

高速炉配管合流部における
サーマルストライピング条件の解析的検討(IV)
—配管合流部下流領域における乱流2次モーメントに関する検討—
(研究報告書)

2000年2月

核燃料サイクル開発機構

大洗工学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ
ください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 4 9

核燃料サイクル開発機構

技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,

Technology Management Division,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2000

高速炉配管合流部におけるサーマルストライピング条件の解析的検討(IV)

-配管合流部下流領域における乱流2次モーメントに関する検討-

(研究報告書)

村松 壽晴*

要　旨

高速炉の炉心出口近傍では、炉心構成要素毎の熱流力特性（集合体発熱量、集合体流量）の違いから、炉心燃料集合体間あるいは炉心燃料集合体・制御棒集合体などで冷却材に温度差が生じ、それらが混合する過程で不規則な温度ゆらぎ挙動が発生する。この温度ゆらぎを伴った冷却材が炉心上部機構各部（整流筒、制御棒上部案内管、炉心出口温度計装ウェルなど）の表面近傍を通過すると、冷却材中の不規則な温度ゆらぎが構造材中に伝播し、その材料は高サイクル熱疲労を受ける（サーマルストライピング）。特に、冷却材として液体金属ナトリウムを使用する高速炉では、大きな熱伝導率を持つナトリウムの性質から、この熱疲労に対する配慮が必要となる。

本研究では、上流側に 90° エルボを持つ主配管と枝管から構成される配管合流部でのサーマルストライピング現象について、直接シミュレーションコード DINUS-3 による解析的検討を行った。本研究で着目したパラメータは、当該合流部における (a) 口径比、(b) 流速比、(c) 主配管エルボ - 枝管間相対角度および (d) レイノルズ数であり、これらパラメータが配管合流部下流領域での乱流2次モーメントの空間分布特性に与える影響を評価した。得られた結果は、次の通りである。

- (1) 流速比 (β) を 1.0 に固定した条件においては、口径比 (α) が小さいほど乱流2次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布範囲は広がる。
- (2) 口径比 (α) を 1.0 に固定し、流速比 (β) を主配管内流速の増減により模擬した条件においては、流速比が大きいほど乱流2次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布範囲は広がる。一方、流速比を枝管内流速の増減により模擬した条件（口径比を 3.0 に固定）においては、流速比が小さいほど乱流2次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布範囲は広がる。
- (3) 主配管角 (γ) を変化した場合、乱流2次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布は大きく変化しない。しかしながら、それらピーク値は、主配管角が 180° である場合が最も大きくなる。
- (4) レイノルズ数 (Re) が大きいほど、乱流2次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布範囲は広がる。

* : 大洗工学センターシステム技術開発部熱流体技術開発グループ

Numerical Investigation on Thermal Striping Conditions for a Tee Junction of LMFBR Coolant Pipes (IV)

- Investigation on Second-Order Moments in Coolant Mixing Region -

Toshiharu MURAMATSU*

Abstract

This report presents numerical results on thermal striping characteristics at a tee junction of LMFBR coolant pipe, carried out using a direct numerical simulation code DINUS-3. In the numerical investigations, it was considered a tee junction system consisted of a main pipe ($1.33 \text{ cm}^{\text{I.D.}}$) with a 90° elbow and a branch pipe, and four parameters, i.e., (1) diameter ratio α between both the pipes, (2) flow velocity ratio β between both the pipes, (3) angle γ between both the pipes, and (4) Reynolds number Re .

From the numerical investigations, the following characteristics were obtained:

- (1) According to the decreasing of the diameter ratio, significant area of second-order moments was expanded in the fixed condition of $\beta=1.0$.
- (2) Significant second-order moments area was expanded for the increasing of the flow velocity ratio β specified by varying of the main pipe velocity in the case of a $\alpha=1.0$ constant condition. On the other hand, the area was expanded for the decreasing of the velocity ratio β defined by varying of the branch pipe velocity in the case of a $\alpha=3.0$ constant condition.
- (3) Maximum second-order moments values were generated in the case of $\gamma=180^\circ$ due to the influence of interactions between main pipe flows and jet flows from the branch pipe.
- (4) According to the increase of Reynolds number, significant area of second-order moments was expanded due to the activation of turbulence mixing in the main pipe.

* : Thermal Hydraulic Research Group, System Engineering and Technology Division, OEC, JNC.

高速炉配管合流部におけるサーマルストライピング条件の解析的検討(IV)

- 配管合流部下流領域における乱流2次モーメントに関する検討 -

目 次

第1章 緒 言	1
第2章 配管合流部条件	2
2. 1 幾何・熱流動条件	2
2. 2 数値解析モデルおよび条件	3
第3章 解析結果	4
3. 1 口径比依存性	4
3. 2 流速比依存性	4
3. 3 主配管角依存性	5
3. 4 レイノルズ数依存性	6
第4章 亂流2次モーメント特性に関する検討	7
4. 1 口径比依存性	7
4. 2 流速比依存性	7
4. 3 主配管角依存性	9
4. 4 レイノルズ数依存性	9
第5章 結 言	11
参考文献	12

表リスト

表 2.1 配管合流部サーマルストライピング解析での幾何熱流動条件一覧

図リスト

- 図 2.1 口径比依存性評価用メッシュ図
- 図 2.2 流速比依存性評価用メッシュ図
- 図 2.3 主配管角依存性評価用メッシュ図
- 図 2.4 Re 数依存性評価用メッシュ図
- 図 3.1 時間平均流速ベクトル分布 (Case α -1 : $\alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.2 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α -1 : $\alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.3 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布 (Case α -1 : $\alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.4 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-y 面分布 (Case α -1 : $\alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.5 時間平均流速ベクトル分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.6 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.7 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.8 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-y 面分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.9 時間平均流速ベクトル分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.10 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.11 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.12 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-y 面分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.13 時間平均流速ベクトル分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.14 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.15 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.16 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-y 面分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.17 時間平均流速ベクトル分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.18 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.19 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.20 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-y 面分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 3.21 時間平均流速ベクトル分布 (Case β 1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)
- 図 3.22 時間平均ナトリウム温度分布 (Case β 1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)
- 図 3.23 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布 (Case β 1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)
- 図 3.24 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-y 面分布 (Case β 1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)
- 図 3.25 時間平均流速ベクトル分布 (Case β 1-2 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 2,813$)

- 図 4.66 Re 応力 $\overline{u' w'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0, \beta = 4.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 22,504$)
- 図 4.67 Re 応力 $\overline{v' v'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0, \beta = 4.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 22,504$)
- 図 4.68 Re 応力 $\overline{v' w'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0, \beta = 4.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 22,504$)
- 図 4.69 Re 応力 $\overline{w' w'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0, \beta = 4.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 22,504$)
- 図 4.70 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)
- 図 4.71 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)
- 図 4.72 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)
- 図 4.73 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 2,813$)
- 図 4.74 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 2,813$)
- 図 4.75 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 2,813$)
- 図 4.76 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0, \beta = 2.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 11,252$)
- 図 4.77 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0, \beta = 2.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 11,252$)
- 図 4.78 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0, \beta = 2.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 11,252$)
- 図 4.79 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0, \beta = 4.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 22,504$)
- 図 4.80 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0, \beta = 4.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 22,504$)
- 図 4.81 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0, \beta = 4.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 22,504$)
- 図 4.82 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.83 Re 応力 $\overline{u' v'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.84 Re 応力 $\overline{u' w'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.85 Re 応力 $\overline{v' v'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.86 Re 応力 $\overline{v' w'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.87 Re 応力 $\overline{w' w'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.88 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.89 Re 応力 $\overline{u' v'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.90 Re 応力 $\overline{u' w'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.91 Re 応力 $\overline{v' v'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.92 Re 応力 $\overline{v' w'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.93 Re 応力 $\overline{w' w'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.94 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.95 Re 応力 $\overline{u' v'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.96 Re 応力 $\overline{u' w'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.97 Re 応力 $\overline{v' v'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.98 Re 応力 $\overline{v' w'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.99 Re 応力 $\overline{w' w'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.100 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)
- 図 4.101 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

- 図 4. 138 Re 応力 $\overline{u' w'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)
 図 4. 139 Re 応力 $\overline{v' v'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)
 図 4. 140 Re 応力 $\overline{v' w'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)
 図 4. 141 Re 応力 $\overline{w' w'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)
 図 4. 142 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)
 図 4. 143 Re 応力 $\overline{u' v'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)
 図 4. 144 Re 応力 $\overline{u' w'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)
 図 4. 145 Re 応力 $\overline{v' v'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)
 図 4. 146 Re 応力 $\overline{v' w'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)
 図 4. 147 Re 応力 $\overline{w' w'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)
 図 4. 148 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)
 図 4. 149 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)
 図 4. 150 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)
 図 4. 151 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)
 図 4. 152 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)
 図 4. 153 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)

- 図 A. 1 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case $\alpha=1.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 2 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
 挙動 (Case $\alpha=1.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 3 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case $\alpha=1.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 4 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
 挙動 (Case $\alpha=1.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 5 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case $\alpha=1.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 6 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case $\alpha=2.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 7 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
 挙動 (Case $\alpha=2.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 8 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case $\alpha=2.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 9 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
 挙動 (Case $\alpha=2.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 10 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case $\alpha=2.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
 図 A. 11 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)

- 図 A. 12 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\alpha-3 : \alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 13 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\alpha-3 : \alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 14 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\alpha-3 : \alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 15 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\alpha-4 : \alpha=5.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 16 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\alpha-4 : \alpha=5.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 17 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\alpha-4 : \alpha=5.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 18 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\alpha-4 : \alpha=5.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 19 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\alpha-4 : \alpha=5.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 20 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\alpha-4 : \alpha=5.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 21 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\alpha-5 : \alpha=10.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 22 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\alpha-5 : \alpha=10.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 23 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\alpha-5 : \alpha=10.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 24 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\alpha-5 : \alpha=10.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 25 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\alpha-5 : \alpha=10.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 26 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\beta1-1 : \alpha=1.0, \beta=0.25, \gamma=90^\circ, Re_m=1,407$)
- 図 A. 27 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\beta1-1 : \alpha=1.0, \beta=0.25, \gamma=90^\circ, Re_m=1,407$)
- 図 A. 28 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\beta1-1 : \alpha=1.0, \beta=0.25, \gamma=90^\circ, Re_m=1,407$)
- 図 A. 29 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\beta1-1 : \alpha=1.0, \beta=0.25, \gamma=90^\circ, Re_m=1,407$)
- 図 A. 30 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\beta1-1 : \alpha=1.0, \beta=0.25, \gamma=90^\circ, Re_m=1,407$)
- 図 A. 31 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\beta1-2 : \alpha=1.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=2,813$)
- 図 A. 32 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
拳動 (Case $\beta1-2 : \alpha=1.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=2,813$)
- 図 A. 33 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列拳動
(Case $\beta1-2 : \alpha=1.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=2,813$)

- 図 A. 34 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}2 : \alpha=1.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=2,813$)
- 図 A. 35 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}2 : \alpha=1.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=2,813$)
- 図 A. 36 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}3 : \alpha=1.0, \beta=2.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 37 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}3 : \alpha=1.0, \beta=2.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 38 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}3 : \alpha=1.0, \beta=2.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 39 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}3 : \alpha=1.0, \beta=2.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 40 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}3 : \alpha=1.0, \beta=2.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 41 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}4 : \alpha=1.0, \beta=4.0, \gamma=90^\circ, Re_m=22,504$)
- 図 A. 42 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}4 : \alpha=1.0, \beta=4.0, \gamma=90^\circ, Re_m=22,504$)
- 図 A. 43 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}4 : \alpha=1.0, \beta=4.0, \gamma=90^\circ, Re_m=22,504$)
- 図 A. 44 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}4 : \alpha=1.0, \beta=4.0, \gamma=90^\circ, Re_m=22,504$)
- 図 A. 45 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 1\text{-}4 : \alpha=1.0, \beta=4.0, \gamma=90^\circ, Re_m=22,504$)
- 図 A. 46 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}1 : \alpha=3.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 47 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}1 : \alpha=3.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 48 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}1 : \alpha=3.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 49 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}1 : \alpha=3.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 50 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}1 : \alpha=3.0, \beta=0.5, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 51 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}2 : \alpha=3.0, \beta=5.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 52 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}2 : \alpha=3.0, \beta=5.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 53 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}2 : \alpha=3.0, \beta=5.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 54 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}2 : \alpha=3.0, \beta=5.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 55 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動 (Case $\beta 2\text{-}2 : \alpha=3.0, \beta=5.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)

- 図 A. 56 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-3 : $\alpha=3.0, \beta=10.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 57 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-3 : $\alpha=3.0, \beta=10.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 58 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-3 : $\alpha=3.0, \beta=10.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 59 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-3 : $\alpha=3.0, \beta=10.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 60 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-3 : $\alpha=3.0, \beta=10.0, \gamma=90^\circ, Re_m=5,626$)
- 図 A. 61 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 62 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 63 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 64 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 65 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 66 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=180^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 67 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=180^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 68 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=180^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 69 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=180^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 70 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=180^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 71 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-3 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=0^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 72 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-3 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=0^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 73 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-3 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=0^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 74 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-3 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=0^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 75 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-3 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=0^\circ, Re_m=11,252$)
- 図 A. 76 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=28,130$)

- 図 A. 77 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
挙動 (Case Re-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=28,130$)
- 図 A. 78 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=28,130$)
- 図 A. 79 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
挙動 (Case Re-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=28,130$)
- 図 A. 80 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-1 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=28,130$)
- 図 A. 81 主配管天井面 ($i=1, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=56,261$)
- 図 A. 82 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
挙動 (Case Re-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=56,261$)
- 図 A. 83 主配管中央 ($i=5, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=56,261$)
- 図 A. 84 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i=15, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列
挙動 (Case Re-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=56,261$)
- 図 A. 85 主配管床面 ($i=20, j=10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-2 : $\alpha=3.0, \beta=1.0, \gamma=90^\circ, Re_m=56,261$)

第1章 緒 言

高速炉の炉心出口近傍では、炉心構成要素毎の熱流力特性（集合体発熱量、集合体流量）の違いから、炉心燃料集合体間あるいは炉心燃料集合体 - 制御棒集合体間などで冷却材に温度差が生じ、それらが混合する過程で不規則な温度ゆらぎ挙動が発生する。この温度ゆらぎを伴った冷却材が炉心上部機構各部（整流筒、制御棒上部案内管、炉心出口温度計装ウェルなど）の表面近傍を通過すると、冷却材中の不規則な温度ゆらぎが構造材中に伝播し、その材料は高サイクル熱疲労を受ける（サーマルストライピング）。特に、冷却材として液体金属ナトリウムを使用する高速炉では、大きな熱伝導率を持つナトリウムの性質から、この熱疲労に対する配慮が必要となる。このような観点から、高速原型炉「もんじゅ」の炉心出口近傍の領域では、炉内構造物に耐熱応力材料を貼るなどの設備対応がなされた。

一方、フランス高速原型炉「フェニックス」の2次主冷却系配管合流部において、サーマルストライピングに起因したナトリウム漏洩事象が実際に発生し、国際ベンチマーク演習として行った事後評価結果から、

- (1) 設計上考慮されなかった僅かな量の流体混合も事象発生に有意な影響を持ち得ること、
- (2) 流体から構造物への熱輸送過程で生じる温度ゆらぎ減衰挙動が事象の特性を大きく支配すること、
- (3) 溶接による強度低減効果がき裂の発生と進展に大きな影響を及ぼすこと

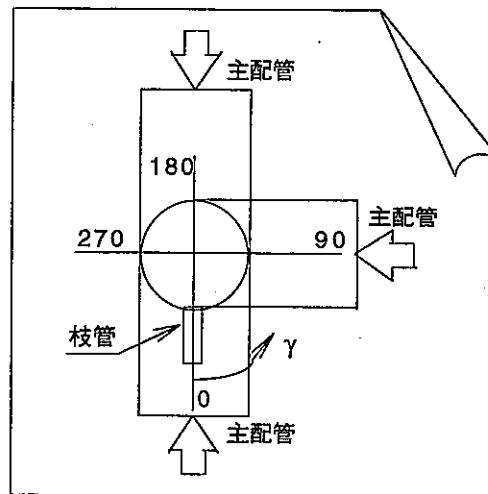
などが明らかにされた [1], [2], [3]。さらに、高速原型炉「もんじゅ」安全総点検において、2次主冷却系純化系や炉外燃料貯蔵槽系などの配管合流部で「フェニックス」と同様のサーマルストライピングが発生し得る可能性が指摘され、数値解析的手法 [4] による事後評価が実施された [5]。また、当該挙動の一般的特徴を抽出する目的から、配管合流部における流速比に関する検討が行われた [6]。

本報では、配管合流部におけるサーマルストライピング現象を支配する乱流2次モーメントにつき、この一般的特性をより幅広い観点から把握することを目的として、当該部における(a)口径比、(b)流速比、(c)主配管エルボ - 枝管間相対角度および(d)レイノルズ数を変化させた場合の検討を行う。

第2章 配管合流部条件

2.1 幾何・熱流動条件

表2.1に、本研究で対象とした幾何・熱流動条件をまとめた。ケース α (-1, -2, -3, -4および-5)は、主配管径 d_m を0.0133(m)に固定した条件において枝管径 d_b を変化させたもので、乱流2次モーメント特性の口径比($=d_m/d_b$)依存性(1.0-10.0)を検討するために規定したものである。ケース β は、口径比を1.0および3.0とした条件において流速比($=V_m/V_b$)をパラメータとしたものであり、口径比を1.0とした条件では流速比を0.25から4.0の範囲(β_1 -1, -2, -3および-4)で、一方口径比を3.0とした条件では流速比を0.5から10.0の範囲(β_2 -1, -2および-3)で検討を行うものである。なお、 β_1 シリーズの評価では、枝管流速を0.288m/sに固定した条件で主配管流速を変化させ、流速比を増減させる。一方、 β_2 シリーズでは逆に、主配管流速を0.288m/sに固定した条件で枝管流速を増減させて流速比を変化させる。ケース γ (-1, -2および-3)は、口径比および流速比をそれぞれ3.0および1.0に固定した条件において、主配管上流側に規定した90°エルボの方向を変化させて枝管流入方向との相対角度(下記スケッチ参照)を変化させたものである。ケ



ース Re (-1および-2)は、口径比を3.0、また流速比を1.0とした固定条件において、主配管流速および枝管流速を増減させてレイノルズ数 Re を変化(最大56,261:Re-2ケース)させたものである。

本研究では、主配管内および枝管内を流れる流体を液体金属ナトリウムとした。両配管間での最大温度差は、各ケースともに110°C(主配管内ナトリウム温度 T_m :120°C、枝管内ナトリウム温度 T_b :230°C)に固定した。

表2.1中には、口径比依存性、流速比依存性、主配管角依存性および Re 数依存性の比較検討を行う上で対象ケースを丸印で示した。

2.2 数値解析モデルおよび条件

数値計算条件を以下に列記する。

項 目	内 容
解 析 コ ー ド :	直接シミュレーションコード DINUS-3 [4]
座 標 系 :	x-y-z 直交 3 次元
メッシュ分割 :	図 2.1 参照 (口径比依存性評価) 図 2.2 参照 (流速比依存性評価) 図 2.3 参照 (主配管角依存性評価) 図 2.4 参照 (レイノルズ数依存性評価)
重 力 方 向 :	x 方向
入口流速分布 :	一様 (断面平均値; 表 2.1 参照)
入 口 温 度 :	主配管: 120 °C、枝管: 230 °C
固 体 壁 条 件 :	非スリップ、断熱
サンプリング間隔 :	10 msec

第3章 解析結果

3.1 口径比依存性

各ケースについての、時間平均流速ベクトル分布、時間平均ナトリウム温度分布、時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布および同 x-y 面分布を、図 3.1 - 図 3.20 にそれぞれ示す。同図の内、時間平均ナトリウム温度および時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布は、10 秒間（シミュレーション時間 10 秒 - 20 秒）のシミュレーションで得られた温度時系列データ（10 ms 間隔で 1000 点）を、それぞれ下式を用いて算出されたものである。

$$\bar{T}_{(x, y, z)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i(x, y, z) \quad (3-1)$$

$$\sigma_{(x, y, z)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_i(x, y, z) - \bar{T}_{(x, y, z)})^2} \quad (3-2)$$

ここで、

- \bar{T} : 時間平均温度
- σ : 温度ゆらぎ標準偏差
- N : データ点数 (= 1000)
- T_i : データ i 番目の温度
- (x, y, z) : 座標

である。

熱流動挙動全体的の口径比依存性は、次の通りである。

- ・口径比を増加（枝管径を縮小）させるに従い、枝管からの噴流背後に生じる循環渦長さが低下する。これは、枝管噴流の運動量が枝管径の縮小に伴って低下したためである。
- ・口径比を増加させるに従い、配管合流部下流側に占める高温ナトリウム領域が減少する。これは枝管径の縮小に従い、枝管から主配管中に流出する高温ナトリウム流量が低下するためである。
- ・口径比を増加させるに従い、配管合流部下流側に生じる温度ゆらぎ振幅の絶対値が減少するとともに、その発生領域が縮小する。これは、枝管径の縮小に伴う噴流流量の低下により、主配管内ナトリウムとの乱流混合量が低下するためである。

配管合流部下流側の主要位置における温度ゆらぎ時系列挙動を、付録 図 A.1 - 図 A.25 に示す。

3.2 流速比依存性

口径比を 1.0 とした場合 (Cases β1-1, -2, -3 および -4) の、時間平均流速ベクトル分布、時間平均ナトリウム

ム温度分布、時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布および同 x-y 面分布を、図 3. 21 - 図 3. 36 にそれぞれ示す。また、口径比を 3.0 とした場合 (Cases β2-1, -2 および -3) の同分布を、図 3. 37 - 図 3. 48 に示す。同図中の内、時間平均ナトリウム温度および時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布はそれぞれ、式 (3 - 1) および式 (3 - 2) を用いて平均操作を施している。

口径比を 1.0 に固定した条件での熱流動挙動全体的の流速比依存性は、次の通りである。

- ・流速比を増加 (主配管流速を増加) させるに従い、枝管からの噴流背後に生じる循環渦長さが低下する。これは、枝管噴流の運動量が主配管内流動の運動量に比べて相対的に減少したためである。
- ・流速比を増加させるに従い、配管合流部下流側に占める高温ナトリウム領域が減少する。これは主配管内流量の増加に伴い、枝管から主配管中に流出する高温ナトリウム流量が相対的に低下したためである。
- ・流速比を増加させるに従い、配管合流部下流側に生じる温度ゆらぎ振幅の絶対値が増加するとともに、その発生領域が拡大する。これは、主配管内流量の増加により枝管流量との乱流混合量が増加したためである。

一方、口径比を 3.0 とした条件での熱流動挙動全体的の流速比依存性は、次の通りである。

- ・流速比を増加 (枝管流速を低下) させるに従い、枝管からの噴流背後に生じる循環渦長さが低下する。これは、枝管噴流の運動量が主配管内流動の運動量に比べて減少したためである。
- ・流速比を増加させるに従い、配管合流部下流側に占める高温ナトリウム領域が減少する。これは枝管内流量の低下に伴い、枝管から主配管中に流出する高温ナトリウム流量が低下したためである。
- ・流速比を増加させるに従い、配管合流部下流側に生じる温度ゆらぎ振幅の絶対値が低下するとともに、その発生領域が縮小する。これは、枝管内流量の低下により枝管流量との乱流混合量が減少したためである。

配管合流部下流側の主要位置における温度ゆらぎ時系列挙動を、付録 図 A. 26 - 図 A. 60 に示す。

3. 3 主配管角依存性

主配管エルボ - 枝管間相対角度を変化させた場合 (Cases γ-1, -2 および -3) の、時間平均流速ベクトル分布、時間平均ナトリウム温度分布、時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布および同 x-y 面分布を、図 3. 49 - 図 3. 60 にそれぞれ示す。同図中の内、時間平均ナトリウム温度および時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布はそれぞれ、式 (3 - 1) および式 (3 - 2) を用いて平均操作を施している。

同相対角度を変化させた場合の熱流動挙動全体的の特徴は、次の通りである。

- ・相対角度を 180° とした場合、枝管からの噴流背後に生じる循環渦長さが微増する。これは、相対角度が 180° の場合の 2 次流れ強度が合流部の上部領域に集中し、枝管からの噴流が主配管内に侵入し易い状況が生じたためである。結果として明確な噴流が形成され、この背後の循環渦領域が微増した。
- ・相対角度を 180° とした場合、配管合流部下流側に占める高温ナトリウム領域が若干拡大する。

- ・相対角度を 180° とした場合、配管合流部下流側に生じる温度ゆらぎ振幅の絶対値が低下するとともに、その発生領域が縮小する。これは前記の通り、明確な枝管噴流（ポテンシャルコア）が形成されたことにより、主配管内流体との乱流混合量（連行領域）が限定・減少したためである。

配管合流部下流側の主要位置における温度ゆらぎ時系列挙動を、付録 図 A. 61 - 図 A. 75 に示す。

3.4 レイノルズ数依存性

口径比を 3.0 とし、また流速比を 1.0 とした条件において、レイノルズ数を変化させた場合 (Cases Re-1 および -2) の、時間平均流速ベクトル分布、時間平均ナトリウム温度分布、時間平均ナトリウム温度ゆらぎ x-z 面分布および同 x-y 面分布を、図 3.61 - 図 3.68 にそれぞれ示す。同図中の内、時間平均ナトリウム温度および時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布はそれぞれ、式 (3-1) および式 (3-2) を用いて平均操作を施している。

熱流動挙動全体的のレイノルズ数依存性は、次の通りである。

- ・流速分布に関しては、概ね相似である。
- ・レイノルズ数を増加させるに従い、配管合流部下流側に占める高温ナトリウム領域が微増するが、概ね相似径が保たれている。
- ・レイノルズ数を増加させるに従い、配管合流部下流側に生じる温度ゆらぎ振幅の絶対値が増加するとともに、その発生領域が拡大する。これは、レイノルズ数の増加により、乱流混合が促進したためである。

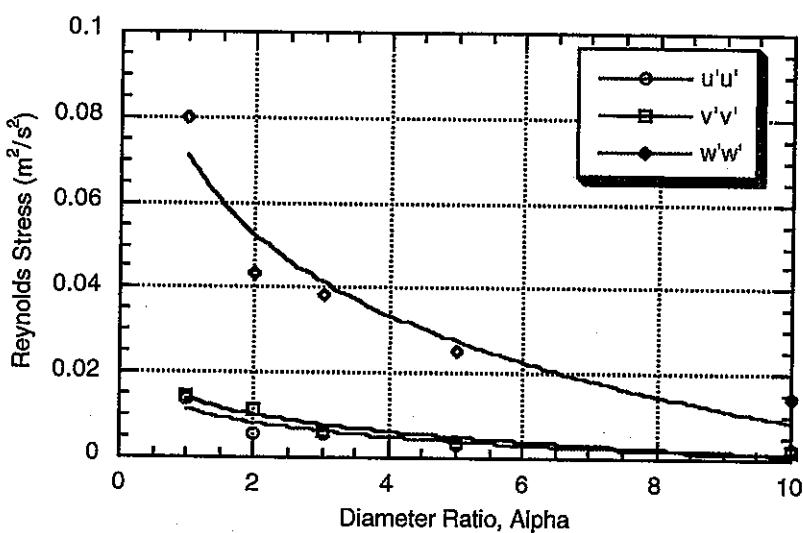
配管合流部下流側の主要位置における温度ゆらぎ時系列挙動を、付録 図 A. 76 - 図 A. 85 に示す。

第4章 亂流2次モーメント特性に関する検討

4.1 口径比依存性

合流部下流側における乱流2次モーメント諸成分(レイノルズ応力6成分および乱流熱流束3成分)の主配管断面分布を図4.1-図4.##に示す。レイノルズ応力成分に関する全体的な傾向は、配管口径比が増加する(Case α-1 → Case α-5)のに伴い、同各成分のレベルが低下する。これは、口径比が小さく(枝管径が大きく)、枝管から主配管内に供給される冷却材流量が多い場合、主配管内を流れる冷却材との混合による乱れの程度が増加することに起因する。主配管内に発生する各レイノルズ応力成分のピーク位置は、配管口径比が増加することにより、配管合流部上流側に移動する。また、そのピーク値も配管口径比の増加によって低下する。

以下に、レイノルズ応力ノーマル成分のピーク値と配管口径比との関係(曲線は対数近似)を示す。

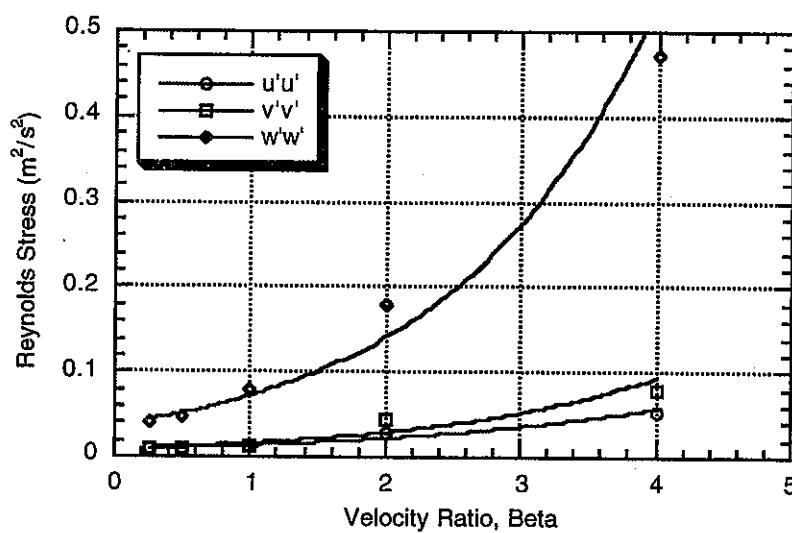


4.2 流速比依存性

(a) 口径比 1.0 条件

合流部下流側における乱流2次モーメント諸成分の主配管断面分布を図4.##-図4.##に示す。レイノルズ応力成分に関する全体的傾向は、流速比を大きく(Case β 1-1 → Case β 1-4)するにしたがって、同各成分のレベルが増加する。これは、枝管流速を0.288 m/sに固定した条件で主配管内流速を低下させ、流速比の増加を模擬したことによるもので、主配管内のレイノルズ数(乱れ度)の増加に伴って各成分レベルが上昇したものと解釈できる。なお、主配管内に発生する各レイノルズ応力成分のピーク位置は、流速比が増加することにより、配管合流部上流側に移動する。これは、主配管内での乱れ度発生に関する影響因子が、流速比(主配管流速)の増加により、枝管流速による影響から主配管流速の影響に遷移するためであると考えられる。すなわち、枝管流速が主配管流速よりも大きい流速比の小さい場合には、主配管内での乱れ発生は枝管流速により支配されるものの、主配管流速が増加した流速比の大きい場合には、主配管内流速が乱れ度発生に影響を及ぼすようになると考えられる。

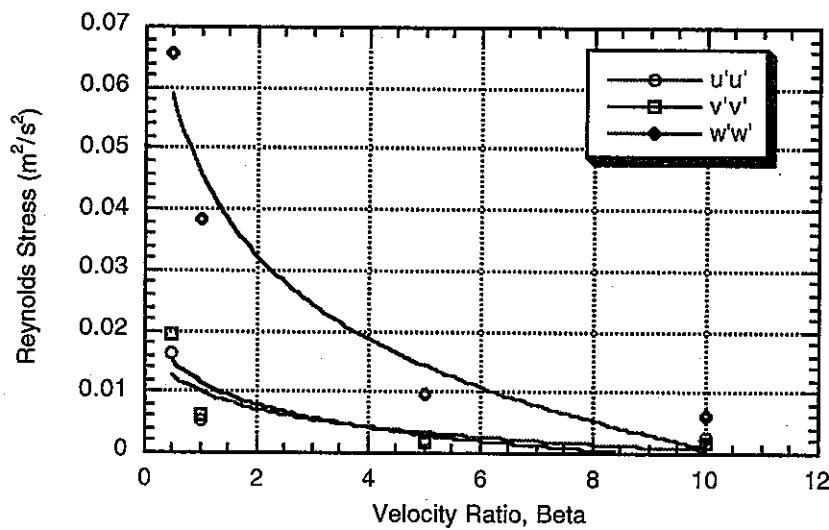
以下に、レイノルズ応力ノーマル成分のピーク値と配管流速比との関係(曲線は指數近似)を示す。



(b) 口径比 3.0 条件

合流部下流側における乱流 2 次モーメント諸成分の主配管断面分布を図 4.## - 図4.## に比較する。レイノルズ応力成分に関する全体的な傾向は、流速比を大きく (Case β 2-1 → Case β 2-3) するにしたがって、同各成分のレベルが低下する。これは、主配管流速を固定した条件で枝管流速を増減させ、流速比条件を変更したことによる。すなわち、流速比の増加を枝管流速の低下によって模擬したことから、枝管流速の主配管内での影響が低下したためである。なお、主配管内に発生する各レイノルズ応力成分のピーク位置は、流速比を増減させても大きく変化していない。これは、主配管流速を各流速比条件に亘って固定したことによる解釈できる。

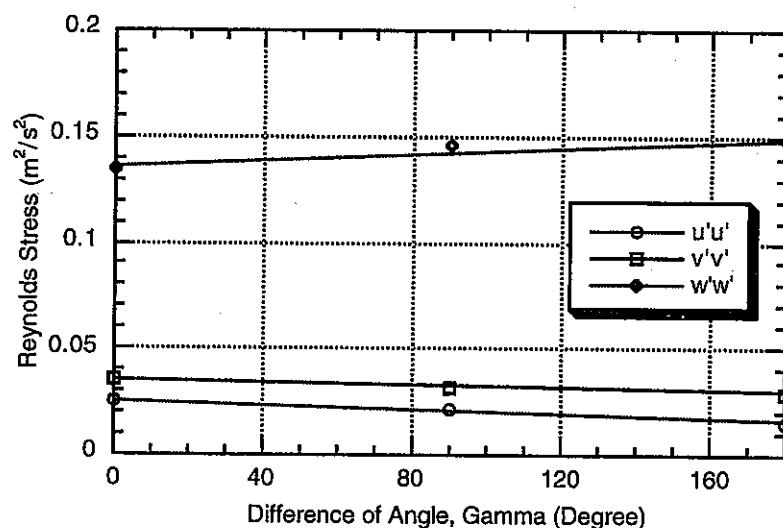
以下に、レイノルズ応力ノーマル成分のピーク値と配管流速比との関係(曲線は対数近似)を示す。



4.3 主配管角依存性

合流部下流側における乱流 2 次モーメント諸成分の主配管断面分布を図 4. ## - 図 4. ## に比較する。レイノルズ応力成分に関する全体的な傾向として、枝管角を大きくするにしたがって、同各成分のレベルが若干増加することが分かる。なお、主配管内に発生する各レイノルズ応力成分の流れ方向分布では、主配管流れ方向成分 ($w'w'$) が枝管角の影響を大きく受けているのに対し、主配管流れ方向に直交する 2 成分 ($u'u'$, $v'v'$) は比較的大きな影響を受けている。これは、主配管上流に考慮した 90° エルボにより発生した 2 次流れの向きと枝管流速との干渉の程度の違いに起因したものであると考えられる。結果では、 90° エルボと枝管とが 180° の角度差である場合が、最も大きな $u'u'$ および $v'v'$ のピーク値を与えた。これは、 90° エルボによる 2 次流れの向きが、枝管からの流速を抑え込む場合の条件に対応する。

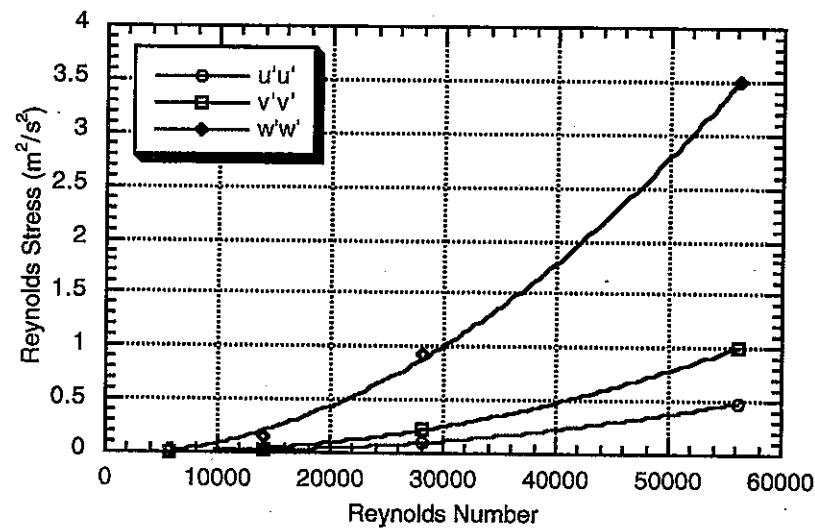
以下に、レイノルズ応力ノーマル成分のピーク値と配管流速比との関係(直線近似)を示す。



4.4 レイノルズ数依存性

合流部下流側における乱流 2 次モーメント諸成分の主配管断面分布を図 4. ## - 図 4. ## に比較する。レイノルズ応力成分に関する全体的な傾向は、レイノルズ数(主配管内)が大きいほど同各成分のレベルが増加している。これはまさに、主配管内流速が乱れ度に直接関連していることを示唆している。なお、主配管流れ方向の各応力成分の分布は、概ね相似形であり、それらのピーク発生位置も変化していない。

以下に、レイノルズ応力ノーマル成分のピーク値と配管流速比との関係(2 次多項式近似)を示す。



第5章 結 言

上流側に 90° エルボを持つ主配管と枝管から構成される配管合流部でのサーマルストライピング現象について、直接シミュレーションコード DINUS-3 による解析的検討を行った。本研究で着目したパラメータは、当該合流部における (a) 口径比、(b) 流速比、(c) 主配管エルボ - 枝管間相対角度および (d) レイノルズ数であり、これらパラメータが配管合流部下流領域での乱流 2 次モーメントの空間分布特性に与える影響を評価した。得られた結果は、次の通りである。

- (1) 流速比 (β) を 1.0 に固定した条件においては、口径比 (α) が小さいほど乱流 2 次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布範囲は広がる。
- (2) 口径比 (α) を 1.0 に固定し、流速比 (β) を主配管内流速の増減により模擬した条件においては、流速比が大きいほど乱流 2 次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布範囲は広がる。一方、流速比を主配管内流速の増減により模擬した条件 (口径比を 3.0 に固定) においては、流速比が小さいほど乱流 2 次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布範囲は広がる。
- (3) 主配管角 (γ) を変化した場合、乱流 2 次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布は大きく変化しない。しかしながら、それらピーク値は、主配管角が 180° である場合が最も大きくなる。
- (4) レイノルズ数 (Re) が大きいほど、乱流 2 次モーメントの主配管内流れ方向の空間分布範囲は広がる。

参考文献

- [1] 村松 壽晴、国際原子力機関主催「実炉データを用いた熱構造力学・熱流動解析コードの検証」研究プログラム(I)、仏国高速炉フェニックスでの高サイクル熱疲労事象に係わる熱流動ベンチマーク解析、PNC TN9410 97-058 (1997).
- [2] 笠原 直人、国際原子力機関主催「実炉データを用いた熱構造力学・熱流動解析コードの検証」研究プログラム(II)、仏国高速炉フェニックスでの高サイクル熱疲労事象に係わる構造ベンチマーク解析、PNC TN9410 97-082 (1997).
- [3] Muramatsu, T., Evaluation of Thermal Striping Phenomena at a Tee Junction of LMFR Piping Systems with Numerical Methods (I), Thermohydraulic Calculations, Proc. 15th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT-15), Vol. IV, pp. 217-224 (1999).
- [4] 村松 壽晴、サーマルストライピング現象の数値解析に関する研究、東京工業大学、学位論文、1994年7月。
- [5] 村松 壽晴、高速炉配管合流部におけるサーマルストライピング条件の解析的検討 (II)、高速原型炉「もんじゅ」炉外燃料貯蔵槽配管合流部に対する検討、PNC TN9410 98-044 (1998).
- [6] 村松 壽晴、高速炉配管合流部におけるサーマルストライピング条件の解析的検討 (I)、配管合流部における流速比に関する検討、PNC TN9410 98-007 (1998).

表 2.1 配管合流部サーマルストライピング解析での幾何熱流動条件一覧

ケース名	口径比、 α	流速比、 β	主配管角、 γ	口径比 依存性	流速比依存性		主配管角 依存性	Re 数 依存性	主配管入口条件			枝管入口条件		
					$\alpha=1.0$	$\alpha=3.0$			内径 (m)	流速 (m/s)	温度 (°C)	内径 (m)	流速 (m/s)	温度 (°C)
α -1	1.0	1.0	90.0	○	○				0.0133	0.288	120.0	0.0133	0.288	230.0
α -2	2.0	1.0	90.0	○					0.0133	0.288	120.0	0.00665	0.288	230.0
α -3	3.0	1.0	90.0	○		○		○	0.0133	0.288	120.0	0.00443	0.288	230.0
α -4	5.0	1.0	90.0	○					0.0133	0.288	120.0	0.00266	0.288	230.0
α -5	10.0	1.0	90.0	○					0.0133	0.288	120.0	0.00133	0.288	230.0
β 1-1	1.0	0.25	90.0		○				0.0133	0.072	120.0	0.0133	0.288	230.0
β 1-2	1.0	0.5	90.0		○				0.0133	0.144	120.0	0.0133	0.288	230.0
β 1-3	1.0	2.0	90.0		○				0.0133	0.576	120.0	0.0133	0.288	230.0
β 1-4	1.0	4.0	90.0		○				0.0133	1.152	120.0	0.0133	0.288	230.0
β 2-1	3.0	0.5	90.0			○			0.0133	0.288	120.0	0.00443	0.576	230.0
β 2-2	3.0	5.0	90.0			○			0.0133	0.288	120.0	0.00443	0.0576	230.0
β 2-3	3.0	10.0	90.0			○			0.0133	0.288	120.0	0.00443	0.0288	230.0
γ -1	3.0	1.0	90.0				○	○	0.0133	0.576	120.0	0.00443	0.576	230.0
γ -2	3.0	1.0	180.0				○		0.0133	0.576	120.0	0.00443	0.576	230.0
γ -3	3.0	1.0	0.0				○		0.0133	0.576	120.0	0.00443	0.576	230.0
Re-1	3.0	1.0	90.0					○	0.0133	1.440	120.0	0.00443	1.440	230.0
Re-2	3.0	1.0	90.0					○	0.0133	2.880	120.0	0.00443	2.880	230.0
Def.	d_m / db	V_m / V_b	—						d_m	V_m	T_m	db	V_b	T_b

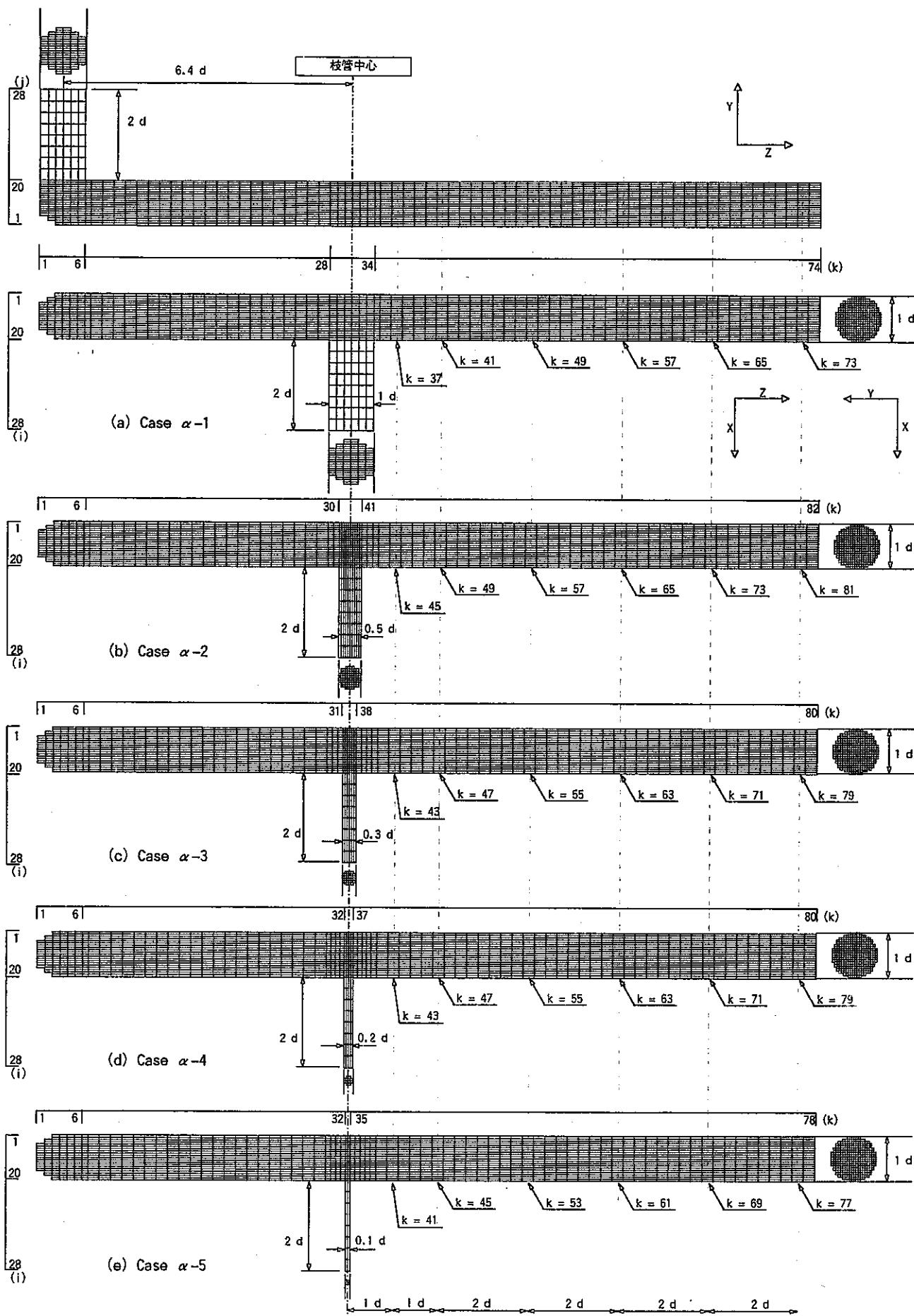
主配管直径 : $d = 0.0133$ m

図 2.1 口径比依存性評価用メッシュ図

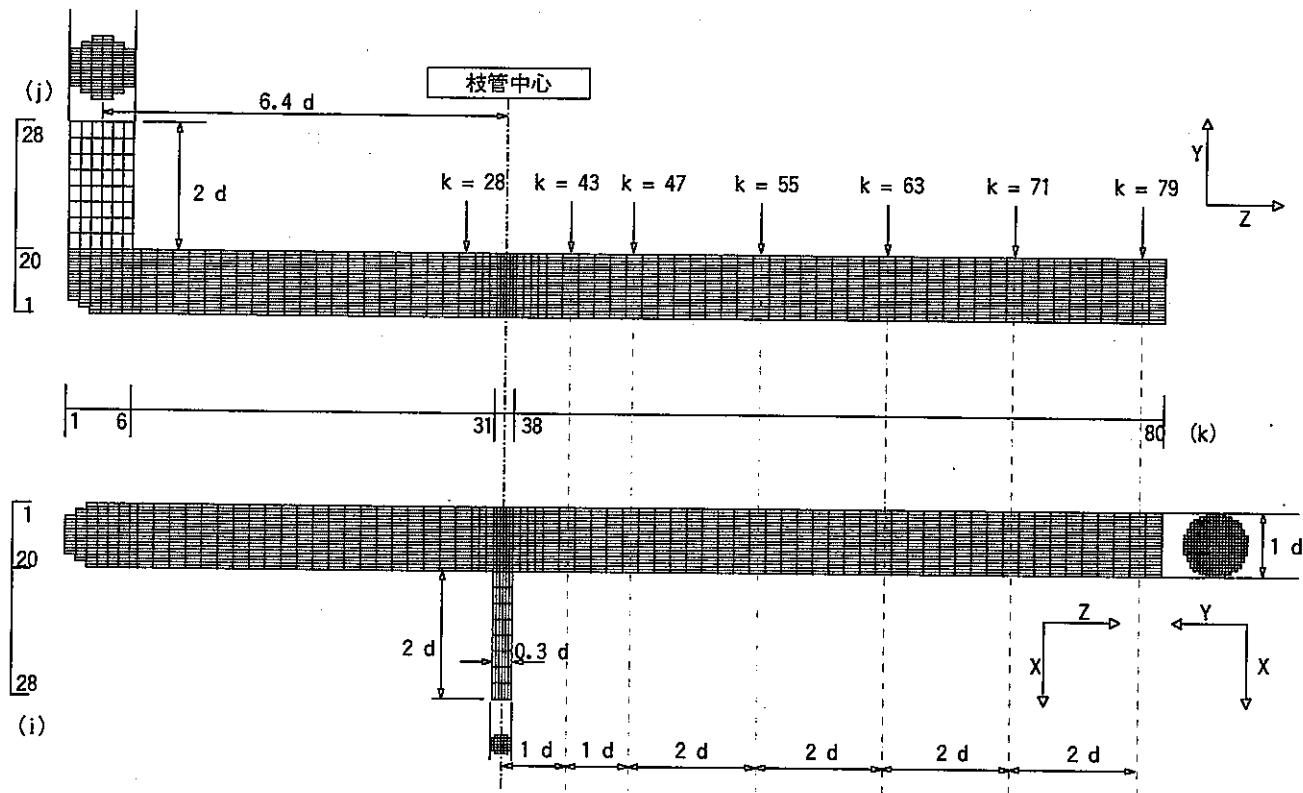
主配管直径 : $d = 0.0133 \text{ m}$

図 2.2 流速比依存性評価用メッシュ図

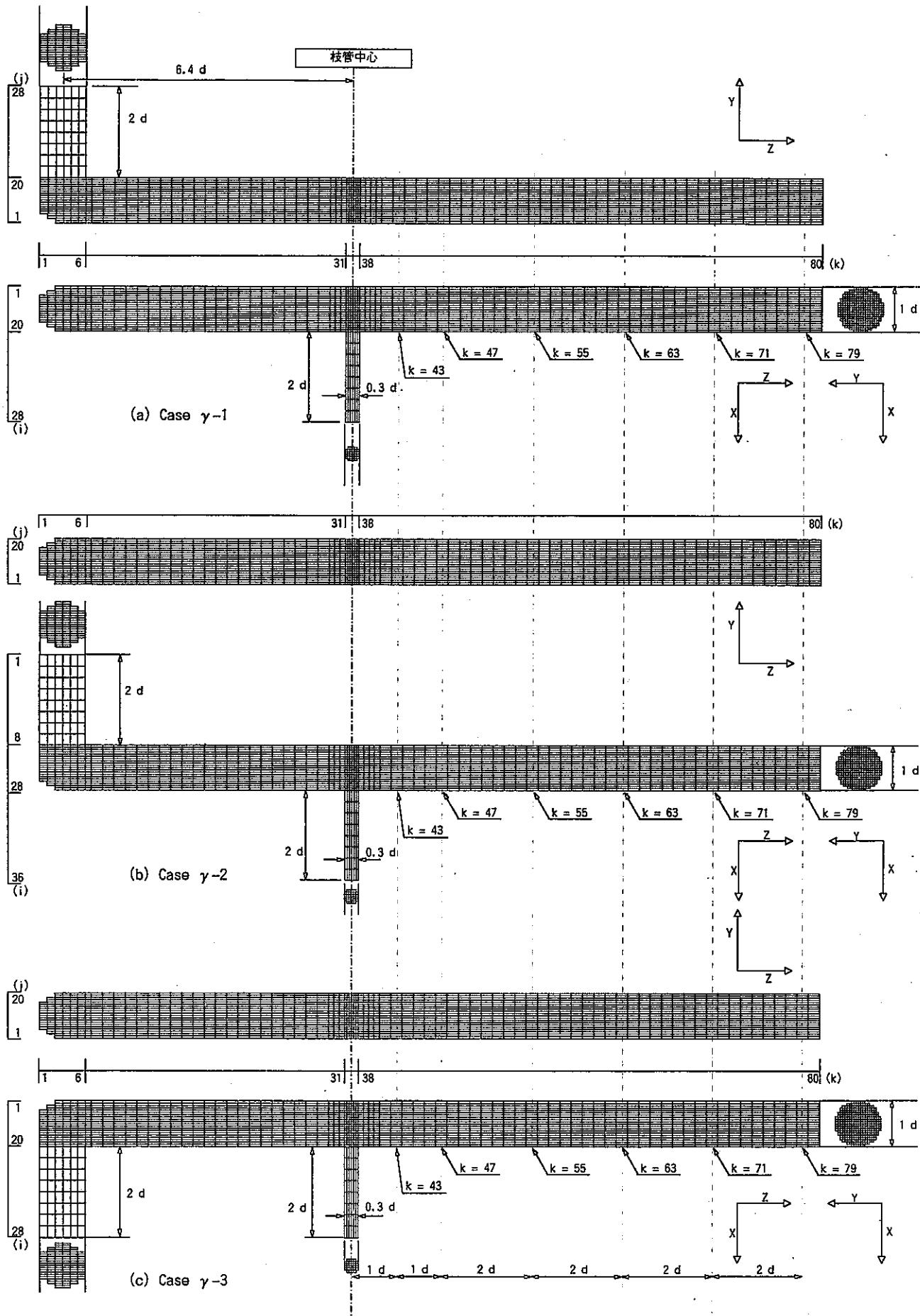
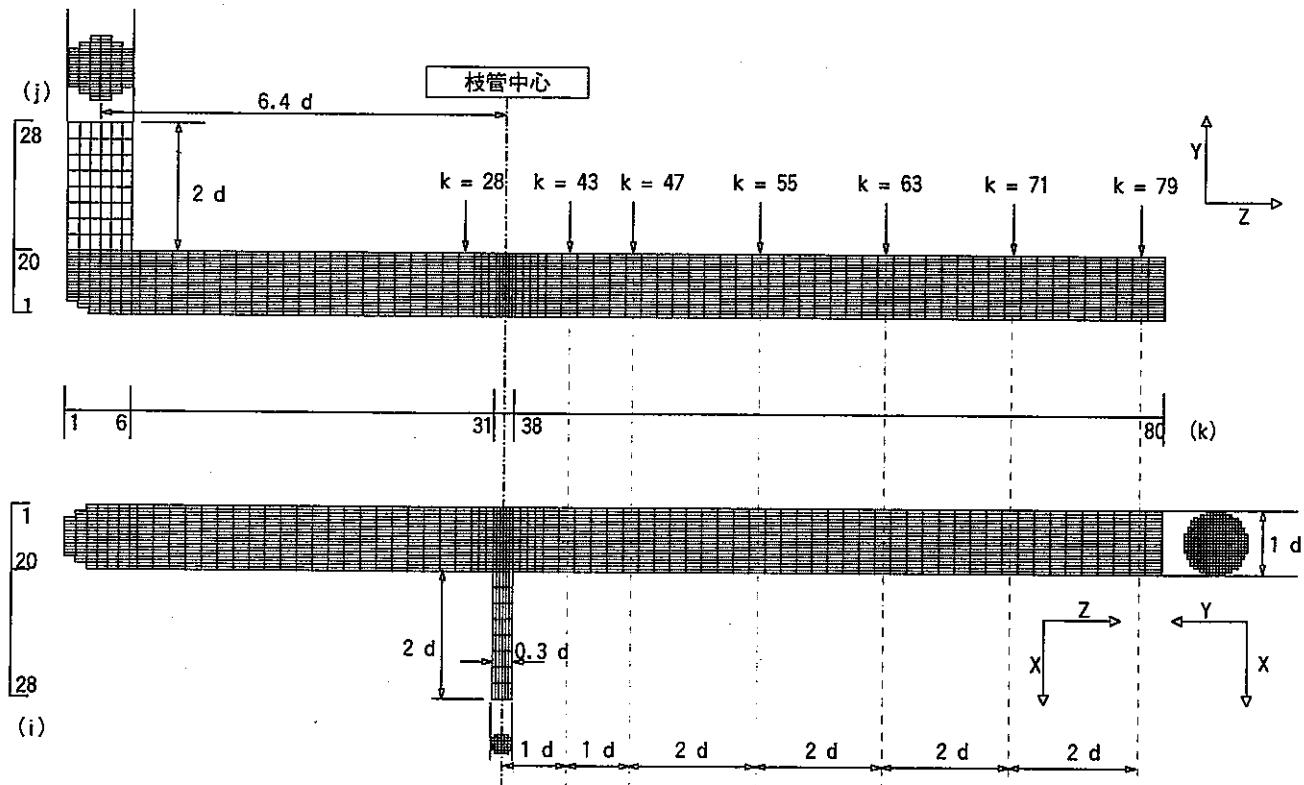
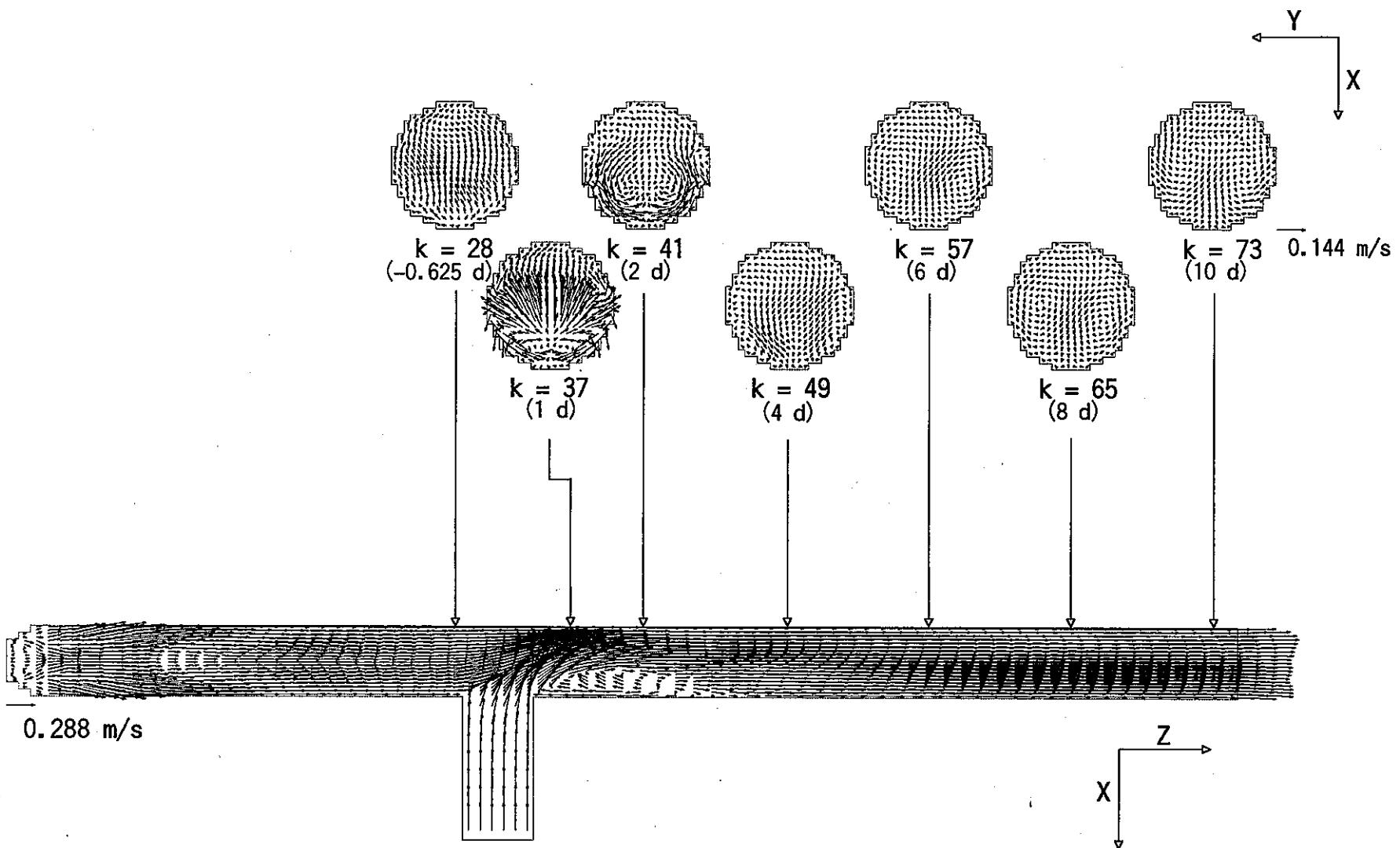
主配管直径 : $d = 0.0133 \text{ m}$

図 2.3 主配管角依存性評価用メッシュ図



主配管直径 : $d = 0.0133 \text{ m}$

図 2.4 Re 数依存性評価用メッシュ図



主配管直径 : $d = 0.0133 \text{ m}$

図 3.1 時間平均流速ベクトル分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

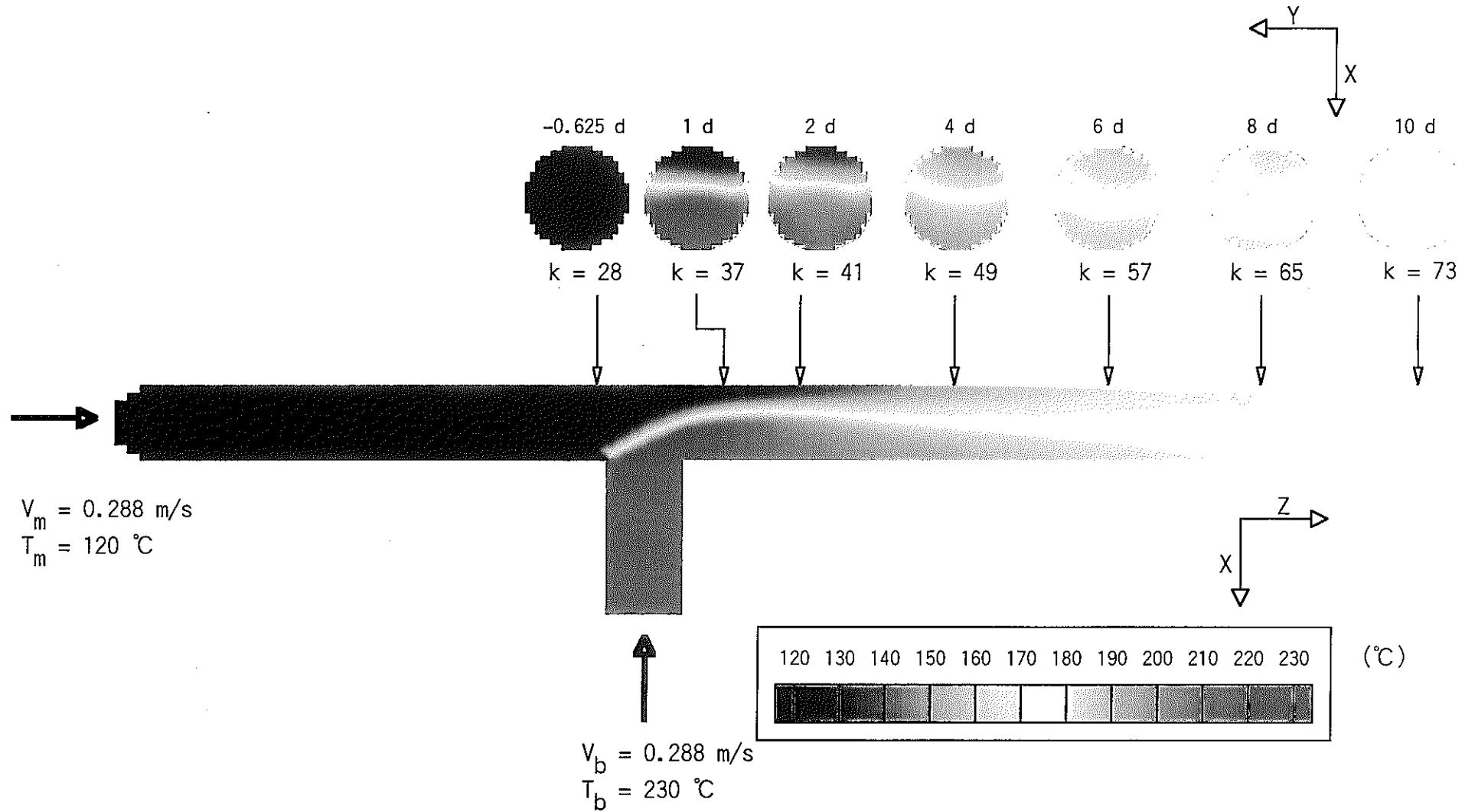


図 3.2 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α-1 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

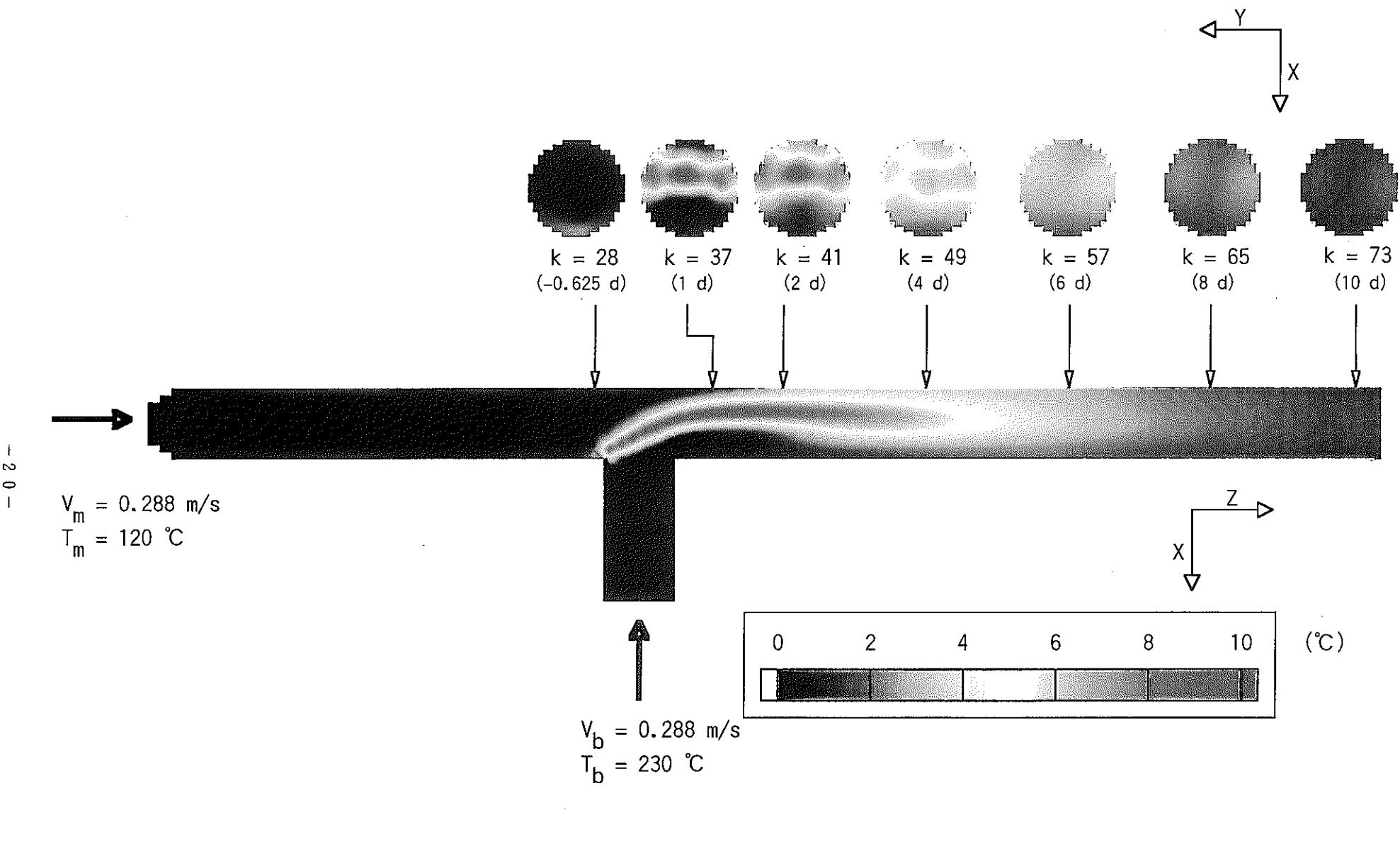


図 3.3 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

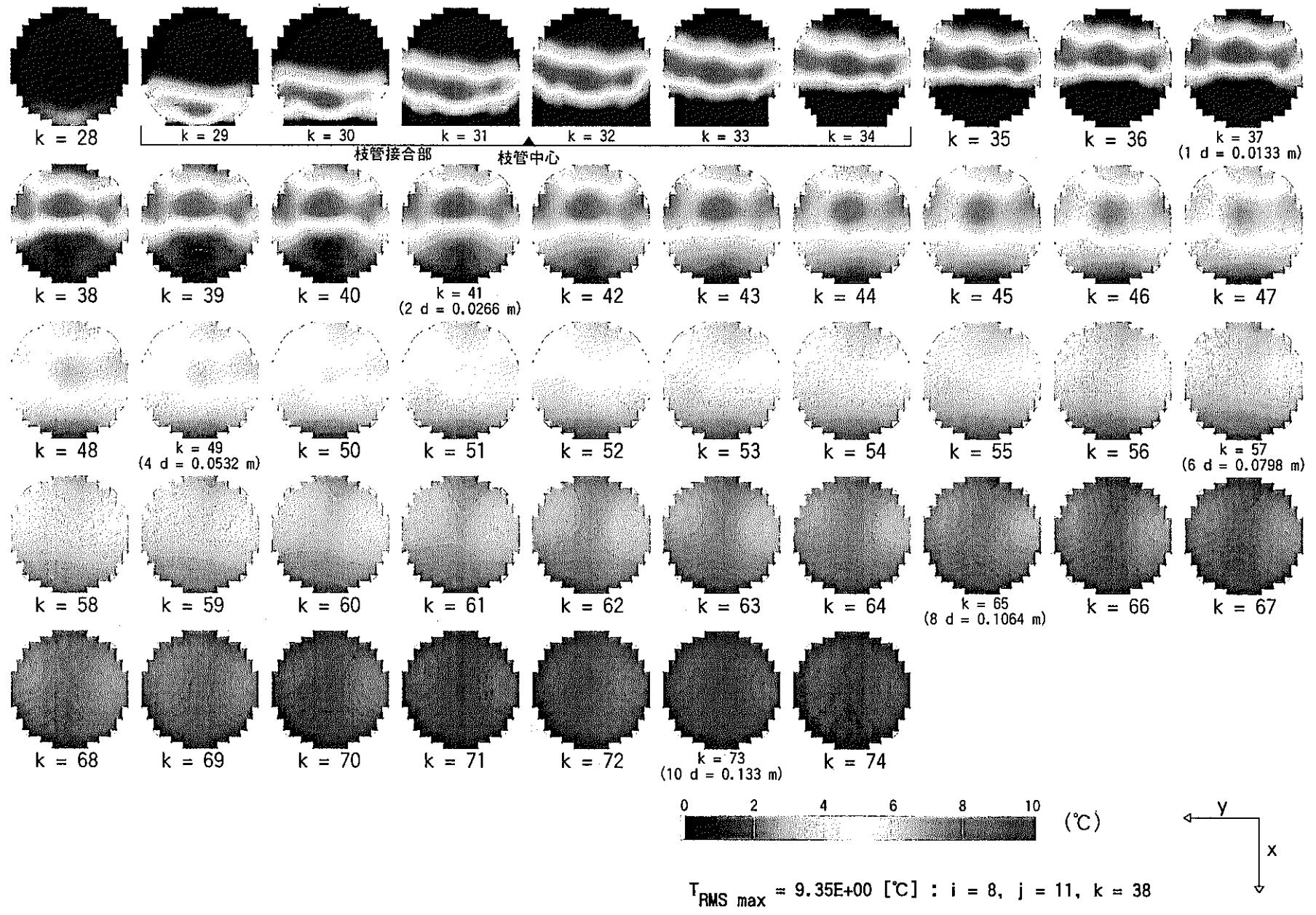


図 3.4 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

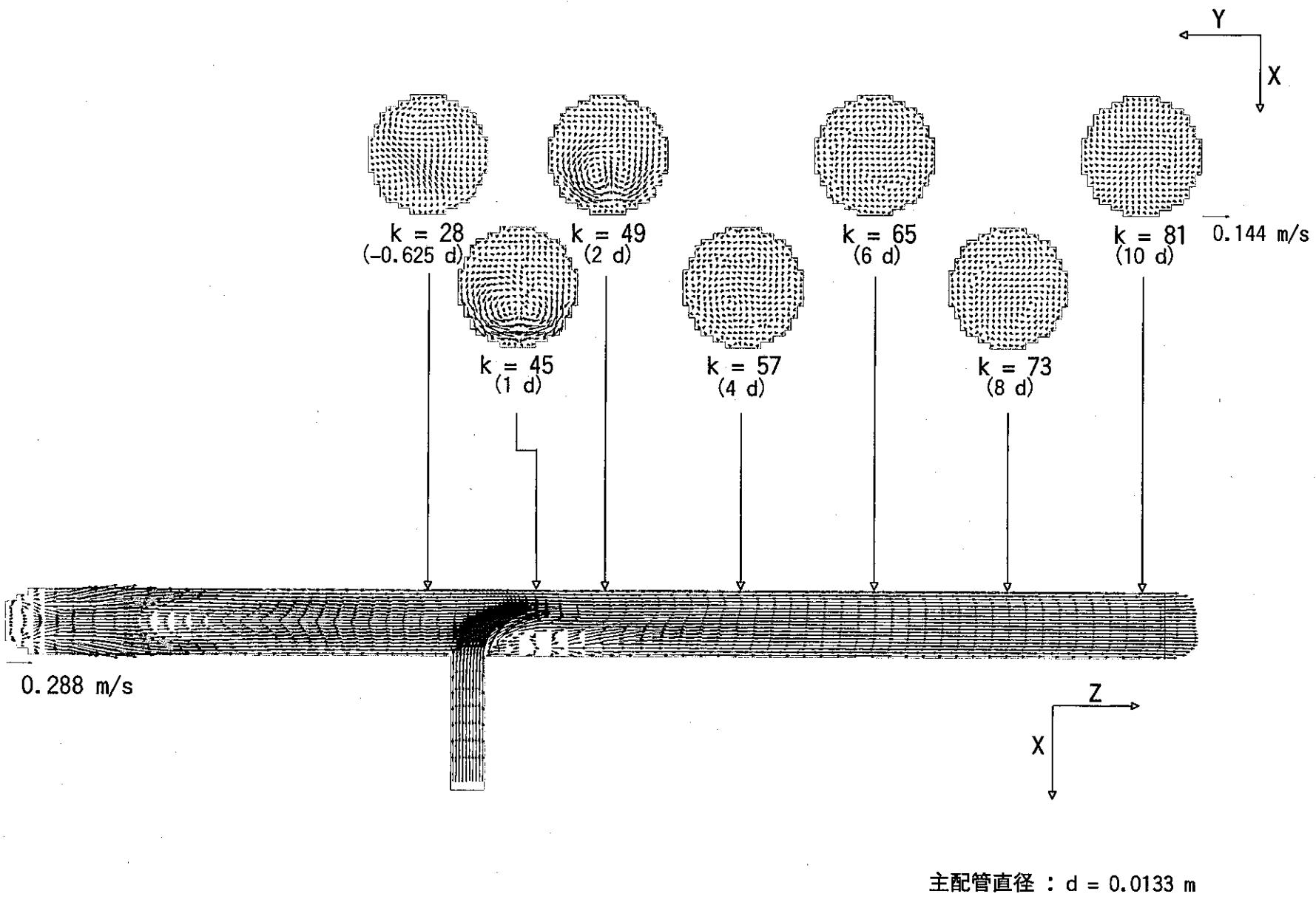


図 3.5 時間平均流速ベクトル分布 (Case $\alpha-2$: $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

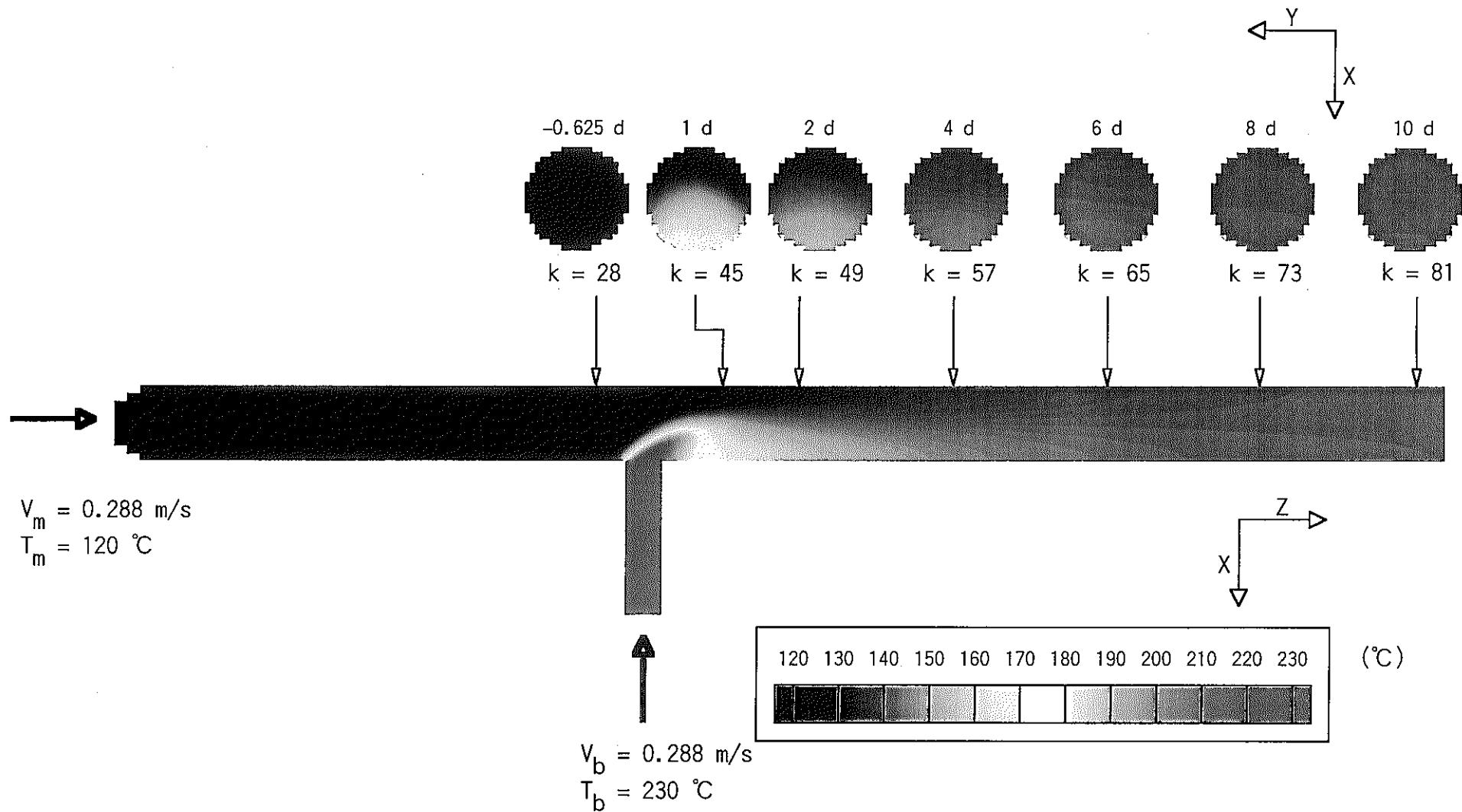


図 3.6 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α-2 : $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

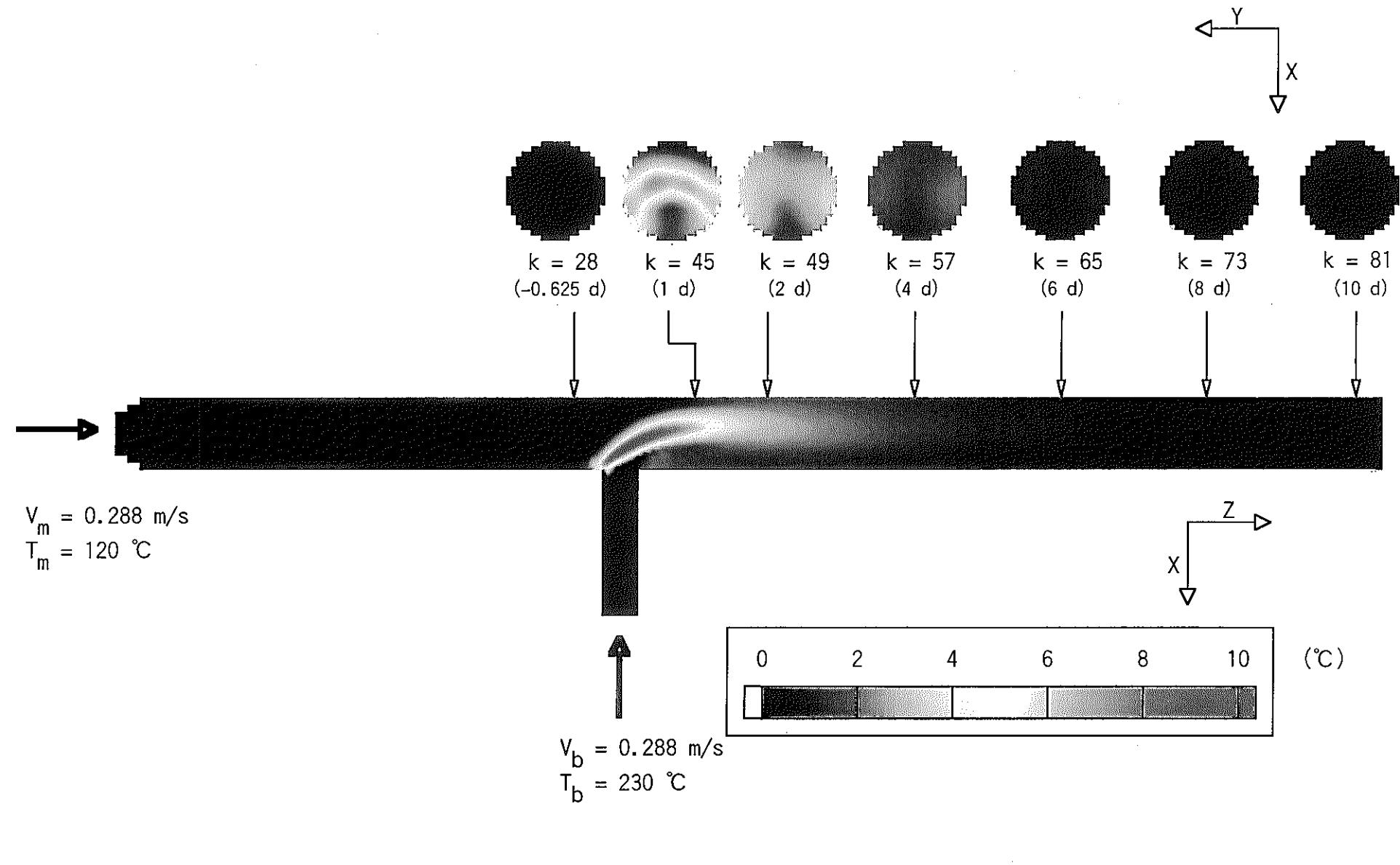


図 3.7 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case α-2 : $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

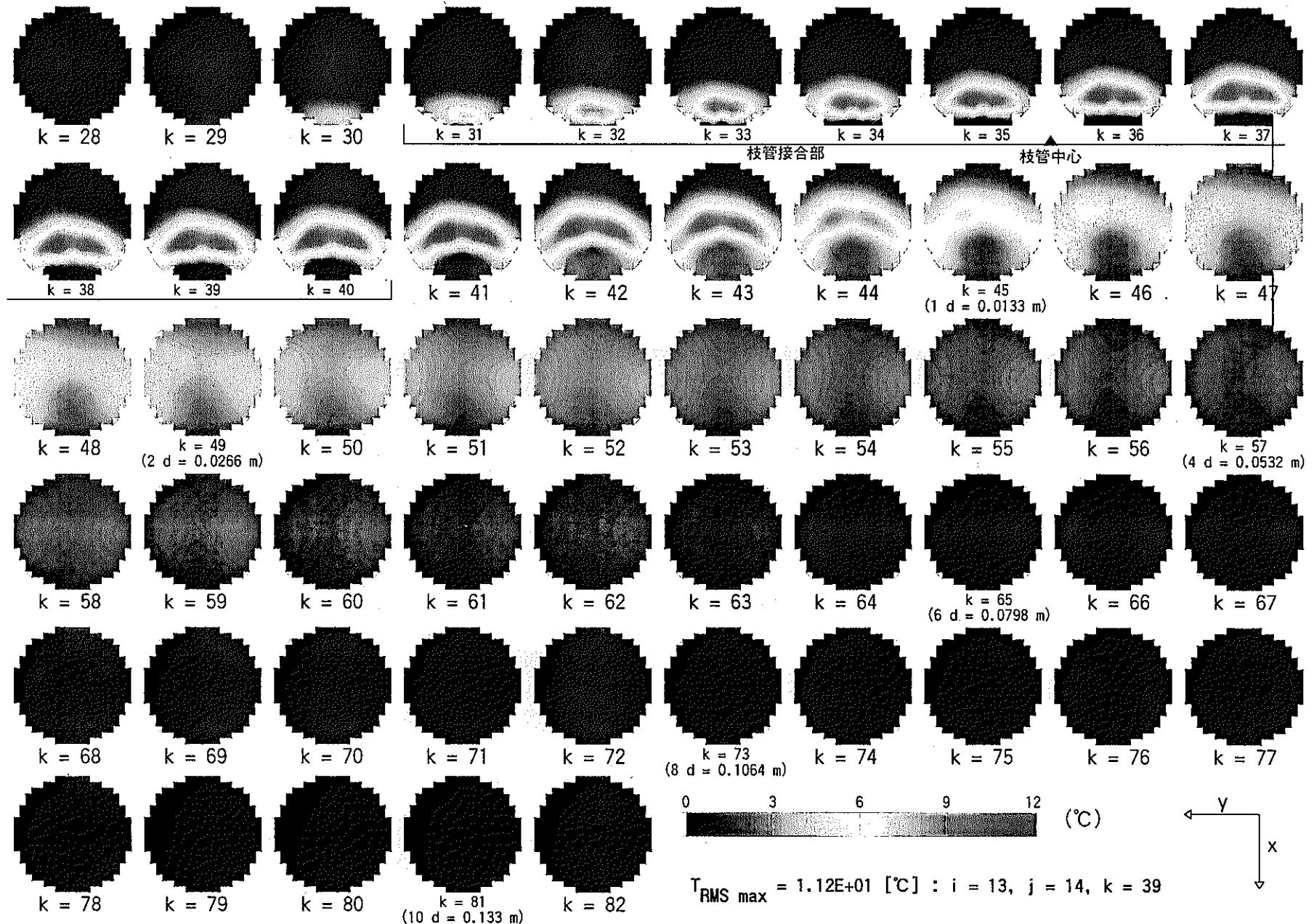


図 3.8 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^{\circ}$, $\text{Re}_m = 5,626$)

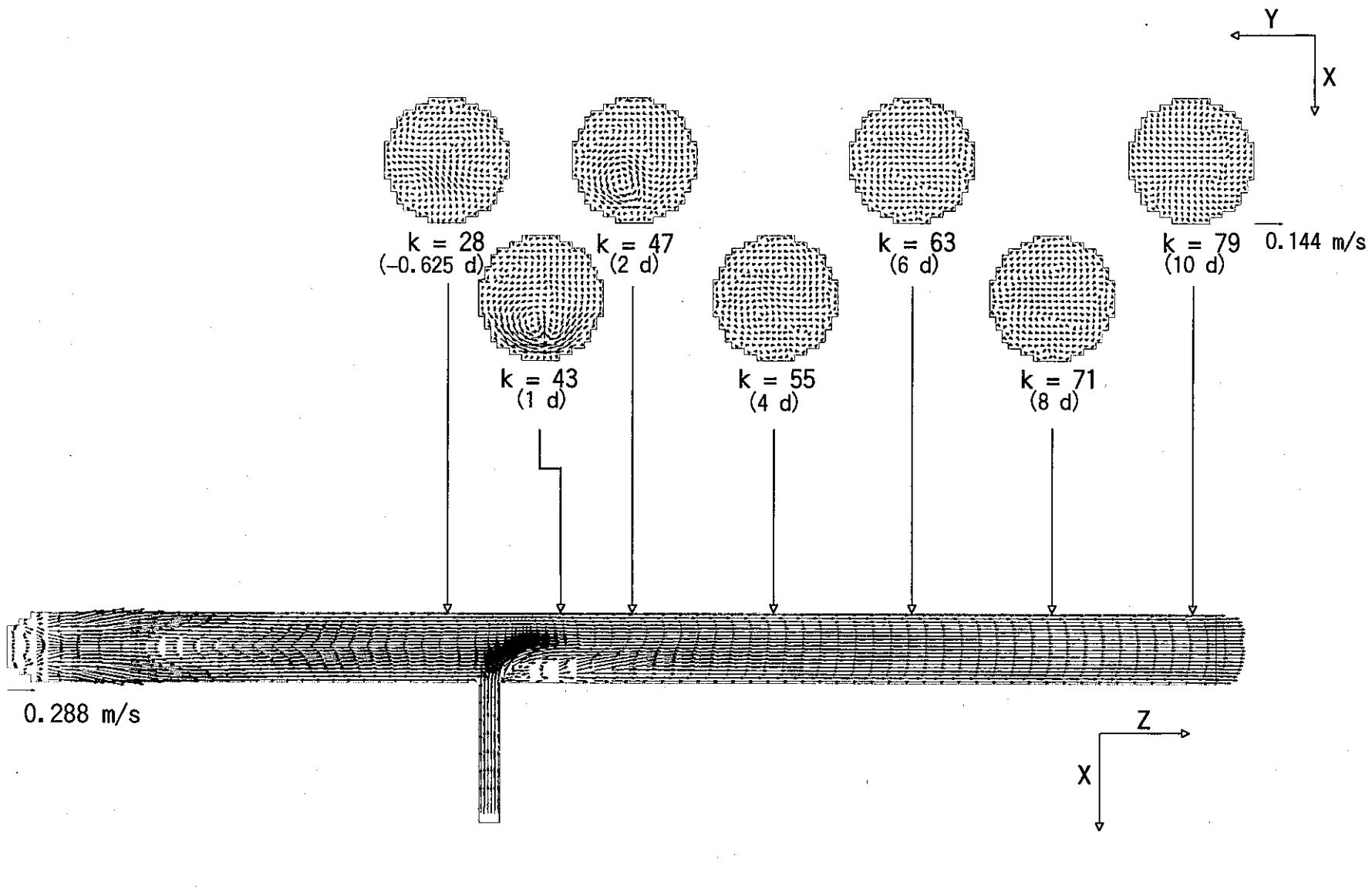


図 3.9 時間平均流速ベクトル分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

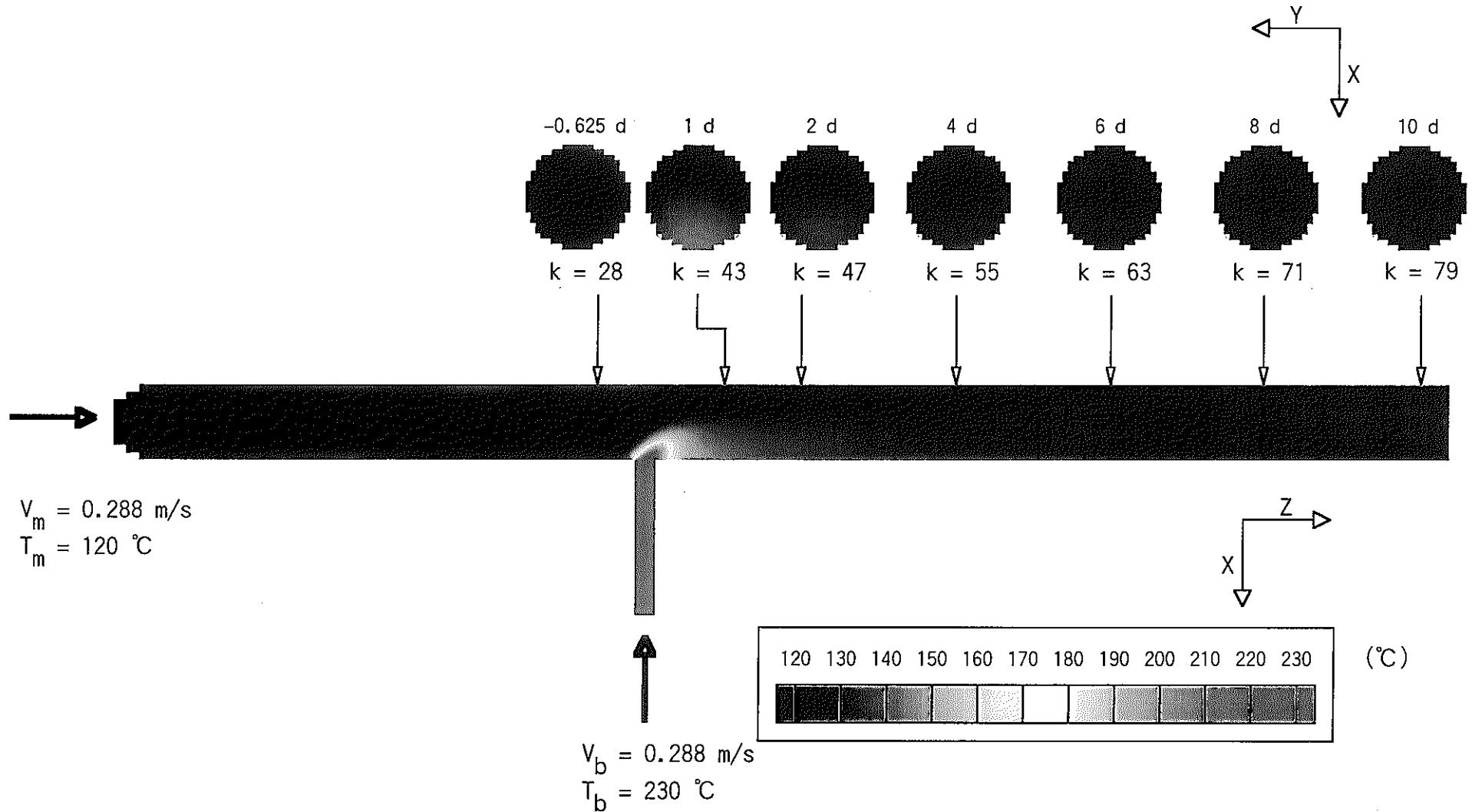


図 3.10 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

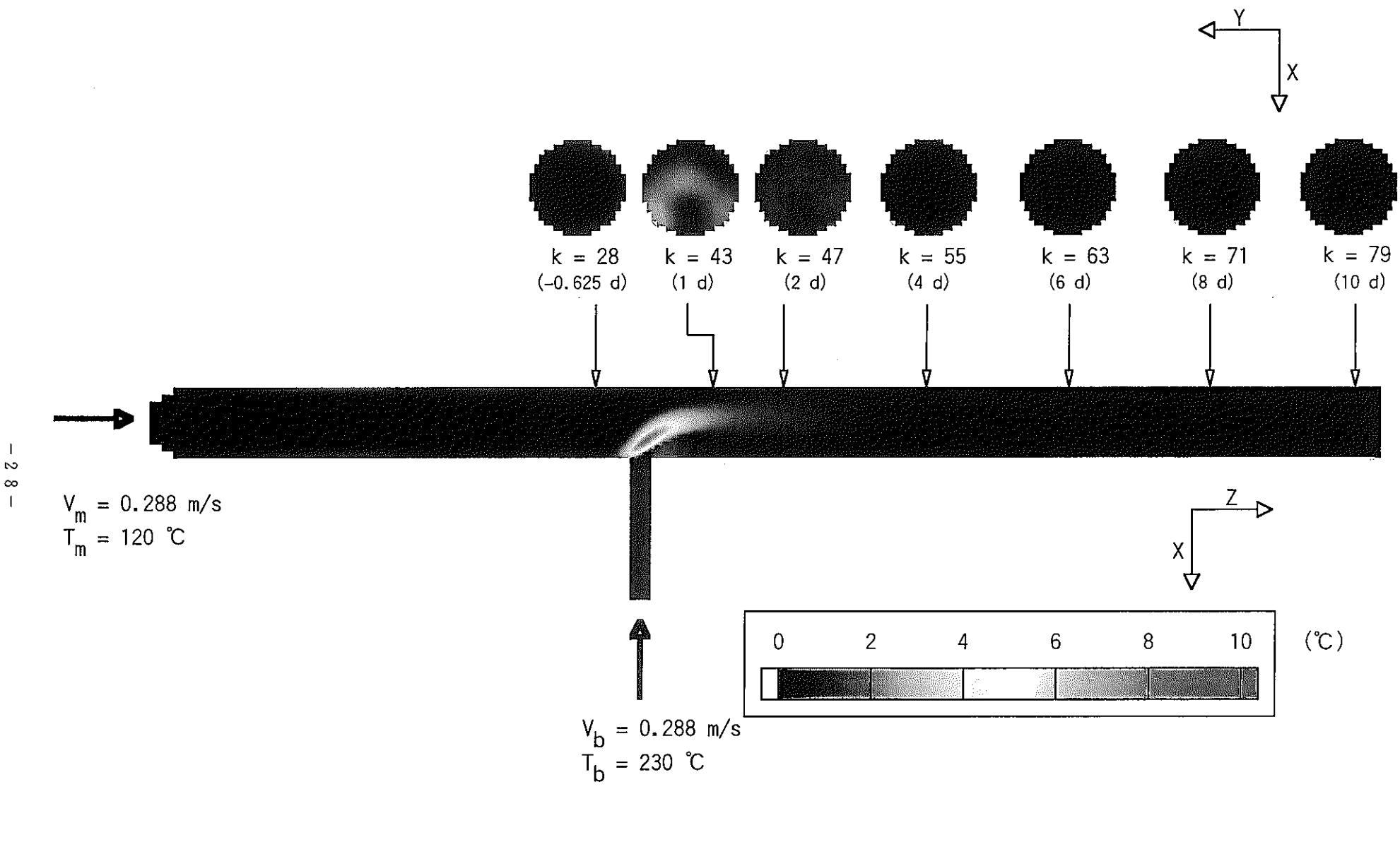


図 3.11 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

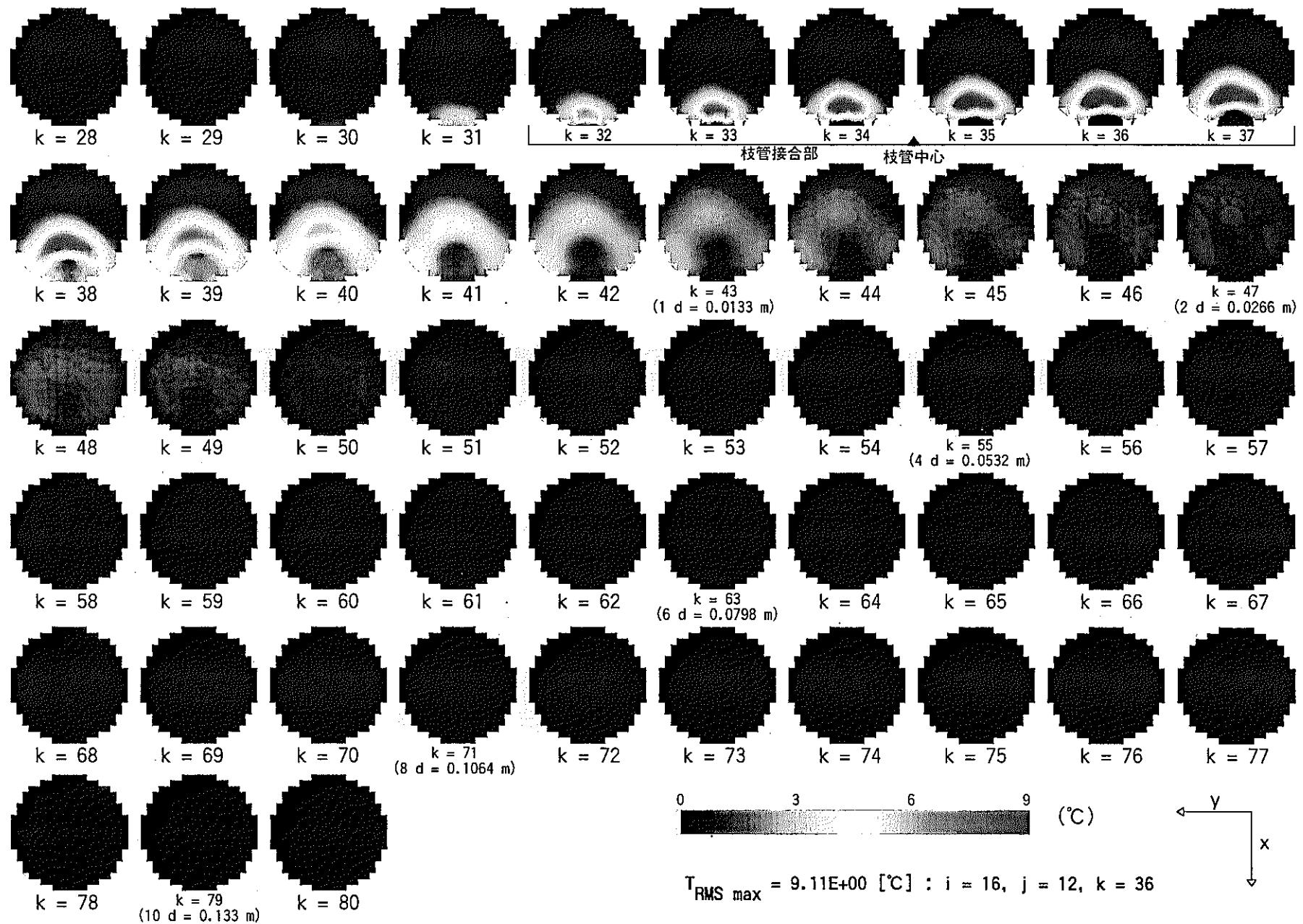


図 3.12 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

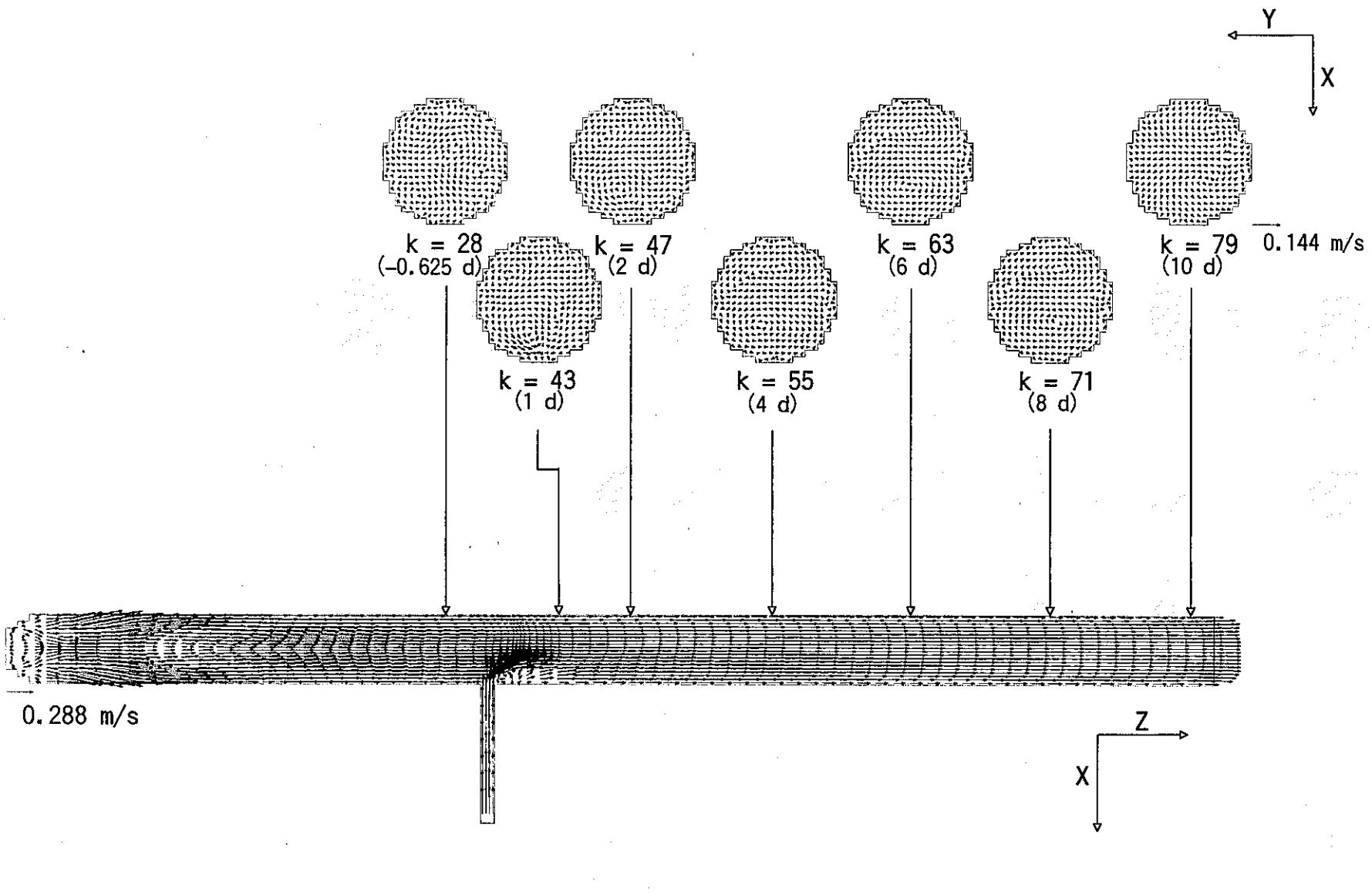


図 3.13 時間平均流速ベクトル分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

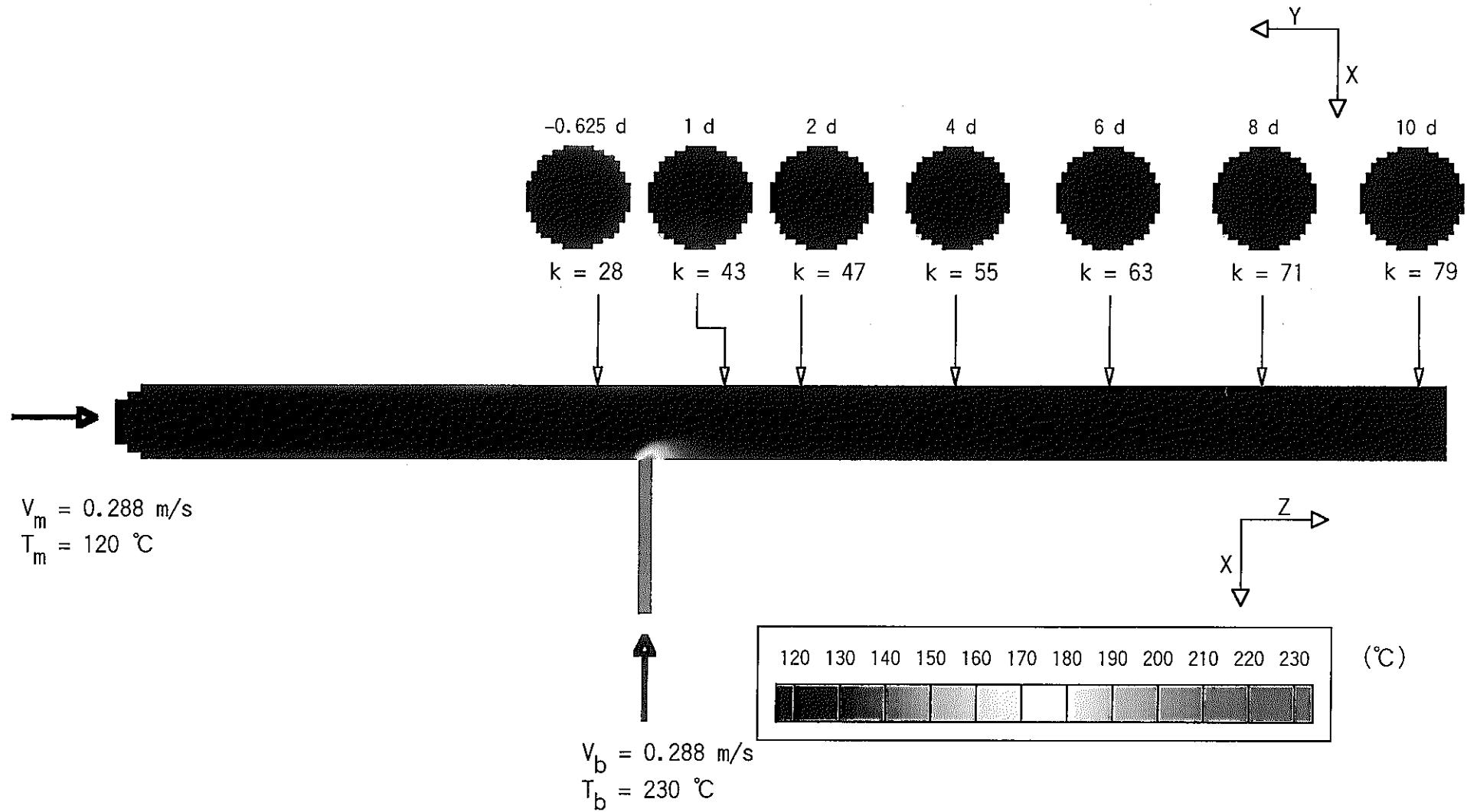


図 3.14 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α-4 : $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

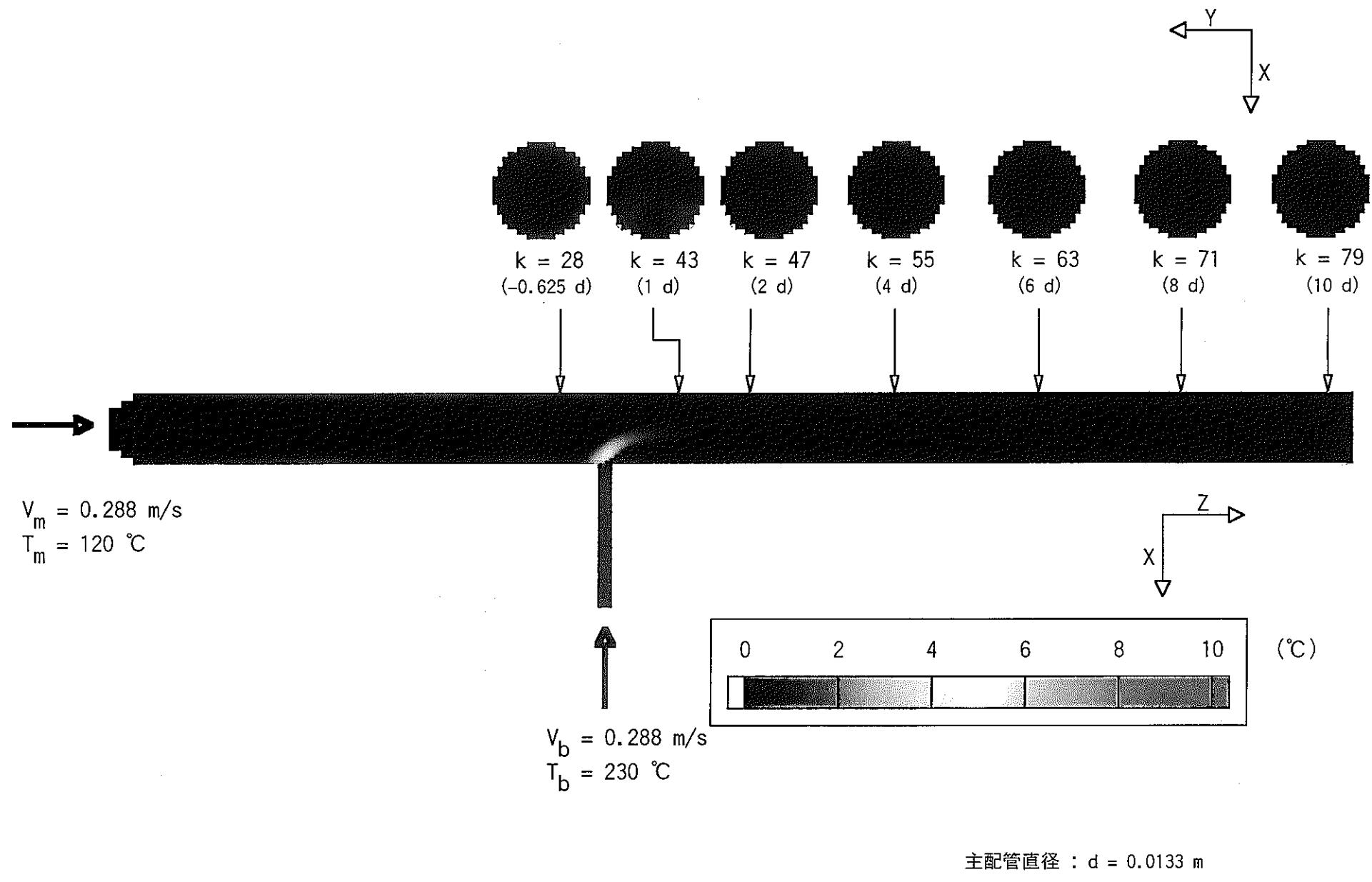


図 3.15 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 33 -

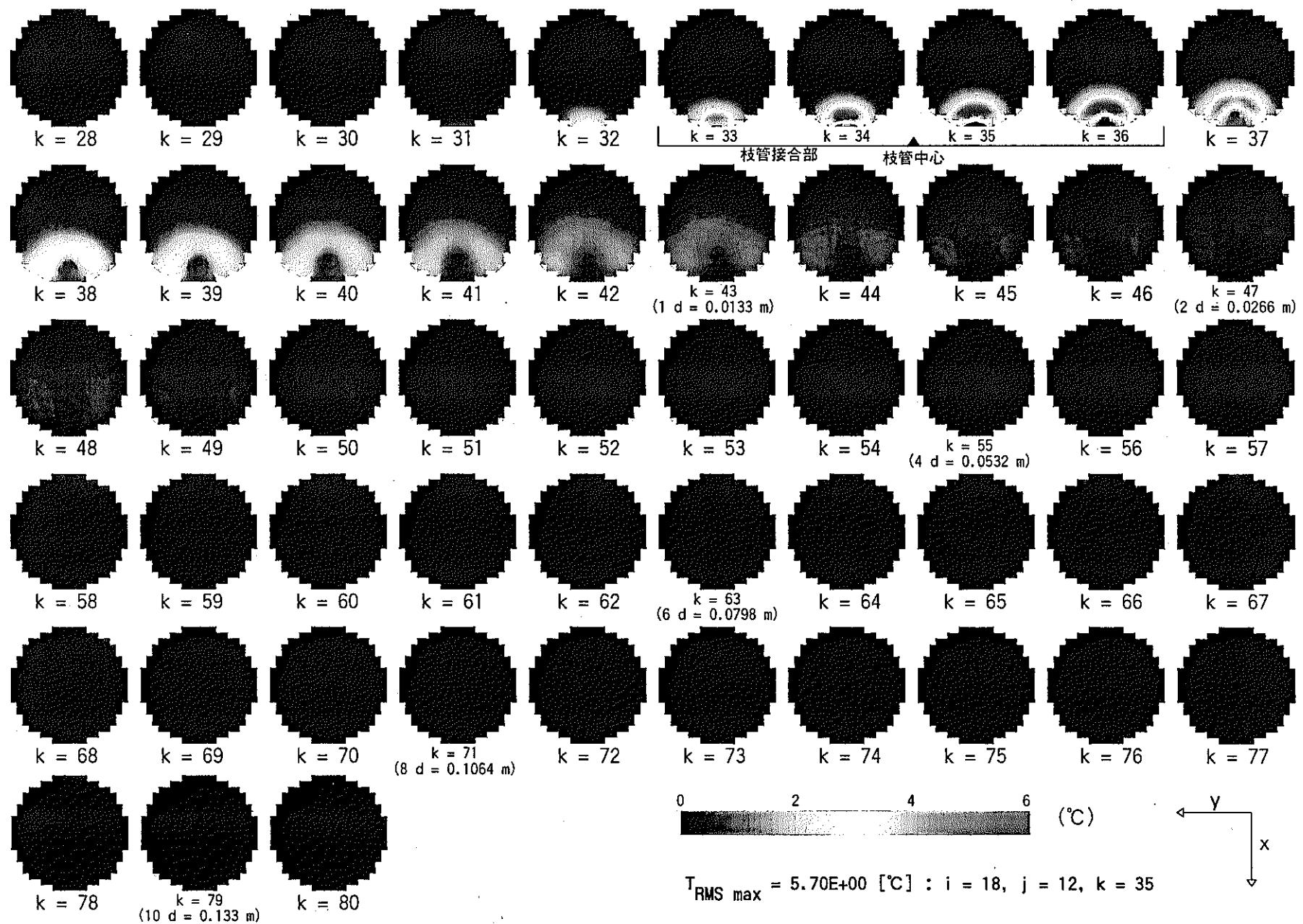
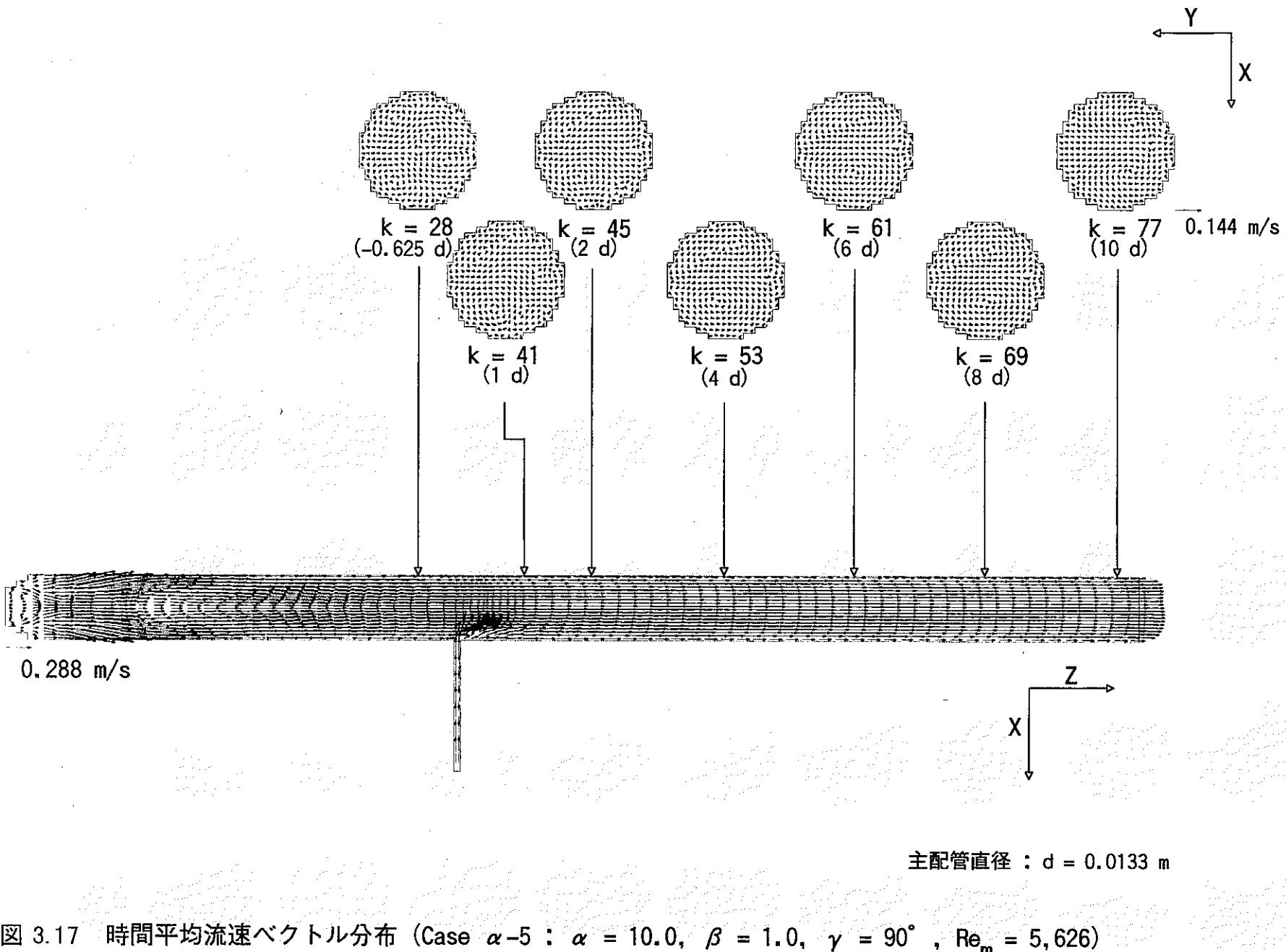


図 3.16 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)



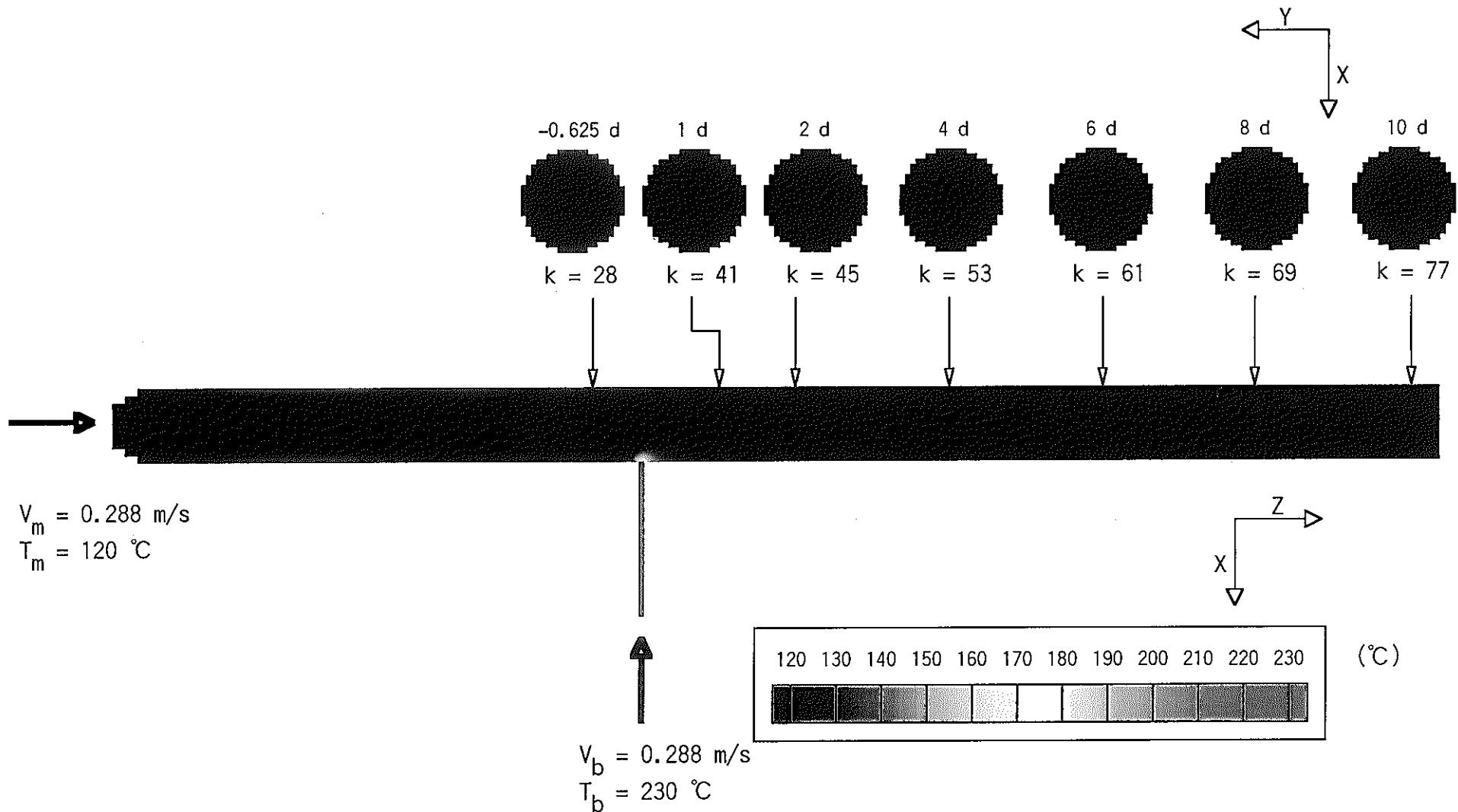


図 3.18 時間平均ナトリウム温度分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

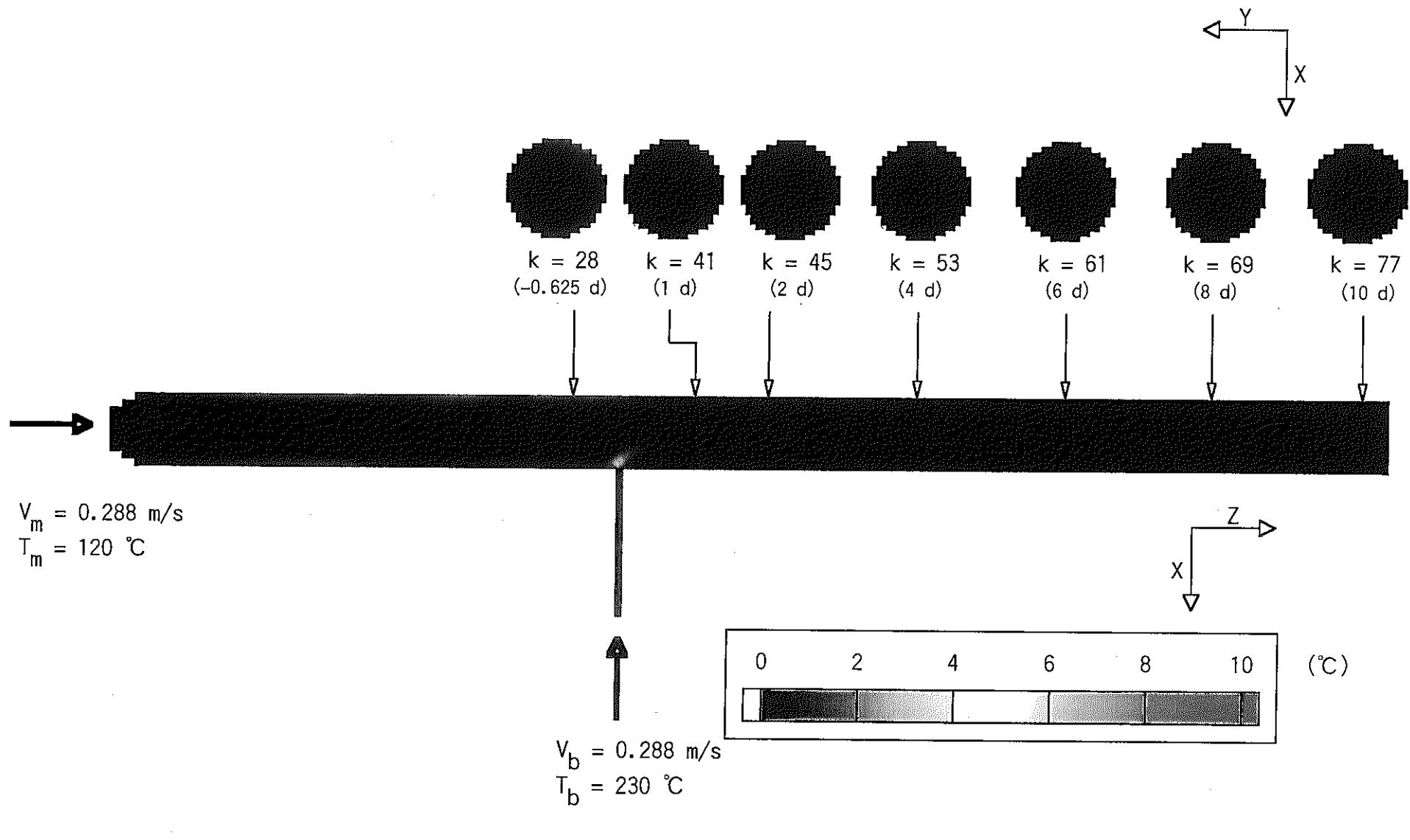


図 3.19 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case α-5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 37 -

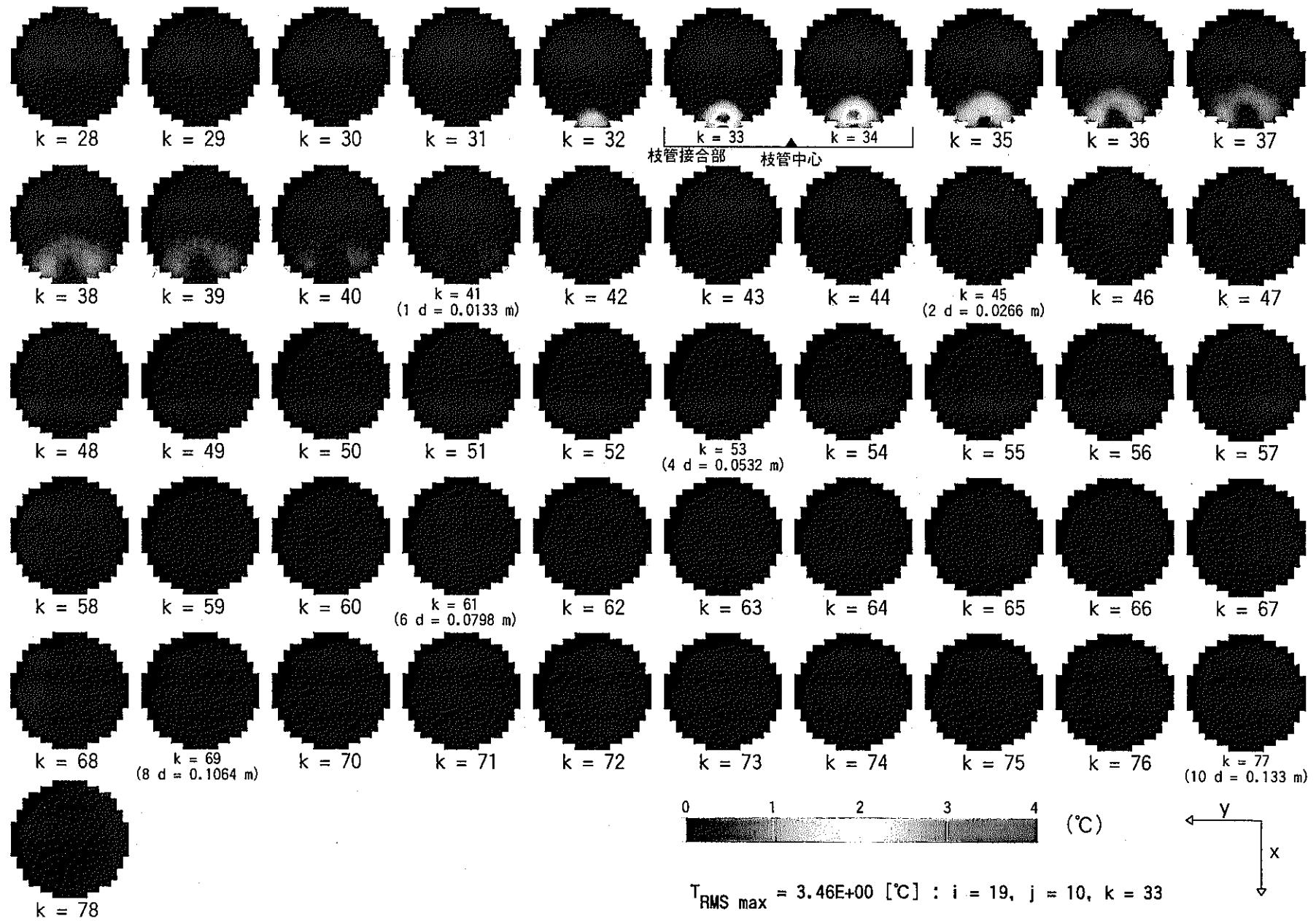


図 3.20 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

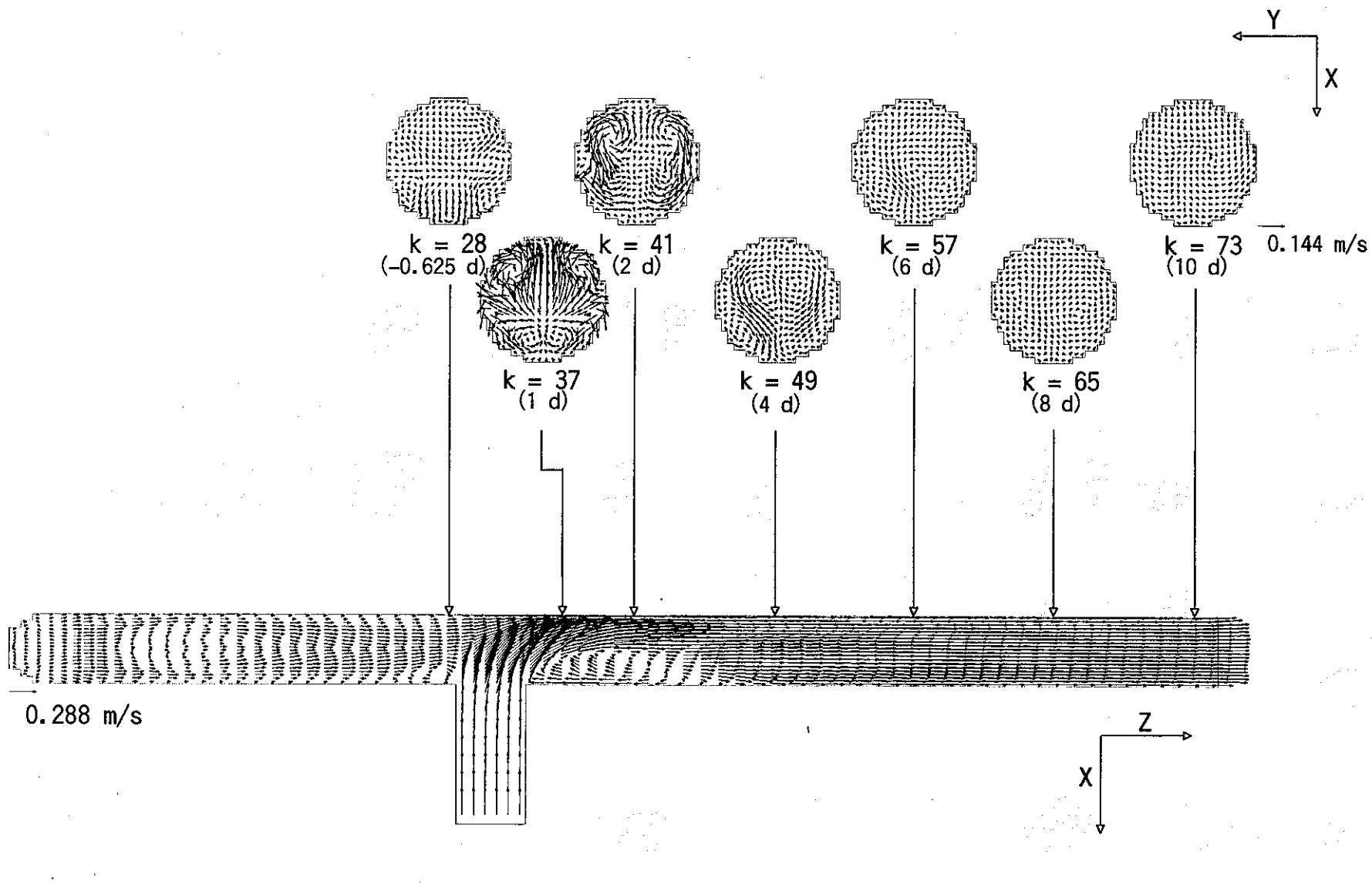


図 3.21 時間平均流速ベクトル分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

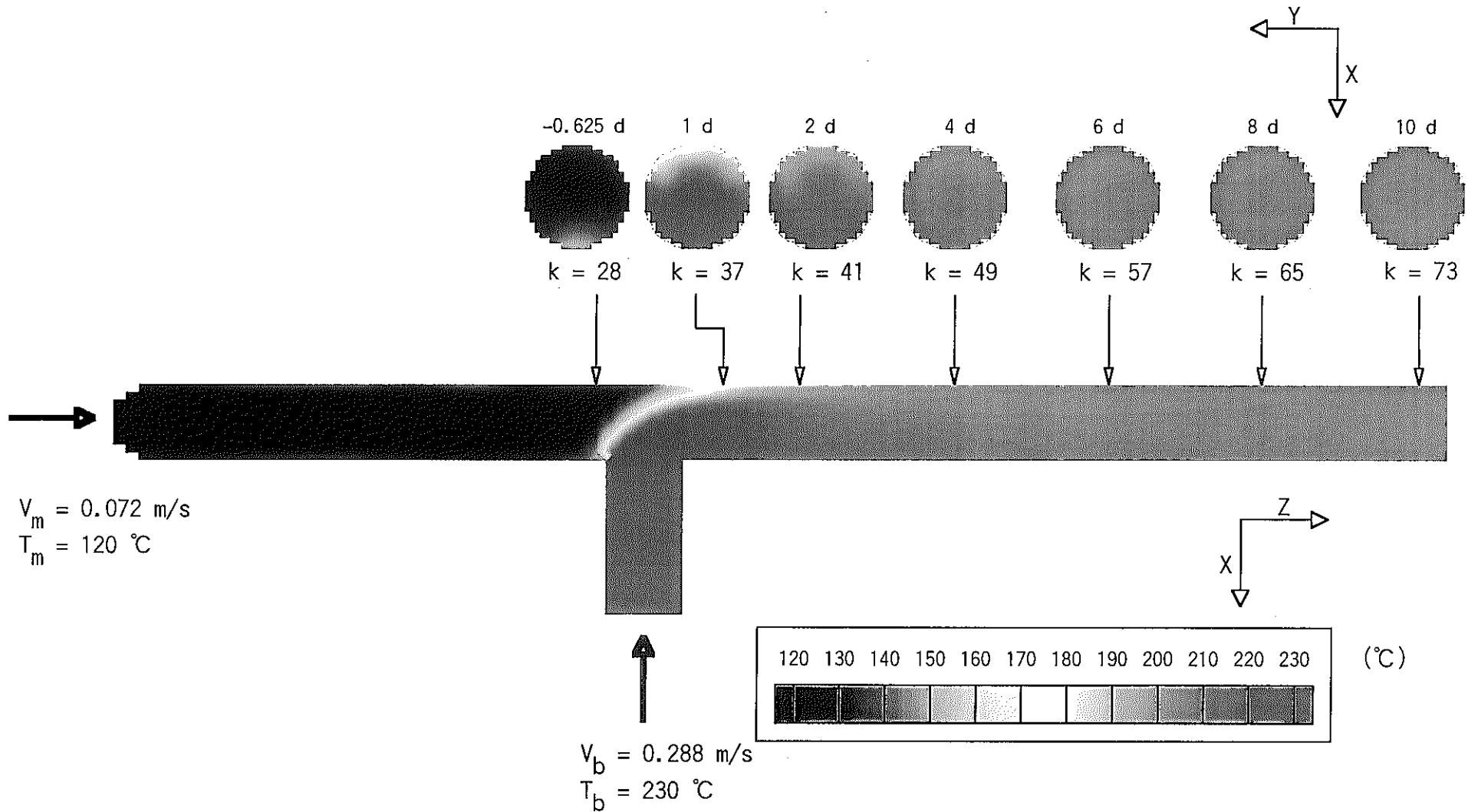


図 3.22 時間平均ナトリウム温度分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

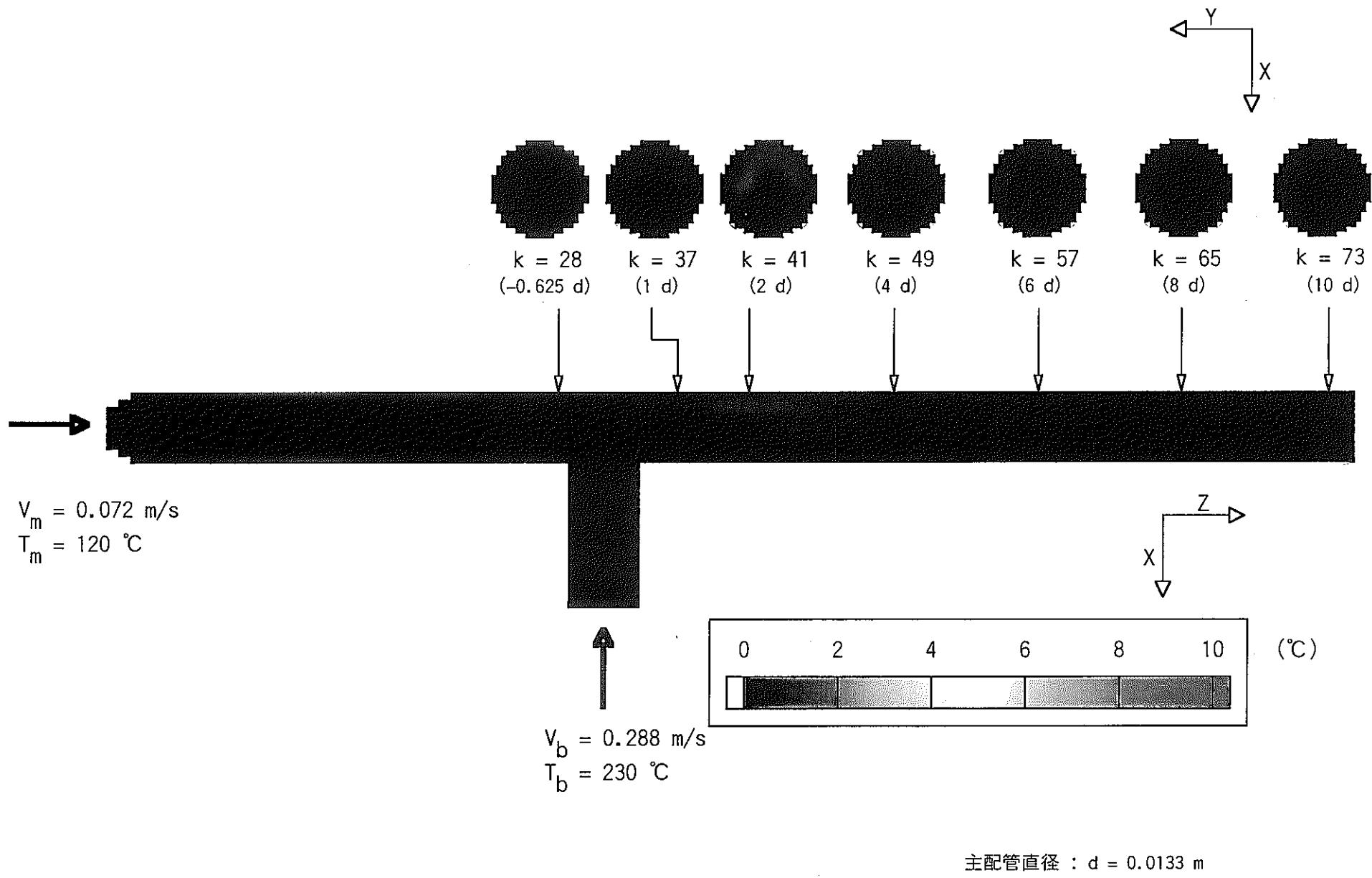


図 3.23 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

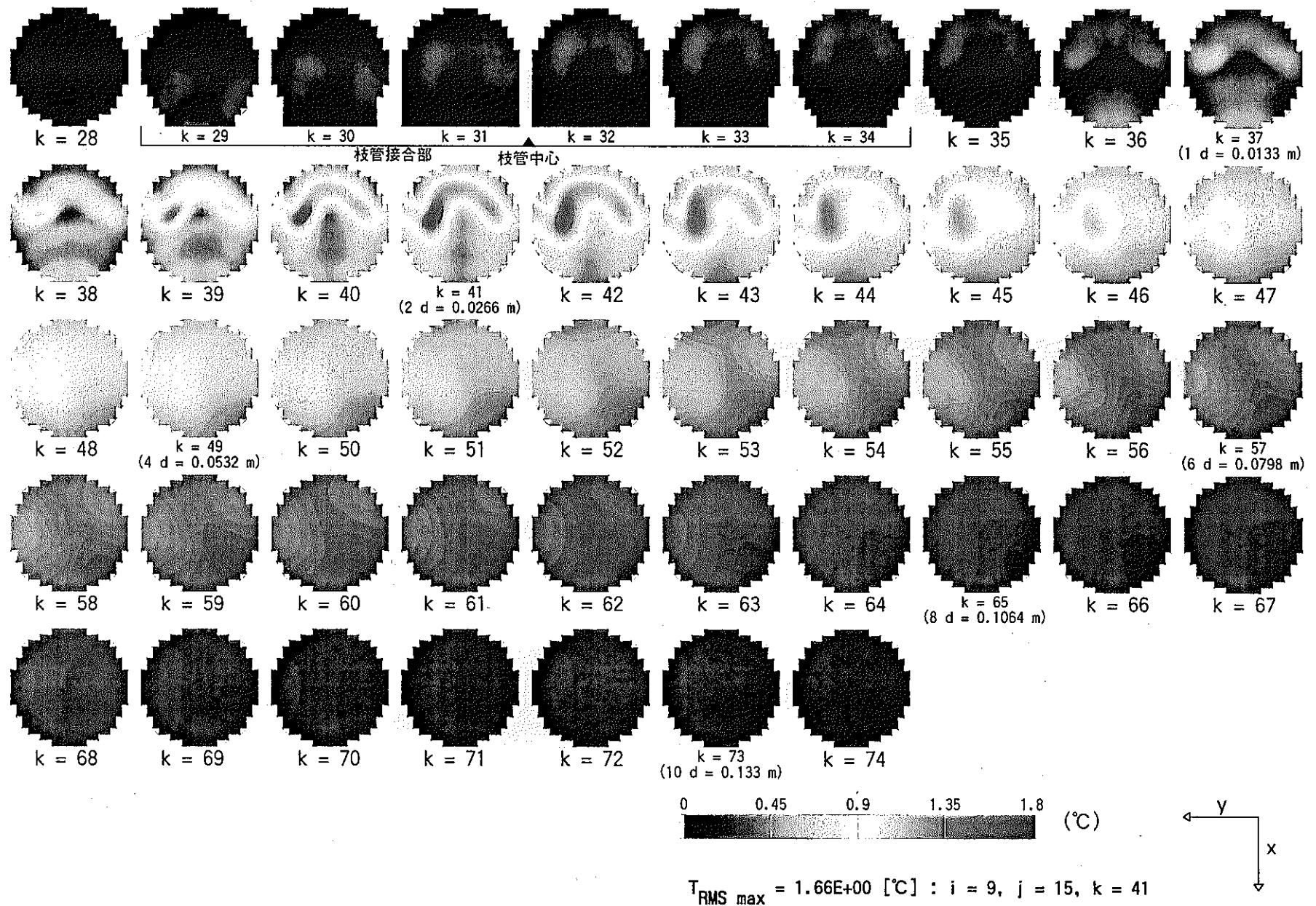


図 3.24 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case $\beta 1-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

