

近畿大学大学院 学生員 ○檜尾 洋希

近畿大学理工学部 フェロー 米田 昌弘

近畿大学理工学部 真本 卓充

近畿大学理工学部 加藤 秀和

近畿大学理工学部 平野 洋

1. はじめに 旧タコマナローズ橋が落橋して 60 年以上が経過した現時点においても、旧タコマナローズ橋のねじれフラッター特性に関しては完全に解明されていない幾つかの疑問点が残されている。そこで、本研究では、出来る限り正確な旧タコマナローズ橋の構造諸元を算出するとともに、固有振動解析とねじれフラッター解析を実施して、旧タコマナローズ橋のねじれフラッター特性について考察を加えた。

2. 旧タコマナローズ橋の構造諸元と解析モデル 本研究では文献 1)を参照して出来る限り正確な構造諸元を算出した。算出した構造諸元を用いて旧タコマナローズ橋（センタースティを有する場合）の固有振動解析を実施し、固有振動数の解析値と実測値（渦励振とフラッター発現時の観測値）を比較することとした。その結果を表-1に示す。表-1より、解析値と実測値は比較的良く一致しており、算出した旧タコマナローズ橋の構造諸元は概ね妥当であったと推察される。

3. ねじれフラッターの解析結果と考察

旧タコマナローズ橋の空力応答特性を解析的に把握する場合、8つの非定常空気力係数のうち、ねじれフラッターに対しては M_{ϕ} 成分が、鉛直たわみ渦励振に対しては L_{η} 成分が必要となる。しかしながら、解析で必要かつ十分な M_{ϕ} と L_{η} は公表されていないことから、ここでは、 M_{ϕ} として田中が計測した $d/B=0.20$ のH型断面（旧タコマナローズ橋ときわめて類似した断面形状）の非定常空気力係数（ $0.125 \leq k \leq 1.0$ ）を、 L_{η} として成田が計測した $d/B=0.20$ の長方形断面の非定常空気力係数（ $1.2 \leq k \leq 2.0$ ）を代用するものとした。

(1) 全径間に一定の風を作用させた場合 センタースティが機能している場合の解析結果（ V - δ 曲線）を図-1に示す。図-1から、6m/s程度の風速域から励振力の弱いねじれフラッターが発生し、10m/sを越える風速域からは風速の増加とともに励振力が增大するねじれフラッターへと移行していること、また、構造減衰を無視すれば耐風性を支配するねじれフラッターモードは対称1次であることがわかる。さらに、旧タコマナローズ橋ではきわめて低い風速域で低次モードのたわみ渦励振が発現するだけでなく、風速が増加しても途絶えることなく高次モードのたわみ渦励振が次々と発現する様子を見てとれる。

ところで、図-2は、センタースティが有効に機能している場合と機能していなかった場合のねじれフラッターモードを表したものである。旧タコマナローズ橋の落橋ビデオからわかるように、旧タコマナローズ橋では側径間のねじれ成分をほとんどともなわない、ねじれ逆対称1次フラッターが発現している。それゆえ、旧タコマナローズ橋のねじれフラッター時には、センタースティは有効に機能していなかったと言える。そこで、たわみ渦励振の影響でセンタースティが緩んで、ね

表-2 解析値と実測値の比較

		固有振動数	
		解析値	実測値
たわみ	対称 1 次	0.122 Hz	0.130 Hz
	逆対称 1 次	0.128 Hz	0.131 Hz
	対称 2 次	0.196 Hz	0.194 Hz
	逆対称 2 次	0.281 Hz	0.262 Hz
	対称 3 次	0.338 Hz	0.325 Hz
	逆対称 3 次	0.401 Hz	0.393 Hz
	対称 4 次	0.471 Hz	0.457 Hz
	逆対称 4 次	0.539 Hz	0.525 Hz
	対称 5 次	0.614 Hz	0.590 Hz
	逆対称 5 次	0.689 Hz	0.657 Hz
ねじれ	対称 1 次	0.177 Hz	—
	逆対称 1 次	0.205 Hz	0.20~0.23 Hz

