

橋梁のねじれフラッターに対する高欄の多孔質体によるモデル化に関する研究

京都大学 学生会員 ○山川 裕暉
清水建設 正会員 伊藤 靖晃
京都大学 学生会員 高橋 和暉
京都大学 フェロー会員 八木 知己

京都大学 正会員 野口 恭平
京都大学 正会員 松宮 央登
元京都大学 非会員 Yuxuan Yan

1. 研究目的 橋梁の空力特性は、高欄等の微細部分の変化に敏感であり、高欄の最上段部材と地覆、空隙率の影響が大きいことが知られている[1][2]。また、橋梁の空力特性を調べる風洞実験に替わる手法として、近年の計算機能力の向上とともに数値流体解析(CFD)が利用されるようになってきた。しかし、CFDで高欄部材を忠実に再現することは計算格子数の増加につながり、多くの計算資源を必要とする。よって、筆者らのグループは、高欄の最上段部材下面から地覆上面までの高欄中間部の圧力損失を用いた多孔質体モデルで置き換えることの妥当性を検討してきた。その際に、CFDで使われる多孔質体を風洞実験において模擬する高欄として、格子の細かい格子高欄を用意し、各種の検討に利用している。また、格子高欄の圧力損失を用いて高欄をモデル化し、鉛直たわみ空力減衰を表す非定常空気力係数 H_1^* を複数の加振振幅について求め、渦励振の定常応答振幅を求めたところ、ばね支持風洞実験結果をよく再現した[3]。本研究では、同様に高欄をモデル化し、ねじれ空力減衰を表す非定常空気力係数 A_2^* を求めることで、ねじれフラッターに対する高欄のモデル化の検討を行う。

2. 風洞実験結果 端2箱桁断面模型(Fig.1)を用いてねじれ1自由度自由振動風洞実験を行った。固有振動数は7.75Hz、等価慣性モーメントは $2.0 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}$ 、対数構造減衰率(倍振幅2°)を0.015とした。標準高欄と格子高欄(Fig.2)の自由振動実験結果をFig.3に示す。無次元風速 $U/fB=3$ 付近においてねじれフラッターが発現しており、標準高欄と格子高欄のねじれフラッター発現風速の差は小さいことがわかる。

また、同様の設備、模型を用いて加振振動数2.6Hz、倍振幅4°で、ねじれ1自由度正弦波強制加振実験を行った。このとき、非定常空気力係数 A_2^* は次のように表される。ただし、 M_ϕ は非定常ピッチングモーメントの振幅、 $\Psi_{M\phi}$ はねじれ変位に対する非定常ピッチングモーメントの位相遅れ、 ρ は空気密度、 b は半弦長($B/2$)、 ϕ_0 は加振振幅である。

$$A_2^* = -\frac{M_\phi \sin \Psi_{M\phi}}{\rho b^4 \omega^2 \phi_0} \quad (1)$$

標準高欄と格子高欄の A_2^* をFig.4に示す。 $A_2^* > 0$ のときねじれフラッター発現の可能性がある。標準高欄と格子高欄の A_2^* は概ね一致した。

以上、ねじれ自由振動実験と強制加振実験の両方から、ねじれフラッター発現域において標準高欄と格子高欄による影響の差は小さいことが確認された。よって、CFDにおいて標準高欄を多孔質体モデルで置き換

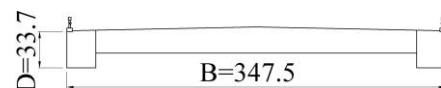


Fig.1 模型断面(奥行=894,単位:mm)

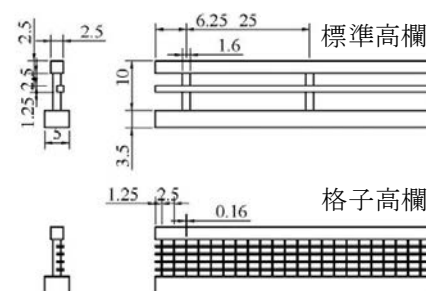


Fig.2 用いた高欄

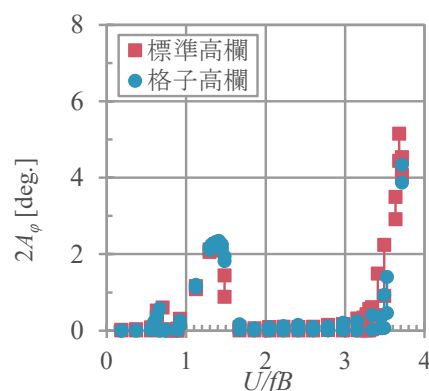


Fig.3 ねじれ自由振動応答

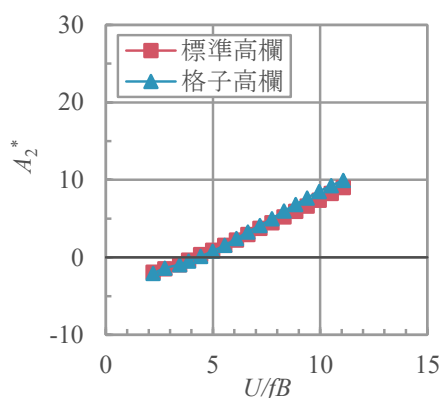


Fig.4 非定常空気力係数 A_2^* (風洞)

キーワード ねじれフラッター、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工学専攻 TEL075-383-3170

