

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2014

課題番号：24656330

研究課題名(和文) BIM・CFD連携による都市風環境の予測・評価・設計のための樹木モジュールの開発

研究課題名(英文) Development of a module of tree canopy model for prediction, assessment and design of urban environment using CFD and BIM

研究代表者

持田 灯 (Mochida, Akashi)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00183658

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず、樹林内や単木周辺流れの乱流統計量を取得するための野外観測を行った。次に、物体群を解像した高分解能のLESにより、Canopy層内の乱流統計量の詳細な分布を取得した。LESの結果を用いた乱れの長さスケールの算出方法を新たに考案し、Canopy層の乱れの長さスケールに及ぼす要因を分析した。さらに、物体を解像しないk-モデルに基づくCanopyモデルに含まれる係数設定法を検討した。最後に、樹木Canopyモデルを樹種毎にモジュール化し、このモジュールを汎用CFDコードに搭載して、東日本大震災の津波で防潮林が消失した仙台平野の農地を対象に、防潮林が風環境に及ぼす影響の分析を行った。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to develop a new module of tree canopy model for CFD prediction of urban environment. Firstly, field observations of turbulent flow fields in and around a group of trees were carried out and spatial variation of turbulent length scale was examined. Then, new evaluation methods of the turbulent length scale using LES data were developed to revise model coefficients of canopy model. Next, LES analyses of the wind flow within roughness elements were performed to investigate the influence of roughness configurations on turbulent characteristics within the canopy layer. Canopy models previously proposed based on k- model to reproduce the effect of roughness configurations on flow fields were examined and revised by using the turbulent length scale data provided by the LES. Finally, wind environments in an agricultural area located 20km south from Sendai were predicted to investigate the effects of new windbreak forest by using OpenFOAM with the revised tree canopy model.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：都市植栽 都市環境設計 風環境 CFDサブモデル モジュール化 BIM Canopyモデル 乱れの長さスケール

1. 研究開始当初の背景

(1) 樹木は屋外環境設計上の極めて重要な要素であり、ビル風対策、防砂・防雪・防潮、さらには暑熱環境緩和等に利用されてきた。Computational Fluid Dynamics (CFD: 数値流体力学) における樹木の流体力学的効果のモデル化は、Canopy flow modeling の方法論に基づき、気象分野、工学分野、各々で研究がなされてきた。Canopy モデルは、計算メッシュ内で固体と流体が混在する状態を考え、固体が流体に及ぼす影響を表す項を基礎式に付加してその効果を再現していた(表1中の F_i , F_k , F_ε の各項)。

表1 樹木の影響を組み込んだ流体の基礎式 (k-εモデルに基づく場合)

[平均流の輸送方程式]	
$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_i \rangle \langle u_j \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\rho}{3} k \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \nu_t \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \right\} - F_i$	(1)
[乱流エネルギーkの輸送方程式]	
$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_j \rangle k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon + F_k$	(2)
[粘性消散率εの輸送方程式]	
$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \langle u_j \rangle \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\nu_t}{\sigma} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_{1\varepsilon} P_k - C_{2\varepsilon} \varepsilon) + F_\varepsilon$	(3)

(2) 従来の研究は、i)水平一様に広がる樹林帯(森林等)を想定する気象分野と、ii)計算メッシュスケール≪樹木スケールの状況を想定し、樹木全体ではなく個々の葉の抵抗のみをモデル化の対象とする工学分野のモデルに2極化していた(図1)。

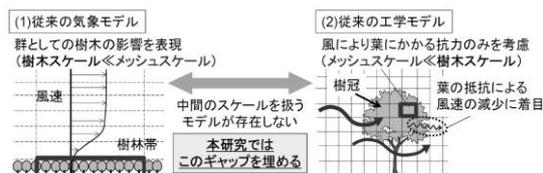


図1 樹木の影響を再現する従来の Canopy モデル

2. 研究の目的

(1) 都市空間に散在する様々な密度、形状の上栽(樹木群)の流体力学的効果を明らかにし、これをマクロに記述する実用性の高い CFD サブモデルを開発する。
 (2) (1)を利用するための入力条件を、BIM (Building Information Modeling) 連携型の CFD 解析ソフトのモジュールとしてパーツ化する。
 (3) (2)を搭載した CFD ソフトを用いた解析と実測結果の比較からその精度を検証する。これにより、従来より格段に精緻で迅速かつ多面的な都市環境設計や建物外構の植栽計画が可能となる。

