

低層住宅への飛来物衝突評価のための数値シミュレーション
Numerical simulation for windborne debris damage analysis of low-rise houses

○文礼志・西嶋一欽

○Lizhi WEN, Kazuyoshi NISHIJIMA

This study aims to simulate the flying motion of windborne debris focusing on the effects of flow fields of low-rise residential house areas. The proposed simulation method consists of (1) CFD simulation of flow field in residential house areas, and (2) numerical simulation of windborne debris motion with various wind directions using stored flow field data. In the CFD simulation, proposed method defines two inlet boundaries with turbulent inflow to maintain high quality mesh in simulation cases with different wind directions. The results of windborne debris motion simulation shows that the flow field in house areas greatly influences the flying distances of debris.

1. はじめに

近年、台風などの極端気象現象が増加している。それに伴い、住宅の屋根葺き材が強風で飛ばされ、近隣の住宅に衝突することによる飛来物衝突被害が多く生じている。飛来物衝突を評価するために、強風時の飛散物の飛散範囲や衝撃力を予測することが必要である。飛散物の飛散性状を解明する風洞実験や数値解析は数多く行われている^[1]。ただし、これらの既往研究は飛散物の飛散開始位置の影響と複数の建物の配置による気流の乱れの影響を考えていない。

本研究では、数値計算により住宅環境の流れ場における飛散物の運動シミュレーションを行う手法を提案した上で、低層住宅への飛来物衝突評価のために必要な飛散物の飛散経路や衝撃力などに関する統計データを提供する。

2. 提案手法

本研究で提案する住宅環境の流れ場における飛散物の飛散性状の数値シミュレーション手法は以下の通りである。

(1) LES(Large Eddy Simulation)方法を用いる数値流体解析(以下ではCFD解析と呼ぶ)により住宅環境の流れ場のシミュレーションを行い、領域全体の風速の時刻歴データを保存する。色々な風向の場合における風速場をシミュレーションするために、流入変動風を二面から流入させる。

(2) 風速の時刻歴データを利用して以下の飛散物の運動方程式を数値計算で解く。

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} + m\mathbf{g} \quad (1)$$

$$F_{x,y,z} = (\rho|\mathbf{U} - \mathbf{u}|^2/2)C_{d,x,y,z}A \quad (2)$$

ここに \mathbf{u} は飛散物の速度ベクトル $\mathbf{u} = (u_x, u_y, u_z)$ 、 \mathbf{F} は風力ベクトル $\mathbf{F} = (F_x, F_y, F_z)$ 、 \mathbf{U} は風速ベクトル $\mathbf{U} = (U_x, U_y, U_z)$ 、 m は質量、 \mathbf{g} は重力加速度、 ρ は空気密度、 C_d は飛散物の風力係数、風向と姿勢に関する関数で、 A は飛散物の代表面積。また、風力係数 C_d は風洞実験に基づいて値を定める。

3. 二面流入変動風を使う CFD 解析

CFD解析領域の流入境界条件は事前に行われた風洞気流シミュレーションで保存された流入変動風データを使う。風洞気流シミュレーションの領域はドライバー領域と呼ぶ^[2]。

実環境の風向は事前に分からないので、色々な風向における住宅群の風速場をシミュレートする必要がある。風向を変える方法について、風洞実験では建物模型を回転することである。ただし、数値シミュレーションで、解析領域の中にある建物を回転すると、建物の境界をよく再現する格子分割を作るのが困難である。そこで本研究で風向を変える方法は建物を回転することではなく、格子と共に解析領域を回転することである。図1にはこの方法を示している。風向角が 0° の場合、ドライバー領域では一つの面の風速データを保存する。風向角が 0° ではない場合、解析領域を回転すると、風に向かう断面は二つがあるので、ドライバー領域ではこの二つの断面の風速データを保存する。この方法では、違う風向でも同じ格子分割

