

### 干渉させた剥離流の数値流体解析

九州工業大学大学院 学生員 野田 貴博

九州工業大学大学院 正会員 木村 吉郎 フェロー 久保 喜延

#### 1.はじめに

長大橋において耐風安定性を確保するためには、形状を工夫することで耐風安定性を向上させる、空力的対策が用いられることが多い。その中で久保は<sup>1)</sup>、構造部材や機能部材を用いて耐風安定性を向上させることに主眼を置き、風により生じる振動の原因である剥離流を制御する、剥離干渉法を提案している。この手法は、図-1に示すように、1次剥離点と2次剥離点を設け、1次剥離点から発生した剥離流を2次剥離点と干渉させることによって耐風安定性を向上させる、境界層制御による制振手法の1つと考えられる<sup>2)</sup>。本研究では、干渉させた剥離流に対して数値流体解析を実施し、その詳細な特性を明らかにし、それに基づいて剥離干渉法のメカニズムにさらに考察を加えることを目的とする。

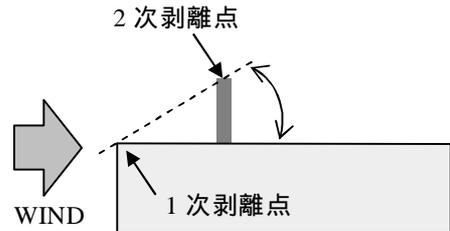


図-1 剥離干渉法の適用イメージ

#### 2.数値流体解析

解析は、九州大学応用力学研究所により開発された、Large Eddy Simulation (LES) を用いて非定常な風況場を数値予測する、RIAM-COMPACT を使用した。RIAM-COMPACT は、複雑地形上の解析を対象としているため、図-2に示すような解析モデルを地表面として作成した。計算領域は、主流方向(x)、主流直交方向(y)、鉛直方向(z)に(250m, 50m, 5.0D)とした。Dは底面から2次剥離点までの高さである。一般曲線座標系のコロケート格子を用いて、格子間隔は、x方向には不等間隔に(0.02~4)D、y方向には等間隔に0.06D、z方向には不等間隔に(0.003~0.5)Dとした。格子点数は181×61×31である。境界条件は、図-3に示すように、流入境界面は一樣流入条件、上部境界面と側方境界面は滑り条件、流出境界面は対流型流出条件、下方境界面は粘着条件を課した。流入風速は6m/sとし、時間刻みは $t=2.0 \times 10^{-3} D/U$ とした。剥離干渉角を8°、12°、14°、20°に変化させた4ケースについて解析を行い、その流れ場の特性を調べた。

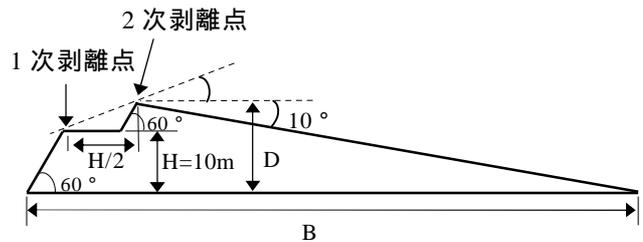


図-2 解析対象モデル

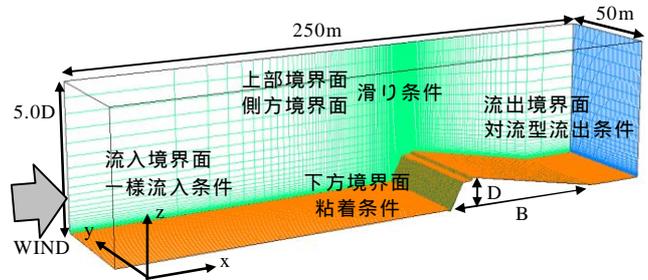


図-3 計算領域および境界条件

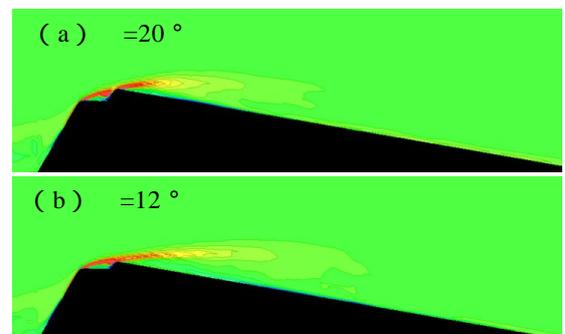


図-4 時間平均した渦度分布 (無次元時間 t=240~360)

#### 3.解析結果および考察

**3-1.可視化による比較** 無次元時間 t=240~360 で時間平均した渦度分布のうち、有効な干渉効果が得られていると考

キーワード：剥離干渉法，CFD，RIAM-COMPACT，流れの安定性

連絡先：〒804 - 8550 北九州市戸畑区仙水町 1 - 1 Tel. (093)884 - 3466 Fax. (093)884 - 3100

えられた  $\theta = 12^\circ$  と、角度が大きい  $\theta = 20^\circ$  の結果を図-4 に示す。 $\theta = 12^\circ$  では1次剥離点から剥離したせん断層が2次剥離点と干渉しているのに対し、 $\theta = 20^\circ$  では2次剥離点の左側の壁にあたり、その後、2次剥離点から再度剥離している様子がわかる。また、 $\theta = 12^\circ$  の剥離した流れは、2次剥離点と干渉した後、より水平に近い角度で流下し、剥離せん断層の厚さも薄くなっている。それに対して、 $\theta = 20^\circ$  では、2次剥離点と干渉した後、より短い距離でモデル側に巻き込むような流れとなっており、2次剥離点により近い部分で、再付着していると考えられる。

