数値流体解析と風洞実験との比較による山の後流域における流れの特性検討

九州工業大学大学院 学生会員 〇三澤恭平 三菱重工鉄構エンジニアリング(株) 正会員 野田貴博(研究当時九州工業大学大学院) 九州工業大学 正会員 松田一俊 正会員 加藤九州男

1. はじめに

山などの局所地形周りの流れは、剥離・逆流等を含む非常に複雑な流れであり、これらが長大構造物に作用した時、ガスト応答解析では説明できない不規則な応答が生じる. 孤立峰の後流域の流れを対象としたシミュレーション方法として、主に風洞実験と数値流体解析(以下 CFD)が挙げられる. 九州工業大学では過去に風洞と CFD による孤立峰を対象とした研究が行われてきたが、CFD と同スケール、同レイノルズ数での実験は行われていない.

そこで、本研究ではまず PIV (粒子画像流速測定法)を用いた可視化実験により、既往のプローブによる風速測定では算出できなかった渦度の観点から、流れの特性の把握を試みる。その後、CFD により風洞実験と同スケールでの流れ場を再現した解析を行い、実験結果と解析結果を比較することで、風洞と CFD との相違点から詳細な流れ特性を把握する。

2. 実験概要

本実験では、既往の研究 $^{1)}$ の風洞実験で用いた山模型の縮尺 1/8 となる高さ H=0.038m,底面直径 2R=0.171m のアクリル製の山模型を,風洞内(測定部断面幅 0.4m,高さ 0.4m,長さ 2m)に設置した。測定断面は,側面 5 ケース,平面 4 ケースの計 9 ケースであり,主流方向(x),右手系となる主流直角水平方向(y),鉛直上向き(z)に軸をとった(図 1 , 表 1).表面粗度については,解析では高さ 10m の木々を想定して行うのに対し,模型のスケールでは高さ 0.95mm となり再現することが困難であるため,粗度は設定せずに行った。

風洞風速 6.4m/s よりレイノルズ数 1.6×10⁴(代表長さ H=0.038m), サンプリング周波数 15Hz, 測定枚数 1500 組で測定し, 得られた風速成分 u, v, w より風速分布図, 渦度分布図を作成した.

3. 実験結果

実験より得られた風速データから渦度を算出し、渦度分布図を示す. 2 組の連続した風速成分 u, w から、中間差分法より式(1)を用いることで y 成分 (x-z 断面) の渦度 ω を算出した.

$$\omega_{i,j} = \frac{w_{i+1,j} - w_{i-1,j}}{2 \times \angle x} - \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j-1}}{2 \times \angle z}$$
(1)

ここに、u と w は各格子(i,j)における風速成分、 $\triangle x$ と $\triangle z$ は各格子間のx 方向、z 方向の距離である.

測定断面②における,u 成分のピーク時における渦度分布図を \mathbf{Z} に示す.既往の研究 $^{1)}$ より,山の後流中における片持ち梁模型自由端の設置位置に大きい水平応答を与える点 $\mathbf{A}(\mathbf{x}/\mathbf{R}=1.48,\ \mathbf{y}/\mathbf{R}=0.15$ 地点)付近に着目すると,正と負の渦度分布に挟まれる形となっていることが確認できる.こ

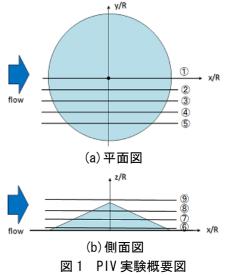


表 1 測定断面位置

測定断面	y/R	測定断面	z/H
1	0.00	6	0.12
2	-0.15	7	0.36
3	-0.33	8	0.72
4	-0.51	9	1.20
5	-0.69		

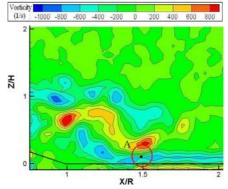


図 2 u 成分のピーク時の 渦度分布図(断面②)

キーワード 風洞実験, 数値流体解析, レイノルズ数, PIV, 渦度

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1番1号 九州工業大学 TEL 093-884-3466

の山頂から剥離した流れによる正の渦度と、床面からの負 の渦度の両方の作用を同時に受けている時に大きい応答を 生じる可能性が考えられる.

