

容積率の地区内移転を行った場合の 風環境評価に関する研究

東京駅周辺を対象として

指導教員

高橋 諒太

有波 裕貴 助教



研究目的

近年、建物の**高層化**が進展しており、100[m]を超える超高層建築物が数多く竣工している。一方、**総合設計制度**※¹による**容積率の緩和**や、**特例容積率適用地区**※²の指定による**容積率の地区内移転**などにより、特定地域において、容積率や建物高さが偏在している土地利用が行われている例も見られる。

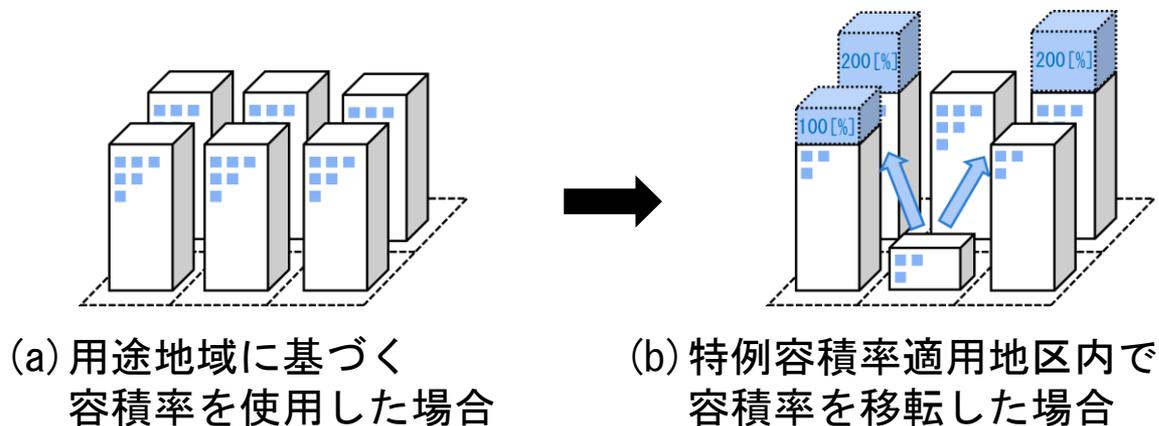


図2 容積率の地区内移転の考え方

※1 総合設計制度とは、同一敷地内に公開空地等を設けることで容積率、高さ制限などの規制を一部緩和する制度のことである。

※2 特例容積率適用地区とは、指定地区内で未利用となっている容積率を複数の建物敷地間で移転することができる地区である。

研究目的

近年、建物の**高層化**が進展しており、100[m]を超える超高層建築物が数多く竣工している。一方、**総合設計制度**※¹による**容積率の緩和**や、**特例容積率適用地区**※²の指定による**容積率の地区内移転**などにより、特定地域において、容積率や建物高さが偏在している土地利用が行われている例も見られる。

これらの地区では、**ビル風**※³と呼ばれる風害が発生する可能性が高くなる。



- ※ 1 総合設計制度とは、同一敷地内に公開空地等を設けることで容積率、高さ制限などの規制を一部緩和する制度のことである。
- ※ 2 特例容積率適用地区とは、指定地区内で未利用となっている容積率を複数の建物敷地間で移転することができる地区である。
- ※ 3 ビル風とは、周辺と比較して高層の建物が建設されることで、建物の建設前後で建物周辺の地表面付近における強風の発生頻度が増加する現象である。

研究目的

ビル風は、建物が立地する地域の気候条件や周辺の街区、建物形状によって大きく変化する。

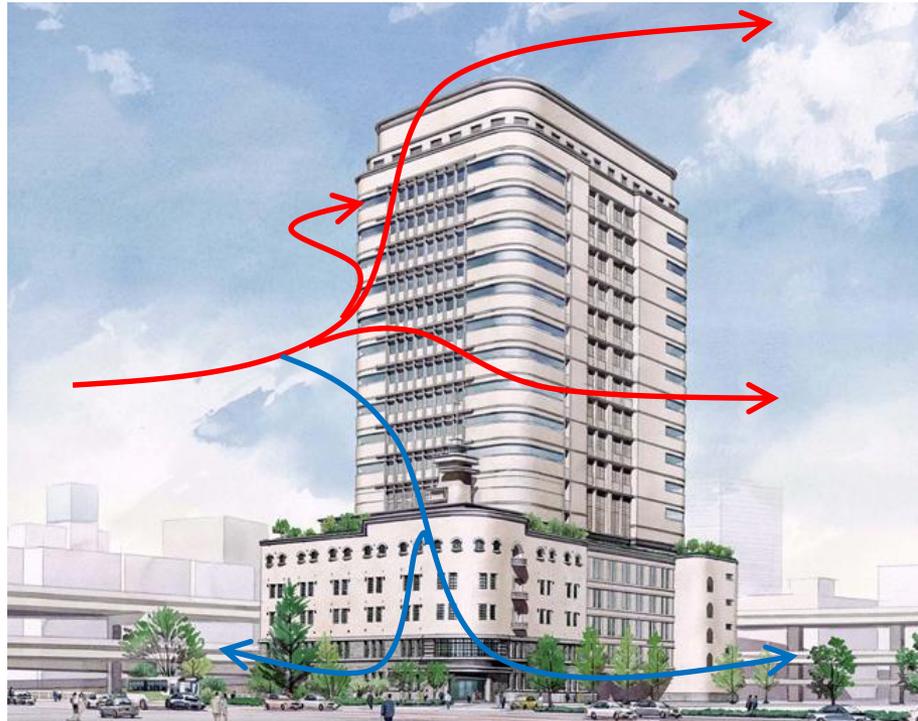


図 ビル風の三次元的な流れ構造のイメージ

研究目的

ビル風は、建物が立地する地域の**気候条件**や周辺の**街区**、**建物形状**によって大きく**変化**する。

特異な形で高密度利用されている地域を対象に**風環境の検討**を行うことは、都市の**居住環境を評価**する上で**重要**である。



図 ビル風の三次元的な流れ構造のイメージ

本研究では、CFD解析 (RANS※4) を用いて特例容積率適用地区に指定されている東京都千代田区丸の内地区※5 (東京駅周辺) をモデル化し、風環境の解析を行う。



図 東京都千代田区丸の内地区周辺

- ※4 CFD解析でレイノルズ平均モデル (Reynolds-Averaged Navier-Stokes simulations) 用いて、平均流を解析する手法。
- ※5 当該地区は、実際に特例容積率適用地区に適用されており、容積率の地区内移転が行われている。

研究目的

容積率の地区内移転により生じる建物間の高低差や容積率が移転された建物の相対的位置が地表面付近の風環境に与える影響を定量的に評価することを目的とする。

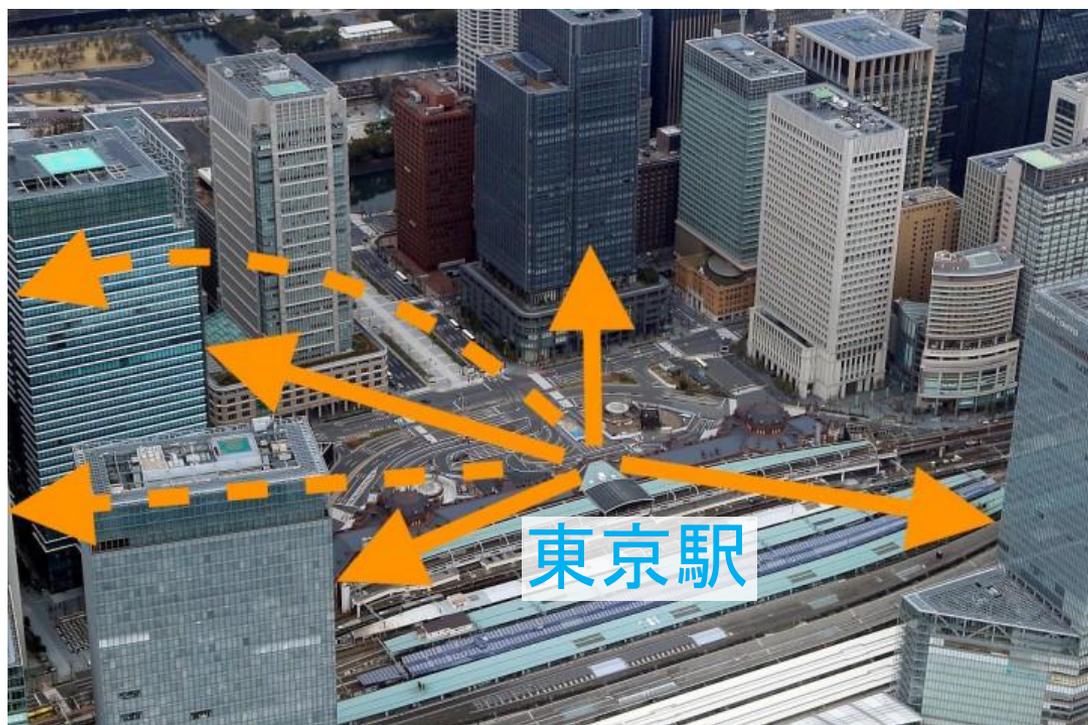


図 特例容積率適用地区における容積率移転のイメージ

解析対象

表 1 各建物モデルの大きさ

	x [m]	y [m]	z [m]	表示		x [m]	y [m]	z [m]	表示
高架線路モデル	25	830	5	▮	中層モデル	25	50	75	▣
低層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	25	■	高層モデル	25	50	100	□
高層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	100	目	超高層モデル	25	150	▨	

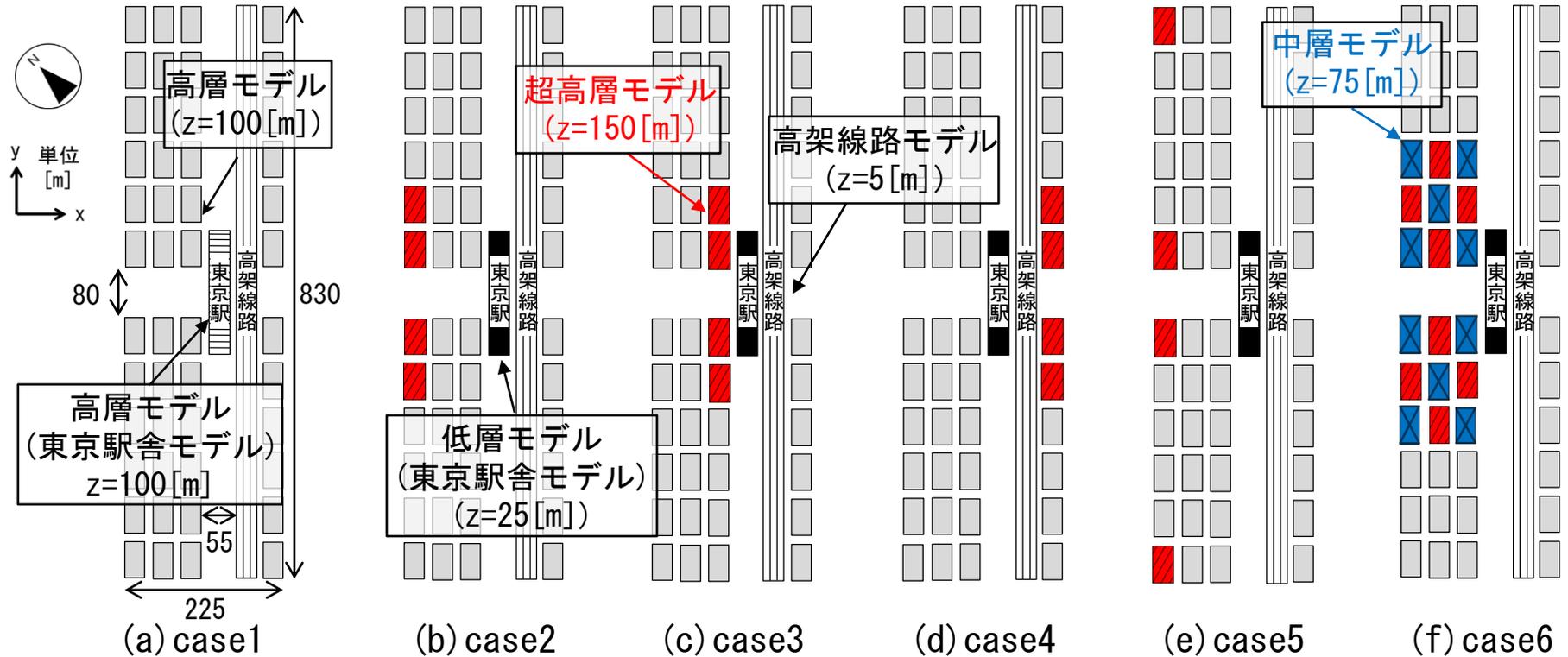


図 3 解析対象モデルの概要

解析対象

表1 各建物モデルの大きさ

解析対象は東京都千代田区丸の内地区（商業地域、建蔽率80[%]、容積率1,300[%]）をモデル化する。

高層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	100	目	超高層モデル	25	50	150	
----------------	----	-----	-----	---	--------	----	----	-----	--

