

土木研究所資料

風洞実験による自動車排出ガス拡散予測
検討報告書（その2）

昭和59年3月

建設省土木研究所
道路部交通環境研究室

Copyright © (1984) 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 General 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

道路の建設により、自動車から排出されたガスが沿道に移流拡散し、沿道の居住環境に影響をもたらすことが考えられる。そこで、道路の計画においては事前に自動車排出ガスの拡散濃度を予測することが必要である。

道路構造および周辺地形が単純な場合は従来から予測式による数値計算で比較的精度の良い予測が可能であるが、道路構造や地形が複雑な箇所における大気汚染濃度の予測には数値計算では困難であり、風洞模型実験などが有力な予測手段となる。

道路構造や地形が複雑な場合の自動車排出ガス拡散濃度を予測する手法として、昭和53年度より5ヶ年間にわたり研究を実施してきた建設省総合技術開発プロジェクト「沿道地域の居住環境整備に関する総合技術の開発」により風洞模型実験手法がとりまとめられ、現地の自動車排出ガス年平均濃度の予測に用いることの妥当性が検証されている。

そこで、道路および地形が複雑な構造から構成される計画道路の自動車排出ガス拡散予測に関して、縮尺 1/200 の地形模型を用い、風洞模型実験を行ったのでその結果の概略をここで報告する。

実験は各風向（8方位）に対する拡散実験を行い、この実験結果を基に道路沿道周辺の自動車排出ガスの拡散濃度の検討を行ったものである。

昭和59年 3 月

交通環境研究室 足 立 義 雄
吉 川 良 行
小 沢 栄 師

目 次

まえがき

1. 実験概要	1
1.1 実験目的	1
1.2 実験対象道路の概要	1
2. 実験内容	2
2.1 実験方法	2
2.2 実験条件	3
3. 実験結果	5
3.1 等濃度分布図の作成	5
3.2 交通量に基づく排出係数と本実験で得られた濃度との関係	6
3.3 実験ケース別の濃度分析	7
3.4 年平均濃度の検討	29

あとがき

1. 実験概要

1.1 実験目的

本実験は、計画道路が建設供用された場合に当該道路からの自動車排出ガスの道路周辺への影響について、風洞実験により検討するためのものである。

1.2 実験対象道路の概要

本実験で対象とした道路は片側3車線で上下線別の高架部（または盛土部）とトンネル部から成る道路である。地形的には東西の台地に挟まれて南北に谷が走っており、東西の台地上には新しい住宅地があり、谷間の部分は既存道路に沿って住宅がある。この地域に台地の部分はトンネル、谷間の部分は高架（または盛土）で東西に対象道路を計画している。

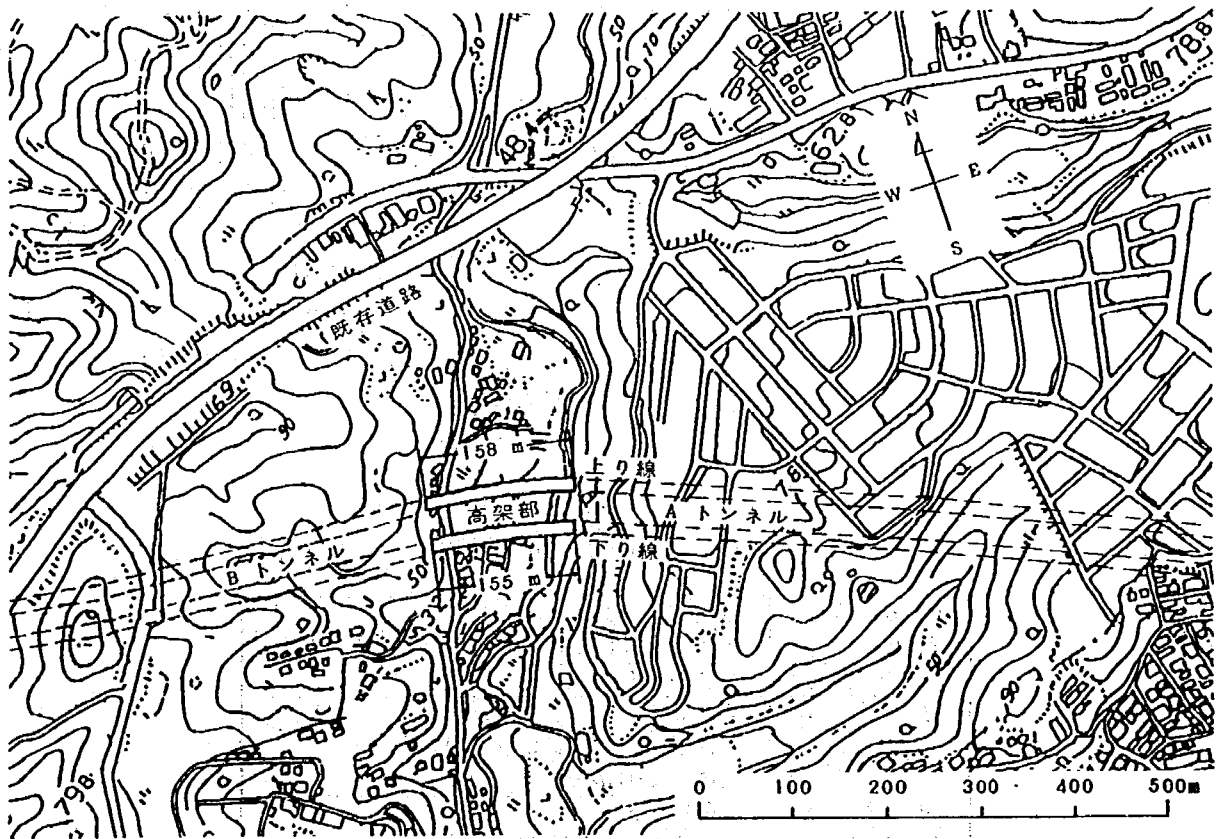


図-1 実験対象道路の概略図

2. 実験内容

2.1 実験方法

実験は図-2に示す建設省土木研究所の大気拡散風洞の測定洞に対象道路を中心とした地形模型（縮尺 1/200）を設置し、各排出源よりトレーサガス（ C_2H_4 ）を排出させ、実物相当で地表面上 1.5 m（模型上で 7.5 mm）位置の濃度分布を炭化水素分析計（FID法）で計測した。

大気拡散風洞の性能諸元を表-1に、風洞実験の手順を図-3に示した。

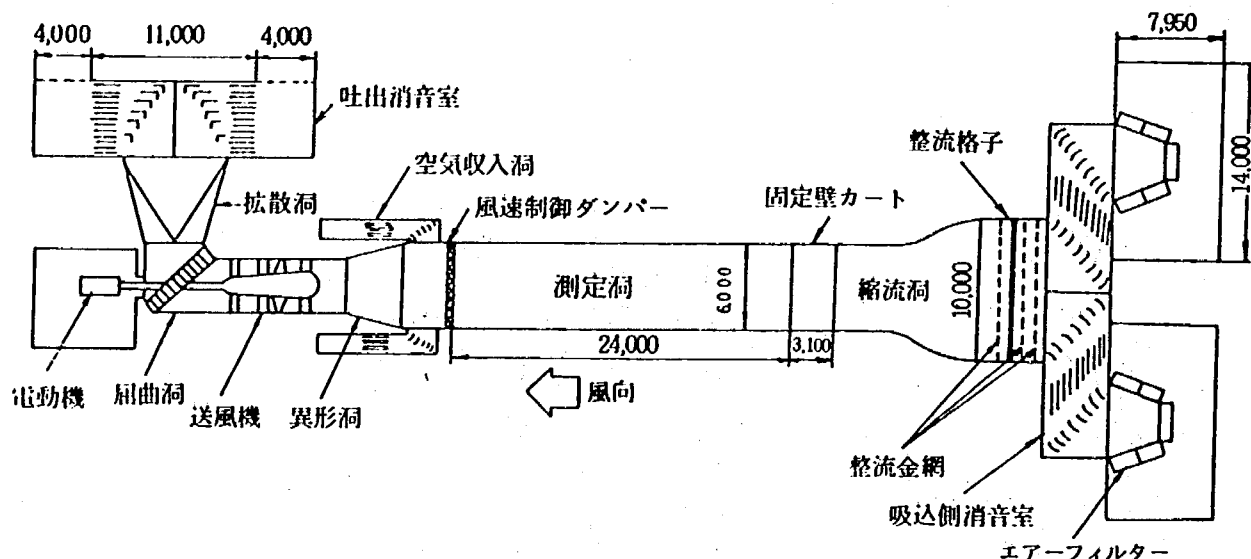


図-2 風洞全体配置図

表-1 拡散風洞の性能諸元

風洞形式	吸込式エッフェル型
測定洞寸法	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 4000 mm
回転数	360 rpm
動翼枚数	10枚（後置静翼9枚）
風量	270 m³/s
有効全圧	80 mmAq
電動機出力	320 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

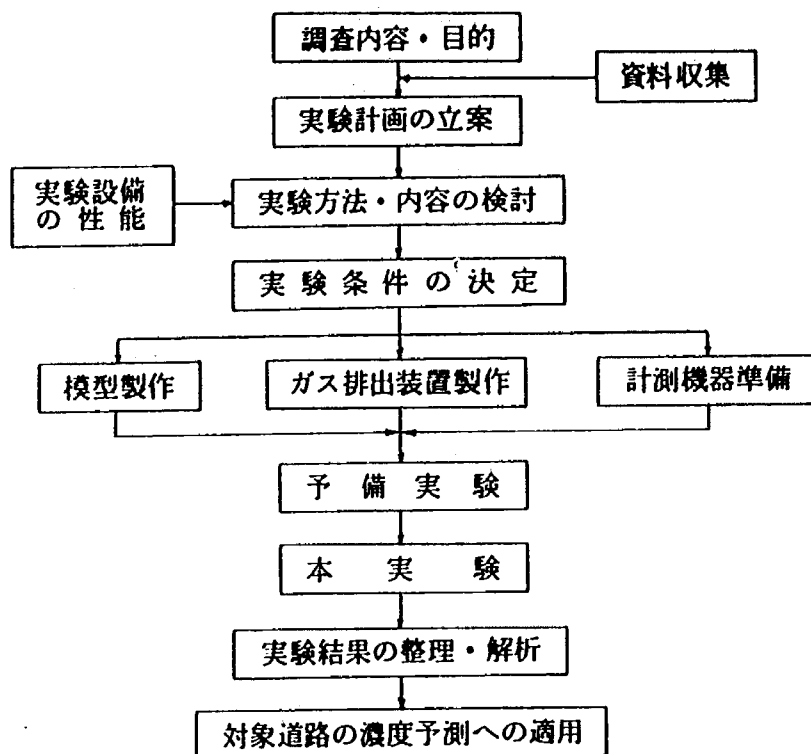


図-3 風洞実験の作業手順

2.2 実験条件

- (1) 風洞内の気流条件は模型を設置しない状態で、鉛直方向気流分布（式-1）を満足させた。

$$U = U_0 (H / H_0)^{1/7} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 U : 高さ H (m) における推定風速 (m/s)

U_0 : 高さ H_0 (m) における風速 (m/s)

