

複数の平均風速の定義とそれらの関係

1 研究目的

- 無指向性風速計と、RANS (Reynolds-averaged Navier–Stokes equations)型乱流モデルでの「平均風速」の定義は一致していない。
 - 無指向性風速計：瞬時スカラー風速の平均値
 - RANS乱流モデル：平均速度ベクトルからのスカラー風速
- 本研究の目的
 - その1：複数の定義による平均風速の関係を解析的に導き考察
 - その2：単体建物モデル周りの流れをLarge-eddy simulation (LES)で解析し、平均風速の間の不一致度を定量的に検討

2 平均風速の定義

表1 「平均風速」の定義式

mean-vector speed V_{mv}	$V_{mv} \equiv \ \langle \mathbf{u} \rangle\ = (\langle \mathbf{u} \rangle^T \langle \mathbf{u} \rangle)^{0.5} = (2K)^{0.5}$
mean speed V_{ms}	$V_{ms} \equiv \langle \ \mathbf{u}\ \rangle = \langle s \rangle$
effective speed V_{es}	$V_{es} \equiv \langle \ \mathbf{u}\ ^2 \rangle^{0.5} = \langle s^2 \rangle^{0.5} = (2K + 2k)^{0.5}$

表2 解析手法と評価可能な平均風速

	V_{mv}	V_{ms}	V_{es}
風洞実験*		○	
CFD (RANS)	○		○
CFD (LES)	○	○	○**

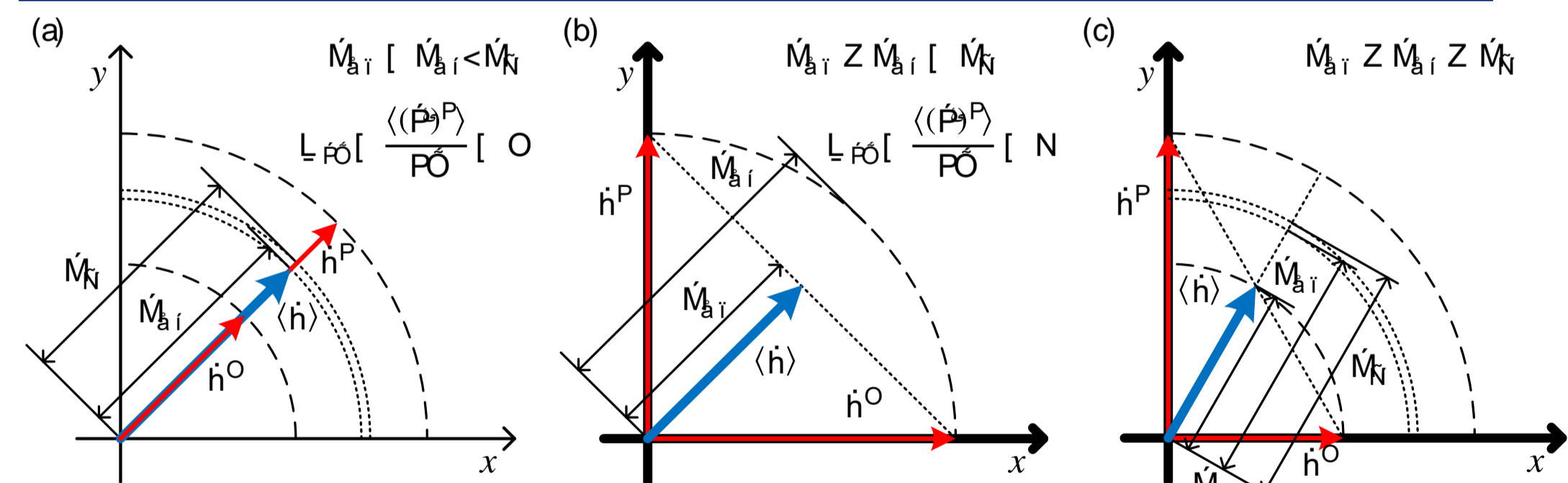
*無指向性風速計を用いた風洞実験;

