

都市スケールモデルおよび水田上の境界層乱流の 類似性に対する建物アスペクト比の影響

愛媛大学大学院 学生会員 ○藤井恵人
愛媛大学大学院 正会員 森脇 亮
愛媛大学大学院 正会員 藤森祥文

1. はじめに

都市や森林などキャノピーを有する地表面では大気乱流はキャノピー構造に支配されるため複雑である。しかしながら、その特性は十分に解明されていないのが現状である。

都市キャノピーの乱流構造は植生キャノピー乱流に類似するとの考えがある一方で、都市キャノピー乱流は植生キャノピーよりもむしろ草原のような粗度の小さい地表面上の乱流に似ているのではないかとの主張もある。森脇ら¹⁾は、この問題に関して明確な答えを出すために都市スケールモデルと水田キャノピー上で乱流の同期計測を実施し、その知見の一つとして都市モデルに比べて水田では乱れが効率的に運動量を輸送していることを明らかにした。そして、その違いの原因の一つにフロントルエリアインデックス（風上方向からみた場合の建物投影面積と敷地面積の割合）の差異を挙げている。

そこで本研究では、上記の研究をさらに発展させるべく、都市モデルのフロントルエリアインデックスを大きくした実験を行い、都市スケールモデルと水田キャノピー上の乱流特性の違いに関してさらなる検討を行った。

2. 都市模型および水田における実験概要

(1) 都市模型と水田の諸元

森脇ら¹⁾の実験では都市模型のアスペクト比（通路幅に対する建物高さの比）を1とし、2009年の実験ではアスペクト比を3.3とした。平均建物高さ（30 cm）と建蔽率（0.25）は森脇ら¹⁾の実験と今回の実験で同一にしてある。森脇ら¹⁾の実験では、一辺30cmの塩化ビニル製立方体400個を等間隔に配置し、今回の実験では高さ30 cm、幅9.0 cmの木杭4489本を等間隔に配置した。都市模型の様子を図-1に示す。

(2) 計測システムおよびデータ解析手法

瞬間的な風速と気温測定には、三次元超音波風速温度計（Kaijo社、SAT-550）を用いた。計測機器の設置場所は図-2の通りである。森脇ら¹⁾の実験と今回の実験で計測機器の設置場所が異なっているが、これは現場周辺の制約上の問題による。

データは10 Hzでデータロガー（Campbell, CR23X）に一時収録した後、ノートPCに自動保存した。測定データ

は60分毎に統計処理し、渦相関法を用いてフラックスを算出した。風速の範囲は $0.5 \sim 2.7 \text{ m s}^{-1}$ と微弱風が中心であるが、大気安定度は $-0.11 \sim -0.01$ の範囲内でありほぼ中立に近い大気状態のデータで構成されている。

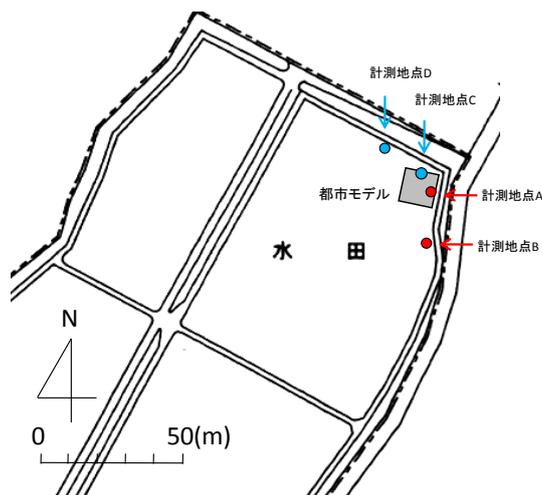


図-2 計測サイト

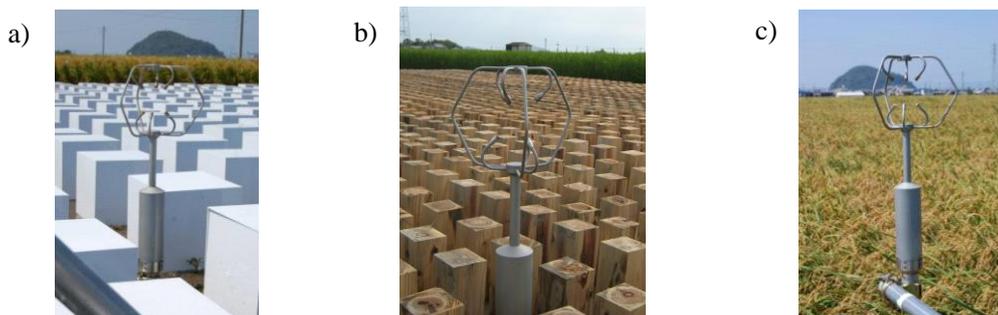


図-1 a) 都市モデル (H/W=1.0), b) 都市モデル (H/W=3.3), c) 水田上に設置した計測機

3. 結果と考察

(1) 摩擦速度と抵抗係数

森脇らの都市モデル ($H/W=1.0$) での実験および今回行った都市モデル ($H/W=3.3$) における植生キャノピー上の風速と摩擦速度の比較を行ったところ、両者の乱流強度には大きな差はなかった。そこで、実験を行った時期が異なるものの、植生キャノピーとの相対的比較によりアスペクト比 ($H/W=1.0$) と ($H/W=3.3$) の都市モデルを比較する。都市モデルと水田上それぞれにおいてキャノピー高さの2倍で計測された摩擦速度 $u_* (= \sqrt{-u'w'})$, およびそれらから算出された抵抗係数 ($C_D = u_*^2 / u^2$) を図-3に示す。図-3の a)より水田に比べて都市モデルの摩擦速度が小さくなり、これらは森脇ら¹⁾が報告したとおりである。しかしながら、b)の抵抗係数にはアスペクト比によって顕著な違いが見られた。今回新たに実験を行った都市モデル ($H/W=3.3$) の抵抗係数は $H/W=1$ のモデルに比べて値が大きくなり、水田と同レベルの大きさになっていた。

