## 矩形断面におけるねじれ振動起因の大振幅空力自励振動応答

京都大学	学生員	○小松 尚弘	京都大学	正会員	八木 知己
京都大学	学生員	佐々木 雄多	(一財) 電力中央研究所	正会員	松宮 央登
(一財) 電力中央研究	歽	西原 崇			

1. 背景 空力自励振動は構造物を破壊することが ある. それゆえ,耐風設計上は自励振動の発現を避け るため,微小振幅域での構造物の空力不安定性が議論 の焦点となることがほとんどであり,大振幅域での自 励振動応答特性は未解明である. そこで本研究では, 旧 Tacoma Narrows 橋の落橋要因であるねじれフラッ ターが発現する,断面辺長比 B/D = 5 (B:幅,D:高 さ)矩形断面を用いた自由振動実験により,大振幅空 力自励振動応答特性の把握を試みた.また,時間領域 応答解析により自励振動応答を発生機構別に分類した. 2. 3 自由度弾性支持自由振動実験 実験装置は, Figure1 に示すような電力中央研究所の風洞設備<sup>1)</sup>を用 いた.模型は以下の3種類を用いた.

• Model1 : B = 125mm, D = 25mm, l = 1000mm

• Model2 : B = 300mm, D = 60mm, l = 1000mm

• Model3 : B = 500mm, D = 100mm, l = 1000mm

ただし、*l* は模型長さである.水平*x*・鉛直*y*・ねじれ  $\theta$ の3自由度系において、ねじれ振動数 $f_{00}$ を鉛直・水 平振動数 $f_{00}, f_{x0}$ と離す ( $f_{00}/f_{y0} \approx f_{00}/f_{x0}$ = 1.8~1.9)こ とでねじれ1自由度卓越振動を発現させ、水平・鉛直 方向に対する空力連成の影響を確認した.無次元風速 は $U/f_{00}B = 0~134$ の範囲で変化させた.

3. 時間領域応答解析 時間領域応答解析では、振動中の相対風速  $U_r$ ・相対迎角  $a_r$ から算出される準定常空気力を基本に用いた.しかし、準定常空気力にはねじれ速度同相項が含まれておらず、ねじれフラッターの発現を説明できないため、本研究ではねじれ方向には、式(1)のように仮想的にねじれ速度 $\theta$ を加味した空気力  $F_{\theta}$ を新たに考慮した<sup>2)</sup>.  $C_M$ はピッチングモーメント係数、G はねじれ速度同相項の係数である. G=0のとき、式(1)はねじれ方向の準定常空気力と一致する.

$$F_{\theta} = \frac{1}{2} \rho U_r^2 l \left\{ B^2 C_M(\alpha_r) \right\} + 2\pi G \frac{B\dot{\theta}}{U_r}$$
(1)

本研究では、以下の3自由度運動方程式を用い、4

次のルンゲクッタ法による時間領域応答解析を行った.

 $m_q \ddot{q} + 2m_q C_q \dot{q} + K_q(x, y, \theta) = F_q$  (2)  $q \, lx, y, \theta O N$ ずれかを表し,  $m_q lt f f f f m [kg](q = x, y)$ または慣性モーメント $I [kg m^2](q = \theta), C_q lt 構造減衰$ の係数,  $K_q lt 弾性ひもによる復元力である. G = 0 と$  $して, 準定常空気力を外力 <math>F_q$ に用いた解析に加えて, G > 0の範囲で,各ケースのねじれ応答振幅が実験結 果と合うようにGを調整した解析を実施した.

