

東京工業大学 正 野村卓史
 東京工業大学 正 吉田 裕
 新日本製鐵 正 菅野良一

1. はじめに 非圧縮性粘性流れの数値シミュレーションを行い、構造物、構造部材に作用する流体力の非定常な特性を評価することが重要視されている。流速と圧力とを変数とする有限要素法に基づく解析法は、明確な境界条件を設定できると、任意の断面形状の物体まわりの流れを対象とし得る点で、きわめて有力な手法であるが、非圧縮の連続条件を満足する解を得ることに基本的な難しさがある。筆者らは独自の解析過程¹⁾を開発してきており、これを一様流中に迎角ゼロで静止している正方形角柱まわりの流れに適用した。ここで解析した流れは比較的遅い流れであるが、流れと流体力の特性について興味深い結果が得られたので報告する。

2. 解析における諸条件 設定した境界条件、要素分割等を図1に示す。ここで f_x, f_y は圧力、粘性力の両方の寄与から成る節点力成分で、これらを規定することは対応する流速成分を自由とすることに相当する。初期条件は全領域で流速、圧力がゼロの状態とし、上流境界で与える流速は図2に示すように初期の20 stepで目標値 U_0 まで立上げている。 Δt は積分時間間隔、 $t^* (=tU_0/H)$ は無次元時間、 H は断面の辺長である。また Reynolds 数 ($\rho U_0 H / \mu$) は150である。境界条件、要素分割とも対称であるので、流れの対称性を崩すために、上流境界に沿って直線分布する微小な流速 $\tilde{u} (< 0.005 U_0)$ を20 stepに1度の確率で U_0 に加えた。

3. 流れの時間変化 x 軸上の点A~D (図1) における無次元流速 $u^* (=u/U_0)$ 、 $v^* (=v/U_0)$ の時間変化を図3に示す。流れの状況は、まず角柱背後に双子渦が形成されて成長し ($t^* \leq 45$)、これが崩れて非対称な流れへ移行し ($45 \leq t^* \leq 100$)、最終的には規則的に振動する流れに至った。図4は流れが規則的に振動ある時間領域における流速ベクトルを、Okajima²⁾ によって撮影された瞬時的な流線 (筆者らが模写したもの) と比較したものであるが、角柱のかなり後方に至

る広い範囲にわたって方向、位置とも良い一致を示している。このときの Strouhal 数は解析では0.164であり、Okajima による実験値 (0.14 ~ 0.145)²⁾ よりはやや大きい値が得られた。