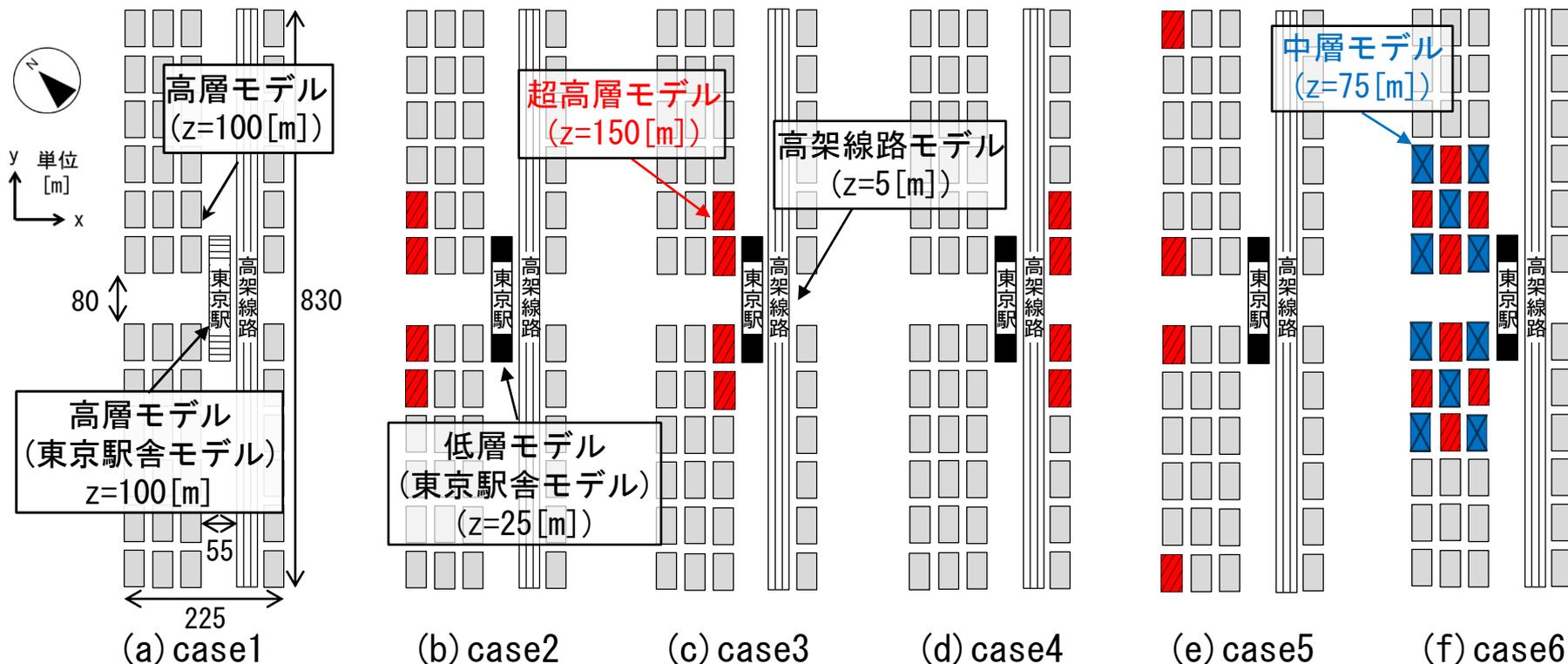


図3 解析対象モデルの概要

解析対象

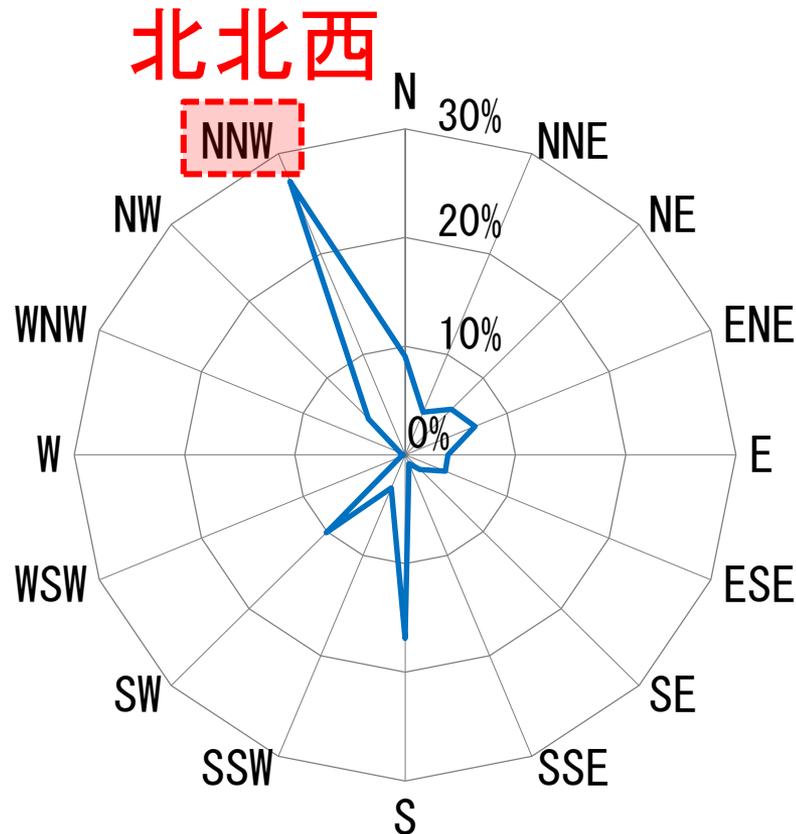


図 1 東京都千代田区の風向頻度分布※6文1)

※6 風速の頻度分布の作成には標準気象データ(標準年)を用いる。

文1) 日本建築学会「拡張アメダス気象データ」 鹿児島TLO、2005年

解析対象地区の主風向は北北西である。

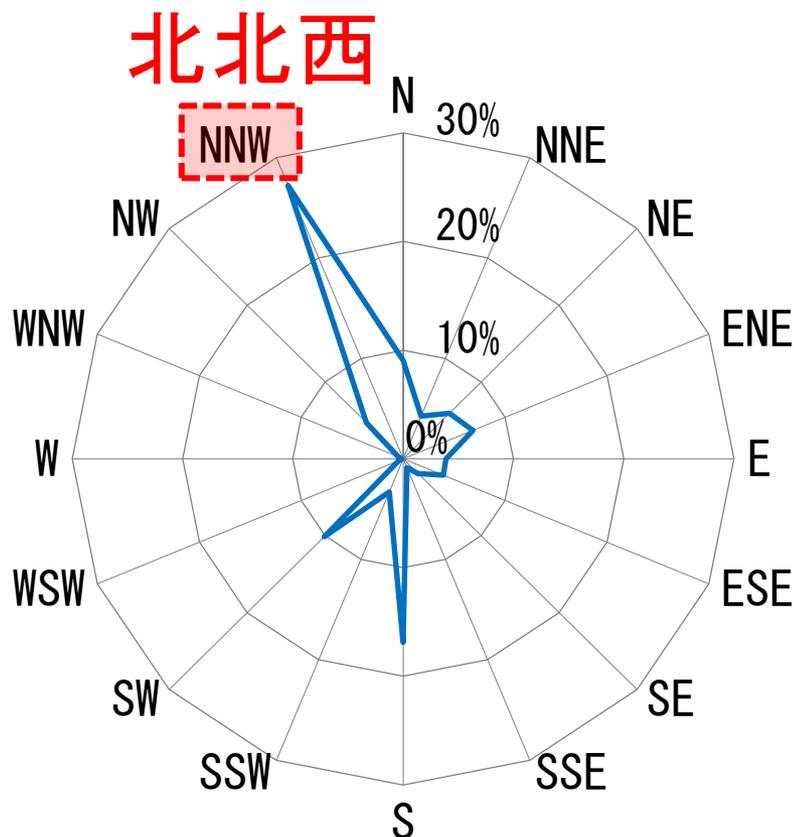


図 1 東京都千代田区の風向頻度分布※6文1)

※6 風速の頻度分布の作成には標準気象データ(標準年)を用いる。

文1) 日本建築学会「拡張アメダス気象データ」 鹿児島TLO、2005年

解析対象

表1 各建物モデルの大きさ

対象地区における建蔽率・容積率の規制上限まで建物を建築した基準モデルをcase1とする。

高層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	100	目	超高層モデル	25	50	150	
----------------	----	-----	-----	---	--------	----	----	-----	--

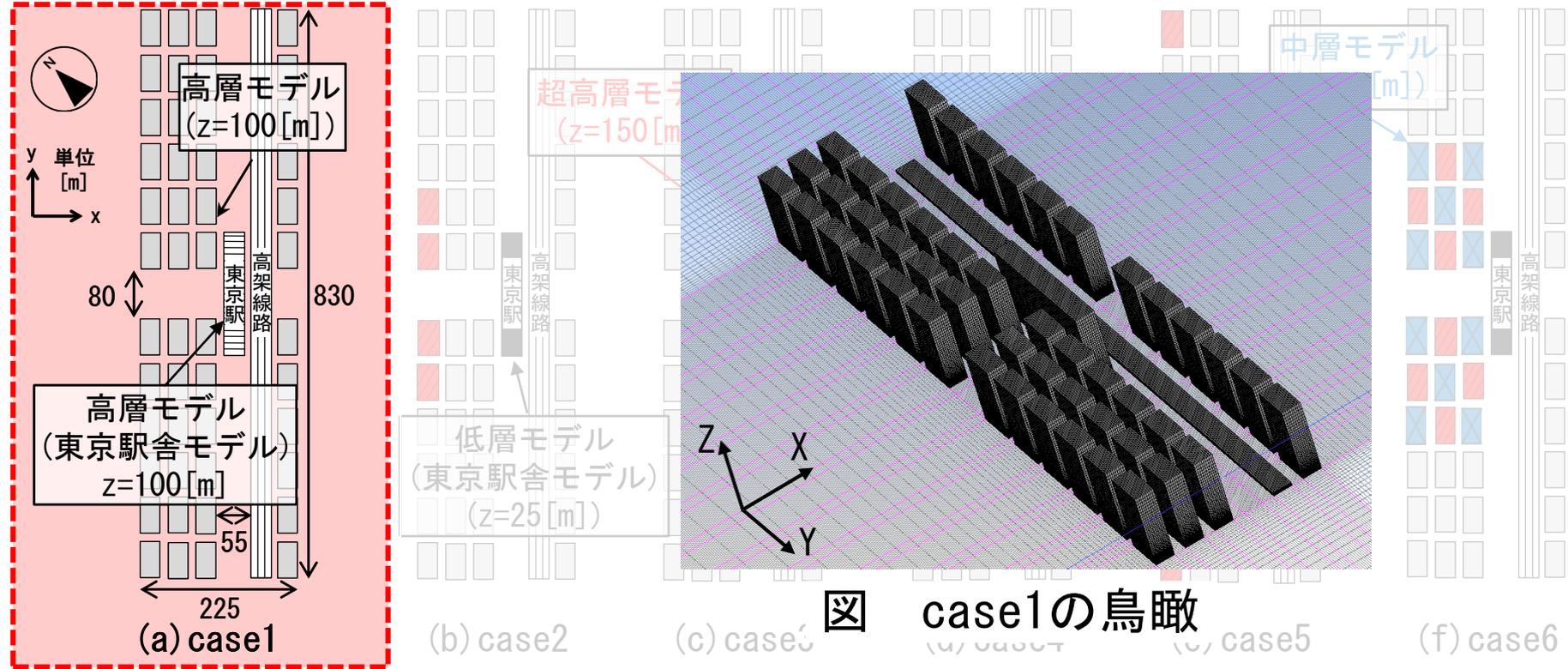


図 case1の鳥瞰

図3 解析対象モデルの概要

解析対象

表1 各建物モデルの大きさ

容積率を移転したモデルをcase2~case6 とする。

高架線路モデル	25	830	5	▨	中層モデル	25	50	75	▨
低層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	25	■	高層モデル	25	50	100	□
高層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	100	目	超高層モデル	25	50	150	▨