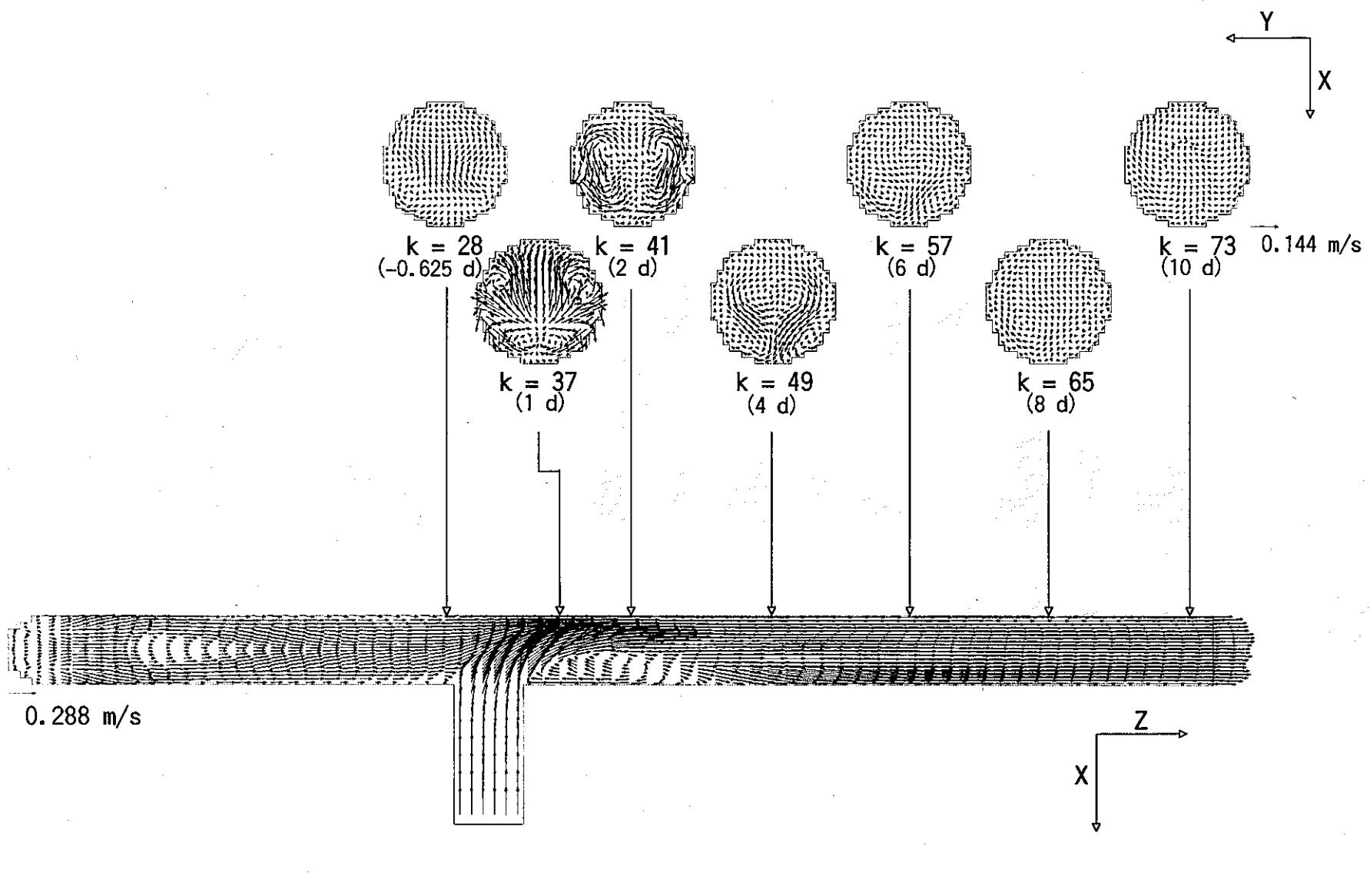


図 3.25 時間平均流速ベクトル分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

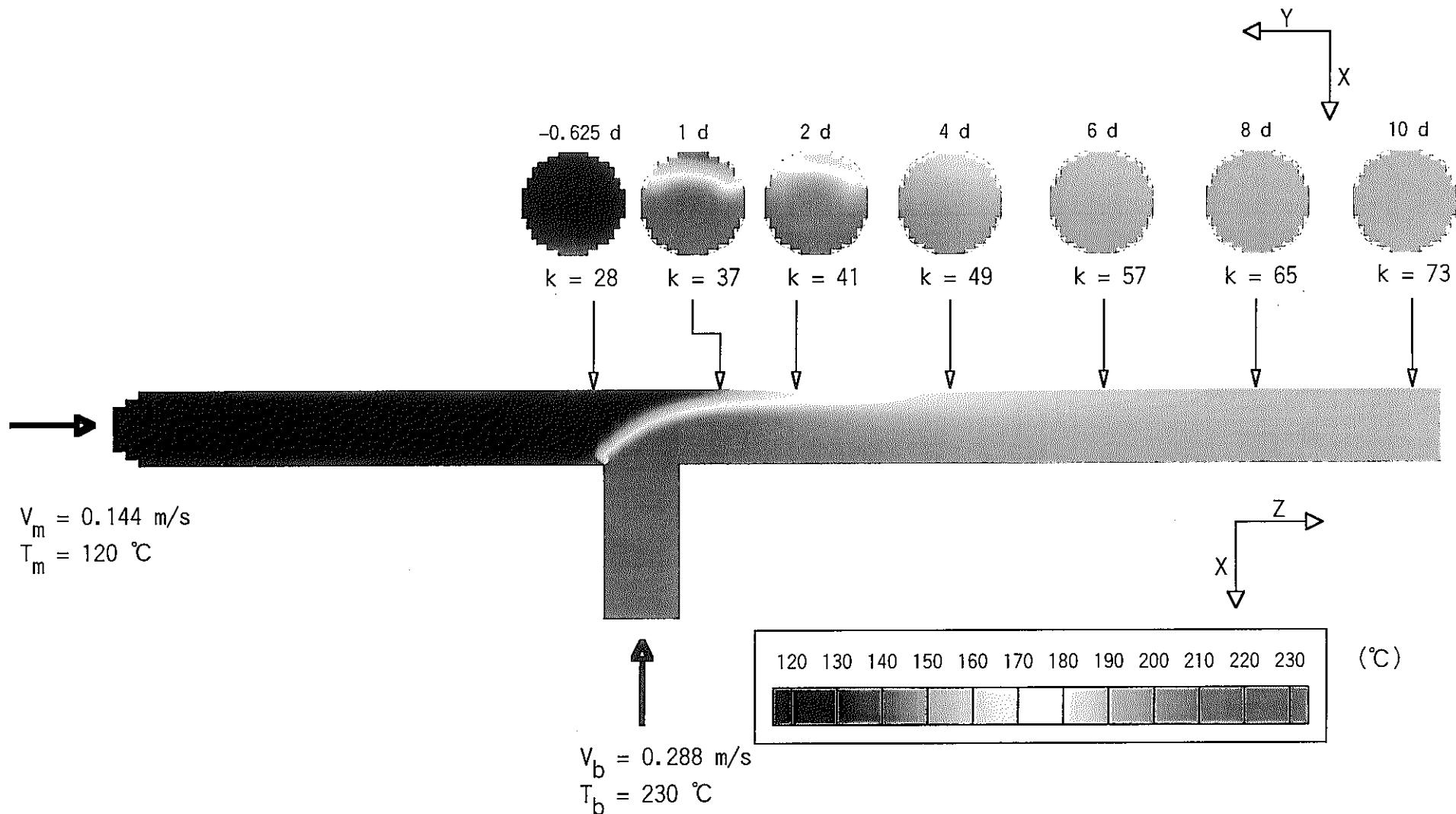


図 3.26 時間平均ナトリウム温度分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

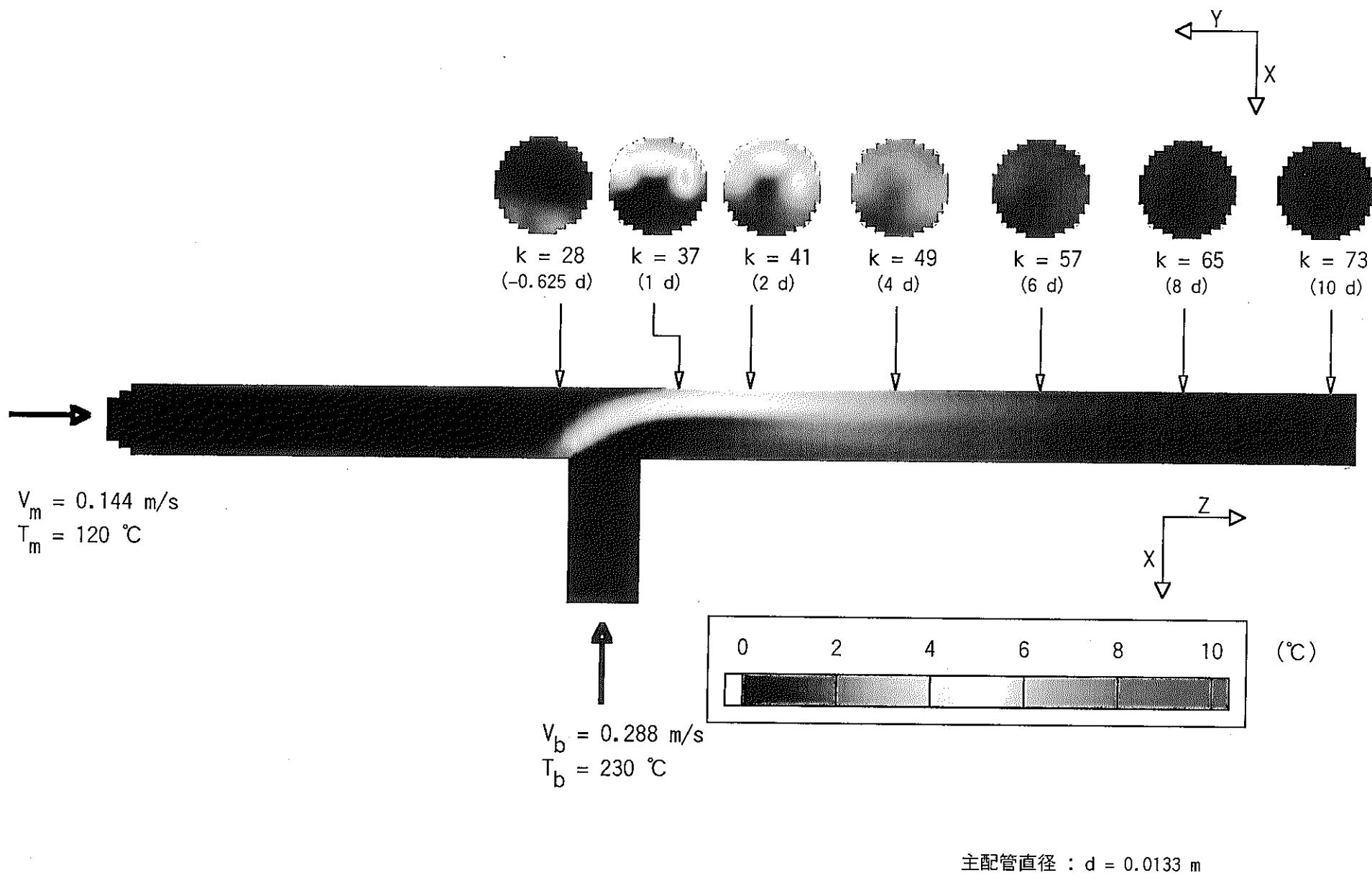


図 3.27 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

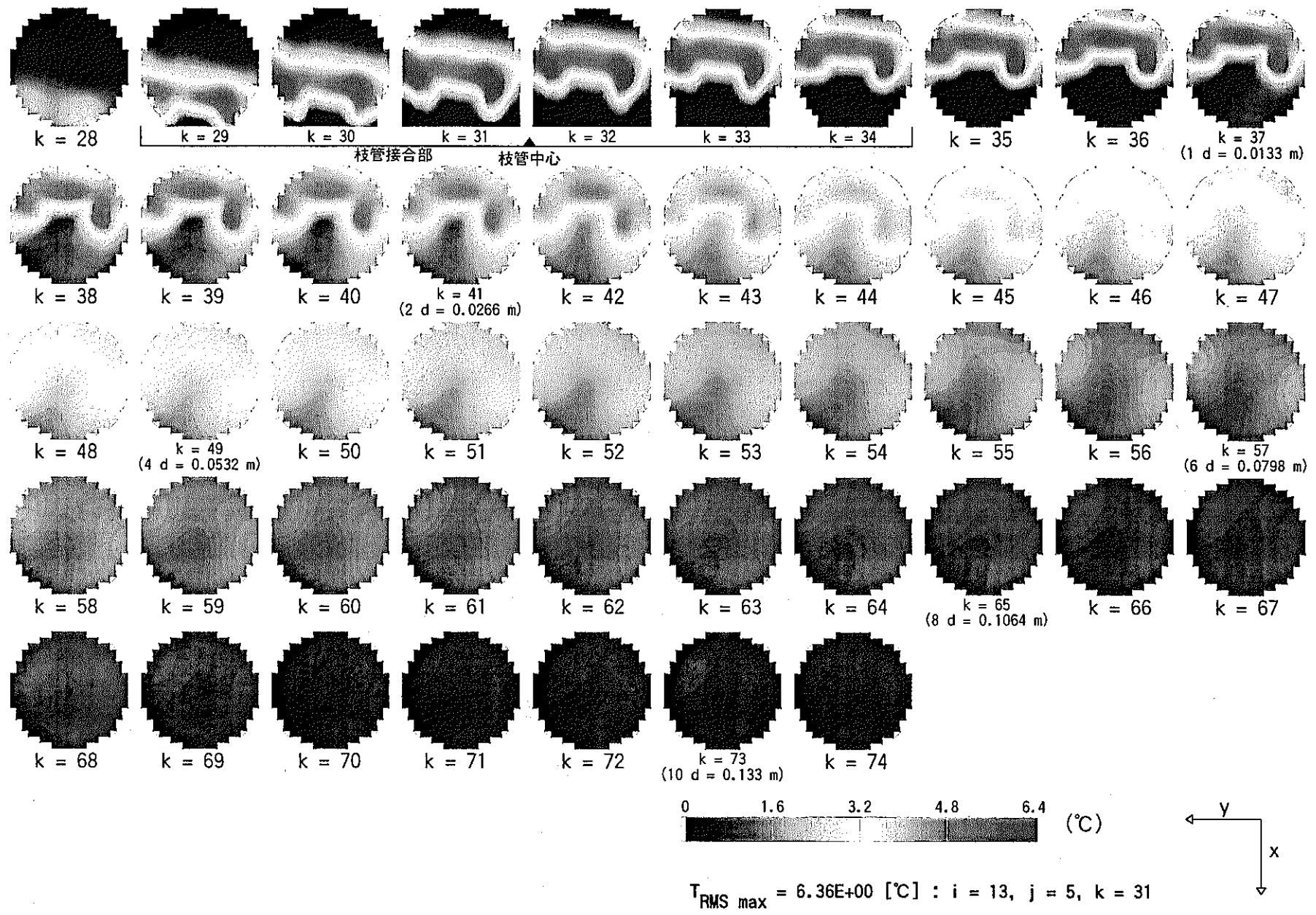


図 3.28 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

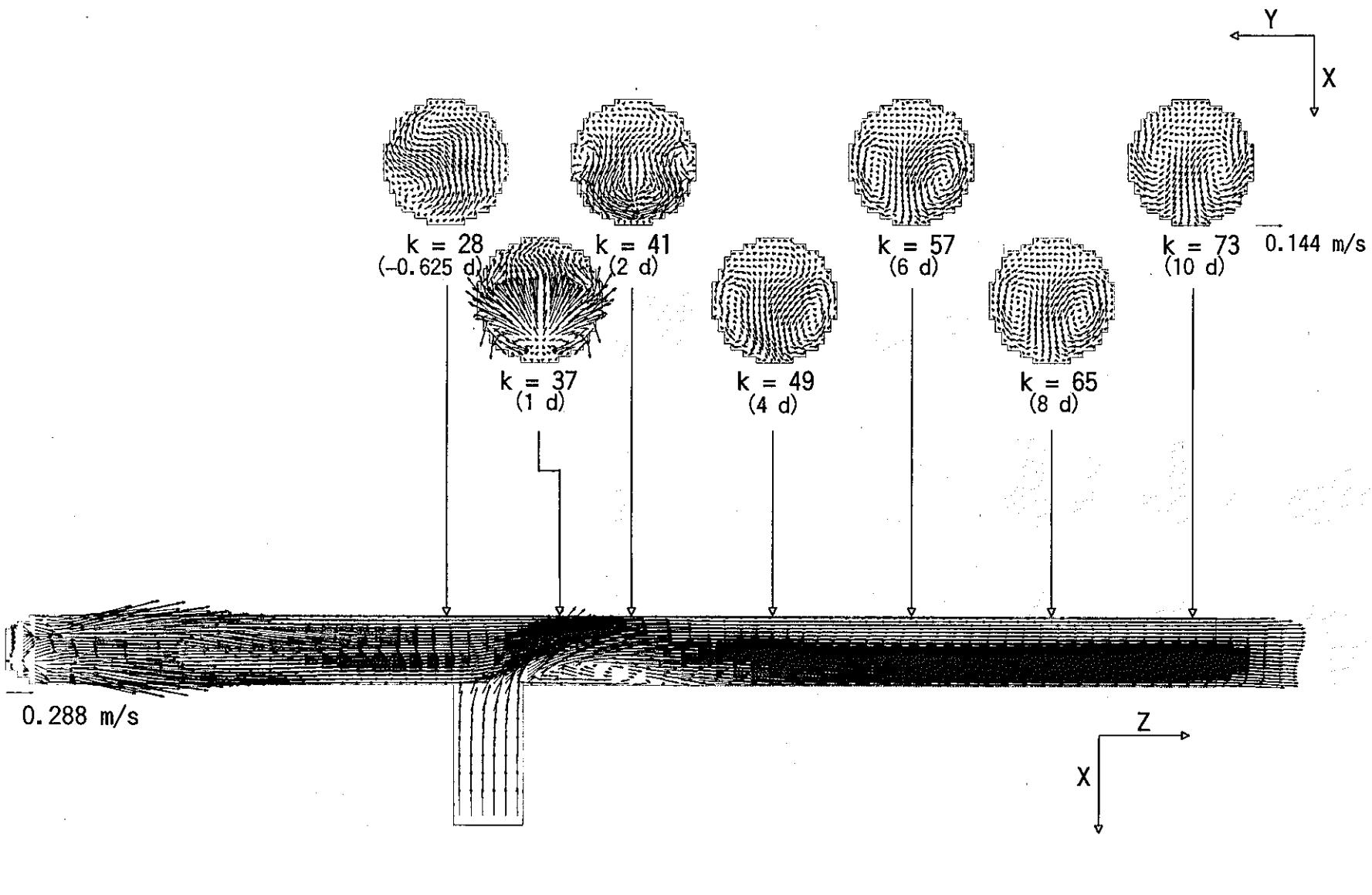
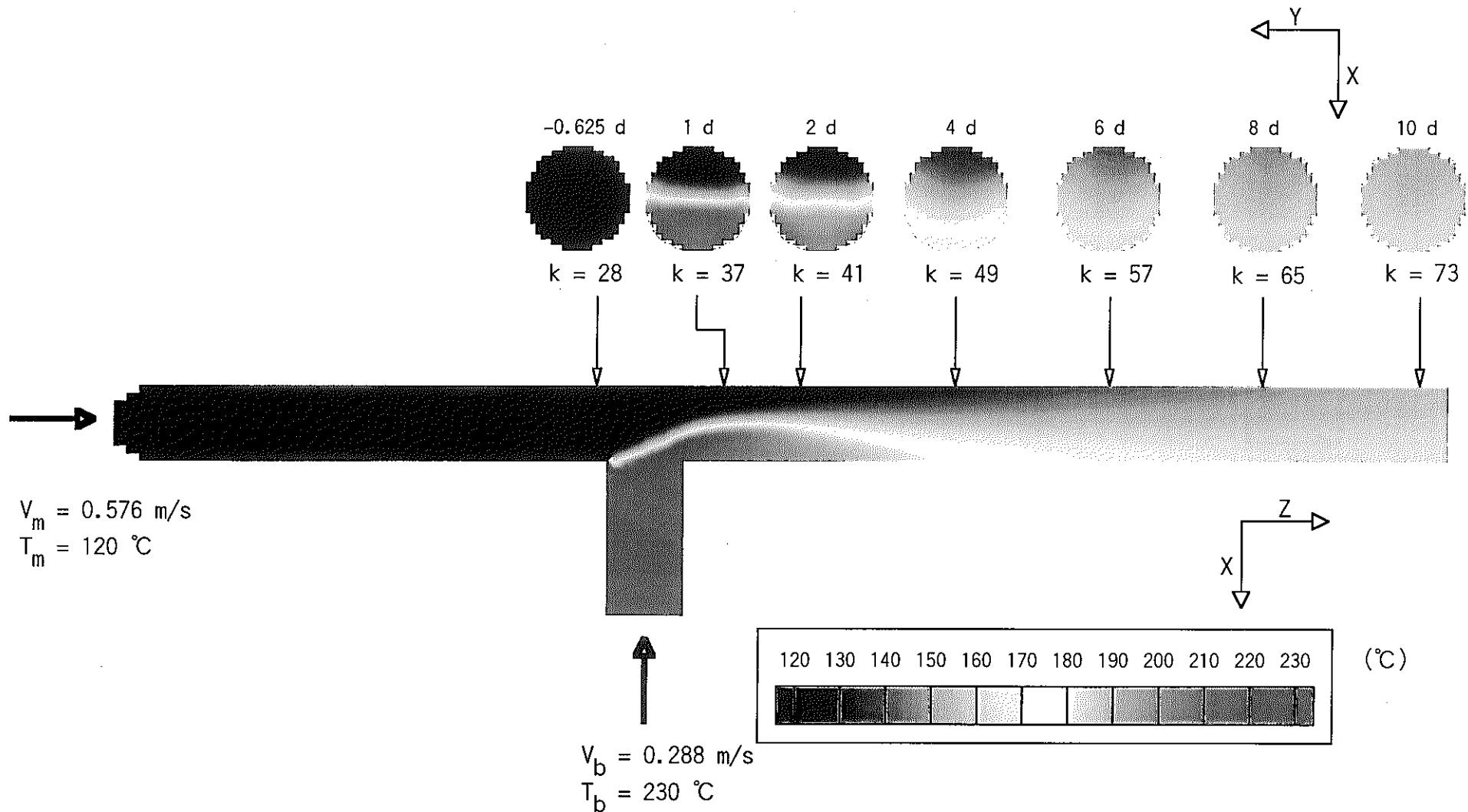


図 3.29 時間平均流速ベクトル分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)



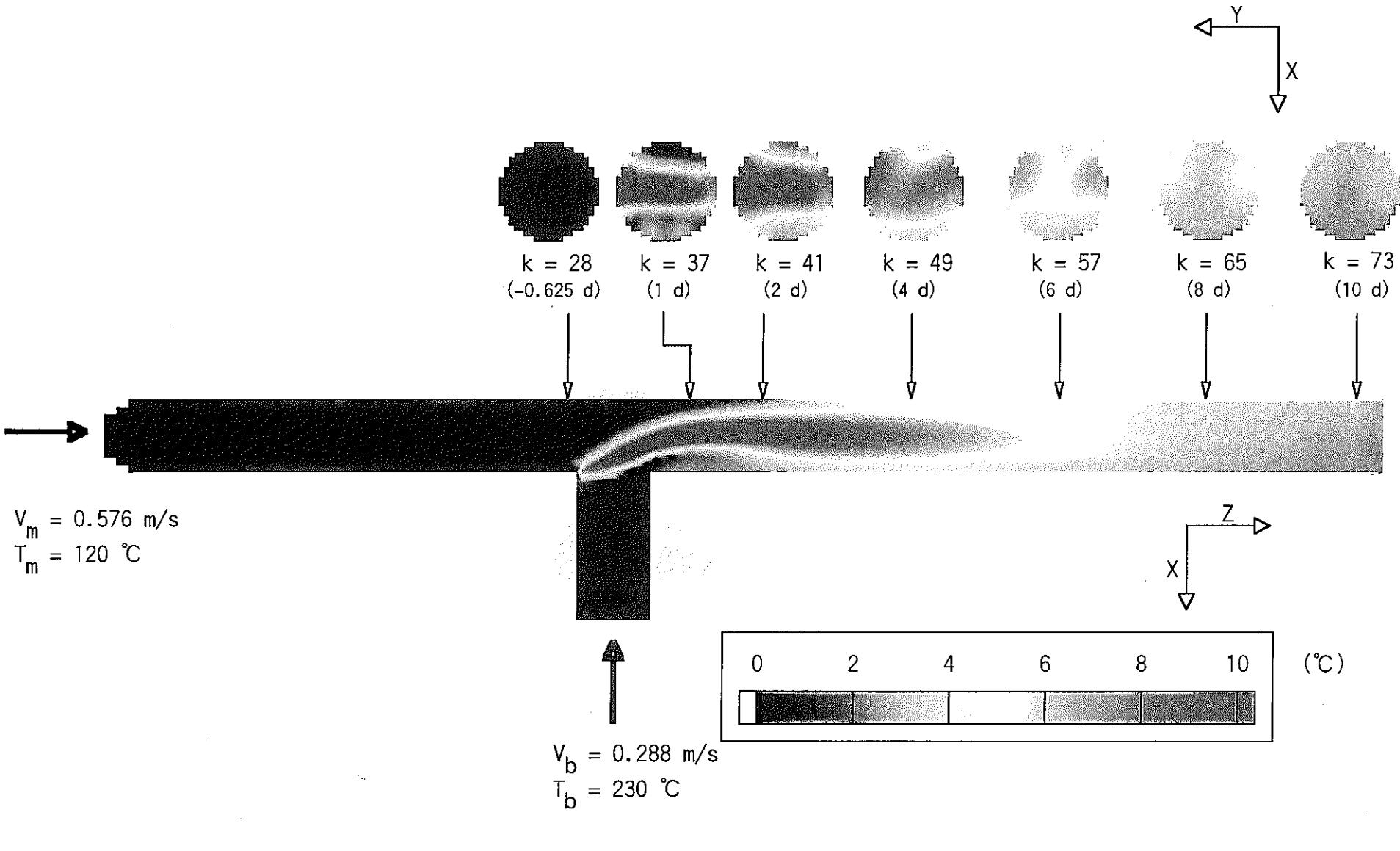


図 3.31 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

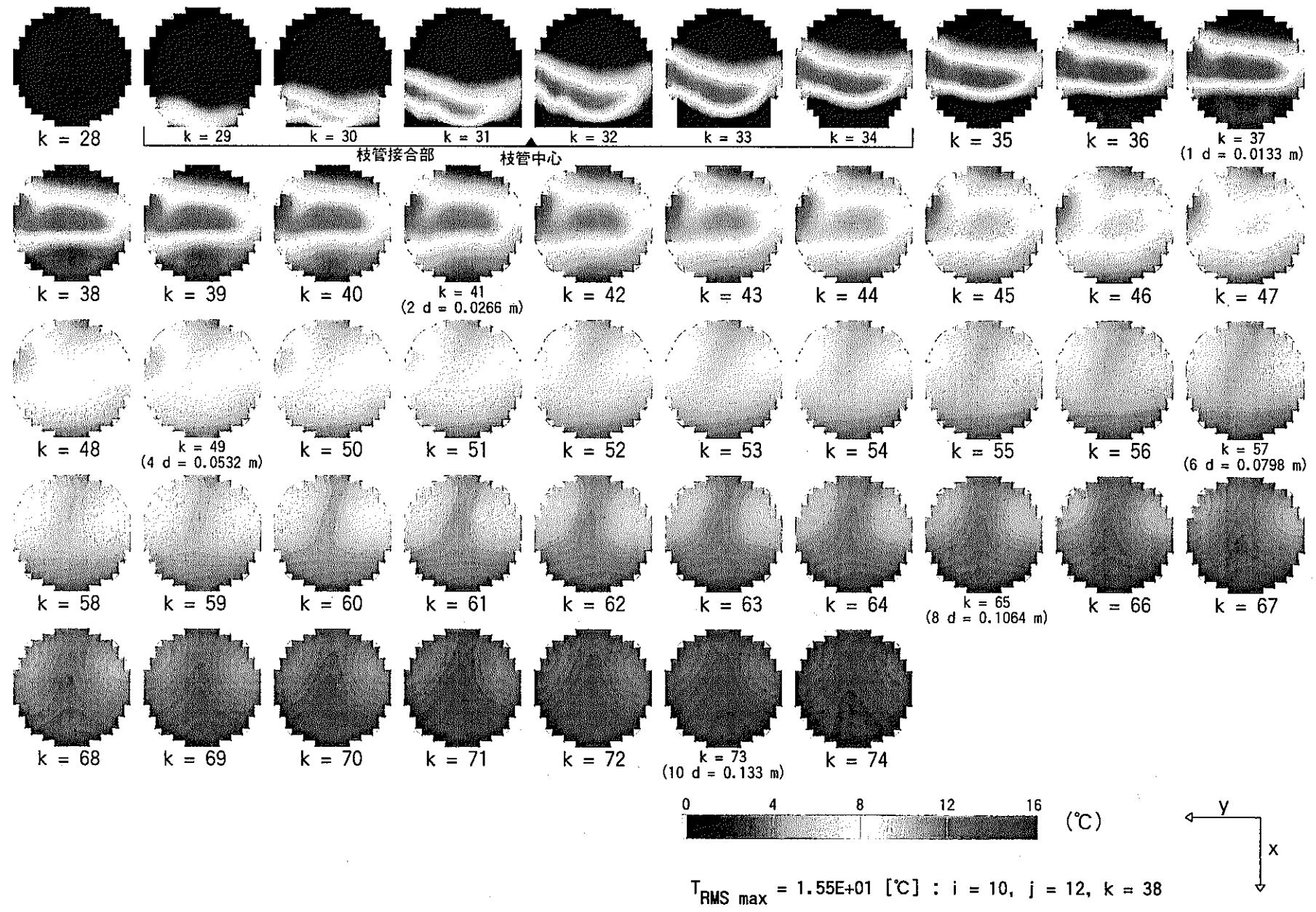
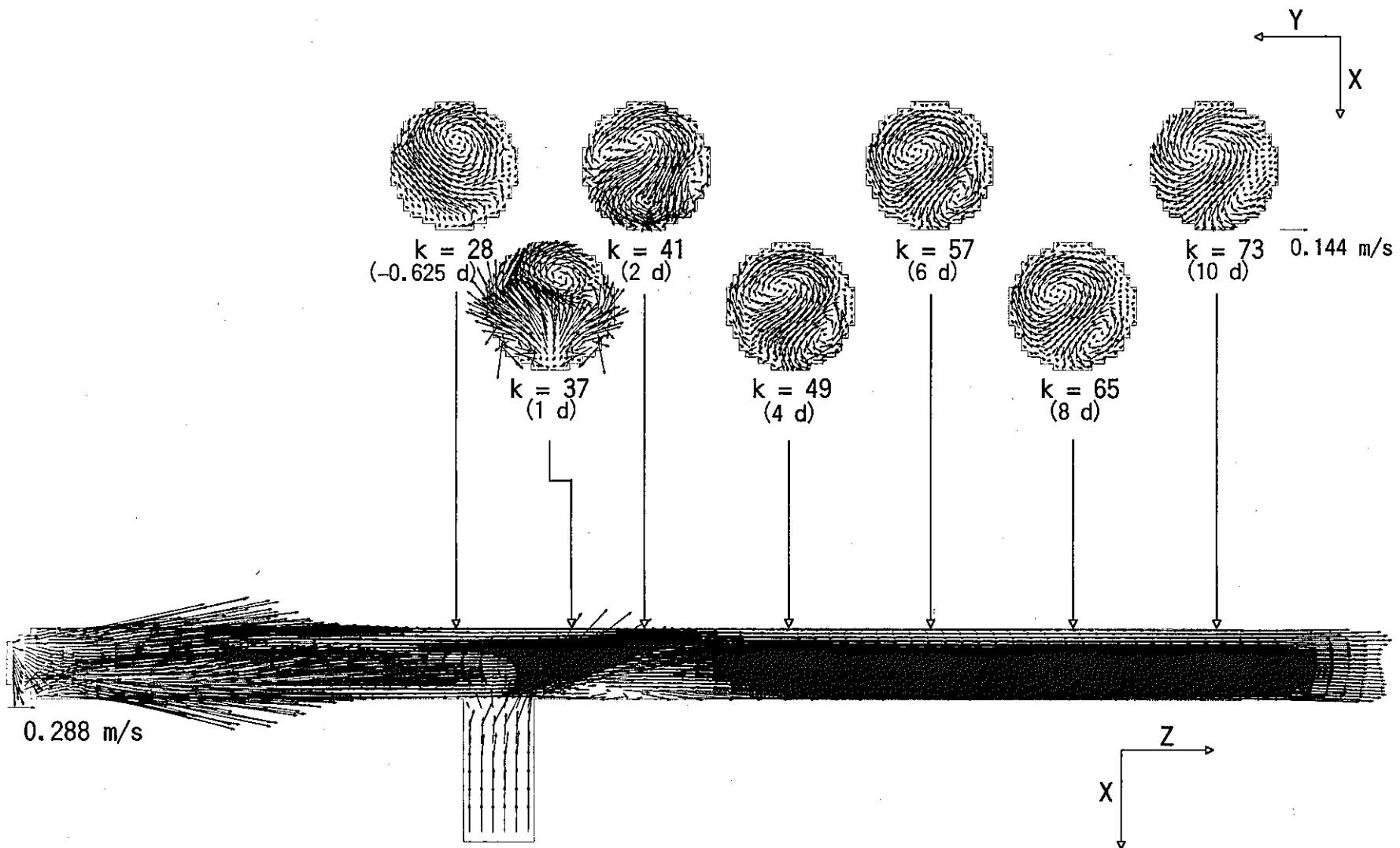


図 3.32 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case $\beta 1-3$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)



主配管直径 : $d = 0.0133 \text{ m}$

図 3.33 時間平均流速ベクトル分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

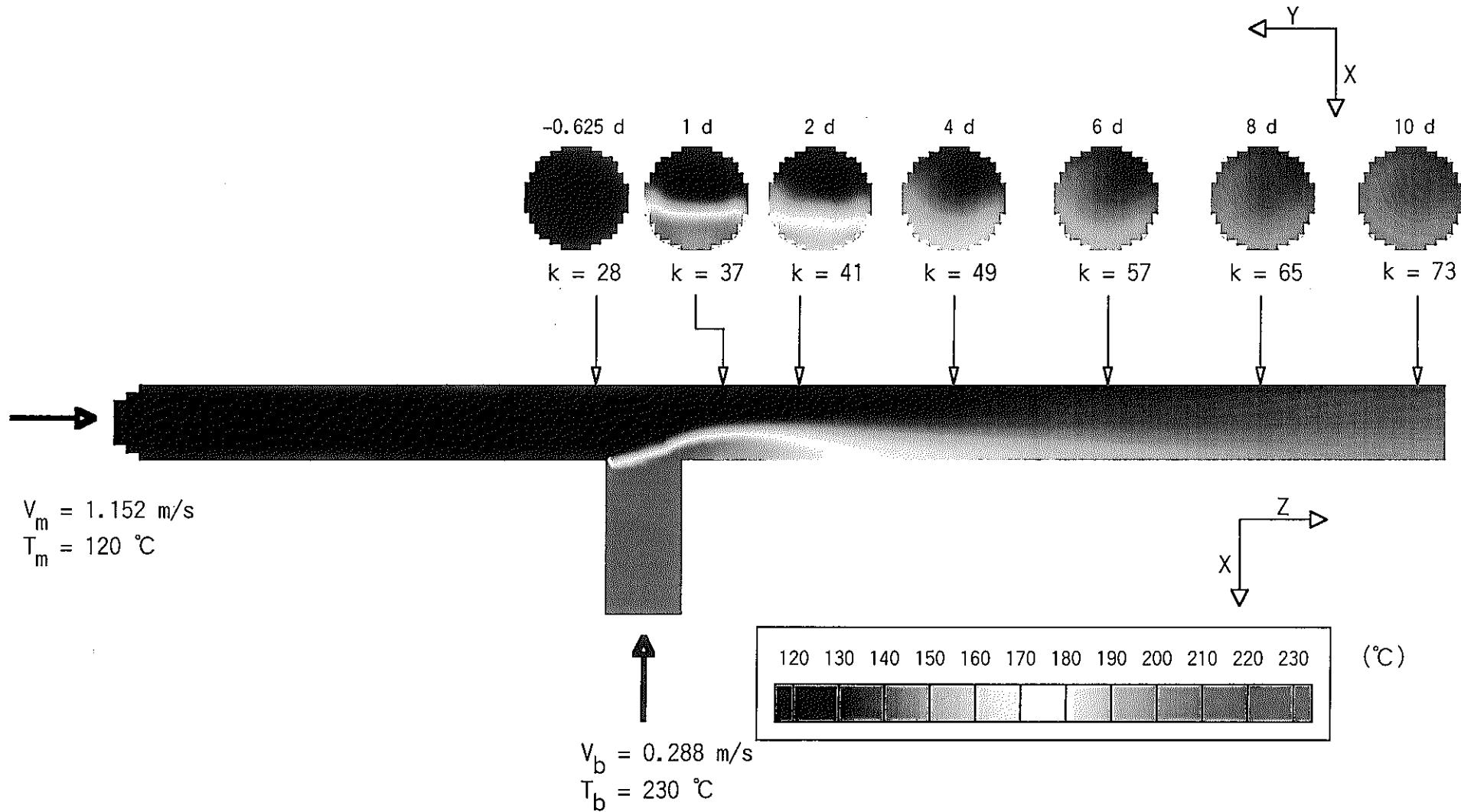


図 3.34 時間平均ナトリウム温度分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

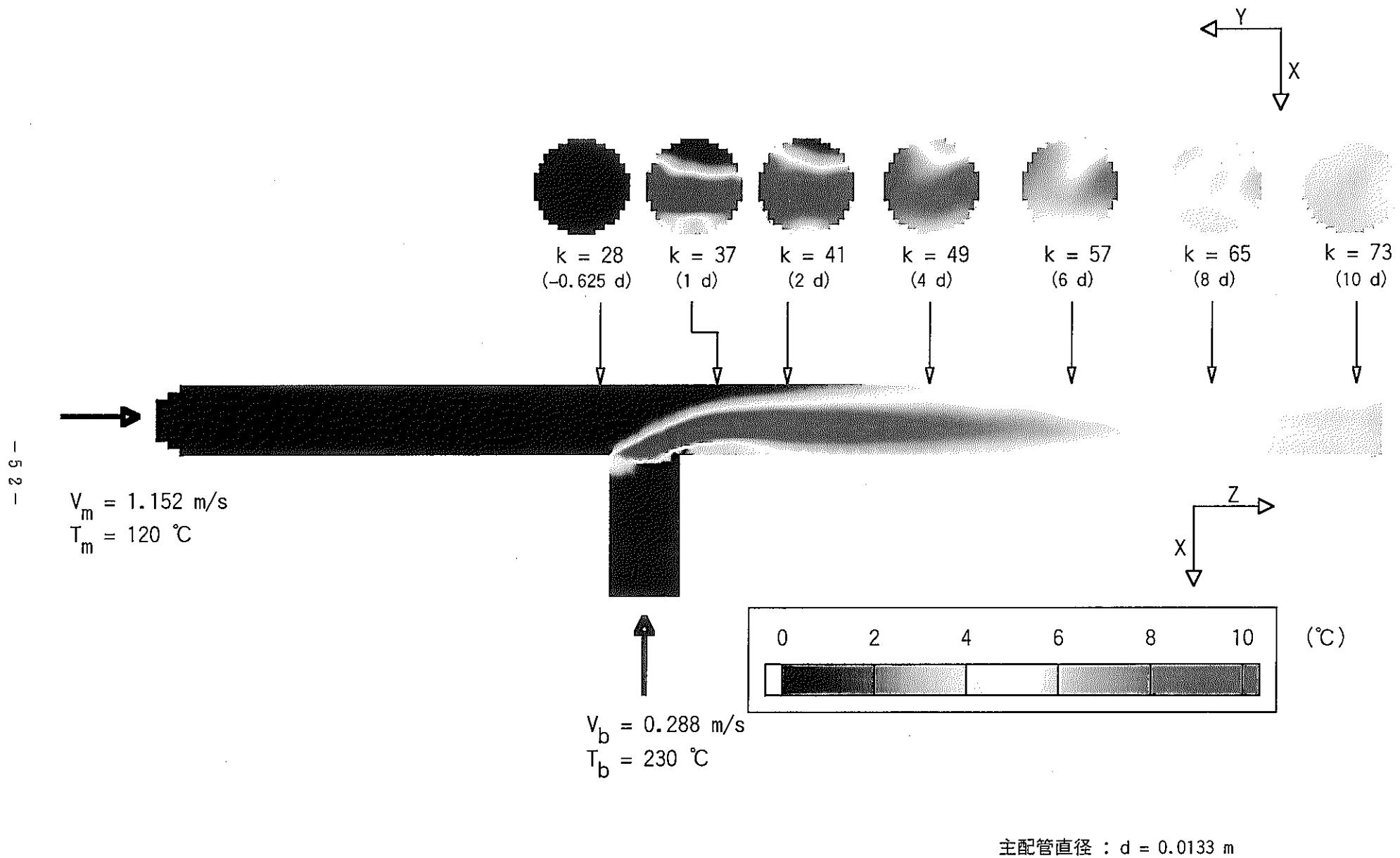


図 3.35 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_{\infty} = 22,504$)

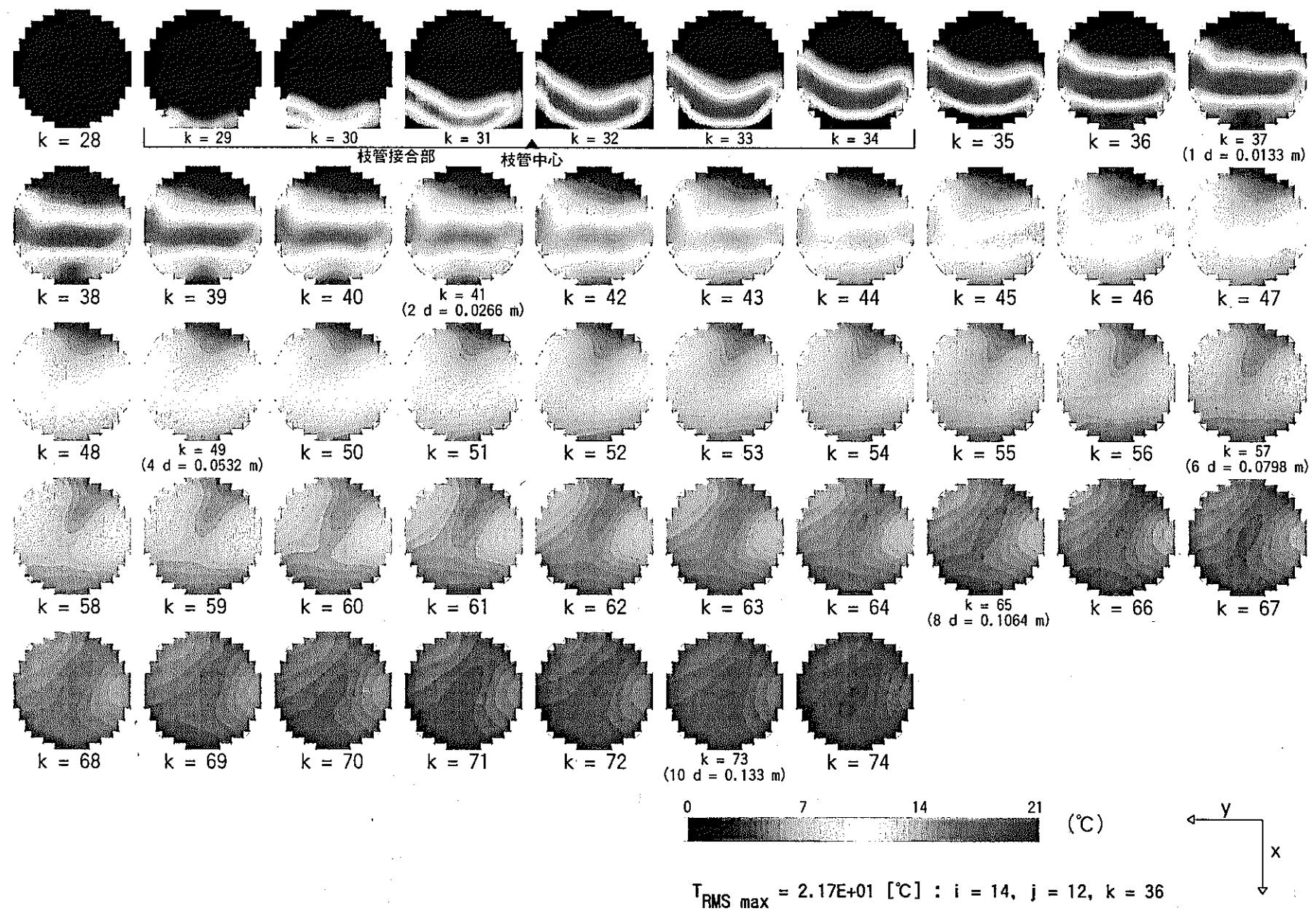
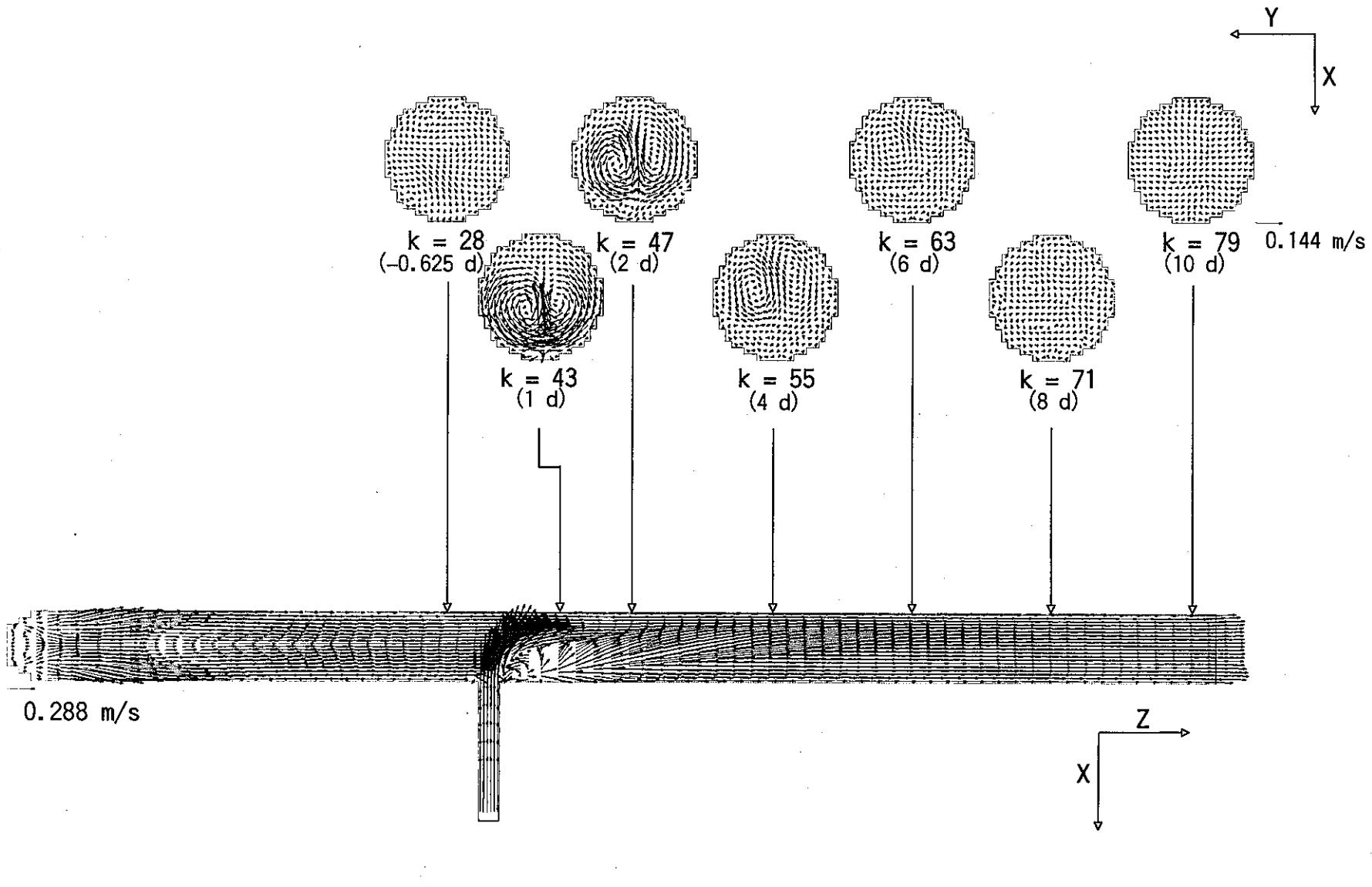


図 3.36 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^{\circ}$, $\text{Re}_m = 22,504$)



主配管直径 : $d = 0.0133$ m

図 3.37 時間平均流速ベクトル分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

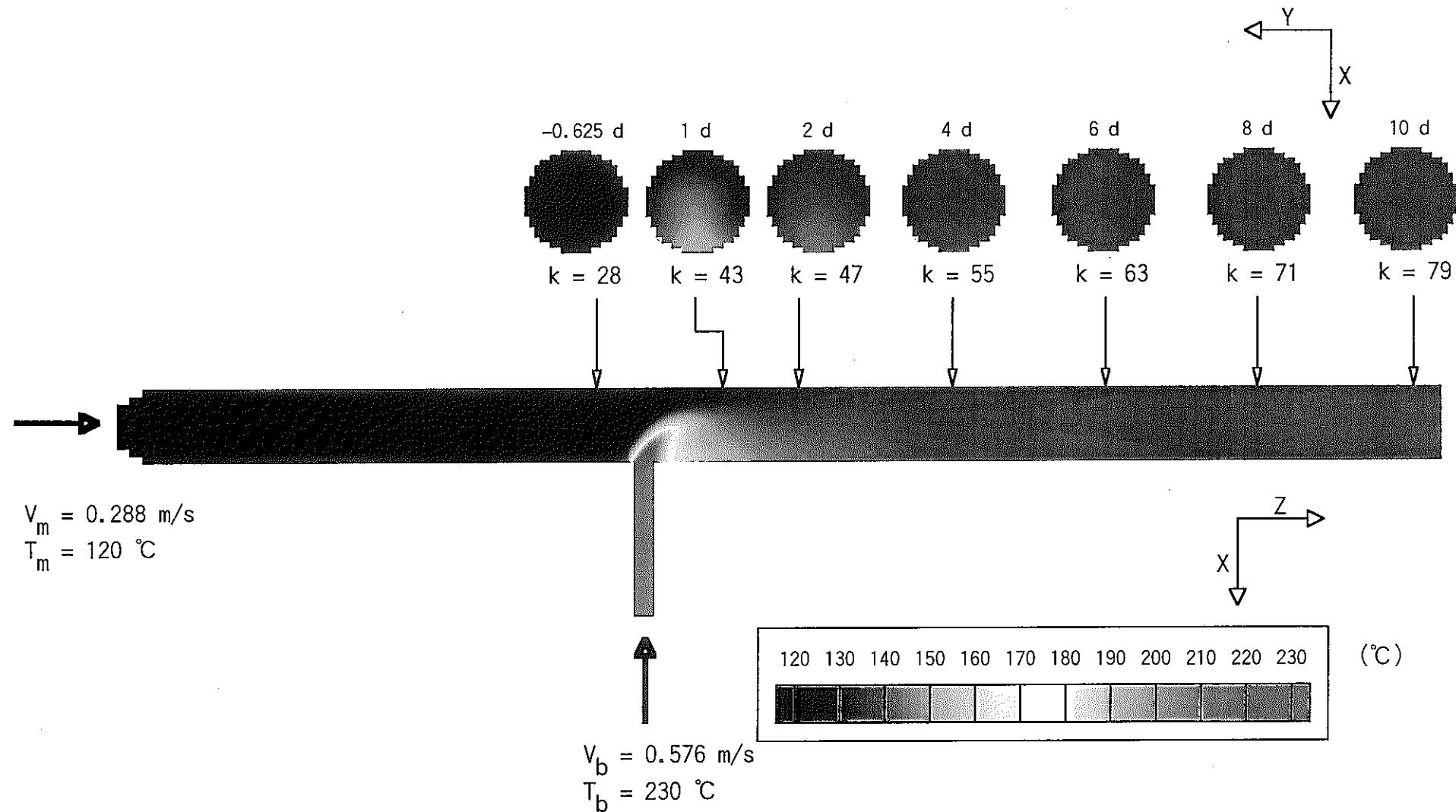


図 3.38 時間平均ナトリウム温度分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

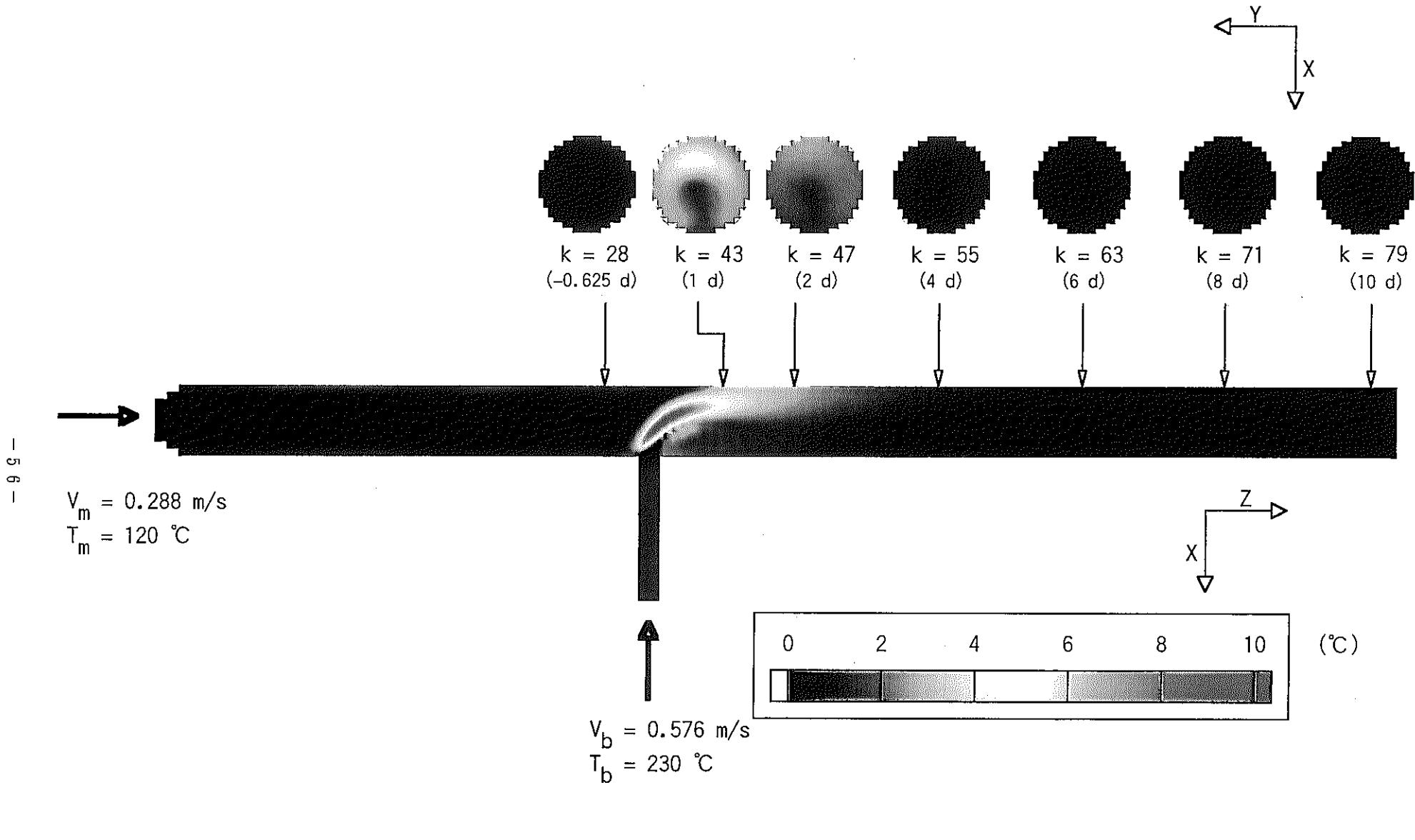


図 3.39 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

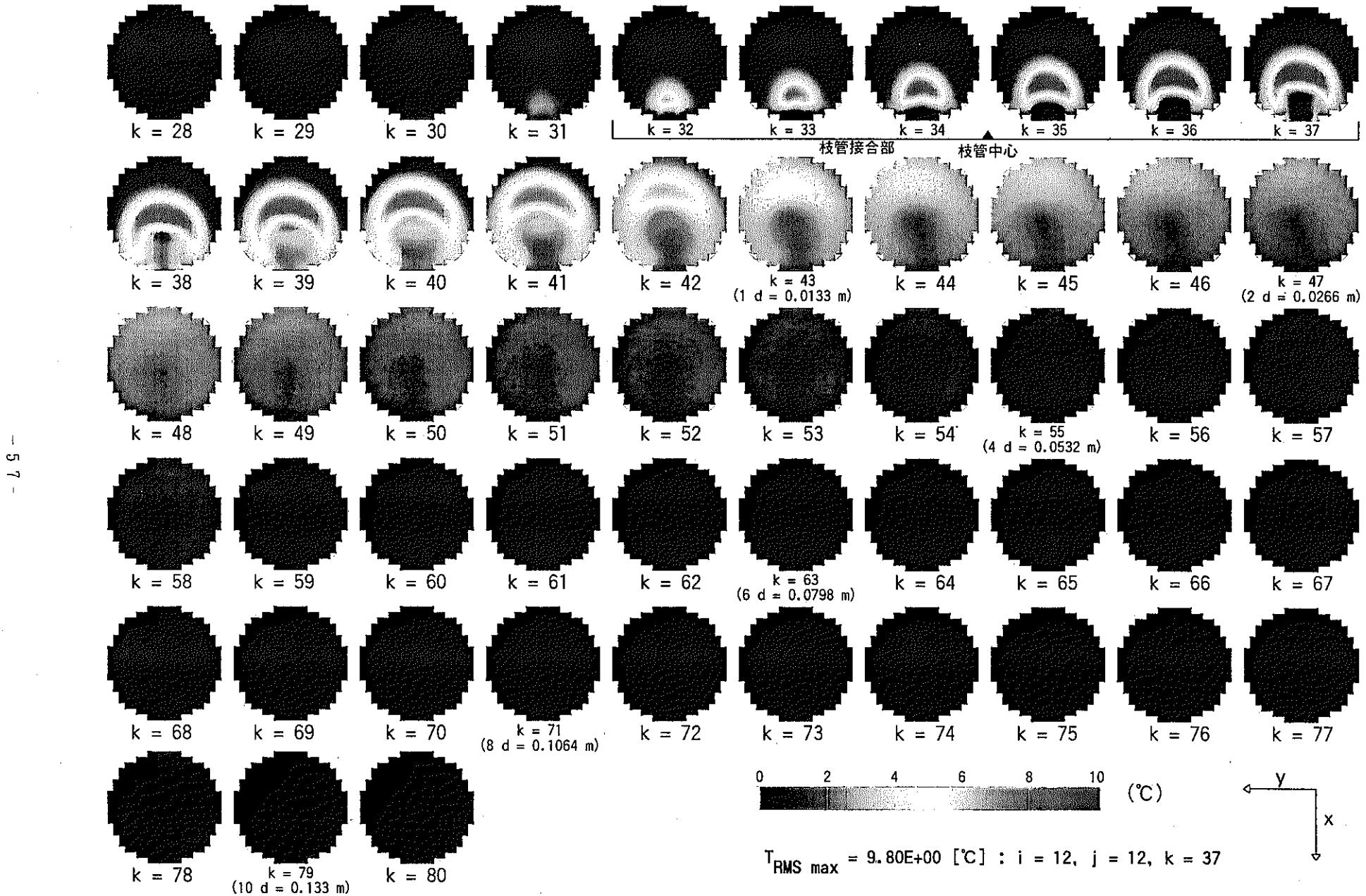


図 3.40 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

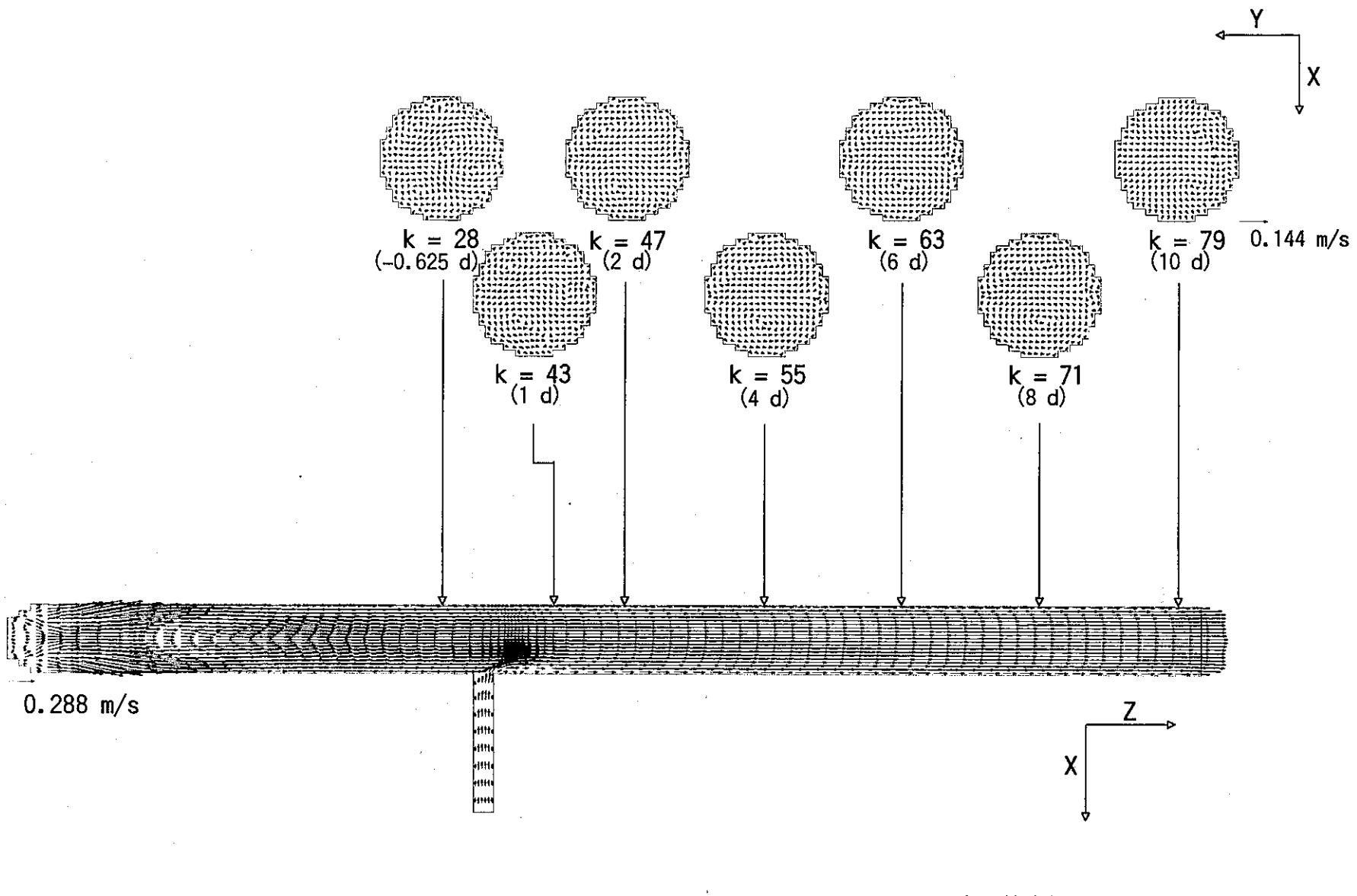


図 3.41 時間平均流速ベクトル分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

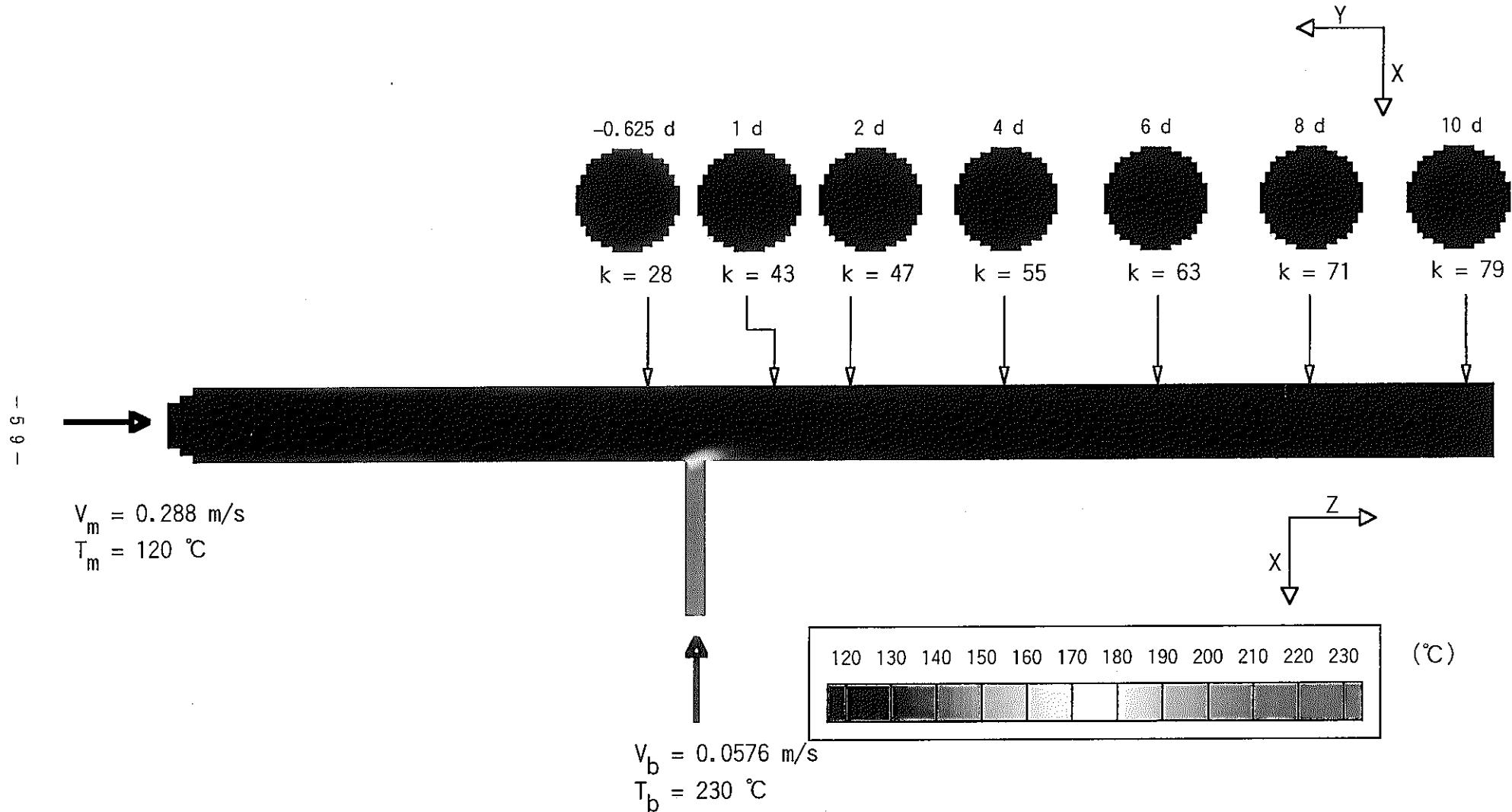


図 3.42 時間平均ナトリウム温度分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

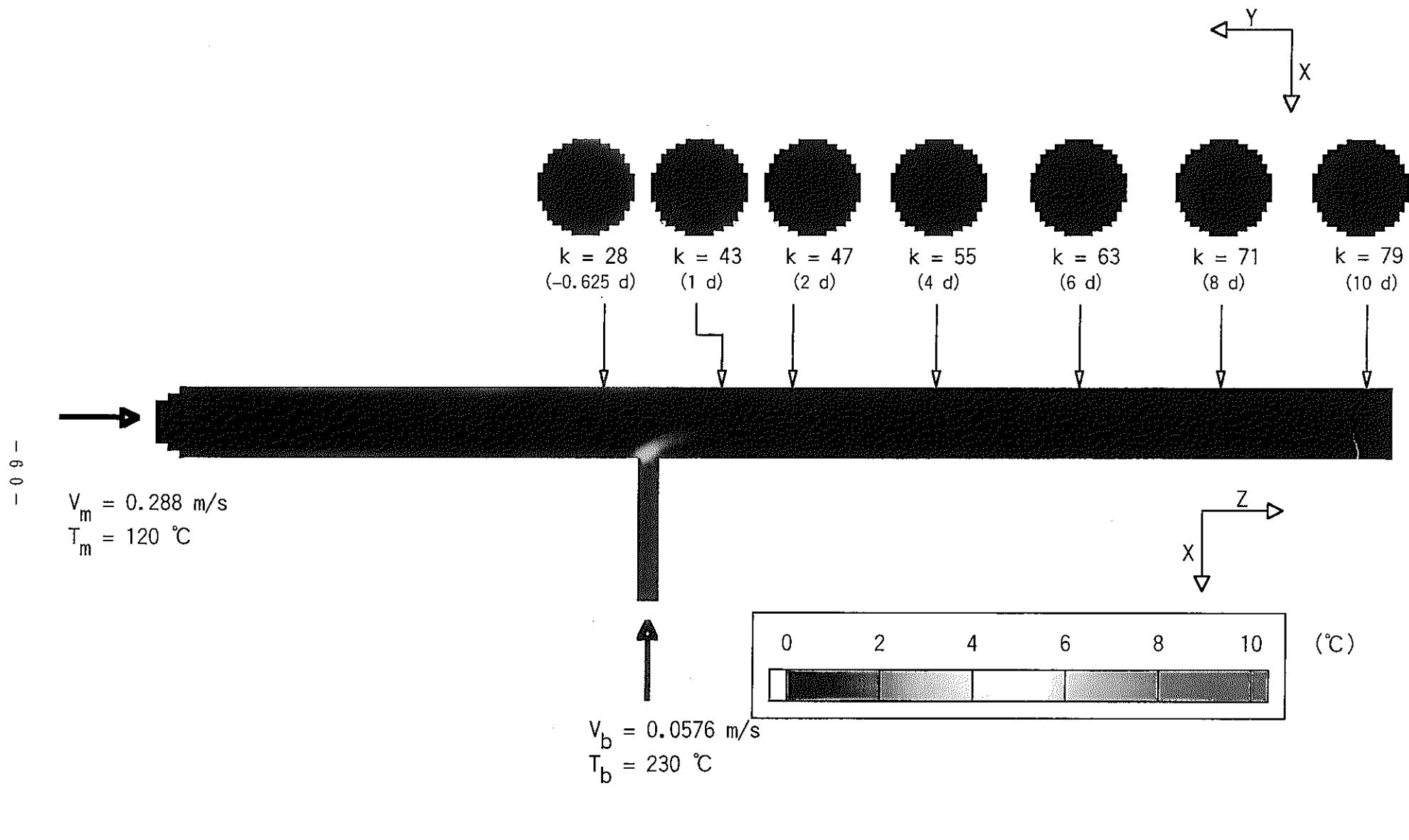


図 3.43 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

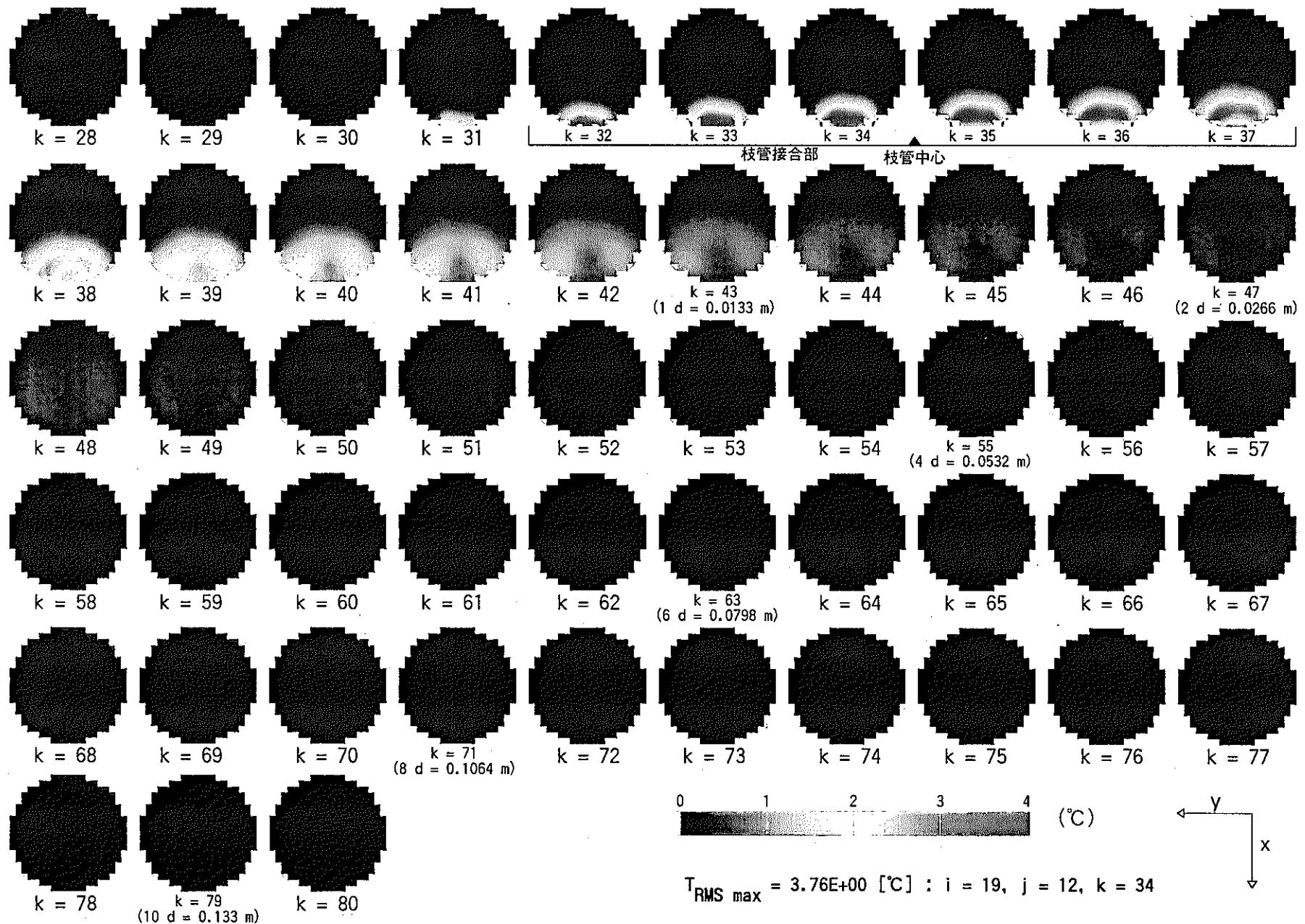


図 3.44 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^{\circ}$, $\text{Re}_m = 5,626$)

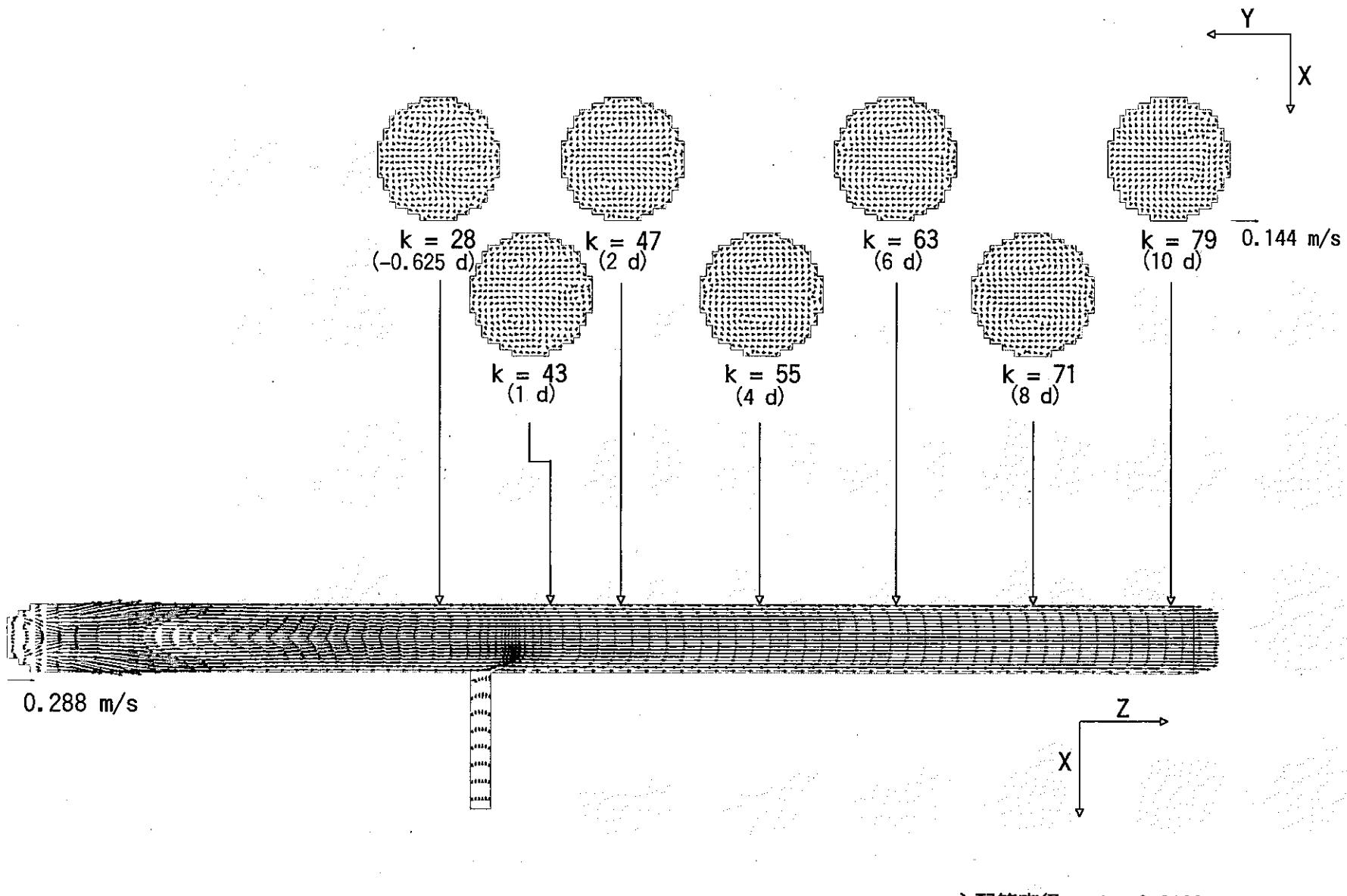


図 3.45 時間平均流速ベクトル分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

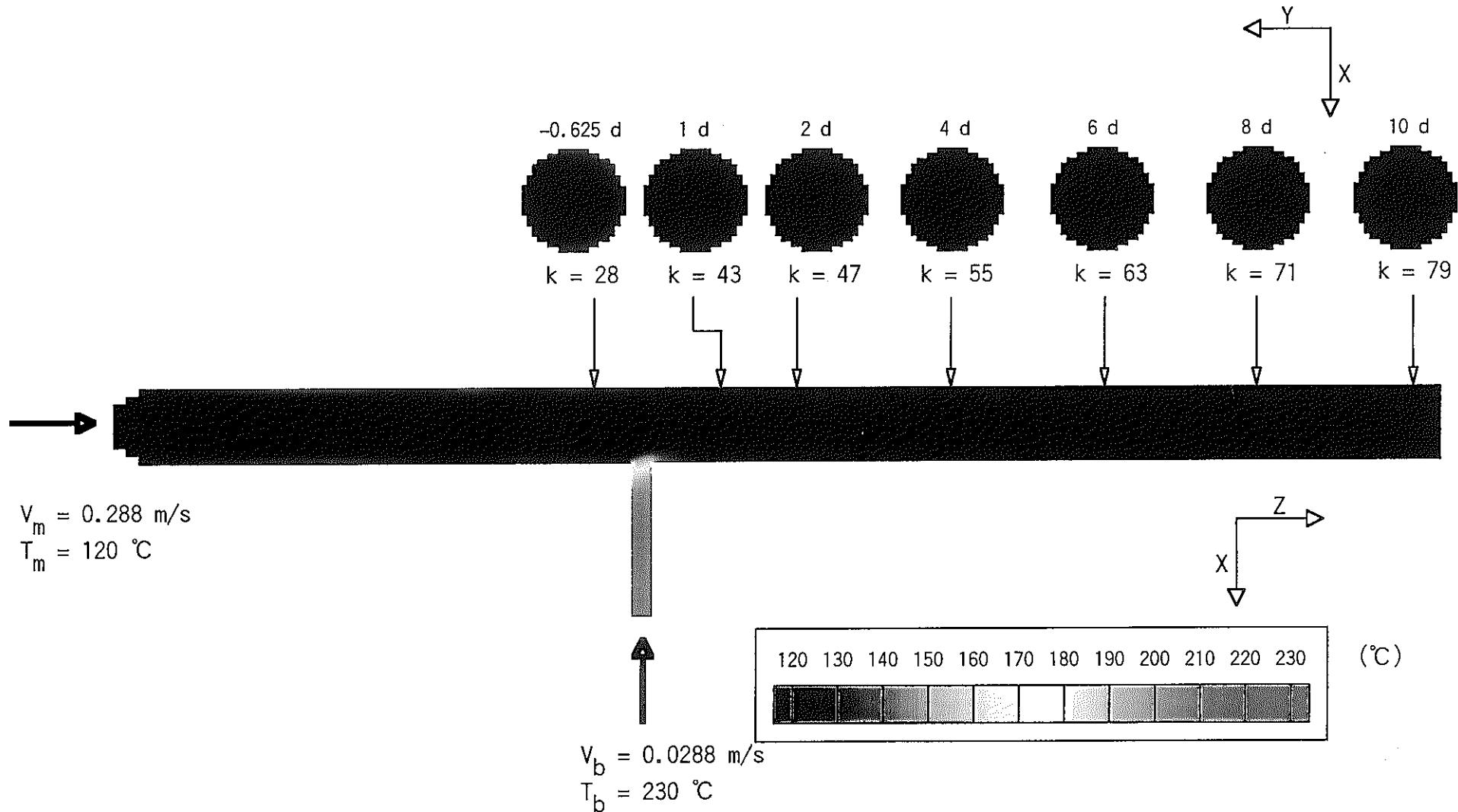


図 3.46 時間平均ナトリウム温度分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 64 -

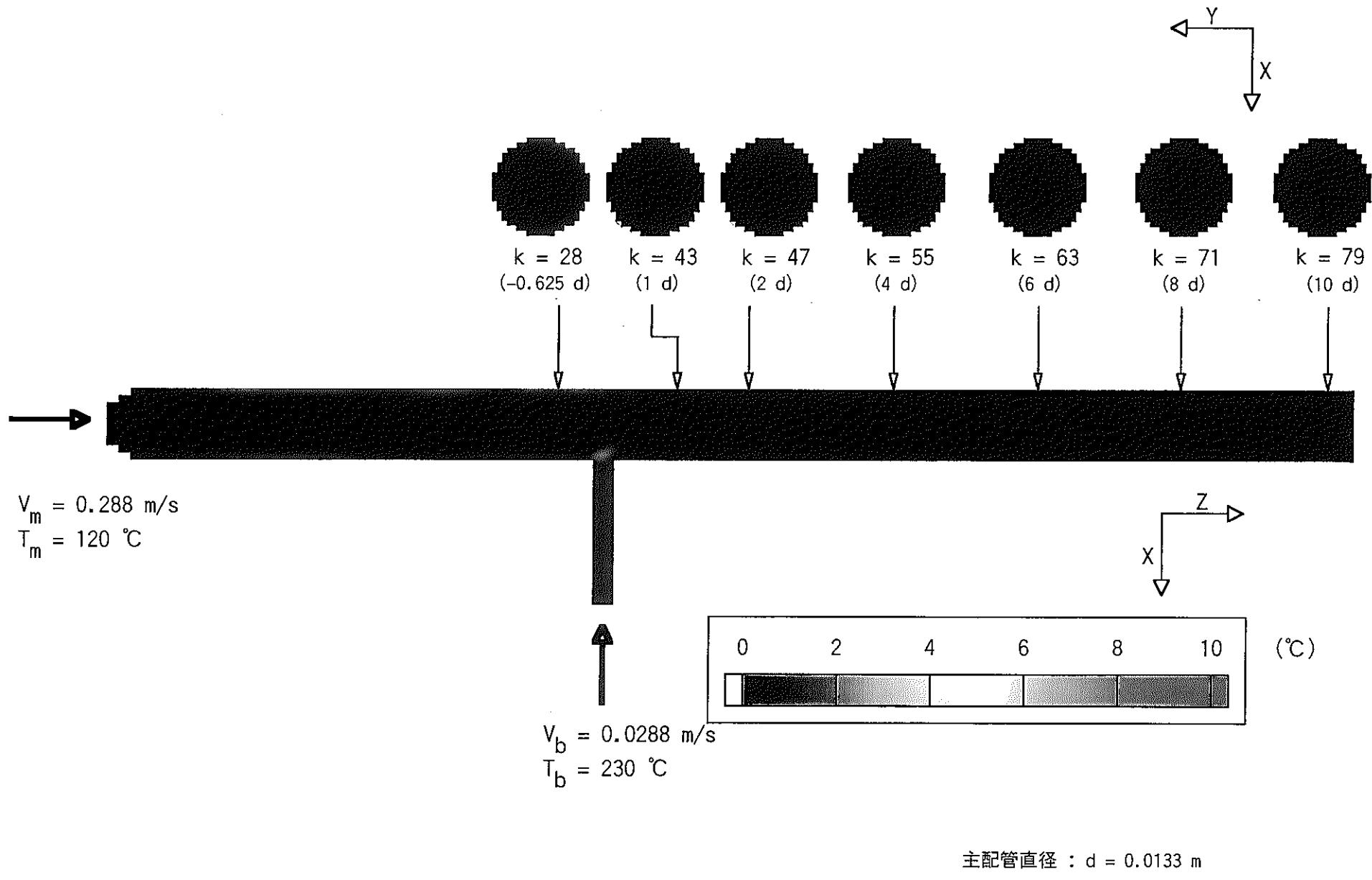


図 3.47 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 65 -

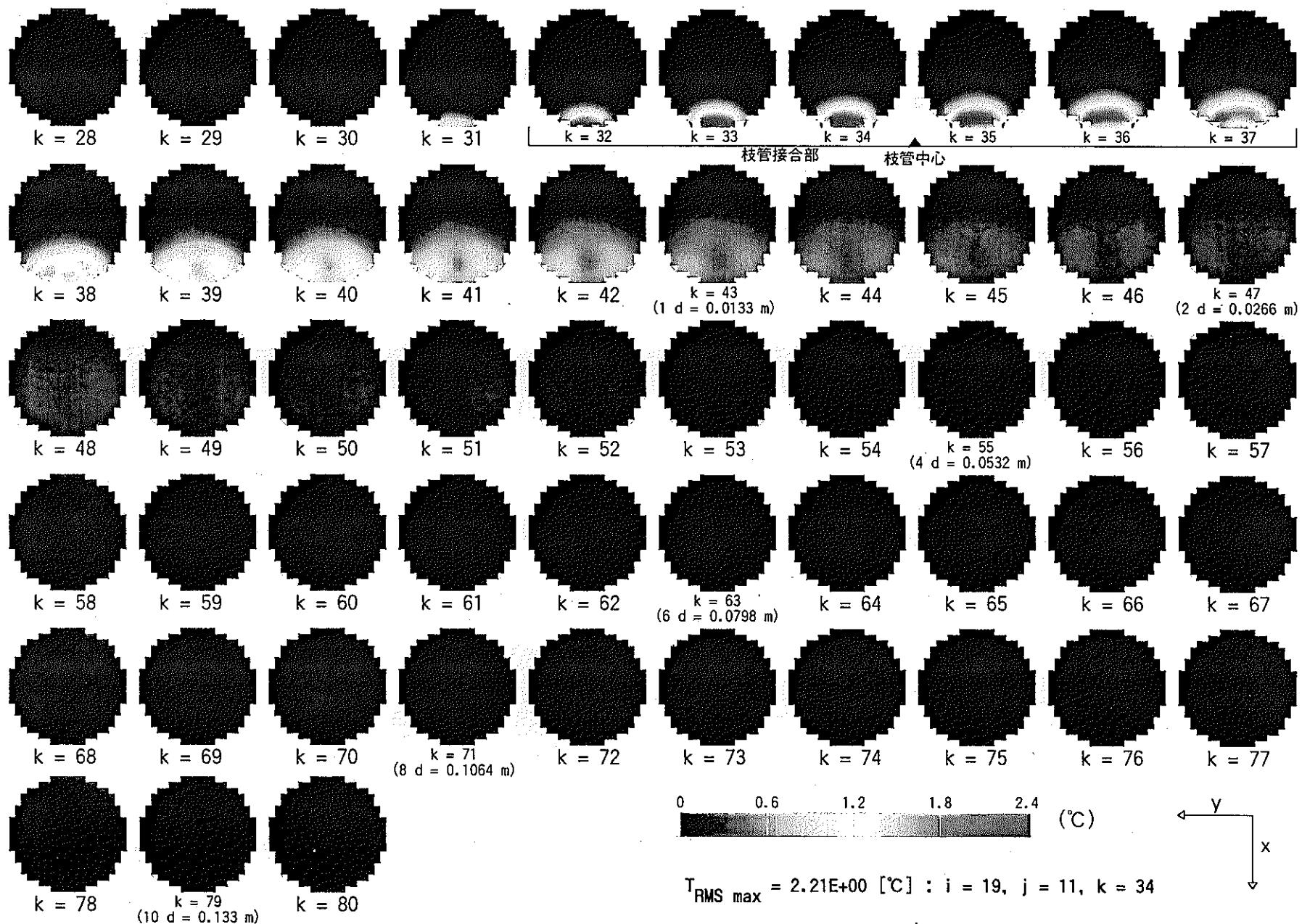
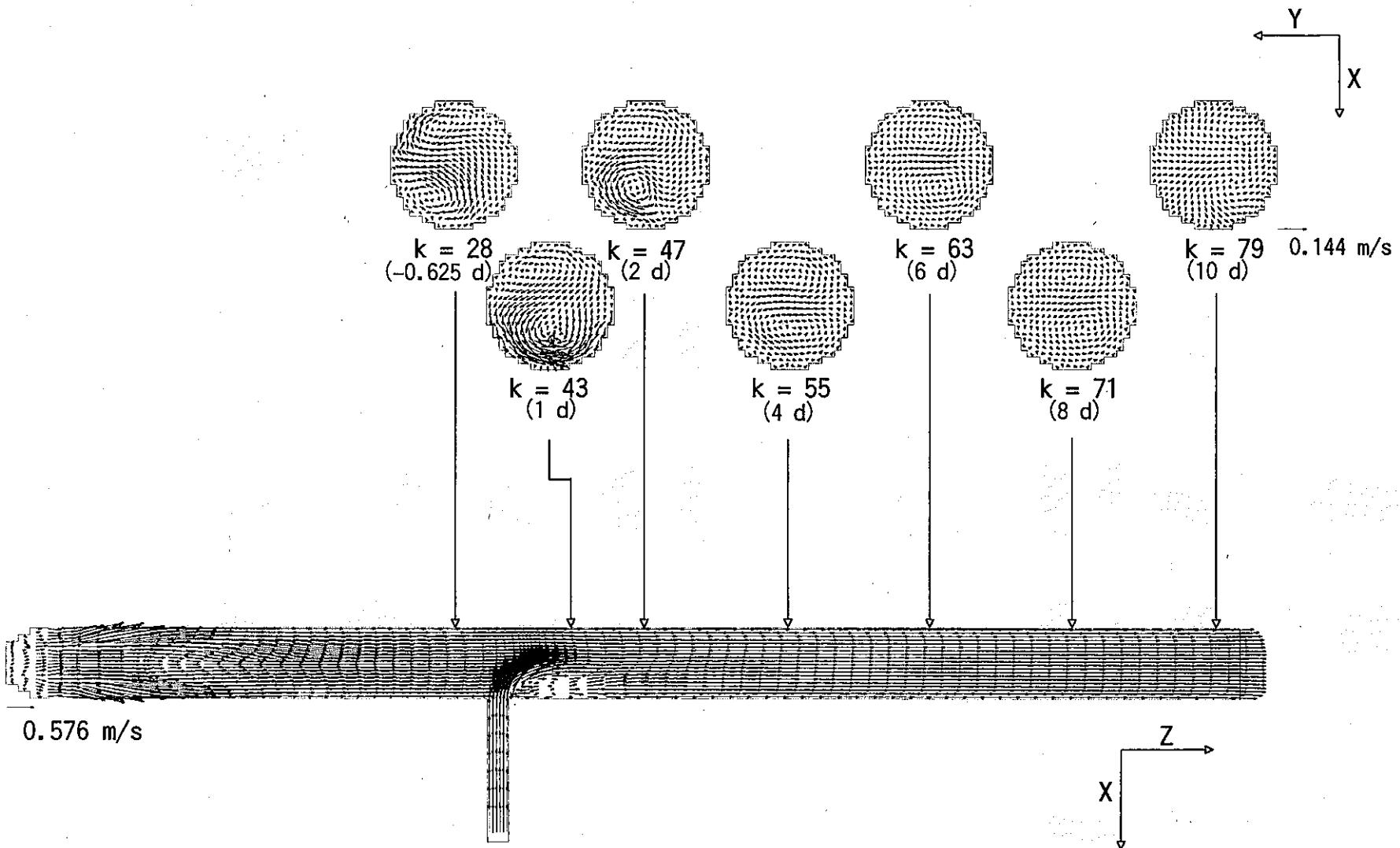


図 3.48 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case $\beta 2-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)



主配管直径 : $d = 0.0133 \text{ m}$

図 3.49 時間平均流速ベクトル分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

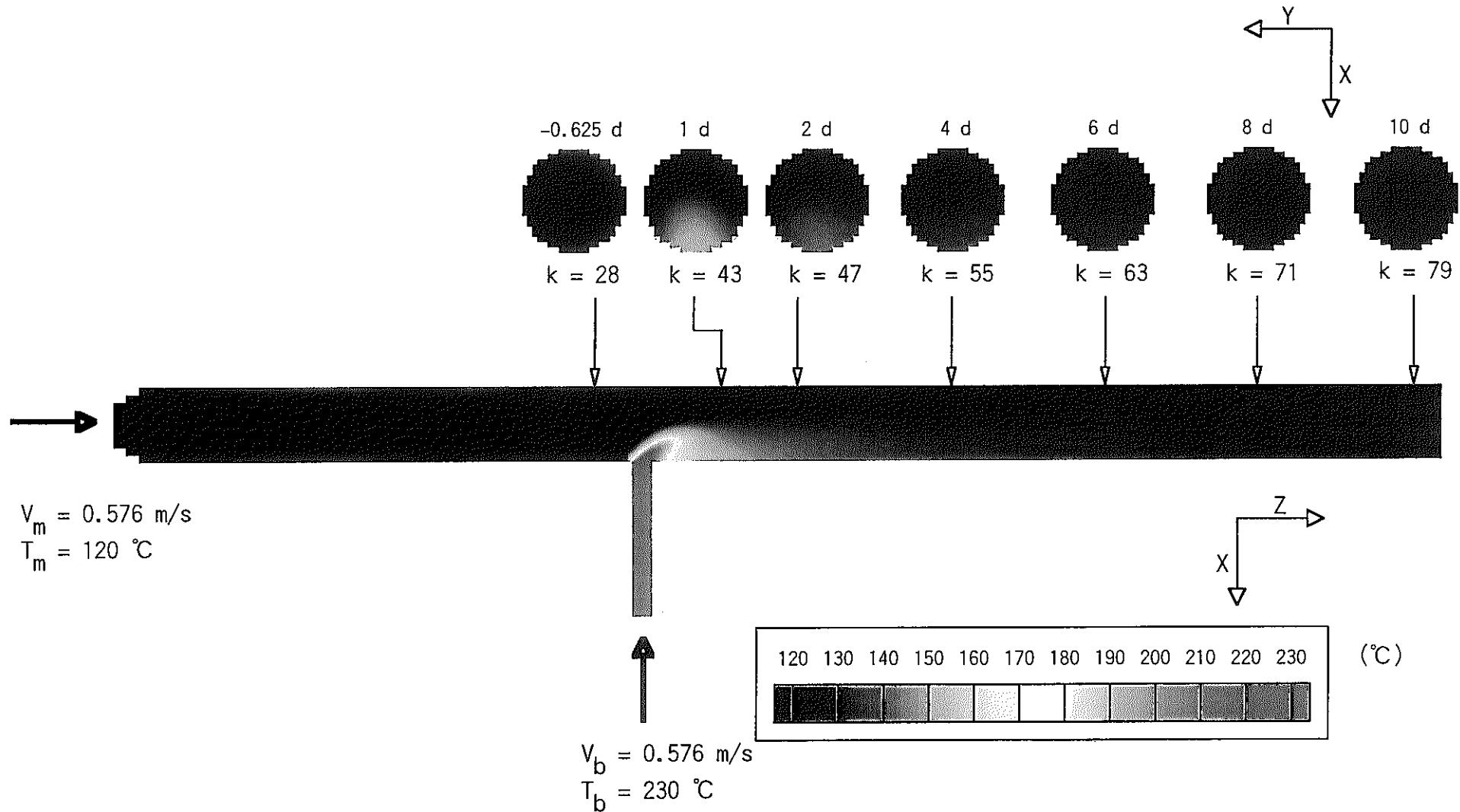


図 3.50 時間平均ナトリウム温度分布 (Case γ-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

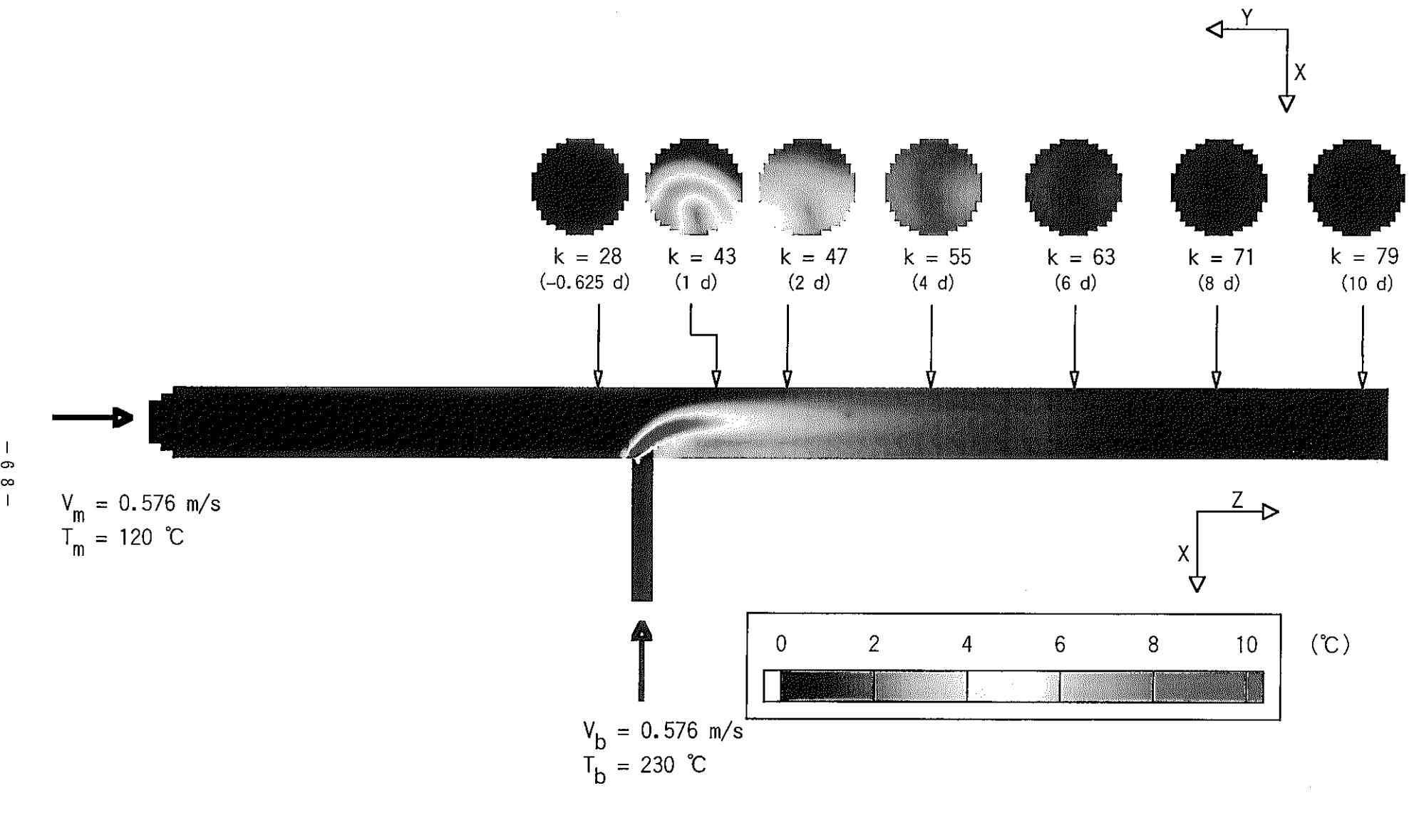


図 3.51 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

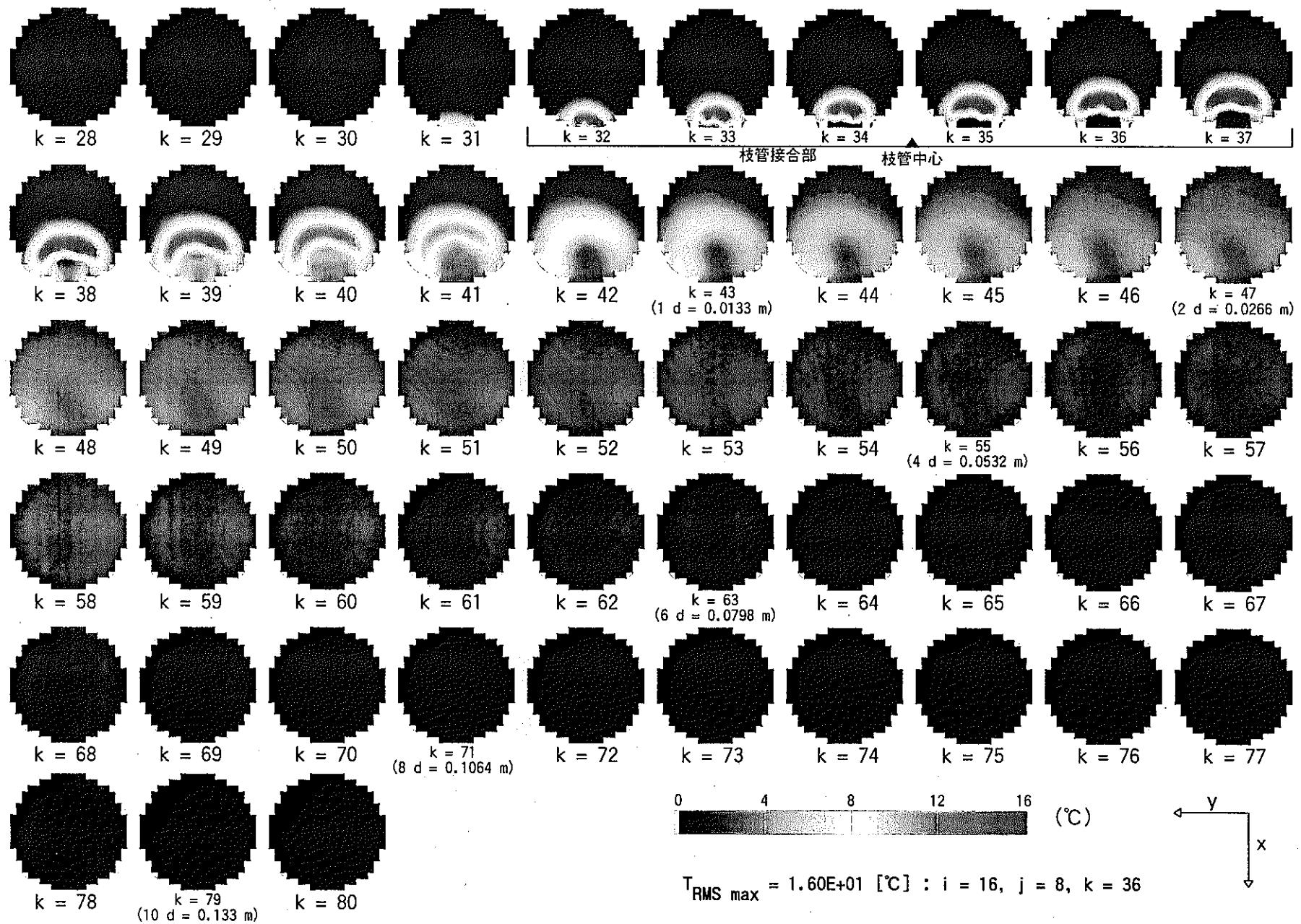


図 3.52 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

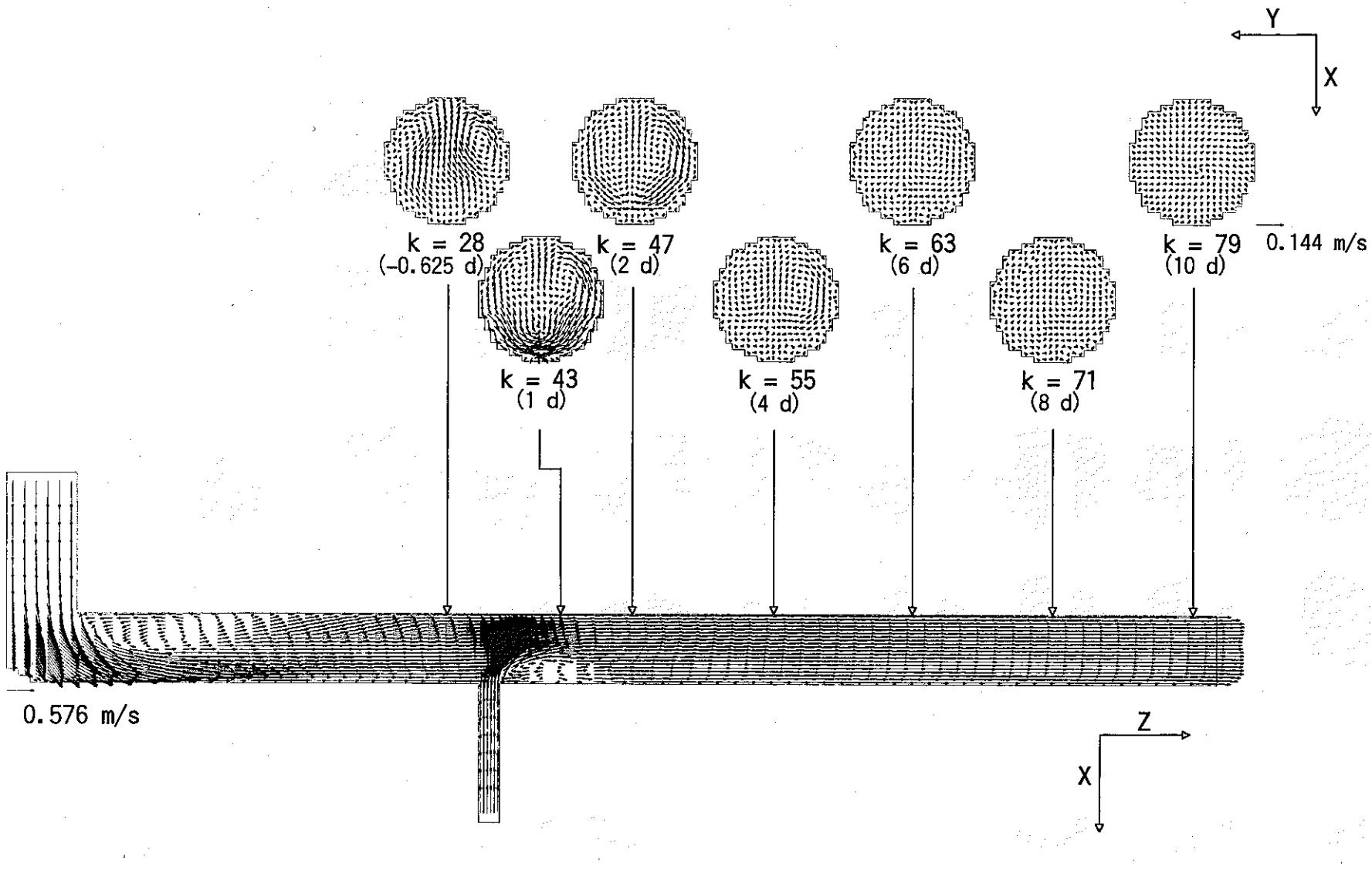


図 3.53 時間平均流速ベクトル分布 (Case $\gamma-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

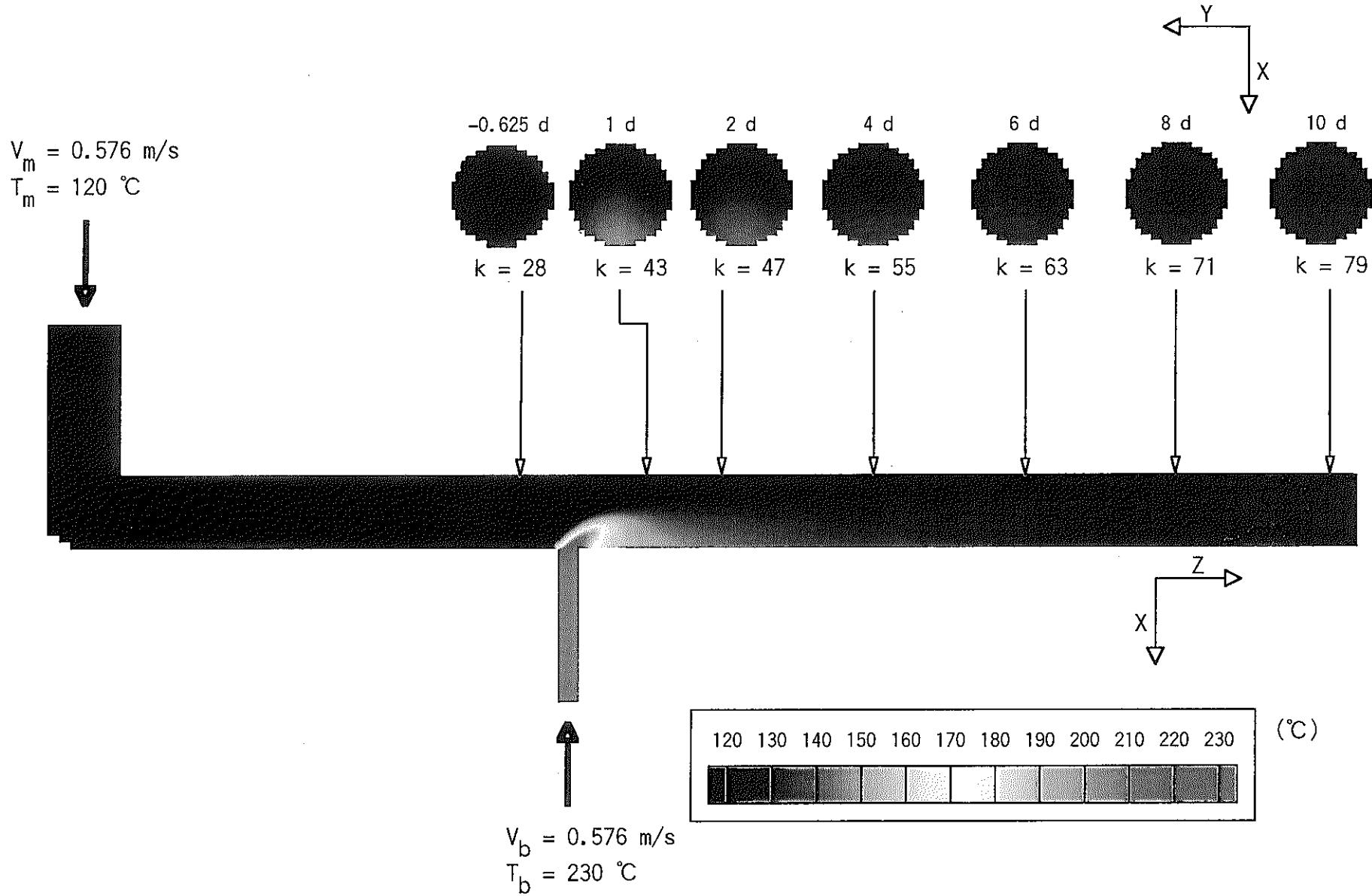


図 3.54 時間平均ナトリウム温度分布 (Case γ-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

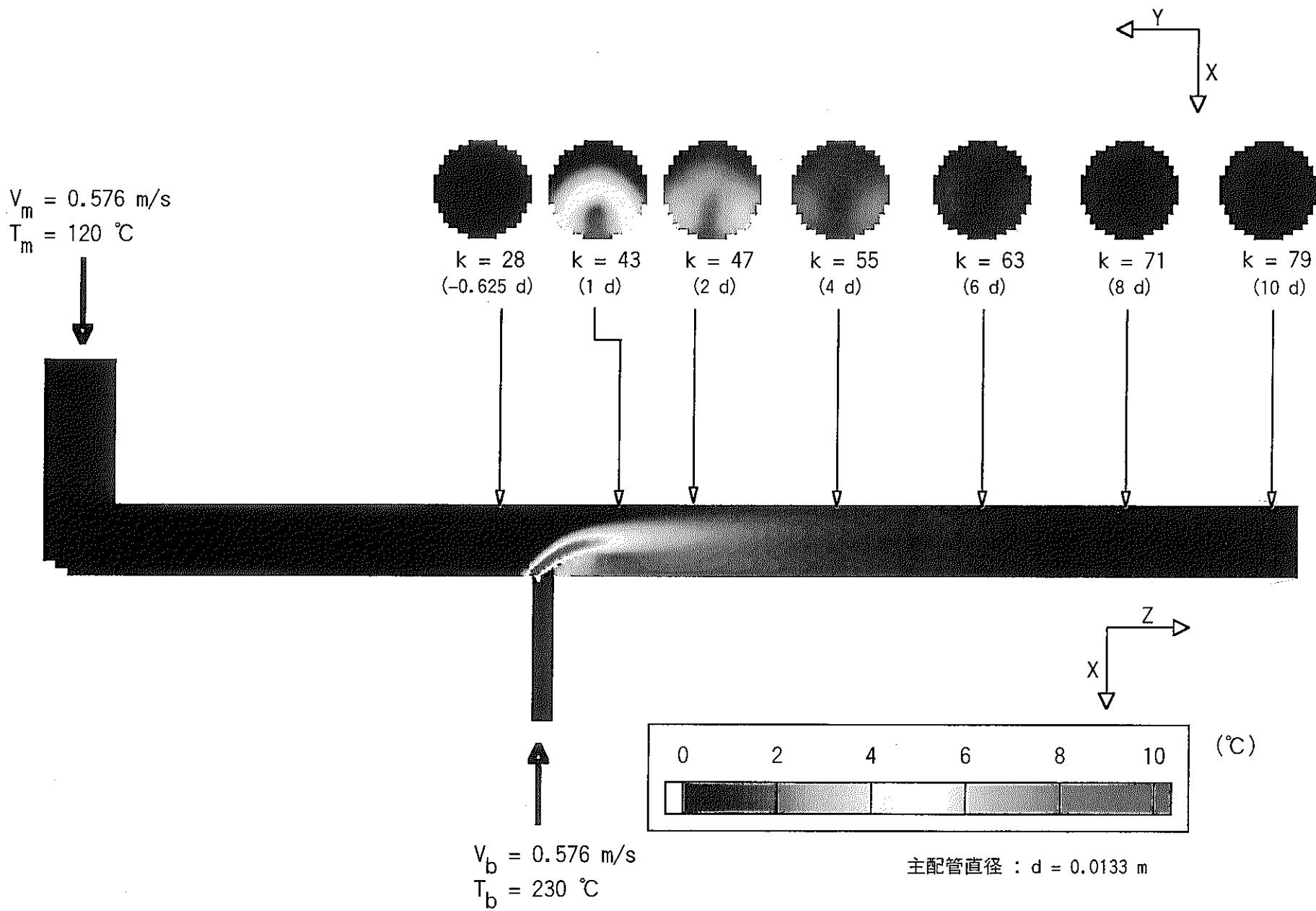


図 3.55 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case γ-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

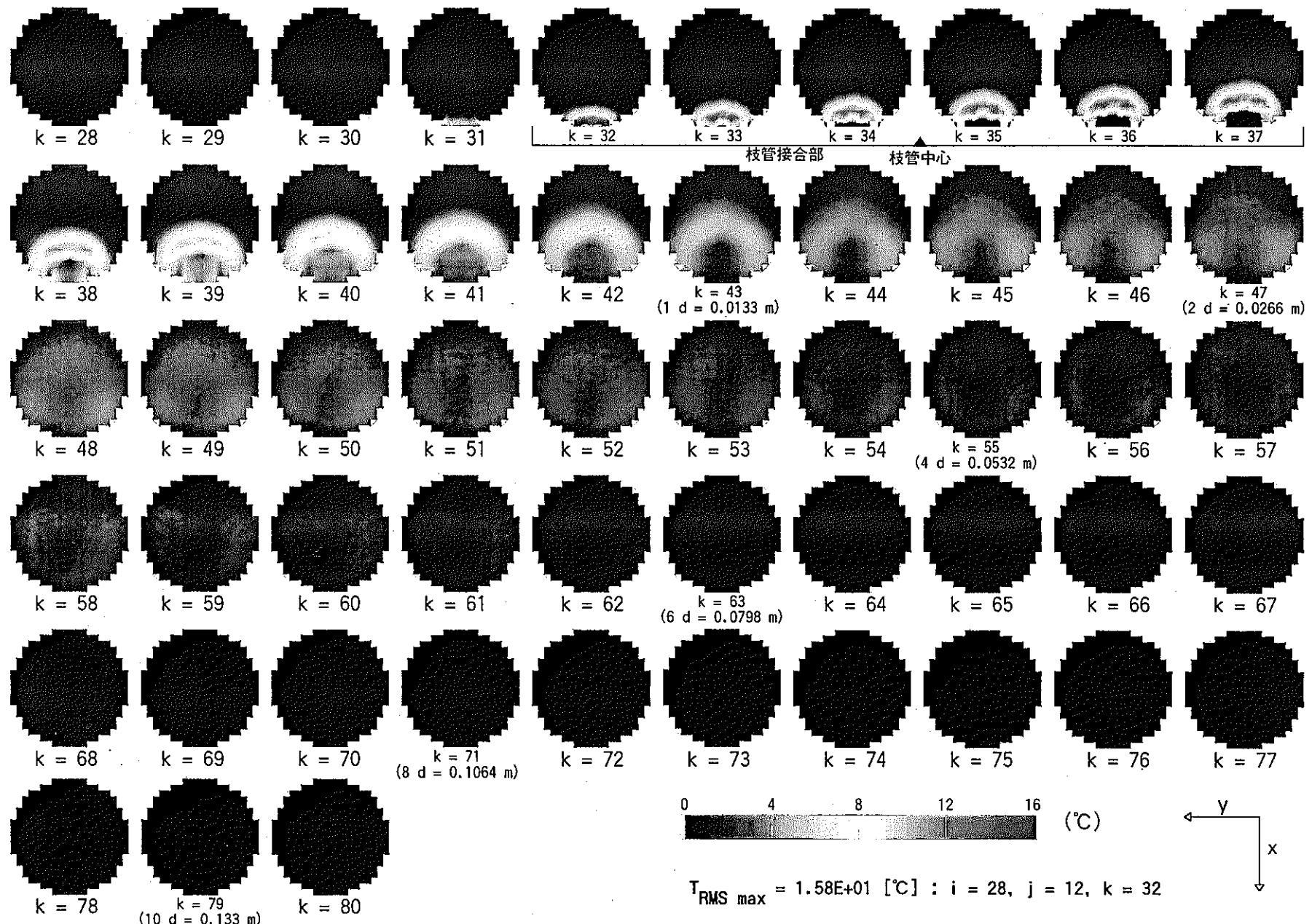


図 3.56 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case γ -2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $\text{Re}_m = 11,252$)

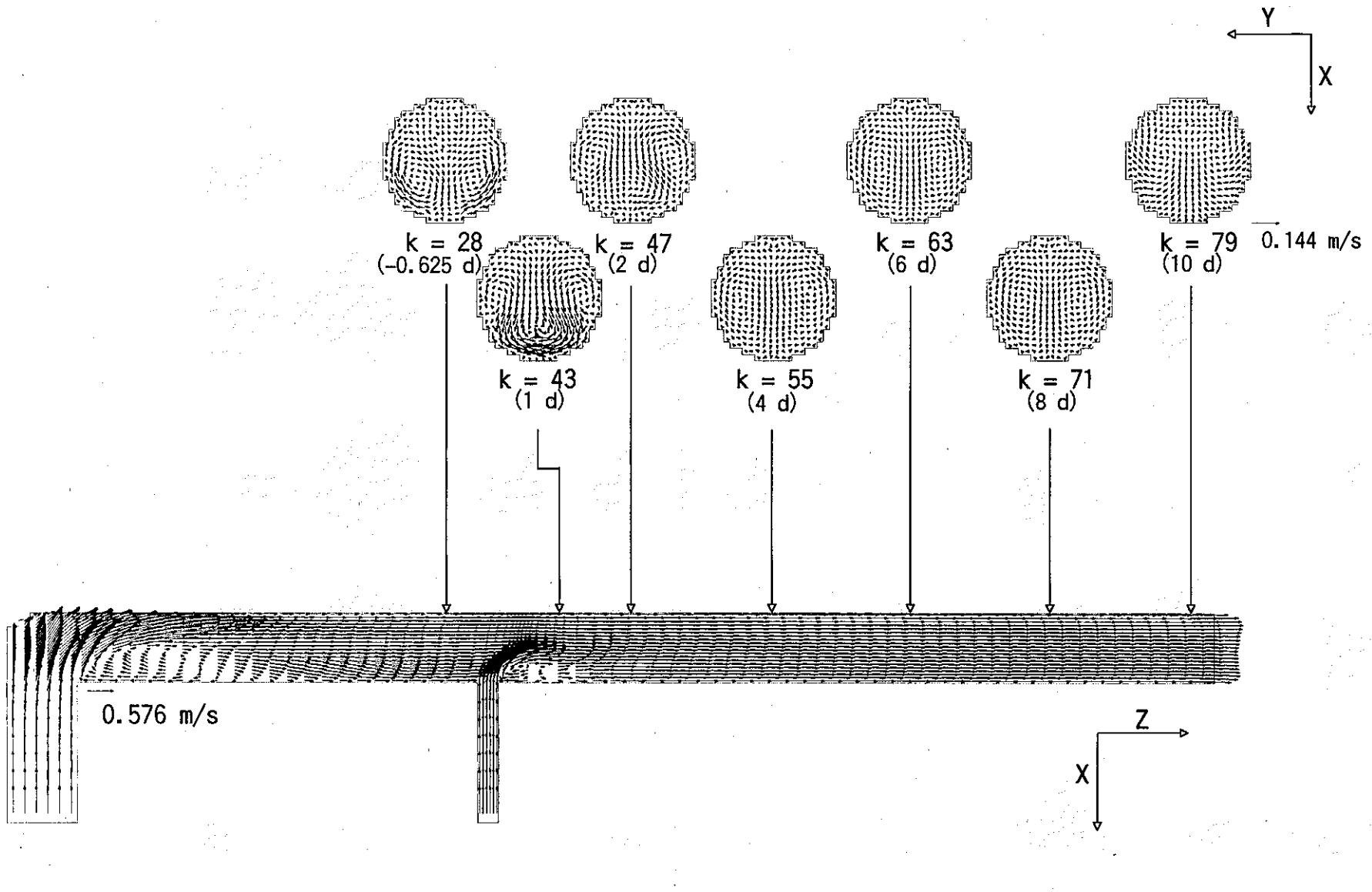


図 3.57 時間平均流速ベクトル分布 (Case γ -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

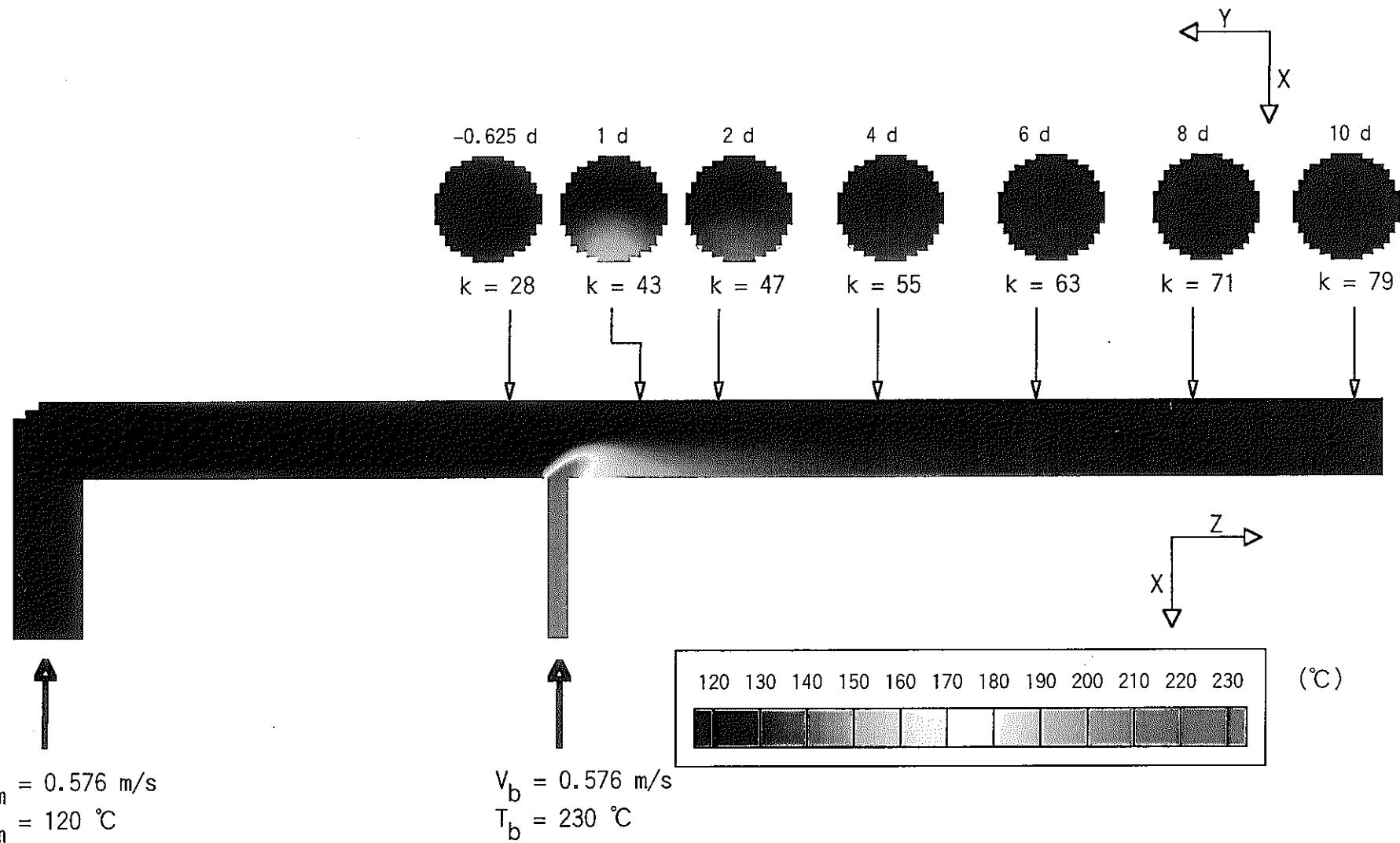


図 3.58 時間平均ナトリウム温度分布 (Case $\gamma-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

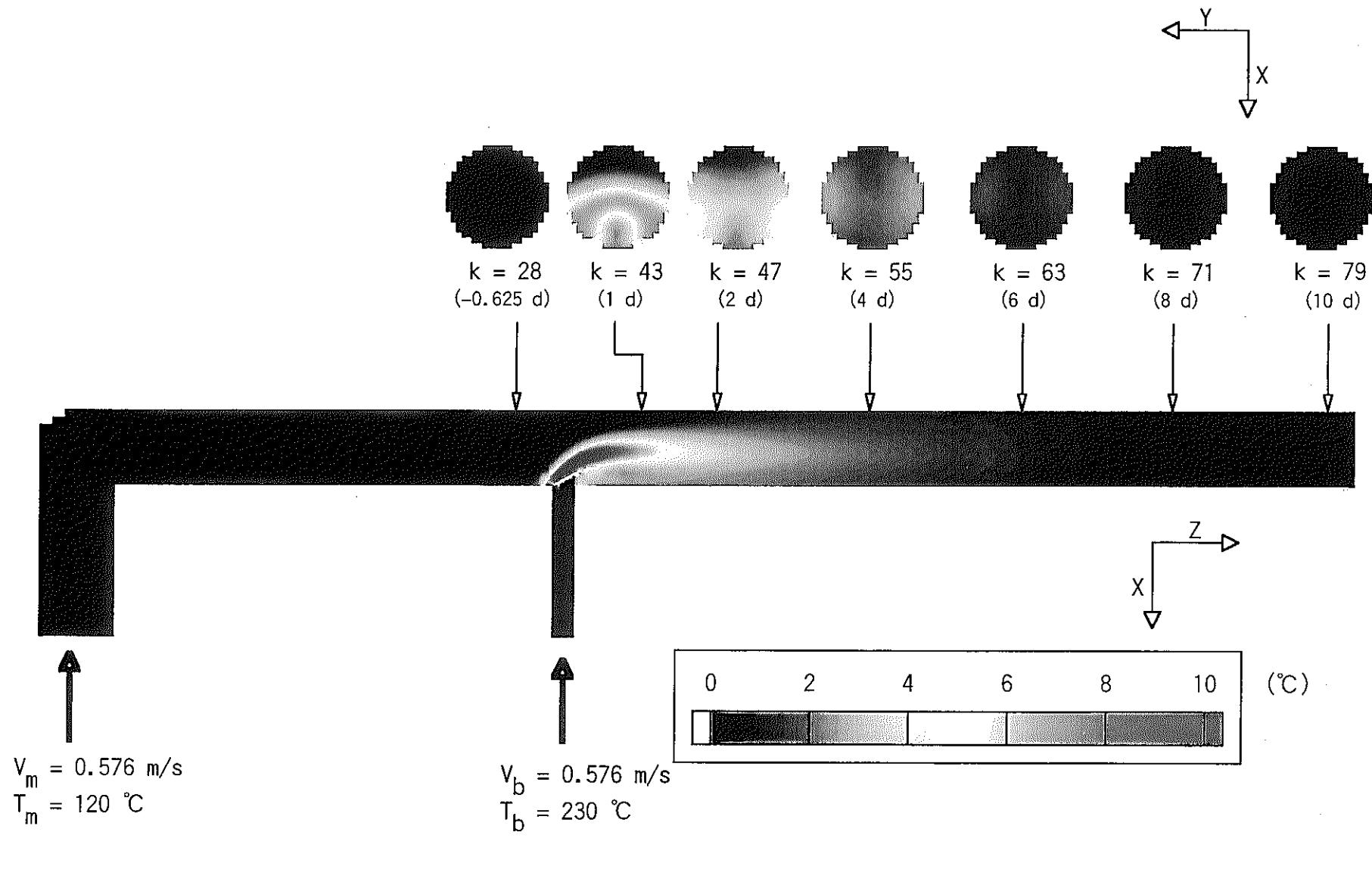


図 3.59 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case γ -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

- 77 -

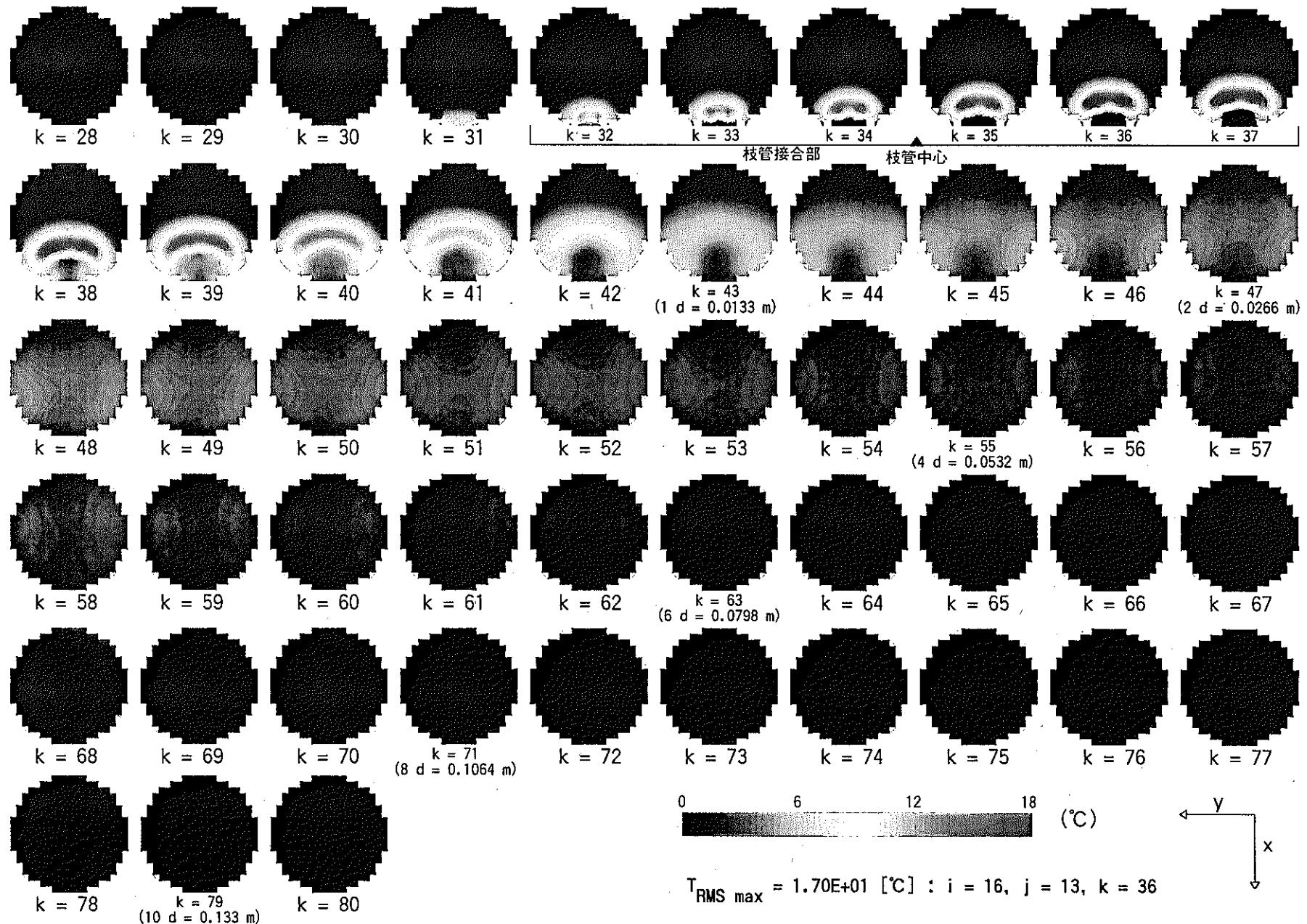


図 3.60 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case $\gamma-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^{\circ}$, $\text{Re}_m = 11,252$)

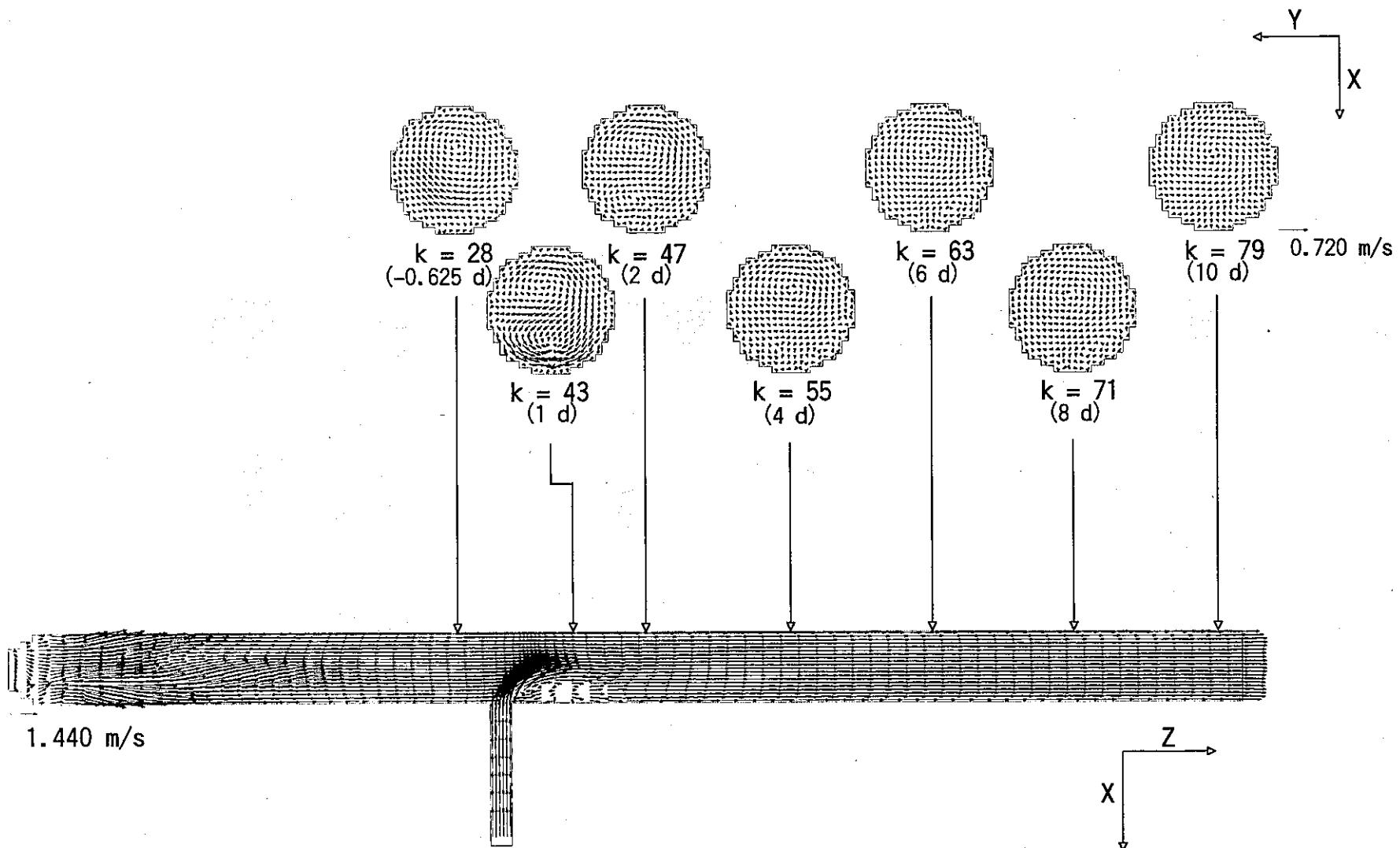


図 3.61 時間平均流速ベクトル分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

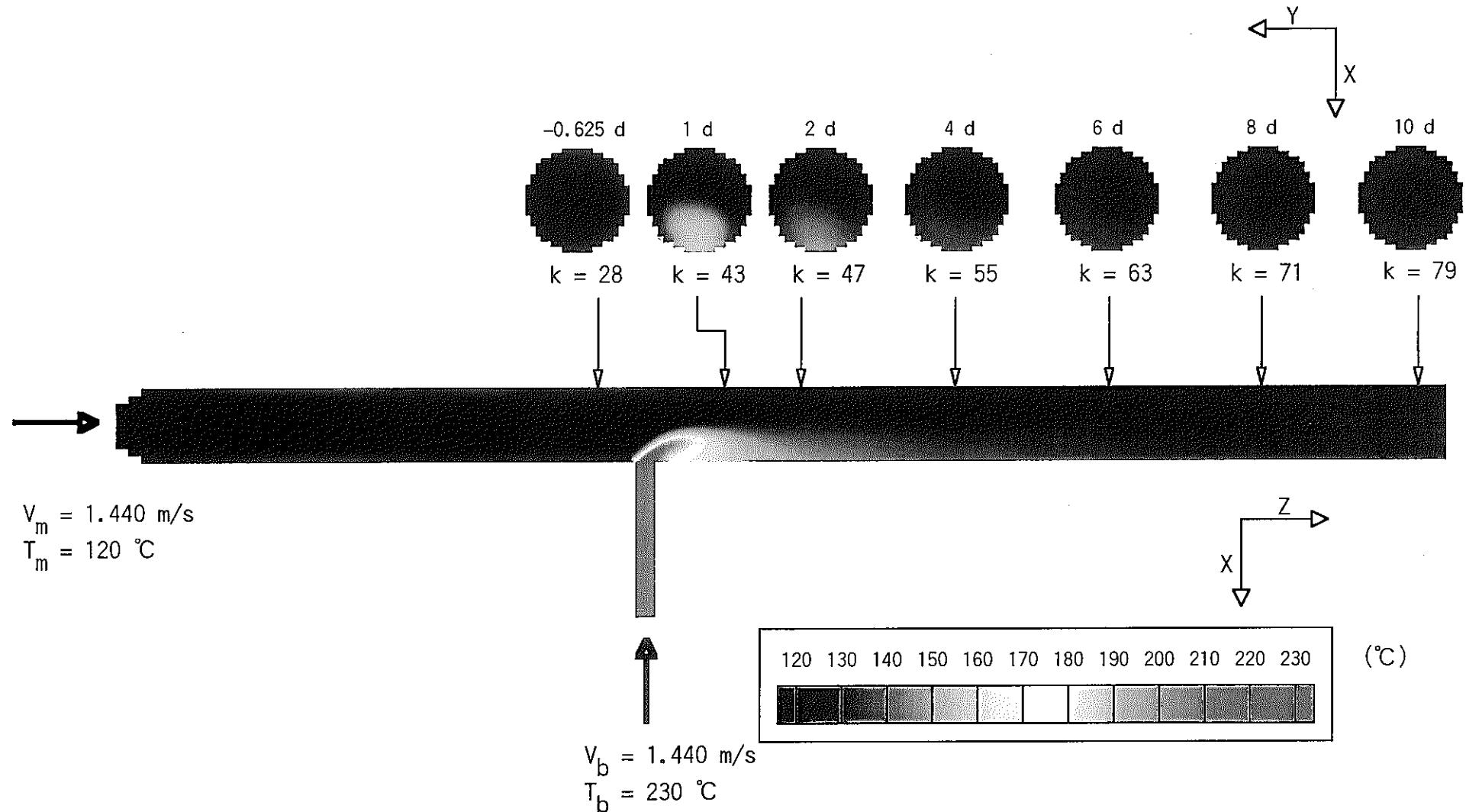


図 3.62 時間平均ナトリウム温度分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 28,130$)

