

RTK-GNSSを用いた地震後係留施設の 使用可否判断支援ツールの開発

令和元年6月26日(水)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

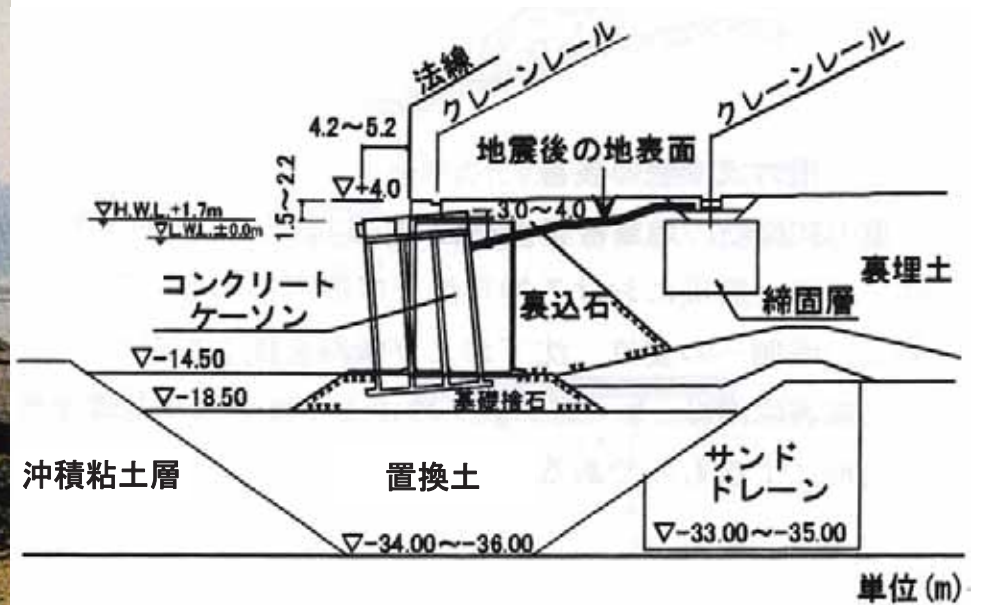
港湾空港技術研究所

地震防災研究領域 耐震構造研究グループ

伊藤 広高

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



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



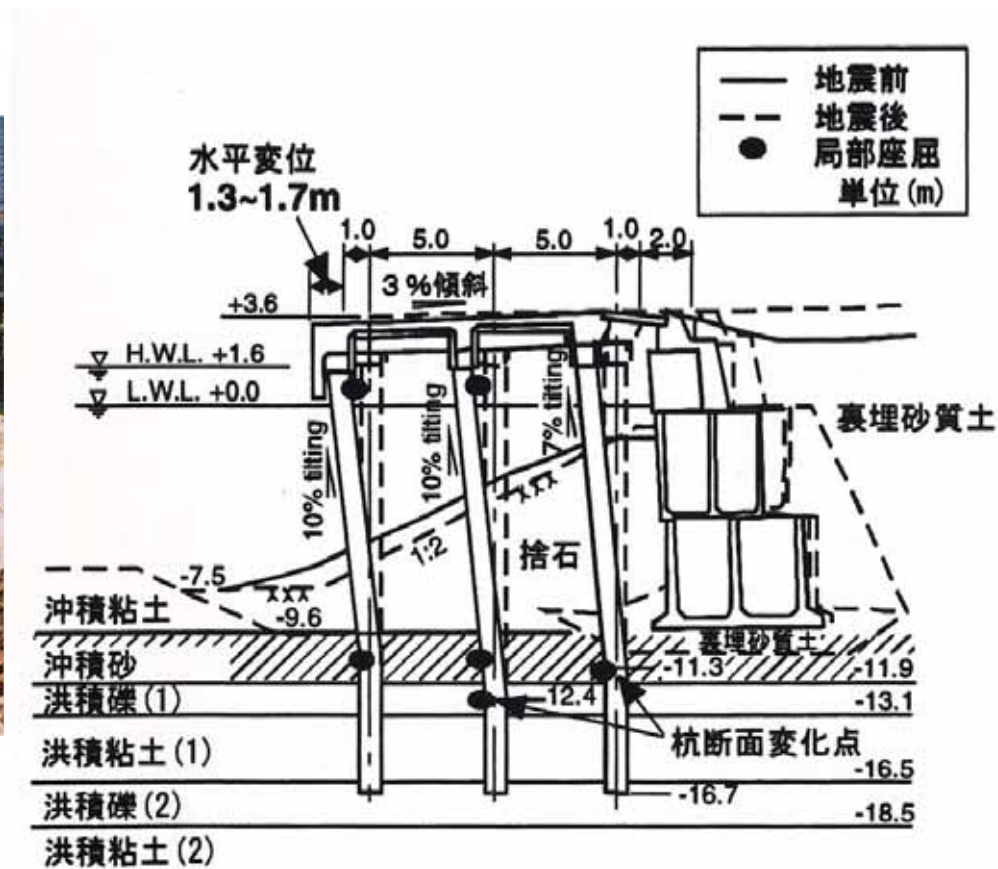
施設の損傷判断の難しさ

あまり変状は見られないが、



実際には, , 杭の塑性化発生..

- 杭式横棧橋の杭の被害(神戸港高浜埠頭)
 - 現場での引き抜き調査により, 杭の被害を確認
⇒上からの見た目だけでは, 分からない..



非常災害時における国土交通大臣による円滑な港湾施設の管理

背景・必要性

② 熊本地震を踏まえた課題

- 熊本地震の発生後、通常の貨物船に加え、自衛隊・海上保安庁等の支援船舶が集中したことにより、港湾が過度に混雑し、港湾利用者との円滑な調整等に支障。
- 切迫性が指摘される南海トラフ地震等の大規模災害に備え、非常災害時における港湾利用者との調整等を円滑に実施するための仕組みが必要。

<熊本地震の際の対応>



法案の概要

② 非常災害時における国土交通大臣による円滑な港湾施設の管理

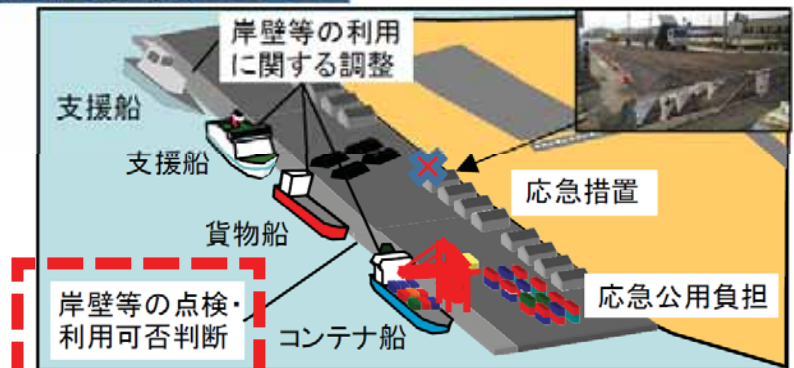
- ・非常災害時において、港湾管理者からの要請があり、地域の実情等を勘案して必要があると認めるときは、国が港湾利用者との調整等の管理業務を実施。

港湾管理者

①要請

国土交通大臣

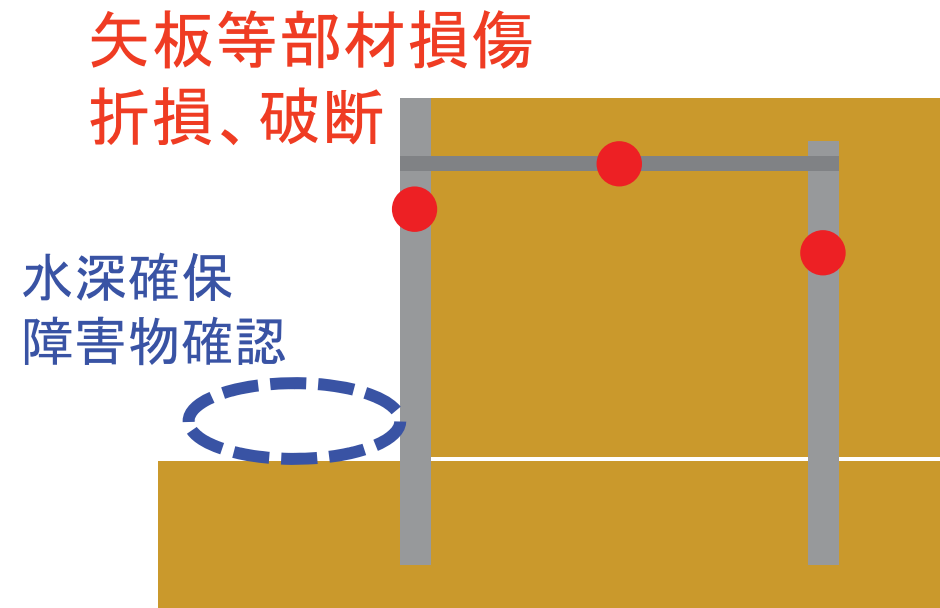
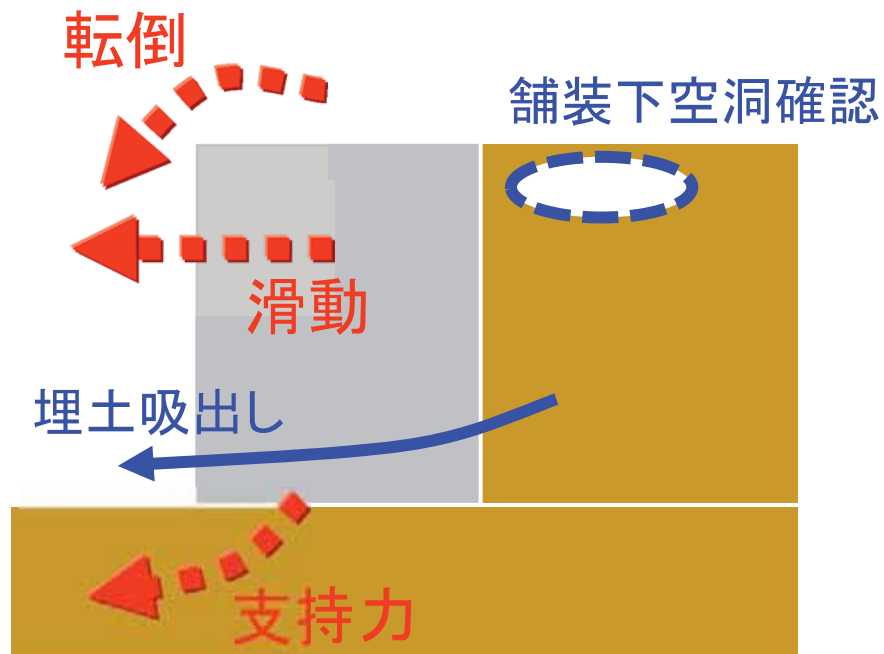
②管理、③告示



