A112 スプリッタ板付振動円柱周りの流れの可視化

東京電機大学 河井 宏允

東京電機大学院 三原 宏昭 ○

Flow visualization around a vibrating cylinder with a splitter plate
by the smoke wire method

Hironasa KAWAI* and Hiroaki MIHARA *

Mechanism of flow induced vibration of a circular cylinder with a splitter plate was investigated by flow visualization technique using the smoke wire method. When the distance between the cylinder and the splitter plate is within some 2.5 diameter of the cylinder, the shear layer of the stationary cylinder reattaches on the plate not to form the regular vortex. On the other hand, the shear layer of the vibration cylinder is always rolled up regularly synchronously with the vibration even when it reattaches on the plate. When the distance is 1.5 diameter, the strong vortex sheds into the wake by the interaction of the rolling up of the shear layer and the edge of the plate, then the strong flow induced vibration is induced.

1. 序

通常円柱の後流にはカルマン渦と呼ばれている周期的な交番渦が発生し、風速を円柱の固有振動数と直径との積で割った無次元風速が5付近になると、渦の発生周期と円柱の固有振動数が一致し、渦励振と呼ばれる振動が生じる。静止円柱の後流にスプリッタ板と呼ばれる平板を設置した場合、Roshoko や Apelt の実験や Kawai の数値解析によって示されているように、スプリッタ板が円柱の後流に発生する上下の剥離剪断層の干渉を妨げ、周期的なカルマン渦の放出は著しく弱まる。このことから、スプリッタ板を設置することによりカルマン渦による励振現象を防止することができるのではないかと期待され、箱形やH形あるいは円柱の後流にスプリッタ板を設置した実験が行われた。しかし、スプリッタ板を設置しても、渦励振は収まらず、高風速域においては発散型の振動をも生じることが明らかとなった。

本研究では、スプリッタ板を設置した場合、どのような機構で振動が生じるかについて調べるため、円柱周りの流れをスモークワイヤー法で可視化し、渦励振時の円柱の振動と円柱周りの流れの関係を把握することにした。

2. 実験概要

実験に使用した風洞はエッフェルタイプのもので、測定部の断面は5 cm×20 cm、測定部長は60 cmである。円柱の直径Dは3.2 cmで、これに直径6 cmの端板を取り付けた。円柱は片持ち梁形式によって支持した。円柱の固有振動数 n は4.75 Hz、レイノルズ数は $1.5 \times 10^4 \sim 3 \times 10^4$ である。スプリッタ板の長さは円柱の直径の4倍である。スプリッタ板は風

* Dept. Civil Engineering, Tokyo Denki University, Hatoyama, Saitama, 350-03, Japan

洞壁に固定してあり、円柱のみが動くようになっている。流れの可視化にはスモークワイヤー法を使用した。スモークワイヤーには、直径0.45mmのニクロム線を波形に加工したものを用い、流動パラフィンに鉄粉を混合したものをこれに塗布した。ニクロム線は円柱の風上40mmの位置に設置した。撮影には8台のプロジェクター（プロキャビン67-Z、キャビン工業）を使用し、スリット光を煙にだけあてるように工夫した。撮影にはS-VHSビデオカメラ（日立・VM-S72）を用い、絞りは自動、シャッタースピードは1/60秒に設定した。この映像をビデオプリンター（日立・VY-P1）で出力したのち、スケッチにした。

3. 実験結果

3. 1 静止円柱と振動円柱の周りの流れ場の違い

Fig.1 に静止円柱と振動円柱の周りの流れ場を示す。円柱が静止している場合、スプリッター板と円柱の間隔 X が円柱の直径の2.5 倍以内では、剥離剪断層がスプリッター板に再付着するため、円柱から周期的な渦放出は生じない。しかし、 $X/D=3$ 以上になると、剪断層が円柱とスプリッター板との間で交互に巻き込まれ、カルマン渦が形成される。一方、振動円柱においては、スプリッター板の設置位置にかかわらず、円柱の動きに同期して剪断層が巻き込まれ、円柱の後流にカルマン渦が形成される。

Fig.1 Flow patterns around vibrating and stationary cylinders with a splitter plate.

