

第4章 凍結防止剤の飛散による桁への塩分付着に関する解析的検討

4.1 はじめに

本章では、凍結防止剤が飛散した塩分の付着箇所・程度を把握し、桁空間構造の違いによる塩分の付着傾向を評価することを目的として、凍結防止剤が路外飛散する際の挙動を二次元的に解析する。

4.2 解析方法

(1) 流れ場の予測

橋の周りの流れ場の解析には、表 4.2.1 に示す通り、浮力や温度の影響などは考慮しない非圧縮性粘性流体の基礎方程式（支配方程式）を用いて解析する。乱流モデルは標準 k-ε モデルを用いる。

基礎方程式の離散化は有限体積法（FVM）による。有限体積法は離散化手法が物理の保存則に立脚しているため、気流解析に用いられる。

表 4.2.1 流れ場の基礎方程式

①連続の式

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

②平均流の輸送方程式

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \bar{u}_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ v_t \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right\}$$

③k の輸送方程式

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_S - \varepsilon$$

$$G_S = v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j}$$

④ε の輸送方程式

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_j \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + \frac{\varepsilon}{k} (C_1 G_S - C_2 \varepsilon)$$

$$\sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3, C_1 = 1.44, C_2 = 1.92$$

(2) 塩分粒子の発生と移動

凍結防止剤が自動車走行等によって巻き上げられ、路外に飛散して桁下に到達する過程について、粒子法を用いて追跡する。

路面上に粒子群を設定し、橋の周りの気流による塩分粒子の挙動を流れ場との相互作用を解いて追跡し、塩分粒子が各部位に付着する粒子数を解析する。粒子追跡においては、流れ場の乱れを考慮する。

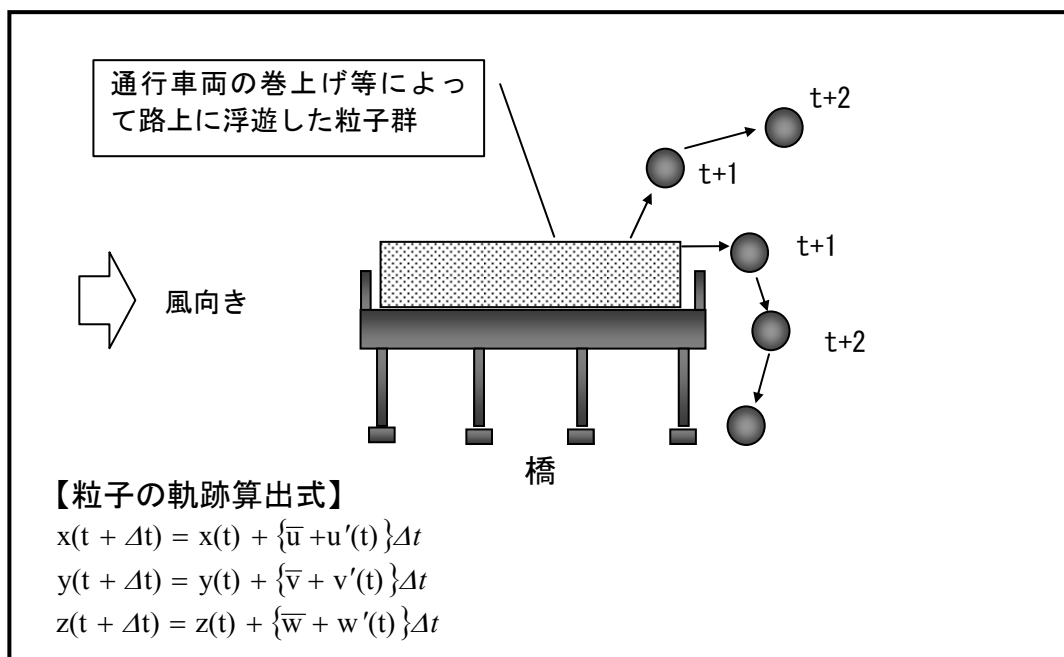


図 4.2.1 粒子法による粒子追跡概要

(3) 凍結防止剤の飛散粒子条件

粒子法によって凍結防止剤の飛散過程を追跡するには、路面上での粒子の発生条件及び代表粒径を決める必要がある。発生条件及び代表粒径を次の様に設定する。

①自動車走行等による凍結防止剤の巻き上げ範囲

路面に散布された凍結防止剤は、散布直後の散乱・飛散及び一般車両による巻き上げ等によって路外に飛散すると考えられる。しかし、凍結防止剤の散布による散乱や走行車両の巻き上げに関する知見が乏しく、この物理現象をモデル化することが難しいため、本解析では輪荷重位置に一様に分布するものと想定する。

②凍結防止剤の飛散粒径について

凍結防止剤の飛散する粒子の大きさは、飛散距離に大きく関わるパラメータであるため、桁下まで飛散する粒子の代表粒径を決める必要がある。しかし、これらの粒径を実測した事例は見当たらない。そこで、海塩粒子に関する粒子径の検討例を参考に決定する。一般的に粒径が大きい程、飛散距離は短く、粒径が小さいほど飛散距離は長くなり、粒子径が $10 \mu\text{m}$

以下は浮遊し沈降しない。

文献 4.1)によれば、路上に散布された凍結防止剤について、粒径 $10\mu\text{m}$ 以上を捕集する「ガーゼ法」の結果が飛散浮遊量の性状を示していることから、通行車両の巻上げ等によって、空中に飛散する凍結防止剤を含む粒子は $10\mu\text{m}$ 以上のものと推測される。よって、解析に用いる代表粒径として $10\mu\text{m}$ 以上が望ましい。

凍結防止剤が飛散する粒径に関する知見がないため、中村・藤井ら^{4.3)}らと加藤・赤井ら^{4.4)}が行った海塩粒子に飛散に関する解析に基づいて代表粒径を検討する。これらの文献では表 4.2.2 に示す Size1~Size7 までの粒子を用いている。しかし、これらは海塩粒子の飛散解析を目的としており、凍結防止剤の路外飛散を目的としているものではない。凍結防止剤の路外飛散は走行車両の巻上げによるものが主体と考えられるため、橋の周りに飛散する粒子は、海塩粒子の粒径より大きいものが飛散している可能性が高く、文献 4.4)の代表粒径の算出式をもとに、表 4.2.2 に示す Size8~Size10 の粒子も加える。

表 4.2.2 飛散粒子の特性値

階級	平均質量(g)	粒径(mm)
Size1	5.62×10^{-12}	4.06×10^{-3}
Size2	1.78×10^{-11}	5.96×10^{-3}
Size3	5.62×10^{-11}	8.75×10^{-3}
Size4	1.78×10^{-10}	1.28×10^{-2}
Size5	5.62×10^{-10}	1.89×10^{-2}
Size6	1.78×10^{-9}	2.77×10^{-2}
Size7	5.62×10^{-9}	4.06×10^{-2}
Size8	1.78×10^{-8}	5.96×10^{-2}
Size9	5.62×10^{-8}	8.75×10^{-2}
Size10	1.78×10^{-7}	1.28×10^{-1}

(4) 予備計算

粒子法による解析の妥当性を検証するため、文献 4.1)、4.2)で実施された路外飛散の減衰状況と一致するかどうかを検討する。

① 解析条件

図 4.2.2 の解析モデルを用いて、妥当な粒子数 ($H1=2\text{m}$ で固定し、1 粒径あたり 5,000 個~30,000 個) を求め、次いで、走行車両の巻上げの粒子速度や巻上げ角度を無視し粒子発生範囲 ($H1=1\text{m}$, 2m 及び 3m) を設定し文献 4.1)の結果と比較する。

風速は、文献 4.2)における実測値の平均風速 1.4m を用いて地上高さ 10m で与える。

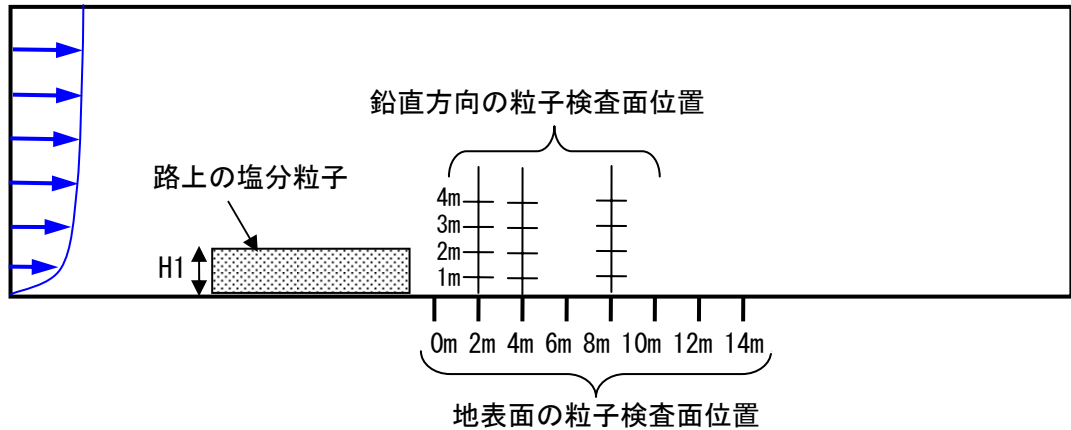


図 4.2.2 予備計算モデル^{4.1)}

②粒子数（1 粒径あたり）の検討

乱流現象による粒子の振る舞いは、風の乱れ（乱流エネルギー）をもとに確率論的に変動するため、粒子数を多くする必要がある。そこで、1 粒径あたりどの程度の粒子数で粒子追跡を実施すれば、飛散状況を再現できるかを検討する。無次元化濃度の距離減衰を図 4.2.3 に示す。ここでの無次元化濃度とは検査面で捕捉した塩分量を路面上に発生させた総塩分量で割ったものである。

地表面に沈降する粒子の距離減衰を見ると、1 粒径あたり 7,500 個では、それ以上の粒子数の予測結果と比べバラツキがある。10,000 個以上では、20,000 個、30,000 個とほぼ変わらない結果となっている。

以上のことから、1 粒径あたりの粒子数は 10,000 個以上であれば、飛散状況を再現できると考えられる。本解析では、地表面に沈降する解析結果より複雑な空間である橋の桁下に粒子がまわり込む状況を解析するため、1 粒径あたりの粒子数を 30,000 個程度で解析することとする。

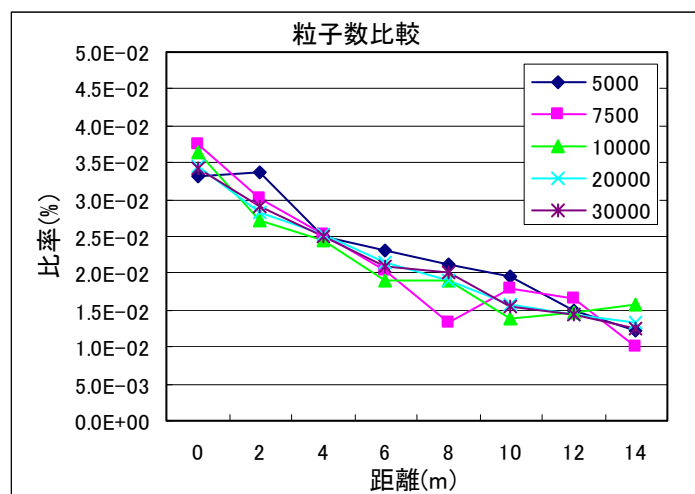


図 4.2.3 地表面に沈降する粒子の距離減衰

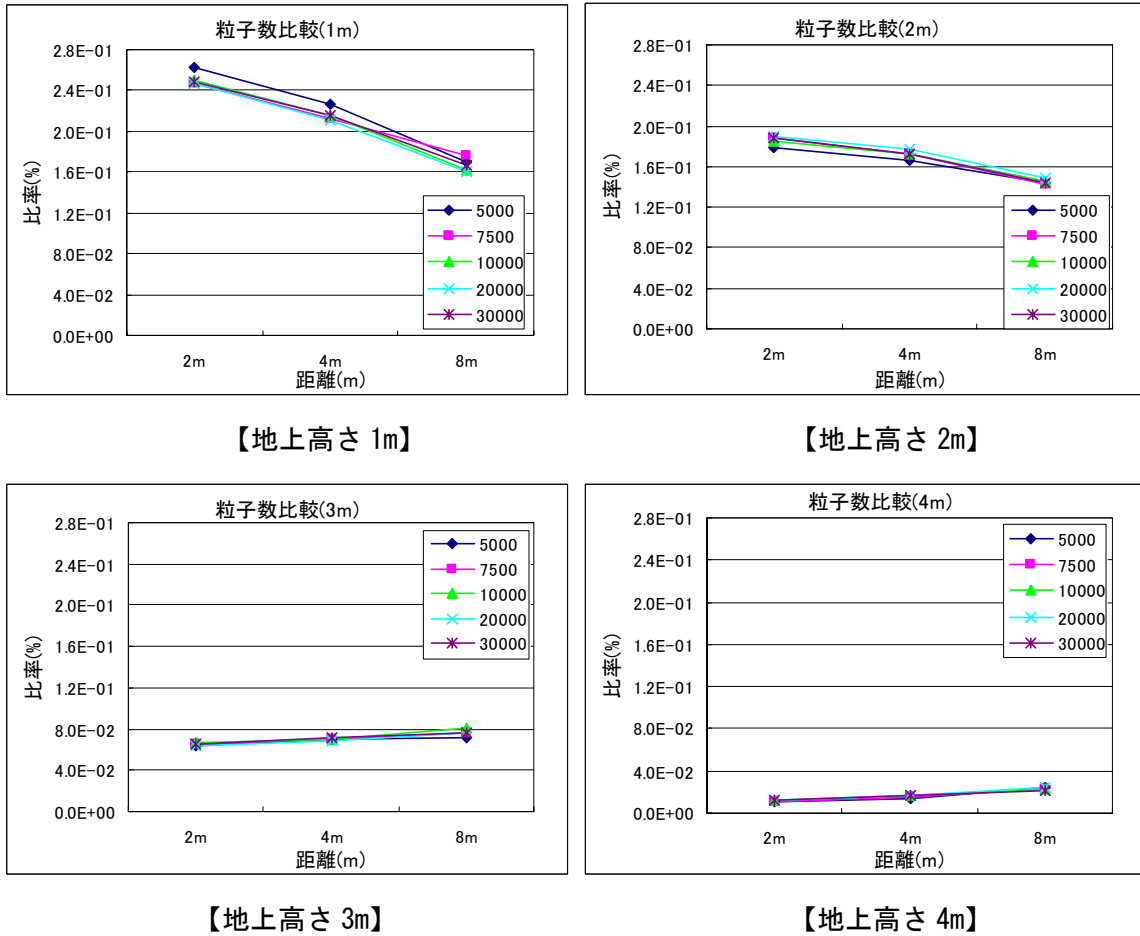


図 4.2.4 粒子数の鉛直分布

③粒子飛散減衰性状の検討

無次元化濃度の鉛直分布を図 4.2.4、表 4.2.3 にそれぞれ示す。鉛直分布は、粒径 Size1～Size10、粒径 Size1～Size9、及び Size1～Size8 の合計の結果を示す。図 4.2.5 に、粒子発生高さ H1=2m の粒径 Size5 の飛散状況を示す。

表 4.2.3 と図 4.2.6 を比較すると、粒子発生高さ H1=1m と 2m (Size1～9) の回帰式の係数 a,b の値が、文献 4.2) のケース 9.10 の値と比較的近い結果となっている。なお、予備計算で用いた風速 1.4 m/s は、ケース 9,10 それぞれの風速 1.3、1.1m/s とほぼ同じ値である。粒径によって係数 a,b の値は変化し、粒径が小さい場合ケース 5 に近づく傾向にある。

無次元化濃度の鉛直分布は、文献 4.1) の実測結果によると、地上高さ 2m～4m は同じような傾向を示し、水平距離 2m の地上高さ 1m の場合にのみ、濃度が高くなる傾向を示す。図 4.2.6 を見ると、その傾向と若干の相違が見られる。

以上の結果から、予備計算は実測結果と比較して、鉛直分布の傾向では相違が見られるものの、風下の距離減衰の傾向はある程度整合していることがわかる。

表 4.2.3 実測結果における回帰式の係数^{4.2)}

ケース	係数 a	係数 b	風速	相関係数	車種
5	0.00151	-1.067	1.6m/s	0.9744	小型
9	0.01034	-1.544	1.3m/s	0.9844	大型
10	0.00976	-1.503	1.1m/s	0.9578	大型

ケース 5,9,10 は全て相関係数 r^2 が 0.9 以上のものである。

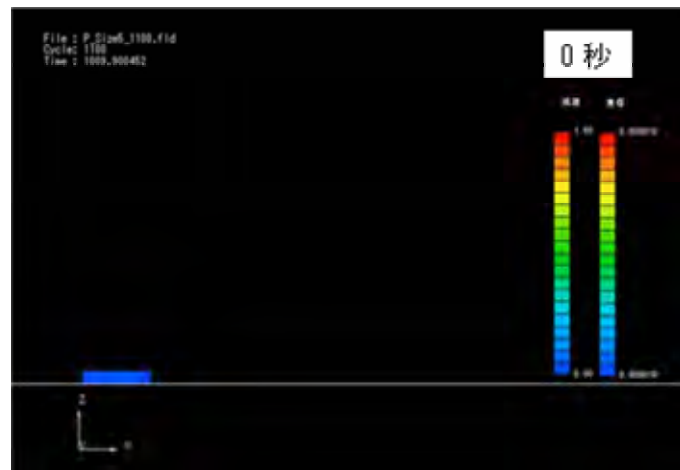
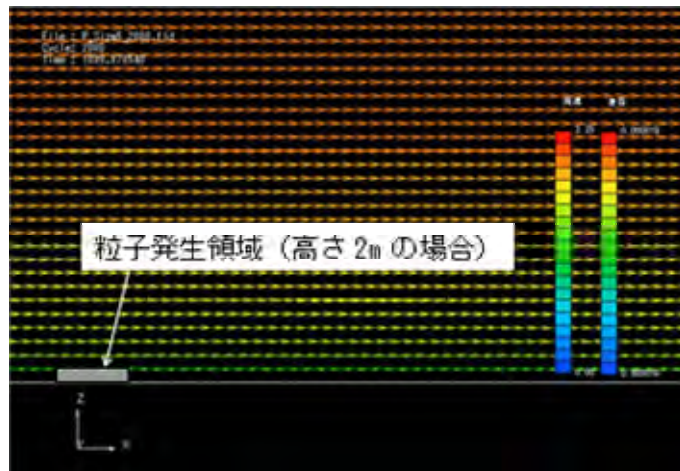
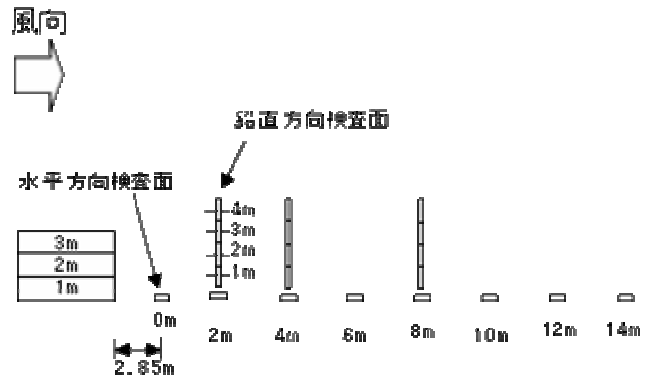


図 4.2.5 塩分粒子の飛散状況 (粒子発生領域高さ : 2m, 粒子径 : Size5) (1)

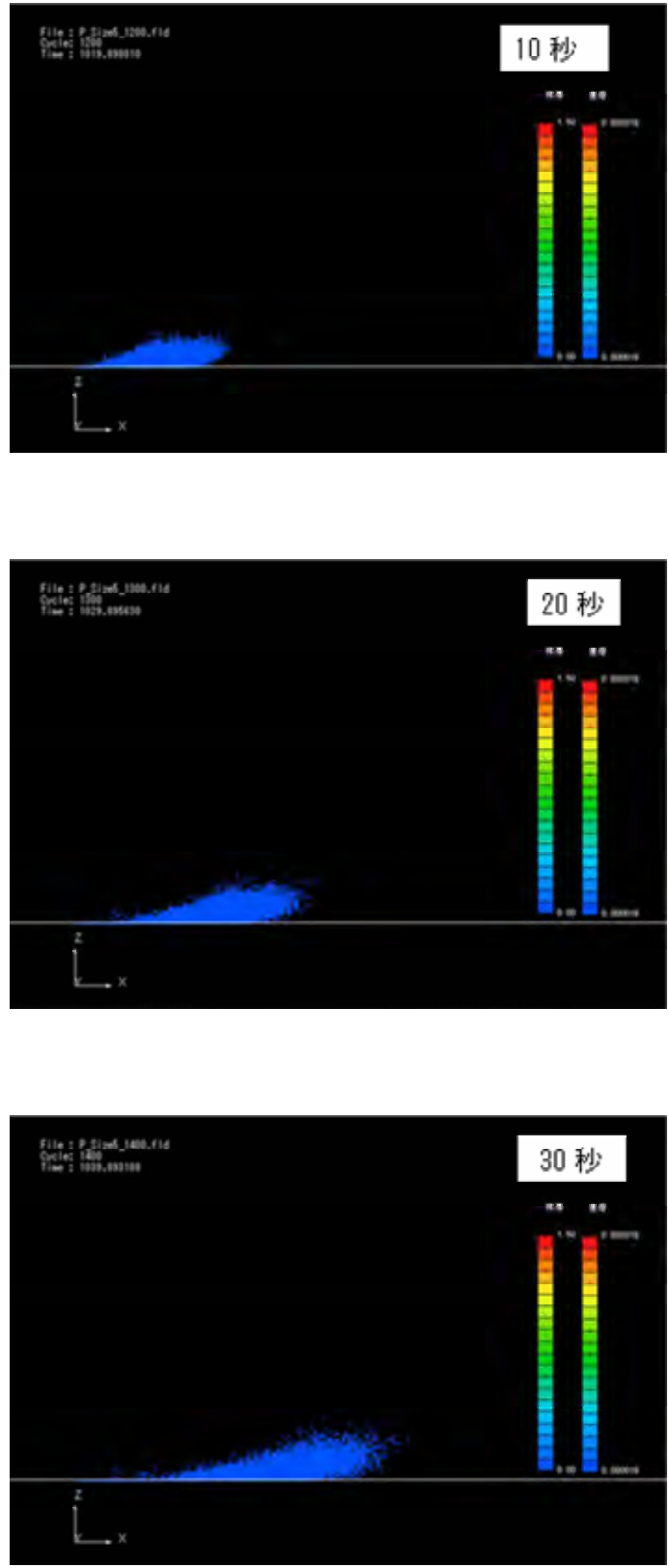


図 4.2.5 塩分粒子の飛散状況（粒子発生領域高さ：2m，粒子径：Size5）(2)

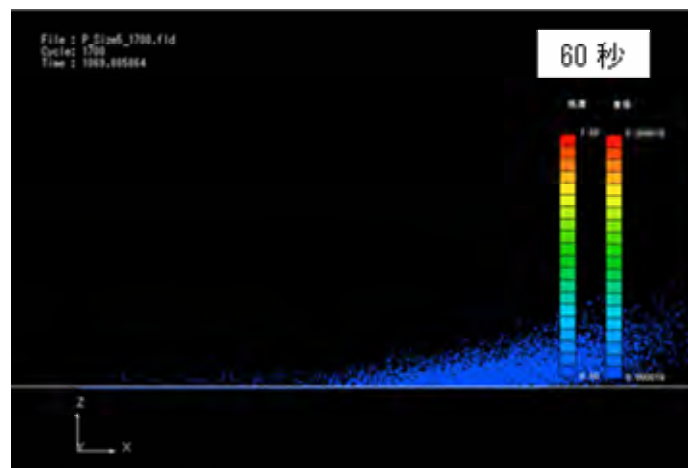
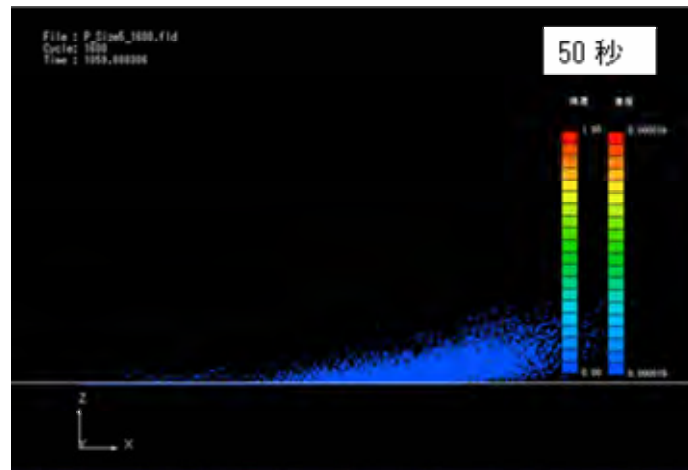
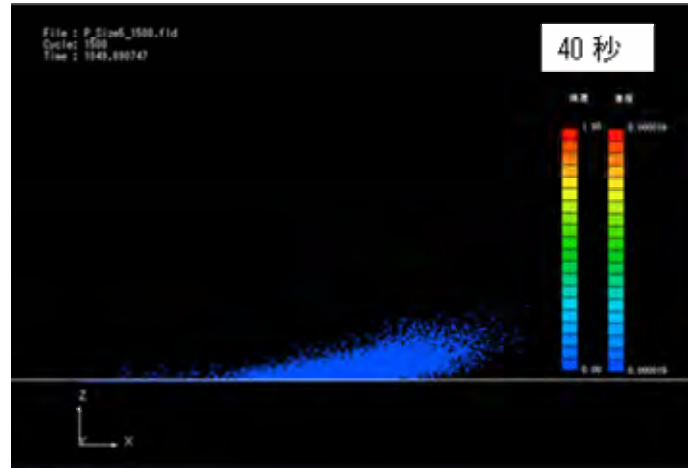


図 4.2.5 塩分粒子の飛散状況（粒子発生領域高さ：2m，粒子径：Size5）(3)

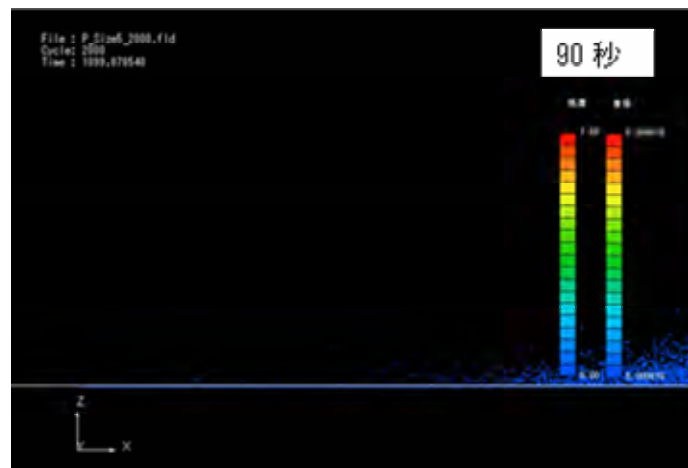
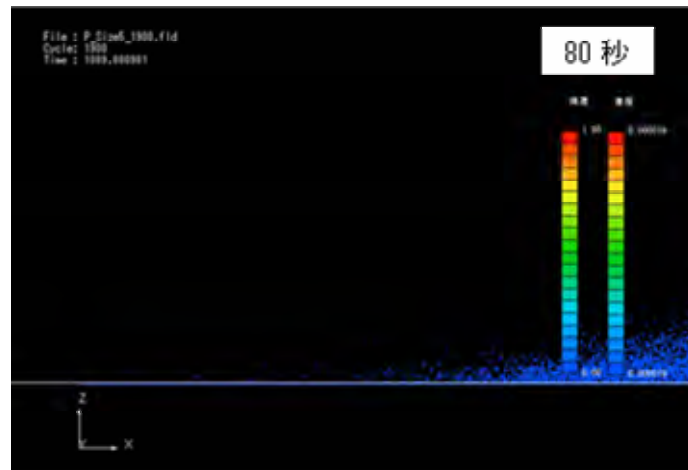
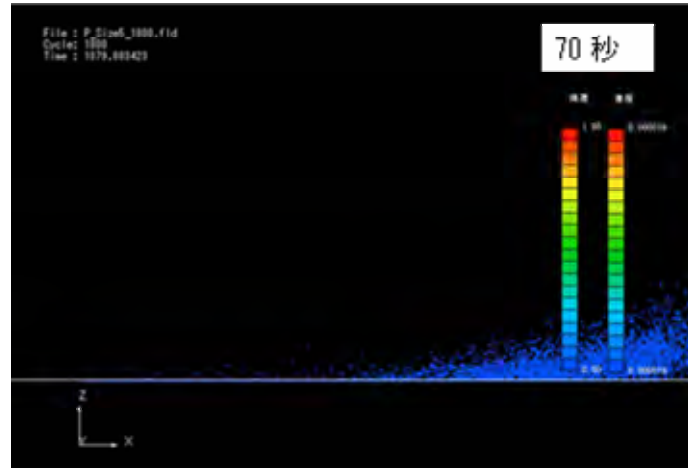
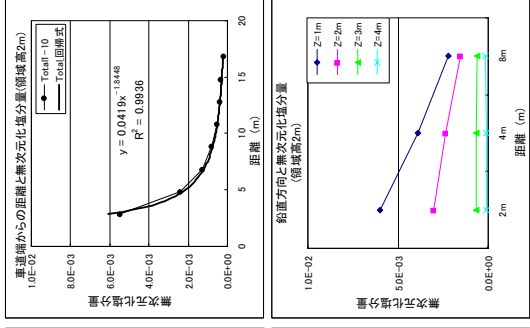
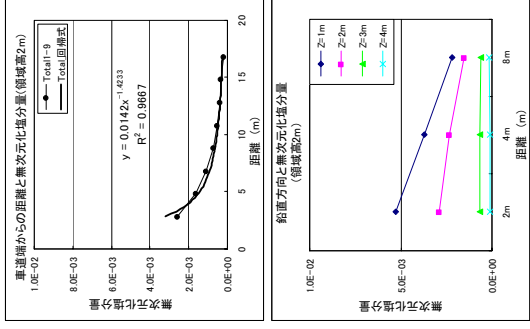
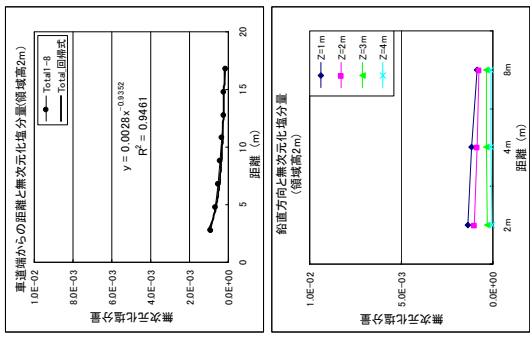


図 4.2.5 塩分粒子の飛散状況（粒子発生領域高さ：2m，粒子径：Size5）(4)

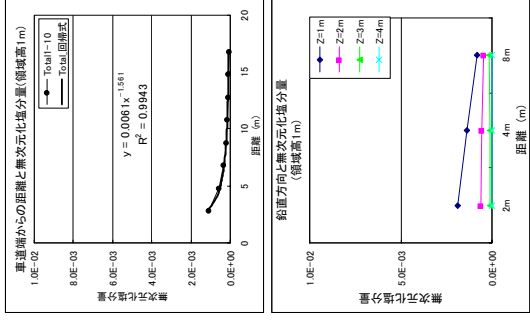
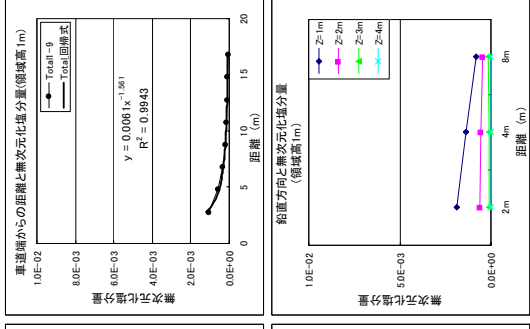
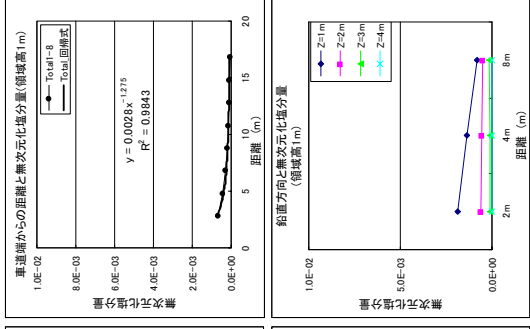


粒子径 Size1~8 の合計

粒子径 Size1~9 の合計

粒子径 Size1~10 の合計

【粒子発生高さ：H1= 2m】

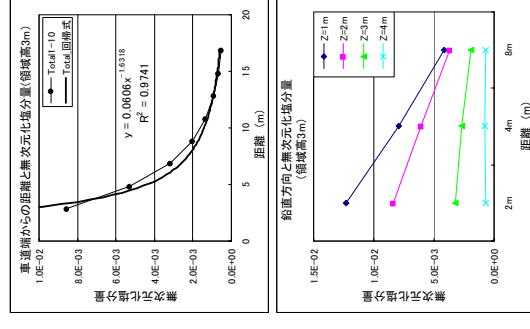
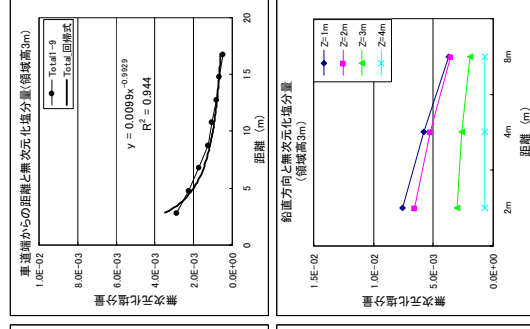
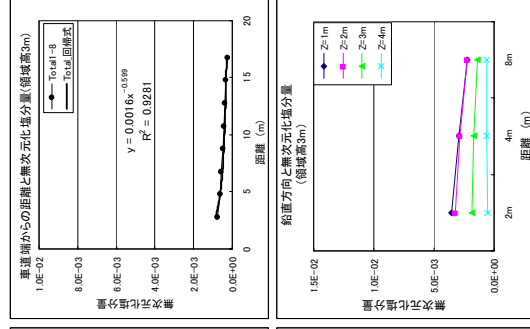


粒子径 Size1~8 の合計

粒子径 Size1~9 の合計

粒子径 Size1~10 の合計

【粒子発生高さ：H1= 1m】



粒子径 Size1~8 の合計

粒子径 Size1~9 の合計

粒子径 Size1~10 の合計

【粒子発生高さ：H1= 3m】

粒子階級	密度(kg/m ³)	粒径(m)
Size1	1.11E+03	4.06E-06
Size2	1.11E+03	5.96E-06
Size3	1.11E+03	8.75E-06
Size4	1.11E+03	1.28E-05
Size5	1.11E+03	1.89E-05
Size6	1.11E+03	2.77E-05
Size7	1.11E+03	4.06E-05
Size8	1.11E+03	5.96E-05
Size9	1.11E+03	8.75E-05
Size10	1.11E+03	1.28E-04

図 4.2.6 塩分粒子発生高さ、粒子サイズと飛散塩分濃度

4.3 平地の橋モデルによる解析

(1) 解析モデル

付着塩分量の現地調査を実施した橋の構造で最も多い鋼鈹桁橋について、飛散塩分の挙動解析を実施する。解析モデルは平地に位置する橋とし、現地調査で桁下部位の付着塩分量に傾向が見られた図 4.3.1 に示す橋 A をモデルとして解析を実施する。現地での付着塩分量の測定結果を図 4.3.1 に示す。

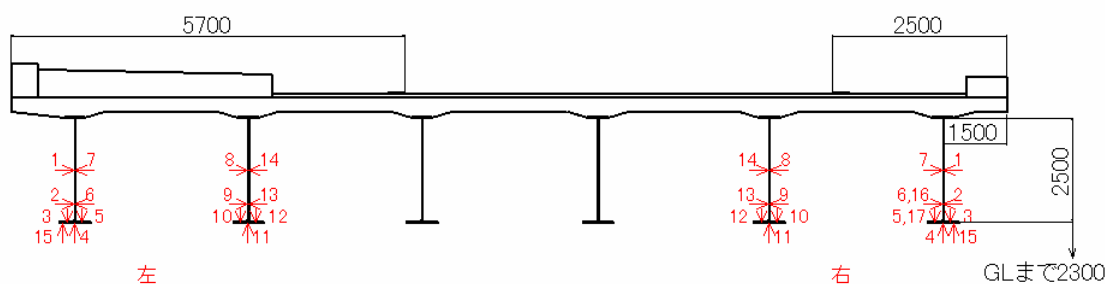


図 4.3.1 橋 A モデル (2 径間連続非合成鈹桁、耐候性鋼材)

(2) 解析風向・風速について

① 風 向

本解析は二次元解析であるため、橋の横断方向を解析風向とする。

② 風 速

凍結防止剤が撒かれ飛散する冬季～春季 (11 月～4 月) について、調査対象の橋が位置する地域 (秋田・岩手) にあるアメダス観測局のデータから、冬季～春季の平均的な風速を把握し、これを解析風速とする。

調査対象の橋の付近の道路周辺に位置するアメダス観測局の冬季～春季 (11 月～4 月) の平均風速を図 4.3.2 に示す。アメダス観測局の期間平均風速は角館が 0.9m/s、田沢湖が 1.6m/s、雫石が 2.2m/s となっている。

橋 A モデルは、アメダス雫石観測局が最寄りの観測局である。本解析は二次元解析であるため、橋の横断方向における風速成分の平均値を解析風速 (1.3m/s) とする。

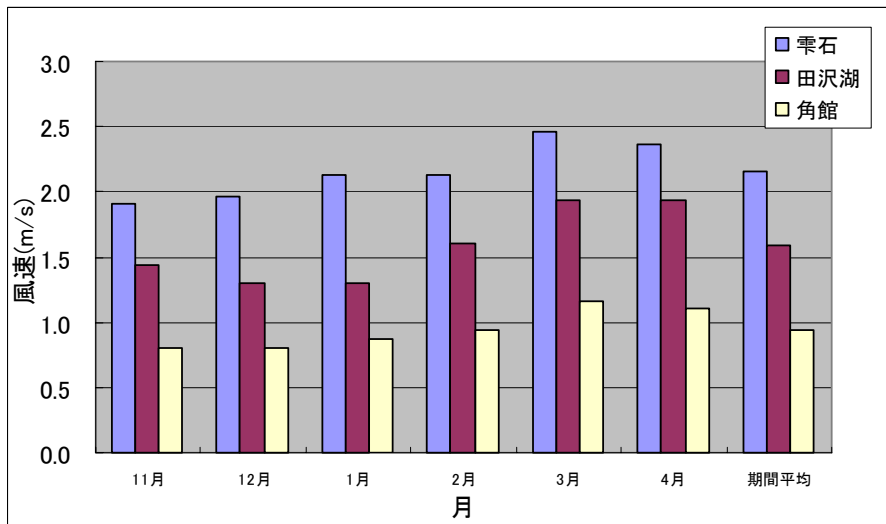
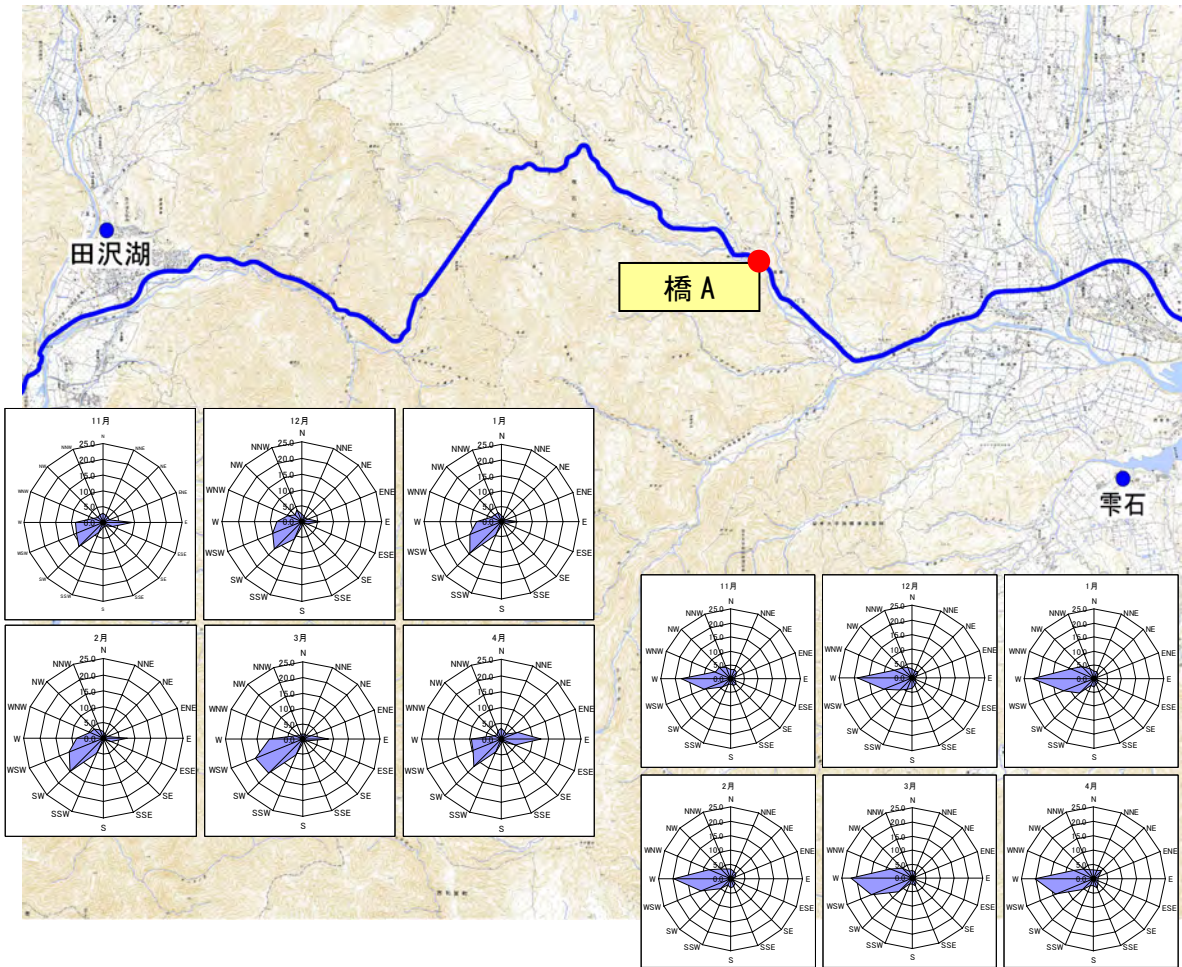
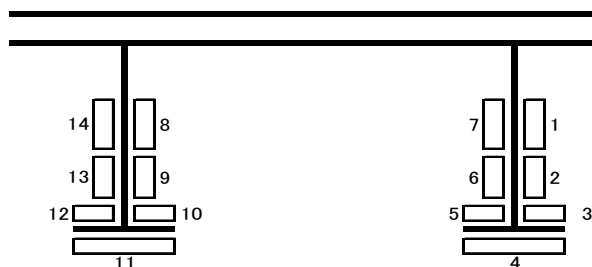


図 4.3.2 調査対象の橋
(地図は国土地理院発行の地図を使用)

表 4.3.1 表面塩分量測定結果

測定部位		P1(右)	A2(右)	A2(左)
輪位置	(mm)	2750	2750	5950
構造高	(mm)	2900	2900	2900
張出長	(mm)	1500	1500	1500
表面塩分量 (mg/m ²)	測定位置			
	1	146	93	69
	2	107	58	40
	3	130	97	16
	4	416	35	41
	5	221	39	53
	6	53	34	44
	7	62	44	30
	8	96	25	26
	9	86	48	28
	10	105	60	28
	11	57	21	24
12	160	47	58	



測定位置

現地調査：2008年2月2日（土）～2008年2月6日（水）

対象の橋：橋梁 A、橋長：100.7m、有効幅員 14.5m

2 径間連続非合成鈹桁、2002 年架設

(3) 橋面上における粒子飛散の再現性確認

粒子追跡法による橋面上における水平方向の粒子飛散の再現性を確認するため、次の2つの方法で凍結防止剤を模擬した粒子を設定した場合の飛散性状について、実測結果である図4.2.6と比較する。

- ・凍結防止剤が車両走行等によって巻き上がった状態とする。
 - 「① 鉛直方向に一様に分布させた場合」
- ・凍結防止剤が車両走行によって飛散する過程を再現する。
 - 「② 車輪位置から射出させた場合」

① 鉛直方向に一様に分布させる場合

車両走行等によって凍結防止剤が車道上全体に巻き上がった状態を粒子の初期状態として解析する。粒子の設定は、図4.3.3に示す様に車道上の鉛直方向に1m及び2mの範囲において、表4.2.2に示したSize1～Size10の粒子を一様に分布させた状態で解析する。

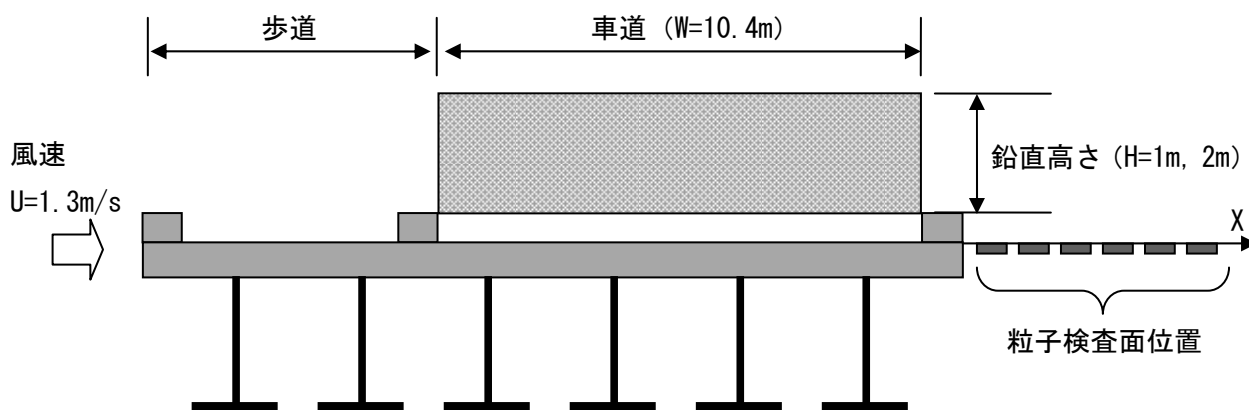


図 4.3.3 模擬粒子の設定条件

表 4.3.2 計算ケースと粒子の設定条件

計算ケース	設定範囲 (m)	
	鉛直方向 (H)	横断方向 (W)
CaseA-1	1.0	10.4
CaseA-2	2.0	10.4

② 車輪位置から射出させる場合

車両走行によって凍結防止剤が飛散する過程を再現し解析する。走行車両による凍結防止剤の飛散過程として、1)タイヤと路面（凍結防止剤）が接触した時に飛散する場合、2)タイヤに付着した凍結防止剤がタイヤの回転によって飛散する場合などを想定する。

そこで、粒子の設定は、**図 4.3.4** に示す様に車道内の上下線位置において、走行車両の車輪位置を想定し、路面からタイヤの直径程度の鉛直範囲に **Size1~Size10** の粒子を一様に分布させ、**表 4.3.3** に示す初速度及び射出角を粒子一つ一つに設定して解析を行う。

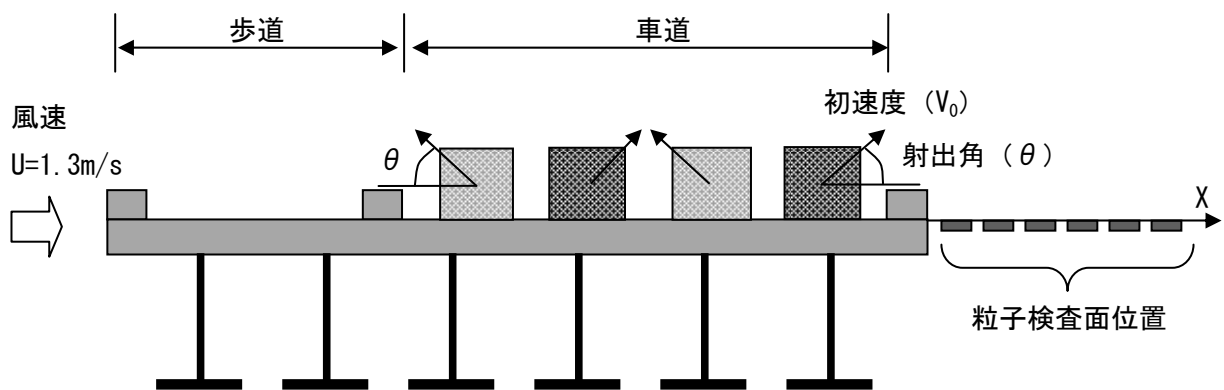


図 4.3.4 模擬粒子の設定条件

表 4.3.3 計算ケースと粒子の設定条件

計算ケース	初速度 V_0 (m/s)	射出角 θ (°)
CaseB-1	3.0	15
CaseB-2		30
CaseB-3		60
CaseB-4	5.0	15
CaseB-5		30
CaseB-6		60
CaseB-7	7.0	15
CaseB-8		30
CaseB-9		60

③ 各計算ケースの解析結果

鉛直方向に一様に分布させる場合 (CaseA) と車輪位置から射出させる場合 (CaseB) の路外に飛散した粒子の減衰曲線を図 4.3.5 に示す。また、CaseB については Size1~10、Size1~9 及び Size1~8 の減衰曲線を図 4.3.6 に示す。

また、桁下空間へ付着した塩分量の割合を図 4.3.7、粒径毎の桁下空間へ付着した塩分量の割合を図 4.3.8、図 4.3.9 にそれぞれ示す。

なお、ここで示す解析結果は発生粒子の総塩分量で無次元化している。

④ 粒子の発生条件の違いによる飛散性状

図 4.3.5 に示す様に減衰曲線 ($q = a \times b$) で回帰した減衰曲線のパラメータ b の値は CaseA では 1.75 程度であり、実測結果である図 4.2.6 の値よりも大きくなっている。一方、CaseB の b の値は 1.5 以下となっており、路外飛散した凍結防止剤の実測結果である図 4.2.6 の値と概ね同様である。

これは、粒径の大きい粒子は路外に飛散せず路面に沈降する割合が高いと考えられるが、鉛直方向に一様に分布させた場合は、粒径の大きい粒子も鉛直方向 1m、又は 2m の空間に配置されるため、風に流されて路外まで飛散する割合が高くなったことが原因と考えられる。

粒径による飛散性状の違いを確認するため、CaseB の粒径を Size 1~Size10、Size 1~Size9、Size 1~Size8 それぞれで合計した結果を図 4.3.6 に示す。減衰曲線のパラメータ b は CaseB-1~CaseB-9 で 1.2~1.45 程度の範囲となっており、実測結果である図 4.2.6 の値と概ね同様である。

CaseB は、粒径の分類方法を変えたいずれの条件においても解析結果と実測結果が概ね同様であったこと、車両走行等による飛散状況を再現できていると考えられる。

以上より、凍結防止剤は車両走行等に伴い路面から飛散することから、CaseB のように車輪位置から射出させた方が、現象に類似した状況を再現していると考えられる。

次に、解析における図 4.3.7 に桁下空間へ回り込んで付着した付着量の割合を示す。さらに、外桁に付着した粒子サイズ毎の塩分量の割合を図 4.3.8、図 4.3.9 にそれぞれ示す。これらの粒子が付着した位置は風下側の外桁のみであるが、車道上に一様に分布させた CaseA の方が桁下空間へ回り込みやすい結果となった。

この原因として、車輪位置から射出させた CaseB の場合は、車道上に沈降・沈着する粒子の割合が多く、路外へ飛散する粒子数が少なくなるが、逆に、車道上に一様に分布させた CaseA の場合は車道上に沈降・沈着する粒子の割合が少なく、路外へ飛散する粒子数が多くなるためと考えられる。

図 4.3.8 と図 4.3.9 の Size8~Size10 の粒子の付着量を見ると、CaseB と比較して CaseA の付着量が多くなっていることから、特に粒径の大きい粒子が路外へ飛散する数が多くなっていると考えられる。

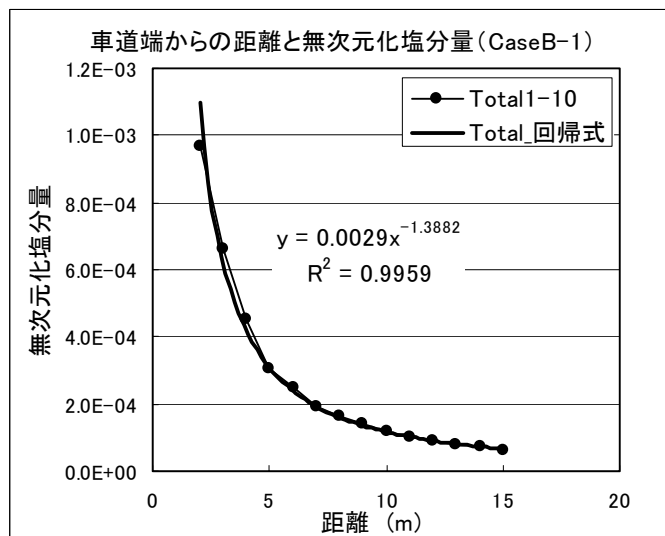
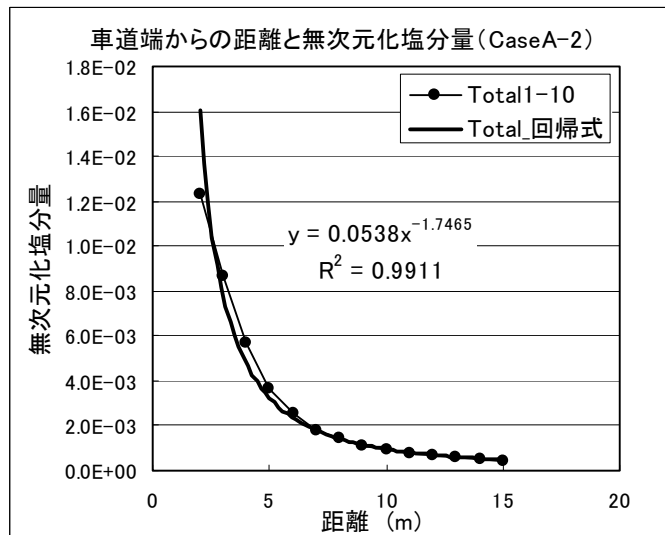
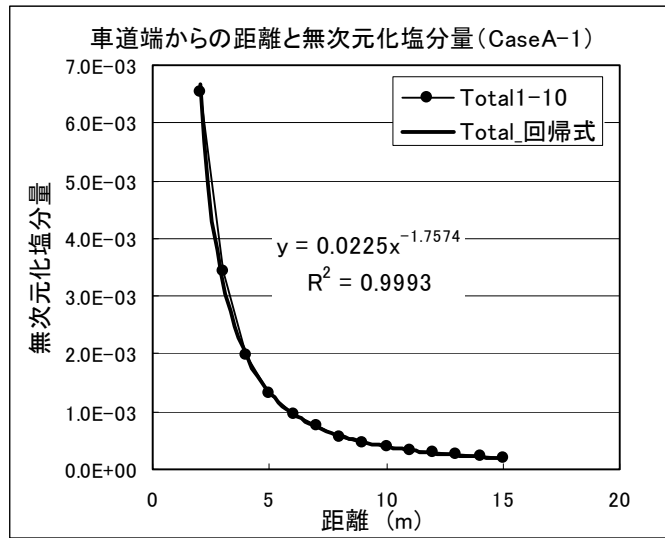


