

FLIP 解析を活用した矢板式係船岸の使用可否判定方策の検討

加辺 圭太郎*・蛭川 愛志*・曾根 照人**・山本 龍**
 ・高岡 慶人**・服部 俊朗***・平間 仁***・丸山 晴広***

*(一財)沿岸技術研究センター 調査部
 **株式会社ニュージェック 港湾・海岸グループ
 ***国土交通省 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鋼構造形式係船岸の使用可否判定は、構造の主部材である鋼材の応力状態に大きく依存し、外観調査からでは判断できない。そのため、FLIP 解析を活用した使用可否判定手法について検討を行ってきた¹⁾。本稿では、九州の港湾における矢板式係船岸を対象に大規模地震が発生した場合を想定して迅速かつ効率的に係留施設の使用可否を判定できる方策として、FLIP 解析を活用した矢板式係船岸の使用可否判定方策について検討したので報告する²⁾。

キーワード：矢板式係船岸, FLIP プログラム, 被害予測, 防災, 使用可否判定

1. はじめに

港湾は、大規模地震発生直後から緊急物資輸送において重要な役割を担っており、被災した係留施設の使用可否を迅速に判断することが大変重要である。これまで、大規模地震時における係留施設の使用可否判定方策の検討は、北陸地方整備局及び中部地方整備局にて先行的に実施されてきた^{3), 4)}。北陸地方整備局は、これまでの被災事例より整理した経験則に基づき使用可否の判定基準を評価(以下、北陸方式)しているのに対して、中部地方整備局は、各施設のFLIP 解析結果に基づき各施設個別に使用可否の判定基準を評価している。そこで、九州地方整備局では、両者の特徴を踏まえて、重力式係船岸については北陸方式を採用してい

く方針とするが、鋼構造形式係船岸については施設規模や健全度から予め絞り込んだ施設に対してFLIP 解析を実施して係留施設の使用可否を判定することにした。

本稿は、九州の港湾における矢板式係船岸を対象に大規模地震が発生した場合を想定して迅速かつ効率的に係留施設の使用可否を判定できる方策についての検討結果を報告するものである。

2. 使用可否判定方策について

2.1 使用可否判定方針

九州管内では、多数の係留施設が設置されている。そのうち、重力式係船岸は外観調査より明らかとなる岸壁本体の水平変位から、使用可否判定を行うことが可能で

■九州地整における使用可否判定手法(案)

構造形式	施設規模	所有者	健全度	施設数※1	使用可否判定(案)	フェーズ	備考
重力式	-7.5m 未満の施設	補助施設	—	140	北陸方式		
		直轄施設	—	58			
	-7.5m 以深の施設 (緊急物資受入)	補助施設	—	81			
		直轄施設	—	88			
鋼構造式	-7.5m 未満の施設	補助施設	—	48	既往文献を参照		
		直轄施設	—	4	既往文献を参照		
	-7.5m 以深の施設 (緊急物資受入)	補助施設	A・B	10	補修後、FLIP 解析を管理者に奨励	Ⅲ期	予防保全事業と連携【耐震1施設含む】
			C・D	16	FLIP 解析を管理者に奨励	Ⅱ期	【耐震1施設含む】
		直轄施設	A・B	24	補修後、FLIP 解析を検討	Ⅲ期	予防保全事業と連携【耐震1施設含む】
			C・D	19	FLIP 解析	Ⅰ期	FLIP 解析 = 16ケース※2【耐震2施設含む】