**粗視化され取り除かれた小スケールでの乱流エネルギーの成分は含まれていないため近似値

3 平均風速間の解析的關係

- 複数の平均風速間に下記の関係が存在する。
 - $V_{ms}^2 - V_{mv}^2 = \langle s \rangle^2 - 2K = 2k - \langle (s')^2 \rangle, \quad \langle (s')^2 \rangle \geq 0$
 - $V_{ms} = (V_{mv}^2 + 2k - \langle (s')^2 \rangle)^{0.5} \leq (V_{mv}^2 + 2k)^{0.5} = V_{es}$
 - $V_{ms} - V_{mv} = \langle \|\mathbf{u}\| \rangle - \|\langle \mathbf{u} \rangle\| \geq 0$
 - $V_{mv} \leq V_{ms} \leq V_{es}$ 或いは $2K \leq \langle s \rangle^2 \leq 2K + 2k = \langle s^2 \rangle$
- V_{ms} は V_{mv} と V_{es} との間にあり、常にどちらかに一致するものではない。
 $R_{sk} \equiv \langle (s')^2 \rangle / 2k$ と定義すれば、次の関係を得る。
 - $0 \leq R_{sk} \leq 1$

4 平均風速間の幾何学的關係



- 風環境評価には、無指向性風速計を用いた風洞実験やRANS型CFDを用いるのが一般的であるが、手法によって評価される平均風速の定義が厳密には一致していない。
- 異なる定義に基づく複数の平均風速を解析的に考察し、 $V_{mv} \leq V_{ms} \leq V_{es}$ の関係があることを示した。

単体建物モデル周りの流れにおける平均風速の比較

5 解析モデルおよび解析条件

表 1 解析条件

解析モデル	LES, 標準Smagorinskyモデル($C_s = 0.12$)
解析領域	10.75 H (x) × 6.875 H (y) × 5.625 H (z)
解析格子	最小幅: 1/64 H, 格子数: 約380万
時間刻み・時間積分	0.001 s, PISO
時間離散化スキーム	オイラー陰解法
空間離散化スキーム	2次精度中心差分
流入境界	別途風洞を模擬したLESにより平均風速が1/4乗のべき則に従う流入風を生成
流出境界	勾配ゼロ
上空, 地表, 側面, 角柱表面境界	壁関数 (Spalding's law)

