

係留施設の残存耐力評価指標について

1. 概要

港湾施設は大規模地震発生直後の緊急物資輸送や復旧工事の拠点として重要な役割を担っているため、地震発生後速やかに施設の健全度を判断し暫定供用の可否を判断することが求められている。しかし、栈橋式岸壁および矢板式岸壁は鋼部材を含む施設であり、外観調査等から速やかに鋼部材の応力状態を把握することは困難である。そこで、外観調査で得られる施設天端の残留水平変位から速やかに鋼部材の応力状態を判断する残存耐力評価指標を作成した。

2. 残存耐力評価指標（後日、詳細については個別説明を予定）

鋼部材の残存耐力の有無を評価する指標の作成手法は以下の通りである。

- ① 震源特性、伝播経路特性およびサイト増幅特性を考慮し、対象施設における地震動を設定。（レベル2地震動を含む10波程度）
- ② 設定した地震動を用いて対象施設を対象に動的解析を実施し、地震動毎の残留水平変位および鋼部材の応力状態を把握。
- ③ 残留水平変位と鋼部材の応力状態との関係を整理。（図-2）
- ④ 「残存耐力なし」と評価する閾値を『残存耐力評価指標』に設定。

なお、「残存耐力なし」の応力状態を以下のように定義する。

矢板式	地震動作用時に塑性ヒンジが発生
栈橋式	地震動作用時に全ての杭について2箇所以上の塑性ヒンジが発生

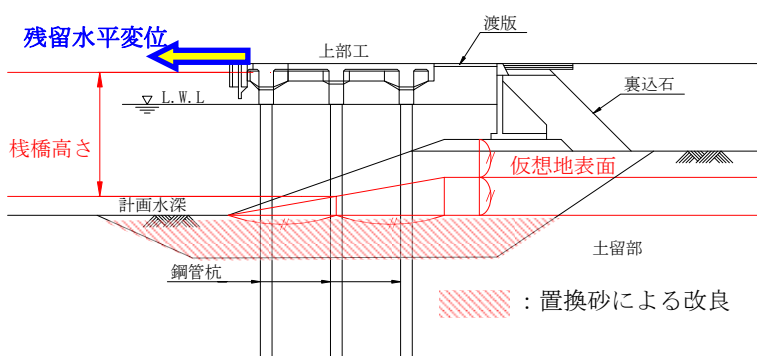


図-1 栈橋式岸壁の概略図

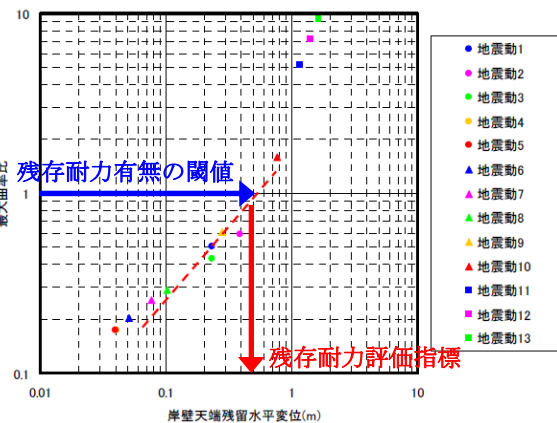


図-2 残留水平変位と最大曲率（一例）

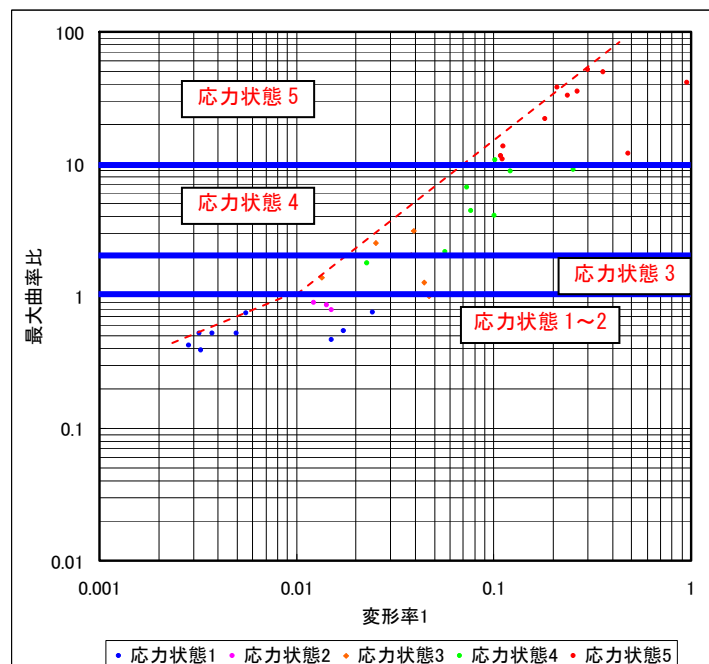
3. 一般化（直杭式栈橋）

中部地方整備局管内の直轄施設を対象に残存耐力評価指標を作成した際の残留水平変位および鋼部材の応力状態の関係を用いて、直杭式栈橋を対象とした残存耐力評価指標の一般化について検討した。ただし、対象施設数が少ないジャケット式栈橋を除く。

