

変動風を受ける浮体橋の動揺解析とその実験的検証

京都大学工学部 学生員 ○山崎 紀子 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 (株) Hitz 日立造船 田中 洋
 (株) Hitz 日立造船 永田 修一 独立行政法人 土木研究所 村越 潤
 独立行政法人 土木研究所 麓 興一郎

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。また一方で、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。本研究では、昨年度までに開発されたメモリー効果を考慮した浮体橋の動揺シミュレーションプログラム¹⁾の信頼性の検証を目的として、実際に行われた風洞実験結果とプログラムによるシミュレーション結果の比較を行う。

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)²⁾によって示されている。

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

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。

3. 風洞実験およびモデル化

Fig.1 に示すような浮体橋の実機の 50 分の 1 模型に対する風洞実験を行った。桁長さ 6m、水深 0.2m である。橋軸直角方向より静水面平行に風を作用させ、その変動を観測した。

解析を行うためにこの風洞実験模型より、Fig.2 のような FEM モデルを作成した。上部構造は有限要素法によりモデル化した。また、ポンツーン点、桁端点に線形の係留バネの特性値を与えた。風洞実験においては桁端点に非線形バネが入れているが、本実験では変位が小さく非線形領域に達していなかったため、線形バネとしてモデル化した。

4. 解析結果および検証

上記モデルに対し、時刻歴応答解析を行った。最初に、付加質量係数、造波減衰係数を境界要素法による流体力

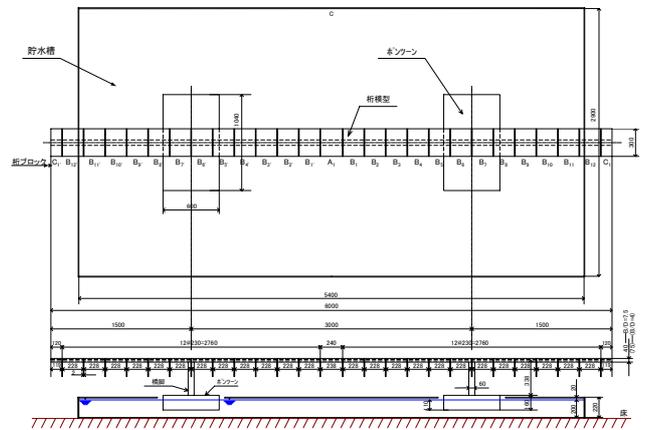


Fig.1 風洞実験模型

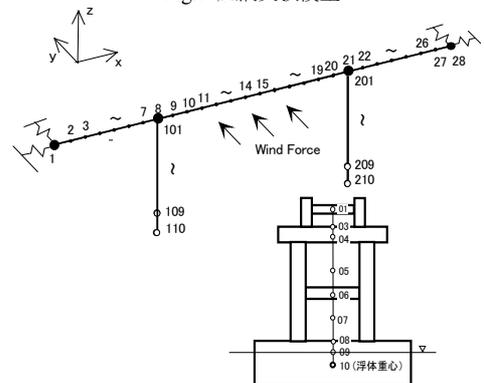


Fig.2 FEM モデル

キーワード 浮体橋、動揺解析、風洞実験、メモリー効果、有限要素法

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻

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ておく。

外力として風荷重の時系列を自己回帰式に基づく方法でシミュレートし、FEM モデルの各点に集中荷重として与える。計算時間間隔を 0.1 秒とし 170 秒間の浮体橋の変動を算出した。その一例を Fig.3 に示す。上段が桁中央点に作用する風荷重の時系列、中段が桁中央点の変動、下段がポンツーンの変動の時系列をそれぞれ示している。シミュレートされた各風速における 170 秒間の変動の平均値を Fig.4 に、各風速における変動の標準偏差を Fig.5 に示す。どちらもプログラムによるシミュレーション結果を黒で、風洞実験の結果を白で示している。

