

粗面上での竜巻状渦の数値流体実験 CFD of Tornado-like Vortices over Roughness Blocks

○佐藤宏樹・竹見哲也

○Hiroki SATO, Tetsuya TAKEMI

Using Large Eddy Simulation, tornado-like vortices were simulated over non-uniform roughness pattern. When roughness blocks were placed only the half of the region, axis of the vortices were leant. The structure and strength were similar to the vortices, when the roughness density of whole the region was the same. Displacement of the vortex centre alters the angular momentum profile around it, thus enable to create the vortex even when the roughness blocks are placed over the half of the region.

1. はじめに

海上で多くの竜巻が発生し、その中には上陸するものもある。竜巻の上陸可能性を地表面粗度の観点から考察するため、底面に粗度ブロックを配置した数値実験を行った。

2. 実験設定

Natarajan and Hangan(2012)および Lewellen et al (1997)を参考に、底面半径 540m, 高さ 2000m の円筒形領域の下側側面 500m から接線成分をもった流入風を与えた。底面は滑りなし、上部側面は自由滑り条件、上面は流出部となっている。

底面には、幅16m, 高さ8mのブロックを配置した。配置パターンは、ブロックを配置しない NOBLOCK 実験、90m 間隔で全面に配置する ALL90 実験、128m 間隔で全面に配置する ALL128 実験、そして領域の右側半分だけ 90m 間隔でブロックを配置した HALF90 実験の 4 通りである。流体は非圧縮とし、乱流は LES の dynamic k 方程式モデルを用いた。計算には OpenFOAM v2006 (OpenCFD 社)を用いた。

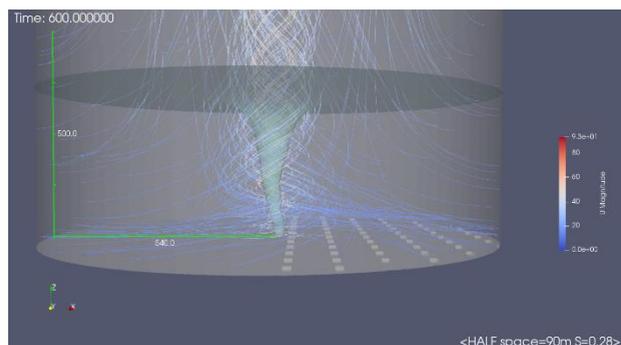


図 1. HALF90 実験、 $S=0.28$ の流線と等圧面。

3. 実験結果と考察

図 1 のように、側面から流入した流体が領域中心付近で収束し、竜巻状の流れ場となった。等圧面は漏斗雲のような形状になり、竜巻状の流れ場を再現することができた。HALF90 実験では、渦の中心が領域の右側にずれる様子が確認された。

渦中心軸まわりの周平均をとった流れ場をみると、Natarajan and Hangan(2012)のように、粗度ブロックがない場合には中心軸下降流が底面まで到達する場合でも、粗度ブロックがあると中心軸に上昇流が存在する渦構造となった。底面全体で平均したブロック配置密度が等しい ALL128 実験と HALF90 実験では、渦の構造、強度はほぼ同じであった。一方、ALL90 実験では地表付近で渦構造が発達せず、接線風速のない流れ場となった。