図 4.3.5 車道上一様分布 (CaseA) 及び車輪位置から射出 (CaseB) の減衰曲線 (1)

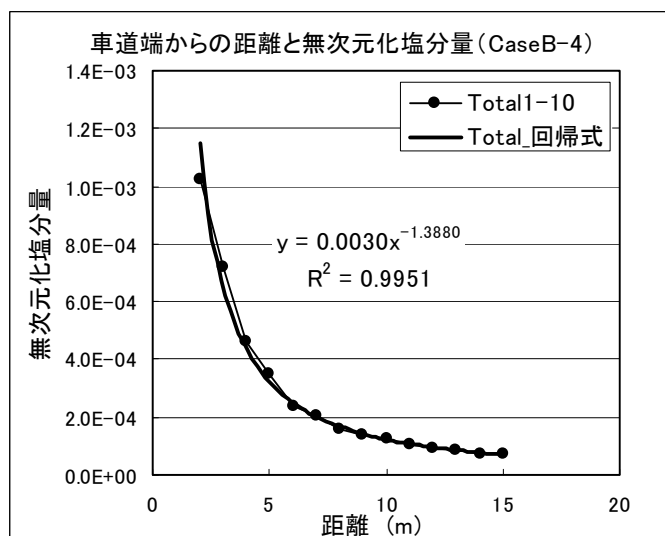
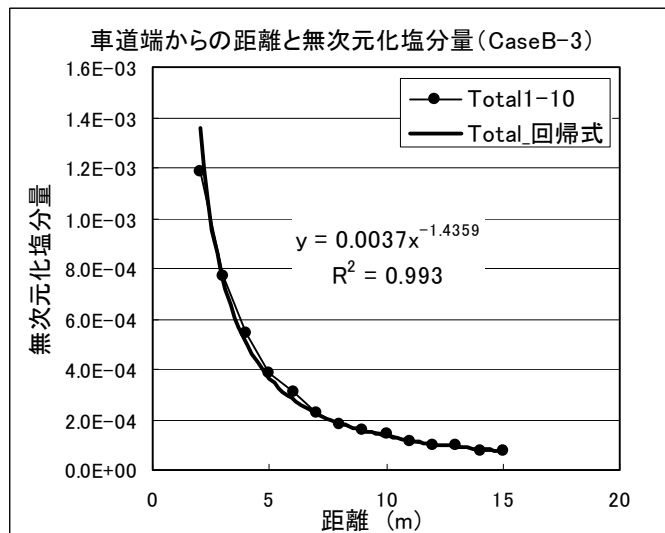
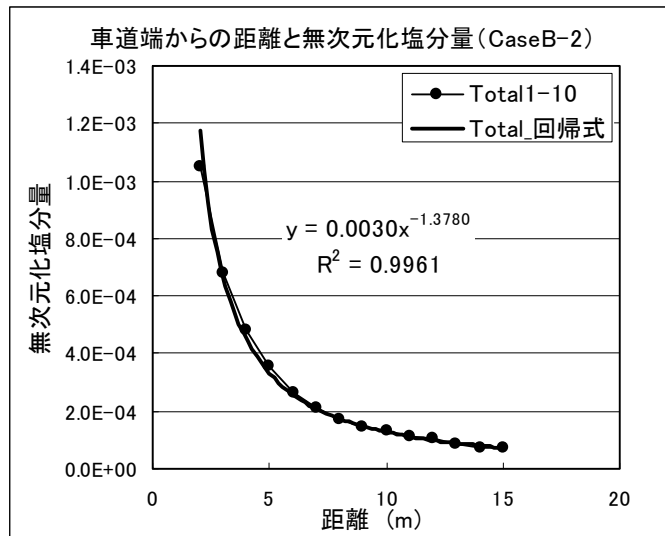


図 4.3.5 車道上一様分布 (CaseA) 及び車輪位置から射出 (CaseB) の減衰曲線 (2)

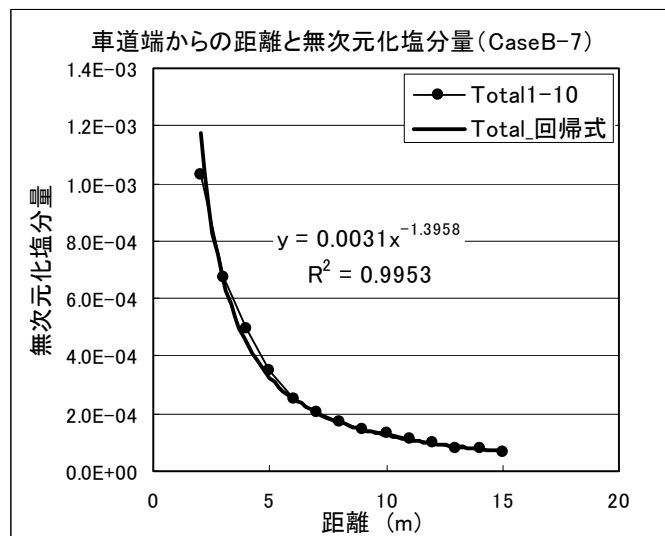
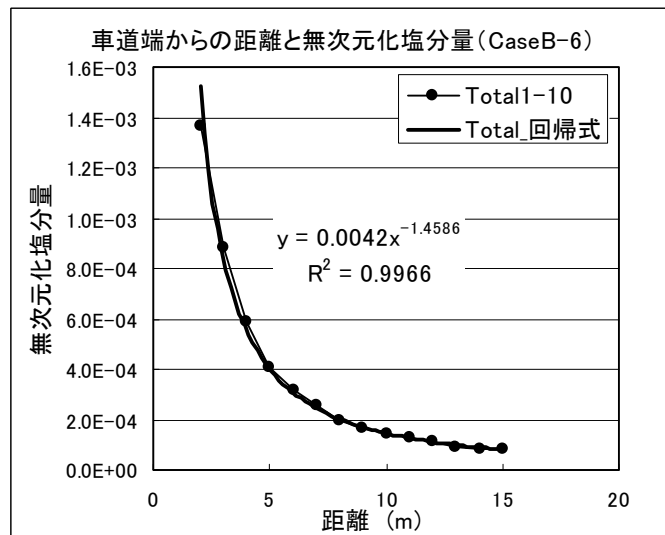
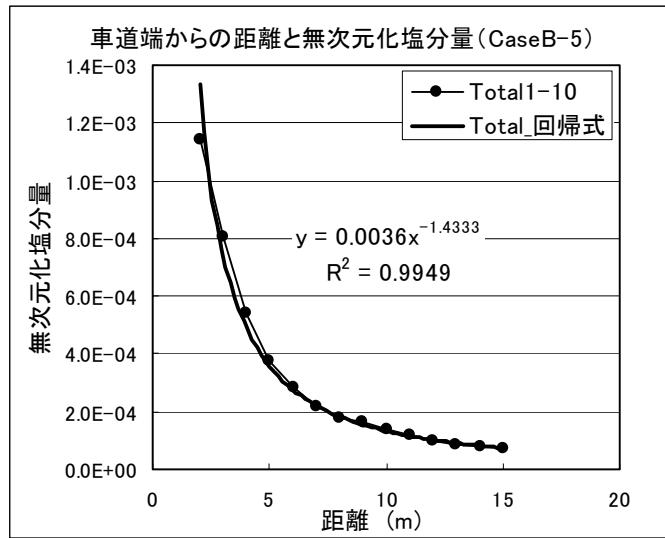


図 4.3.5 車道上一様分布 (CaseA) 及び車輪位置から射出 (CaseB) の減衰曲線 (3)

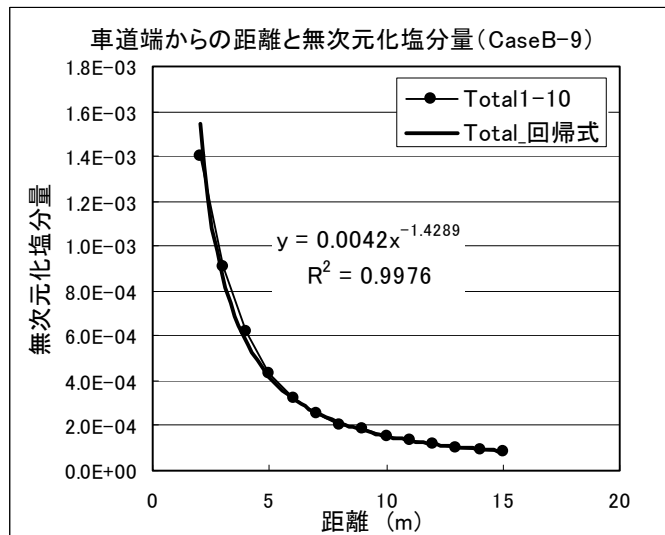
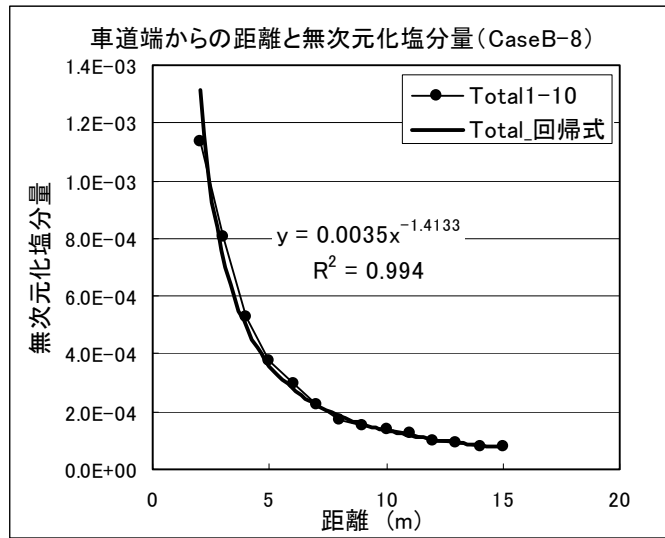
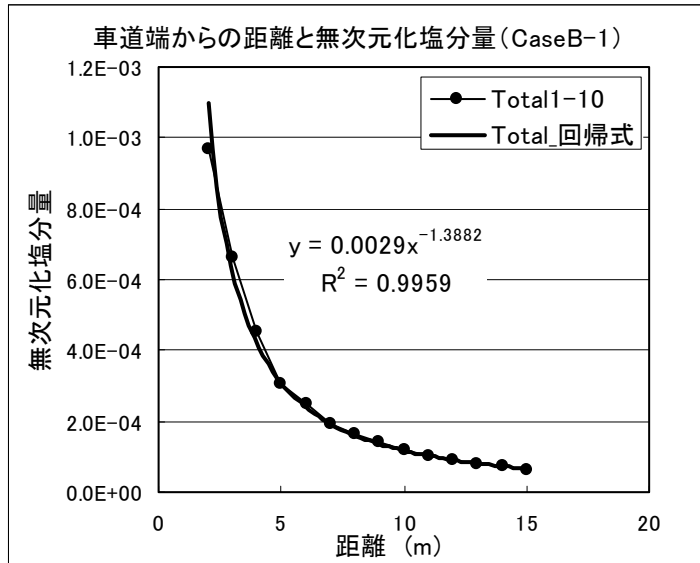


図 4.3.5 車道上一様分布 (CaseA) 及び車輪位置から射出 (CaseB) の減衰曲線 (4)

[粒径 Size1~Size10 の合計]

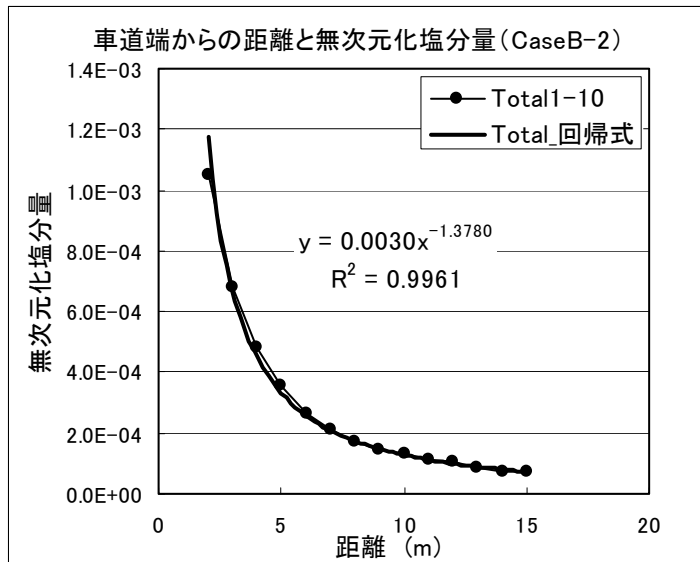
【CaseB-1】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=15^\circ$



【CaseB-2】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=30^\circ$



【CaseB-3】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=60^\circ$

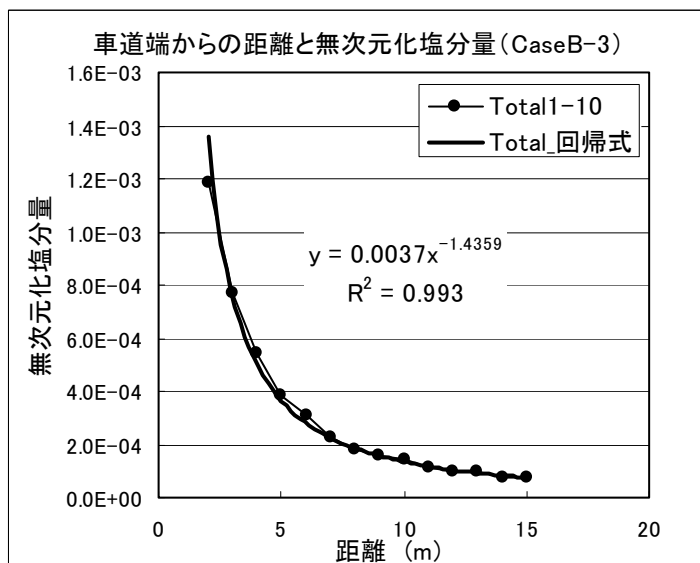
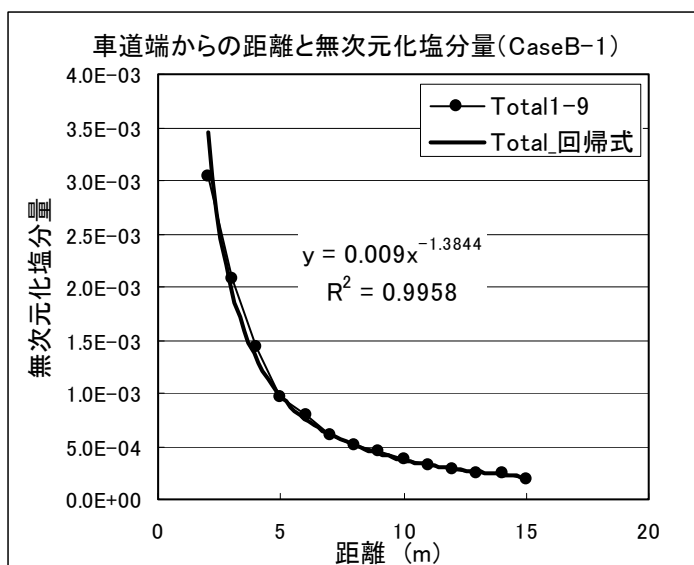


図 4.3.6(1) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(1)

[粒径 Size1~Size9 の合計]

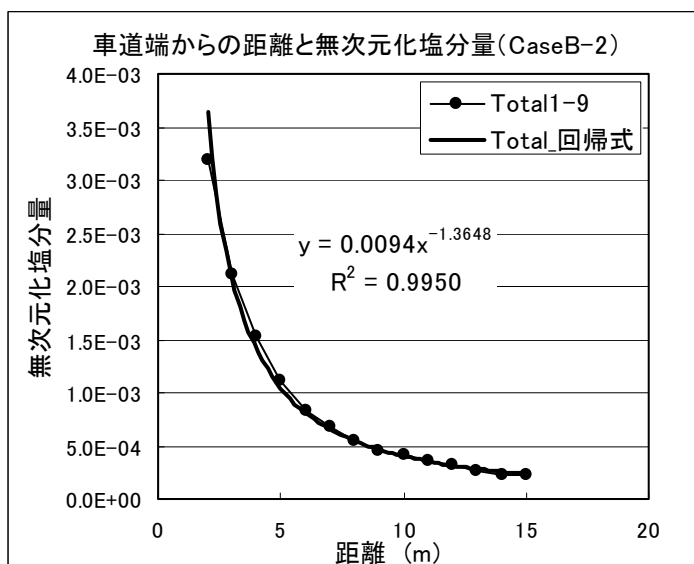
【CaseB-1】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=15^\circ$



【CaseB-2】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=30^\circ$



【CaseB-3】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=60^\circ$

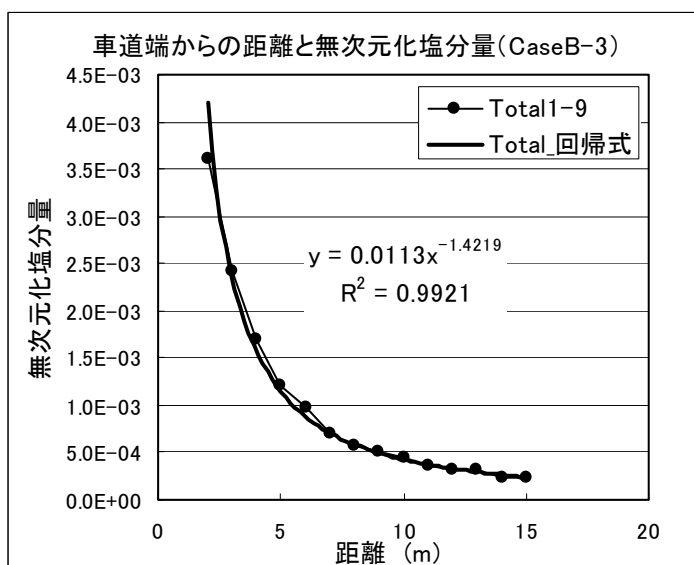
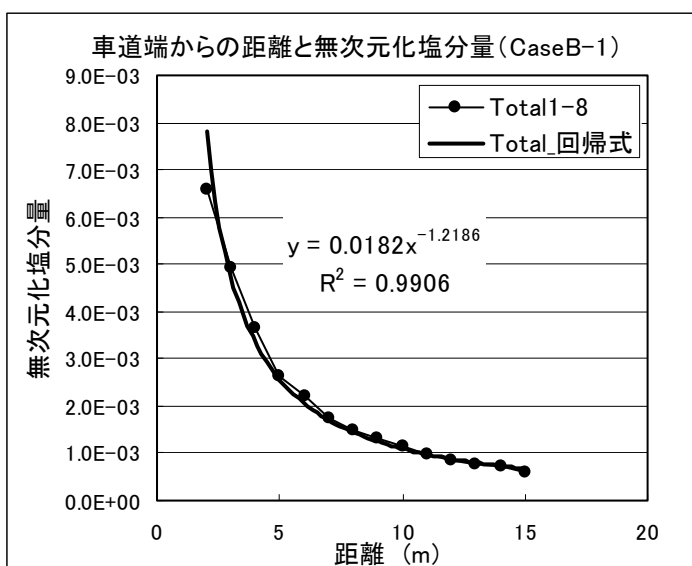


図 4.3.6(1) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線 (2)

[粒径 Size1~Size8 の合計]

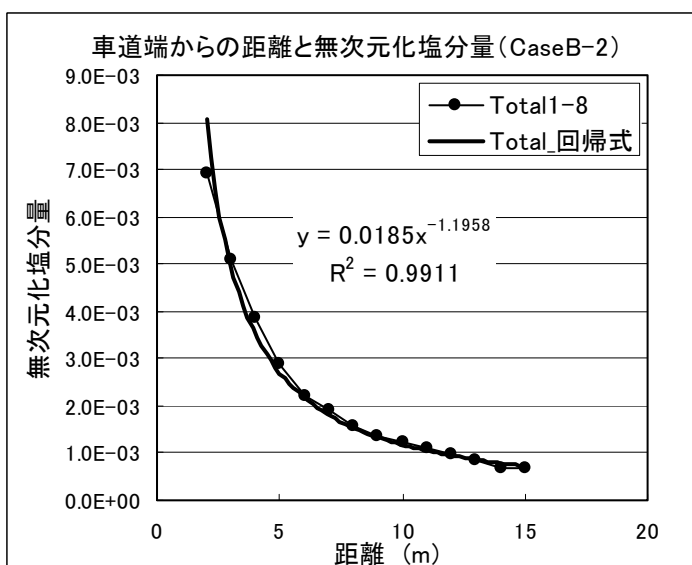
【CaseB-1】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=15^\circ$



【CaseB-2】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=30^\circ$



【CaseB-3】

- ・ 初速度 $V_0=3.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=60^\circ$

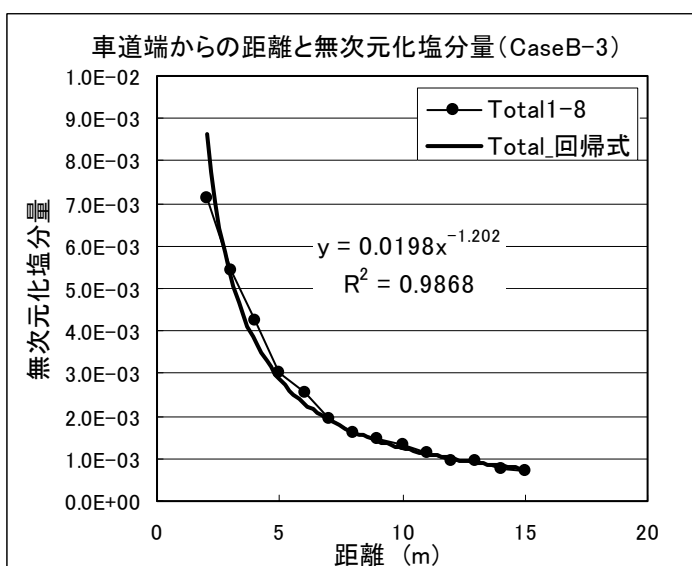
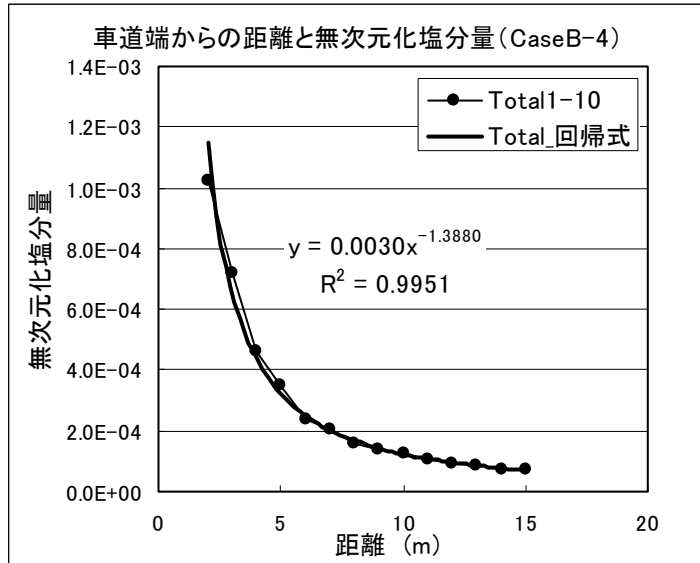


図 4.3.6(1) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線 (3)

[粒径 Size1~Size10 の合計]

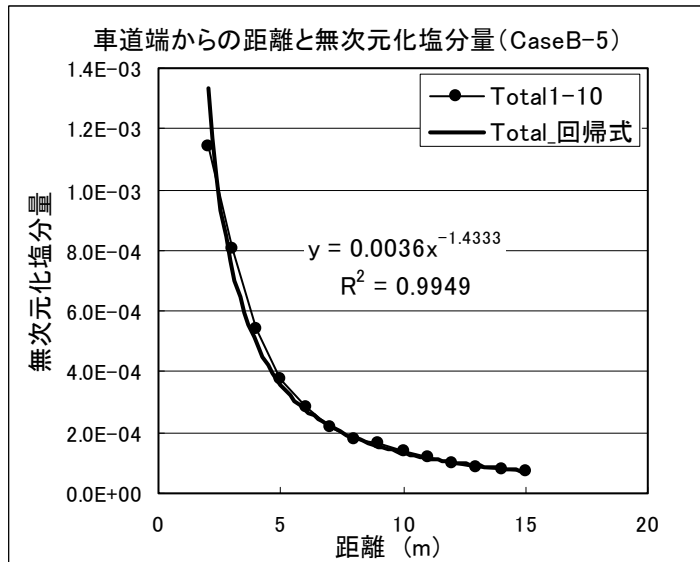
【CaseB-4】

- ・ 初速度 $V_0=5.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=15^\circ$



【CaseB-5】

- ・ 初速度 $V_0=5.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=30^\circ$



【CaseB-6】

- ・ 初速度 $V_0=5.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=60^\circ$

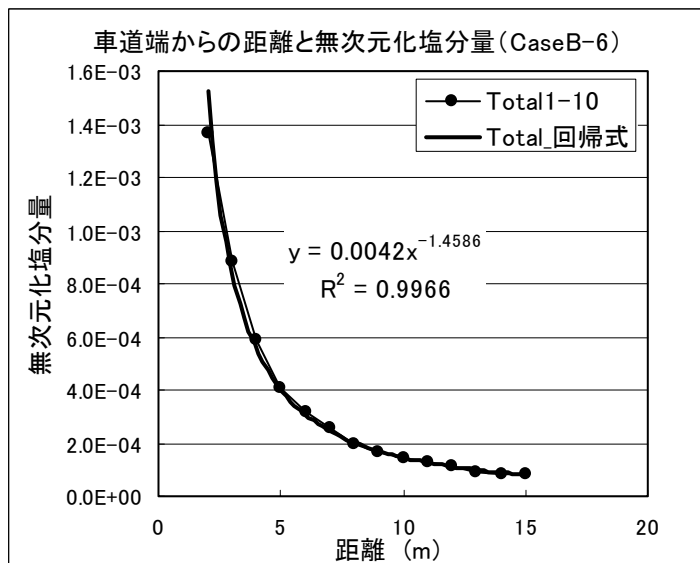
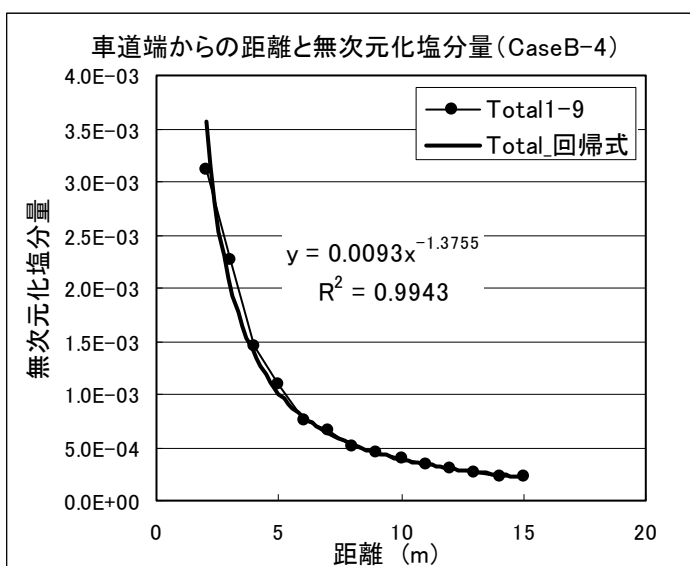


図 4.3.6(2) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線 (1)

[粒径 Size1~Size9 の合計]

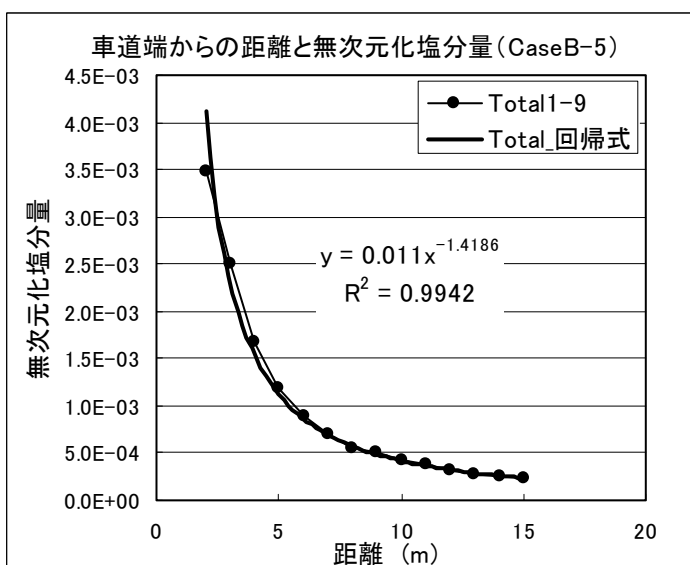
【CaseB-4】

- ・ 初速度 $V_0=5.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=15^\circ$



【CaseB-5】

- ・ 初速度 $V_0=5.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=30^\circ$



【CaseB-6】

- ・ 初速度 $V_0=5.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=60^\circ$

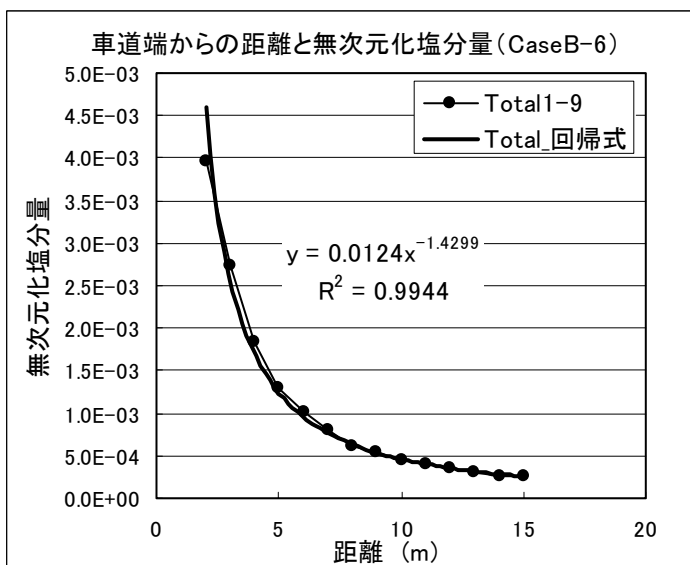
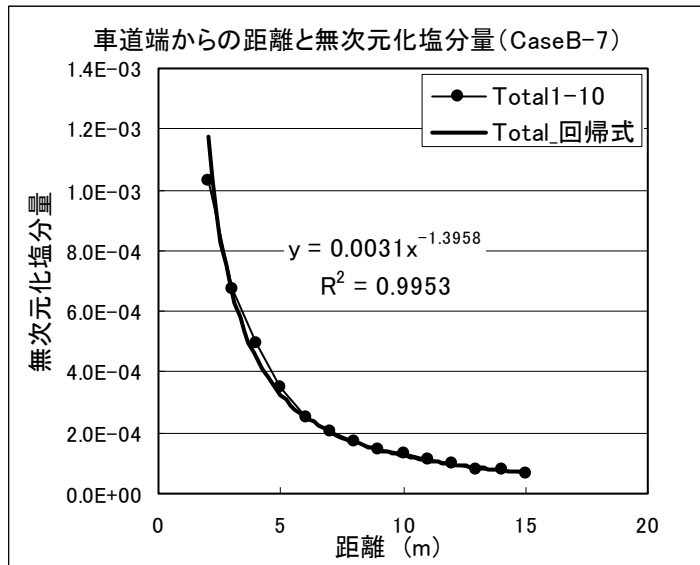


図 4.3.6(2) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線 (2)

[粒径 Size1~Size10 の合計]

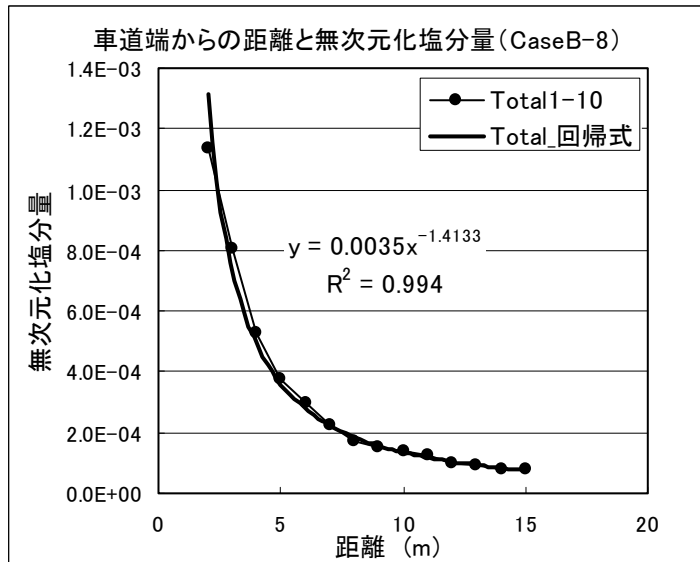
【CaseB-7】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=15^\circ$



【CaseB-8】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=30^\circ$



【CaseB-9】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=60^\circ$

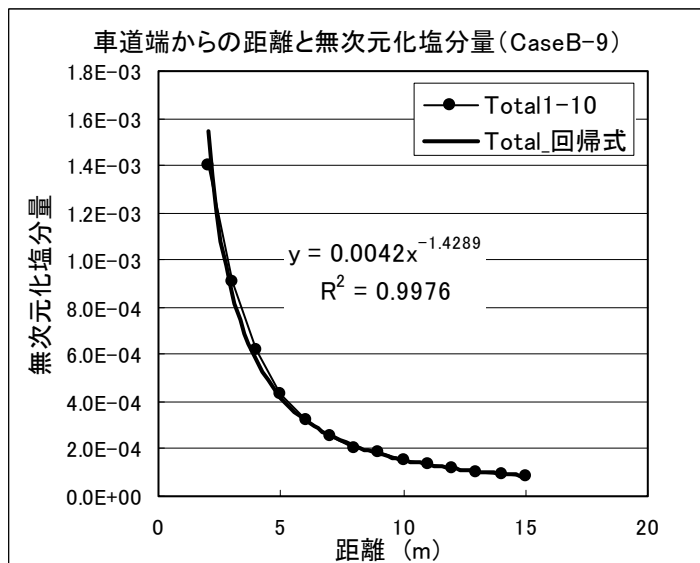
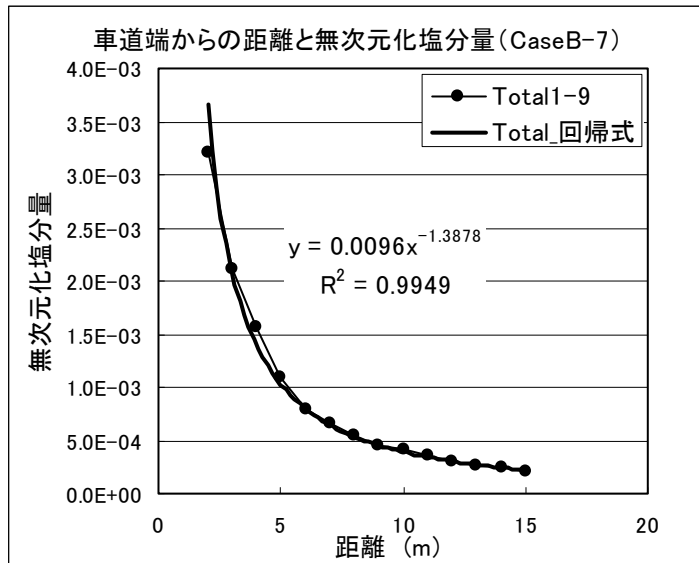


図 4.3.6(3) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(1)

[粒径 Size1~Size9 の合計]

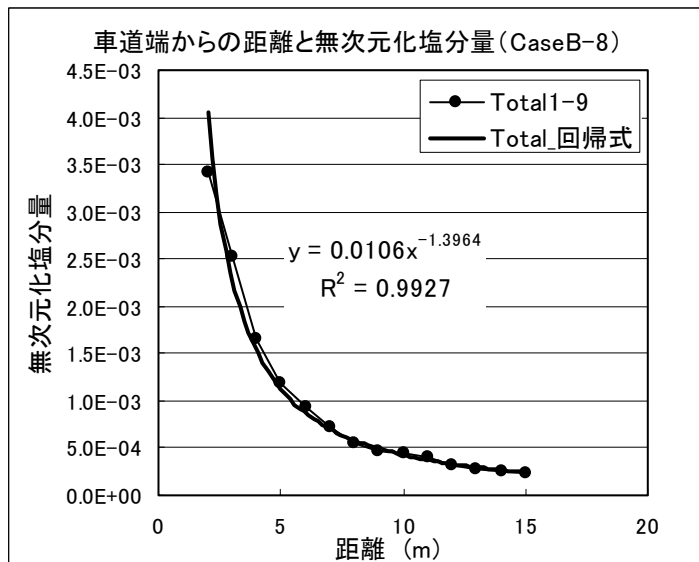
【CaseB-7】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=15^\circ$



【CaseB-8】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=30^\circ$



【CaseB-9】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=60^\circ$

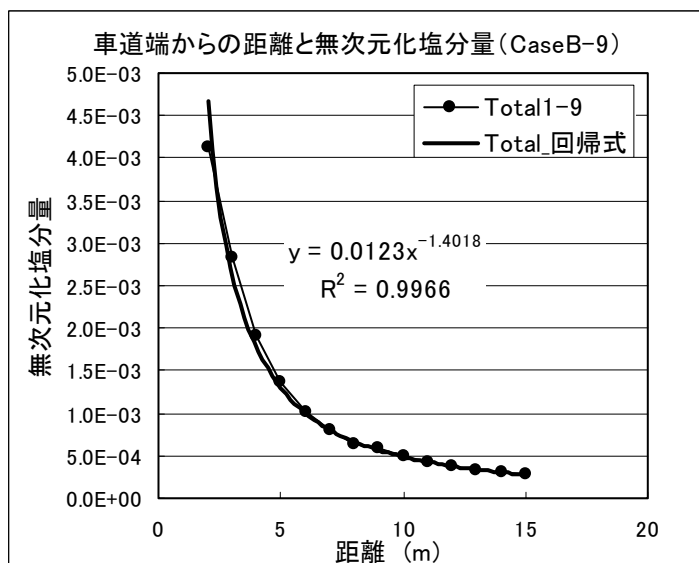
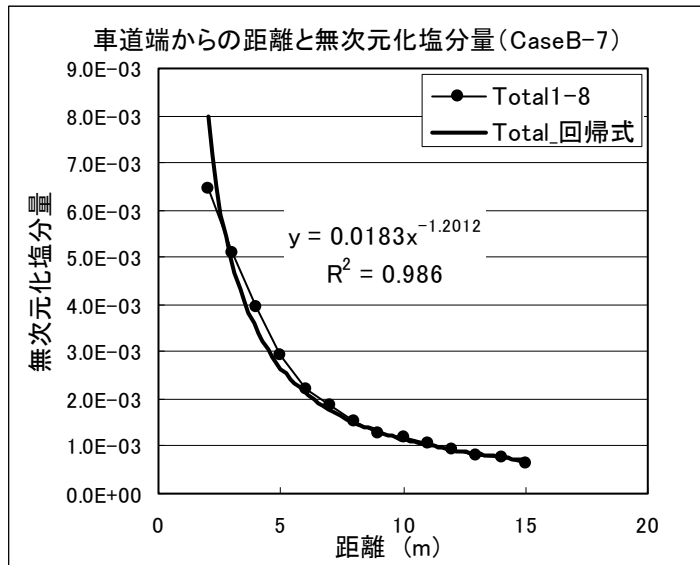


図 4.3.6(3) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(2)

[粒径 Size1~Size8 の合計]

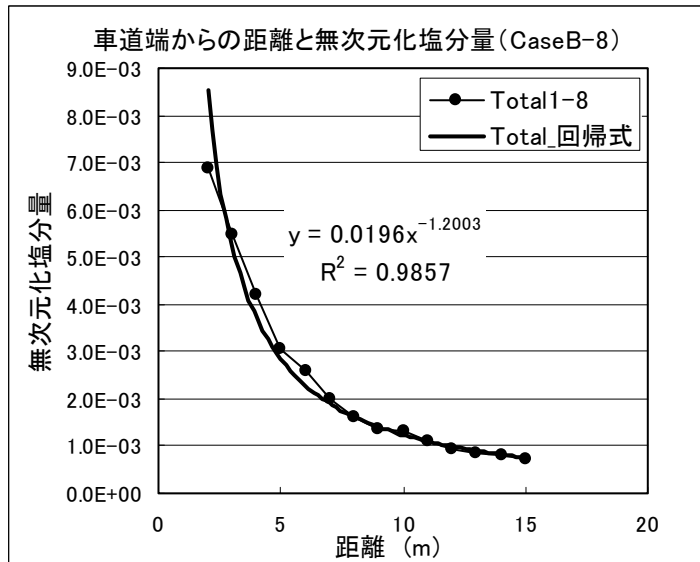
【CaseB-7】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=15^\circ$



【CaseB-8】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=30^\circ$



【CaseB-9】

- ・ 初速度 $V_0=7.0\text{m/s}$
- ・ 射出角 $\theta=60^\circ$

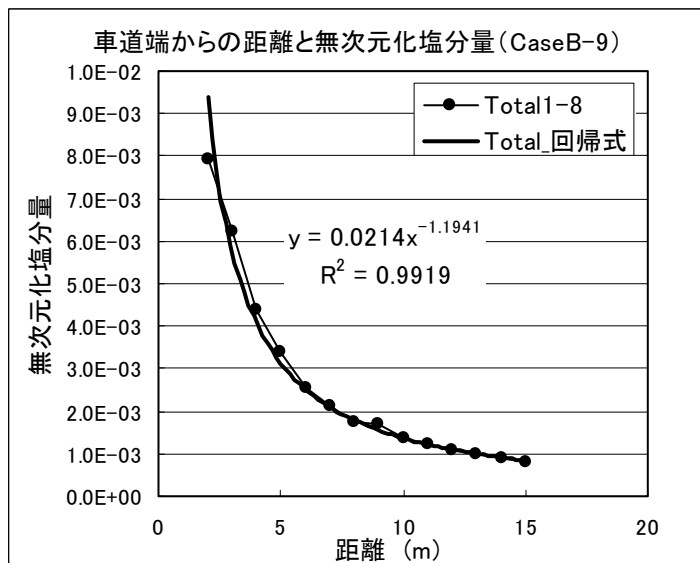


図 4.3.6(3) 橋 A モデルの路外飛散減衰曲線(3)

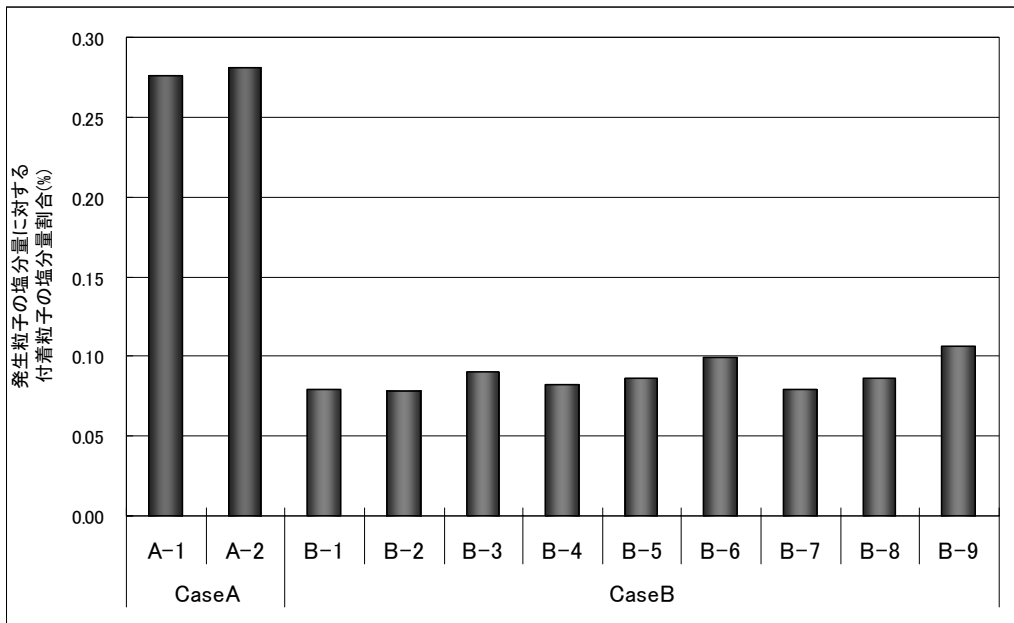


図 4.3.7 CaseA 及び CaseB の外桁に付着した塩分量の割合

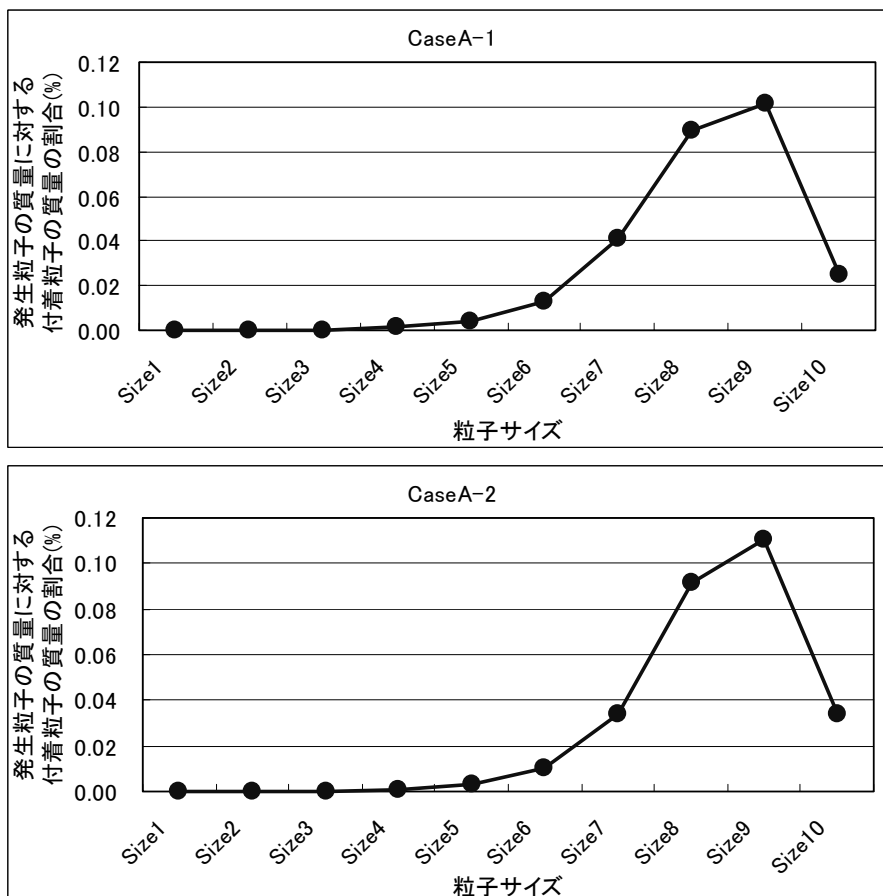


図 4.3.8 桁に付着した各粒子の塩分量割合 (CaseA)

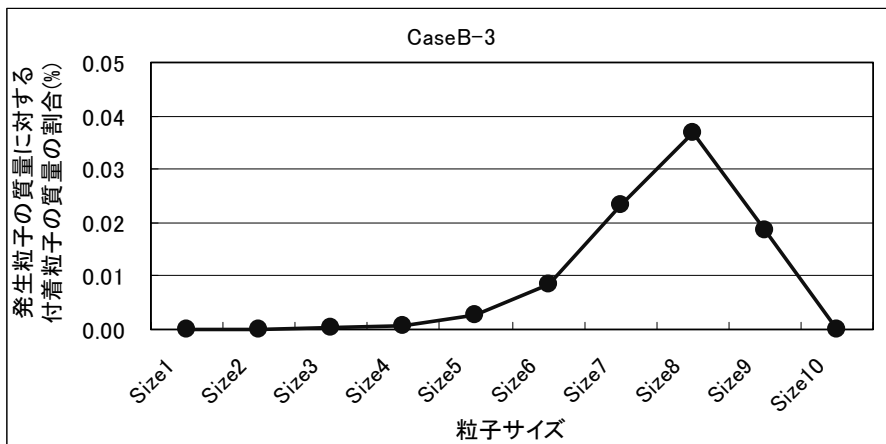
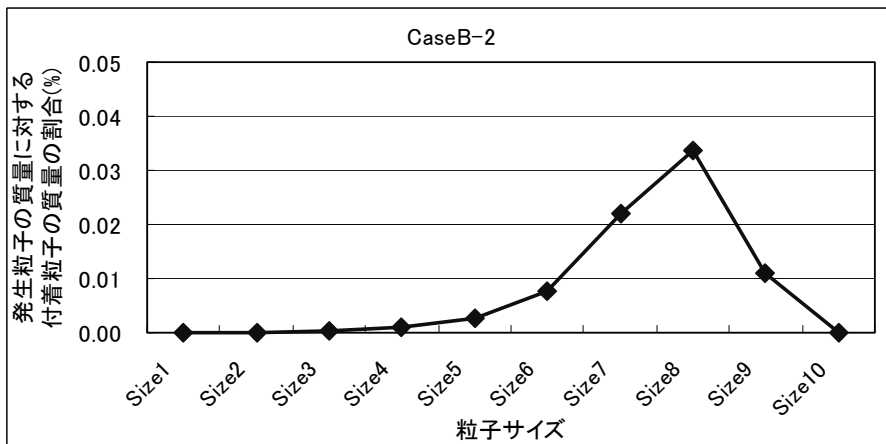
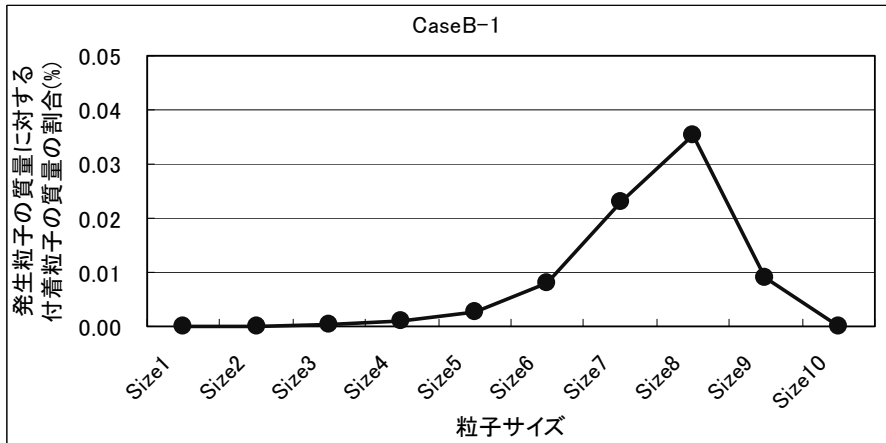


図 4.3.9 外桁に付着した各粒子の塩分量割合 (CaseB) (1)

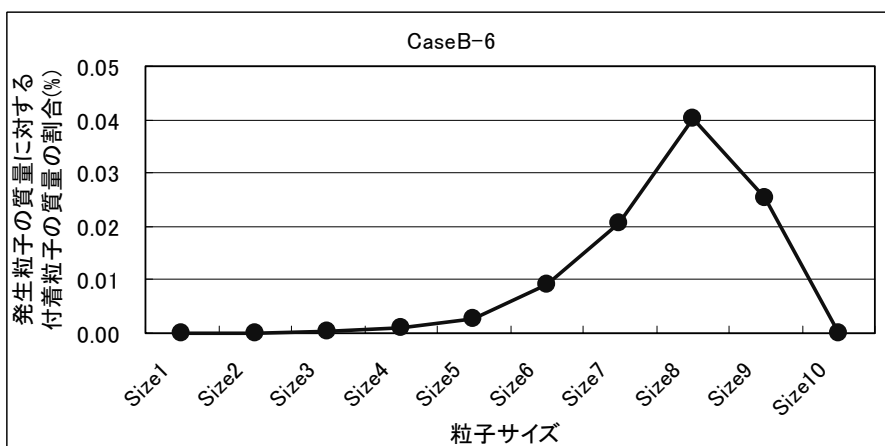
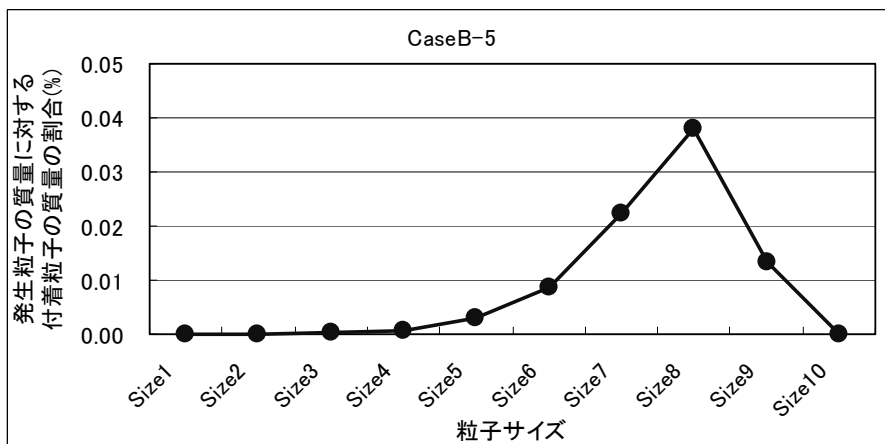
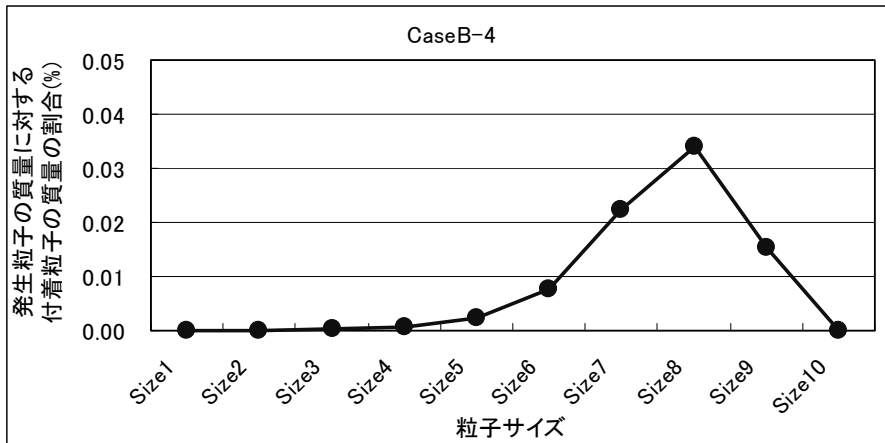


図 4.3.9 外桁に付着した各粒子の塩分量割合 (CaseB) (2)

