

地表面の粗度変化を考慮した風速の鉛直分布

Wind profile considering the change of ground roughness

学籍番号 076823
氏名 石野 正規 (Ishino, Masaki)
指導教官 神田 順 教授

1. 研究背景・目的

地表面付近の風速は地表面粗度の影響を受け鉛直方向に変化し、この分布を評価する手法としてべき指数則(式(1))を採用しており建築物荷重指針で5区分された粗度カテゴリより選択することで平均風速鉛直分布特性を評価し、風荷重予測を行っている。

$$U_z = U_{z_r} (Z/Z_r)^\alpha \quad (1)$$

U_z : 高さ Z での平均風速 α : べき指数 U_{z_r} : 基準高さ Z_r での平均風速

実在市街地において、風向ごとの風速鉛直分布を定量的に評価・判断をすることで、過剰に安全側に設定することや、脆弱な個所を減らすことができる。そこで、地表面粗度を定量的に扱うことでべき指数を評価する研究がなされ、亀井・丸田は風上の平面密度(以後、 R)によりべき指数の近似式を提案し、糸井¹⁾・菅野らは高さのばらつき(以後、 V)を考慮した近似式を提案した。しかし、これらの研究は、地表面が一様なものとしており実在市街地を模しているといえない。

そこで、本研究ではGISによる空間データを利用し地表面粗度を定量的に把握し、地表面の粗度変化による平均風速鉛直分布評価に重点を置き論文展開を行うものとする。

2. 東京大学柏キャンパスにおける実観測

東京大学敷地内の高さ10mから40mの風向風速計より、高さ10mで風速が5m/sを超えるものから最小二乗法によりべき指数を算出した。それを風向ごとの累積分布における50パーセンタイル値を表1に示す。また、卓越風向の粗度状況を以下に示すと、東(E):開けた土地に工場が点在。南(S):住宅密集

地 北西(NW):宅地、高速道路など。台風時における乱れの強さは濱田(2002)によって、10m, 20m, 40mでそれぞれ0.25, 0.23, 0.18としており、2006/01/01~09/30で高さ40mにおける風向ごとの乱れの強さは表2に示した通りである。

表1 風向ごとのべき指数(α)

Angle	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
α	0.29	0.27	0.31~0.36	0.2~0.26	0.15~0.17	0.19	0.16	0.14
Angle	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
α	0.23	0.34	0.4	0.29~0.39	0.24~0.33	0.33	0.3	0.31

表2 風向ごとの乱れの強さ(lu)

Angle	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
P4(40m)	0.2	0.18	0.24	0.22	0.18	0.18	0.18	0.22
Angle	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
P4(40m)	0.19	0.2	0.26	0.23	0.18	0.18	0.16	0.2

3. GISによる粗度分析

柏市・流山市を250mから1kmのメッシュに分け、地表面粗度を表すパラメータとして、以下にあげる粗度パラメータについて解析を行った。本データには階層データしか存在しないため、建物の平均階層高を3.5mとし、階層データが存在しないものは行動調査が可能な範囲で行い、それ以外は7mとした。

$$\text{平面密度: } R_m = \sum a_i / A \quad (2)$$

$$\text{平均高さ: } E[H] = \sum (z_i \times a_i) / (\sum a_i) \quad (3)$$

$$\text{高さの変動係数: } V = ((\sum (z_i - E[H])^2 \times a_i) / \sum a_i)^{0.5} \quad (4)$$

標高データがないので、考慮していないが起伏差はあまり見受けられないので問題ないとする。これにより以下の知見を得た。

メッシュサイズを大きくすることで、密度的なバラツキが平均化されてしまいモデル化の再現性が低くなると考えられる。また解析

したメッシュデータをCFD解析に使用する際、障害物高さに対し χ^2 検定を行った結果より対数正規分布に基づく乱数を与えることとした。

4. CFD 解析

一様な二次元粗度に対して平面密度と高さの変動係数を変化させたものを10ケース、粗度変化を考慮したもので密から疎を11ケース、疎から密を11ケースの解析を行った。図1に、全ケースにおける平面密度と変動係数の関係を示す。

数値解析には数値解析汎用ソフトPHOENICSを用いる。本研究では $k-\epsilon$ モデル、差分法は中心差分法と風上差分法の組み合わせで二次元解析を行った。解析領域は $400D \times 90H$ である。計算格子数は風方向と鉛直方向に対しさまざまな場合を検討し、 1600×75 メッシュで大熊ら²⁾(1986)の風洞実験結果と良い対応をした。

