

- 6 地表面粗度指標による風荷重設定システムの構築

Construction of Evaluation Scheme for Wind Loading with Roughness Index of Ground

(研究期間 平成14～16年度)

構造研究グループ

Dept. of Structural Engineering

奥田泰雄

Yasuo Okuda

喜々津仁密

Hitomitsu Kikitsu

In this research, roughness index of ground was proposed to distinguish the roughness category on the ground using minute roughness data measured by the laser profiling system. The relationship between the roughness index and the wind velocity profiles based on the results of the numerical simulations and the wind tunnel tests was also discussed on some urban areas around Tokyo. The evaluation scheme that can set wind loadings for buildings using the roughness index was proposed.

【研究目的及び経過】

旧建築基準法(1952)ではほぼ全国一律に $60h$ と $120h^4$ (h は建築物の高さ: m) を組合せた1種類の風荷重で規定していたが、建築基準法(2000)では、日本建築学会建築物荷重指針(1981、1993)に倣って4つの地表面粗度区分(地表面粗度区分が1区分変わると風荷重は約1.5倍増減することになる)を導入し、風荷重の合理的設定の道筋をつけた。ところが、これらを合理的に区分けする指標が建築基準法(また現建築学会荷重指針においても)では明示されていないために、結果的にはほとんどの地域で1つの地表面粗度区分を採用することになり、旧建築基準法と大差のない風荷重の設定になっている。

一方、近年レーザー計測技術を利用して、地表面の凹凸性状を細密に計測できるようになり、主な都市域の地表面粗度データはほぼ入手可能な状況になってきた。

そこで本研究では、細密な地表面粗度データを利用した地表面粗度指標の提案、数値シミュレーションと風洞実験の結果をもとに地表面粗度指標と風速プロファイルとの関係の検討、地表面粗度を合理的に評価した風荷重の設定法の提案、等を目的とした。

【研究内容】

以下の項目について研究を実施した。

A) 細密な地表面粗度データを用いた地表面の粗度要素の評価

レーザープロファイラで計測された細密な地表面粗度データの水平解像度は $2m \times 2m$ で、鉛直方向の精度は数10cm程度である。東京都千代田区丸の内・神田 ($25km^2$)、同目黒区碑文谷 ($25km^2$)、横浜市港北区 ($25km^2$)、東京都新宿区副都心 ($36km^2$)、茨城県つくば市 ($98km^2$) を対象とした。

B) 細密な地表面粗度データを境界条件とするLESモデルによる都市上空での風速プロファイルのシミュレーションと評価

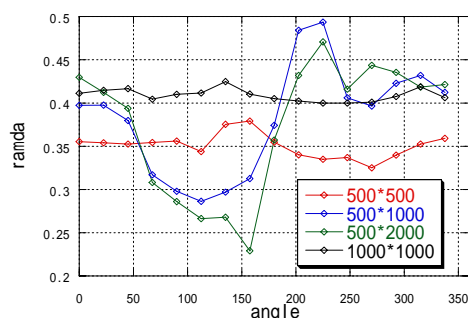


図1 風向と粗度密度 の関係(丸の内・神田地区)

C) 風洞内の均質な粗度上の風速プロファイルの計測と評価

【研究結果】以下の研究結果を得た。

1) 地表面の粗度要素の評価

粗度密度とは単位面積内に存在する粗度要素の見付け面積で風向毎に定義される。前項A)の5つの地域について、それぞれ気象観測点を中心にして4つの領域($500m \times 500m$ 、 $500m \times 1000m$ 、 $500m \times 2000m$ 、 $1000m \times 1000m$)、16風向で粗度密度を計算した。図1は丸の内・神田地区での粗度密度と風向との関係である。 $500m \times 500m$ 、 $1000m \times 1000m$ といった正方形の評価領域では、粗度密度は風向による変化は小さいが、長方形の評価領域では、粗度密度は風向による変化は大きくなる。このほか表面積密度、有効体積密度といったパラメータも算出した。

2) 数値シミュレーションによる検証

5つの地域及び4つの解析領域について、LESモデルにより市街地上空風の風をシミュレーションし、建築物の近辺では風速の鉛直プロファイルが歪むため、建築物の平均高さ h から境界層厚さ 程度の範囲での風速の鉛直プロファイルから粗度長 Z_0 やべき指数 を算出した(図2参照)。

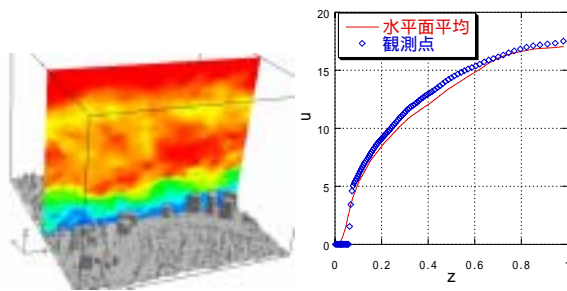


図2 市街地上空風のシミュレーションと風速の鉛直プロフィール(丸の内・神田地区)

