

## セパレート型浮体橋梁の波浪中の動的応答解析に関する研究

鳥取大学工学部 正会員 上田 茂 大阪市役所 正会員○勝田 みゆき  
鳥取大学大学院 学生員 高田 隆史 大都工業(株) 正会員 沖田 智紀

## 1. はじめに

浮体橋梁は大水深域、軟弱地盤が厚く堆積するところで有利であり、かつ耐震性に優れている。現在、アメリカ、ノルウェー、トルコなどに道路橋として浮体橋梁が供用されている。我国においてはこれらの諸国における立地条件と異なるところがあるのでこれについて検討し、合理的な設計法を確立しなければならない。浮体橋梁は基礎となるポンツーンと上部工とから構成される。本論文においてはセパレート型の浮体橋梁に作用する波力および造波抵抗力を算定し、これを運動方程式に組み込んで浮体橋梁の波浪中の動的応答解析を行った結果をとりまとめる。

## 2. 波力・動揺量の計算手法

セパレート型浮体橋梁は図-2及び図-6に示すように橋梁上部工を2個以上の基礎ポンツーンで支持する構造である。図-1はポンツーンの基本形状を示したものである。

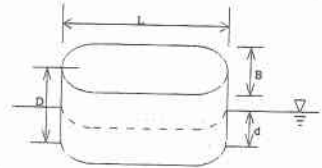


図-1 ポンツーンの基本形状

計算の手順は、まず基礎ポンツーンに作用する波力を特異点分布法<sup>1)</sup>を用いて算定し、次に図-2及び図-6に示す3径間及び9径間の浮体橋梁を図-3, 4, 5, または図-7のように有限要素法を用いて質量および剛性マトリクスで表し、個々のポンツーンに作用する波力の位相を考慮して与え動的解析を行う。ここに図-3, 4, 5は図-2の3径間浮体橋梁に対して上部工の分割を変えてモデル化したものである。

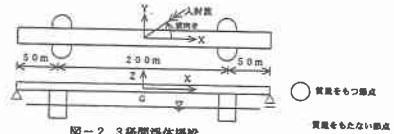


図-2 3径間浮体橋梁

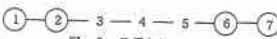


図-3 モデル1



図-4 モデル2



図-5 モデル3

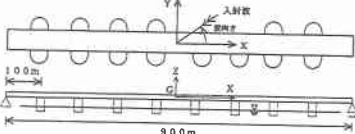


図-6 9径間浮体橋梁

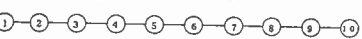


図-7 モデル4

ポンツーンに作用する波力については、表-1に示す4つのポンツーンについて計算結果を比較した。このうち基本モデルとあるのは浮体橋梁を弾性支承上の連続梁とし、上部工に自重及び活荷重を含めた重量7300kgf/mを載荷したときの支点沈下量を±50cm以内に抑えるのに必要な断面積から決めたものである。所要断面積は914m<sup>2</sup>であったので、この断面積を満たしかつ安定性を考慮した結果、長さL=50m、幅B=20m、深さD=10mとして図-1のように決めた。ポンツーンNo.1は基本モデルと比較すると、長さL方向に長細い形状をしており、水線面積が大きく深さが約半分である。メタセンターが高いので基本モデルに対して静水時の安定性も高い。ポンツーンNo.2は基本モデルに対し、円形に近い形状であり、No.1と同様に水線面積が大きいので喫水は浅い。No.1, No.2のポンツーンは、基本モデルに対しポンツーンの長さL、幅B、深さDを変えたものであるが、このほかにフーチングをつける方法がある。フーチング付きモデルとして、底面より1mまでをフーチングとして周辺に1mずつ張り出し、フーチング部の長さ52m、幅22mとした。波力および動揺計算における波浪条件は表-2に示す。ここでは波高1mの規則波とし、波向きは図-2および図-6に示す座標系でX軸から反時計回りを正とし、図中でX, Y, Z方向の並進変位をサージ、スウェイ、ヒープ、また、X, Y, Z軸回りの回転運動をロール、ピッチ、ヨウとする。

