

I - B 380

領域分割法による乱流境界層内の構造物まわりの流れのLES

清水建設 和泉研究室 正会員 野澤剛二郎
東京工業大学 正会員 田村 哲郎

1. はじめに

構造物まわりの風の非定常数値計算における目標のひとつとして、大気境界層など、乱流中の構造物まわりの流れを再現することが上げられる。近年、流入変動風を与える手法が幾つか提案されており¹⁾⁴⁾、乱流に対する数値解法として成果を上げている、LES（ラージ・エディ・シミュレーション）や高次精度風上差分法を用いることで、乱流中の構造物まわりの流れの計算が現実的なものとなっている。本研究では、乱流場を直接計算するドライバ部を設ける方法を用いて、乱流境界層中の床面に置かれた角柱まわりの流れのLESを行い、乱れが流れ場に与える影響の再現を試みる。また、乱流場生成のドライバ部と角柱まわりの流れを計算するメイン部において、乱流境界層の計算を行う上で必要となる格子解像度を確保するために領域分割法を用いる。

2. 領域分割と格子生成

乱流境界層中の構造物まわりの流れでは、構造物の近傍はもちろん、構造物の風上側の床面に近いところに対しても乱流性状を維持するために、十分な格子解像度を確保する必要がある。一方、床面から十分に離れたところでは、床面ほど解像度を必要としない。本研究では、領域全体を床からの高さに応じて三つの領域に分け、それぞれに水平方向の解像度が異なる格子を設けている（図-1）。さらに、角柱（高さ H 、一辺 $2H$ の正方形角柱）の近傍にも壁面における解像度を確保するために別の格子系を設けている（領域Ⅳ、Ⅴ）。角柱の風上、風下面の解像度は約 $6H/1000$ 、側面で約 $15H/1000$ 、屋根面で約 $H/100$ としている。角柱の風上側の中央部ではドライバ部の解像度は保たれているが、角柱の風下側、ならびに側方では格子間隔を拡げることで格子点数を節約している。

3. 計算手法

コロケーション格子に基づいて、有限体積法により離散化を行っている。空間に対しては2次精度とし、時間に対しては対流項にAdams-Bashforth法、拡散項にCrank-Nicolson法を用いる。レイノルズ数 $(U_\tau H/\nu)$ は約28,700、時間刻みは $(\Delta t U_\tau/H)$ 約0.002としている。ただし、角柱近傍の領域Ⅳ、Ⅴでは、対流項には3次精度風上差分法を用いている。側方は周期境界条件、上方は滑りの条件、流出では、移流型の境界条件としている。LESのSGSモデルとして、Van-Driest型の減衰関数を用いたSmagorinskyモデルとしている。また、Smagorinsky定数 $Cs=0.1$ とし、フィルタ幅は格子幅の $\sqrt{2}$ としている。

4. 変動流入

流入で与える乱流場の生成には、Lund *et al.*³⁾の方法を改良した片岡ら⁴⁾の方法を用いる。本研究では、滑面における乱流境界層の風速分布をドライバ部で規定し、周期境界条件により変動成分のみを周期的に与えている。ターゲットとする平均風速分布は、滑面における対数則に、コールスの後流則を付加した形となっている。レイノルズ数 $(U_\tau H/\nu)$ は約1280、境界層厚さ δ は $6H$ としており、べき乗則ではおよそ $1/7$ 勾配流に相当する。表-1にドライバ部の計算格子の諸元を示すが、そのドライバ部はメイン部と同様に鉛直方向に三つの領域に分けられている。図-2に流入で与える風速分布の平均と変動量を示すが、平均風速はターゲットと良く一致している。また、主流方向の変動風速 σ_{11} は、高さ H では0.06程度となるものの、高さが増すに従って減少し、 $8H$ 以上ではゼロに近くなる。

5. 計算結果

角柱近傍の瞬間的な流れ場を図-3に示す。前縁角部から剥離した直後の剪断層が、接近流の乱れにより主流直交方向に大きく変動していることが確認できる。同様な一様流の計算と風速の乱れエネルギー k を比較した場合、角柱の中央部付近まで k の成長は早く、屋根面に近いところで大きくなっているのが分かる（図-4）。また、角柱の後流では、 k が大きくなる位置が一様流と比較して床面に近くなっている。

