

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

昭和58年3月

建設省 土木研究所
トンネル研究室

Copyright© 57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。

ま え が き

トンネル坑口からの自動車排気ガスの拡散予測にとって、風洞実験は重要な手法である。本報告書は、この風洞実験手法を明らかにするために行った一連の風洞実験の結果を取りまとめたものである。

トンネル坑口付近の排ガス拡散の予測が困難な理由は地形的要因、自然風、坑口風、および自動車によるかく乱といった複合作用などのためであるが、これらはトンネル坑口拡散に固有な問題であるから、風洞実験の手法や相似則は新しく独自にもとめる必要がある。本報告書ではこれらについて最終的な結論を出すまでには至らなかったが、現在までに明らかになった点をできるだけとりまとめたものであり、残された課題については今後さらに研究を続け結論を得るよう努力したいと考えている。

トンネル研究室	室 長	水 谷 敏 則
	研究員	猪 熊 明
		秋 山 清

道路トンネル坑口付近の排気ガス拡散風洞実験報告書

目 次

第 1 章	序 論	1
	1. 相 似 則	1
	2. 風洞実験装置と風洞内流れの基本条件	6
第 2 章	坑口拡散模型実験（その 1）	9
	1. 概 説	9
	2. 現地実験データの整理	9
	3. 風洞実験方法	13
	4. 相 似 則	18
	5. 実 験 結 果	19
	6. 整合性の検討	37
第 3 章	坑口拡散模型実験（その 2）	59
	1. 概 説	59
	2. 整 合 対 象	59
	3. 実 験 方 法	60
	4. 相 似 則	66
	5. 実 験 結 果	66
第 4 章	坑口拡散模型実験（その 3）	73
	1. 概 説	73
	2. 実 験 概 要	74
	3. 実 験 結 果	83
	4. 解 析	105
	5. 整合性の検討	107

第1章 序 論

1. 相似則

トンネル坑口付近の拡散の予測に関しては、拡散に影響する要因が煙突からの拡散や明り部の道路の拡散と異なるため、相似則も独自のものが必要である。

現在までのところ、トンネル坑口付近の拡散の風洞実験に関する相似則は、研究例も少ないこともあって確立されていない。したがって、まず相似則について検討することが必要である。

模型実験の相似則をもとめる方法は、概ね、以下の3通りある。¹⁾

1. 微分方程式による方法
2. 次元解析による方法
3. 物理法則を用いた方法

今回のように複雑な現象の場合には、2もしくは3によるのが妥当である。いずれの方法を用いても、現象に影響する要因を調べる必要があるが、これらの考えられる要因を対象別に列挙したものが表-1である。いうまでもなく、これらの要因がすべて同じ程度に拡散に影響を与えるわけではなく、影響の強いものから優先的に考慮していくことになる。どの要因を優先するのが良いかは、現場の状況などを考えて実験の責任者が先決することになるが、それに対する評価は、事後に実験結果と現場における拡散計測結果を比較することによって得ることが出来る。

表-1.1 坑口拡散を左右する要因

物性 対象	L 長さ	FL^{-2} 圧力	LT^{-1} 速度	θ 温度	FL^{-3} 単位重量 体積重量	L^2T^{-1} 粘性 係数	L^2T^{-1} 拡散係数
大 気	幾 何	局 所 的 大 気 圧	自然風速 乱れの強 さ	大気温度	密度変化	渦動粘性 係数	乱流拡散 係数
地 形	幾 何 トンネル 断面 トンネル長さ			日射による 地表面 温度			
排気ガス		排 出 圧	排出速度	ガス温度	密度変化		
交 通	幾 何 車頭間隔 車断面	坑口風圧	車 速 坑口風速			かく乱効 果	かく乱効 果
換気設備		坑口風圧	坑口風速				

過去の拡散風洞実験例のうち7例を選択して、どのような相似則を用いているか調べた結果を以下に述べる。この例では、(5)は先に述べた微分方程式による方式と次元解析による方式

を用いている。Ⅱ1～4とⅡ6, 7は物理法則を用いた方式によっているがただし、Ⅱ7の1部(うずの相似)については、物理法則によらず単に経験的に定められたものである。物理法則を用いた方式もしくは経験的に相似則をまとめる方式は、簡便ではあるが時として誤った相似則パイナンバーを導くことがあり、注意する必要がある。

Ⅱ1. 釜口ら (1971)₂₎

(1) 幾何学的相似

地形、建物、煙突等を幾何学的相似にする。

(2) 風速分布・乱れ分布

(3) 温度条件

(a) 大気の温位こう配

ニューヨーク大学の Strom が、風洞測定室内(平板)で温位こう配を与えてテストを行なっているが、一般には中立状態でテストを行ない、あとで熱的影響を考慮することになっている。地形がはいれば温位こう配を与えることは不可能となる。

(b) 排ガスの温度浮力

温度浮力条件については、気流の密度とガス密度比を合わせてテストを行なうものが多い。このときには、後述の Froude 数を考慮せねばならない。

(4) 排出条件

温度浮力と同様に上昇過程についての相似性で、排出速度(V_v)と風速(U)の比(V_v/U)が合えばよい。このことは数多くのテストで確認されている。

(5) 粘性条件

Reynolds 数が合えばよいことになるが、一般には角ばった建物、日本のように起伏が大きい山では本質的には Reynolds 数に無関係で、かつ乱流境界層内では Reynolds 数は本質的な差異を与えないといわれている。

(6) Froude 数

重力に結びつくパラメータで重力効果が非常にきくのは、熱ガスの上昇である。

Ⅱ2. 釜口ら (1971)₃₎

(1) 幾何学的相似(道路、建物、車およびその配列)

(2) 排出ガス拡散の相似

(a) 力学的発生乱れ { 車誘起乱れ(走行風)
風 { 風固有乱れ
建物後流
地形誘起乱れ

(b) 熱的発生乱れ { 安定度
重力 { 排出ガス密度差
冷却加熱

(3) 自動車走行の相似

$$\text{自動車走行} \left\{ \begin{array}{ll} \text{走行の相似} & \text{時間スケール} : \frac{V_c T}{L} \\ & \text{車速/風速} : V_c / U \\ \text{排出の相似} & \frac{\text{排出有害ガス量}}{\text{空気流量}} : q / UL^2 \end{array} \right.$$

№ 3. 岡本ら (1978)₄₎

(1) 幾何学的相似

地形, 地物, 煙突等の模型を現地と幾何学的に相似にする。

$$L_p = S \times L_m$$

L : 代表長さ (m)

S : 模型縮尺

添字 p : 実物

m : 模型

(2) 風速分布・乱れ分布の一致

現地気象データに基づき, 鉛直方向の風速分布及び乱れ分布を一致させる。

(3) フルード数の一致

$$U_p / \sqrt{g \cdot t_p} = U_m / \sqrt{g \cdot L_m}$$

U_p : 代表風速 (m/s)

g : 重力加速度 (m/s²)

備 考

U : 平均風速 (m/s)

L : 代表長さ (m)

(4) 速度比・密度比の一致

$$(V_g / U)_p = (V_a / U)_m$$

$$(\rho_g / \rho_g)_p = (\rho_a / \rho_m)_m$$

V_g : 排ガス速度 (m/s)

ρ_g : 排ガス密度 (Kg/m³)

ρ_a : 大気の密度 (Kg/m³)

g : 重力加速度 (m/s²)

№ 4. 釜口ら (1978)₅₎

(1) 幾何学的相似 (道路, 地形, 坑口, 橋梁, 建物, 車)

(2) 気流相似 (中立条件)

層流 : Reynolds 数 $Re = UL / \nu$

乱流 : 乱流 Reynolds 数 $Rt = UL / K_m$

(3) 走行相似 (自動車の交通)

車頭パラメータ $1/L$

時間パラメータ $V_c T / L$

速度パラメータ V_c / U

圧力パラメータ $\left(\frac{L}{l}\right) A_c V_c^2 / L^2 U^2$

(4) 拡散相似 (排出ガスの拡散)

層流 : Peclet 数 $Pe^* = UL/D$

乱流 : 乱流 Peclet 数 $Pe_t = UL/K_s$

(5) 排出相似 (点源)

濃度パラメータ CUL^2/q_p

排出パラメータ $CL^3/q_p T$

(6) 境界条件相似

乱れ強さ, 風速分布, 気温分布 (中立), 地面粗度

ここに, ν : 動粘性係数 L : 代表長さ l : 車頭距離 V_c : 車速

A_c : 車投影面積 T : 時間 K_m : 運動量拡散係数 K_s : 物質拡散係数

※ 5. 西田 (1976) ⁶⁾

1. 基礎方程式による方法

ペクレ数 $\frac{K}{U l}$

レイノルズ数 $\frac{U l}{\epsilon}$

フルード数 $\frac{U^2}{g l}$

2. 次元解析による方法

速度 : U [L/T]

長さ : l [L]

渦粘性係数 : $\mu \tau$ [M/LT]

熱伝導率 : λ [cal/LT[°]K]

乱流拡散係数 : K [L³/T]

密度 : ρ [M/L³]

温度 : T [°K]

圧力 : P [M/L²]

比熱 : c [cal/M[°]K]

熱膨張係数 : β [1/°K]

重力加速度 : g [L/T²]

これらの量の数は 11 個であり, これらに対して独立次元は, L, T, M, θ

長さ : 時間 : 質量 : 力 : 温度

の 5 個である。したがって, この現象の無次元数としては 6 個のものが考えられ, 例えば次のようになる。

レイノルズ数 : $U l / \epsilon$

プラントル数 : ϵ / α

シュミット数： ϵ/K

グラスホフ数： $g\beta(T-T_0)l^3/g^3$

フルード数： $U/\sqrt{lg}$

マッハ数： $\sqrt{\rho U^2/gP}$

ただし、 $\epsilon = \mu\tau/\rho$ 、 $\alpha = \lambda/(c\rho)$ である。

№ 6. 磯村ら (1976) ⁷⁾

1. 流れが乱流の場合には乱流レイノルズ数

$$R_{*t} = \frac{UL}{K}$$

2. 効果と浮力効果の比であるバルクリチャードソン数

$$R_{ib} = \frac{g}{T} \frac{L \Delta T}{U^2}$$

3. 自動車走行の相似条件として

$$\text{走行の相似} \left\{ \begin{array}{l} \text{時間スケール} : \frac{V_c T}{L} \\ \text{相対車速} : \frac{V_c}{U} \end{array} \right.$$

$$\text{排出の相似} : \frac{q}{UL^2}$$

(ここで、 V_c は車速、 U は風速、 L は代表長さを、また q は自動車からの有害ガス排出量を表わす)

№ 7. 大気汚染ハンドブック ⁸⁾

(1) 流れ全体の場の相似

$$Re = \frac{UV}{\nu}$$

(2) 排ガスの噴出および浮力効果の相似

$$\frac{\rho_s}{\rho_a}, \frac{V_s}{U}, \frac{U}{\sqrt{gl}}$$

(3) 拡散係数の相似……うずの相似に依存する

(4) 障害物で発生するうずの相似

$$\textcircled{1} \quad U_m = U_p \quad \dots\dots\dots \text{近似式}$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{U_m}{l_m^{1/2} \epsilon_m^{1/2}} = \frac{U_p}{l_p^{1/2} \epsilon_p^{1/2}} \quad \dots\dots\dots \text{重力の影響を考慮しない}$$

$$\textcircled{3} \quad \frac{\epsilon_m}{l_m} = \frac{\epsilon_p}{l_p}, \quad \frac{U_m}{l_m^{1/2}} = \frac{U_p}{l_p^{1/2}} \quad \dots\dots\dots \text{重力の影響を考慮する}$$

$$\textcircled{4} \quad R_i = \frac{g \left(\frac{dT}{dZ} + \Gamma \right)}{T \left(\frac{dU}{dZ} \right)^2} \dots\dots\dots \text{大気乱流を対象とする}$$

(備 考)

l : 長さ	V_s : ガス排出速度	Γ : 乾燥断熱減率
ν : 動粘性係数	U : 大気風速	Z : 高 さ
ρ_s : 排ガス密度	ε : 渦動粘性係数	
ρ_a : 大気密度	T : 温 度	

今回報告する模型実験 3 例のうち、その 1 とその 2 は前述した式 4 の相似則を用いている。式 4 は気流相似に関しては、Reynolds 数を採用しているが、現実には、Reynolds 数を模型と原型で合わせるのは非常に困難である。そこで、上記模型実験においては、後で述べるように幾何縮率 1/200 に対して風速縮率 1/2 を経験的に定めており、さらに車速縮率も 1/4 と定めている。しかるに、こうした流速や車速の縮率と幾何縮率の関係は、実験上非常に重要な要因であるから、何らかの検証が必要であると考えた。そこで模型実験その 3 では、異なった相似則式 7 を用いて実験を行い、相似則に関する検討を行ったものである。

2. 風洞実験装置と風洞内流れの基本条件

風洞では、風洞全体として風速と乱れの強さを一致させることが必要である。一般に変動する物理量を θ とすると、それはその平均値 $\bar{\theta}$ と変動力 θ' で表わされる。

$$\theta = \bar{\theta} + \theta' \dots\dots\dots (2.1)$$

$\bar{\theta}$ はかなり長い時間 T にわたっての平均値で

$$\bar{\theta} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \theta dt \dots\dots\dots (2.2)$$

また $\bar{\theta'} = 0$

ここで乱れの強さは、変動量の 2 乗平均の平方根、

いわゆる root mean square

$$\sqrt{\theta'^2} = \left\{ \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} \theta'^2 dt \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (2.3)$$

を用いるのが普通である。

乱れの強さが拡散に影響を与えることは明らかであるから、一般には風洞実験において風速のみならず乱れ強さも相似させることが望しい。

今回の実験では乱れの強さと風速分布の制御を行った。すなわち、乱流格子 (乱れ制御)、と粗度板 (境界層制御、風速分布制御) による制御を行った。これによって、風洞内の流れは概略的には図 1 のように変化するが、境界層における風速分布形状や乱れの強さの平均風速に対

する比を、現地と相似になるように調整する。現地における風速分布形状や乱れの強さは、その個々の地形や地表面構造物によって異なるので、実験の対象とする現場において事前に風速観測を行い、上記のような情報を得た後、風洞実験を行うのが妥当である。しかし、現実には個々の条件を無視した一般的な境界層、

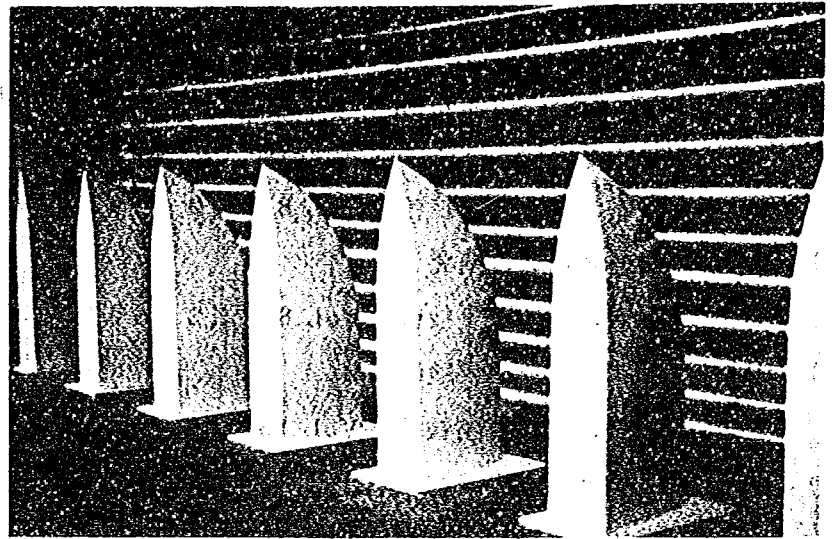


写真-1

乱れの強さの条件を用いることが多い。

このため、最近の傾向としては、以下の例のような改善がなされている。すなわち、風洞内では鉛直方向煙拡散幅は野外実測と良く整合するが、水平方向煙拡散幅はP-G図などより小さな値しか得られないので、乱れ発生振動機を用いて水平方向の乱れのみを増幅させる。また、一般に大気安定度が不安定になるほど乱れの強さは強くなると考えられるので、こうした大気安定度の拡散への影響をみ

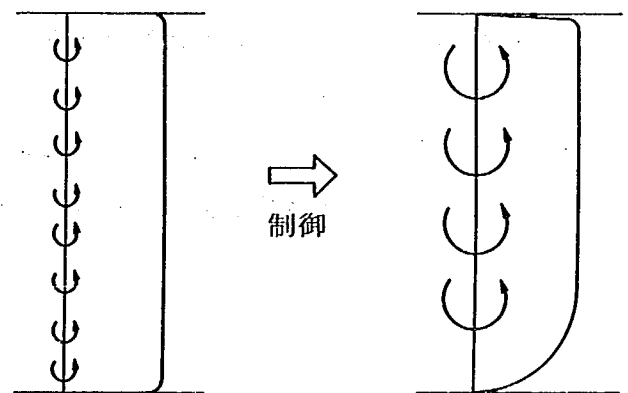


図-1 風速分布と乱れ強さの制御

るため、ヒーターとかドライアイスで流れを加熱、冷却して実験を行う¹⁰⁾などである。

しかし、以上のような詳細な乱れの強さの相似については、いまだ研究段階である。

乱流の振動数については、あまり研究がなされていない。文献8)によれば、風洞の乱流スペクトルと大気の乱流スペクトルは形が似ているので、乱れの強ささえ相似させれば拡散も相似するとしている。

以上の乱れ強度と風速分布に関する議論は、一般的なものであり、トンネル坑口付近での拡散に限定した場合、現在の技術水準では乱れ強度と風速分布にどれほど注意をそそぐべきかは疑問である。すなわち、トンネル坑口付近の拡散における平均風速の拡散への寄与率と乱れ強度の拡散への寄与率とを比較した場合、坑口付近では前者の方が大きいと思われる。したがって、まず平均風速に関して現場での拡散を相似できるような縮率を確立することが必要である。また、風洞内流れの乱れ強度を一致させても、トンネル坑口付近では坑口周囲の地形のため、初期の乱れ強度と無関係なより強い乱れになる可能性が高い、などの事情がある。

文 献

- 1) 江守, シューリング, 模型実験の理論と応用, 技報堂, 1973
- 2) 煙拡散風洞による地上濃度予測法の開発
(筈口展宏, 三菱重工技報 VoL 8 № 2 1971-3)
- 3) 自動車排出ガス拡散の研究
(筈口展宏, 三菱重工技報 VoL 8 № 2 1971-3)
- 4) 大気環境予測のための実験的研究
(岡本汎貴, 三菱重工技報 VoL 15 № 4 1978)
- 5) 自動車排出ガスの拡散予測
(筈口展宏, 三菱重工技報 VoL 15 № 4 1978)
- 6) 模型実験による大気拡散のシミュレーション
(西田 薫, 環境技術 VoL 5 № 12 1976)
- 7) 市街地における自動車排ガス拡散の風洞実験
(磯村誠二, 通産省 公害資源研究所 1976-7)
- 8) 大気汚染研究全国協議会, 大気汚染ハンドブック, コロナ社
- 9) 西島茂行, 風洞内における水平方向煙拡散幅再現法の研究, 大気汚染学会, 1981
- 10) 大場良二, 山越え温度成層流中の排ガス拡散に関する研究(その2), 大気汚染学会, 1981

第2章 坑口拡散模型実験（その1）

1. 概 説

坑口拡散状況を，風洞実験によって予測する手法を明らかにするため，過去に行った現場トレーサー実験を対象とした風洞実験を行った。今回は，現地データを整理して拡散状況を5種類のパターンに分け，風洞実験を行った。

2. 現地実験データの整理

2.1 現地実験データの概要

現地実験の結果は，下記のとおりである。

	実 験 内 容
50年3月	1～8 Run 一 方 通 行 エアトレーサー (SF_6) 気 象
51年2月	1～5 Run 対 面 交 通 エアトレーサー (SF_6 , CBrF_3) 気 象

主要な実測データを表1にまとめた。

表-1 現地実測データ

Run	月 日	時間	*1 風 向	*2 風 速	*3 坑口 風速 (m/s)	日射量 (Cal/cm/H)	*5 風 向	*6 風 速	エアトレーサー q
1	S 50 3月18日	12.00 } 13.00	NW	6.75	3.67 ($\sigma=0.612$)	55.6	NW	4.5	(SF6) $326 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$
2	"	13.30 } 14.30	NNW	6.9	2.81 (1.02)	58.6	NW	4.9	2.46
3	"	15.00 } 16.00	WNW } NW	5.85	3.51 (0.593)	46.2	NW	4.9	2.39
4	3月19日	9.30 } 10.30	NE	2.9	6.64 (0.560)	43.0	E	2.0	2.72
5	"	11.00 } 12.00	NE } ENE	3.35	7.7 (0.733)	51.7	E/N	1.8	2.36
6	"	12.30 } 13.30	ENE	3.9	6.91 (0.778)	37.8	E(N)	1.6	2.78
7	"	14.00 } 15.00	NE	2.6	6.80 (0.477)	34.0	E/N	1.6	2.78
8	"	15.30 } 16.30	NE	2.9	6.58 (0.584)	16.4	E/N	1.3	2.77
1	S 51 2月19日	9.00 } 10.00	W } NW	3.85	2.05 (2.94/1.12)	6.8	WNW	3.4	(SF6) 0.0956 m ³ /H (CBrF ₃) 0.314 m ³ /H
2	"	11.30 } 12.30	W	4.5	2.08 (3.94/0.22)	24.6	W	5.7	0.0651 0.326
3	"	13.30 } 14.30	W	6.0	1.33 (2.61/0.04)	49.8	W	6.5	0.0680 0.314
4	4月20日	7.00 } 8.00	W	1.5~4.2 (2.85)	2.67 (4.05/1.23)	0.6	W	3.8	0.0726 0.330
5	"	9.00 } 10.00	W	6.23	1.72 (3.31/0.13)	10.9	W	6.4	0.0713 0.355

*1 (S.50) ⑤ 換気所屋上, 5 m ポール (超音波風速計) (10 分間平均値)
(S.51) ⑥ 換気所屋上, 3 m ポール (10 分値)

*2 毎正時値の平均

*3 ビラム風速計

*5, 6 (S.50) ⑥ 換気所南西側 / (S.51) ⑥ 換気所屋上の 60 分平均

*7 ビラム風速計による坑口風速を (下り車線 / 上り車線) で示し, その平均値をまとめた。

坑口濃度 *8 Sg	坑口風 風速 (10分)	交 通 量				混入率 %	*9 車 頭 距 離	*10 A (m ³)	*11 S0.01 (m)
		(上り)		(下り)					
		大 型	小 型	大 型	小 型				
0.123 ppm	0.548			＜一方通行＞ 270 176		60.5	291.5	71.6	134
0.187	0.406			228	219	51.0	290.8	47.0	90
0.110	0.598			185	234	44.2	310.3	62.1	85
0.0551	2.28			212	279	43.2	264.8	74.8	—
0.0443	2.30			365	298	55.1	196.1	69.2	—
0.0639	1.77			246	243	50.3	265.9	63.1	—
0.0639	2.62			225	243	48.1	277.8	64.0	—
0.0565	2.28			181	303	37.4	268.6	74.3	—
(0.301ppm)	0.532	180	＜対面交通＞ 253 210		277	42.4	119.6	43.0	70
(0.202)	0.462	342	229	332	231	59.4	97.0	43.0	60
(0.330)	0.222	286	195	252	230	55.9	114.2	43.0	47
(0.175)	0.937	170	256	190	212	43.5	132.9	43.2	67
(0.268)	0.043	200	259	182	272	41.8	120.5	43.0	38

*10 $A = \frac{q}{VgSg}$

*11 坑口濃度の1%になる沿道距離

*8 50年は外気吸入, 51年は逆算

*9 平均車頭距離, 往復2車線, 但し, 車速は, (S.50) 65 Km/H,
(S.51) 55 Km/Hとする。

2.2 実測データのグループ化

坑口拡散について調整しているのので、実測データの分類には A T 拡散データの良否が当然考慮される必要がある。しかしながら、A T データの良否を判定するには十分なデータが得られていないので、気象データをベースにグループ化を行った。

表 2 にグループ化の内容を示す。これにより、a から f までに分類することとし、各分類に対応した代表 Run ケースを選定した。これらを以下の整合対象とする。

表-2 グループ化分類

年月	Run	風向区分 (換気所屋上)	風速区分 (U, m/s)	坑口風速 (Vg, m/s)	Vg/U	分類	代表 ケース	選定理由
50年 3月18日	1	NW 風向 ①	5.8 ~ 6.9 ① 6m/s	2.8 ~ 3.7 ① 3.5m/s	0.4 ~ 0.6 ① 0.5	a	Run2	(1) 濃度の距離減衰は、Run 2 と Run 3 が類似。 (2) Run 1, 2 に比し、Run 3 は W 寄りの風になっている。
"	2							
"	3							
3月19日	4	NW 風向 ⊕	2.6 ~ 3.9 ⊕ 3m/s	6.6 ~ 7.7 ⊕ 7m/s	1.8 ~ 2.6 ⊕ 2.3	b	Run 4	(1) Run 4 の風向が最も安定している。
"	5							
"	6							
"	7							
"	8							
51年 2月19日	1	W 風向 ⊙	約 4 ⊙ 4m/s	約 2 ⊙ 2m/s	約 0.5 ⊙ ①	c	Run 1	(1) Run 1 の濃度分布が自然とみられる。
"	2							
"	3							
2月20日	4	W ~ NW ①	約 6 ~ 約 3 ①	約 2 ~ 約 1.5 ⊖ 1.5m/s	約 0.2 ~ 約 1.0 ⊖ ①	d	Run 3	
"	5							
"						e	Run 4	
"						f	Run 5	

2.3 整合対象（風洞実験条件）

整合対象の試験条件を表 3 にまとめた。

風速、坑口風速、車頭間隔は、区切りの良い数値とした。

車速は、次のものとした。

50年：60 ~ 70 Km/H より平均して 65 Km/H

51年：推定 50 ~ 60 Km/H を平均して 55 Km/H

大型車の混入率は、最小 37.4 % から最大 60.5 % まで変化しているが、区切りが良い平均的な 50 % (全ケースの単純平均は 48.7 %) とし、全ての場合について一定とした。

車種 (大型, 小型) は、実験では、区別することなく、次式による平均投影面積の車で代表させることとした。

$$A_c = 1.065 + 4.305 \gamma \quad (m^2)$$

γ : 混入率

$\gamma = 50\%$ の時

$$A_c = 3.22 \quad m^2$$

この A_c を全ての場合に採用した。

なお、対面通行の場合 (テスト 6, 3 以降) の坑口風速は、上り線, 下り線で相異なり再現上の困難さがある。そこで、下り車線の坑口風速の再現を支配的と考えて優先し、上り車線のそれは、二義的なものとして近似再現させた。

表 3 試験条件 (実基条件)

テスト 6	現地対応 ケース	風 *1 向	*1 風速 (m/s)	坑口風速	交 通 量			備 考
					交 通	車 速	車頭間隔 (m)	
1	a. Run 2	NNW	7.0	3.0	一方	65 Km/H	300	$A_c = 3.22 \quad m^2$
2	b. Run 4	NE	3.0	7.0	一方	"	250	
3	c. Run 1	WNW	3.5	2.0 *2 (3.0/1.0)	対面	55	100	
4	d. Run 3	W	6.0	1.5 (3.0/0)	対面	"	100	
5	e. Run 4	W	4.0	2.5 (4.0/1.0)	対面	"	130	

*1 換気所屋上の 3 ~ 6 m 高さでの気象

*2 坑口風速を (下り車線 / 上り車線) で示し、その平均値を併記した。

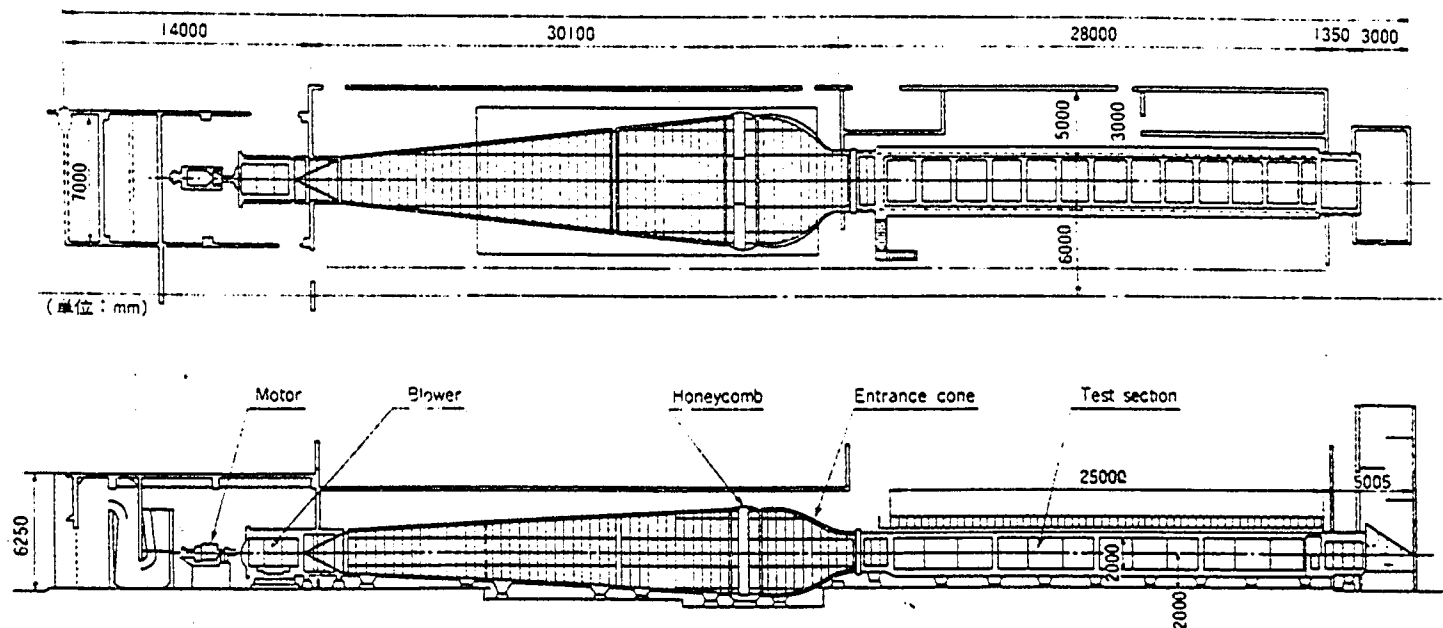
3. 風洞実験法

拡散風洞内に地形 (坑口トンネル) 模型を置き、風洞気流を所要の風速 (風向) に合せて模型車を走行させながら、坑口排気 (トレーサガスを含む) を坑口条件で出して、坑口周辺の濃度分布を計測した。

3.1 風洞装置

実験に使用した風洞および主要諸元を、図 1 に示す。

風洞は吹出型で、計測室は 3 m 巾 × 2 m 高 × 25 m 長である。



大型拡散風洞要目							
風洞	測定部長さ	25m	送風機	型式	1段軸流形翼車径2200mm1台	電動機	型式
	測定部断面	2×3m		最大風量	90m ³ /s		分巻直流電動機 (シリコン整流器)
	測定部風速	0.2~15m/s		圧量調整	回転数制御		使用DC 440V
							200kW
							10~850rpm
							制御方式
							静止レオナード制御

大型拡散風洞

図-1 拡散風洞

3.2 地形模型（縮率）

坑口周辺の山を全て再現するには、縮率を大きくすることが望ましいが、坑口部が余りに小さくなり、濃度計測および自動車の走行が困難となる。今回の実験対象は坑口汚染なので、従来、最も多く採用されている縮率 $1/200$ とした。（写真1）

許容のプロッキングレシオ（BR）を10%とすると、再現出来る山（高低差）は

$$\text{風洞の高さ } 2 \text{ m} \times \text{BR } 10\% \times \text{縮率 } 200 = 40 \text{ m}$$

となる。

地形模型は、坑口の近くにある換気所（ここで気象が計測されている）をほぼ中心に、その半径 300 m （風洞中で 1.5 m ）の範囲（図2）を幾何学的に相似に製作した。この場合、再現される地形の高低差は約 70 m （約 250 m の山と約 190 m の道路）で、BRは約15%となる。

$$(\text{BR} = 70 \text{ m} \times \frac{1}{200} \div \text{風洞高さ } 2 \text{ m} = 15\%)$$

トンネルは、坑口近くのみを製作し、模型車の走行装置をこのトンネル内と、道路端（いわゆる凸部）に設けた。

模型車の走行は、試験対象の坑口（下り線、第2期線の北側トンネル）にて再現した。

3.3 車走行、排煙装置

実際の車は自走であるが、本実験での車はベルト上に縮率を考慮した所要の車頭距離で模型車を取付け、道路端に設けたモーターを駆動することによりベルトを索引し外力走行させた。自動車を索引するベルトのブーリーは、地表面と同じ高さであり、ベルトは上下線の道路の下を通っている。一方通行の場合、下り線でトンネルから出てくる模型



写真-1 風洞内にセットした地形模型

自動車と同数の模型自動車が、同速度で上り線でトンネルに入ることになる。（写真2，図2）走行速度は、このモーターの回転数を検出し制御した。点源の排煙（トレーサ）はトンネル内の「型形状のガス吐出孔から排出させた。

なお、坑口の吹出風速を制御するため、トンネル内に空気噴流（実際のトンネル内に設置されている jet fan に相当する。）を入れた（写真3）。

A T（ NH_3 ガス）は、坑口で充分一様濃度になるようなトンネル内部の位置で排出させた。

3.4 気象条件の再現（風速，乱れ鉛直方向分布計測）

一般に気象条件は，風洞の風上に乱流格子（乱れ制御）および境界層制御装置（風速分布制御装置）を置いて再現される。今回の実験では，局地気象（換気所の屋上）しか与えられていない。そこで，予め通常の乱流格子と境界層制御装置で上空風（風速と風向）との相関を予備実験で調べておき，この関係を使って局地気象を再現することにした。

3.5 定量法（濃度計測）

トレーサガスとしてアンモニアガスを用い，任意量のサンプルガスを希硫酸液に吸収し，電気電導法により濃度を求めた（図3）。濃度測定は，坑口周辺で等濃度線図が画ける程度とし，現地実験（AT実測）で計測されている地点は，濃度計測を出来るだけ行った（吸引孔配置は図○および写真4参照）。

3.6 タフト観測

風向に沿って流況を示すタフトを，坑口・道路周辺に分布させ，上空より写真観測と目視観測を行った。



写真-2 自動車走行用のチェーン取り付け

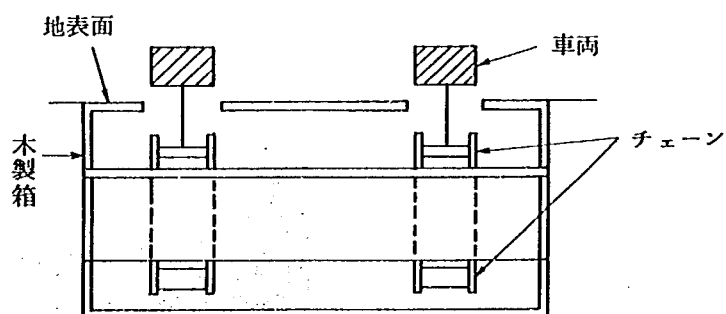


図-2 車両索引装置概略図（横断面）

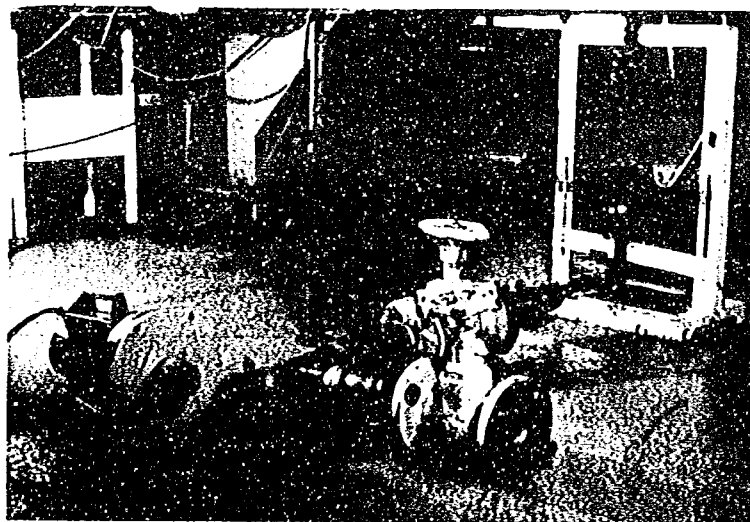
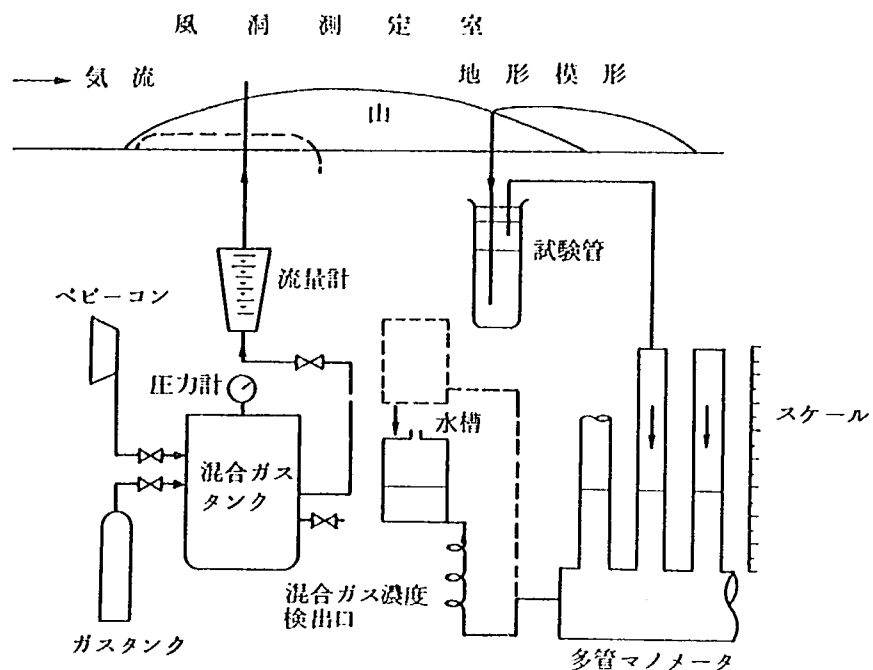


写真-3 トンネル内への空気噴流送風装置

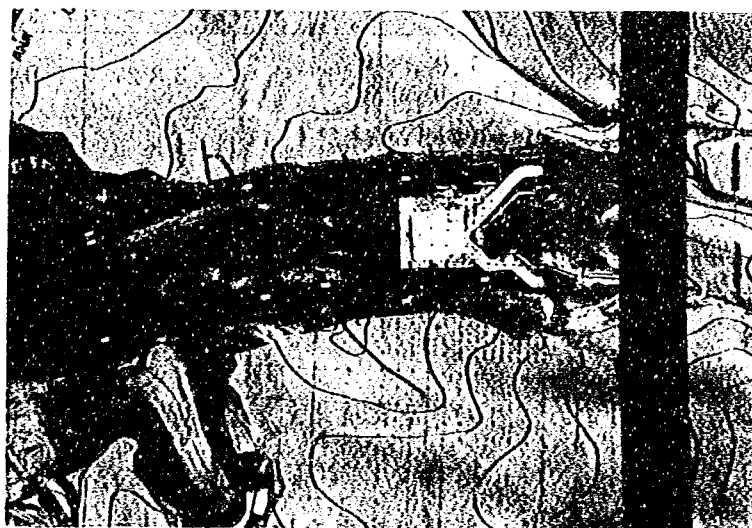


写真-4 模型上空より見た吸引孔配置

3.7 実験ケース数と実験条件

(1) 予備実験

上空風と局地風（換気所屋上）の相関を知るため(イ)風速計測(ロ)タフト観測を行う。このため、上空風（ $U_0 = 6 \text{ m/s}$ ，風向は地形方向に一致）を指定して、換気所屋上（6 m 上空）の風速（熱線風速計）を計測し、同所にタフトを付けて、風向を知ることにした。

併せて地上風を知るタフト観測（写真撮影）をも行う。

試験組合せを表4に示す。

(2) 定量実験

表3の試験条件を風洞条件に換算したものを表5に示す。

表-4 予備実験組合せ

上空風向	W	NW	N	NE	備考
(イ) 風速計測 (換気所屋上)	○	○	○	○	4 ケース
(ロ) タフト観測	○	○	○	○	4 ケース

上空風速は，一定 $U_0 = 6 \text{ m/s}$

表-5 試験条件（風洞条件）

		気 象							
テスト No	換気所屋上 (6m)		坑口風速	交 通 量			備 考		
	風 向	風 速 (1/2)		交 通	車 速 (1/4)	車頭間隔			
1	NNW	3.5	1.5	一 方	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$ 4.5 1	1.5 m	Ac = 3.22 cm ²		
2	NE	1.5	3.5	一 方	//	1.2 5			
3	WNW	1.7 5	1.0 (1.5/0.5)	対 面	3.8 2	0.5			
4	W	3.0	0.7 5 (1.5/0)	対 面	//	0.5			
5	W	2.0	1.2 5 (2.0/0.5)	対 面	//	0.6 5			

4. 相似則

相似則は，1章-1のNo4の例の考え方に従う。幾何学的相似は，車頭間隔も含めて均等な縮小相似とする。今回の実験では，縮率は1/200とした。気流相似と拡散相似は，経験的に自然風と坑口風の風速の縮率を $\frac{1}{2}$ ，車速の縮率を $\frac{1}{4}$ とした。

幾何縮率と速度縮率の関係が明らかになるように表示し、さらにその際無次元のパイナンバーが得られるように配慮すれば、気流速度と長さの縮率の関係は $(\frac{U}{\alpha \cdot \ell^{0.131}})$ の形になり、車速と長さの縮率の関係は $(\frac{U}{\beta \cdot \ell^{0.202}})$ となる。ここに U 、 ℓ は速度、長さを表わし、 α 、 β は次元を調整するための定数とする。

走行相似では、圧力パラメーターを相似させた。これによって、自動車の前面投影面積の縮率を $(1/200)^2 \times (\frac{1}{2}) \times (\frac{4}{1})^2$ とした。排出相似では、濃度パラメーターを相似させた。これによって、トレーサガスの排出量の縮率は $(1/200)^2 \times (\frac{1}{2})$ とした。これらを具体的に表 6 に示す。

表-6 相 似 縮 率

		実 基 (実車)	風 洞	備 考
	道 路 巾 員	50 m	25 cm	1/200
	山 の 高 さ	300 m	1.5 m	1/200
	坑 口 高 さ	5 m	2.5 cm	1/200
	自然風速(U)	2 m/s	1 m/s	1/2
	坑口風速(U)			
	風 向	W	W	同
	車 速 (Vc)	60 Km/H 40 Km/H	4.17 m/s 2.78 m/s	1/4
	車 頭 距 離	30 m	15 cm	1/200
	交 通 量 (車線当り)	2000 台/H 1333 台/H	1668 台/min 1112 台/min	200/4
	前 面 投 影 面 積 (A _E)	A _E =1 m ² (A _C =2 m ² C _D =0.5)	1 cm ²	(1/200) ² × 4
	排 出 量 (qp)	1 m ³ /sec	12.5 cc/sec	(1/200) ² × 1/2 濃度 1 : 1
参 考		1 Hr	36 sec	1/100

$$(L = 1/200 \quad U = 1/2 \quad Vc = 1/4)$$

5. 実 験 結 果

5.1 予備実験

定量実験 (本実験) が拡散の状況を把握しようとするのに対して、予備実験は坑口付近の流れの状況の概略を把握することを目的としている。

(1) タフト観測結果

地上風の風向を知るタフト観測結果を写真 5 ~ 8 にまとめた。なお、上空風は、左から右へ吹いている。

W 風 向

この場合の風は、ほぼ道路に沿った気流であり、換気所の背面に逆流域が見られる以外は、ほぼ同一方向の流れとなっている。

NW 風 向

道路および換気所（ダクト）周辺では、複雑な流れになっていることが分る。

N 風 向

上空風は、道路にほぼ直角に吹く場合であり、坑口の北西部では、明らかに地形の影響を受けた流れとなっている。

NE 風 向

換気所周辺では、複雑な流れではあるが、NE風向の流域が多い。これに対し下り線道路沿いでは、E風向の風となっている。

(2) 自然風の風向，風速

各風向別（W，NW，N，NE）に鉛直方向に計測された風速分布を図4にまとめた。風速分布は、ほぼ鉛直方向に一定である。ただし、W風向の場合には、換気所屋上6 mより上方へ多少速くなっていることが分る。ここでは、換気所屋上の6 mの地点での風速は、この坑口周辺の気流を、かなり代表していると思直せる。このことは、風向についても、ほぼ同様なことと言える。

タフト（風向）を目測した結果を表7に示す。瞬間的な写真と目測では、幾らか異った結果になっているが、鉛直方向への風向の変化は、かなり小さく周辺気流の代表と思直せることが分る。

そこで、以下の試験では、換気所屋上より6 mの点を気象の代表点（地上より約22 m）とすることにした。

風速の設定は換気所屋上6 m位置に風速計をセットしておき、風洞の送風機の回転数を制御した。風向は一応地形図の風向きに合わせてセットし、実際に換気所屋上の風向が合うように0～4°程度回転し微調整をした。

(3) 自動車走行装置部（凸部）の影響

坑口より道路を出た約300 m（風洞1.5 m）の位置に、模型自動車を走行させるモータ他を内蔵する部分が、当初、凸部状に製作されていた。W風向の場合にこの凸部の影響が心配されたので、凸部を極力低く押えるように地形横型の手直しを行った。それでも道路高さ程度の凸部が、どうしても走行装置を格納するために必要となり、この凸部が「ある場合」と「無い場合」の流況の変化をタフトで比較することにした。その結果、凸部の影響はほとんど無いことが判明した。これは厳密には何んらかの差異がある筈であるが、凸部の位置よりも、坑口周辺が高くなっている（坑口に向かって、上り勾配の道路となっている）ために、差異が出難くなっているものと考えられる。



写真一5 地上風向観測（W風向）



写真一6 地上風向観測（NW風向）

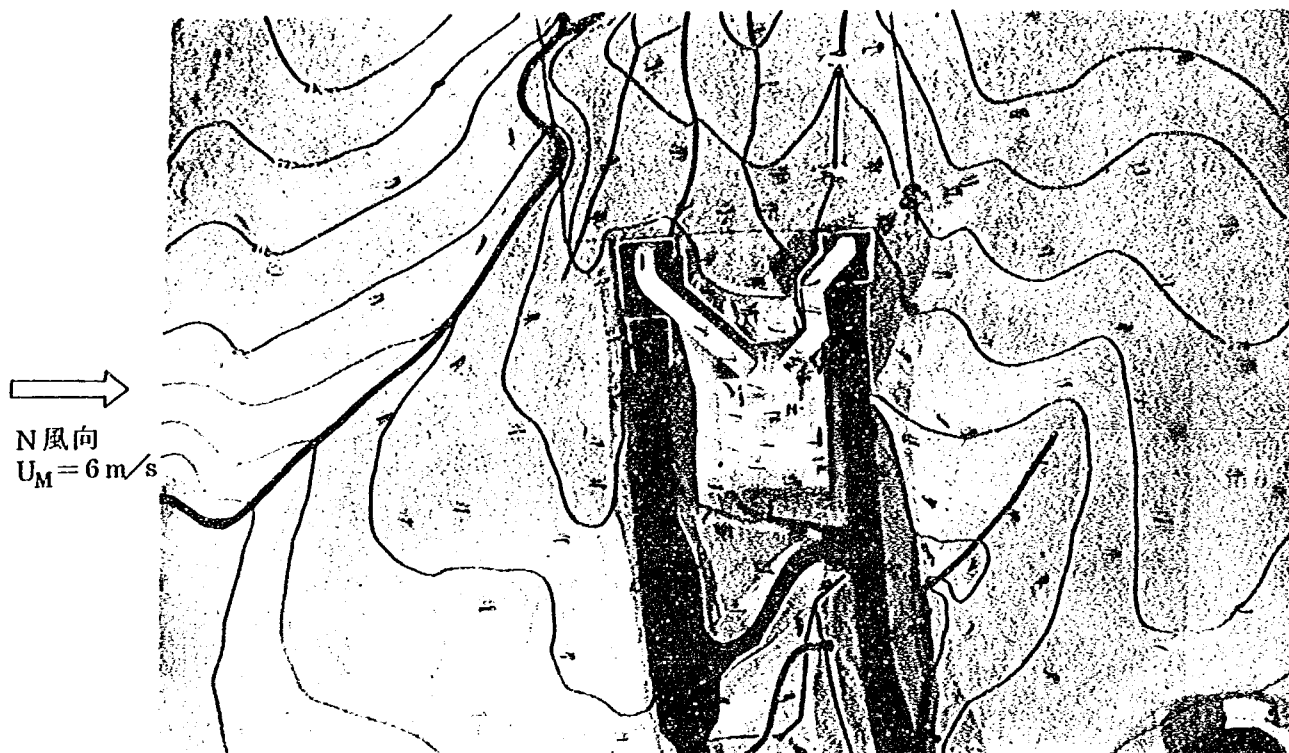


写真-7 地上風向観測 (N 風向)

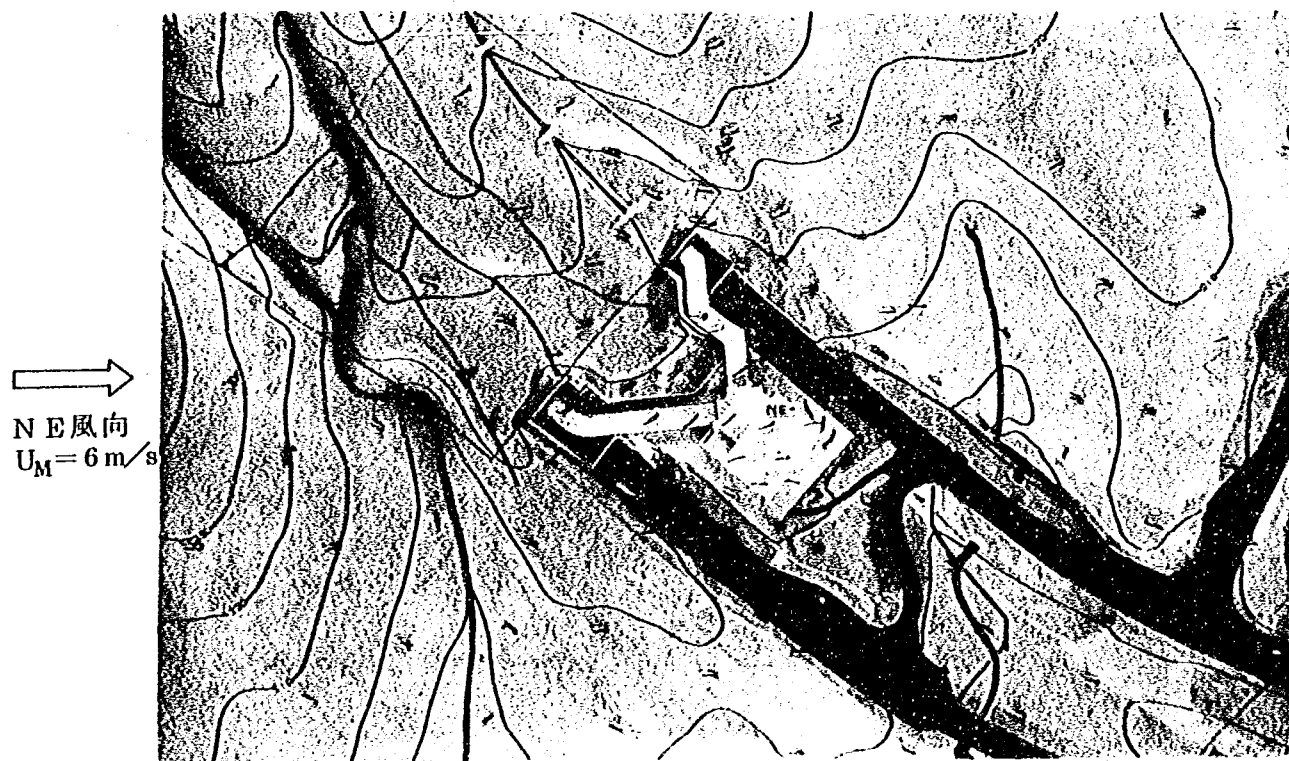


写真-8 地上風向観測 (N E 風向)

断面：換気所上空

U_M : 6.0 m/s

走行装置取付

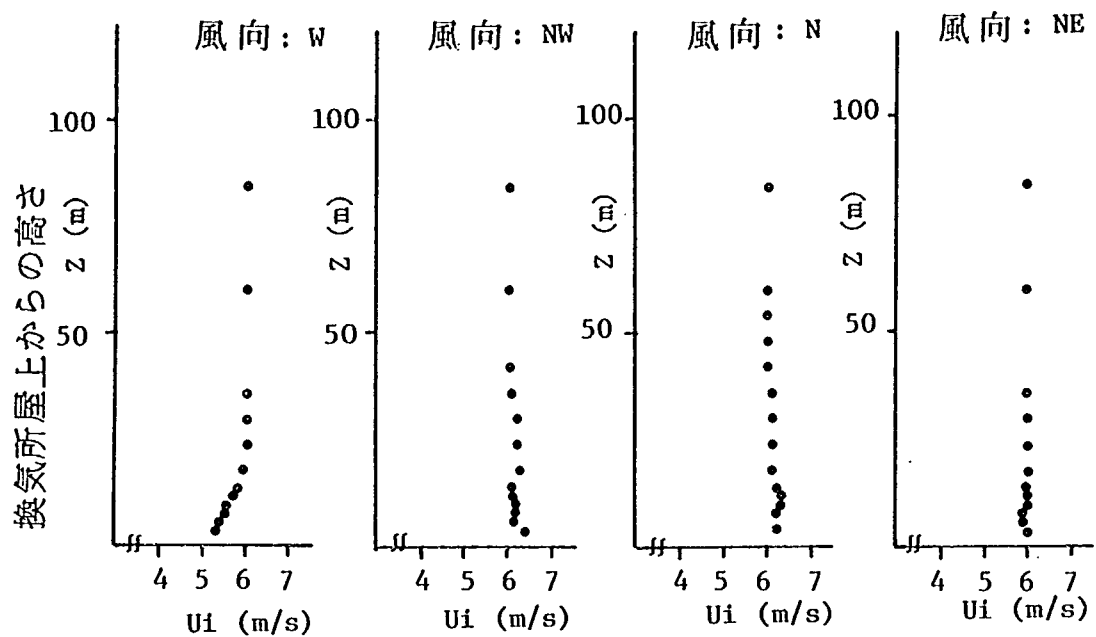
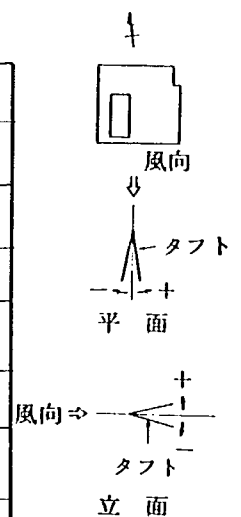


図-4 換気所屋上の風速分布計測結果

表-7 換気所上空タフト観測結果(目測)

Z (m)	風向 計測面 タフト	W		NW		N		NE	
		平面	側面	平面	側面	平面	側面	平面	側面
5.0 (25mm)	振巾	+10° ~-6°	+6° ~+2°	+10° ~-6°	±2°	0~ -12°	±2°	±20°	+2° ~-10°
	平均	+2°	+4°	+2°	0	-6°	0	0	-4°
10.0 (50mm)	振巾	±1°	+5° ~+3°	±4°	±2°	+2° ~-5°	±1°	±20°	+4° ~-8°
	平均	0	+4°	0	0	-1.5°	0	0	-2°
20.0 (100mm)	振巾	±1°	+5° ~+3°	±3°	±2°	±1°	±1°	±10°	+5° ~-4°
	平均	0	+4°	0	0	0	0	0	+0.5°
50.0 (250mm)	振巾	±1°	+4° ~+2°	±1°	±2°	±1°	±1°	±2°	±4°
	平均	0	+3°	0	0	0	0	0	0
80.0 (400mm)	振巾	±1°	+2° ~+1°	±1°	±2°	±1°	±1°	±2°	+1° ~-2°
	平均	0	+1.5°	0	0	0	0	0	-0.5°



(4) 坑口風速の調整

坑口風速は、どの位置で計測するか、代表性はあるのか、上り線、下り線の車道横では異なるなど、定義そのものが曖昧である。しかも、模型試験で坑口風速を計測するためには、ルートア内へ風速計を挿入しなければならず、走行する模型自動車に触れれば、風速計を破損してしまう。そこで、今回の試験では、以下のようにトンネル内の希釈風量から算出した平均風速でもって、坑口風速とすることにした。このため、現地AT実測時の坑口風速と厳密な意味で異なるので、近似的に再現することになった。

(a) 坑口風速の推定法

トンネルの坑口近くでの配管状況を図5に示す。トンネルが一部分しか再現されていないために、走行風が小さく発生する分を空気流入（空気吐出管）により加速させる。一方、 NH_3 のトレーサガスを流入（ NH_3 ガス吐出孔）させ、坑口近くで、混合したトレーサガスをサンプル（吸引孔、トンネル周囲に5点）し、濃度を計測する。この時、濃度とトンネル内風速 U_t （＝坑口風速）は次の関係にある。

$$\begin{aligned} q_{\text{NH}_3} (\text{流入した } \text{NH}_3 \text{ の量}) &= \text{坑口を通過する } \text{NH}_3 \text{ の量} \\ &= \text{トンネル内流量} \times \text{NH}_3 \text{ 濃度} \\ &= A \times U_t \times C \end{aligned} \quad (5.1)$$

ここに

A : トンネル内の断面積 (43 m²)

C : NH_3 の平均濃度 (坑内濃度)

Aは一定なので、 q_{NH_3} とCが与えられれば、 U_t が推定できる。そこで、本試験条件にて空気流入量を種々変えて、 U_t を求め、この関係を用いて逆に試験条件の U_t になるように空気流入量を決定した。

トンネル内に流入する空気量と NH_3 の体積量の合計を Q_g とすると

$$Q_g = \text{空気流入量} + q_{\text{NH}_3} \quad (5.2)$$

(5.1); (5.2) 式より

$$Q_g = A \times U_t \times \frac{C}{S_g} \quad (5.3)$$

$$\text{ただし } S_g = \frac{q_{\text{NH}_3}}{Q_g} \quad (5.4)$$

S_g は混合トレーサ濃度であり、これで次のように希釈比 R_d を表わせば

$$R_d = C / S_g \quad (5.5)$$

(5.3) 式より

$$U_t = \frac{Q_g}{A \times R_d} \quad (5.6)$$

となる。

実際の坑口風速は、(5.6)式を用いて行った。なお、定量試験結果は、(5.5)式により、以下希釈比でもって試験結果を整理している。

(b) 坑口風速の設定

坑口風速を設定した時の q_{NH_3} 、 Q_g 、 S_g 、 R_d 、それに(5.6)式で求めた U_t を表8にまとめた。

一方通行(テスト1と2)の場合、比較的良く坑口風速は再現されているが、対面交通(テスト3～5)の場合は、下り車線の坑口風速を再現するのに精一杯であった。(上り線と下り線の坑口風速を同時に再現するには、実測の風速も上記で示した U_t として計測しておく必要があると考えられる。)

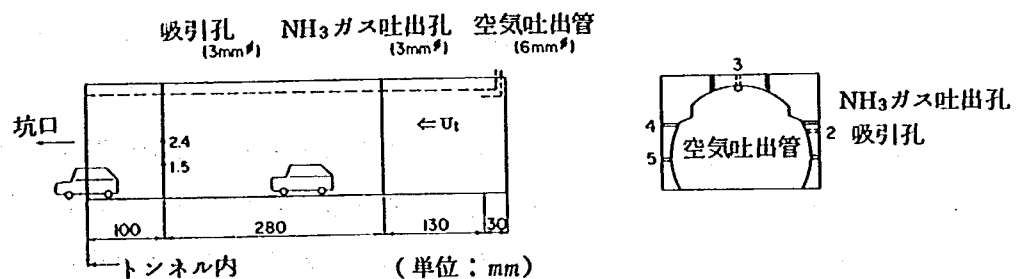


図-5 坑口近くでの配管状況

表-8 坑口風速設定条件

テスト1		1	2	3	4	5
風 向		NNW	NE	WNW	W	W
q_{NH_3} (ℓ/min)		0.194	0.259	0.194	0.648	0.648
Q_g (ℓ/min)		57.19	54.26	35.19	55.65	48.65
S_g (%)		0.3392	0.4773	0.5512	1.164	1.332
坑内濃度	R_d 1	0.5381	0.2538	0.4587	0.5527	0.3694
	R_d 2	0.5329	0.2576	0.4612	0.5488	0.3745
	R_d 3	—	—	0.4238	0.5234	0.3883
	R_d 4	0.5643	0.1980	0.3689	0.4433	0.3625
	R_d 5	0.5748	0.2091	—	0.4258	0.3367
平 均		0.5522	0.2296	0.4281	0.4988	0.3663
坑口風速 U_t	最 大 (m/s)	1.66	4.25	1.48	2.03	2.24
	最 小	1.54	3.31	1.19	1.56	1.94
	平 均	1.61	3.66	1.27	1.73	2.06
試 験 条 件 (設定坑口風速) (m/s)		1.5	3.5	1.0 (1.5/0.5)	0.75 (1.5/0)	1.25 (2.0/0.5)

5.2 定量実験

定量試験結果（地上濃度計測）を吸引孔の番号（付録図①参照）に濃度を対応させて、付録表①～⑨に Rd (%) でまとめた。これは (5.5) 式の希釈比表示 (Rd (%)) になっている。実際の濃度は次のようにして求めることになる。

(i) 混合トレーサ濃度* (Sg_1) が与えられる場合

$$\text{実際の濃度 } C = Rd \times Sg_1 \quad (5.7)$$

(ii) トンネル内排出量 (q_t) が与えられる場合

$$\text{実際の濃度 } C = \frac{Rd Sg}{Q_{NH_3}} \times q_t \quad (5.8)$$

上記データをベースにして等希釈比の線（地上濃度パターン）を図6～10にまとめた。参考までに図11～17に現場計測における濃度分布図および測定点配置図をまとめた。

テスト 1

NNWの風向の場合、坑口周辺で、複雑な流れになっており、沿線濃度で、（特に南側の）急激な濃度減衰があることが分る。周辺の風による拡散と走行風（一方通行）により輸送されてくるガスとの関係で減衰が変わっているものと考えられる。図6より風は、NNWであるが、道路に沿ったコンタが延びているのは走行風が影響を及ぼしている結果である。

テスト 2

この場合は、風向がNEで、ほぼ道路に沿った気流となっているために、走行風の効果が助長されている（図7）。このため、沿線濃度の減衰は、他のものに比べ少く、しかも、道路南側と北側とで、ほぼ同様な減衰パターンとなっていることがわかる。

テスト 3

図8から分るように、風向(WNW)に沿った拡散パターンとなっている。対面交通ではあるが、風速が低いために道路方向にもガスが流れていることが分る。沿線濃度の減衰は、かなり大きく、これは、対面交通と坑口風速が小さいことによるものと考えられる。

テスト 4

W風向のため坑口から、風下に流れるガスを道路に沿って流れるガス（坑口より風上）に分かれるパターンとなっており（図9）、沿線濃度は、対面交通のためか南側と北側で、かなりの差があることが分る。

