

LES による領域分割法を用いた室内通風気流解析法に関する研究 (その 3) 集合住宅の一室を対象とした検討

Analysis of Indoor Cross-Ventilation Flow using Domain Decomposition Technique by LES (Part 3) Investigation for a room in an Apartment Building

学生会員 ○ HOANG Minh Hung (大阪大学) 正会員 小林 知広 (大阪大学)

技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学)

Minh Hung HOANG *¹ Tomohiro KOBAYASHI*¹ Toshio YAMANAKA*¹

*¹ Osaka University

In the previous paper, CFD analysis for a single room with two openings, using the Domain Decomposition Technique (DDT) by LES model. The result showed that the Domain Decomposition Technique have a high accuracy in predicting indoor airflow within the single room. This paper applies the same technique to a nLDK apartment building under two conditions of wind directions, i.e. 45° and 90°, to investigate the accuracy of DDT for a little more complex model.

1. はじめに

近年自然通風研究でも Large Eddy Simulation (LES) が利用されるようになった^{1,2)}。しかし依然計算負荷が高く室内外を同時に解析する通風の検討は複雑な室形状では容易ではない。一方、屋外風環境分野では LES を含めたガイドライン³⁾も見られ、屋外気流を対象とした LES は今後利用が拡大すると考えられる。本研究では、屋外解析データを利用して室内通風気流を LES で詳細に解析した際の精度の検証と課題の抽出を目的とし、倉渕ら⁴⁾が RANS で検討した「領域分割法」を LES で適用し、建物内外を同時に解析する「全域計算」の結果と比較する。既報⁵⁾では単室モデルを対象として 3 種の領域分割法を LES で適用し、非定常の室内気流性状の再現精度を検証した。本報では既報⁵⁾と同じ 3 種の領域分割法を利用し、nLDK 型の集合住宅の一室を想定した室を対象に検討を行った結果について報告する。

2. 解析概要

2.1 室内外同時計算 (全域計算 : Whole Domain)

解析対象とした建物及び室モデルを図 1 に示す。当該モデルは丹原ら⁶⁾が解析したモデルに基づいている。既報⁵⁾と同様に風洞を模擬して室内外を同時に解析する LES 計算を行った (以降、全域計算)。解析対象は外寸 384 × 182 × 384 mm の矩形モデルであり、3 住戸 6 層の建物を想定した。本報では 5 層目の 1 室のみ開口を開放している状況を想定した。この室モデルはリビングを想定する面に 30 × 40 mm の開口を 2 つ (開口 1、開口 2)、その対面に入口を想定して 20 × 40 mm の開口を 1 つ (開口 3) 設けている。住戸幅は内法 120 mm で、壁厚 6.0 mm の室モデルとした。アプローチフローの外部風向は

表 1 CFD 解析概要

Analysis Method	Whole Domain	Domain Decomposition Technique (Method 1, Method 2, Method 3)
Turbulence Model	Large Eddy Simulation (Smagorinsky Model, $C_s = 0.1$)	
CFD Code	Fluent 17.0	
Algorithm	SIMPLE	
Discretization Scheme for Advection Term	Central Differencing	
Time Step	0.0005 [s]	
Transition Term	2,000 time step (=1.0 [s])	
Main Calculation Term	22,000 time step (=11.0 [s])	
Boundary Condition	Inlet	1/4.5 Power law (Smirnov's method)
	Outlet	Gauge Pressure : 0 [Pa]
	Walls	Based on the instantaneous velocity calculated by the procedure shown in Fig.6
Total Number of Cells	Two Layer Model of Linear-Log Law	
	45degree	2,132,437
	90degree	38,541
		1,429,584
		6,725