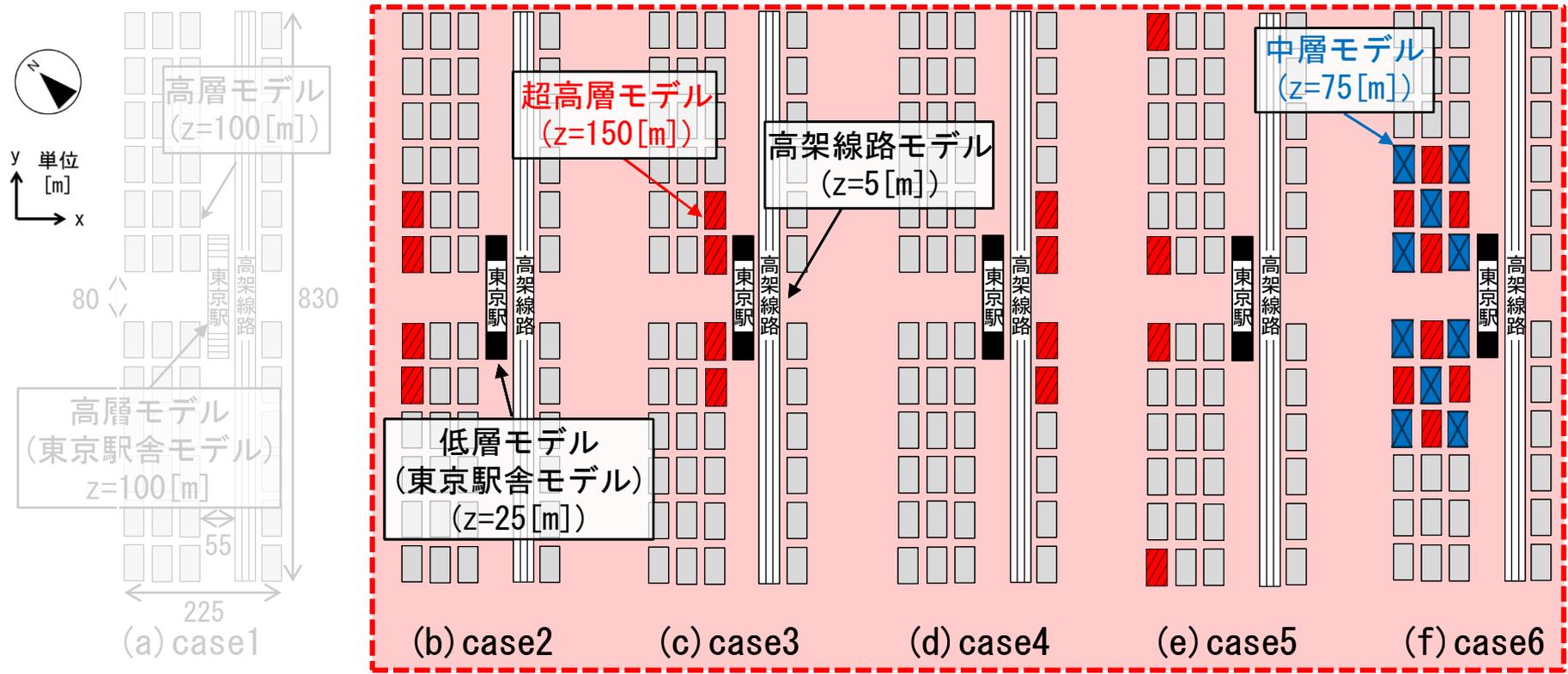


図3 解析対象モデルの概要

解析対象

表1 各建物モデルの大きさ

モデル全体の**グロス容積率**、**グロス建蔽率**は**同様**とする。

高架線路モデル	25	830	5	▨	中層モデル	25	50	75	▨
低層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	25	■	高層モデル	25	50	100	□
高層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	100	目	超高層モデル	25	50	150	▨

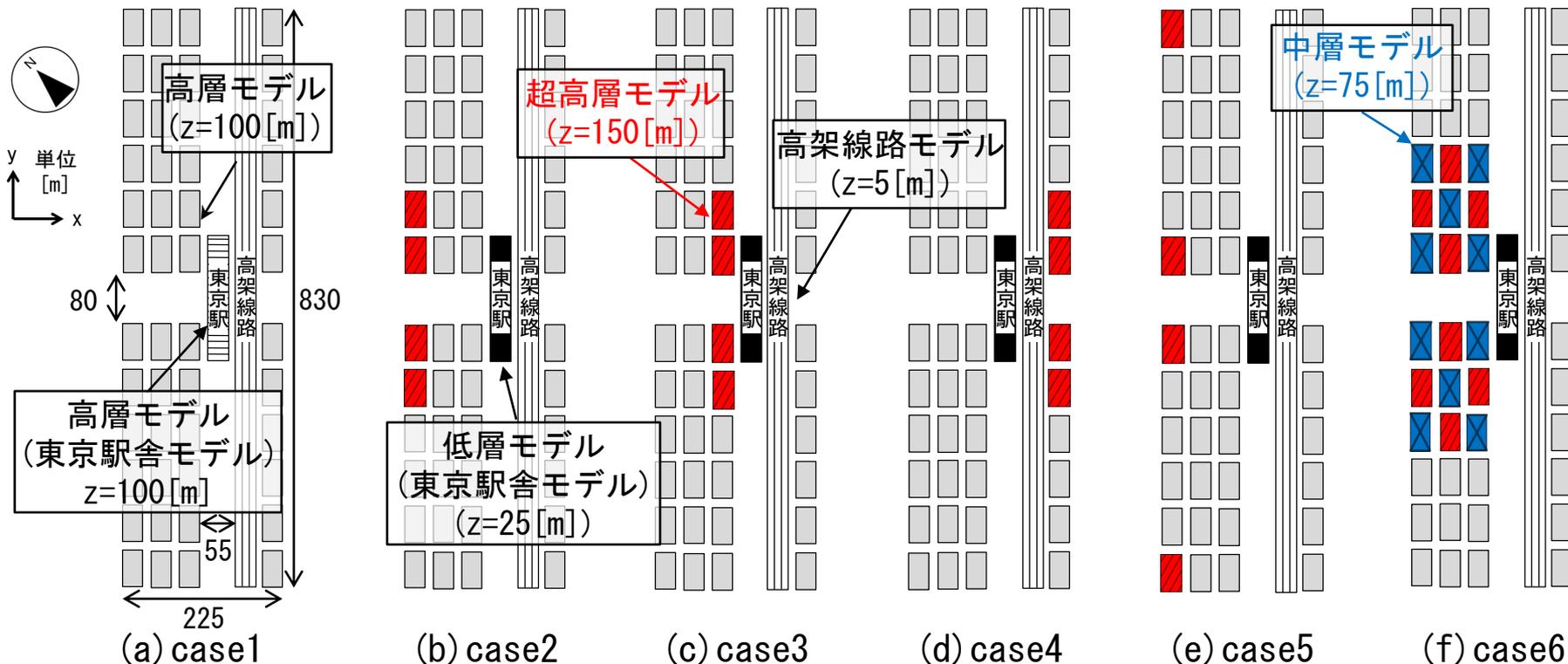


図3 解析対象モデルの概要

解析対象

表1 各建物モデルの大きさ

隣棟間隔は、xy方向共に15[m]とする。

建物モデル	x[m]	y[m]	高さ[m]	表示
高架線路モデル	25	830	5	■
低層モデル(東京駅舎モデル)	25	180	25	□
高層モデル(東京駅舎モデル)	25	190	100	■
中層モデル	25	50	75	■
超高層モデル	25	50	150	■

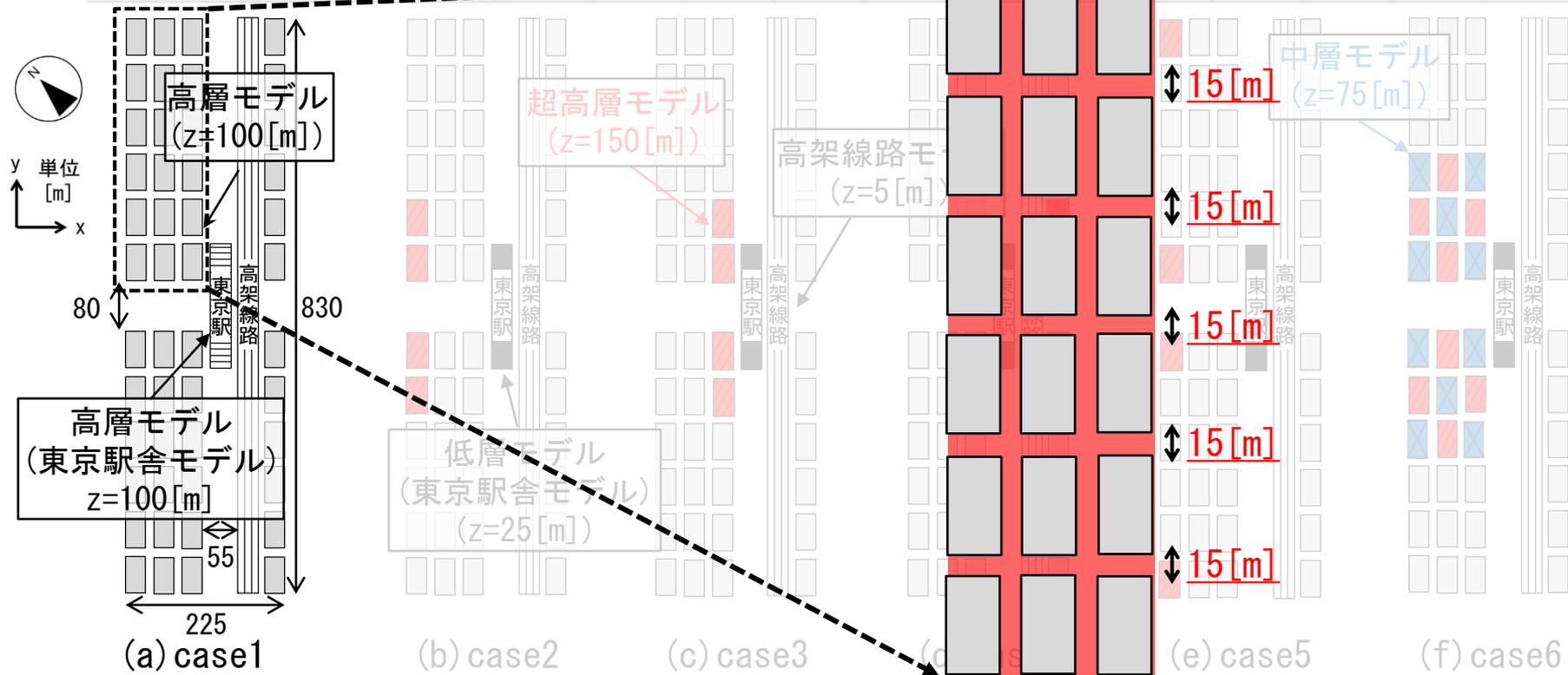


図 建物隣棟間の詳細

解析対象

表2 解析case

解析case	GF算出方法	解析case	GF算出方法
case1-A	式(1)	case1-B	式(2)
case2-A		case2-B	
case3-A		case3-B	
case4-A		case4-B	
case5-A		case5-B	
case6-A		case6-B	

$$\left(\begin{array}{l} GF=1.64 \times R^{-0.32} (R > 0.1) \\ GF=3.43 (R \leq 0.1) \end{array} \right) \dots (1)$$

$$\left(\begin{array}{l} GF=1.85 \times R^{-0.4} (R > 0.2) \\ GF=1.85 \times 0.2^{-0.4} (R \leq 0.2) \end{array} \right) \dots (2)$$

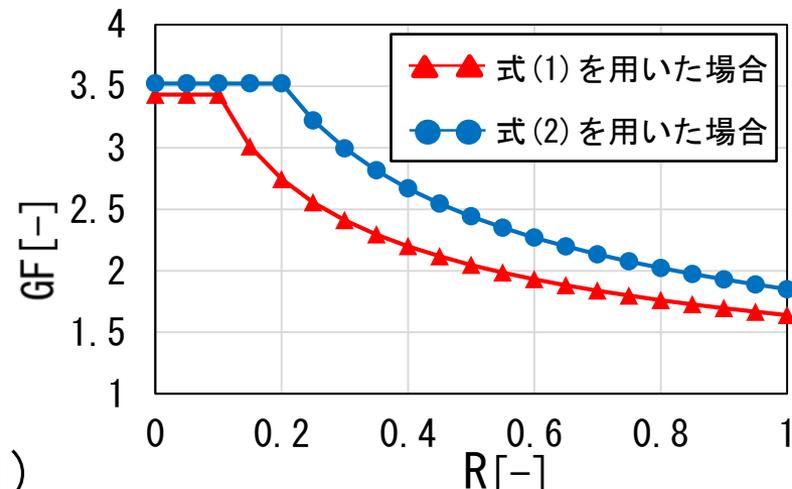


図 GFと風速比の関係

$$GF[-] = \frac{\text{最大瞬間風速 [m/s]}}{\text{平均風速 [m/s]}}$$

$$R[-] = \frac{\text{各地点の風速 [m/s]}}{\text{上空の基準風速 [m/s]}}$$

※7 ガストファクターとは、突風率を意味し、平均風速に対する最大瞬間風速の比で表される。

文2) 義江・富永ら「日最大瞬間風速の超過確率に基づく風環境評価に用いるガストファクターの提案」 日本風工学会論文集、2014年

文3) 本郷・中村「風環境評価用ガストファクターの提案」 日本風工学会年次研究発表会・梗概集、2003年

解析対象

風環境評価に用いるガストファクター(以下GF)^{※7}は、式(1)文2)
を用いる場合をA、式(2)文3)を用いる場合をBとする。

表2 解析case

解析case	GF算出方法	解析case	GF算出方法
case1-A	式(1)	case1-B	式(2)
case2-A		case2-B	
case3-A		case3-B	
case4-A		case4-B	
case5-A		case5-B	
case6-A		case6-B	

$$\left(\begin{array}{l} \underline{GF=1.64 \times R^{-0.32} (R > 0.1)} \\ \underline{GF=3.43 (R \leq 0.1)} \end{array} \right) \dots (1)$$

$$\left(\begin{array}{l} GF=1.85 \times R^{-0.4} (R > 0.2) \\ GF=1.85 \times 0.2^{-0.4} (R \leq 0.2) \end{array} \right) \dots (2)$$

