# 桟橋の2次元地震応答解析結果に及ぼす鋼管部材の管内水・付加質量の影響検討

国土技術政策総合研究所 正会員 〇菅原 法城,宮田 正史,福永 勇介 株式会社ニュージェック 正会員 江口 拓生,曽根 照人

#### 1. はじめに

桟橋の設計では、レベル1地震動に対する静的解析での杭の応力、支持力の照査が必要であり、耐震強化施設では、レベル2地震動に対する動的解析による変形量、損傷の照査も必要である<sup>1)</sup>.しかし、解析計算において、鋼管杭内部の海水(管内水)や地震時付加質量の取扱いについて、港湾基準<sup>1)</sup>では明確に規定されていない.一方、ジャケット式桟橋においては、管内水・付加質量を考慮するのが一般的であり<sup>2)</sup>、ジャケット式以外の桟橋との不整合が指摘されている.上記課題の解決のためには、まずどのような断面において、管内水・付加質量を考慮することで解析結果に影響が生じるのかを明らかにする必要がある.また、ジャケット式桟橋が実際にそれ以外の桟橋と比べて、管内水・付加質量の影響が大きくなるのかを検証することも重要である.

本研究では、上記の課題を解決するための基礎的な検討として、全国から収集した耐震強化岸壁の設計事例 (20 断面、桟橋式)を使用して、節点集中質量要素を用いて管内水・付加質量をモデリングした上で、レベル 1 地震動相当の複数の地震動に対して、FLIP<sup>3)</sup>を用いた有限要素法による非線形地震応答解析を実施し、管内 水・付加質量を考慮することによる、桟橋全体の固有振動数、杭の最大曲率等への影響を評価する.

# 2. 解析の条件

上記 20 断面を使用して、管内水・付加質量を追加的にモデリングして動的解析を行った。管内水・付加質量は、節点集中質量要素を使用してモデル化し、桟橋杭をモデル化したはり要素のうち水中の節点に貼り付けた。管内水の質量は(式-1)で、付加質量は(式-2)によりそれぞれ設定した。

$$m_b = \rho_w B \tag{$\pi -1$}$$

$$m_p = \rho_w (A+B)C \tag{$\pi -2$}$$

ここで, *m<sub>b</sub>*, *m<sub>p</sub>*は深さ方向に長さ 1m あたりの管内水質量と付加質量, *p<sub>w</sub>*は水の密度, *A* は杭の断面積(鋼材部分), *B* は杭の中空断面積, *C* は付加質量係数(=1.0)を示す.上記で算出した質量 *m<sub>b</sub>*, *m<sub>p</sub>*について,法線方向の杭間隔で除して上部工質量との比率を調整し,節点集中質量要素として動的解析 (FLIP) へ入力した.なお,ジャケット式桟橋については,直杭部分に加え,桟橋上部のトラス部分についても,海水面より下の部分について,管内水・付加質量をともに考慮するモデリングとした.接合部分の構造によるが,トラス部分は管内水を考慮しない設定も考えられるが,今回はトラス部分についても考慮することとし,ジャケット式桟橋については厳しい条件で解析を行った.

地震動は全ての断面で同じ地震動を用いることとし、レベル1 地震動相当を想定して、最大加速度 200Gal に振幅調整した、周波数特性の異なる3波(1968 年観測の八戸波、1978 年観測の大船渡波、1995 年観測のポ

ートアイランド波)とした.各地震波のフーリエ振幅スペクトル を図-1 に示す.

なお、今回、地盤の過剰間隙水圧は考慮しない設定とした.

# 3. 解析結果

20 断面について,(1)管内水・付加質量を考慮した場合,(2)考 慮しない場合の2通りの動的解析を実施し,各桟橋の固有振動数, 鋼管杭の最大曲率について算出した.桟橋の固有振動数は,長尾 ら<sup>4)</sup>の手法を準用し,桟橋上の点と背後地盤上の点のH/Hスペク トル比から推定した桟橋の1次固有振動数を示す.最大曲率は, 通常最大値の出やすい陸側の杭の結果を示す.



キーワード 桟橋,管内水,付加質量,動的解析,FLIP,固有周波数,耐震設計,レベル1地震動 連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 国土技術政策総合研究所 TEL 046-844-5006



図-2 構造別,設計水深別の固有振動数の増減率

図-2に、地震動3波に対する固有振動数の増減率と桟橋 水深との関係を示す.本研究では、(1)管内水・付加質量 あり/(2)管内水・付加質量考慮なしとして算定した量を 増減率と呼ぶ.

固有振動数[Hz]の場合,増減率が1を下回った場合, 桟橋全体の固有振動数が小さくなる(固有周期[s]が長く なる)ことを意味する.図より,管内水・付加質量を考 慮すると固有振動数は減少する傾向にあることが分かる.



図-3 構造別,設計水深別の曲率の増減率



図-4 固有振動数の増減率と最大曲率の増減率との関係

慮すると固有振動数は減少する傾向にあることが分かる.また,その傾向はジャケット式桟橋(JKT)で,水 深が大きい場合に顕著に表れている(最大で30%以上減少).これは,管内水・付加質量が増加することによ り,1次固有振動数が小さくなる方向にシフトしたことが主要因であると推察される.

図-3 に、地震動 3 波に対する陸側杭の最大曲率の増減率と桟橋水深との関係を示す(増減率が 3.23 程度に なる 1 データについては、図には掲載していない).図より、管内水・付加質量を考慮すると最大曲率は増加 する傾向にあることが分かる.また、その傾向は JKT 式で顕著である.最大曲率の増減率についてもジャケット式について影響が大きくなる結果となった.最後に、図-4 に固有振動数の増減率と最大曲率の増減率と の関係を示す(増減率が 3.23 程度のデータは掲載なし).両増減率の相関係数は-0.67 となり、2 つの量の間に は一定程度の負の相関があると判断された.この結果から推察すると、管内水・付加質量の考慮による固有振 動数の減少と、最大曲率の増加は同時に発生するケースは一定程度あるものと考えられるが、その力学的なメ カニズムについては、個別の断面毎に異なるものと考えられ、一概に結論づけることはできなかった.

### 4. まとめ

耐震強化桟橋 20 断面を使用した動的解析を行い,鋼管杭の管内水・付加質量が解析結果(固有振動数,鋼 管杭の最大曲率)に及ぼす影響を評価した.その結果,管内水・付加質量を考慮すると,固有振動数は増減す るものの,20 断面の増減率の平均は0.97,最大は1.06,最小は0.68 であり,減少する傾向が一定程度認めら れた.また,最大曲率についても同様であり,増減率の平均・最大・最小は,1.08・3.23・0.85 であり増加す る傾向が一定程度認められた.なお,JKT 桟橋の場合に限ると,固有振動数・最大曲率の増減率の平均は0.90・ 1.24 であり,他の桟橋構造より影響が顕著であることが分かった.また,固有振動数の増減率と最大曲率の増 減率との間には一定の負の相関が確認された.

### 参考文献

1)国土交通省港湾局監修:港湾の施設の技術上の基準・同解説,公益社団法人 日本港湾協会,2018.2)沿岸開発技術研究センタ ー:ジャケット工法技術マニュアル,2000.3) Iai,S.,Matsunaga,Y.and Kameoka,T:Strain Space Plasticity Model for Cyclic Mobility,港 研報告 Vol.29,No.4,pp.27-56,1990.4)長尾毅,田代聡一:桟橋式岸壁の耐震性照査手法に関する解析的研究,国土技術政策総合研 究所資料 第 61 号,2003.