

## 座屈拘束ブレースを用いた直杭式栈橋の耐震補強・復旧工法に関する検討

港湾空港技術研究所 正会員 ○近藤 明彦 小濱 英司  
 八千代エンジニアリング株式会社 渡辺 健二 国生 隼人 小山 萌弥  
 日本製鉄株式会社 永尾 直也 あおみ建設株式会社 吉原 到

### 1. はじめに

現行の港湾技術基準<sup>1)</sup>では、係留施設は設計地震動に対して全ての部材が損傷しないことが前提となっており、耐震性の向上には多大な費用が必要である。特に、民間係留施設においては、老朽化が進展する一方で更新に対する余力が低下しており、比較的安価な工法が必要とされている<sup>2)</sup>。そこで、本研究では、栈橋式係留施設の耐震性向上を容易に実施できる耐震補強・復旧工法の開発を目的として、制振部材を追設する工法の有効性について検討を行った。制振部材には、地震時の損傷を許容することで構造全体の変形を低減するとともに、損傷後の交換による復旧や防食対策などのメンテナンス性を考慮して、座屈拘束ブレースに着目した。

### 2. 解析条件

検討対象とする栈橋構造は、国土技術政策総合研究所資料 No.1001 における栈橋式係留施設の照査用震度算出方法の設定に用いた断面を参考に、**図-1** に示す水深-13.0m の直杭式栈橋とした。この断面の耐震性能は、耐震強化岸壁（標準）を満足していないことを二次元非線形動的有限要素解析プログラム（FLIP）<sup>3)</sup>で確認している。本研究における座屈拘束ブレースを用いた工法の効果は、FLIP を用いて、座屈拘束ブレースの配置（海側2列のみ、全4列の杭間）と降伏軸力についてパラメトリックに解析することで効果的な取付け方法とメカニズムの検討を行っている。なお、座屈拘束ブレースのモデル化にあたっては、その挙動が軸方向の引張・圧縮について同じ性状の安定した履歴特性を示すように、部材中心に二重接点を持つ2つの剛梁要素を配置して、その接点上に塑性域を表現するためのバネ要素と回転・せん断変形を防ぐ剛バネを配置することで表現している。海側2列での取付け場所は部材上端を L.W.L. -2m、角度 45 度としているが、全4列の取付けでは捨石マウンドに干渉するため L.W.L. +2m を部材上端としている。また、耐震補強効果は入力地震動の周波数特性に影響を受けると考えられるため、**図-2** に示す3種類の入力地震動を用いた。**図-3** に代表ケースとして、降伏軸力 500kN の座屈拘束ブレースを全4列の杭間に追設し、入力地震動 A における最大せん断ひずみ分布を解析メッシュ図と共に示している。

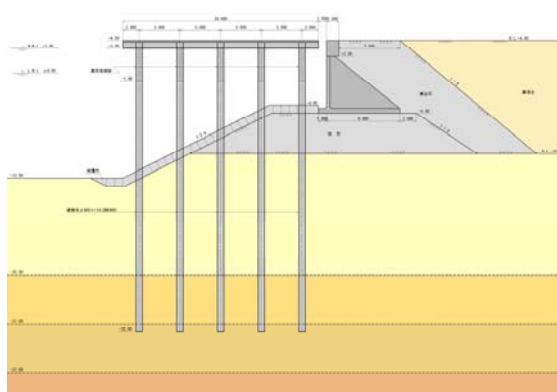


図-1 対象断面（水深-13m）

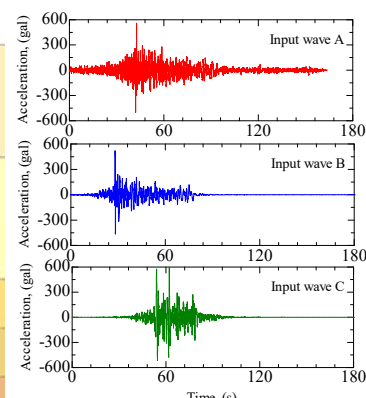


図-2 入力地震動

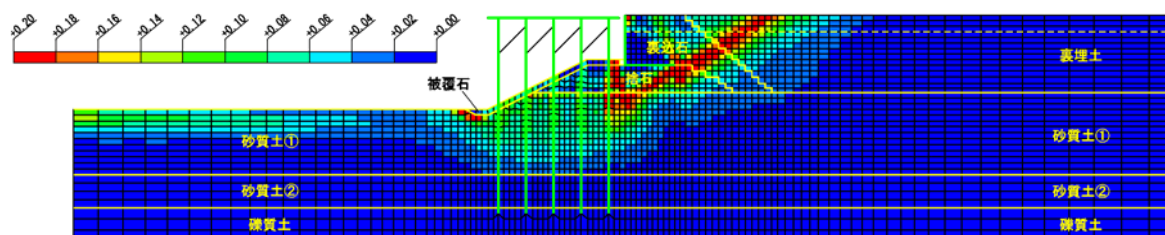


図-3 代表的な FLIP 解析メッシュ図と最大せん断ひずみ分布（全杭間に追設，降伏軸力 500kN，入力地震動 A）

キーワード 直杭式栈橋，座屈拘束ブレース，有限要素解析

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 （国研）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 TEL：046-844-5058