じれフラッター時には有効に機能していなかった場合を想定した解析を実施した。その結果 ($V-\delta$ 曲線) を図-3 に示す。この図から、ねじれ対称 1 次フラッター (図中の▲記号) とねじれ逆対称 1 次フラッター (図中の●記号) の励振力はほぼ等しく、ねじれ対称 1 次の構造減衰がねじれ逆対称 1 次よりも幾分大きい場合には、実橋と同じ逆対称 1 次モードのねじれフラッターが発現することも十分に考えられる。

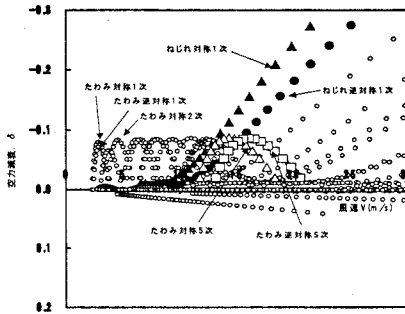
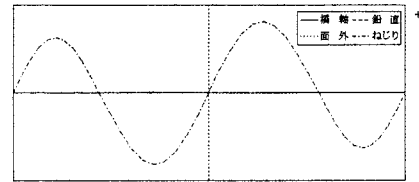
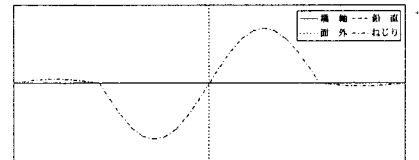


図-1 $V-\delta$ 曲線 (全径間に一定の風, センタースティあり)



(1) センタースティが機能している場合



(2) センタースティが機能していない場合

図-2 ねじれ逆対称 1 次のフラッターモード

(2) 側径間の一部に風を作用させなかった場合

センタースティが緩んで機能していなかった場合について、それぞれの側径間の陸地から 1/2 区間に作用する非定常空気力を無視 (残りの 1/2 区間および中央径間に作用する非定常空気力を考慮) してねじれフラッター解析を実施した。得られた解析結果を図-4 に示す。図-4 から、同じ風速ではねじれ逆対称 1 次 (図中の●記号) の方がねじれ対称 1 次 (図中の▲記号) よりも励振力が大きくなっていることがわかる。これは、センタースティが切断された状態のねじれ逆対称 1 次モードでは側径間のモード振幅がほとんど伴わないことから、側径間に作用する風はねじれフラッター特性にほとんど寄与しないのに対し、側径間のモード振幅をともなうねじれ対称 1 次モードでは風が作用しない側径間部分は励振力の低減に寄与し、フラッター風速を上昇させるように作用したためである。

6. まとめ

本研究から得られた主要な結果は以下の通りである。

- (1) 旧タコマナローズ橋ではねじれフラッター時にセンタースティは有効に機能していなかった。
- (2) センタースティが有効に機能していた場合には対称 1 次のねじれフラッターが発現した。
- (3) センタースティが有効に機能しない状態で側径間の一部に作用する風速が中央径間部分よりもかなり低かった場合には、実橋と同じ逆対称 1 次のねじれフラッターが発現する。

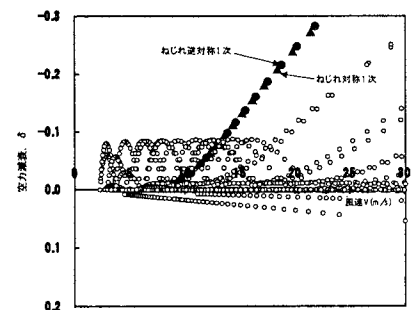


図-3 $V-\delta$ 曲線 (全径間に一定の風, センタースティなし)

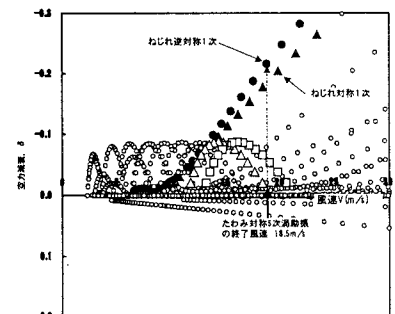


図-4 $V-\delta$ 曲線 (側径間のそれぞれ 1/2 区間に風を作用させない場合, センタースティなし)

参考文献 1) Farquharson, F.B.: Aerodynamic Stability of Suspension Bridges, Univ. of Washington Experiment Station, Bulletin No.116, PART I ~ PART IV, 1949~1954.