残存耐力有無の閾値となる変形率に対象施設の栈橋高さを乗じることにより、残留水平変位に関する残存耐力評価指標を予め算出する。算出した残存耐力評価指標と被災後の外観調査で得られる施設天端の残留水平変位と比較することにより、速やかに鋼部材の応力状態の概要を把握することができる。

$$dir = \text{変形率} = \frac{\text{残留水平変位}}{\text{栈橋高さ}}, \quad \text{最大曲率比} = \frac{\text{発生曲率}}{\text{全塑性モーメント発生時の曲率}} \text{の最大値}$$

3.1. 置換砂ありの場合



応力状態	説明
応力状態1	降伏以下
応力状態2	全塑性以下
応力状態3	ダブルヒンジが発生しない
応力状態4	ダブルヒンジとなっていない杭が存在する
応力状態5	全ての杭がダブルヒンジ

図-3 直杭式栈橋の耐震診断図（置換砂あり）

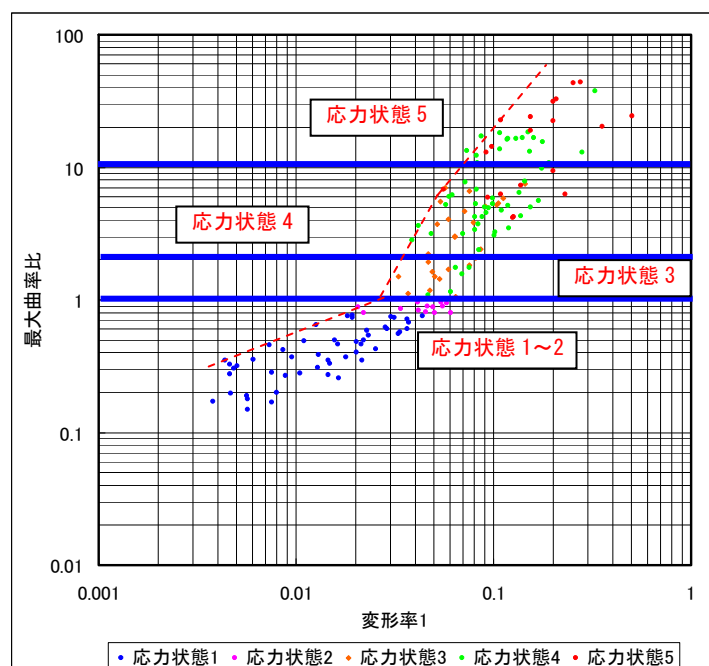
$$dir \leq 0.01 \text{ の時} \quad \phi = 10^{0.57 \log(dx) + 1.14}$$

$$dir > 0.01 \text{ の時} \quad \phi = 10^{1.19 \log(dx) + 2.38}$$

変形率	応力状態
$dir < 0.010$	応力状態1、2: 全塑性以下。
$0.010 \leq dir < 0.020$	応力状態3: ダブルヒンジが発生しない。
$0.020 \leq dir < 0.070$	応力状態4: ダブルヒンジが発生しない杭が存在する。
$0.070 \leq dir$	応力状態5: 全ての杭でダブルヒンジが発生する。

