

道路建設に伴う風の変化予測

—建設前・建設後の比較—

報 告 書

平成30年 1 月

恵那土木事務所

1. 調査の目的

本調査の目的は「濃飛横断自動車道（中津川工区）」建設に伴う風況（風向、風速）の変化について検討するものである。そのため、計画道路建設前・建設後の状態における風況をコンピュータシミュレーションによって再現・予測し、建設前後の風の流れおよび強さを比較・評価するものである。

2. 予測箇所

(1) 予測範囲

盛土構造のNo. 205～No. 250の約900m区間

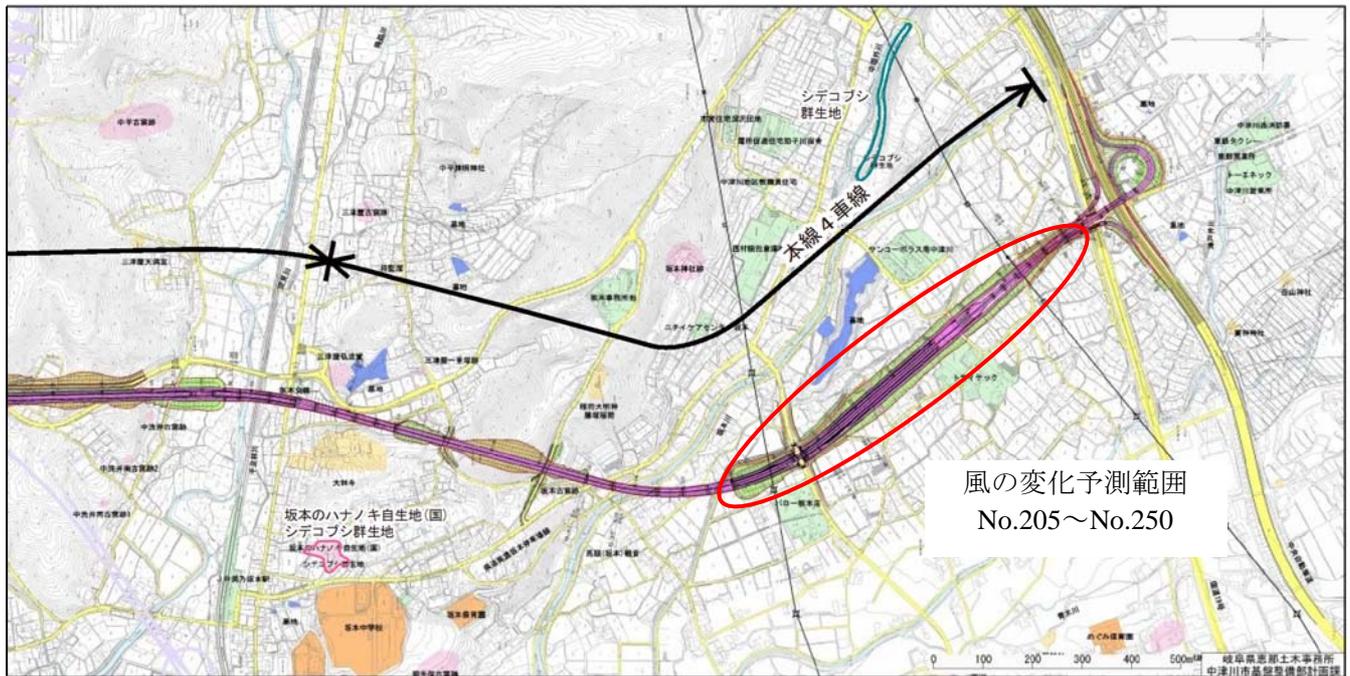


図2.1.1 予測範囲 (No. 205～No. 250)

3. 調査方法

3-1 調査方法の概要

計画地およびその周辺地域における風況（風向・風速）を、コンピュータシミュレーションモデル（有限差分法）によって再現・予測し、建設前と建設後の状態における風況を比較することによって、建設物の影響評価を行う。図3.1.1に調査手順の概要を示す。

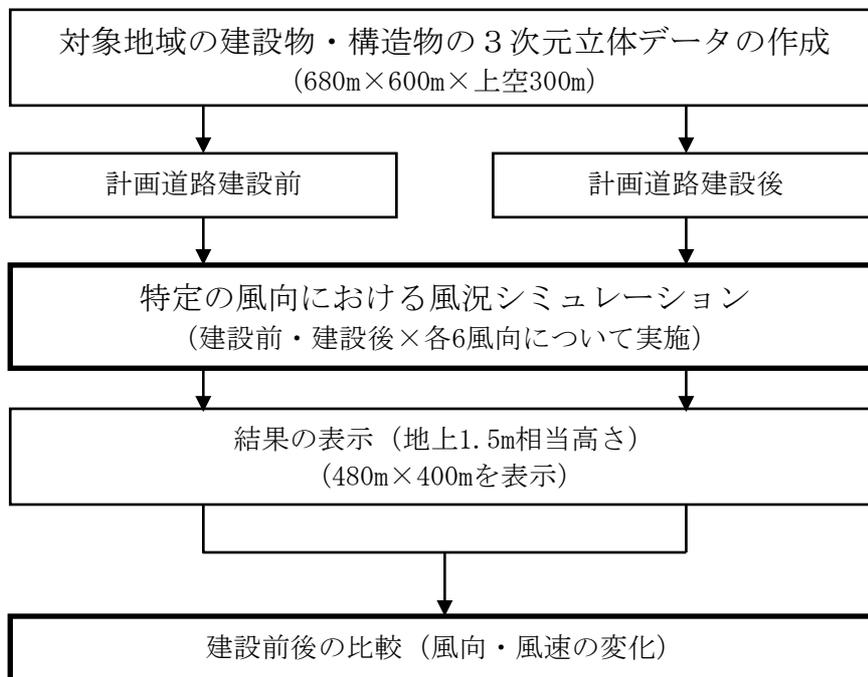


図3.1.1 調査手順の概要

3-2 調査対象地域

(1) 計算対象範囲

計算範囲（道路延長）が長く、また地表面に南北方向の勾配があるため南北2つの範囲に分割した。計画地周辺の建設物・構造物による風況への影響を余裕を持って考慮するため、計画道路を含む680m×600mの範囲を計算対象地域とした。なお、計算対象地域は計画道路の主な部分が計算範囲に平行になるよう、北が真上から反時計回りに49度回転した。

なお、高さ方向は、上空300mまでを考慮した。

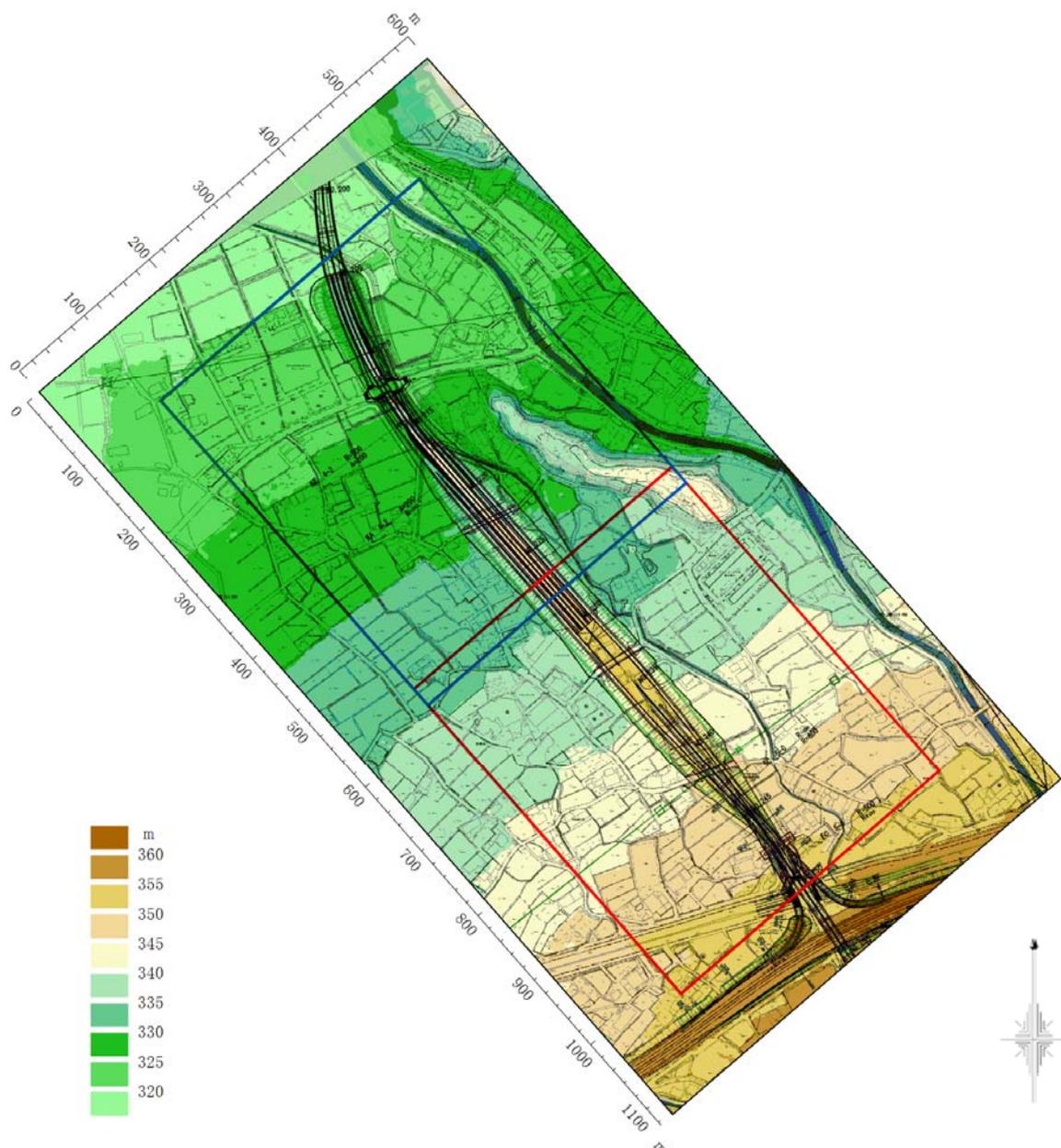


図3.2.1 予測箇所（図は計画道路を中心とした1125m×600m、色は建設後の標高、図の真上が北）
 青い矩形は北側（図の左上側）計算結果表示範囲（480m×400m）
 赤い矩形は南側（図の右下側）計算結果表示範囲（480m×400m）

（2）予測結果評価範囲

結果表示の範囲としては計画道路を中心とした480m×400mとし、地上への影響を考慮して地上1.5m相当の高さについて結果を示した。

（3）計算対象範囲の格子間隔

風向・風速の計算は計算範囲を立体の直方体の格子状に区切って行う。平面方向の格子間隔は精度を高くするため中心の480m×400mは2m間隔、その外側の580m×500mは5m間隔とし、さらに外側は10m間隔とし、計画道路に近いほど詳細なメッシュ間隔となるようにした。計算上はさらにその外側に空間を設定している。

また、鉛直（高さ）方向の格子間隔は計算範囲内の最も低い地点から25mまでは0.5m間隔、35mまでは1m間隔、45mまでは1.5m間隔、55mまでは2m間隔、70mまでは3m間隔、さらに上空については5m間隔から徐々に間隔が大きくなるように変化させた。

3-3 気象条件

(1) 地域の気象の現況

本事業計画地周辺に最も近い気象観測局には、気象庁が設置している「中津川アメダス」（岐阜県中津川市手賀野、風速測定高10m、2010年3月25日～）がある。本調査では、この測定局において観測された気象データを用いた。

表3.3.1 観測所の諸元

	所在地	標高	風車型風向風速計	対象道路までの最短距離
中津川観測所	中津川市手賀野	378m	10m	約3 k m
恵那観測所	恵那市長島町永田大洞	315m	10m	約5.6 k m

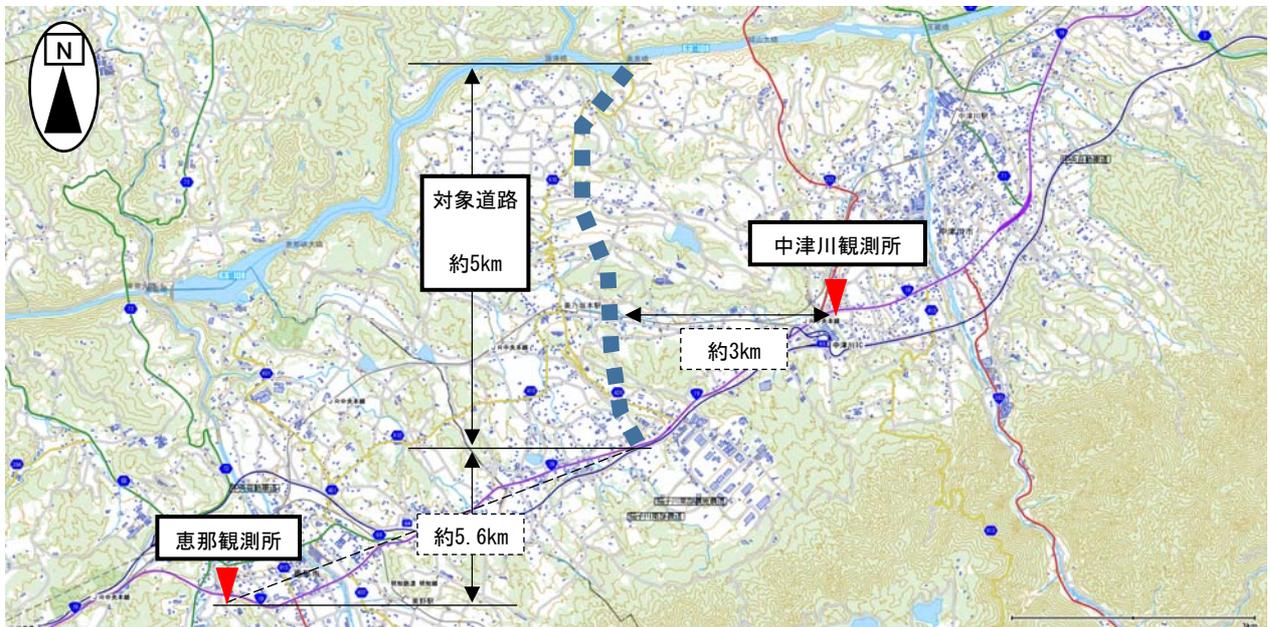


図3.3.1 観測所の位置

中津川アメダスの2011～2016年の風向別出現頻度、風向別平均風速、風向別最大風速を表3.3.2に、風配図（風向別の出現頻度を表したグラフ）を図3.3.2、風向別平均風速を図3.3.3、風向別最大風速を図3.3.4に示す。

表3.3.2 中津川アメダスの風向・風速データ

風向	出現頻度 2011～2016平均		平均風速 2011～2016平均		最大風速 2011～2016最大		
		順位	地上10m [m/s]	順位	地上10m [m/s]	1.5m換算 [m/s]	順位
N	2.5%	12	0.8	16	4.5	3.1	13
NNE	5.7%	8	1.0	8	5.2	3.6	9
NE	8.3%	4	1.1	6	6.2	4.2	5
ENE	8.7%	3	1.2	4	6.2	4.2	5
E	5.2%	9	1.1	5	5.2	3.6	9
ESE	2.4%	13	0.9	10	9.1	6.2	1
SE	1.6%	16	0.9	13	6.9	4.7	3
SSE	1.9%	15	0.9	15	5.9	4.0	7
S	3.5%	10	0.9	10	4.3	2.9	14
SSW	6.2%	7	1.0	7	5.1	3.5	11
SW	8.0%	5	0.9	10	4.1	2.8	16
WSW	10.9%	2	0.9	9	5.7	3.9	8
W	15.8%	1	1.3	3	4.8	3.3	12
WNW	7.3%	6	1.5	1	6.5	4.4	4
NW	2.8%	11	1.4	2	7.7	5.3	2
NNW	2.1%	14	0.9	14	4.2	2.9	15
CLM	7.4%		—		—	—	
全体	100%		1.0		9.1	4.8	

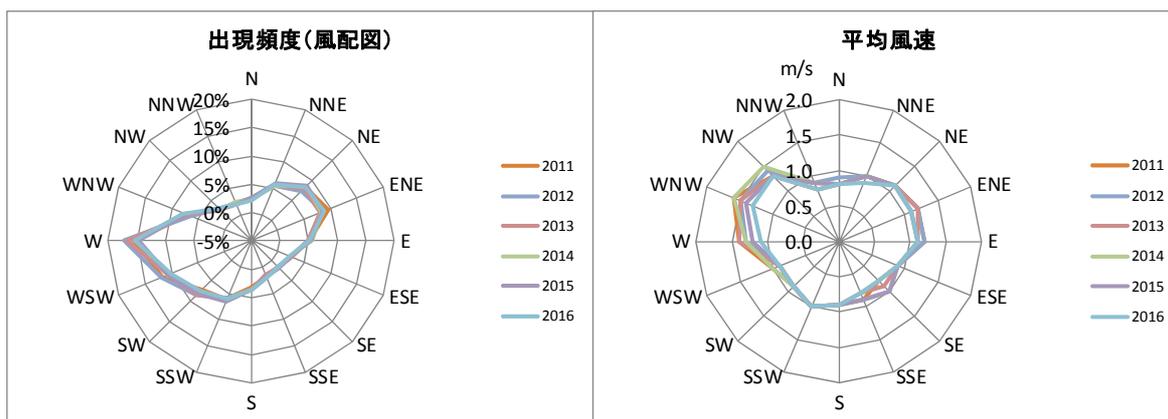


図3.3.2 風配図（風向別出現頻度）

図3.3.3 風向別平均風速

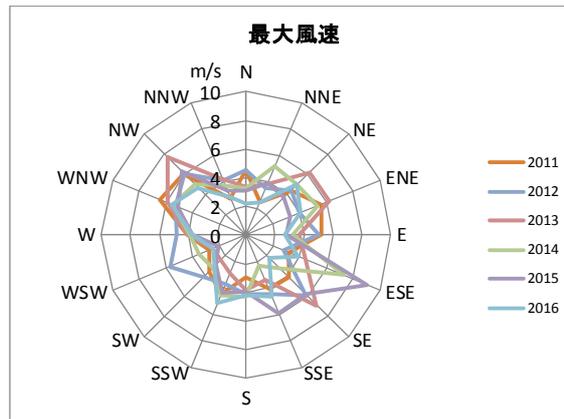


図3.3.4 風向別最大風速

出現頻度は西風(W) 15.8%、西南西風(WSW) 10.9%、東北東風(ENE) 8.4%、北東風(NE) 8.3%の順に高い。

平均風速は風速の大きい方から順番に西北西風(WNW) 1.5m/s、北北西風(NNW) 1.4m/s、西風(W) 1.3m/s、東北東風(ENE) 1.2m/sである。

最大風速は風速の大きい方から順番に東南東風(ESE) 9.1m/s、北西風(NW) 7.7m/s、南東風(SE) 6.9m/s、西北西風(WNW) 6.5m/sとなっている。(風速はいずれも観測高さ：地上10mによる。)

ちなみに「1時間平均風速」の最大値と「最大瞬間風速」(「2~3秒の風速の平均値=瞬間風速」の最大値、いわゆる突風)は異なる。本調査では、「平均風速」は1時間平均風速(気象台では毎正時10分間平均値、大気環境測定局では1時間平均値を記録)の年間平均値、「最大風速」は1時間平均風速の年間最大値を表すこととした。

なお、「最大瞬間風速」は台風報道などで強風を表現するのに用いられるが、これは、10分間平均風速に対して、密集市街地であれば2.0~3.0倍、通常の市街地であれば2.0~2.5倍、高層ビルの近傍等の特に風速の大きい場所では1.5~2.0倍になると言われている(表3.3.3)。この値(最大瞬間風速と10分間の平均風速の比)を「突風率」(GF:ガストファクタ)という。

表3.3.3 突風率 (GF) = 最大瞬間風速 ÷ 平均風速

周辺の状況	突風率(GF:ガストファクタ)
密集した市街地	2.5~3.0
通常の市街地	2.0~2.5
特に風速の大きい場所(高層ビルの近傍の増減域)	1.5~2.0

出典:村上周三他、1983年「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」、日本建設学会論文報告集 No.325,80

本調査では、道路に対して平行の2風向（平行風）、道路に直交する2風向（直交風）、45度の2風向（斜交風）の、合わせて6風向について予測を行った。

風速については表 3.3.2 に示した 6 年間で想定した風向に近い風向毎に最大風速の最大値が最も大きいもの（最大風速）と、風向毎の平均風速の 2 通りとした。以下に計算条件を示す。

① 道路に対して平行な風

平行風1（参考 SE）平均風速 0.9m/s、最大風速 6.9m/s（地上1.5m換算 4.7m/s）

平行風2（参考 NW）平均風速 1.4m/s、最大風速 7.7m/s（地上1.5m換算 5.3m/s）

② 道路に対して直交な風

直交風1（参考 NE）平均風速 1.1m/s、最大風速 6.2m/s（地上1.5m換算 4.2m/s）

直交風2（参考 SW）平均風速 0.9m/s、最大風速 4.1m/s（地上1.5m換算 2.8m/s）

③ 道路に対して45度の斜行の風

斜交風1（参考 E）平均風速 1.1m/s、最大風速 5.2m/s（地上1.5m換算 3.6m/s）

斜交風2（参考 S）平均風速 0.9m/s、最大風速 4.3m/s（地上1.5m換算 2.9m/s）

なお、風速は地面から離れるほど風は強くなる。上記の前提条件のうち最大風速には参考として観測高さ（地上10m）と地上1.5mにおける換算風速を併記した。

高さの違いによる風速の違いは下記に示す「べき法則」による推定が最も一般的な方法である。本調査では周辺の地表面の状態を考慮し、べき指数0.20を用いた。

図3.3.5に最大風速がもっとも強い風向から4風向について、風速と地上からの高さの関係を示す。

$$\text{べき法則} : U = U_0 \times \left(\frac{H}{H_0} \right)^\alpha$$

U_0 (m/s) : 高さ H_0 (m)における風速、

U (m/s) : 高さ H (m)における風速、 α : べき指数

表3.3.4 地表面の状態とべき指数

地表面の状態	べき指数 α
平野、草原	0.143
森林、高い建物のない市街地、住宅地	0.200
大都市の郊外周辺、市街地	0.250
大都市の中心付近	0.333

