

k-εモデルによる B/D=2 矩形断面柱のねじれ振動の空力弾性応答解析

正会員 〇嶋田健司*1
同 石原 孟*2

ねじれ振動, 風洞実験, 流体解析, k-εモデル

1. はじめに B/D=2 断面は完全な離型断面と周期的再付着型断面の性質を示すことから数値解析的にはその適用性を検証する上で興味ある断面である。ねじれ振動ではねじれの渦励振, ねじれフラッター, 風速限定型ねじれフラッターが発現することが知られているが, 数値解析によりそれらが再現された例はない。以下本報告ではk-εモデルによりこれらの空力振動を再現することを試みる。

2. 解析方法・実験方法 解析は修正型k-εモデルによる。一般座標系により定式化した基礎方程式系を差分法により解いた。詳細は文献[1]を参照されたい。風洞実験はクロススプリングによりねじれ1自由度の回転機構を構成し, コイルスプリングで所要のねじれ剛性を付与した。減衰は電磁ダンパーにて与えた。詳細は文献[2]を参照されたい。

3. 結果

3.1 ねじれ自由振動の実験結果 図1にはねじれ1自由度振動実験結果を示す。図にはさまざまなScruton数 ($Sc=2I\delta I / (\rho B^2 D^2)$, I : 単位長さあたりの慣性モーメント) の場合について示した。本実験結果は計測されたr.m.s.値を $\sqrt{2}$ 倍して示した。図中〇印で示すScruton数が小さい場合, $Ur=5.5$ 付近で限定的な応答が見られ, $Ur=11$ 付近より発散的な振動となる。この内, $Ur=5.5$ はStrouhal数の約2倍の振動数に, $Ur=11$ はStrouhal数に対応一致している[2]。 $Ur=5.5$ で発振する渦励振はスプリッター板を挿入することで消失する[2]ことから, この振動はKarman渦の2倍の振動数成分によるものと考えられる。また $Ur=11$ から発振する発散型振動は, 発振風速がStrouhal数に対応した共振風速にはほぼ一致することから基本的にはKarman渦の影響を受けた渦励振として発振した後, 質量減衰比が小さいため発散振動へ移行したものと考えられる。一方, 図中×印で示すScruton数が大きい場合 ($Sc=50$) では $Ur=13, 24$ において, 応答が限定的になる様相を呈している。また, Miyata et al.の実験結果ではおよそ $Ur > 13$ において不安定なリミットサイクルがあることが示されている。

3.2 ねじれ強制加振時の非定常空気力 図2にはねじれ強制加振時の非定常空気力係数を示す。鷺津らの実験結果[3]の速度同相成分では, $Ur=5$ 付近からは非定常空気モーメントの速度同相成分は急激に負から正に転じた後, この

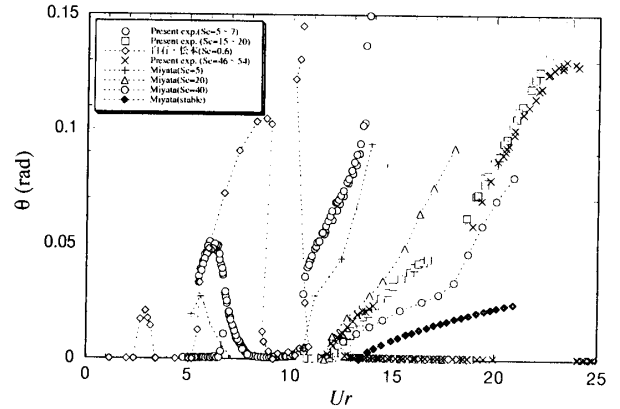
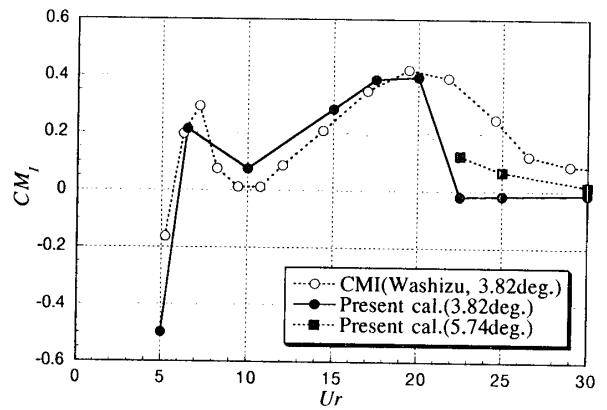
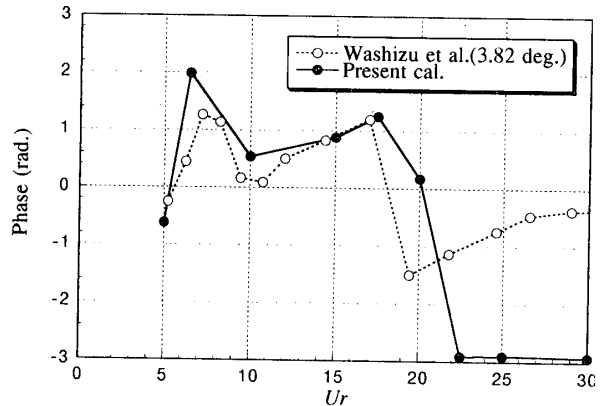