- (2) 基準風速は現地気象観測によるデータを参考としたため、模型上での同一地点、模型上 4.25 mm（現地で地上 8.5 m 相当）で設定した。また、設定風速は風向別の年平均風速を用いた。
- (3) ガス排出源は高架部（または盛土部）とトンネル部および既存道路に区別し、以下に示す条件で排出させた。
- a) 高架部（または盛土部）は排出部形状が内径 0.5 mm パイプで 10 mm 間隔の点源連続とし、上下各線の中央に埋め込んで使用した。
 - b) A トンネルは強制換気を行うため、上下線ともにトンネル内に吸い込まれると仮定した。
 - c) B トンネルは自動車などの影響による走行風をトンネル坑口からの噴流として近似した。
 - d) 既存道路については高架部と同様に点源連続とし、道路中央に埋め込んで使用した。
- (4) 各排出源の排出量については、昭和75年度の予測交通量を基に算出した。
- 対象道路 91,700台/日、速度80 km/h（乗用43%，小貨27%，大型30%）
 - 既存道路 74,100台/日、速度60 km/h（乗用59%，小貨25%，大型16%）

表-2 排出条件および排出量

		排 出 量		排 出 源 長		吐出風速	実験時排出量
		計 算	実 験	現 地	模型上		
高 架 部	上り	0.4cc/m ³ s	1.2cc/m ³ s	158m	0.79m	—	56.9cc/min
	下り	—	—	155m	0.78m	—	55.8cc/min
Aトンネル	上り	—	—	—	—	6.1m/s	—
	下り	—	—	—	—	—	—
Bトンネル	上り	214cc/s	642cc/s	535m	2.68m	4.9m/s	192.7cc/min
	下り	—	—	540m	2.70m	4.9m/s	—
既 存 道 路		0.359cc/m ³ s	1.077cc/m ³ s	1000m	5.00m	—	323.1cc/min

実際の実験時には表-3に示すようにエチレンとAIR (N₂+O₂)を混合し、流量計により各排出源へその比率により配分して実験を行った。(図-4参照)

(5) 実験風向は8風向で行った。

表-3 実験時の排出流量

	C ₂ H ₄	AIR (N ₂ +O ₂)	各排出源供給量
対 象 道 路	305 cc/min	1,527 cc/min	Q _{TU} = 341 cc/min Q _{TD} = 335 cc/min Q _{BU} = 1,156 cc/min
既 存 道 路	323 cc/min	1,616 cc/min	1,939 cc/min

Q_{TU} : 高架部上り線流量

Q_{BU} : Bトンネル上り線流量

Q_{TD} : 高架部下り線流量

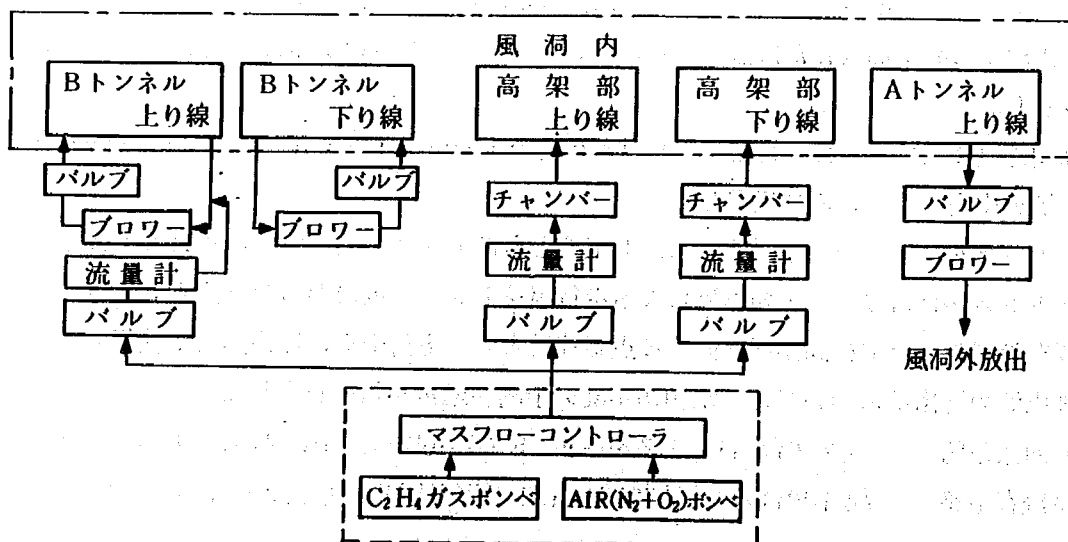


図-4 配管概略図

3. 実験結果

各風向別に得られた濃度計測結果を基に図-5に示す手順で実験値の整理および自動車排出ガスの濃度値の検討を行った。

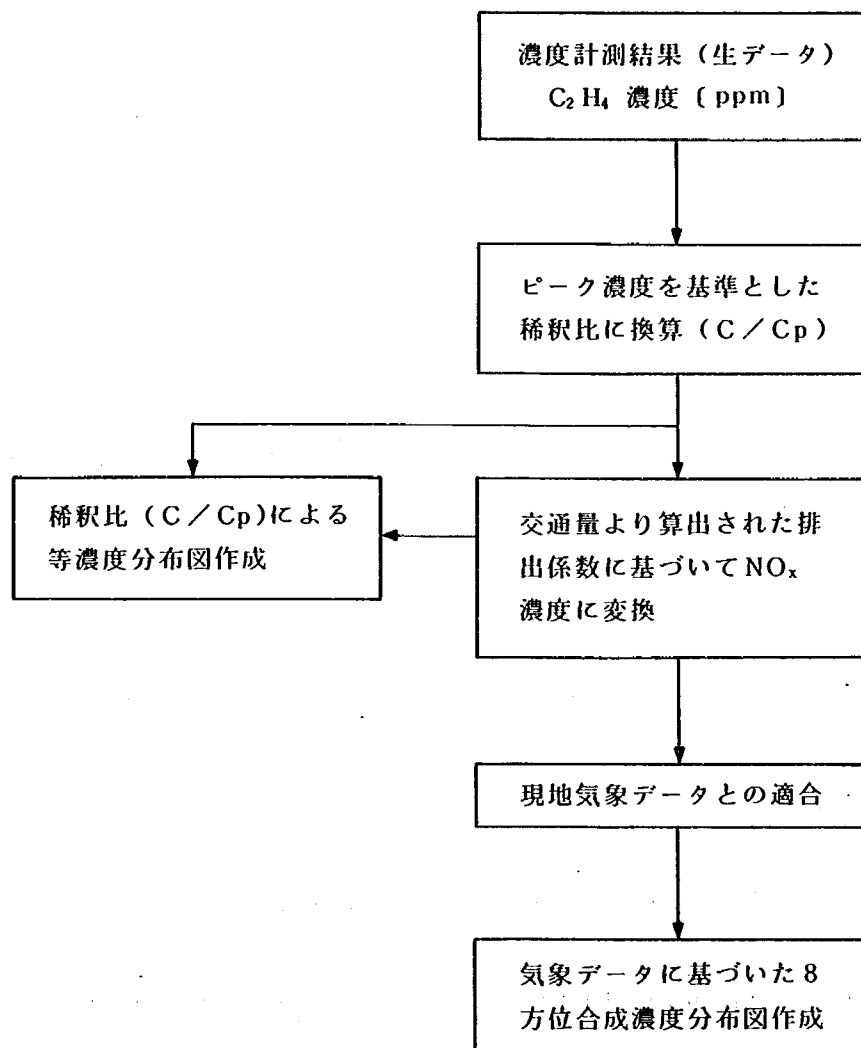


図-5 濃度計測結果の整理手順

3.1 等濃度分布図の作成

各風向別に得られた濃度計測結果を基に等濃度分布図を作成した。

等濃度分布図は各ケースについて検出された最大濃度〔ピーク濃度〕C_p（ppm）を基準とした稀釈比で表示した。

また、分布線を引く場合の補完方法としては比例配分により行った。

図-6～図-15に各ケースの等濃度分布図を示す。

各ケースの等濃度分布図作成の基となった濃度値はそのケースで検出された最大濃度を用いたが、この最大濃度は風向、風速、排出量に加えて地形、構造物などの影響により、検出位置および濃度値

に差異を生じる。検出される位置については各ケースについてそれ程の差異はないが、濃度値はケースによってかなりの違いがある。

そこで濃度の高低について、それぞれを比較する場合には、基準化濃度および濃度計測結果を参考にして比較を行う必要がある。

3.2 交通量に基づく排出係数と本実験で得られた濃度との関係

本実験でのガス排出量は計画交通量に基づく排出係数を算出し、その算出結果を基に決定したが、正確に拡散状況を把握するために、算出結果よりも高濃度で排出している。

したがって、本実験における濃度計算結果を、計画交通量に基づく NO_x 濃度に換算する必要がある。そこで下記に示す関係式が成立する。

$$\frac{Q_m}{Q_F} = \frac{C_m}{C_F} \cdot \frac{L_m}{L_F} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 Q_m ：実験時エチレンガス流量 (cc/sec, cc/m・s)

Q_F ：計画交通量に基づき算出された排出係数 [NO_x] (cc/sec, cc/m・s)

C_m ：濃度計測実験結果 C_2H_4 濃度 (ppm)

C_F ：計画交通量に基づく NO_x 濃度 (ppm)

L_m ：模型長さ (m)

L_F ：実物長さ (m)

式-2より C_F は下式により求められる。

$$C_F = \frac{Q_F}{Q_m} \cdot C_m \cdot \frac{L_m}{L_F} \dots\dots\dots (3)$$

対象道路における実験時エチレンガス流量はガス排出量より

$$Q_m = (56.9 + 55.8 + 192.7) \text{ cc/min} \times \frac{1}{60} = 5.09 \text{ cc/sec}$$

また、計画交通量に基づき算出された排出係数は下記のようなになる。

$$Q_F = 0.4 \text{ cc/m} \cdot \text{s} \times (0.79 + 0.78 + 2.68) \text{ m} = 1.70 \text{ cc/sec}$$

以上の数値を式-3に代入すると下式となる。

$$C_F = \frac{1.70}{5.09} \cdot C_m \cdot \frac{1}{200} \approx 1.67 \cdot C_m \times 10^{-3} \dots\dots\dots (4)$$

したがって、式-4に濃度計測結果を代入すれば、計画交通量に基づく NO_x 濃度を求めることができる。

同様にして既存道路は、下式となる。

$$Q_m = 323.1 \text{ cc/min} \times \frac{1}{60} = 5.385 \text{ cc/sec}$$

$$Q_F = 0.359 \text{ cc/m} \cdot \text{s} \times 5.00 \text{ m} = 1.795 \text{ cc/sec}$$

$$C_F = \frac{1.795}{5.385} \cdot C_m \cdot \frac{1}{200} \approx 1.667 \cdot C_m \times 10^{-3} \dots\dots\dots (5)$$

本実験では、実験結果についてピーク濃度 C_p を基準とする稀釈比により等濃度分布線を表示したので、ピーク濃度 C_p について NO_x 濃度に換算し、等濃度分布線図上に示した。

3.3 実験ケース別の濃度分布

各実験ケース別に、濃度分布の傾向を概略記述する。

(1) 風向 NNE, 風速 1.8m/s, 高架 (図-6)

最大濃度検出位置は高架部上り線 B トンネル坑口付近で、その濃度は 0.768 ppm (NO_x) である。
対象道路が東西の台地に挟まれた谷間に位置し、風軸がこの谷筋と同じ方向のため、排出ガスは谷筋に沿って 200m 程度の幅で拡散している。