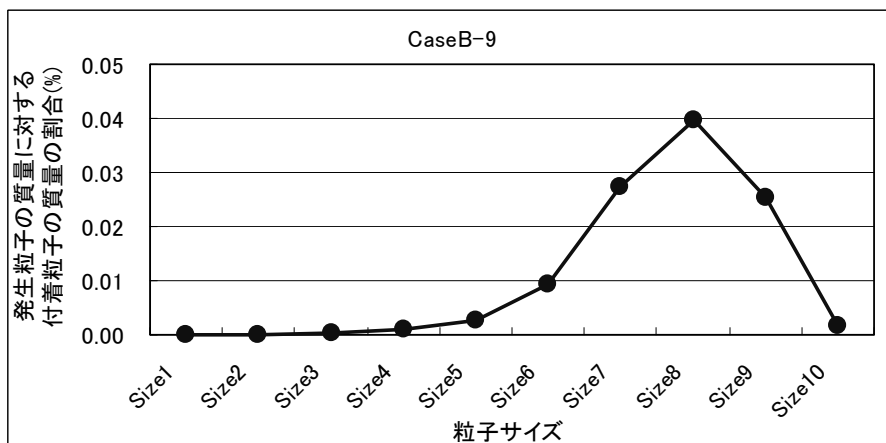
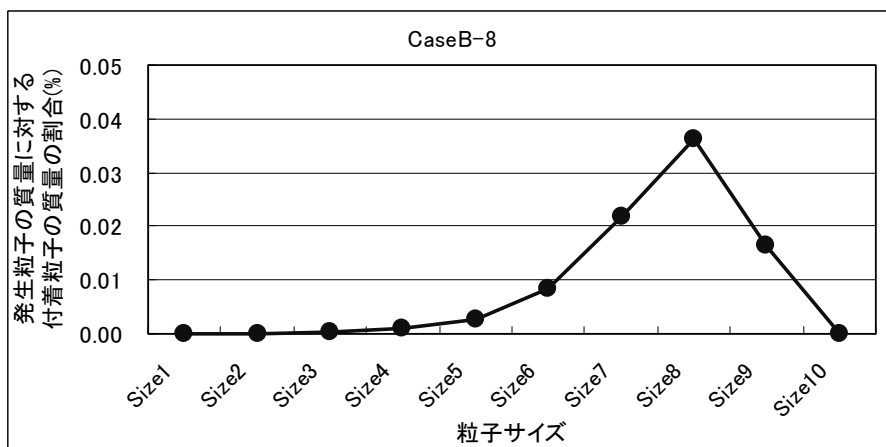
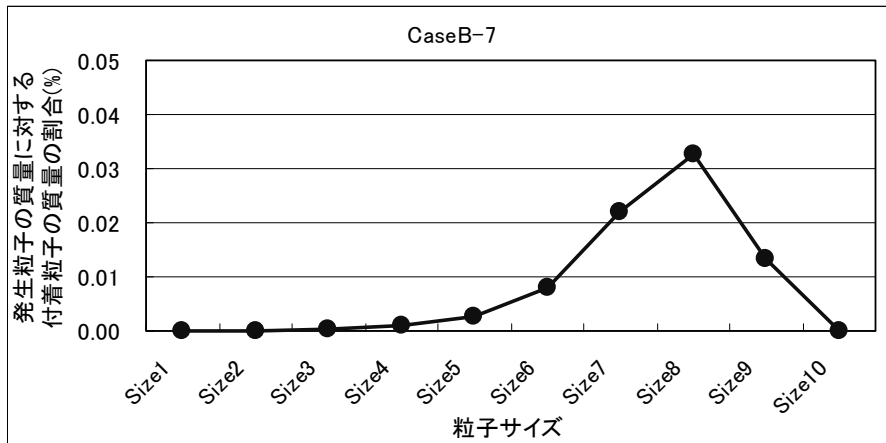


図 4.3.9 外桁に付着した各粒子の塩分量割合 (CaseB) (3)

(4) 風速の違いによる粒子飛散の再現性確認

橋の周囲の風の速さの違いが模擬粒子の飛散にどの様に影響するかを検討するため、固定風速を 1.0、3.0 及び 5.0 m/s の 3 ケースに設定して解析を実施する。なお、解析モデルは「(3)②車輪位置から射出させた場合」を用い、風速のみを変更する。

①計算ケースと風速条件

固定風速を表 4.3.4 に示す 3 ケースについて解析する。

表 4.3.4 計算ケースと風速条件

計算ケース	風速値 (m/s)	初速度 (m/s)	射出角 (°)
Case1-1	1.0	5.0	15
Case1-2			30
Case1-3			60
Case2-1	3.0		15
Case2-2			30
Case2-3			60
Case3-1	5.0		15
Case3-2			30
Case3-3			60

②各計算ケースの解析結果

桁下空間の無次元化した塩分付着量を表 4.3.5 に示す。桁下空間の塩分付着は、図 4.3.10 に示す外桁 P1 のフランジ (6) とウェブ (7~9) にほぼ集中していたため、表には外桁 P1 の No.6~9 の結果のみ示している。

次に、外桁 P1 への塩分付着量の合計を図 4.3.11 に示す。固定風速の条件下においては、風速が大きい程、外桁 P1 のフランジとウェブへの塩分付着量が大きくなる傾向を示している。

これは粒径の大きい粒子、すなわち重い粒子は、風速が小さい場合は重力沈降等の影響が支配的と考えられるが、風速が大きくなるに従い、粒子に対する橋の周りの流れの影響が大きくなり、路外に飛散する割合が多くなることで、桁下空間へ回り込み易くなったものと考えられる。なお、表 4.3.4 の Case1-1、Case2-1 及び Case3-1 の粒子の飛散状況を図 4.3.12~4.3.14 にそれぞれ示す。

以上より、本解析によって、固定風速 1.0、3.0 及び 5.0m/s の条件下では、風速が大きいほど外桁に付着する塩分量は多くなるが、粒子が内桁まで回り込むことは再現できなかった。

付着塩分量の現地測定時において、橋の周りの風速や風向きは変動が大きいことが確認されている。解析結果も踏まえると、この風速や風向きの変動によって粒子が内桁まで回り込む可能性が高くなるものと推測される。

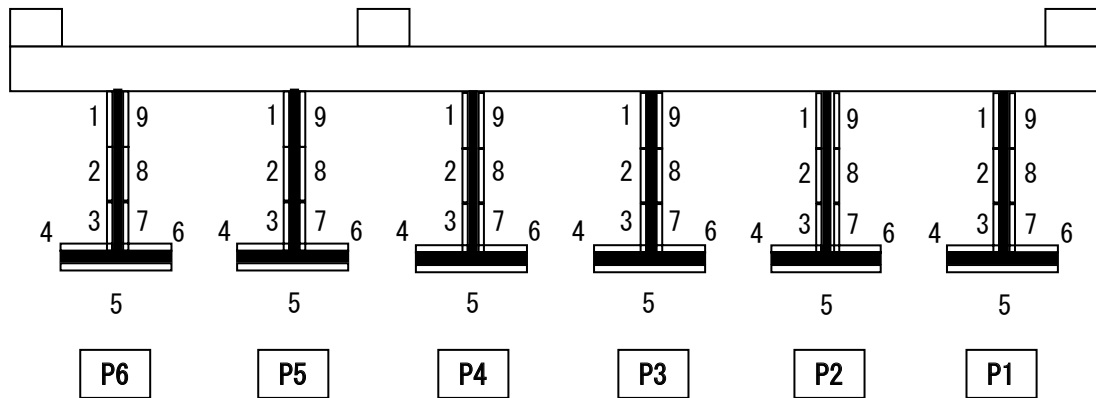


図 4.3.10 桁下空間の位置番号

表 4.3.5 外桁 P1 への塩分付着量 (%)

No	Case1-1	Case1-2	Case1-3	Case2-1	Case2-2	Case2-3	Case3-1	Case3-2	Case3-3
6	0.021	0.022	0.031	0.137	0.182	0.213	0.231	0.256	0.312
7	0.018	0.023	0.023	0.159	0.172	0.182	0.257	0.290	0.302
8	0.019	0.023	0.019	0.145	0.154	0.182	0.276	0.366	0.373
9	0.008	0.010	0.011	0.076	0.077	0.101	0.137	0.172	0.202
計	0.067	0.078	0.085	0.517	0.584	0.678	0.900	1.083	1.188

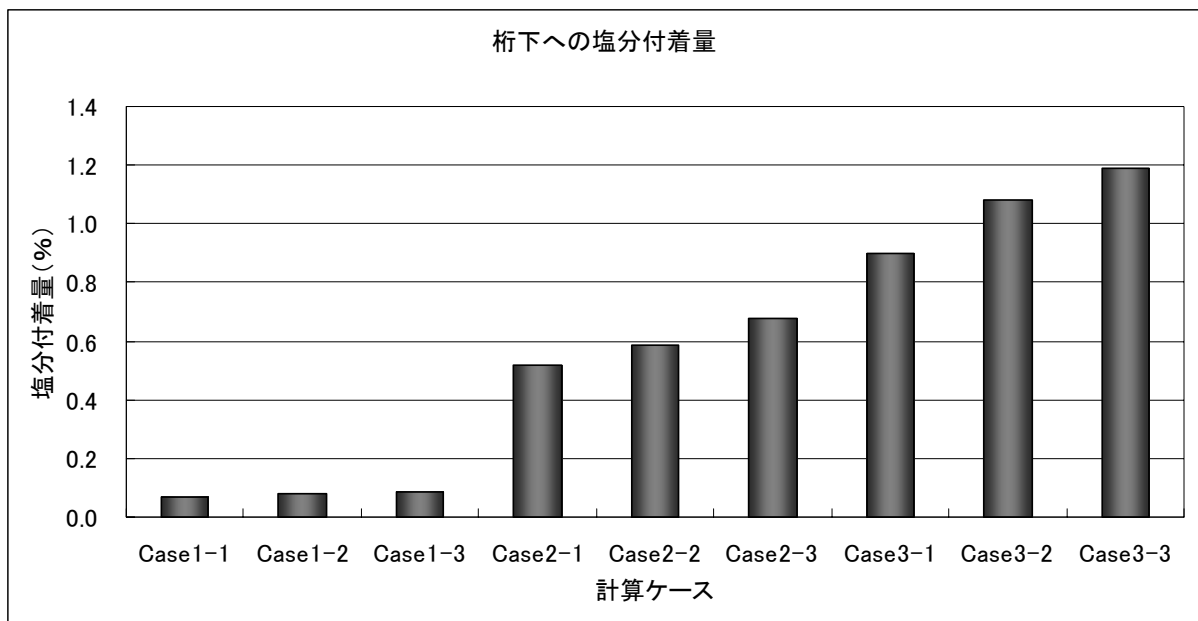


図 4.3.11 外桁 P1 の塩分付着量

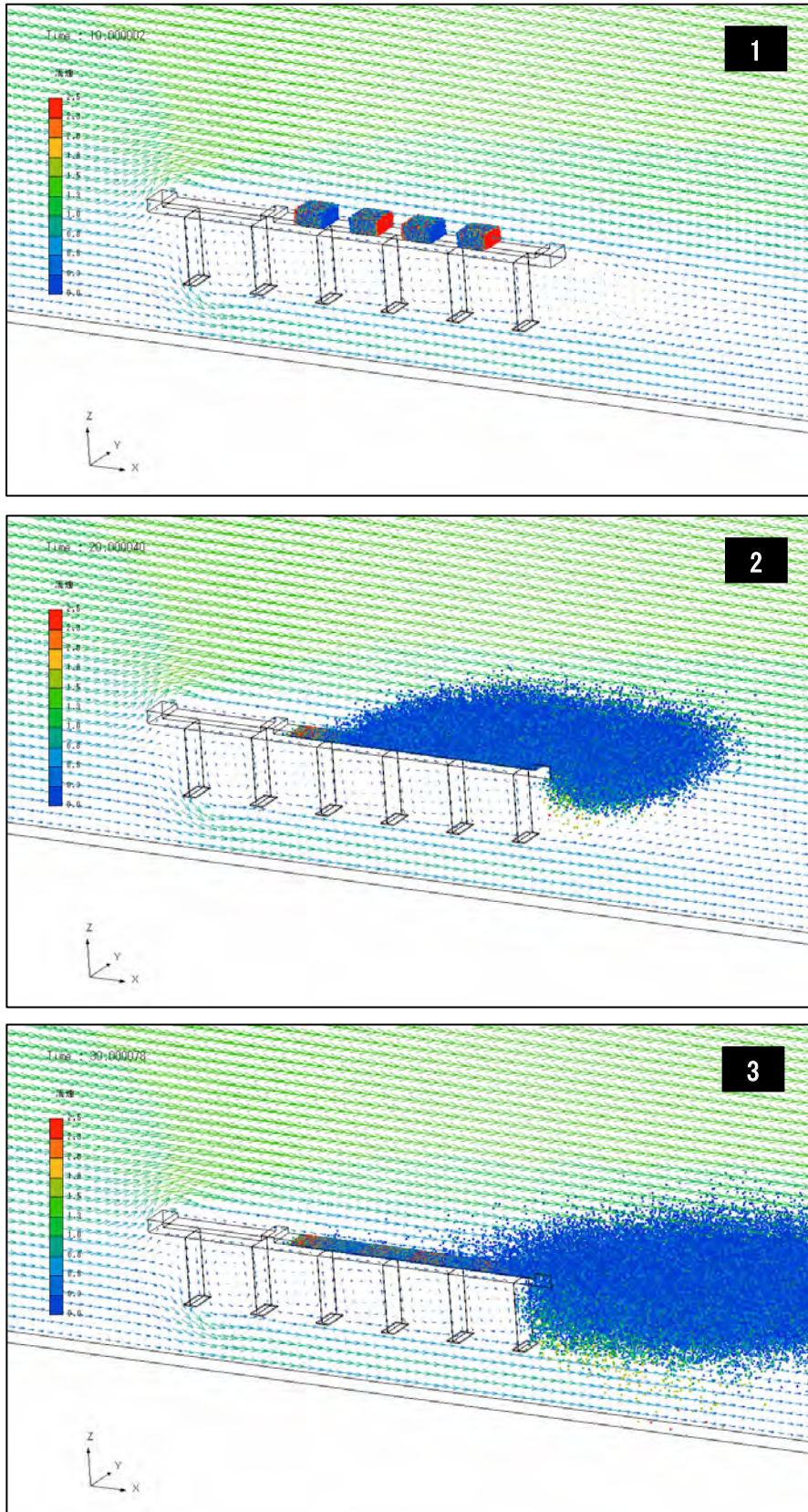


図 4.3.12 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=1\text{m/s}$, Case1-1) (1)

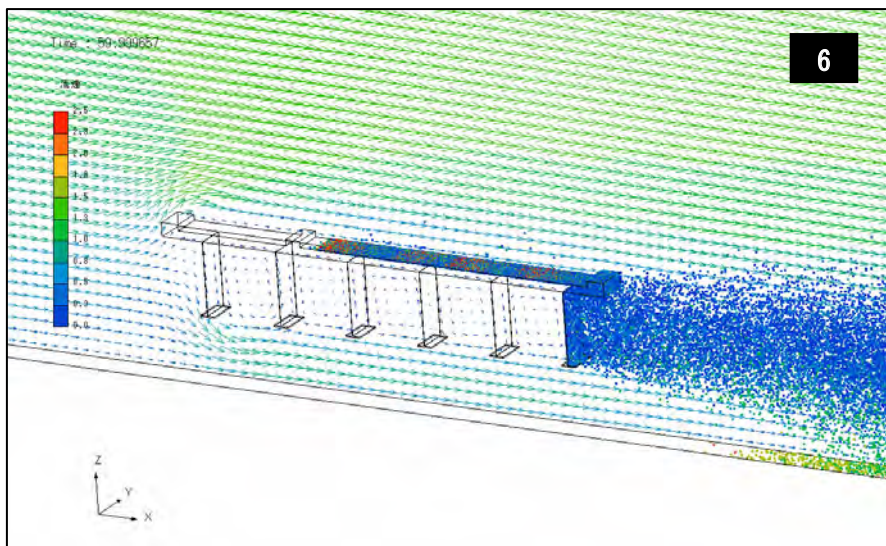
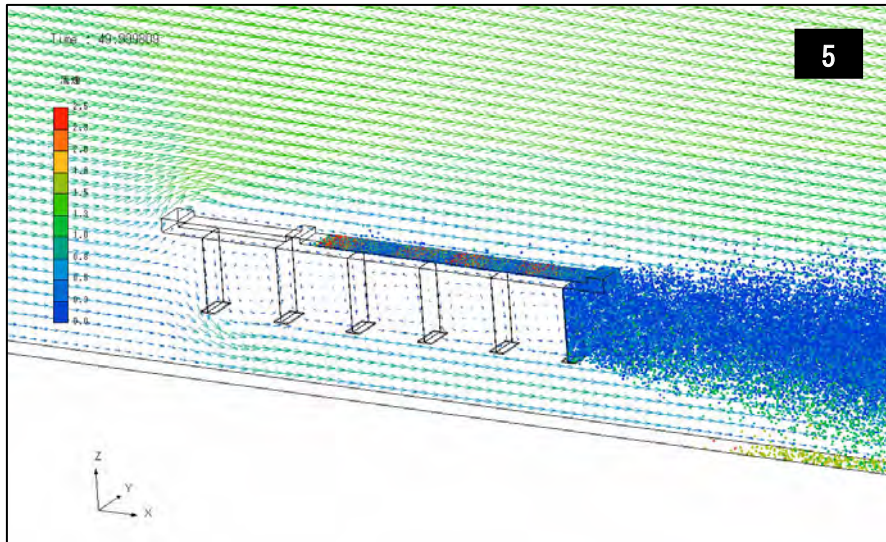
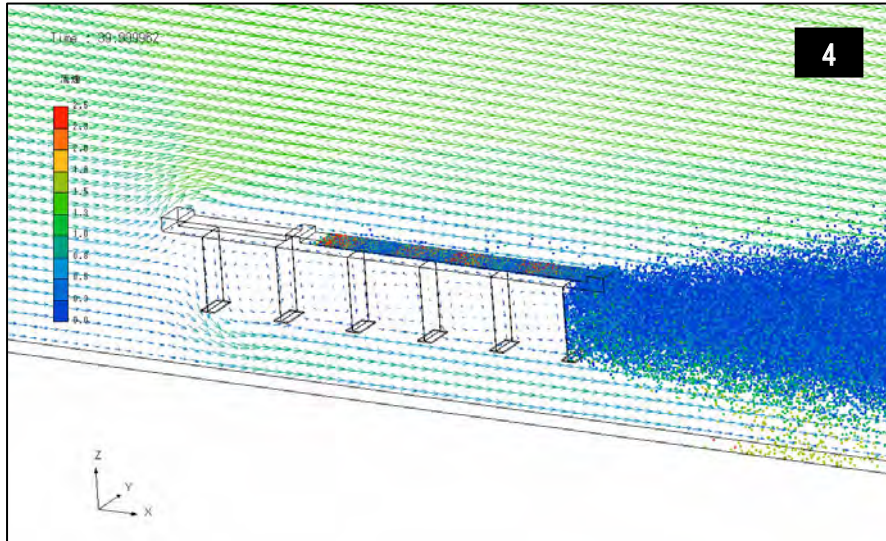


図 4.3.12 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=1\text{m/s}$, Case1-1) (2)

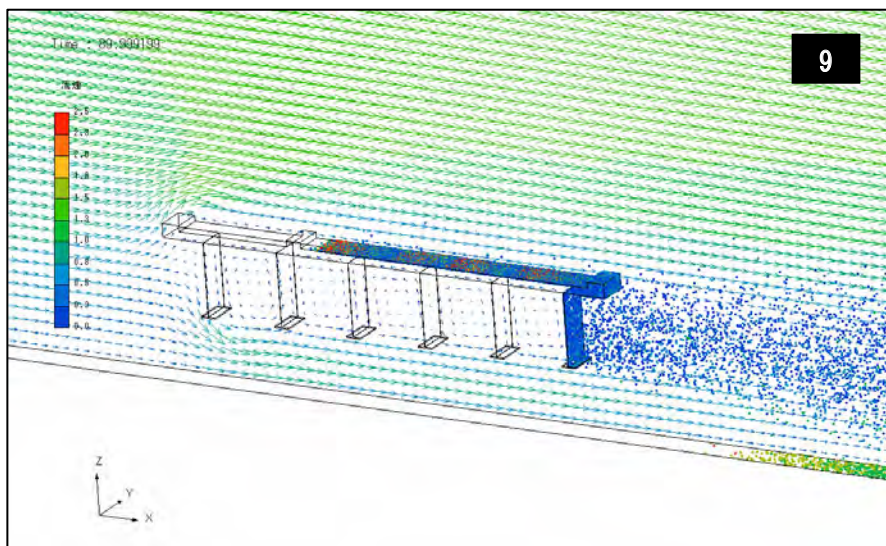
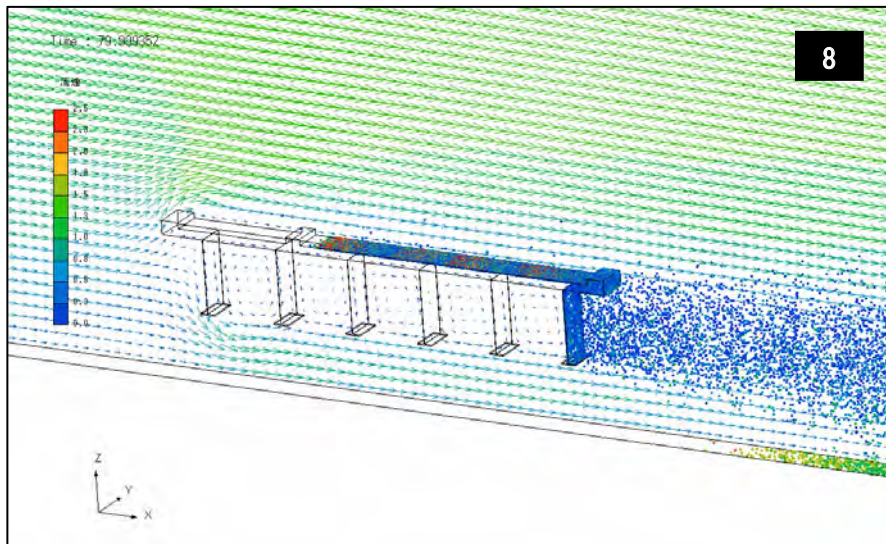
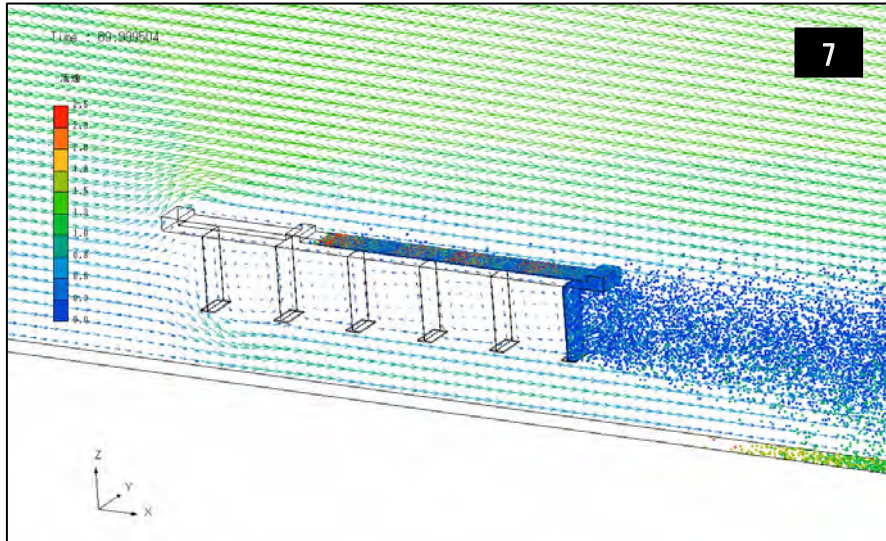


図 4.3.12 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=1\text{m/s}$, Case1-1) (3)

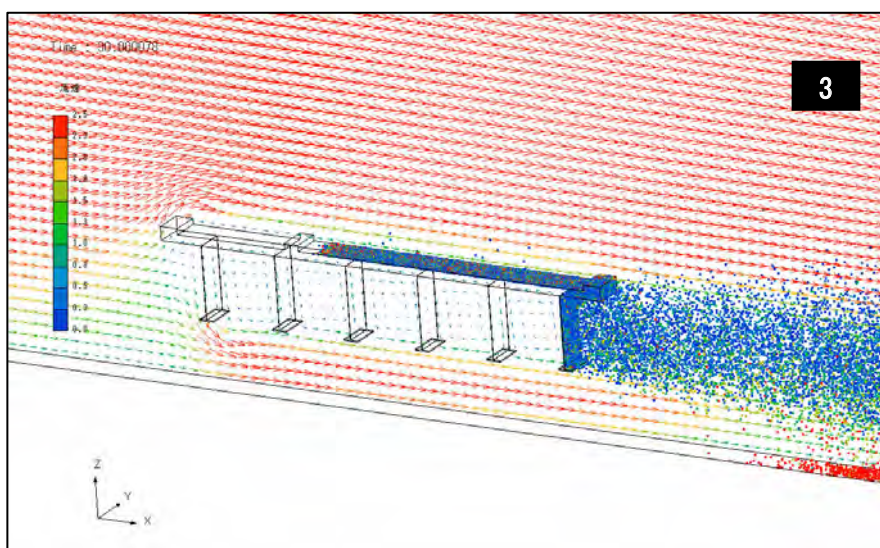
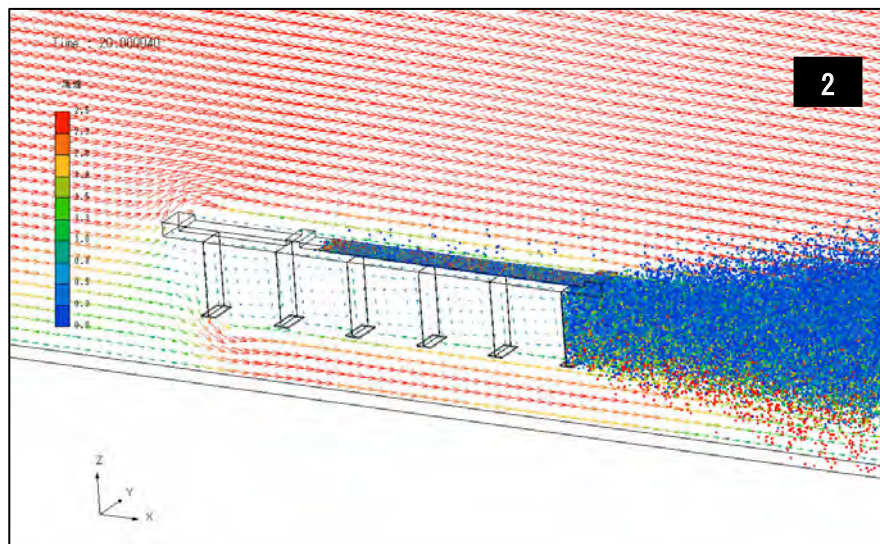
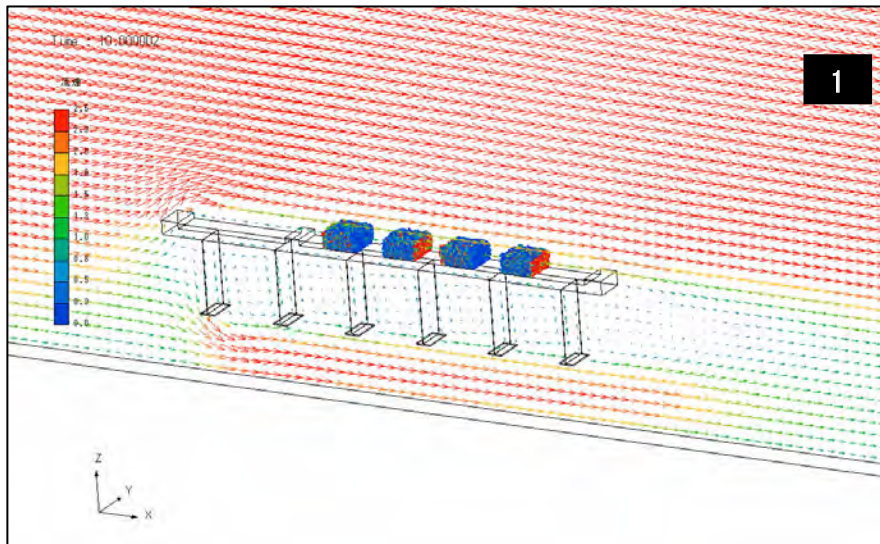


図 4.3.13 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=3\text{m/s}$, Case2-1) (1)

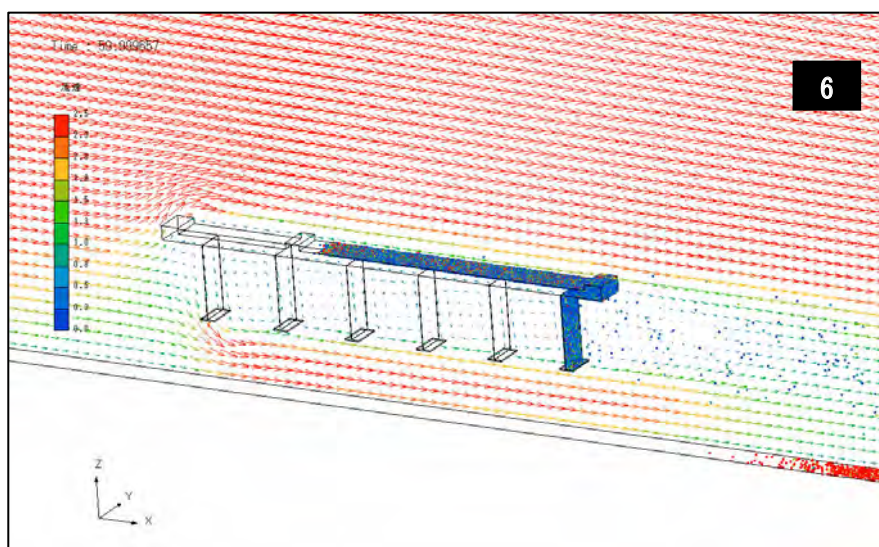
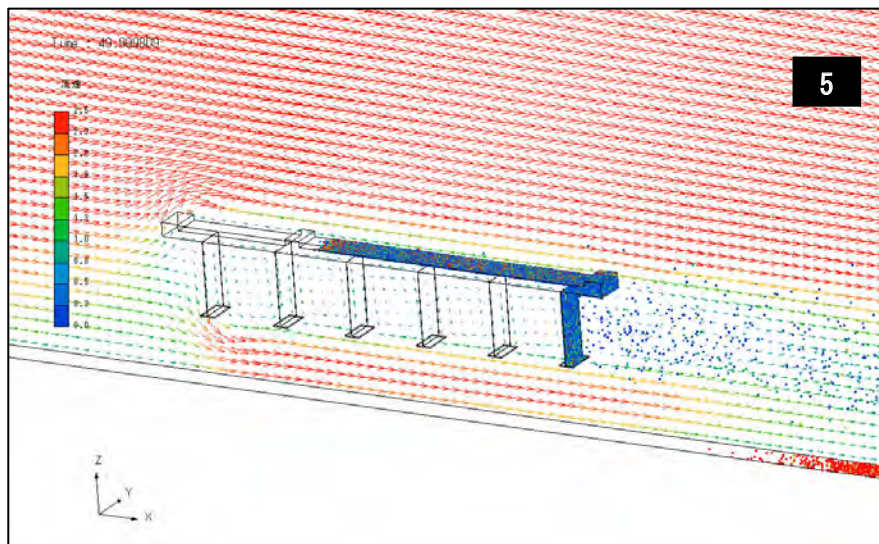
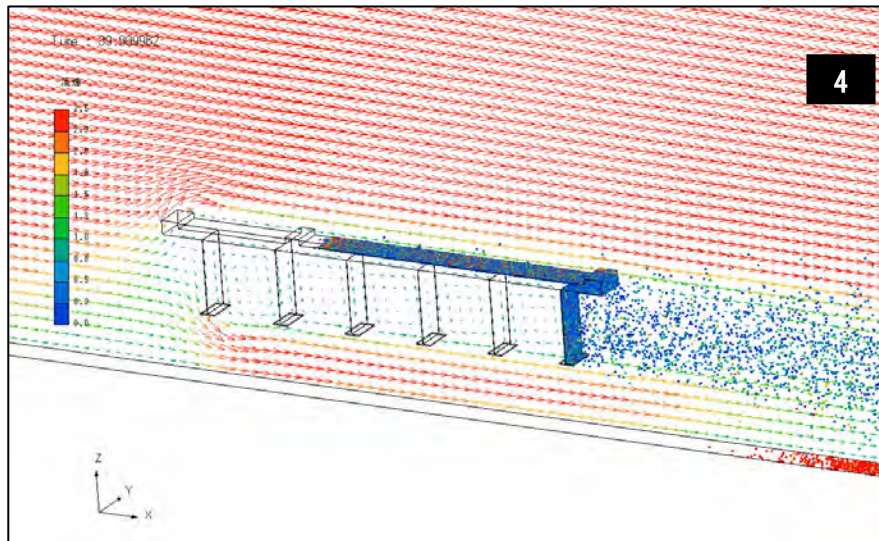


図 4.3.13 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=3\text{m/s}$, Case2-1) (2)

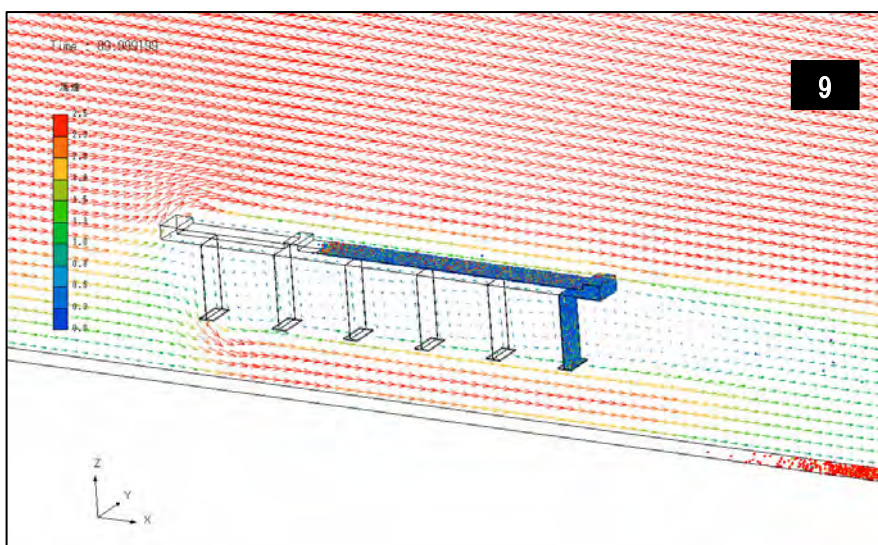
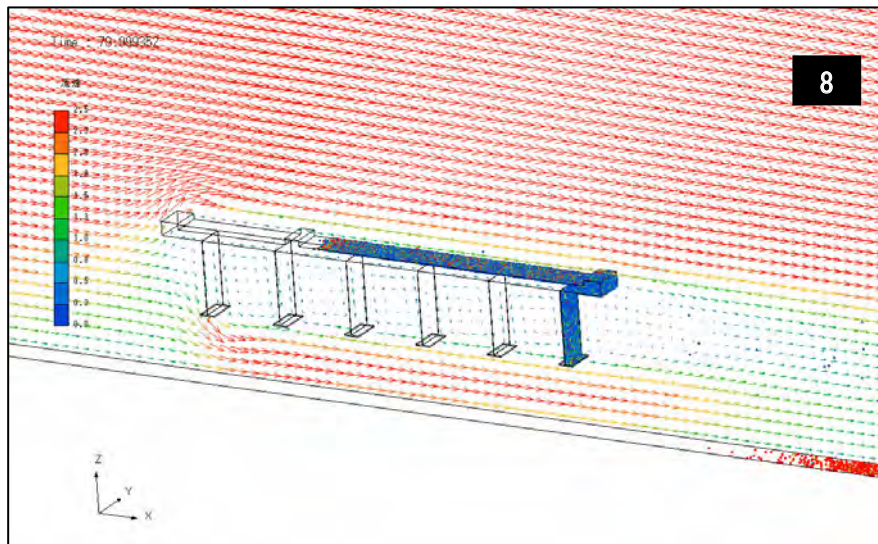
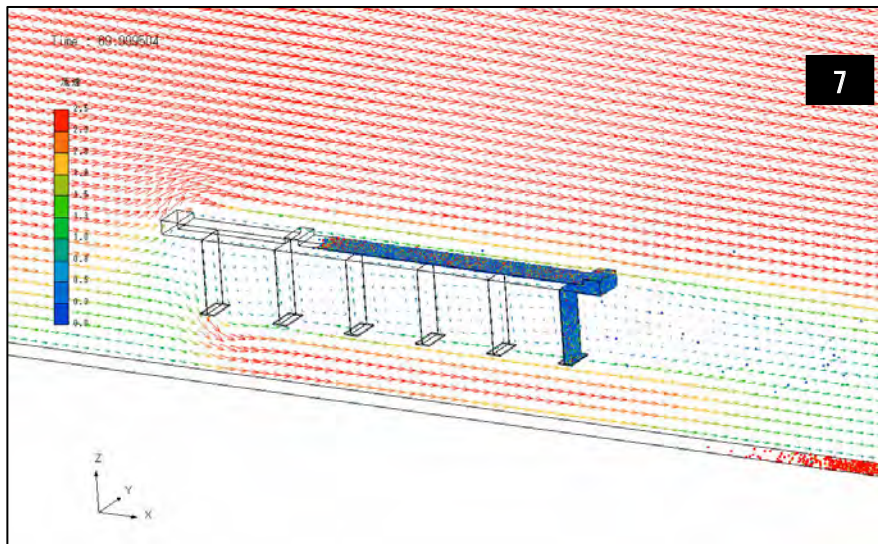


図 4.3.13 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=3\text{m/s}$, Case2-1) (3)

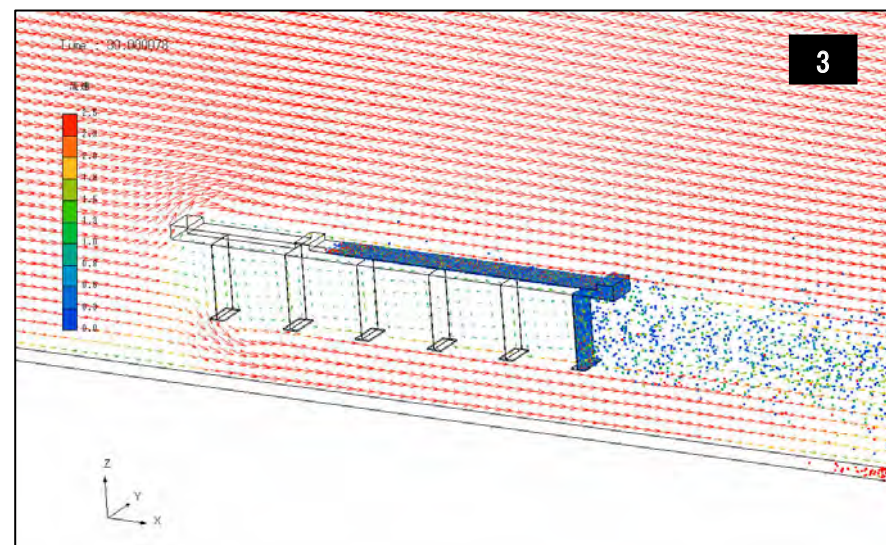
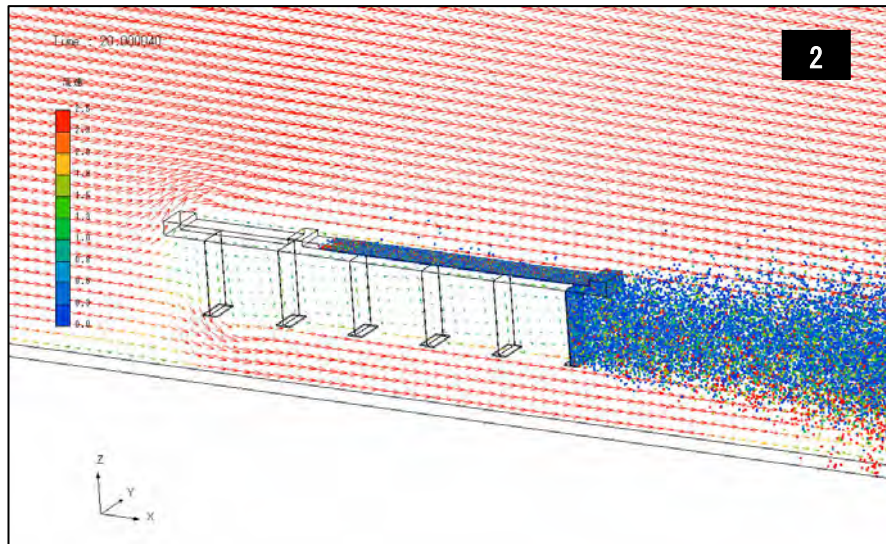
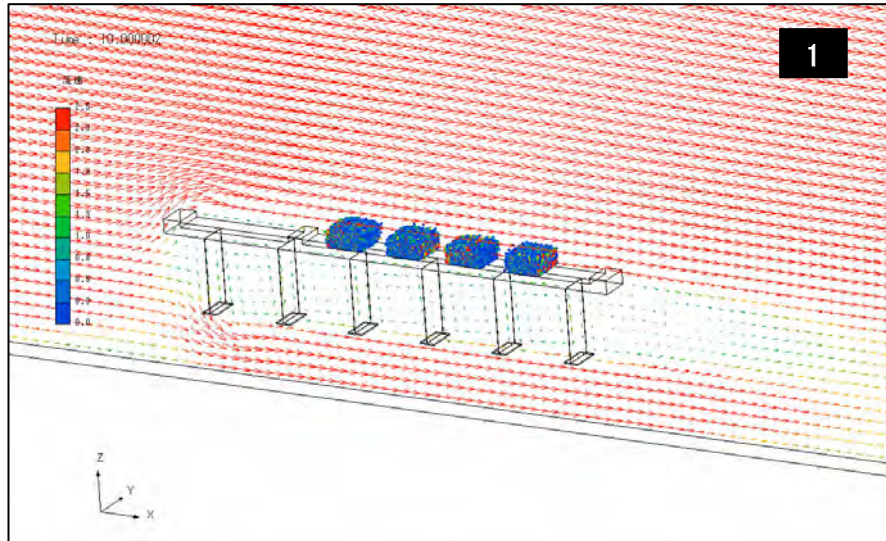


図 4.3.14 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=5\text{m/s}$, Case3-1) (1)

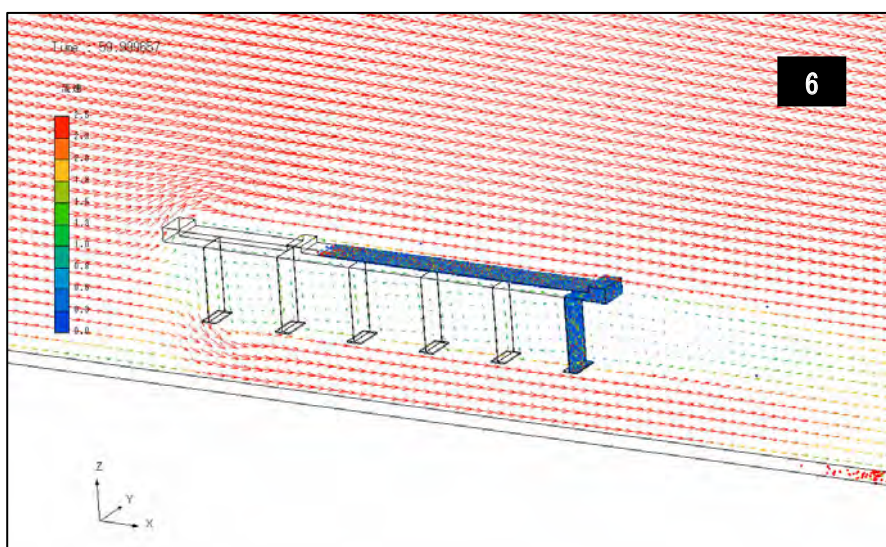
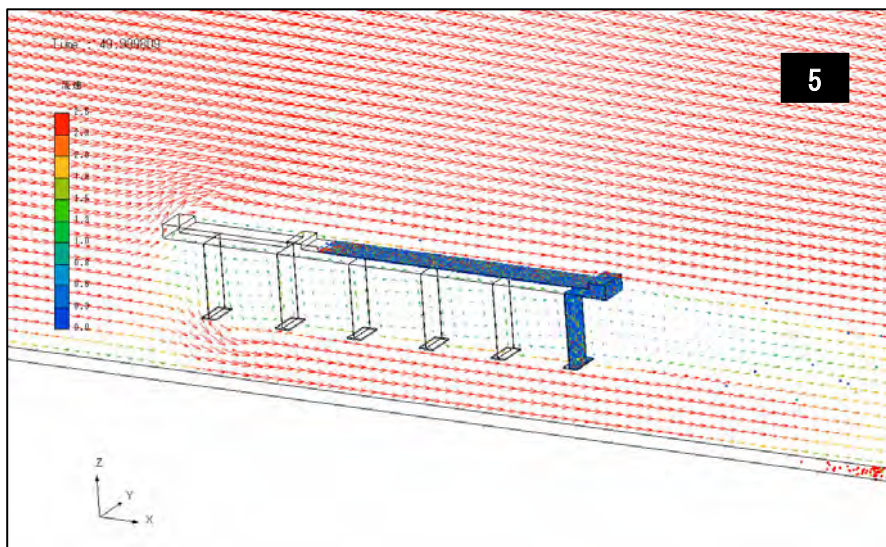
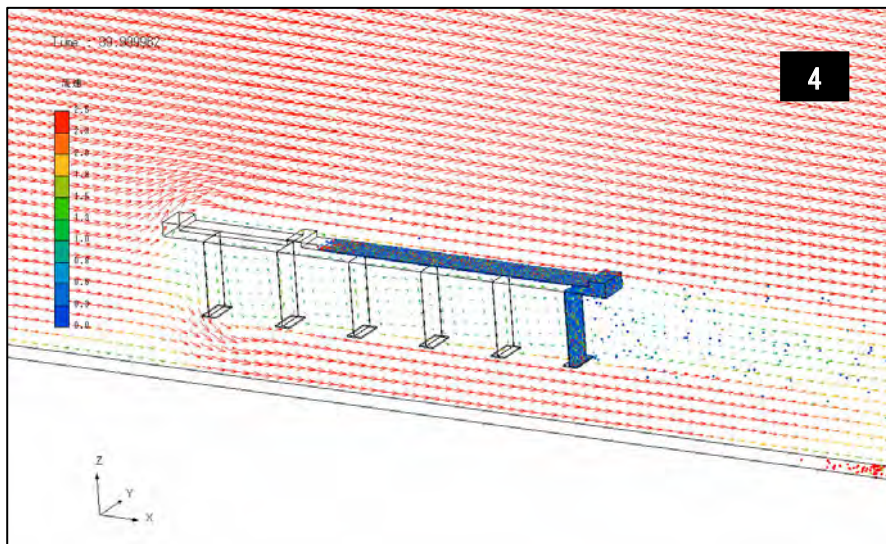


図 4.3.14 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=5\text{m/s}$, Case3-1) (2)

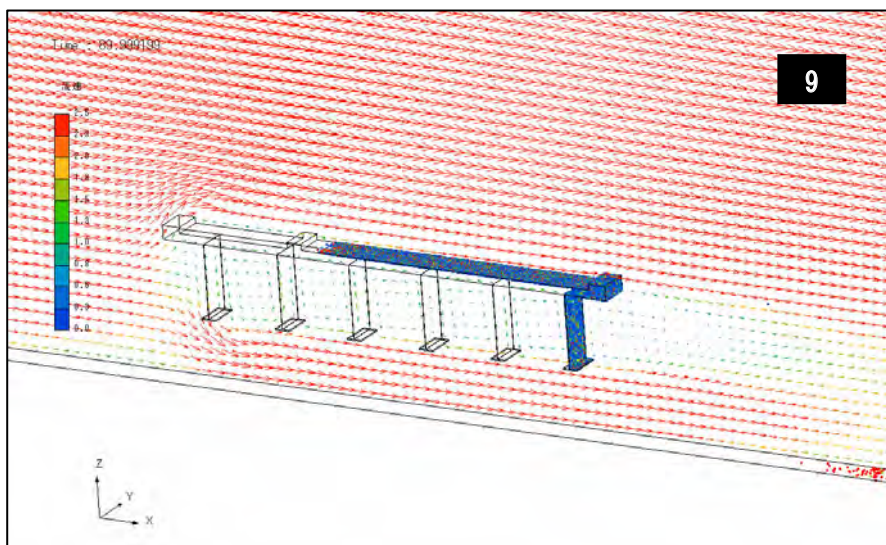
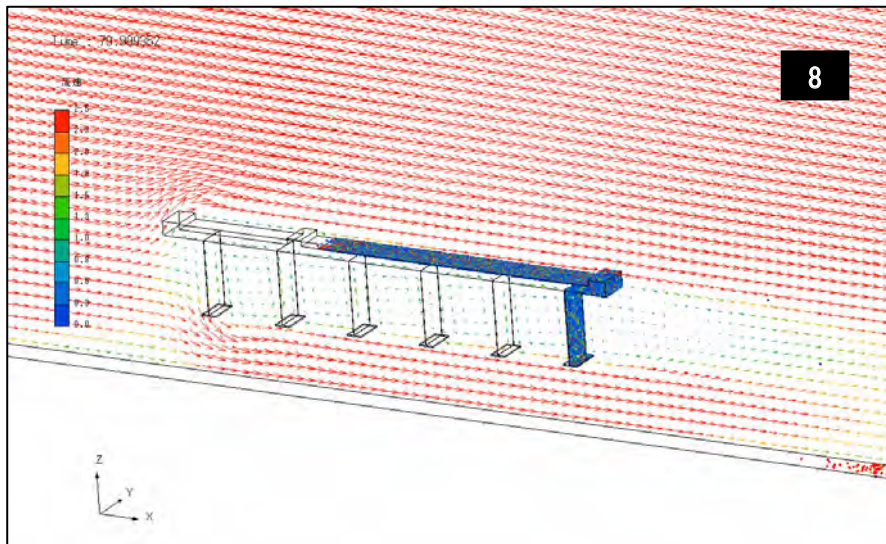
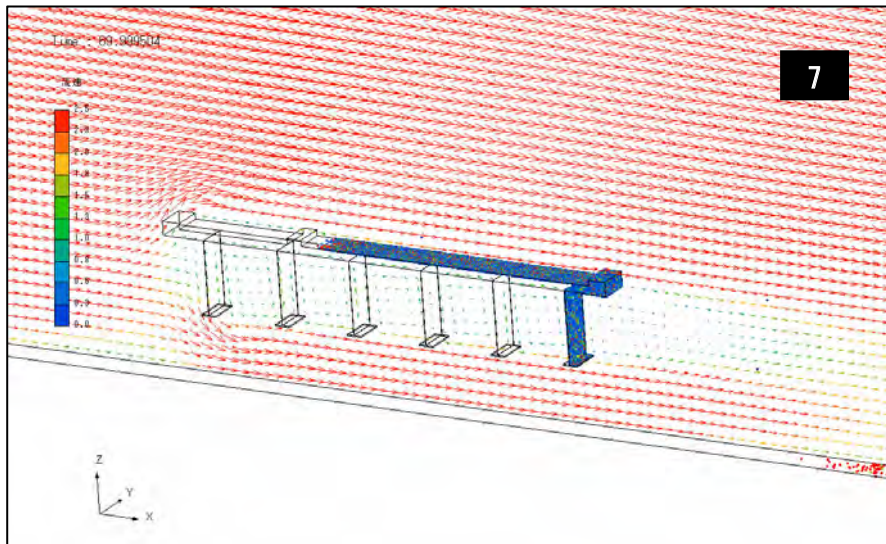


図 4.3.14 固定風速下における粒子の飛散状況 ($U_0=5\text{m/s}$, Case3-1) (3)

(5)床版下（桁空間）での解析

① 路外に飛散した塩分粒子の解析

路外に飛散した凍結防止剤の粒子が橋の周りの風の影響により、桁空間へ回り込む過程を解析し、塩分の付着傾向を把握する。

図 4.3.15 に示す様に車道の片側車線の輪荷重位置に粒子を配置し、粒子には初速度 V_0 ($=5.0\text{m/s}$) と射出角 θ ($=15^\circ$) を与えて路外に飛散する塩分量の分布を解析する。

風速 U は図 4.3.16 に示す様に 1.3m/s を中心として、 $\pm 1.0\text{m/s}$ で周期的に変動させた。現地で実施した簡易風速計による風速観測でも橋の周りの風速や風向きは絶えず変動しており、その変動によって桁空間へ塩分粒子が周り込んでいると考えられる。このため、風速は一定で与えるのではなく、平均的風速を周期的に変動させて解析することとする。

解析に用いた塩分粒子の粒径は Size4~Size10 を用いている。Size1~Size3 は粒径が小さく、塩分の付着量として殆ど寄与しないため、解析に用いていない。

なお、粒子数は 1 粒径 1 回あたり約 2,000 個として、10 秒間隔で 30 回放出している。よって、総粒子数は 600,000 個程度となる。

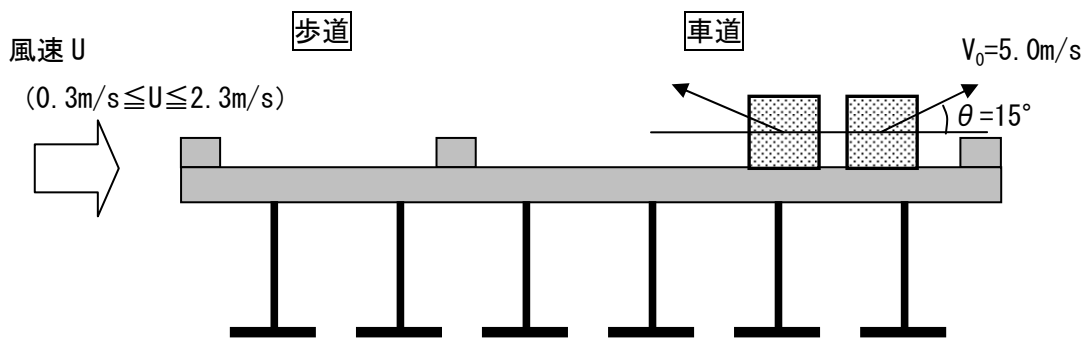


図 4.3.15 解析橋モデル（橋 A モデル）

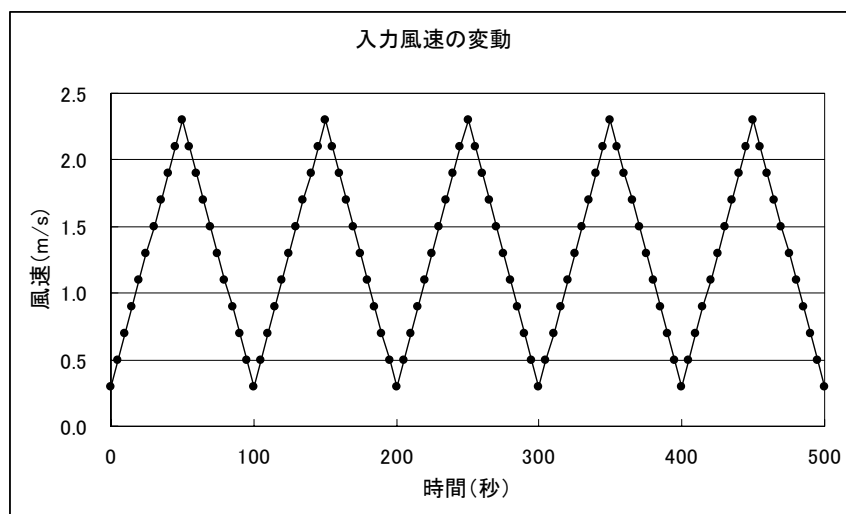


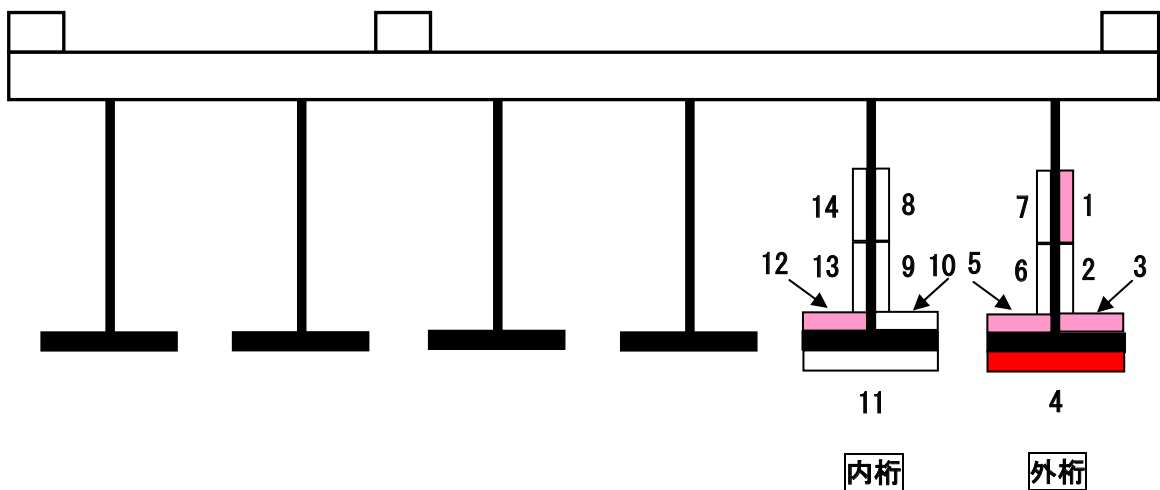
図 4.3.16 入力風速の周期的変動

解析した桁下への塩分粒子の付着量を表 4.3.6 に示す。橋 A モデルの実測値は、二次元断面の解析であるため、橋の縦断方向の中間である P1 付近の実測値と比較している。図 4.3.17 には付着塩分量を算出した位置を示している。

