

CS 127

偏平H型断面柱の流力弾性応答の数値解析

東京大学 正員 野村卓史

1. はじめに

比較的偏平な断面を有する桁の空力弾性挙動は、前縁からの剥離せん断層の桁側面への再付着や、後縁との干渉などの要因によって複雑な特性を示す。ここでは橋梁断面のプロトタイプであり、実験的にも検討がなされている[1]偏平H型断面柱の曲げ振動を取り上げ、筆者らが従来より開発を行っているALE有限要素流れ解析法[2]を適用して数値解析を試みたので報告する。

2. 解析対象

対象としたH型断面は Nakamura & Nakashima [1] が行った可視化水槽実験で用いられたものと同じ寸法とし、断面比(桁幅Dと桁高Hの比) $D/H = 5$ とした [図1]。H型断面桁の質量、減衰係数およびバネ定数は、図1中に示したように質量比 1.7 および 17.0 の2通り設定した。両ケースともスクルートン数を同じ値 0.17 にそろえている。このスクルートン数は Nakamura & Nakashima [1] が行った風洞実験での値と同じである。解析のレイノルズ数はその風洞実験より約2オーダー低く、換算風速 $V(=U/Df_n)=1$ がレイノルズ数 670 に対応する(f_n は桁の固有振動数)。図2は解析に用いた有限要素メッシュが桁の上下動に伴って変形するパターンを示したものである。本報告の解析に先立って、一様流中で桁を強制的に振動させたときの流れの解析(レイノルズ数 1200)を同じメッシュを用いて行い、可視化実験結果[1]と良好に一致する流れが得られることを確認している[3]。

なお、解析方法の詳細については文献[2]を参考にして頂きたい。また、本報告の解析結果はすべて積分時間間隔を無次元時間 0.01 にして行った。

3. 応答特性

図3 (a) および (b) に2種類の質量比の解析から得られた無次元振動振幅 A/H 、揚力係数 C_L および振動周波数 f の変化を示す。振動周波数 f は、桁の固有振動数 f_n および静止時の揚力変動の周波数 f_0 とのそれぞれで無次元化したものを合わせて示している。

解析の結果、質量比 1.7 の場合(図3(a))には2つの励振領域が得られた。低風速側の励振領域では振動周波数 f がほぼ直線的に増加しているが、これは質量比が小さいために桁が流れの変動によってほぼ強制的に振動させられているためと考えられる。第2の励振領域に入るとともに振動周波数 f が急激に落ちている。このときの流れの状況については後述する。

質量比 17.0 の場合(図3(b))には、振幅が大きくなる流速領域で振動周波数 f が桁の固有振動数 f_n には等しくなっている。また、それと同時に振動周波数 f が静止時の揚力変動の周波数 f_0 に比べて若干低下しているが、これは Nakamura & Nakashima [1] の風洞実験結果で観察された傾向に類似している。ただし、Nakamura & Nakashima [1] の実験では、図3(b)のような低風速励振に続いてすぐに第2の励振が発生しているのに対し、本解析では換算風速が $V=5.71$ に至るまで計算を続けたがそのような励振は生じなかった。この違いは、本解析が風洞実験より低い流速領域で行っているためと推測されるが、これについては今後さらに検討していきたい。

4. 流れのパターン

図3(a)に示されるように、質量比1.7では2つの励振領域が生じ、桁の振動周波数が著しく異なった。図4に、この2つの領域を代表して換算風速 $V=1.79$ および $V=3.57$ の2ケースの解析での変位、揚力、ウェブと後流での圧力の時刻歴を示す。第2の励振領域内にある $V=3.57$ の場合には後流圧力が複雑に変動している。図5は桁が上方に最も変位した瞬間での流線と圧力の分布で、高い負圧を伴った渦がウェブの異なる側に位置している。この流れパターンの違いは、桁変位の変動と揚力・ウェブ圧力の変動との位相差(図6)にも示されており、第2の励振領域では位相差がなく、第1の励振領域では逆位相になっている。

これらの結果より、この特定の断面比と質量比の場合には、第1の励振領域では桁背後での渦放出が振

動を励起し、第2の励振領域ではウェブに沿った渦が振動を励起しているものと理解することができる。

なお、質量比17.0のときの流れの状況は、1.7のときの第1の励振領域のパターンであった。

参考文献

[1] Y. Nakamura & M. Nakashima: Vortex excitation of prisms with elongated rectangular, H and T cross-sections, J.F.M., vol.163, pp.149-169, 1986. [2] 野村卓史: ALE 有限要素法による流れ・構造連成解析への予測子・修正子法の適用と計算過程に関する技法、土木学会論文集No.455/I-21, pp.55-63, 1992. [3] T. Nomura: A numerical study on vortex-excited oscillations of bluff cylinders, BBAA2, vol.2, 1992.