地震後の暫定供用時における確認事項

変形、変状の生じた施設の利用の可否は？

- 基本構造の問題の有無
- 船舶係留時の支障



想定される主な調査項目

- 構造形式把握
 - 被害の特徴
- 外観目視
 - 被害程度の大まかな把握、変状確認
- 測量
 - 変位量、変形量把握
- 水深調査
 - 水深確保、障害物確認
- 潜水目視
 - 水中での変状確認
 - 矢板、杭等の損傷、ケーソン目地開きの有無等の確認
- 舗装下空洞確認
 - 車両等上載時の陥没等の危険性の把握



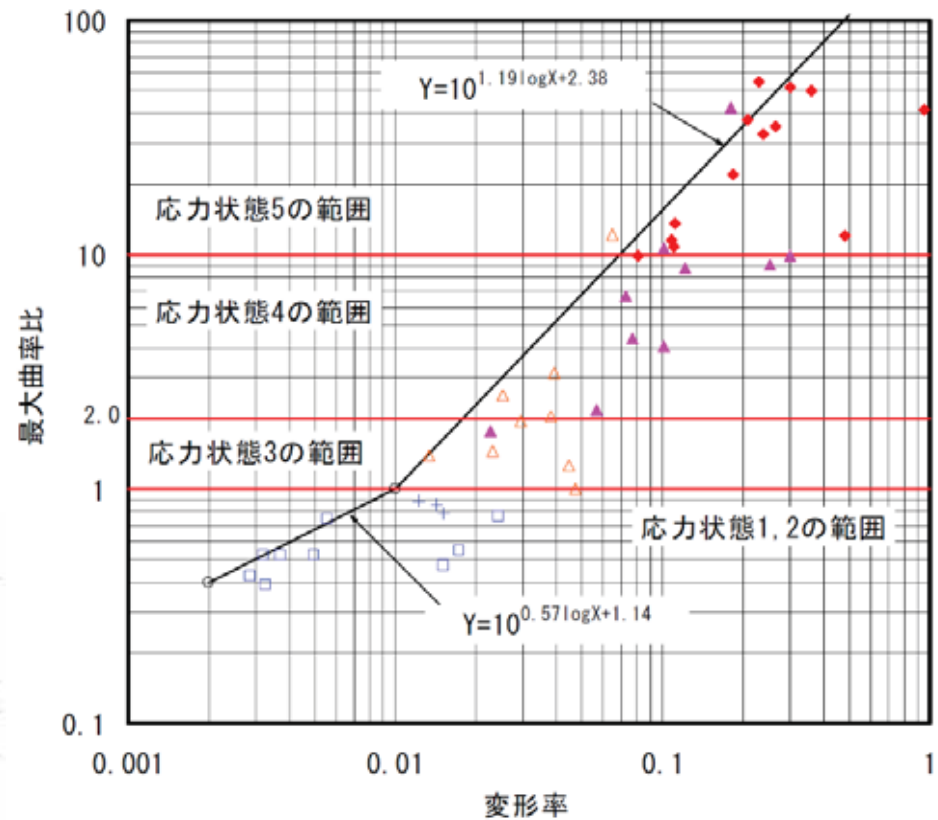
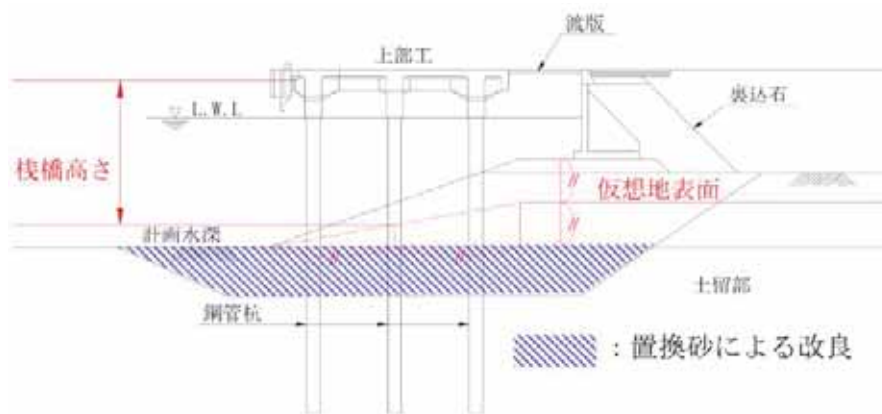
岸壁上からの確認はできるが、水中、地中の確認は容易ではない(時間がかかる)

法線変位量と部材損傷状態の関係の検討

地震動の振幅を変えた複数の地震応答解析結果より、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

○棧橋(直杭)の判定例

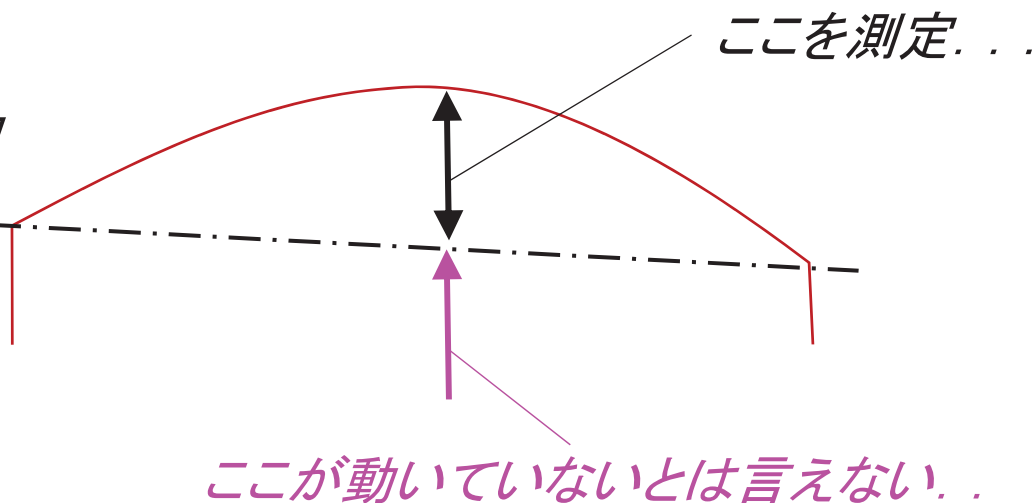
- ・応力状態1:降伏モーメント以下
- ・応力状態2:全塑性モーメント以下
- ・応力状態3:全塑性モーメントに達するが、1本の杭で2箇所以上の全塑性モーメントが発生
- ・応力状態4:2箇所以上で全塑性モーメントが発生していない杭が存在
- ・応力状態5:全ての杭で2箇所以上の全塑性モーメントが発生



□ 応力状態1 + 応力状態2 △ 応力状態3 ▲ 応力状態4 ◆ 応力状態5

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...



この部分も、動いている可能性...