※1：施設数は、予防保全計画書ベースで整理している。実際の施設数は数倍の量となる。

※2：16ケース(橋構式10ケース、矢板式6ケース)の選定にあたっては、BCP計画及び類型化等を踏まえ設定している。

■九州地整における使用可否判定手法のイメージ

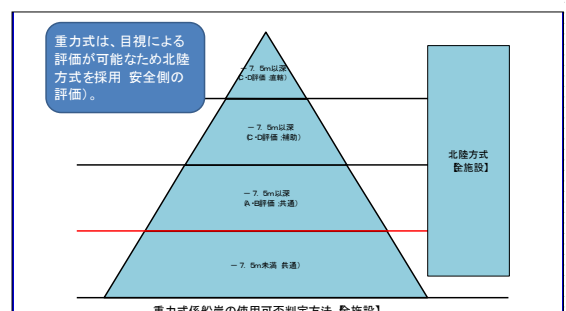
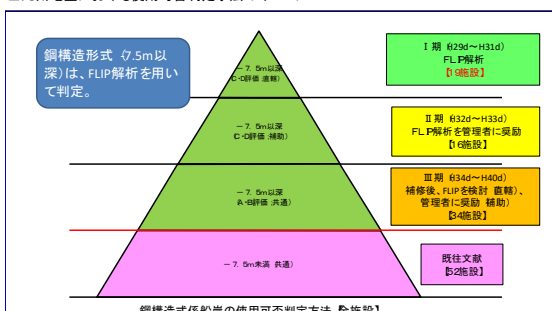


図-1 九州地整における使用可否判定手法(案)

ある。一方、鋼構造式係船岸は構造の主部材である鋼材の応力状態に大きく依存し、外観から使用可否を判定することは困難である。そのため、FLIP 解析を活用し鋼材の応力状態と岸壁の残留水平変位量の関係を把握したうえで使用可否を判定する必要があるが、全ての鋼構造形式施設に対して FLIP 解析を実施することは、時間的、コスト的に制約があるため、図-1 に示すように水深 7.5m 以深の施設に対して FLIP 解析を活用した使用可否判定を行い、水深 7.5m 以浅の施設に対しては既往文献から閾値を設定する方針とした。

2.2 使用可否判定フロー

発災後の現地調査より矢板式係船岸の使用可否を判定するための現地判定フローを作成した(図-2)。初めに対象施設を視目で確認し、明らかに使用できない状態(矢板の倒壊、エプロンの大きな沈下・陥没)でないことを確認してから構造上の使用可否判断をして、使用上の可否判断をすることにした。使用可否判断基準は、「暫

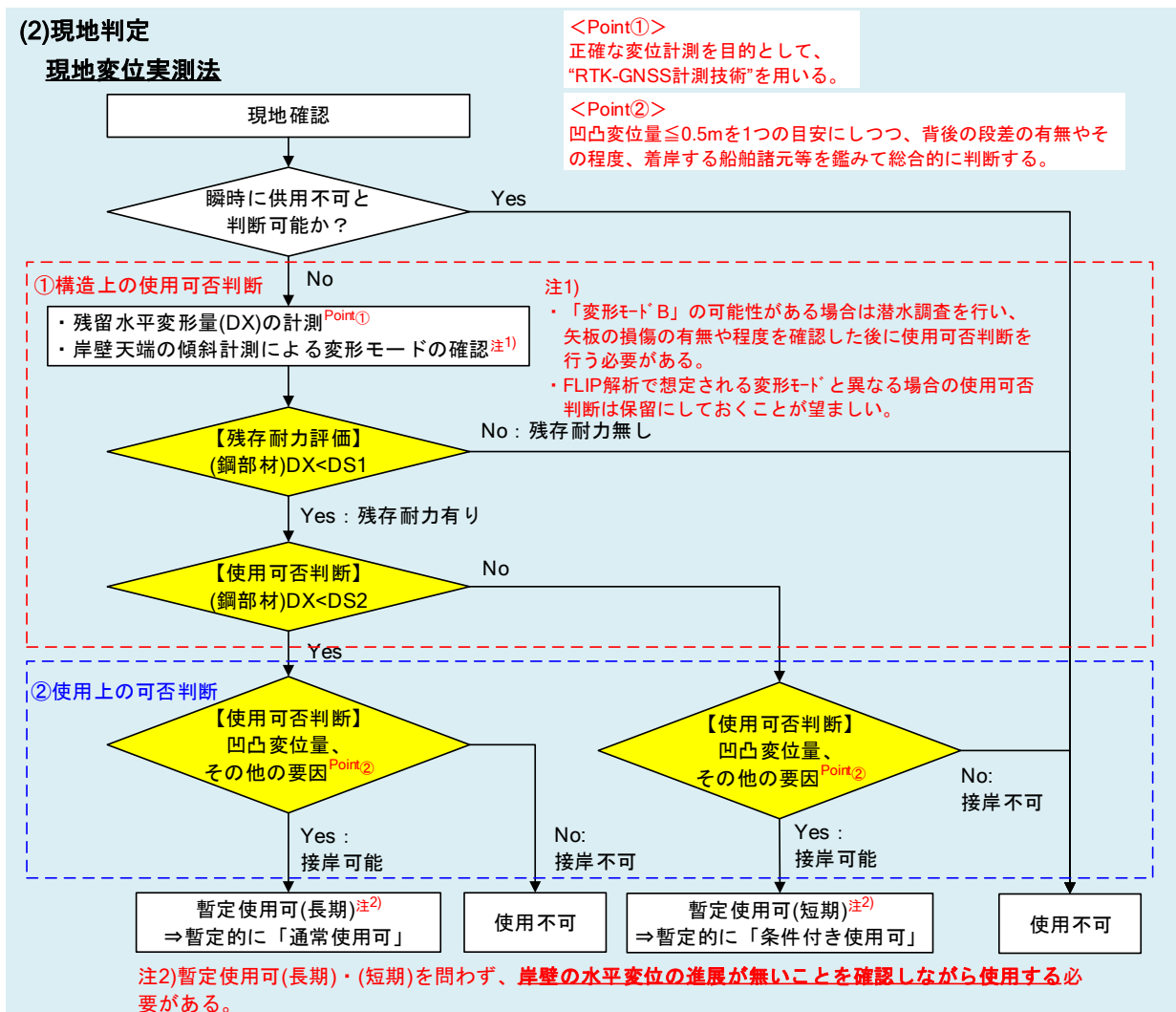
定的に通常使用可」、「暫定的に条件付き使用可」、「使用不可」の3段階とした。なお、ここでの使用可とは、大規模地震発生後において、復旧工事が開始されるまでの間に、緊急物資輸送を行うための暫定的な判断基準である。

