Vortex Shedding from an In-Line Forced Oscillating Triangular Cylinder

正 横井 嘉文 (防衛大)

畑山 清貴 (防衛大)

隈元 竹志 (防衛大)

吉留 栄春 (防衛大)

山下 隼平 (陸上自衛隊)

Yoshifumi YOKOI, National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa

Kiyotaka HATAYAMA, National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa

Takeshi KUMAMOTO, National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa

Hideharu YOSHIDOME, National Defense Academy, 1-10-20 Hashirimizu, Yokosuka, Kanagawa

Junpei YAMASHITA, Japan Self Defense Ground Force

Key Words: Vortex, In-Line Forced Oscillation, Lock-in, Triangular Cylinder

1. 緒 言

流れの中に置かれた柱状物体がその背後に形成される渦流れによって誘起される振動流れと相互干渉して自励振動を起こす流体関連振動現象は、工学的に大変重要な問題である。それゆえ、実験観測や数値計算などによってその流体力特性や発振機構の解明が試みられ、数多くの研究報告やそれらをまとめたレビューや研究展望などがある。^{(1)~(3)}しかしながら、それらの蓄積のほとんどは円柱について行われたものであり、円形以外の断面形状の柱体についてはあまり多くないのが現状のようである。基本断面形状である三角形や四角形についても円形同様データの蓄積をすることは、大変重要なことである。流体関連振動問題をより一層深く理解・把握するためには、円柱以外の柱体を用いて振動条件の範囲を拡大した一連の系統立てた綿密な調査が必要となる。これに関連する研究として、著者の研究グループはこれまでに正方形断面柱を用いて、流れに角を向けた尖頭四角柱や流れに平面を向けた平面四角柱を流れ方向に強制振動させた時の渦流れの可視化観測を行い、フローパターンや渦放出特性について報告している。^{(4) (5)}

本研究では回流水槽を用いて流れに角を向けた尖頭三角柱 (S.T.) や流れに平面を向けた平面三角柱 (F.T.) を流れ方向に周期的に強制振動させる系統的な水流可視化実験を行い、比較的高い振動数と比較的大きな振動振幅で三角柱を振動させた時の渦流れの様子や渦放出特性について報告する。

2. 実験装置および方法

2・1 実験装置概略 実験装置は回流水槽、振動装置、可視化装置、記録装置などから構成されている。回流水槽 ((株) 西日本流体技研 V2-A4) は長さ 5.8m、幅 1.2m、高さ 2.5m の垂直循環型で水流起生部、整流部、観測部および 4 つのコーナー部から構成されている。観測部は開口部を有する長さ 2m、幅 0.8m、水深 0.4m で、両側壁と底部に長さ 1.5m、幅 0.4m のガラス製観測窓を設けている。開口部にはレール軌道があり台車が設置されている。台車には三角柱や CCD ビデオカメラを取付けた振動装置や可視化装置が搭載される。振動装置は回転円板とそれを駆動する小型モータおよび回転運動を直線運動に変換するスコッチヨーク機構からなっており、振動振幅および振動数の変化は、回転円板上の回転半径および回転円板の回転数をそれぞれ変化させることにより得られる。

2・2 供試三角注および可視化と撮影の方法 供試三角柱は一辺の長さが 20mm の正三角形断面で長さ 600mm

のアルミニウム製である。振動装置に直角に取付けられ、流れに対して角や平面を向けて流れ方向に振動する。三角柱の上流側に振動する三角柱に当たらない適度な位置にてトレーサ浸出用の細管 (外径 1.6mm) が設けられている。可視化と撮影の方法は、細管より比重調整の行われたトレーサインク (ローダミン B) を浸出させ、観測窓からハロゲンライト (白色光 500W) および水面下 190mm の位置にレーザライトシート光 (Ar ガス, 最大出力 4W) を投光し、三角柱まわりの流れの可視化を行う。可視化された流れの様子は水面垂直上方から CCD ビデオカメラにて撮影し、ビデオテープに録画を行った。

2・3 実験パラメータの設定 平面三角柱および尖頭三角柱について、振動数比 f/f_K (三角柱振動数 f と三角柱静止時のカルマン渦放出周波数 f_K との比) を 0~9 の範囲で 29 段階とし、振動振幅比 $2a/d$ (三角柱振動の振幅 $2a$ と三角柱の投影幅 d との比) を 0.125, 0.25, 0.5, 0.75 の 4 種とし、回流水槽測定部流速 U を 0.085m/s ($Re=Ud/\nu$ で定義されるレイノルズ数 Re は 1900) として各パラメータを組合わせて実験を行った。

2・4 実験方法 回流水槽制御盤に運転周波数を入力し、回流水槽測定部にて希望する流速を設定する。次に振動片振幅 a を設定し、三角柱静止時の渦放出周波数 f_K をもとに段階的に三角柱振動数を設定して、細管からレーザライトシート光の面内に入るようにトレーサインクを浸出させる。ここで、三角柱から放出される渦の周波数 f_{VK} はモニタ画面上で任意に定めた観測位置 (柱体背後 $1.5d$ および $4d$ の位置) を通過する渦の個数と渦の計数に要した時間を計測することにより求めた。三角柱振動数 f は三角柱振動の周期を測ることにより求めた。