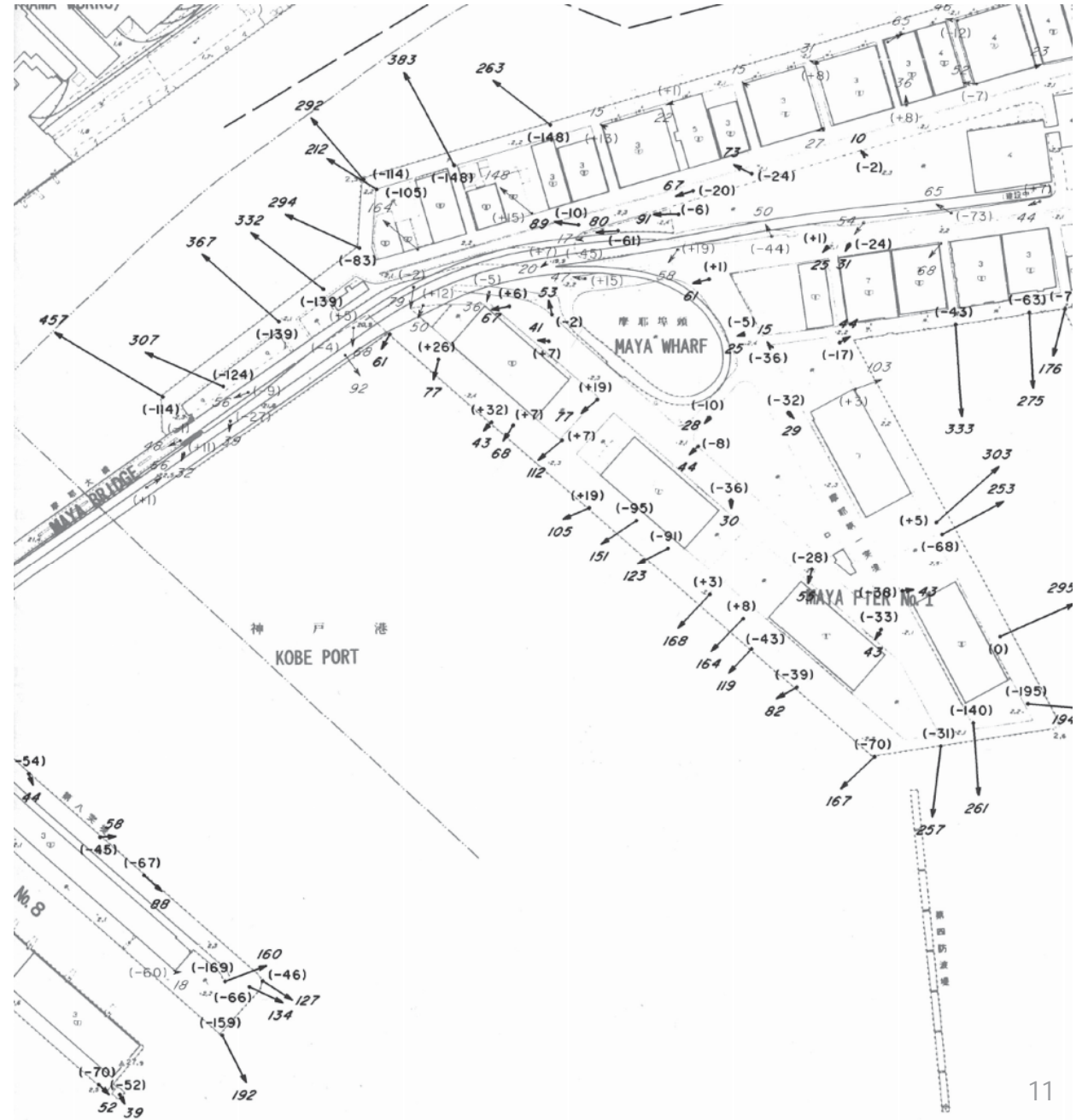
護岸移動、液状化による地盤側方流動

- 埋立地内では、護岸の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

⇒ 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

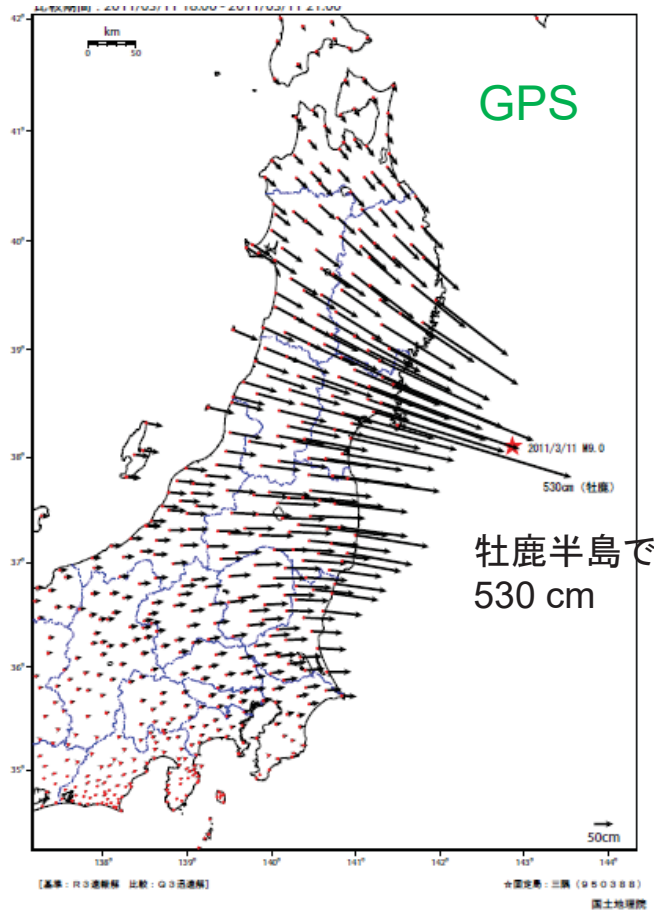
濱田政則, 磯山龍二, 若松加寿江:
1995年兵庫県南部地震液状化, 地盤変位及び地盤条件, 1995

神戸港摩耶埠頭

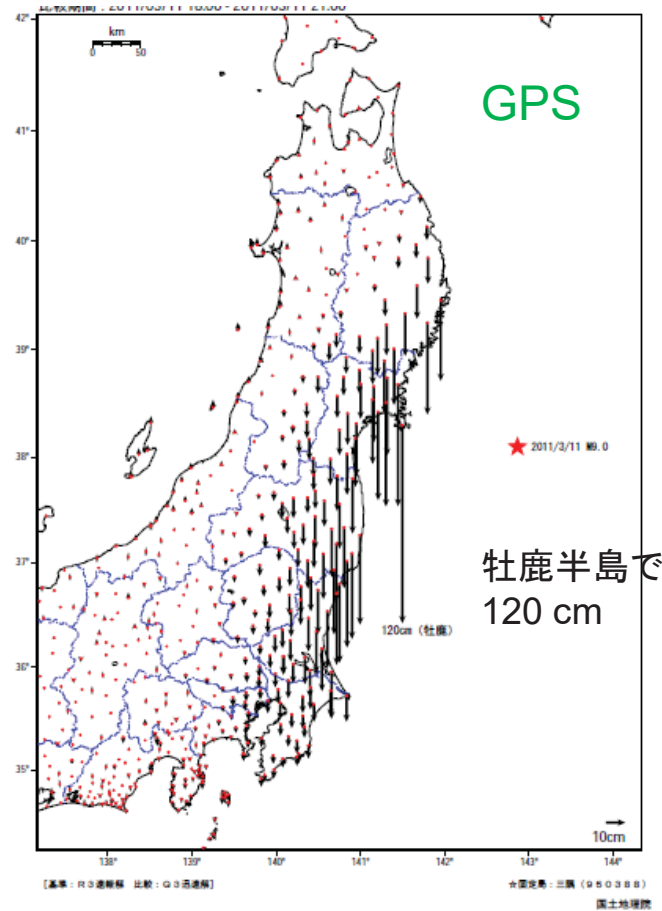


地殻変動による変位(2011年東北地方太平洋沖地震)