テスト 5

風向は、テスト4と同じであるために、坑口より風下のパターンは、比較的、相似していることが分る（図10）。

風上側の沿線濃度は、テスト4と微妙な差があり、風速、坑口風速の差異によるものと思考される。

* 混合トレーサ濃度は、拡散試験上出てくる量であって、応用上は余り意味はないであろう。

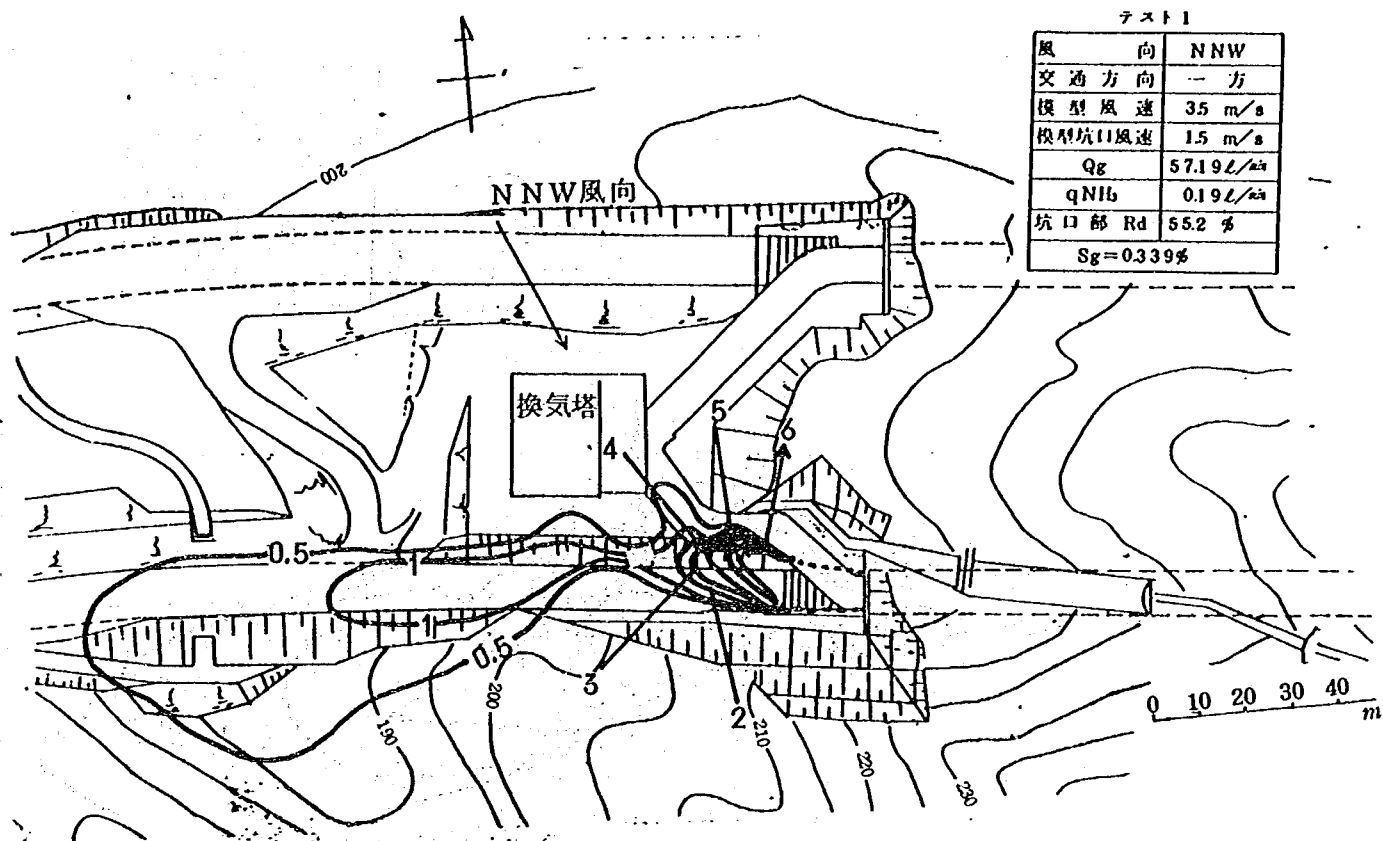


図-6 風洞実験地上濃度分布 数字はRd (%) の値

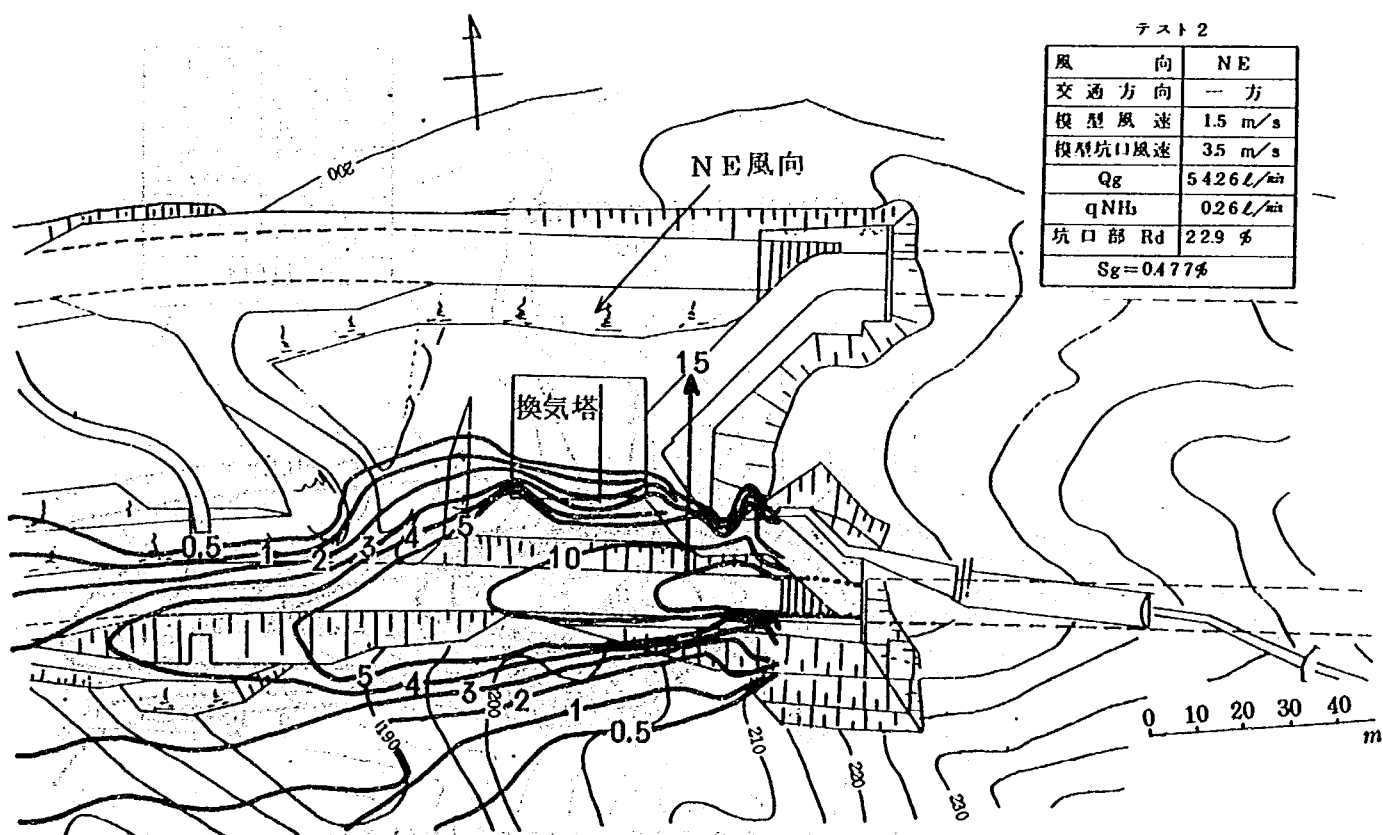


図-7 風洞実験地上濃度分布 数字はRd (%) の値

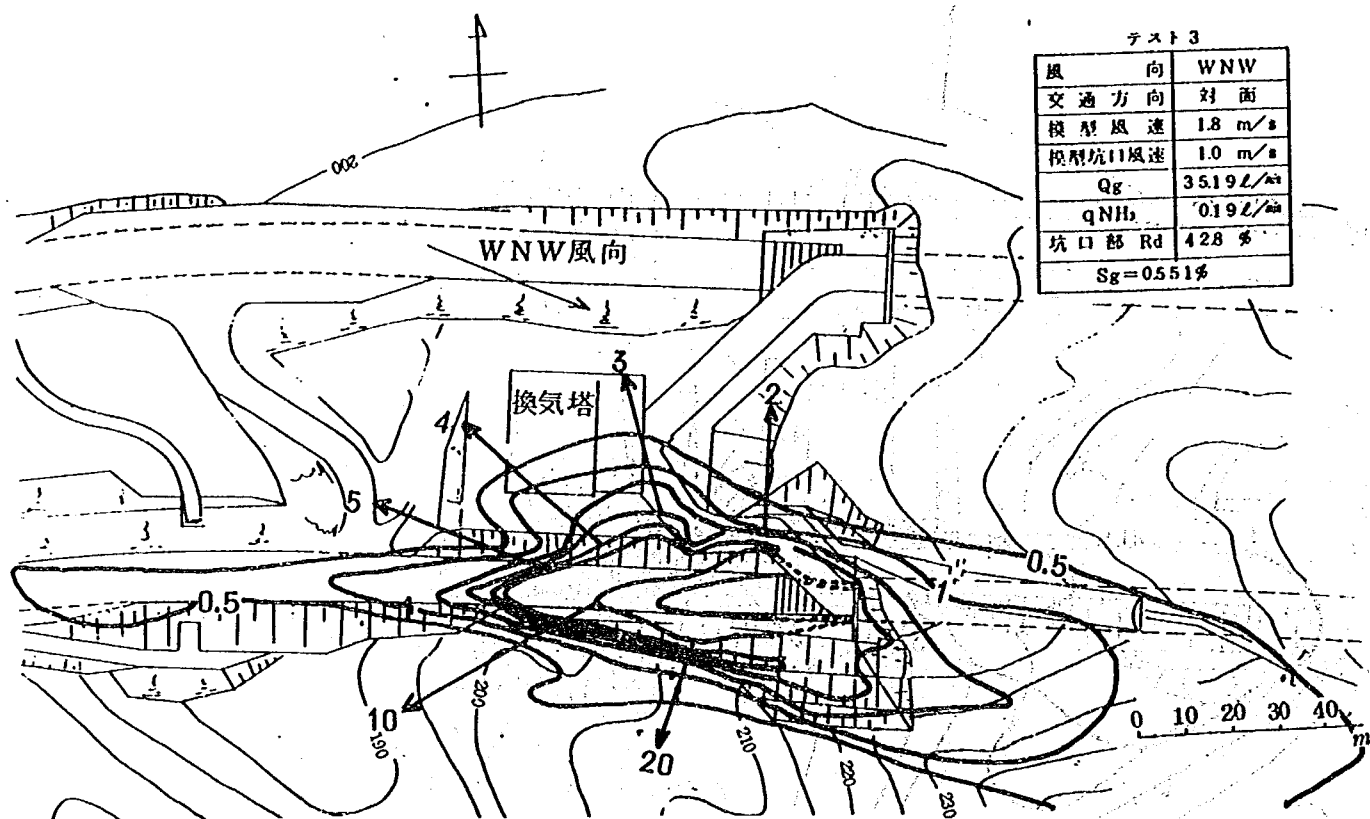


図-8 風洞実験地上濃度分布 数字はRd (%) の値

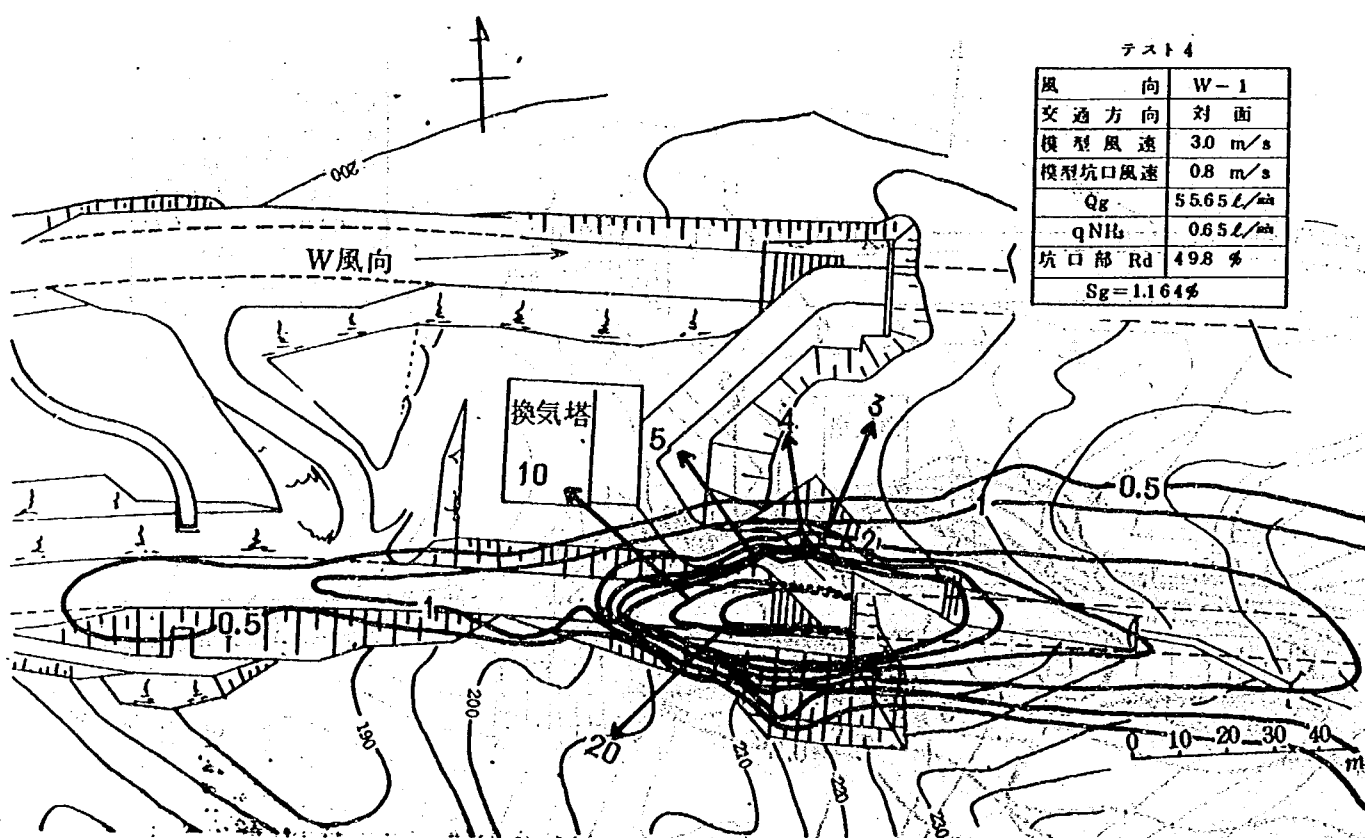


図-9 風洞実験地上濃度分布 数字はRd (%) の値

テスト 5

風 向	W-2
交通方向	対面
模型風速	2.0 m/s
模型坑口風速	1.3 m/s
Q_g	4865 L/min
q_{NH_3}	0.65 L/min
坑口部 Rd	36.6 %
$S_g = 1.33\%$	

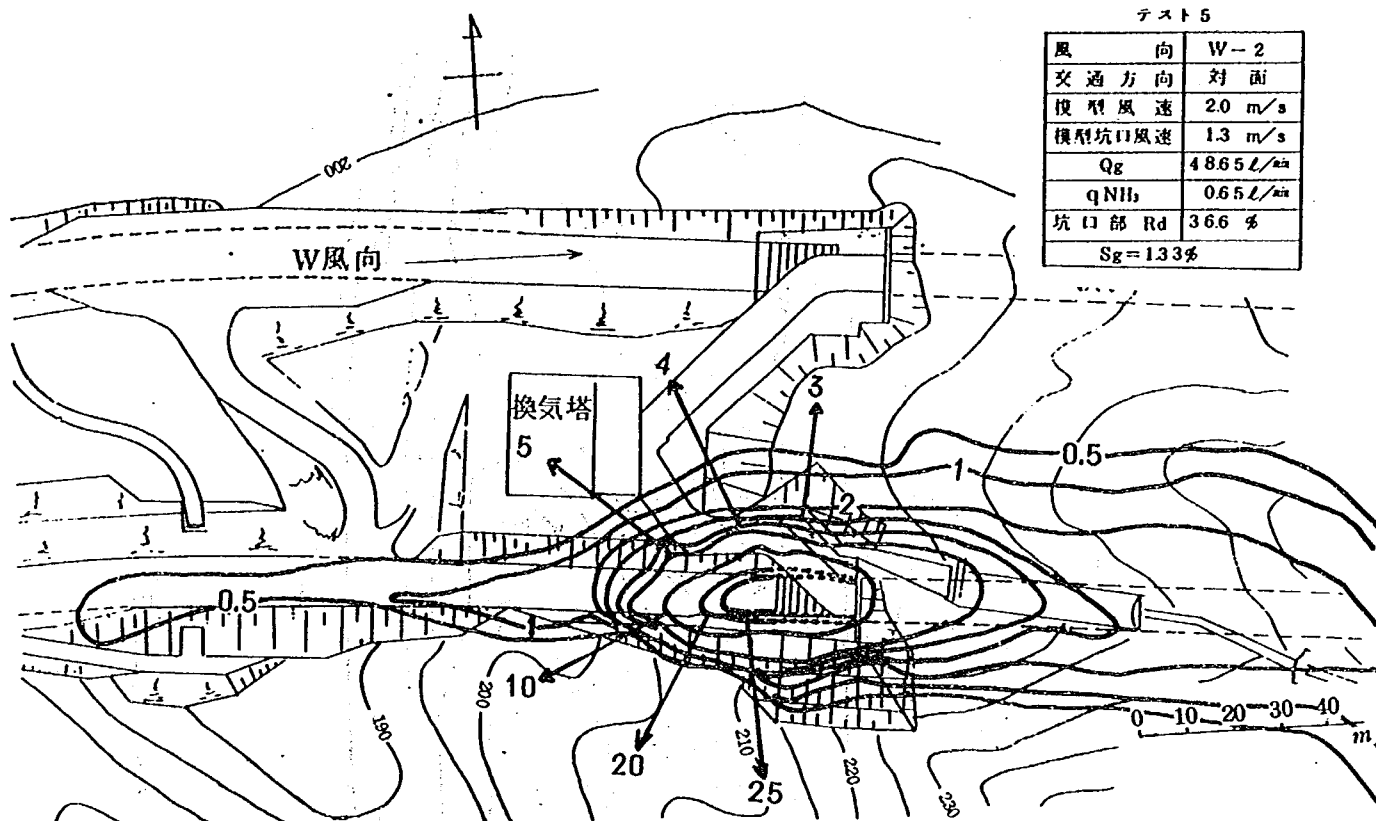


図-1.0 風洞実験地上濃度分布 数字はRd (%) の値

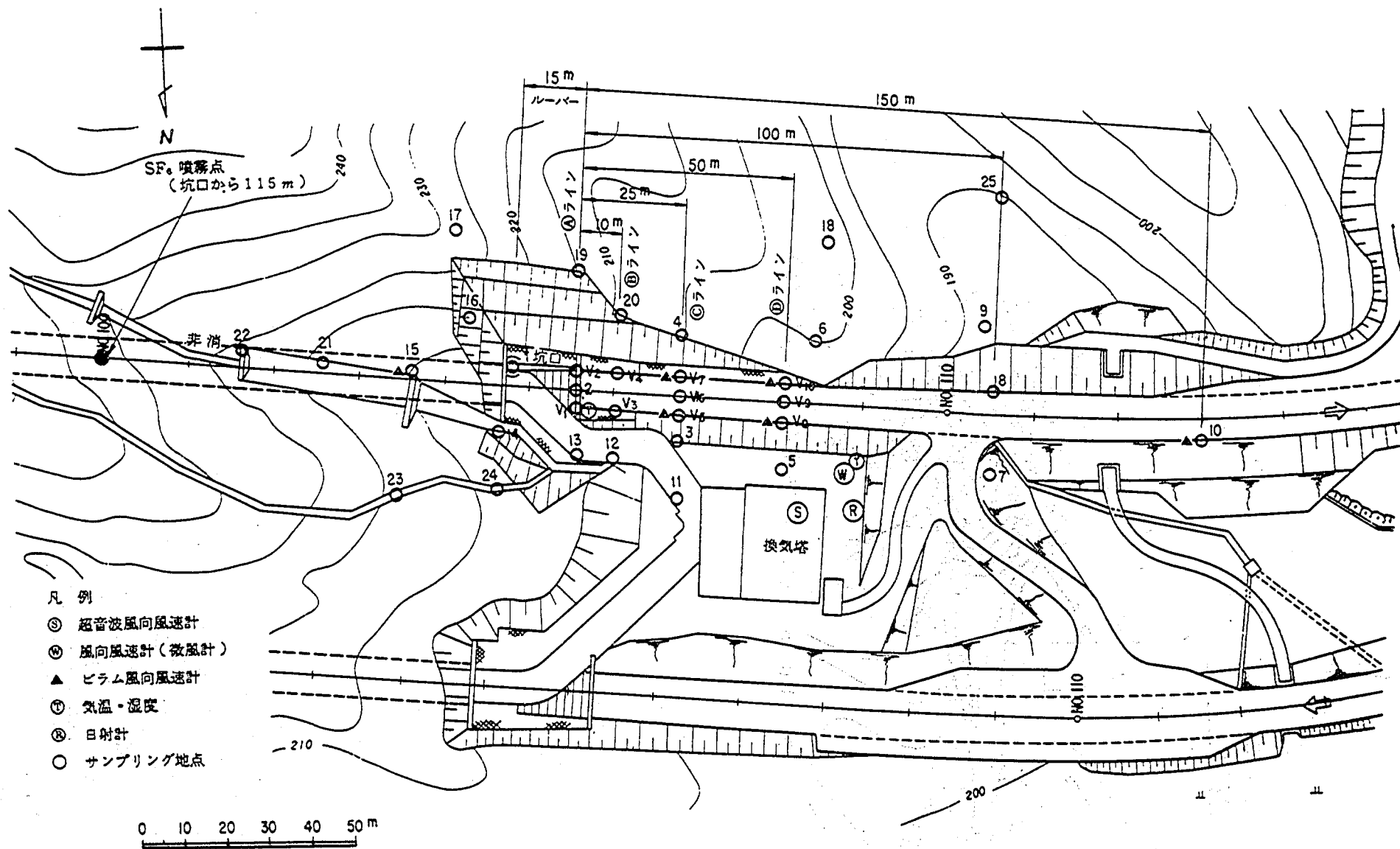


図-11 現場測定点配置図(テスト1, 2に対応)

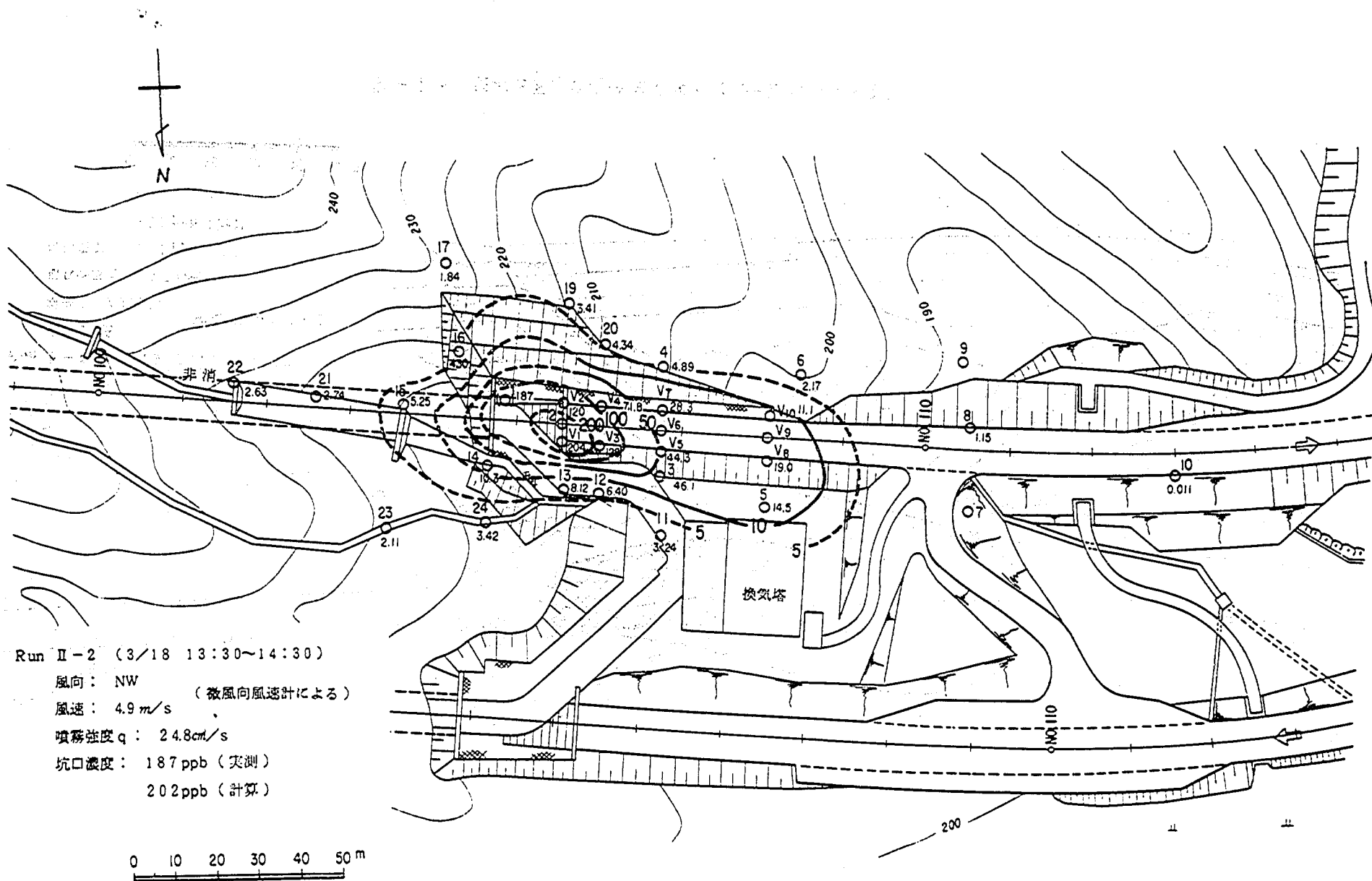


図-12 現場 SF_6 濃度分布 (単位: ppb) (テスト1)

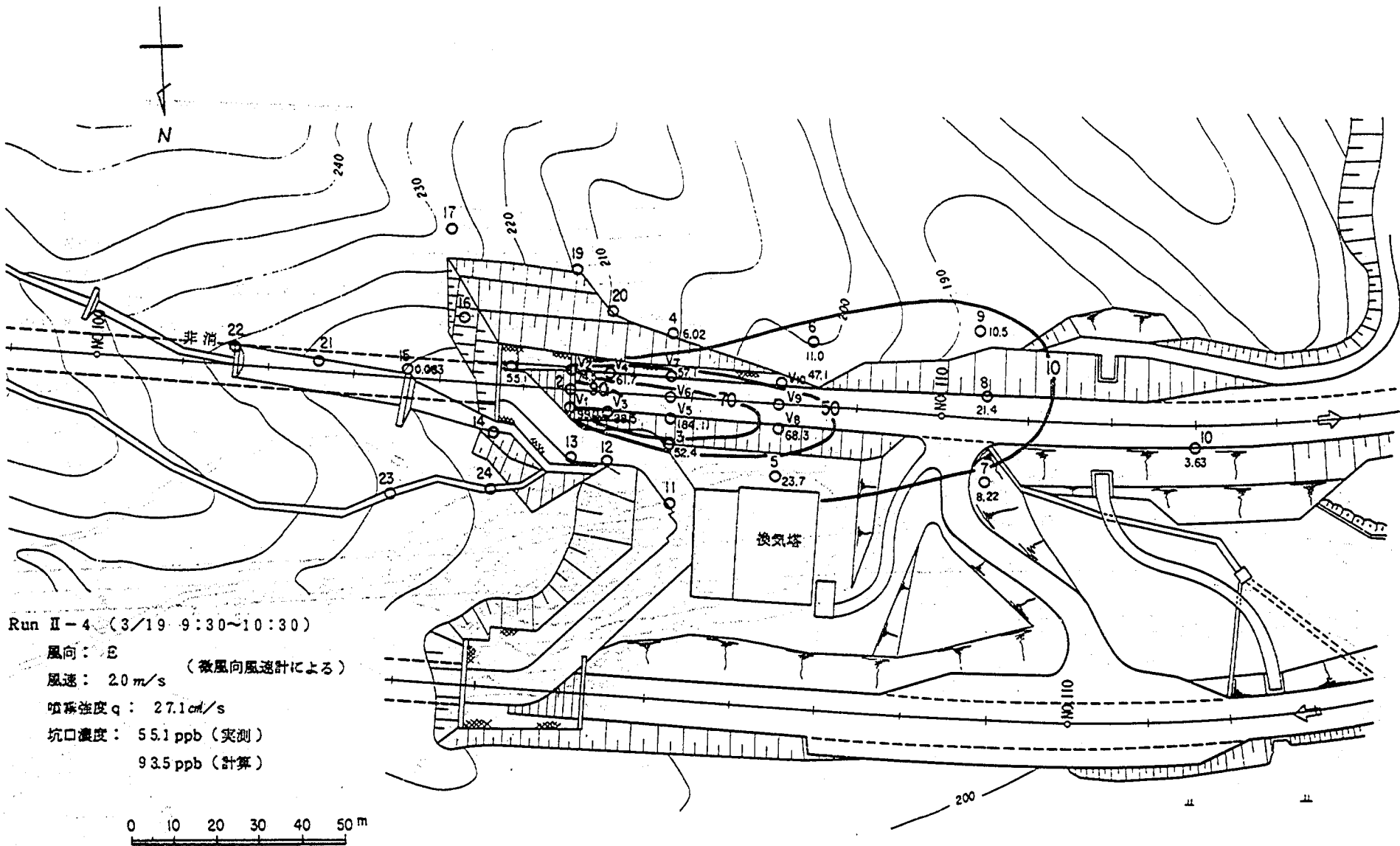


図-13 現場SF₆濃度分布(単位:ppb)(テスト2)

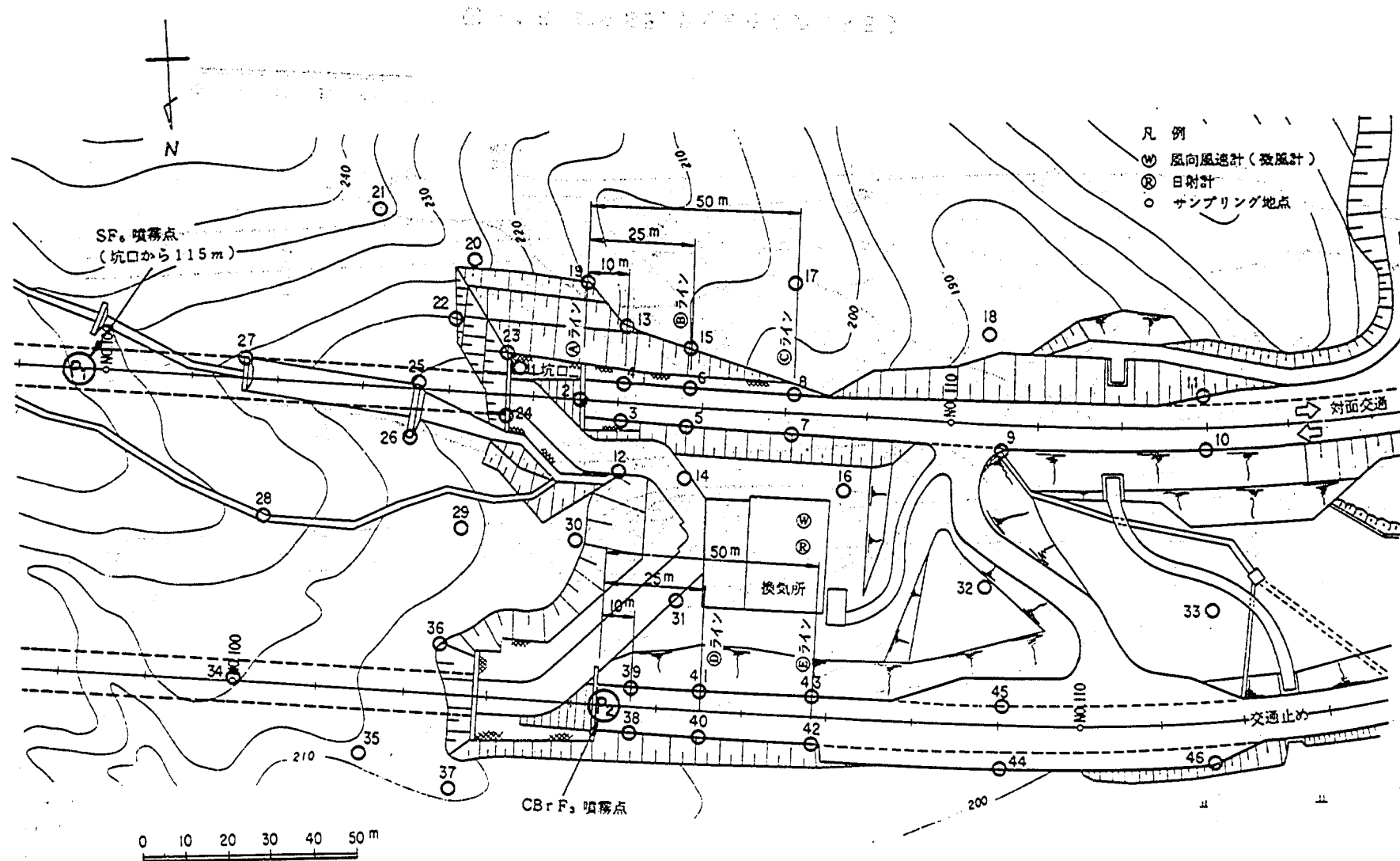


図-14 現場測定配置図（テスト3～5に対応）

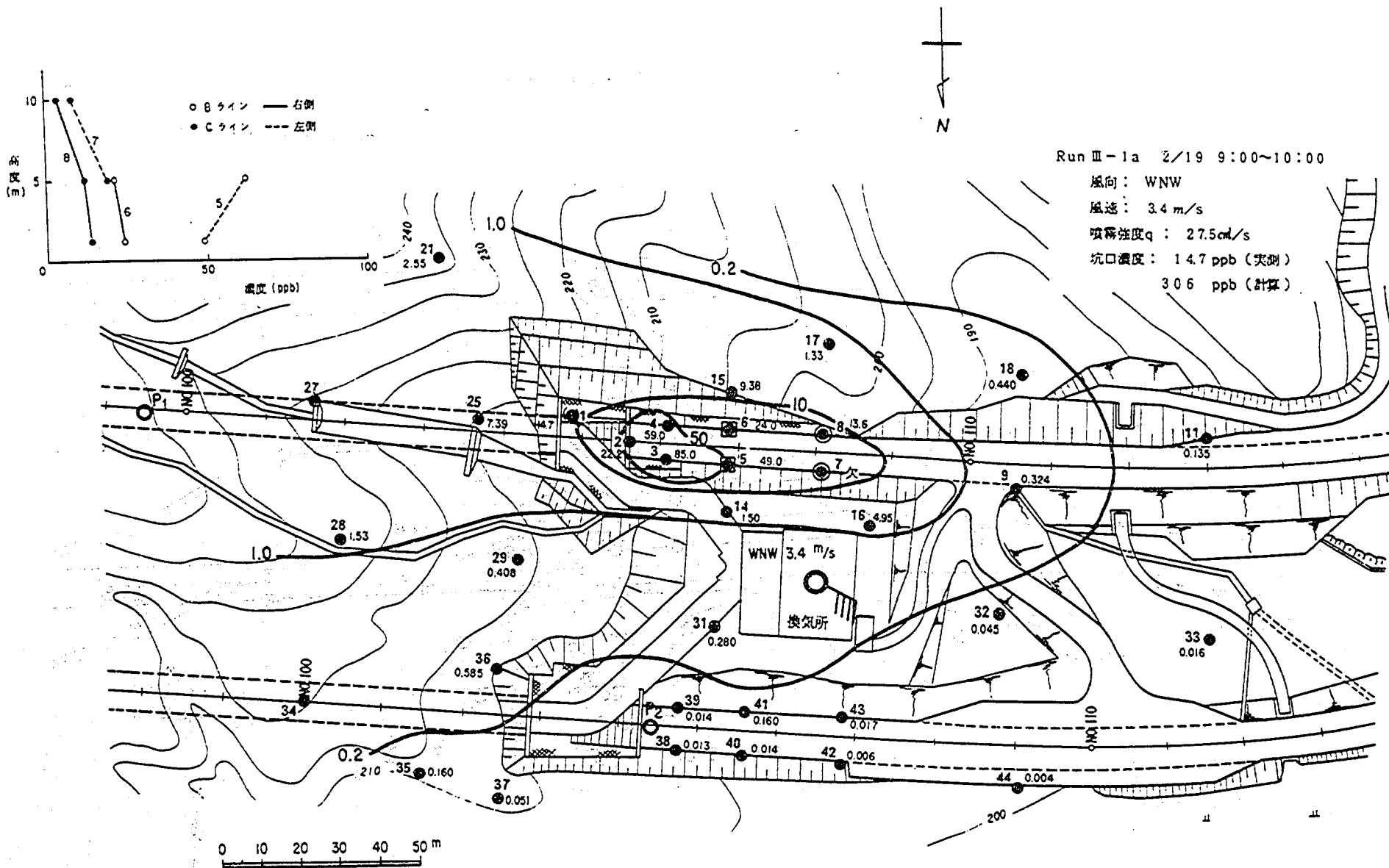


図-15 現場 SF_6 濃度分布(テスト3)

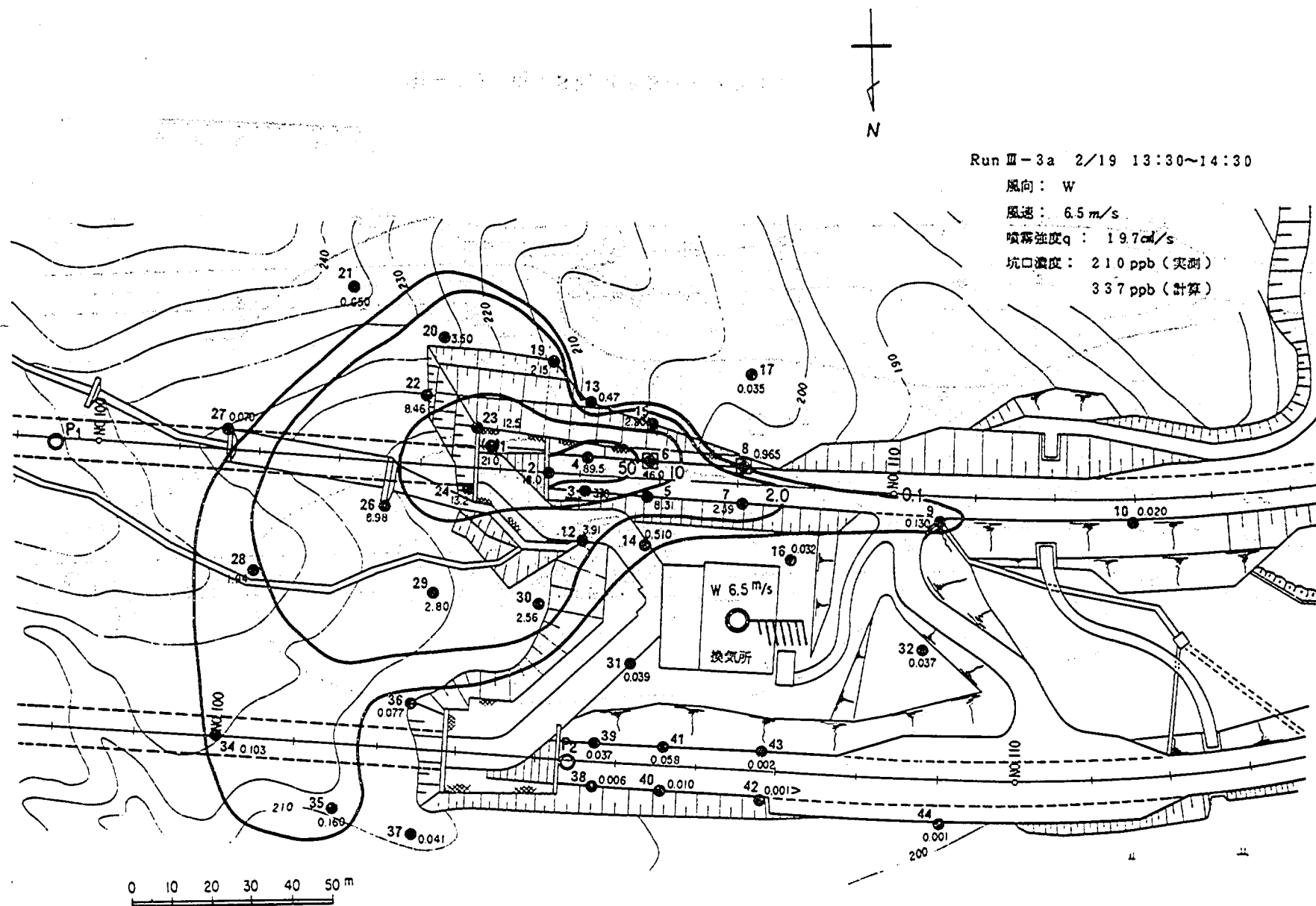


図-16 現場 SF_6 濃度分布 (テスト4)



177 ppb (計算)

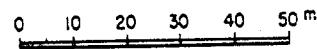


図-17 現場SF₆濃度分布(テスト5)

6. 整合性の検討

ここでは、風洞実験結果が、現地実験結果とどの程度整合しているかを検討する。この場合の前提として、現地実験結果は全て「正しい」ものとした。しかし、中には、どのように考えても現地実験結果がおかしいものがあり、これは特異値として整合対象外とした。

6.1 現地計測と風洞実験との濃度相関

(1) 基準化濃度による整理

模型実験の計測値と現地実験の計測値を比較するには、計測値を無次元化する必要がある。そのためには、計測濃度 C とある基準となる濃度 C_{stand} との比で考えればよい。

$$\text{無次元化濃度} = \frac{C}{C_{stand}}$$

問題は C_{stand} として何をとるかであり、模型実験における濃度計測値相互の相対的な比を考えるのであれば、実験中不変でありかつ単位となる値を採用すればよい。

トンネル坑口拡散という現象では単位となる値として、まずトンネル坑口濃度を考えることができる。この場合には、実際に坑口で計測される濃度との比較であるからわかりやすい。ただし、坑口濃度は何であっていいわけであるから、トレーサガス排出量に対する配慮がなくなるなど、模型実験全体を現地計測に相似させる事にはならない。全体を相似させるには、以下に述べるような基準濃度を用いれば良いが、こういった値を基準濃度とするかは、各手法ごとに一長一短があり、目的に応じて選択すればよい。

模型実験と現場実験の関連をエアトレーサ排出量からもとめた濃度で比較する目的であれば、相方の全計測地点の濃度を最も支配する要因を考慮した基準濃度 C_{stand} でなければならない。そのため以下のような C_{stand} を考える。

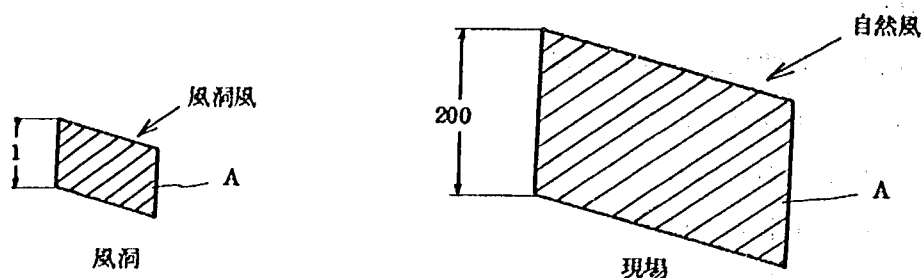
$$C_{stand} = \frac{q}{A \times U}$$

ここで、 q : トレーサガスの排出量

A : 主たる流れが通過する、仮空の管の断面積

(模型では風洞断面積、現場ではそれに相当するものを想定する。ただし、その縮率は $(1/200)^2$ とする。)

U : 主たる流れの風速 (現地実験、風洞実験ともに換気塔屋上での風速とする。この値は風洞実験においては風洞風速、現地実験においては自然風とほぼ等しい。)



したがって、 C_{stand} は模型実験においては、あるトレーサーガスが排出された時、風洞全体に均等に拡散したと想定した場合の風洞中の濃度ということになる。

ここで、 A は幾何縮率が適用されると考えるから、今回の実験ではケースにかかわらずその相似比は $(1/200)^2$ で一定となる。よって A を省略し、次のような基準化濃度 C^* を採用することとする。

$$C^* = \frac{C}{C_{stand}} = \frac{C}{\left(\frac{q}{U}\right)} = \frac{CU}{q} \quad \dots\dots\dots (6.1)$$

C : 計測された濃度

C^* は (長さ) $^{-2}$ の次元を持つが、以下の検討では、整理の都合上 $(10\text{ m})^{-2}$ の単位で表示する。 C^* は次元を有するから、現地 (添字 P) と風洞 (添字 M) で、当然異なる。幾何縮率 $1/200$ であるから、理論上は C_P^* と $\left(\frac{1}{200}\right)^2 C_M^*$ とが絶対値で対応することになる。したがって、模型と実基とを比較するには、 C_M^* を $(1/200)^2$ 倍するか C_P^* を $(200)^2$ 倍するかしなければならないが、ここでは前者の方法をとる。

現場計測の場合は、(6.1) 式をそのまま用いる。すなわち

$$C_P^* = \frac{CU}{q} \quad \dots\dots\dots (6.2)$$

ここで、 C : 現地で計測された濃度

U : 自然風 (換気塔屋上での風速)

q : トレーサー・ガスの排出量

である。

風洞実験の場合は (5.4) (5.5) 式より

$$C_M^* = \left(\frac{SgRdU}{q}\right)_M = \left(\frac{RdU}{Qg}\right)_M = Rd \times \left(\frac{U}{Qg}\right)_M \quad \dots\dots\dots (6.3)$$

となる。現地データ C_P^* と比較するにはこの値を $(1/200)^2$ 倍しなければならないので、 $(1/200)^2$ 倍した値を改めて C_M^* と定義することにする

$$C_M^* = Rd \times \left(\frac{U}{Qg}\right)_M \times (1/200)^2 \quad \dots\dots\dots (6.4)$$

ここに R_d は風洞値で、 C_M^* は $(10\text{ m})^{-2}$ 単位である。

ここで $\alpha = \left(\frac{U}{Q}\right)_M \times (1/200)^2$ とすると、風洞実験時の α は以下のようになる。

テスト№	1	2	3	4	5
模 型 風 速 U_M (m/s)	3.5	1.5	1.8	3	2
模 型 の Qg (l/min)	5 7.1 9	5 4.2 6	3 5.1 9	5 5.6 5	4 8.6 5
α ($\times 10^{-2}$)	9.1 8	4.1 5	7.6 7	8.0 9	6.1 7

図 1 8 ~ 2 2 に、現地計測と風洞の規準化濃度 C^* ($(10\text{ m})^{-2}$ の単位) を現地計測の実測地点について併記した。風洞値は 1 個で、[] の中に、現地計測値は、対応する、それぞれの C^* と最下段に、それらの平均として示した。なお、現地計測の実測地点で風洞が計測されていない場合は、その最も近くのものを () を付けて、区別している。風洞は、現地計測値に合致している所もあるが、大巾に相違している地点も多いことが分る。

S 50 Run 1

Run 2

Run 3

平均〔風洞〕

規準化濃度の単位: $(10m)^{-2}$

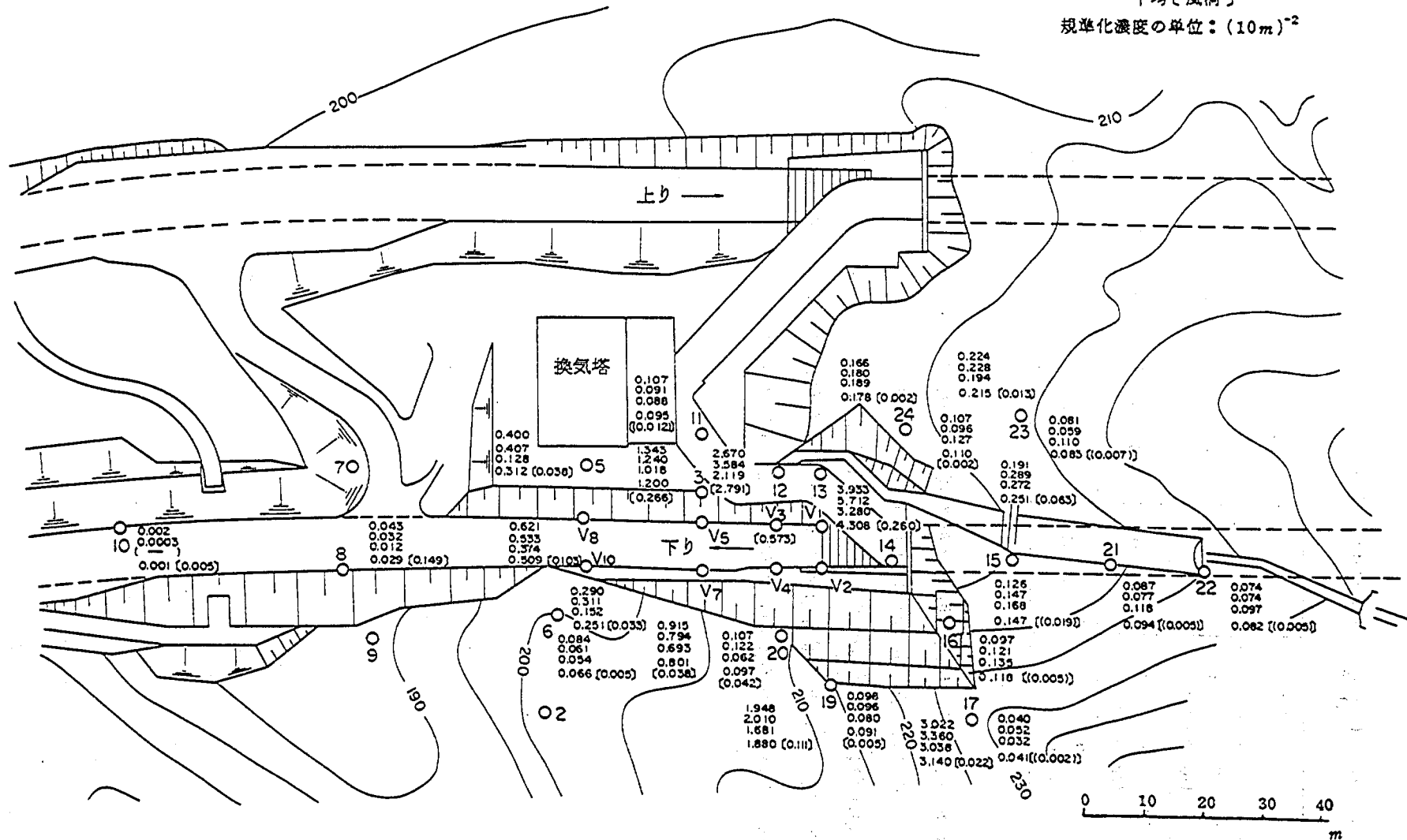


図-18 規準化濃度分布の比較 (テストNo. 1)

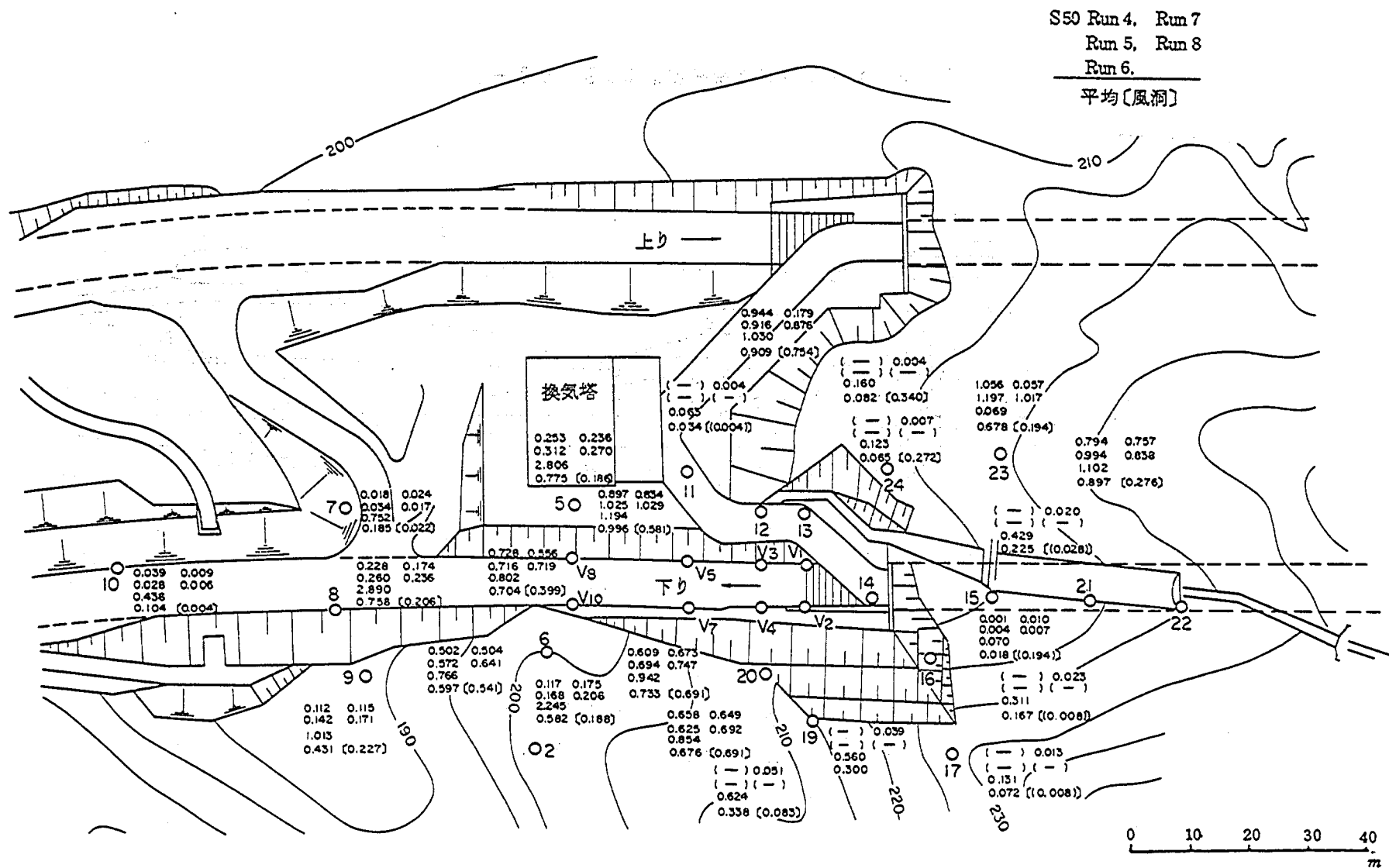


図-19 規準化濃度分布の比較(テストNo.2)

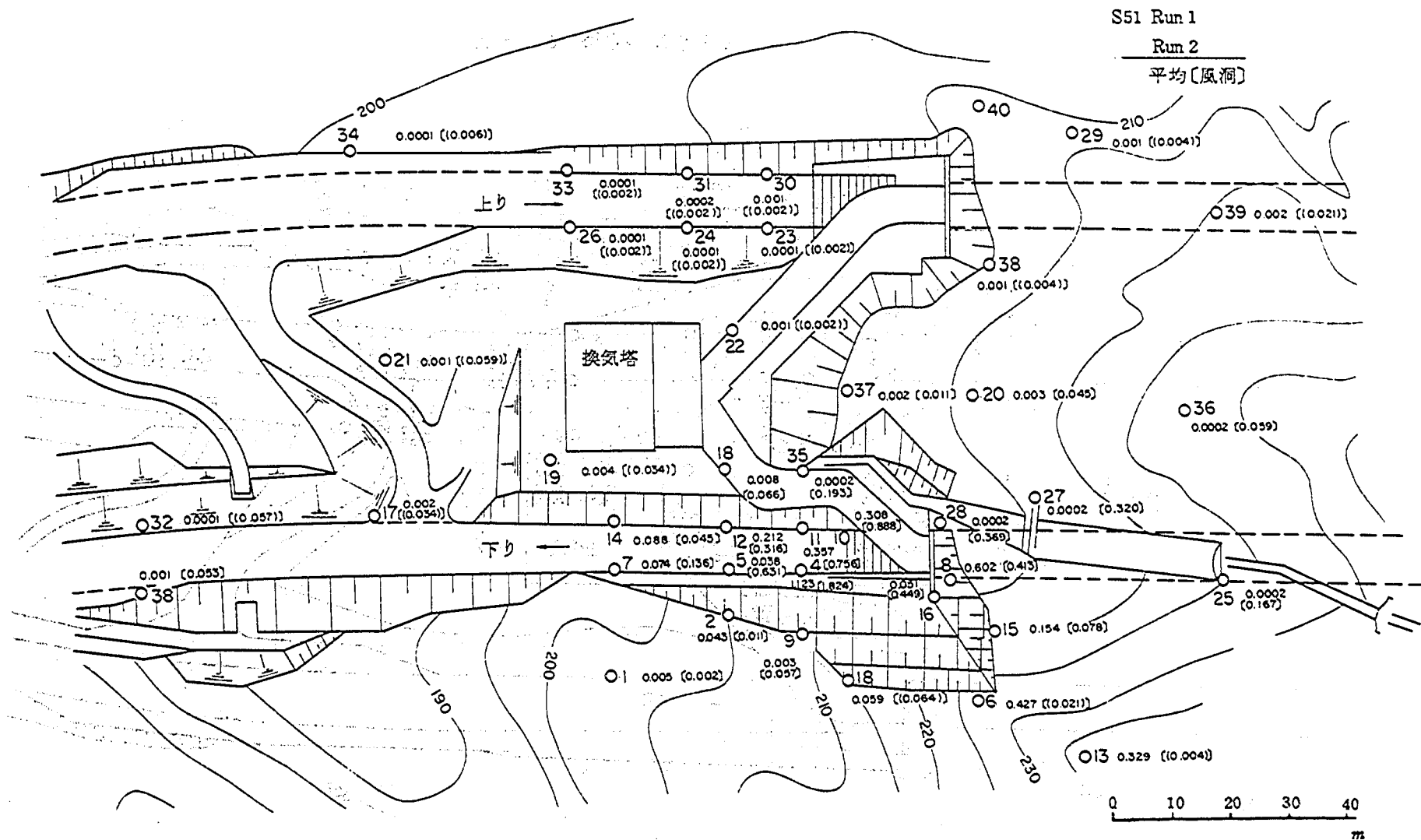


図-20 規準化濃度分布の比較(テストNo.3)

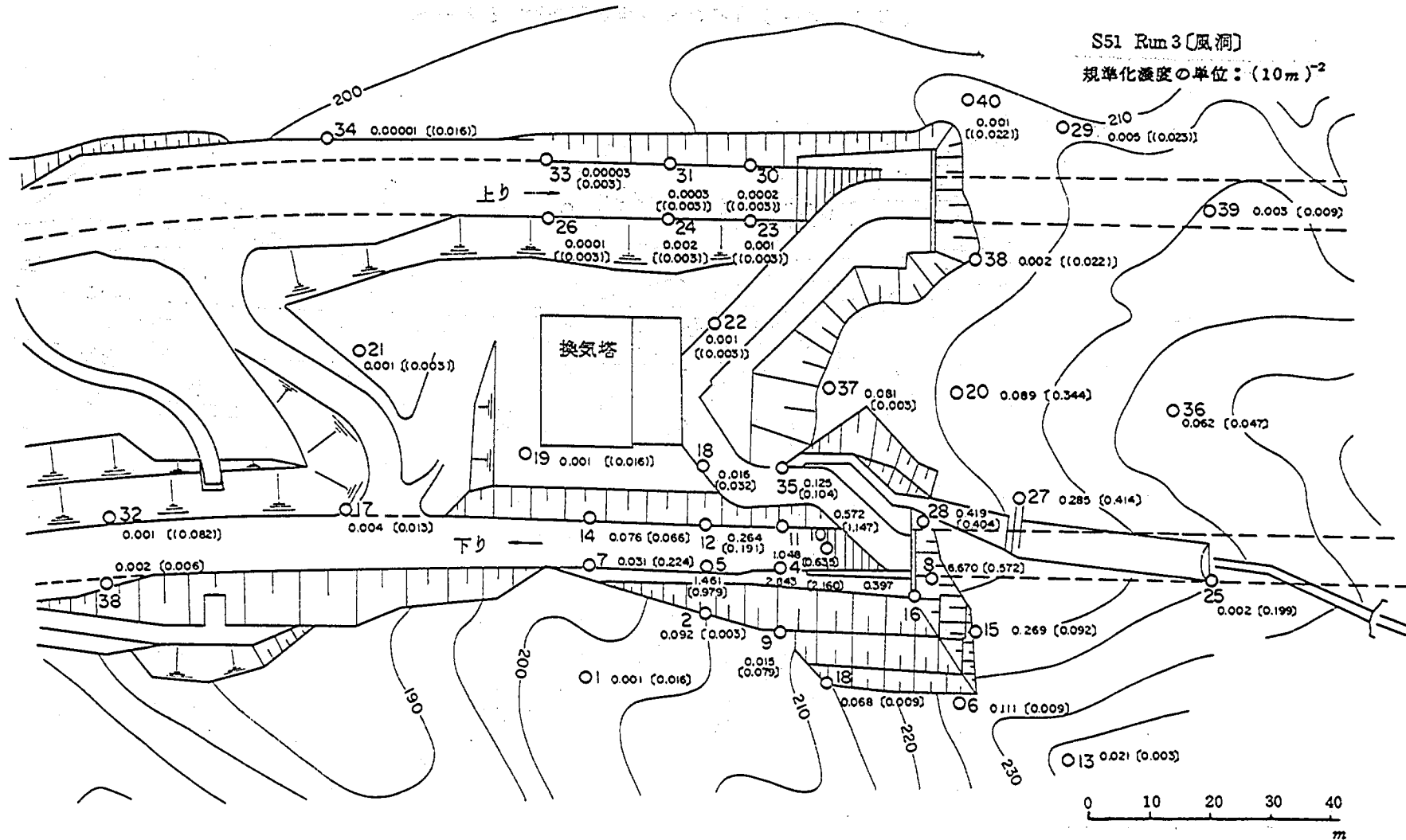


図-21 規準化濃度分布の比較 (テストNo. 4)

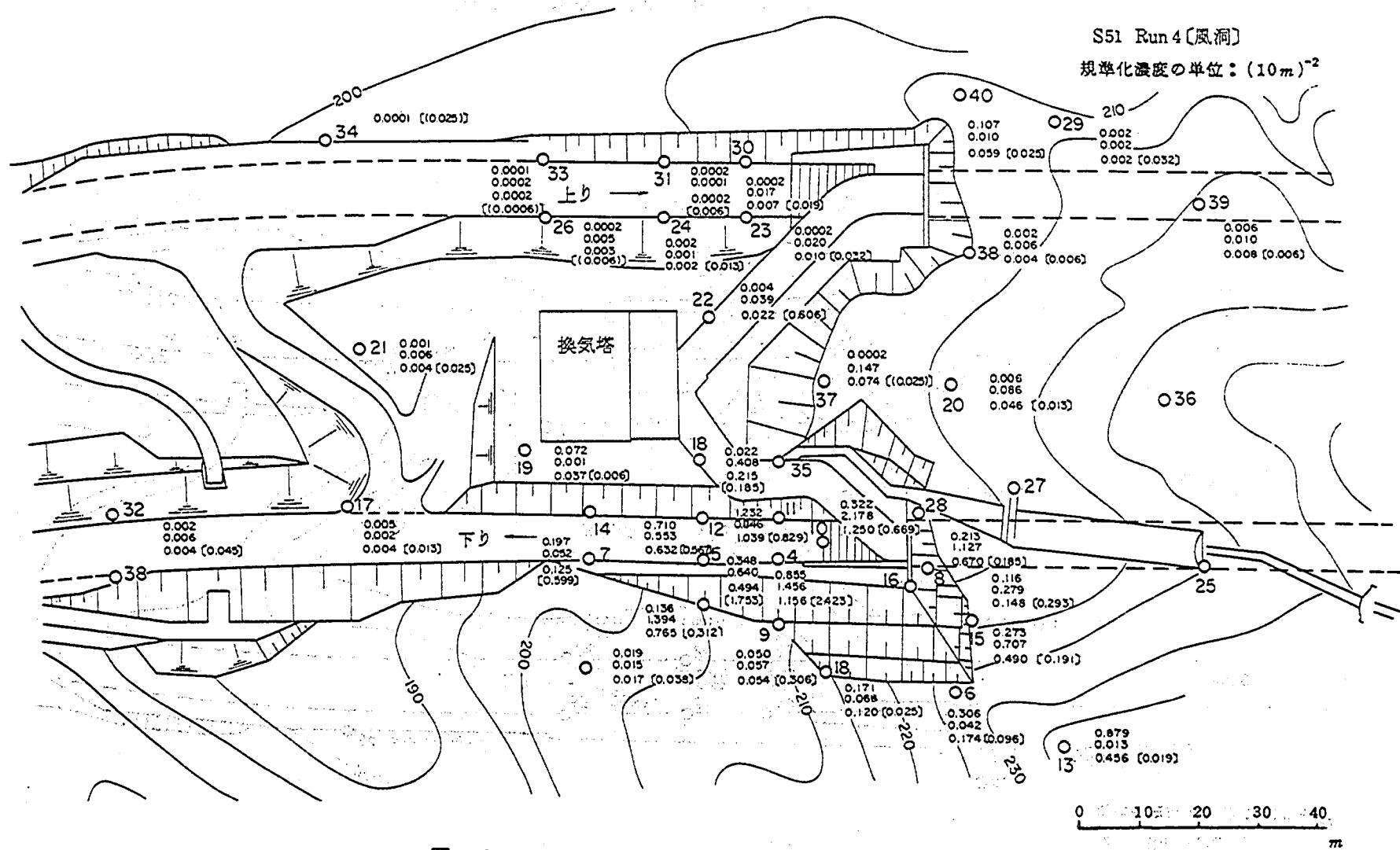


図-22 規準化濃度分布の比較 (テストNo. 5)

(2) 現地計測と風洞の相関

図18～22の現地計測（平均値）と風洞の対応を，図23～27に示す。横軸に風洞の C^* を，縦軸に現地の C^* を取っており，両者が完全に一致しておれば，それは， 45° の線上に存在することになる。

図23～27（図中の r は相関係数）より分るように，両者の差異は，対応ケース（以下テストⅡで説明する）毎に大巾に異なることが分る。テストⅡ1では，現地計測値がかなり大きい，テストⅡ2，Ⅱ3，Ⅱ4ではやや整合気味で，テストⅡ5の場合は，風洞がやや大き目となっていることが分る。

次に上記のデータ（現地と風洞）を用いて，相関係数（ r ）を求め，結果を表9にまとめた。なお，テストⅡ4，5では次の現地計測値を除外（特異値）している。

テストⅡ	特異地点 (番号)	理 由
4	3	地点3は，実測コンタを見れば，明らかにおかしい値となっている。
5	16	報告書から分るように，地点3は42.6 ppb に対し，近くの地点16は3.58 ppb と一桁小さく，おかしい。

r は，最小0.640（テストⅡ1）で，最大0.937（テストⅡ4）とかなり高くなっている。

一応，相関ありとして，次式により回帰係数（ a_1, a_0 ）を求め，表中にまとめた（(イ)の欄参照）。

$$(\text{現地計測値}) = a_1 (\text{風洞}) + a_0 \quad (6.5)$$

テストⅡ2と4は，回帰係数（ a_1 ）はほぼ1であり， r も高く，統計的には整合性は良好であることが分る。

テストⅡ1は， a_1 が5.6で， r も低く，整合性は弱い。これより良いのが，テストⅡ3と4である。

濃度の計測誤差を考えて，現地もしくは風洞の C^* が，0.05以下を除いた場合（(ロ)の場合）についても，同様の比較を行っている。傾向的には(イ)と同じであるが，テストⅡ2では，整合性が弱くなっている。

次に，道路沿線のみを対象（(ハ)の場合）とした場合は，いずれも相関係数は大きくなって，最小0.719で，最大は，0.957となっている。しかし，回帰係数は，余り良くないことが分る。

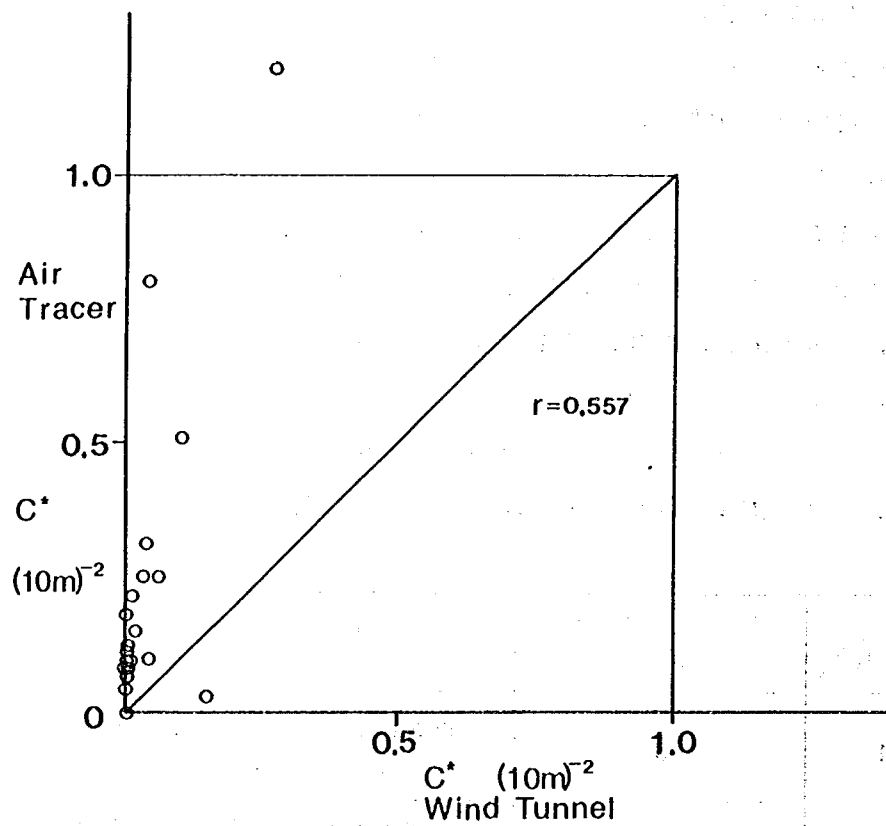


図-23 A T 値と W T 値の比較 (テスト № 1)

