

制振部材を用いた直杭式栈橋の耐震補強・復旧工法に関する模型振動台実験

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 天野 俊 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¹⁾では、レベル1地震動に対して係留施設は設計地震動に対してすべての部材が損傷しないことが前提となっており、既存施設の耐震性の向上には多大な費用が必要である。レベル2地震動に対しては要求性能に応じて一部の部材に損傷が認められているが、復旧に時間がかかることが懸念される。また、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。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について既報²⁾を参考に模型振動台実験により検討を行った。

2. 実験条件

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.1001³⁾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 に示す直杭式栈橋模型を用いて振動台実験を行った。なお、本検討では制振部材の取り付けによる効果に着目して検討するために護岸の無い断面とするなど簡略化しており、相似則を考慮することで 1/25 (-10m 水深) を想定している。模型の詳細として、上部工は鉄製の板(幅 600mm, 奥行 900mm, 板厚 6mm)であり、基礎杭模型はアルミ製のパイプ(直径 25mm, 肉厚 1mm)を用いている。制振部材模型は、倉敷化工社製の防振ゴムを用いて、基礎杭の間に傾斜させて設置した。防振ゴムには軸方向に圧縮・引張のみが作用するようシャフトとリニアブッシュを並行して配置し、基礎杭との接合部ではヒンジとなるようユニバーサルジョイントを取り付けている。また、制振部材の挙動を計測するために渦電流式変位計とロードセルを設置した。なお、比較のために制振部材のない条件の現況断面も作成しており、同時に加振を行っている。模型地盤は、岐阜硅砂 6 号を幅 4000mm、奥行 1400mm、高さ 1000mm の領域に 8 層に分けて気中落下で作成し、制振部材のある断面の相対密度は 85.4%、現況断面は 85.1%だった。本検討では、制振部材の特徴として、消費エネルギー(防振ゴム 5 種類)、設置角度(30 度, 45 度, 60 度)、剛性(防振ゴムの設置個数: 1 個, 2 個)を変更して、耐震改良効果を検討した。また、改良効果は入力地震動の周波数特性の影響を踏まえ、図-2 に示す 3 種類で検討を行った。なお、入力地震動は、相似則⁴⁾をもとに時間軸を換算している。

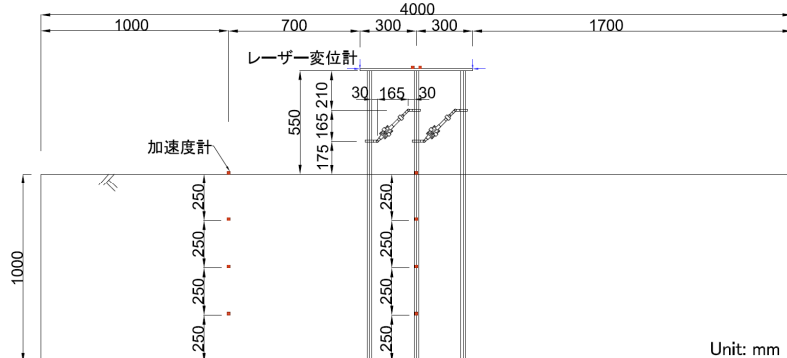


図-1 模型実験断面(設置角度 45 度)

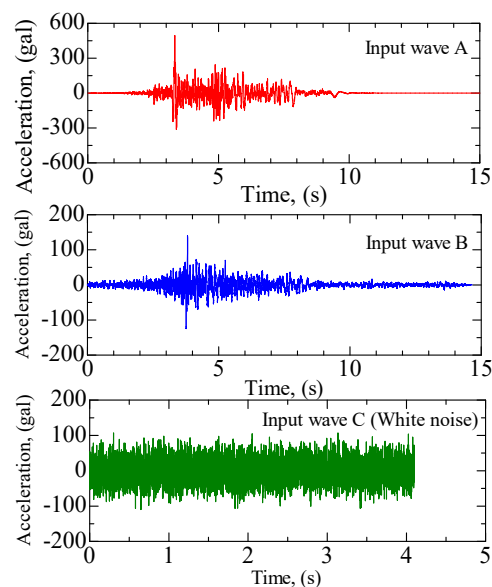


図-2 入力地震動 3 波

キーワード 直杭式栈橋, 制振部材, 模型振動台実験

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

制振部材の応答として、代表的な4ケースを対象に5Hzの正弦波を用いて軸変位が $\pm 1.0\text{mm}$ を入力した際の応答を図-3に示している。対象の防振ゴムは直径2種類(12mm, 15mm)と材質3種類(CR, 45, 60)が異なっている。基本ケースとしては、KA-15(CR)の防振ゴム1個を設置する黒線、設置個数を2個とした赤線に対して、防振ゴムの種類を変更した緑色と青色となっている。図より、KA-15(CR)の防振ゴム2個を設置したケースで同一の変位に対する荷重-変位関係の面積が最も大きくなっている。