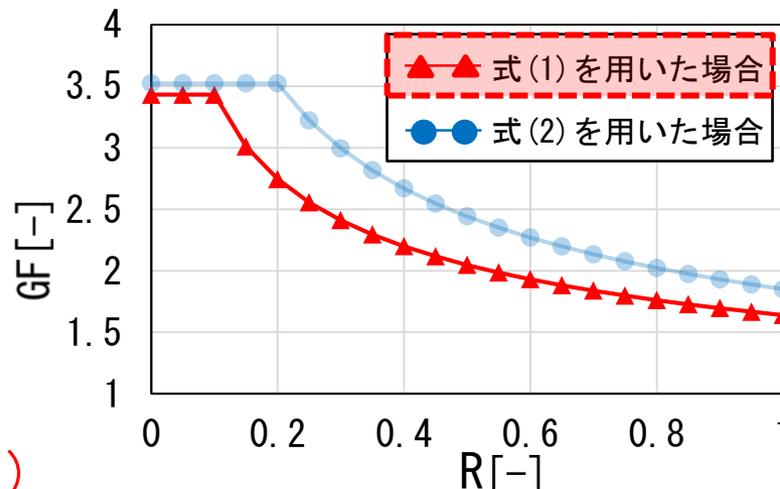


図 GFと風速比の関係

GF [-]: $\frac{\text{最大瞬間風速 [m/s]}}{\text{平均風速 [m/s]}}$
 R [-]: $\frac{\text{各地点の風速 [m/s]}}{\text{上空の基準風速 [m/s]}}$

※7 ガストファクターとは、突風率を意味し、平均風速に対する最大瞬間風速の比で表される。

文2) 義江・富永ら「日最大瞬間風速の超過確率に基づく風環境評価に用いるガストファクターの提案」日本風工学会論文集、2014年

文3) 本郷・中村「風環境評価用ガストファクターの提案」日本風工学会年次研究発表会・梗概集、2003年

解析対象

風環境評価に用いるガストファクター（以下GF）※7は、式(1)文2)を用いる場合をA、式(2)文3)を用いる場合をBとする。

表2 解析case

解析case	GF算出方法	解析case	GF算出方法
case1-A	式(1)	case1-B	式(2)
case2-A		case2-B	
case3-A		case3-B	
case4-A		case4-B	
case5-A		case5-B	
case6-A		case6-B	

$$\left(\begin{array}{l} GF=1.64 \times R^{-0.32} (R > 0.1) \\ GF=3.43 (R \leq 0.1) \end{array} \right) \dots (1)$$

$$\left(\begin{array}{l} GF=1.85 \times R^{-0.4} (R > 0.2) \\ GF=1.85 \times 0.2^{-0.4} (R \leq 0.2) \end{array} \right) \dots (2)$$

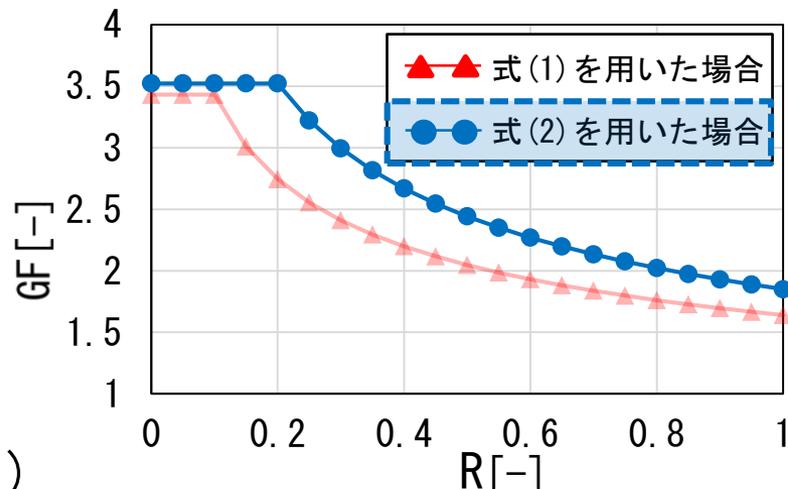


図 GFと風速比の関係

GF [-]: $\frac{\text{最大瞬間風速 [m/s]}}{\text{平均風速 [m/s]}}$
R [-]: $\frac{\text{各地点の風速 [m/s]}}{\text{上空の基準風速 [m/s]}}$
(風速比):

※7 ガストファクターとは、突風率を意味し、平均風速に対する最大瞬間風速の比で表される。

文2) 義江・富永ら「日最大瞬間風速の超過確率に基づく風環境評価に用いるガストファクターの提案」日本風工学会論文集、2014年

文3) 本郷・中村「風環境評価用ガストファクターの提案」日本風工学会年次研究発表会・梗概集、2003年

解析対象

case1～6までの建物配置とGFの算出方法A, Bを組み合わせた計12caseの解析を行う。

表2 解析case

解析case	GF算出方法	解析case	GF算出方法
case1-A	式(1)	case1-B	式(2)
case2-A		case2-B	
case3-A		case3-B	
case4-A		case4-B	
case5-A		case5-B	
case6-A		case6-B	

$$GF = 1.64 \times R^{-0.32} \quad (R > 0.1)$$

$$GF = 3.43 \quad (R \leq 0.1)$$

… (1)

$$GF = 1.85 \times R^{-0.4} \quad (R > 0.2)$$

$$GF = 1.85 \times 0.2^{-0.4} \quad (R \leq 0.2)$$

… (2)

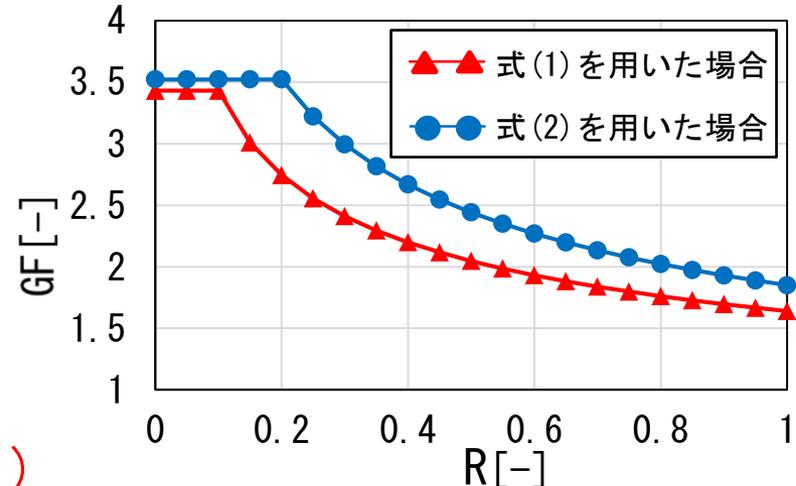


図 GFと風速比の関係

GF [-]: $\frac{\text{最大瞬間風速 [m/s]}}{\text{平均風速 [m/s]}}$
 R [-]: $\frac{\text{各地点の風速 [m/s]}}{\text{上空の基準風速 [m/s]}}$
 (風速比)

表 3 解析条件

乱流モデル	標準k-εモデル		
解析領域	2,250(x) × 2,830(y) × 900(z) [m]		
境界条件	流入	1/4乗則(基準高さ150[m]、風速5.0[m/s])	
	流出	表面圧力境界(0.0[Pa])	
	壁面	Ymin, Ymax, Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	対数則
流体と接する全ての面			
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.3[m]		
解析領域メッシュ数	164(x) × 406(y) × 110(z) = 7,324,240		

本研究における解析には汎用数値流体解析ソフトSTREAM Ver. 12を使用する。乱流モデルは標準k-εモデルを使用し、等温で16風向の解析を行う。

表3 解析条件

乱流モデル		標準k-εモデル	
解析領域		2,250(x) × 2,830(y) × 900(z) [m]	
境界条件	流入	1/4乗則(基準高さ150[m]、風速5.0[m/s])	
	流出	表面圧力境界(0.0[Pa])	
	壁面	Ymin, Ymax, Zmax面	フリースリップ
		Zmin面	対数則
流体と接する全ての面			
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.3[m]		
解析領域メッシュ数	164(x) × 406(y) × 110(z) = 7,324,240		

接近流の基準流入プロファイルは市街地風を想定し、 $U \propto Z^{1/4}$ (U:流速、Z:高さ)とする。基準風速は5.0[m/s] (基準高さ150[m])とする。

表3 解析条件

乱流モデル	標準k-εモデル		
解析領域	2,250(x) × 2,830(y) × 900(z) [m]		
境界条件	流入	1/4乗則 (基準高さ150[m]、風速5.0[m/s])	
	流出	表面圧力境界 (0.0[Pa])	
	壁面	Ymin, Ymax, Zmax面	フリースリップ
		Zmin面 流体と接する全ての面	対数則
温度	等温		
最小メッシュ幅	0.3[m]		
解析領域メッシュ数	164(x) × 406(y) × 110(z) = 7,324,240		

表4 村上らによる風環境評価基準^{文4)}

ランク	強風による影響の程度	対応する空間用途の例	許容する強風のレベルと許容される超過頻度		
			日最大瞬間風速 [m/s]		
			10	15	20
1	最も影響を受けやすい用途の場所	住宅街の商店街 野外レストラン	10 [%] (37日)	0.90 [%] (3日)	0.08 [%] (0.3日)
2	影響を受けやすい用途の場所	住宅街、公園	22 [%] (80日)	3.6 [%] (12日)	0.6 [%] (2日)
3	比較的影響を受けにくい用途の場所	事務所	35 [%] (128日)	7 [%] (26日)	1.5 [%] (5日)
4	ランク3の条件を満たさない領域				

文4) 村上・岩佐・森川 「居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究：市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究—III」 日本建築学会論文報告集、1983年

村上らによる風環境評価手法

日最大瞬間風速から強風の超過頻度 P_{jk} を求め、表4に基づいて風環境を評価する。

表4 村上らによる風環境評価基準^{文4)}

ランク	強風による影響の程度	対応する空間用途の例	許容する強風のレベルと許容される超過頻度		
			日最大瞬間風速 [m/s]		
			10	15	20
1	最も影響を受けやすい用途の場所	住宅街の商店街 野外レストラン	10 [%] (37日)	0.90 [%] (3日)	0.08 [%] (0.3日)
2	影響を受けやすい用途の場所	住宅街、公園	22 [%] (80日)	3.6 [%] (12日)	0.6 [%] (2日)
3	比較的影響を受けにくい用途の場所	事務所	35 [%] (128日)	7 [%] (26日)	1.5 [%] (5日)
4	ランク3の条件を満たさない領域				

文4) 村上・岩佐・森川 「居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究：市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究－III」 日本建築学会論文報告集、1983年

解析対象地区の用途は**事務所**のため、**評価ランク 3**までが許容される。

表 4 村上らによる風環境評価基準^{文4)}

ランク	強風による影響の程度	対応する空間用途の例	許容する強風のレベルと許容される超過頻度		
			日最大瞬間風速 [m/s]		
			10	15	20
1	最も影響を受けやすい用途の場所	住宅街の商店街 野外レストラン	10 [%] (37日)	0.90 [%] (3日)	0.08 [%] (0.3日)
2	影響を受けやすい用途の場所	住宅街、公園	22 [%] (80日)	3.6 [%] (12日)	0.6 [%] (2日)
3	比較的影響を受けにくい用途の場所	事務所	35 [%] (128日)	7 [%] (26日)	1.5 [%] (5日)
4	ランク 3 の条件を満たさない領域				

文 4) 村上・岩佐・森川 「居住者の日誌による風環境調査と評価尺度に関する研究：市街地低層部における風の性状と風環境評価に関する研究－III」 日本建築学会論文報告集、1983年

村上らによる風環境評価手法

超過頻度 P_{jk} 算出式

$$P_{jk} = 1 - \sum_{i=1}^{16} D_i \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{U_k}{GF \times R_{ji} \times C_i} \right)^{K_i} \right\} \right] \dots \text{式(3)}$$

