

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4) 開口面における流入出風速分布考慮による精度向上手法の検討

Analysis of Indoor Cross-Ventilation Flow using Domain Decomposition Technique by LES
(Part 4) Improvement of Accuracy by Considering Inlet/ Outlet Velocity Distribution at Opening

○ HOANG Minh Hung (大阪大学) 小林 知広 (大阪大学) 山中 俊夫 (大阪大学)

HOANG Minh Hung Tomohiro KOBAYASHI Toshio YAMANAKA

In the previous paper, an unsteady CFD analysis method to analyze indoor airflow using LES was proposed, which called Domain Decomposition Technique (DDT). Although the DDT with LES worked relatively well for the case of the wind direction of 45 degree, some discrepancies could be seen for the wind direction parallel to the opening. This paper presents a enhanced DDT with LES which could work well by considering wind velocity distribution at the inlet/outlet opening surfaces as boundary conditions, and relatively good agreement with whole domain calculation is to be shown.

1. はじめに

本研究では、建物の通風性状を CFD を用いて予測する際に屋外気流解析の結果から室内のみの解析を行う領域分割法¹⁾に着目し、LES で適切に実施する方法を検討している。前報²⁾では集合住宅を想定した建物の1室を対象として3種の領域分割法を用いた解析を行い、全域計算の計算結果と比較することで手法を検証した。結果として、開口法線方向成分の風速が大きな風向では適切に解析が行われたものの、開口面と平行な外部風向条件(90°)で精度の低下が見られた。前報²⁾の領域分割法では開口面で一律な風速分布を与えたことがこの精度低下の原因の一つであった可能性があるため、本報では開口面での風速分布を再現することが可能な領域分割法での境界条件の与え方を再検討した結果について報告する。

2. 解析概要

本報で解析対象とした建物及び室モデルを Fig.1 に示す。当該モデルは前報²⁾及び既往研究³⁾の建物形状に基づくが、より現実的な集合住宅形状を想定するために、バルコニーと住戸間のパーティションを設置した。まずは前報²⁾と同様に風洞を模擬して LES により全域計算を行った。解析領域と計算格子を Fig.2 に示す。また、Table 1 に CFD 解析手法の概要を示す。解析領域は幅 1,800 mm、高さ 1,800 mm、長さ 5,430 mm であり、解析対象建物は3住戸×6層で計18住戸が含まれる建物を想定した。ここでは5層目の1室を解析対象とし、この室のみ開口を開放している状況を想定した。アプローチフローは開口面に平行な風向とし、解析対象室が風下側に位置する風向とした。この室モデルはリビングを想

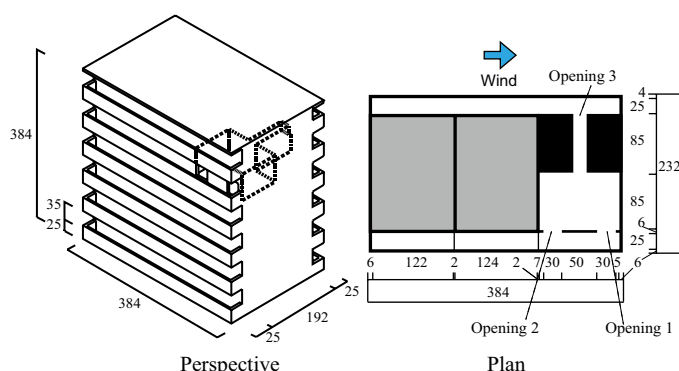
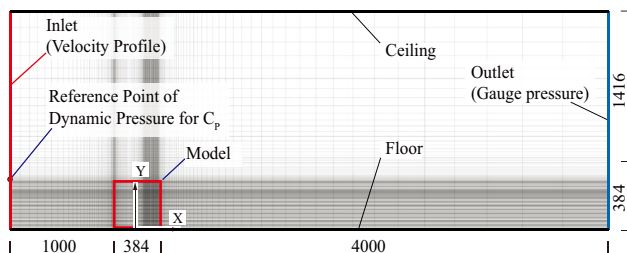


