# 直杭式桟橋の動的特性を考慮した照査用震度算出に関する基礎的研究

中央復建コンサルタンツ㈱ 正会員 〇桒原直範

国土技術政策総合研究所 正会員 長尾 毅

## <u>1. はじめに</u>

港湾の施設の技術上の基準・同解説<sup>1)</sup>(以下,現行法と称す.)による直杭式桟橋の照査用震度は,桟橋中央部をモ デル化した1次元地震応答解析(以下,1次元解析と称す.)により求められた仮想固定点位置の加速度応答値から, 桟橋の固有周期に対応した値を用いて算出する.このうち,固有周期は,桟橋に作用する荷重と桟橋上部工の変位 の関係(水平地盤反力係数)が線形であると仮定して求めている.しかし,水平地盤反力係数とせん断剛性との間 には一定の関係があり,杭周辺を構成する地盤のせん断剛性は加震中に低下するため,直杭式桟橋の固有周期は, 本来地震動のレベルに応じて変化するものであり,一定値と見なす標準的な方法では誤差を多く含む可能性がある. そこで,本研究では,2次元地震応答解析(以下,2次元解析と称す.)を用いて作用震度と固有周期の関係を整理 することにより,動的特性を考慮した桟橋の固有周期の算出方法について検討を行った.併せて,1次元解析と2 次元解析の加速度応答スペクトルの比較検討を行うことにより,動的特性を考慮した照査用震度算定手法について 検討を行った.なお,2次元解析,及び1次元解析に用いた解析コードはFLIPとした.

## 2. 動的特性を考慮した照査用震度算出方法

図-1,表-1,及び表-2の条件で最大加速度を変化させたWHITE-NOISE波,八戸港波,岩国港波,及び博多港波を入力した2次元解析を実施した.水深-16mのケースを例として,桟橋の上部工の加速度応答最大値を重力加速度で除した値(以下,作用震度と称す.)と上



部工と仮想固定点のフーリエスペクトルの比のピーク値から求められる桟橋の固 有周期の関係について確認した(図-2). この結果,作用震度が大きくなるに従い, 桟橋の固有周期が長くなることが確認された.これは,式(1)~式(3)に示す通り, 水平地盤反力係数と地盤のせん断剛性には一定の関係があるため,作用震度が大き いケースでは,桟橋杭周辺を構成している地盤のせん断剛性(水平地盤反力係数)が 大きく低下し,桟橋の固定点が下がるため(桟橋の自由長が長くなる),固有周期が 長くなるものと考えられる.

<sup>作用震度</sup> 図-2 固有周期と 式(3) 作用震度の関係

0

1.6

1.4

1.2

0.8

0.6

0.4

螨(s)

国有周 1 T

0

0.1

-

• White-Noise

0.3

04

△ hachinohe

iwakuni

⊡⊷ ≂ - 0-0-

0.2

 $G = \rho V_s^2 \qquad \vec{x}(1)$ 

$$V_s = 80.6N^{1/3}$$

 $k_h = 2 \cdot 1500N \qquad \overrightarrow{\texttt{T}}(3)$ 

ここに、*G*は、せん断剛性(kN/m<sup>2</sup>)、 $\rho$ は、単位体積質量(t/m<sup>3</sup>)、*V*<sub>s</sub>は、せん断波速度(m/s)、*N*は、N 値、 $k_h$ は、水 平地盤反力係数(kN/m<sup>3</sup>)である。そこで、式(4)~式(6)の関係を用いて地盤のせん断剛性比と桟橋の自由長の関係に ついて整理を行った(図-3).係数*A*は、2次元解析から得られた桟橋の固有周期と同じとなるように自由長を補正す る係数で、式(6)中の 1/ $\beta_i$ に乗ずる係数であり、係数*A*の値が大きいほど、自由長が長いことを意味する。次に、せ ん断剛性比 *G*<sub>max</sub>/*G*<sub>0</sub>は、桟橋中央部の仮想固定点位置における地盤のせん断応力 $\tau_{xy}$ 時刻歴最大時のせん断剛性 *G*<sub>max</sub>

キーワード 照査用震度,固有周期,直杭式桟橋

連絡先 〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10 中央復建コンサルタンツ㈱ TEL06-6160-2162

式(2)

を初期せん断剛性 Goで除した値である.