なお、塩分粒子の飛散状況を図 4.3.18 に示す。図中の 1～9 は飛散の経過を示している。

表 4.3.6 桁下の付着塩分量 (橋 A モデル)

No.	外桁		No.	内桁	
	P1 付近 実測値 (mg/m ²)	解析値 (×10 ⁻⁷ /m ²)		P1 付近 実測値 (mg/m ²)	解析値 (×10 ⁻⁷ /m ²)
1	146	2439	8	96	11
2	107	2038	9	86	10
3	130	6805	10	105	21
4	416	65	11	57	31
5	221	78	12	160	36
6	53	19	13	85	3
7	62	3	14	91	7



実測値 付着量レベル	内容	評価方法
4	付着が多い	付着量 > 2A
3	付着がやや多い	2A > 付着量 > A
2	付着がやや少ない	A > 付着量 > 1/2A
1	付着が少ない	1/2A > 付着量

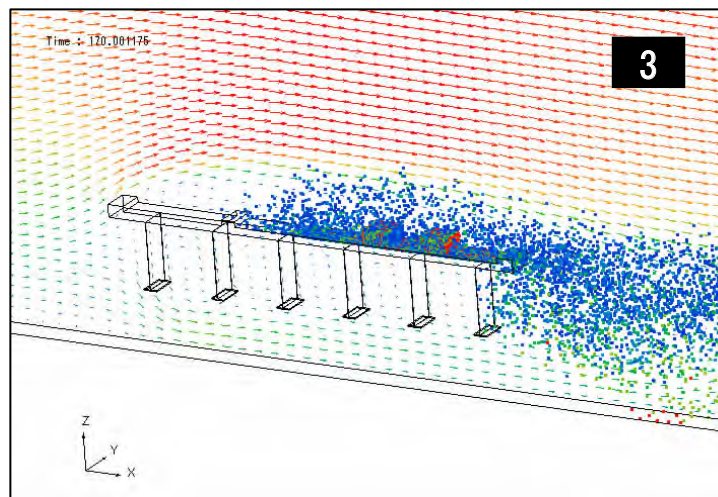
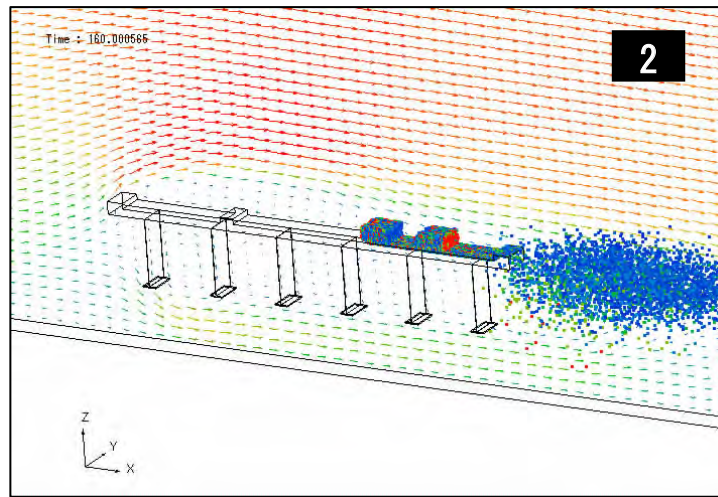
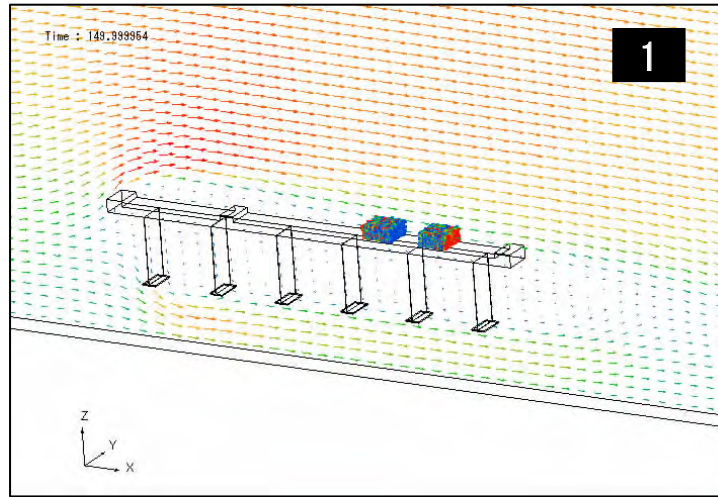
A : 当該横断面における平均値

図 4.3.17 付着塩分量の算出位置

表 4.3.6 と図 4.3.17 をもとに、付着塩分量を外桁と内桁のウェブで比較すると、外桁の外側ウェブで極めて多く、外桁の内側ウェブ、内桁の外側及び内側ウェブは同程度の付着塩分量である。この結果は、本解析、及び現地実測ともに同様な傾向を示している。

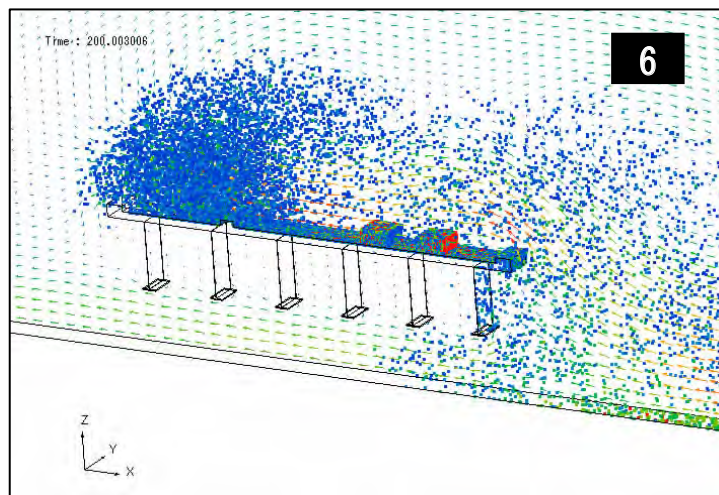
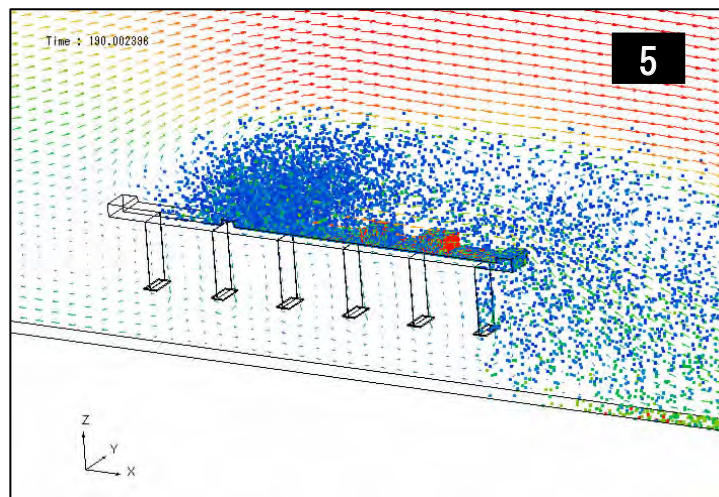
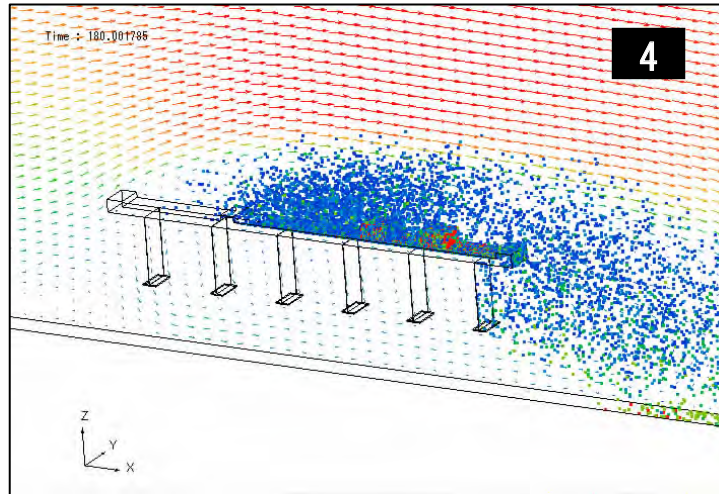
次に、外桁と内桁のフランジでは、付着塩分量は外桁のフランジで多く、内桁のフランジで少ない。この結果は、本解析、及び現地実測ともに同様な傾向を示している。しかし、外桁の下フランジ上下面における付着塩分量の分布を見ると、本解析では外側フランジ上面で極めて多くなっており、現場実測における下面が最も多い傾向と異なっている。凍結防止剤は路面上から飛散するため、外桁の外側ウェブに塩分が多く付着すると思われるが、橋の一番外側にある外桁のウェブ側は雨の影響を最も受けやすいことから、一度付着した塩分が洗い流され、付着塩分量が低くなっていると考えられる。なお、内桁下フランジの上下面における同分布を見ると、内側フランジ上面が最も多い傾向は一致していることがわかる。

武邊ら^{4.5)}は、海塩粒子の鋼橋の付着塩類量を分析しており、すべての橋に共通して外桁のウェブ外側の付着塩類量は低く、さび厚が薄いことを確認している。この理由として、橋の一番外側にある外桁のウェブ側は雨の影響を最も受けやすいことから、一度付着した塩類が洗い流され、付着塩類量が低く保たれていると結論付けている。



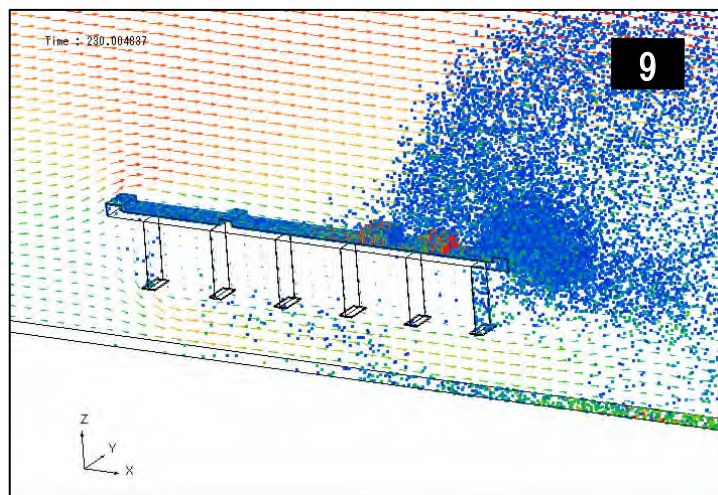
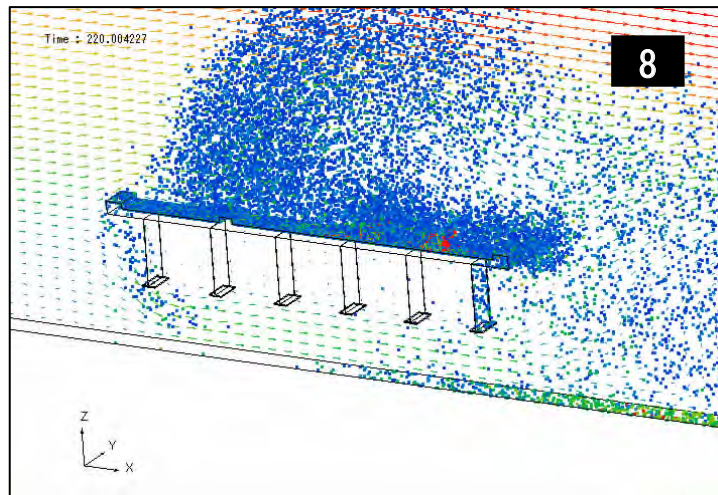
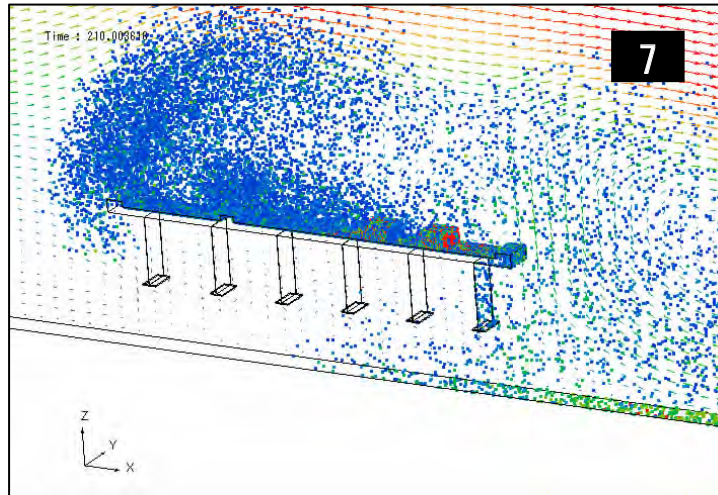
※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.18 塩分粒子の飛散過程（橋 A モデル）(1)



※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.18 塩分粒子の飛散過程（橋 A モデル）(2)



※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.18 塩分粒子の飛散過程（橋 A モデル）(3)

② 桁高の違いによる塩分付着状況

桁高の違いによる桁空間の塩分付着量の傾向を把握するため、図 4.3.19 に示す様に桁高が $H=1.5\text{m}$ の橋 B モデルで解析を実施する。

それ以外の解析条件は、鋼橋の構造による塩分付着傾向の相違を検討するため、橋 A モデルの解析条件と同様とする。

解析した桁下への塩分粒子の付着量を表 4.3.7 に示す。図 4.3.20 には付着塩分量を算出した位置を示している。

なお、塩分粒子の飛散状況を図 4.3.21 に示す。図中の 1～9 は飛散の経過を示している。

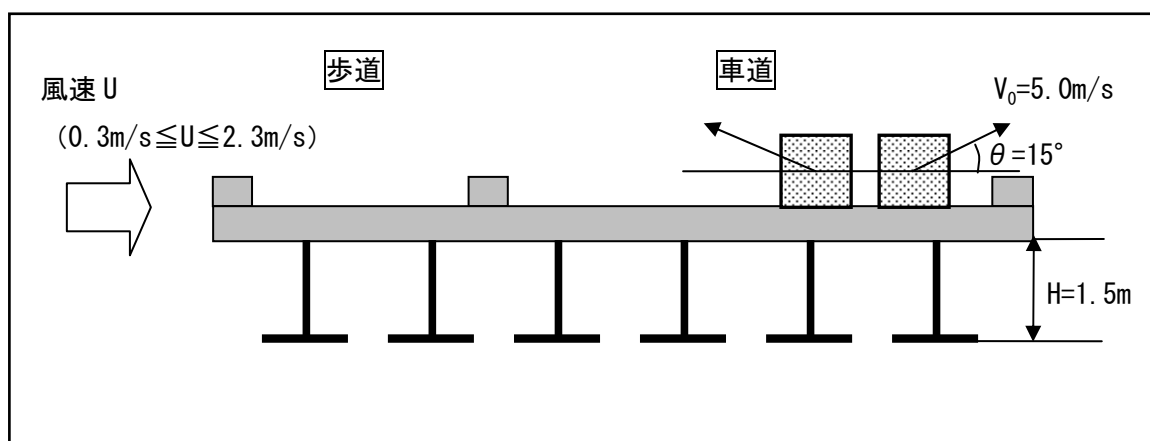


図 4.3.19 桁高が異なる解析橋モデル（橋 B モデル）

表 4.3.7 を見ると、桁高 1.5m （橋 B モデル）でも、内桁より外桁の外側ウェブ及びフランジの付着塩分が極めて多く、同じ主桁内では下フランジ周辺に多く付着しており、桁高 2.5m （橋 A モデル）と傾向は同様である。

桁高 2.5m （橋 A モデル）と桁高 1.5m （橋 B モデル）の相違点は、1)外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量は少なく、2)内桁の外側への付着塩分量が多くなる傾向を示していることである。

外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が少ない原因は、桁高が小さくなったことで、外桁の外側にできる気流の渦が小さくなり、外桁の外側に付着する粒子数が少なくなるためと考えられる。また、内桁の外側への付着塩分量が多くなる傾向は、桁高が小さくなることで、外桁の外側に付着する粒子が少なくなり、内桁へ回り込む粒子が多くなったことが原因のひとつと推測される。

表 4.3.7 桁高の違いによる付着塩分量比較

No.	外桁		No.	内桁	
	桁高 2.5m ($\times 10^{-7}/\text{m}^2$)	桁高 1.5m ($\times 10^{-7}/\text{m}^2$)		桁高 2.5m ($\times 10^{-7}/\text{m}^2$)	桁高 1.5m ($\times 10^{-7}/\text{m}^2$)
1	2439	851	8	11	10
2	2038	849	9	10	50
3	6805	4606	10	21	109
4	65	103	11	31	40
5	78	37	12	36	0
6	19	9	13	3	0
7	3	7	14	7	0

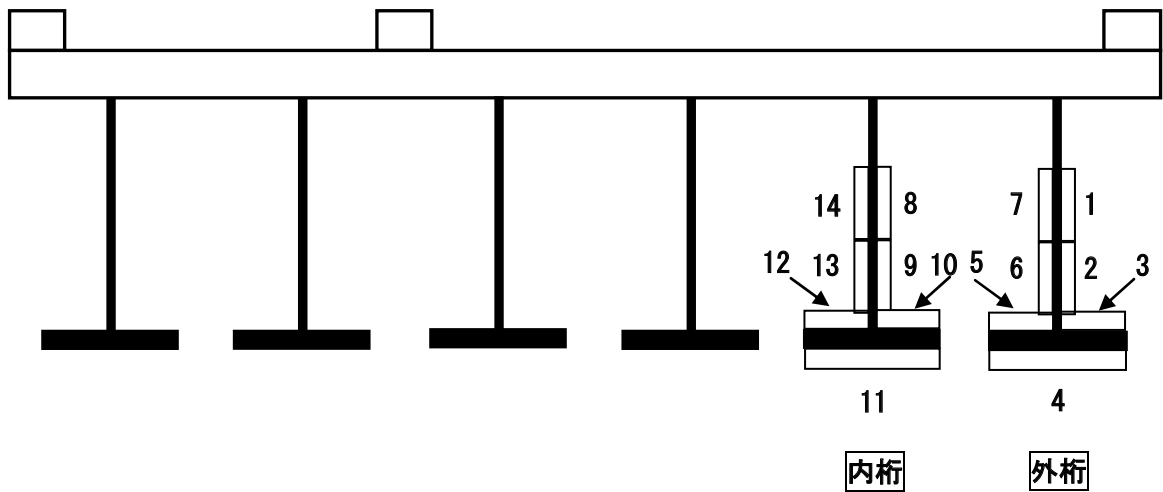
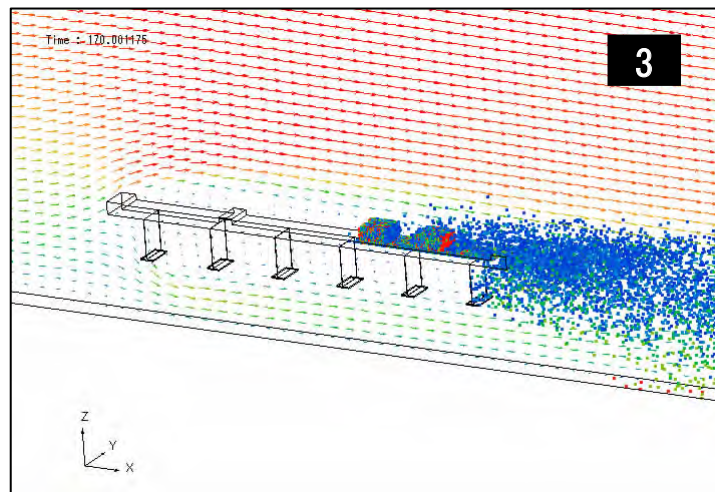
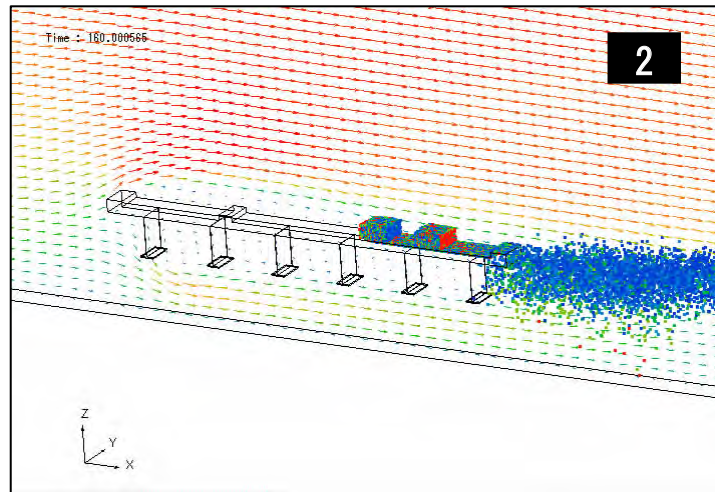
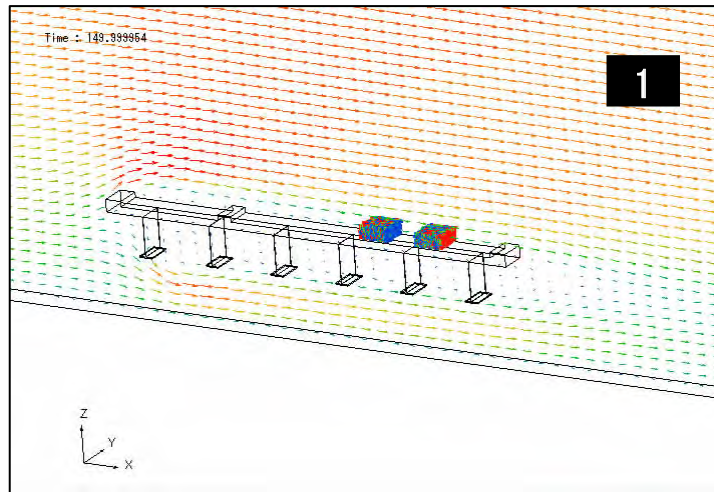
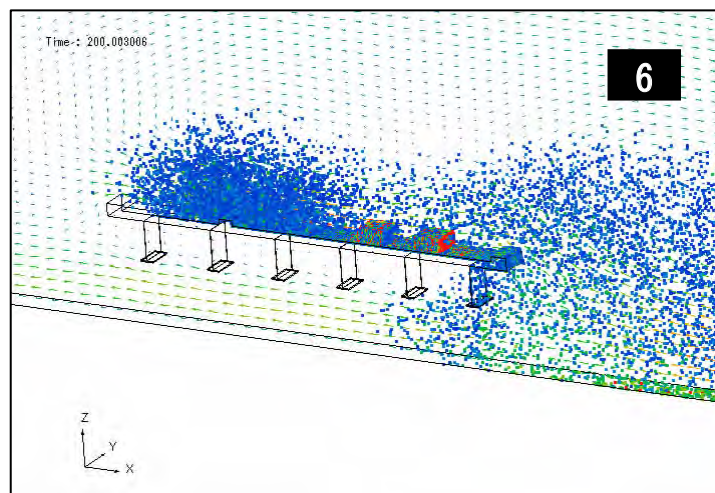
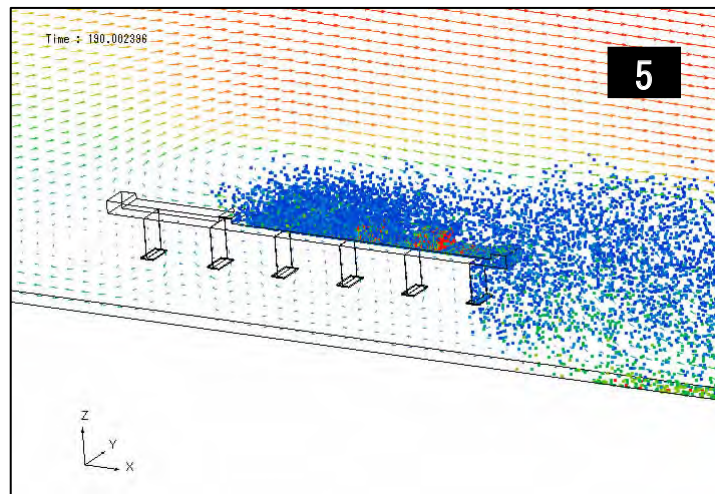
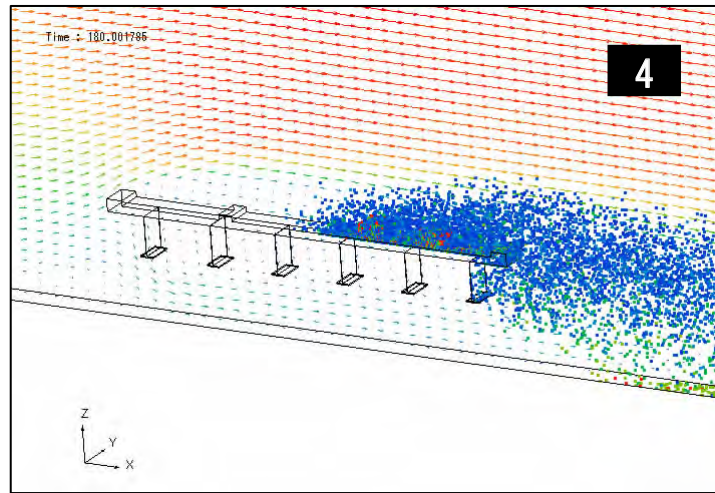


図 4.3.20 付着塩分量の算出位置



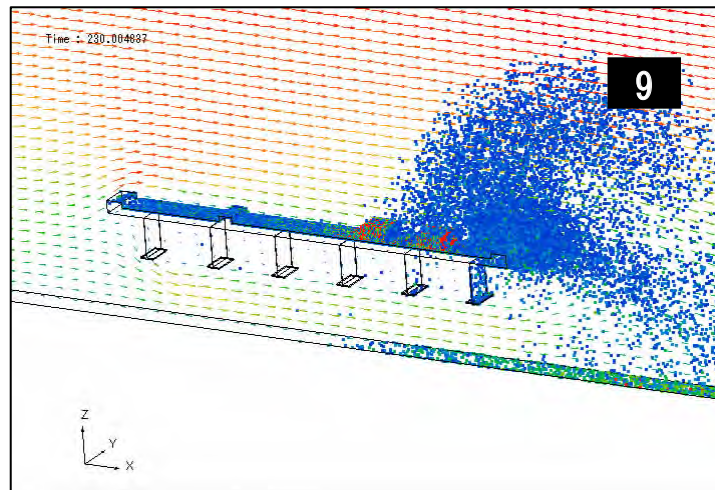
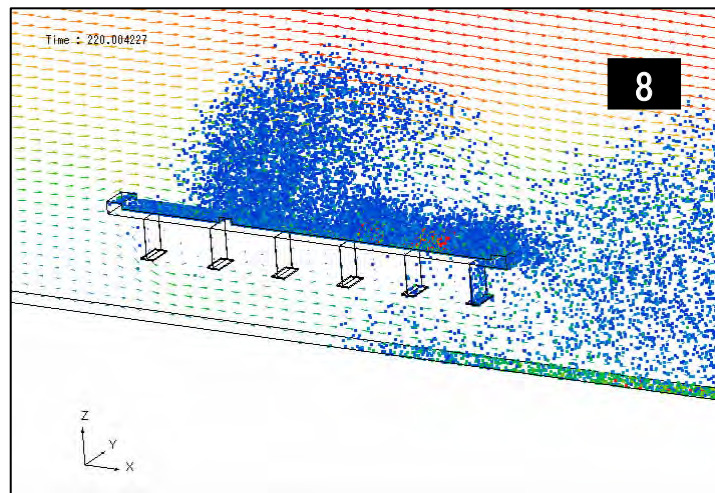
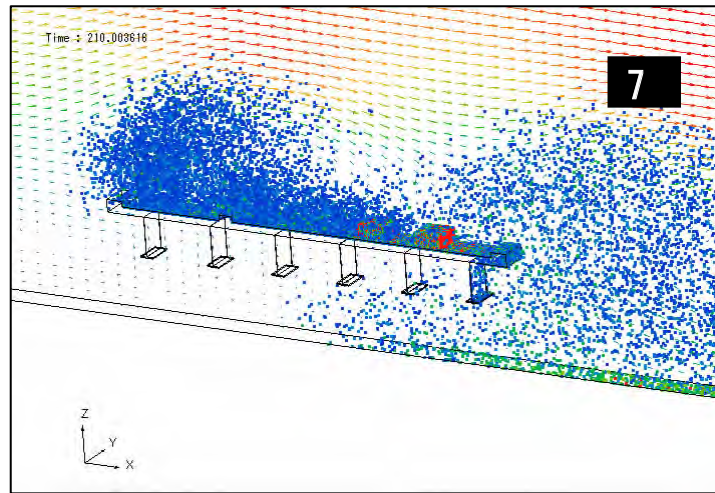
※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.21 塩分粒子の飛散過程（桁高 1.5m）（1）



※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.21 塩分粒子の飛散過程（桁高 1.5m）（2）



※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.21 塩分粒子の飛散過程（桁高 1.5m）（3）

③ 張出し長の違いによる塩分付着状況

張出し長の違いによる桁空間の塩分付着量の傾向を把握するため、図 4.3.22 に示す様に張出し長が $L=0.7\text{m}$ の橋 C モデルで解析を実施する。

それ以外の解析条件は、橋 A モデルの解析条件と同様である。

解析した桁下への塩分粒子の付着量を表 4.3.8 に示す。図 4.3.23 には付着塩分量を算出した位置を示している。

なお、塩分粒子の飛散状況を図 4.3.24 に示す。図中の 1～9 は飛散の経過を示している。

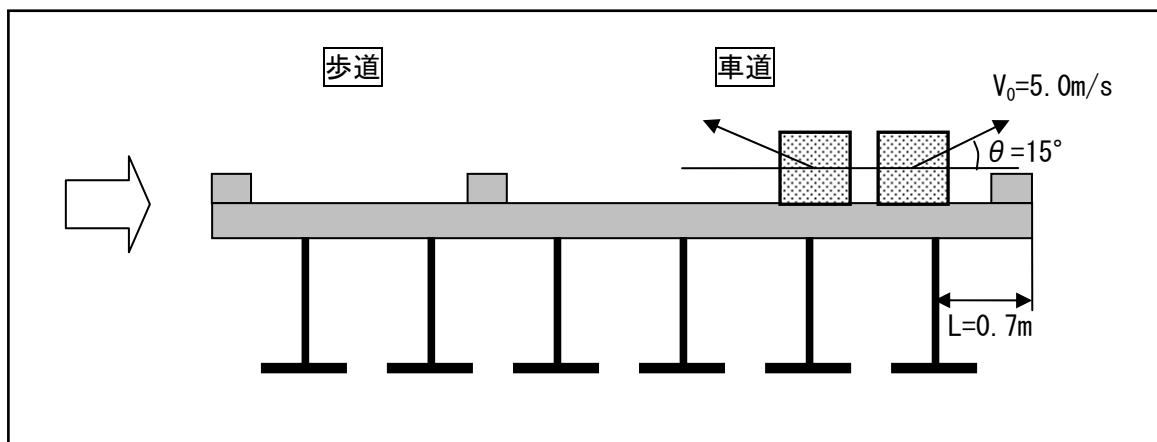


図 4.3.22 張出し長が異なる解析橋モデル (橋 C モデル)

表 4.3.8 を見ると、張出し長 0.7m (橋 C モデル) も、内桁より外桁の外側ウェブ及びフランジの付着塩分量が極めて多く、同じ主桁内では下フランジ周辺に多く付着しており、桁高 2.5m (橋 A モデル) と傾向は同様である。全体的な付着塩分量は張出し長 1.5m (橋 A モデル) の場合よりも多くなっている。特に、外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が多くなっている。

張出し長 1.5m (橋 A モデル) と張出し長 0.7m (橋 C モデル) の相違点は、1)外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が多く、2)内桁への付着塩分量が少なくなることである。

外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が多くなる原因は、張出し長 0.7m と短くなったことで、路外に飛散した塩分粒子と外桁の外側との移動距離が短くなったことで、外桁の外側に付着しやすくなったためと考えられる。また、内桁への付着塩分量が少なく傾向は、外桁の外側ウェブ及びフランジへの付着塩分量が多くなるため、内桁へ回り込む粒子が少なくなったことが原因と推測される。

表 4.3.8 張出し長の違いによる付着塩分量比較

No.	外桁		No.	内桁	
	張出し長 1.5m ($\times 10^{-7}/\text{m}^2$)	張出し長 0.7m ($\times 10^{-7}/\text{m}^2$)		張出し長 1.5m ($\times 10^{-7}/\text{m}^2$)	張出し長 0.7m ($\times 10^{-7}/\text{m}^2$)
1	2439	5857	8	11	0
2	2038	5711	9	10	2
3	6805	22068	10	21	0
4	65	16	11	31	8
5	78	41	12	36	15
6	19	18	13	3	2
7	3	9	14	7	1

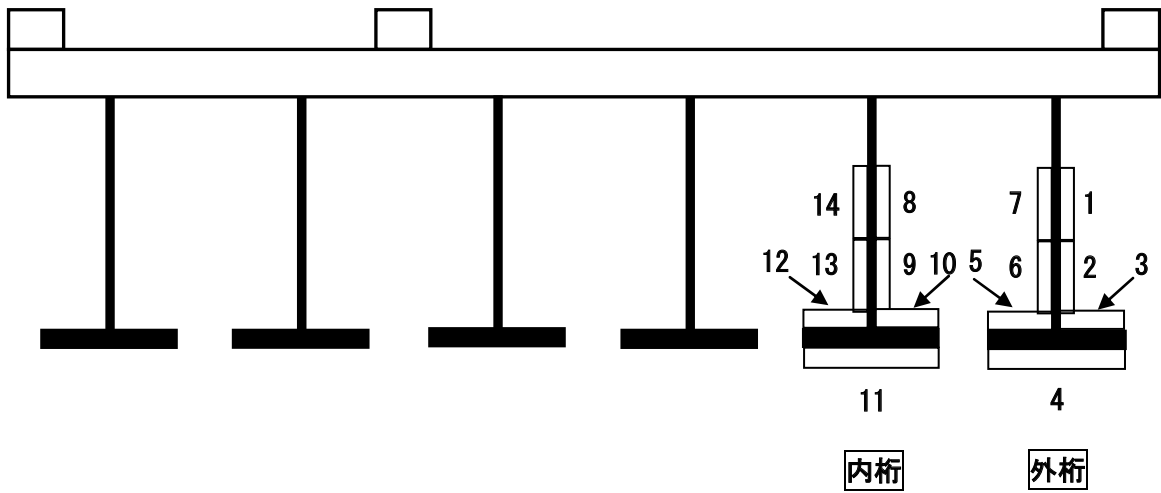
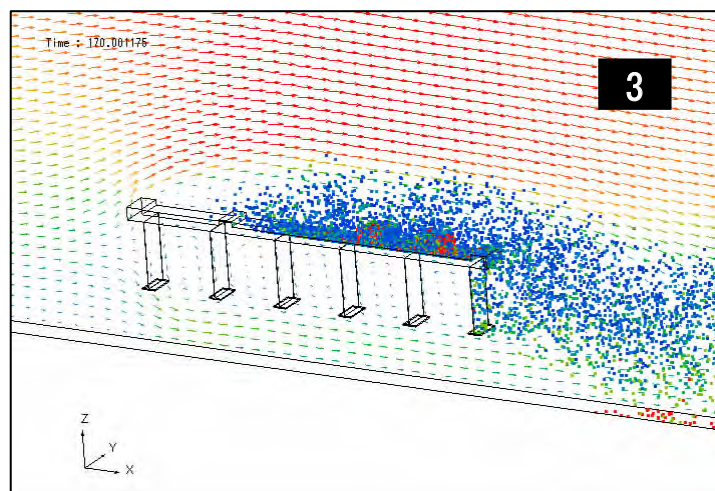
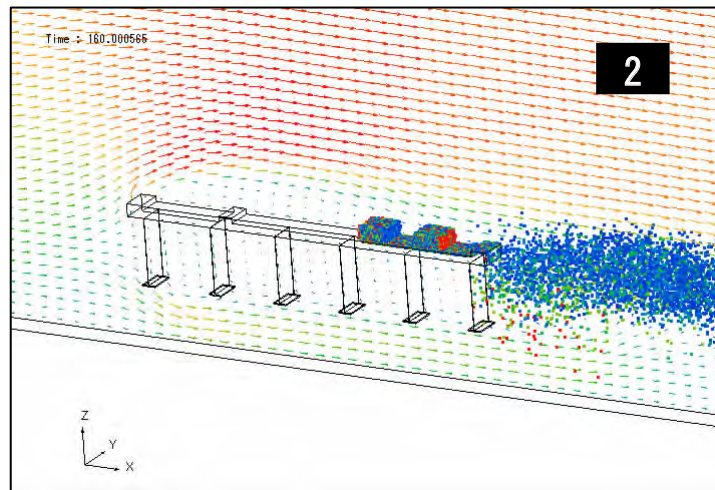
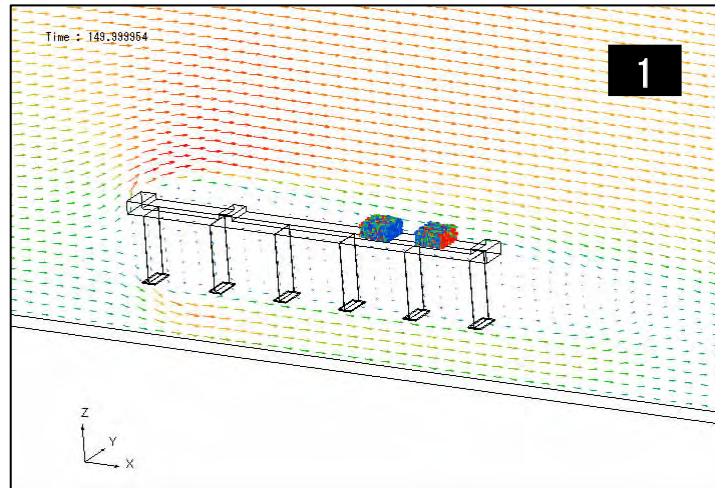
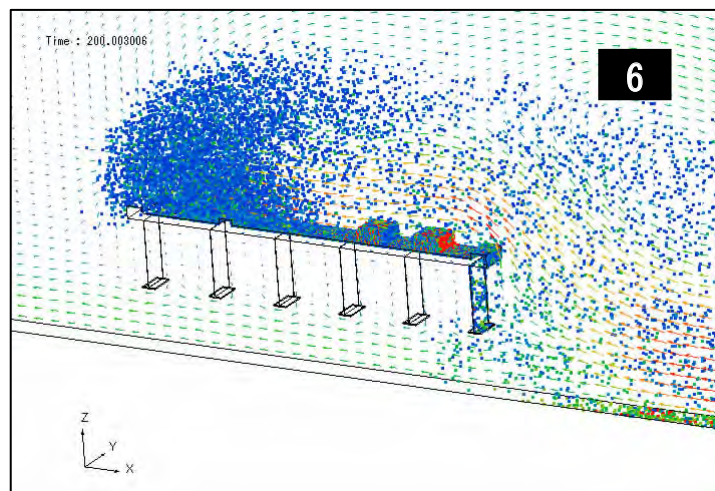
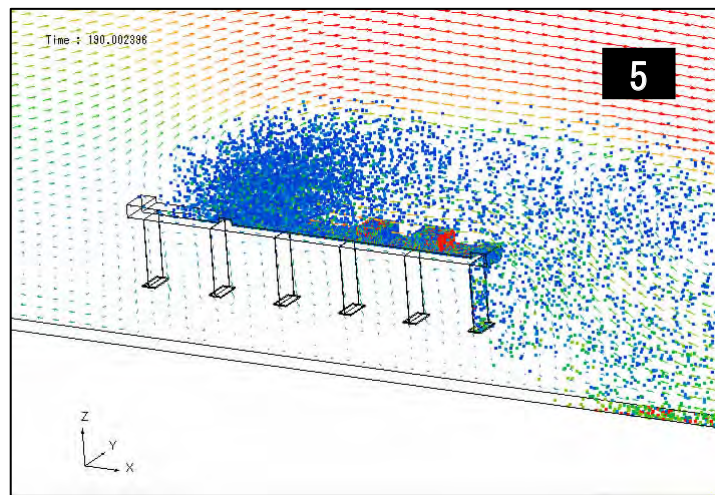
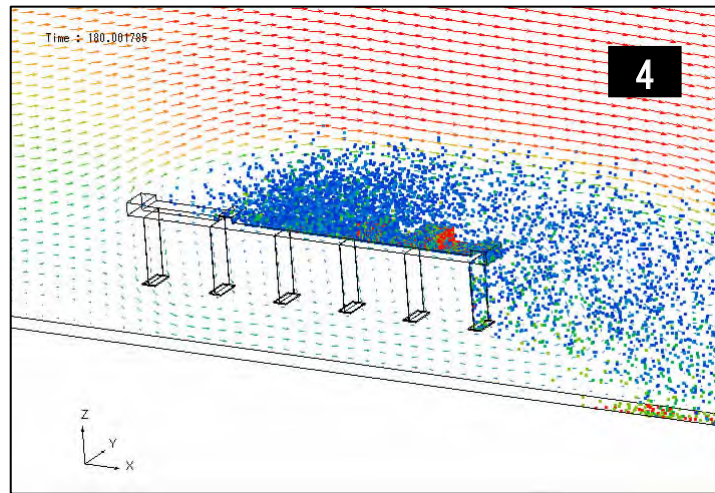


図 4.3.23 付着塩分量の算出位置



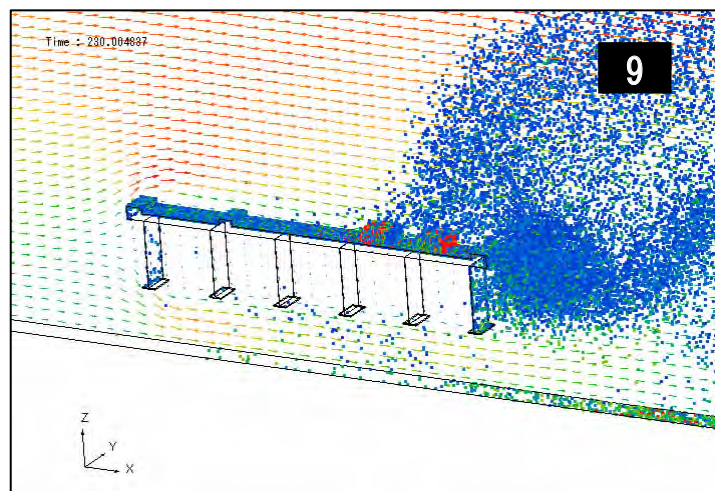
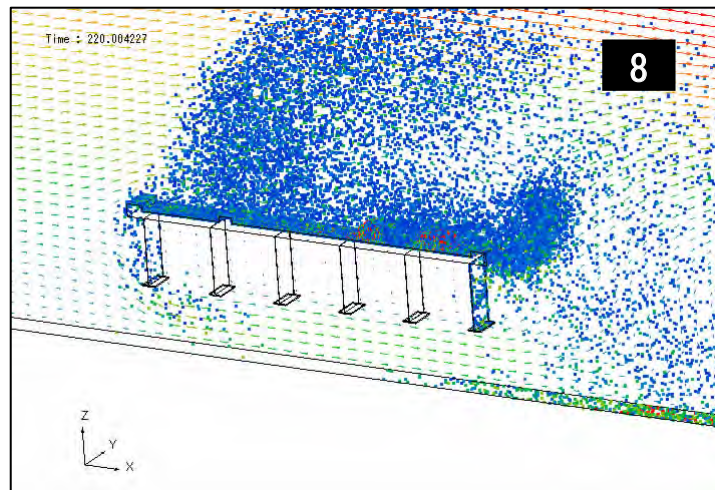
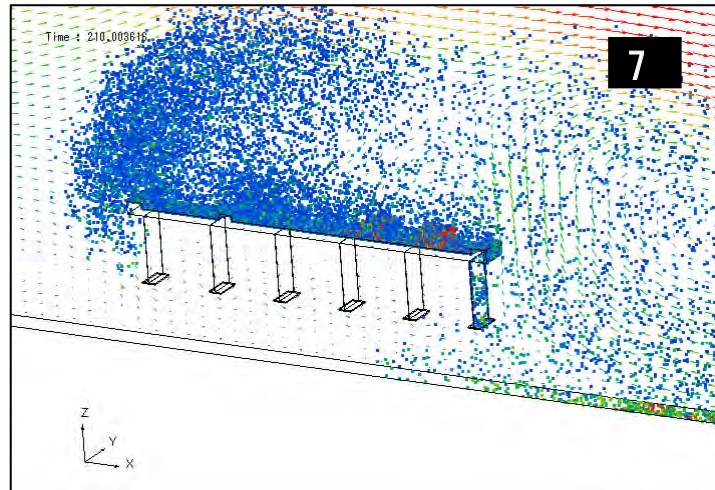
※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.24 塩分粒子の飛散過程（張出し長 $L=0.7\text{m}$ ）(1)



※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.24 塩分粒子の飛散過程（張出し長 $L=0.7\text{m}$ ）(2)



※赤色：粒径大、青色：粒径小を表す。

図 4.3.24 塩分粒子の飛散過程（張出し長 $L=0.7\text{m}$ ）(3)

4.4 地山近接橋モデルによる解析

(1) 解析概要

図 4.4.1 に示す地山近接の条件下にある橋において、吹き上げ風及び吹き降ろし風の風環境下における凍結防止剤の路外飛散する際の挙動を二次元解析し、飛散した凍結防止剤の桁空間への付着状況を定性的に評価する。

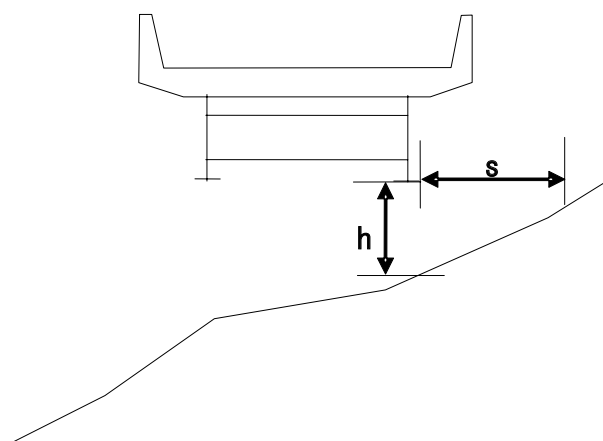


図 4.4.1 地山近接の対象橋

(2) 解析モデル

橋モデルは図 4.4.2 のモデルを用い、地山近接の状況は東高速道路株式会社らの設計要領^{4.6)}にある“保護性さびの形成に影響の可能性がある範囲”を参考とし、地山斜面と橋の離隔距離として、橋の山側に位置する下フランジの斜面距離(s)=5m 及び桁下高さ(h)=2m を設定する。

[保護性さびの形成に影響の可能性がある範囲]
・斜面距離 (s) < 5m, けた下高さ (h) < 2m

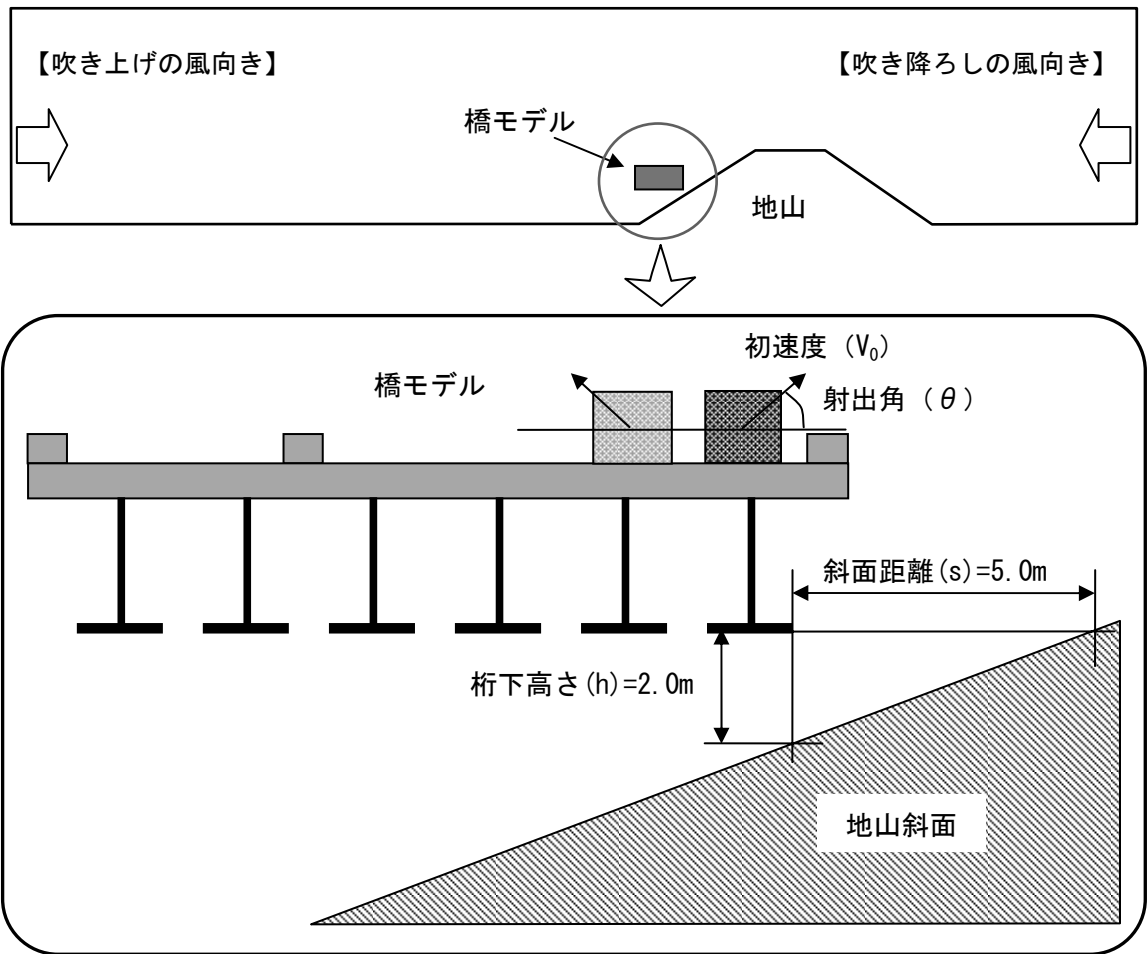


図 4.4.2 地山近接モデル

(3) 斜面吹き上げ風の解析

図 4.4.2 に示す地山斜面を吹き上げる風環境下における凍結防止剤の飛散状況について解析を実施する。

① 解析条件

解析に用いた風速条件は表 4.4.1 のとおりである。

表 4.4.1 斜面吹き上げの計算ケースと風速条件

計算ケース	風速条件	備考
Case1	固定風速 : $U=1.3\text{m/s}$	
Case2	変動風速 : $U=0.3\text{m/s}\sim 2.3\text{m/s}$	

② 解析結果

Case1 と Case2 の桁下空間への塩分付着量を表 4.4.2、表 4.4.3 にそれぞれ示し、桁下の各部位 (P1~P6) 全体の塩分付着量を図 4.4.4、図 4.4.5 にそれぞれ棒グラフで表す。数値は単位面積あたりの塩分付着量を表し、発生させた塩分の総質量に対する比で表している。

図 4.4.6、図 4.4.7 に斜面吹き上げ風 (Case1, Case2) の粒子の飛散状況図をそれぞれ示す。

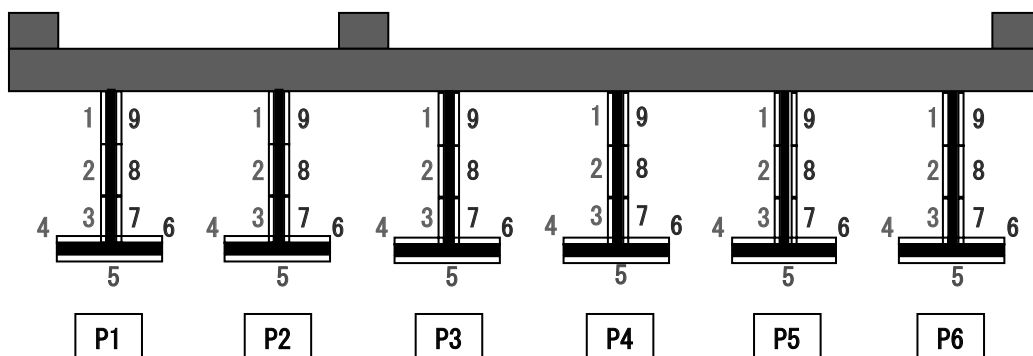


図 4.4.3 桁下空間の位置番号

表 4.4.2 Case1 の桁下空間への塩分付着量 (固定風速)

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1						
2						
3						
4						
5						
6						6.03E-04
7						8.25E-05
8						6.51E-05
9						7.01E-05
全体						5.50E-05

(単位 : 1/m²)

表 4.4.3 Case2 の桁下空間への塩分付着量 (変動風速)

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	1.88E-07					
2	1.12E-06					4.63E-08
3	2.34E-06					1.67E-08
4	1.80E-05		1.50E-08			
5		2.32E-09				
6						7.26E-04
7					4.71E-10	1.84E-04
8					4.63E-08	1.89E-04
9						8.07E-05
全体	1.23E-06	1.95E-10	6.18E-10		6.28E-09	9.16E-05

(単位 : 1/m²)

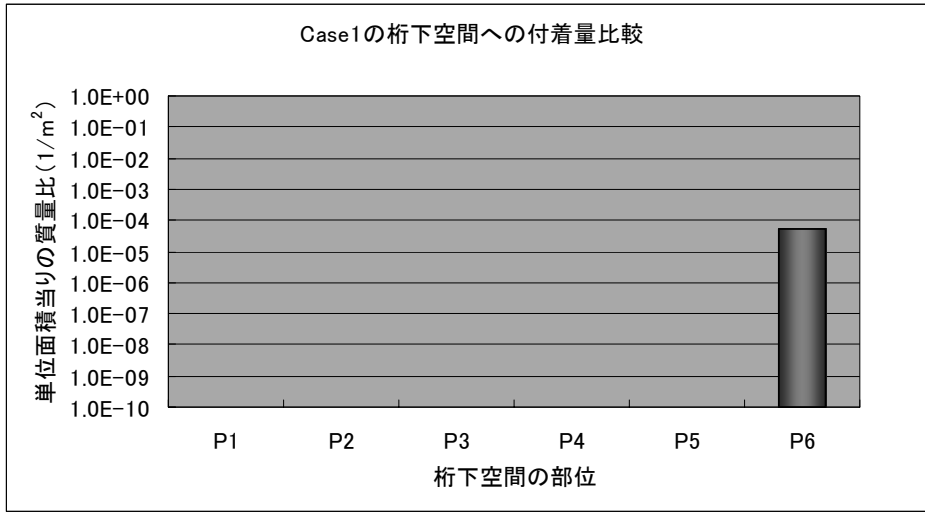


図 4. 4. 4 Case1 における各部位の塩分付着量 (固定風速)

