

## ニューマチックケーソン式横棧橋の耐震性評価について

アイテックコンサルタント(株) 正会員 ○ 劔 朋広 アイテックコンサルタント(株) 正会員 久保田 翼  
 早稲田大学 フェロー 清宮 理 国土技術政策総合研究所 正会員 長尾 毅  
 オリエンタル白石 正会員 大内 正敏 オリエンタル白石 正会員 佐藤 祐輔

### はじめに

ニューマチックケーソン工法を用いた護岸形式が、L2 地震時における残留天端変位を 1m 以内に収めることが可能で、耐震強化施設として適した護岸形式であることを、文献<sup>1)</sup>ですでに報告している。

本報文では、ニューマチックケーソン工法を使用した横棧橋について、L2 地震時残留変位から見た耐震強化施設としての成立性をまず検討し、つぎに、L1 地震について詳細設計法（2次元地震応答解析法）と等価な簡易法（震度法）を検討したので結果を報告する。

図-1に示すように、護岸は矩形断面（幅 5.0m）のニューマチックケーソン工法による連続した壁体構造である。棧橋は円形断面（直径 6.5m）のニューマチックケーソン基礎を法線方向に 23.0m 間隔で設置し支柱とした。支柱頂部は幅 9.5m、厚さ 2.5m の PC 箱桁で法線方向に連結し、これと護岸ケーソン頂部との間に PC ホロー桁を設置した。PC ホロー桁は、棧橋ケーソン側と固定結合し、護岸ケーソンとは水平自由（滑動）の支承構造とした。クレーンレールは、棧橋ケーソン頂部と PC ホロー桁（護岸側）上に設置するため、地震時の相対的なレールスパンの広がりはない構造とした。

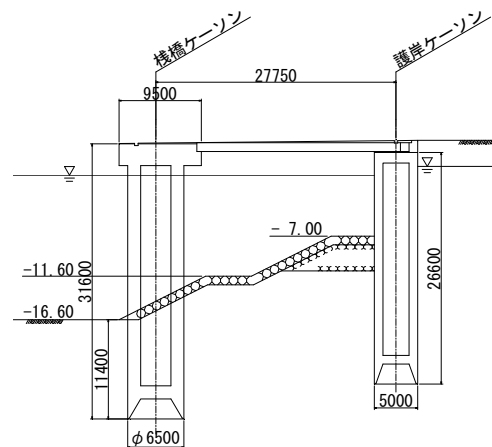


図-1 構造断面図

### 1. 地震応答解析条件

地震応答解析は、2次元有効応力法によるプログラム FLIP<sup>2)</sup>を使用した。解析モデルを図-2に示す。主な留意点は以下のとおりである。① 棧橋ケーソンは、本来であれば三次元的な取扱いが必要になるが、FLIPの「杭-地盤相互作用バネ」を用いることによって二次元解析で近似した。② 護岸ケーソンと周辺の地盤とはジョイント要素で結合した。③ PC ホロー桁と護岸ケーソンは、水平自由、鉛直結合の MPC 結合とした。④ 海水部分は非圧縮性の流体として解析するため流体要素を使用した。

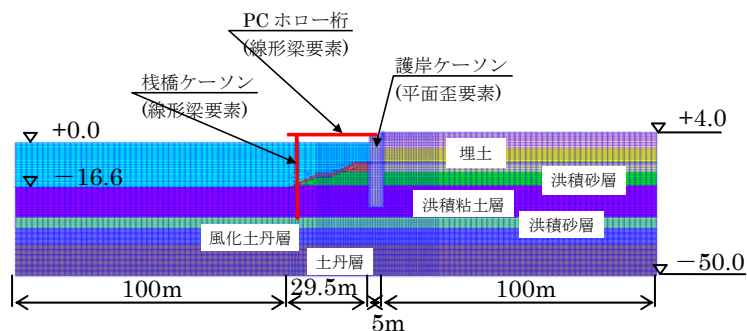


図-2 地震応答解析モデル図

表-1 地盤定数

	N値	C(kN/m <sup>2</sup> )	φ(度)
埋土 (Bs)	2	0	29
埋土 (Bc)	1	40	30
埋土 (Bg)	15	0	34
洪積砂層 (Ds1)	35	0	37
洪積粘土層 (Dc)	25	300	30
洪積砂層 (Ds2)	50	20	37
風化土丹層	50	500	5
土丹層	50	1500	5

主な地盤定数を表-1に示す。使用したL1地震波は、最大加速度：175gal、0.6から1.3秒にかけて卓越周期がある。L2地震波は、最大加速度：500gal、0.35秒と1.3秒付近の2箇所に卓越周期を有する地震波である。せん断波速度と層厚から求めた地盤の1次周期は、護岸背面地盤で0.89秒、前面海底地盤は0.29秒であった。背面地盤は、液状化する場合についても検討した。

### 2. 地震時変位量と最大加速度

L1地震とL2地震のそれぞれについて、液状化の有無をパラメータとした地震応答解析で得られた変位量を表-2に示す。L2地震時の護岸天端の残留変位量は、背面地盤が液状化しない場合で30cm、液状化を許し

キーワード 護岸、棧橋、PC 桁、ニューマチックケーソン、耐震性強化施設、FLIP

〒169-0004 東京都新宿区大久保1丁目7-18 アイテックコンサルタント株式会社 TEL03-6812-1196

た場合でも 51cm である。 栈橋は、背面地盤の液状化にはほとんど影響を受けず、3~4cm の残留変位量に収まっている。 L2 地震時の残留変位量からは、耐震強化施設として十分成立性のあることが明らかになった。

