

## 固有周期を用いた栈橋の地震被災程度判定手法に関する研究

神戸大学工学部

神戸大学都市安全研究センター

学生会員

正会員

○小田隼也

長尾毅

### 1. 研究の目的

大震災発生後には緊急支援物資の輸送が必要であるが、沿岸域の係留施設も被災している可能性が高い。兵庫県南部地震発生時、神戸港で旅客輸送に使われていた T 栈橋は、解体撤去後の調査で地中部などで杭の座屈が生じていたことが分かった<sup>1)</sup>。栈橋の杭の被災後の健全性評価は綿密な現地調査を行う必要がある。ただし、栈橋は被災により固有周期が長くなると想定されるが、既往の研究により、常時微動により栈橋の固有周期を推定することが可能と報告されている。本研究は、大震災発生後の栈橋の供用可能性を速やかに判定するため、固有周期の変化度から被災の程度を推定する方法を開発することを目的とする。

### 2. 解析詳細

非線形有限要素解析コード FLIP を用いて栈橋の地震応答解析を行った。検討対象は K 栈橋(図-1)、N 栈橋とし、地盤剛性、杭剛性、地震動卓越周波数等を変化させ、入力加速度最大値を 100, 200~600Gal に変化させて検討を行った。また N 栈橋においては、矢板の長さが杭と同じ-28m 地点までの条件(条件 1)と矢板を-14m 地点まで短くした条件(条件 2)で同様の検討を行った。

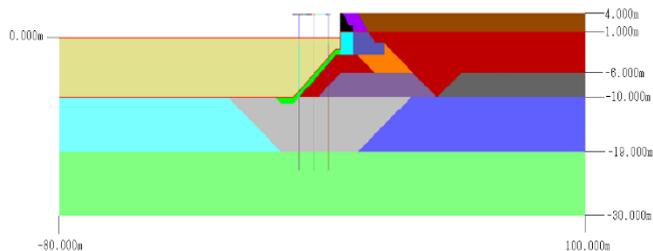


図-1 対象栈橋断面 (K 栈橋)

地震動については、1968 年十勝沖地震の八戸波を基本とし、フーリエスペクトルのピークを栈橋の固有周期に一致させた波形も用いた。また主要動の後続波として、特定のピーク周波数を持たないホワイトノイズを設定した(図-2)。解析結果の後続波部分の栈橋上部工のフーリエスペクトル等をもとに栈橋

の固有周期の変化度を評価した。さらに、杭に生じる断面力を評価し、固有周期の変化度と杭の断面力の

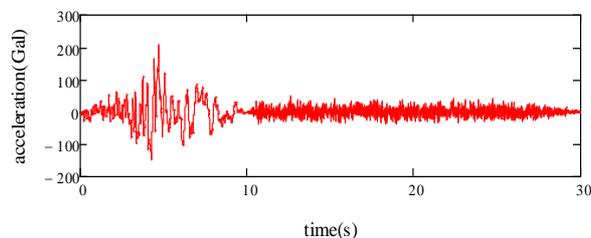


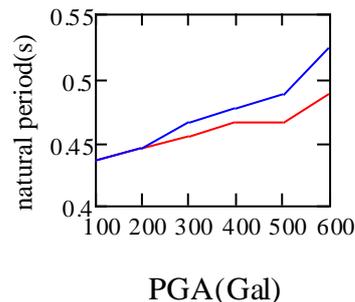
図-2 地震動

関係性を評価した。なお、検討対象とした栈橋と土留めの固有周期は、それぞれ 0.31~1.08 秒, 0.89~1.37 秒の範囲である。

### 3. 解析結果

#### 3.1 固有周期変化

地震動作用により杭に断面力が発生するため、入力地震動の最大加速度を増加させると栈橋の固有周期は増加する傾向にあることが分かる(図-3)。また矢板を短くした条件の方が固有周期は長くなるケースが多い。



— : 条件 1 — : 条件 2

図-3 固有周期変化

#### 3.2 曲げモーメント深度分布

地震動により杭に作用する断面力の発生位置を把握するために、曲げモーメントを全塑性モーメントによって正規化を行い、深度分布を示した(図-4)。大きな曲げモーメントが発生している箇所は、設計時に想定される杭頭部と土層の境界である。後者は、地震動の作用により液状化層の剛性が低下し、その下部の層との地盤変形の差が大きくなり、その影響を受けたためであるといえる。

また条件 1 と条件 2 を比較すると、矢板を短くし

キーワード：固有周期、栈橋、曲げモーメント、フーリエスペクトル、地震応答解析

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 都市安全研究センター TEL 078-803-6471

