

地震変形後の荷重および損傷を考慮した栈橋の模型振動実験

港湾空港技術研究所 正会員 ○小濱 英司
 港湾空港技術研究所 正会員 寺田 竜士
 五洋建設(株) 正会員 宇野 州彦

1. はじめに

地震発生後において港湾は緊急物資輸送の拠点となることが求められ、その役割は重要である。しかし、今後想定されている巨大地震に対して港湾構造物の全てを変形させないことは困難であり、変形した施設においても供用を求められる可能性もある。本研究では、船舶係留施設の一つである横栈橋を対象に、地震後における上載荷重、船舶牽引力等の载荷を考慮した模型振動実験を行った。

2. 実験概要

用いた模型栈橋は図1のようであり、陸側の護岸部は控え杭を有する鋼矢板式とした。模型は長さの縮尺を1/40としており、実規模において水深約12mの岸壁に相当する。地盤材料には飯豊珪砂6号、砕石7号を用い、所定の相対密度となるよう作成した。

栈橋の模型杭においては、通常は、実スケールでの鋼管杭曲げ剛性を相似率で模型スケールに換算したものに对应するように断面諸元を決定する¹⁾。鋼管杭は薄肉の鋼板を用いられるため、模型スケールにおいてそのままの径厚比の材料を選ぶことは難しく、肉厚が大きくても所定の曲げ剛性に合うようにするヤング率の小さいアルミ材などを用いることが多い。しかし、この場合、曲げ剛性は合わせることは出来ても、降伏モーメントや全塑性モーメントは相似率で考慮されるものよりもかなり大きな値となる。本検討においては、地震変形後の荷重による栈橋変状の確認を目的としているため、ここでは、曲げ剛性ではなく全塑性モーメントを考慮して模型杭諸元を検討した。実スケールでの鋼管杭の全塑性モーメントを相似率で模型スケールに換算し、それに近い値になるように直径6mm肉厚1mmのアルミパイプを用いることとした。護岸部矢板や控え杭も同様に考慮して、それぞれ厚さ1.2mmのアルミ板、直径8mm肉厚1mmのアルミパイプを用いることとした。控え工と矢板をつなぐタイロッドについては相似率を乗じた伸び剛性を考慮し、径1.6mmのステンレス鋼線を用いた。ここで、模型の簡略化のために鋼管杭、控え杭およびタイ材は複数本を統合してモデル化することとし、全塑性モーメントまたは伸び剛性を本数倍して考慮している。栈橋上部工には厚さ6mmの鋼板を用い、さらに錘を載せることにより、自重が相似率を介して実物と整合するよう調整した。

作成した栈橋模型に対して、表1に示されるように、地震動や上載荷重、船舶牽引力などの载荷を順に行った。地震動波形には図2に示されるものを用い、各载荷ステップで振幅を調整して入力した。栈橋、護岸等の構造・地盤条件は同じとして、荷重等の組合せにより三つのケースについて実験を行った。case1においては

キーワード 栈橋、振動台実験、上載荷重、牽引力

連絡先 〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所 耐震構造研究チーム TEL 046-844-5058

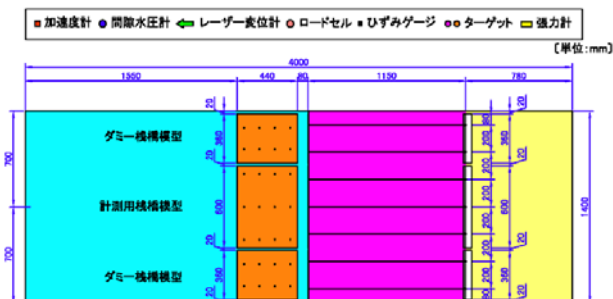


図1(a) 実験模型 (平面図)

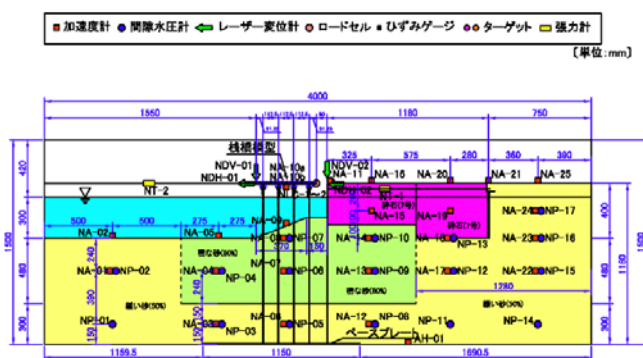


図1(b) 実験模型 (断面図)

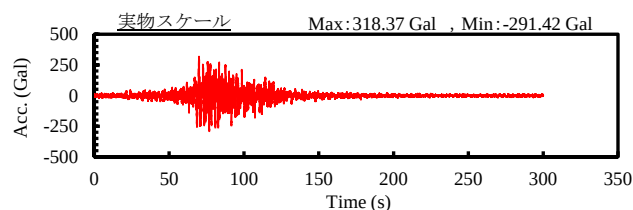


図2 入力地震波

本震後における上載荷重のみを考慮し, case2 では上載荷重と牽引力を作用させた. case3 では, さらに, 地震動作用による上部工と杭の接合部分が損傷・曲げ耐力を表現するために, 杭頭の回転固定を解除することを行った. 上載荷重では設計においてよく用いられる 10kN/m^2 (地震時), 20kN/m^2 (常時) を模型スケールに換算して用いた. 牽引力は, 実物スケールで 1000kN (牽引1), 2000kN (牽引2) とした. 上載荷重の載荷においては錘を上部工上に配置することとし, 船舶牽引力載荷では栈橋上部工の前面にワイヤーを取り付けて海側に引っ張ることとした. 表1に示すように, 最初に本震相当の地震動(図2)を入力し, その後上載荷重と牽引力を与えつつ, 余震相当として振幅が本震の半分(50%)の地震動を入力していった. case1 と case2 では, 栈橋の倒壊が生じるまで地震波の加速度振幅を徐々に大きくしながら順に加振を行った.

