

京都大学

学生員 ○川村 卓也

京都大学工学研究科

フェロー 渡邊 英一

京都大学工学研究科

正会員 宇都宮 智昭

1. 研究目的

浮体橋の応答解析を行う際、係留系の非線形復元力特性を正確に考慮するためには、時刻歴応答解析法を用いる必要がある。また、Radiation 流体力の周波数依存性を表現するには、運動方程式において流体力のメモリー効果を考慮する必要がある。本研究の目的は、昨年までに開発された時刻歴応答シミュレーションプログラム¹⁾の実験的検証を、浮体橋モデルが波のみ及び波と風を同時に受ける場合に対して行い、プログラムの妥当性を確認することである。なお、浮体橋モデルの風洞内での水槽実験は日立造船株式会社において実施されたものである²⁾。

2. 解析手法

流体力のメモリー効果を考慮した以下の運動方程式が、高木・新井ら(1996)³⁾によって示されている。

$$\sum_{j=1}^N \left[m_{ij} + \mu_{ij}(\infty) \right] \ddot{x}_j + B_{ij} \dot{x}_j + \int_0^t L_{ij}(\tau) \dot{x}_j(t-\tau) d\tau + C_{ij} x_j \Big] + G_i(x_i) = F_i(t) \quad (i=1,2,\dots,N) \quad (1)$$

ここで、 x_i : 節点変位、 m_{ij} : 質量、 $\mu_{ij}(\infty)$: 周波数無限大時の付加質量、 B_{ij} : 線形減衰係数、 $L_{ij}(\tau)$: メモリー影響関数、 C_{ij} : 静的復元力係数、 $G_i(x_i)$: 非線形係留力、 $F_i(t)$: 外力、 N : 総自由度数である。本研究では、この運動方程式を用いて解析を行う。式(1)中の周波数無限大時の付加質量 $\mu_{ij}(\infty)$ 、メモリー影響関数 $L_{ij}(\tau)$ は以下の式より求まる。但し、 $\mu_{ij}(\omega)$: 付加質量、 $\lambda_{ij}(\omega)$: 造波減衰である。

$$\mu_{ij}(\omega) - \mu_{ij}(\infty) = -\frac{2}{\pi} \int_0^\infty \lambda_{ij}(\omega') \frac{d\omega'}{\omega^2 - \omega'^2} \quad (2)$$

$$L_{ij}(\tau) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \cos \omega \tau \lambda_{ij}(\omega) d\omega \quad (3)$$

本研究では、モード法を用いて運動方程式を解く。各モード毎の固有ベクトル集合を $[\phi]$ (モード・マトリクス)、モード応答振幅を $\{\xi\}$ とすると、 $\{x\} = [\phi]\{\xi\}$ と表せる。これを式(1)に代入し、さらに両辺の各項に左から $[\phi]^T$ をかけると、モード座標系の運動方程式が導かれる。但し、式(1)において非線形係留の項、及びメモリー効果の項を右辺に移項して、見かけ上の外力とみなす。また、運動方程式は Newmark- β 法($\beta=1/4$)により解析する。

3. 検証及び解析結果

Fig.1 を解析モデルとする浮体橋について時刻歴応答解析を行った。実験モデルは想定実機の 50 分 1 モデル(全長 6.0m、桁高さ 0.04m、中央径間支間長 3.0m)である(詳しい諸元は文献 2)を参照)。F1,F2,F3,F4 を非線形係留、その他の係留は線形係留としている。流体力は境界要素法による流体力解析プログラムにより算出し、式(2)、(3)を用いて周波数無限大時の付加質量係数、及びメモリー影響関数を求める。

まずは、強制外力として規則波(正弦波)が入射する場合について解析を行う。波の

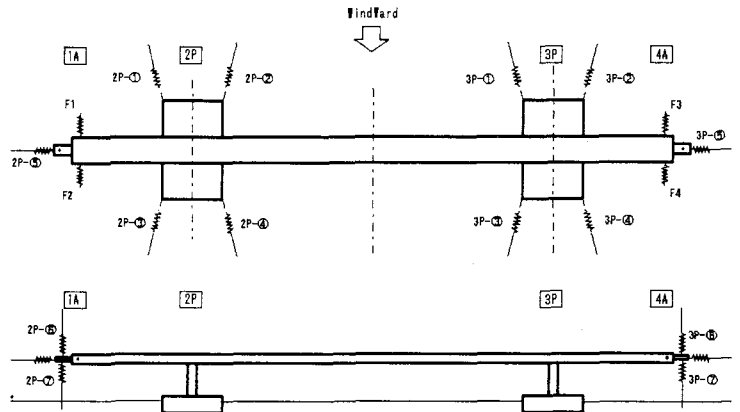


Fig.1 浮体橋モデル

入射方向は橋軸直角方向で、各浮体基礎には同位相で入射する。入射波周期は実機レベルで $T=4.0\sim 15.0$ (sec) の 1(sec) 刻みの 12 通りである。中央径間 $L/2$ の点について、Fig.2 に橋軸直角水平方向の、Fig.3 に鉛直方向の応答変位の検証結果を示した。太線が解析値、細線が実験値である。Fig.2、Fig.3 より多少の差はあるが、両者は比較的良好に合っているといえる。

