

土 木 研 究 所 資 料

道路トンネル坑口付近の排気ガス拡散
風洞実験報告（Ⅱ）

昭和60年 3 月

建設省土木研究所
道路部トンネル研究室

Copyright © 59 年度 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

道路トンネル坑口付近の排気ガス拡散 風洞実験報告（Ⅱ）

トンネル研究室 室長 水谷 敏 則

研究員 秋 山 清

研究員 真 下 英 人

要 旨

道路トンネルの坑口あるいは換気塔からは、自動車排出ガス中に含まれる大気汚染物質により汚染された空気が連続的に排出されている。このため、排出地点における局所的な大気汚染が問題とされることがある。

このため、このような地域における大気汚染物質の拡散状況を、事前に予測する手法の確立が求められている。

現在一般に検討されている予測手法では、数値解析による方法と、拡散風洞を用いた模型実験による方法がある。

ここでは、模型実験による予測手法について検討するため、基礎的な実験を行い、現段階で実用的な実験パラメータを提案した。

キーワード：道路トンネル，大気汚染，交通公害，風洞実験

目 次

1. まえがき	1
2. 坑口拡散模型実験 (その 4)	2
3. 坑口拡散模型実験 (その 5)	2 2

2. 坑口拡散模型実験（その4）

（ 模型の縮率 1/80
道路に直交する風向
坑口噴流による濃度分布
模型車両の走行による濃度分布 ）

2.1	概 説		3
2.2	実験概要		4
2.3	実験方法		11
2.4	実験結果		13
2.5	ま と め		15

2. 坑口拡散模型実験（その4）

2.1 概 説

風洞模型実験による大気汚染予測手法では、常に現地条件との相似性が問題とされる。一般に考慮されている相似則は、地形の幾何学的相似、大気の流れの状態の相似および拡散係数の相似である。

道路トンネルの坑口周辺を対象とする場合にはさらに、走行車両の影響やトンネル内換気風速の影響なども考慮しなければならない。

走行車両が坑口周辺の大気拡散現象に与える影響としては、トンネル内を走行する車両のピストン効果による坑内風速への影響と、走行車両の後流に発生する乱流内にトンネル内の汚染物質がとり込まれてトンネル外に搬出されるひきずり現象および走行車両によるかく乱混合作用がある。

ひきずり現象の説明図を図2.1に示す。自動車が走行すると、空気抵抗に相当する走行風が誘起され、かつ自動車後流部では激しい乱流域が形成され、乱流域内の空気は自動車とともに移動する。トンネル坑口部においては、トンネル内の高濃度の汚染物質がこの乱流域内にとり込まれてトンネルの外に搬出されることにより、坑口付近の明り部道路上に高濃度の汚染域が形成される。

実際のトンネルで行ったトレーサースガスによる大気拡散実験によれば、自然風が坑口に向かう方向に吹いている場合でも、明り部道路上には比較的高濃度の汚染域が形成されており、ひきずり現象の存在が明らかにされている¹⁾。

したがって、風洞模型実験ではこのひきずり現象を模型上に再現させる必要がある。

既報の坑口拡散模型実験（その3）²⁾では、模型道路上に模型車両を走行させることにより、ひきずり現象を再現することが可能であることを明らかにした。しかし、この実験では、風洞風が坑口に対向して吹く状態（向い風）について検討したもので、他の風向については不明であった。

このため、坑口拡散模型実験（その4）では、道路に対して直角に吹く風（横風）について基礎的実験を行い、ひきずり現象を再現するための実験パラメータについて検討した。

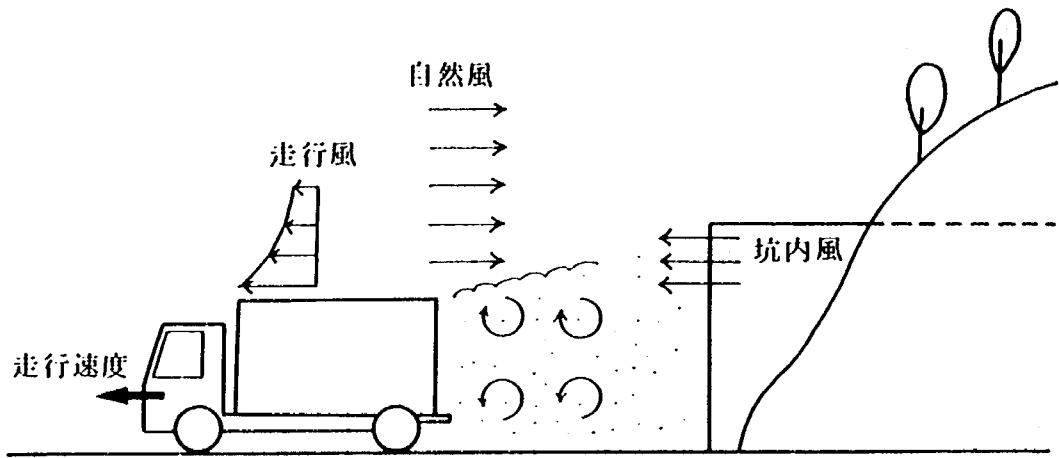


図 2.1 ひきずり現象概念図

2.2 実験概要

2.2.1 風 洞

実験に使用した風洞は、石川島播磨重工業（株）、大型大気乱流風洞である。

風洞全体図を図 2.2 に、諸元を表 2.1 に示す。

2.2.2 模 型

模型設置図を図 2.3 に示す。この模型は、坑口周辺の地形を単純化したもので、坑口周辺の地形は平坦地形とした。模型の幾何縮率は $1/80$ である。模型床下部には、模型車走行装置が取付けられており、2車線の道路上に模型車両を任意の速度で走行させることができる。図 2.4 に模型車両の設置状況を示す。模型車寸法は高さ 5 cm、幅 4.7 cm、長さ 10 cm の直方体とした。

図 2.5 にトンネル部の設置状況を示す。トンネル断面は、高さ 8 cm、幅 16 cm の長方形とした。トンネル内には、ブローアにより空気を送入し、坑内風速を再現させた。

トンネル中央部壁面からトレーサースガス（ C_2H_4 ）を供給した。

模型設置状況を、写真 2.1，2.2 に示す。

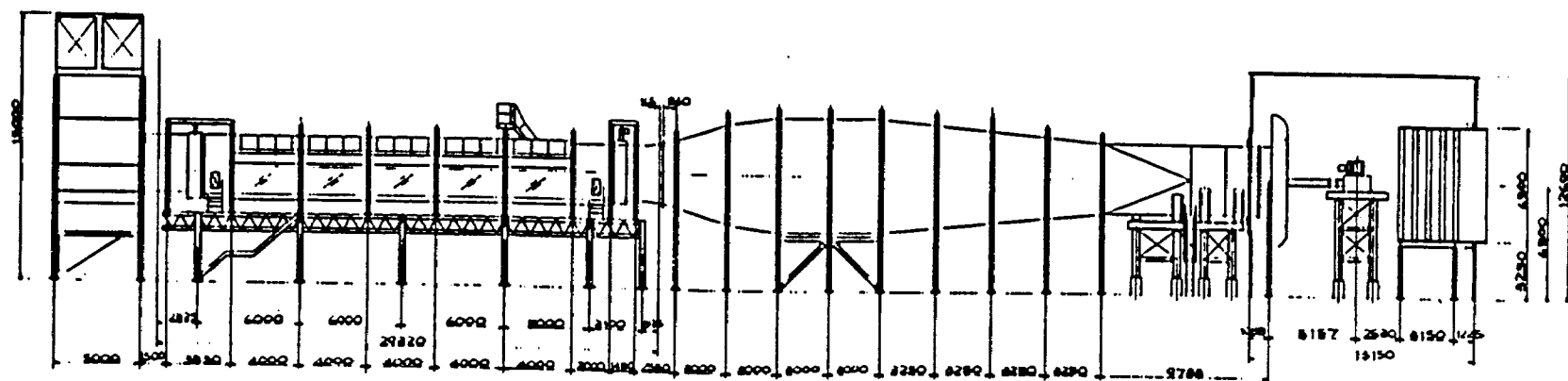


図 2.2 風洞全体図

表 2.1 風洞諸元

大型大気乱流風洞	
1 型 式	エッフェル型
2 主要寸法 (測定部)	$6\text{m}^W \times 3\text{m}^H \times 24\text{m}^L$
3 送 風 機	軸流1段電動機直結
4 動 力	350kW直流電動機 (SCR制御)
5 回 転 数	450rpm
6 風速範囲	0.5~15m/s
7 附属装置	
(a) コンピュータ	HP-1000 (ミニコン)
(b) トラバース装置	5軸自動制御
(c) そ の 他	境界層シミュレータ 変動風発生装置 ターンテーブル

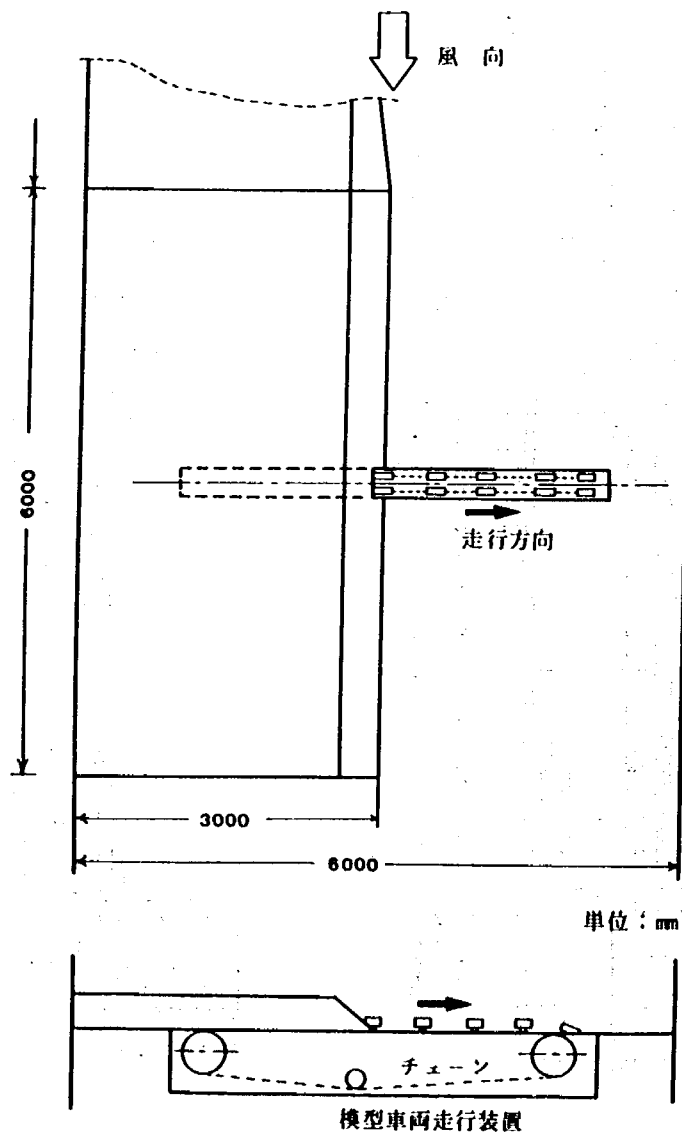


図 2.3 模型設置図

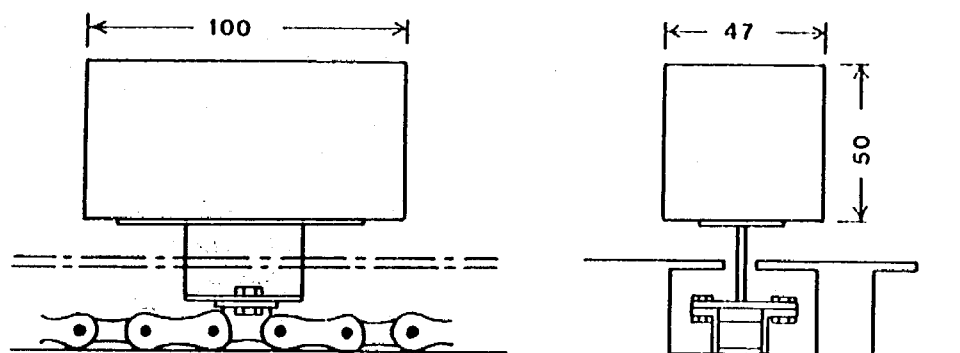


図 2.4 模型車両の設置

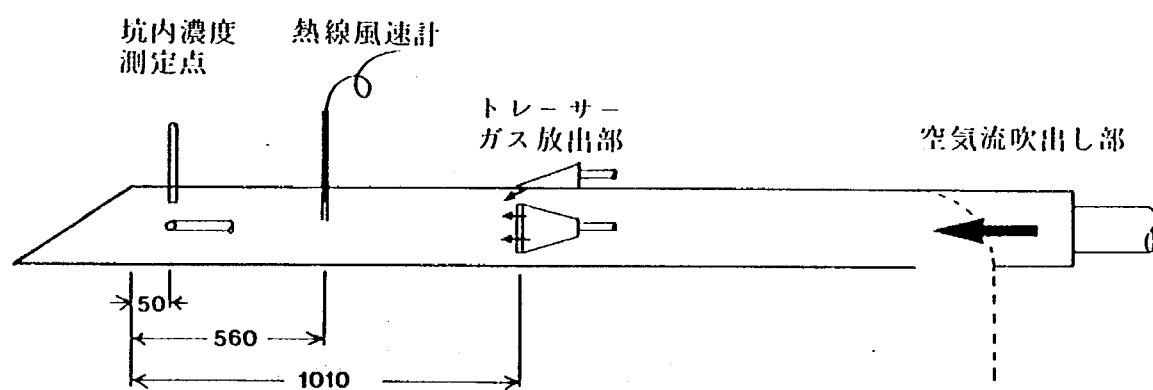


図 2.5 模型トンネル部

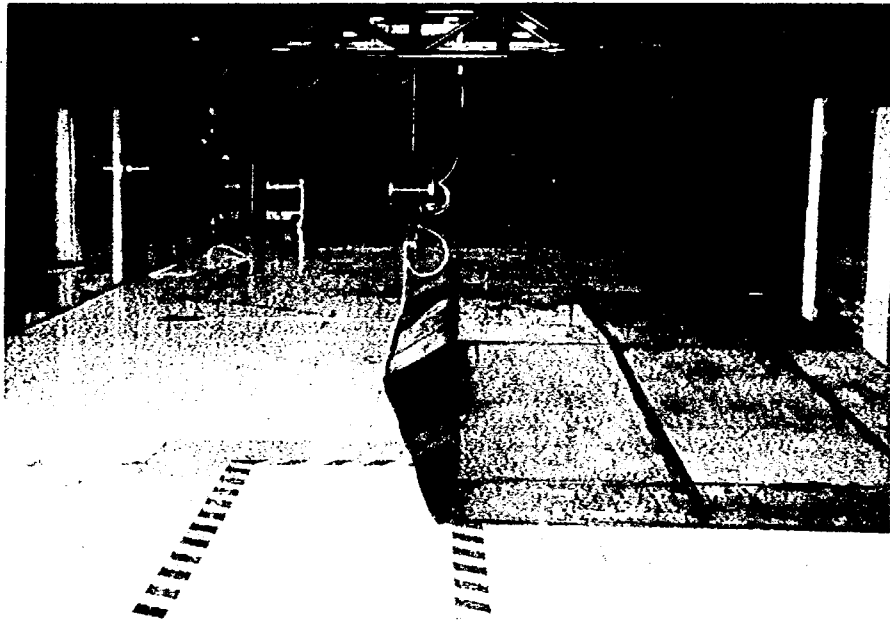


写真 2.1 模型全体図



写真 2.2 模型車両

2.2.3 測定項目，測定装置

測定項目，測定装置を表 2.2 に示す。

2.2.4 実験条件

実験条件を表 2.3 に示す。

Case 1～4 は，坑内風速を与え，坑口の噴流のみによる拡散状況を把握することを目的とした。したがって，模型車両は設置しないものとした。

条件の設定は，風洞風速 (u) を変化させ，坑内風速 (V_g) との比 V_g/u の値がそれぞれ約 1.3 および 2.7 になるように坑内風速を設定した。

Case 5～10 は，模型車両を設置し，模型車両が走行した場合の拡散状況を把握することを目的とした。なお車両は 2 車線とも坑口から出る方向に走行させた。

条件の設定は，風洞風速と車両走行速度 (V_c) との比 V_c/u の値が，それぞれ約 1.0 および 2.0 となるように設定した。また， V_c/u の値が 1.6，4.3 となるように設定した。

このときの坑内風速は，模型車両の走行により誘起されたものである。

表 2.2 測定項目，測定装置

測定項目	測定装置	形式
トレーサーガス濃度分布	ガスサンプリングプローブトラ バース装置 全炭化水素分析装置 計測制御データ処理システム	Model 400 J (Beckman) YHP 1000 システム (YHP)
風洞風速	タービン風速計 熱線風速計 " ギル型風速計	DR-1 型 V-60 Model 614 (KANOMAX) HC-30 (SOKKEN) 光進電機
坑内風速	熱線風速計	HC-30 (SOKKEN)
車両速度	回転計	11TG-D011 (SHINKOH)

表 2.3 実験条件

Case	風洞風速 u (m/sec.)	坑内風速 *) V_g (m/sec.)	車両速度 V_c (m/sec.)	V_g/u	V_c/u	備 考
1	1.5	2.0	—	1.3	—	模型車両なし
2	0.7	1.9	—	2.7	—	
3	3.0	3.5	—	1.2	—	
4	1.5	3.9	—	2.6	—	
5	0.7	1.0	1.4	—	2.0	模型車両あり 車頭間隔 38 cm
6	1.5	1.0	1.6	—	1.1	
7	1.5	1.9	3.0	—	2.0	
8	3.0	2.0	3.1	—	1.0	
9	2.5	2.8	3.9	—	1.6	
10	0.7	2.0	3.0	—	4.3	

*) Case 5 ~ 10 の坑内風速は、模型車両の走行により誘起されたものである。

2.3 実験方法

実験系統図を図 2.6 に示す。

トレーサーガスは、ガス混合器によりエチレン（100%）ガスを空気と混合させて模型トンネル内に供給した。トレーサーガスはトンネル内で、坑内風速と走行車両とにより混合されつつ運搬され、坑口断面ではほぼ均一濃度となって坑外に放出される。

坑口周辺の濃度分布測定メッシュを図 2.7 に示す。坑口周辺の濃度分布は、各 Case ごとに設定されたサンプリング点について、トラバース装置に取付けたサンプリングプローブ先端からガスを吸引し、分析計により測定した。各サンプリング点における測定時間は40秒～1分40秒とし、その平均値をその点の平均濃度とした。