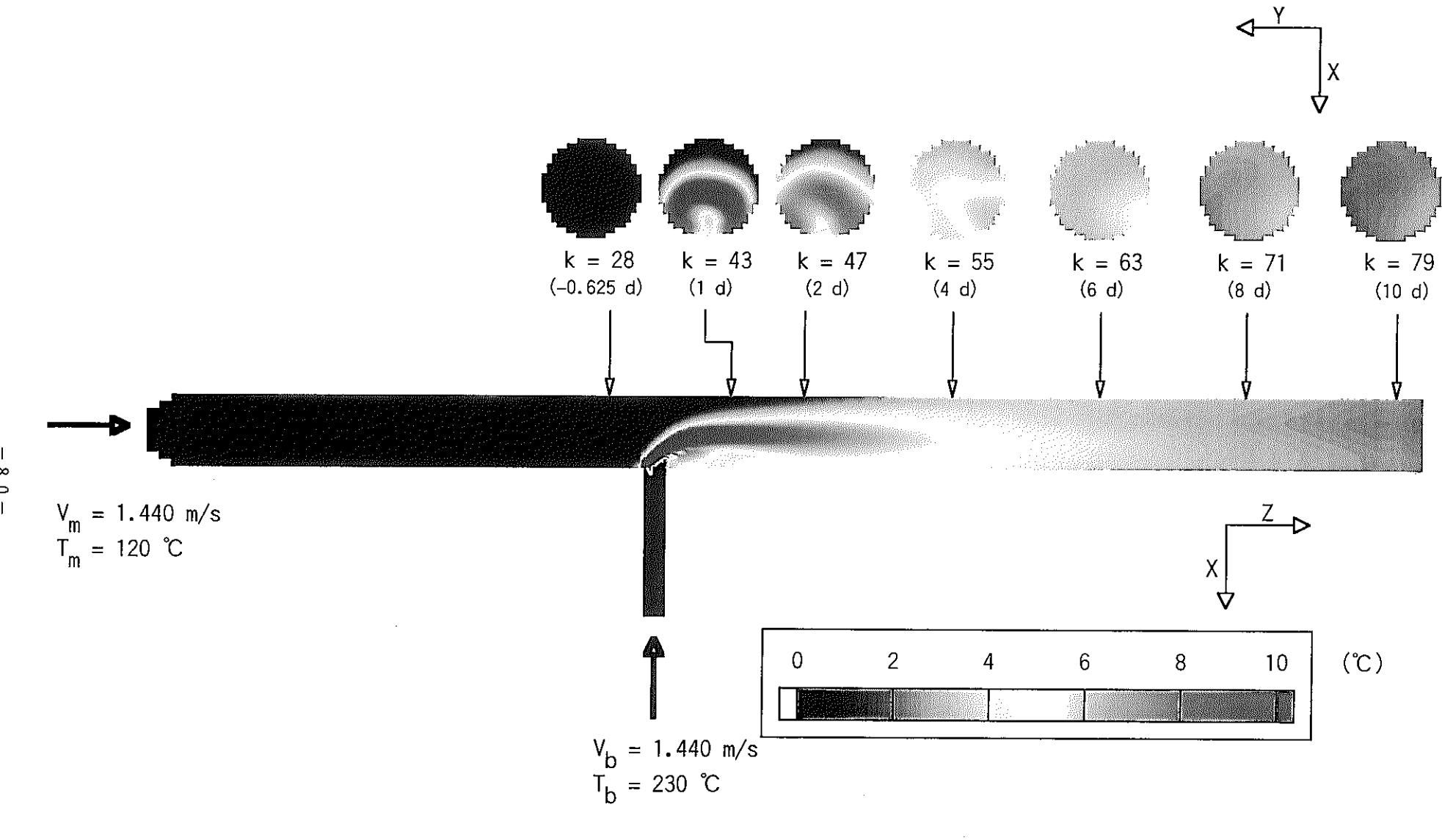


図 3.63 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

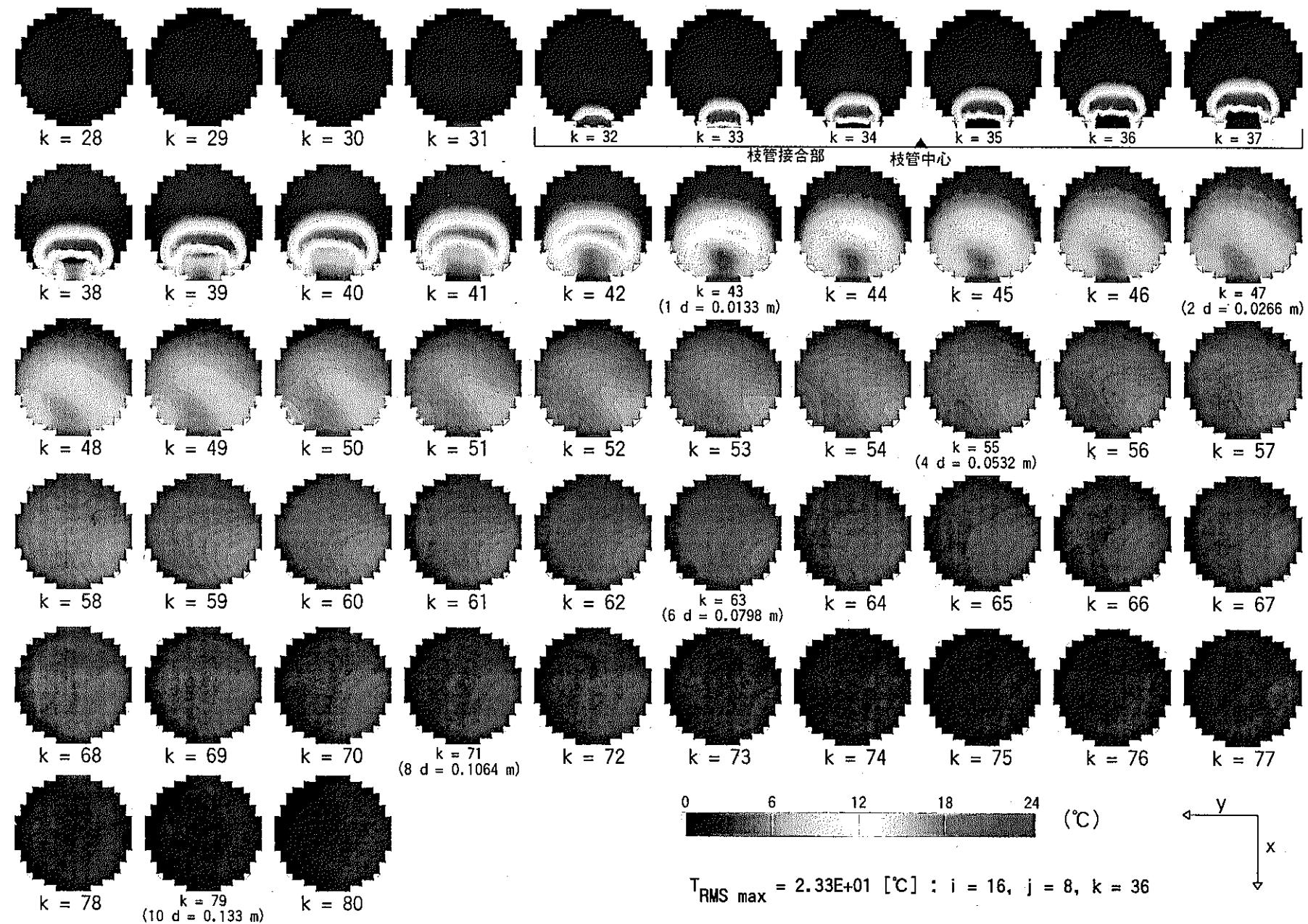


図 3.64 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

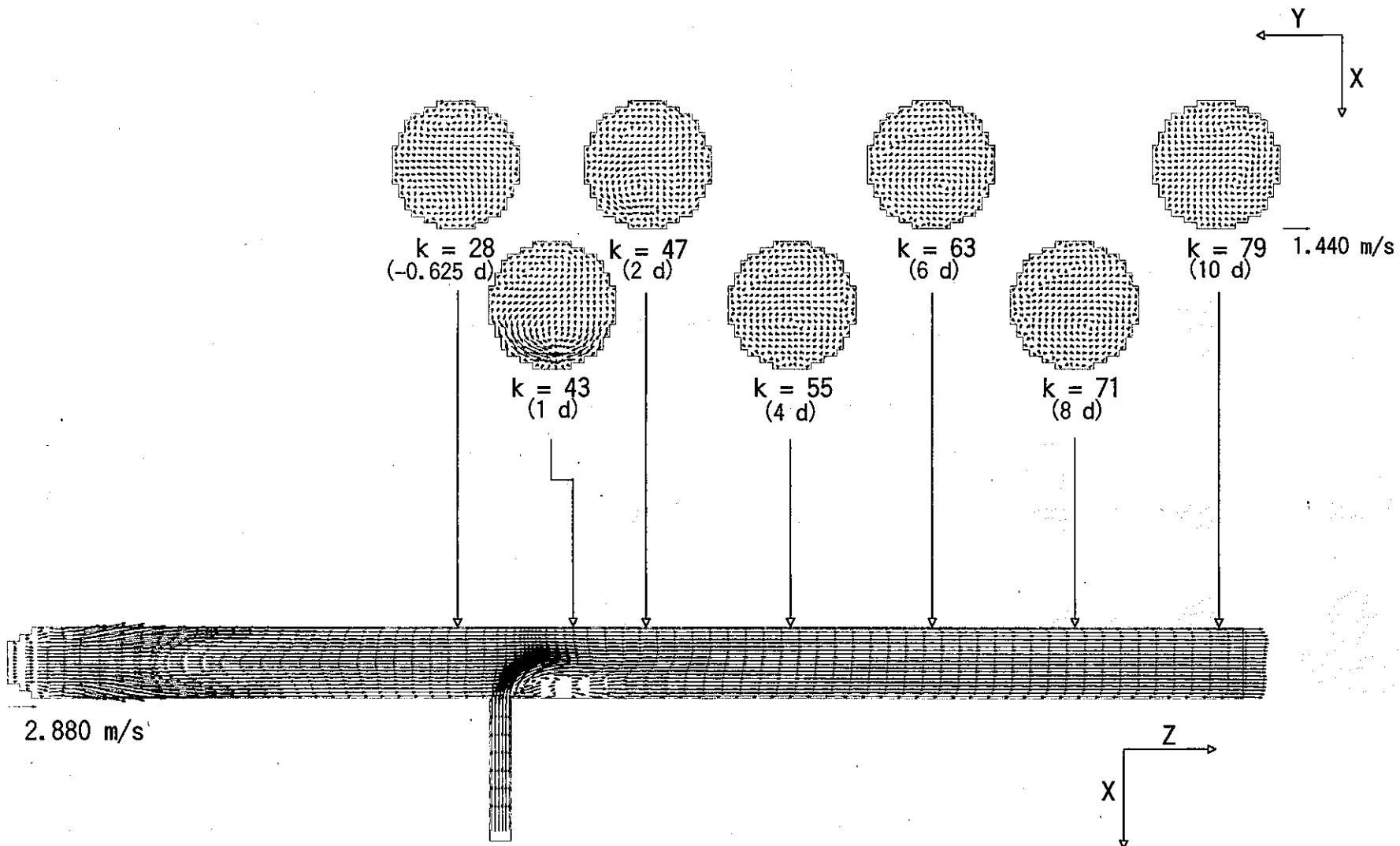


図 3.65 時間平均流速ベクトル分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

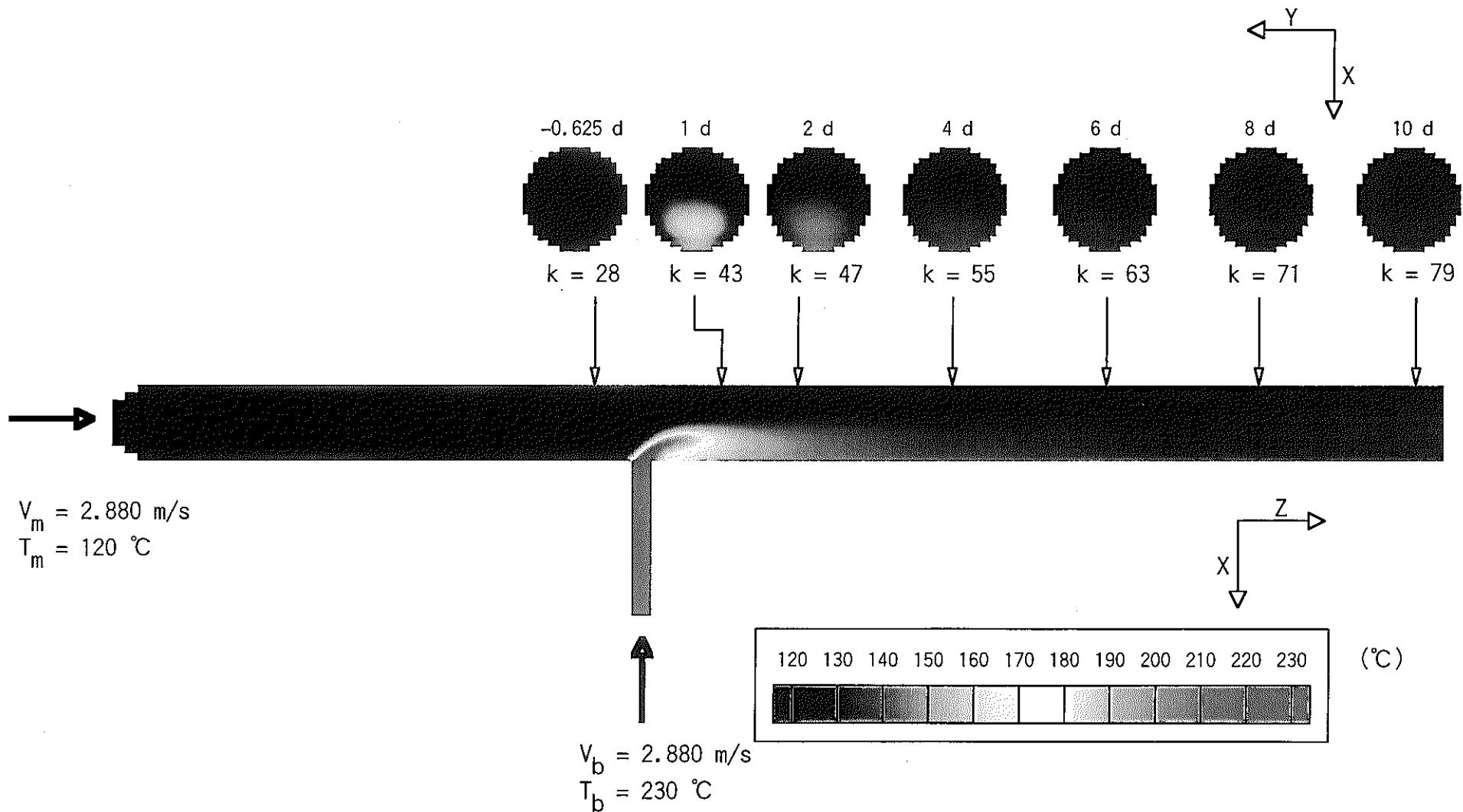


図 3.66 時間平均ナトリウム温度分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

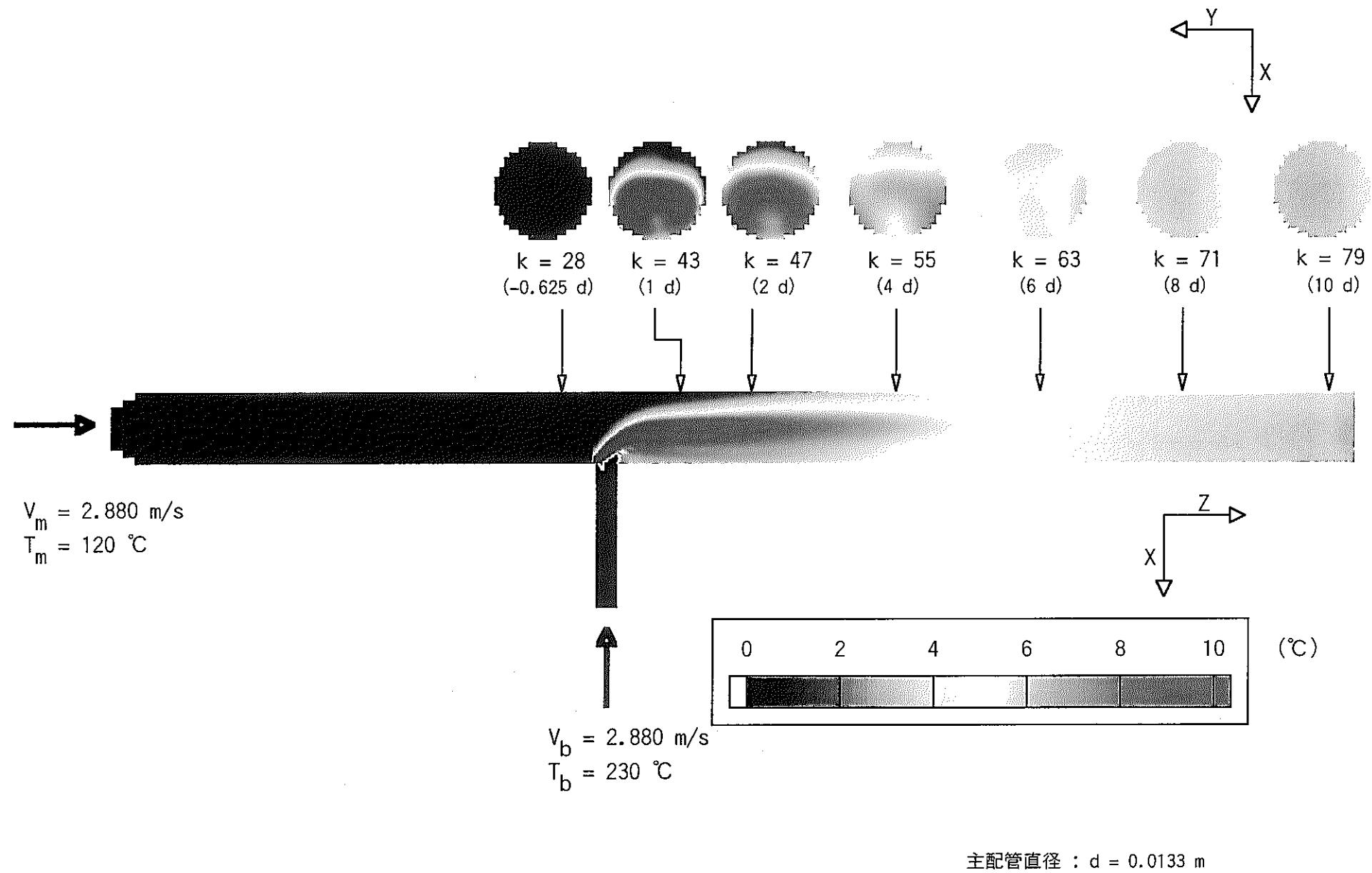


図 3.67 時間平均ナトリウム温度ゆらぎ分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

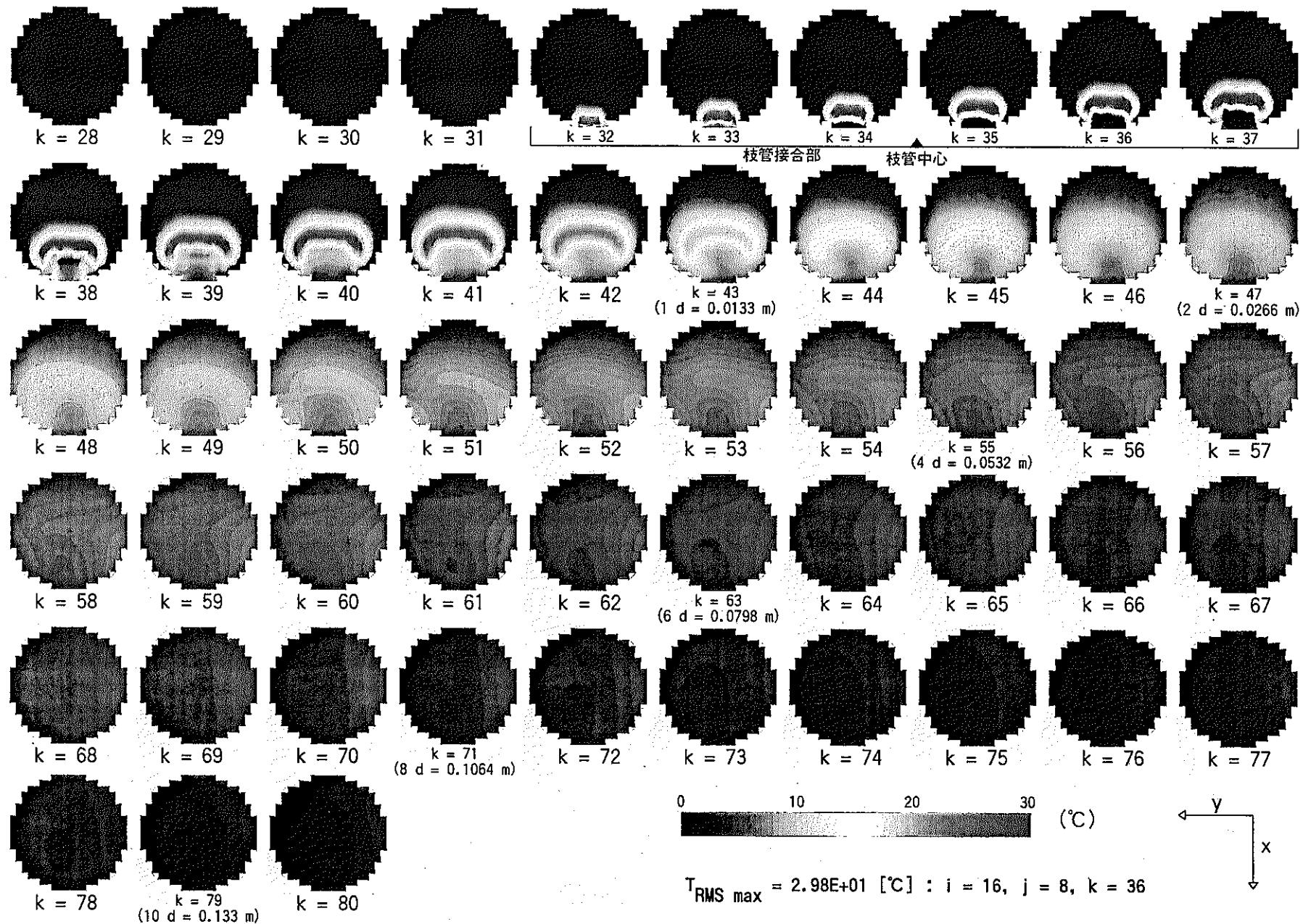


図 3.68 時間平均温度ゆらぎ分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

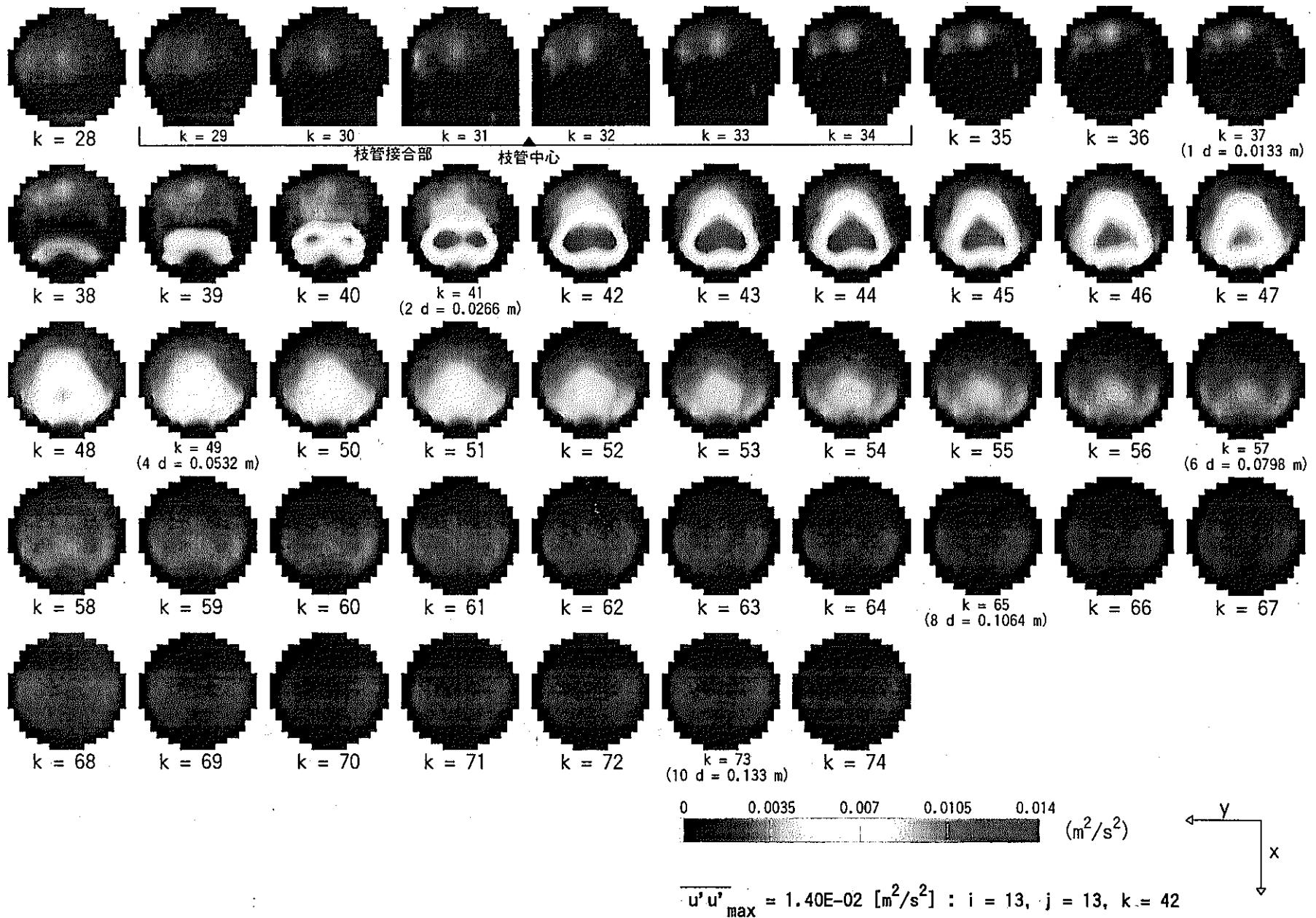


図 4.1 Re 応力 $\overline{u'u'}$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

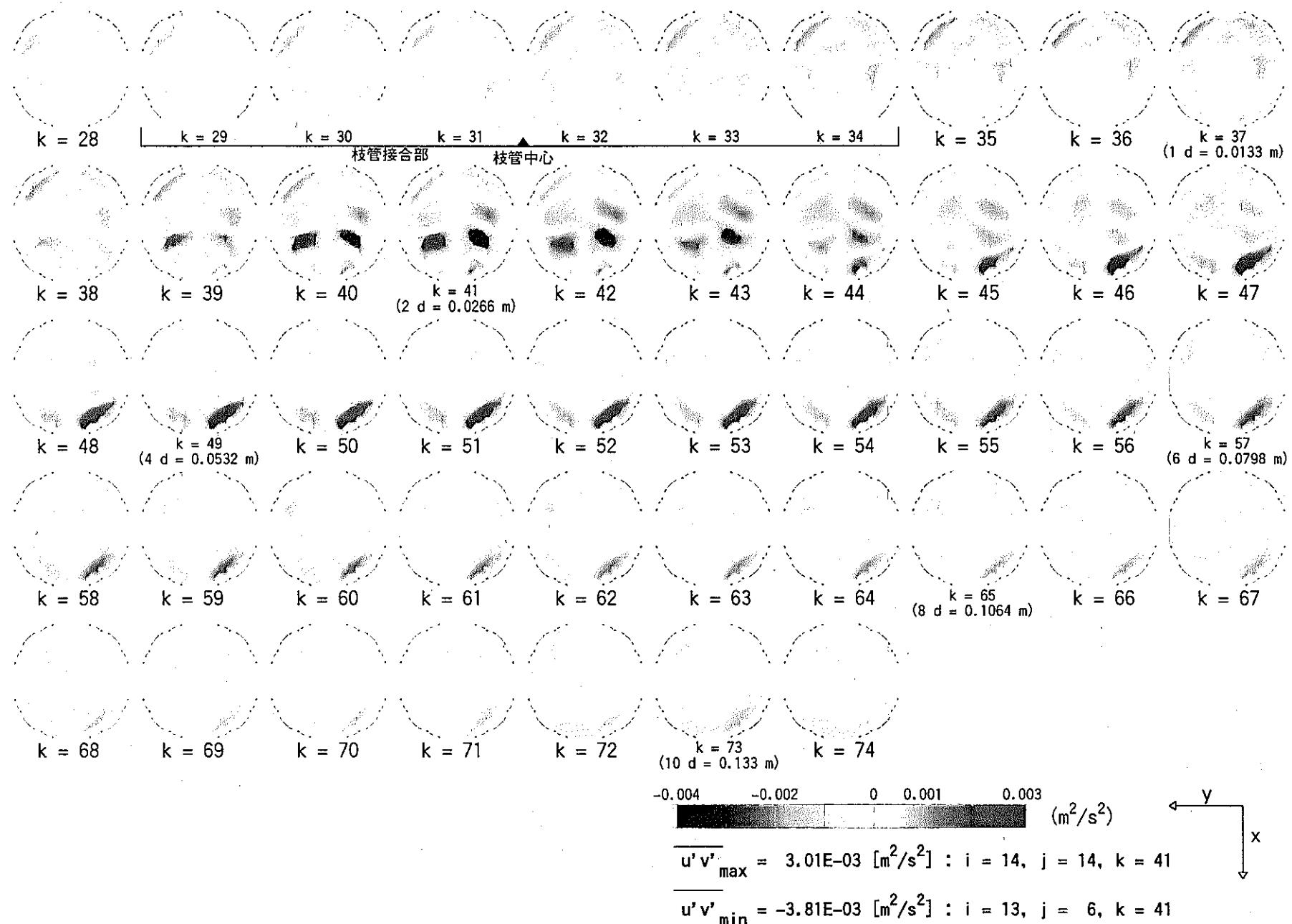


図 4.2 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

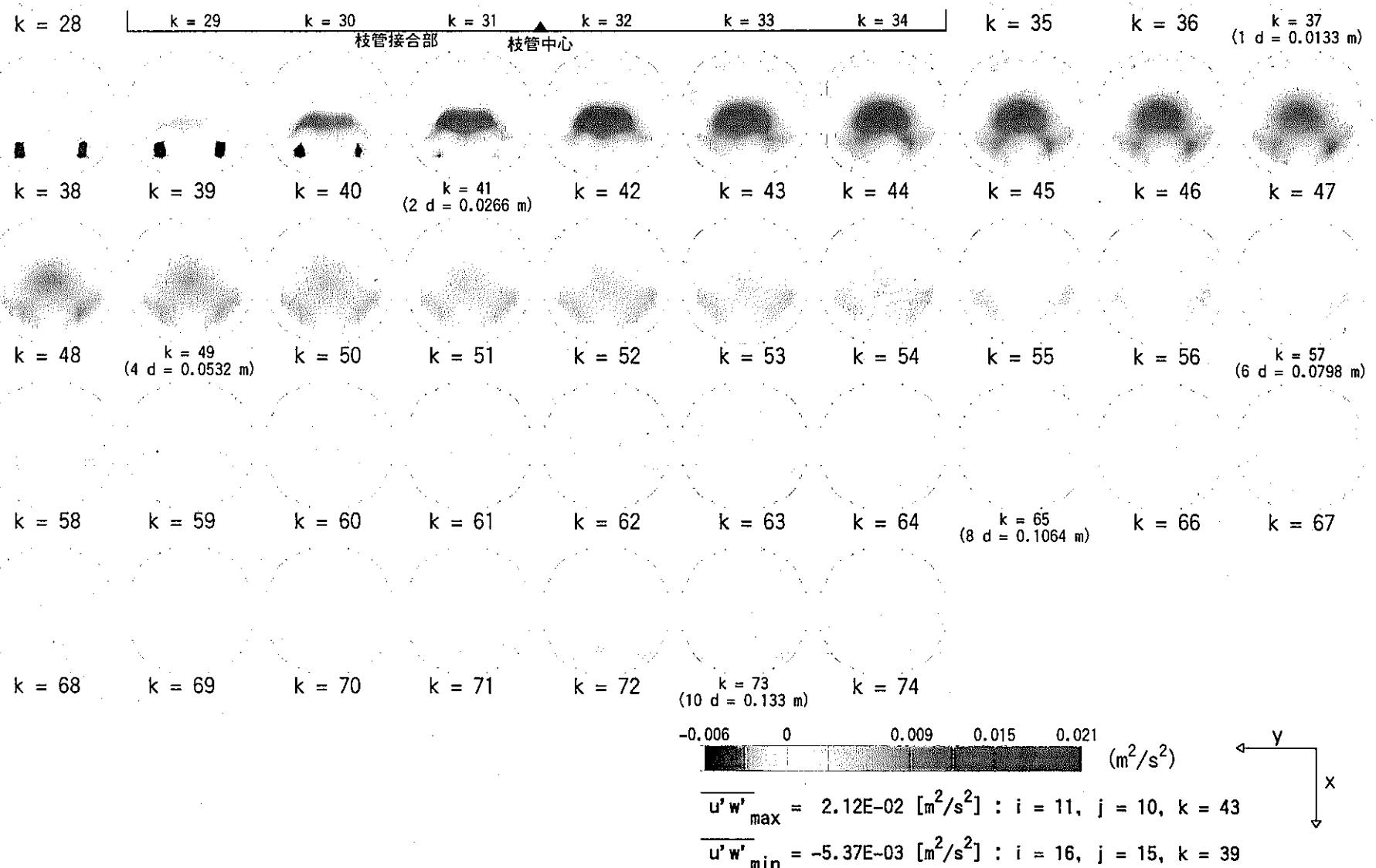


図 4.3 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 8 -

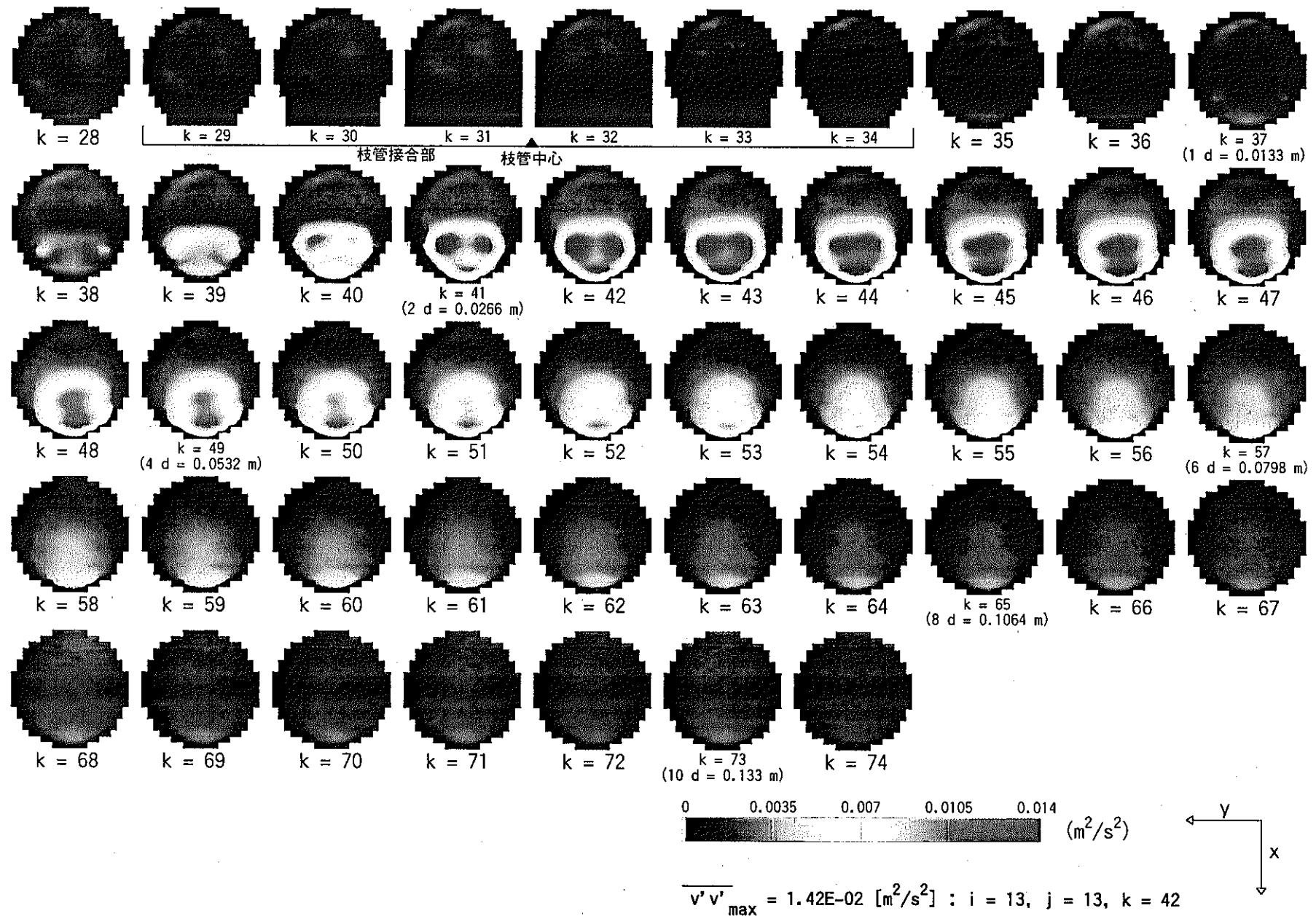


図 4.4 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

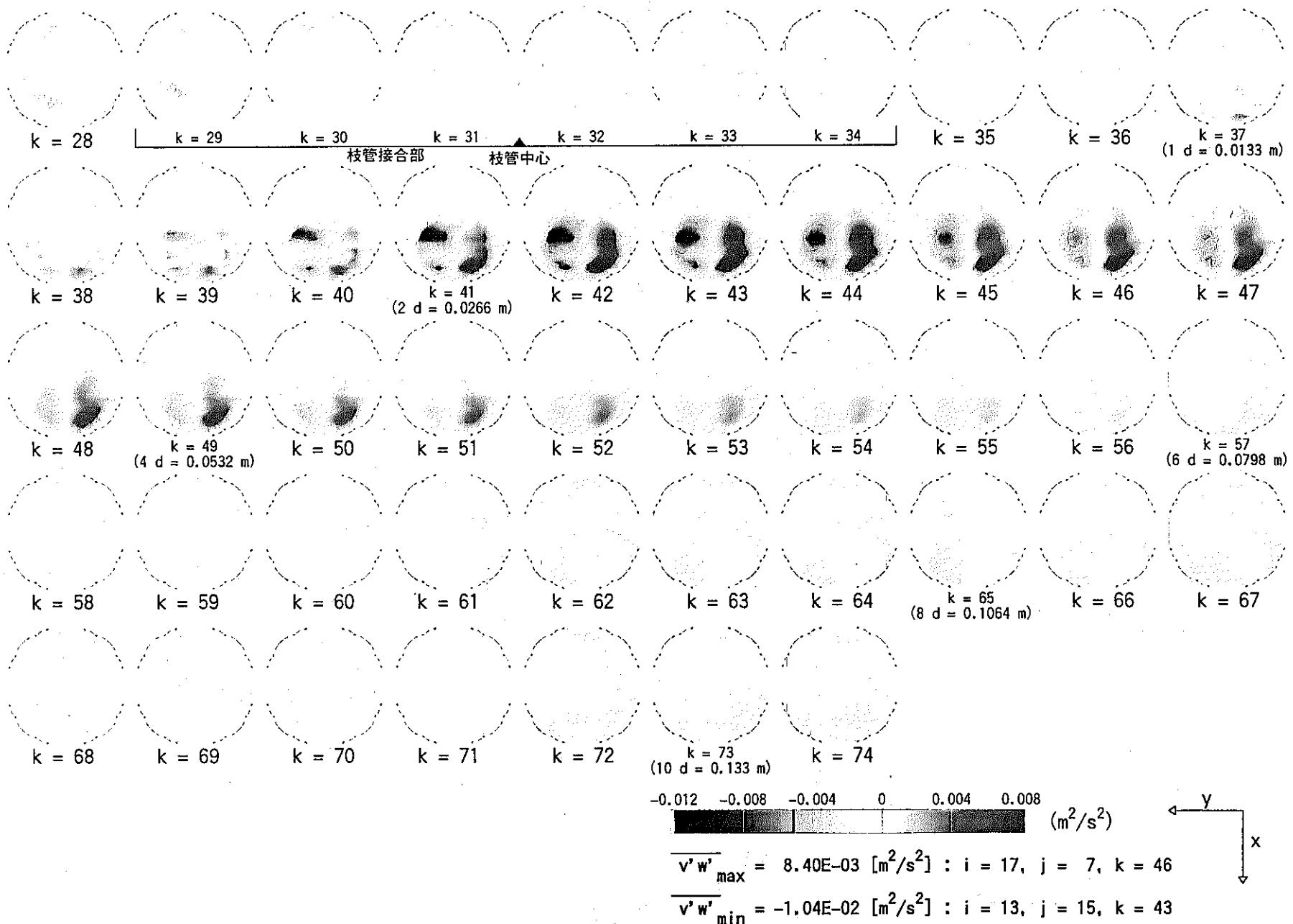


図 4.5 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

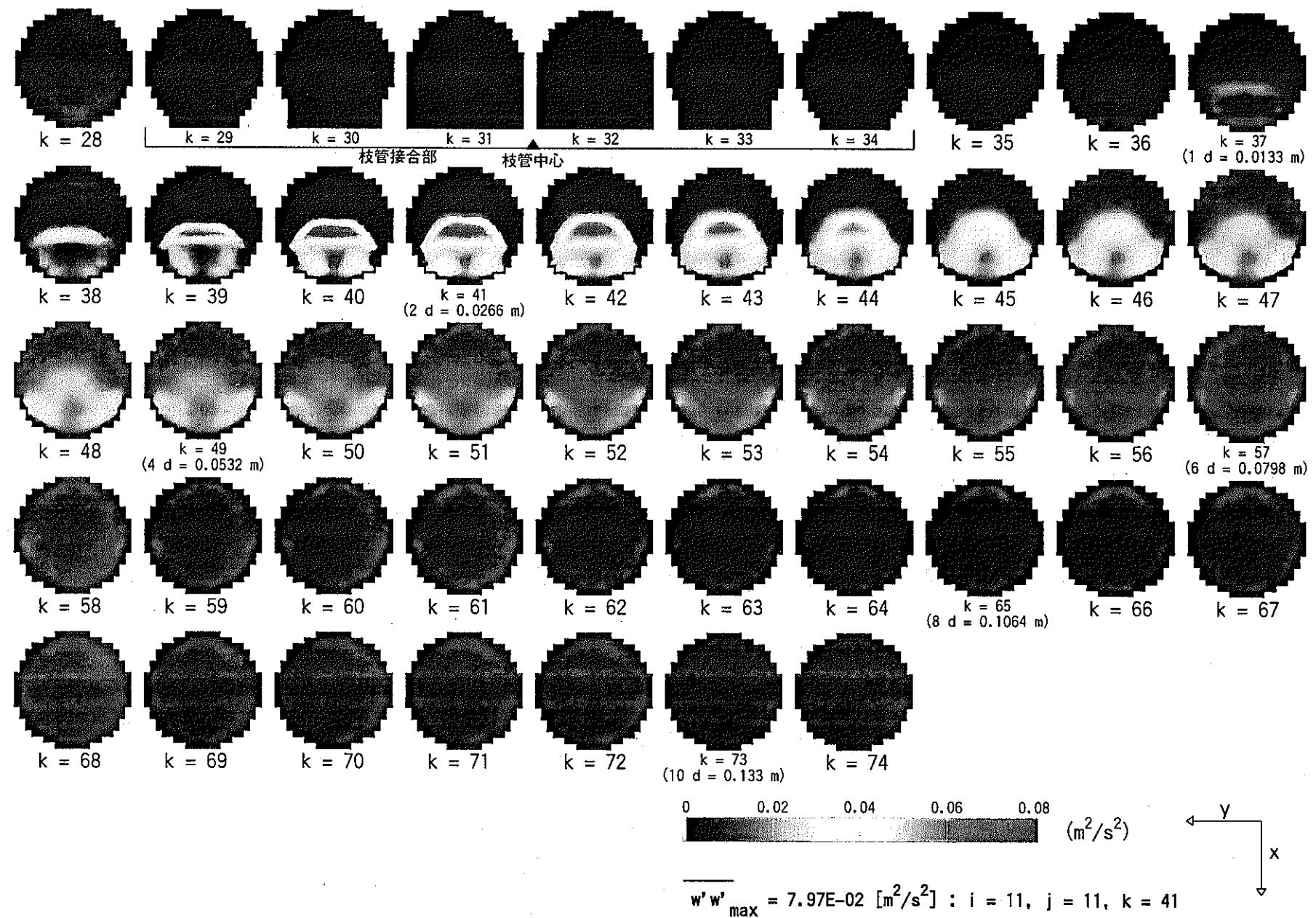


図 4.6 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

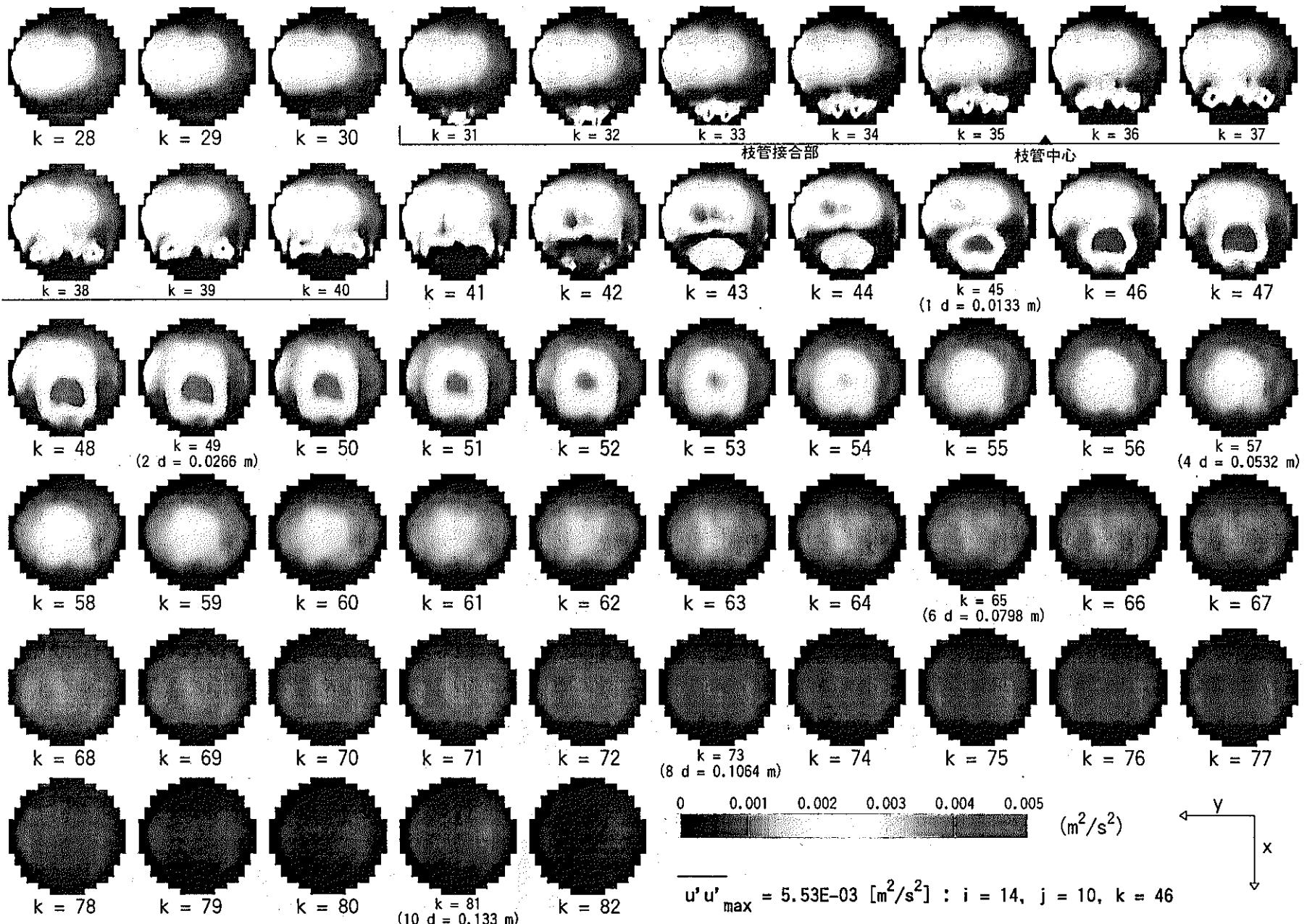


図 4.7 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case $\alpha-2$: $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 6 -

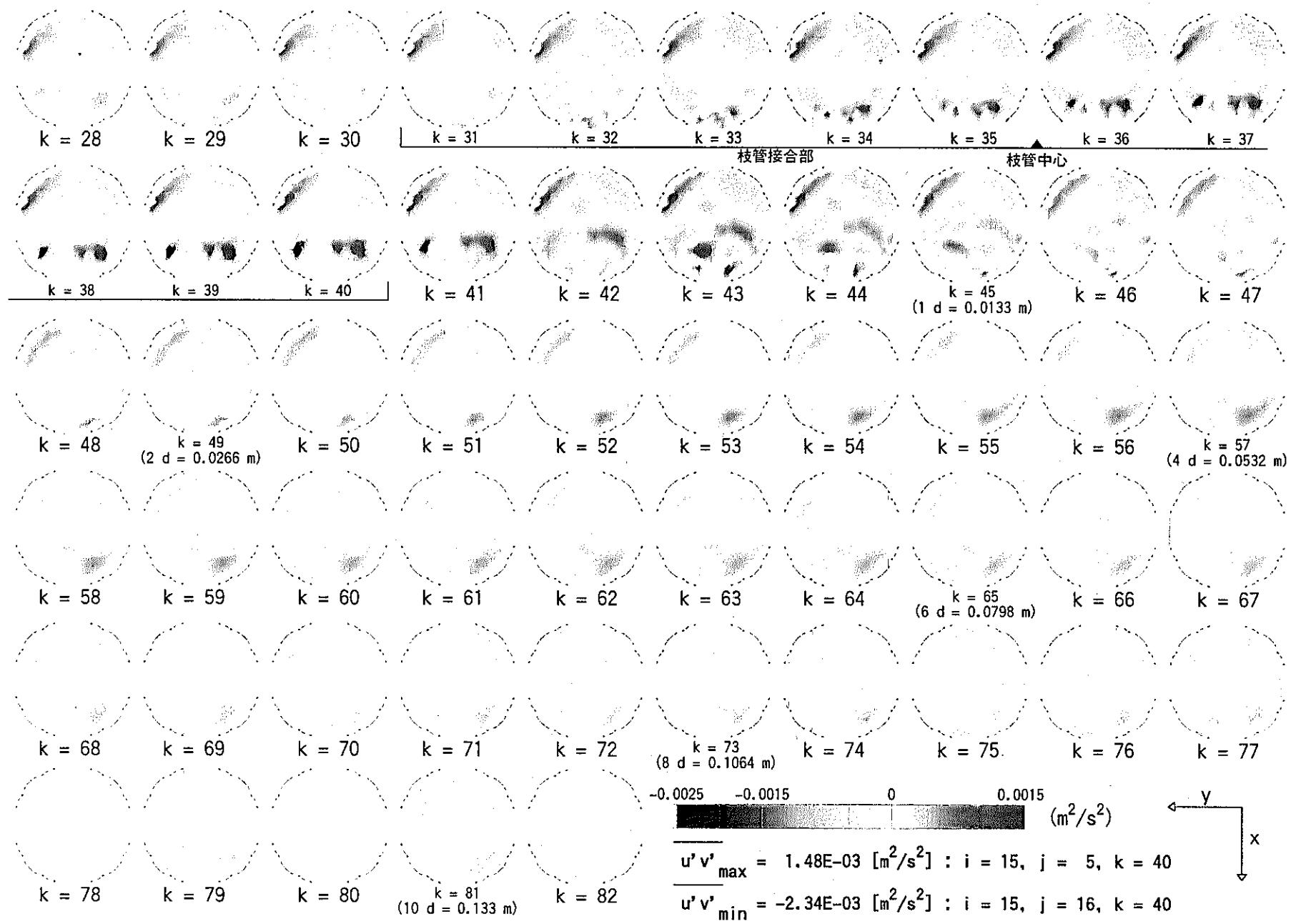


図 4.8 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

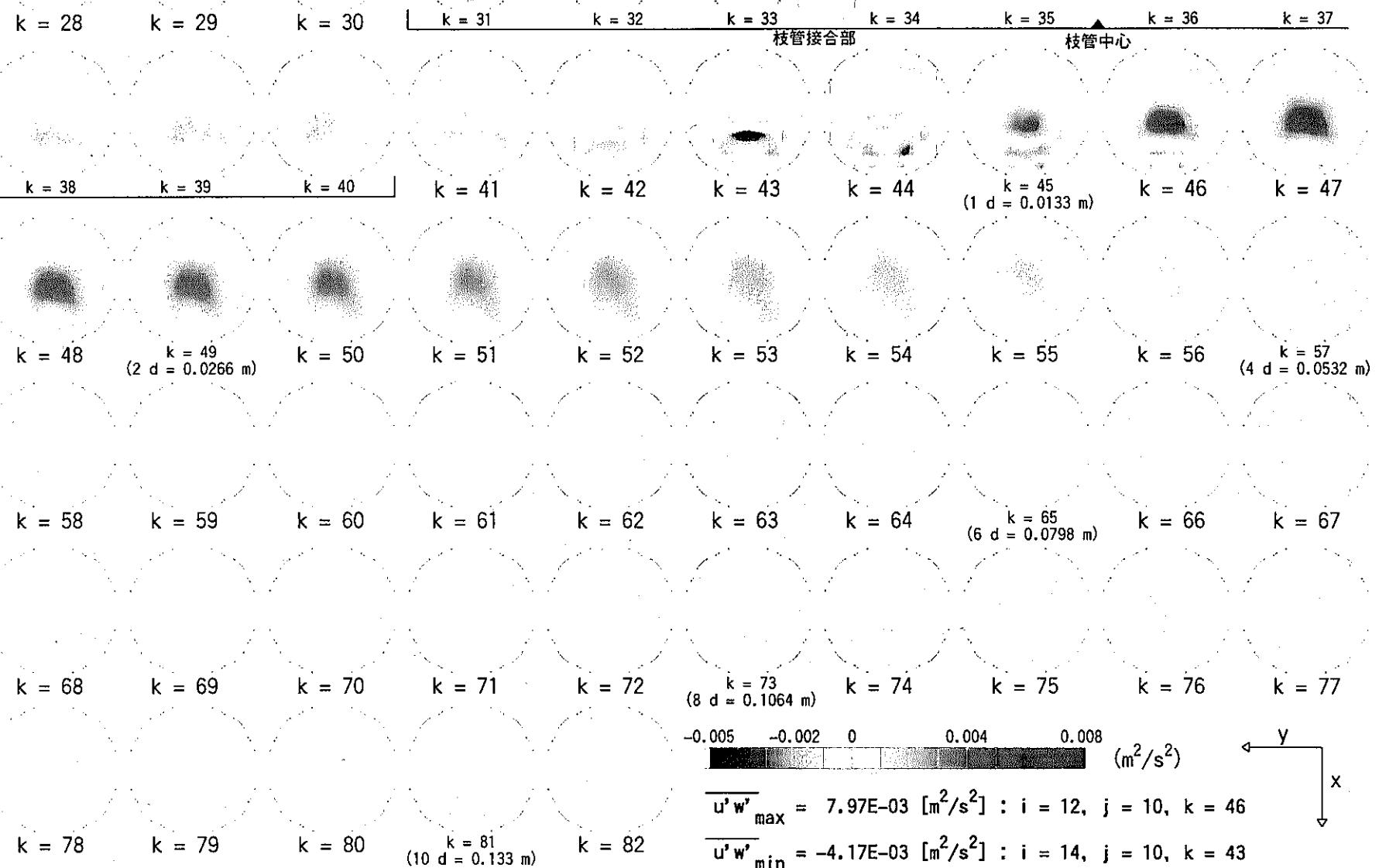


図 4.9 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case $\alpha-2$: $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

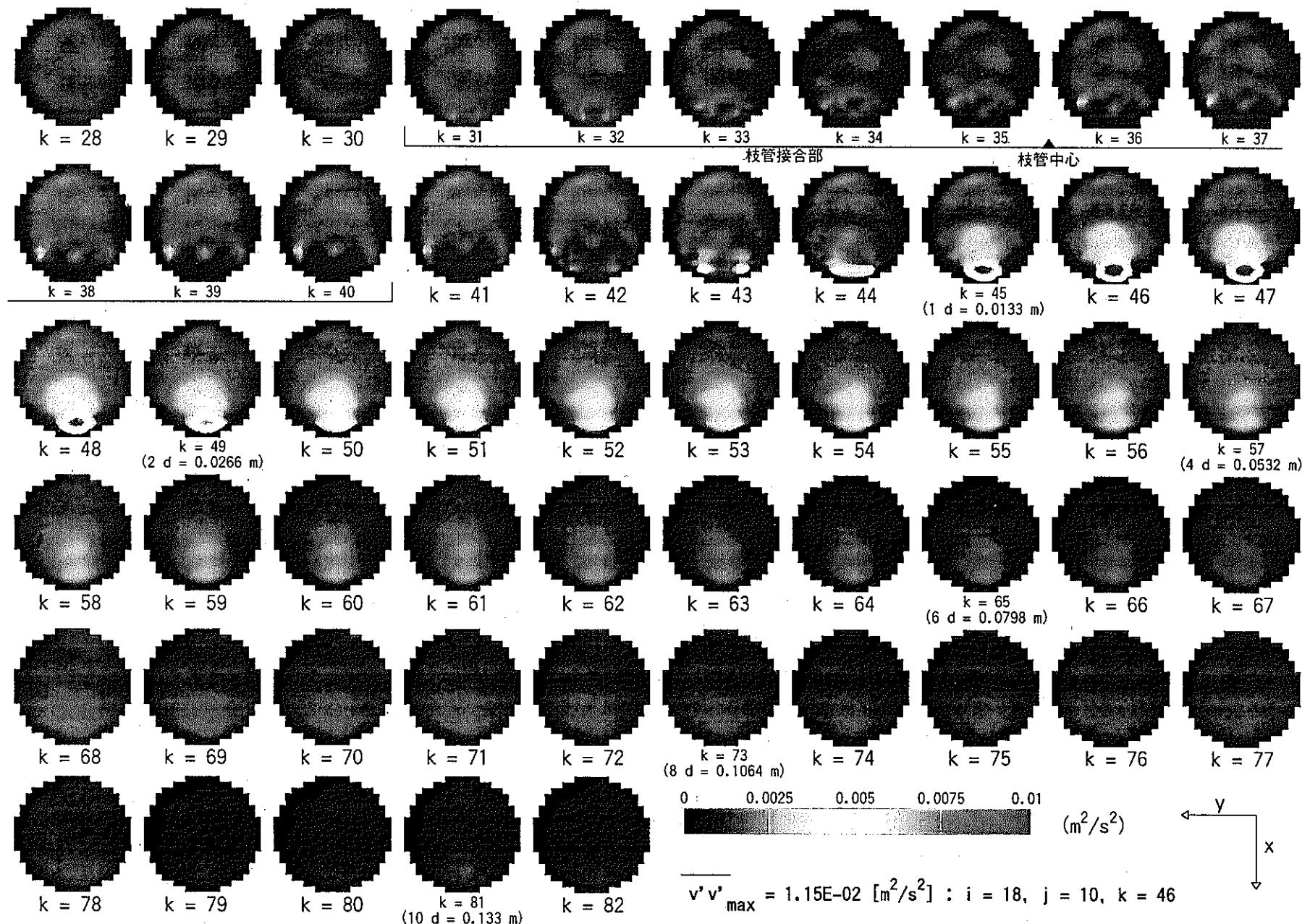


図 4.10 Re 応力 $v'v'$ 分布 (Case $\alpha-2$: $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

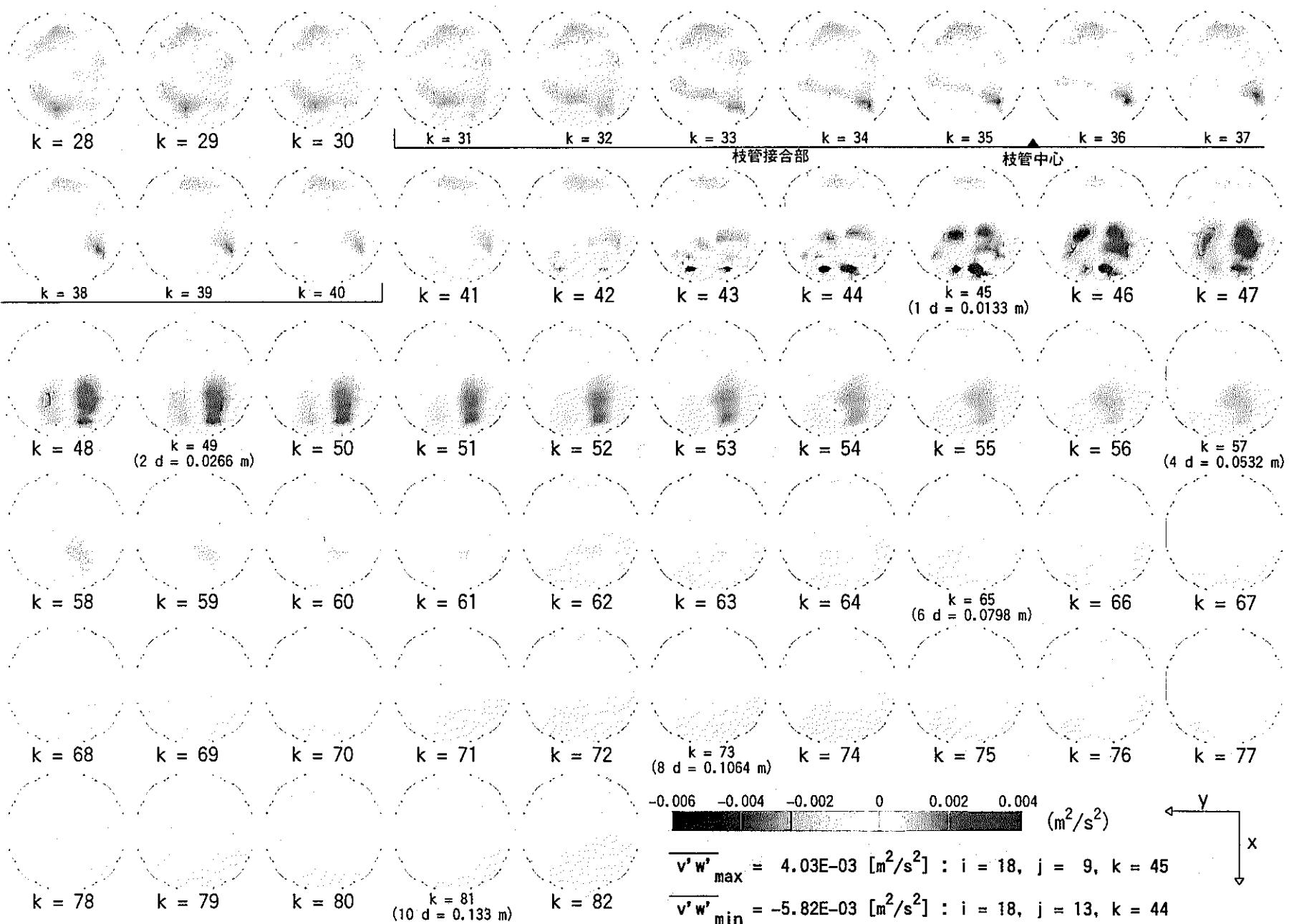


図 4.11 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\alpha-2$: $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 6 -

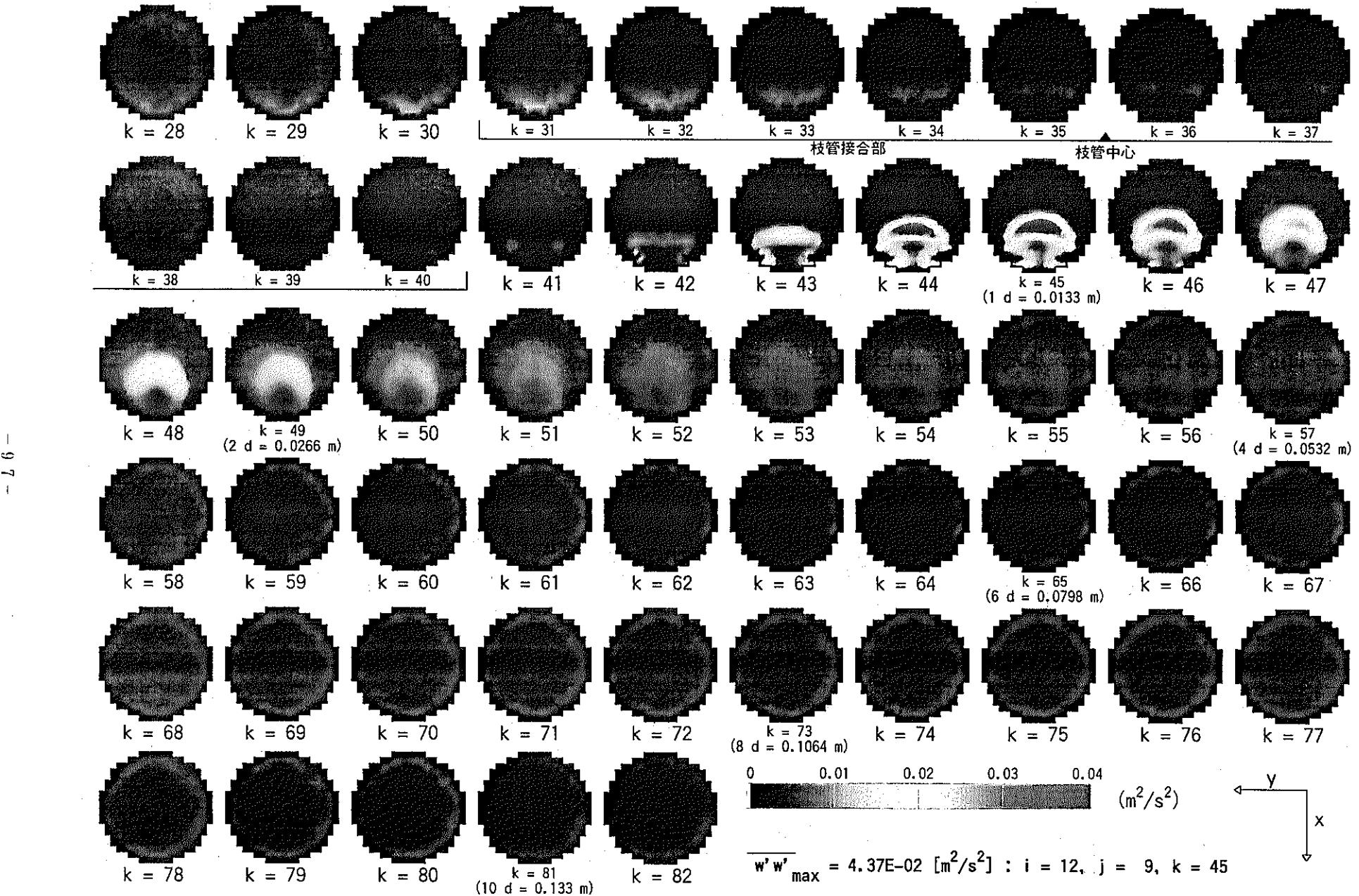


図 4.12 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

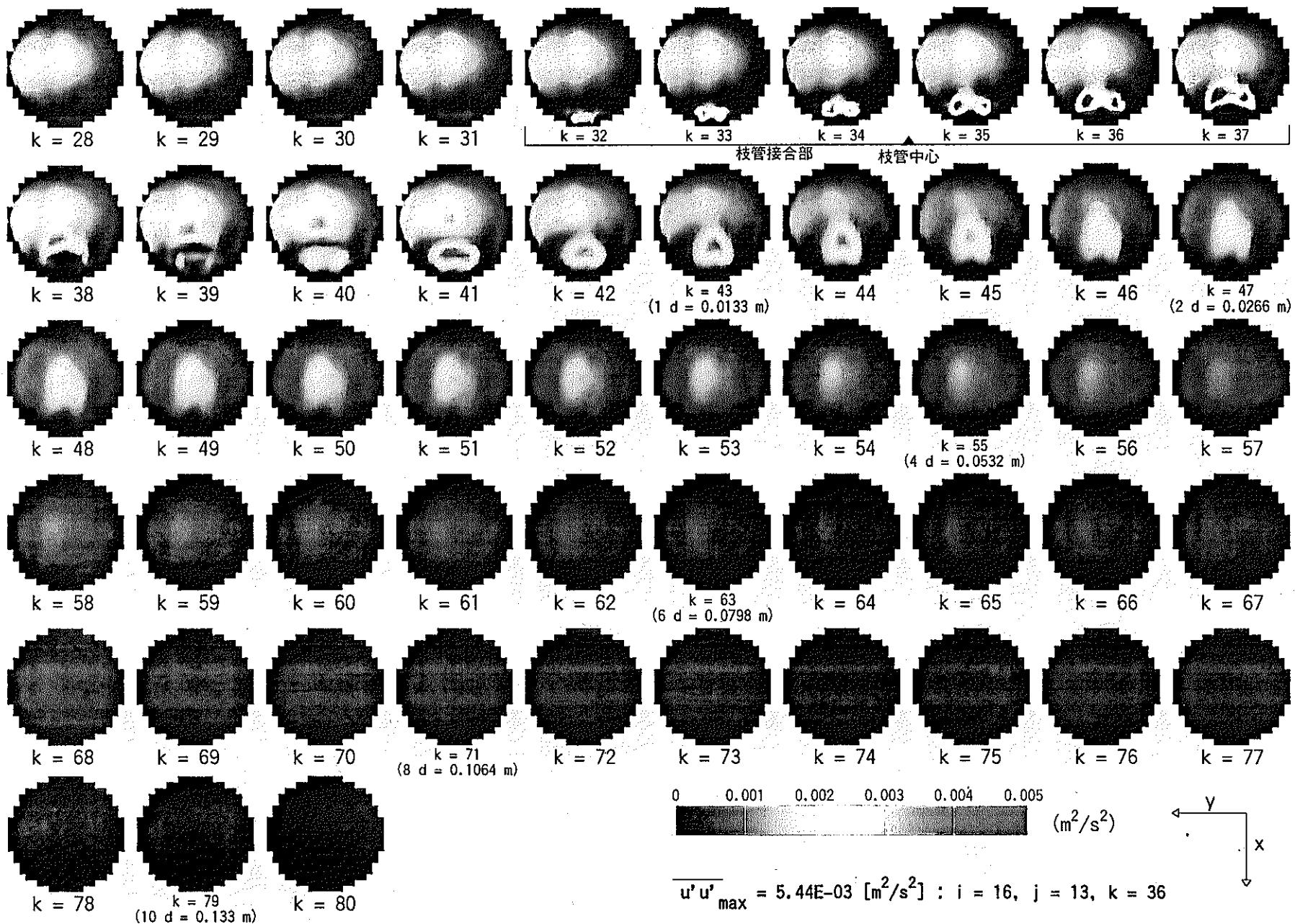


図 4.13 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case $\alpha-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

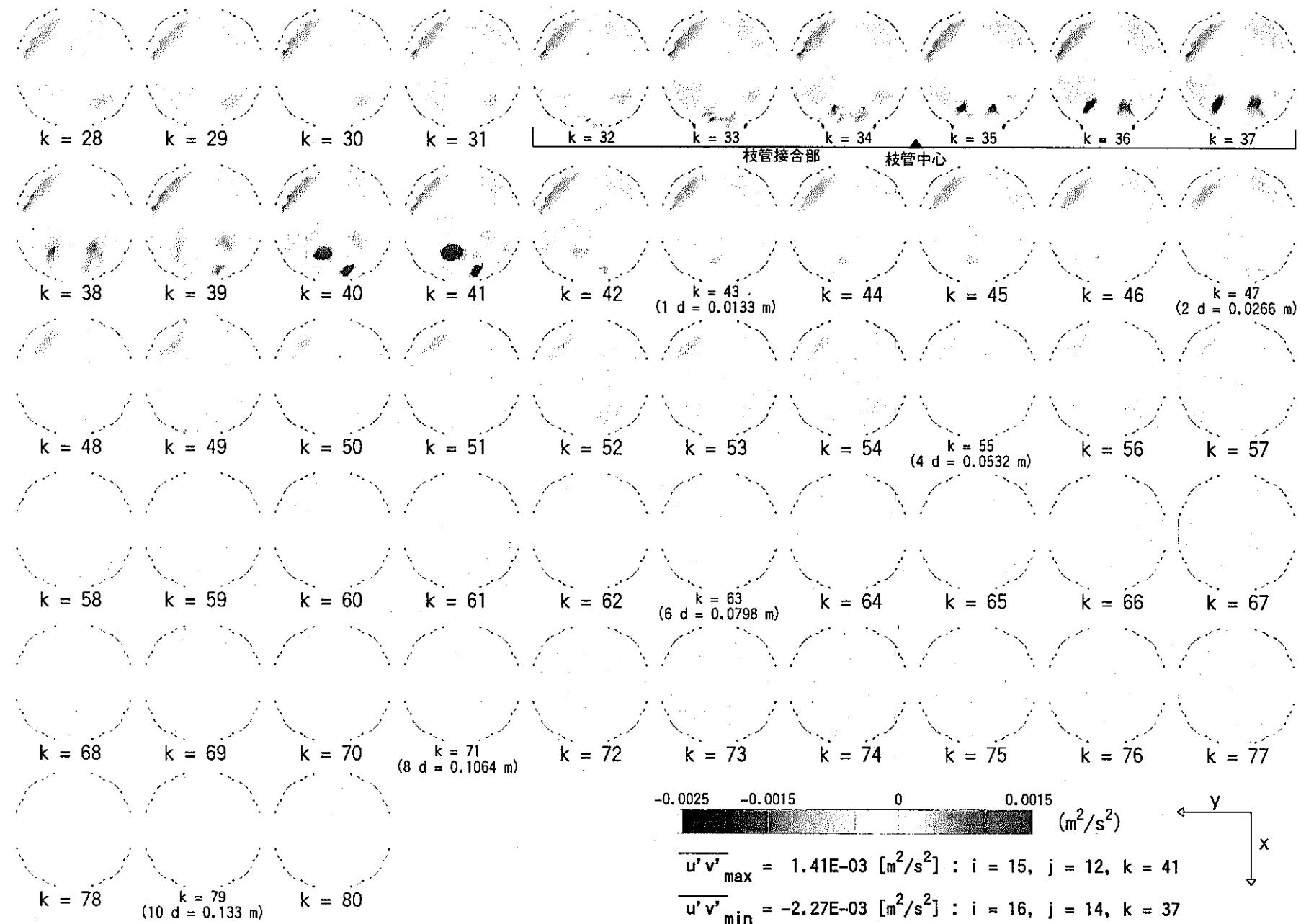


図 4.14 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

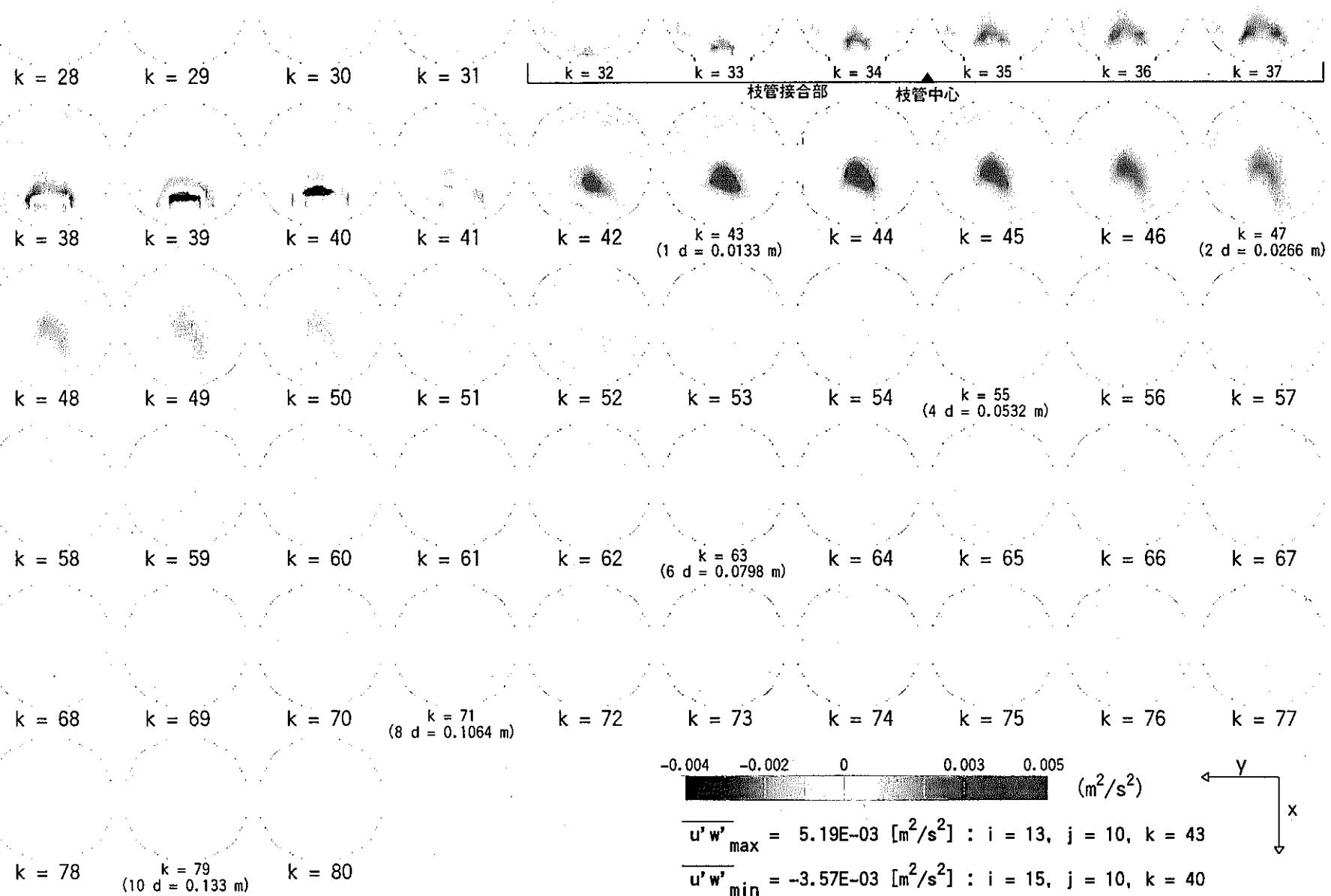


図 4.15 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case $\alpha-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

- 10 -

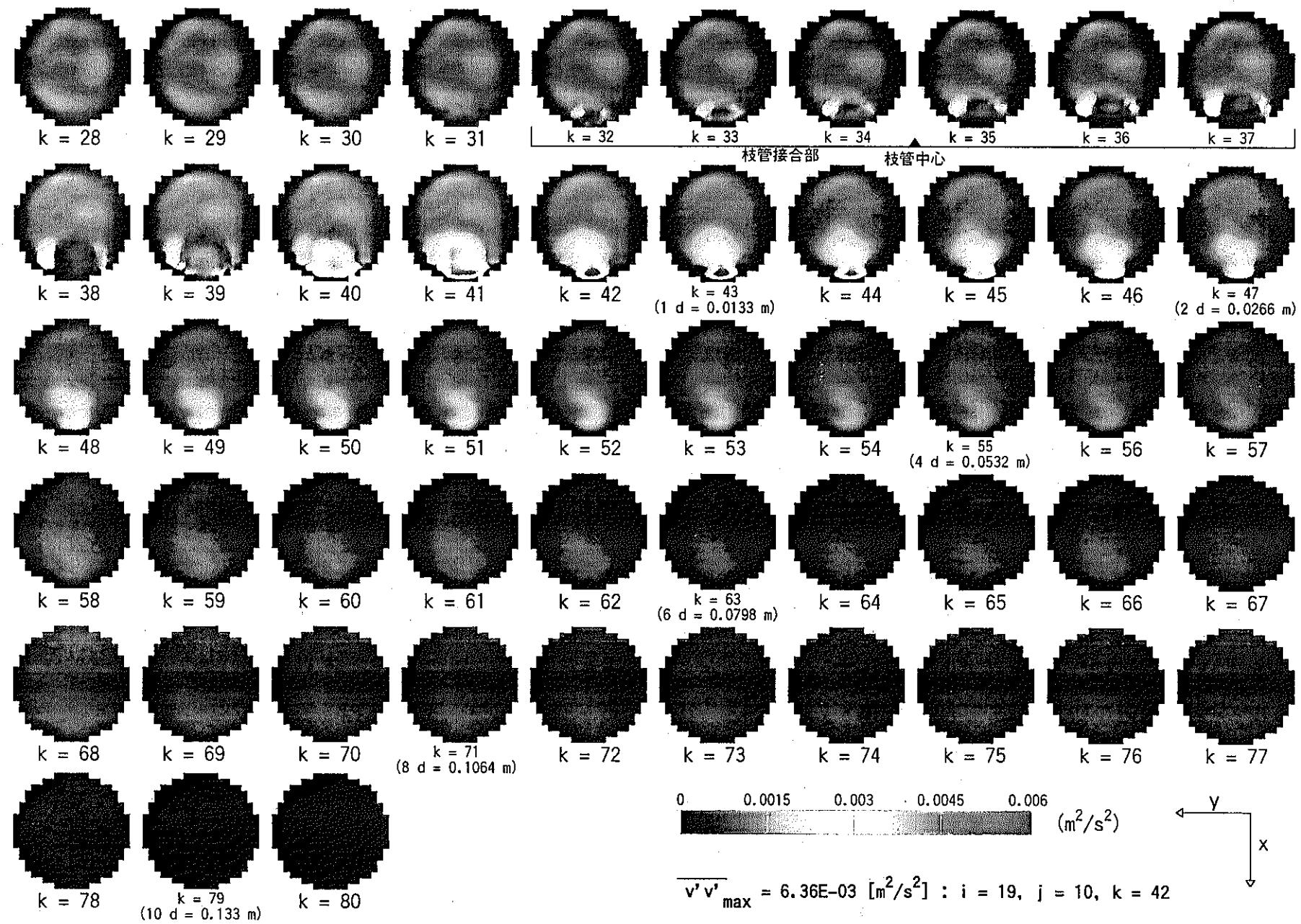


図 4.16 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case $\alpha-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

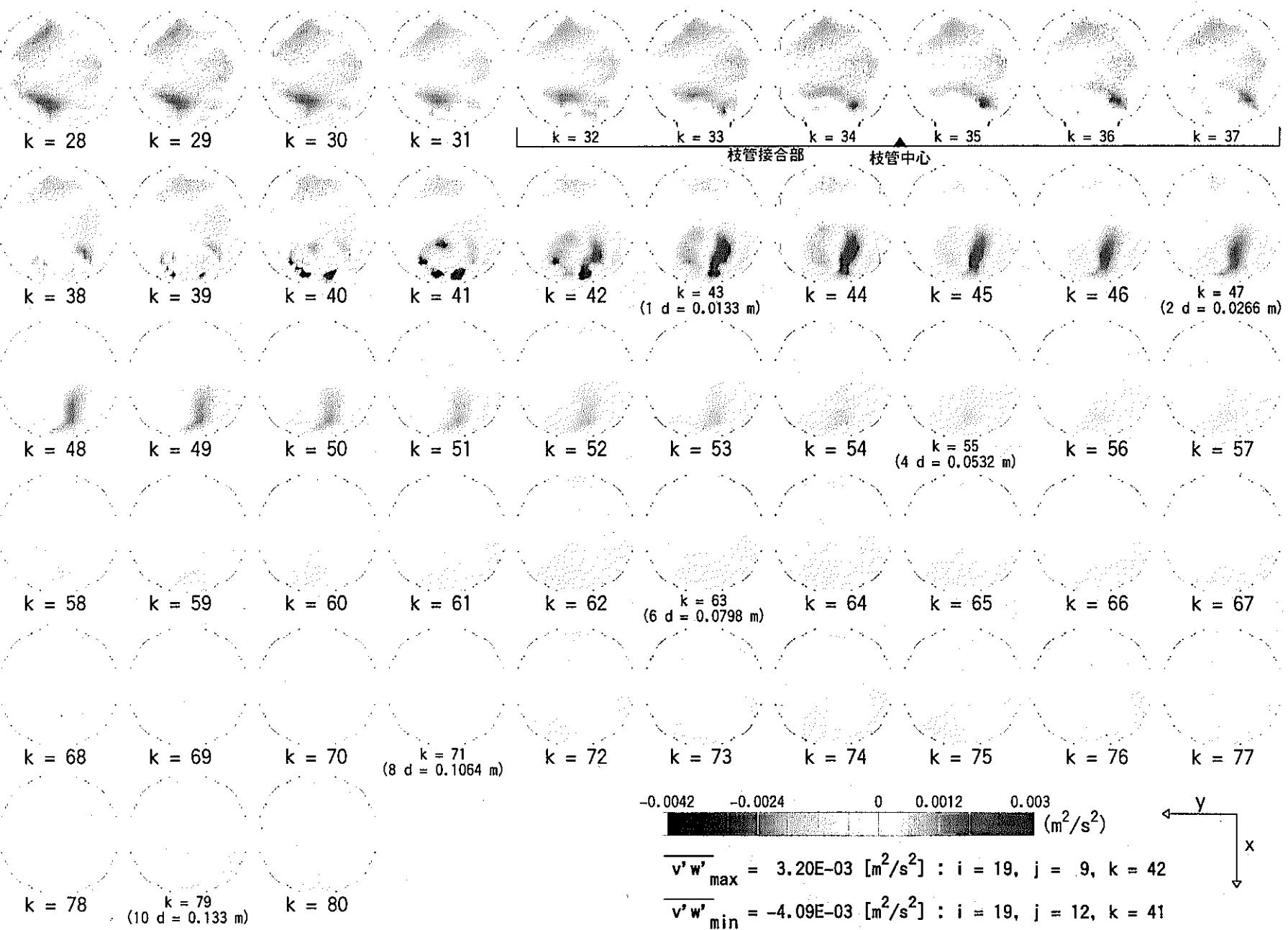


図 4.17 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

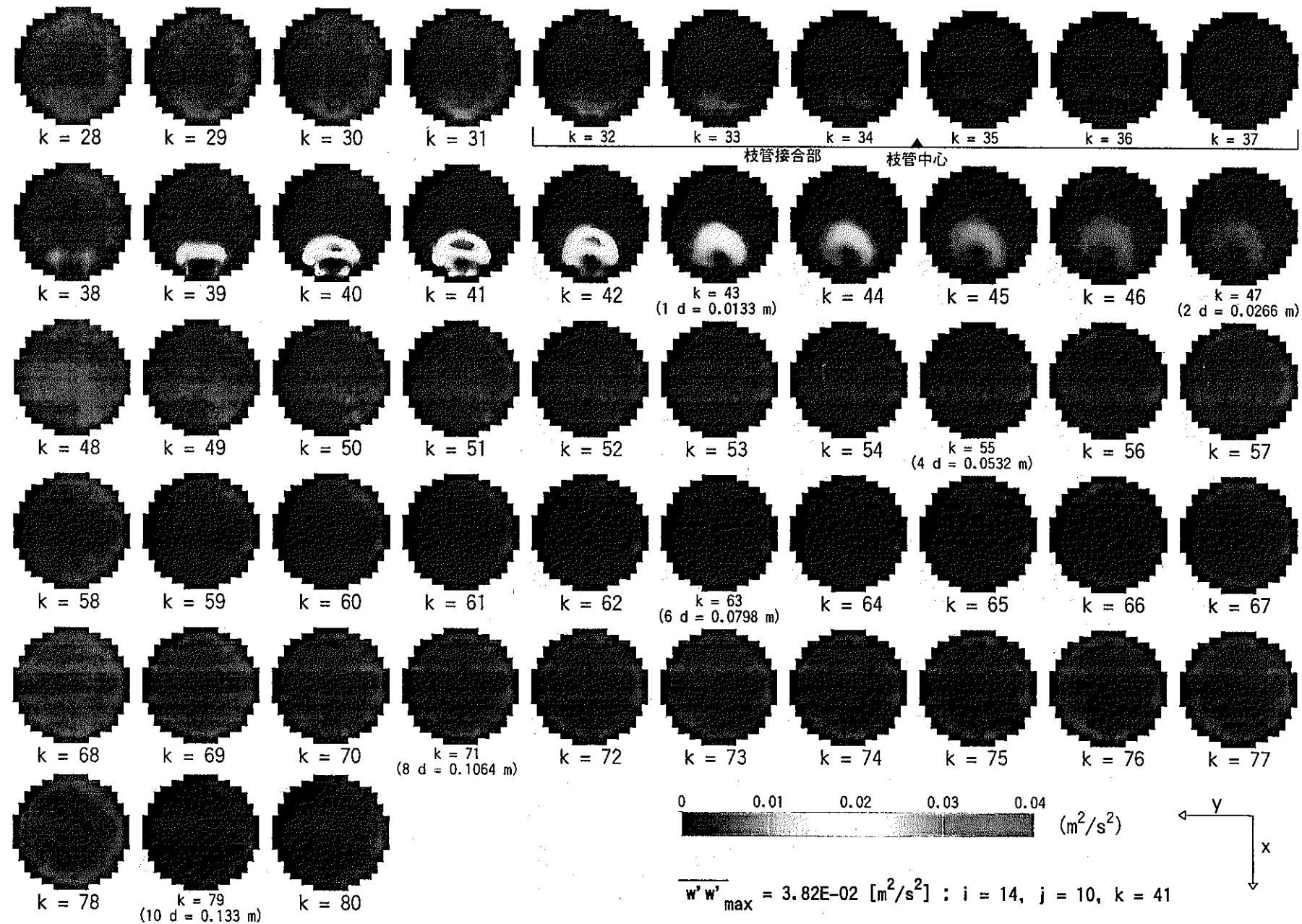


図 4.18 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case $\alpha-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

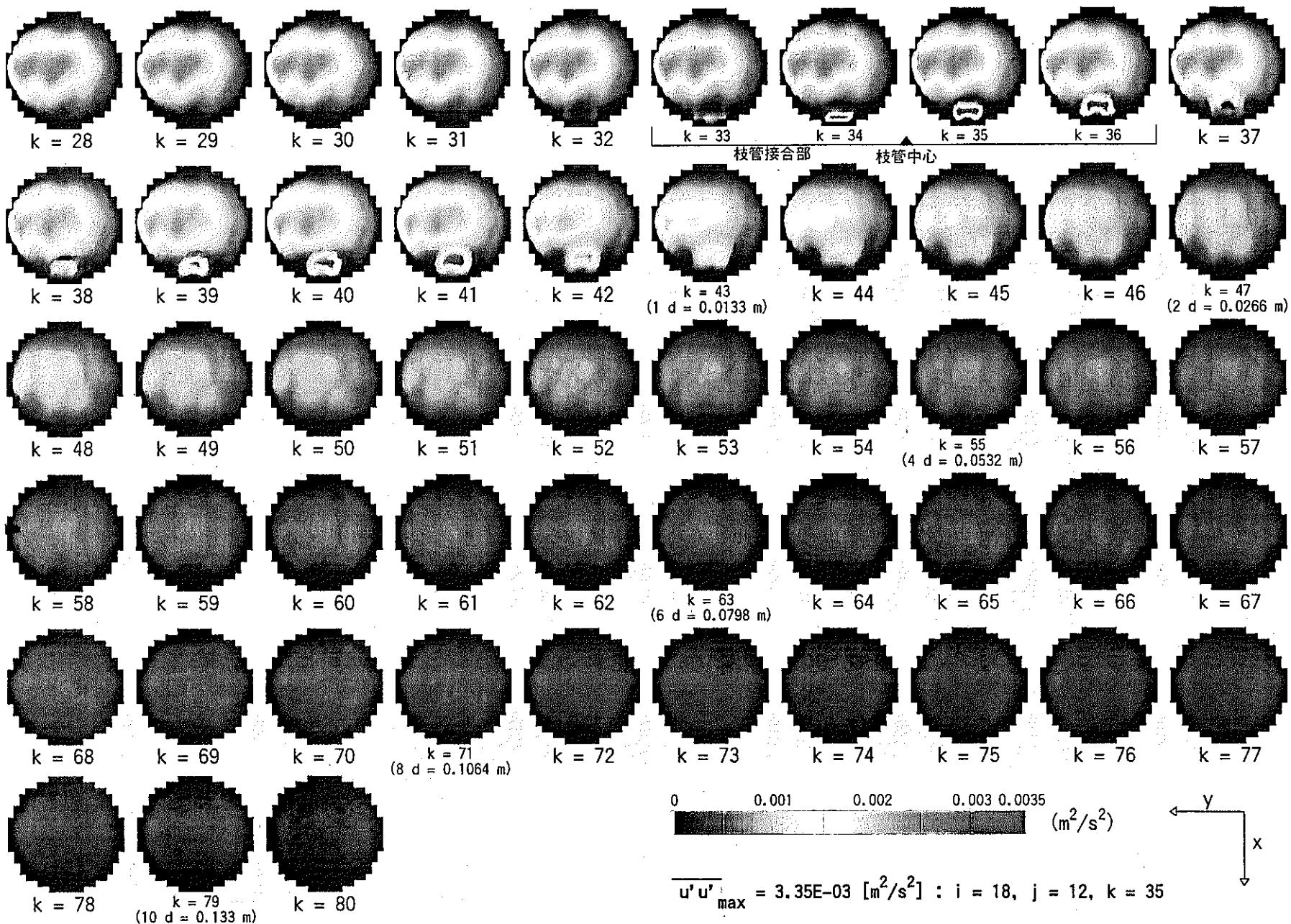


図 4.19 Re 応力 $\overline{u'u'}$ 分布 (Case $\alpha-4$: $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

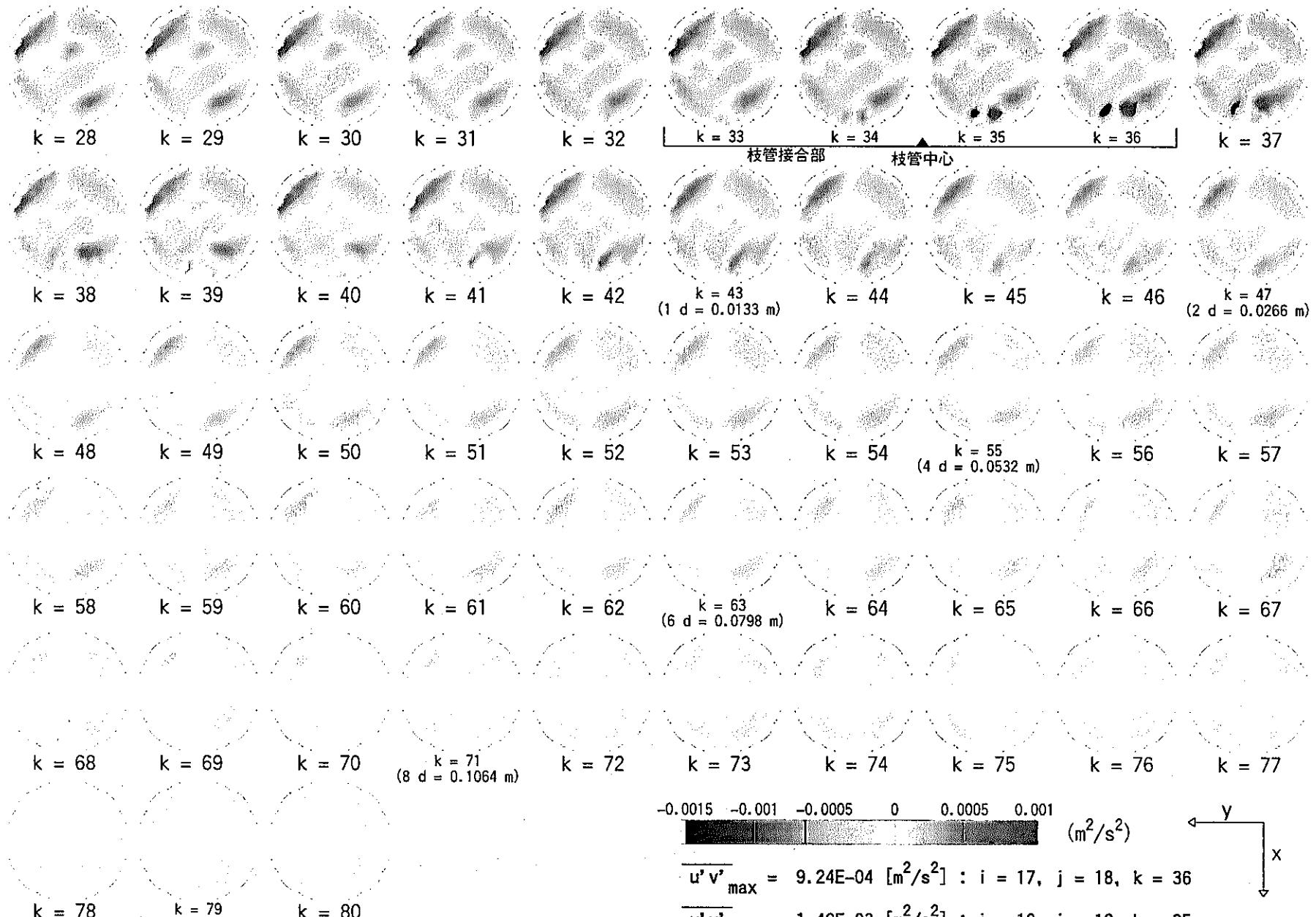


図 4.20 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case $\alpha-4$: $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

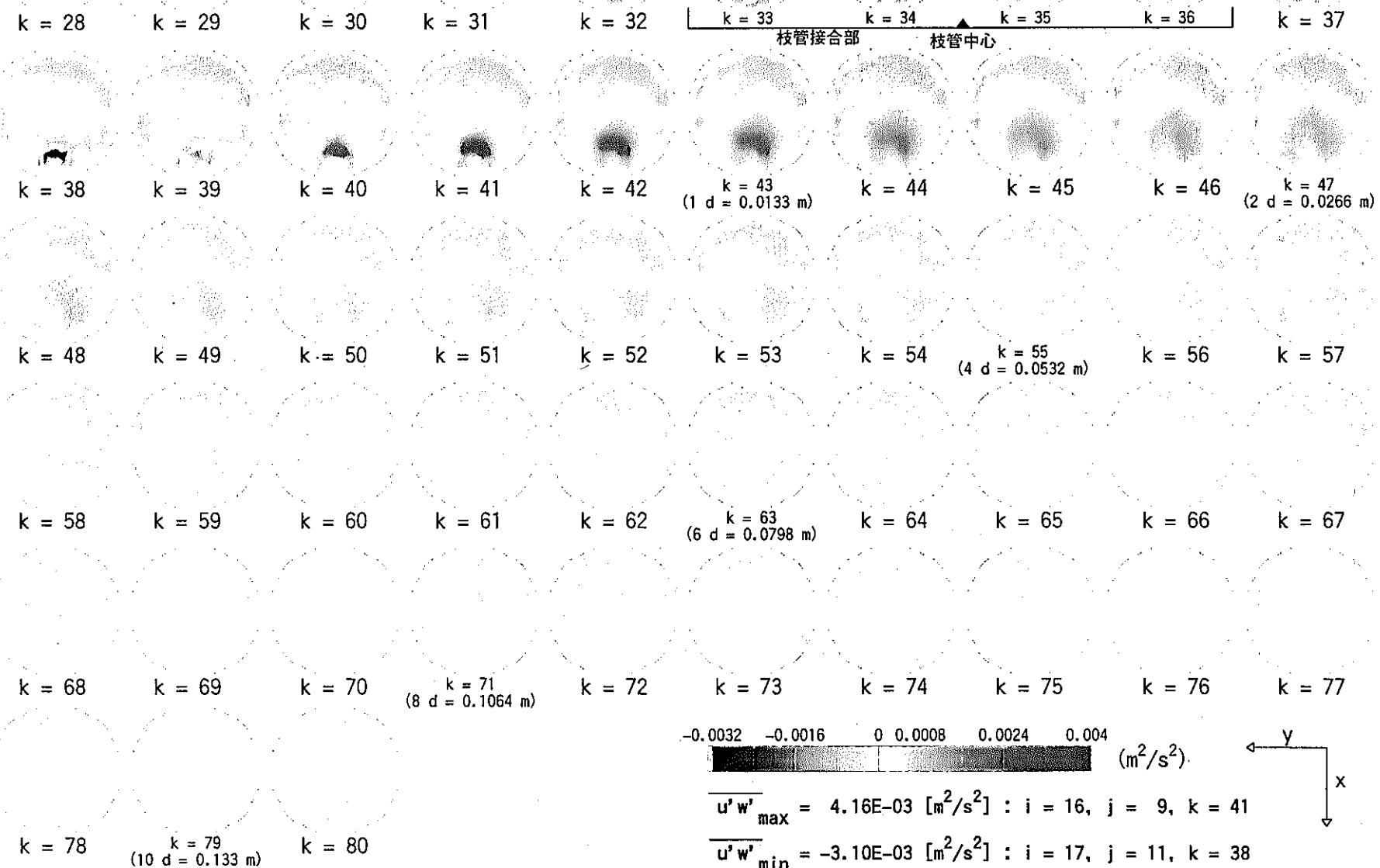


図 4.21 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case $\alpha-4$: $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 107 -

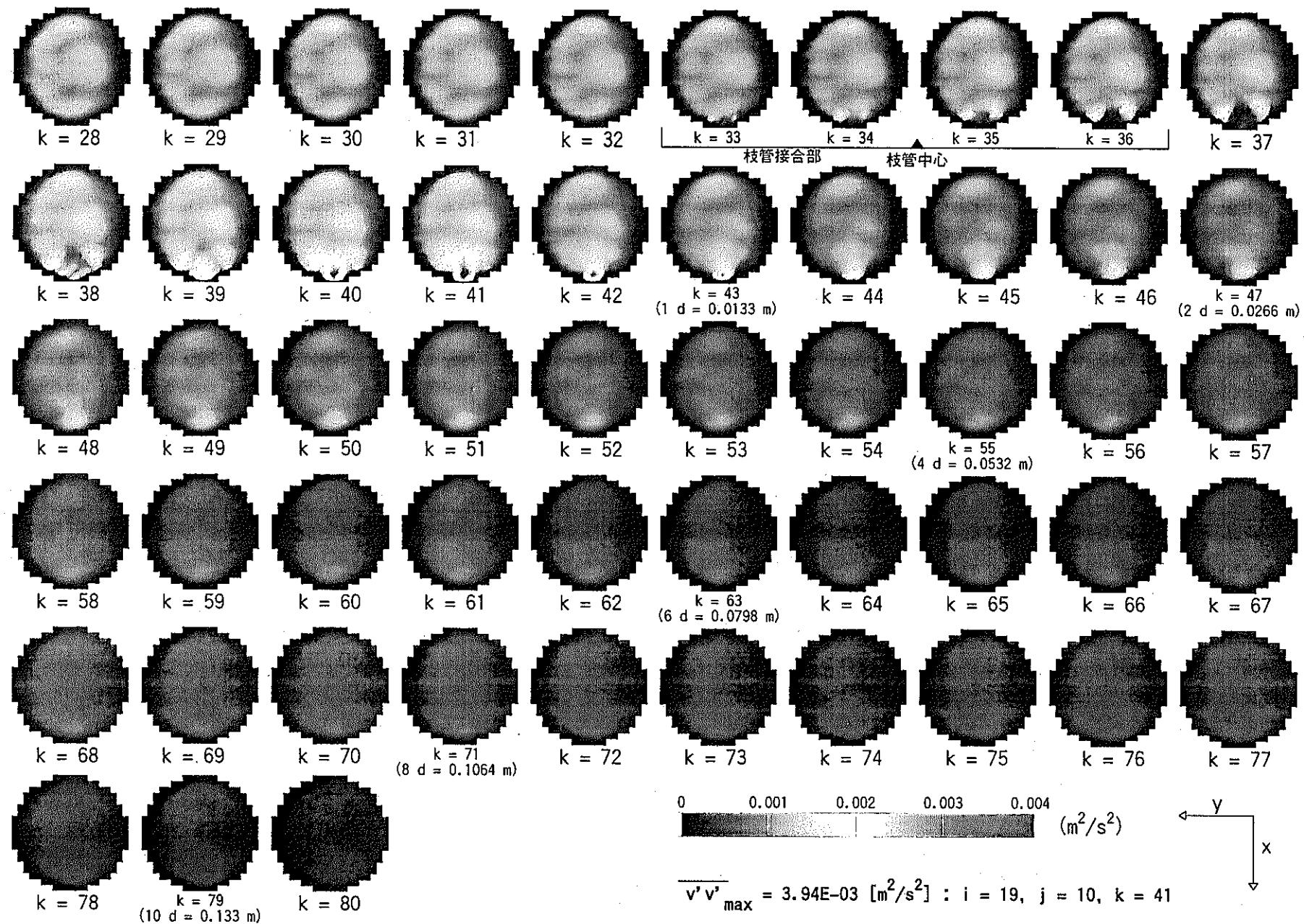


図 4.22 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case $\alpha-4$: $\alpha = 5.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, \text{Re}_m = 5,626$)

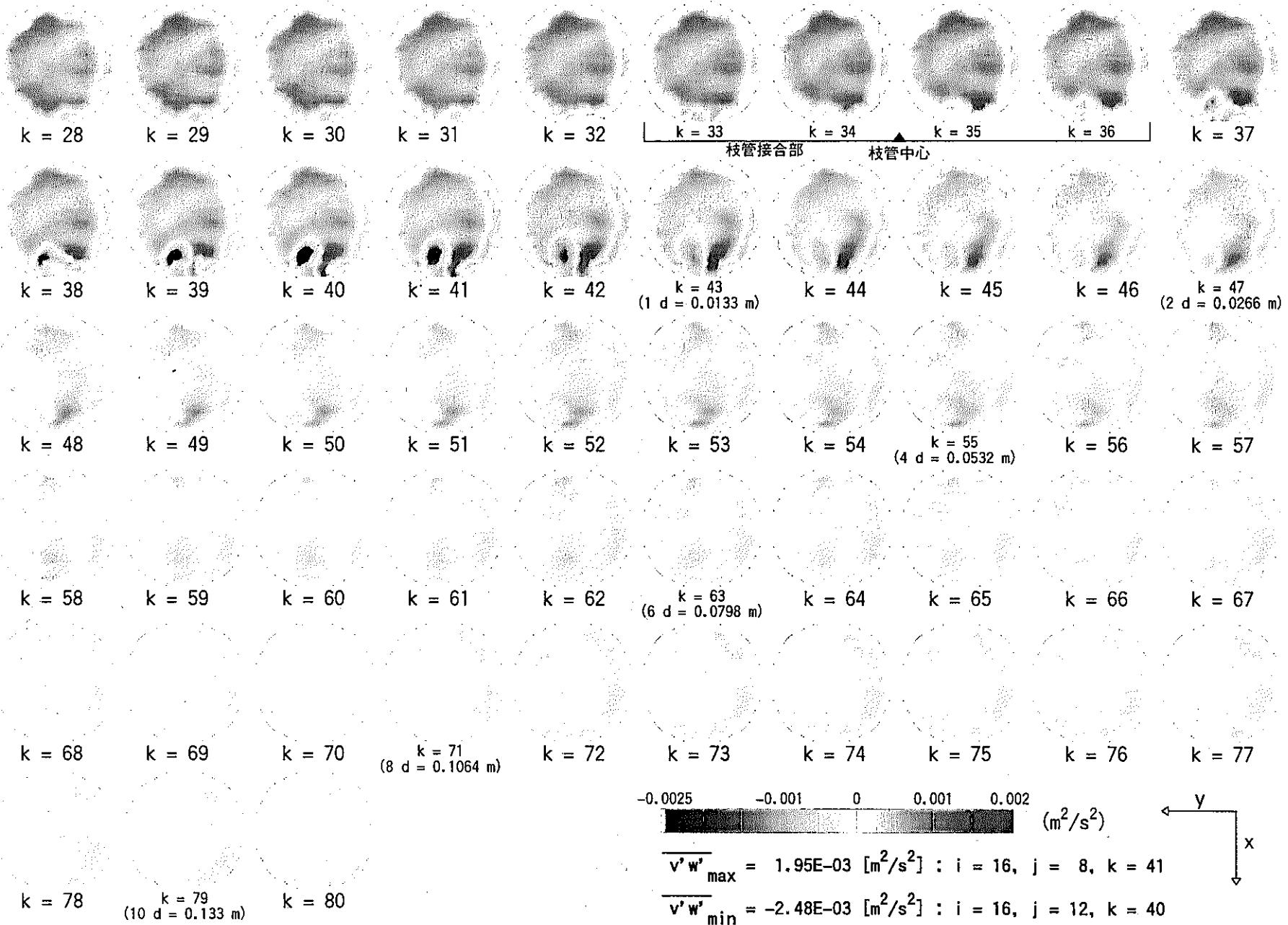


図 4.23 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 109 -

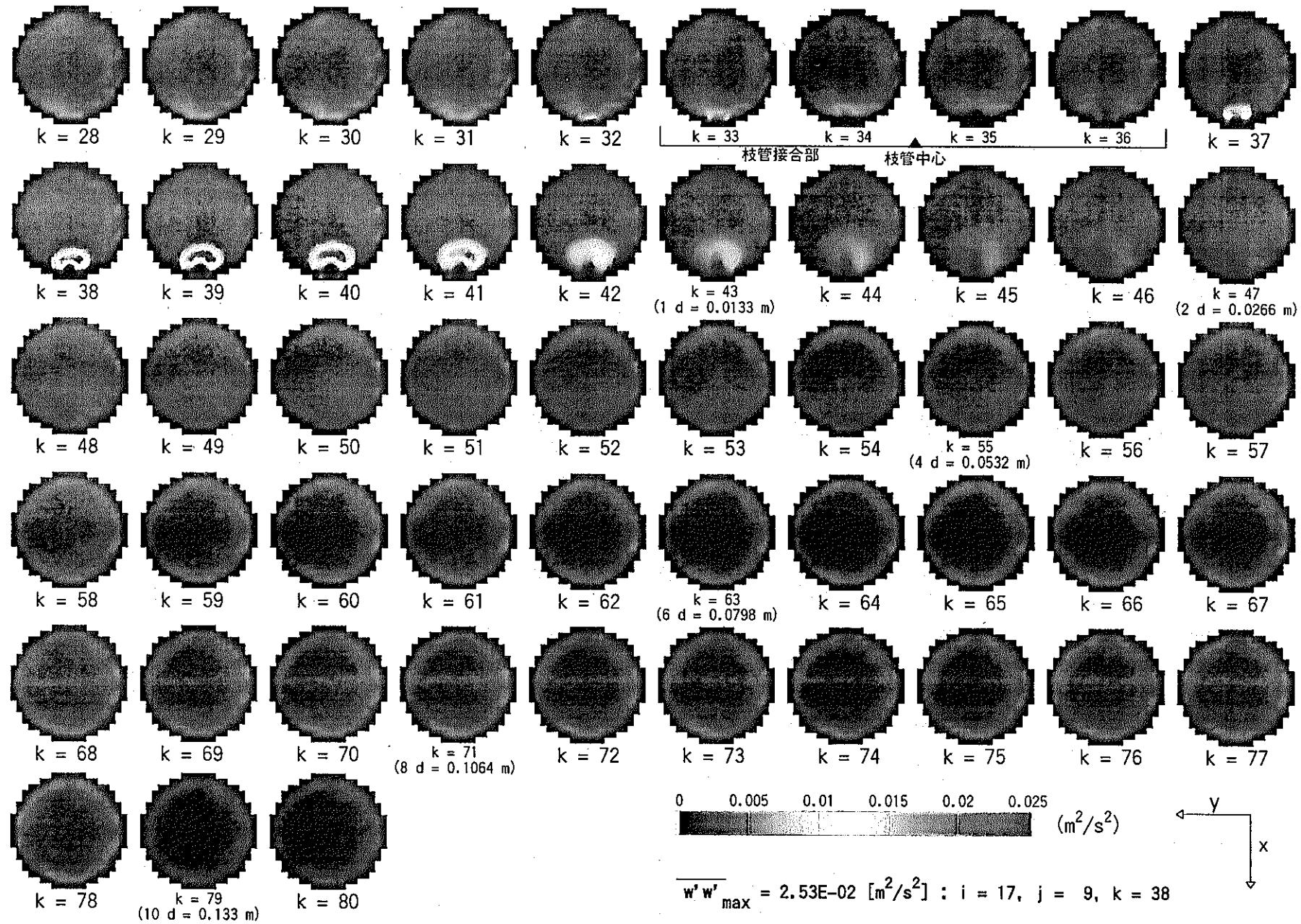


図 4.24 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case $\alpha-4$: $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

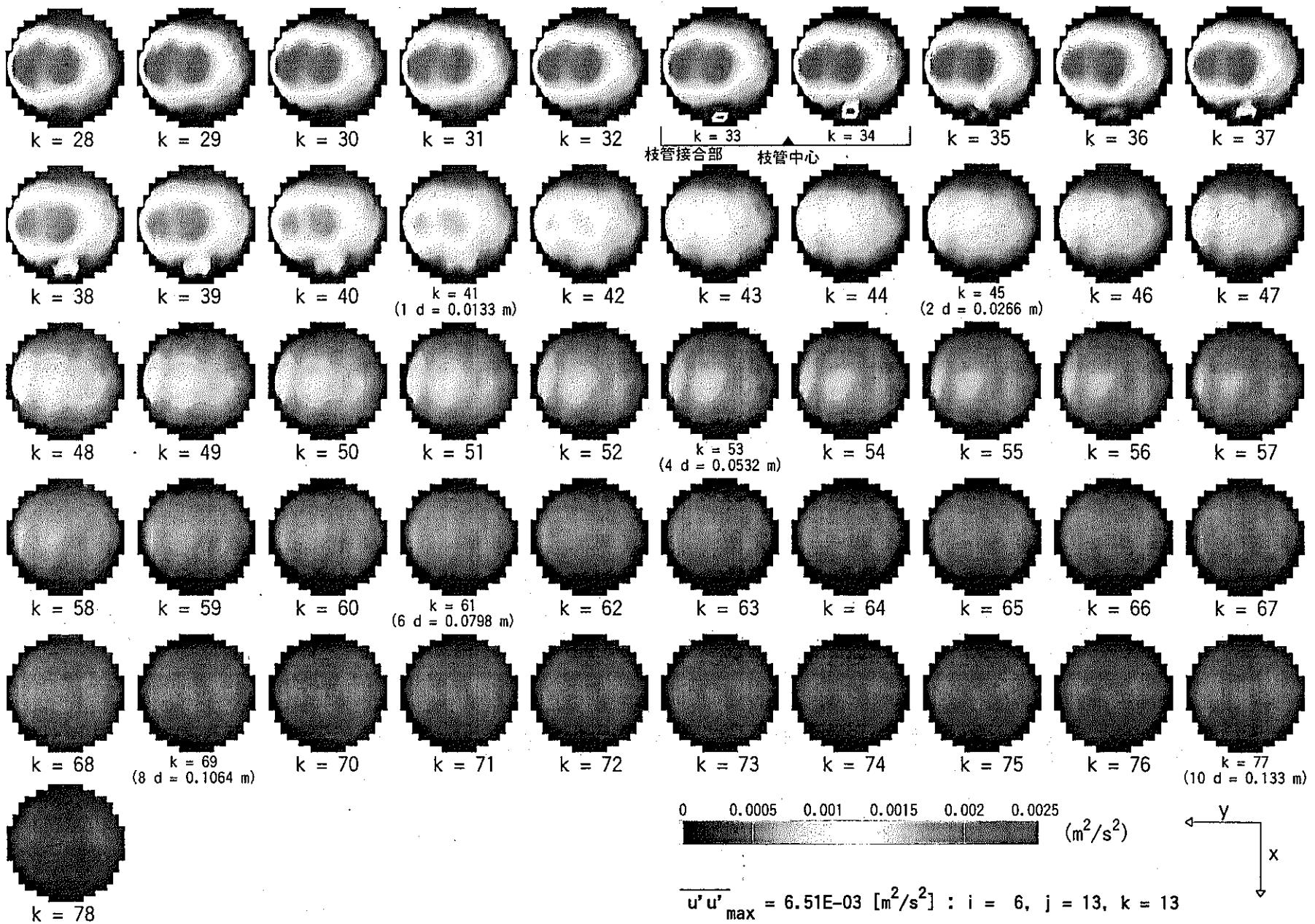


図 4.25 Re 応力 $\overline{u'u'}$ 分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

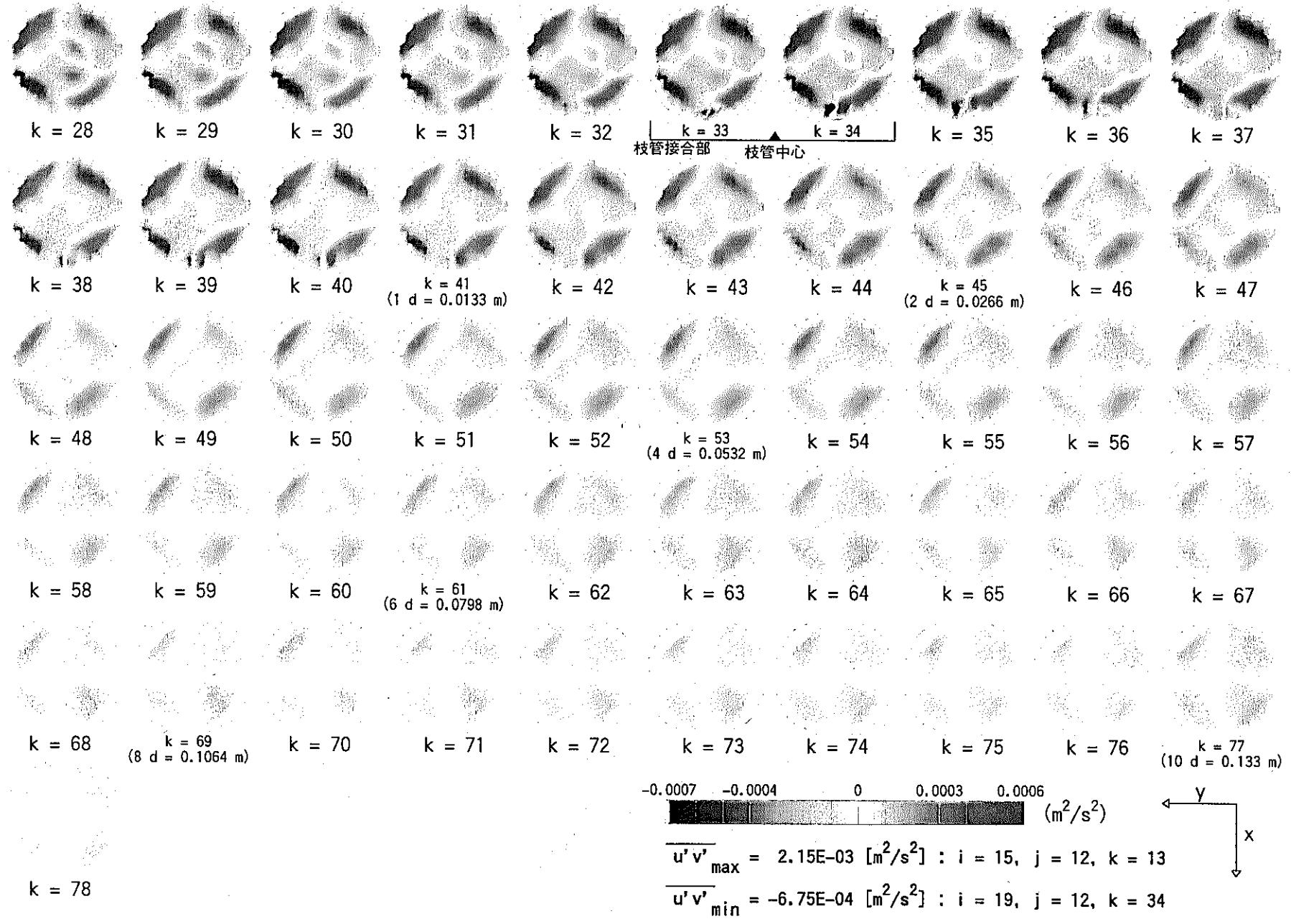


図 4.26 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

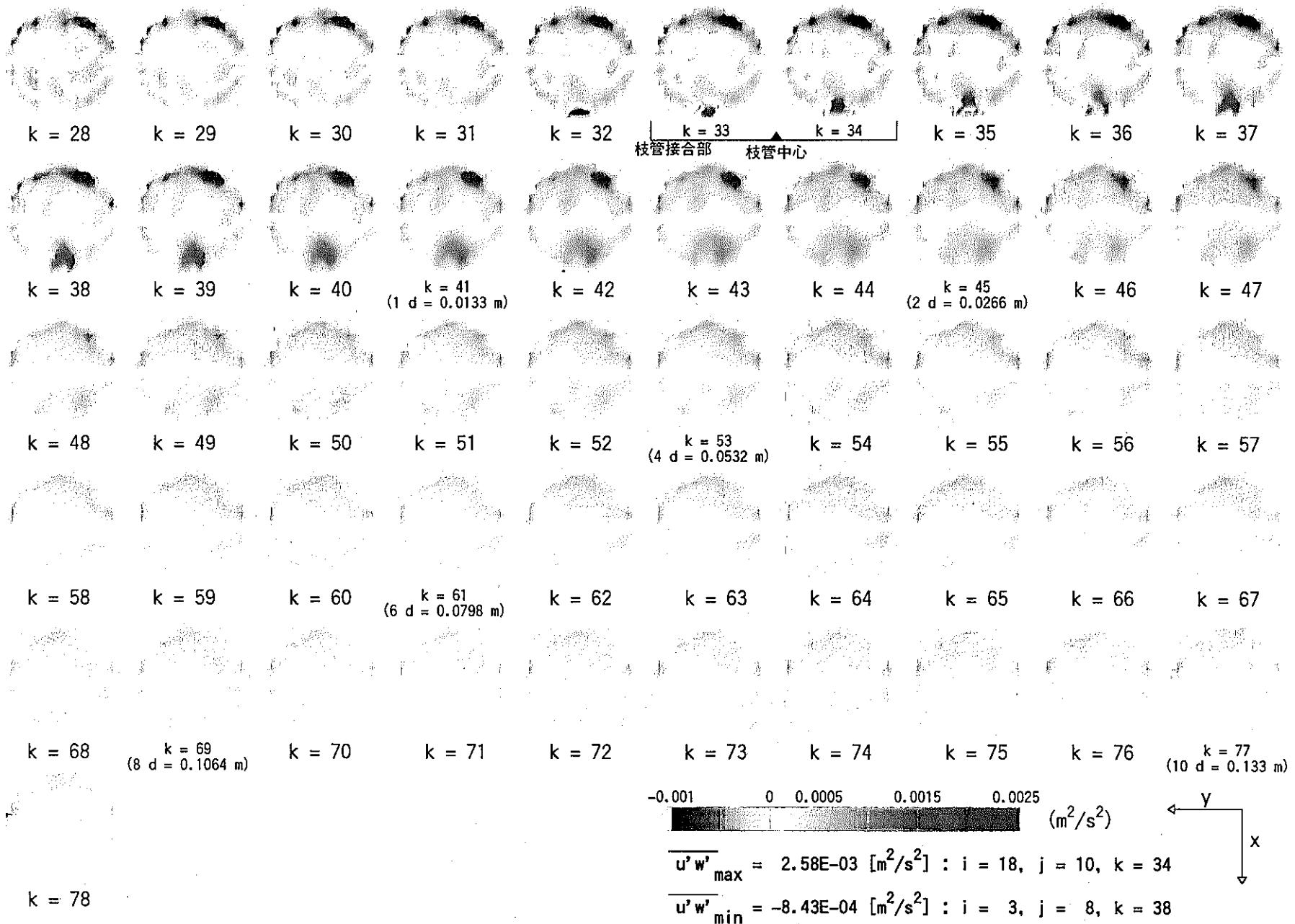


図 4.27 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case $\alpha-5$: $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

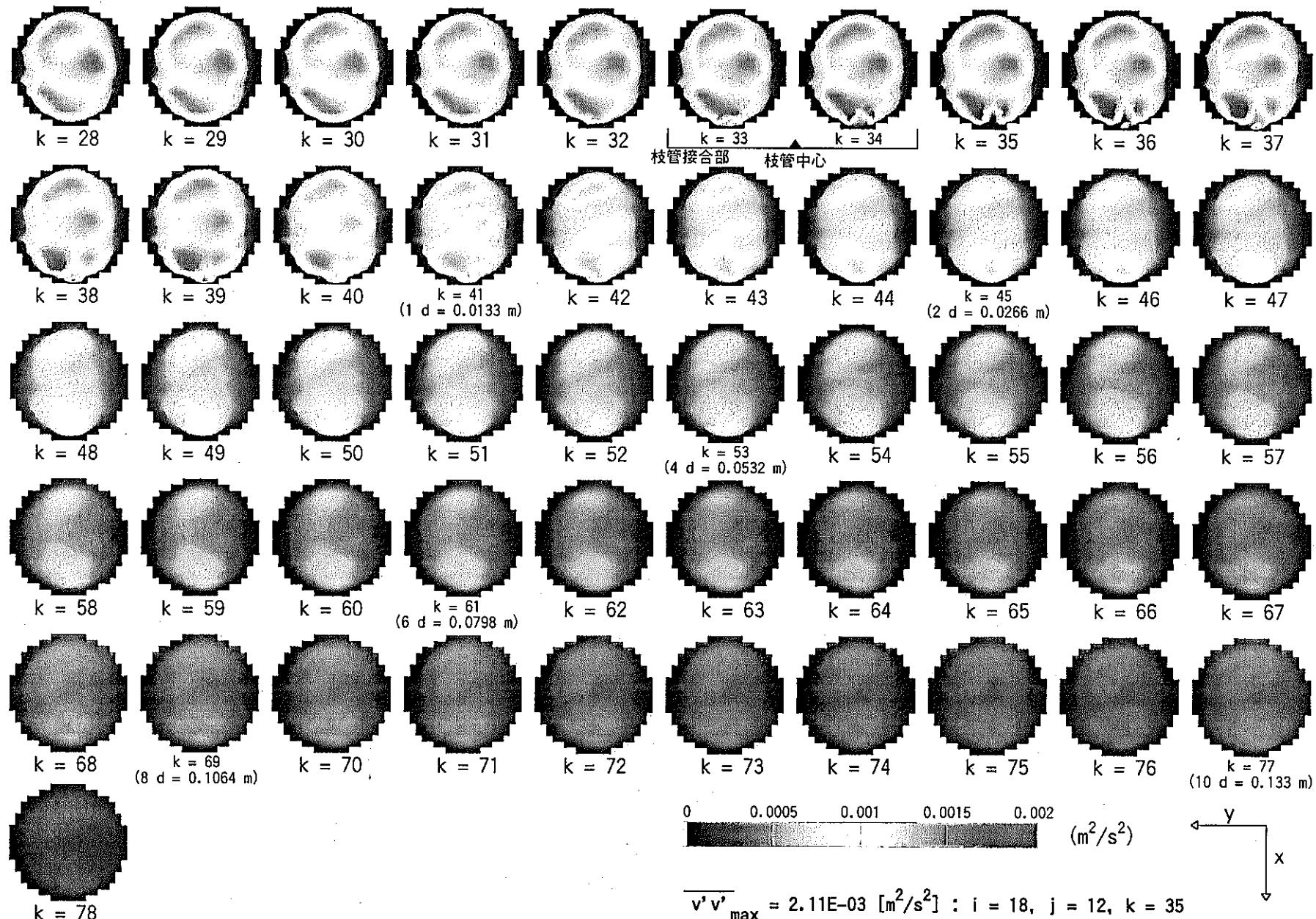


図 4.28 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case $\alpha=5$: $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

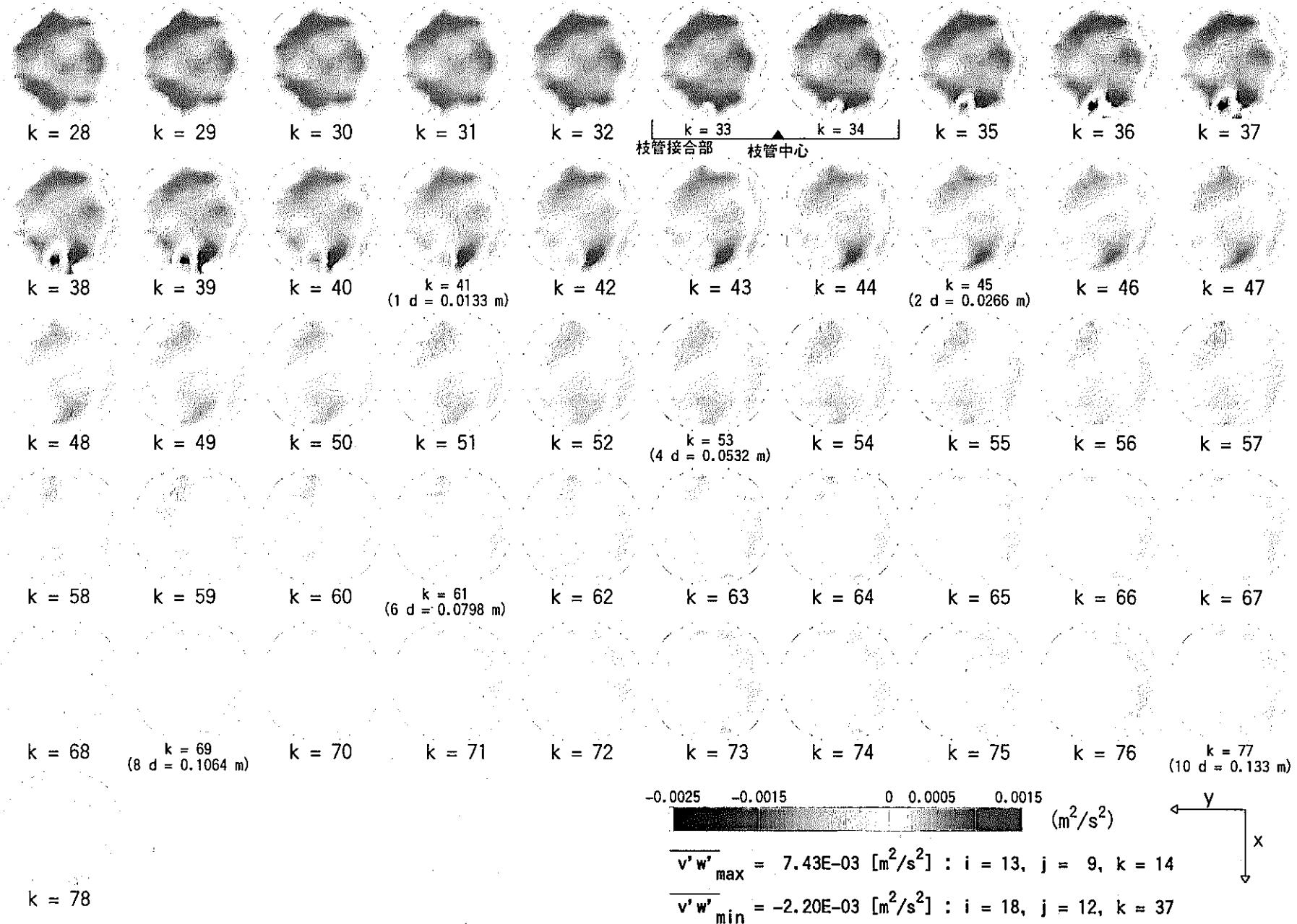


図 4.29 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\alpha-5$: $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

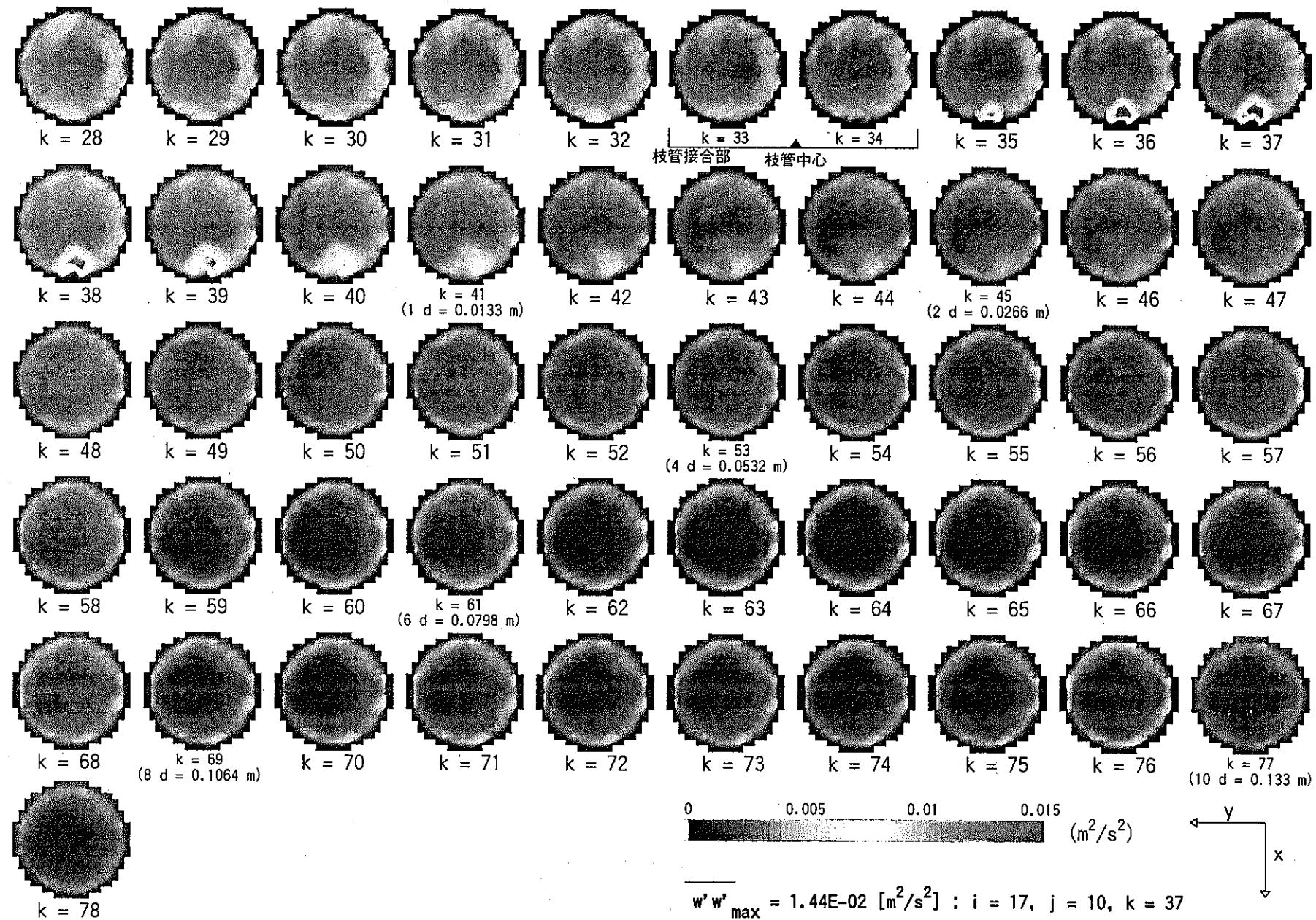


図 4.30 Re 応力 $w'w'$ 分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

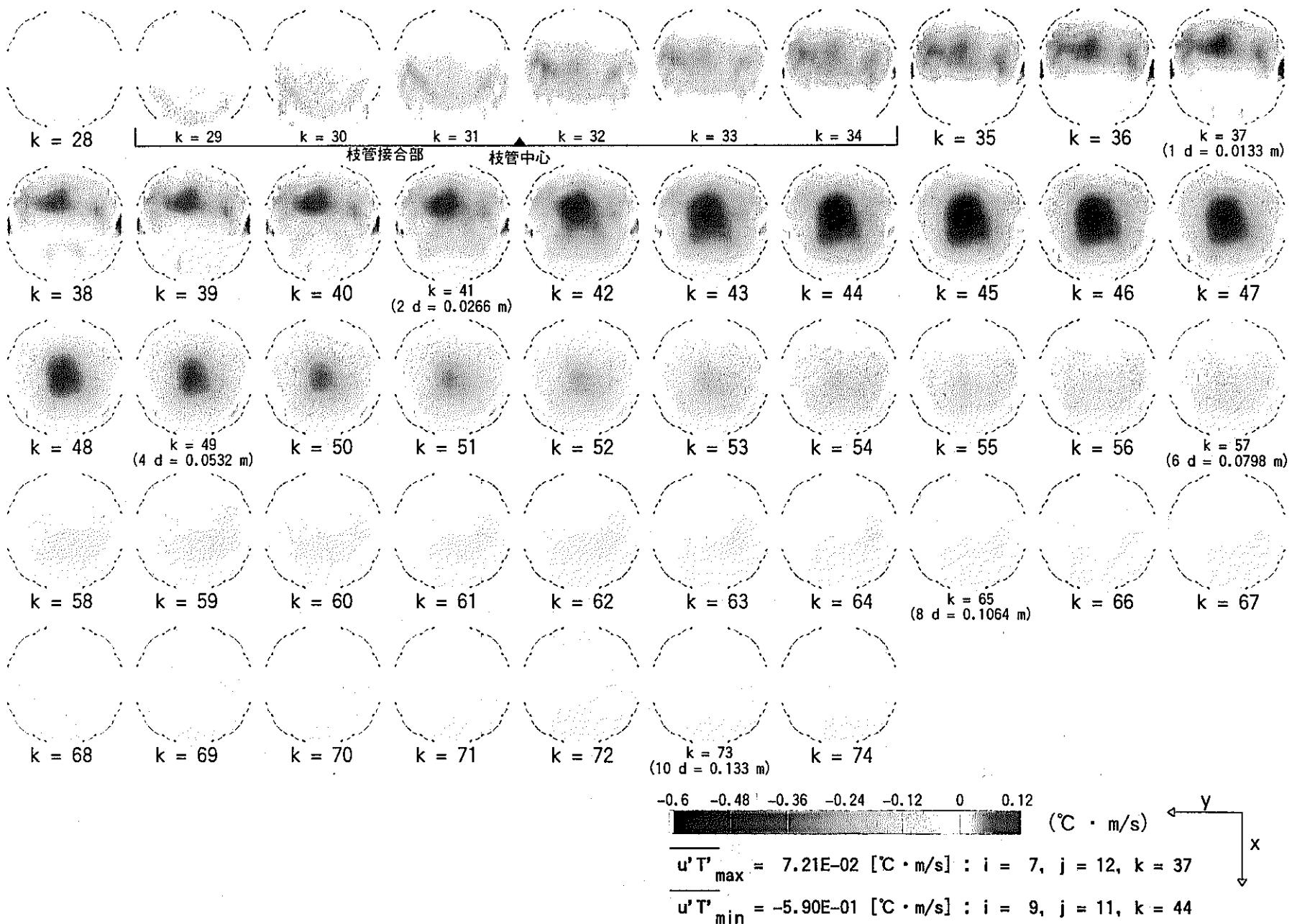


図 4.31 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

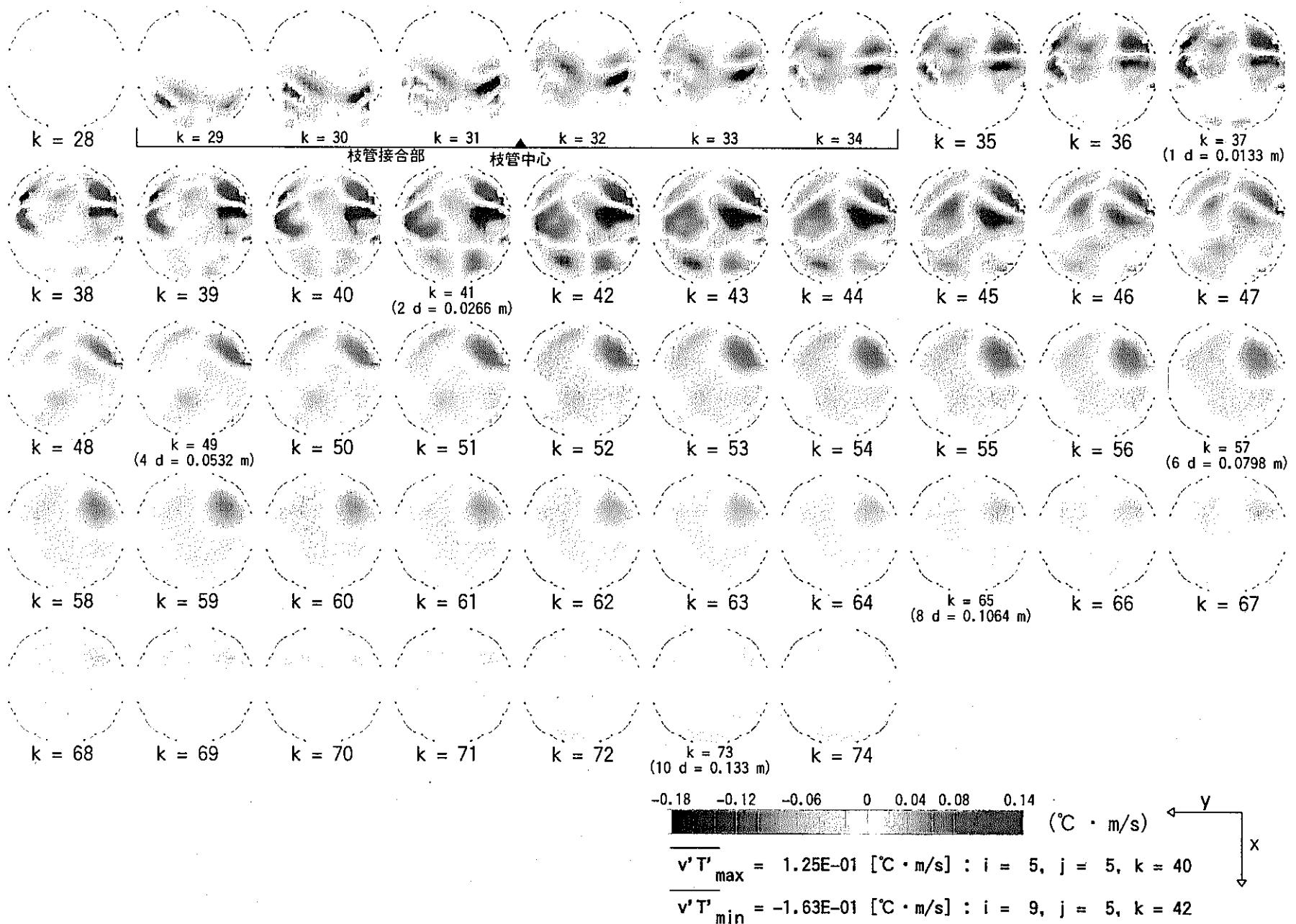


図 4.32 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

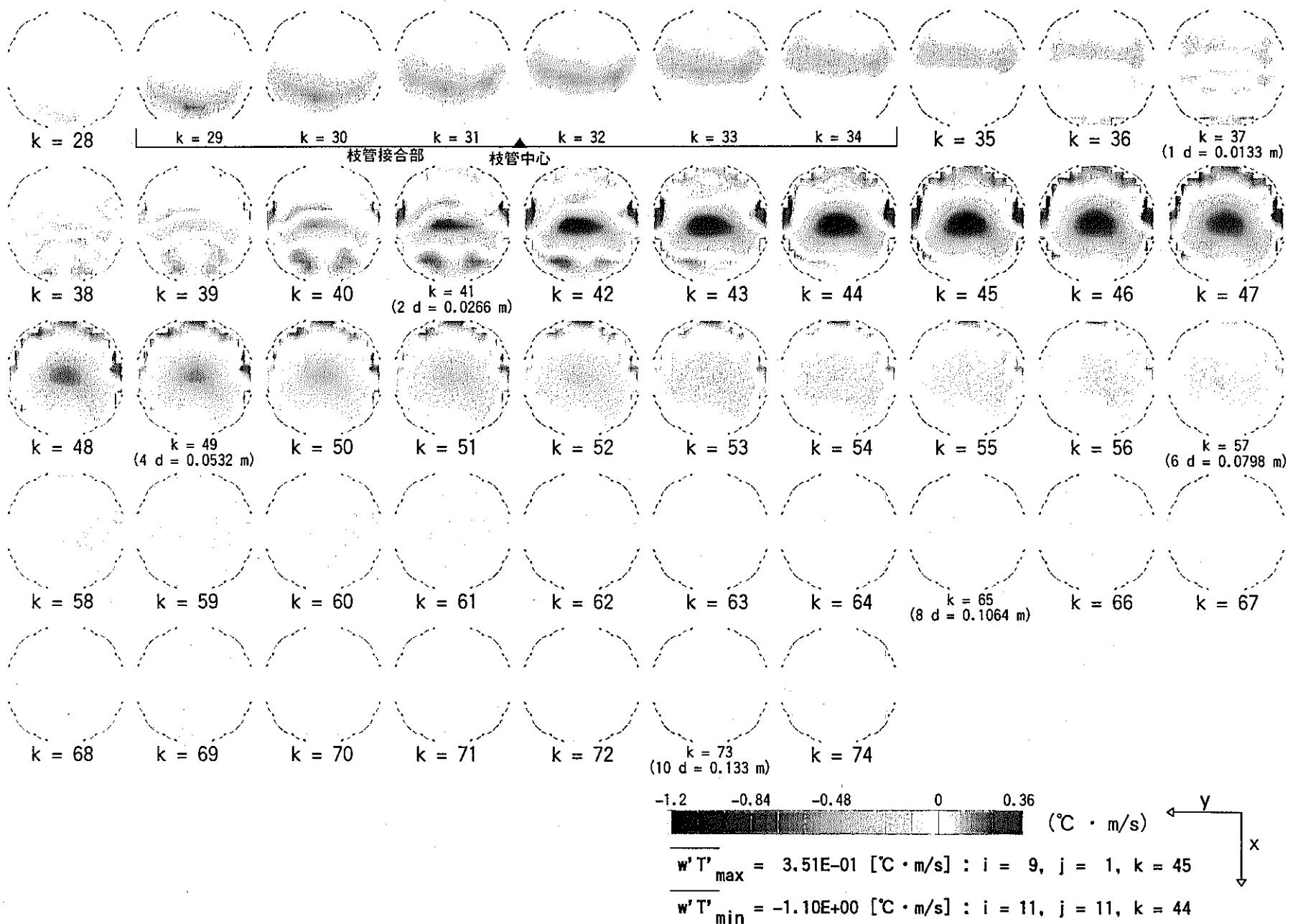


図 4.33 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

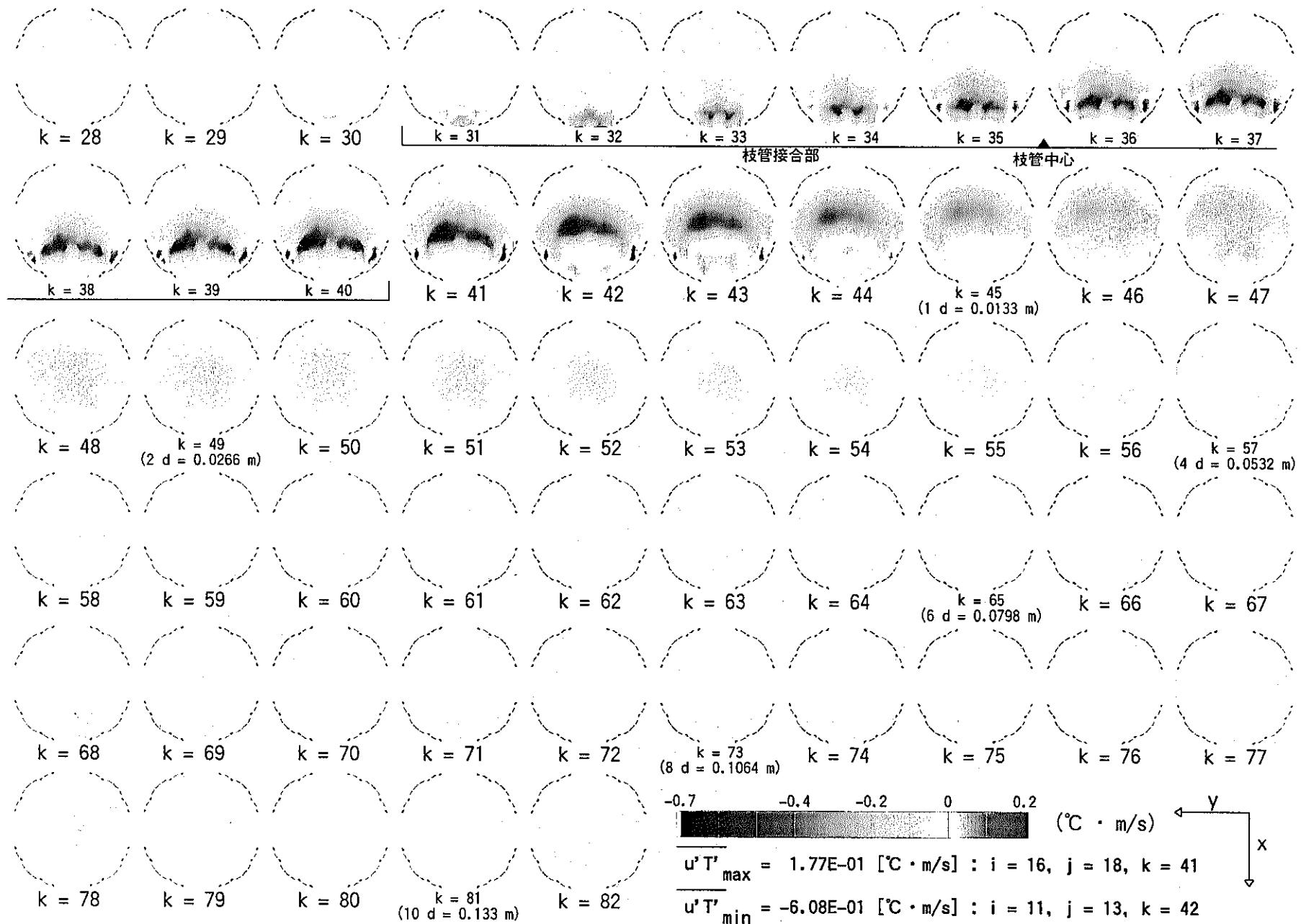


図 4.34 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

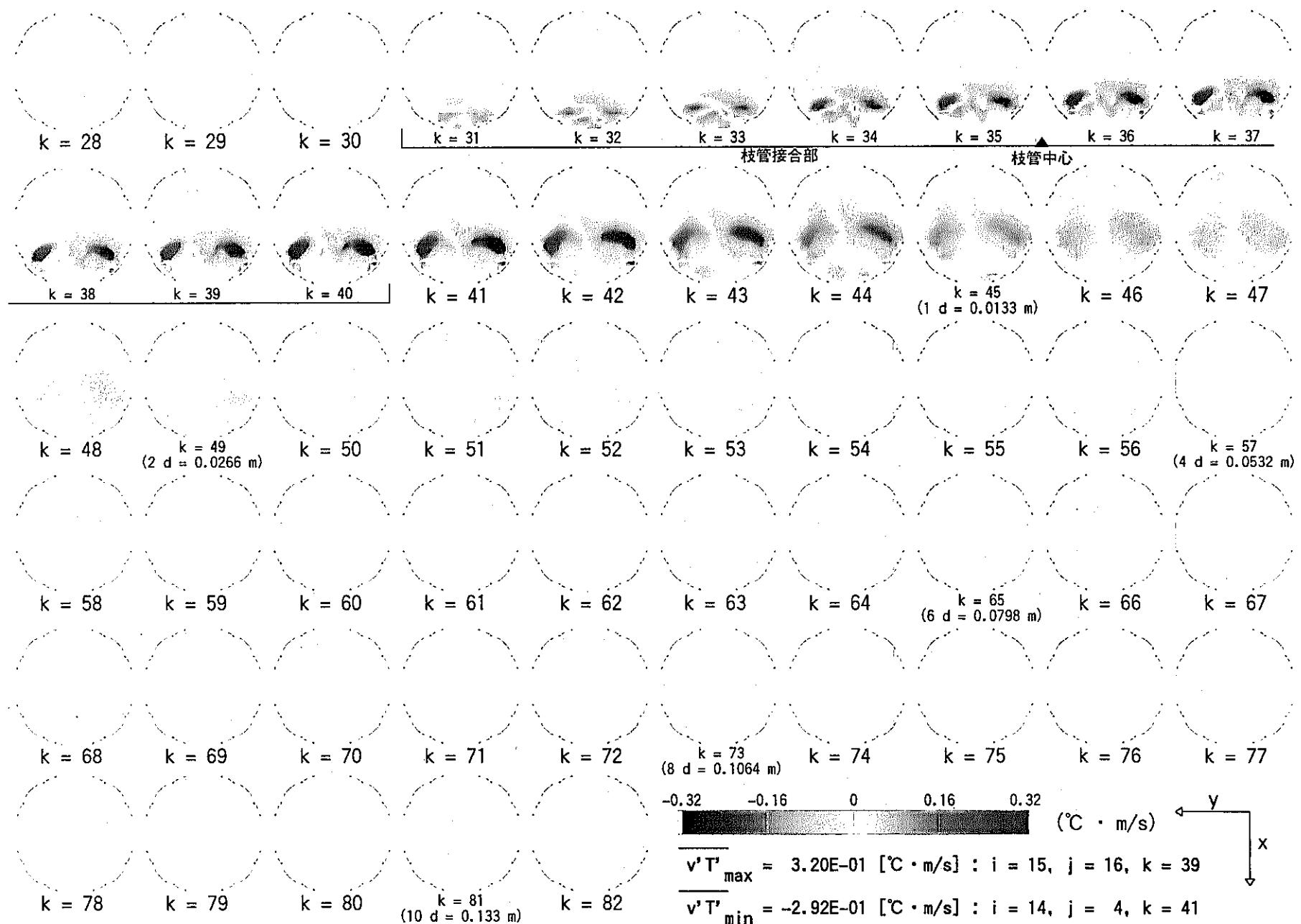


図 4.35 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

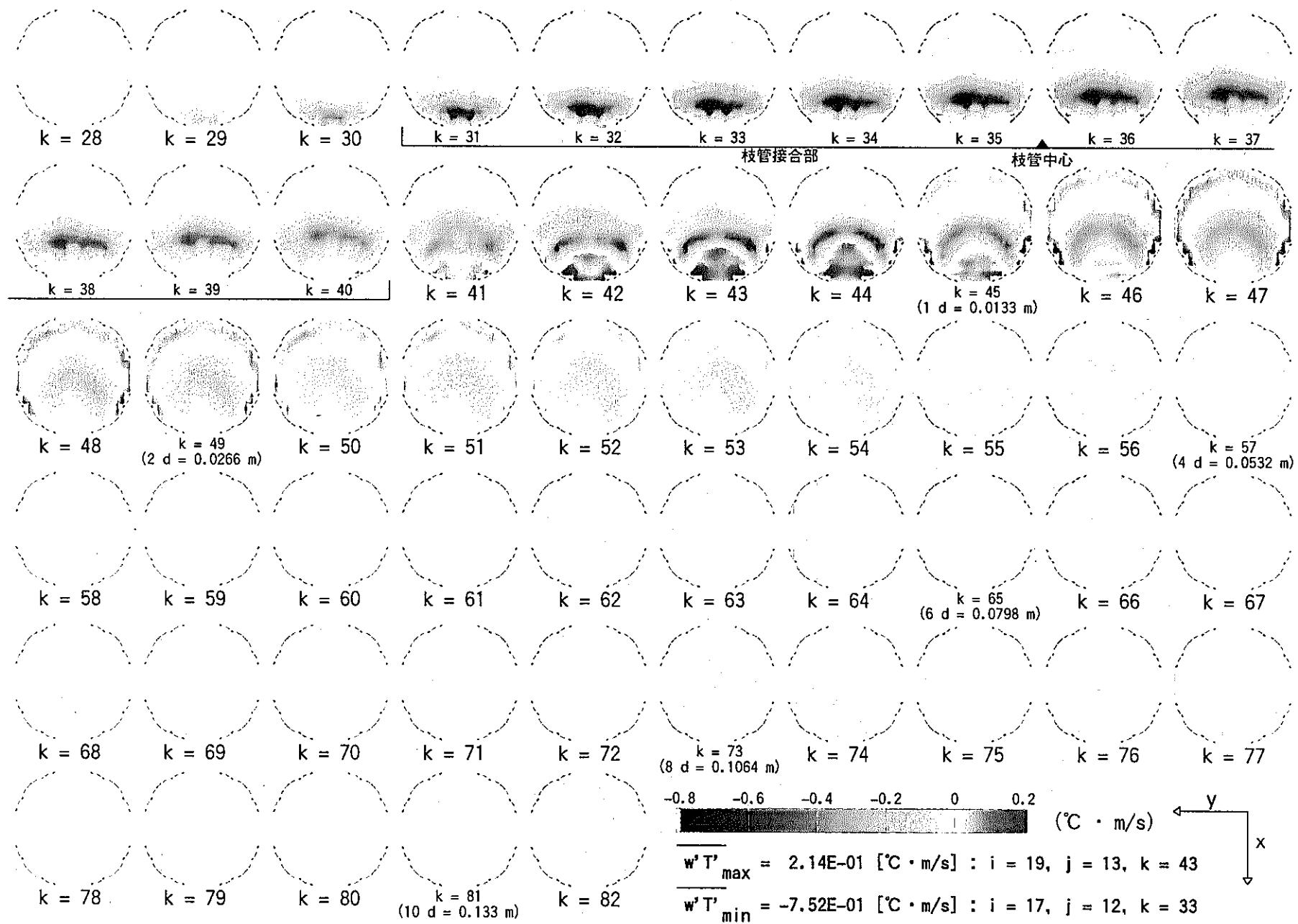


図 4.36 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case α -2 : $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