L1 地震時の最大応答加速度は、栈橋天端で 310~358gal (液状化なし~あり) であった。 栈橋直下の海底地盤面は 127~134gal であることから、海底地盤面に対する栈橋天端の加速度応答倍率は、[応答倍率 = 2.4~2.7 倍]となった。 護岸天端の L1 地震時最大加速度は 240~271gal であった。

L2 地震時の最大応答加速度は、栈橋天端で 883~934gal, 護岸天端では 911~683gal であった。

**3. L1 地震動における栈橋の簡易設計法 (震度法)** 他の港湾構造物と同じく、L1 地震時のニューマチックケーソン式横栈橋も簡易法 (震度法による計算法) が用意されていると、基本設計段階で他の工法との比較が容易に行えることになり有用である。 ここでは、簡易法の計算モデルとして図-3を用いた。 栈橋ケーソンの法線方向の設置間隔 23m 分をモデル化したもので、栈橋部の固有周期の算定と断面力算定を行うモデルである。 PC ホロー桁と栈橋ケーソンを梁でモデル化し、地中部は地盤反力係数から計算した地盤バネを付けている。 地盤反力係数は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」により求めた。 このモデルで計算した 1 次固有周期 (水平変位モード) は、 $T1=0.84$  秒となった。

図-4 に示すフローにしたがって、栈橋天端の最大加速度に等価な加速度を求める。 栈橋直下の海底地盤を 1 次元モデルで L1 地震応答解析 (FLIP) し、地表面応答値の加速度応答スペクトル (図-5) から、コンクリート構造物の標準的な減衰定数「 $h=5\sim6\%$ 」と栈橋固有周期  $T1=0.84$  秒に対する加速度の値を読み取ると、 $330\sim310gal$  が得られた。(液状化なしの場合)

上記加速度から慣性力を計算し、図-3の簡易法モデルで断面力 (曲げモーメント) を求めた結果を図-6 に示す。 詳細設計法 (FLIP による 2 次元地震応答解析) で得られた最大断面力と誤差 10% 以内の精度で合っている。 せん断力については、両者の差は最大値で 15% 以内の精度であった。

**まとめ** ニューマチックケーソン工法を護岸ならびに栈橋に適用した構造物が、L2 地震時の残留変位量から耐震強化施設として十分成立性のあることが分かった。 また、簡易法 (震度法による計算法) の提案を行ったが、詳細設計法に等価な震度と断面力を得ることができた。

**参考文献**

(1) 剣, 久保田ほか: ニューマチックケーソン式護岸のレベル 2 地震時水平変位の検討, 土木学会全国大会 第 64 回年次学術講演会, 2009.9 (2) Iai, et al. : Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 32, No. 2, pp1~15, 1992. 6.

表-2 残留変位量(カッコは最大変位) 単位:cm

地震動	液状化(背面)	位置		
		栈橋天端	護岸天端	地盤 栈橋下
レベル1	なし	1 (7)	2 (4)	1 (2)
	あり	2 (8)	5 (8)	1 (3)
レベル2	なし	3 (53)	30 (91)	4 (24)
	あり	4 (57)	51 (103)	5 (23)

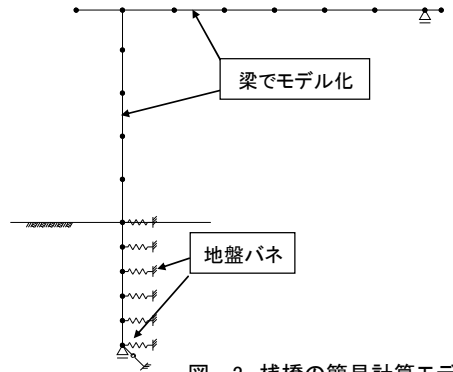


図-3 栈橋の簡易計算モデル

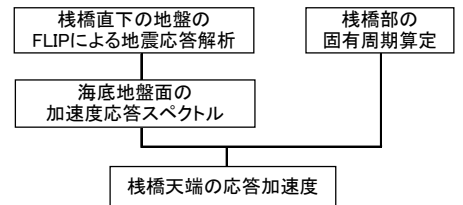


図-4 栈橋の震度算定フロー

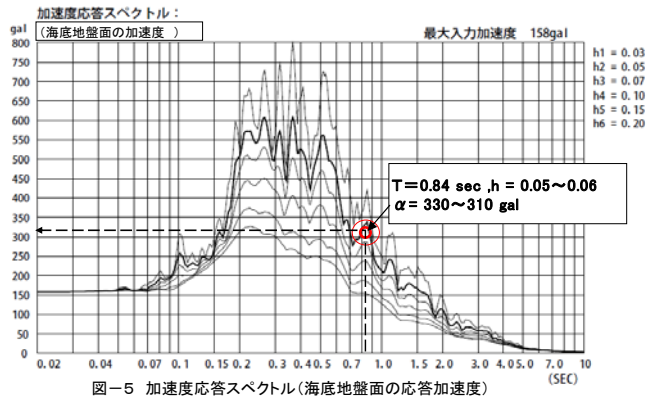


図-5 加速度応答スペクトル(海底地盤面の応答加速度)

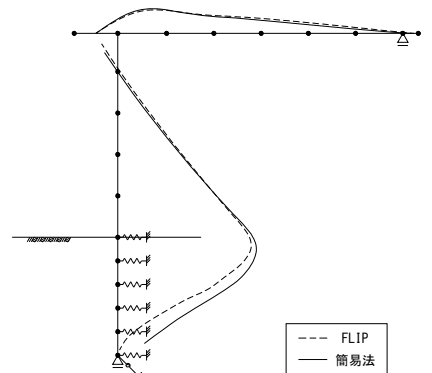


図-6 曲げモーメント図