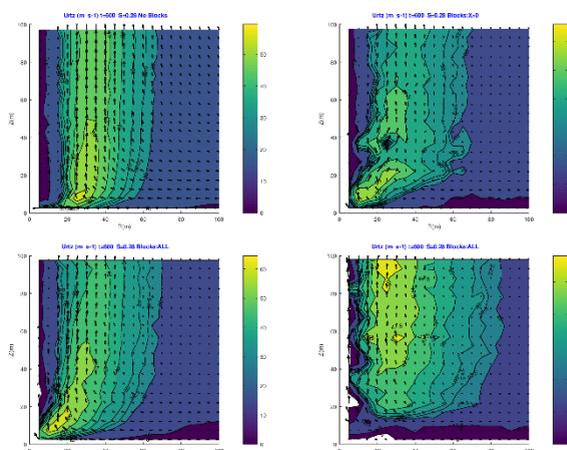


図 2 軸平均した流れ場。コンターは接線風速を表す。

左上：NOBLOCK 右上：HALF90

左下：ALL128 右下：ALL90

定常流れ場では流線と流跡線が一致することから、180秒平均風速場の流線を流跡線とみだてて、この上で角運動量を調べた。図3,4は、HALF90実験での、それぞれ粗度ブロックのない領域、粗度ブロックのある領域から最大接線半径付近へと向かう流線上において、横軸に渦中心からの距離、縦軸に渦中心に対する角運動量をとったものである。最終的に渦に入ったときの角運動量の値はほぼ同じであるが、粗度ブロックのある領域を通過してきた流線は初期に大きな角運動量を持っていて、それが減衰しながら流入してきたことがわかる。領域中心に対する流入風の角運動量はどこでも同様であるが、渦中心位置が領域中心からずれたことで、粗度ブロックのある領域を通る流体の渦中心に対する角運動量が大きくなっていたことがわかる。

このように、粗度ブロックによって地表付近で角運動量を失い渦ができなくなるような場合でも、より粗度の低い領域からの流入風とあわせて別の渦中心点を作ることができた場合には、渦は維持されるものと考えられる。

4. 今後の課題

ここでは、流入域に対して粗度ブロックの高さがかなり低い場合のみを実験してきたが、よりブロックの高さが高い場合には渦構造が完全に消滅する場合もある。また渦がより内陸に入れば粗度ブロックのある領域の割合は増加する。このような場合も含めて粗度ブロックの配置が渦の生存・消滅に与える影響を調べることで、海上で発生した竜巻が上陸するか、上陸せずに消滅するかについての条件を調べたい。

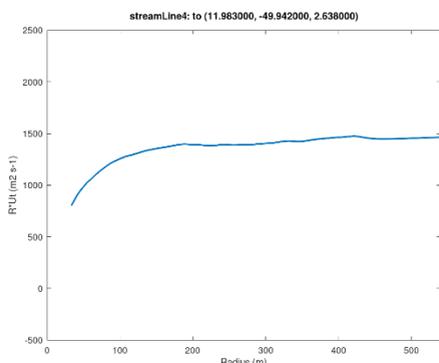


図3 粗度ブロックのない領域を通る平均風流線上の角運動量 (横軸：渦中心からの距離)

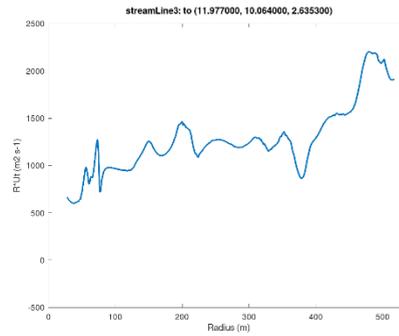


図4 粗度ブロックのある領域を通る平均風流線上の角運動量 (横軸：渦中心からの距離)

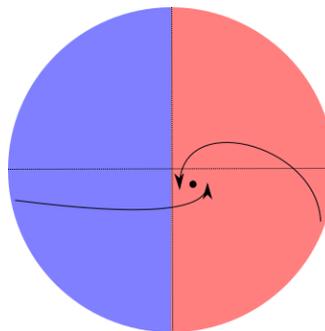


図5 渦中心位置が領域中心からずれることで、領域半分に粗度ブロックがある場合にも渦ができること概念図

参考文献

Diwaker Natarajan, Horia Hangan (2012): Large eddy simulation of translation and surface roughness effects on tornado-like vortices, *J. Wind Eng, Aerodyn.* 104-106, 577-584

W. S. Lerellen, D. C. Lewellen, and R. I. Skyes (1997): Large-Eddy Sumulation of a Tornado's Interaction with the Surface, *J. Atmos, Sci*, 54, 581-605