出典：新・ビル風の知識、風工学研究所編、鹿島出版会、1989年9月30日発行

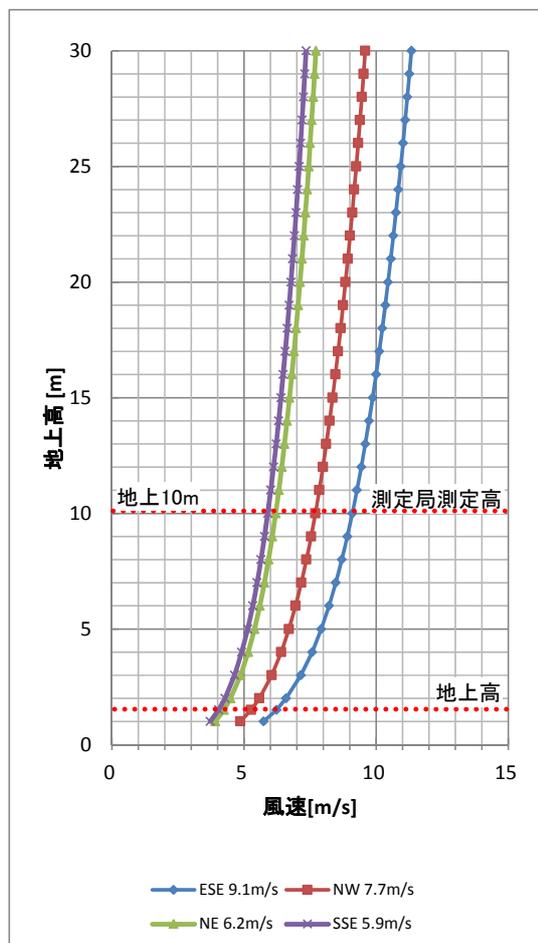


図3.3.5 べき法則による風速変換例

3-4 地形・建設物データの構築

計画道路、周辺建設物の高さについては、道路計画図、住宅地図及び現地確認の情報等の資料によりその形状および階数や高さ等を参照した。

作成したデータの3次元立体表示した例を図3.4.1～図3.4.4に示す。

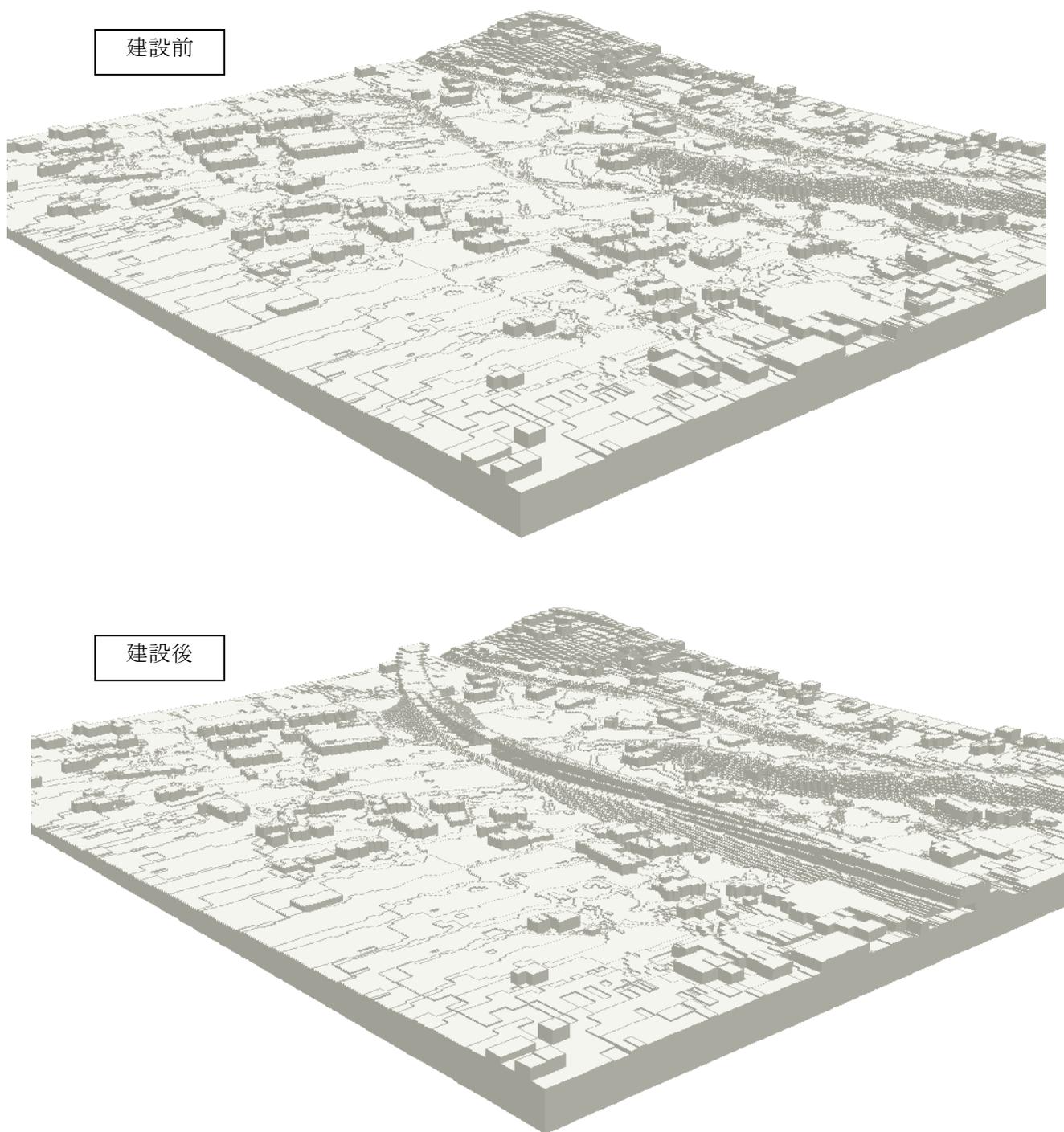
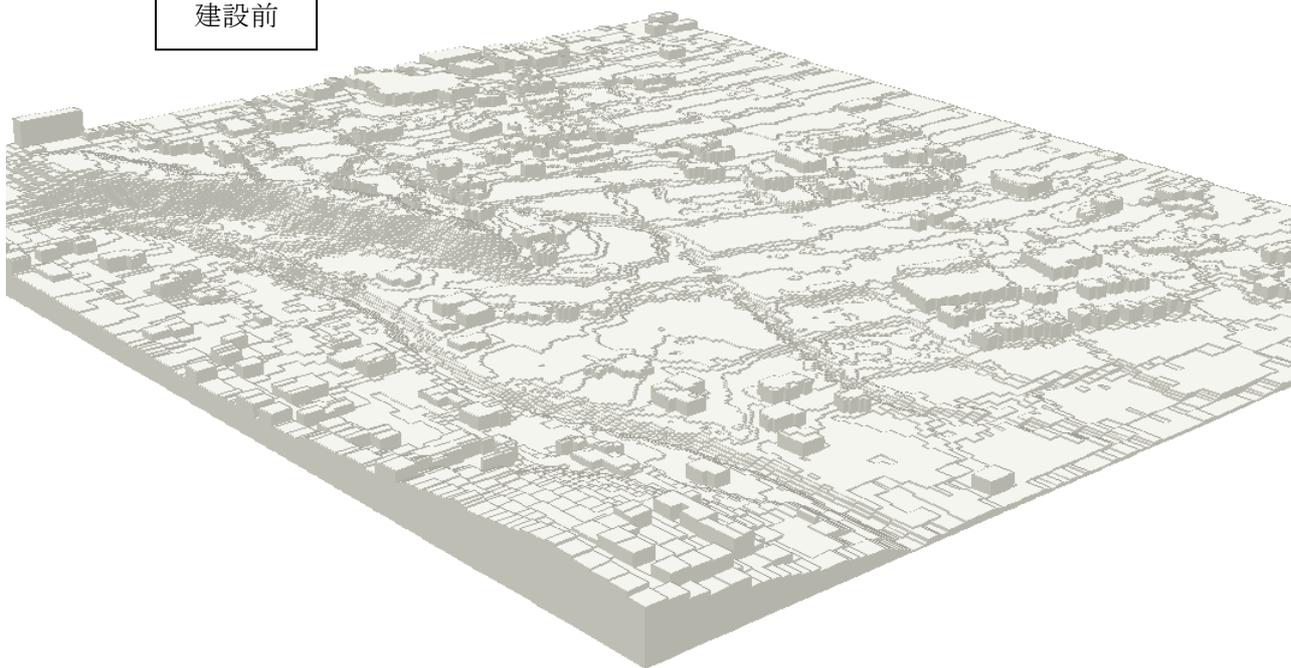


図3.4.1 北側：シミュレーションデータ（立体表示例）南方向より北を臨む

建設前



建設後

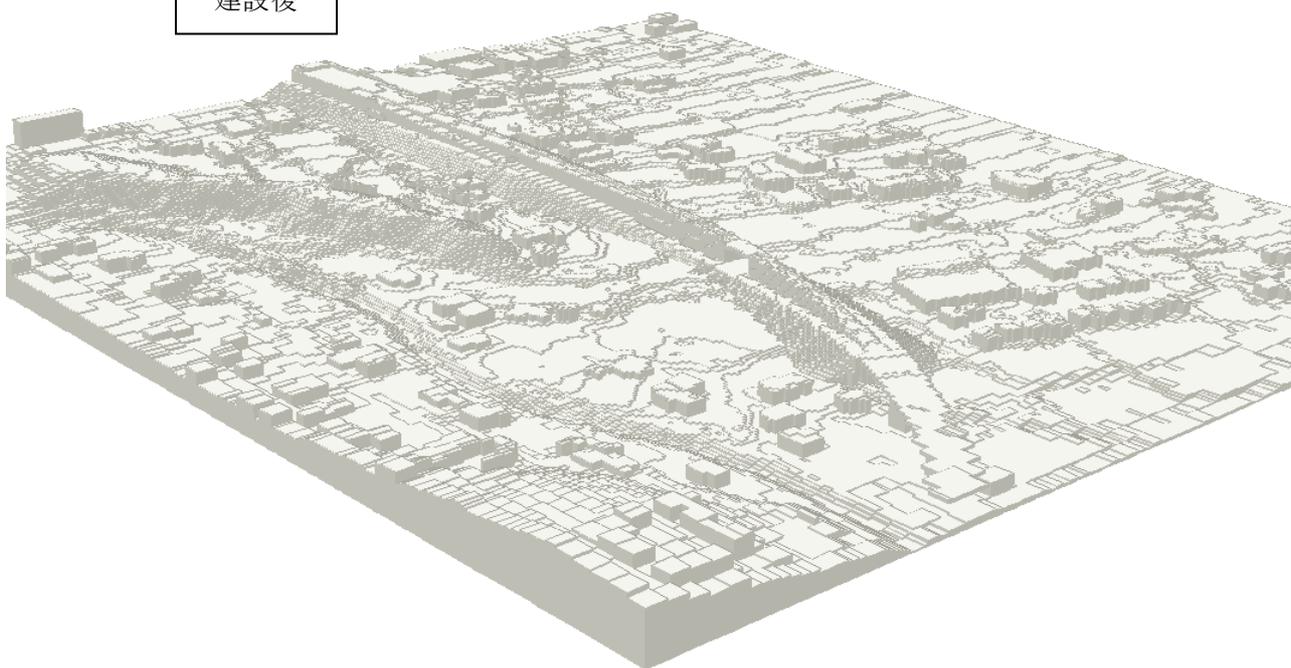
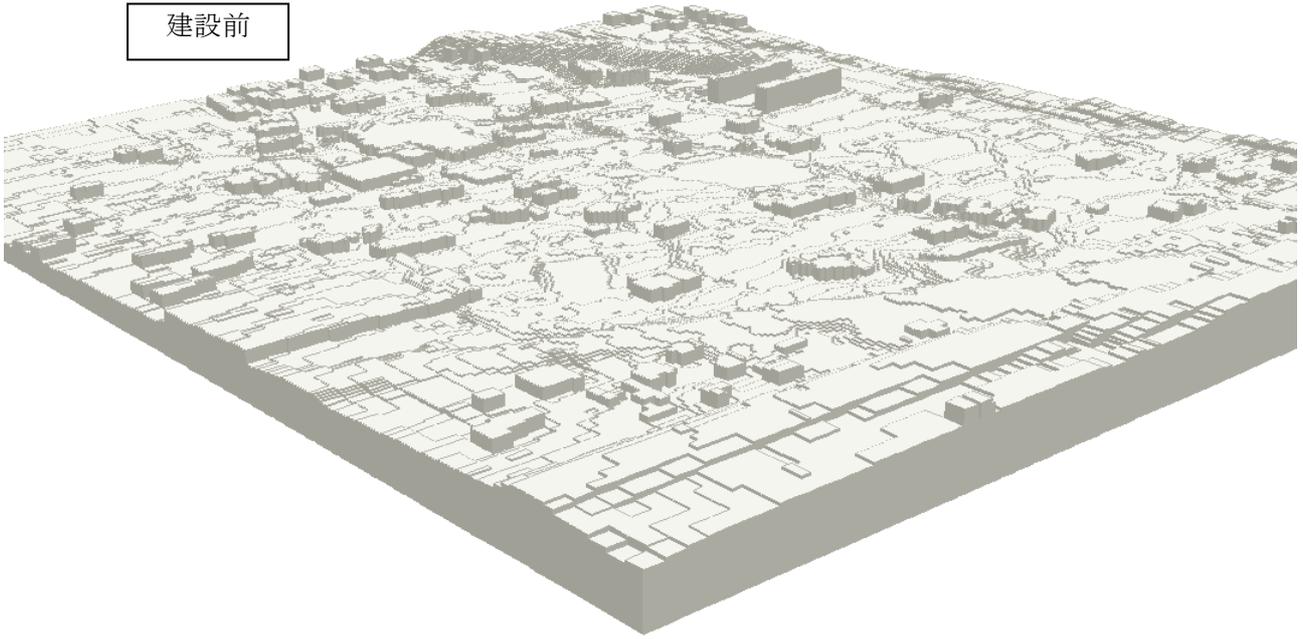


図3.4.2 北側：シミュレーションデータ（立体表示例）北方向より南を臨む

建設前



建設後

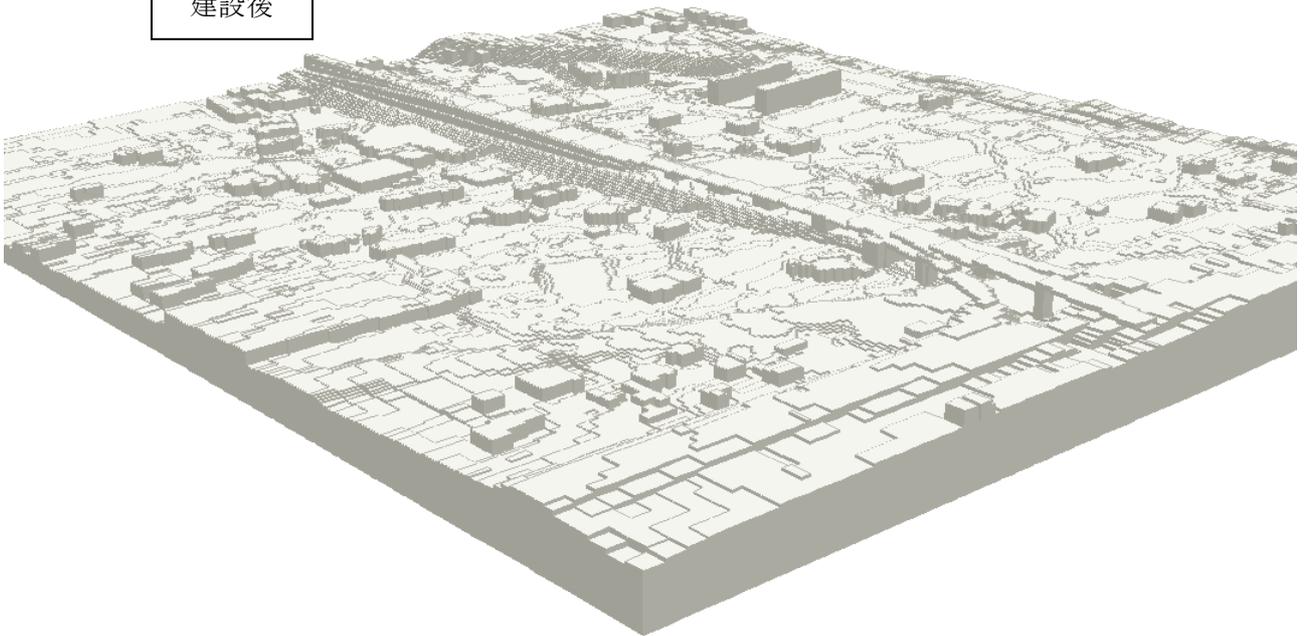


図3.4.3 南側：シミュレーションデータ（立体表示例）南方向より北を臨む

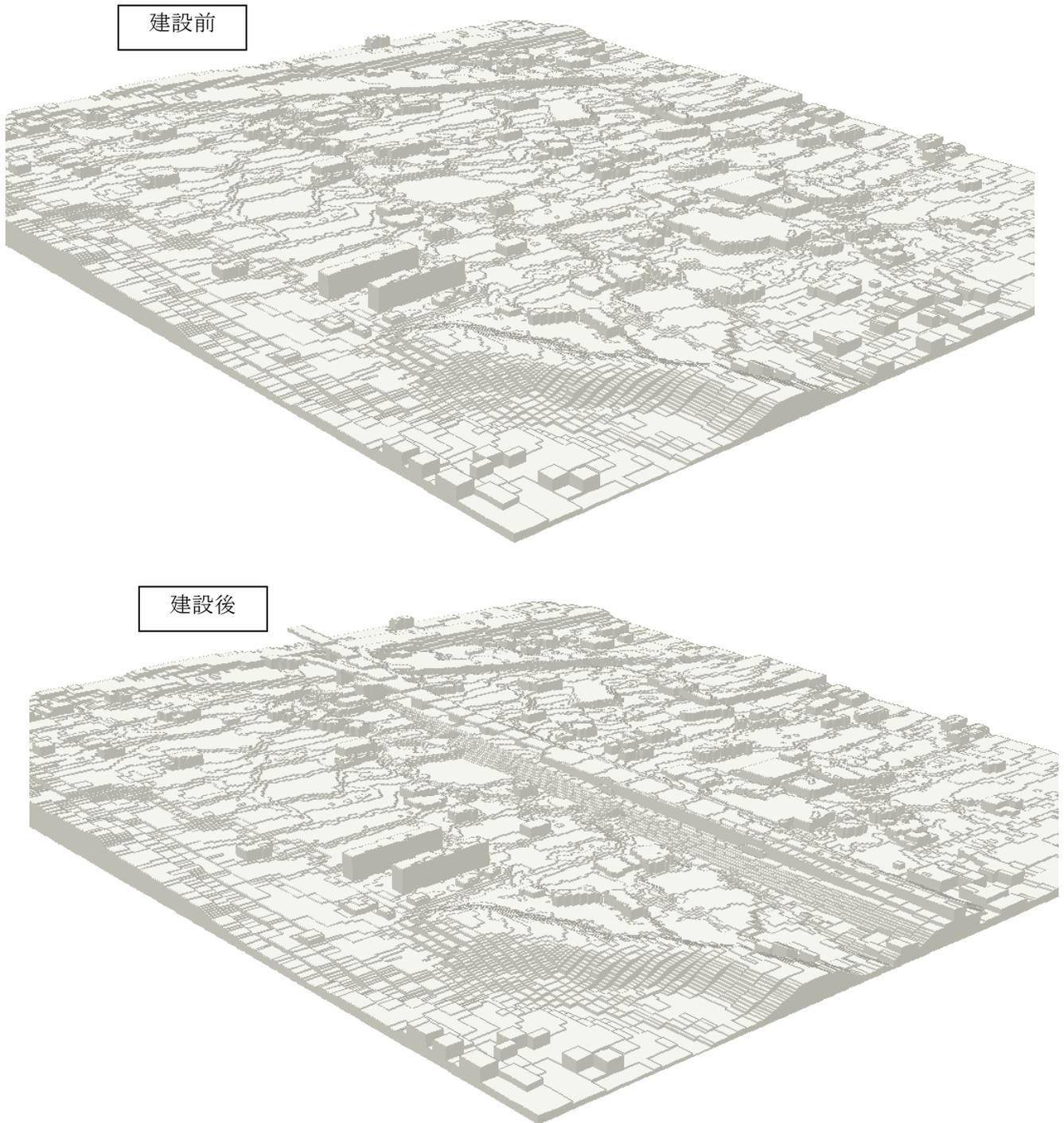


図3.4.4 南側：シミュレーションデータ（立体表示例）北方向より南を臨む

3-5 シミュレーションモデル

予測モデルには有限差分法（FDM：Finite Difference Method）による方程式であるSIMPLE（Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations）法およびこれを改良したSIMPLER法、SIMPLEST法を採用した。本モデルは風洞実験によって検証されたものである。

4. 予測結果

4-1 計算結果の表示方法について

強風による風害においては、国又は地方公共団体等が実施する環境保全に関する施策による基準又は目標は示されていない。そこで、本調査では気象庁の「ビューフォート*風力階級」を用いて評価を行った。

風速は、地上からの高さによって異なり、地上からの高さが高くなると風速が上昇し、低くなると風速が低下する。気象庁のビューフォート*風力階級は地上 10m の高さにおける風速を目安として示されている。地上 1.5m における風速と比較するため、相当する風速を表 4.1.1 に示した。

調査結果はビューフォート風力階級と比較しやすいように表 4.1.1 に示す分級(風速と色分けの対応)によって示す。従って、結果表示において濃い緑■で示された部分は「不快」、薄緑■で示された部分は「不快が甚だしい」、茶色■で示された部分は「歩くのに不自由を感じる」、黄色■で示された部分は「前進を妨げる」、橙色■・赤色■・紫色■で示された部分は「危険」に相当する風であることを意味する。(※「ビューフォート」は人名)

表 4.1.1 結果表示における分級 (色分け)

階級	地上10m ビューフォート 風力階級 相当風速 [m/s]	地上1.5m		結果 表示色	人体に与える影響 ペンワードン (Penwarden)
		ビューフォート 風力階級 相当風速 [m/s]			
0	0.0～ 0.2	0.0 ～			風を感じない
1	0.3～ 1.5	0.2 ～			ほとんど風を感じない
2	1.6～ 3.3	1.1 ～	■	快適	顔に風を感じる
3	3.4～ 5.4	2.3 ～	■		髪が乱れる。衣服がばたつく
4	5.5～ 7.9	3.8 ～	■		砂埃が立ち、紙片が舞い上がる。髪が乱される。
5	8.0～10.7	5.5 ～	■	不快	風の力を体に感ずる。(陸上における許容限度*)
6	10.8～13.8	7.4 ～	■	不快が 甚だしい	傘がさしにくい、普通に歩くことが難しい
7	13.9～17.1	9.5 ～	■		歩くのに不自由さを感じる。
8	17.2～20.7	11.8 ～	■		前進をさまたげる。
9	20.8～24.4	14.2 ～	■	危険	突風が人を倒す。
10	24.5～28.4	16.8 ～	■		
11	28.5～32.6	19.5 ～	■		

ビューフォート風力階級をベースに気象庁風力階級表に ペンワードン Penwardenによる人体への影響を加筆

※: ペンワードン Penwardenによれば風力階級 5 が「陸上における許容限度」とされている(「ペンワードン」は人名)

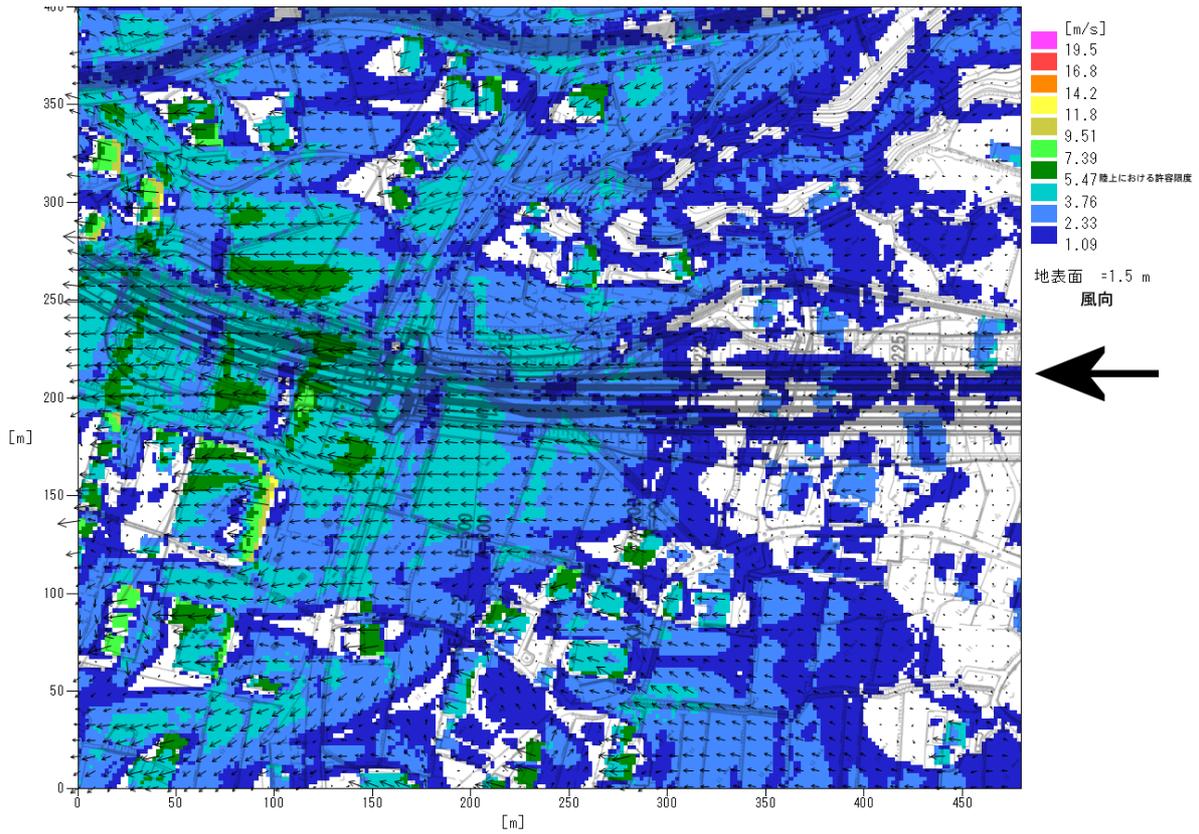
4-2 風況の予測結果

最大風速(2011～2016年の風向別の最大風速)の場合の予測結果を図4.2.1～図4.2.12に示す。これは過去6年間の最大風速であることから、出現頻度は6年間に1回程度ということになる。平均風速(2011～2016年の風向別の最大風速)の場合の予測結果を図4.2.13～図4.2.24に示す。

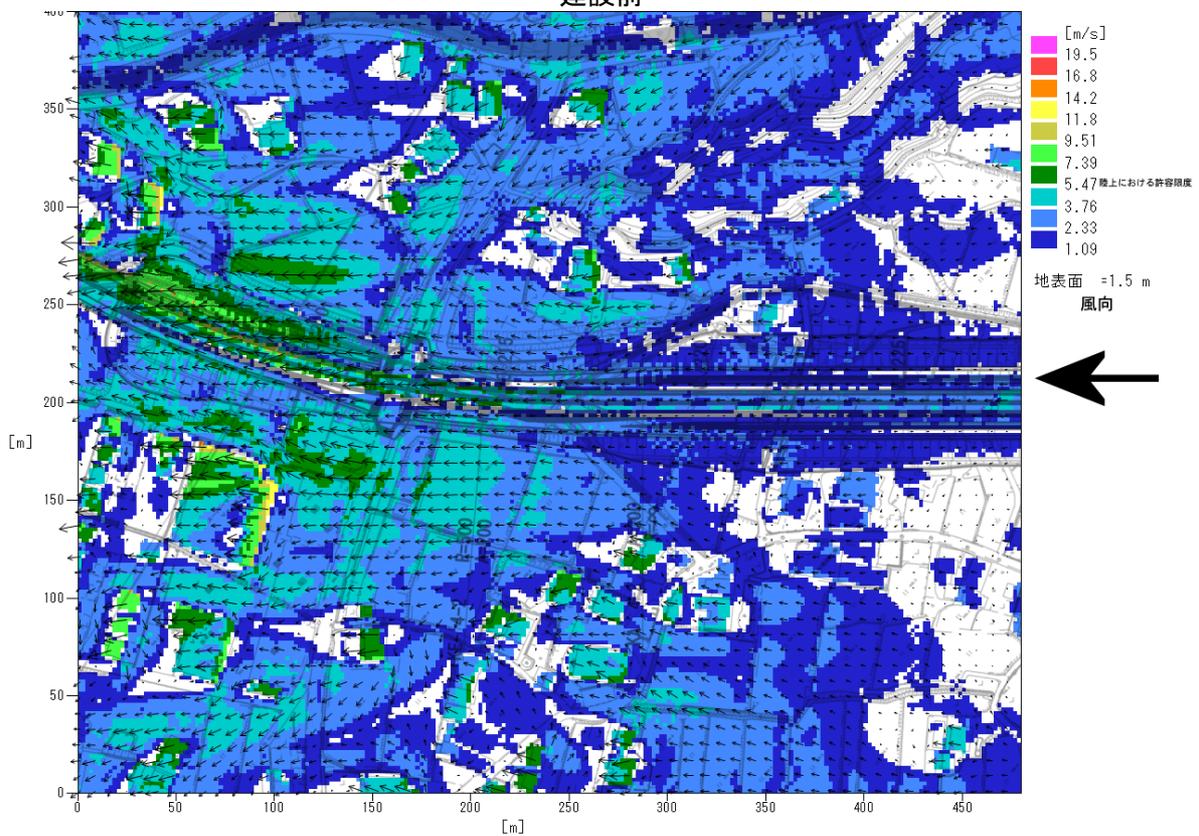
評価範囲は2m間隔の格子(メッシュ)上で計算を行っているが、風速の表示は見やすくするために格子3つおき、つまり4m間隔の格子上の矢印および2m間隔の格子上の色(風速)で示した。