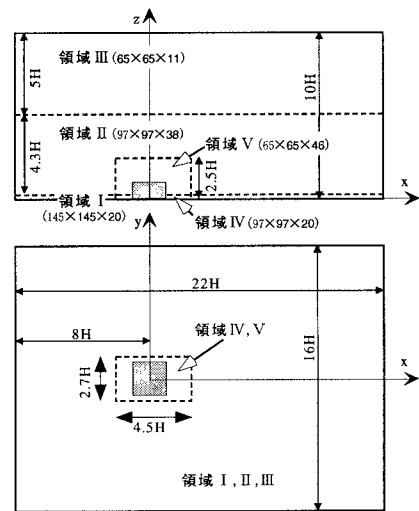


図-1 計算領域と格子の配置の側面図と立面図

keywords: 流入変動風、乱流境界層、領域分割法、ラージ・エディ・シミュレーション、風圧係数

連絡先: 〒100-0011 東京都千代田区千代田 2-2-2, TEL03-3508-8101, FAX03-3508-2196

中央断面における角柱表面の平均、変動圧力分布を図-5に示す。屋根面の中央付近で平均圧力が急激に回復しているのが分かる。しかし、1/4勾配流⁵⁾の実験と比較すると回復する位置が風下側に寄っており、前縁角部付近のピーク負圧の絶対値が小さい。LESによる一様流⁶⁾と比較した場合、前縁角部のピーク負圧は変わらないが、圧力回復が早くなっている。屋根面、後流の再付着距離についても、1/4勾配流と一様流の中間的な値を取っており（表-2）、このことから本計算結果は1/4勾配流と一様流の中間的な性状を示していることが分かる。

5. まとめ

乱流境界層中の角柱まわりの流れに対してLESを用いた計算を行い、乱れが与える影響について調べた。その結果、屋根面の圧力分布や再付着距離など実験による1/4勾配流と一様流の中間的な結果となり、数値計算の妥当性が確かめられた。

参考文献 1) 近藤宏二、持田灯、村上周三、日本建築学会構造系論文集、第501号、pp.33-40、1997。2) 丸山勇祐、丸山敬、第15回風工学シンポジウム、pp.167-172、1998。3) Lund *et al.* J.Comp. Phys., No.140, pp.233-258、1998。4) 片岡浩人、水野稔、第12回数値流体力学シンポジウム、pp.173-174、1998。5) 日本建築学会耐風設計資料小委員会編：流体計算と風荷重評価、1994。6) 野澤剛二郎、田村哲郎、清水建設研究報告、第64号、pp.57-66、平成8年10月。

表-1 ドライバ部の計算格子の諸元

計算領域 (鉛直方向)	格子点数			解像度		
	N_x	N_y	N_z	Δ_x	Δ_y	Δ_z
0~0.075H	108	108	18	0.083H	0.037H	0.0012H~0.0096H
0.075H~5.01H	72	72	37	0.125H	0.056H	0.011H~0.44H
5.01H~10.0H	48	48	10	0.188H	0.083H	0.47H~0.61H

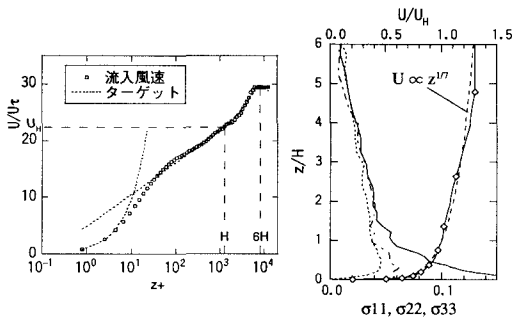


図-2 流入における平均・変動風速分布

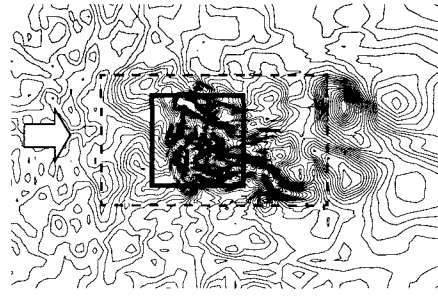


図-3 瞬間的な流れ場（z方向風速のコンター、 $y = 1.21H$ ）

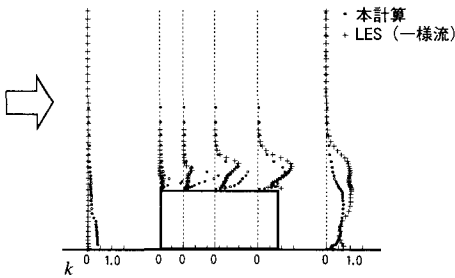
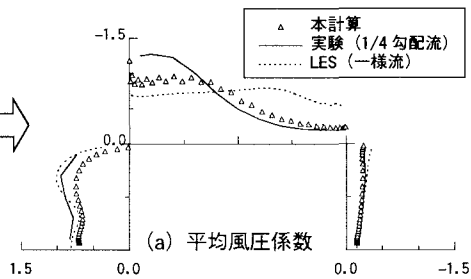


図-5 乱れエネルギー分布（中央断面）

表-2 逆流域、再付着距離の実験との比較

	風上逆流域	再付着距離 (屋根面)	再付着距離 (後流)
勾配流 ($\alpha=1/4$)	0.8H	0.66H	1.62H
一様流	0.8H	1.7H	1.3H
本計算	0.87H	1.39H	1.43H



(a) 平均風圧係数

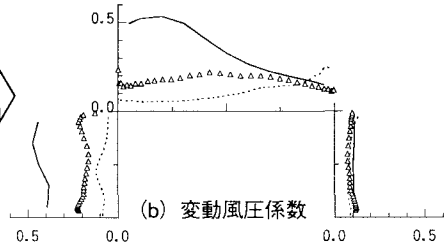


図-4 角柱表面の風圧係数分布（中央断面）