

マイクロフィルム用資料

土木研究所資料

地形を考慮した橋梁の耐風設計に関する

研究報告書

平成11年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © (1999) 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、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

地形を考慮した橋梁の耐風設計に関する 研究報告書

構造研究室 室 長	佐 藤 弘 史
研究員	松 野 栄 明 *
研究員	大 儀 健 一
研究員	松 藤 洋 照

要旨

本研究では、強風が吹き抜けるような地形での風況を予測するために、地形模型風洞実験を実施し、模型化の範囲、地形模型の表面粗度、模型の縮尺、接近流等の影響を検討した。その結果、全体的な風況特性に対しては試験条件の影響は少ないが、地表面付近の局所的な風況に対しては、模型の縮尺および地表面粗度の影響があり、風況の推定に注意を要することが明らかとなった。また、谷、扇状地における風況を系統的に把握するために、単純化した地形モデルの地形模型風洞実験を実施し、谷の角度、幅が風況に与える影響を調査した。

キーワード：局地風の予測、地形模型風洞実験、谷、扇状地

* 現在 建設省大臣官房技術調査室係長

目 次

1. まえがき	1
2. 実地形による推定手法の検討	2
2.1 対象地形	2
2.2 現地観測の概要	2
2.3 地形模型風洞実験	2
2.3.1 概要	2
2.3.2 実験方法	2
2.3.3 実験条件	3
2.3.4 実験結果	3
2.3.5 考察	3
2.4 まとめ	5
3. 簡易地形模型風洞実験	38
3.1 概要	38
3.2 実験方法	38
3.3 実験条件	38
3.4 実験結果	38
3.5 考察	38
4. まとめ	67

1. まえがき

道路橋耐風設計便覧による動的耐風設計において、気象官署の風観測データに基づく基本風速をマップで与え、地表粗度および高度を考慮し風の特徴を定めることとしている。とくに、狭い海峡や峡谷のような局所的な強風が吹き抜けるような地形の場合には、特別な補正が必要とされているが、その検討方法について明確に示されていない。

本研究では、地形と風速、乱れ強さとの関係を明らかにし、風の特徴を精度良く推定する手法を検討するために、地形が風況に影響を与えやすい谷状地形について、縮尺の異なる地形模型を用いて実験条件を変化させ風洞実験を実施し、現地観測結果と比較することによって、地形模型風洞実験による推定方法の検討を行った。

さらに、地形の影響を系統的に把握するため、谷状地形を単純化したモデルを作成し、地形模型風洞実験を実施し、谷の角度、幅などが風況に与える影響を検討した。

2. 実地形による推定手法の検討

2. 1 対象地形

局地風が予想される地形として、海に面した溺れ谷となっている新潟県柏崎市の国道8号上輪橋付近を対象とした。この付近は、海岸から切り立った断崖上に道路があり、周辺が複雑な地形となっているため局所的に強風が吹く恐れがある。実際に、昭和52年4月に上輪大橋上において、小型トラックが強風にあおられて山側に荷台が傾き横転する事故が発生している。図-2.1.1に風況調査地点を示す。

2. 2 現地観測の概要

1994年3月に北陸地方建設局長岡国道工事事務所により、約1ヶ月間の現地観測が行われた。観測地点は、図-2.2.1に示すように、上輪橋の約50m日本海側の地点（観測点1）、上輪橋より約200mほど山側の採石場そばの平坦地（観測点3）である。風速計は地上高度6mに設置されており、10分ごとの平均風速、最大瞬間風速、風向を測定した。また、上輪橋の柏崎側（観測点2）に風速計が設置されており、1993年3月～1994年3月の観測データ（毎正時10分間平均風速および風向）を収集した。

図-2.2.2～図-2.2.4に、1994年3月の各観測地点のウィンド・ローズを示す。また、図-2.2.5に上輪橋（観測点2）における、1993年3月から1994年2月の1年間の観測データより作成したウィンドローズを示す。図-2.2.2および図-2.2.3より、観測点1、観測点2においては、谷の方向と一致する北西～南東方向の風向が卓越している。陸地側からの風である南東方向は、4m/s以下の比較的低い風速が多く、それ以上の風速では、日本海側からの風向である北北西～北西の風が卓越している。また、図-2.2.5より観測点2では年間を通じて北西～南東方向の風向が卓越している。図-2.2.4より観測点3では、上輪橋が位置する最も谷が狭くなる箇所から袋状に広がった地形で観測しているために、他の観測点とは若干異なった傾向を示しており、日本海側からの風では、北の風が卓越している。