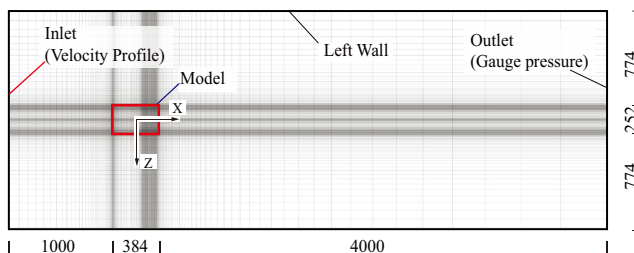
Fig.1 Target Building and Room Model



(1) XY Cross-Section

Analysis Method		Whole Domain	Domain Decomposition Technique (Method 1)
Turbulence Model		Large Eddy Simulation (Smagorinsky Model, Cs = 0.1)	
CFD Code		Fluent 19.2	
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		12,000 time step (=6.0 [s])	
Boundary Condition	Inlet	1/4.5 Power law (Smirnov's method)	Based on the instantaneous velocity calculated by the procedure shown in Fig.6
	Outlet	Gauge Pressure :0 [Pa]	
	Walls	Two Layer Model of Linear-Log Law	
Total Number of Cells	90degree (Case 3)	6,963,328	114,432

Table 1 Calculation Conditions in CFD Anlysis



(1) XZ Cross-Section

Fig.2 Computational Domain, Mesh Layout and Detail of Model (Whole Domain)

定する面に 30×40 mm の開口が 2 つ (開口 1、開口 2)、その対面に入口を想定して 20×40 mm の開口が 1 つ (開口 3) 設けられている。計算にあたっては、SST k- ω モデルの結果を初期条件として LES による計算を開始した。LES の計算時間間隔は $1/2,000$ 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 を本計算とみなした。なお、LES の流入境界は Fig.3 に示す境界層流に Smirnov ら⁴⁾ の手法で変動風を与えた。また、本計算中の全 time step で Fig.4 に示す開口面上の計 210 点で瞬時風速 3 成分をモニターし、後述する通気量 (AFR) の算出に用いた。また、領域分割法による室内気流の検証のため、Fig.5 に示す室内 15 点でも瞬時風速をモニターした。

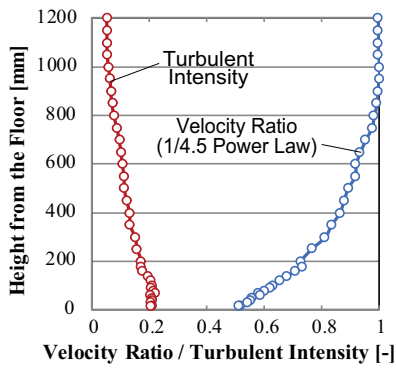
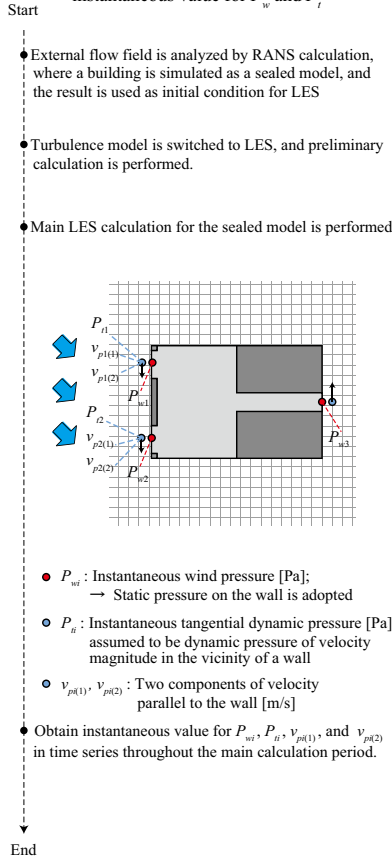


Fig.3 Velocity Ratio and Turbulent Intensity of Approaching Flow

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



2.2 局所相似モデルを用いた領域分割法

前報²⁾で検討した 3 種の領域分割法のうち、局所相似モデルを用いた手法 (Method 1) を改良することで開口面の風速分布を考慮することとした。当該手法の基本的な手順を Fig.6 に示す。まず Fig.1 の解析領域で開口の無いシールドモデルを用いて気流解析を行い、開口想定位置の瞬時壁面静圧と開口位置から外側に 5 mm 離れた位置の壁面接線方向の瞬時風速 2 成分を取得する。このとき、前報²⁾では開口中心位置の 1 点でモニターしたが、本報では開口を Fig.7 に示すように分割してそれぞれの位置に対して瞬時の風圧と壁面近傍風速 2 成分をモニターすることで、開口面での風速分布を領域分割法で考慮できるよう改良を試みた (STEP 1)。

