LES解析による単純住宅モデルを対象とした通風性状に関する研究

田部双葉

指導教員　　赤林伸一教授

研究目的

建物の通風・換気性能の研究において気流の非定常性を考慮した実現象により近い状況を数値シミュレーションで再現する事は重要である。既往の研究[文１～３)]では建物や街区周辺の非定常流体現象の予測技術としてLarge-Eddy Simulation(以下LES)を用いた乱流場の可視化・解析手法に関する検討が行われている。

文１）　富永・持田・村上・佐脇　「建物後方の周期的変動と再付着距離の予測精度に関する検討　LESによる高層建物周辺気流の解析(その１)」日本建築学会環境系論文集、2004年

文２）　持田・村上・林　「立方体モデル周辺の非等方乱流場に関するk-εモデルとLESの比較　乱流エネルギー生産の構造とノルマルストレスの非等方性の再現に関して」　日本建築学会計画系論文報告集、1991年

文３）　Marcel Lesieur・Olivier Métais・Pierre Comte　柳瀬・百武・河原・渡辺訳　2010年　「乱流のシミュレーション LESによる数値計算と可視化」　森北出版

研究目的

建物の通風・換気性能の研究において気流の非定常性を考慮した実現象により近い状況を数値シミュレーションで再現する事は重要である。既往の研究[文１～３)]では建物や街区周辺の非定常流体現象の予測技術としてLarge-Eddy Simulation(以下LES)を用いた乱流場の可視化・解析手法に関する検討が行われている。

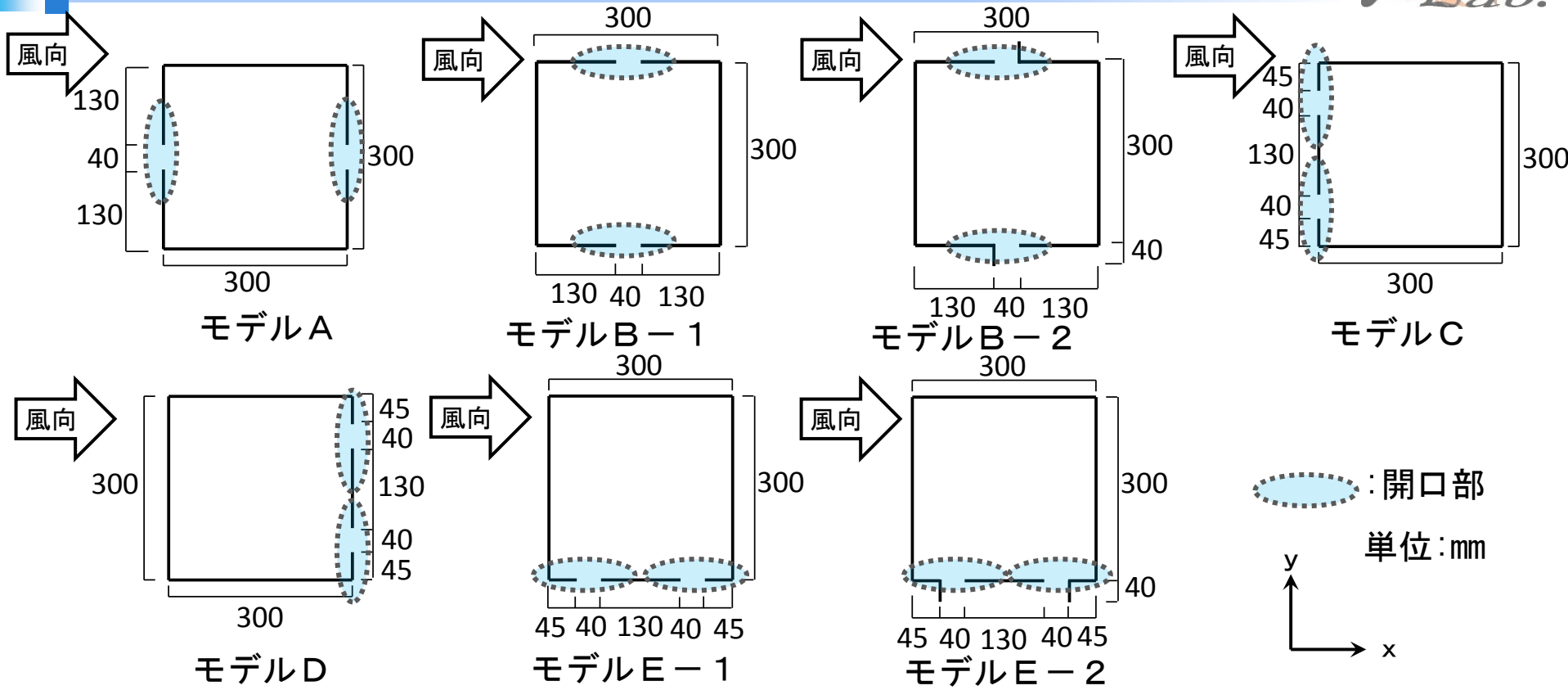
本研究では通風時の単純住宅モデルを対象としたLESによる変動気流解析を行い、開口部周辺及び室内における変動気流性状を解析し、変動気流による住宅の通風性状の検討を行うことを目的とする。

文１）　富永・持田・村上・佐脇　「建物後方の周期的変動と再付着距離の予測精度に関する検討　LESによる高層建物周辺気流の解析(その１)」日本建築学会環境系論文集、2004年

文２）　持田・村上・林　「立方体モデル周辺の非等方乱流場に関するk-εモデルとLESの比較　乱流エネルギー生産の構造とノルマルストレスの非等方性の再現に関して」　日本建築学会計画系論文報告集、1991年

文３）　Marcel Lesieur・Olivier Métais・Pierre Comte　柳瀬・百武・河原・渡辺訳　2010年　「乱流のシミュレーション LESによる数値計算と可視化」　森北出版