また、観測点1の周辺はかなり木立が多く、地表面摩擦がかなり大きいと考えられるのに対して、観測点3は採石後地形を平坦化しているために、地表面にはほとんど草木がなく摩擦抵抗が小さな地形となっている。

2. 3 地形模型風洞実験

2. 3. 1 概要

局地風の予測には、地形因子解析、地形模型風洞実験、数値解析などの手法があるが、それらの中で現在最も一般的な方法と思われる、地形模型風洞実験を行い局地的な風況の予測を行った。周辺地形の模型化の範囲、模型の縮尺、接近流の特徴が推定結果に与える影響を調査した。

2. 3. 2 実験方法

風洞は、建設省土木研究所耐風工学実験施設内のフラッター風洞を用いた。主要諸元を表-2.3.1および図

-2.3.1に示す。

地形模型は 1/600 と 1/1,500 の 2 種類の縮尺の地形模型を作成した。いずれの模型も精度の面から一体化して制作するのが望ましいが、模型の運搬や風洞内への搬入などの問題から、分割して作成し風洞内の地面板上で組み立てて設置した。各地形模型の模型化の範囲を図-2.3.2 に、模型の配置状況を写真-2.3.1～写真-2.3.2 に示す。また、1/600 モデルでは地表面粗度を考慮するために目の粗いスポンジ状の樹脂を用いた。

使用した気流は、地面板上流側にスパイヤーを設けて発生させた境界層乱流、および地面板に発達する境界層乱流を用いた。地面板、スパイヤーおよび地形模型の位置関係を図-2.3.3 に示す。

気流の計測には、上流用 X 形プローブを使用し、主流方向平均風速、乱れ強さを計測した。

2. 3. 3 実験条件

実験は、接近流の鉛直プロファイル、風向、接近流風速、地形上の樹木の有無を変化させて実施した。実験ケースを表-2.3.2 に示す。気流計測は、上輪橋から日本海岸側に約 300m の A 列、上輪橋付近で谷幅の狭い B 列、上輪橋から谷の奥に約 300m 入った C 列上の、高度 70m、90m、120m、150m、180m、210m において行った。計測を行った範囲は 1/1,500 モデルで 600m×600m、1/600 モデルで 375m×600m である。図-2.3.4 に計測点位置図を示す。

2. 3. 4 実験結果

図-2.3.5 に接近流の主流方向平均風速の鉛直プロファイルを、図-2.3.6 に主流方向の乱れ強さの鉛直プロファイルを示す。図-2.3.4 の A 列、B 列、C 列における鉛直断面内の主流方向平均風速を図-2.3.7～図-2.3.14 に、主流方向乱れ強さを図-2.3.15～図-2.3.22 に示す。

また、図-2.3.23～図-2.3.30 に、A 列の主流方向平均風速に対する、B 列の同座標の増速率を示す。同様に、C 列の増速率を図-2.3.31～図-2.3.38 に示す。ただし増速率 γ は以下のようにして求めた。

$$\text{増速率 } \gamma = (\text{B、C 列における主流方向平均風速}) / (\text{A 列における主流方向平均風速})$$

2. 3. 5 考察

2. 3. 5. 1 谷状地形における風況特性

図-2.3.7～図-2.3.14 より、いずれのケースにおいても、谷の断面積が最も小さくなる B 列において、主流方向平均風速は A 列、C 列に比べて大きな値を示しており、谷の入り口に向かって増速し、B 列より C 列に向かって風速が低減している。また増速効果は谷の内部だけにとどまらず、その上方まで影響があり、谷の深さが 70m～100m 程度であるのに対して、実験条件によっては高度 200m 程度まで増速が確認された。

図-2.3.15～図-2.3.22 より、谷筋に沿った X=300m 付近において、主流方向乱れ強さは谷の断面積が小さくなる B 列では、A 列に比べて小さな値を示している。但し、乱流 3 の地表粗度を考慮した CASE2-2、CASE2-3 では若干 B 列における乱れ強さが A 列に比べて大きな値となっているが、これは他の乱流に比べて乱れ強さが小さいためと思われる。また C 列では、谷の左岸側が大きな乱れ強さを示しているが、これは