水平変位



鉛直変位



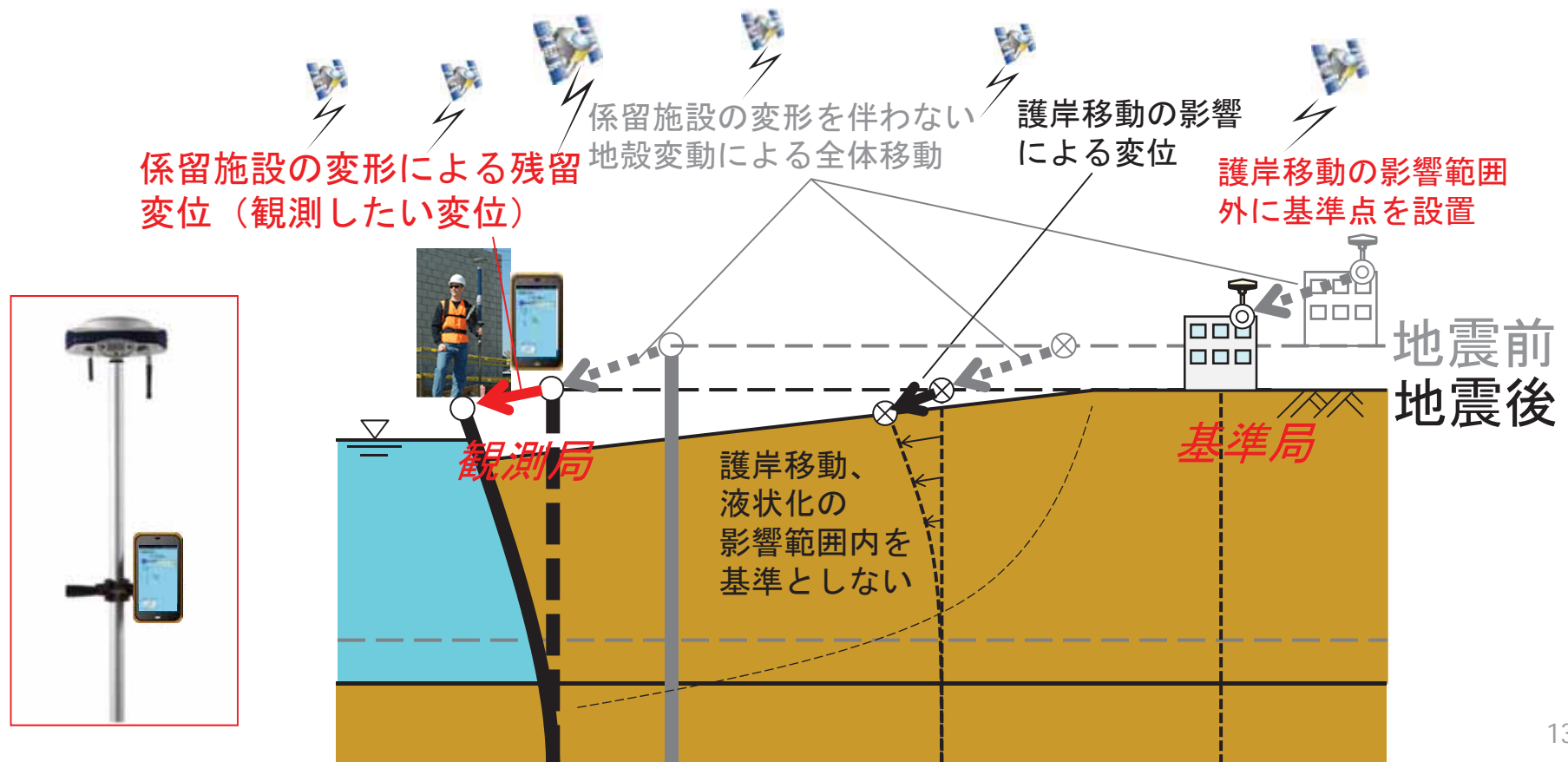
(国土地理院)

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)。

RTK-GNSSを用いた岸壁変形量の計測

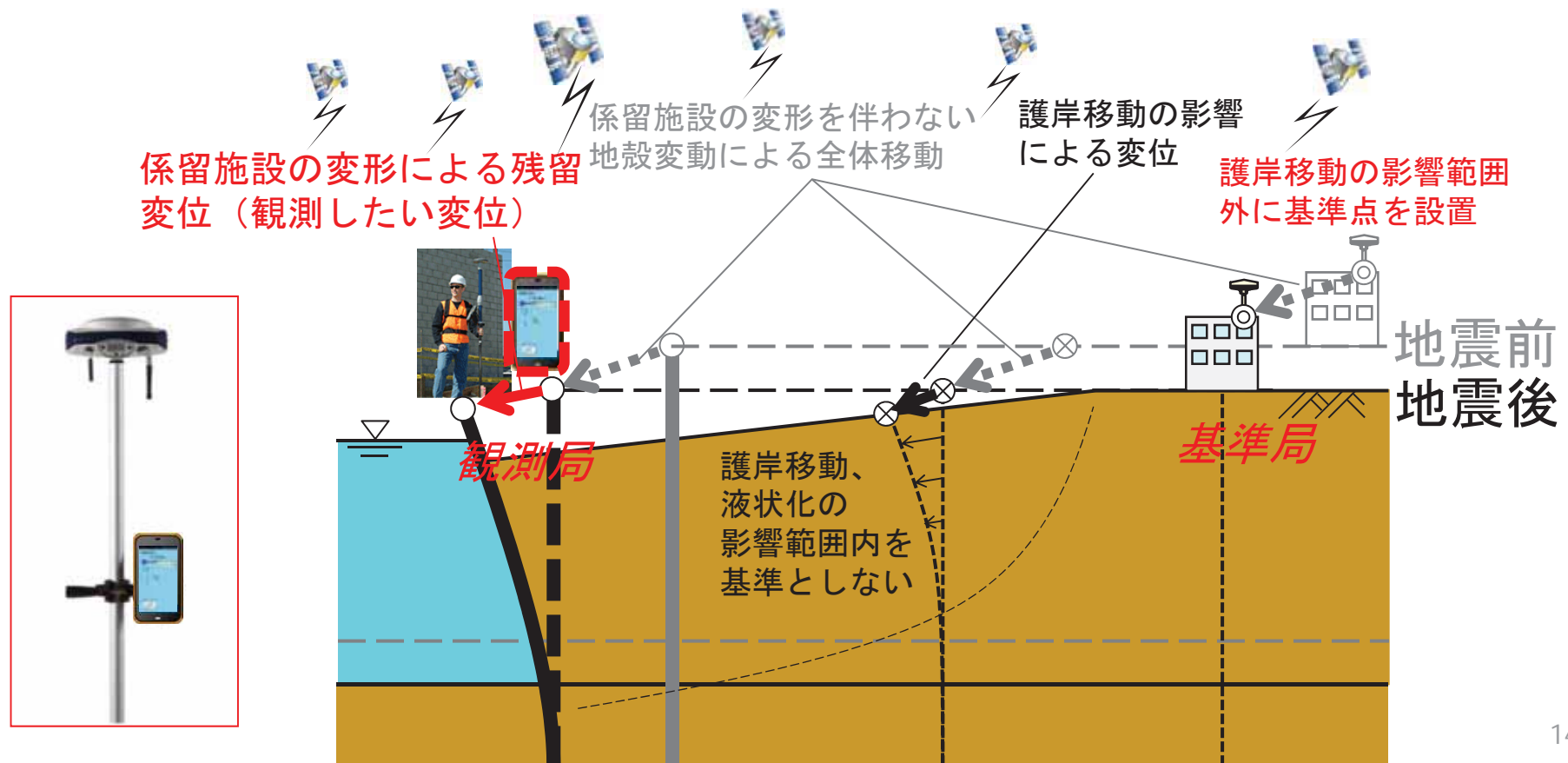
- 岸壁の変形に特化した計測

- 基準点をローカルな地盤移動(側方流動、護岸移動等)が影響しない個所に設置
- 位置の分かっている基準点と観測点で同時に観測を行い、基準局の位置成果に基づき観測点の位置を精度良く求めるRTK方式を導入
 - ⇒地殻変動による基準点移動量を考慮しないことで、地域全体の移動量をキャンセル

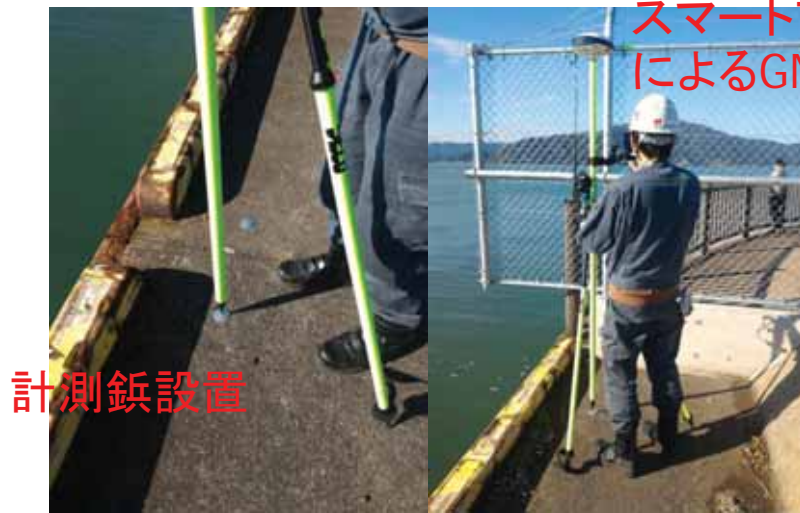


RTK-GNSSを用いた岸壁変形量の計測

- 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
- 事前の座標情報を記憶させておき、現場にて変位量を測定
⇒現場にて即座に変位量を把握できることで、要詳細調査個所を抽出、簡易使用可否判断に利用