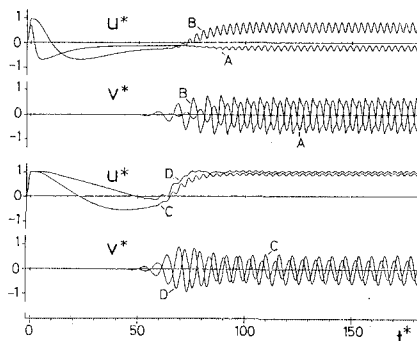


図3 流速成分の時間変化

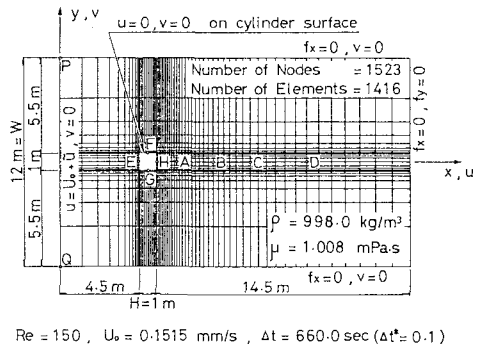


図1 解析モデル

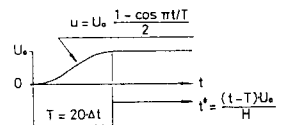


図2 上流境界の流速変化

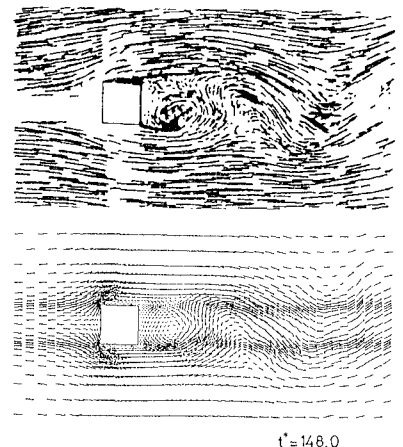


図4 Okajimaの実験²⁾との比較

4. 流れと流体力 図5(b), (c)は流れが規則的に振動している領域における抗力係数 C_D , 揚力係数 C_L , モーメント係数 C_M の時間変化を示したものである。 C_L と C_M は同周期で、 C_D は C_L の1/2の周期で変化している。これらの流体力は角柱表面の節点反力から直接求めたものであり、圧力だけでなく粘性による力の成分も含んでいる。図5(d)は角柱表面の点E~H(同図(a))の無次元圧力 $p^* (= p/\rho U^2)$ の時間変化を示したものである。角柱両側面F, Gの圧力差の変化が C_L の変化と対応し、角柱背面Hの圧力変化が C_D の変化と対応している。図6は C_L が極大値($t^* = 144.3$), ゼロ($t^* = 145.8$), 極小値($t^* = 147.3$)となる瞬間の角柱近傍の流れの場と圧力分布, および角柱表面の圧力分布である。 $t^* = 144.3$ では角柱背後に時計回りの循環をもつ渦が存在しており、 $t^* = 145.8$ ではその渦が下流へ移動するとともに崩れ始めている。また、このとき角柱下面側後縁付近に逆方向の循環をもつ渦が新たに形成され始めているのが認められる。 $t^* = 147.3$ では $t^* = 144.3$ のときと対称な流速, 圧力分布となっている。このような流れの状況から、 C_L の変化は相異なる循環方向をもつ1対の渦が発生し、放出される周期と対応していること、 C_D の変化は個々の渦の発生、放出の周期と対応していることが明らかである。このような流れと流体力の位相関係は、溝田ら³⁾が Reynolds 数 10^4 のオーダーの流れについて実験的に明らかにした状況と類似している。

1) 吉田, 野村: 土木学会論文集, No. 326, 1982. 2) Okajima: J. of Fluid Mech., vol. 23, 1982. 3) 溝田, 他: 土木学会論文集, No. 312, 1981.

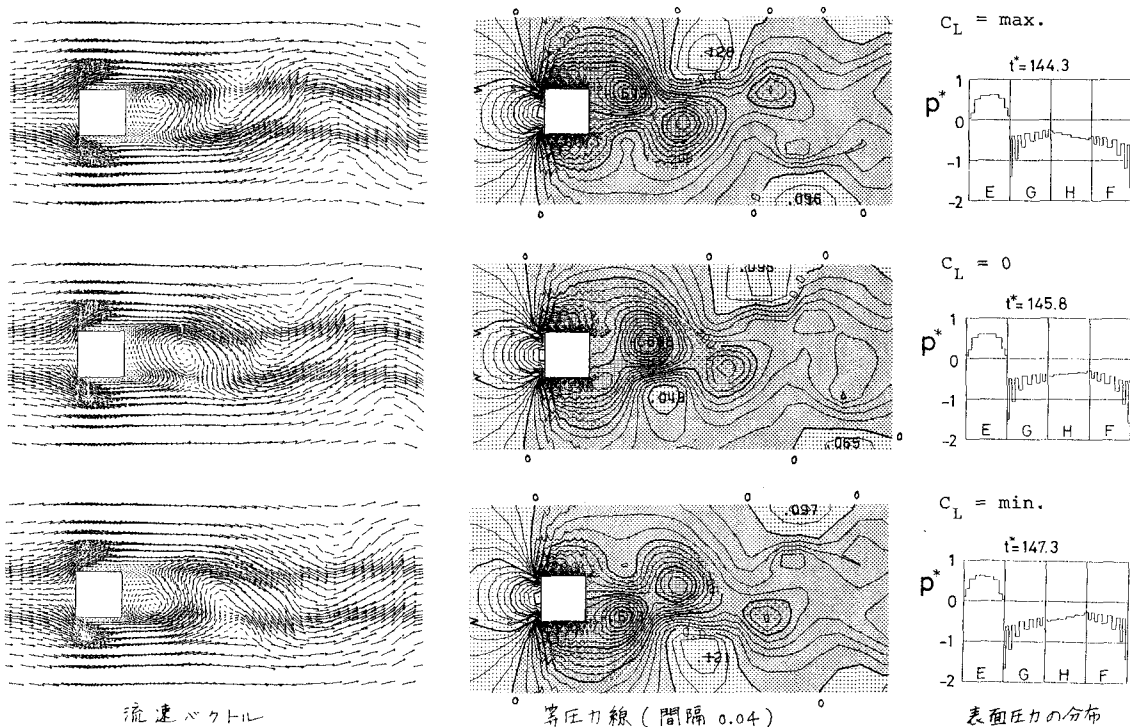
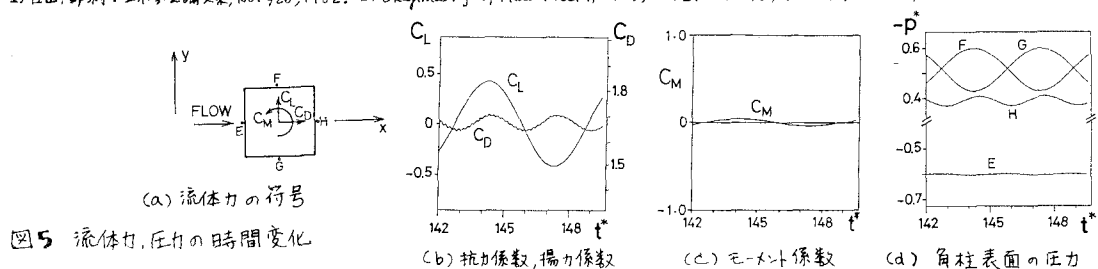


図6 流れの場と圧力分布