B列からC列にかけて、谷の左岸側が採石場跡で袋状の地形となっているためと思われる。

2. 3. 5. 2 接近流風速の影響

同じ乱流の発生方法で、風洞内風速を 5m/s および 7m/s とした CASE1-1 と CASE1-2 および CASE2-2 と CASE2-3 を比較すると、図-2.3.23 と図-2.3.24、図-2.3.28 と図-2.3.29 より主流方向平均風速のB列のA列に対する増速率はほぼ同じ値を示しており、今回の実験条件では、風洞内風速の影響は見られなかった。同様に、図-2.3.15 と図-2.3.16、図-2.3.20 と図-2.3.21 より主流方向乱れ強さについても、風洞内風速の影響はほとんど見られなかった。

2. 3. 5. 3 接近流プロファイルの影響

接近流の鉛直プロファイルが大きく異なる CASE2-2 と CASE2-4 を比較すると、図-2.3.28 と図-2.3.30 より、 $X=300\text{m}$ 付近の谷の内部では、平均風速が小さく乱れ強さの大きい乱流4を用いた CASE2-4 が大きな増速率を示しているが、鉛直プロファイルが異なるにも関わらず増速率の分布形状に大きな違いは見られなかった。これより地形が複雑で、地形による接近流への影響が大きい場合は、増速率の分布形状は、接近流の鉛直プロファイルの影響が小さいことがわかる。図-2.3.20 と図-2.3.22 より、主流方向乱れ強さは、地形の影響の少ないA列では接近流の鉛直プロファイルと同様の違いが見られるが、地形の影響が大きい、B列、C列の谷の両側斜面の低高度では、ほぼ同じ値を示しており、増速率と同様に地形の影響が大きい場合は、接近流の鉛直プロファイルの違いによる影響は小さいことがわかる。

2. 3. 5. 4 模型の表面形状の影響

模型縮尺 1/600 の CASE2-2～CASE2-4 は、目の粗いスポンジ状の樹脂を張り付けた地表面粗度を考慮した地形模型としている。図-2.3.27 と図-2.3.28、図-2.3.35 と図-2.3.36 より地表面粗度を考慮していない CASE2-1 と考慮している CASE2-2 を比較すると、B列およびC列のA列に対する増速率の分布形状はほぼ同様であるが、CASE2-2 ではB列の谷の左岸側の地表面付近で増速率が低い部分がある。また、主流方向の乱れ強さについて、図-2.3.19 と図-2.3.20 より比較すると、増速率と同様に全体的な分布形状は同じであるが、CASE2-2 では地表面付近で部分的に乱れ強さが非常に大きくなっている。これらは、地表粗度を考慮したためと考えられ、地表面付近の風況を調査する場合は、実地形の地表面を考慮した適当な模型化を行うことが必要である。

2. 3. 5. 5 模型化範囲および縮尺の影響

CASE1-3 と CASE2-4 の接近流プロファイルは、主流方向乱れ強さは高度約 100m 以下において CASE1-3 の乱流1の方が若干大きな値となっているが、主流方向平均風速はほぼ同じである。CASE1-3 の模型の縮尺は 1/1,500 で、模型の精度は低い、図-2.3.2 のように広い範囲まで模型化をしている。一方、1/600 ではその逆であり、トレードオフの関係にある。図-2.3.25 と図-2.3.30 を比較すると、1/600 模型は谷間を中心に模型化しているため、比較的高い周辺の 300m 程度の山や岬を含んでいないにも関わらず、A列に対

するB列の増速率はどちらの模型においても、ほぼ同じ値を示している。従って、このように複雑な地形においては、局所的な地形条件が風況に大きく影響することがわかる。一方、主流方向乱れ強さについては、図-2.3.17 と図-2.3.22 よりA列においては、ほぼ同じ分布形状を示しているが、B列、C列においては、地表面付近において、局所的に発生している強い乱れを 1/1,500 模型では再現できていない。これは、1/1,500 の模型は地表面粗度を考慮していないための影響が考えられるが、縮尺の違いによる模型の精度の影響も考えられる。

2. 3. 5. 6 接近流の風向の影響

接近流の風向が谷筋に沿った NW である CASE1-1 と NNW である CASE1-4 を比較すると、図-2.3.23 と図-2.3.26、図-2.3.15 と図-2.3.18 よりB列のA列に対する増速率、主流方向乱れ強さとも同様の値を示した。これより谷状地形では、局所的な地形における風況は風向の若干の違いにはあまり左右されないことがわかる。