風洞風速は、測定胴入口に設置したタービン風速計で測定した。

図 2.8 に風洞風速と乱れ強度の垂直分布を示す。

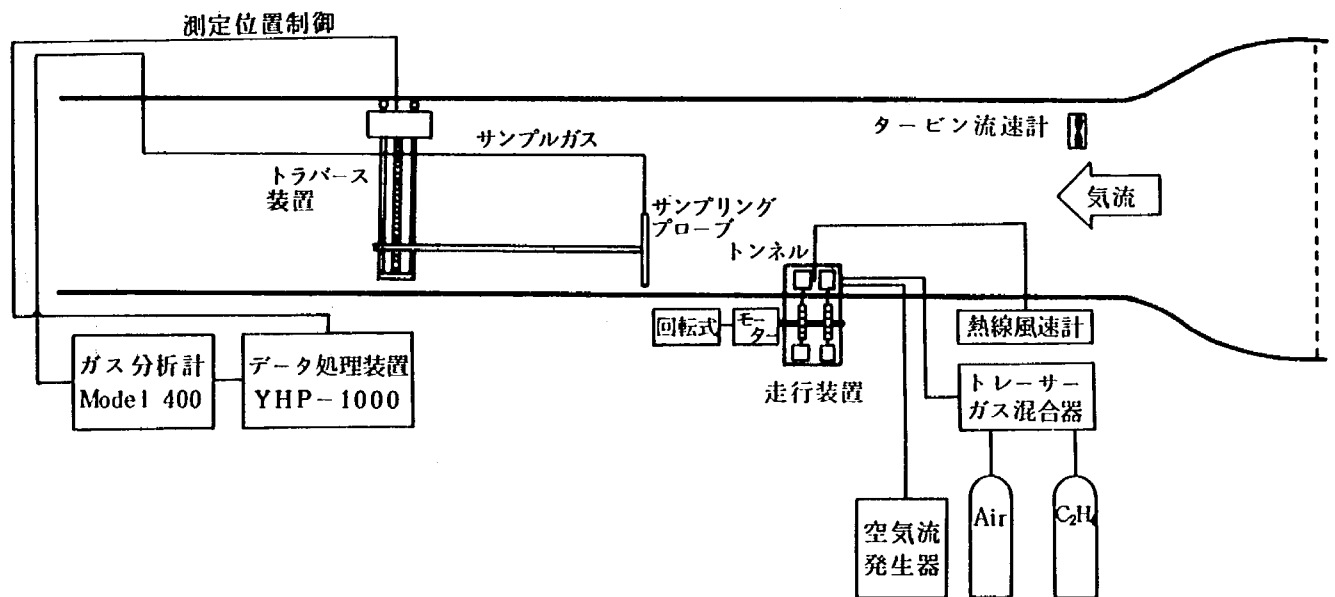


図 2.6 実験系統図

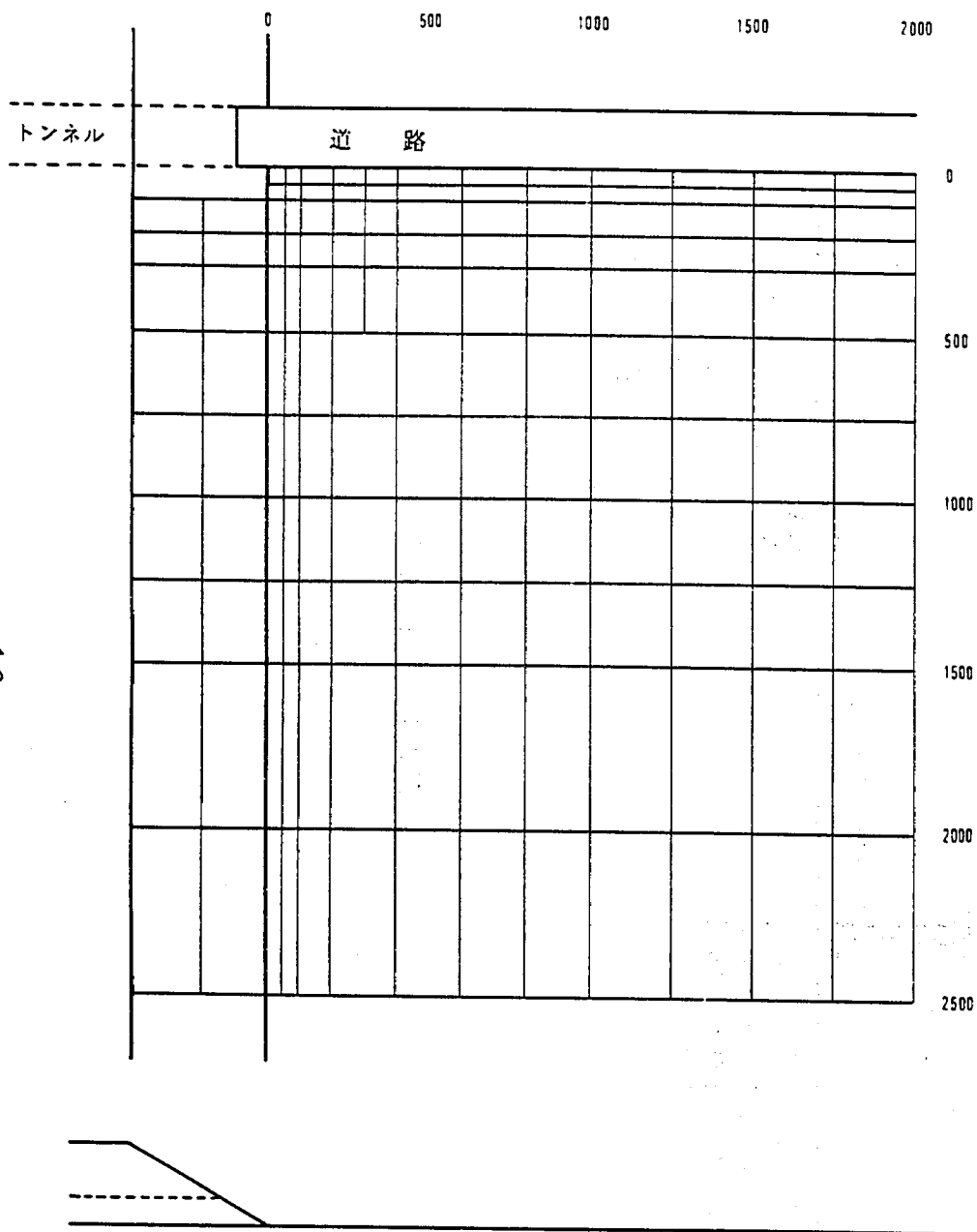


図 2.7 サンプルングメッシュ 単位: mm

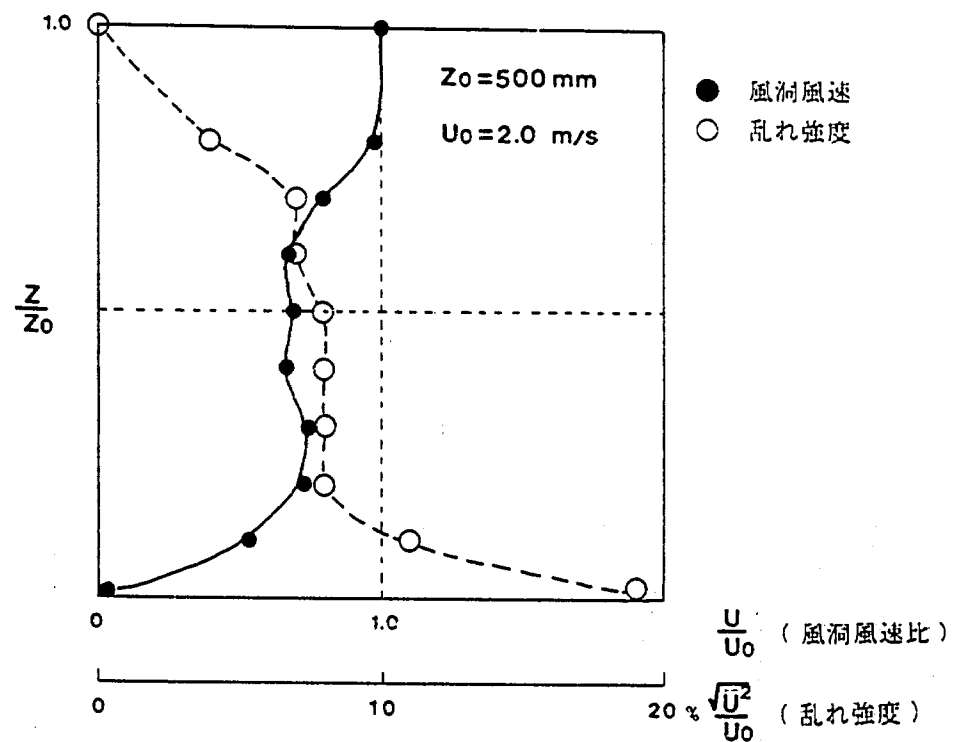


図 2.8 風洞風速と乱れ強度の垂直分布

2.4 実験結果

2.4.1 トレーサーガス濃度分布

図 2.9, 2.10 にトンネル内濃度を 100 として基準化した相対濃度分布図を示す。

$$C_* = C / C_T \times 100 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

C_* : 相対濃度 (%)

C : 測定濃度 (ppm)

C_T : トンネル内濃度 (ppm)

図 2.9 は、坑口噴流のみによった場合の濃度分布である。坑口から坑口噴流とともに放出されたトレーサーガスは、風洞風によりその濃度主軸が下流側に曲げられている。このときの拡散幅は比較的せまく、帯状の汚染域が形成されている。

Case 1 と Case 2 および Case 3 と Case 4 は、坑内風速をそれぞれほぼ一定とし、風洞風速を変化させ、 V_g/u の値を約 2 倍としている。 V_g/u の値が大きいほど、トレーサーガスの濃度主軸が道路方向により遠くまでのびている。

Case 1 と Case 3 および Case 2 と Case 4 は、 V_g/u の値をそれぞれほぼ等しくとり、風洞風速を約 2 倍としている。風洞風速が異なる場合でも、 V_g/u の値が等しいと良く似た濃度分布が得られている。

図 2.10 は、模型車両を走行させた場合の濃度分布である。坑口から放出されたトレーサーガスは、模型車両の走行によるひきずり現象により、道路上に汚染域が形成され、この汚染域が風洞風により風下側に拡散されている。

図 2.11 に、実際の道路トンネルで行った現地拡散実験による相対濃度分布の 1 例を示す。このトンネルは 2 車線の一方方向交通である。この濃度分布は、道路と直交方向に 5.6 m/sec, の自然風が吹いている場合のものである。

この濃度分布と、Case 1 ~ 4 の坑口噴流による濃度分布とは明らかにパターンが異なっているが、Case 5 ~ 10 の模型車両を走行させた場合の濃度分布とは良く似ている。このため、走行車両のひきずり現象による汚染域を、模型実験上で再現するためには、模型道路上に模型車両を走行させる必要があるものと思われる。

2.4.2 道路沿いの濃度減衰

図 2.12 ~ 2.14 に、模型車両を走行させた場合の、道路沿いの濃度減衰を示す。

図 2.12 は、 V_c/u の値が異なるケースについて比べた。 V_c/u の値が大きくなるほど濃度減衰率は小さくなっている。

図 2.13, 2.14 は、 V_c/u の値がほぼ等しく、風洞風速が異なるケースについて比較した。

図 2.13 は、 V_c/u の値が約 1.0 で、風洞風速は、Case 8 が Case 6 の 2 倍である。また、図 2.14 は、 V_c/u の値が 2.0 で、風洞風速は、Case 7 が Case 5 の約 2 倍である。

風洞風速が異なる場合でも、 V_c/u の値が等しいと、道路沿いの濃度減衰傾向はほぼ一致

している。

2.4.3 坑口周辺の濃度分布

模型車両を走行させたケースの坑口周辺の濃度分布を比較するため、図 2.15 のように道路の方向を 0° とし、坑口を中心に 15° 毎の放射線上における濃度減衰を比較した。

図 2.16 は、 V_c/u の値がほぼ 1.0 で、風洞風速が、Case 8 が Case 6 の 2 倍の場合について比較した。また図 2.17 は、 V_c/u の値が 2.0 で、風洞風速が Case 7 が Case 5 の約 2 倍の場合について比較した。

坑口周辺の濃度減衰の様子は、各方向とも良く一致している。

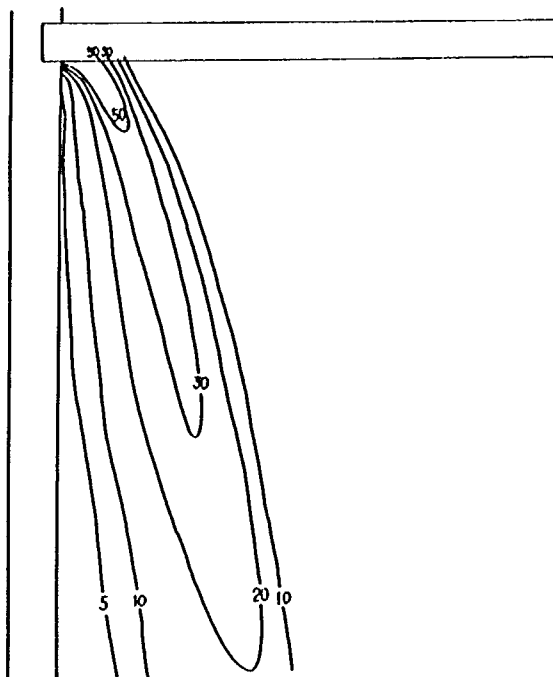
この結果から、風洞風速が異なる場合でも、 V_c/u の値を等しくすれば、坑口周辺の濃度分布はほぼ同一となるものと思われる。

2.5 ま と め

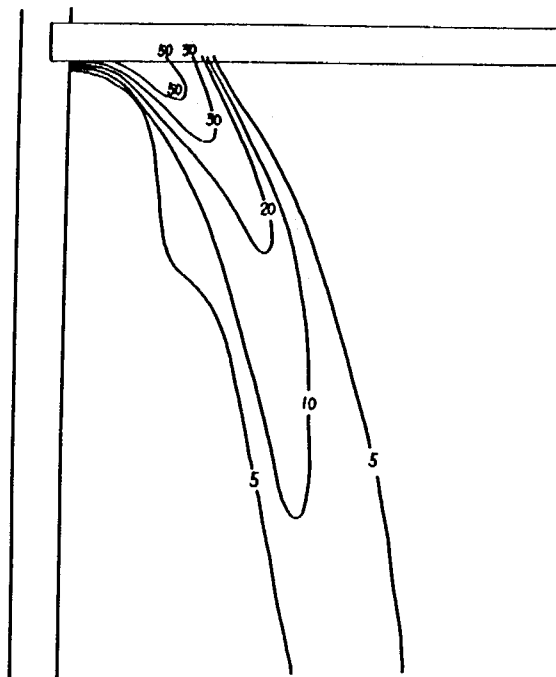
坑口拡散模型実験（その3）にひきつづき，ここでは道路に直交する風向（横風）の場合について，主として走行車両によるひきずり現象を再現するための基礎的検討を行い，以下の成果が得られた。

- 1) 坑内風速のみを与えた濃度分布では，拡散幅のせまい帯状の濃度域が形成されこれは実際のトンネル坑口付近で見られる濃度分布とは異なっている。
- 2) 模型道路上に模型車両を走行させることにより，坑口付近の道路上に走行車両のひきずり現象による濃度域を形成させることができる。
- 3) 走行車両のひきずり現象による道路上での濃度減衰率は，車両走行速度（ V_c ）と風洞風速（ u ）との比 V_c/u の値が大きいほど小さく，坑口濃度の影響がより遠くまで達する。
- 4) 風洞風速が異なる場合でも， V_c/u の値を等しくとると，坑口周辺の拡散状況はほぼ同一となる。

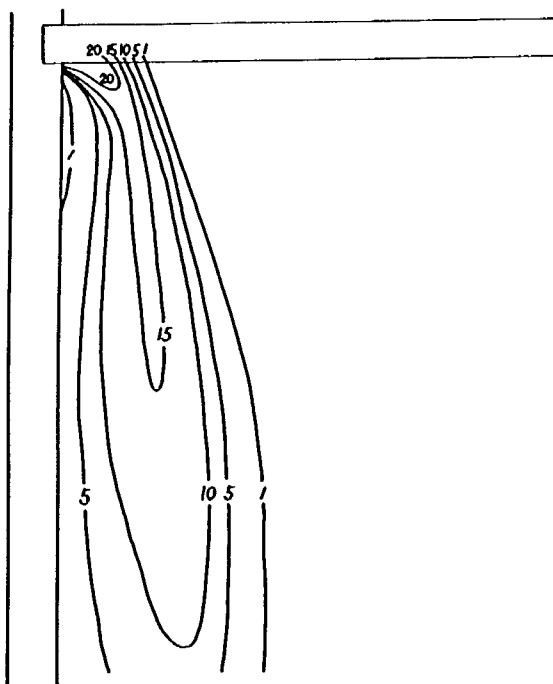
Case	1
風洞風速 (u)	15 m/sec.
坑内風速 (Vg)	20 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	- m/sec.
坑内平均濃度	2164 ppm
Vg/u	1.3
Vc/u	-



Case	2
風洞風速 (u)	0.7 m/sec.
坑内風速 (Vg)	1.9 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	- m/sec.
坑内平均濃度	2217 ppm
Vg/u	2.7
Vc/u	-



Case	3
風洞風速 (u)	3.0 m/sec.
坑内風速 (Vg)	3.5 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	- m/sec.
坑内平均濃度	2563 ppm
Vg/u	1.2
Vc/u	-



Case	4
風洞風速 (u)	1.5 m/sec.
坑内風速 (Vg)	3.9 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	- m/sec.
坑内平均濃度	2866 ppm
Vg/u	2.6
Vc/u	-

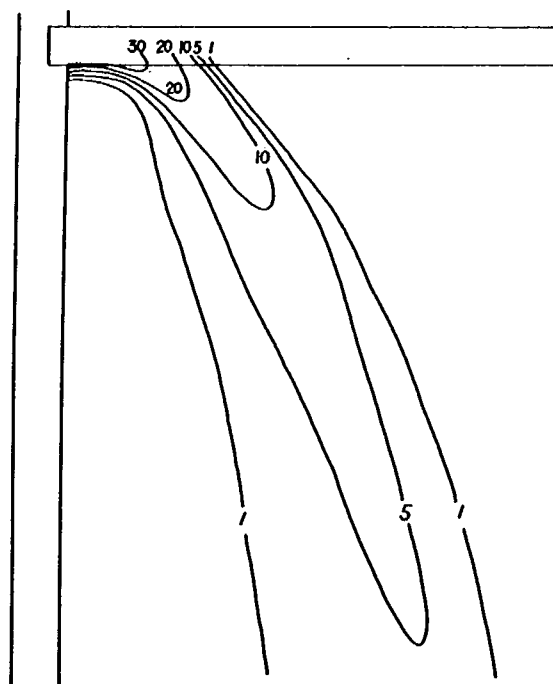
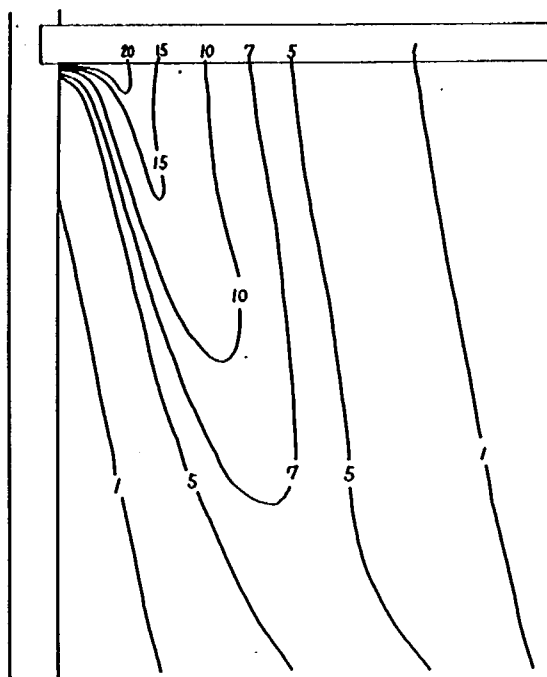
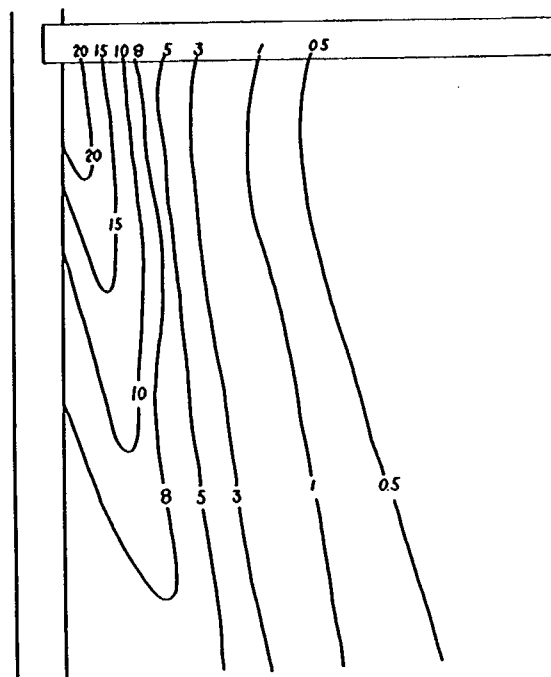


図 2.9 相対濃度分布図 (模型車両なし)

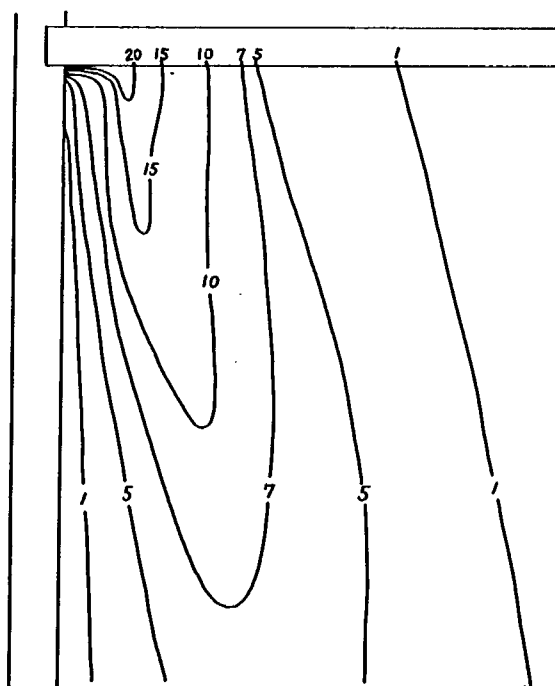
Case	5
風斜風速 (u)	0.7 m/sec.
坑内風速 (Vg)	1.0 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	1.4 m/sec.
坑内平均濃度	2814 ppm
Vg/u	1.4
Vc/u	2.0



Case	6
風斜風速 (u)	1.5 m/sec.
坑内風速 (Vg)	1.0 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	1.6 m/sec.
坑内平均濃度	2735 ppm
Vg/u	0.7
Vc/u	1.1



Case	7
風斜風速 (u)	1.5 m/sec.
坑内風速 (Vg)	1.9 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	3.0 m/sec.
坑内平均濃度	2627 ppm
Vg/u	1.3
Vc/u	2.0



Case	8
風斜風速 (u)	3.0 m/sec.
坑内風速 (Vg)	2.0 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	3.1 m/sec.
坑内平均濃度	2372 ppm
Vg/u	0.7
Vc/u	1.0

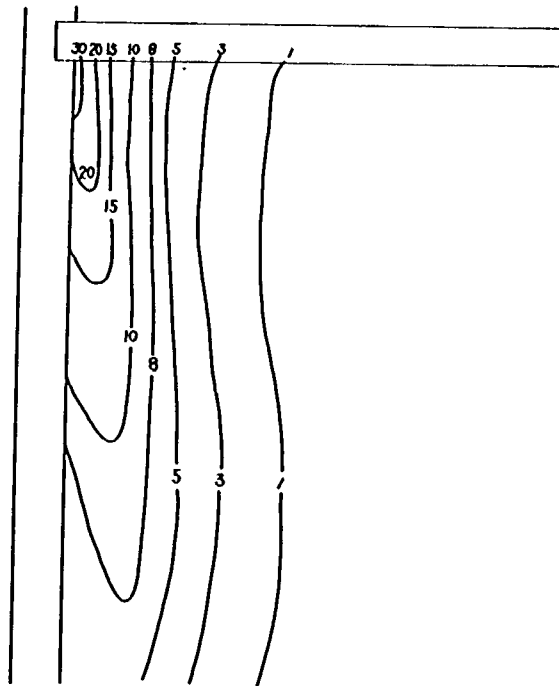


図 2.10 相対濃度分布図 (模型車両あり) (1/2)

Case	9
風斜風速 (u)	25 m/sec.
坑内風速 (Vg)	28 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	39 m/sec.
坑内平均濃度	2187 ppm
Vg/u	1.1
Vc/u	1.6