図1 B/D=2のねじれ自由振動におけるScruton数の効果



(a) モーメントの加振振動数同相成分



(b) 加振変位とモーメントの加振振動数成分との位相差

図2 B/D=2.0ねじれ強制加振時(加振振幅3.82°)の非定常空気力係数

加振振幅では $Ur=30$ までにわたって正であり振動の発現の可能性を示している。解析結果は $Ur \leq 20$ では鷺津らの実験結果と非常によく一致している。一方 $Ur > 20$ では解析結果の C_{Ml} はほぼ0か負になっており、位相差も異なっており約 180° のずれがある。ところで、図3には $Ur=6$ の時のねじれ強制加振時における側面上の非定常空力モーメント分布を示すが、本解析結果は、風下側側面の風圧変動が励振モーメントとなっているMiyata et al.[4]および瀬戸らの3次元数値解析結果[5]とも非常によく一致している。図2(a)で解析結果に $Ur > 20$ で励振モーメントが認められなくなる点について、例えばNakamura[6]は $Ur > 15$ で速度同相成分が負、すなわち減衰力に転じることがあることを示している。このことは本解析結果の速度同相成分が $Ur > 20$ で負に転じたことと対応している。ちなみに図2(a)には加振振幅をやや大きくした場合の解析結果も示すが、この無次元風速領域の空気力には振幅依存性が認められ、加振振幅がある振幅より小さいともしくは減衰力に転じることがわかる。したがってこの領域の振動は、減衰定数および質量比が小さく、応答がある程度以上に大きいと作用空気力は加振力となって応答は発達するが、減衰定数および質量比がある程度大きく、応答の発達がゆるやかであると、作用空気力は減衰力となり、応答は減少するようになる。図1でScruton数が大きい場合、 $Ur=13$ および24付近でねじれの応答が限定的に見える現象はこのように考えることができ、図2に示すような空気力の振幅依存性と深く関係しているものと考えられる。

3.3 ねじれ自由振動の解析結果 図4(a)にはねじれ1自由度自由振動時の解析結果と本実験結果の比較を示す。解析でのScruton数は $Sc=5.5$ (減衰定数は $h=0.325\%$) とした。図中で●は本解析結果を示す。本解析結果は $Ur=5.5$ で発振する渦励振から $Ur=10.5$ から発振するねじれフラッターまでを定量的にも十分な精度で再現している。図4(b)には $Sc=50$ ($h=0.44\%$) とした場合について示す。この場合、 $Ur=11$ 付近で応答が立ち上がるが、 $Ur=13$ 付近で一旦振動は治まる。 $Ur=20$ 付近において大きな初期振幅を与えると再び応答は発達するが、 $Ur=24$ で再び振動は治まっている。本解析はこのような風速限定型ねじれフラッターをもよく再現している。