次に、強制外力として波と風が同時に入射する場合について解析を行う。波・風の入射角は橋軸直角方向で、波は各浮体基礎に同位相で入射する。今回与えた風荷重の平均風速は、実機レベルで 43m/s、模型レベルで 6.08m/s である。また波は波のみの場合と同様に 12 通りの入射波周期の波を与えている。中央径間 $L/2$ 点について、Fig.4 に橋軸直角方向の、Fig.5 に鉛直方向の検証結果を示した。この場合も両者は比較的良好に合っているといえる。

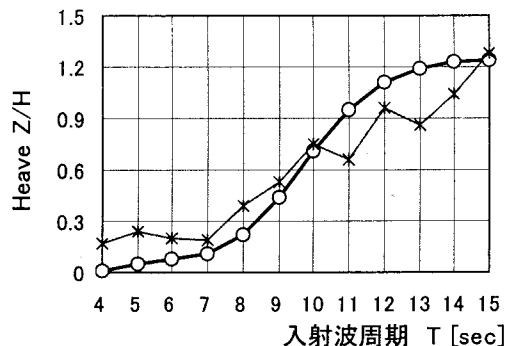
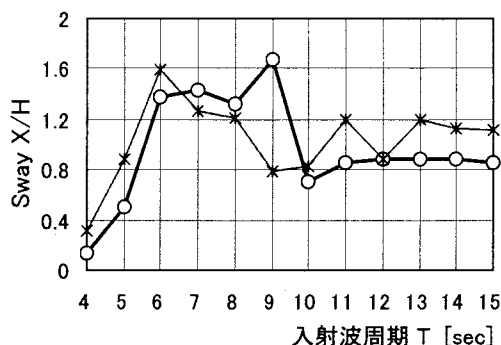


Fig.2 波のみの場合の中央径間 $L/2$ 点での水平応答変位

Fig.3 波のみの場合の中央径間 $L/2$ 点での鉛直応答変位

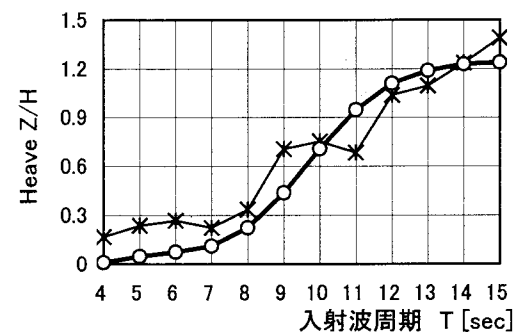
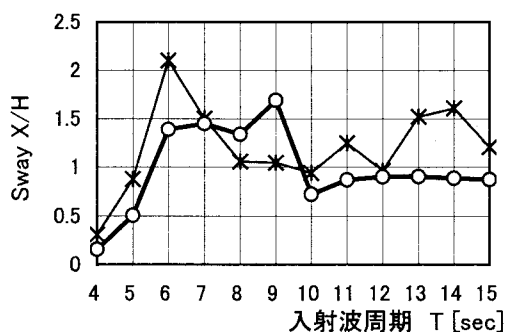


Fig.4 波・風を同時に受ける場合の中央径間 $L/2$ 点での水平応答変位

Fig.5 波・風を同時に受ける場合の中央径間 $L/2$ 点での鉛直応答変位

4. 結論

以上の場合において、浮体橋の時刻歴応答解析プログラムが実験的に検証されたと考えられる。なお本研究は、独立行政法人土木研究所公募型委託研究「浮体橋の波浪・風作用下での動揺解析手法の開発」の一部として実施されたものである。

(参考文献)

- 1) 渡邊英一, 宇都宮智昭, 岡藤孝史, 村越潤, 麓興一郎: 浮体橋の波浪応答シミュレーションプログラムの開発, 構造工学論文集, Vol.49A, 2003, pp661-668
- 2) 村越潤, 麓興一郎, 永田修一, 新里秀幸, 白井秀治, 渡邊英一, 宇都宮智昭: 波と風の複合外力下における浮体橋の弾性挙動に関する研究, 構造工学論文集, Vol.50A, 2004
- 3) 高木又男, 新井信一: 船舶・海洋構造物の耐波理論, 成山堂, 1996, pp 567-575