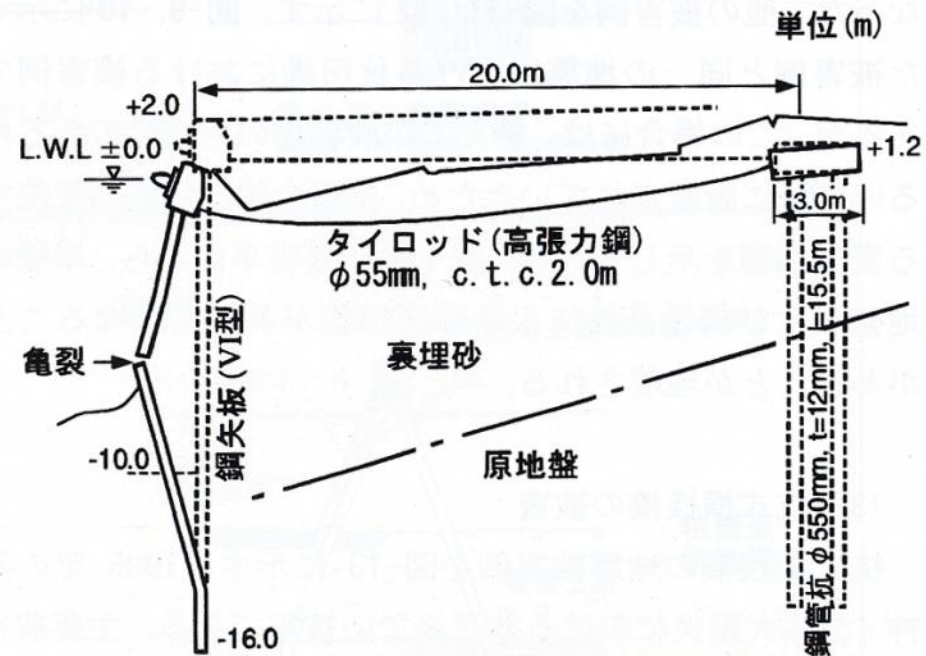




# 矢板式岸壁の被害

## 秋田港大浜埠頭

### 1983年日本海中部地震



矢板に亀裂発生



# 神戸港高浜埠頭 1995年兵庫県南部地震

施設の損傷判断の難しさ あまり変状は見られないが、





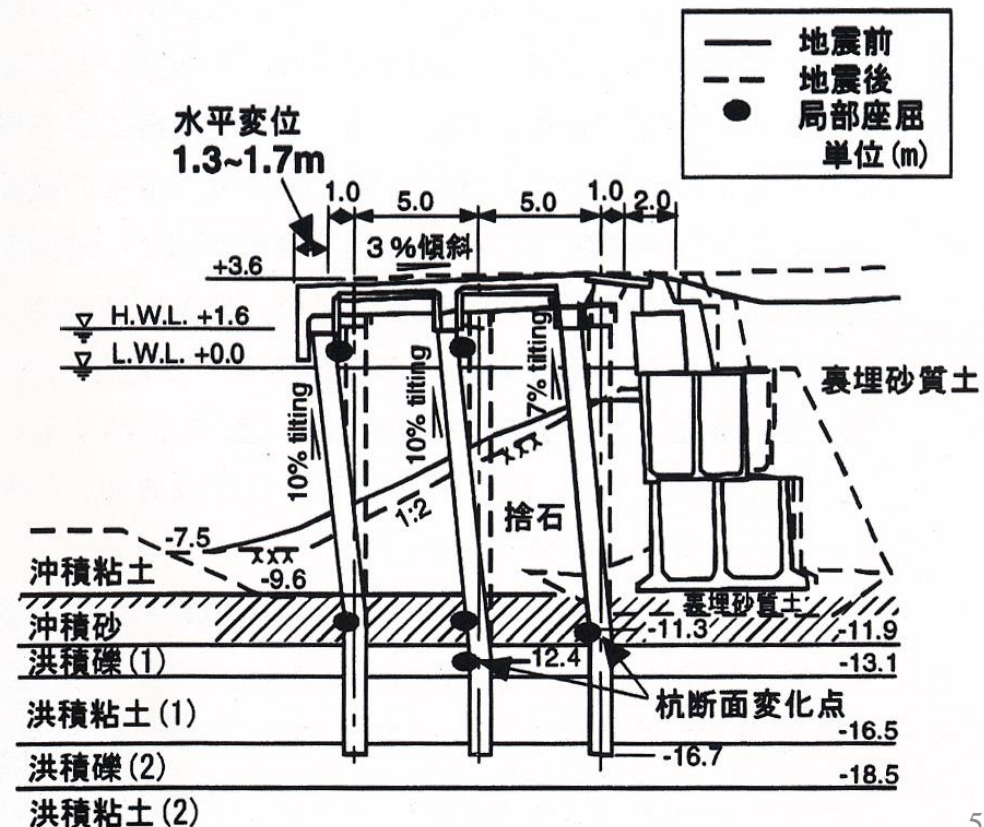
# 神戸港高浜埠頭 1995年兵庫県南部地震



実際には, , 杭の塑性化発生.

引き抜き調査により確認

⇒上からの見た目だけでは, 分からない.





# 港湾での人、物資の輸送

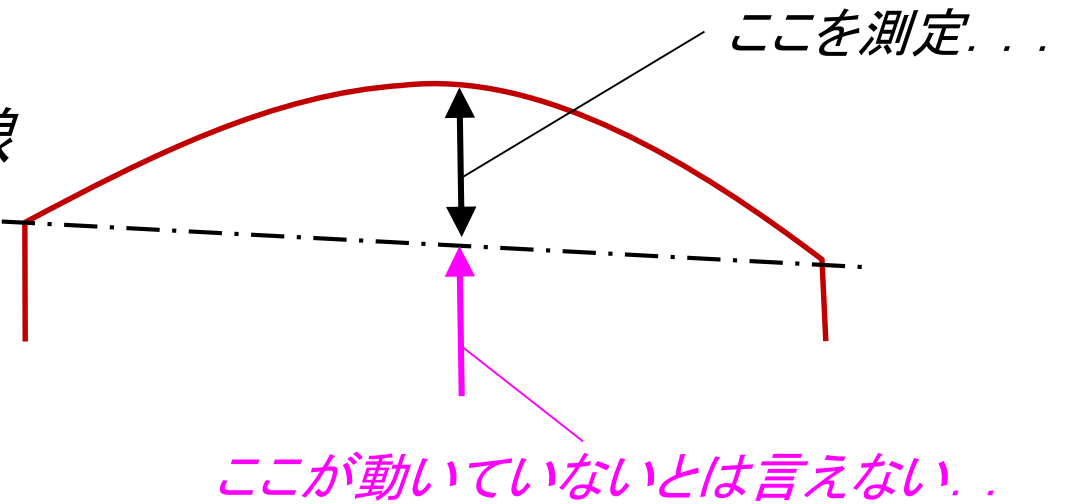
## 1995年阪神淡路大震災

- 岸壁が変形していても、利用しなければならない場合もある



# 地震直後によく行われる計測...

- 法線のはらみ出しを、埠頭端部を結んだ直線からの移動量で計測...
- 目地開き量の計測...