解析対象



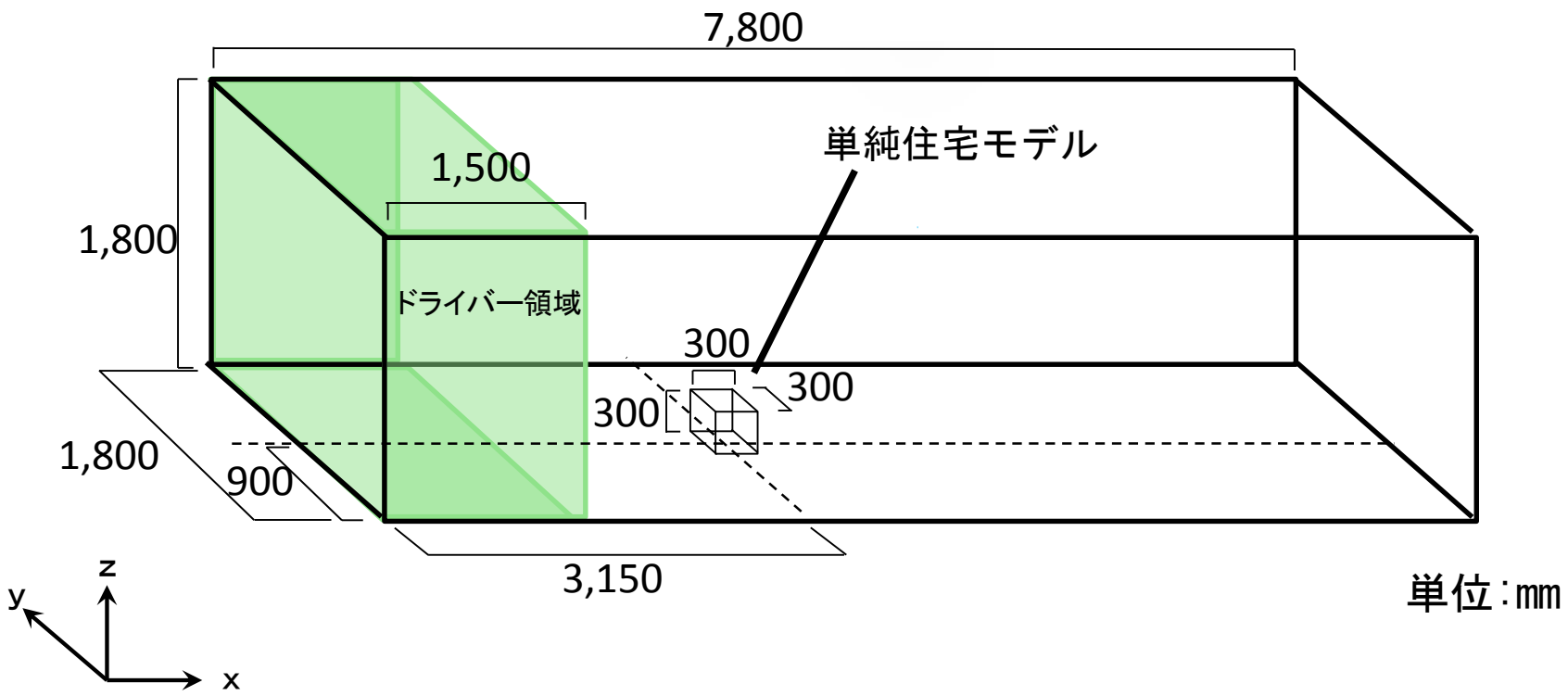
（ａ）　解析対象モデル

図１　解析対象モデルと領域

表１　解析条件

	モデルA	モデルB－1	モデルB－2	モデルC	モデルD	モデルE－1	モデルE－2
開口数	2	2	2	2	2	2	2
開口位置	風上、風下の壁面	風向に対し平行な両壁面	風向に対し平行な両壁面	風上側壁面	風下側壁面	風向に対し平行な壁面	風向に対し平行な壁面
パネル	無し	無し	有り	無し	無し	無し	有り

解析対象



（ｂ）　解析対象領域

図１　解析対象モデルと領域

解析方法

本研究の数値流体解析には、汎用数値流体解析ソフトSTREAM ver.9を使用する。

解析方法

表２　LESによる解析概要

SGSモデル	Dynamic型Smagorinskyモデル		
解析領域	7.8（ｘ）×1.8（ｙ）×1.8（ｚ）[m]		
単純戸建住宅モデル	0.3（ｘ）×0.3（ｙ）×0.3（ｚ）[m]		
開口面積	0.04×0.04=0.0016[m]		
境界条件	流入	ドライバー領域※1により作成	
	流出	自然流出	
	壁境界	Ymin,Ymax,Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	拡張型ノースリップ
		部品面	拡張型ノースリップ
		流体と接するすべての面	拡張型ノースリップ
解析時間	プレ解析	2.6[s]	
	本解析	10.0[s]	
時間刻みΔｔ	1.0×10^{-5}[s]		
温度	等温		
初期乱流場	流入	1/4乗則（基準高さ1.0[m]、流速5.0[m/s]）	
	変動成分	流速成分ｕの振幅1.0[m/s]	
		流速成分ｖの振幅3.0[m/s]	
		流速成分ｗの振幅3.0[m/s]	
最小メッシュ幅	0.005[m]		
解析領域メッシュ数	210（ｘ）×148（ｙ）×117（ｚ）=3,636,360		

※１　ドライバー領域は、周期境界条件で変動気流流入境界条件を計算するために、建物風上側に設けた領域である。

解析方法

表２　LESによる解析概要

SGSモデル	Dynamic型Smagorinskyモデル		
解析領域	7.8（ｘ）×1.8（ｙ）×1.8（ｚ）[m]		
単純戸建住宅モデル	0.3（ｘ）×0.3（ｙ）×0.3（ｚ）[m]		
開口面積	0.04×0.04=0.0016[m]		
境界条件	流入	ドライバー領域※1により作成	
	流出	自然流出	
	壁境界	Ymin,Ymax,Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	拡張型ノースリップ
		部品面	拡張型ノースリップ
		流体と接するすべての面	拡張型ノースリップ
解析時間	プレ解析	2.6[s]	
	本解析	10.0[s]	
時間刻みΔt	1.0×10^{-5}[s]		
温度	等温		
初期乱流場	流入	1/4乗則（基準高さ1.0[m]、流速5.0[m/s]）	
	変動成分	流速成分ｕの振幅1.0[m/s]	
		流速成分ｖの振幅3.0[m/s]	
		流速成分ｗの振幅3.0[m/s]	
最小メッシュ幅	0.005[m]		
解析領域メッシュ数	210（ｘ）×148（ｙ）×117（ｚ）=3,636,360		

LES解析におけるsubgrid scaleモデル（SGSモデル）はDynamic型Smagorinskyモデルを使用し、等温で解析する。

※1　ドライバー領域は、周期境界条件で変動気流流入境界条件を計算するために、建物風上側に設けた領域である。

解析方法

表２　LESによる解析概要

SGSモデル	Dynamic型Smagorinskyモデル		
解析領域	7.8（ｘ）×1.8（ｙ）×1.8（ｚ）[m]		
単純戸建住宅モデル	0.3（ｘ）×0.3（ｙ）×0.3（ｚ）[m]		
開口面積	0.04×0.04=0.0016[m]		
境界条件	流入	ドライバー領域※1により作成	
	流出	自然流出	
	壁境界	Ymin,Ymax,Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	拡張型ノースリップ
		部品面	拡張型ノースリップ
		流体と接するすべての面	拡張型ノースリップ
解析時間	プレ解析	2.6[s]	
	本解析	10.0[s]	
時間刻みΔｔ	1.0×10^{-5}[s]		
温度	等温		
初期乱流場	流入	1/4乗則（基準高さ1.0[m]、流速5.0[m/s]）	
	変動成分	流速成分ｕの振幅1.0[m/s]	
		流速成分ｖの振幅3.0[m/s]	
		流速成分ｗの振幅3.0[m/s]	
最小メッシュ幅	0.005[m]		
解析領域メッシュ数	210（ｘ）×148（ｙ）×117（ｚ）=3,636,360		