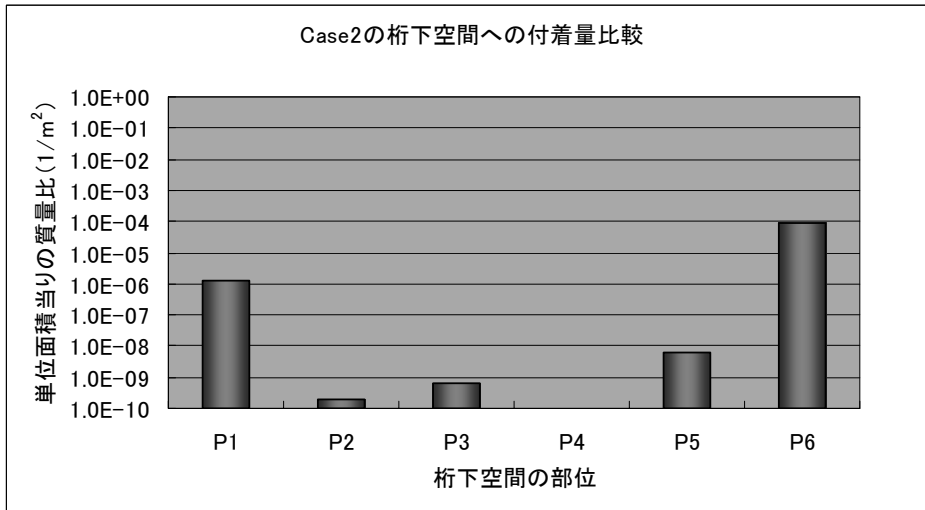


図 4. 4. 5 Case2 における各部位の塩分付着量 (変動風速)

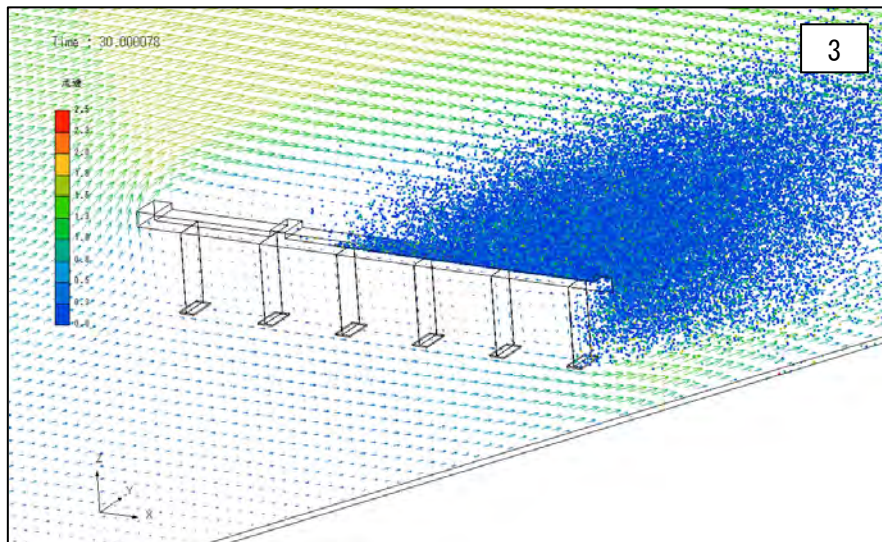
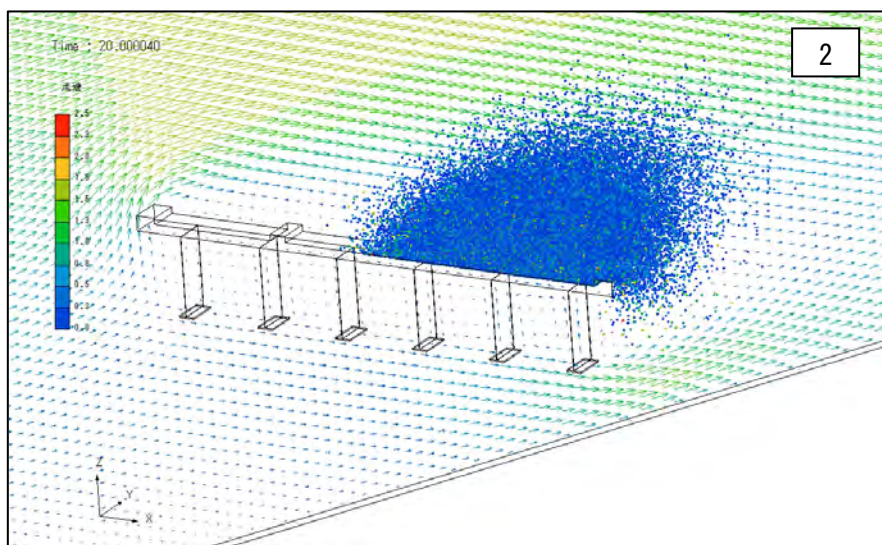
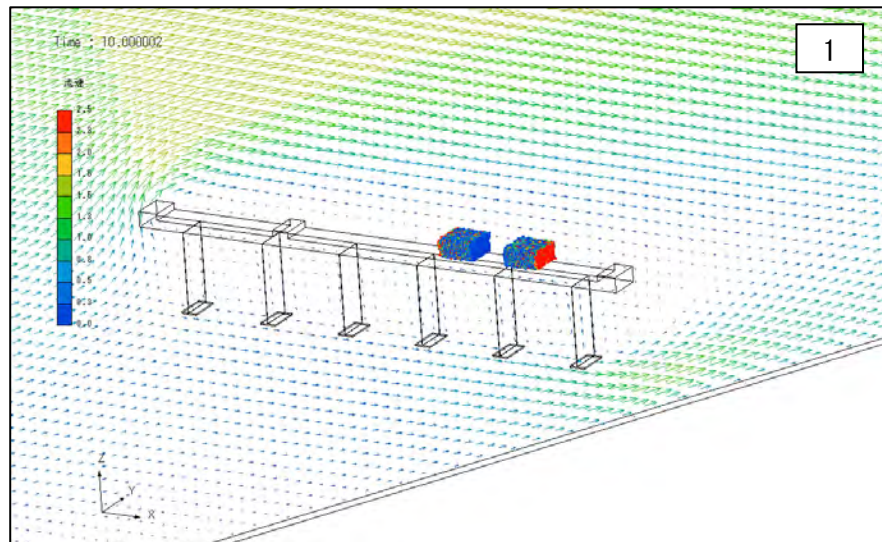


図 4.4.6 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case1, 固定風速) (1)

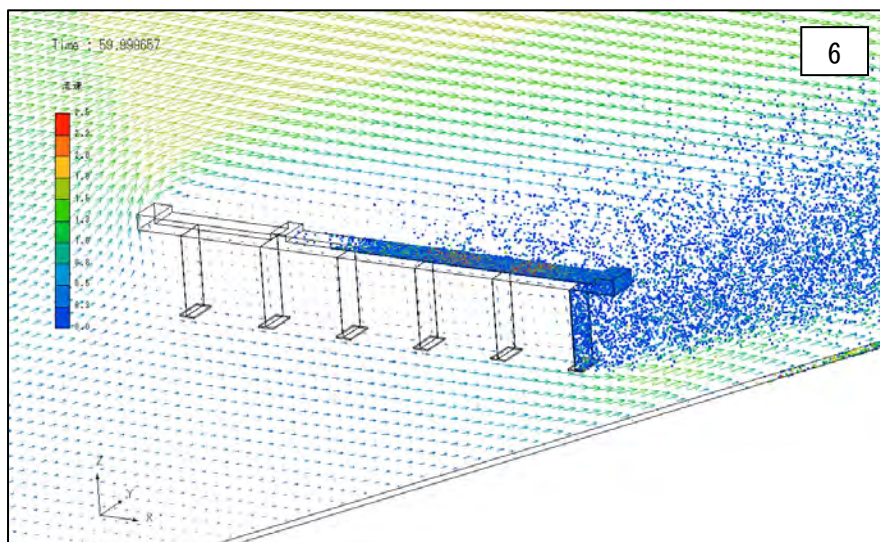
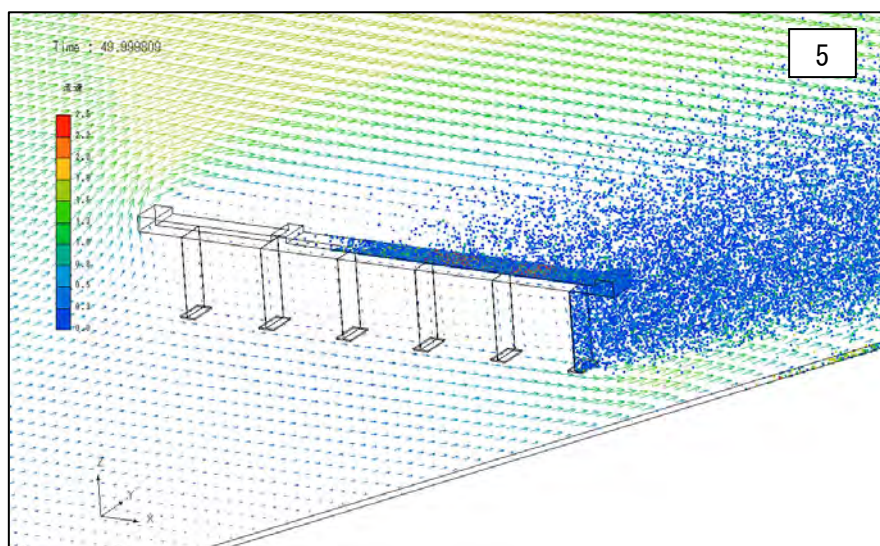
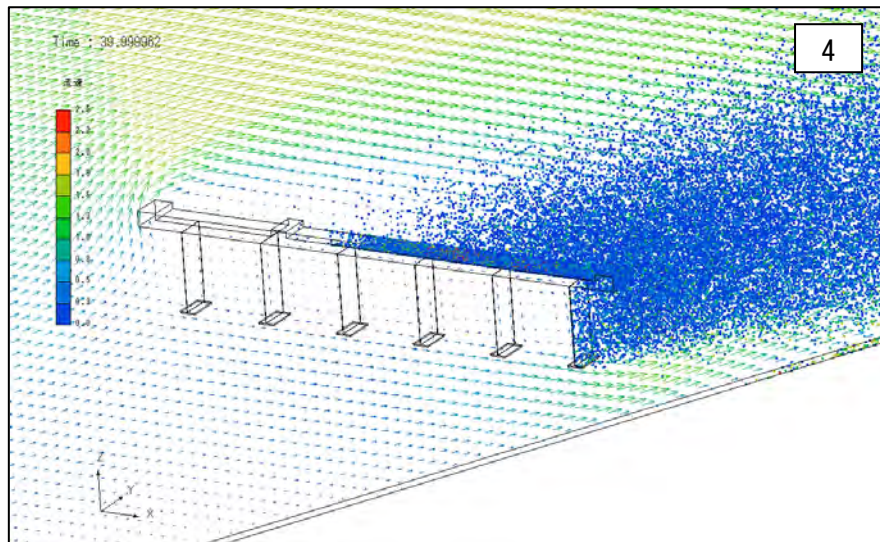
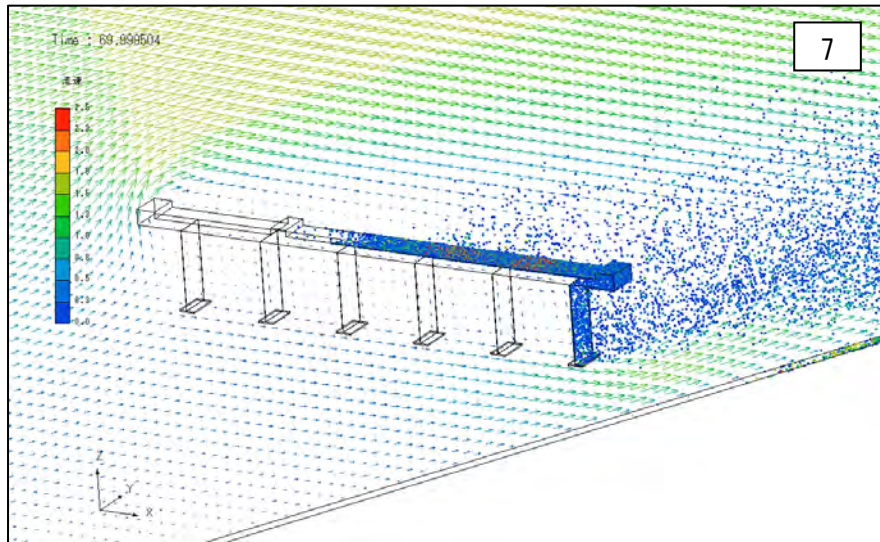
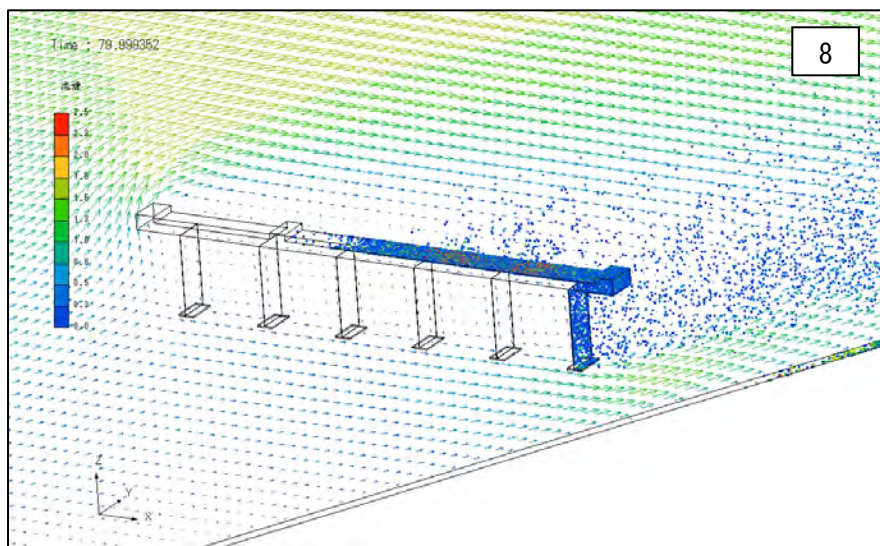


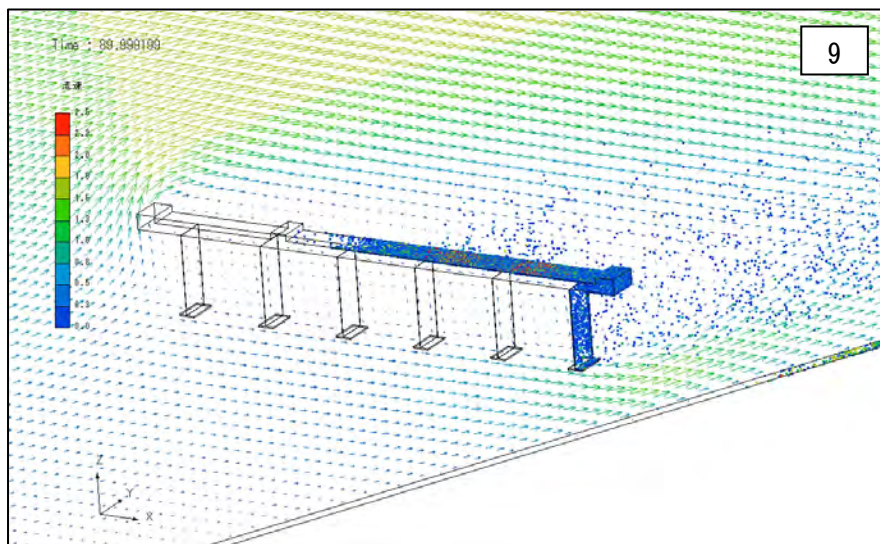
図 4.4.6 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case1, 固定風速) (2)



7



8



9

図 4.4.6 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case1, 固定風速) (3)

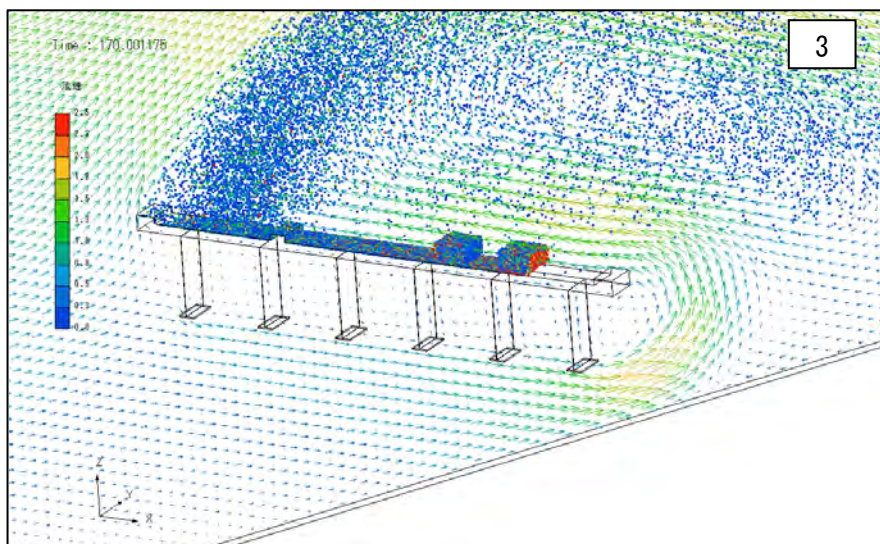
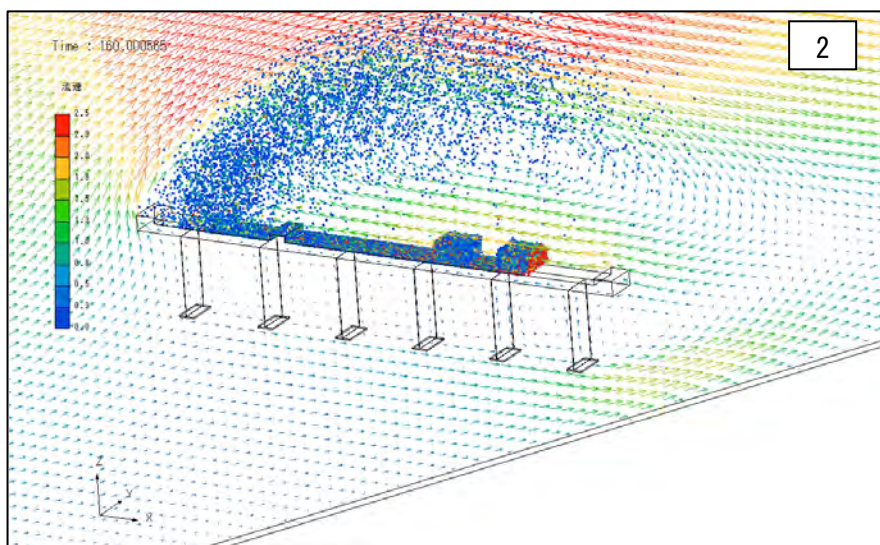
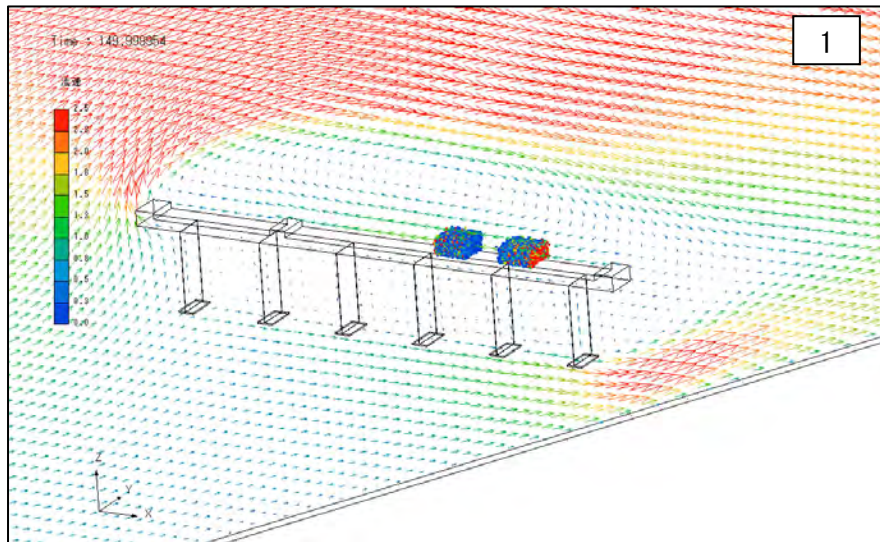


図 4.4.7(1) 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (1)

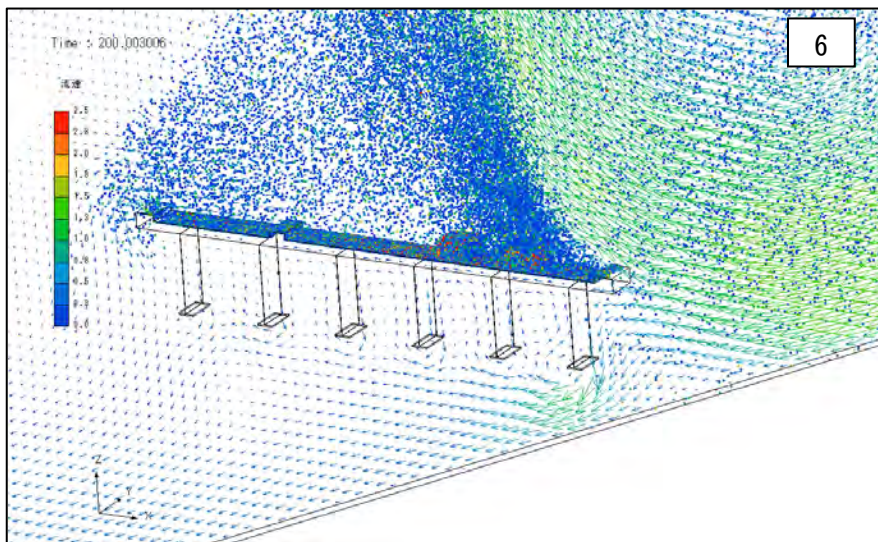
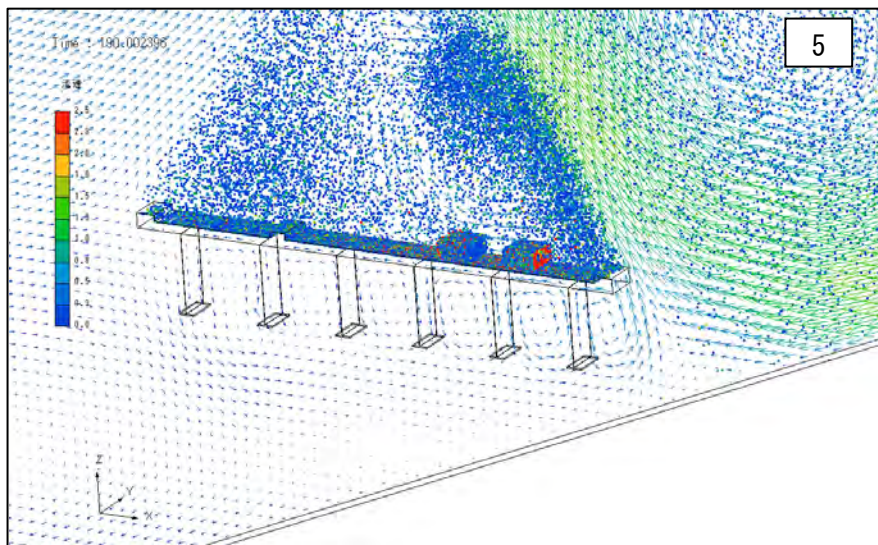
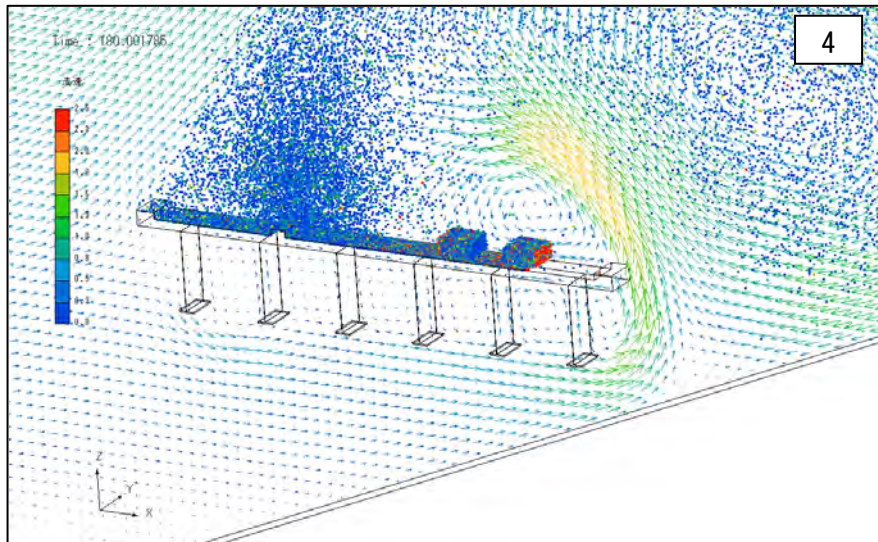
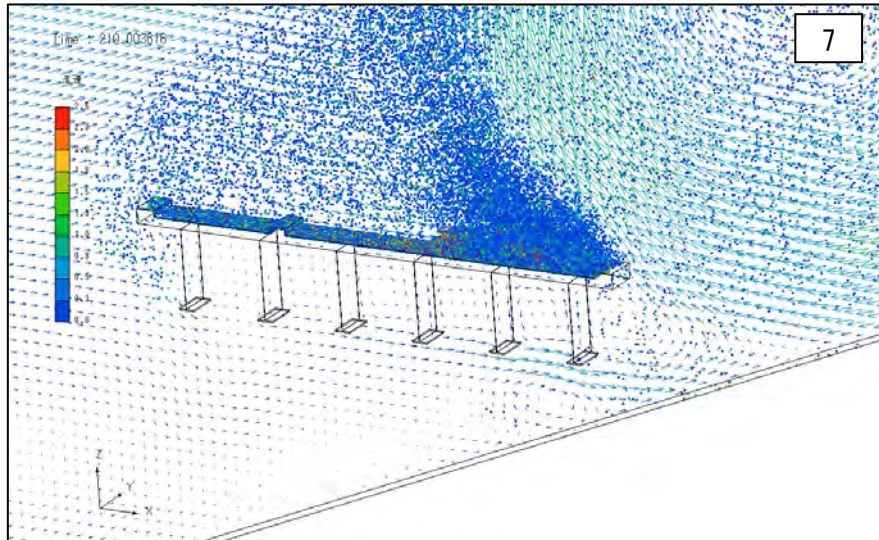
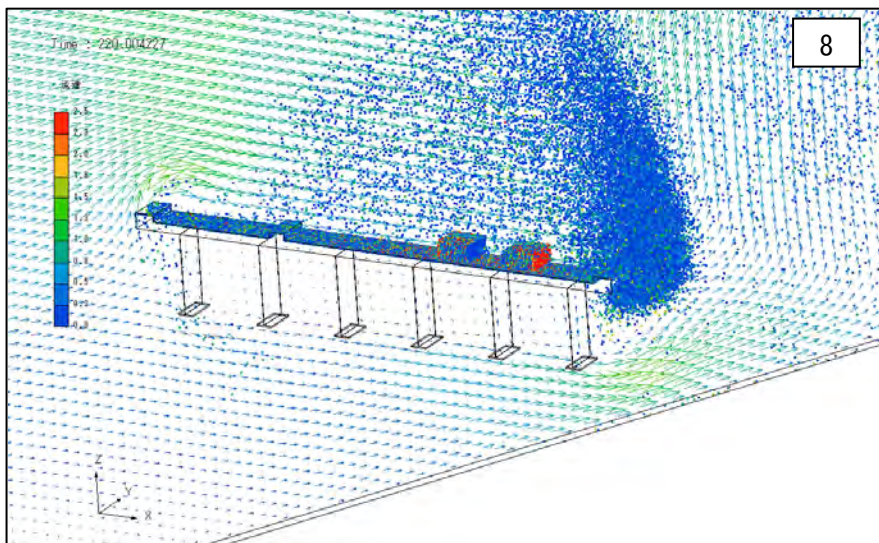


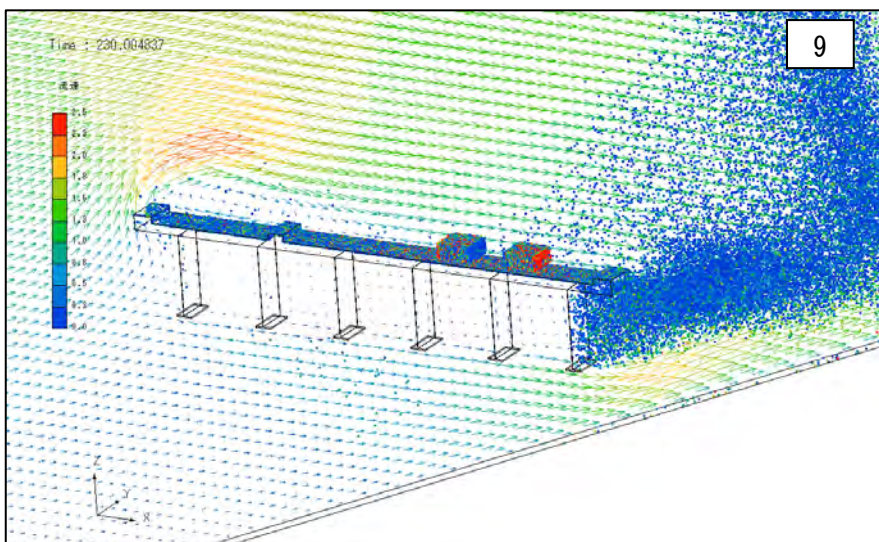
図 4.4.7(1) 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (2)



7



8



9

図 4.4.7(1) 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (3)

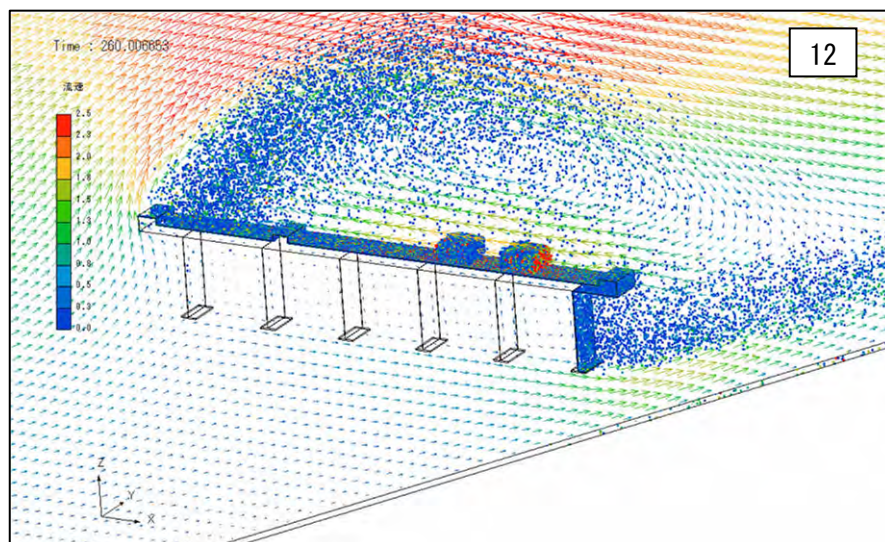
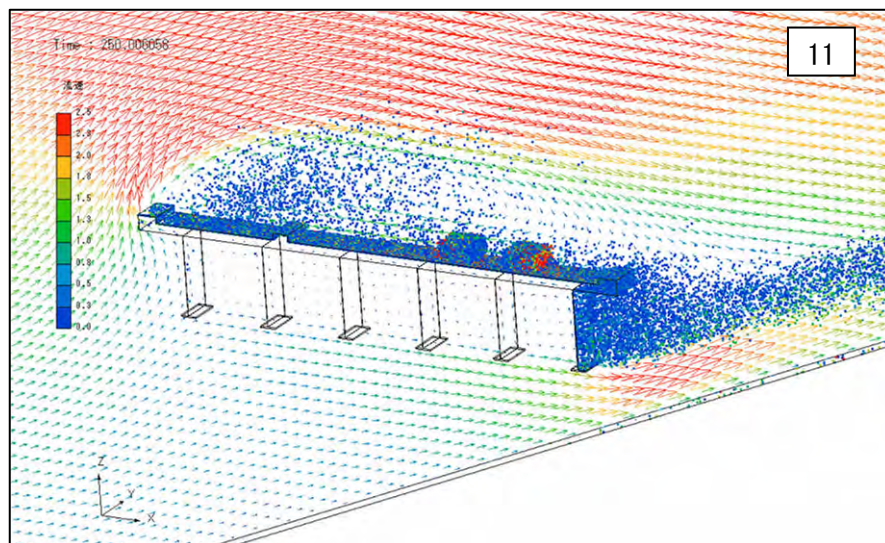
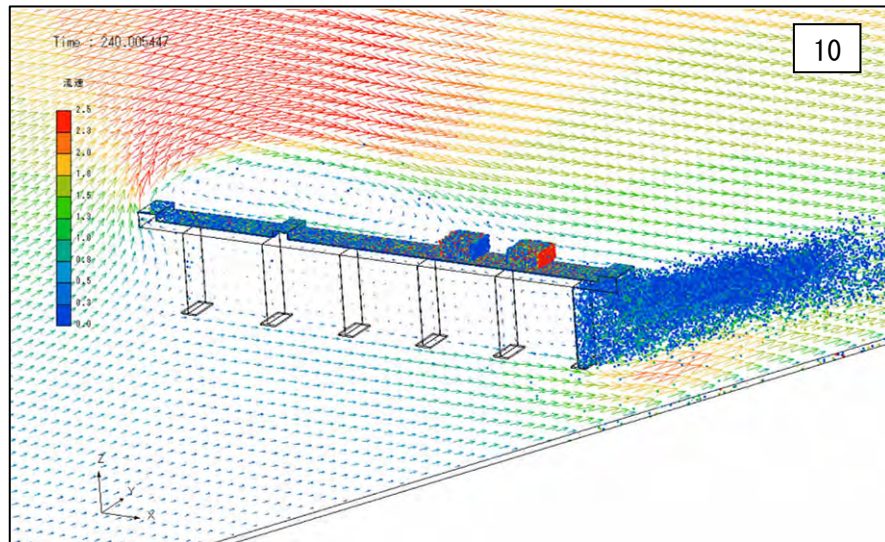


図 4.4.7(2) 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (1)

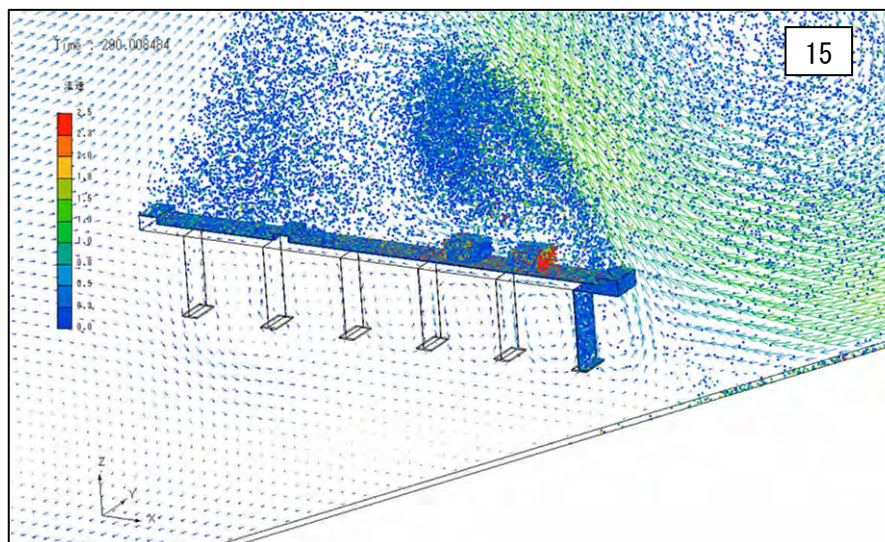
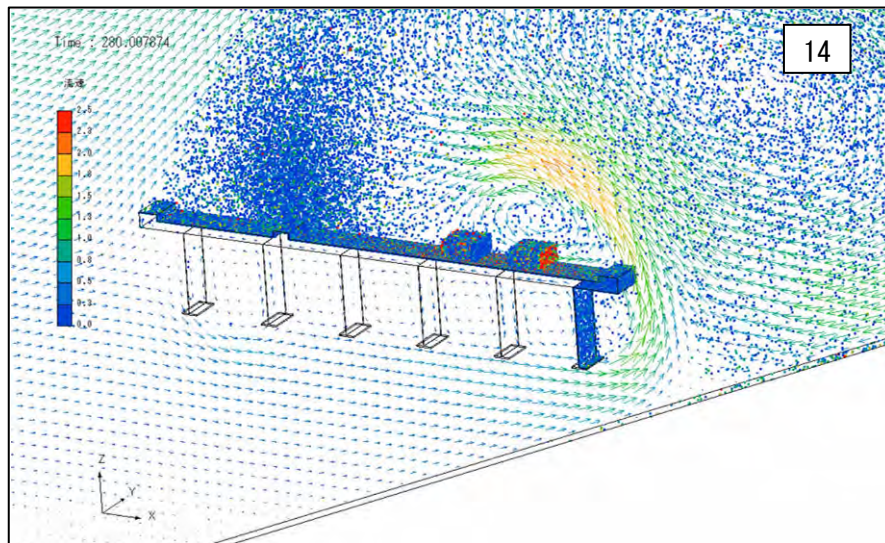
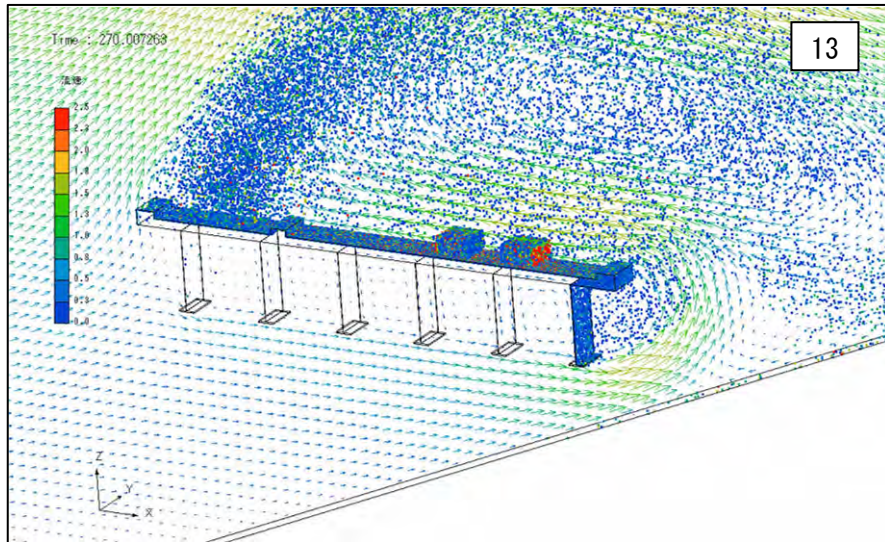


図 4.4.7(2) 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (2)

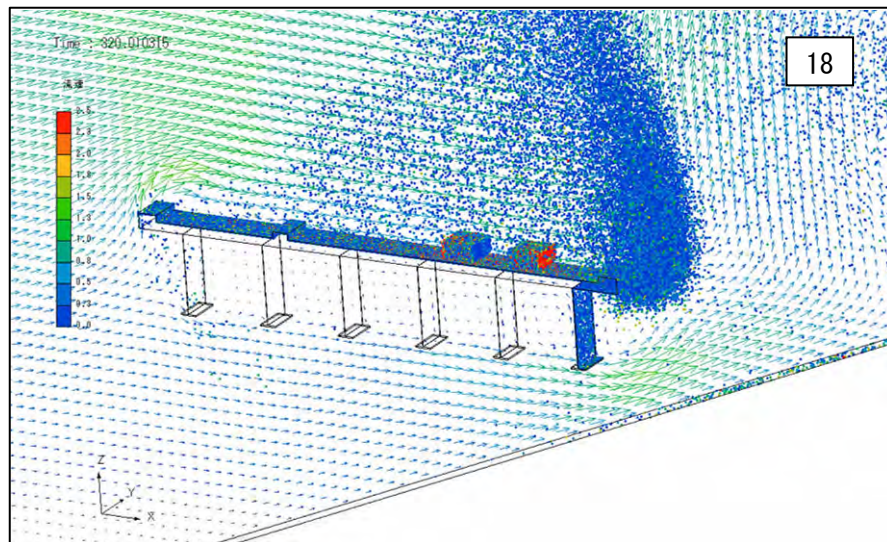
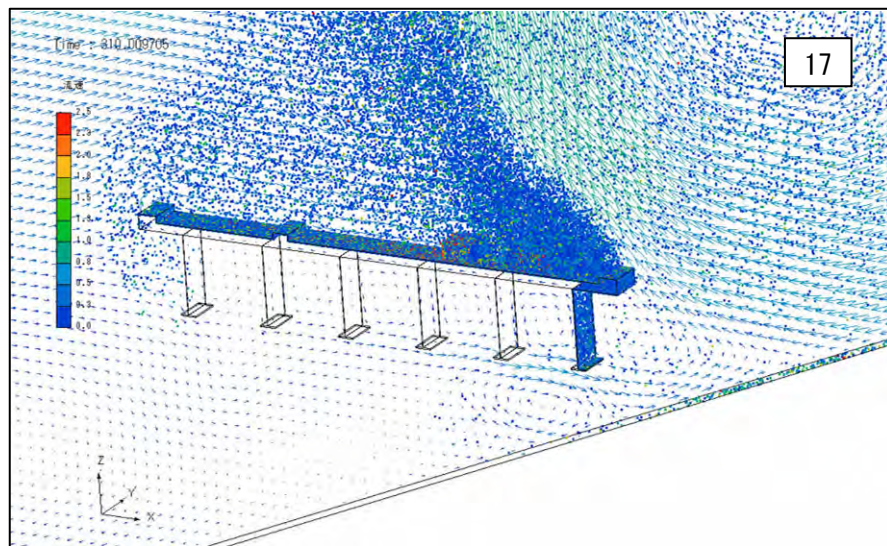
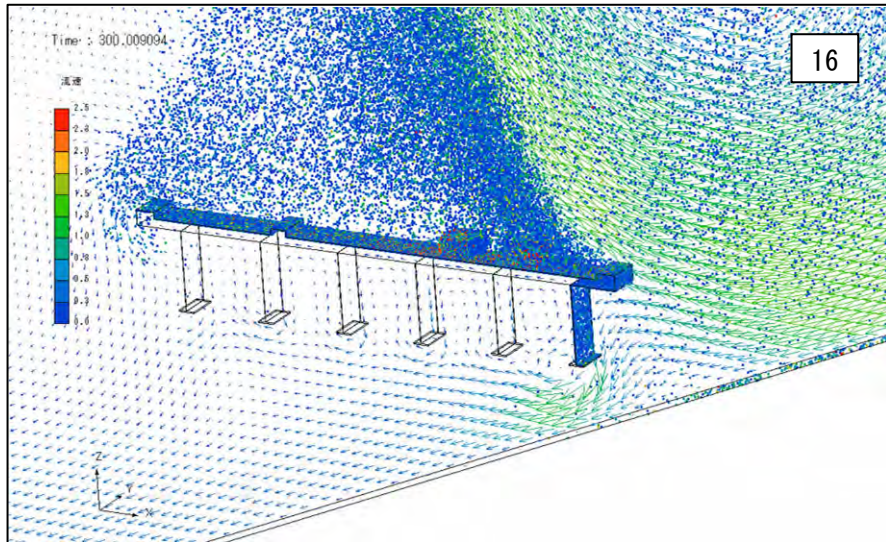


図 4.4.7(2) 斜面吹き上げの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (3)

(4) 斜面吹き降ろし風の解析

図 4.4.2 に示す地山から吹き降ろす風環境下における凍結防止剤の飛散状況について解析を実施する。

① 解析条件

解析に用いた風速条件は表 4.4.4 のとおりである。

表 4.4.4 斜面吹き降ろしの計算ケースと風速条件

計算ケース	風速条件	備考
Case1	固定風速 : $U=1.3\text{m/s}$	
Case2	変動風速 : $U=0.3\text{m/s}\sim 2.3\text{m/s}$	

② 解析結果

Case1 と Case2 の桁下空間への塩分付着量を表 4.4.5、表 4.4.6 にそれぞれ示し、桁下の各部位 (P1~P6) 全体の塩分付着量を図 4.4.9、図 4.4.10 に棒グラフでそれぞれ表す。数値は単位面積あたりの塩分付着量を表し、発生させた塩分の総質量に対する比で表している。

図 4.4.11、図 4.4.12 に斜面吹き降ろし風 (Case1, Case2) の粒子の飛散状況図をそれぞれ示す。

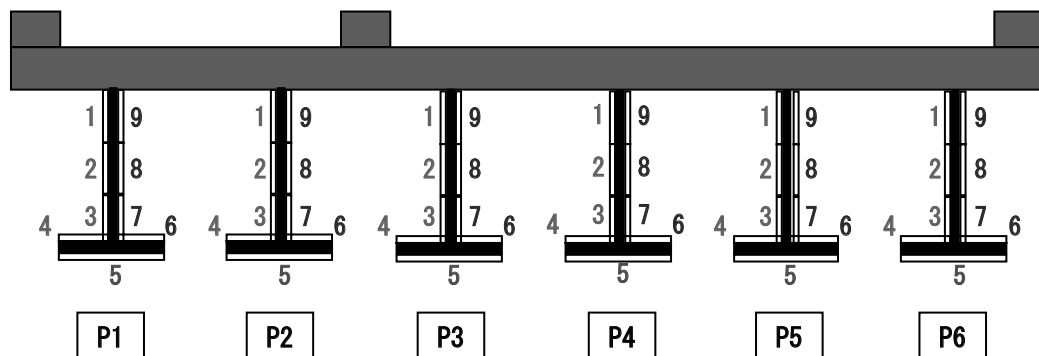


図 4.4.8 桁下空間の位置番号

表 4.4.5 Case1 の桁下空間への塩分付着量（固定風速）

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	9.56E-06					
2	1.09E-05	1.51E-08	1.38E-07		1.37E-09	
3	8.76E-06	5.80E-08				
4	4.51E-06	4.47E-09				
5	1.91E-06	7.55E-08	2.43E-07	6.86E-08		
6						
7						
8	8.71E-08					
9	3.81E-08					
全体	4.42E-06	1.62E-08	3.89E-08	5.76E-09	1.84E-10	

(単位 : 1/m²)

表 4.4.6 Case2 の桁下空間への塩分付着量（変動風速）

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	2.75E-06	6.15E-07	4.72E-07	2.02E-06	2.10E-06	2.52E-06
2	2.66E-06	1.39E-06	3.07E-06	4.41E-06	5.85E-06	1.10E-05
3	4.00E-06	3.43E-06	5.87E-06	4.86E-06	1.15E-05	1.38E-05
4	3.34E-06	3.57E-06	8.41E-06	8.17E-06	1.02E-05	2.96E-05
5	8.05E-06	5.55E-06	1.70E-05	2.90E-05	6.12E-05	2.86E-05
6	2.20E-06	1.11E-06	2.61E-06	7.00E-06	2.83E-05	1.36E-03
7	1.49E-06	2.05E-06	2.48E-06	3.36E-06	1.27E-05	3.75E-04
8	2.74E-07	1.61E-06	1.21E-06	1.26E-06	1.70E-06	4.20E-04
9	5.65E-08	4.10E-07	3.65E-07	1.52E-07	6.04E-07	2.17E-04
全体	2.44E-06	1.94E-06	3.68E-06	5.23E-06	1.13E-05	2.02E-04

(単位 : 1/m²)

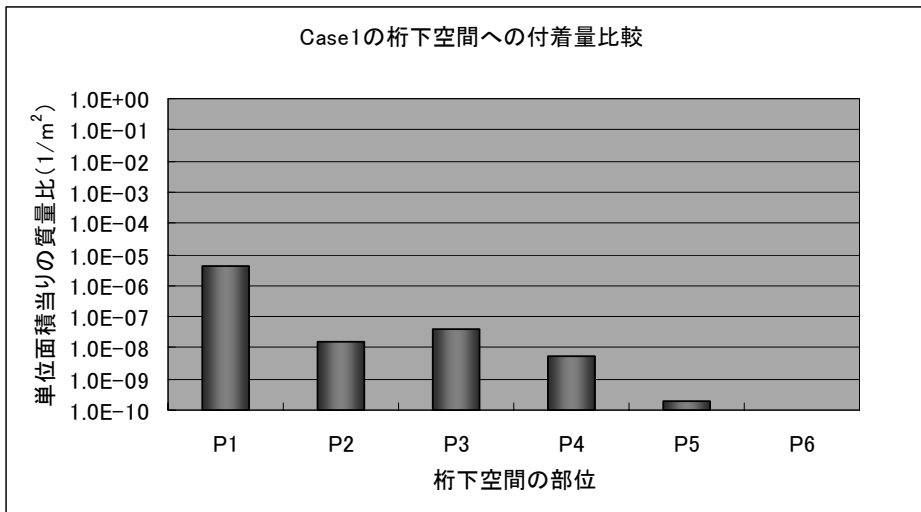


図 4. 4. 9 Case1 における各部位の塩分付着量 (固定風速)

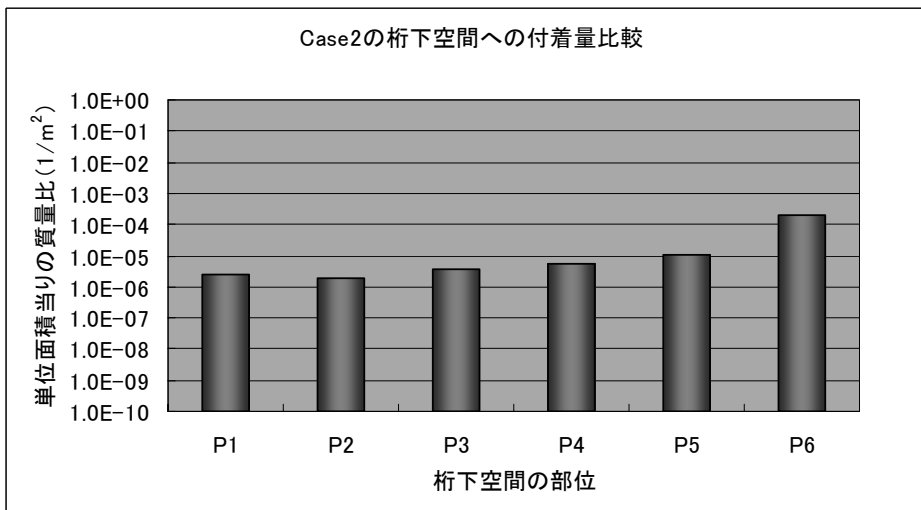


図 4. 4. 10 Case2 における各部位の塩分付着量 (変動風速)

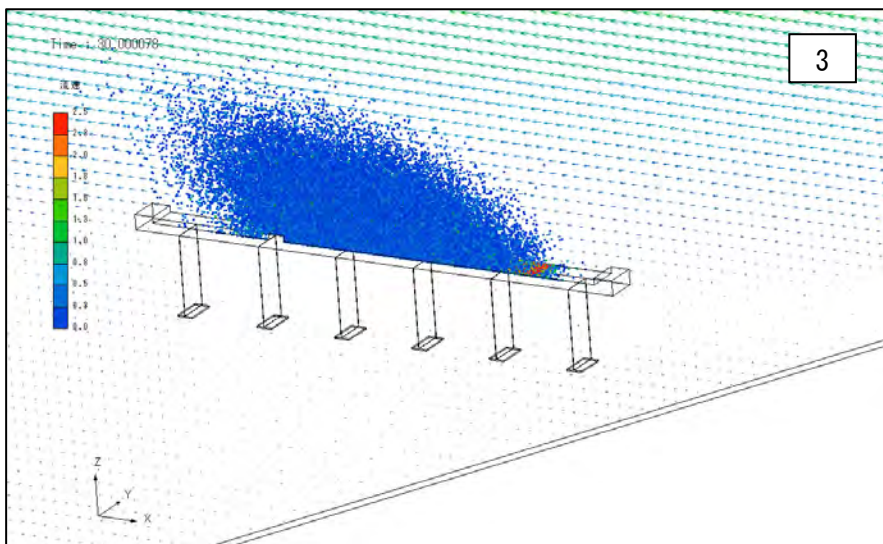
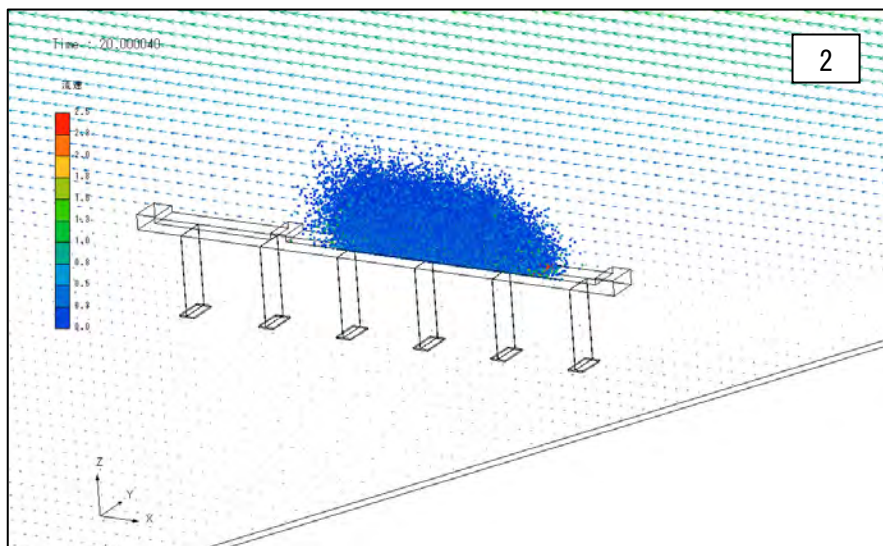
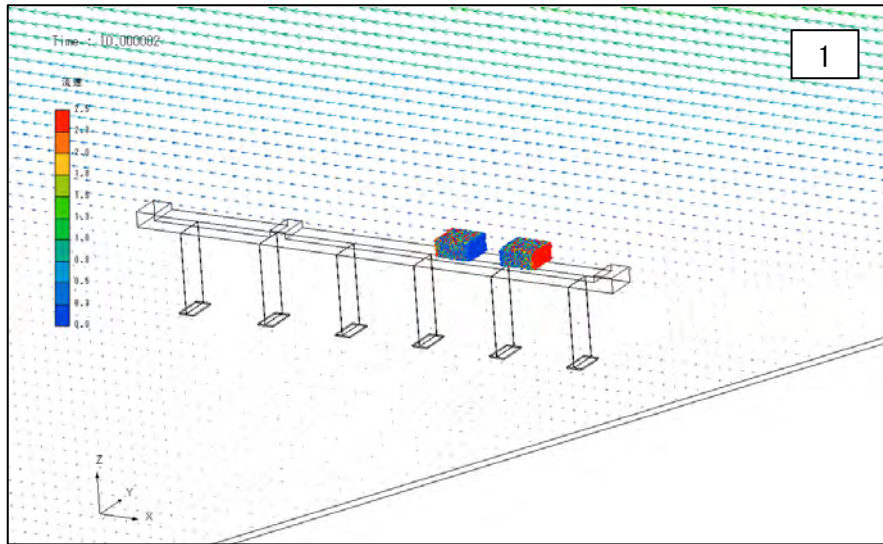