対象道路南側では 100m 程度離れば、道路境界付近の 1/2 程度の濃度になっている。

東西の台地上の住宅地域への影響はみられない。

(2) 風向 NNE, 風速 1.8m/s, 盛土 (図-7)

最大濃度検出位置は盛土部上り線 B トンネル坑口付近で、その濃度は 0.701 ppm (NO_x) である。
この実験ケースは谷間の部分の道路構造が盛土になっている場合である。

この時の濃度分布は高架の場合の分布とほぼ同一の傾向である。

(3) 風向 NNE, 風速 1.8m/s, 既存道路 (図-8)

対象道路の近くを交通量の多い既存道路が東西に走っているため、その影響をみるために最も影響が大きいと思われる風向で実験を行った。それによると最大濃度は 0.526 ppm (NO_x) であり、既存道路からの排出ガスは対象道路付近では濃度が低く、その影響は極めて小さいと言える。

(4) 風向 NNW, 風速 1.8m/s, 高架 (図-9)

最大濃度検出位置は高架部上り線 B トンネル坑口付近で、その濃度は 0.596 ppm (NO_x) である。
排出ガスは対象道路から風軸下流側、東側面の地形に沿って 250~300m 程度の幅で拡散している。

(5) 風向 ESE, 風速 2.5m/s, 高架 (図-10)

最大濃度検出位置は高架部上り線 B トンネル坑口付近で、その濃度は 0.718 ppm (NO_x) である。
排出ガスは対象道路高架部から西側台地に 150m 程度の幅で拡散している。しかし、台地上の住宅地域での濃度は低くなっている。

この実験ケースでの濃度は他のケースに比べて拡散幅、風下方向距離とも小さい。

(6) 風向 ENE, 風速 2.7m/s, 高架 (図-11)

最大濃度検出位置は高架部上り線Bトンネル坑口付近で, その濃度は 0.401 ppm (NO_x) である。
排出ガスは風軸に沿って西側台地へ 300~350 m 程度の幅で広く拡散している。このため, 台地上の住宅地域での濃度は低くなっている。

(7) 風向 SSW, 風速 3.2m/s, 高架 (図-12)

最大濃度検出位置は高架部上り線Bトンネル坑口付近で, その濃度は 0.571 ppm (NO_x) である。
この実験ケースも風軸と谷筋の方向が同じ (NNE の反対方向) ため, 排出ガスは谷筋に沿って 200m 程度の幅で拡散している。

(8) 風向 SSE, 風速 2.6m/s, 高架 (図-13)

最大濃度検出位置は高架部上り線Bトンネル坑口付近で, その濃度は 0.417 ppm (NO_x) である。
対象道路から排出されたガスは, 排出源近傍では谷筋に沿って流れる傾向がみられ, 50 m 程度下流領域から実験風向の SSE 方向へ 250~300m 程度の幅で拡散している。

(9) 風向 WNW, 風速 2.1m/s, 高架 (図-14)

最大濃度検出位置は高架部上り線Bトンネル坑口付近で, その濃度は 0.673 ppm (NO_x) である。
この実験ケースは道路に対して平行風であり, 排出されたガスは東側台地に 300m 程度の幅で拡散している。

排出されたガスは地形上の起伏の影響を受けて, すぐにかく拌され比較的広く拡散している。このため, 東側の台地上の住宅地域の濃度は低い。

(10) 風向 WSW, 風速 2.8m/s, 高架 (図-15)

最大濃度検出位置は高架部上り線Bトンネル坑口付近で, その濃度は 0.635 ppm (NO_x) である。
対象道路から排出されたガスは, 排出源近傍では谷筋に沿って流れる傾向がみられ, 100 m 程度下流領域から実験風向の WSW 方向へ 200~250m 程度の幅で拡散している。

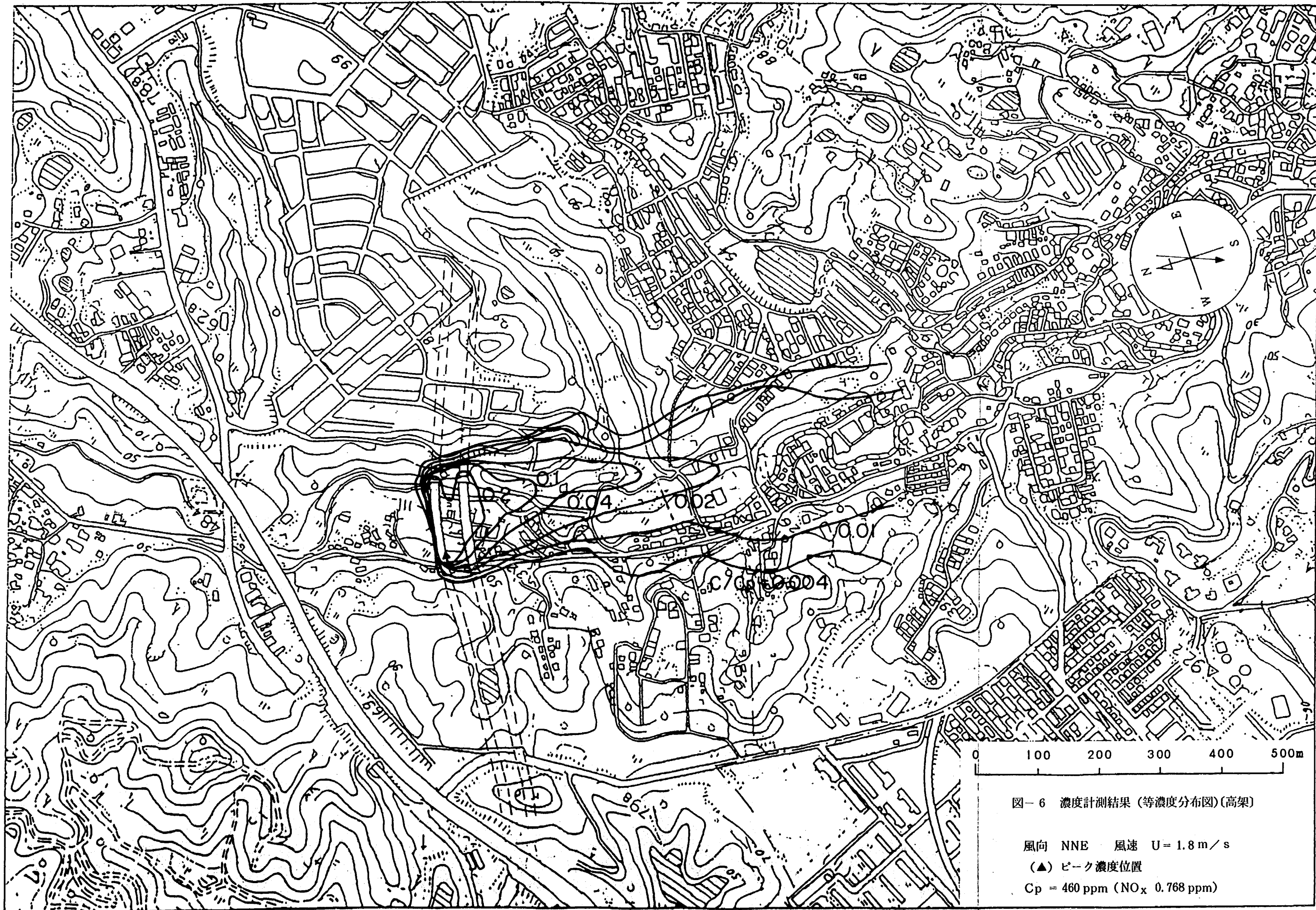


図-6 濃度計測結果 (等濃度分布図)(高架)

風向 NNE 風速 $U = 1.8 \text{ m/s}$

($\blacktriangle$) ピーク濃度位置

$C_p = 460 \text{ ppm}$ (NO_x 0.768 ppm)