残存耐力有無の閾値となる変形率

3. 2. 置換砂なしの場合（液状化層と非液状化層の互層の場合は除く）



応力状態	説明
応力状態1	降伏以下
応力状態2	全塑性以下
応力状態3	ダブルヒンジが発生しない
応力状態4	ダブルヒンジとなっていない杭が存在する
応力状態5	全ての杭がダブルヒンジ

図-4 直杭式栈橋の耐震診断図（置換砂なし）

$$\begin{aligned}
 dir \leq 0.015 \text{ の時} & \quad \phi = 10^{0.79 \log(dx) + 1.44} \\
 0.015 < dir \leq 0.05 \text{ の時} & \quad \phi = 10^{1.49 \log(dx) + 2.72} \\
 0.05 < dir \text{ の時} & \quad \phi = 10^{1.74 \log(dx) + 3.04}
 \end{aligned}$$

変形率	応力状態
$dir < 0.015$	応力状態1、2: 全塑性以下。
$0.015 \leq dir < 0.024$	応力状態3: ダブルヒンジが発生しない。
$0.024 \leq dir < 0.067$	応力状態4: ダブルヒンジが発生しない杭が存在する。
$0.067 \leq dir$	応力状態5: 全ての杭でダブルヒンジが発生する。

残存耐力有無の閾値となる変形率

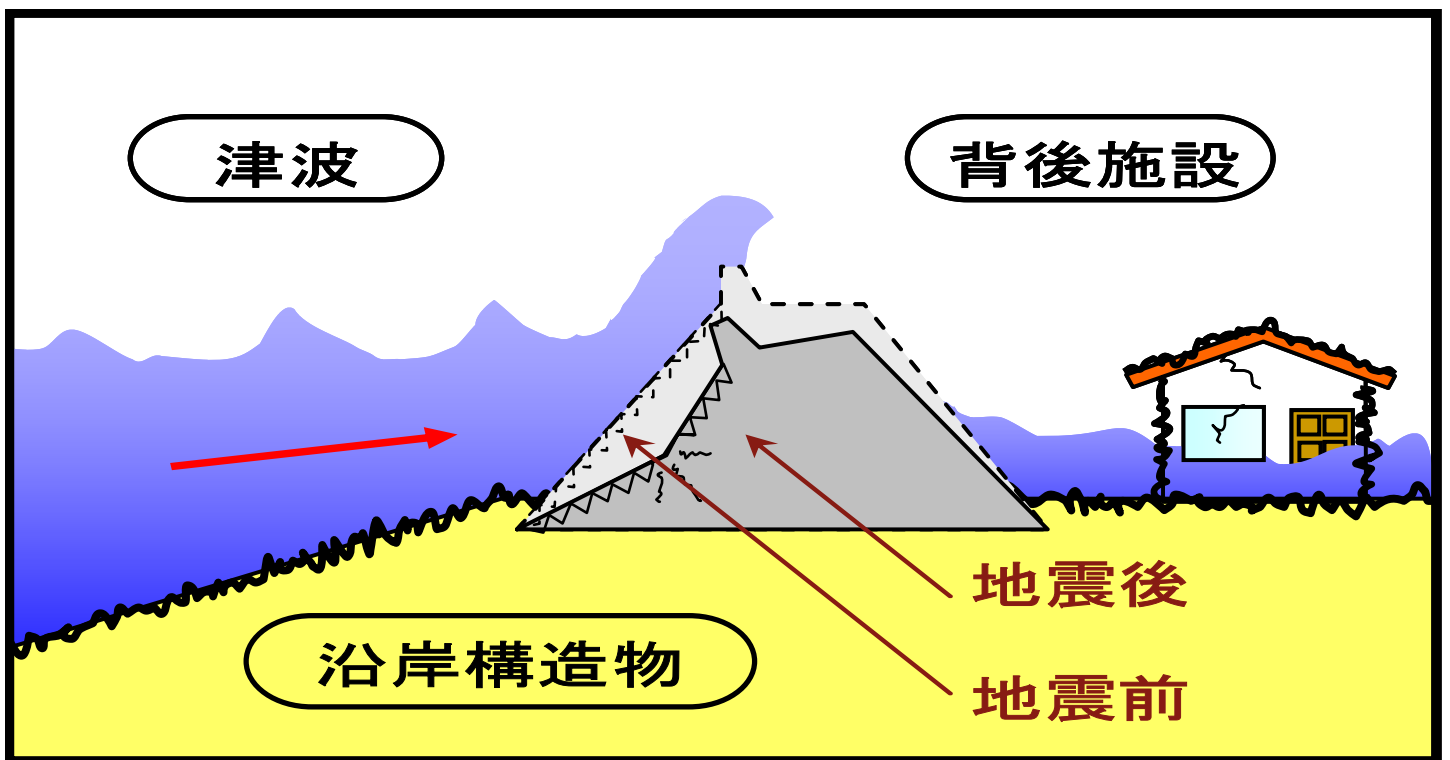
4. その他

予め施設毎の残存耐力評価指標を算出するだけでなく、定期的に施設の水平変位を計測することが必要である。

沿岸構造物の

チャート式耐震診断システム

～地震に対する危険性が高い施設を「簡単に」、「早く」抽出！～



国土交通省 港湾局

チャート式耐震診断システムの概要

1. システムの開発目的

大規模地震及びこれに伴う津波から人命や資産を守るためには、堤防・護岸等の耐震性の確保が必要です。