なお、計算結果の図名に示した「地上●m 風速■m/s」とはシミュレーションモデルの外側の境界条件として与えた風速である。実際には地形、建物等の影響を受けて風速は変化し、以下に示したのは地形等の影響を受けた結果の風向、風速である。

(1) 北側・最大風速

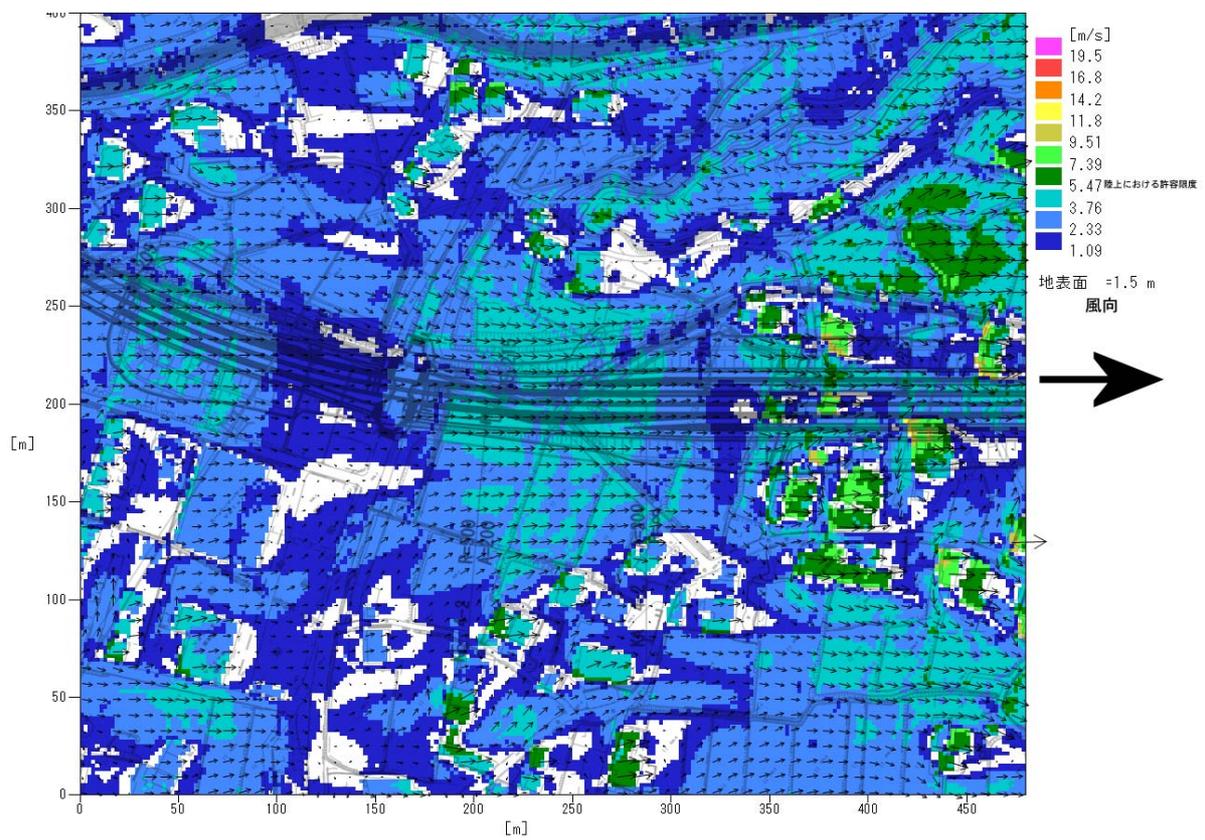


建設前

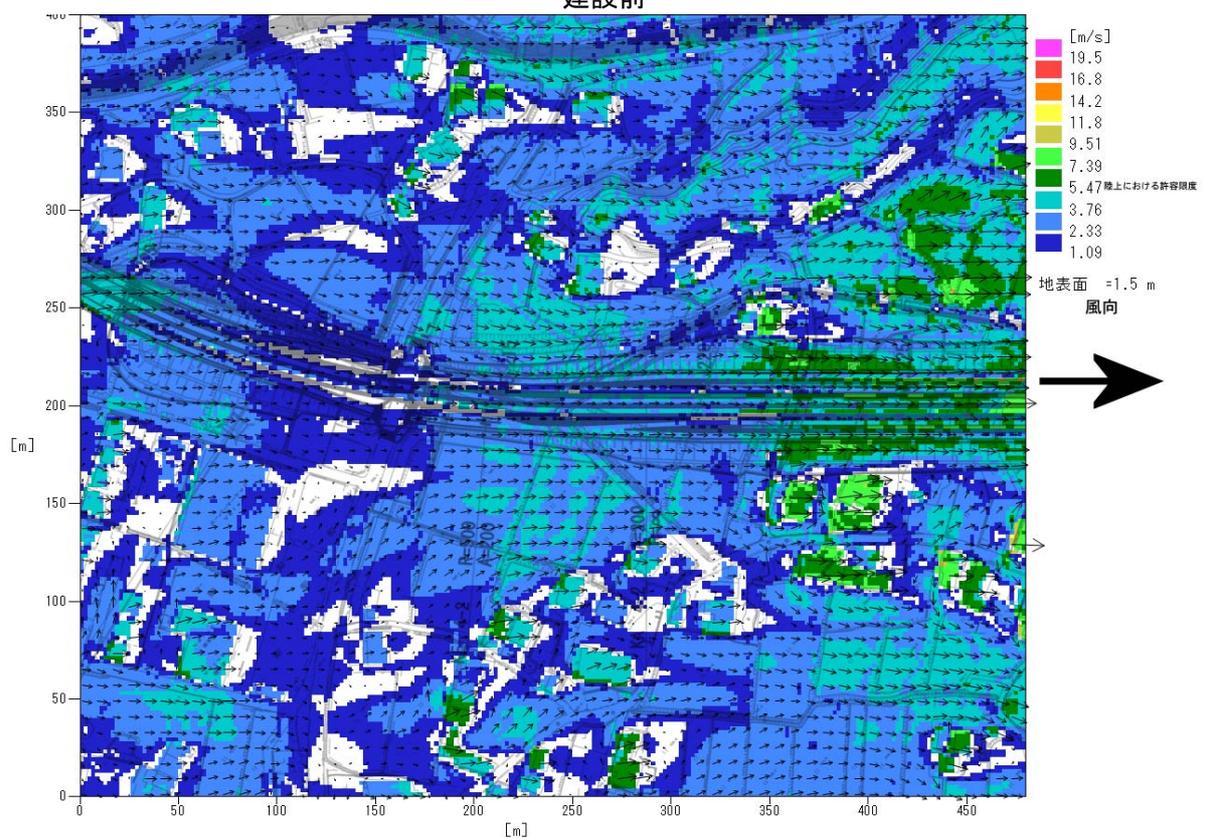


建設後

図 4.2.1 北側：平行風1 最大風速 6.9m/s (地上 1.5m 換算 4.7m/s)

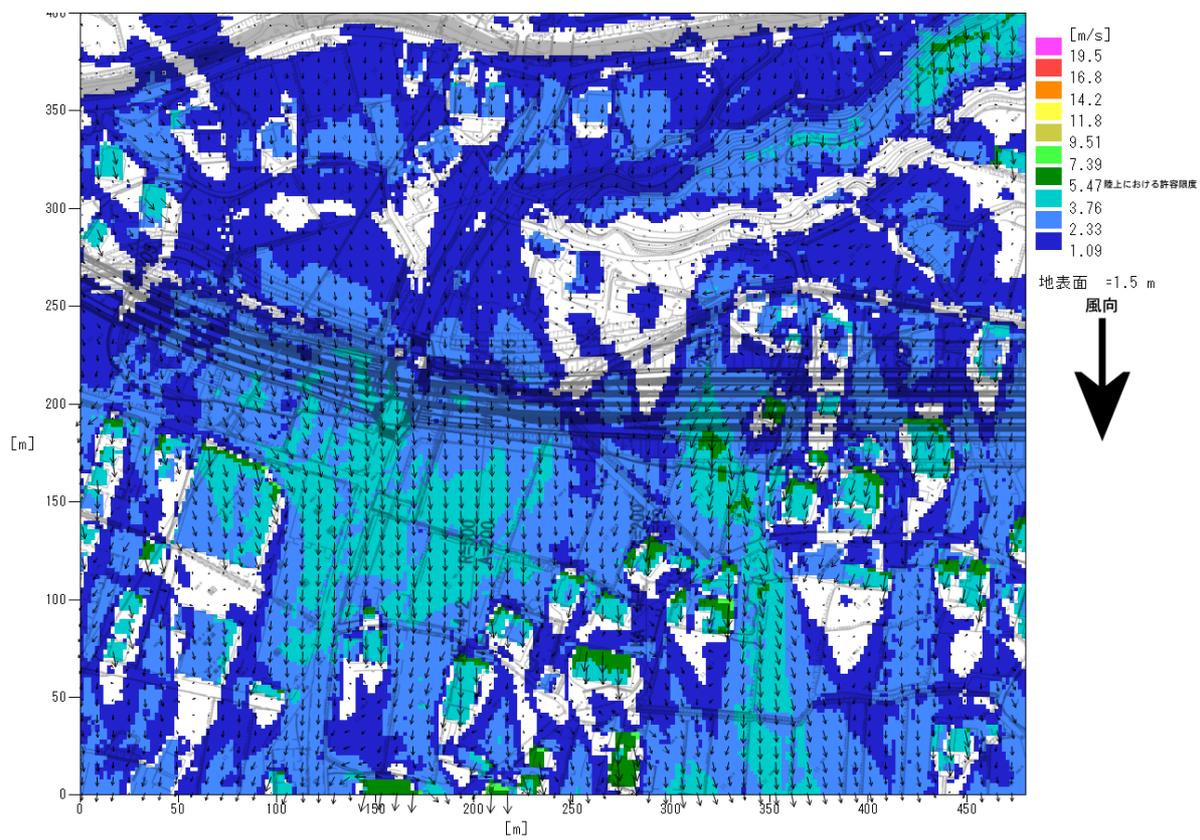


建設前

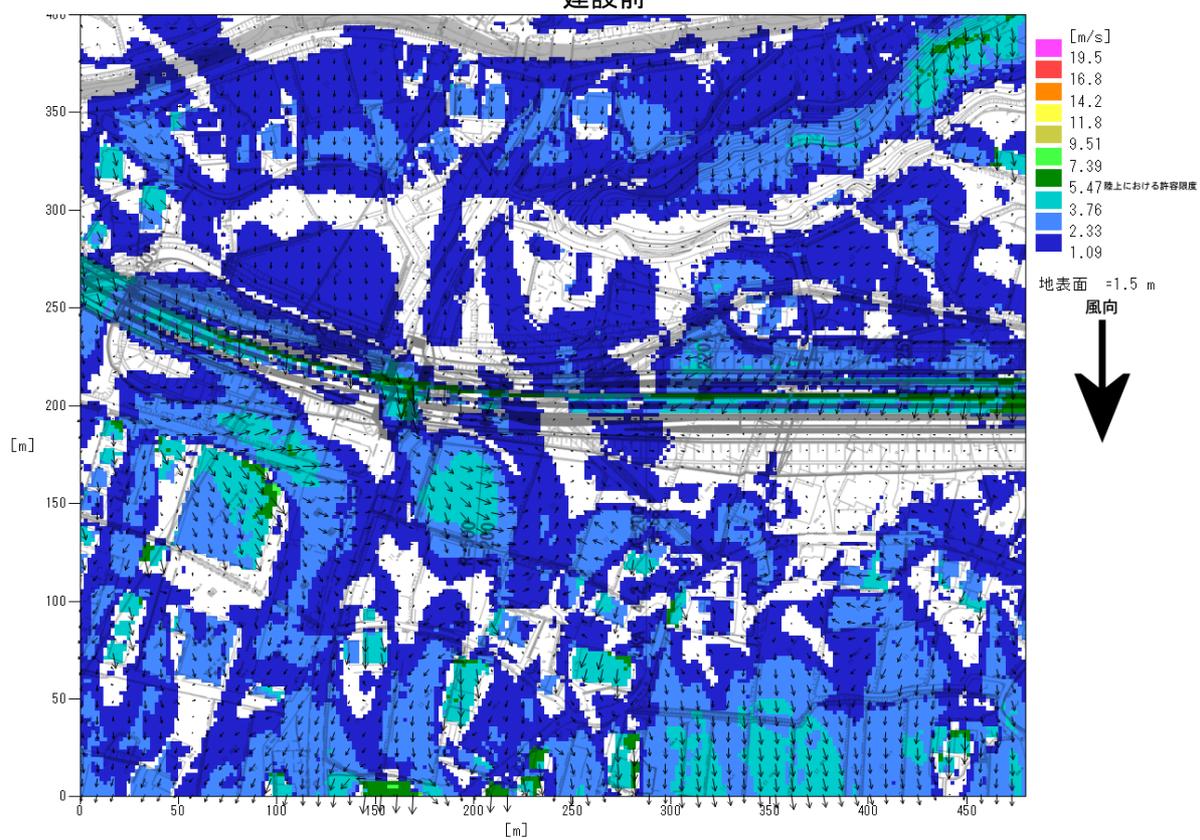


建設後

図 4.2.2 北側：平行風 2 最大風速 7.7m/s (地上 1.5m 換算 5.3m/s)



建設前



建設後

図 4.2.3 北側：直交風1 最大風速 6.2m/s (地上 1.5m 換算 4.2m/s)

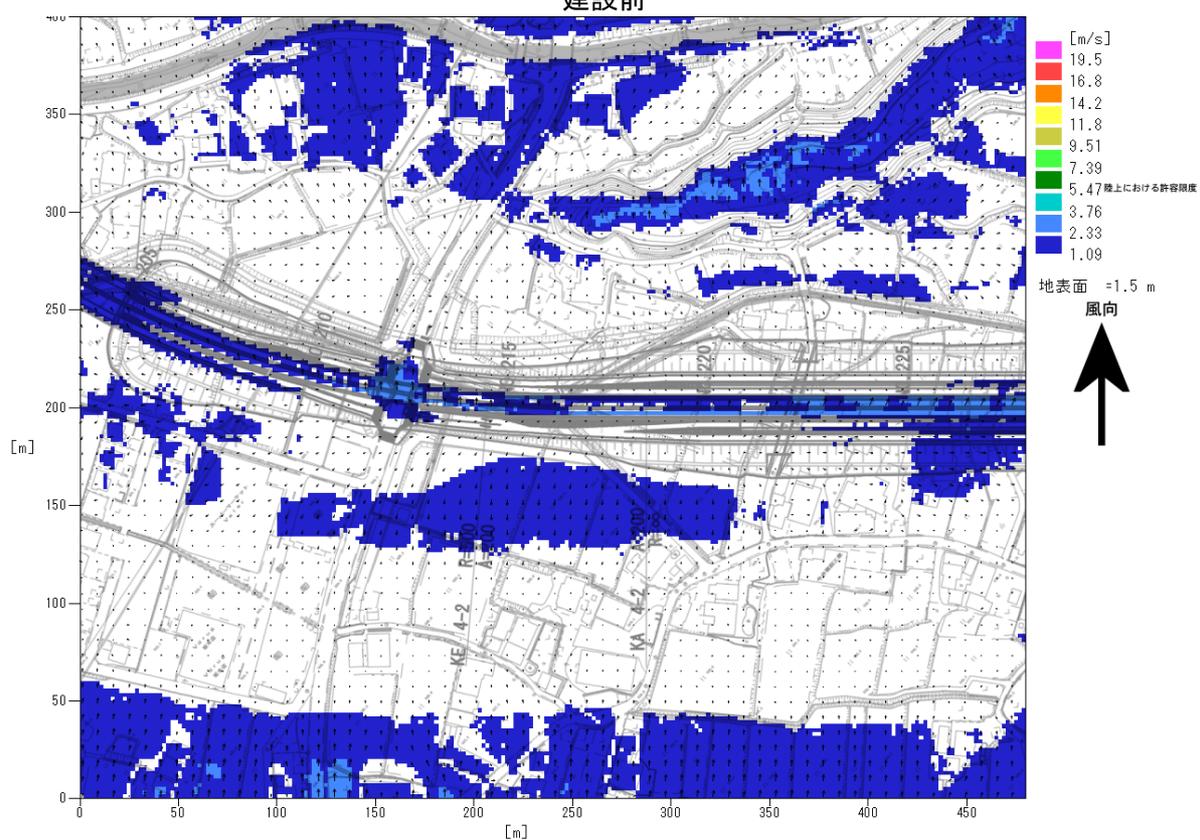
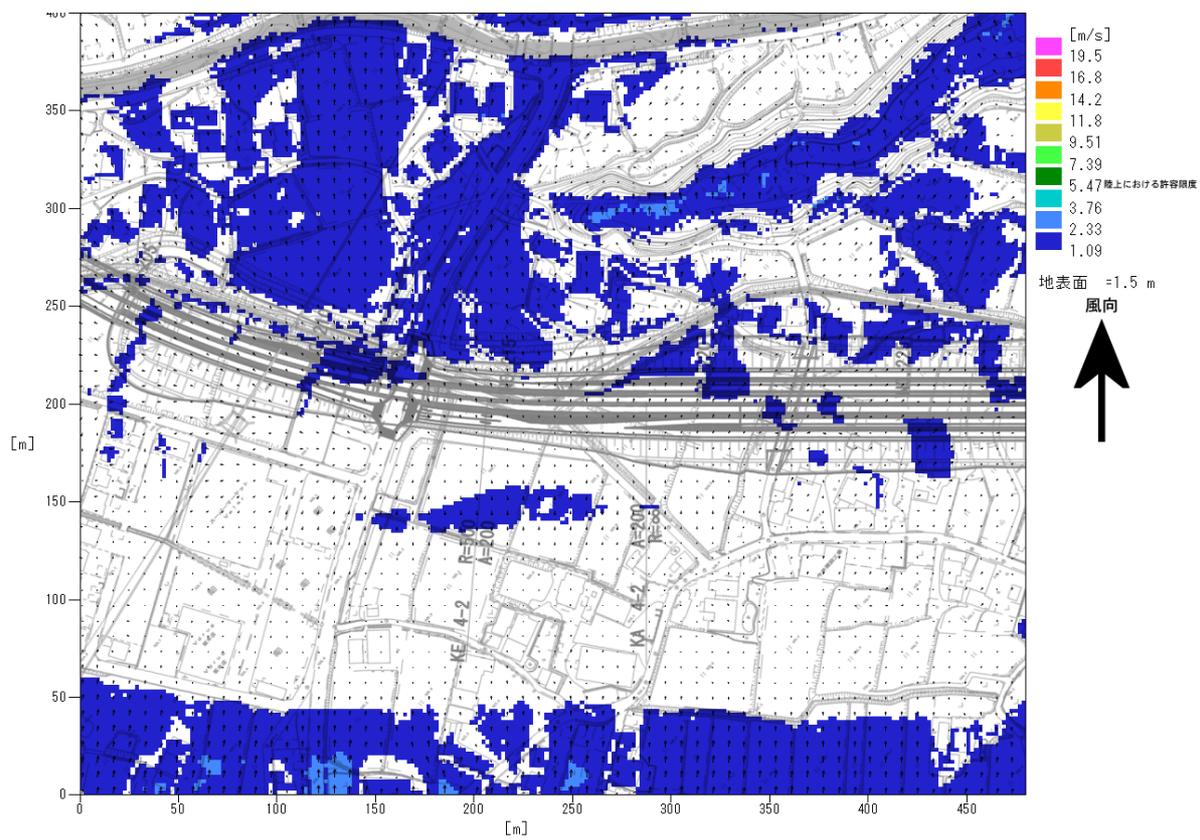
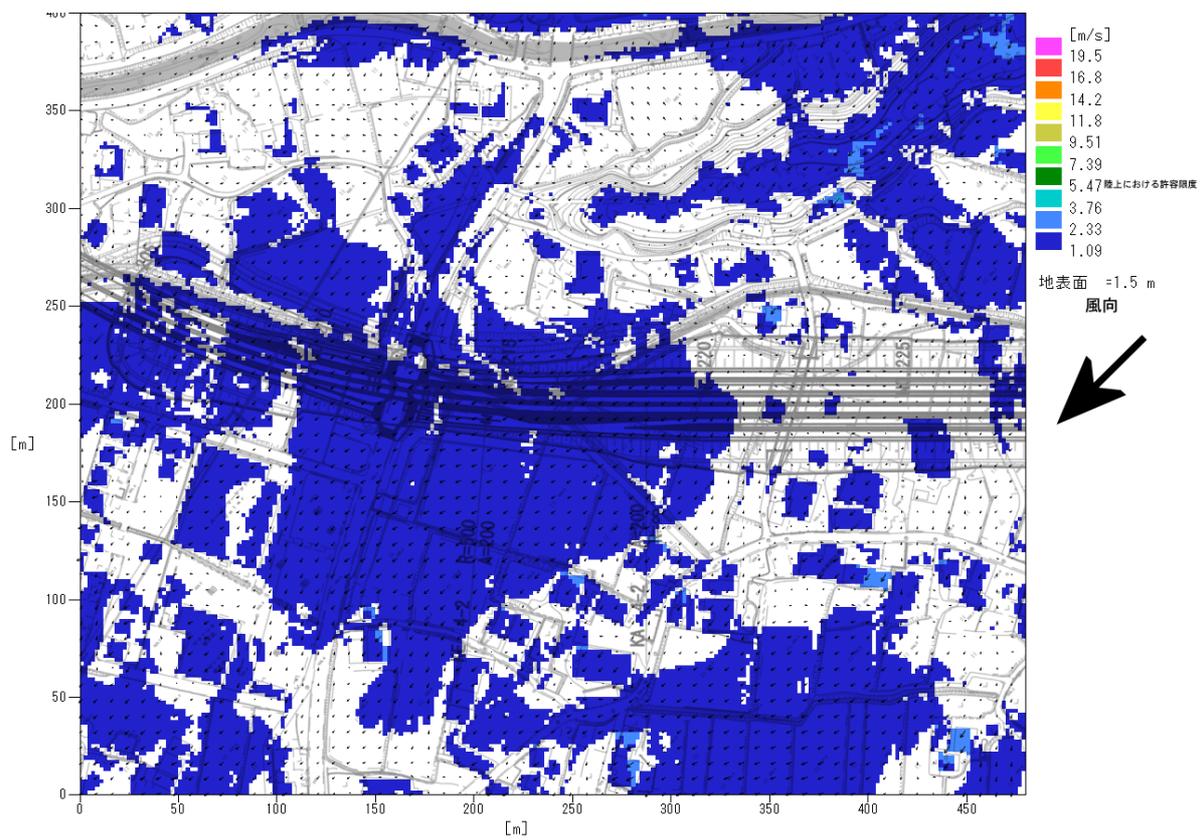
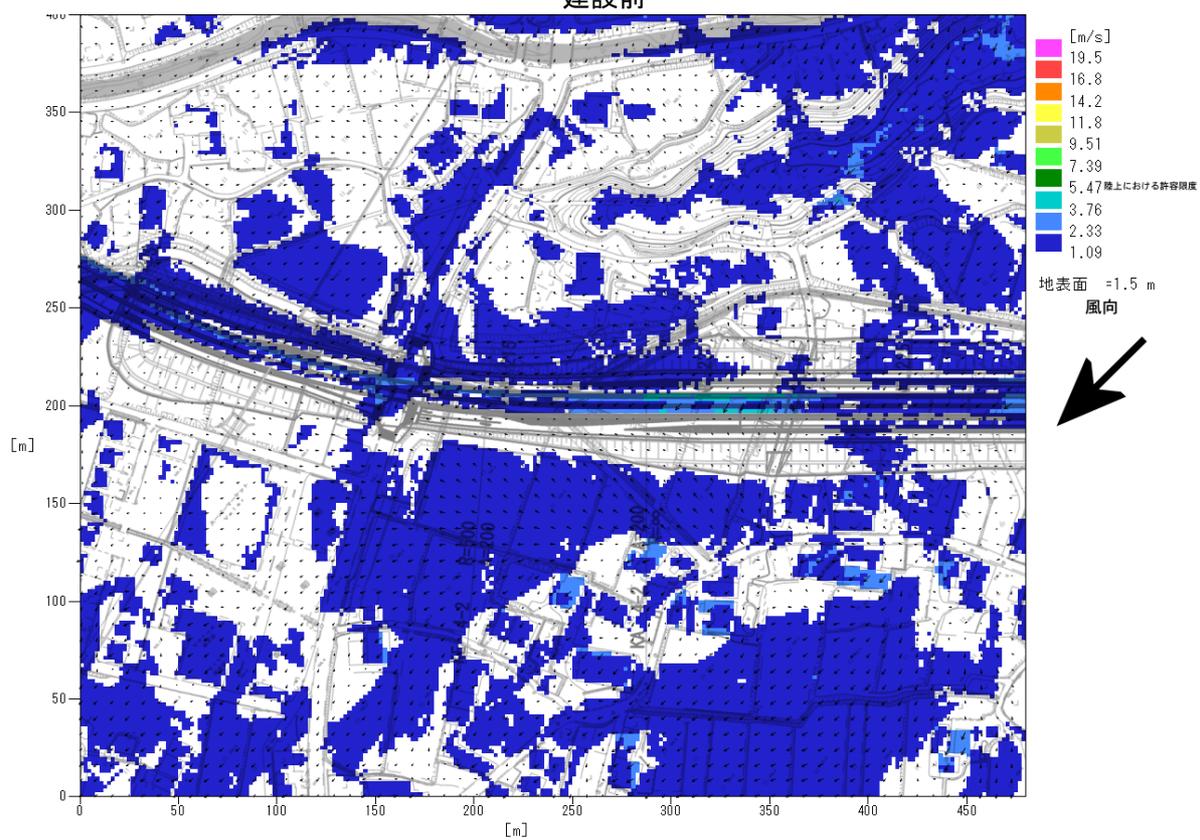