U_k : 村上らによる風環境評価で用いる日最大瞬間風速 ($k=10, 15, 20$) [m/s]
 R_{ji} : 点 j における風向 i の時の風速比 [-]
 C_i : 風向 i のワイブルパラメータ [m/s]
 K_i : 風向 i のワイブルパラメータ [-]
 D_i : 風向 i の出現頻度 [-]

表5 風環境評価に用いるワイブルパラメータ

	南南西	南西	西南西	西	西北西	北西	北北西	北
出現頻度D [%]	3.285	10.129	0.411	0.164	0.493	4.708	27.211	9.061
C	6.915	7.309	5.078	8.042	6.345	7.797	7.556	6.961
K	3.712	4.008	6.108	2.484	2.608	3.275	4.387	2.882
	北北東	北東	東北東	東	東南東	南東	南南東	南
出現頻度D [%]	4.27	5.94	6.844	3.887	3.942	1.889	0.876	16.89
C	5.948	5.975	5.891	5.756	5.468	4.983	4.673	6.312
K	4.416	5.332	5.296	6.05	5.526	7.606	6.216	4.421

村上らによる風環境評価手法

村上らによる風環境評価では、16風向分の解析データを用いる。日最大瞬間風速の算出には、RANS解析により求めた平均風速にGFを乗じた値を用いる。

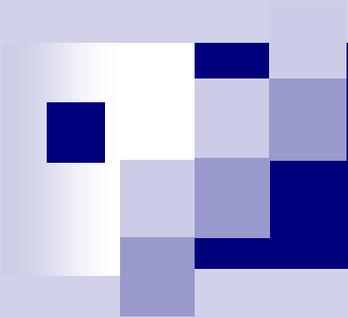
超過頻度 P_{jk} 算出式

$$P_{jk} = 1 - \sum_{i=1}^{16} D_i \left[1 - \exp \left\{ - \left(\frac{U_k}{GF \times R_{ji} \times C_i} \right)^{K_i} \right\} \right] \dots \text{式(3)}$$

U_k : 村上らによる風環境評価で用いる日最大瞬間風速 ($k=10, 15, 20$) [m/s]
 R_{ji} : 点jにおける風向iの時の風速比 [-]
 C_i : 風向iのワイブルパラメータ [m/s]
 K_i : 風向iのワイブルパラメータ [-]
 D_i : 風向iの出現頻度 [-]

表5 風環境評価に用いるワイブルパラメータ

	南南西	南西	西南西	西	西北西	北西	北北西	北
出現頻度D [%]	3.285	10.129	0.411	0.164	0.493	4.708	27.211	9.061
C	6.915	7.309	5.078	8.042	6.345	7.797	7.556	6.961
K	3.712	4.008	6.108	2.484	2.608	3.275	4.387	2.882
	北北東	北東	東北東	東	東南東	南東	南南東	南
出現頻度D [%]	4.27	5.94	6.844	3.887	3.942	1.889	0.876	16.89
C	5.948	5.975	5.891	5.756	5.468	4.983	4.673	6.312
K	4.416	5.332	5.296	6.05	5.526	7.606	6.216	4.421