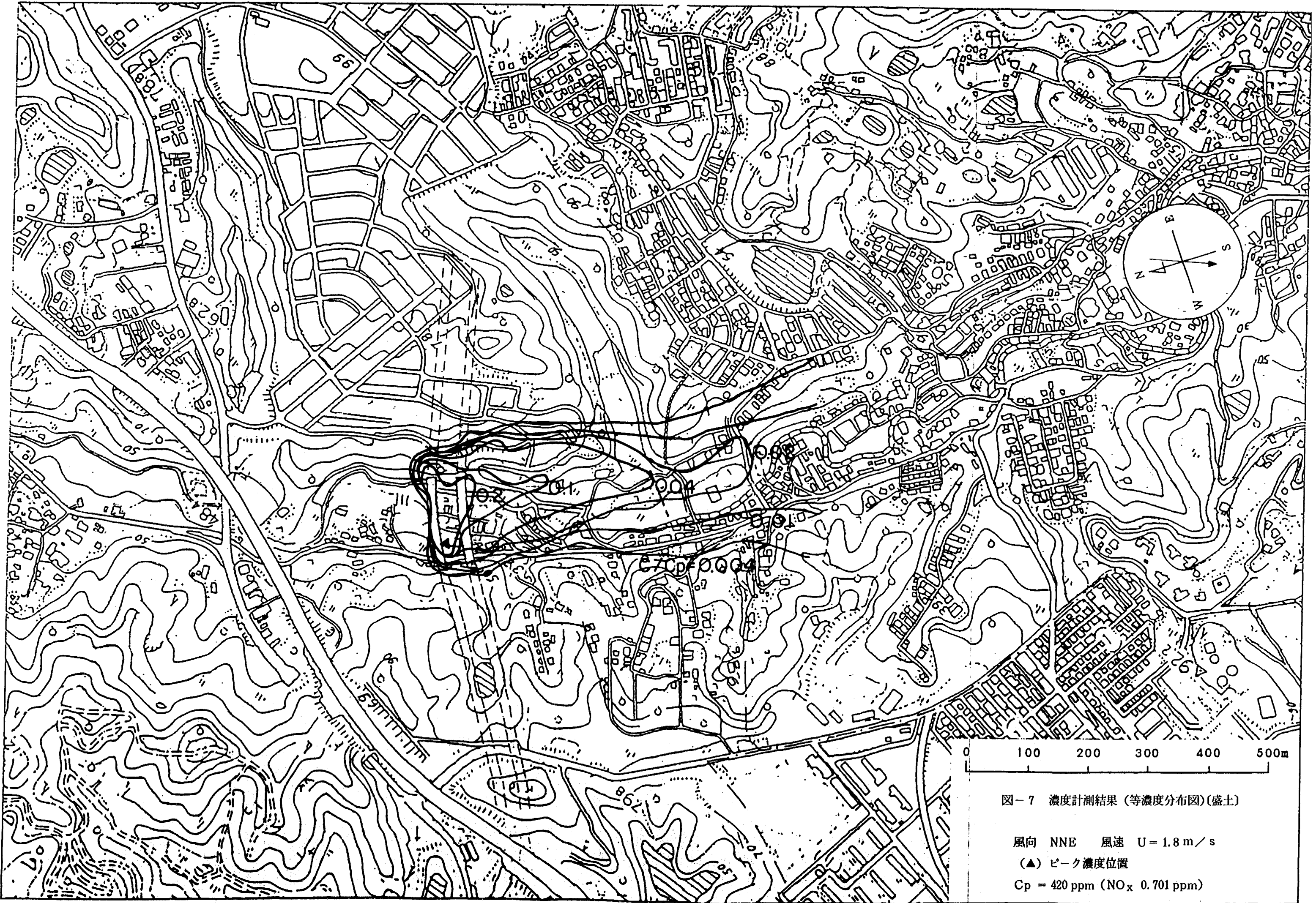
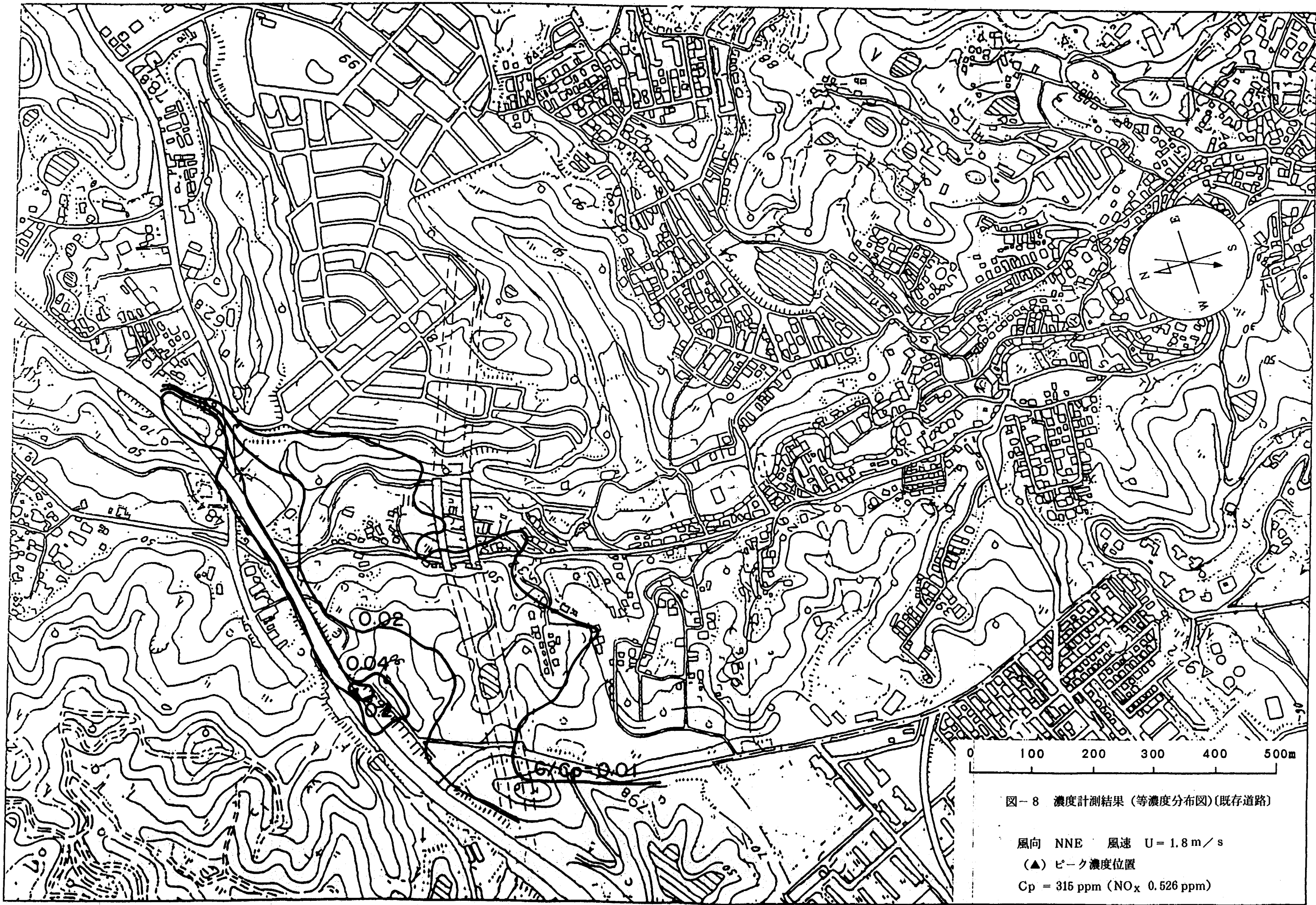


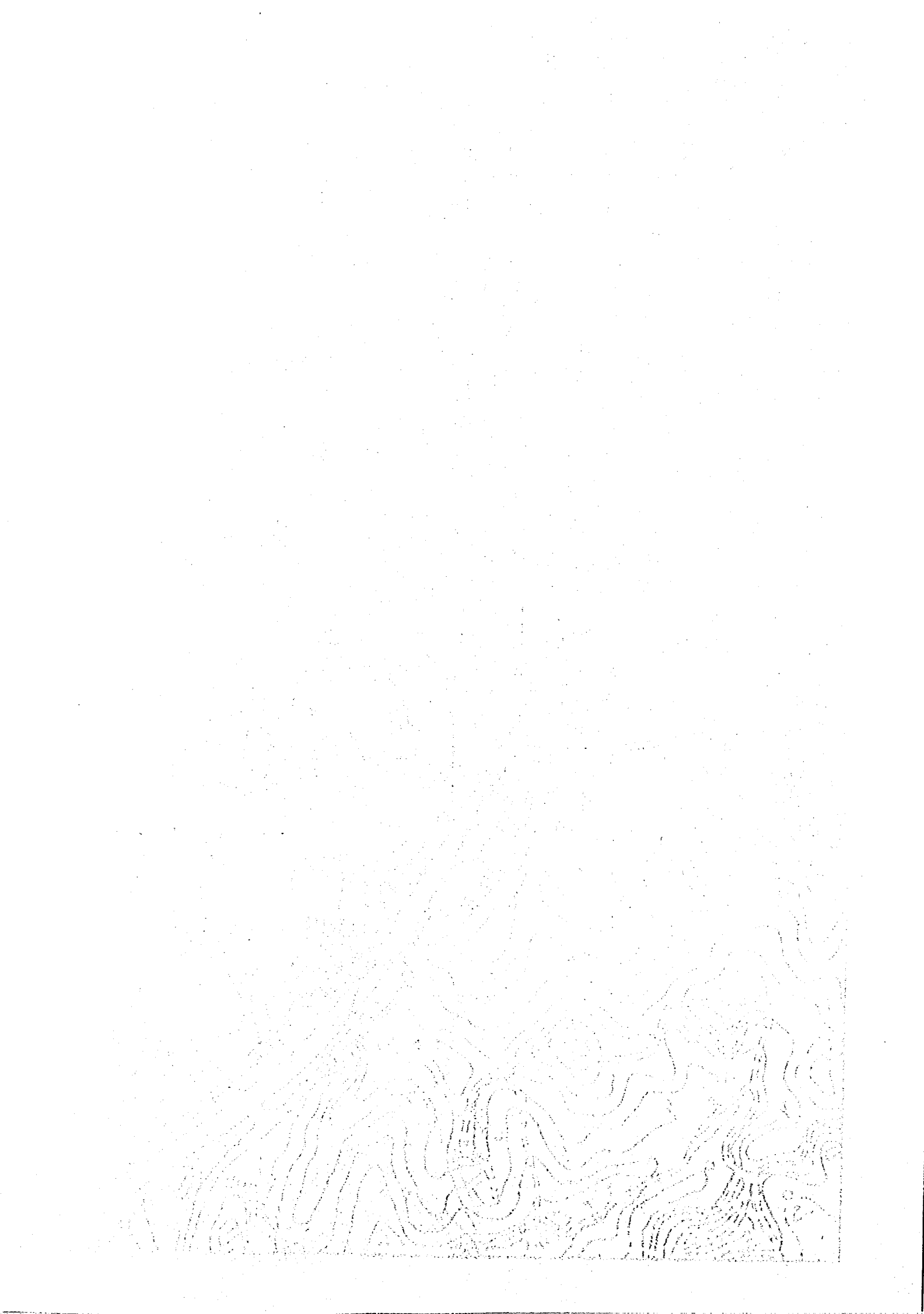
図-7 濃度計測結果 (等濃度分布図)(盛土)

風向 NNE 風速 $U = 1.8 \text{ m/s}$

(▲) ピーク濃度位置

$C_p = 420 \text{ ppm}$ (NO_x 0.701 ppm)





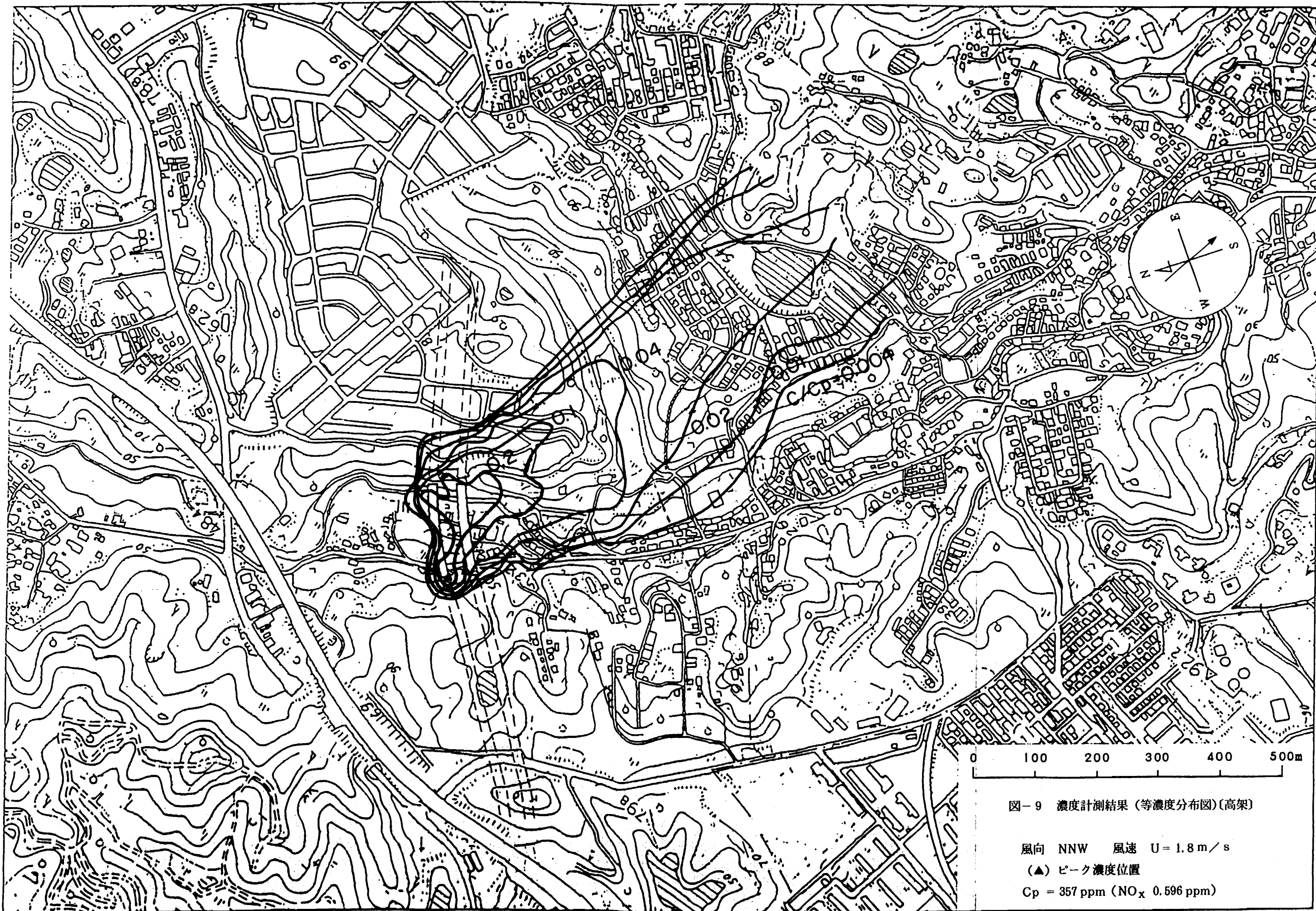


図-9 濃度計測結果 (等濃度分布図) (高架)

