

## 橋梁渦励振における高欄の役割と高欄の多孔質体モデル化に関する研究

京都大学 学生員 ○高橋 和暉  
京都大学 正会員 八木 知己

京都大学 学生員 Yuxuan YAN  
京都大学 正会員 野口 恭平

**1. 概要** 橋梁の振動応答に高欄のような詳細部が影響を与えるメカニズムは十分に検討されていない。特に、高欄最上段の水平部材や高欄の空隙率が振動応答に大きく寄与することは知られている[1][2]が、その他の微細の構造やその上流側と下流側の高欄における役割の違いには不明な点が多い。本研究では、上流側、下流側の高欄を様々に変えつつ風洞でばね支持自由振動実験を行った。また、CFDにおいて、高欄のような微細な構造を忠実に再現することは計算負荷の点から困難である。横部材が1本の高欄(標準高欄)の多孔質体モデル化の妥当性を検討することを目的とし、多孔質体を模擬できる高欄として、格子の細かい高欄(格子高欄)を用意した。この高欄についてもばね支持自由振動実験を実施するとともに、標準高欄と格子高欄と圧力損失に基づいた多孔質体モデルを橋梁断面上に設置し、静的空気力を比較することでモデル化の妥当性を確認する。

**2. 鉛直1自由度自由振動実験** 京都大学桂キャンパス内に設置されている吹出式風洞で端2箱桁断面模型(Fig.1)を用いて渦励振応答に焦点を当て、鉛直1自由度ばね支持自由振動実験を行った。固有振動数は6.13Hz、等価質量が4.41kg/m、対数構造減衰率(片振幅2mm)を0.015とした。既往研究から高欄の最上段の横部材と空隙率は渦励振への影響が大きい[1][2]ため、最上段横部材や空隙率は一定とした。一方、高欄詳細部として、縦部材数と中間原稿横部材数を変更した高欄(格子高欄)、中間横部材の横幅を長くした高欄(扁平高欄)を用意した。空隙率を一定としたため、中間横部材と縦部材が占める投影面積は標準高欄と同じである。また、空隙率が0%の壁高欄を用意した(Fig.2)。Table 1に示すように上流側と下流側をそれぞれ変更したケースを実施した。

下流側の高欄を標準高欄に揃え、上流側の高欄のみを変更した自由振動応答結果を示す(Fig.3)。壁高欄は上流側で振幅を大きくする効果がある。これは標準高欄に対して空隙率が小さいことで、はく離渦強度が増していることが考えられる。上流側で格子高欄は標準高欄と同程度の振幅である。扁平高欄は上流側で振幅を小さくする効果がある。この現象は、矩形断面は断面辺長比が2.8以上ではく離渦が時間平均的に再付着することが関係すると考えられる。また、上流側に高欄が無い場合、他のケースでの渦励振発現風速付近で振動が発現しなかった。

上流側の高欄を標準高欄に揃え、下流側の高欄のみを変更した渦励振応答結果を示す(Fig.4)。壁高欄が下流側の場合に、他のケースでの渦励振発現風速付近で振動が発現しなかった。また、格子高欄は下流側で振幅を小さくする効果がある。壁高欄や、部材数の多い格子高欄は、標準高欄に比べ模型上面での渦の流下を妨げることが考えら

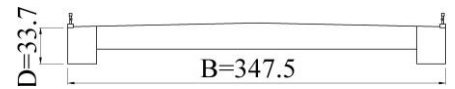


Fig.1 模型断面(スパン長=894,単位:mm)

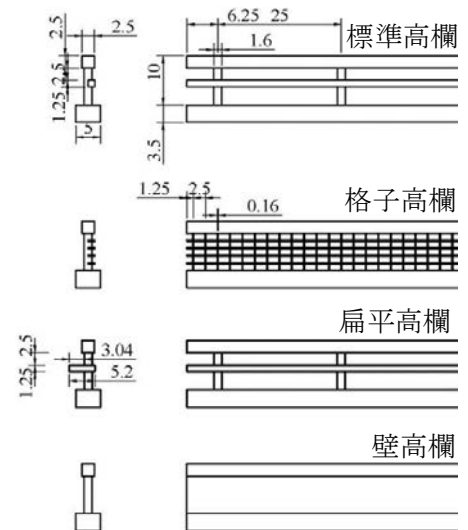


Fig.2 自由振動実験で用いた高欄

Table 1 高欄を変更したケース

ケース	高欄の種類	
	上流側	下流側
Case 0	標準高欄	
Case 1	壁高欄	標準高欄
Case 2	格子高欄	
Case 3	扁平高欄	
Case 4	高欄なし	
Case 5	標準高欄	壁高欄
Case 6		格子高欄
Case 7		扁平高欄
Case 8		高欄なし

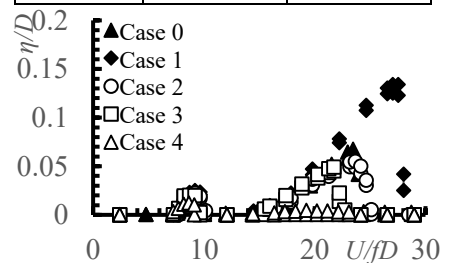


Fig.3 自由振動応答(上流側高欄を変更)