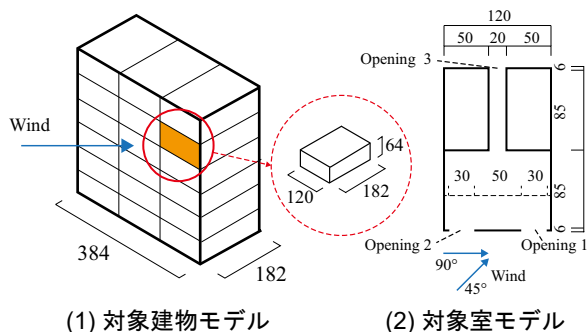


図 1 対象建物モデル及び対象室の概要

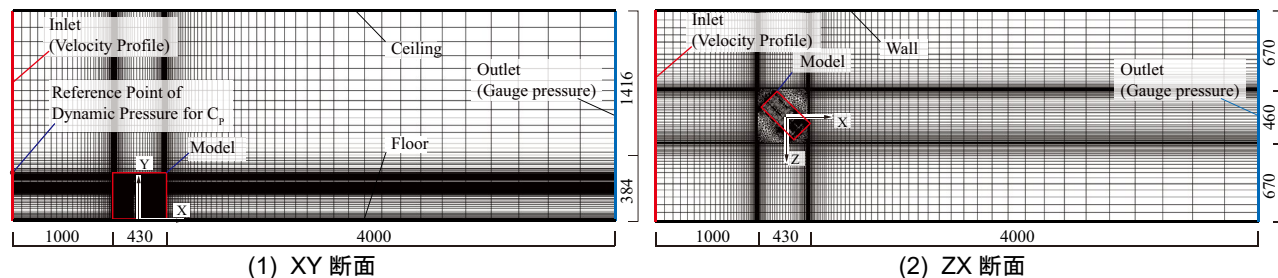


図 2 解析領域及びメッシュレイアウト (風向 45° 条件)

リビングを有する面に対して 45° と 90° の風向角 2 条件を設定した。風向 45° 条件での解析領域と計算格子を図 2 に示す。表 1 に CFD 解析の概要を示す。SST $k-\omega$ モデルの結果を初期条件として LES 計算を開始した。計算時間間隔は $1/2,000$ s とし、計算開始後の 2,000 time step ($=1.0$ s) を LES への移行期間として結果を破棄してその後の 6 s を本計算とした。流入境界は図 3 に示す $1/4.5$ べき乗則の境界層流に Smirnov ら⁷⁾ の手法を適用して変動風を与えた。また、本計算中の全 time step で図 4 に示す開口面の計 210 点の点で瞬時風速 3 成分をモニターし、後述の通風量 (AFR) の算出に用いた。また、領域分割法による室内気流解析精度検証のため、図 5 に示す室内 45 点でも同様に瞬時風速をモニターした。