2. 3. 5. 7 現地観測結果との比較

図-2.3.4 の観測点 1～3 の各点における 10 分間平均風速の実測値（観測点 2 における風向が NW 時）と、風洞実験結果との比較を図-2.3.39～図-2.3.40 に示す。観測点 1 および観測点 3 は、風洞実験の計測点と一致しないため、表-2.3.3 に示す座標における実験結果を用いた。図-2.3.40 より、観測点 2（上輪橋）と観測点 3（山側観測点）は、計測高度が異なるため実験値の方がやや大きい、ほぼ同じ風速比を示している。しかしながら、観測点 1（海側観測点）と観測点 2（上輪橋）は、実測値のばらつきが大きく、実験結果の風速比が実測値に比べて大きな値となっている。これは、観測点 1 が標高 30m 程度（風速計高さ 10m）で周りの木立が多く谷底に位置するため、観測点付近の影響を受けやすいためと思われる。また実験では、標高 70m 相当までしか計測できないため、標高 40m 程度の実測値よりも大きな風速になったと思われる。

2. 4 まとめ

強風が吹き抜けると考えられる谷状地形の実地形模型を作成し地形模型風洞実験を行い、風況への実験条件の影響を調査した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 谷の最も断面積が小さい地点（B列）に向かって接近流が増速し、谷筋に向かって風速は低減した。
- (2) 全体的な風況特性に対する模型縮尺、模型化範囲などの試験条件の影響は小さい。
- (3) 模型の縮尺が小さい場合、地表面粗度を考慮していない場合には、地表面付近の局所的な風況を再現できない場合がある。