Case	10
風斜風速 (u)	0.7 m/sec.
坑内風速 (Vg)	20 m/sec.
車両走行速度 (Vc)	30 m/sec.
坑内平均濃度	2481 ppm
Vg/u	29
Vc/u	43

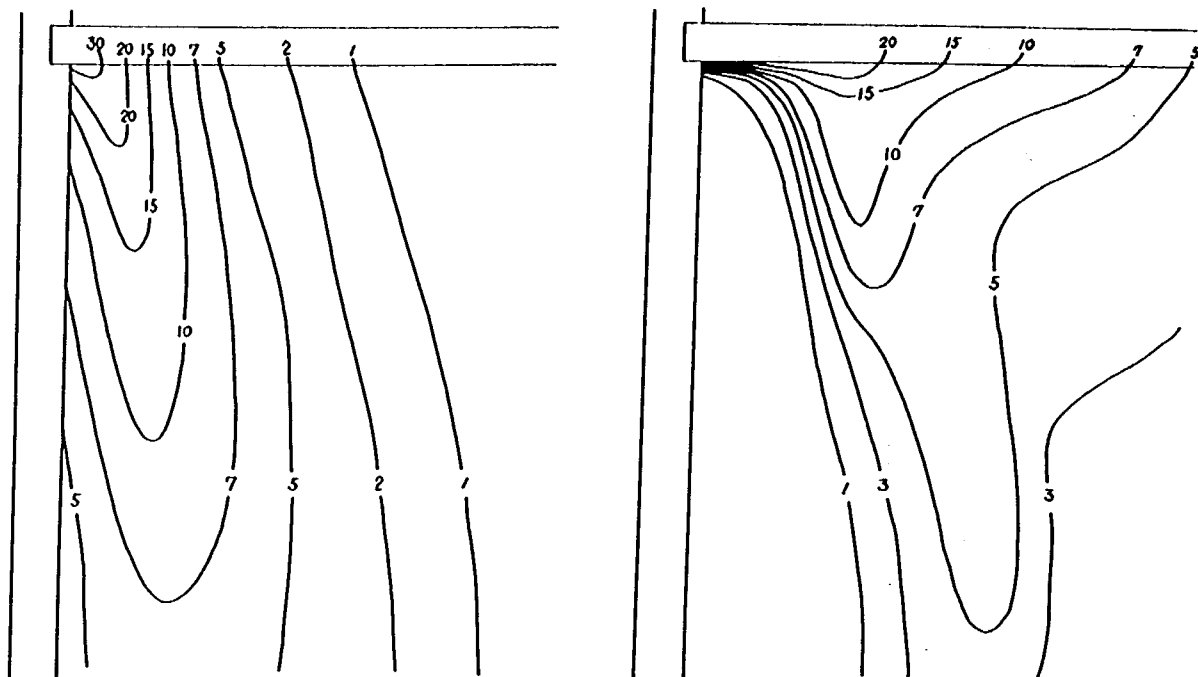


図 2.10 相対濃度分布図 (模型車両あり) (2 / 2)

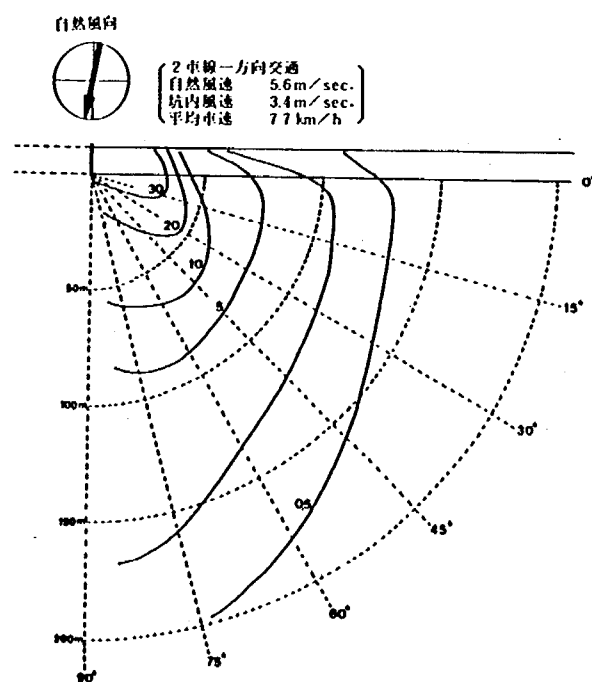


図 2.11 相対濃度分布図 (現地実験)

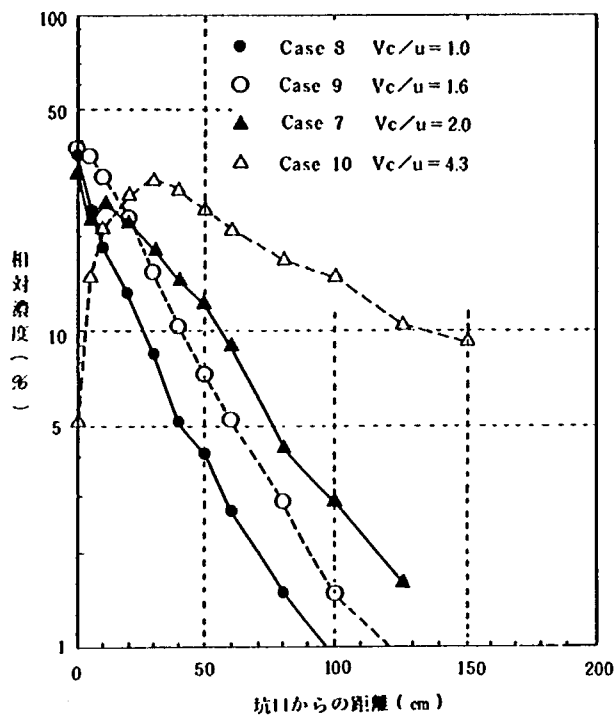


図 2.1 2 道路沿いの濃度減衰

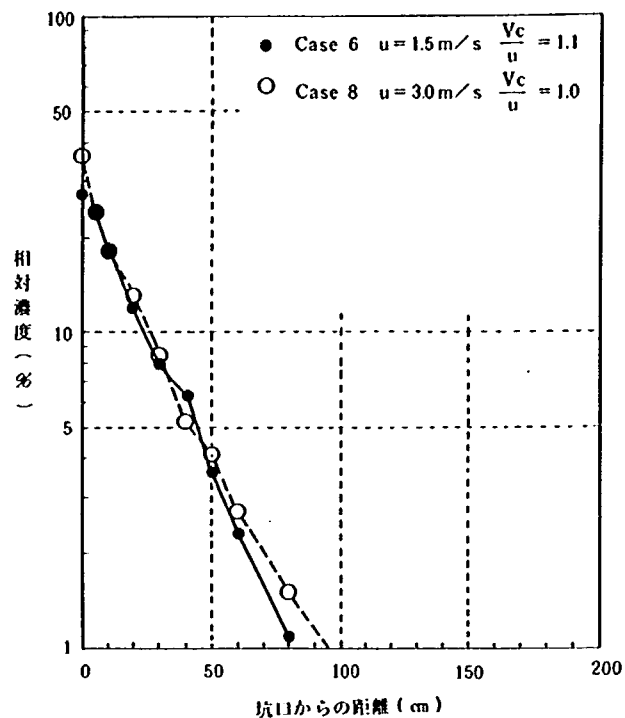


図 2.1 3 道路沿いの濃度減衰 (0°)

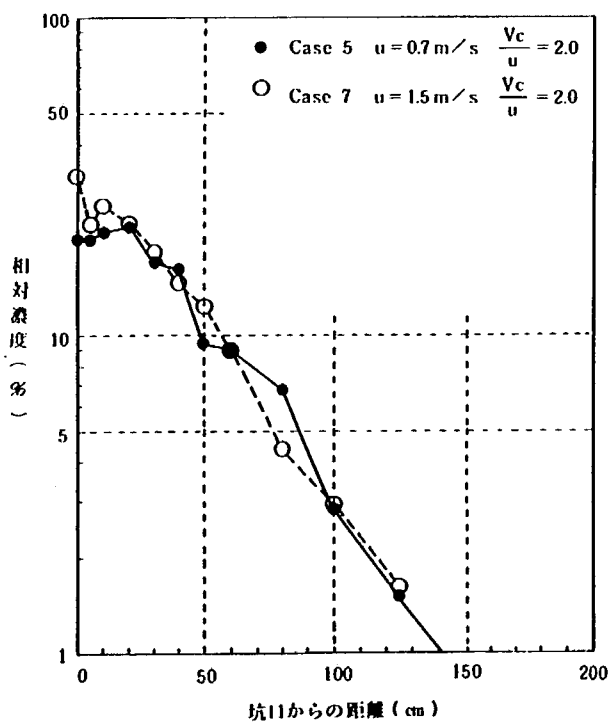


図 2.1 4 道路沿いの濃度減衰 (0°)

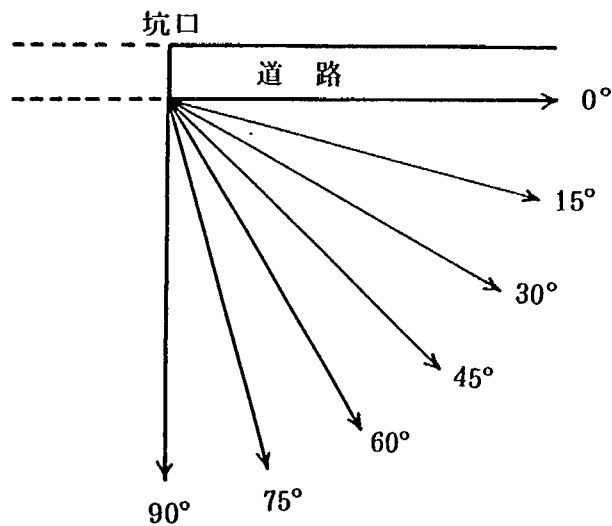


図 2.1 5 濃度減衰図の測定ライン

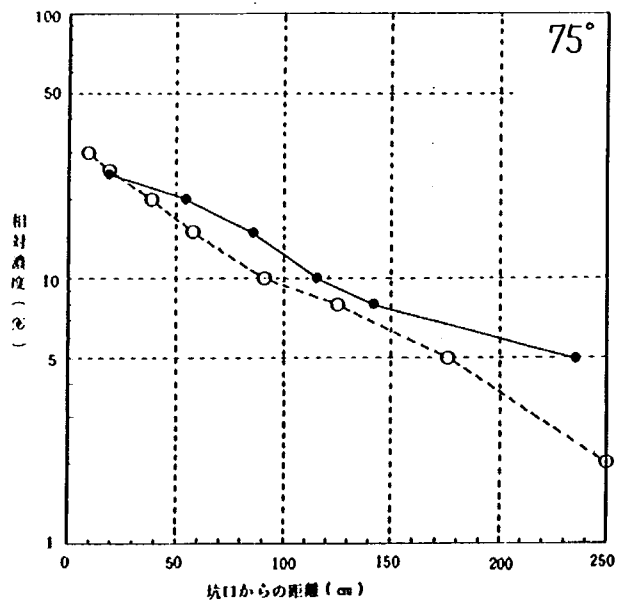
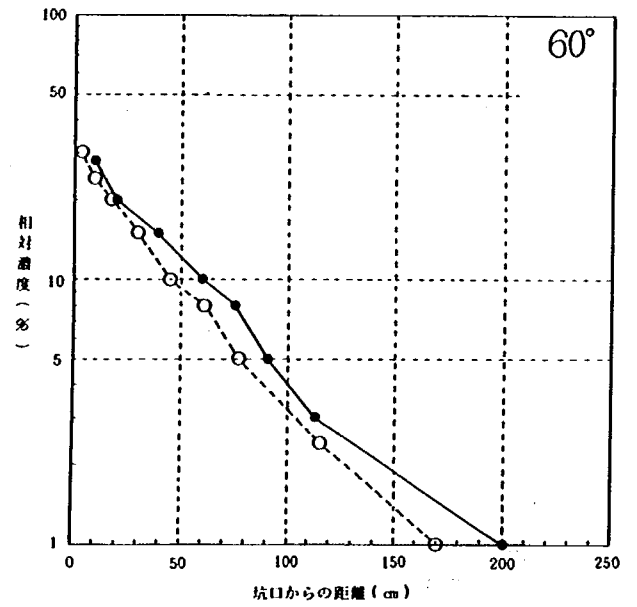
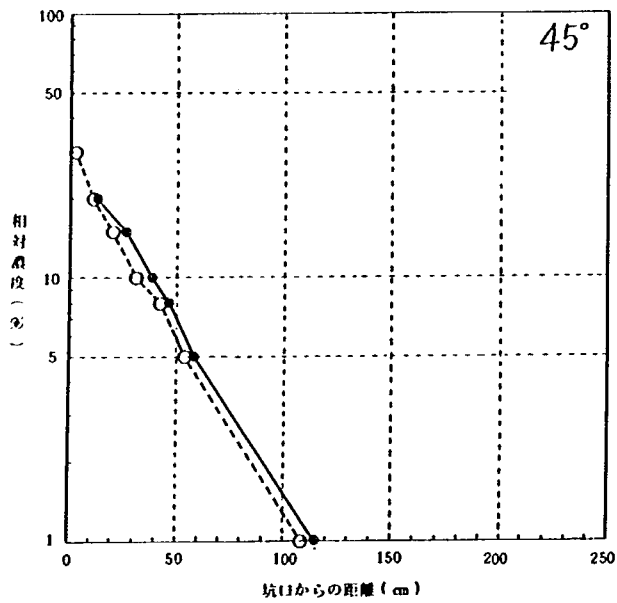
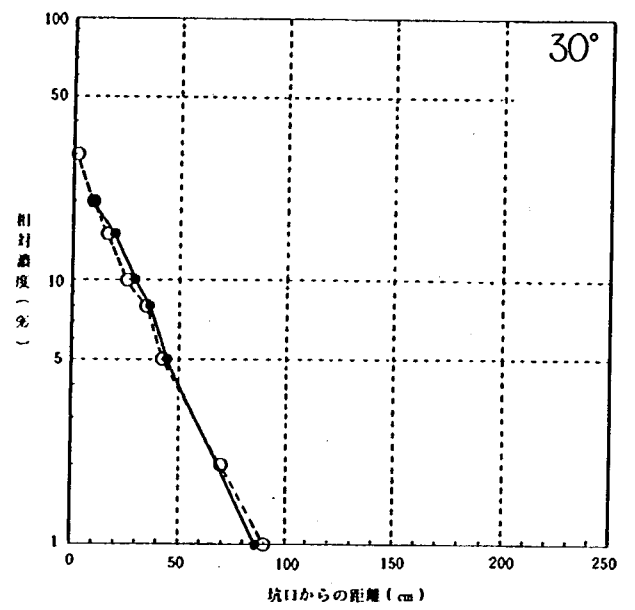
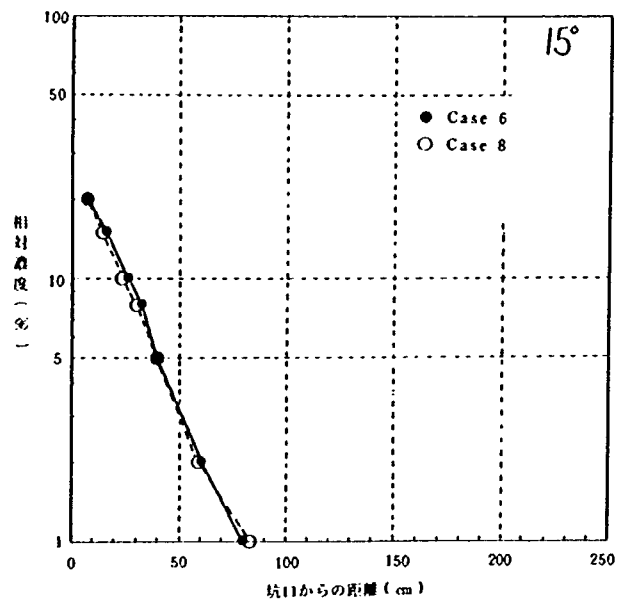


図 2.16 坑口周辺の濃度減衰 (Case 6, 8)

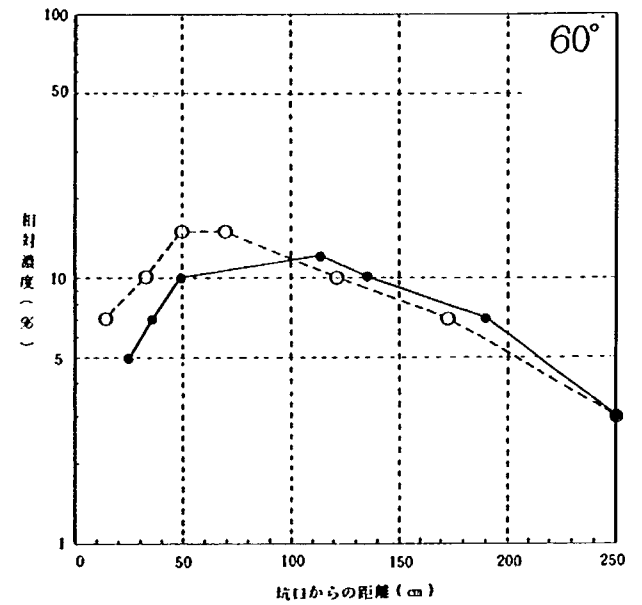
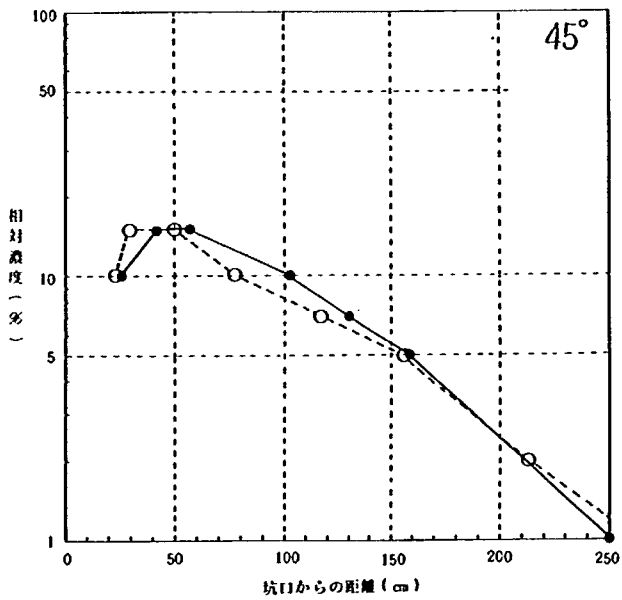
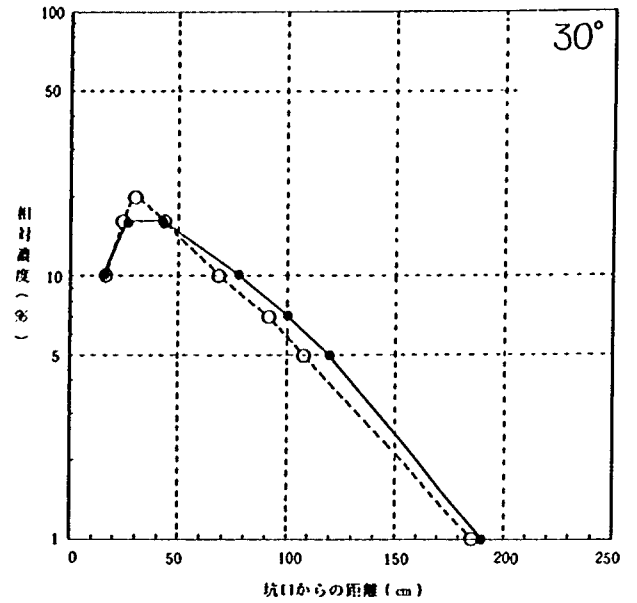
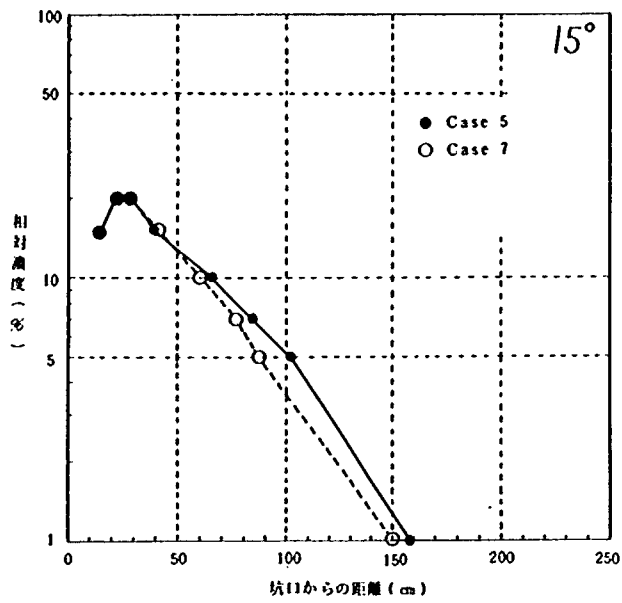


図 2.17 坑口周辺の濃度減衰 (Case 5, 7)

1. まえがき

道路トンネルでは、自動車から排出される排気ガス中に含まれる各種の有害成分の濃度を、トンネル利用上支障のない範囲に保つために換気を行っている。この換気により、トンネル内の汚染空気は坑口あるいは換気塔（排気口）からまとめて排出されるため、排出点における局所的な大気汚染が問題とされることがある。

このため、このような地域における大気汚染物質の周辺地域への拡散状況を、事前に予測する手法の確立が求められている。

現在一般に検討されている予測手法では、数値解析による方法と、拡散風洞を用いた模型実験による方法がある。

模型実験による方法では、地形模型を使用することにより、比較的容易に濃度分布図を得られるが、未だ確立されていない相似則も多く、検討すべき課題も多い。

本報告では、模型実験による予測手法について検討するために行った基礎的実験の結果を紹介するものであり、既報の「同実験報告」（土研資料 第1904号、昭和58年3月）以降に実施した実験の結果を収録したものである。