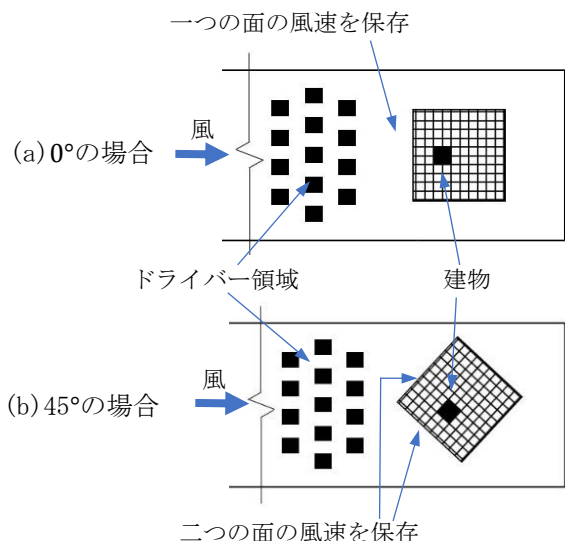


図 1. 風向を変えるシミュレーション方法

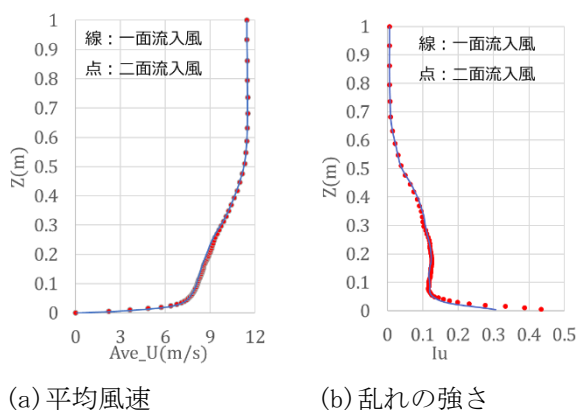


図 2. 一面流入変動風と二面流入変動風による CFD 解析で作られた気流のプロファイルの比較

を使うので、斜めの風向でも住宅の境界をよく再現する格子で計算できる。

従来の CFD 解析はほとんど一面流入変動風を使うものなので、二面流入変動風による CFD 解析の適用性を検証する必要がある。このために、解析領域の中に建物を入れない状態で、二面流入変動風による解析で作られた気流の性状を一面流入変動風による解析の結果と比べる。図 2 に、この二つの方法で作られた気流の鉛直プロファイルの比較を示している。プロファイルの位置は解析領域の回転中心である。図 2 によると、二つの解析で作られた気流の性状は概ね一致しており、二面流入変動風による CFD 解析の適用性が確認された。

4. 住宅環境の流れ場が飛散物の飛散性状に及ぼす影響

前節の方法で取得した風速場データを使って飛散物の運動シミュレーションを行う。図 3 に一つ

の計算例を示す。風向は斜めの 45° で、住宅から接近流は、 30m 上流、高さ 8m における平均風速が 30m/s である。住宅の屋根は切妻屋根である。住宅の寸法について、長さ L は 10m 、幅 D は 9m 、高さ Z は 8m である。同じ寸法の住宅が 3 行 2 列で配置されている。飛散物の飛散開始位置は 6 つあり、すべて住宅の角(図中の各住宅屋根の右上)にある。飛散開始位置の高さは住宅の高さ 8m である。飛散物の形状は球体とし、直径は 8mm 、密度は 2000kg/cm^3 、風力係数 C_d は x, y, z 方向で同一に 0.5 とする。各位置に、 0.5s の時間間隔で 100 個の飛散物を飛ばす。

表 1 飛散物の着地時の飛散距離の統計値に飛散物の着地時の飛散距離の統計値を示す。表によると、飛散開始位置により、気流の性状が違っているので、飛散距離も大きく違う。また、 30m/s の建物がない一様流中では、高さ 8m から飛ばされる同じ球体飛散物の飛散距離は 15.67m である。建物の配置の有無により飛散物の飛散性状が異なる。

5. まとめ

飛散物衝突による被害評価においては、飛散物の飛散開始位置の影響と複数の建物の配置による気流の乱れの影響を抗力することが重要であることを、数値流体解析手法および数値計算による飛散物経路の分析により明らかにした。

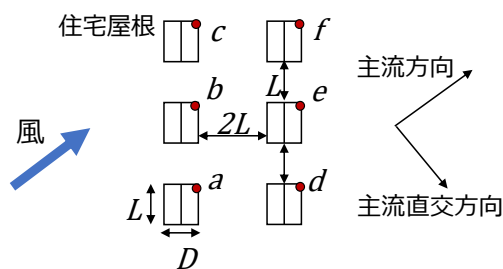


図 3. 住宅の配置と飛散物の飛散開始位置
表 1 飛散物の着地時の飛散距離の統計値

位置	平均飛散距離 (m)		飛散距離標準偏差	
	主流方向	主流直交方向	主流方向	主流直交方向
a	3.48	-0.13	2.19	1.14
b	2.96	-0.09	2.22	1.41
c	2.75	0.61	2.34	1.21
d	4.41	0.07	2.31	1.33
e	3.21	0.17	2.39	1.16
f	3.32	-0.18	2.29	1.25

参考文献

- [1] 岡崎純也, 丸山敬: 瓦と正方形平板の飛散性状のシミュレーション. 第 22 回 風工学シンポジウム論文集. 2012: 377-382.
- [2] 日本建築学会. 都市の風環境予測のための CFD ガイドブック. 2020.