

II-198

水平せん断乱流における流れの鉛直スケールの影響

—円柱後流域を対象として—

東京工業大学 ○小林康夫 学生員
東京工業大学 八木 宏 正 員

1. はじめに

土木工学の対象となる河川・海洋等の流れは、運動の水平スケールに比べて鉛直スケールが非常に小さいという特徴がある。こうした浅い流れの性質を水平渦動粘性モデルに反映させ、従来の経験的なモデルに代わりうる物理性を有したモデルを構築する事が、大規模な流動現象のシミュレーションを精度良く行う上で必要とされている。しかしこのような著しい異方性を有した流れについては、その基本的な性質が十分に理解されていない。そこで本研究では、基本的な水平せん断乱流として円柱後流域を対象とし、流れの鉛直スケールが円柱の背後の水平せん断乱流の構造に与える影響を実験的に把握する事を目的とする。

2. 実験概要

実験は、流れの鉛直スケールの効果を明らかにするため、断面アスペクト比の異なる二種類の風洞（表-1）の中に直径2.5cmの円柱を鉛直に設置して、円柱後流域の乱流特性を比較した。実験条件として両者とも円柱レイノルズ数 $Re (=Ud/\nu, U: 平均流速, d: 円柱径)$ を 1×10^4 程度となるように風速を設定し、流速変動を計測した。これ以降、水平スケールに対して鉛直スケールが小さいケースを2D、両スケールが同等のケースを3Dと表記する。

3. 結果及び考察

(1) 乱れ強度とレイノルズ応力の空間分布

円柱後流域における流下方向流速の乱れ強度のコンターを図-1に示す。これを見ると、2Dは3Dに比べて乱れ強度のレベルが全体的に低い事や、乱れ強度が流下方向に急激に減衰する事、さらに円柱から横断方向に離れた領域で大きな値を示す事など、2Dと3Dの乱れ強度の空間構造に明確な違いがある。次に、水平レイノルズ応力 $(-\rho u'v')$ のコンターを図-2に示す。これを見ると、乱れ強度とは対照的に、2Dの方が3Dよりもレベルが大きくなっ

ている。一般に、せん断乱流ではレイノルズ応力のレベルはその場の乱れ強度に依存していると考えられるが、この場合では乱れ強度の低い2Dの方が大きなレイノルズ応力を生じる結果になっている。これは、乱流構造自体が2Dと3Dで大きく異なっている事を示唆している。

(2) 乱れの周波数特性

次に、円柱に近い領域を対象として乱れの周波数特性を調べてみた。図-3は、 $X=17\text{cm}$ における流下方向流速の乱れ成分 (u') のパワースペクトルを示している。これを見ると、2D、3Dともに40~50Hzの周波数帯に鋭いピークを持つ形になっている。この周波数帯はカルマン渦の周期の計算値とほぼ対応しており、円柱に近い領域ではカルマン渦に対応した水平大規模渦が乱流構造を支配していると言える。図-4は同じ点における水平流速の乱れ成分 (u', v') のコスペクトルであり、周波数別のレイノルズ応力生成への寄与の大きさを示している。これを見ると、2D、3Dともにカルマン渦の周期に対応した周波数帯に鋭いピークを持つ形ではあるが、その値は2Dの方が大きい。以上のことから、2D、3Dともに円柱に近い後流域ではカルマン渦に対応した水平大規模渦がレイノルズ応力の生成に大きく寄与しているが、その寄与の仕方は両者の間で異なっており、これは大規模渦自体の構造の違いによると考えられる。

(3) 水平大規模渦の関連構造

2Dと3Dの水平大規模渦の構造の違いを明らかにするために、水平流速変動からカルマン渦以上の長周期成分を抽出してみた。図-5は、こうして得た水平大規模渦のホドグラフを示している。これを見ると、2Dでは第2象限・第4象限を中心とした軌跡を描き、明確な負の相関構造を示す（正のレイノルズ応力を発生する）ものの、3Dでは円に近い軌跡を描いている。これは円柱に近い後流域において