坑口拡散模型実験（その4）では、模型実験手法の基礎的実験パラメータについて検討することを目的とした。ここでは、特に実際の道路トンネルの坑口付近に発生する走行車両のひきずり現象に起因する高濃度の汚染域を模型上に再現する手法について検討した。

坑口拡散模型実験（その5）では、実際の道路トンネルで行った拡散実験の結果に基づいた模型実験を行い、その整合性を検討することにより、実用的な模型実験パラメータの設定方法を提案した。

3. 坑口拡散模型実験（その5）

模型の縮率 1/80

現地拡散実験結果との整合性を検討し、模型実験パラメータの設定
方法を提案した。

3.1	概 説	23
3.2	実験概要	24
3.3	解 析	34
3.4	実験パラメータの設定方法	52

3. 坑口拡散模型実験（その5）

3.1 概 説

風洞模型実験手法に関する一連の基礎的な検討の結果、道路トンネル坑口付近の道路上に形成される走行車両のひきずり現象を模型実験上に再現するためには、模型道路上に模型車両を走行させる必要があるとされた。

しかし、模型車両の走行速度、車頭間隔などの実験パラメータの設定方法については、十分な検討がなされていない。

そこでここでは、実際のトンネル坑口付近で行ったトレーサガス拡散実験の結果に基づいた模型実験を行い、その整合性を検討することにより、実用的な模型実験パラメータの設定方法を提案した。

3.1.1 台数倍率

走行車両のひきずり現象は、走行車両の後流部に形成される強い乱流域内に、トンネル内の汚染空気がとり込まれて、走行車両と共に移動し坑口付近の道路上に高濃度の汚染域が形成される現象である。

この現象を模型上に再現するためには、模型車両を走行させ、風洞気流と模型との間のレイノルズ数を合せる必要がある。しかしこのためには、風洞気流の粘性を変えなければならず、現実的には不可能である。

このため、風洞の空気流中において便宜的にひきずり現象を再現する方法としては次の様な方法が考えられる。

- (1) 模型車の形状を、なるべく空気低抗の大きい形にする。
- (2) 模型車の走行速度を大きくする。
- (3) 模型車両の単位区間内の台数を増加させる。

ここでは、(1)と(3)の方法を合せて採用することとした。

模型車両の単位区間内の台数を増加させるときの車両の増加率は台数倍率(D)とし、次式で表すものとする。

$$D = L \cdot S / \ell \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

D：台数倍率（単位区間内の車両台数の倍率）

L：実際の交通条件の平均車頭間隔（m）

ℓ ：模型上の平均車頭間隔（m）

S：模型の幾何縮率

3.2 実験概要

3.2.1 風 洞

本実験は、建設省土木研究所の大気汚染実験施設内に設置されている大気拡散風洞で行った。

風洞全体図を図 3.1 に、仕様を表 3.1 に示す。

3.2.2 模 型

模型設置図を図 3.2 に示す。

坑口周辺の地形は平坦地形とした。模型の幾何縮率は $1/80$ とした。

実験条件により、模型に対する風向が変えられるように、走行模型部が回転できる構造としている。模型床下部には、模型車両走行装置が取付けられており、2車線の道路上に模型車両を任意の速度で走行させることができる。

図 3.3 にトンネル部の模型を示す。断面形状は半円形とした。

図 3.4 に模型車両を示す。車両断面は、 $38\text{mm} \times 38\text{mm}$ の正方形とし、長さは 100mm とした。車両側面部を削り込んだ形としたが、これは走行装置への取付け上の利便性によるもので、特にかく乱効果を期待したものではない。

模型設置状況を写真 3.1 ～ 3.3 に示す。

3.2.3 測定項目，測定装置

測定項目および測定装置を表 3.2 に示す。

3.2.4 実験対象ケース

模型実験は、昭和 56 年度に実際のトンネルで行った現地拡散実験に基づいた条件を設定するものとした。模型実験の対象とした現地実験の条件を表 3.3 に示す。

ここで、風向分類の角度は、道路と自然風向との相対角度である。

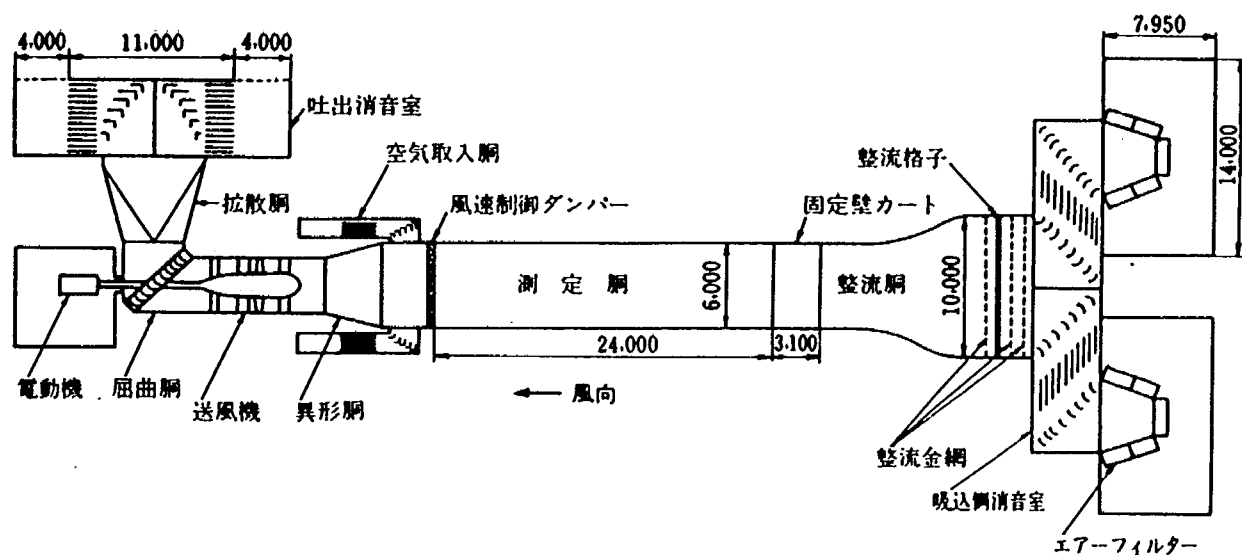


図 3.1 風洞全体配置図

表 3.1 拡散風洞の性能諸元

風 洞 形 式	吸込式エッフェル
測 定 洞 寸 法	W6m×H3m×L24m
風速設定範囲	0.2～15m/s
縮 流 比	3.89
送風機形式	軸流1段動翼可変ピッチ型 直径400mm
回 転 数	360rpm
動 翼 枚 数	10枚(後置静翼9枚)
風 量	270m ³ /s
有 効 全 圧	80mmAq
電動機出力	32Kw
風速分布偏差	±1%以内
風 速 変 動	±2%以内(外乱風速5m/s時)
乱 流 強 度	1%以内
風速制御方式	1. 定速回転(360rpm) 空気取入扉開度, 風速制御ダンパー開度, 動翼開度による制御 2. 回転数制御
設 計 製 作	三菱重工業株式会社

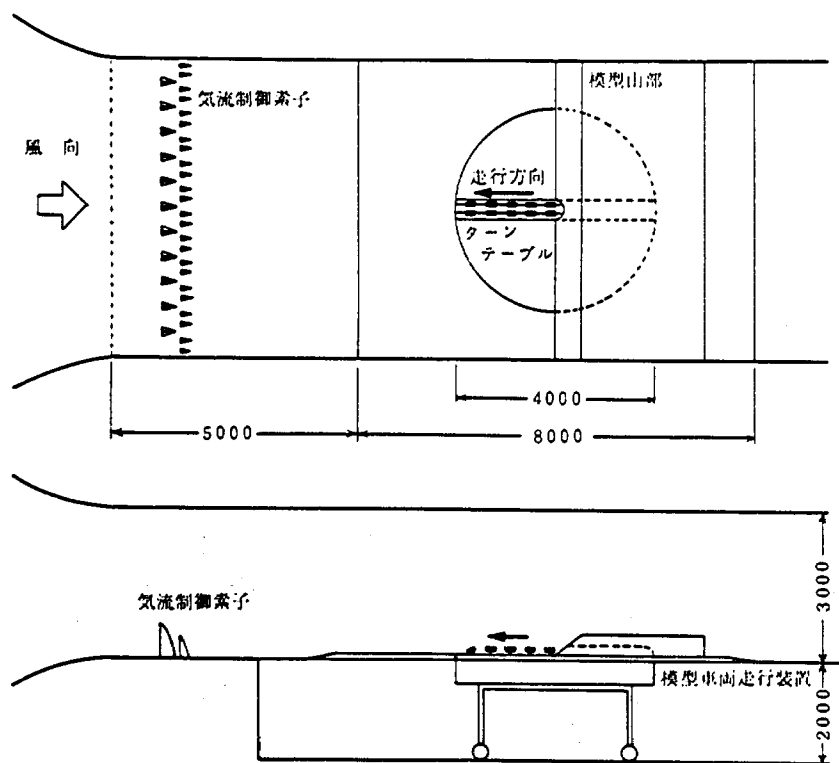


図 3.2 模型設置図

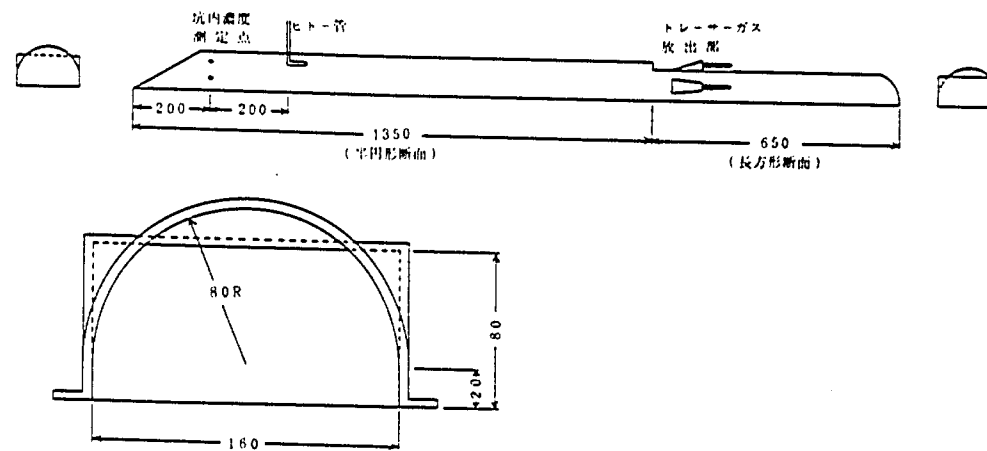


図 3.3 模型トンネル部

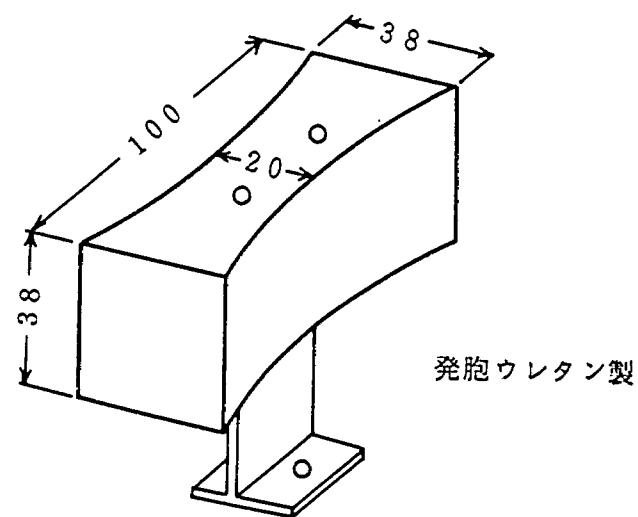


図 3.4 模型車両

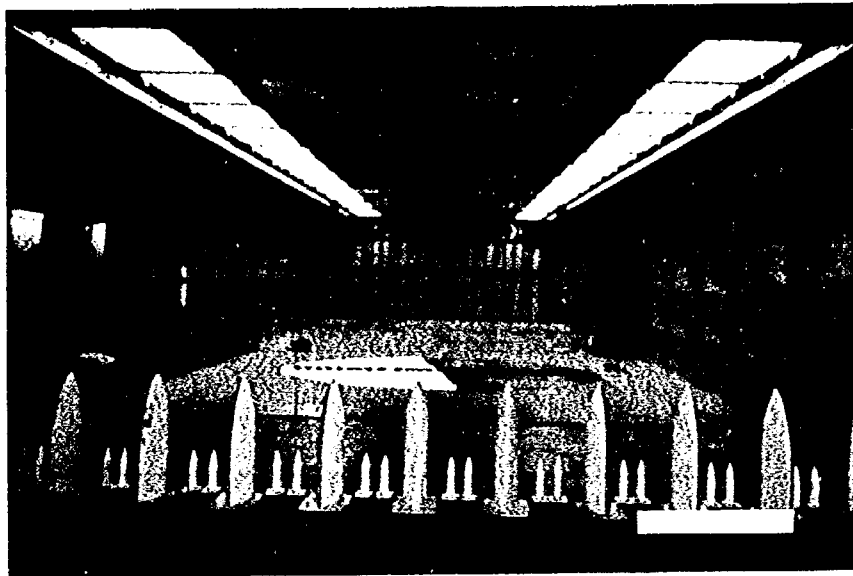


写真 3.1 風洞全体図

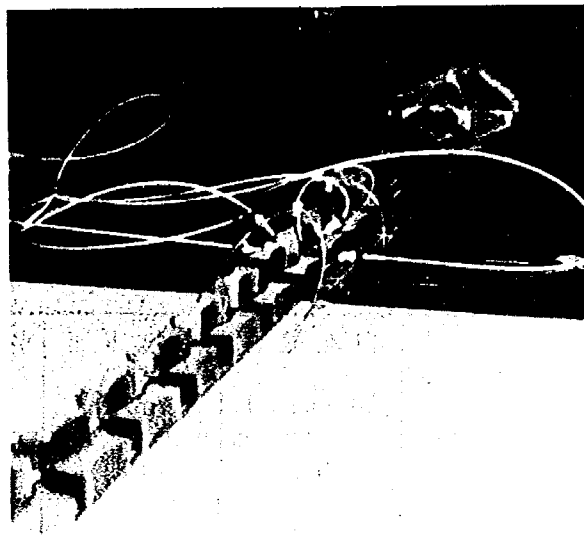


写真 3.2 車両設置状況

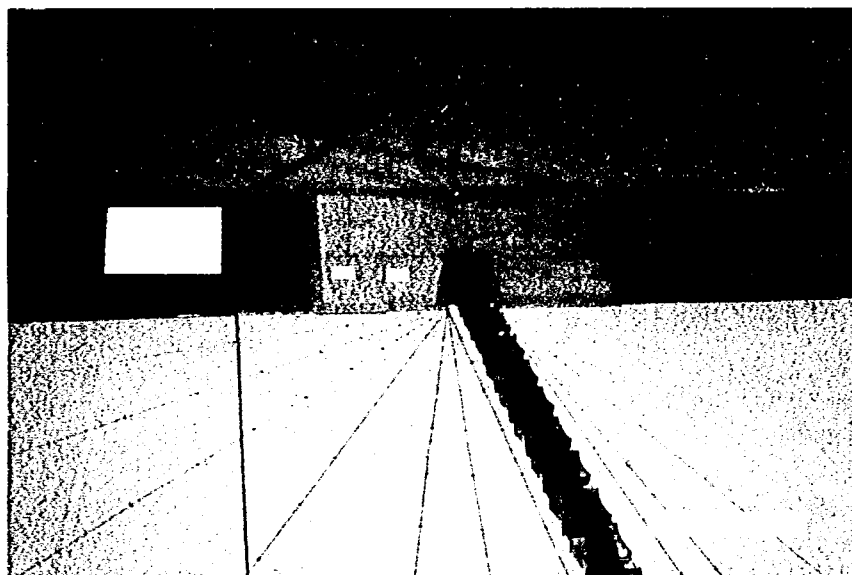


写真 3.3 模型設置状況

表 3.2 測定項目，測定装置

測定項目	測定装置	型式
トレーサーガス 濃度分布	バックサンプリング装置 全炭化水素分析計	(S-Tec) Model 400 J
トレーサーガス 放出量	マスフローコントローラ	(製鉄化学)
風洞風速	ギル型風速計	(光進電気)
坑内換気風速	ピトー管精密微差圧計	ISP-3-20-DS (柴田化学)
車両速度	デジタル回転計	Model 3632-00 (横河電機)

表 3.3 現地実験条件

Case	風向分類	自然風速 (m/sec)	平均車速 (km/h)	平均車頭間隔 (m)
1	横風 70°	6.0	73	254
2	横風 80°	5.6	77	276
3	向い風 50°	2.5	78	426
4	追い風 150°	3.3	67	289
5	追い風 150°	2.6	77	330
6	追い風 150°	3.6	76	313
7	追い風 165°	2.2	71	326

3.2.5 相似則

(1) 気流

風洞気流は、大気の中立状態を相似させるものとする。このため測定胴上流部に気流制御素子を置き（図 3.5），模型上における鉛直方向の風速分布が 1 / 7 乗則になるようにした。

自然風速の縮率は、1 / 1 とすることが一般的であるが、本実験においては、風洞風速を自然風速の 1 / 2 に設定した。これは、模型車両走行装置の性能上の限界により、模型車走行速度の設定を目標値の 1 / 2 に設定したためである。また前章の解析結果では、模型車走行速度（ V_c ）と風洞風速（ U ）との比 V_c / U を等しく設定すれば、風洞風速が異なる場合でも坑口周辺の濃度分布がほぼ等しくなることが確認されているためである。

(2) 地形、地上物

模型の幾何縮率は 1 / 80 とした。一般に、模型の地形および地上物（建物等）は幾何相似させ、また地面粗度（山林等）も再現することが基本であるが、本実験では坑口周辺の地形を単純化した模型を用いた。

これは、本実験の対象とした、現地の地形が比較的開けた平坦地形であること、また周囲に大きな建物等がなかったためである。

(3) 模型車両

模型車両の断面形状は正方形とした。断面積は次式によるものとした。

$$A_m = \{ (1 - P) A_a + P \cdot A_b \} \cdot S^2 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

A_m : 模型車両の断面積

A_a : 小型自動車の前面投影面積

A_b : 大型自動車の前面投影面積

P : 大型車混入率

S : 幾何縮率

模型車両の長さは、大型自動車の長さをほぼ幾何相似させるものとし、ここでは 10 cm とした。

(4) 模型車走行速度

模型車の走行速度は、経験的に実際の走行速度の 1 / 5 に設定することが適当である。

しかし、本実験では、前述したように模型車走行装置の性能上の限界により、実走行速度の 1 / 10 に設定した。

3.2.6 実験方法

実験系統図を図 3.6 に示す。

トレーサーガスは、ガス混合器によりエチレン(100%)ガスを空気で希釈して模型トンネル内に供給した。

図 3.7 に模型設置図を、図 3.8 に測定点配置図を示す。各測定点におけるサンプリングは、バッグサンプリング装置により、全点同時にバッグ内に吸引するものとした。サンプリング時間は20分とした。バッグサンプリング法による測定値は、サンプリング時間の平均値として求められる。