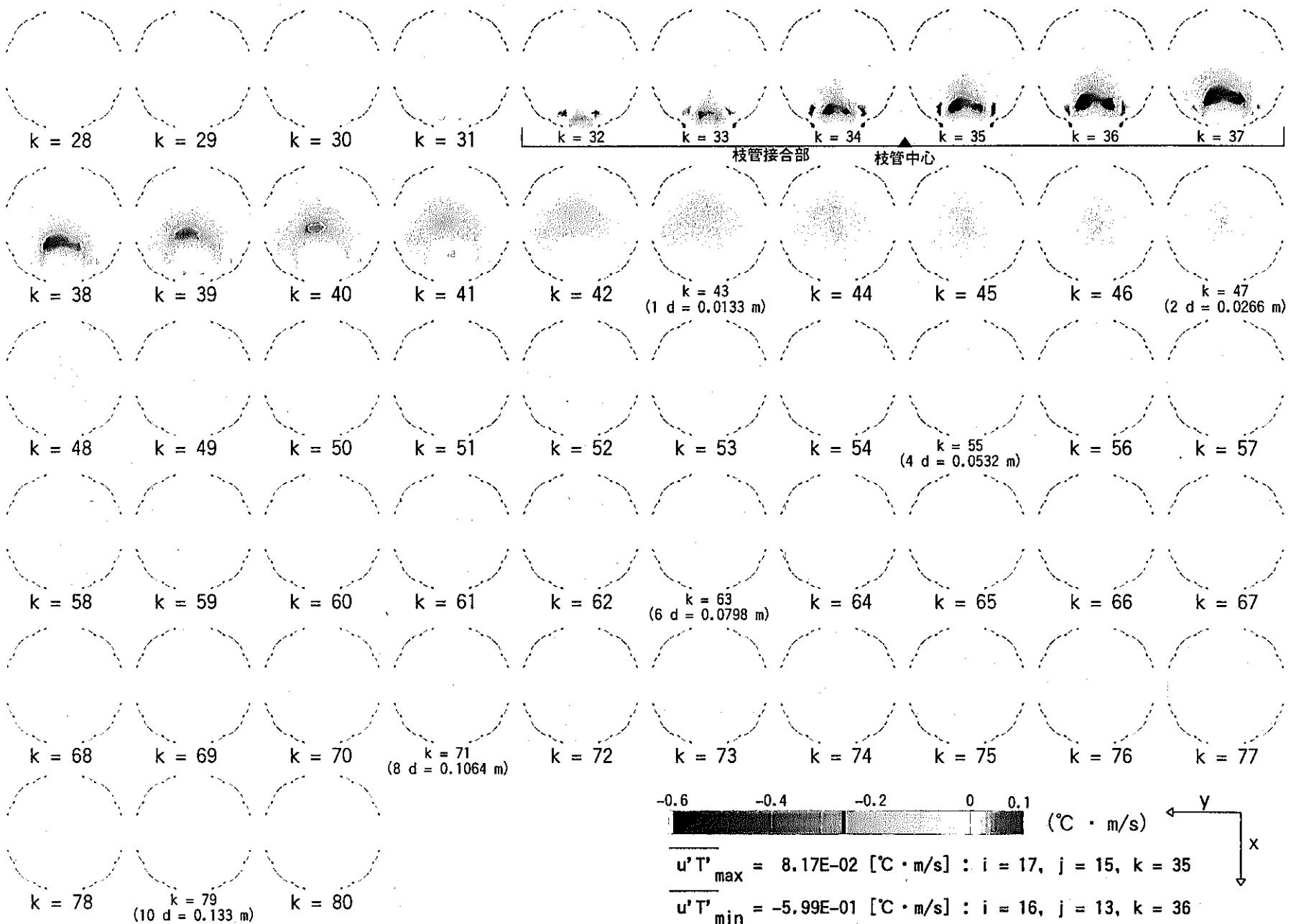


図 4.37 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 123 -

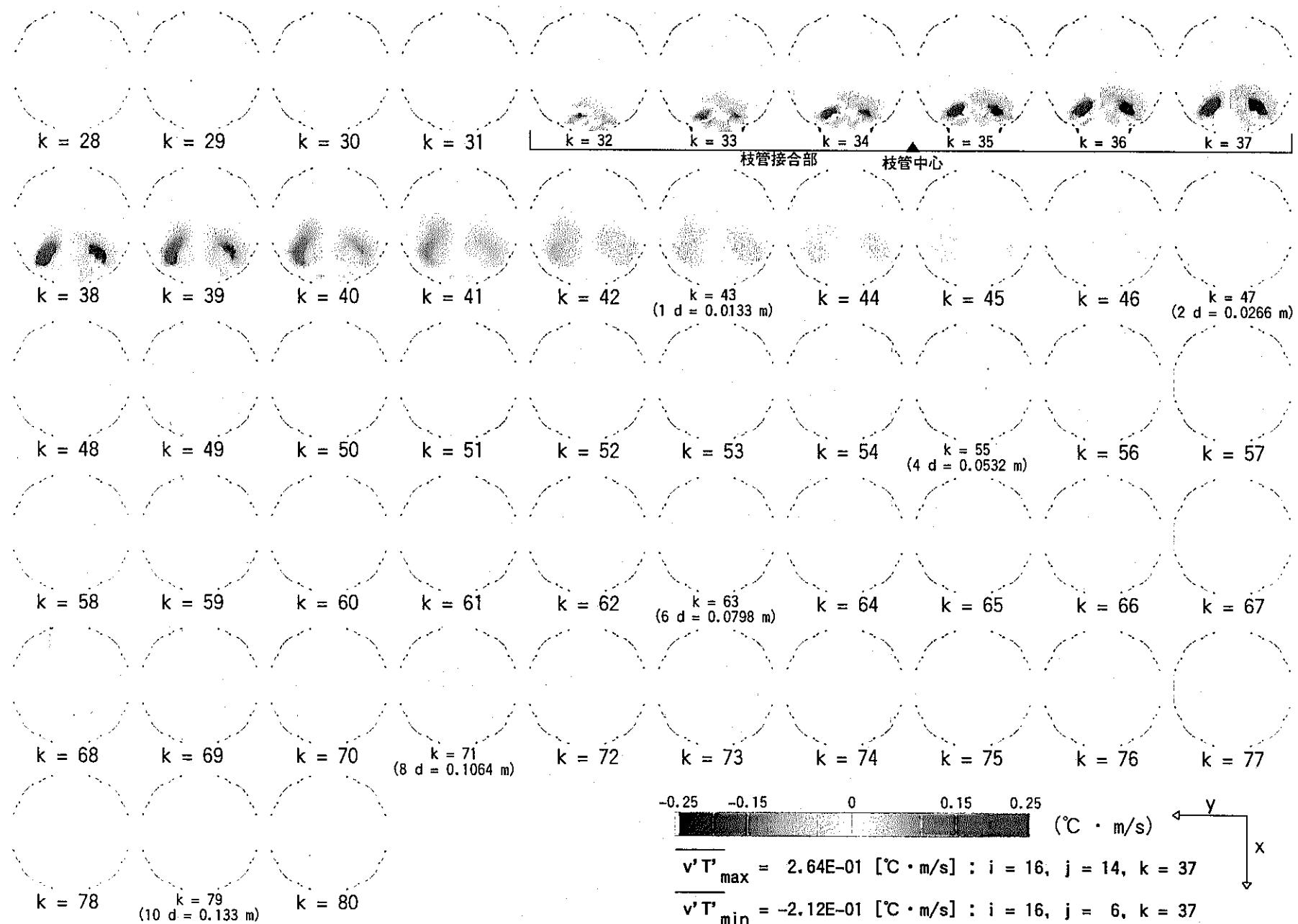


図 4.38 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^{\circ}$, $\text{Re}_m = 5,626$)

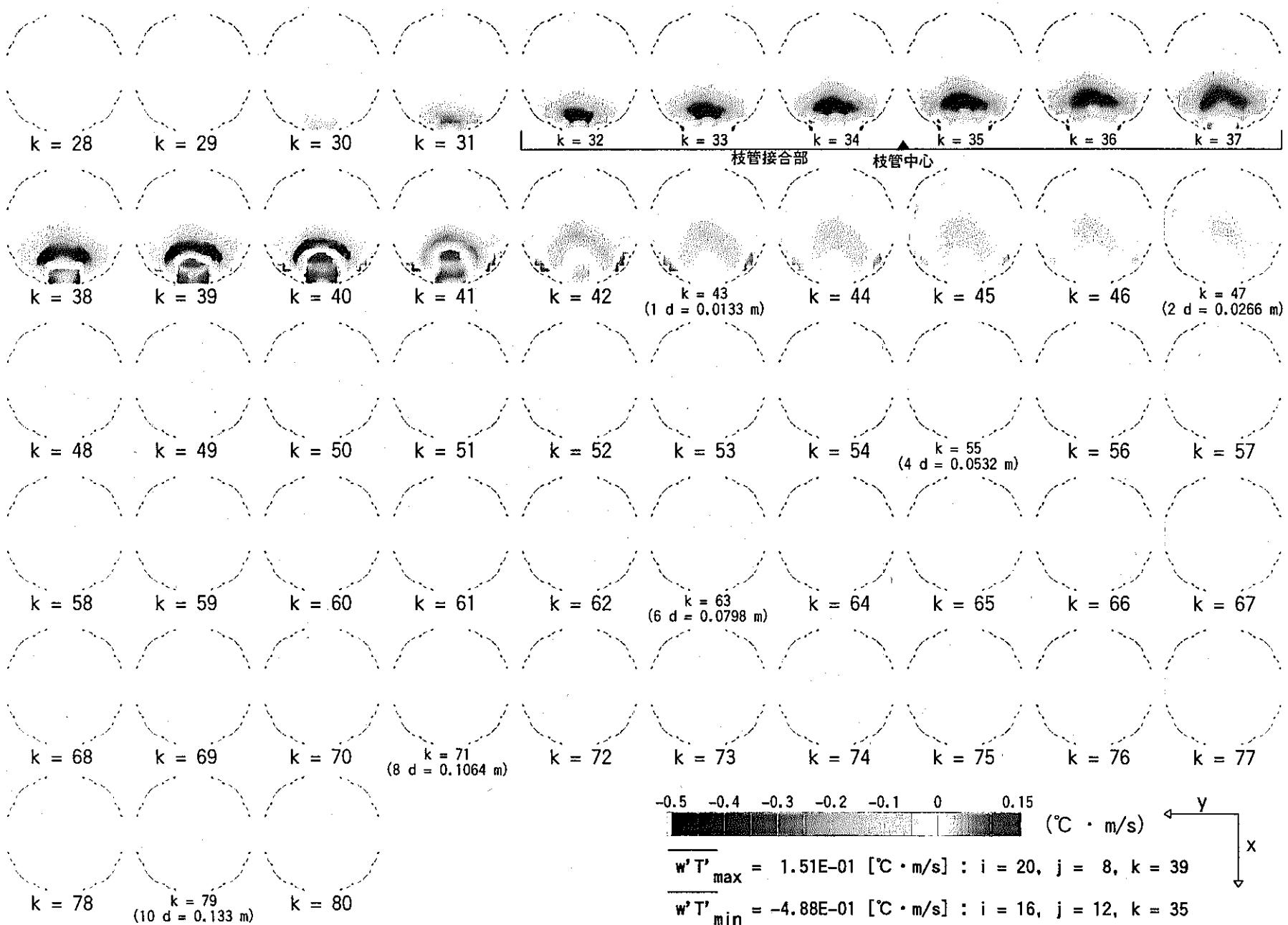


图 4.39 乱流热流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case α -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

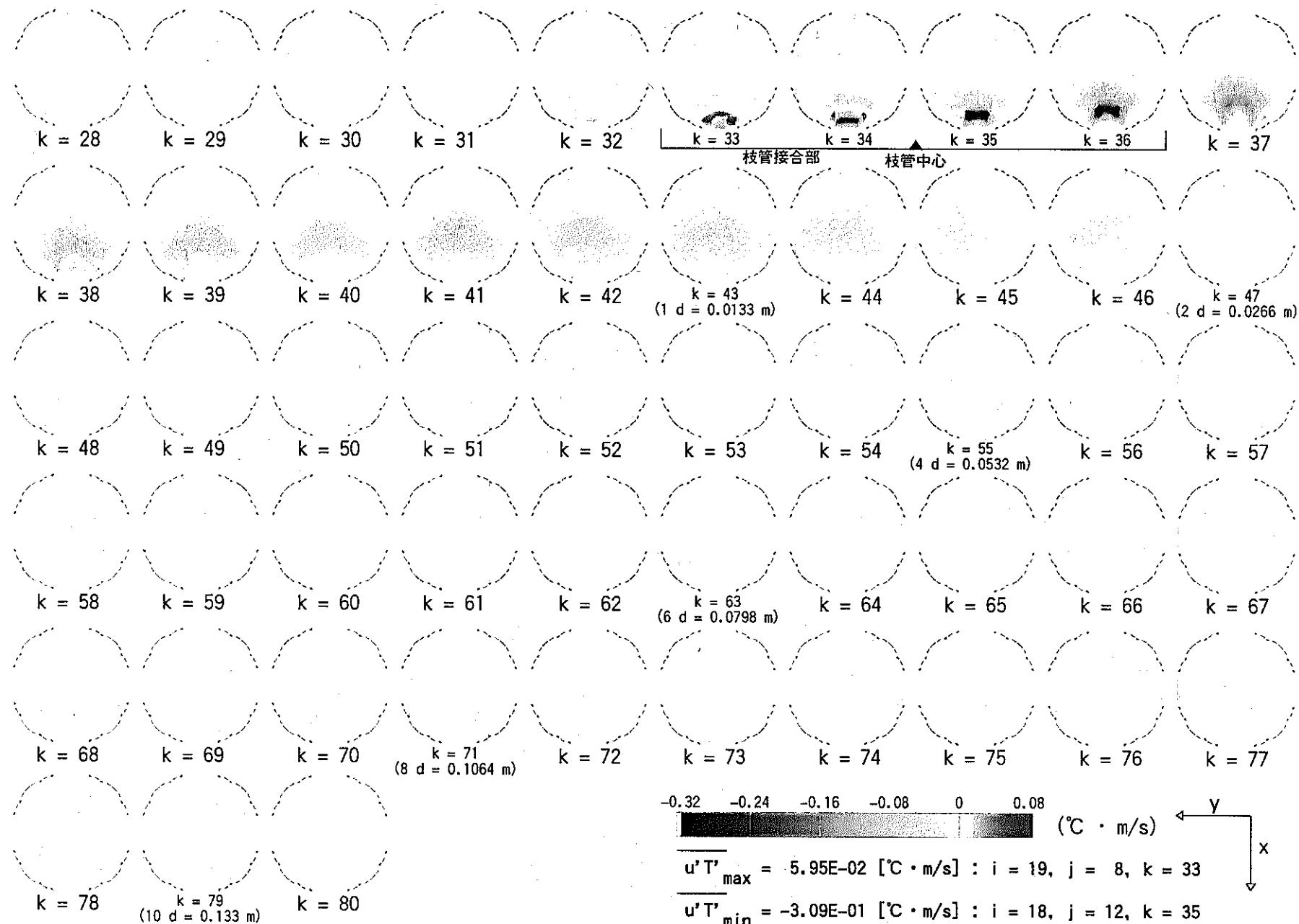


图 4.40 乱流熱流束 $u' T'$ 分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

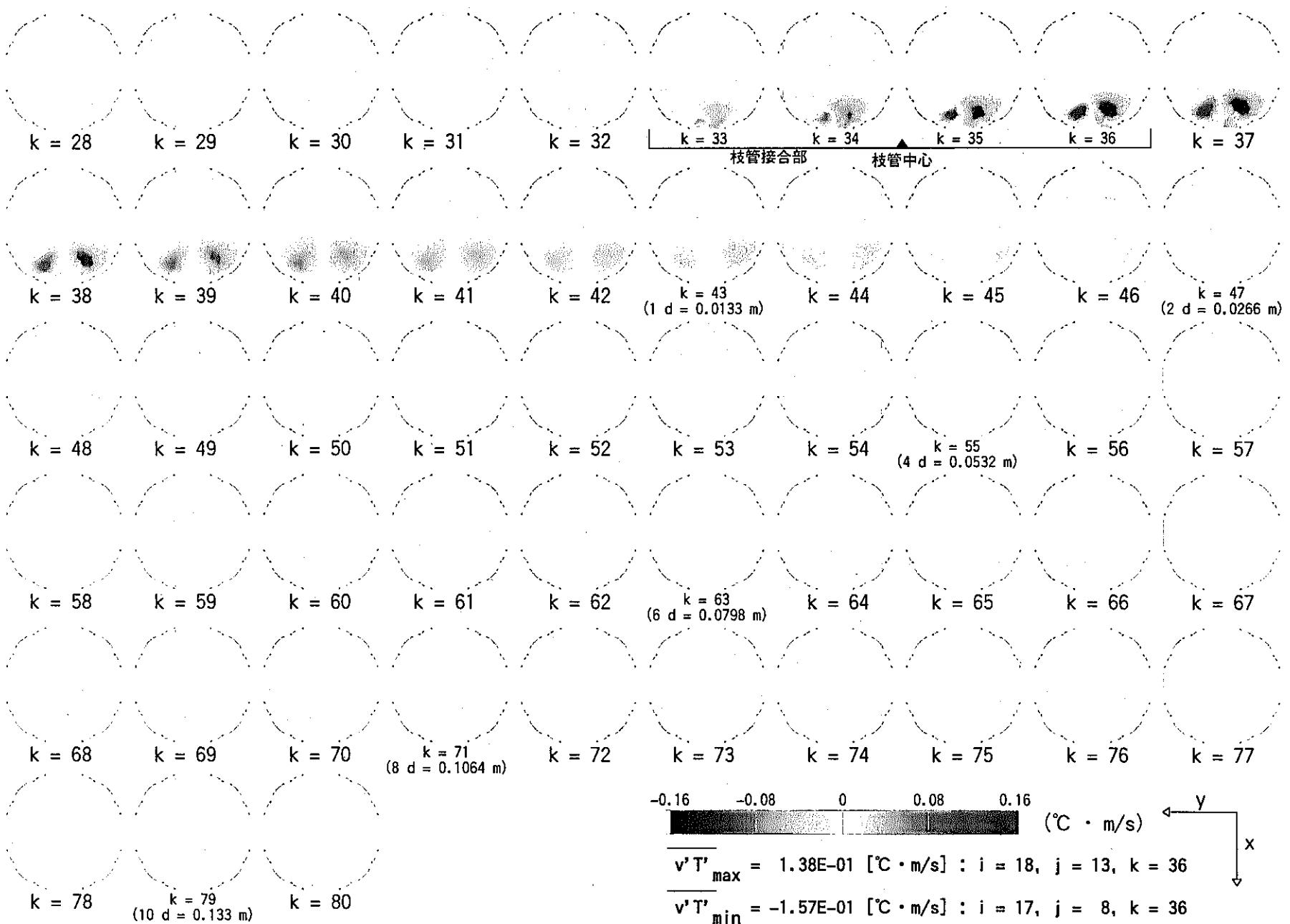


図 4.41 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 127 -

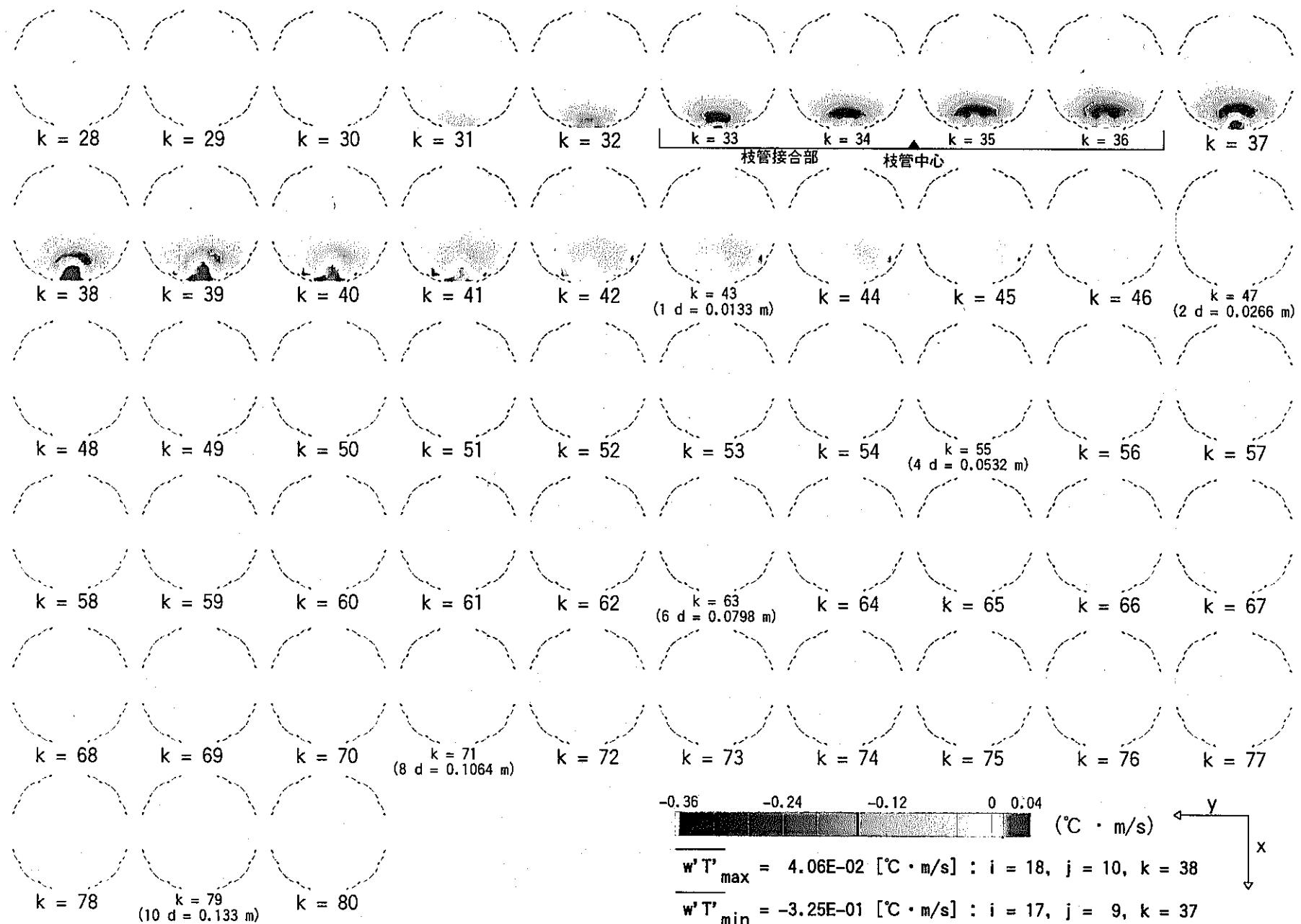


図 4.42 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case α -4 : $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

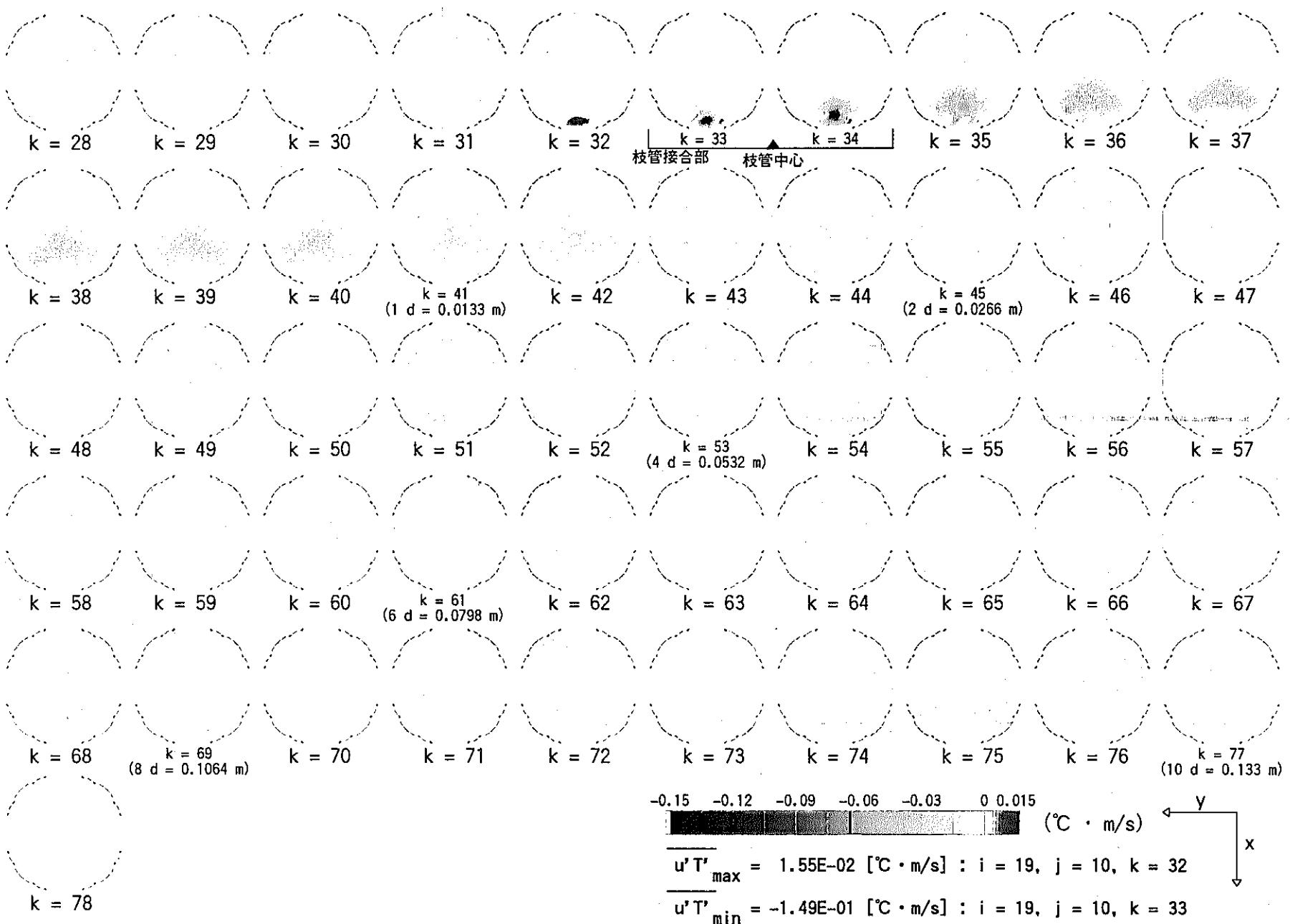


図 4.43 乱流熱流束 $u' T'$ 分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 129 -

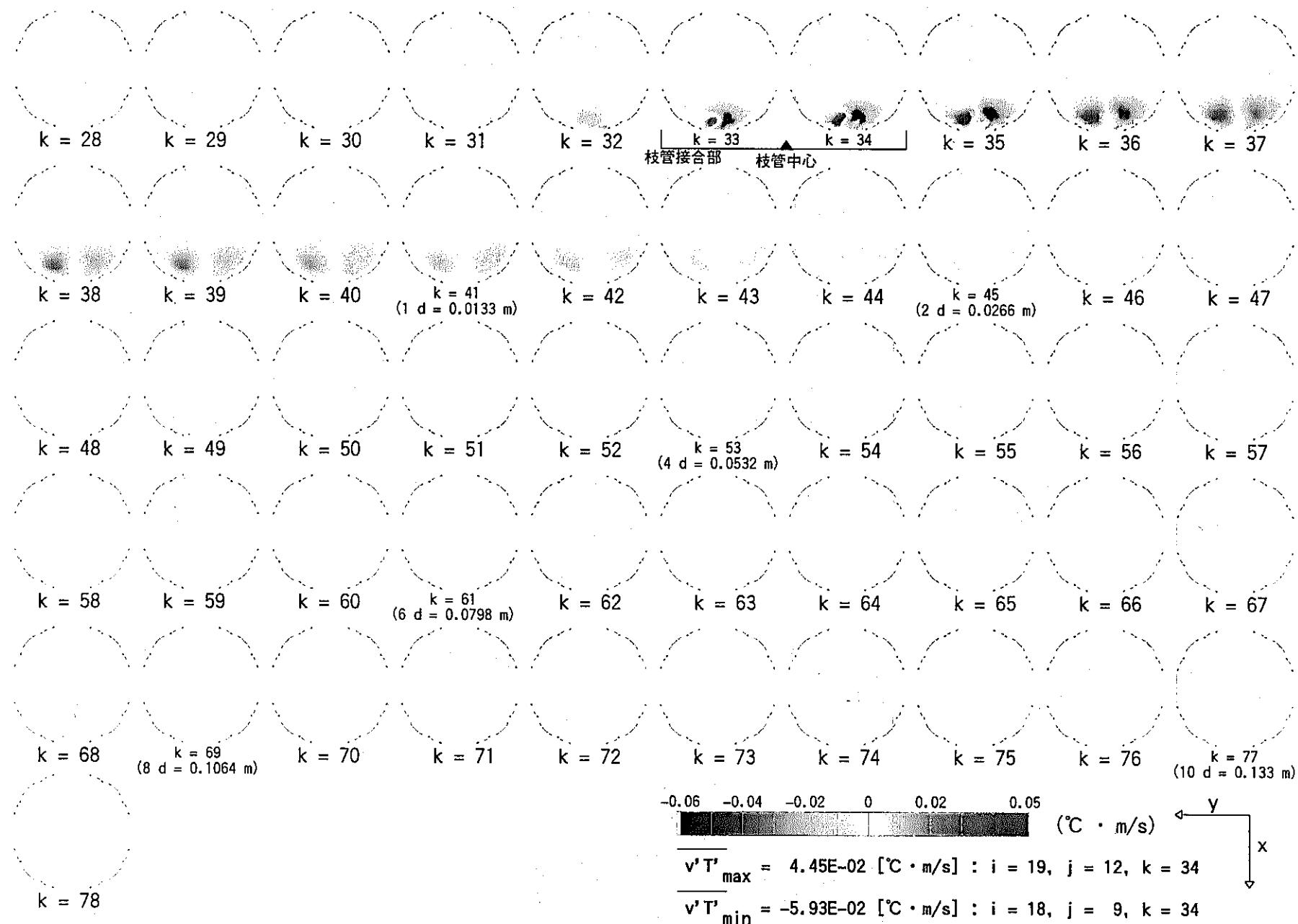


図 4.44 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

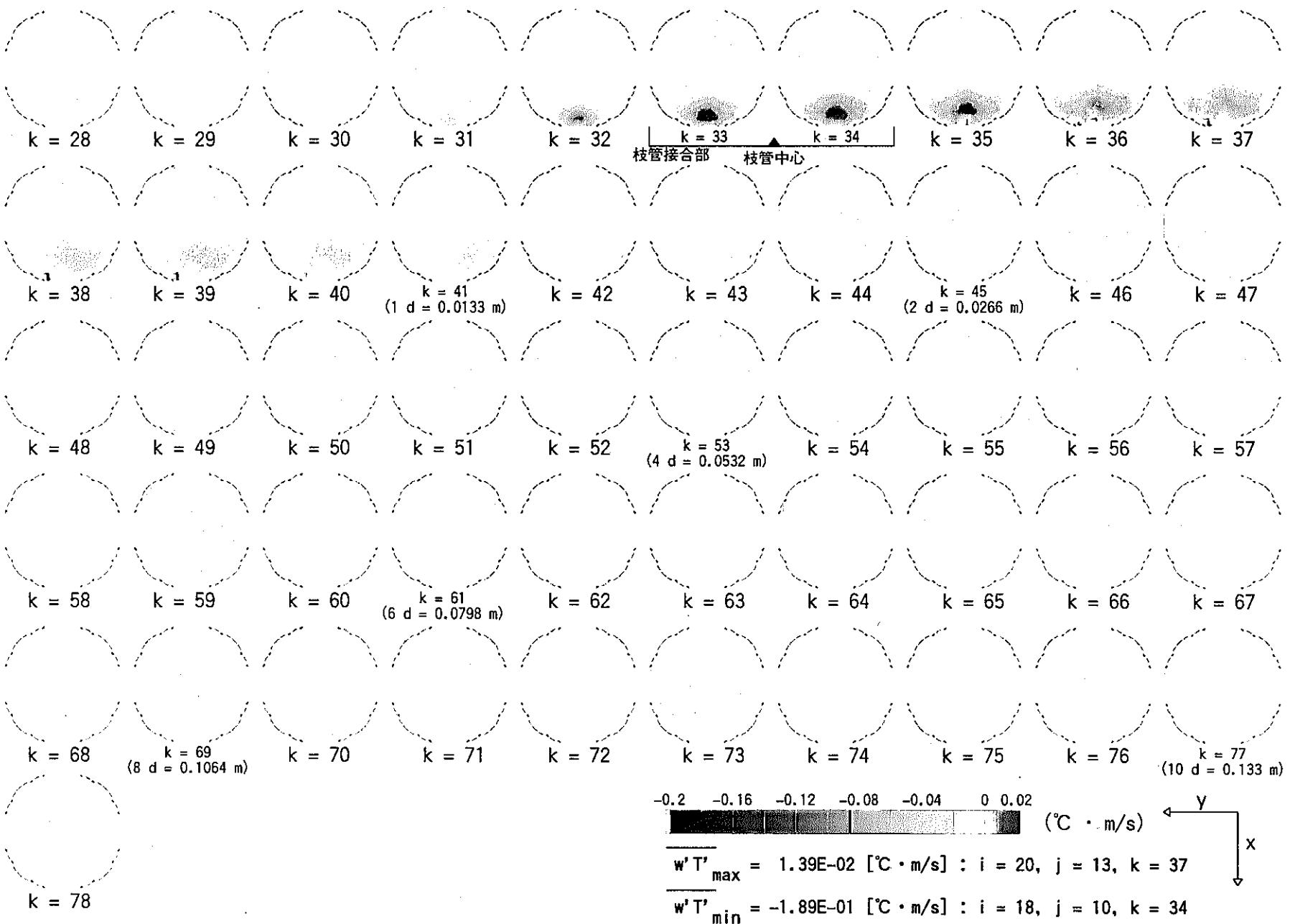


図 4.45 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case α -5 : $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

- 131 -

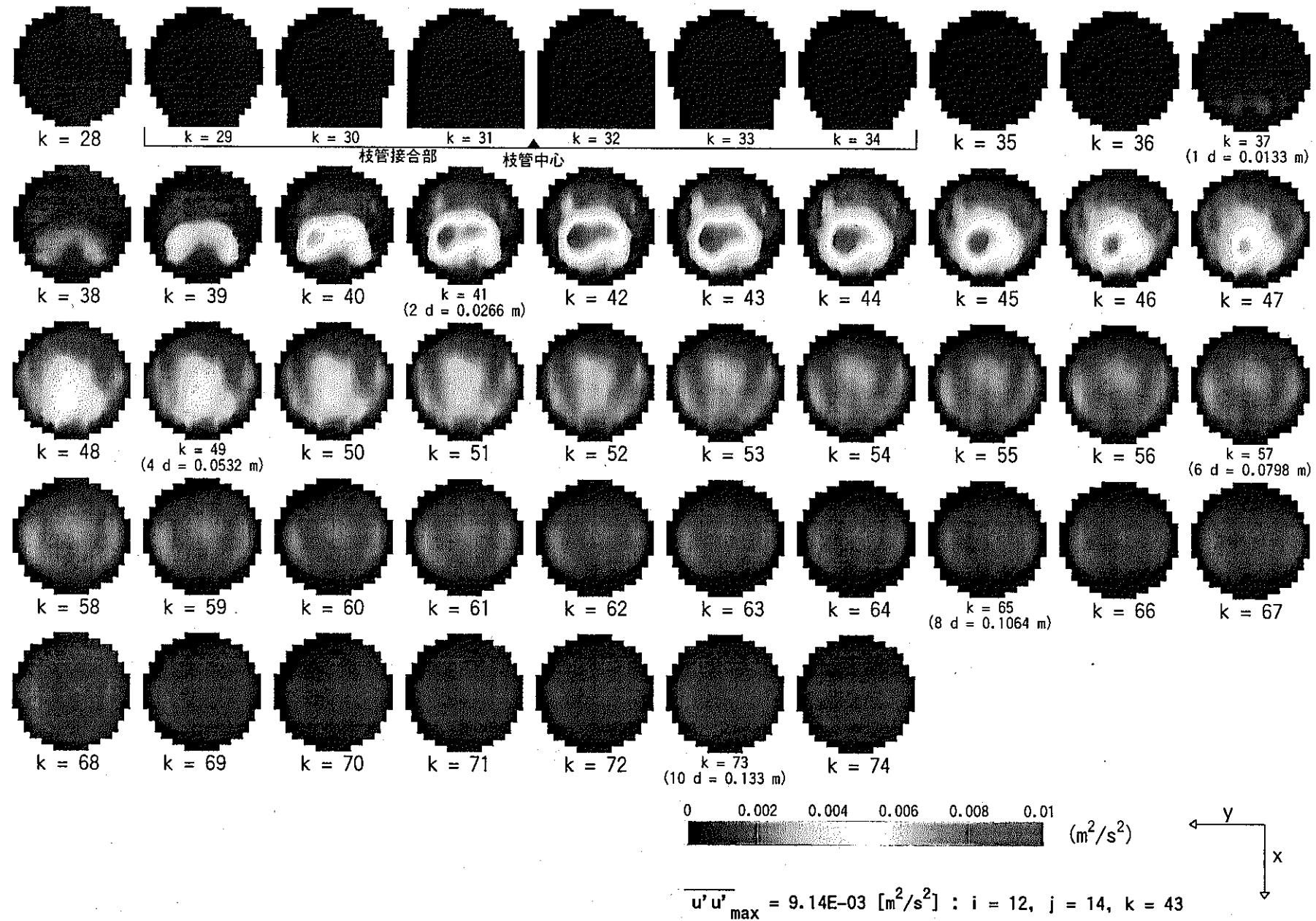


図 4.46 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

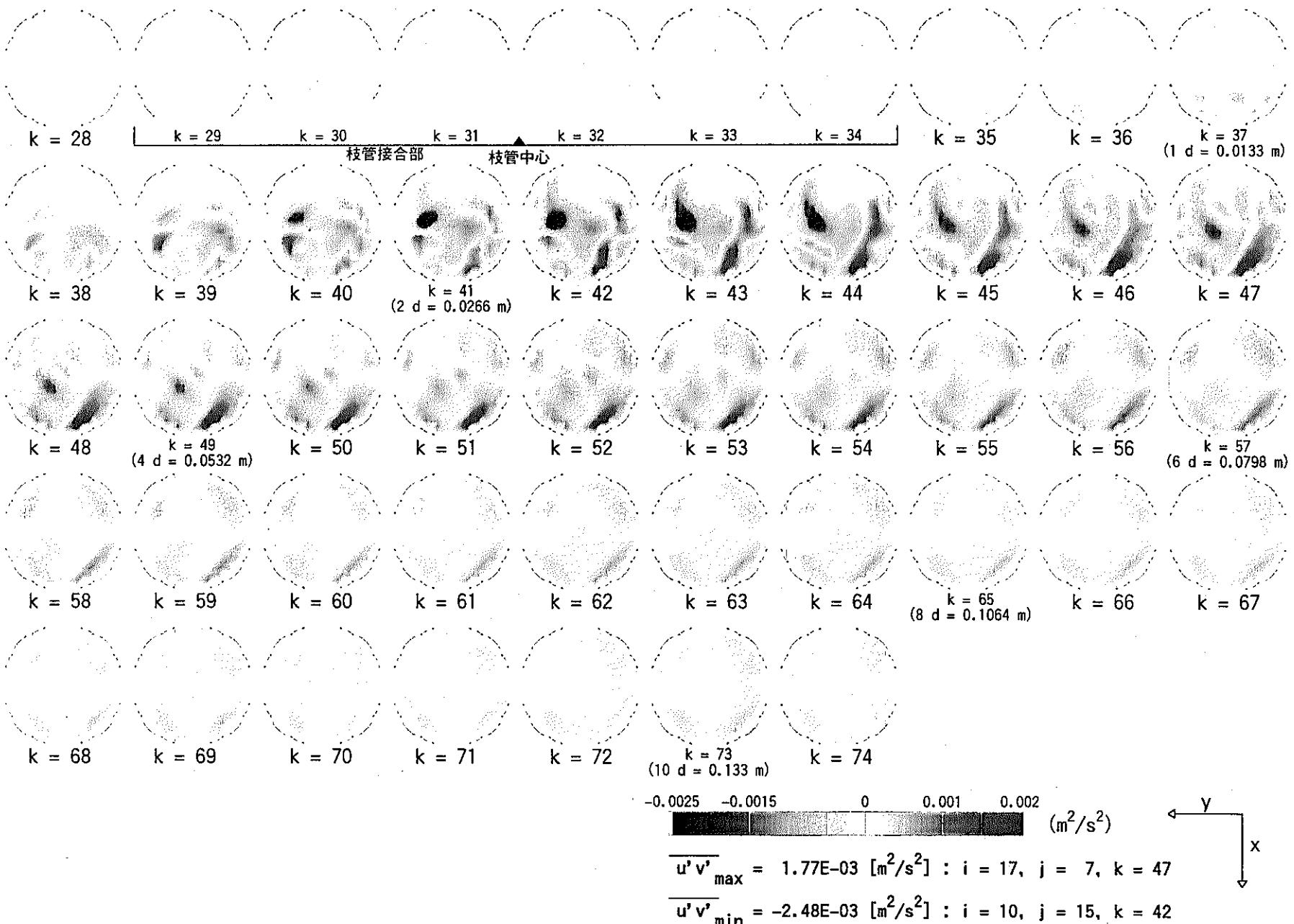


図 4.47 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case $\beta 1-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 1,407$)

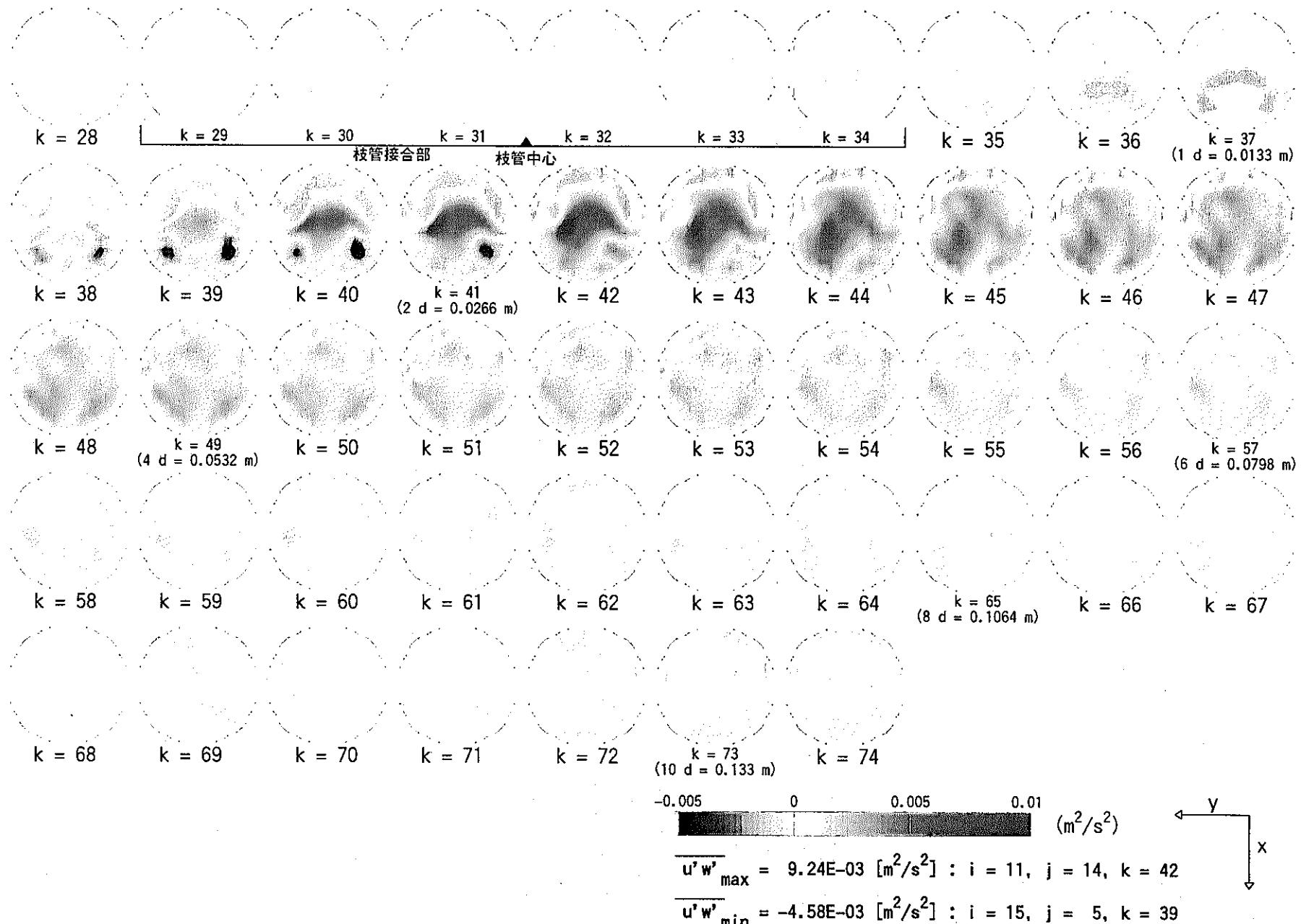


図 4.48 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

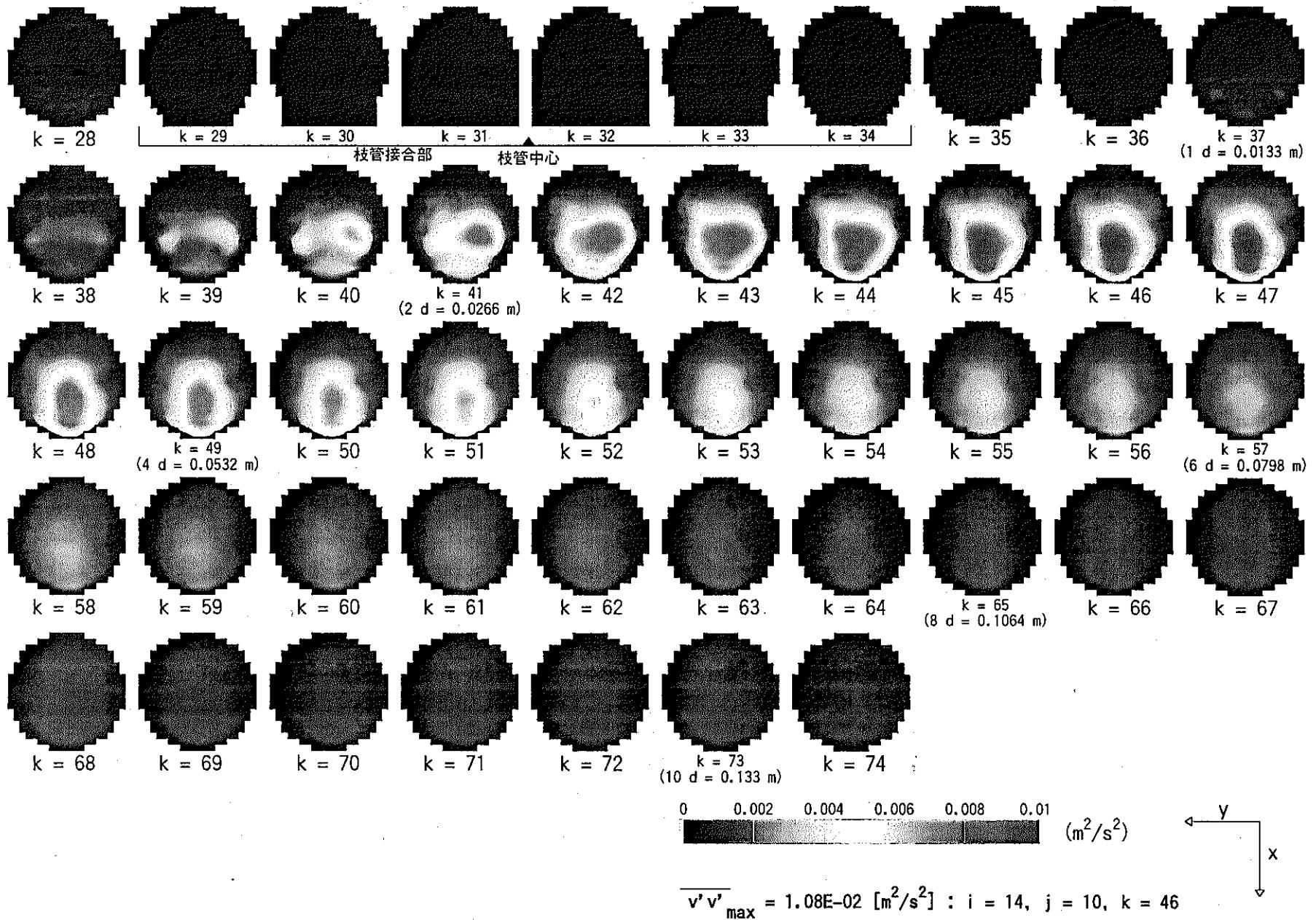


図 4.49 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 1,407$)

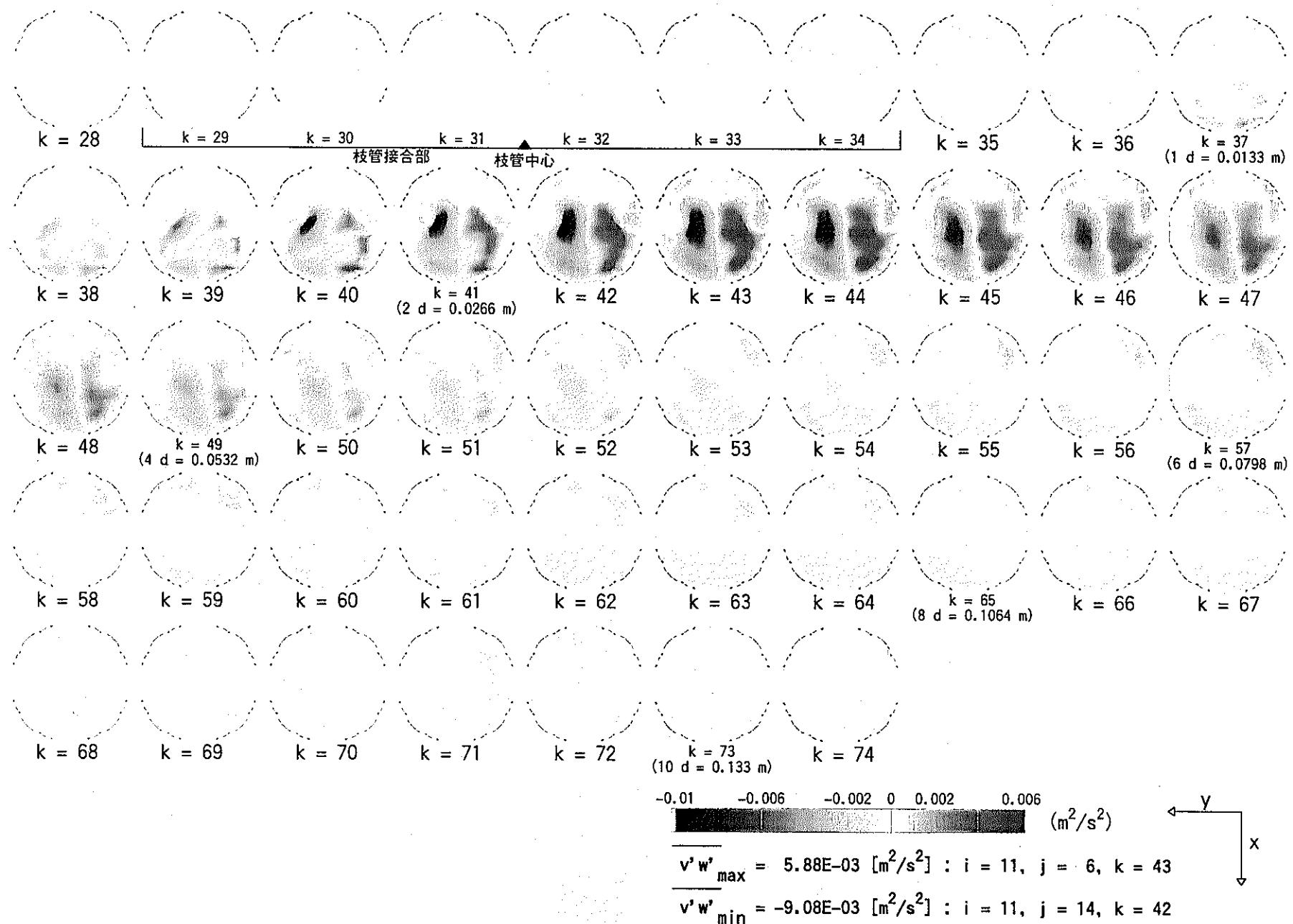


図 4.50 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)

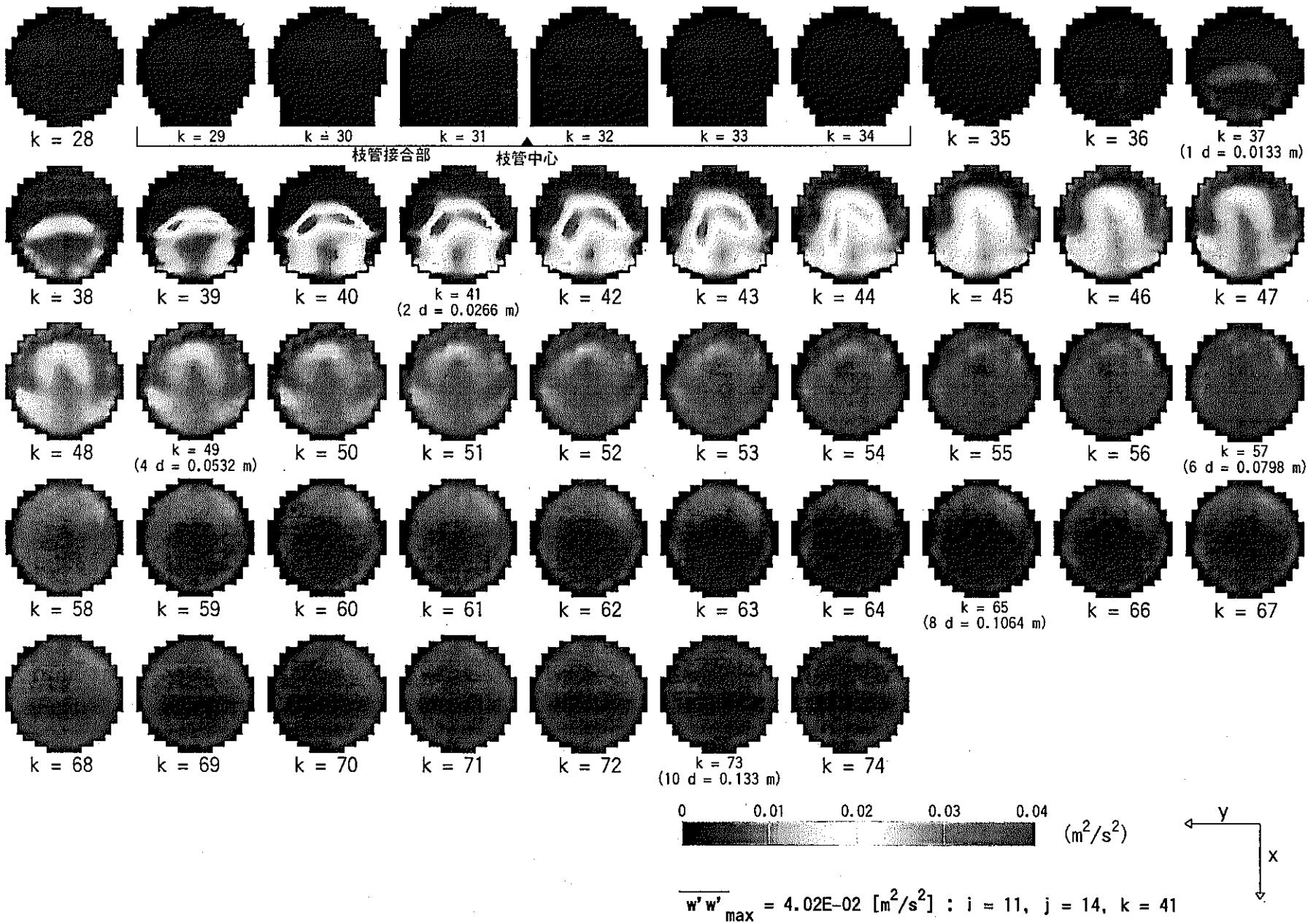


図 4.51 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

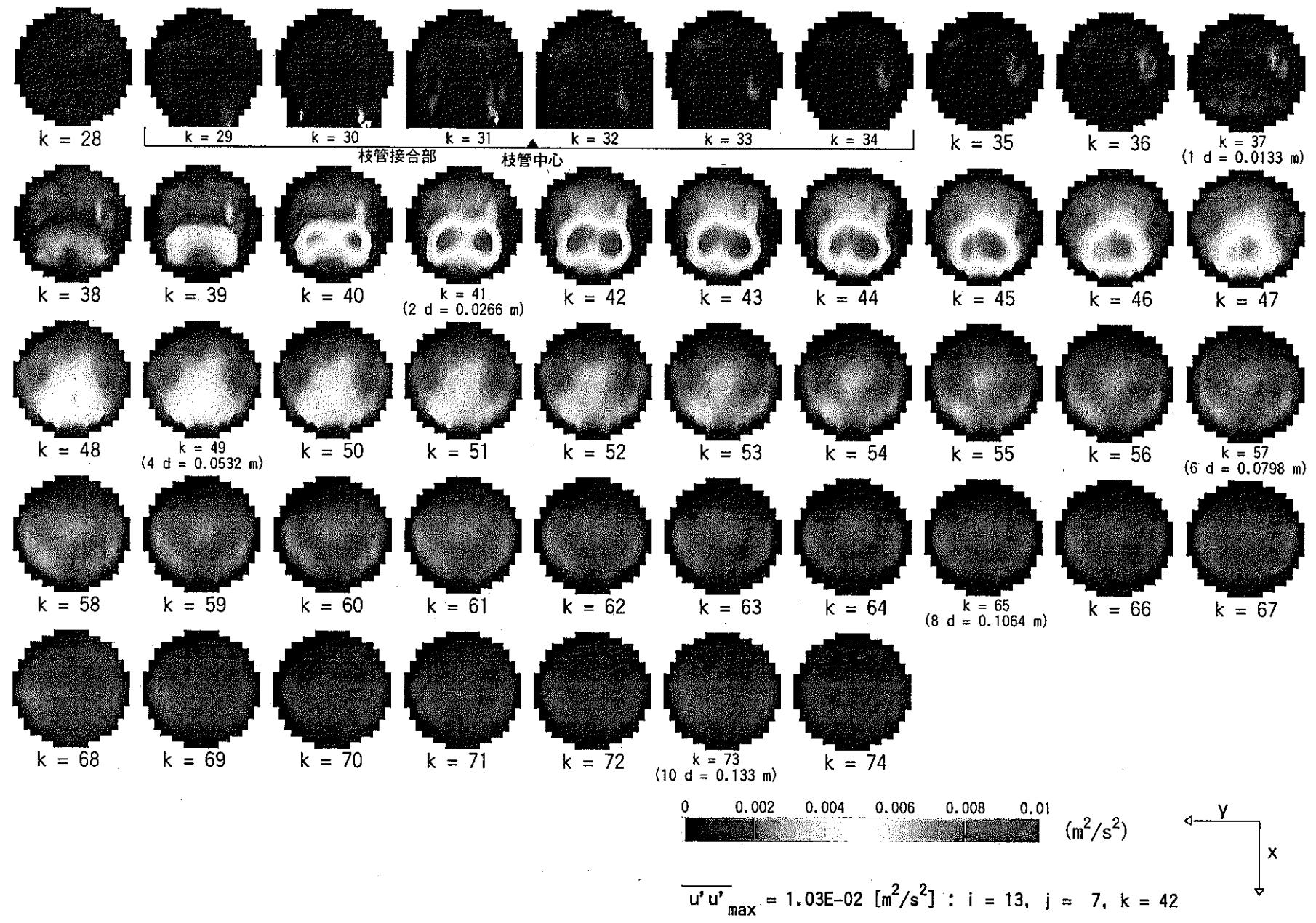


図 4.52 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

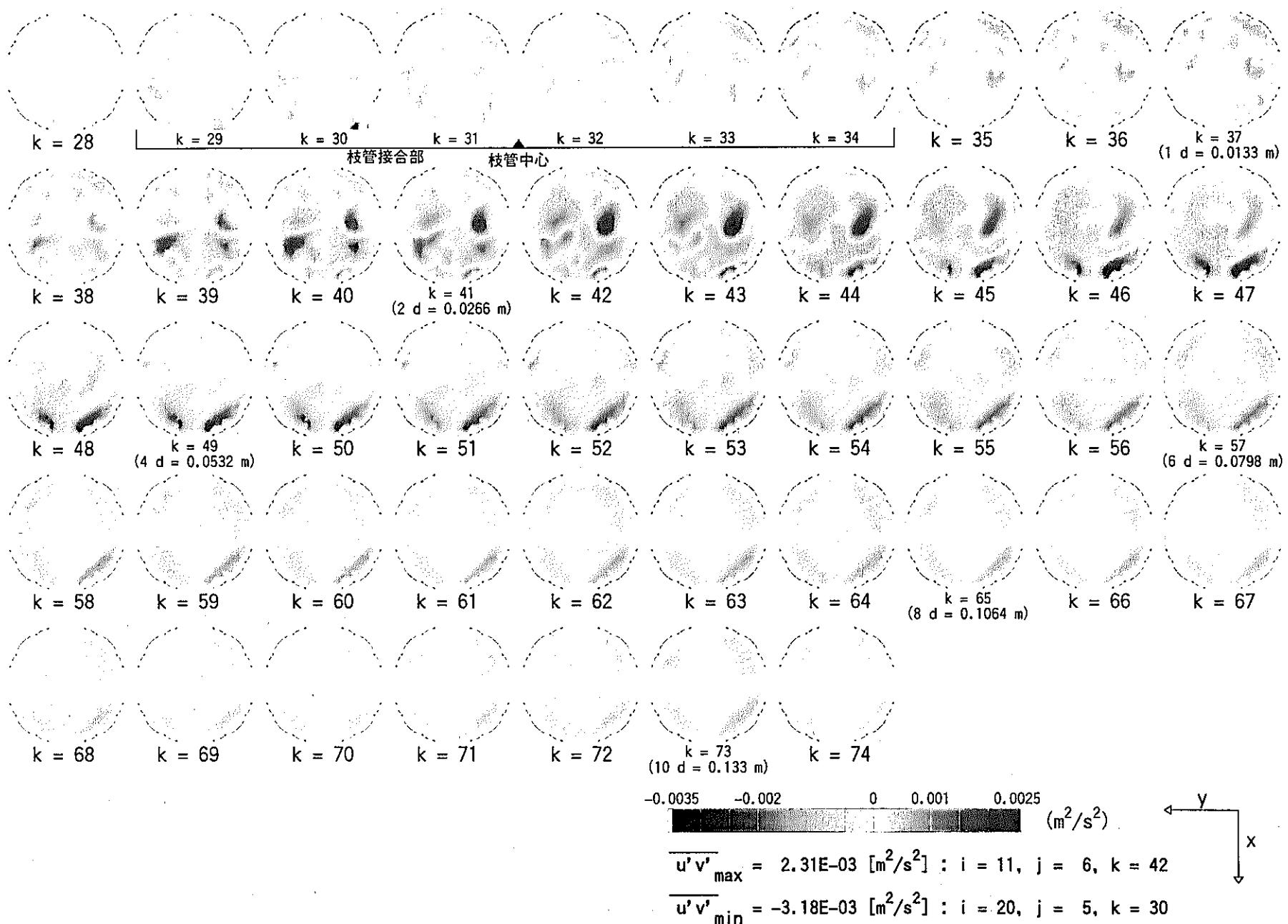


図 4.53 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

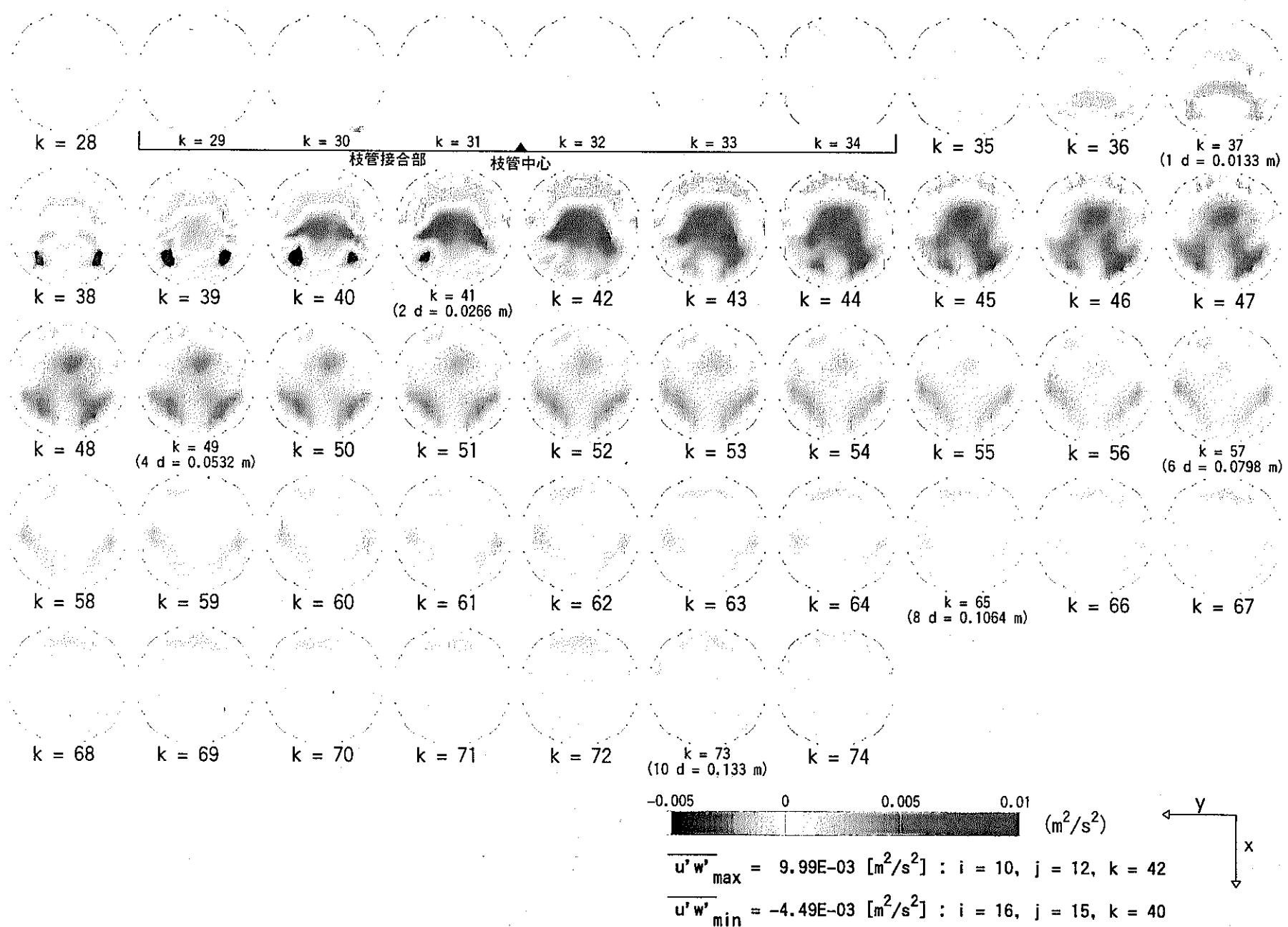


図 4.54 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)



図 4.55 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

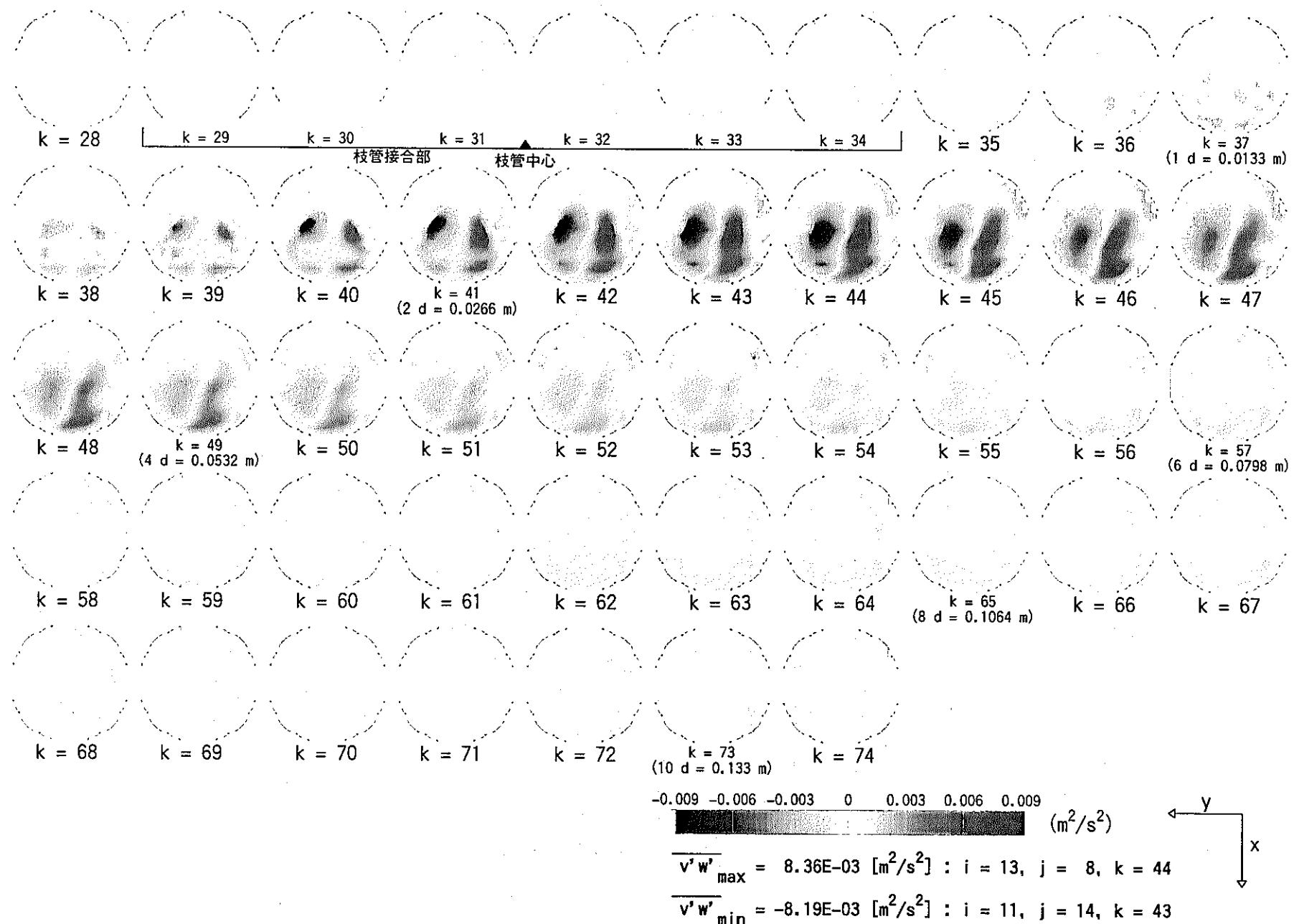


図 4.56 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\beta 1-2$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)



図 4.57 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

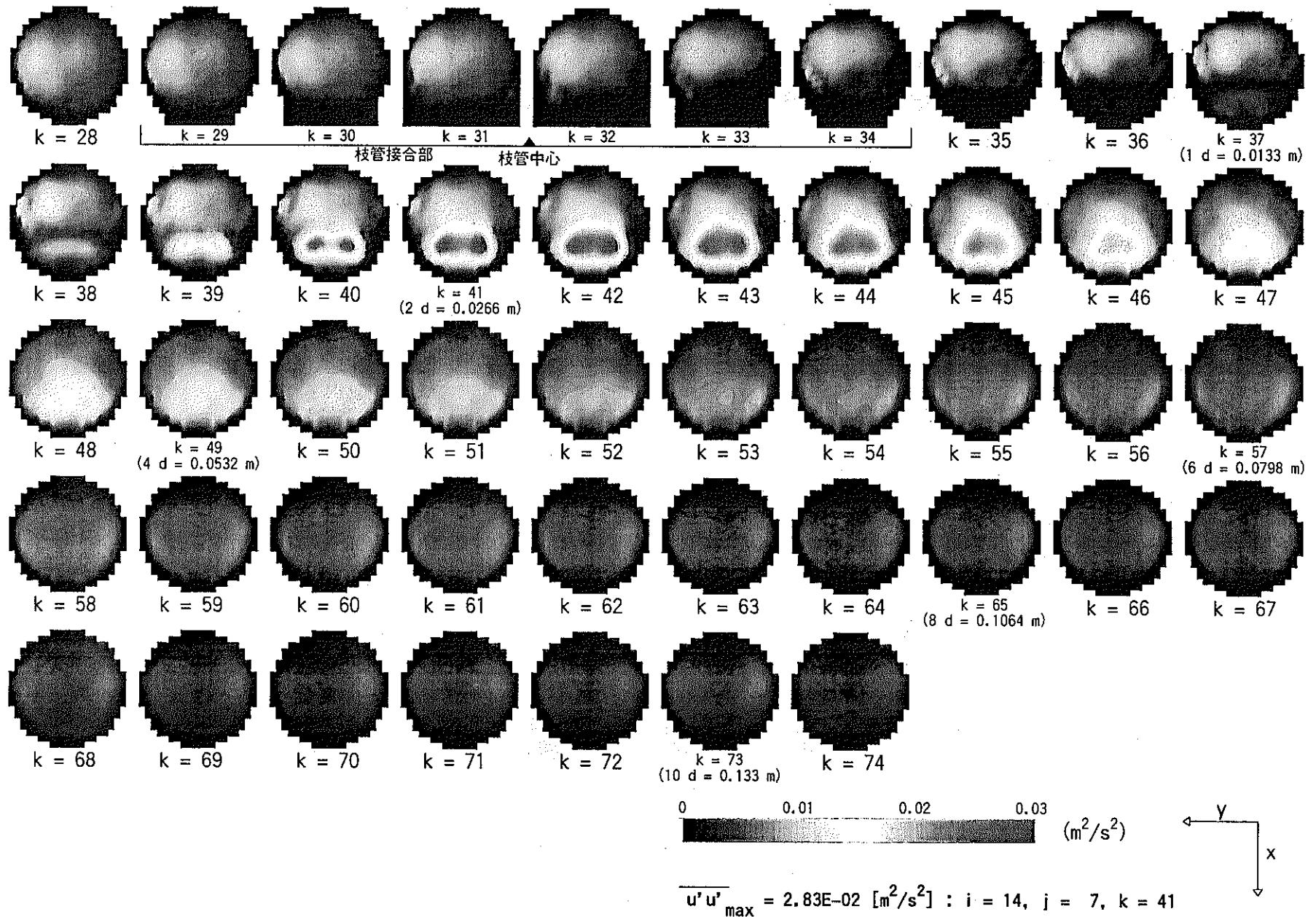


図 4.58 Re 応力 $\overline{u'u'}$ 分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

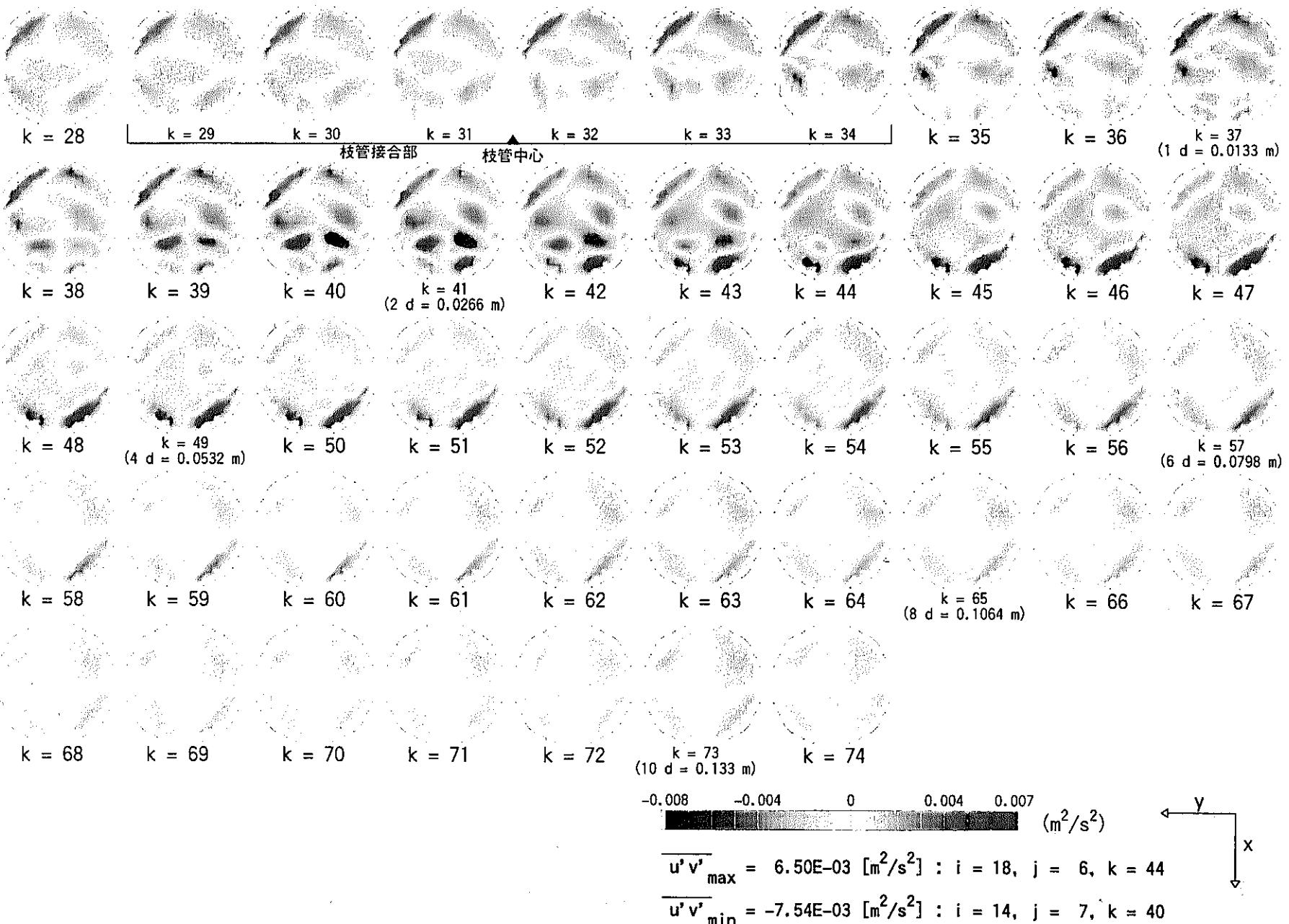


図 4.59 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case $\beta 1-3$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

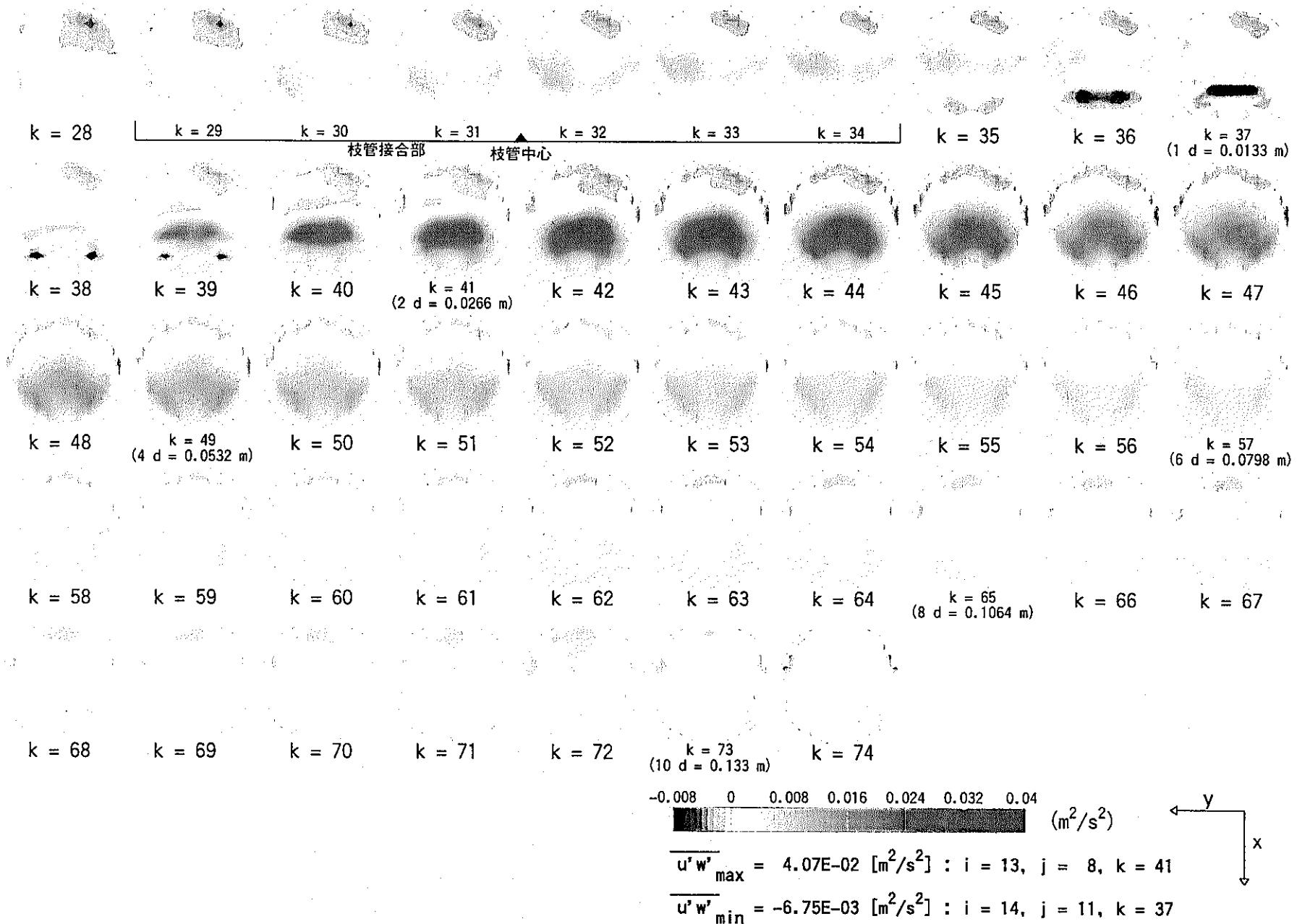


図 4.60 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case $\beta 1-3$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

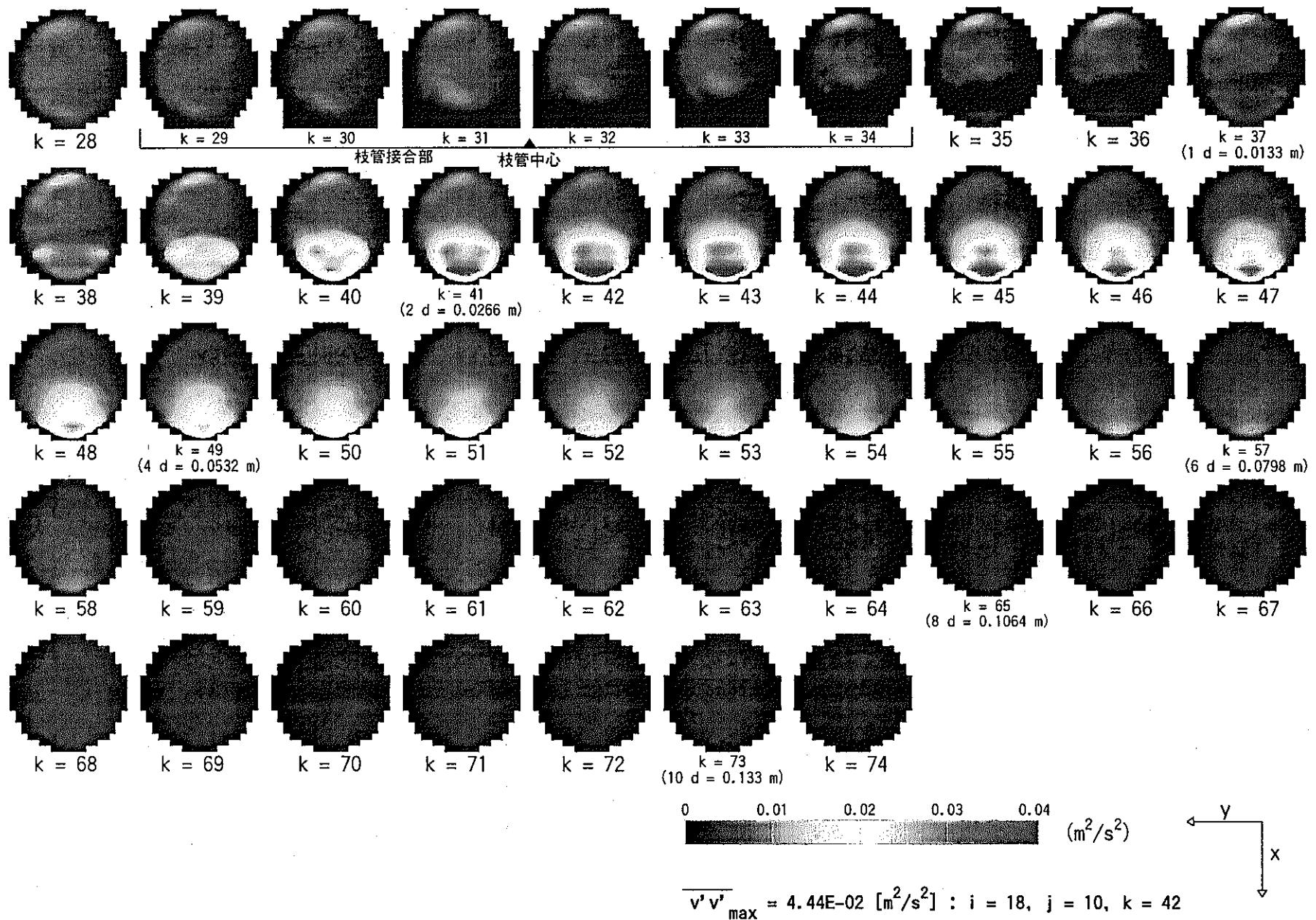


図 4.61 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

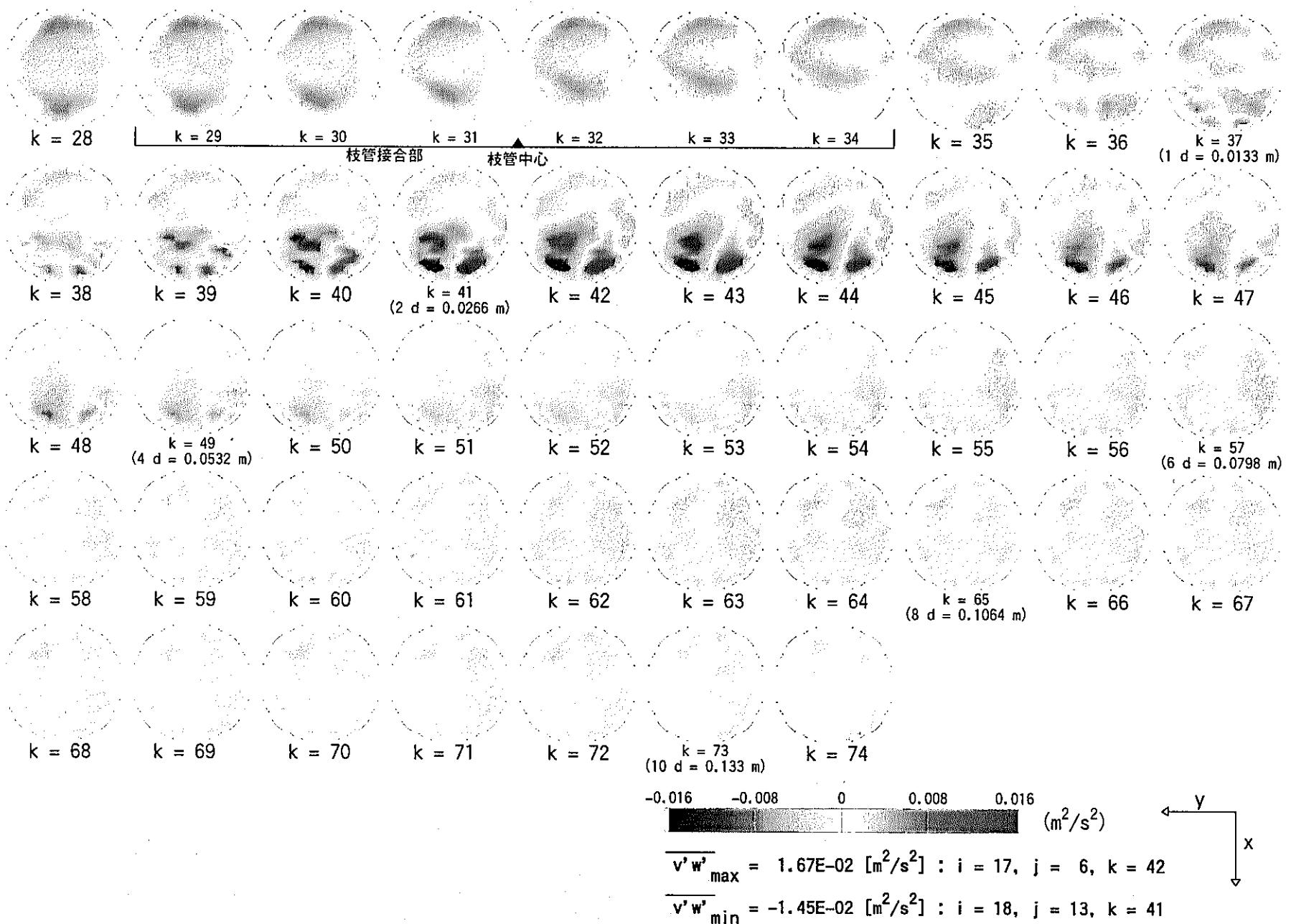


図 4.62 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\beta 1-3$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

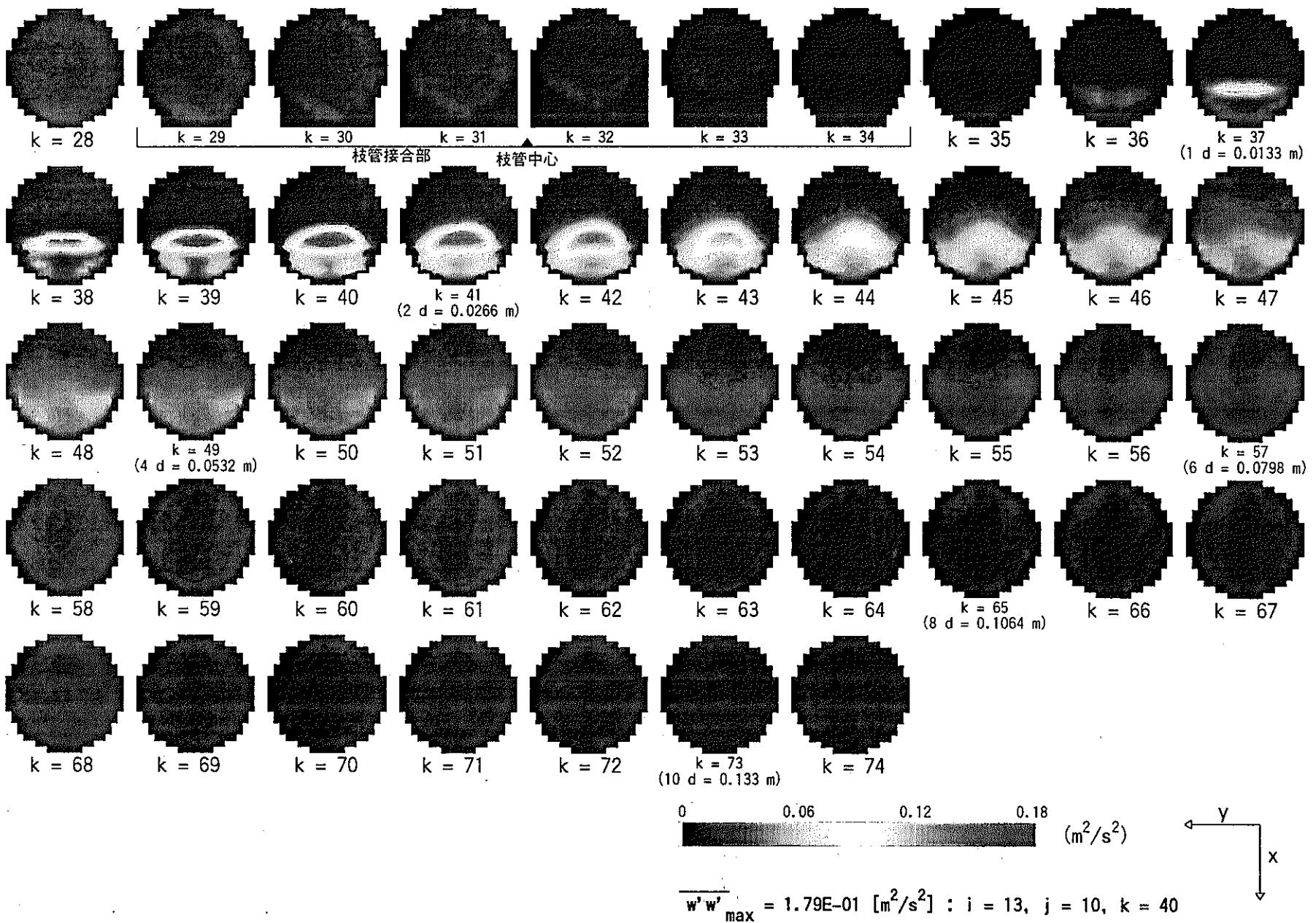


図 4.63 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 11,252$)

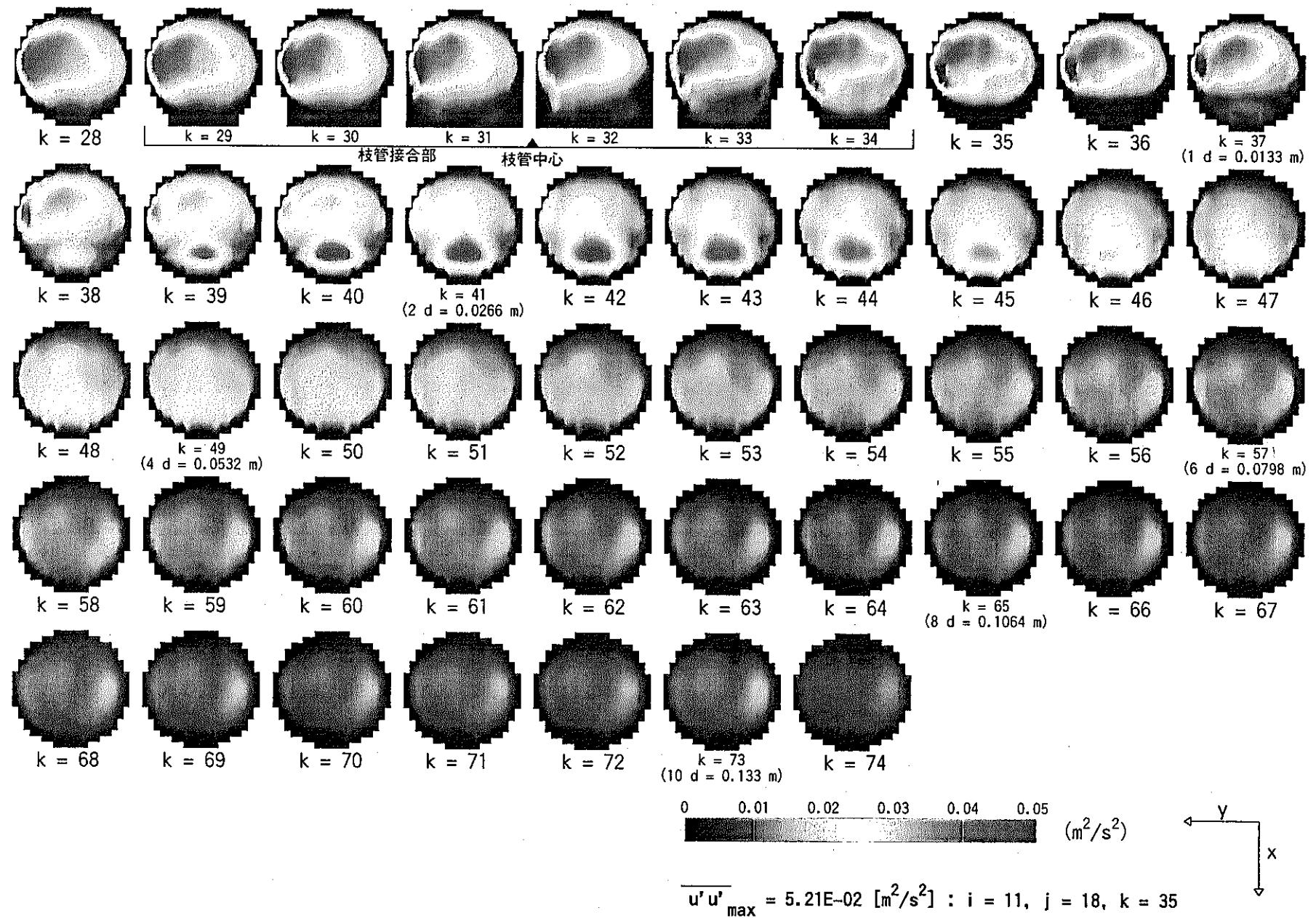


図 4.64 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

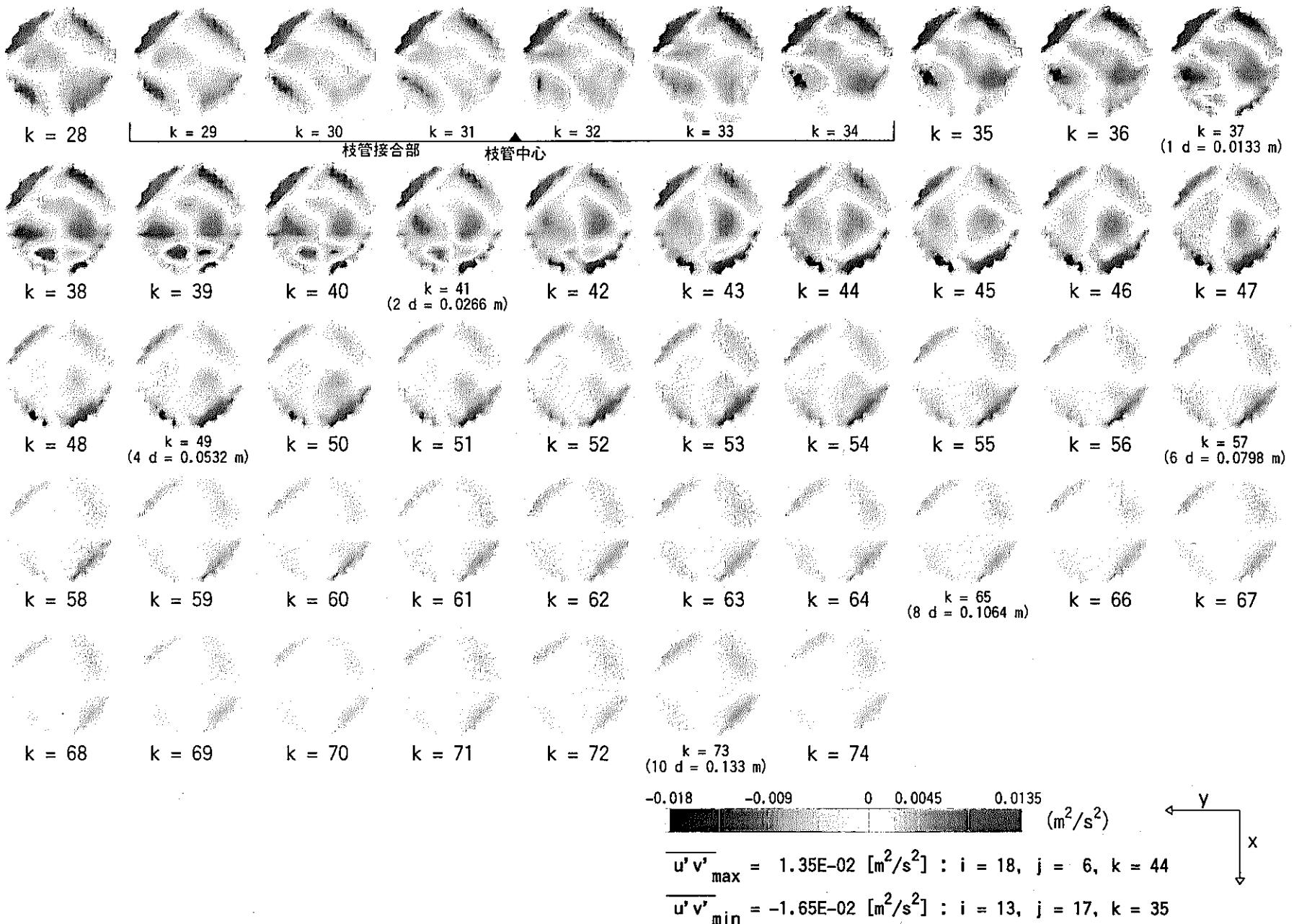


図 4.65 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

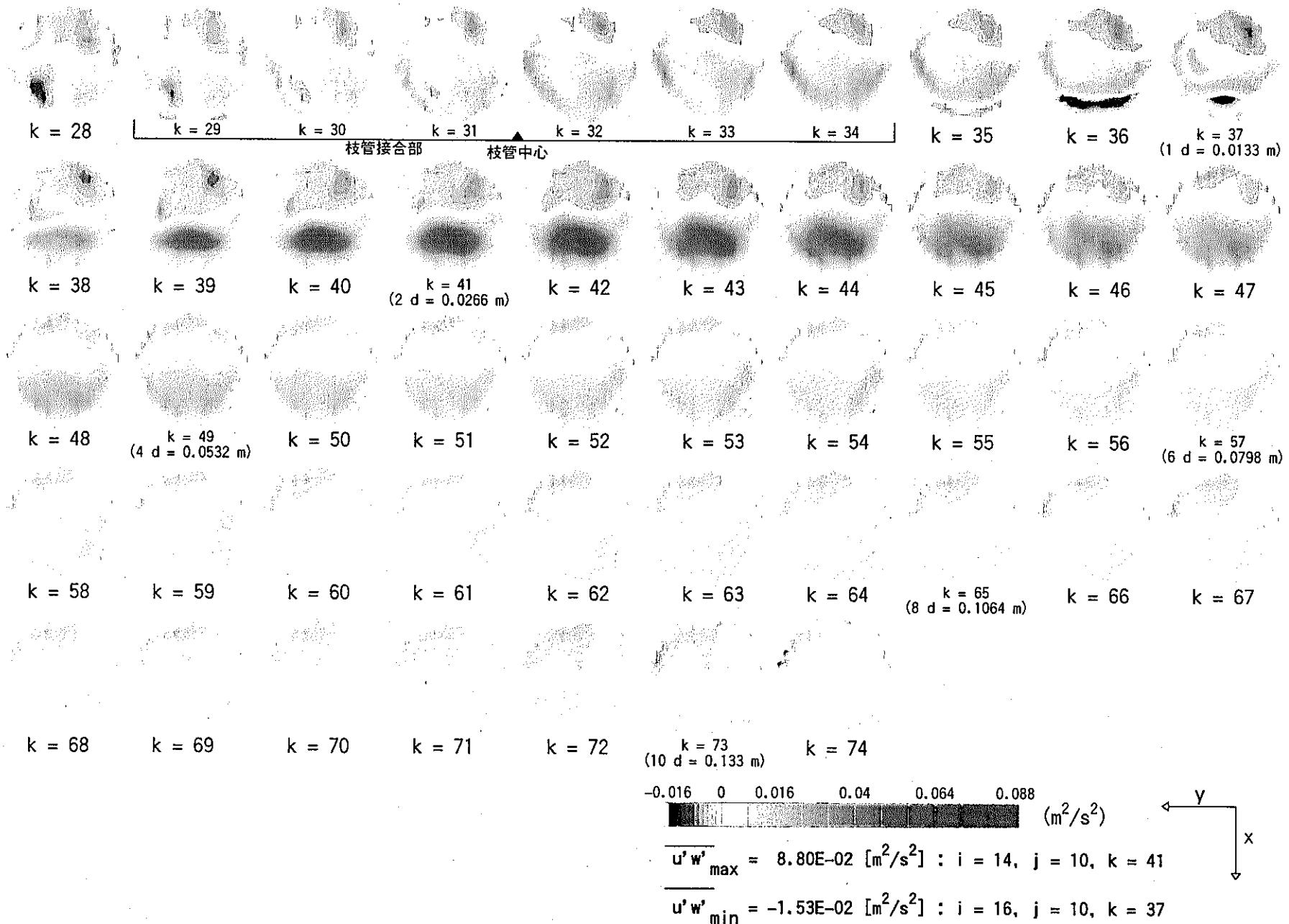


図 4.66 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

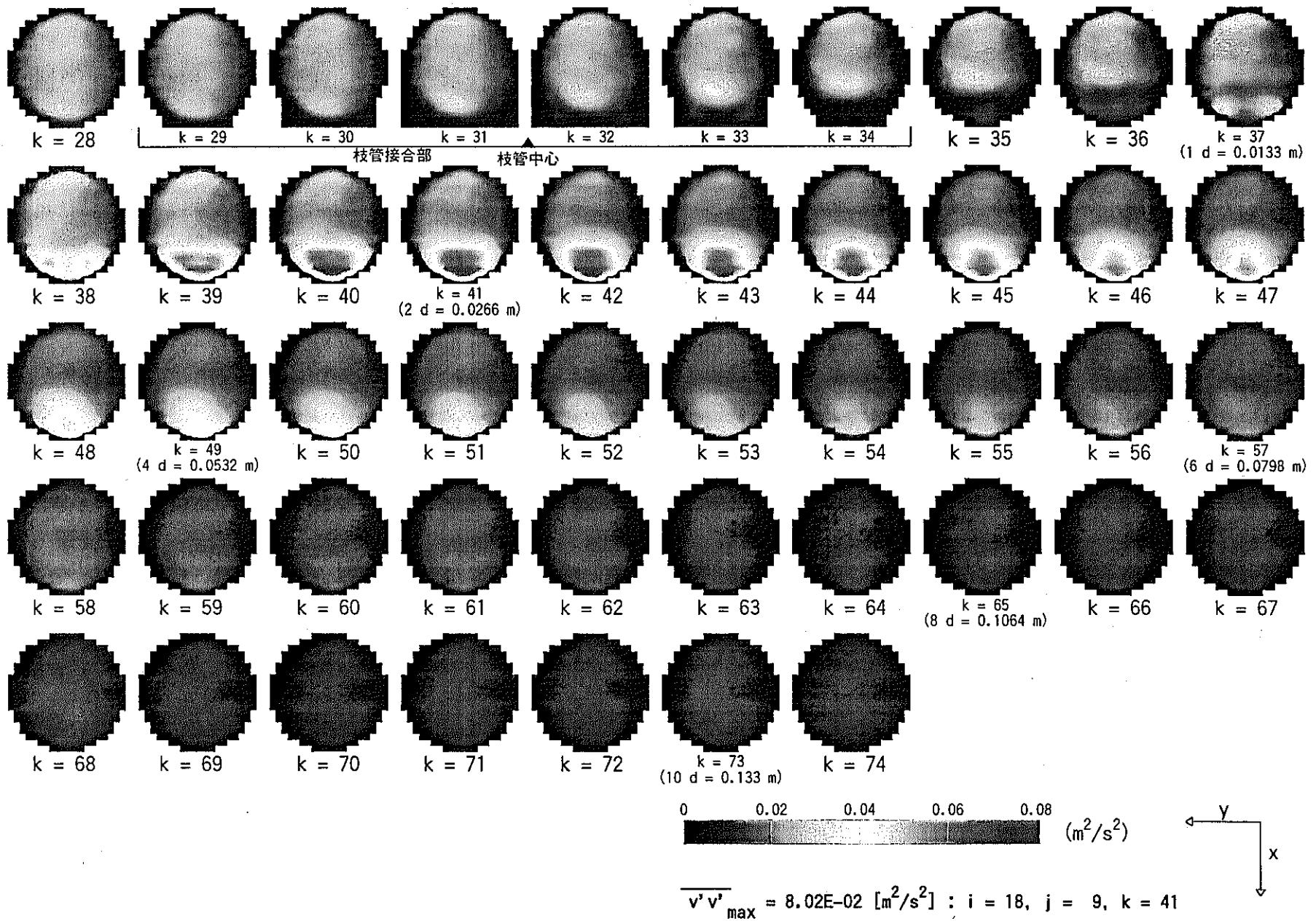


図 4.67 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

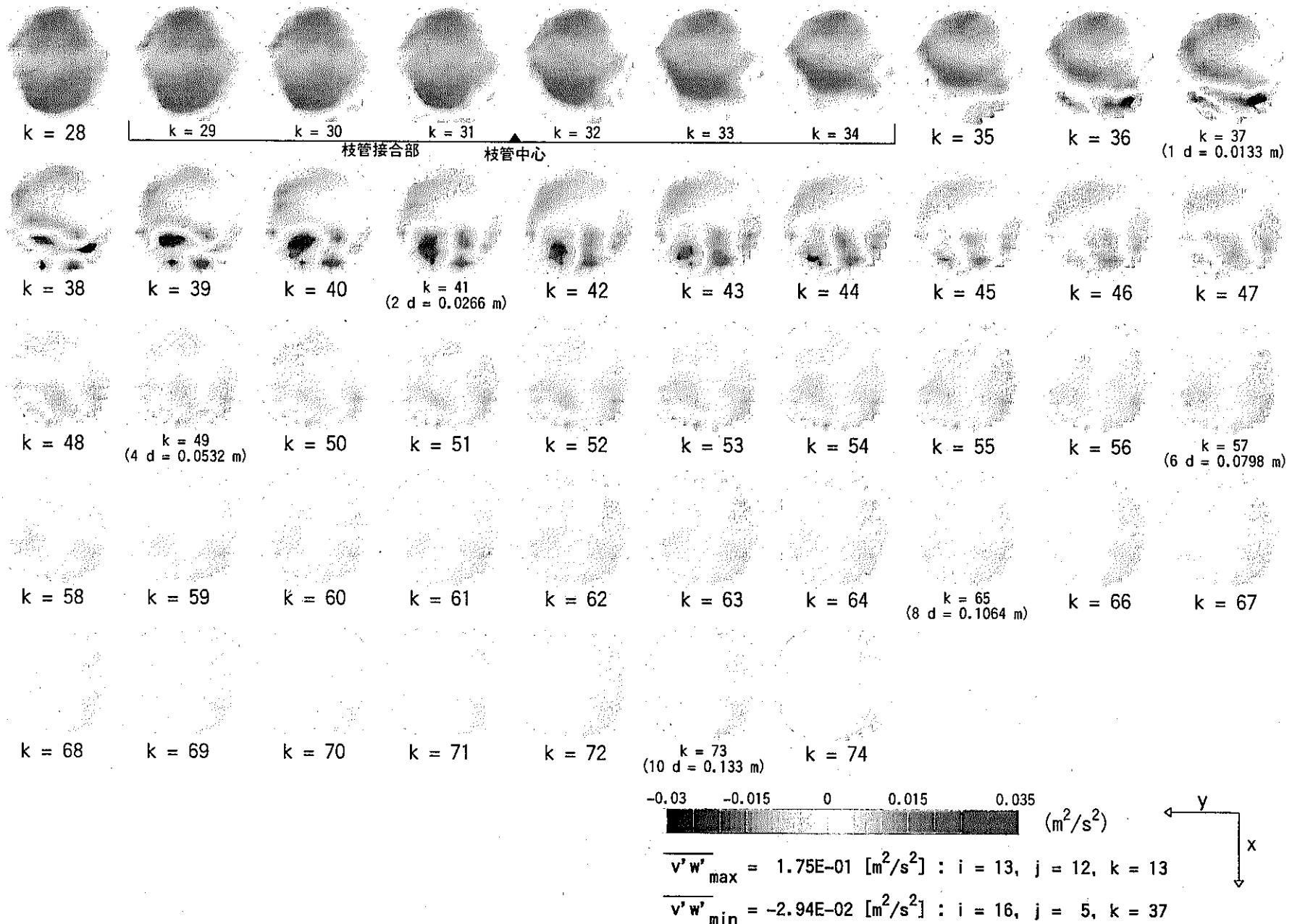


図 4.68 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 22,504$)

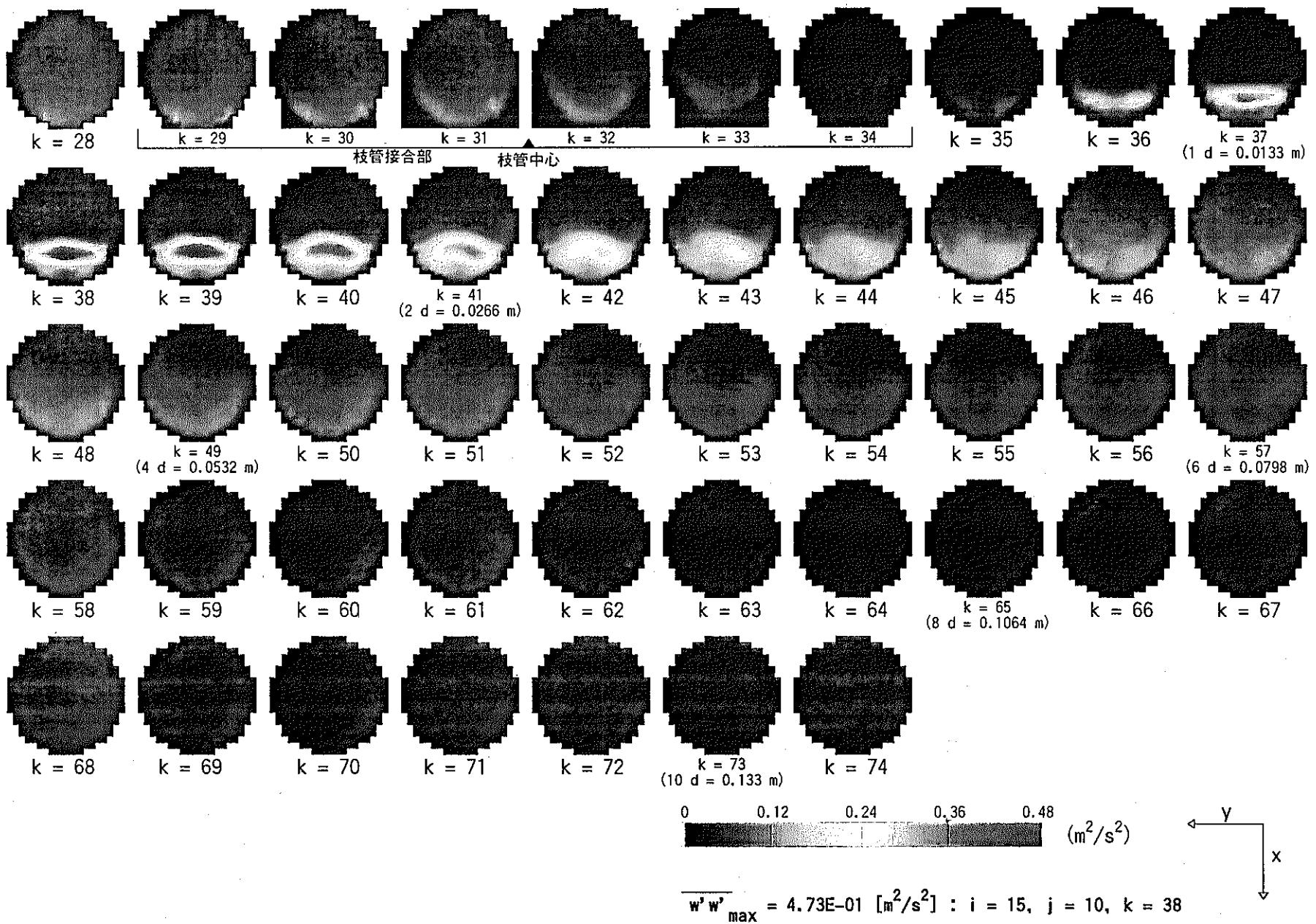


図 4.69 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

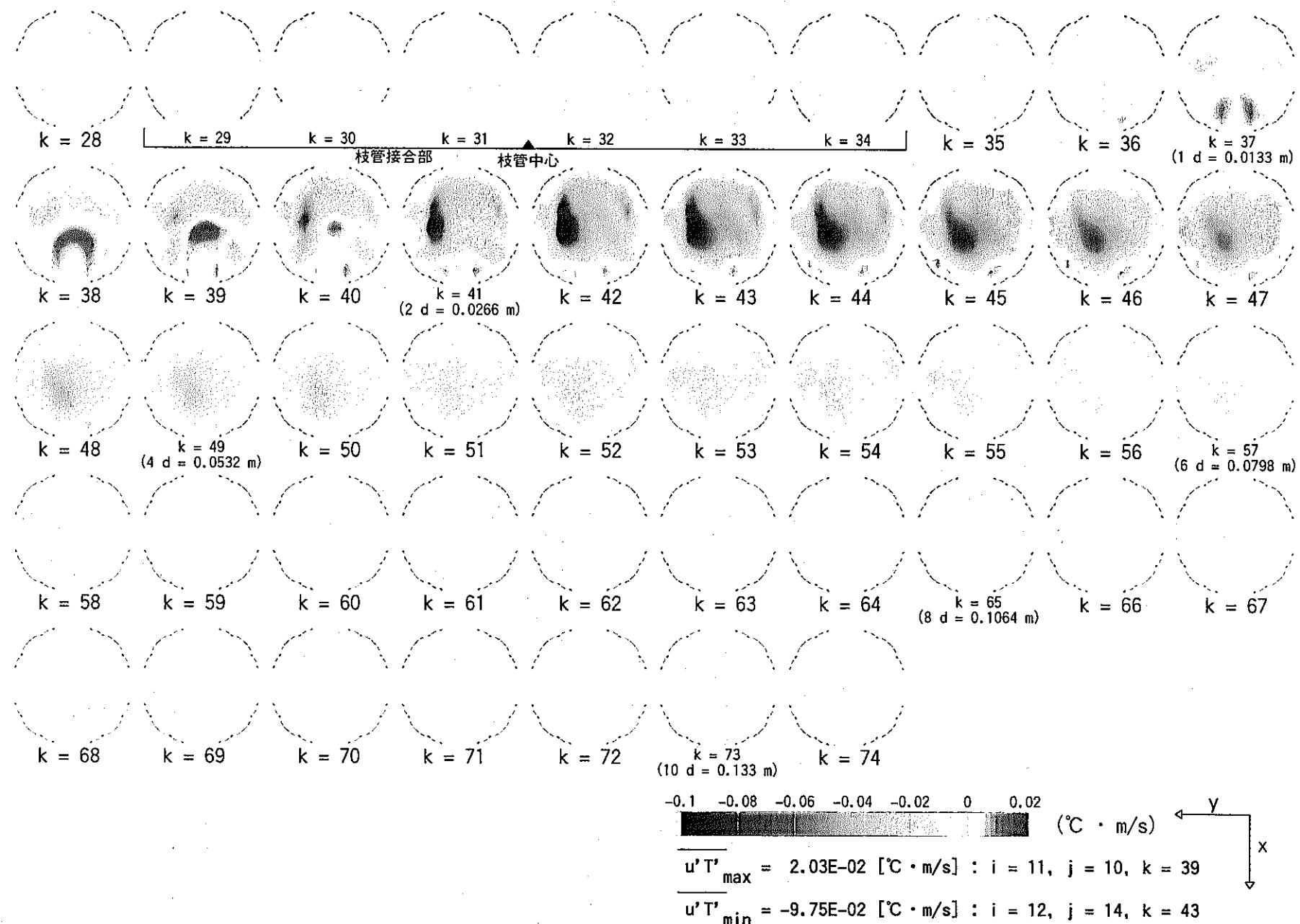


図 4.70 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case $\beta 1-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

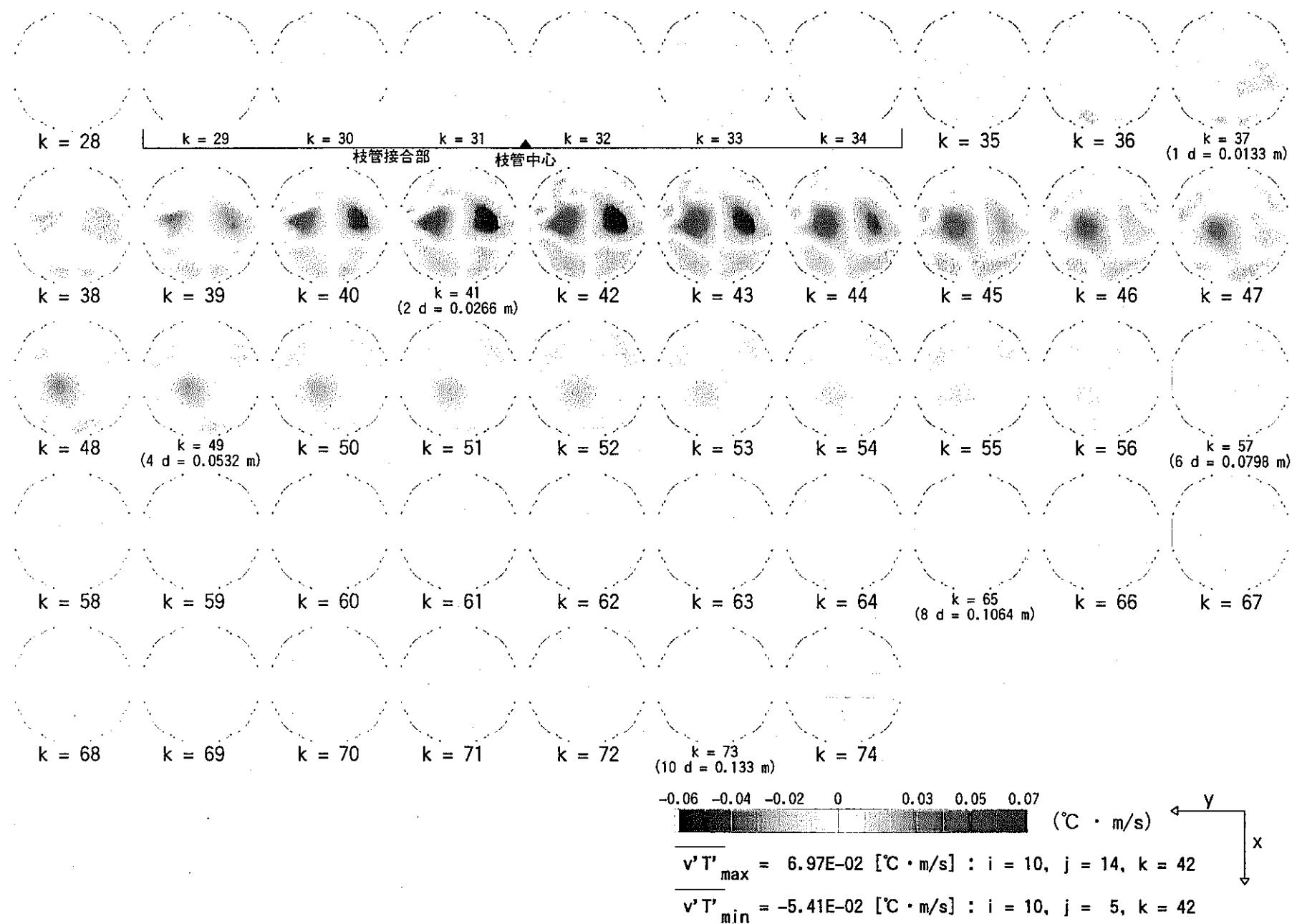


図 4.71 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case $\beta 1-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 1,407$)

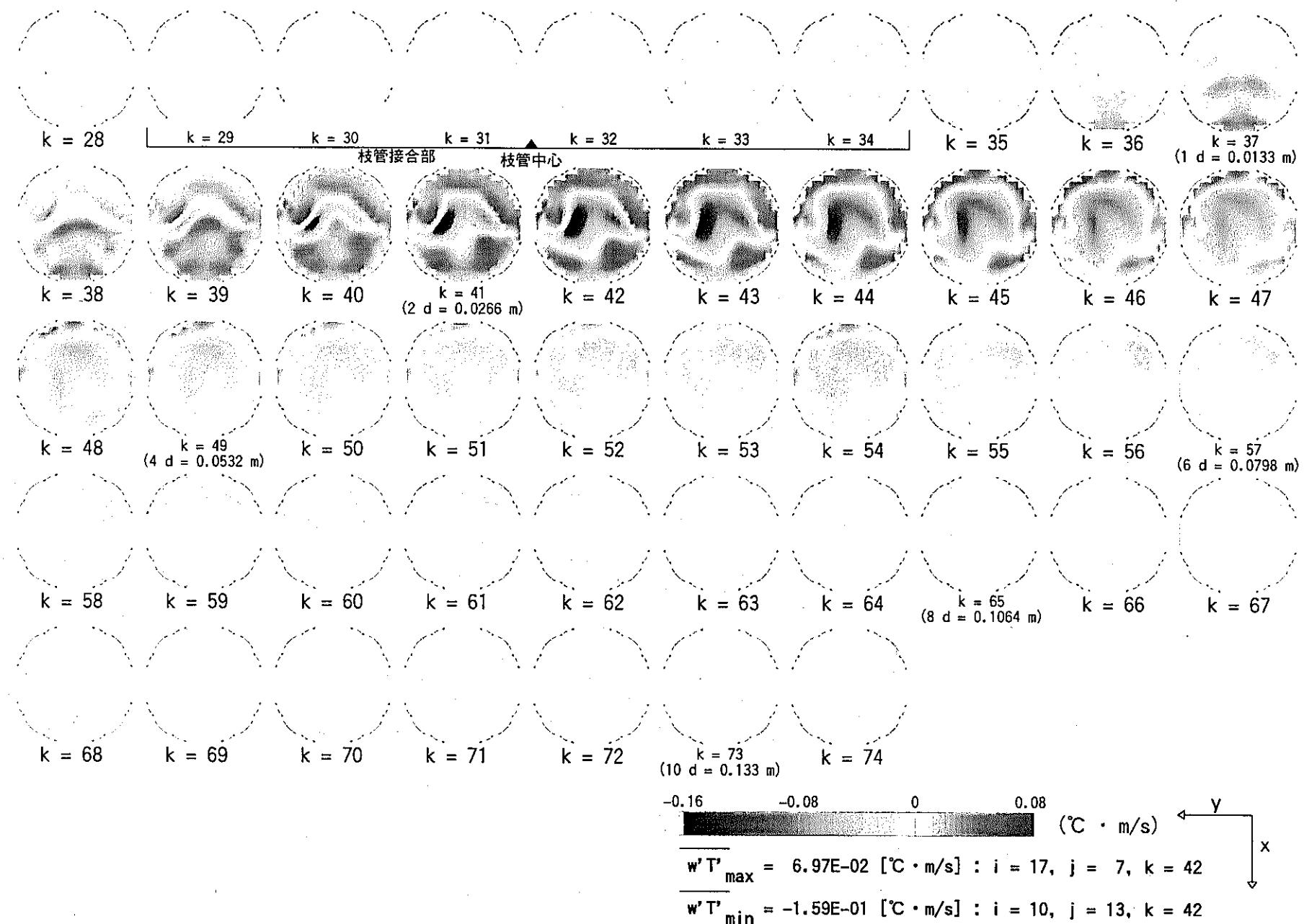


图 4.72 乱流热流束 $w' T'$ 分布 (Case β1-1 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)

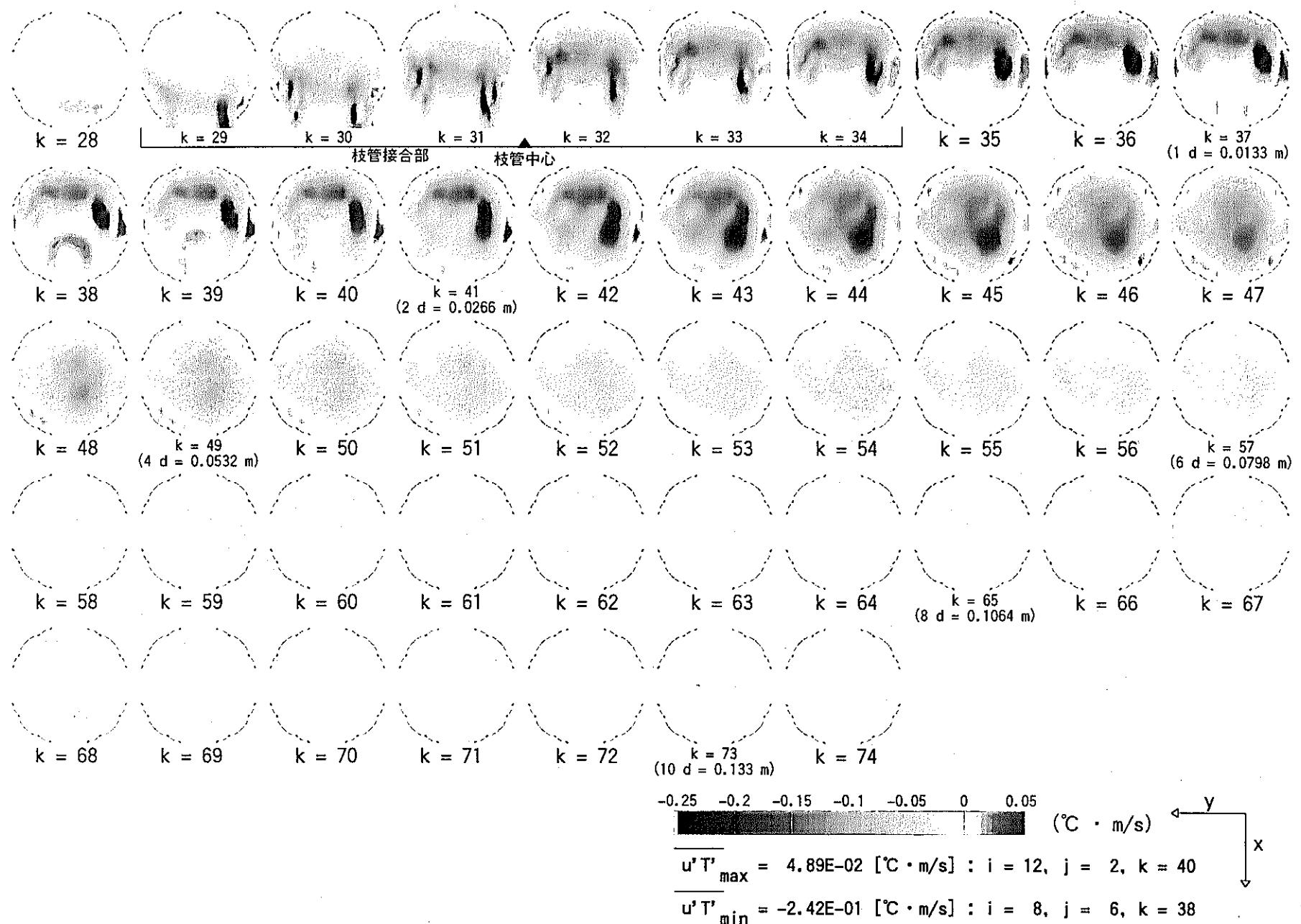


図 4.73 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case β1-2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

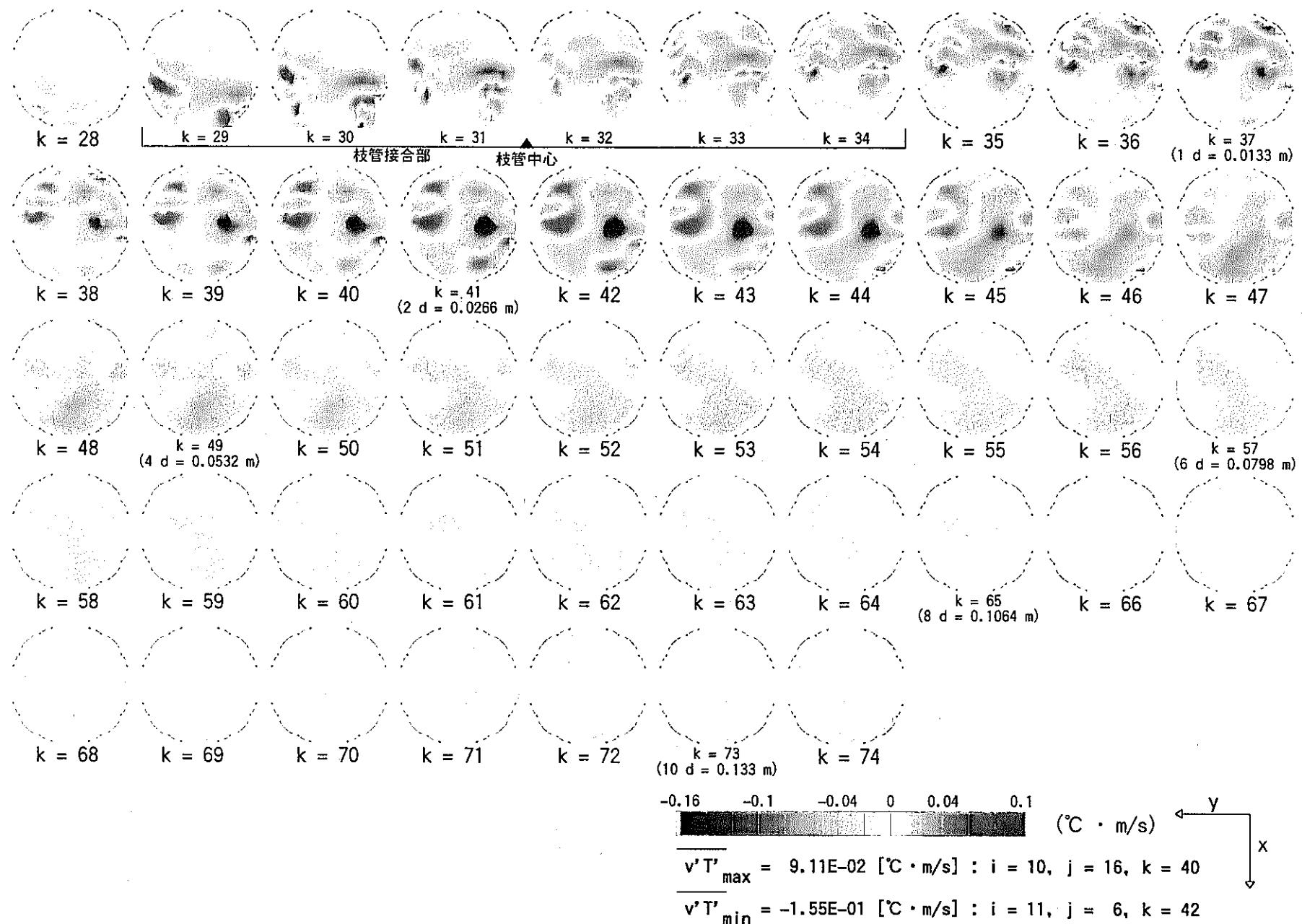


图 4.74 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case $\beta 1-2$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

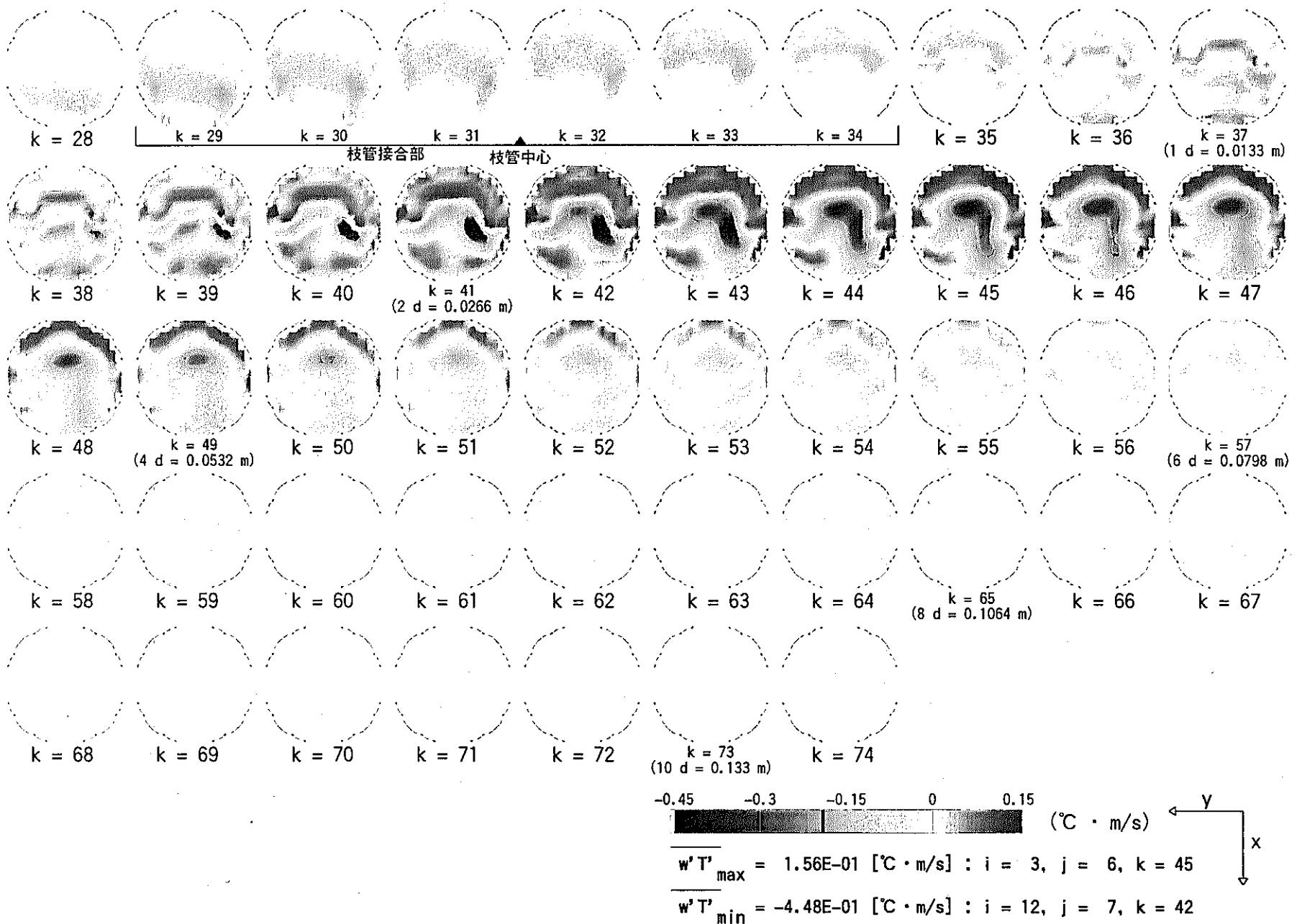


図 4.75 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case $\beta 1-2$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 2,813$)

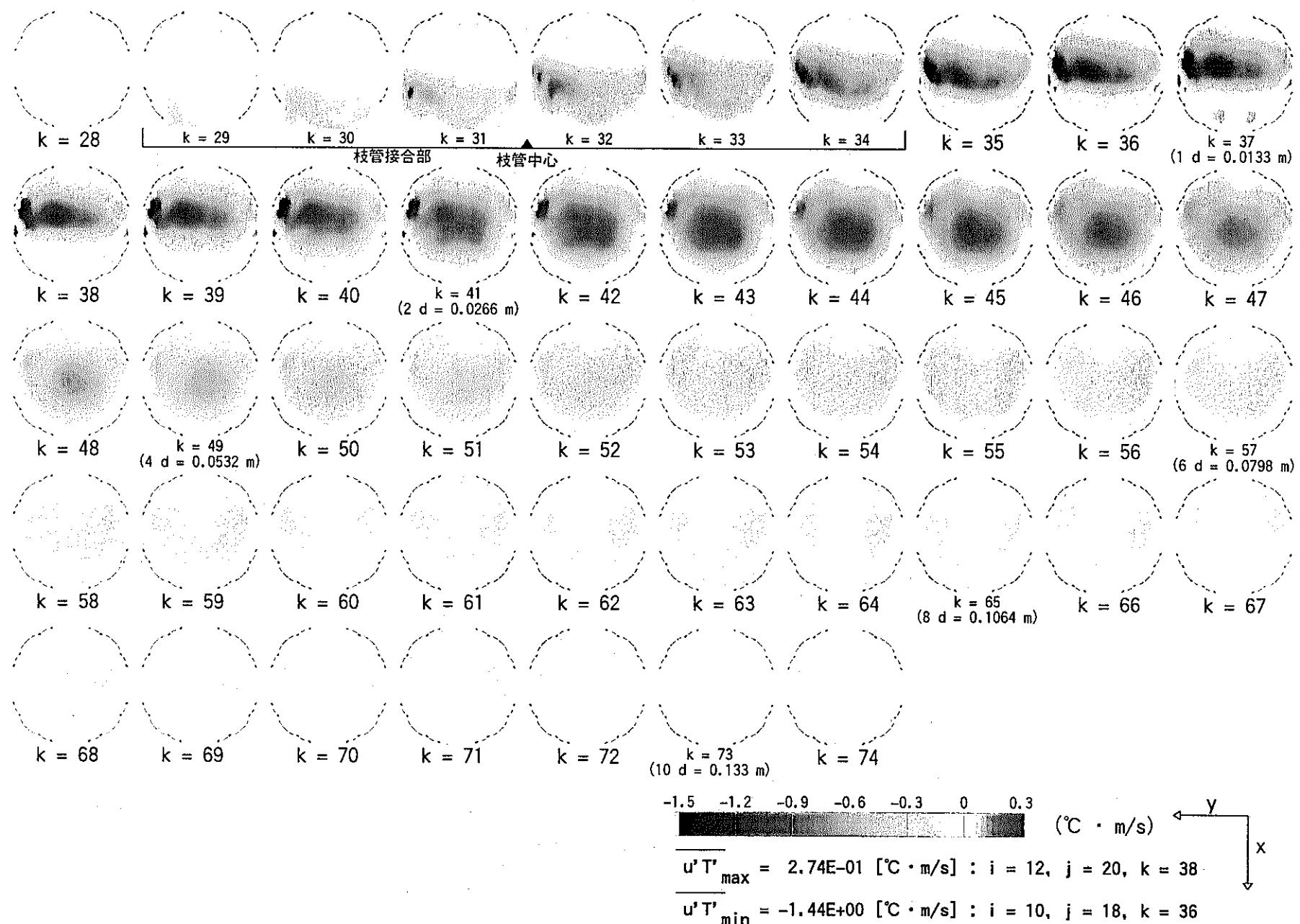


图 4.76 乱流热流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case $\beta 1-3$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

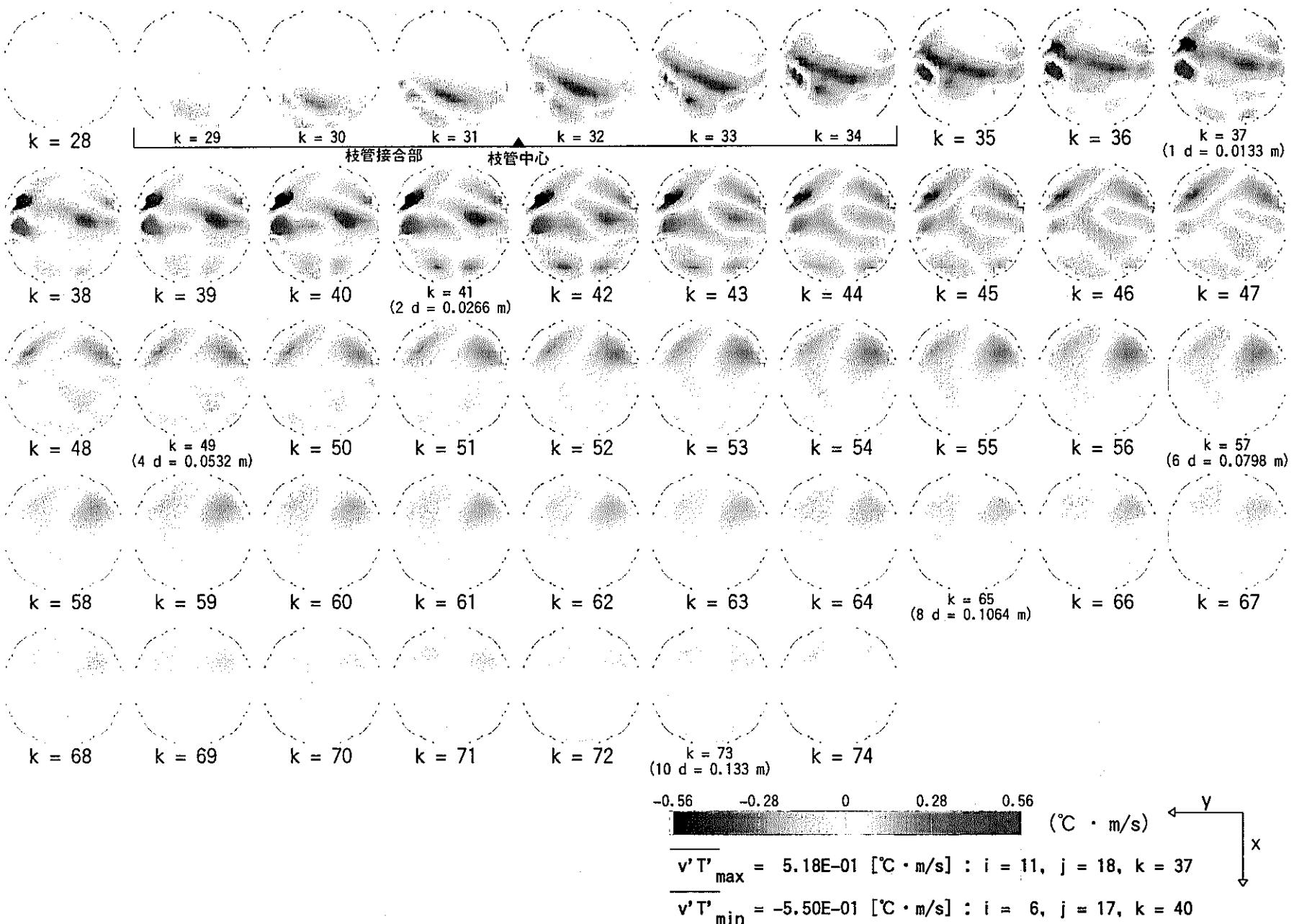


図 4.77 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case $\beta 1-3$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

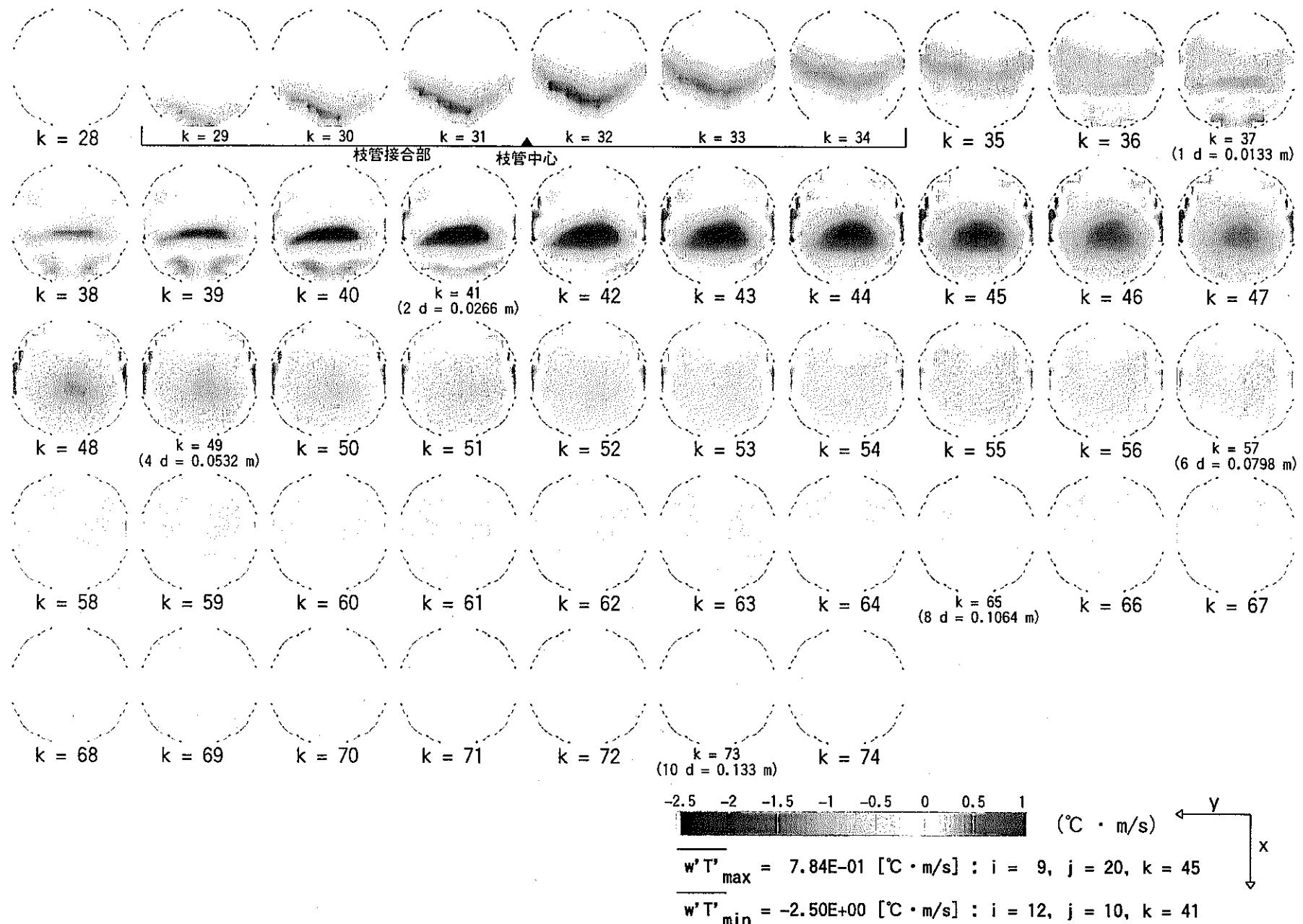


図 4.78 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case β1-3 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