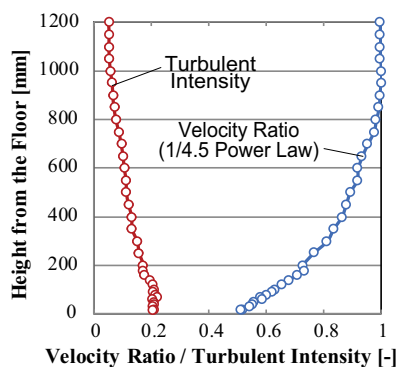


図 3 アプローチフロー

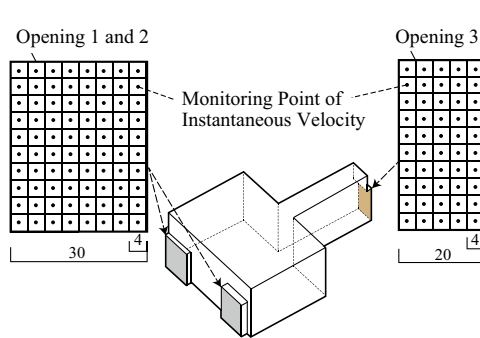


図 4 全域計算での開口部風速モニター点

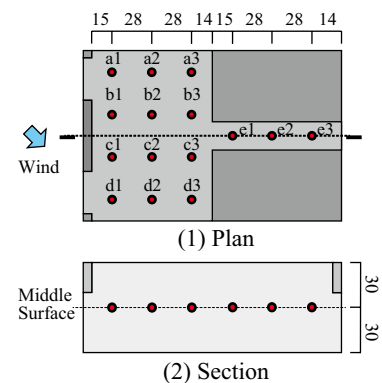
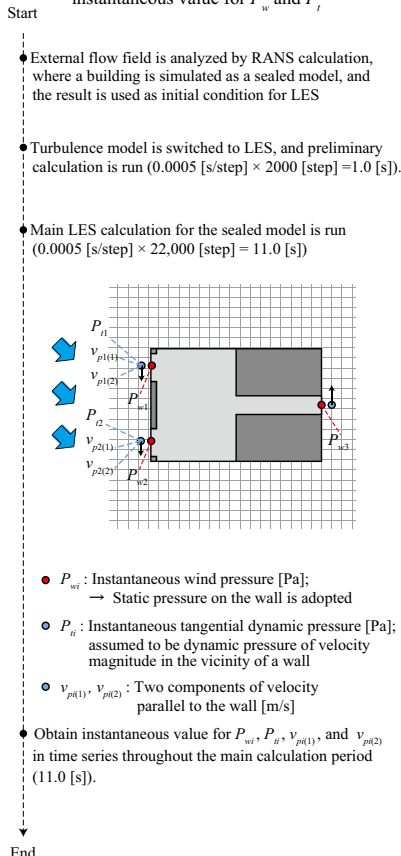
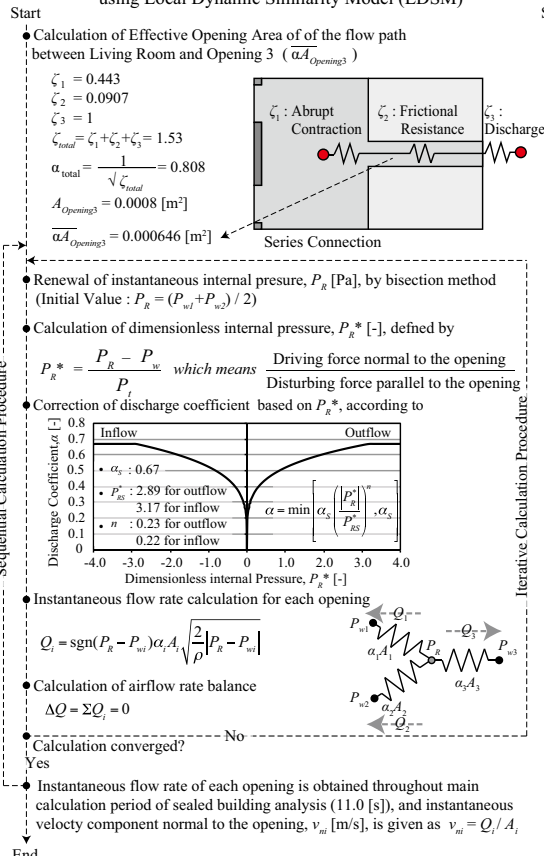


図 5 室内瞬時風速モニター点

STEP 1 : Sealed Building Model Analysis to obtain instantaneous value for P_w and P_t



STEP 2 : Calculation of Instantaneous Flow Rate of Opening using Local Dynamic Similarity Model (LDSM)



STEP 3 : Indoor Flow Analysis using LES with Domain Decomposition Technique

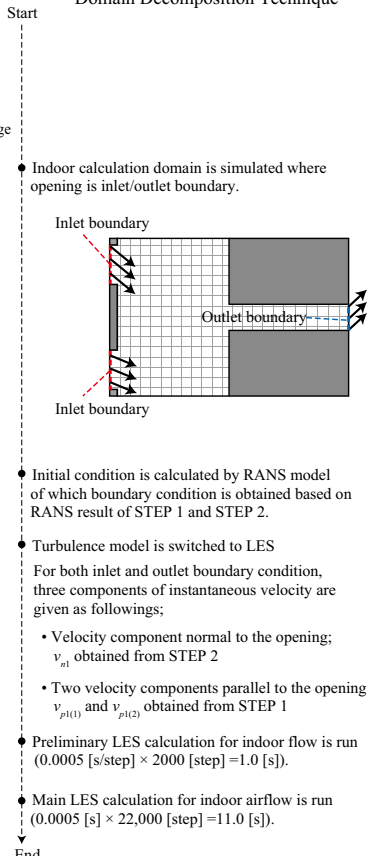


図 6 局所相似モデルを用いた領域分割法による LES 計算の手順 (Method 1)

算出した瞬時通風量を開口面積で除した開口面法線方向瞬時風速と、シールドモデルの計算で取得した接線方向の瞬時風速 2 成分を各 time step 流入境界に与えて室内気流を解析した (STEP 3)。室内解析では SST $k-\omega$ モデルで領域分割法による室内解析を行った結果を初期条件とし、全域計算と同様に計算時間間隔は 1/2,000 s、計算開始後の 2,000 time step (=1.0 s) を移行期間として結果を破棄し、その後の 6.0 s を本計算とみなした。

2.3 流入風向のみを考慮した領域分割法 (Method 2)