静的変形量において、桁端点・ポンツーン点は実験結果とほぼ一致しているのに対し、桁中央点ではシミュレーション結果が約 1.7 倍の変形を生じている。

検証のために解析対象の FEM モデルに風荷重の平均値を静荷重としてあたえ、NASTRAN 静解析を行った。Fig.6 はその結果と、本プログラムによって算出された静的変形量を比較したものである。両者は極めてよく一致しており、本プログラムの計算精度に問題がないことがわかる。このことから風洞実験との誤差原因はモデル化の不備にあることが推測される。

標準偏差においても多少の誤差は見られるが、風速の増加に伴う標準偏差の増加傾向を妥当にシミュレートしているといえる。

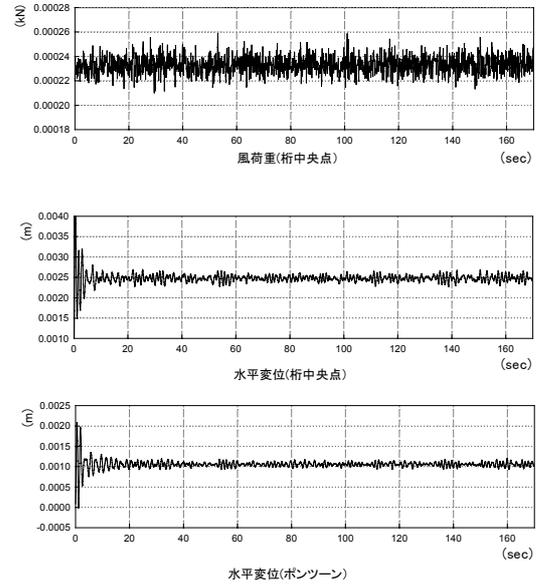


Fig.3 変動時系列の例

○;桁端点、□;ポンツーン点、▽;桁中央点 (黒→シミュレーション結果 白→風洞実験結果、静解析結果)

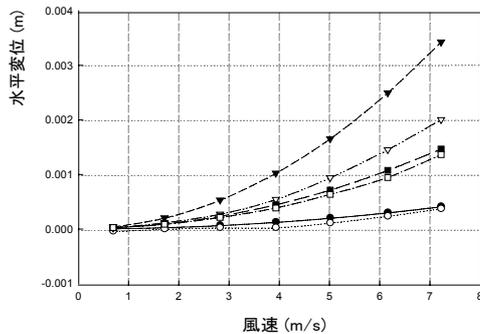


Fig.4 静的変形量の比較

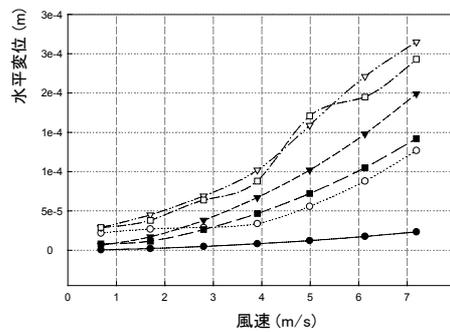


Fig.5 標準偏差の比較

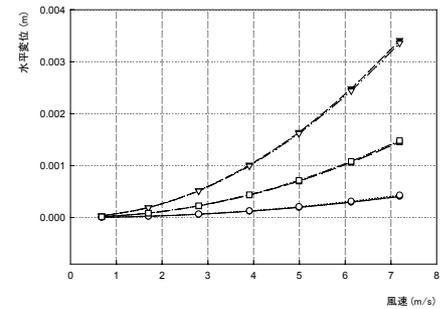


Fig.6 NASTRAN 静解析との比較

3. 結論及び今後の課題

以上より、本プログラムのシミュレーション結果は妥当なものであるといえる。今後、風洞実験モデルの桁の剛性の再評価、ノイズの消去など引き続きの検証を行う必要がある。また、非線形の係留力が生じる場合や外力として波と風を同時に受ける場合についても実験的検証を行うことが望ましい。

(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.48A, 2002
- 2) 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