流入変動気流はドライバー領域※１を用いて作成する。

※１　ドライバー領域は、周期境界条件で変動気流流入境界条件を計算するために、建物風上側に設けた領域である。

解析方法

表２　LESによる解析概要

SGSモデル	Dynamic型Smagorinskyモデル		
解析領域	7.8（ｘ）×1.8（ｙ）×1.8（ｚ）[m]		
単純戸建住宅モデル	0.3（ｘ）×0.3（ｙ）×0.3（ｚ）[m]		
開口面積	0.04×0.04=0.0016[m]		
境界条件	流入	ドライバー領域※1により作成	
	流出	自然流出	
	壁境界	Ymin,Ymax,Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	拡張型ノースリップ
		部品面	拡張型ノースリップ
		流体と接するすべての面	拡張型ノースリップ
解析時間	プレ解析	2.6[s]	
	本解析	10.0[s]	
時間刻みΔt	1.0×10^{-5}[s]		
温度	等温		
初期乱流場	流入	1/4乗則（基準高さ1.0[m]、流速5.0[m/s]）	
	変動成分	流速成分ｕの振幅1.0[m/s]	
		流速成分ｖの振幅3.0[m/s]	
		流速成分ｗの振幅3.0[m/s]	
最小メッシュ幅	0.005[m]		
解析領域メッシュ数	210（ｘ）×148（ｙ）×117（ｚ）=3,636,360		

本研究では先ず、開口部が無い単純住宅モデルで流入変動気流を作成する為のプレ解析※２を行う。

※１　ドライバー領域は、周期境界条件で変動気流流入境界条件を計算するために、建物風上側に設けた領域である。
※２　計算開始後2.6[s]までをプレ解析とする。

解析方法

表２　LESによる解析概要

SGSモデル	Dynamic型Smagorinskyモデル		
解析領域	7.8（ｘ）×1.8（ｙ）×1.8（ｚ）[m]		
単純戸建住宅モデル	0.3（ｘ）×0.3（ｙ）×0.3（ｚ）[m]		
開口面積	0.04×0.04=0.0016[m]		
境界条件	流入	ドライバー領域※1により作成	
	流出	自然流出	
	壁境界	Ymin,Ymax,Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	拡張型ノースリップ
		部品面	拡張型ノースリップ
		流体と接するすべての面	拡張型ノースリップ
解析時間	プレ解析	2.6[s]	
	本解析	10.0[s]	
時間刻みΔt	1.0×10^{-5}[s]		
温度	等温		
初期乱流場	流入	1/4乗則（基準高さ1.0[m]、流速5.0[m/s]）	
	変動成分	流速成分ｕの振幅1.0[m/s]	
		流速成分ｖの振幅3.0[m/s]	
		流速成分ｗの振幅3.0[m/s]	
最小メッシュ幅	0.005[m]		
解析領域メッシュ数	210（ｘ）×148（ｙ）×117（ｚ）=3,636,360		

次に、作成した流入変動気流を開口の有る単純住宅モデルに対する流入境界条件として本解析※３を行う。

※３　本解析開始後2.0[s]間はモデル開口部を解放してから室内気流分布が形成されるまでの移行期間としてデータを破棄し、4.6[s]～14.6[s]間までの計10.0[s]間を本解析の結果とする。