風向 NNW 風速 $U = 1.8 \text{ m/s}$

(▲) ピーク濃度位置

$C_p = 357 \text{ ppm}$ (NO_x 0.596 ppm)

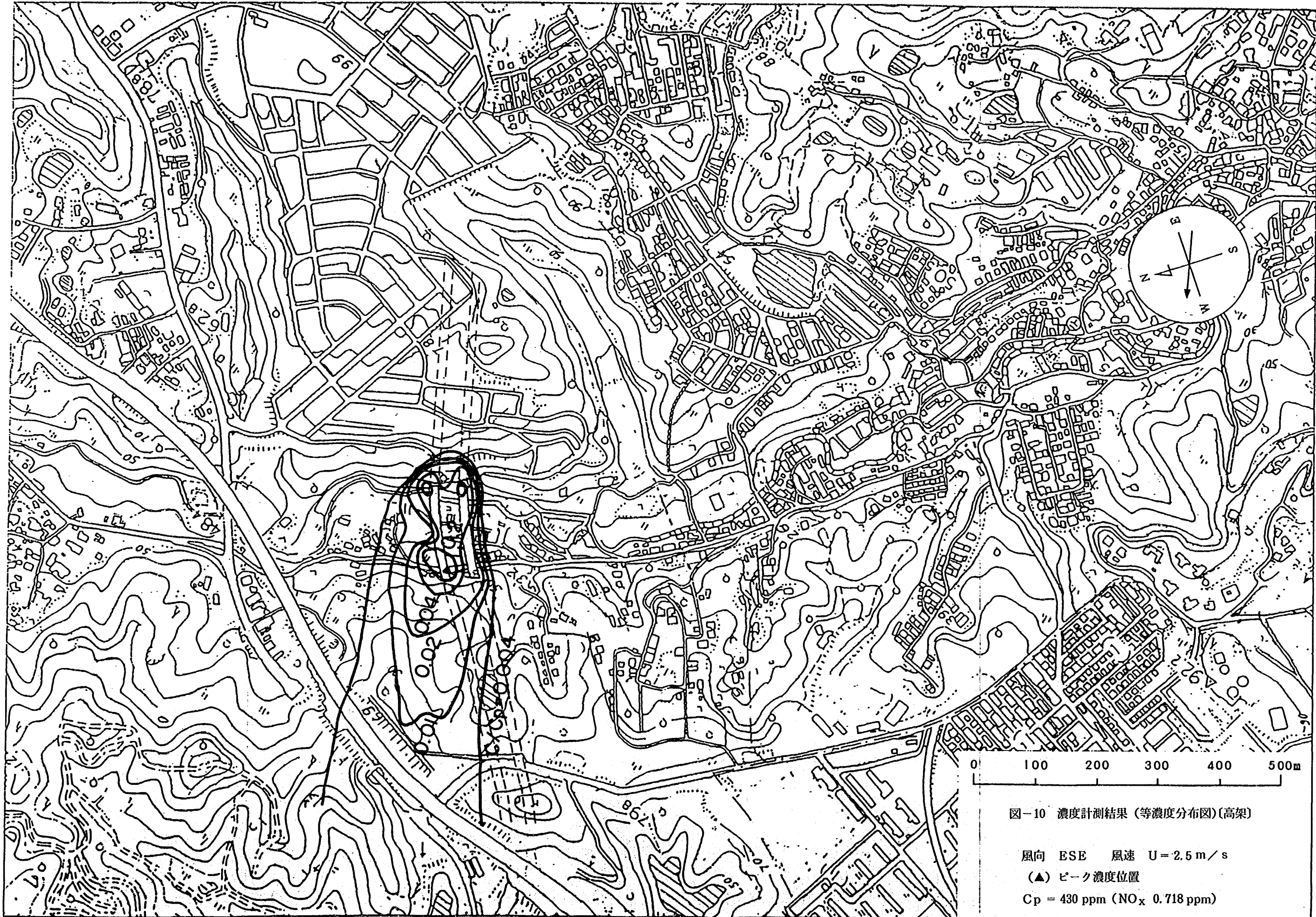


図-10 濃度計測結果 (等濃度分布図)(高架)

風向 ESE 風速 $U = 2.5 \text{ m/s}$

(▲) ピーク濃度位置

$C_p = 430 \text{ ppm}$ (NO_x 0.718 ppm)

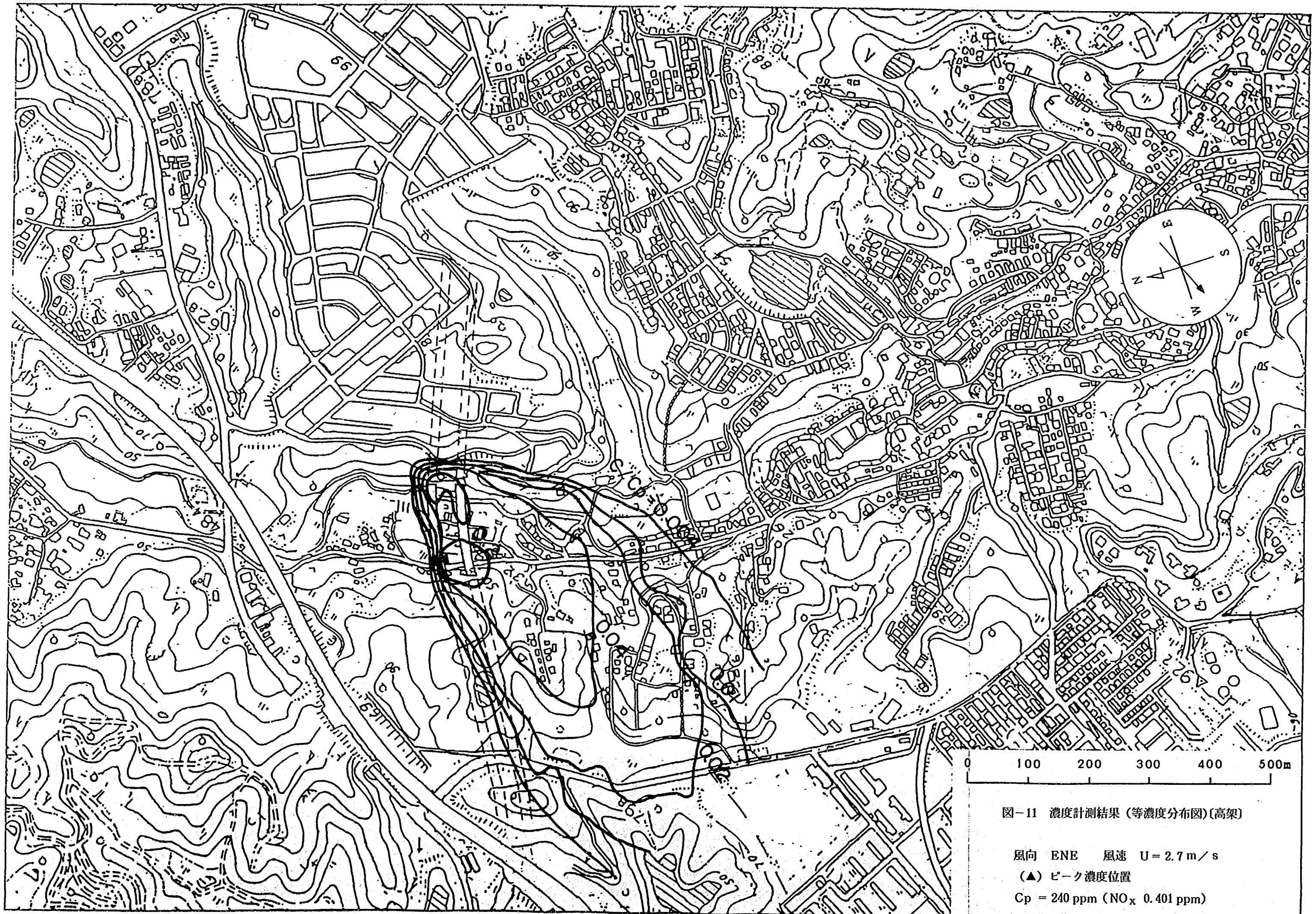
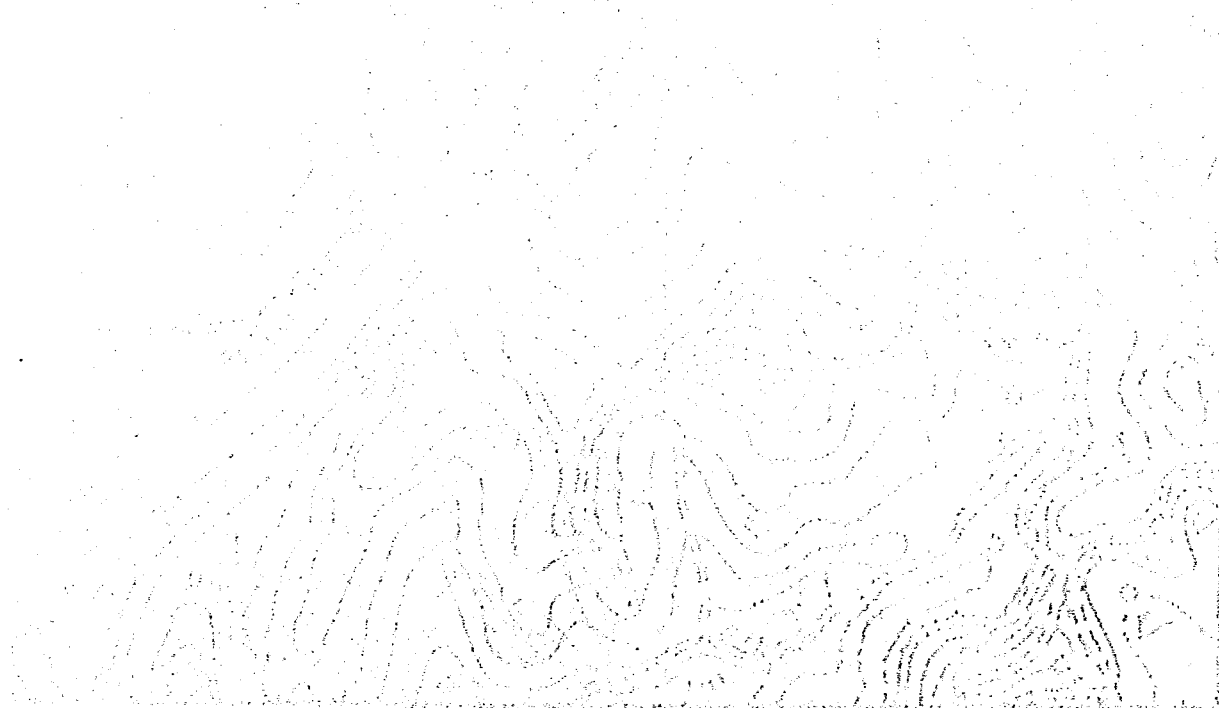