(1) 暫定的に通常使用可

残存耐力が有り且つ地震後の船舶接岸時の発生モーメントが降伏モーメントに至っていない場合であり、施設変状が供用に問題にならない場合は、復旧工事が開始されるまでの数年程度供用できる施設は暫定的に通常使用可と判断する。

(2) 暫定的に条件付き使用可

残存耐力が有り且つ地震後の船舶接岸時の発生モーメントが降伏モーメントを超えている場合であり構造上の問題があるが、水平変位の進展が無いことを確認しながら供用できる施設は暫定的に条件付き使用可と判断する。



《現地調査での供用可否判定》

- ・ DX: 鋼部材の残存耐力評価項目かつ供用可否判断項目(岸壁天端の残留水平変位量)
- ・ DS1: 鋼部材に関する残存耐力評価指標¹⁾ (鋼部材の最大曲率比 ≥ 1.0 となる水平変位量)
- ・ DS2: 鋼部材に関する使用可否判断基準²⁾ (鋼部材の設計耐力比 ≥ 1.0 となる水平変位量)
- ・ その他要因: 背後の段差の有無、防舷材や係船柱の損傷、着岸船舶の諸元

図-2 矢板式係船岸の現地判定フロー

3. FLIP 解析を活用した使用可否判定について

3.1 FLIP 解析対象施設の選定

FLIP 解析対象施設は、「施設の健全度」、「重要施設」、「鋼構造式係船岸の整備割合」に着目して矢板式係船岸 10 施設を選定した。

(1) 施設の健全度

FLIP 解析結果が適用可能な健全施設として劣化度総合判定結果が C, D のものを選定した。

(2) 重要施設

港湾 BCP 計画での緊急物資輸送岸壁としての位置付けや同港内における耐震強化施設の整備状況等を考慮して選定した。

(3) 鋼構造式係船岸の整備割合

鋼構造物の係留施設の割合が多い港湾では、被災時に施設の使用可否を迅速に判定できない場合も想定されるため優先的に選定した。

3.2 FLIP 解析断面の選定

選定した施設は、工区により複数の断面が存在するため、施設の中で選定した 1 断面の結果を施設全体の代表として FLIP 解析を実施して判定することになる。そこで、「施設延長」、「土質条件」、「構造の諸元(前面矢板、控え工の諸元)」、「構造形式(主に改良前の既設構造形式)」の 4 項目を総合的に考慮して、FLIP 解析モデルを

