

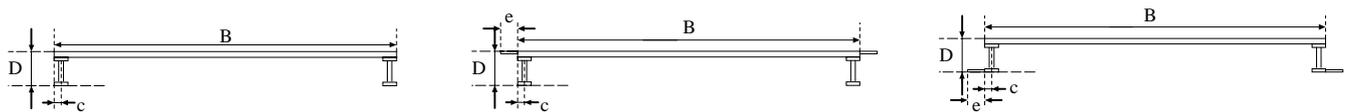
長大斜張橋端2主桁断面の異なる振動モード間の空力干渉および動的耐風性向上に関する検討

住友重機械工業株式会社 正会員 大東義志
 京都大学大学院工学研究科 フェロー 松本 勝

1. はじめに 本研究では、製作・架設コストの減少を目的とした少主桁構造の長大斜張橋端2主桁断面（Two Edge Girders）において異なる振動モード間の空力干渉に関する考察とさらなる耐風安定性向上を目指した断面開発を目的とした。旧Tacoma橋の断面で空力振動の干渉現象（たわみ渦励振がねじれフラッターを抑制する空力干渉現象など）の存在が報告[1]されており、実橋を想定したTwo Edge Girdersで異なる振動モード間の空力干渉機構について考察する。また、これまでの研究[2]より主桁を内側に配置した断面で安定化することから、上流側の剥離位置を変化させる目的で断面の床版端部および下フランジ外側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非定常空気力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桁を設置し、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自由度自由応答（パネ支持）実験を行い、その空力特性について考察を述べる。風の傾斜角（迎角）は $\alpha=0^\circ$ とした。



(a) 基本断面 (b) 上部水平プレート付き断面($e/D=0.5, 0.833$) (c) 下部水平プレート付き断面($e'/D=0.5, 0.833$)

Fig.1 本研究で用いた模型断面（I桁断面、 $B/D=10$ 、 $c/B=0.013$ ）

次に動的耐風性向上に関する検討では、この断面端部に水平にプレートを設け、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、下部水平プレートは長さをそれぞれ $e/D, e'/D=0.500, 0.833$ ($e, e'=15\text{mm}, 25\text{mm}$)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、それらの非定常空気力特性について考察を述べる。強制加振実験ではたわみ・ねじれ各1自由度で行い、風の傾斜角（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。

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、1.67- B/D で発現する自己励起型のたわみ渦励振とねじれフラッターの空力的振動干渉

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

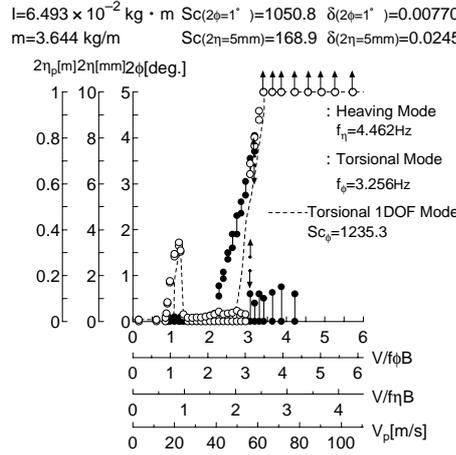
| モード次数 | 振動数(Hz) | たわみ渦励振 | | 実橋換算風速[m/s] | 等価質量[kg/m] | 等価慣性モーメント[kg·m] | Sc数 |
|-------|---------|---------|------|-------------|---------------------|---------------------|------|
| | | one-set | ピーク | | | | |
| ねじれ1次 | 0.600 | | | 54.0 | | 3.279×10^4 | 1322 |
| たわみ6次 | 0.847 | 45.7 | 58.4 | | 4.372×10^4 | | 159 |

これまでの研究[2]より1自由度パ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。

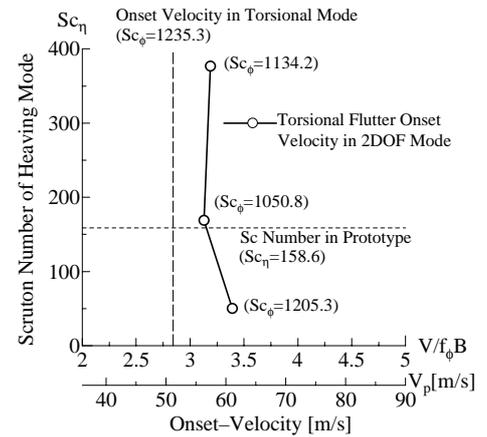
について着目する。固有値解析結果の結果、Table 1 に示すようにたわみ渦励振の振幅ピークを迎えるやや低風速側でねじれフラッターが発生するねじれ1次モードとたわみ6次モードを想定し、振動数比は $f_{\phi}/f_{\eta} = 0.71$ とした。2自由度自由振動応答実験の結果をFig.2-(a), (b)に示す。図中の V_p は固有値解析結果をもとに換算した実橋風速[m/s]である。ねじれ1自由度自由応答実験では無次元風速 $V/fB=2.7$ 付近でねじれフラッターが発現しているのに対し、たわみ渦励振の干渉を受けることで、フラッター発現風速は高風速側に移動し、ねじれフラッターが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