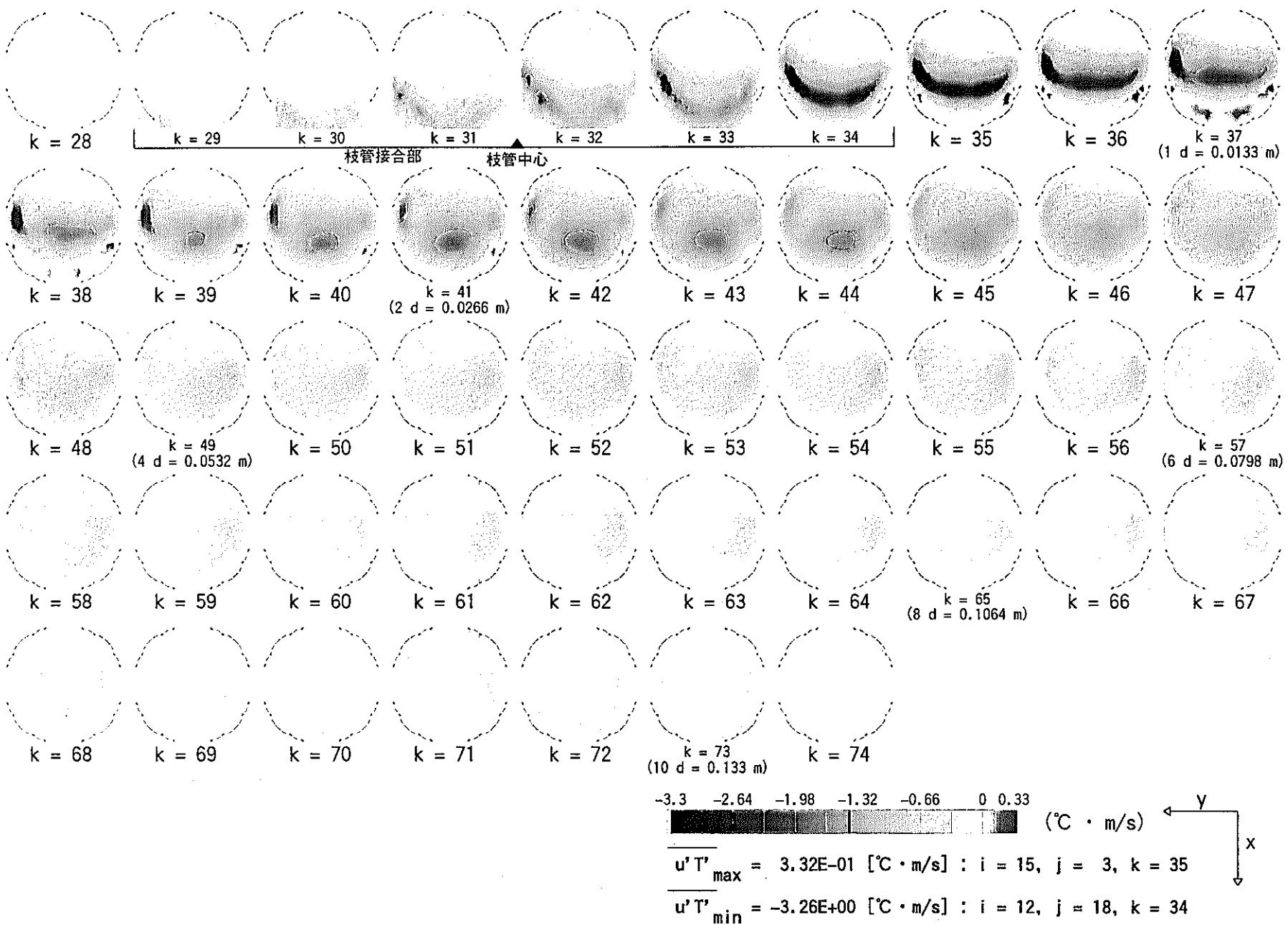


図 4.79 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

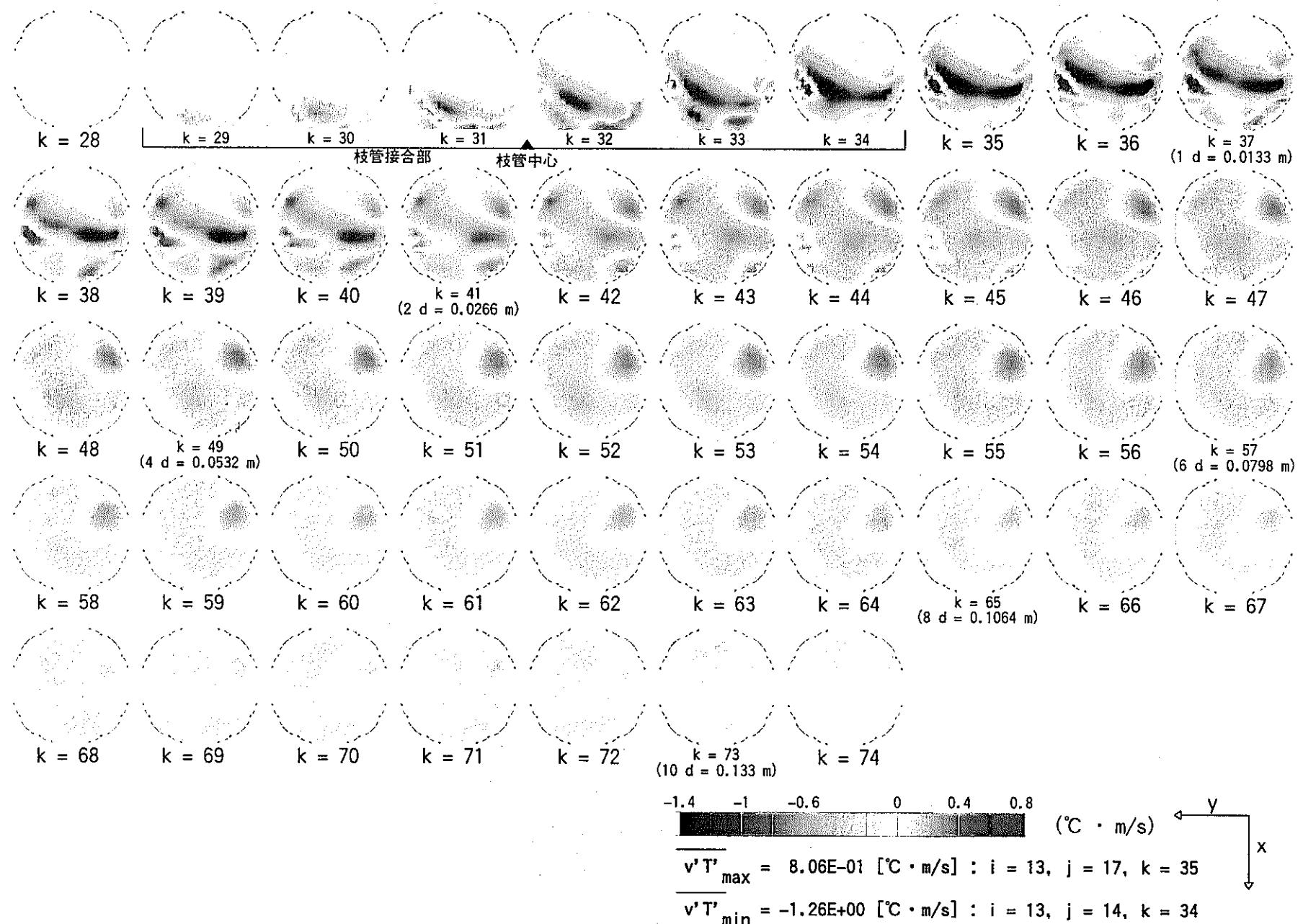


図 4.80 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case β1-4 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

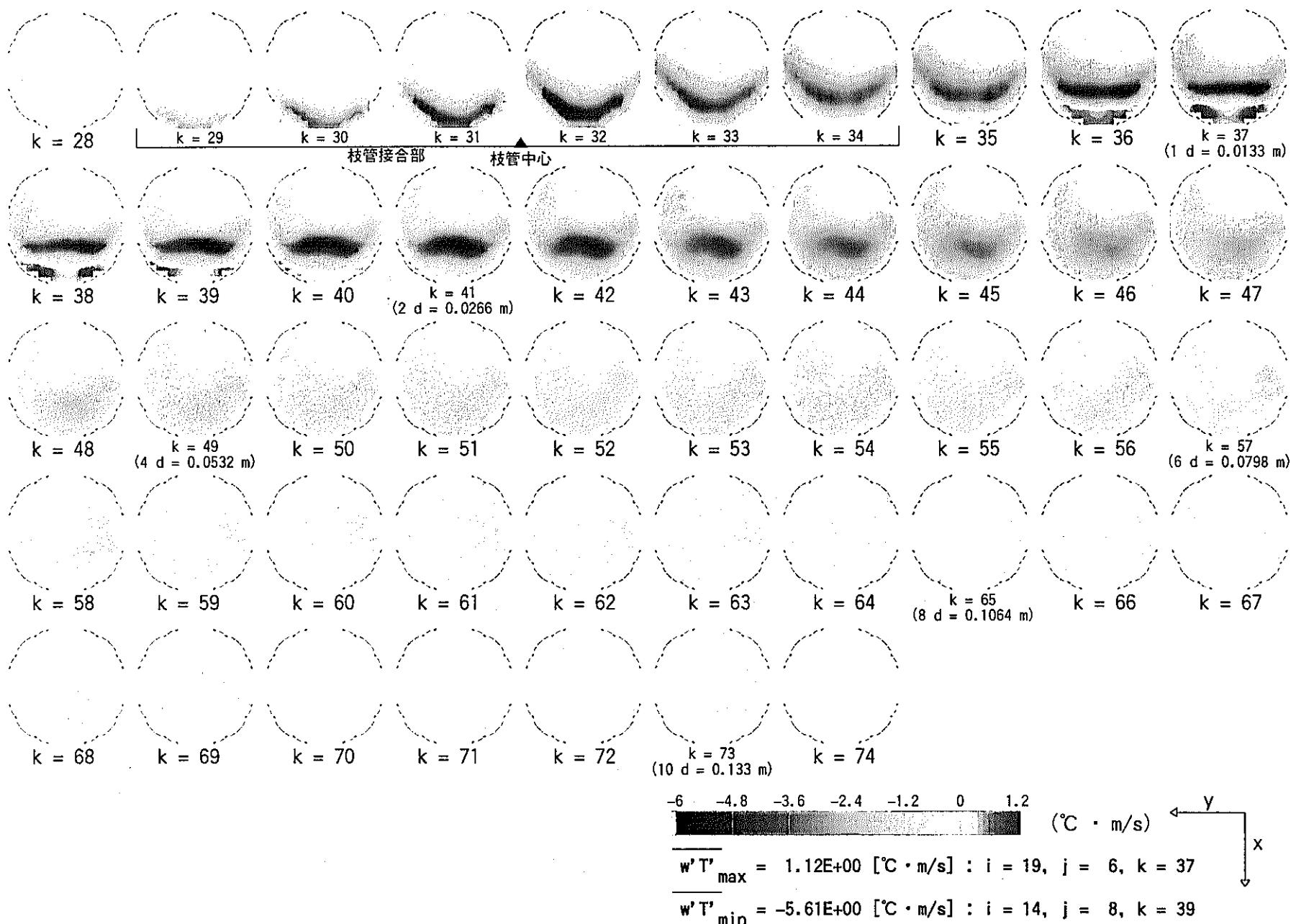


図 4.81 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

- 167 -

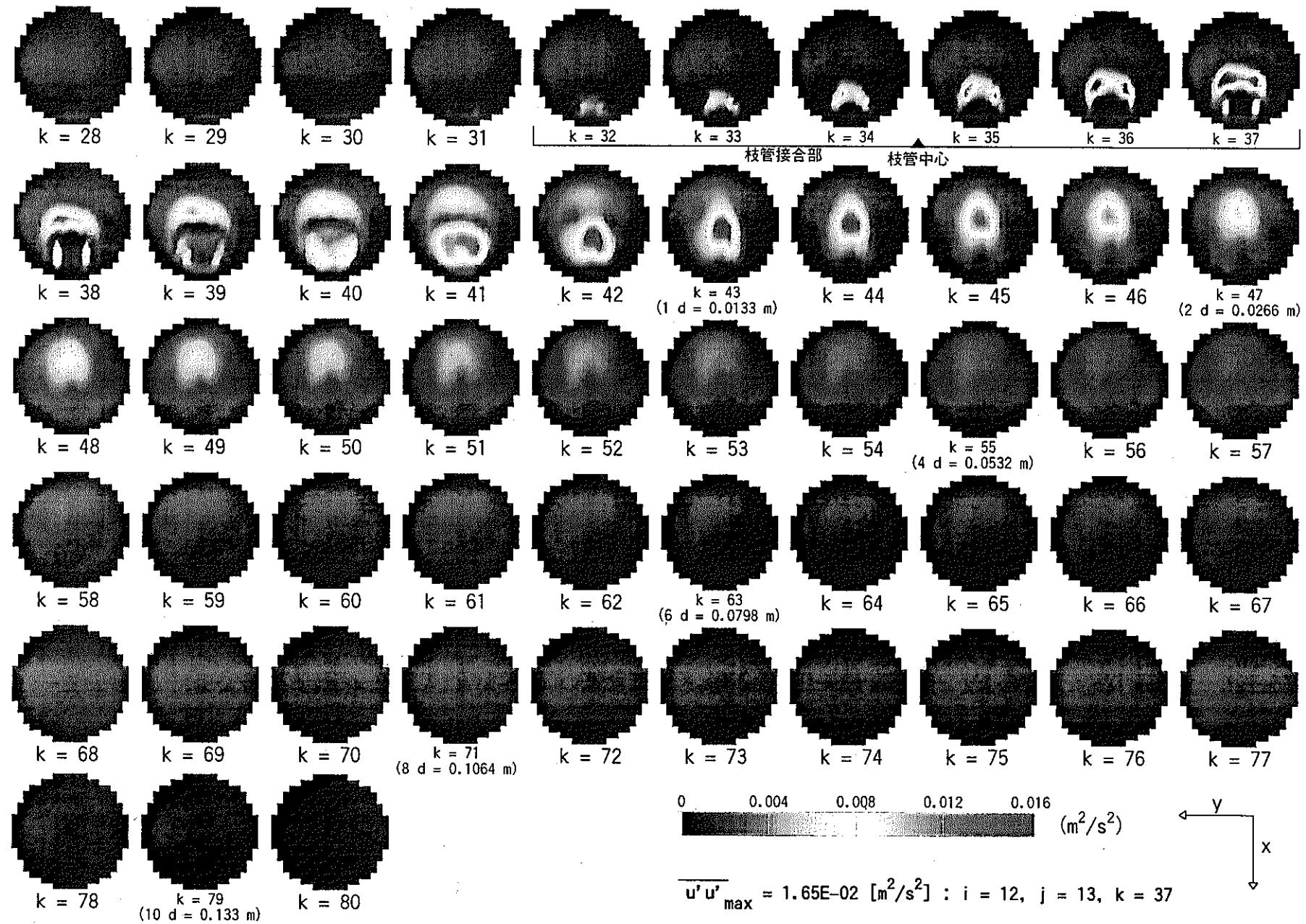


図 4.82 Re 応力 $\overline{u'u'}$ 分布 (Case $\beta 2-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

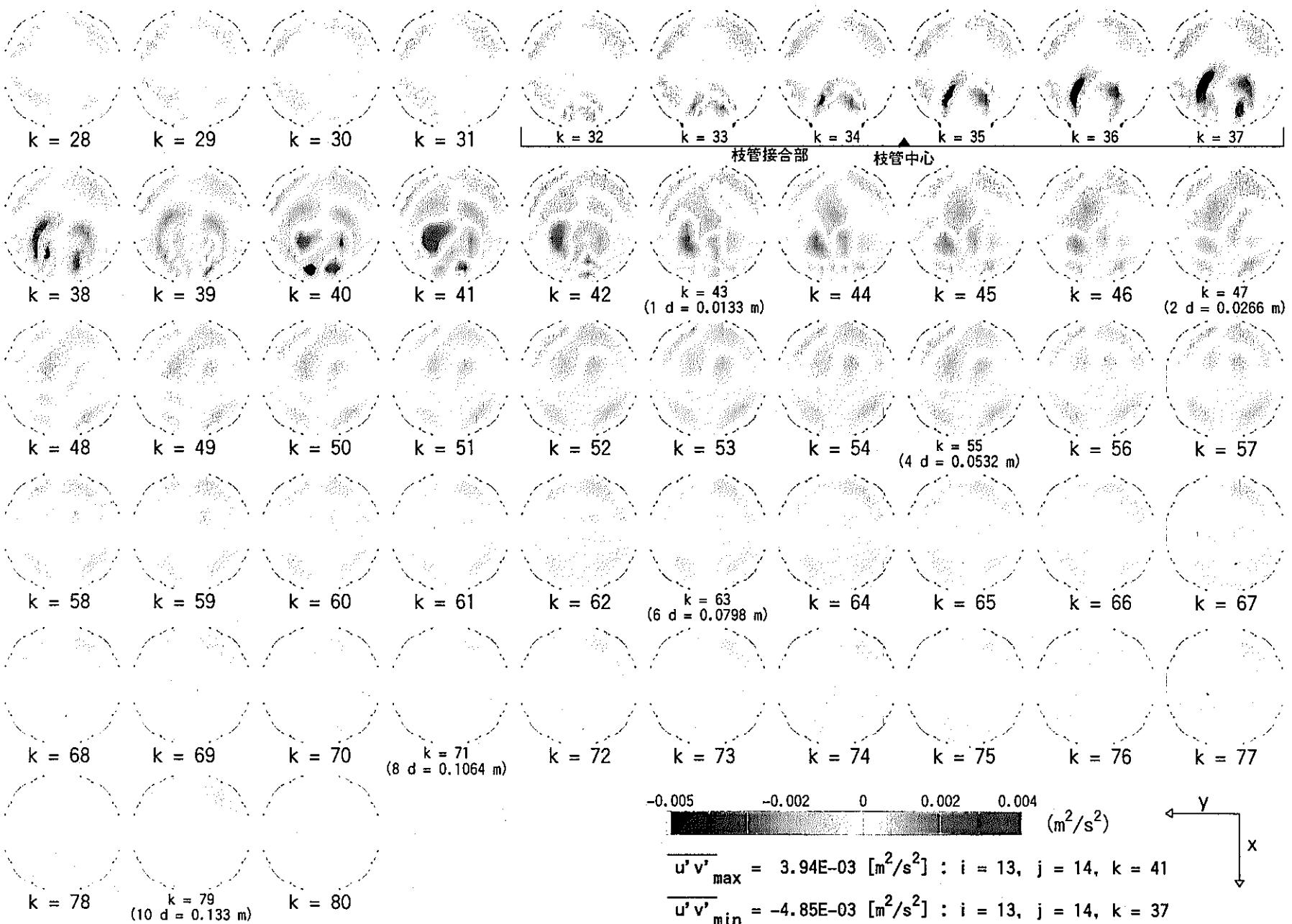


図 4.83 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

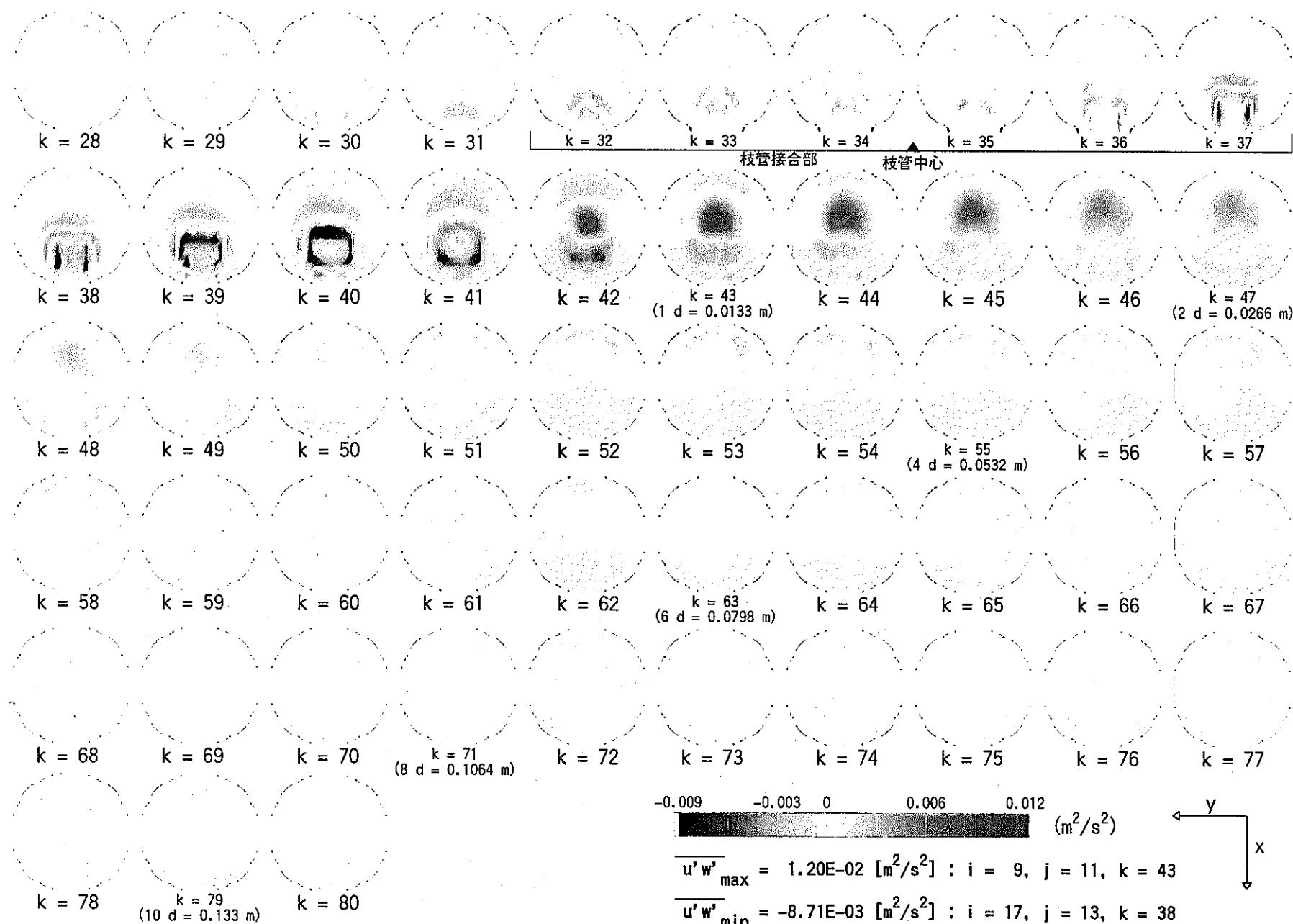


図 4.84 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

- 110 -

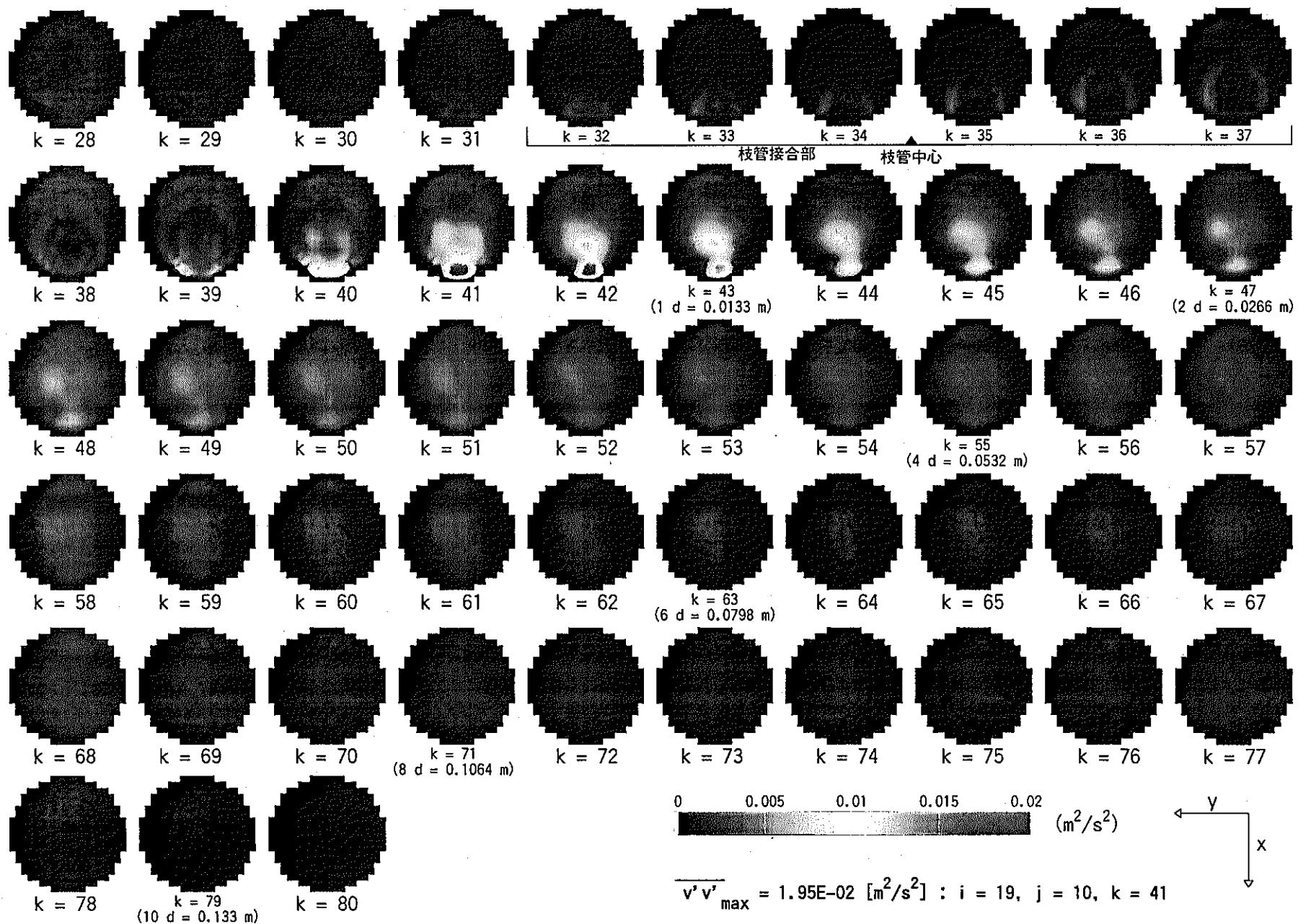


図 4.85 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

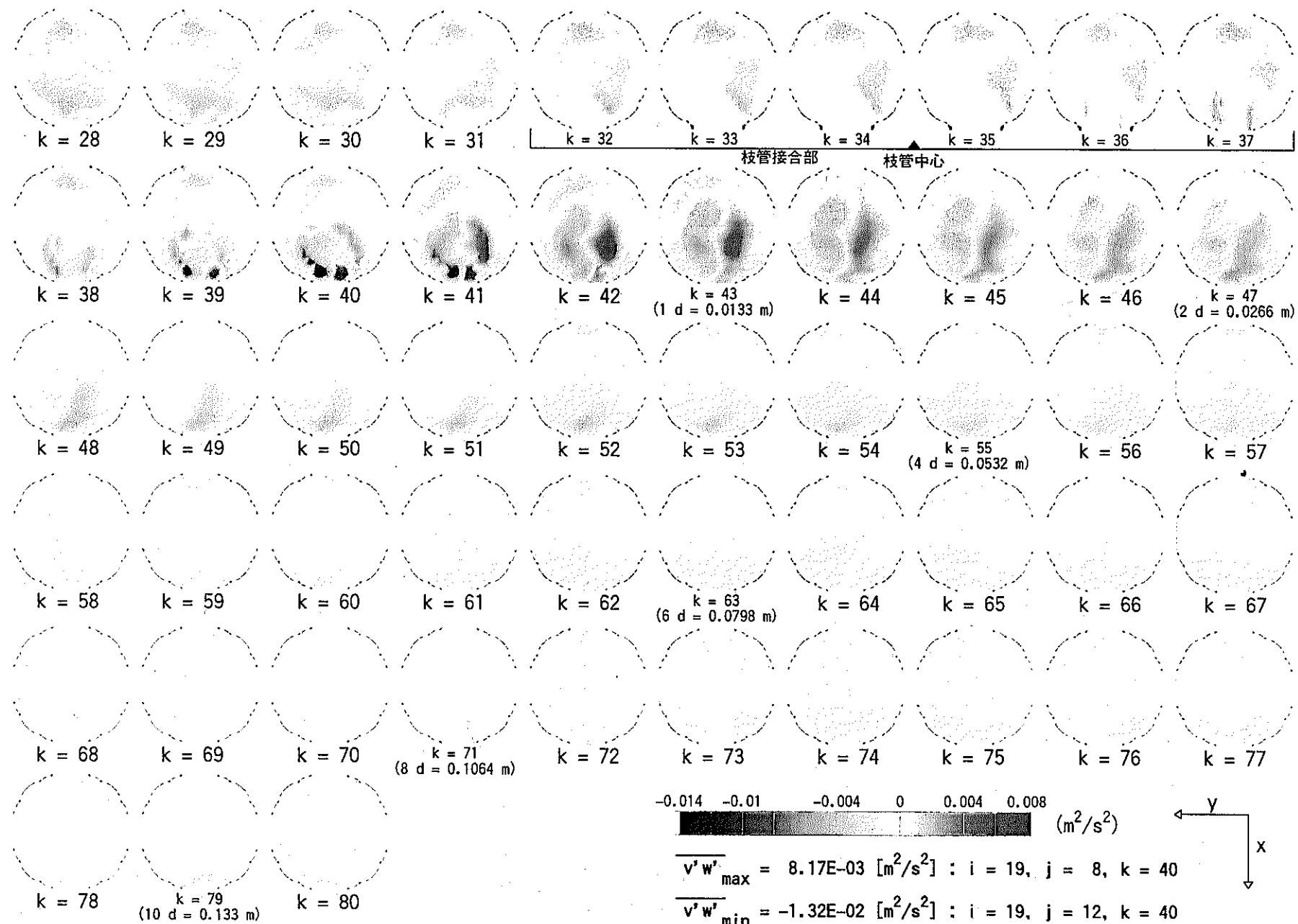


図 4.86 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

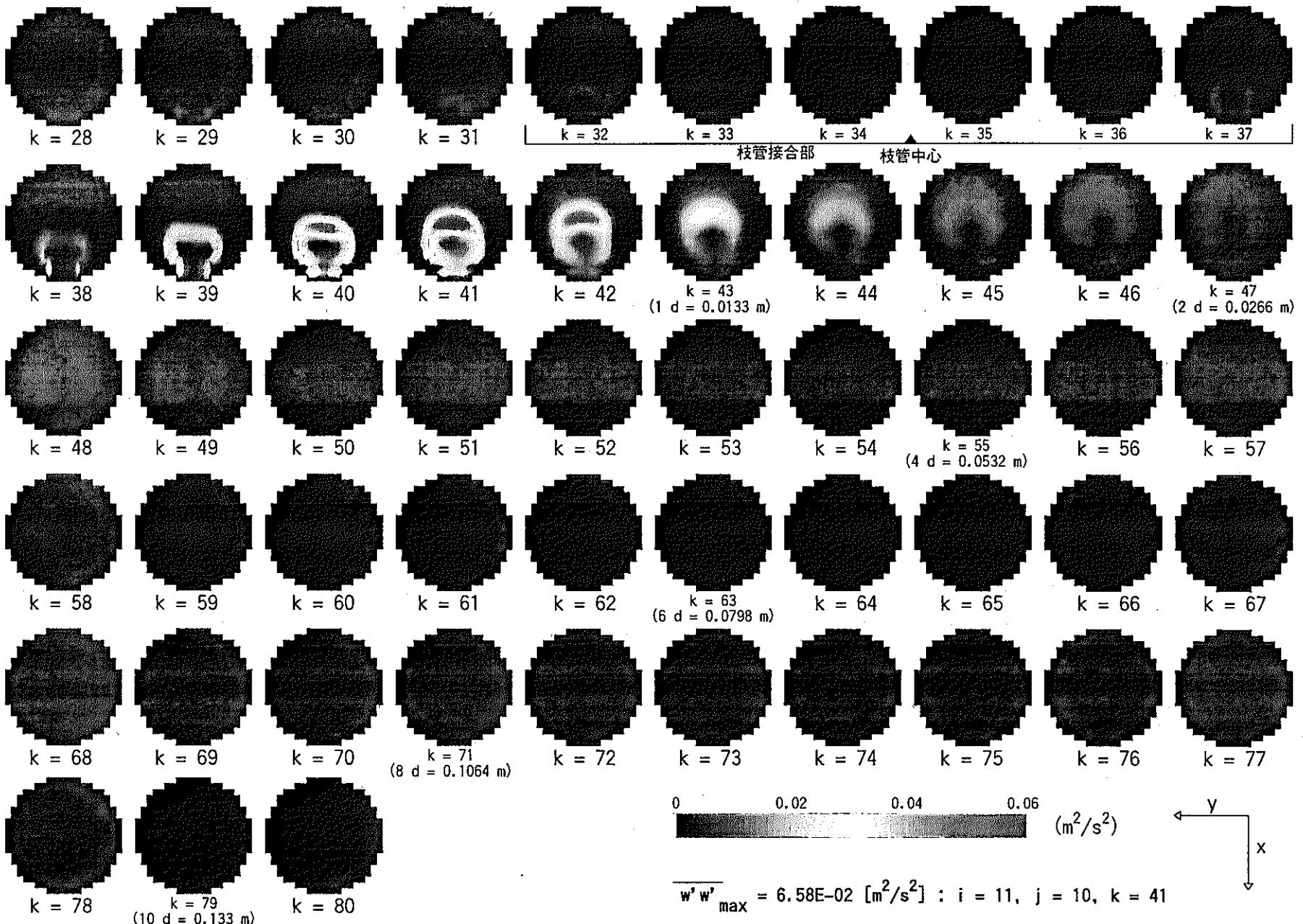


図 4.87 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case β2-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

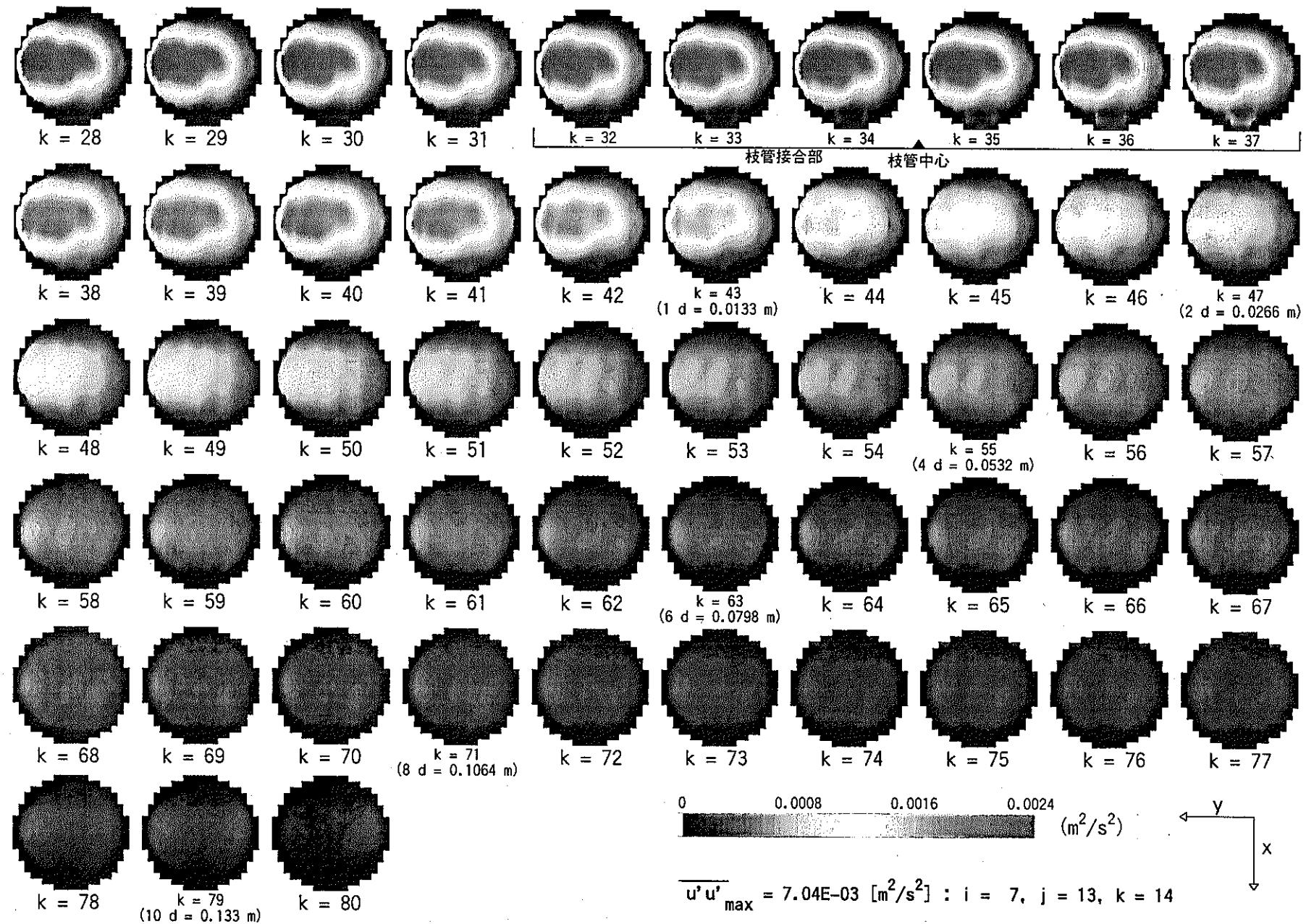


図 4.88 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case $\beta 2-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 5,626$)

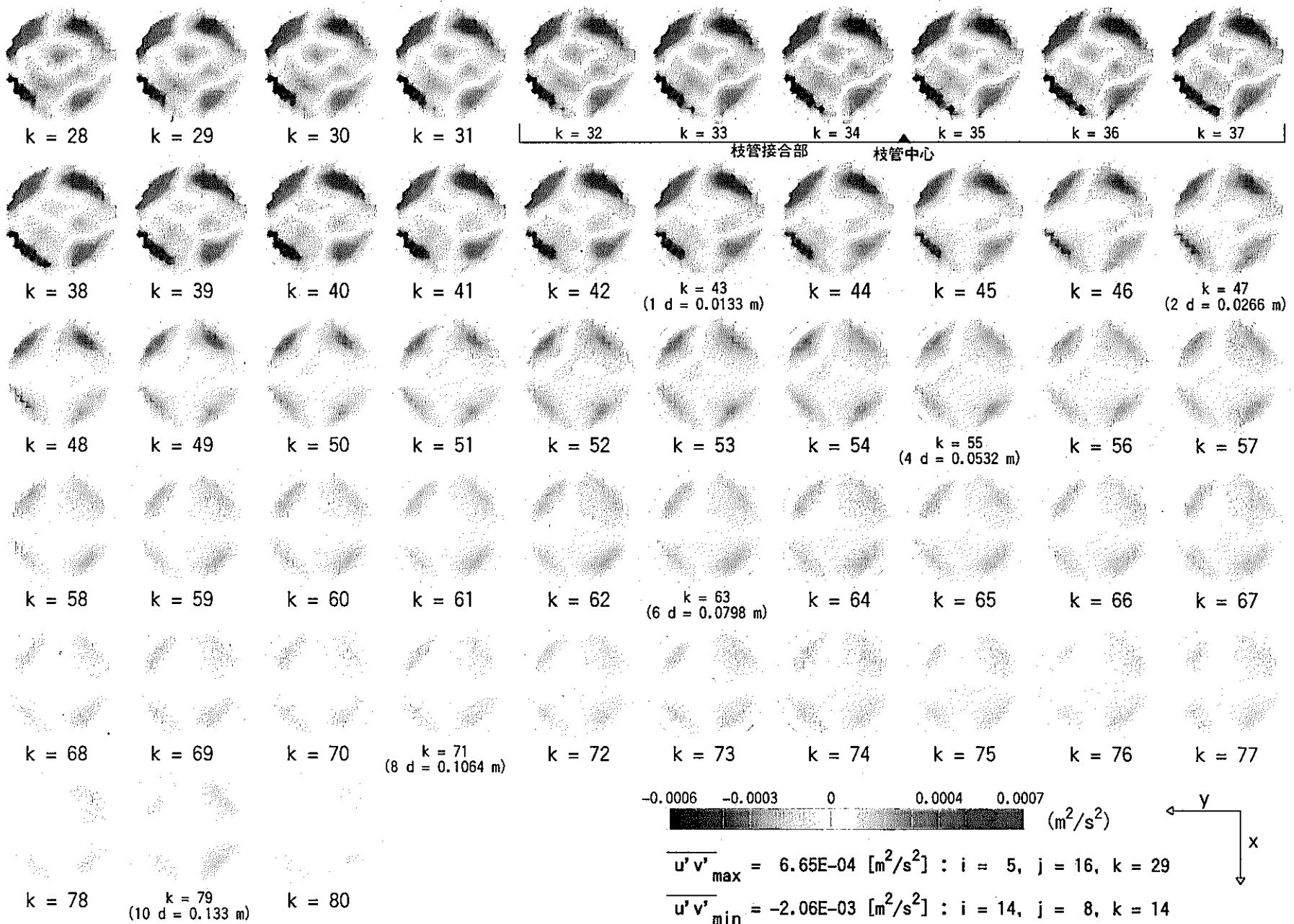


図 4.89 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

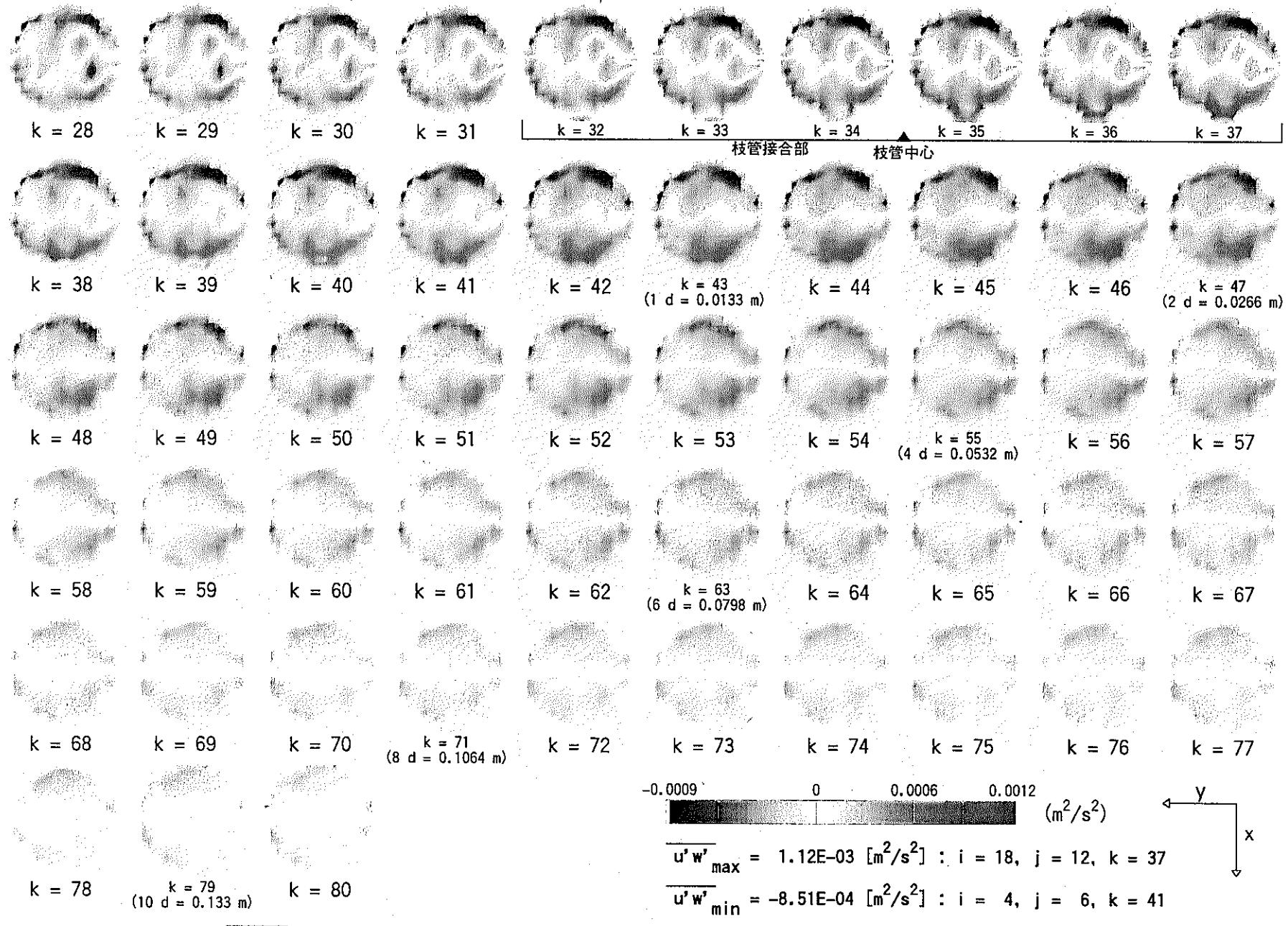


図 4.90 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case $\beta 2-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

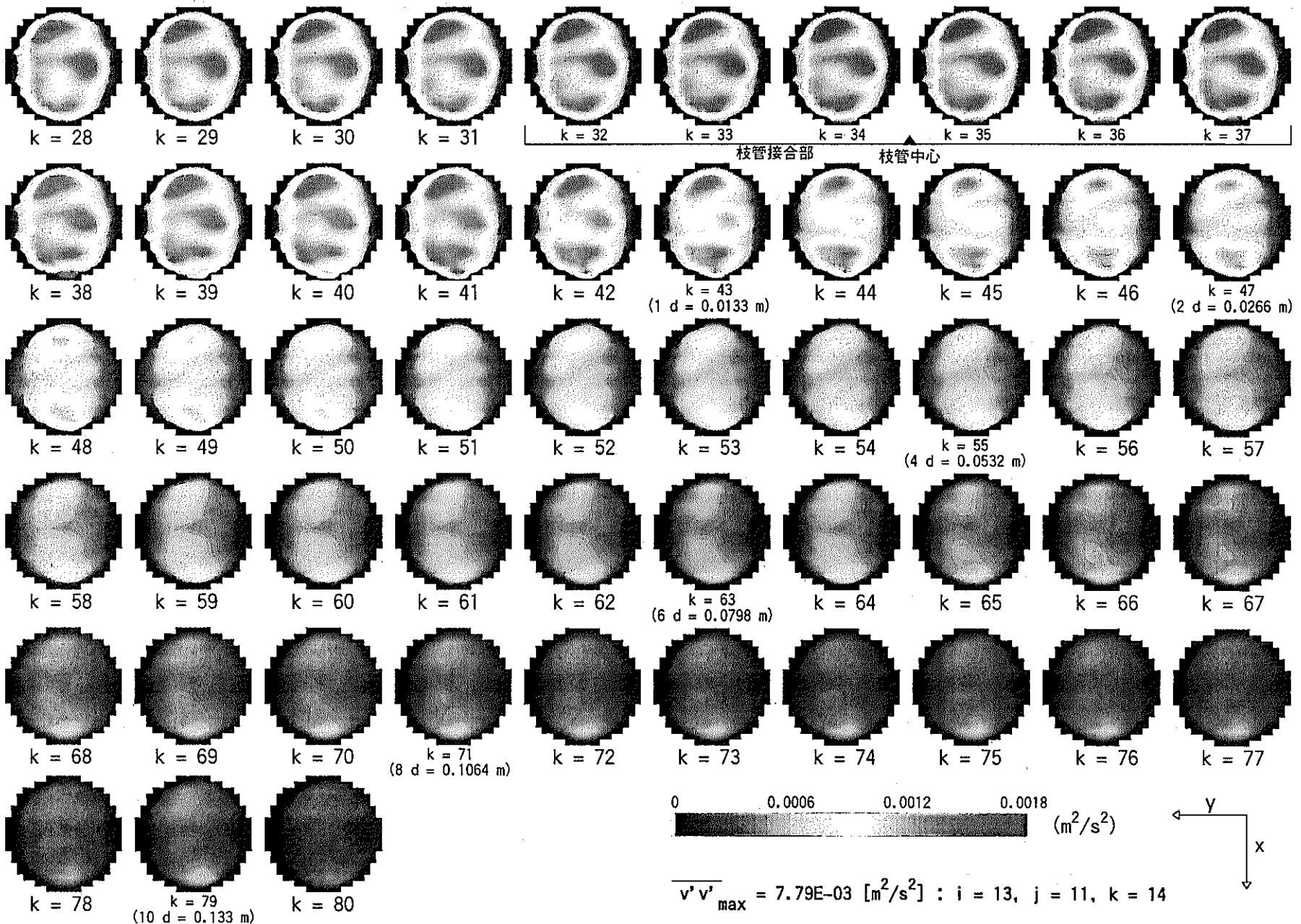


図 4.91 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

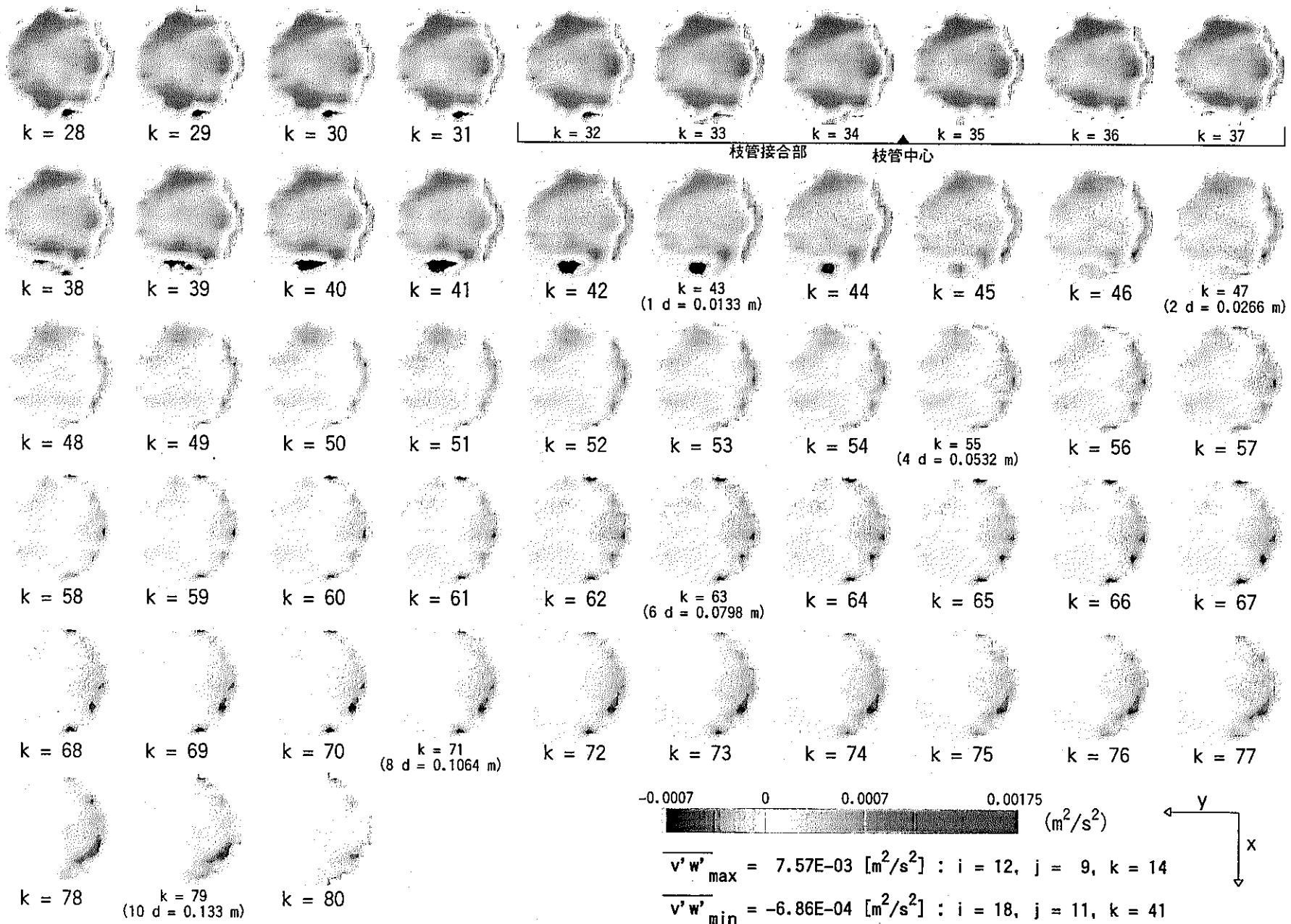


図 4.92 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\beta 2-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

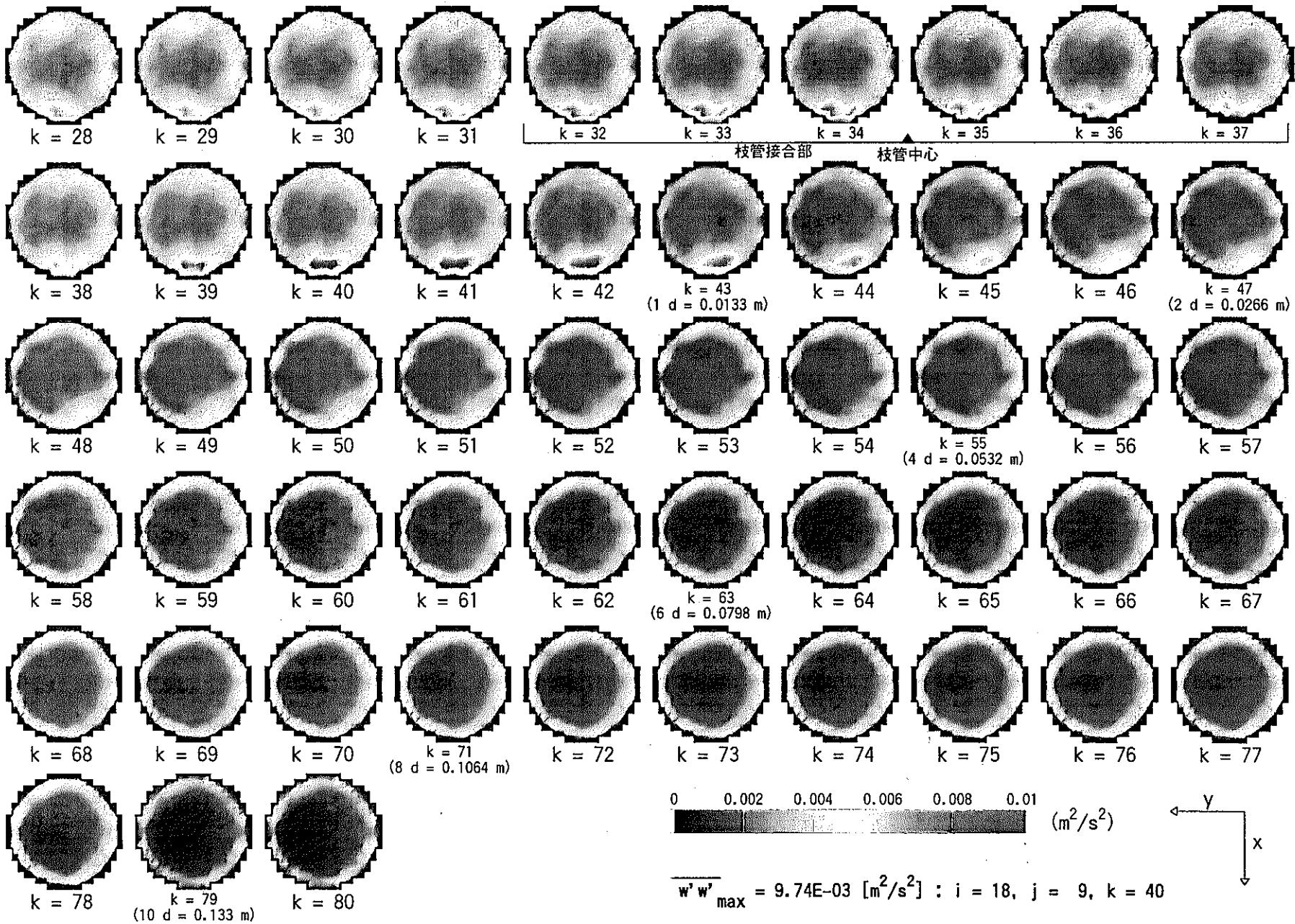


図 4.93 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

179

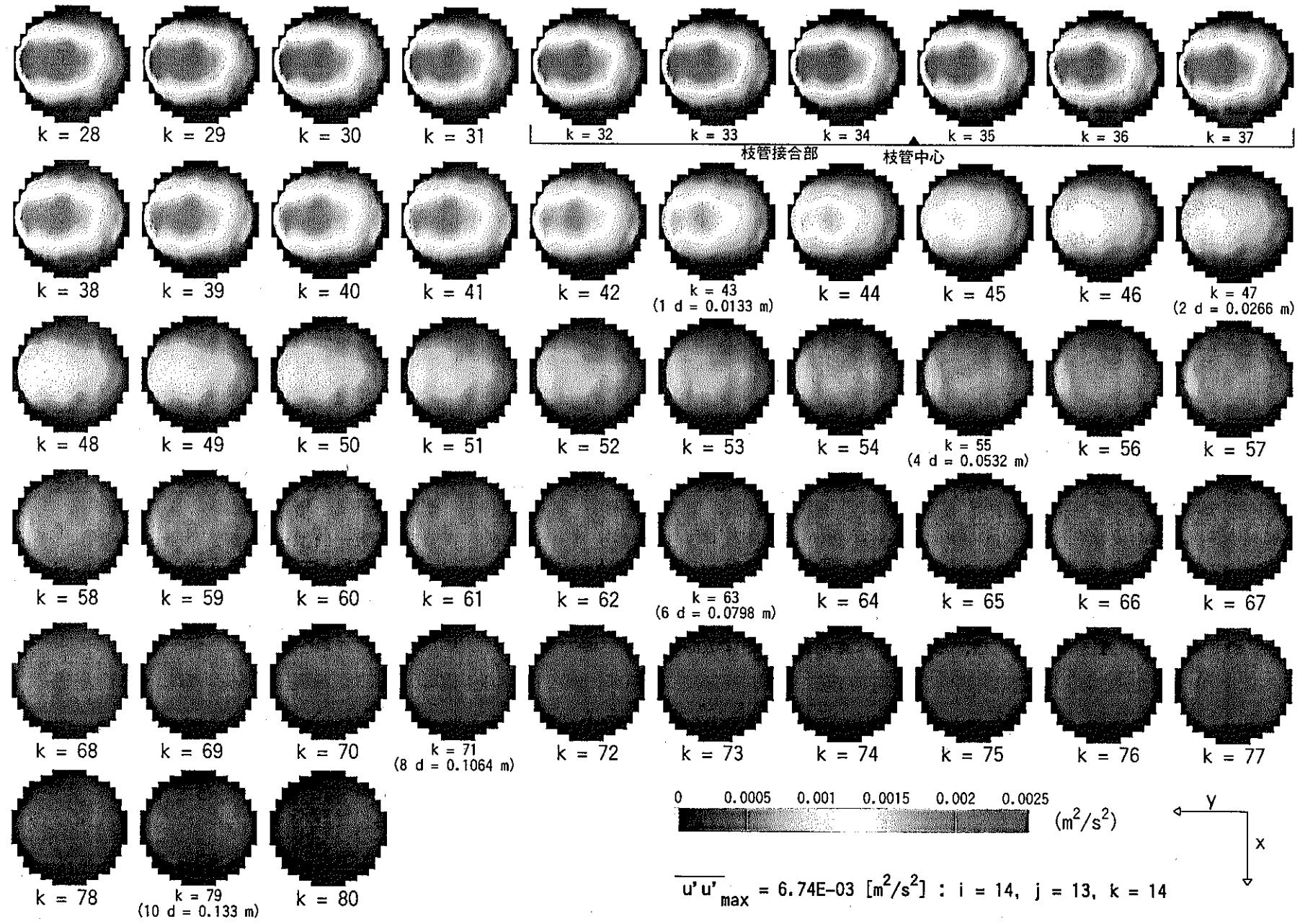


図 4.94 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

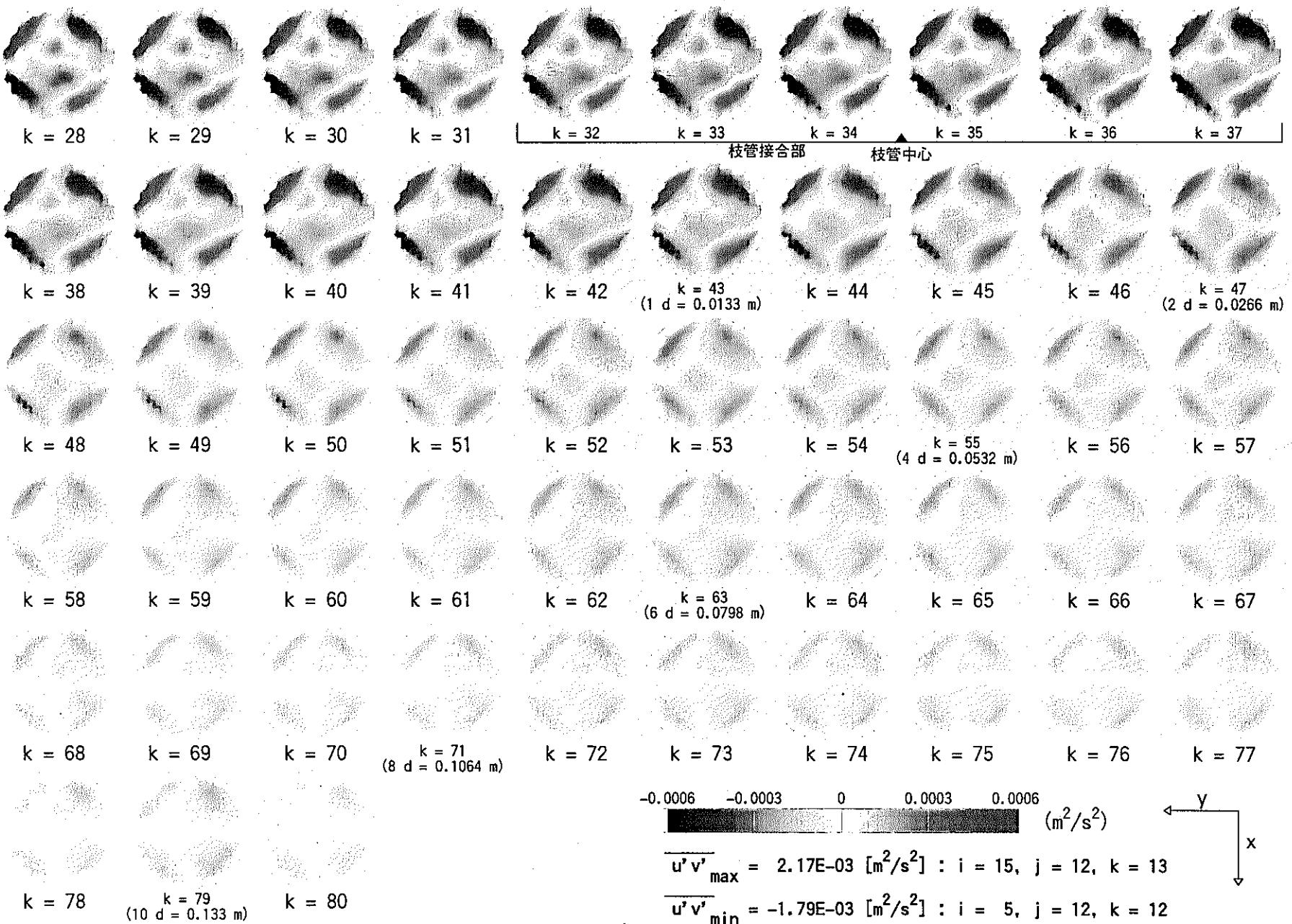


图 4.95 Re 应力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case $\beta 2-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

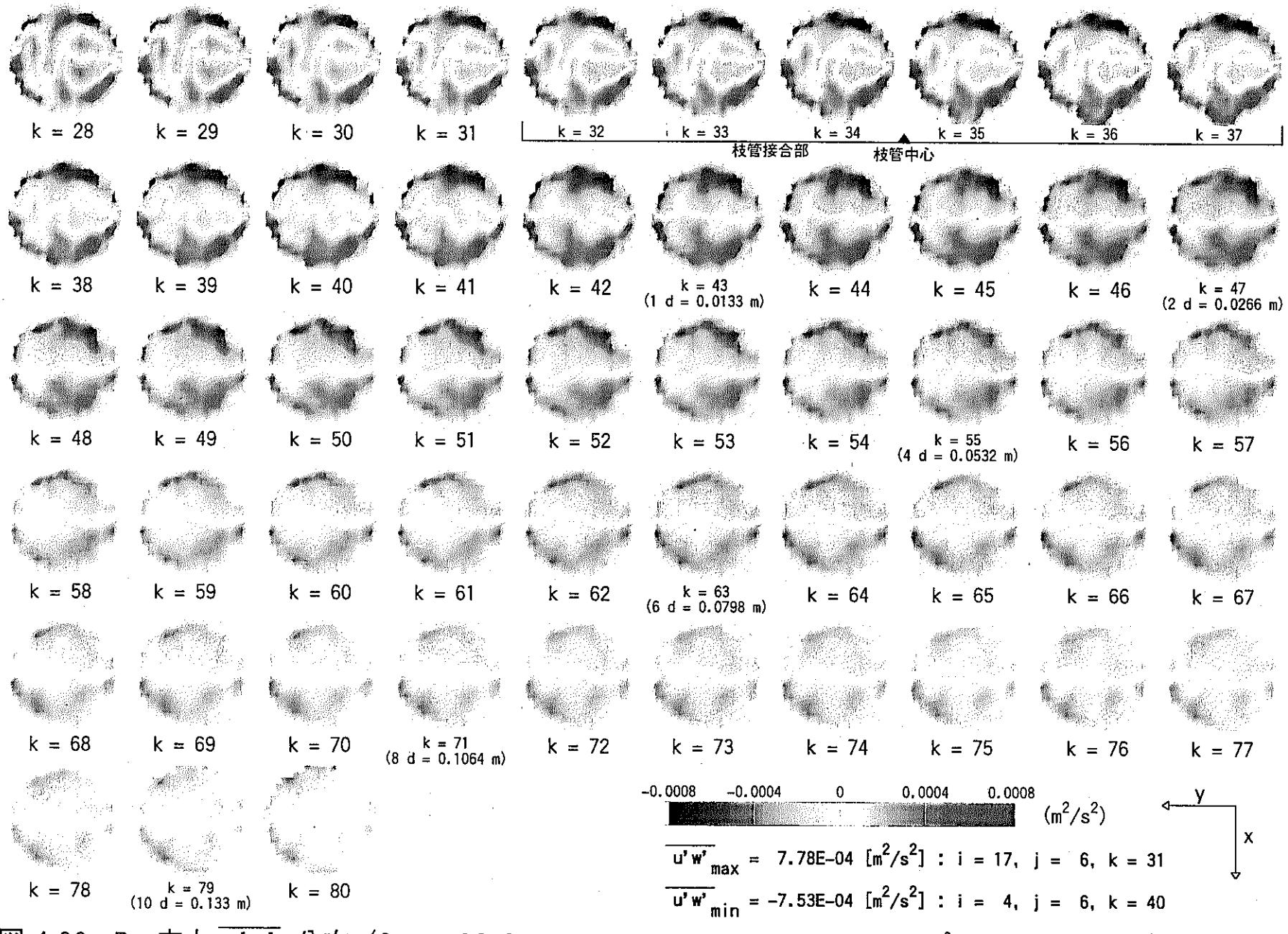


図 4.96 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

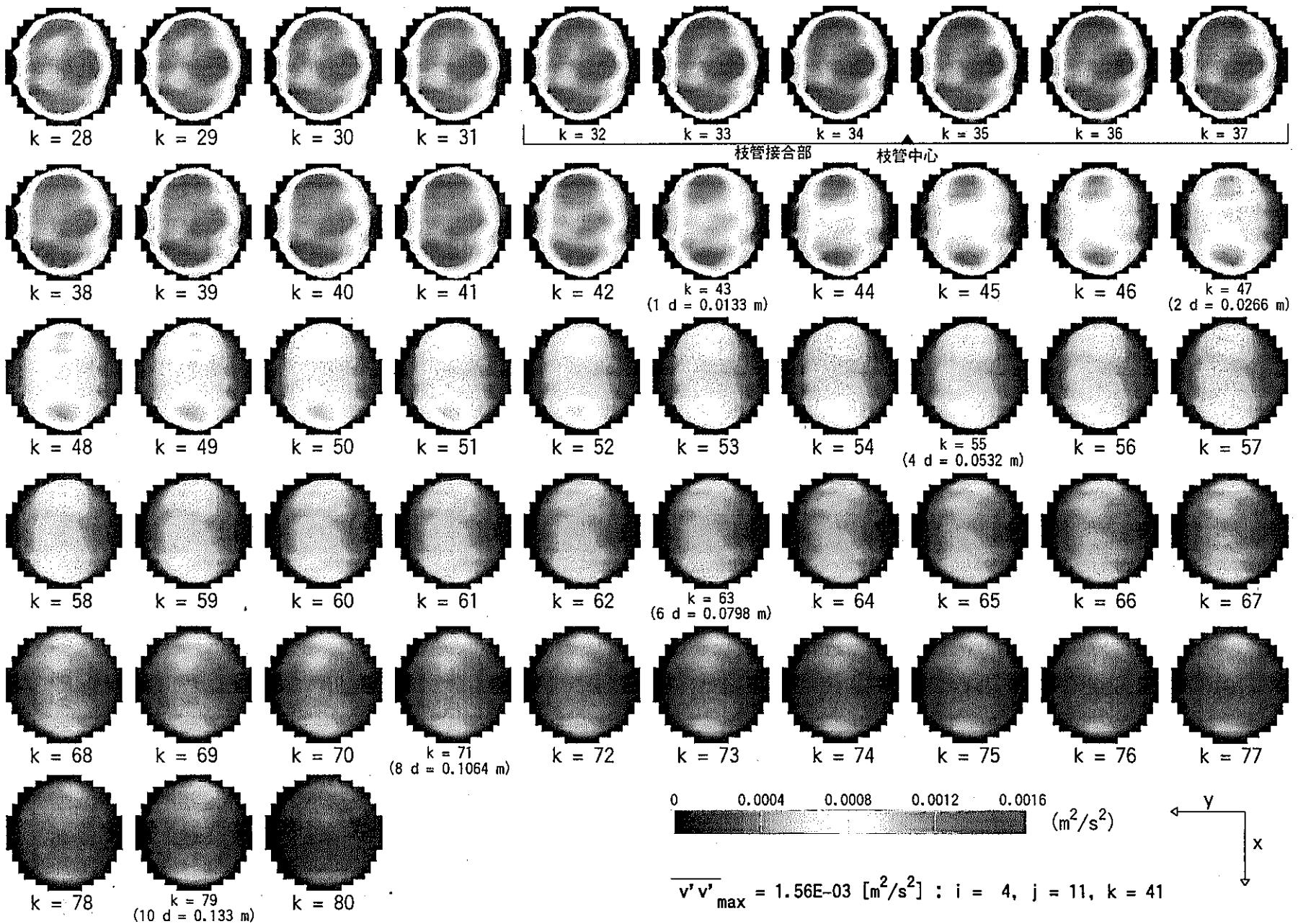


図 4.97 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

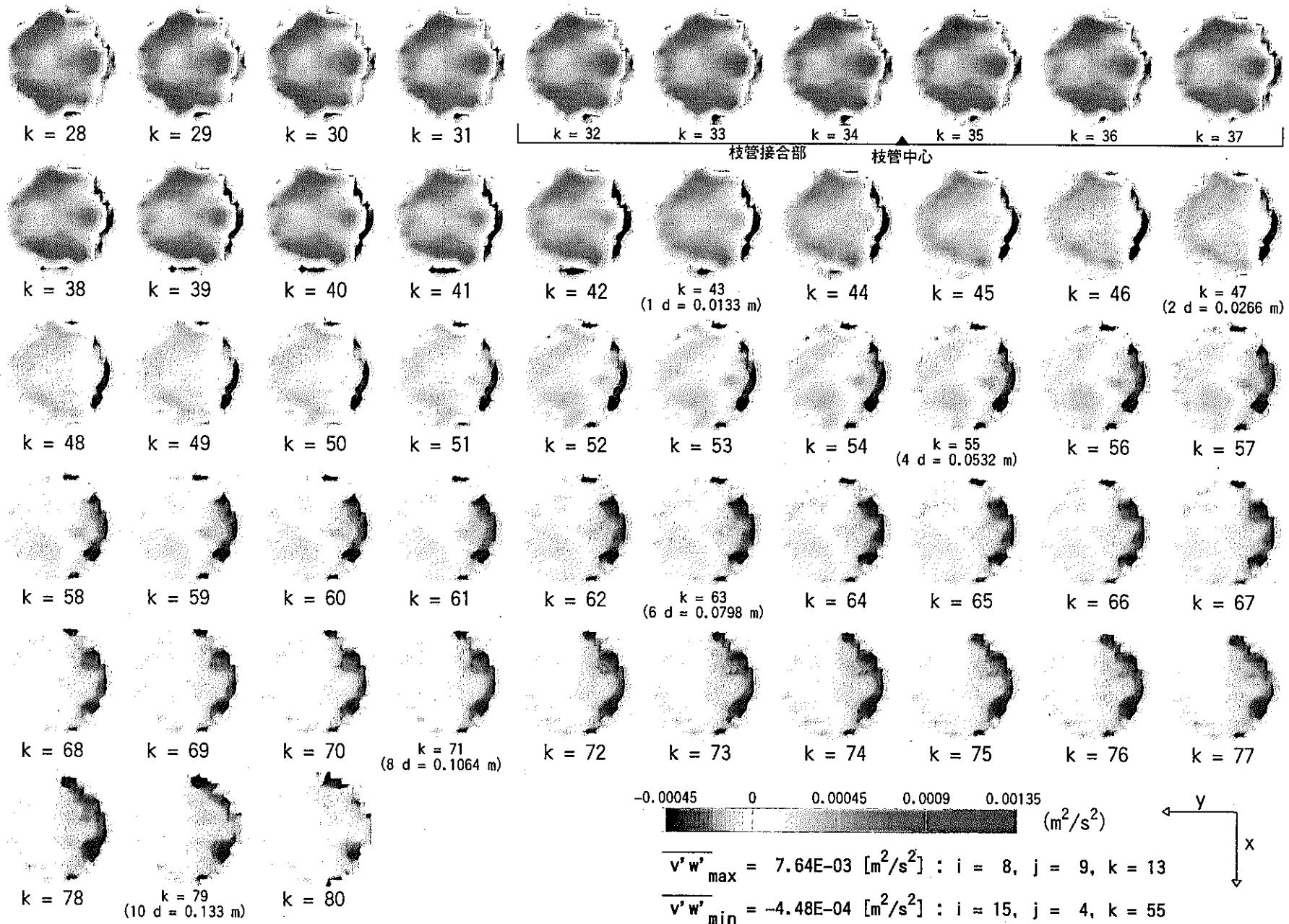


図 4.98 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

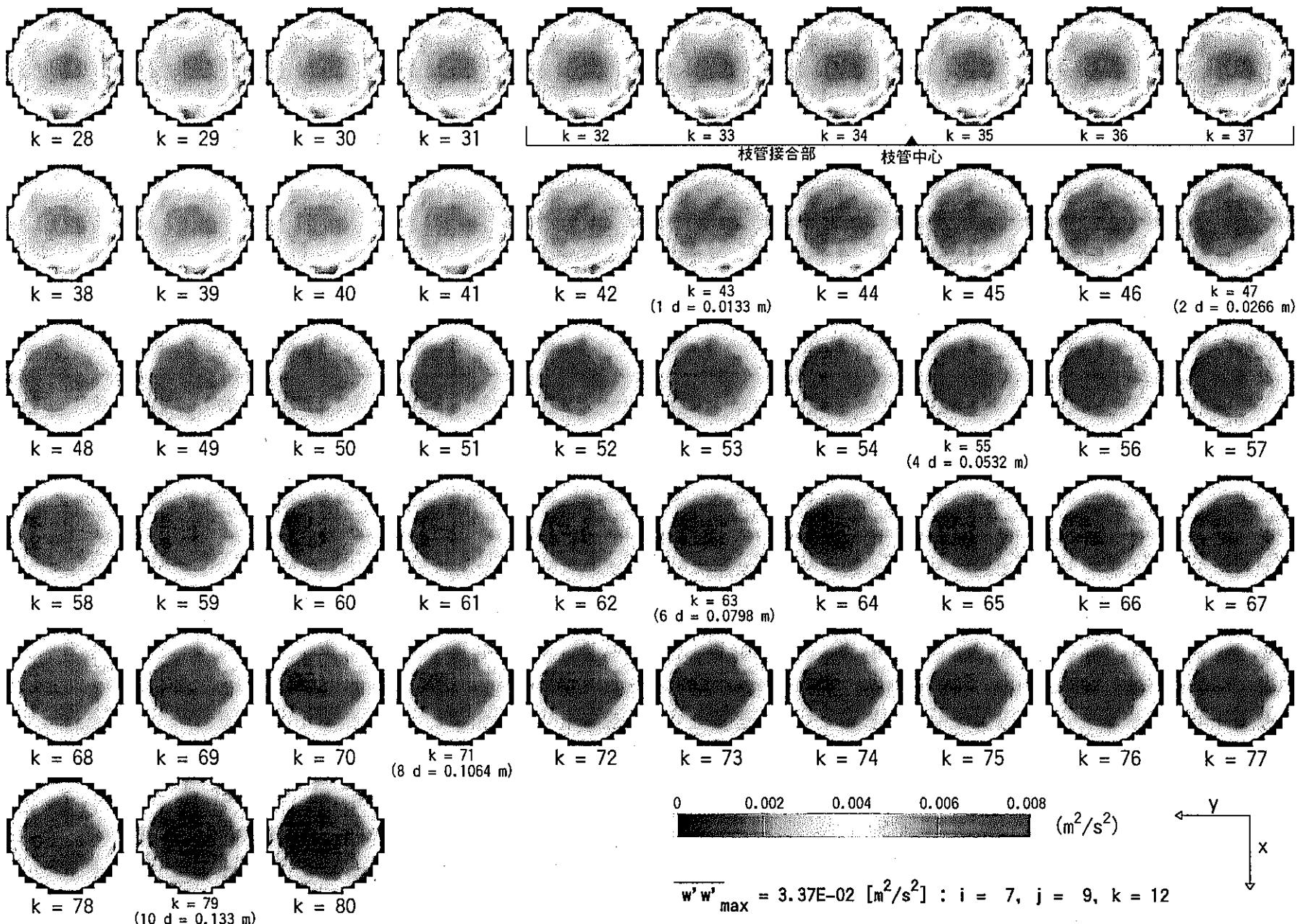


図 4.99 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

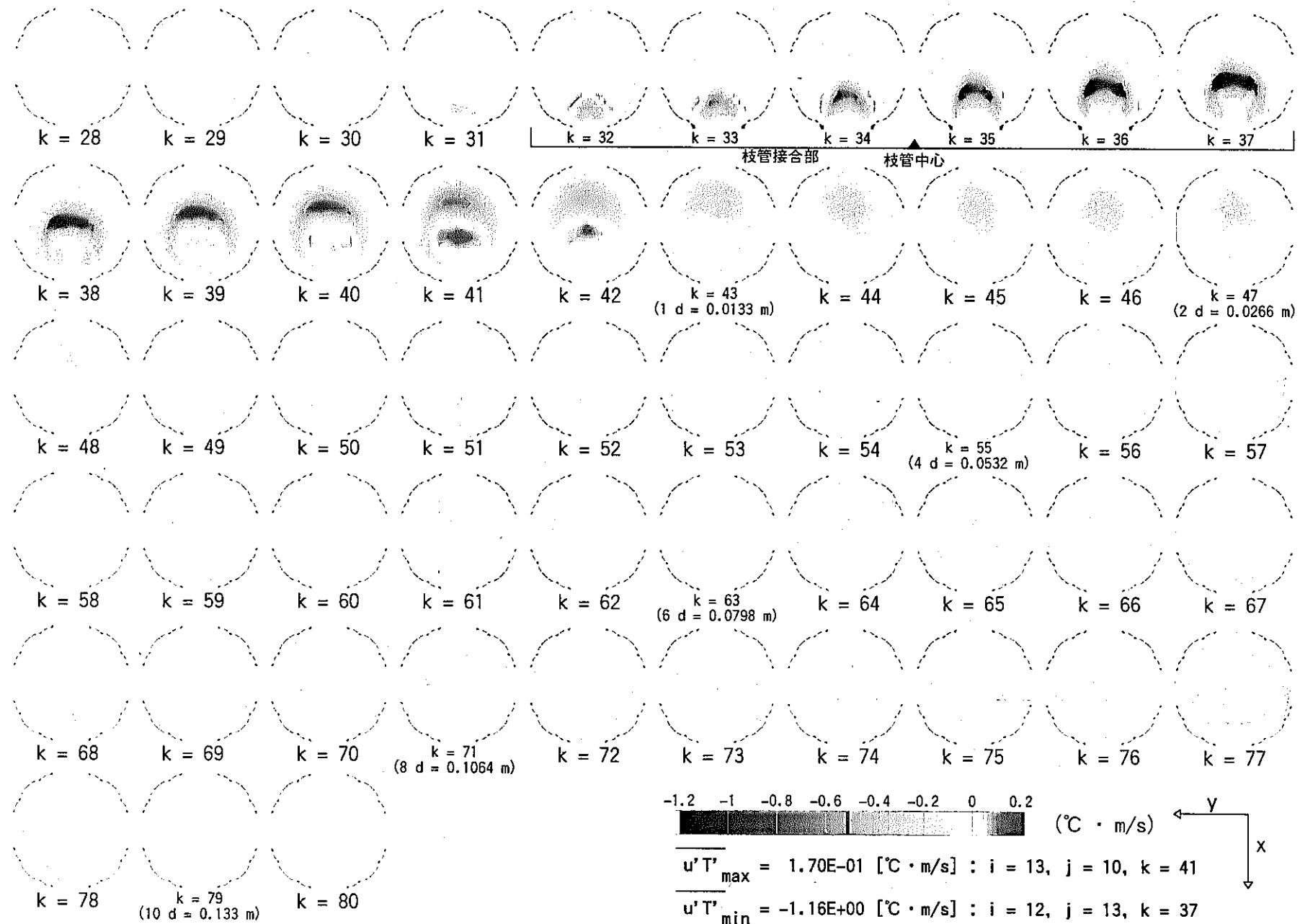


図 4.100 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case $\beta 2-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

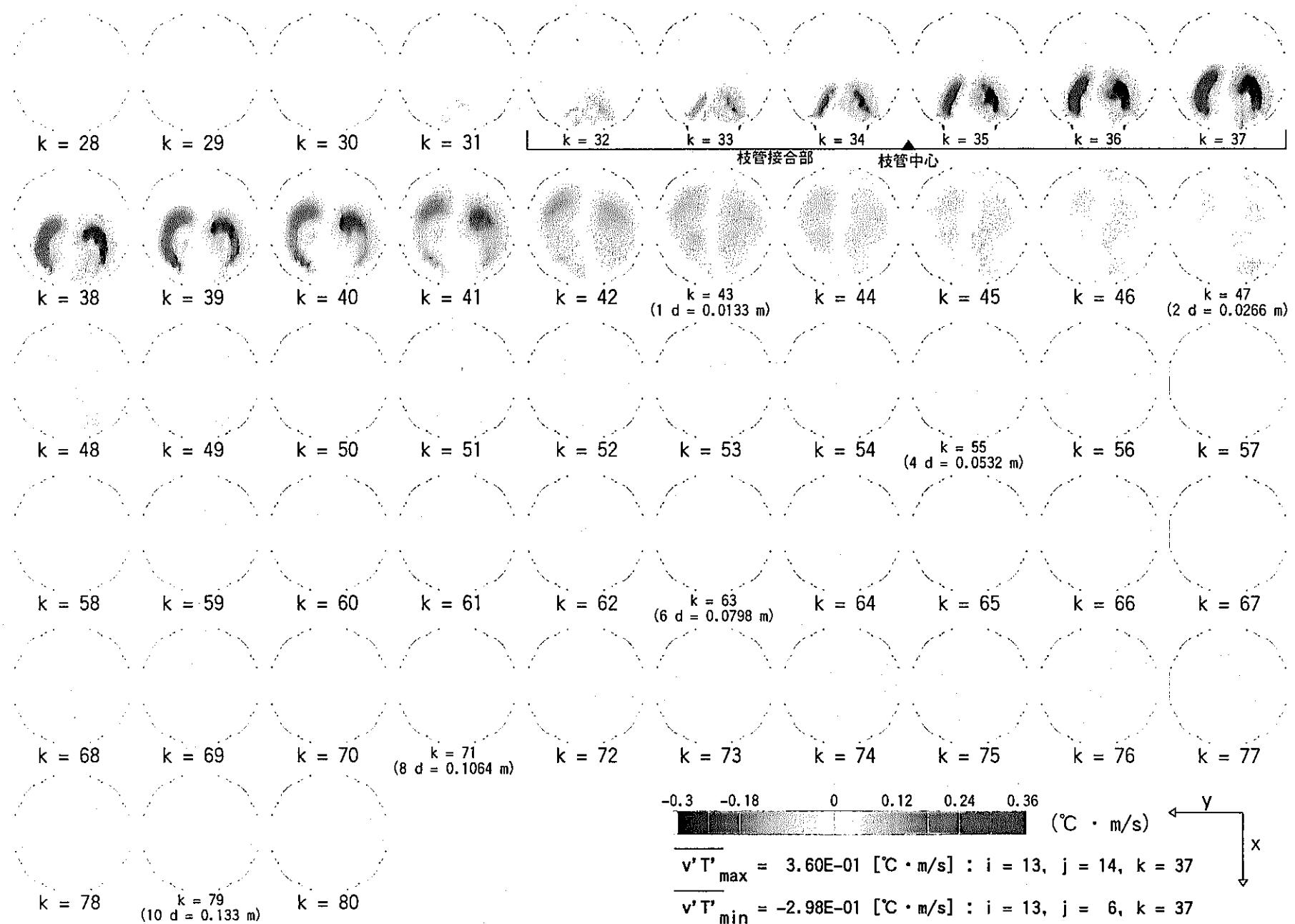


図 4.101 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case $\beta 2-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

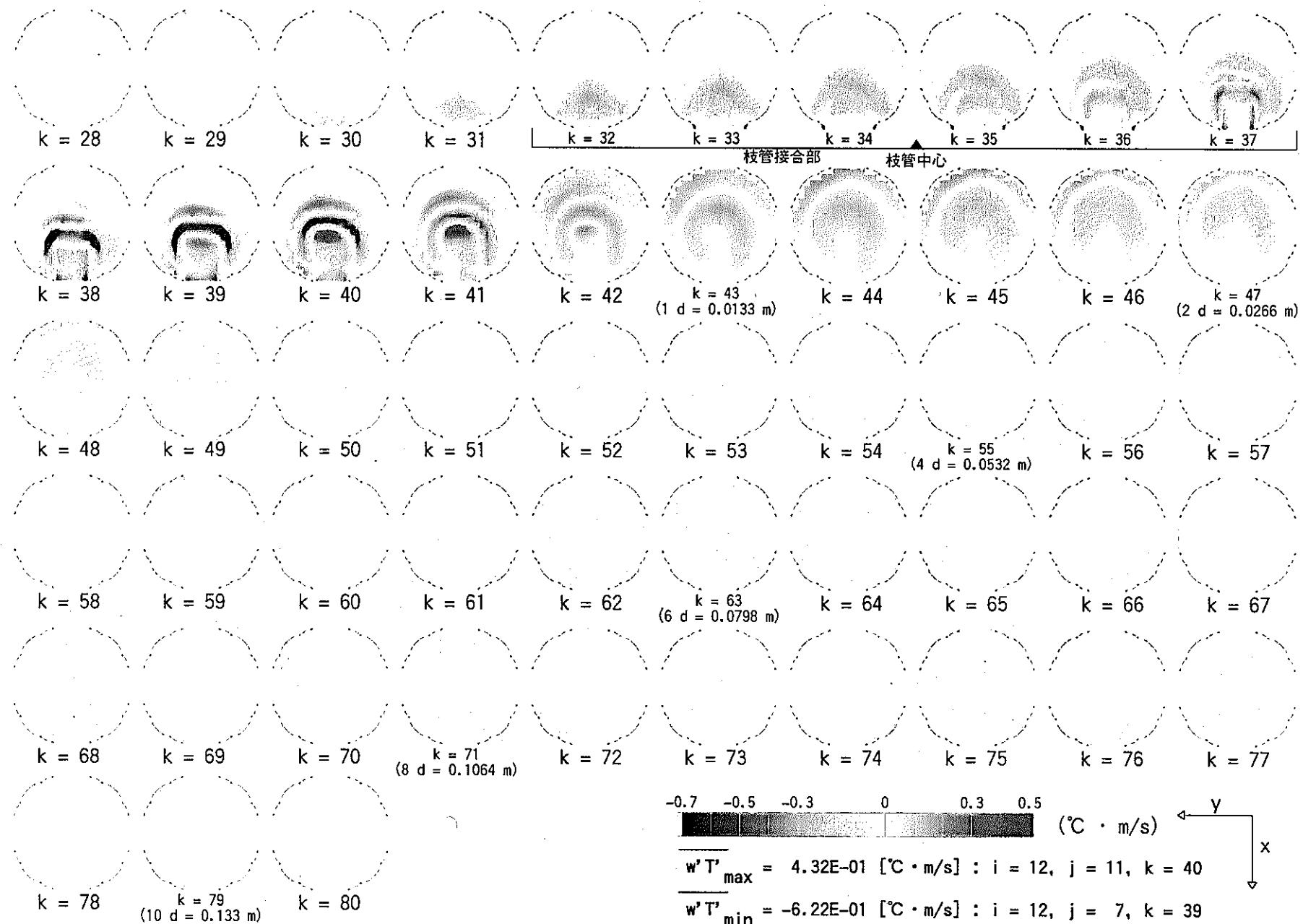


図 4.102 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case $\beta 2-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

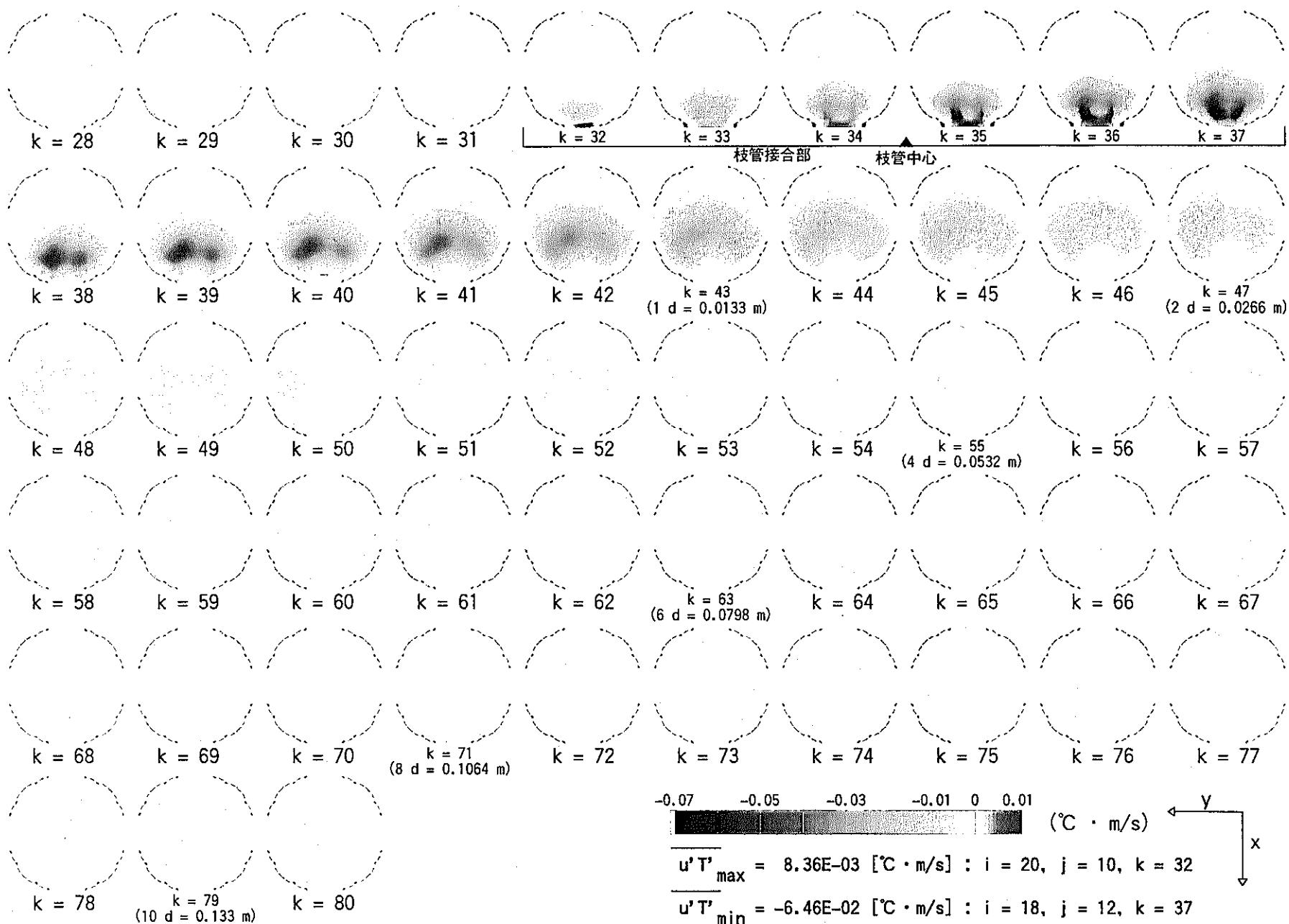


図 4.103 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case $\beta 2-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

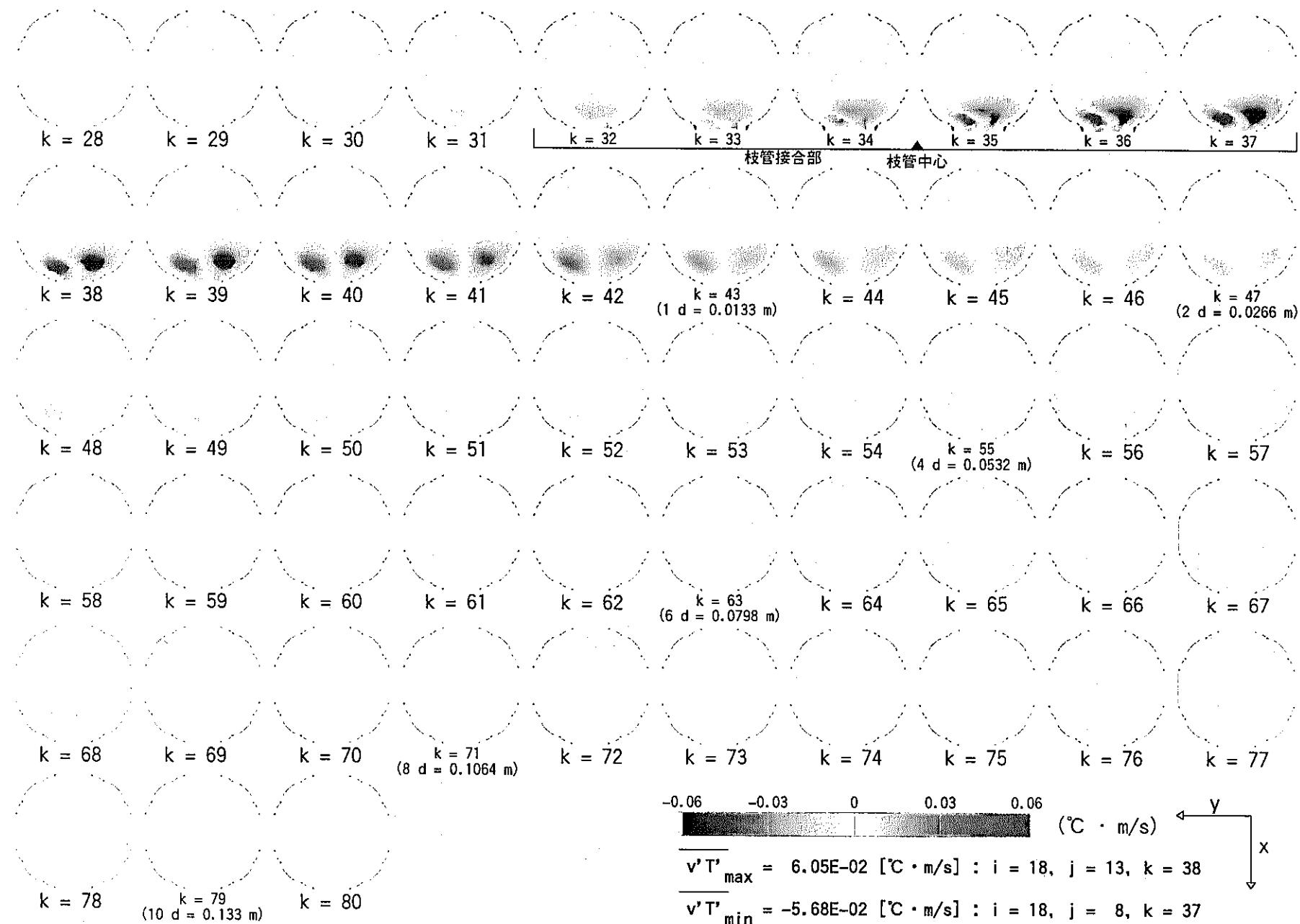


図 4.104 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case $\beta 2-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

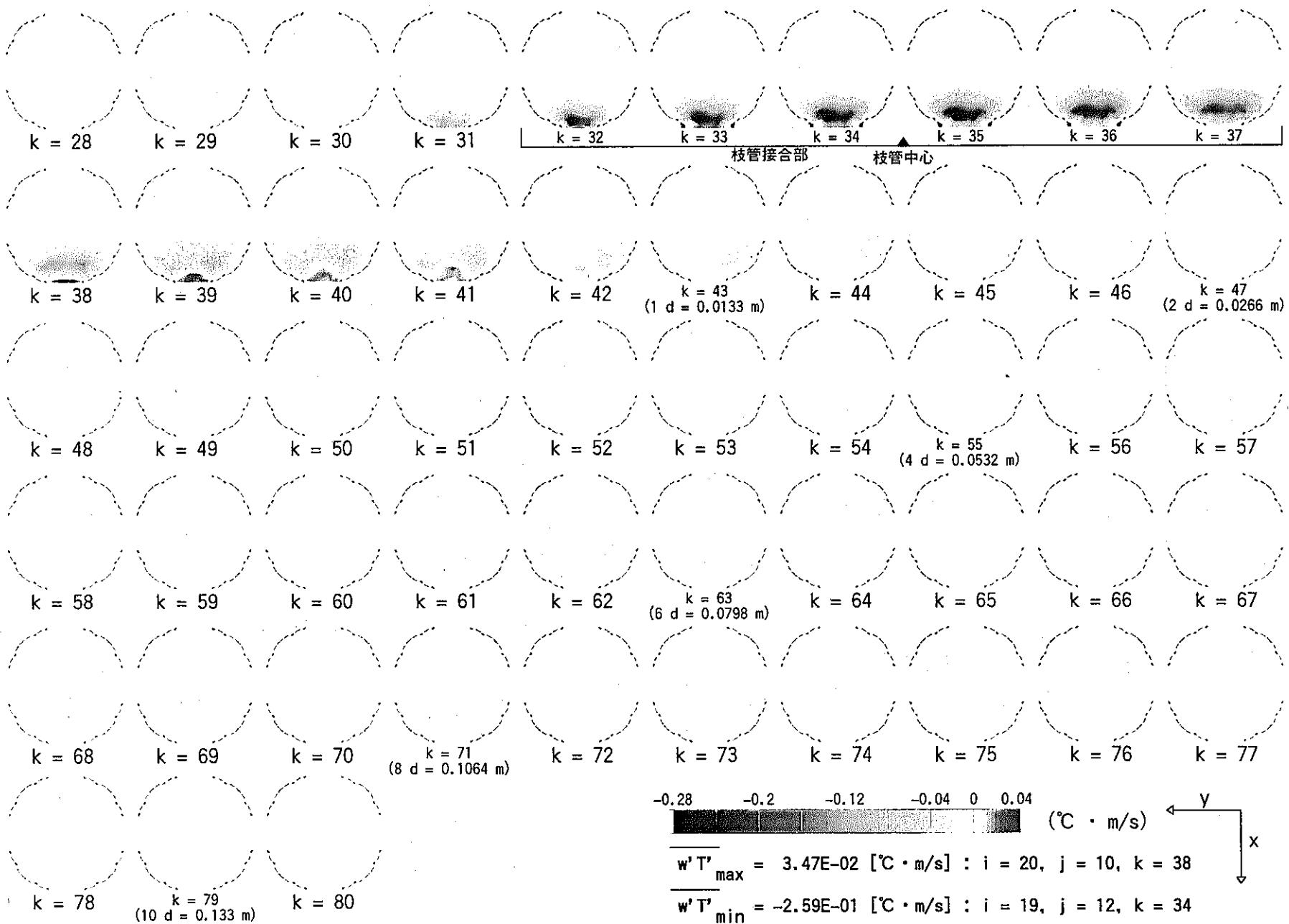


図 4.105 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case β2-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

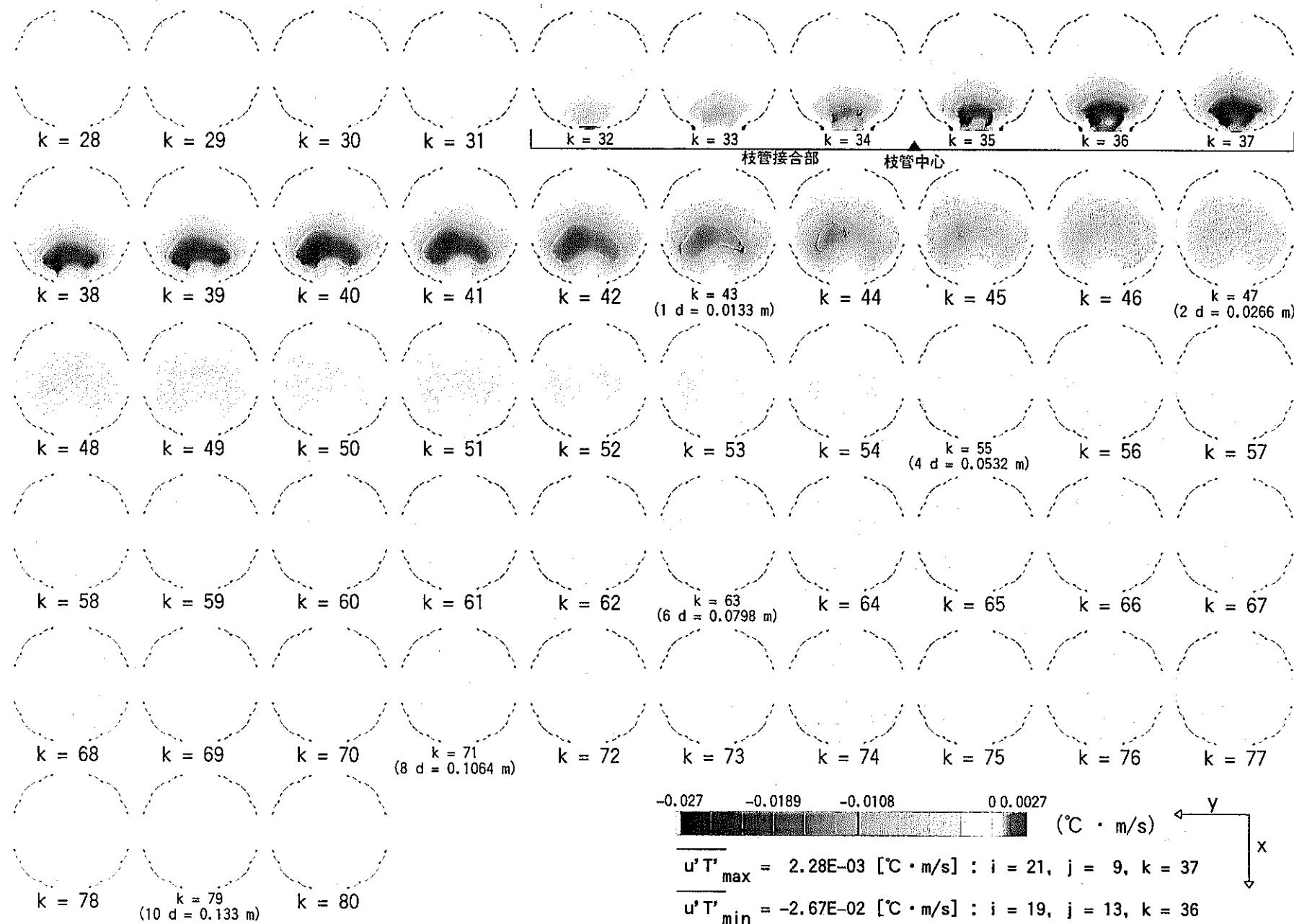


図 4.106 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case $\beta 2-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

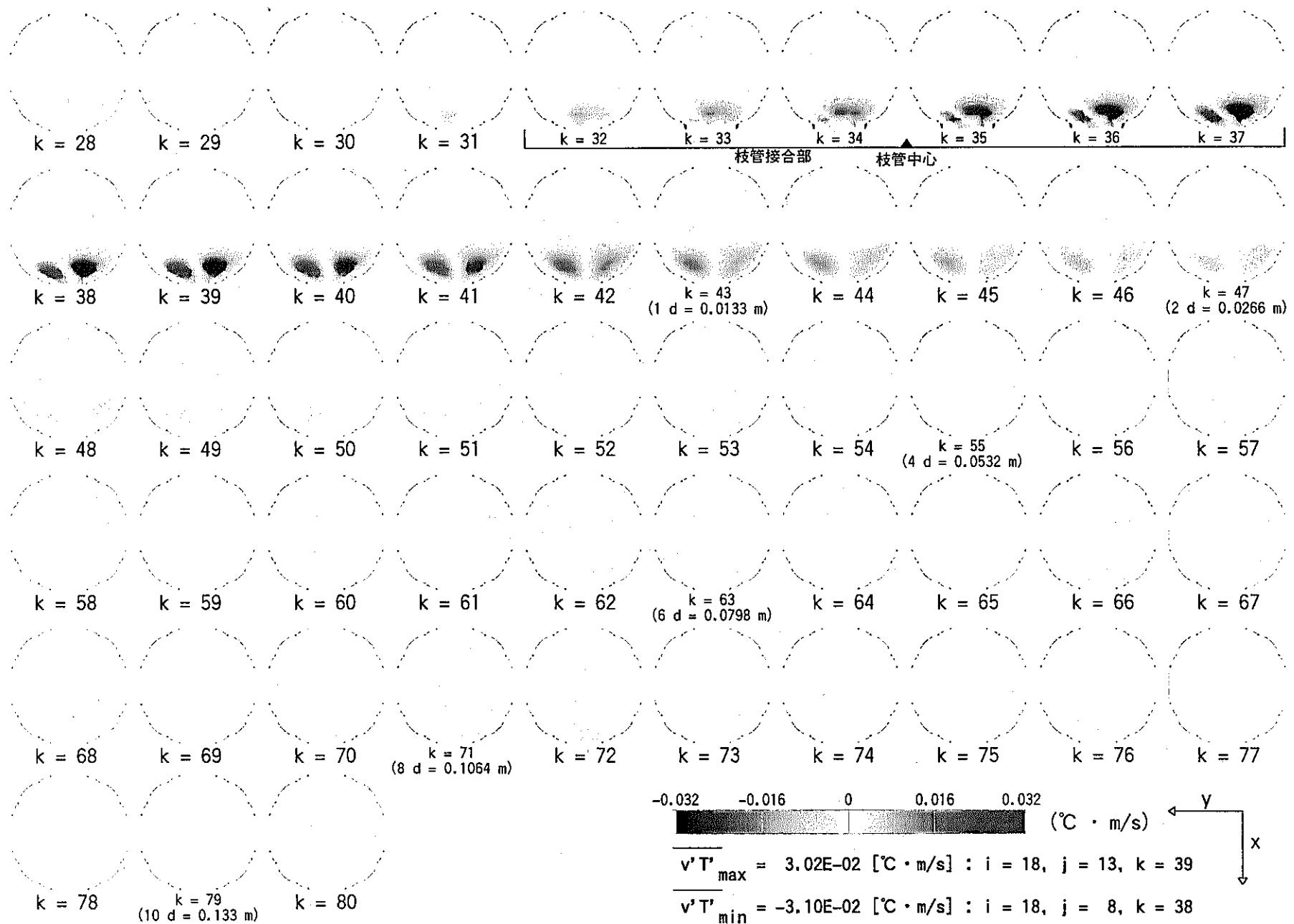


図 4.107 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case β2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

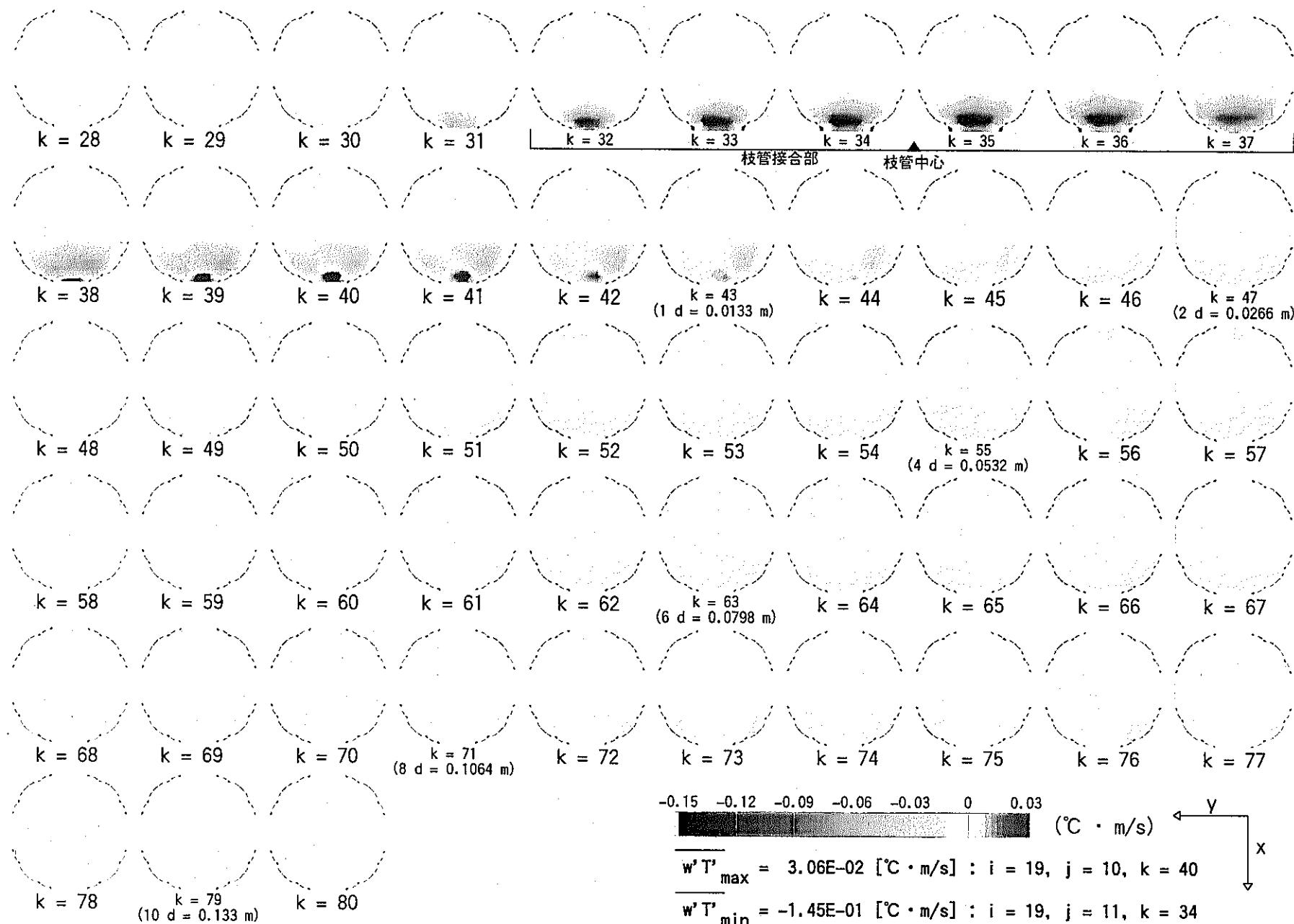


図 4.108 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case $\beta 2-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

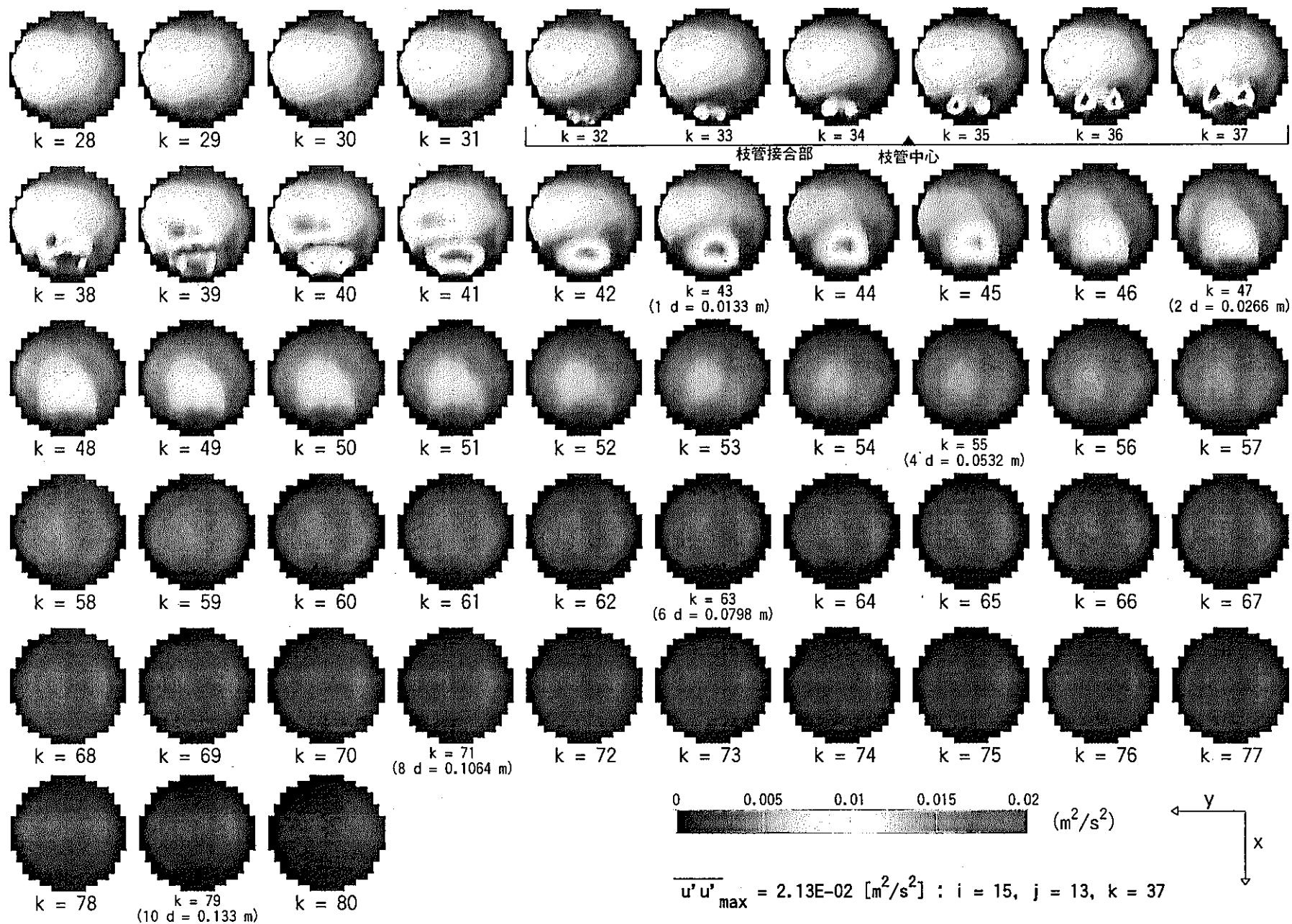


图 4.109 $\overline{u'u'}$ 分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

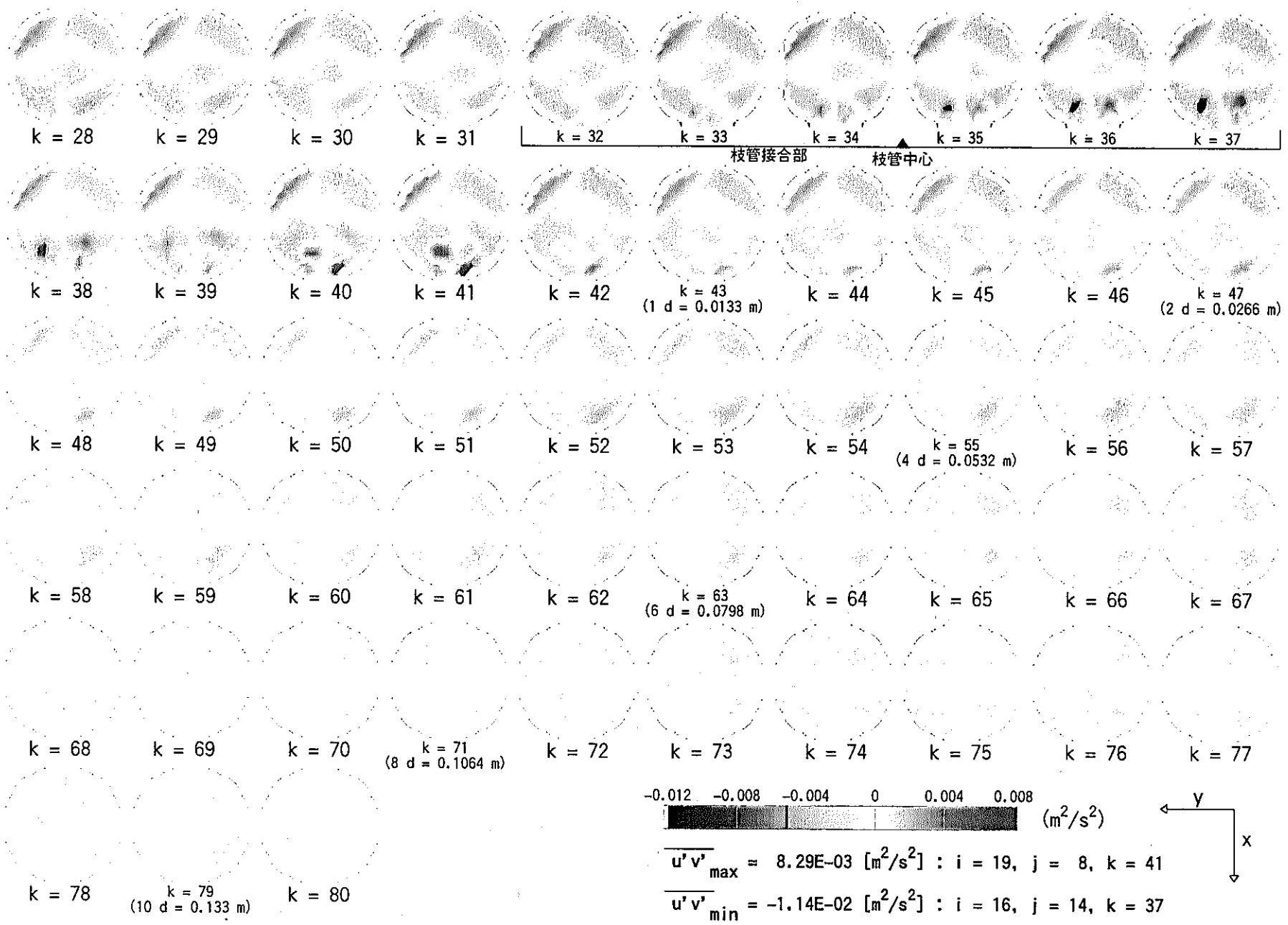


図 4.110 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 11,252$)

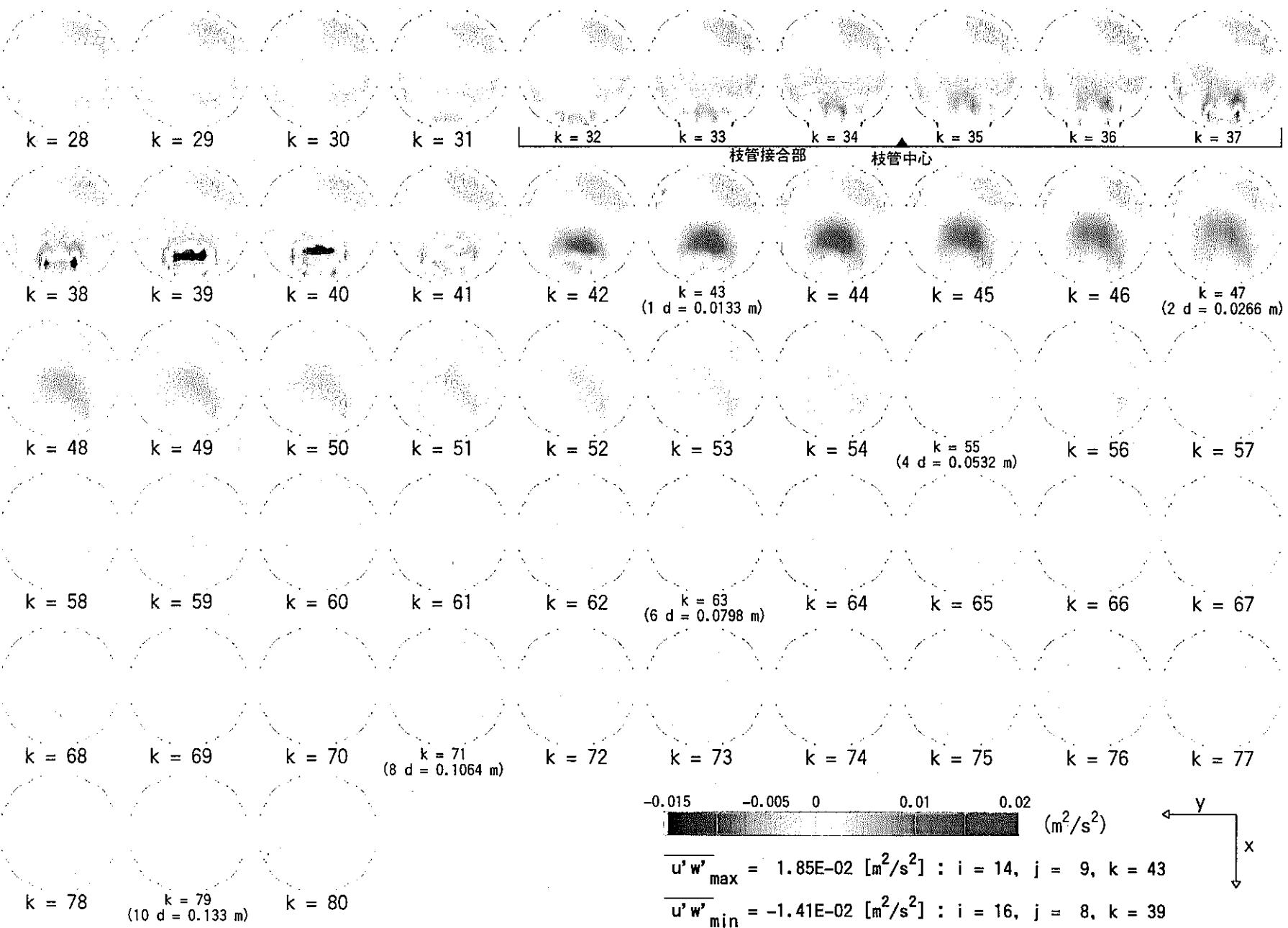


図 4.111 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case γ-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

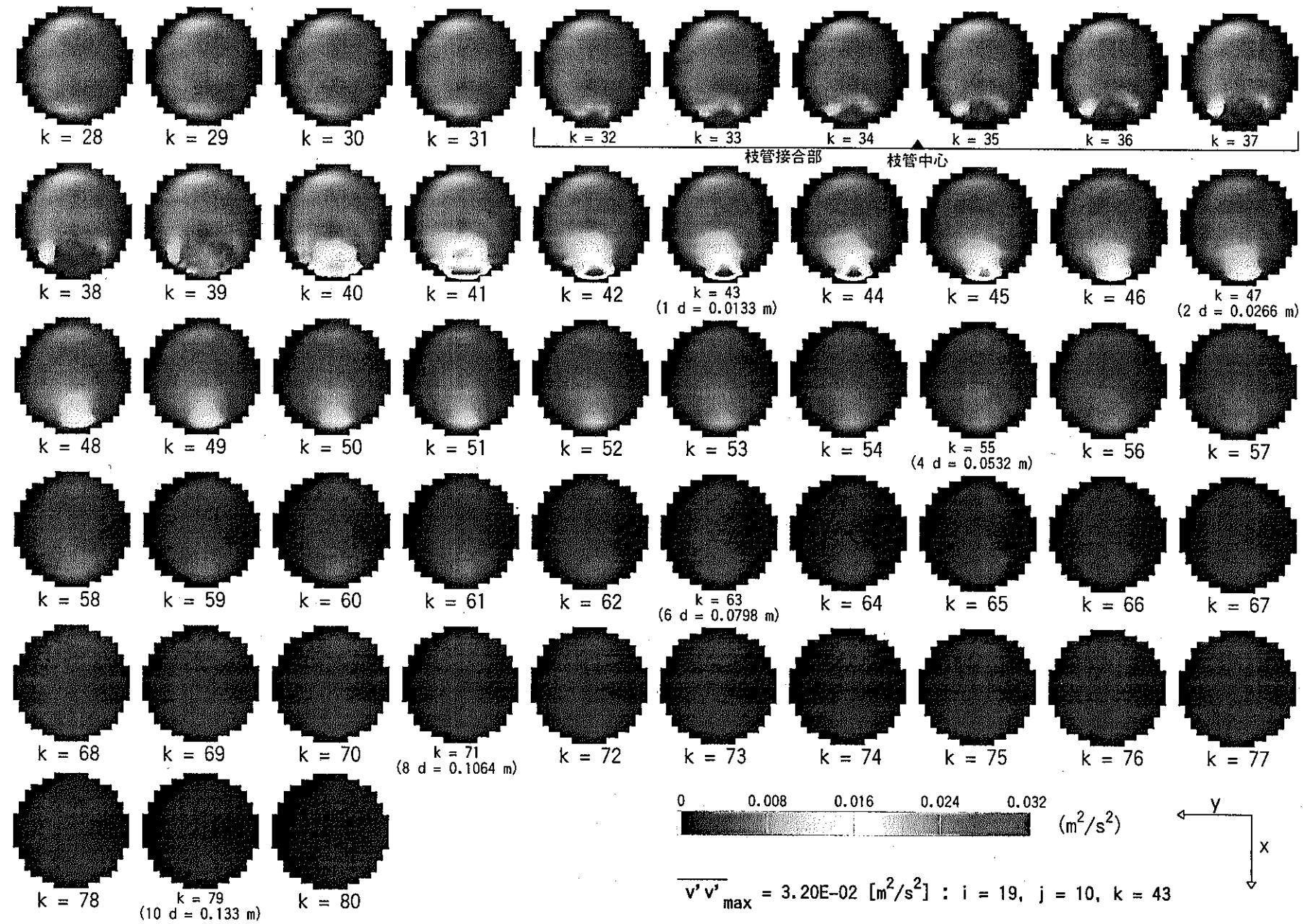


図 4.112 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case γ-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 11,252$)

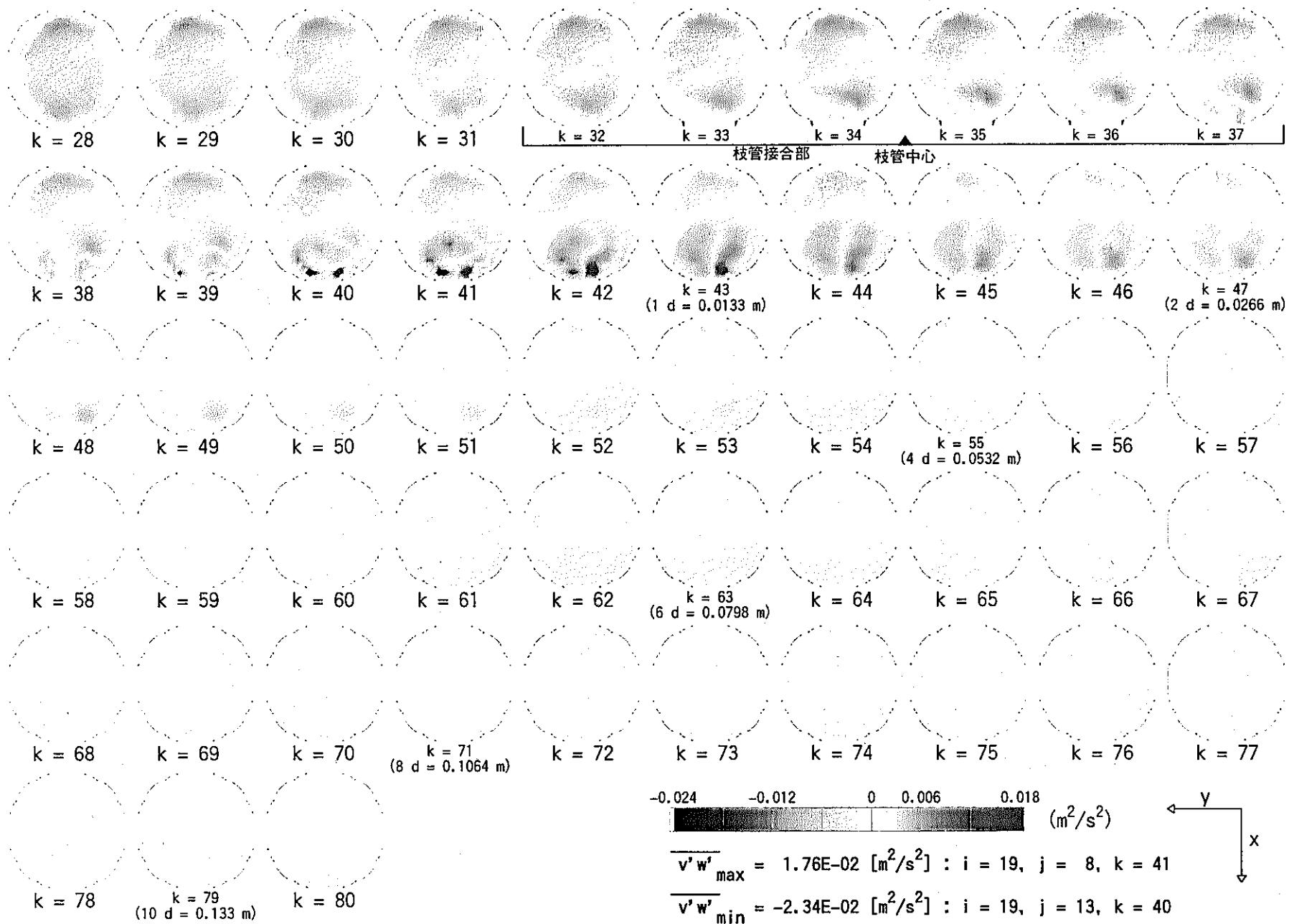


図 4.113 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

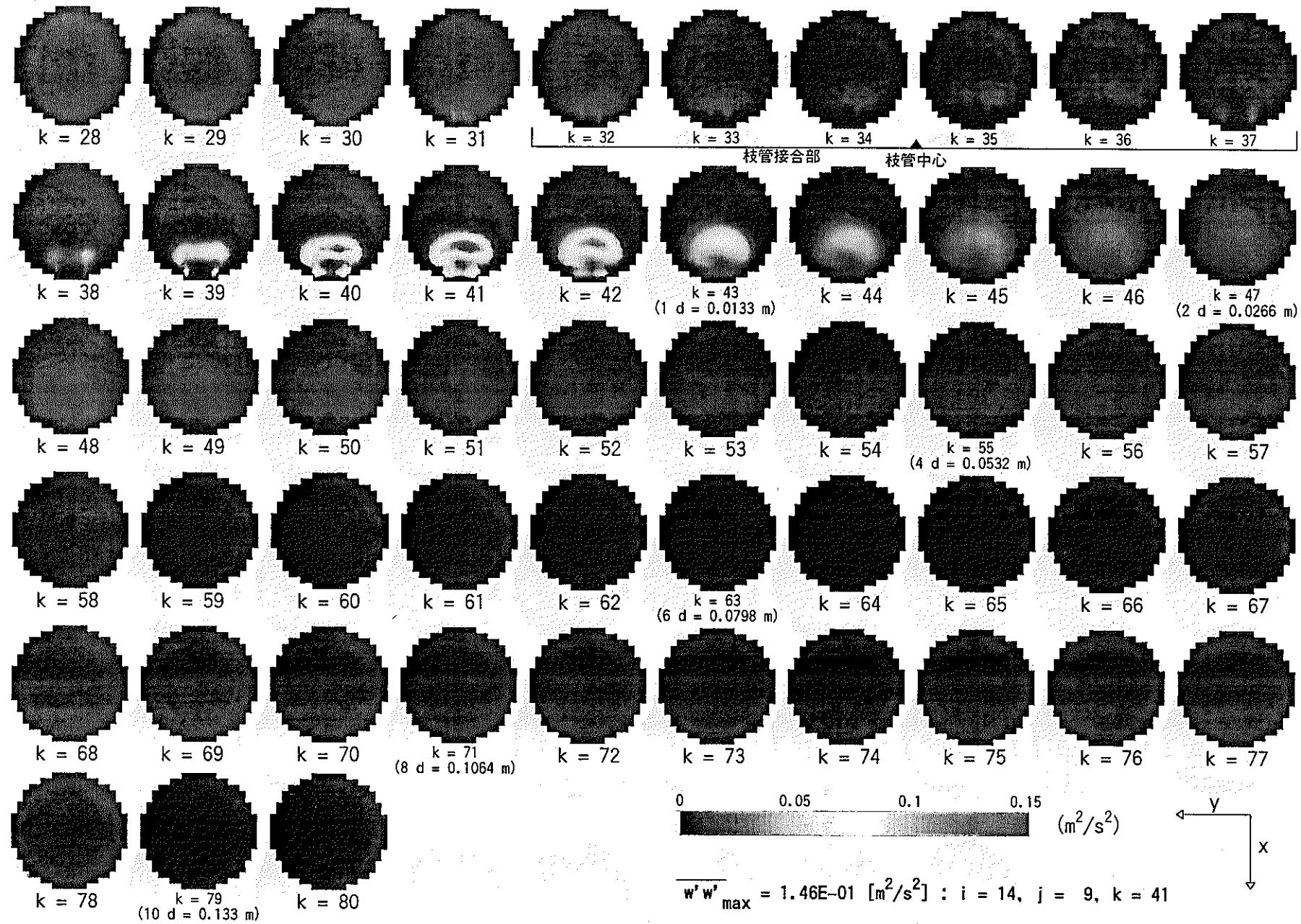


図 4.114 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

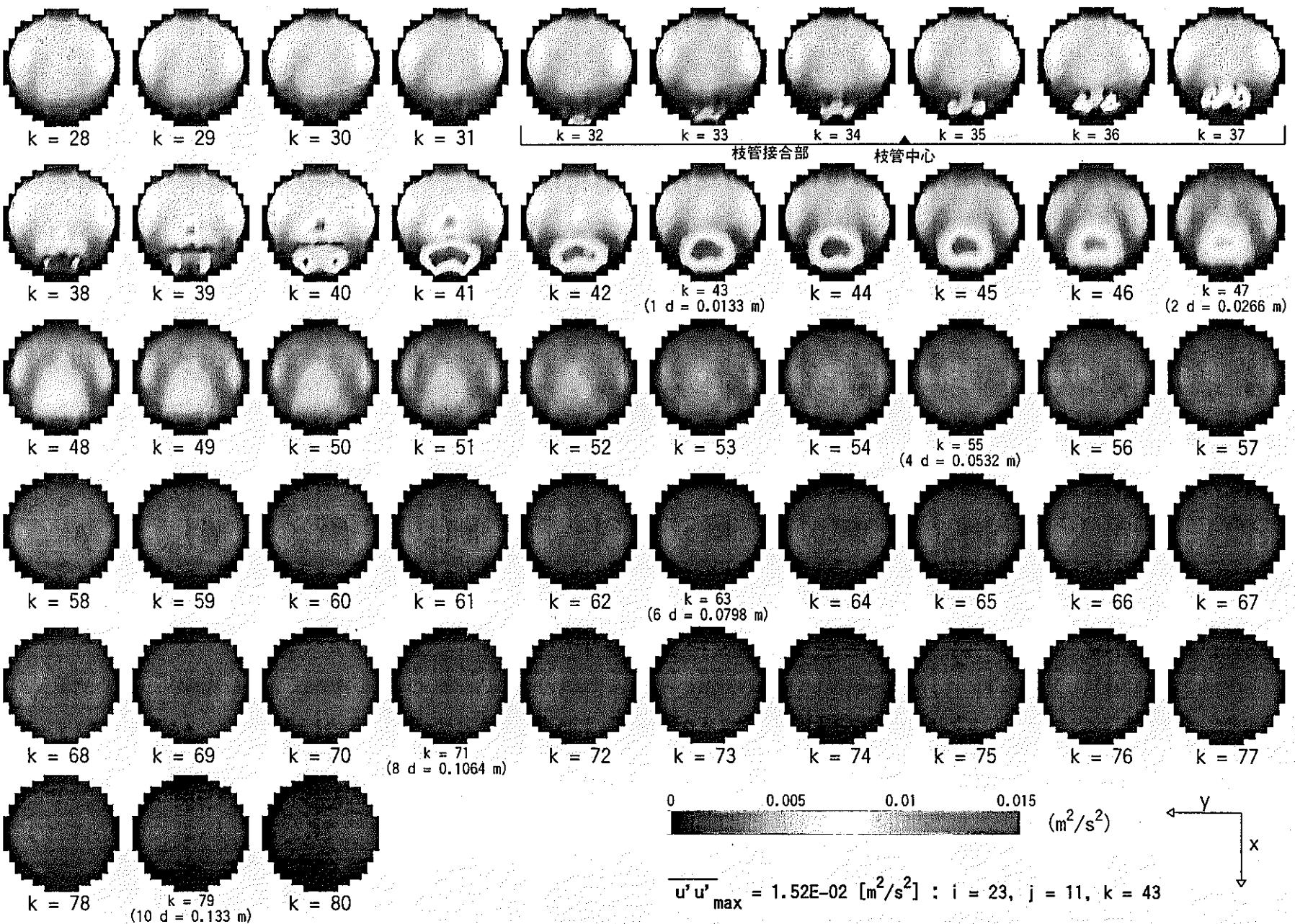


図 4.115 Re 応力 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case $\gamma-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

- 201 -

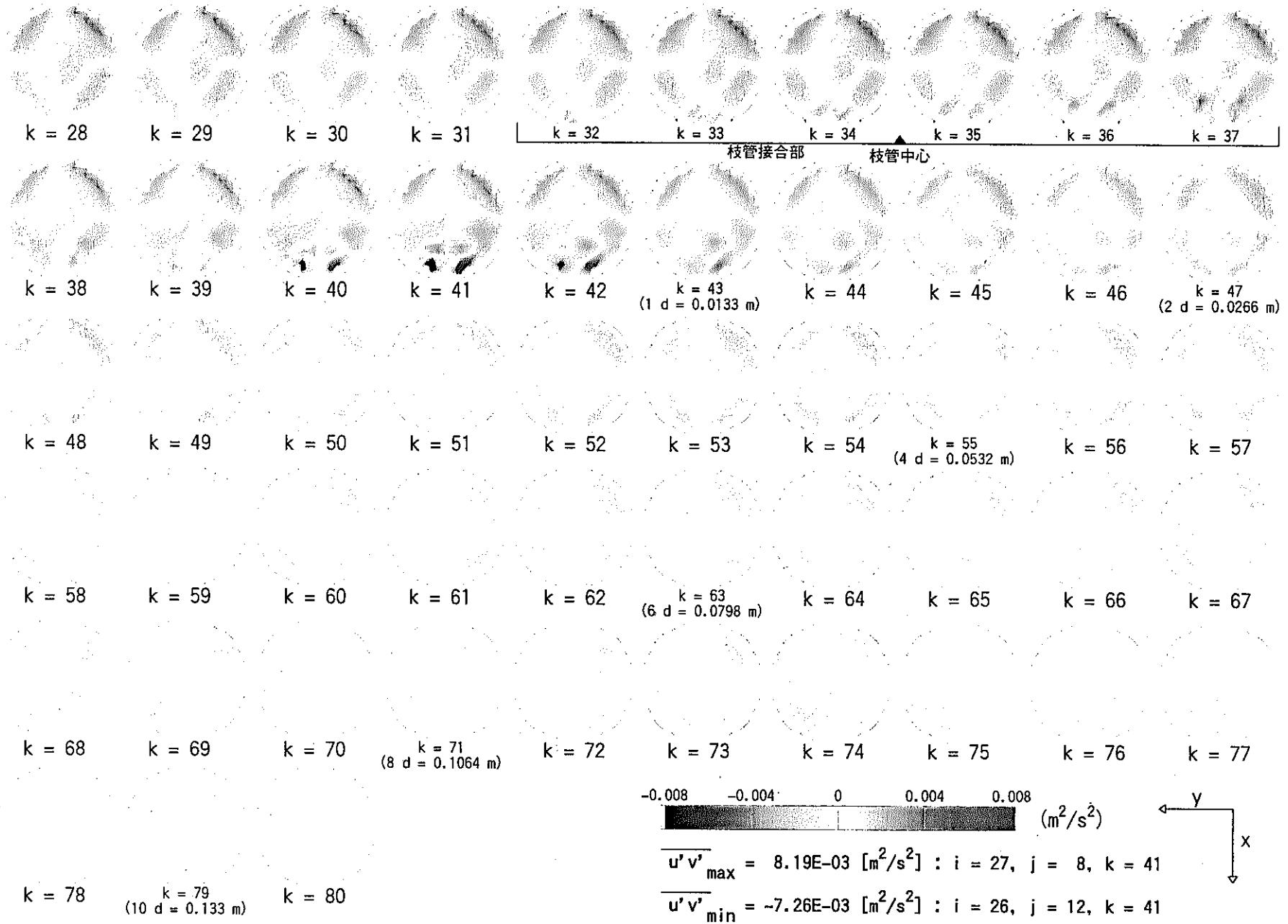


図 4.116 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case $\gamma-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

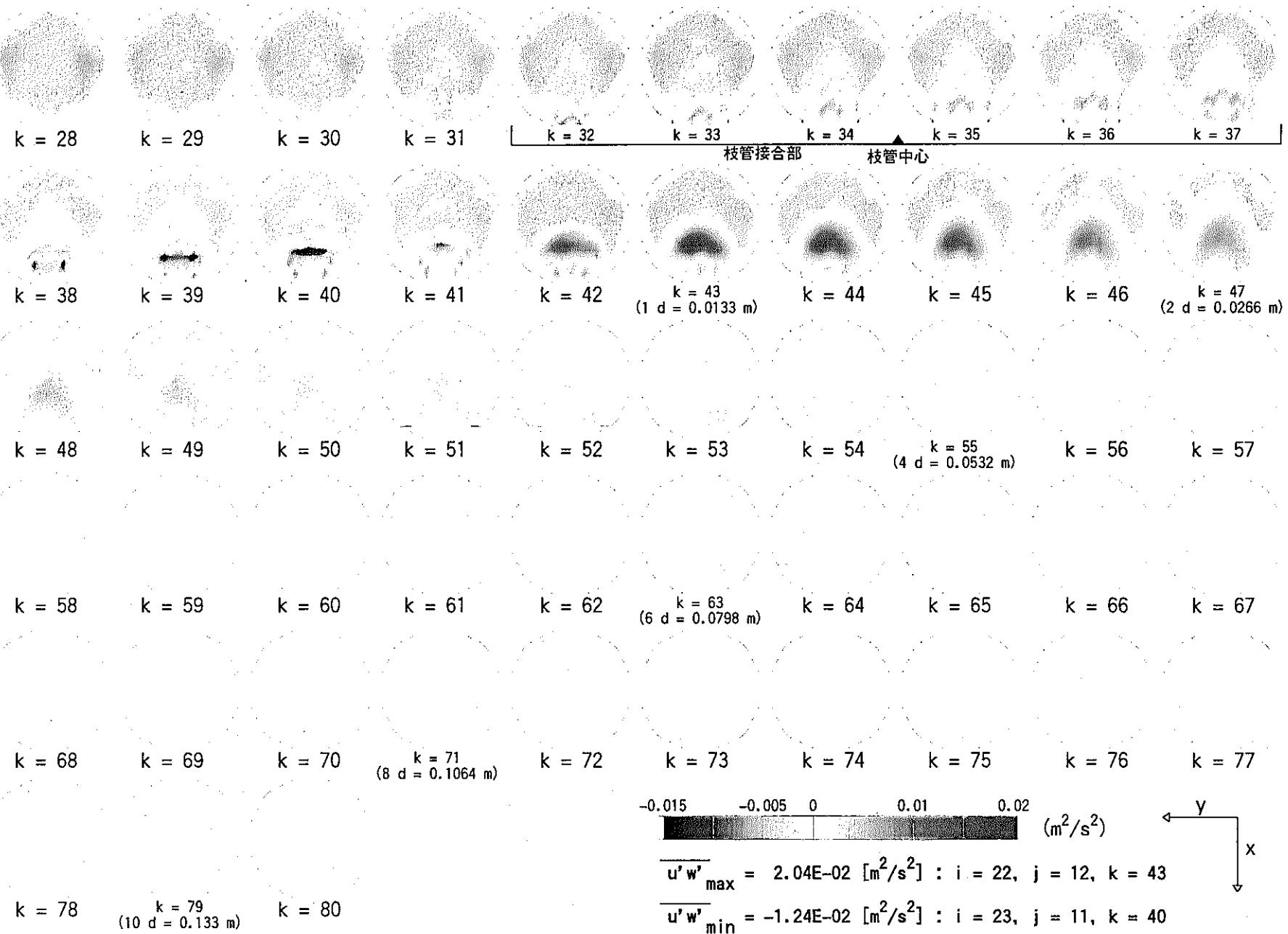


図 4.117 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case $\gamma-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

- 203 -

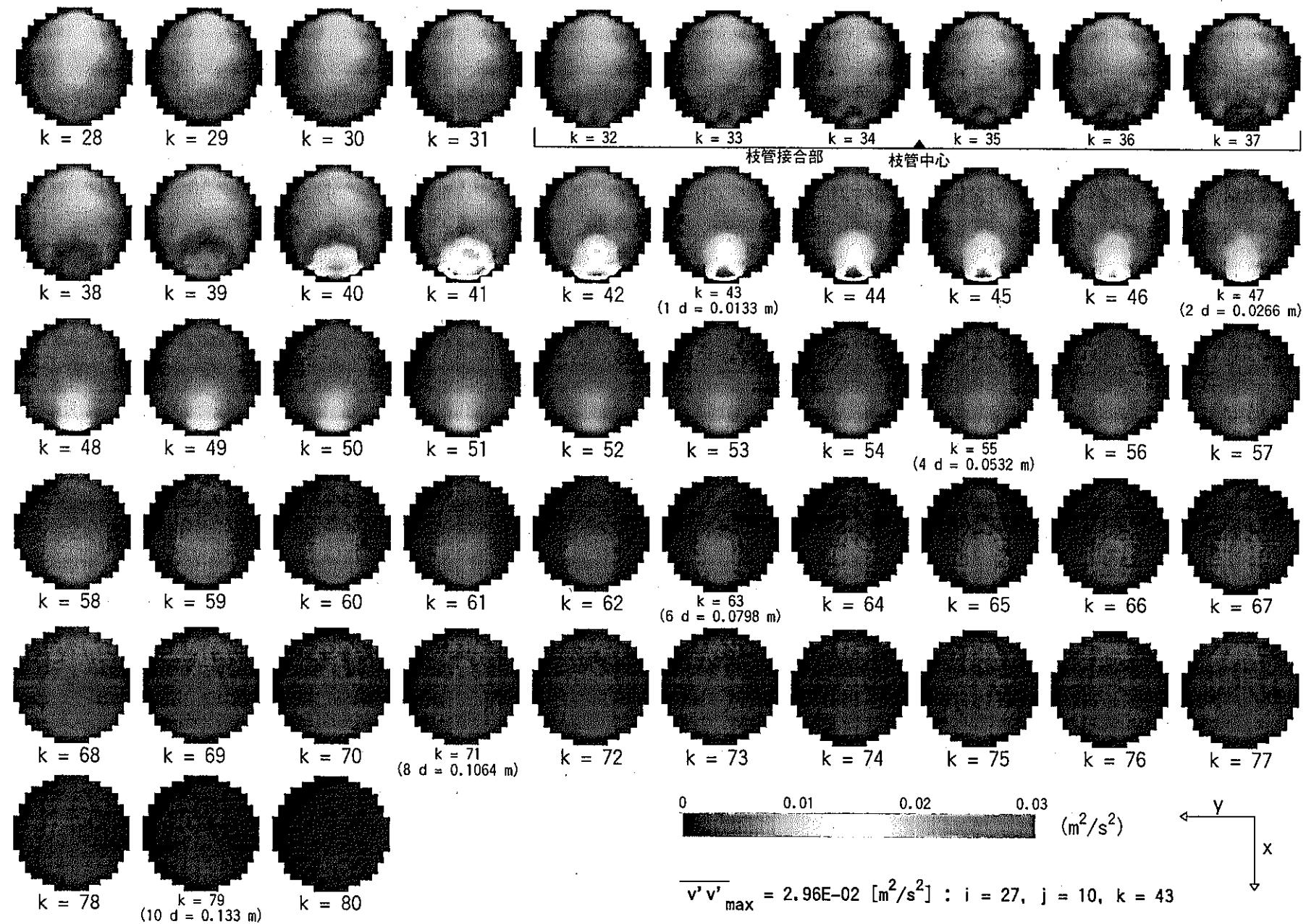


図 4.118 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case $\gamma-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