キーワード 渦励振 高欄 橋梁 風洞実験 CFD 多孔質体モデル

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科社会基盤専攻 TEL075-383-3170

れる。下流側で扁平高欄は標準高欄と同程度の振幅となった。また、下流側に高欄が無い場合に振動振幅が大きい。

以上から、上流側と下流側で高欄が果たす役割に違いがあることが分かった。また、実橋において片側からの風向が卓越している場合に、下流側に壁高欄のように渦の流下を妨げる効果を持つ高欄を設置することは、振動を抑えることが期待できる。なお、風向が変わり上流側になった場合には励振することが考えられるため注意が必要である。

**3. 高欄の圧力損失** CFDにおいて高欄を多孔質体でモデル化することの妥当性を検討するために、LESによる非定常流れ場計算によって、標準高欄、格子高欄、空隙率高欄の圧力損失を算出した(Fig.5)。空隙率が、標準高欄の78%に対して40%である空隙率高欄は空隙率の影響を確認するためのものであり、使用ソフトウェアはStar-CCM+(ver. 14.02.012)である。高欄の地覆底面から最上段部材上端までを高さとした解析領域で流入面と流出面の圧力の差を圧力損失として算出する。具体的には、流下方向長さ 0.351m×高さ 0.0135m×奥行 0.05m で、格子最小厚さは0.00005m, 総格子数は約1,200万である。Table 3に算出された圧力損失の結果を整理した。高欄の圧力損失は空隙率の影響が大きいこと、自由振動実験で上流側に設置した際に同程度の振幅を示した標準高欄と格子高欄の圧力損失が近いことが分かった。したがって、圧力損失を適切に設定することで、高欄を多孔質体としてモデル化出来る可能性がある。

**4. 多孔質体モデルを用いた静的空気力** 格子高欄の圧力損失を使用した多孔質体モデル高欄を橋桁上に設置し、CFDで静的空気力係数を計測し、標準高欄および格子高欄を上下流側に設置した橋梁断面における静的空気力係数の計算値・実験値と比較した(Table 4)。接近流は一樣流で、レイノルズ数は10,000程度である。解析領域は、長さ3m×高さ1.5m×奥行0.2mで、最小格子幅は0.000005m, 格子総数は約8800万である(Fig.6)。標準高欄と格子高欄について算出された静的空気力係数は、両者の相互比較により、風洞実験で得られた値と同様の傾向を示すことが分かった。また、高欄を多孔質体でモデル化した橋梁断面の計算結果は、標準高欄・格子高欄つき橋梁断面の値と、概ね一致することが確認された。今後、今回モデル化した高欄を用いて振動状態の橋梁断面および高欄周りの流れ場構造や振動応答をCFDによって明らかにするなど、より詳細な検討を行う必要がある。

**5. 結論** (1)上流側と下流側では高欄が果たす役割が異なる(2)実橋で風向が卓越する場合に、下流側に壁高欄などの渦の流下を妨げる高欄を設置すると制振が期待できるが、上流側になった際には注意が必要である。(3)CFD上で高欄を多孔質体でモデル化する際に静的空気力の面での妥当性が確認された。

**参考文献** [1]Nagao, et al. (1997): J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 69-71, 819-827.[2]Bruno, et al. (2002):Struc. Eng. Int., IABSE. 12(4): 289-294.

**謝辞** 本研究の一部はJSPS 科研費 20H02232 の助成を受けた。また、本研究は清水建設の伊藤靖晃氏に多大なご協力を頂いた。

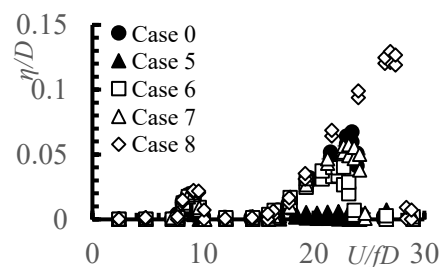


Fig.4 自由振動応答(下流側高欄を変更)

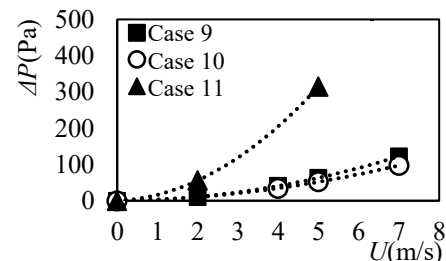


Fig.5 圧力損失

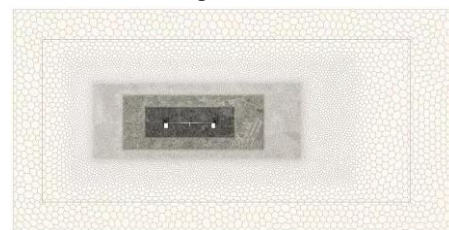


Fig.6 解析領域

Table 3 圧力損失

Case 高欄	Case 9 標準高欄	Case10 格子高欄	Case11 空隙率高欄
空隙率	78%		40%
圧力損失 (Pa)	$\Delta P$ = 2.4097 $U^2$ + 0.5938 $U$	$\Delta P$ = 1.763 $U^2$ + 1.6031 $U$	$\Delta P$ = 11.657 $U^2$ + 4.6667 $U$

Table 4 静的空気力係数

ケース名	CFD			風洞実験値 4m/s		
	$C_D$	$C_L$	$C_M$	$C_D$	$C_L$	$C_M$
標準高欄	1.508	-0.334	0.029	1.606	-0.180	0.0150
格子高欄	1.504	-0.346	0.023	1.584	-0.165	0.0073
モデル化	1.547	-0.361	0.01			