図 4. 4. 11 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case1, 固定風速) (1)

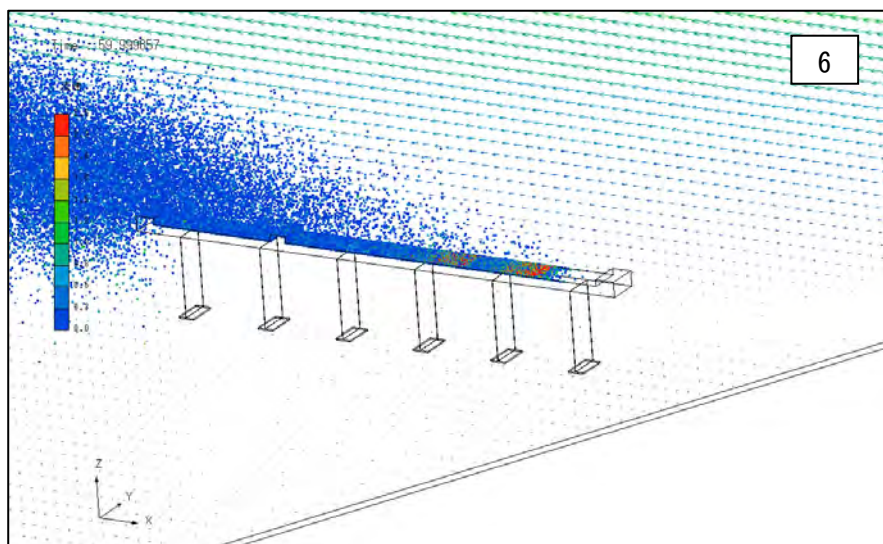
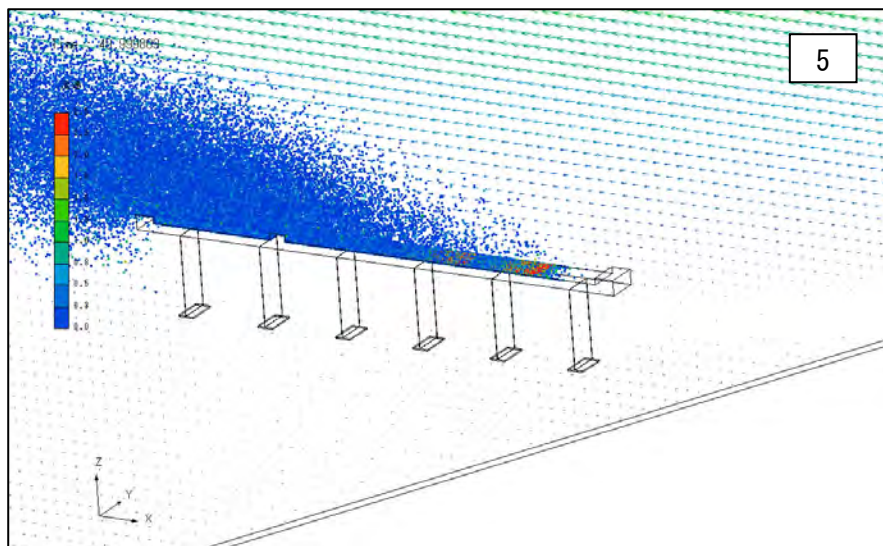
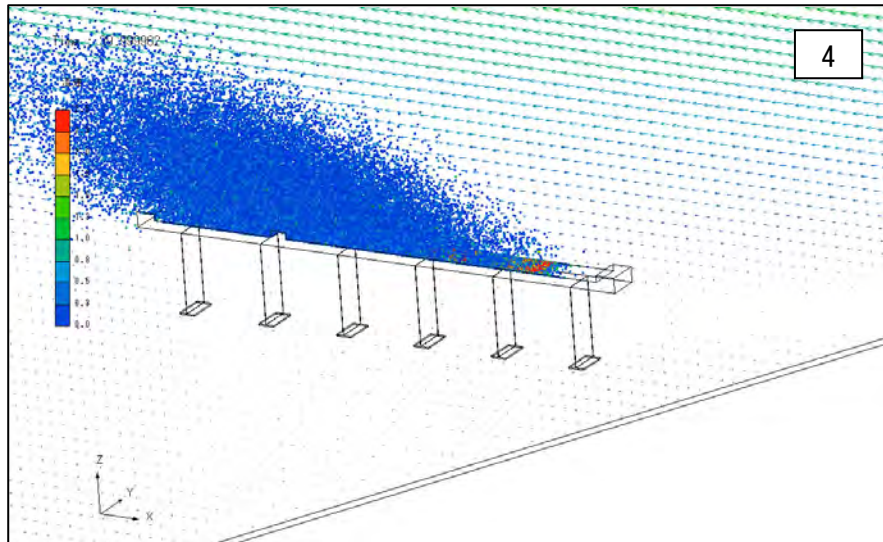
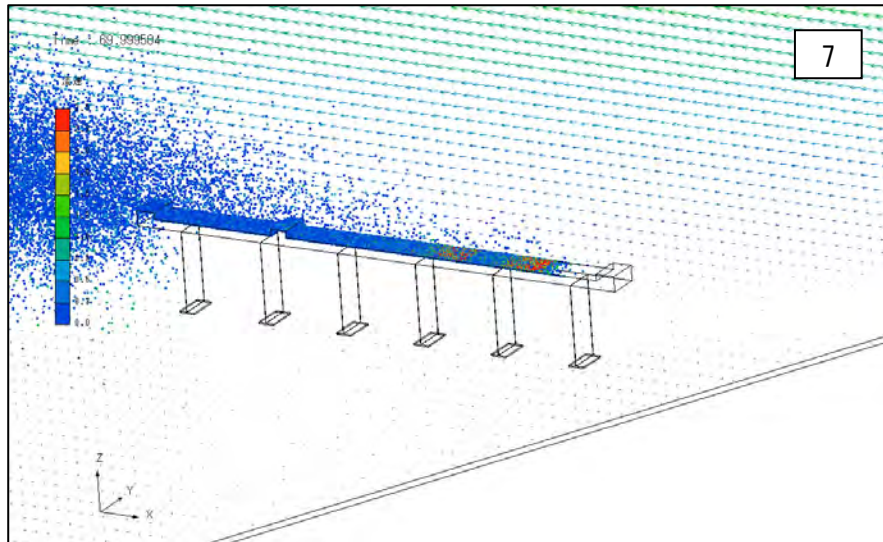
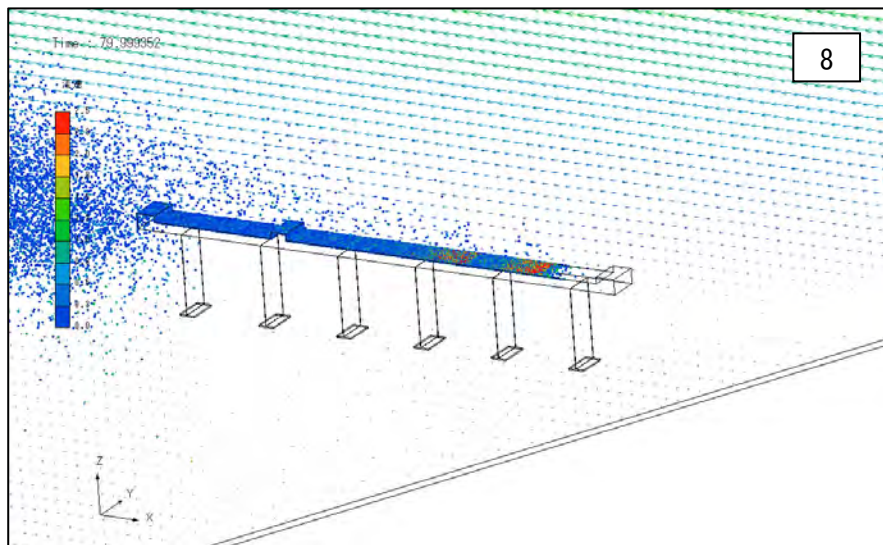


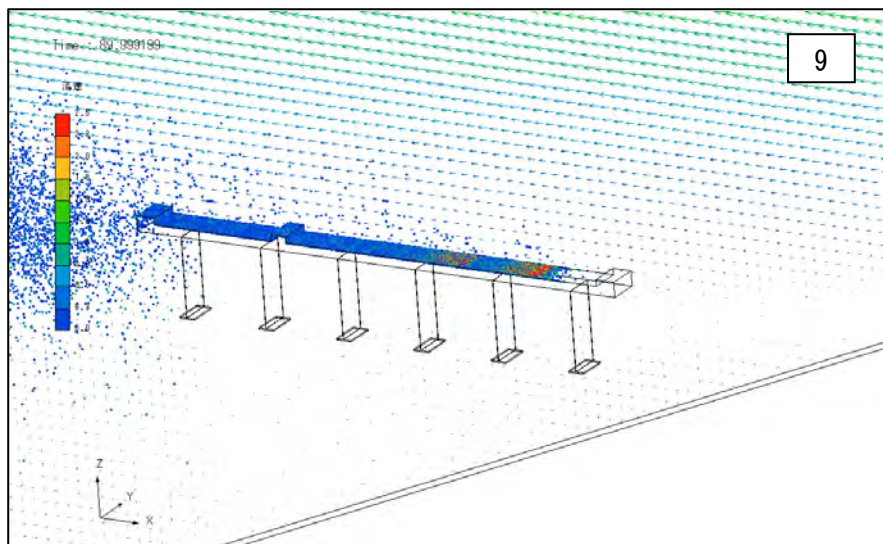
図 4.4.11 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case1, 固定風速) (2)



7



8



9

図 4.4.11 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case1, 固定風速) (3)

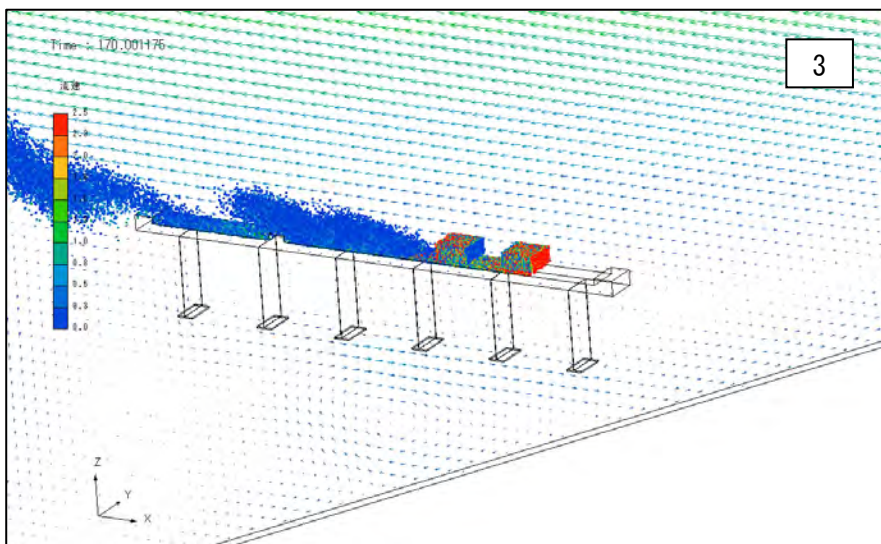
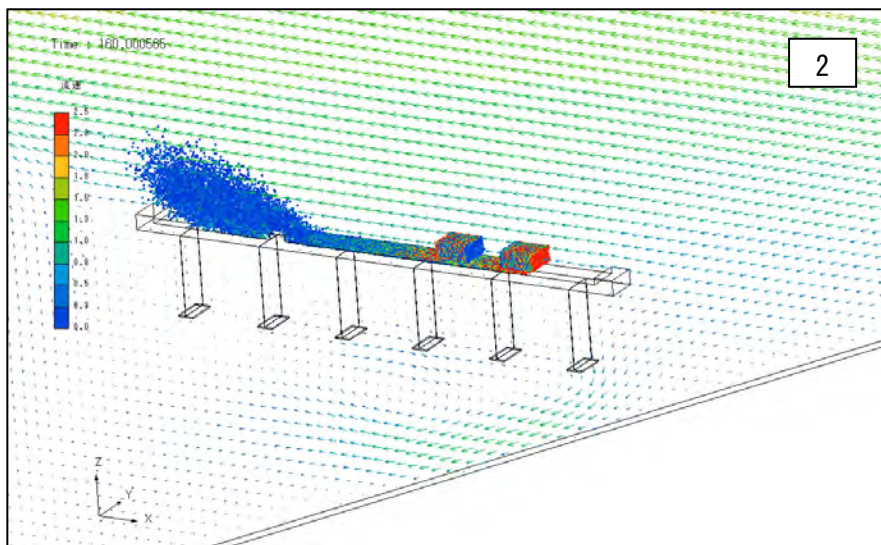
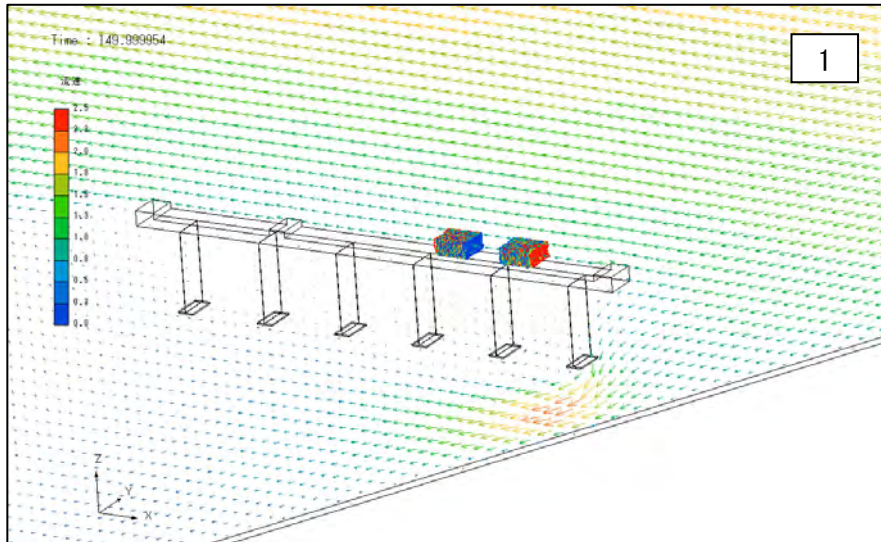


図 4. 4. 12(1) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (1)

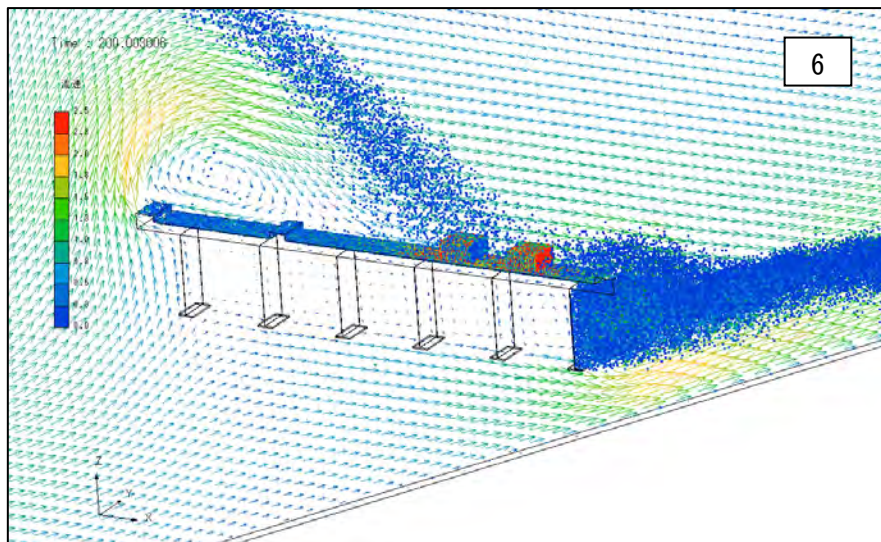
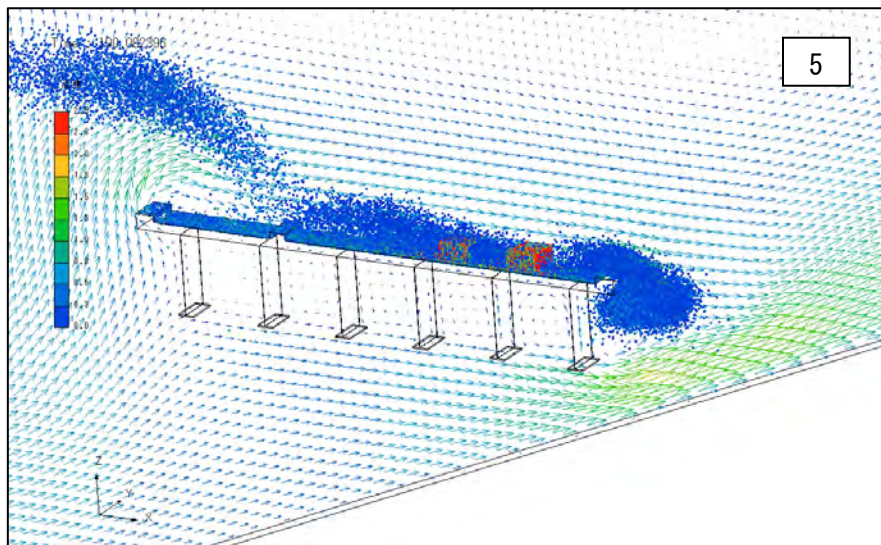
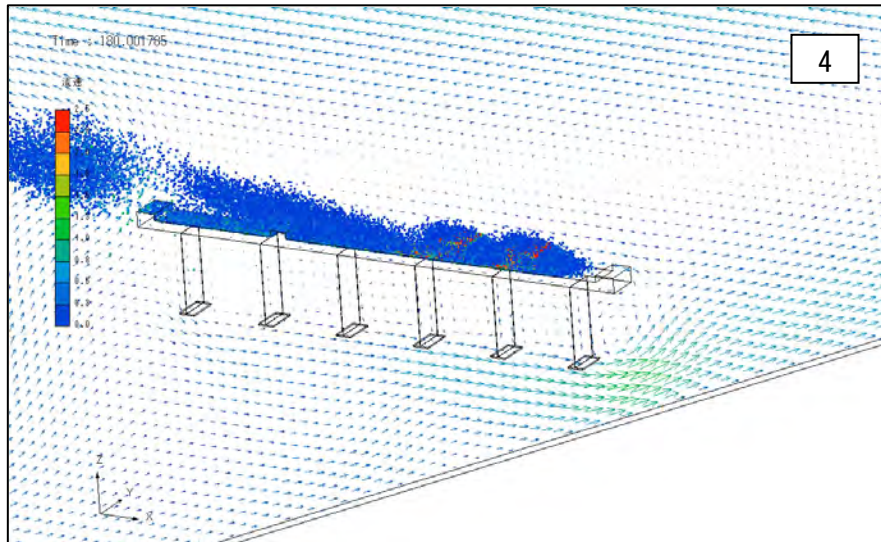
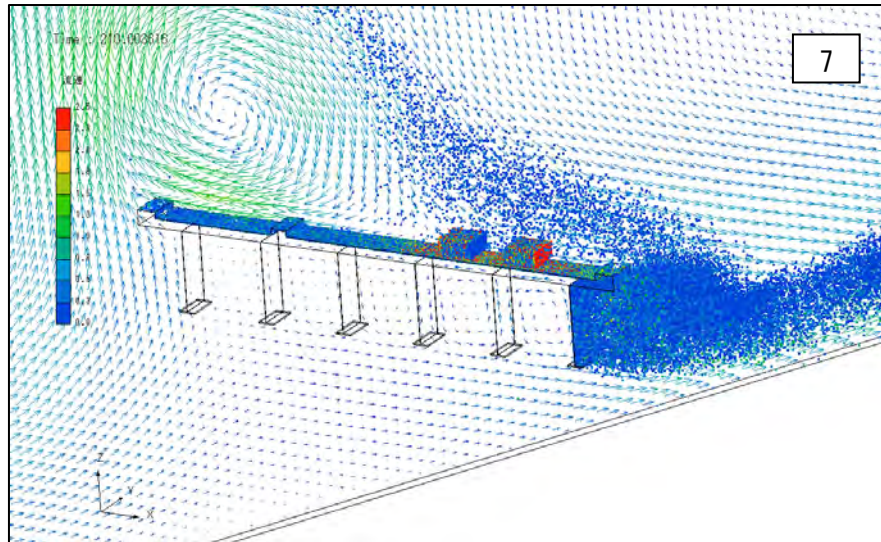
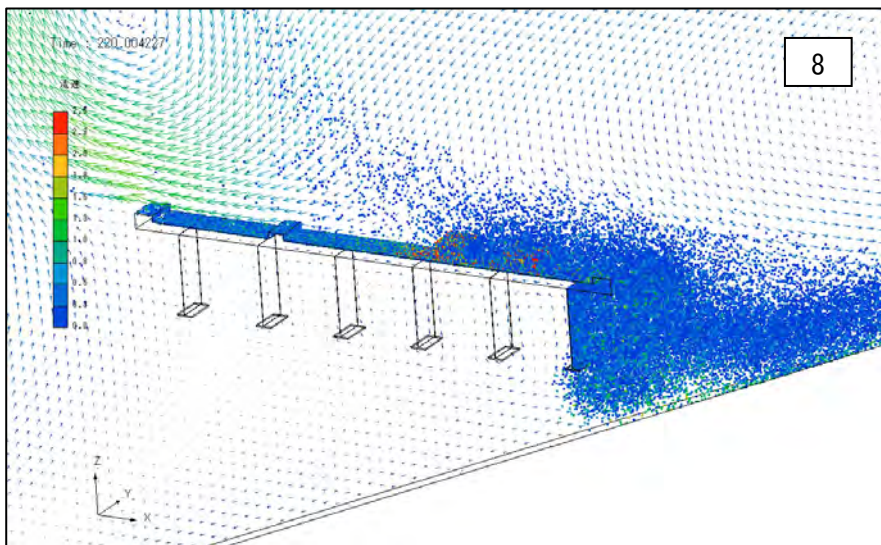


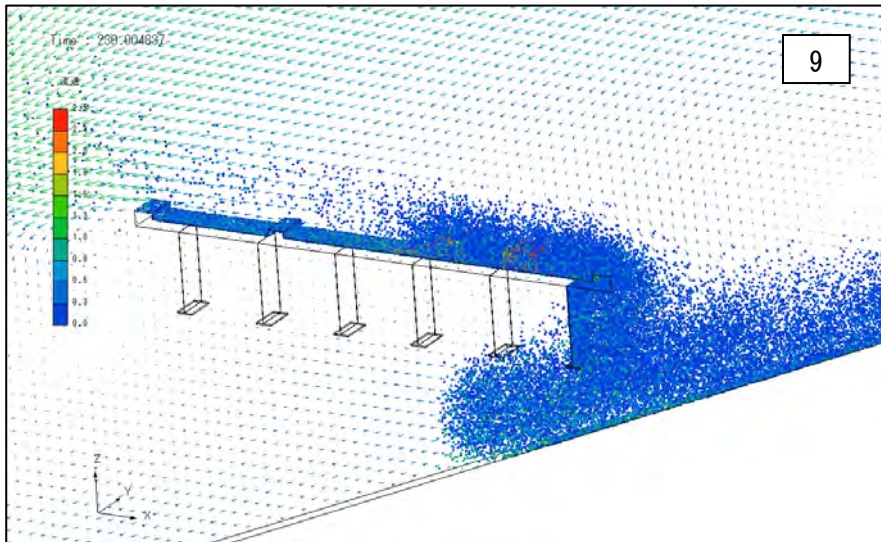
図 4.4.12(1) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (2)



7



8



9

図 4.4.12(1) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (3)

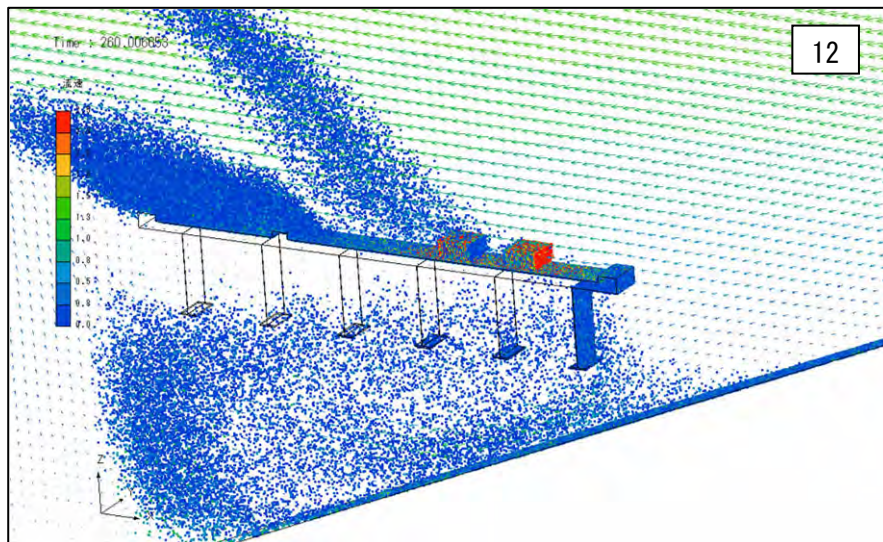
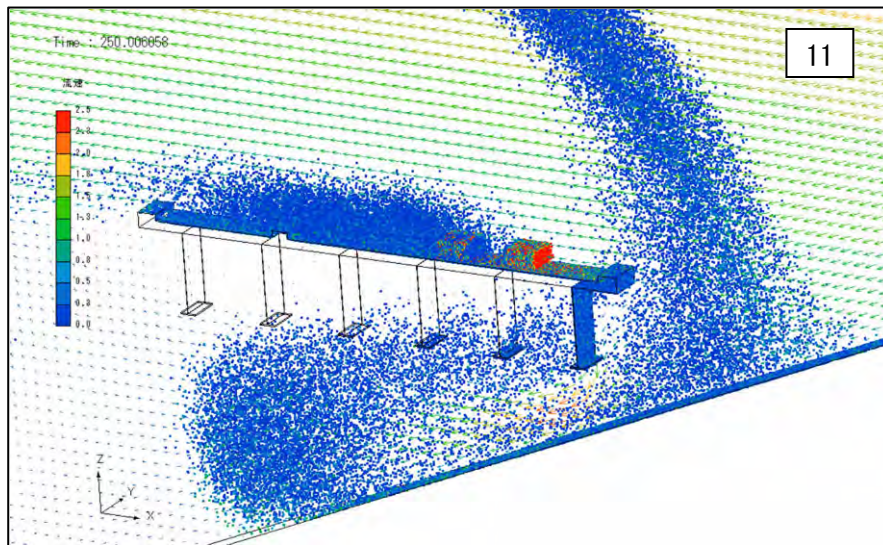
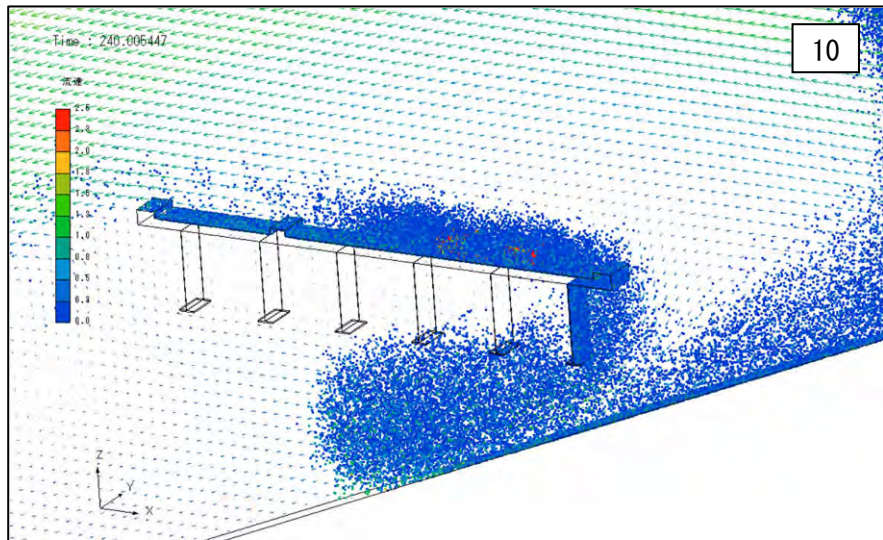
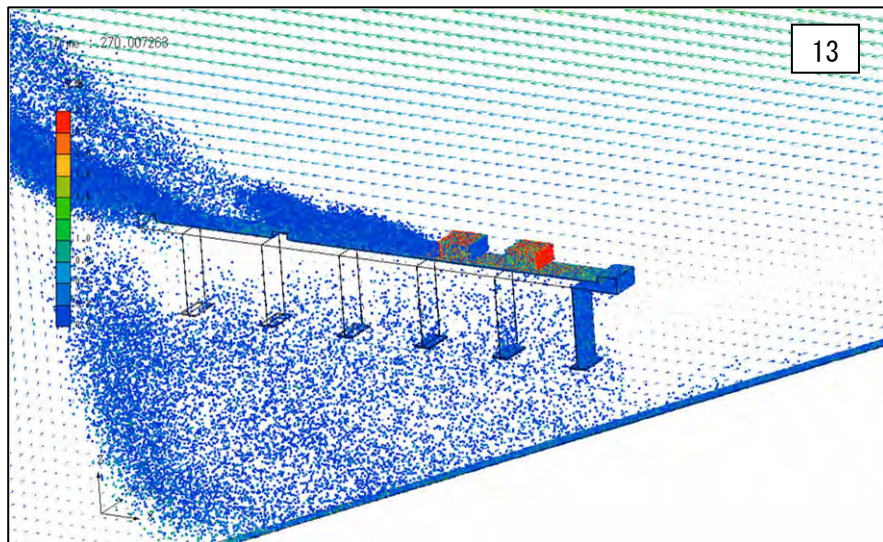
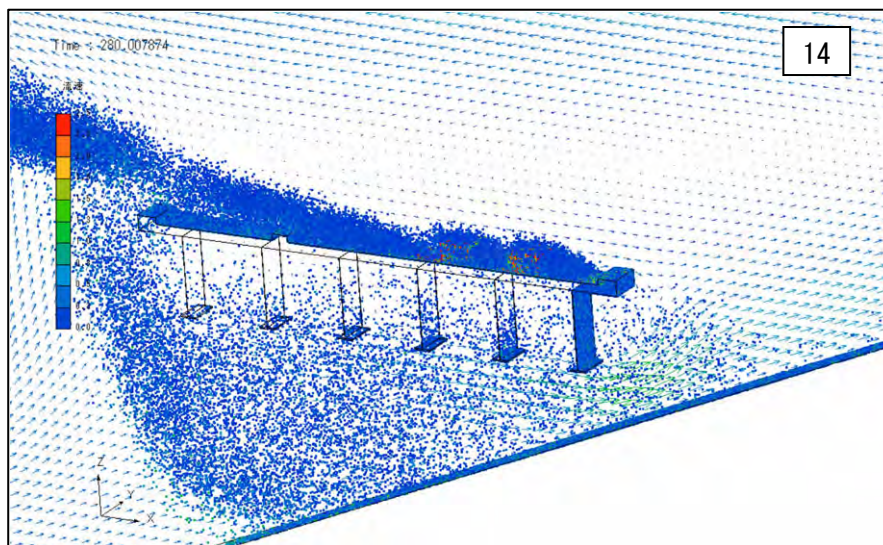


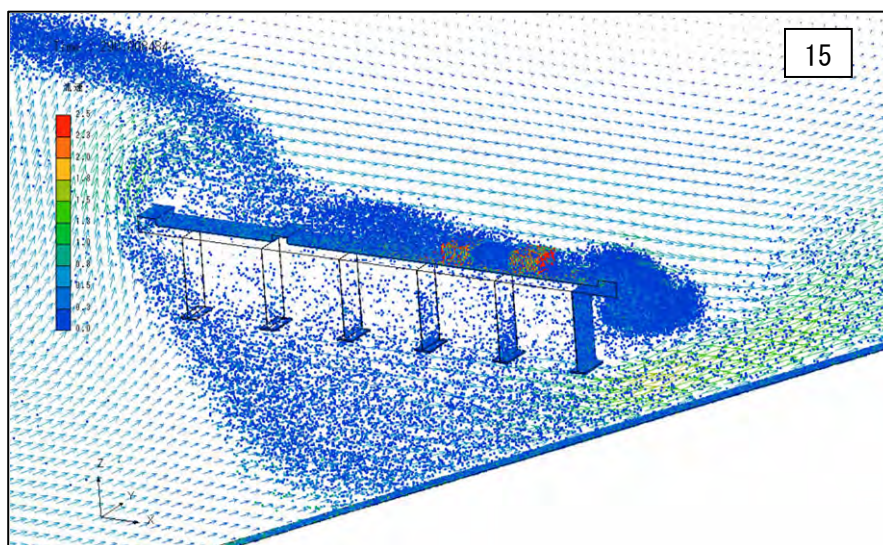
図 4. 4. 12(2) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (1)



13



14



15

図 4. 4. 12 (2) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (2)

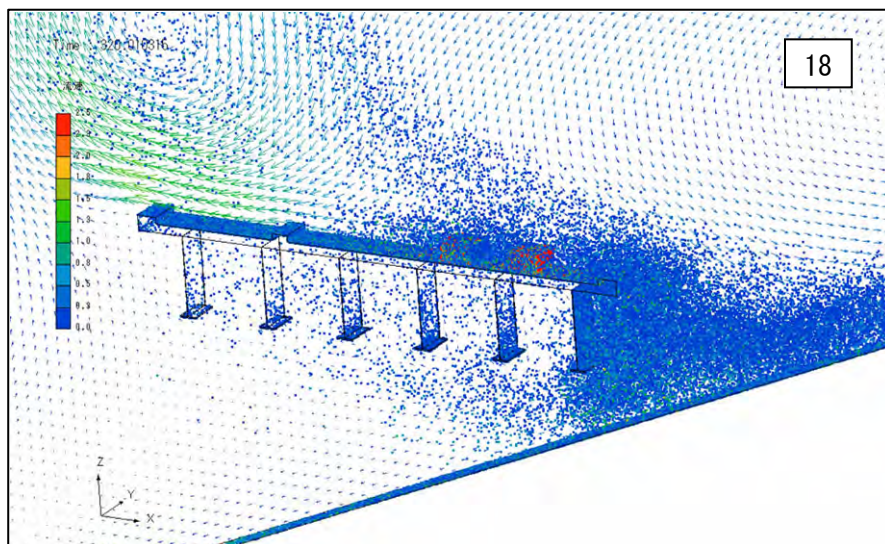
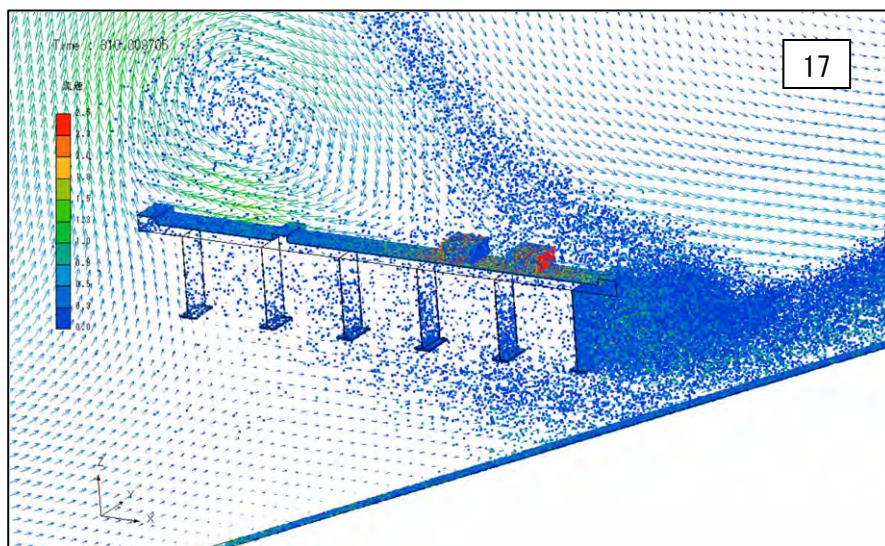
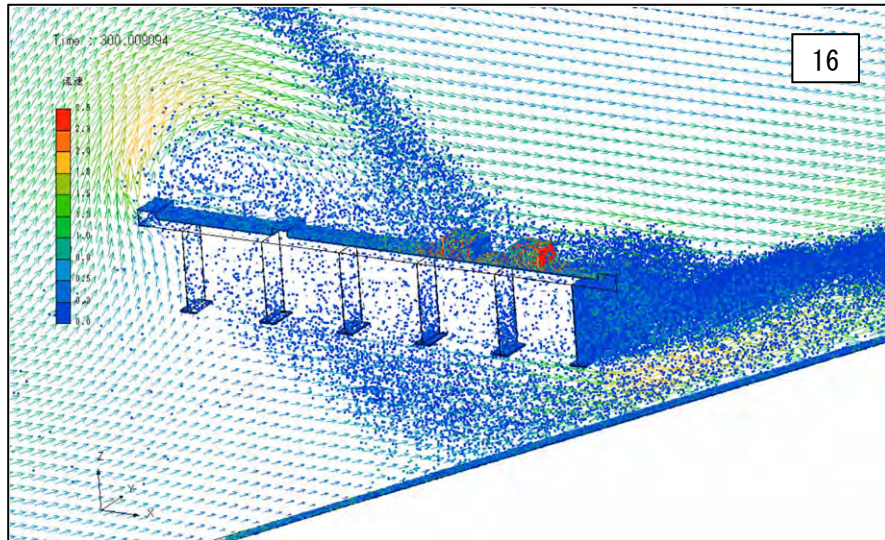


図 4. 4. 12 (2) 斜面吹き降ろしの粒子飛散状況 (Case2, 変動風速) (3)

(5) 地山近接解析のまとめ

① 斜面吹き上げ風の場合

固定風速（Case1）では地山斜面側の外桁のフランジとウェブにしか粒子が付着しなかったが、変動風速（Case2）では桁下空間まで粒子が付着している。

② 斜面吹き降ろし風の場合

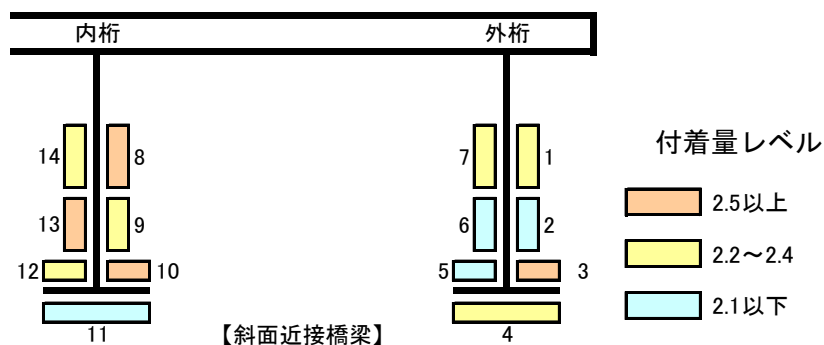
吹き降ろし風の場合には、固定風速（Case1）でも内桁へ粒子が付着している。変動風速（Case2）では、地山斜面近傍の外桁で付着量が最も多いが、内桁への粒子の付着量が①斜面吹き上げ風の場合よりも多くなっている。

③ 現地調査結果との比較

橋の表面に付着した塩分量の現場実測結果と比較する。まず、実測結果による斜面近接橋の塩分付着量レベルと桁下空間の付着傾向を図 4.4.13 に示す。外桁より内桁に多く付着する傾向を示し、内桁のフランジ上面とウェブに多く付着する傾向となっている。

一方、解析結果では、吹き上げ風（固定・変動風速）と吹き降ろし風（固定風速）では、内桁より外桁に多く塩分が付着する傾向となっている。しかし、吹き降ろし風の変動風速では風下側の外桁（P6）で最も多く付着しているが、内桁の塩分付着量も多くなっている。

解析は実測の様に外桁より内桁の塩分付着量が多くなる結果にならなかったものの、吹き降ろし風の変動風速の場合には、外桁と同程度に内桁の塩分付着量が多くなる傾向である。



【斜面近接橋の塩分付着傾向】

- ・外桁に比べ、内桁に多く付着している。
- ・特に、内桁の外側（ウェブ、フランジ上面）に多く付着している。
- ・外桁では、外側のフランジ上面に多く付着している。

図 4.4.13 斜面近接橋の塩分付着量傾向（実測結果）

解析の結果より、「斜面吹き上げ」よりも「斜面吹き降ろし」の風環境下において、内桁の塩分付着量が多くなっている。このことから、凍結防止剤は、特に吹き降ろし風時に内桁まで粒子が回り込みやすく、塩分の付着量が多くなるものと推測される。

また、固定風速に比べ変動風速の場合に内桁の粒子付着量が多いことから、風速が変化する環境下において、内桁まで粒子が飛散し塩分付着が多くなるものと推測される。

4.5 並列橋モデルによる解析

(1) 解析概要

4.4 では、地山近接の条件下にある橋において、吹き上げ風及び吹き降ろし風の風環境下における飛散した凍結防止剤の桁空間への付着状況を定性的に評価した。本節では地山近接と同様に凍結防止剤の飛散挙動に影響を与える要因として考えられている並列橋の影響について検討する。

本節では並列橋による影響のみを評価するため、図 4.5.1 に示す上下線の橋が並列したモデルを用いて、吹き上げ風及び吹き降ろし風の風環境下における凍結防止剤の路外飛散する際の挙動を二次元解析し、飛散した凍結防止剤の桁空間への付着状況を定性的に評価する。

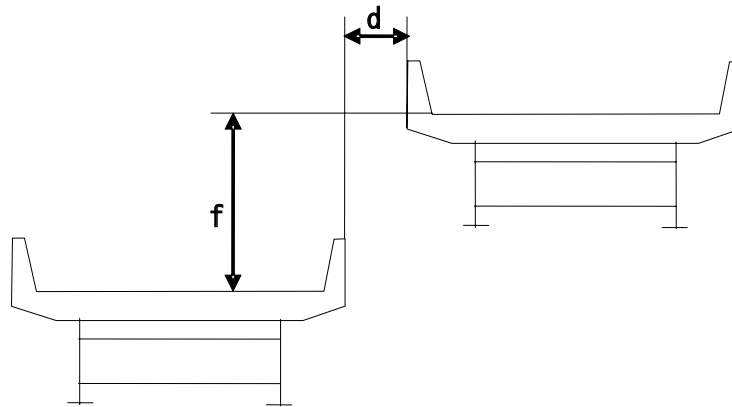


図 4.5.1 並列橋の対象橋

(2) 解析モデル

橋モデルは図 4.5.2 のモデルを用い、地山近接の状況は東高速道路株式会社らの設計要領（研究当時）4.7にある“さびの安定化に影響の可能性がある範囲”を参考とし、2つの橋の離隔距離として、壁高欄間隔(d)=2.5m 及び高低差(f)=10m を設定する。また、高低差による橋モデル B への粒子付着量の変化を把握するため、高低差(f)=5m についても解析を行う。

[さびの安定化に影響の可能性がある範囲]

- ・ 斜面距離 (s) < 5m, けた下高さ (h) < 2m
- ・ **壁高欄間隔 (d) < 2.5m, 高低差 (f) < 10m**

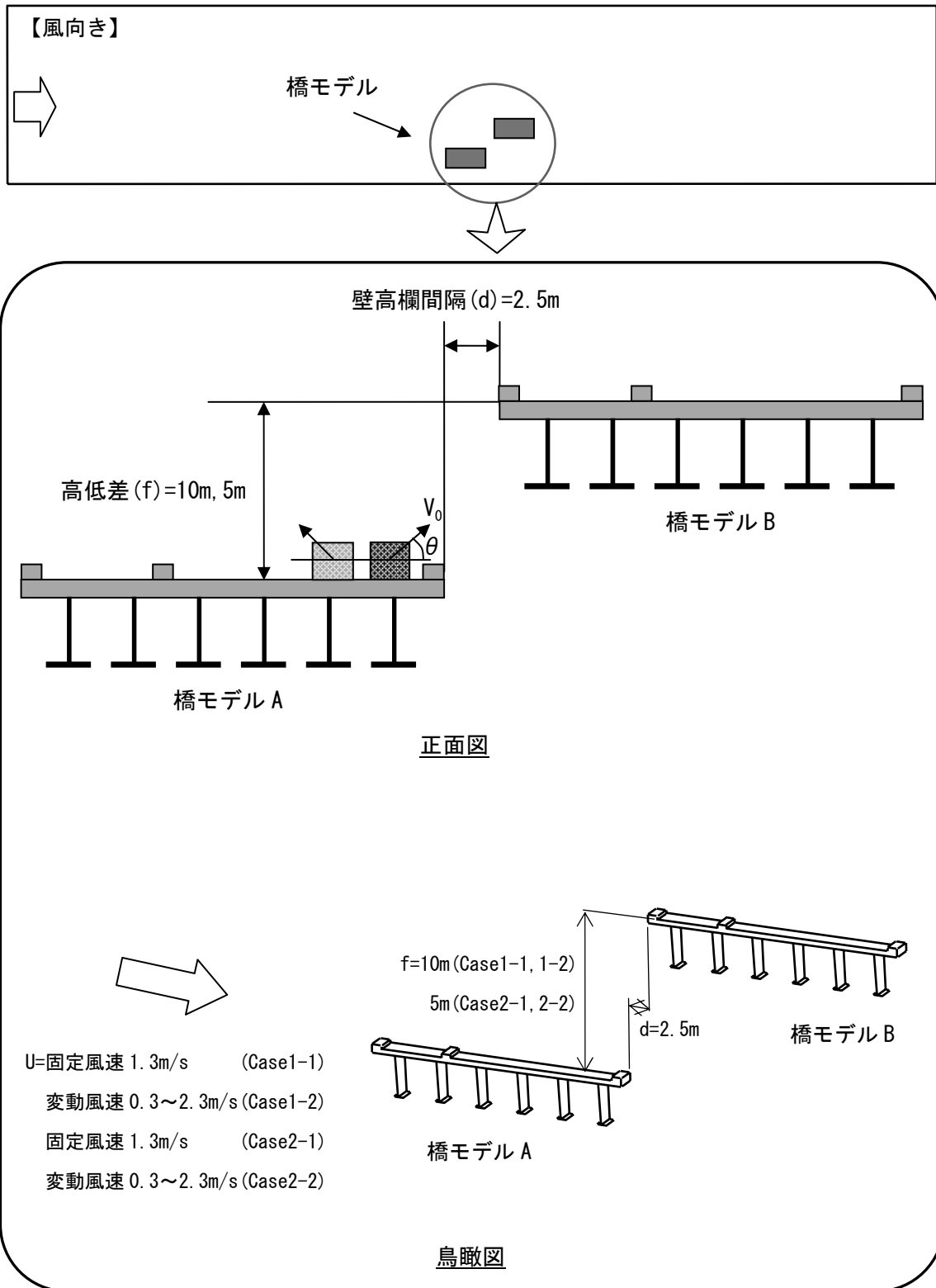


図 4.5.2 並列橋の解析モデル

(3) 解析条件

解析に用いた風速条件は表 4.5.1 のとおりである。

表 4.5.1 並列橋の計算ケースと風速条件

計算ケース	高低差 (f)	風速条件	備 考
Case1-1	10m	固定風速 : $U=1.3\text{m/s}$	
Case1-2	10m	変動風速 : $U=0.3\text{m/s}\sim 2.3\text{m/s}$	
Case2-1	5m	固定風速 : $U=1.3\text{m/s}$	
Case2-2	5m	変動風速 : $U=0.3\text{m/s}\sim 2.3\text{m/s}$	

(4) 解析結果

Case1-1, Case1-2, Case2-1 及び Case2-2 における橋モデル A, B の桁下空間への塩分付着量を表 4.5.2~表 4.5.5 に示す。また、桁下の各部位 (P1~P6) 全体の塩分付着量を図 4.5.4 ~図 4.5.7 に示す。Case1-1 は橋モデル B の桁下空間への付着は見られなかった。なお、数値は単位面積あたりの塩分付着量を表し、発生させた塩分の総質量に対する比で表している。

図 4.5.8~図 4.5.11 に並列橋 (Case1-1, Case1-2, Case2-1, Case2-2) の粒子の飛散状況図を示す。

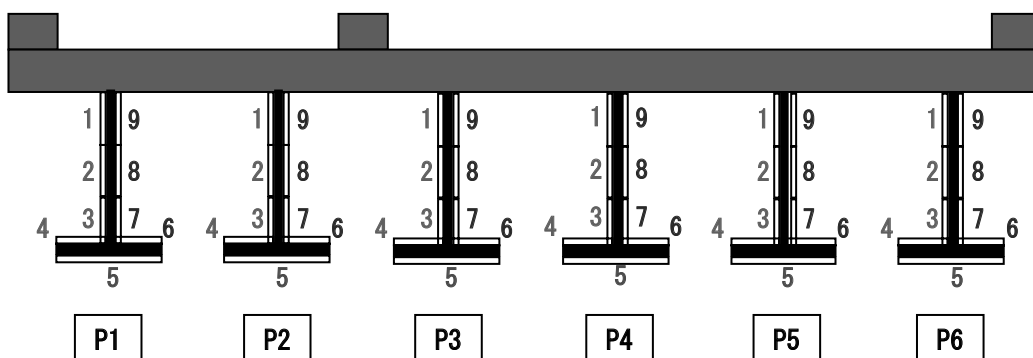


図 4.5.3 橋モデル A, B における桁下空間の位置番号

表 4.5.2 Case1-1 の桁下空間への塩分付着量（高低差：10m，固定風速）

【橋モデル A】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	3.76E-07	4.08E-10	1.29E-09	4.37E-08	2.99E-09	3.01E-08
2	6.76E-07	4.59E-10	2.90E-09	2.38E-08	3.12E-07	2.55E-08
3	3.78E-07	1.84E-07	5.65E-09	6.35E-08	1.89E-07	3.26E-07
4	2.86E-06	1.53E-07		1.50E-09	2.03E-07	3.00E-08
5	9.68E-08	7.58E-07	1.29E-06	6.36E-07	7.62E-07	2.35E-06
6	4.76E-07	4.02E-07				5.38E-07
7	7.02E-07	1.68E-07	6.03E-08	5.65E-09	5.18E-09	9.33E-08
8	4.59E-07	4.59E-10		4.63E-08	5.09E-08	2.12E-07
9	1.29E-09	1.28E-08	1.29E-09	5.37E-09	5.78E-09	3.04E-07
全体	4.97E-07	1.35E-07	1.18E-07	7.94E-08	1.48E-07	3.58E-07

(単位：1/m²)

表 4.5.3 Case1-2 の桁下空間への塩分付着量（高低差：10m，変動風速）

【橋モデル A】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	1.18E-06		1.32E-08		2.11E-09	4.25E-08
2	1.43E-06	5.10E-07	4.63E-08	4.59E-09	1.89E-06	2.22E-06
3	1.41E-06	5.05E-07	1.10E-07	5.27E-08	5.26E-07	1.93E-06
4	9.92E-06		4.75E-06	4.85E-07	4.96E-07	4.48E-06
5	2.53E-08	6.58E-07	8.37E-08	4.53E-07	2.69E-06	6.42E-06
6	1.50E-08			1.55E-06	6.55E-06	5.91E-04
7				2.07E-07	8.70E-07	1.29E-04
8			4.59E-10		1.67E-07	1.39E-04
9	2.99E-09			4.08E-10	2.15E-07	6.38E-05
全体	9.68E-07	1.90E-07	2.25E-07	1.56E-07	1.01E-06	7.08E-05

【橋モデル B】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	3.76E-07	4.08E-10	1.29E-09	4.37E-08	2.99E-09	3.01E-08
2	6.76E-07	4.59E-10	2.90E-09	2.38E-08	3.12E-07	2.55E-08
3	3.78E-07	1.84E-07	5.65E-09	6.35E-08	1.89E-07	3.26E-07
4	2.86E-06	1.53E-07		1.50E-09	2.03E-07	3.00E-08
5	9.68E-08	7.58E-07	1.29E-06	6.36E-07	7.62E-07	2.35E-06
6	4.76E-07	4.02E-07				5.38E-07
7	7.02E-07	1.68E-07	6.03E-08	5.65E-09	5.18E-09	9.33E-08
8	4.59E-07	4.59E-10		4.63E-08	5.09E-08	2.12E-07
9	1.29E-09	1.28E-08	1.29E-09	5.37E-09	5.78E-09	3.04E-07
全体	4.97E-07	1.35E-07	1.18E-07	7.94E-08	1.48E-07	3.58E-07

(単位：1/m²)

表 4.5.4 Case2-1 の桁下空間への塩分付着量（高低差：5m，固定風速）

【橋モデル A】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1						
2						
3						
4						
5						
6						5.39E-04
7						1.77E-04
8						2.38E-04
9						6.33E-05
全体						8.70E-05

【橋モデル B】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1		5.06E-09	1.26E-07	2.47E-06	2.20E-06	5.83E-06
2		1.38E-06	3.16E-07	3.17E-06	5.96E-06	1.26E-05
3	1.40E-08	6.24E-07	5.59E-06	5.22E-06	9.73E-06	1.21E-05
4		9.01E-07	5.07E-06	2.85E-06	4.42E-06	4.13E-06
5	6.92E-09	8.94E-06	6.42E-06	1.50E-05	2.95E-05	2.52E-05
6		5.10E-06	7.53E-06	1.90E-06	6.96E-06	5.57E-06
7	1.45E-06	1.56E-06	4.13E-06	1.36E-06	2.48E-06	1.35E-05
8	1.42E-07	6.79E-08	2.23E-06	2.05E-06	2.65E-06	5.90E-06
9		4.44E-08	2.23E-08	1.04E-06	1.76E-06	2.49E-06
全体	2.12E-07	1.49E-06	2.70E-06	3.55E-06	6.30E-06	9.61E-06

(単位：1/m²)

表 4.5.5 Case2-2 の桁下空間への塩分付着量（高低差：5m，変動風速）

【橋モデル A】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	1.64E-06	6.74E-07	1.99E-08	1.85E-07	9.76E-08	2.65E-07
2	5.97E-06	2.04E-06	3.11E-08	3.38E-07	2.30E-07	6.34E-07
3	7.79E-06	1.21E-06	1.86E-06	8.07E-07	1.03E-06	1.18E-06
4	6.77E-05	3.02E-06	6.48E-07	1.48E-06	2.95E-06	3.92E-06
5	3.32E-07	1.64E-06	2.26E-06	1.29E-06	2.13E-06	4.75E-06
6	1.10E-07		4.76E-07	2.56E-07	5.68E-06	2.60E-04
7	4.71E-07	4.71E-10	7.08E-08	1.38E-06	1.57E-06	7.82E-05
8	6.86E-08	4.59E-07	4.59E-10	5.55E-08	1.33E-07	7.87E-05
9	1.42E-07	4.08E-10	4.08E-09		2.77E-08	4.24E-05
全体	4.99E-06	8.58E-07	4.97E-07	5.47E-07	9.43E-07	3.88E-05

【橋モデル B】

No.	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	1.08E-05	3.51E-07	6.10E-08	6.77E-07	3.72E-07	1.19E-06
2	2.52E-05	4.94E-07	1.52E-06	1.25E-06	1.61E-06	4.26E-06
3	2.26E-05	2.11E-06	5.13E-06	4.41E-06	3.92E-06	3.83E-06
4	6.70E-05	4.24E-06	3.84E-06	2.86E-06	1.29E-06	2.75E-06
5	5.47E-06	1.02E-05	1.24E-05	9.41E-06	1.18E-05	9.10E-06
6	5.99E-07	3.66E-06	1.42E-06	1.82E-06	7.32E-07	3.86E-06
7	1.93E-06	9.66E-07	1.49E-06	2.71E-06	6.22E-07	4.44E-06
8	1.52E-06	1.33E-06	4.91E-07	2.61E-07	4.19E-07	2.99E-06
9	1.07E-06	3.25E-07	6.36E-08	2.35E-07	3.06E-07	1.49E-06
全体	1.19E-05	1.94E-06	2.41E-06	2.26E-06	2.04E-06	3.50E-06