### 3. 解析結果

座屈拘束ブレースの追設が栈橋構造の耐震性に与える影響として、降伏軸力 500kN と 2000kN のケースを代表に整理する。図-4 に各設置条件における栈橋上部工の応答として最大加速度と残留変位について示す。残留水平変位は制振部材を追設したいずれのケースでも減少し、座屈拘束ブレースの降伏軸力が 500kN かつ全 4 列の杭間に追設した場合に最大 30% 程度の低減効果が確認された。最大加速度については、入力地震動 A と B において減少しているものの、入力地震動 C ではいずれのケースも増加している。これは、制振部材の追設による栈橋の固有振動数の増加と入力地震動の周波数特性によるものと考えられる。また、座屈拘束ブレースの損傷度合について、降伏軸力 500kN のケースでは加振中の軸降伏がみられたが、2000kN のケースでは軸降伏が発生していなかったため、軸降伏応力の違いによる差は降伏時のエネルギー消費と剛性の低下によるものと考えられる。

次に、図-5 に示す最大変位発生時の最海側杭、中央杭、最陸側杭の曲げモーメント分布から検討する。未改良の栈橋では杭頭と地盤内で最大値を示しているが、座屈拘束ブレースの取付けによって荷重が分担されるため、杭頭で全塑性状態に至る損傷が軽減されている。また、地中部分における曲げモーメン

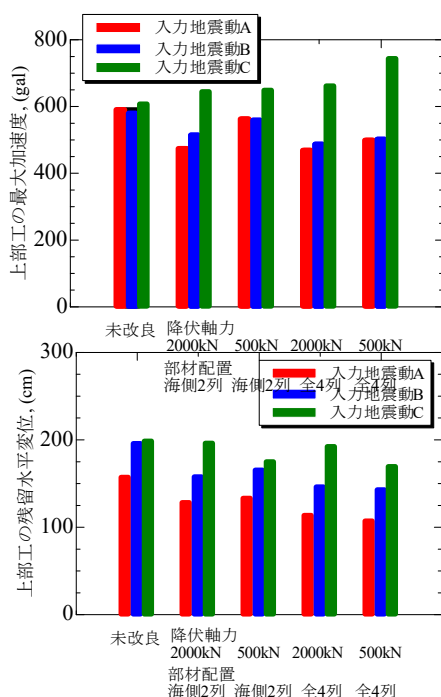


図-4 栈橋上部工の応答

(a) 最大加速度, (b) 残留水平変位

トの最大値は同程度と杭頭部分のような低減効果は見られないが、最大曲げモーメントの発生位置に若干の低下がみられる。

以上より、栈橋構造に座屈拘束ブレースを設置する耐震補強・復旧工法の有効性として、主に地表面で浅い荷重分担を変化させ、軸降伏によるエネルギー消費を行うことにより耐震性を向上させる効果を確認した。また、地中部における曲げモーメントの低減効果については、背後地盤の変形が支配的である場合は座屈拘束ブレースの設置による効果を期待しにくいと考えられるため、これを低減するためには地盤改良等との組み合わせなど検討する必要性が示唆された。

謝辞：本研究は、内閣府官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM) によるものであり、深謝の意を表します。また、本研究の実施において、有益な助言をいただきました京都大学小野憲司プログラムディレクター、名古屋大学富田孝史サブプログラムディレクター、国土交通省港湾局技術企画課技術監理室、関東地方整備局に、併せて深謝の意を表します。

参考文献：1)国土交通省港湾局監修，日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2018. 2)近藤ら，既存構造を活用した改良栈橋の基礎的変形特性とその改良効果の検討，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.73, No. 2, pp.I\_378-I\_383, 2017. 3)Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T.: Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, Report of The Port and Harbor Research Institute, Vol. 29, No.4, pp.27-56, 1990.

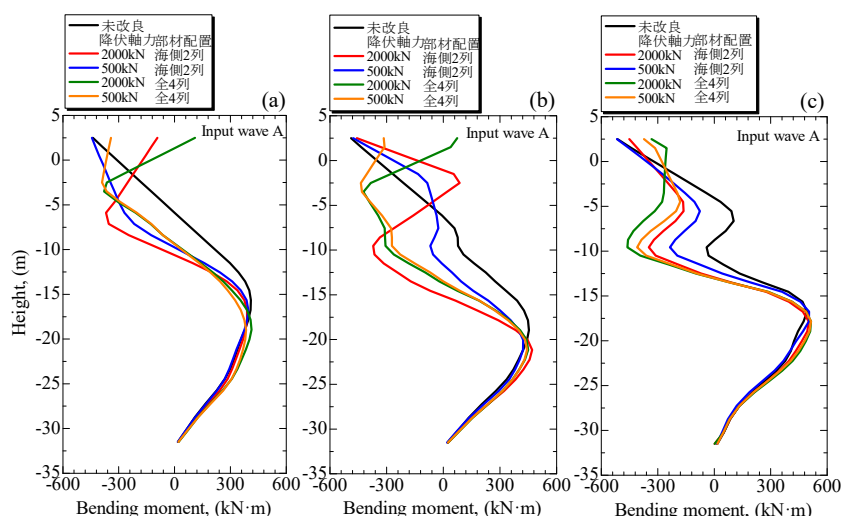


図-5 栈橋基礎杭の最大変形時の曲げモーメント

(a) 最海側杭, (b) 中央杭, (c) 最陸側杭