

# 径厚比が異なる杭の耐力特性を適用した係留施設の供用可否判定基準に関する考察

株式会社 ニュージェック 正会員 ○高岡慶人

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 杉栄一郎, 村上裕幸, 高須貴子

株式会社 ニュージェック 正会員 曾根照人, 山本龍

一般財団法人 沿岸技術研究センター 宮脇周作

## 1. はじめに

中部地整では管内7港湾の国有係留施設を対象として地震発生後に強震計で観測された地震動情報を活用し係留施設の供用可否判定を行うシステム(以下, 施設診断システム)を構築している<sup>1)</sup>。施設診断システムでは, 二次元有効応力地震応答解析 FLIP(以下, FLIP 解析)<sup>2)</sup>を用いて施設の供用可否判定を行っている。一方, 平成30年4月改訂の港湾の施設の技術上の基準・同解説(以下, 新基準)では, 径厚比が異なる鋼管部材の耐力特性を考慮した新たなモデル化手法が採用されている。そこで, 鋼管部材を主部材とする栈橋式, 矢板式係船岸のうち重要度の高い15施設を対象に新たなモデル化手法で FLIP 解析を行い, 供用可否判定基準(以下, 閾値)の更新を行った。本論文は, 新基準と従前の港湾の施設の技術上の基準・同解説(以下, 旧基準)におけるモデル化手法で設定した閾値を比較し傾向を分析したものである。

## 2. 施設診断システムの概要と判定手法

施設診断システムは, 国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所(以下, 港空研)の「地震動情報即時伝達システム」と港空研サーバーより入手した地震動波形を活用して, 自動で係留施設の供用可否判定を行い被害推定マップの作成を行うものである(図-1 参照)。供用可否の判定手法は簡易判定, 詳細判定に区分される。簡易判定は係留施設の被害と相関性が高い速度の PSI 値<sup>3)</sup>と施設の変位, 鋼部材の損傷程度や応力状態を関係づけた複数の評価線を用いて供用可否判定を行う手法で, 評価線は各施設が位置する地域のレベル2地震動や再現期間50年~500年の確率波により FLIP 解析を行い設定する。図-2に矢板式の最大曲率比(発生最大曲率/限界曲率)の評価線の一例を示す。図-2では最大曲率比1.0に対応する速度の PSI 値  $130\text{cm/s}^{0.5}$  が供用不可となる閾値であり, 観測地震の速度の PSI 値がこの閾値を超過すると供用不可と判定される。詳細判定は観測された地震動波形を用いて FLIP 解析をシステム中で行い供用可否判定を行うものである。

## 3. 新基準における鋼管杭のモデル化

図-3に新・旧基準における鋼管部材のモデル化のイメージを示す。FLIP 解析における旧基準の鋼管部材のモデル化は, 全塑性モーメントを折れ点とするバイリニア型の  $M-\phi$  関係が用いられている。しかしながら, 経済設計の観点から多用されるようになった大径厚比の鋼管杭では杭軸方向力作用下で全塑性モーメント到達前に局部座屈が発生し耐力低下が生じる可能性が高い。そのため, 新基準では径厚比や軸方向力作用を考慮した鋼管部材のモデル化が採用されており, 式-1及び式-2に示すように曲げ耐力を低減させ, 塑性率(鋼管部材種別と径厚比より規定)から限界曲率を設定したバイリニア型の  $M-\phi$  関係が用いられる。

