

矩形断面に作用する自励空気力の抽出法及び空間相関に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○谷口 優佑
 前田建設工業 太古 一貴
 京都大学大学院工学研究科 正 会 員 白土 博通

鹿島建設 木原 大樹
 京都大学大学院工学研究科 河田 祐太郎

1. 序論

乱流中の構造物に作用する自励空気力には、構造物が形成する剥離流れや表面の境界層で生み出される乱流による空気力 (Signature turbulence, 以降 S.t. と表記), 接近流の乱れに起因して作用する空気力 (以降 turb.成分と表記), 構造物自身の振動に起因する空気力 (以降 mov 成分と表記) の3つが含まれている. このうち実際に構造物の自励振動に寄与するのは mov 成分のみではないかと考え, この mov 成分のみを抽出し, 3つの空気力の総和との比較を行う.

また従来, 自励空気力の span 方向の空間相関は完全相関であるとされてきた. この仮定が乱流中においても成立するのかを確認するため, 抽出された mov 成分について, span 方向の空間相関を検討する.

2. 風洞実験概要

断面辺長比の異なる $B/D=3.1, 5.0, 8.0$ の3種類の矩形断面模型を対象に, 模型静止状態及び, たわみ又はねじれ 1 自由度強制加振状態において, 格子乱流中で模型表面圧力測定実験を行った. 過去の研究では, 強制加振の加振振幅は Table.1 に示す(1)の振幅を設定したが, mov 成分の影響が小さくなるケースについて検討するため, 新たに(2)の振幅を設定した. 加振振動数は $2.0[\text{Hz}]$ とし, 実験で用いた格子乱流は, 接近流変動風速鉛直 w 成分の乱れ強度は約 $8.5[\%]$, 乱れスケールは $42[\text{mm}]$ である.

Table.1 模型強制加振の加振振幅

	加振振幅(1)	加振振幅(2)
たわみ 1 自由度加振	20[mm]	6[mm]
ねじれ 1 自由度加振	2.0[deg]	0.6[deg]

3. 模型表面変動圧力からの考察

$B/D=5.0$ の模型について, 模型静止時, 加振振幅(2)でたわみ加振時, ねじれ加振時の3ケースにおける, 模型上面 span 中央部における変動圧力のパワースペ

クトル分布を Fig.1 に示す. 図より, 模型加振周波数 (2.0Hz) 成分では加振時のみパワーのピークが生じ, それ以外の周波数領域では加振時と静止時でパワーがほぼ一致している. したがって, 模型の加振は加振周波数成分にのみ寄与し, 他の周波数成分には影響を与えないと考えられる. この傾向は加振振幅(1)でも同様であった. また, $B/D=3.1, 8.0$ の模型についても $B/D=5.0$ と同様に, 加振の影響は加振周波数成分にのみ表れる結果となった. そこで, 模型加振時と模型静止時の加振周波数成分における差を mov 成分と定義し, mov 成分を抽出することを試みる.

以降の考察では, mov 成分のパワーが他の空気力成分の数倍程度となる, 加振振幅(2)のケースについて検討する.

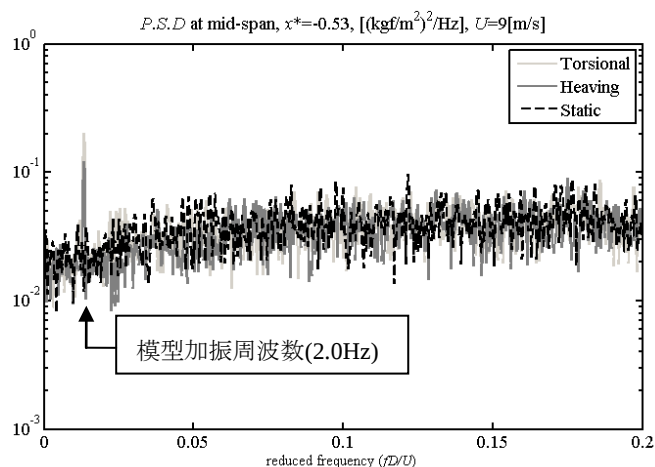


Fig.1 模型上面変動圧力のパワースペクトル (加振振幅(2))

4. mov 成分の抽出

mov 成分は, 模型加振時の圧力データの加振周波数成分から模型静止時の圧力データの加振周波数成分を差し引くことにより抽出した. この時, 2つの圧力データの時間基準を揃える必要があるため, 本研究では接近流の変動風速の加振周波数成分を時間基準とする方法を用いた. 模型表面圧力の計測と同時に熱線流速計を用いて変動風速を計測し, 得られた

キーワード 自励空気力, 非定常空気力, 空間相関, 矩形断面, 乱流, 自励振動

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 Tel: 075-383-3170 Fax: 075-383-3168

変動風速鉛直成分の加振周波数 (2.0Hz) 成分を用いて 2 つの圧力データの時間基準を揃え、差をとることで **mov** 成分を抽出した。なお、圧力及び風速データは、デジタルバンドパスフィルタを通して 2.0[Hz]成分を抽出した。模型表面圧力との相関や加振による接近流の乱れを考慮し、熱線流速計は 3 つの模型いずれについても、**span** 中央、前縁から上流側 60[mm], 模型下面から 50[mm]の位置に設置した。