海

本

11

風況調査地

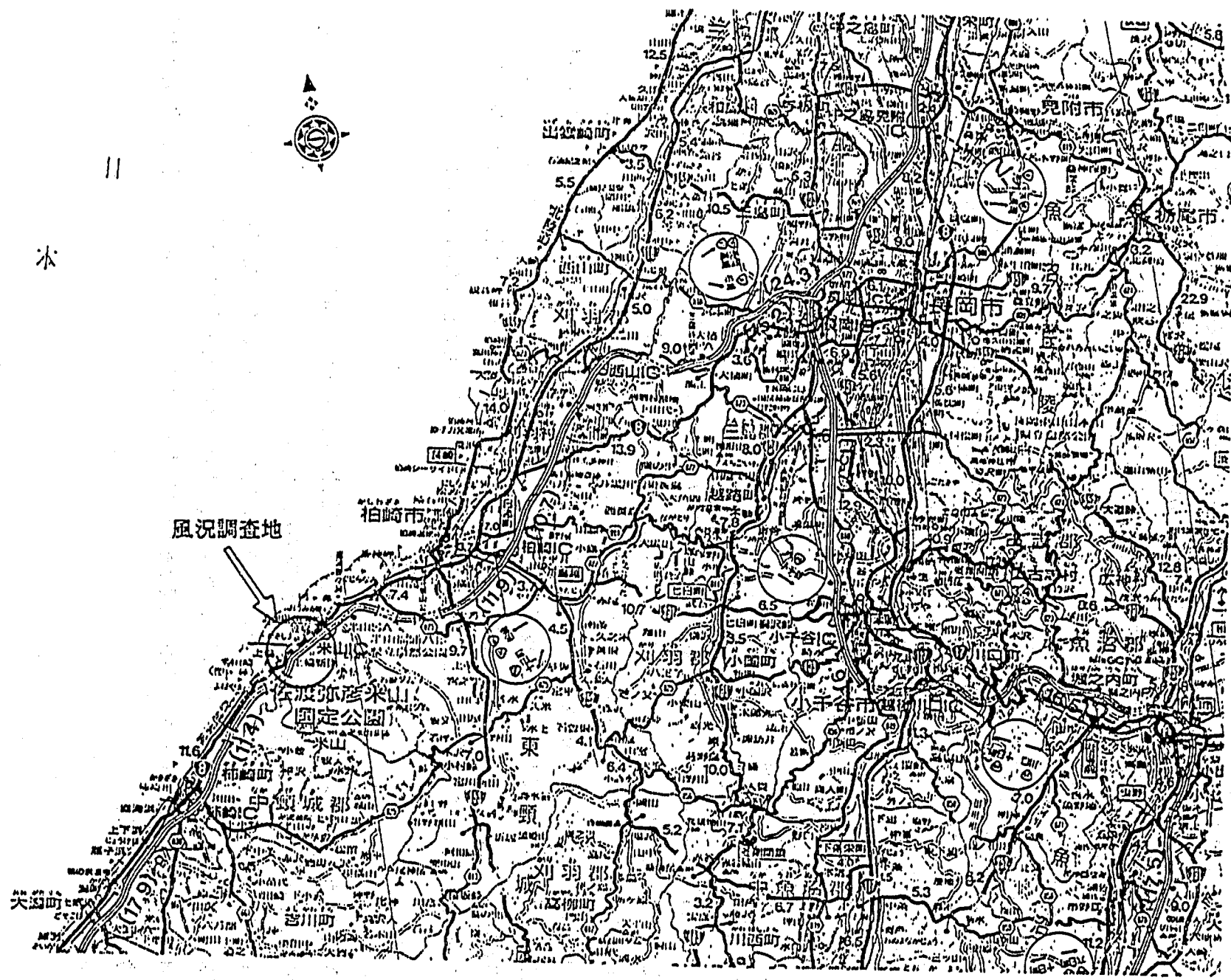


図-2.1.1 風況調査地点図

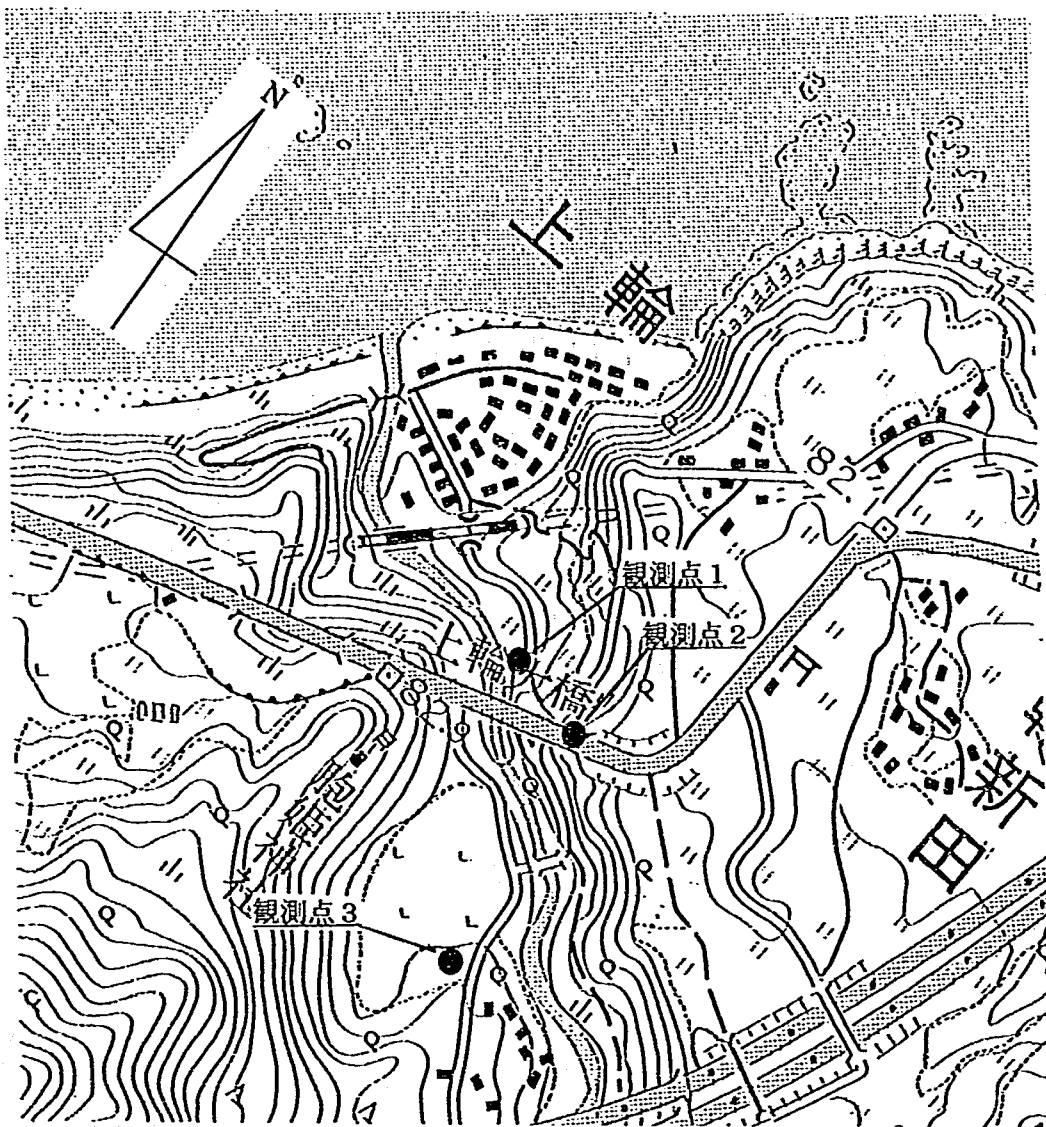


図-2.2.1 現地観測地点

表-2.2.1 現地観測条件

観測点	観測位置	観測期間	観測項目	備考
観測点1	上げ輪橋より日本海側約 50m	1994 年 3 月	10 分間平均風速 最大瞬間風速、風向	地上高度 6m
