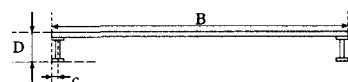


住友重機械工業(株) 正会員 ○大東義志
住友重機械工業(株) 正会員 武内隆文

1. はじめに 旧Tacoma橋の断面では異なる振動モード間の空気振動の干渉現象の存在が報告[1]されており、本研究では、そのH型断面と幾何学的類似性および多彩な空力特性を有する π 断面の端 2 主桁断面 (Two Edge Girders) についてそのような空気干渉現象に関する基礎的な考察を行う。また、動的耐風性向上の検討として、本断面では主桁を内側に配置することで安定化が図れる[2]ことから、それと同じ空力効果を期待してその断面の端部に水平プレートを設け、それらの動的耐風安定化についてフラッター特性の観点から検討を加えた。

2. 風洞実験概要 本研究で使用した模型はFig.1に示すように、断面幅 $B=300\text{mm}$ 、高さ $d=5\text{mm}$ (断面辺長比 $B/d=60$) の矩形断面を床版に用いた[2]。主桁形状は断面辺長比が $B/D=10$ となる I 桁を床版の端部に設置し、模型縮尺は $1/100$ とした。空力干渉に関する検討ではFig.1(a)に示す基本断面を用い、これまでの研究成果と固有値解析結果より空力干渉の起こる振動数を設定し、たわみ・ねじれ 2 自由度自由振動応答 (バネ支持) 実験を行った。風の傾斜角 (以下、迎角) は $\alpha=0^\circ$ とした。

次に動的耐風性向上に関する検討では、この基本断面端部に水平にプレートを設けた。床版端部に設けた水平プレートを上部水平プレート (Fig.1-(b))、下フランジ外側に設けた水平プレートを下部水平プレート (Fig.1-(c)) と以下呼ぶことにする。上部水平プレート、下部水平プレートの長さをそれぞれ e および e' と定義し、 e/D 、 $e'/D=0.500, 0.833$ 、($e, e'=15\text{mm}, 25\text{mm}$) の計 4 種類を用意した。これらを設置した断面を用いて、強制加振実験による非定常空気力を測定し、複素固有値解析結果から、それらのフラッター特性についての考察を述べる。強制加振実験では一様流中におけるたわみ・ねじれ各 1 自由度で行い、迎角 $\alpha=0^\circ$ 、 $\pm 3^\circ$ 、たわみ片振幅 $\eta_0=10\text{mm}$ 、ねじれ片振幅 $\phi_0=2^\circ$ とし、加振周波数は $f_{\eta 0}$ 、 $f_{\phi 0}=1.3\text{Hz}$ とした。



(a) 基本断面

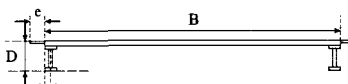
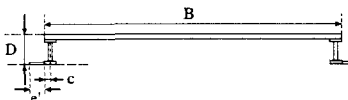
(b) 上部水平プレート付き断面($e/D=0\sim 0.833$)(c) 下部水平プレート付き断面($e'/D=0\sim 0.833$)

Fig.1 本研究で用いた模型断面

(I 桁断面, $B/D=10$, $c/B=0.013$)

3. 空力振動の干渉現象に関する考察

本研究ではいくつかの異なる空力振動現象のうち、無次元風速 $1.67B/D$ で発現する自己励起型のたわみ渦励

Table 1 中央支間長 600m 級の鋼斜張橋を想定した固有値解析結果

モード次数	振動数(Hz)	たわみ渦励振		ねじれフラッター	等価質量[kg/m]	等価慣性モーメント[kg・m]	Sc数
		one-set	ピーク	one-set			
ねじれ 1 次	0.600	*実橋換算風速[m/s]		54.0	4.372×10^4	3.279×10^4	1322
たわみ 6 次	0.847			58.4			

*これまでの研究[2]より 1 自由度バネ支持実験結果からそれぞれの発現風速と振幅ピーク値での風速で換算した。

振とねじれフラッターの空力的振動干渉について着目する。固有値解析結果の結果、Table 1 に示すようにたわみ渦励振の振幅ピークを迎えるやや低風速側でねじれフラッターが発生するねじれ 1 次モードとたわみ 6 次モードを想定し、振動数比は $f_{\phi}/f_{\eta} \approx 0.71$ とした。2 自由度自由振動応答実験の結果をFig.2-(a), (b)に示す。図中の V_p は固有値解析結果をもとに換算した実橋風速[m/s]である。ねじれ 1 自由度自由応答実験では無次元風速 $V/f_{\phi}B=2.7$ 付近でねじれフラッターが発現しているのに対し、たわみ渦励振の干渉を受けることで、フラッター発現風速は $V/f_{\phi}B=3.1$ と高風速側に移動し、ねじれフラッターが抑制される。さらに、たわみ渦励振の