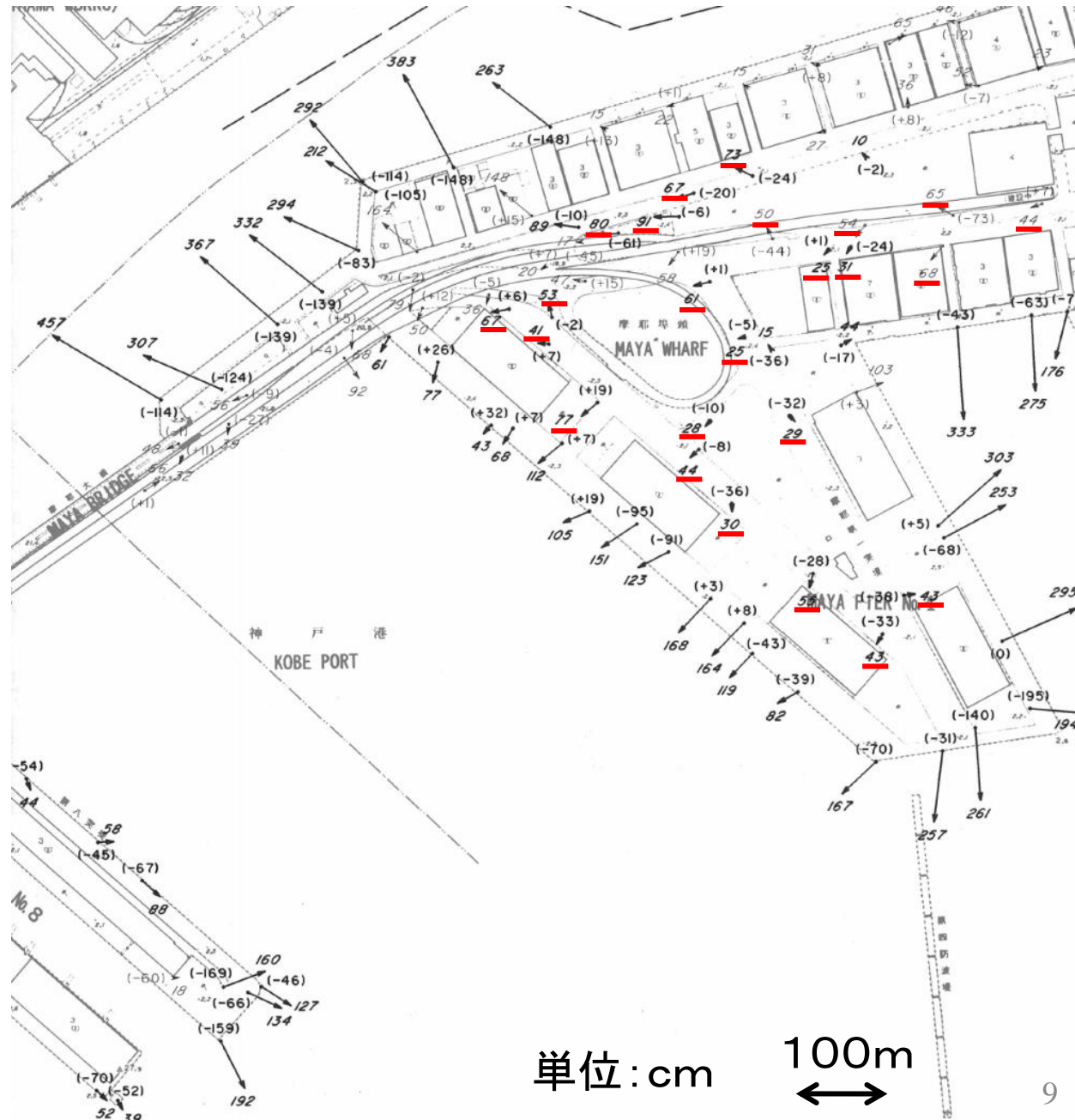


# 護岸移動、地盤の液状化による流動変位

- 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いる
    - 法線から100m程度陸側でも、数10cm~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)の影響を受けない場所に設定する必要がある

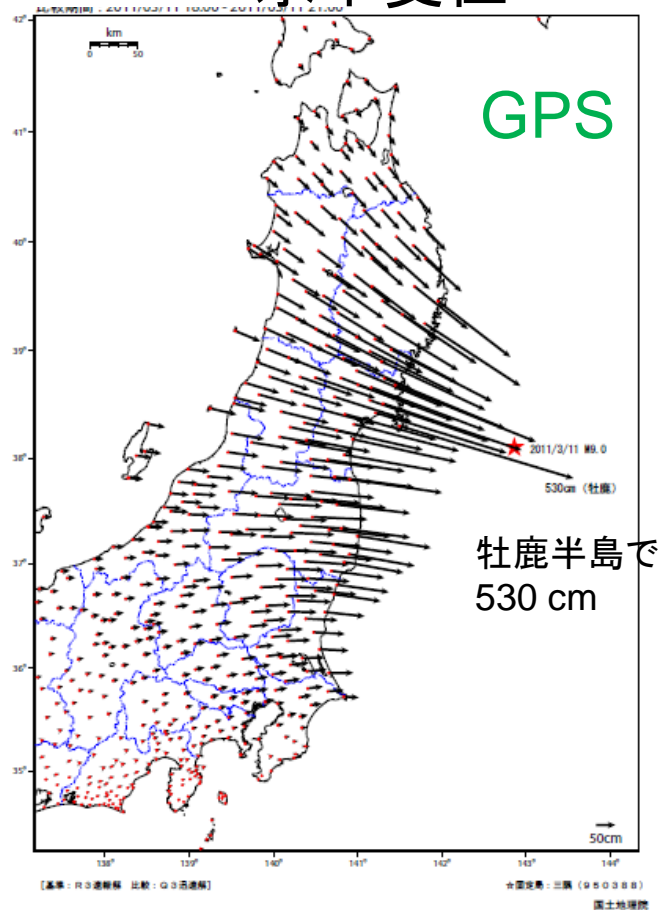
濱田政則, 磯山龍二, 若松加寿江:  
1995年兵庫県南部地震液状化, 地盤  
変位及び地盤条件, 1995