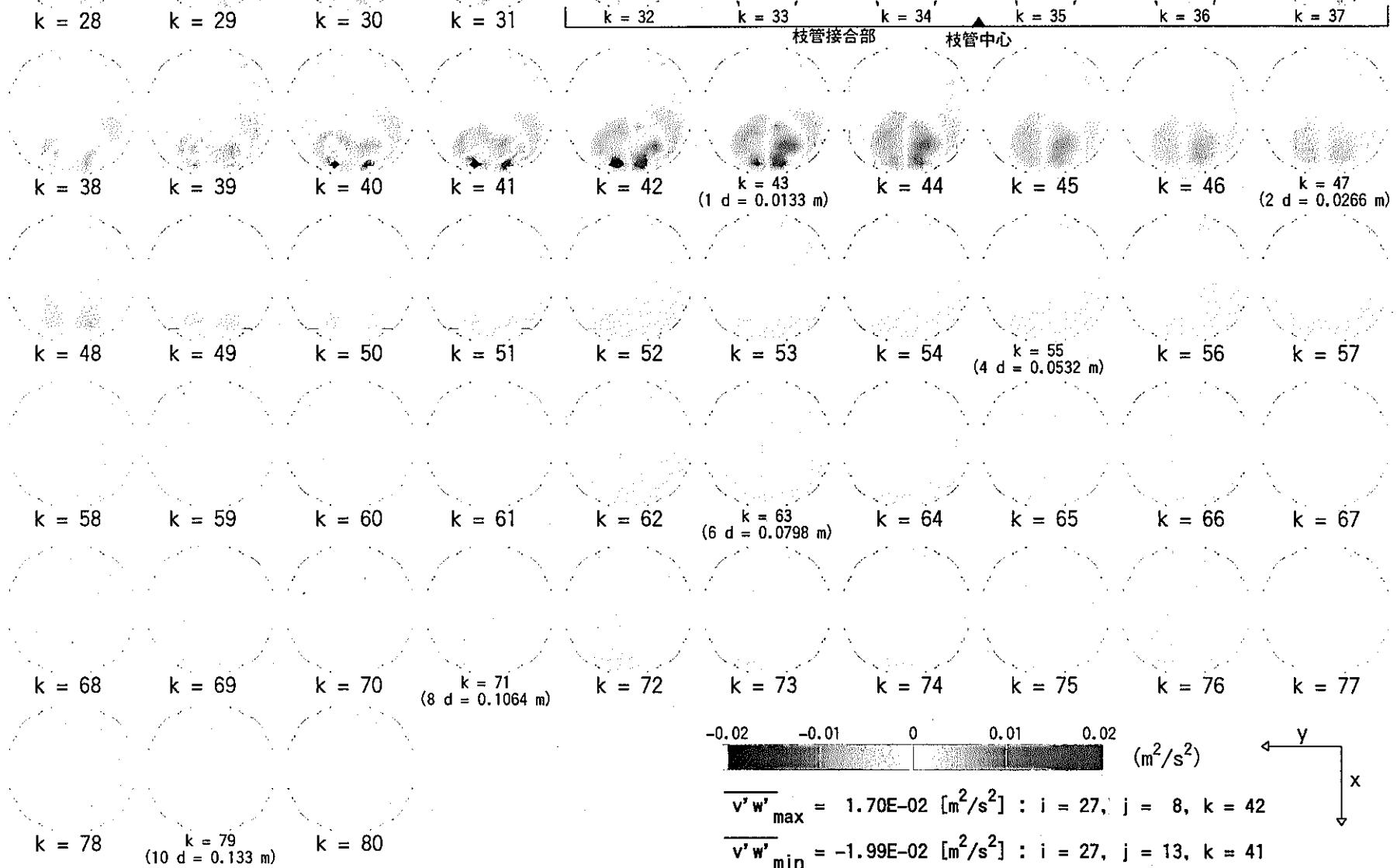


図 4.119 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case $\gamma-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

- 205 -

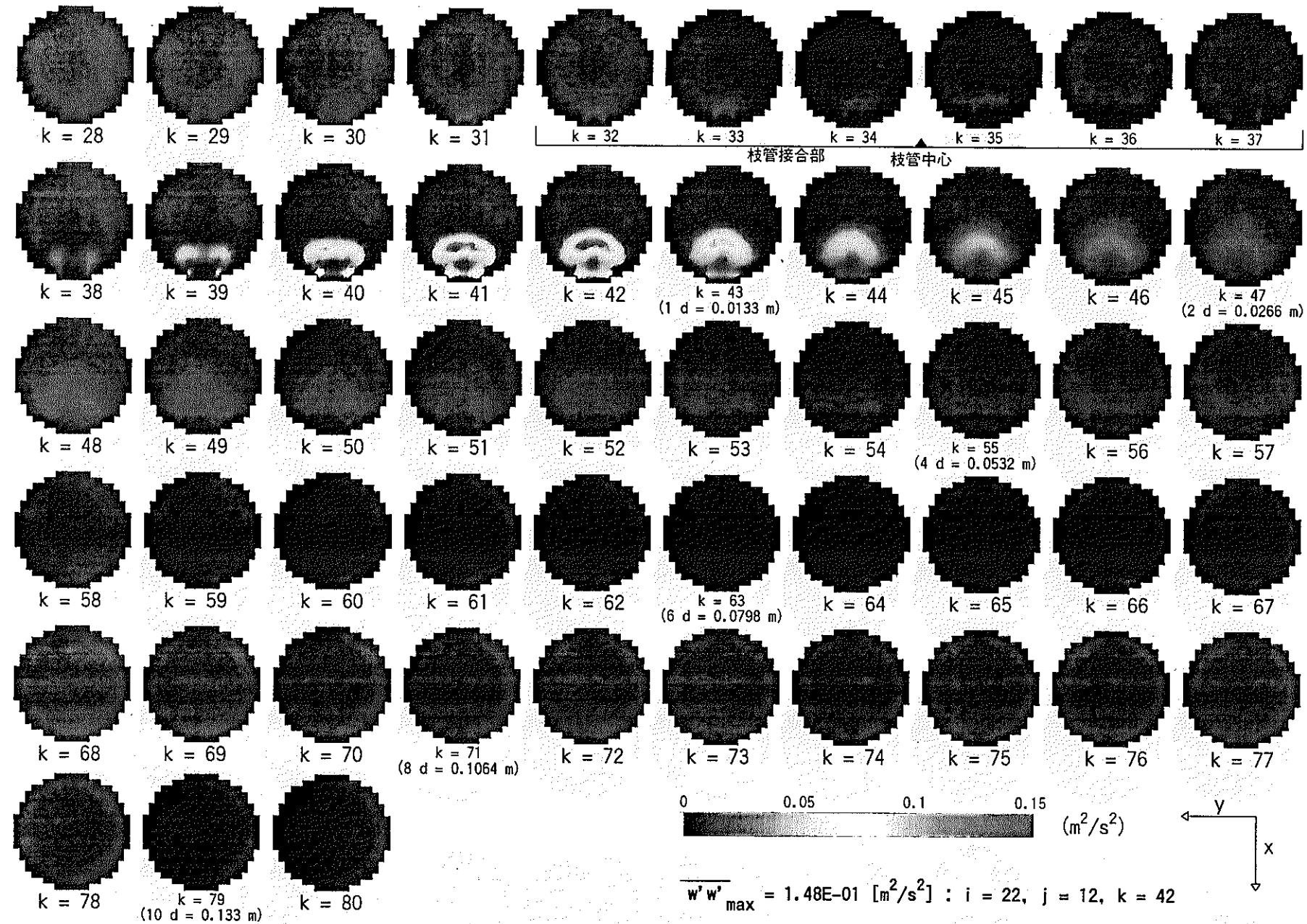


図 4.120 Re 応力 $w'w'$ 分布 (Case γ-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

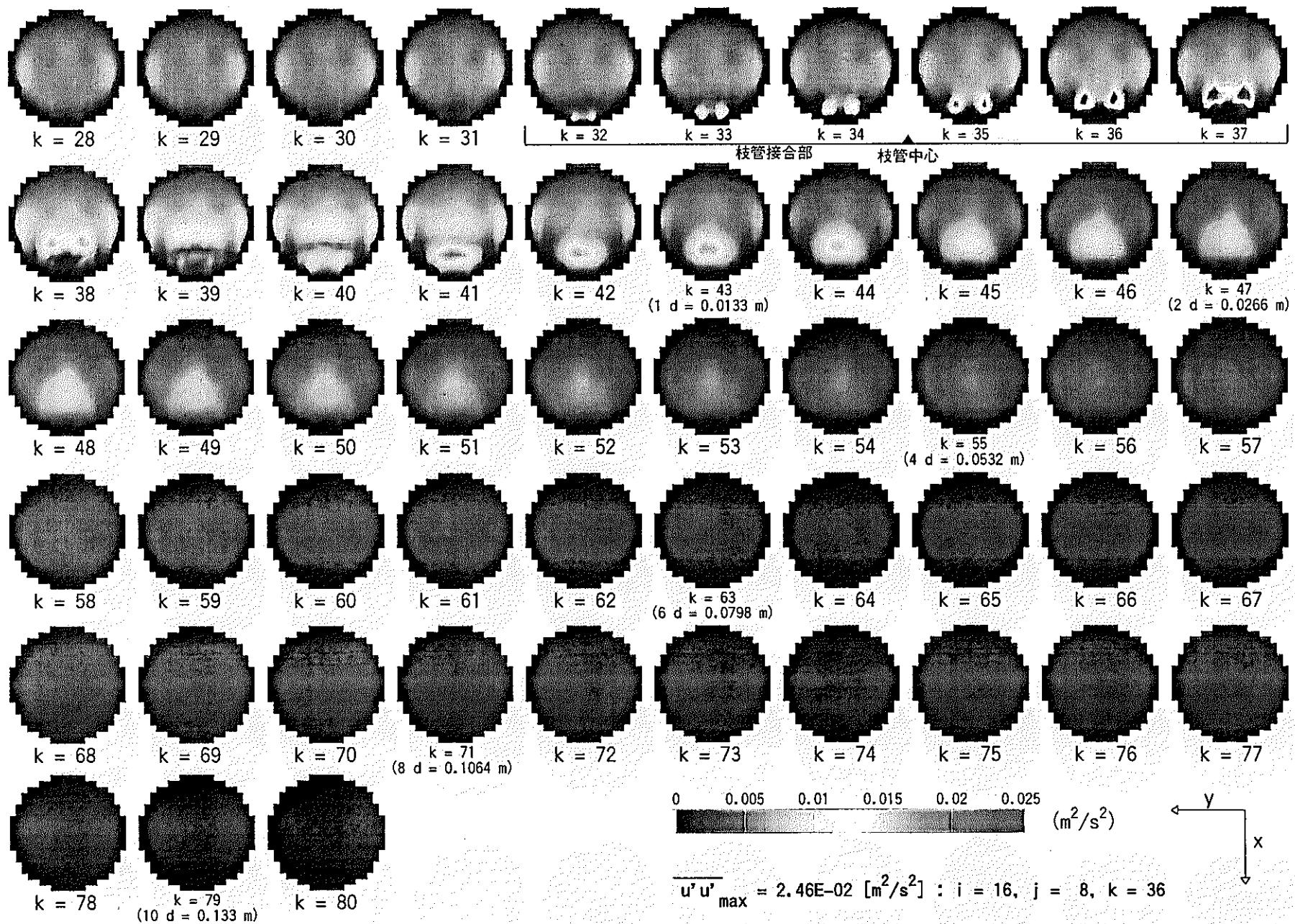


図 4.121 Re 応力 $\overline{u'u'}$ 分布 (Case $\gamma-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

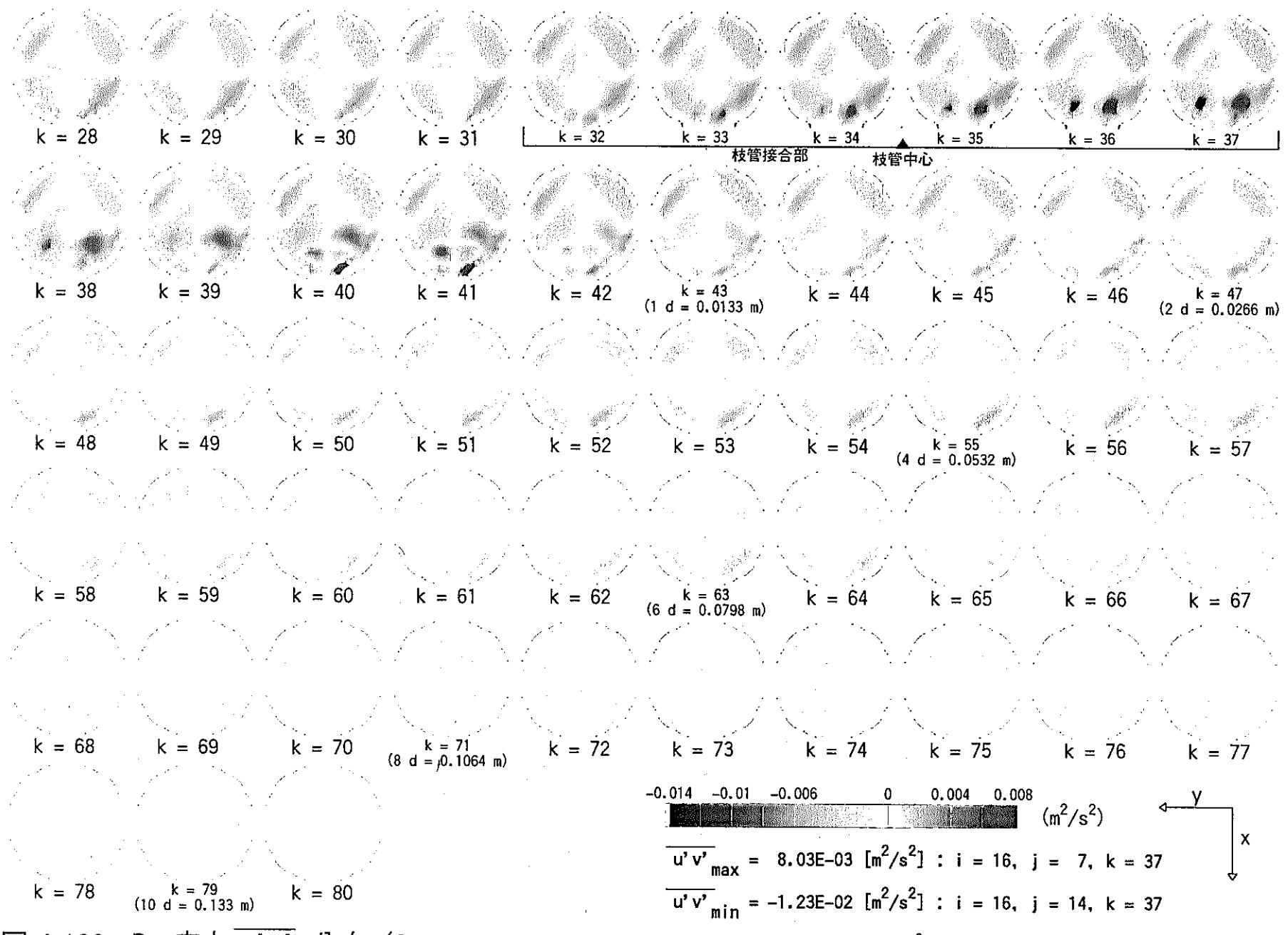


図 4.122 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case γ -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

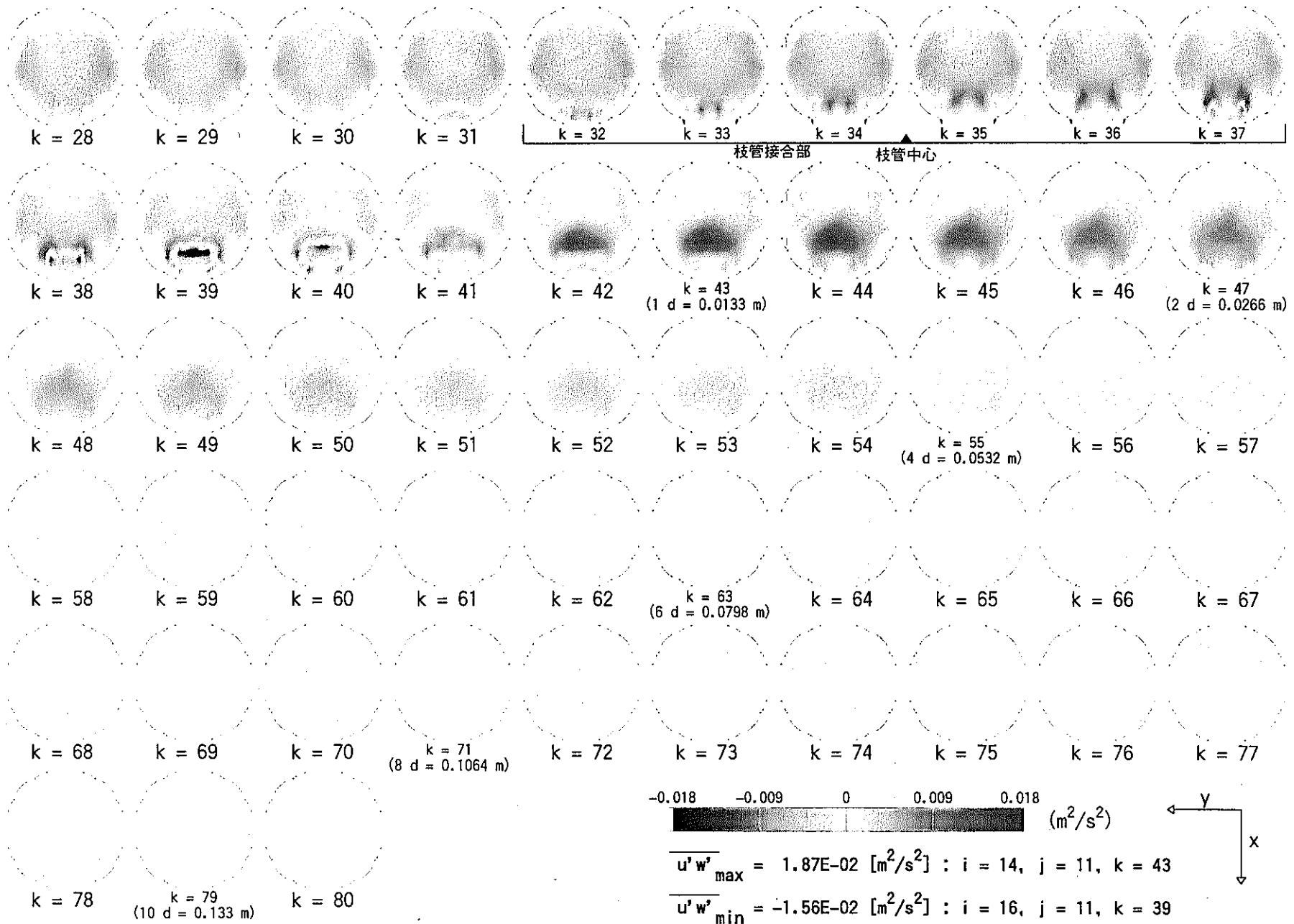


図 4.123 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case γ -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

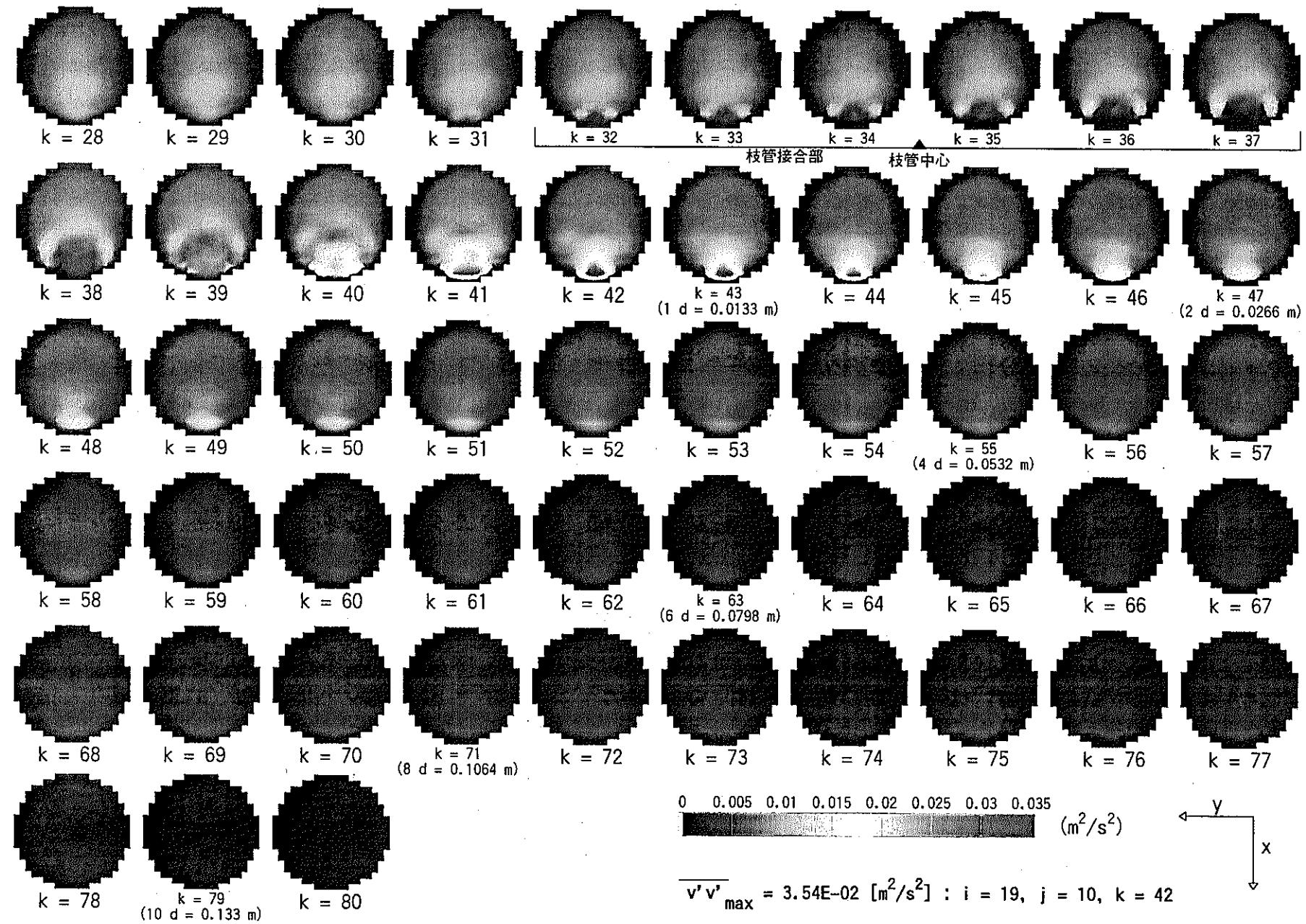


図 4.124 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case $\gamma-3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 0^\circ, \text{Re}_m = 11,252$)

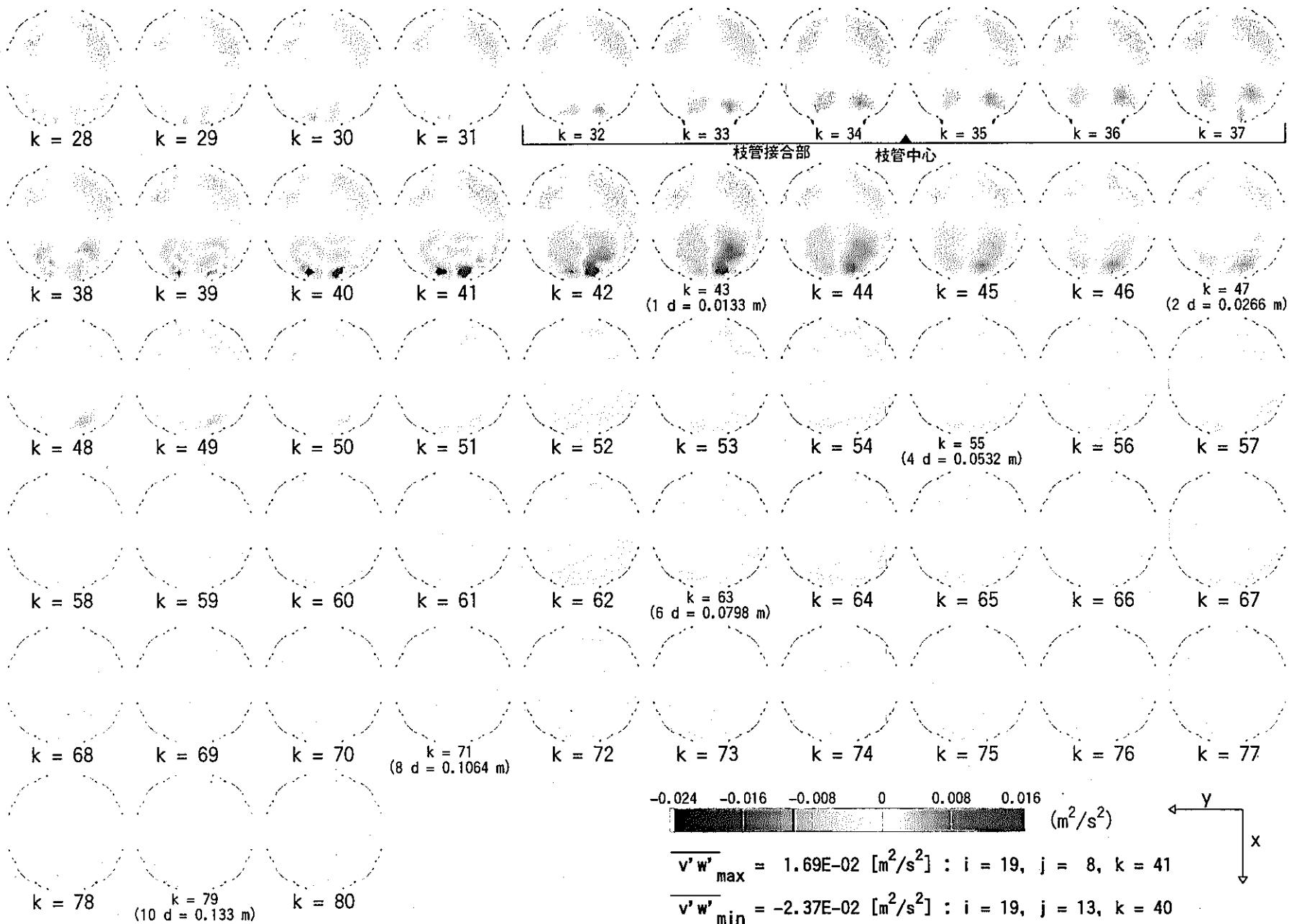


図 4.125 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case γ -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

- 211 -

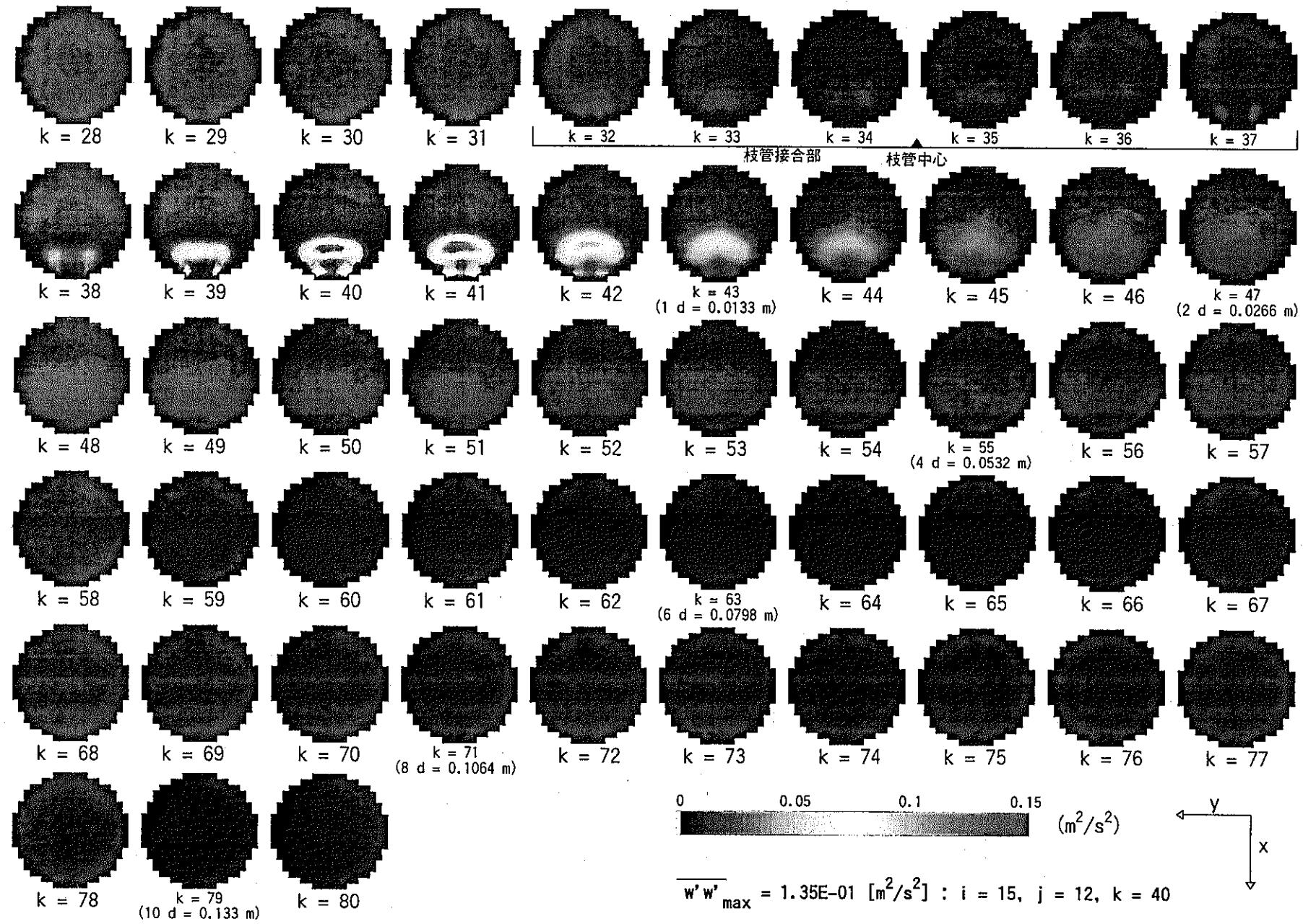


図 4.126 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case $\gamma-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $\text{Re}_m = 11,252$)

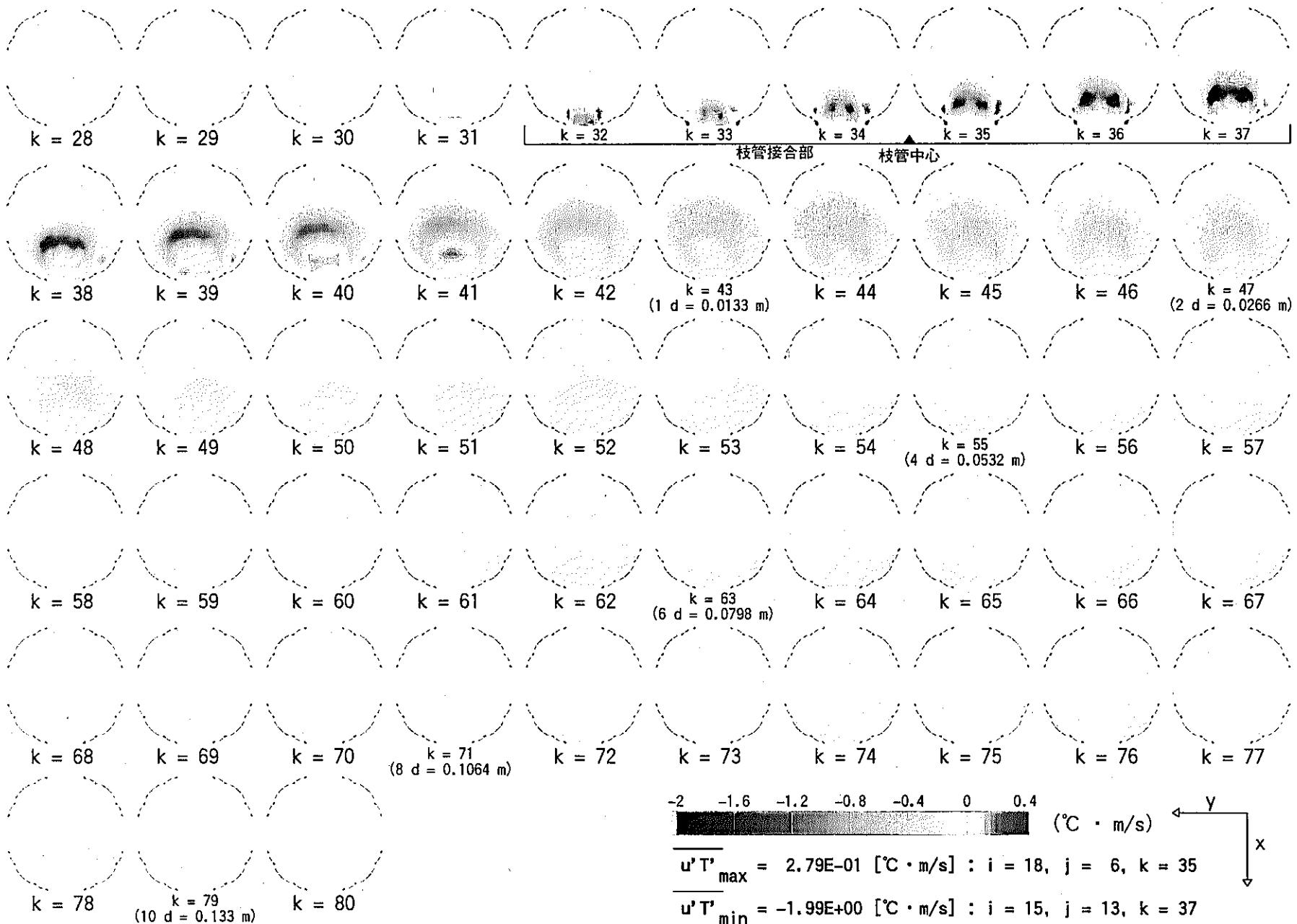


図 4.127 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case γ-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

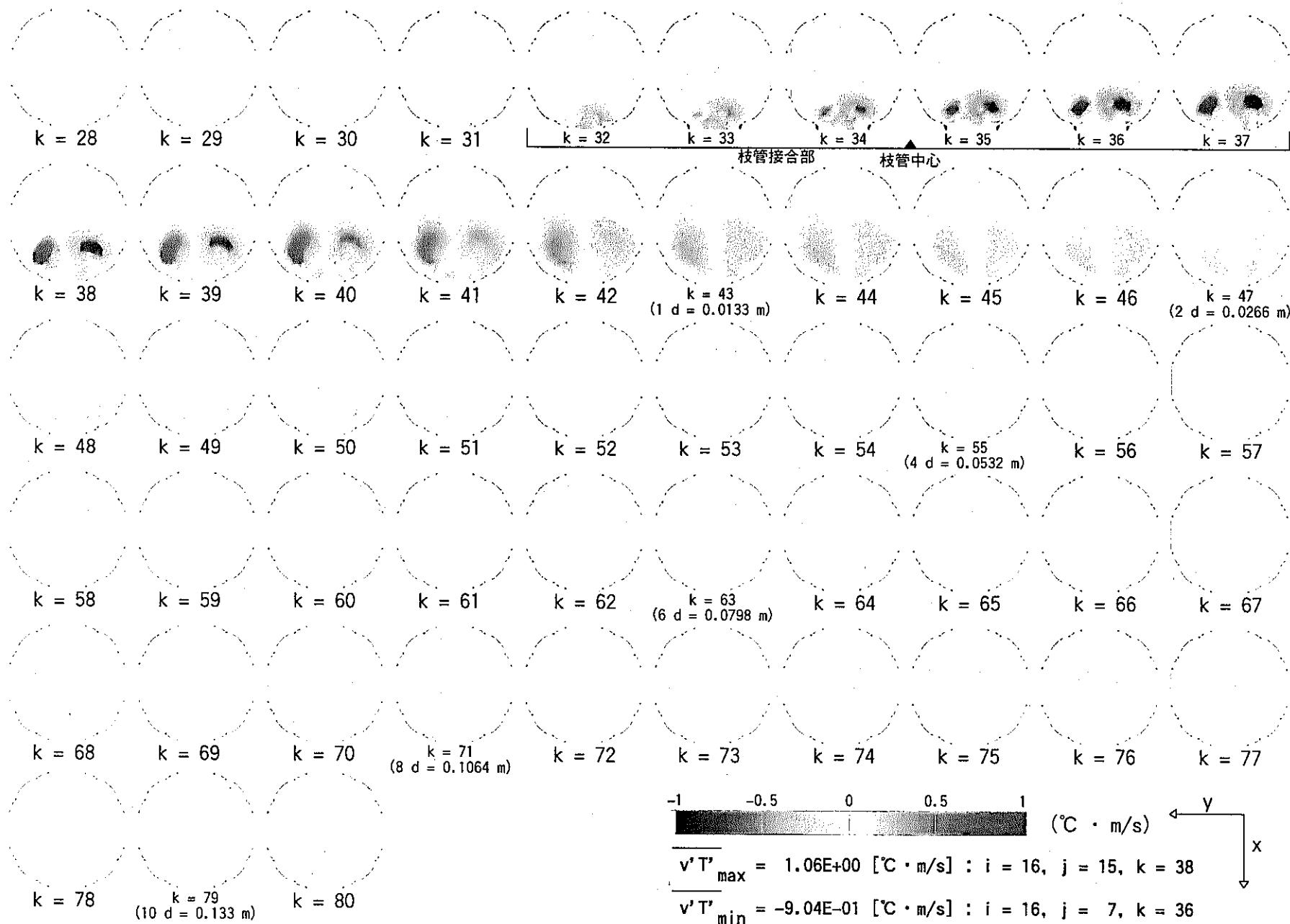


図 4.128 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

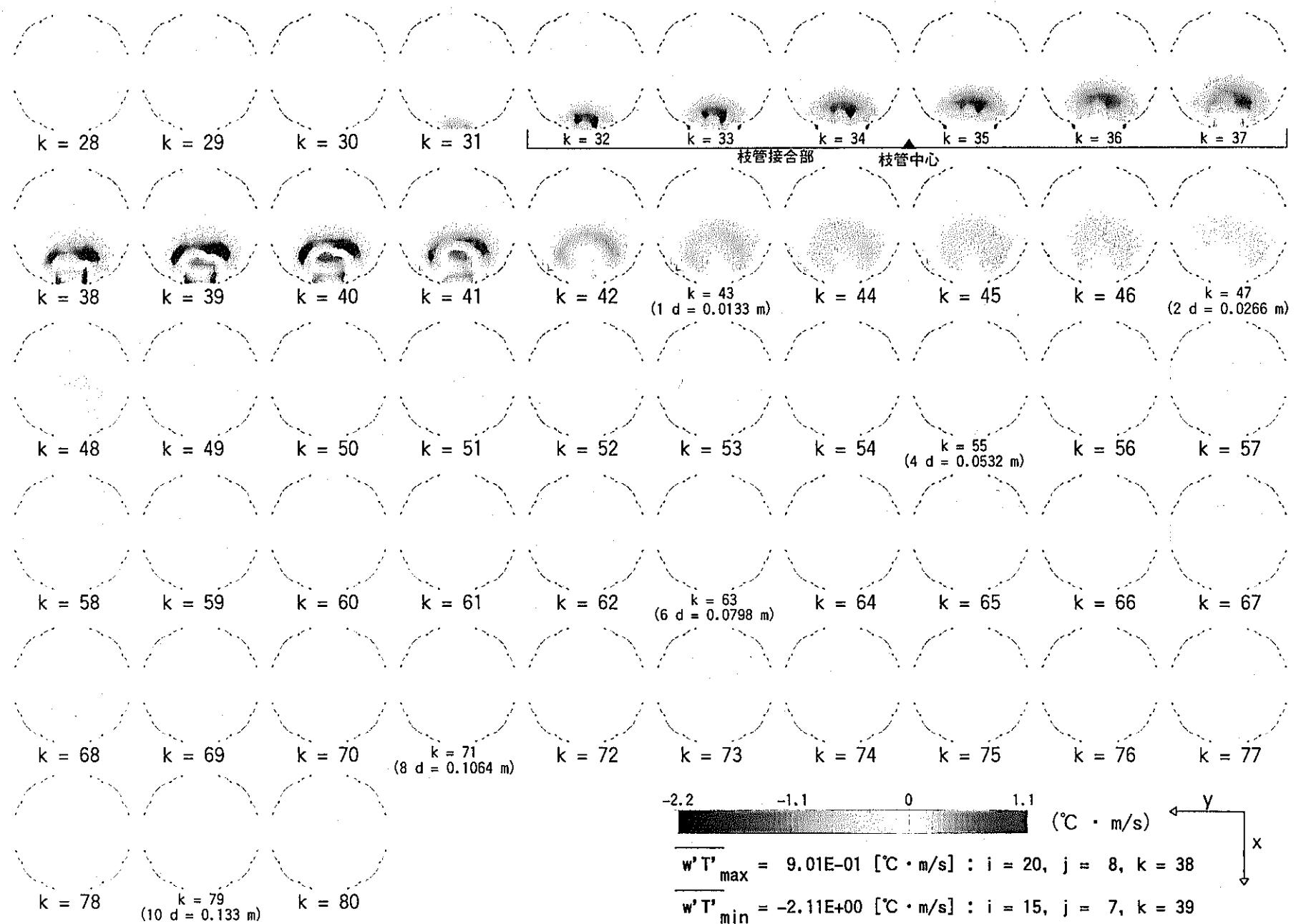


図 4.129 乱流熱流束 $\overline{w' T'}$ 分布 (Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^{\circ}$, $Re_m = 11,252$)

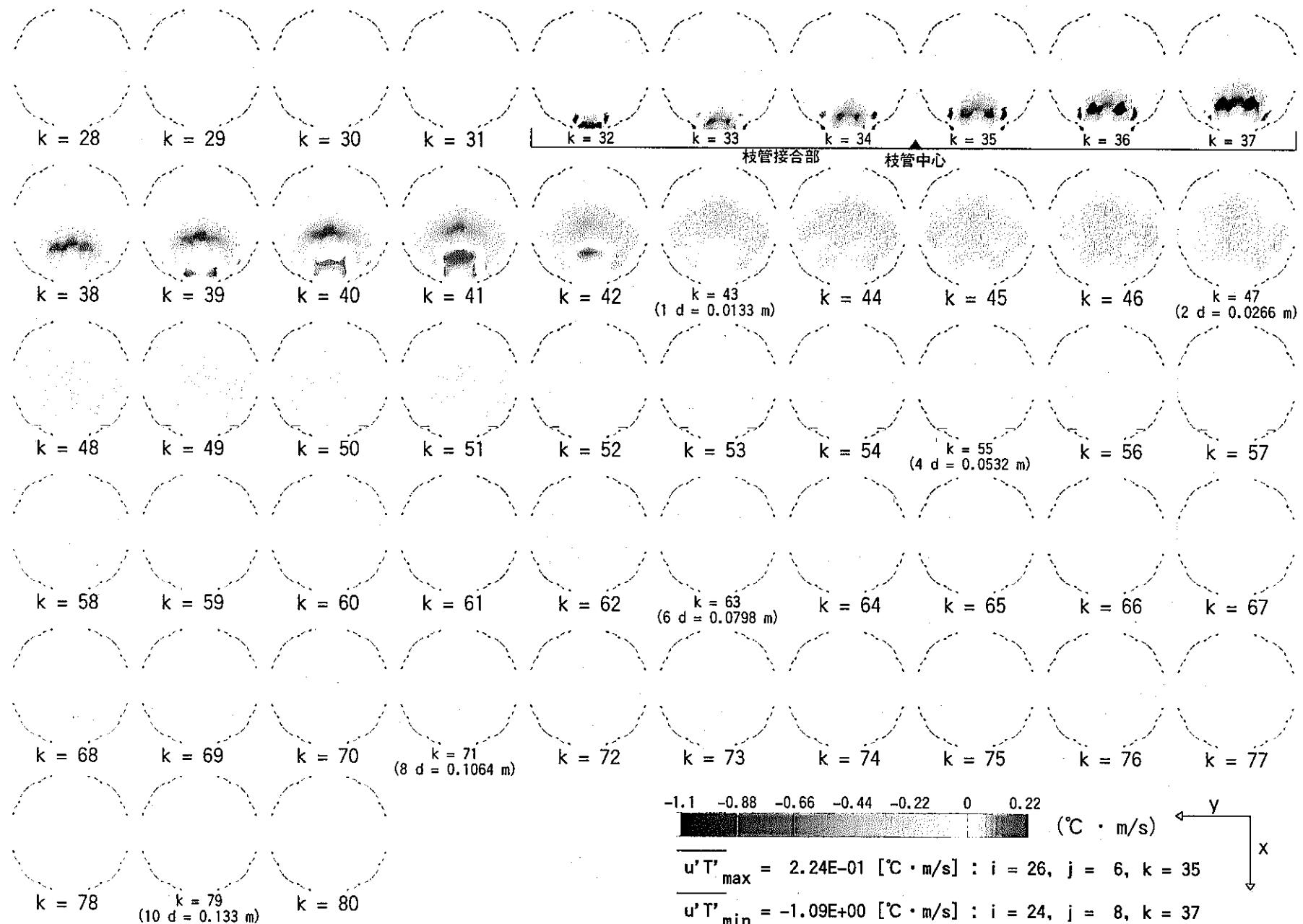


図 4.130 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case $\gamma-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

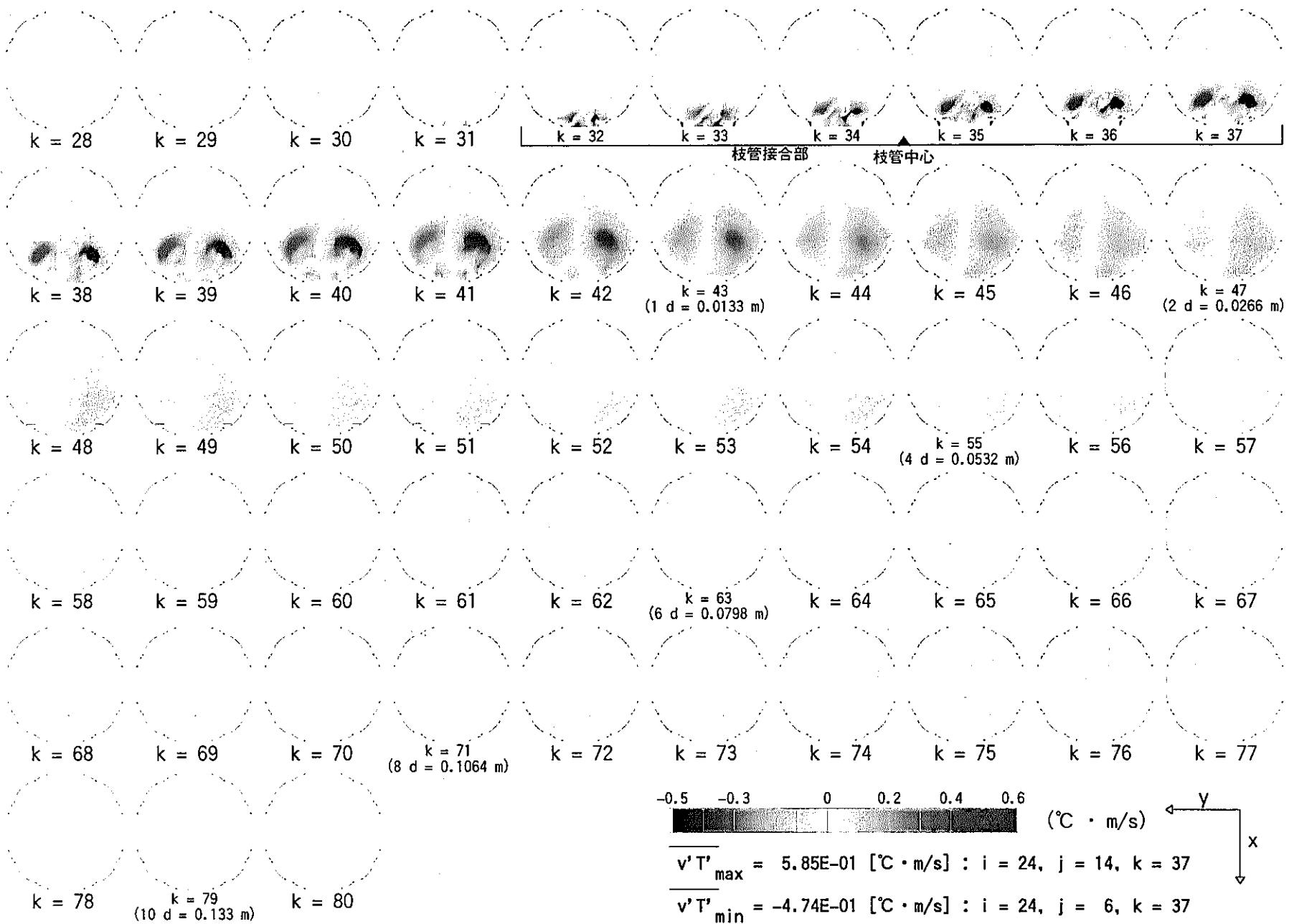


図 4.131 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case $\gamma-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

- 217 -

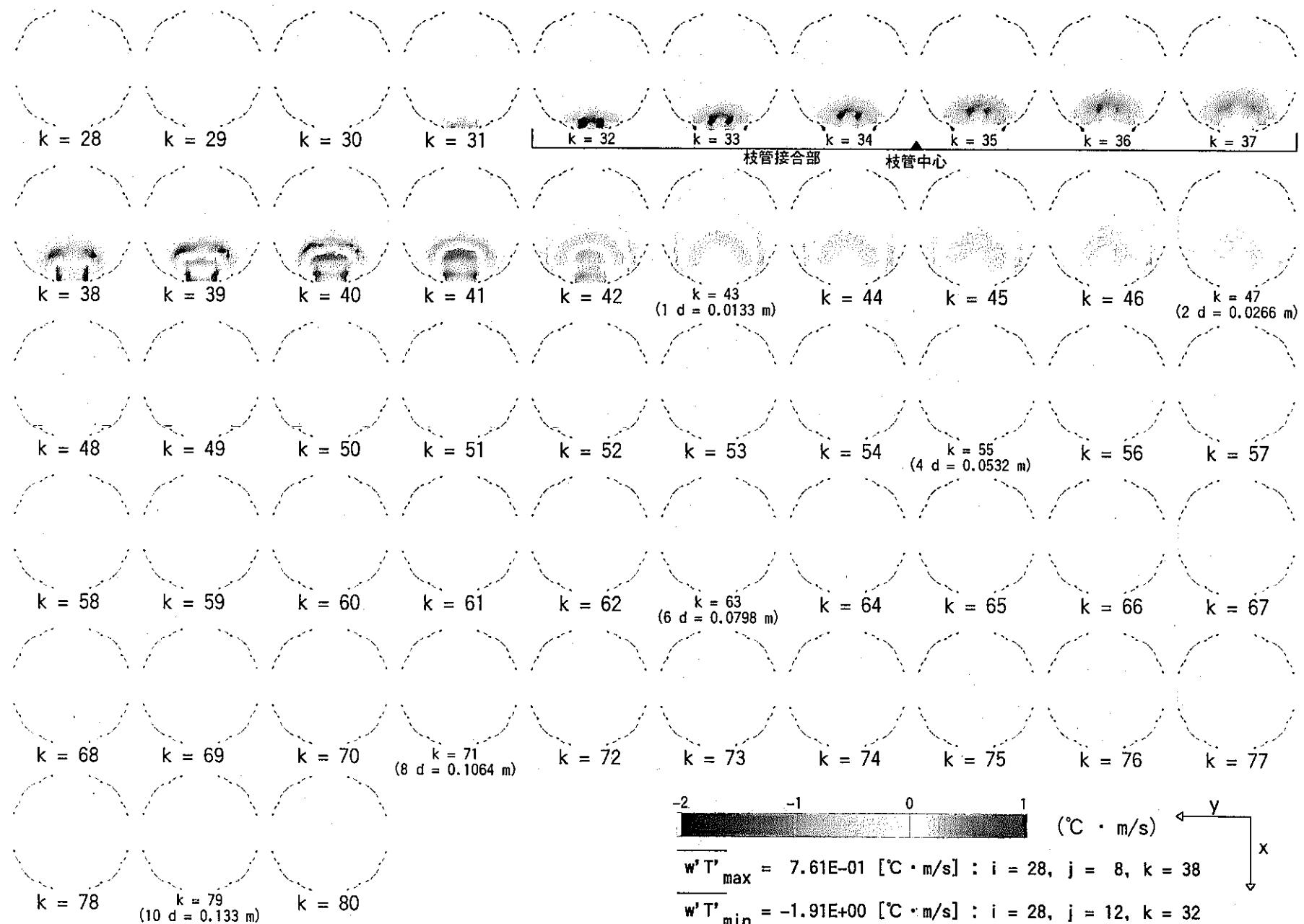


図 4.132 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case γ-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^\circ$, $Re_m = 11,252$)

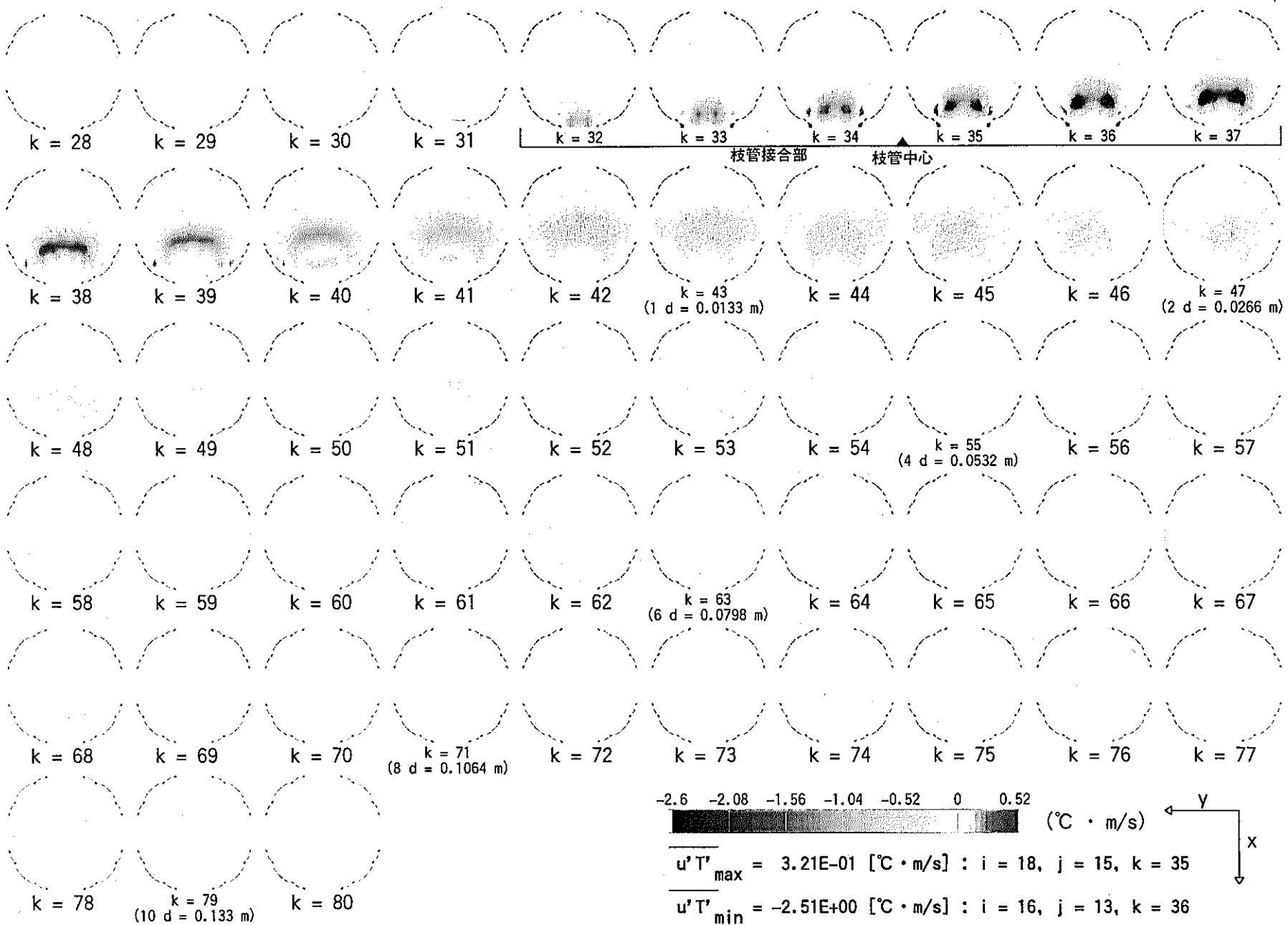


図 4.133 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case γ -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

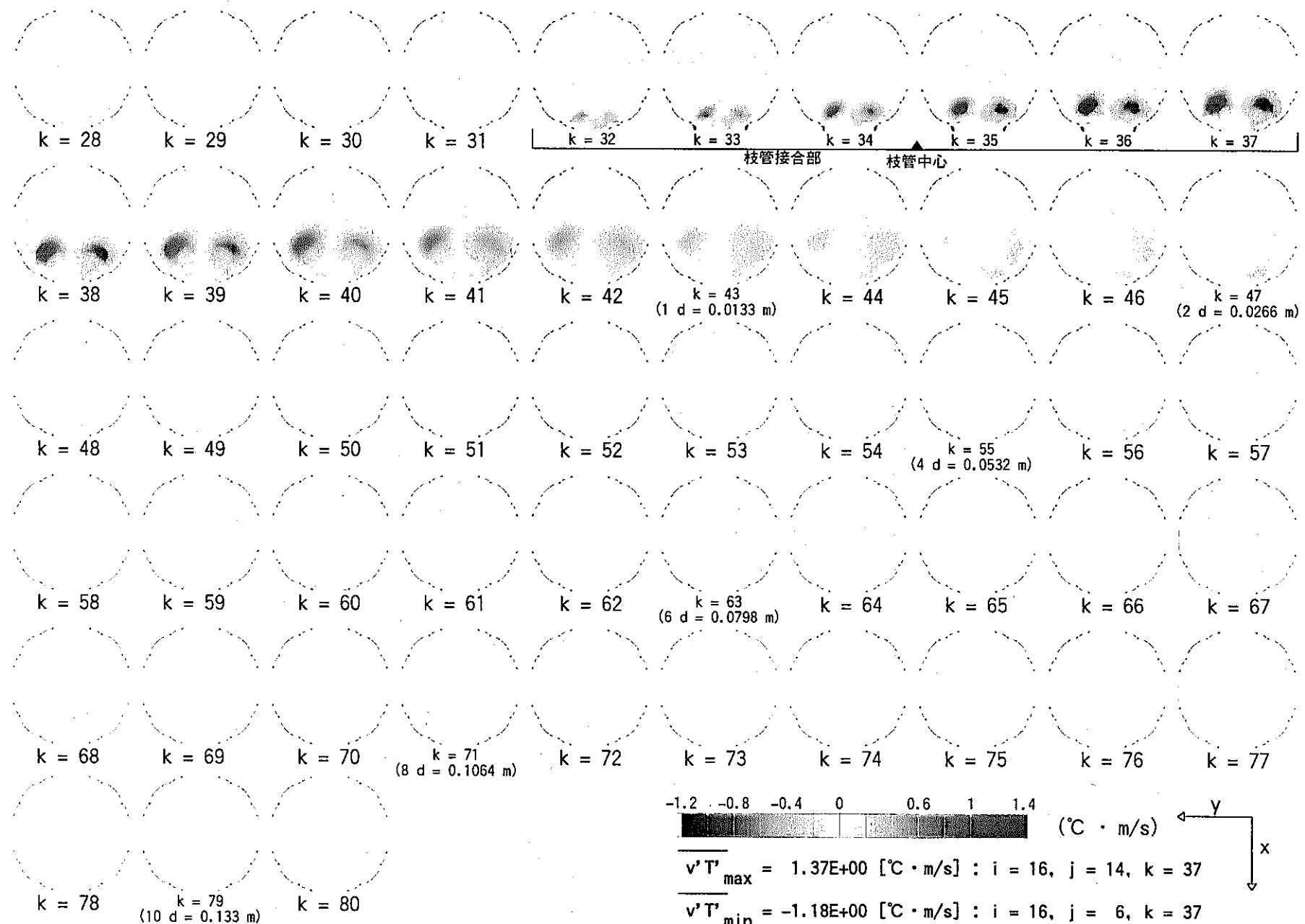


図 4.134 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case γ -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

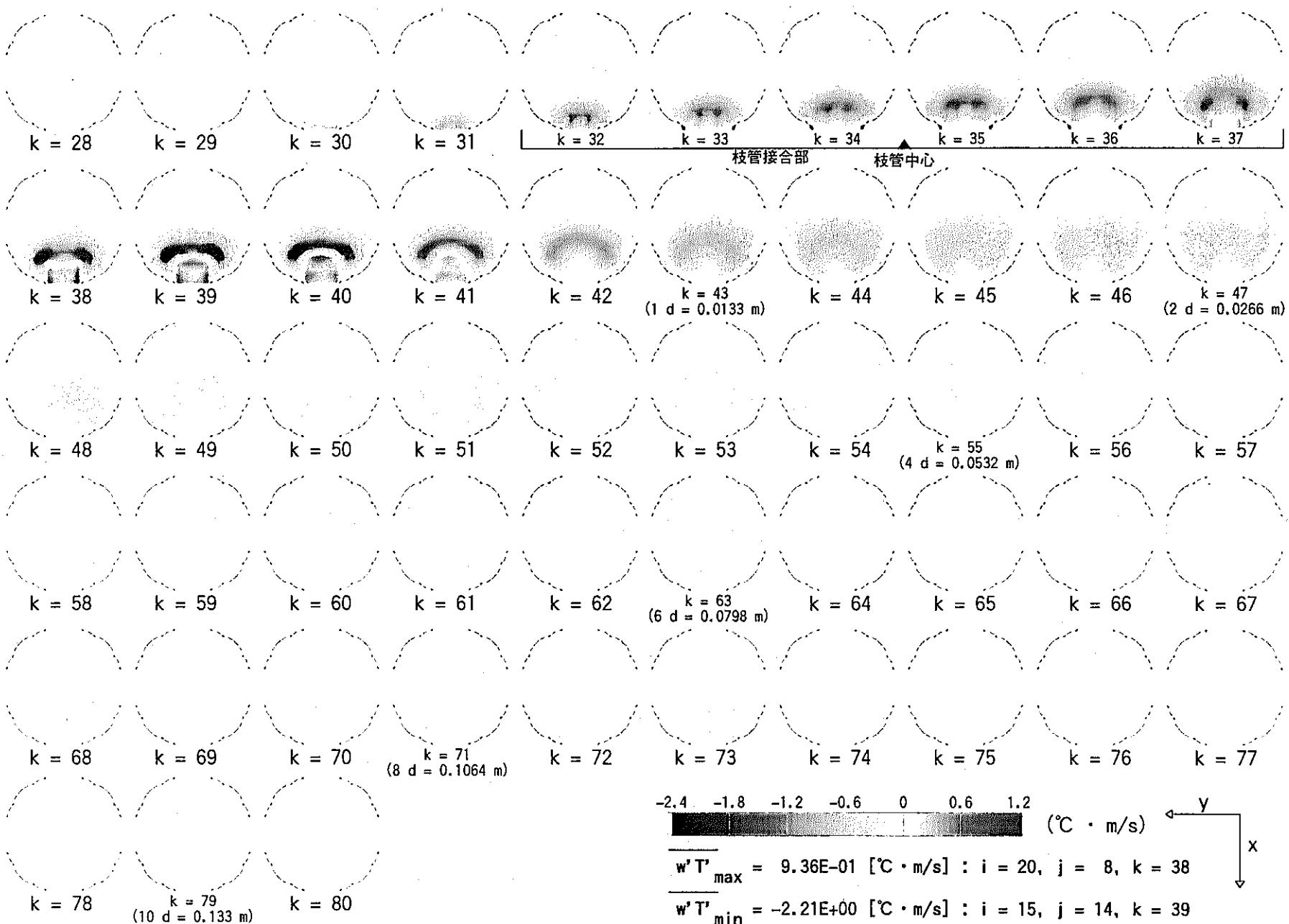


図 4.135 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case γ -3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

- 2 -

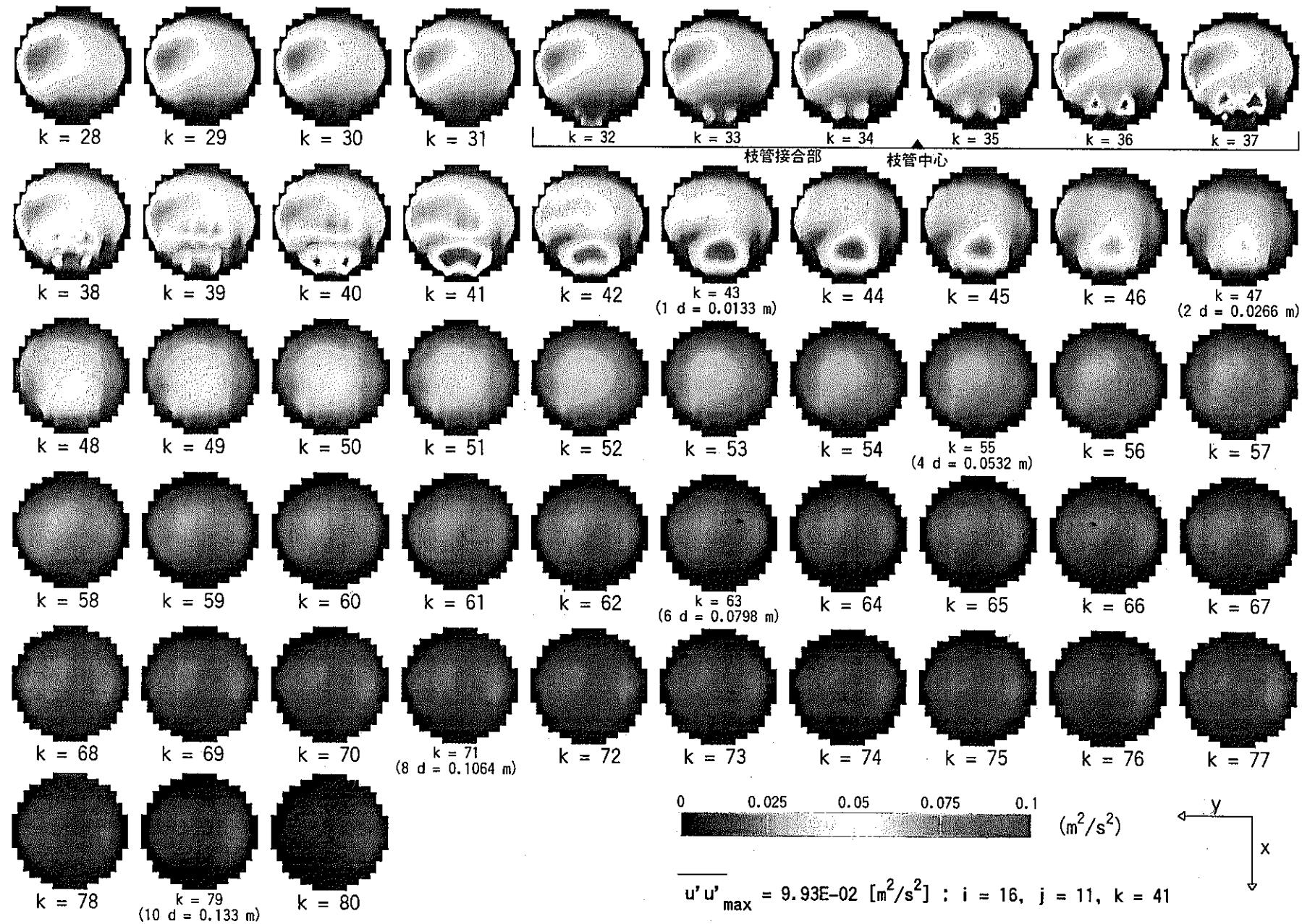


図 4.136 Re 応力 $\overline{u'u'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 28,130$)

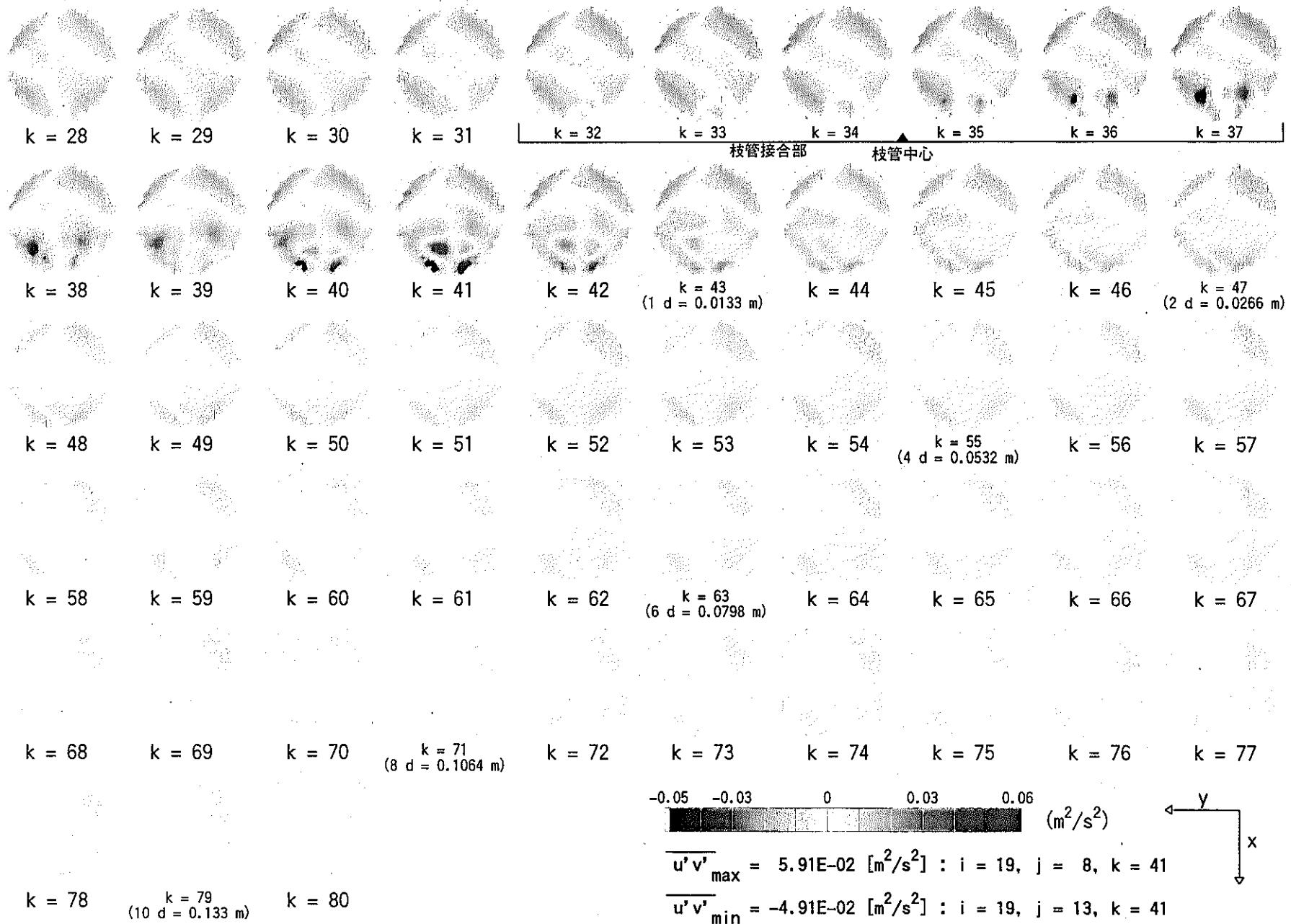


図 4.137 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

- 223 -

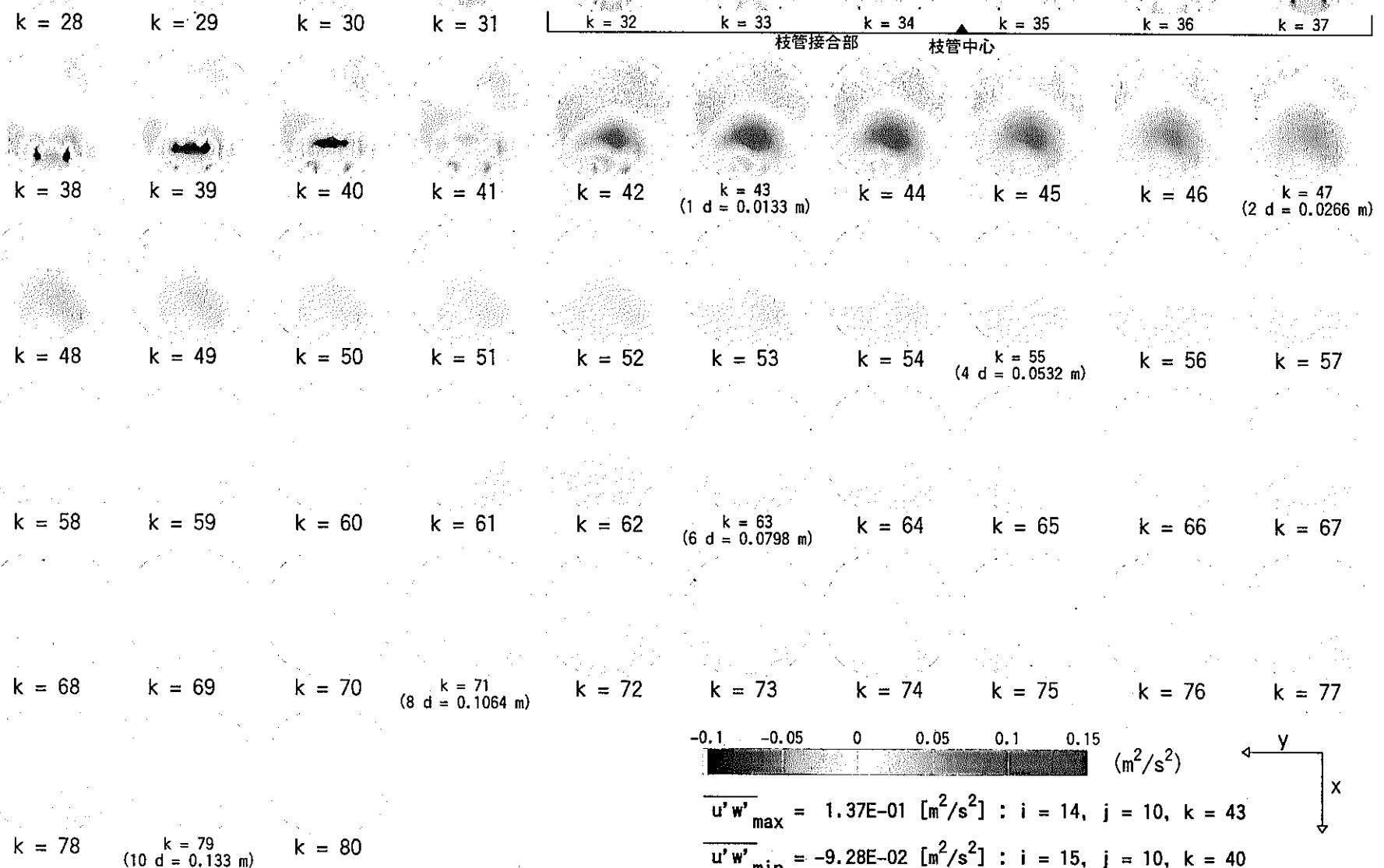


図 4.138 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

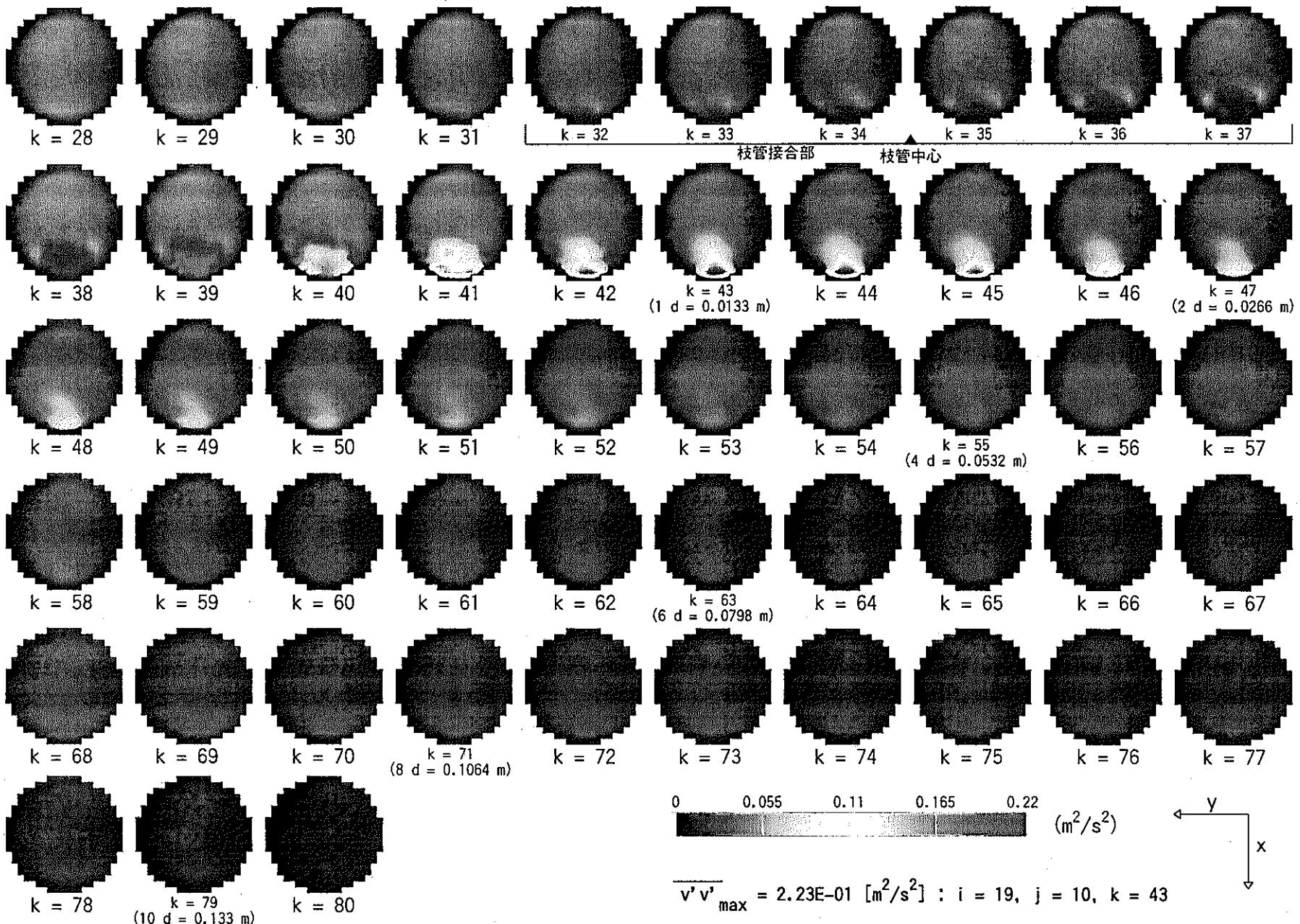


図 4.139 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

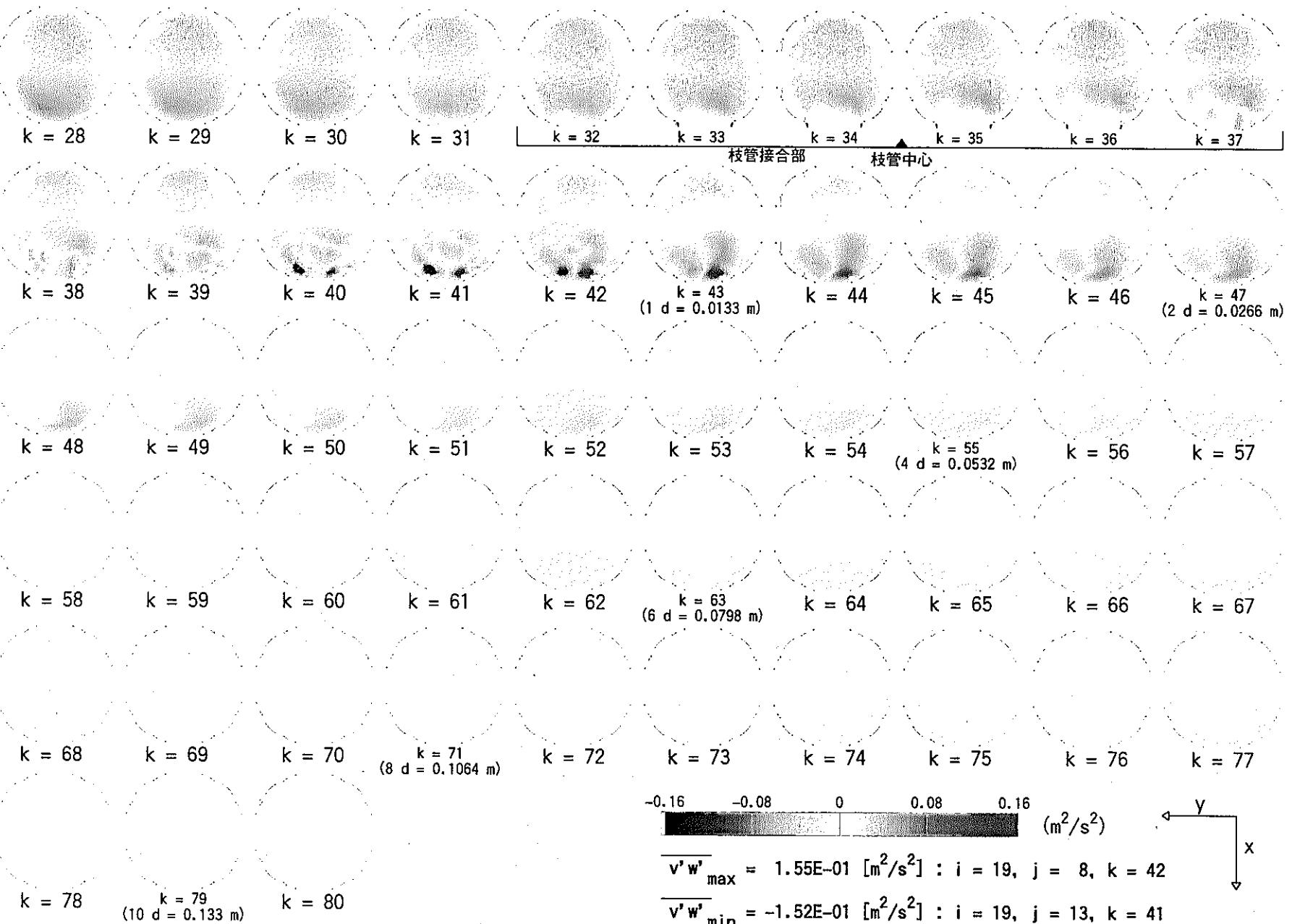


図 4.140 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

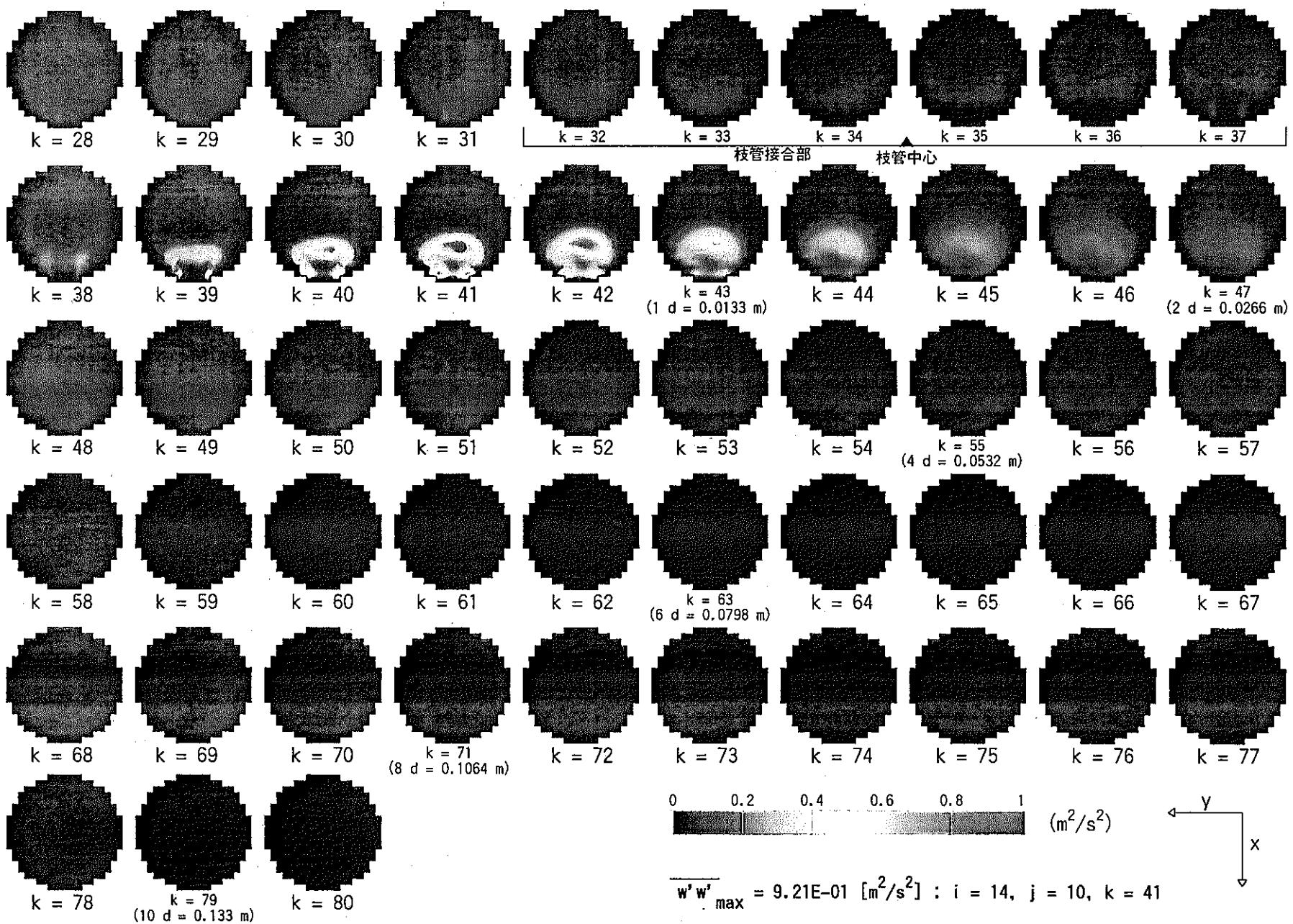


図 4.141 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

- 227 -

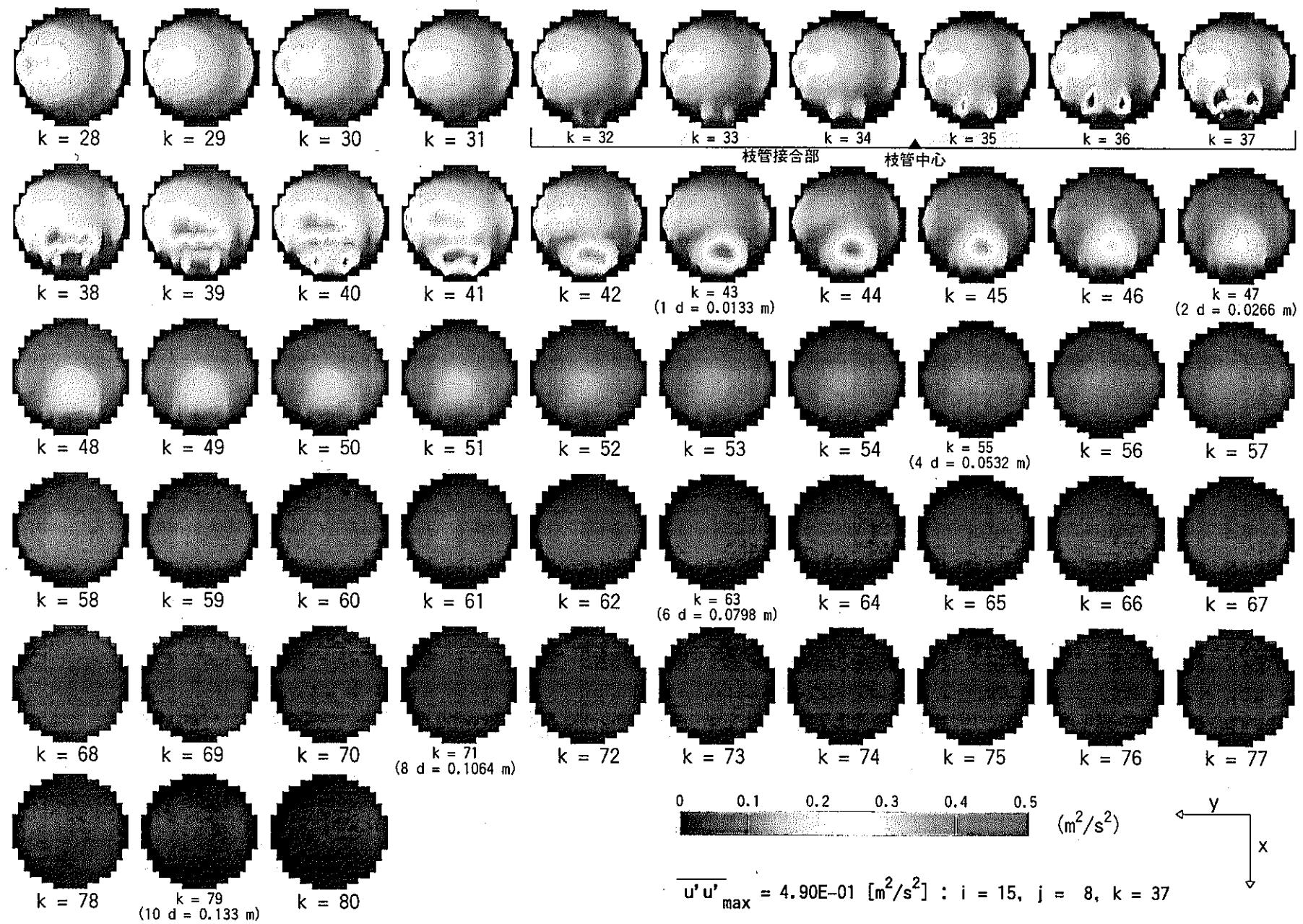


図 4.142 $\overline{u' u'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $\text{Re}_m = 56,261$)

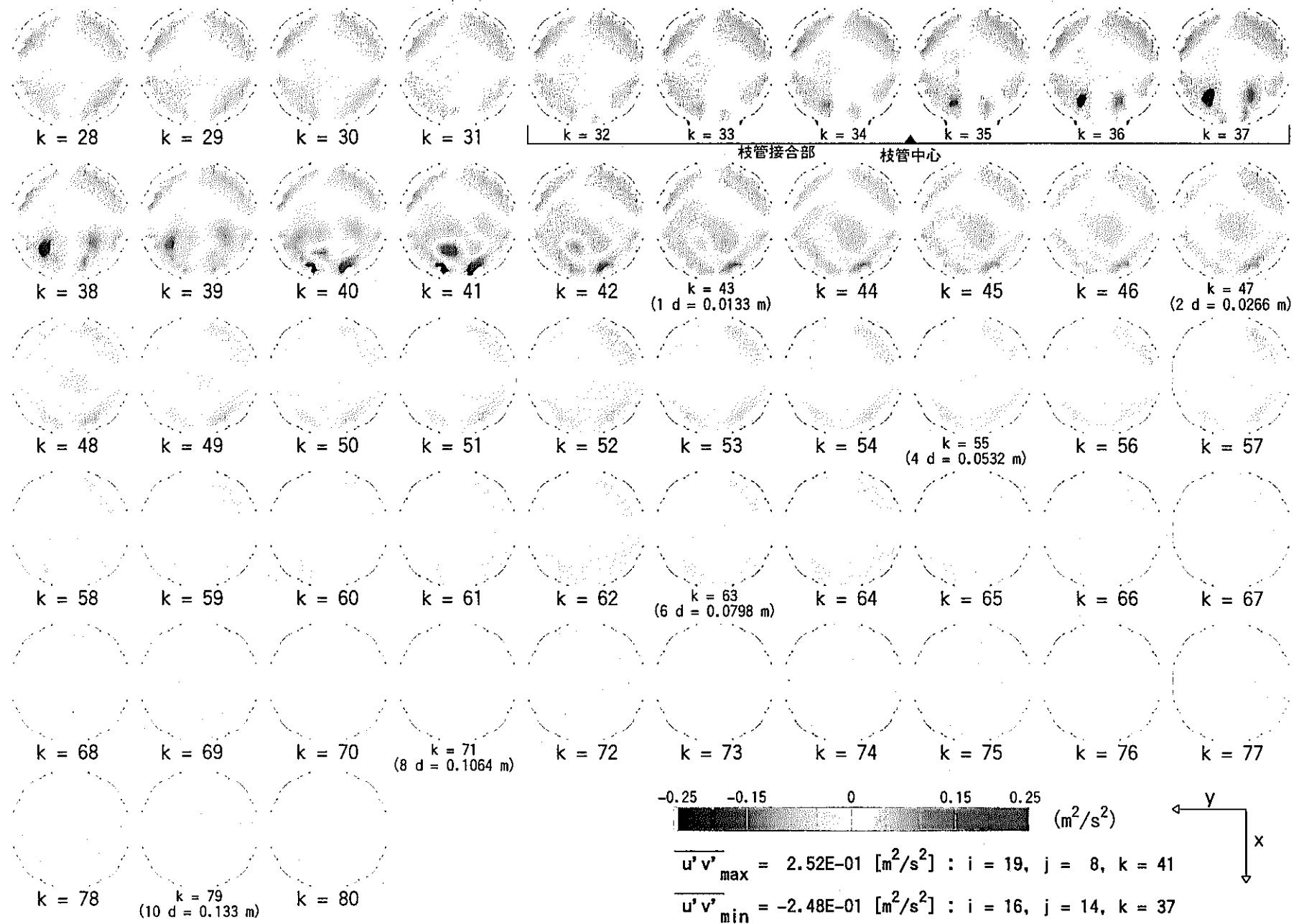


図 4.143 Re 応力 $\overline{u'v'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

- 229 -

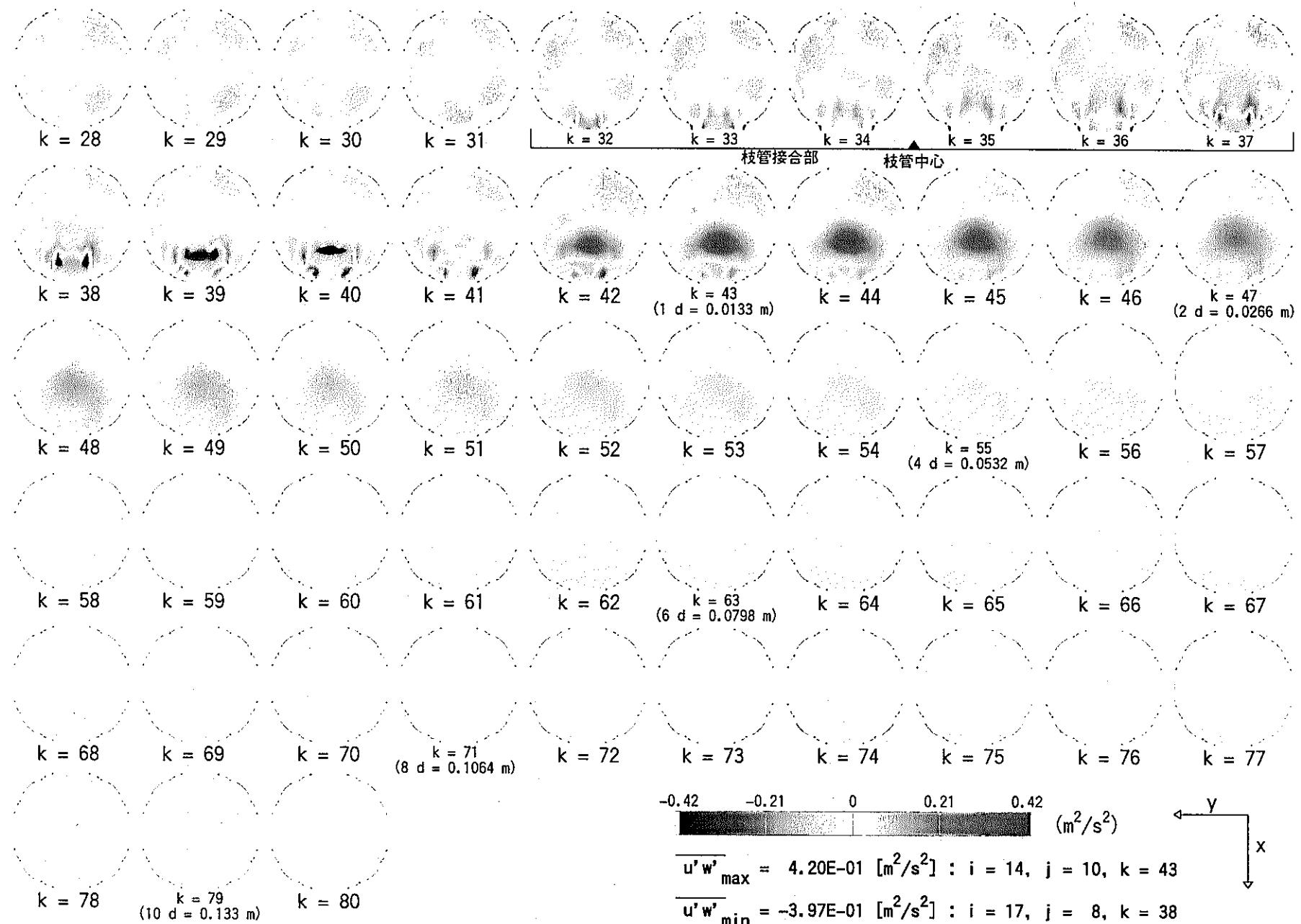


図 4.144 Re 応力 $\overline{u'w'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

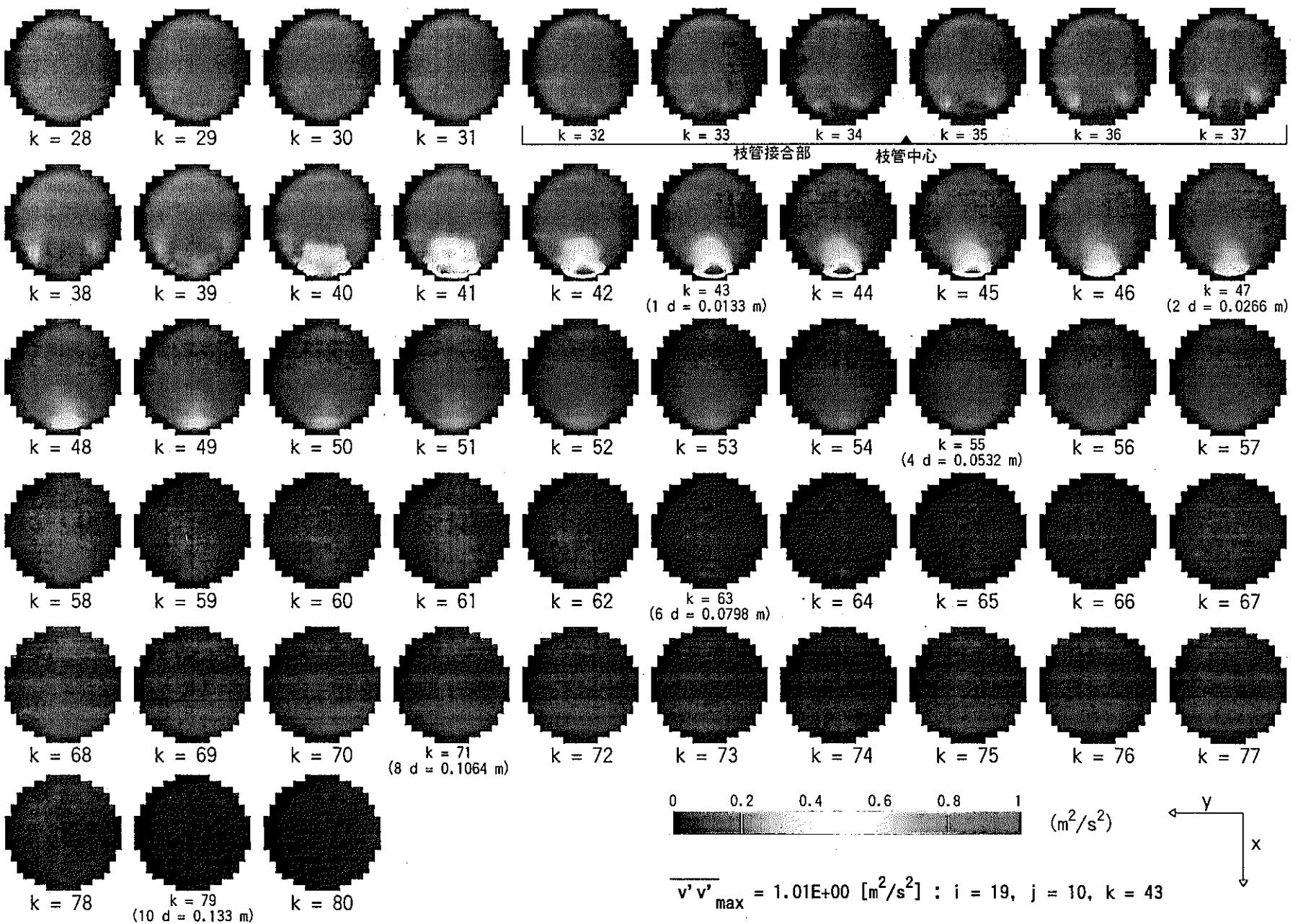


図 4.145 Re 応力 $\overline{v'v'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

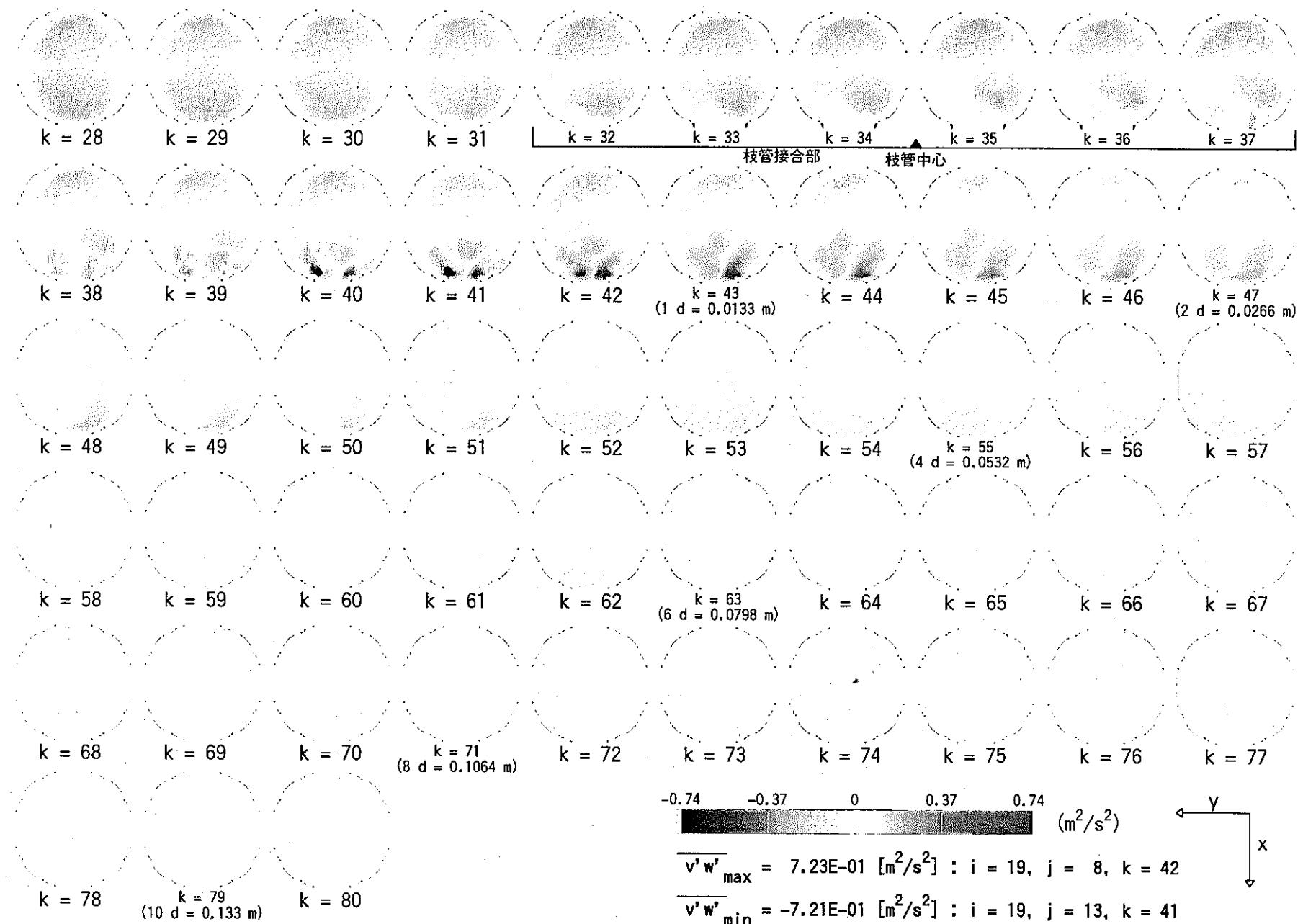


図 4.146 Re 応力 $\overline{v'w'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

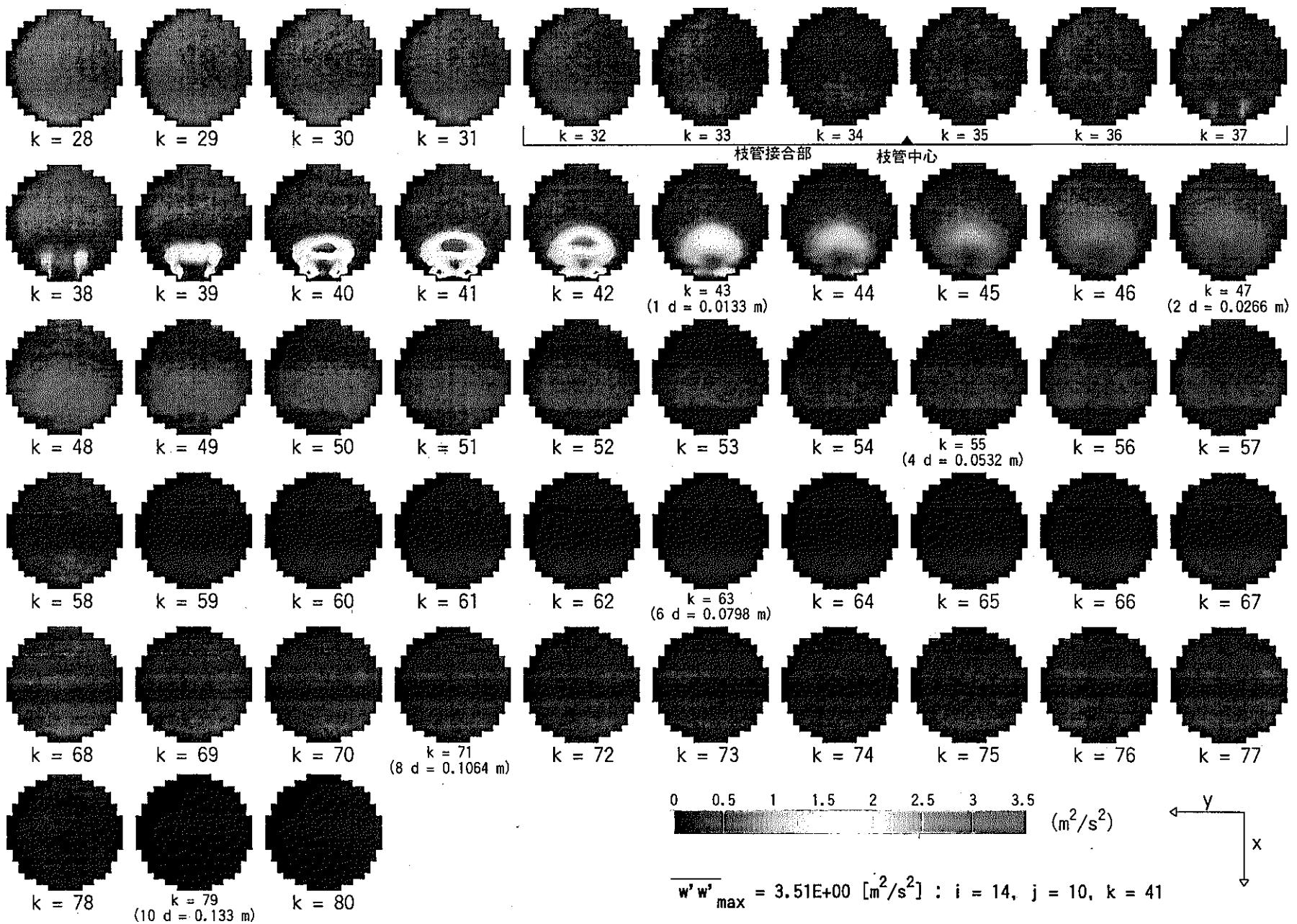


図 4.147 Re 応力 $\overline{w'w'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

- 233 -

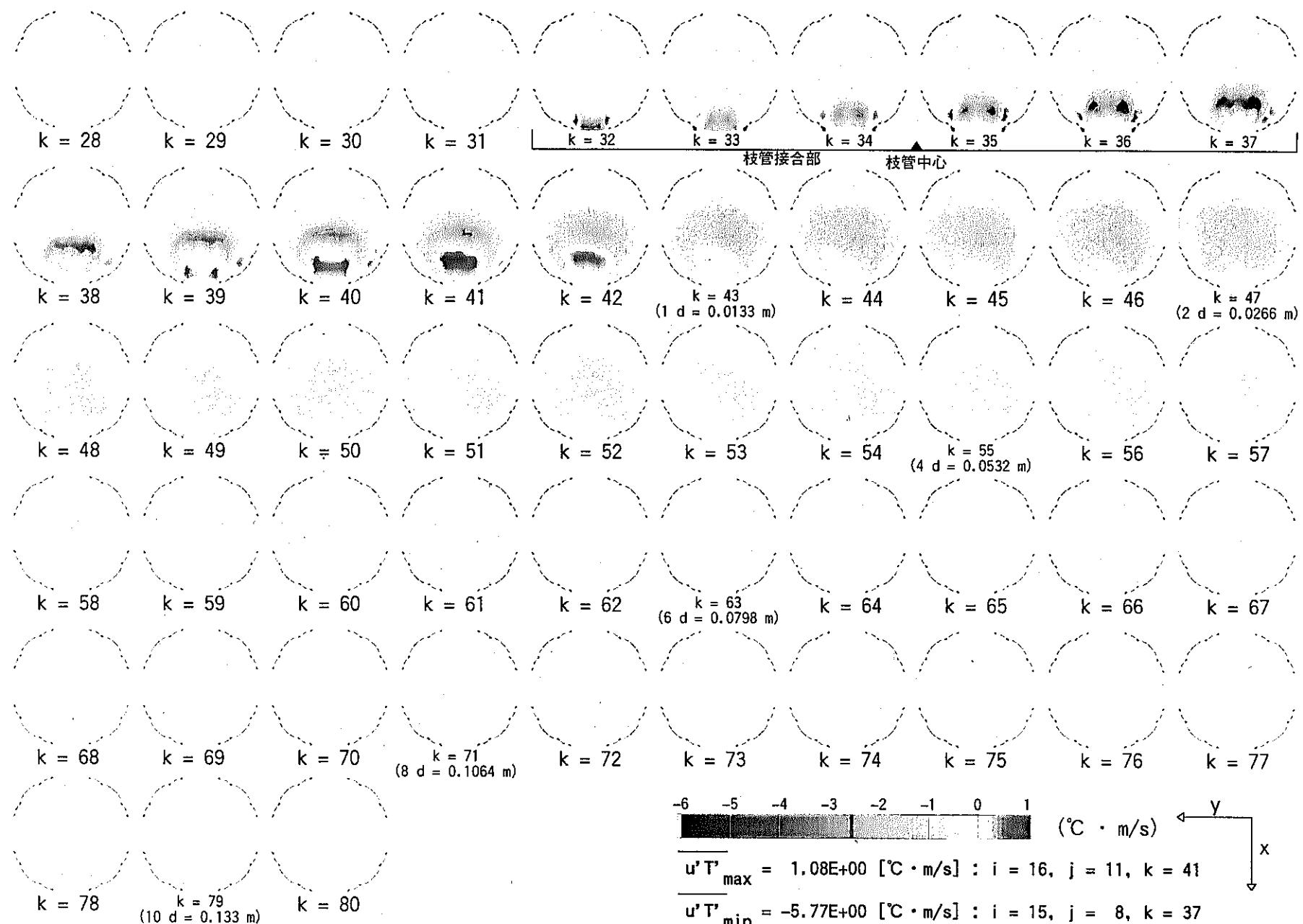


図 4.148 乱流熱流束 $\bar{u}'T'$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

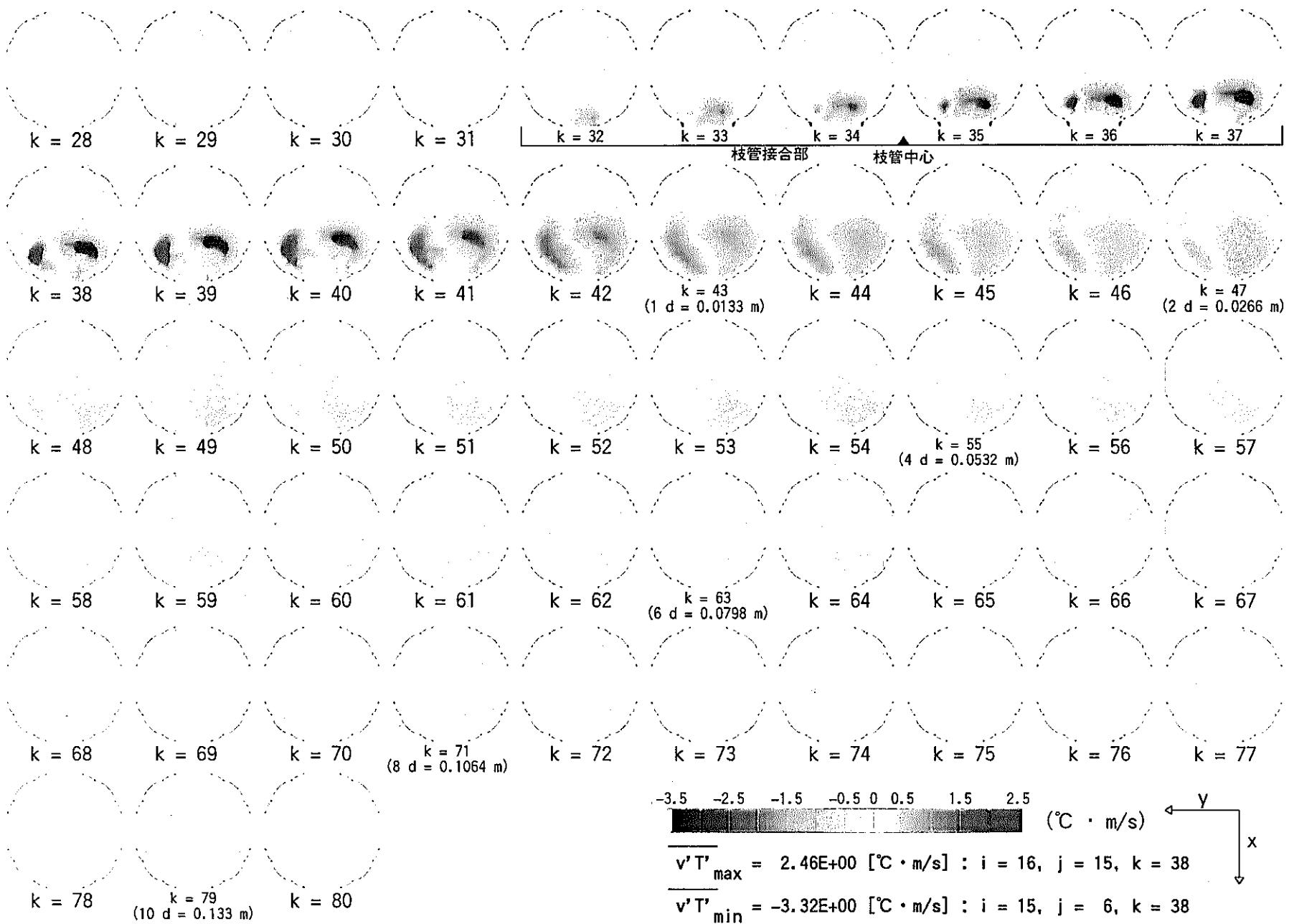


図 4.149 乱流熱流束 $\overline{v' T'}$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

- 235 -

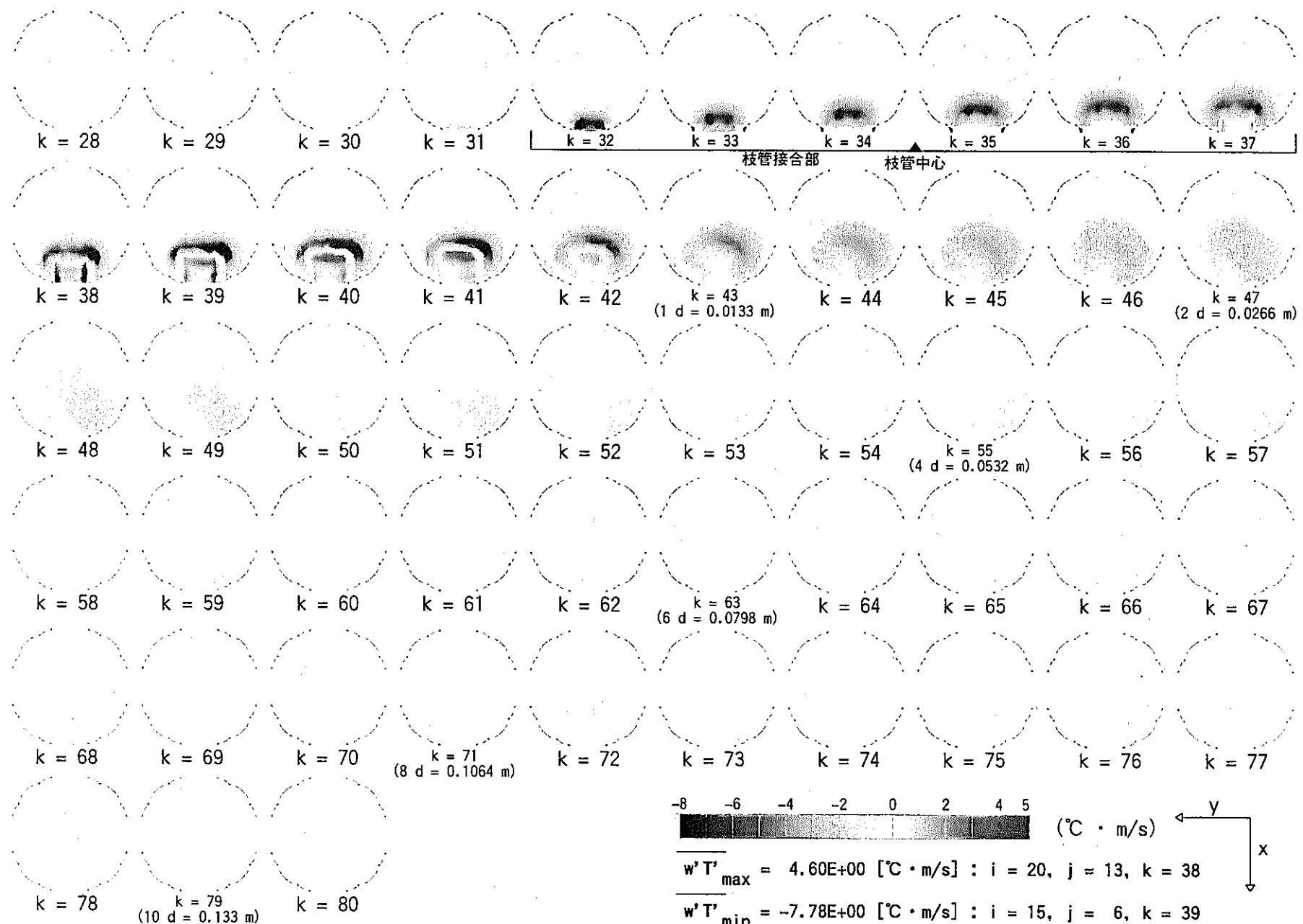


図 4.150 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case Re-1 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 28,130$)

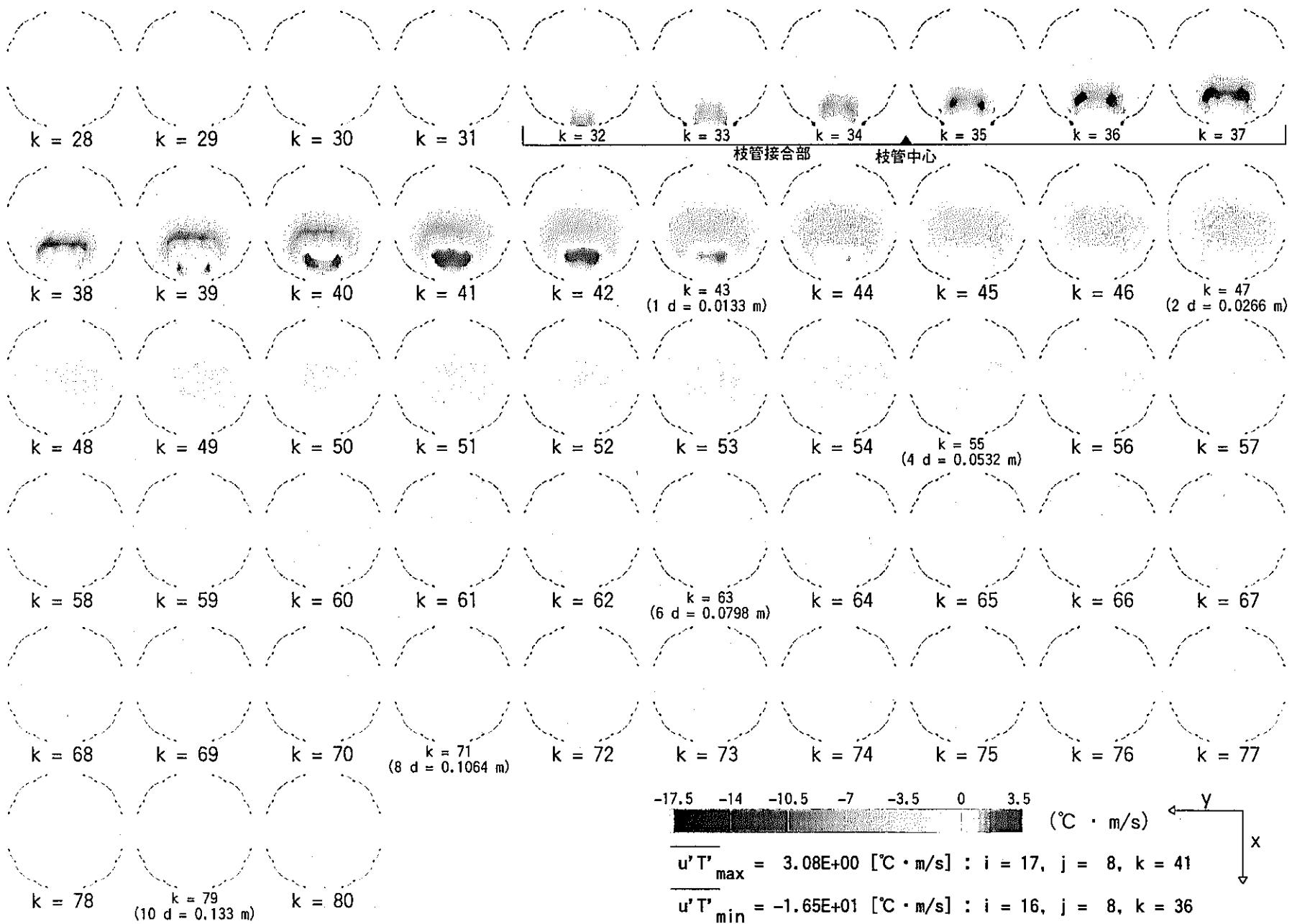


図 4.151 乱流熱流束 $\overline{u' T'}$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

- 2 3 7 -

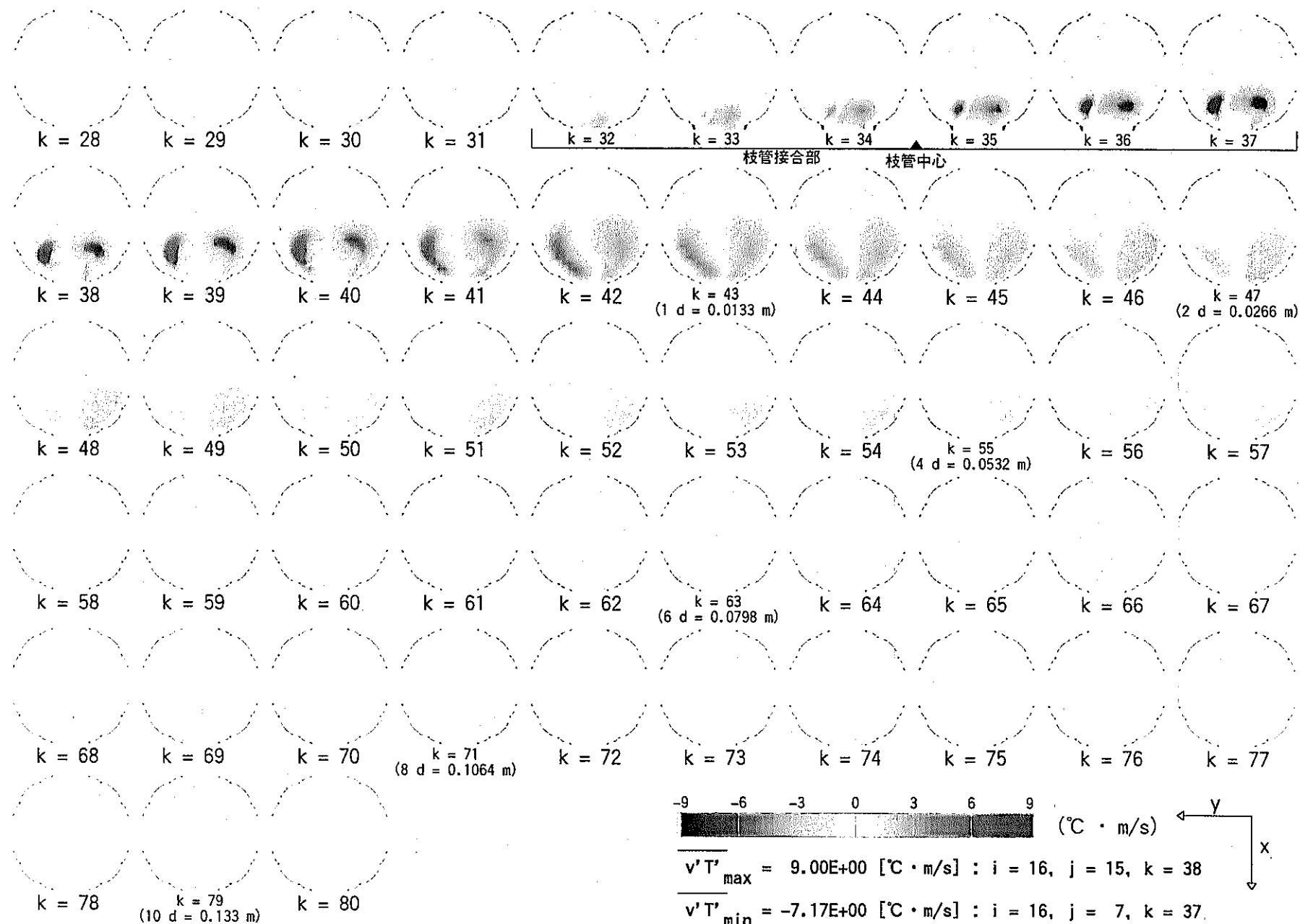


図 4.152 乱流熱流束 $v' T'$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

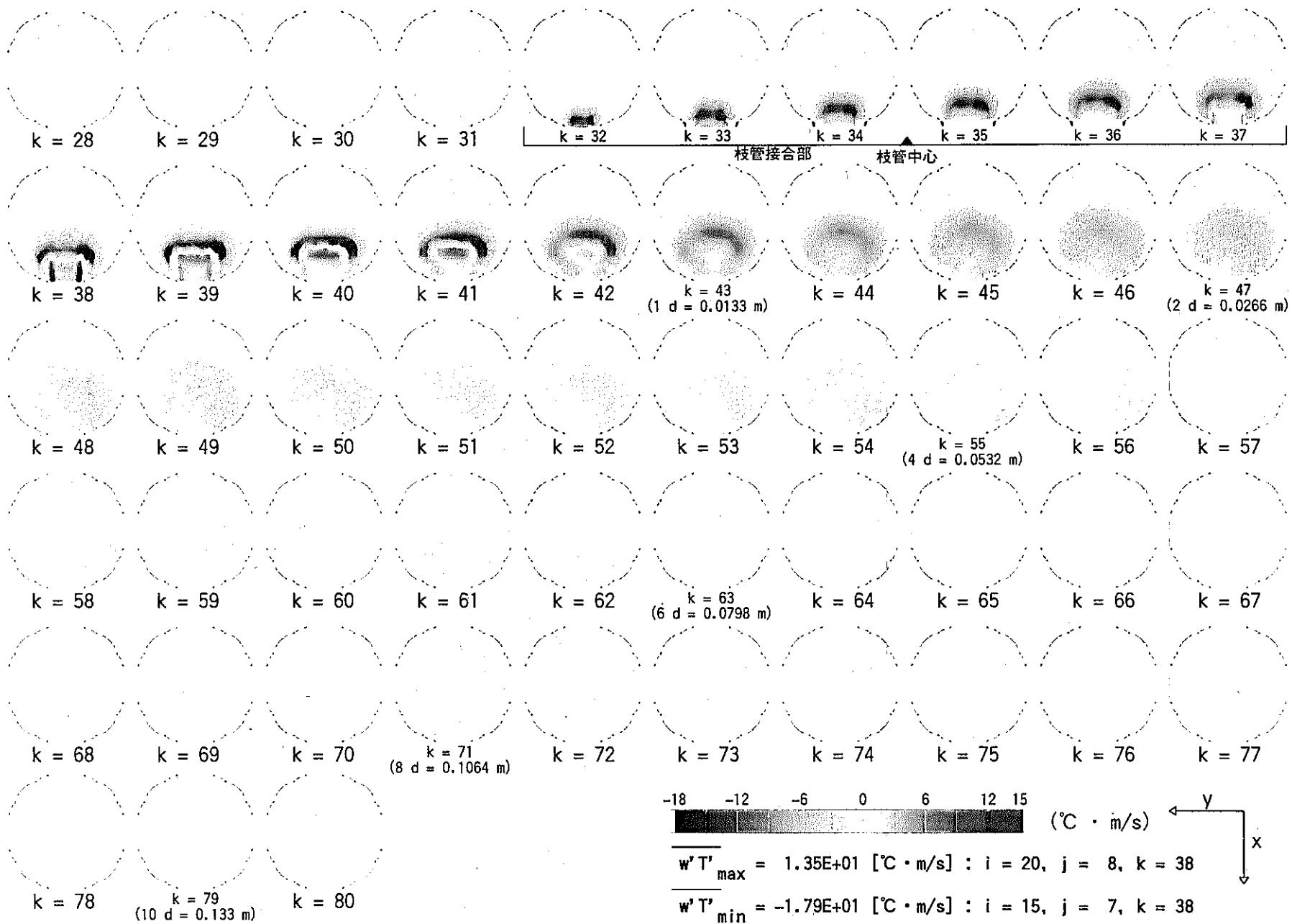


図 4.153 乱流熱流束 $w' T'$ 分布 (Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

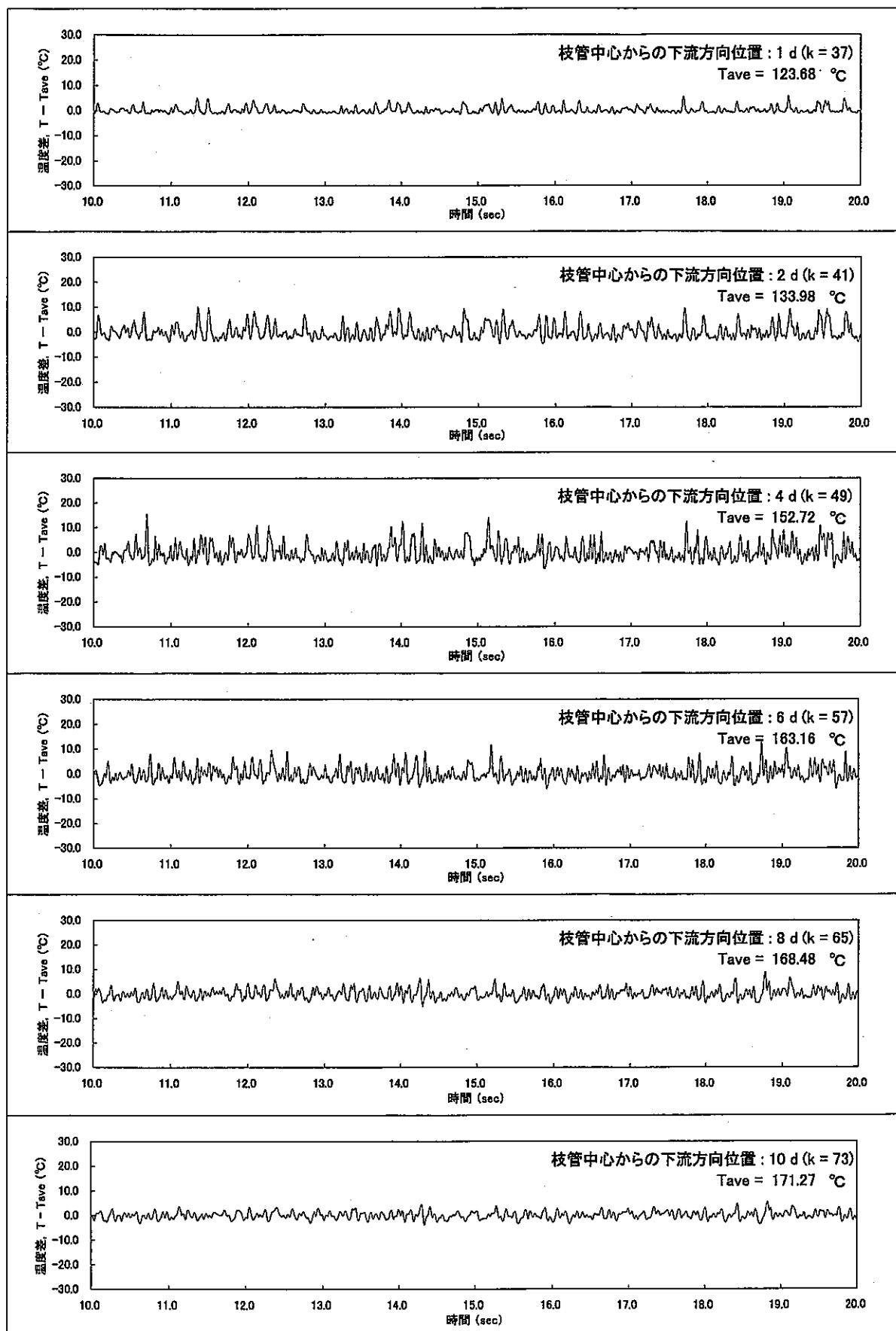


図 A.1 主配管天井面 ($j = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha-1$: $\alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

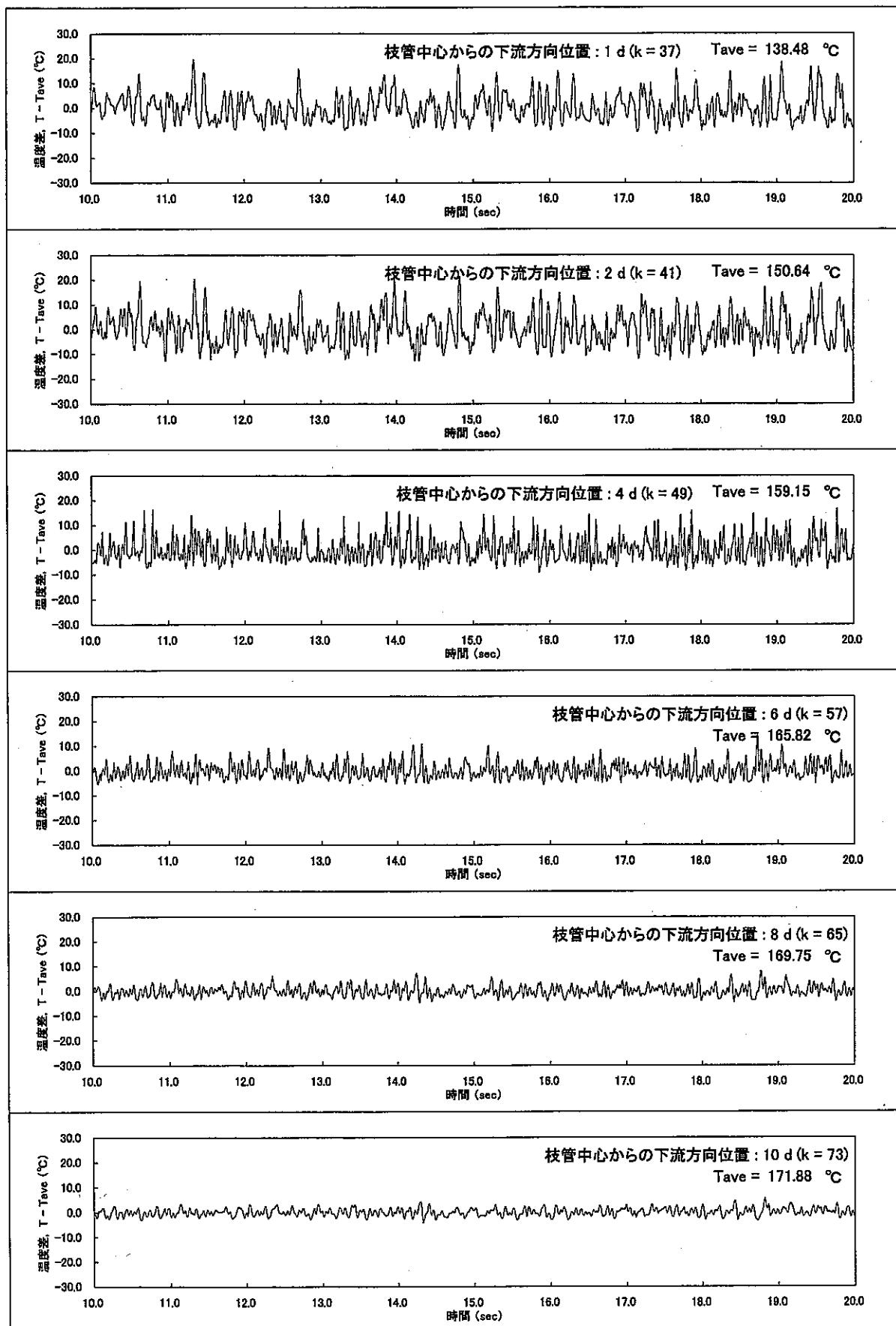


図 A.2 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case α-1: $\alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 5,626$)

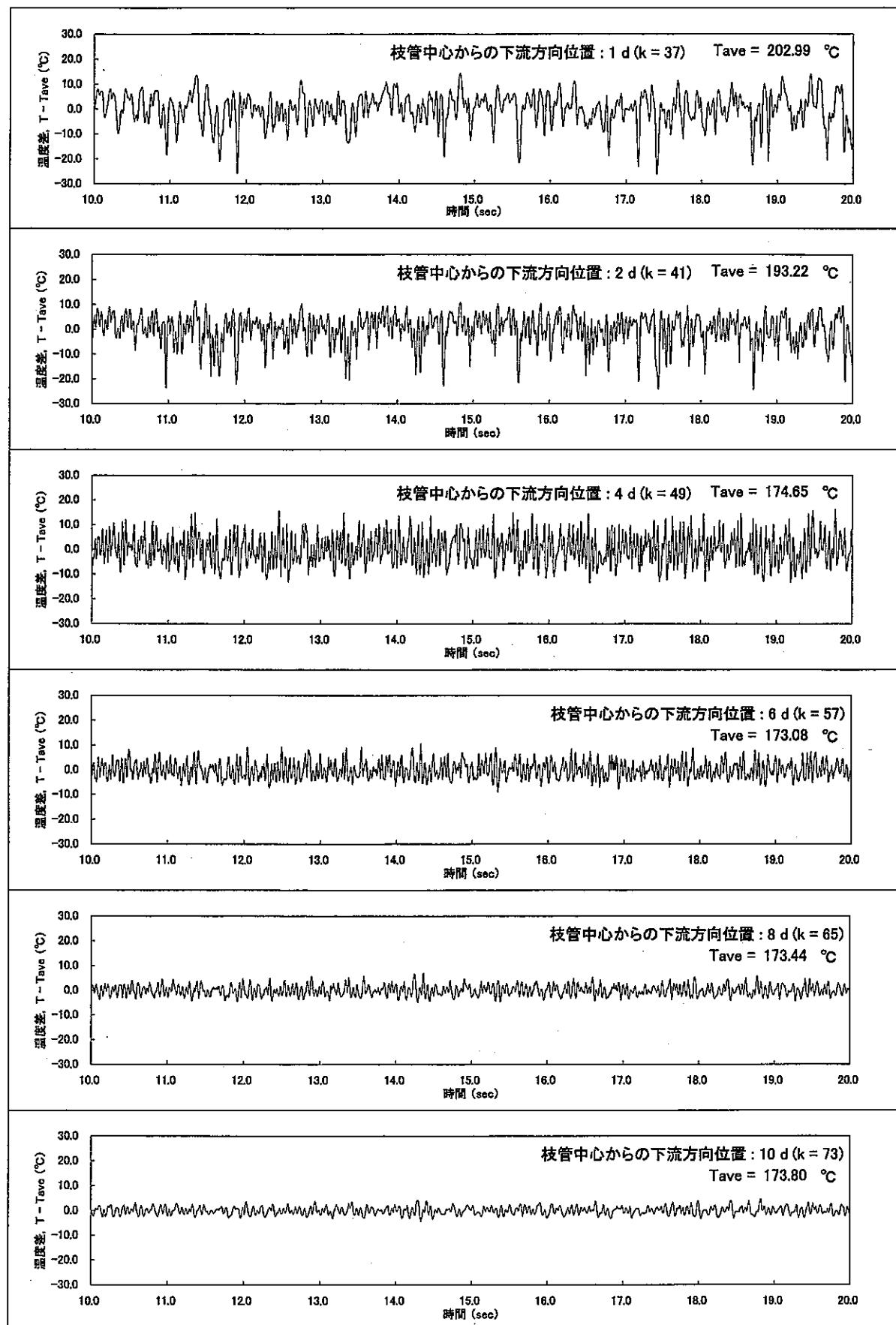


図 A.3 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 1 : \alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

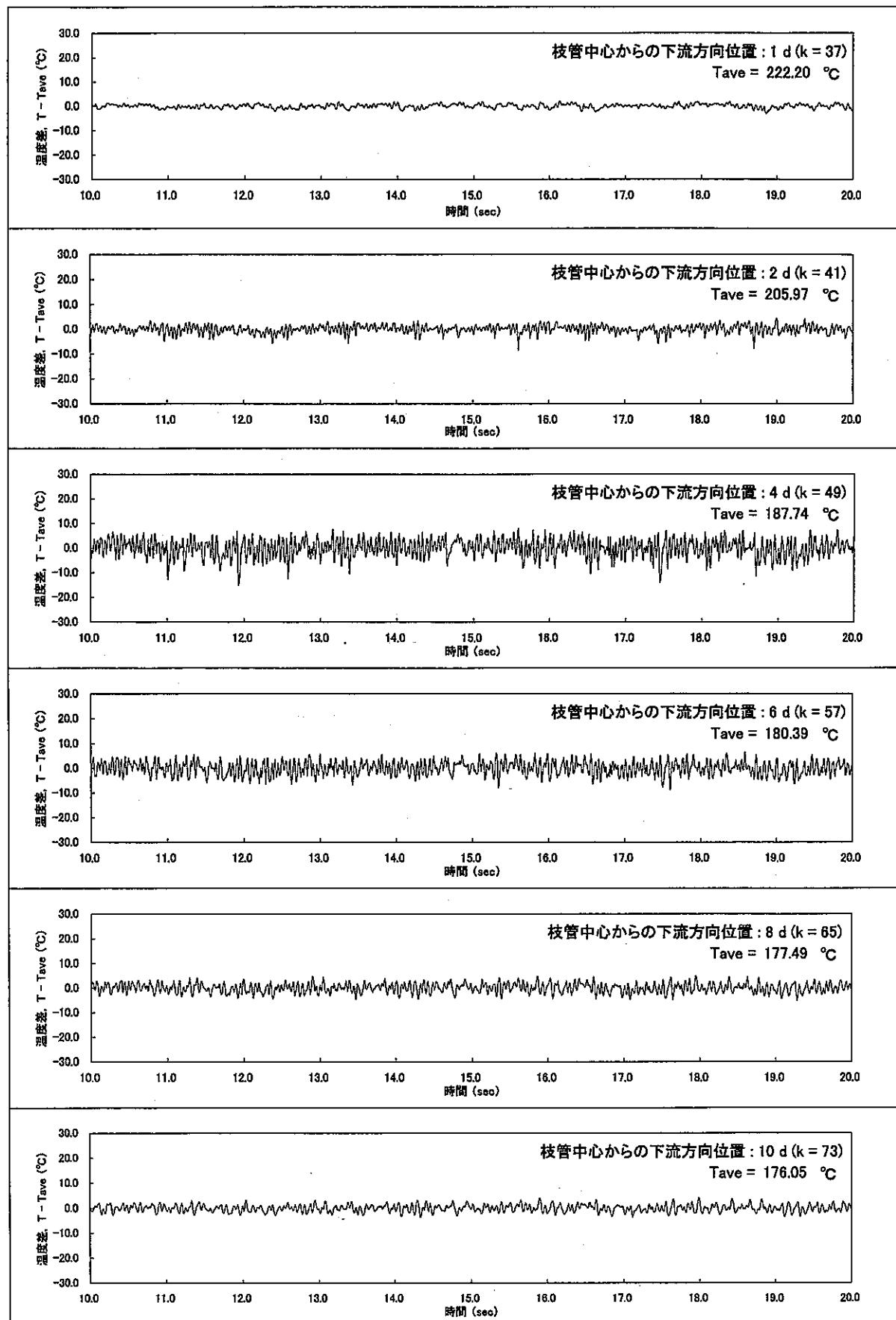


図 A.4 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 1$: $\alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

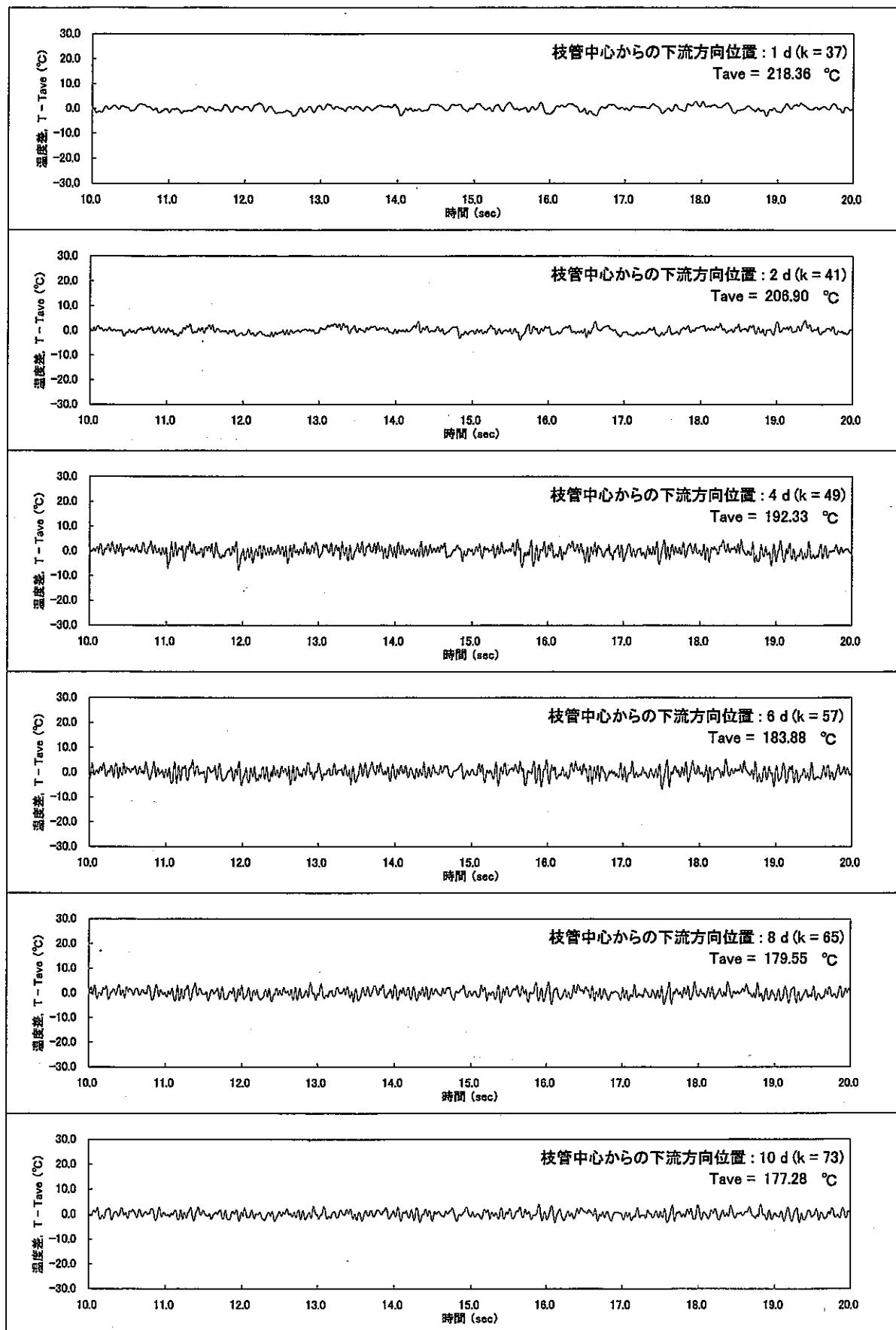


図 A.5 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 1$: $\alpha = 1.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