4. 実験結果と解析結果の比較及び考察 実験及び 解析で得られた定常応答振幅の、各自由度の固有振動 数成分を Figure2 に、ねじれ固有振動数成分を Figure3 に示す. 横軸は無次元風速 U/fmB, 縦軸は水平・鉛直 無次元倍振幅 2A<sub>q</sub>/D (q = x, y), ねじれ倍振幅 2A<sub>θ</sub> [deg.] とした.応答振幅が変化するときは最大・最小倍振幅 を示した.実験結果は各 Case でプロットを区別した. 解析結果は,G=0(準定常空気力)の場合は丸と四角, G > 0でねじれ速度同相項を考慮した場合は三角で示 した. 用いた G を Table1 に示す. 初期条件により異な る応答が見られた際は, mode1, mode2 で区別した. 矢印付きプロットは,その方向の振幅が測定可能域を 超え、定常応答を得られなかったことを示す. Figure2, Figure3 の同じ無次元風速域で Case 毎に振幅が異なる のは、各 Case でスクルートン数 (Sc $_{\theta}$ ) が異なるため である.実験では、ねじれ固有振動数で振動する鉛直・ ねじれ2自由度連成振動が見られた.発現風速付近で ねじれ1自由度が卓越しており、ねじれフラッター起 因の振動と考えられる. Sc<sub>e</sub>が小さい Case では、ねじ れ倍振幅 300 度に至る大振幅応答を示した.

U/feoB が 80 以下の領域では、Casel について、解析



キーワード: ねじれフラッター,大振幅応答,準定常空気力, 連絡先:〒615-8540京都市西京区京都大学桂 京都大学工学研究科社会基盤工学専攻 Tel 075-383-3244 で実験結果を再現できた. Table1 より,高無次元風速 域になるほど小さいGで実験結果が再現されたことか ら,低無次元風速域では空力不安定性に対するねじれ 速度の寄与が大きく,無次元風速が大きくなると寄与 が小さくなっていくと考えられる. さらに,本振動は ねじれ速度の寄与が大きいため,ねじれ1自由度系で も発現し得る振動であり,連成空気力によって鉛直に も応答が表れると考えられる.

Uff<sub>60</sub>Bが80以上の領域では、準定常空気力を用いた 解析から実験結果が再現された.よって高無次元風速 域では、空力不安定性に対するねじれ速度の寄与が非 常に小さい、準定常2自由度連成振動が発現すると考 えられる.また、準定常空気力を用いたねじれ1自由 度系での解析では応答を表現できないことから、本振 動は準定常鉛直・ねじれ2自由度連成振動であると考 えられる.尚、Case2,3については、Gを調節するこ とで解析による実験結果の再現を試みたが、応答が発 散し定常振幅を得られなかった.要因として、実験に おけるねじれ振幅が比較的大きいときは空気力が振幅 に対して非線形性を示し、線形のねじれ速度同相項を 加味した空気力では表現できないことが推察される.

5. 結論 1) ねじれフラッターを大振幅域まで許 容したところ, ねじれ倍振幅 300 度程度の振動が実験 で確認された.



2) B/D = 5 矩形断面において,比較的低無次元風速域で は,空力不安定性に対するねじれ速度の寄与が大きい, ねじれフラッター起因の2自由度連成振動が見られる. 本振動はねじれ速度起因の励振力により,ねじれ1自 由度系でも発現し得ると考えられる.無次元風速が大 きくなるとねじれ速度の寄与は小さくなり,無次元風 速が80以上の領域では連成空気力の影響によって,ね じれ速度の寄与が非常に小さい準定常2自由度連成振 動が発現する.ただし,ねじれフラッター起因の振動 から準定常2自由度連成振動に遷移する無次元風速は, 振動数比や振幅によって変化することも別途判明して おり,今後より詳細な検討の必要がある.

謝辞 本研究の一部は、一般社団法人日本鉄鋼連盟の助成を受けたものである.ここに記し、謝意を表する.参考文献 1) 松宮央登,西原崇:4 導体送電線の大振幅ギ

ャロッピング振動時における空気力モデルの検討,日本風工学 会論文集, Vol.38, No4, pp87-100, 2013

2) 佐々木雄多,八木知己,濱野真彰,松宮央登,西原崇:迎角 を有する断面辺長比2矩形断面の大振幅空力自励振動,第24回 風工学シンポジウム論文集 pp175-180,2016

Table1 The value of G

$U/f_{\theta 0}B$	42.9	52.4	62.0	71.5	80≦
G	0.080	0.060	0.041	0.030	0