3. 研究の方法

(1) 千葉県袖ヶ浦の圃場において単木と群

落の中間的樹木密度の領域において、風速や乱流統計量、さらに蒸散量や温湿度の長期測定を実施し、得られた乱流統計量から、樹木 Canopy 層内での乱流渦の長さスケールの性状などを明らかにする。

(2) 物体群を解像した高分解能の LES により、Canopy 層に作用する抗力と Canopy 層内の乱流統計量の詳細な分布を算出する。得られた乱流統計量を用いて、新たな乱れの長さスケールの算出方法を考案し、物体群の形状が Canopy 層の乱れの長さスケールの分布に及ぼす影響を分析する。そして、高分解能の LES の結果と物体群を実際には解像しない k-ε 型の Canopy モデルに基づく実用モデルに含まれる係数設定法を検討するとともにその最適化を行う。

(3) 樹木の形状やモデル係数を樹種ごとにモジュール化を行い、樹木モジュールを汎用 CFD 解析コードに搭載する。この汎用コードを用いて、RANS 型の Canopy モデルに基づく解析を行い、東日本大震災の際の津波により防潮林が消失した仙台平野の農地を対象に、防潮林の有無が風環境に及ぼす影響を数値予測し、本研究の有用性を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 樹木群落内の乱流統計量の測定に基づく乱れの長さスケールの推定

①実測概要

2014年8月5日から8日まで4日間、千葉県袖ヶ浦市の富士植木千葉支店圃場内にて実測を行った。8日明け方までは晴天が続いたが、8日の午前中に一時的に雨が降った。圃場内の樹木群落の樹高は7~8m程度であった。図2に測定点A~Fの配置を示す。樹木群落内(A、B、C)では高さ6mと4mと2m、樹木群落外(D、E、F)のうち点Dは樹冠上方の高さ7.3m、点E、Fは単木後方における高さ6mと1.5mにそれぞれ3次元超音波風速計を設置し測定した(表2)。

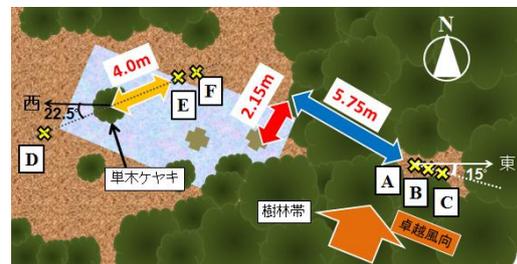


図2 測定点配置図

表2 測定項目

測定項目	測定点	測定高さ	測定機器	測定間隔	備考
風速・風向	A	2m	CYG-81000	0.1s	樹木群落内
	B	4m			
	C	6m			
	D	7.3m	DA-600	0.05s	樹冠上方
	E	1.5m			
	F	6m			

②実測結果

図3に樹木群落内と単木後方の日中および

夜間の平均風速の鉛直分布を示す。日中は樹冠上方の点Dの乱流熱フラックス($w'\theta'$)の日変化がピークをむかえる5日~7日の12:00から14:00(8日は降雨後のため除いた)、夜間は点Dの($w'\theta'$)の値が負となる時間帯のデータを抽出した。諸量は、樹冠上方(点D)での風速の平均値(u_D)で基準化している。群落内と単木後方の結果を比較すると、樹木の風速低減効果により、単木後方に比べ群落内の方が $\langle u(z) \rangle / \langle u_D \rangle$ が小さかった。

図4に、各々の測定点の平均風速で乱流エネルギーを基準化した乱流エネルギー($k \langle u(z) \rangle^2$)の鉛直分布を示す。ここでは成層状態が中立だった夜間のみを示している。図3より群落内では風速が低減していたが、その場の平均風速で基準化した乱流エネルギーを比較すると、群落内の方が単木後方より大きくなっている。これは、樹冠内を気流が通過することで、小さな乱流渦が多く生成されることを示している。