(1) 実験条件

表 3.3 の現地実験条件に基づいて、各ケース毎に台数倍率を変化させた実験を行った。実験条件を表 3.4 に示す。

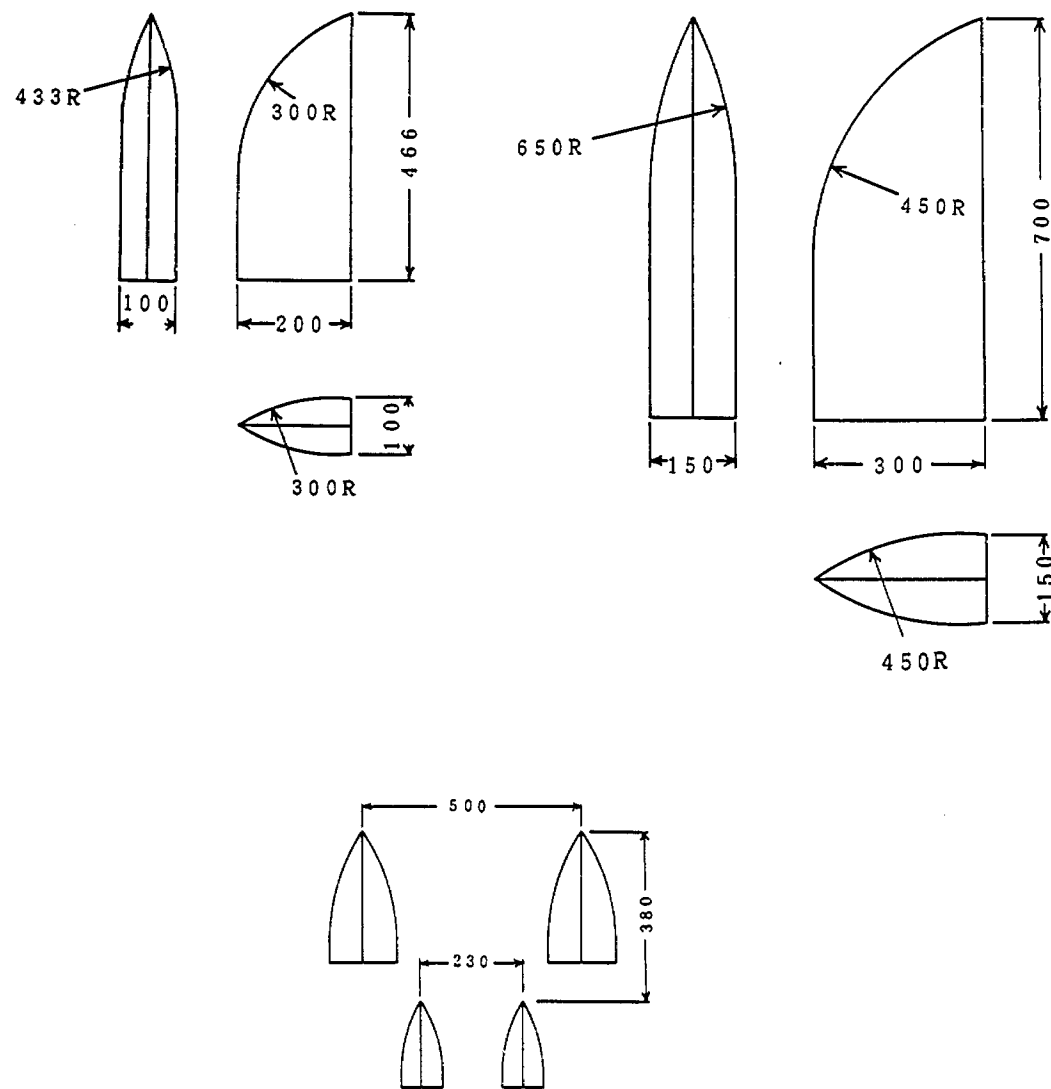


図 3.5 気流制御素子

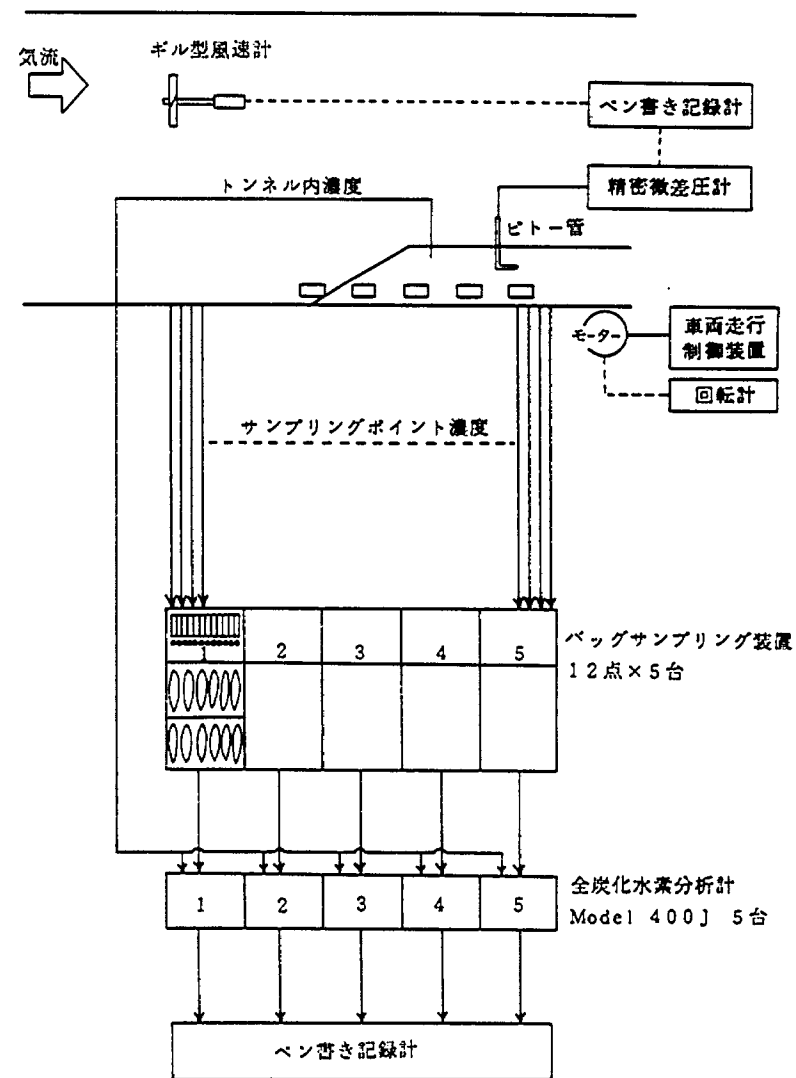


図 3.6 実験系統図

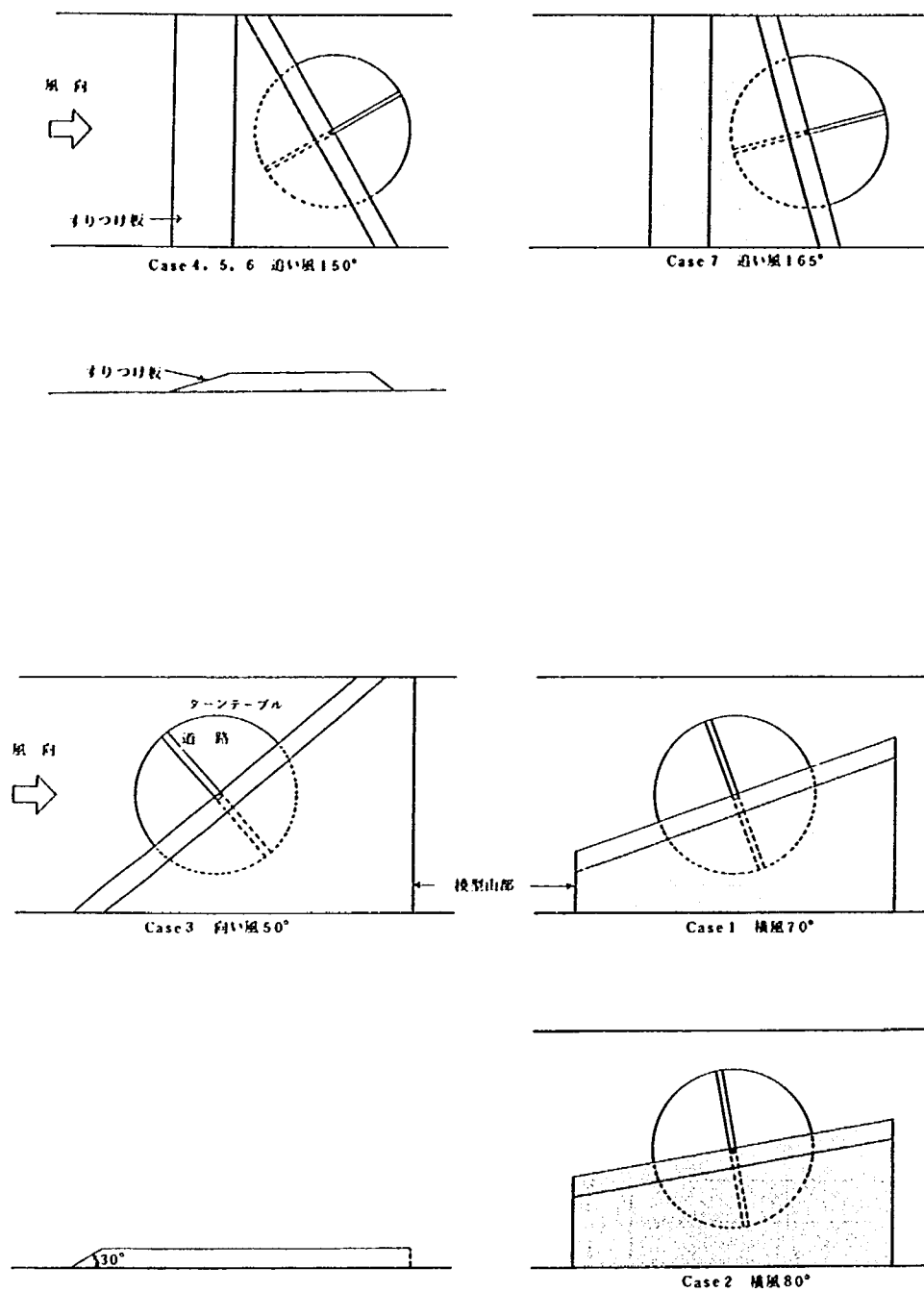


図 3.7 模型設置図

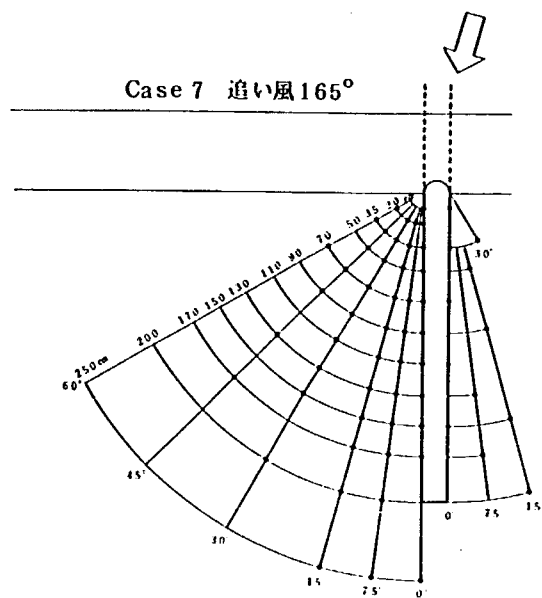
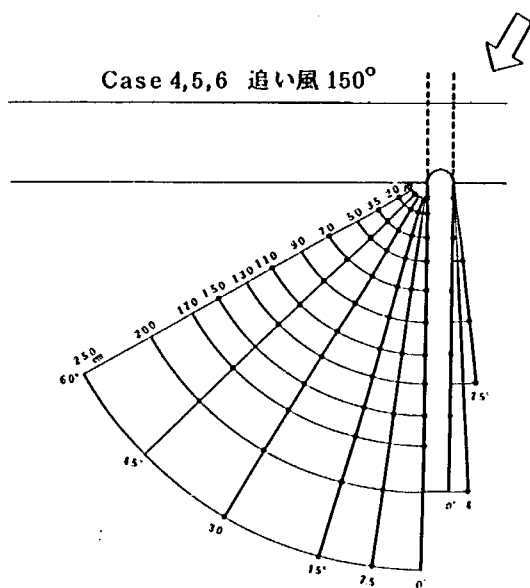
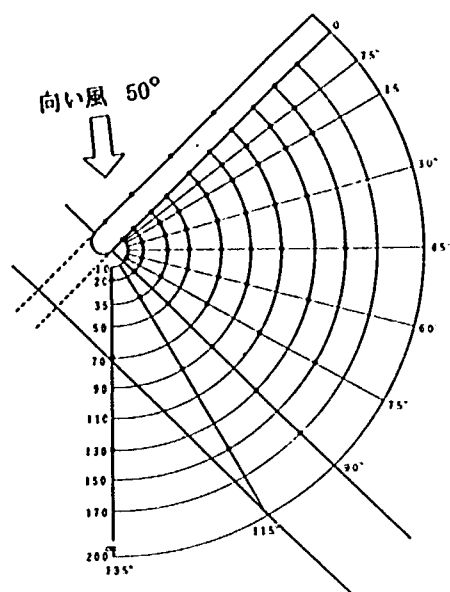
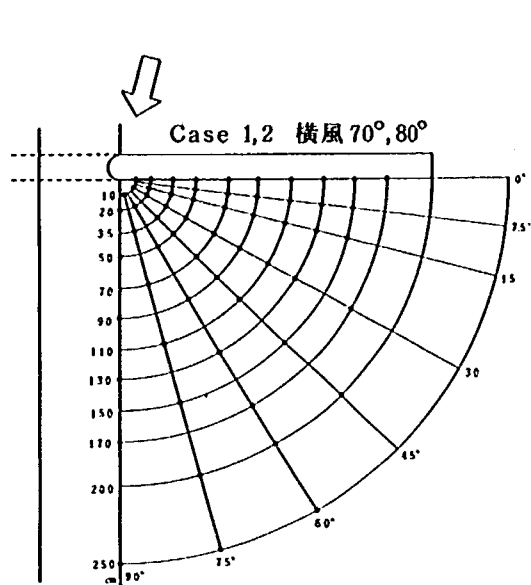


図 3.8 測定点配置図

表 3.4 実験条件

Run	風	向	風洞風速 (m/sec)	模 型 車 走行速度 (m/sec)	平均車頭間隔 (m)	台数倍率
1	横 風	70°	3.0	1.9	1 5.8	2 0.1
2		80°	2.8	"	2 3.0	1 5.0
3			"	"	1 4.3	2 4.1
4	向い風	50°	1.2 5	"	6 3.3	8.4
5			"	"	3 8.0	1 4.0
6			"	"	2 5.3	2 1.0
7			"	"	2 3.7	2 2.5
8	追い風	150°	1.8	"	4 7.4	8.3
9			"	"	3 8.0	1 0.3
10			"	"	3 3.0	1 1.9
11			1.3	"	4 7.4	8.7
12			1.6 5	"	"	7.6
13		165°	1.1	"	1 5 1.8	2.7

3.3 解 析

3.3.1 台数倍率と道路沿いの濃度減衰

図 3.9 は、現地実験条件のうち、Case 3 (向い風 50°) と Case 6 (追い風 150°) について、台数倍率を変えた場合の道路沿いの濃度減衰の様子を見たものである。図中の○印は現地実験の結果である。

どちらのケースも、台数倍率を大きくとるほど濃度減衰はゆるやかになっており、走行車両によるひきずり現象は、台数倍率を適当に設定することにより再現出来得るものと思われる。

また、現地実験と比較的良好な整合が得られる台数倍率は、Case 3 (向い風 50°) では 2.3 倍程度、Case 6 (追い風 150°) では 1.2 倍より少し高目の値になるものと思われる。したがって、台数倍率は、道路の方向に対する自然風の風向に応じて適当な値が設定される。

3.3.2 整合性の検討

現地実験と模型実験との整合性は、各測定点の濃度を坑内濃度で基準化した相対濃度分布図を作成し、図 3.10 のように坑口を中心として 15° 毎の濃度減衰図を描いて比較検討した。

この結果、現地実験とよく整合する模型実験結果として、表 3.5 が得られた。

(1) Case 1, 横風 70°

図 3.11 に横風 70° の現地実験と模型実験の濃度分布図を示す。模型実験の台数倍率は 2.0.1 である。

図 3.12 は、坑口周辺の濃度減衰を比較した。図中の○印が現地実験、・印が模型実験を示している。

道路端濃度 (0°) では、坑口から 5.0 m 位まで模型実験の値が低目であるが、それ以降はよく整合している。

$15^\circ \sim 60^\circ$ までの濃度減衰傾向は比較的良好に整合しているが、 75° では模型実験がやや高めとなった。

(2) Case 2, 横風 80°

図 3.13 に横風 80° の現地実験と模型実験の濃度分布図を示す。模型実験の台数倍率は 2.4.1 である。

図 3.14 は、坑口周辺の濃度減衰を比較した。

道路端濃度 (0°) では、模型実験の値がやや低めであるが、 $15^\circ \sim 75^\circ$ では比較的良好に整合している。

(3) Case 3, 向い風 50°

図 3.15 に向い風 50° の現地実験と模型実験の濃度分布図を示す。模型実験の台数倍率は 2.2.5 である。

図 3.16 は、坑口周辺の濃度減衰を比較した。

道路端濃度 (0°) では、現地実験とよく整合している。しかし、 15° および 30° では、模

型実験の値がやや低め、 60° 、 75° ではやや高めとなっている。 45° ではよく整合している。

(4) Case 4, 追い風 150°

図 3.17 に現地実験と模型実験の濃度分布図を示す。模型実験の台数倍率は 7.6 である。

図 3.18 は、坑口周辺の濃度減衰を比較した。 $0^\circ \sim 30^\circ$ では現地実験と比較的よく整合しているが、 45° および 60° では模型実験の値が高めとなった。

(5) Case 5, 追い風 150°

図 3.19 に現地実験と模型実験の濃度分布図を示す。模型実験の台数倍率は 8.7 である。

図 3.20 は、坑口周辺の濃度減衰を比較した。 0° および 15° では現地実験と比較的よく整合しているが、 $30^\circ \sim 60^\circ$ では模型実験の値がやや高めとなった。

(6) Case 6, 追い風 150°

図 3.21 に現地実験と模型実験の濃度分布図を示す。模型実験の台数倍率は 11.9 である。

図 3.22 は、坑口周辺の濃度減衰を比較した。 0° および 15° では、模型実験の値がやや低めであるが、 $30^\circ \sim 60^\circ$ では比較的よく整合している。

(7) Case 7, 追い風 165°

図 3.23 に現地実験と模型実験の濃度分布図を示す。模型実験の台数倍率は 2.7 である。

図 3.24 は、坑口周辺の濃度減衰を比較した。

道路端濃度 (0°)では、模型実験の値がやや高めの値となり、 $15^\circ \sim 45^\circ$ では低めである。 60° ではよく整合している。

以上、現地実験と模型実験の濃度分布を比較した結果では、整合性の良くない所もある。しかし、道路上におけるひきずり現象は、台数倍率を適当に設定することによりほぼ相似が可能である。また坑口周辺地域への拡散状況も比較的良く相似し得ているものと考えられる。

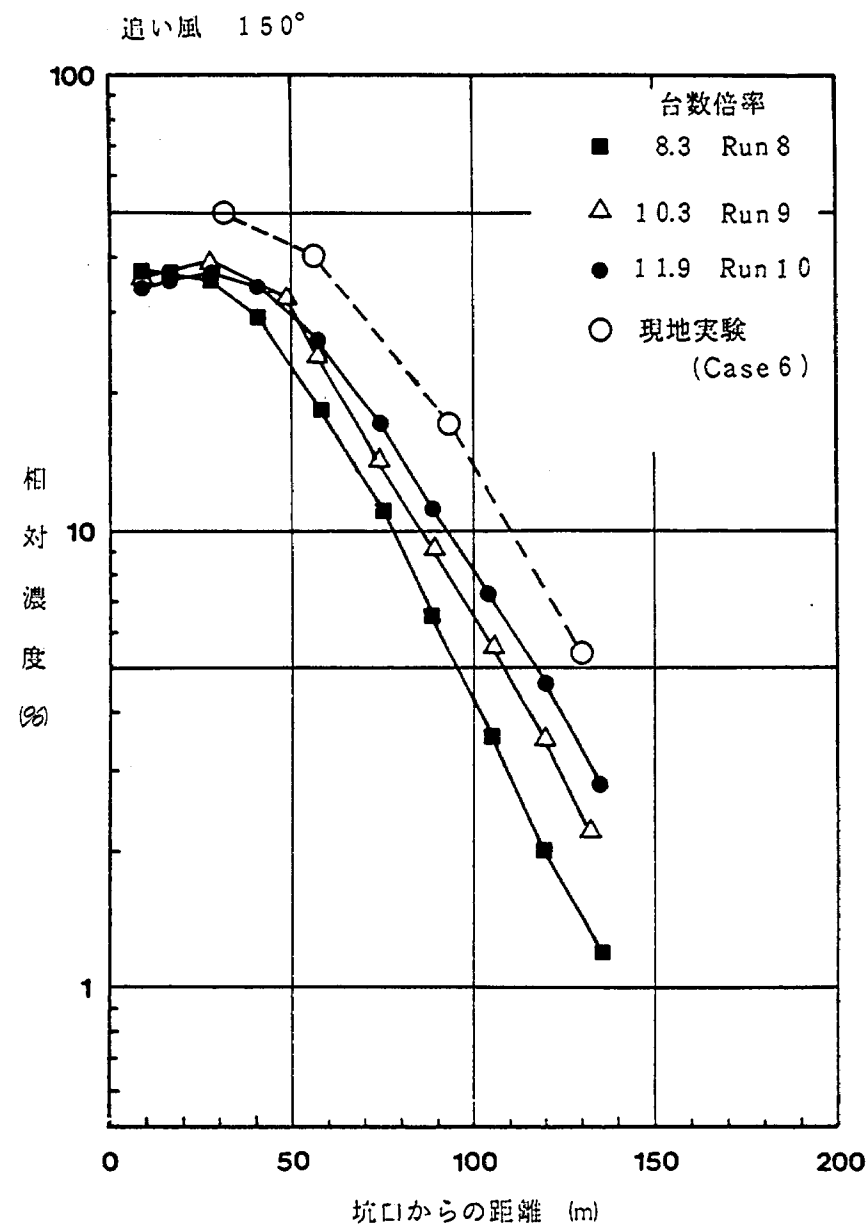
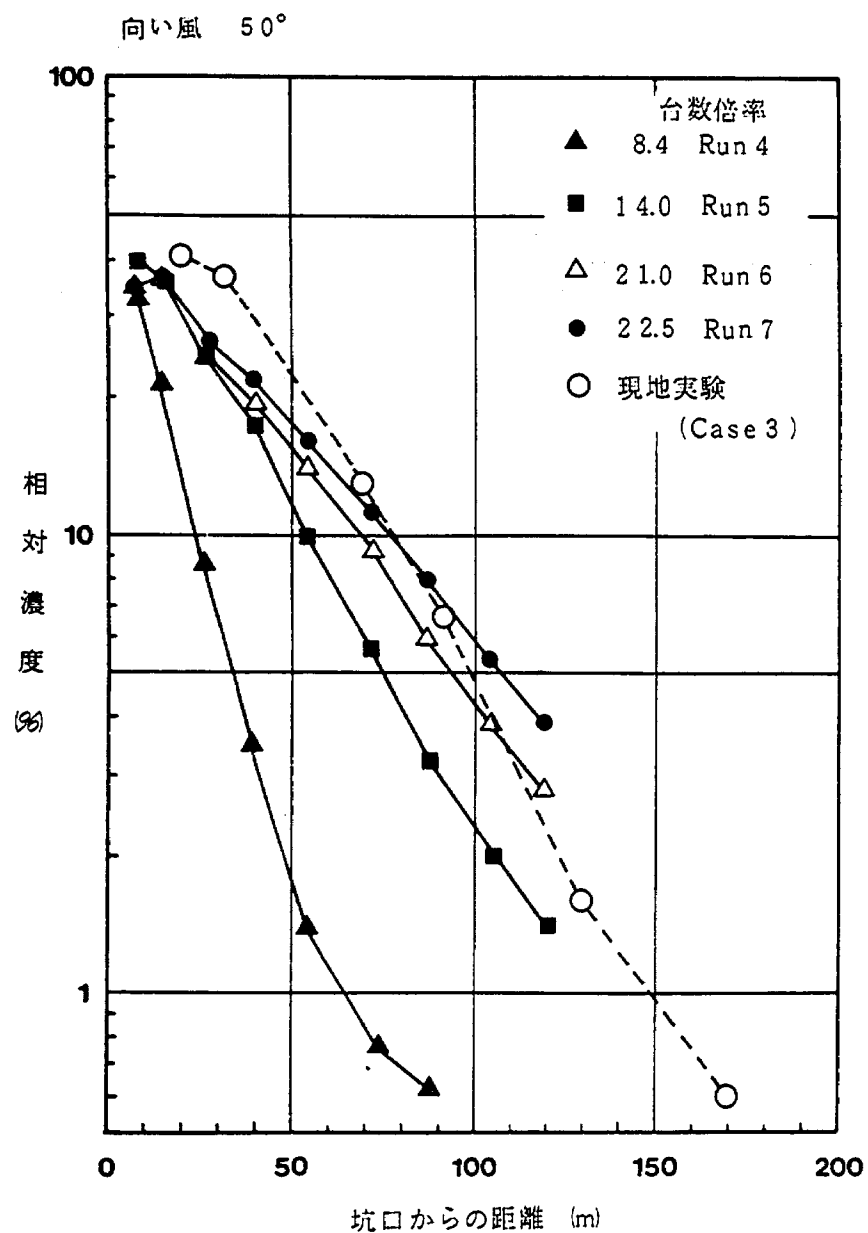