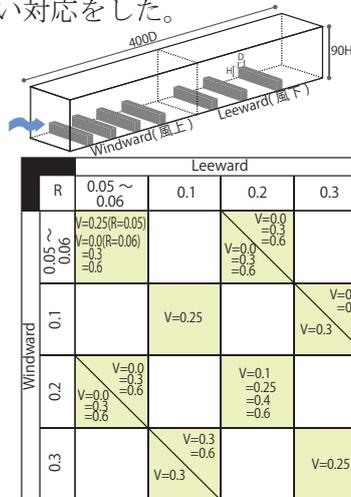


図1 全解析ケースの平面密度 R と変動係数 V の関係

4.1 一様な二次元粗度

高さの変動係数が0のもの、すなわち高さが一定なものに対し、平面密度を変化させた時の結果は図2のようになり、 $R \leq 0.2$ の範囲でもよい対応を示すことを確認した。

高さの変動係数を0.1から0.6まで変化した時の、べき指数の変化と、境界層発達 の考察を行った結果、高さの変動係数によるべ

き指数への影響は小さく、平面密度による影響が大きいことがわかった。変動係数のばらつきを考慮した平面密度によるべき指数を図3に示す。既往の実験結果と良い対応を示している。境界層高さも変動係数による影響は小さいことがわかり、吹走距離との関係を図4に示す。吹走距離をべき指数が安定する値だとすると $400D (=4km)$ で十分であることがわかった。一様な粗度としてGISより南方向は $R=0.23$ となるが、図3よりべき指数を求めると0.43となり実観測(表1)との対応が良くないといえる。

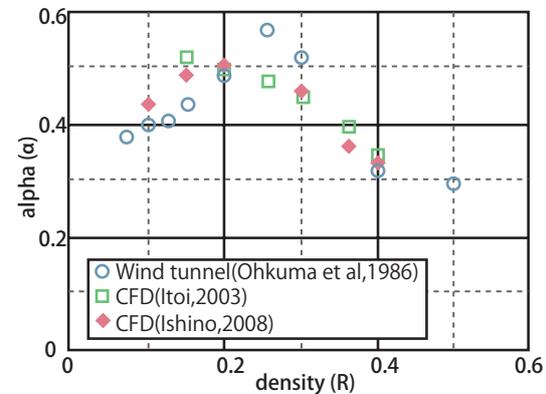


図2 一様な粗度上における平面密度とべき指数

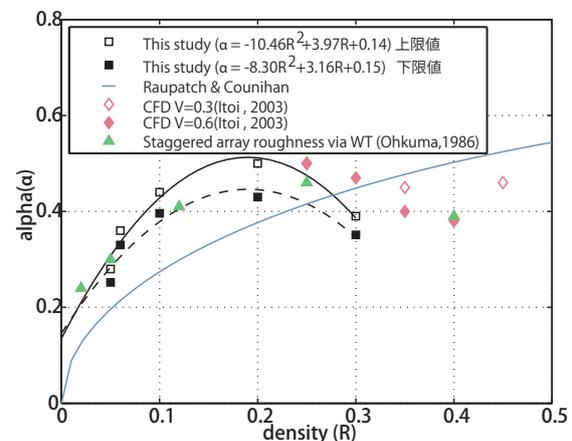


図3 平面密度によるべき指数の変化

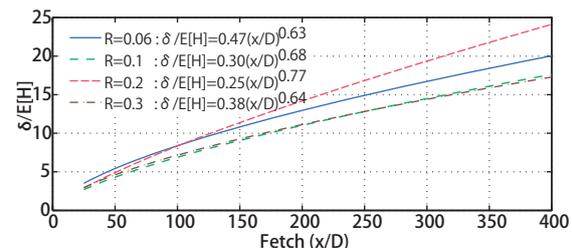


図4 吹走距離における境界層高さ

4.2 粗度変化を考慮した一次元不規則粗度

実際の市街地は疎密の連続であり一様だと仮定することに問題がある。そこで、柏キャンパス南方向4kmを例にとり平面密度と変動係数を算出すると、風上2kmで $R=0.2, V=0.3$ 、風下2kmで $R=0.06, V=0.3$ であった。ここで、一様粗度と、粗度変化の違いを図5に示す。地表面粗度変化後の平均風速鉛直分布が影響を受ける範囲を、4.1でもとめた境界層高さをもとに、風上の粗度影響を受ける範囲と風下の粗度影響を受ける範囲とに分けて考察した。各々から求められるべき指数を α_H, α_L とする(図6)。地表面粗度変化を考慮することで以下の知見を得た。