次に以下の手順で乱れの長さスケールを推定した。まず、10分間毎に自己相関係数を算出し、それを積分することで乱れの時間スケールを求めた。次に、積分区間は0から自己相関係数がはじめて0となった時間ラグまでとした。求めた乱れの時間スケールに、その地点の各高さの10分間平均風速を乗じることで長さスケールを求めた。

図5に主流方向風速の時系列データから求めた乱れの長さスケールの鉛直分布を示す。群落内の乱れの長さスケールは樹冠上方(点D)よりも小さな値であり、単木後方と比べその値が小さいことから、樹木群落内では樹冠によって乱流渦が小さく分解されていることが分かる。また、群落内ではほぼ一定の値となっている。一方、単木後方では高さ6m(点C)で大きな値を取っていた。これは単木後方において周期的な変動が生じているためと考えられる。

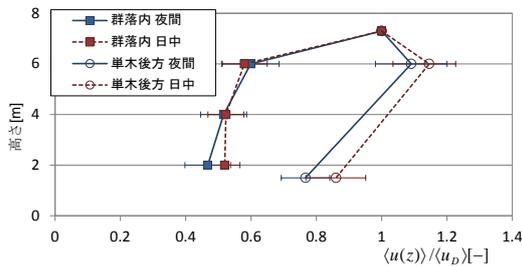


図3 平均風速 $\langle u(z) \rangle / \langle u_D \rangle$ の鉛直分布

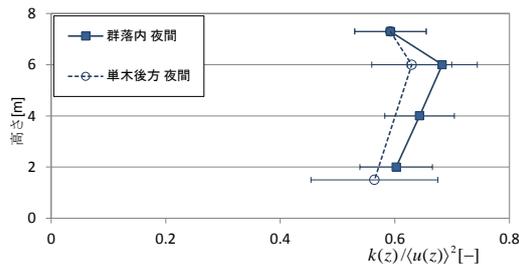


図4 各高さの風速で基準化した乱流エネルギー $k(z) / \langle u(z) \rangle^2$ の鉛直分布

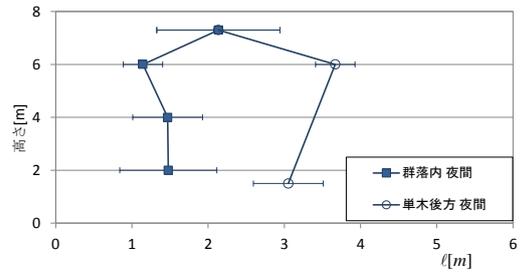


図5 主流方向風速の乱れの長さスケールの鉛直分布

(2) LES 解析の結果を用いた新たな乱れの長さスケールの推定方法の提案

本研究では、以下に示す3つの方法で、LESの結果より乱れの長さスケールを推定した。

①乱流エネルギーとエネルギー散逸率より推定する方法

乱流場の渦の特徴的スケールを決定するパラメータが乱流エネルギー k とエネルギー散逸率 ε であるとし、次元解析より渦の長さスケールを式(4)で与える。

$$l \propto \frac{k^{3/2}}{\varepsilon} \Rightarrow l = \alpha \frac{k^{3/2}}{\varepsilon} = \alpha l_{k-\varepsilon} \quad (4)$$

②渦粘性係数を基に推定する方法

Reynolds stress に勾配拡散近似を施すと、次式となる。

$$-\langle u'_i u'_j \rangle = \nu_t \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (5)$$

LESより、左辺のレイノルズストレス及び、右辺の平均速度勾配を算出し、渦粘性係数 ν_t を得ることは可能であるが、1つの計算メッシュに対して、6つの式が成立するので、 ν_t を一意に決定することは不可能である。そこで、本研究ではdynamic Smagorinsky modelのSmagorinsky係数の決定に用いられるLillyの最小二乗法に倣い、 ν_t を決定した。まず、(5)式の左辺と右辺の差の2乗の全成分の和を最も小さくする ν_t を決定する。

$$e_{ij} = \nu_t \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} k \delta_{ij} - (-\langle u'_i u'_j \rangle) \quad (6)$$

$$= \nu_t S_{ij} + R_{ij} \quad (7)$$

$$\text{ただし、} S_{ij} = \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i}, \quad R_{ij} = \langle u'_i u'_j \rangle - \frac{2}{3} k \delta_{ij}.$$

