

I - B11

LES を用いた空力振動角柱周りの流れの数値シミュレーション

神戸大学大学院自然科学研究科 正会員 中山 昭彦
 神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 ○永井 史保

1. はじめに

近年、コンピューターの大容量高速化に伴い角柱周りの流れの解析での LES の適用は急発展しており、その解析結果の高精度が確認されている。今回の研究では、その信頼性の高さから LES による一様流れに 2 次元角柱を設定し、変動風圧による空力振動の計算を行い、角柱振動に伴う角柱周りの流れの 3 次元数値シミュレーションを行った。振動解析周りの流れは乱流モデルを用いた 2 次元解析が加藤¹⁾ によりなされているが、3 次元数値シミュレーションを行う事により実際の状態に近い流れ場の再現を試み、比較的粗い実用的なメッシュによって、どの程度大規模乱れの 3 次元的挙動をとらえられるかを調べた。

2. 解析手法

計算領域と座標の定義を図-1 に示す。 U_0 は x 方向の流入速度である。振動する物体周りの流れ場を解くために、標準 Smagorinsky モデルに基づく LES を導入した 3 次元非圧縮 Navier-Stokes 式と連続の式を用いた。今回の研究においては、計算メッシュを角柱の位置に対して固定し、計算領域全体が角柱も含めて移動するという振動座標を取り扱っているため、計算領域全体に慣性力を加えねばならない。角柱振動は y 方向のみであるので、y 方向の Navier-Stokes 式にだけ加速度項 d^2Y/dt^2 を加えた式、

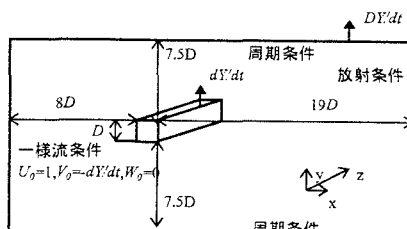


図-1 計算領域と座標の定義

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{d^2Y}{dt^2} \delta_{i2} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + (\nu + \nu_t) \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial \nu_t}{\partial x_i} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (1)$$

となる。ただし、添字 i, j は 1, 2, 3 と変化し x, y, z 方向を表す。 u_i は i 方向の流速、 ρ は流体の密度、 P は流体の圧力、 ν は動粘性係数、 ν_t は渦動粘性係数、 δ_{ij} はクロネッカーの記号である。

x, y, z 方向の流入速度は、固定座標では $U_0=1, V_0=0, W_0=0$ であるが、振動座標では $V_0=dY/dt$ となる。

差分スキームは対流項に 3 次風上差分、その他の空間項は中心差分とし、時間には Adams-Bashforth 法を用いた。圧力解法は HSMAC 法を用いた。計算格子はスターガードメッシュ系を用いており、メッシュ数は $101 \times 91 \times 21$ 、最小メッシュは $0.05D$ 、Re 数は Lyn²⁾ の実験と同条件にするために 22000 とした。

一方、角柱振動は角柱変位を Y とし、その 2 次微分、1 次微分を $\ddot{Y}, \dot{Y}$ とすると (2) 式に示す 1 自由度振動系の振動方程式に支配される。

$$\ddot{Y} + \frac{Sc}{\gamma_d V_R} \dot{Y} + \left(\frac{2\pi}{V_R} \right)^2 Y = \frac{P_F}{\gamma_d} \quad (2)$$

ただし、 Sc は質量減衰パラメーター、 γ_d は密度比、 V_R は無次元速度で、 P_F は流れの計算から得られた圧力のうち、角柱の上下面の圧力を積分したものである。よって、(2) 式は表-1 に示すパラメーターを与えることで解が得られる。

表-1 振動方程式に与えられたパラメーター

	Sc	γ_d	V_R
case1	34.4	286.6	7, 10
case2	34.4	30	20

(1)(2) 式の連成計算を行い、 Y や揚力係数 C_L 等の流体力を計算する。

3. 解析結果ならびに考察

図-2、図-3 に無次元角柱変位 Y と揚力係数 C_L の時系列波形を示す。 $V_R=10$ では初期に $0.3D$ で加振を行角柱 空力振動 LES

った。case1において $V_R=7$ で振幅が増加しはじめ、 $V_R=10$ で f_0 とストローハル数 S_L が完全に一致しており、渦励振状態になっている。図-2(b)を見ても Y は図-2(a)と比較して10倍以上になっており、その現象が確認できる。また、case2において図-2(c)に示すとおり $V_R=20$ でギャロッピングを再現できた。振幅が極度に増大し、 f_0 が S_L と比較して明らかに小さいことから、この現象の特徴をとらえていると言える。