プレ解析の結果

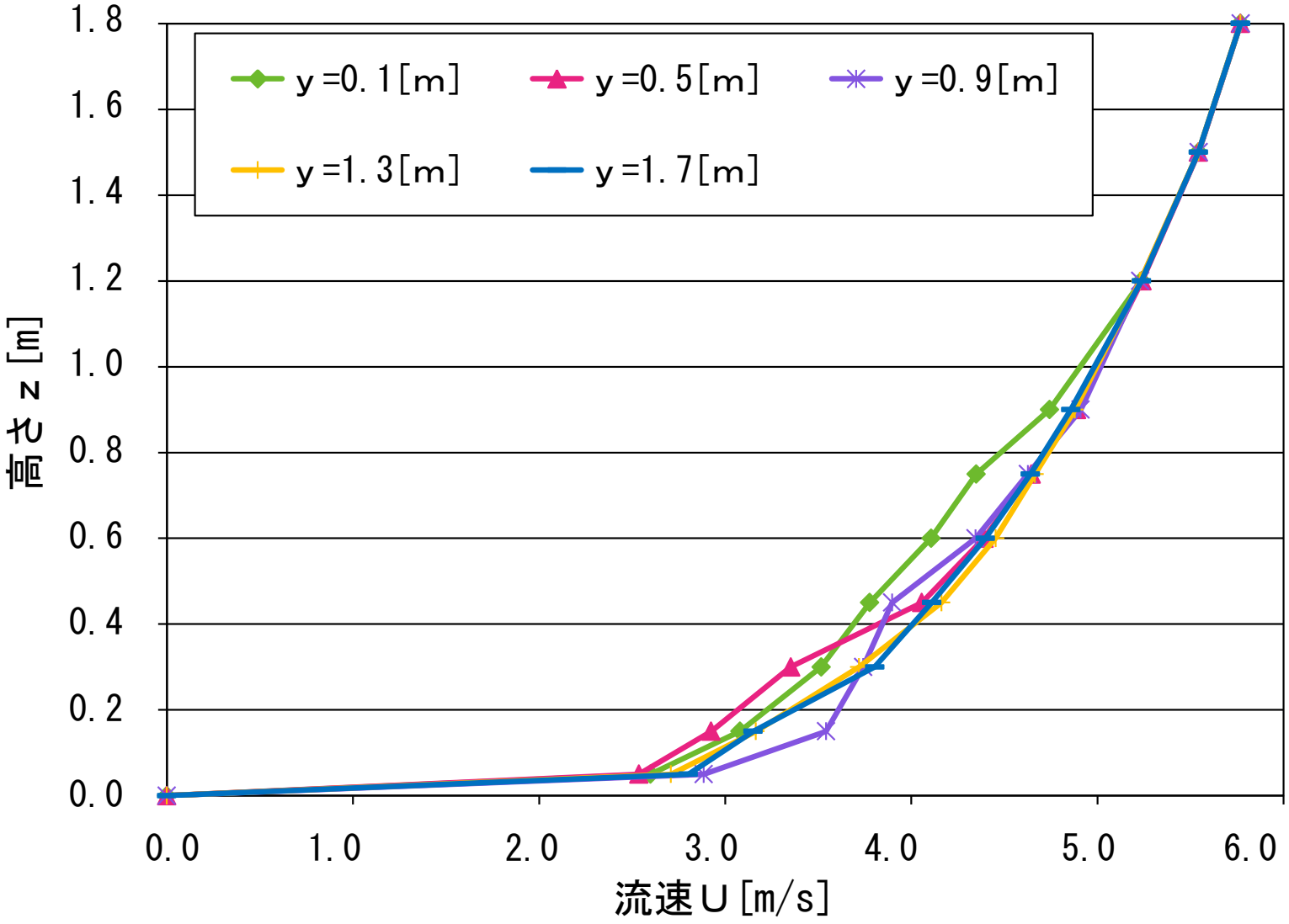
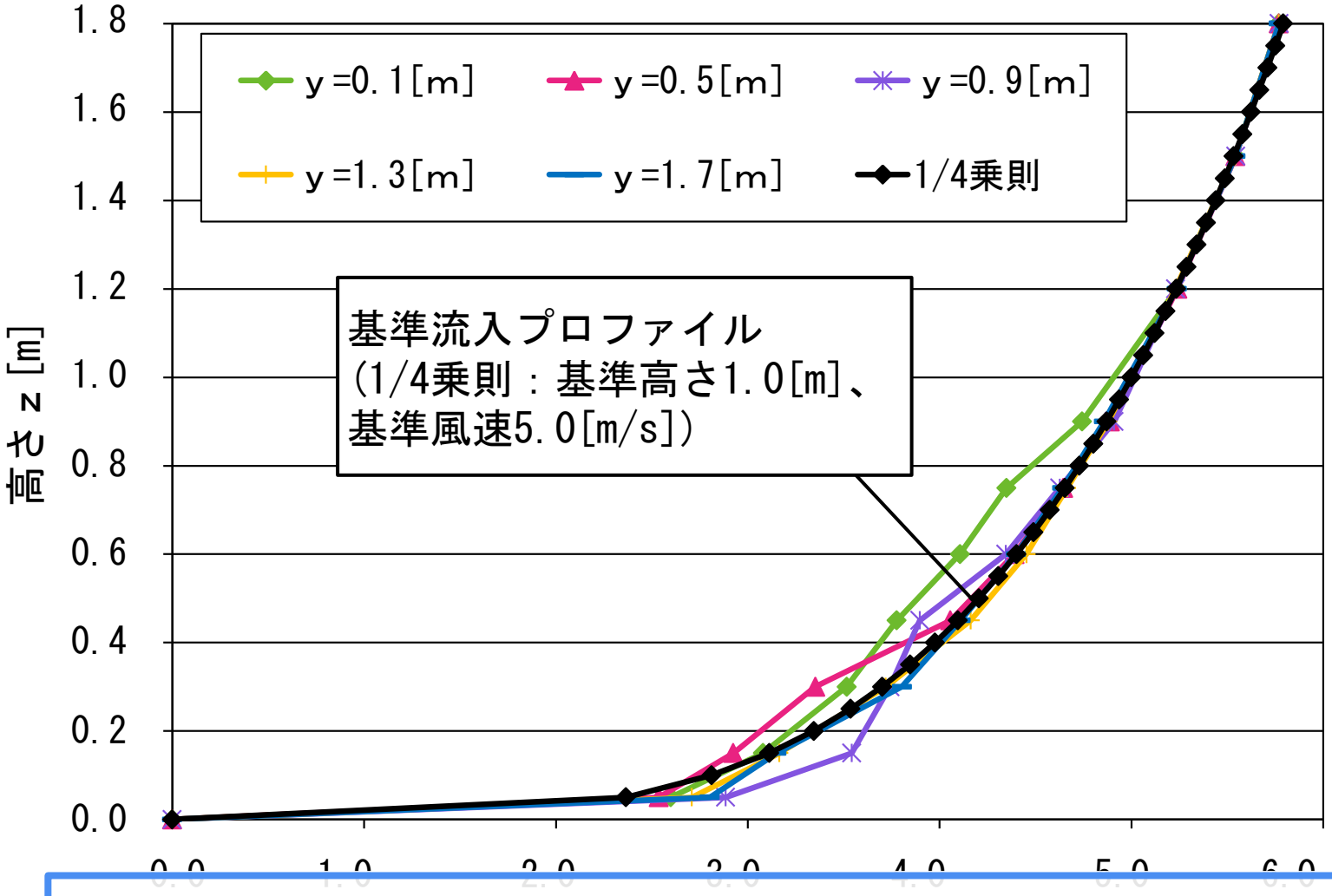