作成する断面を選定した(図-3)。

(1) 施設延長

地震被災時の緊急物資輸送においては、延長が長い施設ほど船舶の係留や利用性の観点で有利であるため、FLIP 解析において施設延長が長い工区を選定すれば、その工区は確実に使用可否判定が可能となる。

(2) 土質条件

地震時の使用可否判定を行う際は、同じ変形量が発生した場合に、鋼部材に発生する断面力が大きくなる断面で使用可否判定を実施することが望ましい。鋼材諸元が同じであれば、地盤が堅固な工区の方が同じ変形量が発生した場合、構造に発生する断面力は大きい。そのため、鋼材諸元が同じであれば、地盤が堅固な工区を選定する。

(3) 構造の諸元(前面矢板、控え工の諸元)

矢板の諸元は、施設設計時に土質条件から決定されているため、土質条件との間に関連性がある。そのため、同じ変形量が生じた際には、根入れ長が長いほど、鋼材に発生する応力は大きくなると想定される。よって、前面矢板と控え工の諸元から変形時に鋼材に発生する応力が大きくなると想定される断面を選択する。

(4) 構造形式(主に改良前の既設構造形式)

既設構造物に対して改良が行われている施設には、改良前の既設構造形式が工区によって異なる施設がある。改良後の断面が同様でも、どの既設構造が代表性の高い断面であるかに着目して選択する。