次に、振動角柱が流れ場に及ぼす影響を調べるために、図-4に固定角柱、振動角柱周りのスパン方向中心面内の流速ベクトルを示す。振動角柱周りの流れ場は固定角柱と比較して下流にいく程乱れは増幅されていくのがわかる。図-5には、固定角柱、振動角柱周りの瞬間 z 方向渦度等値面を示す。(x,y,20)面の流速ベクトルもあわせて示す。角柱の上部から発生する渦は正の渦度、下部から発生する渦は負の渦度の等値面である。固定角柱の場合はカルマン渦発生に規則性があるのに対し、振動角柱の場合は不規則に乱れており、渦の y 方向の変位が大きい。このことから、振動角柱周りでは実際に設定した角柱よりも大きな角柱を設置した場合のような渦度分布になることが明らかになった。振動角柱が流れに及ぼす影響が良好に再現できたと思われる。

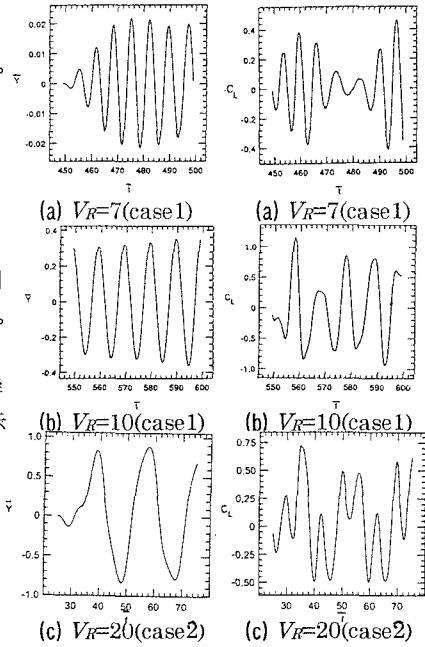
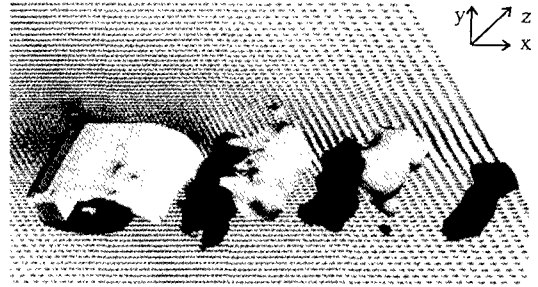


図-2 角柱変位-時間

図-3 揚力係数-時間



(a) 固定角柱

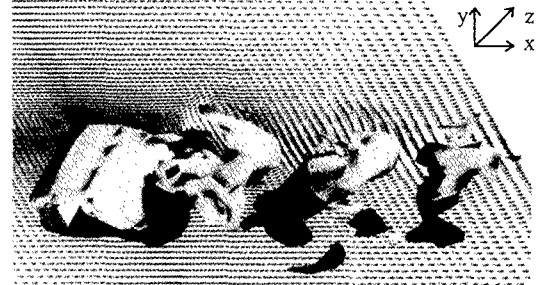


(a) 固定角柱



(b) $V_R=7$ 振動角柱

図-4 流れ場の流速ベクトル



(b) $V_R=7$ 振動角柱

図-5 瞬間 z 方向渦度等値面

- [参考文献] 1)加藤真志:修正生産項 $k-\varepsilon$ を用いた静止、振動角柱周りの二次元流れ解析.土木学会論文集, No.577/I-41, pp.217-230, 1997.10
2)D.A.Lyn, S.Enavi, W.Rodi & J.H.Park: A Laser-Doppler velocimetry study of ensemble-averaged characteristic of the turbulent near wake of a square cylinder. Journal of Fluid Mechanics, Vol.304, pp.285-320, 1995