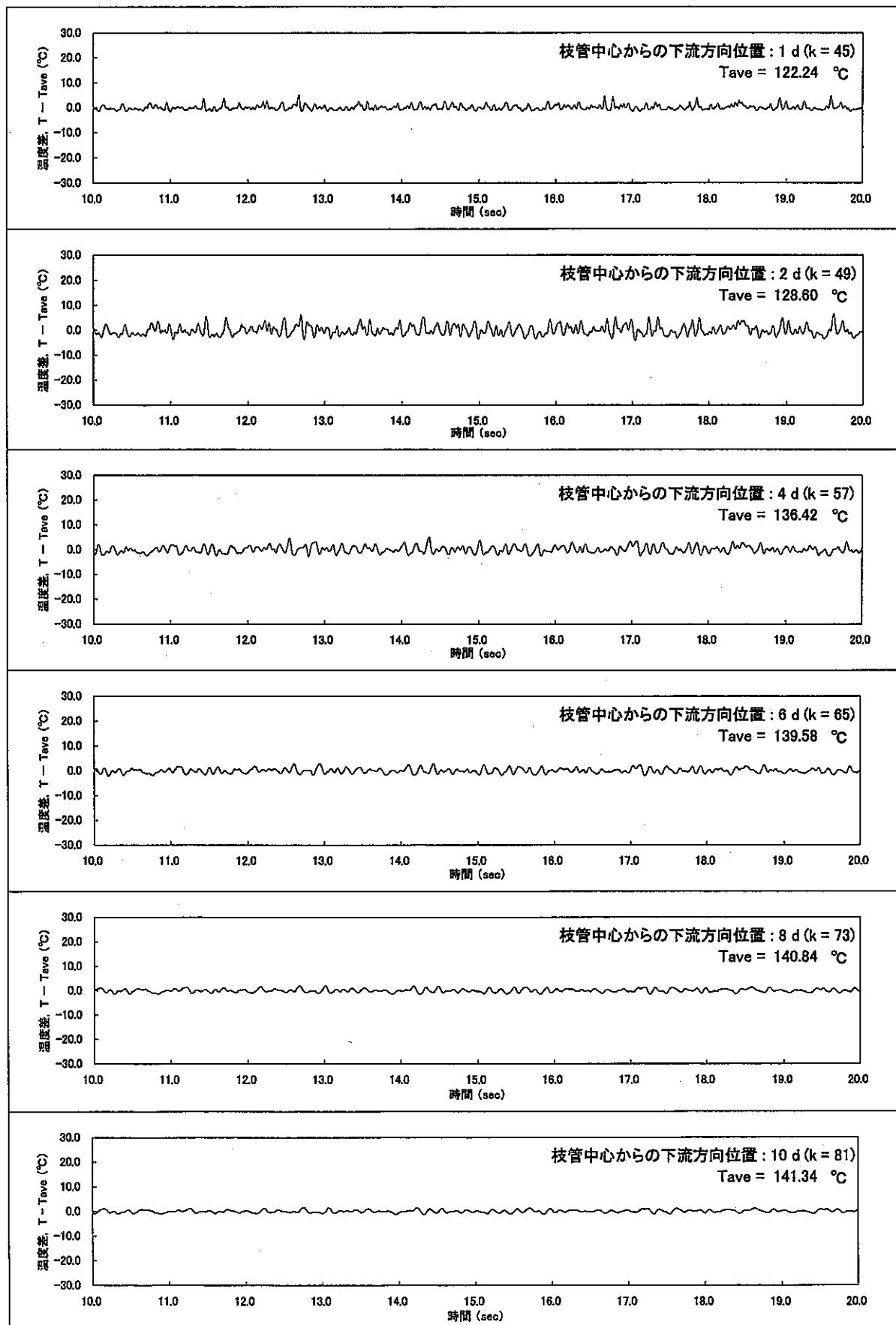


図 A.6 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case α-2 : $\alpha = 2.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 5,626$)

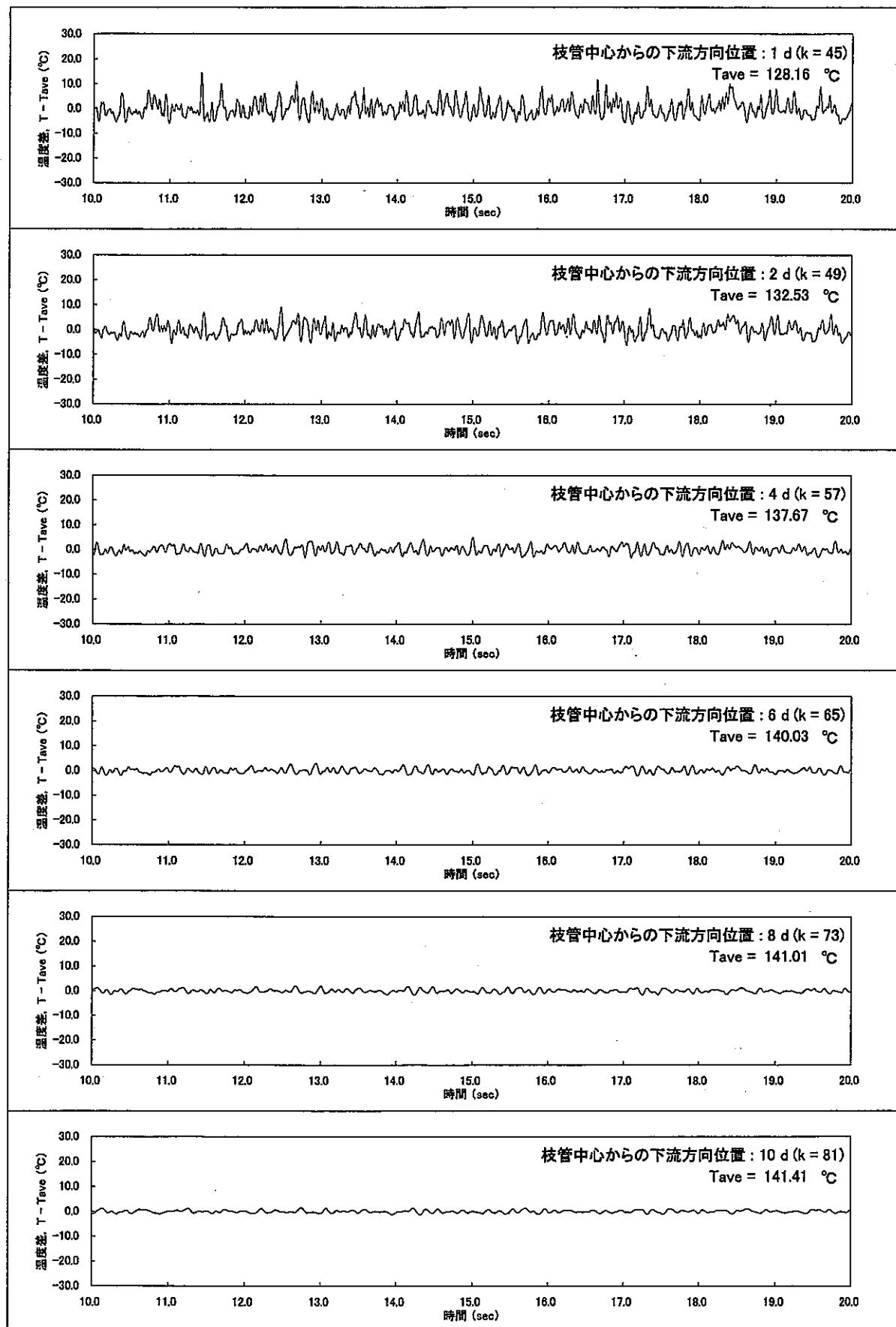


図 A.7 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 2$: $\alpha = 2.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

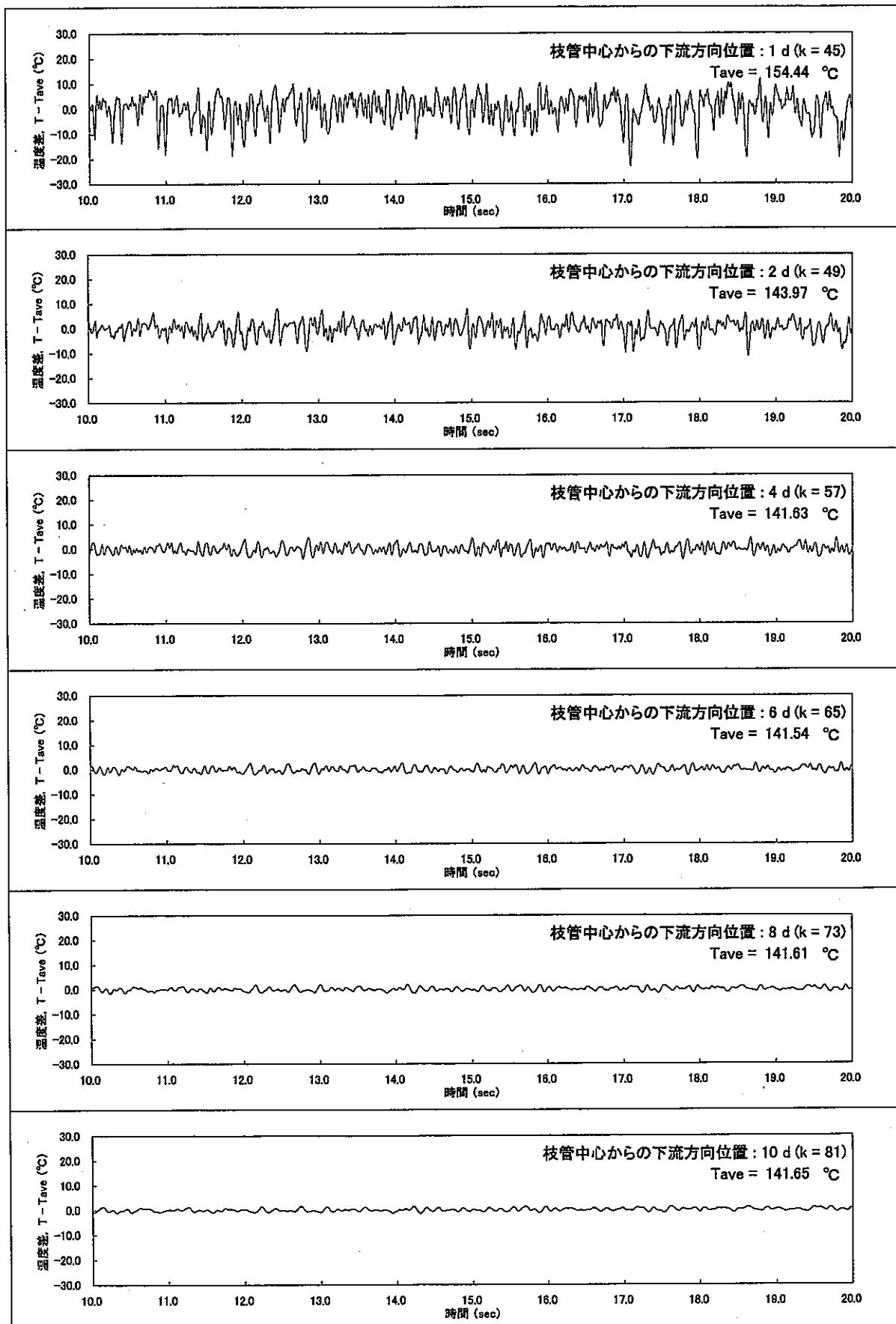


図 A.8 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 2$: $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

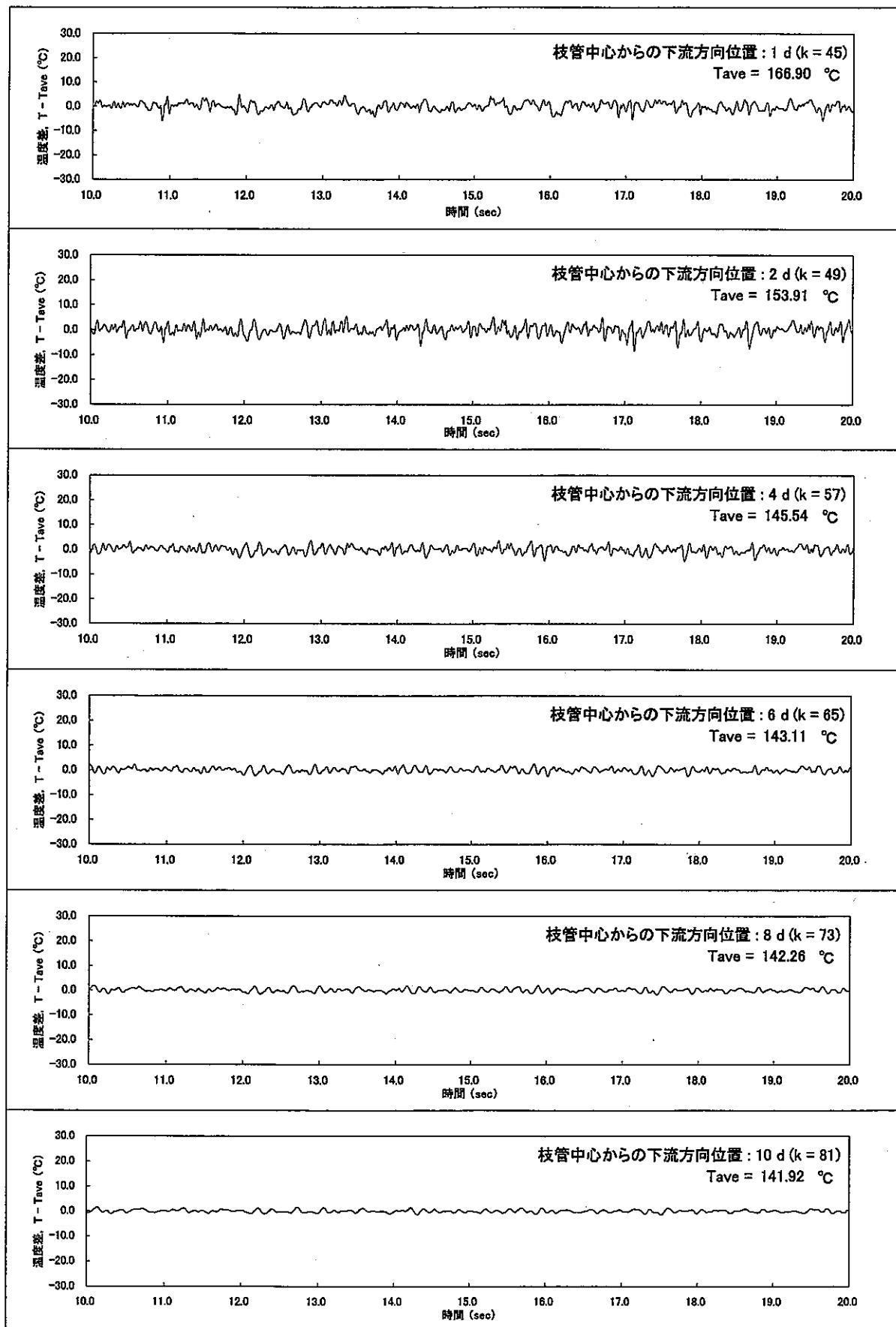


図 A.9 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case α-2 : $\alpha = 2.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

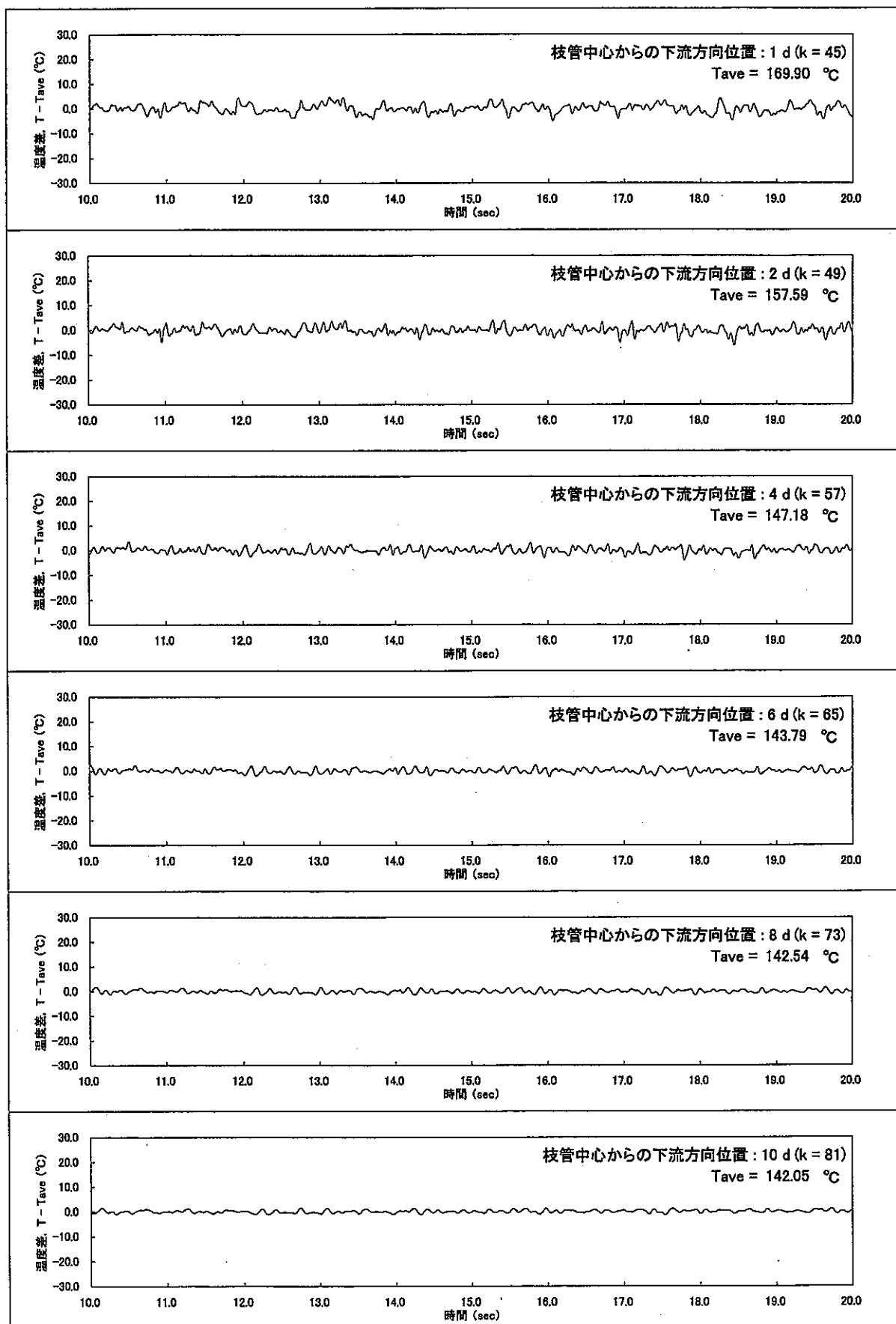


図 A.10 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 2$: $\alpha = 2.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

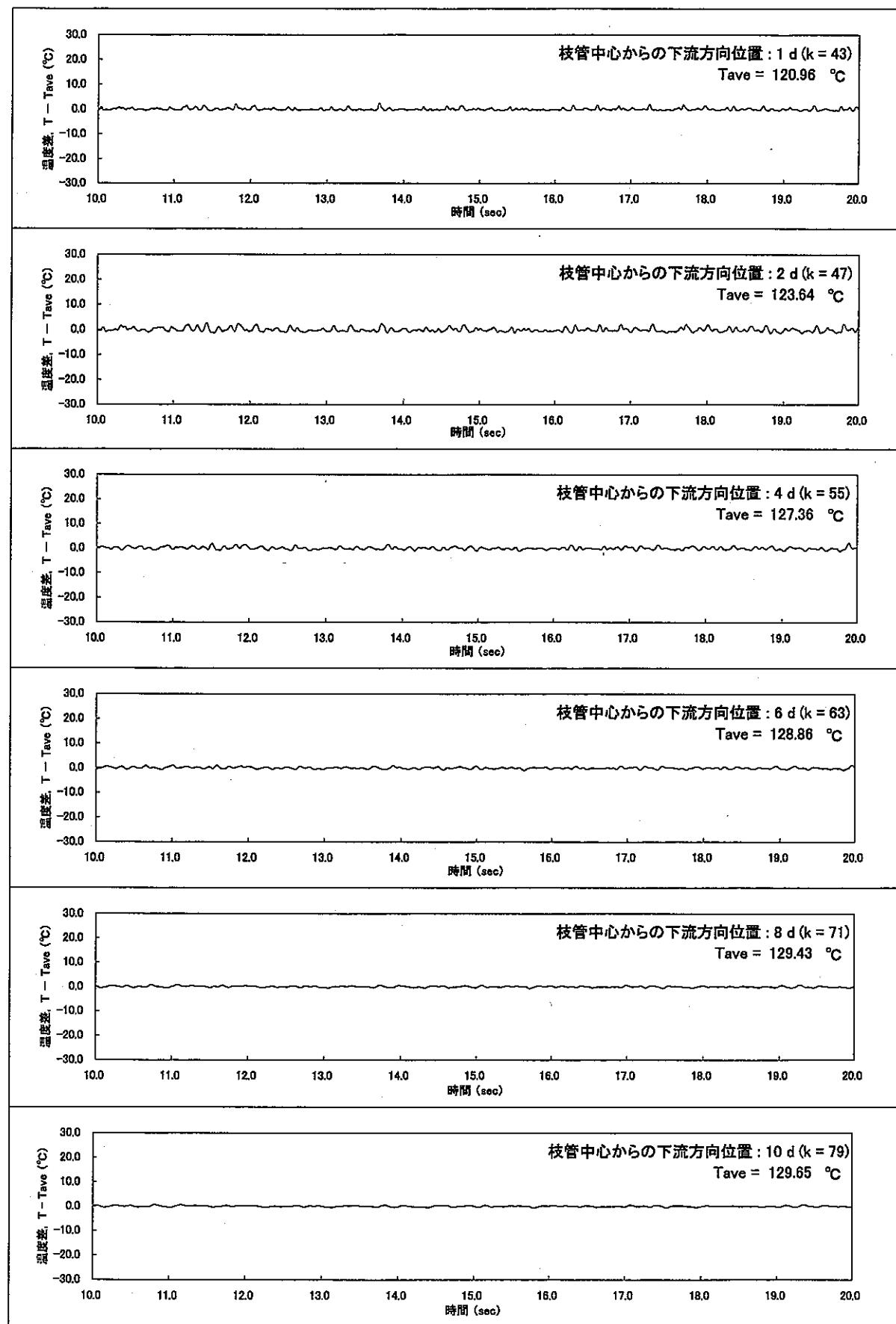


図 A.11 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

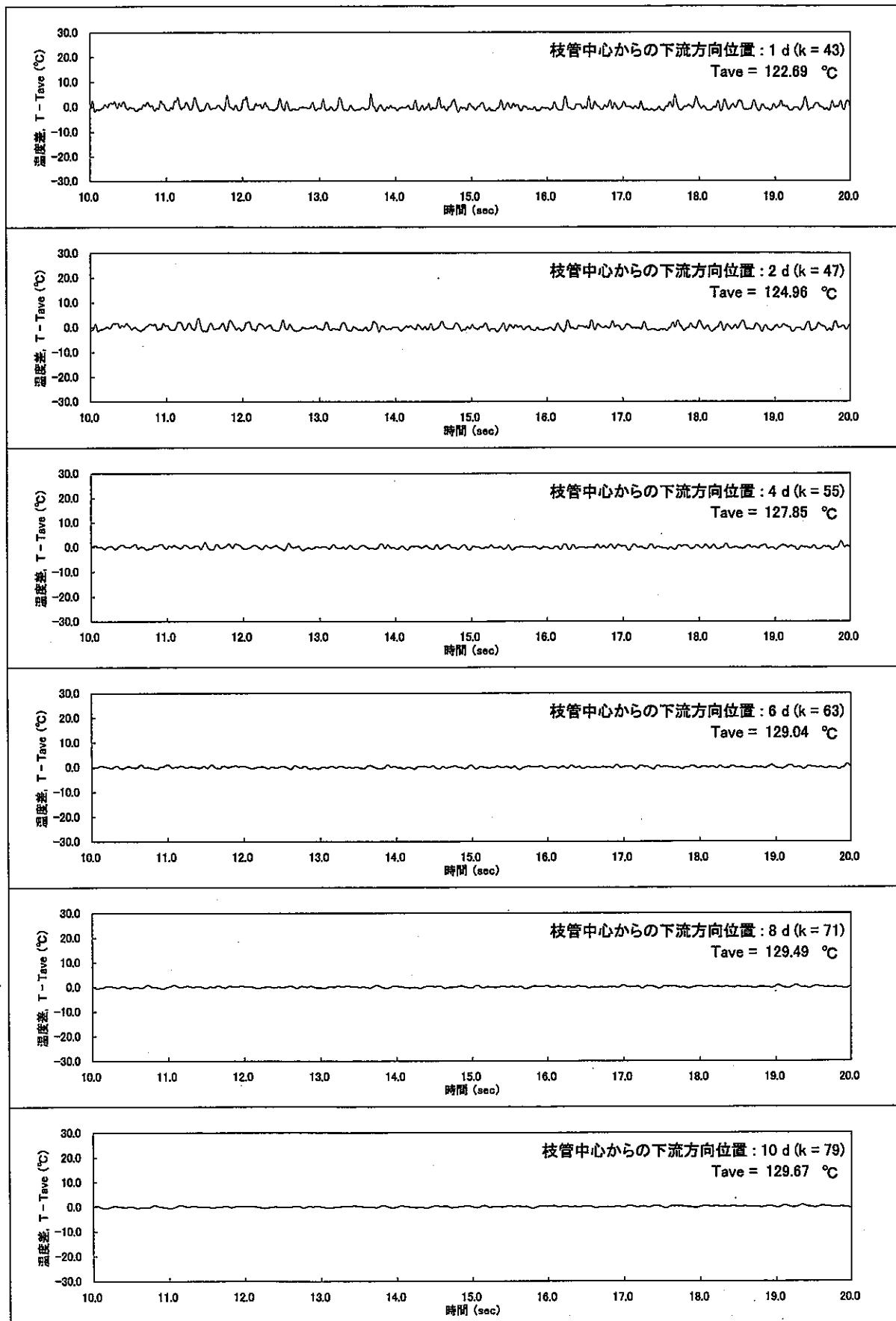


図 A.12 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha'-3$: $\alpha' = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

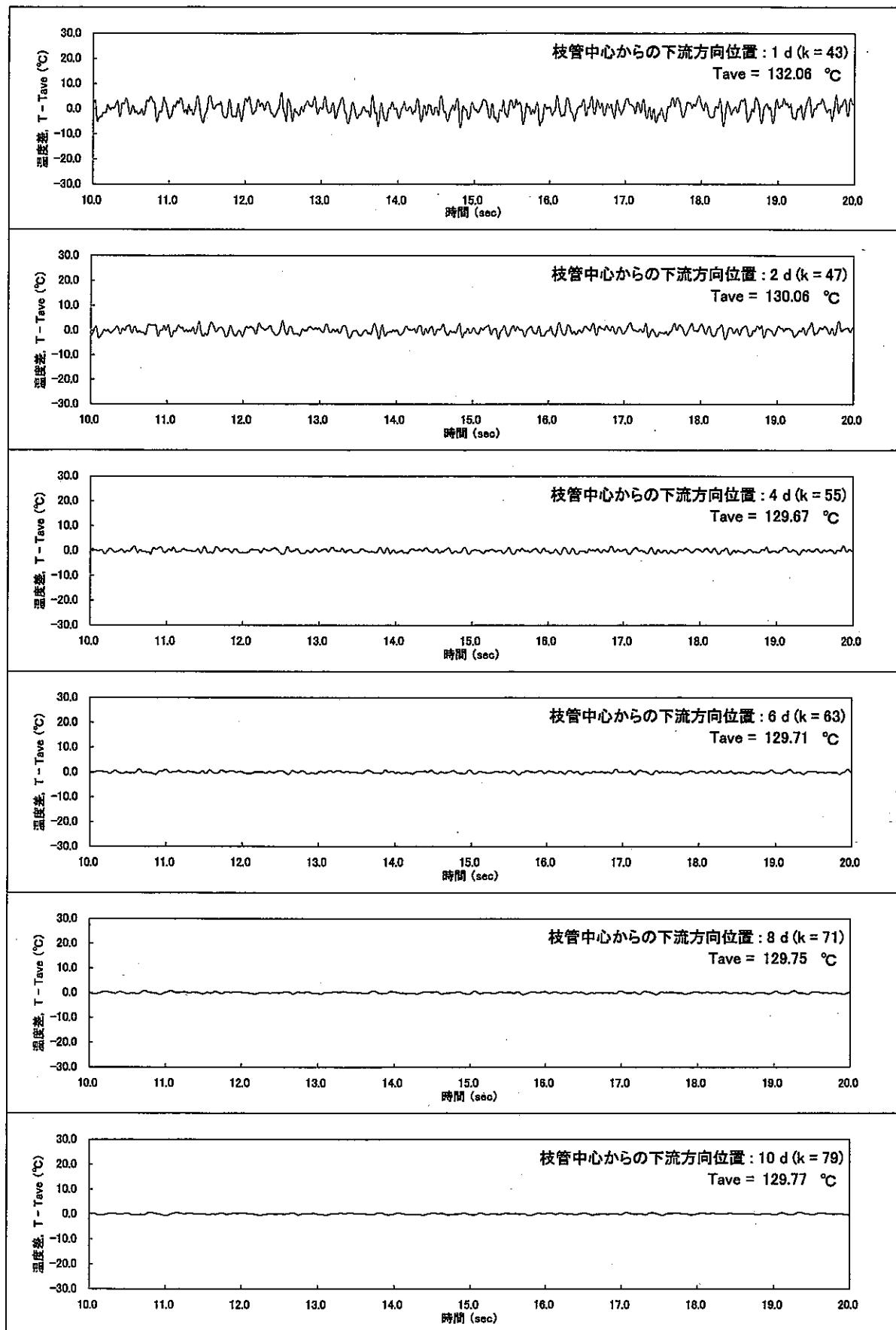


図 A.13 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 5,626$)

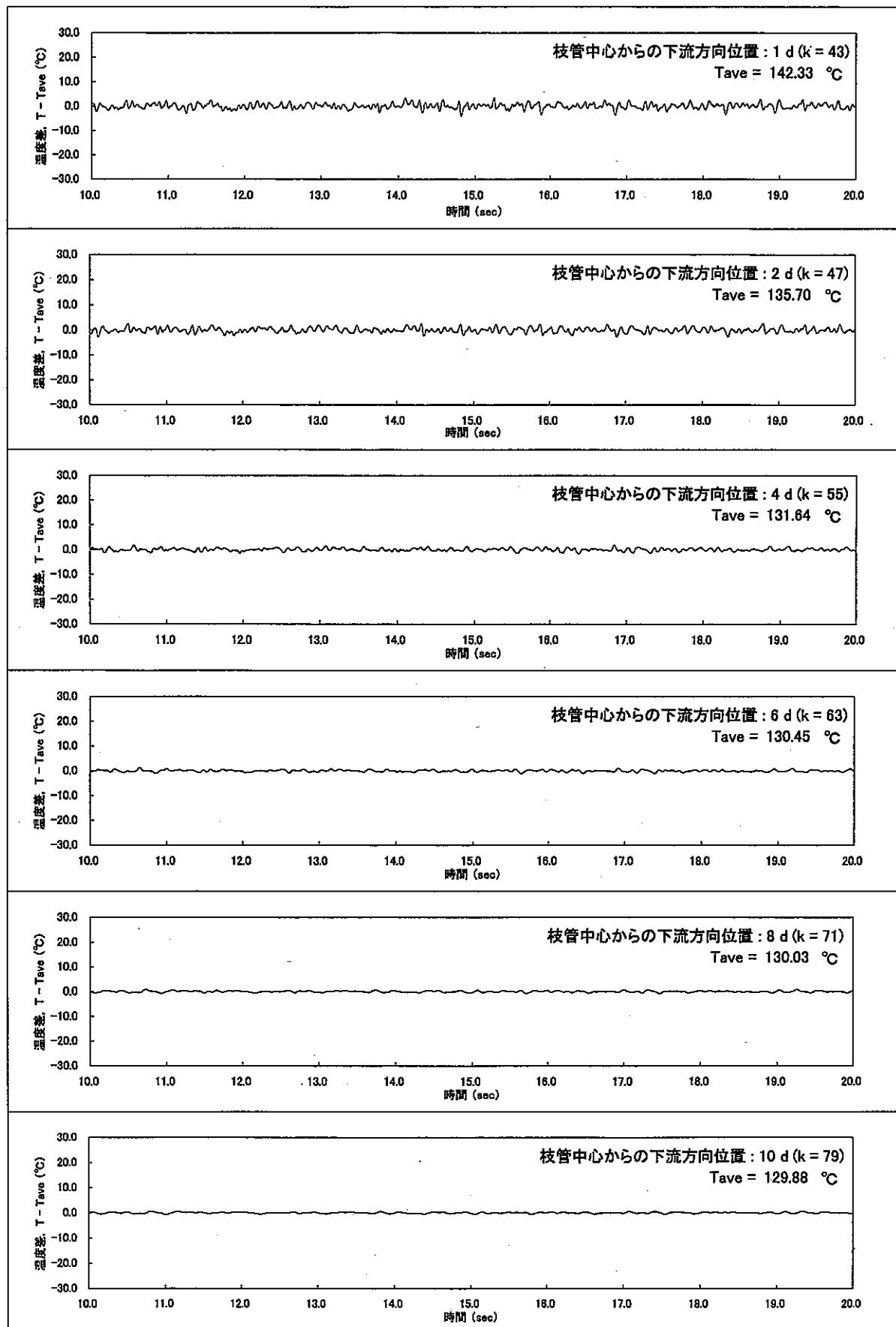


図 A.14 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

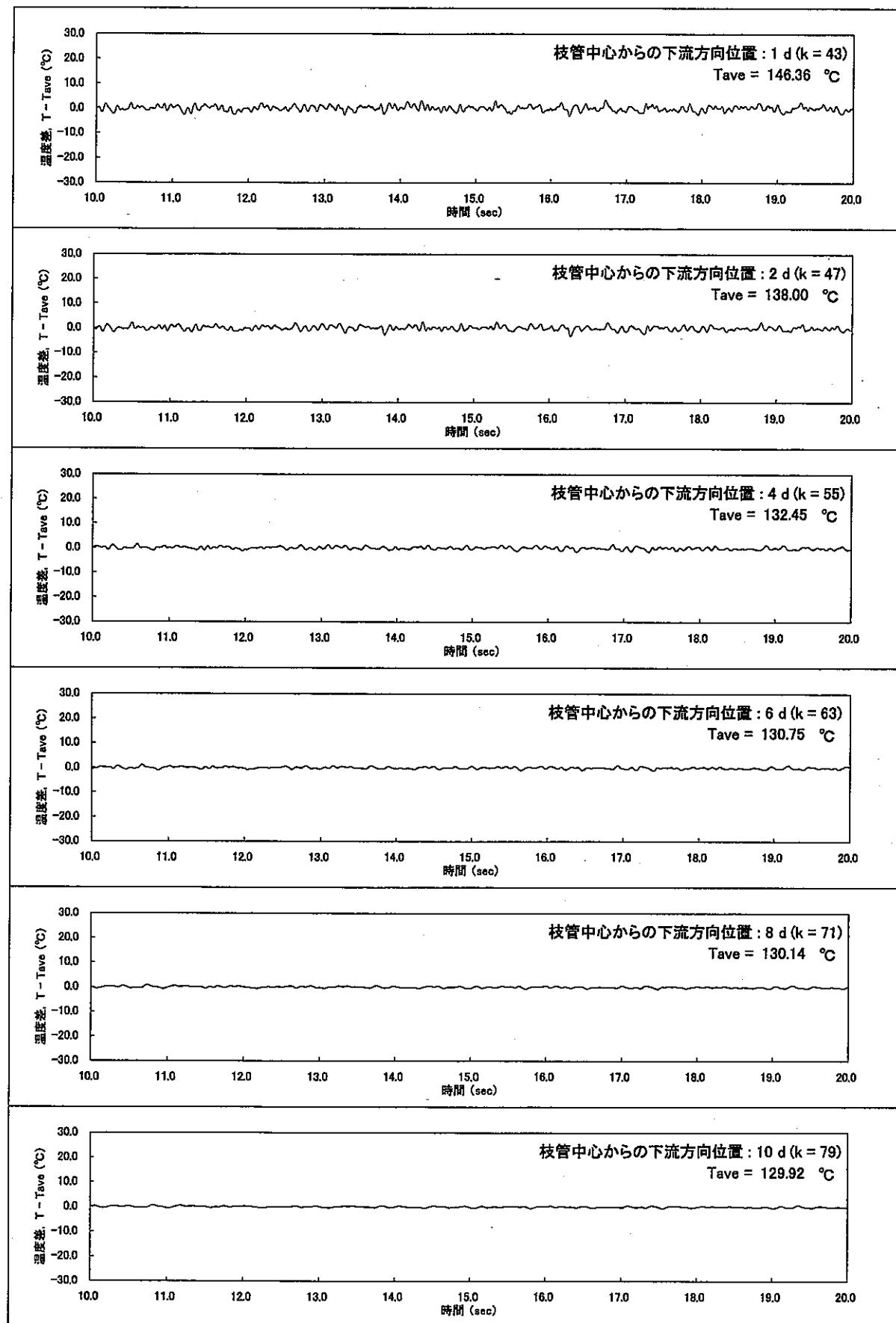


図 A.15 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

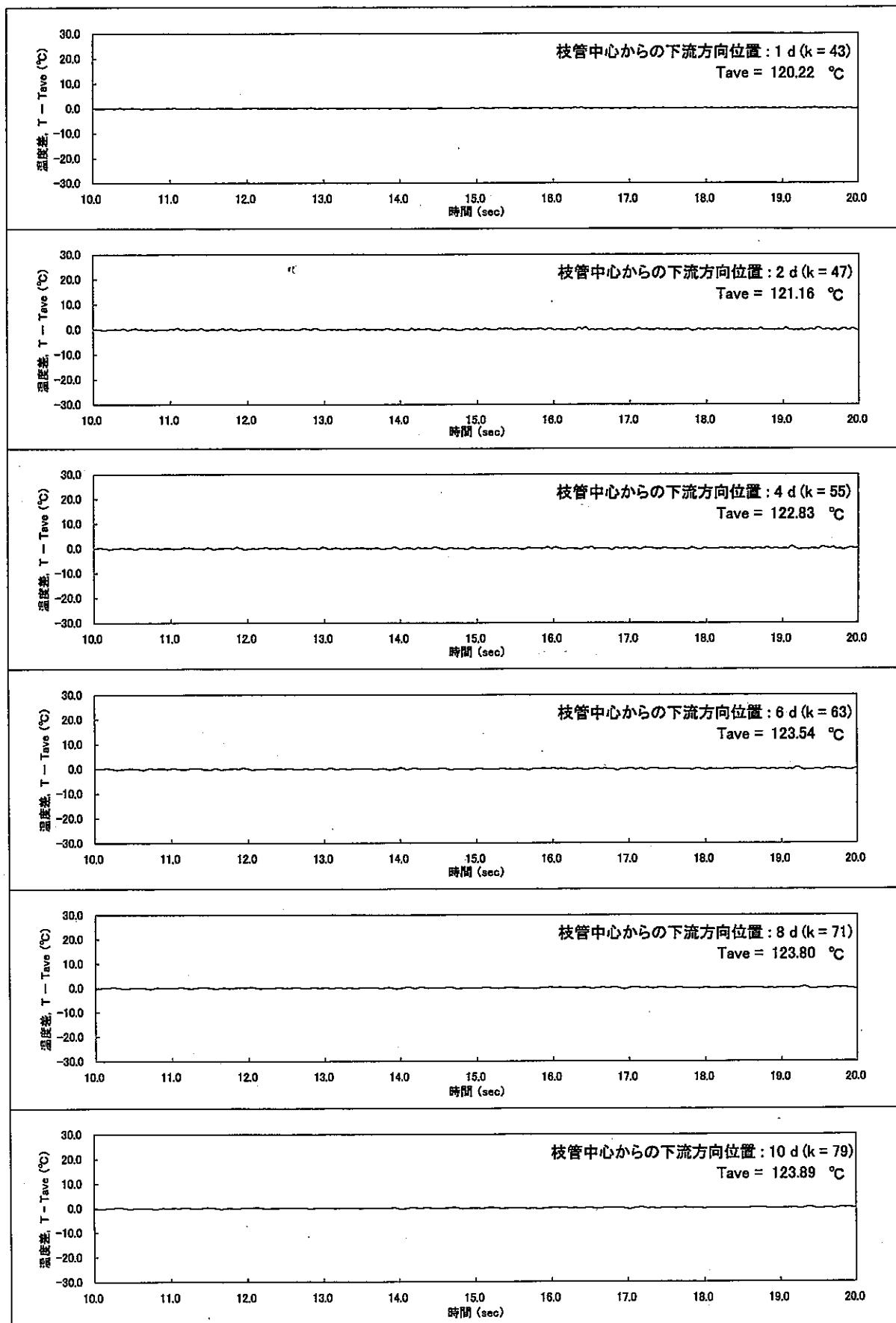


図 A.16 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case α-4: $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

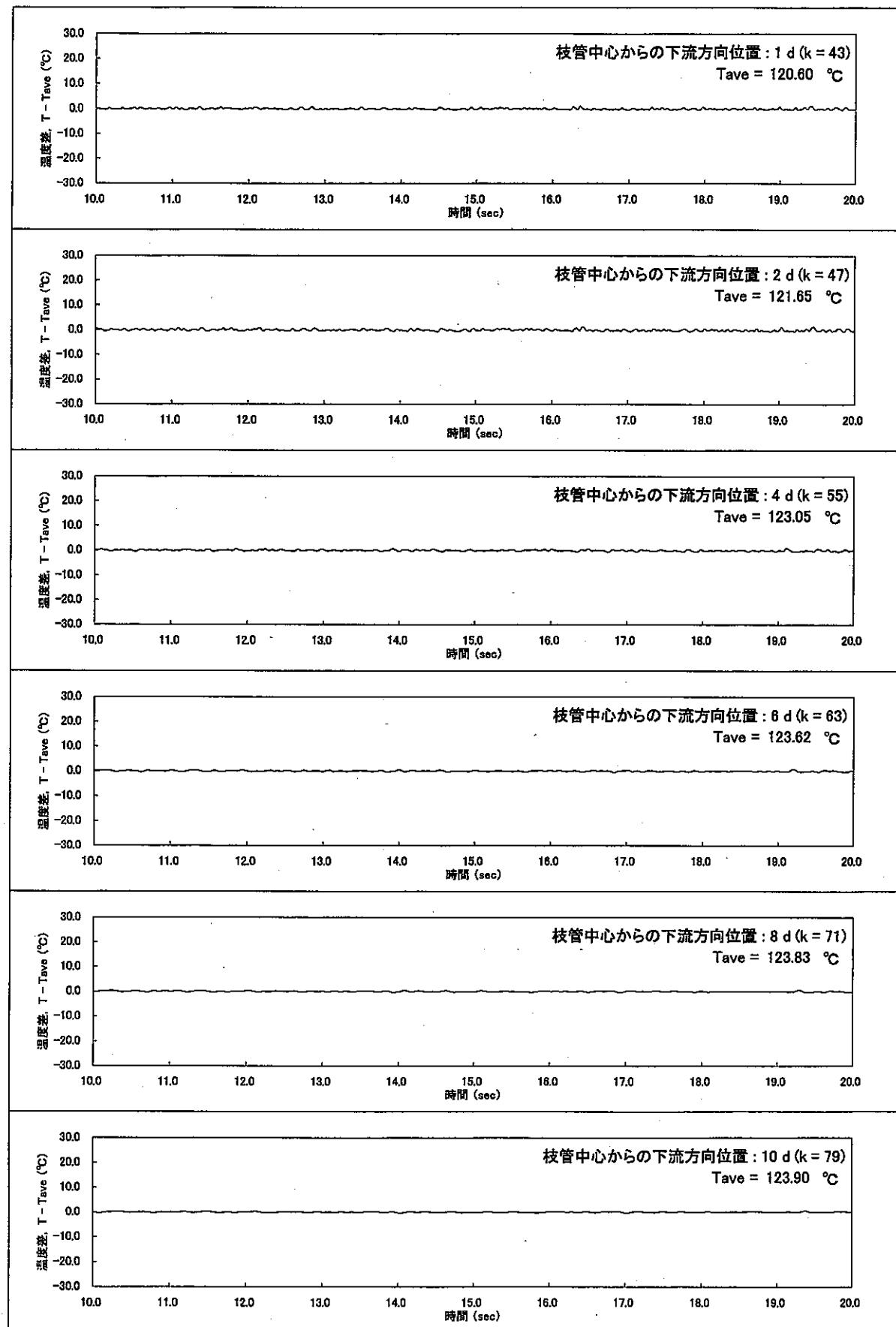


図 A.17 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 4$: $\alpha = 5.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

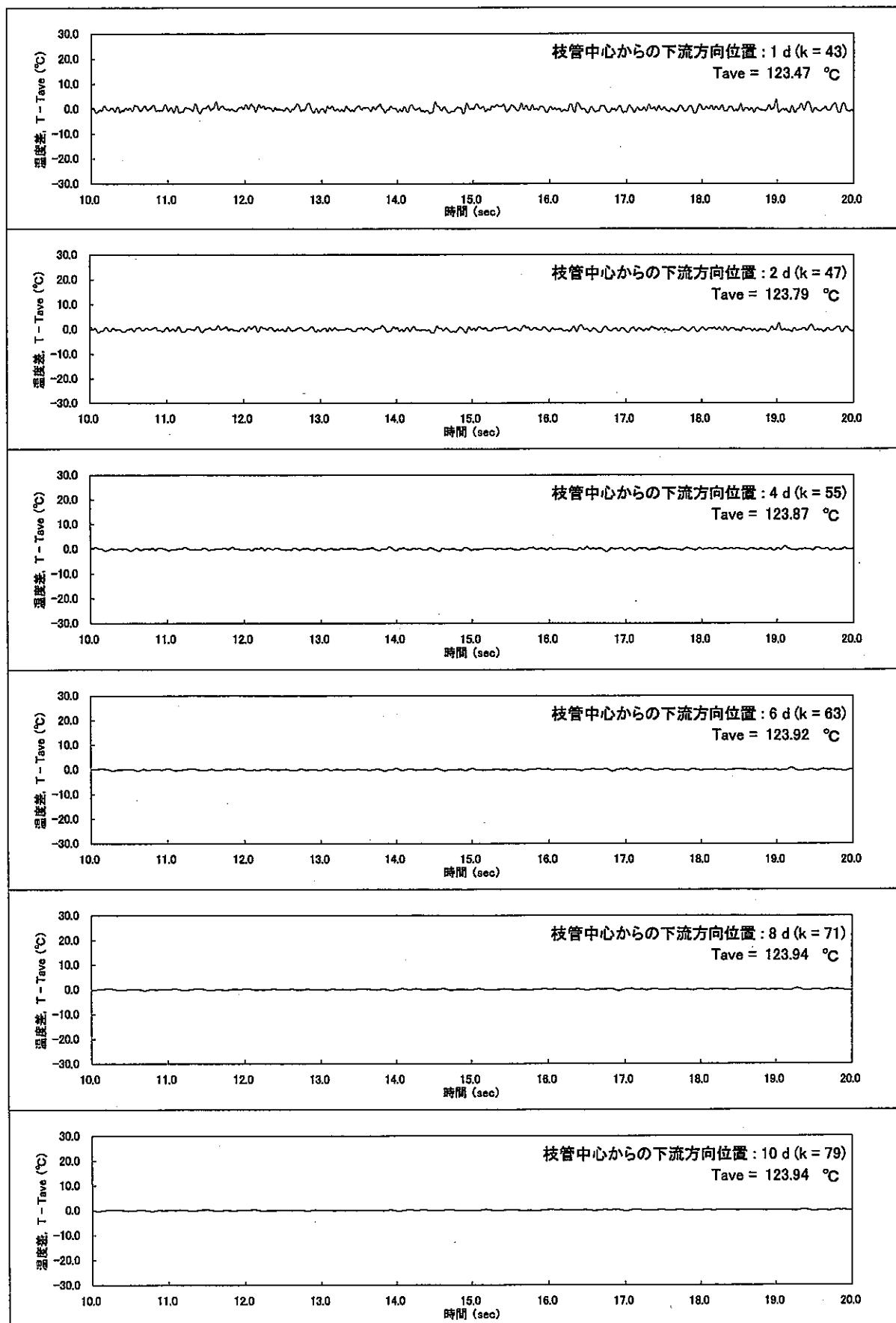


図 A.18 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 4$: $\alpha = 5.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

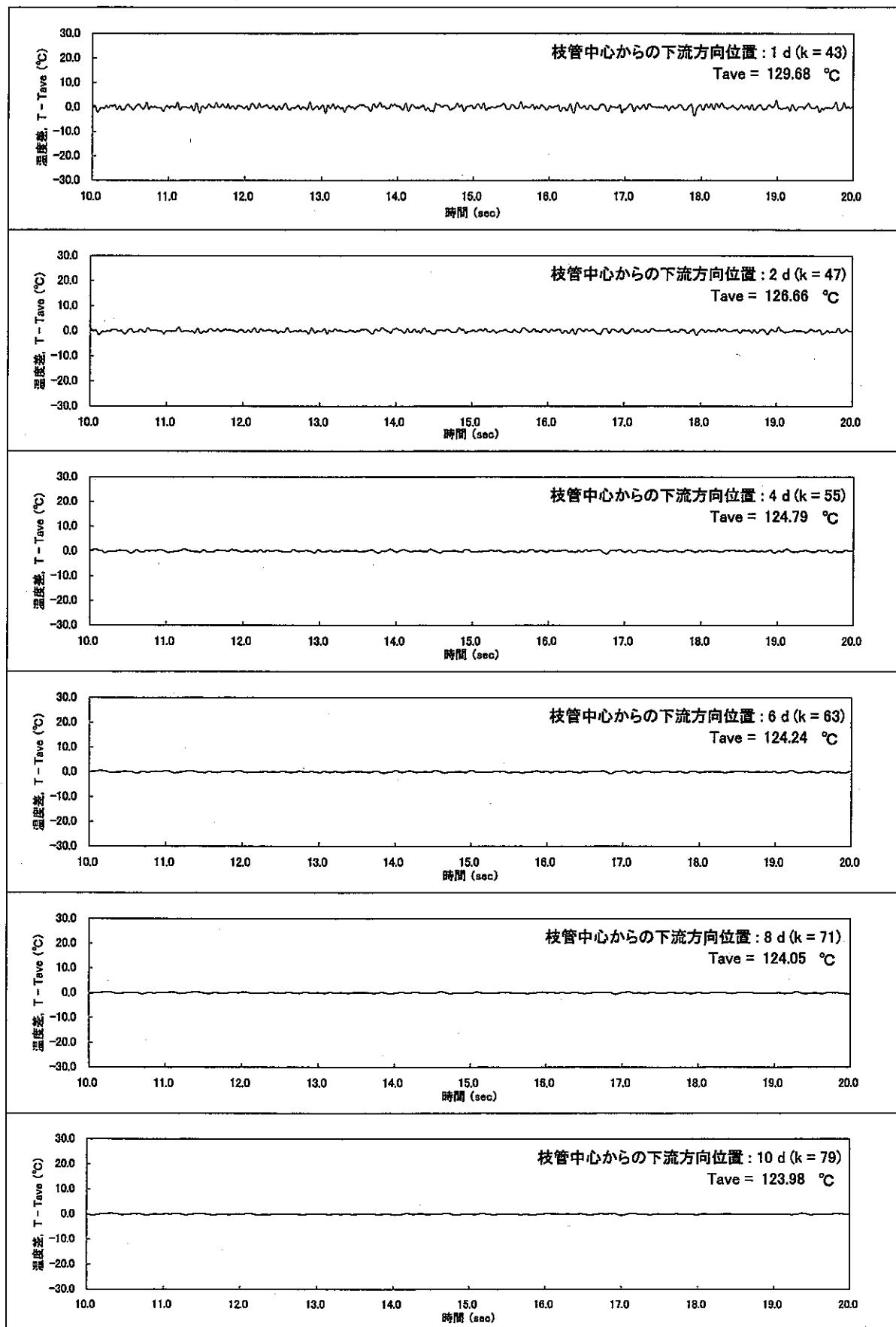


図 A.19 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 4$: $\alpha = 5.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 5,626$)

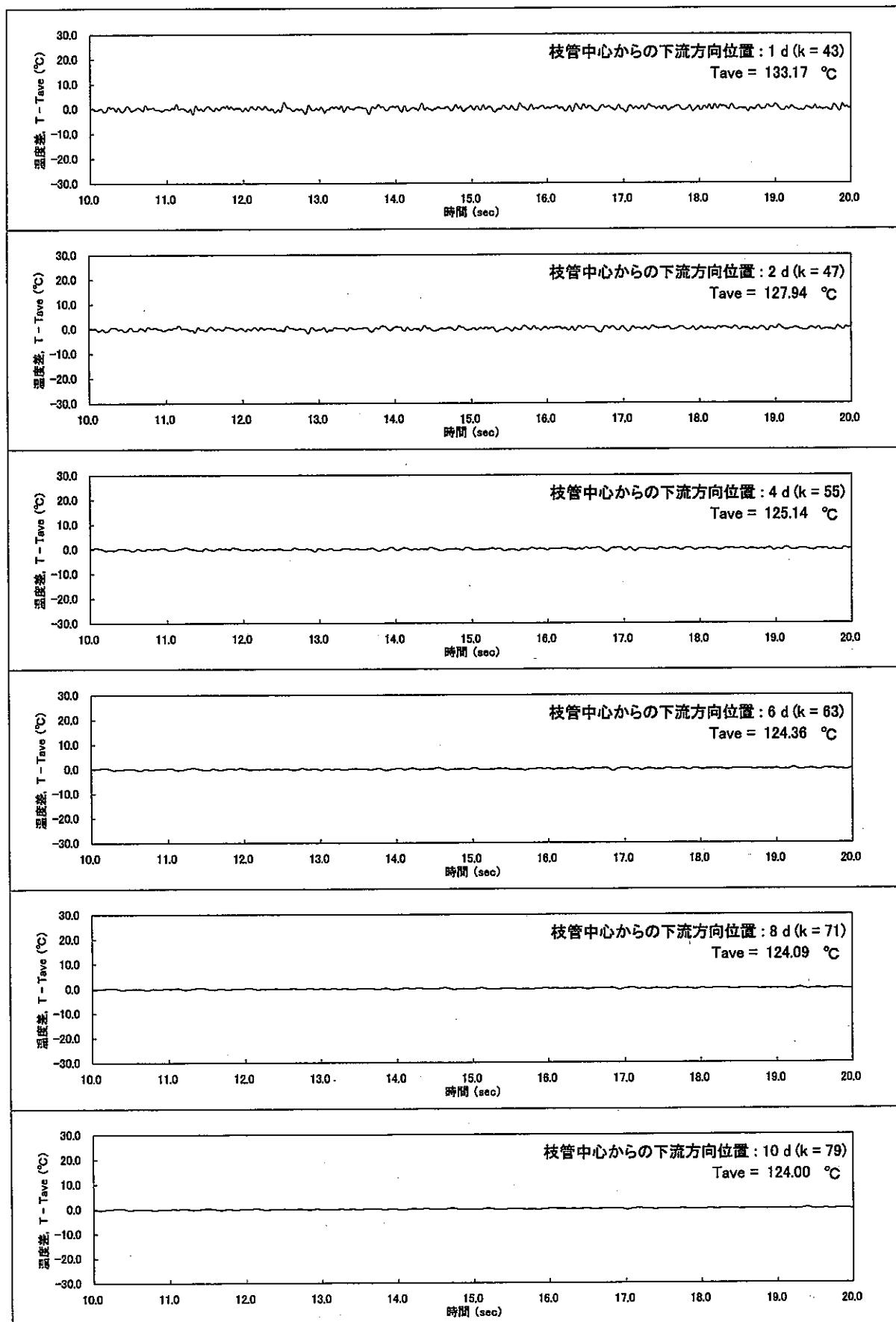


図 A.20 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 4$: $\alpha = 5.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

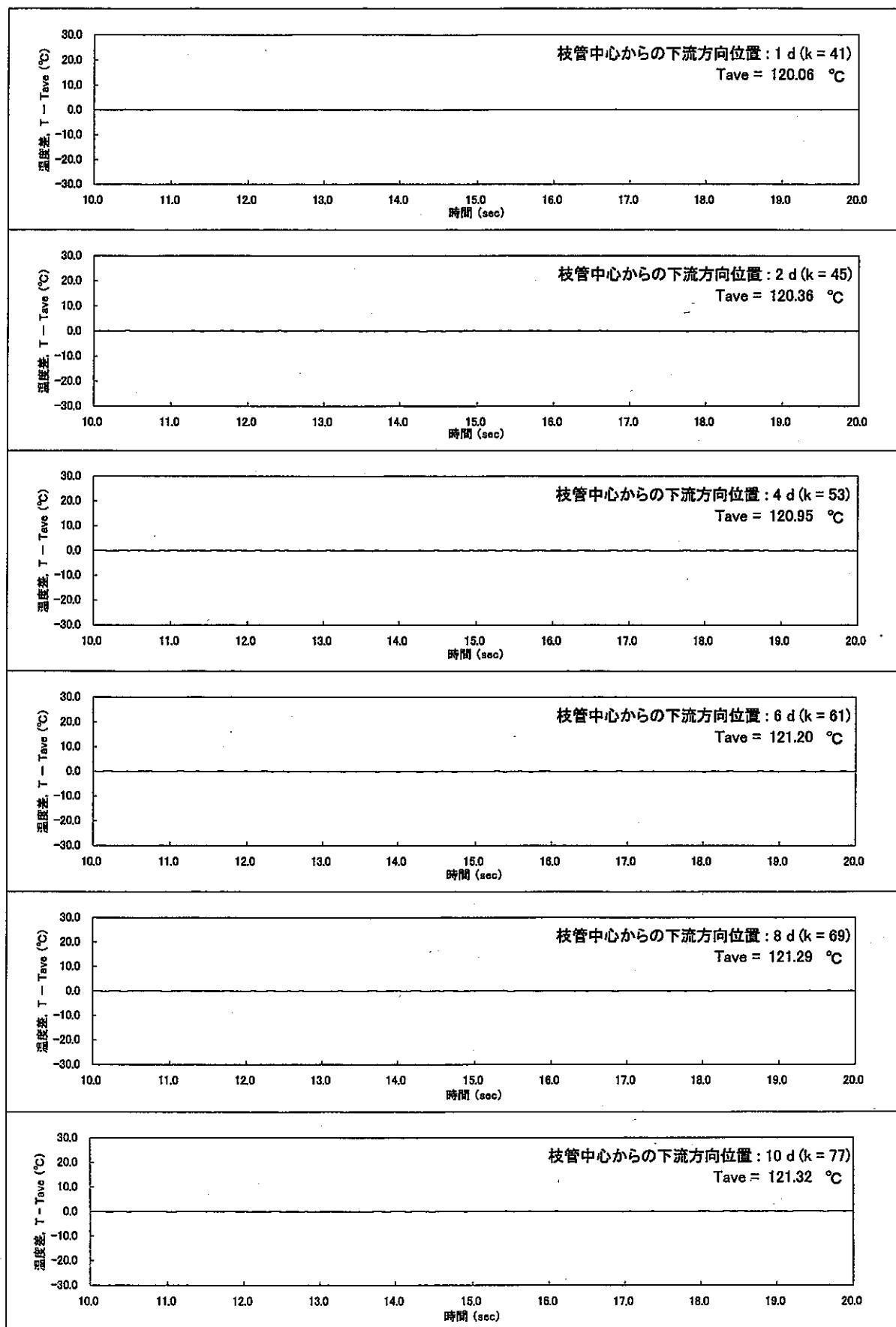


図 A.21 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 5$: $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

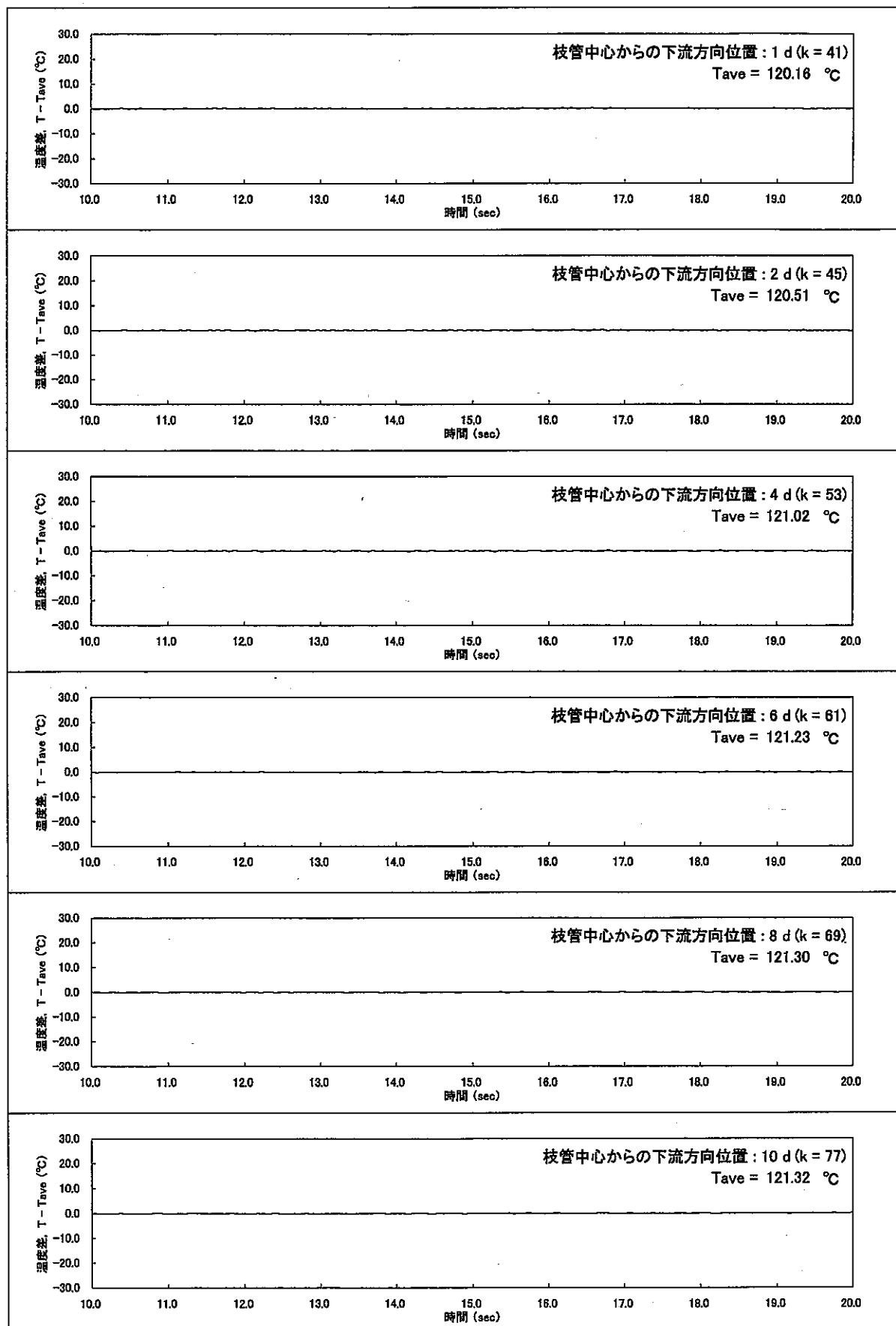


図 A.22 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 5$: $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

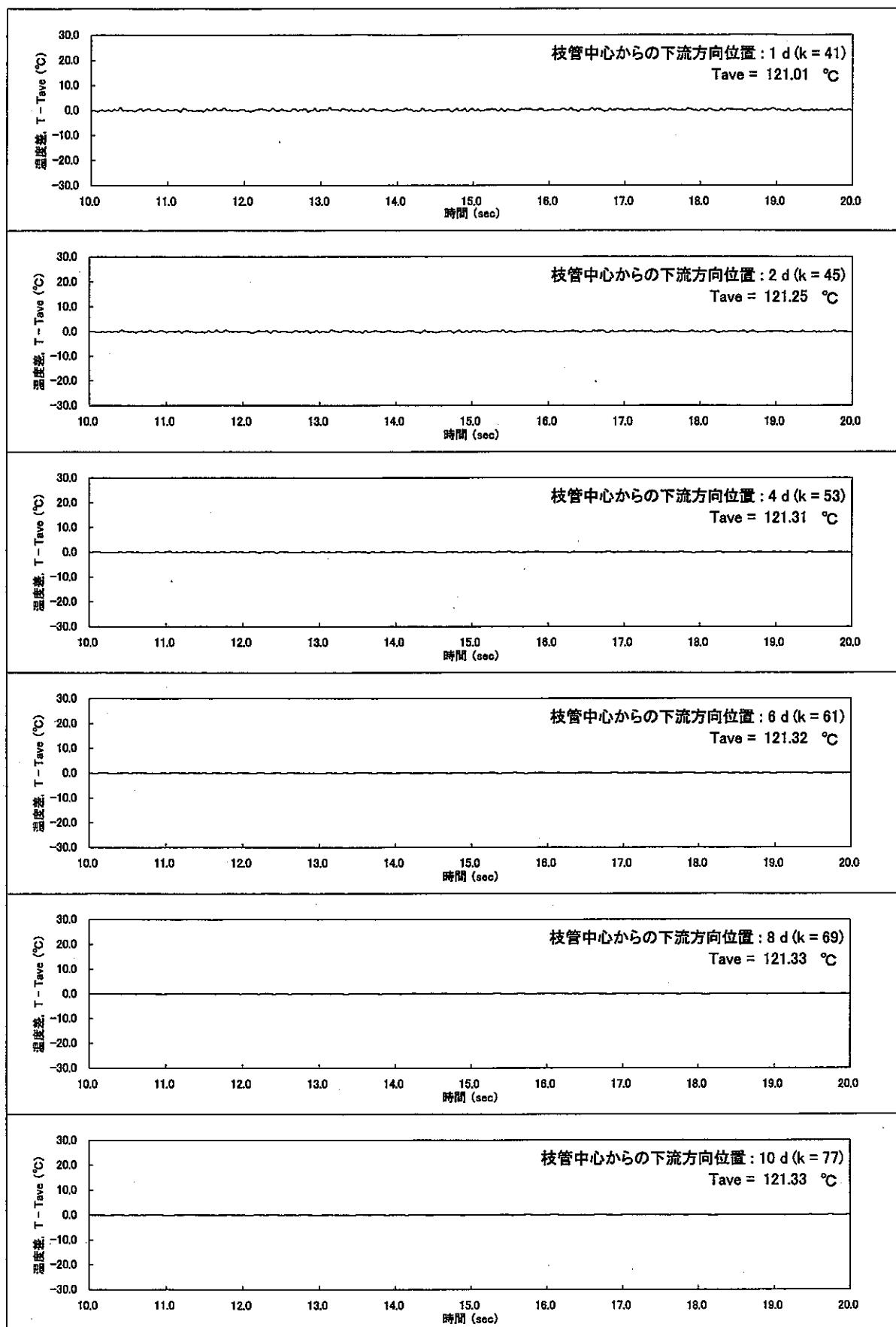


図 A.23 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha' - 5$: $\alpha = 10.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

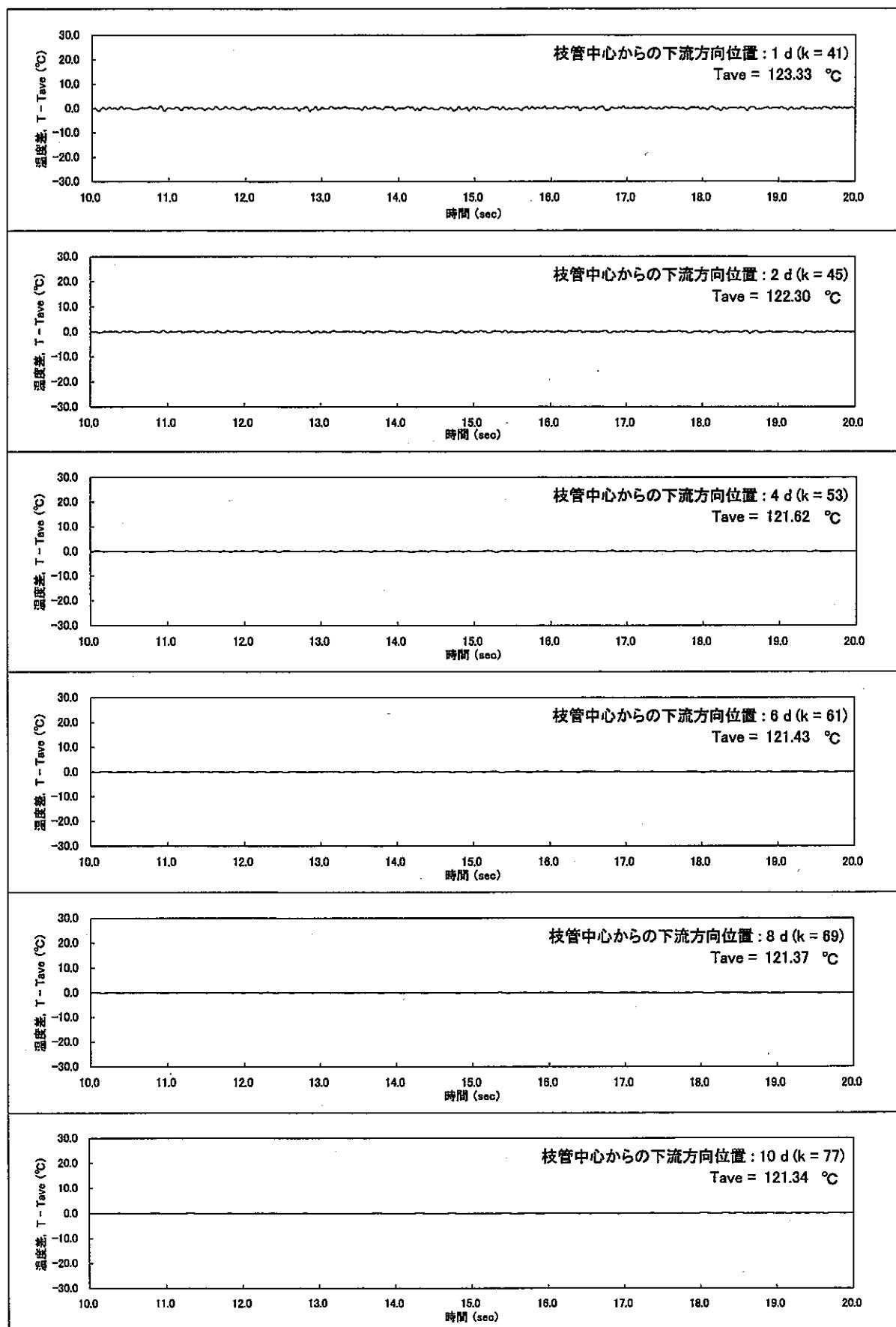


図 A.24 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case α-5 : $\alpha = 10.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

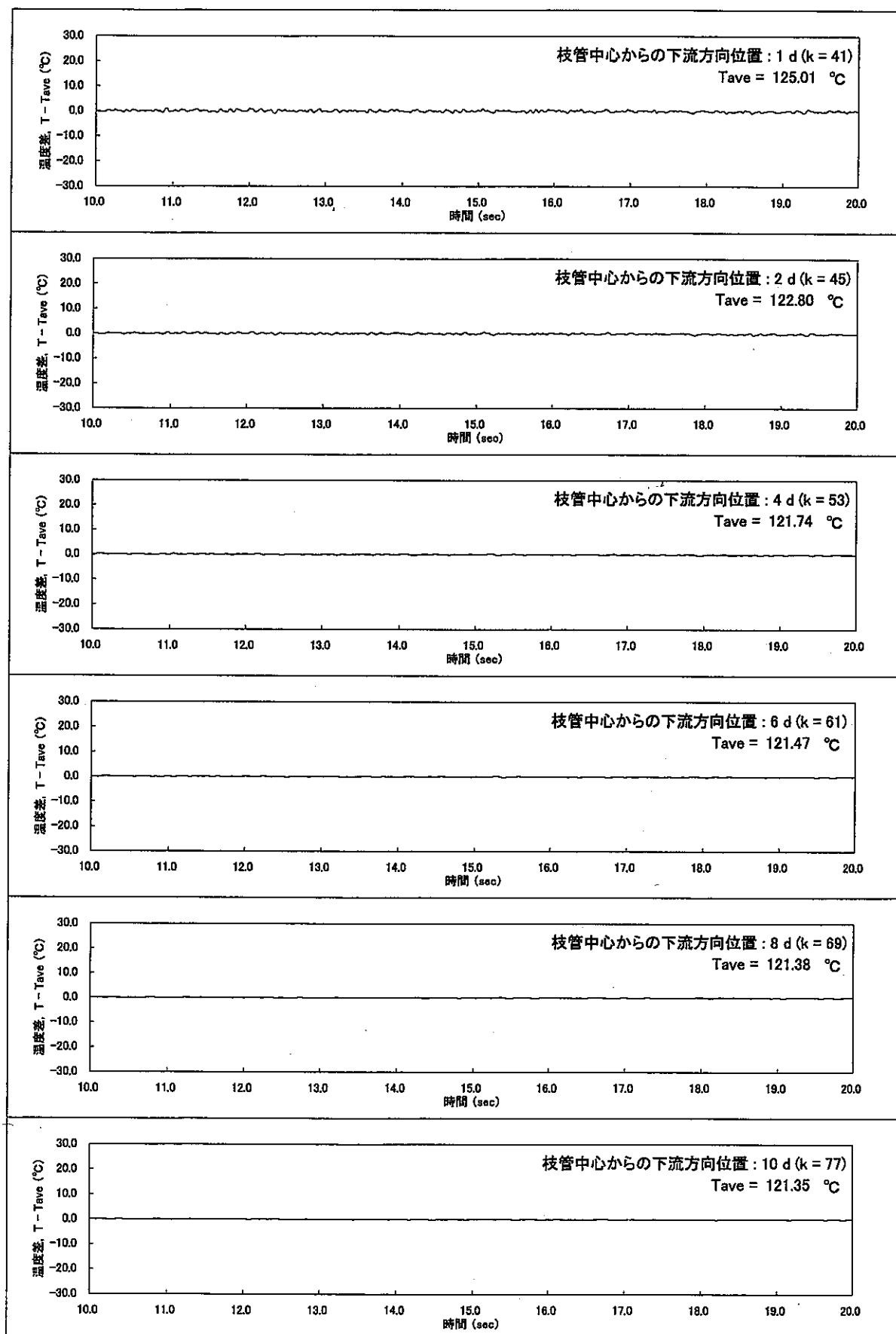


図 A.25 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\alpha - 5$: $\alpha = 10.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

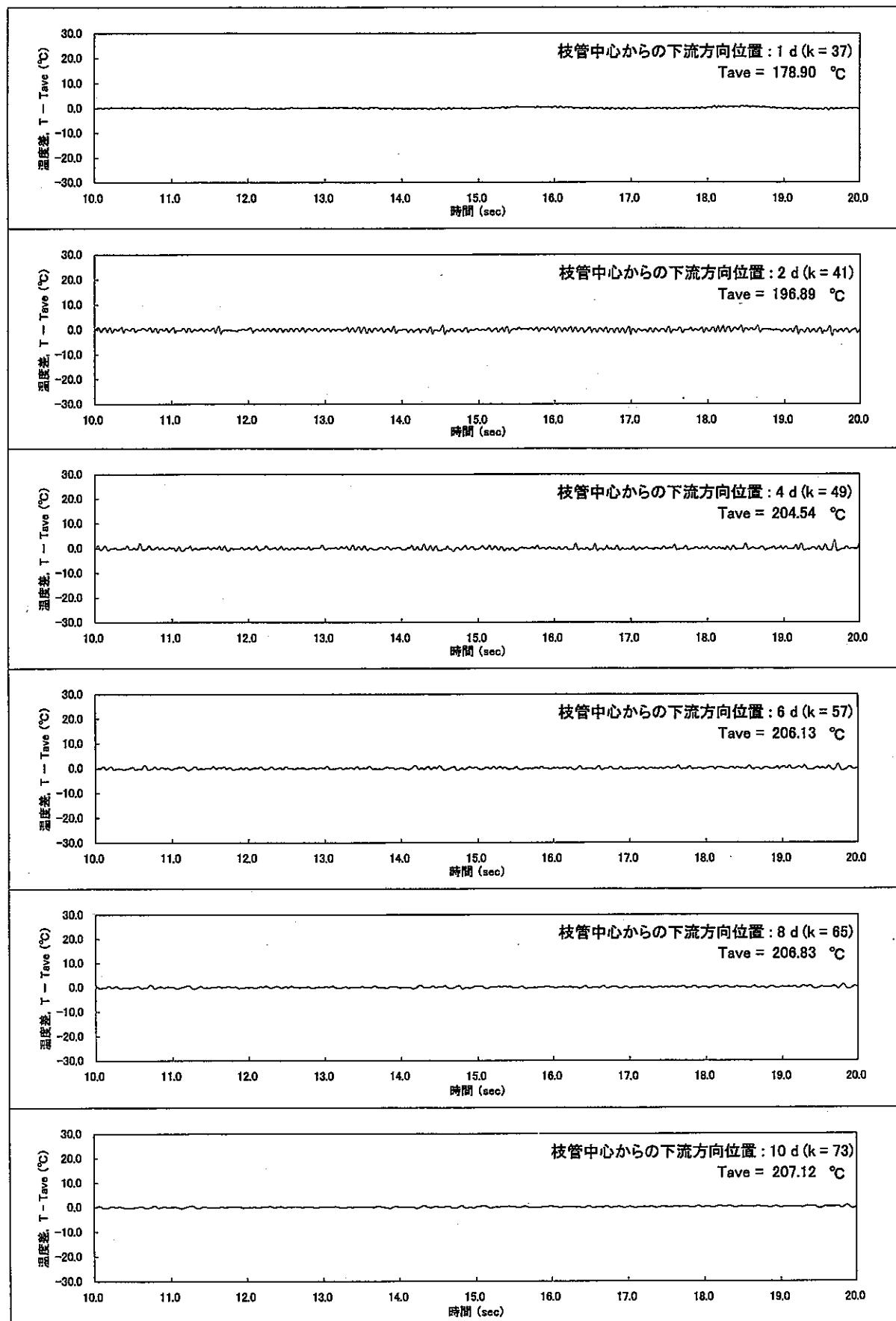


図 A.26 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^{\circ}$, $Re_m = 1,407$)

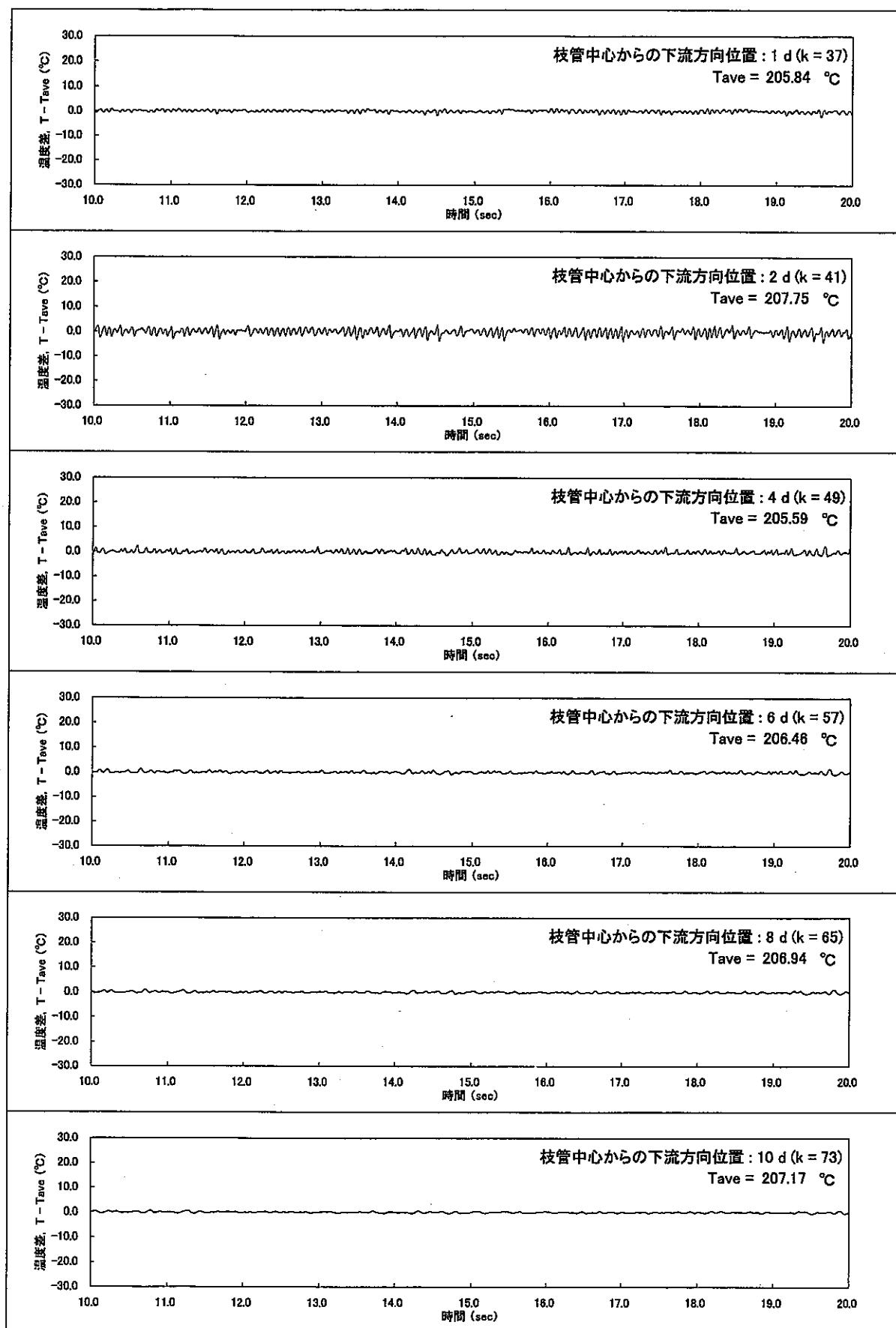


図 A.27 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-1$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.25$, $\gamma = 90^{\circ}$, $Re_m = 1,407$)

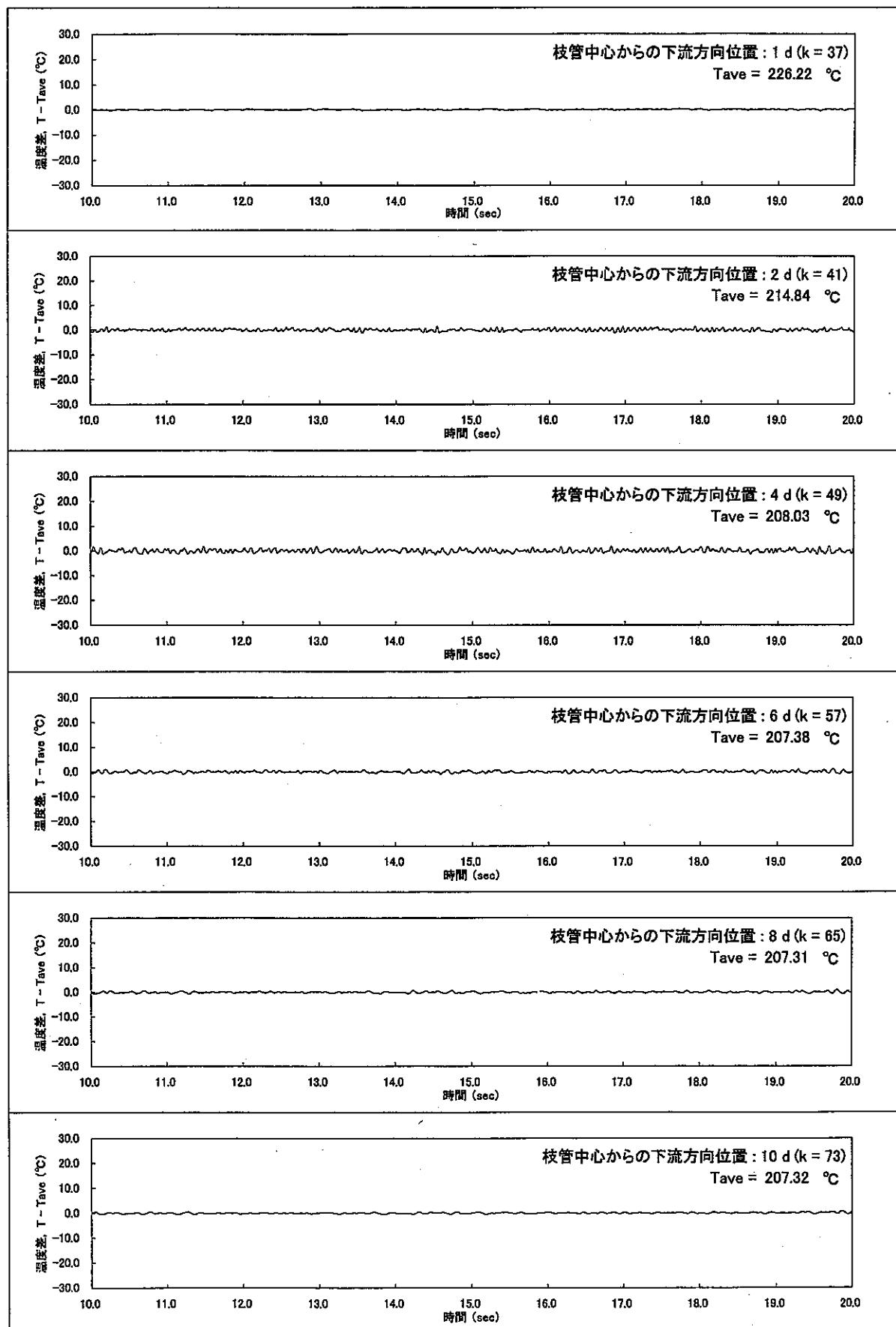


図 A.28 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 1-1: $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 1,407$)

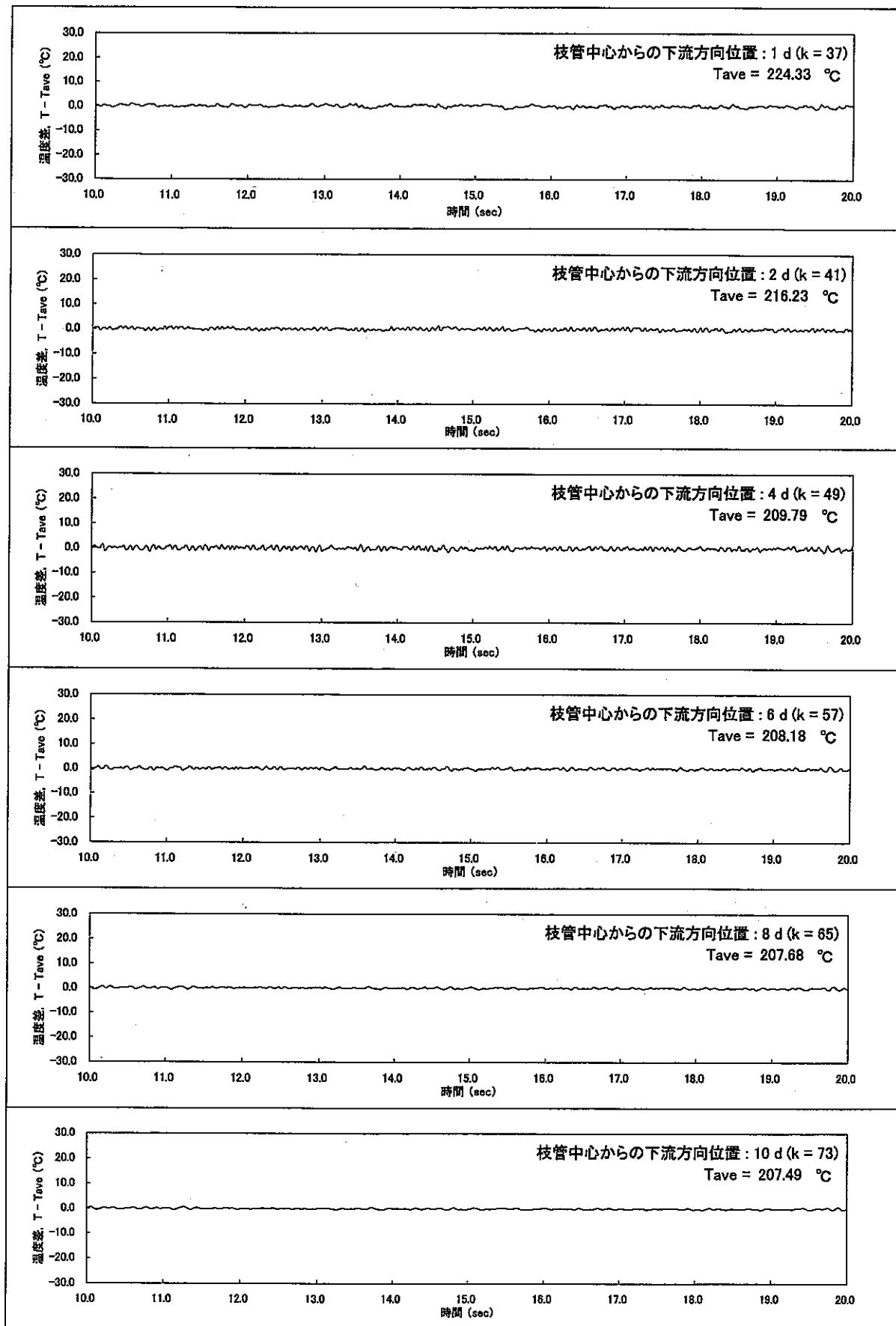


図 A.29 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-1$: $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)

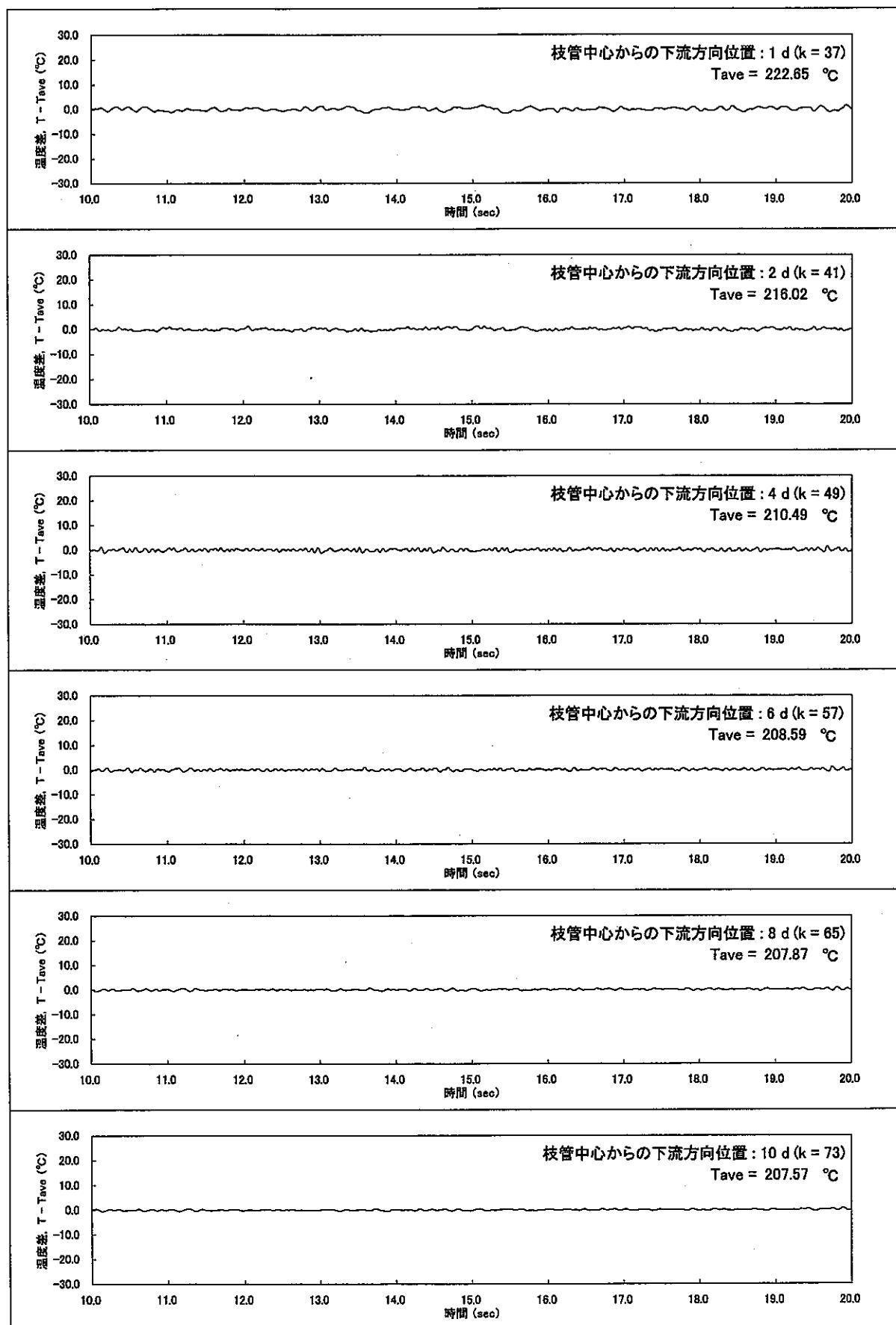


図 A.30 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-1$: $\alpha = 1.0, \beta = 0.25, \gamma = 90^\circ, Re_m = 1,407$)

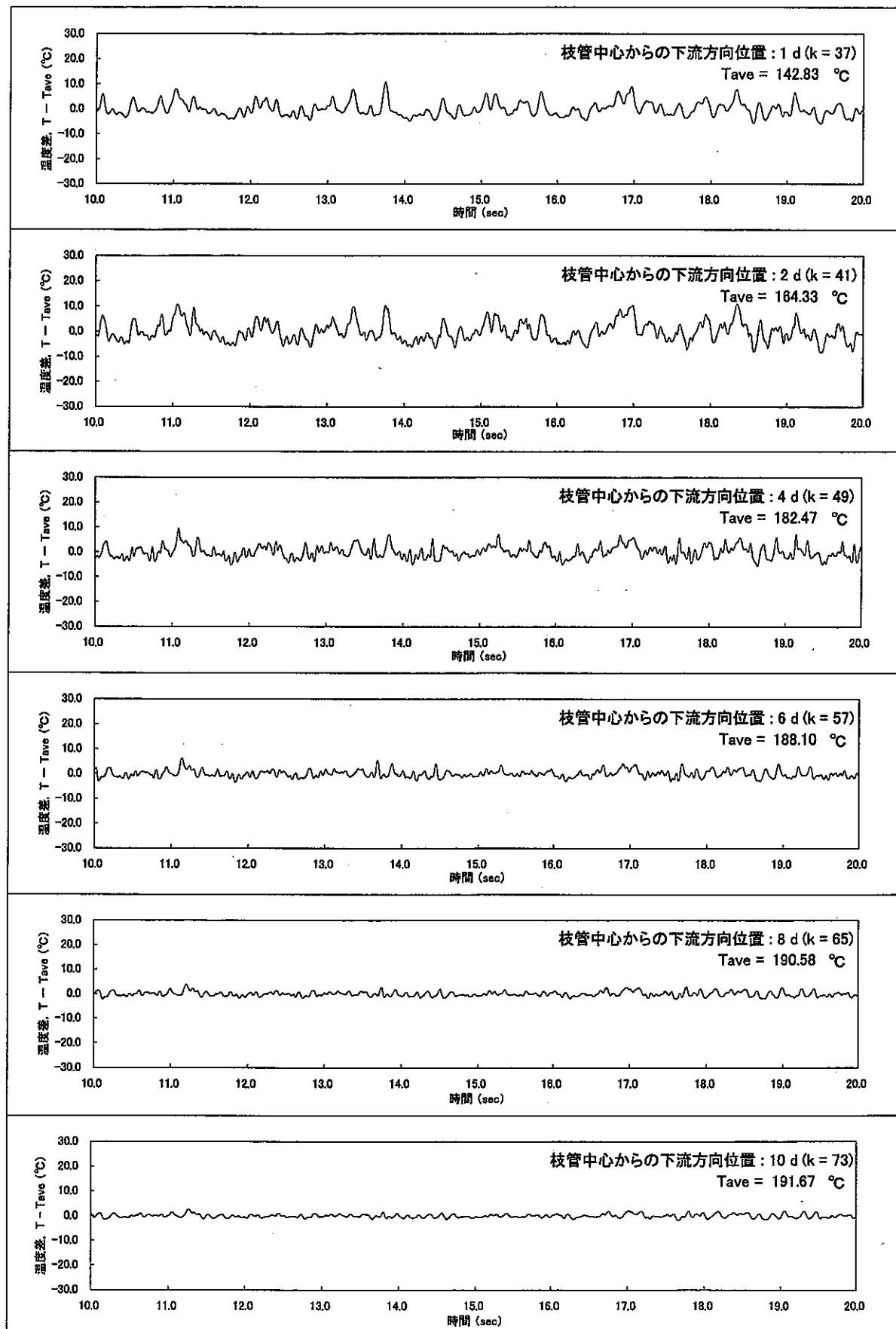


図 A.31 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 1~2 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

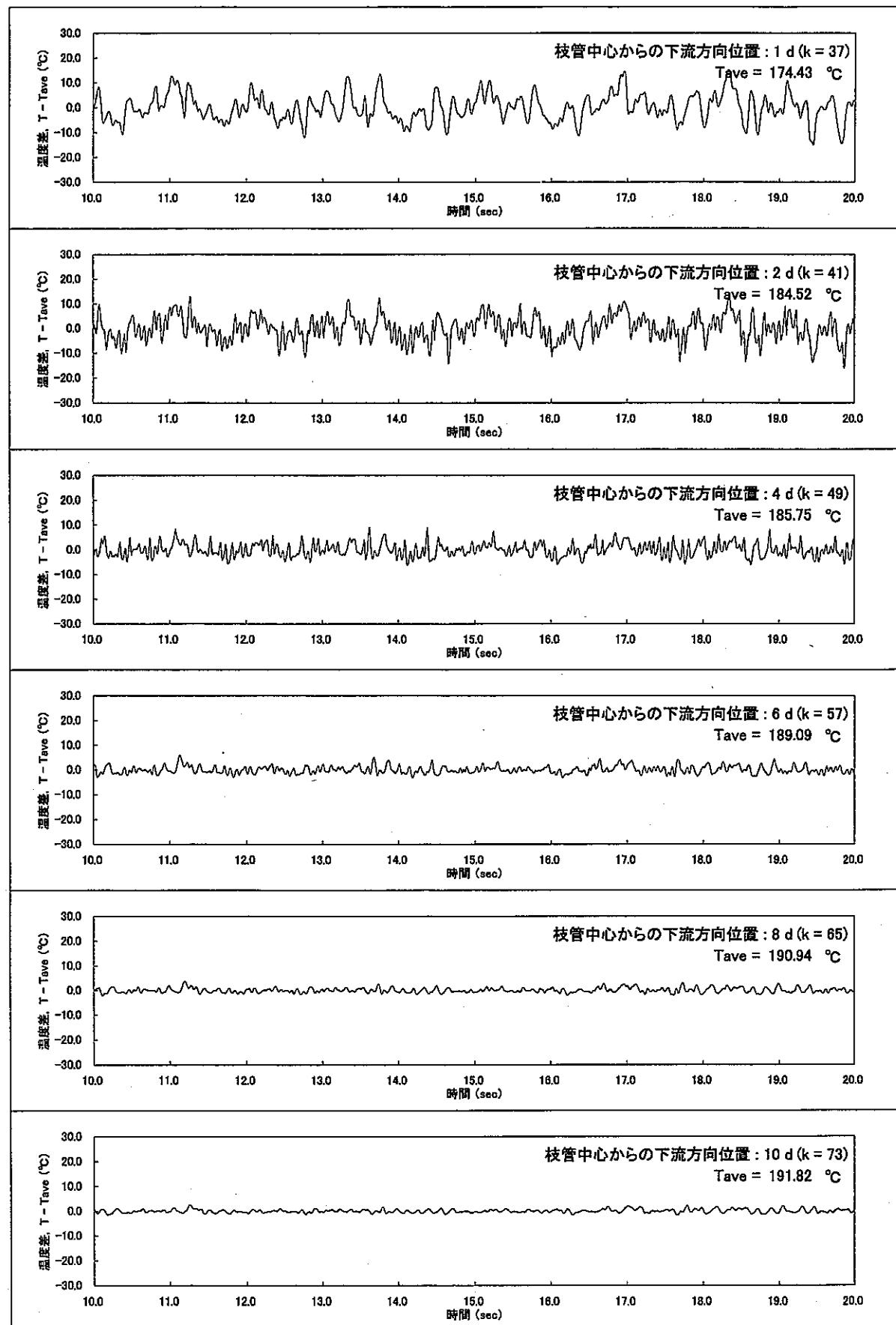


図 A.32 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β_1-2 : $\alpha' = 1.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 2,813$)

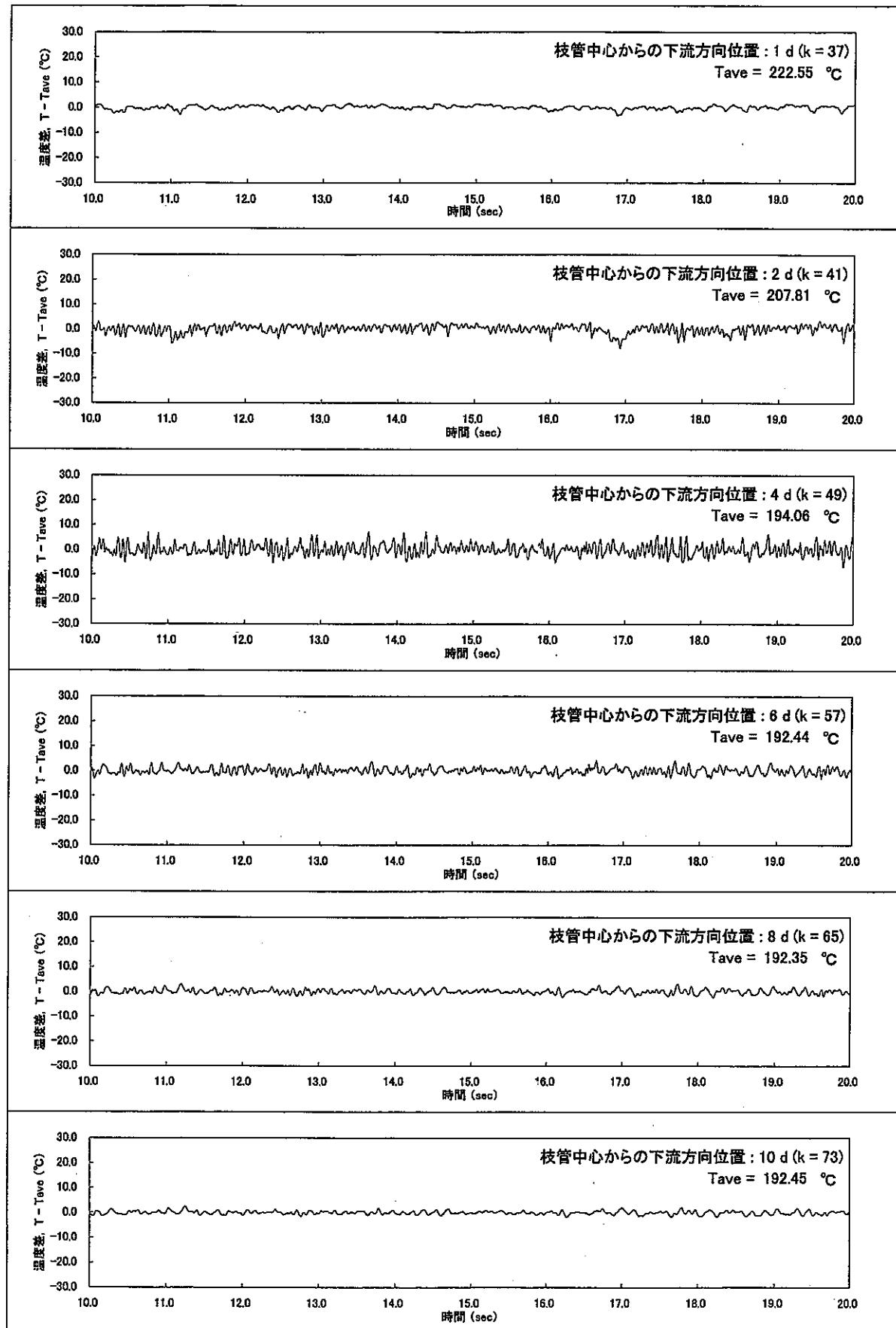


図 A.33 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-2$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 2,813$)

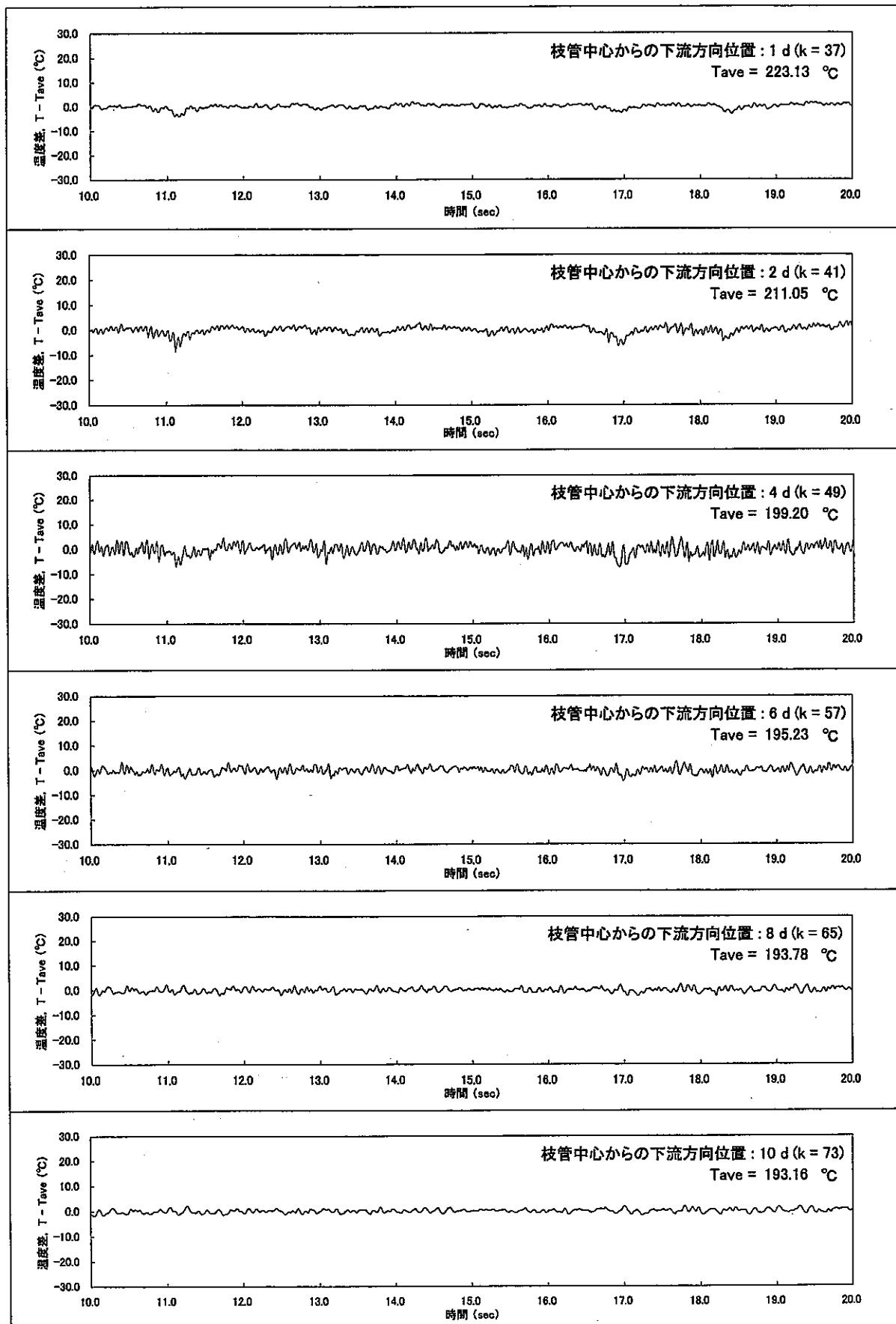


図 A.34 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β1-2 : $\alpha = 1.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 2,813$)

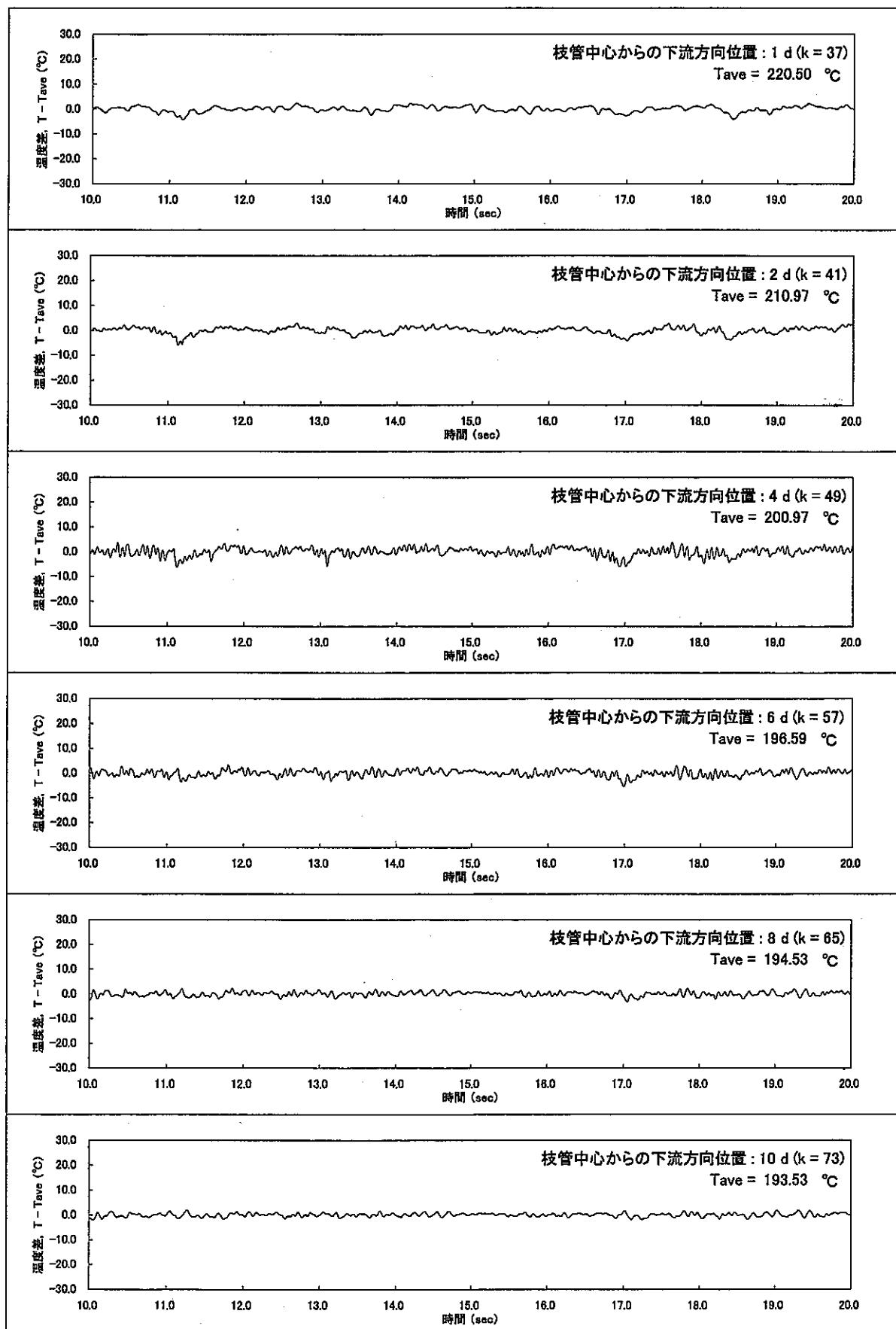


図 A.35 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β_{1-2} : $\alpha = 1.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 2,813$)

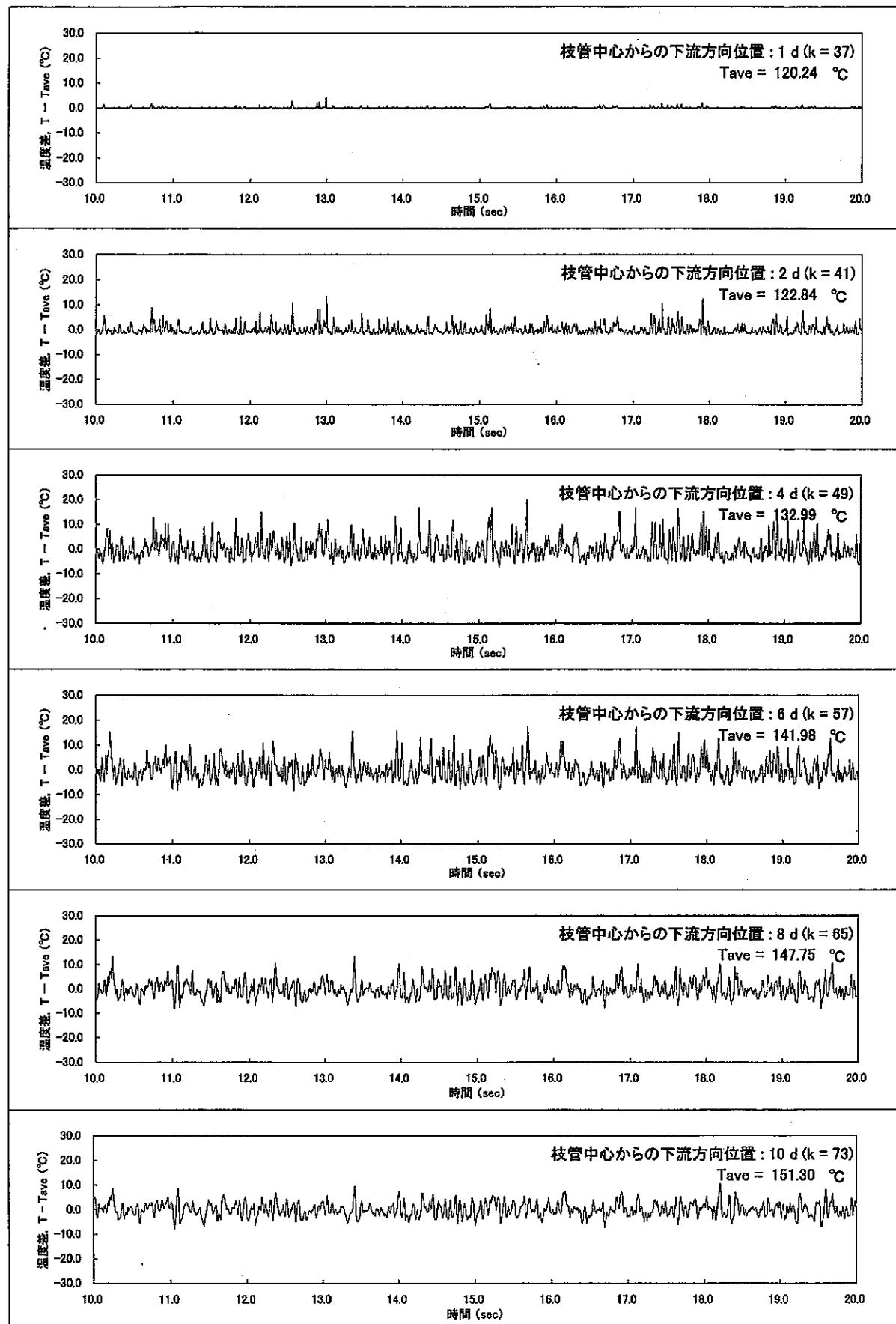


図 A.36 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 1-3 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

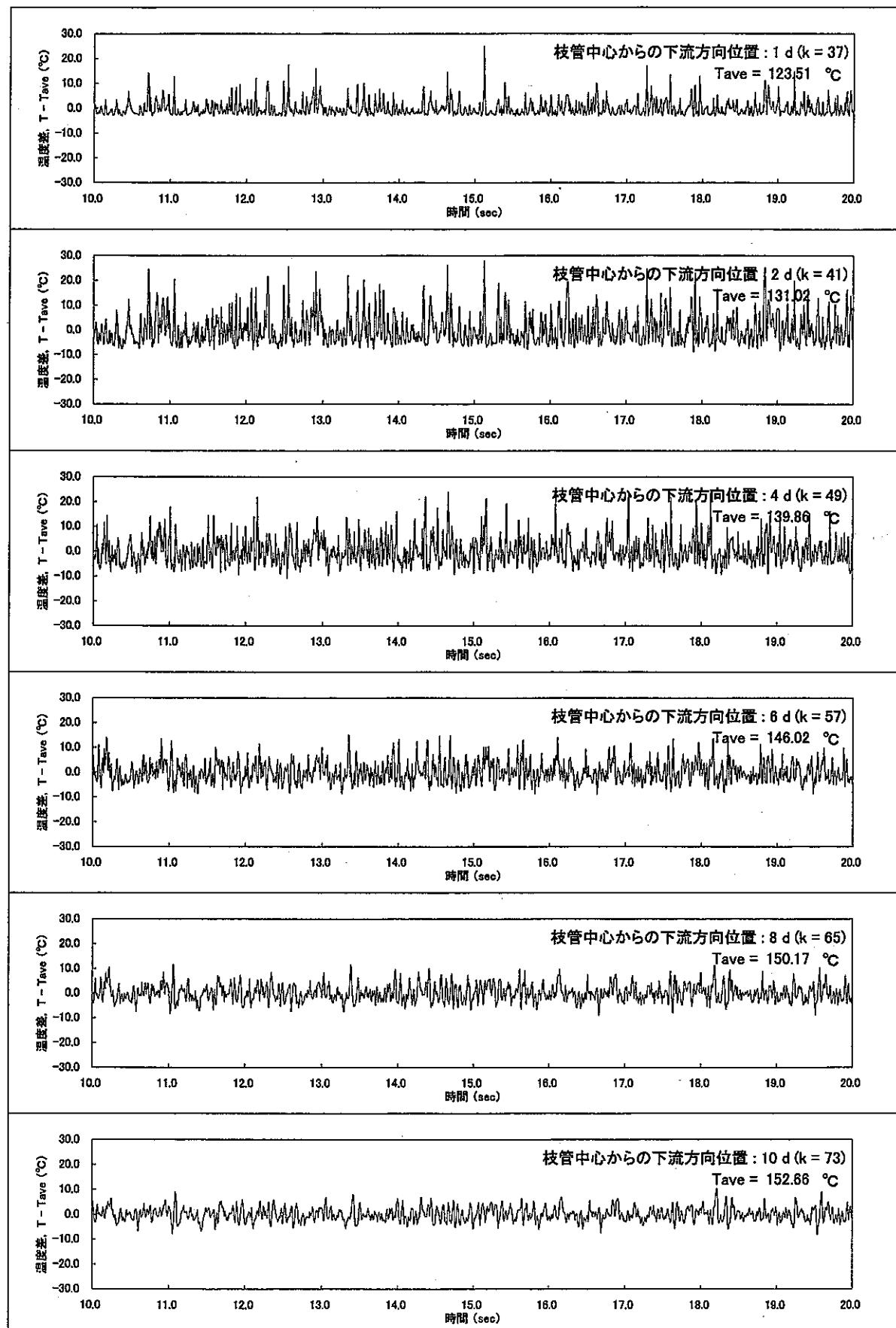


図 A.37 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-3$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

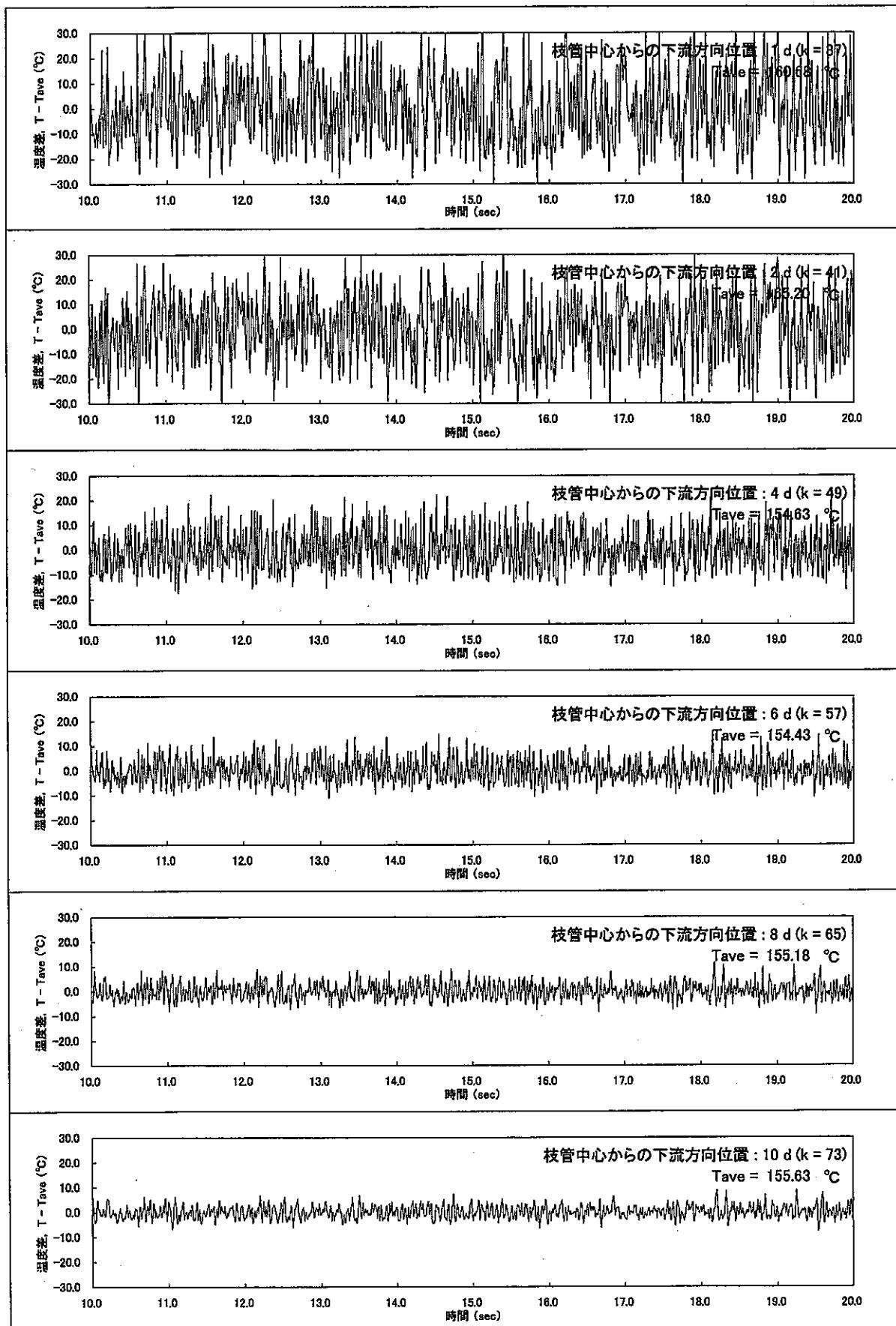


図 A.38 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 1-3 : $\alpha = 1.0$, $\beta = 2.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

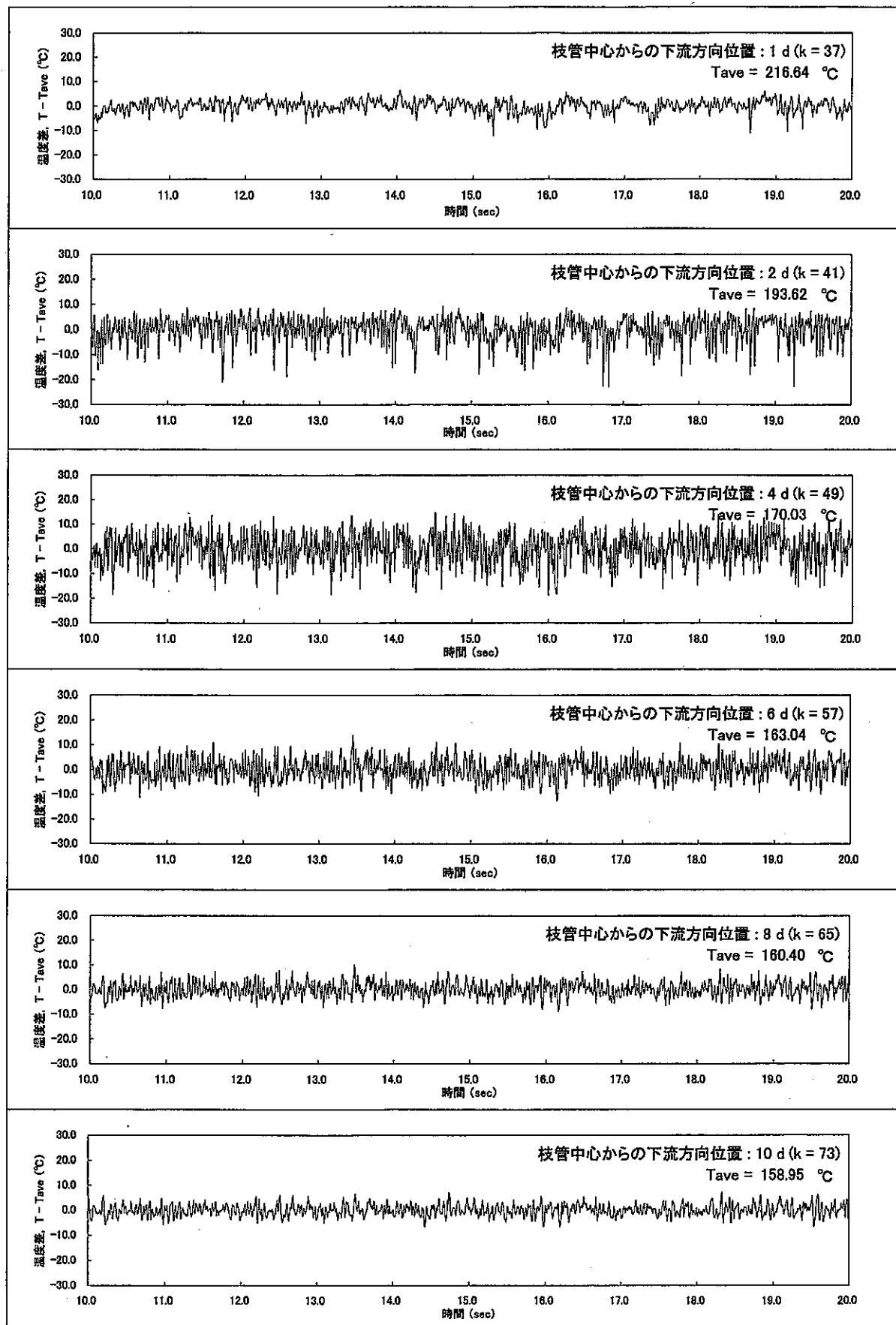


図 A.39 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-3$: $\alpha = 1.0, \beta = 2.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 11,252$)

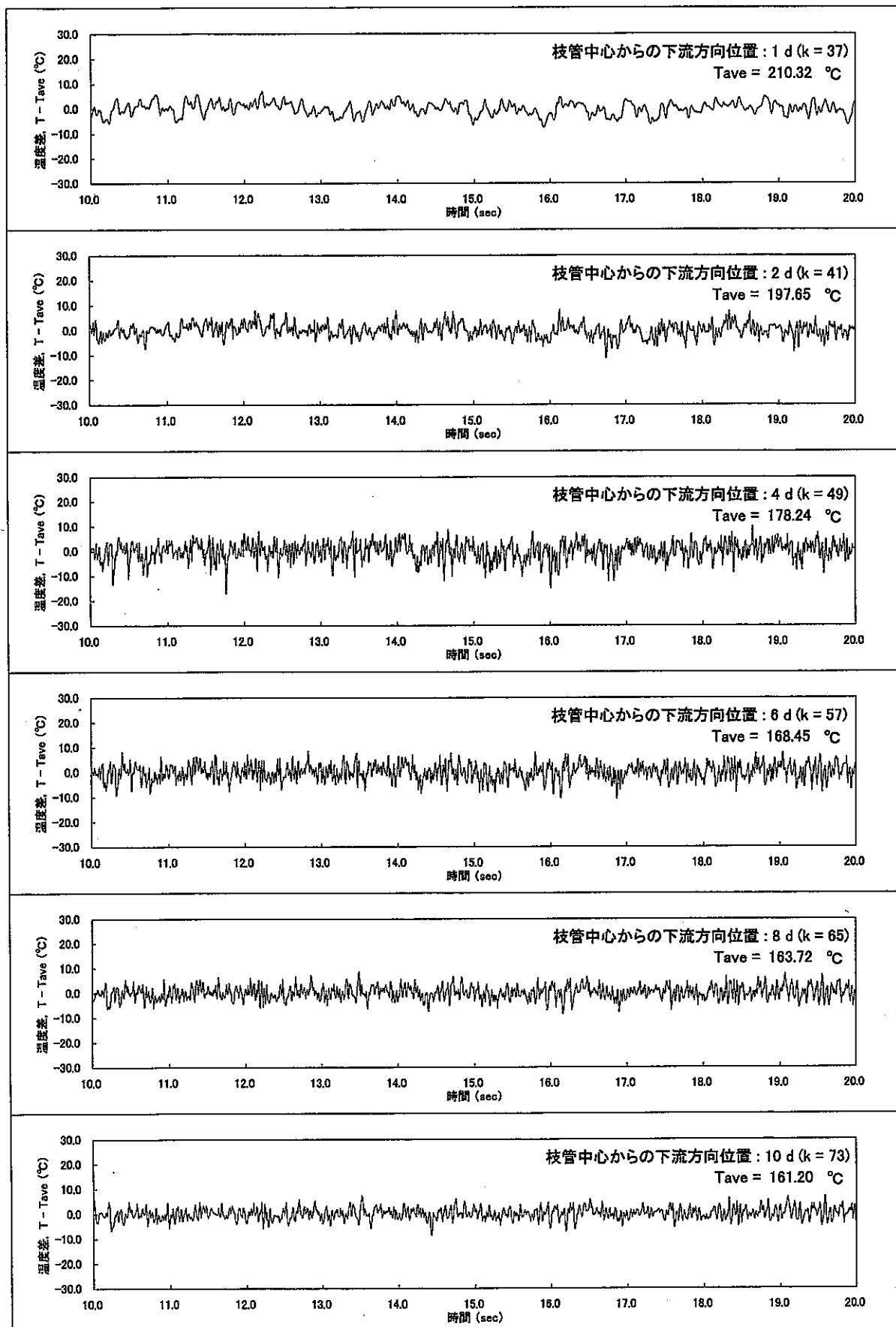


図 A.40 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 1-3 : $\alpha = 1.0, \beta = 2.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 11,252$)

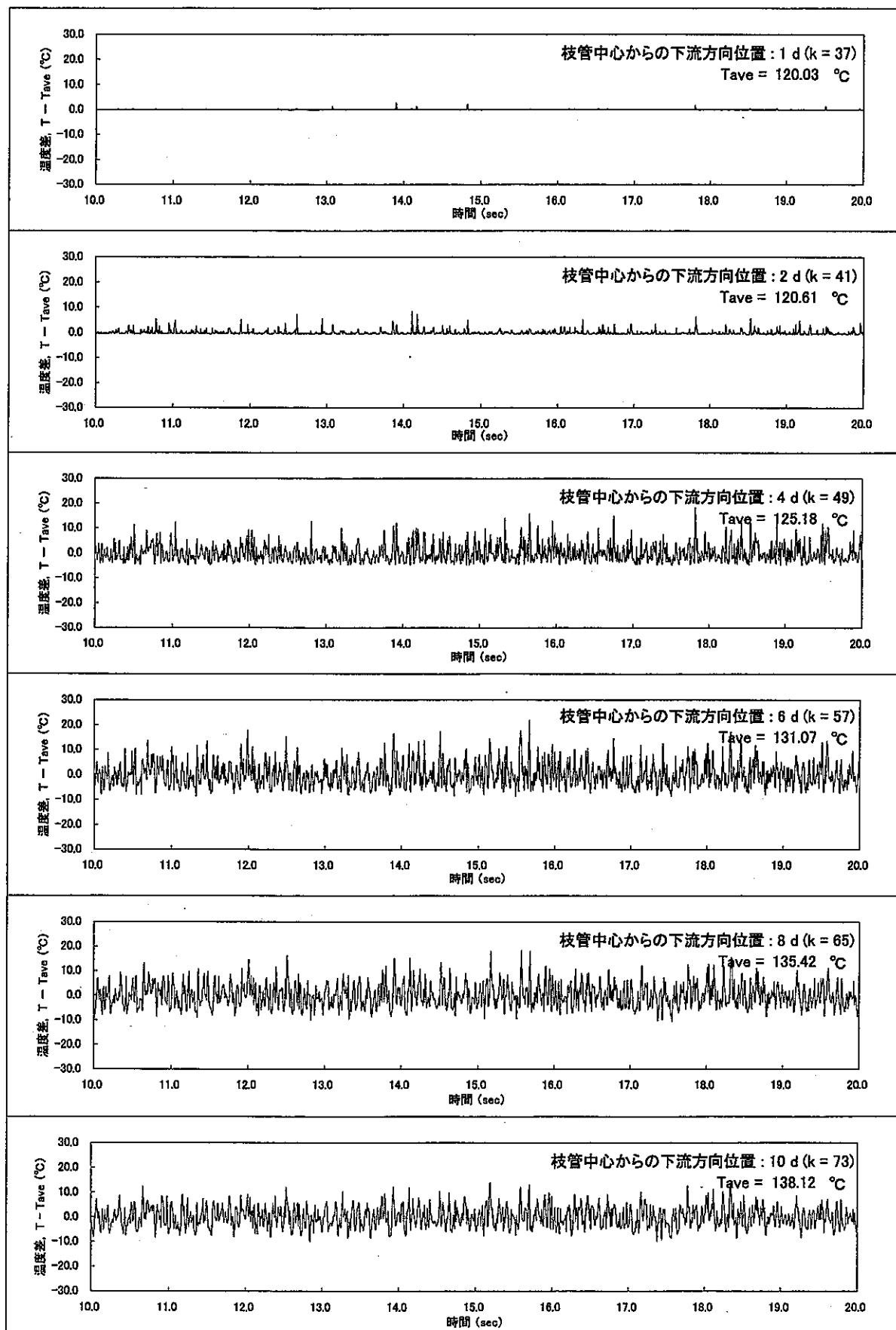


図 A.41 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 1-4: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

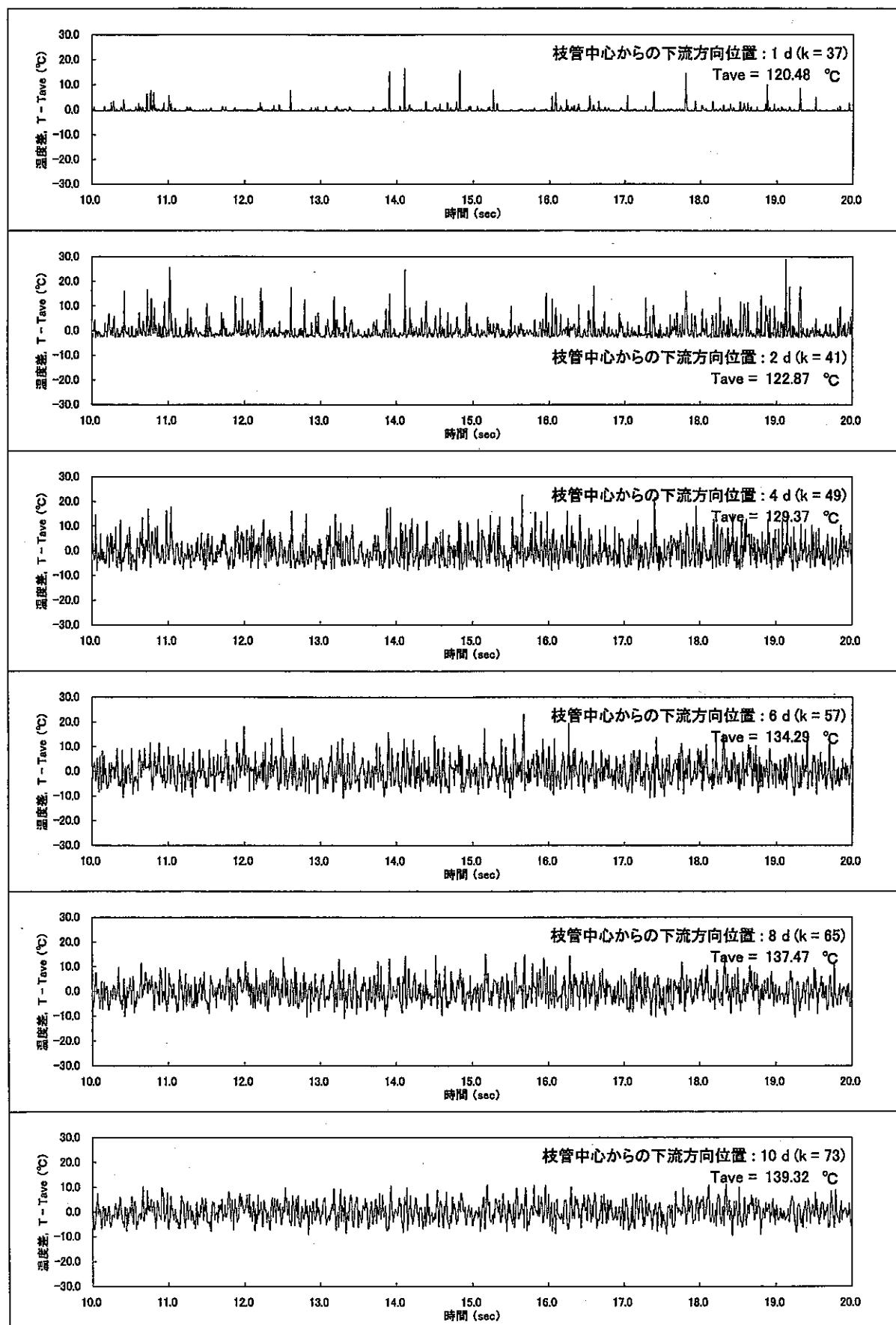


図 A.42 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case β 1-4: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

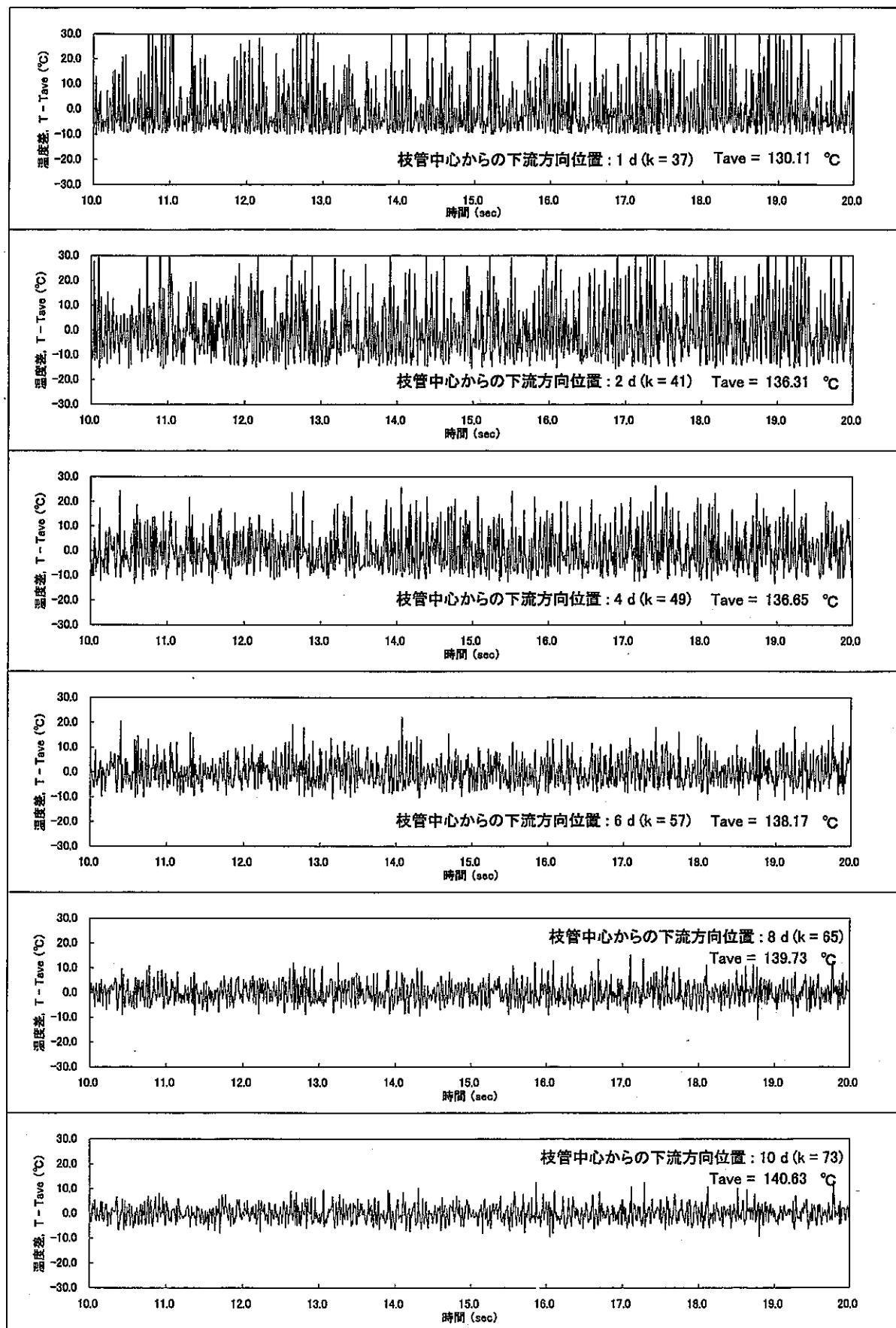


図 A.43 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

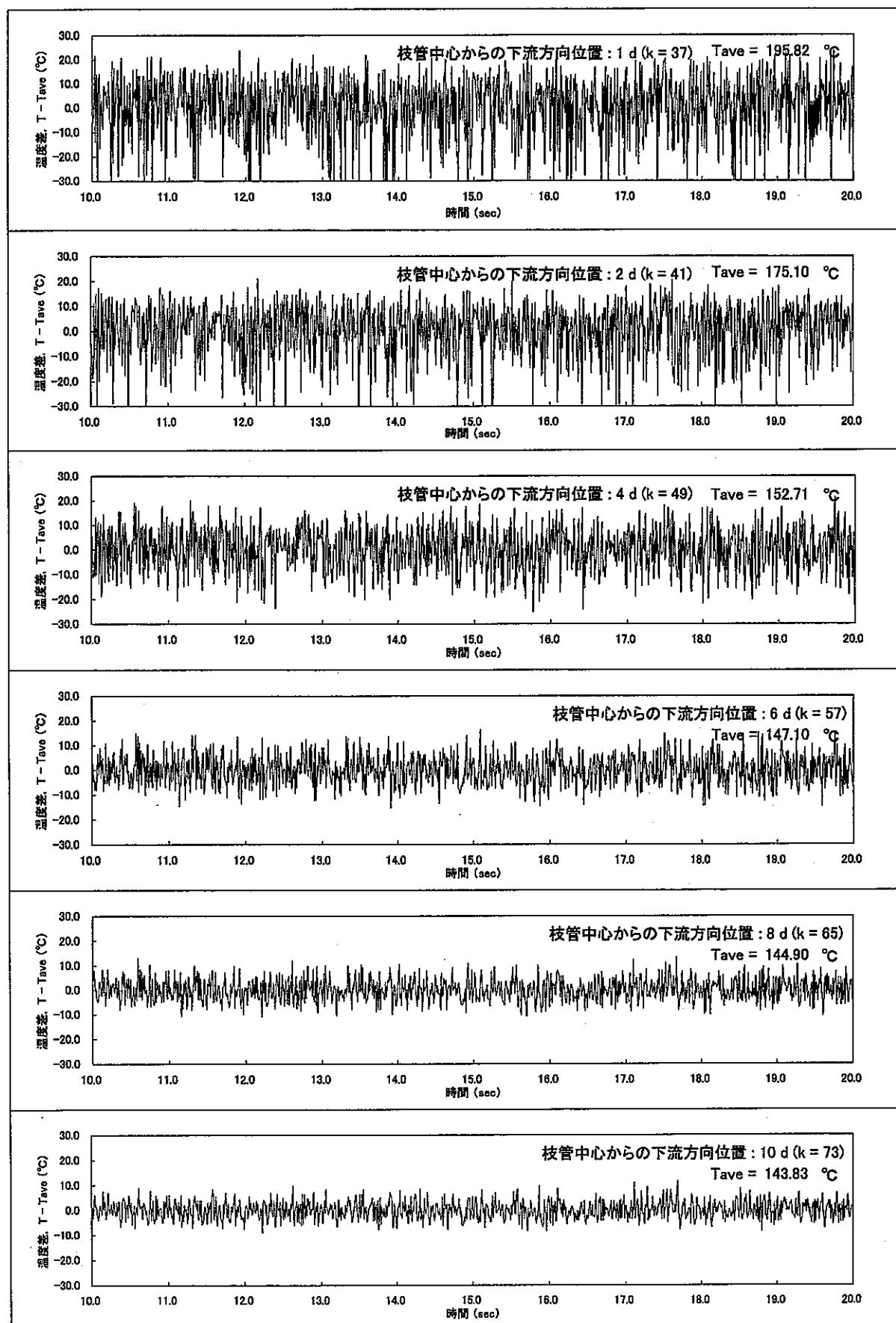


図 A.44 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

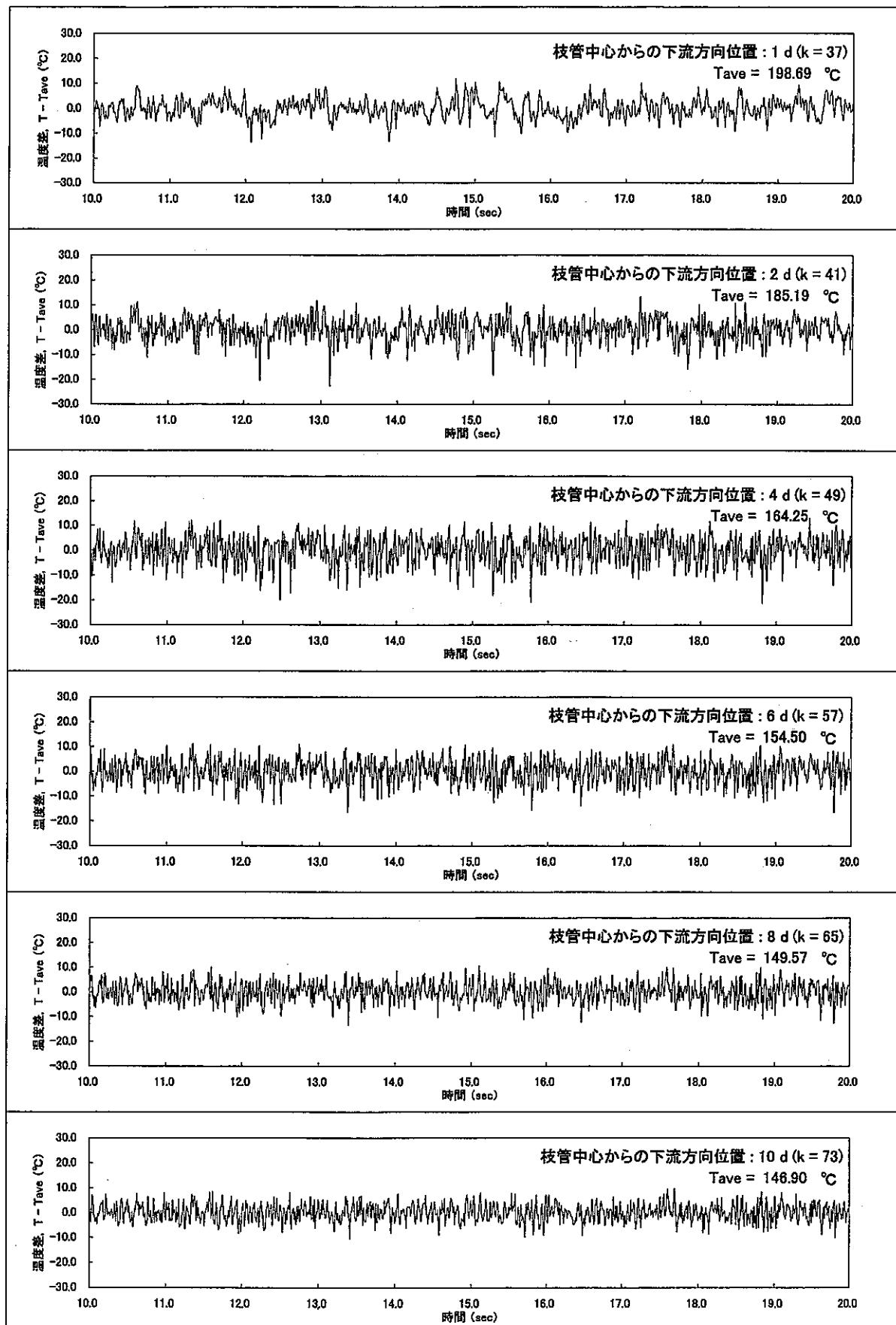


図 A.45 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 1-4$: $\alpha = 1.0$, $\beta = 4.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 22,504$)