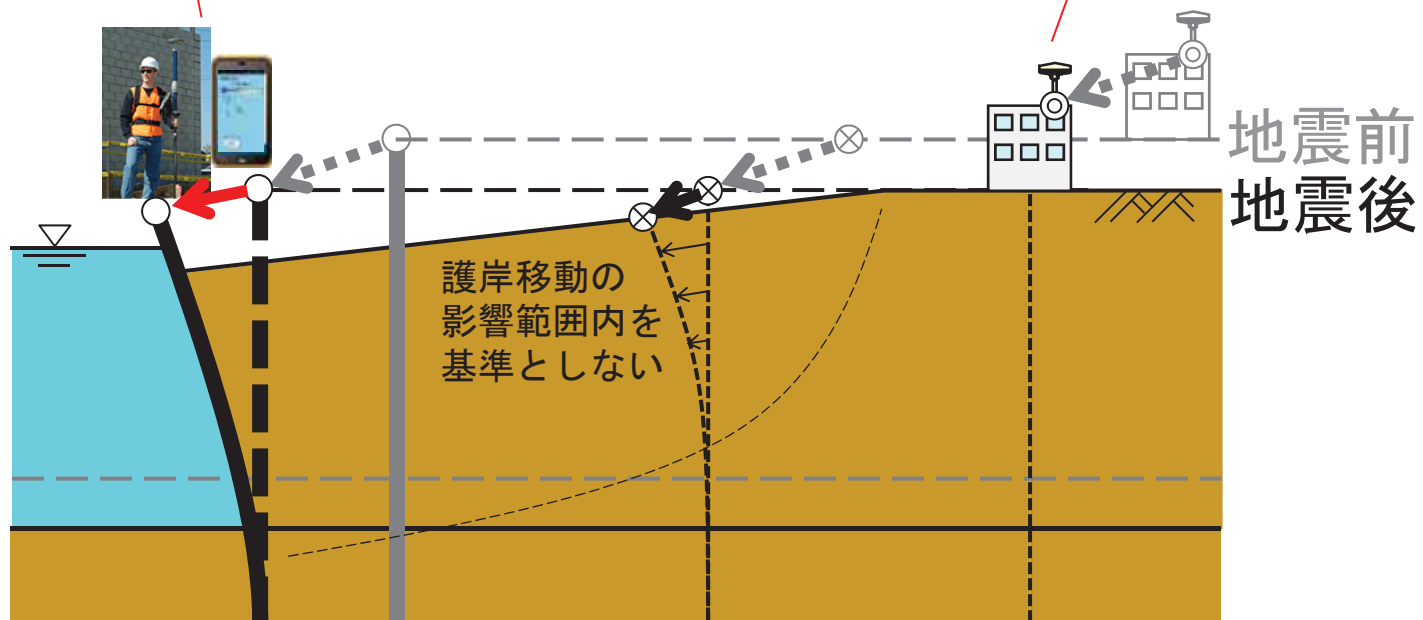


RTK-GNSSを用いた岸壁変形量計測ツール



観測局

基準局



法線変位量と部材損傷状態の関係の検討

H30d基準を踏まえて、鋼管杭の耐震性能評価手法を見直し

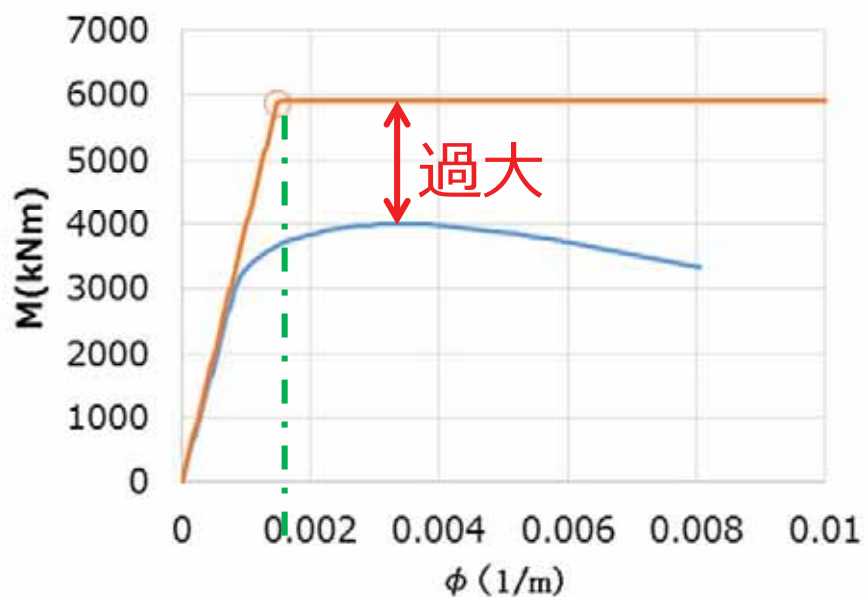
旧基準と新基準の比較例

Φ1500t15 (D/t=100), N/N_y=0.45, 円形保持

大径厚比, 高軸力比

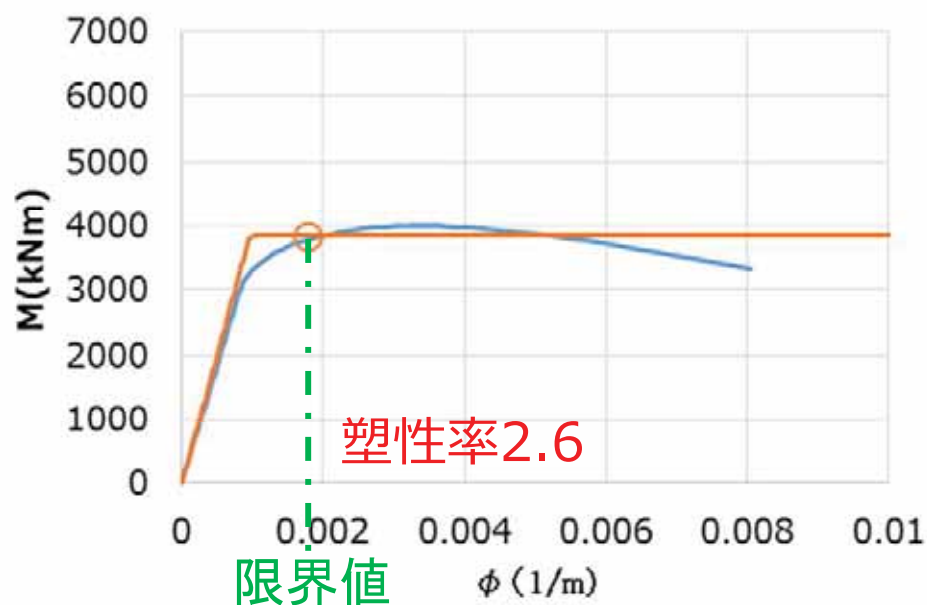
旧基準

全塑性モーメント（従来法）
よる危険側評価が排除された



新基準

曲げモーメントー曲率関係
(M- ϕ 関係)



3次元FEM(ADINA)



梁要素解析(FLIP)

スマートフォンアプリ

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機器を簡単に操作
- 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

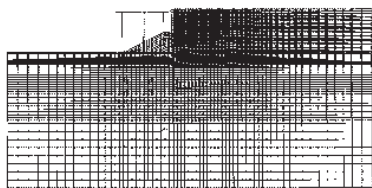
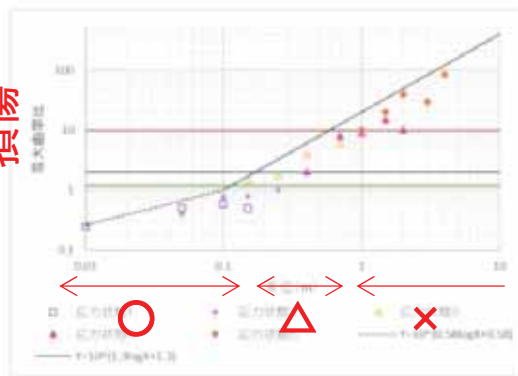


構造部材損傷、供用可否判定機能の追加

(H30年度関東地整受託研究)

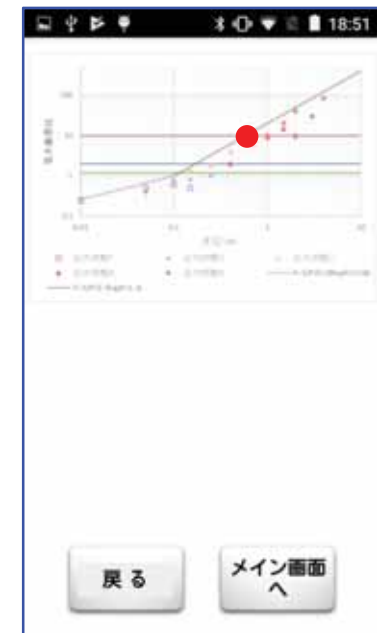
- RTK-GNSSスマホアプリ上での供用可否判定結果の表示機能追加(変形量一部材損傷関係の取り込み)
- H30d基準 鋼管M-φモデル改訂の反映
- 関東管内港湾での試計測

杭等部材の
損傷



法線変位量と部材損傷状態
の関係の検討(数値解析)