簡易的な領域分割法として開口の流量係数を固定し、流入出風向のみ屋外解析の接線方向風速に基づいて与える手法を検討した (Method 2)。ここで開口 1 と開口 2 の流量係数は 0.65 とし、瞬時風圧とオリフィス式から瞬時風量を算出して開口面法線方向の瞬時風速を与えた。その他の計算手順は Method 1 と同様とした。

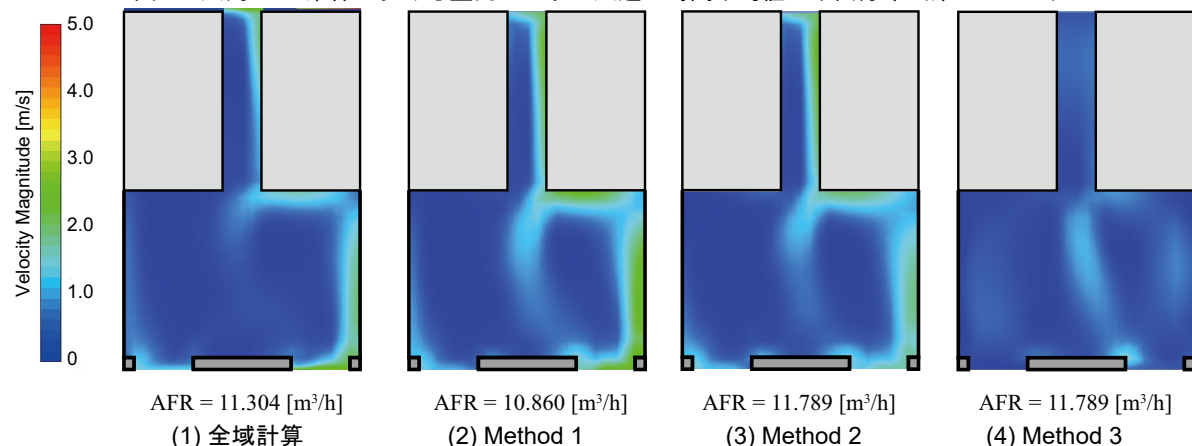
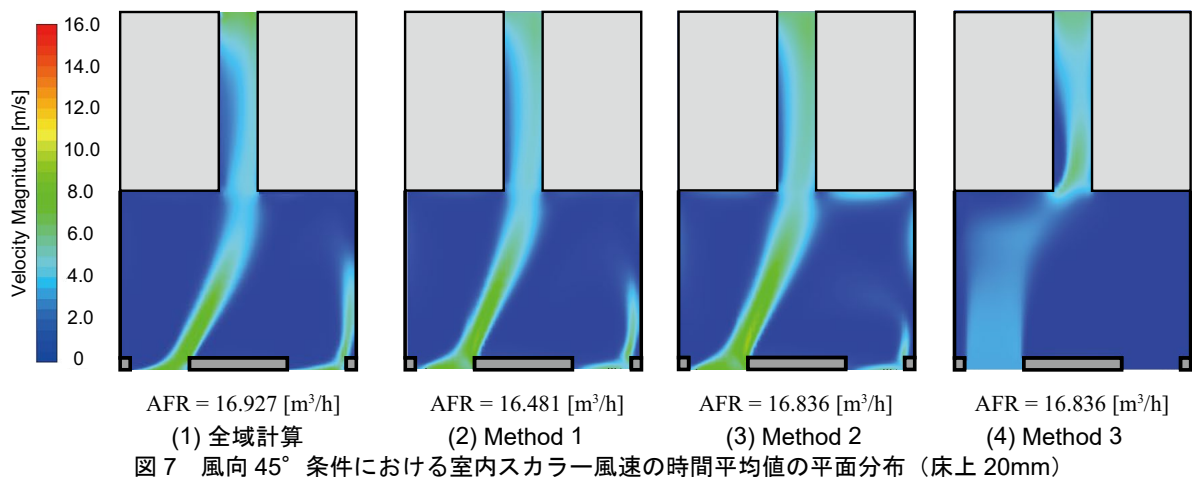
2.4 開口法線方向に流入する領域分割法 (Method 3)

最も簡易的な領域分割法として、単純に屋外解析の瞬時風圧とオリフィス式から得られた瞬時風量に基づいて開口面の法線方向の瞬時風速のみを境界条件とする解析も行った (Method 3)。ここでは流量係数が固定値のため、当該手法の瞬時流入出風量 (法線方向風速) は前節の Method 2 と完全に一致することになる。