$$T_{s} = 2\pi \sqrt{\frac{W}{g\sum_{i}k_{Hi}}} \qquad \vec{x}(4) \qquad \beta_{i} = \sqrt[4]{\frac{k_{hi}D_{i}}{4EI_{i}}} \qquad \vec{x}(5) \qquad k_{Hi} = \frac{12EI_{i}}{\left(h_{i} + A\frac{1}{\beta_{i}}\right)} \qquad \vec{x}(6)$$

ここに、T<sub>s</sub>は桟橋の固有周期(s)、W は上部工の自重(kN)、g は重力加速度 (=9.8m/s<sup>2</sup>), k<sub>Hi</sub>は杭 i の横方向ばね定数(kN/m), EI<sub>i</sub>は杭 i の曲げ剛性(kN・m<sup>2</sup>),  $\beta_i$ は杭 i の仮想固定点に関するパラメタ(m<sup>-1</sup>),  $h_i$ は杭 i の杭頭から海底面までの 長さ(m),  $D_i$ は杭 i の杭の直径(m),  $k_{hi}$ は杭 i の水平地盤反力係数(kN/m<sup>3</sup>), A は地 中部の自由長を補正する係数である.この結果、係数 $A \ge G_{max}/G_0$ の間には一定 の関係があることが確認された.以上より,係数 $A \ge G_{max}/G_0$ の関係を定式化し,



作用震度に応じた桟橋の自由長を設定することにより,動的特性を考慮した桟橋の固有周期を算出することとした. ただし、式(7)、式(8)より  $1/\beta$ とせん断剛性 G との間に式(9)に示す関係があるため、本研究では、係数  $A \ge G_{max}/G_{0}$ を式(10)の形で定式化することとした.なお,式中の係数 a は,最小二乗法により設定を行った.

$$\frac{1}{\beta} = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{k_{hi}D_i}{4EI_i}}} = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{(2\cdot1500N)_iD_i}{4EI_i}}} = f(N^{-1/4}) \quad \vec{x}(7) \qquad N = \left(\frac{1}{80.6}\right)^3 (\rho G)^{3/2} = g(G^{3/2}) \qquad \qquad \frac{1}{\beta} = h(G^{-3/8}) \qquad \quad \vec{x}(9)$$

1.8

1.4

1

04

0

ここに, f(·),g(·),h(·) は関数, a は係数(=0.645)である. 近似結果を図-4 に示す. 不偏分散 s<sup>2</sup> が約 0.008 と非常に小さいことからも,近似 曲線は係数 $A \ge G_{max}/G_0$ の関係を精度良く表現できてい 数A ることが確認できる.次に、加速度応答スペクトルの検 厌 討を行った. 桟橋中央部をモデル化した1次元解析の仮 想固定点位置における加速度時刻歴を用いて, 減衰定数 hを変数とした加速度応答スペクトルを求め、固有周期 に対応する加速度応答値から照査用震度を算出した.ま た,2次元解析から求められた照査用震度との比較を行

 $A = a \left( \begin{array}{c} G_{\tau \max} \\ G_0 \end{array} \right)$ 式(10) 0.3 元解析】 1.6 s<sup>2</sup>=0.00793041 減衰定数5% ×減衰定数20% 1.2 0.2 Ķ 庚[1 0.8 0.6 8 ¥mi 0.2 聖 0.1 0.2 0 0.25 0.5 0.75 1 照查用震度【2次元解析】  $G_{\tau max}/G_0$ 図-5 図-4 近似曲線 照查用震度比較

0.3

い、照査用震度の再現性が高い減衰定数 h の設定を行った.減衰定数が 20%のケース及び 5%のケースの 2 次元解 析との比較を図-5に示す.この結果,減衰定数hは,本検討の範囲内では5%程度が妥当であることが確認された. 従って、加速度応答スペクトルは減衰定数5%により算出を行う.

### 3. 提案法の推定精度

本検討で提案する手法(以下,提案法と称す.)及び現行法により 推定された固有周期,及び照査用震度の2次元解析結果に対する誤 差が2次元解析結果に対して占める割合を算出し、その頻度分布を 確認することにより、提案法の推定精度の検証を行った.なお、照 査用震度は、現行法によって求められた固有周期と加速度応答スペ クトル(減衰定数 h=0.20)の組合せ、及び現行法によって求められた 固有周期と加速度応答スペクトル(減衰定数 h=0.05)の組合せの 2 ケ ースについて検討を行い、提案法との比較を行った.図-6に固有周 期,図-7に照査用震度の推定精度検証結果を示す.この結果,動的 特性を考慮することにより、現行法に比べ、固有周期、照査用震度 とも推定精度が向上したことが確認できた.



# 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,2007