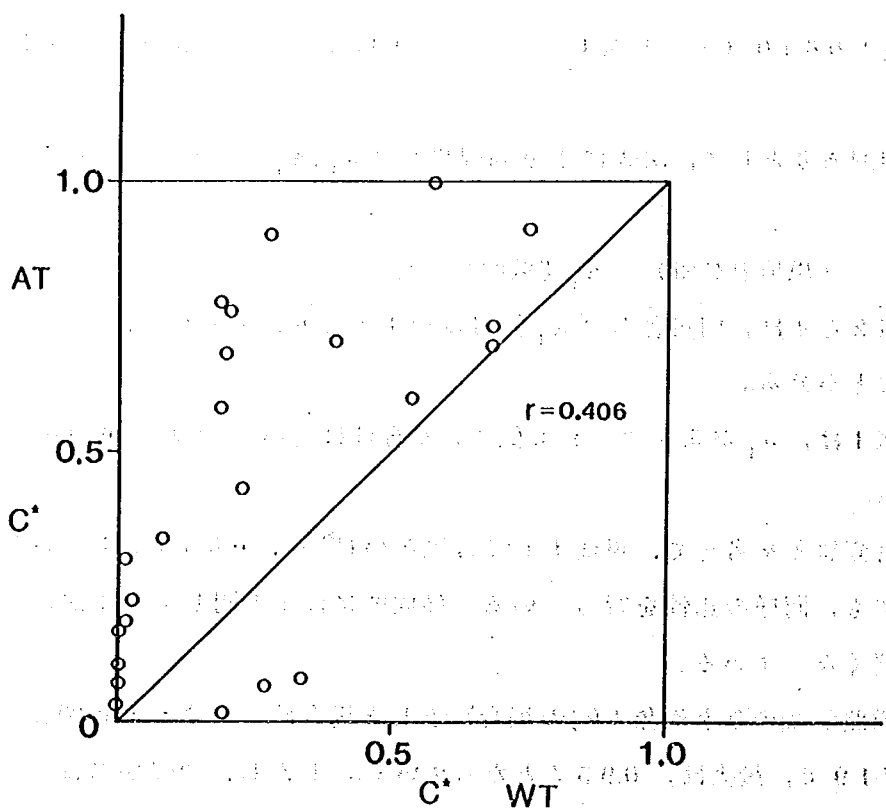


図-24 A T 値と W T 値の比較 (テスト № 2)

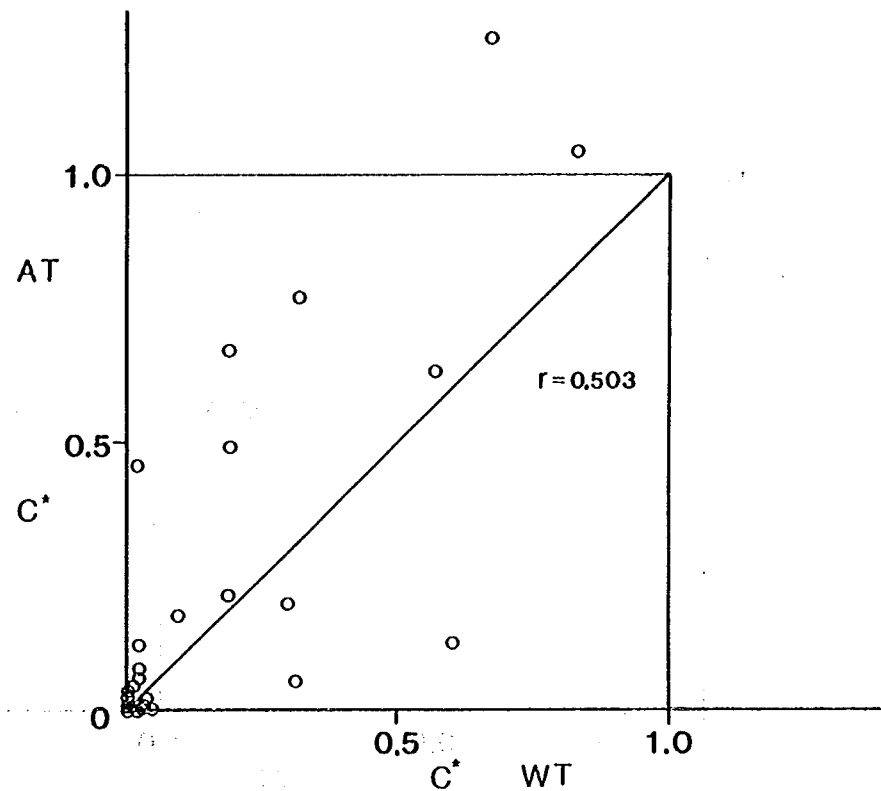


図-25 AT値とWT値の比較(テスト№3)

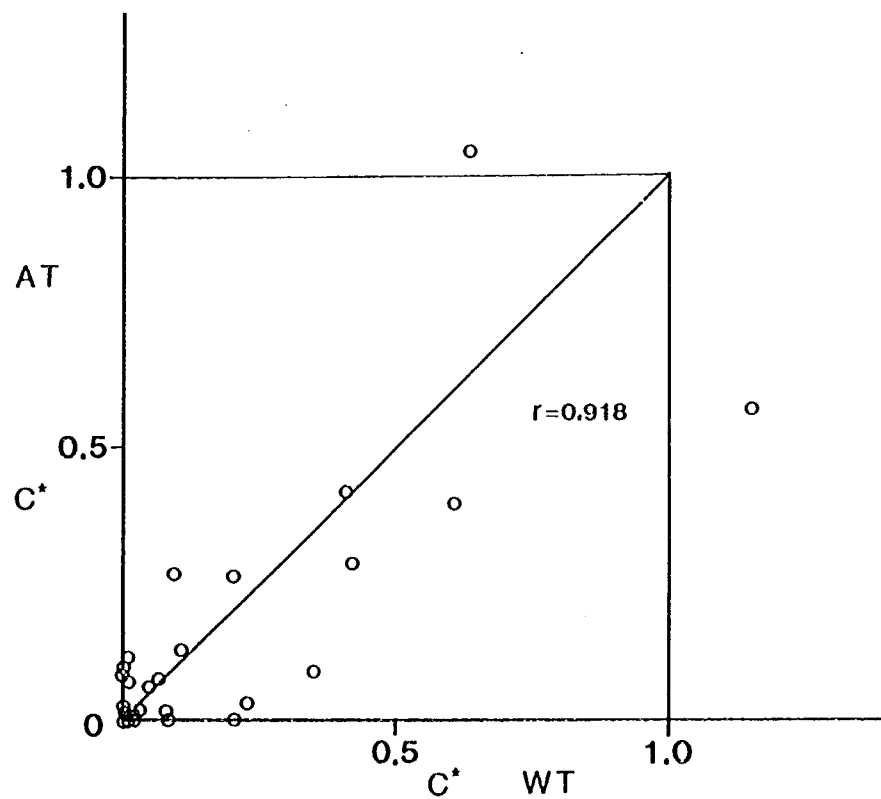


図-26 AT値とWT値の比較(テスト№4)

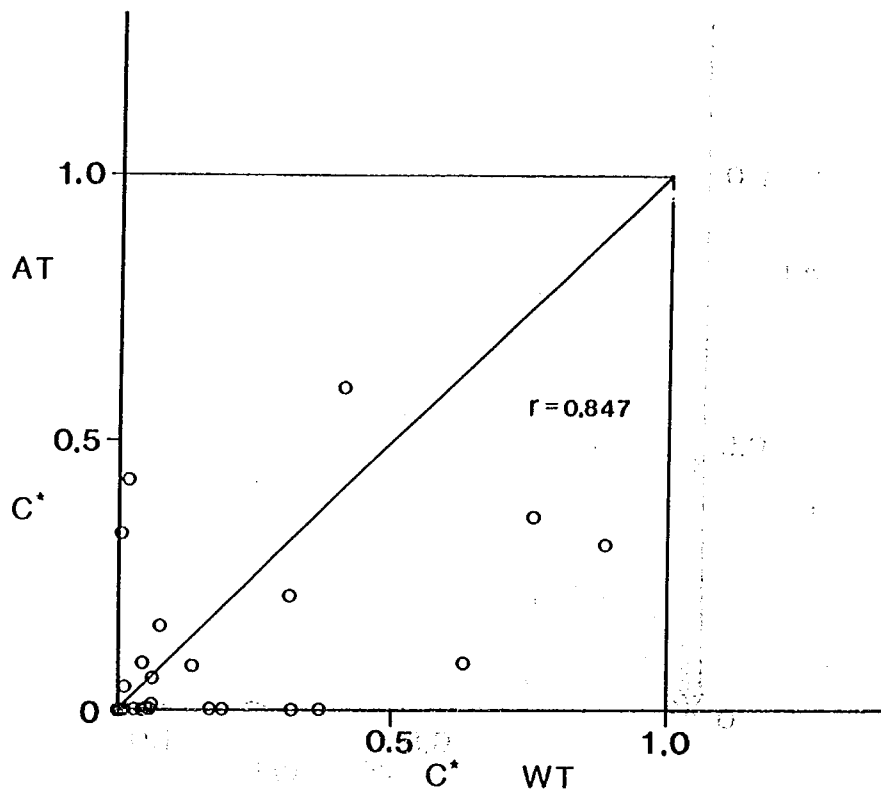


図-27 AT値とWT値の比較(テスト№5)

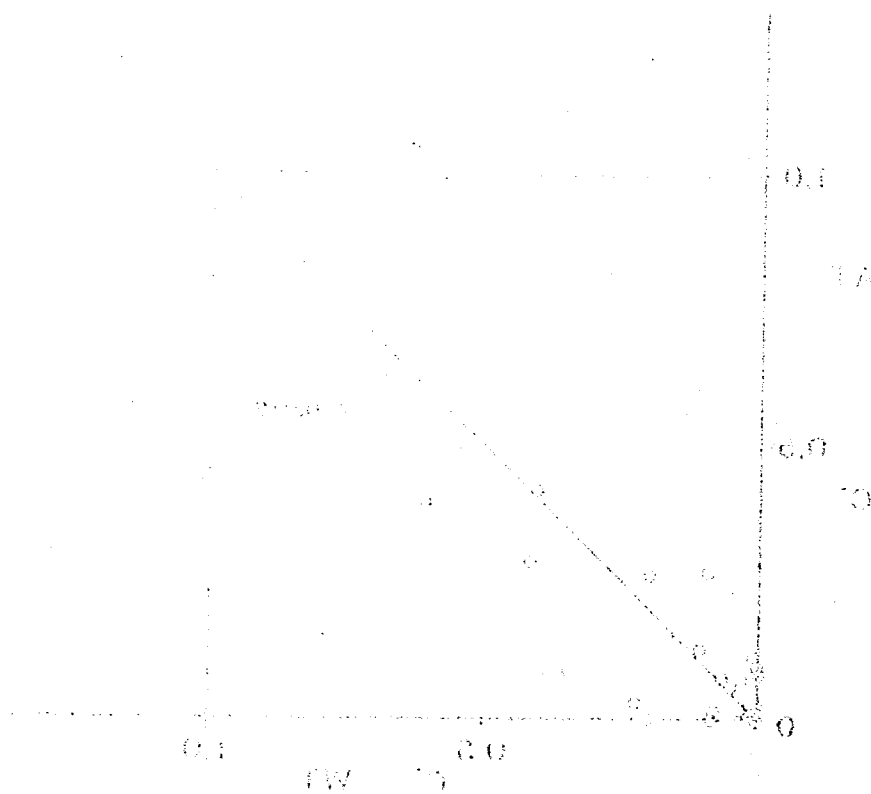


図-28 TW値とTA値の比較(テスト№5)

表-9 現場と風洞の整合性比較表

	現 場 計 測 風 洞 実 験 (NO)		a	b	c	d	e
			1	2	3	4	5
	現 場 vs 風 洞 比 較		図 8. 6	図 8. 7	図 8. 8	図 8. 9	図 8.1 0
(i)	全 点 を 採 用	相関 (r)	0.6 4 0	0.6 7 2	0.6 9 4	0.9 3 7	0.8 0 5
		係数 (a_1)	5.6 4	0.9 0 1	0.4 8 4	1.1 7	0.5 1 2
		切片 (a_0)	0.2 7 3	0.2 1 8	0.1 1 4	-0.0 2 5 1	0.0 1 1 2
		個 数	2 5	2 3	3 4	4 0	3 9
(ii)	いずれか 0.05 以下を除く	相関 (r)	0.5 5 7	0.4 0 6	0.5 0 3	0.9 1 8	0.8 4 7
		係数 (a_1)	4.4 7	0.5 1 5	0.2 9 6	1.2 3	0.5 2 3
		切片 (a_0)	0.7 9 4	0.4 2 3	0.3 6 7	-0.0 7 7 7	0.0 3 4 3
		個 数	6	1 5	1 3	1 2	9
(iii)	道 路 沿 線 の み	相関 (r)	0.8 0 5	0.7 1 9	0.7 4 1	0.9 9 1	0.9 5 7
		係数 (a_1)	4.2 1	0.7 3 0	0.3 9 4	1.3 8	0.5 8 0
		切片 (a_0)	0.2 5 7	0.3 3 4	0.1 4 5	-0.0 3 4 5	-0.0 2 9 0
		個 数	8	8	7	9	9
	整 合 性 の 良 否		劣	良	やや良	良	やや良

6.2 基準化濃度による道路に沿った濃度減衰の比較

風洞実験結果とAT実験結果より基準化濃度 (C^*) を求め、坑口からの距離 (x, m) で、濃度の減衰状況を図28～37にまとめた。

テスト路1の南側は、一様な減衰でなく“コブ状”で、他の例に比べ特殊であることが分る。ATの報告書では、ルーヴァからの距離で整理してあるので、ルーヴァの長さ18mとして、坑口からの距離で整理し直した。

同図より、濃度減衰の整合状況が分る。ATは指数関数的に減衰気味であるが、風洞は、そのような単純な減衰でないことを示している。それぞれのケース毎に見た整合状況を表6.2にまとめた。ただし、図28～37では、ルーヴァの出口をトンネル坑口としている。

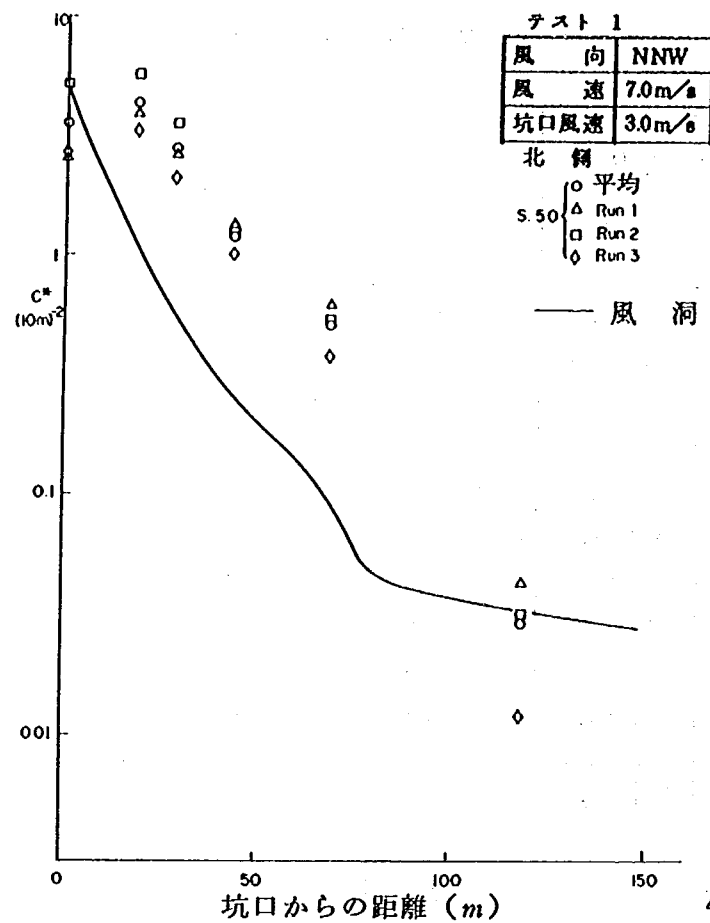


図-28 濃度減衰の比較 (テストNo. 1 - 北側)

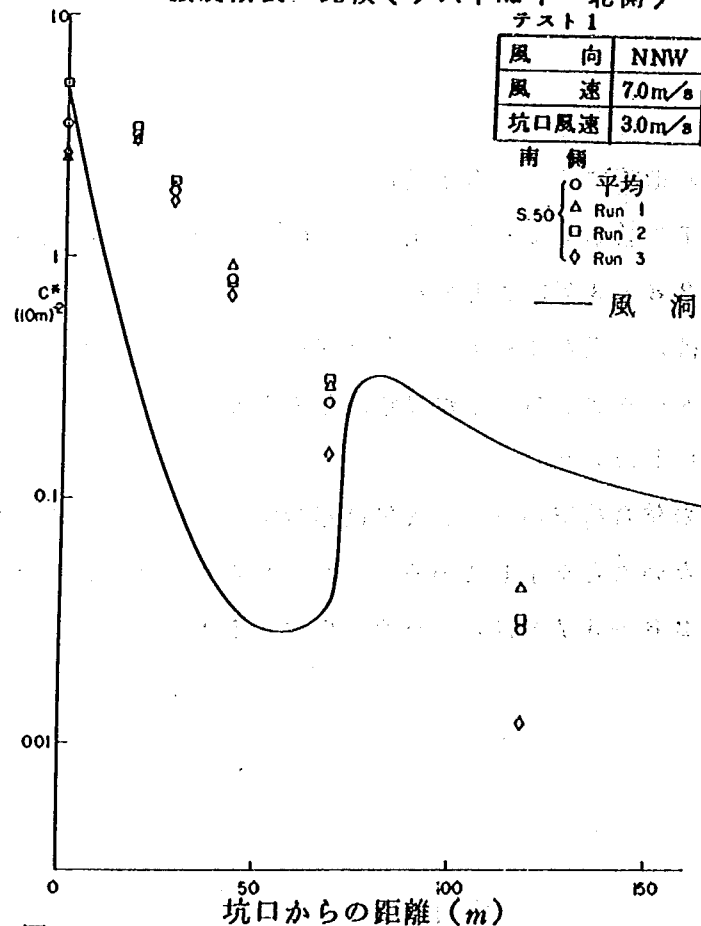


図-29 濃度減衰の比較 (テストNo. 1 - 南側)

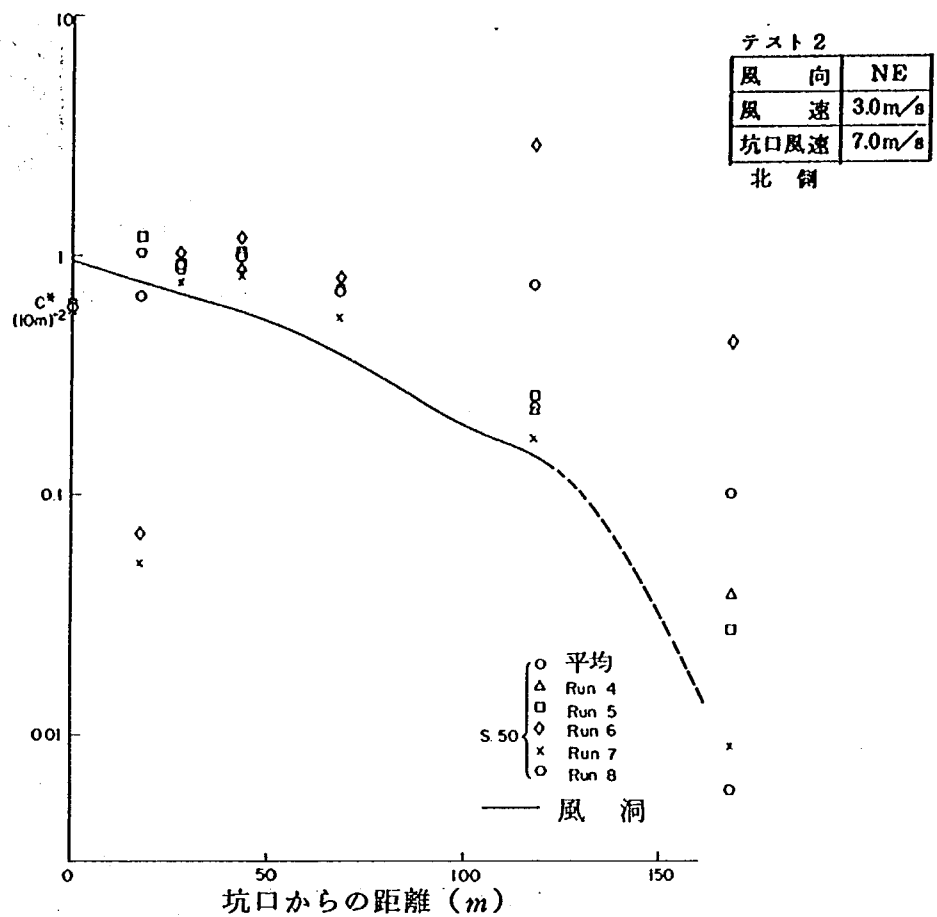


図-3.0 濃度減衰の比較 (テストNo.2 - 北側)

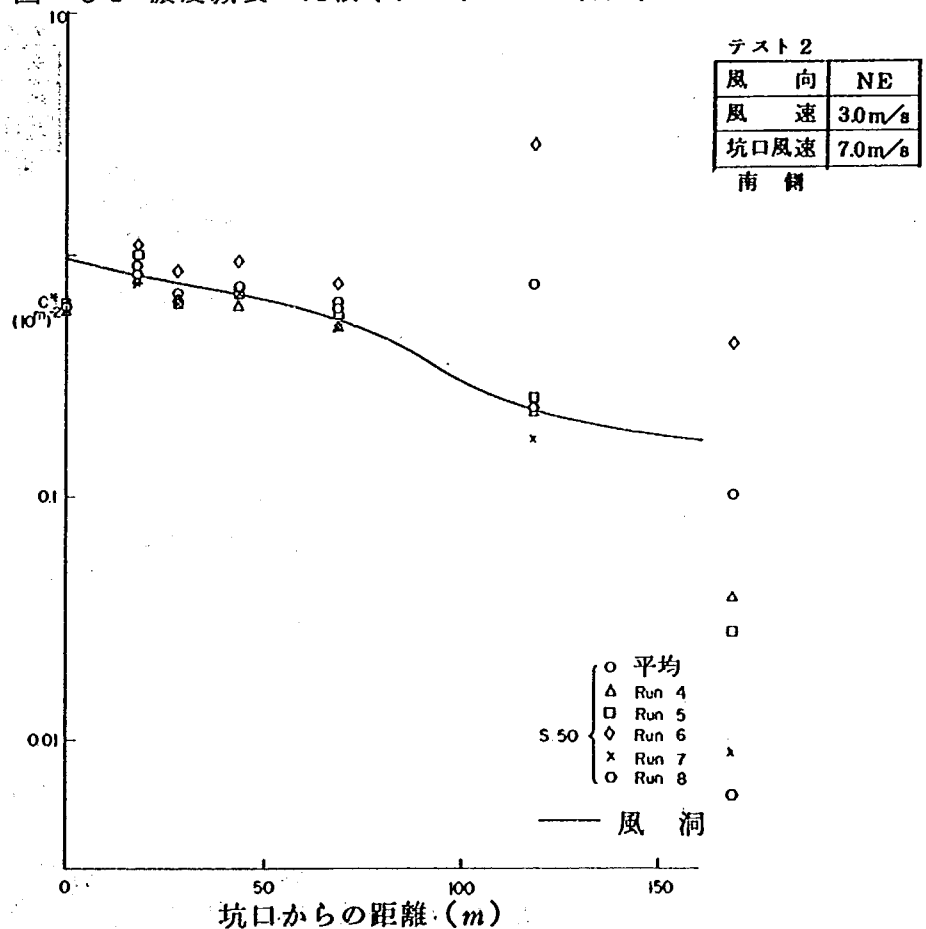


図-3.1 濃度減衰の比較 (テストNo.2 - 南側)

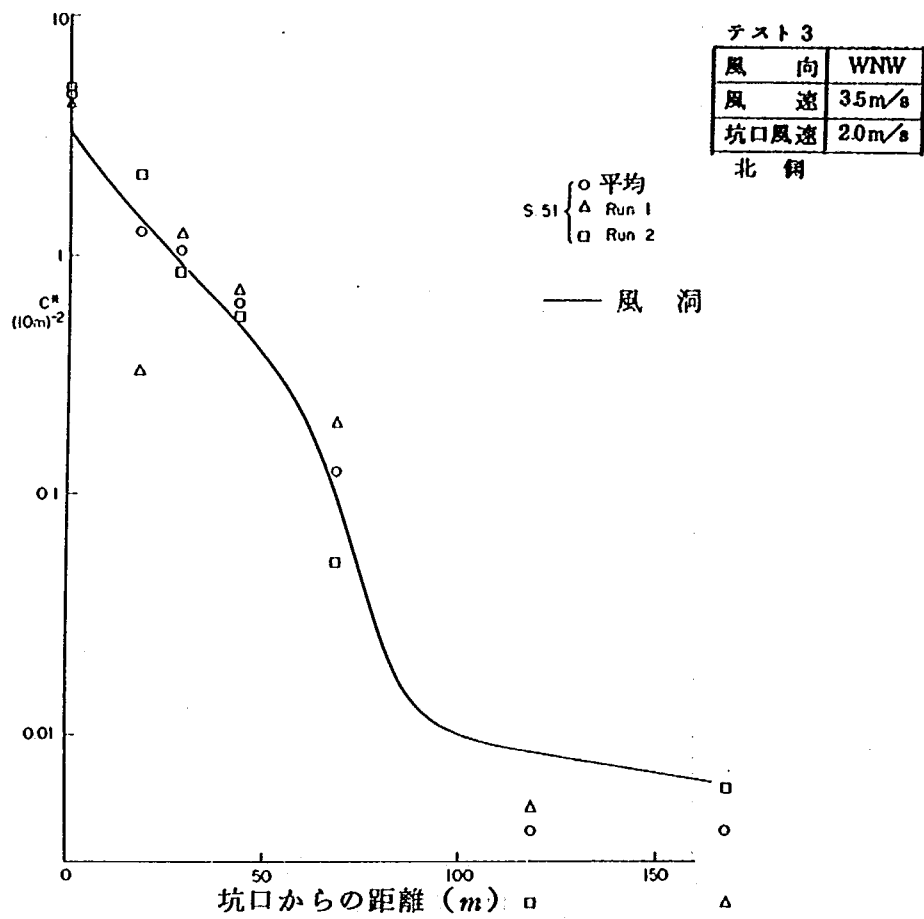


図-32 濃度減衰の比較 (テストNo.3-北側)

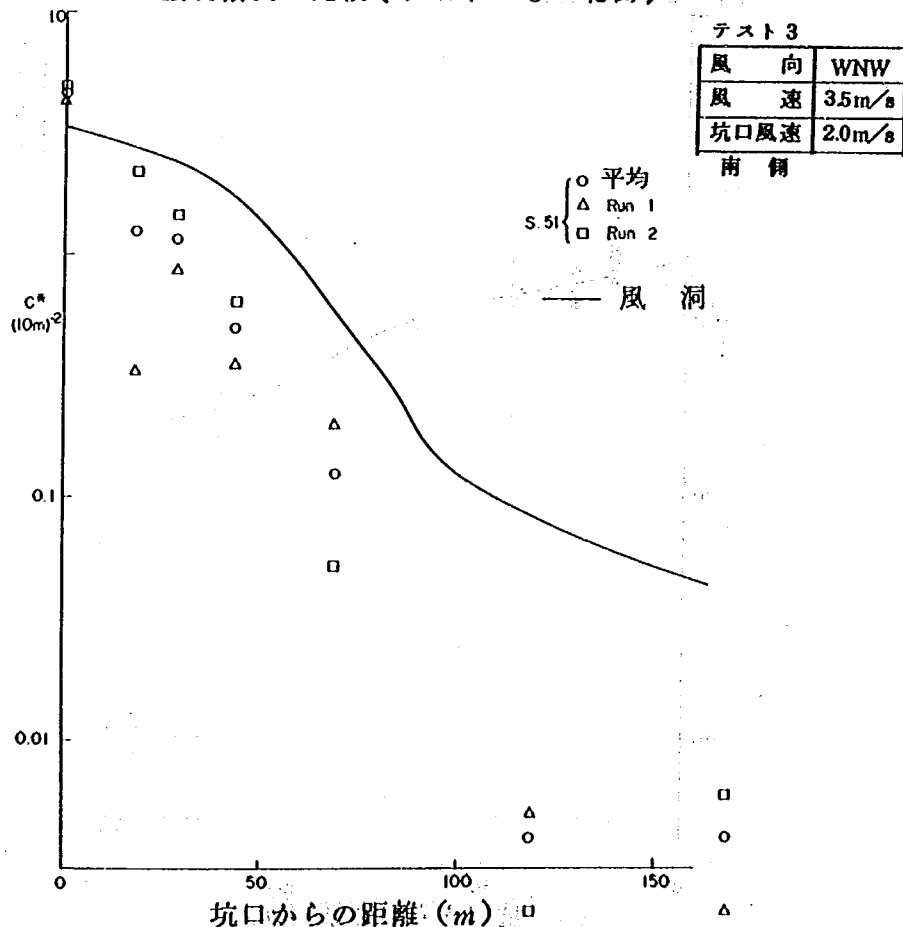


図-33 濃度減衰の比較 (テストNo.3-南側)

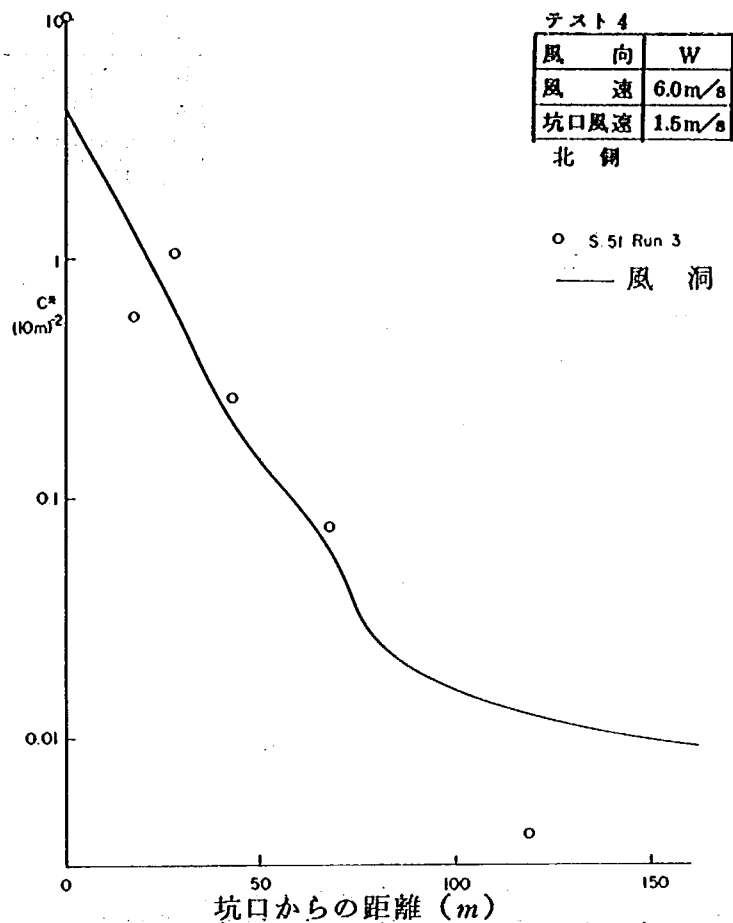


図-3.4 濃度減衰の比較 (テスト No. 4 - 北側)

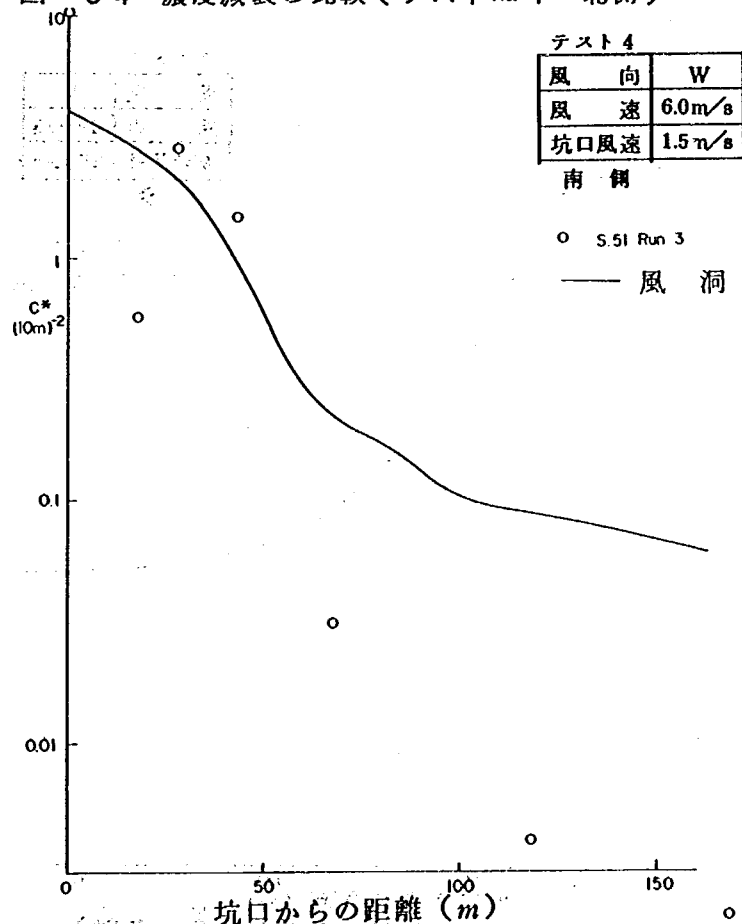


図-3.5 濃度減衰の比較 (テスト No. 4 - 南側)

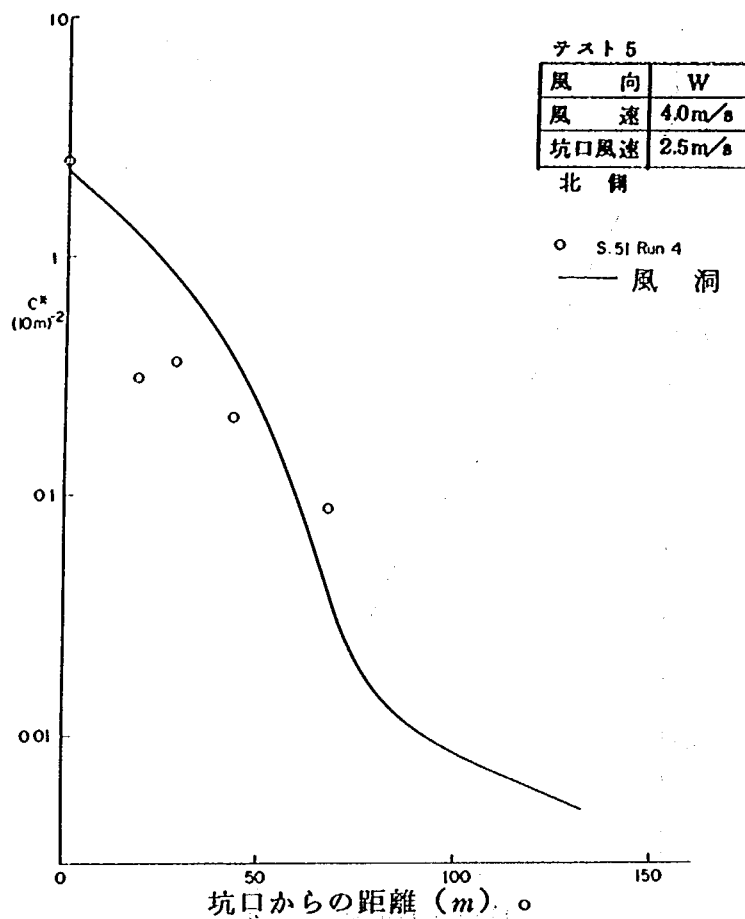


図-36 濃度減衰の比較 (テストNo. 5 - 北側)

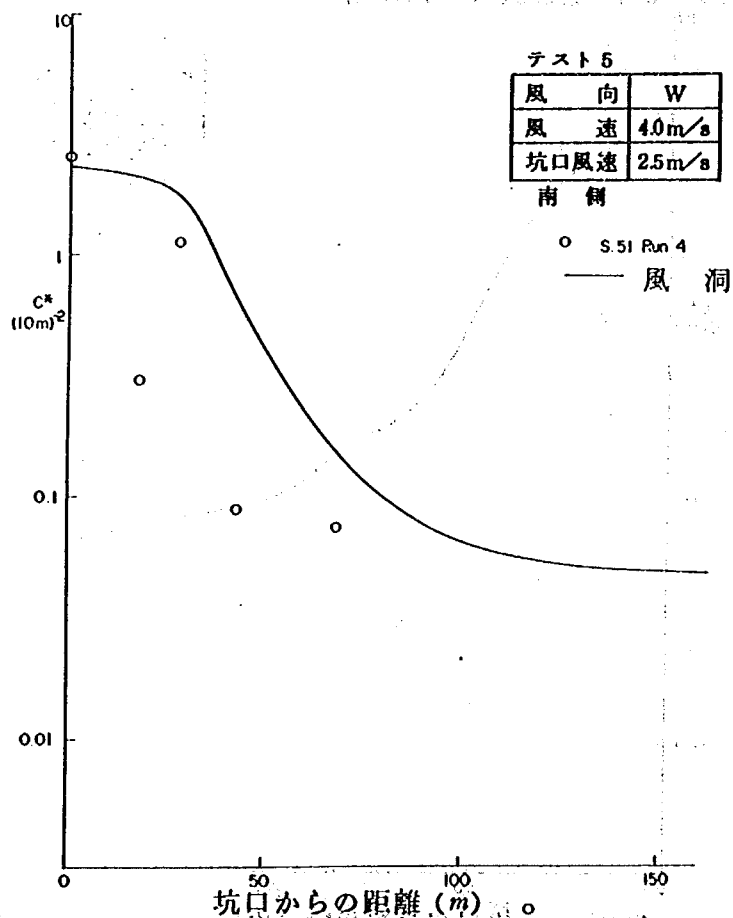


図-37 濃度減衰の比較 (テストNo. 5 - 南側)

表一 10 濃度減衰の A T と風洞と比較

A T	風 洞	減衰比較	A T と 風 洞 の 対 比 内 容
a	1	図 2 8 (北側)	風洞より A T の C^* が高く (約 4 ~ 5 倍) 減衰は風洞が大きい。
		図 2 9 (南側)	風洞はコブ状の減衰に対して, A T はほぼ一様の指数減衰である。
b	2	図 3 0 (北側)	A T のバラツキがあるものの, ヤヤ風洞が小さく (約 1/2), 減衰は相似気味である。
		図 3 1 (南側)	A T のバラツキ内で, 風洞と A T は整合している。
c	3	図 3 2 (北側)	上 記 に 同 じ
		図 3 3 (南側)	風洞より A T の C^* が低い。 (約 1/3)
d	4	図 3 4 (北側)	坑内濃度に差はあるものの, 減衰状況は良く整合している。
		図 3 5 (南側)	A T のバラツキが大きい, 減衰の傾向は相似気味である。
e	5	図 3 6 (北側)	$x \leq 30m$ で, A T の C^* が約 1/3 低い, 減衰は整合気味である。
		図 3 7 (南側)	A T が一桁程小さく, 減衰も A T が大きい。

6.3 坑口濃度比による道路に沿った濃度減衰の比較

この項では特に坑口付近の濃度減衰について明らかにしたいため, 6.1 (1) で述べたように坑口濃度を基準濃度とする。すなわち, 坑口濃度比で整理する。図 3 8 ~ 4 1 に, 坑口濃度を 1.0 とした時の相対的な濃度の減衰を示す。比の値の算出方法は, 以下の通りである。

風洞実験では R_d 値の濃度を用いる。坑口濃度は表 8 に示す坑内濃度の R_d 値を採用し, 道路沿いの濃度は付表 1 ~ 1 9 の R_d 値を用い, その比をとって図に示した。 R_d 値は (5.5) 式に示されるように地表面で計測されたガス濃度と排出時の混合トレーサー濃度との比である。ある 2 点の R_d 値どうしの比をとると, 結局 (5.5) 式より S_g が消去されて, 単なるその 2 点間の濃度比となる。

現地計測の場合は, 図 1 2 ~ 1 7 に示す Run II - 2, II - 4, III - 1 a, III - 3 a, III - 4 a, を, それぞれテスト 1 ~ 5 に代表するケースと考えて, その計測値を用いた。図 6.1 ~ 6.5 のように平均値を用いたわけではない。濃度比は計測された濃度 (ppb) と坑口濃度 (計算値) との比で表示する。ただし, 図 3 8 ~ 4 7 では, トンネル坑口はルーバーとトンネルの接合地点とする。これらを総合すると以下のようなことがわかる。

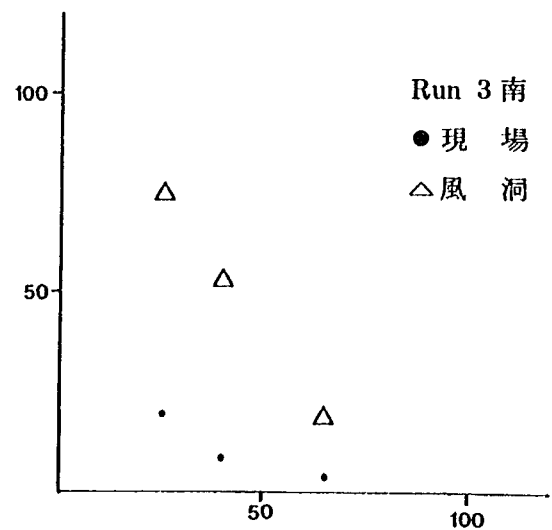
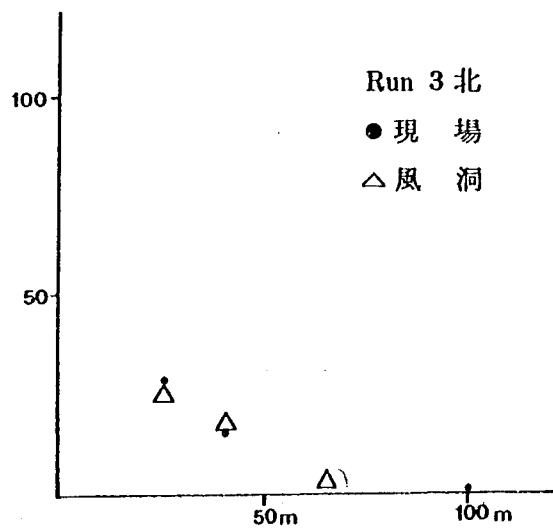
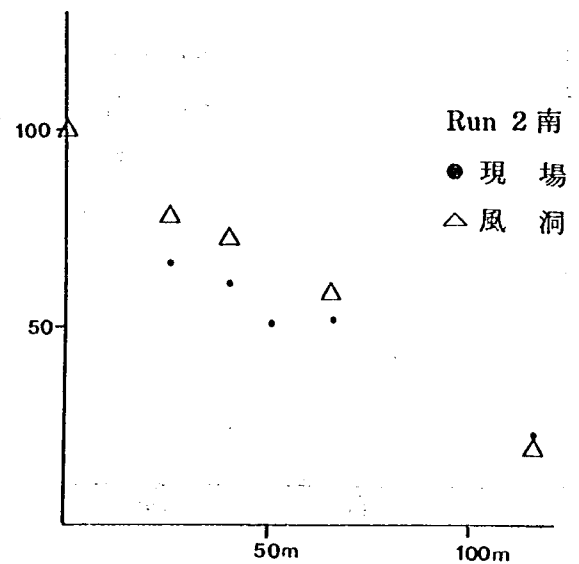
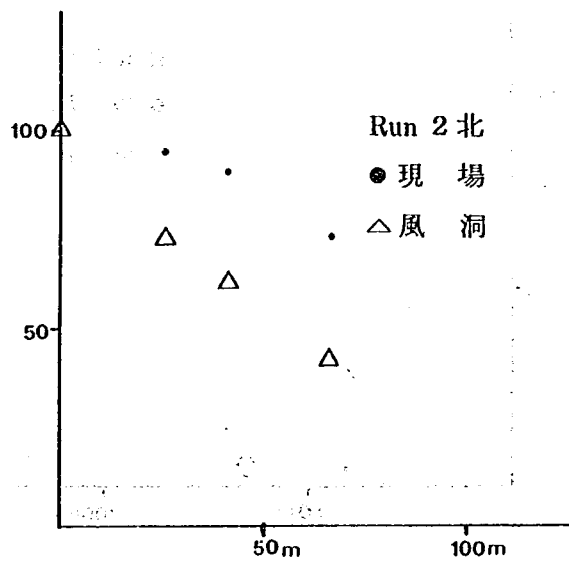
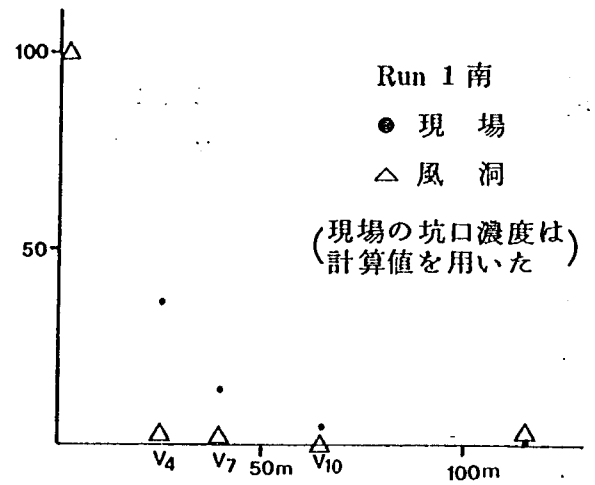
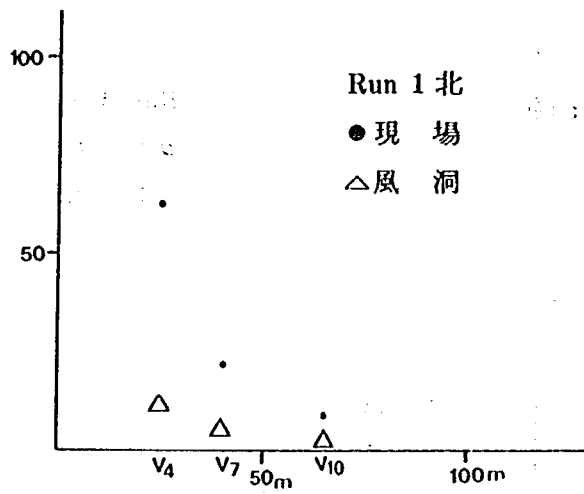
(1) 現場における濃度減衰状況

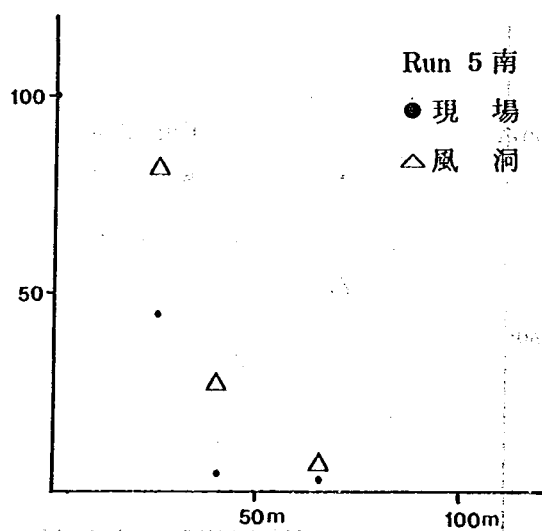
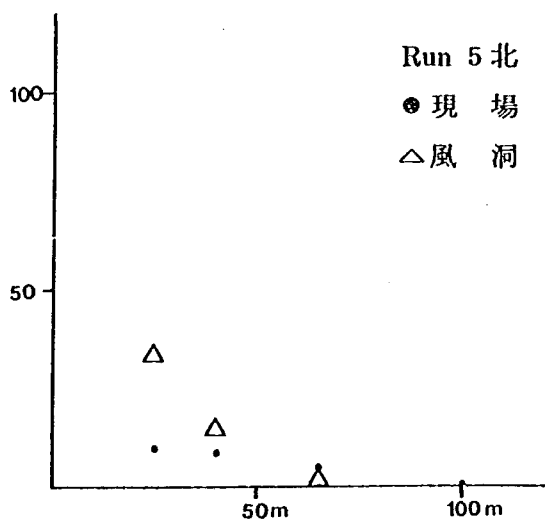
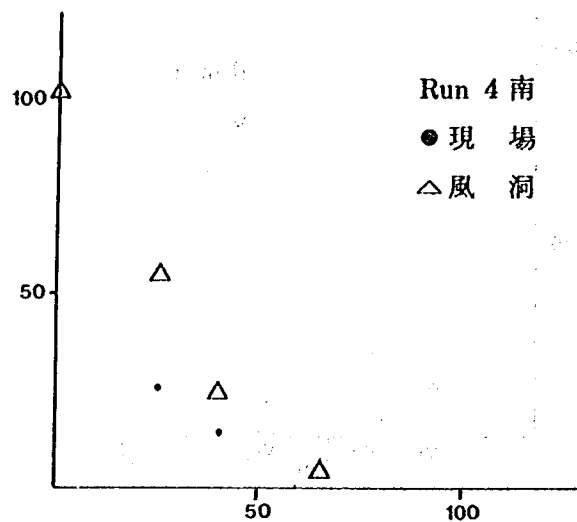
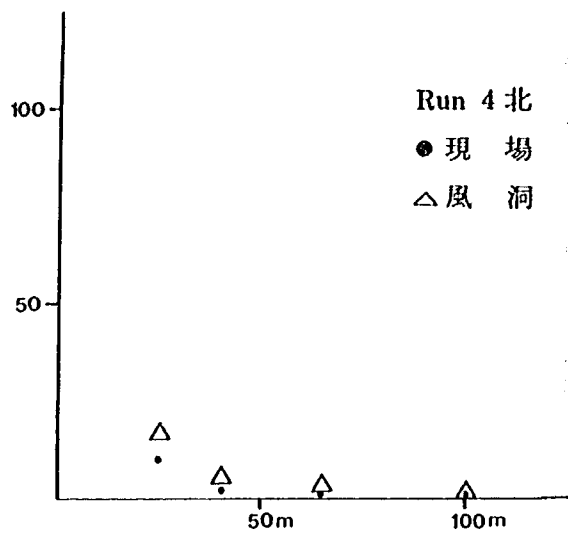
今回の実験では、実験ケースは大きく分類して自然風がトンネルに対して追い風の場合と向い風の場合に分けられる。追い風の場合、坑口より130m前後で濃度比が $\frac{1}{10}$ となるが、向い風の場合は50m前後で濃度比 $\frac{1}{10}$ となる。

この場合の坑口風速と車速、交通量については、以下のような状況である。坑口風速は追い風の場合7.0m/sで向い風3.0m/sの2倍以上であるが、これは、(1)追い風の場合の換気ファンの運転、(2)自然風が追い風であるためトンネル坑内に比べて坑口部の圧力が向い風の場合ほど高いことなどが主たる原因である。交通は追い風のケースが一方交通で車速65Km/h車頭間隔約300m、向い風のケースは対面交通で車速55Km/h車頭間隔約100mである。

(2) 実験により現場計測を予測する際の誤差

表9に示したようにRUN1の実験結果が特に悪いので、これを除外して考える。風洞実験による予測値の誤差について多くの実験結果は、例えば現地計測値を1.0とした場合実験値のパラッキの上下はその値の0.5～2.0の誤差範囲には収まっているが、時に坑口付近では0.1～4.0程度の誤差がでることがある。





第3章 坑口拡散模型実験(その2)

1. 概 説

今回の模型実験は2章坑口拡散模型実験(その1)と同じ整合対象を用いて、先の実験の実験条件のうち自然風風速、坑口風速、車速を変えることにより、それが拡散結果にどのように影響するかを明らかにしようとした。

しかしながら、風洞実験の濃度計測に使用した。プローブは種々比較の結果、長めのものを使用した。傾斜地における計測には適当な形状でなかったため高低差のある場所での計測誤差が大きくなり実験としてはやや信頼性を欠くものとなった。したがって本章では、今後の参考のために実験概要と測定結果を記述するにとどめた。

2. 整合対象(風洞実験条件)

整合対象とすべき現場計測は、2章坑口拡散模型実験(その1)と同一のものとした。その1では、現地の拡散データを5つのパターンに分類しているが、今回はその内表1に示す2つのパターンだけを対象とした。

風速、坑口風速、車頭間隔は、区切りの良い数値とした。

車速は、次のものとした。

50年度: 60~70 Km/Hより平均して65 Km/H

51年度: 推定50~60 Km/Hを平均して55 Km/H

大型車の混入率は、最小37.4%から最大60.5%まで変化しているが、区切りが良い平均的な50%(全ケースの単純平均は48.7%)とし、全ての場合について一定とした。

車種(大型、小型)は、実験では区別することなく、次式による平均投影面積の車で代表させることとした。

A_c は、下記の値を全ての場合に採用した。

$$A_c = 1.065 + 4.305\gamma \quad (m^2)$$

γ : 混入率

$\gamma = 50\%$ の時

$$A_c = 3.22 \quad m^2$$

なお、対面通行の場合の坑口風速は、上り線、下り線で相異なり再現上の困難さがあるため、下り車線の坑口風速の再現を支配的と考えて優先し、上り車線のそれは、二義的なものとして近似再現させた。

表-1 試験条件（実基条件）

テスト No	現地対応 ケース (その1の テストNo)	風向*1	風速*1 (m/s)	坑口風速	交 通 量			備 考
					交 通	車 速 Km/H	車頭間隔 (m)	
1	b, Run4 (テスト No2)	NE 追い風	3.0	7.0	一 方	65	300	AC=3.22 m ³
2	d, Run3 (テスト No4)	W 向い風	6.0	1.5*2 (3.0/0)	対 面	55	100	"

*1. 換気所屋上の3～6 m高さでの気象

*2. 坑口風速を（下り車線/上り車線）で示し、その平均値を併記した。

3. 実験方法

拡散風洞内に地形（トンネル坑口）模型を置き、風洞気流を所要の風速（風向）に合わせて、模型車を走行させながら、坑口排気（トレーサガスを含む）を坑口条件で出して坑口周辺の濃度分布を計測した。

3-1 風洞装置

実験に使用した風洞および主要諸元を図-1に示す。風洞は吸入式エッフェル型で測定部は幅6 m、高さ3 m、長さ24 mである。（写真1）

3-2 地形模型

今回の実験は前年度使用した縮率1/200の地形模型を用いた。使用風洞（高さ3 m、幅6 m）での閉そく率（BR）は、再現される地形の高低差を約70 mとして、

$$BR = 70 \text{ m} \times \frac{1}{200} \div \text{風洞高さ } 3 \text{ m} = 11.7 (\%)$$

である。

3-3 車走行装置

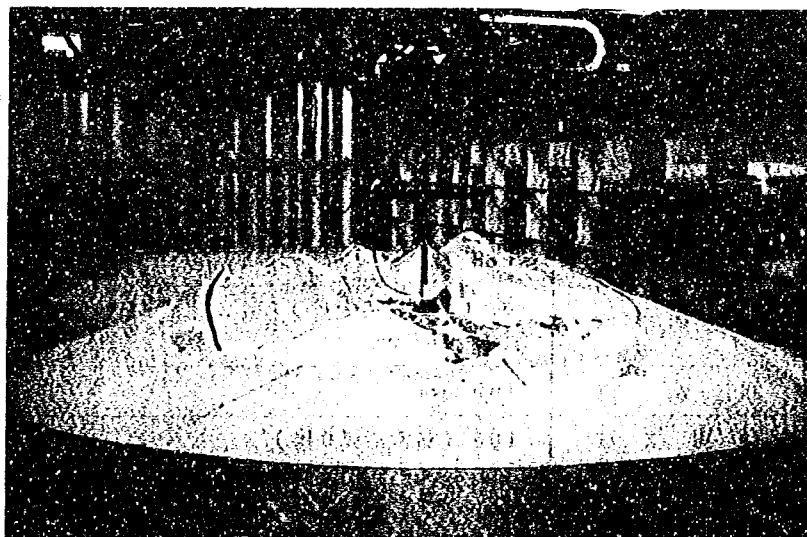
実際の車は自走であるが、本実験での車はベルト上に縮率を考慮した所要の車頭距離で模型車を取付け、道路端に設けたモーターを駆動することにより、ベルトを索引し外力走行させた。走行速度は、このモーターの回転数を検出し制御し、また、点源の排煙（トレーサ）はトンネル内の「型形状」のガス吐出孔から排出させた。

なお、坑口の吹出風速を制御するため、トンネル内に空気噴流（実際のトンネル内に設置されている jet fan に相当する。）を入れた。

AT（C₂H₄ ガス）は、坑口で充分一様濃度になるようなトンネル内部の位置で排出させた。



写真－１ 換気所屋上の風速分布乱れ強さ測定状況



写真－２ 濃度サンプリング状況

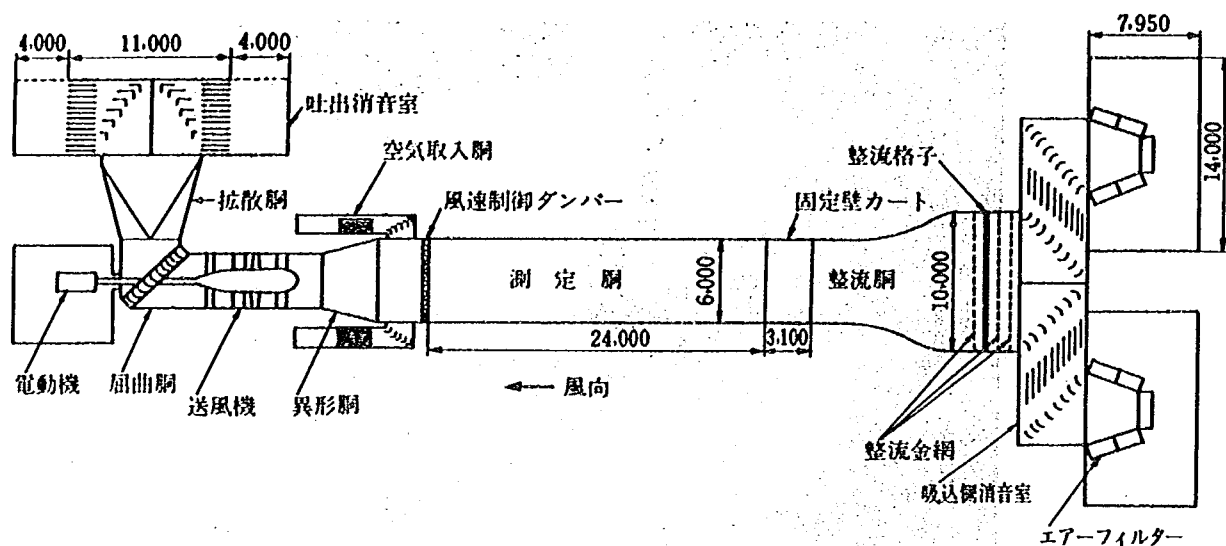
３－４ 気象条件の再現（風速の鉛直分布及び乱流強度の計測）

現地の大気の流れ場と風洞中乱流場の相似をはかるため、乱れ、風速分布等の風洞気流の基本性能の計測を行った。（写真２）

今回の実験では刀形気流制御素子及び気流制御グリットを図－２のように配置した。

基本性能の測定結果を図－３に整理した。風速の鉛直分布は（３－１）式が成立すると仮定すると、図－３より $k = 0.212 \sim 0.33$ となる。

$$U = U_0 \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^k \quad \dots\dots\dots (3-1)$$



風洞全体配置図

拡散風洞の性能諸元

風洞形式	吸込式エッフェル型
測定間寸法	W 6 m × H 3 m × L 24 m
風速設定範囲	0.2 ~ 15 m/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 400 mm
回転数	360 rpm
動翼枚数	10枚(後置静翼9枚)
風量	270 m ³ /s
有効全圧	80 mm Aq
電動機出力	32 Kw
風速分布偏差	± 1 %以内
風速変動	± 2 %以内(外乱風速 5 m/s 時)
乱流強度	1 %以内
風速制御方式	1. 定速回転(360 rpm) 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-1 拡散風洞

U : Zにおける風速

Z₀ : 基準点の高さ

U₀ : 基準の風速

乱れ強さは(3-2)式より $\sigma = 0.9 \sim 5.7\%$ となった。

$$\sigma = \frac{|u'|}{\bar{U}} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots (3-2)$$

$\bar{U}$: 平均風速

u' : 乱流強さ

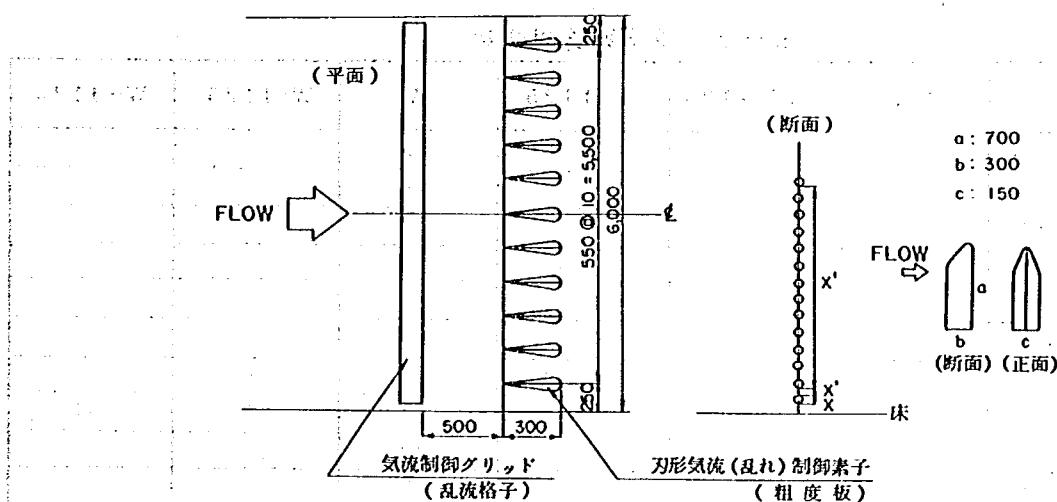
模型は測定胴下流10mの位置に置いた。

3-5 定量法(濃度計測)

トレーサーとしてエチレンガスを用い、希釈ガスとして窒素ガスを用い、マスフローコントローラーで流量を制御して混合し、一定流量、一定濃度を保ちサンプルガスとして放出する。サンプルガスは、トレーサーガスとしてトラバースに取り付けたプローブから吸引し、光イオン化検出法(PID法)により濃度を求めた。

濃度測定のスAMPLINGポイントを付録の付図1, 付図2に示す。

現地実験(AT実験)及び、前年度の風洞実験との相関を求めるため、現地と対応する地点は全てサンプリングした。



	x	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	x'	(断面図)
円管径 (cm)	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	
間隔 (cm)	2	3	4	5	6	6	7	8	9	10	10	11	12	13	14	

図→2 乱流発生装置と粗度板の配置図

模 型 な し

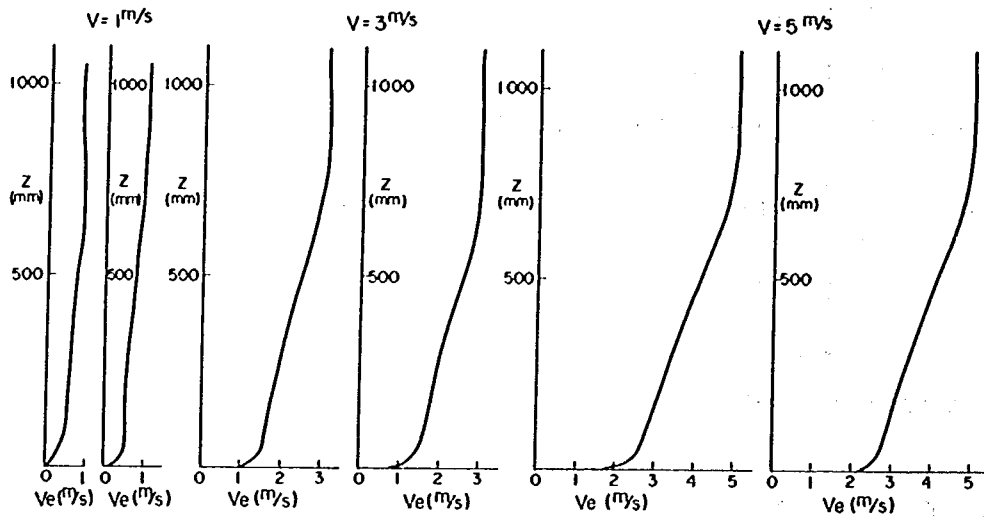


図-3 基本性能の風速分布測定結果

3-6 実験ケース数

(1) 予備実験

前年度の風洞実験と同様に、上空風と局地風（換気所屋上）の相関を知るために風速分布、乱れを測定した。上空風は試験条件に合わせ、換気所屋上及び模型より上流3 m地点での風速分布、乱れ強さを測定した。予備実験組合せを表-2に示す。

表-2 予備実験組合せ

風向 風速 m/s		NE	NE+11.25	NE-11.25	W	W+11.25	W-11.25
0.5	風速分布	◎			◎		
	乱れ強さ	◎			◎		
1.0	風速分布	◎					
	乱れ強さ	◎					
1.5	風速分布	○	◎	◎	◎		
	乱れ強さ	○	◎	◎	◎		
3.0	風速分布	◎			○	◎	◎
	乱れ強さ	◎			○	◎	◎
6.0	風速分布				◎		
	乱れ強さ				◎		

◎換気所屋上測定

○模型より上流3 m地点での測定

(2) 定量実験

表-1の試験条件を風洞条件に換算したものを表-3, 表-4に示す。

今回の風洞実験のパラメーターの設定については、トンネル坑口拡散を支配するパラメーターとして、風洞風速、風向、坑口風速及び車速をとり、このパラメーターを単位量変化させて濃度値にどのような影響を与えるかを見い出そうとするものである。

表-3 実験条件(風洞条件)

風洞条件 テスト名	風 向	風洞風速 U m/s	坑口風速 Vg m/s	車頭間隔 ℓ m	車 速 V m/s	Vg/U	交 通	備 考
Run1-1	NE	1.5	3.5	1.25	4.51	2.33	一方	基本実験条件
1-2	NE+11.25	//	//	//	//	//	//	時計方向に 11.25°回す
1-3	NE-11.25	//	//	//	//	//	//	反時計方向に 11.25°回す
1-4	NE	3.0	//	//	//	1.17	//	風洞風速比 2.0
1-5	//	1.0	3.43	//	//	3.43	//	// 0.8
1-6	//	1.5	5.3	//	//	3.53	//	坑口風速比 1.51
1-7	//	//	1.75	//	//	1.17	//	// 0.5
1-8	//	0.5	1.57	//	//	3.14	//	風洞風速 0.5 m/s
1-9	//	1.5	3.5	//	//	2.33	//	基本実験条件
1-10	//	//	//	//	2.26	2.33	//	車速比 0.5

表-4 実験条件(風洞条件)

風洞条件 テスト名	風 向	風洞風速 U m/s	坑口風速 Vg m/s	車頭間隔 ℓ m	車 速 V m/s	Vg/U	交 通	備 考
Run2-1	W	3.0	0.75 (15/0)	0.5	3.82	0.25	対 面	基本実験条件
2-2	W+11.25	//	//	//	//	//	//	時計方向に 11.25°回す
2-3	W-11.25	//	//	//	//	//	//	反時計方向に 11.25°回す
2-4	W	6.0	//	//	//	0.13	//	風洞風速比 2.0
2-5	//	1.5	//	//	//	0.51	//	// 0.5
2-6	//	3.0	1.50 (30/0)	//	//	//	//	坑口風速比 2.0
2-7	//	//	0.4 (02/0)	//	//	0.13	//	// 0.53
2-8	//	0.5	0.125	//	//	0.25	//	風洞風速 0.5 m/s
2-9	//	3.0	0.75 (15/0)	//	3.82	//	//	基本実験条件
2-10	//	//	//	//	1.91	//	//	車速比 0.5