図２　流入変動気流のｙ方向の平均流速分布（ドライバー領域下流端部）

プレ解析の結果

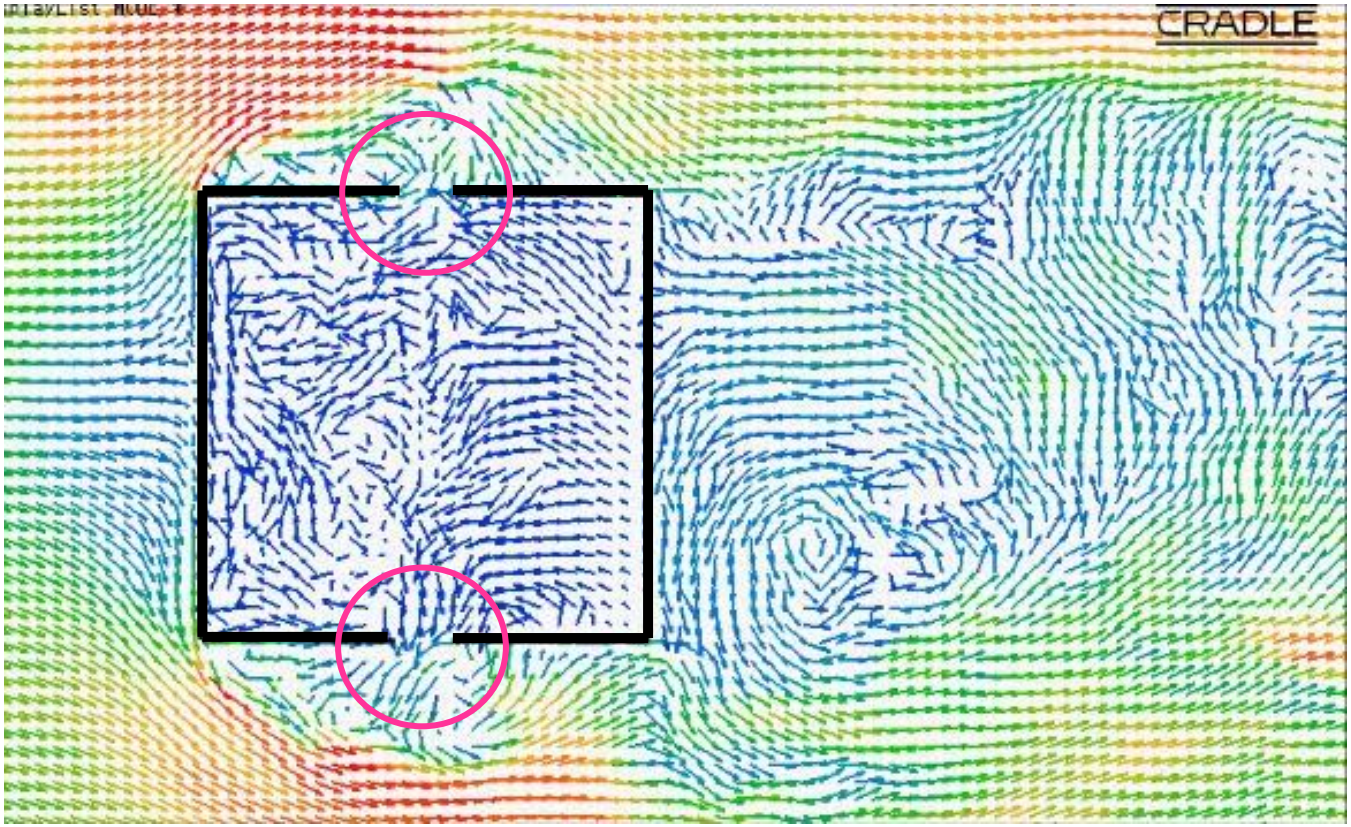


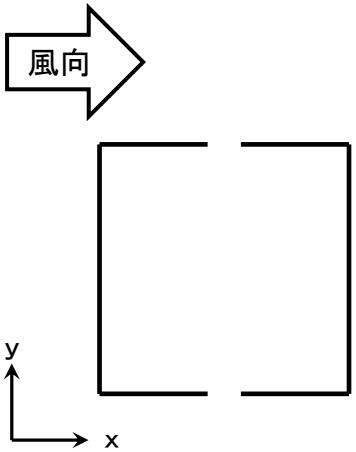
平均流速は基準となる1/4乗則（$U = z^{1/4}$　U：風速、z：高さ）の流入プロファイルとほぼ同様である。