以上のように水田との相対的な比較により、都市モデル ($H/W=1.0$) より都市モデル ($H/W=3.3$) の方が効率的に運動量を吸収していることが明らかとなった。

次に乱れの周波数特性の比較をするため水平風速データのスペクトル解析を行った (図-4)。スペクトルには周波数の重みをつけ分散で無次元化した。図-4を見ると植生上には 0.05Hz と 0.2Hz 付近の二つのピークを持っており、この特徴は都市モデルには見られず、両者には差異が認められた。

この原因を探るため、穂波をビデオ撮影した情報を用いて、水稲の水平変位から変位スペクトルを求めた (図-5)。図-4の植生のスペクトルと比較すると、図-5の変位スペクトルには 1.0Hz と 0.09Hz に二つのピークが見られ、周波数帯が一致していないものの、二つのピークを有している点は同じである。これはキャノピー高さの2倍の高度で観測しているため、ピーク周波数帯が低周波側にシフトしたのかもしれない。以上より植生上の乱流には水稲の揺れが深く関係していると考えられる。

4. まとめ

大きいフロントルエリアインデックスを有する都市キャノピー (細長い棒を並べたようなキャノピー) は個々の粗度要素の幅が小さくなり、都市というよりは植物キャノピーに近くなると思われる。そしてこのようなキャノピーでは、植生キャノピーの様に流れがキャノピー内部でも生じやすくなり、個々の粗度要素による抵抗によって運動量が効率的に輸送されるものと考えられる。しかし植生には可撓性といった都市には現れない性質持っているため、上空の乱流構造はさらに複雑になっていると考えられる。キャノピー上乱流構造を解明するにはこれらを総合的に判断するべきで、今後も更なる研究が必要である。

参考文献

- 1) 森脇, 青木, 藤森, 2009: 都市および植生キャノピー上における境界層乱流の同時観測, 土木学会水工学論文集, 53, 253-258.

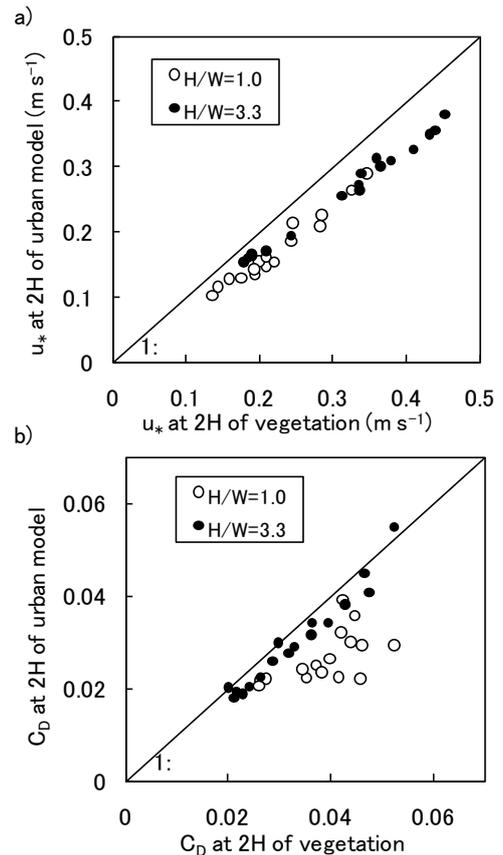


図-3 都市モデルおよび水田上における a) 摩擦速度 u_* , b) 抵抗係数 C_D の比較

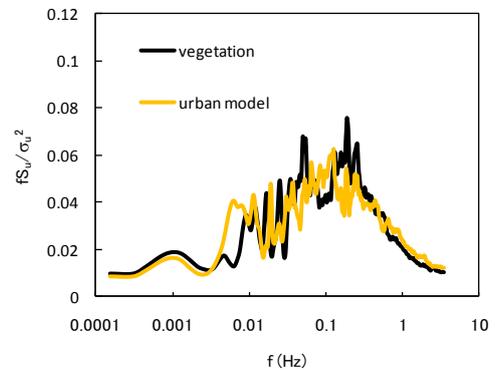


図-4 周波数特性の比較

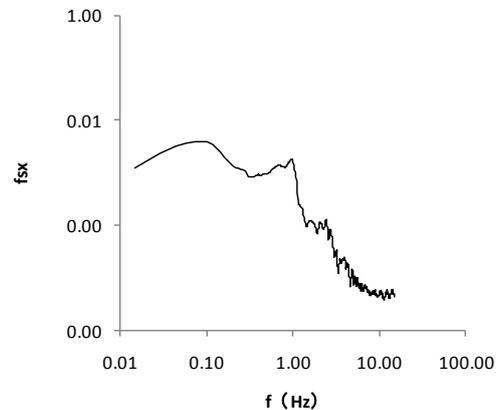


図-5 周波数特性の比較