3.3 入力地震動について

FLIP 解析に用いる地震動は、確率論的地震危険度解

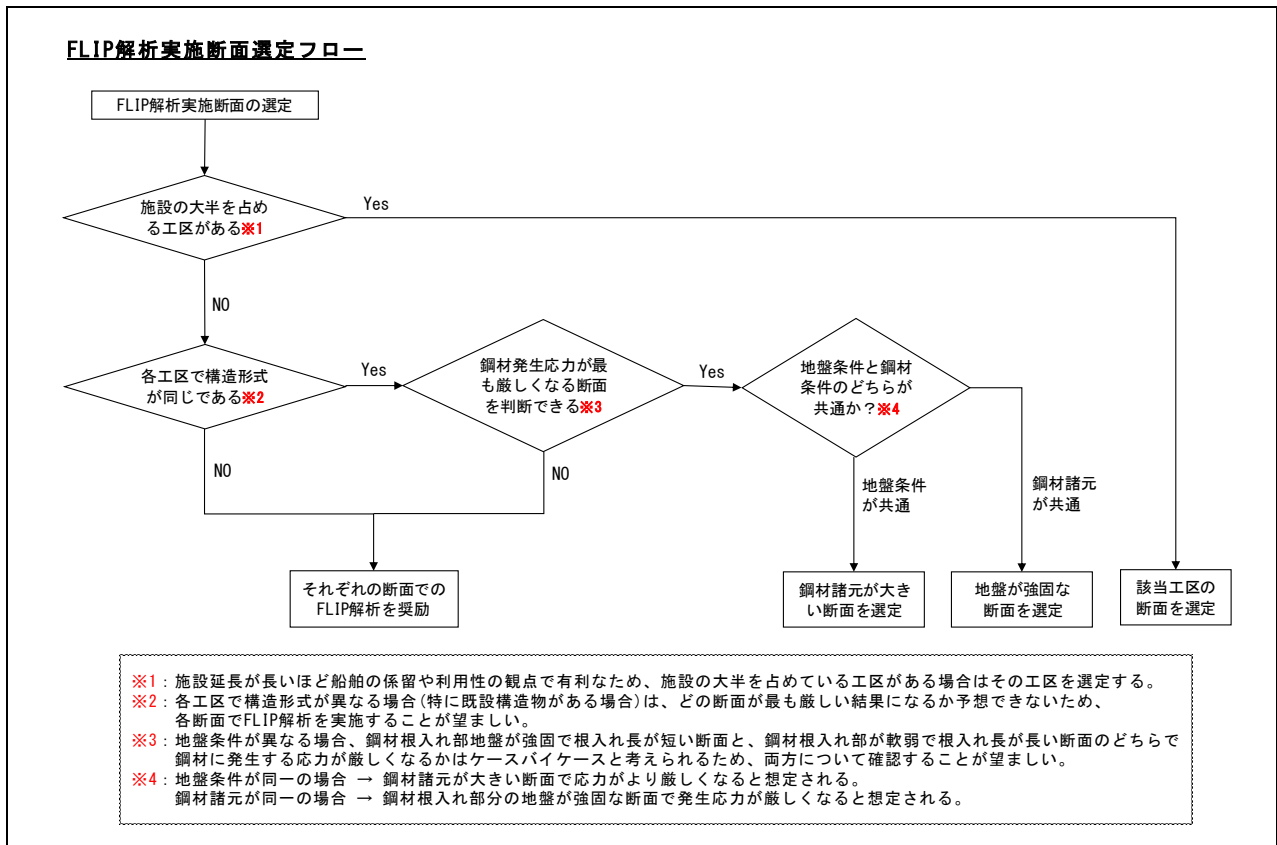


図-3 FLIP 解析断面選定フロー

析により算定された地震動(以下、確率波) 6 波形(再現期間 50 年, 75 年, 100 年, 150 年, 200 年, 500 年)と各港湾で設定されたレベル 2 地震動を用いた。なお、レベル 2 地震動は岸壁法線直角方向の地震動になるよう角度補正を行い、使用可否判定基準前後の解析結果が少ない場合は、確率波及びレベル 2 地震動の最大加速度を振幅調整した地震動を入力した。また、地震動作成時の工学的基盤位置と対象施設の FLIP 解析モデルにおける工学的基盤位置の整合性を確認し、不整合が生じる場合には 1 次元地震応答解析により地震動の引戻しを実施した。

3.4 FLIP 解析モデルについて

対象施設毎に設計計算書や土質柱状図から地盤物性値や鋼材諸元について整理し、FLIP 解析モデルを作成し解析を実施した。なお、FLIP 解析を実施するにあたり、矢板式係船岸の使用可否を判定するには、地震によって変形した状態で、緊急物資輸送船舶等の接岸、係留の可否が重要となるため、地震で被災した係留施設に静的に牽引力及び接岸力を作用させた。

3.5 各種評価線の作成

評価線を作成して各閾値を設定した。評価線の作成として下関港本港地区第一突堤北側-13m 岸壁(10 号)の事例を示す。

(1) 岸壁残留水平変位

岸壁の残留水平変位と控え工の最大曲率比及び設計耐力比の関係を図-4、図-5 に示す。

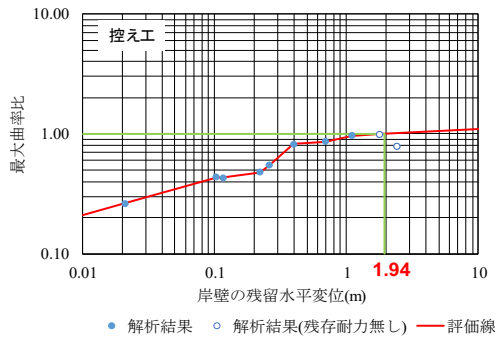


図-4 岸壁残留水平変位と最大曲率比(控え工)

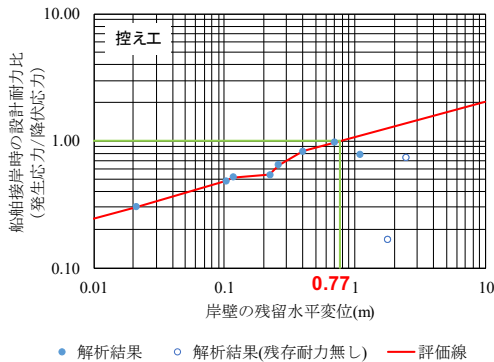


図-5 岸壁残留水平変位と設計耐力比(控え工)