図7より、地表面粗度変化後の平面密度により α_L は決定される。 α_H は高さの変動係数 V が0.0, 0.3の場合と0.6の場合で異なる結果となった。密から疎の場合、 $V=0.0, 0.3$ で α_H は変化直後から減少し $x=350D$ で α_L に近づき、 $V=0.6$ で α_H は変化しない。一方、疎から密の場合、 $V=0.0, 0.3$ で α_H は変化せず、 $V=0.6$ で α_H は増加し $x=350D$ で α_L に近づいていることがわかった。

このような現象が起こる原因を、風上の粗度が風下まで一様に続くと仮定した時における $x=350D$ の鉛直分布と、粗度変化を考慮した時の $x=350D$ を比較した結果、図8に示す現象が起きていることがわかった。密から疎の場合、風下で $V=0.0, 0.3$ の時、地表面付近の風速回復による影響が上空にまで及ぶ。

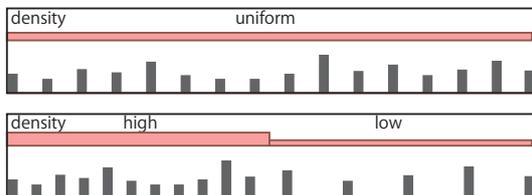


図5 一様粗度と地表面粗度変化

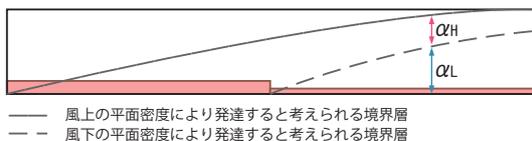


図6 α_H, α_L の算出方法

疎から密の場合は風下で $V=0.6$ の時、風速の減速による影響が上空にまで及んでいることがわかった。

また、南方向を模擬したモデルにおけるべき指数は $\alpha_H=0.28, \alpha_L=0.26$ となり実観測データと良い対応を示した。

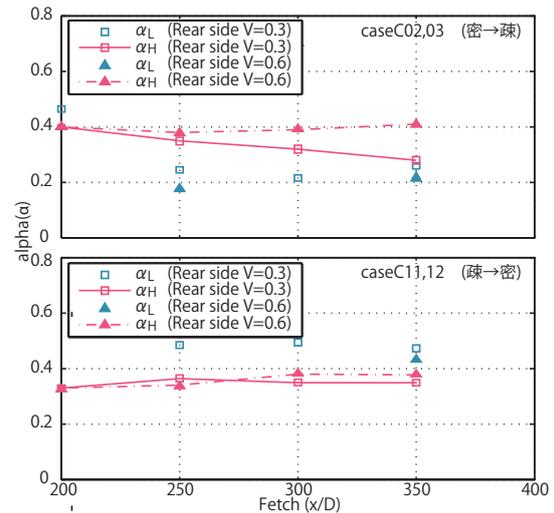


図7 地表面粗度変化後のべき指数 α_H, α_L

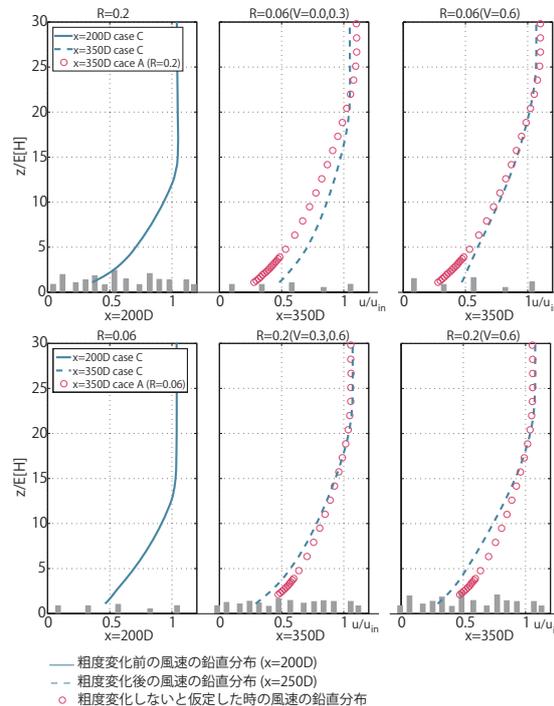


図8 風下の地表面粗度が鉛直分布に与える影響

4.3 乱れの強さ

一様な粗度上における乱れの強さに関し

て、高さ 20m, 30m, 40m について考察した。その結果と建築物荷重指針の値をプロットしたものを図 9 に示す。

高さが高くなるにつれ、乱れの強さが小さくなっていることが確認できる。荷重指針の定める値より大きな値をとる結果となった。図 10 に粗度変化後の乱れの強さについて、風上の粗度が続いたと仮定した時の乱れの強さとの変化率を示す。その結果、密から疎へ変化したときには約 40% 低下し、疎から密へ変化したときには約 30% 増加していることがわかった。また、南方向を模擬したモデルでは、20m, 30m, 40m の順に 0.22, 0.18, 0.16 となり、濱田 (2002) によって求められた乱れの強さは風向ごとではないが、値として十分な結果が出たといえる。