特に港湾区域に多く存在している護岸等については、施設の延長が長く、構造形式も様々（重力式・矢板式等）であることから、全施設に精度の高い耐震診断を実施するためには、多大な費用と時間が必要となり、耐震化を進める上でのボトルネックとなっています。

この問題を解決するため、国土交通省港湾局では、地震発生時の護岸等の沿岸構造物の変形量を算定し、地震に対する危険性が高い施設を「簡単に」、「早く」抽出することができる「沿岸構造物のチャート式耐震診断システム」の開発に取り組んでいます。

2. システムの概要

地震発生時の沿岸構造物の変形量を高い精度で予測するためには、個別施設毎に複雑なシミュレーションを多大な費用と時間をかけて実施することが必要です。

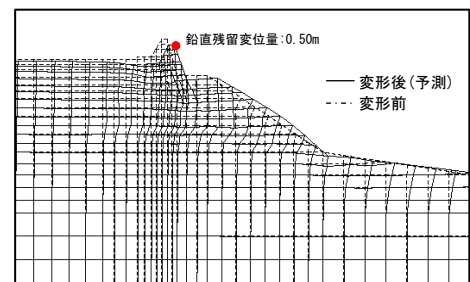
これに対して本システムでは、予め、条件を様々に設定したシミュレーションによる変形量の算定結果をデータベース化し、各現場で耐震診断を実施する際に、個別施設の条件をデータベースのデータと照合するだけで、地震発生時の沿岸構造物の変形量を算定し、地震に対する危険性が高い施設を抽出することを可能としました。これによって、一定の精度を確保しながら、危険度の高い施設から効率的に耐震化の検討を実施することが可能となります。

◇FLIP等のFEM解析による耐震診断

個別施設毎に、複雑なシミュレーションを実施



変形量を予測



FEM解析による残留変形図

◇チャート式耐震診断システムによる耐震診断

耐震診断を実施したい個別施設の条件を照合



沿岸構造物の変形量を算出し、地震に対する危険性が高い施設を抽出

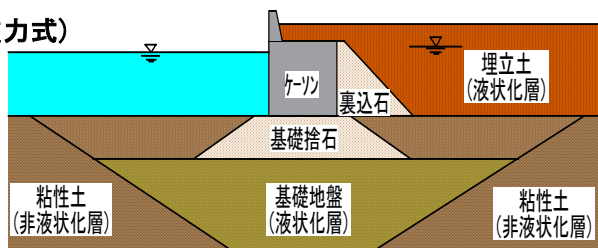
		地盤の状況(固さ)		
		硬	普	柔
地震動 (規模)	大	50cm	70cm	100cm
	中	30cm	40cm	60cm
	小	10cm	20cm	30cm