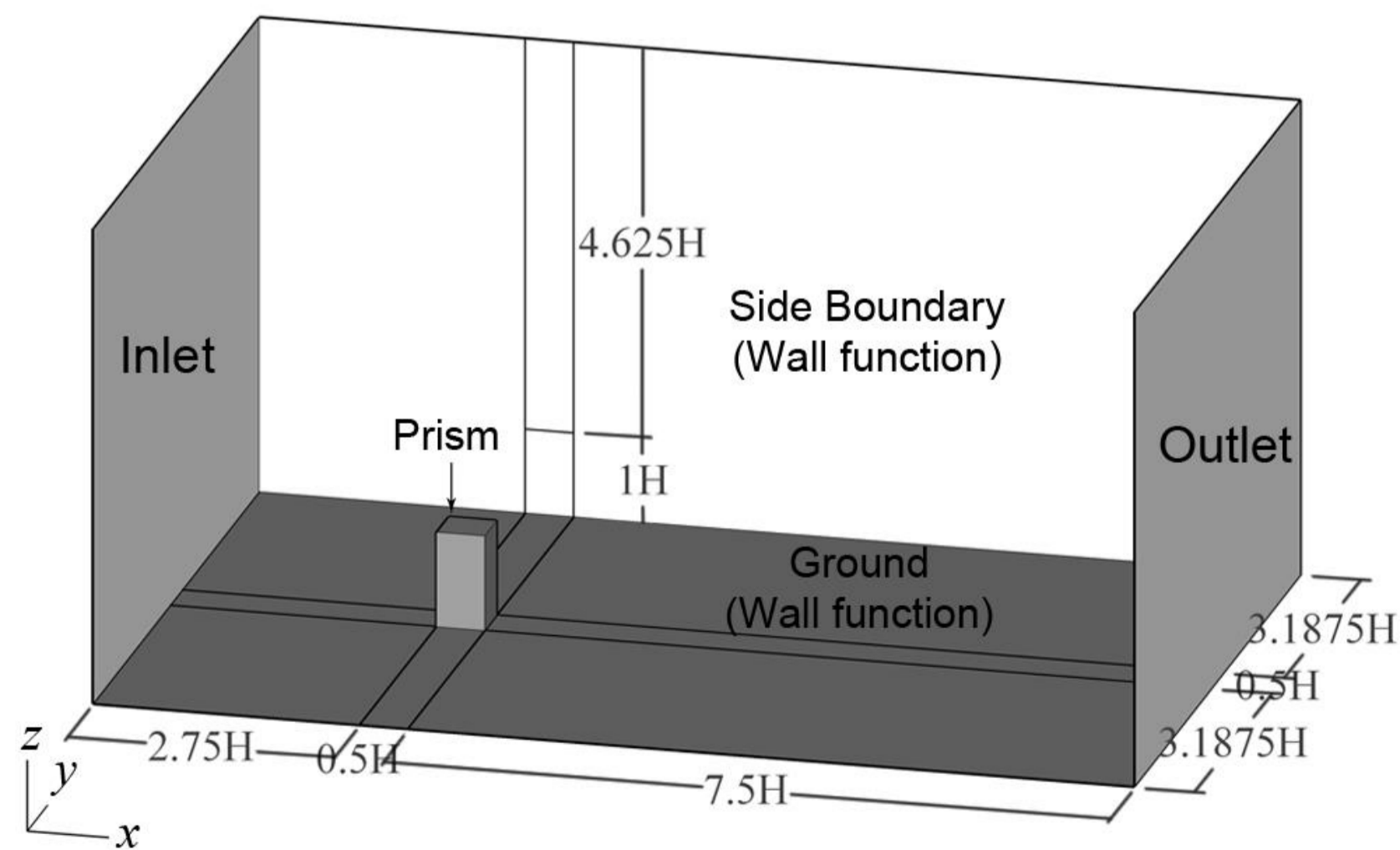


図 1 解析領域

6 異なる定義の平均風速の比較

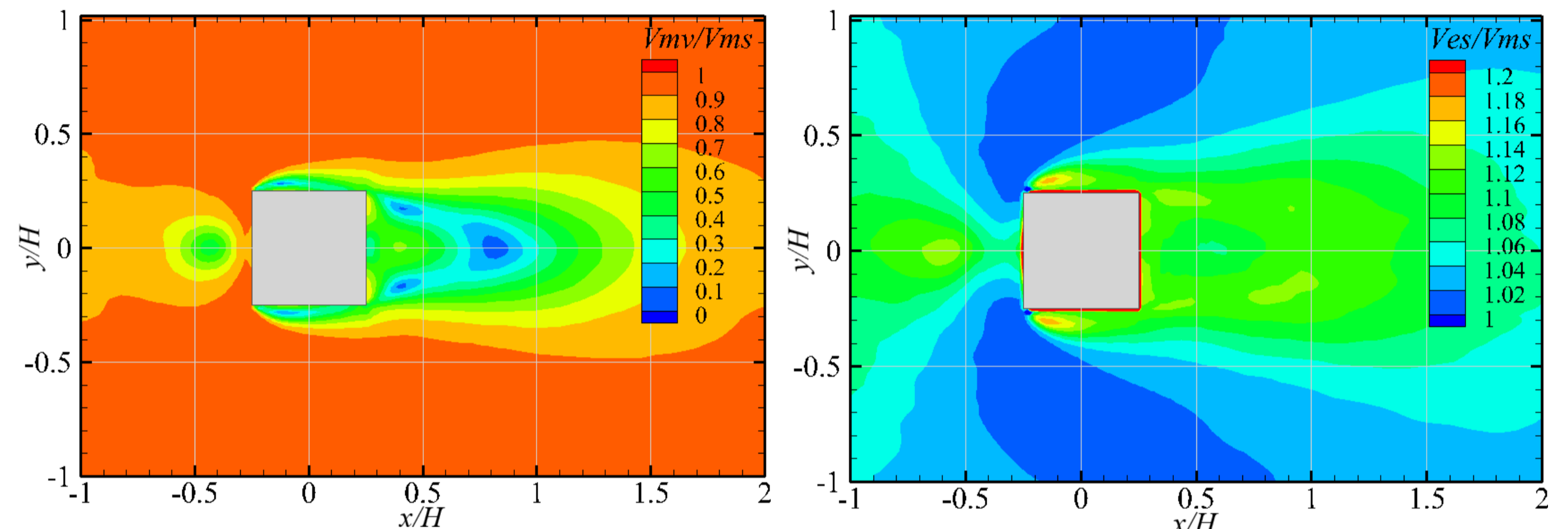


図 2 V_{ms} に対する V_{mv} , V_{es} の比の分布 ($z = 1/16 H$, 左: V_{mv}/V_{ms} , 右: V_{es}/V_{ms})