4. 結果と考察

全域計算と前述の 3 種の領域分割法の計 4 種の手法で、通風量と室内のスカラー風速およびその標準偏差を比較する。全域計算における通風量は、前述の図 4 の開口面上のモニター点で得られた開口に垂直に流入する瞬時風速から瞬時流入風量合計 Q_{in} と流出風量合計 Q_{out} を全タイムステップで求め、その絶対値の平均値を時間平均することで通風量 (AFR) を算出した²⁾。領域分割法の通風量については図 6 の STEP 2 での換気計算から得られた値とする。

図 7 と図 8 に各手法のスカラー風速の時間平均値の室内分布を示す。ここでは前述の通風量 (AFR) の計算結果も併記する。風速分布の結果からは Method 1 と Method 2 の結果が定性的に全域計算の結果と良く一致していることがわかる。しかし、どちらの風向条件でも開口面接線方向風速を与えない Method 3 では流入角を再現できないため気流性状が大きく異なる。AFR の値に着目すると、Method 1 では局所モデルにより開口 1 と開口 2 の流量係数を補正しているために Method 2, 3 より小さくなっているが、概して全域解析と同程度の風量となった。ただし、これは流入風向だけでなく室内での動圧の残存⁹⁾も影響していると思われる。図 9 に屋外解析から得られた各開口部の風圧係数の時間変化を示す。また、図 10・図 11 に Method 1 における流量



係数の時間変化を示す。開口1では流量係数と風圧係数がともに小さくなっており、建物端部付近のために接線方向動圧が大きいことによる影響が出ている。図12・図13に各条件のスカラ風速の時間平均値と標準偏差を示す。どの条件においてもMethod3では全域解析の傾向を適切に再現できていない。一方、Method1と2では、通風輪道周辺で若干風速を過大評価するものの、概ね全域解析と同様の傾向が得られた。このため今回の条件では領域分割法で比較的良く室内気流を予測できた。

5. まとめ

本報ではnLDK型の集合住宅モデルを対象に領域分割法を適用したLES計算を実施し、全域計算との比較を行った。結果として、流入風向を考慮する領域分割法(Method1, 2)で比較的精度良く予測することができた。今後は異なる風向と建物条件で検討を行う所存である。

【謝辞】

本研究の一部はJSPS科研費(基盤研究B, 課題番号20H02311, 研究代表者: 小林知広)の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 高野康夫, 赤林伸一, 富永禎秀ら: 単純住宅モデルを対象とした変動気流場における室内外通風性状の解析, 日本建築学会環境系論文集, 第80巻, 第716号, pp.925-934, 2015.10
- 2) 堂本浩規, 小林知広, 梅宮典子: 複数開口を有する室を対象とした風の乱れによる換気効果に関する研究(その12), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第4巻, J-14, pp.57-60, 2019.9
- 3) 日本建築学会編: 都市の風環境予測のためのCFDガイドブック, 日本建築学会, 2020.1
- 4) 河内悠磨, 倉渕隆, 大場正昭ら: 領域分割法を用いた数値シミュレーションによる通風室内気流予測に関する研究(第1報), 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, D-21, pp.1043-1046, 2009.9
- 5) 堂本浩規, 小林知広, 梅宮典子: LESによる領域分割法を用いた室内通風気流解析法に関する研究(その1), 空気調和・衛生工学会近畿支部, 学術研究発表論文集, A-20, 2020.3
- 6) 丹原千里, 甲谷寿史, 山中俊夫ら: 集合住宅のnLDK型住戸における通風量予測に関する研究(その3), 空気調和・衛生工学会大会, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第4巻, pp.105-108, 2014.9
- 7) A. Smirnov, S. Shi, I. Celik: Random Flow Generation Technique for Large Eddy Simulations and Particle-Dynamics Modeling, Journal of Fluids Engineering, Vol.123, Issue2, pp.359-371, 2001.6
- 8) 遠藤智行, 倉渕隆, 赤嶺嘉彦ら: 流入開口部通気特性評価法の開発及び通気特性データベースの構築, 日本建築学会環境系論文集, 第74巻, 第646号, 1315-1320, 2009.12
- 9) 石原正雄: 建築換気設計, 朝倉書店, 1969

