

I-A 166

風軸方向に振動する角柱周りの二次元流れ解析

NKK 正会員 加藤 真志

1. まえがき 振動する bluff な物体周りの流れを解析する試みが頻繁に見られるようになってきたが、その多くは流れ直角方向の振動であり、流れ方向の振動を対象としたものは多くない。二次元角柱の空力特性として、Kármán 渦による流れ直角方向の揚力変動、抗力係数 2.0 付近を平均値とする揚力変動の 2 倍の振動数で生ずる微小な抗力変動が知られている。岡島¹⁾は、Reynolds 数 1,000 で流れ方向に角柱を強制加振した場合の二次元流れ解析を行い、抗力変動に lock-in する特性を予測した。本研究では、流れ解析手法により、角柱を流れ方向に強制加振させた後、減衰自由振動時の減衰波形から得られる空力減衰が、準定常理論による計算値、あるいは風洞実験値とどのように対応するかを検討することとした。

2. 実験手法と解析手法 1 辺 $D=0.21\text{m}$ で長さ 1.6m の角柱模型を、NKK 構造物用風洞の測定洞(2m 幅× 3m 高さ)に設置した。模型は風軸方向に弾性支持(図 1)し、単位長さ重量は 14.25kgf 、振動数は 1.63Hz である。風速一定の条件で、模型を固有振動数で加振した後、減衰自由振動に移行させた。1~5m/s まで 1m/s 刻みの 5 風速で実験を行った。解析領域は流れ方向 $20D$ 、幅方向 $14D$ 、角柱の上流側 $4.5D$ 、格子は 70×64 で、閉塞率は実験と解析で等しい。解析プログラムは、TEAM (Turbulent Elliptic Algorithm Manchester) をベースに機能を拡張したものである。乱流モデルは修正生産項型の $k-\varepsilon$ モデル²⁾、対流項の差分は風速が QUICK、 k 、 ε が PLDS、圧力修正には SIMPLE スキームを用いた。解析でも、角柱を強制加振した後、振動諸元を実験条件と合わせた減衰自由振動に移行させた。なお、実験時の Reynolds 数は $14,000\sim 70,000$ 、解析では $22,000$ で一定とし、振動数を変化させることによって無次元風速を実験と合わせた。従って実験と解析で Reynolds 数は一致していない。そこで、本研究では Reynolds 範囲 $22,000\sim 220,000$ で空気力を歪みゲージで測定する実験を行い、表 1 の様に Reynolds 数依存性が小さいことを確認した。この結果から、解析と実験における Reynolds 数の違いによる影響は、ほぼ無視できるものと考えられる。

3. 実験結果および考察 実験に先だって、静止角柱の流れ解析を行った。この結果を表 2 に示す。解析値と実験値は概ね一致しているが、変動は解析値の方が小さく Strouhal 数は解析値の方が大きい。振動角柱の解析は、この角柱静止状態の結果から開始した。図 2 に無風時の減衰実験値に準定常理論に基づく空力減衰を付加した曲線と、実験および解析の減衰波形から得られた減衰値を示す。一般に、準定常理論では空力減衰は風速に比例して増加するが、本実験値は準定常理論値よりも若干小さい結果となった。流れ解析による減衰は、実験値と厳密に一致しないものの、実験値が示す傾向を概ね捉えている。図 3 は明確な lock-in が見られた無次元風速 3 の変位、抗力、揚力の時系列波形解析値である。抗力変動の RMS は静止角柱で 0.02 (表 2) であったが、lock-in により強制加振域では変動幅は 2.0 程度にまで増幅している。図 4 (b) の lock-in 時の流れは(a)の静止角柱の場合と大きく異なり、Kármán 渦の放出パターンが lock-in により崩されている様子が分かる。しかし、減衰するに伴い、静止角柱の抗力変動に近づいている。揚力変動は、加振振動数の 1/2 の振動数であるため lock-in せず、Kármán 渦成分と加振成分が混在しているが、減衰するに従って静止時の Kármán 渦による変動に戻っている。なお、明確な lock-in を示さない他の風速では、揚力変動や流れの様子は静止角柱のものと大きくは変わらず、抗力変動は加振成分に引きずられる形となっており、物体移動に伴う速度比例成分が空力減衰となる準定常的な考え方が概ね成立しているものと考えられる。

4. まとめ 流れ方向に角柱を強制振動させ、減衰自由振動に移行した場合の空力減衰について、準定常理論、風洞実験、流れ解析による評価を行った。その結果、以下の結論が得られた。