図 4.2.4 北側：直交風 2 最大風速 4.1m/s (地上 1.5m 換算 2.8m/s)

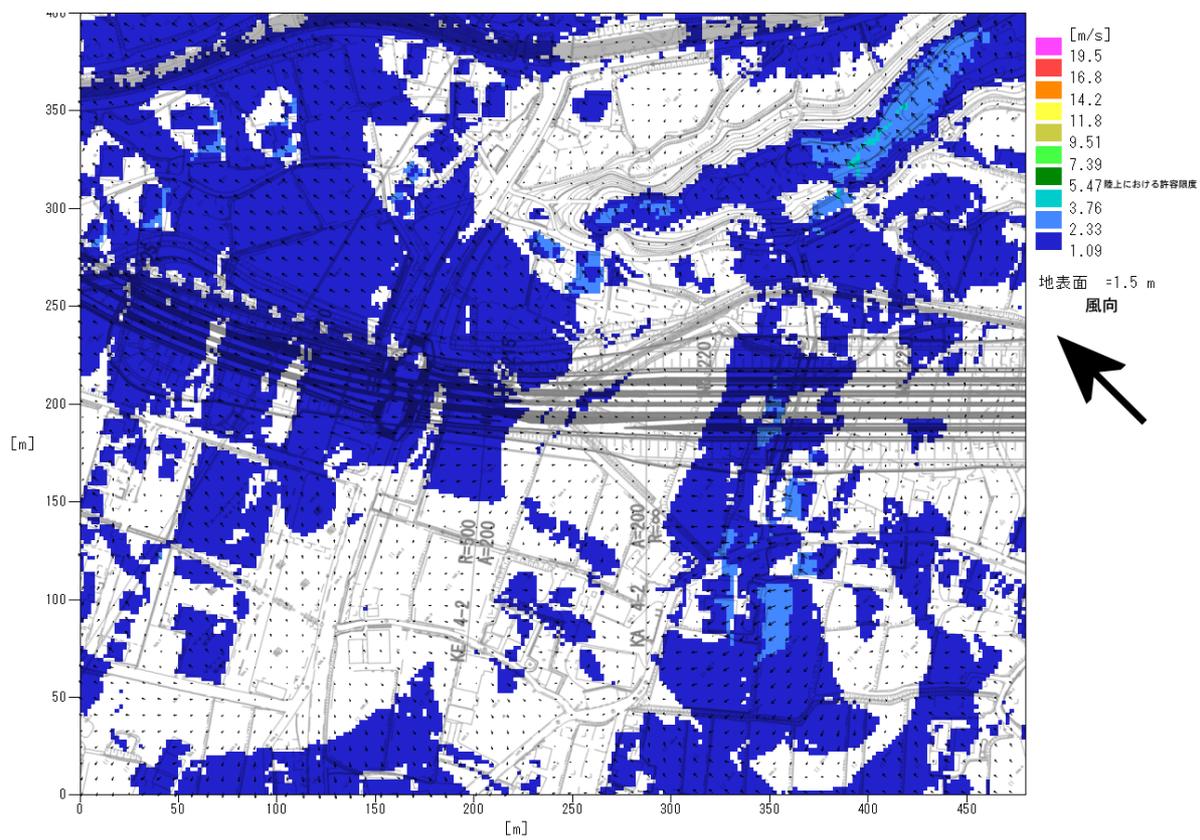


建設前

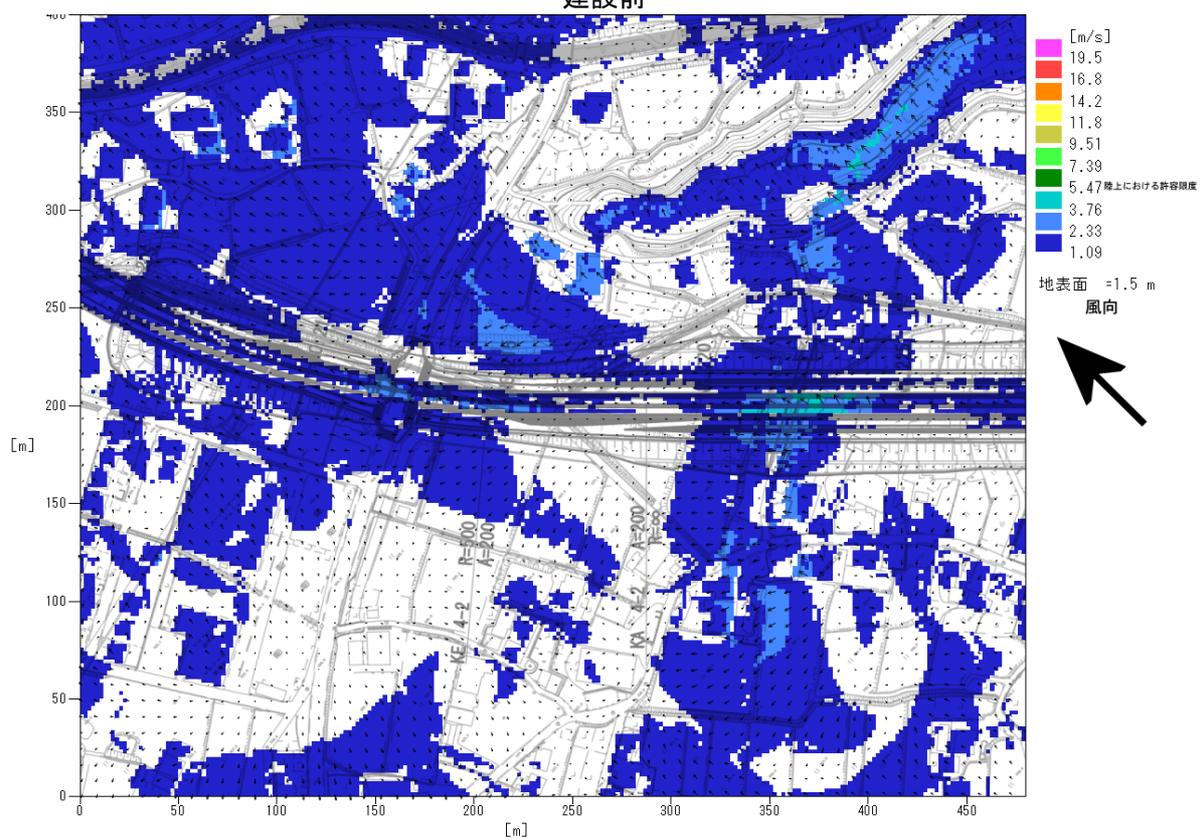


建設後

図 4.2.5 北側：斜交風1 最大風速 5.2m/s (地上 1.5m 換算 3.6m/s)



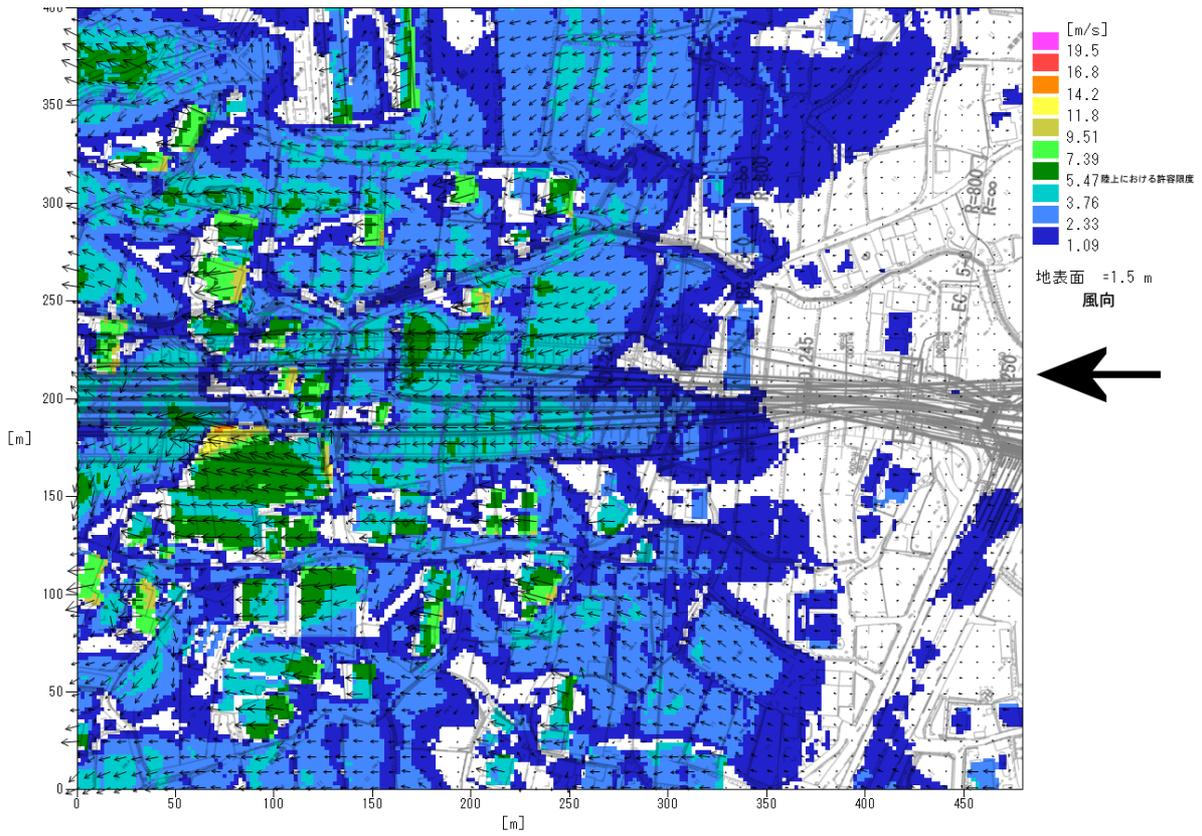
建設前



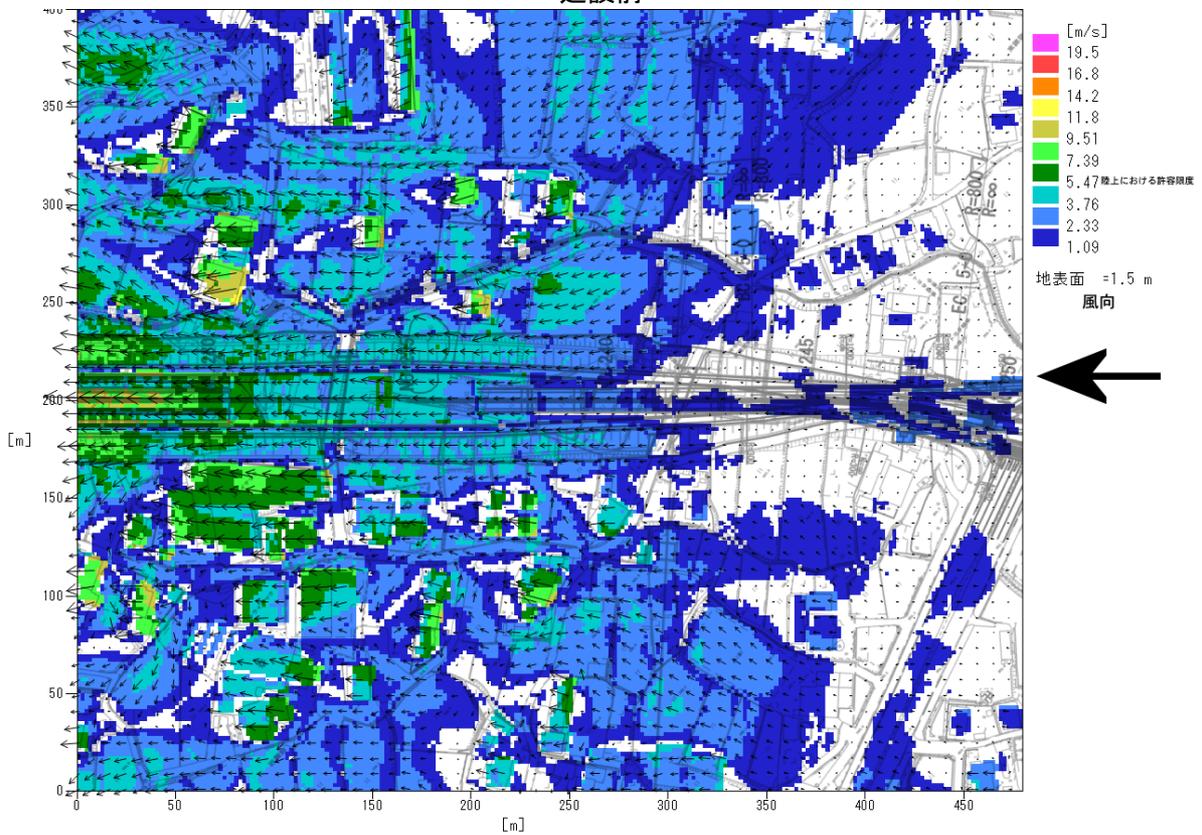
建設後

図 4.2.6 北側：斜交風 2 最大風速 4.3m/s (地上 1.5m 換算 2.9m/s)

(2) 南側・最大風速

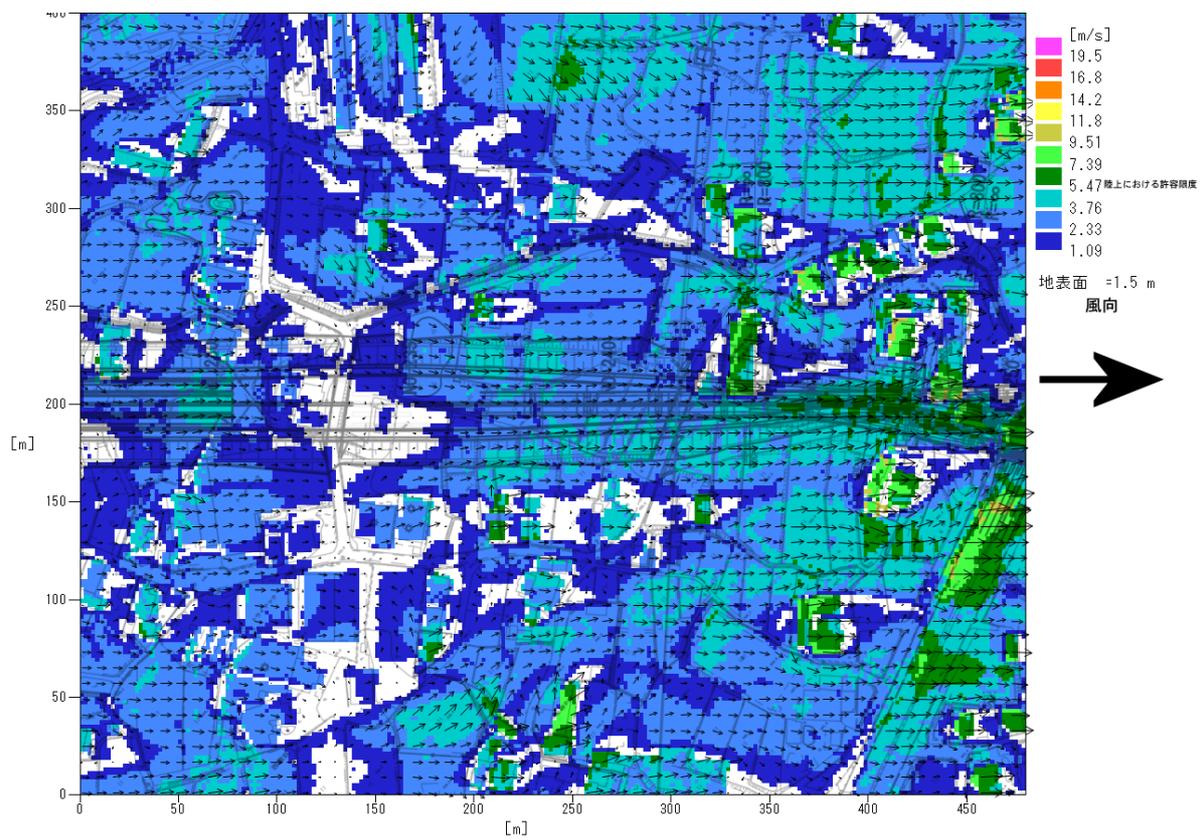


建設前

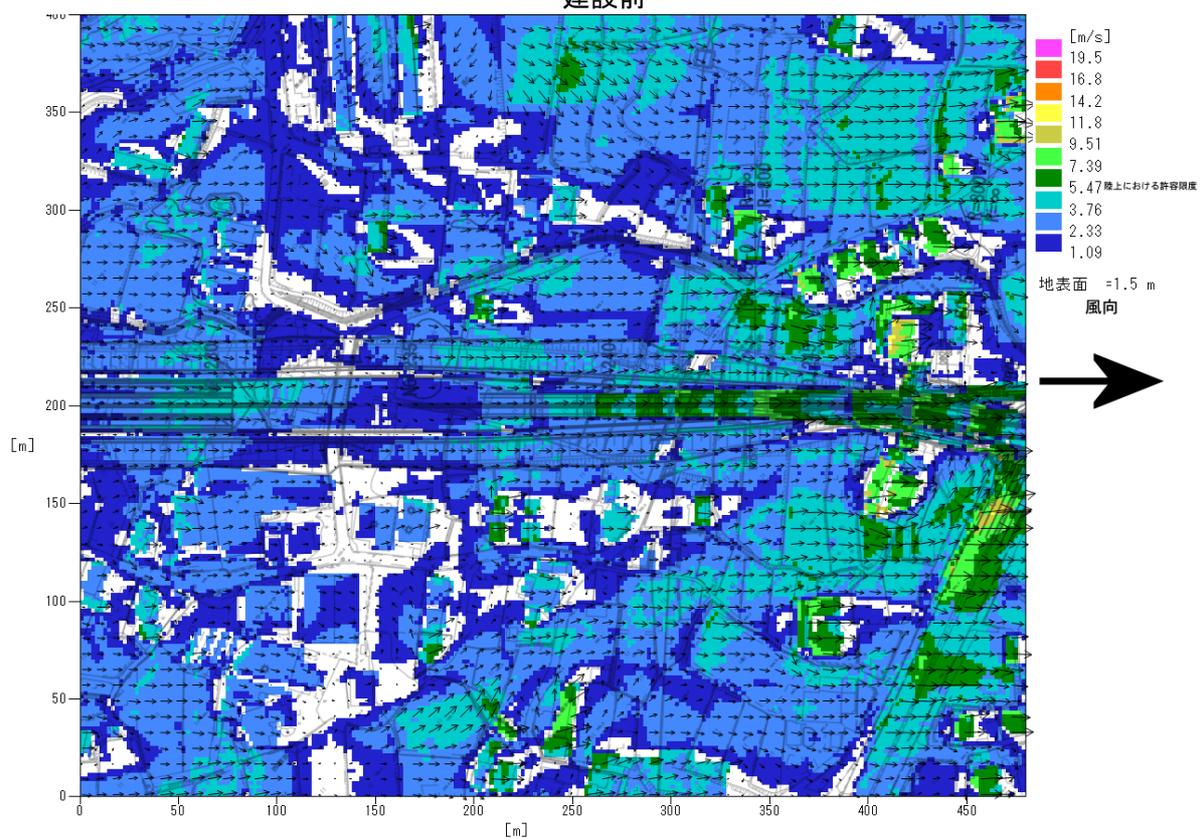


建設後

図 4.2.7 南側：平行風1 最大風速 6.9m/s (地上 1.5m 換算 4.7m/s)

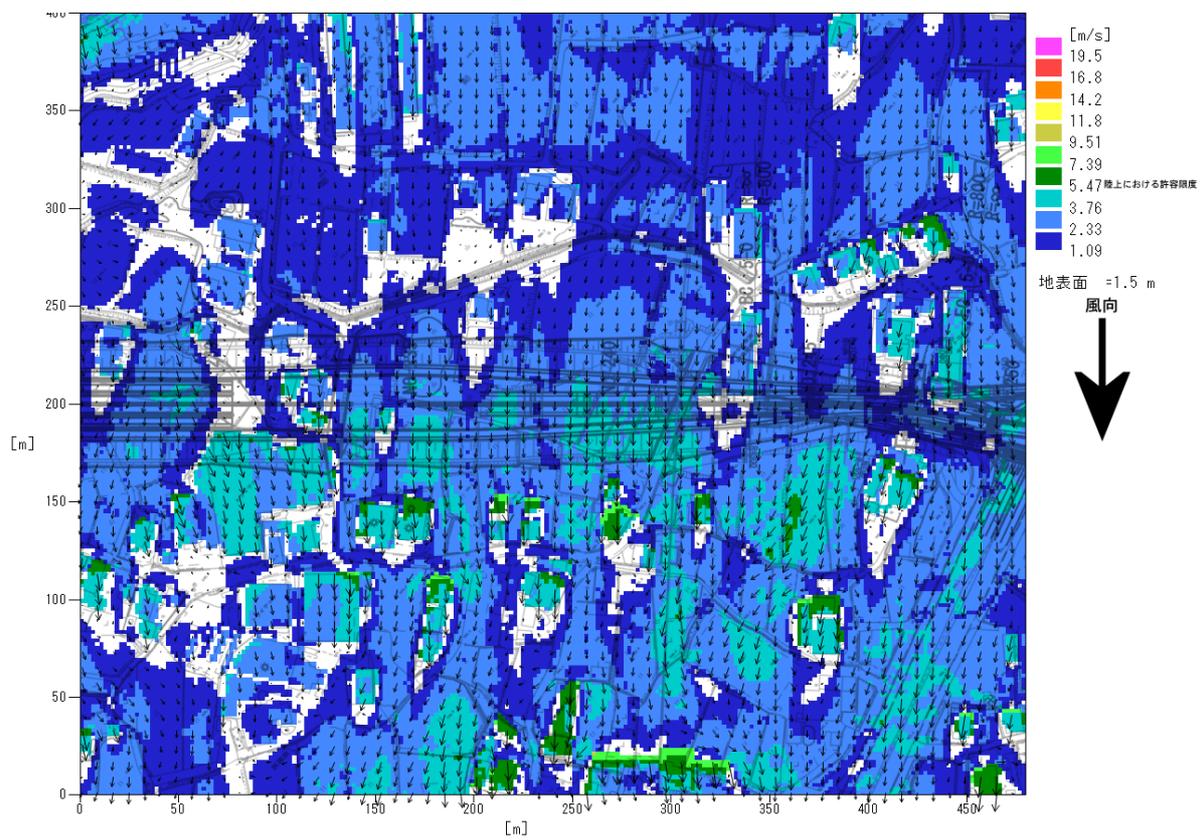


建設前

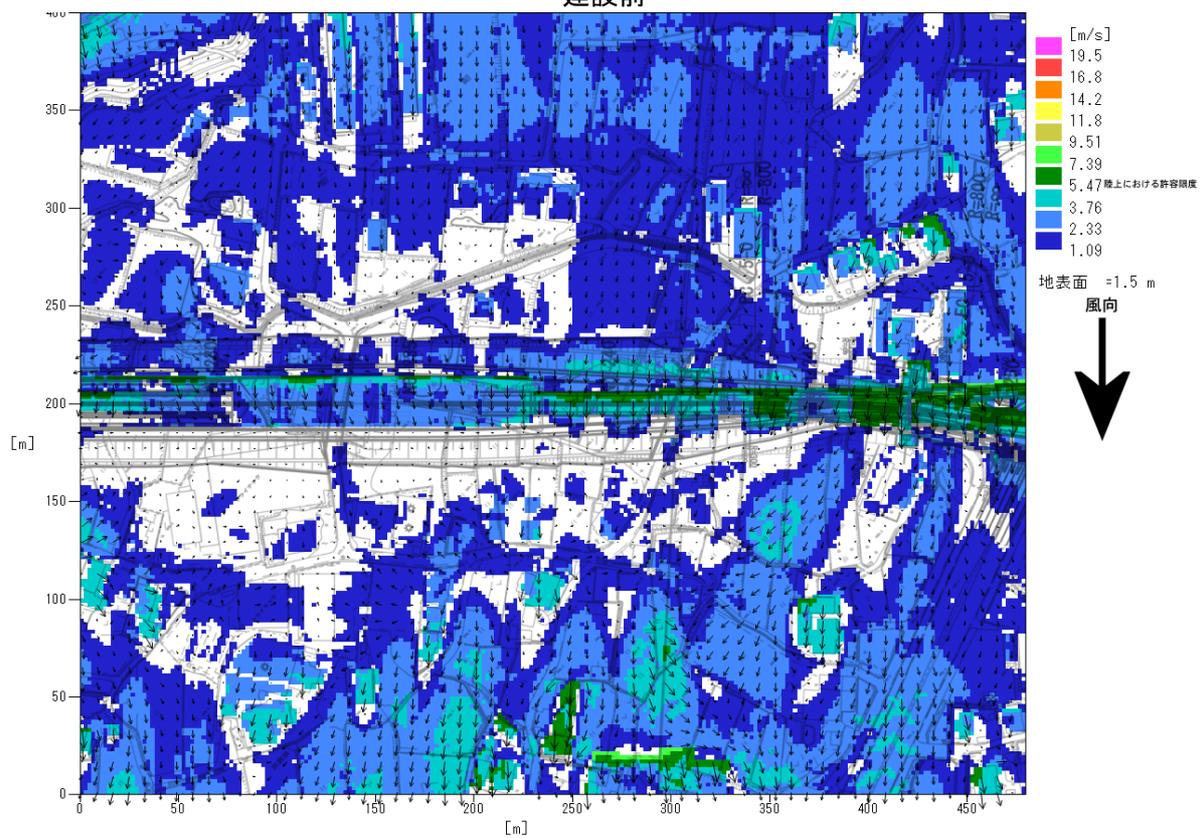


建設後

図 4.2.8 南側：平行風 2 最大風速 7.7m/s (地上 1.5m 換算 5.3m/s)