4. 相似則

相似則は、2章 坑口拡散模型実験（その1）と同じ考え方として（2章、4参照）、すなわち風洞風速（自然風速）、坑口風速は $\frac{1}{2}$ 、車速は $\frac{1}{4}$ にした。ただし、今回の実験では、Run 1では現場条件に対して風洞風速（自然風速）を $\frac{1}{2.5} \sim \frac{1}{4}$ 、坑口風速を $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{1.32}$ 、車速を $\frac{1}{8}$ とし（表3）、Run 2では風洞風速（自然風速）を $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{4}$ 、坑口風速を $\frac{1}{7} \sim \frac{1}{4}$ 、車速を $\frac{1}{8}$ とした（表4）。

5. 実験結果

5.1 予備実験結果

(1) 換気所屋上の風速分布、乱れ強さ

各風向風速別に換気所屋上での風速分布、乱れ強さを図-4～図-5にまとめた。

風向NEの場合の風速分布は、地形の影響を受けて、換気所屋上から上方へ速くなっている。これは山を越えて来た気流が谷に向って吹き降されて加速されたものと思われ、また、乱れもかなり発達していることがよく現われている。

風向Wの場合は地形の影響は比較的小さく風速分布は上空風と大きな変化は現われず、乱れも鉛直方向に急激に減衰している。

(2) 坑口風速の調整

坑口風速の設定方法は、2章と同様にトンネル内の希釈風量から算出した平均風速をもって、坑口風速とすることとした。現地試験では、坑口風速はピラム風速計で測定しているので、厳密な意味ではその定義が異なるので、近似的に再現することとした。

トンネルが一部分しか再現されていないために、走行風が小さく発生する分を空気流入（空気吐出管）により加速させる。

一方、 C_2H_4 のトレーサーガスを流入（ C_2H_4 ガス吐出孔）させ、坑口近くで、混合したトレーサーガスをサンプル（吸引孔、トンネル周囲に5点）し、濃度を測定する。この時、濃度とトンネル内風速 U_t （＝坑口風速）は次の関係にある。

流入した C_2H_4 の量＝坑口を通過する C_2H_4 の量

$$\begin{aligned} q_{C_2H_4} &= \text{トンネル内流量} \times C_2H_4 \text{ 濃度} \\ &= A \times U_t \times C \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

ここに、 A ：トンネル内の断面積（ 43 m^2 ）

C ： C_2H_4 の平均濃度（坑内濃度）

A は一定なので、 $q_{C_2H_4}$ と C が与えられれば、 U_t が推定できる。そこで、本実験条件にて空気流入量を種々変えて U_t を求め、この関係を用いて逆に試験条件の U_t になるように空気流入量を決定した。

(5-1)より

$$U_t = \frac{q_{C_2H_4}}{A \cdot C} \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

となる。

実際の坑口風速は、(5-2)式を用いて計測した。

坑口風速を設定した時の $q_{C_2H_4}$ 、 Qg 、 Sg 、 C 、それに(5-2)式で求めた Ut を表5、表6にまとめた。

ただし、 $Qg = \text{空気流入量} + N_2 + q_{C_2H_4}$

$$Sg = \frac{q_{C_2H_4}}{Qg} \dots\dots\dots (5-3)$$

$$Rd = \frac{C}{Sg} \dots\dots\dots (5-4)$$

一方通行(Run 1)の場合、比較的良く坑口風速は再現されているが、対面交通(Run 2)の場合は、必ずしも設定条件に調整できなかった。

Run 2-1の坑口風速は試験条件よりも2倍大きくなっている。

5.2 定量実験結果

定量実験の結果は付録に収録する。Run 1の坑口付近の濃度減衰状況の実験例(Run 1-1)を図8に示すが、図より明らかなように風洞実験では坑口より遠くなるにつれ濃度が高くなり、現場計測と一致しない。この原因は主として以下に述べるようなブローブ形状にあると思われる。Run 1に関する他のケースについてもRun 1-1と同様の傾向が見られる。Run 2については、向い風のため図8のような関係は明りょうではないが、同様の問題は生じていると思われる。

ブローブの形状は、図9に示すようなものであるため、勾配を有する面での計測は、正確さを欠くものであった。また、吸引したガスは、一定量蓄積して計測するという方法でなく、吸引ガスを順送りに濃度計測したため乱れの大きい地点での計測には精度上疑問が残るものとなった。

今後の計測にあたっては、ブローブの乱れを黙認してもL型ブローブよりもJ型ないしI型のブローブを用いるか、もしくは地表面からの吸引方式にすべきであると思われる。また事前にサンプリング時間を十分検討する必要がある。

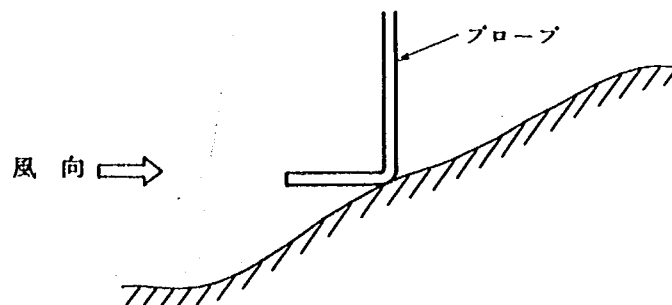
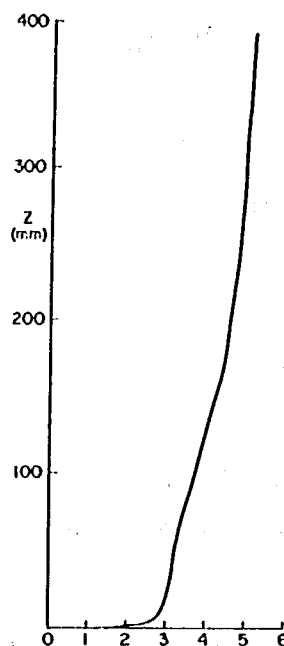


図9 ブローブと地形
(濃度計測)の場所

模型上の境界層測定
風向：NE
換気屋上
(注) 乱流格子有り



図一 4 換気屋上の風速分布測定結果(風向NE)

模型上の境界層測定
風向：NE
換気屋上
(注) 乱流格子有り

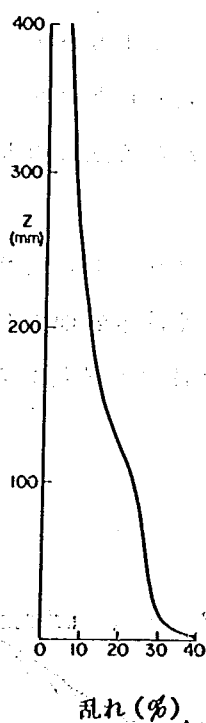


図-5 換気所屋上の乱れ強さ測定結果(風向NE)

風速：0.5 m/s
ダンパー開度：25%

風速：1.5 m/s
ダンパー開度：11%

風速：6 m/s
ダンパー開度：56%

模型上の境界層測定

風向：W

換気屋上

(注) 乱流格子有り

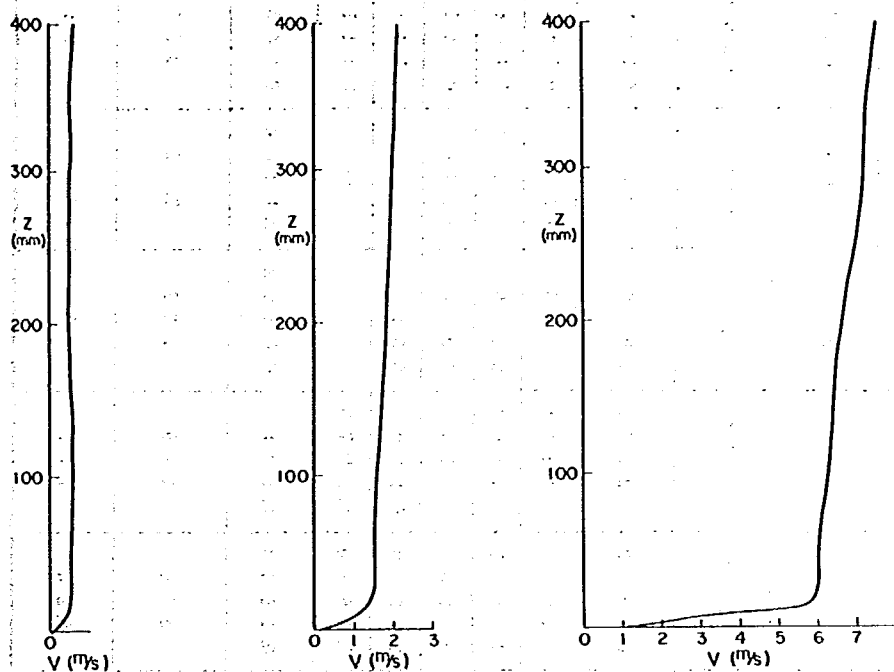


図-6 換気所屋上の風速分布測定結果(風向W)

風速：0.5 m/s
ダンパー開度：25%

風速：0.5 m/s
ダンパー開度：11%

風速：6.0 m/s
ダンパー開度：56%

模型上の境界層測定

風向：W

換気屋上

(注) 乱流格子有り

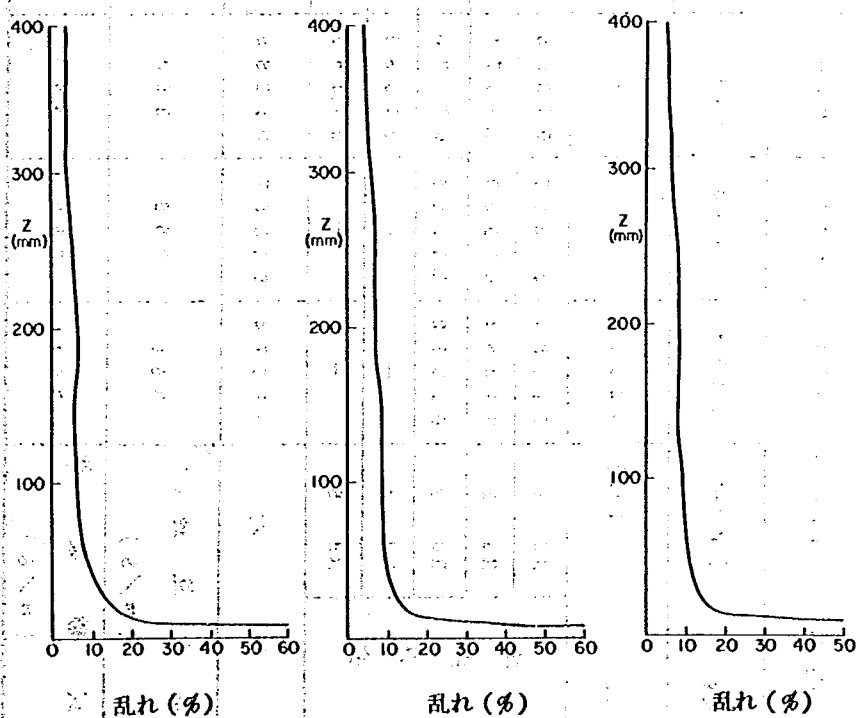


図-7 換気所屋上の乱れ強さ測定結果(風向W)

表-5 坑口風速設定条件

風向: NE 交通: 一方

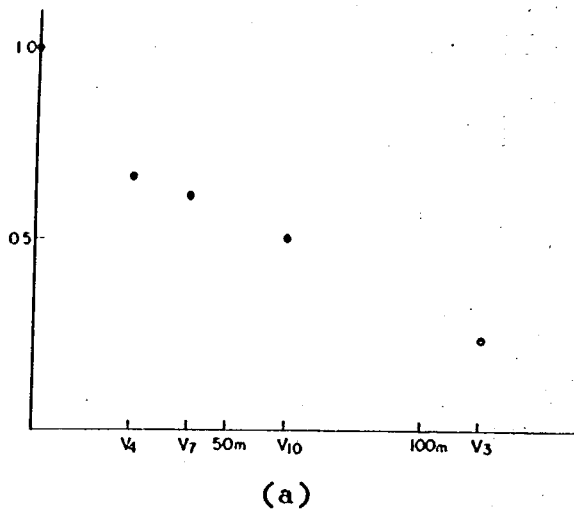
テ ス ト 条 件		Run1-1	Run1-2	Run1-3	Run1-4	Run1-5	Run1-6	Run1-7	Run1-8	Run1-9	Run1-10
$q_{C_2H_4}$ (ℓ/min)		0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.04	0.03	0.08	0.08
Q_g (ℓ/min)		31.08	31.08	31.08	31.08	31.08	53.10	15.04	1.03	33.08	33.08
S_g (%)		0.2574	"	"	"	0.2574	0.1883	0.2660	2.9126	0.2413	0.2413
坑内濃度	Rd 1	0.1387	0.1357	0.1398	0.1472	0.1441	0.1567	0.1311	0.0103	0.1490	0.1438
	Rd 2	0.1364	0.1350	0.1374	0.1440	0.1381	0.1562	0.1363	0.0098	0.1474	0.1466
	Rd 3	0.1372	0.1365	0.1383	0.1428	0.1408	0.1581	0.1341	0.0104	0.1487	0.1419
	Rd 4	—	—	0.1386	0.1456	0.1409	0.1599	0.1299	0.0101	—	0.1412
	Rd 5	—	—	0.1383	0.1456	0.1360	0.1530	0.1279	—	—	0.1417
平 均		0.1374	0.1357	0.1385	0.1450	0.1400	0.1568	0.1319	0.0102	0.1484	0.1430
坑口風速 U_t (m/s)		3.50	3.50	3.50	3.50	3.43	5.30	1.75	1.57	3.50	3.50
試 験 条 件 (m/s)		3.51	3.55	3.48	3.32	3.44	5.25	1.77	1.59	3.46	3.59

表-6 坑口風速設定条件

風向: W 交通: 対面

テ ス ト 名		Run2-1	Run2-2	Run2-3	Run2-4	Run2-5	Run2-6	Run2-7	Run2-8	Run2-9	Run2-10
$Q_{C_2H_4}$ (ℓ/min)		0.03	0.017	0.017	0.017	0.017	0.035	0.009	0.012	0.017	0.017
Q_g (ℓ/min)		21.03	16.517	16.517	25.017	14.517	24.035	9.509	6.012	16.017	16.017
S_g (%)		0.1427	0.1029	0.1061	0.0680	0.1172	0.1456	0.0946	0.1996	0.1061	0.1061
坑内濃度	Rd 1	0.2489	0.3372	0.3252	0.3941	0.2961	0.2466	0.2421	0.1789	0.3308	0.3205
	Rd 2	0.2516	0.3265	0.3308	0.3882	0.2944	0.2466	0.2505	0.1819	0.3270	0.3459
	Rd 3	0.2516	0.3372	0.3289	0.3824	0.2901	0.2397	0.2442	0.1839	0.3365	0.3242
	Rd 4	0.2516	0.3226	0.3384	0.3824	0.2884	0.2383	0.2474	0.1884	0.3289	0.3233
	Rd 5	0.2460	0.3343	0.3384	0.3912	0.2901	0.2466	0.2463	0.1839	0.3270	0.3402
平 均		0.2499	0.3316	0.3323	0.3877	0.2918	0.2436	0.2461	0.1834	0.3300	0.3308
坑口風速 U : (m/s)		0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.50	0.40	0.125	0.75	0.75
試 験 条 件 (m/s)		1.30	0.77	0.75	1.00	0.77	1.53	0.60	0.51	0.75	0.75

現場計測結果



風洞実験

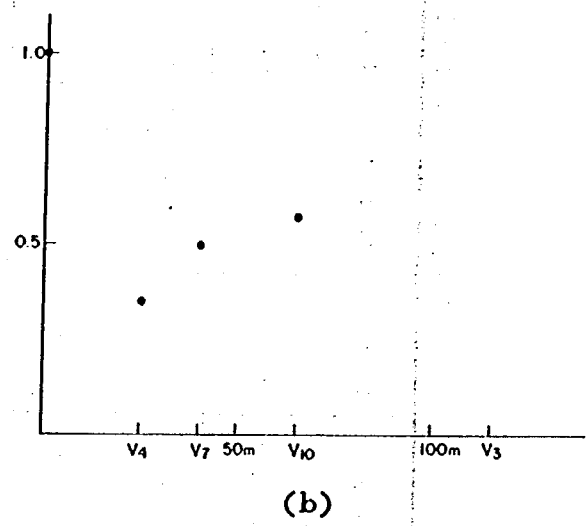


図-8 坑口付近の濃度減衰（坑口濃度を 1.0 とした時の濃度比）

第4章 坑口拡散模型実験(その3)

1. 概 説

風洞模型実験による大気汚染予測手法については、常にその相似性が問題となる。

一般に大気拡散風洞実験で考慮される相似則は、地形の幾何学的相似、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拡散現象を予測するための模型実験ではこれ以外に、走行車両およびトンネルの坑内風速の影響も考慮しなければならない。

走行車両が坑口周辺の大気汚染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、走行車両によってトンネル内の汚染物質が坑外に搬出される“ひきずり現象”、および、坑口付近の明かり部におけるかく乱現象などがある。

“ひきずり現象”とは、自動車が行くとき車両の後方に発生する乱気流の渦の中に、トンネル内の汚染物質がとり込まれて、走行車両にひきずられる様にして坑外に搬出される現象であり、坑口付近の明かり部道路上に高濃度の汚染源が形成されることとなるため、その影響は無視し得ない。

当研究室が行ったトレーサガスによる拡散実験によれば、自然風が坑口に向って吹いている場合でも、道路延長上に比較的高い濃度が検出され、“ひきずり現象”の存在が明らかにされている。これらから、坑口周辺の大気汚染を予測するためには、“ひきずり現象”によって持ち出される量およびその影響範囲を把握しておく必要がある。

風洞模型実験によって坑口周辺の大気汚染状況を予測するためには、この“ひきずり現象”によって形成される汚染源を模型上に再現させる必要がある。“ひきずり現象”を模型上に再現させるには、次の方法が考えられる。

1) 模型車両を走行させる。

2) 坑口から噴流を発生させて近似させる。

1) の方法は、実際に模型車両を走行させるため、相似条件が確定すれば有効な方法であるが、模型が複雑になり模型製作費も高くなるという欠点がある。

2) の方法は、模型製作上は有利であるが、実際の現象が再現できるか不明である。

前章の地形模型実験では、1)の方法を採用し、模型車両を走行させて実験を行った。この結果を“ひきずり現象”の再現性についてみると、その1実験では“ひきずり現象”が再現されているが、現地データとの整合性はあまり良くなかった。またその2実験では、“ひきずり現象”がほとんど再現されていなかった。

その1、その2実験では、模型車両の走行条件については経験的に決定しており、その相似性に関する検討は特に行わなかった。また模型縮率が大い(縮率1/200)ため坑口周辺の濃度分布を精密に測定することが困難だった。

このためその3実験では、走行車両の“ひきずり現象”に関する相似則について検討するこ

とを目的とした。この実験では坑口周辺の地形条件を単純化した模型を使用して“ひきずり現象”以外の要因がなくなるよう配慮した。また模型縮率は $\frac{1}{60}$ とした。

2. 実験概要

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。

2.2 模 型

模型概要を図－1に、模型設置図を図－2に示す。

この模型は、坑口周辺地形を単純化したもので、坑口に接続する地形は平坦地形とし、2車線の直線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。

換気風速は、フリクションブローアの噴流をトンネル内に導入して再現した。

模型車両は、走行車両の圧力効果が出やすくするために、大型コンテナ車（11t車相当）をモデルとし、高さ5cm、幅4.7cm、長さ14cmの直方体とした。

模型の縮率は $\frac{1}{60}$ である。

2.3 実験項目

- 1) 風速分布
- 2) 気流の可視化による観測
- 3) 水平方向の風向風速分布
- 4) トレーサーガス濃度分布

2.4 測定装置、測定点数

表－1

測 定 項 目	測 定 装 置	測定点数
風 洞 風 速 分 布	ミニエアー型風速計 (e, schiltknecht 社) トラバース装置 ペンレコーダー	80点
気 流 の 可 視 化	発 煙 装 置 VTR 装 置 カ メ ラ タ ブ ト	
水平方向風速分布	ミニエアー型風速計 トラバース装置 ペンレコーダー	80点
トレーサーガス 濃度分布	全炭化水素分析計 (Model 400, Beckman 社) バックサンプリング装置 (スタンダードテクノロジー) データ処理装置 (Melcom 70) ペンレコーダー	60点

2.5 実験方法

2.5.1 風洞風速分布

風洞に模型を設置した状態での風洞風速分布を、水平面垂直面について測定した。測定点配置図を、図-3、4に示す。

風洞風速は 2 m/sec に設定した。

水平風速の測定では、風速計センサー部を測定点上で水平方向に回転させ、最大の風速指示値をその点の風速とした。

2.5.2 気流の可視化による観測

坑内空気に、視認性の良好なトレーサー物質を混入してやると、坑口周辺の拡散状況が目視により観測できる。

本実験では、走行車両の“ひきずり現象”等の影響範囲、あるいは、坑外道路上にひきずられた汚染空気の沿道への拡散状況を観測するため可視化実験を行った。

可視化のためのトレーサー物質としては、白色発煙筒より得られる白色煙を用い、図-5のような発煙装置を介してトンネル内に導入した。

可視化した気流の状況は、目視で観測するとともに、写真撮影およびVTR装置に記録した。

2.5.3 坑口周辺水平風向風速の測定

坑口近傍および車道近傍の気流は、換気風速や走行車両の影響を受けて非定常に乱れていることが予想される。坑口近傍の拡散を予測するためには、この気流の状況を把握しておく必要がある。

非定常に乱れている気流を定量するためには、精密な測定装置と高度な測定技術が必要であるが、本実験ではそれらがないために、簡易測定法としてタフト法により風向を、ミニエアー型風速計により風速を測定した。(図-6)

2.5.4 トレーサーガスによる濃度分布の測定

坑口近傍の拡散状況を定量的に把握するため、トレーサーガスによる濃度分布の測定を行った。

測定システムを図-7に、実験条件を表-2に示す。

トレーサーガスは、エチレンガス (C_2H_4 , 100%) を用いた。

トレーサーガスは、トンネル坑口より1mの位置に取付けた放出口より導入した。(図-8)

トンネル内に導入されたトレーサーガスは、換気風と走行車両により運搬されつつ混合され、坑口より放出される。

トレーサーガスの供給量は、各実験条件において、坑口濃度がおよそ2,000 ppmとなるよう調整した。

① サンプルング

サンプルングポイントを図-9に示す。

サンプルングは、模型表面より内径1%のテフロン管を通じ、風洞床下に設置したサンプ

リング装置のサラン製バッグに60点同時に採取される。吸引流量は 375 ml/min ，サンプリング時間は20分とした。

このサンプリング方法では，全測定点のサンプリングが同時に行えらるゝと，そして比較的長い時間サンプリングを行うため，流れがかなり乱れている測定点においてもその平均濃度が精度良く測定できる。

バッグにサンプリングされた試料は，各サンプリングユニット毎に全炭化水素分析計に導入し分析した。

分析データは，データ処理装置に自動的にファイルされ，処理を行った後ラインプリンターに出力させた。

② 坑口風速の測定

坑口風速の測定は，ミニエアー型風速計を用いた。

測定位置を図-10に示す。

車両走行のないケースでは坑口断面中央とし，車両走行のあるケースでは，走行車両上面の中央部とした。車両走行があるケースでは，坑口風速の代表値を直接測定することは不可能である。従って上記の方法で得られる測定値は，参考値として扱った。

表-2 実験条件

Case No	Exp. No	風洞風速 (m/sec)	車両速度 (m/sec)	換気風速 (m/sec)	車頭間隔 (cm)	備 考		
1	0-2.0 W	1.5	0	2.0		車両なし		
2	0-2.25 W			2.25				
3	0-2.5 W			2.5				
4	0-4.0 W			4.0				
5	1.6-0 WS		1.6	0	38			
6	2.3-0 WS		2.3					
7	3.0-0 WS		3.0					
8	4.0-0 WS		4.0					
9	1.6-0 S	1.6						
10	2.3-0 S	2.3						
11	1.6-(50V) WS	1.5	1.6				(50V)	114
12	1.6-(100V) WS						(100V)	
13	1.6-0 WL		1.6	0				
14	2.3-0 WL		2.3					
15	3.0-0 WL		3.0					

※) Exp. No. (車両速度)-(換気風速)・W・S(L)

W: 風洞風速=有

S: 車頭間隔=38cm

L: 車頭間隔=114cm

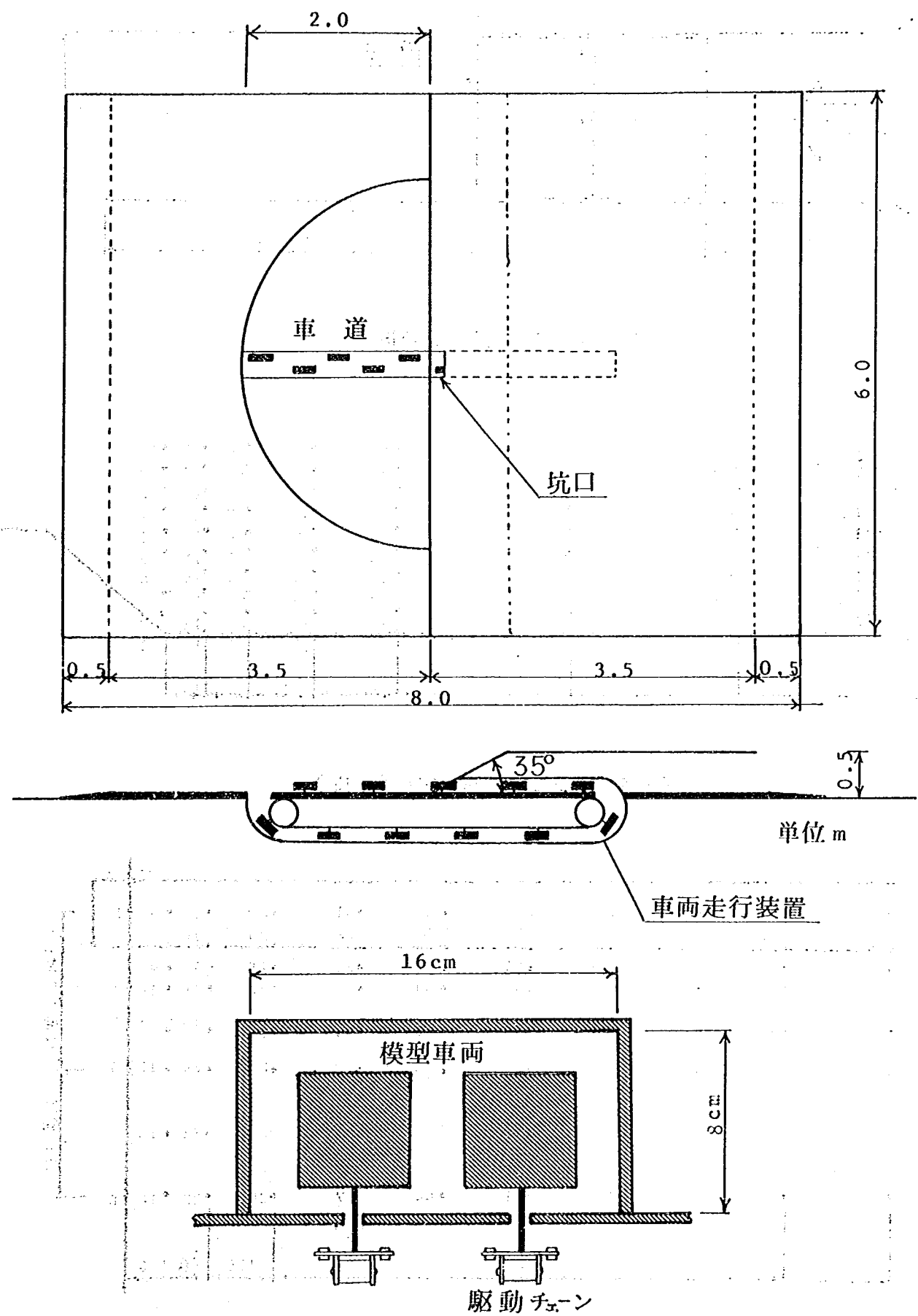


図-1 模型

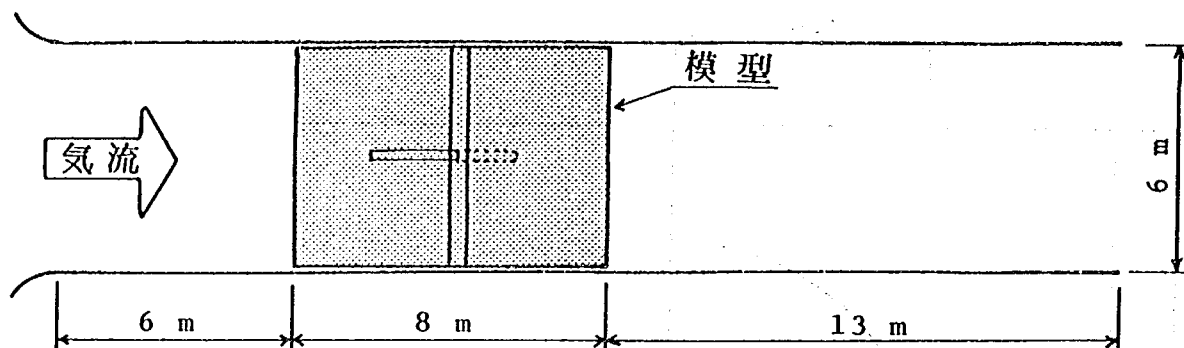


圖-2 模型設置位置

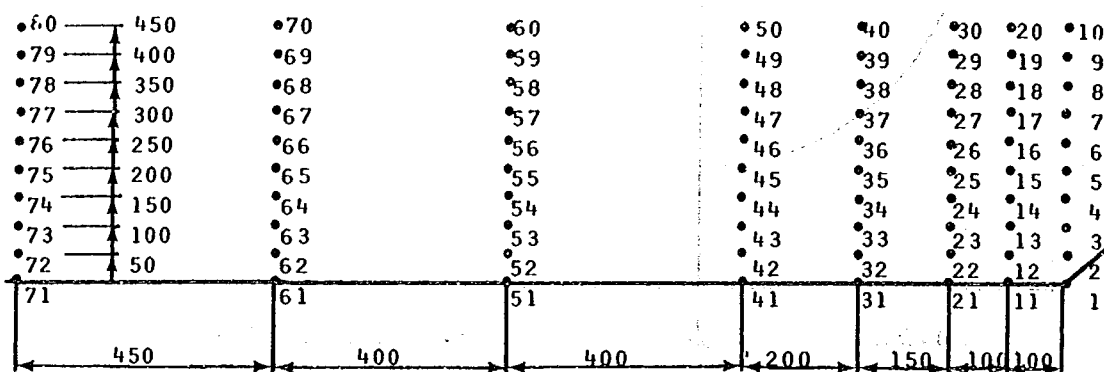


圖-3 風洞風速分布測定点 (垂直)

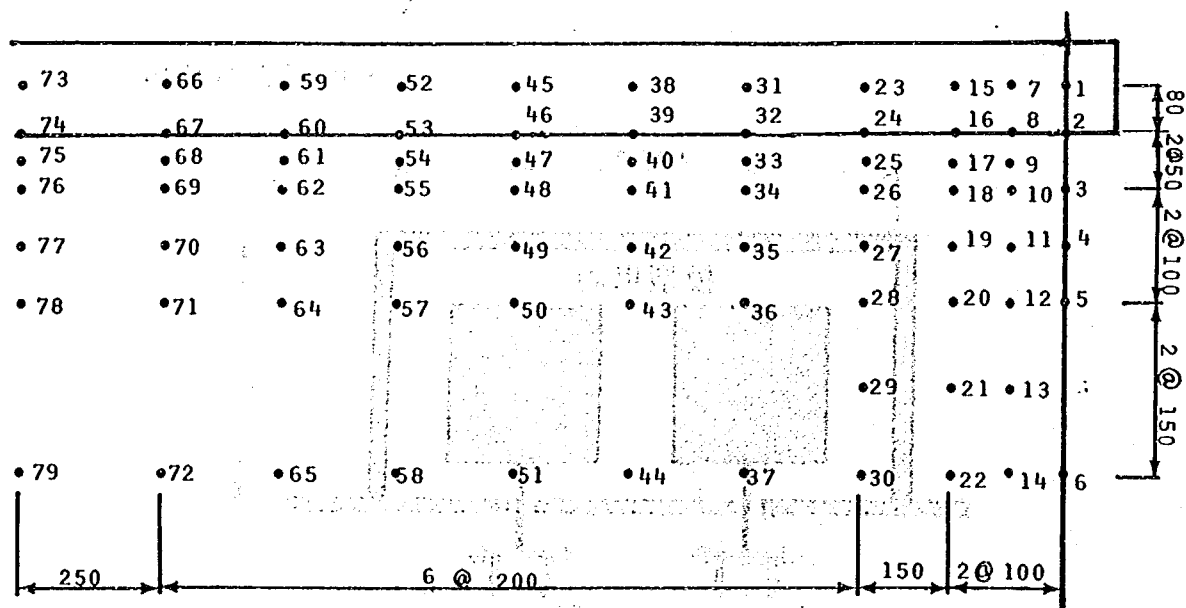


圖-4 風洞風速分布測定点 (水平)

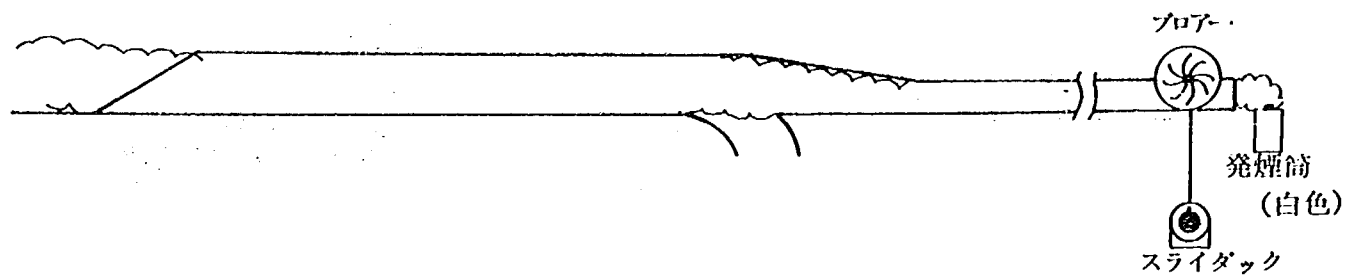


図-5 発煙装置

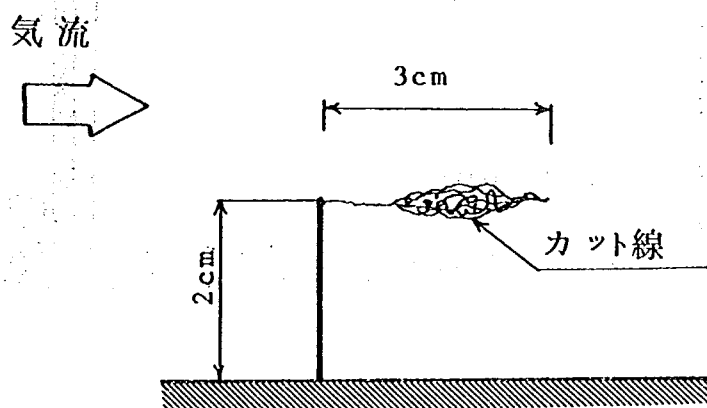


図-6 タ ー ゲ ッ ト

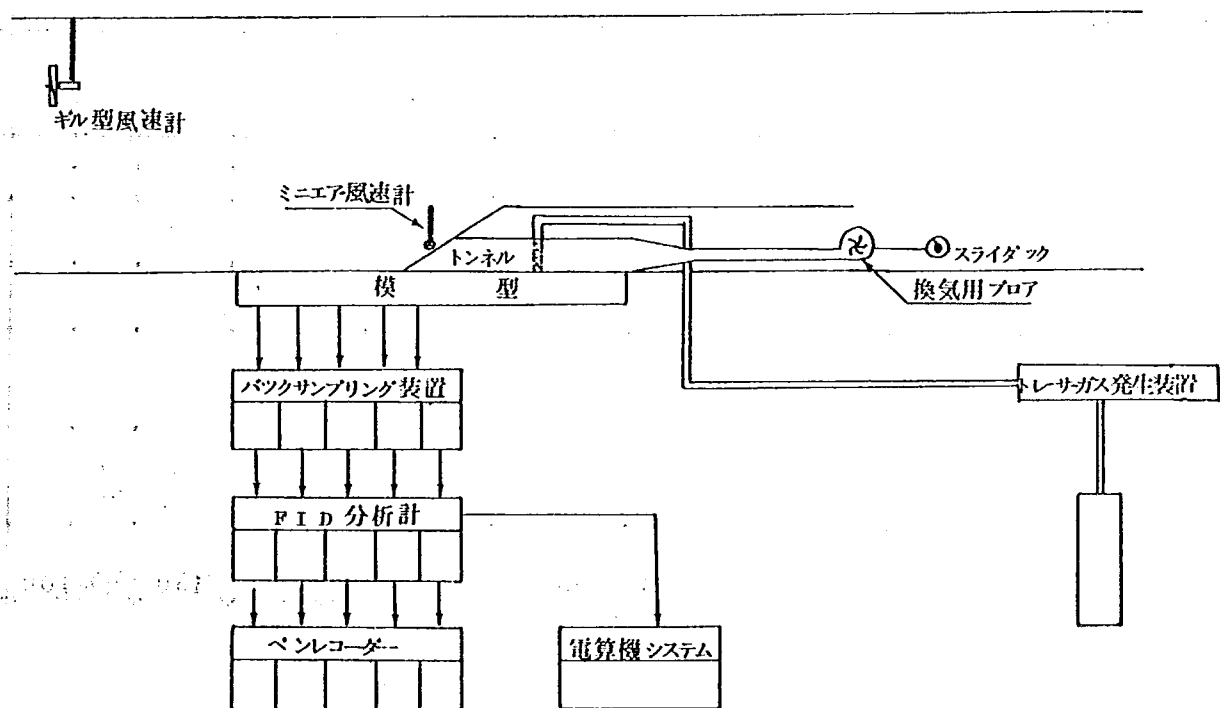


図-7 測定システム

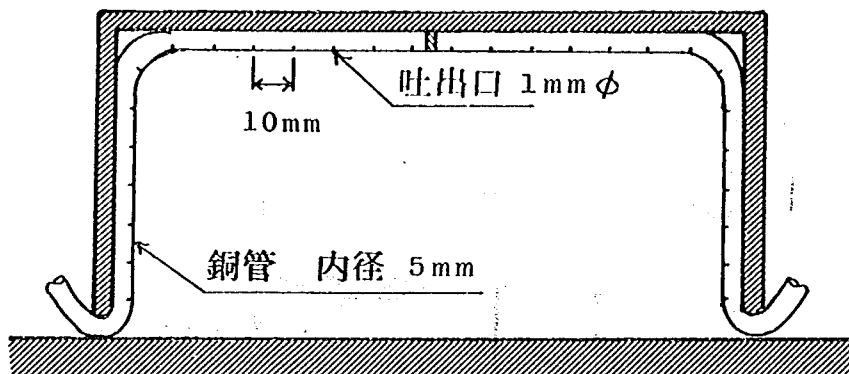
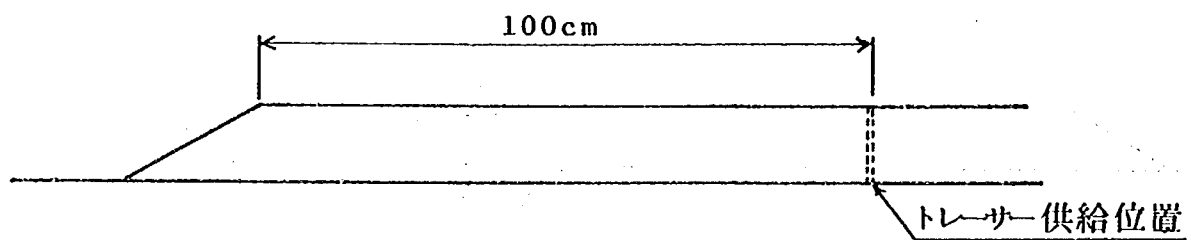


図-8 トレーサーガスの供給

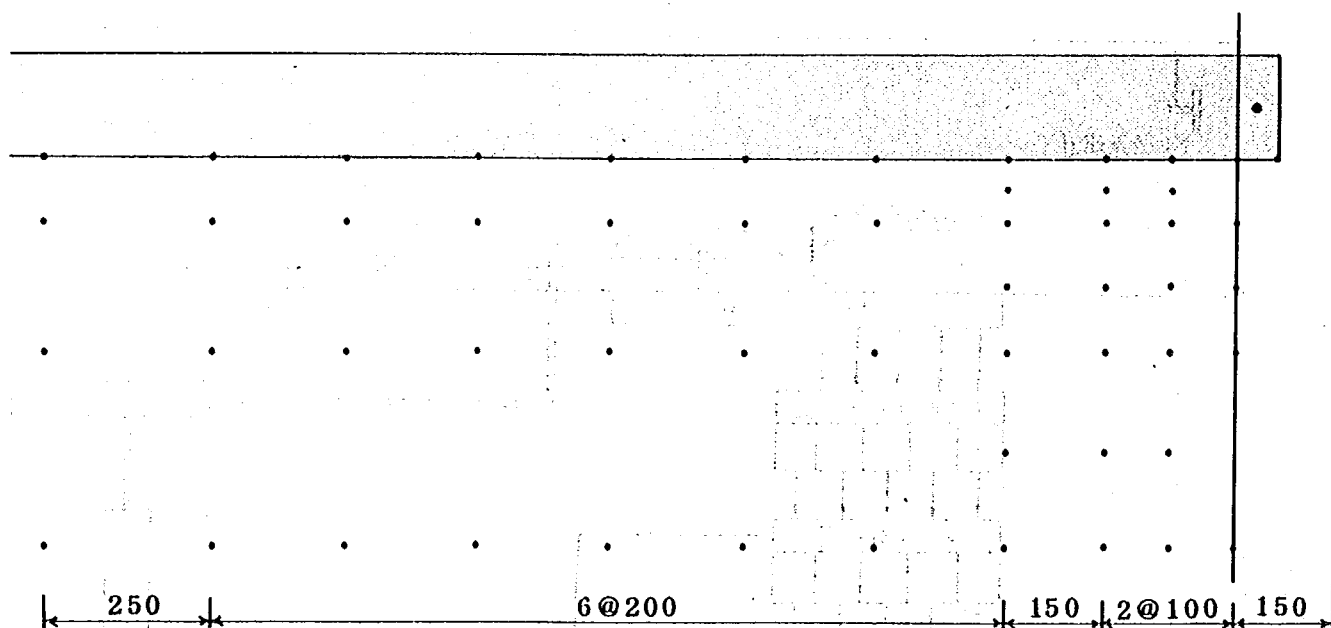


図-9 サンプルングポイント

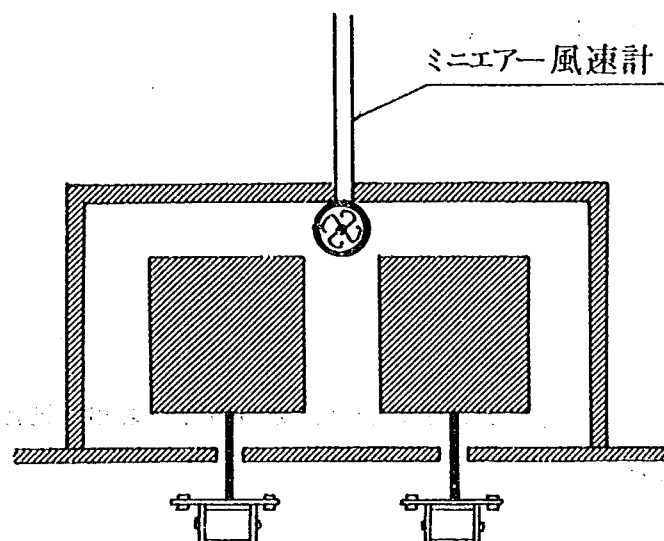


図-10 坑口風速測定位置

2.6 相 似 則

本実験で考慮した相似則を表-3に示す。

自動車走行に関する相似条件としては、

- 1) 車頭間隔
- 2) 走行速度
- 3) 走行方式（一方通行，対面通行）
- 4) 車種構成
- 5) 車両の断面閉そく率

があげられる。

走行速度は、フルード数と走行車両の圧力効果の2つの異なる相似則に基づいて別々に実験を行いその結果を比較した。

フルード数による相似則では

$$\frac{V_c}{\sqrt{gL}} = \frac{v_c}{\sqrt{g\ell}}$$

の関係式が得られことから

$$v_c = V_c \left(\frac{\ell}{L} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ となる。}$$

ここで

V_c : 実際の車両速度

v_c : 模型の車両速度

L : 実際の代表長さ

ℓ : 模型の代表長さ

走行車両の圧力効果に関する相似則では

$$\frac{A_c V_c^2}{L^2 \bar{u}^2} = \frac{a_c v_c^2}{\ell^2 u^2}$$

の関係式が得られことから

$$v_c = V_c \left(\frac{\ell}{L} \right) \left(\frac{\bar{u}}{u} \right) \left(\frac{A_c}{a_c} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ となる。}$$

ここで

A_c : 原寸の車両前面投影面積

a_c : 模型の車両前面投影面積

$\bar{u}$: 原寸の代表風速

u : 模型の代表風速

実際の車両走行速度を 50 km/h とすると

フルード数による相似則では $v_c = 1.6 \text{ m/sec}$

走行車両の圧力効果による相似則では $v_c = 2.3 \text{ m/sec}$ となる。

表-3 相 似 則

項 目	実 寸	模 型	縮 率
代 表 長 さ	1 m	$\frac{1}{80} \text{ m}$	$\frac{1}{80}$
代 表 風 速	6.5 m/sec	1.5 m/sec	$\frac{1}{4.3}$
車 両 寸 法	11 t コンテナ車 3 m × 2.5 m × 1.1 m	5 cm × 4.7 cm × 1.4 cm	約 $\frac{1}{20}$
坑 口 寸 法	赤坂トンネル 4.8 m × 8.7 m	8 cm × 1.6 cm	"
断面閉そく率	3.6%	3.7%	
車 頭 間 隔	30 m	3.8 cm	$\frac{1}{80}$
	90 m	1.14 cm	"
車 両 走 行 速 度	50 Km/h	フルード数 1.6 m/sec	$\frac{1}{9}$
		走行車両の圧力効果 2.3 m/sec	$\frac{1}{6}$

3. 実験結果

3.1 風洞風速分布

風洞風速の垂直分布を図-11に、水平分布を図-12に示す。

風洞代表風速は 2 m/sec とした。

3.2 坑口周辺水平風速分布

各実験条件における坑口周辺の水平風速分布測定値を図-13に示す。

図の符号は、坑口に向う風を正とし、その反対を負とした。

3.3 坑口周辺水平風向分布

各実験条件における水平風向の分布図を図-14に示す。

3.4 坑口周辺濃度分布

図-15は、坑口平均濃度で各測定点の濃度を基準化した時の等濃度線図である。坑口平均濃度は、坑口風速とトレーサガス流量より計算した値である。

図-16は、等濃度線上に、水平風向分布を重ねて比較したものである。

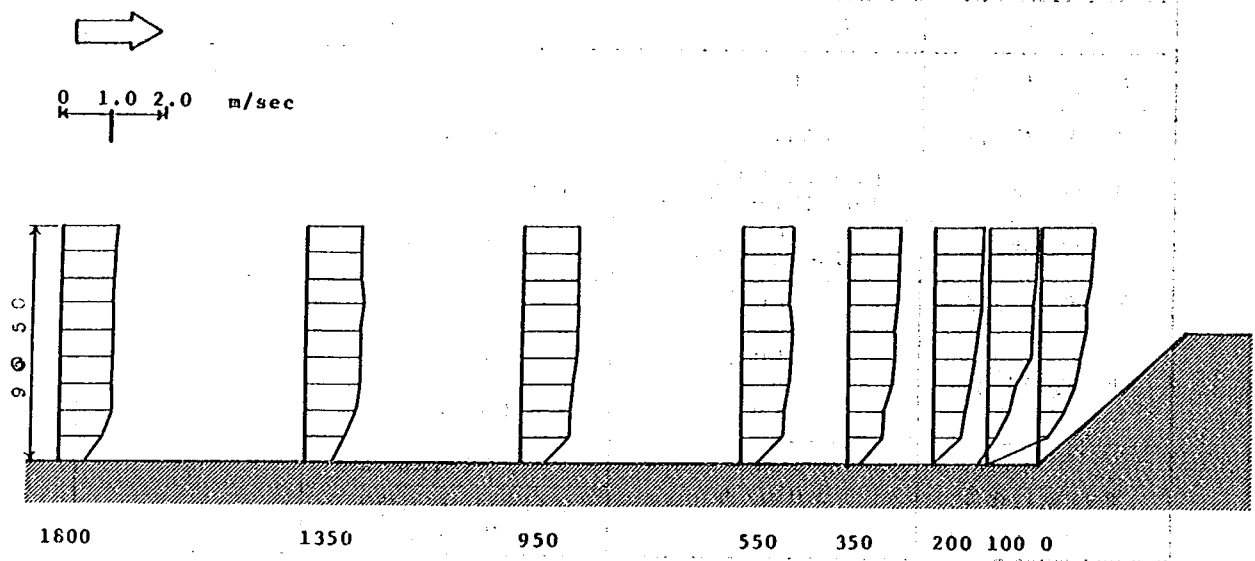


图-11 风洞风速垂直分布

1.5	1.4	1.3	1.3	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.1	1.1
1.6	1.5	1.5	1.6	1.5	1.5	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1
1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	
1.7	1.6	1.7	1.6	1.4	1.5	1.3	1.2	1.2	1.0	0.8
1.6	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.1	0.8
1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.2	1.1	0.8
							1.3	1.2	0.9	
1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0	0.7

图-12 水平方向风速分布

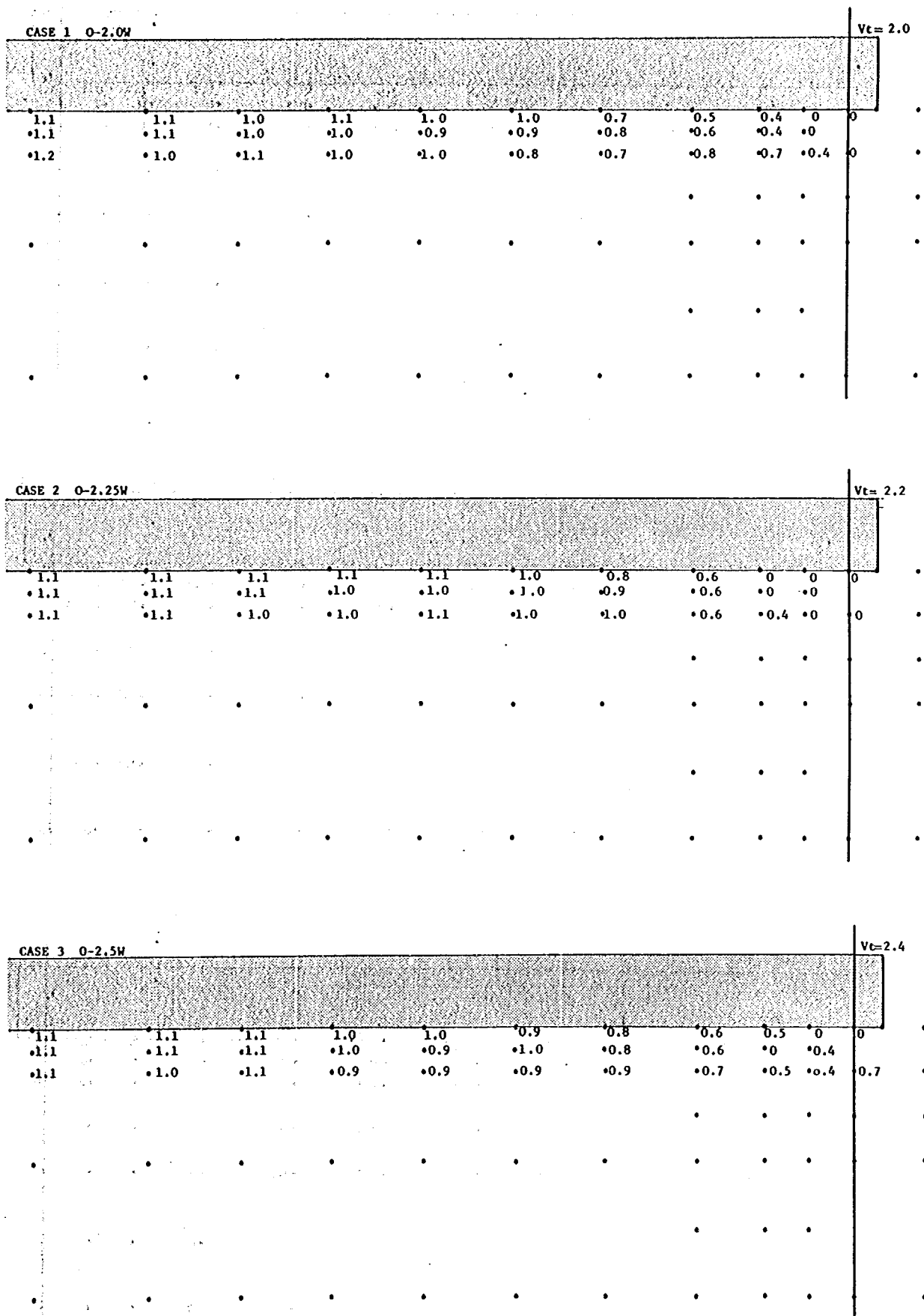


图-1 3.1 水平风速分布

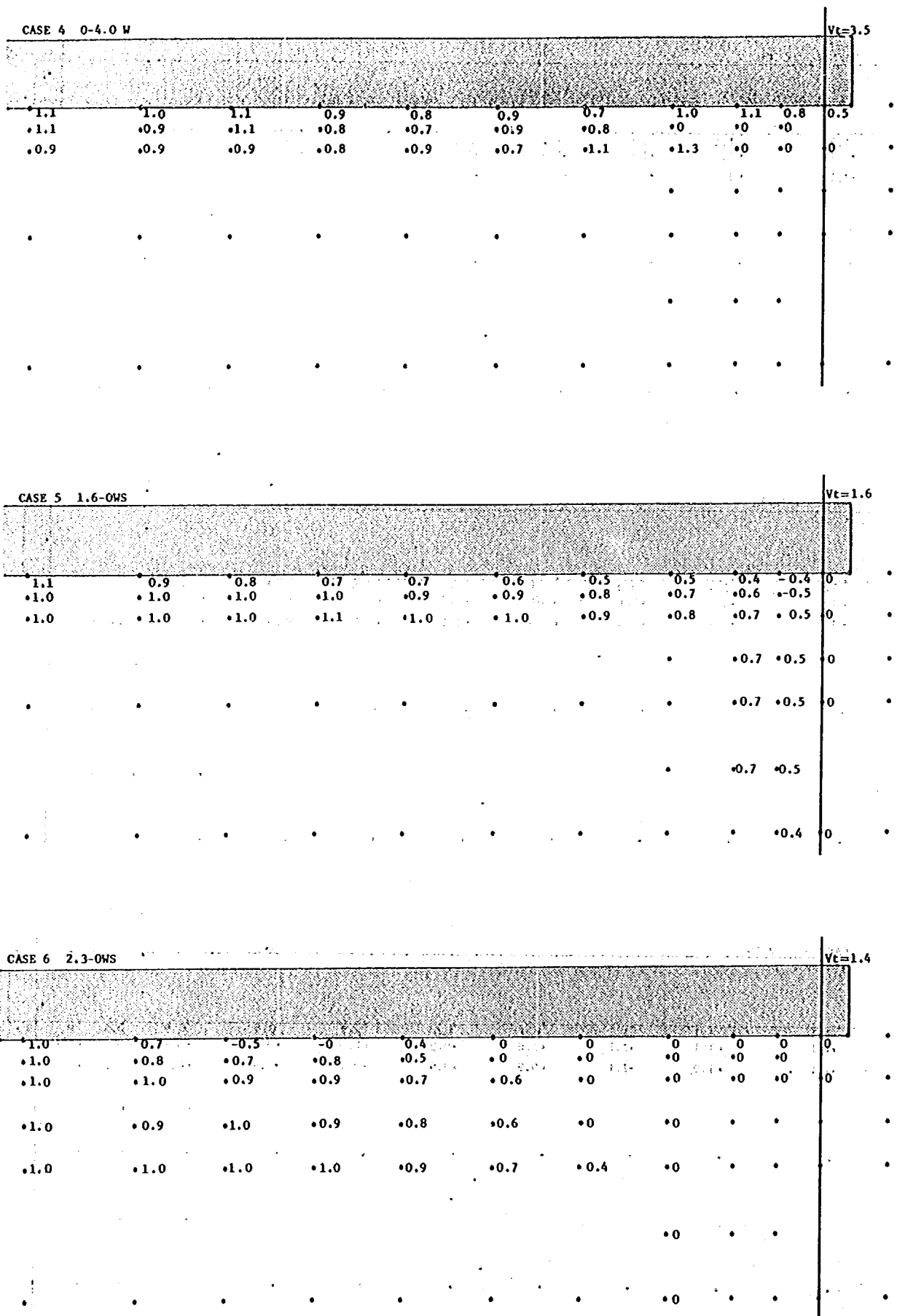
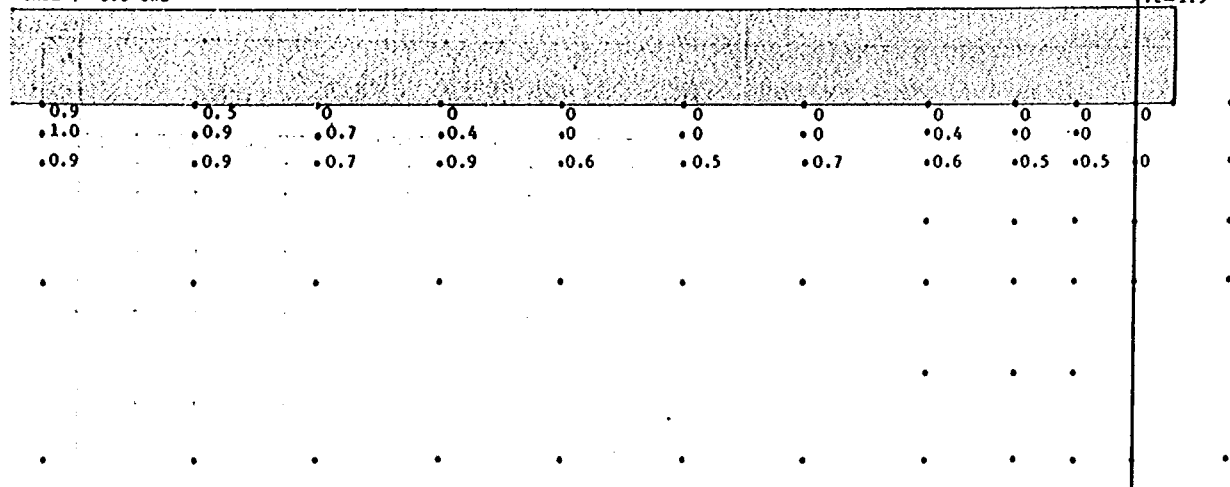


图-1 3.2 水平风速分布

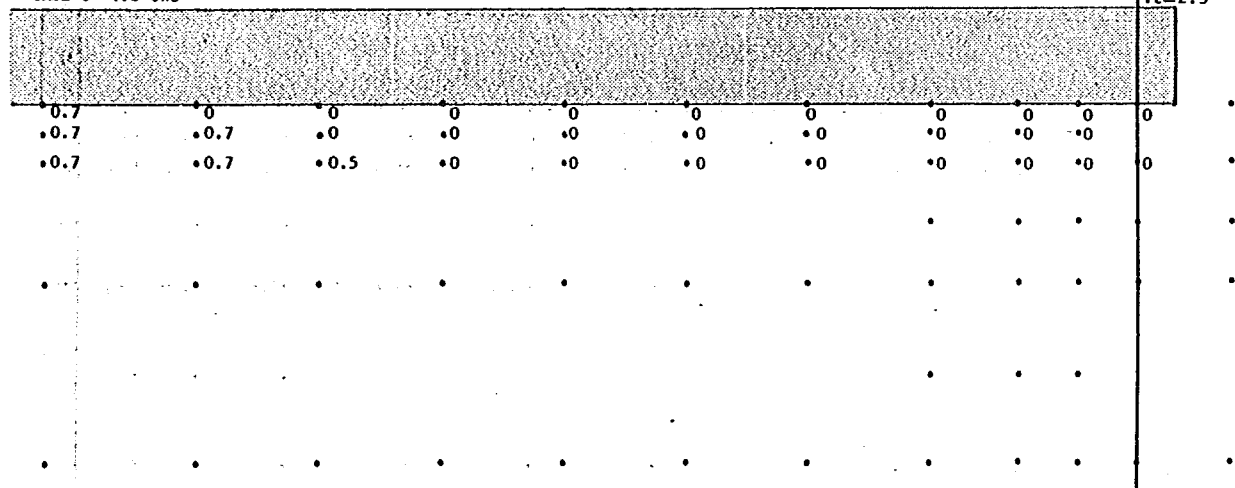
CASE 7 3.0-OWS

Vt=1.9



CASE 8 4.0-OWS

Vt=2.3



CASE 9 1.6-OS

Vt=0.8

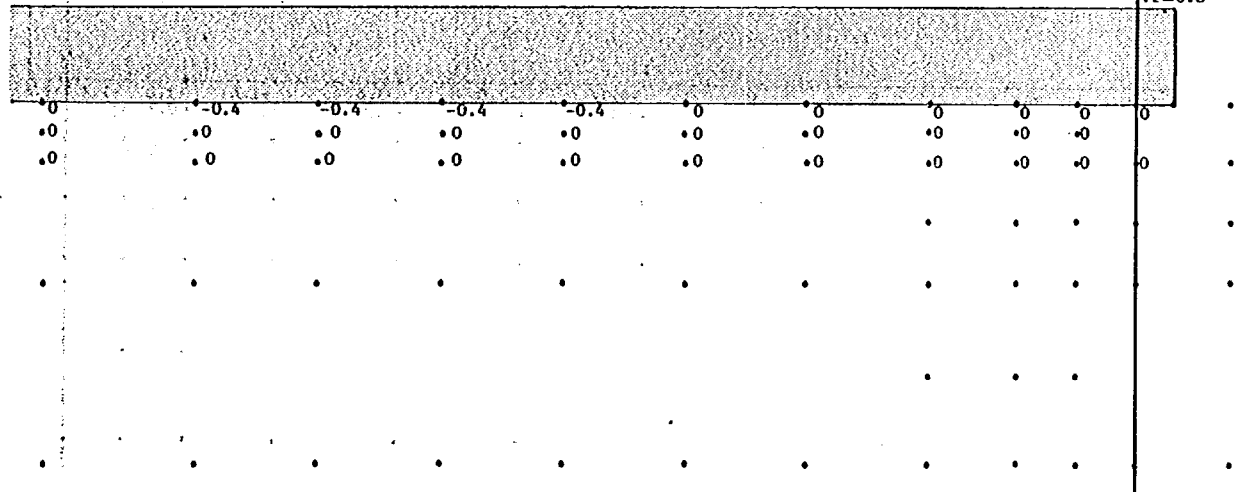
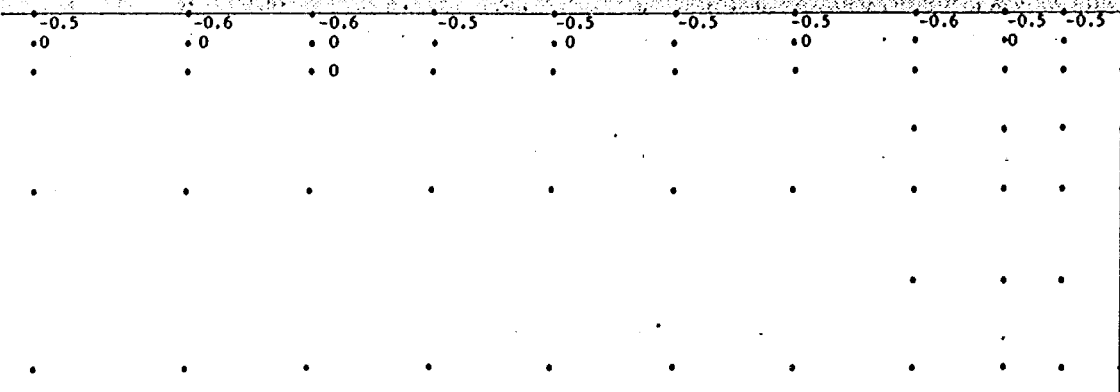


圖-13.3 水平風速分布

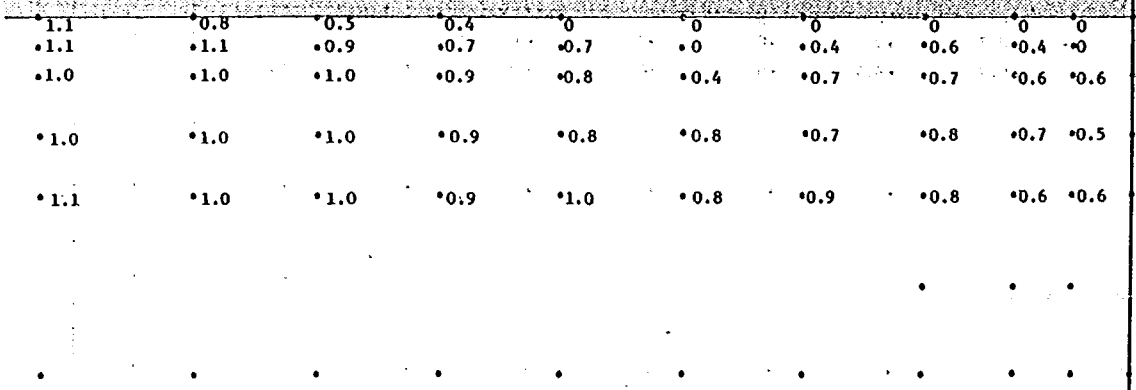
CASE 10 23-05

Vt=1.3



CASE 11 1.6-(50V)WS

Vt=2.1



CASE 12 1.6-100V WS

Vt=4.4

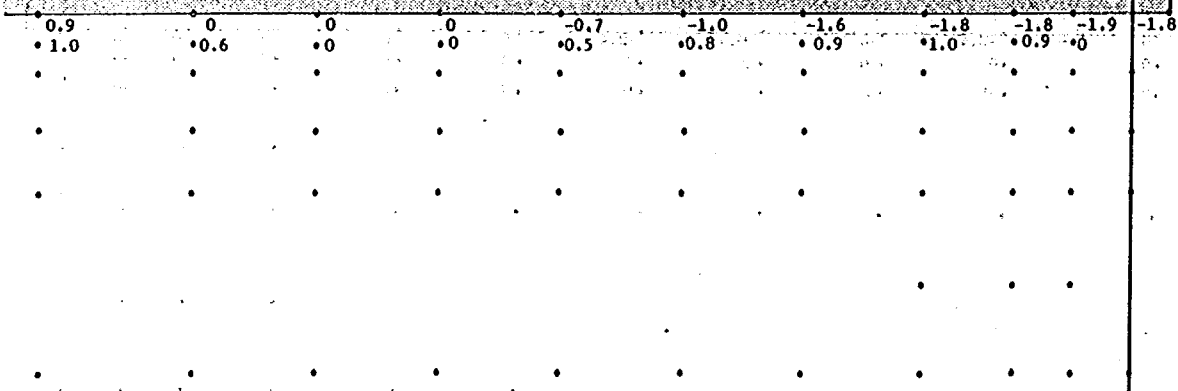


图-1.3.4 水平风速分布

CASE 13 1.6-OWL

 $v_t=0.8$

1.1	1.2	1.1	0.9	0.7	0.6	0.6	0.5	0.4	-0.4	0
1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.6	0.6	-0.5	0
1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.7	0.6	-0.5	0

