

溝型, π 型と2主桁断面の空力応答特性

NKK 正会員○永島 寛之

九州工業大学 正会員 木村 吉郎 久保 喜延 加藤 九州男

1.はじめに 合理化2主桁橋は,製作工数の低減・現場作業の効率化・維持管理の簡略化により,経済性に優れていることからわが国では注目されており,支間長 80mを超えるものも建設されている.しかし合理化橋は,ねじれ剛性が低く断面形状がブラフであることから空力的に不安定となることがあるため,耐風性が満足される適用支間長等を明らかにすることが早急に求められている.そこで本研究では,2主桁断面の対風特性を把握し,その発生メカニズムを解明することを目的として一様流中で風洞実験を行った.

2.実験概要 先ず応答実験①を行い,2主桁断面と溝型, π 型断面の応答特性を比較検討して,2主桁断面の空力弾性振動の発生要因が上面と下面のどちらに存在するのかを検討した.そして,ストローハル数 $St(B)=(fB/V)$ 測定②と可視化実験③を行うことにより,その発生メカニズムの解明を試みた.①:たわみとねじれの1自由度応答実験を迎角 $\alpha=0^\circ$ で行った.模型の総幅員 B を溝型・ π 型断面では 300mm,2主桁断面では 200mm とした.ねじれでは,回転中心を模型の床版厚さの中心とした.模型の諸元を表1に示す.②:模型を迎角 $\alpha=0^\circ$ で固定し,2主桁断面周りに形成される渦の周波数 f [Hz]を,I型熱線プローブを用いて測定した.③:スモークワイヤー法を用いて白煙を発生させて,

表1 模型の諸元

断面形状	辺長比 B/D	固有振動数 [Hz]		単位長さ当り 質量 m [kg·s ² /m ²]	単位長さ当り 極慣性モーメント I [kg·s ²]	対数構造減衰率	
		たわみ f_η	ねじれ f_ϕ			たわみ δ_η	ねじれ δ_ϕ
溝型断面			3.10		3.10×10^{-3}		
π 型断面	2, 3, 4, 6, 8		3.25	0.562	2.70×10^{-3}	0.004	0.014 0.018
			3.35		2.50×10^{-3}		
					27.50×10^{-3}		
2主桁断面	1.0 5.7		5.4				0.012 0.015

※2主桁断面の斜線領域 i, ii はストローハル数 $St(B)$ の測定領域

迎角 $\alpha=0^\circ$ で固定させた模型の周辺流れの可視化を行った.模型の総幅員 B は 80mm とした.なお,①~③では模型の縮尺が異なるため,換算風速 $V_r(B)=(V/f_\phi B)=1.4$ における結果を用いて比較検討した.

3.実験結果 図1は,縦軸にたわみ振動の無次元発現風速 $V_r(D)=(V/fD)$,横軸に辺長比 B/D をプロットしたものである.図中の曲線を表わす式は,白石・松本¹⁾によって,式(1),(2)は前縁剥離渦励振,式(3)はカルマン渦励振の発現風速に対応するとされている.

$$V_r(D)=1.67(B/D), V_r(D)=0.83(B/D) \quad (1),(2)$$

$$V_r(D)=0.845 \exp(B/D)+5.755 \quad (3)$$

たわみ振動の無次元発現風速 $V_r(D)$ は,ほとんどの断面において式(1)上に存在するが, $B/D=8$ の π 型断面($b=0.7B$)(点□)ではどの直線上にも存在しない.しかし,辺長比を下面の主桁間隔 b を用いた b/D でプロットすると(点■),式(1)上に存在する.これは下面の主桁から剥離した渦によってたわみ振動が発生したためと考えられる.つまり,偏平で高欄の存在しない π 型断面では,下面の主桁からの剥離渦励振が発生するが,それ以外の2主桁断面や溝型・ π 型断面では上面の壁高欄や床版端からの剥離渦励振が発生すると考えられる.