ここで、 $Q = e_{ij} e_{ij}$ を最小にする ν_t を得る必要がある。

$$Q = e_{ij} \cdot e_{ij} = (\nu_t S_{ij} + R_{ij}) \cdot (\nu_t S_{ij} + R_{ij}) \quad (8)$$

$$= S_{ij} S_{ij} \nu_t^2 + 2R_{ij} S_{ij} \nu_t + R_{ij}^2 \quad (9)$$

Q は ν_t の2次関数で、下に凸なので、 Q の一次導関数が0の点で、 Q つまり(5)式の左辺と右辺の差の2乗の全成分の和が最小となる。

$$\frac{\partial Q}{\partial \nu_t} = 2S_{ij} S_{ij} \nu_t + 2R_{ij} S_{ij} \quad (10)$$

なので、

$$2S_{ij}S_{ij}v_t + 2R_{ij}S_{ij} = 0 \quad (11)$$

$$v_t = -\frac{R_{ij}S_{ij}}{S_{kl}S_{kl}} \quad (12)$$

$$= \frac{2P_k}{S_{kl}S_{kl}} \quad (13)$$

$$\text{ただし、} P_k = \left\langle u'_i u'_j \right\rangle \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right).$$

ここで、渦粘性係数が乱れの速度スケールと乱れの長さスケール ℓ_{vt} で表現され、乱れの速度スケールに $k^{1/2}$ を採用すると、(13)式は、次式となる。

$$k^{1/2} \cdot \ell_{vt} = \frac{2P_k}{S_{kl}S_{kl}} \quad (14)$$

$$\ell_{vt} = \frac{2P_k}{S_{kl}S_{kl}k^{1/2}} \quad (15)$$

③物体群を解像した流れ場で定式化される ε 方程式と Canopy モデルで想定する水平一様な流れ場で定式化される ε 方程式の差に着目した方法

Canopy モデルを付加した場合の ε 方程式において、局所平衡を考えると式(16)となる。

$$C_{\varepsilon 1}P_k + C_{\varepsilon} \frac{k^{3/2}}{L_{obs}} - C_{\varepsilon 2}\varepsilon = 0 \quad (16)$$

ここで

$$\ell = \frac{L_{obs}}{C_{\varepsilon}} \quad (17)$$

なので、式(17)は次式の通り書き換えられる。

$$C_{\varepsilon 1}P_k + \frac{k^{3/2}}{\ell} - C_{\varepsilon 2}\varepsilon = 0 \quad (18)$$

建物を解像した LES から得た統計量で ε 方程式の各項を算出することを考える。局所平衡を仮定すると式(19)となり、 k - ε モデルのモデル化が正しいとすると式(6)は P_k および ε にモデル係数を付した式(20)となる。

$$P_k - \varepsilon_k = 0 \quad (19)$$

$$C_{\varepsilon 1}P_k - C_{\varepsilon 2}\varepsilon = 0 \quad (20)$$

式(18)と式(20)を比較するにあたって式(18)、(20)を高さ毎に水平方向に空間平均すると式(21)、(22)となる。ここで $[f]$ は変数 f の水平方向空間平均値を表し、添字の **resolved** は **roughness** を解像したとき、**modeled** は **roughness** をモデル化したときの値を表す。

$$C_{\varepsilon 1}[P_k]_{\text{modeled}} + \frac{[k]_{\text{modeled}}^{3/2}}{\ell} - C_{\varepsilon 2}[\varepsilon]_{\text{modeled}} = 0 \quad (21)$$

$$C_{\varepsilon 1}[P_k]_{\text{resolved}} - C_{\varepsilon 2}[\varepsilon]_{\text{resolved}} = 0 \quad (22)$$

ここで Canopy モデルでの ε が建物を解像した場合の ε の空間平均値を正しく予測出来ているとすると式(23)となり、

$$[\varepsilon]_{\text{resolved}} = [\varepsilon]_{\text{modeled}} \quad (23)$$

式(21)~(23)から、

$$C_{\varepsilon 1}[P_k]_{\text{modeled}} + \frac{[k]_{\text{modeled}}^{3/2}}{\ell} = C_{\varepsilon 1}[P_k]_{\text{resolved}} \quad (24)$$