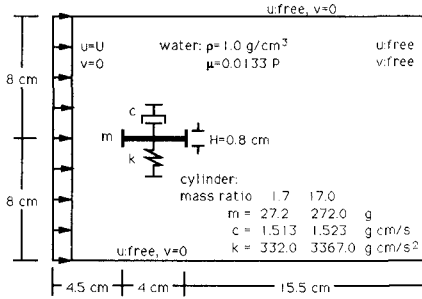


Fig. 1 Solution domain and boundary conditions

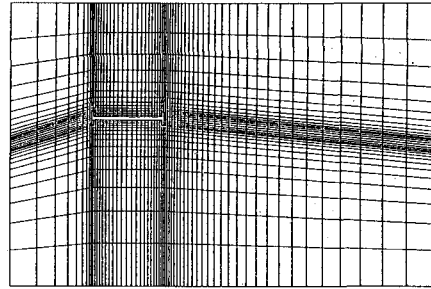


Fig. 2 Deformed mesh pattern

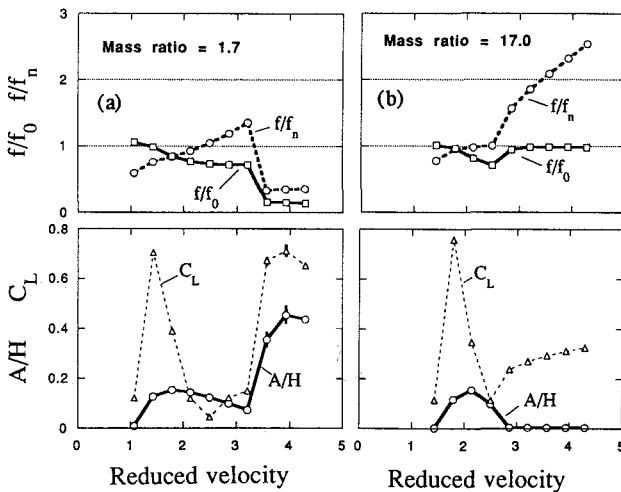


Fig. 3 Responses of the H-section cylinder: (a) mass ratio = 1.7; (b) mass ratio = 17.0

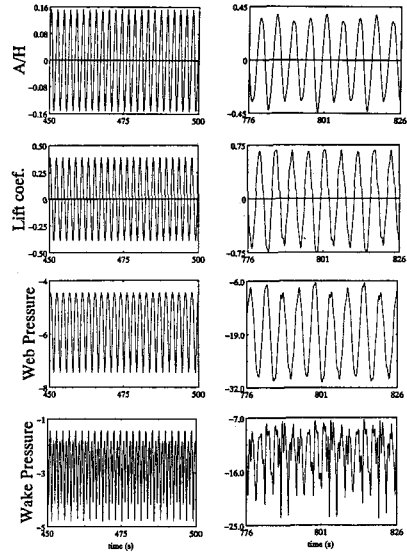


Fig. 4 Computed time histories of the cylinder motion, the lift coefficient, web pressure and wake pressure; left: $V=1.79$, right: $V=3.57$.

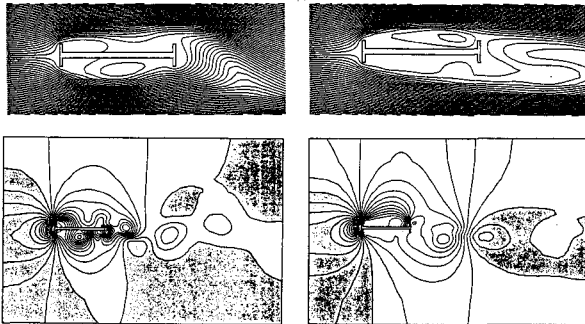


Fig. 5 Streamlines and pressure contours at the maximum displacement; left: $V=1.79$, right: $V=3.57$.

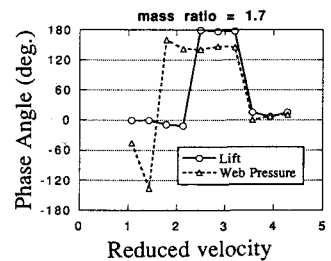


Fig. 6 Phase lags of the lift and the web pressure to the cylinder motion (mass ratio = 1.7).