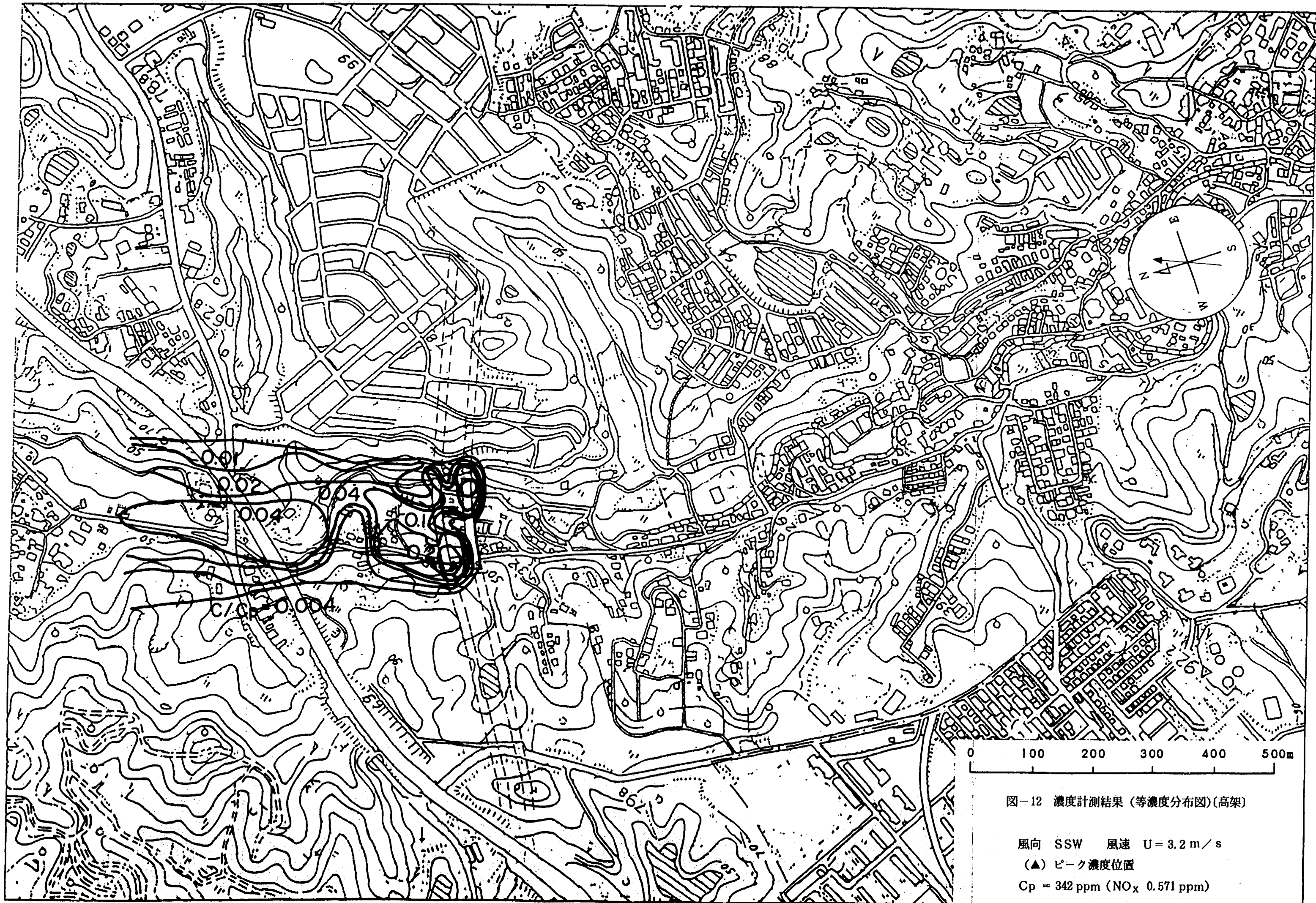
図-11 濃度計測結果 (等濃度分布図) (高架)

風向 ENE 風速 $U = 2.7 \text{ m/s}$

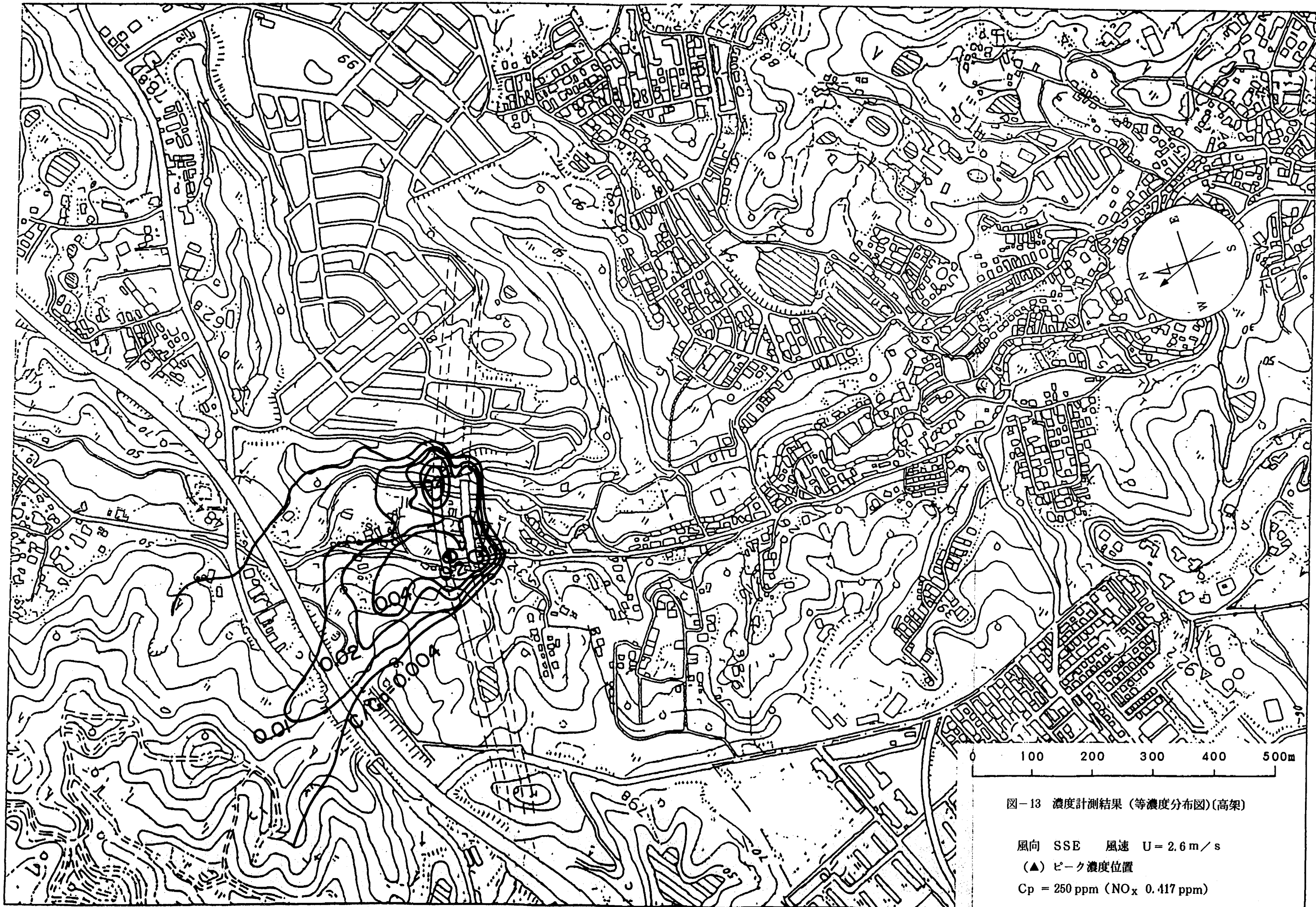
(▲) ピーク濃度位置

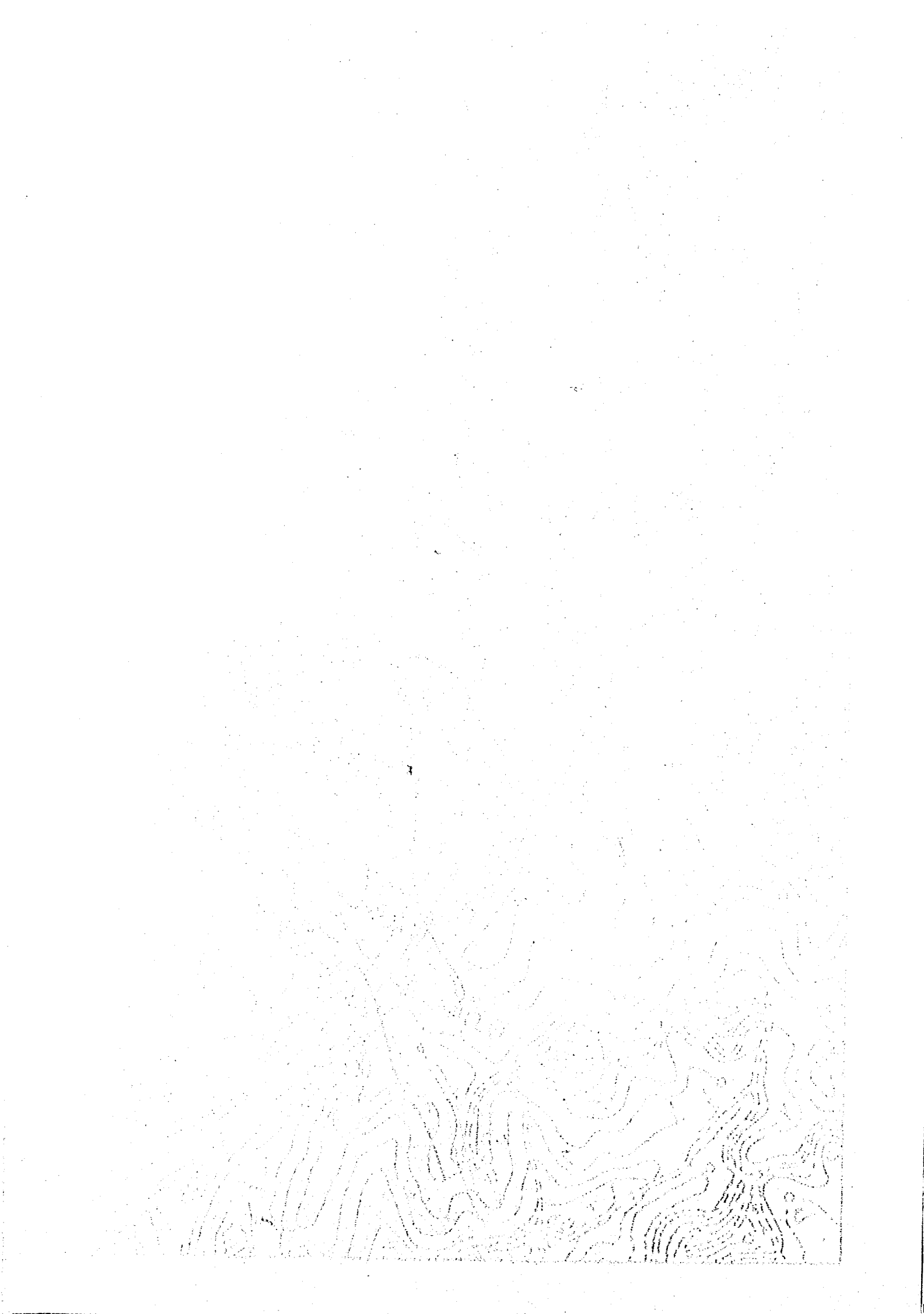
$C_p = 240 \text{ ppm}$ (NO_x 0.401 ppm)