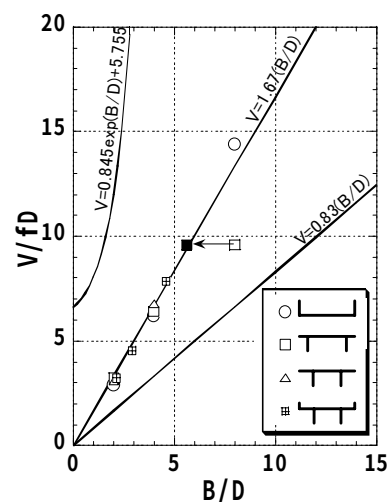
図1 たわみ振動の無次元発現風速 $V_r(D)$ と辺長比 B/D との関係

図2は,縦軸にねじれ振動の無次元発現風速 $V_r(B)=(V/fB)$,横軸に辺長比 B/D をプロットしたものである.図中の領域

キーワード: 2主桁断面, 溝型断面, π 型断面, 渦励振, 剥離

連絡先: 〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町1-1 Tel.(093)884-3466 Fax.(093)884-3100

は、吉村ら²⁾によって矩形断面におけるねじれ振動の発生要因を分類したもので、領域Ⅱはカルマン渦励振、領域Ⅲはimpinging-shear-layer-instability(以下、ISLI と略す)の基本波の渦との分数調波共振、Ⅳは ISLI の第 1 高調波の渦に起因する渦励振とされている。図 2 のように上面の総幅員 B を代表長として無次元発現風速 $V_r(B)$ をまとめた場合、溝型断面と π 型断面($b=0.5B$)において、 $V_r(B)=1$ 付近でねじれ振動が発生している。従って、このねじれ振動は、上面に発生する ISLI の第 1 高調波の渦による渦励振と考えられる。辺長比 $1.5 \leq B/D \leq 4$ の断面において、 $B/D=4$ の π 型断面以外は、 $V_r(B)=2$ 程度でねじれ振動が発生している。これは吉村らの結果によると、 $B/D \geq 3$ では領域Ⅱ内にあることからカルマン渦励振、 $B/D \leq 3$ では領域Ⅲ内にあることから ISLI の基本波の渦との分数調波共振と考えられる。しかし、これらの断面形状が矩形断面でないこと、また、それぞれの断面の発現風速が $V_r(B)=2$ でほぼ一定であることから、吉村らの分類とは発生原因が異なっている可能性があると考えられる。そこで、まずカルマン渦励振の可能性を検討するために、2 主桁断面の後流渦の $St(B)$ を測定領域 i で測定した。

図 3 は、2 主桁断面の $St(B)$ による共振風速 V_{cr} (後流渦の周波数とねじれ振動数が一致する風速) と無次元発現風速 $V_r(B)$ をプロットしたものである。共振風速 $V_{cr}(=f_\phi B/St(B))$ が $V_r(B)=2$ 付近に存在しないことから、 $V_r(B)=2$ におけるねじれ振動はカルマン渦励振ではないと考えられる。

次に、2 主桁断面周りの流れの可視化を行い、 B を代表長とした場合の無次元発現風速 $V_r(B)$ が 2 付近で一定となったことから、特に上面について着目した。写真 1 は遮音壁の高い 2 主桁断面($B/D=1.43$)を用いた場合の可視化映像である。床版上面の 2 つの渦(渦 1, 2)が下流側のエッジ(遮音壁)に衝突して 1 つの渦(渦 3)となり、断面後方へ大きく剥離している。つまり、床版上面で発生する渦、または断面後方へ大きく剥離する渦が下流側エッジにより大きな影響を受けているように見えた。そこで、下流側エッジ付近の測定領域 ii で渦の周波数を測定することとした。

図 4 は後流渦(領域 i)の周波数と下流側エッジ付近の渦(領域 ii)の周波数を応答図上にプロットしたものである。下流側エッジ付近に発生する渦周波数の $St(B)$ による共振風速 V_{cr} は $V_r(B)=2$ 付近に存在している。同様の結果は壁高欄で主桁高の高い 2 主桁断面($B/D=1.74$)においても得られた。従って $V_r(B)=2$ 付近で発生するねじれ振動は、下流側エッジ付近で顕著に観測される風速変動が原因であると考えられる。