データベースのイメージ

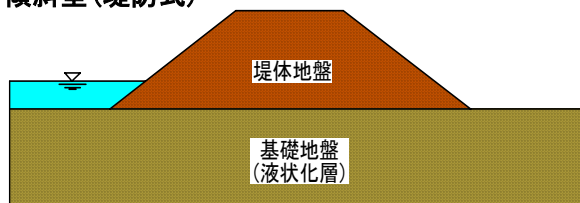
3. 対象施設

当システムは、以下の4種類の構造形式について適用可能です。(※矢板型については、現在開発中)

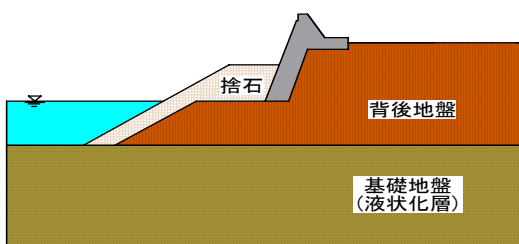
直立型(重力式)



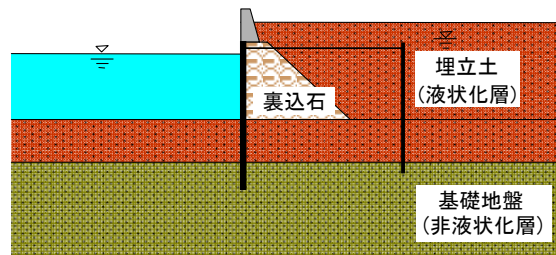
傾斜型(堤防式)



傾斜型(護岸式)



矢板型(控え・自立式)



□ : 入力項目

入力画面例：
直立型(重力式)

		値		備考	
天端標高	T.P	5.40	(m)	左記は、1990年の	施工図面による値。
	D.L	4.50	(m)		
H.H.W.L	D.L	3.10	(m)		
H.W.L	D.L	1.70	(m)		
直立型(重力式)	高さH	8.00	(m)	3.0~20.0が概ね適用範囲	
	幅W	5.00	(m)		
	基礎地盤の液状化層厚D1	1.00	(m)		
	W/H	0.63		自動計算(0.35~1.05が概ね適用範囲)	
	D1/H	0.13		自動計算(0.00~1.95が概ね適用範囲)	
	埋立土の等価N値	20.00	—	5≤等価N値≤25 ただし、細粒分含有率による補正は実施しない値	
	置換砂の等価N値	5.00	—	5≤等価N値≤25 ただし、細粒分含有率による補正は実施しない値	
	護岸形状による津波高さの補正係数	2.00	—	当面の間は、1.0を使用	
防潮施設の水際からの位置	2.00	(m)	防潮施設の水際からの距離		

□ : 出力項目

出力画面例：

対象施設	残留水平変位	1.2	(m)	(参考) 111cm
		1.1	(m)	水際からの距離を考慮したもの
	残留鉛直変位	0.4	(m)	(参考) 40cm
		0.4	(m)	水際からの距離を考慮したもの

4. システムの活用及び改良

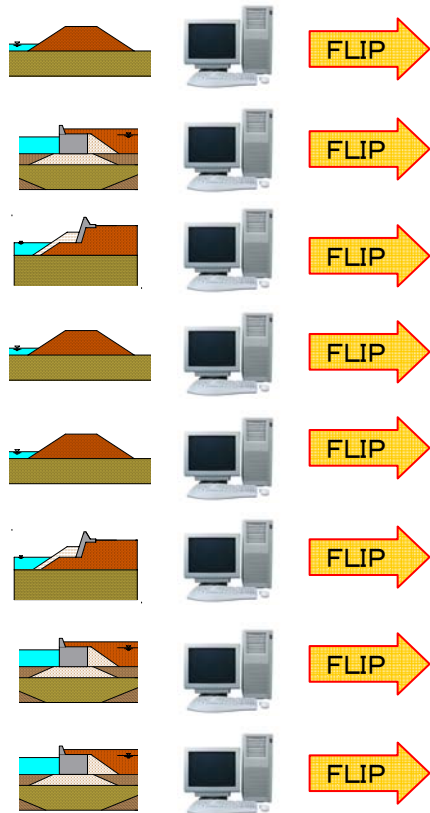
当システムの活用により、一定の精度を確保しながら、地震に対する危険性が高い施設を「簡単に」、「早く」抽出することが出来るようになるため、効率的に沿岸構造物の耐震診断を進めて、耐震化を実施することが可能となります。また、今後使用ニーズを踏まえた改良を進めて参ります。