CASE 14 2.3-0 WL

 $v_t=1.3$

1.2	1.1	0.9	0.7	0.5	0.5	0	0	0	0	0
1.1	1.1	1.1	1.0	0.8	0.6	0.7	0.6	0.4	0.4	0
1.1	1.1	1.1	1.2	0.9	0.8	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4

CASE 15 3.0-0 WL

 $v_t=1.7$

1.1	1.0	-0.7	0.5	0.5	0	0	0	0	-0.4	0
1.2	1.2	1.1	0.8	0.7	0.6	0	-0.4	-0.4	-0.5	0
1.1	1.1	1.1	1.1	-1.0	-0.8	0.7	-0.6	-0.6	-0.5	0

圖-1 3.5 水平風速分布

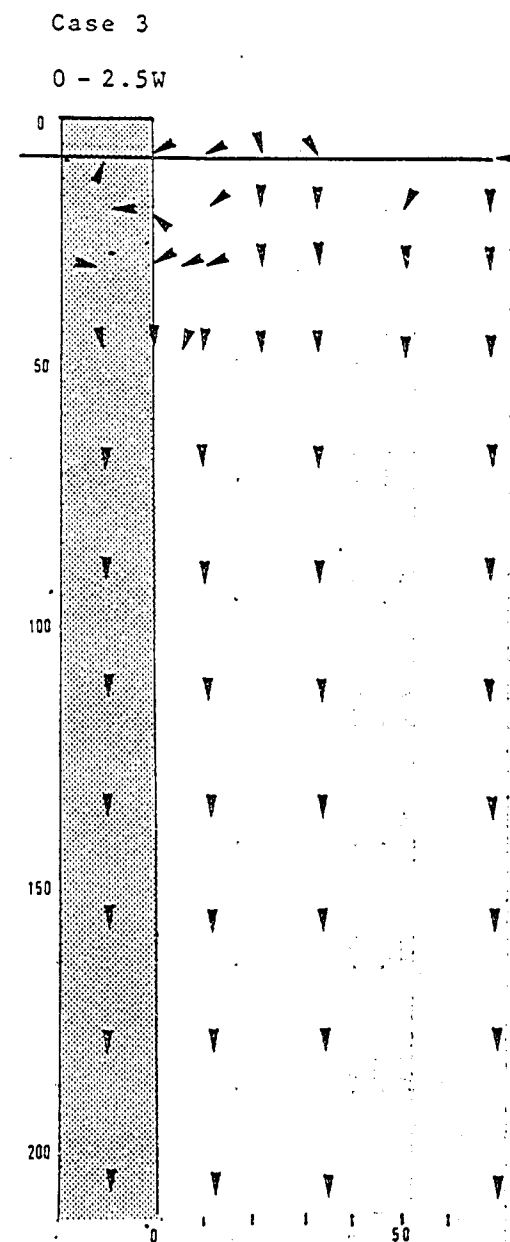
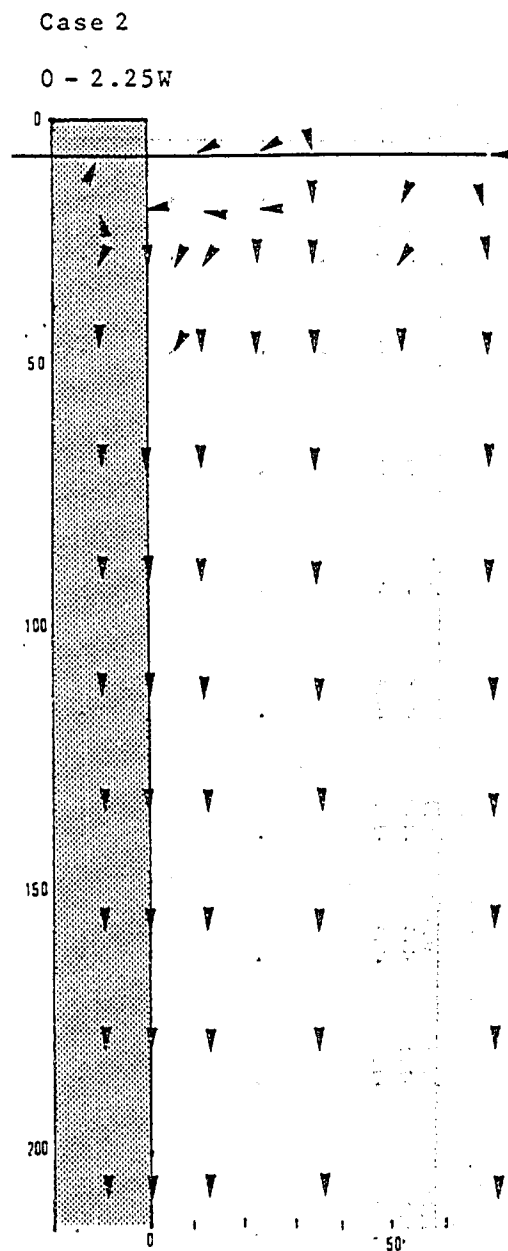
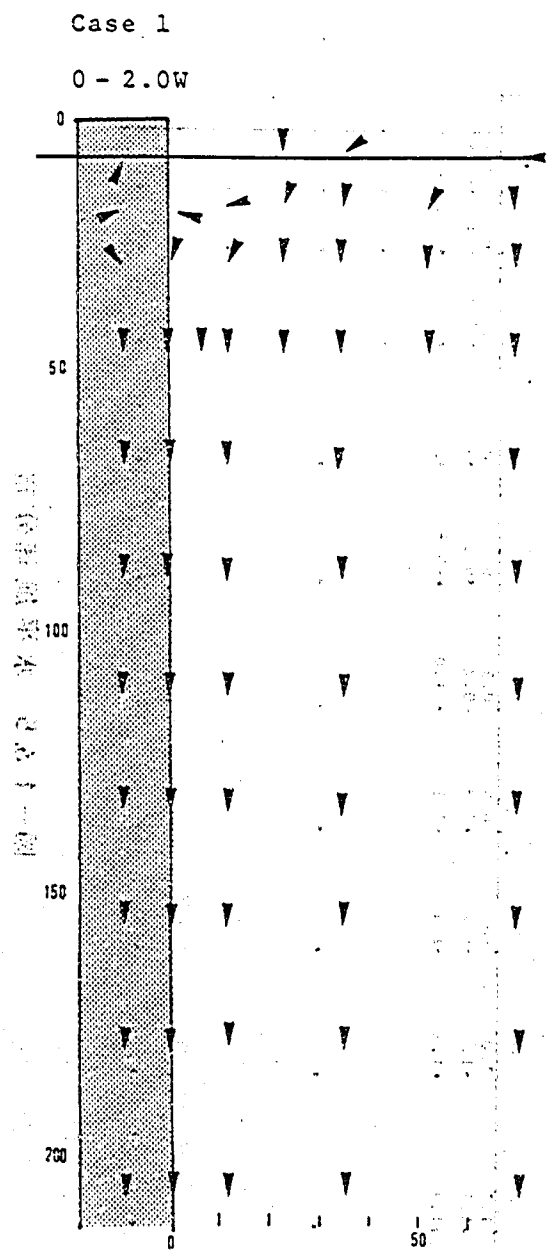


图-1 4.1 水平風向分布

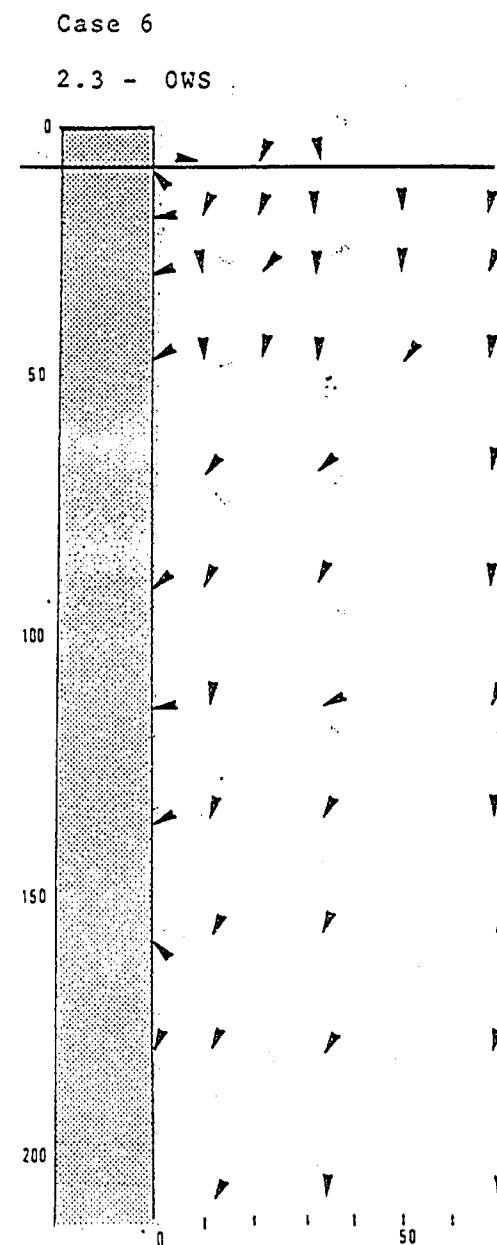
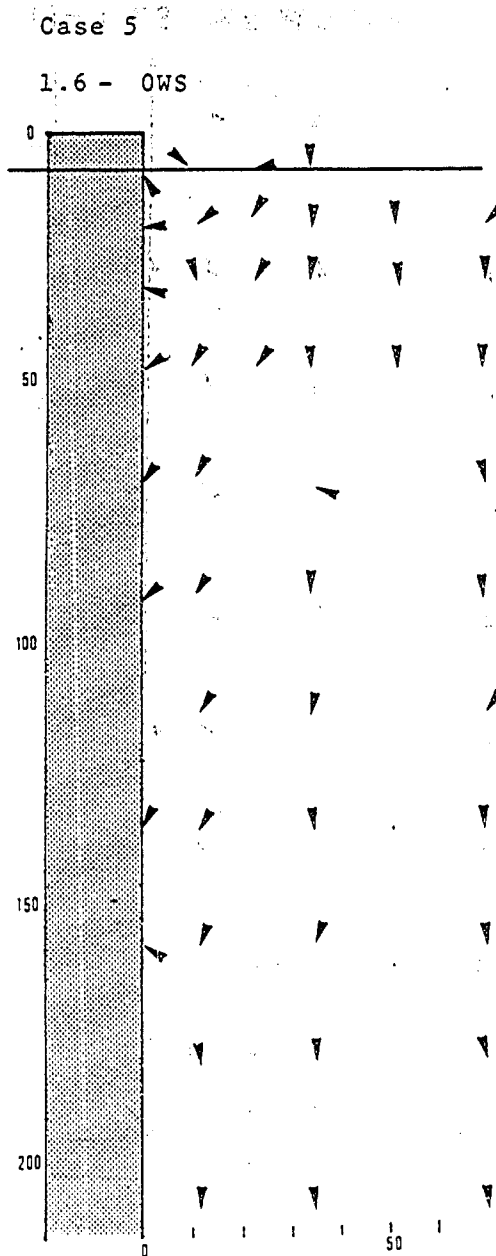
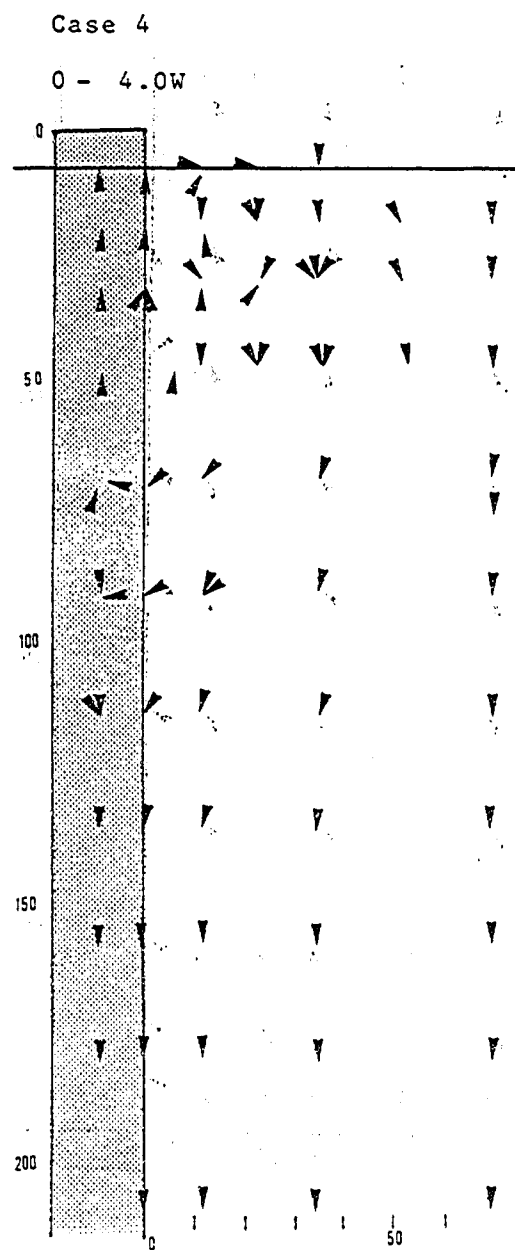


图-1 4.2 水平风向分布

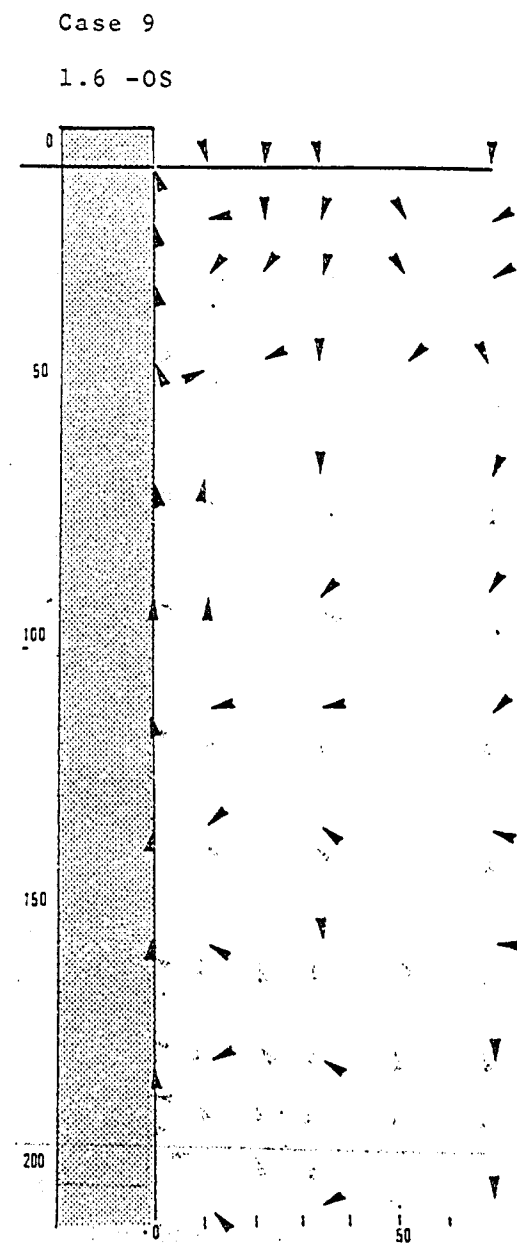
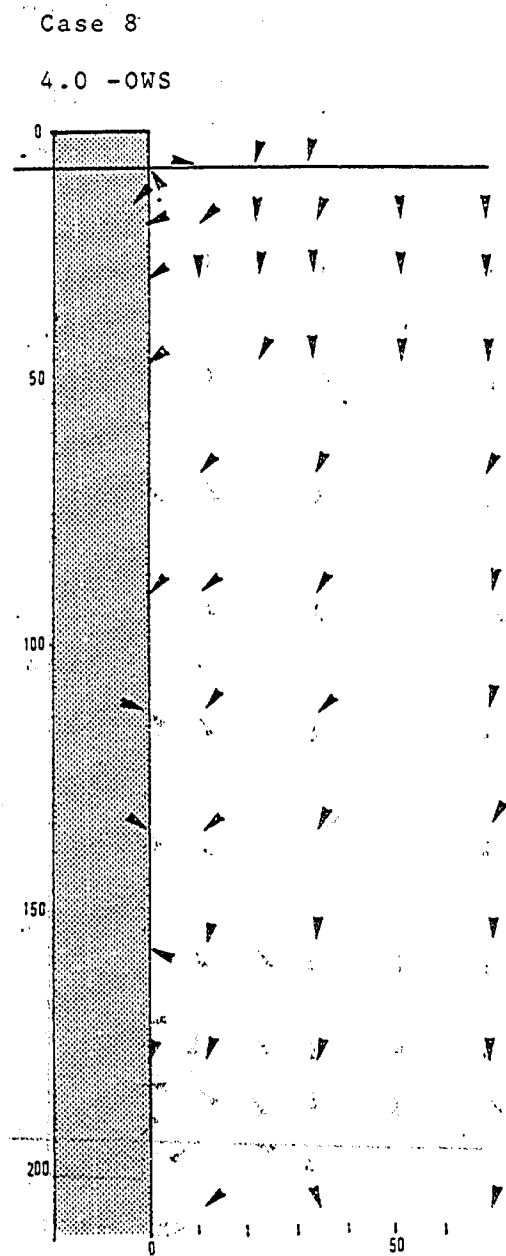
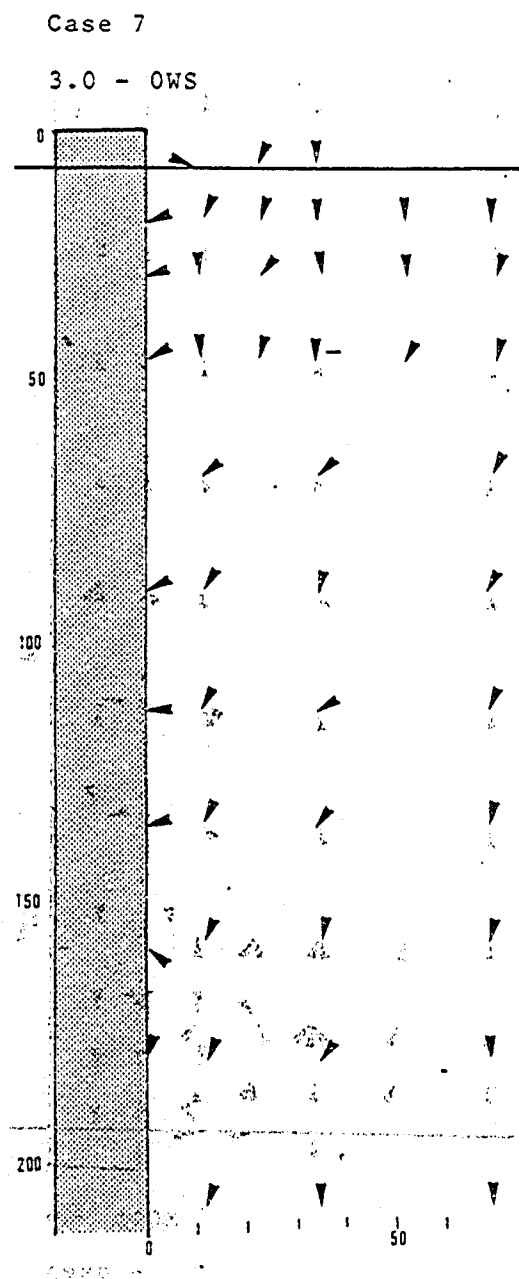


图-1 4.3 水平风向分布

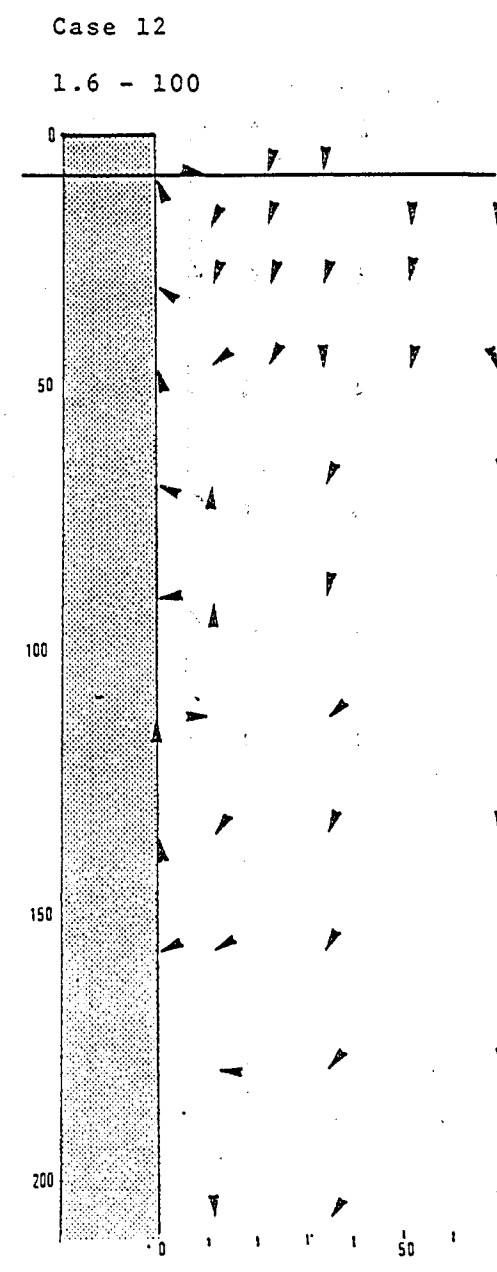
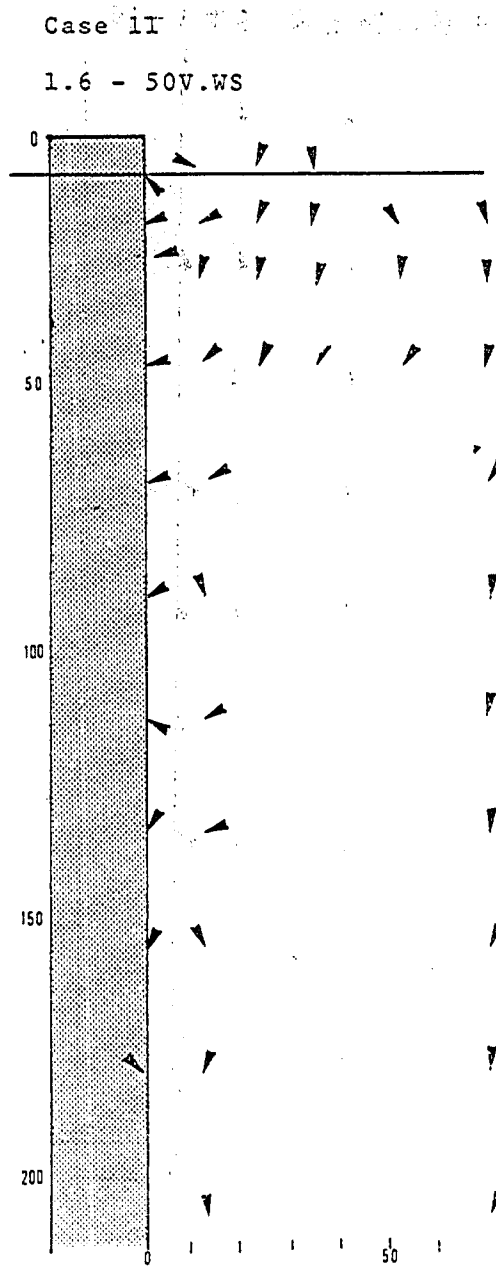
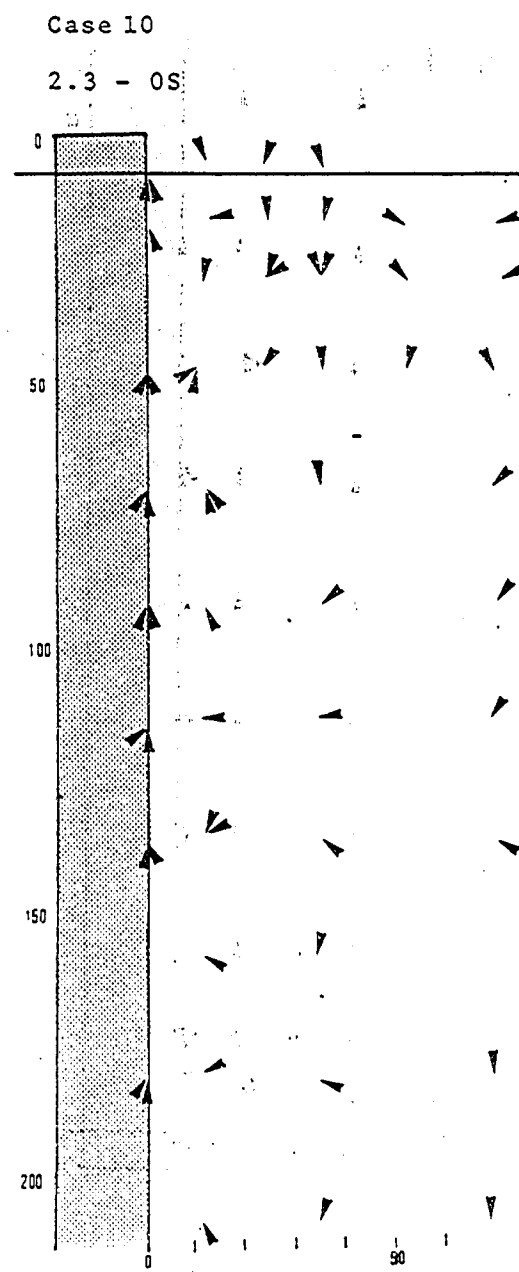


图-1 4.4 水平風向分布

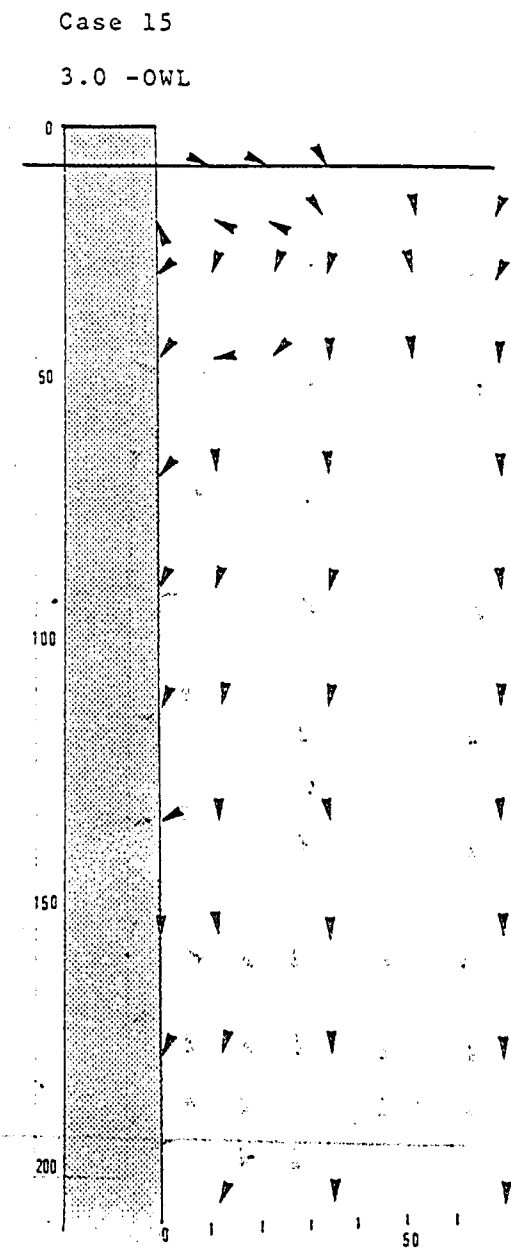
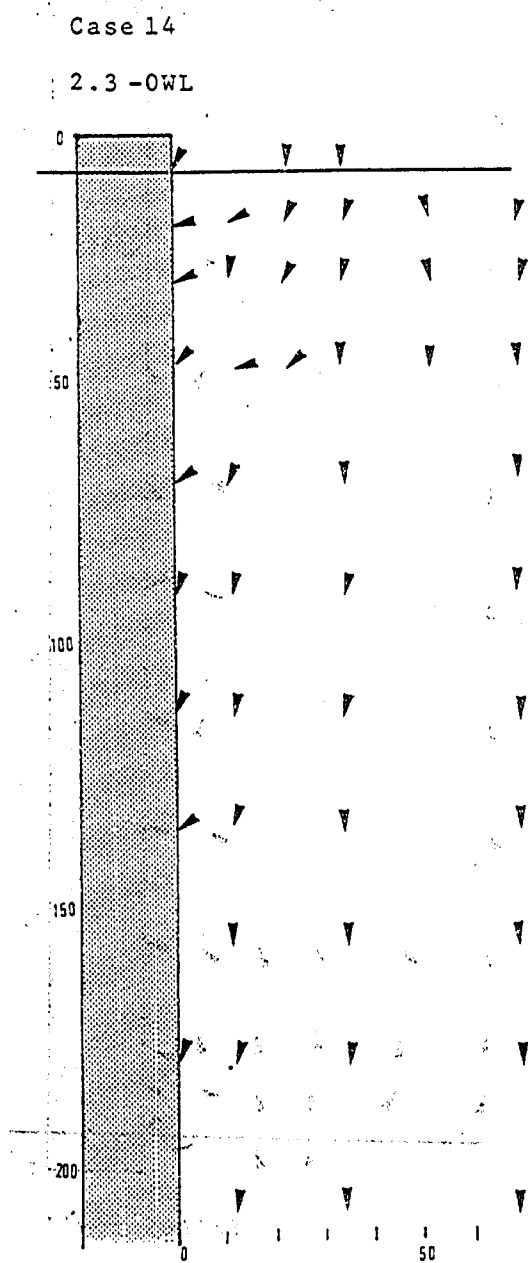
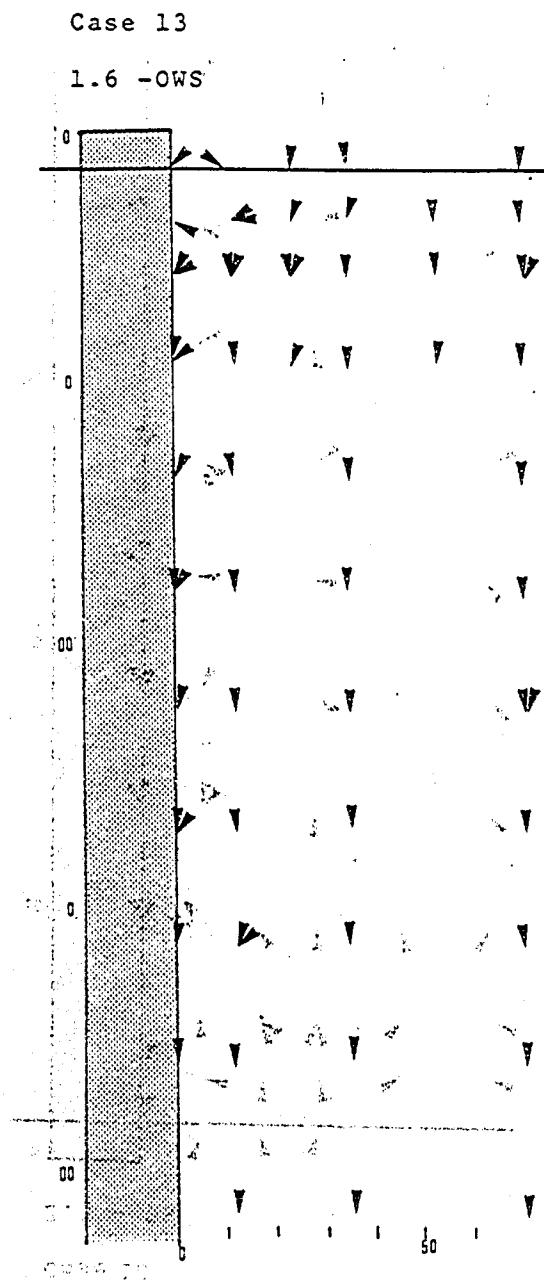


圖-1 4.5 水平風向分布

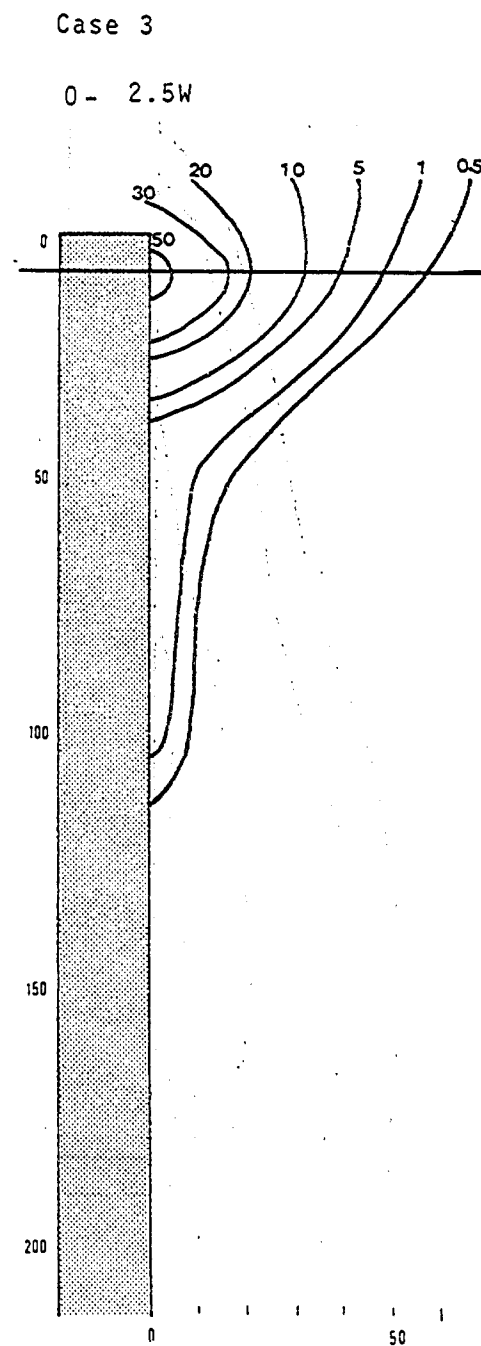
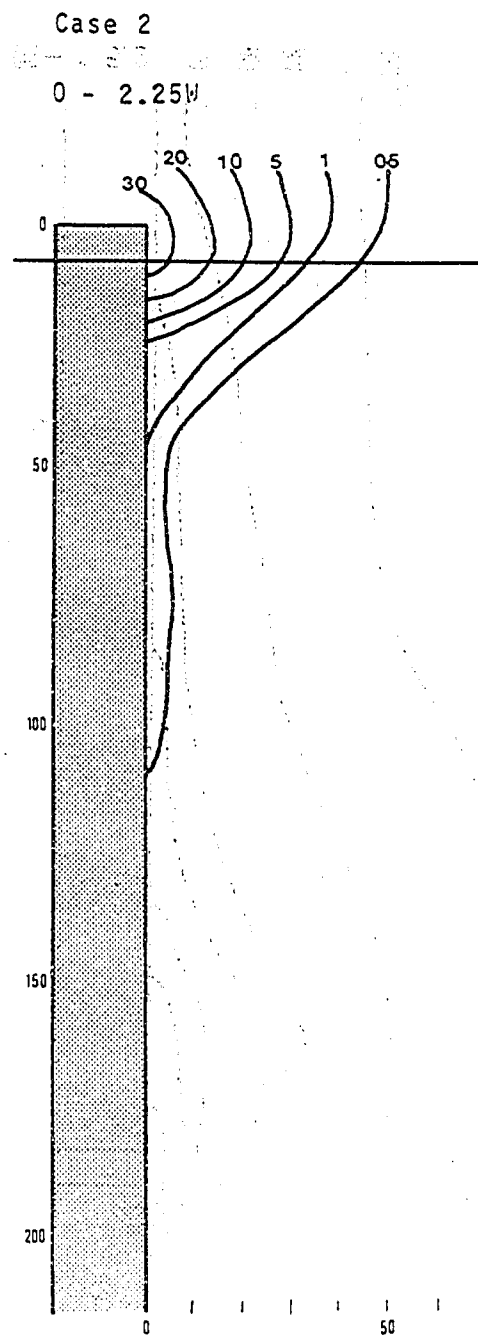
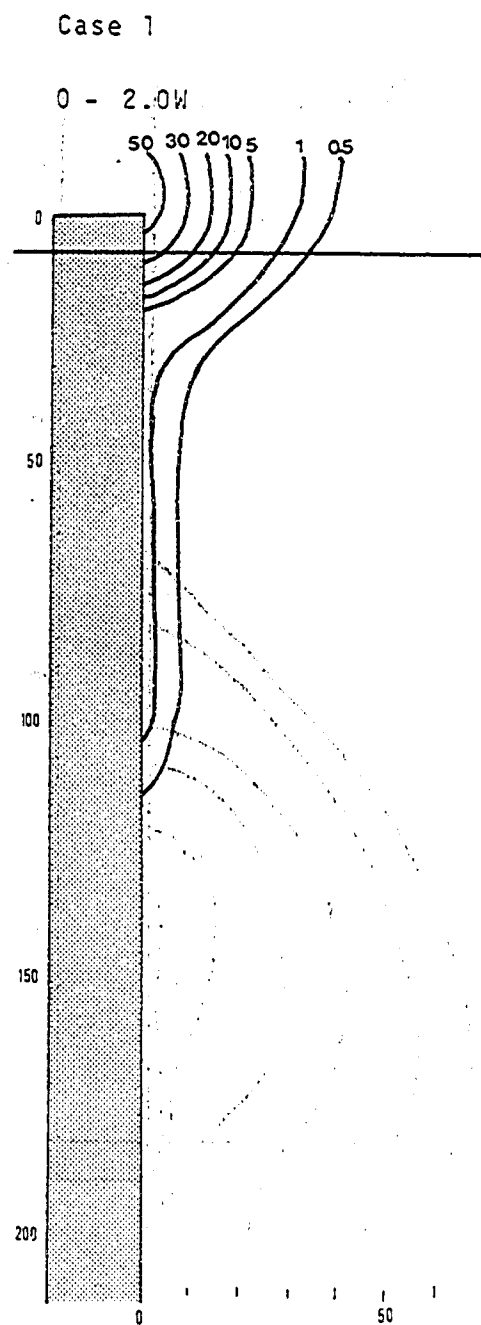
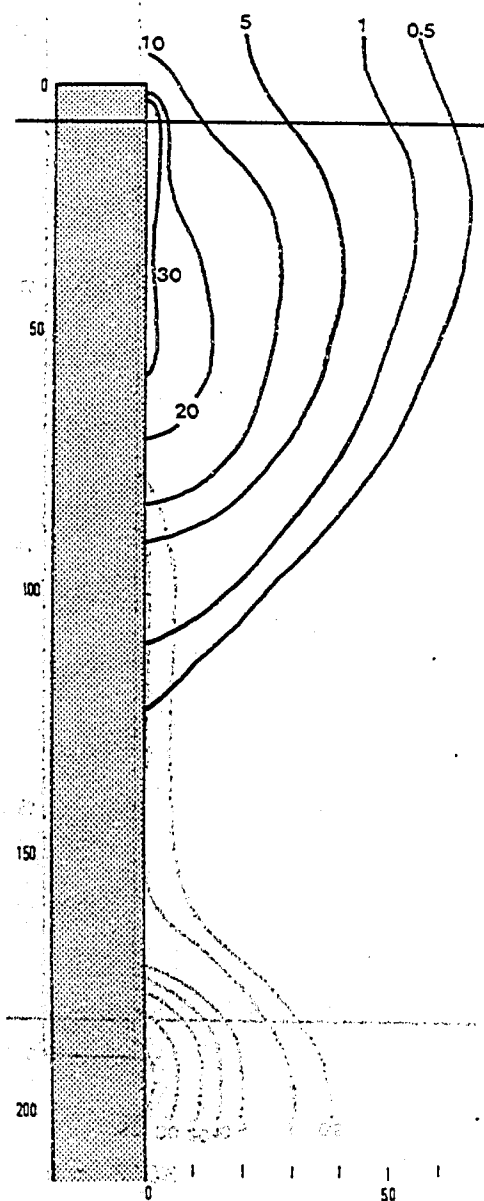


図-1 5.1 等濃度線図

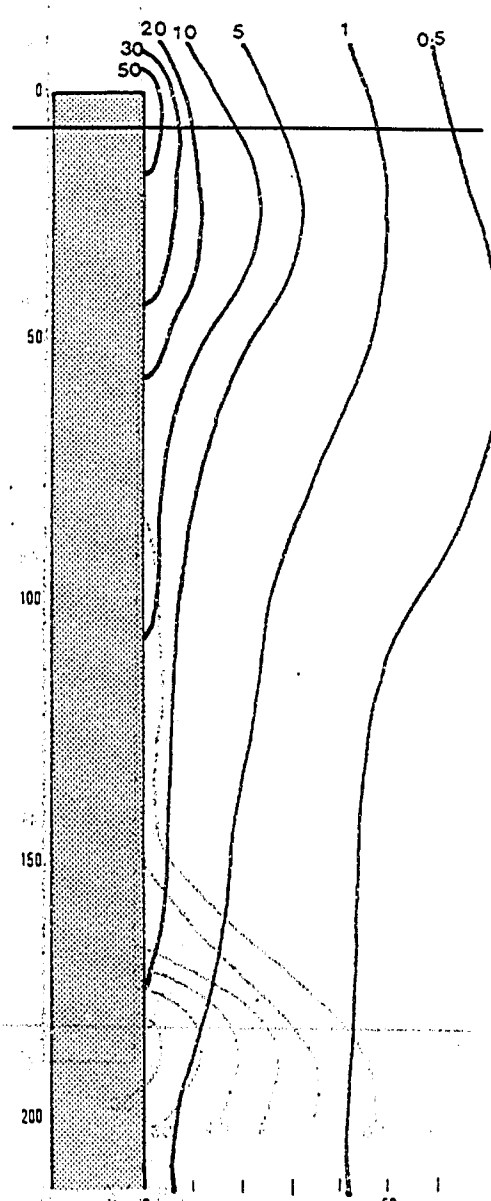
Case 4

0 - 4.0W



Case 5

1.6 - 0WS



Case 6

2.3 - 0WS

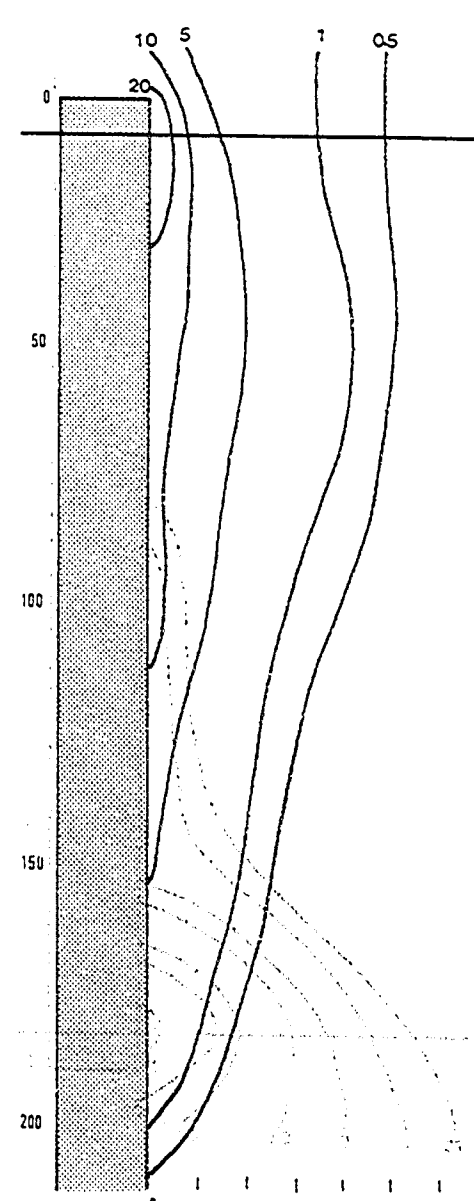


图-1 5.2 等濃度線図

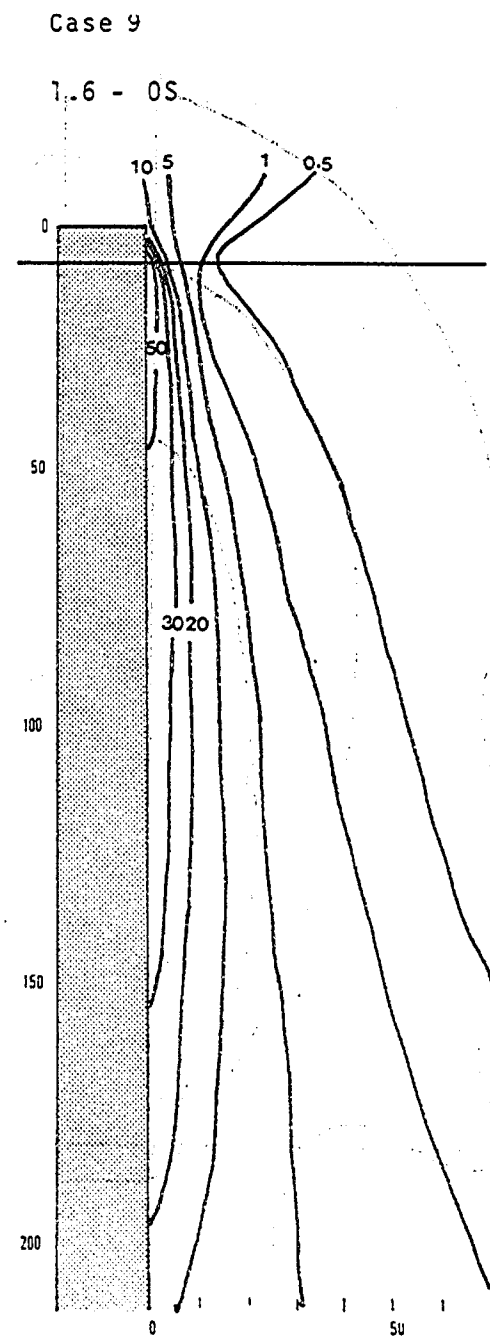
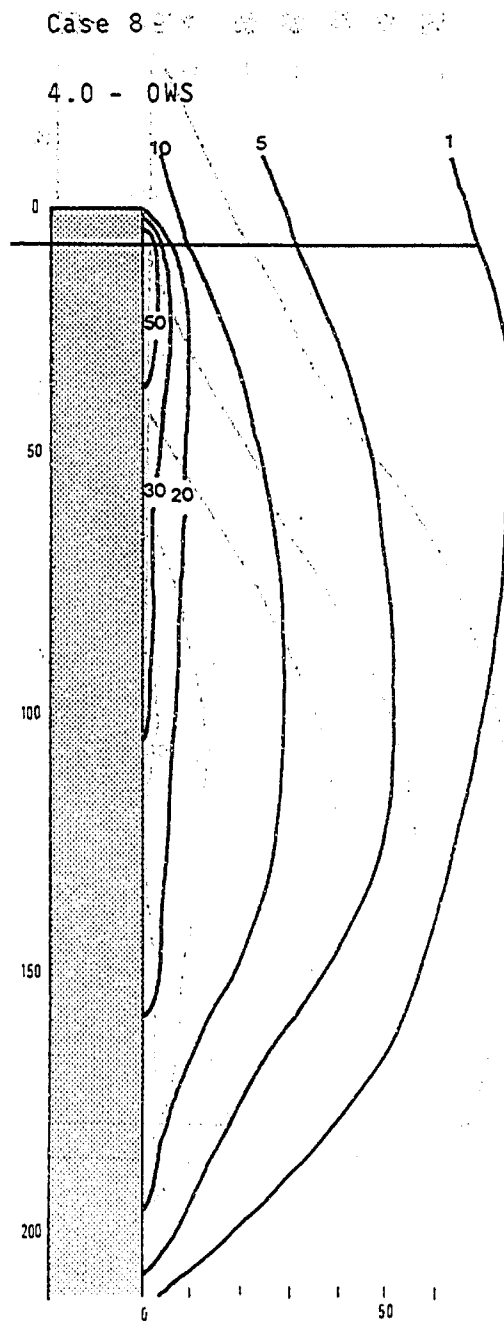
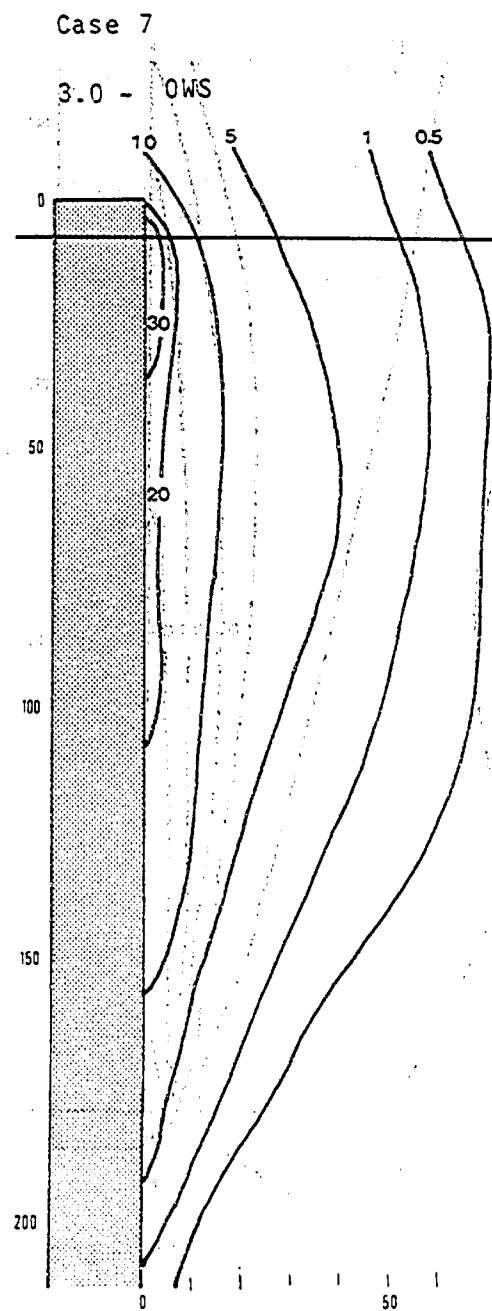
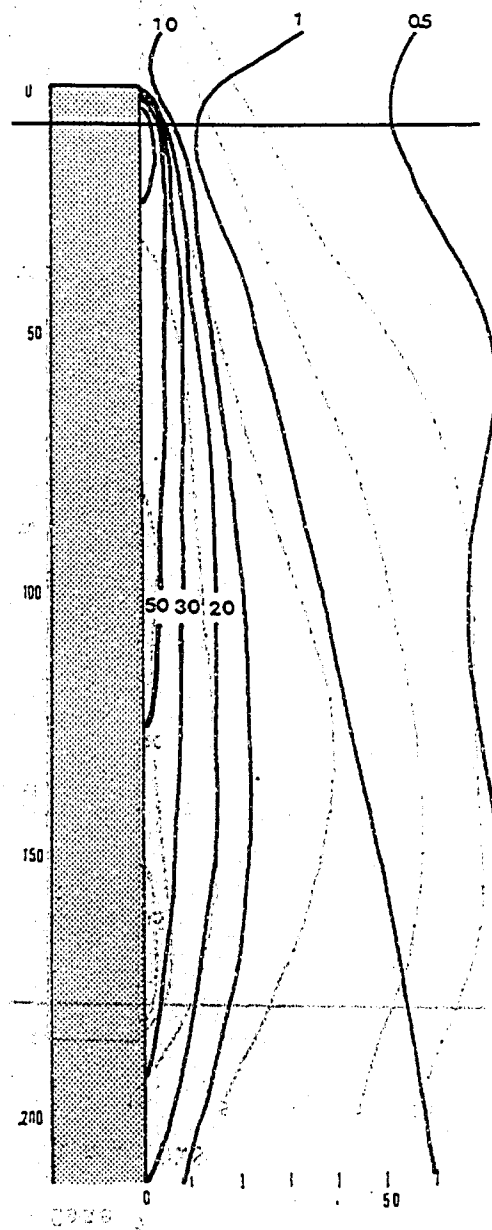


图-1 5.3 等浓度线图

Case 10

2.3 - 0S



Case 11

1.6 - 50V.WS

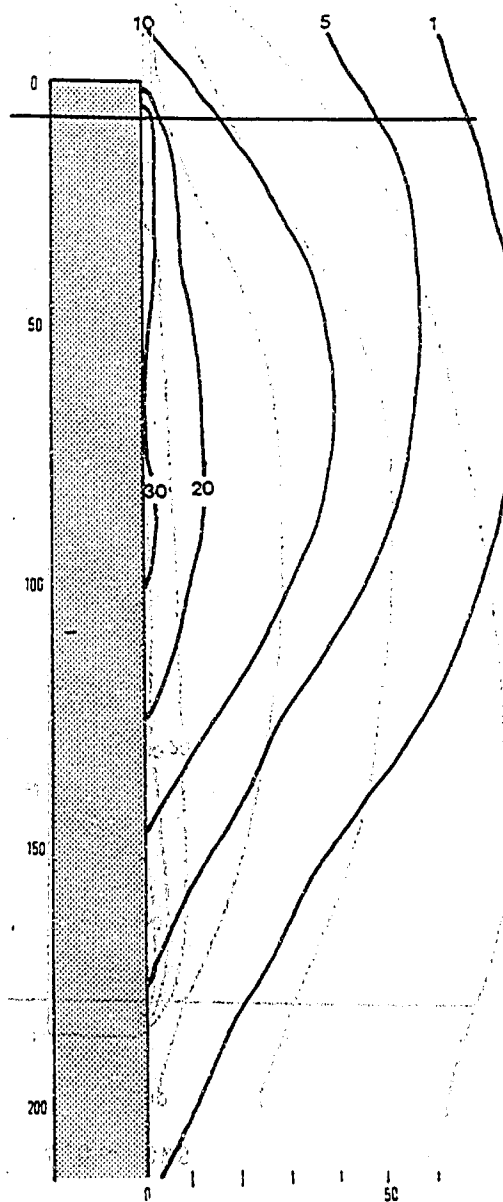
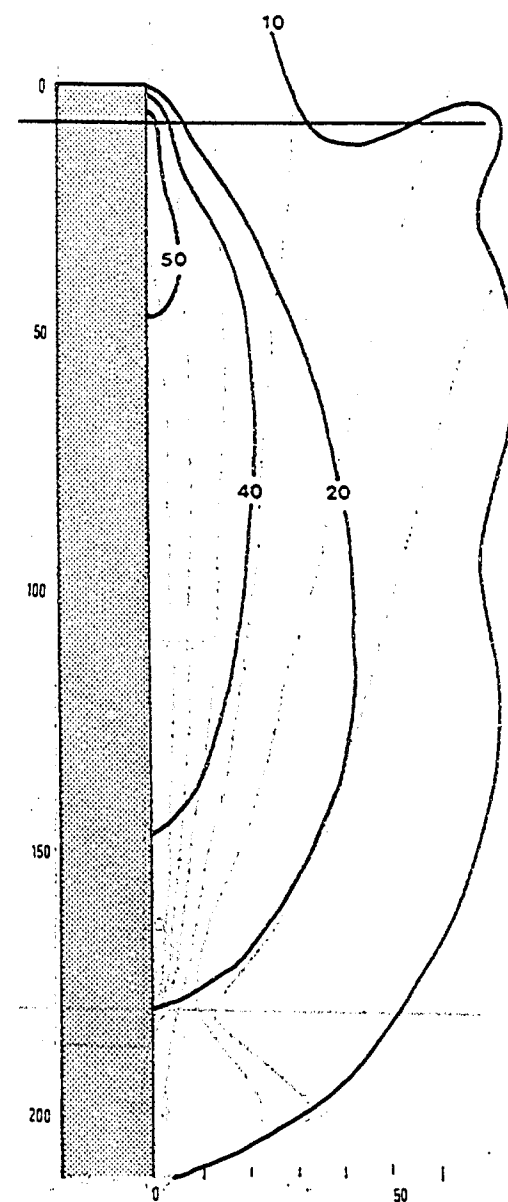


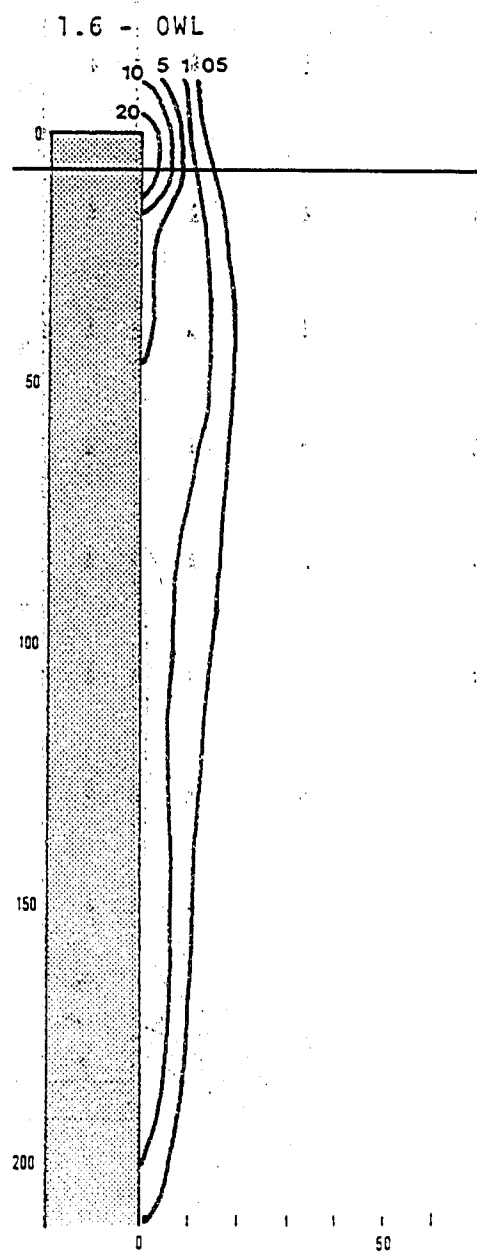
图-1.5.4 等濃度線圖

Case 12

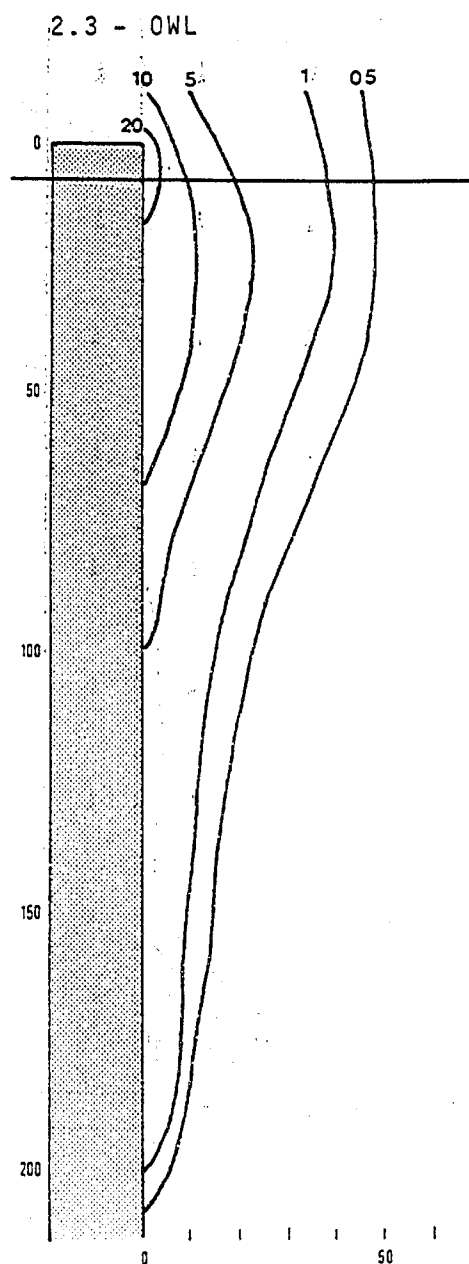
1.6 - 100



Case 13



Case 14



Case 15

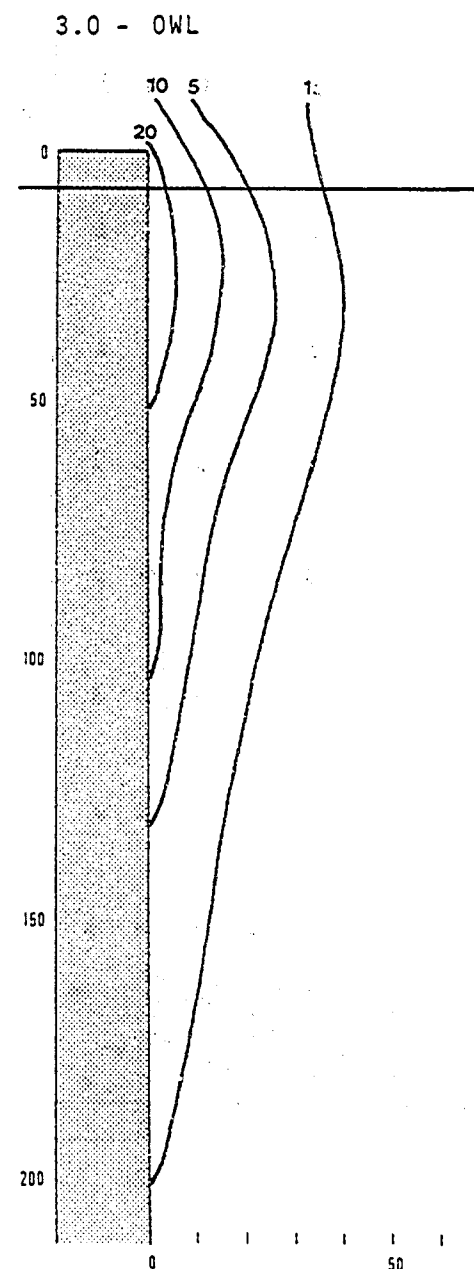
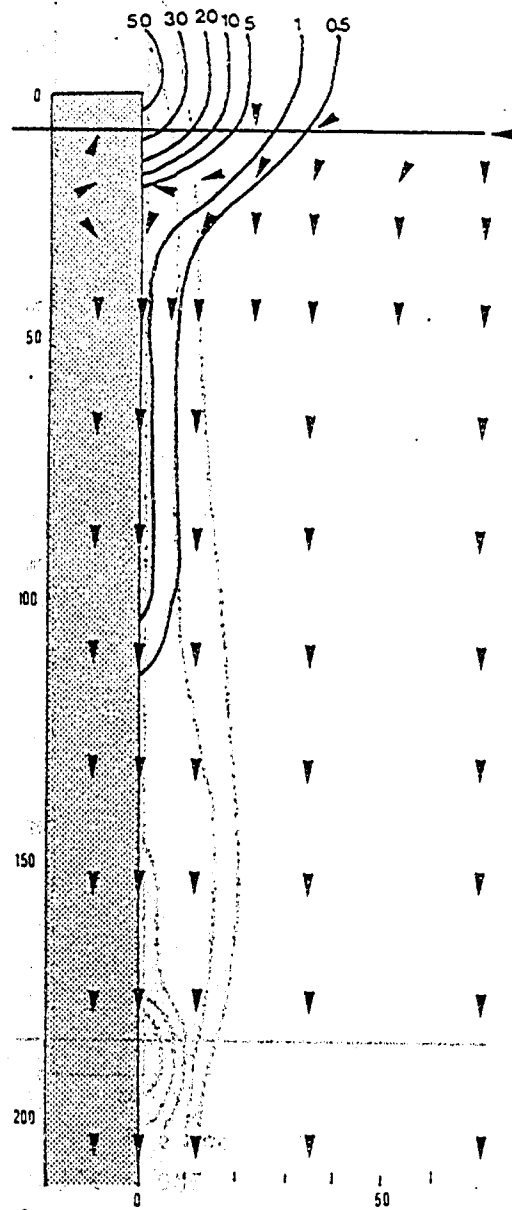