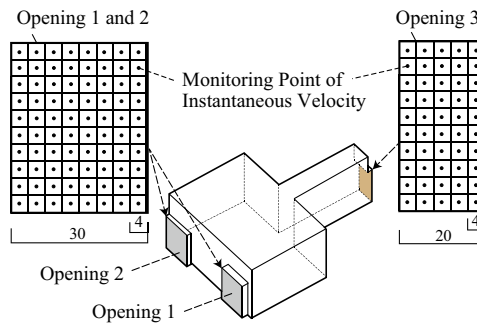


Fig.4 Points to Monitor Instantaneous Velocity at Opening for Whole Domain Analysis

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

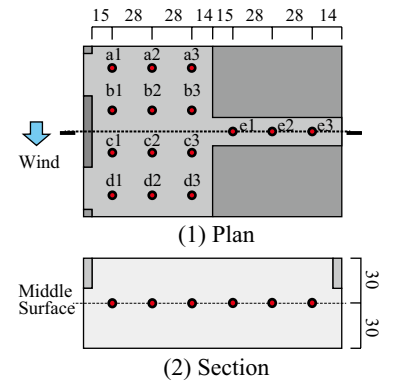
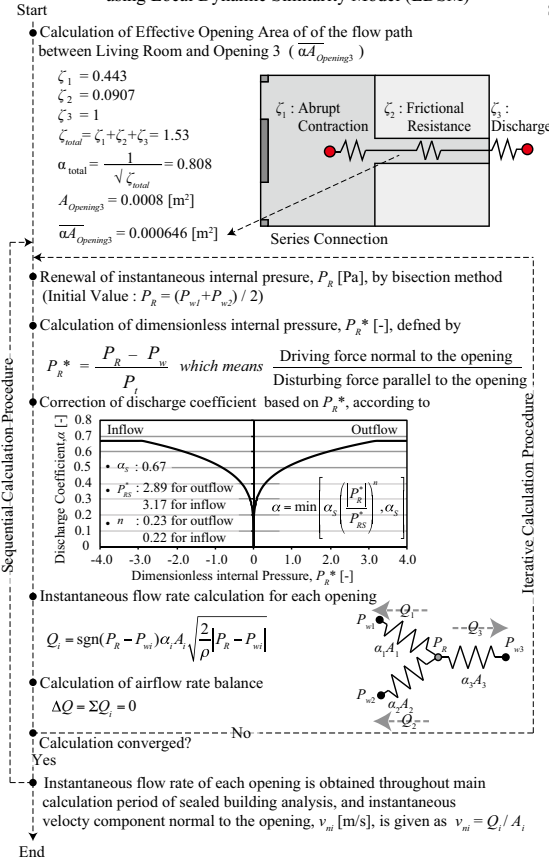


Fig.5 Monitoring Points of Instantaneous Indoor Velocity

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

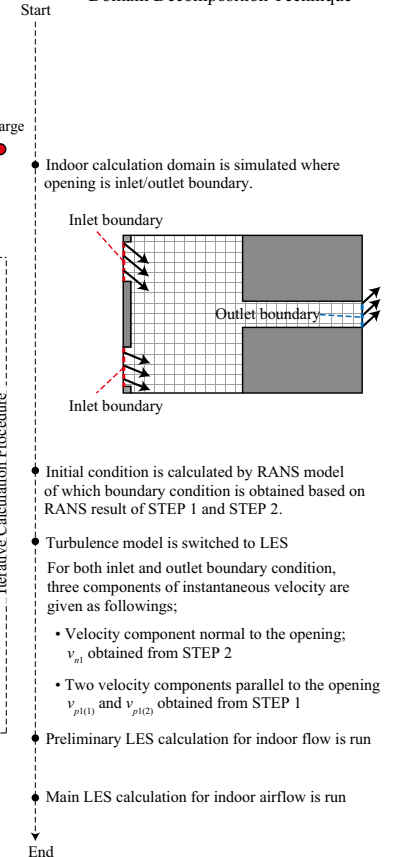


Fig.6 Calculation Procedure of LES using Domain Decomposition Technique with Local Dynamic Similarity Model (DDT-LDSM)