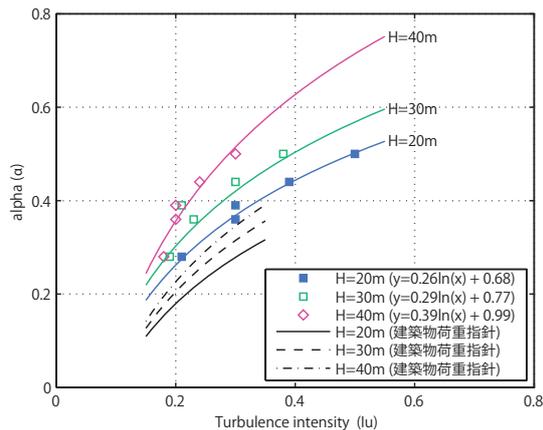


図 9 一様な粗度上における乱れの強さ

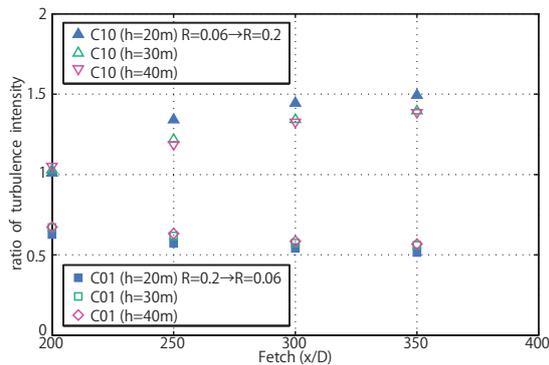


図 10 粗度変化後の乱れの強さの変化率

5. 平均風速鉛直分布の評価

地表面粗度が変化した時の、鉛直分布特性であるべき指数と、乱れの強さに関する設計

時における評価フローを提案する。

粗度変化後の粗度によりできる境界層以下では風下の平面密度より算出されるべき指数とし、乱れの強さは風上の乱れ強さに対し、重みづけをすることで算出できる。

粗度変化後 1km 以内で、地表面粗度の変化後より発達すると想定される境界層高さを超える範囲においては風下の高さの変動係数により与えるべき指数が異なる。図 11 に、変動係数の違いによる α_H の与え方を示す。

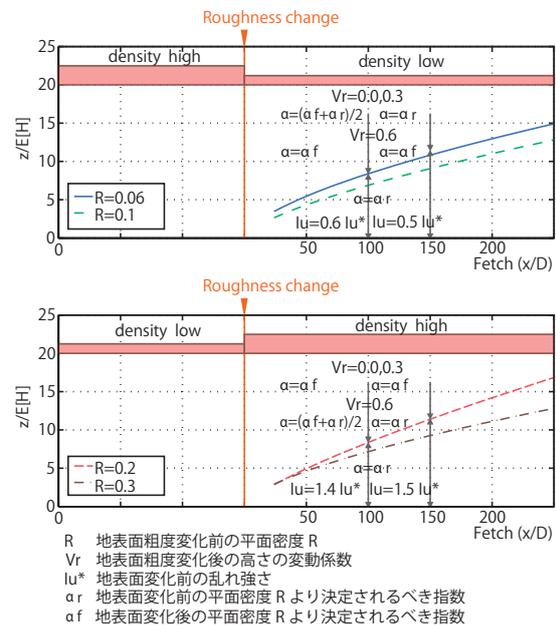


図 11 粗度変化後のべき指数・乱れ強さの評価手法

6. まとめ・今後の課題

本研究では、地表面粗度を一様なものとする場合と、地表面粗度変化を考慮した場合について平均風速鉛直分布の発達に違いがみられた。また地表面の粗度変化を考慮することで実観測データと対応もよく、風向ごとの風速の鉛直分布特性を評価する際、本研究の有用性を確認することができた。

今後の課題として、3次元解析・高精度の差分スキームによる解析が必要であると考える。

参考文献)

- 1) 糸井 達哉 「限界状態設計法に基づく建築物外装材の設計風荷重評価」, 博士論文, 2003
- 2) 大熊 武司 「市街地を対象とした乱流境界層の風洞実験による基礎的研究」, 風工学シンポジウム, 1986