3. 2 スプリッター板の設置位置と流れ場との関係

Fig.2 に円柱とスプリッター板との間隔を変化させた場合の振動円柱の周りの流れ場を示す。いずれの図も、円柱の振幅が最大に達した時の、円柱が最下端にきた時のものである。 $X/D=0.5$ までは剪断層はスプリッター板上で巻き込まれる。この場合、渦はあまり発達せず、その結果円柱の振幅もあまり大きくはならない。 $X/D=1.5$ になると、剪断層の巻き込む位

置がスプリッタ板の風上端に達する。これにより、スプリッタ板のエッジとの干渉により、剪断層の巻き込みが強まり、極めて大きい渦が形成される。そして、それに伴って円柱の振幅も大きくなる。この場合、スプリッタ板のエッジ付近で生じた渦は、スプリッタ板上を移動しながら後流へ放出される。 $X/D=2$ 以上になると、剪断層は円柱とスプリッタ板の間で巻き込まれるようになる。円柱とスプリッタ板との間隔が増大するにつれ、剪断層の巻き込みとスプリッタ板のエッジとの干渉は弱まり、円柱の振幅はしだいに減少する。このように、スプリッタ板のエッジと剪断層の巻き込みとの干渉は、渦の発達及び円柱の振動に大きな影響を及ぼす。

3. 3 振動円柱の流れ場の変化

Fig. 3 に振動円柱の流れ場の変化を 1 周期について観察したものを、 $X/D=1$ 及び 4 の場合について示す。スプリッタ板のエッジでの剪断層の巻き込みが大きくなる $X/D=1$ の場合、上側の剪断層の巻き込みにより形成された渦の後流への放出は、円柱が最下端から上に向かって動く時に開始される。この放出に伴って、円柱の上側から新たな剥離剪断層の巻き込みが開始される。円柱が最上端に達した時、この巻き込まれた剪断層は丁度スプリッタ板の風上側のエッジにあたる。こののち、円柱が下に向かって動くにしたがい、剪断層はスプリッタ板上でますます巻き込まれ大きな渦を形成する。一方、

$X/D=4$ 以上の場合、円柱が最下端から上に向かう時に下側の渦が放出され、下側の剪断層の巻き込みが開始する。上側の渦の放出は円柱が下に向かう時に生じ

Fig.2 Flow patterns around a vibration cylinder with a splitter plate.

る。この場合には、スプリッタ板のエッジによる干渉は生じず、渦は次々と後流へ放出される。以上のことから、渦放出のタイミングは、 $X/D=1$ の場合と全く逆である。しかし、 $X/D=1$ と $X/D=4$ の流れ場を比較した場合、大局的には極めて類似していることが注目される。即ち、渦放出に伴う流れ場の揺れは、渦放出のタイミングの相違によらず同じとなっている。

4. 結論

スモークワイヤー法を用いて、スプリッタ板付振動円柱の流れを可視化し、振動と流れ場の関係調べた。これにより、以下のことが明らかになった。

$X/D \leq 2$ までは、静止円柱の場合、スプリッタ板による上下剪断層の干渉阻止効果によってカルマン渦のような周期的渦発生は生じない。しかし、この場合においても無次元風速5付近から励振が発生する。これは、振動に伴って剪断層が周期的に巻き込まれることによる励振で、いわゆる前縁剥離型の自励振動であると言える。この励振は、剪断層とスプリッタ板の風上端との干渉によって、剪断層が大きく巻き込まれる場合に最も大きくなる。一方、 $X/D \geq 3$ の場合には、静止円柱の場合でも交番渦の放出が見られることから、この場合の励振は、スプリッタ板を付けない場合と同様、剪断層の干渉による渦の巻き込みと振動との同期現象による通常のカルマン渦励振であると考えられる。

参考文献

- 1) Rosko, A. 1954, NACA Tech. Note 3169
- 2) Nakamura, Y and Nakashima, M 1986, J. Fluid Mech, vol. 163, pp. 149-169.
- 3) 河井 宏允, スプリッタ板を有する円柱の振動に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1989, pp. 87-88
- 4) 三原・河井, 円柱の渦励振に及ぼすスプリッタ板の効果について, 日本風工学会年次発表会・梗概集, 1991, pp. 37-38

Fig.3 Flow patterns around a vibration cylinder in a cycle.