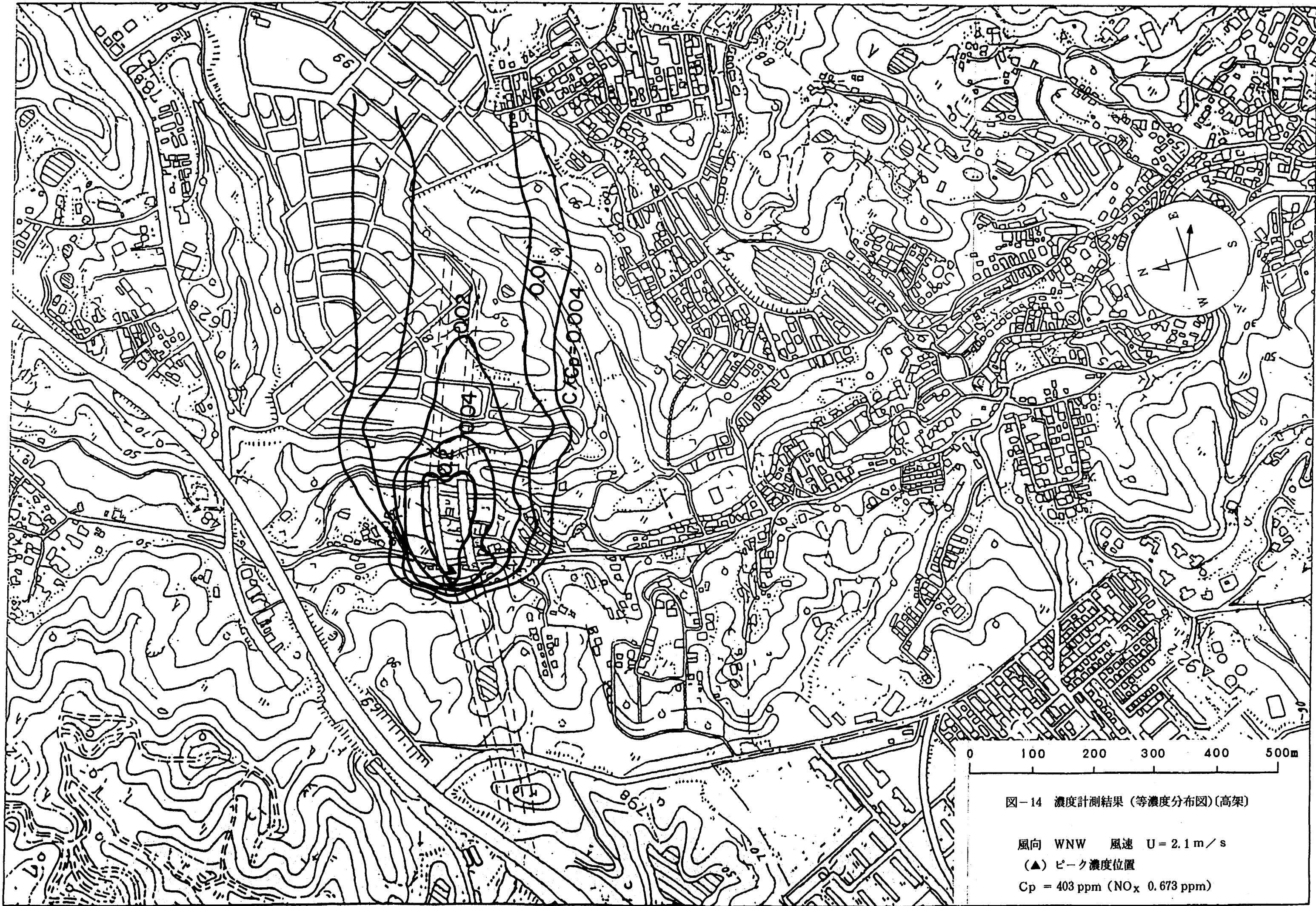
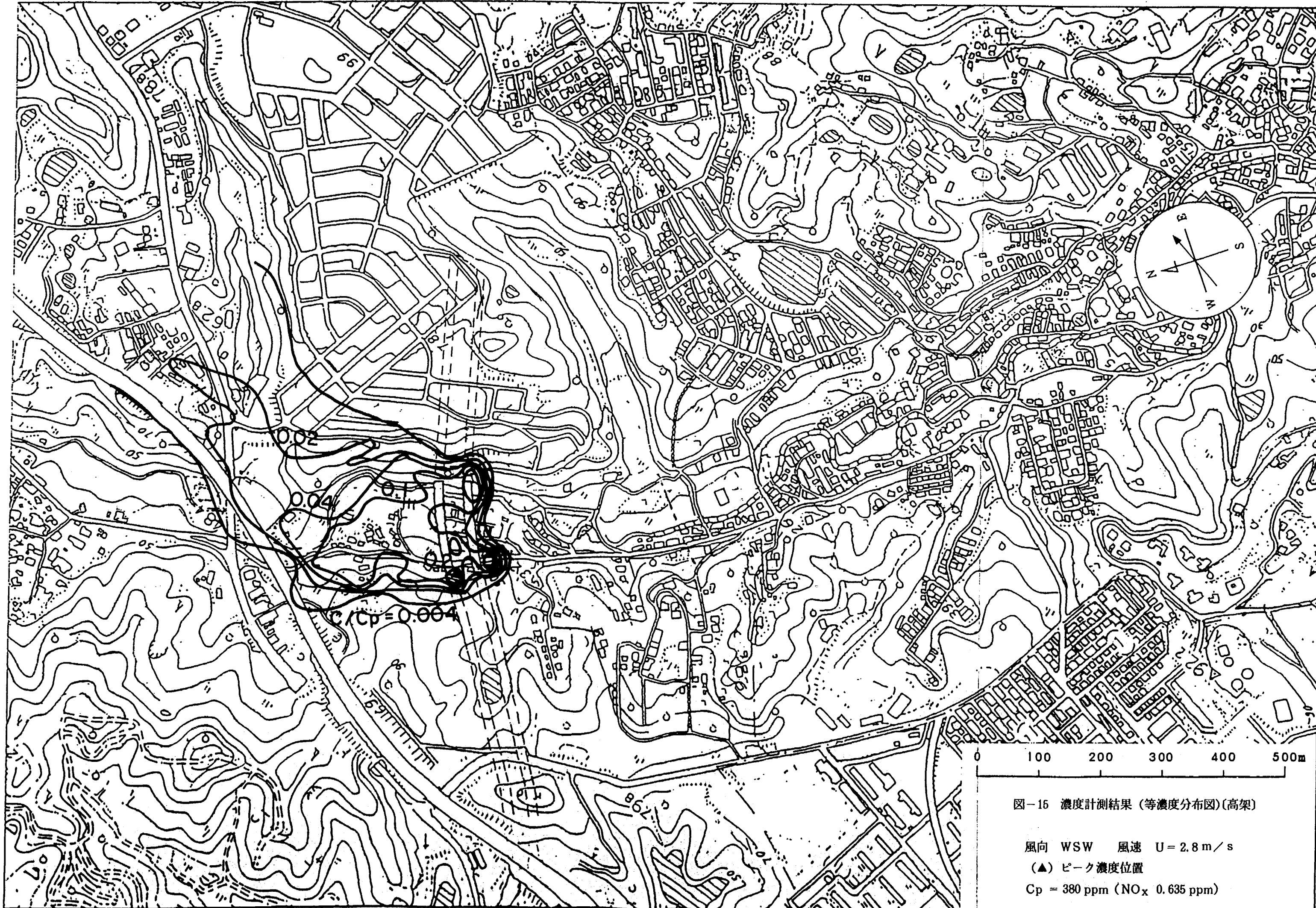


図-14 濃度計測結果 (等濃度分布図) (高架)

風向 WNW 風速 $U = 2.1 \text{ m/s}$

(▲) ピーク濃度位置

$C_p = 403 \text{ ppm}$ (NO_x 0.673 ppm)



3.4 年平均濃度の検討

(1) 気象条件

本実験の濃度計測結果より年平均濃度の検討を行う場合には、8方位についてその濃度を合成する必要がある。

そこで、現地気象データより本実験の基準風速設定位置に対応させた各8風向における年平均風速およびその出現頻度を表-4に、風配図を図-16に示す。

表-4 8風向気象データ

風 向	NNE	ENE	ESE	SSE	SSW	WSW	WNW	NNW	
年平均風速 (m/s)	1.80	2.73	2.48	2.56	3.24	2.81	2.10	1.75	2.26
出現頻度 (%)	37.0	7.5	4.9	4.5	11.7	12.8	10.2	11.4	10.0

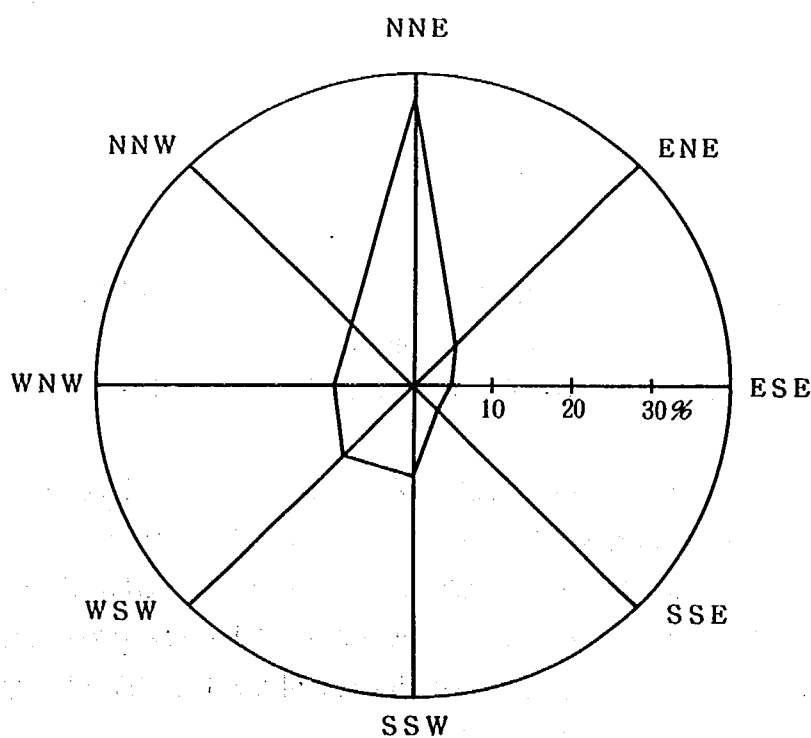


図-16 風配図

(2) 濃度合成について

本実験の実験条件の基に8風向について濃度の重ね合せを行う場合には、関係するパラメータとして、風向、風速およびその出現頻度が考えられる。

したがって、ある地点における合成濃度 C_s は以下に示す関係式により求めることができる。

$$C_s = \sum_{i=1}^8 \left(C_i \cdot \frac{U_i}{V_i} \cdot \frac{F_i}{100} \right) \dots\dots\dots (6)$$