式(24)を変形して、

$$\frac{1}{\ell} = \frac{C_{\varepsilon 1}[P_k]_{\text{resolved}} - C_{\varepsilon 1}[P_k]_{\text{modeled}}}{[k]_{\text{modeled}}^{3/2}} \quad (25)$$

ここで

$$[k]_{\text{modeled}}^{3/2} = [k]_{\text{resolved}}^{3/2} \quad (26)$$

が成立すると、

$$\ell_{\varepsilon\text{-eq}} = \frac{[k]_{\text{resolved}}^{3/2}}{C_{\varepsilon 1}[P_k]_{\text{resolved}} - C_{\varepsilon 1}[P_k]_{\text{modeled}}} \quad (27)$$

ここで、 $[P_k]_{\text{resolved}}$ は各計算格子でその場所の Reynolds stress と平均速度勾配から求めた P_k の空間平均値である。一方、 $[P_k]_{\text{modeled}}$ は Canopy モデルの P_k に対応するものであり、水平方向に空間平均された Reynolds stress と平均速度勾配から求めた P_k である。

(3) 物体群を解像した LES 解析に基づく乱れの長さスケールの算出

①解析条件

アスペクト比 0.5、1.0、1.5 の一様物体群を対象とし、周期境界条件を課した LES を実施した。表 3 に解析ケースを表 4 に解析条件を示す。

表 3 解析ケース

Case	Case 0.5	Case 1.0	Case 1.5
アスペクト比[-]	0.5	1.0	1.5
粗度立面積密度[-]	0.087	0.17	0.26
粗度水平面積密度[-]	0.17		

表 4 解析条件

SGS モデル	標準 Smagorinsky モデル ($C_s=0.12$)
グリッドシステム	スタガードグリッド
時間差分スキーム	2次精度 Adams-Bashforth 法
空間差分スキーム	3次精度風上差分
圧力解法	SMAC 法
流入・流出境界	周期境界条件
側面境界	周期境界条件
上面境界	u_1, u_2 : 法線方向の勾配ゼロ \bar{u}_3 : $\bar{u}_3 = 0$
壁面境界	Werner and Wengle の linear - power low 型の 2 層モデル
Reynolds 数	17,000 ($(u_0) \times H/\nu$)
流れの駆動力	平均圧力勾配 $-\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle \bar{p} \rangle}{\partial x} \left(\frac{(u_0)^2}{H} \right) = 1.12 \times 10^{-3}$

②LES に基づく乱れの長さスケールの算出

図 6 に本研究で提案した 3 つの手法に基づき算出した乱れの長さスケール $\ell_{k-\varepsilon}$ 、 ℓ_{vt} 及び $\ell_{\varepsilon\text{-eq}}$ の Case1.0 における値を 1 とした時の比を示す。各乱れの長さスケールの Case0.5、1.0、1.5 の比が概ね等しくなっており、Case0.5 は Case1.0 の長さスケールのおよそ 1.15 倍、Case1.5 は Case1.0 のおよそ 0.75 倍であることが分かった。Case0.5 の時、3 種の乱れの長さスケールはわずかに異なる

り、 l_{e-eq} は最も Case1.0 に近い値となった。また、Case1.5 の時、 l_{k-e} と l_{e-eq} がほぼ等しくなり l_{vt} より小さくなっていった。

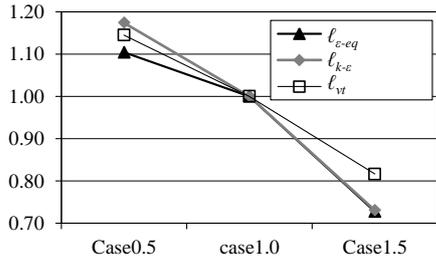


図6 各種乱れの長さスケールの3ケース間の比

(4) Canopy モデルにおける各種パラメータの一般化の検討

流れ場を正しく表現するには、付加項中の抗力に関わるモデル係数 C_f 、乱れの長さスケール l に関わる C_ε に、物体の形状や物体群の密度に応じて適切な値を与える必要がある。 l はモデル係数 C_ε を介して、Canopy 層の幾何学的長さスケール L_{obs} と(28)式のように関連付けられていることが多い。