図2　流入変動気流のy方向の平均流速分布（ドライバー領域下流端部）

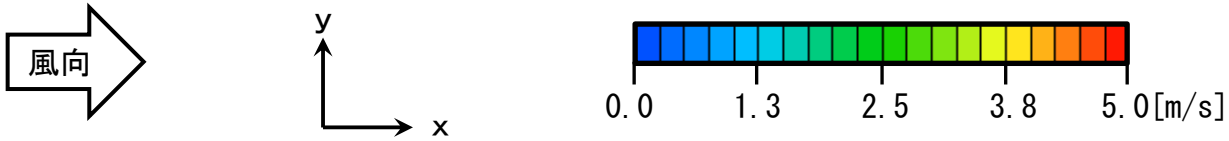
解析結果（モデルＢ－１）

開口部では、建物後方部から前方部に向かって、流速2.0[m/s]程度で交互に気流が流入している。





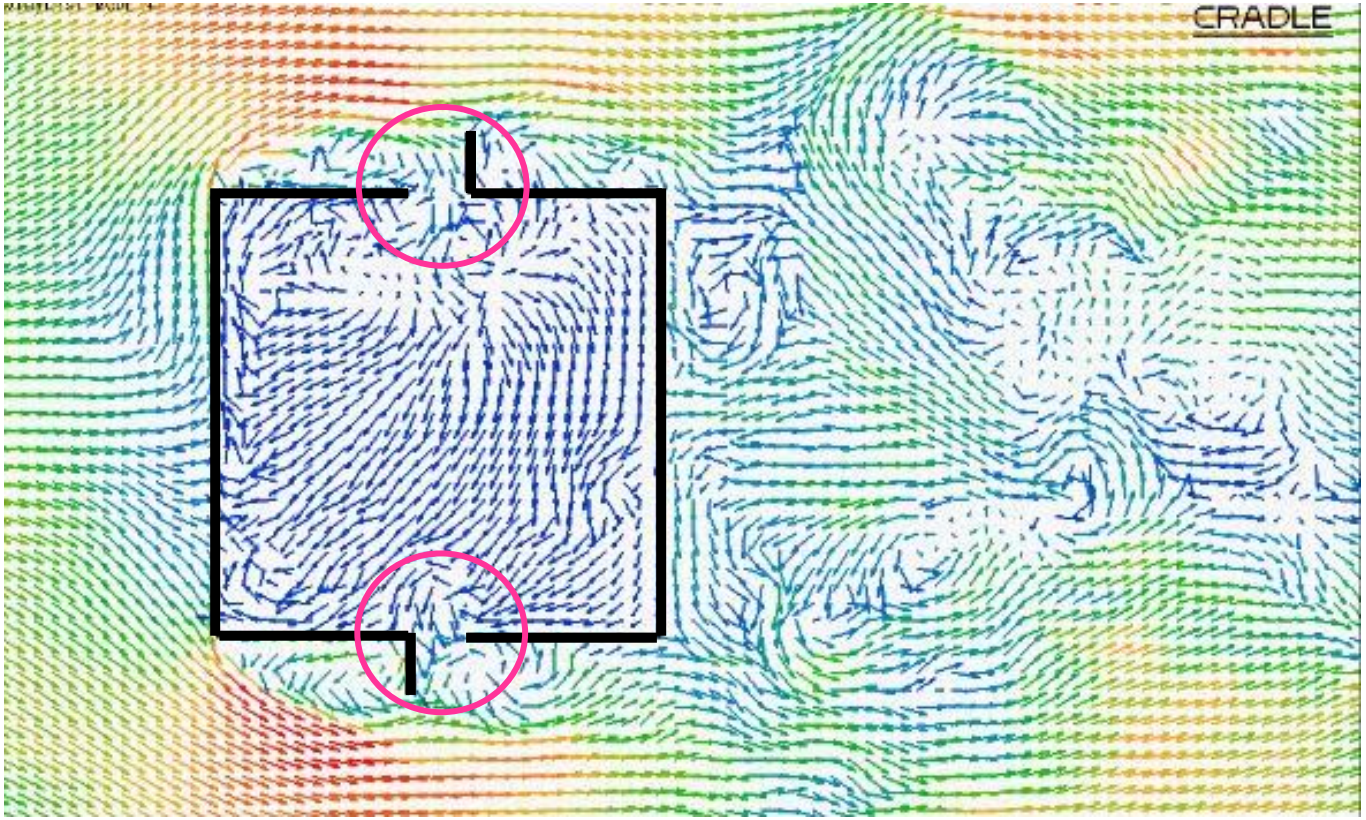
風向に対し平行な両壁面中央部に開口を有する場合（モデルＢ－１）

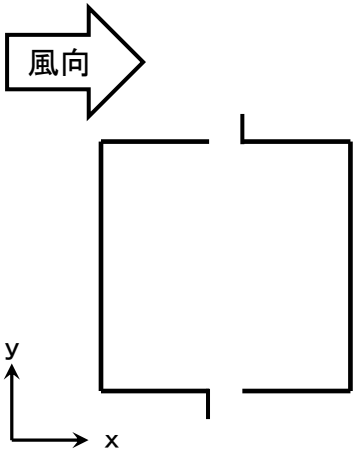


動画　室内外流速分布（モデルＢ－１、高さ150[mm]の水平断面）

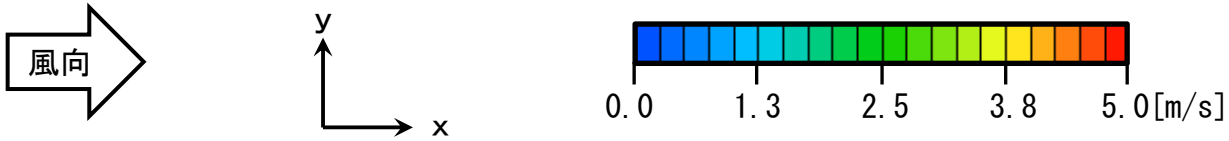
解析結果（モデルＢ－２）

開口部では、建物後方部から前方部に向かって、流速2.0[m/s]程度で交互に気流が流入している。





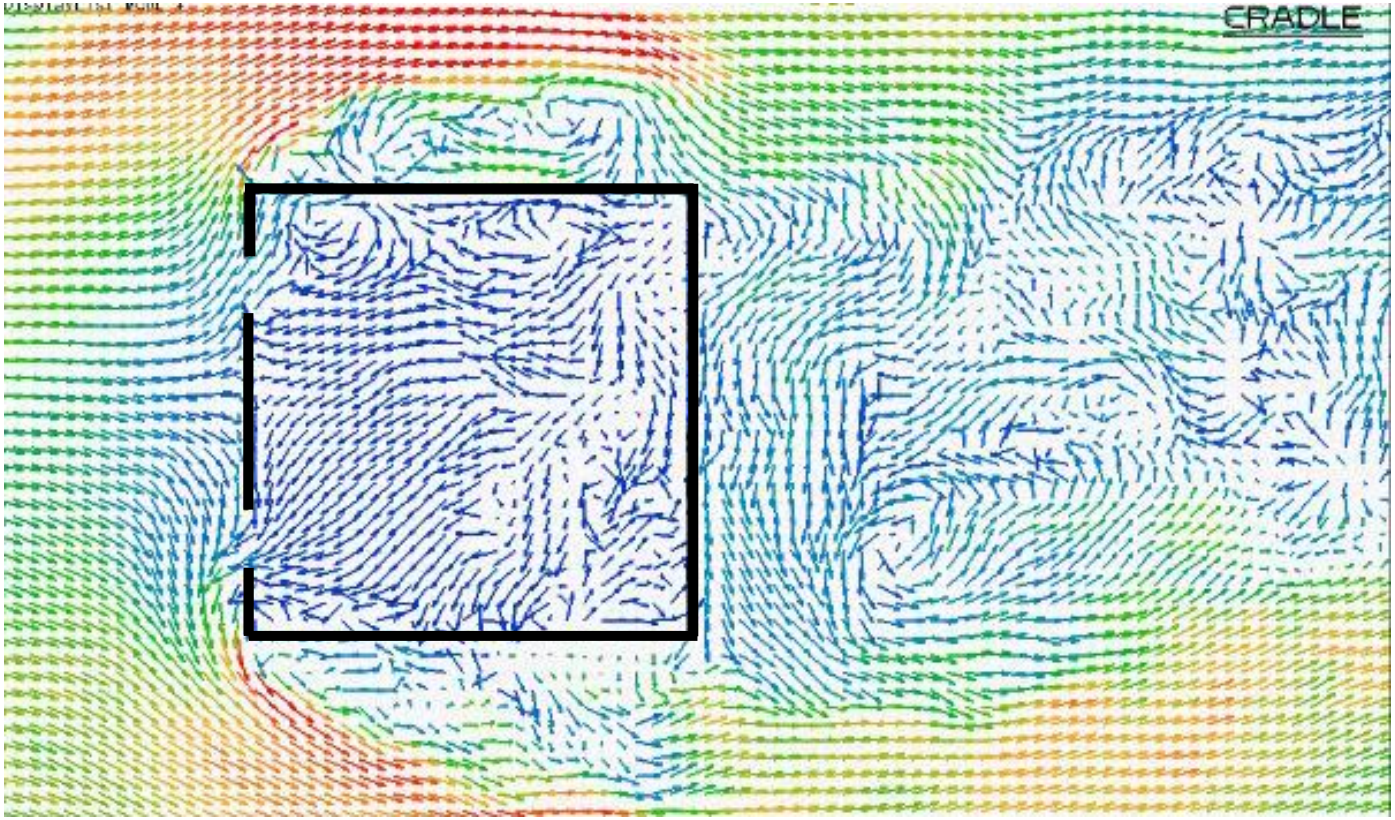
風向に対し平行な両壁面中央部にパネルを設けた開口を有する場合（モデルＢ－２）

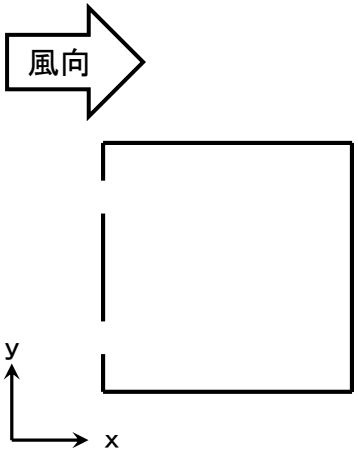


動画　室内外流速分布（モデルＢ－２、高さ150[mm]の水平断面）

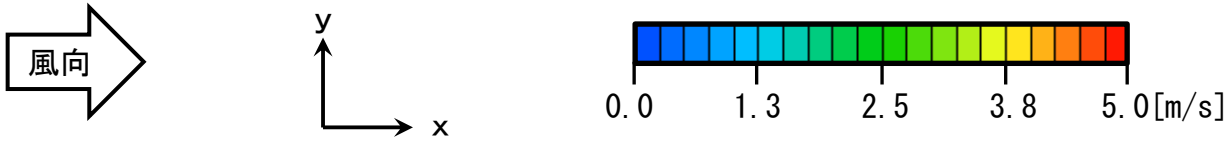
解析結果（モデルＣ）

流入変動気流により２箇所の開口部から交互に気流が流入する。





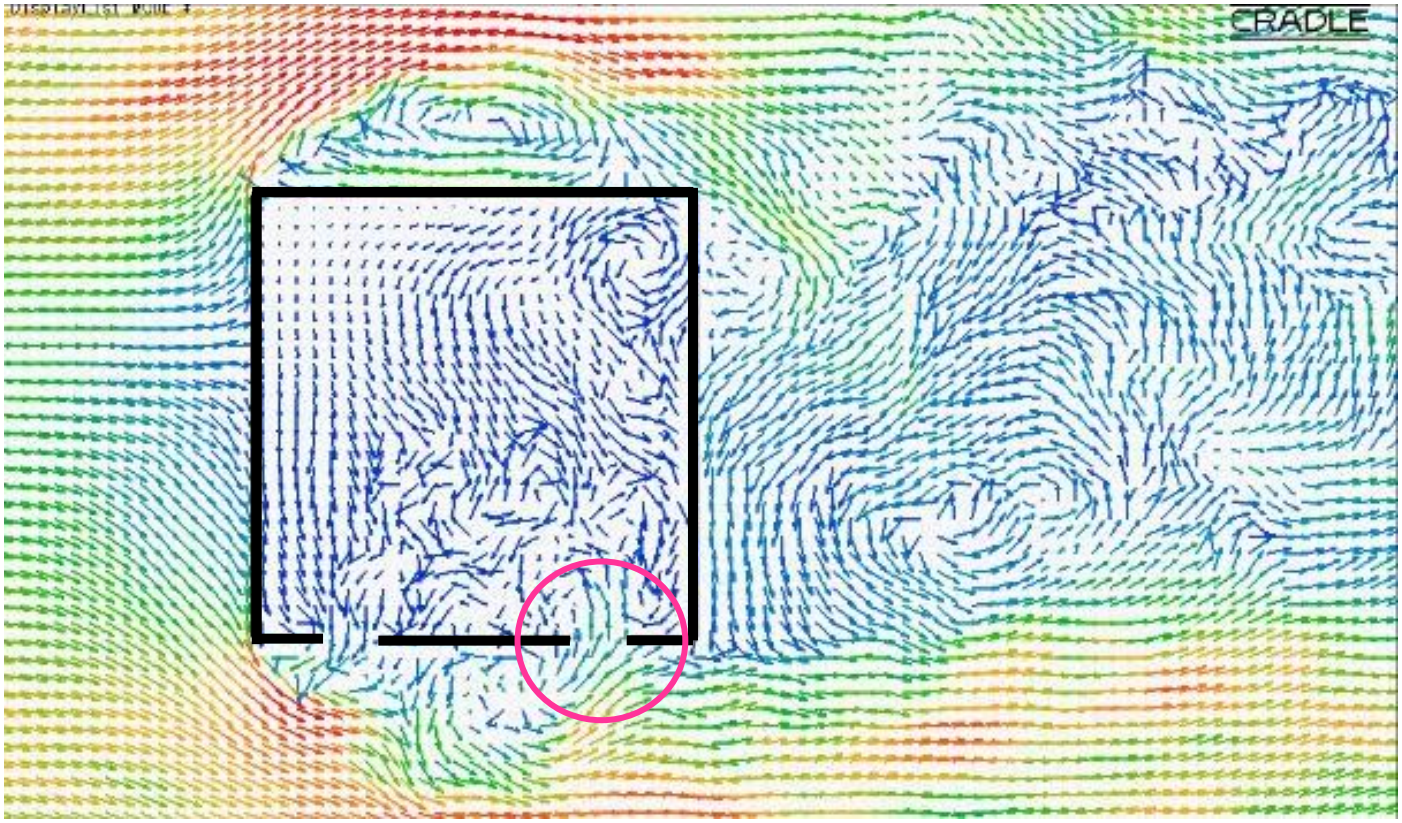