4. まとめ $B/D=2$ 矩形断面柱のねじれ振動について風洞実験を行い、 $k-\epsilon$ モデルによる再現性について以下の結果を得た。(1)Strouhal数の2倍の振動数に起因する渦励振が再現された。(2)発散型のねじれフラッターが再現された。(3)風速限定型のねじれフラッターが再現された。

【謝辞】本研究の遂行にあたり京都大学大学院 松本勝教授に御指導を

* 1 清水建設(株)技術研究所・工博
* 2 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻・助教授・工博

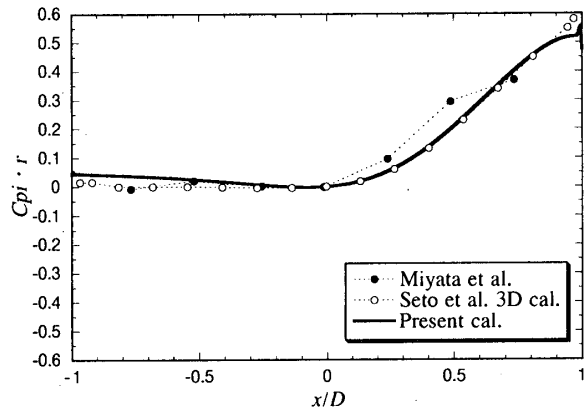
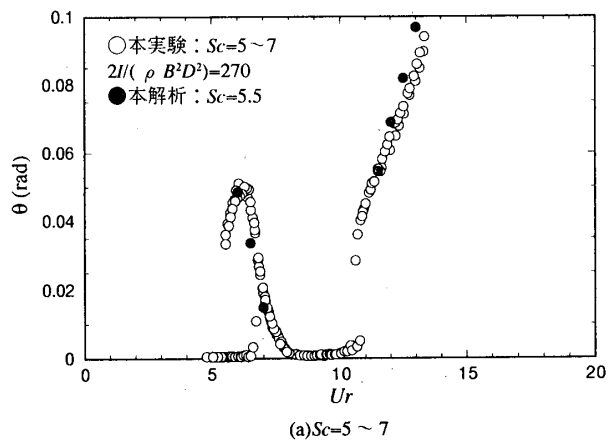
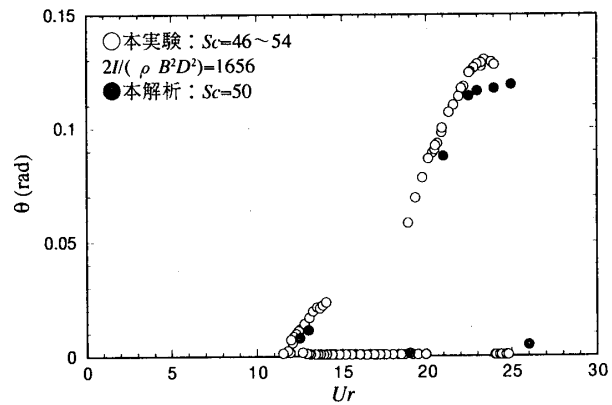


図3 $B/D=2.0$ 非定常空力モーメント $Cp_1 \times r$ ($Ur=6$, 加振振幅 2°)



(a) $Sc=5 \sim 7$



(b) $Sc=46 \sim 54$

図4 $B/D=2.0$ ねじれ自由振動時の解析結果と実験結果の比較

賜りました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】[1]嶋田・孟, 日本建築学会構造系論文集, 第514号, 73-80, 1998.12 [2]嶋田, 土木学会第55回年次学術講演会講演概要集 第1部, 2000.9 [3]鷺津・大屋他, 構造物の耐風性に関する第4回シンポジウム, 1976, 191-198 [4]Miyata, T. et al., *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* (1983) 14, 223-234 [5]瀬戸・伊藤・田村, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1997, 197-198 [6]Nakamura, Y. and Yoshimura, T., *J. of Sound and Vibration* (1982) 84(3), 305-317 [7]Matsumoto, M. et al., *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 69-71 (1997) 871-882

Institute of Technology, Shimizu Corporation, Dr. Eng.
Associate Professor, Univ. of Tokyo, Dr. Eng.