**3-2. 風速成分の特性の検討** 2次剥離点より風下側における平均風速 ( $\bar{u}$ ) の鉛直分布 (図-5)、風速 (u 成分) の時刻歴 (図-6)、標準偏差 ( $\sqrt{u'^2}$ ) の鉛直分布 (図-7)、レイノルズ応力 ( $-\overline{u'w'}$ ) の鉛直分布 (図-8) を示し、有効な剥離干渉効果が得られている流れ場の特性を検討する。なお、ここでは、 $x_1/H=0.4$  (ただし、 $x_1$  は2次剥離点を原点とし、下流向きに正とした座標) におけるデータのみ示している。図-5 の平均風速の鉛直分布では、 $\theta = 12^\circ$  および  $14^\circ$  において、剥離せん断層より低い位置の死水領域で、平均風速がほぼ0に近い値をとっており、平均値としての逆流の発生が見られない。図-6 に示すこの領域の風速の時刻歴 (無次元時間  $t=240\sim 360$ ) を見ても、 $\theta = 12^\circ$  では、 $\theta = 20^\circ$  に比べて、変動成分がずっと小さく、逆流の発生もほとんど見られない。図-7 の標準偏差の鉛直分布は、 $\theta = 12^\circ$  および  $14^\circ$  では、 $\theta = 8^\circ$  および  $20^\circ$  と比べて小さくなっており、剥離干渉効果により、流れの乱れが小さくなっていると考えられる。図-8 のレイノルズ応力の鉛直分布は、 $\theta = 12^\circ$  および  $14^\circ$  では、その他の  $\theta$  に比べてかなり小さい値となっている。ただし、このレイノルズ応力を、 $\sqrt{u'^2}$  と  $\sqrt{w'^2}$  の積で無次元化すると、 $\theta$  の違いによる大きさの差は小さい。

**3-3. レイリーの変曲点定理を用いた検討** 「非粘性平行流  $U(y)$  が不安定であるための必要条件は、関数のグラフ  $U=U(y)$  が変曲点を持つことである」というレイリーの変曲点定理を、図-5 の平均風速の鉛直分布の  $z/D$  0.3 程度までの領域にあてはめてみる。 $\theta = 8^\circ$  と  $20^\circ$  においては、明確な変曲点が存在しているが、 $\theta = 12^\circ$  と  $14^\circ$  においては、風速がほぼ0となる領域を除いて考えると、そこまで明確な変曲点はみられない。逆流領域の扱い方ははっきりしないが、これは、 $\theta = 12^\circ$  と  $14^\circ$  においては、流れの不安定性が小さいことを示している可能性がある。

**4. まとめ**

有効な剥離干渉効果が得られている場合の剥離せん断層流においては、通常の剥離せん断層流とは異なり、物体表面との間に生じる逆流の大きさや、せん断層流の乱れが小さいと考えられた。

**参考文献**

- 1) 久保, 本多, 田崎, 第12回風工学シンポジウム論文集, pp.399-404, 1992.
- 2) 林田, 久保, 池田, 大窪, 土木学会論文集 A, vol.63, No.2, pp312-325, 2007.

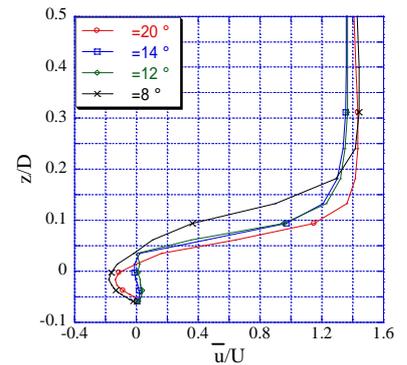


図-5 平均風速の鉛直分布 (u成分,  $x_1/H=0.4$ )

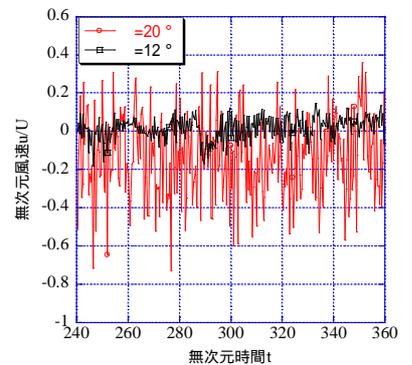


図-6 風速の時刻歴 (u成分,  $x_1/H=0.4, z/D = -0.02$ )

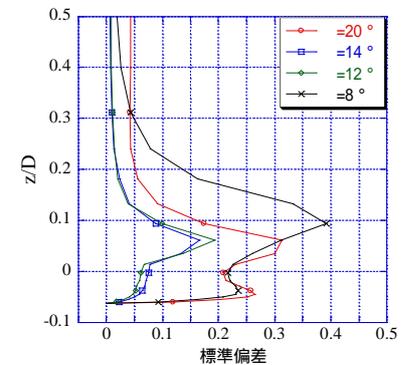


図-7 標準偏差の鉛直分布 (u成分,  $x_1/H=0.4$ )

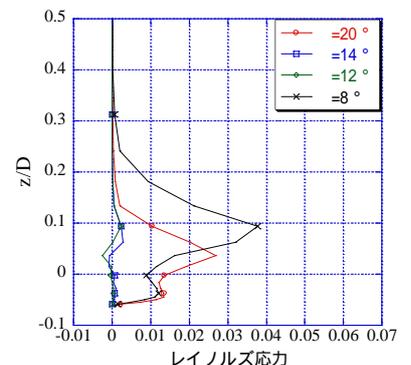


図-8 レイノルズ応力の鉛直分布 ( $-\overline{u'w'}$ ,  $x_1/H=0.4$ )