- (1) 実験値と準定常理論値は概ね一致するが、全般的に実験値の方がやや小さい値を示した。
- (2) 2 次元解析ではあるが、流れ解析は実験で得られた減衰の傾向を概ねとらえることができた。
- (3) 強制加振、および減衰時の減衰波形や抗力変動、揚力変動の様子から、減衰に至る過程の空力特性の変化

を考察する手法として流れ解析は有効である。

参考文献

- 1)岡島厚, 北島和幸, 河辺誠: 加振円柱および角柱の流体力測定と数値シミュレーション, 日本風工学会誌, 第55号, pp.81-82, 平成5年5月
- 2)Kato,M.,Lauder,B.E.: The modelling of turbulent flow around stationary and vibrating cylinders, The 9th symp. Turbulent Shear Flows, 1993

表1 角柱空力特性の Reynolds 数依存性
(本研究風洞実験値: 閉塞率7%)

Reynolds 数	C_{Dmean}	C_{Drms}	C_{Lrms}	St
22,000	1.99	0.06	1.06	0.134
44,000	2.02	0.06	1.03	0.132
110,000	2.07	0.08	1.11	0.123
220,000	2.09	0.10	1.13	0.122

C_D, C_L : 抗力, 揚力係数 $mean, rms$ は平均値と root mean square

表2 静止角柱の空力特性解析値(70×64)

Reynolds 数	C_{Dmean}	C_{Drms}	C_{Lrms}	St
22,000	2.00	0.02	0.82	0.145

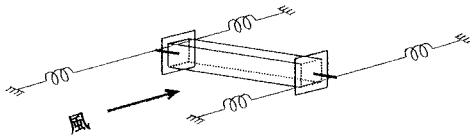


図1 角柱模型の支持方法

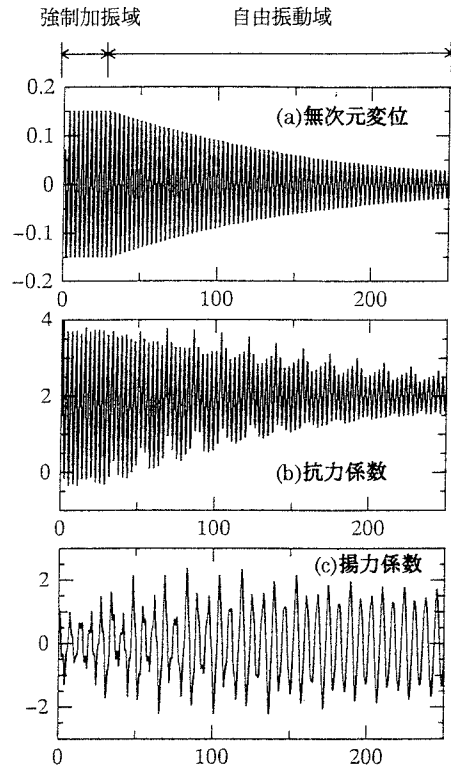


図3 変位、抗力係数、揚力係数の変化
(無次元風速3、横軸は無次元時間)

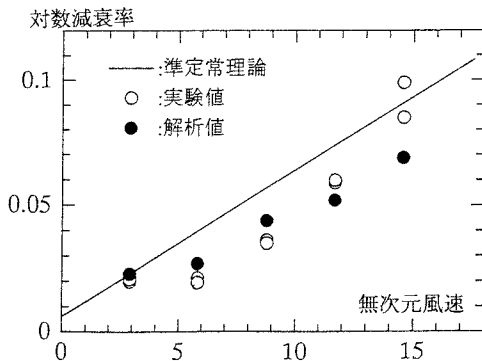


図2 風速と減衰の関係

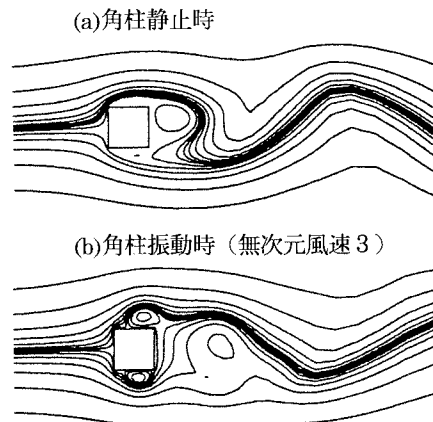


図4 流線の比較