图-1 5.5 等濃度線圖

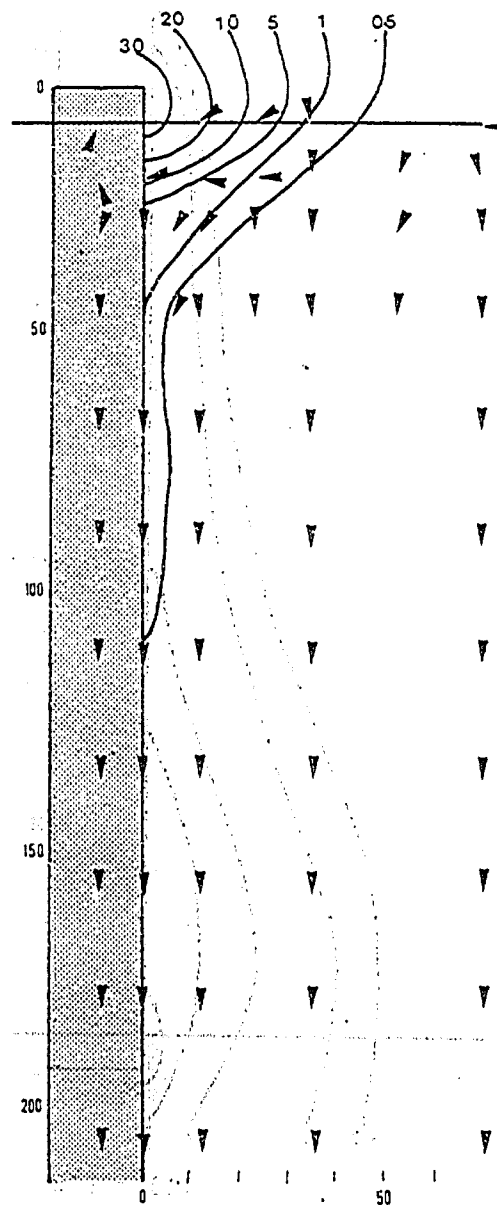
Case 1

0 - 2.0W



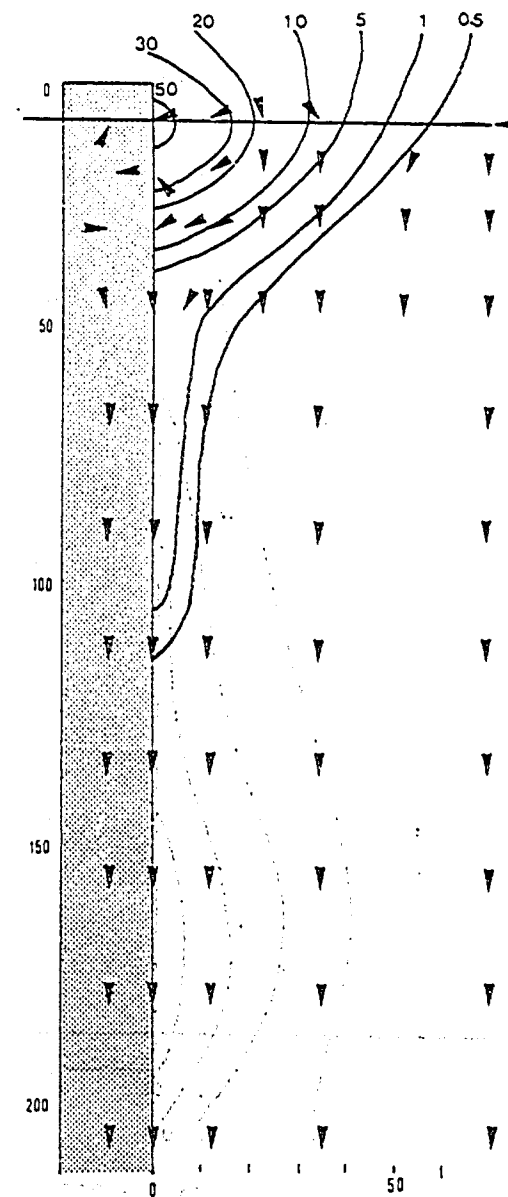
Case 2

0 - 2.25W

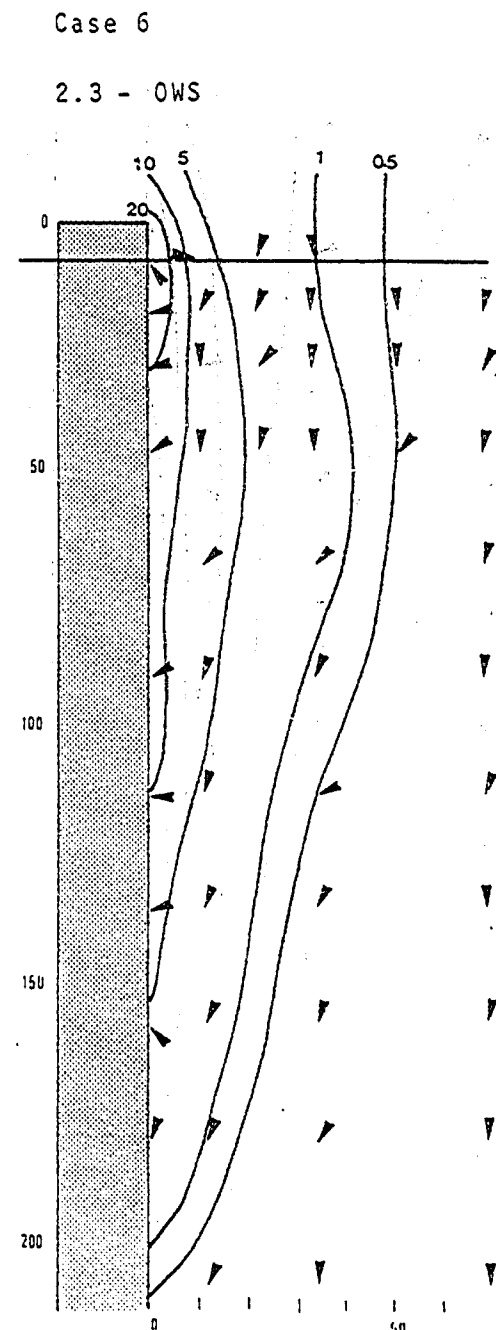
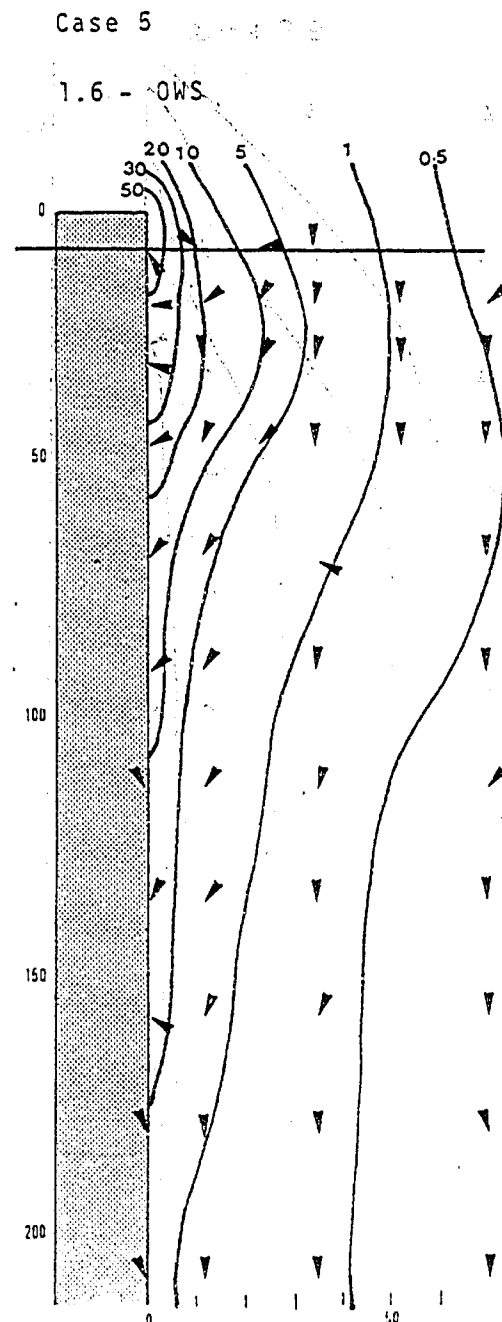
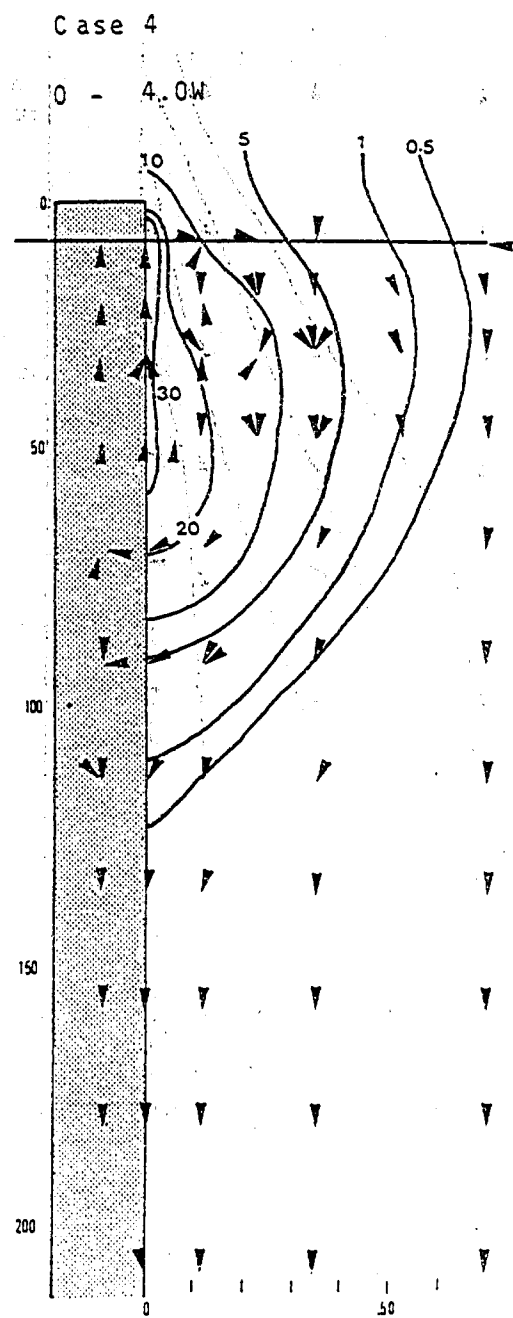


Case 3

0 - 2.5W

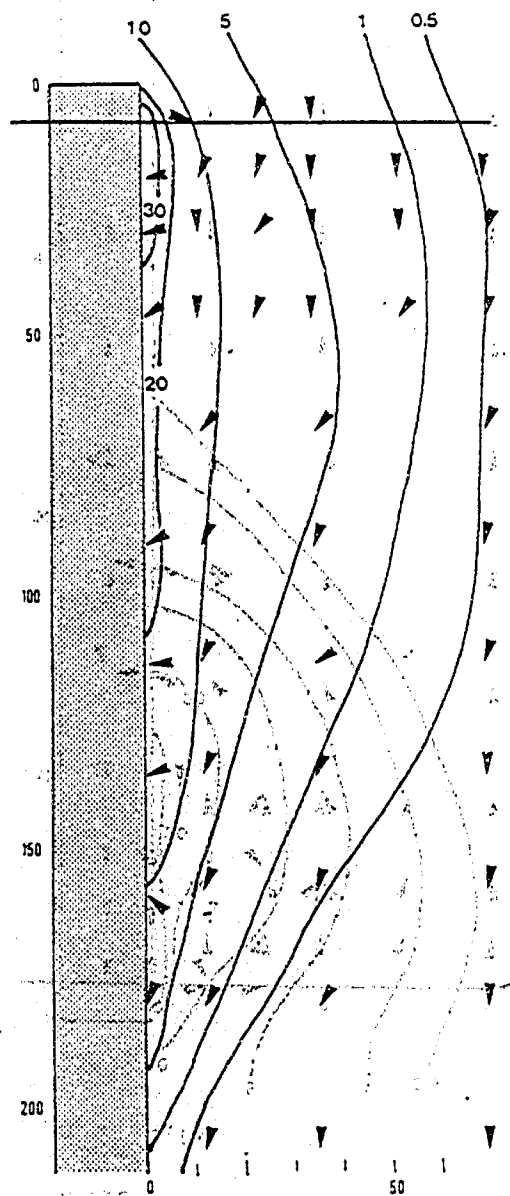


□ - 1 6.1



Case 7

3.0 - 0WS



Case 8

4.0 - 0WS

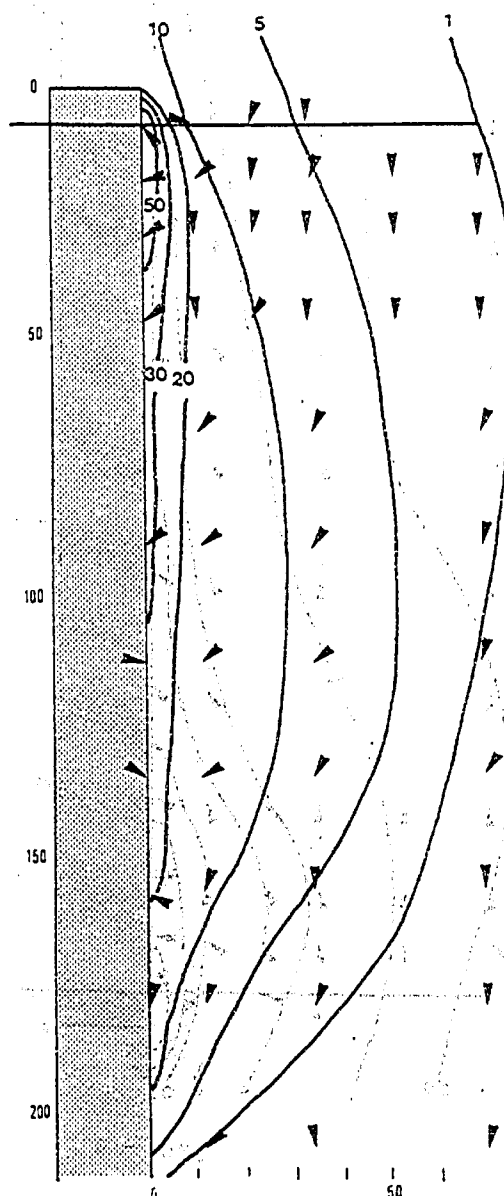
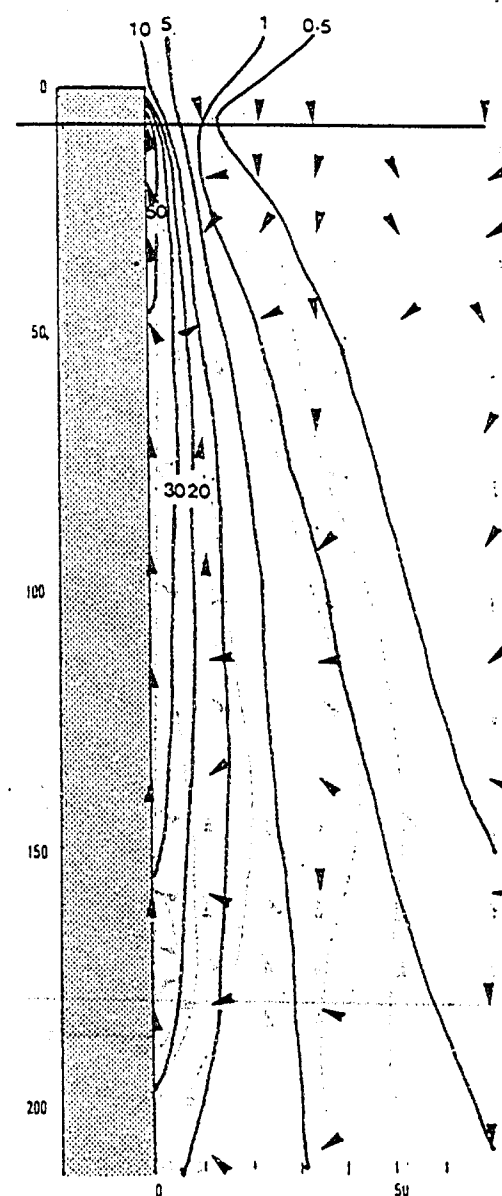


图-1 6.3

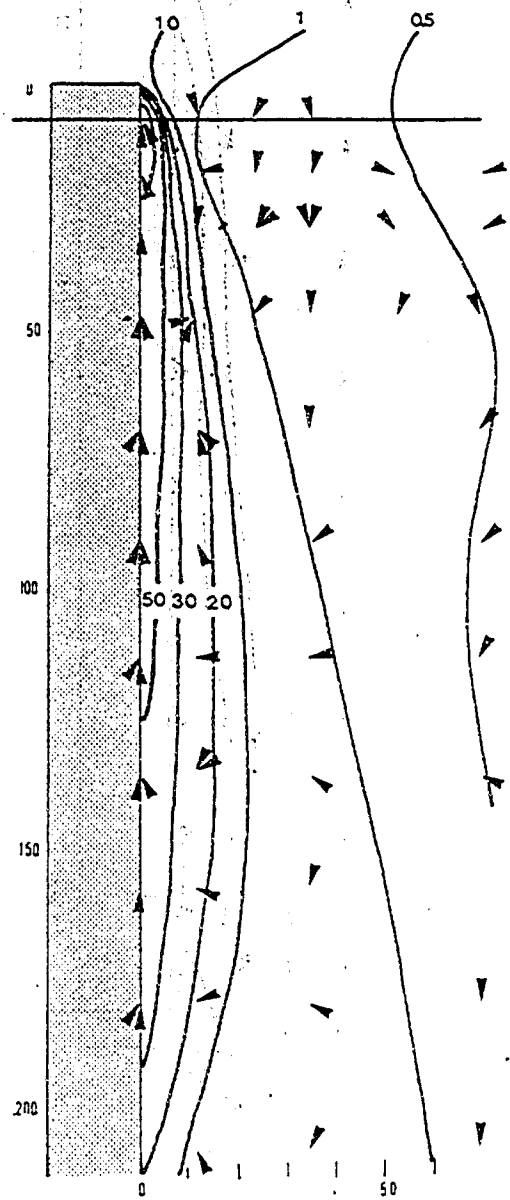
Case 9

1.6 - 0S



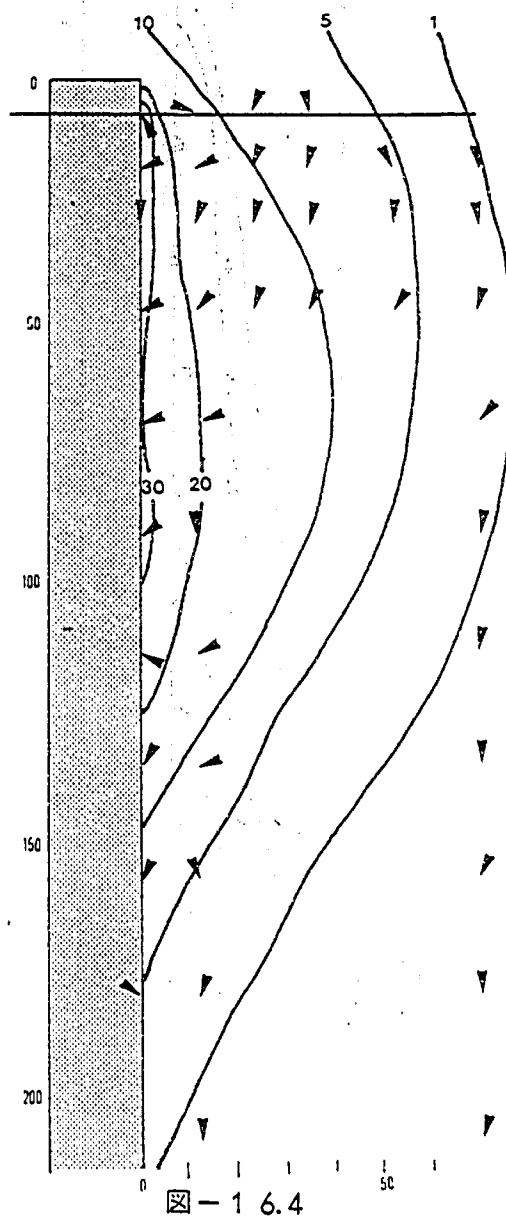
Case 10

2.3 - 0S



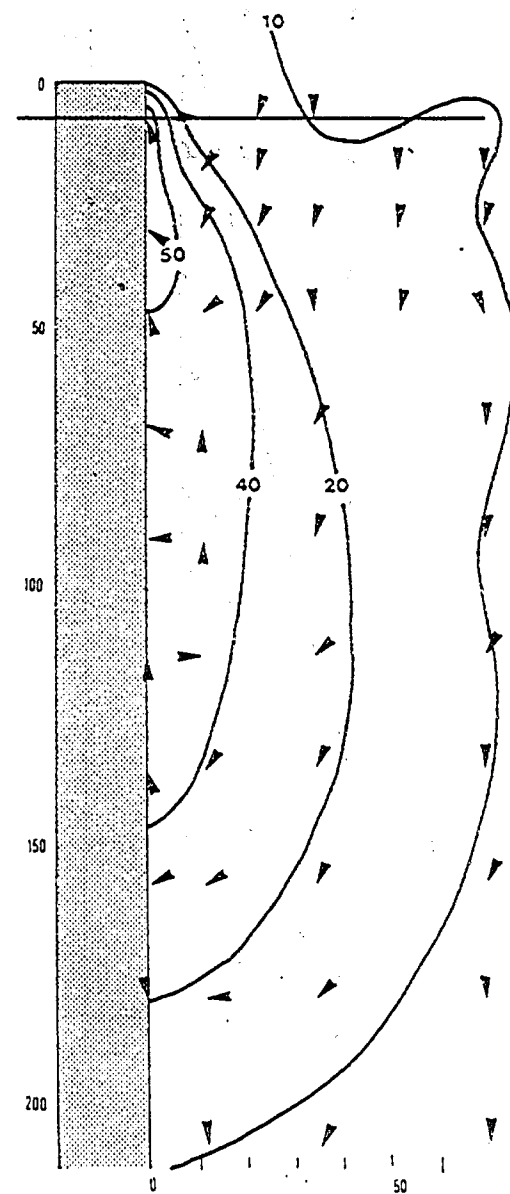
Case 11

1.6 - 50V.WS



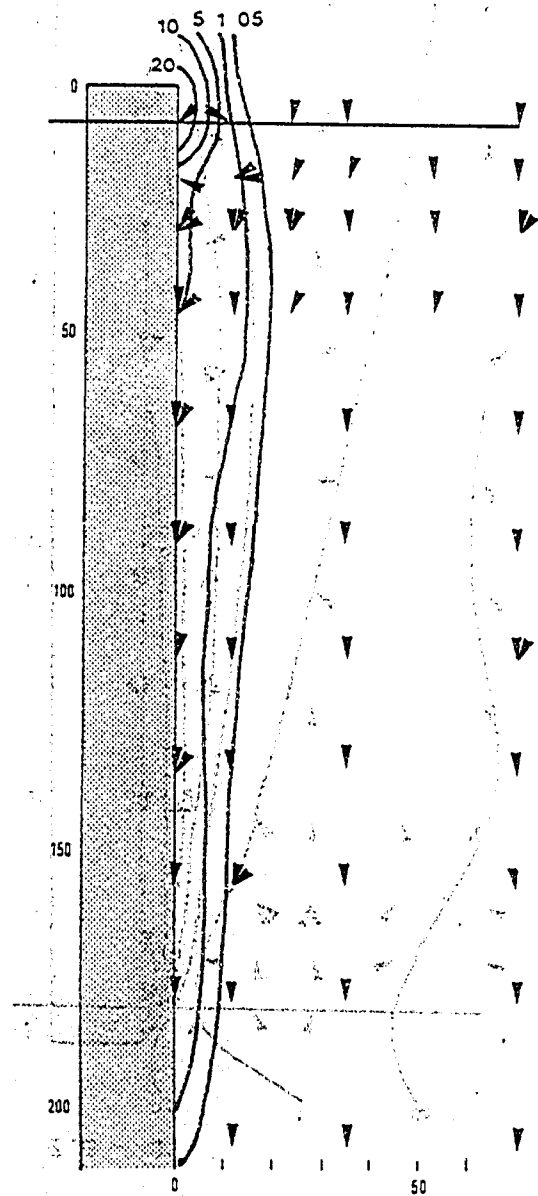
Case 12

1.6 - 100



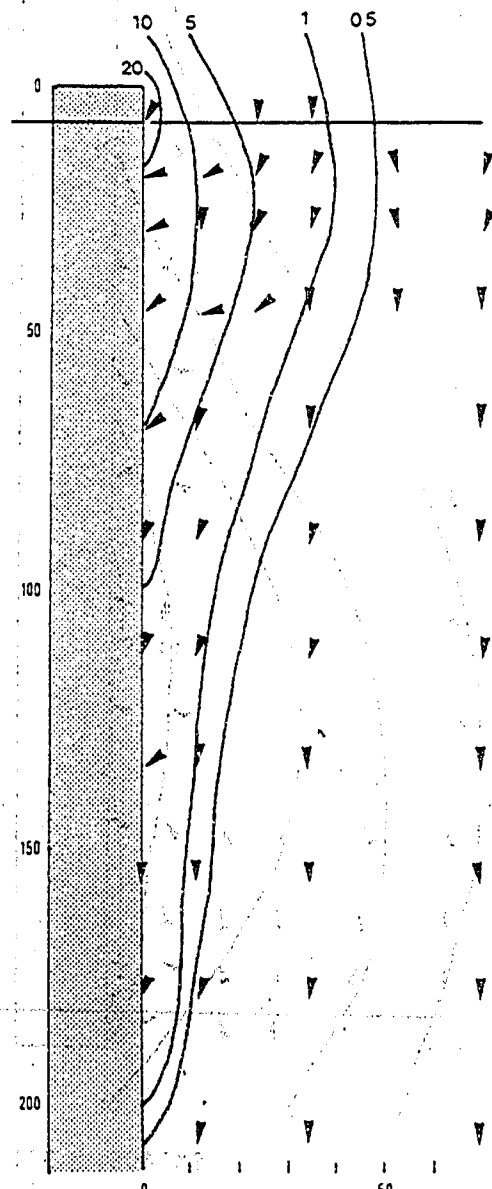
Case 13

1.6 - OWL



Case 14

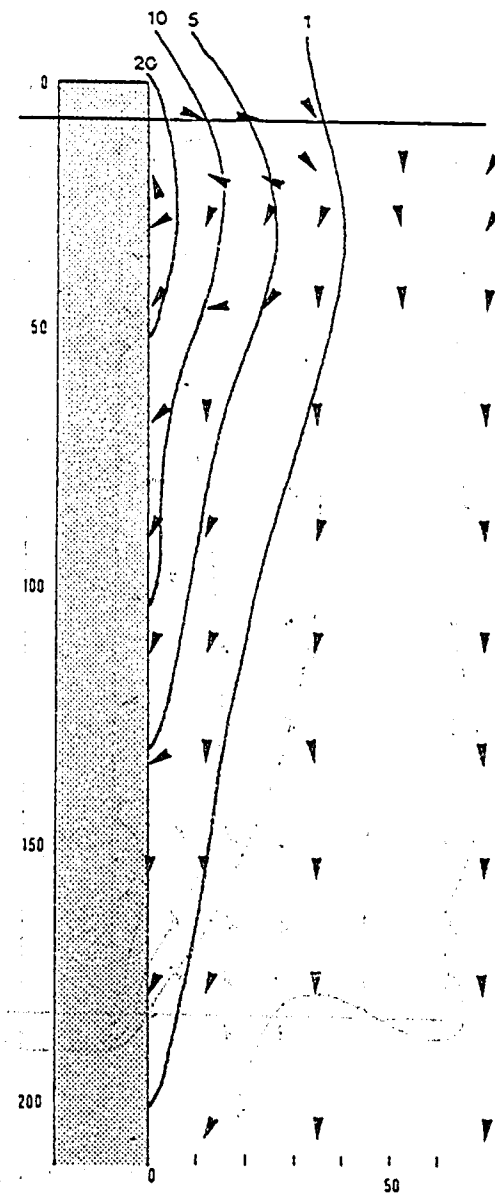
2.3 - OWL



□ - 1 6.5

Case 15

3.0 - OWL



4. 解 析

4.1 道路方向の濃度の減衰率

道路方向の濃度の減衰率を比較するため、道路に沿った測定点の濃度 (C_i) を、坑口平均濃度 (C_0) で基準化して濃度減衰図を描いた。(図-17)

また基準化濃度の減衰係数を求めるため指数回帰分析を行い、その関係を図-18および表-4に示した。

回帰式 $Y = a10^{bx}$

Y : C_i/C_0

X : 坑口からの距離 (cm)

b : 減衰係数

a : 切片

Case 1 ~ 4 は、車両走行のない状態で、坑口風速 (V_T) を変化させた場合について比較している。(図-17. 1, 18. 1)

坑口風速が大きいほど減衰係数は低くなり、濃度の影響が遠くまで及んでいる。濃度の影響範囲は、 $V_T = 2.4 \text{ m/sec}$ 以下では $L = 50 \text{ cm}$ 以内、 $V_T = 3.5 \text{ m/sec}$ でも $L = 90 \text{ cm}$ 程度である。

減衰係数は他のケースより大きく、坑口近傍で急激に減衰している。また坑口周辺の濃度分布は、図-15のCase 1 ~ 4のように坑口を中心に放射状に拡がっており、道路方向に汚染源が形成される“ひきずり現象”の分布とは異っている。

Case 5 ~ 8 は、38 cmの車頭間隔で設置した車両を走行させ、その速度による影響を比較した。(図-17. 2, 18. 2)

車両走行によって発生している坑口風速は、Case 5 で $V_T = 1.6 \text{ m/sec}$ 、Case 8 で $V_T = 2.3 \text{ m/sec}$ であった。

濃度の減衰はなだらかで、 $L = 190 \text{ cm}$ 程度まで達している。減衰係数は、 $-7.8 \times 10^{-3} \sim -4.5 \times 10^{-3}$ であり、走行速度が高いほど減衰係数は小さい。

図-15のCase 5 ~ 8の濃度分布図を見ても、道路軸上に汚染源が形成され、走行車両による“ひきずり現象”が再現されていることがわかる。

Case 9, 10 は、風洞風速のない状態で車両を走行させその速度による影響を比較した。(図-17. 3, 18. 3)

減衰係数は -3.0×10^{-3} で最も小さい。 $L = 190 \text{ cm}$ における基準化濃度は 0.1 以上あり、濃度の影響範囲はさらに遠方に達していることが考えられる。

図-15の濃度分布図においても、高濃度域が道路に沿って形成されていることがわかる。これらのほとんどは車両の“ひきずり現象”により形成されているものである。

Case 11, 12 および Case 5 は、車両速度を一定 ($V_c = 1.6 \text{ m/sec}$) として換気風速による影響を比較した。(図-17. 4, 18. 4)

車両走行状態では換気風速が測定できないため、換気風速の制御には、フリクションブローアに負荷する電圧を50ボルトと100ボルトに設定した。この時の坑口風速は、Case 11が $V_T = 2.1 \text{ m/sec}$ 、Case 12が $V_T = 4.4 \text{ m/sec}$ であった。

減衰係数は、Case 5で -7.8×10^{-3} 、Case 11が -6.2×10^{-3} 、Case 12では -4.0×10^{-3} であり、換気風速が大きい程減衰係数が小さくなっている。

Case 5およびCase 11, 12の濃度分布図を見ると、Case 5の換気風速のない場合では、道路に沿って高濃度域が形成されているが、換気風を加えると“ひきずり現象”と換気風による影響が重なって、坑口から放射状に拡がった形になっている。

Case 13～15は、車両の車頭間隔を114 cmとして、車速による影響を比較した。(図-17.5, 18.5)

減衰係数は、 -9.0×10^{-3} 以上であり、Case 5～7の車頭間隔の小さい場合より小さく、濃度の減衰がはやい。

Case 13～15の濃度分布図においても、濃度の拡がり、Case 5～7よりも小さい。

以上から、車両走行による“ひきずり現象”は、車頭間隔が小さく、走行速度が大きい程強く表われることがわかる。

表-4 減 衰 係 数

Case	Exp. 風	a 切 片	b 減 衰 係 数	r 相 関 係 数
1	0-2.0 W	2.747	-0.06895	0.99
2	0-2.25 W	3.080	-0.06469	0.99
3	0-2.5 W	4.069	-0.04721	0.98
4	0-4.0 W	1.070	-0.01342	0.93
5	1.6-0 WS	0.731	-0.00782	0.97
6	2.3-0 WS	0.452	-0.00672	0.96
7	3.0-0 WS	0.617	-0.00526	0.96
8	4.0-0 WS	0.822	-0.00451	0.96
9	1.6-0 S	0.920	-0.00302	0.96
10	2.3-0 S	1.106	-0.00303	0.96
11	1.6-50 volt WS	0.651	-0.00621	0.94
12	1.6-100 volt WS	0.887	-0.00399	0.96
13	1.6-0WL	0.158	-0.00903	0.87
14	2.3-0WL	0.482	-0.01018	0.98
15	3.0-0WL	0.635	-0.00930	0.98

$$Y = a10^{bx}$$

a=切片

b=減衰係数

r=C/C₀

x=坑口からの距離

4.2 道路直交方向の濃度の減衰率

道路に直交する方向への濃度の減衰傾向を比較するため、道路端濃度 (C_0) を基準として、その点から道路直交方向に配置された測定点の濃度 (C_1) を基準化し、濃度の減衰図を描いた。(図-19)

Case 1~3 の車両走行のないケース、Case 9, 10 の風洞風速のないケースおよび Case 13~15 の車頭間隔が大きいケースでは、道路直交方向の濃度は急に減衰しており、道路から $\ell = 30\text{ cm}$ 程度隔れると約 $\frac{1}{10}$ になっている。

Case 4 の、車両走行がなく坑口風速が強い場合は、Case 1~3 に比べてなだらかに減衰しており、 $\ell = 30\text{ cm}$ で約 $\frac{1}{5}$ 、 $\ell = 40\text{ cm}$ で $\frac{1}{10}$ 程度である。

Case 5~8 の車両走行速度が異なる場合を見ると、速度が比較的遅い Case 5, 6 で濃度の減衰が急で、 $\ell = 30\text{ cm}$ で $\frac{1}{10}$ 以下になっている。車速がこれらより速い Case 7, 8 では、 $\ell = 30\text{ cm}$ で $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ 、 $\ell = 45 \sim 50\text{ cm}$ で $\frac{1}{10}$ になっている。

車両走行と換気風を与えた Case 11, 12 では、濃度の減衰が最もゆるやかで、また坑口からの距離によりその減衰率が異っている。換気風速の小さい Case 11 では、 $\ell = 60\text{ cm}$ でほぼ $\frac{1}{10}$ になっているが、換気風速が約 2 倍の Case 12 では $\ell = 60\text{ cm}$ でも $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ 程度になっている。

5. 整合性の検討

この実験の目的は、模型実験において走行車両による“ひきずり現象”を再現させる手法を検討するための基礎実験であり、車両走行と換気風速が坑口周辺の拡散現象におよぼす影響について知ろうとしたものである。このため、ここでは坑口地形を単純化した模型を使用し、交通条件も走行車両の影響がでやすいように大型コンテナ車のみとしているため、今回の模型実験条件に相当する現実の条件は存在しない。したがって、この実験結果を現実条件との整合性について解析することは困難である。

ここでは整合性を検討する上での参考資料として、過去に実施したトレーサーガスによる現地拡散実験との比較を行った。

5.1 現地拡散実験地点の地形

現地拡散実験は、3ヶ所のトンネルで行った。ここではそれぞれ A 地点、B 地点、C 地点と呼ぶことにする。

A 地点、B 地点は、山間部のトンネルで坑口が谷あい位置している。C 地点は坑口付近が比較的平坦地形にあるものである。

実験地点の地形を図-20に示す。これらの拡散実験で、自然風が坑口に向かうケースを選び比較の対象とした。

5.2 道路方向の濃度の減衰率

道路方向の濃度の減衰傾向について、模型実験と現地実験の比較をしたものを図-21.1~21.4に示す。またこの時の実験条件を表-5に示す。

Aトンネルにおける道路方向の濃度の減衰は、他のトンネルと比べて急に減衰している。これは坑口に向かう自然風が $u = 4.5 \sim 4.9 \text{ m/sec}$ で他のケースより高いためであると思われる。この減衰傾向は模型実験結果のうちCase 15によく似ている。

Bトンネルは、Aトンネルよりゆるやかに減衰している。坑口に向かう自然風は、 $u = 1.3 \sim 2.8 \text{ m/sec}$ であり、Aトンネルより低い。この減衰傾向は、模型実験結果のうちCase 5とCase 8によく似ている。

Cトンネルでは、自然風が坑口に向かうケースが、2ケースあった。この減衰傾向を模型実験結果と比較すると、Run 4はCase 5に、Run 8は、Case 8とよく似ている。

現地実験の坑内風速は、自然換気力と交通換気力によって発生しているもので、機械換気は行われていない。模型実験の坑内風速は、車両走行のみによって発生しており、現地実験の約1/2の値になっている。

現地実験と模型実験とで大きく相違しているのは、交通条件である。模型実験の交通量は、現地実験の交通量の15倍から50倍であり、また車種構成においても、模型実験では大型車に相当する車両のみを走らせているのに対し、現地実験の大型車混入率は、20～60%程度である。このことは、模型車によるひきずりの効果が、実際の車両よりかなり小さいことを表わしている。

車両の“ひきずり現象”は、流体の慣性力と粘性力の比（レイノルズ数）により大きく支配されるものと考えられる。風洞模型実験による大気拡散実験では、レイノルズ数を相似させることは非常に困難であり、本実験においても実際のレイノルズ数の約 $1/100$ 程度の値である。

この低いレイノルズ数の気流中で、模型車の“ひきずり現象”を实际と相似するには、車両形状、車頭間隔、走行台数、走行速度等についてさらに検討してゆく必要がある。

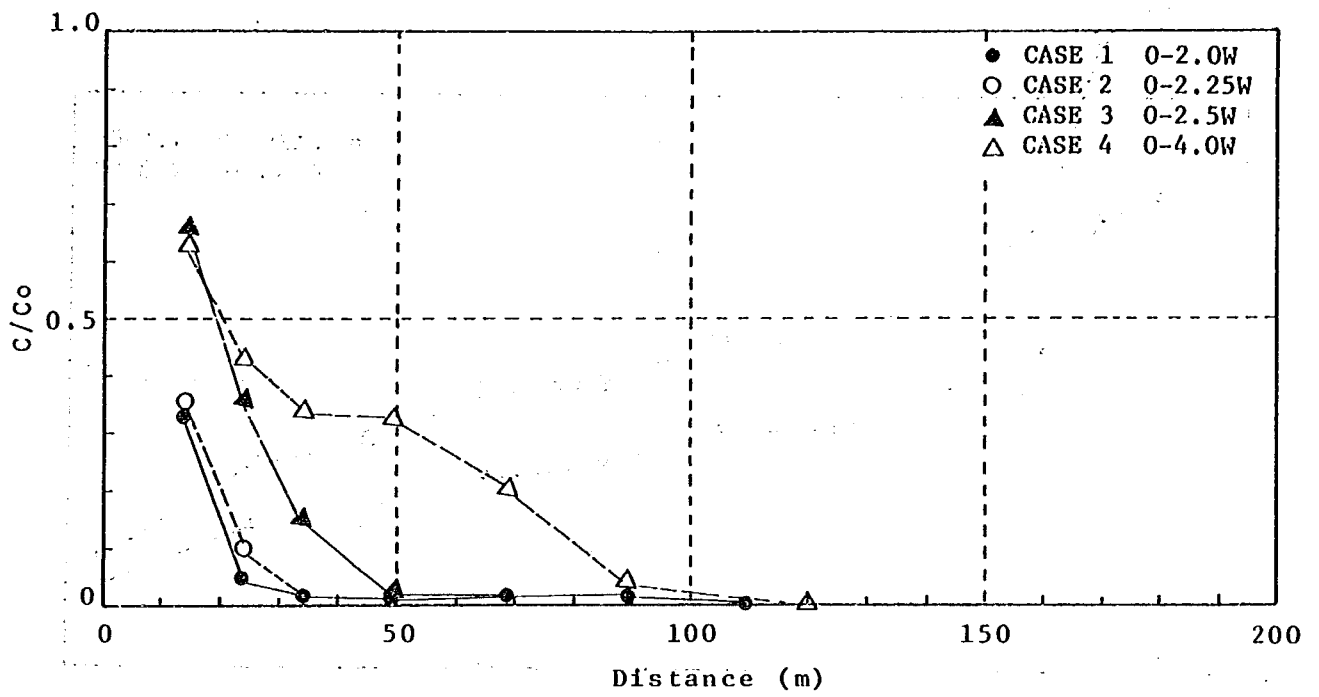


图-1.7.1

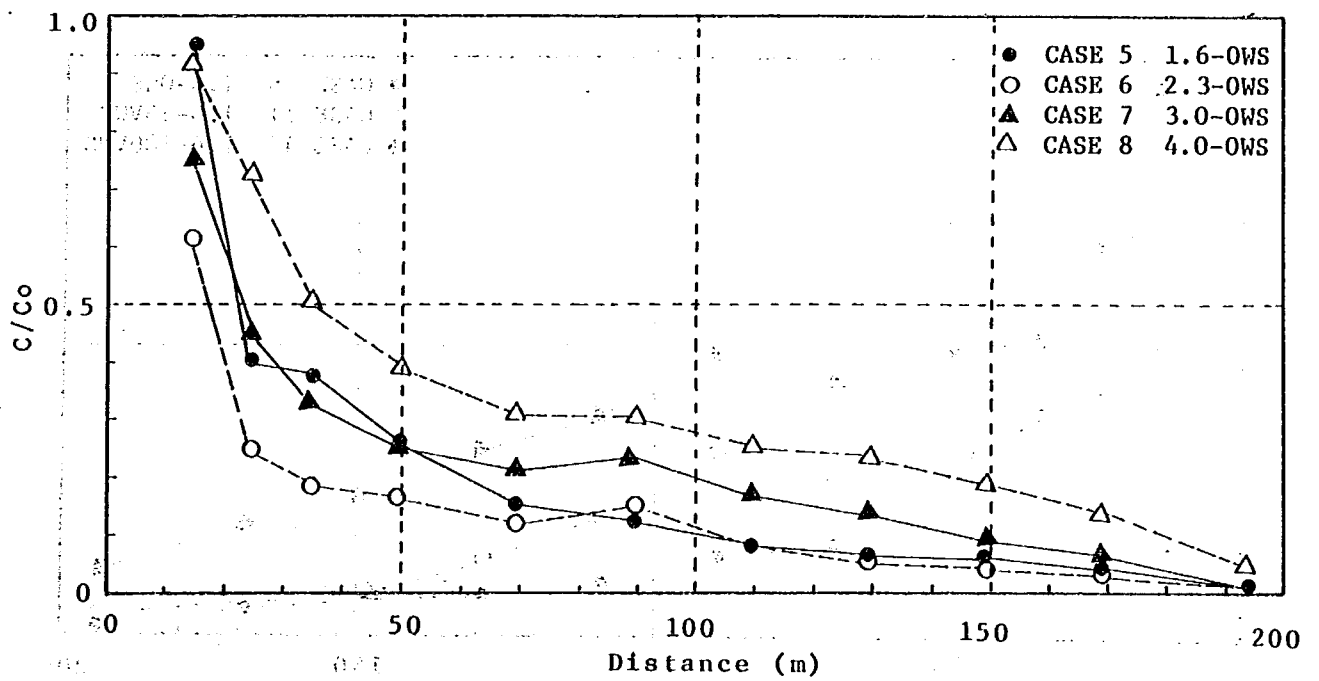


图-1.7.2

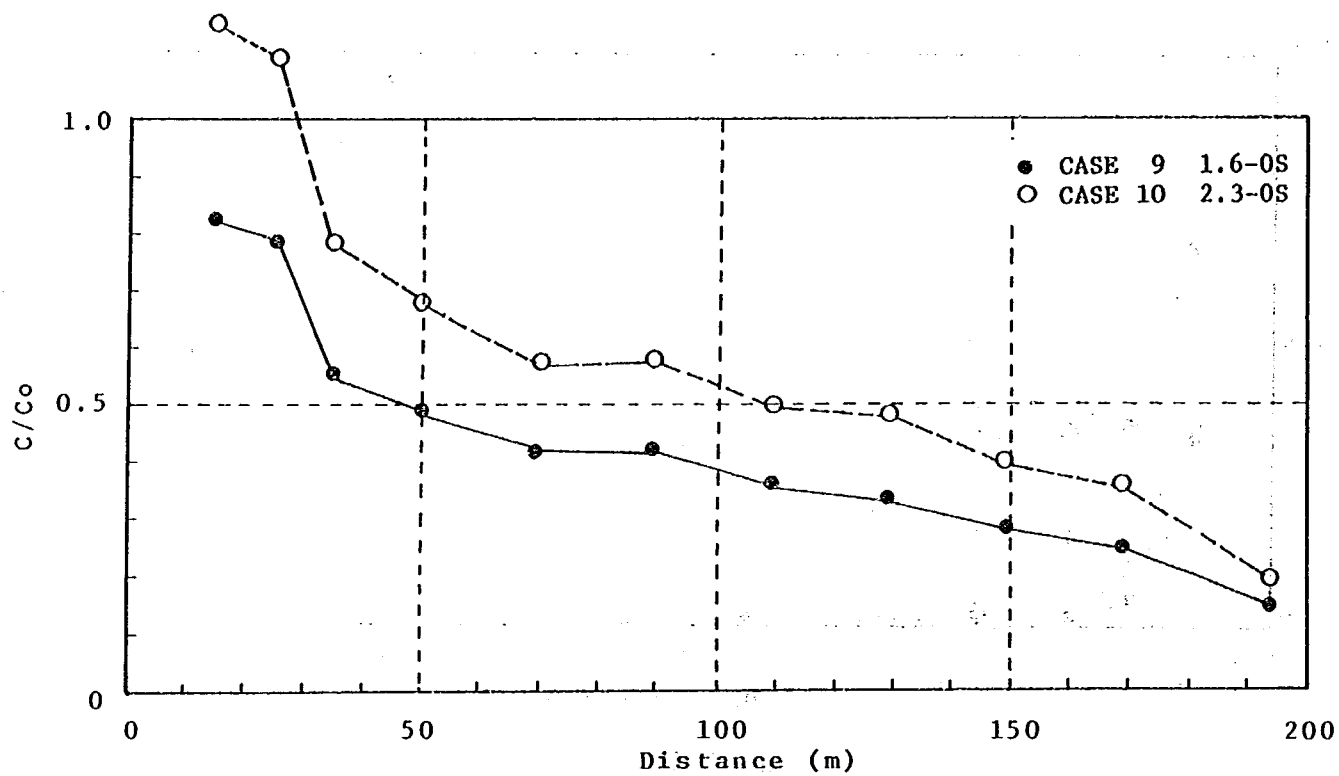


图-17.3

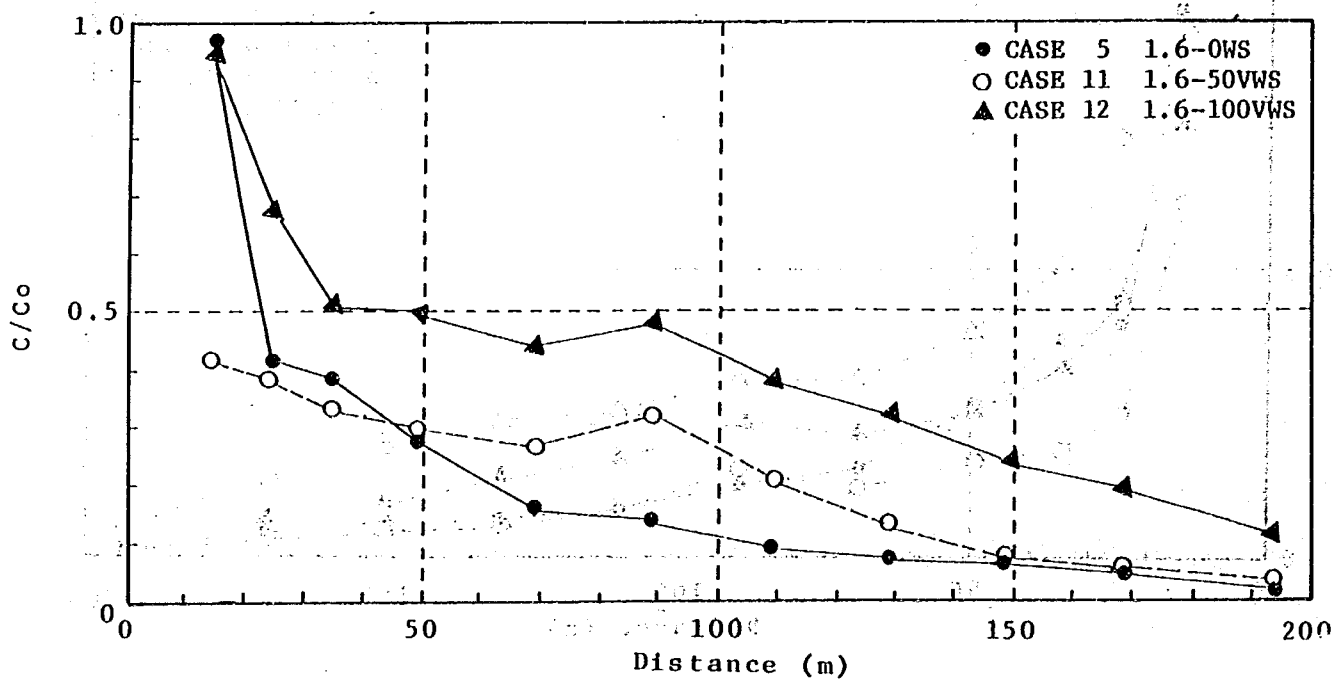


图-17.4

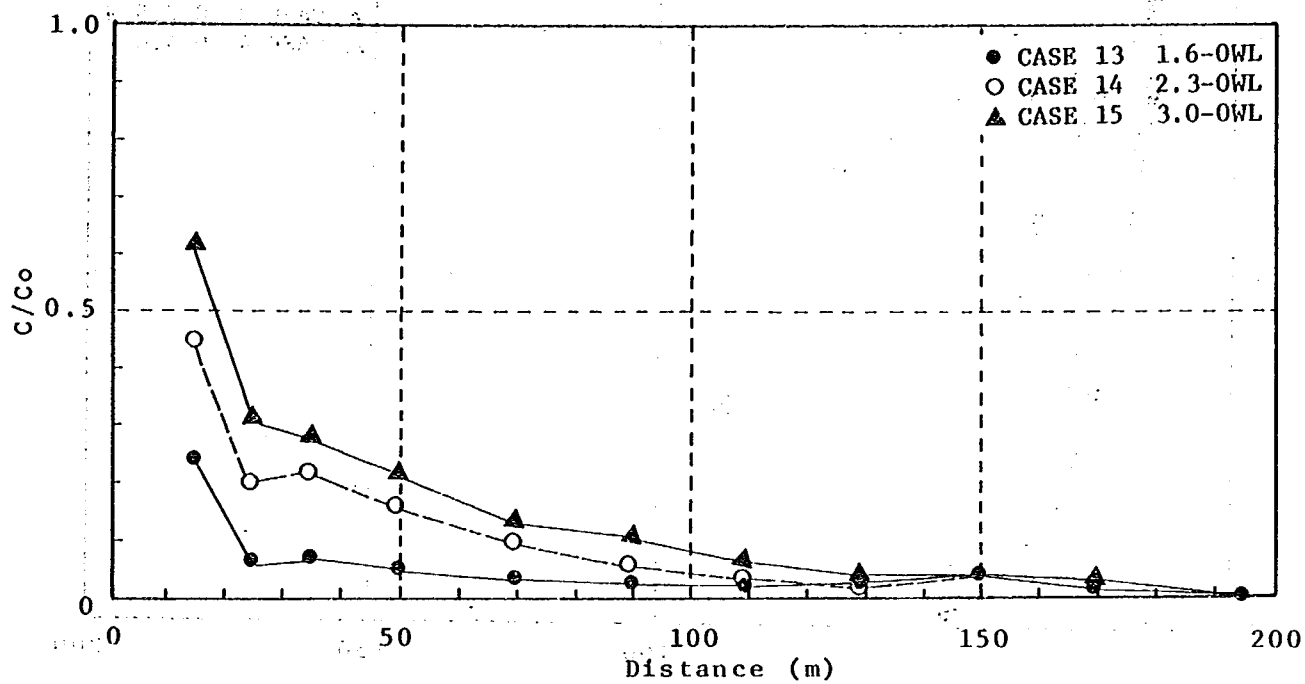
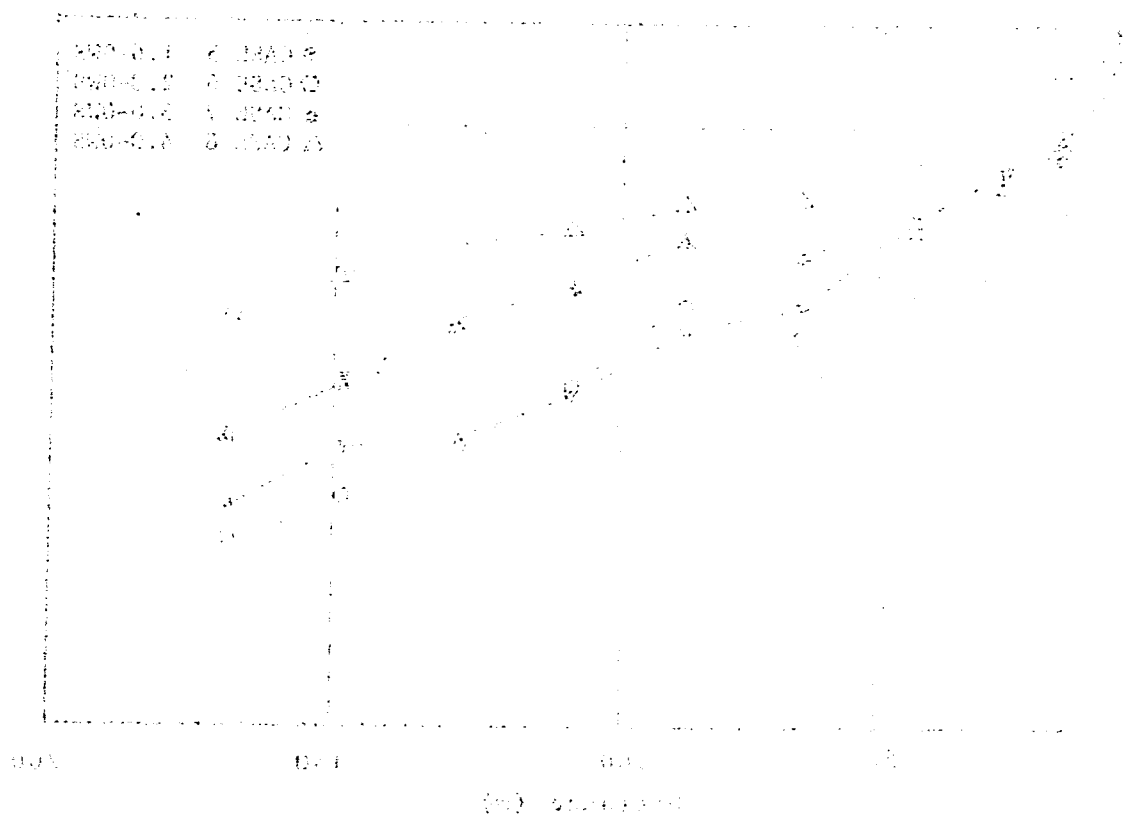


図-1.7.5



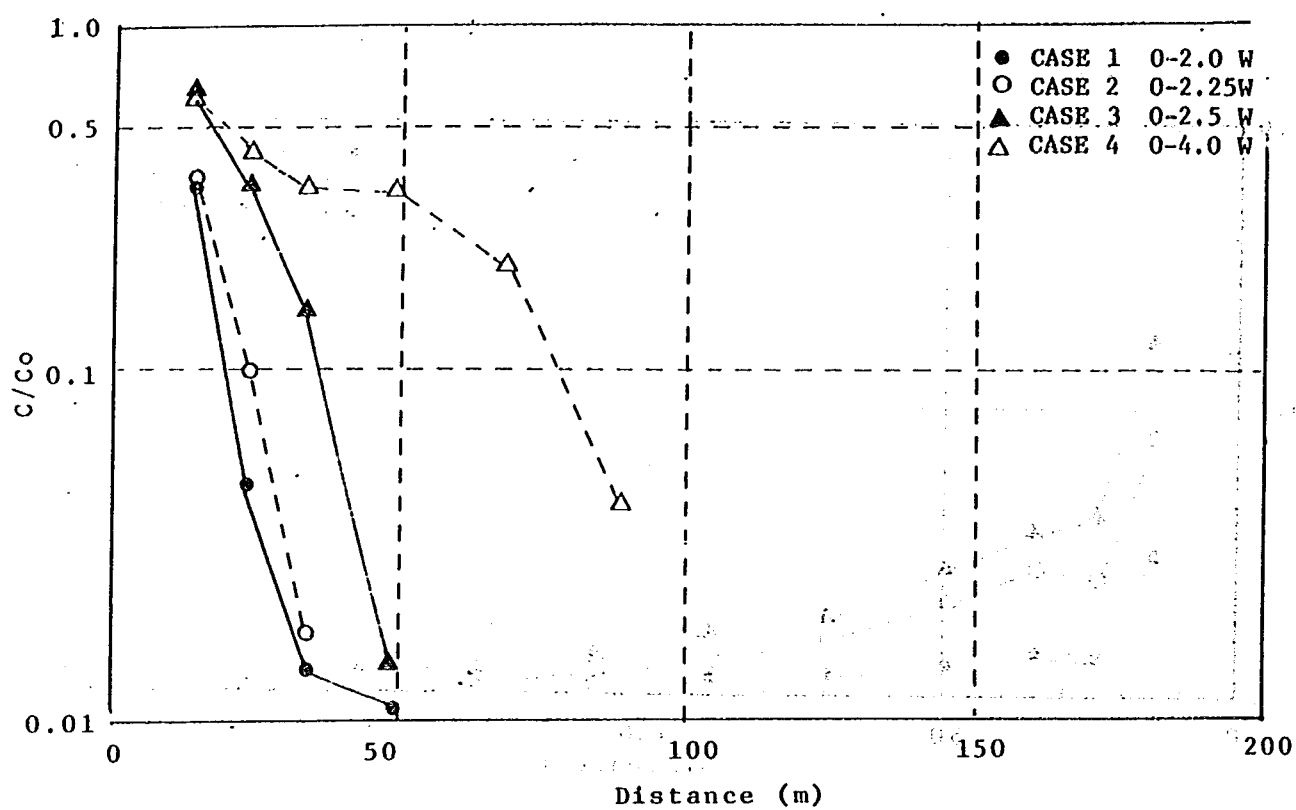


图-18.1

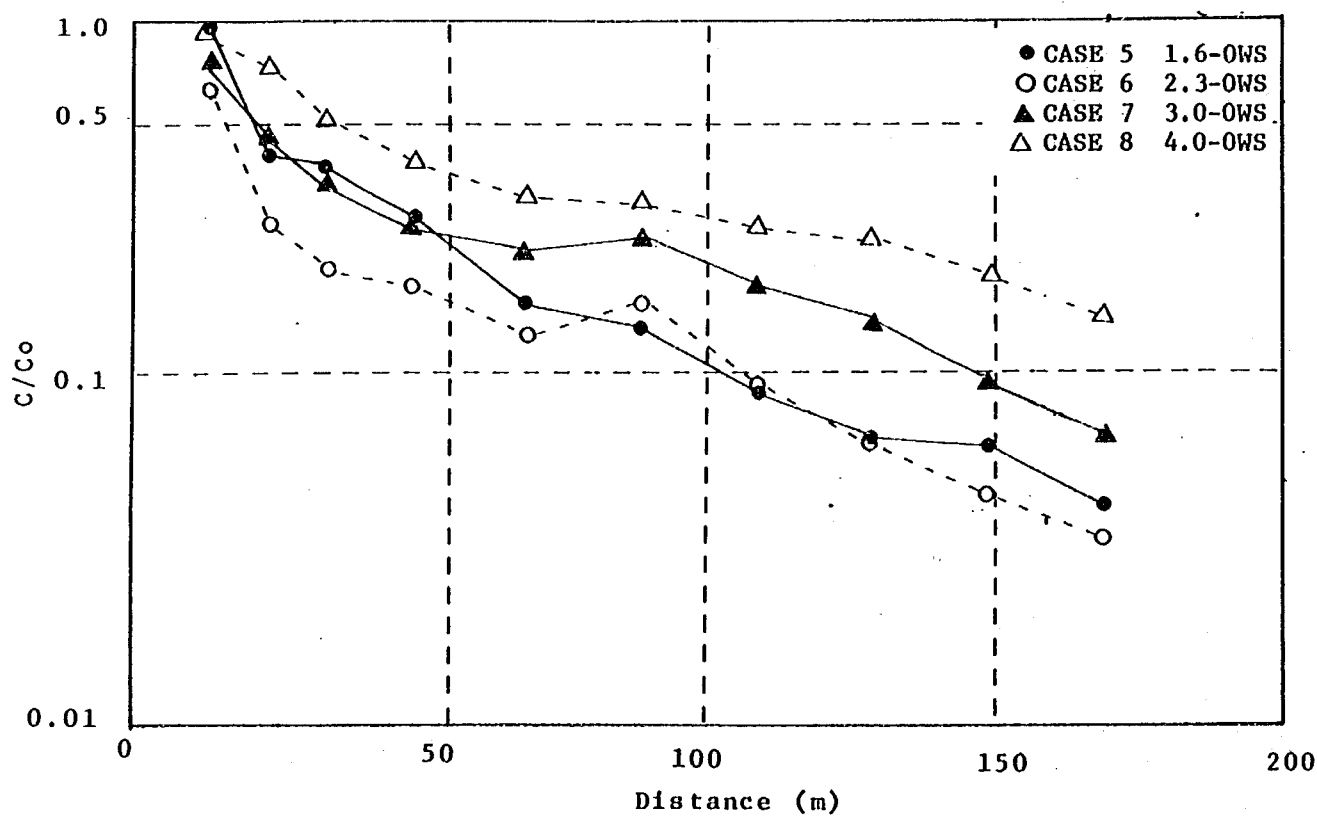


图-18.2

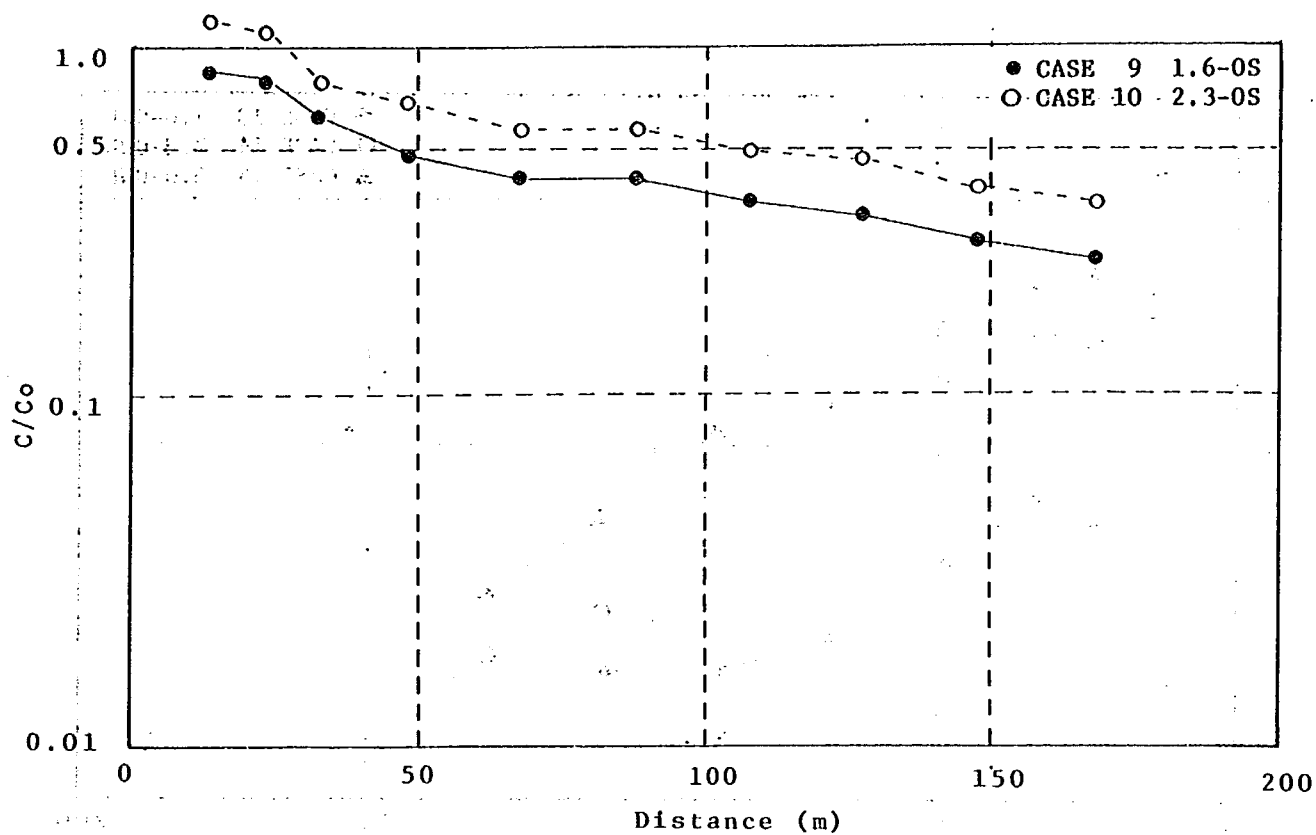


图-18.3

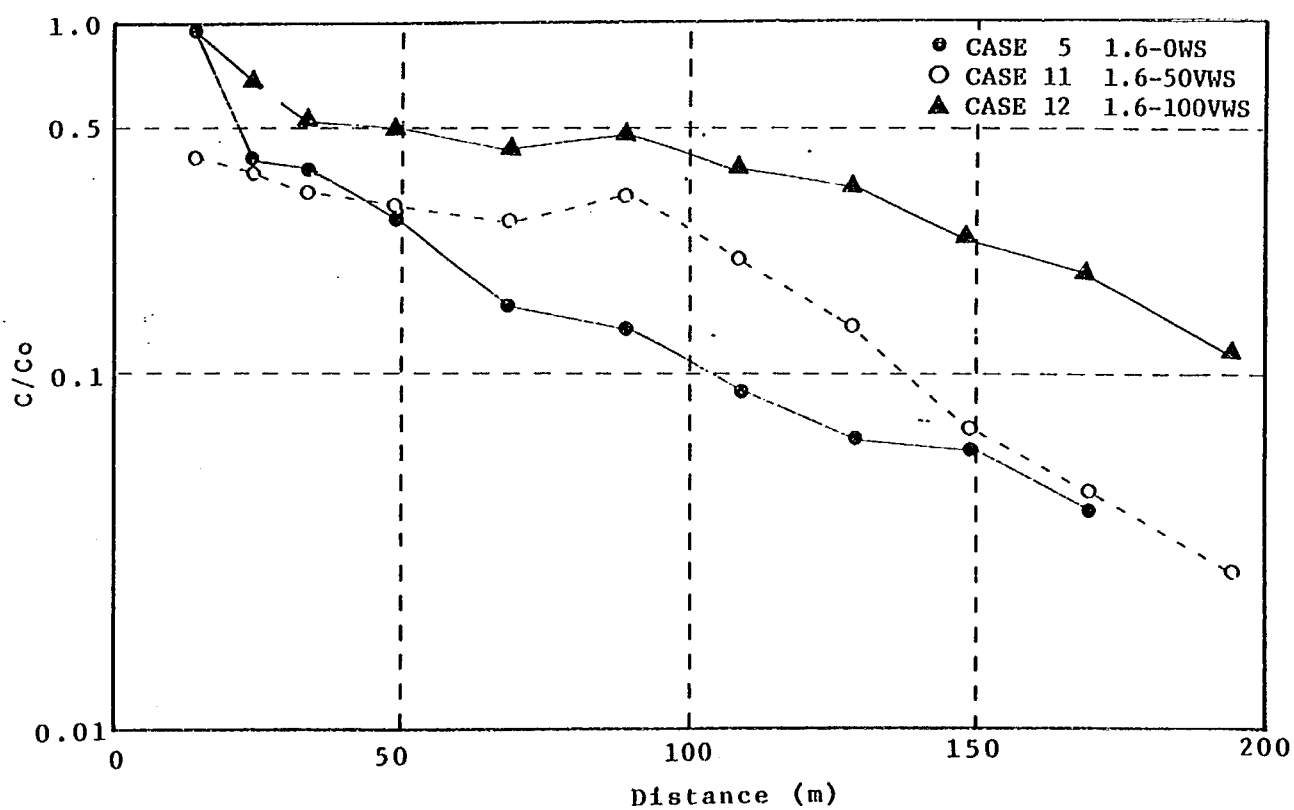
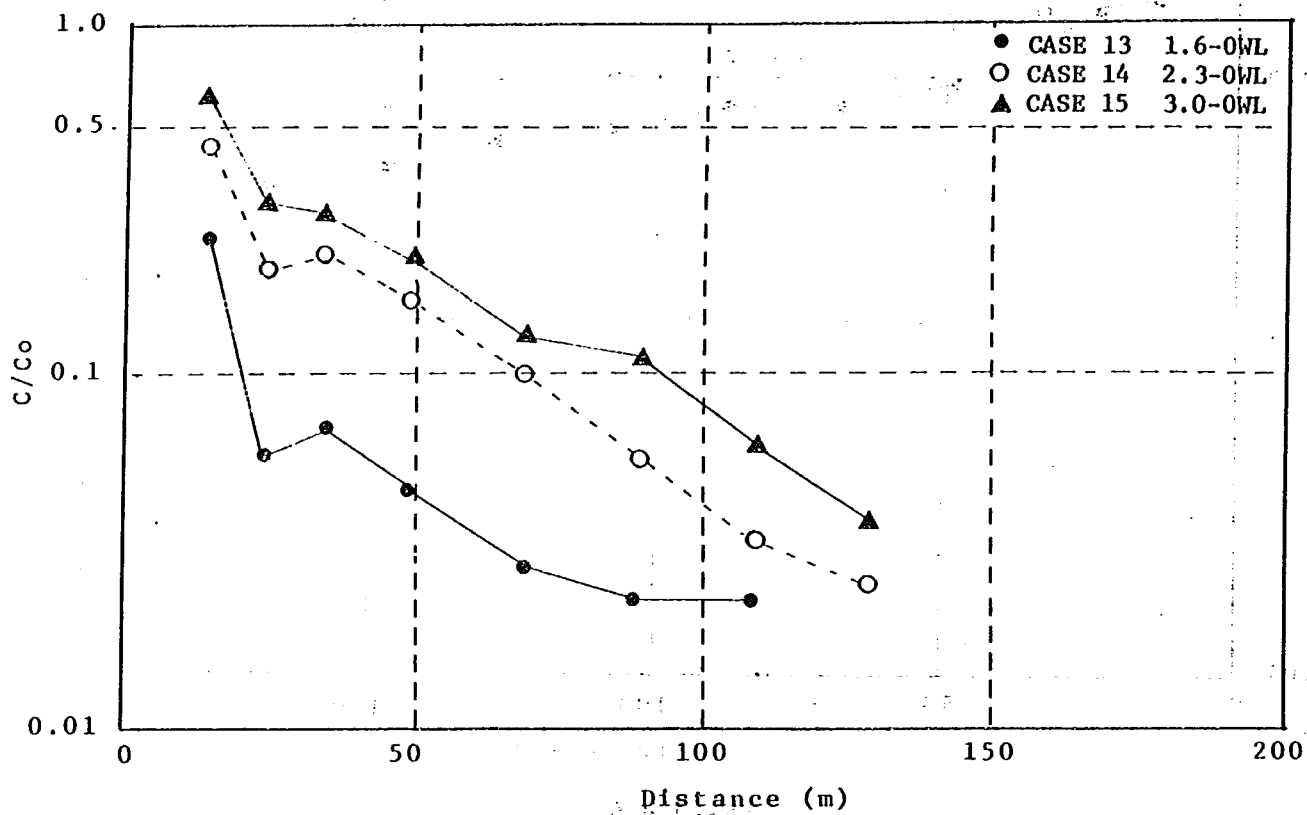
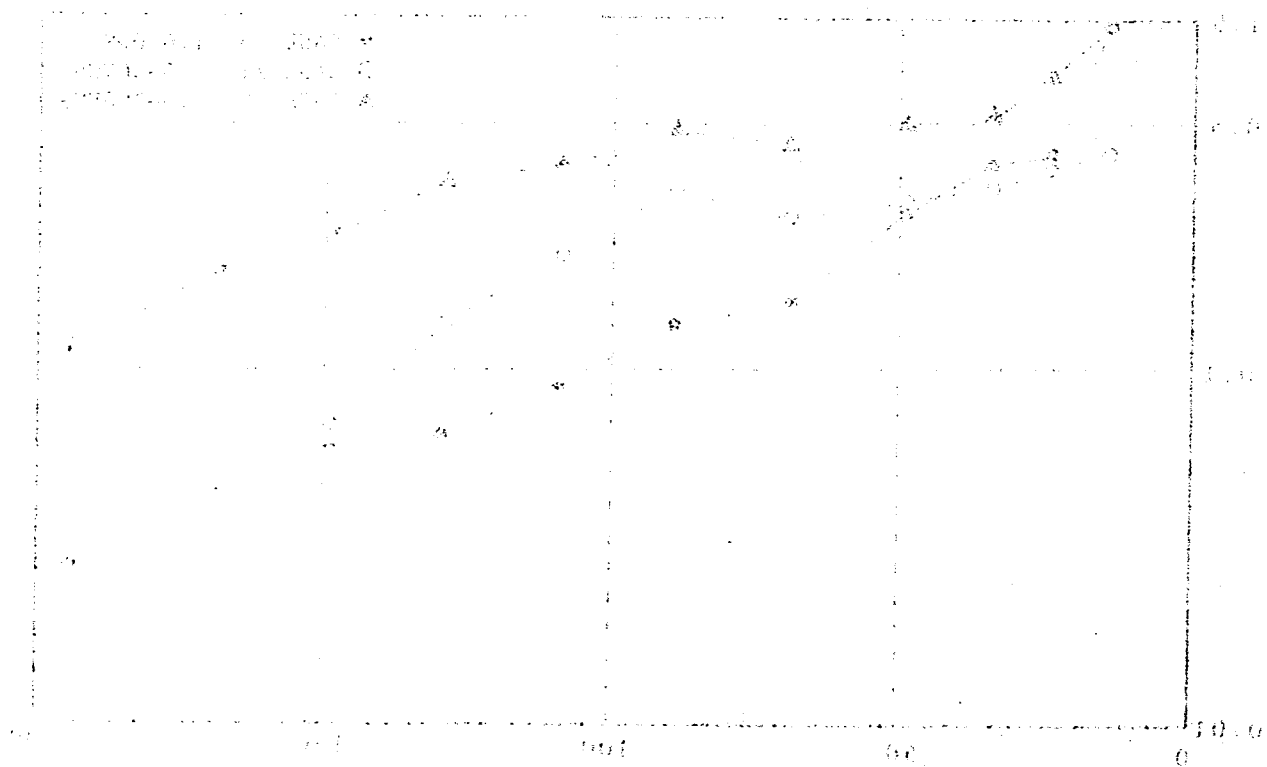