STEP 1 で得られたモニター値を用いて開口 1 と開口 2 は各分割位置について局所相似モデル¹⁾を適用して流量係数を算出する。リビングから開口 3 までの流路の有効開口面積は Fig.6 に示す固定値を用いて、各 time step の開口ごとの瞬時風量を算出する。この時流量バランスが取れる室内圧を求めることで各開口の瞬時風量を求めるが、前報²⁾では 1 室 3 開口であった手法を本報では 1 室 112 開口に相当する換気計算を実施していることに相当する (STEP 2)。

次に室内のみを解析領域とし、STEP 2 で算出した部位ごとの瞬時風量を面積で除した各部位の法線方向瞬時風速と、シールドモデルの解析で取得した接線方向の瞬時風速 2 成分を各 time step で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- ω モ

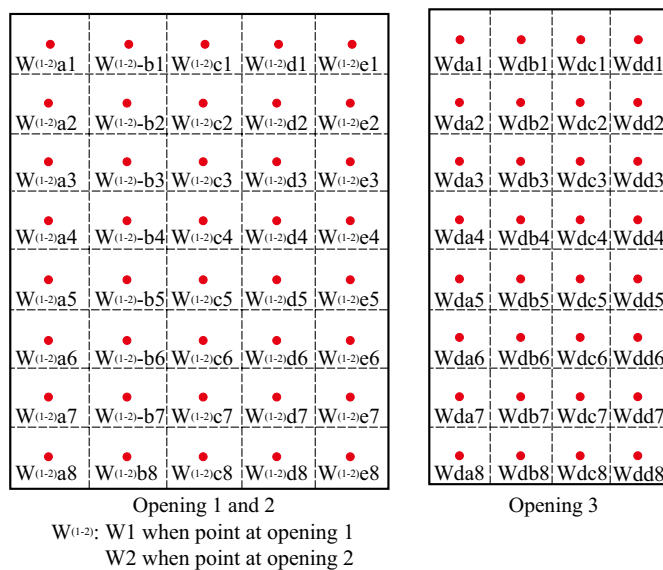
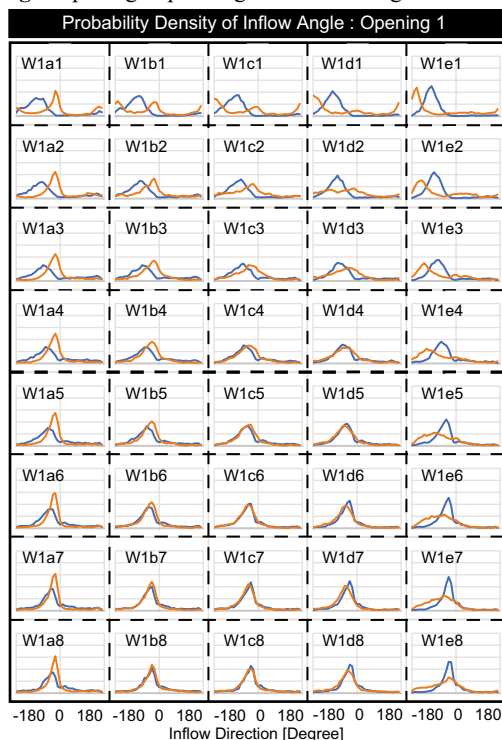


Fig.7 Opening Separating and Monitoring Point Position



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 s を本計算とみなした。

3. 結果と考察

Fig.8 に全域計算と領域分割法における開口面のスカラー風速の時間平均値を示す。分布性状自体は領域分割法で全域解析を再現できたとは言えないが、風速の値の範囲は全域解析と同程度であり、一様ではない分布が形成された。Fig.9 に開口 1 と開口 2 の各分割部位での流入風向の頻度分布を示す。開口上部では全域計算と領域分割法で分布傾向が異なる位置もあるが、全体的な傾向としては概ね似た分布が再現されている。