風上側壁面の同じ高さに
２開口を有する場合
（モデルＣ）

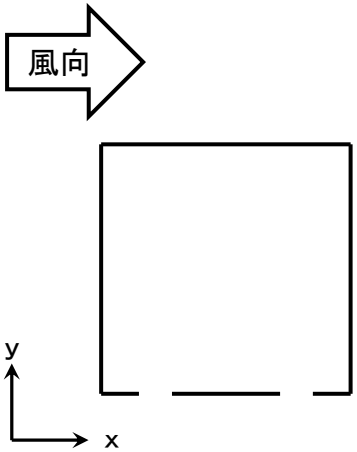


動画　室内外流速分布（モデルＣ、高さ150[mm]の水平断面）

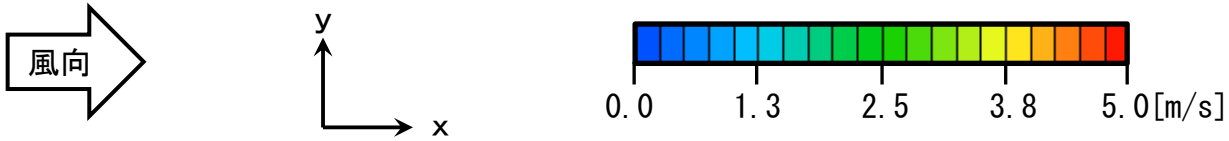
解析結果（モデルＥ－１）

２箇所の開口の内、風下側の開口から断続的に気流が流入しモデル内部に流れ場を形成する。





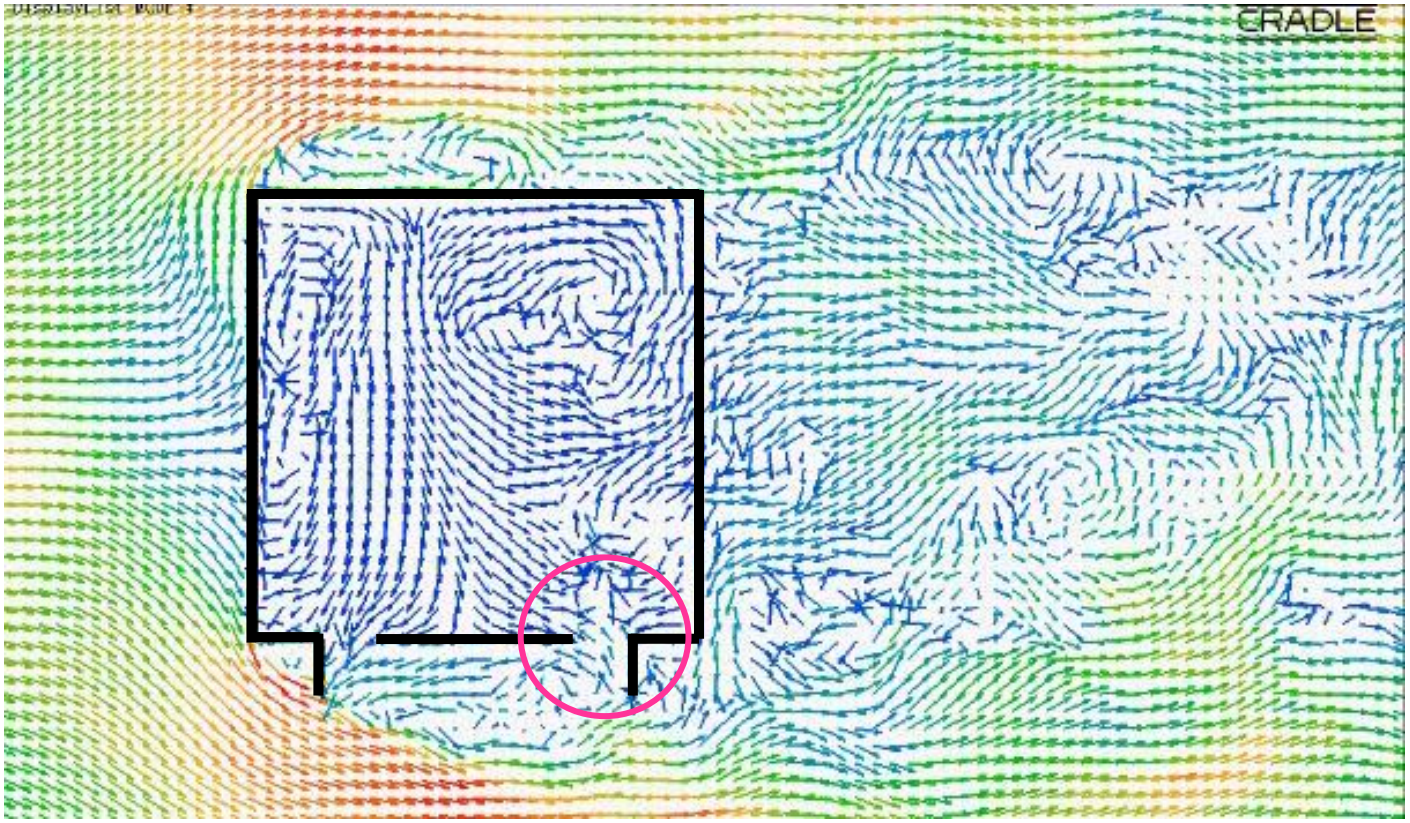
風向に対し平行な壁面の
風上、風下に
２開口を有する場合
（モデルＢ－２）

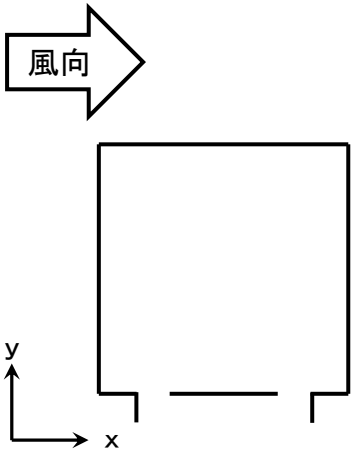


動画　室内外流速分布（モデルＥ－１、高さ150[mm]の水平断面）

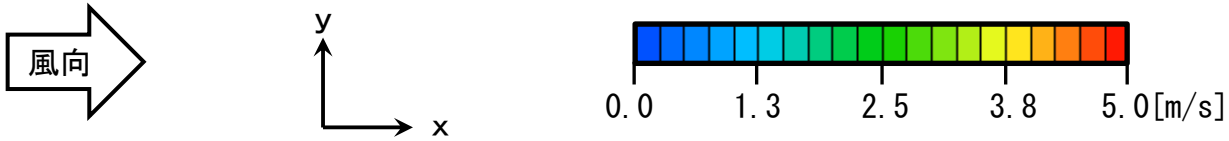
解析結果（モデルＥ－２）

流速2.0[m/s]程度で**風下側の開口から断続的に気流が流入**している。





風向に対し平行な壁面の
風上、風下にパネルを設けた
２開口を有する場合
（モデルＢ－２）

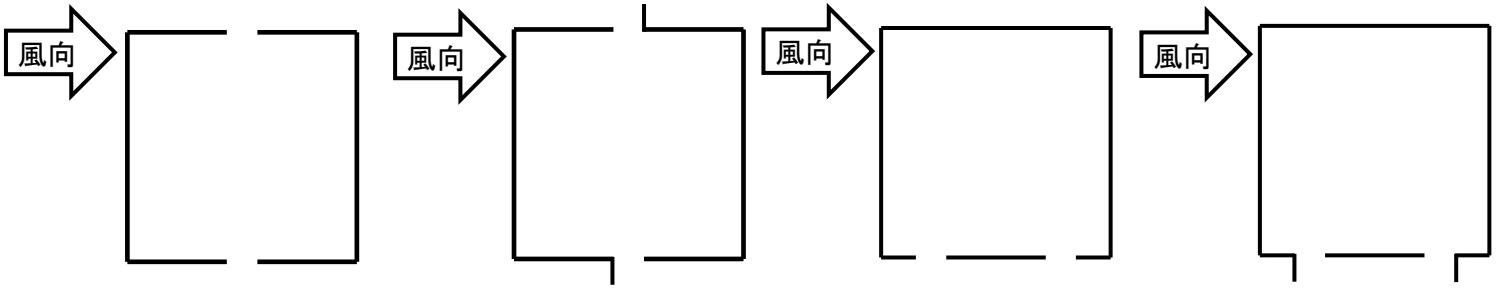


動画　室内外流速分布（モデルＥ－２、高さ150[mm]の水平断面）

各モデルの平均流量の比較

表３　各モデルの平均流量の比較

モデル	モデルＢ－１	モデルＢ－２	モデルＥ－１	モデルＥ－２