たことにより、-14m~-28m までの地盤の変形が大きくなり、杭に生じる断面力が大きくなっている。特に陸側の杭の断面力が大きくなっていることがわかる。

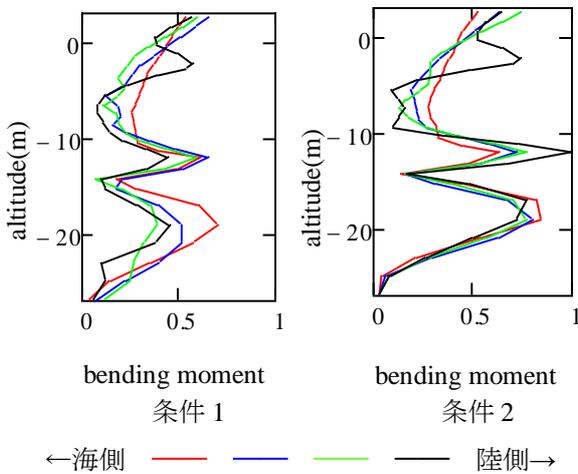
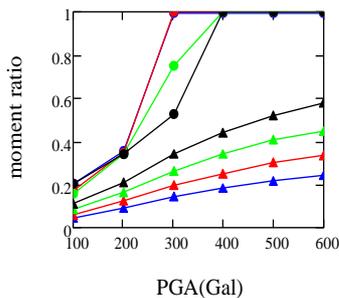


図-4 モーメント深度分布

3.3 モーメント比最大値

杭の曲げモーメント最大値を全塑性モーメント  $M_p$  で除した値を曲げモーメント比と定義し、入力地震動の最大加速度とモーメント比最大値の関係を図-5 に示す。本研究の範囲では、栈橋の杭の



○ : 条件3 △ : 条件4  
※色は杭の違いを示す。  
図-5 モーメント比最大値

損傷には地盤変形の影響が強く、入力地震動を八戸波とした条件(条件3)では杭の塑性化が生じたが、卓越周波数を栈橋の固有周期と一致させた条件(条件4)では、600Galの入力でも杭に塑性化は生じなかった。

3.4 損傷位置と固有周期変化の関係

杭の塑性化の発生位置が固有周期に及ぼす影響を検討するため、杭の仮想固定点下または仮想固定点上で塑性化が先行するケースを抽出し、モーメント比最大値 ( $rM$ ) と固有周期の変化度 ( $rTg$ : 地震後の固有周期を初期値で除した値) との関係を調べた(図-6)。仮想固定点下先行塑性ケースでは、 $rM$  の変化に対して  $rTg$  の変化が小さく、 $rTg=1.1$  程度で平均的

に全塑性に達する杭があり、仮想固定点下で杭に大きな損傷が生じていても固有周期変化からその損傷の程度を評価することは比較的困難である。これに対して仮想固定点上の塑性化については、比較的  $rTg$  の変化が大きく、栈橋の固有周期変化から杭の損傷を検出しやすい。

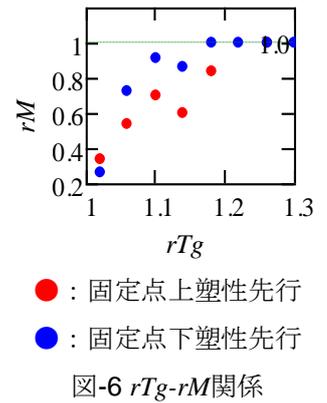


図-6  $rTg$ - $rM$ 関係

3.5 固有周期変化と杭の損傷の関係

$rTg$  に対する仮想固定点上での曲げモーメント比最大値 ( $rMI$ )、仮想固定点上での各杭のモーメント比最大値の平均値 ( $rM2$ ) を図-7 に示す。本研究の範囲では概ね  $rTg=1.2$  程度で何れかの杭で全塑性モーメントに達し、 $rTg=1.3$  程度で全ての杭で平均的に全塑性モーメントに達する結果となった。また杭の何れかの箇所でも全塑性モーメントに達する固有周期変化度 1.2 程度では、曲げモーメント比平均値は 0.7 程度であり、塑性化していない箇所においても大きな曲げモーメントが作用している。

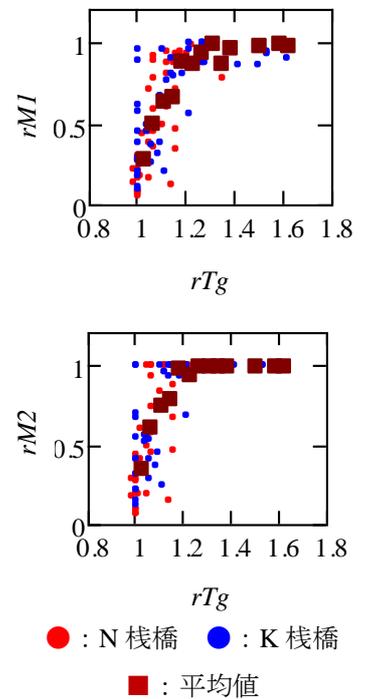


図-7  $rTg$ - $rMI$ ,  $rM2$  関係

4. 今後の課題

今後の課題として、より信頼性の高い結果を得るために、栈橋の形やスケールを変更するなど、解析を行うケースを増やすことが必要であると考えられる。

謝辞：本研究開発は、(一財)港湾空港総合技術センターの平成26年度研究開発助成を受けて実施したものです。

参考文献 1)南兼一郎ら：神戸港における横栈橋の被害調査と動的相互作用解析、第24回地震工学研究発表会、pp.693-696、1997