3. 実験結果

各載荷ケース後の栈橋の残留水平変位を表1, 図3に示し, 最も海側の栈橋杭における各載荷ケース後の曲げモーメント分布の残留値を図4に示す. 曲げモーメントは計測した曲げひずみにヤング率及び断面係数を乗じることで求めている.

栈橋の変位は本震加振によって模型スケールで $20\sim 30\text{mm}$ 程度変位し, 水深との比率で示す変形率は $0.06\sim 0.1$ 程度と大きい値となっている. 模型杭の設定において相似率を介した全塑性モーメントを考慮したために曲げ剛性は小さくなっていることから栈橋の変形が大きくなったことも考えられる. どのケースにおいても各作用によって栈橋の残留変位は蓄積して曲げモーメント分布も変化していくが, 上載荷重載荷時における水平変位はどのケースにおいても大きくない. case2, case3 で行った牽引力載荷においては, 上載荷重よりも変位は

表1 各ケースの加振・載荷条件と残留変位

加振・載荷ステップ	case1	case2	case3
1 振幅 100%加振	18.03	23.11	32.54
2 錘載荷(地震時相当)	18.63	23.60	32.79
3 牽引載荷(地震時相当)	-	25.12	34.79
4 振幅 50%加振	18.89	27.39	42.59
5 錘載荷(常時相当)	19.52	27.94	42.65
6 牽引載荷(常時相当)	-	29.50	49.16
7 振幅 50%加振	19.76	32.31	52.50
8 杭頭固定解除	-	-	倒壊
9 振幅 100%加振	25.70	43.68	-
10 振幅 200%加振	53.22	85.21	-
11 振幅 300%加振	84.51	146.09	-
12 振幅 300%加振	104.96	226.55	-
13 振幅 400%加振	132.01	倒壊	-
14 振幅 600%加振	175.88	-	-
15 振幅 600%加振	394.05	-	-
16 振幅 600%加振	530.40	-	-
17 振幅 100%加振	559.79	-	-
18 振幅 300%加振	倒壊	-	-

単位:mm

大きくなったが, それでも, 数 mm 程度の増加であった. 一方, case3 における杭頭部の回転固定解除では, 栈橋上部工が海底に倒れ込んで倒壊した. 牽引力載荷のある case2 は振幅 400%加振で倒壊し, case1 はさらに大きい加振を数回行うことで倒壊した. 倒壊時において杭の曲げは全塑性モーメント 2.84Nm を超えているが, case1 においては, 変形は大きいものの, 3 回目の振幅 600%加振後の栈橋の完全な倒壊が起こる前においても杭頭部と地中部で全塑性モーメントを超えている.

参考文献 1) Iai, S.: Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1g Gravitational Field, Report of the Port and Harbor Research Institute, Vol. 27, No. 3, pp. 3-24, 1988.

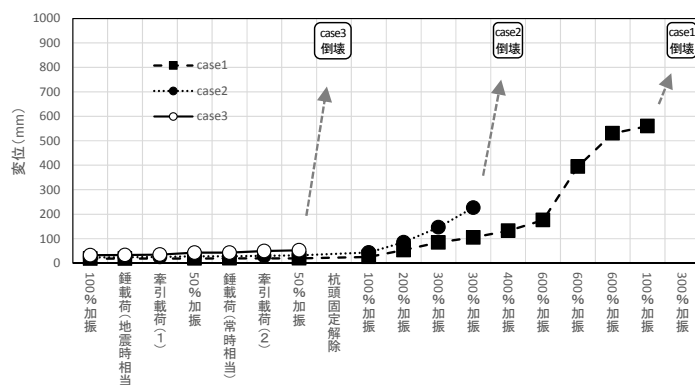
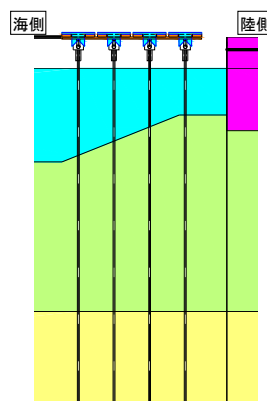


図3 各載荷ケースでの栈橋の残留水平変位

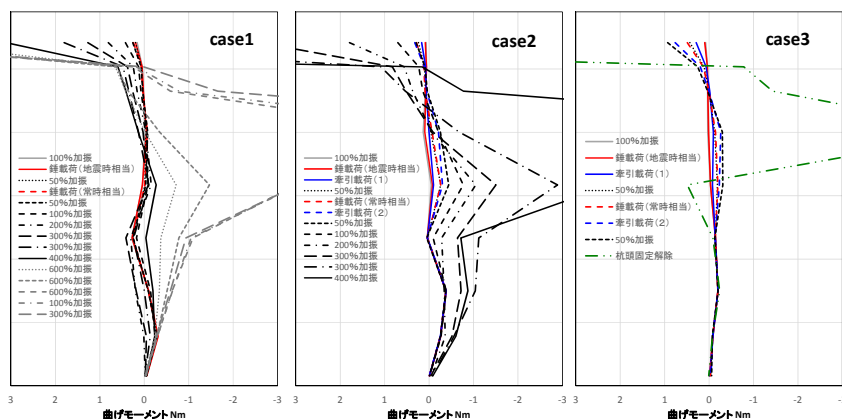


図4 各ケースでの栈橋杭の曲げモーメント分布