点 A 付近に正と負の両方の渦度分布が確認できない時, また両方が確認できても渦度の値が小さい時では, u 成分の 値はピーク時と比較して小さいものであった.

4. 数值流体解析概要

使用したソフトウェアは九州大学応用力学研究所で開発された風況予測シミュレーターRIAM-COMPACT である.

RIAM-COMPACT は、差分法に基づいており、Large Eddy

Simulation(LES)により数値予測するソフトウェアで、種々の大気安定度を考慮することが可能である.解析対象である孤立峰モデルは,R/H=2.25である円錐形となるように設定し,計算格子については地形に沿う形で分割される一般曲線座標系 (コロケート格子) により作成した.格子点数は,主流方向 (x),主流直角水平方向 (y),鉛直方向 (z)に $200\times117\times41$ である.計算領域については PIV 実験時の風洞内の地面板設置状況を再現し,概要を図 3 にまとめた.高さ方向については解析ソフトの設定により,モデルである孤立峰の高さ 1 の 1 倍である 1 と定められている.流入風速はレイノルズ数によって設定されるため,PIV と同様の 1 Re=1.6×10 (代表長さ 1 H=10.0381m)と定め,解析を行った.

5. 風洞実験と数値流体解析との比較

(1) 平均風速比分布の比較

PIV で測定した 1500 組の風速データより各断面における平均風速比分布図を作成した。PIV、CFD の断面①における u 成分の平均風速分布図をそれぞれ図 4(a)、(b) に示す。PIV と CFD とを比較して、PIV では u 成分の負の分布が大きいことが確認できる。この要因として PIV ではアクリル模型を使用することにより表面粗度がほとんどない状態であるのに対し、CFD では表面粗度を想定している点が考えられる。この影響は $x/R=0\sim1.0$ の範囲で、z/H が大きくなるほど強くなっている。

(2) 渦度分布の比較

1500 組の風速データを平均した平均風速分布図をもとに、中間差分法を用いて渦度の算出を行った。PIV、CFDの断面①におけるy成分の渦度の分布図をそれぞれ図5(a)、(b)に示す。PIVでは山の後流の斜面に沿って正の渦度が確認でき、負の渦度に関しても分布が大きいものとなっている。

6. おわりに

PIV と CFD とを比較して、PIV の方が全体的にどの風速成分においても値、分布が大きく、渦度についても PIV の方が正と負の渦度分布が大きいという結果が見られた。この傾向は $x/R=0\sim1.0$ の範囲内で見られ、x/R=1.0 より後流側では結果に大きな違いは見られなかった。

参考文献

1) 木村ほか:山の後流中の橋梁模型に大きな水平応答を生じさせる変動圧力と変動風 速の特性,第19回風工学シンポジウム,pp.453-458,2006.

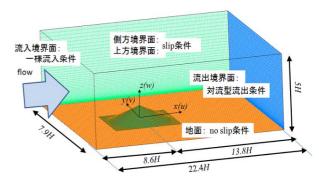
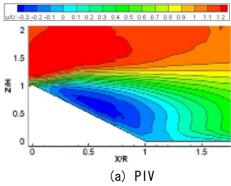


図3 計算領域と境界条件



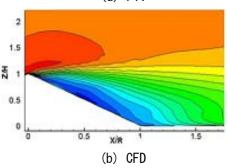
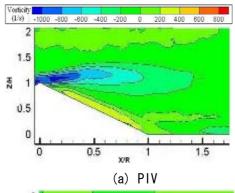


図 4 平均風速比分布図 (断面①, u 成分)



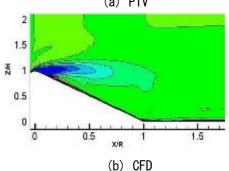


図 5 渦度分布図 (断面①, y 成分)