5. 耐震化事業実施までの流れ

【従来の場合】

○全ての施設について、FLIP等のFEM解析による耐震診断を実施。

※FLIP:運輸省港湾技術研究所(現(独)港湾空港技術研究所)において開発された、地震時の液状化による構造物被害予測プログラム。精度は高いが計算に手間と時間を要する。

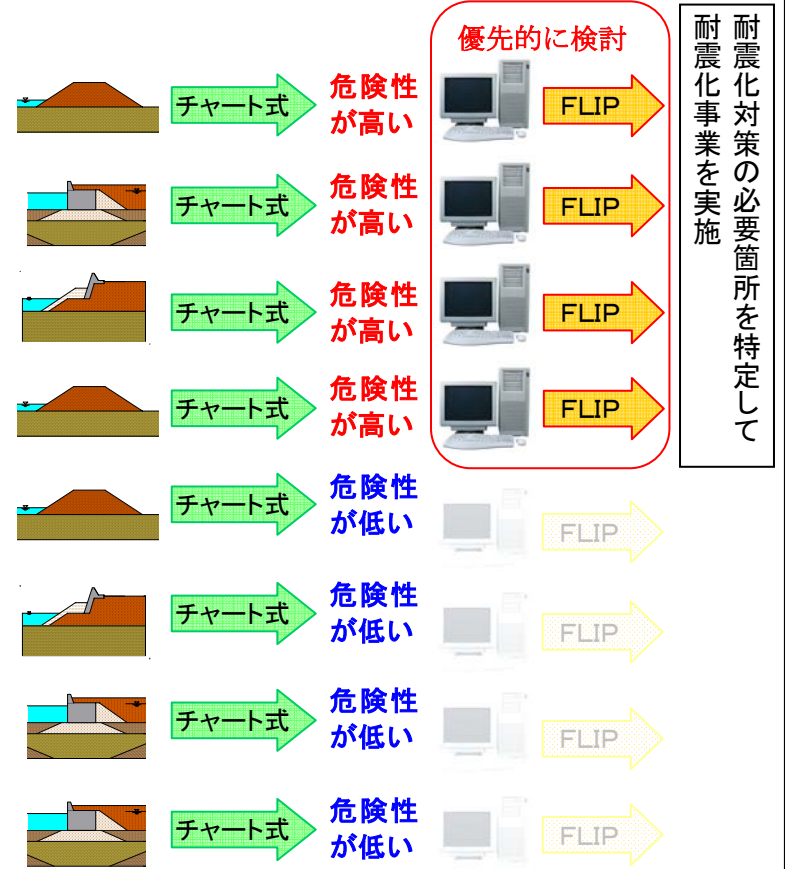


耐震化対策の必要箇所を特定して耐震化事業を実施

多くの海岸堤防に対して一つ一つ高度な計算
→ 多大な時間と費用が必要

【チャート式耐震診断システムを利用した場合】

○チャート式耐震診断システムを利用し、地震に対する危険性が高い地域を抽出。
FLIP等のFEM解析による耐震診断については、地震に対する危険性が高い地域を対象に実施。



耐震化対策の必要箇所を特定して耐震化事業を実施

当システムにより、予め危険性が高い地域を抽出
→ 時間と費用を節約

発行

国土交通省港湾局

〒100-8918 東京都千代田区霞ヶ関 2-1-3 中央合同庁舎 3号館
電話：03-5253-8111 (代表) <http://www.mlit.go.jp/>

お問い合わせ

国土交通省近畿地方整備局港湾空港部 港湾空港防災・危機管理課

〒650-0024 神戸市中央区海岸通 2 9 神戸地方合同庁舎
電話：078-391-7571 (代表) <http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/>

国土交通省近畿地方整備局神戸港湾空港技術調査事務所 調査課

〒651-0082 神戸市中央区小野浜町 7 番 3 0 号
電話：078-331-0057 (代表) <http://www.pa.kkr.mlit.go.jp/kobegicyo/>