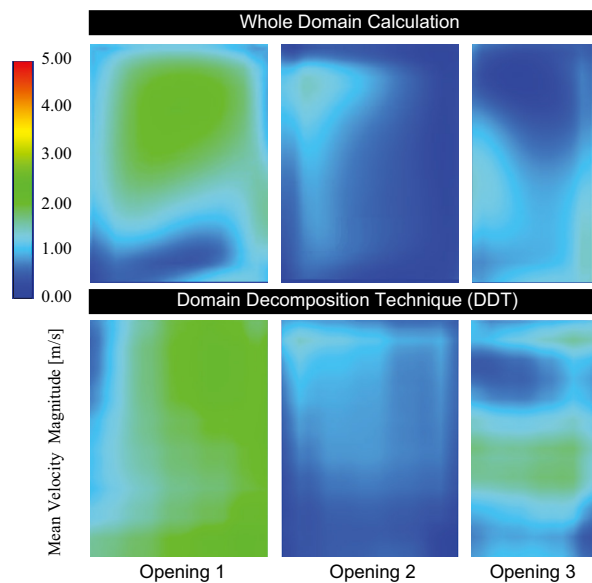


Fig.8 Wind Velocity Distribution at Opening Surface

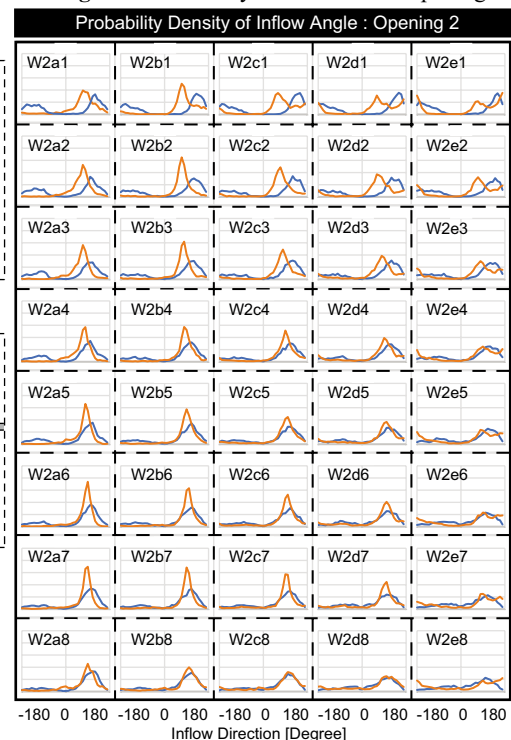


Fig.9 Incoming Jet Angle Distribution by Whole Domain Calculate and DDT for Opening 1 (left) and Opening 2 (right)

Fig.10 の左側に平面、右側に中心断面上のスカラー風速の時間平均値の室内分布を示す。なお、ここでは開口面から得られる瞬時の流入風量合計と流出風量合計の絶対値の平均値を時間平均した通気量（Air Flow Rate : AFR）の計算結果も併記する。室内の風速分布は全域計算の結果と良く一致しており、定性的な気流場を非定常で予測する上で当該手法が有効に使用できる可能性が示されたと考える。ここで AFR の値に着目すると、領域分割法の値が小さく、6.7% 程度過小評価している。これは境界条件を作成する際の STEP 2 における抵抗係数の見込み方に起因すると考えられ、室全体の抵抗を過大に見込んでしまった可能性がある。このため、今回は局所相似モデルを組み込んだ領域分割法の計算を実施したが、より精度の高い予測を行うには流れ場の特性に応じた、通風量の予測式を適宜使い分ける必要がある。

Fig.11 に室内スカラー風速の時間平均値と標準偏差を示す。領域分割法では概ね全域解析と同様の傾向が得られたが、e1、e2、e3 では風速を過大評価している。これは、開口 3 について気流が流入する時間帯における開口面風速分布の再現精度に起因すると考えられる。

4. まとめ

本報では LES で領域分割法を適用して室内気流を解析する手法として、前報で十分な精度が得られなかった風向について、流入風向を与える開口部を分割することにより精度を改善する手法の検討を行なった。今後は様々な気流場に対して種々の通風量予測モデルの適切な組み込み方についての検討が必要と考える。

【参考文献】

- 1) 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, pp1043-1046, 2009.9
- 2) Hoang M. Hung, 小林知広, 山中俊夫：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, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 4 巻, pp.57-60, 2020.9
- 3) 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) PIV 測定と CFD 解析による室内気流性状の比較, 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
- 4) 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, pp359-371, 2001.6