神戸港摩耶埠頭

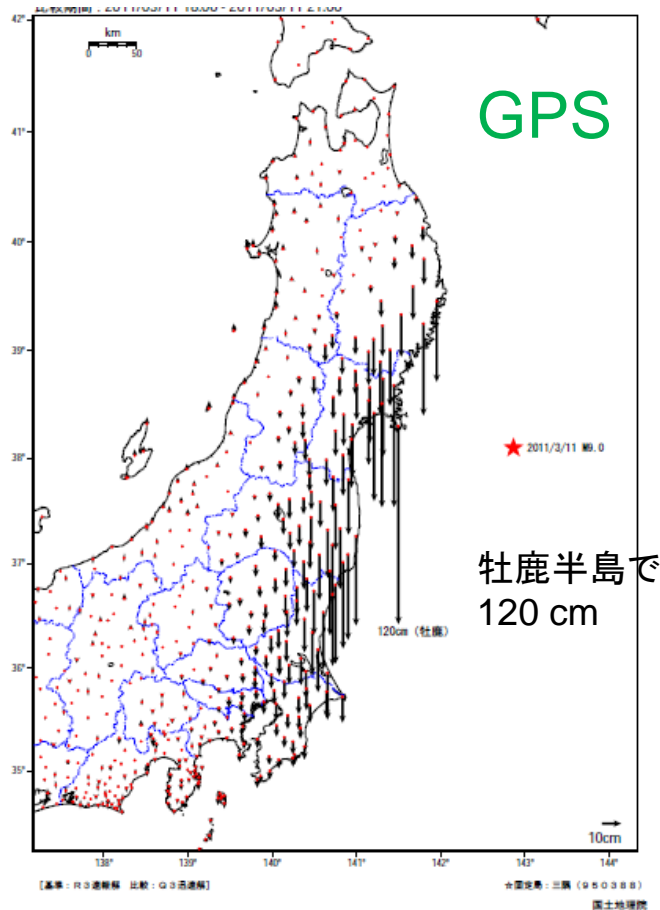


# 地殻変動による変位(2011年東北地方太平洋沖地震)

## 水平変位



## 鉛直変位



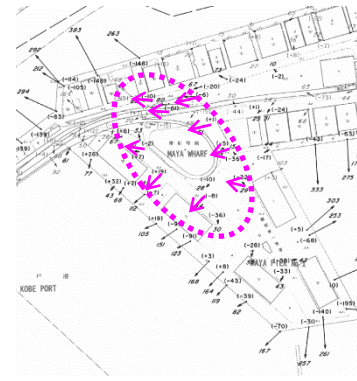
(国土地理院)

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)。

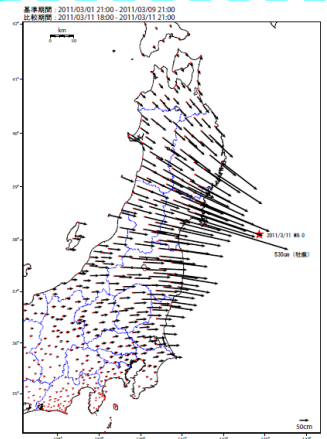


# 施設安全性に関する変位の測定方法

- 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

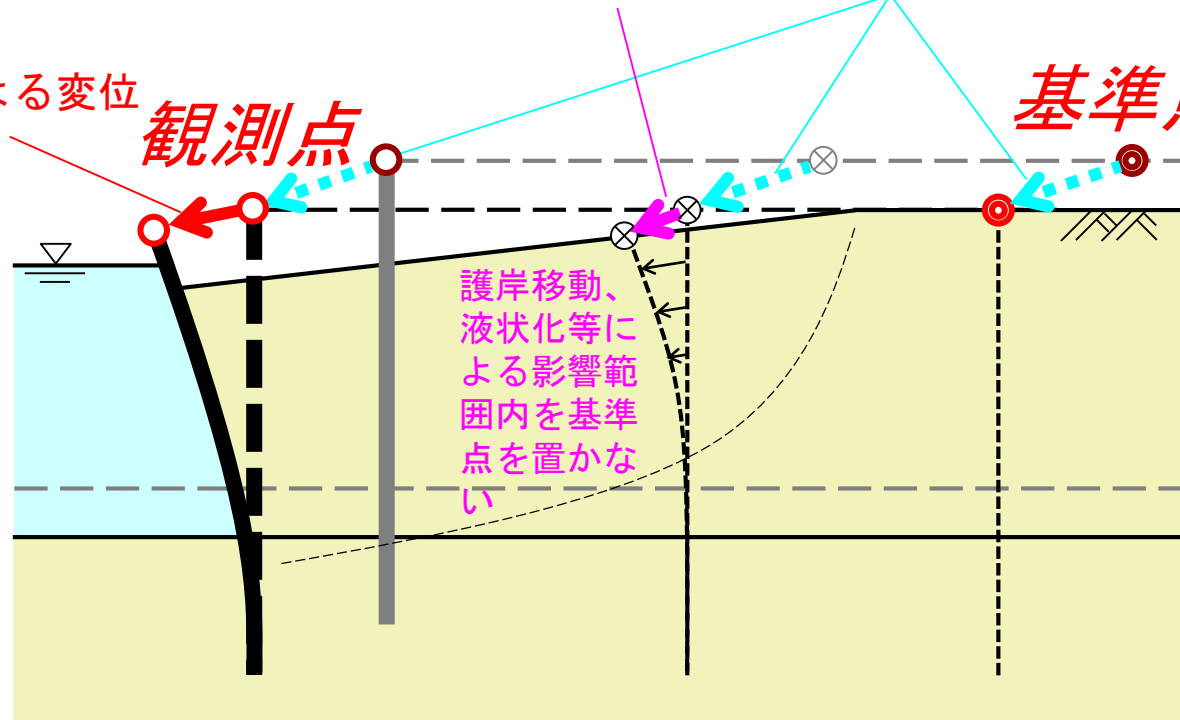
係留施設の変形による変位  
(観測したい変位)