图-18.4



☒-18.5



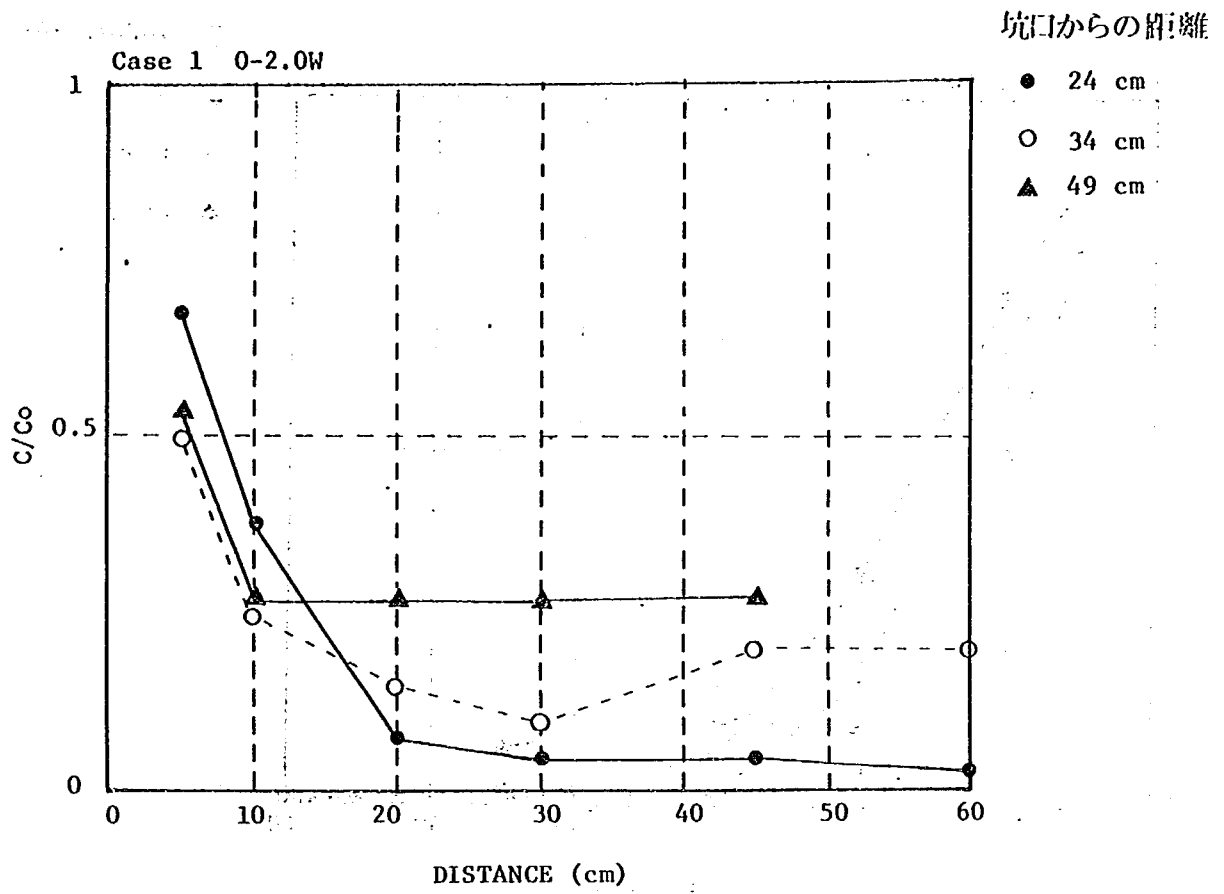


図-1 9.1

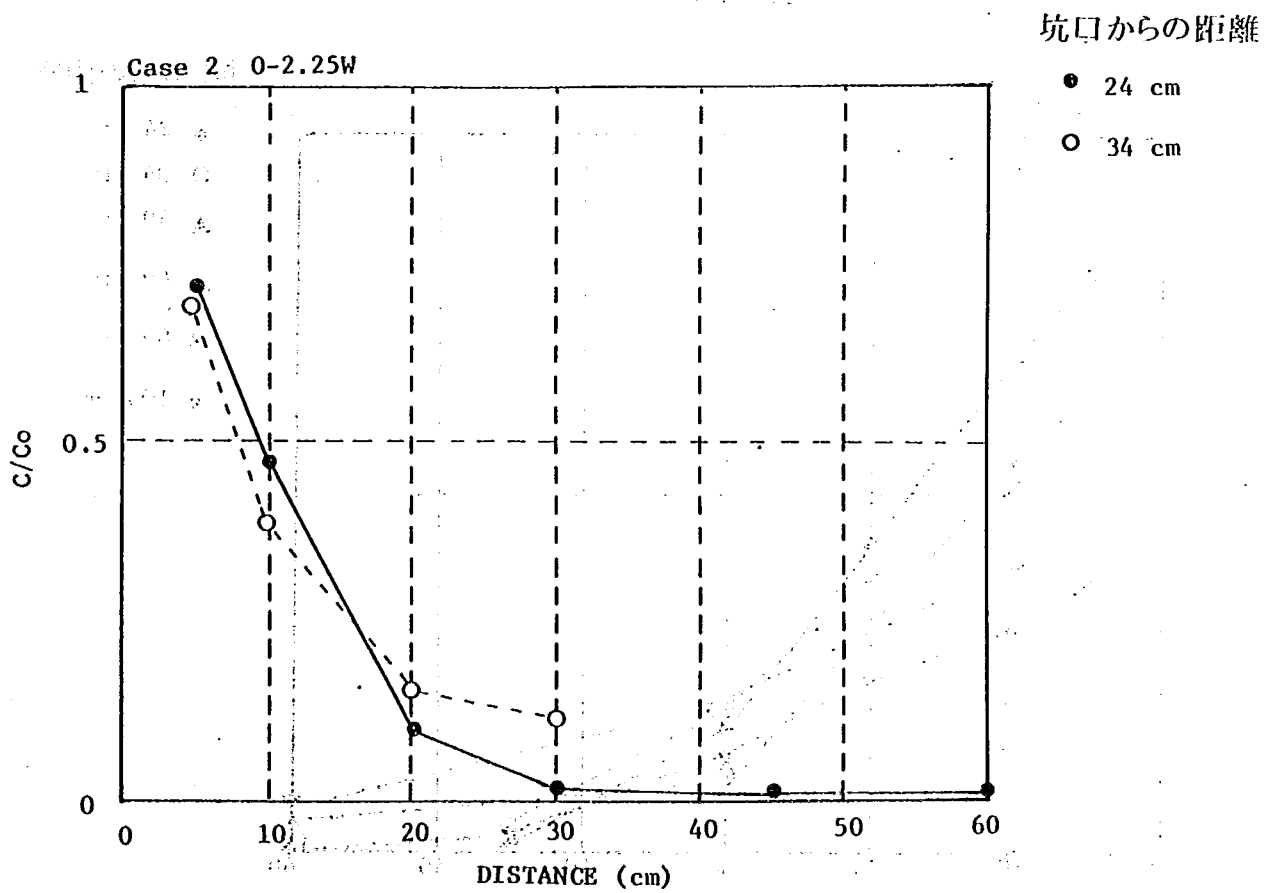


図-1 9.2

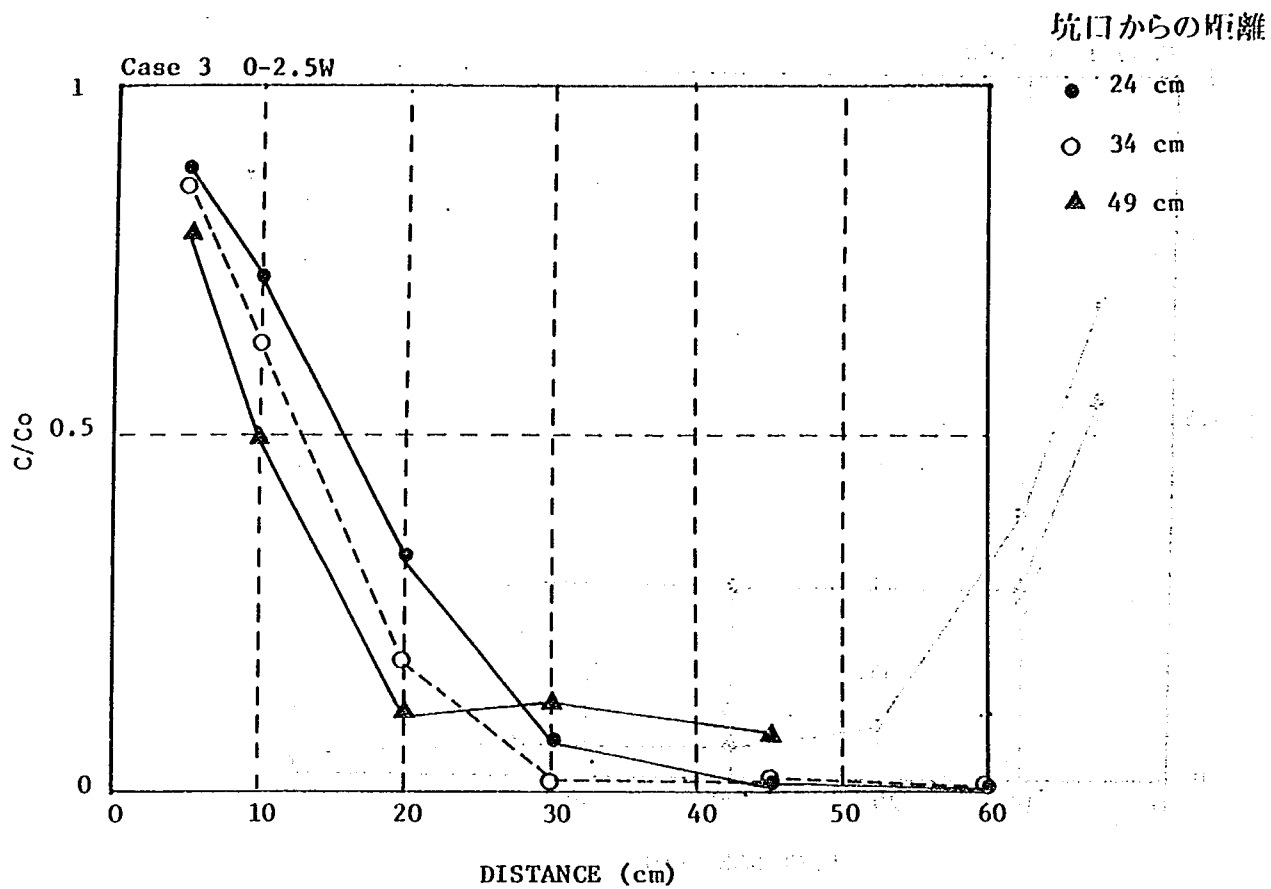


図-19.3

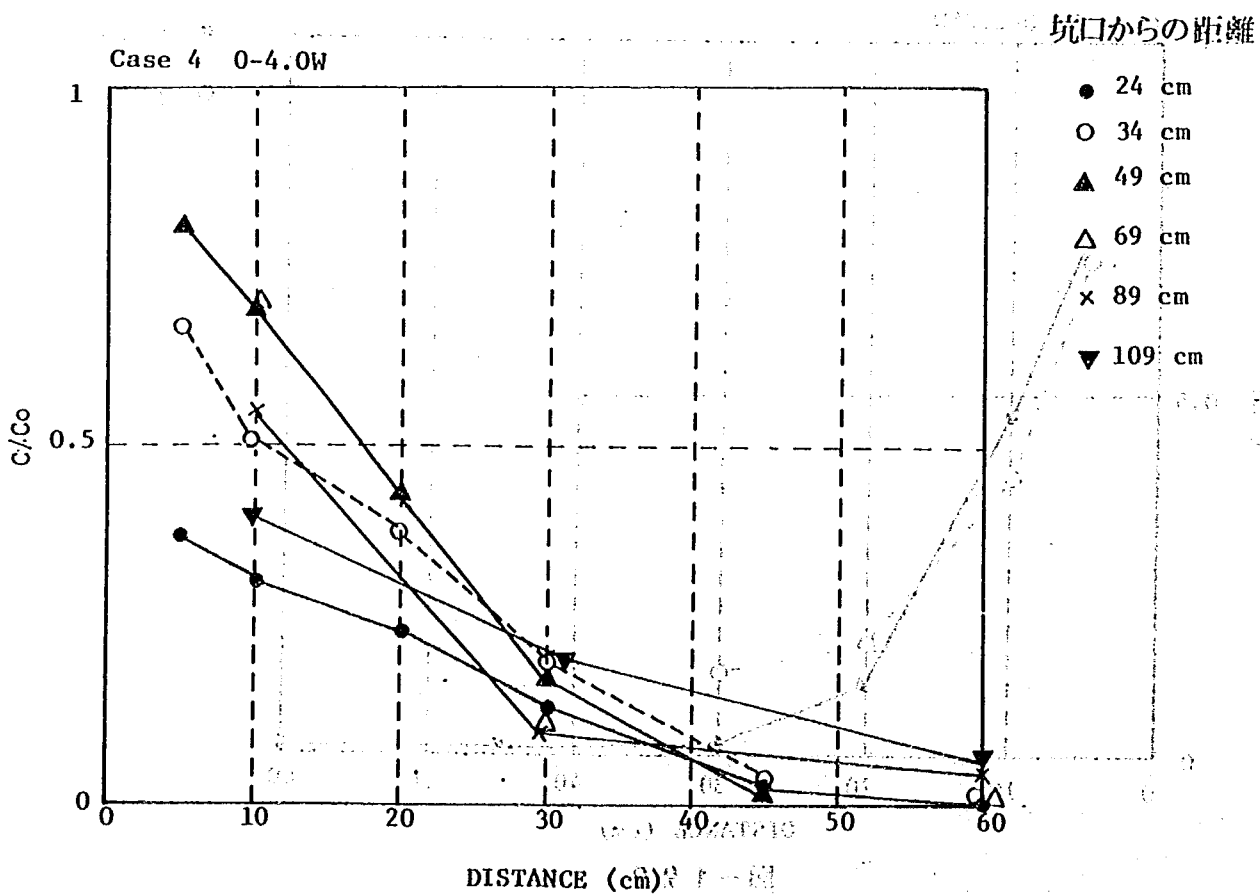


図-19.4

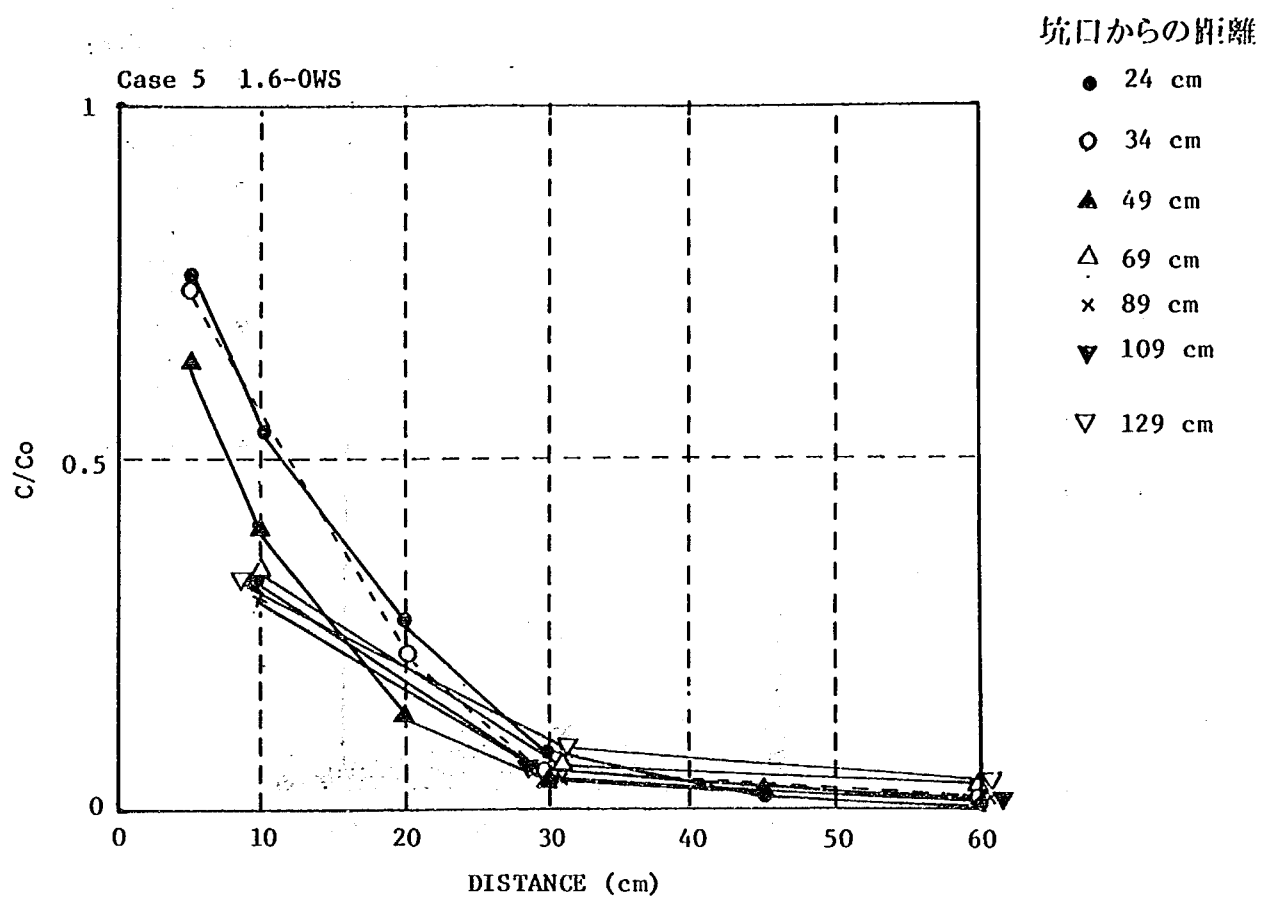


図-19.5

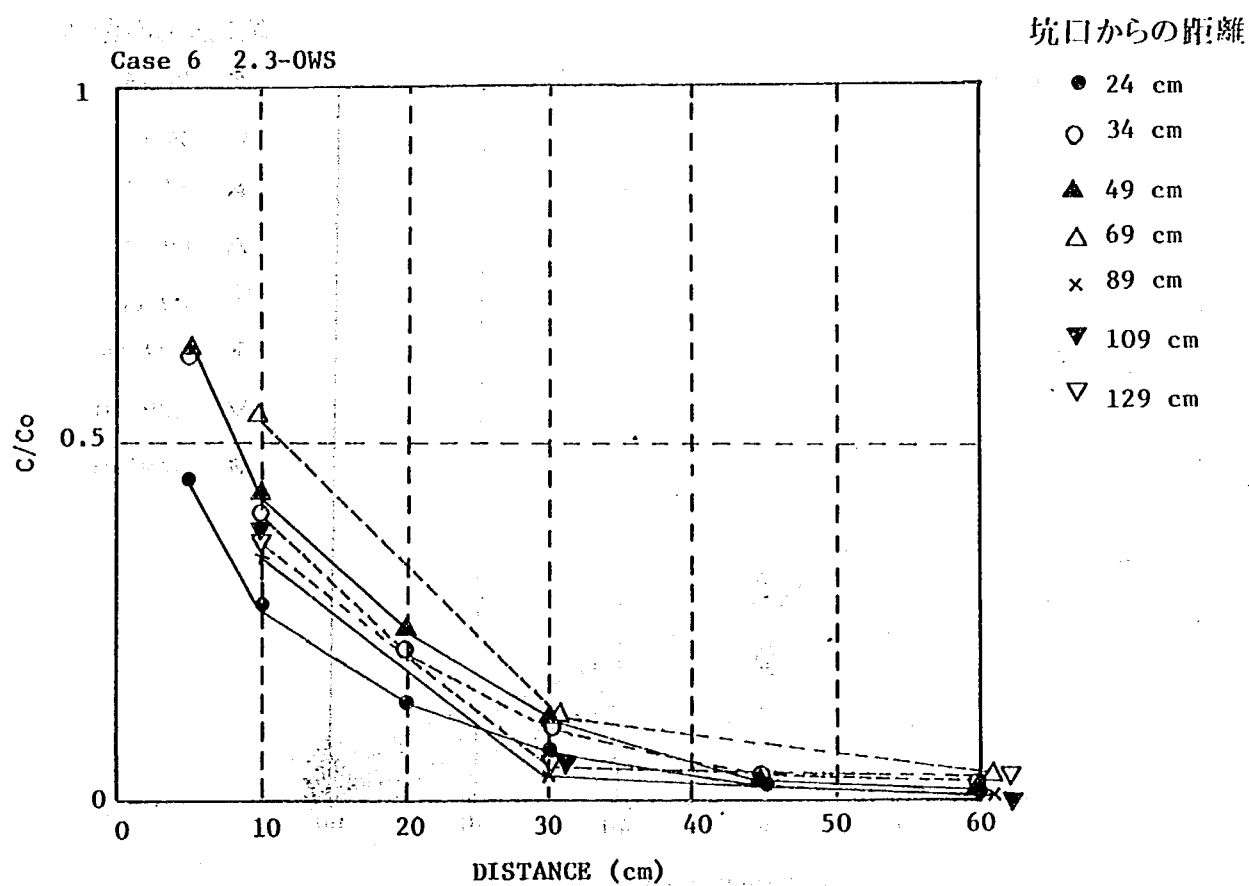


図-19.6

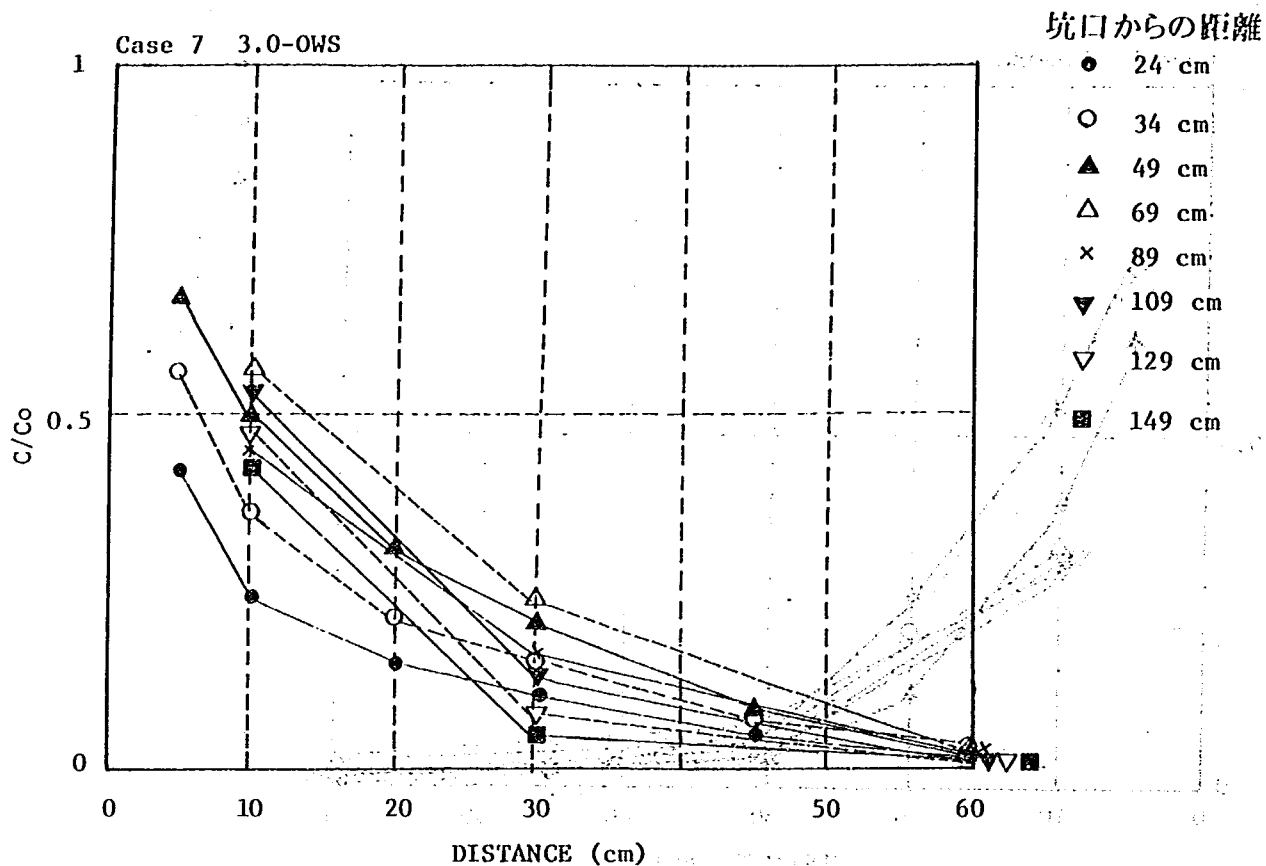


図-19.7

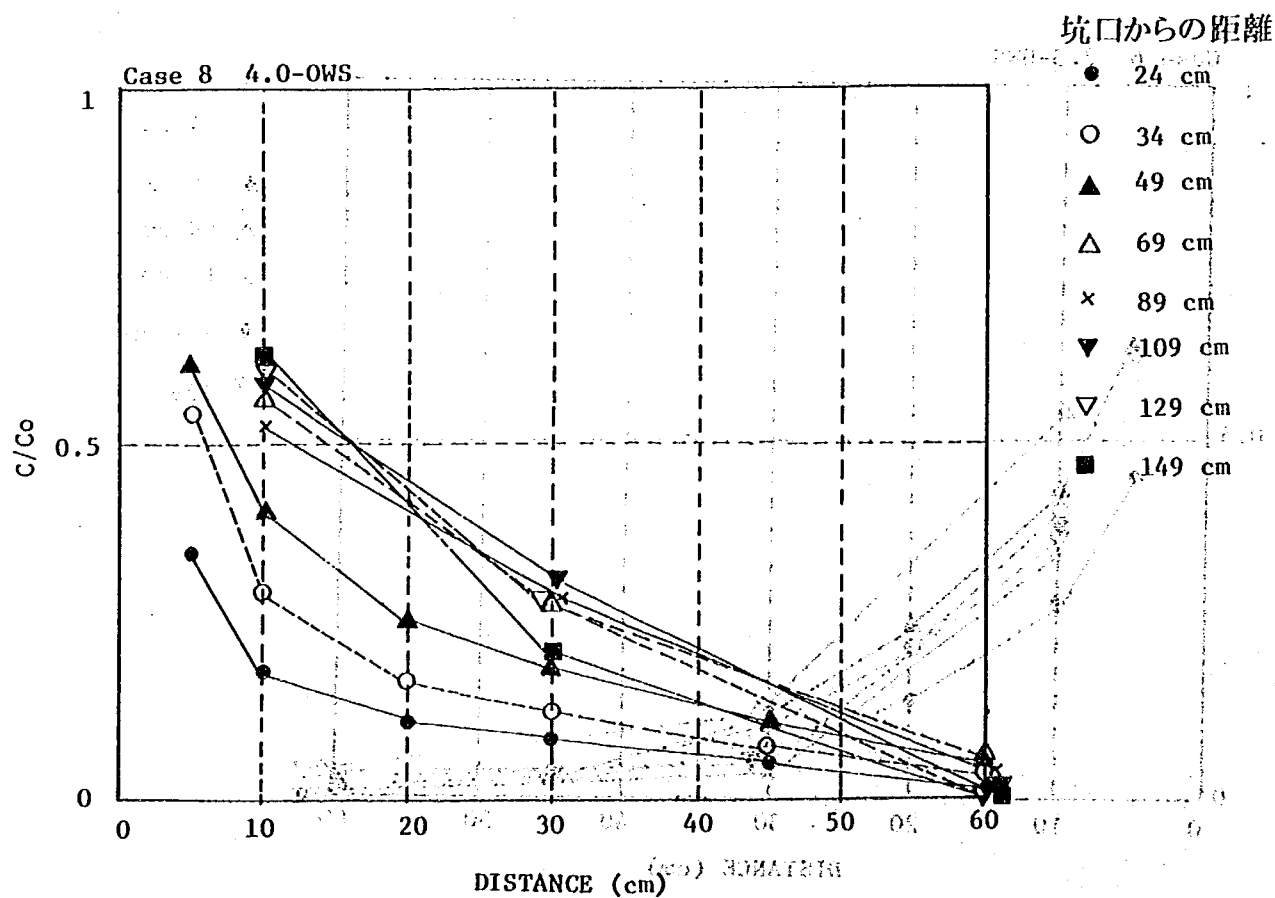


図-19.8

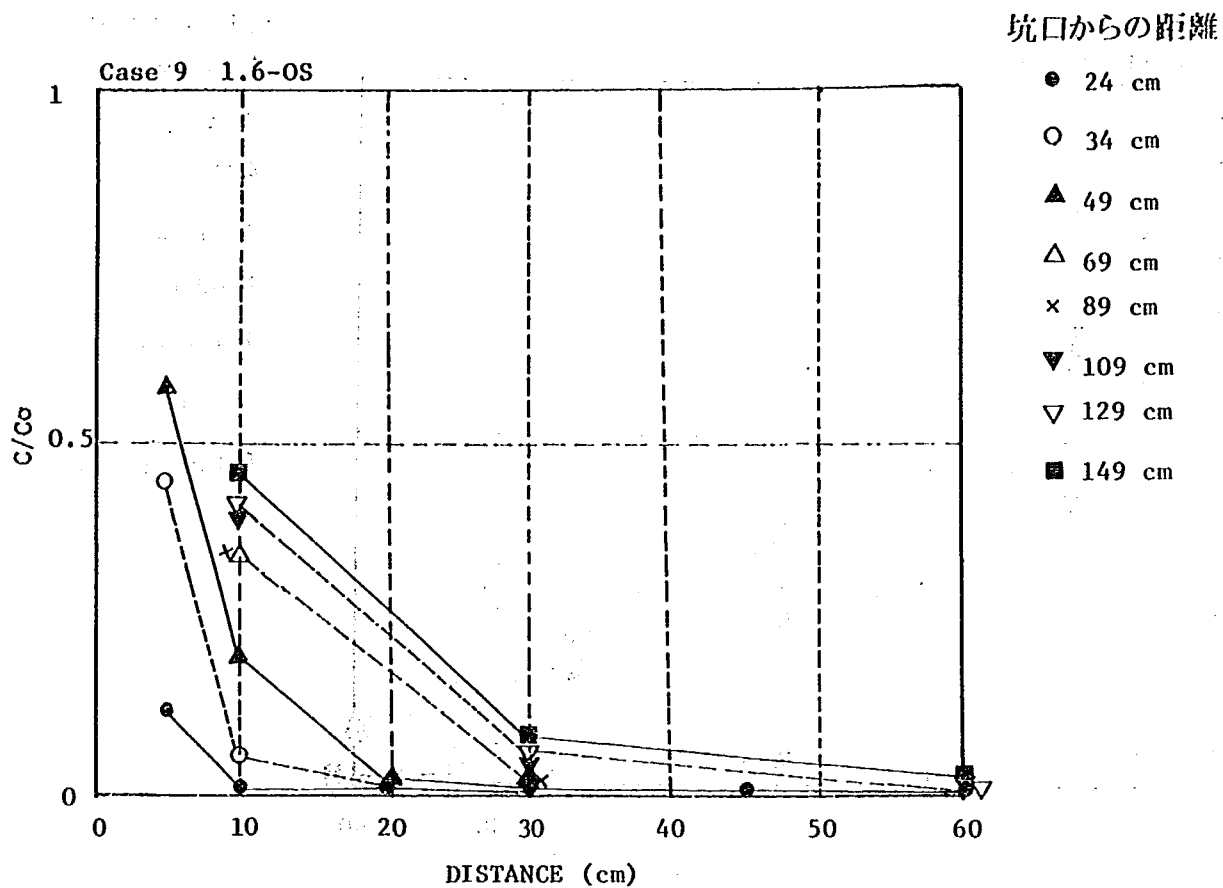


図-19.9

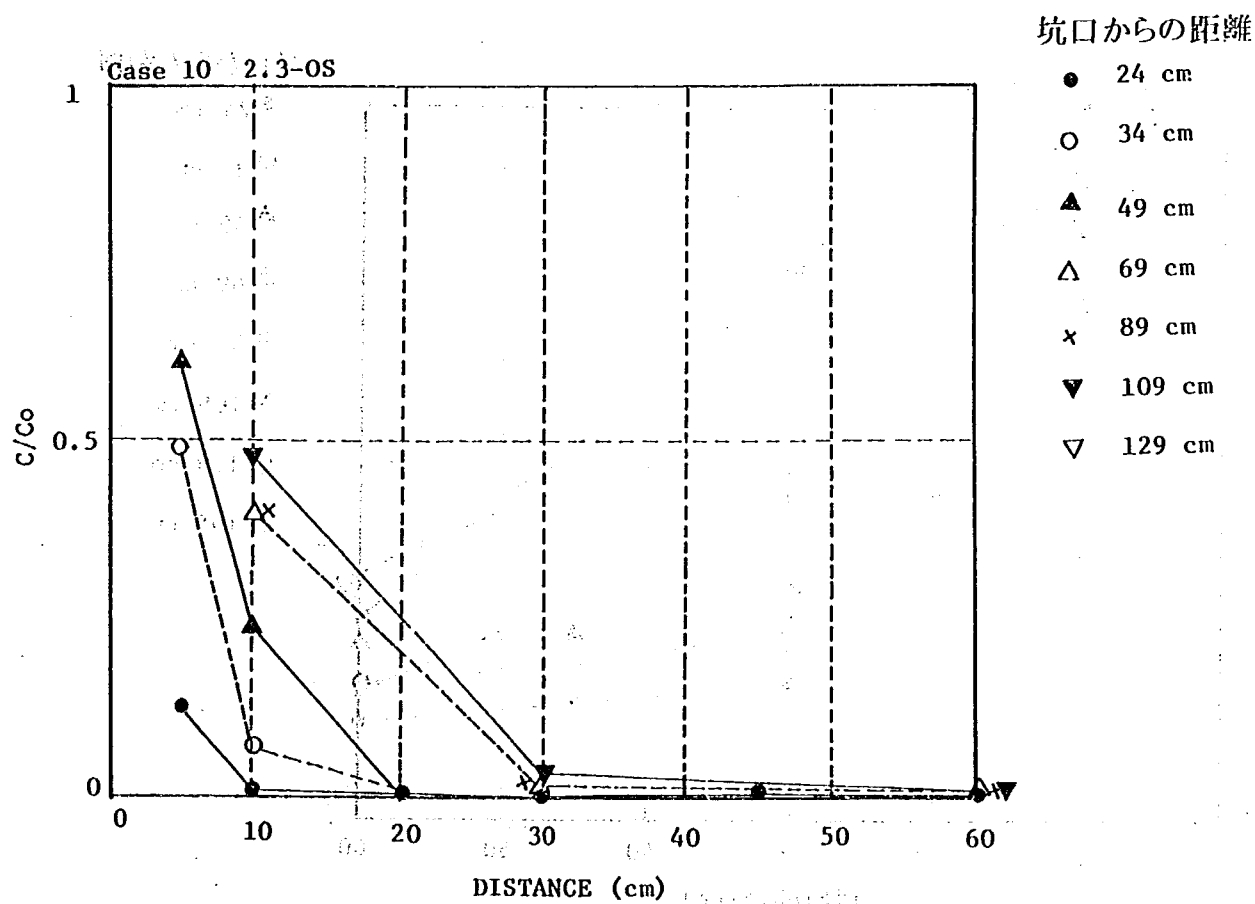
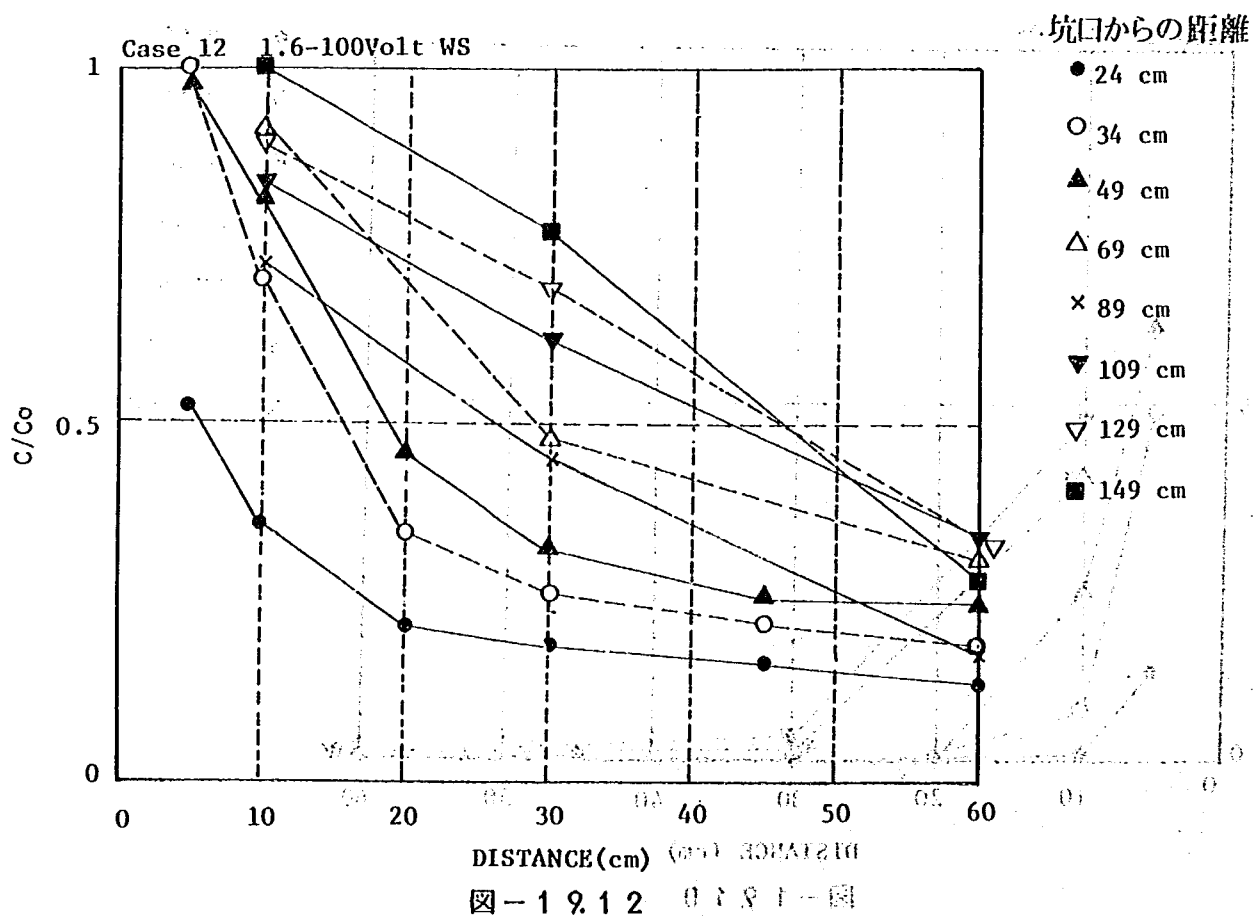
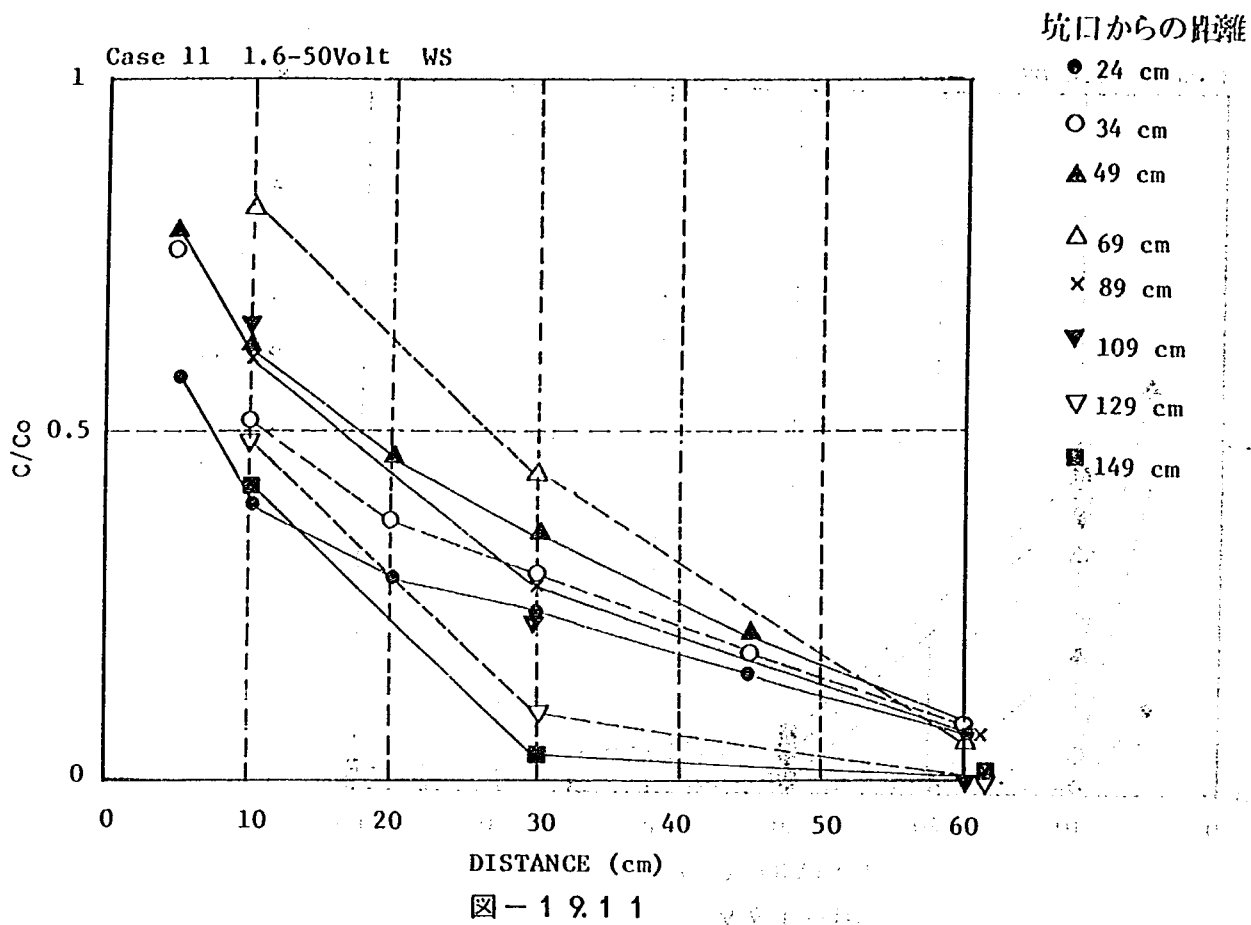


図-19.10



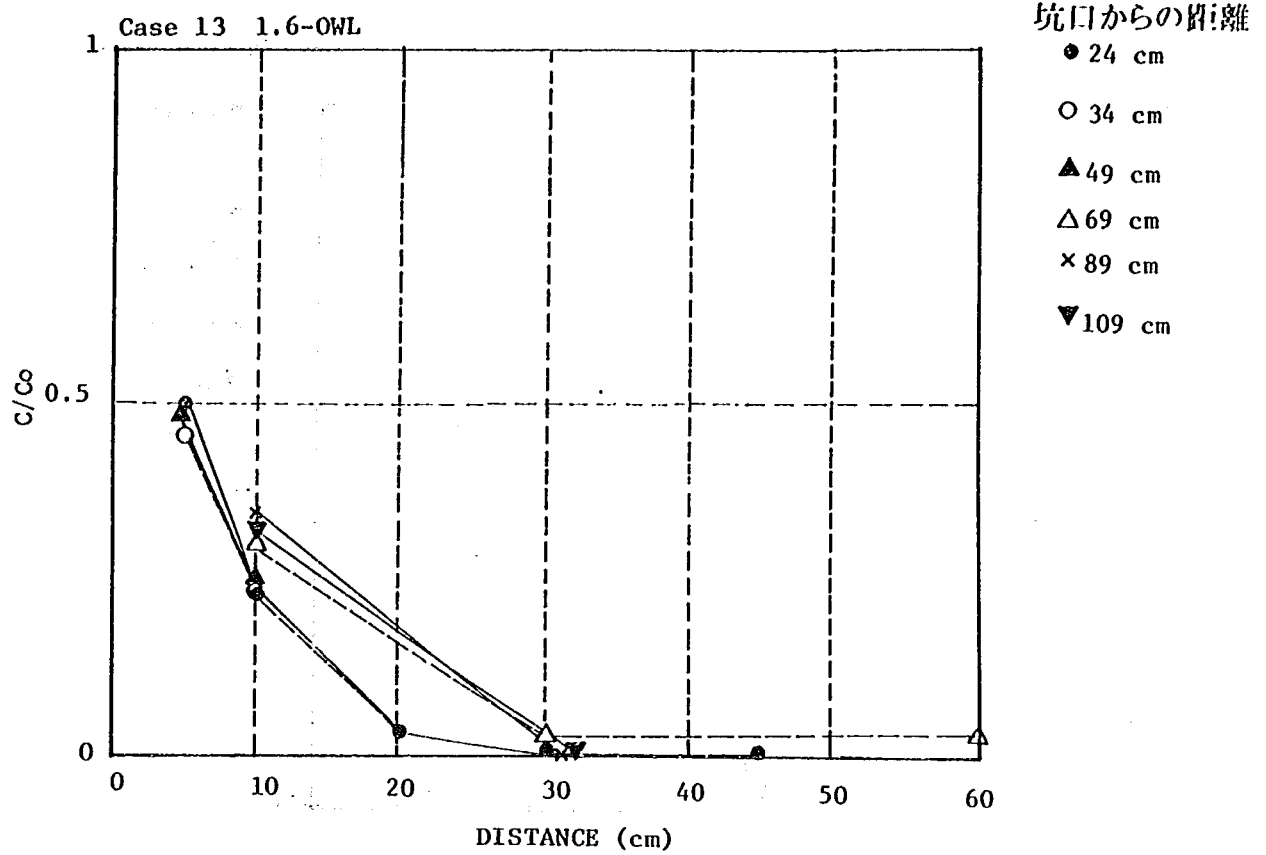


図 - 1 9.1 3

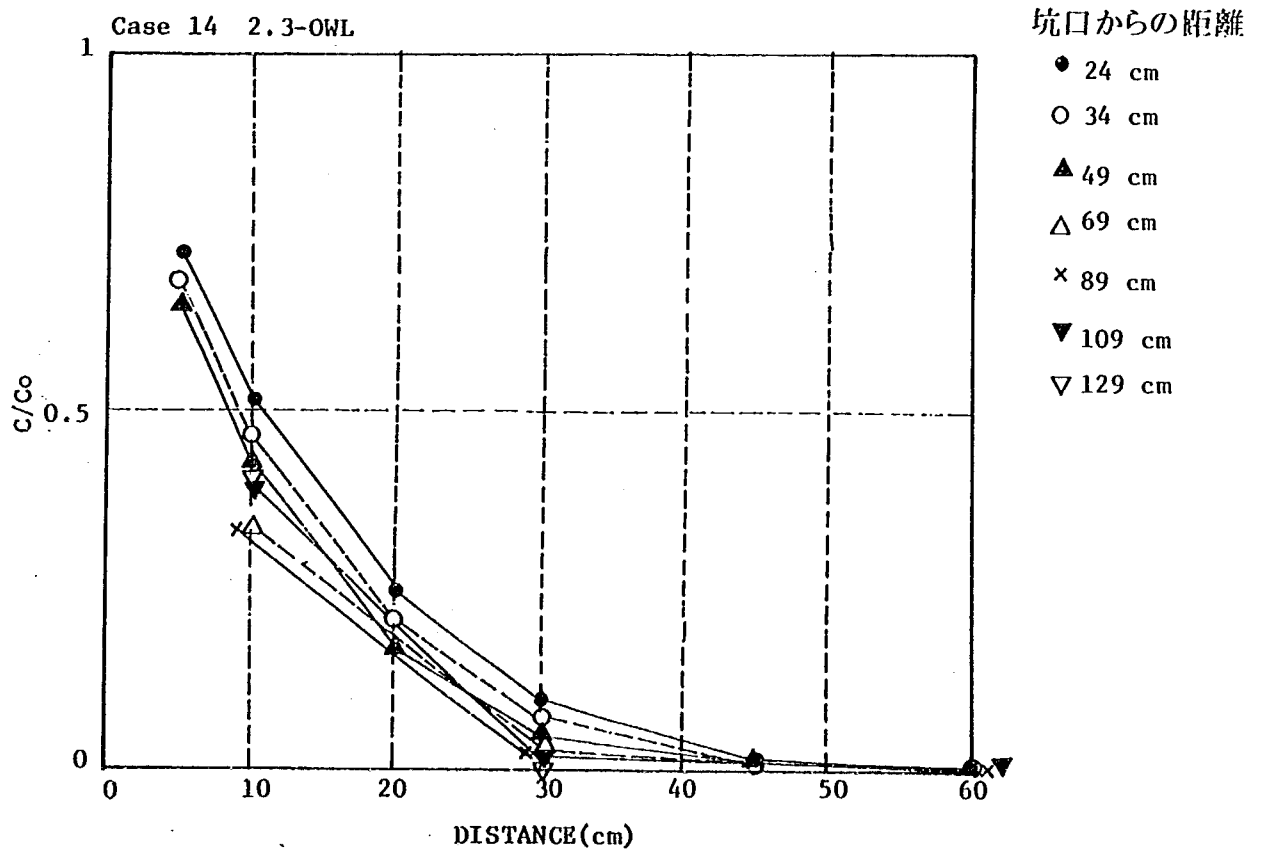


図 - 1 9.1 4

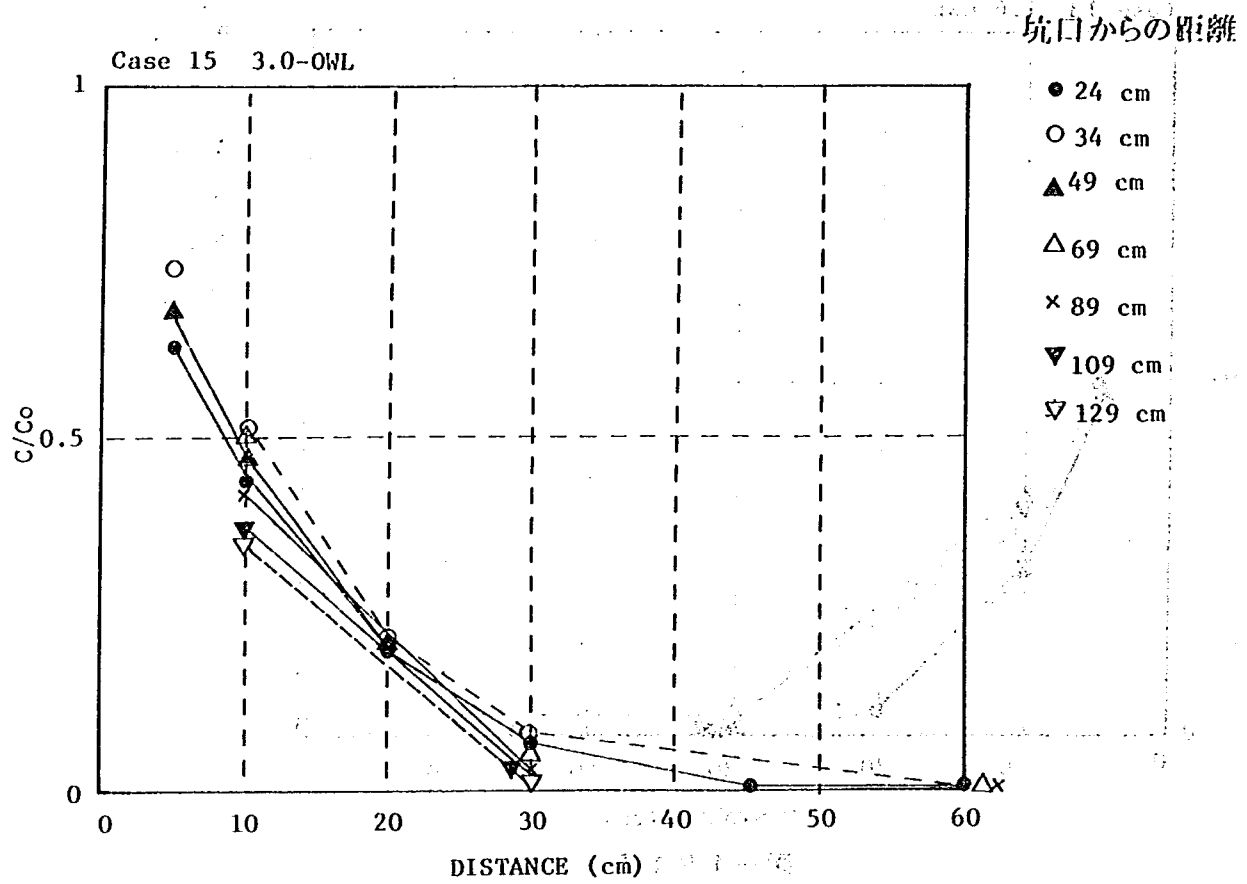
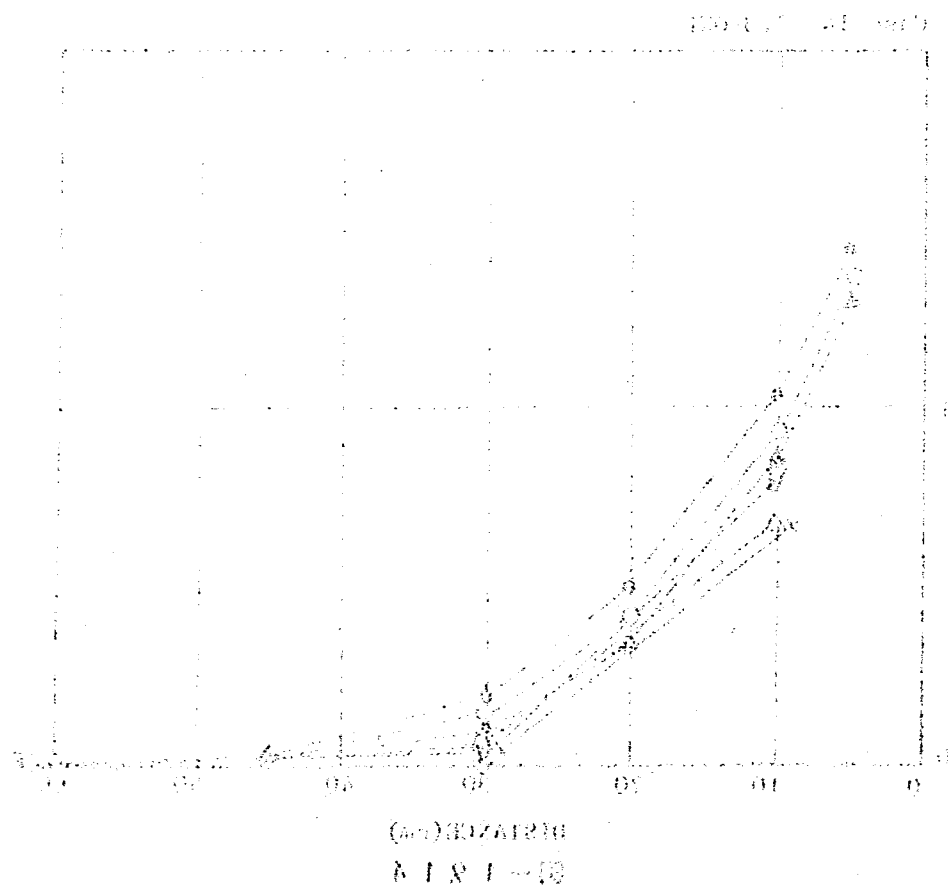
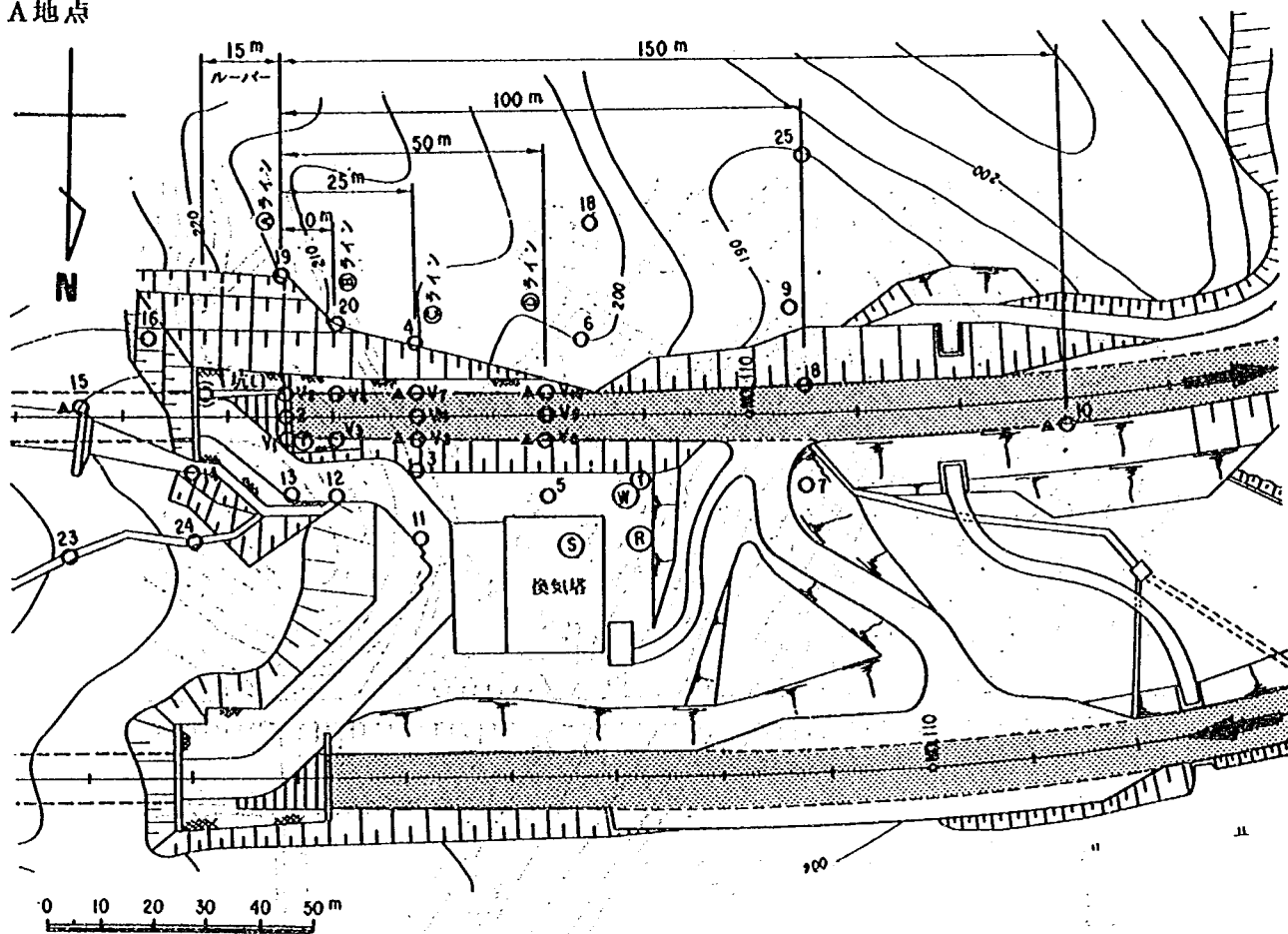