は、2Dの場合に水平大規模渦が「ひしゃげた」平面構造をとる事により、3Dより小さい乱れ強度で大きなレイノルズ応力を発生している事を示している。こうした水平大規模渦の相関構造の違いは流れの鉛直スケールの違いによるものと考えられる。

4. おわりに

円柱後流域を対象として、流れの鉛直スケールが水平せん断乱流の構造に与える影響を実験的に検討した。その結果、円柱近くの後流域（シアアが強く

水平大規模渦が明確な領域）において、鉛直スケールが水平渦の平面構造に影響を及ぼすことにより、水平シアアの性質が大きく変化する事が分った。

表-1 実験条件

	風路高	風路幅	平均風速
2D	2 cm	2 cm	5.85m/s
3D	50 cm	50 cm	5.39m/s

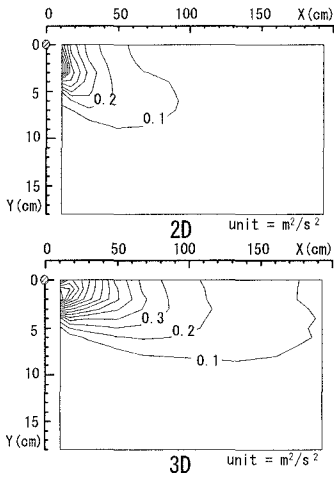


図-1 流下方向流速成分の乱れ強度の空間分布（円柱位置は左上）

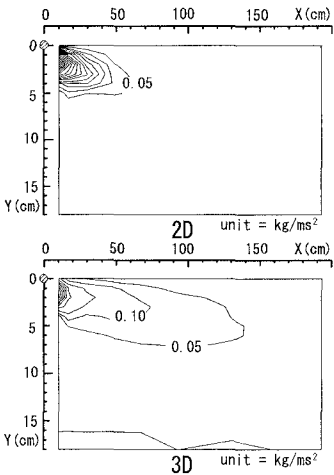


図-2 レイノルズ応力の空間分布（円柱位置は左上）

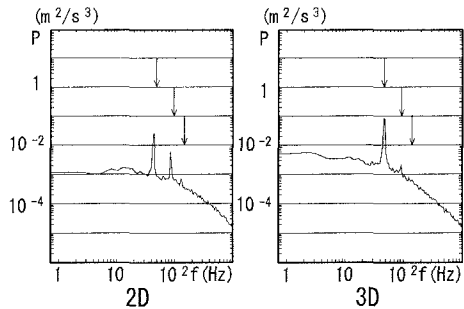


図-3 流下方向流速変動スペクトル(X=17cm)
(矢印はカルマン渦及び倍周波成分)

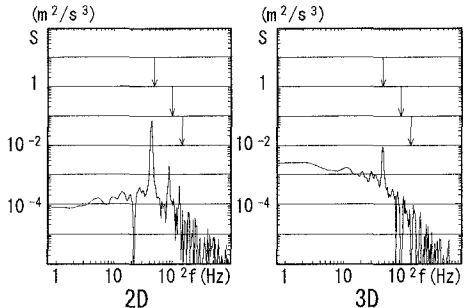


図-4 水平乱れ流速成分コスpectrum(X=17cm)
(矢印はカルマン渦及び倍周波成分)

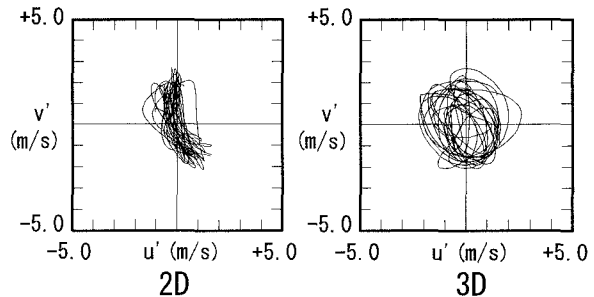


図-5 水平大規模渦のホドグラフ(X=17cm)