

I-A 157

近接する並列円柱の強制加振時の振幅依存性に関する数値流体解析

中央大学 正員 平野 廣和 中央大学 学員 丸岡 晃
三井造船 正員 林 健一 三井造船 正員 井上 浩男

1 はじめに

斜張橋の並列ケーブルにおいて、ある特定の風向から風が吹くとき、ケーブルが顕著な振動現象を起こすことが報告されている。この現象は、既知の通り、複数列構造物間の流れの干渉によって起こる現象で、上流側にある構造物の後流渦などの影響により下流側の構造物が複雑な振動現象を起こすことであり、ウェーク・ギャロップ現象と呼ばれている。著者らは、この現象の空力応答特性を把握する事を目的として、有限要素法に基づく数値流体解析により、各種の検討を行ってきた^{[1],[2]}。このなかで、現象そのものが非定常性の強いものであることが考えられた。そこで、本報では加振振幅と無次元風速をパラメータとして、後流側円柱を強制加振した状態での解析を試み、非定常空気力に関して考察を行うものである。

2 流れの数値解析

流れの場の基礎方程式は、Navier-Stokesの運動方程式をALE記述で表現し式と、連続の方程式である。これらを、分離型有限要素法に基づき、3段階テラー・ガラキン法により解析を行った^[2]。

斜張橋の並列ケーブルを図-1に示すように、直径 D とする円柱が二次元的に並列に並んでいる状態にモデル化する。 S_H, S_V は、近接する円柱の中心間の水平間隔および垂直間隔を示す。本報では水平間隔を $S_H = 2D$ とした。解析は、下流側のケーブルを無次元振幅 y_0/D と無次元風速 $V_r = u/N_\eta D$ をパラメータとして流れに直角な方向に正弦波による強制加振を行った。具体的な値は、不安定ナリミットサイクルをもつハード型の応答を示す風洞実験^[3]（図-2）の結果を参考として、 $V_r=50.0$ では $y_0/D=0.05, 0.1, 0.2, 0.25, 0.3, 0.4, 0.5$ の7種類を、 $V_r=100.0$ では $y_0/D=0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$ の6種類である。それぞれ30波の強制加振を行い、非定常空気力を算出した。

非定常空気力の算出方法は、数値流体解析で一樣流中での後方円柱の強制加振により得られた揚力の時系列データを、複素フーリエ変換を行うことにより、実数部($CI(R)$)と虚数部($CI(I)$)とに分割することにより算出した。さらに、揚力の振幅波に対する位相遅れも併せて表-1に示した。一般に、振幅は揚力係数の虚数部($CI(I)$)が正の値を示すならば発散

傾向、ゼロ付近の値ならば定常振幅、負の値を示すならば減衰傾向をそれぞれ示すことが知られている。

解析領域は、流れの方向に $38D \times 19D$ 、上流が円柱から流入境界までが $9.5D$ 、下流が円柱から流出境界までが $25.5D$ とした。境界条件は、流入境界を一樣流、流出境界では圧力のディレクレ条件を、上下の壁面では鉛直方向の流速を0.0、円柱表面では円柱の上下方向への運動流速を与えている。有限要素分割数は、総節点数22,059、総要素数43,320である。また、解析のレイノルズ数は、円柱の直径を代表長さとして、 $Re=1,000$ として解析を行った。なお、解析では流入流速の値を一定として、強制加振振動数 N_η を変化させることにより無次元風速を変化させている。

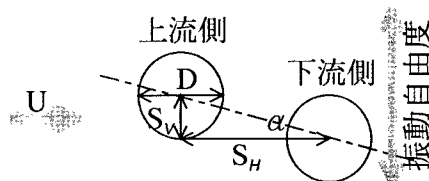
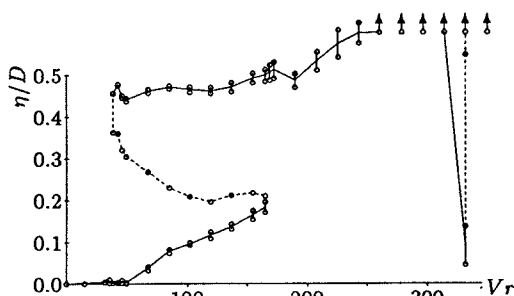


図-1 並列ケーブルの解析モデル

図-2 風洞試験による風速と振幅の関係^[3]

3 解析結果及び考察

表-1に、数値流体解析結果より得られた非定常揚力より算出した非定常空気力及び位相差を示す。また、図-3には、加振振幅と揚力係数の虚数部分の比較を、図-4には加振振幅と非定常揚力係数($CI(ABS)$)の比較をそれぞれ示す。

図-3より、 $V_r=50$ では加振振幅 $y_0/D=0.25, 0.3$ において定常振幅を示す傾向が、これより加振振幅が

小さい場合は発散の傾向を示している。また、加振振幅を $y_0/D=0.4$ に増加すると発散傾向を、さらに振幅を増加させ $y_0/D=0.5$ とすると、減衰傾向を示している。図-2の風洞試験結果と比較すると、強制加振振幅が $y_0/D=0.3$ を越えた領域では、実験結果で得られている現象とほぼ等しい傾向がつかめている。しかし、これより低い強制加振振幅の場合は、実験では減衰傾向であるのに対して、解析では発散する傾向が得られ、若干の相違が生じている。