適用

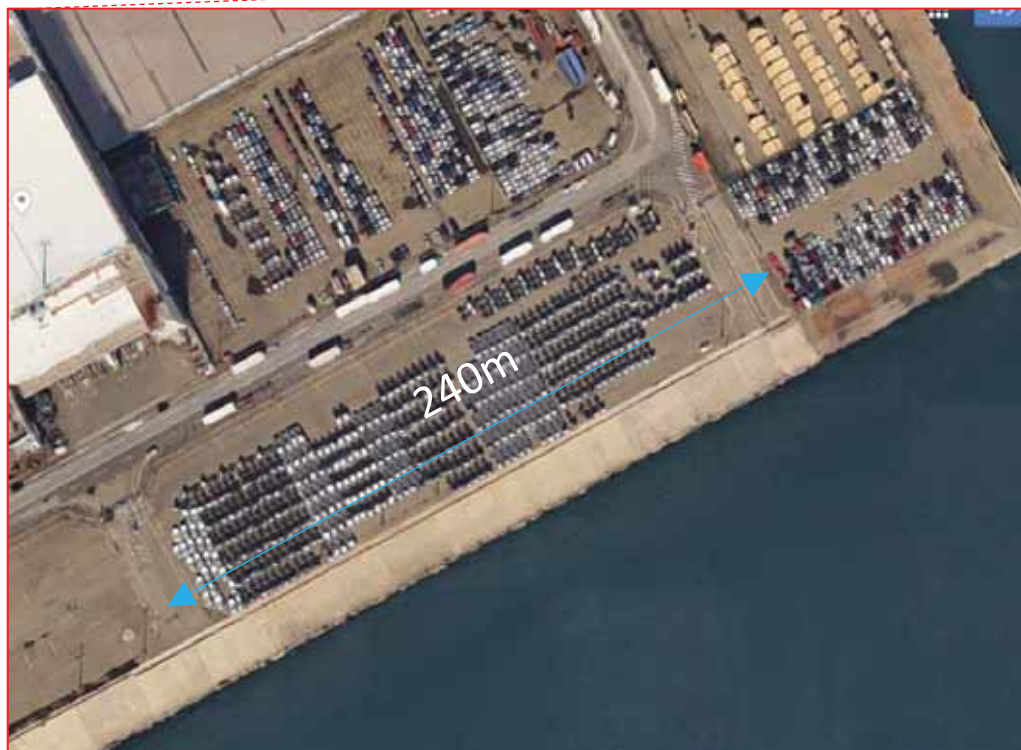


アプリ上での利用可否判定表示機能追加
変形量一部材損傷関係上への計測変形量のプロット

対象施設

○川崎港東扇島地区(-12m)9号岸壁

- 全長240mの棧橋式係船岸
- 平成9年度に耐震強化岸壁として供用開始
- 平成14年度に基幹的広域防災拠点施設に指定される

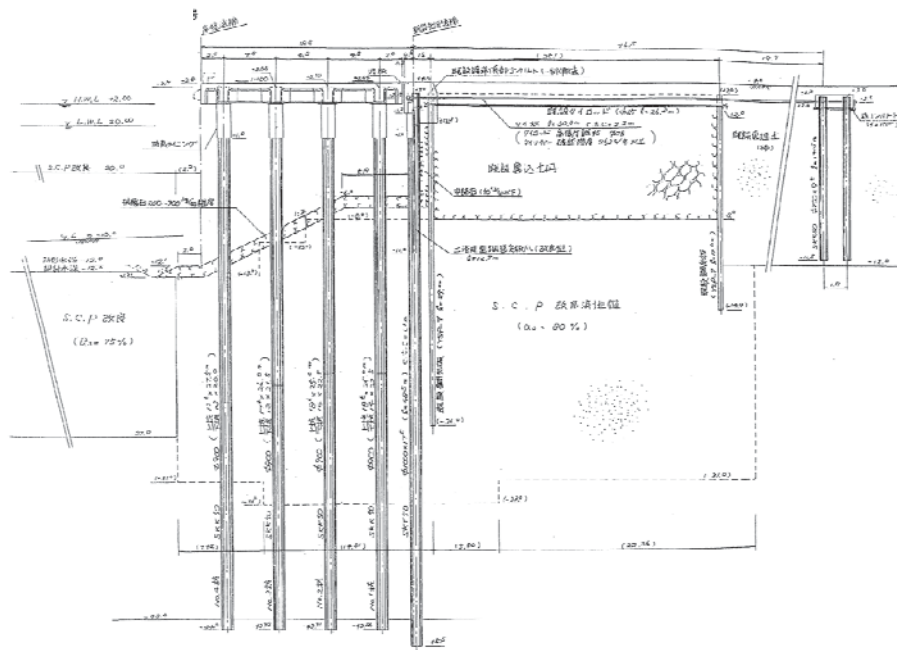


川崎港東扇島地区(-12m)9号岸壁 断面図

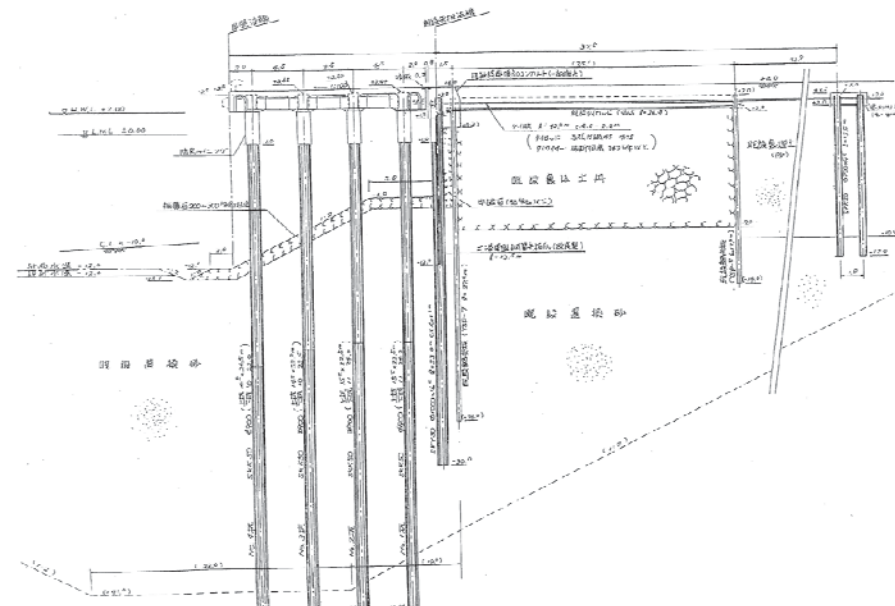
- 直杭式棧橋
- 耐震強化岸壁、全長240m
- 東側3スパン(72m)は砂置換、西側7スパン(168m)はSCPによる地盤改良を実施



○SCP改良



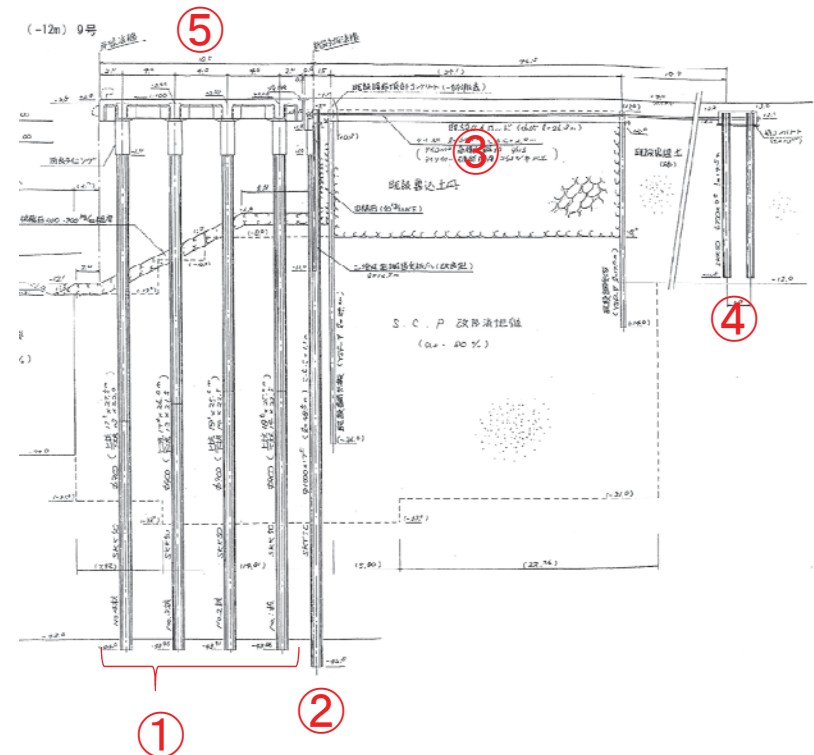
○砂置換



法線変位量と部材損傷状態の関係の検討

H30d基準を踏まえて、判定基準は以下のとおりに設定

- ① 棧橋杭 (I ~ III : ○、IV : △、V : ×)
I : 降伏応力度未満、 II : 限界曲率未満、
III : 1本の杭で2箇所以上の限界曲率が発生、
IV : 1本の杭で2箇所以上の限界曲率が発生していない杭が存在、
V : すべての杭で2箇所以上の限界曲率が発生
- ② 土留め矢板 (I : ○、II : △、III : ×)
I : 降伏応力度未満、 II : 限界曲率未満、
III : 限界曲率以上
- ③ タイ材 (I ~ II : ○、III : ×)
I : 降伏未満、 II : 許容発生伸び率未満
III : 許容発生伸び率以上
- ④ 控え杭 (I ~ II : ○、III : ×)
I : 降伏応力度未満、 II : 限界曲率未満、
III : 限界曲率が発生
- ⑤ 棧橋上部工 (I : ○、II : ×)
I : 破断耐力未満、 II : 破断耐力以上