なお、本施設は、前面矢板よりも先に控え工が全塑性に至るため、使用可否の判定は控え工の応力状態で決定した。岸壁残留水平変位による閾値は、使用可否の閾値：1.94m、暫定使用可(通常)と暫定使用可(条件付き)の閾値：0.77m となる。

(2) 速度 PSI 値⁵⁾

発災後に津波警報等が発令され現地への立ち入りが困難な場合にも備え、机上判定ができるよう速度 PSI 値と最大曲率比及び設計耐力比の関係を図-6、図-7 に示す。速度 PSI 値による閾値は、使用可否の閾値：55.7cm/s^{1/2}、暫定使用可(通常)と暫定使用可(条件付き)の閾値：28.5cm/s^{1/2}となる。

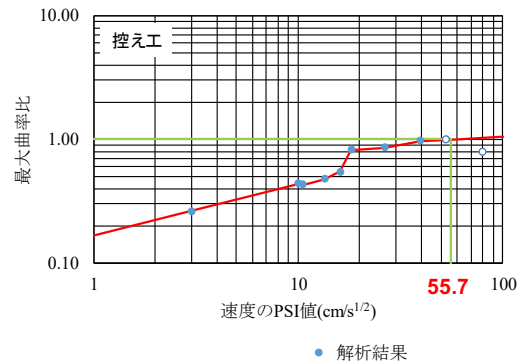


図-6 速度の PSI 値と最大曲率比

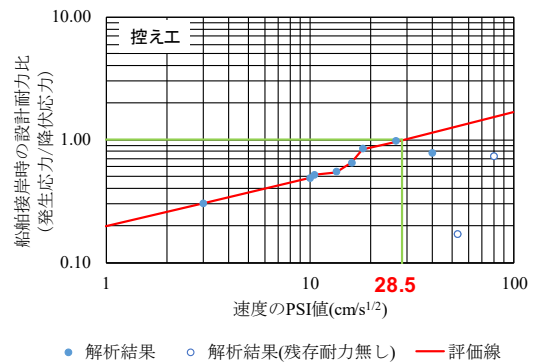


図-7 速度の PSI 値と設計耐力比

(3) 計測震度

速度 PSI 値が入りできない場合も想定されるので入手しやすい震度階級を用いた場合も検討した。計測震度と最大曲率比の関係を図-8 に示す。

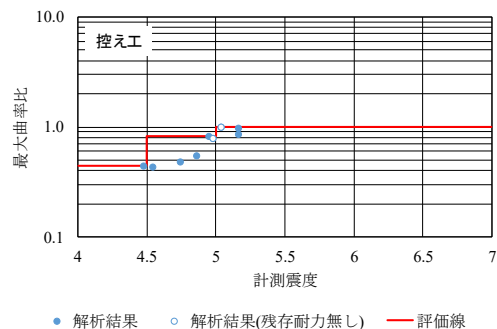


図-8 計測震度と最大曲率比

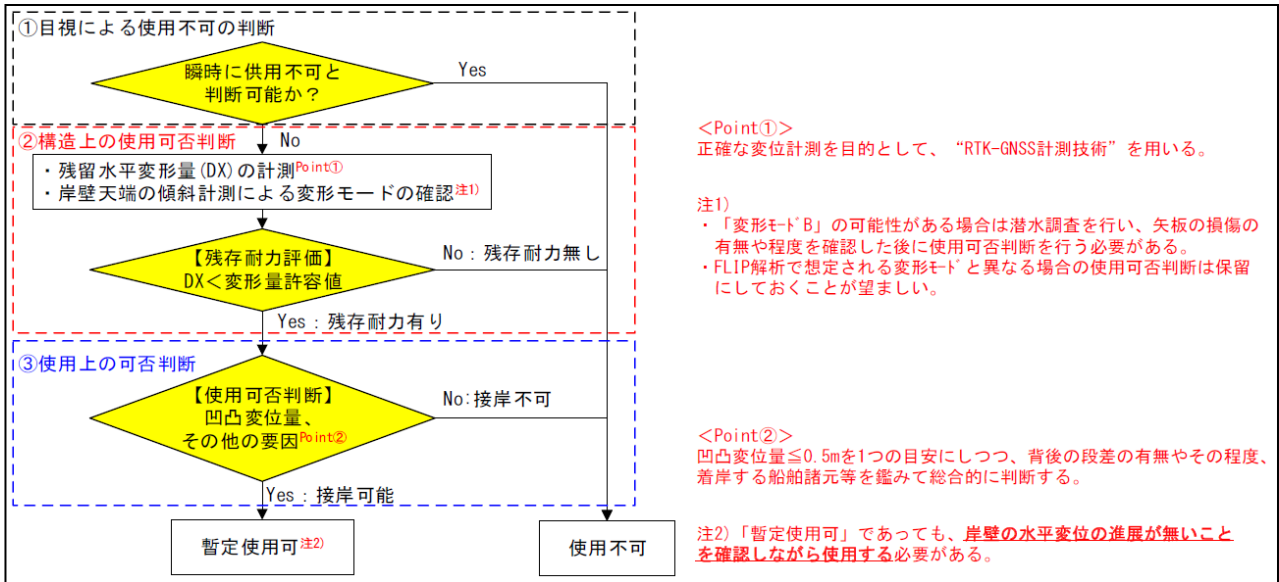


図-9 現地調査時の使用可否判定フロー

この事例では、計測震度による閾値が計測震度5未満で暫定使用可(通常)、計測震度5.0以上で使用不可となる。

3.6 使用可否判定基準の設定値

許容変形量の設定値は、FLIP解析結果が正しいことを前提⁶⁾として、解析で得られた評価線の値をそのまま設定値として採用した。なお、岸壁天端の変形量を計測する際に、計測方法によって計測精度が異なるため現場ごとに運用時に考慮することにした。一例として、RTK-GNSSによる計測であれば、計測精度が1~2cmのため閾値を2cm区切りで丸めることが考えられる。

3.7 現地調査時の診断カルテ

現地調査時の診断カルテも作成した。発災後の現地調査時では、「使用可」or「使用不可」の判断を最優先とすることから、岸壁の残留水平変位の閾値は、鋼材の残存耐力の観点(最大曲率比 ≤ 1.0)から整理した基準値を用いる方針とした(図-9)。なお、2.2使用可否判定フローでの「暫定的に通常使用可」or「暫定的に条件付き使用可」の区分は、復旧工事をする優先順位の判断材料とする。