(単位：1/m²)

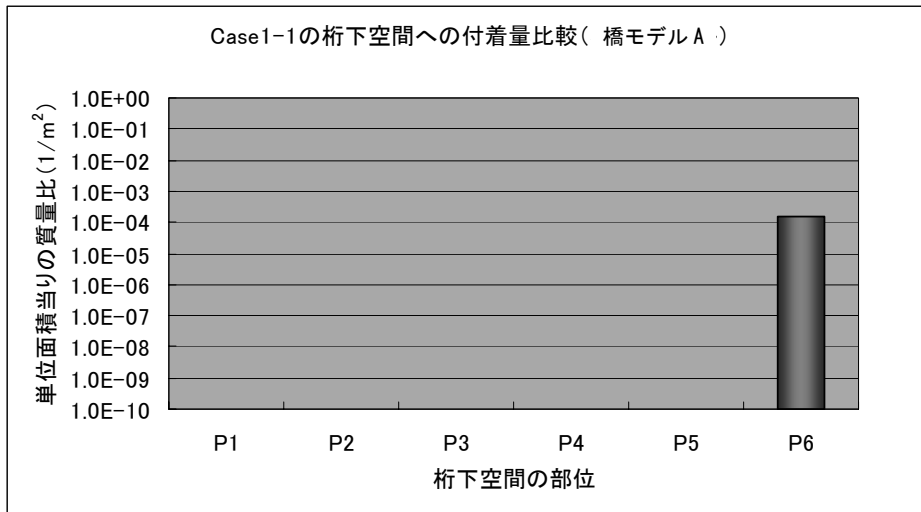


図 4.5.4 Case1-1 の各部位の塩分付着量 (高低差 : 10m, 固定風速)

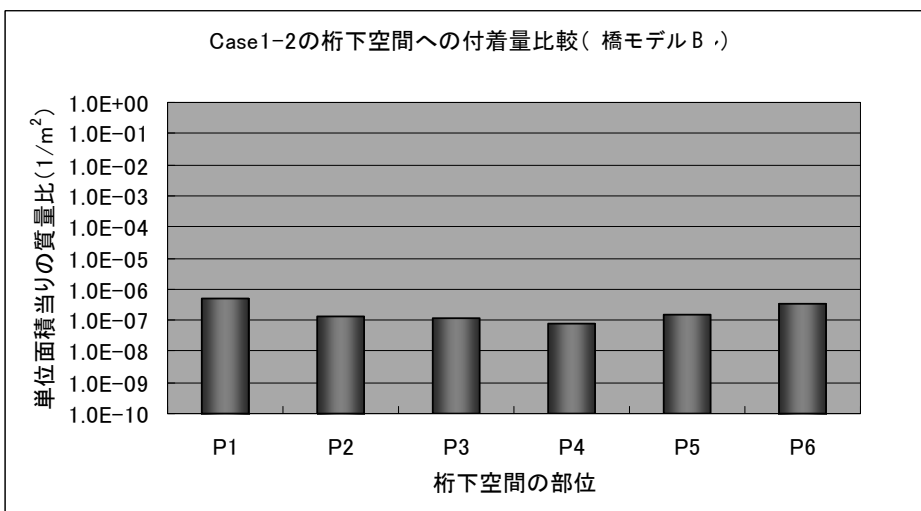
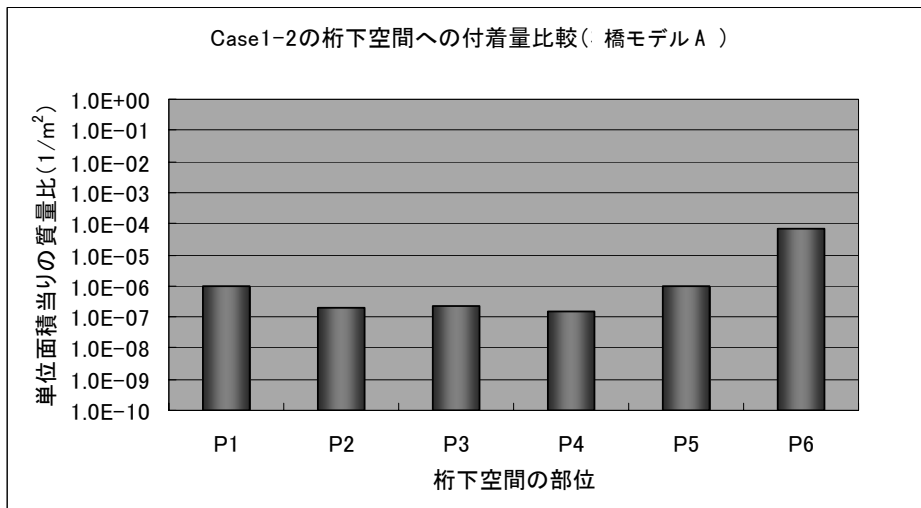


図 4.5.5 Case1-2 の各部位の塩分付着量 (高低差 : 10m, 変動風速)

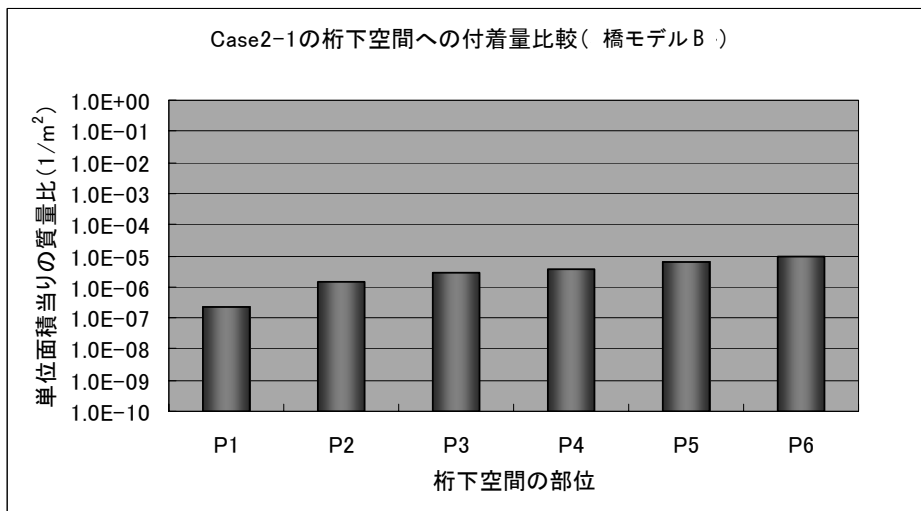
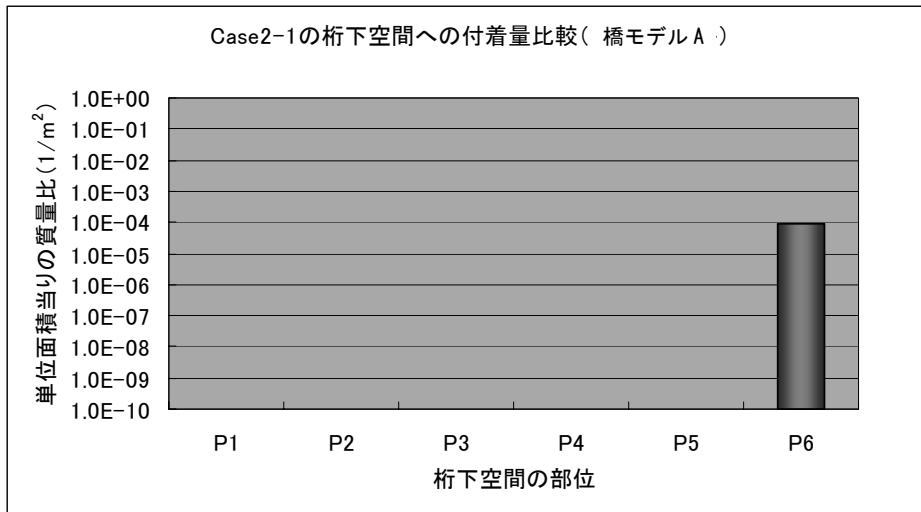


図 4.5.6 Case2-1 の各部位の塩分付着量 (高低差 : 5m, 固定風速)

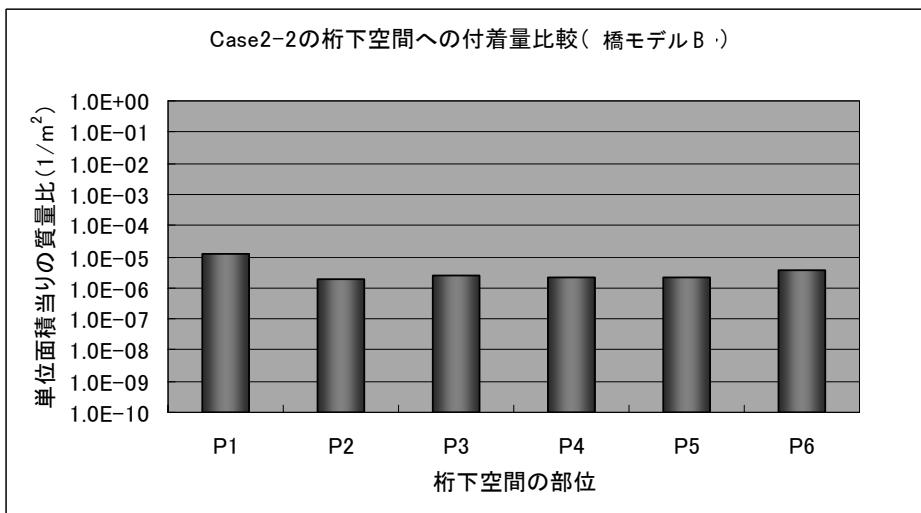
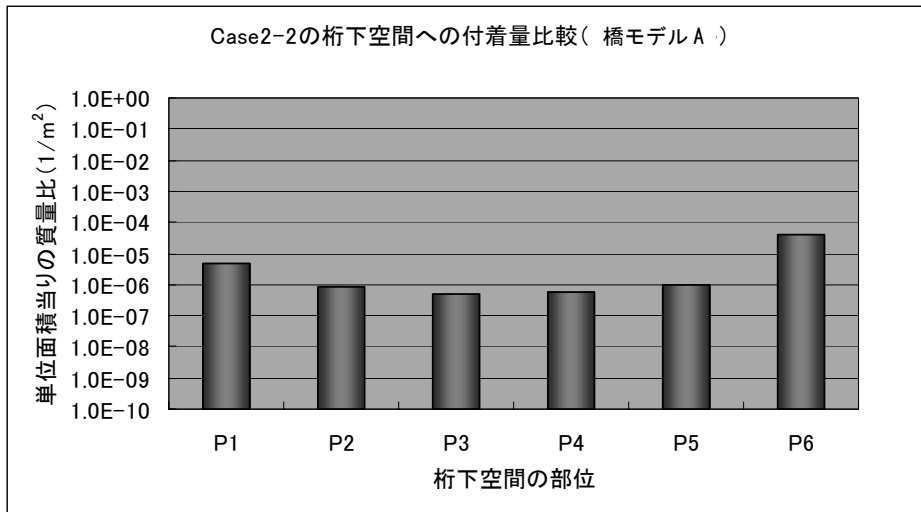


図 4.5.7 Case2-2 の各部位の塩分付着量 (高低差 : 5m, 変動風速)

(5) 並列橋解析のまとめ

① 高低差 (f) 10m の場合

固定風速 (Case1-1) では、橋モデル A の風下側の外桁 (P6) に粒子が付着しているが、橋モデル B の桁下空間までは粒子が飛散せず、橋モデル B の桁下空間への付着は見られない。

変動風速 (Case1-2) では、橋モデル A, B のそれぞれの桁下空間 (外桁・内桁) へ粒子の付着が見られ、橋モデル A の方が橋モデル B よりも付着量が若干多い傾向である。

② 高低差 (f) 5m の場合

固定風速 (Case2-1) では、橋モデル A は風下側の外桁 (P6) にしか粒子が付着していないが、橋モデル B は桁下空間全体に粒子が付着している。

変動風速 (Case2-2) では、橋モデル A, B のそれぞれの主桁 (外桁・内桁) に粒子が付着している。橋モデル B の桁下空間の粒子の付着量は外桁 (P6) を除き、橋モデル A よりも多くなっている。全般的に、高低差 5m の橋モデル B の付着量は、高低差 10m の橋モデル B の付着量より多くなっている。

橋モデル B に関する固定風速 (Case2-1) と変動風速 (Case2-2) の付着量を比較すると、付着量は両者とも同程度であるが、固定風速 (Case2-1) では風下側の桁下の付着量が多くなっているのに対し、変動風速 (Case2-2) では風上側の桁下の付着量が多くなっている。これは、固定風速 (Case2-1) の場合には風下距離が大きくなるに従い、粒子の拡散幅が大きくなっていくが、変動風速 (Case2-2) の場合には風上側でも橋モデル B の位置まで粒子が十分拡散しており、風上側の粒子の空間密度が大きいことが原因と考えられる。

①と②から並列橋解析の結果をまとめると、橋の高低差が小さくなるに従って、橋の桁下空間への付着量が多くなるとともに、隣接する風下側の橋への付着量も多くなると推測される。

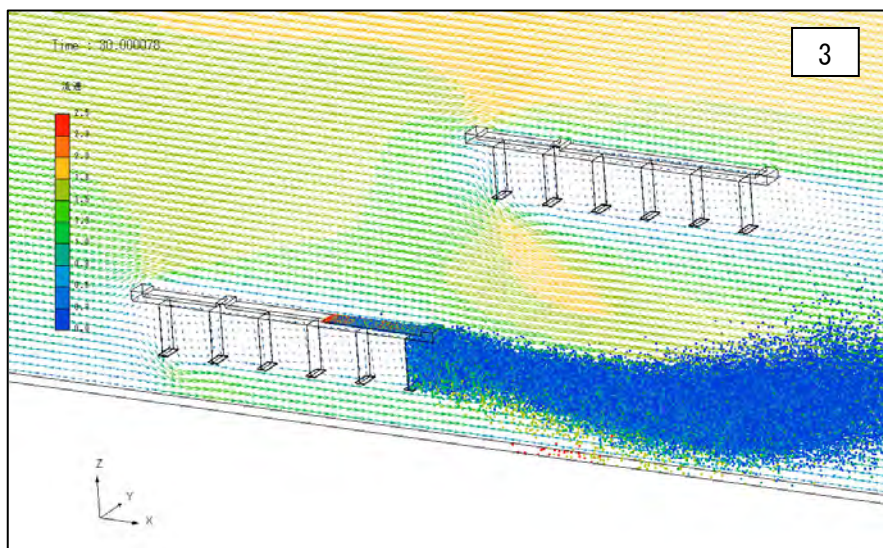
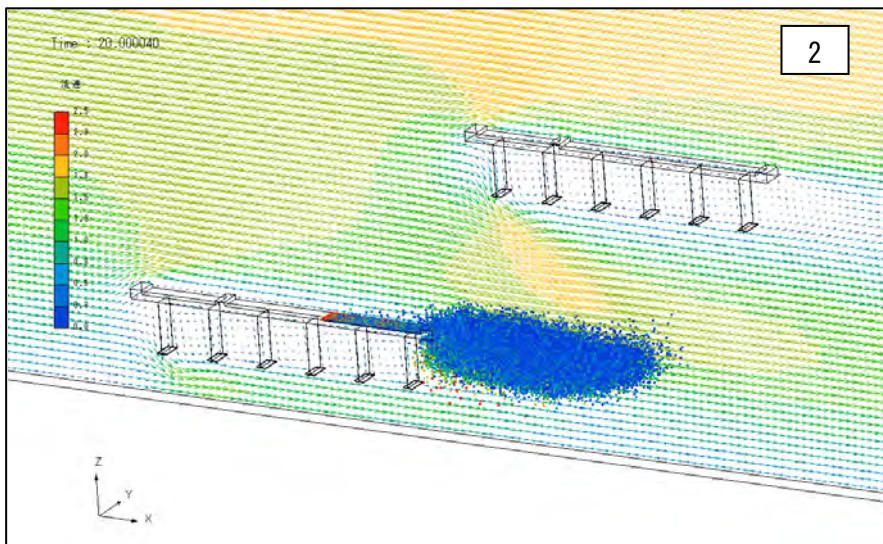
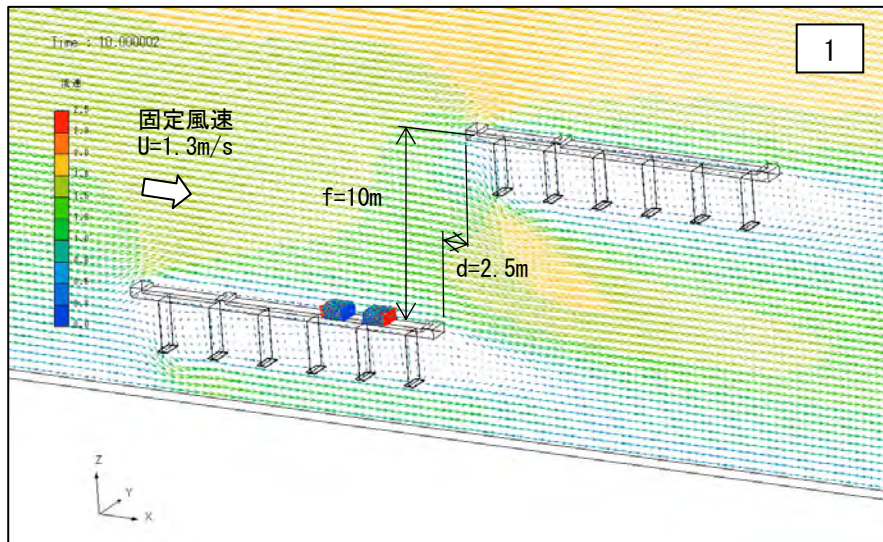


図 4.5.8 並列橋における飛散状況 (Case1-1、高低差 10m、固定風速) (1)

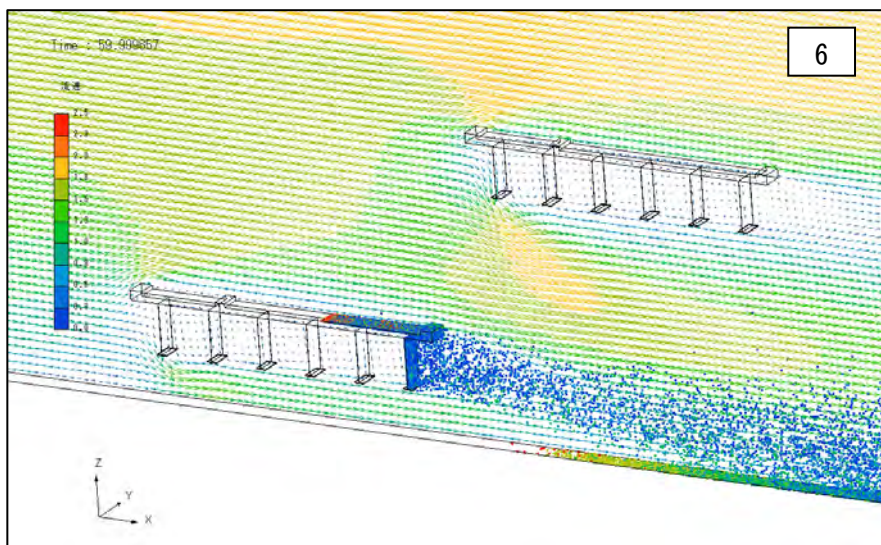
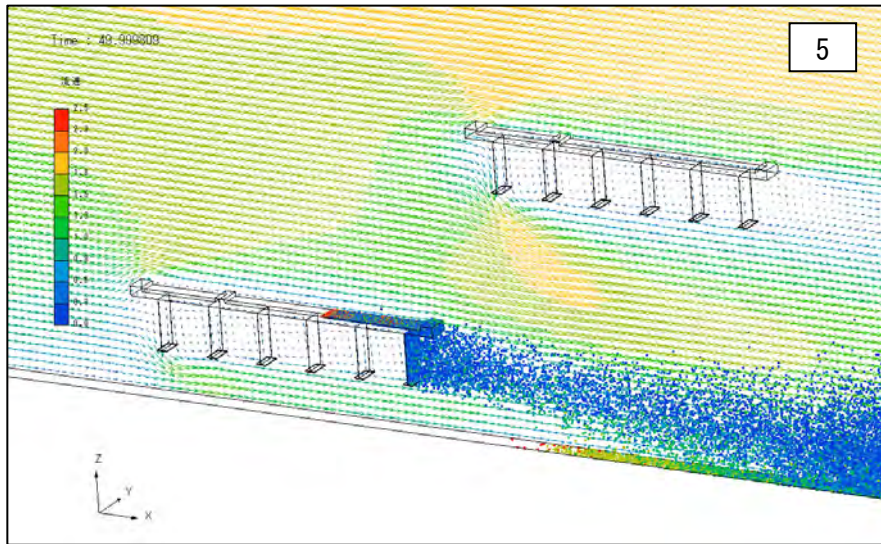
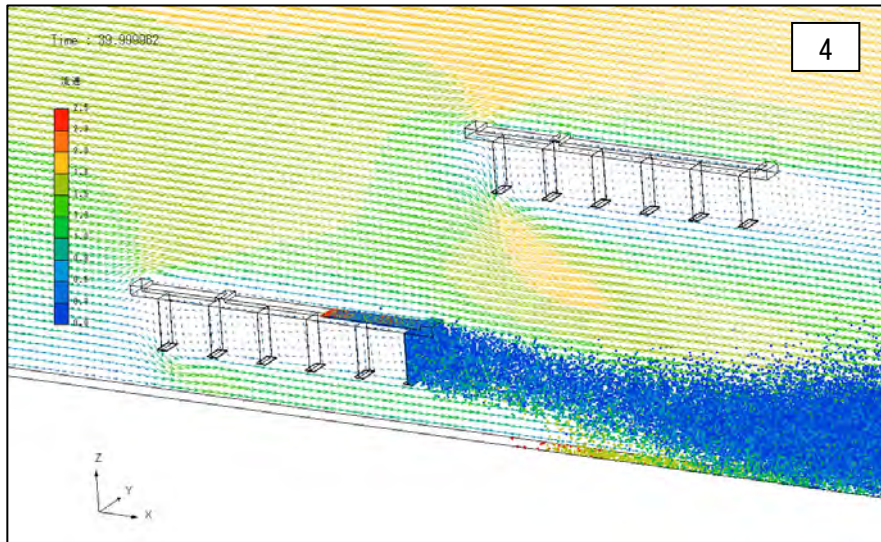


図 4.5.8 並列橋における飛散状況 (Case1-1、高低差 10m、固定風速) (2)

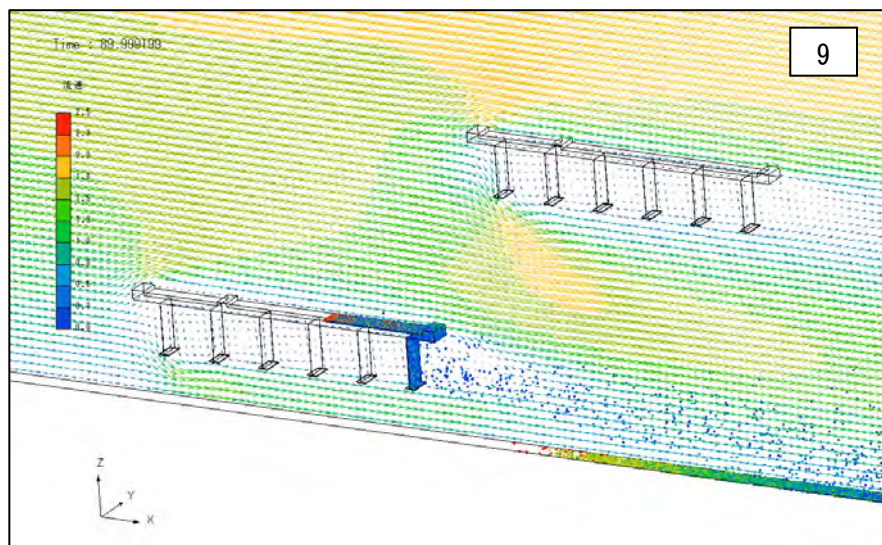
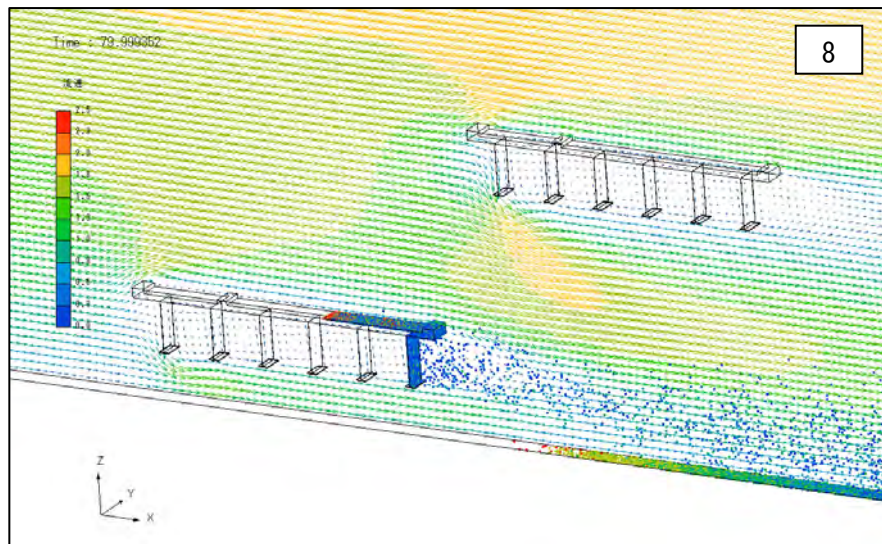
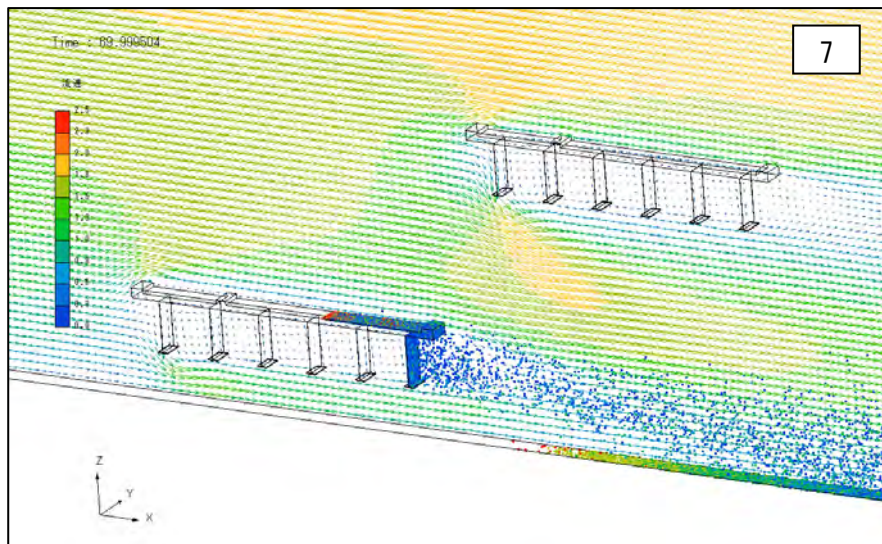


図 4.5.8 並列橋における飛散状況 (Case1-1、高低差 10m、固定風速) (3)

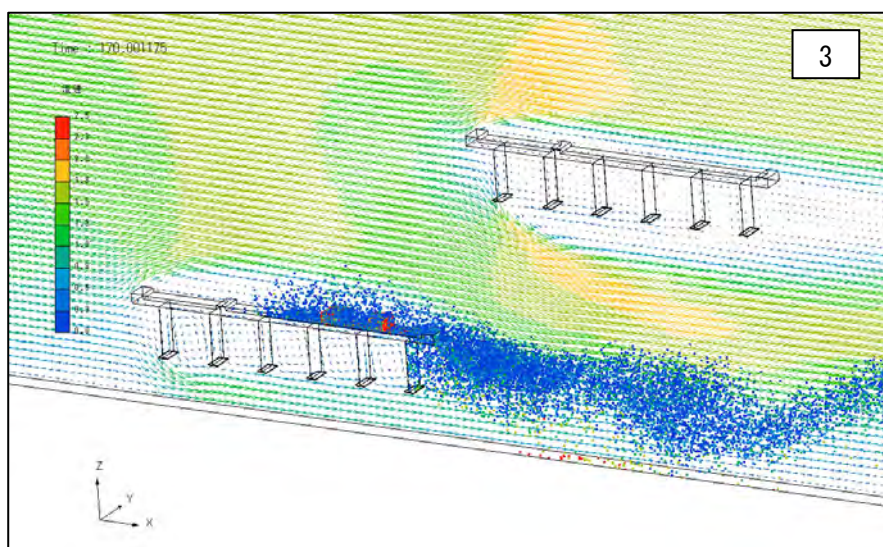
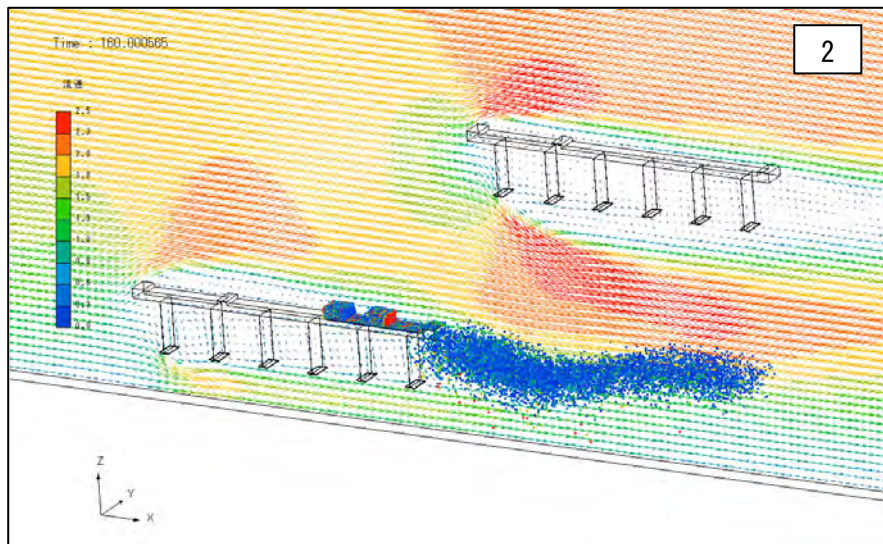
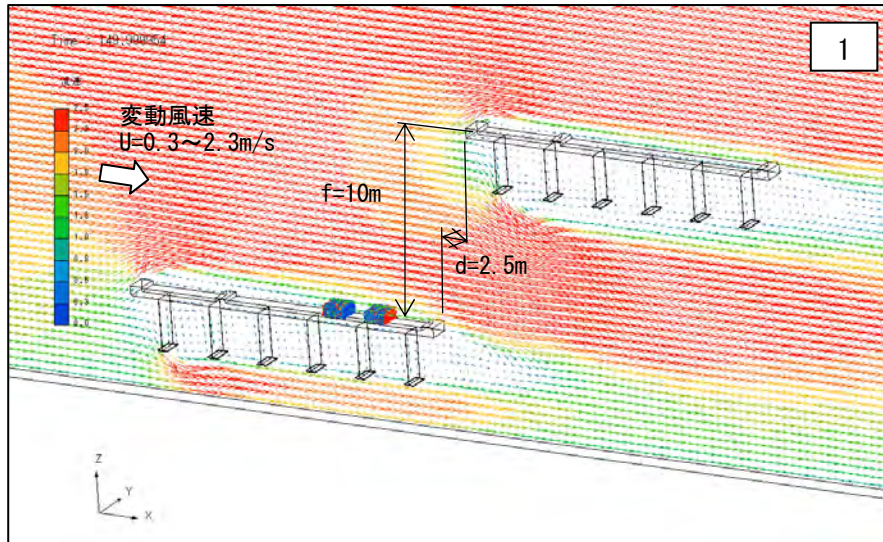


図 4.5.9(1) 並列橋における飛散状況 (Case1-2、高低差 10m、変動風速) (1)

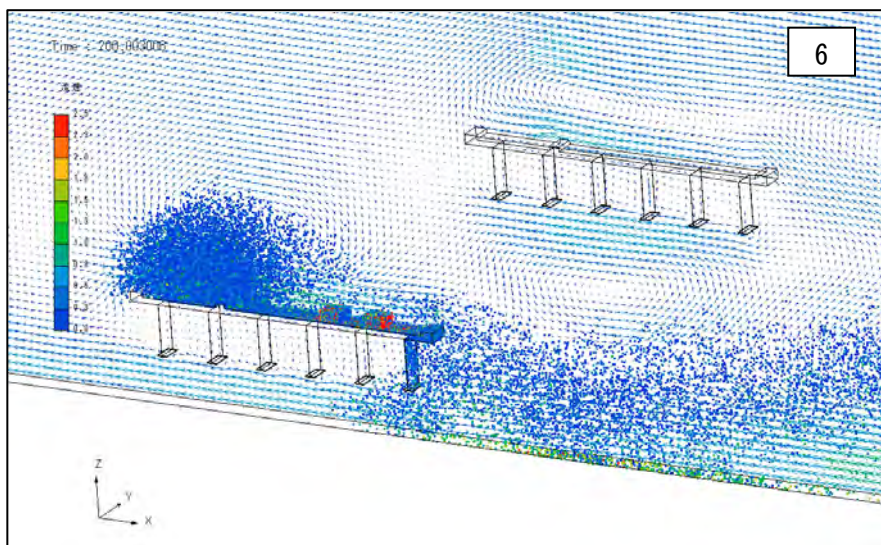
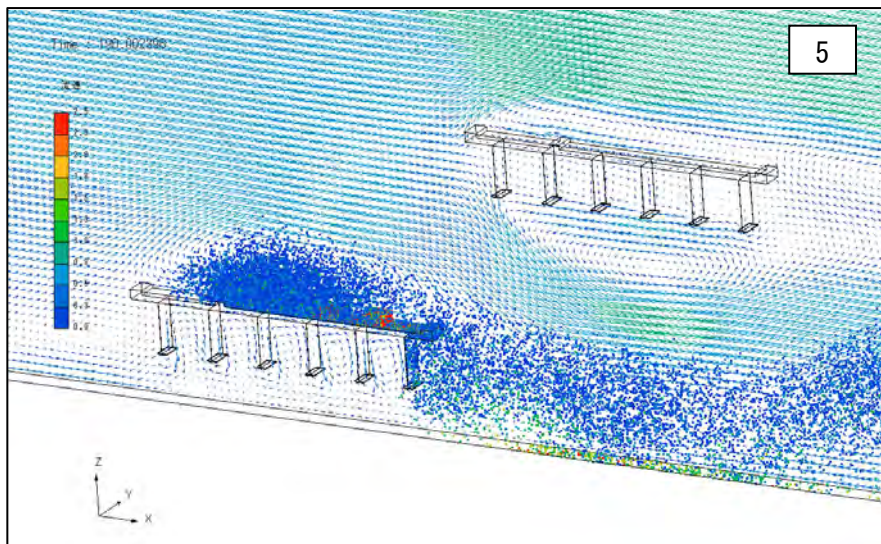
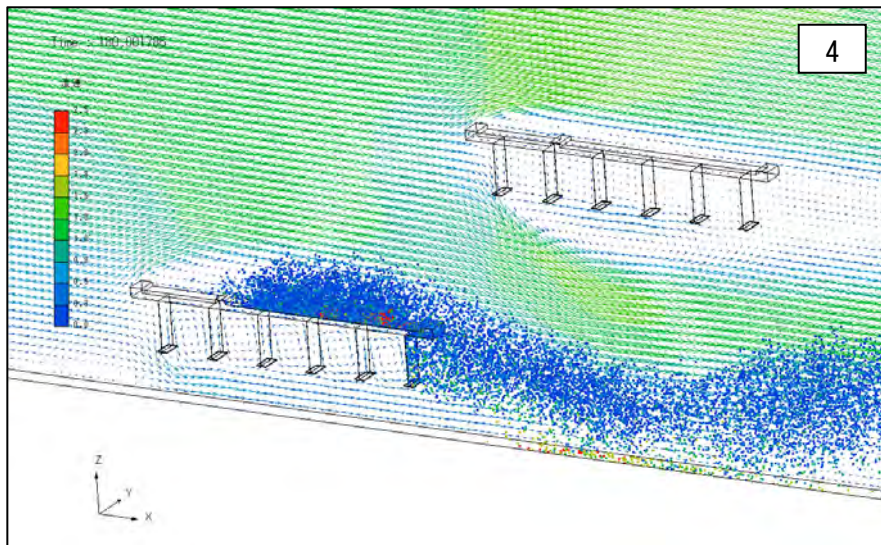


図 4.5.9(1) 並列橋における飛散状況 (Case1-2、高低差 10m、変動風速) (2)

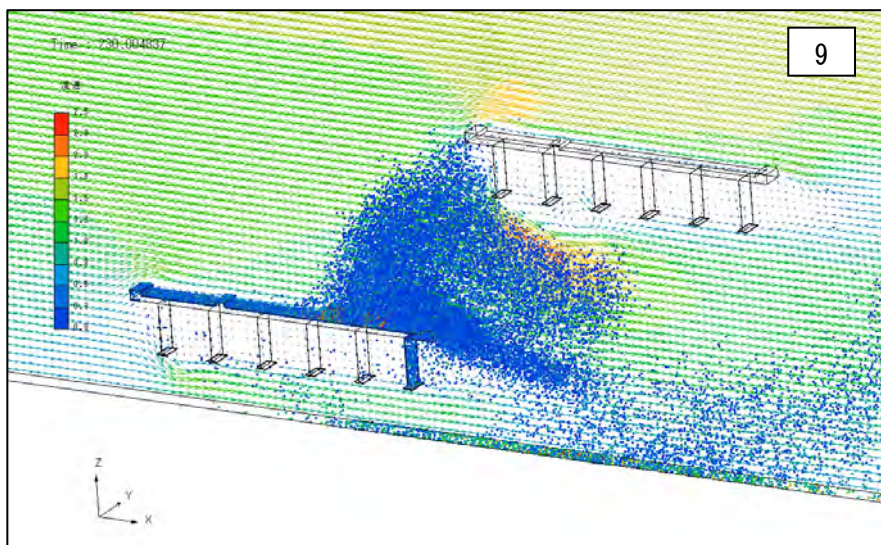
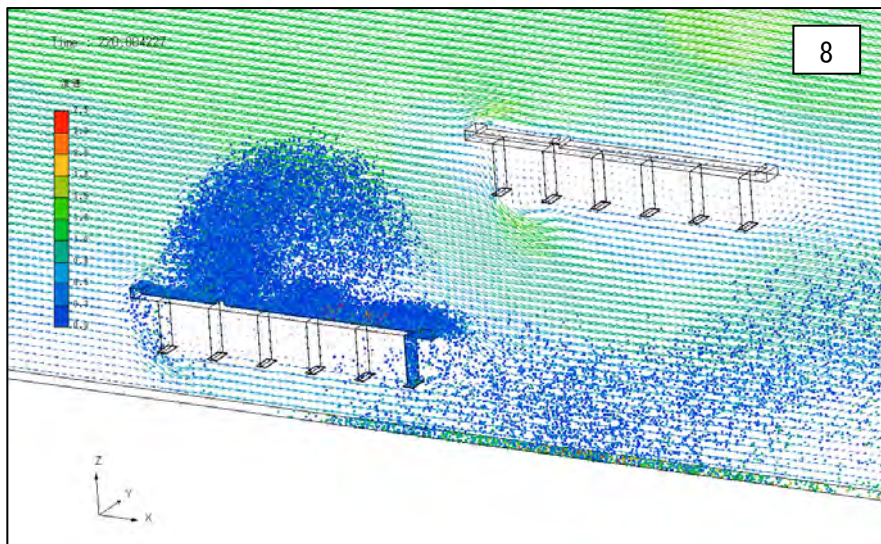
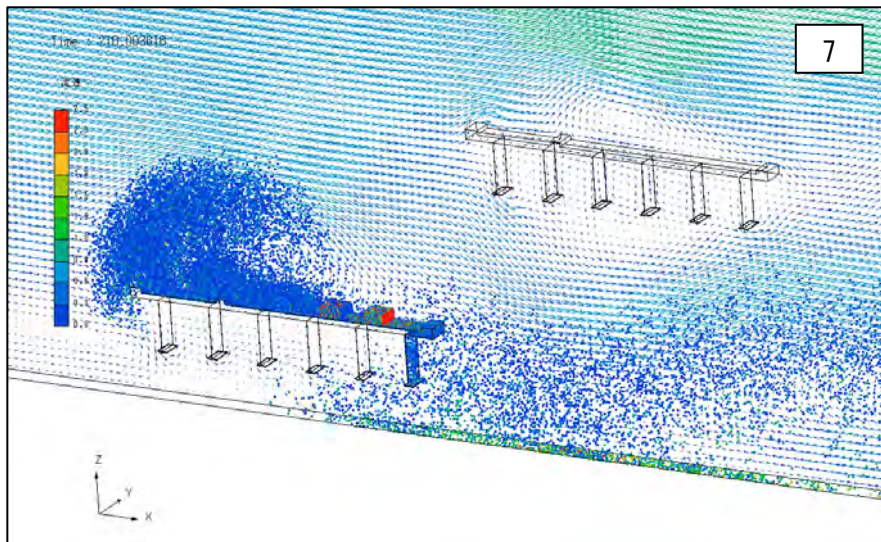


図 4.5.9(1) 並列橋における飛散状況 (Case1-2、高低差 10m、変動風速) (3)

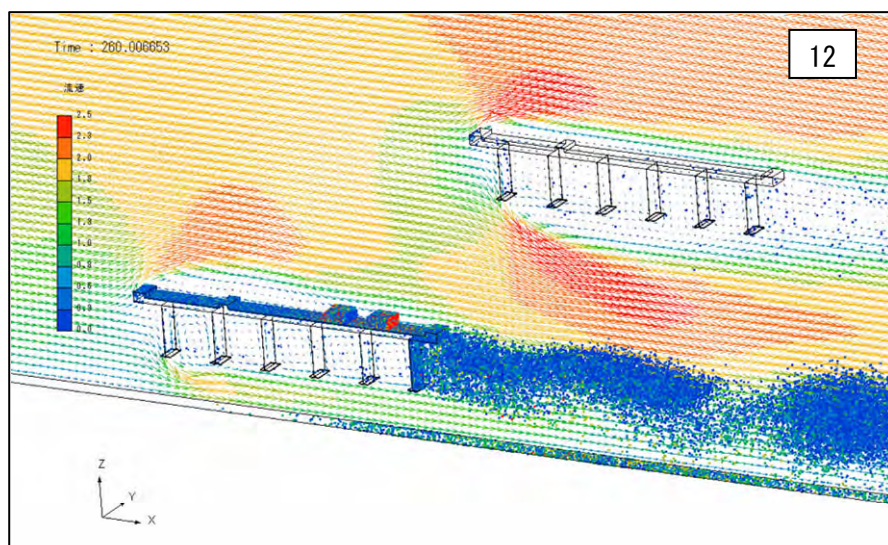
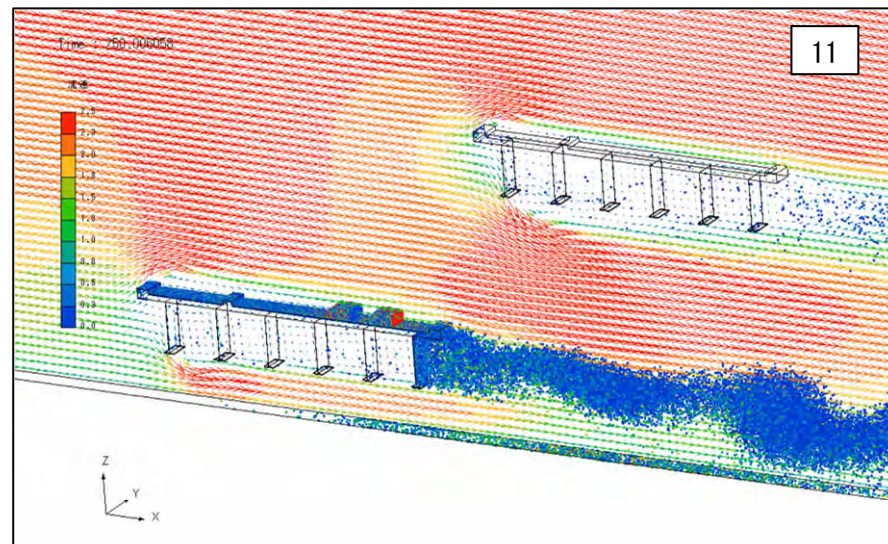
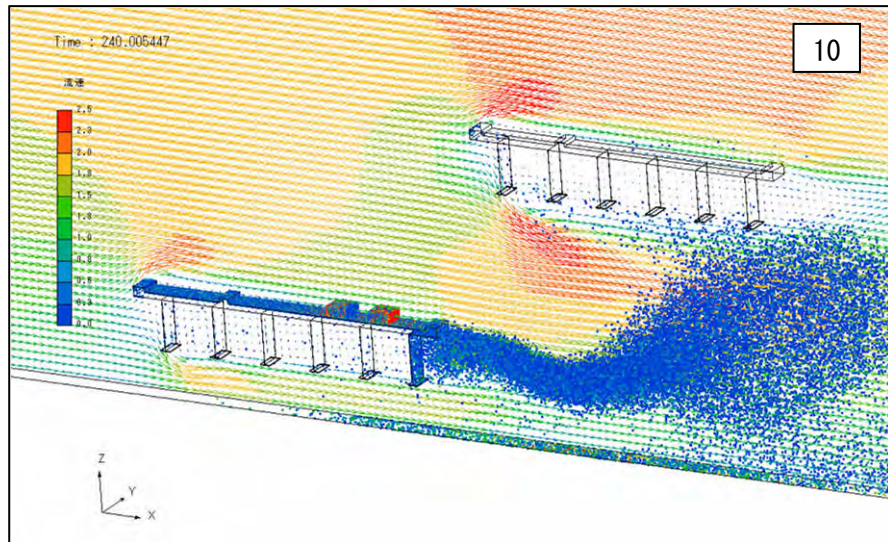
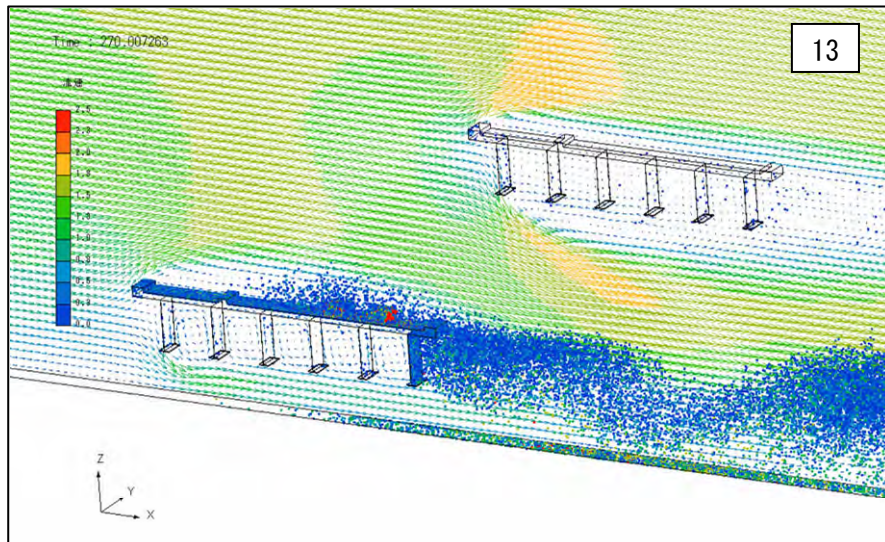
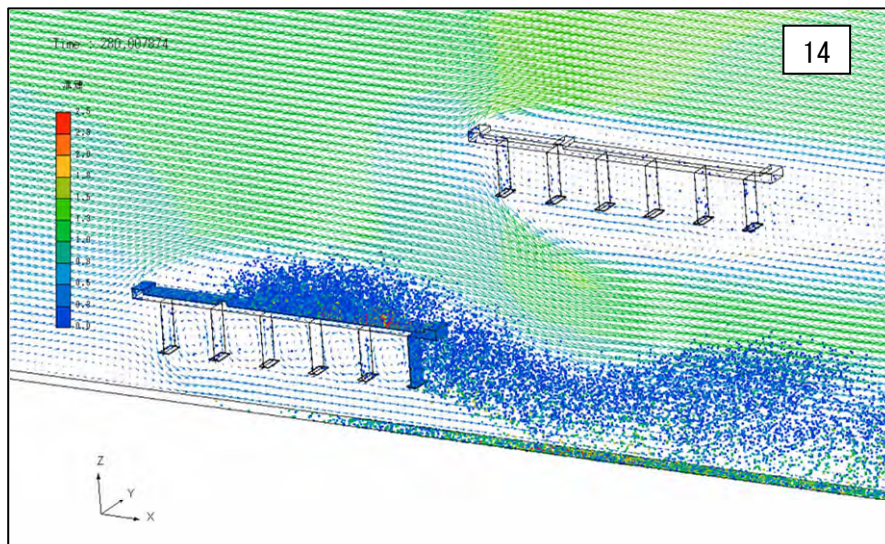


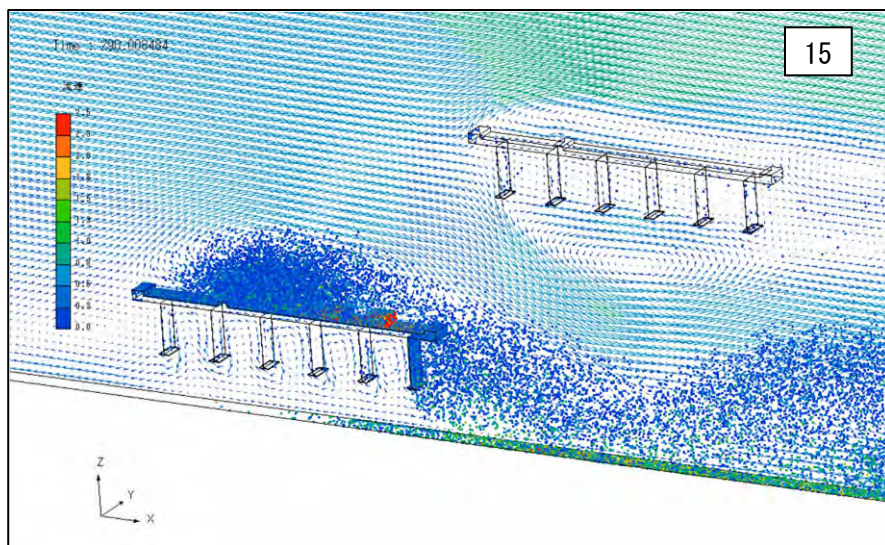
図 4.5.9(2) 並列橋における飛散状況 (Case1-2, 高低差 10m、変動風速) (1)



13



14



15

図 4.5.9(2) 並列橋における飛散状況 (Case1-2, 高低差 10m、変動風速) (2)

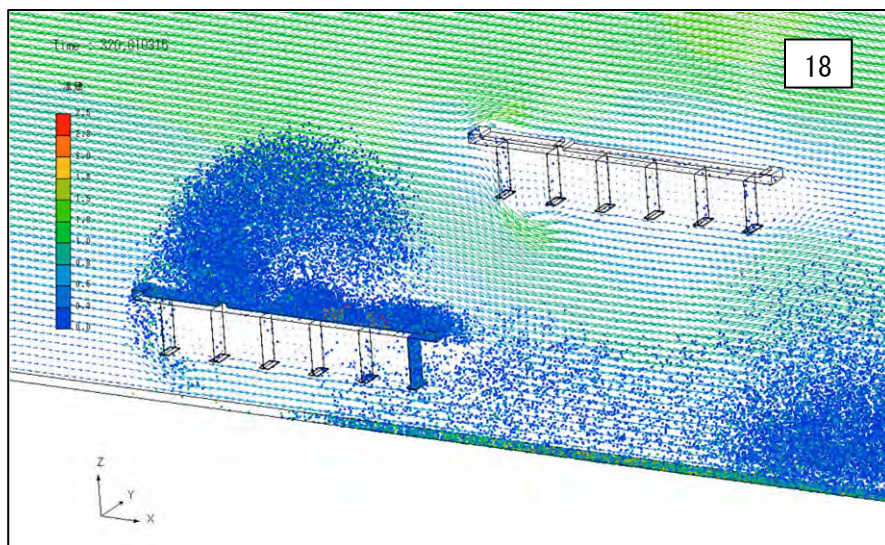
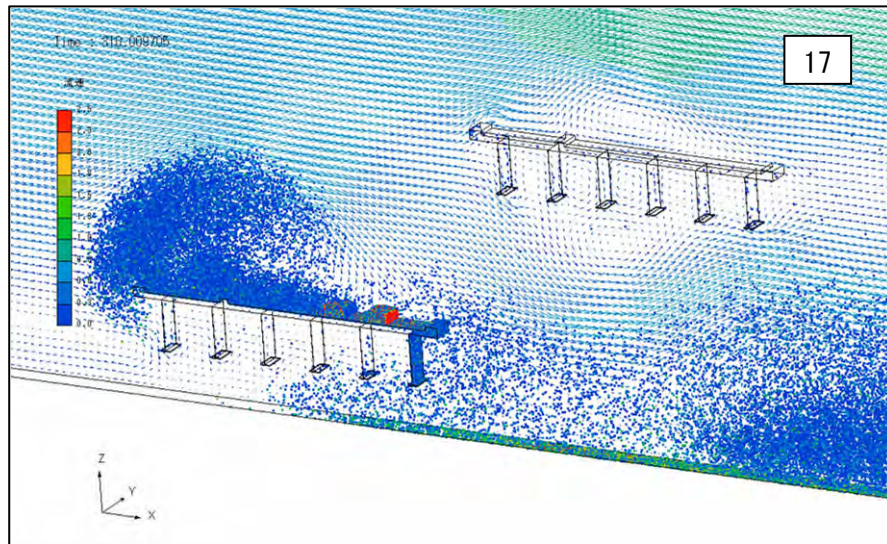
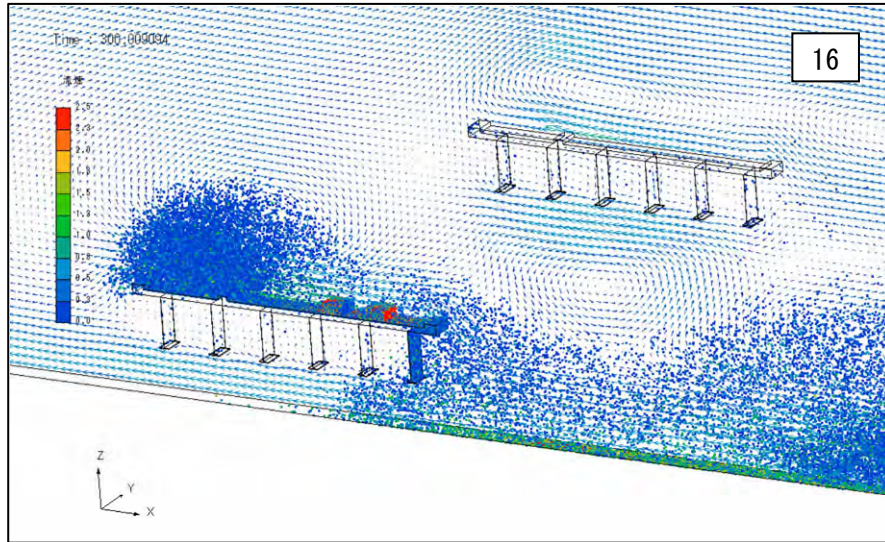