キーワード 大規模地震, 強震計観測情報, 係留施設の供用可否判定, FLIP, 径厚比が異なる杭の耐力特性

連絡先 〒531-0074 大阪市北区本庄東 2-3-20 株式会社ニュージェック港湾・海岸グループ TEL06-6374-4038

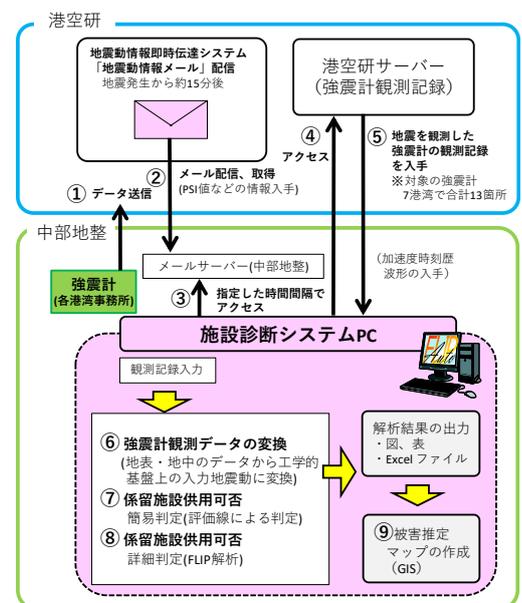


図-1 施設診断システムの概要

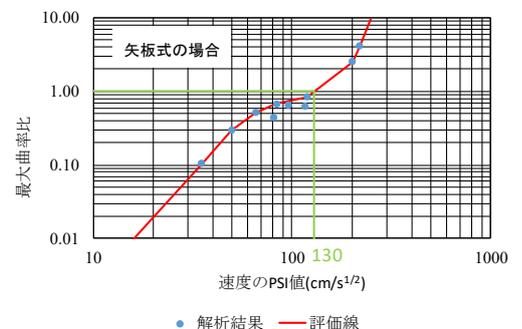


図-2 供用可否判定に用いる評価線の一例

$$M_{max} = M_{p0}' \left( 1 - \left( \frac{N}{N_{yc}'} \right)^n \right) \tag{式1}$$

$M_{max}$ : 最大曲げ耐力,  $M_{p0}'$ : 軸圧縮方向の降伏応力低減を考慮した軸力ゼロ時の全塑性モーメント,  $N$ : 軸力,  $N_{yc}'$ : 軸圧縮方向の降伏応力低減を考慮した降伏軸力,  $n$ : べき数(軸力依存性)

$$\phi_y' = \frac{\sigma_y' Z}{EI} \left( 1 - \frac{N}{N_{yc}'} \right) \quad \phi_u = \mu \phi_y' \tag{式2}$$

$\phi_y'$ : 軸圧縮方向の降伏応力低減を考慮した降伏曲率,  $\sigma_y'$ : 軸圧縮方向の降伏応力,  $Z$ : 断面係数,  $EI$ : 鋼管杭の曲げ剛性,  $\phi_u$ : 限界曲率,  $\mu$ : 塑性率

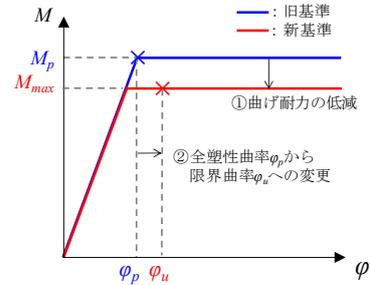
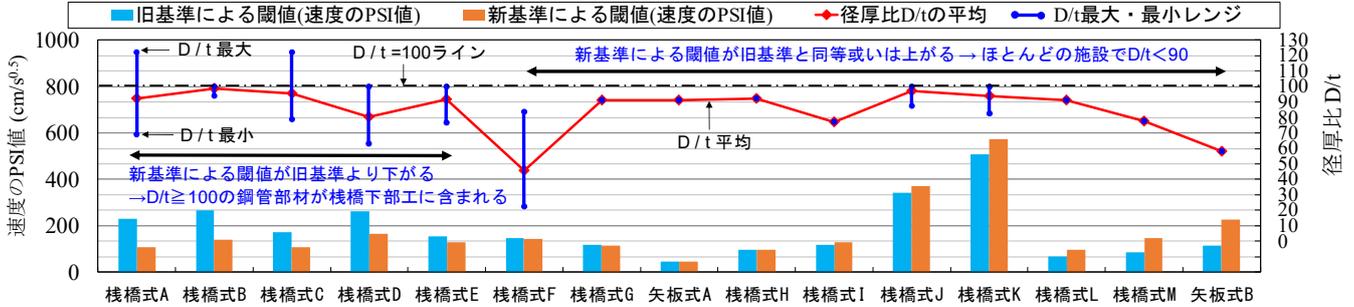