4. おわりに

本稿は、大規模地震時における係留施設の使用可否判定方策として、FLIP解析を活用した矢板式係船岸の使用可否判定方策について検討した結果を報告した。今回、九州管内におけるフェーズⅠ期(水深7.5m以深、健全度C、D)の鋼構造式施設のうち矢板式係船岸10施設について、FLIP解析による閾値を設定することができた。今後、フェーズⅡ期やⅢ期(補修後)施設についてもFLIP解析が実施されることで大規模地震発生後の

迅速かつ効率的に係留施設の使用可否を判定することに寄与することを期待する。

謝辞

本稿は、国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所発注の平成30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業務の成果の一部を報告したものである。

検討にあたっては、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(座長：九州大学 濱田教授)の各委員、九州地方整備局の関係者から貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所：平成29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業務報告書，平成30年3月。
- 2) 国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所：平成30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業務報告書，平成31年3月。
- 3) 国土交通省北陸地方整備局新潟港湾空港技術調査事務所：平成28年度港湾施設的设计等に関する技術支援業務報告書，平成29年3月。
- 4) 国土交通省中部地方整備局名古屋港湾空港技術調査事務所：平成28年度災害時等における効率的な点検・診断技術検討業務報告書，平成29年3月。
- 5) 第28回関東支部技術研究発表会講演概要集，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，平成13年。
- 6) 土木学会第65回年次学術講演会：北海道南西沖地震により被災した矢板式岸壁に対する再現解析，平成22年9月。