図-19.15



A地点



B地点

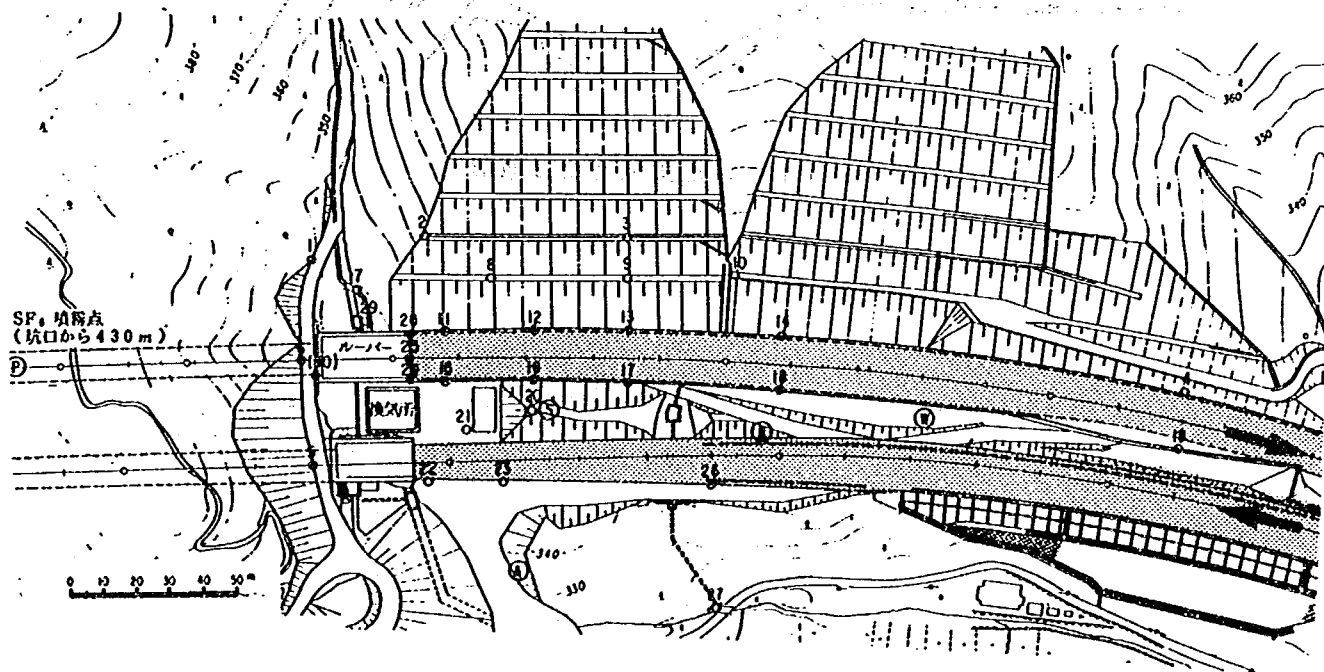


図-2 0.1 拡散実験地点の地形

C地点

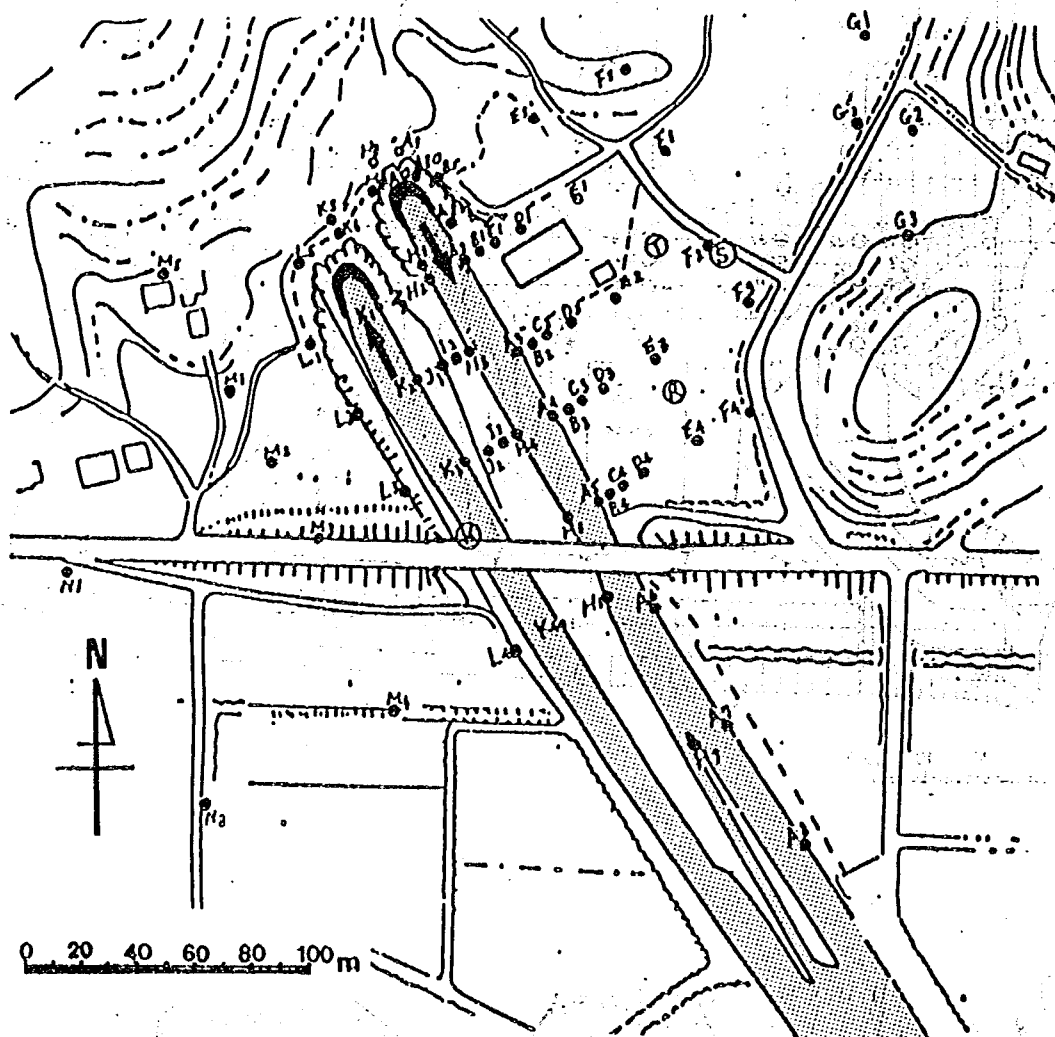


図-2 0.1 拡散実験地点の地形

昭和46年10月20日現在 1:0 2-19

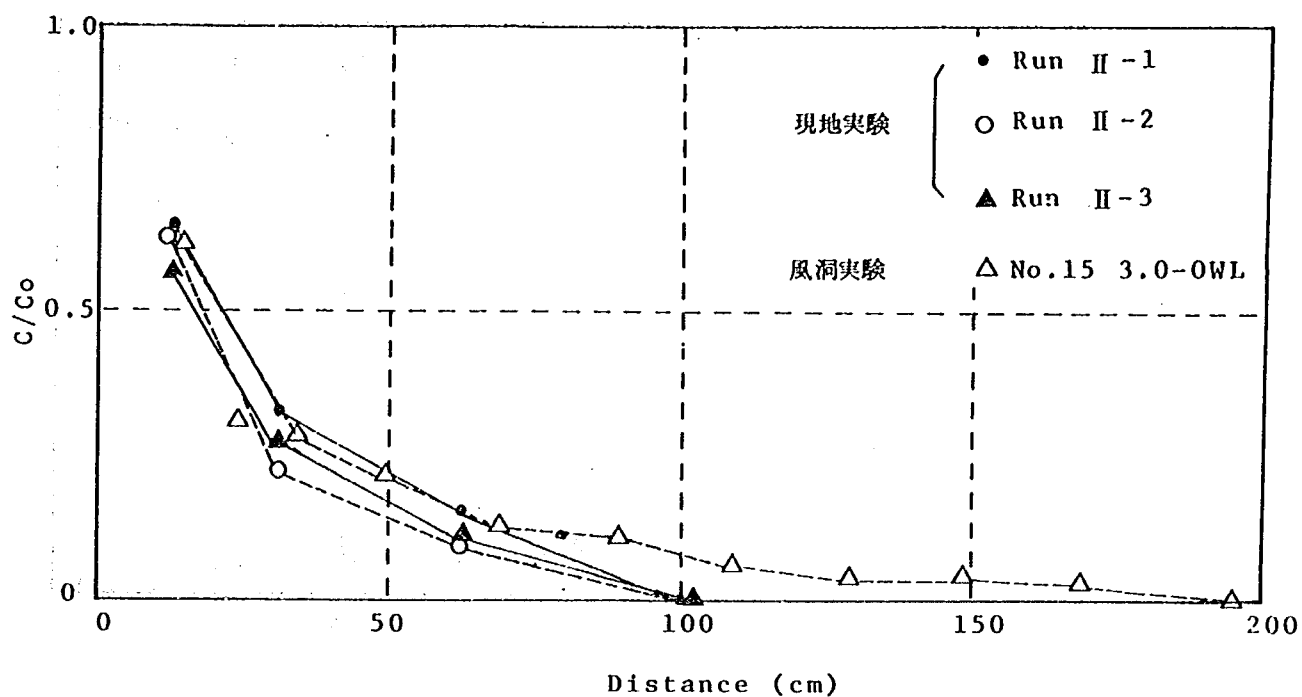


図 - 2.1.1

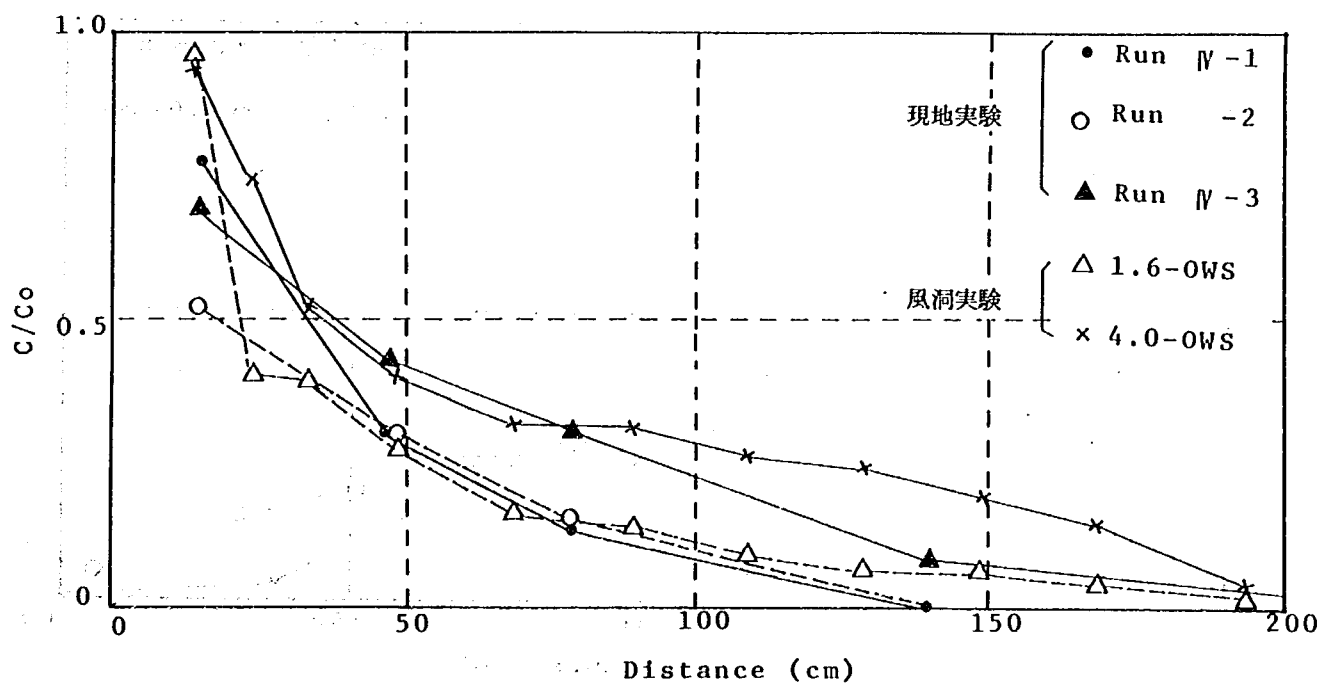


図 - 2.1.2

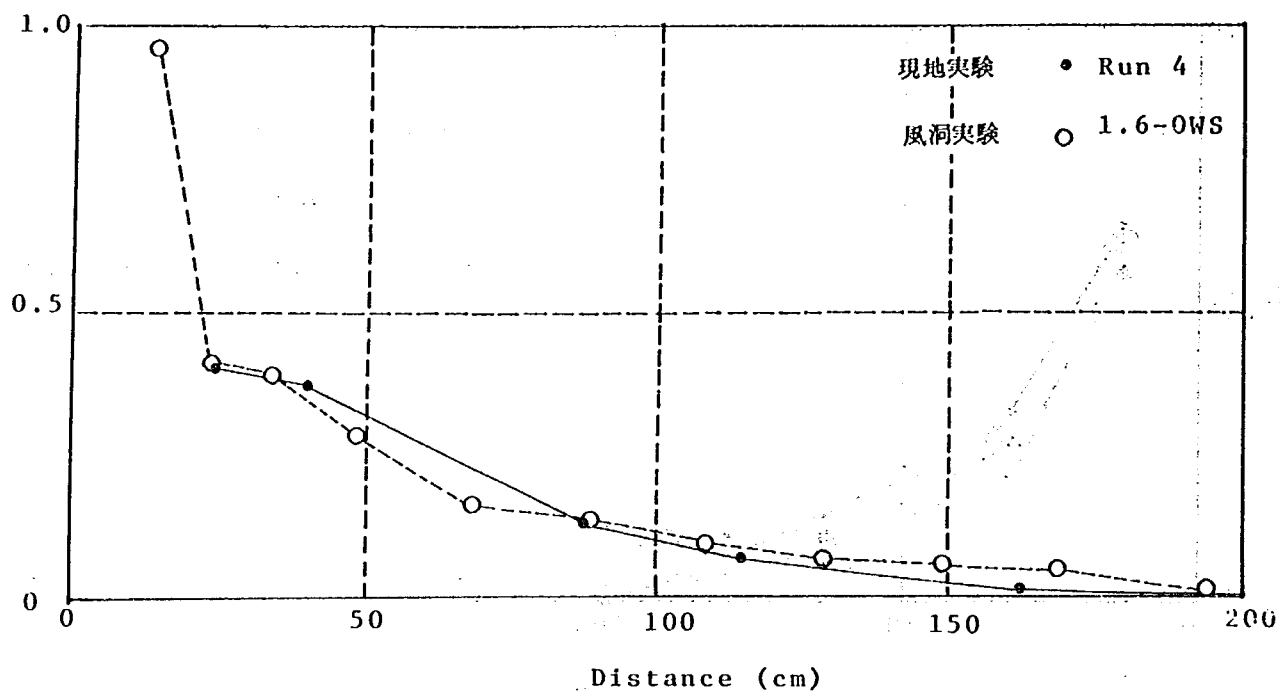


図-2.1.3

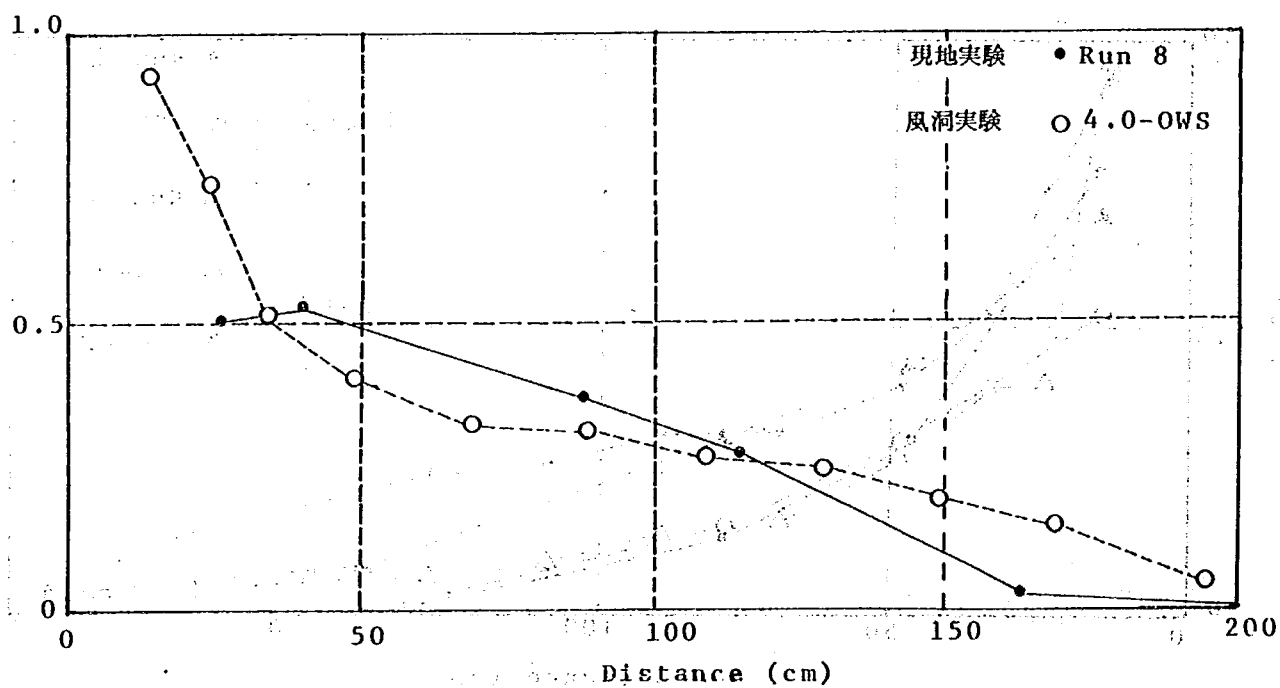


図-2.1.4

表-5 実験条件の比較

地点	Case	坑外風速 U (m/sec)	坑内風速 Vt (m/sec)	平均車速 Vc (Km/h)	交通量 (台/h)	平均車頭間隔 (m)	大型車混入率(%)	U/Vt	U/Vc	平均車頭間隔 トンネル径	断面閉側比	図 番号
A	Run II -1	4.5	3.7	70	446	160	60	1.2	0.23	23.9	0.11	23.1
	Run II -2	4.9	2.8	70	447	160	51	1.8	0.25	23.9	0.10	
	Run II -3	4.9	3.5	70	419	170	44	1.4	0.25	25.4	0.09	
模型	No.15 3.0-OWL	1.5	1.7	(相当) 97	18,947	90	100	0.9	0.06	13.4	0.37	
B	Run IV -1	2.8	3.4	80	442	180	44	0.8	0.13	26.9	0.09	23.2
	Run IV -2	2.7	3.5	80	503	160	39	0.8	0.12	23.9	0.08	
	Run IV -3	1.3	3.4	80	594	135	24	0.4	0.06	20.2	0.03	
模型	No.5 1.6-OWS	1.5	1.6	(相当) 50	6,666	30	100	0.9	0.11	4.7	0.37	
	No.8 4.0-OWS	1.5	2.3	(相当) 130	17,334	30	100	0.7	0.04	4.7	0.37	
C	Run 4	2.5	3.0	78	(台/30分) 179	220	26	0.8	0.12	31.9	0.07	23.3
模型	No.5 1.6-OWS	1.5	1.6	(相当) 50	3,333	30	100	0.9	0.11	4.7	0.37	
C	Run 8	2.5	4.0	73	(台/h) 279	130	28	0.6	0.12	18.8	0.07	23.4
模型	No.8 4.0-OWS	1.5	2.3	(相当) 130	8,667	30	100	0.7	0.04	4.7	0.37	

計 測 結 果 資 料

1948 1949 1950 1951 1952 1953

I 坑口拡散模型実験（その1）

目 次

付図 1. サンプルングポイント	5
付図 2. サンプルングポイント	6
付表	7

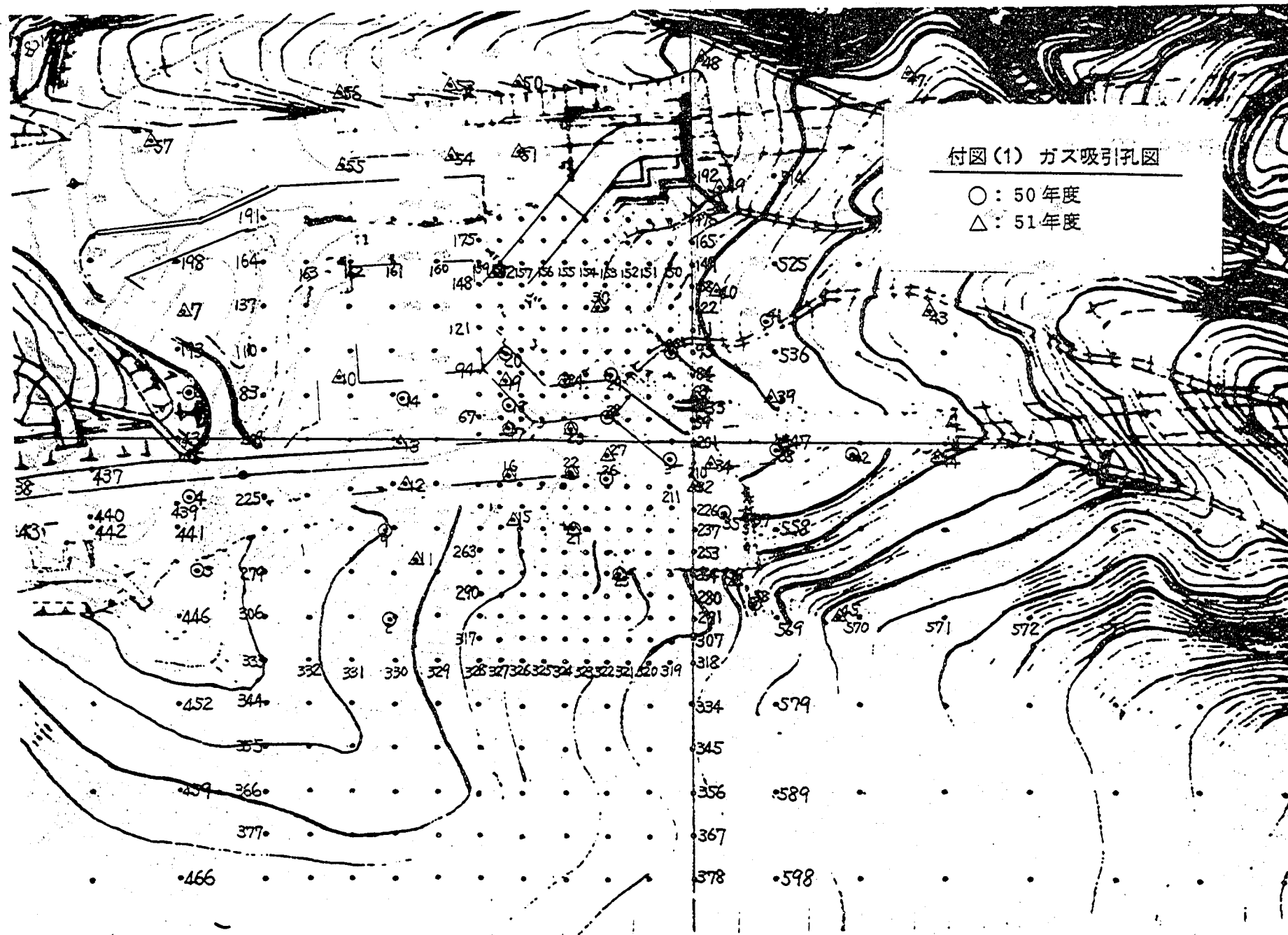
THE JOURNAL OF THE

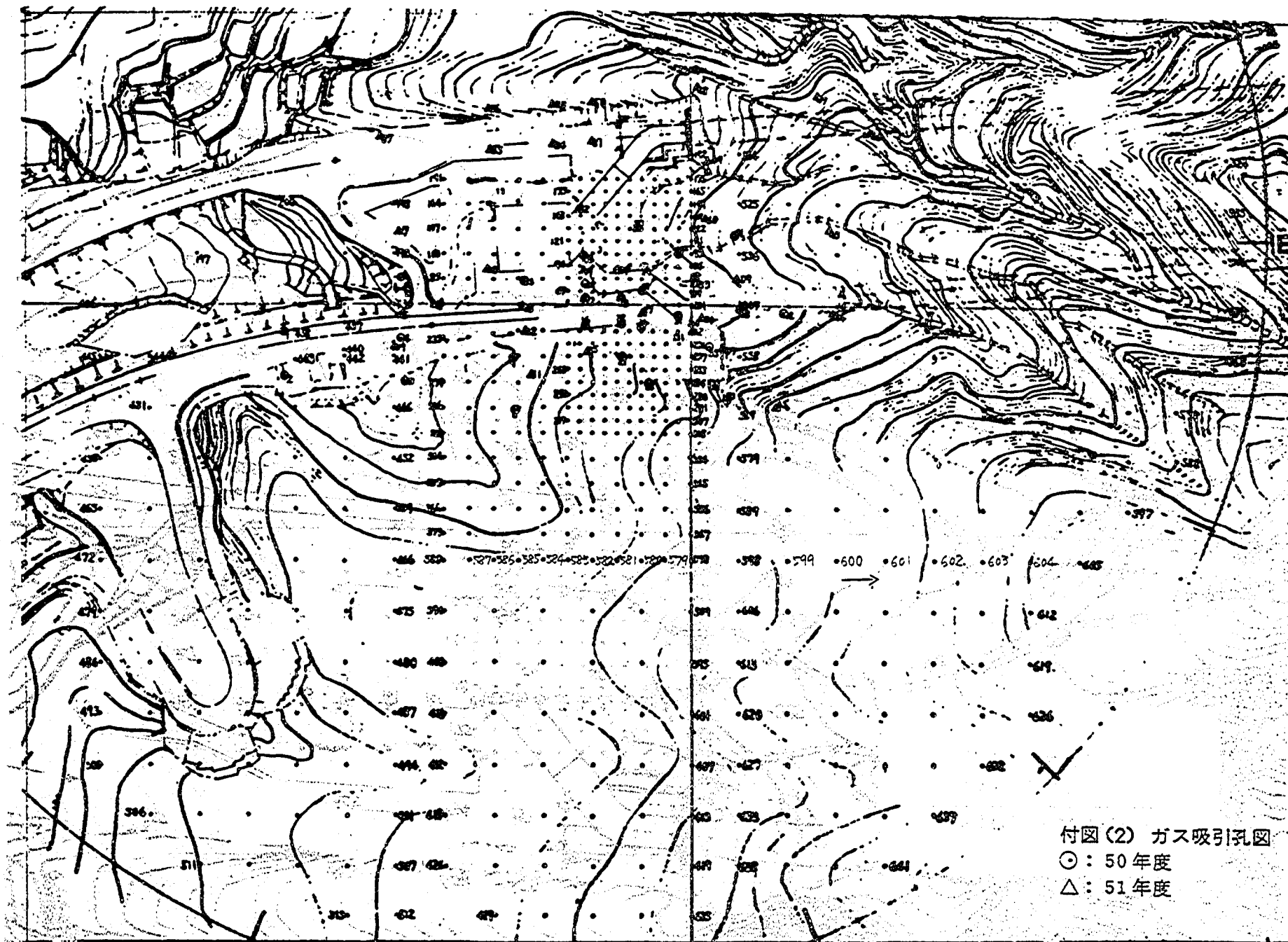
1870

1871

1872

1873





付録 表1 定暈実験結果 R D (%)

テスト風向	1	2	3	4	5
交通方向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
模型風速	一方	一方	対面	対面	対面
坑口風速	3.5 m/s	1.5 m/s	1.8 m/s	3.0 m/s	2.0 m/s
Qg	1.5 m/s	3.5 m/s	1.0 m/s	0.8 m/s	1.3 m/s
q NH3	57.19 1/min	54.26 1/min	35.19 1/min	55.65 1/min	48.65 1/min
1	0.19 1/min	0.26 1/min	0.19 1/min	0.65 1/min	0.65 1/min
2		0.374	0.083	0.117	
3	1.057	4.104	0.582	0.781	0.790
4	0.952	5.521	0.249	0.273	0.206
5	1.627	4.958	1.080	1.094	0.893
6	0.361	3.625	0.166	0.156	
7		0.563	0.083		
8			0.332		
9		1.146	0.166		
10	0.053	4.563	0.416	0.156	0.069
11	0.228	4.375	0.083		
12	0.336	1.521	0.499	0.195	0.034
13	0.363	13.04	7.811	2.773	2.199
14	1.123	9.625	1.413	0.820	0.722
15	0.415	4.479	0.997		
16	0.148	2.479	4.072	0.039	0.172
17	0.415	16.67	22.85	12.11	10.24
18	2.895	14.00	7.395	2.461	5.120
19	1.496	3.521	4.238	1.133	2.783
20			2.410	0.391	1.065
21			0.997	0.234	0.309
22	0.456	2.000	3.988	0.977	0.928
23	1.204	18.19	31.58	26.72	29.59
24	6.299	16.67	10.80	7.851	12.27
25	0.027	8.188	0.997	1.289	3.127
26	0.053		0.332	0.117	
27	0.240	6.667	6.980	4.531	5.635
28	1.246	9.813	8.725	14.18	14.40
29	2.829	4.667	10.05	7.968	10.34
30	0.147	6.563	0.748	1.562	3.058
				0.039	0.172

付録 表2 定量実験結果 R D (%)

テスト №	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
31	0.684		5.567	12.734	9.999
32			3.822	7.500	7.250
33			1.163	5.000	5.979
34			2.410	7.070	6.700
35			2.991	1.445	1.581
36			1.246	0.117	
37			2.493	1.133	1.1271
38			1.163	5.234	5.120
39	0.053		0.665	5.117	5.189
40		0.188	0.166	4.258	0.722
41			0.249	0.469	0.997
42			1.246	2.734	2.646
43			0.083	0.586	0.962
44			0.914	2.461	2.715
45			0.249	0.039	
46			0.083	0.117	
47			0.416		
48			0.332		
49			0.083		
50			0.249		
51			0.416		
52			0.083		
53			0.083		
54			0.166		
55				0.039	
56					
57					
58			0.332	0.039	
59	0.027		1.911	9.414	0.916
60	0.212		2.742	7.382	8.281
61	0.583		7.229	21.09	17.22
62	4.405	6.375	12.88	8.749	12.61
63	5.112	6.771	8.642	3.945	8.900
64	4.952	9.417	6.149	2.031	5.635
65	0.960	1.333	2.410	0.273	0.447

付録 表3 定量実験結果 RD (%)

テスト№	1	2	3	4	5
風向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
66	0.826	9.708	5.401	1.602	3.161
67	0.480	8.292	5.401	1.445	2.096
68			0.914	4.101	5.429
69	0.053		0.748	3.789	5.567
70	0.053		0.582	3.945	5.601
71		0.188	0.582	3.555	5.601
72	0.228	0.188	0.748	2.539	4.948
73			0.831	2.461	5.189
74		14.38	0.997	1.680	4.330
75	0.308		1.330	1.328	3.471
76	0.053	8.563	2.160	0.820	2.096
77	0.880	5.438	3.407	0.547	1.237
78	0.293	4.104	2.576	0.508	
79	0.292	3.146	2.493		0.034
80	0.398	3.229	1.662		
81	0.427	7.146	0.997		
82	0.027	2.771	0.249	1.953	
83	0.268	2.292	0.499		
84			0.332	0.078	
85			0.332	1.836	3.093
86			0.499	1.484	2.852
87	0.027		0.416	1.094	2.165
88	0.318	1.813	0.582	0.898	2.027
89	0.133		0.582	0.977	1.993
90	0.292		0.665	0.664	1.959
91	0.600		0.582	0.664	1.546
92	0.268		1.496	0.547	1.065
93	0.268		1.828	0.273	0.550
94	0.654	3.521	3.407	0.352	0.447
95	0.053		0.332	0.820	1.615
96	0.027		0.332	0.781	1.752
97			0.332	0.625	1.546
98			0.499	0.469	1.478
99			0.249	0.508	1.374
100	0.027		0.249	0.352	1.306

付録 表4 定量実験結果 R D (%)

テスト風向	1 NNW	2 NE	3 WNW	4 W- 1:	5 W- 2
101			0.332	0.352	1.134
102			0.499	0.391	0.928
103	0.027	0.104	0.748	0.234	0.619
104	0.133		0.997	0.273	0.275
105			1.579	0.078	0.344
106			0.582	0.078	0.034
107			0.083		
108			0.083		
109		1.229	0.083		
110	0.053	0.292	0.166		
111		0.667	0.166	0.469	
112			0.083	0.391	1.031
113			0.166	0.352	0.893
114			0.166	0.313	0.790
115			0.332	0.195	0.790
116			0.332	0.156	0.619
117			0.499	0.234	0.687
118	0.053		0.582	0.313	0.584
119	0.133		0.665	0.117	0.378
120			0.499	0.117	0.241
121				0.039	0.069
122				0.508	0.275
123				0.195	0.378
124				0.117	0.309
125				0.078	0.309
126				0.117	0.275
127				0.117	0.412
128				0.078	0.309
129				0.156	0.206
130				0.039	0.103
131				0.078	0.172
132				0.039	0.034
133				0.039	0.0
134					0.0
135					0.0

付録 表5 定量実験結果 R D (%)

テスト風向	1 NNW	2 NE	3 WNW	4 W- 1	5 W- 2
136				0.195	
137					0.962
138				0.117	0.241
139				0.195	0.241
140				0.195	0.103
141				0.078	0.069
142				0.078	0.103
143				0.195	0.034
144				0.039	
145					
146					0.034
147					
148					
149					
150					
151					
152					
153					
154					
155					
156					
157					
158					
159					
160					
161					
162					
163					
164					
165					
166					
167					
168					
169					
170					

付録 表6 定量実験結果 R D (%)

テスト№	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
171					
172					
173					
174					
175					
176					
177					
178					
179					
180					
181					
182					
183					
184					
185					
186					
187					
188					
189					
190					
191					
192					
193			0.332	0.039	
194	0.027	0.104	0.914	0.156	
195			0.166		
196			0.249	0.195	
197			0.249		
198					
199					
200					
201	0.202		2.327	9.882	9.174
202	0.254		2.991	10.59	10.52
203	0.239		12.80	28.48	19.38
204	11.281	13.52	6.315	2.422	3.127
205	0.610	11.33	4.321	1.562	1.546

付録 表7 定量実験結果 R D (%)

テスト№	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
206	1.240	8.750	1.080	0.664	0.550
207	0.495	6.667	0.332	0.313	0.241
208		6.188	0.166	10.234	0.172
209	0.403	4.479	0.083	0.195	0.137
210			2.742	9.296	8.419
211	0.053		4.819	8.906	8.487
212	0.106		6.897	10.62	10.34
213	0.374	0.666	11.72	9.570	11.55
214	0.345	5.333	7.395	6.445	7.147
215			0.166	8.906	0.241
216	0.265	4.854	14.13	11.09	14.40
217	0.240	8.000	16.29	9.179	14.02
218	0.133	9.708	17.95	6.172	10.10
219	0.106	11.63	17.70	5.468	7.491
220	0.080	12.56	14.79	5.156	5.532
221		12.08	9.306	0.703	1.134
222	0.292	13.04	8.060	3.437	2.577
223	3.645	10.96	4.238	2.187	1.787
224	2.975	9.146	2.244	1.641	1.237
225	2.389	6.667	1.579	1.289	1.031
226			1.662	1.328	1.374
227	0.094		4.736	3.242	3.745
228	0.133		5.816	3.672	4.639
229	0.186		7.561	4.140	5.979
230	0.293	4.771	6.315	4.336	5.807
231	0.186	3.708	6.564	5.039	6.597
232	0.133	2.292	7.395	4.922	8.075
233	0.134	2.479	10.05	3.711	6.804
234	0.027	3.229	9.140	2.070	4.261
235		4.667	8.558	0.313	1.134
236	0.027	5.896	5.401	0.078	0.172
237			3.158	0.586	0.722
238			3.739	0.781	0.962
239	0.027		4.321	1.094	1.237
240	0.212		1.745	1.914	2.268

付録 表8 定量実験結果 R D (%)

テスト№	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
241		0.771	4.653	2.734	3.264
242	0.027	2.292	3.905	0.937	0.619
243	0.106	2.104	2.991	0.156	0.137
244		1.229	2.410	0.117	0.069
245	0.106	1.708	1.994	0.078	
246		2.104	1.579	0.039	
247	0.027	2.375	1.579	0.117	
248		3.708	1.080	0.156	
249		4.563	0.665	0.234	
250	0.504	6.375	0.332	0.078	0.172
251	0.689	6.479	0.416	0.313	0.137
252	0.663	6.958	0.416	0.352	0.137
253	0.053	0.188	2.908	0.430	0.241
254	0.053		2.908	0.352	
255			2.991	1.367	0.550
256	0.239		2.825	1.328	1.031
257	0.239		1.163	0.313	0.206
258	0.212	0.375	0.914	0.117	
259	0.027	1.229	0.582	0.039	
260	0.027	1.042	0.582	0.117	
261		0.771	0.831		0.034
262		1.042	0.665		0.034
263	0.403	1.333	0.748		0.344
264	0.537		1.163		0.344
265	0.027		1.163		
266	0.053		1.330		
267	0.053		0.582		
268	0.080		0.748		
269	0.027	0.188	0.499		
270		0.375	0.582		
271	0.027	0.667	0.582	0.078	
272		0.667	0.499		
273		0.771	0.499		
274		0.854	0.499		
275		1.229	0.665		

付録 表9 定量実験結果 R D (%)

テスト №	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
276	0.269	1.896	0.499		
277	0.133	2.771	0.831	0.039	
278	0.520	3.625	0.914		0.034
279	0.477	4.292	0.416	0.078	0.069
280	0.027		0.416		
281	0.215		0.332	0.039	
282	0.226		0.249		
283	0.295		0.249		
284	0.269		0.166	0.039	
285	0.269		0.416		
286	0.148		0.416		
287		0.292	0.416		
288		0.292	0.166		
289	0.403	0.479			
290	0.134	0.771			
291	0.269			0.078	
292	0.214				
293	0.202		0.083		
294	0.134		0.166		
295	0.269		0.249		
296			0.166		
297	0.134				
298	0.134		0.166		
299		0.104	0.249		
300		0.188			
301	0.336		0.499		
302	0.268	0.104	0.332		
303	0.138	0.479	0.416		
304	0.336	0.854	0.166		
305	0.454	1.042			
306	0.334	1.625	0.166	0.078	
307	0.134				
308	0.469				
309	0.134				
310	0.363				

付録 表10 定量実験結果 RD (%)

テスト No. 風 向	1 NNW	2 NE	3 WNW	4 W- 1	5 W- 2
311	0.255		0.249		
312	0.454		0.997		
313	0.295				
314	0.200		0.166		
315	0.269				
316	0.336		0.499		
317	0.268		0.416		
318	0.053		0.083		
319	0.053		0.166		
320					
321	0.470				
322			0.083		
323			0.166		
324	0.120		0.249		
325	0.200		0.166		
326	0.080				
327					
328	0.027				
329	0.027	0.104			
330	0.027	0.375	0.166		
331	0.535	0.771			
332	0.589	0.771	0.416		
333	0.265	3.229	0.332		
334	0.080		0.332		
335	0.053				
336	0.027				
337			0.249		
338	0.027				
339			0.166		
340	0.027				
341	0.080		0.499		
342	0.292	0.563	0.416		
343	0.292	0.375	0.416		
344	0.318	0.958	0.083		
345	0.318		0.249		

付録 表 1 1 定量実験結果 R D (%)

テスト №	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
346	0.080		0.332		
347	0.027		0.166		
348			0.166		
349			0.249		
350	0.027		0.249		
351	0.265		0.166		
352	0.318		0.249		
353	0.186	0.104	0.416		
354	0.186	0.292	0.166		
355	0.186	0.563	0.332		
356	0.080				
357	0.080		0.083		
358	0.186		0.416		
359	0.027				
360	0.080		0.083		
361	0.080		0.083		
362	0.159		0.166		
363	0.053				
364	0.159		0.083		
365	0.106		0.166		
366	0.106	0.292	0.499		
367	0.053		0.499		
368					
369			0.083		
370					
371	0.080		0.249		
372	0.053		0.249		
373	0.080		0.083		
374	0.186		0.083		
375	0.106		0.166		
376	0.133		0.166		
377	0.133				
378					
379	0.027		0.083		
380			0.083		

付録 表12 定量実験結果 R D (%)

テストNo	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
381			0.083		
382	0.053		0.083		
383	0.027				
384	0.106		0.166		
385	0.080		0.166		
386	0.133				
387	0.133				
388	0.080				
389			0.166		
390					
391	0.027		0.831		
392	0.080		0.499		
393	0.159		0.332		
394	0.106		0.166		
395	0.053		0.416		
396	0.027				
397	0.053				
398	0.371		0.332		
399	0.080		0.249		
400	0.239		0.416		
401	0.027		0.332		
402	0.027		0.249		
403	0.027		0.166		
404	0.080				
405	0.027		0.166		
406	0.027		0.166		
407	0.027				
408	0.027		0.499		
409	0.186				
410	0.027				
411	0.080		0.083		
412	0.027		0.332		
413	0.053				
414	0.053				
415	0.053				

付録 表13 定量実験結果 RD (%)

テスト№	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
416	0.053				
417	0.053				
418					
419	0.159		0.166		
420					
421	0.106		0.249		
422	0.106		0.499		
423	0.106				
424	0.053		0.166		
425	0.053		0.582		
426	0.106				
427			0.332		
428	0.027				
429	0.371				
430	0.186				
431	0.053	0.104			
432	0.159		0.332		
433	0.027		0.249		
434	0.371		0.166		
435	0.027				
436	0.027		0.166		
437	0.265	0.667			
438	0.053				
439	0.981	4.292	0.748	0.703	0.550
440	0.973	3.896	0.665	0.977	0.309
441	0.332	5.333	0.332	0.352	0.241
442	0.534	4.479	0.499	0.664	0.515
443	1.241	3.521	0.831	1.016	0.928
444	0.027		0.083		0.034
445	0.027				
446	0.574	3.229	0.332	0.078	0.034
447	0.509	3.813	0.332	0.273	0.172
448	0.440	3.708	0.249	0.117	0.172
449	0.239	3.708	0.083		
450	0.080	2.854			

付録 表 1 4 定量実験結果 R D (%)

テスト No.	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
451	0.451	0.854	0.083		
452	0.401	1.625	0.083		
453	0.535	2.188	0.582		
454		2.000	0.166		
455		2.854	0.083		
456		1.333			
457		1.896	0.166		
458		0.958			
459		0.667			
460		1.438			
461		1.042			
462		1.438			
463		0.375			
464		1.625			
465		1.438			
466		0.188			
467		0.667			
468		0.563			
469		0.479			
470		0.188			
471		0.771			
472		0.958			
473					
474					
475		0.188			
476					
477					
478		0.104			
479		0.375			
480					
481					
482		0.104			
483					
484		0.188			
485					

付録 表 1 5 定量実験結果 R D (%)

テスト №	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
486					
487					
488					
489					
490					
491					
492		0.104			
493		0.479			
494					
495					
496					
497					
498					
499					
500					
501					
502					
503					
504					
505					
506					
507					
508					
509					
510					
511					
512					
513					
514					
515					
516					
517					
518					
519					
520					

付録 表 1 6 定量実験結果 R D (%)

テスト No 風 向	1 NNW	2 NE	3 WNW	4 W- 1	5 W- 2
521					
522					
523					
524					
525				0.273	
526					0.069
527				0.039	0.344
528				0.156	0.241
529					
530					
531					
532					
533					
534					
535					
536	0.027			1.406	2.027
537	0.053			1.641	1.890
538	0.053			2.070	2.371
539				1.953	2.165
540				1.836	1.821
541				1.602	
542				1.328	
543					
544					
545				0.117	
546				0.156	
547	0.027		0.831	4.922	
548	0.027		1.080	3.867	3.848
549			0.748	3.008	2.508
550			0.582	2.461	2.611
551				2.109	2.337
552				1.719	1.959
553				1.406	1.615
554				1.016	1.271
555				0.625	0.790

付録 表 1 7 定量実験結果 R D (%)

テスト No.	1	2	3	4	5
風 向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
556				0.117	0.172
557				0.117	0.206
558			2.327	0.195	0.241
559			1.828	0.234	0.378
560			0.332		
561			0.748	0.078	0.309
562			0.914	0.078	0.241
563				1.211	1.374
564				1.094	1.271
565					1.065
566				0.508	0.550
567				0.664	0.790
568				0.078	0.206
569			0.332		0.069
570			0.499		
571			0.748		
572			0.831	0.039	0.034
573					
574				0.078	0.172
575				0.078	0.137
576				0.195	0.309
577				0.273	0.378
578					0.137
579					
580					
581	0.027		0.083		
582	0.053		0.499		
583	0.053				
584	0.027				
585	0.053				
586					
587				0.273	0.103
588				0.156	0.206
589	0.027		0.249		
590			0.166		

付録 表 18 定量実験結果 R D (%)

テスト No	1	2	3	4	5
風向	NNW	NE	WNW	W- 1	W- 2
591	0.133				
592	0.053		0.166		
593	0.027		0.249	0.078	
594	0.027			0.078	
595					
596					
597	0.027				
598	0.027		0.166	1.016	
599			0.166		
600			0.166		
601	0.106				
602	0.080		0.249		
603	0.053		0.166		
604	0.027		0.416		
605			0.249		
606	0.027		0.166		
607	0.080		0.249	0.195	0.241
608	0.080		0.166		
609	0.106		0.249		
610					
611	0.106		0.166		
612	0.080		0.332	0.391	
613	0.053		0.166		
614	0.106		0.166		
615	0.159		0.249		
616	0.159		0.249		
617	0.451				
618			0.083		
619	0.265		0.166		
620					
621			0.332		
622	0.080		0.499		
623	0.053		0.416		
624	0.053		0.332		
625	0.027		0.249		

付録 表19 定量実験結果 RD (%)

テスト№ 風向	1 NNW	2 NE	3 WNW	4 W- 1	5 W- 2
626	0.106		0.249		
627			0.166		
628	0.053		0.416		
629	0.053		0.416		
630	0.080		0.249		
631			0.332		
632	0.053		0.332		
633	0.053		0.249		
634			0.166		
635	0.027		0.083		
636	0.053				
637	0.053		0.249		
638	0.027		0.249		
639	0.053		0.249		
640					
641					

Date	Description
1890 Jan 1	To Balance
1890 Jan 2	To Cash
1890 Jan 3	By Cash
1890 Jan 4	To Cash
1890 Jan 5	By Cash
1890 Jan 6	To Cash
1890 Jan 7	By Cash
1890 Jan 8	To Cash
1890 Jan 9	By Cash
1890 Jan 10	To Cash
1890 Jan 11	By Cash
1890 Jan 12	To Cash
1890 Jan 13	By Cash
1890 Jan 14	To Cash
1890 Jan 15	By Cash
1890 Jan 16	To Cash
1890 Jan 17	By Cash
1890 Jan 18	To Cash
1890 Jan 19	By Cash
1890 Jan 20	To Cash
1890 Jan 21	By Cash
1890 Jan 22	To Cash
1890 Jan 23	By Cash
1890 Jan 24	To Cash
1890 Jan 25	By Cash
1890 Jan 26	To Cash
1890 Jan 27	By Cash
1890 Jan 28	To Cash
1890 Jan 29	By Cash
1890 Jan 30	To Cash
1890 Jan 31	By Cash
1890 Feb 1	To Cash
1890 Feb 2	By Cash
1890 Feb 3	To Cash
1890 Feb 4	By Cash
1890 Feb 5	To Cash
1890 Feb 6	By Cash
1890 Feb 7	To Cash
1890 Feb 8	By Cash
1890 Feb 9	To Cash
1890 Feb 10	By Cash
1890 Feb 11	To Cash

Ⅱ 坑口拡散模型実験（その2）

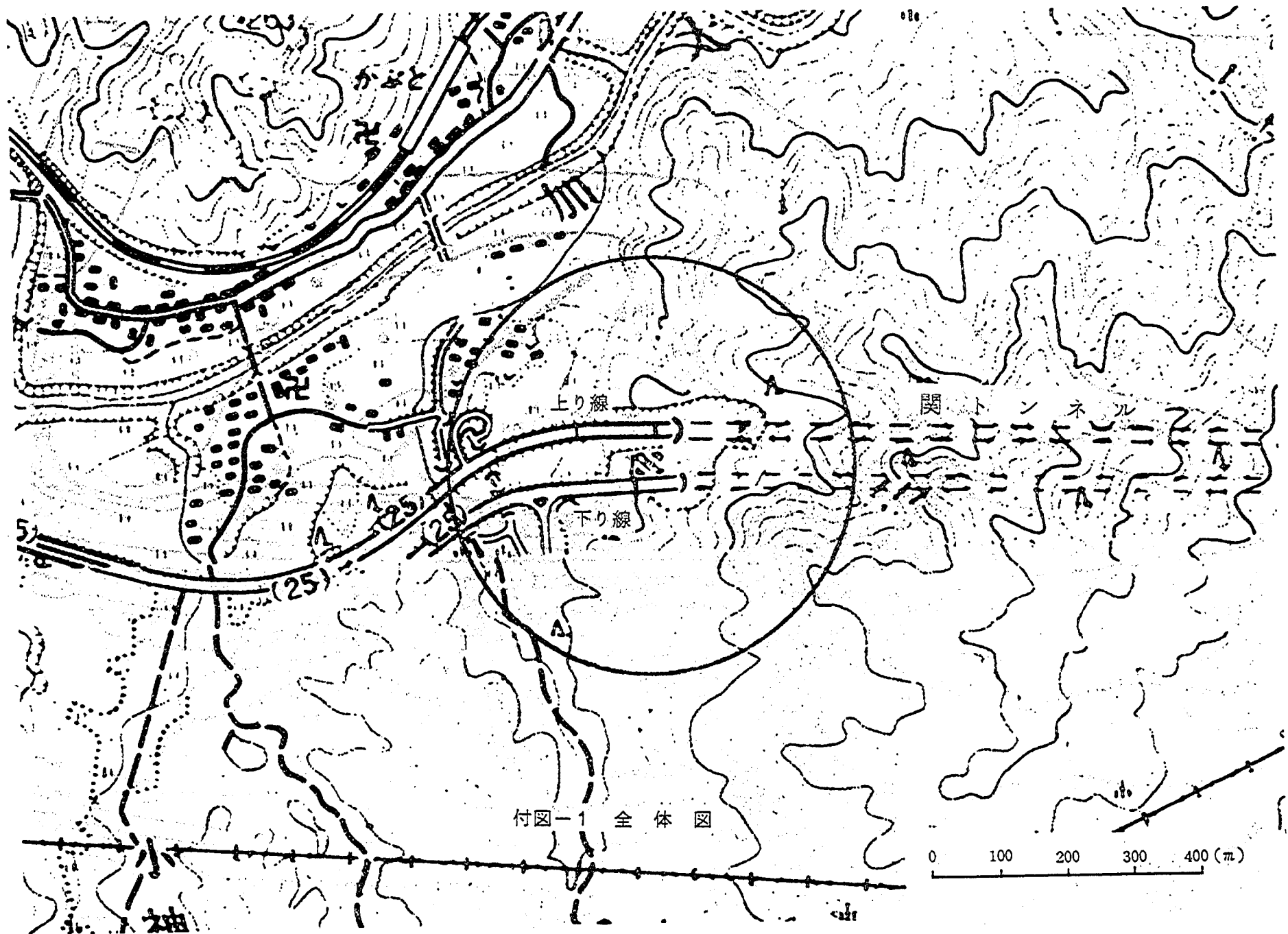
目 次

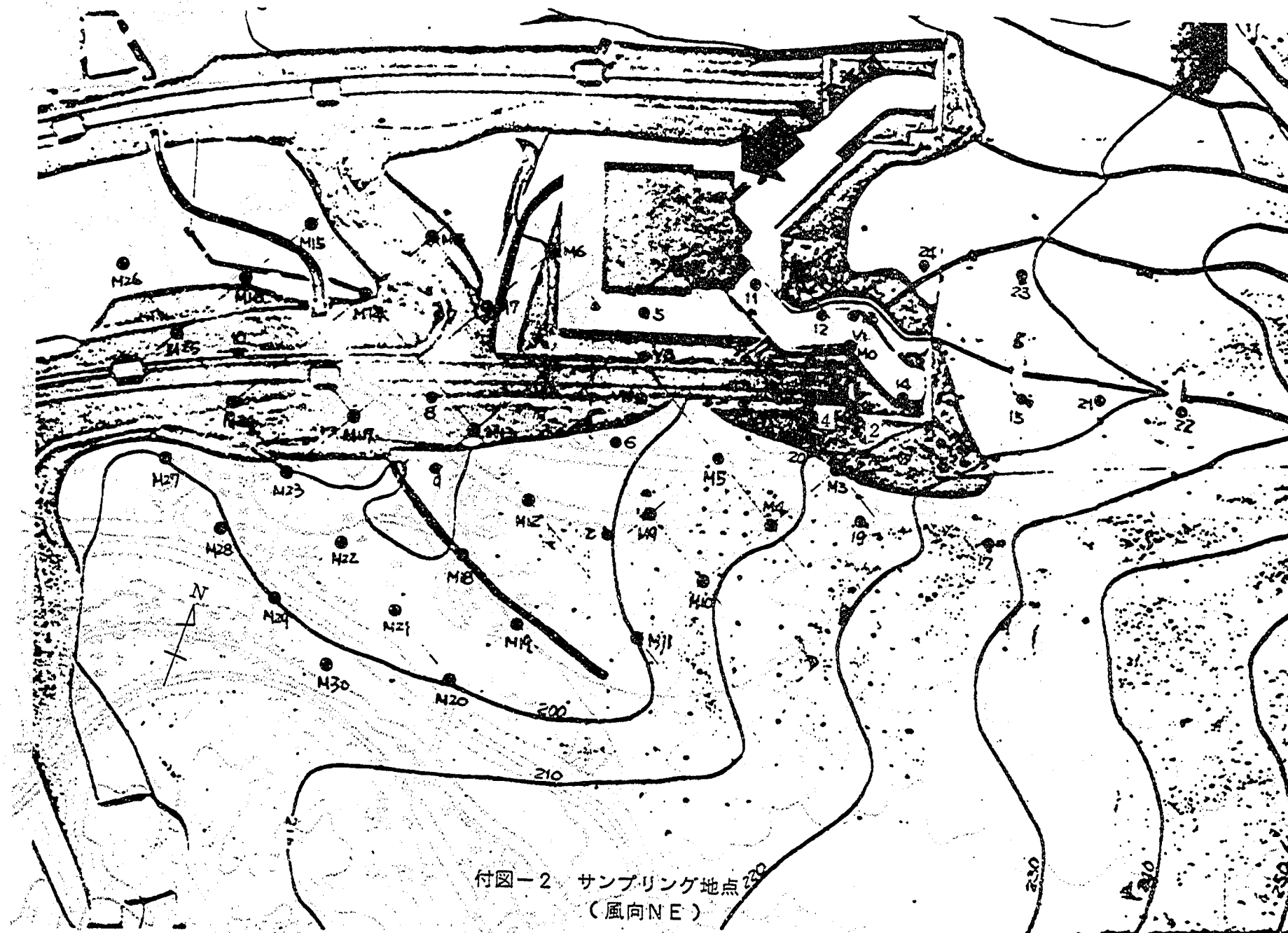
1) サンプルング地点

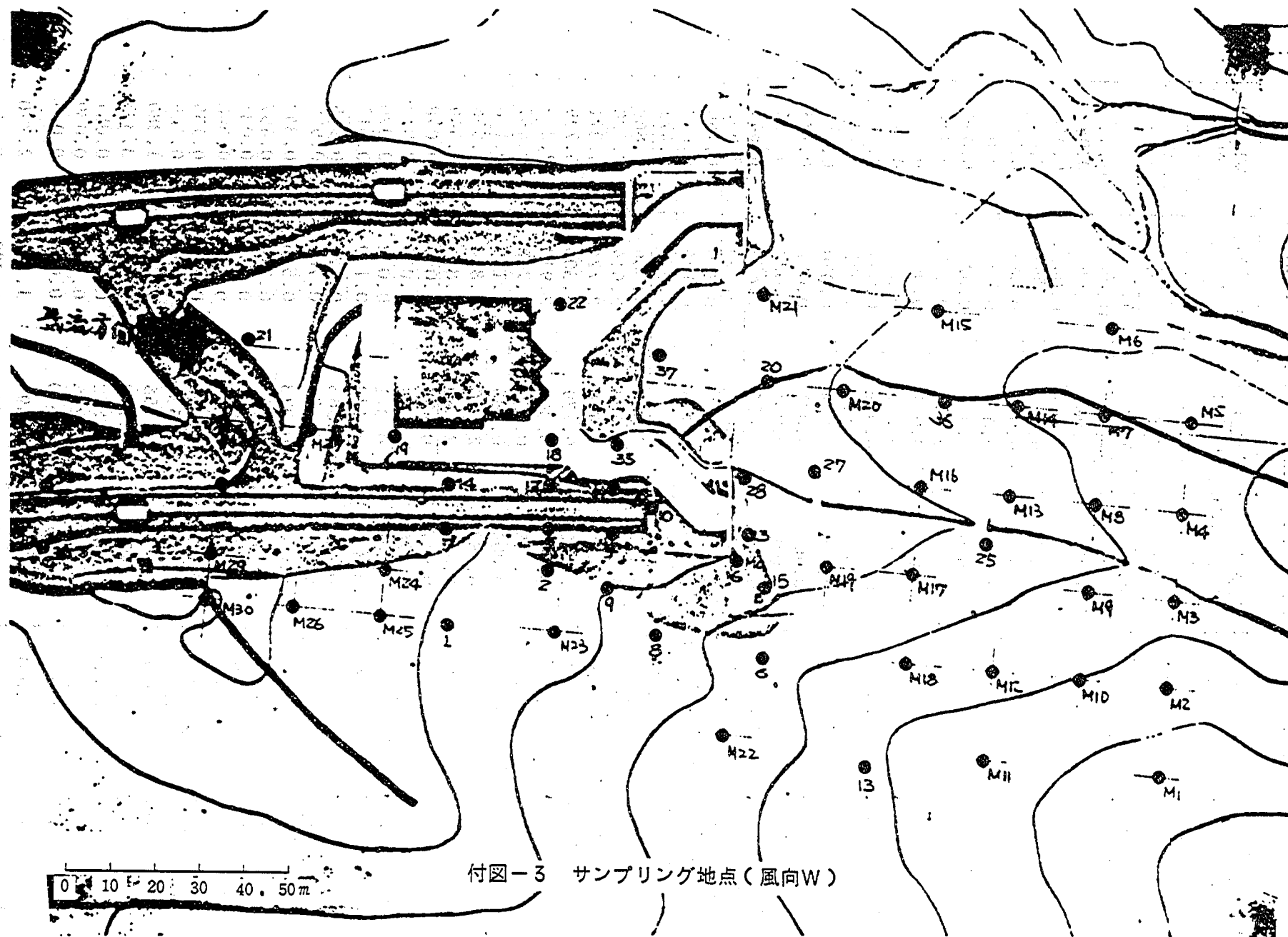
付図 1. 全 体 図	29
付図 2. サンプルング地点（風向NE）	30
付図 3. サンプルング地点（風向W）	31

2) 定量実験結果

表1～表4 Run1 定量実験結果	32
表5～表8 Run2 定量実験結果	36







付録 表1 定量実験結果 R d (%)

テスト No.	Run 1-1	Run 1-2	Run 1-3	Run 1-4	Run 1-5
風 向	NE	NE + 11.25	NE + 11.25	NE	NE
交通方向	一方	一方	一方	一方	一方
風洞風速	1.5	1.5	1.5	3.0	1.0
坑口風速	3.50	3.50	3.50	3.50	3.43
車 速	4.51	4.51	4.51	4.51	4.51
Qg	31.08	31.08	31.08	31.08	31.08
q C2H4	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
22	0.074	0.0	0.167	0.042	0.016
21	0.037	0.0	0.019	0.051	0.043
15	0.037	0.0	0.039	0.044	0.016
23	0.051	0.009	0.051	0.027	0.032
16	0.288	0.010	0.039	0.022	0.039
17	0.065	0.0	0.055	0.035	0.097
24	0.063	0.0	0.031	0.062	0.033
14	0.585	0.298	0.257	0.501	0.447
19	0.051	0.0	0.0194	0.054	0.027
V2	1.527	2.351	3.82	1.025	2.129
V1	0.052	0.010	0.089	0.050	0.117
13	0.026	0.065	0.031	0.051	0.175
12	0.065	0.029	0.031	0.022	0.136
V3	9.112	6.333	6.474	7.875	6.645
V4	3.807	3.195	5.051	3.230	3.652
20	0.197	0.094	0.638	0.210	0.769
11	0.382	1.189	0.136	0.126	0.672
V5	9.196	8.591	6.774	7.679	7.471
V7	6.824	5.915	7.38	4.306	6.869
5	2.809	3.784	2.409	2.614	2.720
V6	4.778	5.423	3.946	2.724	4.371
V10	7.824	7.160	6.779	5.305	6.799
6	3.969	3.240	3.341	2.910	2.253
2	1.002	1.425	0.652	0.708	0.447
7	0.123	0.009	0.486	0.169	0.120
8	3.370	0.282	2.040	0.854	2.556
9	2.893	1.863	2.760	1.824	2.549
10	0.605	0.017	0.458	0.057	0.078
M1	0.206	0.026	0.039	0.036	0.0129
M2	0.107	0.492	0.311	0.028	0.070
M3	4.682	3.834	3.173	0.119	0.013
M4	0.123	0.060	0.563	0.124	0.955
M5	0.109	0.0	2.137	0.784	0.929
M6	0.062	0.0	0.393	0.546	0.342
M7	0.109	3.865	0.058	0.270	0.497
M8	0.768	0.531	0.241	0.061	0.031
M9	4.274	0.156	1.385	0.390	0.390
M10	0.360	0.706	3.236	0.118	0.155
M11	0.095	0.990	0.537	0.142	0.109
M12	0.608	1.928	0.155	1.702	1.380
M13	3.713	0.0	0.718	1.974	3.335
M14	0.768	0.009	0.872	0.030	0.051
M15	0.227	0.017	0.245	0.020	0.039
M16	0.049	0.105	0.070	0.030	0.031
M17	0.081	0.411	0.494	1.111	2.770
M18	0.066	0.644	0.808	0.838	0.641
M19	0.887	1.375	1.799	0.383	0.214
M20	1.626	0.998	2.659	0.250	0.244

付録 表2 定量実験結果 R d (%)

[illegible]

付録 表3 定量実験結果 R d (%)

テストNo	Run 1-6	Run 1-7	Run 1-8	Run 1-9	Run 1-10
風向	NE	NE	NE	NE	NE
交通方向	一方	一方	一方	一方	一方
風洞風速	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5
坑口風速	5.30	1.75	1.57	3.50	3.50
車速	4.51	4.51	4.51	4.51	2.26
Qg	53.1	15.04	1.03	33.08	33.08
q C2H4	0.1	0.04	0.03	0.08	0.08
22	0.021	0.020	0.003	0.043	0.021
21	0.027	0.011	0.002	0.070	0.041
15	0.044	0.011	0.001	0.033	0.054
23	0.096	0.011	0.002	0.062	0.021
16	0.036	0.027	0.001	0.083	0.036
17	0.080	0.049	0.003	0.0	0.041
24	0.042	0.030	0.002	0.041	0.021
14	0.101	0.199	0.024	0.405	0.165
19	0.064	0.047	0.001	0.086	0.179
V2	5.241	1.429	0.221	3.143	2.264
V1	0.085	0.188	0.008	0.289	0.165
13	0.228	0.019	0.032	0.0	0.103
12	0.064	0.038	0.011	0.0	0.041
V3	8.524	7.009	0.574	10.029	8.583
V4	4.924	2.030	0.260	4.921	3.615
20	0.335	0.237	0.034	0.558	0.385
11	0.425	0.282	0.034	0.860	0.414
V5	9.467	6.646	0.563	9.926	8.565
V7	7.966	3.571	0.459	8.680	6.203
5	3.585	1.992	0.225	3.722	2.560
V8	6.176	2.556	0.351	4.839	3.846
V10	4.694	4.041	0.409	8.789	7.492
6	3.983	1.954	0.185	3.639	3.474
2	0.690	0.332	0.075	0.880	0.393
7	0.449	0.030	0.008	0.083	0.145
8	4.158	0.940	0.194	2.747	1.572
9	3.452	1.316	0.157	3.722	2.753
10	0.080	0.050	0.011	0.041	0.074
M1	0.106	0.068	0.005	0.033	0.021
M2	0.186	0.030	0.004	0.033	0.012
M3	0.228	0.086	0.004	0.259	0.165
M4	0.292	0.124	0.007	0.186	0.178
M5	1.593	0.959	0.075	1.263	1.055
M6	0.982	0.207	0.002	0.356	0.354
M7	1.009	0.132	0.008	0.538	0.459
M8	0.892	0.032	0.001	0.062	0.145
M9	0.679	0.571	0.066	0.571	0.455
M10	0.150	0.112	0.010	0.054	0.095
M11	0.186	0.049	0.006	0.092	0.136
M12	1.540	1.429	0.106	2.109	1.522
M13	4.822	1.992	0.214	4.342	3.550
M14	0.080	0.049	0.001	0.030	0.054
M15	0.053	0.064	0.001	0.0	0
M16	0.122	0.056	0.002	0.033	0
M17	4.291	1.034	0.133	3.030	1.970
M18	0.042	0.846	0.052	1.489	1.067
M19	0.866	0.291	0.017	0.496	0.703
M20	0.449	0.376	0.022	0.331	0.393
M21	0.813	0.508	0.047	0.786	0.633
M22	1.912	0.594	0.046	2.192	1.199
M23	2.955	0.799	0.078	2.129	1.484

付録 表4 定量実験結果 R d (%)

[illegible]

付録 表5 定量実験結果 R d (%)

テスト No	Run 2-1	Run 2-2	Run 2-3	Run 2-4	Run 2-5
風 向	W	W+11.25	W-11.25	W	W
交通方向	対 面	対 面	対 面	対 面	対面面
風洞風速	3.0	3.0	3.0	6.0	1.5
坑口風速	1.30	0.77	0.75	1.00	0.77
車 速	3.82	3.82	3.82	3.82	3.82
Qg	16.017	16.517	16.017	25.017	14.517
q C2H4	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017
1	0.039	0.292	0.047	0.147	0.043
2	0.0	0.097	0.071	0.110	0.085
3	2.786	1.361	2.003	1.985	2.560
4	6.500	6.803	0.589	0.368	8.831
5	2.400	1.895	0.259	0.441	7.189
6	0.035	0.097	0.047	0.037	0.128
7	0.578	0.875	0.141	0.441	1.984
8	0.018	0.121	0.118	0.147	0.085
9	0.035	0.219	0.094	0.110	0.192
10	4.713	4.252	0.966	0.515	6.357
11	1.945	1.458	0.566	0.551	3.093
12	0.701	0.850	0.283	0.809	1.706
13	0.053	0.121	0.471	0.074	0.064
14	0.105	0.073	0.189	0.110	0.384
15	0.280	0.121	0.071	0.184	0.427
16	3.311	1.385	1.272	0.772	2.602
17	0.0	0.243	0.094	0.110	0.213
18	0.263	0.295	0.236	0.250	0.981
19	0.018	0.097	0.047	0.110	0.085
20	0.158	0.097	0.118	0.110	0.384
21	0.053	0.243	0.047	0.110	0.085
22	0.018	0.121	0.047	0.037	0.107
25	1.156	0.486	0.542	0.551	1.045
27	1.962	0.753	1.767	0.699	2.218
28	2.488	1.652	2.168	0.882	2.688
32	0.018	0.146	0.047	0.110	0.043
35	0.420	0.389	0.212	0.257	1.344
36	0.193	0.049	0.401	0.147	0.491
M1	0.070	0.049	0.165	0.147	0.235
M2	0.175	0.194	0.047	0.037	0.299
M3	0.018	0.049	0.071	0.110	0.064
M4	0.0	0.292	0.424	0.110	0.064
M5	0.315	0.875	0.471	0.184	0.405
M6	0.806	0.486	0.189	0.368	0.832
M7	0.280	0.462	0.141	0.221	0.427
M8	0.018	0.243	0.330	0.110	0.128
M9	0.438	0.073	0.165	0.221	0.469
M10	1.104	0.073	0.778	0.515	0.747
M11	0.403	0.146	0.495	0.221	0.235
M12	0.018	0.097	0.141	0.074	0.043
M13	0.0	0.049	0.165	0.184	0.021
M14	0.018	0.146	0.047	0.110	0.021
M15	1.402	0.097	0.707	0.662	0.960
M16	0.350	0.219	0.047	0.221	0.448

付録 表6 定量実験結果 R d (%)

[illegible]

付録 表7 定量実験結果 R d (%)

テスト №	Run 2-6	Run 2-7	Run 2-8	Run 2-9	Run 2-10
風 向	W	W	W	W	W
交通方向	対 面	対 面	対 面	対 面	対 面
風洞風速	3.0	3.0	0.5	3.0	3.0
坑口風速	1.53	0.60	0.51	0.75	0.75
車 速	3.82	3.82	3.82	3.82	1.91
Qg	24.035	9.509	6.012	21.03	16.017
q C2H4	0.035	0.009	0.012	0.03	0.017
1	0.017	0.053	0.200	0.047	0.071
2	0.034	0.106	0.238	0.000	0.118
3	3.915	1.348	0.889	2.780	4.901
4	6.834	1.718	4.559	3.676	0.377
5	2.009	1.057	5.198	1.461	0.330
6	0.017	0.106	0.100	0.047	0.118
7	0.103	0.449	2.505	0.495	0.283
8	0.017	0.106	0.100	0.047	0.071
9	0.034	0.185	0.225	0.094	0.118
10	4.705	0.978	3.219	3.487	0.848
11	2.867	0.370	2.229	0.966	0.330
12	0.738	0.423	1.641	0.542	0.636
13	0.017	0.026	0.138	0.000	0.566
14	0.103	0.132	0.626	0.141	0.094
15	0.326	0.053	0.138	0.306	0.801
16	5.632	1.110	0.714	2.898	4.194
17	0.086	0.000	0.388	0.047	0.118
18	0.258	0.106	0.601	0.330	0.424
19	0.017	0.000	0.100	0.047	0.071
20	0.172	0.053	0.689	0.047	0.165
21	0.000	0.053	0.100	0.000	0.094
22	0.103	0.026	0.175	0.047	0.118
25	1.477	0.264	0.664	0.872	1.131
27	3.468	0.819	1.152	1.508	1.107
28	3.589	0.687	1.578	1.697	1.579
32	0.069	0.000	0.200	0.047	0.094
35	0.481	0.159	1.290	0.259	0.202
36	0.584	0.053	0.539	0.047	0.754
M1	0.034	0.106	0.276	0.000	0.141
M2	0.069	0.106	0.301	0.165	0.189
M3	0.000	0.026	0.025	0.000	0.047
M4	0.017	0.000	0.063	0.047	0.047
M5	0.103	0.159	0.163	0.259	0.259
M6	0.876	0.291	0.150	0.613	1.037
M7	0.979	0.106	0.276	0.283	0.471
M8	0.137	0.026	0.088	0.094	0.165
M9	0.996	0.211	0.276	0.542	0.613
M10	1.082	0.291	0.263	0.636	0.895
M11	0.412	0.106	0.088	0.330	0.660
M12	0.069	0.344	0.050	0.047	0.141
M13	0.017	0.449	0.038	0.047	0.094
M14	0.000	0.106	0.050	0.094	0.141

付録 表8 定量実験結果 R d (%)

[illegible]

道路トンネル坑口付近の排気ガス
拡散風洞実験報告

ISSN 0386-5878
土研資料 第1904号
昭和58年3月(1983年)
建設省土木研究所
トンネル研究室

大気汚染 トンネル
交通公害 相似則
キーワード：風洞実験

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ついて述べたものである。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十円切手
をはって下
さい

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. 11

No. 11

土研資料 第1904号

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料 第1904号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印