励振力を変化させる意味で、たわみ振動の Sc_η 数を変化させた。たわみ Sc_η 数と2自由度におけるねじれモードでのフラッター発現風速の関係をFig.2-(b)に示す。これから、 Sc_η 数が小さい、つまりたわみ渦励振の励振力が大きいとさらにねじれフラッター発現風速は高風速域まで移動し、たわみ渦励振によりねじれフラッターが抑制される。逆に Sc_η 数が大きい、つまりたわみ渦励振の励振力が小さいとねじれフラッターの発現が低風速域側に移動する。このことから、端2主桁断面でも空力振動干渉の影響を敏感に受けやすいものと考えられる。

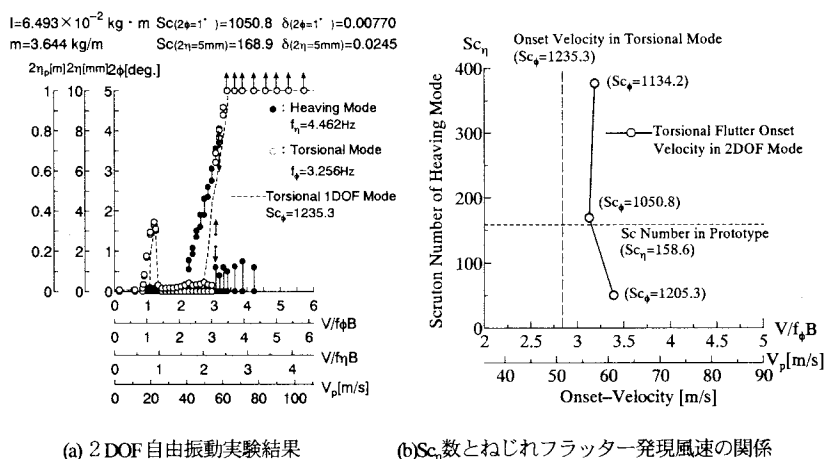


Fig.2 1桁断面の空力干渉にともなう応答変化特性

4. 動的耐風性向上に関する検討

断面端部に設けた水平プレート付き断面について、強制加振実験より得られた非定常空気力係数[3]を用いて、たわみ・ねじれ2自由度系複素固有値解析を行った。全ての断面において600m級の斜張橋を想定した諸元値を用いた。それにより得られたフラッター発現風速と下部および下部水平プレート長さ及び迎角(α)の関係をFig.3に示す。下部水平プレートを設置すること(Fig.3-(b))

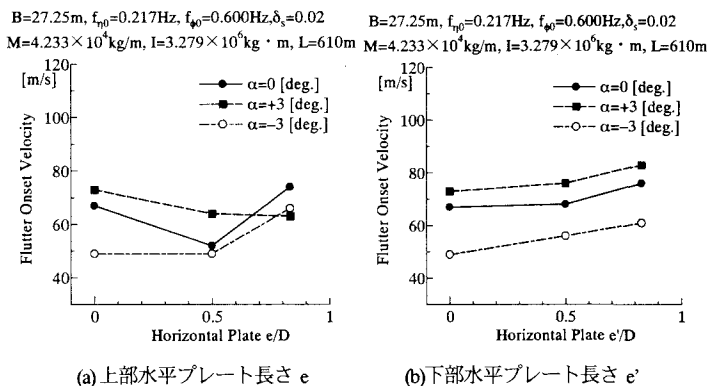


Fig.3 フラッター発現風速と水平プレート長さの関係

で、どの迎角($\alpha=-3^\circ \sim +3^\circ$)においてもその長さが大きくなるにつれてフラッター発現風速は大きくなり、下部水平プレート設置により耐フラッター性能が向上することが明らかになった。一方、上部水平プレートを付けること(Fig.3-(a))で、負迎角($\alpha=-3^\circ$)においてその長さが長いほどフラッター発現風速が向上し、耐フラッター性能が向上した。しかし、正迎角($\alpha=+3^\circ$)や $\alpha=0^\circ$ において、今回検討した長さの範囲においては、その長さとフラッター発現風速に明確な関係は見られず、必ずしも耐フラッター性能が向上したとは言えず、今後、さらなる最適な水平プレート長さの検討が必要と考えられる。

5. まとめ

- ◎端2主桁断面についても空力振動干渉の影響を敏感に受けやすい。例えば、たわみ渦励振の干渉を受けることでねじれフラッター発現風速は高風速側に移動し、ねじれフラッターが抑制される。
- ◎下部水平プレートはその長さが大きくなるほどフラッターに対する耐風安定性は向上する傾向にある。
- ◎端2主桁断面の耐風性向上には下面からの離れ制御が重要な役割を示すことが示唆された。

謝辞 本研究では京都大学大学院工学研究科 松本勝教授にご指導頂きました。ここに記して厚く謝意を表します。

また、白土博通助教授、八木知巳助手はじめ松本研究室の皆様のご助力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 [1] 松本、玉置、他；旧Tacoma橋における異種空力振動の干渉現象、第17回風工学シンポジウム論文集、2002。

[2] 松本、大東他；長大斜張橋端2主桁断面の空力振動発生メカニズム、日本風工学会年次研究発表会梗概集、1999。

[3] Scanlan, R.H., Beliveau, J.G., Budlong, K.S.: Indicial Aerodynamic Functions for Bridge Decks, Journal of the Engineering Mechanics Division, Proceedings of ASCE., Vol.100, EM4, August, 1974.