観測点

基準点

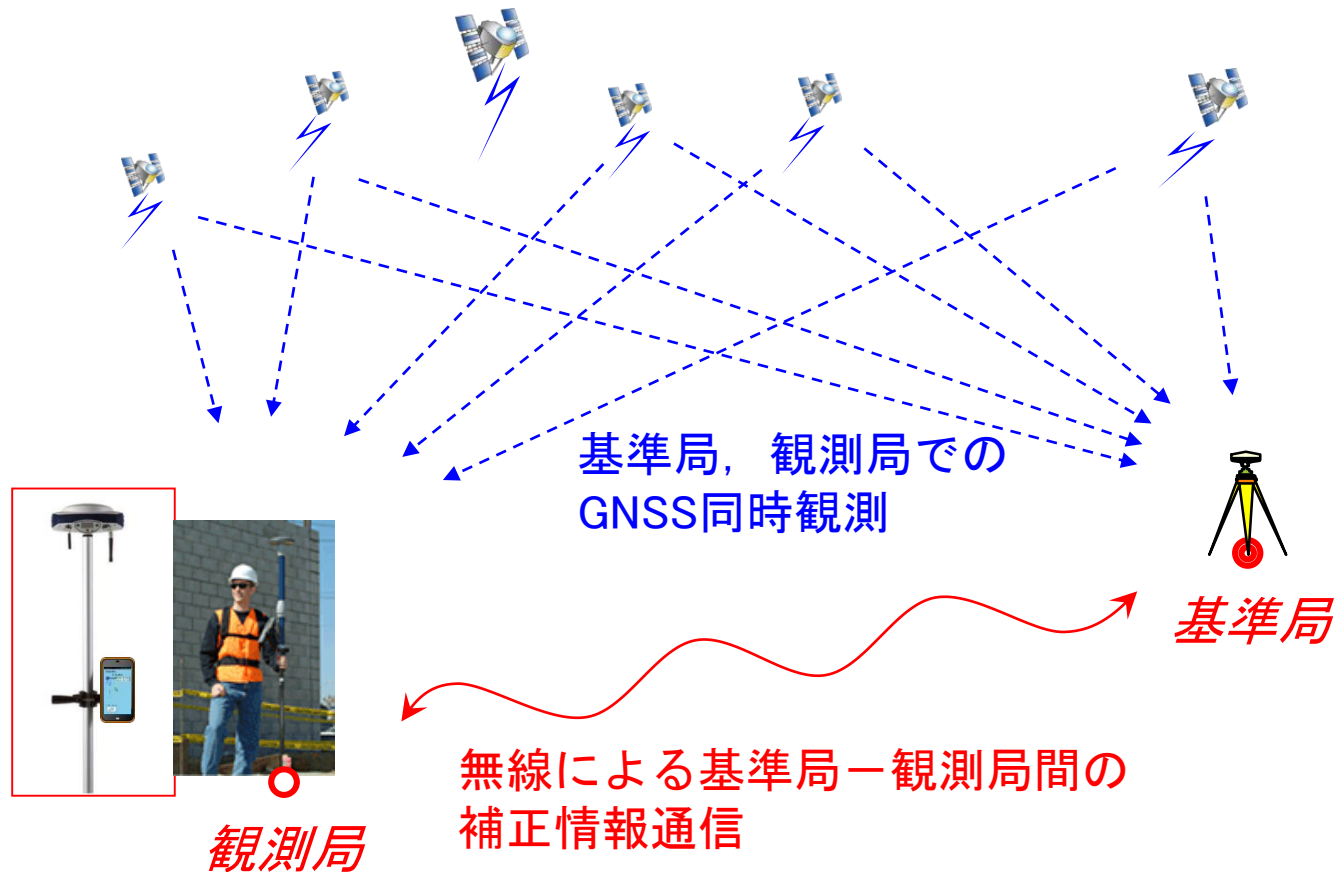
地震前  
地震後

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



# RTK-GNSS (Real-Time Kinematic GNSS) 測位技術

- 座標が既知である基準点と観測点にGNSS受信機を置いて同時に観測し，別途無線により補正情報をやり取りすることで，観測点の座標をリアルタイムで精度良く計測（誤差1~2cm程度）
- 基準点座標を使って観測点座標を測定しており，本質的に基準点から観測点の相対位置を測定していることと同等