3. 実験結果および考察

3・1 渦放出に対する振動の影響 振動を与えた時のフローパターンの大まかな変遷過程は、平面三角柱および尖頭三角柱ともに振動周波数の増加とともに三角柱の二つの角より交互に渦が放出される交互渦放出 (Pattern A)、交互渦放出に時折同時に渦が放出される交互と同時に混在する渦放出 (Pattern B)、大きな渦模様を描く交互渦放出 (Pattern C)、同時渦放出 (Pattern D)、同時に渦が放出されその後合体して振動流れとなる同時放出合体振動流れ (Pattern E)、さらに振動数が増加すると同時に回転方向の異なる渦対 (マッシュルーム渦) が放出され柱体直後に淀み域を形成し流下するにつれて振動流れとなる同時渦対放出淀み域形成振動流れ (Pattern F) となる。但し、振動

振幅比 $2a/d$ の大きさにより出現するフローパターンの種類とその範囲は異なっている。図1は流れ方向に振動している平面三角柱からの渦放出周波数 f_{VK} を計測し、横軸に振動数比 f/f_K 、縦軸に渦放出周波数比 f_{VK}/f_K をとって、三角柱振動数 f が渦放出に与える影響結果を4種類の振動振幅比 $2a/d$ について示したものである。ここで、図中の実線 $f_{VK}/f=1/1$ と $f_{VK}/f=1/2$ は三角柱振動時の渦放出周波数と三角柱振動数との比であり、ロックインを意味する。また、渦放出周波数比 f_{VK}/f_K が1(図中点線)に近いほど渦放出に対する振動の影響が見かけ上少ないことを意味しており、 $f_{VK}/f_K=0$ に打点されている場合は観測位置において渦の計数ができなかったことを意味している。また、図中の文字記号は前述のフローパターンの出現を意味している。ここで、比較のため円柱の結果⁽⁶⁾も図中に○印(観測位置 $2.5d$)と□印(観測位置 $5.5d$)にて示している。振動振幅比が最も小さい $2a/d=0.125$ の場合、円柱の場合と比較すると振動の影響を受けにくく、ロックインの発生も限られていることが見てとれる。ここで同じ振動数比にてふたつデータが打点されているのは、渦放出において放出された渦が合体によってフローパターンが変化しているため観測位置 ($1.5d$ と $4d$) において渦の計数に異なりが生じるためである。振動数比 f/f_K が1より小さい領域にて振動の影響を受けていないのが見てとれる。しかしながら、振動数比が増加すると $f_{VK}/f=1/1$ ロックインや $f_{VK}/f=1/2$ ロックインが目立ち始める。さらに振動振幅比が大きい $2a/d=0.5$ や 0.75 では、振動数比 f/f_K が1より小さい領域より振動の影響を受けはじめロックインも顕著に生じており、高い振動数比では渦の計数が出来なくなっている。図2は流れ方向に振動している尖頭三角柱からの渦放出周波数 f_{VK} を計測し、横軸に振動数比 f/f_K 、縦軸に渦放出周波数比 f_{VK}/f_K をとって、三角柱振動数 f が渦放出に与える影響結果を4種類の振動振幅比 $2a/d$ について示したものである。振動振幅比による振動の影響の受け方は平面三角柱の場合と部分的異なりが若干あるが、総括的に同様の傾向を示していることが見てとれる。

3・2 ロックインする領域について 図3は、平面三角柱(F.T.▽印)と尖頭三角柱(S.T.△印)のロックインする領域内のフローパターンの分布(1/2 ロックインは二重記号)を観測位置 $1d$ (図3(a))と $4d$ (図3(b))について示したものである。ここで、比較のため円柱の実験データ⁽⁶⁾(C.C.○印)と他の研究者による既存のデータ⁽¹⁾(破線)も示している。平面三角柱と尖頭三角柱ではロックインが生じる振動数比に若干の異なりがあることが見てとれる。また三角柱は円柱と総合結果が異なることが見てとれる。そして観測視点の置き方によりロックインする範囲が異なることも見てとれる。円柱の場合のロックイン領域は、振動数比 f/f_K が $f/f_K=2$ あたりを中心に振動振幅比 $2a/d$ が増大すると拡大されている。それに対し、三角柱ではその逆の傾向にある。三角柱の場合は比較的小さい振動振幅比においてもロックイン領域の範囲は広く得られる。しかし、振動振幅比が大きく振動数比が高くなると渦の計数が出来ない状態となり、ロックインする範囲は狭まる。それゆえ、柱体近傍で観測すると三角柱のロックイン領域は振動振幅比が増大するにつれて縮小される傾向となる。

4. 結 言

- (1) 三角柱振動時の代表的なフローパターンを6種得た。
- (2) 振動振幅比が最も小さい $2a/d=0.125$ の場合、振動の影響を見かけ上受けていない範囲が最も広いこと。
- (3) ロックインする領域とその領域内のフローパターンの分布を得たこと。

(4) 円柱のロックイン範囲は振動振幅比が大きくなるにつれて広がるのに対して、三角柱の場合は振動振幅比が大きくなるにつれて狭まる傾向にあること。

5. 参考文献

- (1) 例えば、日本機械学会編、日本機械学会基準 S012 配管内円柱状構造物の流力振動評価指針、(1998)。
- (2) 岡島、機論(B)、65-635(1999)、2190。
- (3) 岡島、機論(B)、66-644(2000)、948。
- (4) 横井・他4名、機構論、No.025-2(2002)、229。
- (5) 横井・他4名、機構論、No.03-1(2003)、363。
- (6) 横井・平尾、機論(B)、投稿中(採択済)No.08-0171。

Fig. 1 Variation of mean vortex shedding frequency ratio f_{VK}/f_K with oscillation frequency ratio f/f_K in the case of F.T. cylinder

Fig. 2 Variation of mean vortex shedding frequency ratio f_{VK}/f_K with oscillation frequency ratio f/f_K in the case of S.T. cylinder

Fig. 3 Lock-in map, observation point; (a) $1.5d$, (b) $4d$