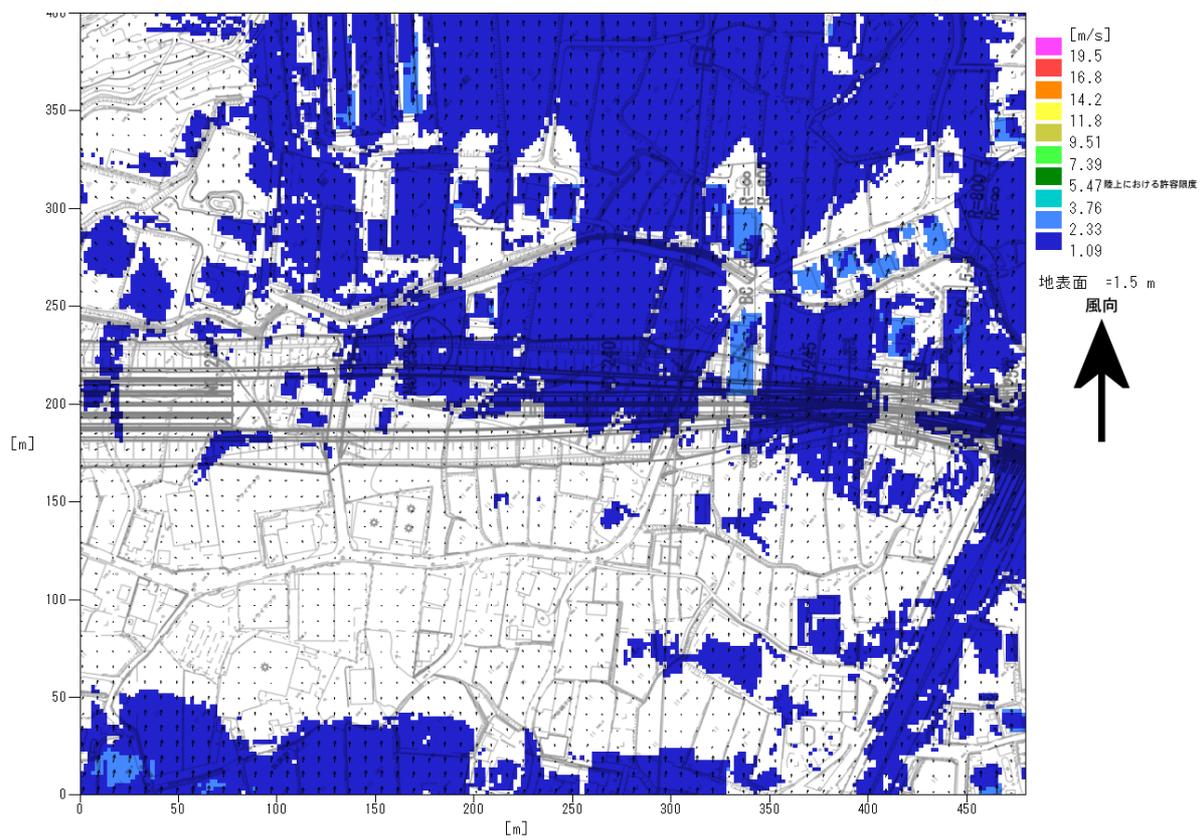


建設前

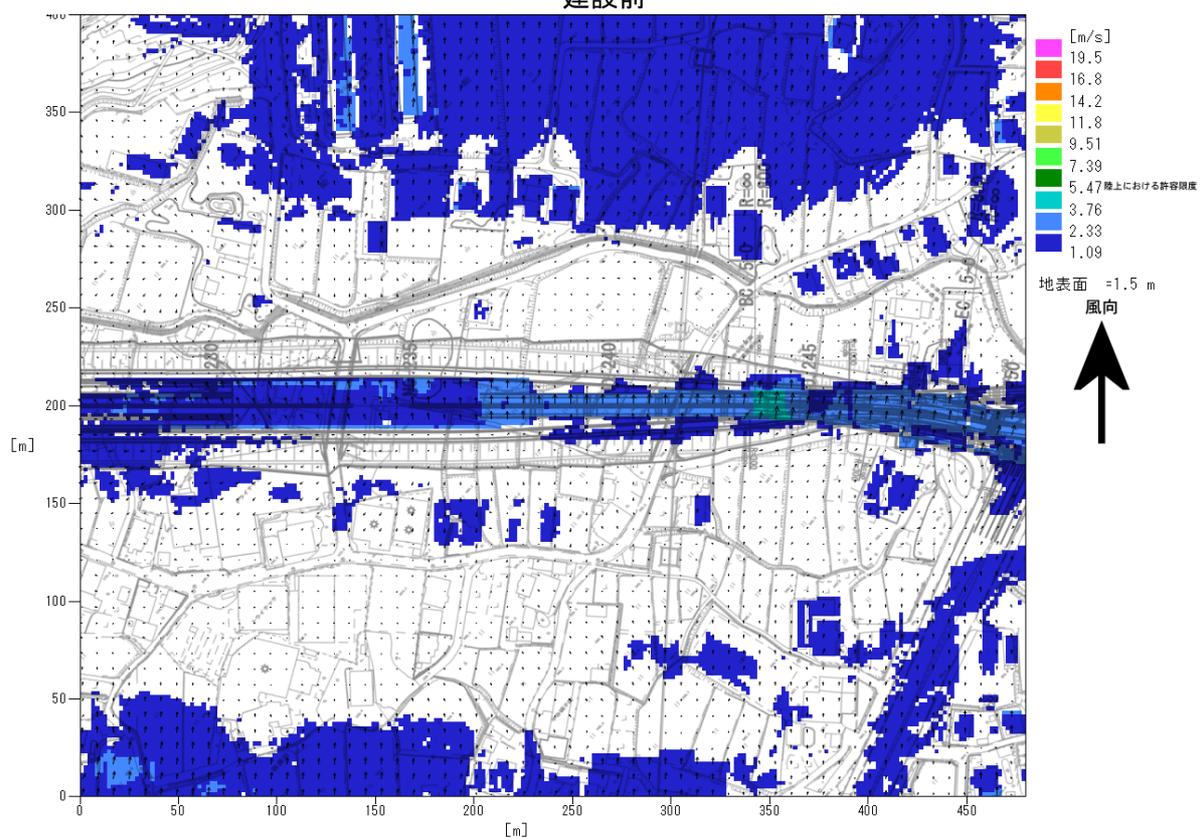


建設後

図 4.2.9 南側：直交風1 最大風速 6.2m/s (地上 1.5m 換算 4.2m/s)

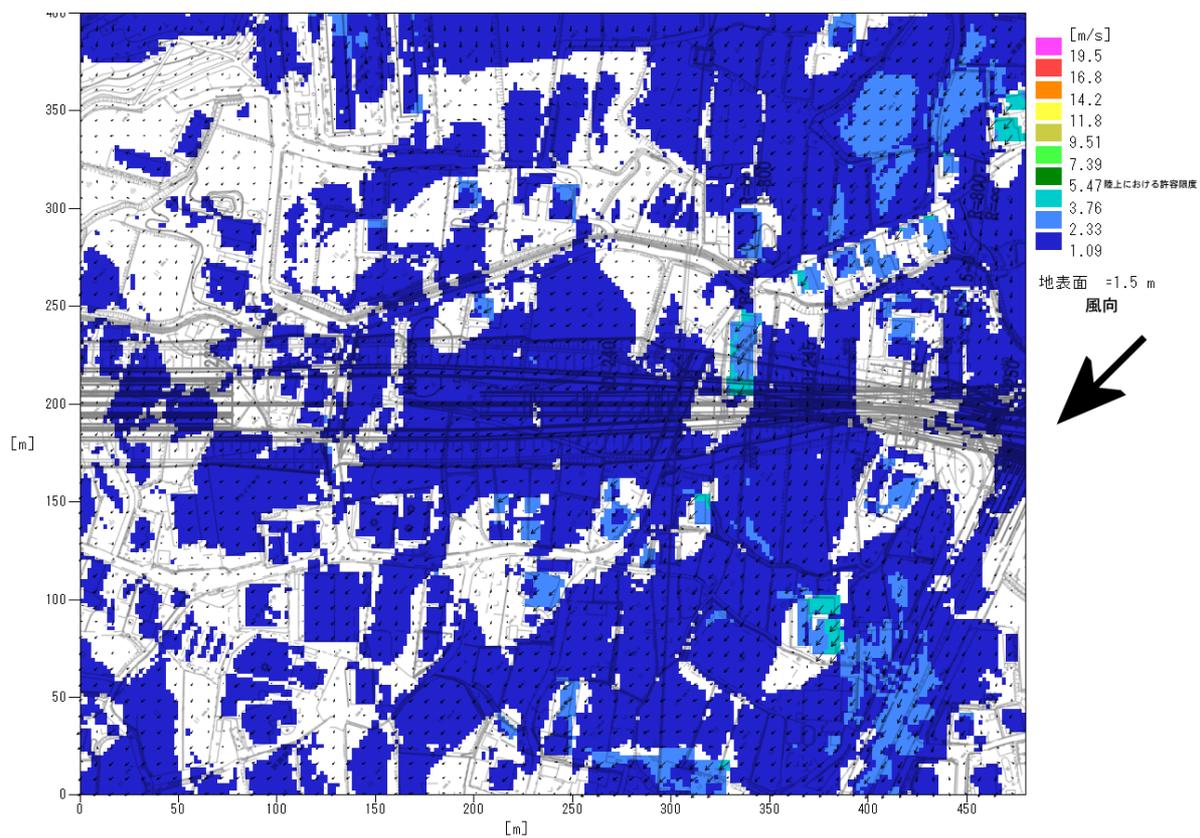


建設前

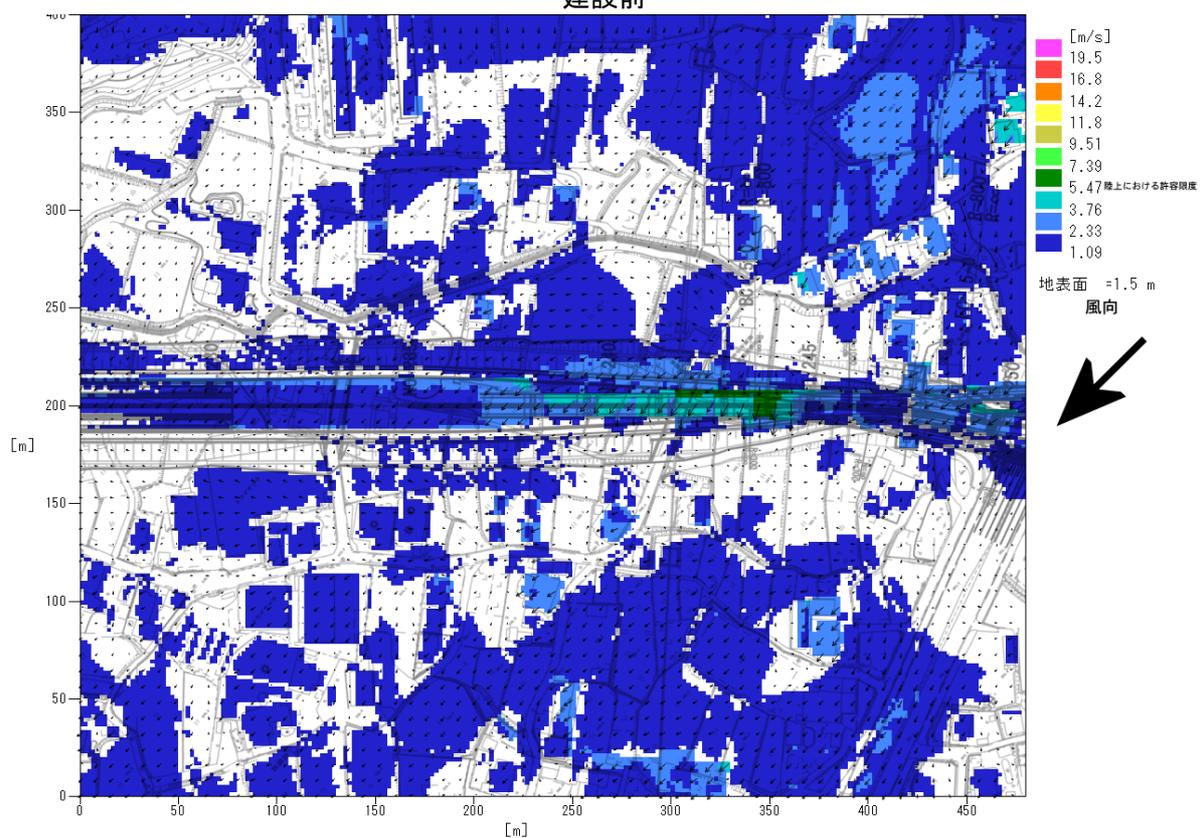


建設後

図 4.2.10 南側：直交風 2 最大風速 4.1m/s (地上 1.5m 換算 2.8m/s)

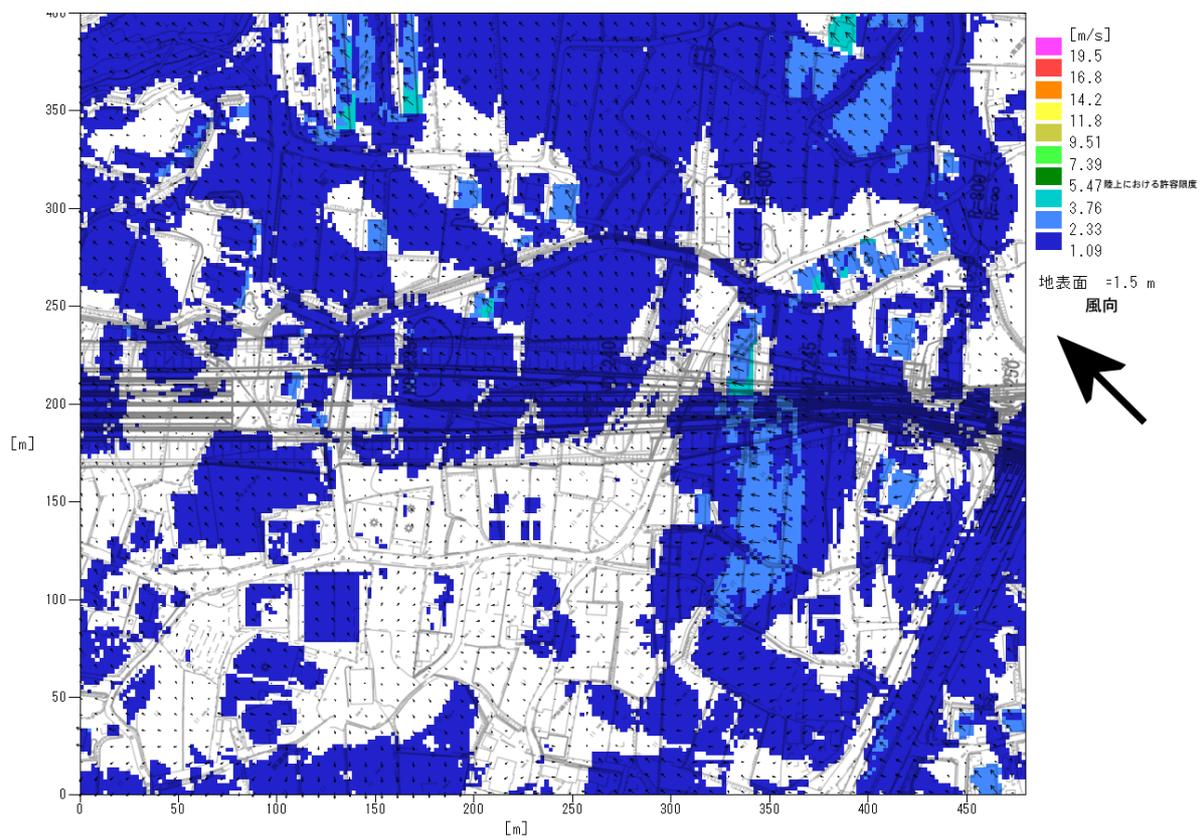


建設前

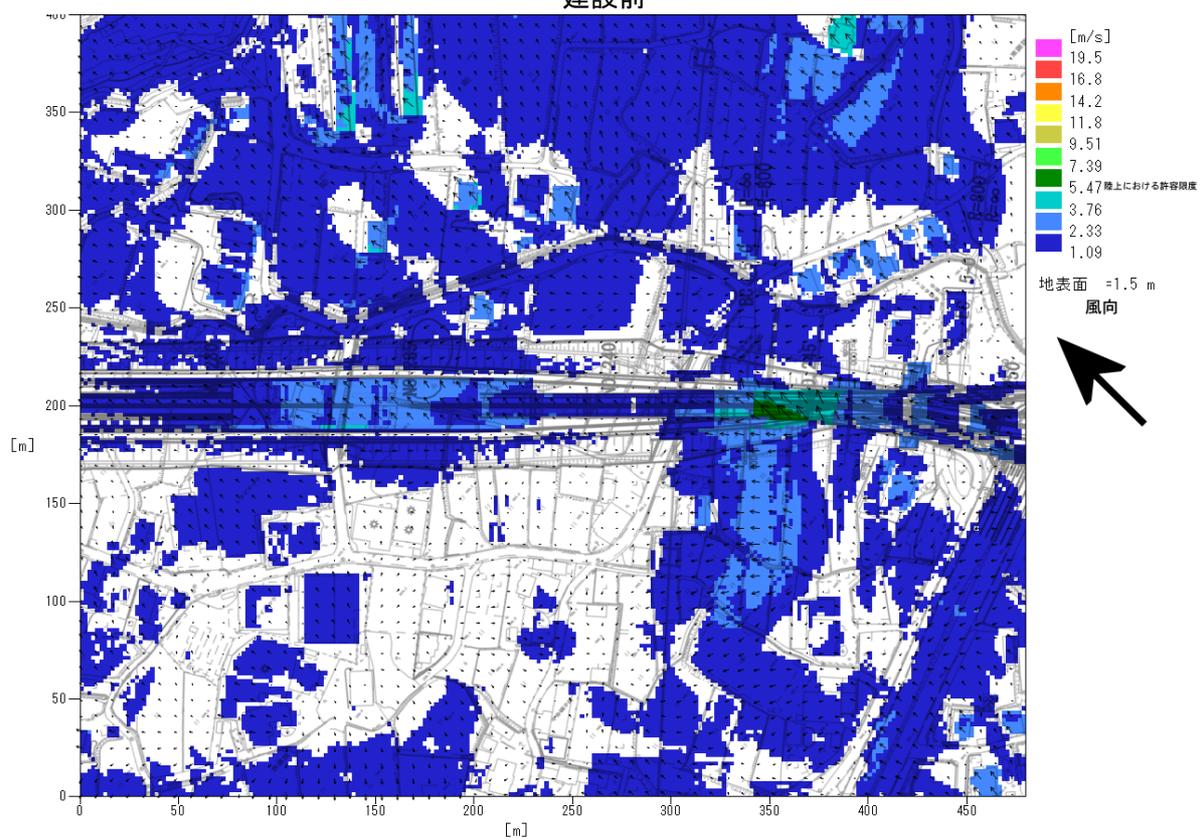


建設後

図 4.2.11 南側：斜交風 1 最大風速 5.2m/s (地上 1.5m 換算 3.6m/s)



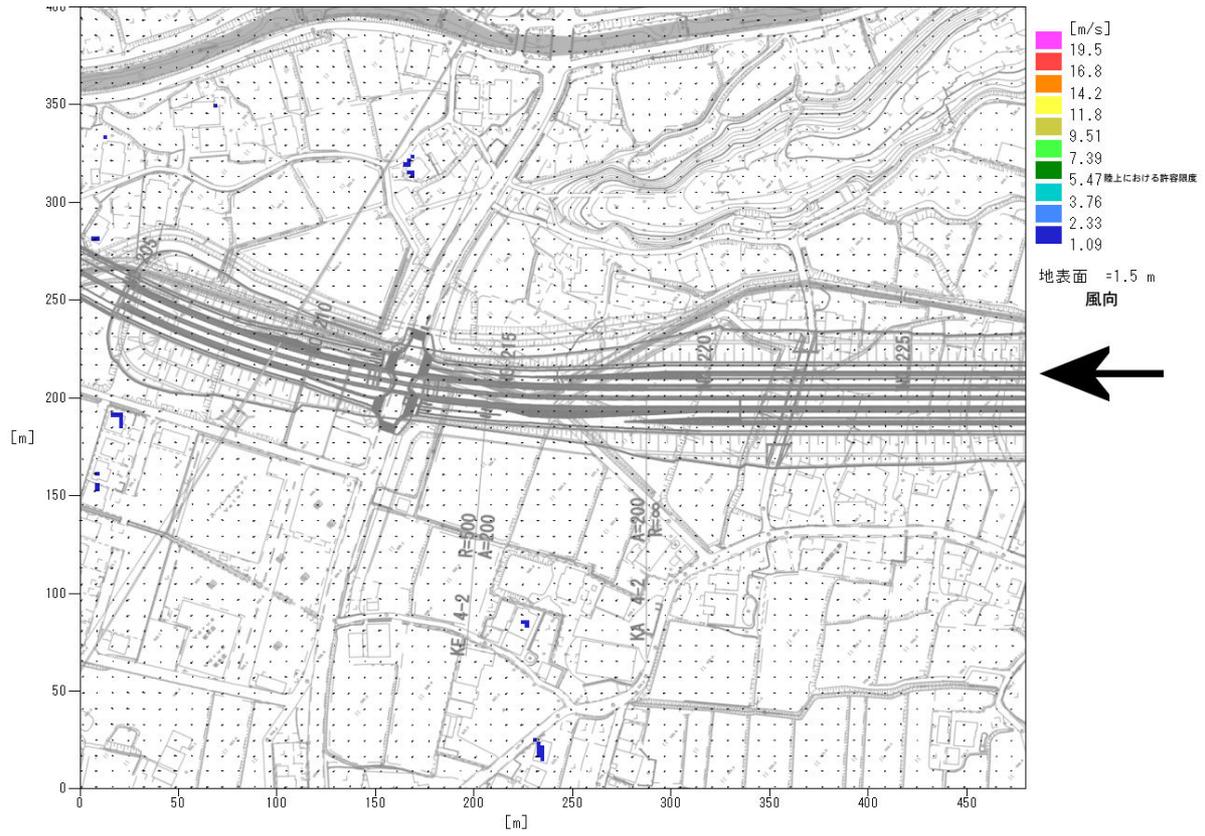
建設前



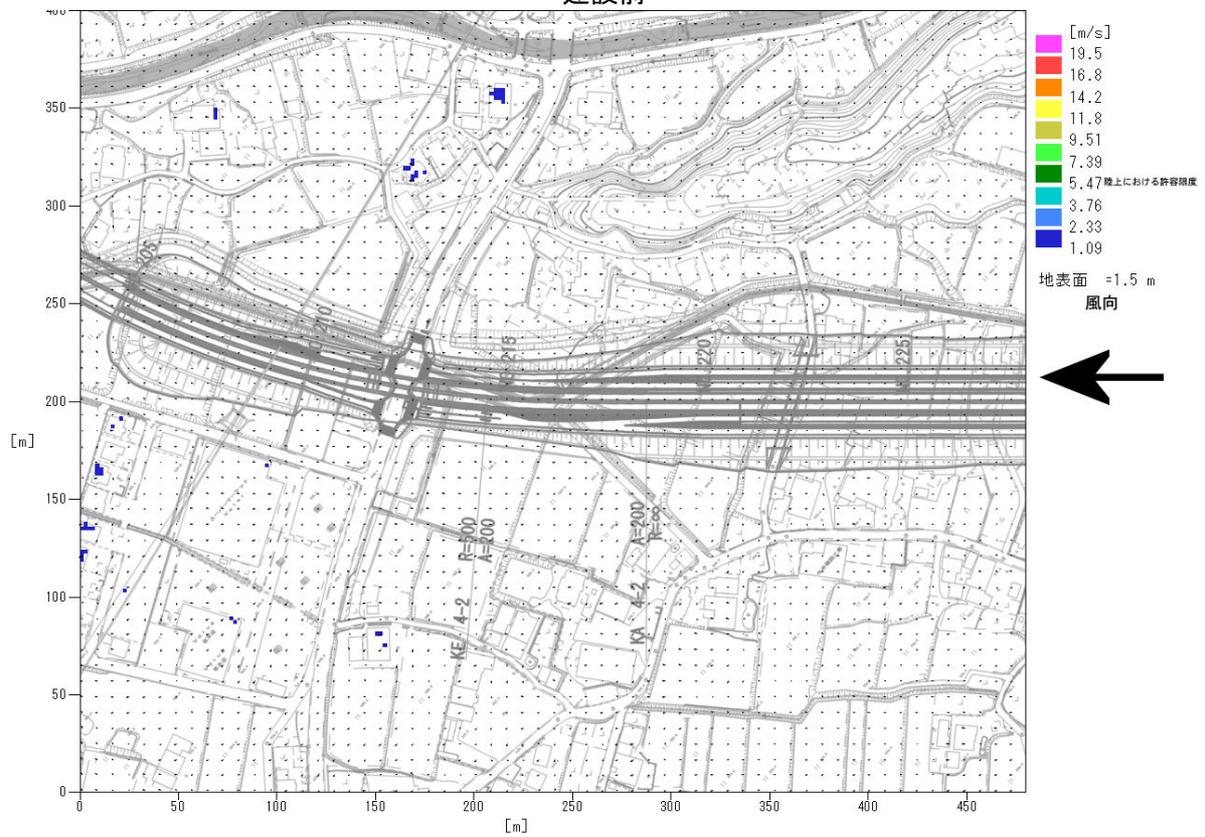
建設後

図 4.2.12 南側：斜交風 2 最大風速 4.3m/s (地上 1.5m 換算 2.9m/s)