ここで、 C_s : 合成された C_2H_4 濃度 (ppm)

C_i : 実験による C_2H_4 濃度 (ppm)

U_i : 実験時風速 (m/s)

V_i : 年間風向別平均風速 (m/s)

F_i : 年間風向別出現頻度 (%)

i : 風向 (8方位)

(3) 本実験における8方位の濃度合成について

式-6から8方位について濃度の重ね合せを行うが、この場合の気象条件は基準風速設定に用いた気象データを使用する。

本実験では、実験風速として8方位それぞれの風向における年平均風速で実験を行ったため、得られる合成濃度分布はデータの年平均風速に対応している。そのため、同式中の風速に関する項は除き、出現頻度だけを考慮して合成を行うこととする。

したがって、本実験におけるそれぞれの地点の年平均風速に対応した合成濃度 C_s は下式により求めることができる。

$$C_s = \sum_{i=1}^8 \left(C_i \cdot \frac{F_i}{100} \right) \dots\dots\dots (7)$$

(4) 年平均濃度分布について

図-17が対象道路の谷間部分を高架構造とした場合の8方位の濃度合成をした等濃度分布図であり、年平均値に相当する。なお、この等濃度分布図は対象道路のみについて合成したものである。

最大濃度の出現位置は高架部上り線Bトンネル坑口付近で、濃度は0.458 ppm (NO_x) となっている。

全体的な拡散パターンは、対象道路の高架部分を中心として南北の谷間に排出ガスが広がっており、対象道路の南側が北側に比べて濃度が高くなっている。この傾向の要因として、地形の影響と合わせて、風向の出現頻度がN系成分で約50%と卓越しているとともに、逆のS系成分も約16%程度あり、全体の約7割の風はこの谷筋に沿って吹いていることになるためと考えられる。

対象道路南側では100m程度の距離において道路境界付近の1/2程度となる事が推察される。

一方、東西の台地への影響は極めて小さいと言える。

本実験結果によれば、対象道路の影響を最も強く受けるのは、高架部南側の谷間に建られている住宅群であるが、対象道路から100m程度離れば、濃度はさほど高くはない。

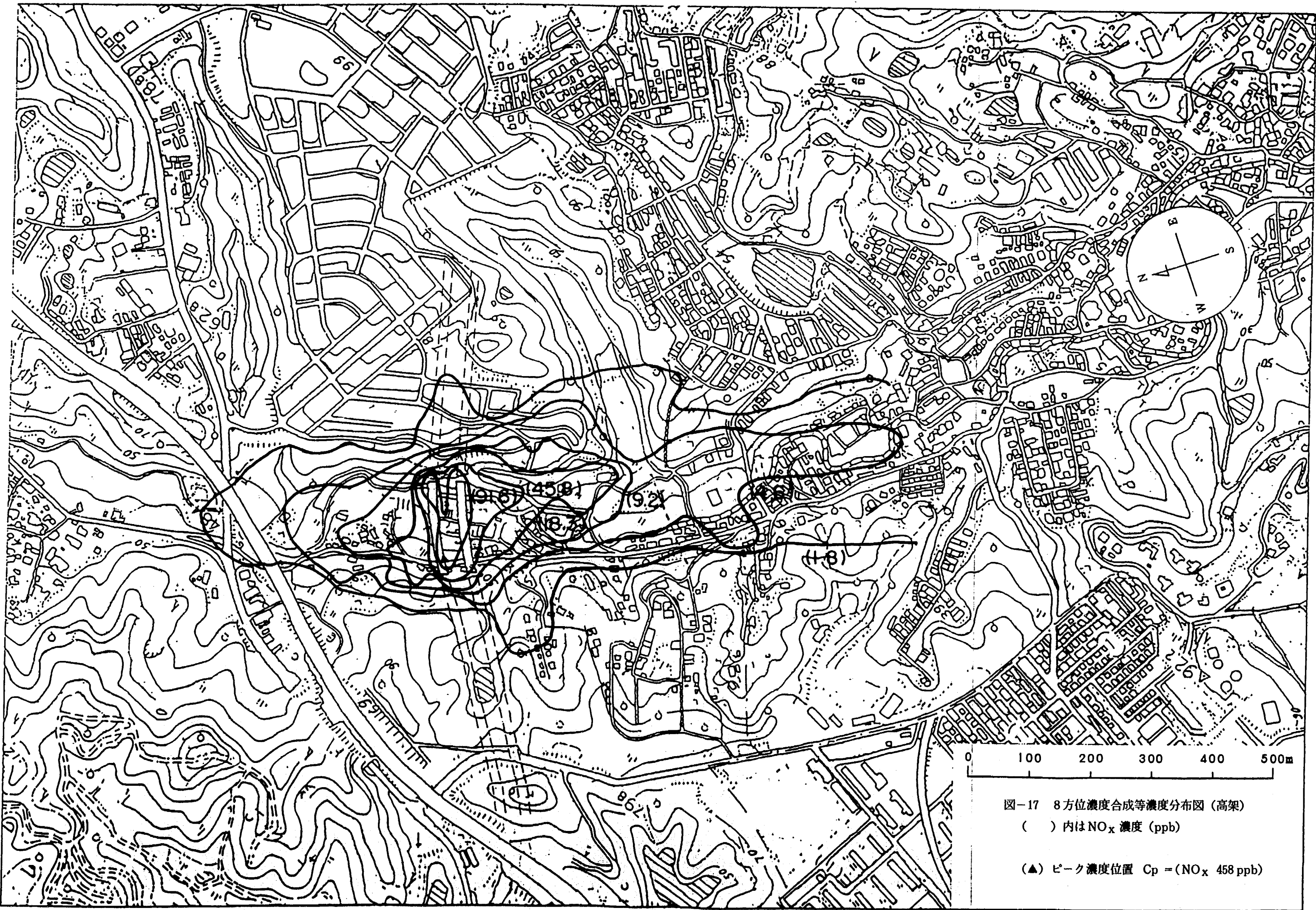
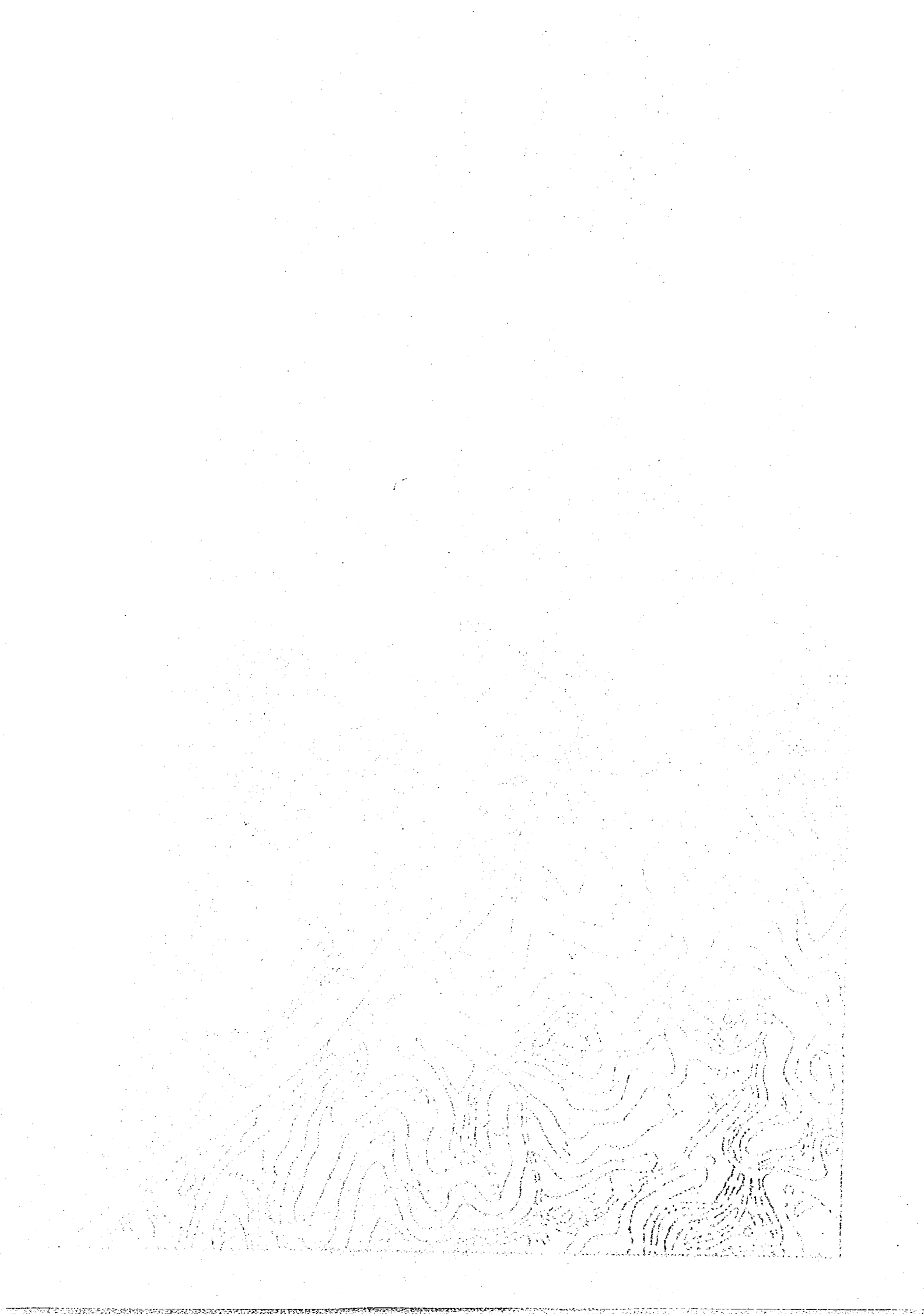


図-17 8方位濃度合成等濃度分布図(高架)
()内はNO_x濃度(ppb)
(▲)ピーク濃度位置 Cp=(NO_x 458ppb)



あ と が き

以上のように風洞模型実験手法を用いて複雑な道路構造や沿道地形での自動車排出ガス拡散濃度を予測した結果を示した。これらの結果より判断すると年平均濃度の分布は地形および気象（特に風向）により大きく影響され、本実験においてはNNEの風向が卓越しているために、地形の影響と合わせて年平均濃度もNNEの風向に沿って谷筋に長く拡散することがわかった。

今後、この実験例が地形が複雑な箇所での自動車排出ガス拡散予測を行う場合の参考になれば幸いである。

風洞実験による自動車排出ガス
拡散予測検討報告書（その2）

I S S N 0386-5878
土木研究所資料第 2102 号
昭和 59 年 3 月（1984）
足立義雄, 吉川良行, 小沢栄師

キーワード：風洞実験，自動車排出ガス，拡散予測

要 旨 道路および地形が複雑な箇所での自動車排出ガス
の拡散予測について，現地の地形模型を用いて風洞実験に
より年平均濃度を検討したものである。



郵便はがき

3 0 5 - □ □

40円切手
をはって
下さい。

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
交通環境研究室 御中

No. 012



土木研究所資料第 2102 号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