キーワード；長大斜張橋端2主桁断面，空力的振動干渉，渦励振，ねじれフラッター，水平プレート
 連絡先；住友重機械工業株式会社・鉄構・機器事業本部（〒550-0002 大阪市西区江戸堀1-10-8 06-6223-7461）

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 数を变化させた．Fig.2- (b)に示すようにたわみ振動の Sc_η 数の小さい、つまり、渦励振の励振力が大きくなる場合、さらにねじれフラッター発現風速は高風速側に移動し、たわみ渦励振によりねじれフラッターが抑制され、このような端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．一方、実橋での耐



(a) 2 DOF自由振動実験結果



(b) Sc_η 数とねじれフラッター発現風速の関係

Fig.2 I桁断面の空力干渉ともなう応答変化特性

風設計の観点から、この断面は空力振動干渉の影響を敏感に受けやすいため、充分な注意が必要であるが、たわみ振動の励起により、ねじれフラッターが不安定化する可能性は小さく、ねじれフラッター発現の抑制が今後の耐風設計上クリアしなければならない重要な項目の一つになる．

4. 動的耐風性向上に関する検討

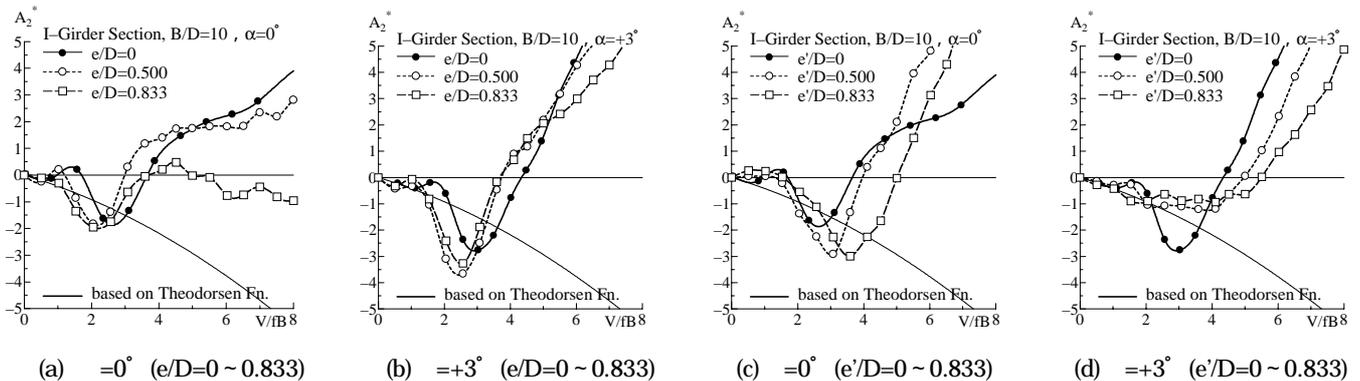


Fig.3 水平プレート付きI桁断面 (B/D=10) の非定常空気力係数 A_2^*

断面端部に設けた水平に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]のうち、ねじれフラッターに大きく寄与し、ねじれ振動の空力減衰を示す非定常空気力係数 A_2^* に着目する．紙面の都合上、 $\alpha=0^\circ, +3^\circ$ の A_2^* をFig.3 (a) ~ (d) に示す．下部水平プレート付き断面は測定迎角 ($\alpha=0^\circ, \pm 3^\circ$) いずれも下部水平プレート長さが大きくなるにつれて、 A_2^* はより高風速側で正値となり、ねじれ振動については耐風安定性向上が示される．一方、上部水平プレート付き断面ではねじれ1自由度では何も設置していない基本断面よりも低風速側で A_2^* は正値となり、ねじれ振動が必ずしも安定化したとは言えない．

5. まとめ 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く、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耐風安定性は向上する傾向にある．

上部水平プレート付き断面では基本断面よりもねじれ振動について耐風安定性が向上したとは言えず、今後、最適な長さの検討が必要と考えられる．

謝辞 本研究は京都大学大学院工学研究科気圏工学講座と住友重機械工業株式会社の共同研究として行われたことをここに付記するとともに多大なる御協力を頂いた関係各位に謝意を表する．

参考文献 [1] 玉置,松本,他;旧Tacoma橋桁断面の異種空力振動干渉に関する実験的研究,土木学会関西支部年次学術講演概要,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.