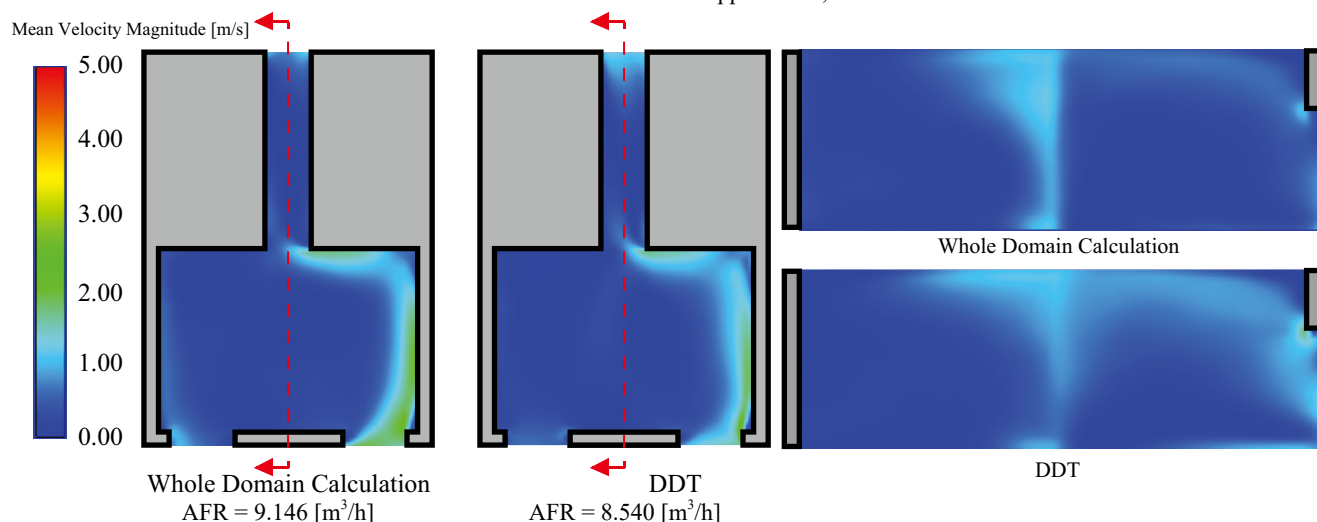


Fig.10 Indoor Scalar Velocity Contour

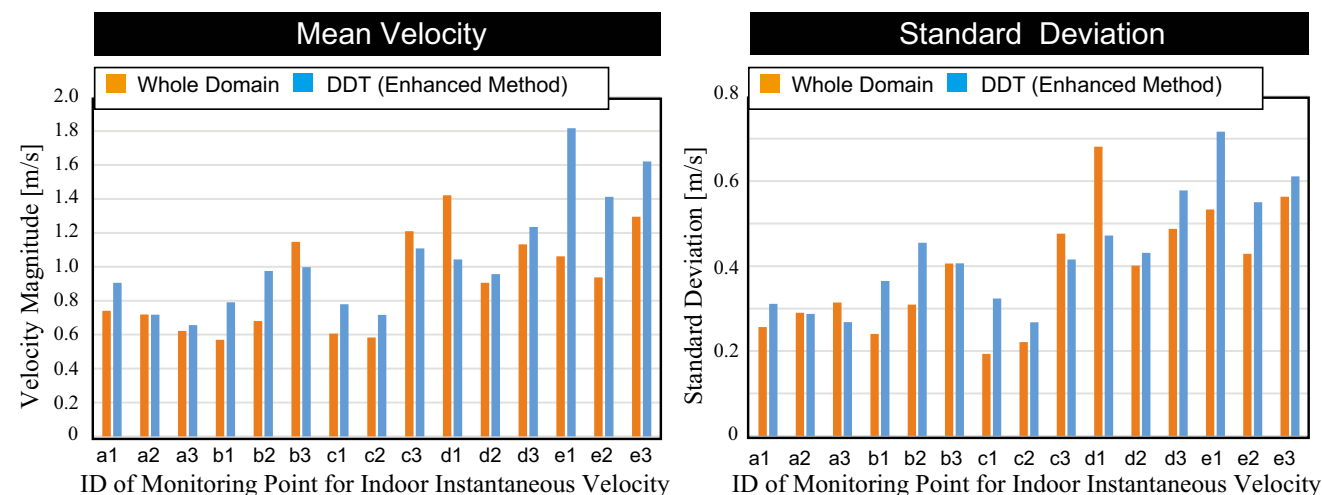


Fig.11 Mean Velocity and Standard Deviation of Indoor Monitoring Point