図 3.9 道路沿いの濃度減衰

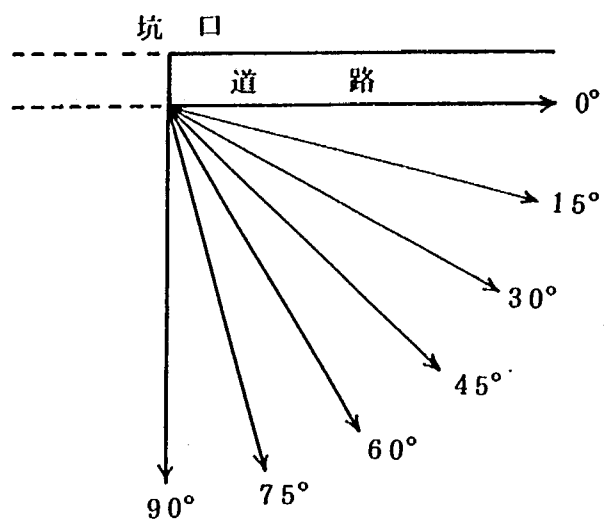
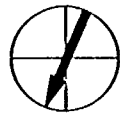


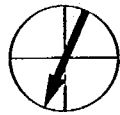
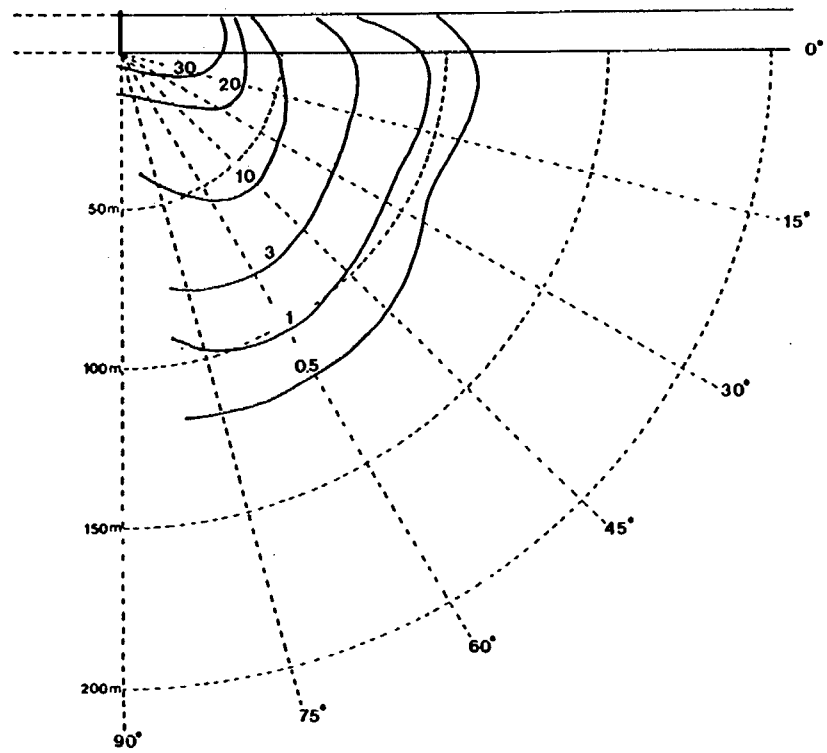
図 3.1 0 濃度減衰図の測定ライン

表 3.5 現地実験に対応する模型実験条件

Case	風 向		現 地 実 験			模 型 実 験				
			自然風速	平均車速	平 均	風洞風速	車 速	平 均	台数倍率	模型実験
			(m/sec)	(km/h)	車頭間隔 (m)	(m/sec)	(m/sec)	車頭間隔 (cm)		Run No
1	横 風	70°	6.0	7 3	2 5 4	3.0	1.9	1 5.8	2 0.1	1
2		80°	5.6	7 7	2 7 6	2.8	"	1 4.3	2 4.1	3
3	向い風	50°	2.5	7 8	4 2 6	1.2 5	"	2 3.7	2 2.5	7
4	追い風	150°	3.3	6 7	2 8 9	1.6 5	"	4 7.4	7.6	12
5		"	2.6	7 7	3 3 0	1.3	"	4 7.4	8.7	11
6		"	3.6	7 6	3 1 3	1.8	"	3 3.0	1 1.9	10
7		165°	2.2	7 1	3 2 6	1.1	"	1 5 1.8	2.7	13



現地実観



模型実験

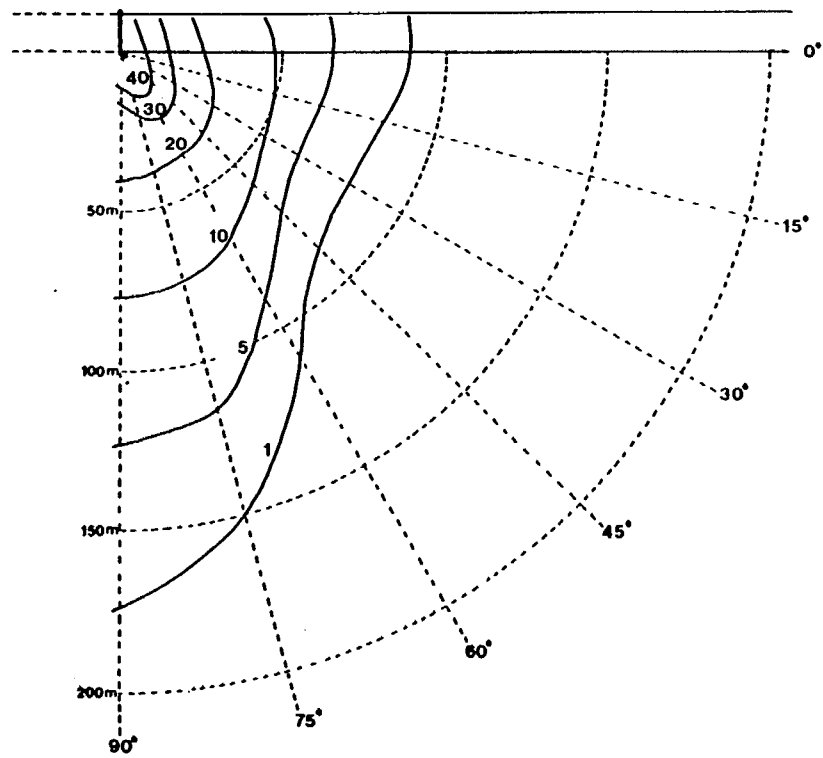
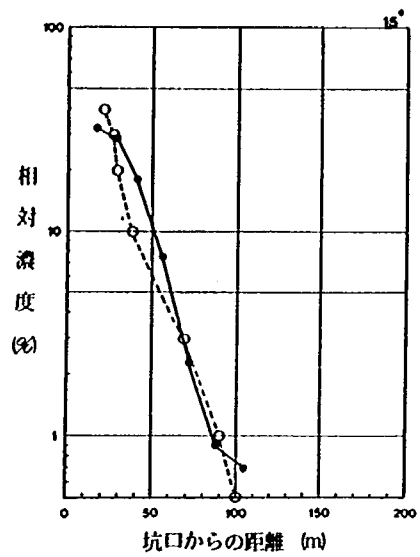
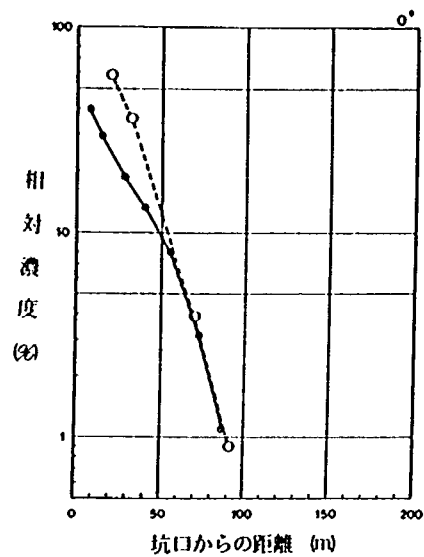


図 3.1 1 濃度分布図 (Case 1, 横風 70°)



○ 現地実験
● 模型実験

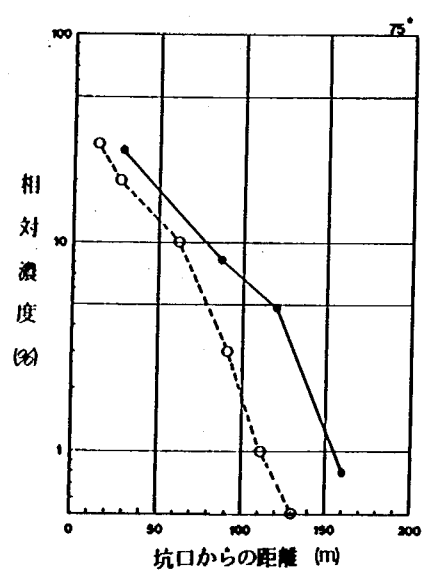
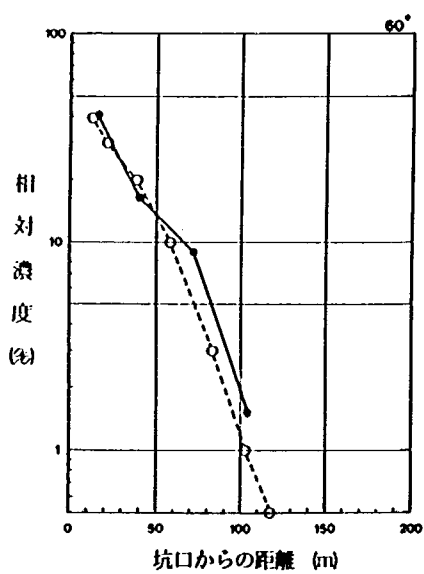
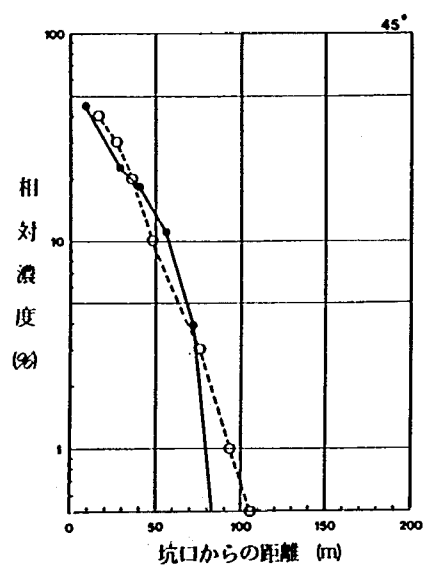
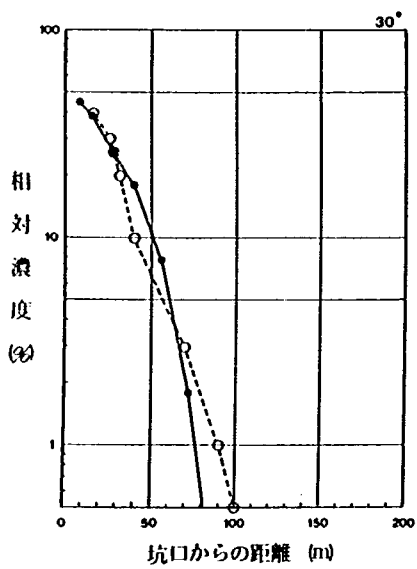


図 3.12 坑口周辺の濃度減衰 (Case 1, 横風 70°)

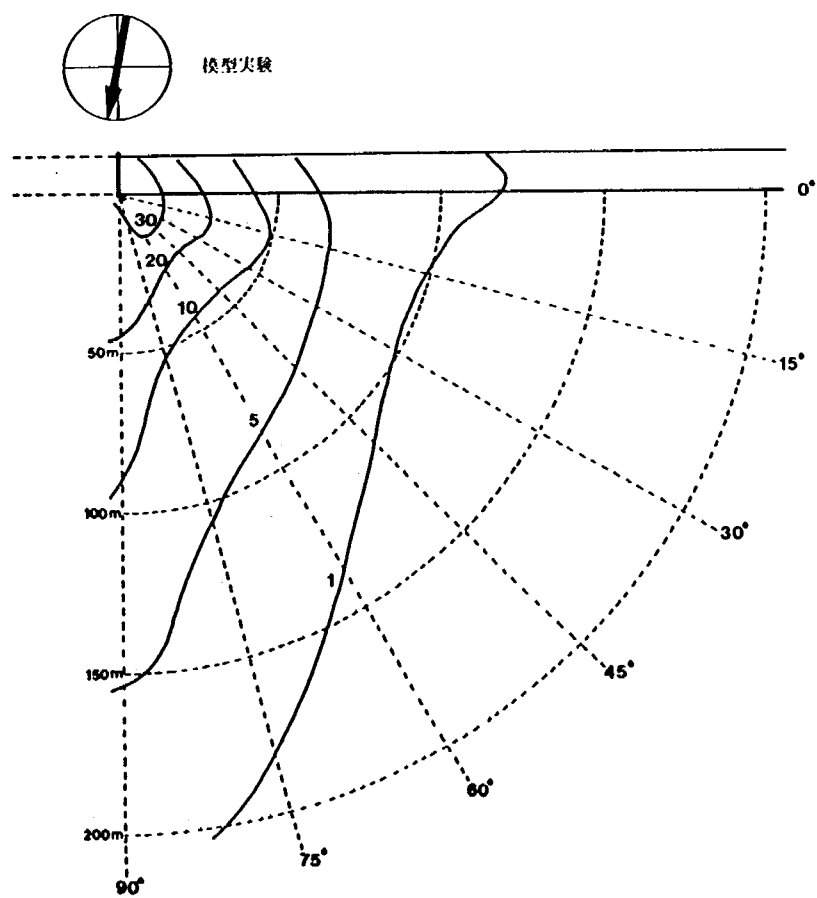
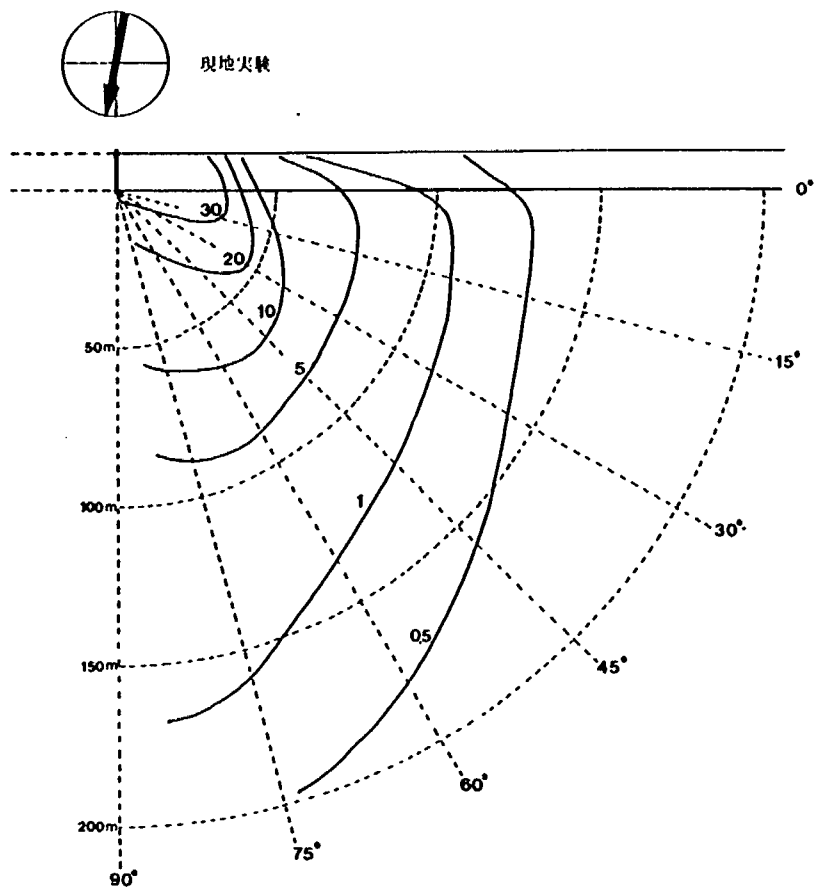


図 3.1 3 濃度分布図 (Case 2 横風 80°)

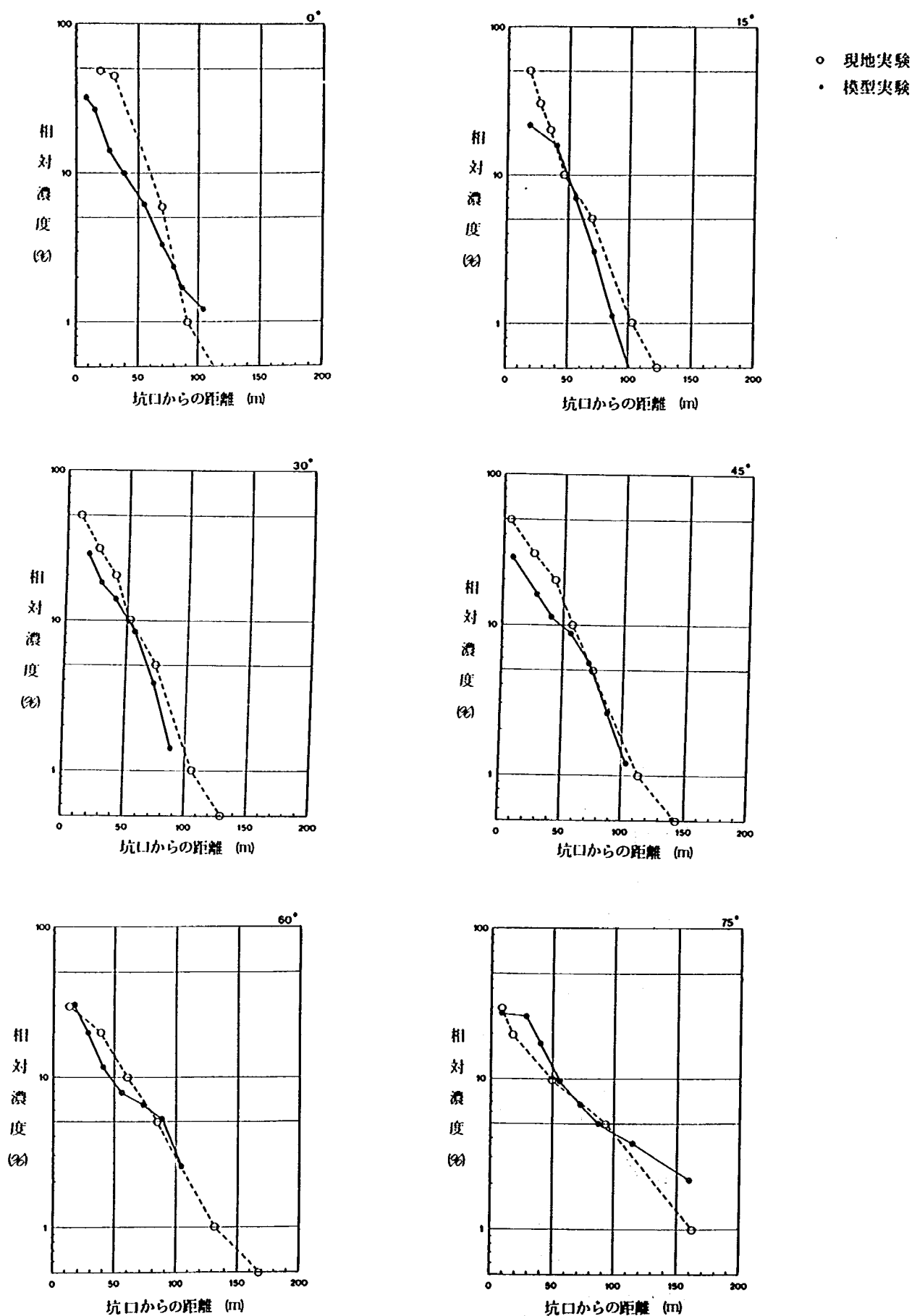
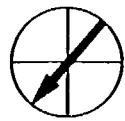
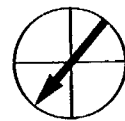
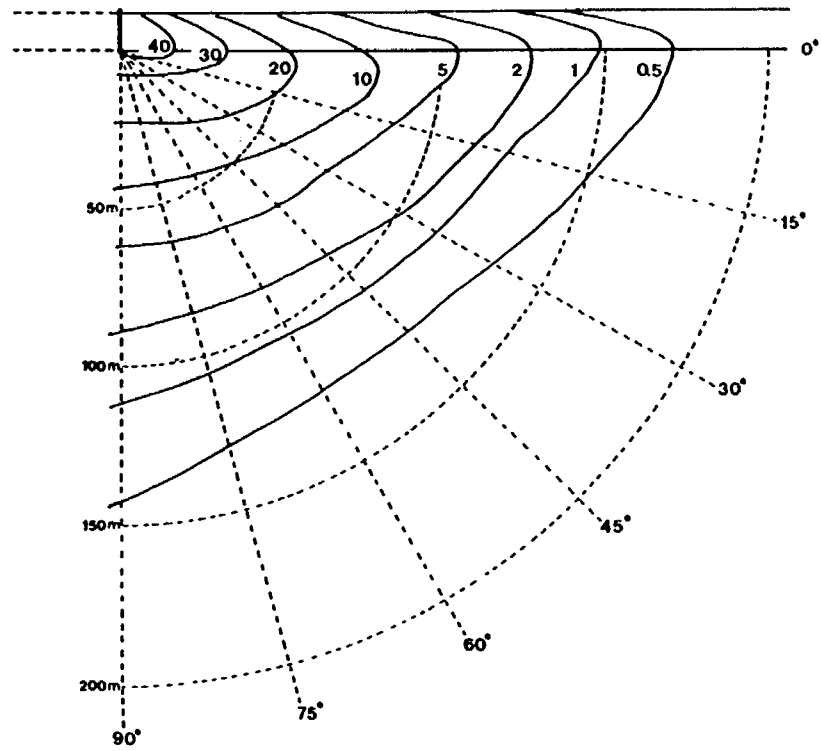