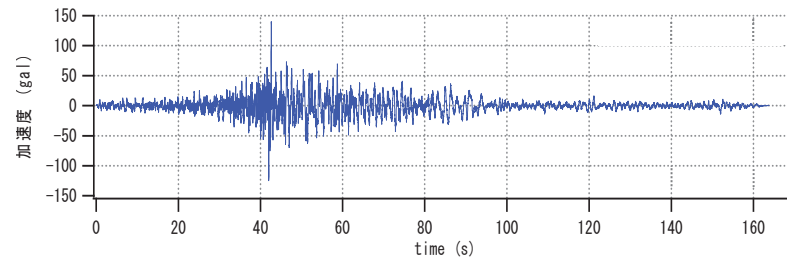


法線変位量と部材損傷状態の関係の整理

○対象地震動

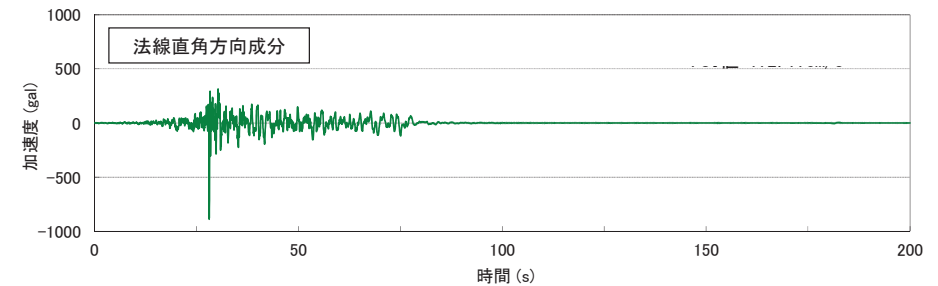
L1地震動(川崎港)