## 3. 計算結果

## (1) 基礎ポンツーンの形状と波力

水深をh=30~150mまで15mごとに覚えて計算を行ったが、この範囲内では波力に及ぼす水深の影響は小さい。波向きについては30°, 45°, 60°, 90°について計算を行った。図-8, 9は表-1に示した4つのポンツーンに作用する波力の計算結果のうち、水深h=30m、波向き30°の条件でのスウェイ、ヒープについて示したものである。スウェイの波力は基本モデル、No.1, No.2の差異は大きくないが、フーチング付きについては著しく低減することがわかる。ここではフーチング付きの計算は1ケースしか行っていないが、フーチングの効果はある特定的水深や周期によって影響を受けるといふ計算例<sup>2)</sup>もあるので、より多くの計算を行って設定条件に対する最適形状を検討することが重要である。ポンツーンの基本モデルを他の3つのポンツーンと比較すると、No.1およびNo.2に比べて波力が特に大きいということはなく、むしろ長さが大きいNo.1、幅が大きいNo.2よりはヒープおよびロールの波力は小さい。したがって表-2に示した波浪条件内では基本モデルポンツーンは有効な断面形状であると考えられる。

表-1 ポンツーンの諸元

| 断面積 A (m <sup>2</sup> ) | 基本モデル | NO. 1  | NO. 2 | フーチング付き       |
|-------------------------|-------|--------|-------|---------------|
| 長さ L (m)                | 50.00 | 75.00  | 50.00 | 50.00 (52.00) |
| 幅 B (m)                 | 20.00 | 20.00  | 40.00 | 20.00 (22.00) |
| 深さ D (m)                | 10.00 | 6.46   | 5.52  | 10.00         |
| 喫水 d (m)                | 5.00  | 3.23   | 2.76  | 4.09          |
| メタセンター高さ (m)            | 33.20 | 128.80 | 57.00 | 40.30         |

( )はフーチング部

表-2 波浪条件

| 水深 h (m)  | ポンツーンの波力         | 浮体橋梁           |
|-----------|------------------|----------------|
| 波高 H (m)  | 1.0              | 1.0            |
| 水深 h (m)  | 30~150mまで15mごと計算 | 30.90          |
| 波周期 T (s) | 5.6, 7.8, 9.10   | 5.6, 7.8, 9.10 |
| 波向き (°)   | 30, 45, 60, 90   | 60, 90         |

表-3 拘束条件

|        | 左支点 | 右支点 |
|--------|-----|-----|
| X軸並進変位 | 拘束  | 自由  |
| Y軸並進変位 | 拘束  | 拘束  |
| Z軸並進変位 | 拘束  | 拘束  |
| X軸回転変位 | 自由  | 自由  |
| Y軸回転変位 | 自由  | 自由  |
| Z軸回転変位 | 自由  | 自由  |

## (2) 動揺量

動揺計算においては浮体橋梁の両端部の拘束条件を表-3のように与えた。3径間浮体橋梁について、図-3は支点とポンツーンに節点を分布したモデル1、図-4は支点およびポンツーンと中央径間に1つの節点を分布させたモデル2、図-5は支点およびポンツーンと中央径間に3つの節点を分布させたモデル3とした。ここには図示していないが節点数の相違による浮体橋梁全体の固有周期が変わることがわかった。

図-10および図-11は図-5に示すモデル3について水深 $h=30\text{m}$ 、波向き $60^\circ$ における各節点のスウェイとヒープの最大動揺量を周期ごとに示したものである。横軸は節点番号、縦軸は動揺両振幅である。スウェイについては $T=6\text{s}$ のとき、両振幅が $30\text{cm}$ となって最大である。この周期は3径間浮体橋梁モデルのスウェイの固有周期とほぼ一致している。それ以外の波周期では両振幅は最大 $10\text{cm}$ 以下である。ヒープでは $T=10\text{s}$ のとき、両振幅が $30\text{cm}$ となって最大である。 $T=9\text{s}$ で両振幅 $20\text{cm}$ 、 $T=8\text{s}$ で $10\text{cm}$ となる。それ以外の波周期では両振幅は最大 $5\text{cm}$ 以下である。モデル3のヒープについては長周期波に伴い動揺量が増加し、いずれの周期でも浮体橋梁の中央のポンツーンで最大振幅を示す。