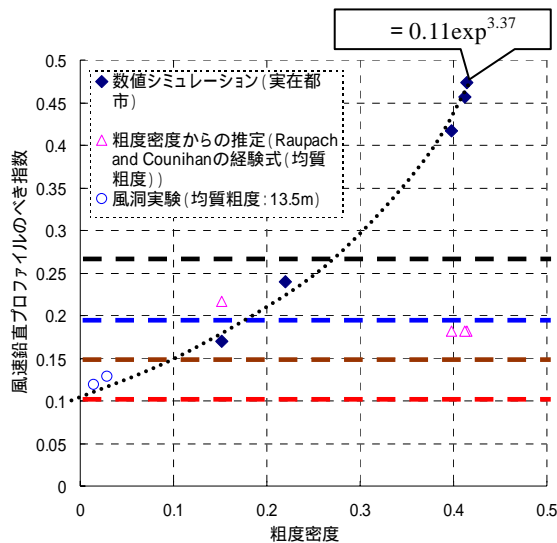


図3 粗度密度と風速鉛直プロフィールのべき指数との関係

3) 風洞実験による検証

50mm 角の角柱を千鳥状に均等に配置した自動昇降粗度ブロック装置を使って粗度密度や吹走距離を変えて、気流の鉛直プロフィールを計測した。その結果、気流の鉛直プロフィールのべき指数や境界層厚さは、粗度上の吹走距離が長くなるに従い一定値に収束する傾向が見られ、以下の検討では上記の粗度を13.5m敷き詰めた場合の結果を用いることとした。

4) 粗度密度と風速プロフィールの関係

Raupachら¹⁾は均質な粗度に関して、粗度密度と粗度長 Z_0 との関係を求めているが、本研究でもまずこの図に当てはめて検討した。目黒区碑文谷といった比較的均質な粗度をもつ地域ではRaupachら¹⁾の曲線に当てはまる結果となったが、丸の内・神田といった市街地では粗度の不均質性が影響し、Raupachら¹⁾が求めた曲線には当てはまらないことが分かった。

図3は粗度密度と風速の鉛直プロフィールのべき

指数との関係を、2)の数値シミュレーション結果、3)の風洞実験について纏めたものである。印は数値シミュレーションにより求めた風速の鉛直プロフィールからべき指数を求めた結果で、印はRaupachら¹⁾、Counihan²⁾の均質な粗度での経験式から求めた結果である。印は風洞実験で求めた結果である。4本の破線は現行の建築基準法で定める地表面粗度区分(表3)に対応する風速の鉛直プロフィールを表すべき指数である。粗度密度が約0.4でのRaupachら¹⁾、Counihan²⁾の経験式(印)を除き、ほぼ1本の曲線上に結果が集約され、粗度密度と風速鉛直プロフィールのべき指数との関係式は、

$$= 0.11 \exp^{3.37} \quad (1)$$

となった(図3 中点線)。

なお、Raupachら¹⁾、Counihan²⁾の経験式(印)では均質な粗度を仮定しているため、粗度密度が大きくなるに逆により平板に近づく性質があり、不均質な実在都市での数値シミュレーション結果(印)と大きく乖離した結果となったと考えられる^{3,4)}。

5) 設計用風荷重の設定

建設予定地周辺の粗度データから粗度密度を算定できれば、図3または(1)式を用いて、地表面粗度区分を決めることができる。さらに図3は、地表面粗度区分といった曖昧な概念を導入しなくても、粗度密度の評価により設計用風荷重を決める風速鉛直プロフィールのべき指数が決まることも意味している。

建築物の高さ以下での風速プロフィールは、建築物の影響を受けるためにばらつきが大きい。そのためべき法則も成立しない場合があり、このような高さではこの手法では決められない。LESモデルを用いた数値シミュレーションでは、このような複雑な風の流れも再現することが可能であり、今後の研究課題としたい。

【参考文献】

- 1) Raupach, M.R et. al.: Rough-wall Turbulent Boundary Layers, Appl. Mech. Rev., Vol. 44, pp.1-25, 1991.
- 2) Counihan, J.: Adiabatic Atmospheric Boundary Layers, Atmos. Environ., Vol. 9, pp.871-905, 1975.
- 3) T. Tamura, S. Cao, O. Ohno, Y. Okuda, H. Okada, H. Yamauchi: LES Estimation on Wind Profile in Urban Area -Comparison with Observation Data during Typhoon, Preprints of 11th International Conference on Wind Engineering (11ICWE), pp.2697-2704, 2003.6
- 4) 田村哲郎・大野 修・奥田泰雄・岡田 恒: 都市域における強風乱流のLES解析モデルの提案、日本建築学会構造系論文集、第589号、pp.49-57、2005.3