最大加速度140gal



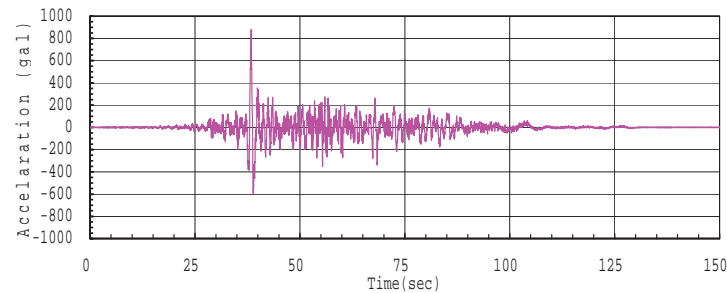
川崎Mw7.3

最大加速度890gal



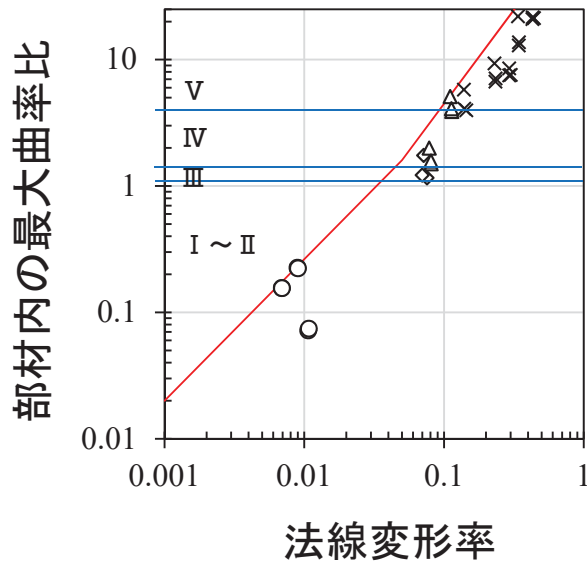
元禄関東地震

最大加速度876gal

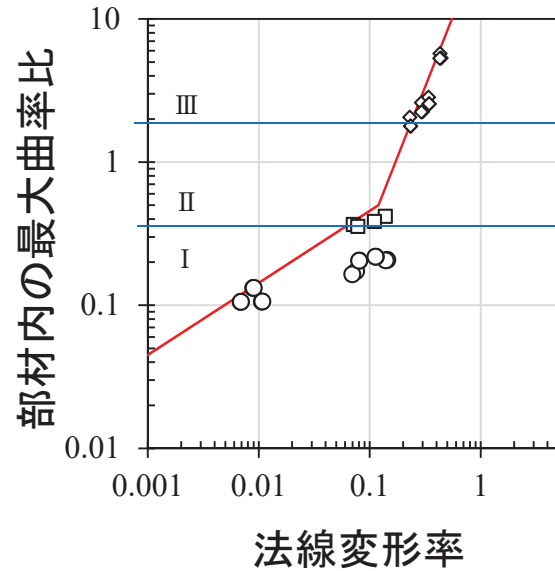


法線変位量と部材損傷状態の関係の整理

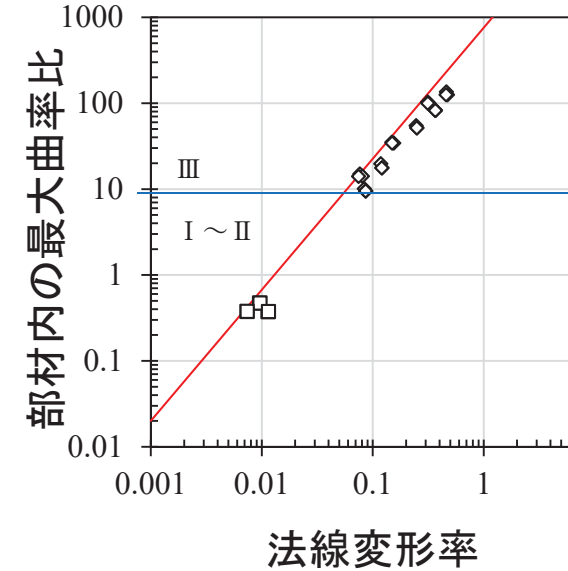
栈橋杭



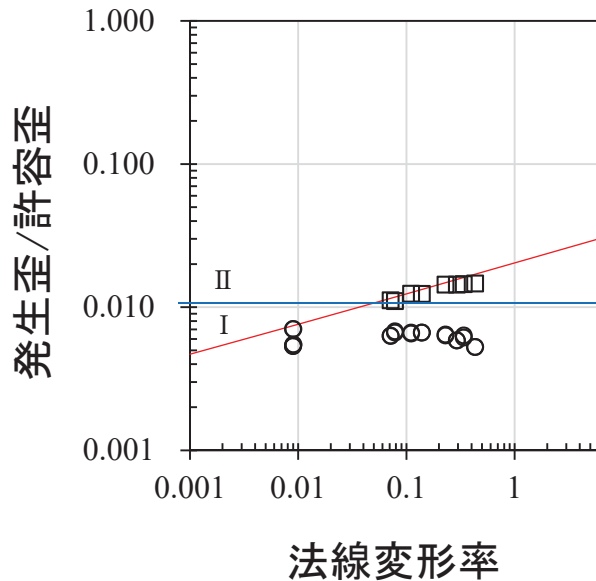
矢板



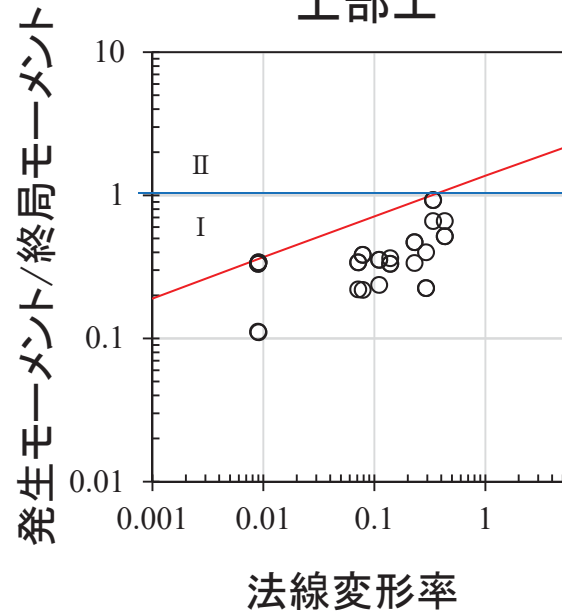
控え杭



タイ材



上部工



- : I
- : II
- ◇: III
- △: IV
- ×: V

—: 岸壁法線変位量から各部材耐力の推定

基準点の設置

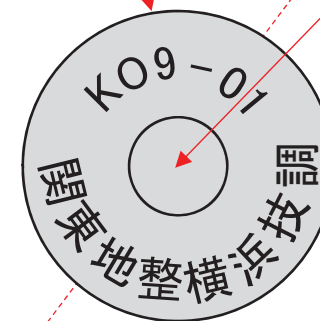
○川崎港東扇島地区(-12m)9号岸壁

- 全長240mの棧橋式係船岸
- 1スパンの両端に金属鈎を設置



アルミ製

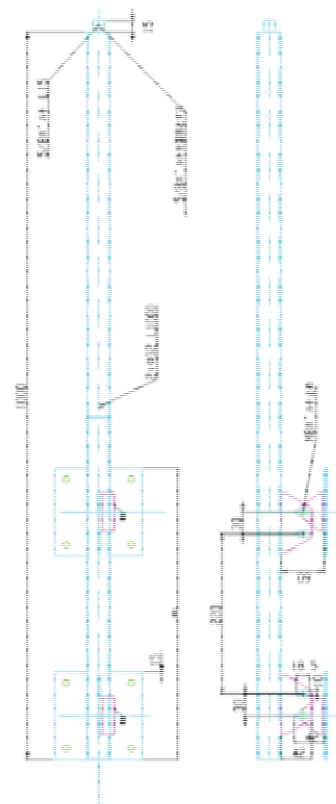
ステンレス製



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



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

RTK-GNSSの計測

無線用アンテナ



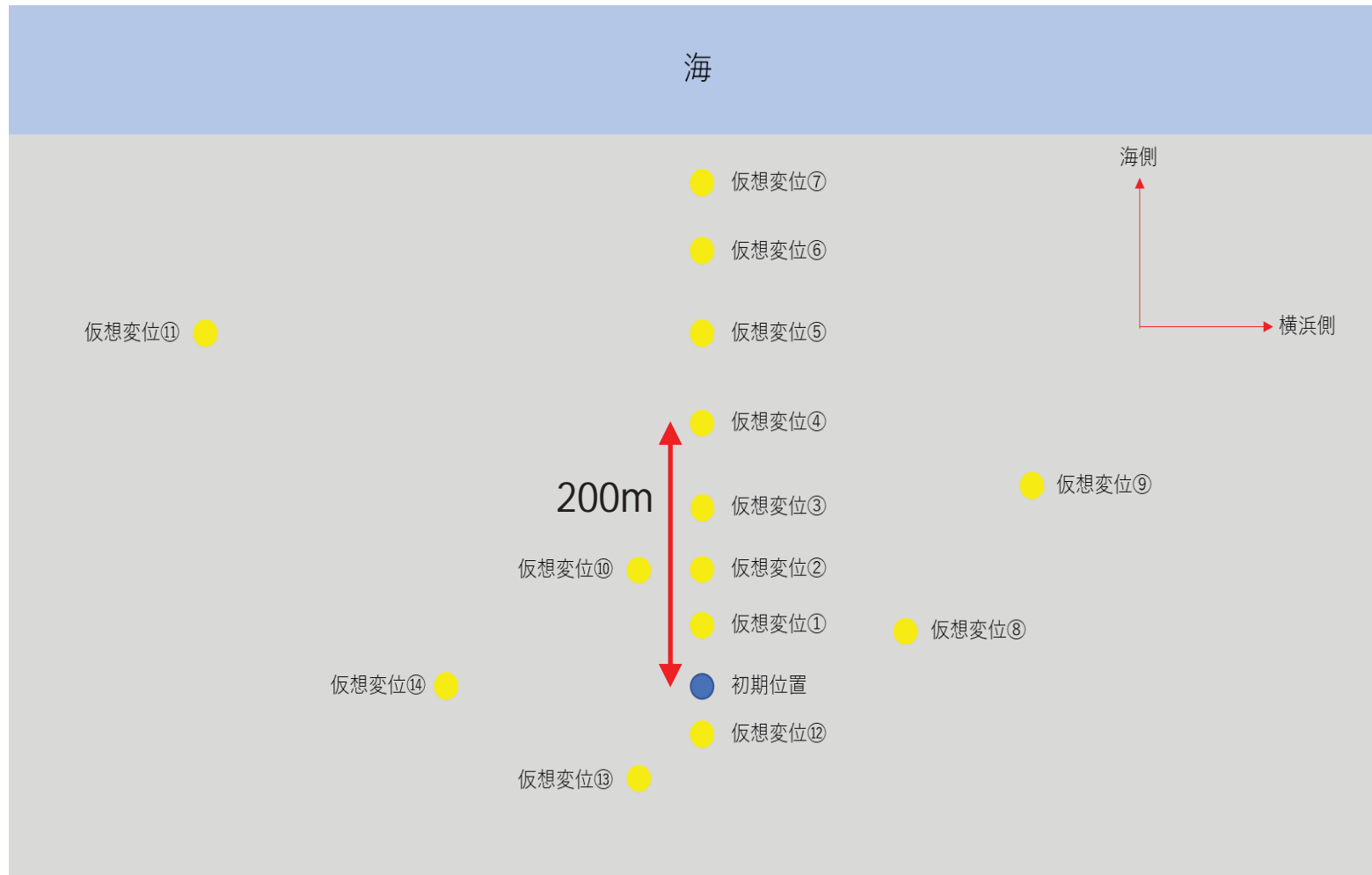
基準局



観測局

部材損傷状態の推定の試行

仮想の変位を想定した計測点を設置し、部材の損傷推定を確認



部材損傷状態の推定結果(仮想変位④)

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

× △ × ○ ○

続けて、他の計測点に発生した変位量を確認する場合は「変位を見る」を押して下さい。

CAD図

変位を見る メイン画面へ

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
2.8cm沈下発生

(詳細)
X:南へ 173.6cm
Y:東へ 99.6cm
Z: 2.8cm沈下

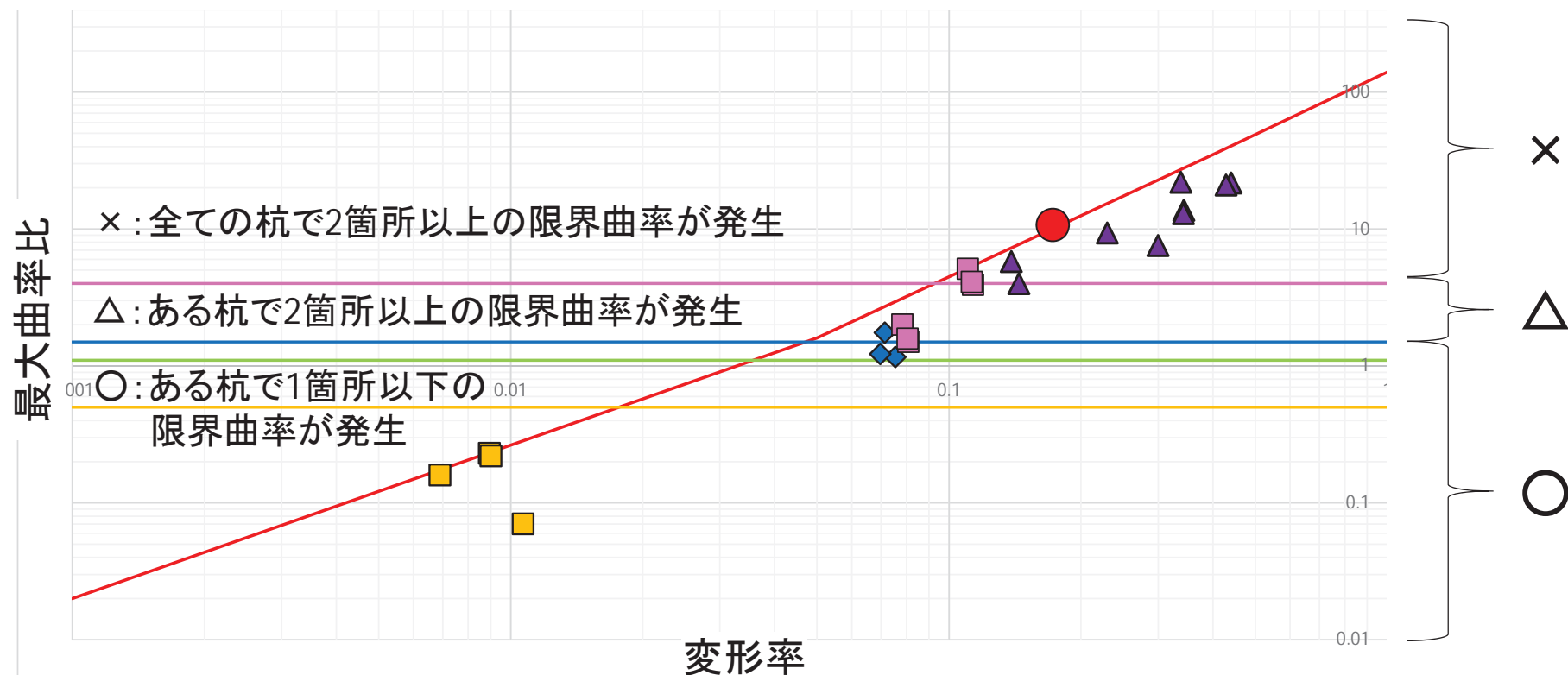
戻る

続けて、他の計測点に発生した変位量を確認する場合は「変位を見る」を押して下さい。

CAD図

変位を見る メイン画面へ

部材損傷状態の推定結果(仮想変位④の詳細)



このファイルは変形率と栈橋杭の耐力です。

- I : 全ての杭で降伏応力度未満
- ▲ II : 全ての杭で限界曲率未満
- ◆ III : ある杭で1箇所の限界曲率が発生
- 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

ご清聴ありがとうございました