数值流体解析結果

主風向時 (NNW) の平均風速ベクトル分布

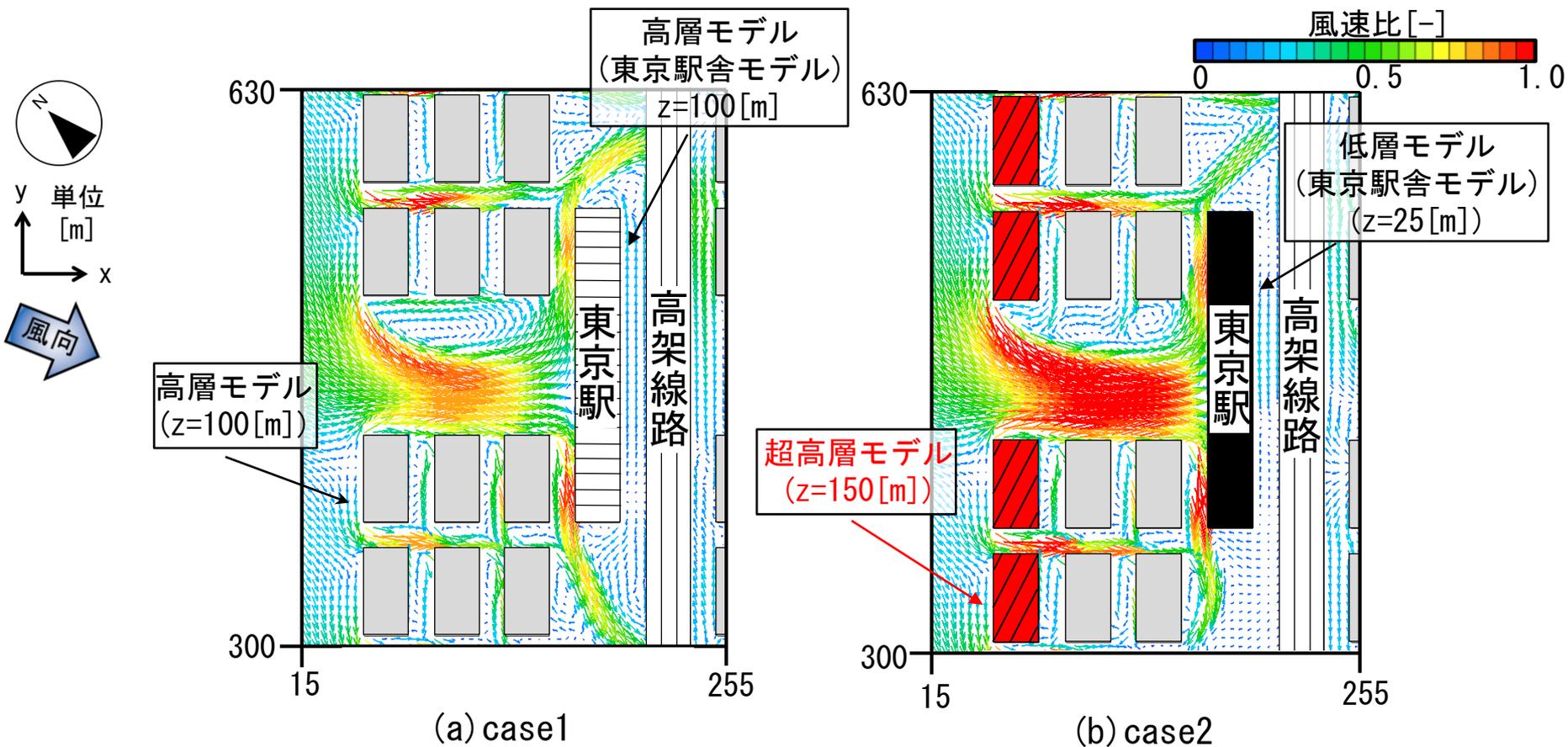


図4 主風向時 (NNW) の地上1.5[m]の平均風速ベクトル分布※8

※8 図4は、東京駅舎モデルの一部領域を抜粋している。

主風向時 (NNW) の平均風速ベクトル分布

case1、case2共に、建物モデルの隣棟間では比較的**速い**気流場を形成する。

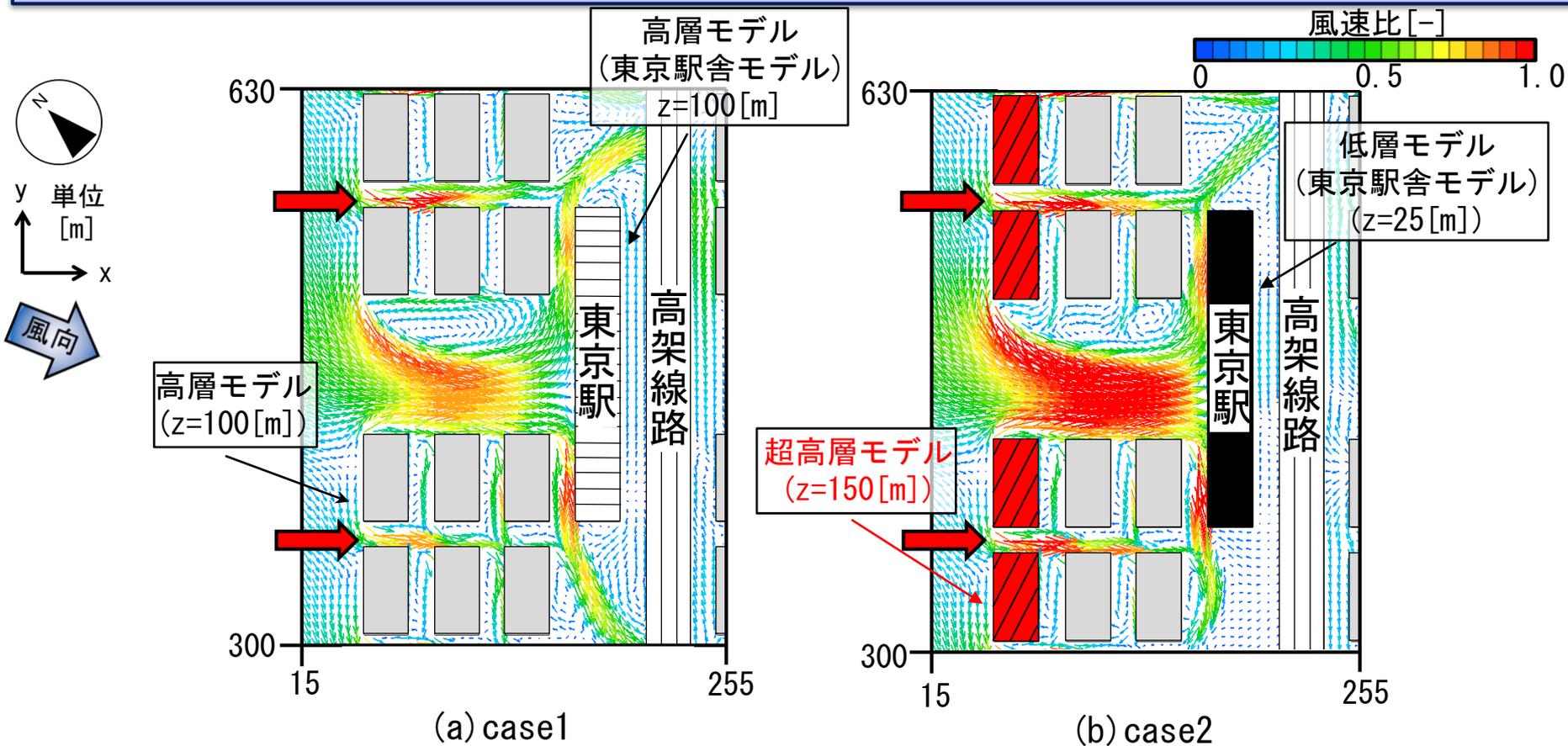


図4 主風向時 (NNW) の地上1.5[m]の平均風速ベクトル分布※8

※8 図4は、東京駅舎モデルの一部領域を抜粋している。

主風向時 (NNW) の平均風速ベクトル分布

case1では、東京駅舎モデル(高層モデル)隅角部で、剥離流により、高架線路モデル北西側に回り込むような気流場を形成する。

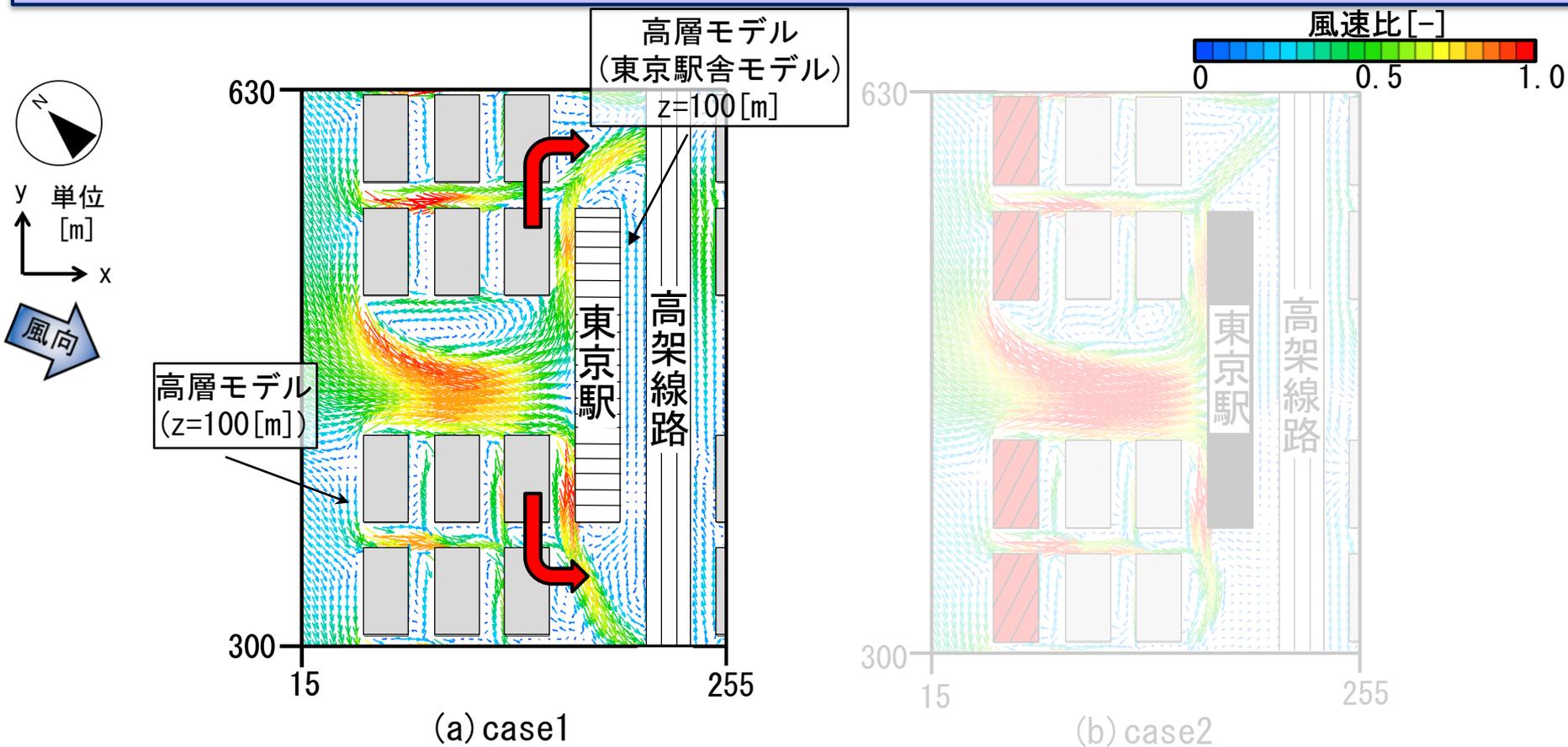


図4 主風向時 (NNW) の地上1.5[m]の平均風速ベクトル分布※8

※8 図4は、東京駅舎モデルの一部領域を抜粋している。

主風向時 (NNW) の平均風速ベクトル分布

case1に比較して、**case2**の東京駅舎モデル(低層モデル)北西側では、**風速比1.0程度**の極めて速い気流場が形成される。

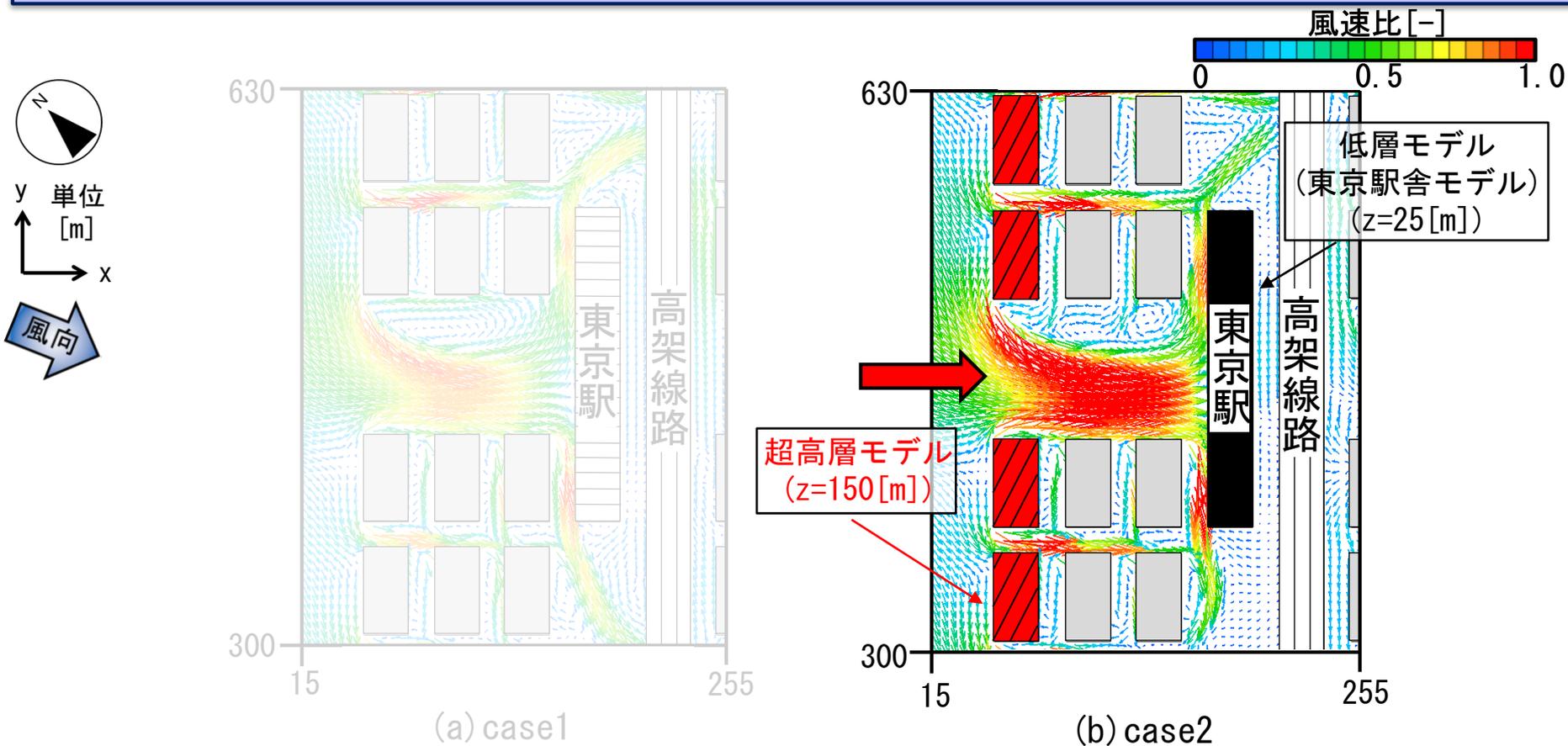