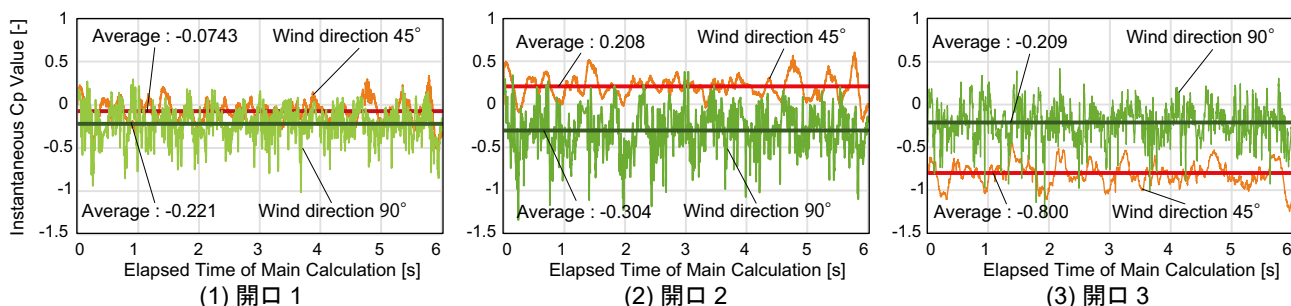


図9 シールドモデルから得られた各開口位置における瞬時風圧係数の時間変化

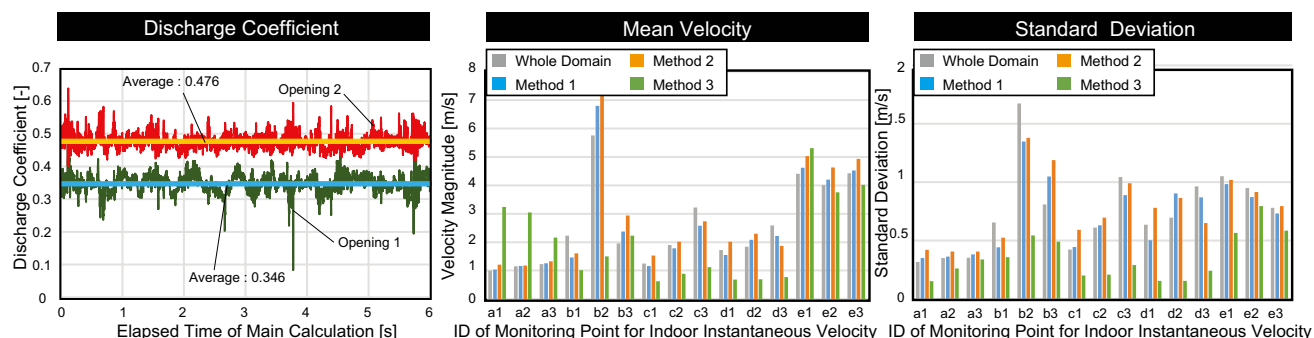


図10 流量係数の時間変化(45°)

図12 室内モニター点におけるスカラ風速の時間平均値と標準偏差(45°)

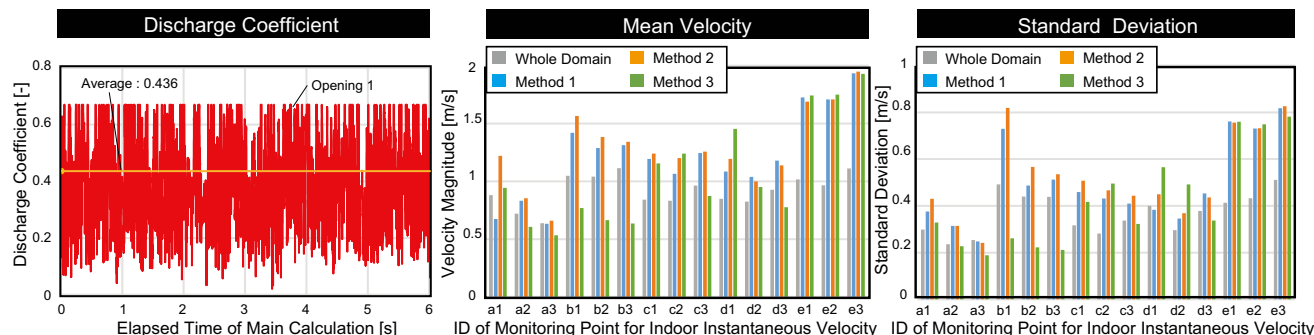


図11 流量係数の時間変化(90°)

図13 室内モニター点におけるスカラ風速の時間平均値と標準偏差(90°)