図 3.14 坑口周辺の濃度減衰 (Case 2, 横風 80°)



現地実験



模型実験

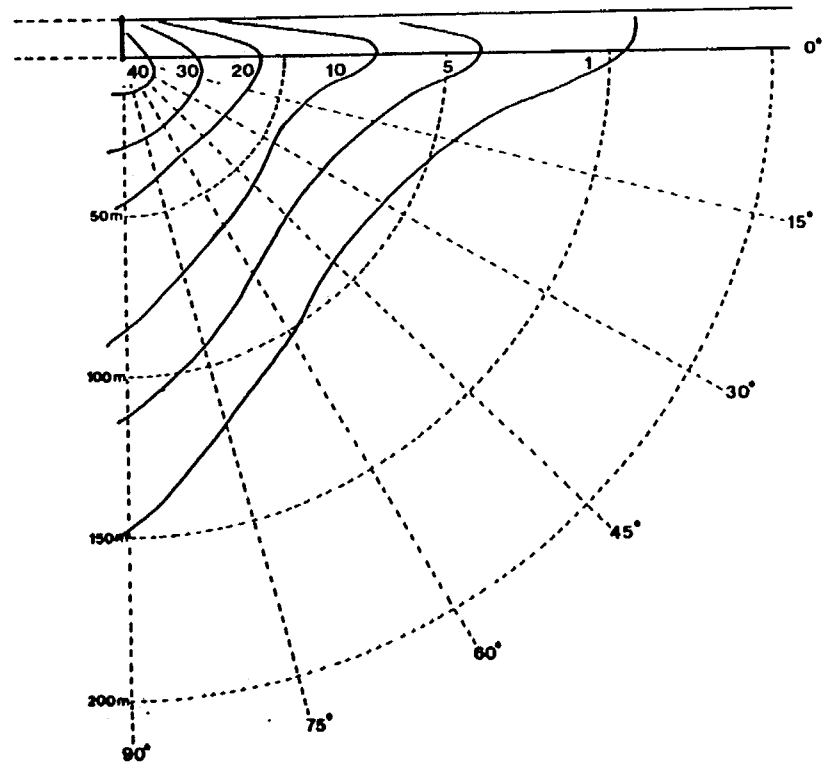
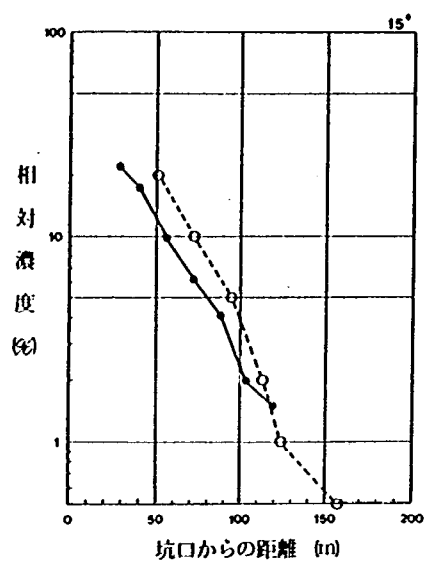
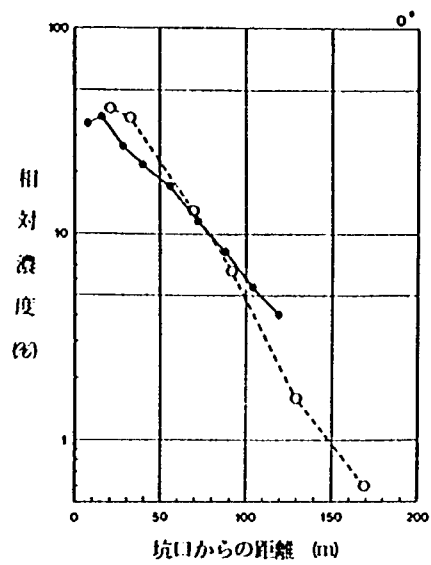


図 3.15 濃度分布図 (Case 3 向い風 50°)



- 現地実験
- 模型実験

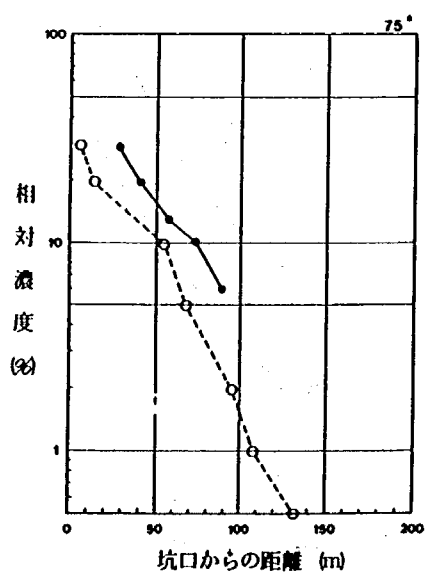
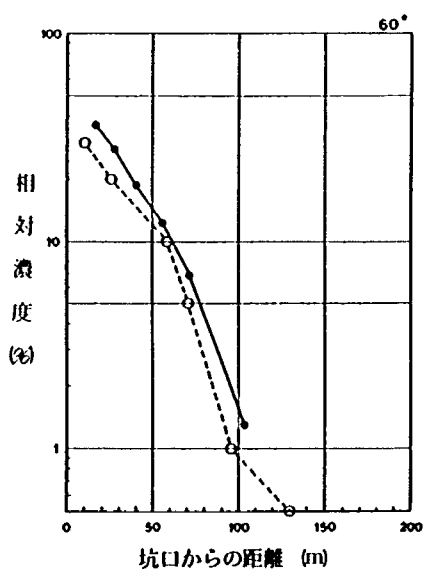
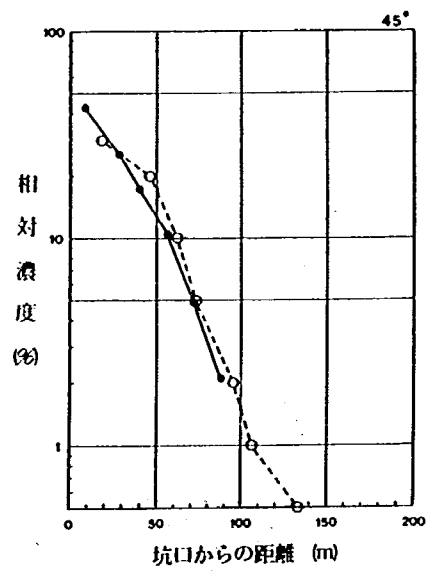
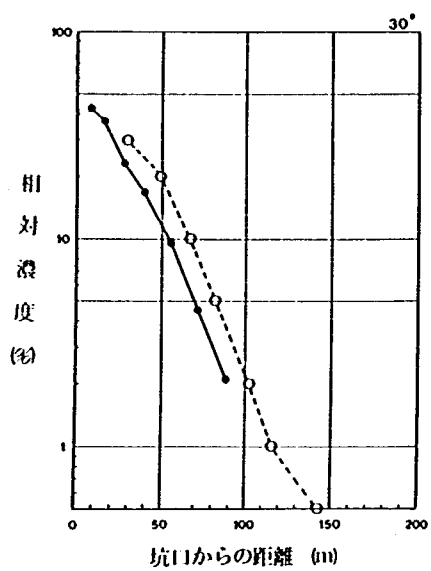


図 3.16 坑口周辺の濃度減衰 (Case 3, 向い風 50°)

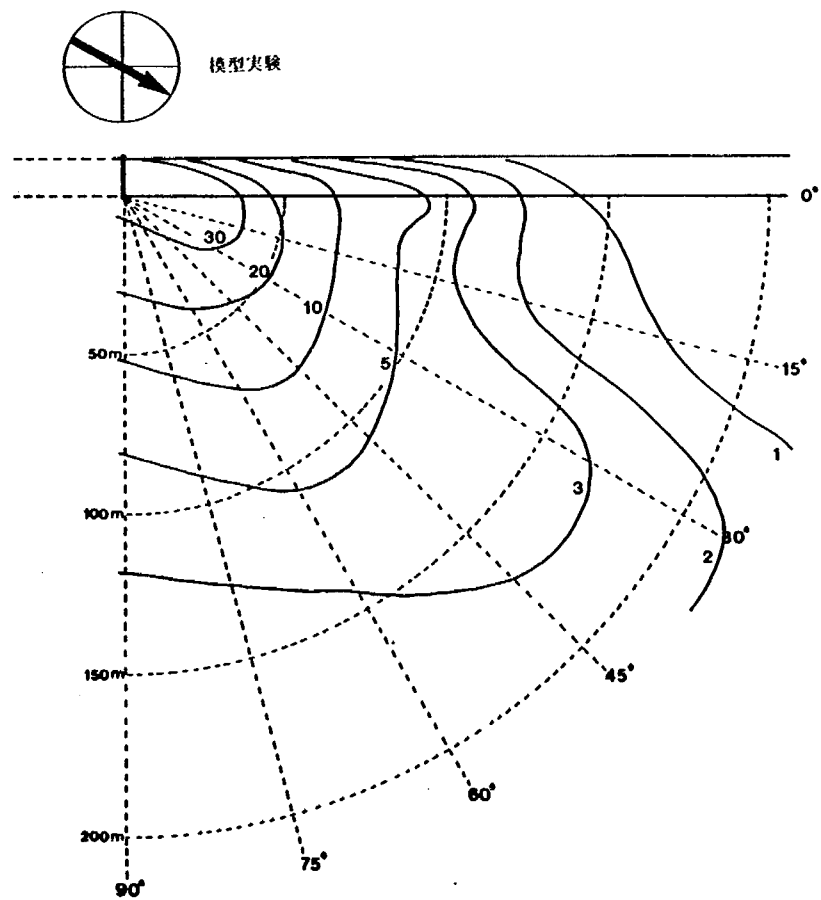
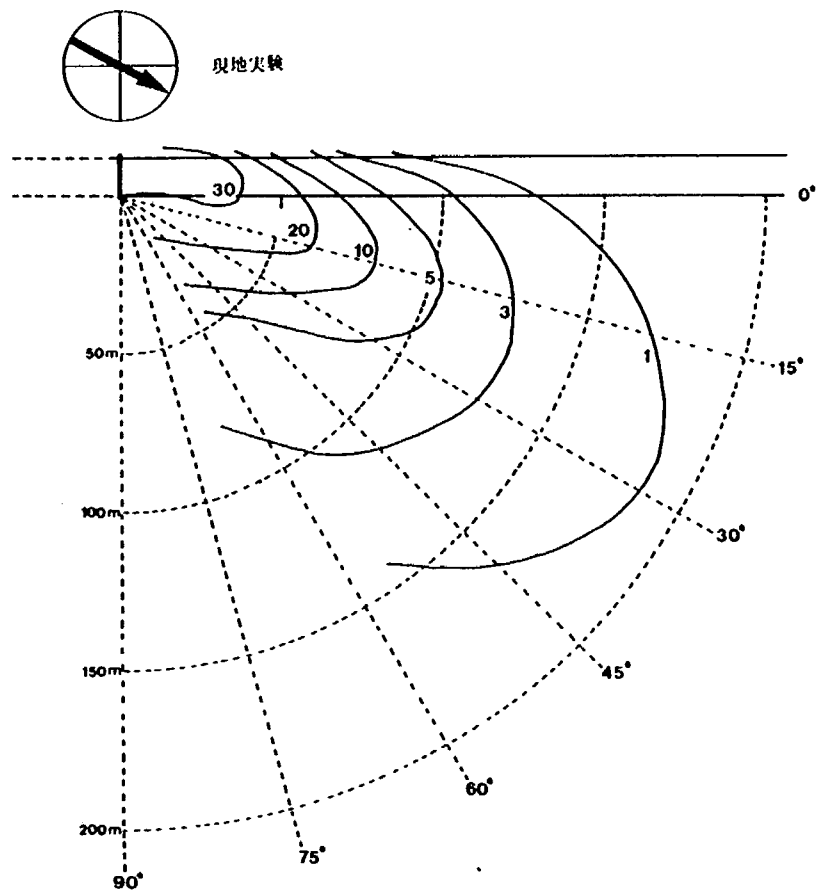
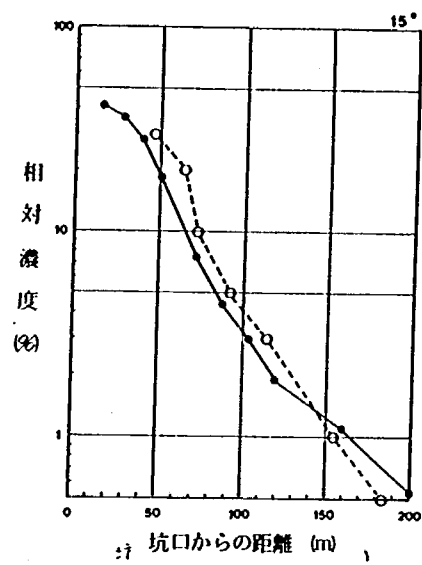
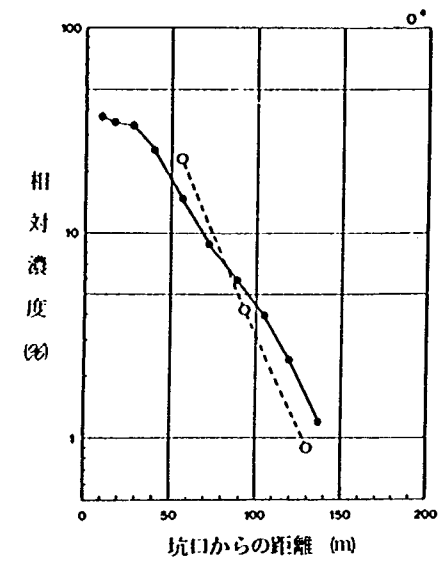


図 3.17 濃度分布図 (Case 4 追い風 150°)



- 現地実験
- 模型実験

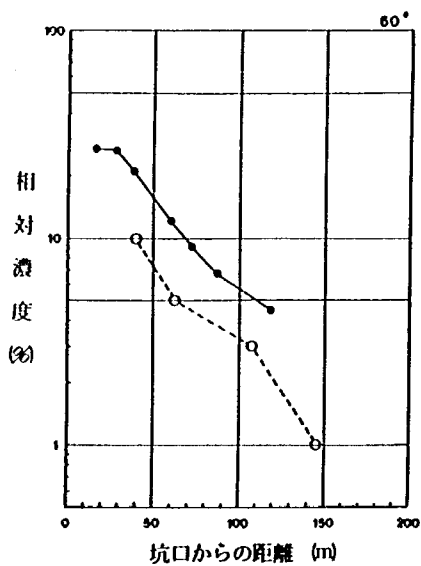
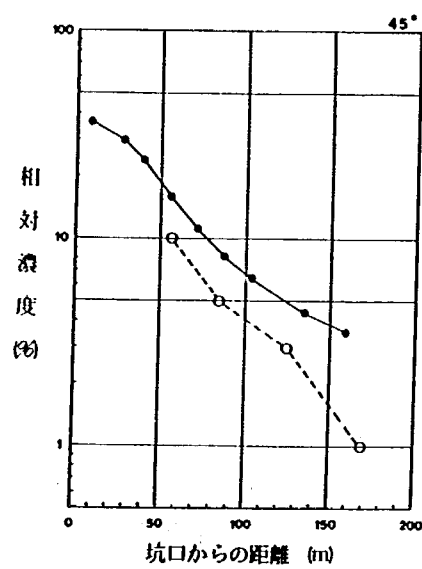
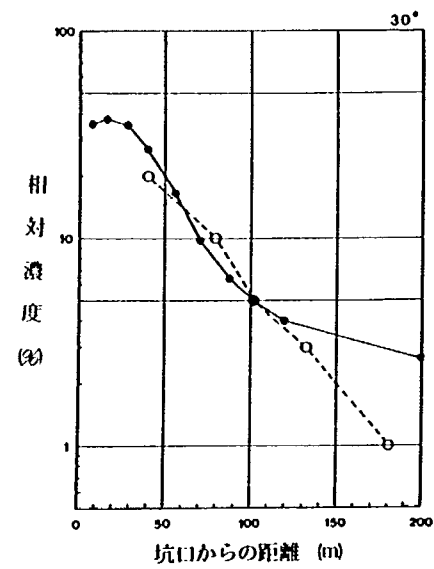


図 3.18 坑口周辺の濃度減衰 (Case 4, 追い風 150°)

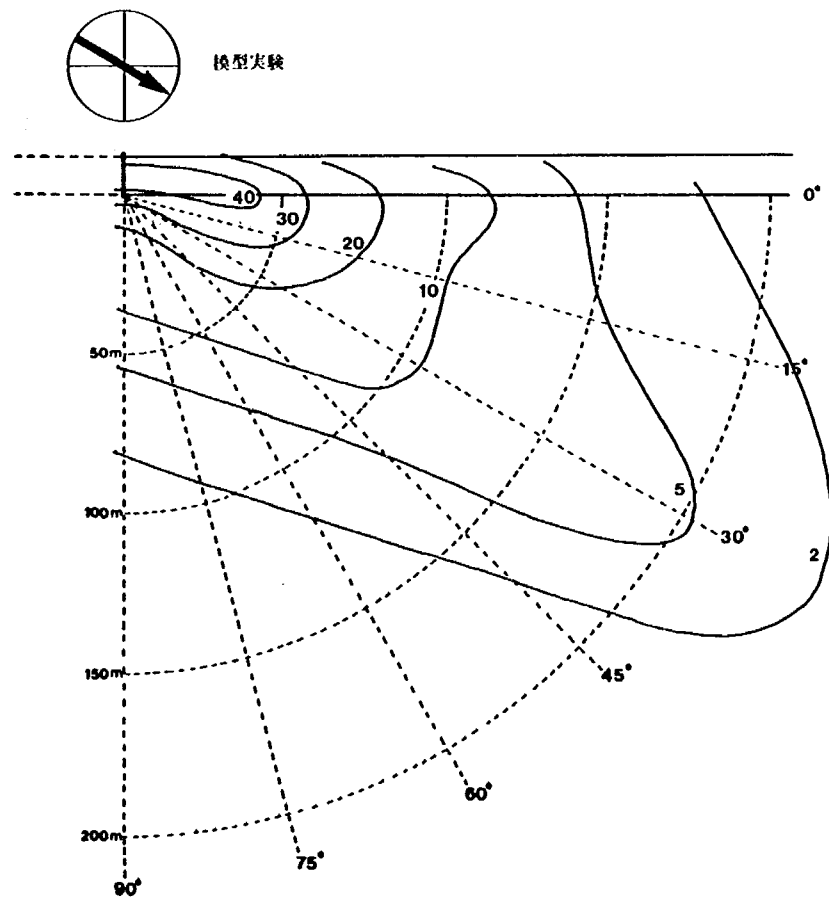
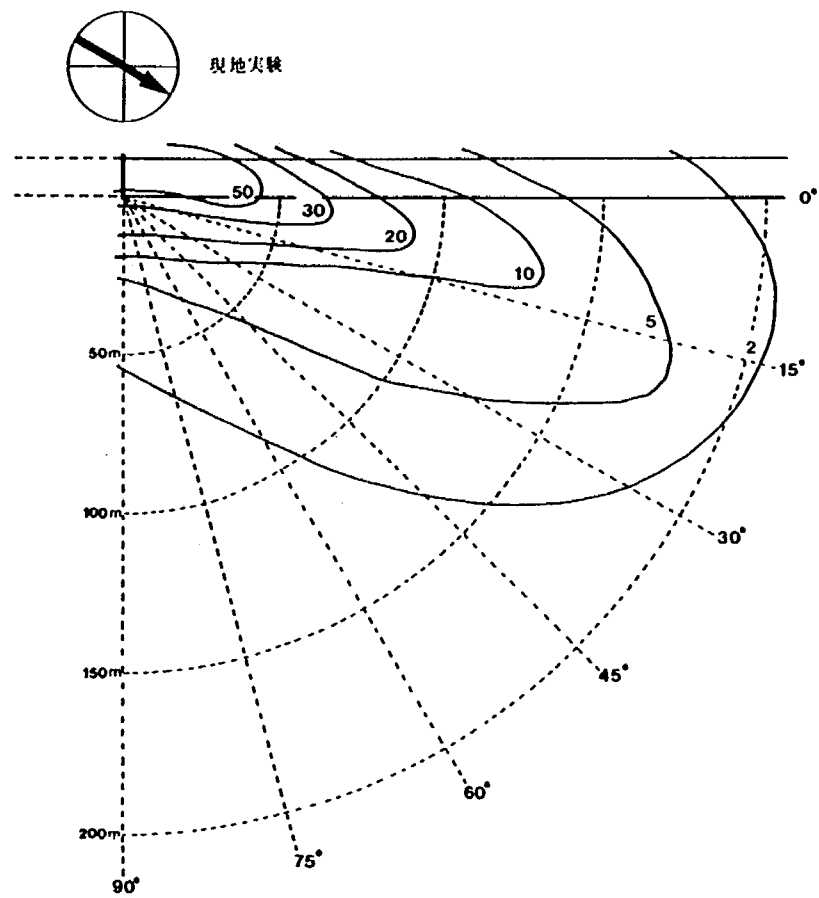