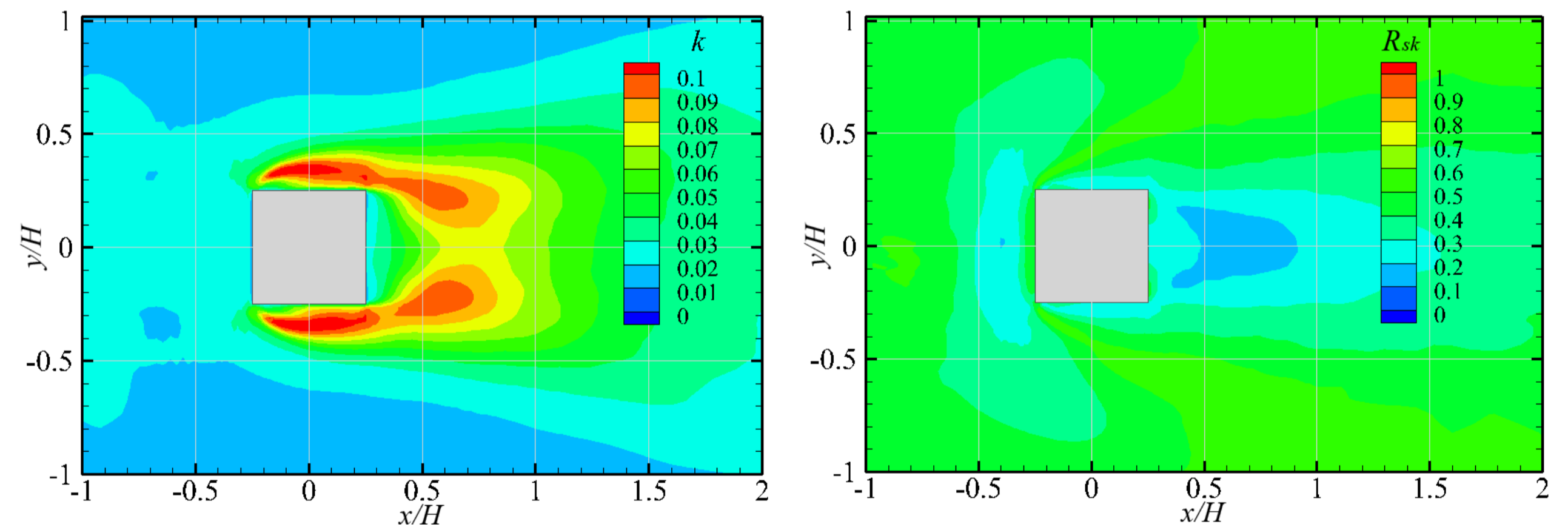


図 3 水平面における k と R_{sk} の分布 ($z = 1/16 H$, 左: k , 右: R_{sk})

- 異なる解析手法によって平均風速を評価する場合、平均風速の定義が一致していない場合があり、特に剥離循環流および後流域においては、その定義の不一致が、平均風速の値に無視しえない差をもたらすことを示した。