次に、 $V_r=100$ では、図-3に示すように $y_0/D=0.05$ では定常状態を、 $y_0/D=0.1$ では大きな発散の傾向を、 $y_0/D=0.2, 0.3, 0.5$ では若干の発散の傾向を、 $y_0/D=0.4$ では定常状態を示している。図-2の風洞試験結果と解析比較すると、 $y_0/D=0.4$ での発散の傾向ならびに $y_0/D=0.05$ での減衰傾向は、両者ともにほぼ等しい状態となっている。これに対して、実験では振幅が $y_0/D=0.2$ 以下ではハード型の応答を示しているのに対して、解析では発散の傾向を示している。また、 $y_0/D=0.5$ では実験では定常性が得られているのに対して、解析では若干の発散の傾向を示している。これらの相違が生じている要因の一つとして考えられることは、解析が構造減衰を考慮していないことによると考えられる。

ところで、図-4によると加振振幅が $y_0/D=0.2$ から $0.25, 0.3$ へ変化するところで、非定常揚力係数の勾配が他と比較して大きくなる傾向を示している。ところで、文献^[1]によると、迎角が 8° 付近において定常揚力が激変することが得られている。これは、加振振幅 $y_0/D=0.2$ から $0.25, 0.3$ の間に相当している。ここでの非定常揚力係数の勾配の変化は、outer accelerated flow から gap flow への流れの switching に密接に関連していると考えられる。

4 おわりに

ウェーク・ギャロッピング現象そのものが非定常性の強いものであると考え、加振振幅と無次元風速をパラメータとして、後流側円柱を強制加振した状態での解析を試み、非定常空気力の算出を行った。風洞試験においては、不安定なリミットサイクルを持つハード型の応答特性が得られていたが、解析結果では、加振振幅が大きい側では実験とほぼ等しい現象が得られたのに対し、加振振幅が小さい側では、はっきりとした減衰傾向が得られず、実験との若干の相違が生じた。

今後の検討課題としては、解析を行った点数が十分ではないので、さらに詳細な点を解析する予定である。また、現在、数値流体解析では、前述のように既往の風洞試験法とは異なり、流入流速を固定し無次元流速を変化させている。この影響に関しても検討する必要があるので、今後は、流入流速の値を変化させて無次元流速を変化させた場合の解析も試みる予定である。

ところで、本解析にはパーソナルコンピュータ (POLYWELL 300W, WindowsNT仕様) を使用し、計算1ケース当たり160,000回の繰り返し計算で、約10時間の計算時間を要した。なお、本研究の一部は、文部省科学技術研究費・一般(c)の給付を受けたことを付記する。

参考文献

- [1] 平野, 丸岡, 中久保: 近接する並列円柱の空力特性に関する数値流体解析, 日本風工学会誌, 第64号, 1995
- [2] 平野, 丸岡, 林, 井上, 池ノ内: 近接する並列円柱の空力応答特性に関する数値流体解析, 構造工学論文集, Vol. 41A, 1996
- [3] 林, 赤瀬, 井上: 並列ケーブル振動時における振幅依存特性について, 第13回風工学シンポジウム, 1994

表-1 非定常空気力及び位相差

V_r	y/D	$Cl(R)$	$Cl(I)$	$Cl(ABS)$	位相差
50	0.05	0.00832	0.00111	0.00839	7.59
50	0.1	0.03351	0.02804	0.04368	39.93
50	0.2	-0.16606	0.05595	0.17523	161.38
50	0.25	-0.31821	0.00801	0.31831	178.56
50	0.3	-0.33448	0.00242	0.33449	179.59
50	0.4	-0.45124	0.06835	0.45639	171.39
50	0.5	-0.54071	-0.02391	0.54123	-177.47
100	0.05	-0.08557	0.00054	0.08557	179.64
100	0.1	-0.13232	0.05117	0.14187	158.86
100	0.2	-0.14496	0.00719	0.14513	177.16
100	0.3	-0.40021	0.01661	0.40055	177.62
100	0.4	-0.55789	0.00084	0.55789	179.92
100	0.5	-0.55273	0.01832	0.55303	178.11

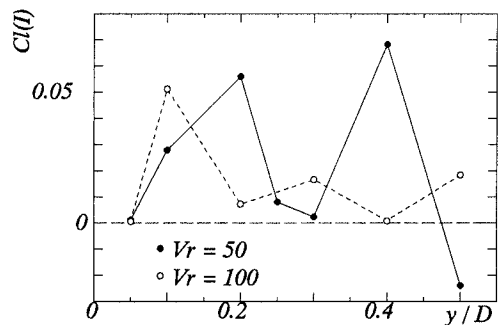


図-3 強制加振振幅と揚力係数 ($Cl(I)$) の比較

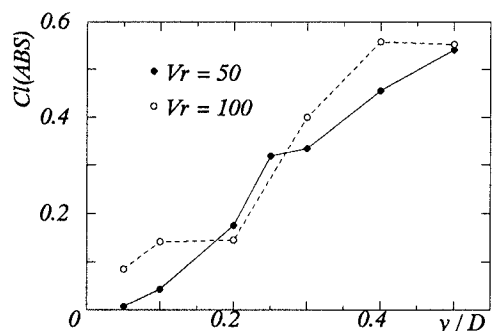


図-4 強制加振振幅と非定常揚力係数 ($Cl(ABS)$) の比較