図-12と図-13は図-7に示すモデル4について水深 $h=30\text{m}$ 、波向き $60^\circ$ における各節点のスウェイとヒープの最大動揺量を周期ごとに示したものであり、スウェイについては $T=9\text{s}$ のとき、両振幅が $35\text{cm}$ となって最大である。それ以外の波周期では両振幅は最大 $10\text{cm}$ 以下である。ヒープでは $T=10\text{s}$ のとき、両振幅が $90\text{cm}$ となって最大である。 $T=9\text{s}$ で最大両振幅 $80\text{cm}$ 、 $T=8\text{s}$ で $55\text{cm}$ となる。それ以外の波周期では両振幅は最大 $35\text{cm}$ 以下である。モデル3でも見られたが各ポンツーンの最大動揺量は長周期波になるにつれて大きくなるが、詳細にみると短周期波 $T=5\sim 7\text{s}$ では各ポンツーンの最大動揺量はほぼ同一であるのに対して、長周期波 $T=8\sim 10\text{s}$ ではポンツーンごとに最大動揺量に差異がみられる。

## 4. おわりに

本研究においては、セパレート型浮体橋梁の波浪中の動的応答解析を行った。今後は不規則波に対する検討、ポンツーン形状と浮体橋梁の動揺特性について、さらに検討を進める予定である。

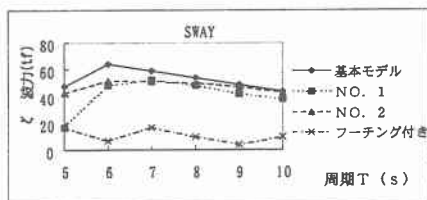


図-8 基礎ポンツーンに作用する波力の比較 (SWAY)

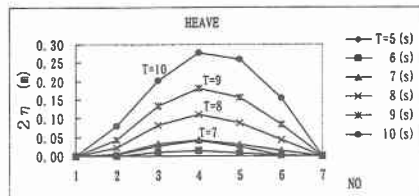


図-11 モデル3の各節点の最大両振幅 (HEAVE)

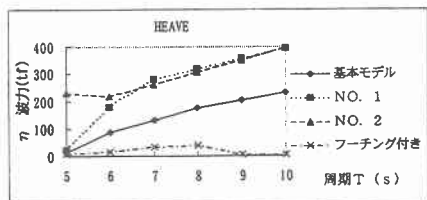


図-9 基礎ポンツーンに作用する波力の比較 (HEAVE)

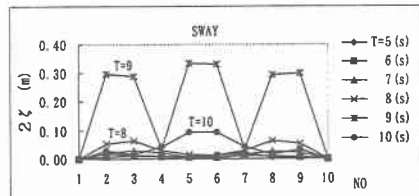


図-12 モデル4の各節点の最大両振幅 (SWAY)

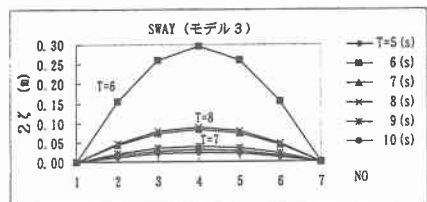


図-10 モデル3の各節点の最大両振幅 (SWAY)

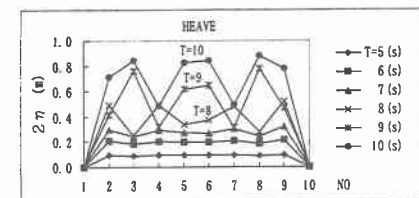


図-13 モデル4の各節点の最大両振幅 (HEAVE)

## 参考文献

- 1) Garrison, C. J., Hydrodynamic Loading of Large Offshore Structures: Three-Dimensional Source Distribution Methods, Numerical Methods in Offshore Engineering, Wiley, 1978
- 2) 渡邊英一・宇都宮智昭・高須賀文広・伊藤恭平: 独立カラム型浮体橋梁の波浪応答に及ぼす浮体基礎形状の効果, 海洋開発論文集 Vol. 11, 1995-6