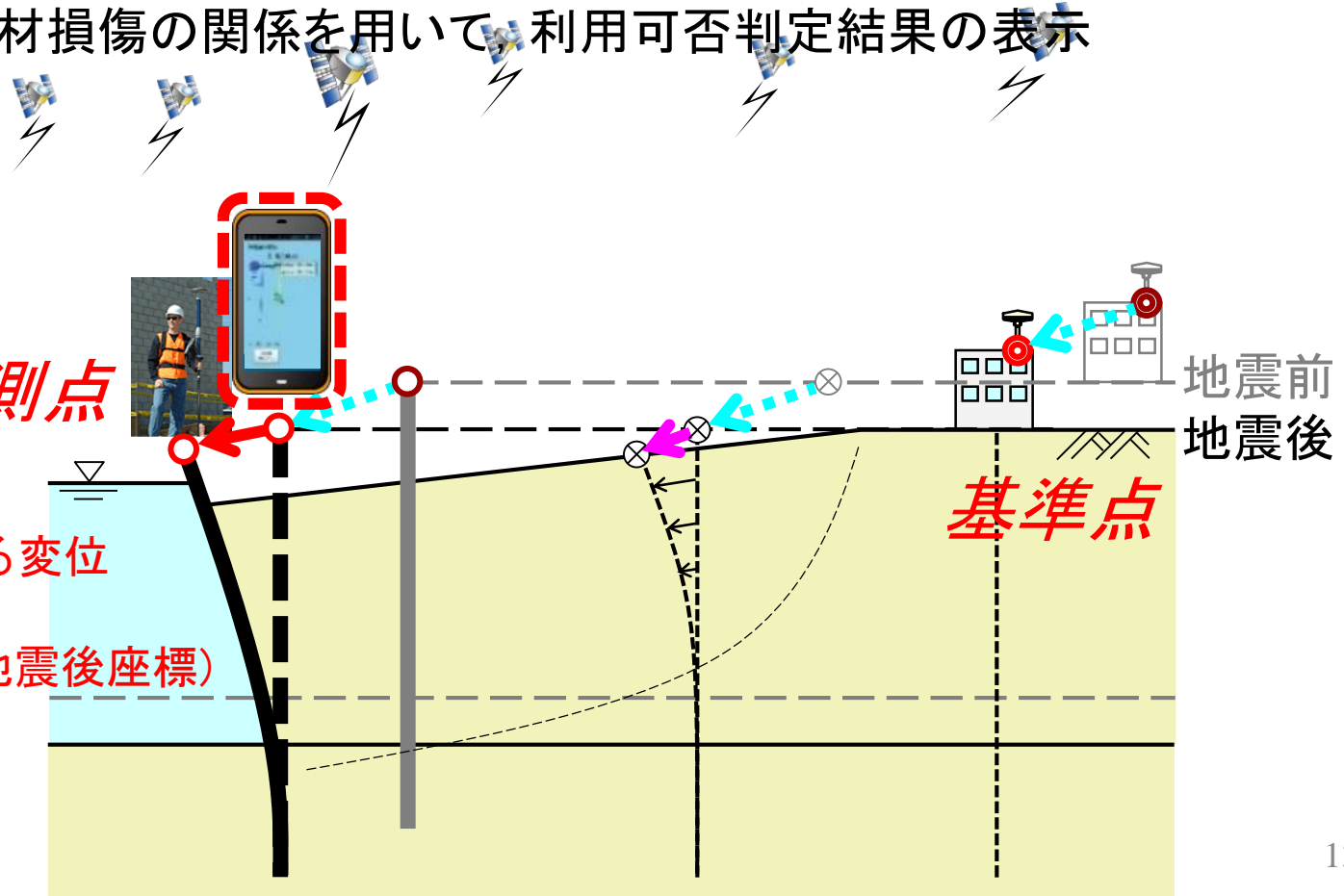


# RTK-GNSSを用いた変形量計測ツールの開発

## 係留施設地震時変形量調査・安定性評価支援システム

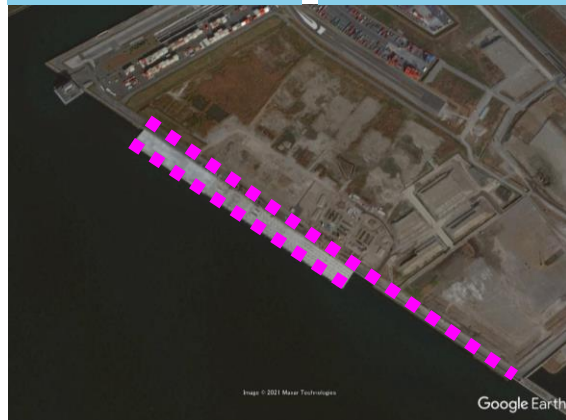
### 「Berth Surveyor」

- 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
- 施設の変形と部材損傷の関係を用いて、利用可否判定結果の表示



# 係留施設地震時変形量調査・安定性評価支援システム 「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





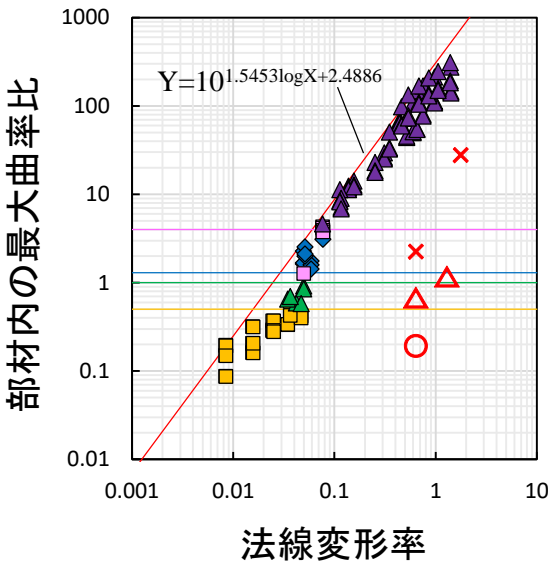
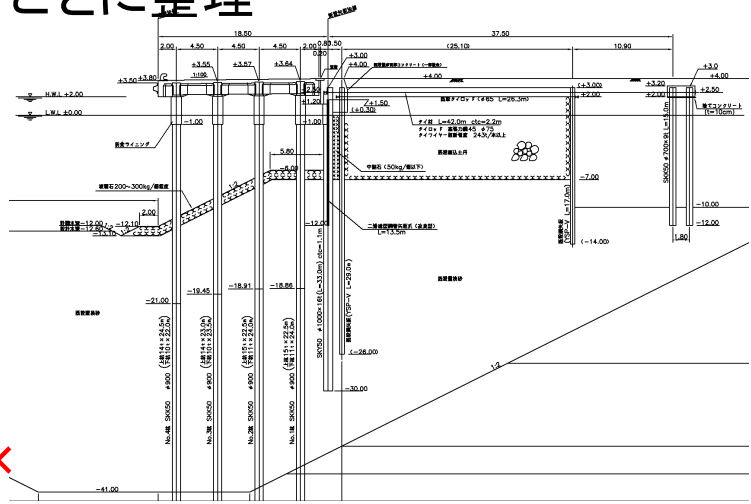
# 施設の安定性評価

## 法線変位量と部材損傷状態の関係の検討

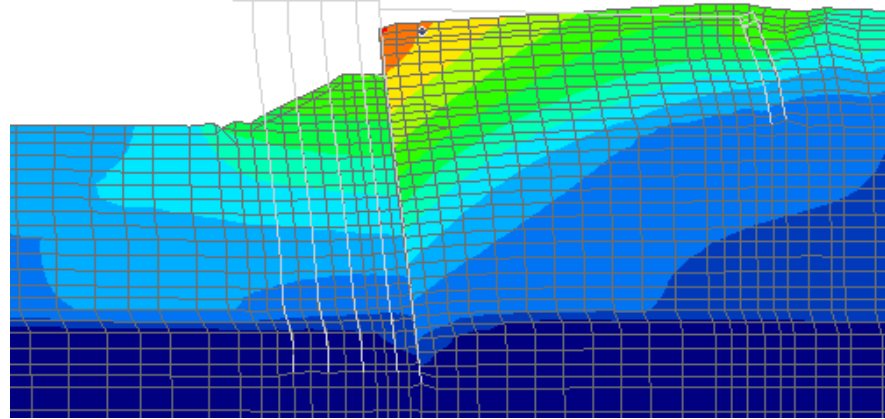
個別の施設ごとに地震動の振幅を変えた複数の地震応答解析を実施し、変形率（法線変位量/水深）と損傷状態を杭や矢板など部材ごとに整理

例えば、栈橋杭では、

- 1: 全ての杭で降伏応力度未満、○
- 2: 全ての杭で限界曲率未満、○
- 3: ある杭で限界曲率が発生、△
- 4: ある杭で2箇所以上の限界曲率が発生、△
- 5: 全ての杭で2箇所以上の限界曲率が発生、×