図 3.19 濃度分布図 (Case 5, 追い風 150°)

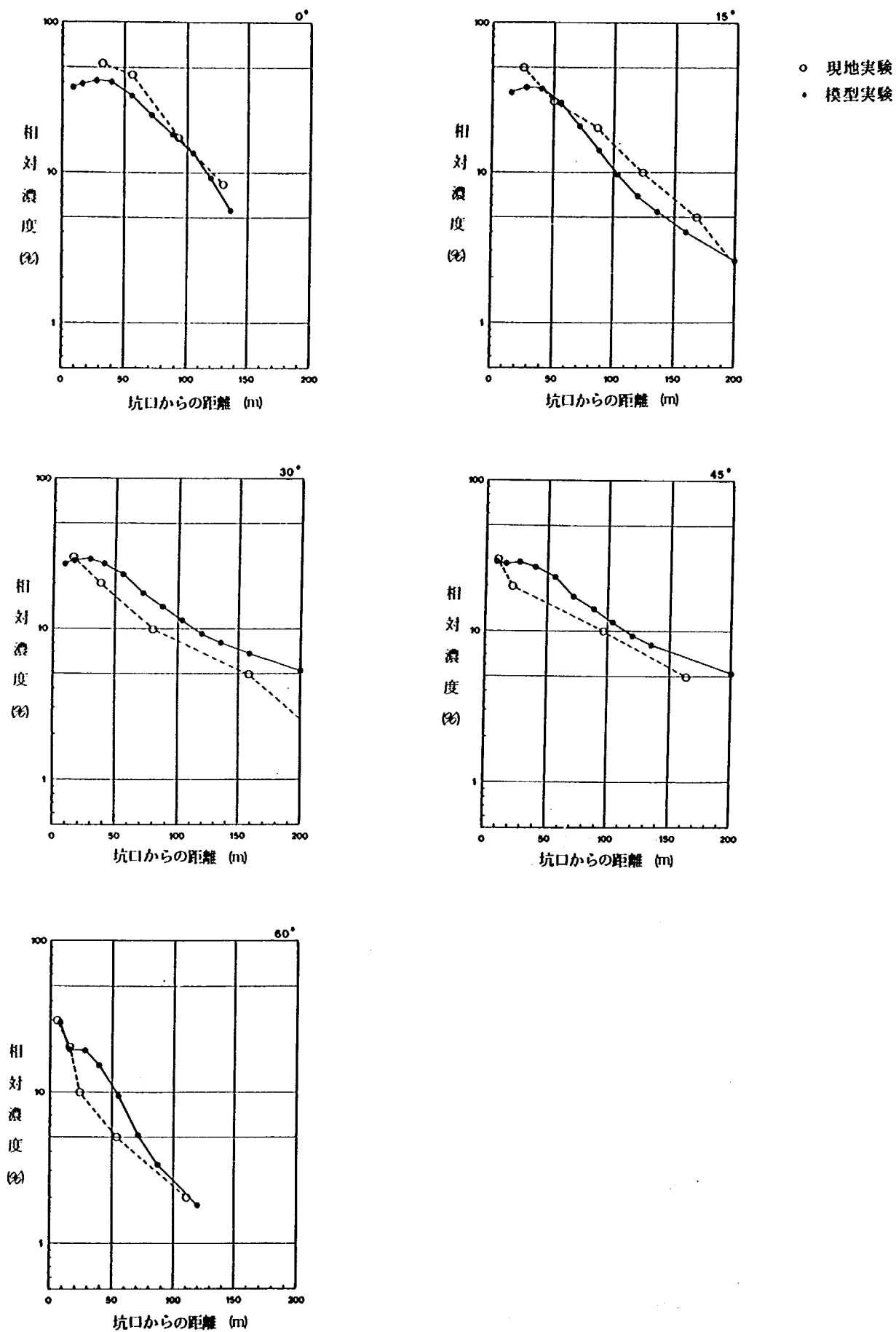


図 3.20 坑口周辺の濃度減衰 (Case 5, 追い風 150°)

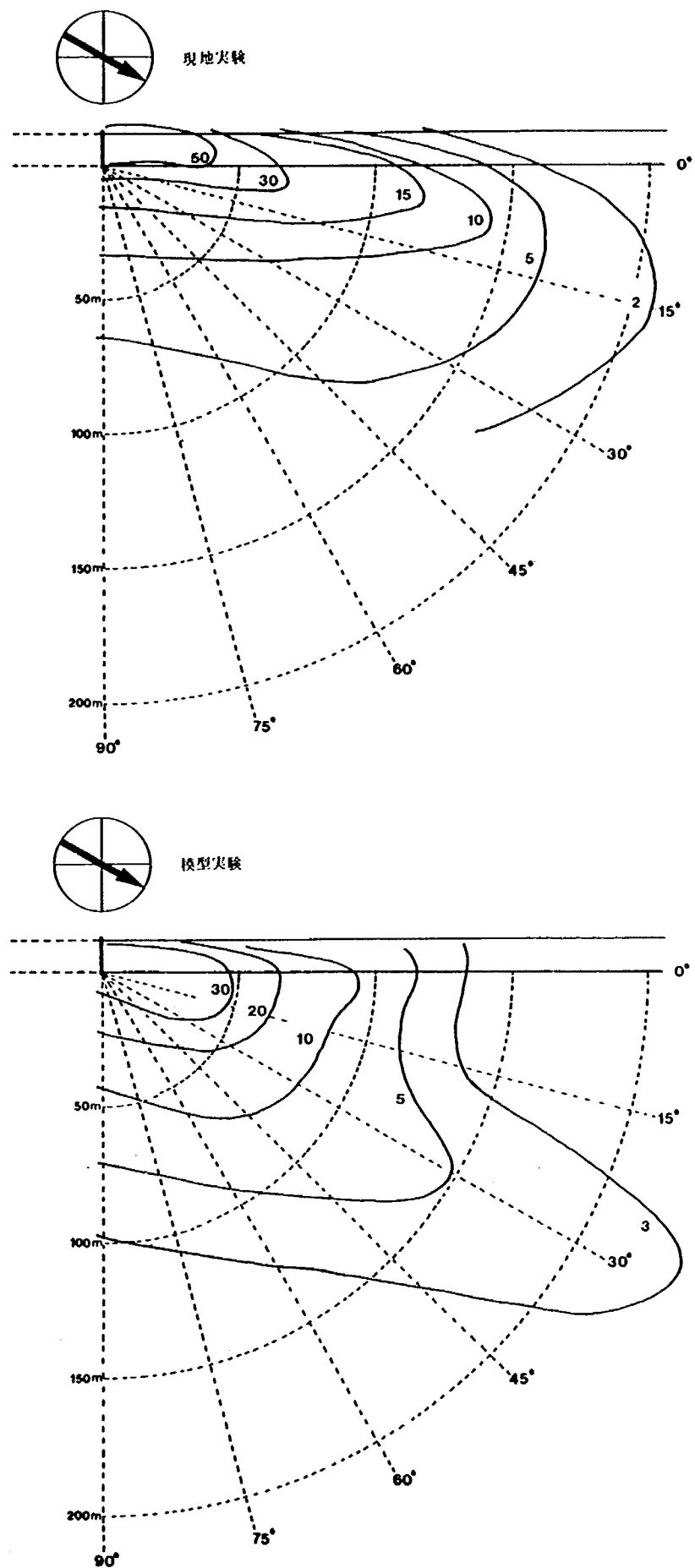


図 3.2 1 濃度分布図 (Case 6 追い風 150°)

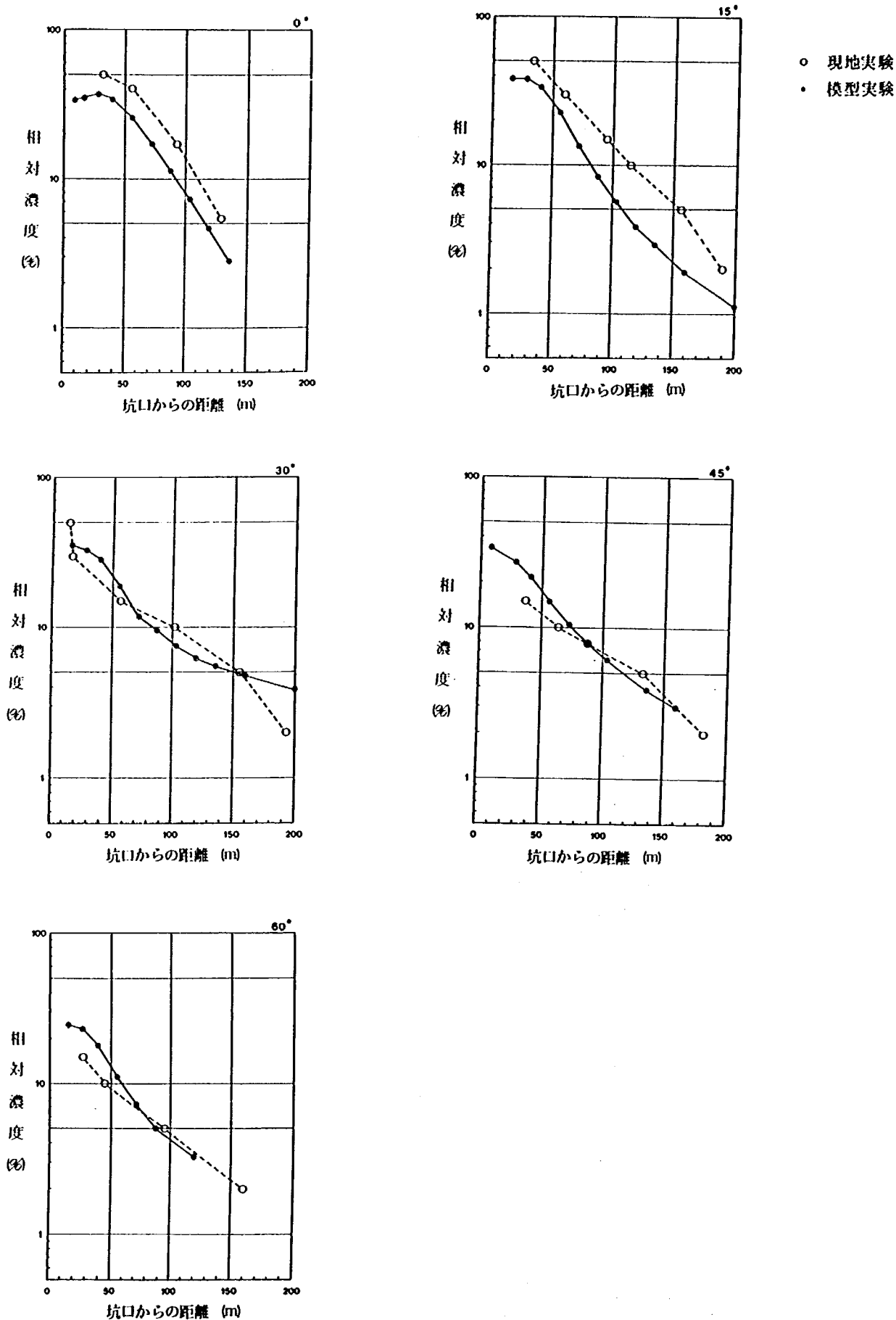


図 3.22 坑口周辺の濃度減衰 (Case 6, 追い風 150°)

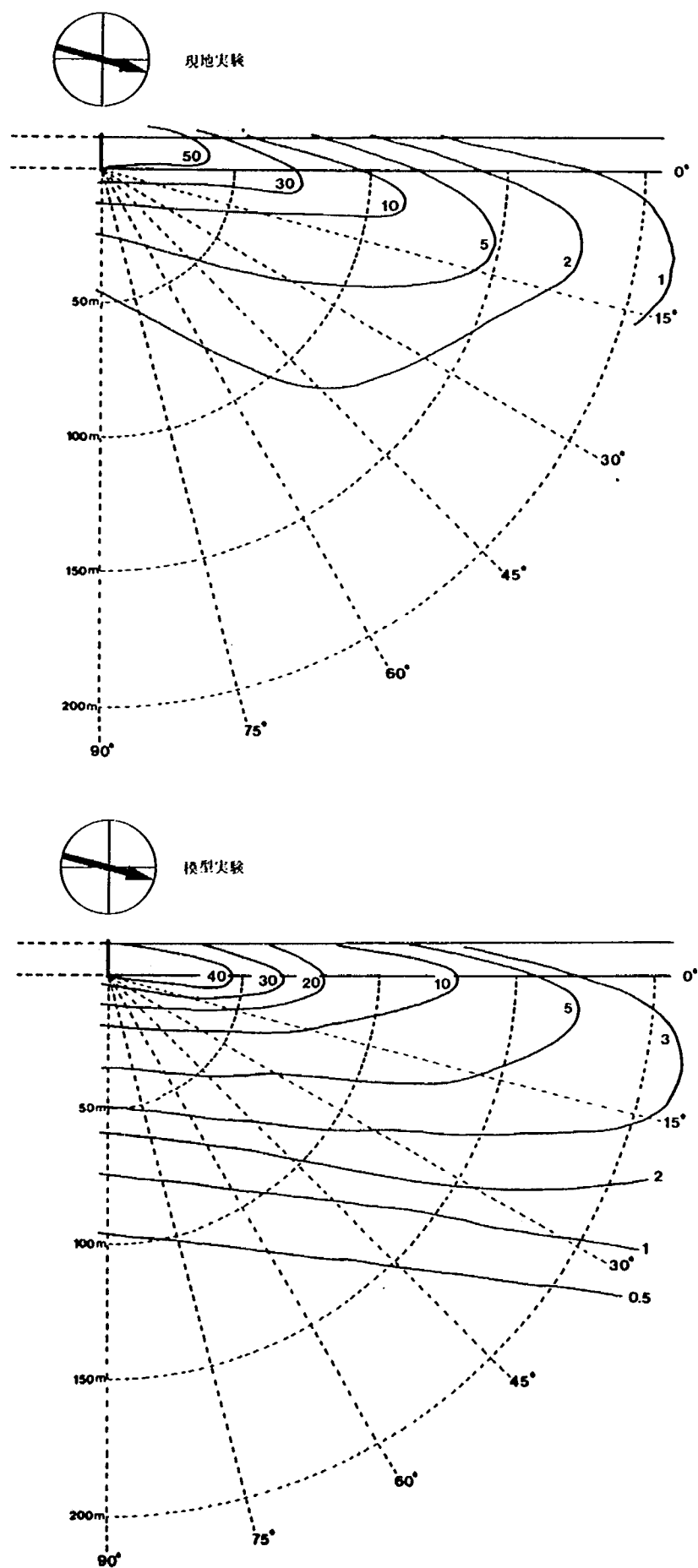


図 3.23 濃度分布図 (Case 7 追い風 165°)

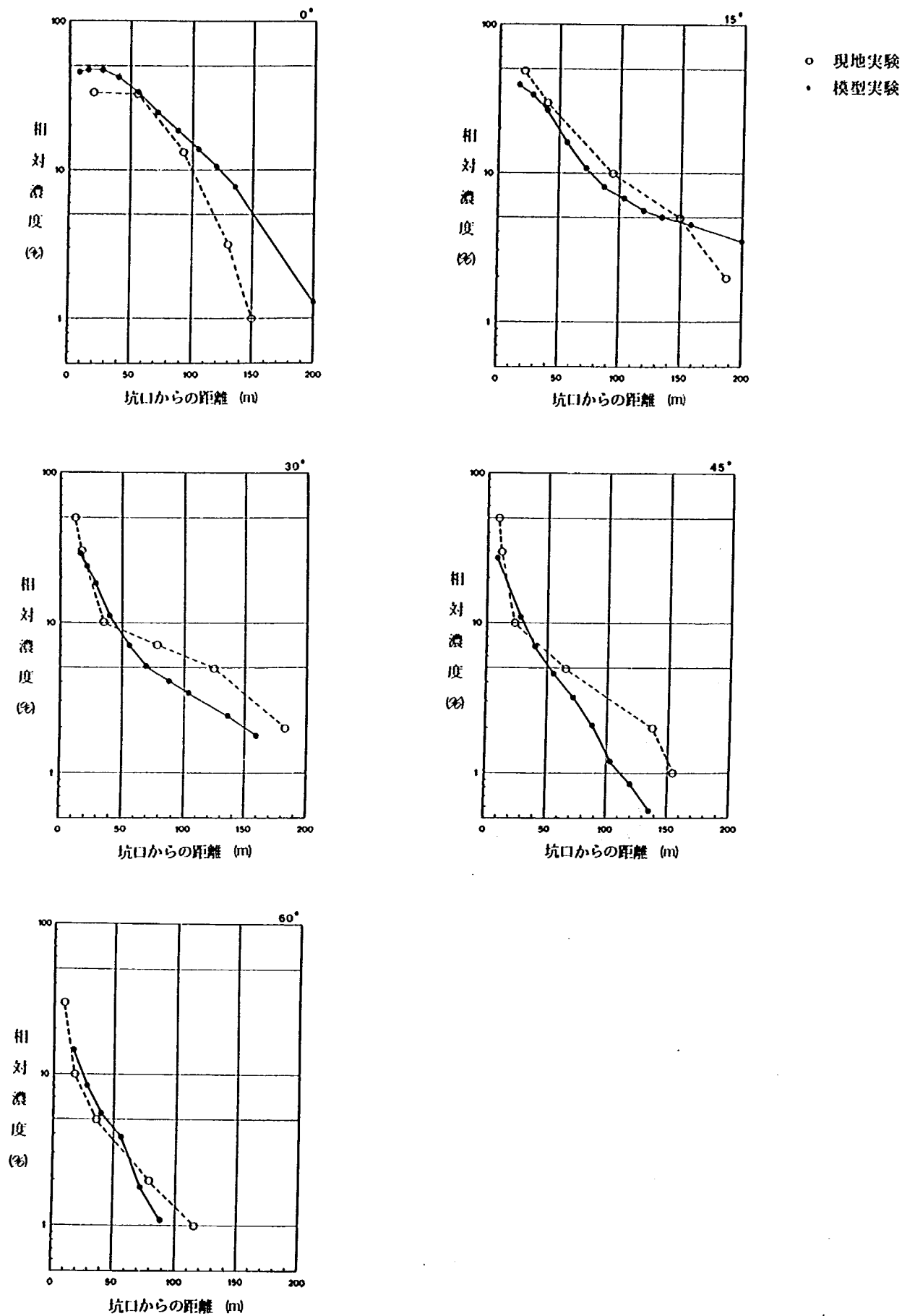


図 3.24 坑口周辺の濃度減衰 (Case 7, 追い風 165°)

3.4 実験パラメータの設定方法

風洞模型実験を行う場合の実用的な実験パラメータの設定方法として、これまでに行った模型実験の結果から、次のように提案する。

(1) 地形模型の幾何縮率

地形模型の幾何縮率は、実験を行う風洞の寸法により制約を受けるが、なるべく $1/100$ 程度の縮率とする。

(2) 地形条件

幾何相似させる。

(3) 風洞気流

気流制御素子等を用い、中立状態の風速分布 ($1/7$ 乗則) を再現する。

(4) 模型車両

車両の前面投影面積は、式 3.2 より求める。車両の長さは、大型車の長さを幾何相似させる。

模型車両の形状は直方体とする。

(5) 車線数、走行方向

現地条件と同様とする。

(6) 台数倍率 台数倍率は、坑口に対する風向に応じて、図 3.2 5 に示した範囲から決定する。

(7) 風洞風速

現地条件と同一とする。

(8) 模型車走行速度

現地条件の $1/5$ とする。

(9) 坑内風速

模型車両の走行により誘起される風速とし、特に与えない。

以上に記した設定方法は、特定の地点における現地実験の結果に基づいて検討したものであるため、他の地点に適用する場合には、個々に検討を加える必要がある。

このため、今後は条件の異なる地点における検討を重ね、より適当な実験パラメータを確立する必要がある。

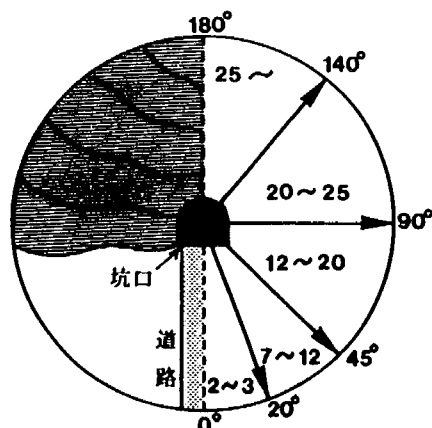


図 3.2 5 坑口に対する風向による台数倍率

参考文献

- (1) 道路トンネル坑口付近における排気ガス拡散実験調査報告(Ⅱ) 土木研究所資料第1374号
昭和53年3月
- (2) 道路トンネル坑口付近の排気ガス拡散風洞実験報告 土木研究所資料第1904号 昭和58
年3月

道路トンネル坑口付近の排気ガス
拡散風洞実験報告(Ⅱ)

キーワード：道路トンネル 大気汚染
交通公害 風洞実験

ISSN 0386-5878
土研資料第2216号
昭和60年3月(1985年)
水谷 敏則, 秋山 清
真下 英人

要 旨

本報告は、道路トンネル坑口から排出される大気汚染物質の拡散現象について、風洞模型実験による予測方法に関する検討結果を述べたものである。

郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

トンネル研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町

大字旭一番地

No 001

No001

土研資料 第2216号

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料 第2216号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印