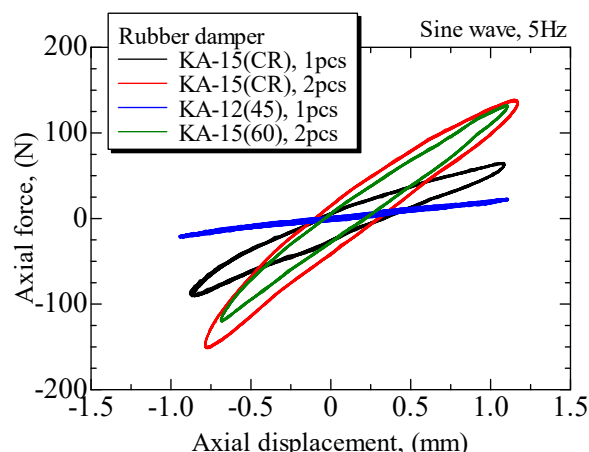


図-3 防振ゴムを用いた制振部材模型の応答

4. 実験結果

図-4に加振実験結果として、入力地震動Aにおける模型栈橋上部工の最大応答変位(図-1左右方向の最大変位の平均値)と部材設置角度の関係を示している。なお、図中には制振部材を設置しない現況ケースにおける最大応答変位を破線で示している。図より、同一の防振ゴム(1個及び2個)を用いた場合は、設置角度が大きいほど最大応答変位が低下する傾向を示し、KA-15(CR)の防振ゴム2個を設置角度60度としたケースで現況の26.7%と最も低下した。

図-5に栈橋全体系としての減衰定数と最大応答変位の検討結果を示す。この減衰定数は、基礎杭の仮想固定点で計測した入力地震動をもとに様々な減衰で算定した加速度応答スペクトルにおいて、加振中のフーリエスペクトル最大値の周期と最大応答加速度の関係から得ている。図より、破線の現況断面模型の減衰に対して、KA-15(CR)の防振ゴム2個を60度で設置したケースで最も大きい減衰を示している。

以上より、本検討では、直杭式栈橋に制振部材を設置する耐震補強・復旧工法について、制振部材の取付による耐震性への影響の基礎的検討を目的に、制振部材の消費エネルギー、設置角度、剛性による違いを模型振動台実験における応答から検討した。結果として、本検討の入力地震動では、制振部材の消費エネルギーが大きく、設置角度が大きいケースで現況断面より変位を低減し、減衰定数も大きいことが分かった。今後は、数値解析におけるモデル化と再現解析を通じて、実規模での検討に活かしていく予定である。

謝辞: 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教授、名古屋大学富田孝史教授、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, 座屈拘束ブレースを用いた直杭式栈橋の耐震性向上に関する基礎的検討, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.75, No. 2, pp.I_563-I_568, 2019. 3)勝俣ら: 地震動に伴う地盤の非線形性を考慮した直杭式横栈橋の照査用震度算出方法に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料 No.1001, 2018.3) Iai, S.: Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1g Gravitational Field, Report of the Port and Harbor Res. Inst., Vol. 27, No.3, pp.3-24, 1988.

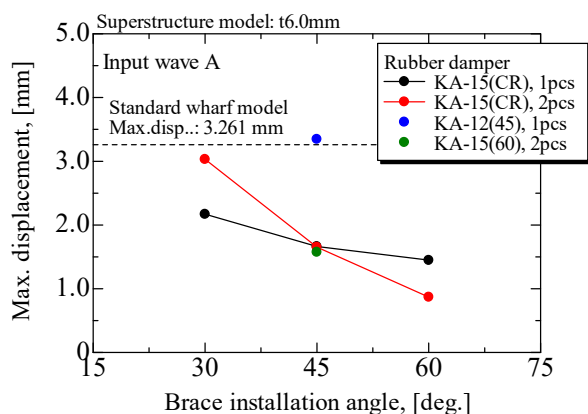


図-4 制振部材の設置角度と最大応答変位

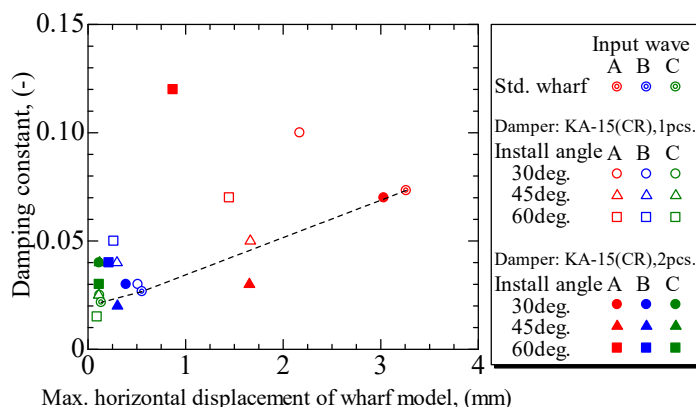


図-5 制振部材の減衰定数と最大応答変位