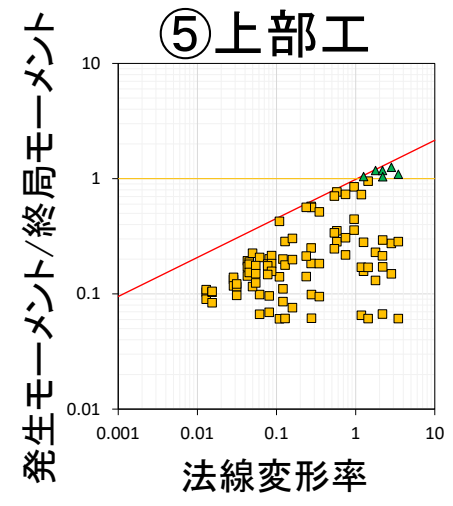
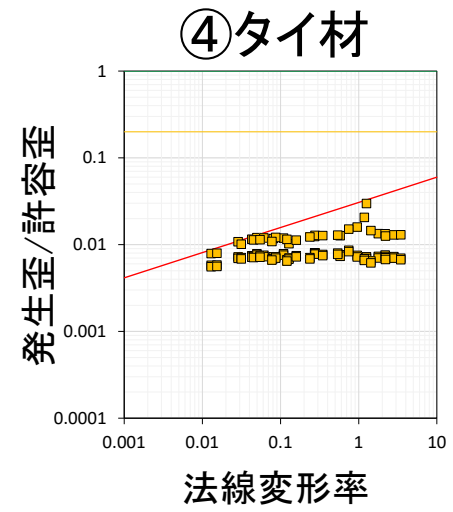
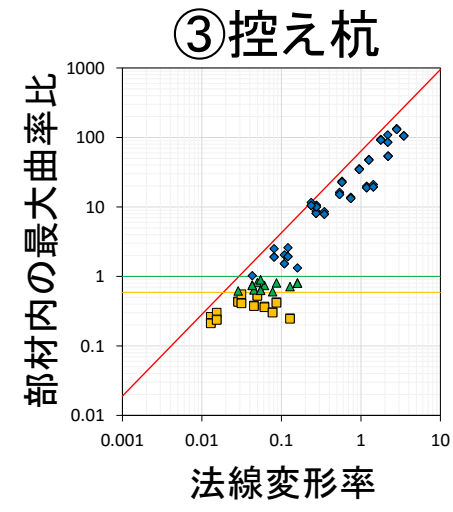
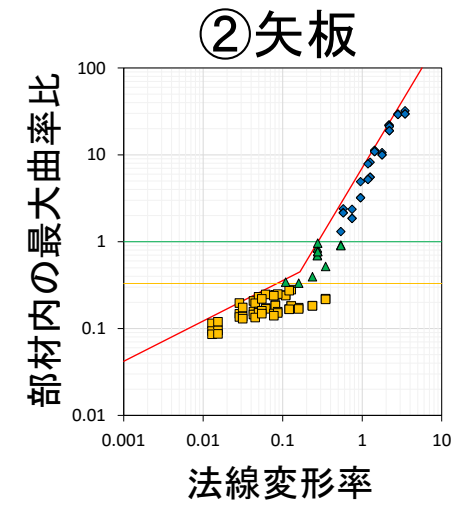
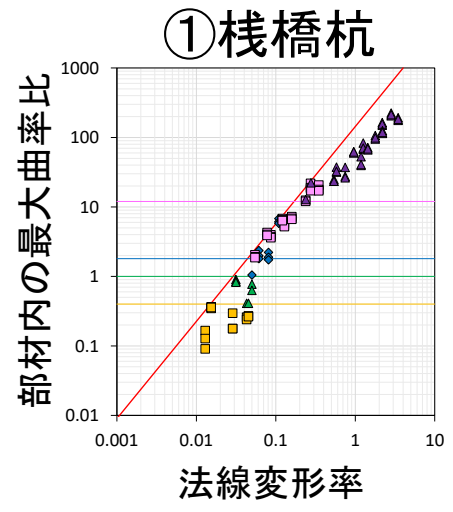


- : 損傷レベル1、○
- ▲ : 損傷レベル2、○
- ◆ : 損傷レベル3、△
- : 損傷レベル4、△
- ▲ : 損傷レベル5、×
- : 岸壁法線変位量から各部材耐力の推定