4.まとめ 2 主桁断面のたわみ振動は、多くの場合上面のエッジから剥離した渦による前縁剥離渦励振で、その発現風速は(1)式で推定可能であった。また、辺長比 $1.5 \leq B/D \leq 4$ の 2 主桁断面のねじれ振動は、 $V_r(B)=2$ 付近で発生した。発現風速は、下流側エッジ付近の渦の周波数と 2 主桁断面のねじれ固有振動数が一致する風速と対応した。

〈参考文献〉 1) 白石・松本：充腹構造断面の渦励振応答特性に関する研究、土木工学論文報告集・第 322 号、1982 2) 吉村ら：扁平矩形断面柱のねじれの渦励振、風工学シンポジウム、1986

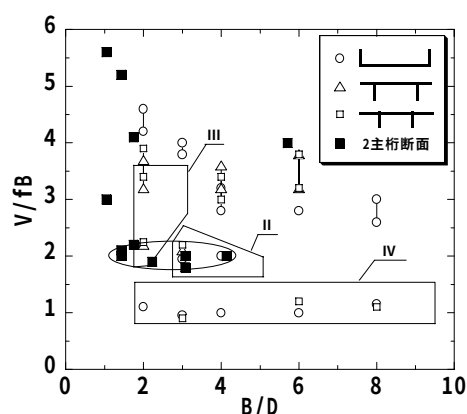


図 2 ねじれ振動の無次元発現風速 $V_r(B)$ と辺長比 B/D の関係

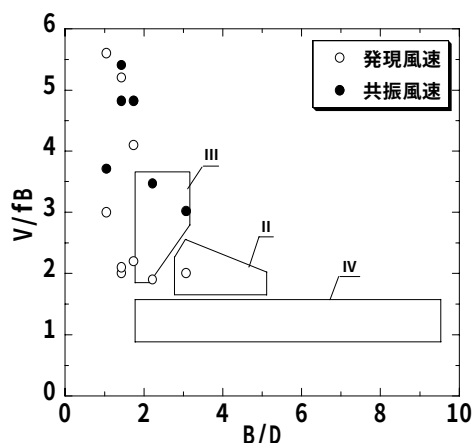


図 3 ねじれ振動の無次元発現風速 $V_r(B)$ と共振風速 V_{cr}

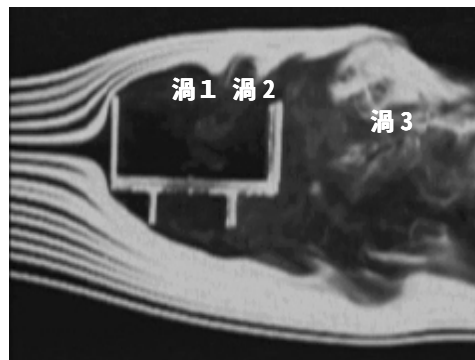


写真 1 $V_r(B)=1.4$ における可視化映像 ($B/D=1.43$)

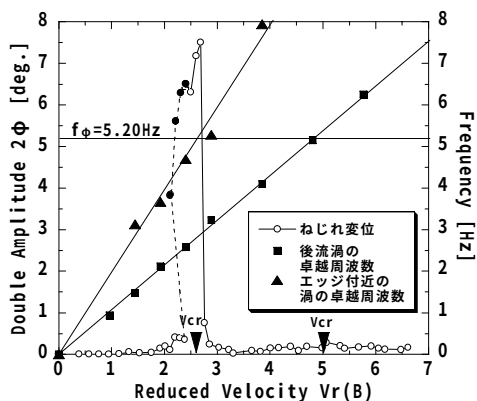


図 4 後流渦とエッジ付近の渦による共振風速 V_{cr} とねじれ応答との関係 ($B/D=1.43$)