えてもねじれフラッターを適切に評価できる可能性がある。

3. 高欄の圧力損失 以下では STAR-CCM+(ver. 14.02.012)を用いて、LES による解析を行った。SGS モデルは WALE モデルである。既報[3]にあるように CFD において圧力損失を用いて高欄中間部をモデル化するため、最上段部材下面から地覆上面までを高さ($h=0.0075\text{m}$)とした解析領域 (Fig.5, Table1)を用意し、流入面と流出面の圧力差を圧力損失として算出した (Fig.6)。風洞実験から得られた応答振幅や A_2^* がほぼ同じであった標準高欄と格子高欄の圧力損失の値は近く、圧力損失を適切に設定することで、橋梁の振動応答や空気力の実現可能性が示唆された。

4. 静的空気力係数 格子高欄の圧力損失を使用した多孔質体モデル、標準高欄、格子高欄を橋桁上に設置し、CFD で静的空気力係数を算出し、風洞実験から得られた静的空気力係数 (標準高欄・格子高欄) と Table2 にて比較した[3]。接近流は一樣流で、レイノルズ数は 8,600 程度である。解析領域は、長さ $89D\times$ 高さ $44.5D\times$ 奥行 $6D$ である (Fig.7)。CFD と風洞実験それぞれから得られた標準高欄、格子高欄の静的空気力係数は概ね一致し、本研究で実施した CFD は妥当であると判断できる。また、多孔質体モデルを利用した CFD から得られた静的空気力係数も他の計算値や実験値をよく再現していることから、多孔質体モデルを利用することの妥当性を示す結果であると考えられる。

5. 非定常空気力係数 CFD による非定常空気力解析では、静的空気力解析と同じ解析領域を用いた。橋桁上に標準高欄、格子高欄、多孔質体モデルを設置し、倍振幅 4° でねじれ 1 自由度正弦波加振を行った。接近流は一樣流で、レイノルズ数は 10,500 程度である。格子数、時間刻み、最小格子サイズを Table3 に示す。標準高欄は $U/fB=3$ の、格子高欄、多孔質体モデルは $U/fB=3\cdot 6.5$ の計算を行った。CFD と風洞実験から得られた A_2^* を比較した結果 (Fig.8)、同一高欄における風洞実験と CFD から得られた A_2^* の値は概ね一致し、CFD の解析精度は十分だと考えられる。また、多孔質体モデルと標準高欄の非定常空気力係数 A_2^* が概ね一致しており、ねじれフラッターに対して多孔質体モデルの適用妥当性が示唆された。

6. 結論 圧力損失を模擬した多孔質体モデルで高欄を再現し、橋桁の空力振動特性を CFD で評価したところ、標準高欄を用いた場合の風洞実験や CFD から得られた非定常空気力係数 A_2^* とよく一致したので、ねじれフラッターに対して多孔質体モデルの

適用妥当性が示唆された。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 20H02232 の助成を受けた。

参考文献 [1]Nagao et al. (1997): J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 69–71, 819–827.[2]Bruno & Mancini (2002): Struct. Eng. Int., 12(4): 289–294.[3]高橋ら(2022): 風工学シンポジウム講演梗概集,Vol. 27,119-122



Fig.5 圧力損失算出時の解析領域

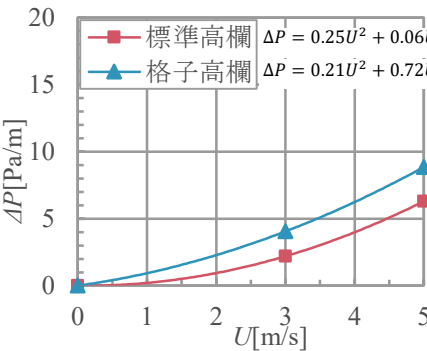


Fig.6 高欄中間部の圧力損失

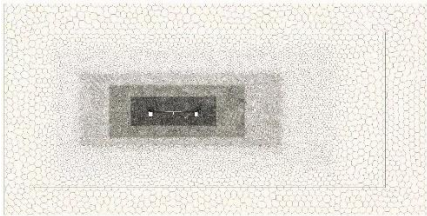


Fig.7 解析領域

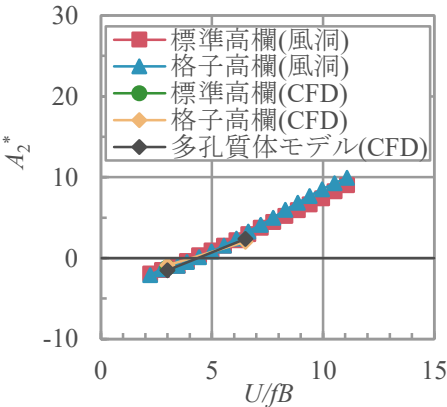


Fig.8 非定常空気力係数 A_2^*

Table1 圧力損失算出時の解析領域

ケース名	長さ	高さ	スパン長さ
標準高欄	16h	h	10h/3
格子高欄			4h/3

Table2 静的空気力係数

ケース名	CFD			風洞実験値		
	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	0.015
格子高欄	1.504	-0.346	0.023	1.584	-0.165	0.007
多孔質体モデル	1.547	-0.361	0.010	-	-	-

Table3 非定常空気力係数算出時の計算諸元

ケース名	格子数	無次元時間刻み $\Delta t U/D$	最小格子サイズ
標準高欄	67,437,767	1.4×10^{-3}	3D/2000
格子高欄	88,209,697		3D/2500
多孔質体モデル	65,180,942		3D/1000