図-3 新・旧基準の鋼管部材の耐力イメージ



※上記15施設は、①栈橋式係船岸の栈橋杭の応力状態で閾値が決定される施設(栈橋式A~F,J,K)、②栈橋式係船岸の土留部(矢板式)で閾値が決定される施設(栈橋式G~I,L,M)、③矢板式係船岸(矢板式A,B)の3つに区分できる。このうち、①の施設は栈橋を構成する全ての鋼管部材の応力状態を考慮し閾値が決定されるため、全ての鋼管部材の径厚比を把握する目的として最大値から最小値のレンジを示している。一方②、③は、矢板式構造を構成する前面矢板、控え工いずれかの鋼管部材の応力状態で閾値が決定されるため、閾値を決定づける鋼管部材の径厚比のみを示している。

図-4 新基準と旧基準による閾値の比較

#### 4. 解析結果と考察

図-4 に旧基準及び新基準によって設定した閾値(施設が供用不可となる速度の PSI 値)の比較を示す。また、図に各施設の鋼管部材の径厚比  $D/t$  を併せて示す(詳細は図-4 の※参照)。図より、新基準で設定した閾値が旧基準より小さくなる施設は、 $D/t \geq 100$  の鋼管部材が栈橋下部工に含まれている。一方、新基準による閾値が旧基準と同等或いは大きくなる施設は、ほとんどの施設で  $D/t < 90$  となっている。この理由として以下が考えられる。図-5 に示すように、 $D/t$  が大きな場合は鋼管部材の耐力が大幅に低減されるために旧基準に比べてはやく耐力限界に達するため施設の被災程度が大きくなり、閾値が下がる傾向になったと考えられる。一方、 $D/t$  が小さい場合は鋼管部材の耐力低下が小さいことに加え限界曲率が大きく設定される傾向にあるため、旧基準の場合より鋼管部材の耐力特性が向上し、閾値は同等もしくは上がる傾向になったと考えられる。

#### 5. まとめ

- 今回検討した施設では、 $D/t \geq 100$  の鋼管部材を栈橋下部工に含む施設は鋼管部材の耐力が大幅に下がるため閾値は旧基準に比べ小さくなり、 $D/t < 90$  の鋼管部材で構成される施設は鋼管部材の耐力低下が小さいことに加え限界曲率が大きくなるため、閾値は旧基準と同等或いは大きくなる傾向となった。
- $D/t$  が大の施設は従来の閾値が危険側の可能性があるため、優先的に閾値の更新を行なうことが望ましい。

参考文献: 1) 曾根照人, 宇野健司, 淵ノ上篤史, 山本芳生: 強震計観測情報を用いた係留施設の供用可否判定システムの開発, 地盤工学会誌 Vol.64, No.7, pp.16~19, 2016. 2) Susumu.Iai,Yasuo Matsunaga,Tomohiro Kameoka:Space Plasticity Model for Cyclic Mobility,Report of Harbour Research Institute,Vol.27,No.4,pp.27-56,1990. 3) 野津厚, 井合進: 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, 第28回関東支部技術発表会講演概要集, 土木学会関東支部,pp.18~19, 2001.

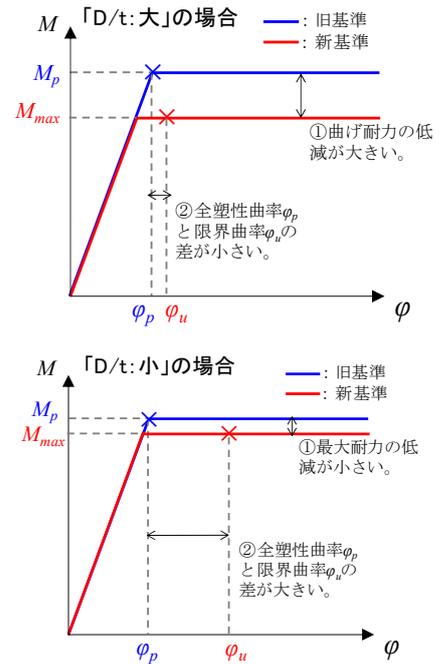


図-5 径厚比  $D/t$  の大きさによる鋼管部材の耐力と限界曲率の傾向イメージ