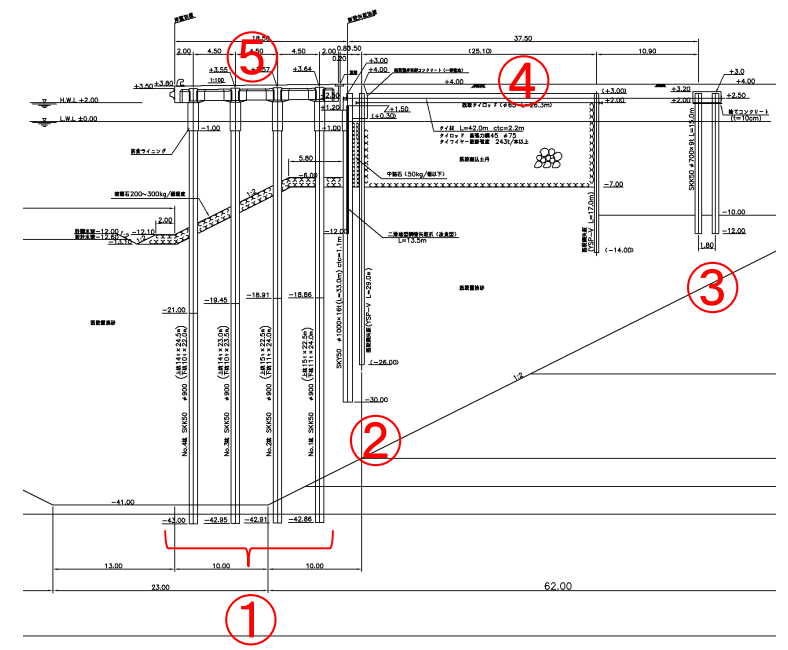


耐震性能照査で用いられている  
FEM解析プログラム「FLIP」を利用

# 法線変位量と部材損傷状態の関係の整理



- : I
- ▲ : II
- ◆ : III
- : IV
- ▲ : V
- : 岸壁法線変位量から各部材耐力の推定

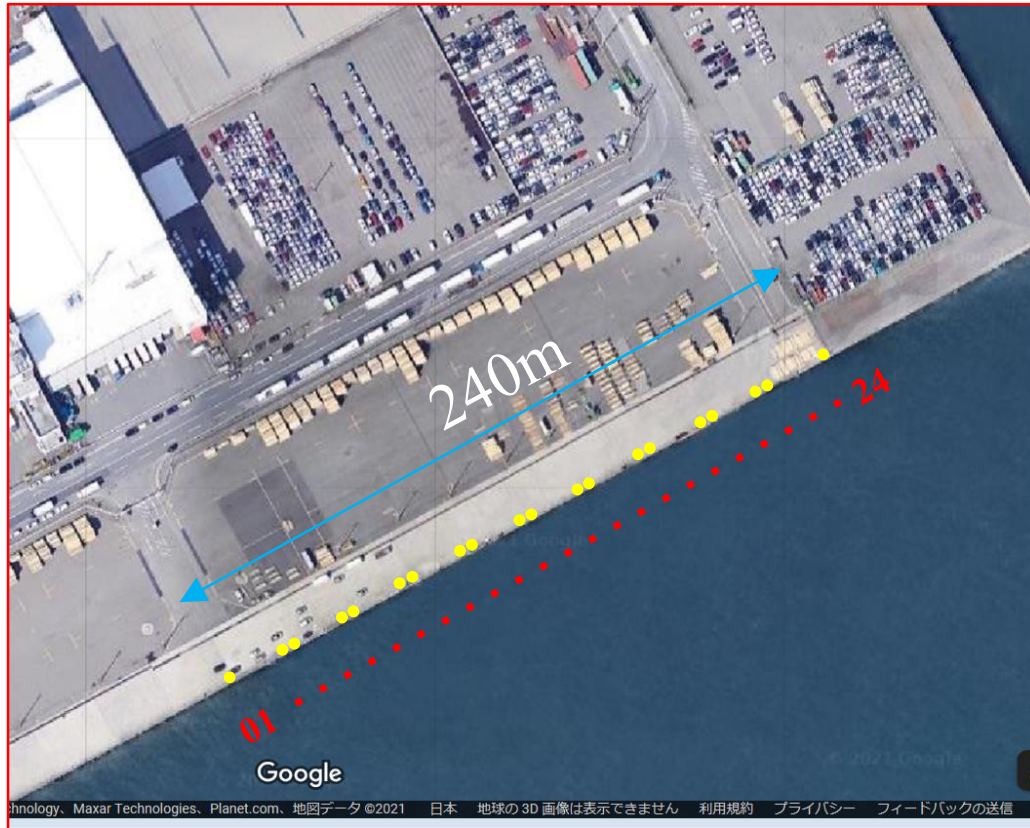
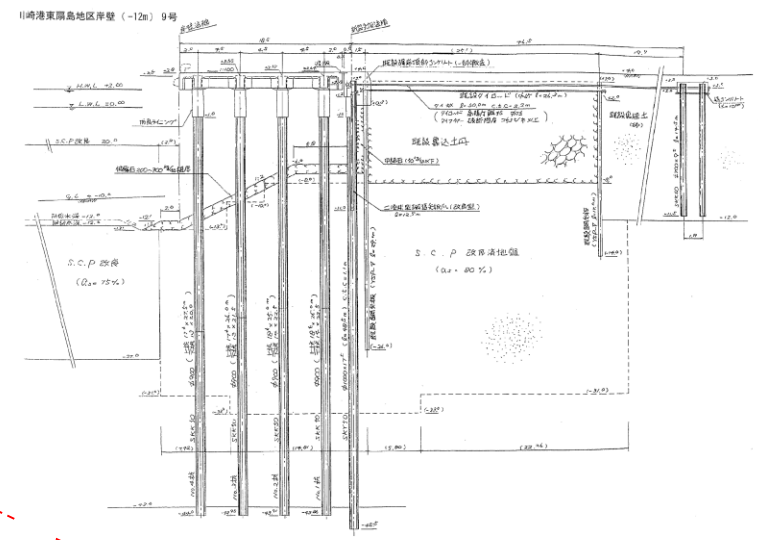




# 適用事例

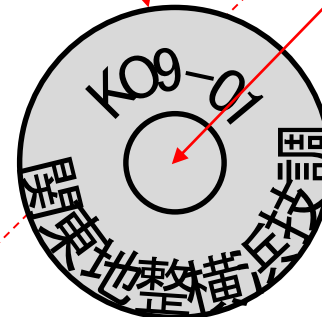
## ○川崎港東扇島地区(-12m)9号岸壁

- ・ 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

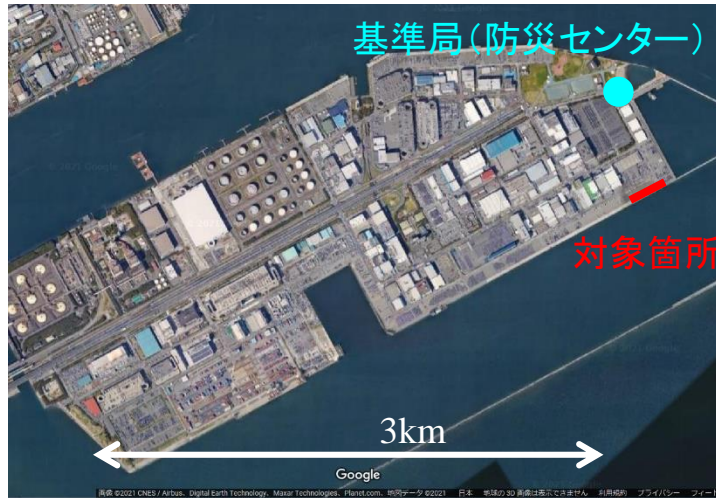
ステンレス製



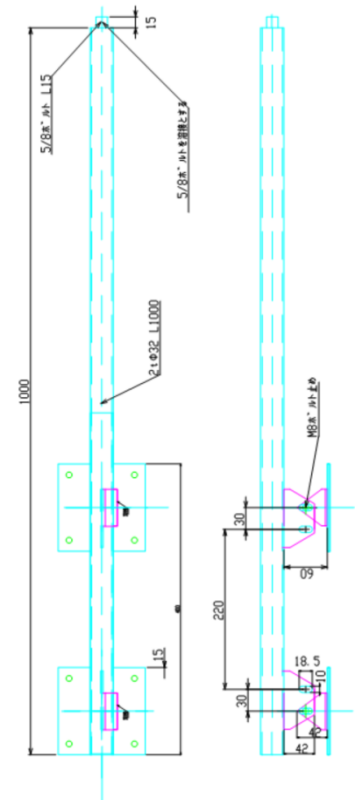
設置した金属鈎

# 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



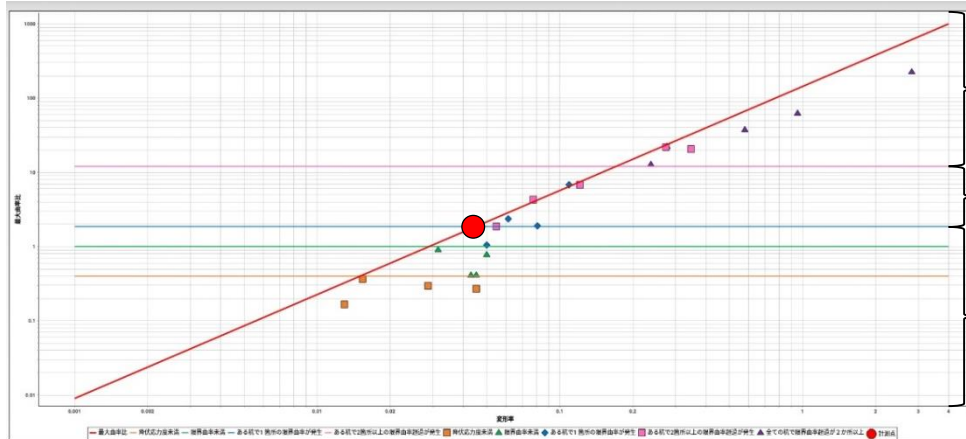
GNSS、アンテナ設置用ポール  
(常時残存)