(3) 北側・平均風速

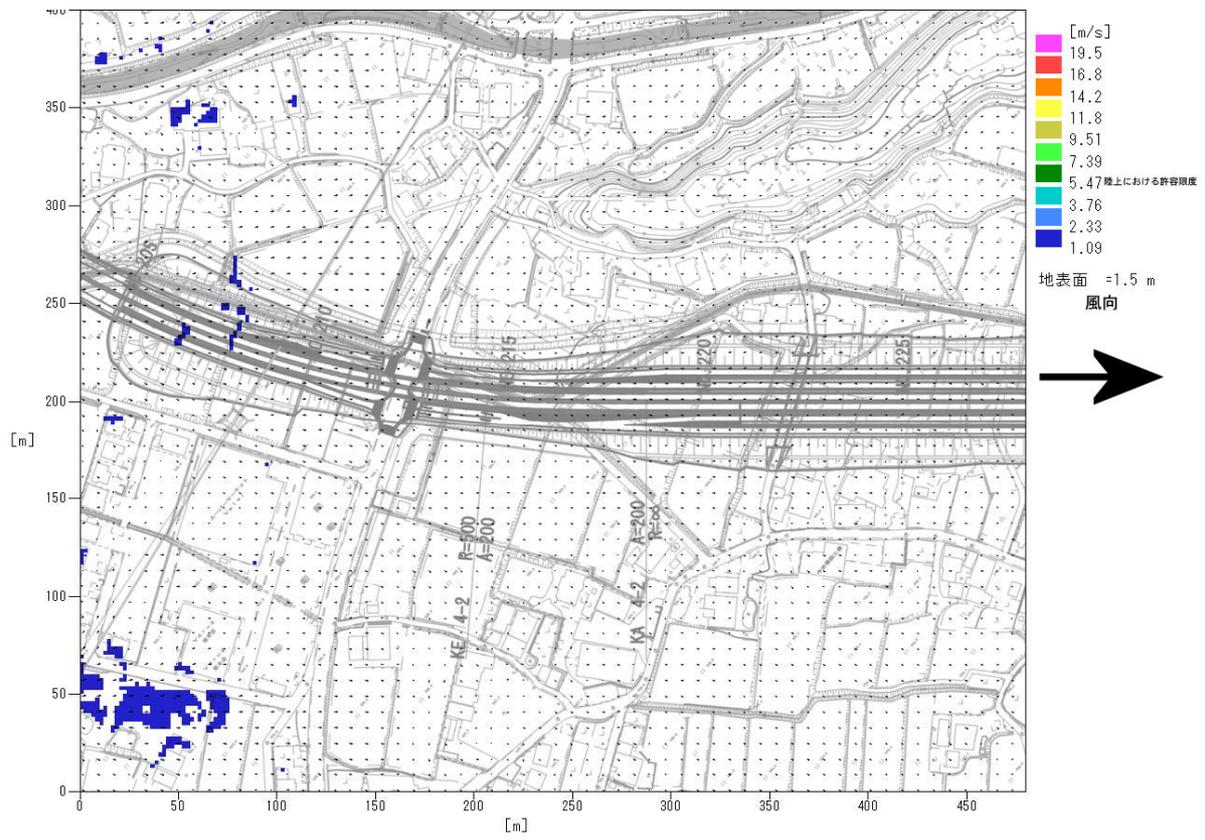


建設前

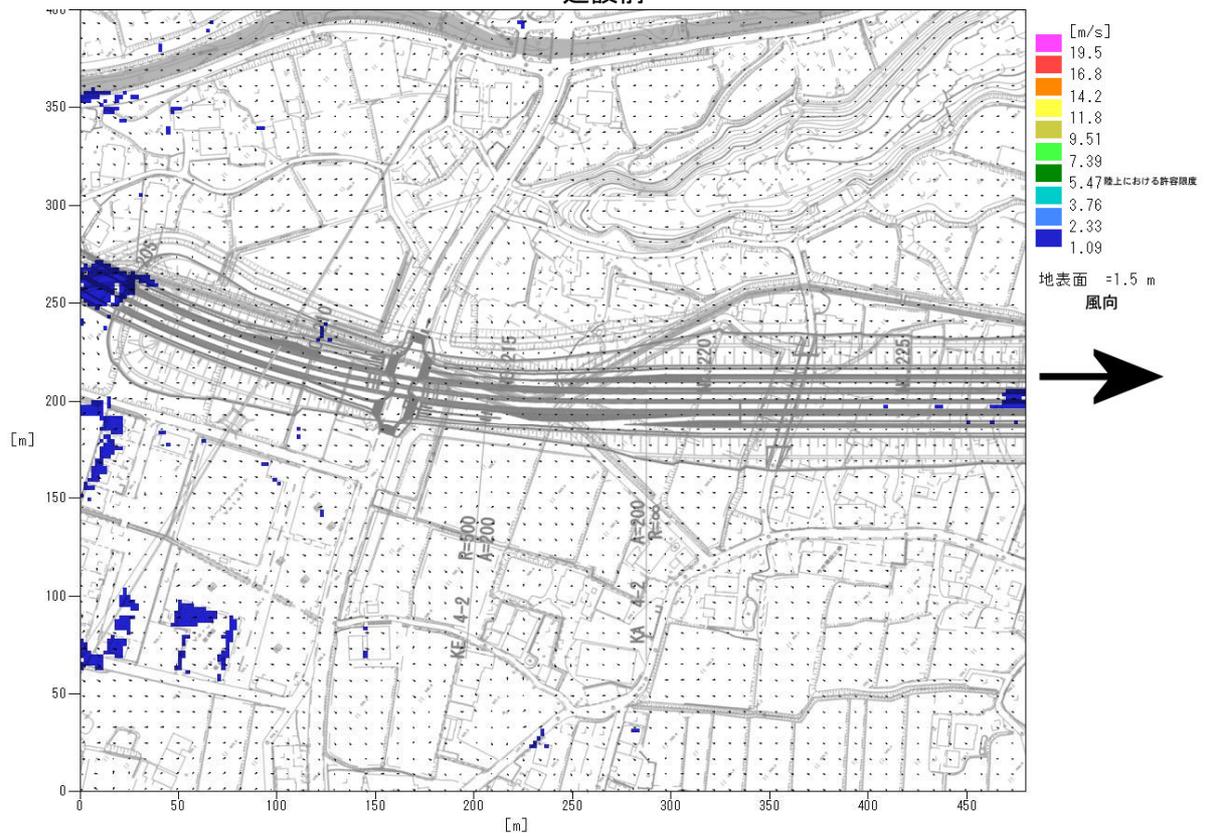


建設後

図 4.2.13 北側：平行風 1 平均風速 0.9m/s

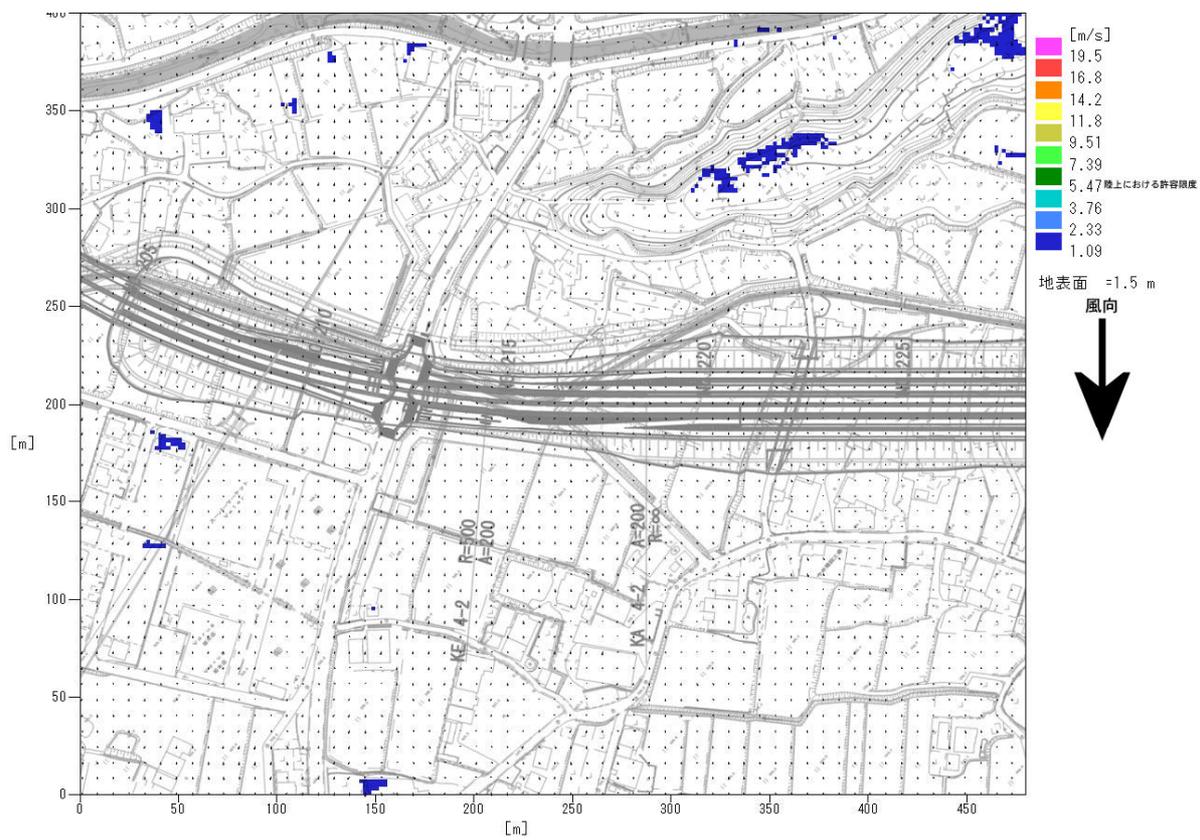


建設前

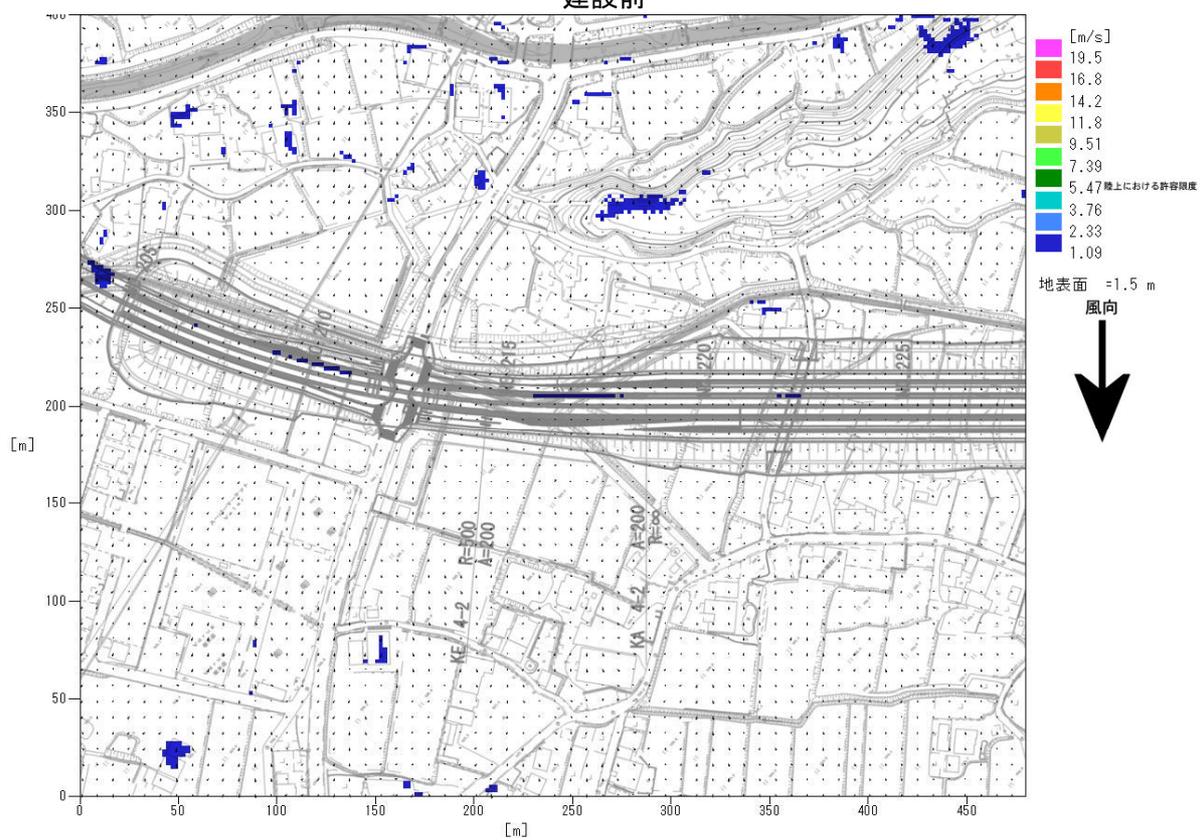


建設後

図 4.2.14 北側：平行風 2 平均風速 1.4m/s

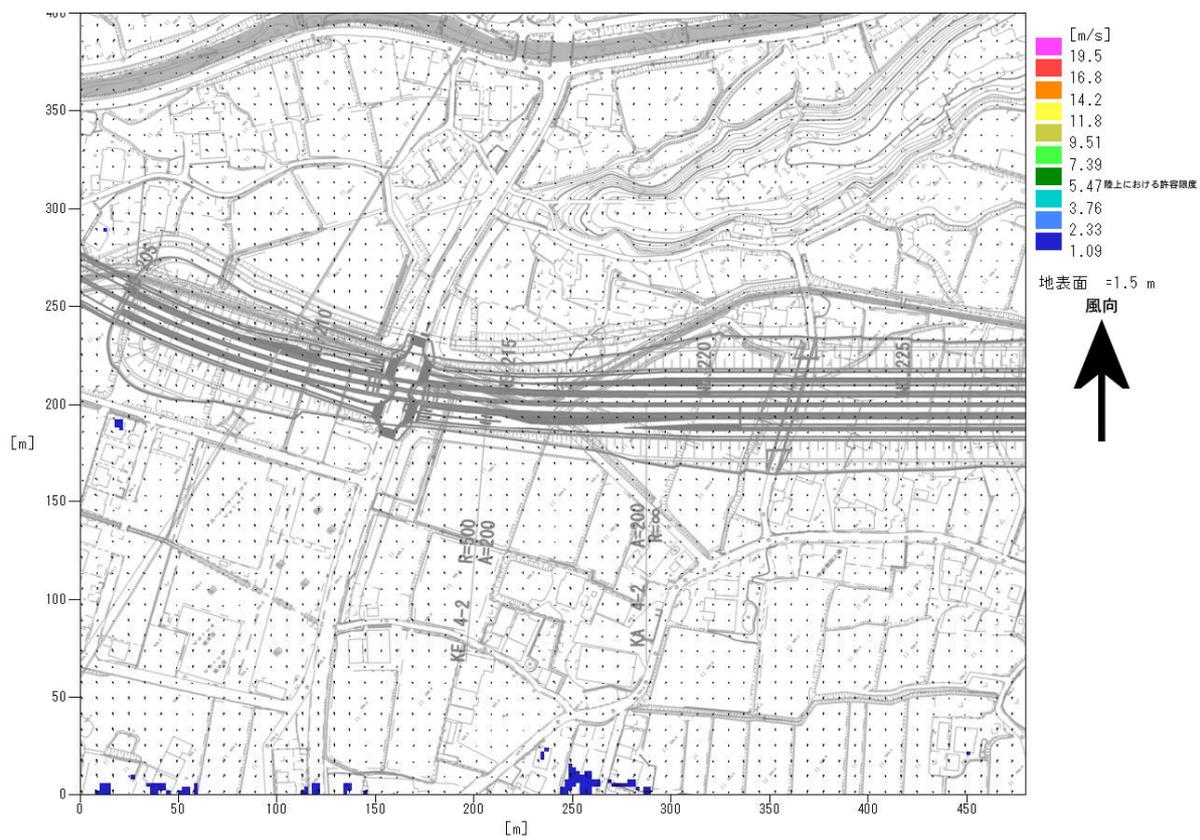


建設前

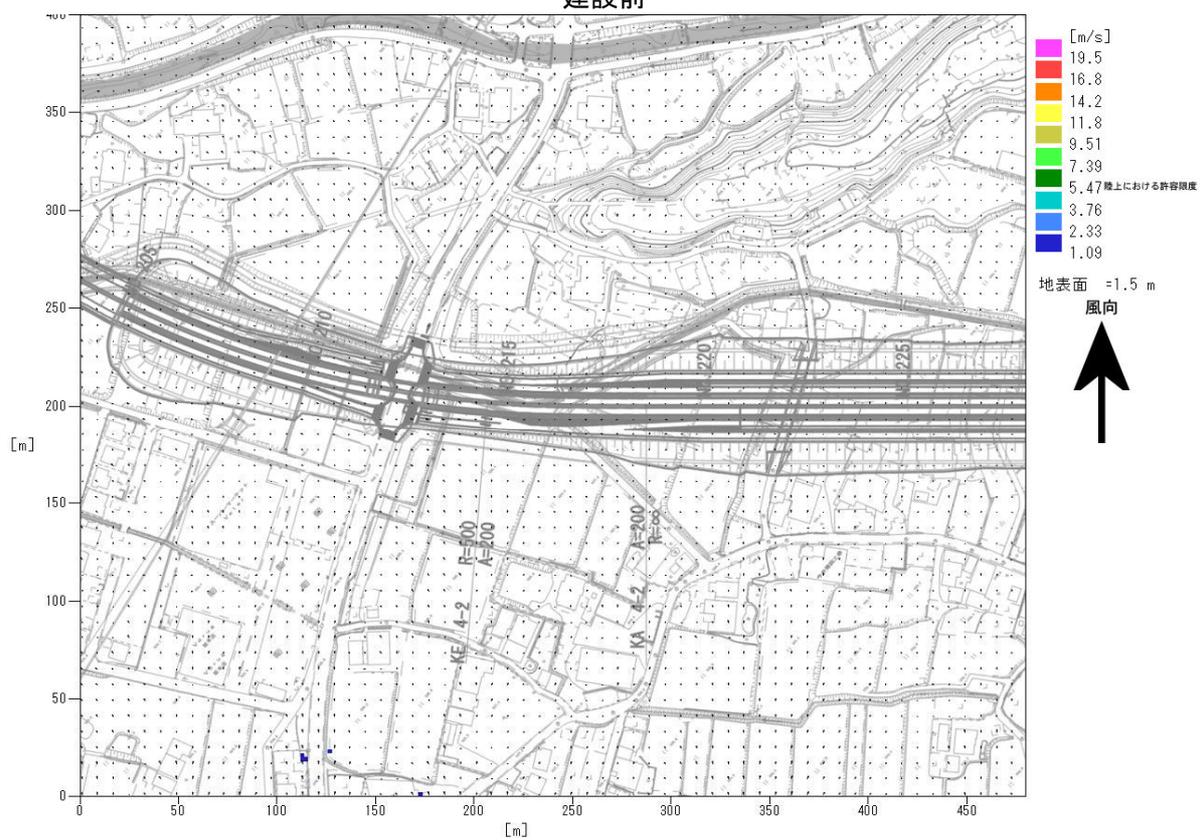


建設後

図 4.2.15 北側：直交風 1 平均風速 1.1m/s

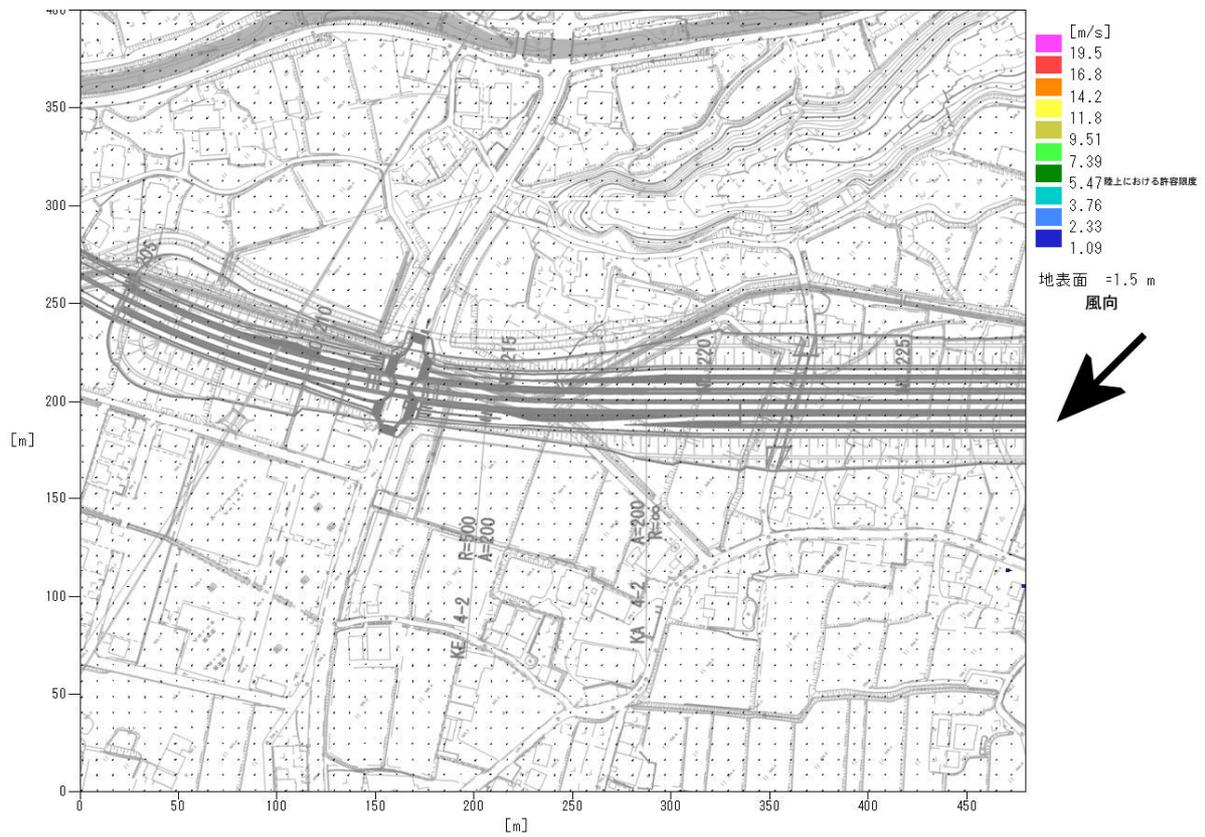


建設前

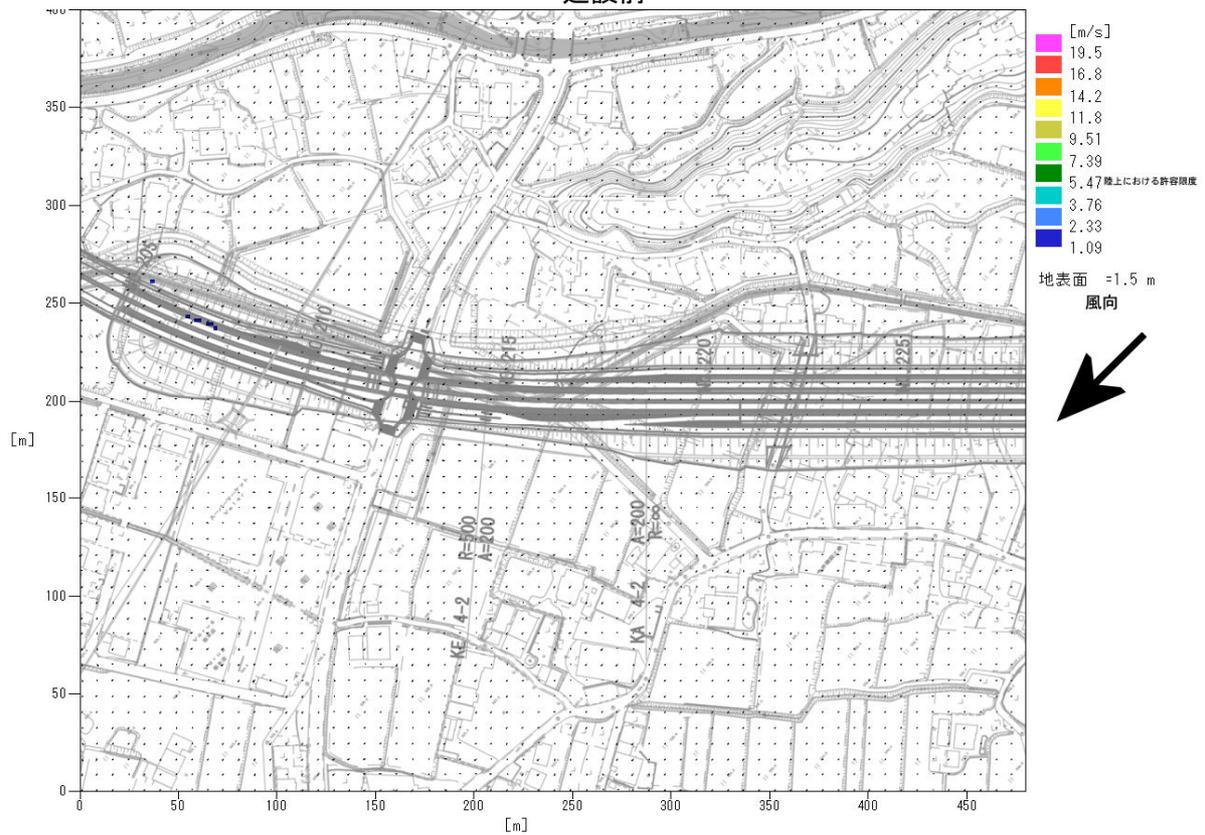


建設後

図 4.2.16 北側：直交風 2 平均風速 0.9m/s)