平均流量[m^3/h]	2.257	2.634	2.658	2.546
換気回数[回/h]	83.6	97.6	98.4	94.3



換気回数はどのモデルでも80～100[回/h]程度である。
モデルＢ－１とモデルＢ－２を比較すると、パネルにより換気回数は14[回/h]程度増加する。
同様にモデルＥ－１とモデルＥ－２を比較すると、パネルによって換気量が増加せずパネルを設けた方が換気回数が4.1[回/h]程度減少する。パネルの効果による通風量の変化は換気回数15[回/h]以下と相対的に小さい。

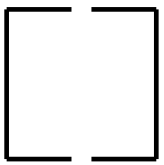
まとめ

①モデルＢ－１のでは、両開口部において建物後方部から前方部に向かって流入している。

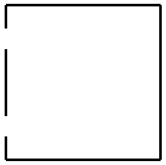
②モデルＣでは風上側壁面に設けた２箇所の開口部から交互に気流がモデル内部に流入する様子が観察される。

③モデルＥ－１では風下側の開口部から断続的に気流が流入し、モデル内部に流れ場を形成する様子がみられた。

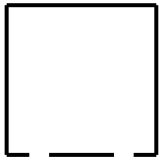
④モデルＢ－１とモデルＢ－２の平均流量[㎥/h]を比較すると、設けたパネルにより換気回数は14.0[回/h]程度増加するが、パネルの効果は相対的に小さい。



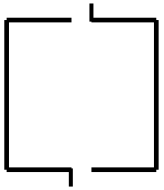
モデルＢ－１



モデルＣ



モデルＥ－１



モデルＢ－２