図4 主風向時 (NNW) の地上1.5[m]の平均風速ベクトル分布※8

※8 図4は、東京駅舎モデルの一部領域を抜粋している。

主風向時 (NNW) の風速増加率

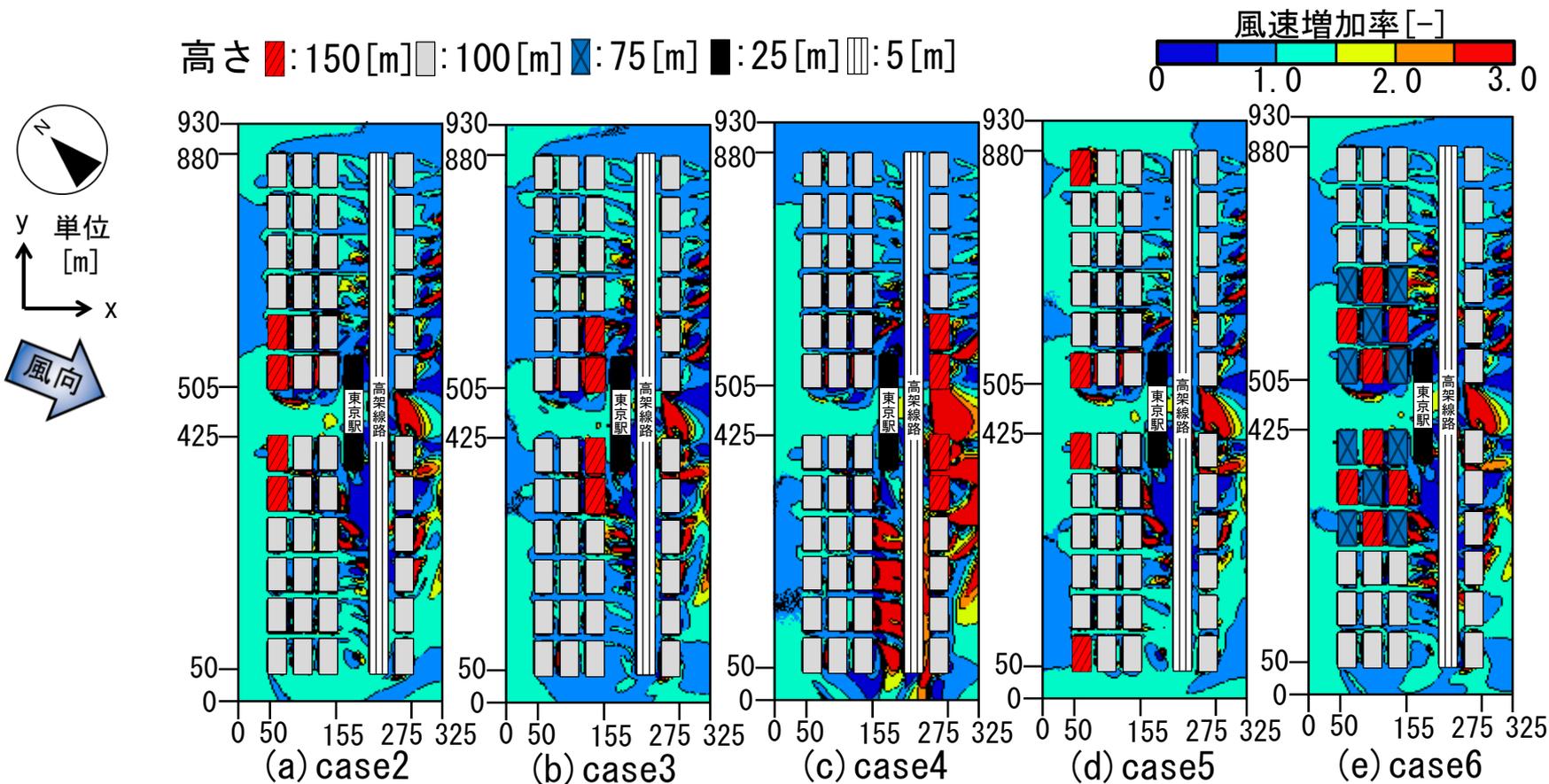


図 主風向時 (NNW) のcase1に対する風速増加率※⁹

※⁹ 風速増加率は、それぞれcase1の風速に対するcase2~6の風速の比で求められる。

主風向時 (NNW) の風速増加率

case2では、東京駅舎モデル北西側で局所的に風速増加率が高くなる。

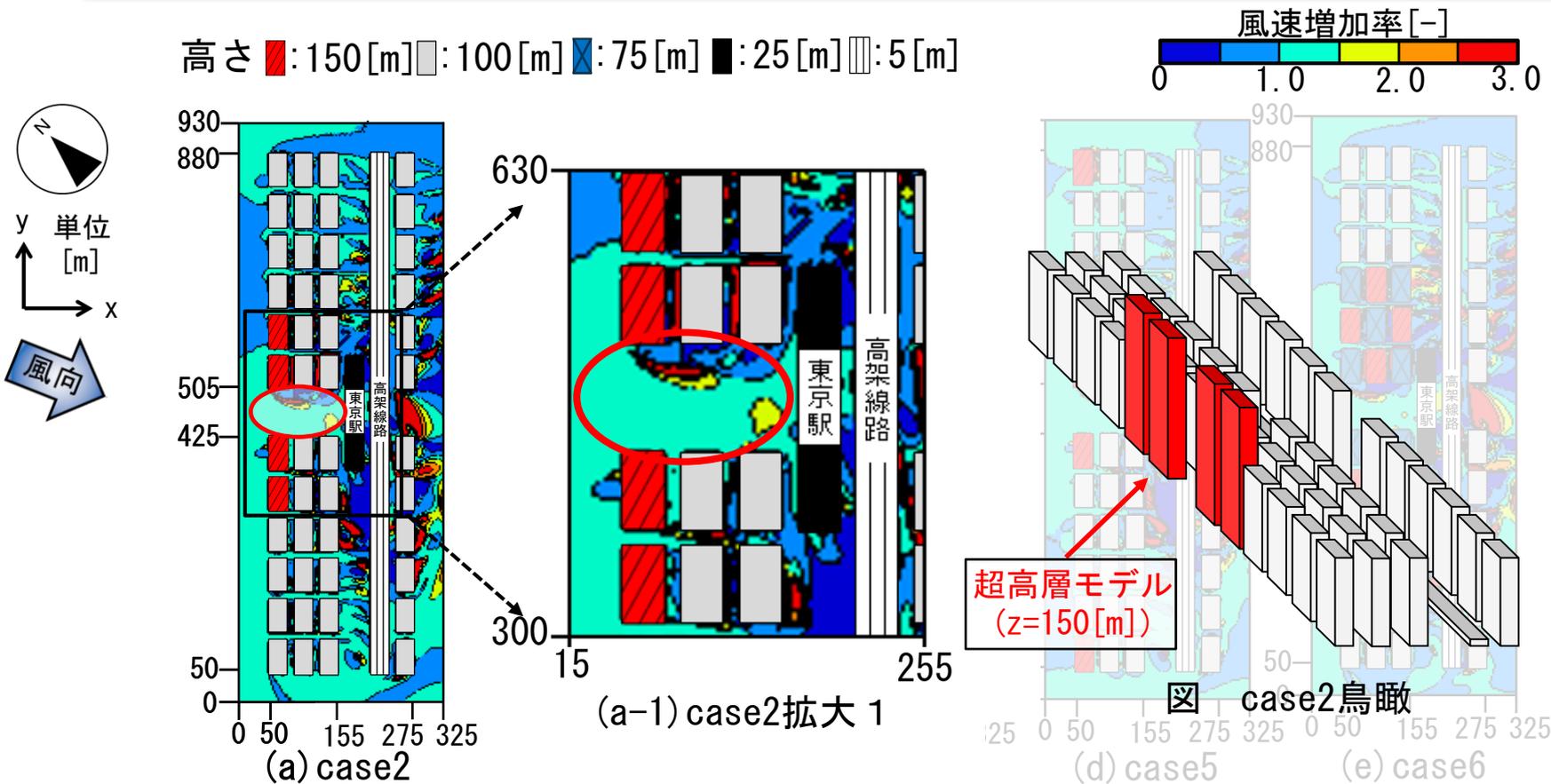


図 主風向時 (NNW) のcase1に対する風速増加率※9

※9 風速増加率は、それぞれcase1の風速に対するcase2~6の風速の比で求められる。

主風向時 (NNW) の風速増加率

また、東京駅舎モデル南西側、建物モデル風下側では風速増加率1.0以下の領域と3.0程度の領域が混在する。

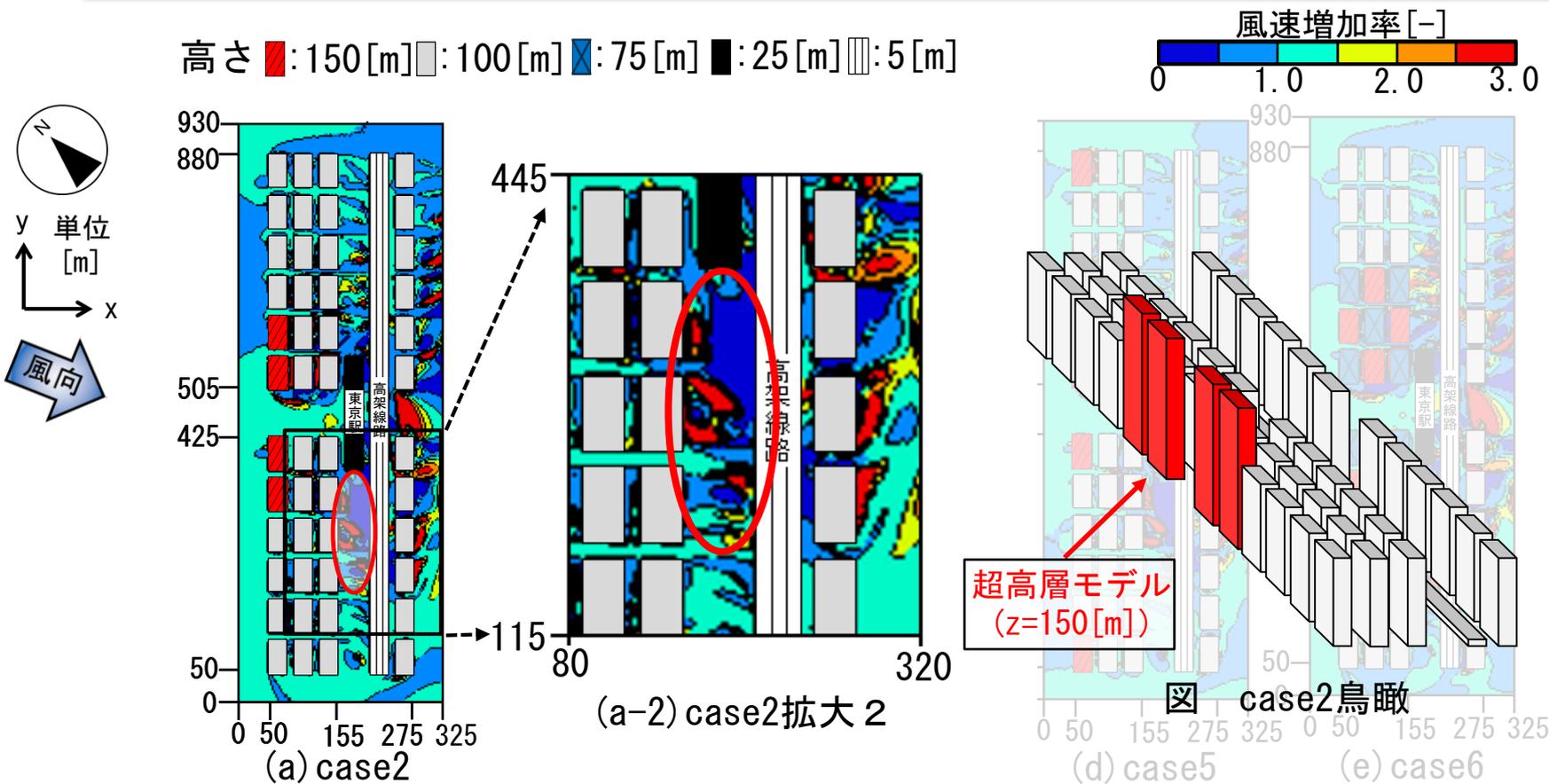


図 主風向時 (NNW) のcase1に対する風速増加率※⁹

※⁹ 風速増加率は、それぞれcase1の風速に対するcase2~6の風速の比で求められる。

主風向時 (NNW) の風速増加率

また、東京駅舎モデル南西側、建物モデル風下側では風速増加率1.0以下の領域と3.0程度の領域が混在する。

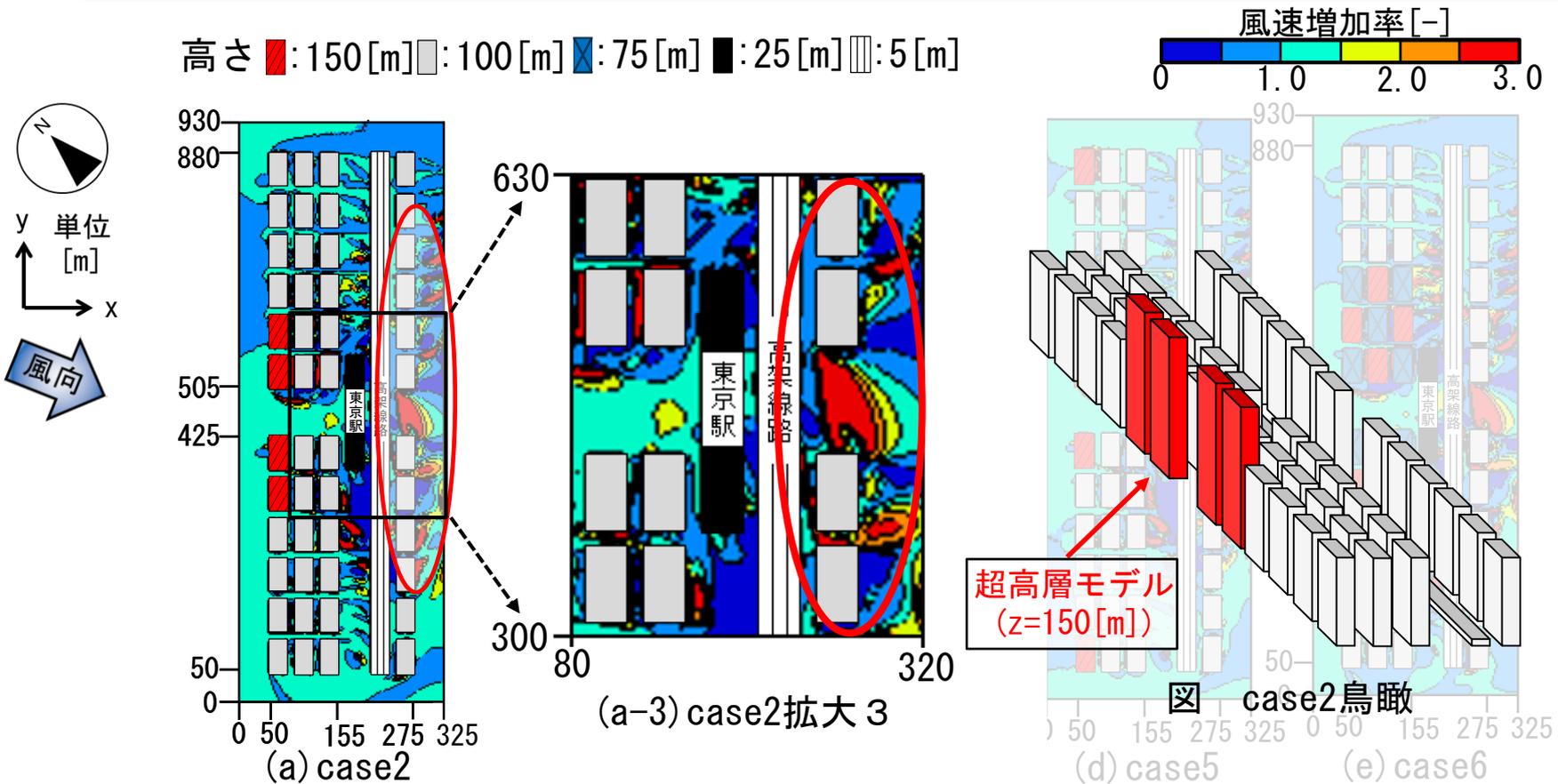