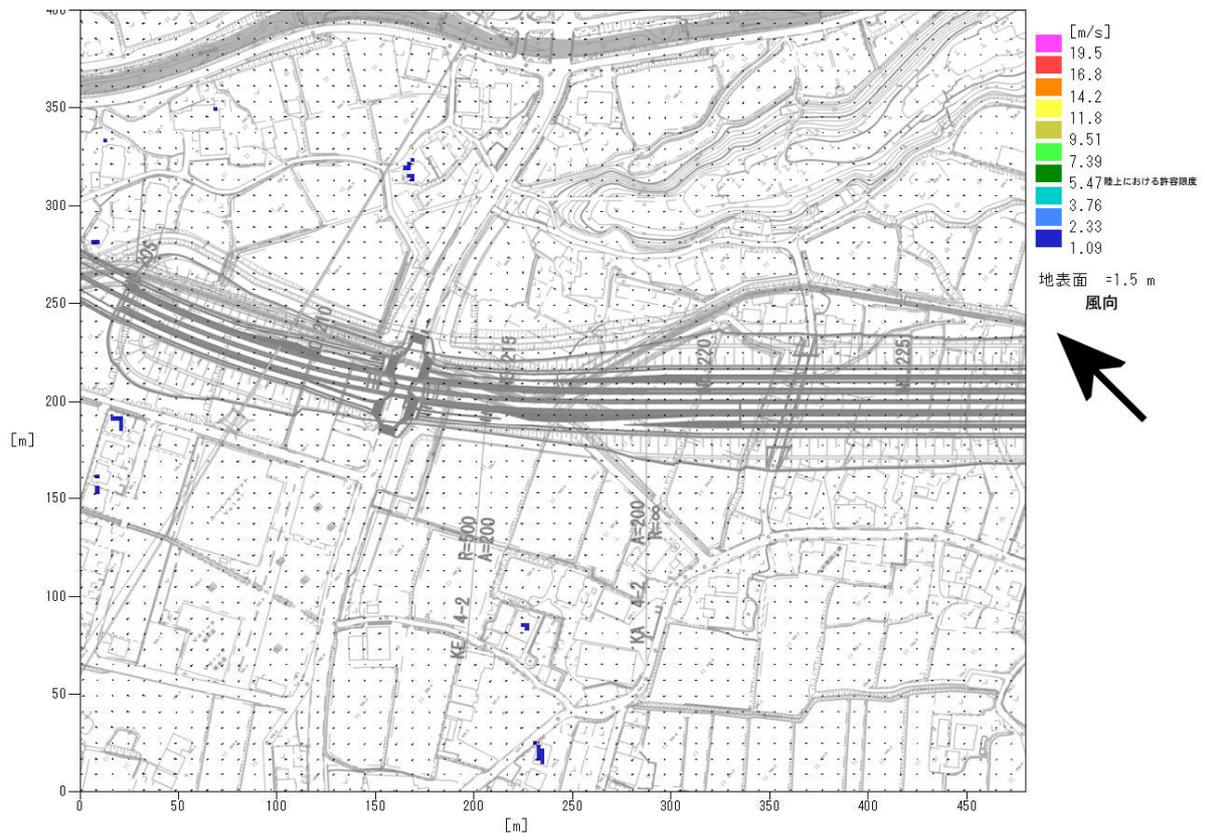


建設前

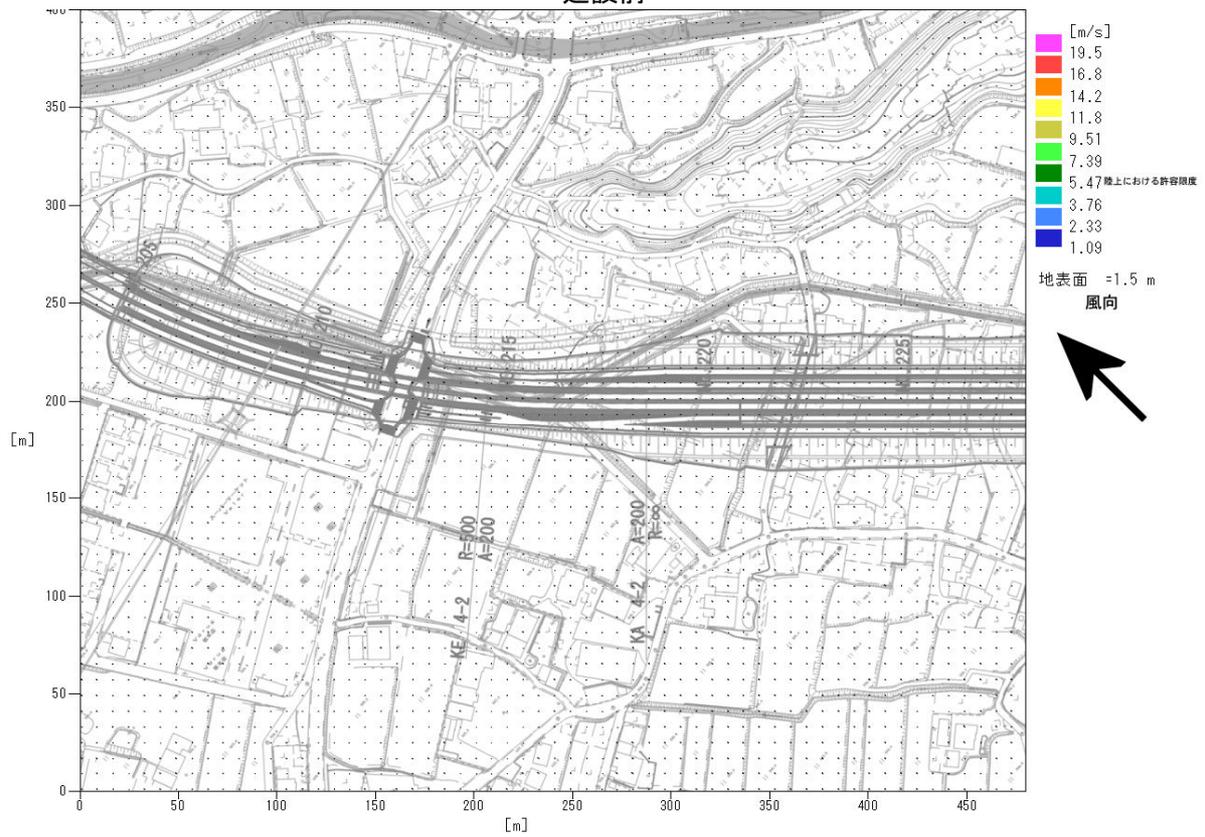


建設後

図 4.2.17 北側：斜交風1 平均風速 1.1m/s



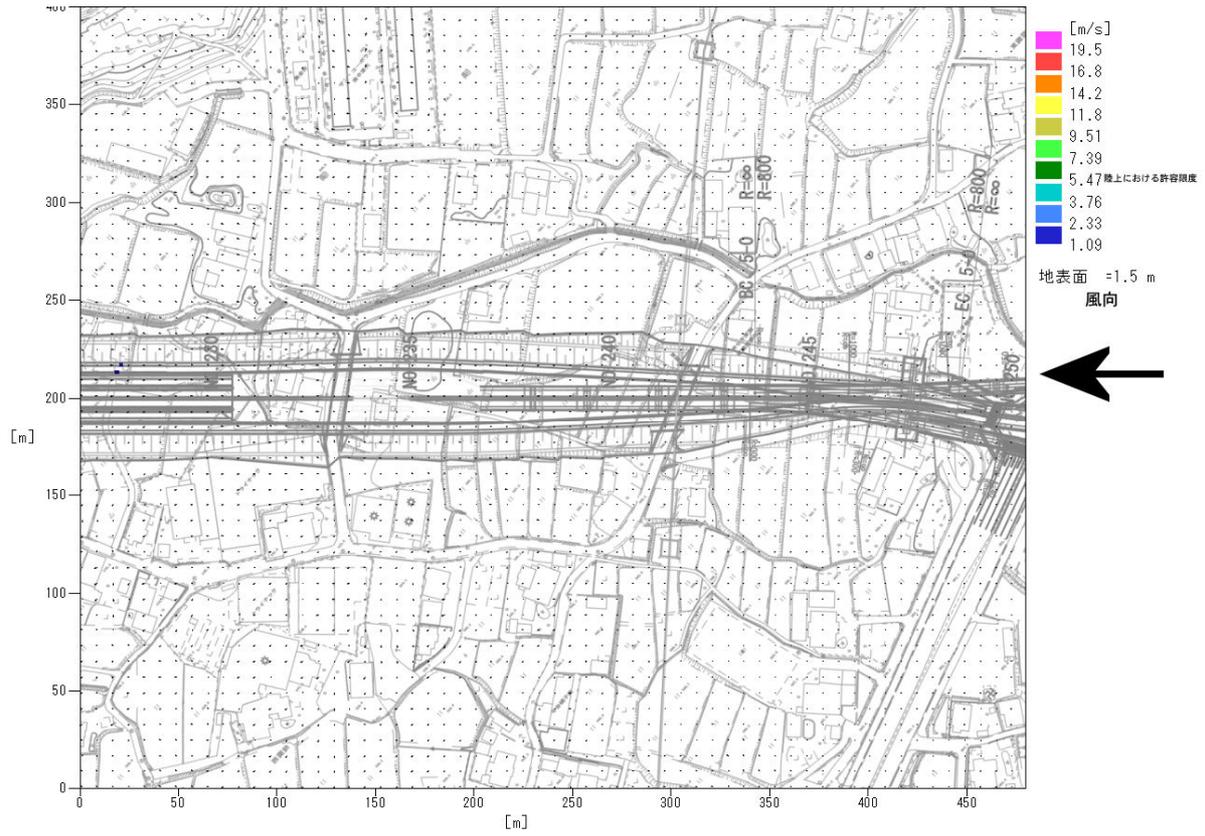
建設前



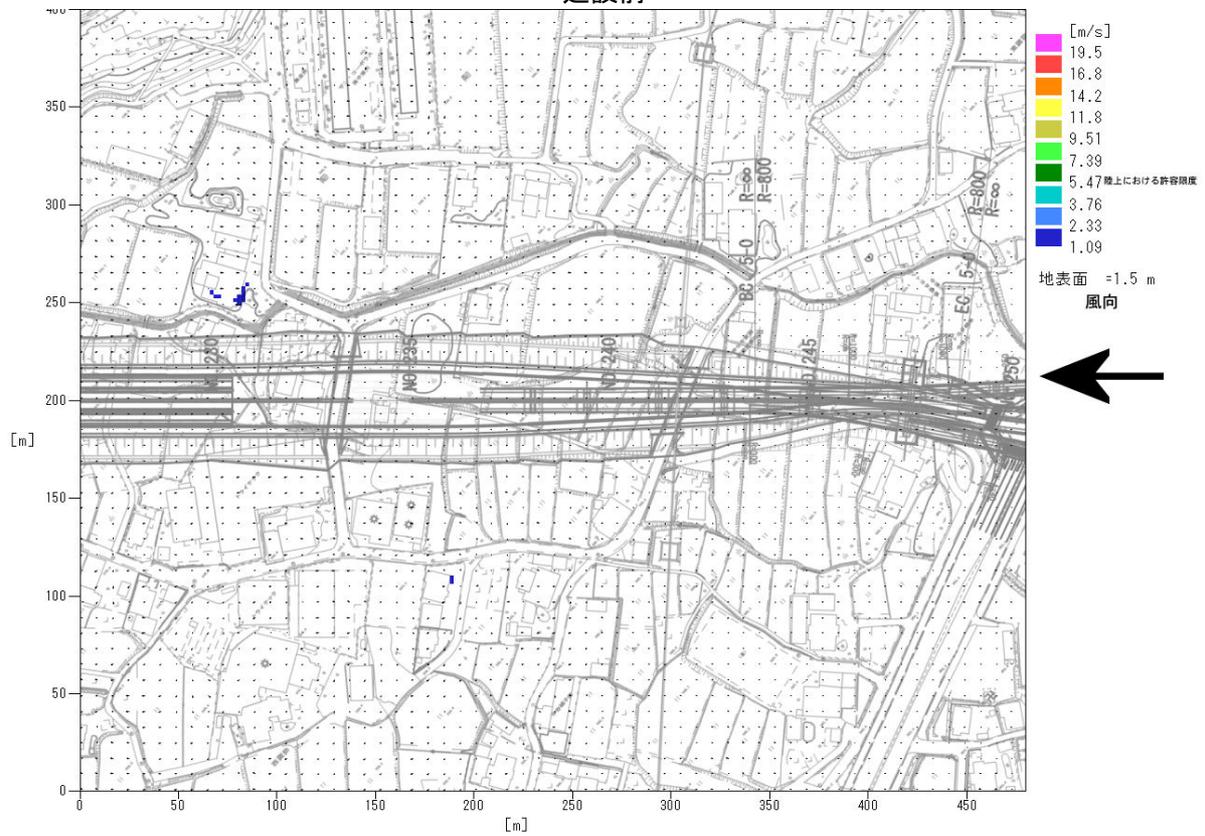
建設後

図 4.2.18 北側：斜交風 2 平均風速 0.9m/s

(4) 南側・平均風速

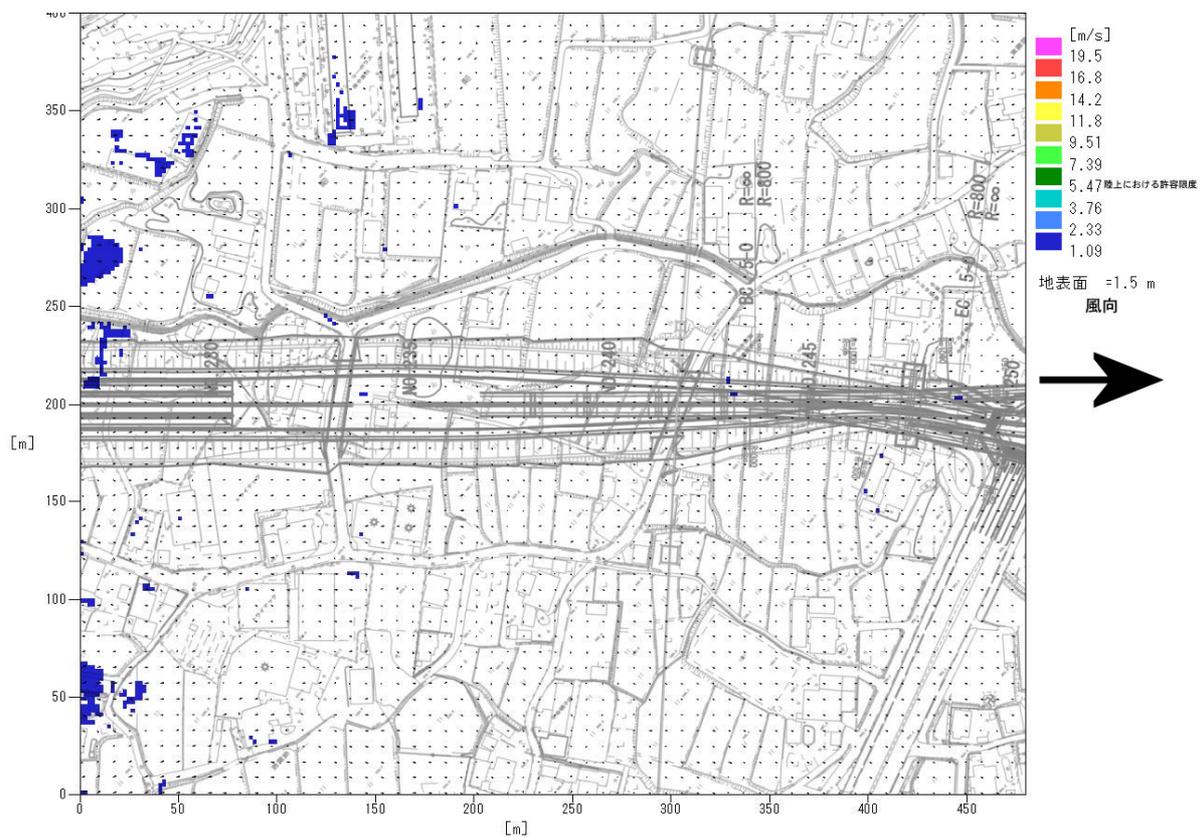


建設前

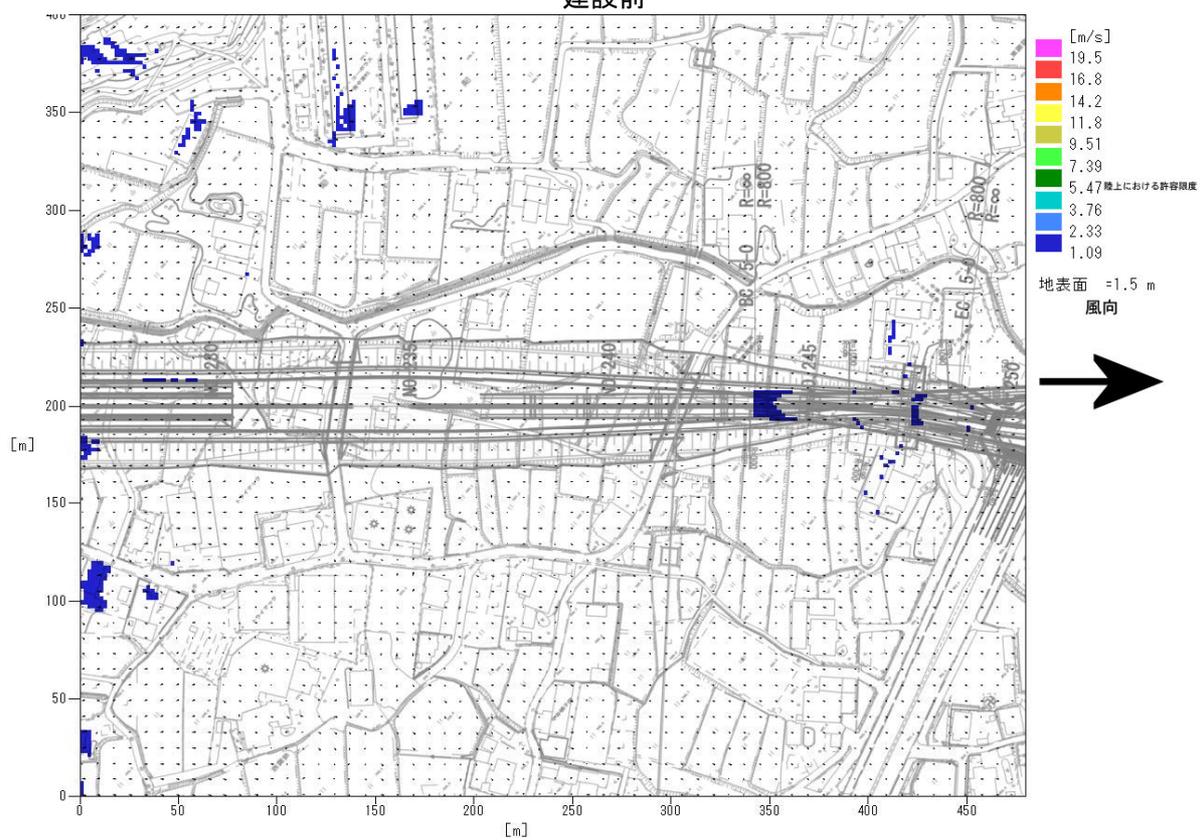


建設後

図 4.2.19 南側：平行風 1 平均風速 0.9m/s

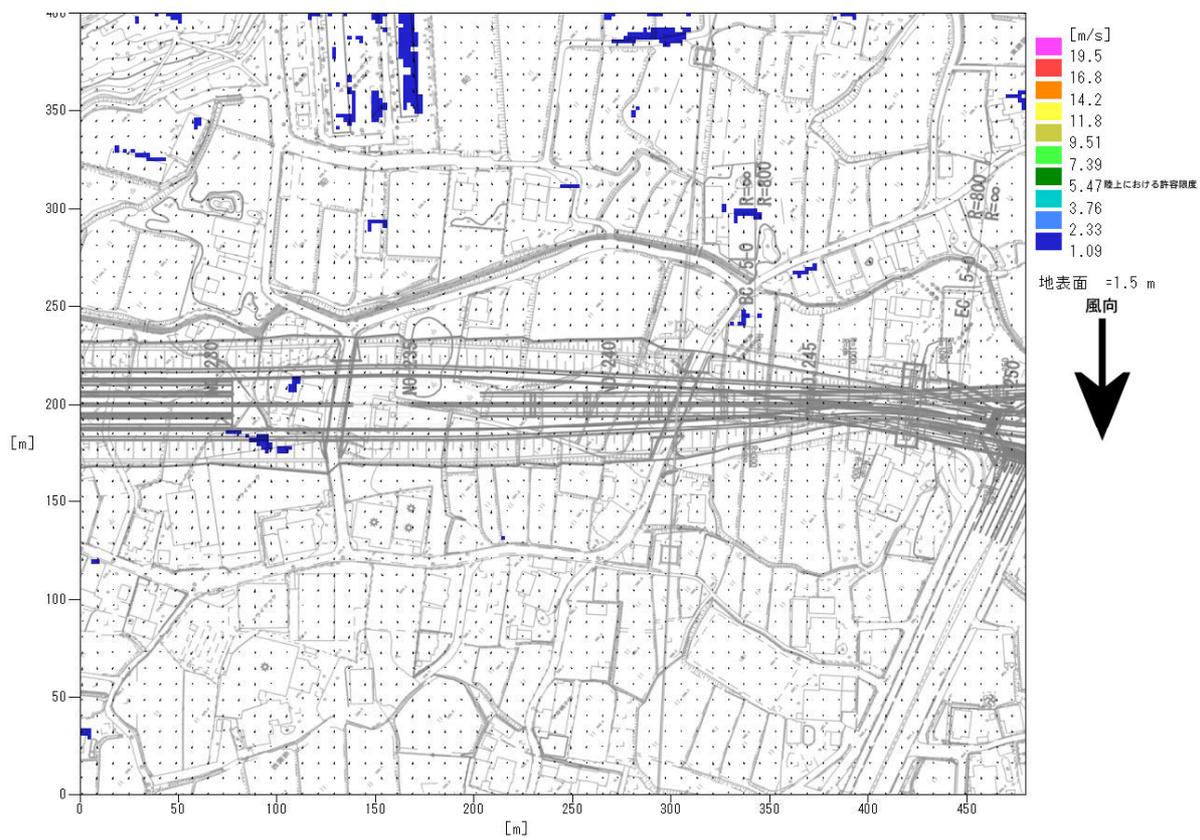


建設前

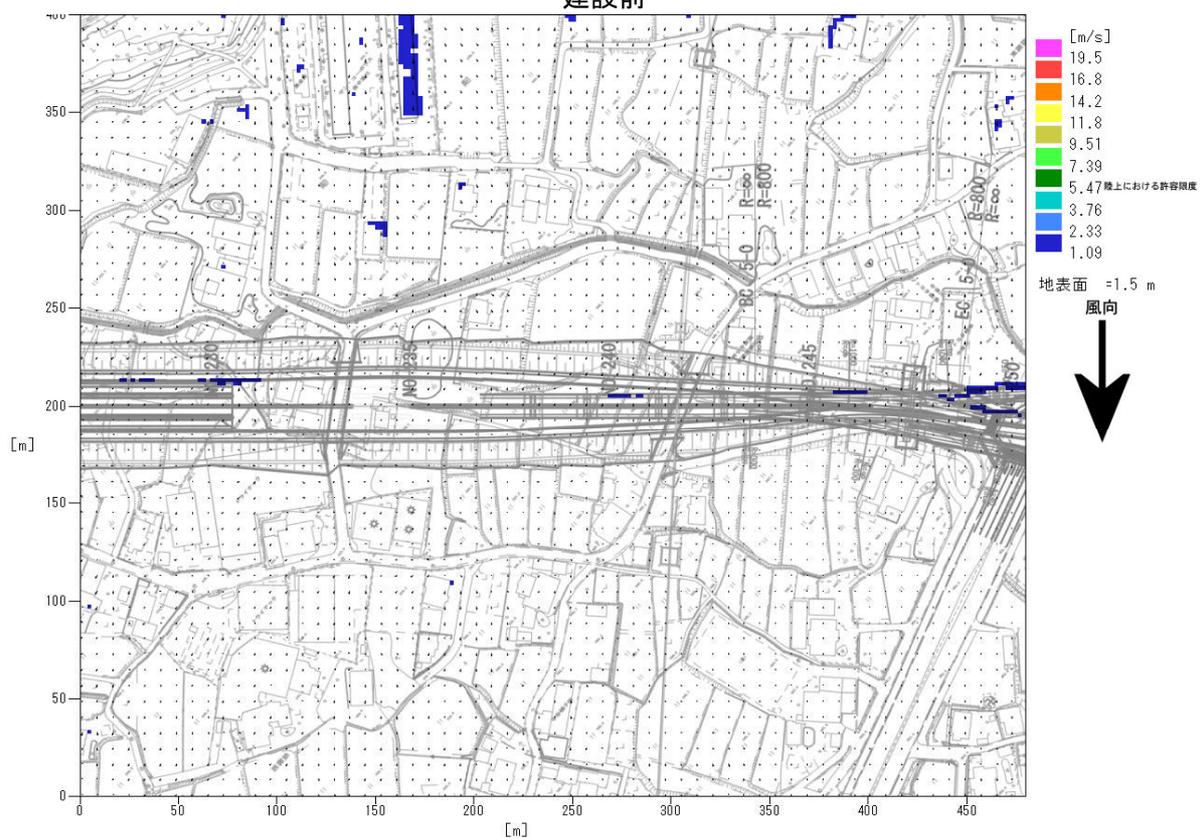


建設後

図 4.2.20 南側：平行風 2 平均風速 1.4m/s

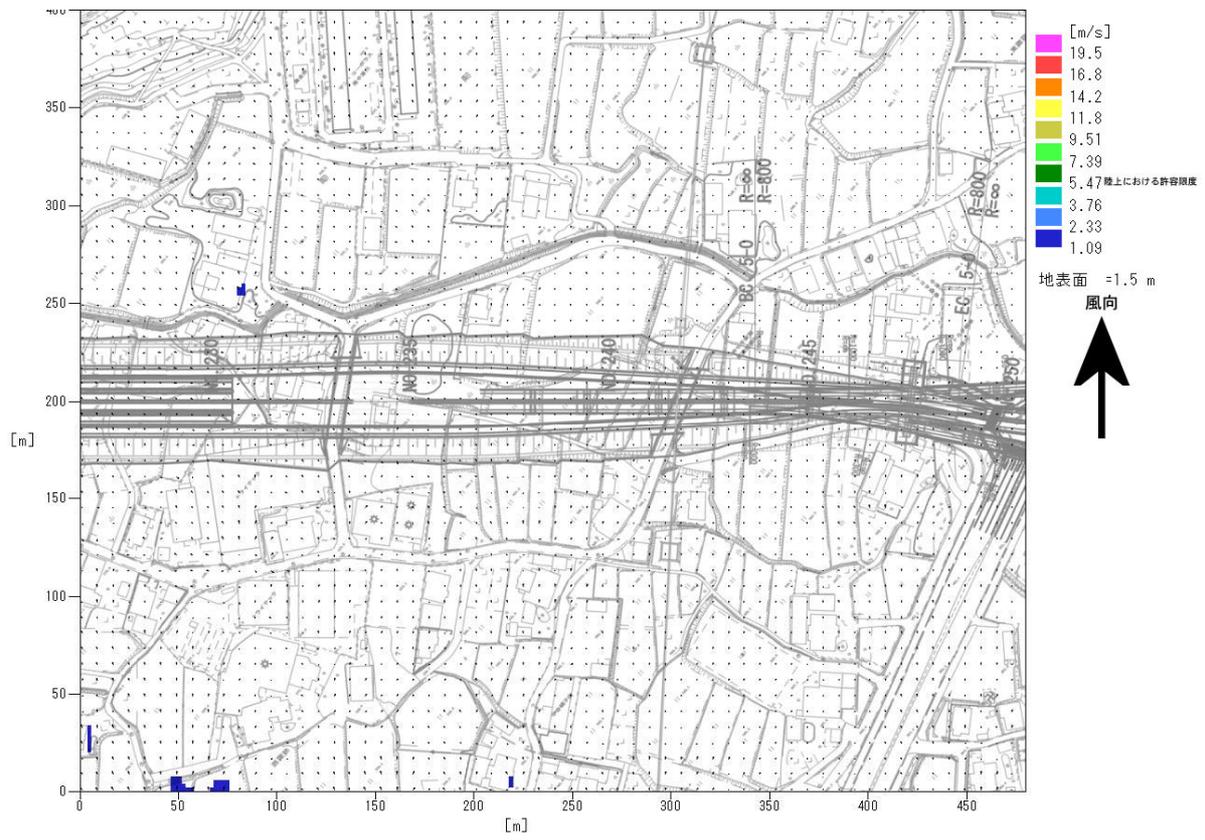


建設前

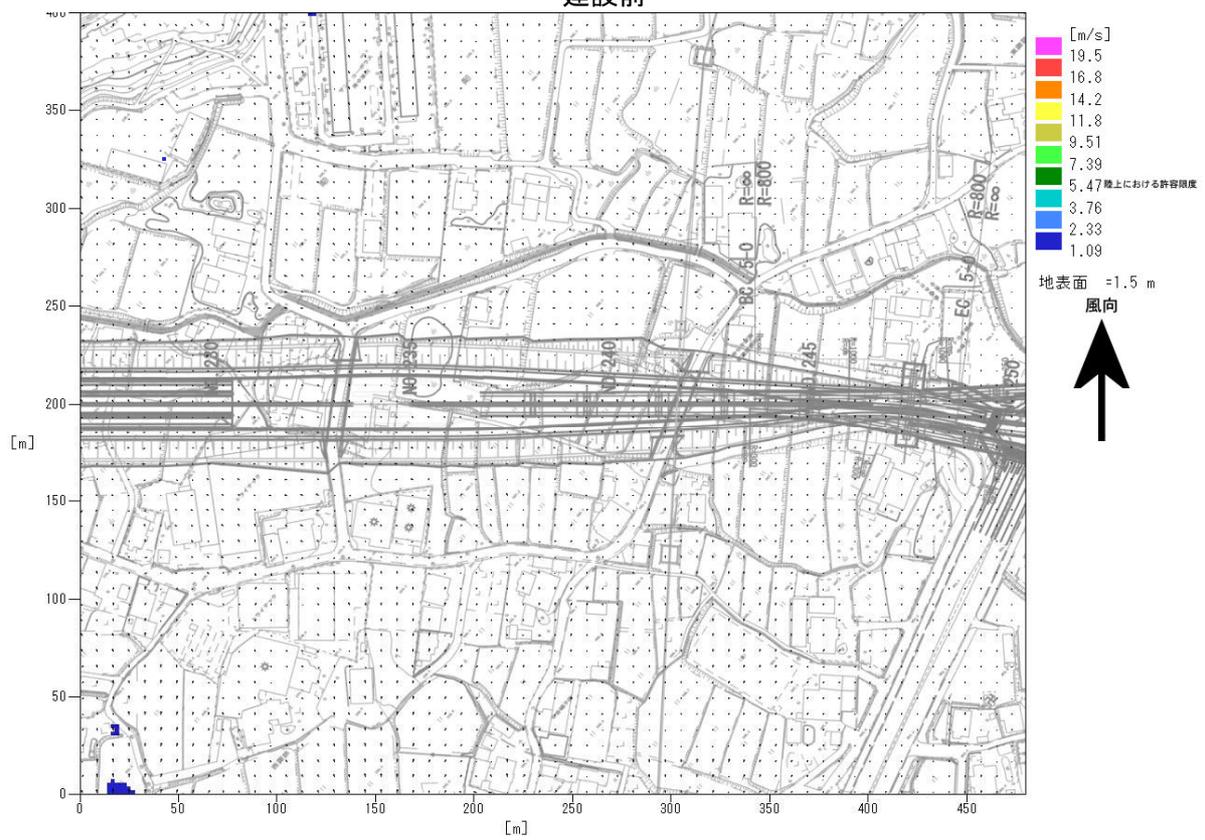


建設後

図 4.2.21 南側：直交風 1 平均風速 1.1m/s

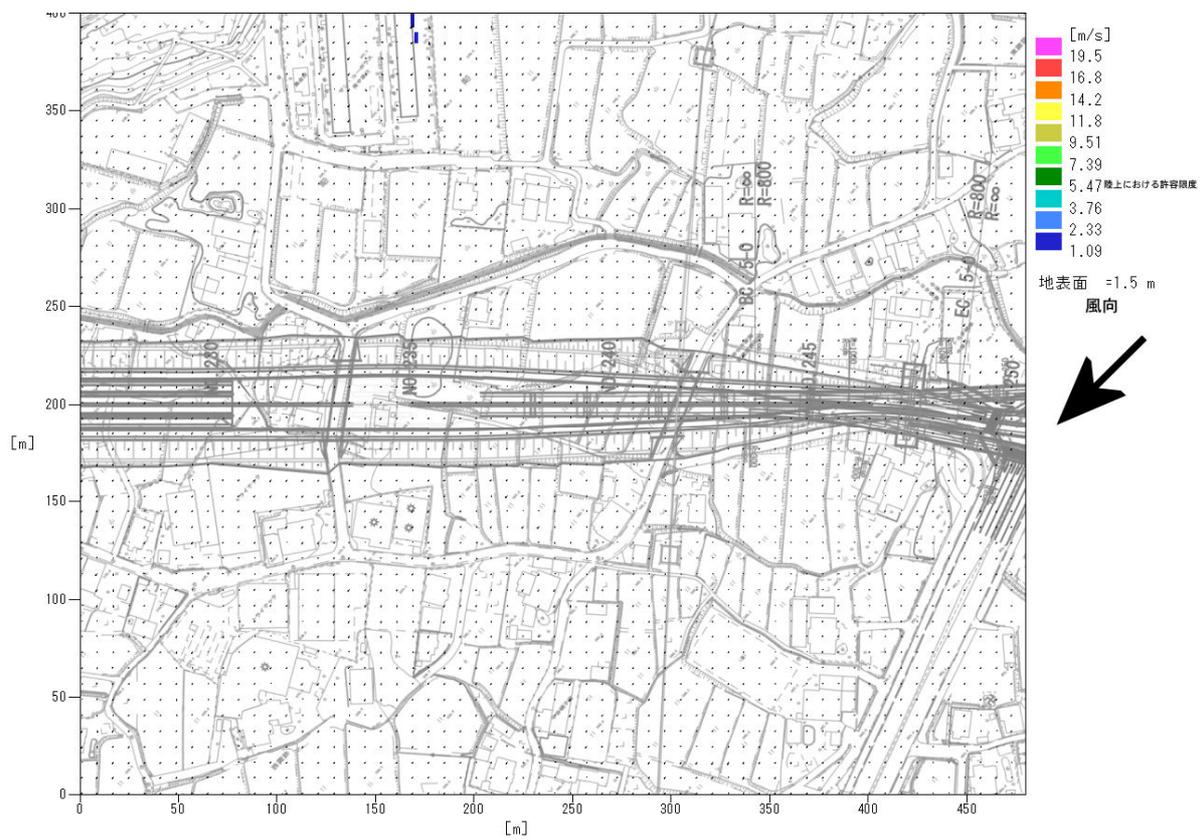


建設前

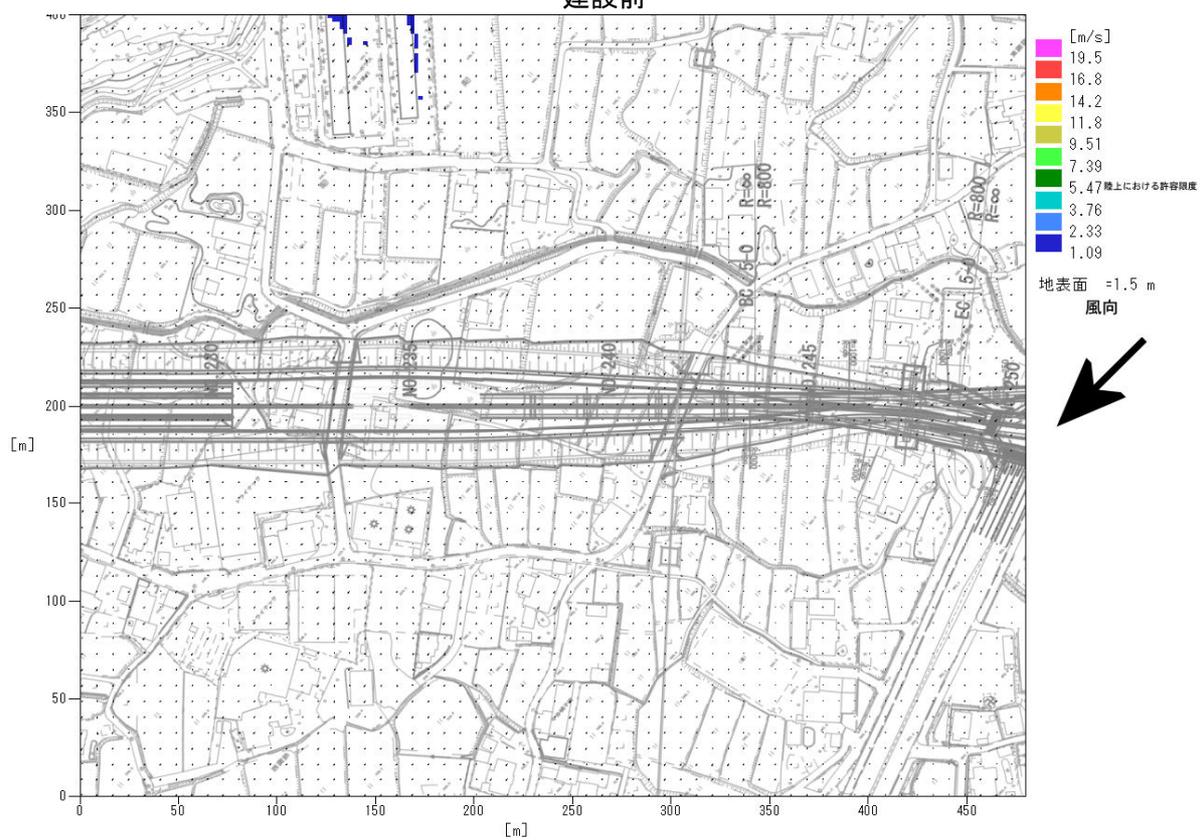


建設後

図 4.2.22 南側：直交風 2 平均風速 0.9m/s

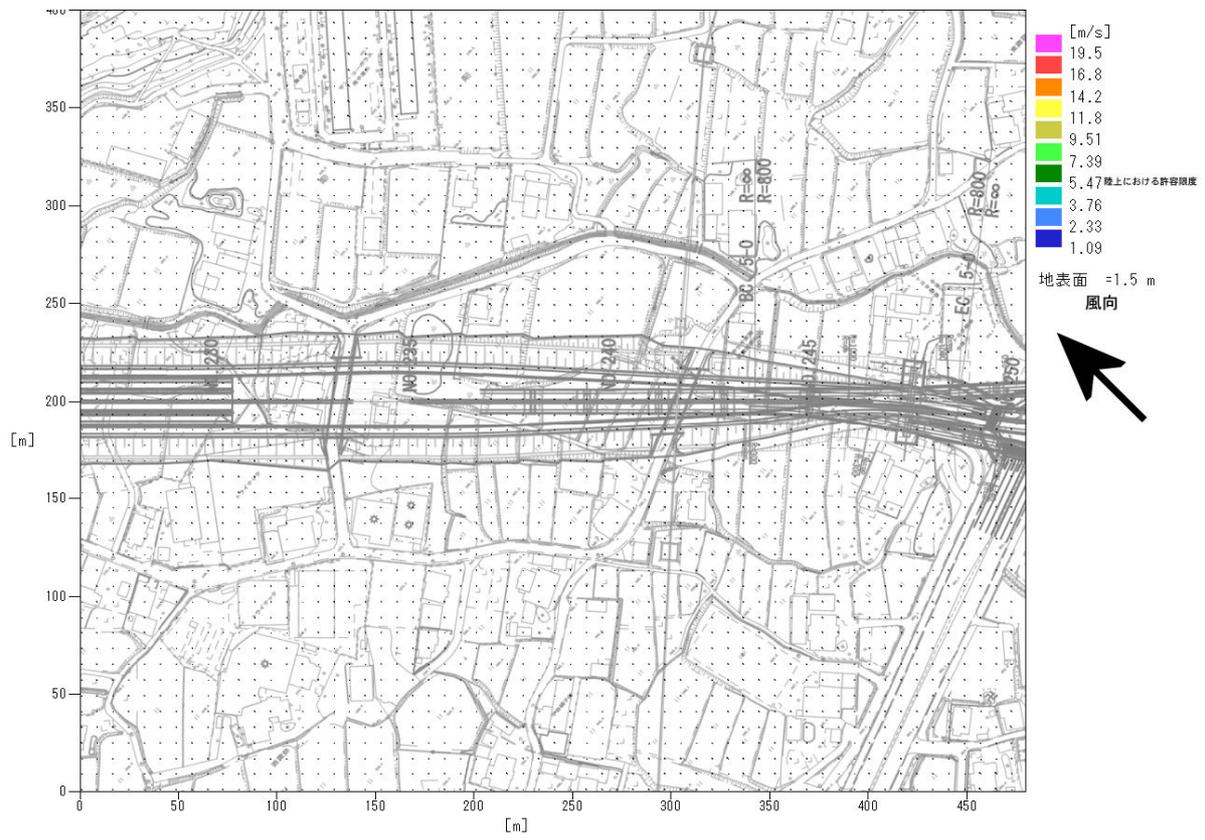


建設前

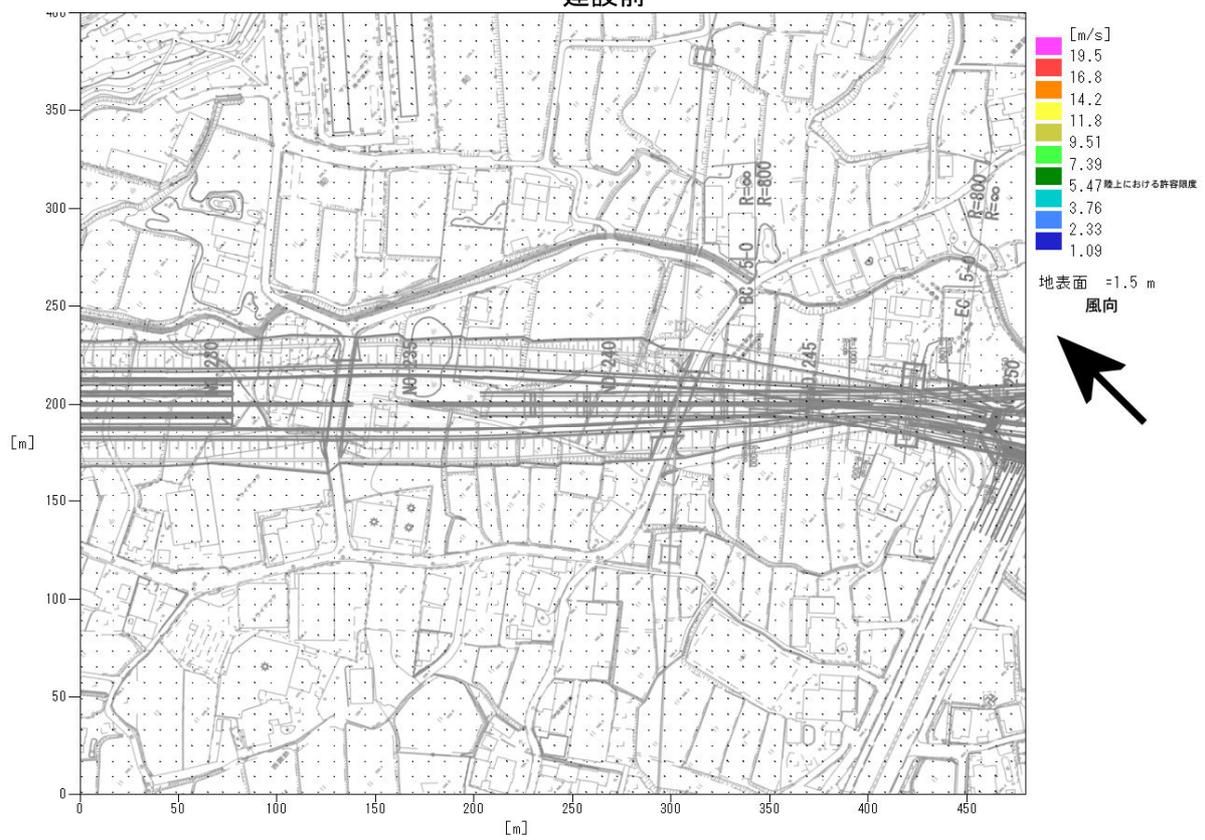


建設後

図 4.2.23 南側：斜交風 1 平均風速 1.1m/s



建設前



建設後

図 4.2.24 南側：斜交風 2 平均風速 0.9m/s

4-3 結果の見方（評価の方法）

以上のシミュレーション結果は、「風速が大きい（風が強い）かどうか」、「風が強い場合に、それが計画建築物の建築によって生じたものかどうか」という2点からの評価が必要である。

図4.2.1～図4.2.24は、上記のうち「風速が大きい（風が強い）」部分がどの範囲であるかを示したものである。風力階級2■、3■、4■は快適、5■は不快であるが、ここまでがPenwarden^{ペンワードン}によれば陸上における許容限度とされており問題ない。風力階級6■は不快が甚だしい、7■は歩くのに不自由さを感じ、8■においては前進をさまたげる程度とされている。風力階級9■は「危険」であるから、本調査の前提条件である6年間の最大風速の前提であっても、それが計画道路によって生じたものであれば、いわゆる風害の発生が予測されたことになる。