図 4.5.9(2) 並列橋における飛散状況 (Case1-2, 高低差 10m、変動風速) (3)

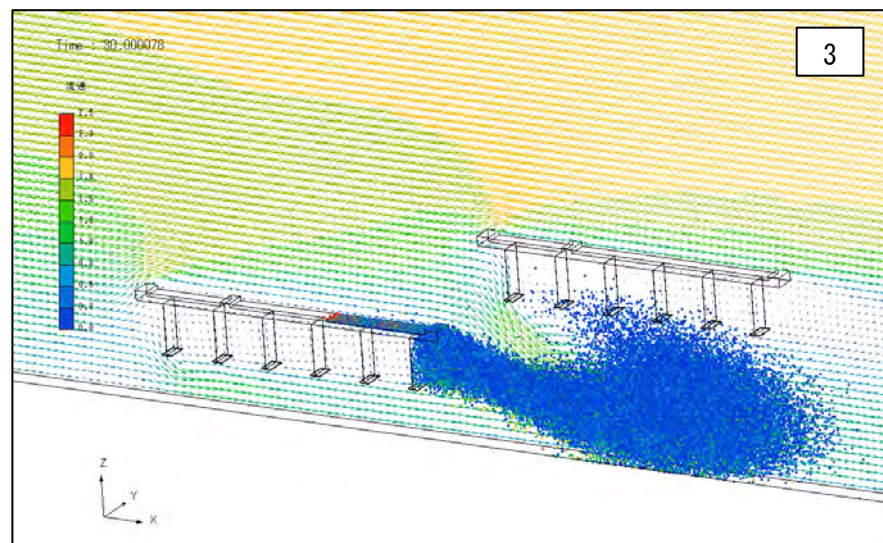
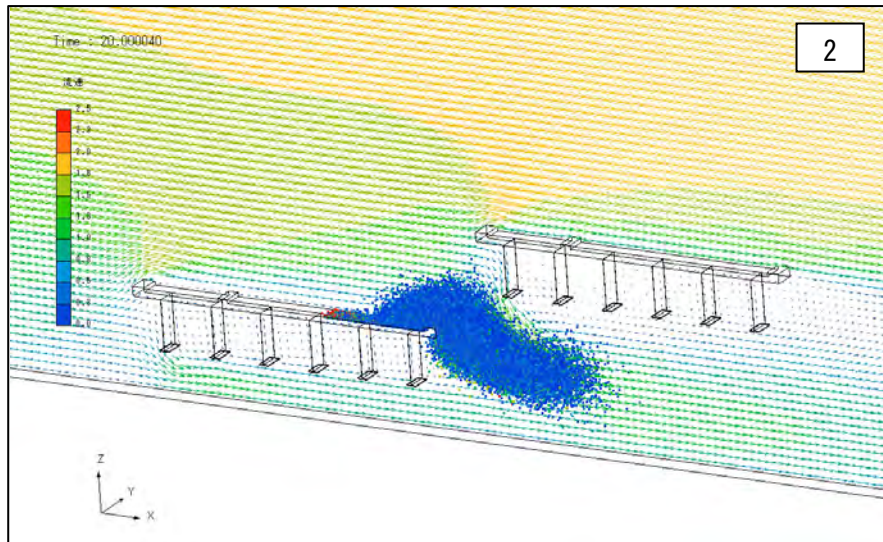
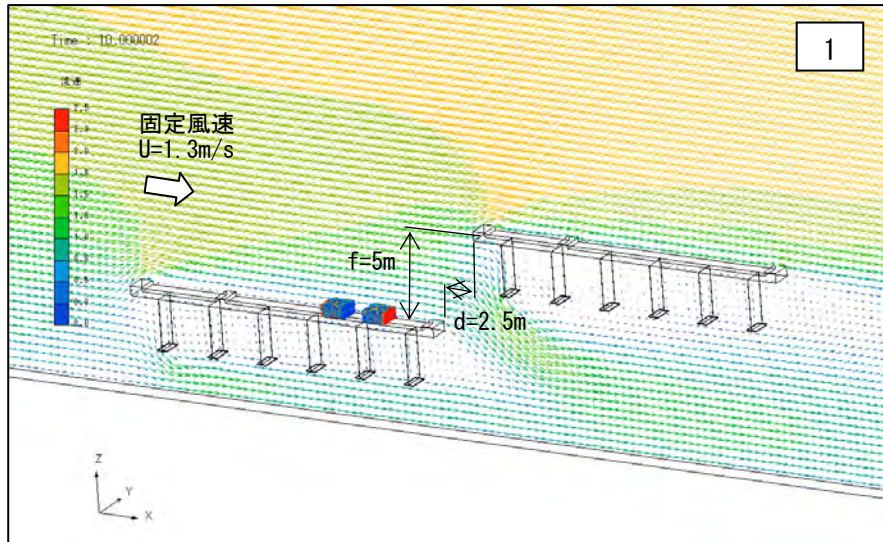


図 4.5.10 並列橋における飛散状況 (Case2-1、高低差 5m、固定風速) (1)

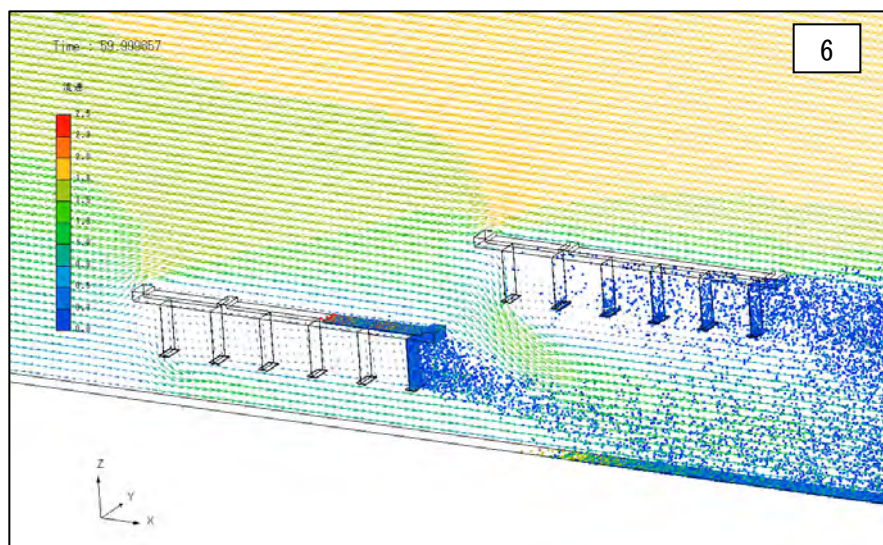
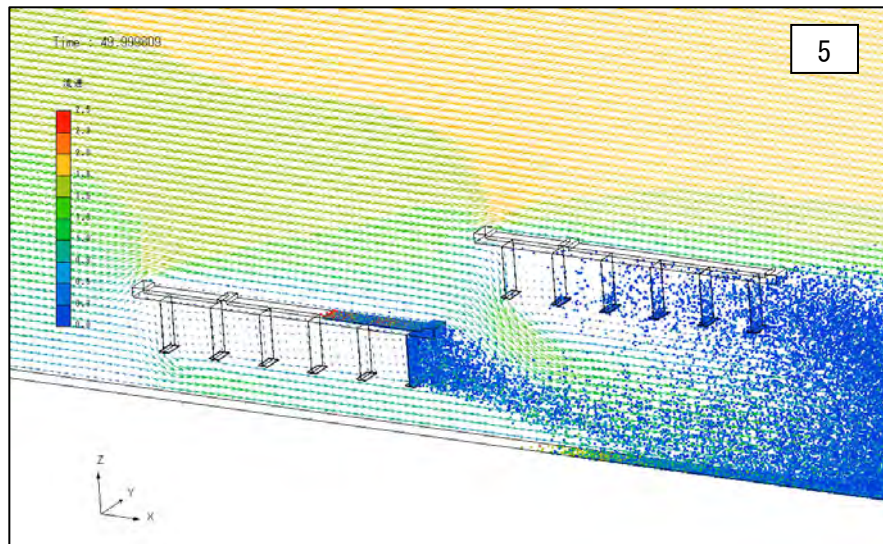
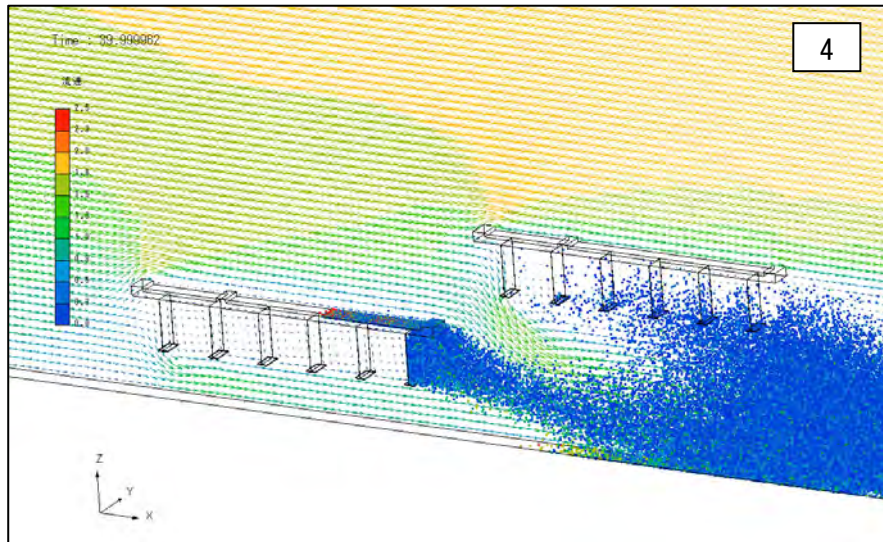
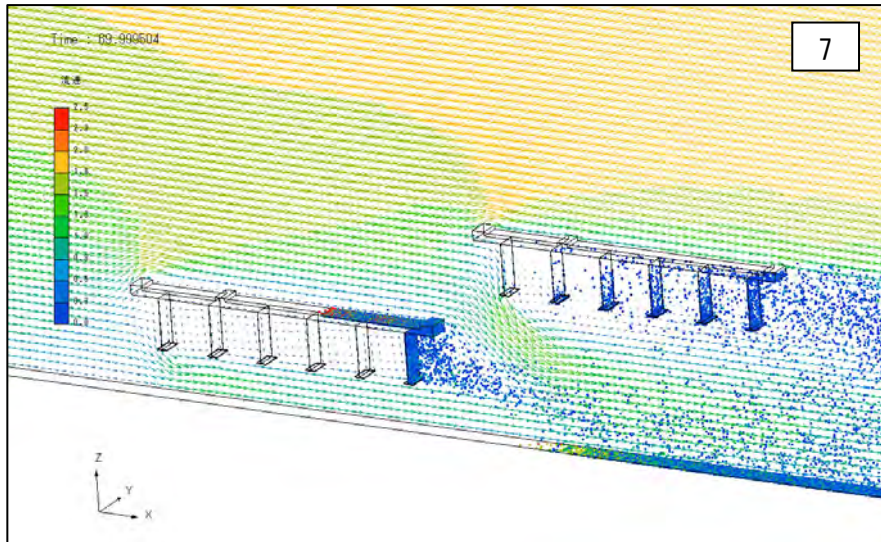
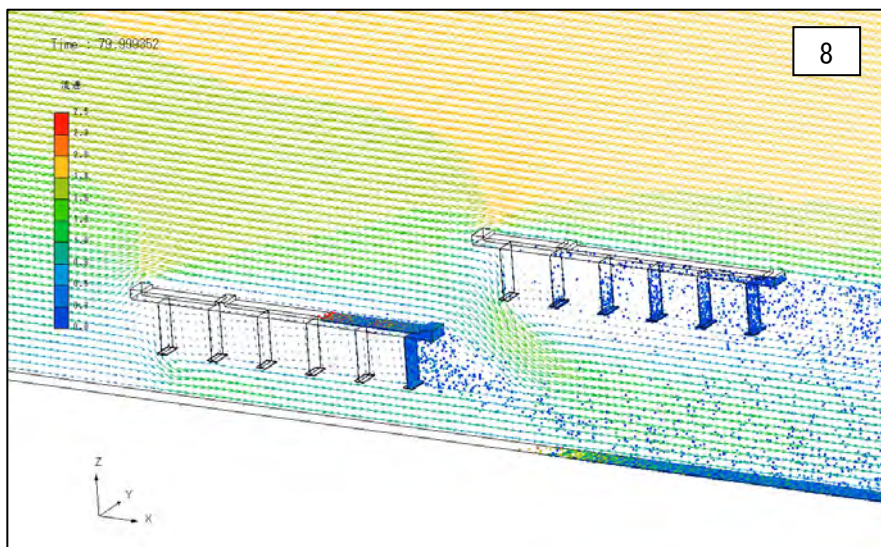


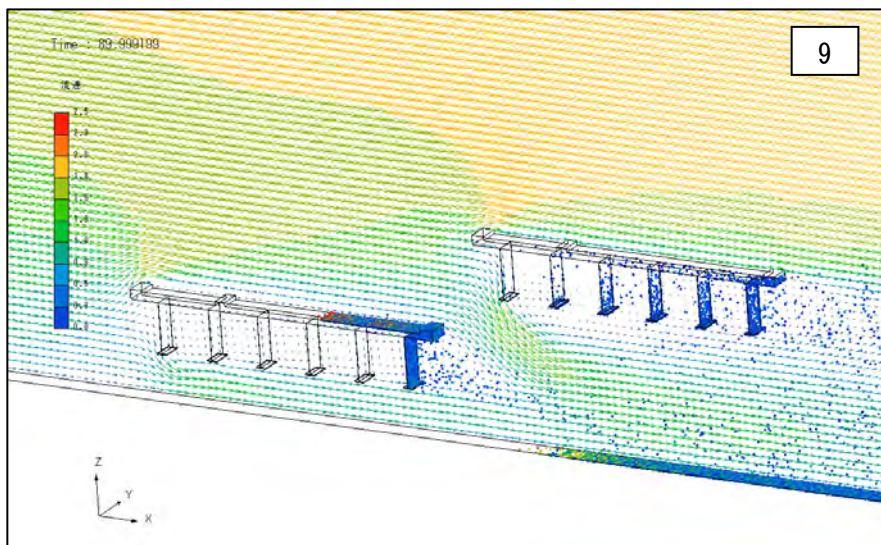
図 4.5.10 並列橋における飛散状況 (Case2-1、高低差 5m、固定風速) (2)



7



8



9

図 4.5.10 並列橋における飛散状況 (Case2-1、高低差 5m、固定風速) (3)

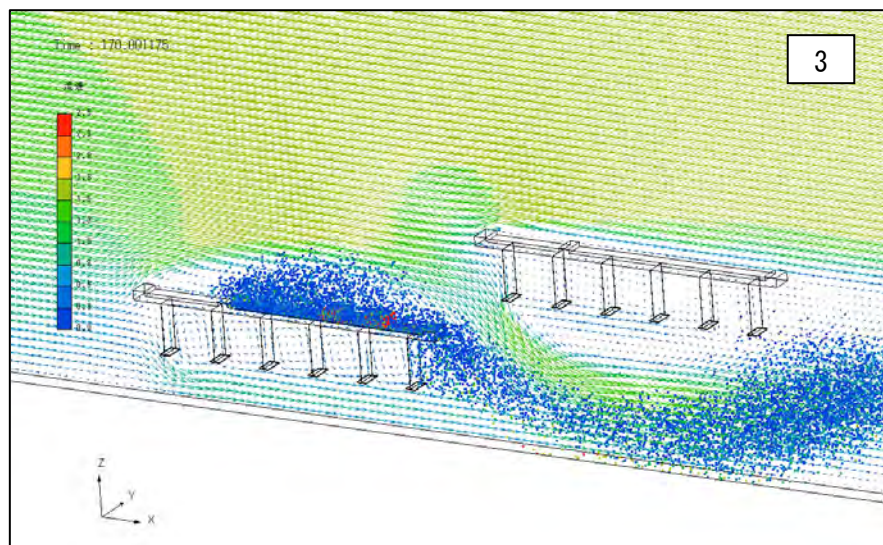
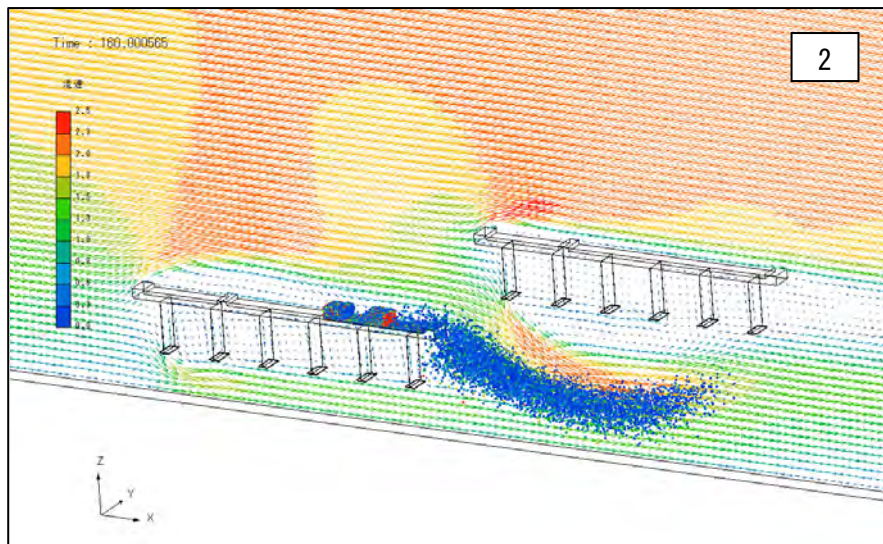
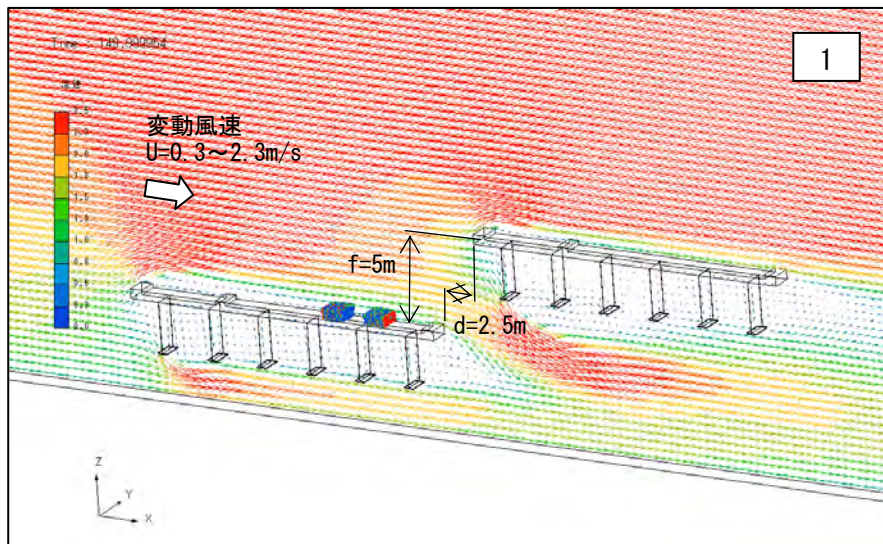


図 4.5.11(1) 並列橋における飛散状況 (Case2-2、高低差 5m、変動風速) (1)

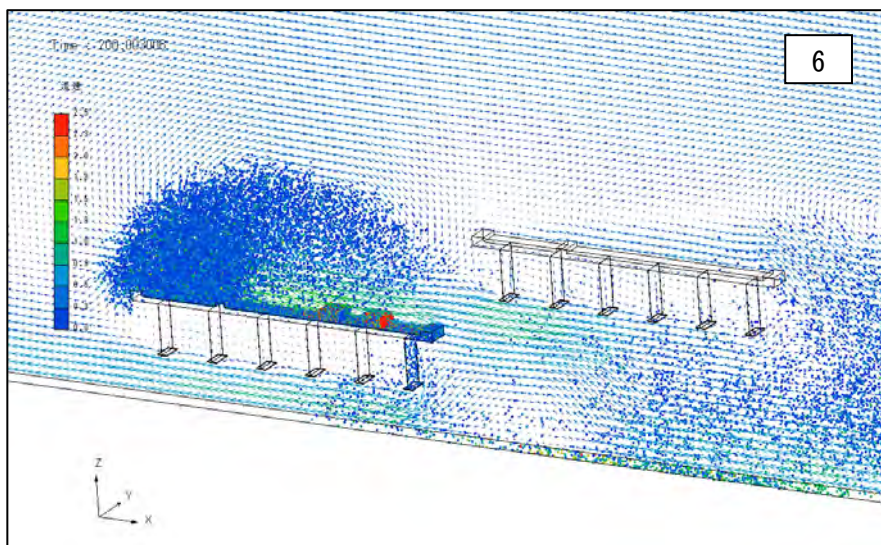
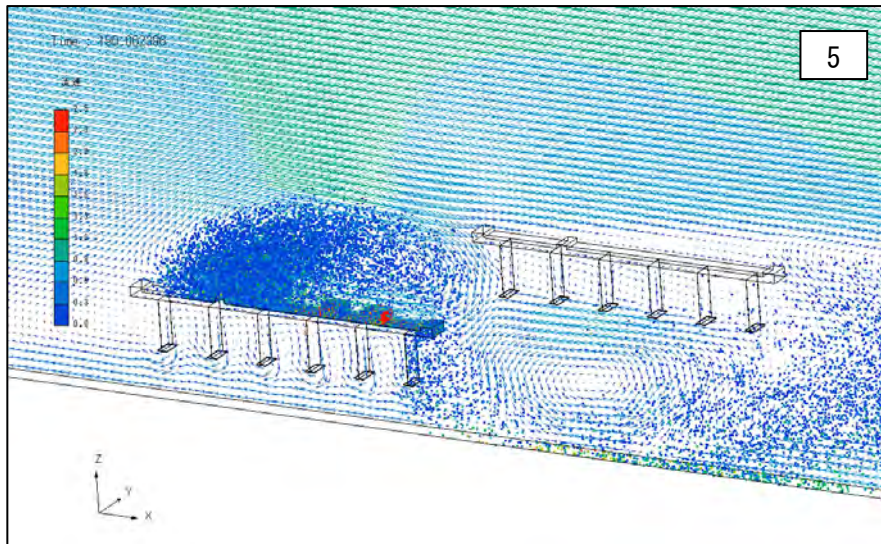
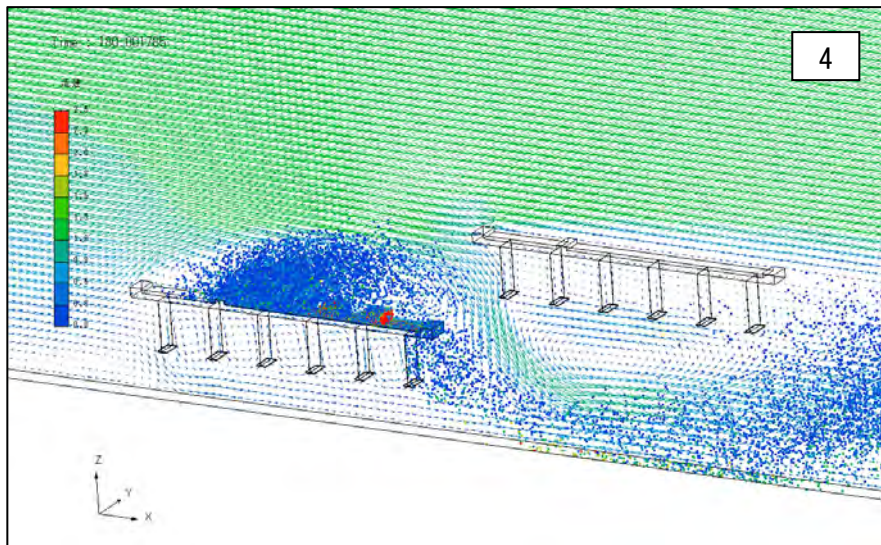
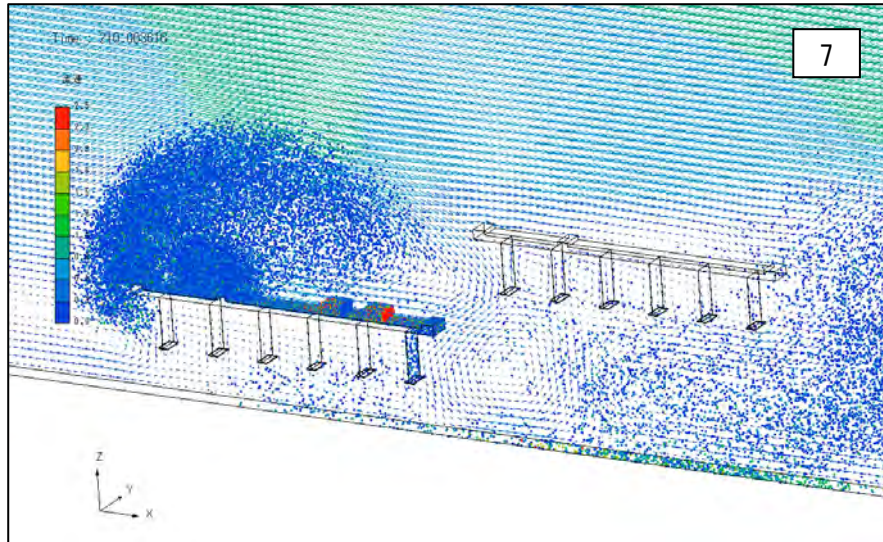
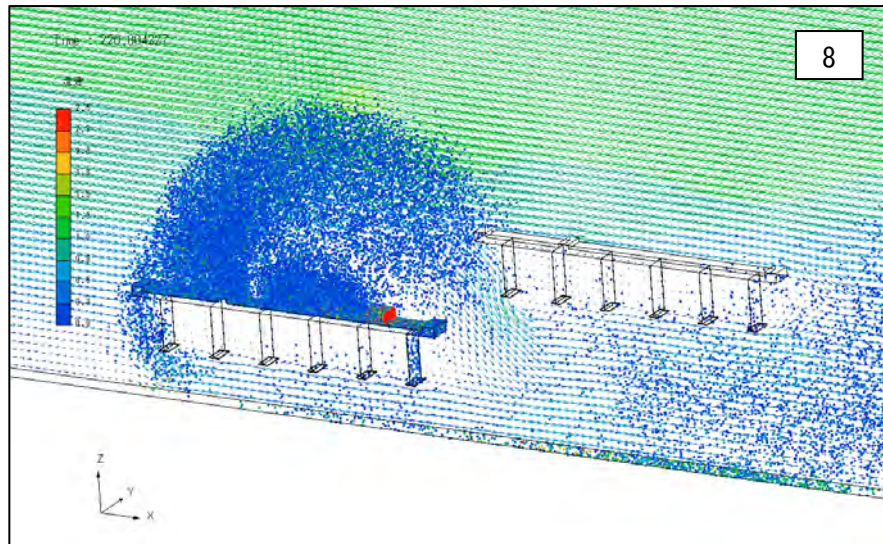


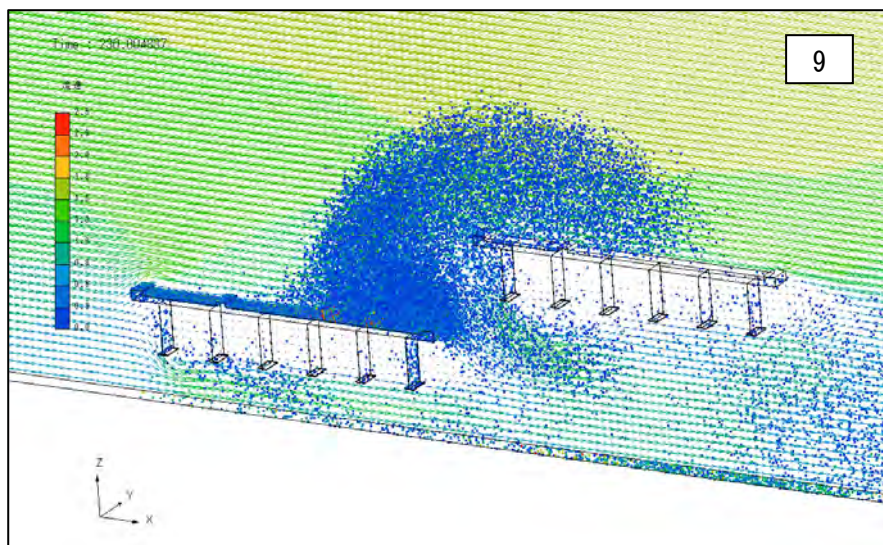
図 4.5.11(1) 並列橋における飛散状況 (Case2-2、高低差 5m、変動風速) (2)



7



8



9

図 4.5.11(1) 並列橋における飛散状況 (Case2-2、高低差 5m、変動風速) (3)

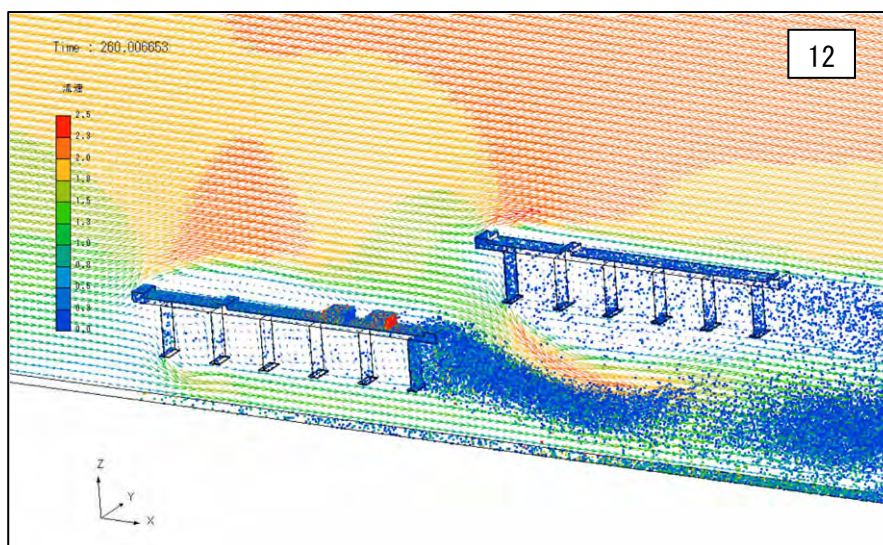
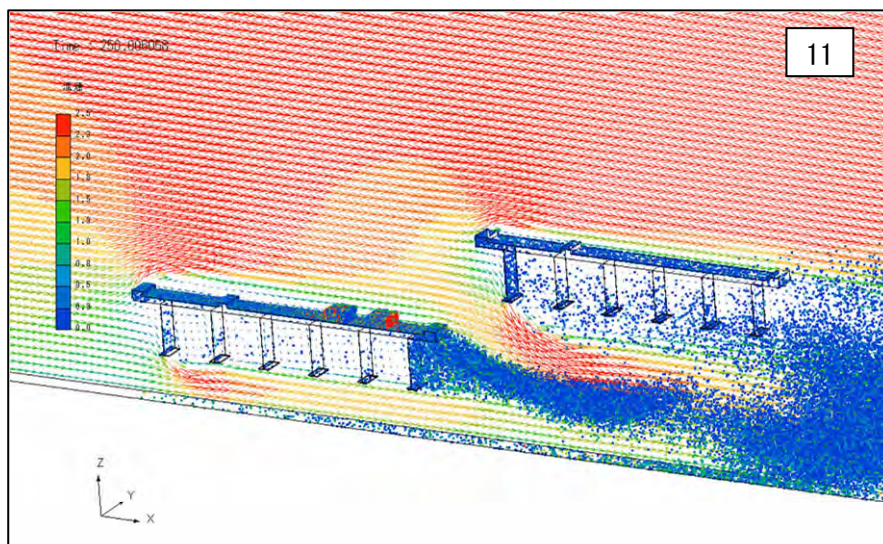
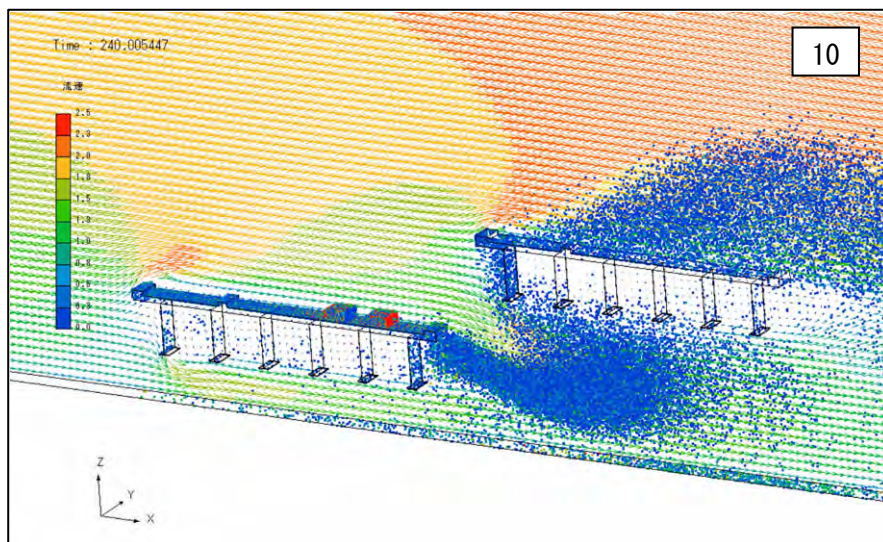


図 4.5.11(2) 並列橋における飛散状況 (Case2-2、高低差 5m、変動風速) (1)

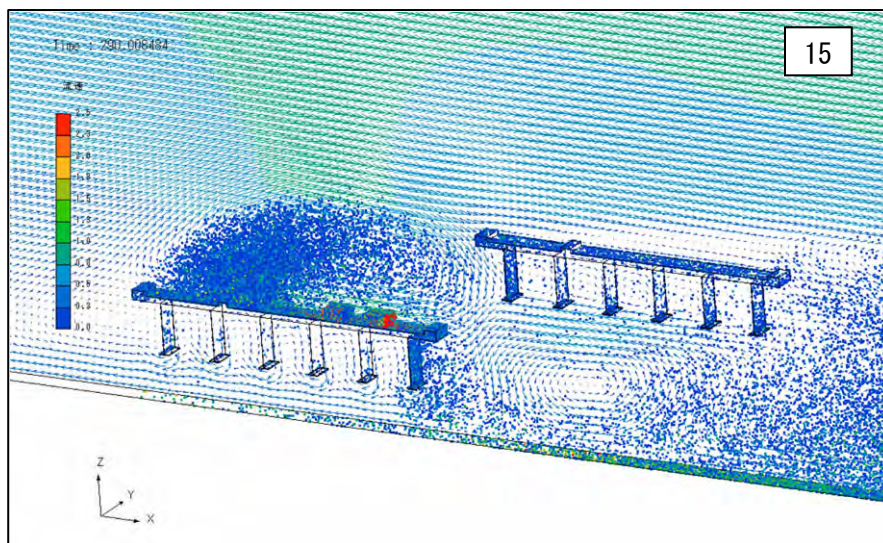
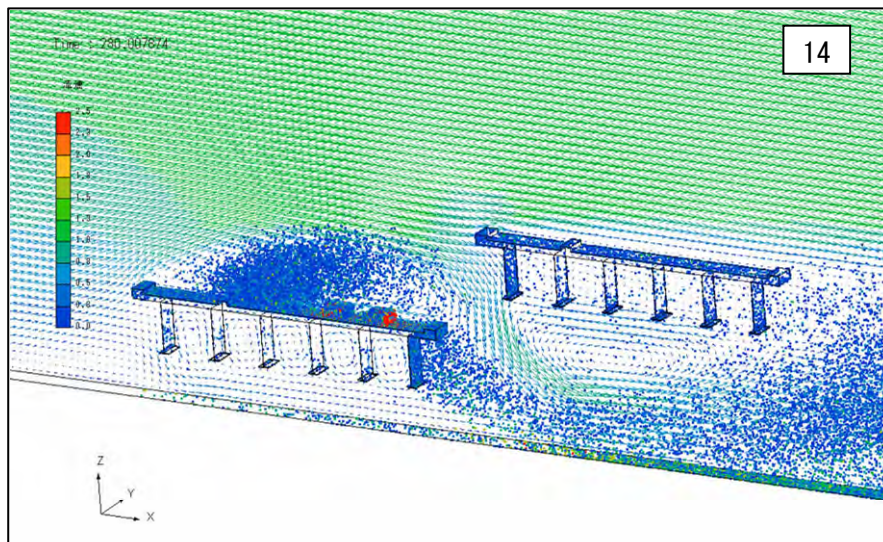
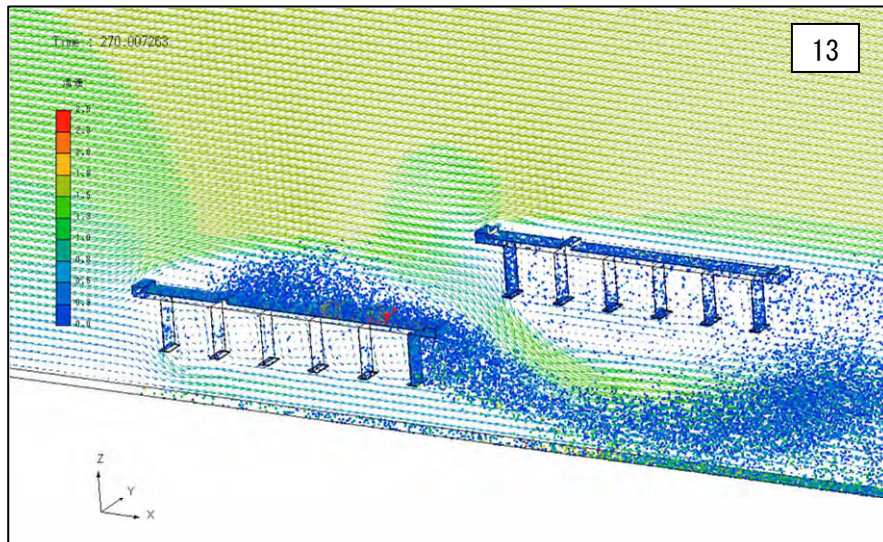


図 4.5.11(2) 並列橋における飛散状況 (Case2-2、高低差 5m、変動風速) (2)

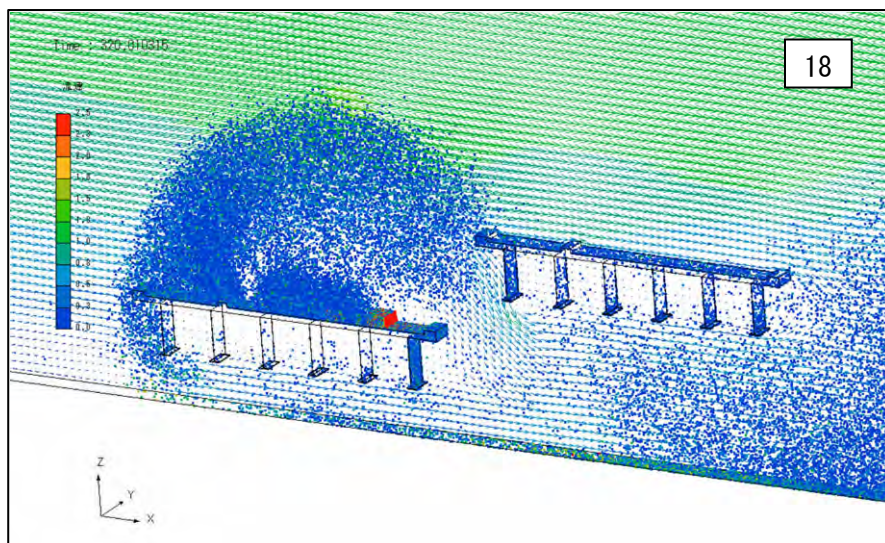
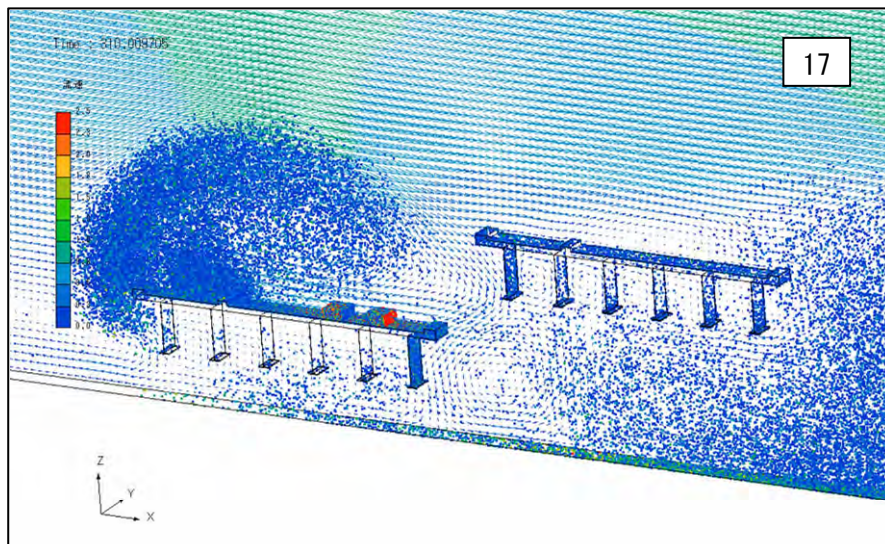
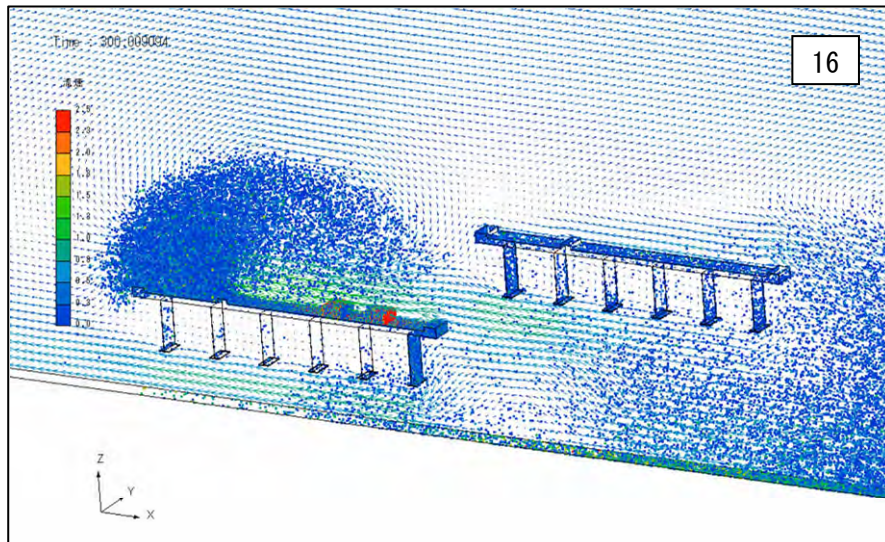


図 4.5.11(2) 並列橋における飛散状況 (Case2-2、高低差 5m、変動風速) (3)

4.6 まとめ

(1) 平地の橋の場合

- ① 平面道路での予備解析結果から、塩分粒子の飛散が減衰曲線 ($q = aX^b$) に概ね従うことを確認できる。さらに、橋面上の一定風速による解析結果から、橋においても $q = aX^b$ の減衰曲線に従って塩分粒子が飛散することを確認できる。
- ② 現地での簡易風速計による観測や降雪時の雪の飛散状況から、橋の周りの風は絶えず変動していることがわかる。本解析では、気流場を単純化して、風速を周期的に変動させた解析を実施した。解析結果は、塩分粒子が桁下へ回り込み、現地調査結果と概ね同様な付着傾向を示している。
- ③ 塩分粒子が路外に飛散し、粒径の大きい粒子は外桁の外側に付着しやすく、風が弱まり逆向きの風になる場合に、粒径の小さい粒子が内桁まで塩分粒子が到達すると考えられる。

今後の課題として、桁空間の構造毎の塩分付着傾向を把握・評価するには、橋の桁空間にのみ着目し、外桁の外側下部に中・小の粒径の塩分粒子を配置した解析を行うことで、桁空間の構造の違いによる塩分付着傾向を把握することが考えられる。

(2) 地山近接橋の場合

固定風速と変動風速ともに、斜面吹き上げ風よりも斜面吹き降ろし風の条件下で桁下空間への塩分の付着量が多くなることから、凍結防止剤は、吹き降ろし風の環境下において桁下空間（外桁・内桁）へ回り込みやすくなり、塩分の付着量も多くなるものと考えられる。

また、変動風速の条件下で桁下空間への塩分の付着量が多いことから、風の変化が大きくなるに従い、桁下空間の塩分付着が多くなるものと推測される。

平地の橋と地山近接橋を比較すると、桁下空間の塩分付着量は、地山近接橋の吹き降ろし風で多くなっている。

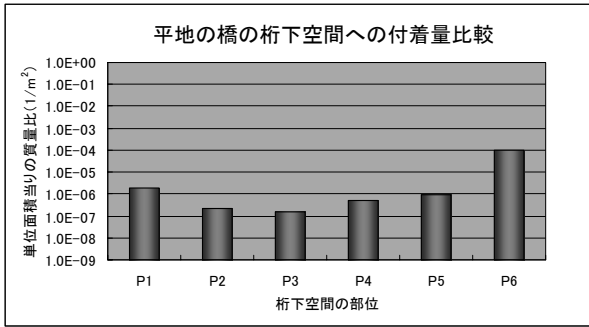
地山近接した橋では、風が吹き上げ、吹き降ろしなど、風の変化が激しいことが予想される。特に吹き降ろし風では地山の風下に位置するため、風速や風向きの変動、又は風の乱れも大きくなり、橋の桁下空間へ塩分が回り込む確率も高くなると推測される。変動風速の条件で解析した平地の橋、地山近接橋における桁下空間の各部位の塩分付着量を図 4.6.1 に、粒子の飛散状況を図 4.6.2 にそれぞれ示す。

(3) 並列橋の場合

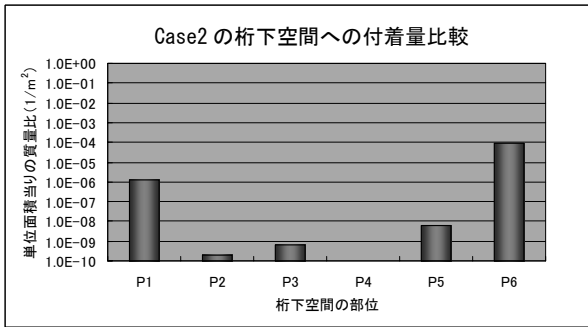
橋の高低差が小さくなるに従って、橋の桁下空間への付着量が多くなるとともに、隣接する風下側の橋への付着量も多くなると推測される。

変動風速の条件で解析した平地の橋と並列橋における桁下空間の塩分付着量を見ると、並列橋は桁下空間の塩分付着量が多くなる傾向が見られ、橋の間の高低差が小さくなるとこの傾向は顕著になっている。変動風速の条件で解析した平地の橋、地山近接橋と一緒に、桁下空間の各部位の塩分付着量を図 4.6.1 に、粒子の飛散状況を図 4.6.2 にそれぞれ示す。

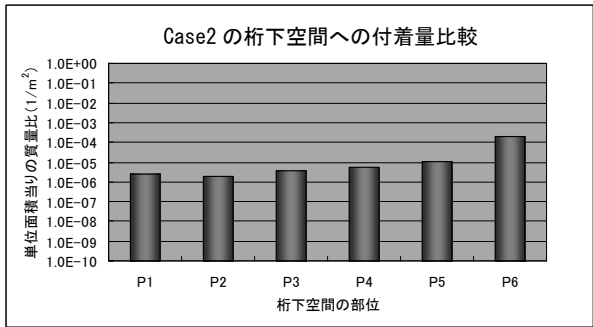
なお、並列橋の解析では、風上側に位置する橋モデル A にしか凍結防止剤を模擬した粒子を設定していない。このため、変動風速の条件では、橋モデル B の路面からの凍結防止剤の飛散を追加して考慮すると、平地の橋よりも並列橋の方が桁下空間への塩分の付着量はさらに多くなることが予想される。



【平地の橋】

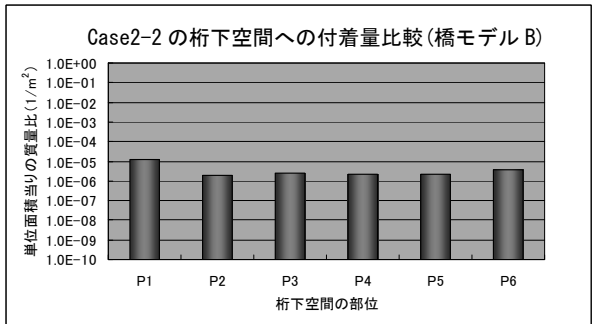
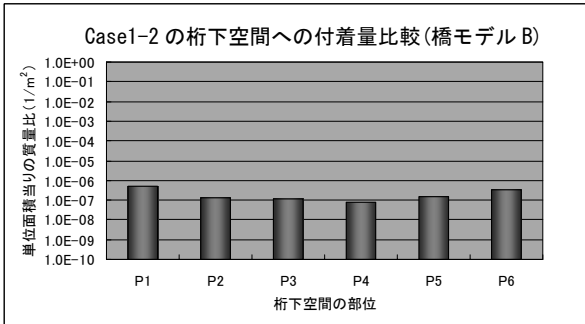
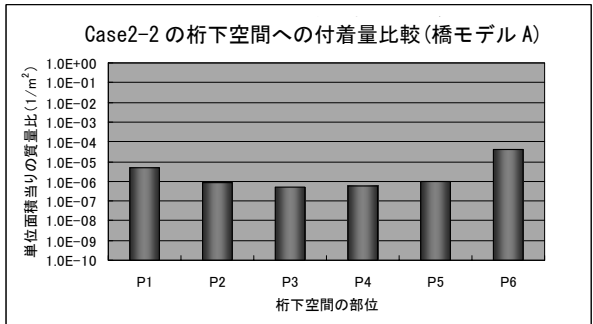
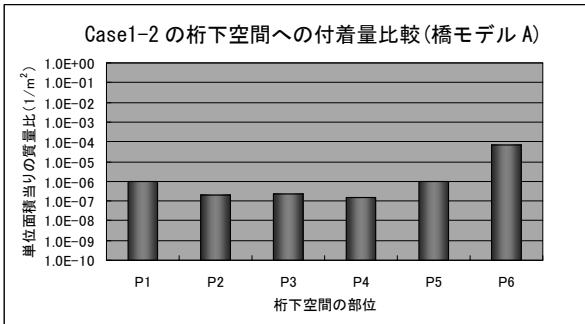


<吹き上げ風>



<吹き降ろし風>

【地山近接橋】

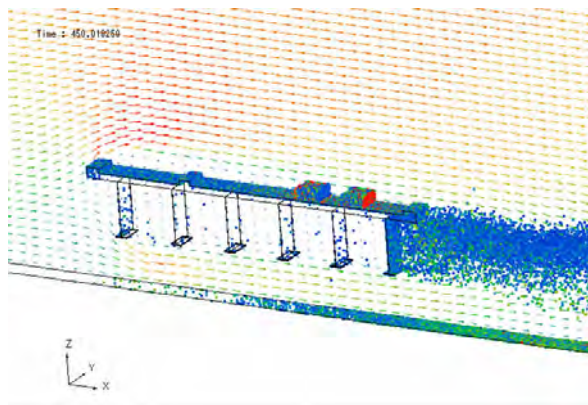


<高低差 10m>

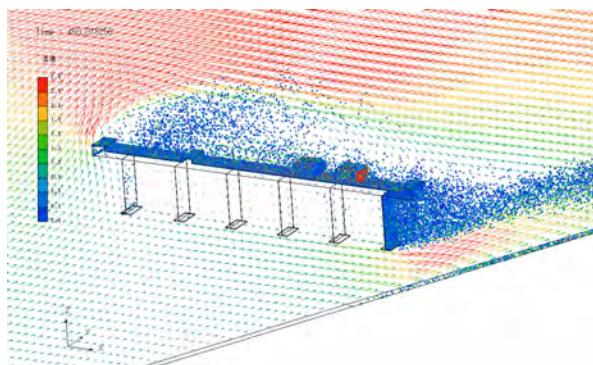
<高低差 5m>

【並列橋】

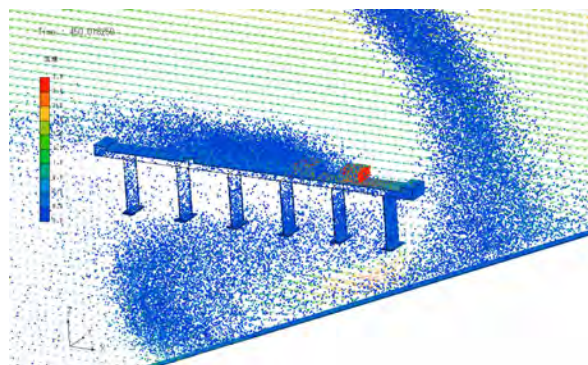
図 4.6.1 各架橋条件下における解析結果比較 (付着量)



【平地の橋】

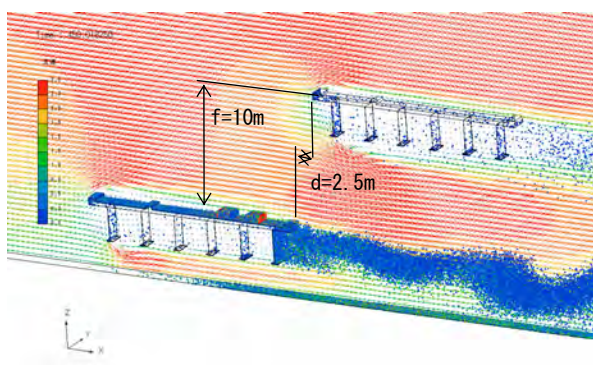


<吹き上げ風>

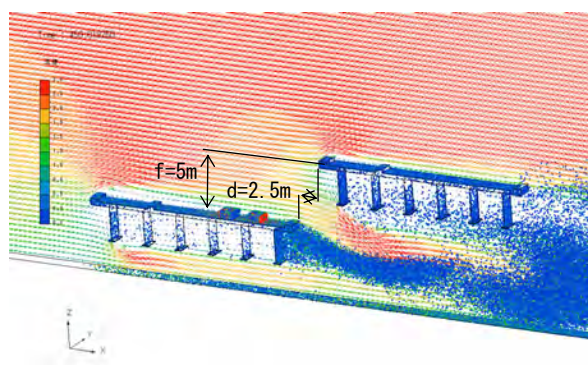


<吹き降ろし風>

【地山近接橋】



<高低差 10m>



<高低差 5m>

【並列橋】

図 4.6.2 各架橋条件下における解析結果比較（粒子拡散状況）

【4章参考文献】

- 4.1) 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料第 412 号 凍結防止剤散布と沿道環境，2007. 7
- 4.2) 角湯克典，大西博文，並河良治：凍結防止剤の飛散状況に関する研究，第 24 回 日本道路会議，pp. 152-153，2001. 10
- 4.3) 中村秀治，藤井堅，緒方琴未・田口義隆：地形影響を考慮した飛来塩分量の推定と構造物への塩分付着に関する検討，鋼構造論文集，第 14 巻第 54 号，pp. 43-54，2007
- 4.4) 加藤 央之・赤井幸夫：簡易型塩分飛散予測モデルの構築と評価，農業気象，57(2)，pp. 79-92，2001. 6
- 4.5) 武邊勝道，松崎靖彦，大屋誠，安食正太，古川貴士，麻生稔彦：耐候性鋼橋梁の表面状態と付着塩類量の関係，土木学会論文集 F，Vol. 63No. 2，pp. 172-180，2007. 5
- 4.6) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：設計要領 第二集 橋梁建設編，pp. 7_16-7_17，2013. 7
- 4.7) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：設計要領 第二集 橋梁建設編，pp. 7_86，2011. 7