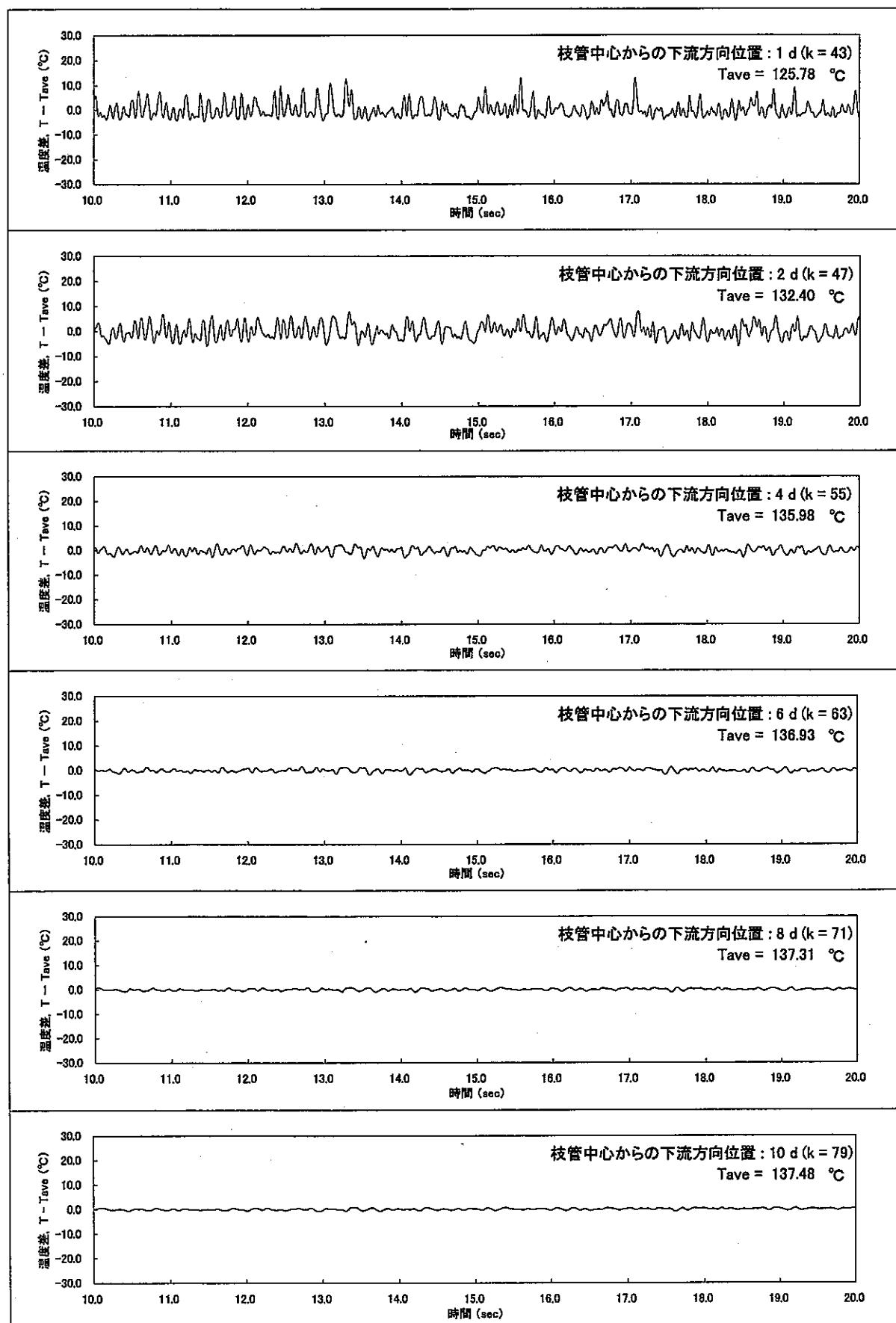


図 A.46 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-1: $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

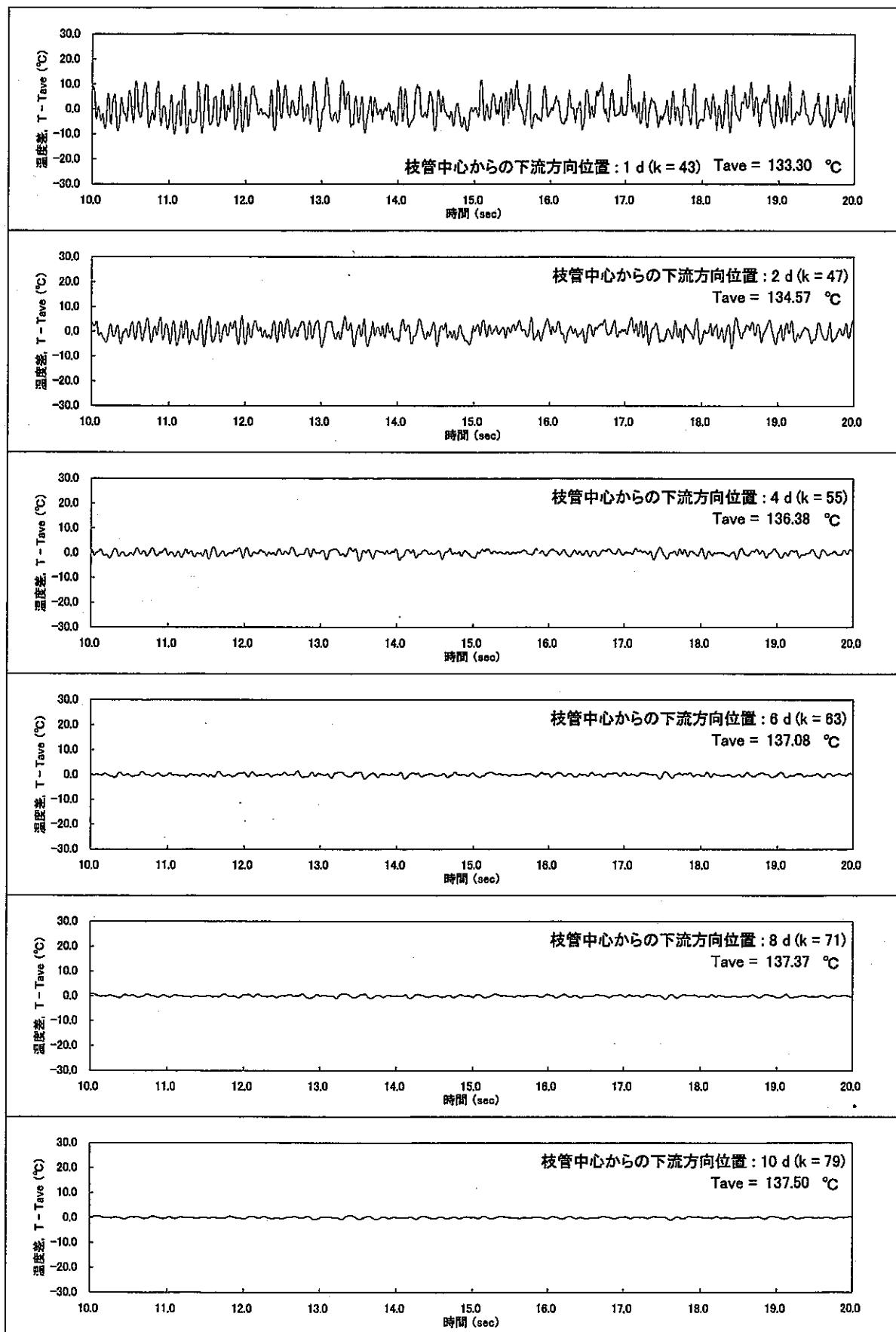


図 A.47 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 5,626$)

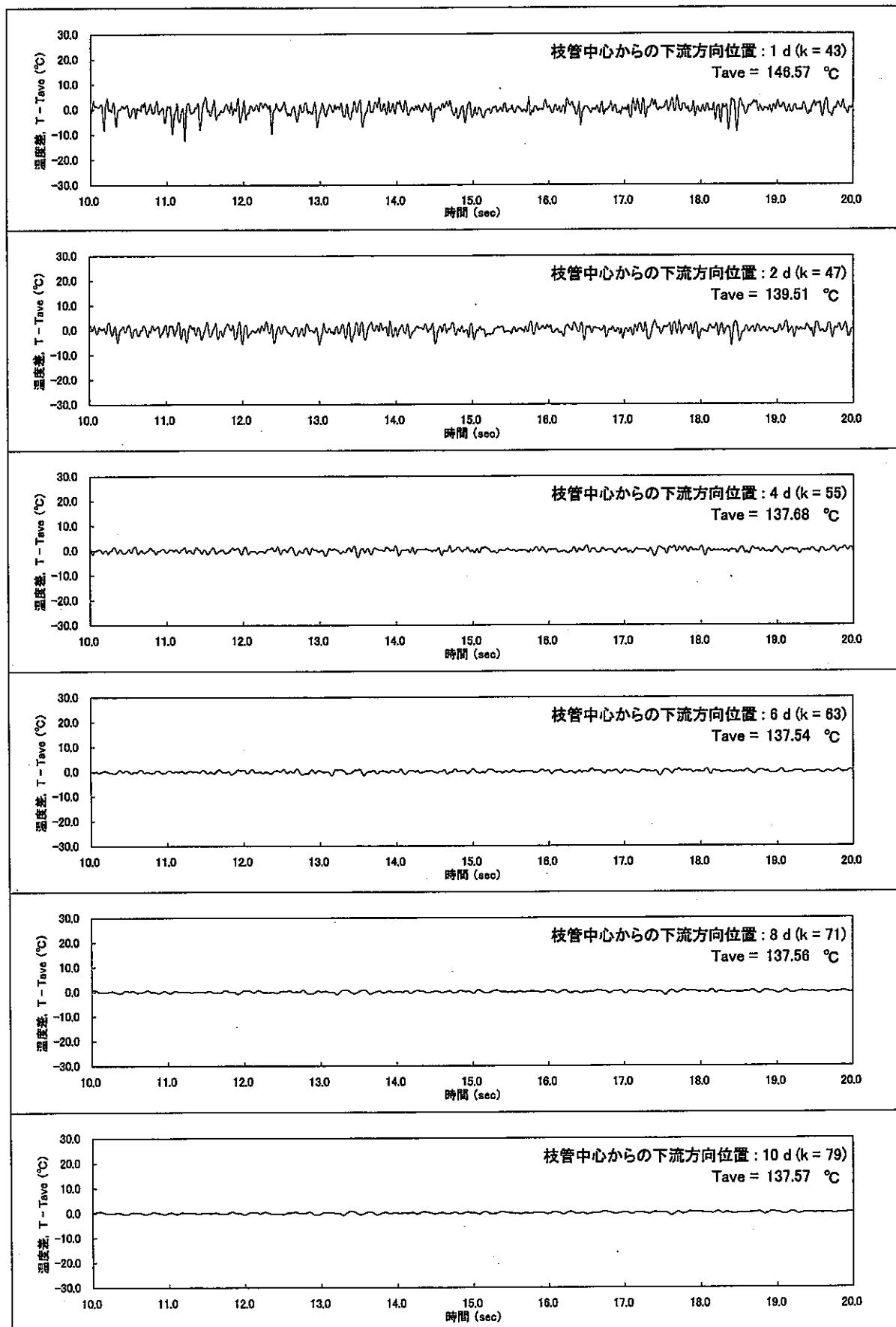


図 A.48 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
 (Case $\beta_2 \sim 1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^{\circ}$, $Re_m = 5,626$)

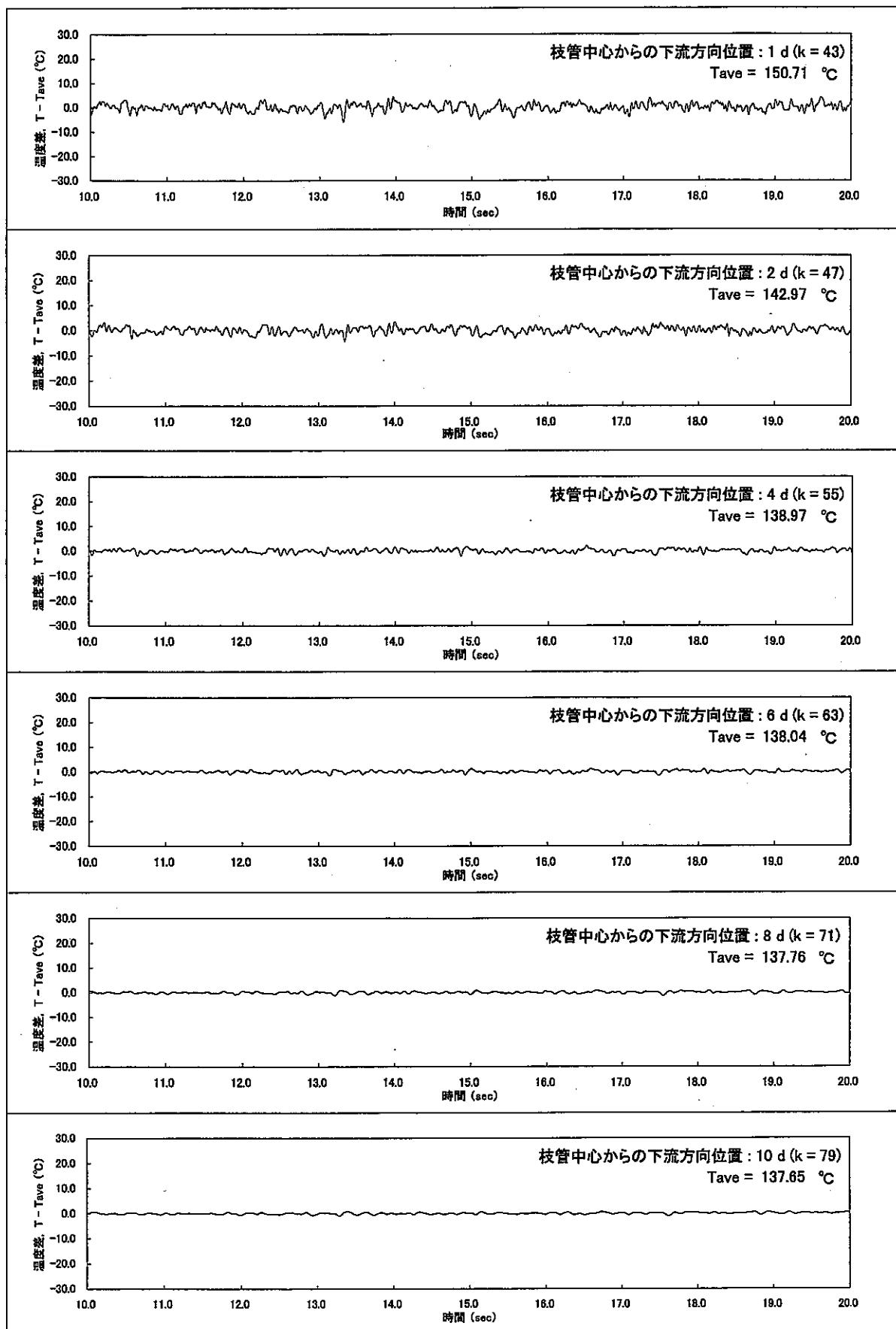


図 A.49 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta = 2-1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 0.5$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

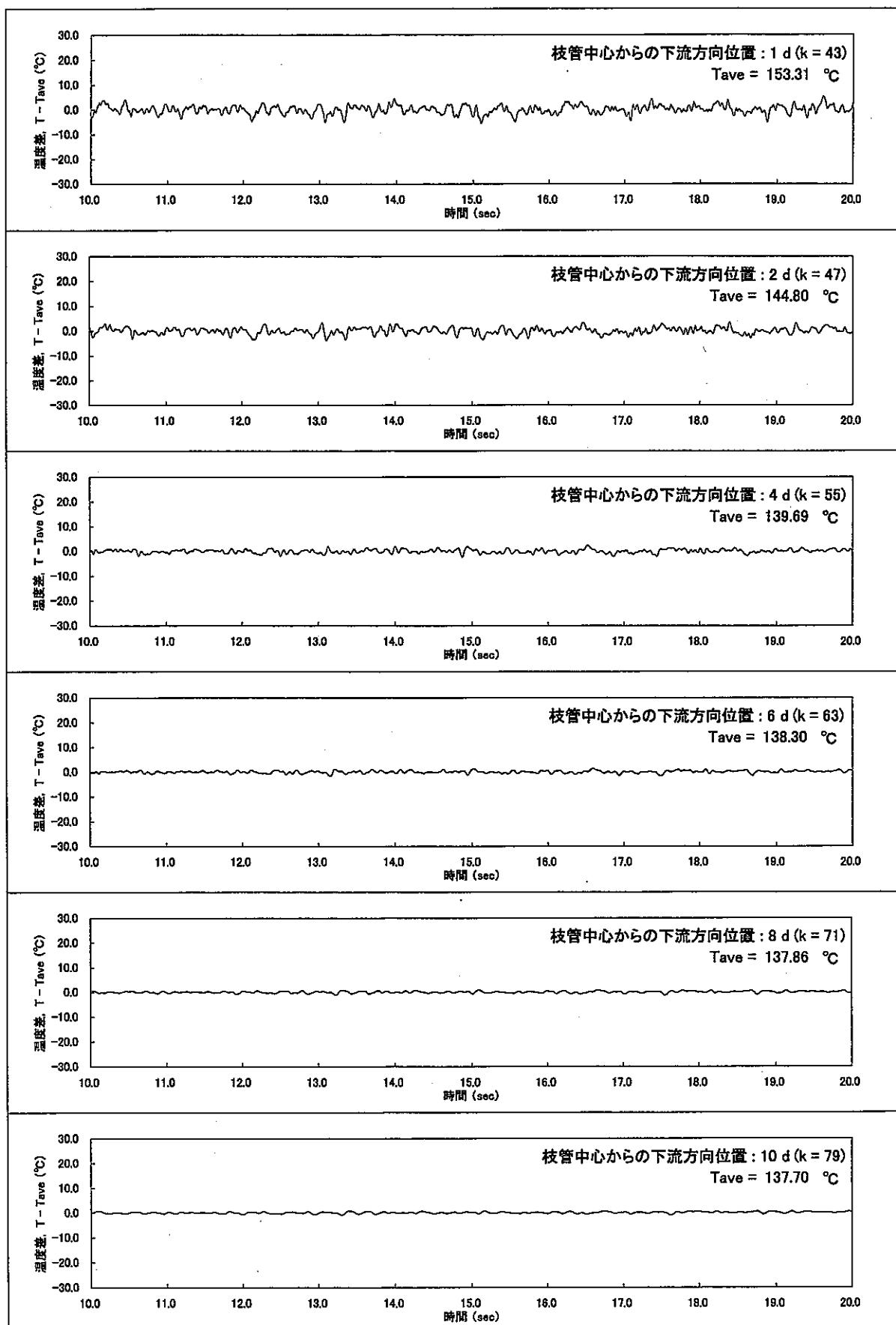


図 A.50 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 0.5, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

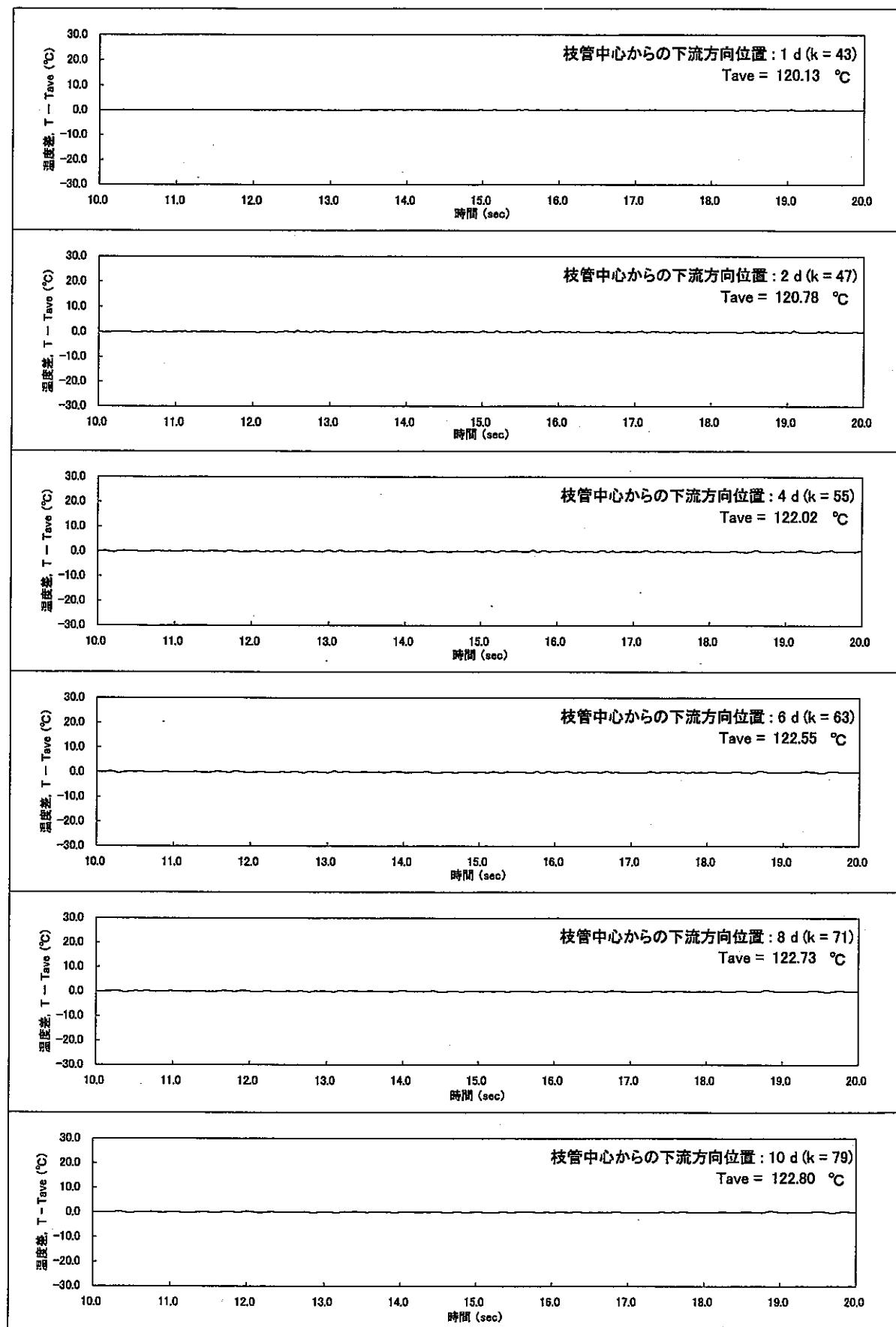


図 A.51 主配管天井面 ($j = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

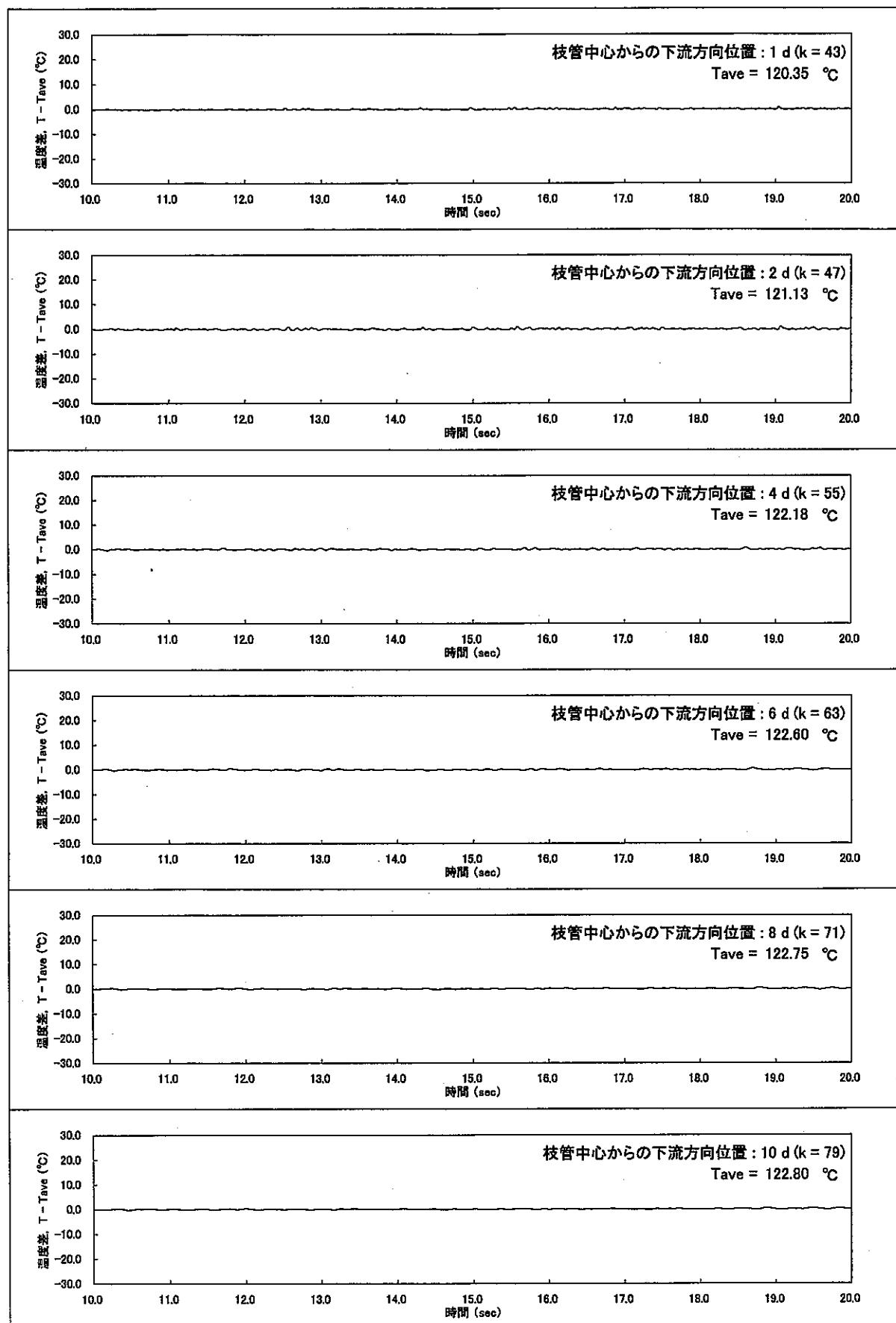


図 A.52 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β2-2: $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

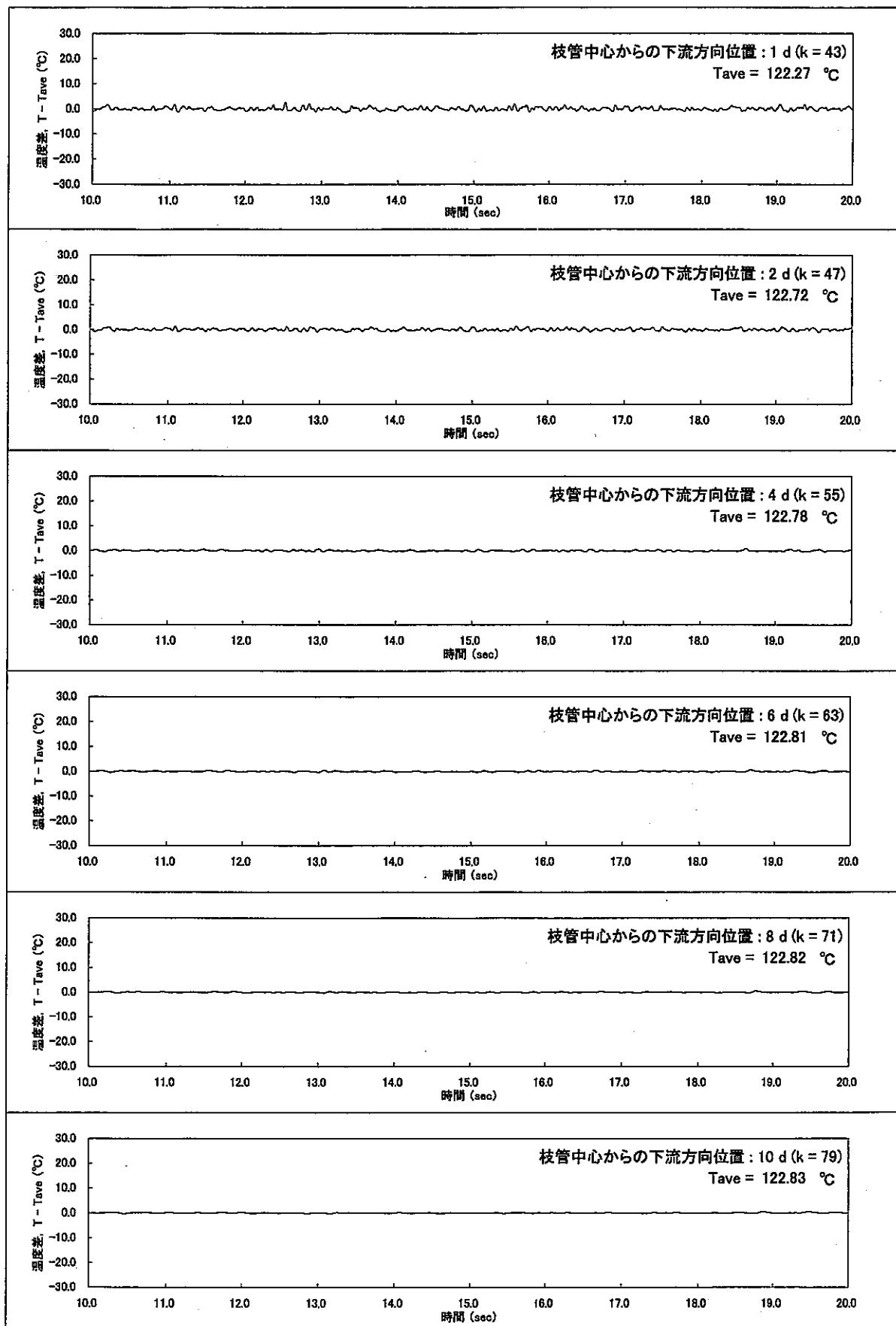


図 A.53 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 2~2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

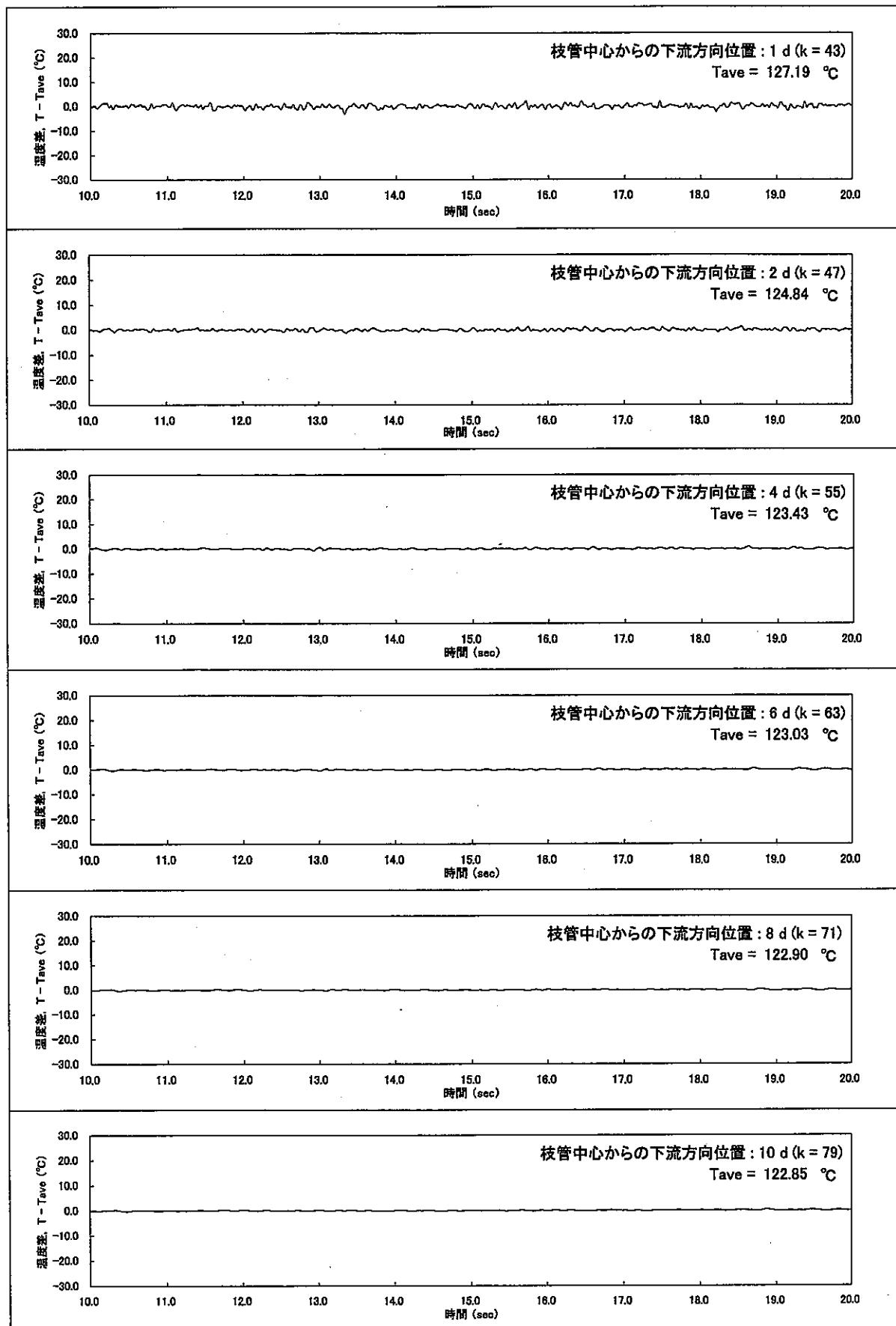


図 A.54 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta = 2-2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 5.0$, $\gamma = 90^{\circ}$, $Re_m = 5,626$)

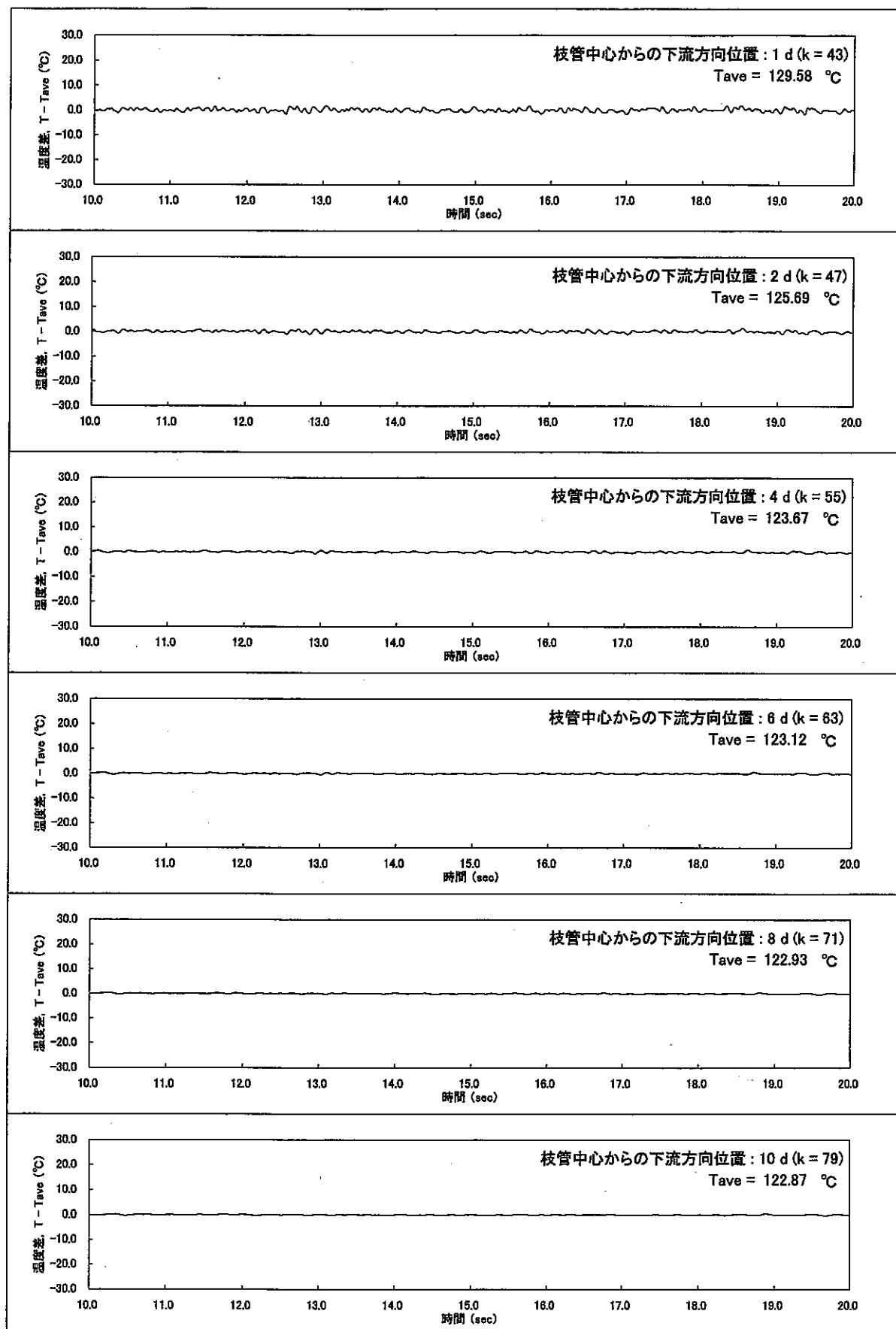


図 A.55 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 2-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 5.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

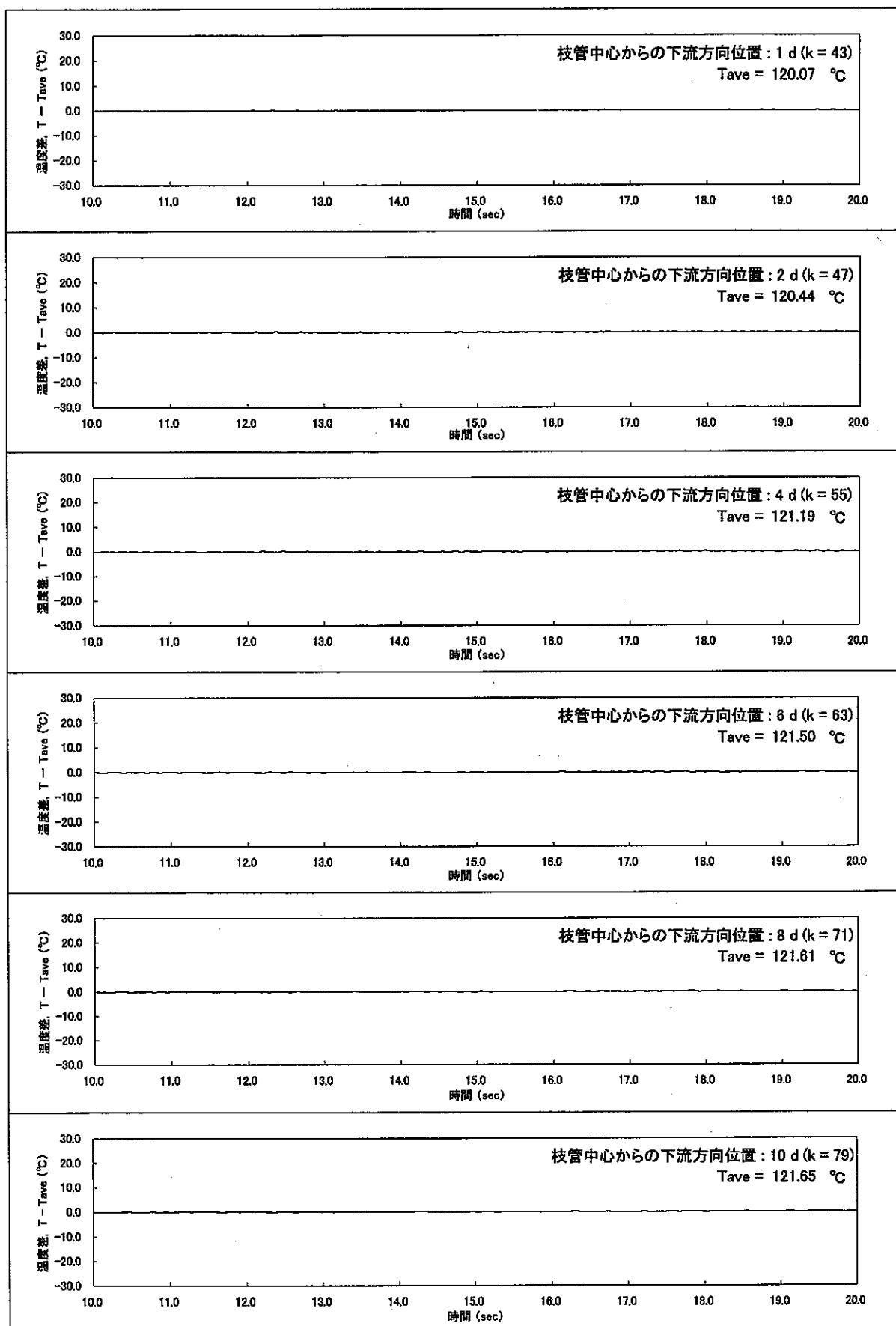


図 A.56 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\beta 2-3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

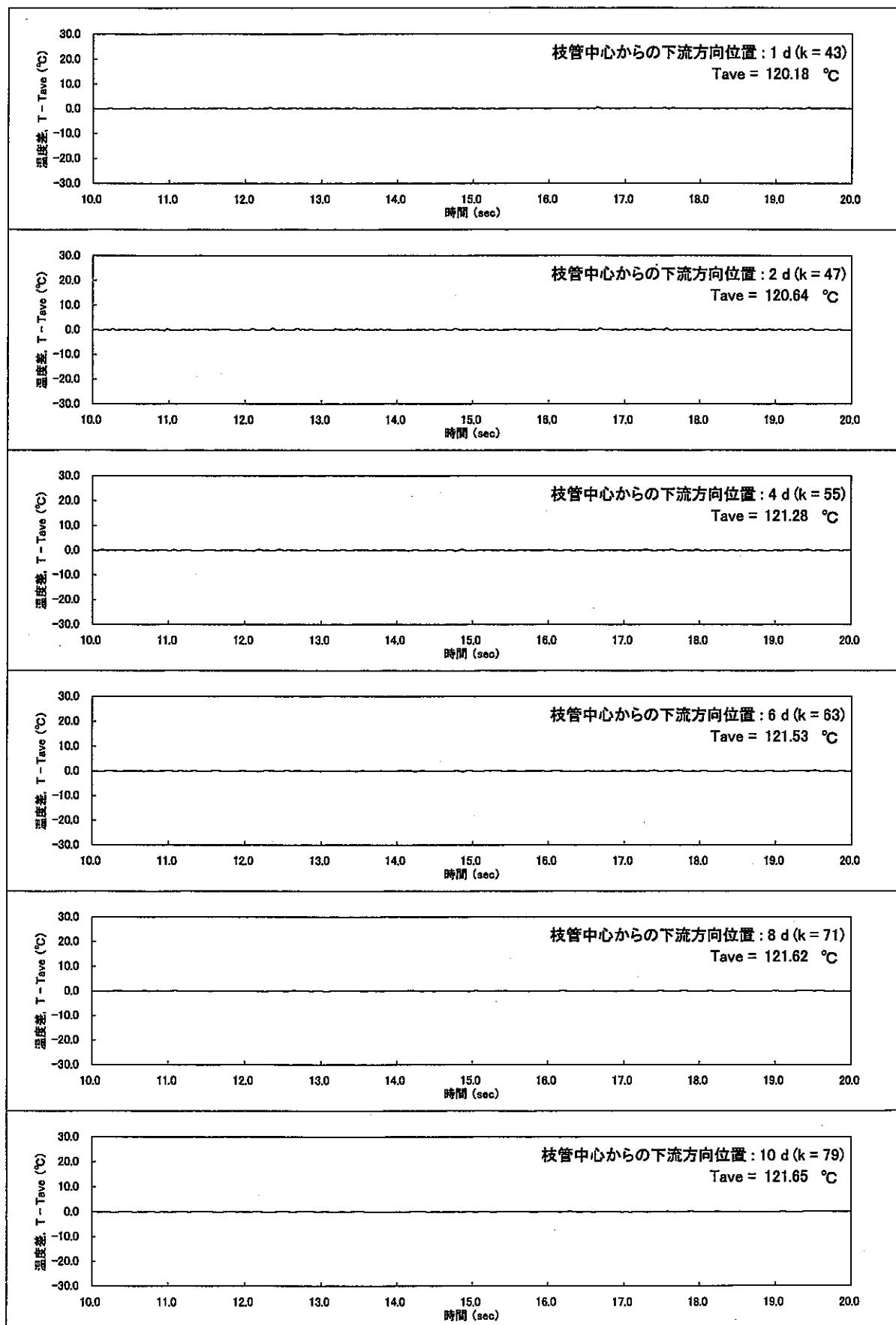


図 A.57 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 2-3 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 10.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 5,626$)

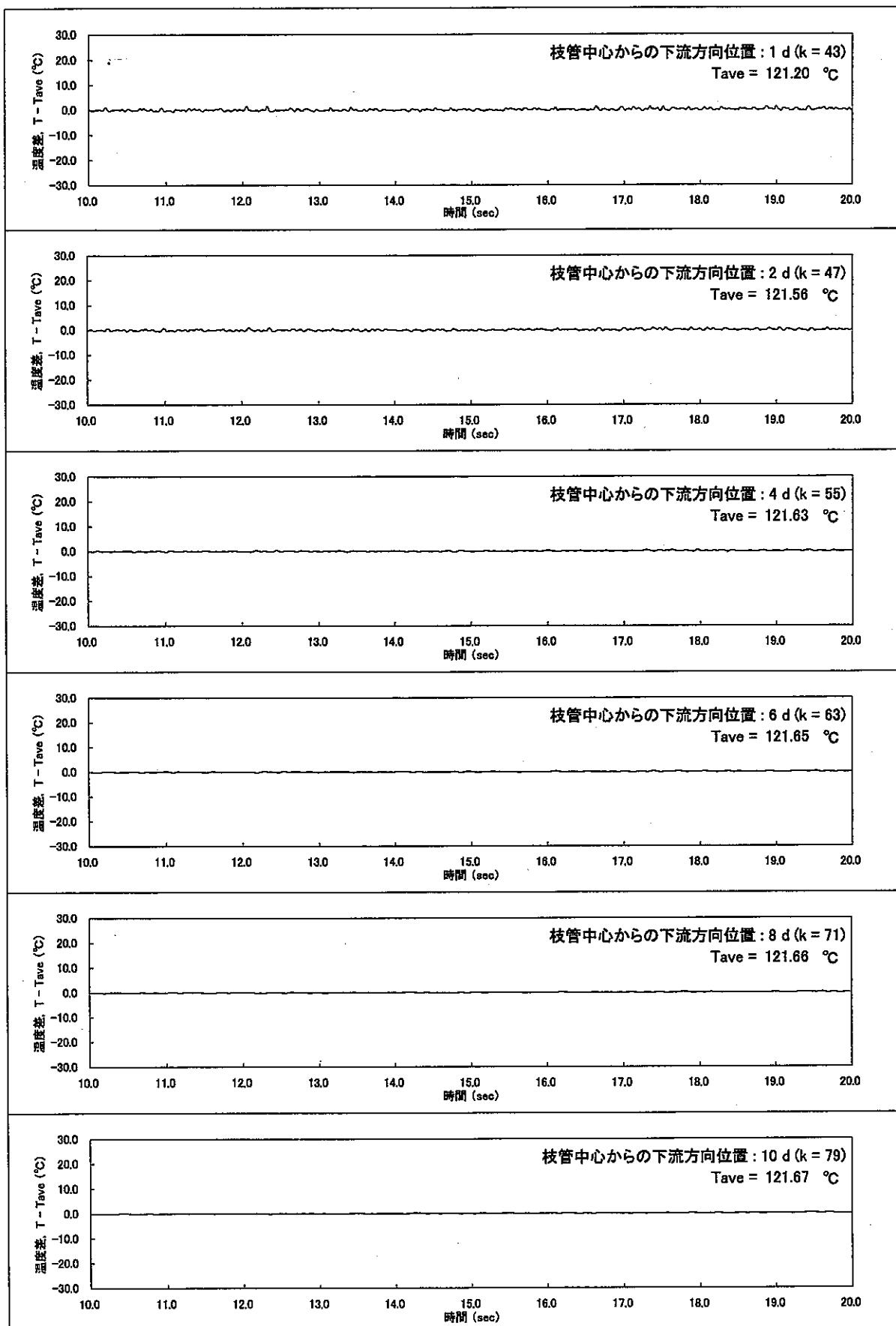


図 A.58 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 2-3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

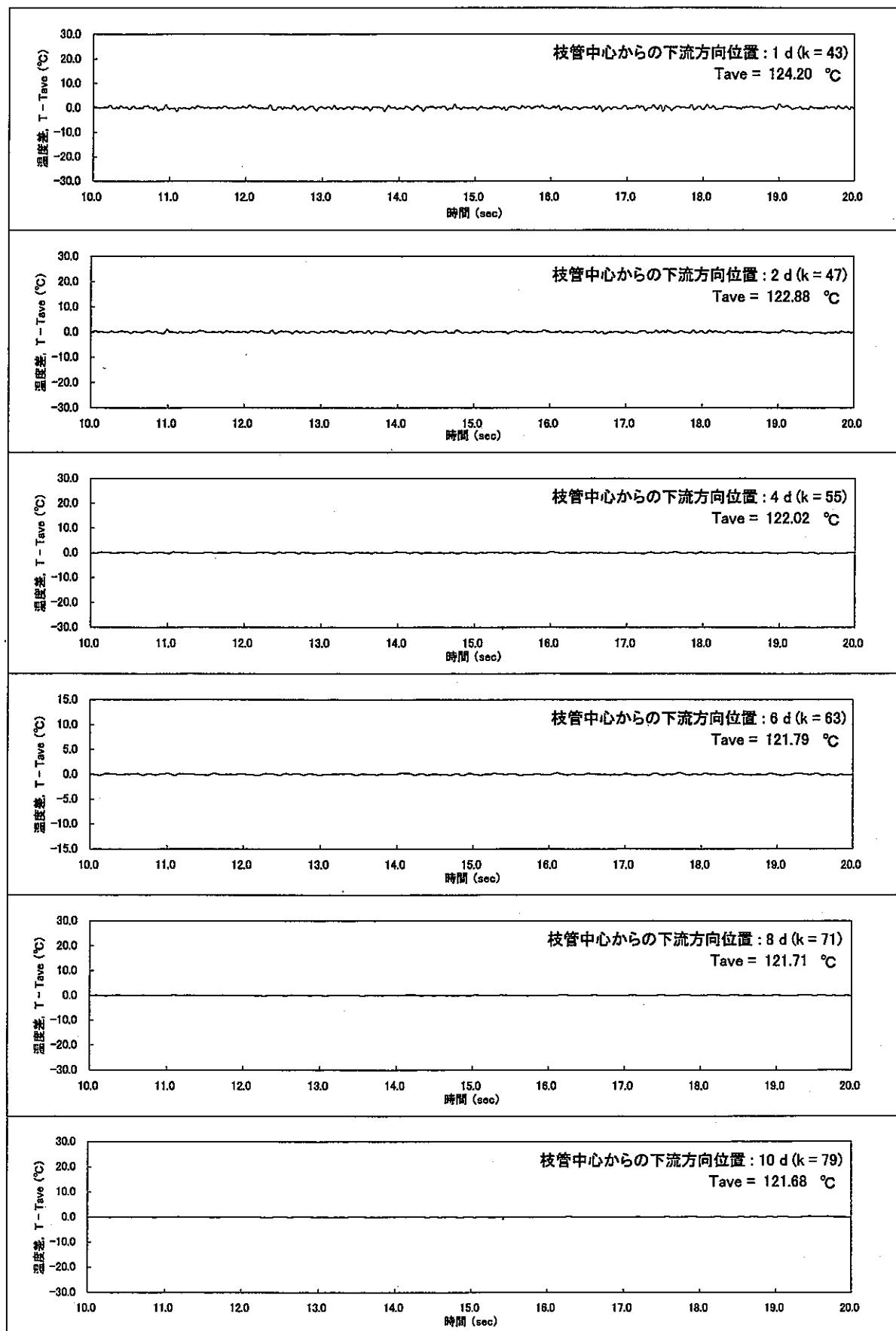


図 A.59 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 2-3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

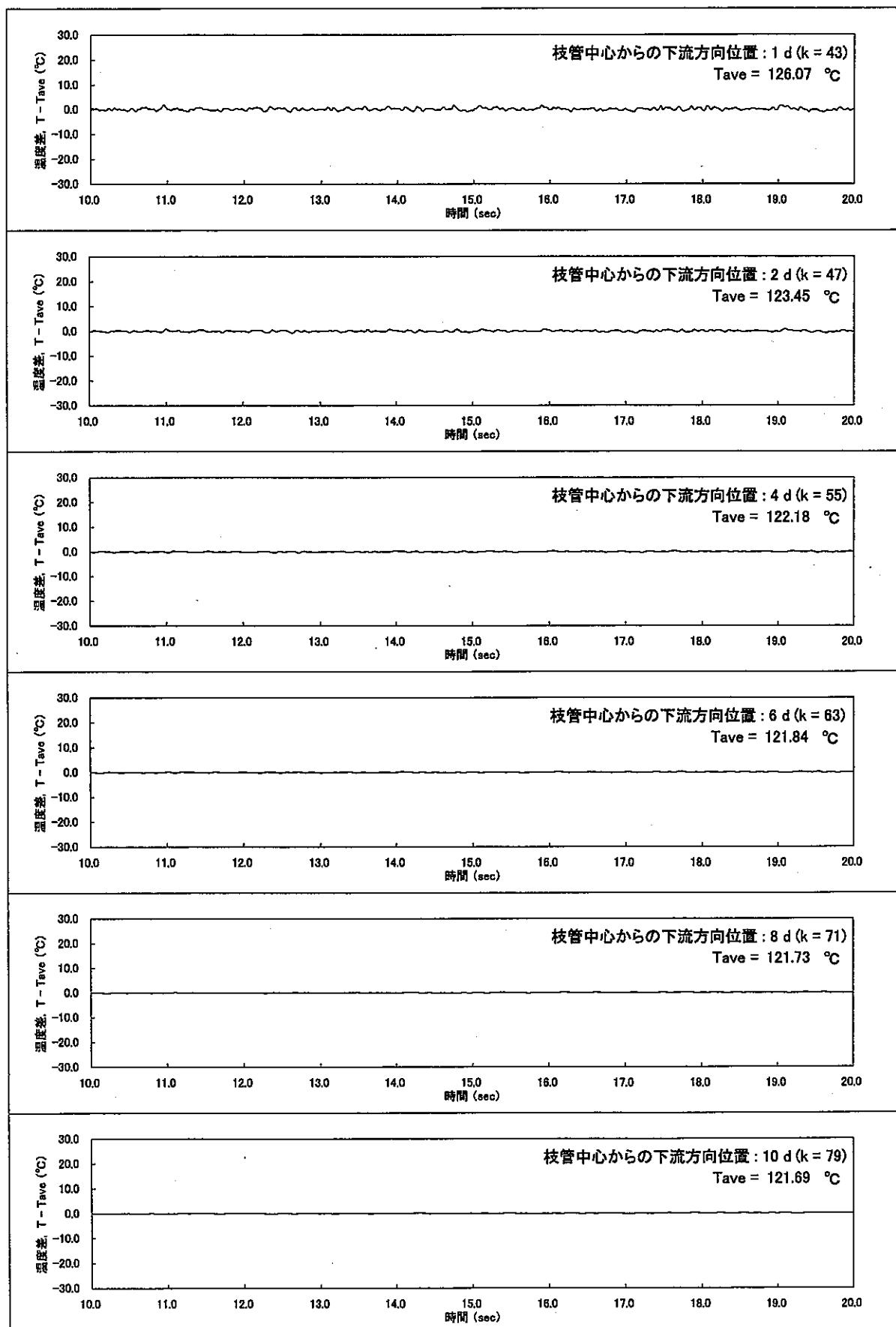


図 A.60 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case β 2~3 : $\alpha = 3.0, \beta = 10.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 5,626$)

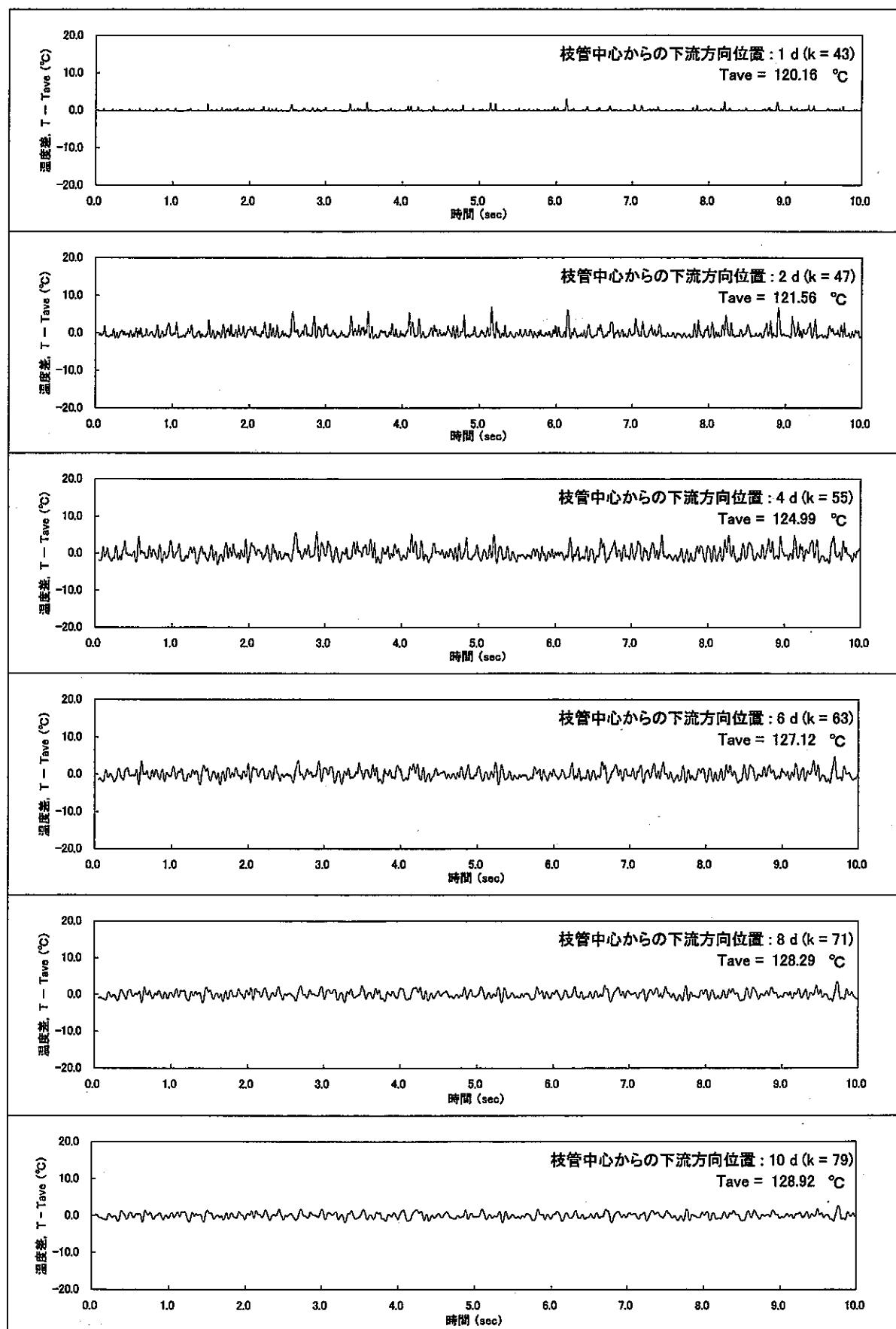


図 A.61 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 1$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 11,252$)

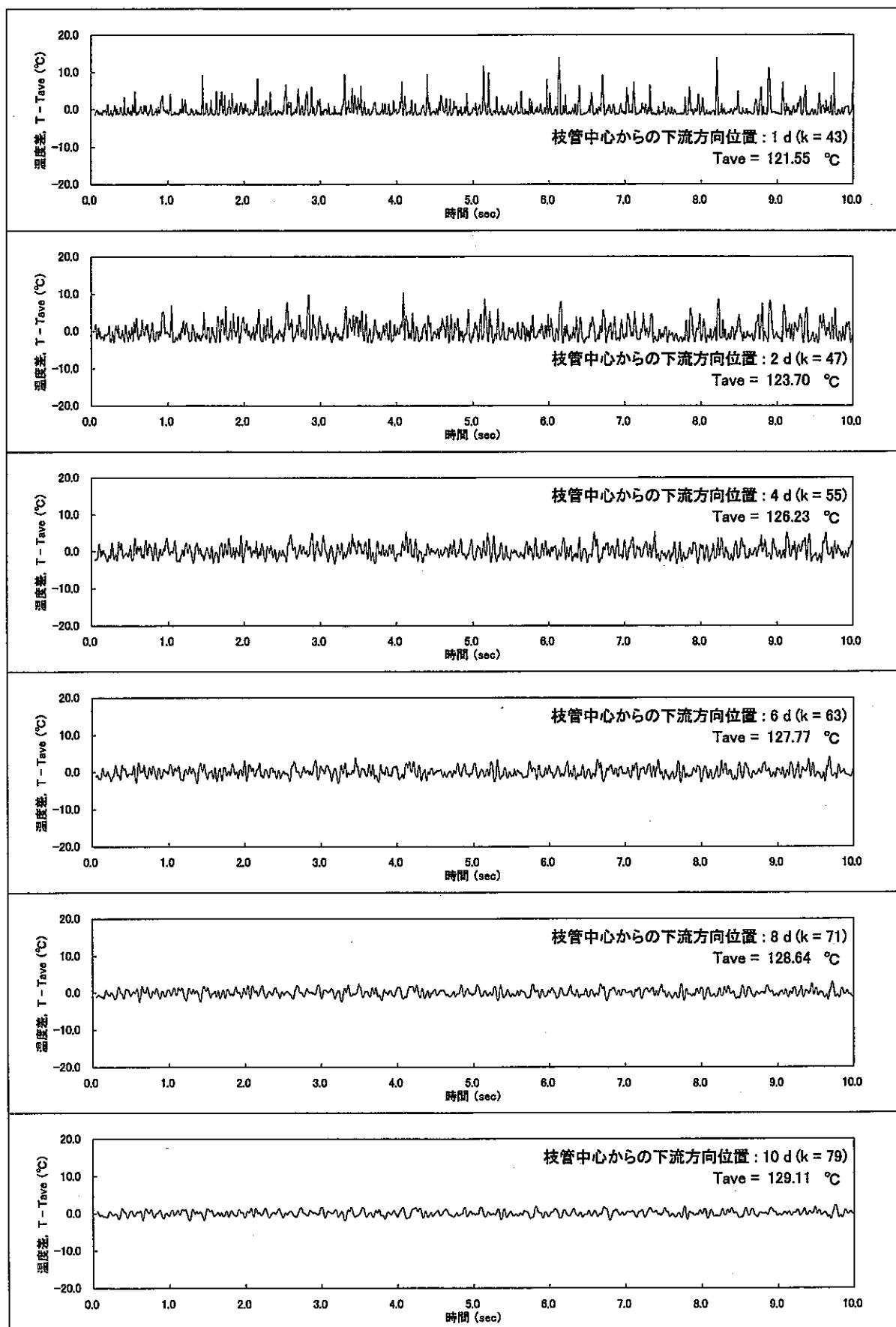


図 A.62 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma-1$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 11,252$)

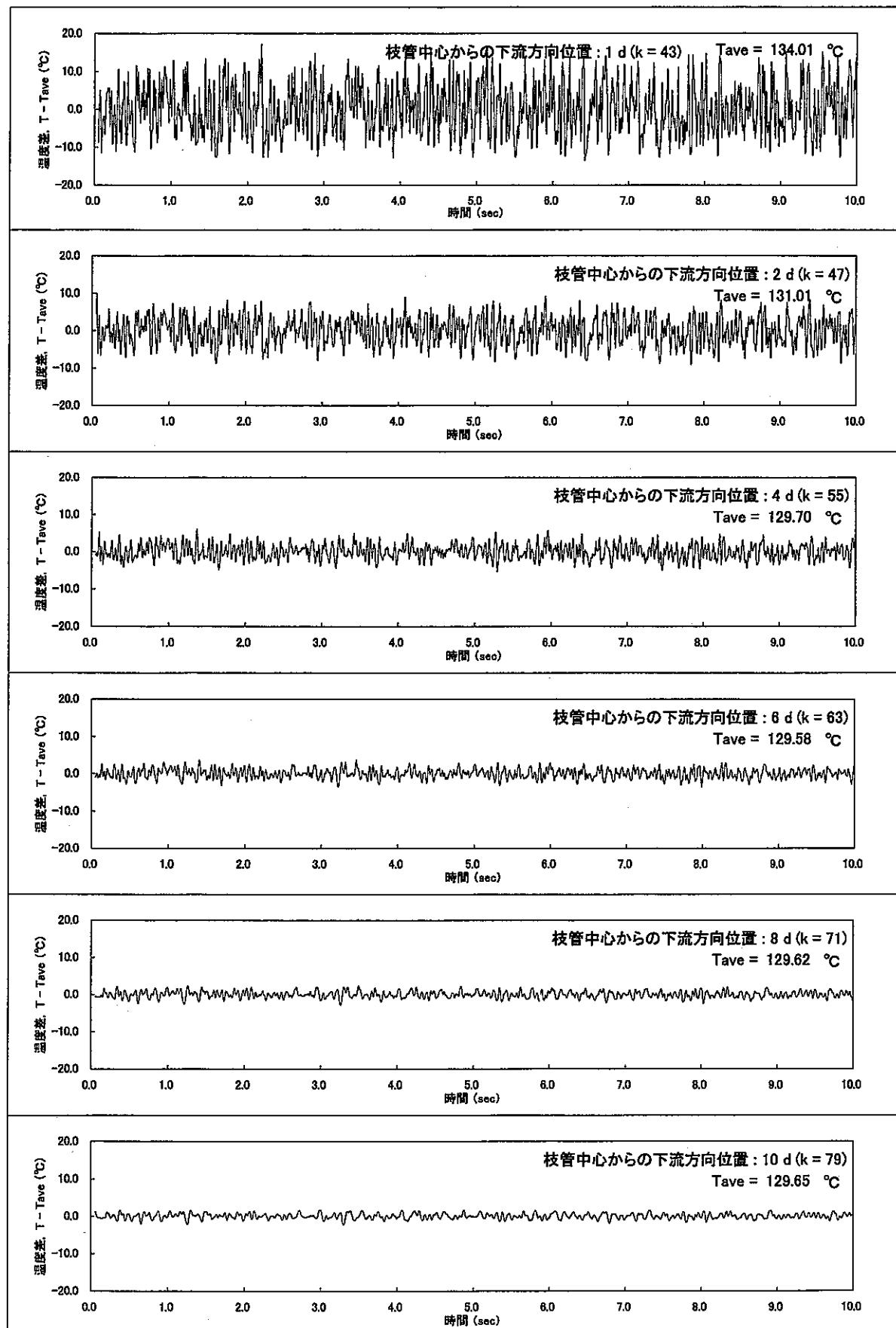


図 A.63 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-1: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 11,252$)

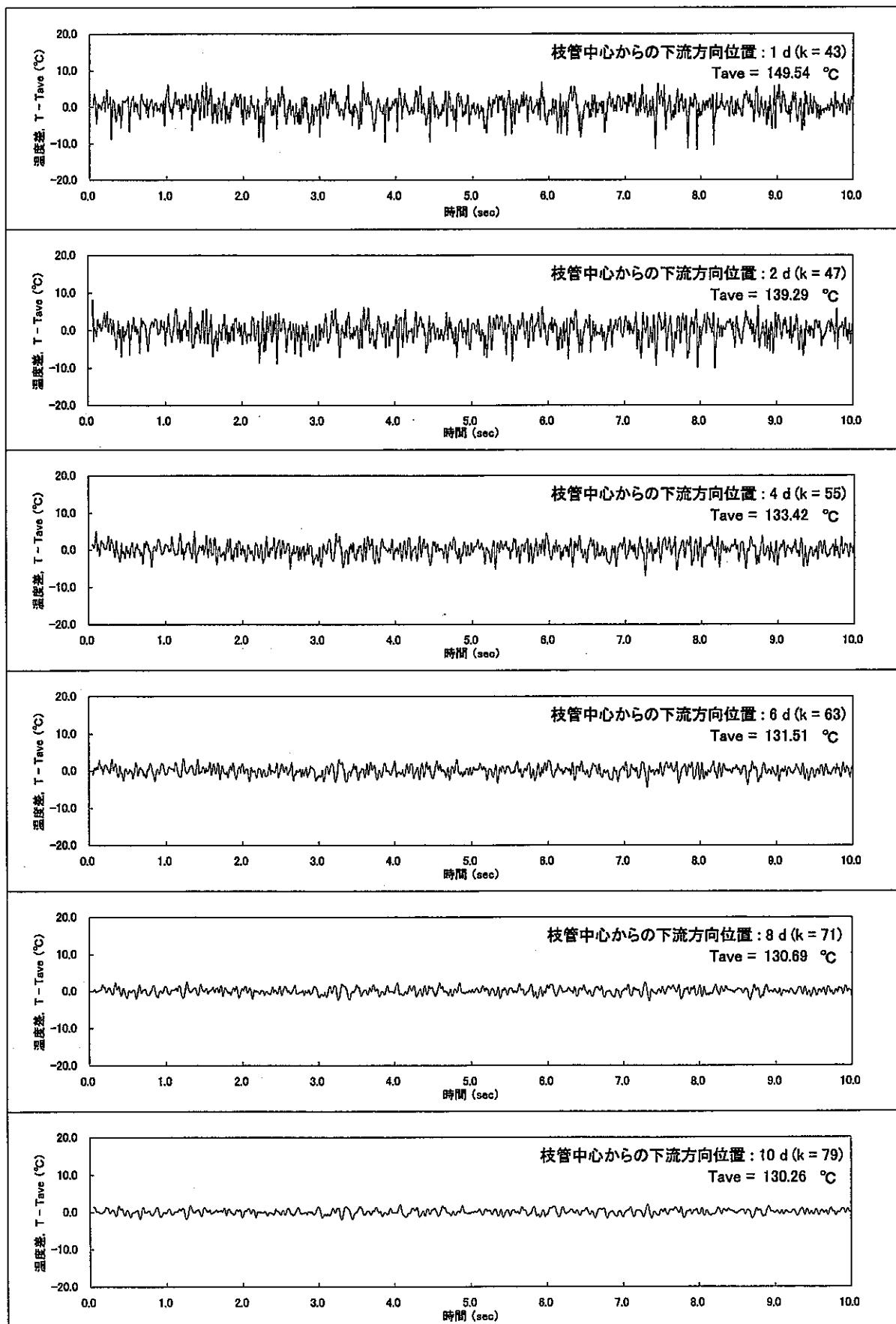


図 A.64 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 1$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 11,252$)

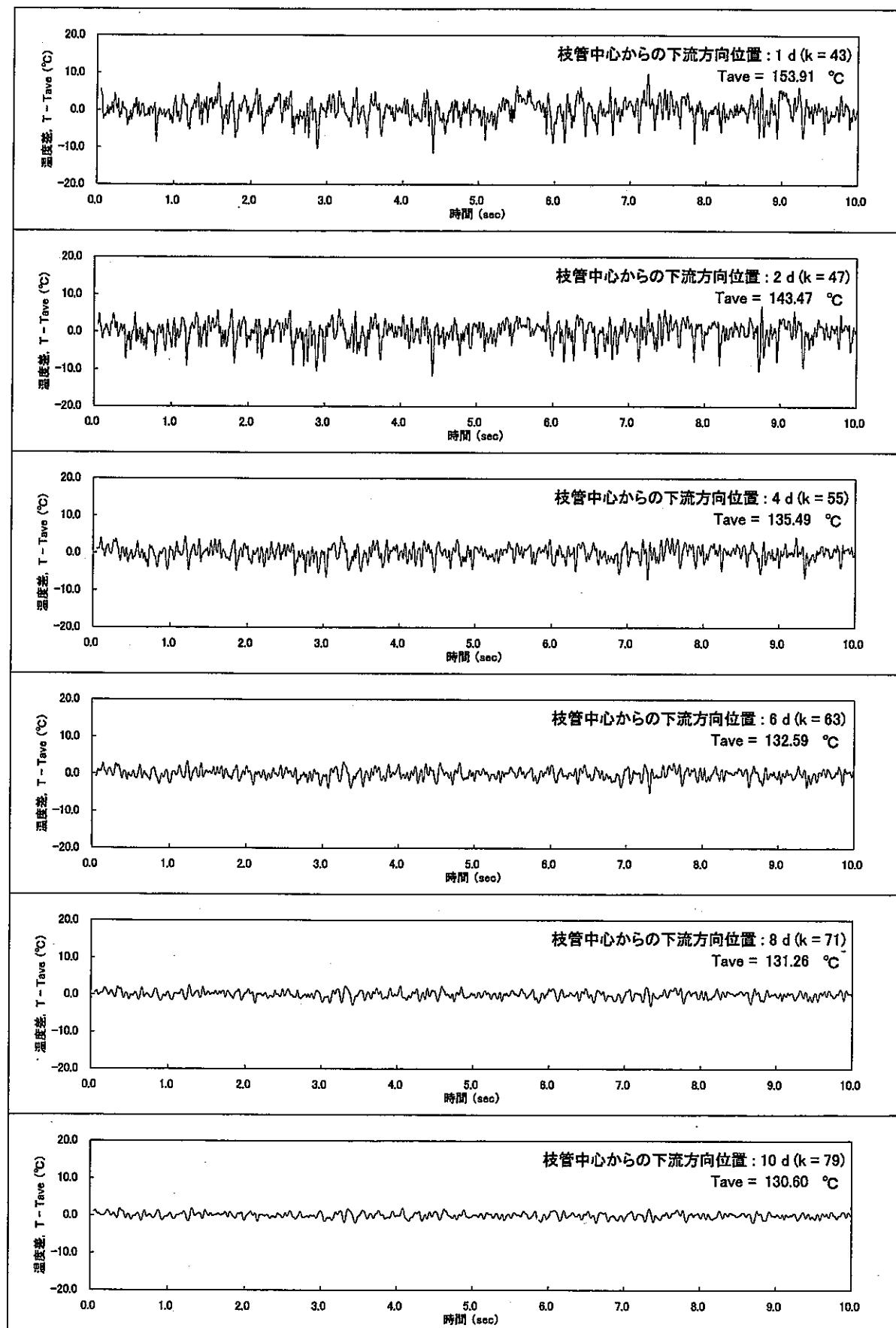


図 A.65 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 1$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 11,252$)

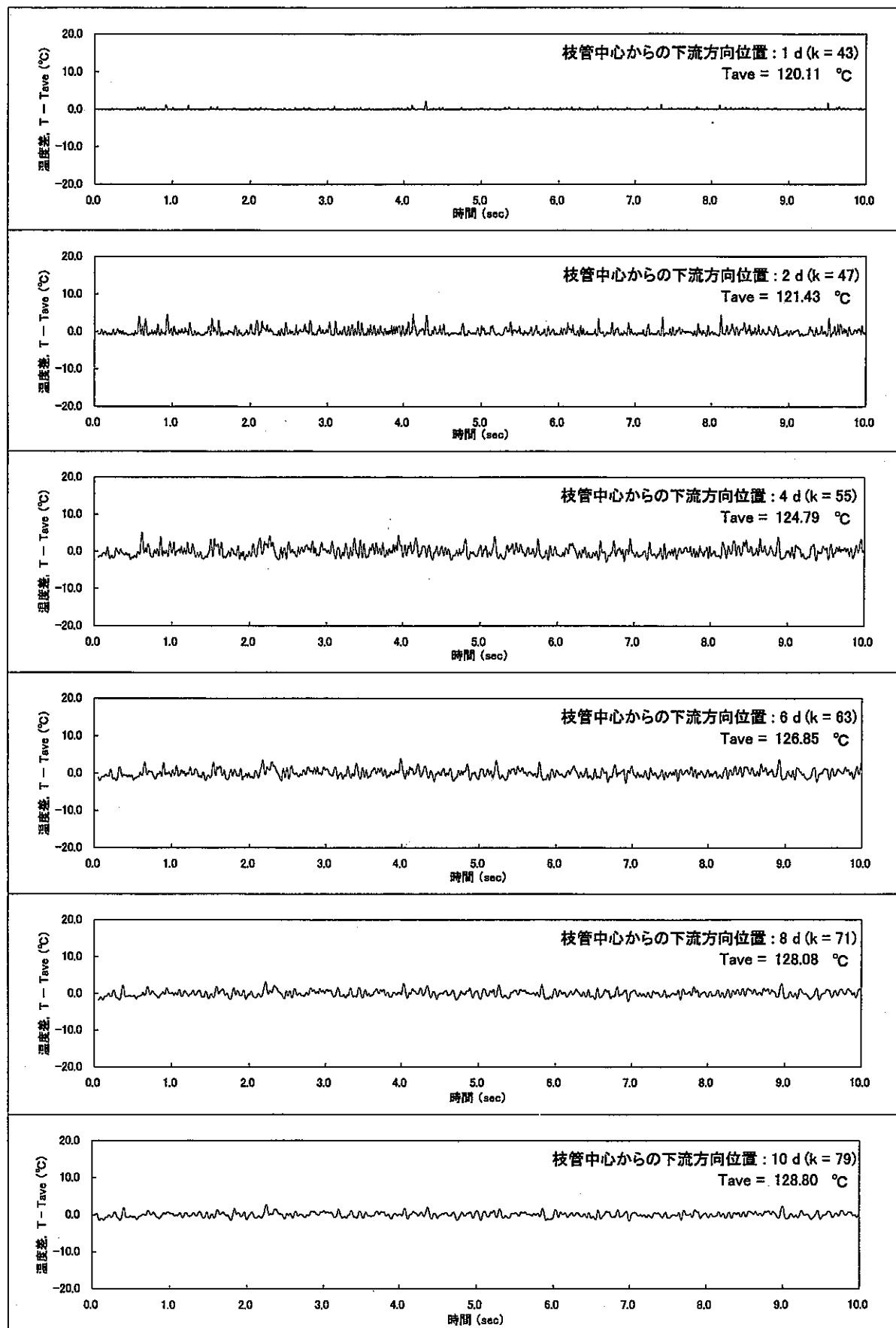


図 A.66 主配管天井面 ($i = 9, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 2$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 180^\circ, Re_m = 11,252$)

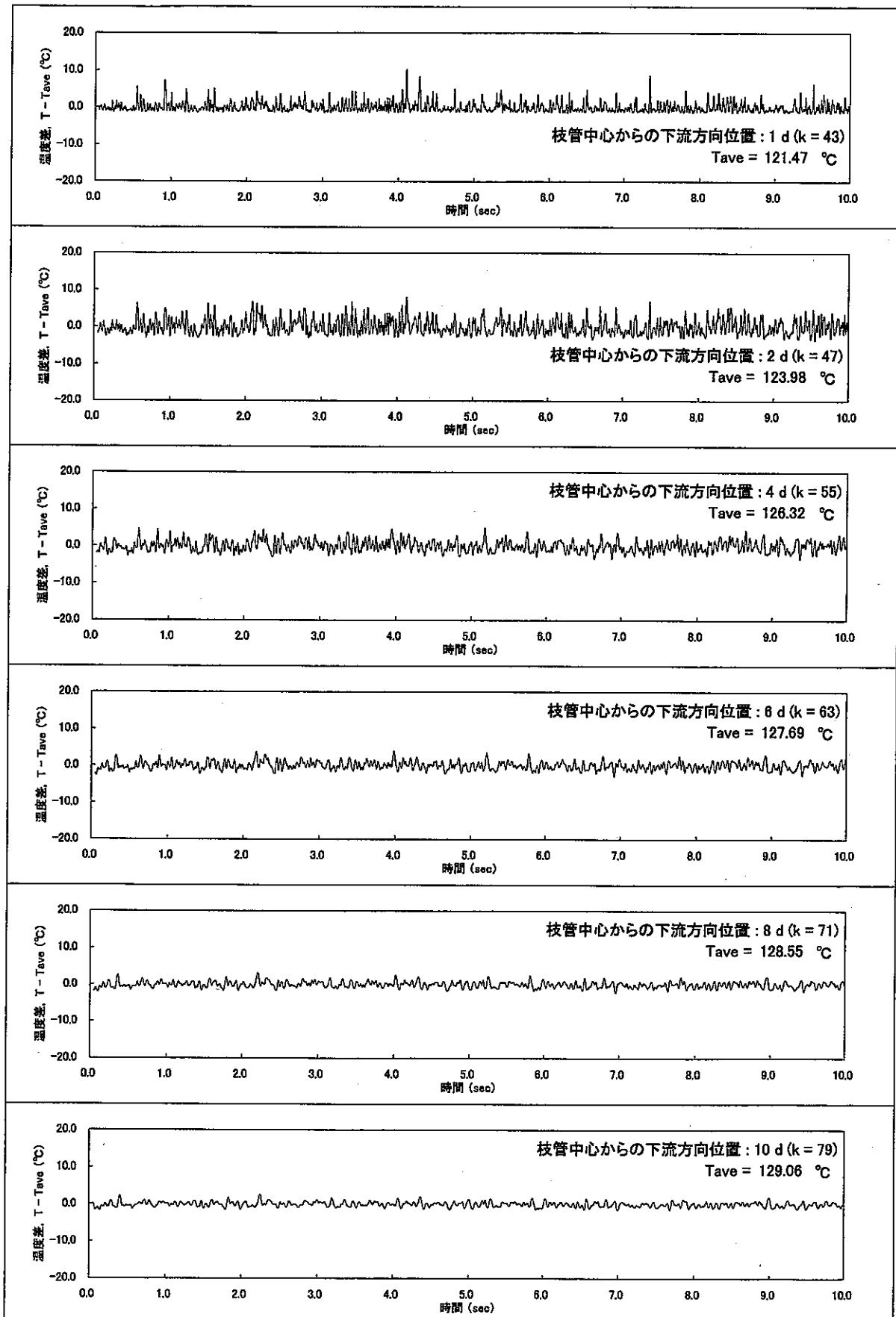


図 A.67 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 13, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma = 2$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 180^{\circ}$, $Re_m = 11,252$)

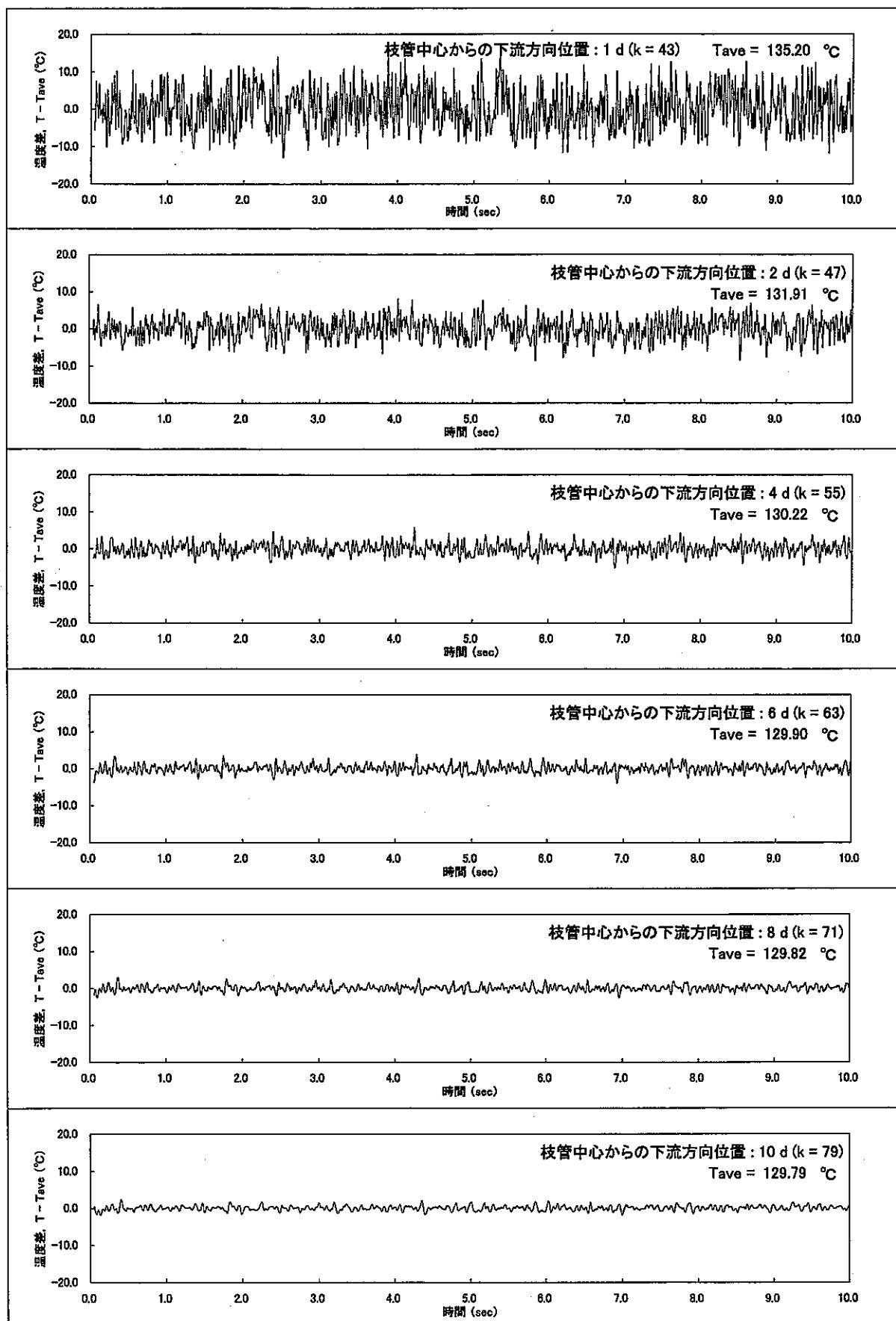


図 A.68 主配管中央 ($i = 18, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case γ-2: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 180^\circ, Re_m = 11,252$)

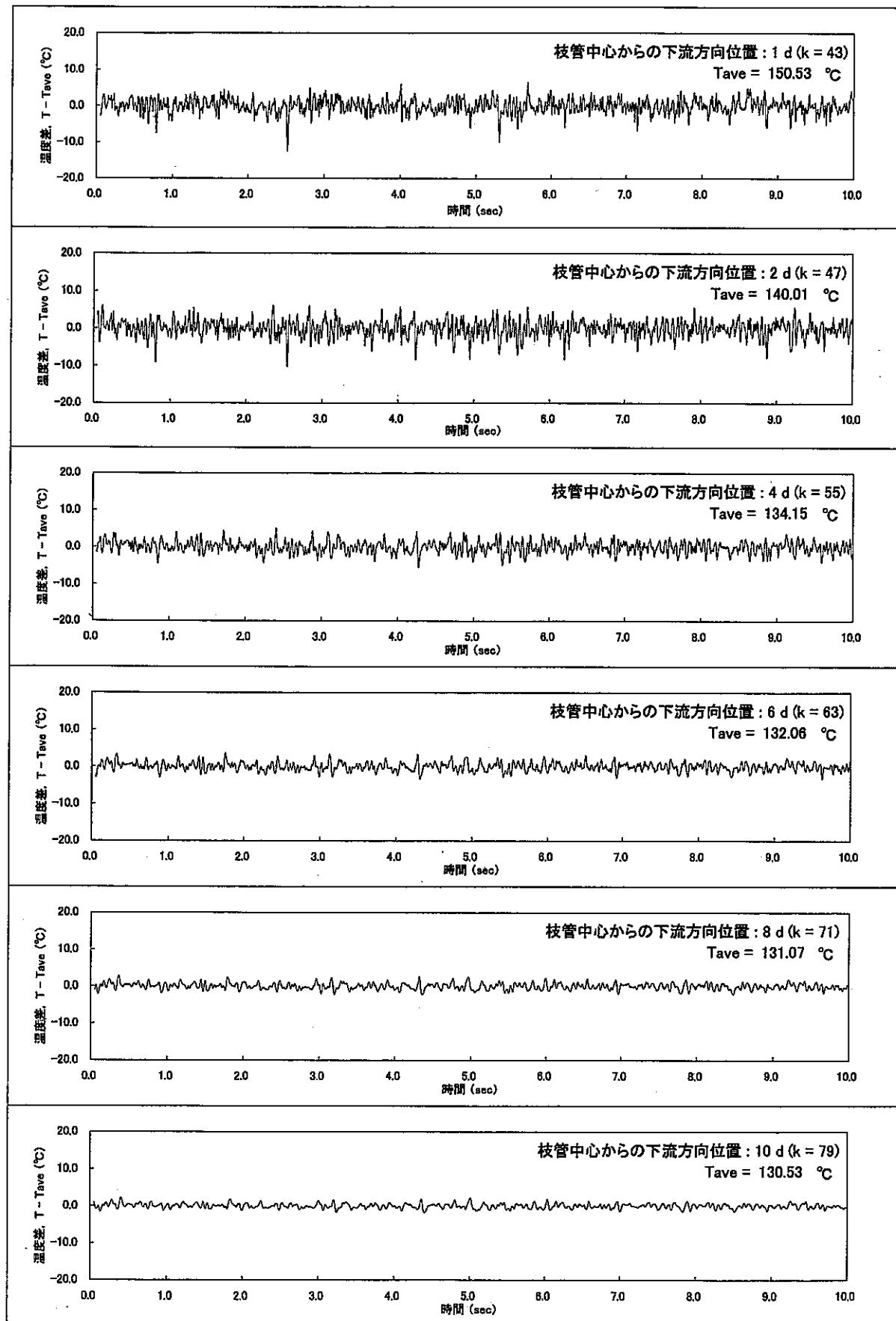


図 A.69 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 23, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 2$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 180^\circ, Re_m = 11,252$)

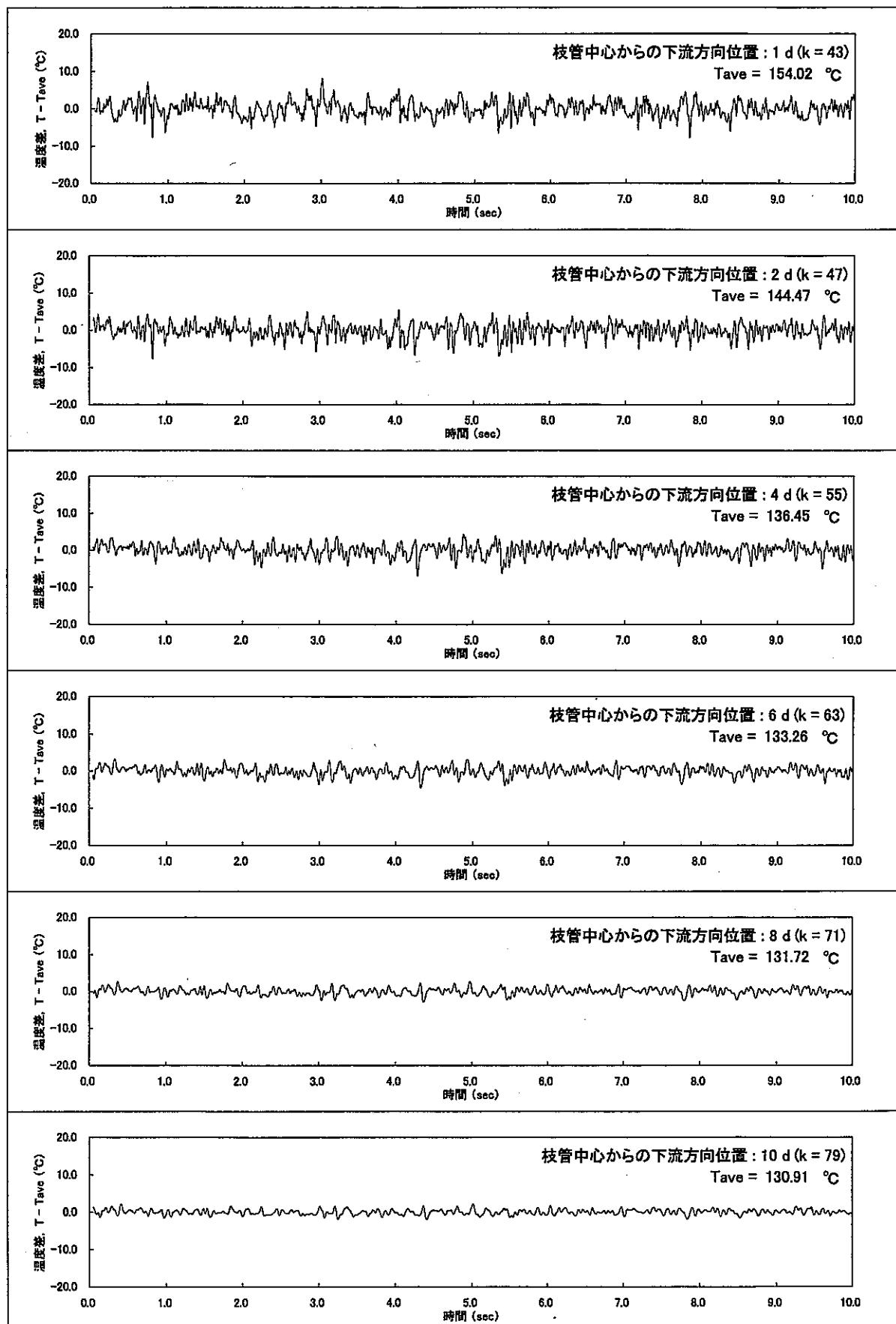


図 A.70 主配管床面 ($i = 28, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 2$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 180^\circ, Re_m = 11,252$)

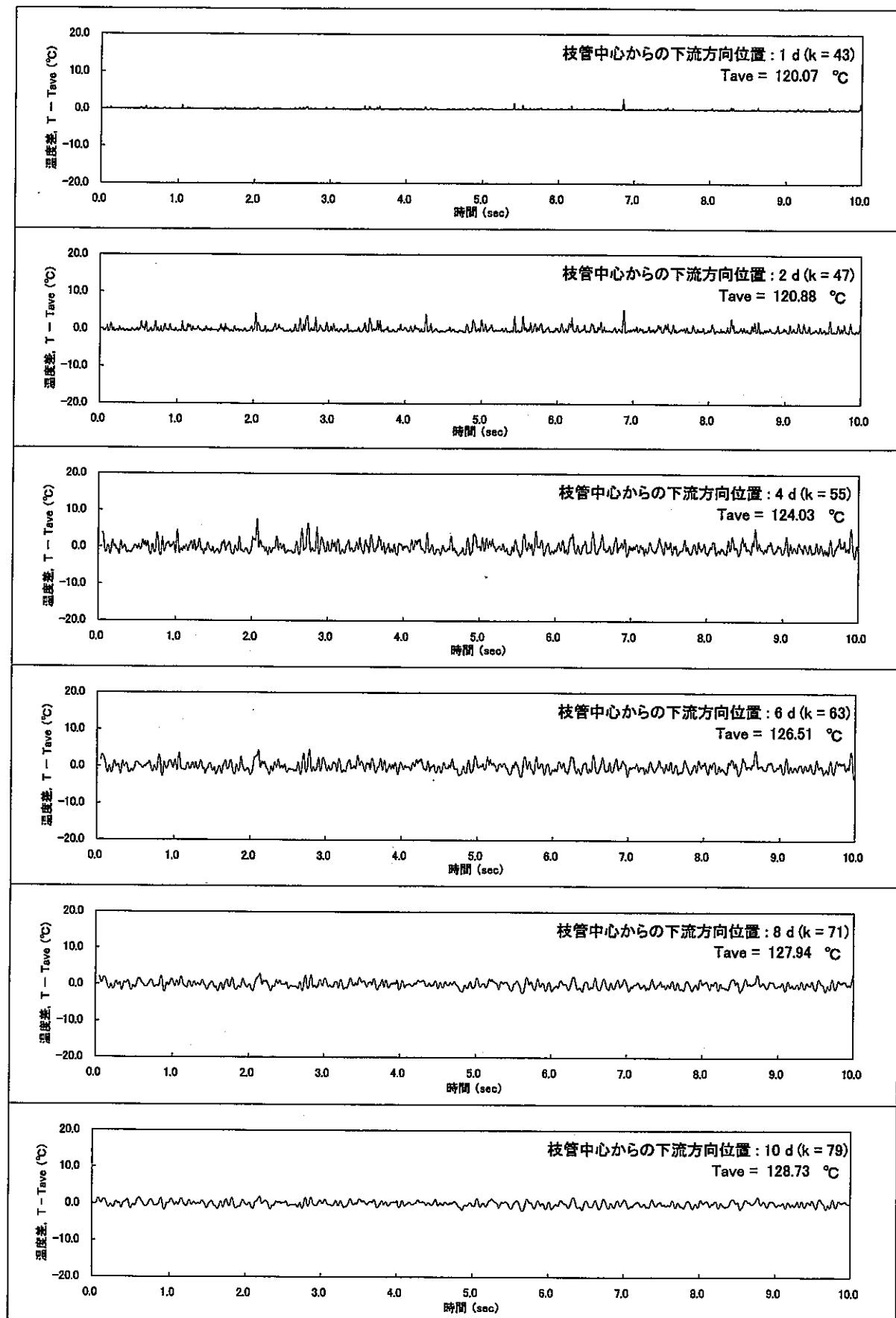


図 A.71 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 3$: $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 0^\circ$, $Re_m = 11,252$)

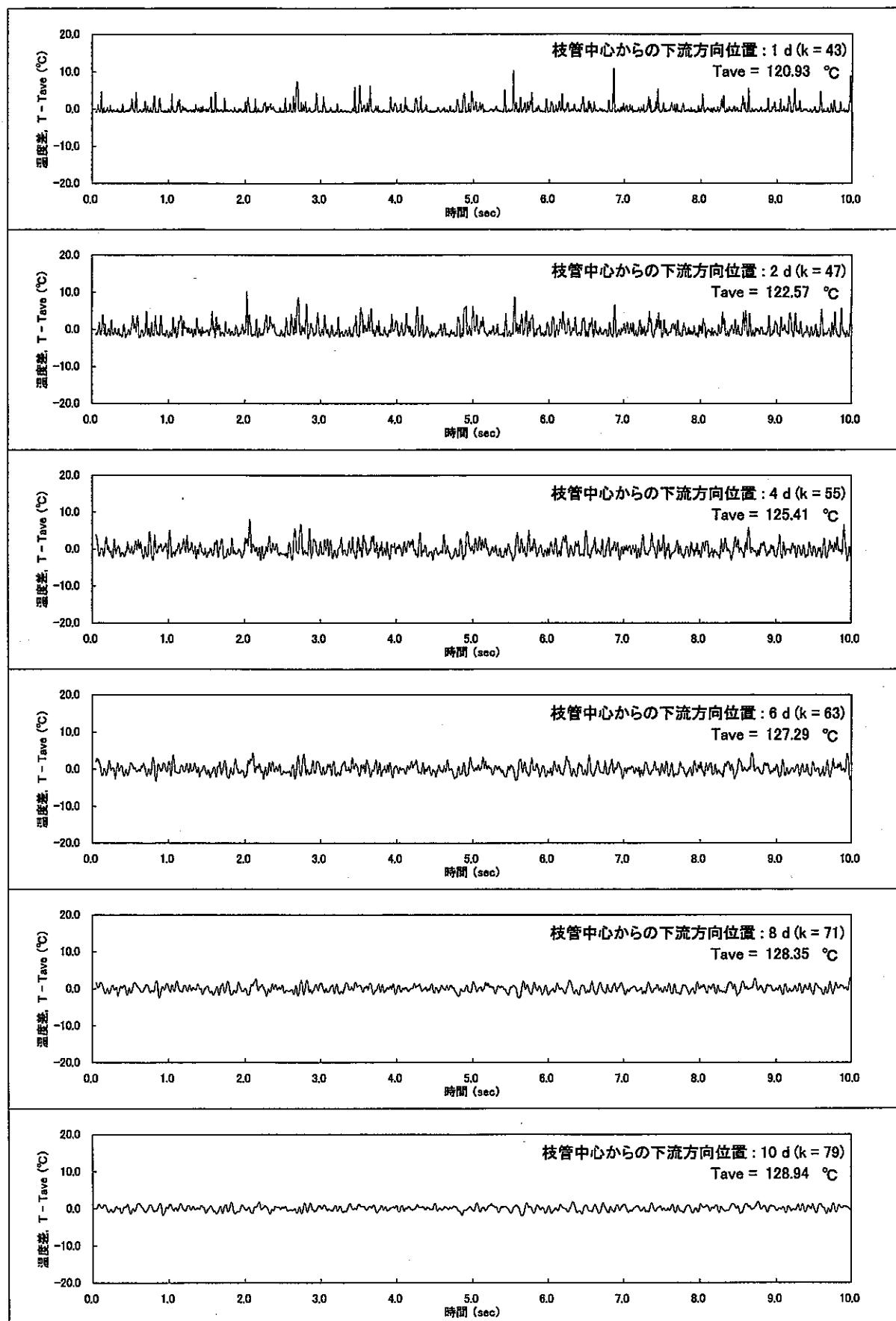


図 A.72 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 0^{\circ}, Re_m = 11,252$)

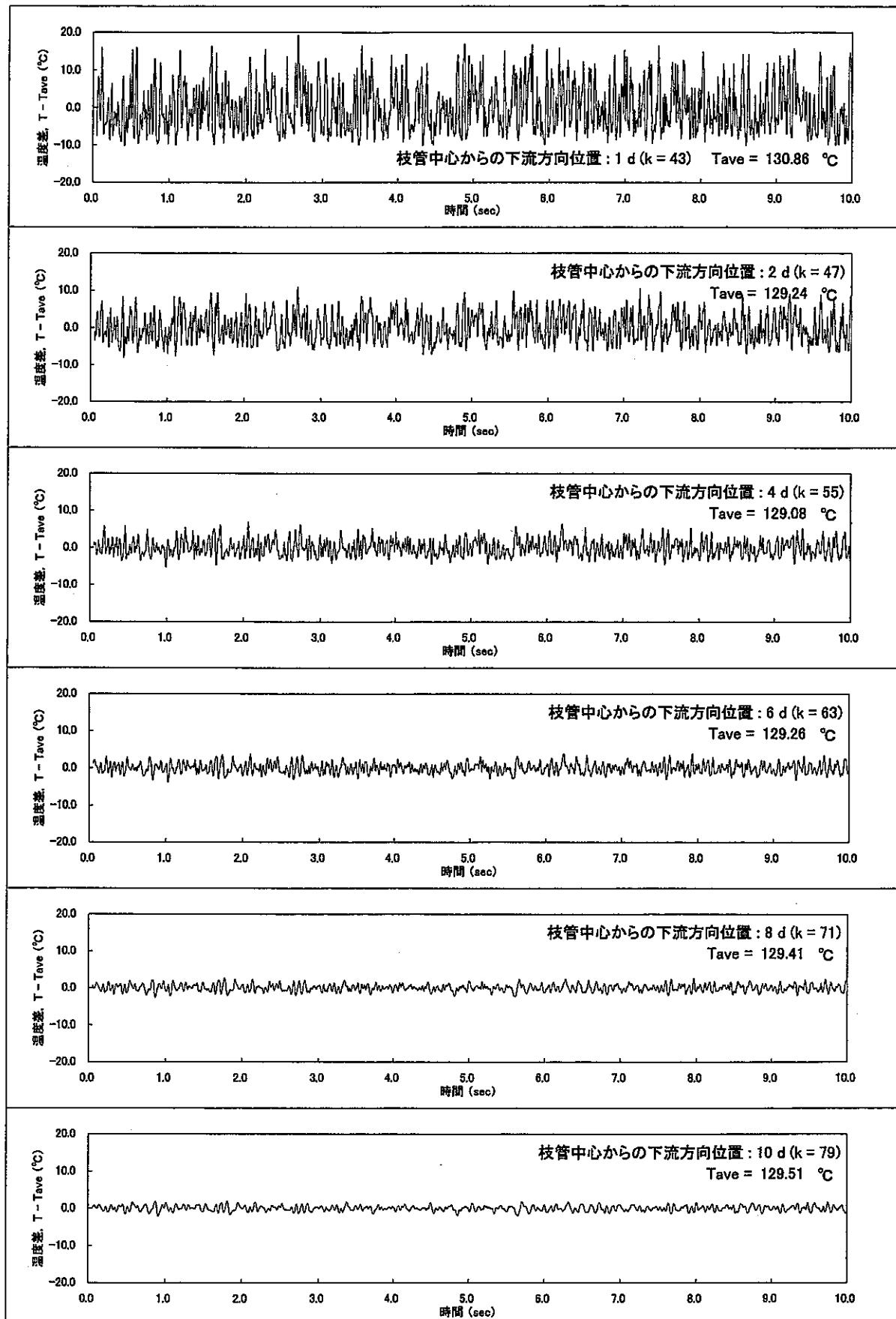


図 A.73 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma = 3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 0^\circ, Re_m = 11,252$)

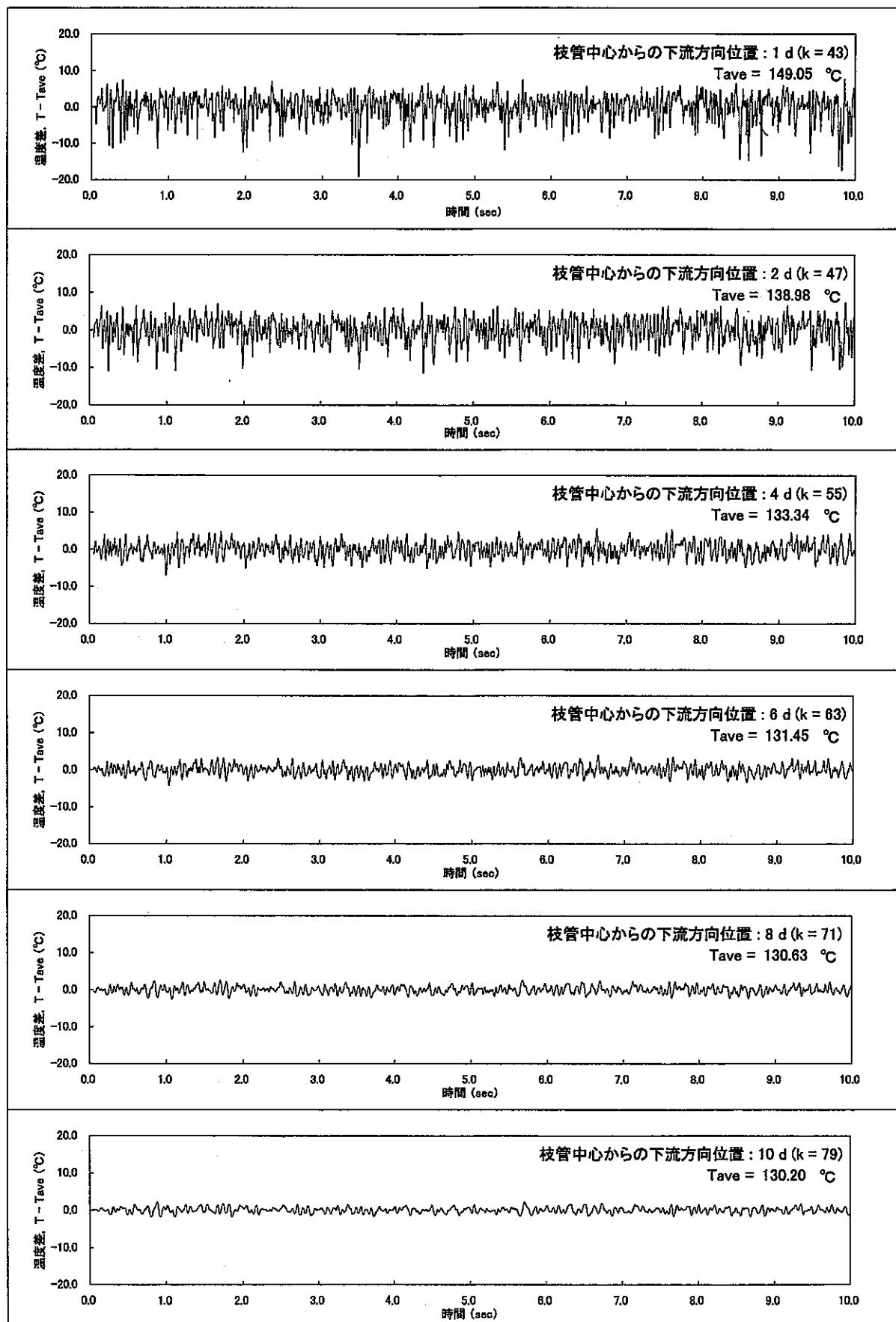


図 A.74 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 0^{\circ}, Re_m = 11,252$)

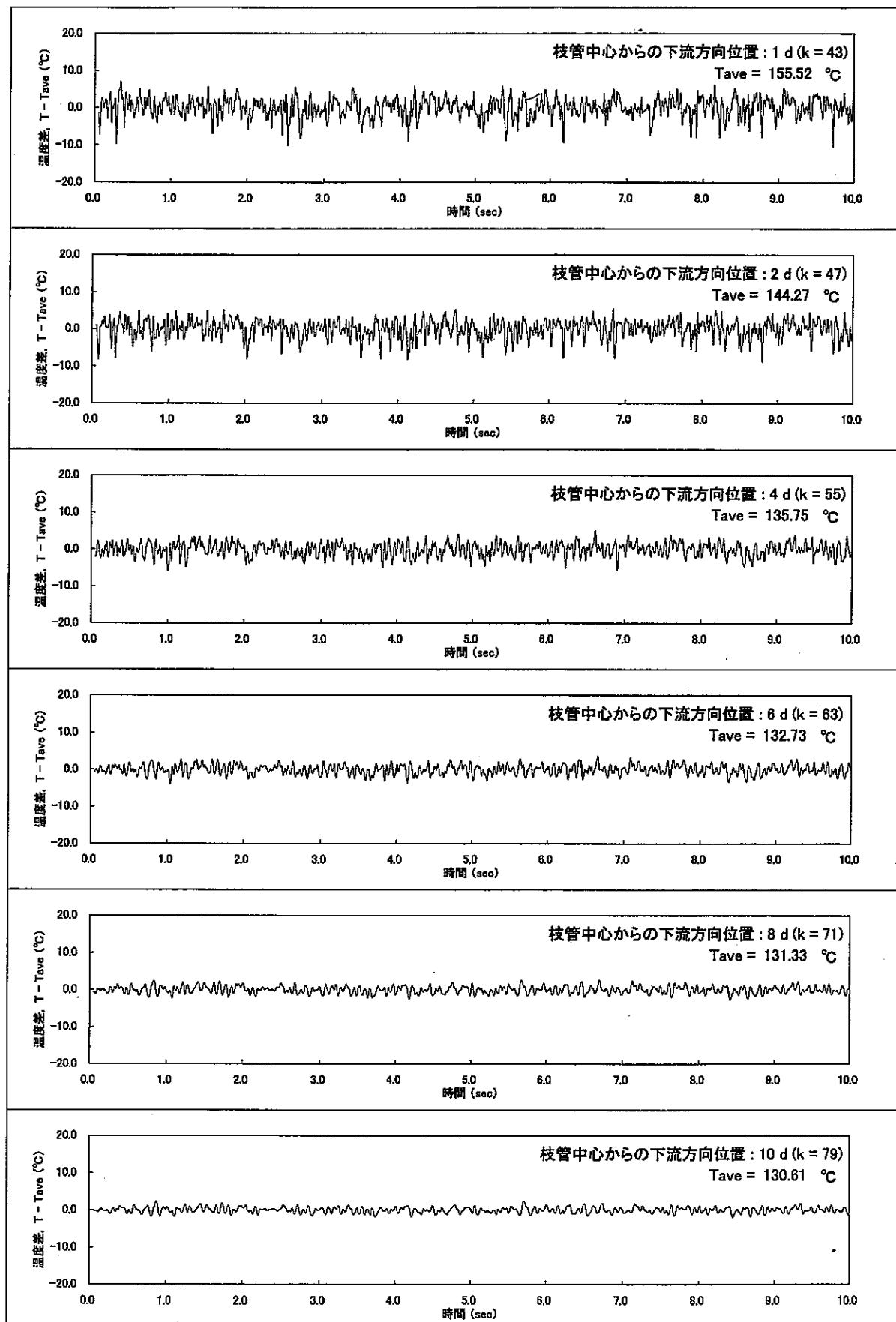


図 A.75 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case $\gamma - 3$: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 0^\circ, Re_m = 11,252$)

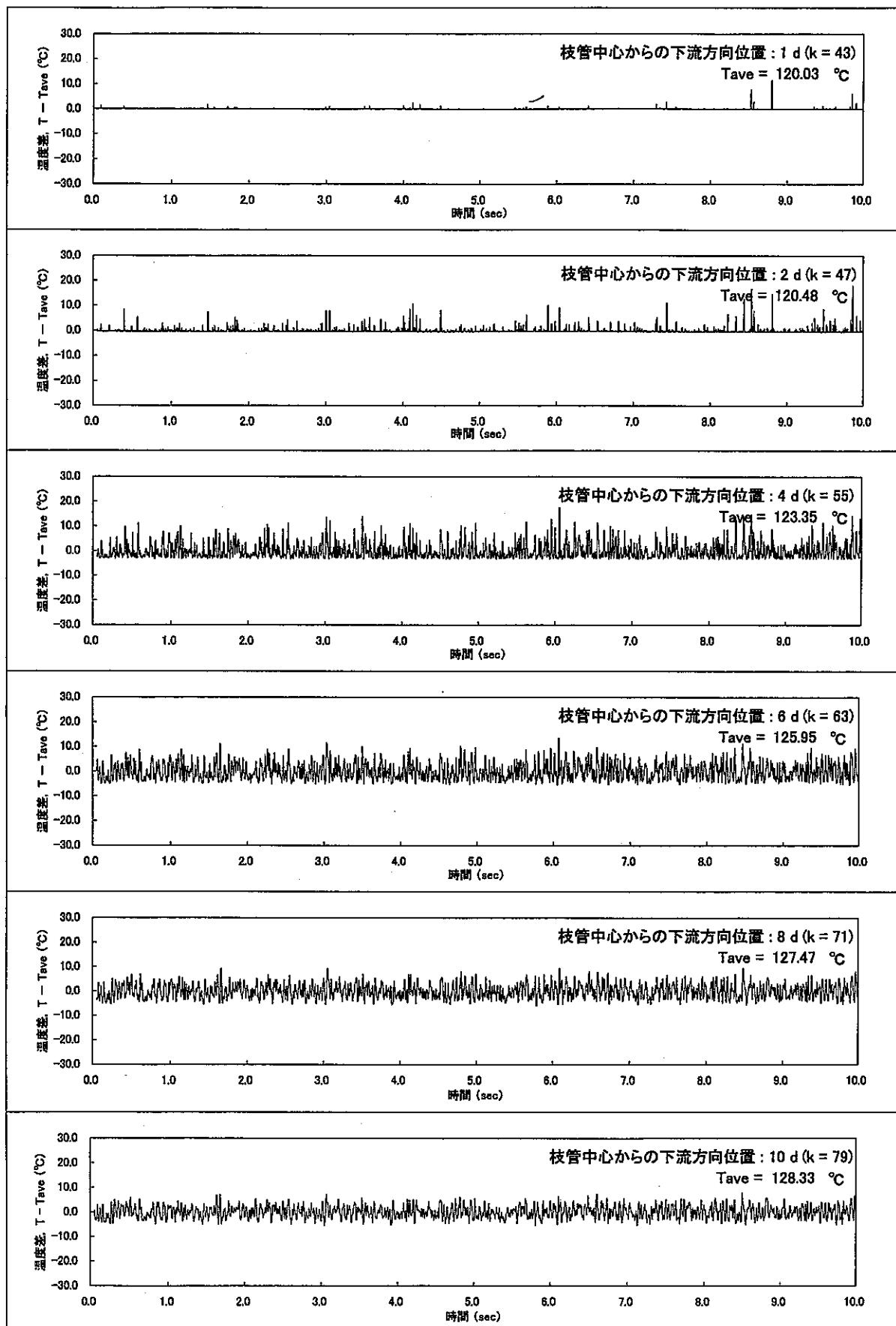


図 A.76 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)

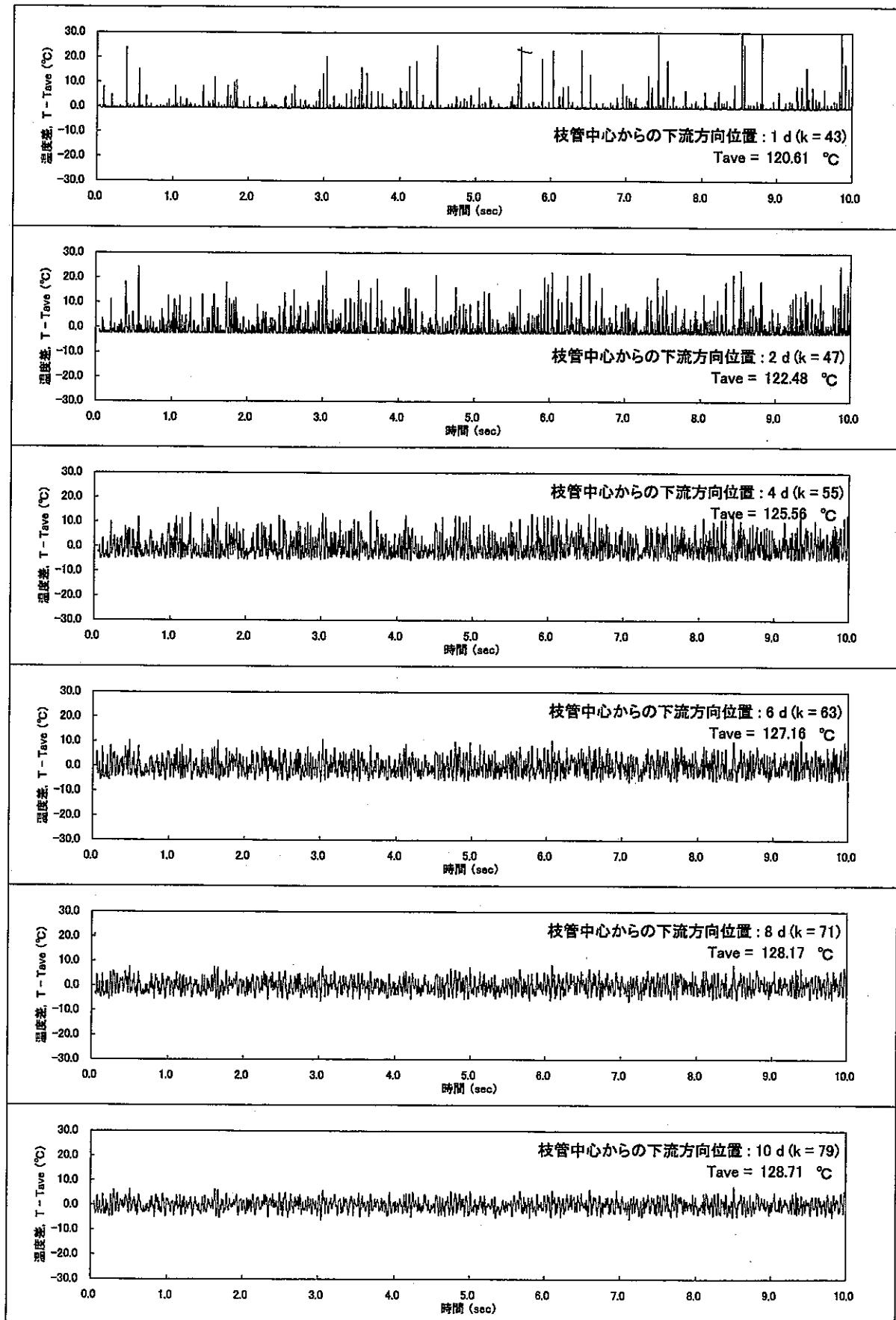


図 A.77 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-1: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 28,130$)

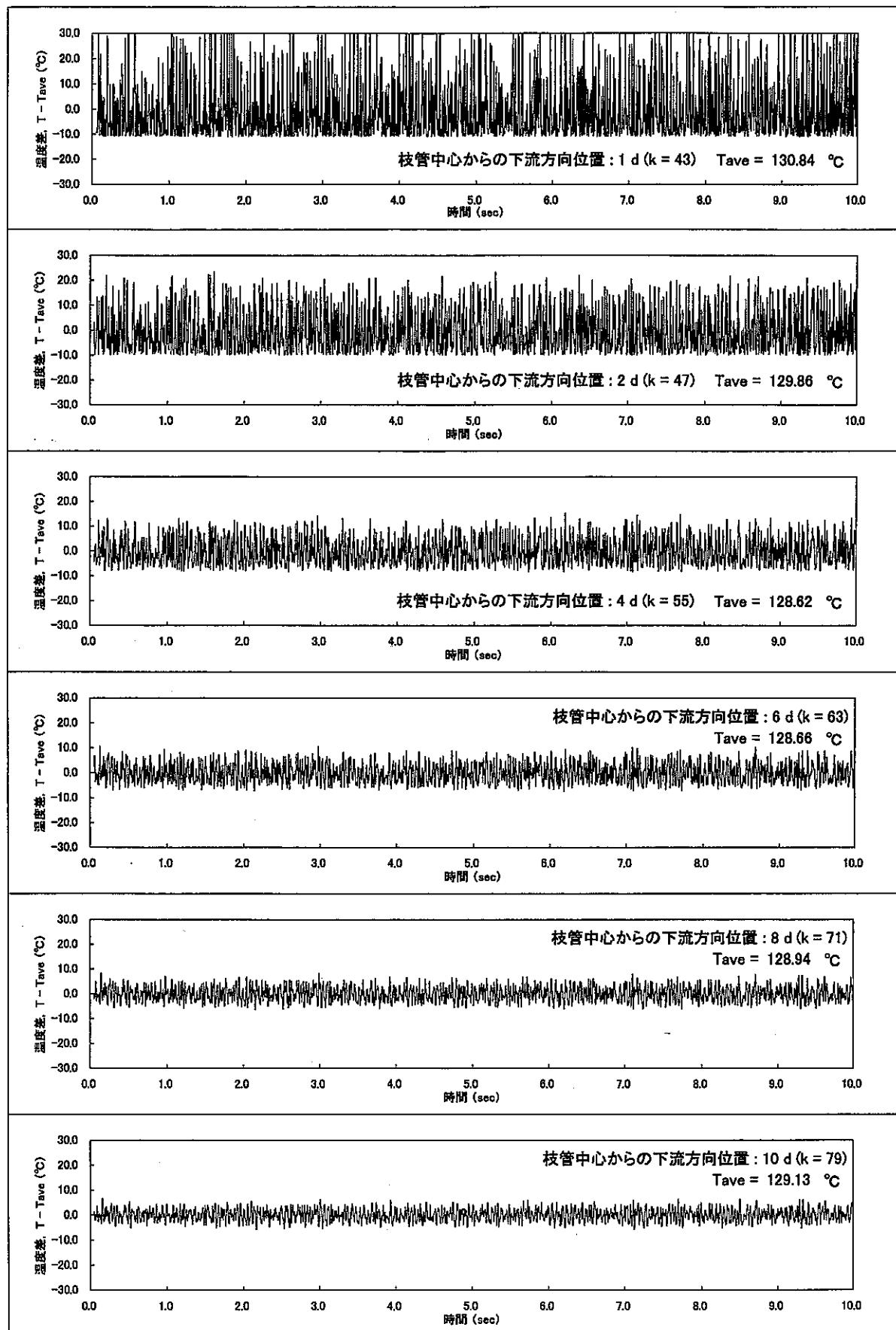


図 A.78 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re= 1 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)

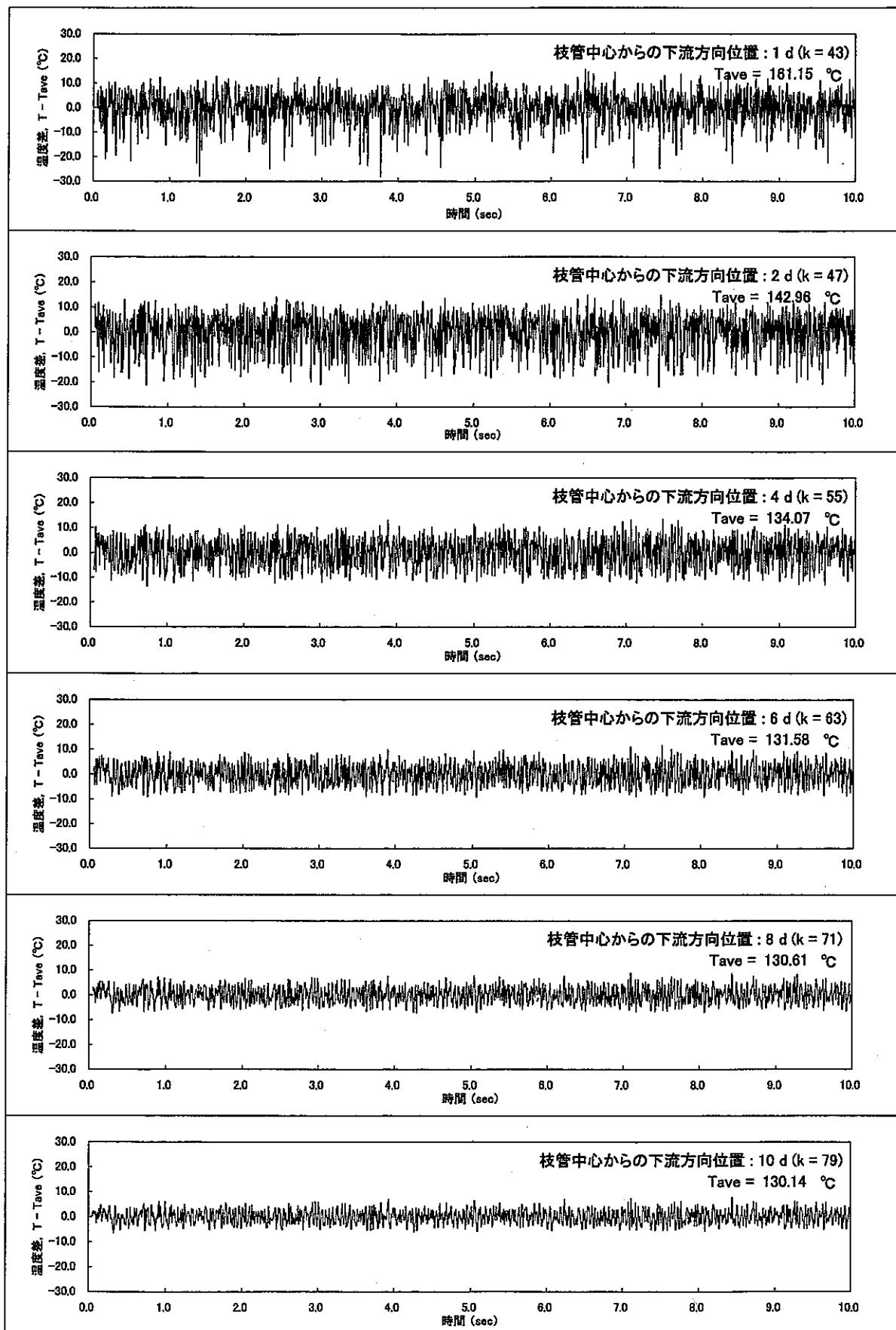


図 A.79 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-1: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)

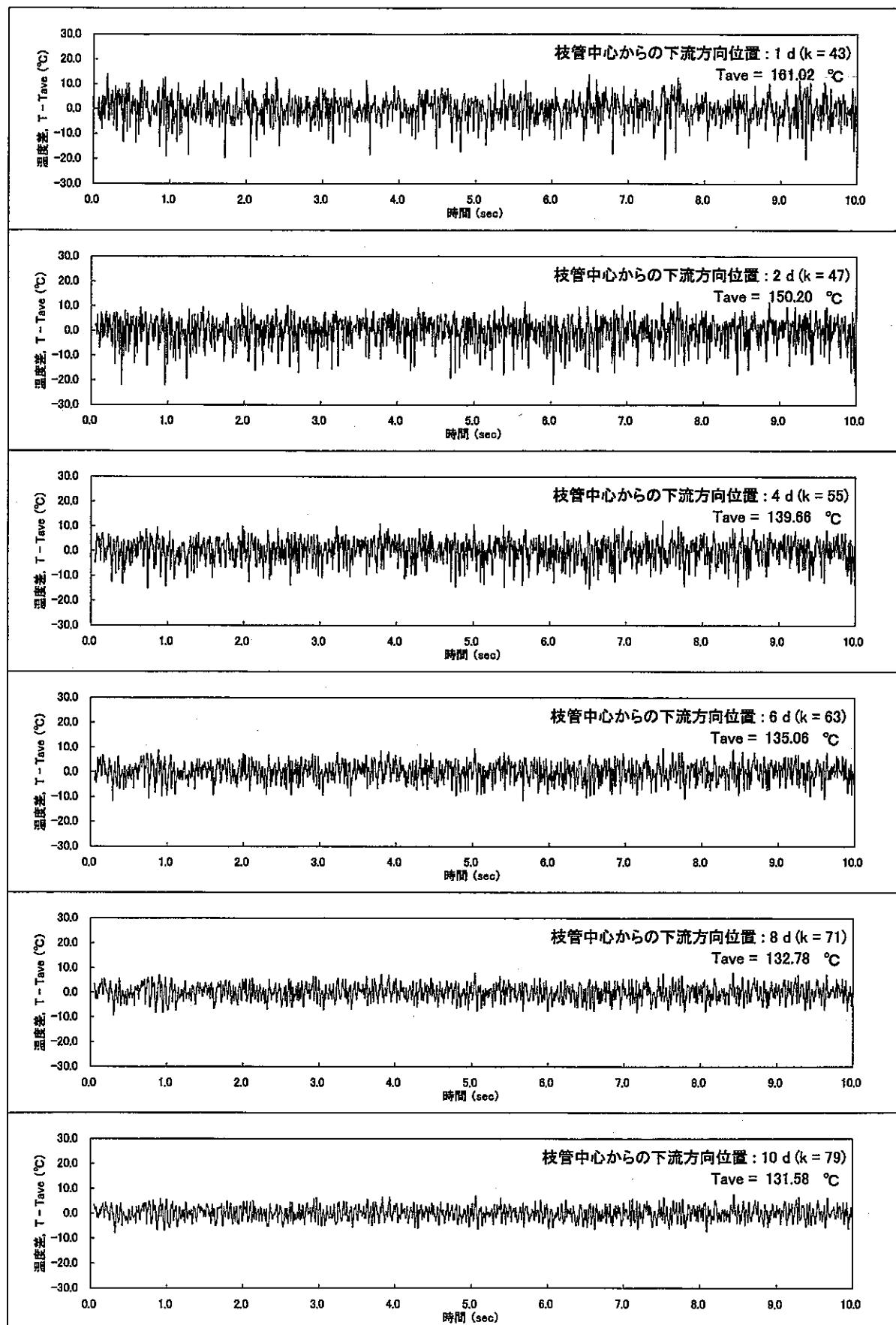


図 A.80 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-1: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 28,130$)

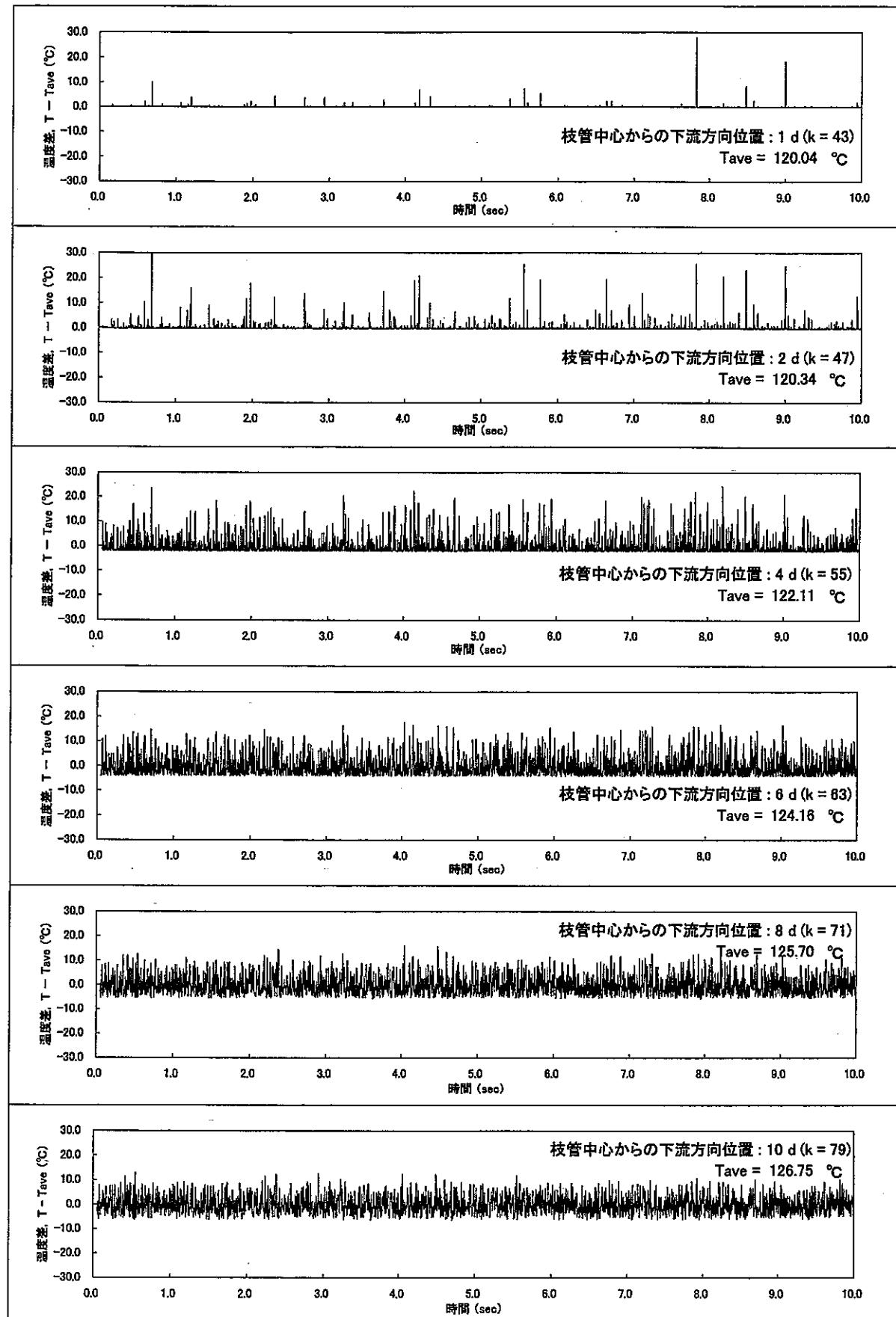


図 A.81 主配管天井面 ($i = 1, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-2 : $\alpha = 3.0$, $\beta = 1.0$, $\gamma = 90^\circ$, $Re_m = 56,261$)

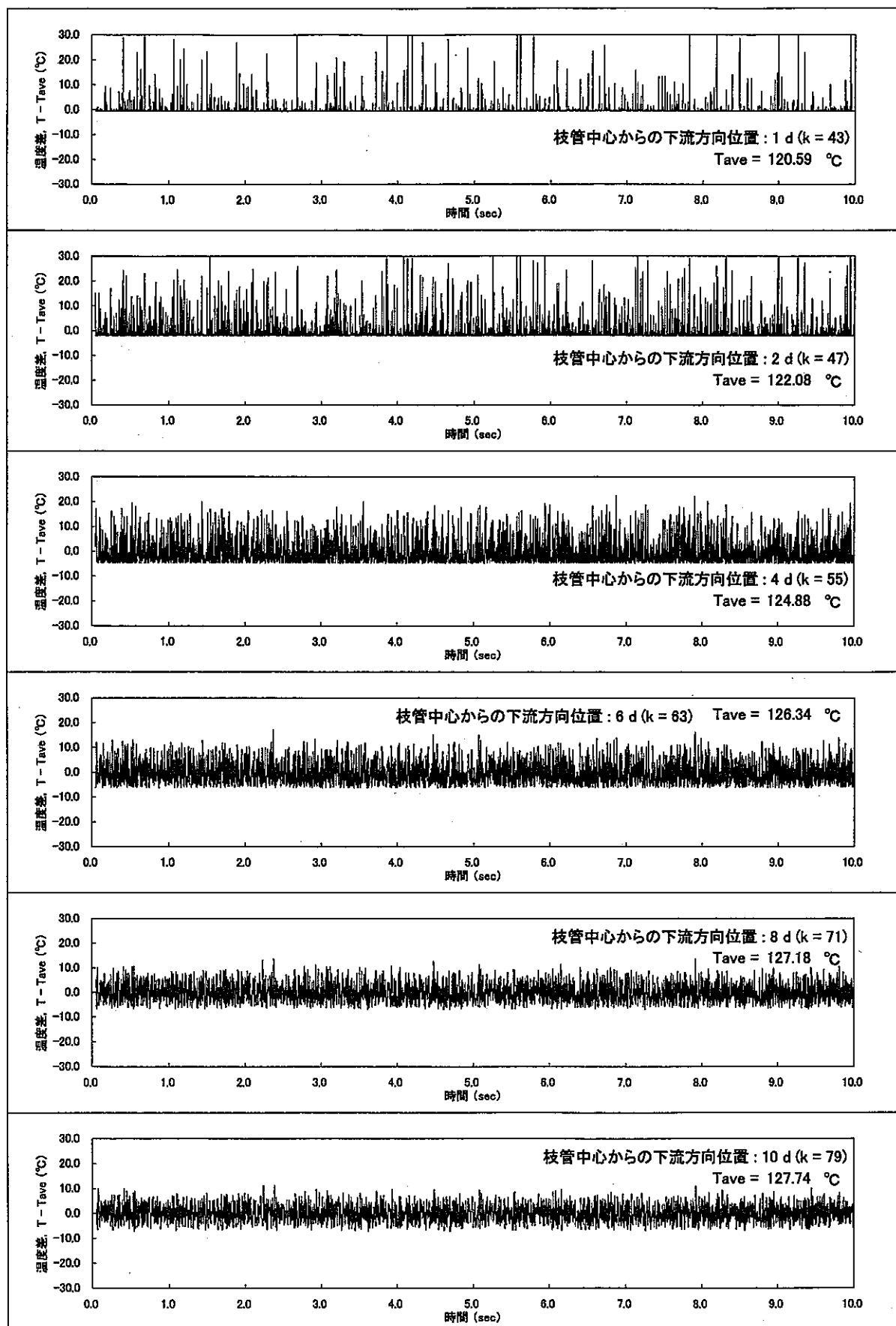


図 A.82 主配管天井面から約 3 mm 位置 ($i = 5, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re= 2 : $\alpha' = 3.0, \beta' = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)

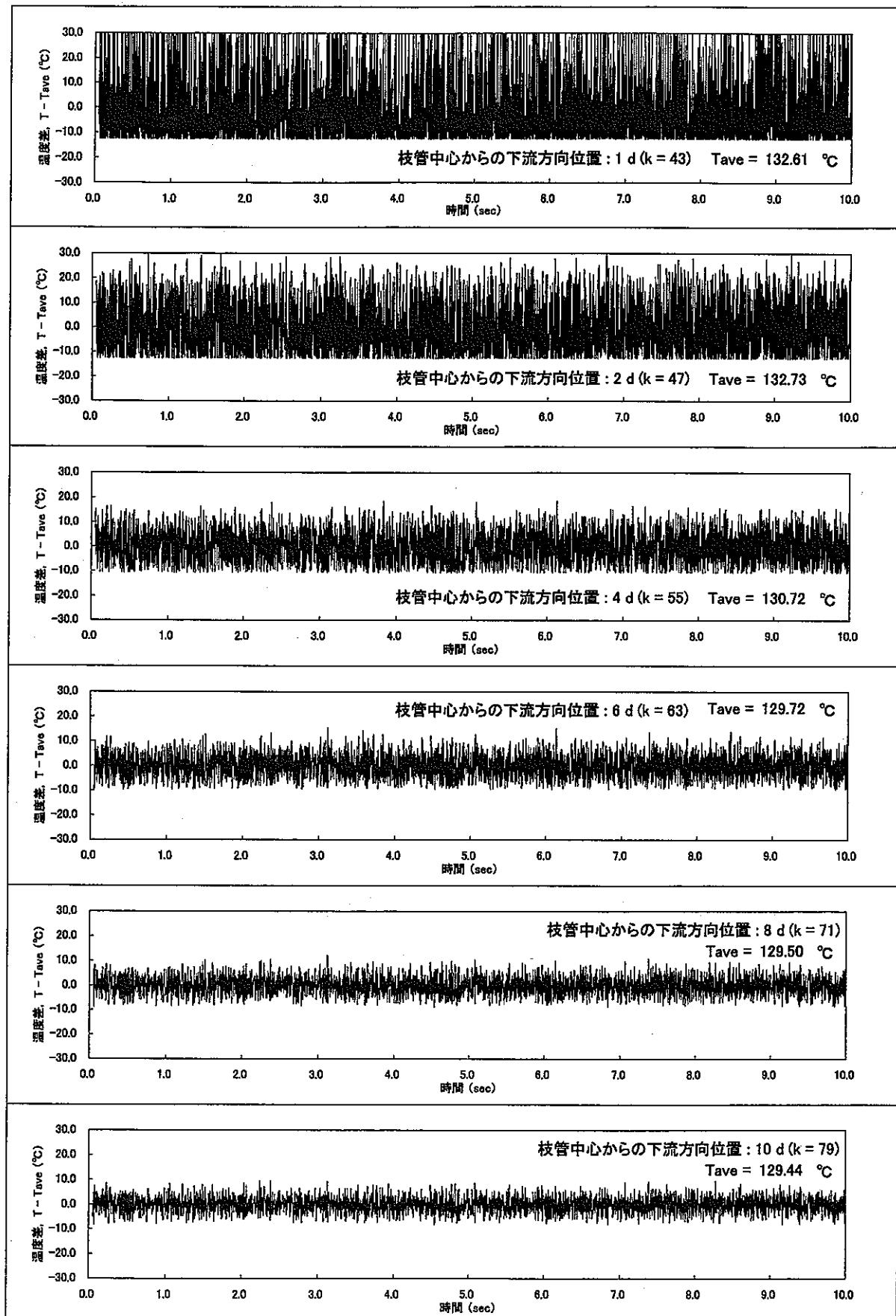


図 A.83 主配管中央 ($i = 10, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^{\circ}, Re_m = 56,261$)

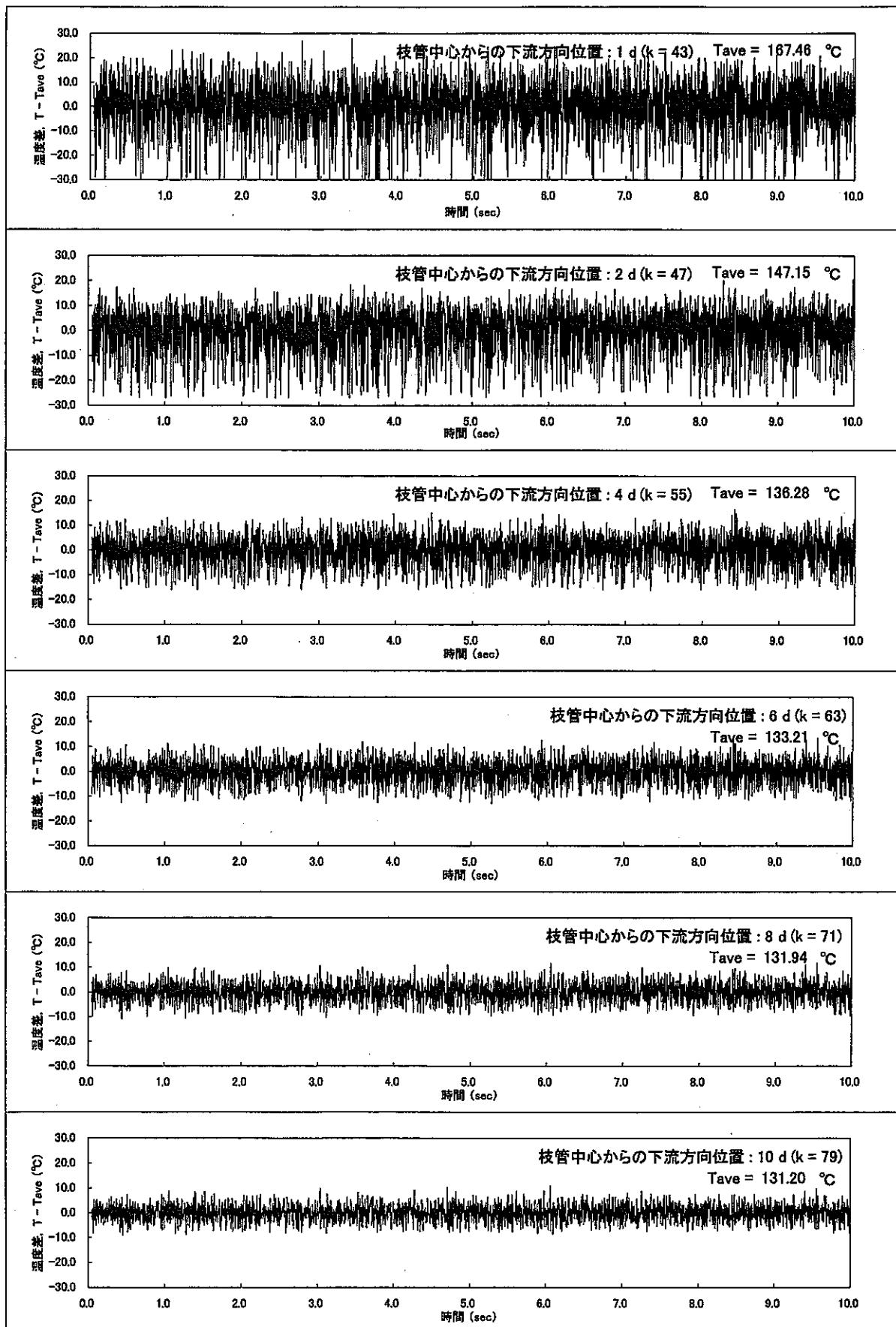


図 A.84 主配管床面から約 3 mm 位置 ($i = 15, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-2: $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)

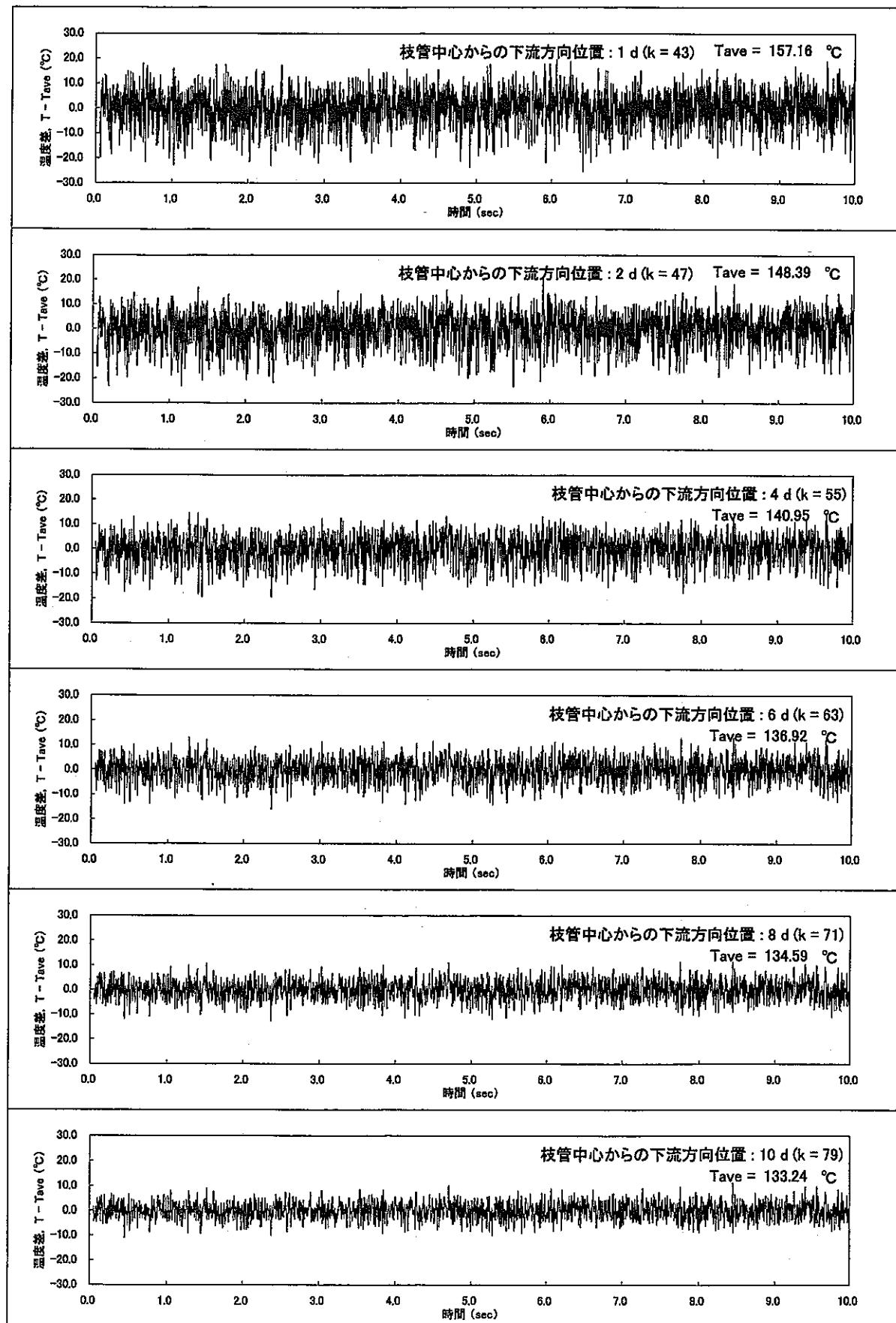


図 A.85 主配管床面 ($i = 20, j = 10$) における合流部下流主要位置での温度ゆらぎ時系列挙動
(Case Re-2 : $\alpha = 3.0, \beta = 1.0, \gamma = 90^\circ, Re_m = 56,261$)