したがって、評価する際にはまず図4.2.1～図4.2.24において問題のある範囲を確認する。これらの範囲の部分の建設前と建設後の差が大きければ、「計画道路の建築によって風害が生ずる」ということになる。

4-4 結果の評価

本調査シミュレーションによって過去6年間の最大風速の条件（台風通過のある年は台風の影響を含む）で予測された風速の変化を以下にまとめる。

（1）北側・最大風速

予測を行った6風向のうち平行風1（図4.2.1）の座標軸でX=70m付近、Y=170m付近について、建設前に風力階級6（陸上における許容限度を上回る）が、建設後に風力7（歩くのに不自由さを感じる）となっているが、この部分は建物2階（屋根上）1.5mの場所に該当し、人が直接影響を受けることのない場所であるため、風害の発生場所にはあたらない。

他の風向については、風環境への大きな影響（いわゆる風害）は予測されなかった。

（2）南側・最大風速

予測を行った6風向のうち平行風2（図4.2.8）の、座標軸でX=360m付近、Y=250m付近のごく狭い範囲については、建設前に風力階級4が、建設後に風力階級6（陸上における許容限度を上回る）となっている。従ってこの狭い範囲においては計画道路の建設による風環境への影響（いわゆる風害）が生じる可能性が予測されたが、この地点においては、元々あった建物を撤去したことにより、風の流れが変化したことによる影響が大きいことが考えられる。また、平行風1（図4.2.7）の座標軸でX=70m付近、Y=250m付近のごく狭い範囲について、風力段階6が、建設後に風力7となっているが、この部分は建物2階（屋根上）1.5mの場所に該当し、人が直接受けることのない場所であるため風害の発生場所にはあたらない。

他の風向については風環境への大きな影響（いわゆる風害）は予測されなかった。

（3）北側・平均風速

予測を行った6風向については、建設前後ともに風力階級2あるいはそれ以下であり、計画道路の建設による風環境への影響（いわゆる風害）は予測されなかった。

(4) 南側・平均風速

予測を行った6風向については、建設前後ともに風力階級2あるいはそれ以下であり、計画道路の建設による風環境への影響（いわゆる風害）は予測されなかった。

以上の結果から本事業において、建設前後で風害の影響がみられたが、影響を受ける地点は極狭い範囲に限定されており、また、その地点においても建物を撤去することによる影響であると考えられることから、本事業の実施による風の影響は、小さいものと予測される。