上記の手法で抽出した変動風速及び圧力の模型加振周波数 (2.0Hz) 成分の波形には、2.0Hz の周期に歪みが生じる節が存在する。そのため、これらのデータを扱う際には、圧力及び風速データが節の影響を受けていない範囲を 1 つのサンプルとして取り出し、サンプル毎に一連の解析を行い、最終的な結果はそれらのアンサンブル平均をとることで算出した。

5. 非定常空気力特性の比較

「全空気力成分 (S.t.+turb.成分+mov 成分) を含んでいる模型加振時の圧力データの加振周波数 (2.0Hz) 成分」と「抽出した **mov** 成分」について、それぞれの **span** 中央部における非定常空気力係数を算出することで、両者の相違を評価する。まず、模型上面における変動圧力係数 $\tilde{C}_p$ 及び模型上面変動圧力と模型加振変位との位相差 $\Psi_H(\Psi_T)$ を算出した (Fig.2, 3)。図より、 $\tilde{C}_p$ 及び $\Psi_H(\Psi_T)$ の分布形状は全空気力成分と **mov** 成分で概ね一致する結果となった。図には $B/D=5.0$ の模型について示したが、 $B/D=3.1, 8.0$ の模型でも同様の傾向が得られた。また、 $\tilde{C}_p$ 及び $\Psi_H(\Psi_T)$ から算出した非定常空気力係数 H_i^*, A_i^* ($i=1\sim4$) のうち、たわみ、ねじれそれぞれの 1 自由度振動の減衰項である H_1^*, A_2^* を算出して比較したところ、いずれの模型についても、全空気力成分と **mov** 成分の非定常空気力係数が概ね一致することが確認できた。

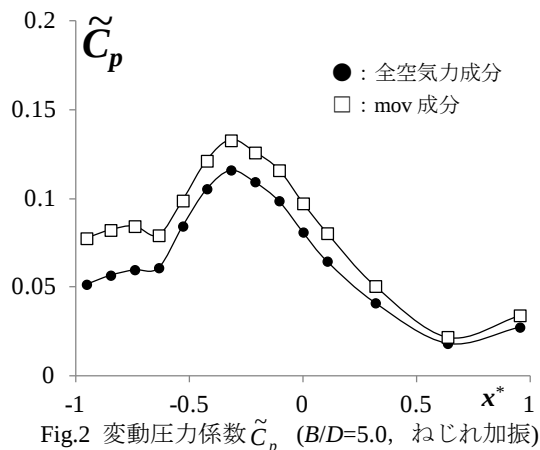


Fig.2 変動圧力係数 $\tilde{C}_p$ ($B/D=5.0$, ねじれ加振)

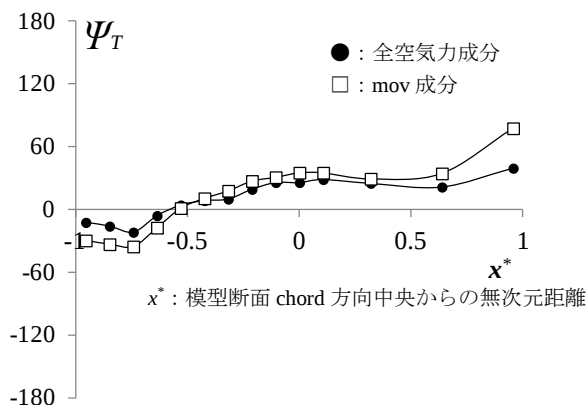


Fig.3 模型加振変位との位相差 Ψ_T ($B/D=5.0$, ねじれ加振)

6. 自励空気力の **span** 方向の空間相関

模型 **span** 中央部に設置された熱線流速計を用いて抽出された **mov** 成分について、変動圧力を **chord** 方向に積分して変動揚力に換算した。**span** 中央断面を基準として変動揚力の **span** 方向の空間相関を算出したところ、Fig.4 に示すように、**span** 方向に離れるにつれ相関が下がる結果となった。これは、乱流中では **span** 方向に離れた 2 点の自励空気力の相関が 1 ではないためではないかと考えられる。

ただし、今回の実験では **span** 中央部に設置した熱線流速計を用いたため、**span** 中央から離れた計測点では、**mov** 成分の抽出が不十分であったおそれがある。加えて、流体力の空間相関についても調べられていないため、今後より詳細な検討が必要である。

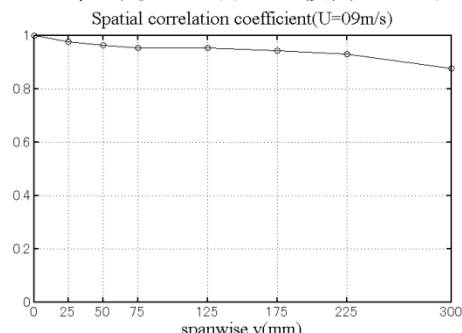


Fig.4 変動揚力の **span** 方向の空間相関 ($B/D=5.0$, ねじれ加振)

7. 結論

$B/D=3.1, 5.0, 8.0$ の 3 つの矩形断面模型について、4 節で示す方法で **mov** 成分を抽出したところ、「従来の乱流中の自励空気力 (S.t.+turb.成分+mov 成分)」と「構造物自身の振動に起因する空気力である **mov** 成分」の非定常空気力係数は概ね一致するという結果が得られた。したがって、従来通り 3 つの空気力成分の総和を用いた評価をすることで、構造物の振動に起因する空気力である **mov** 成分の影響を正しく評価できていると考えられる。

また、自励空気力の **span** 方向の空間相関が乱流中では完全相関ではない可能性が示されたが、これについては今後さらに検討を加えなければならない。