図 主風向時 (NNW) のcase1に対する風速増加率※9

※9 風速増加率は、それぞれcase1の風速に対するcase2~6の風速の比で求められる。

主風向時 (NNW) の風速増加率

case4では、東京駅舎モデル南西側、建物モデル風下側の広範囲で風速増加率3.0程度の領域が存在する。

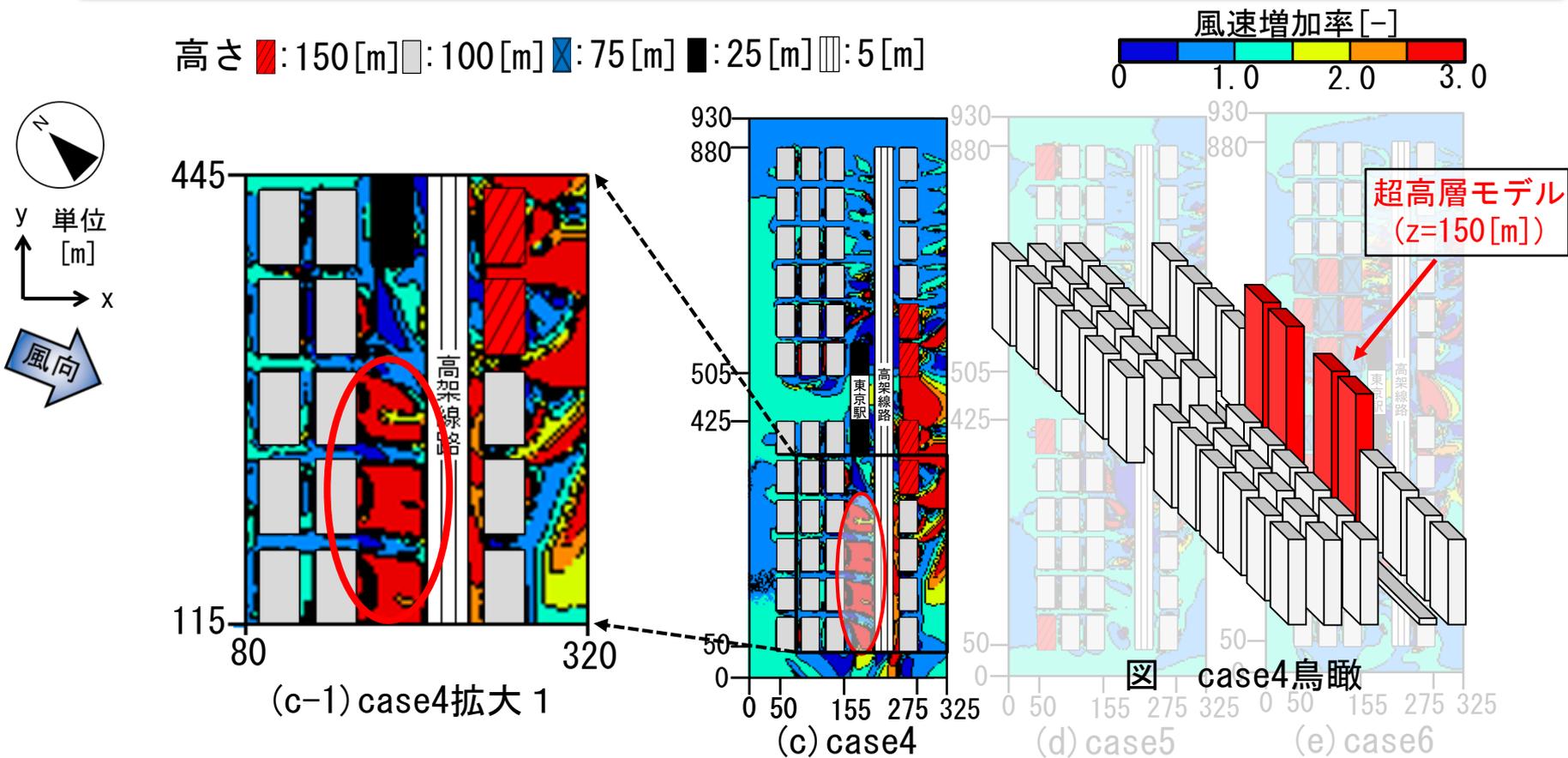


図 主風向時 (NNW) のcase1に対する風速増加率※⁹

※⁹ 風速増加率は、それぞれcase1の風速に対するcase2~6の風速の比で求められる。

主風向時 (NNW) の風速増加率

case4では、東京駅舎モデル南西側、**建物モデル風下側**の
広範囲で風速増加率**3.0程度**の領域が存在する。

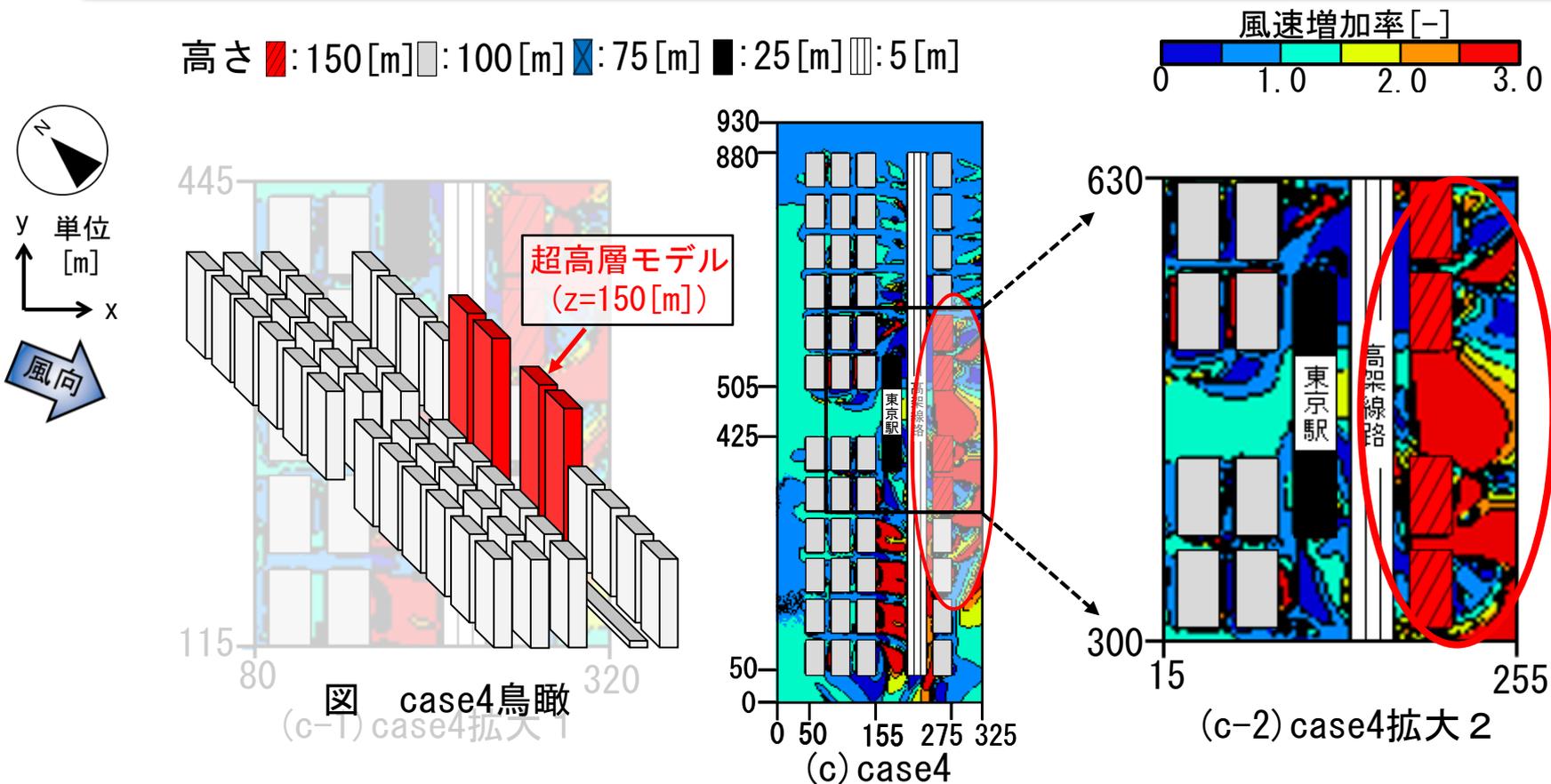


図 主風向時 (NNW) のcase1に対する風速増加率※9

※9 風速増加率は、それぞれcase1の風速に対するcase2~6の風速の比で求められる。

村上らの手法による風環境評価結果

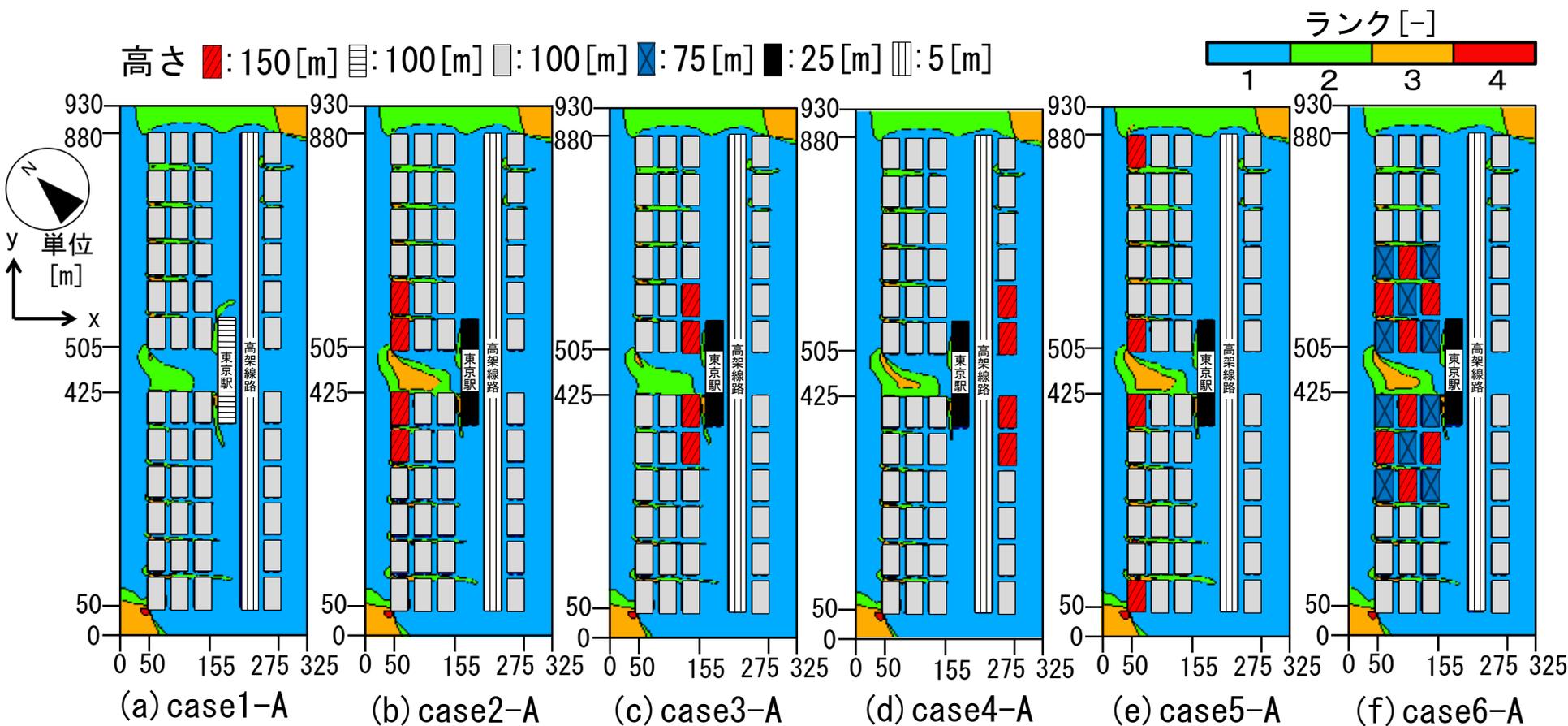


図 村上らによる風環境評価結果

村上らの手法による風環境評価結果

また、東京駅舎モデル隅角部では、剥離流の影響により、ランク2、3の領域が存在する。

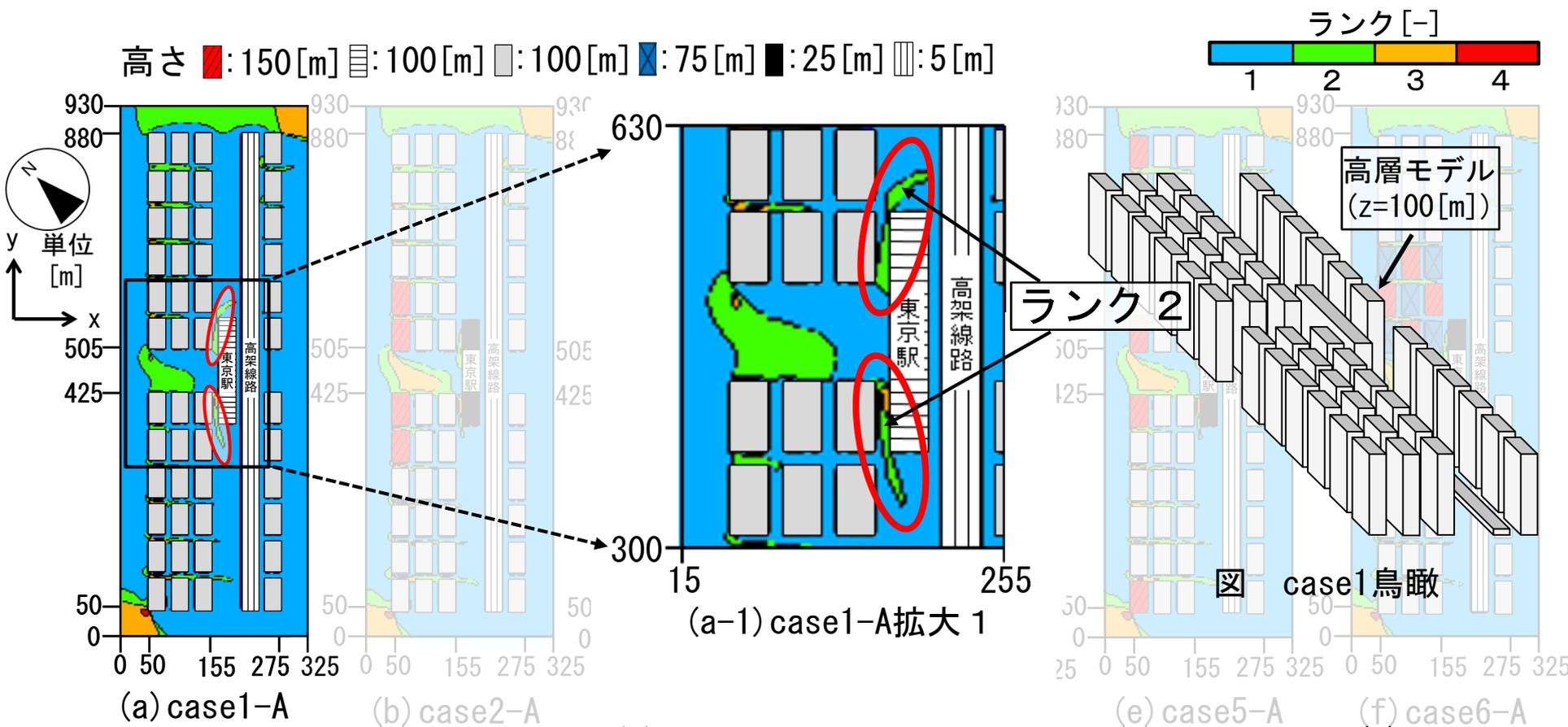


図 村上らによる風環境評価結果