$$l = \frac{L_{obs}}{C_\varepsilon} \quad (28)$$

既往の Canopy モデルでは、微小物体の密度毎に様々なモデル係数が提案されていた。本研究では、(3)までの検討を参考に、モデル係数 C_ε が粗度水平面積密度 λ_p によらず一定となるような幾何学的長さスケール L_{obs} の定義を再検討した。粗度水平面積密度が低い場合、Canopy 層内の乱れの長さスケール L_{obs} は物体高さにより規定されると考え、 L_{obs} に物体高さ H を与えた。また、粗度水平面積密度が大きい場合は Canopy 層内における乱れの長さスケールは物体の高さ H と、物体間の距離 D によって生じるものの両方が支配的であると考えられる。そこで、粗度水平面積密度 0.3[-]以上のときは幾何学的長さスケールには物体高さの影響と物体間の距離の影響を考慮した長さスケール L_{obs} を(29)式として与えた。この定義により C_ε の分布が3付近でほぼ一定となった(図7)。

$$L_{obs} = \begin{cases} H & (\lambda_p < 0.3[-]) \\ \frac{1}{\frac{1}{H} + \frac{1}{D}} & (\lambda_p > 0.3[-]) \end{cases} \quad (29)$$

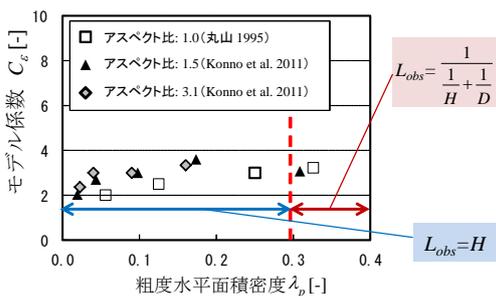


図7 粗度水平面積密度とモデル係数の関係

(5) 植樹された防潮林が仙台平野沿岸部の風速分布に及ぼす影響の検討

以上の検討を踏まえてチューニングを行った樹木 Canopy モデルを汎用流体解析コード OpenFOAM に組み込んだ。これを用いて、宮城県南部の沿岸に位置する亶理郡の農地において、東日本大震災の津波によって消失した防潮林を復興後の状態へと再現した風環境解析を実施し、植林された防潮林が農地の風環境へ及ぼす影響の分析を行った(図8)。

検討ケースは防潮林有り、無しの場合の2ケース×16風向=32ケース。防潮林は40年後の十分に生長したクロマツを想定し、樹高15m、樹冠高さ7.5mとした。樹冠の流体力学的抵抗を再現するパラメータは(4)の検討を参考に与えた。地形は国土地理院が提供する基盤地図情報の標高データを用いて再現し、嵩上げや新設される堤防の形状も再現した。解析条件は表5参照。

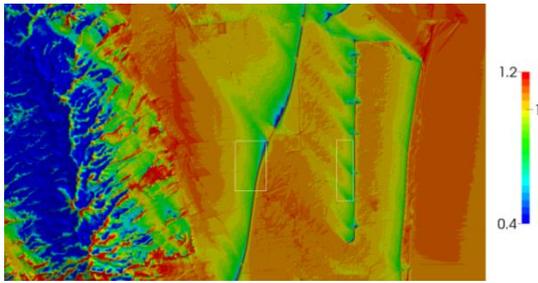
図9(a)に防潮林が無い場合、(b)に防潮林が有る場合(防潮林生育後)の風速分布を示す。風速は地上1.5mでの流入風速で基準化した。ここでは、卓越風向の一つで、防潮林がイチゴ団地へ及ぼす影響が大きかった南東風の結果を示す。開墾場イチゴ団地周辺の風速は防潮林によって防潮林があるケースでは、無いケースに比べ風速が大きく減少している。