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一観測局の無線通信は可能であった

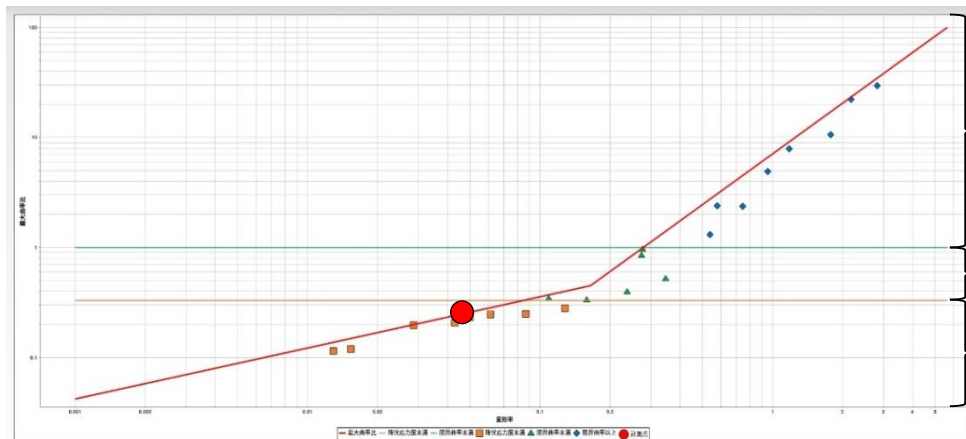
# 検証結果①(仮想変位①:法線直角方向50cm、法線方向170cm) (変位177cm)

## ● 栈橋杭



このファイルは栈橋杭の耐力です。

## ● 土留め矢板



このファイルは土留め矢板の耐力です。

測定点「SP00」に発生した変位量は以下の通りです。

開始点： 2019/03/04 13:29:47

終了点： 2019/03/04 13:36:50

175.5cm変位発生！  
53.1cm直交変位発生！

詳細  
変位



栈橋杭 矢板 控え杭 タイ材 上部工

■ : I (全ての杭で降伏応力度未満)  
(降伏応力度未満)

▲ : II (全ての杭で限界曲率未満)  
(限界曲率未満)

◆ : III (ある杭で限界曲率が発生)  
(限界曲率が発生)

■ : IV (ある杭で2箇所以上の  
限界曲率が発生)

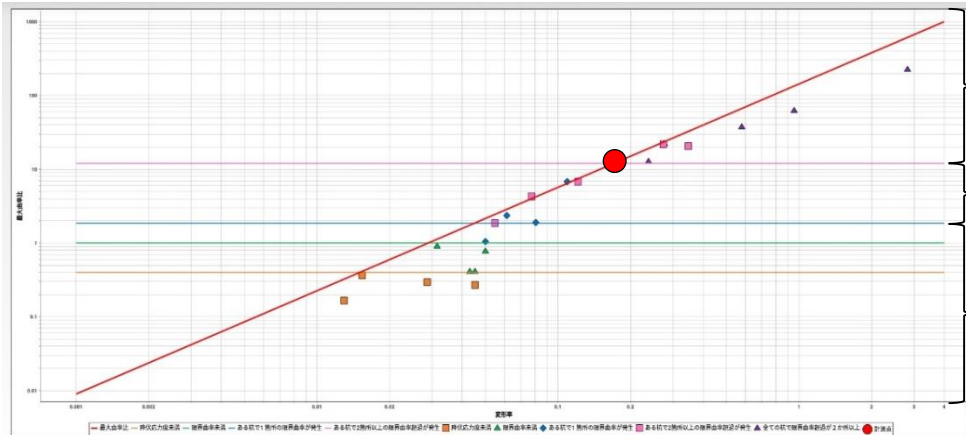
▲ : V (全ての杭で2箇所以上の  
限界曲率が発生)

● : 計測点



# 検証結果②(仮想変位②:法線直角方向200cm)

## ● 栈橋杭



このファイルは栈橋杭の耐力です。

測定点「SP00」に発生した変位量は以下の通りです。

開始点： 2019/03/04 13:29:47

終了点： 2019/03/04 13:34:23

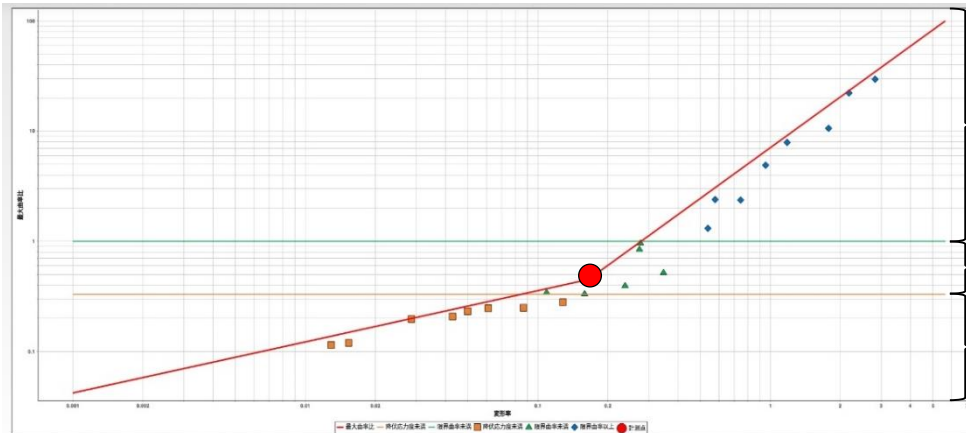
200.1cm変位発生！  
200.1cm直交変位発生！

詳細  
変位



栈橋杭 矢板 控え杭 タイ材 上部工

## ● 土留め矢板



このファイルは土留め矢板の耐力です。

■ : I (全ての杭で降伏応力度未満)  
(降伏応力度未満)

▲ : II (全ての杭で限界曲率未満)  
(限界曲率未満)

◆ : III (ある杭で限界曲率が発生)  
(限界曲率が発生)

■ : IV (ある杭で2箇所以上の  
限界曲率が発生)

▲ : V (全ての杭で2箇所以上の  
限界曲率が発生)

● : 計測点

# ご清聴有り難うございました

「Berth Surveyor」に関する情報

◆港湾空港技術研究所資料 No.1370

◆技術情報誌「PARI」 Vol.36

弊所HP (<https://www.pari.go.jp/>) より入手可