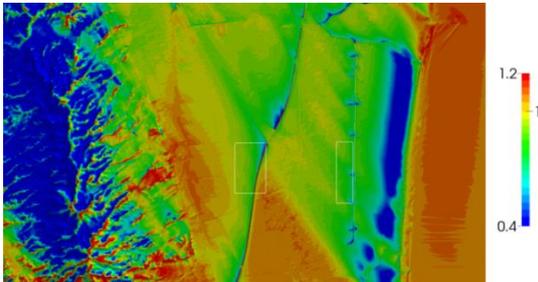
図8 亶理郡の地形データ

表5 解析条件

CFD 解析ソフト	OpenFOAM 2.3.0 ²³⁾
乱流モデル	RNG k-ε model
圧力解法	SIMPLE 法
空間離散化スキーム	一次風上差分
メッシュ数	12,071,947
メッシュサイズ	水平方向：2.5~40m 鉛直方向：1~40m 地表面や堤防等の近傍で最小となるように設定した。
流入境界	風速：べき乗則 α：べき指数 (風向：北北東~南南東で α=0.1 (粗度区分 I ²⁴⁾ 、 風向：北、南~北北西で α=0.15 (粗度区分 II ²⁴⁾) その他の条件は日本建築学会の『市街地風環境予測のための流体数値解析ガイドブック』 ²⁵⁾ に従った。
流出境界	法線方向の勾配ゼロ
側面境界	法線方向の勾配ゼロ
上空境界	slip 条件
地表面・建物表面境界	風速：一般化対数則(滑面) k：勾配ゼロ ε：壁関数 ($\varepsilon = \frac{C_\mu^{3/4} k^{3/2}}{\kappa z}$ ($C_\mu = 0.09, \kappa = 0.41$))



(a) 防潮林無し



(b) 防潮林有り

図9 無次元風速の空間分布
(南東風、地上1.5m)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

- ① T. Okaze, A. Ono, A. Mochida, Y. Kannuki, S. Watanabe, Evaluation of turbulent length scale within urban canopy layer based on LES data, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 査読有り, 掲載確定, 2015, 10.1016/j.jweia.2014.11.016
- ② 阿藤裕昭, 大風翼, 持田灯, 単木周辺及び樹木群落内の乱流統計量の測定と乱れの長さスケールの推定, 2015年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読なし, 掲載確定, 2015
- ③ 渡部朱生, 大風翼, 持田灯, LESによる都市ラフネスが都市 Canopy 層の流れの構造に及ぼす影響の分析(その5) LESに基づく Canopy モデルのための新たな乱れの長さスケールの推定方法の提案, 2015年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 査読なし, 掲載確定, 2015
- ④ 渡部朱生, 大風翼, 環貫陽, 持田灯, LESによる都市ラフネスが都市 Canopy 層の流れの構造に及ぼす影響の分析(その4) LESに基づく Canopy モデルのパラメータ推定方法の妥当性の検証, 2014年度日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II, 査読なし, 2014, pp669-670

〔学会発表〕(計7件)

- ① 阿藤裕昭, 大風翼, 持田灯, 単木周辺及び樹木群落内の乱流統計量の測定と乱れの長さスケールの推定, 2015年度日本建築学会大会(関東), 2015年09月04日~2015年09月06日, 東海大学(神奈川県平塚市)
- ② 渡部朱生, 大風翼, 持田灯, LESによる都市ラフネスが都市 Canopy 層の流れの構造

に及ぼす影響の分析(その5) LESに基づく Canopy モデルのための新たな乱れの長さスケールの推定方法の提案, 2015年度日本建築学会大会(関東), 2015年09月04日~2015年09月06日, 東海大学(神奈川県平塚市)

- ③ 渡部朱生, 大風翼, 環貫陽, 持田灯, LESによる都市ラフネスが都市 Canopy 層の流れの構造に及ぼす影響の分析(その4) LESに基づく Canopy モデルのパラメータ推定方法の妥当性の検証, 2014年度日本建築学会大会(近畿), 2014年09月12日~2014年09月14日, 神戸大学(兵庫県神戸市)
- ④ Tsubasa Okaze, Azusa Ono, Akashi Mochida, Yo Kannuki, Evaluation of turbulent length scale within urban canopy layer based on LES data, 6th International Symposium on Computational Wind Engineering, 2014年06月09日~2014年06月12日, Hamburg (Germany)
- ⑤ Akashi Mochida, Prediction of urban environment based on engineering CFD models, 9th International Advanced School on Wind Engineering, 招待講演, 2012年08月13日~2012年08月16日, Manila (Philippine)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

〔その他〕

無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

持田 灯 (MOCHIDA, Akashi)
東北大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 00183658

(2) 連携研究者

手代木 純 (TESHIROGI, Jun)
(公財)都市緑化機構・研究部・主任研究員
研究者番号: 70537026

(3) 研究協力者

小林 光 (KOBAYASHI, Hikaru)
東北大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 90709734