観測点2	上輪橋上、柏崎側	1993 年 3 月～ 1994 年 3 月*	10 分間平均風速、 風向*	上輪橋に設置
観測点3	上輪橋より山側約 200m	1994 年 3 月	10 分間平均風速 最大瞬間風速、風向	地上高度 6m

*既設の風速計のデータを収集。

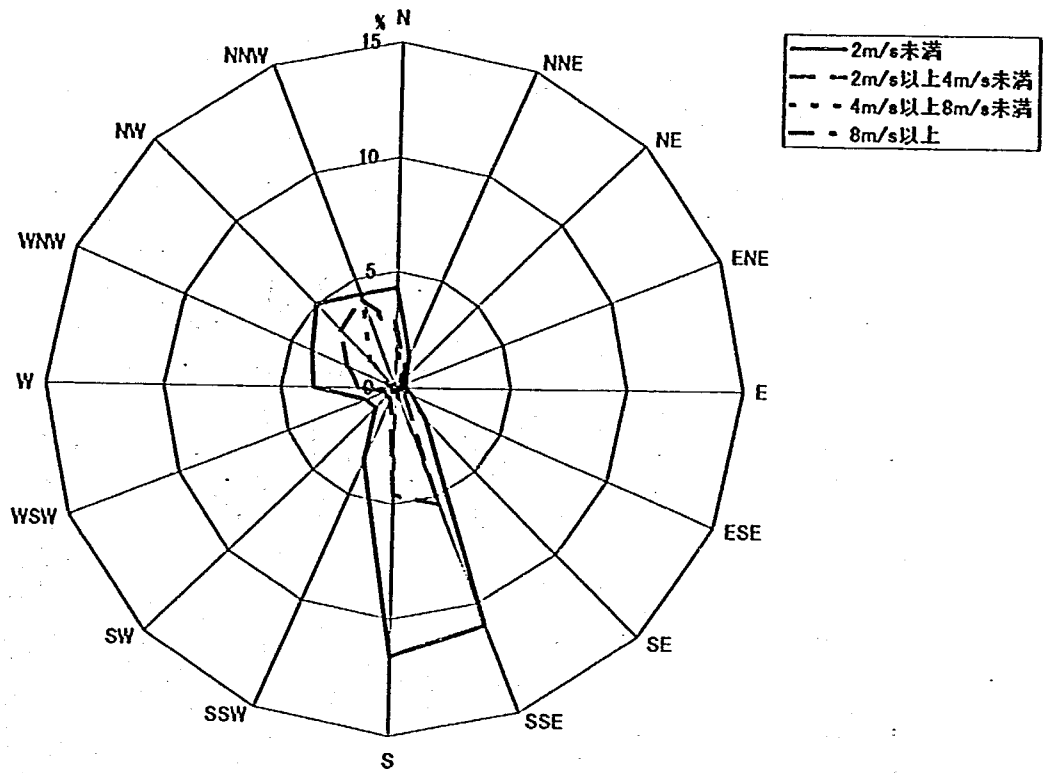


図-2.2.2 観測点1のウィンド・ローズ

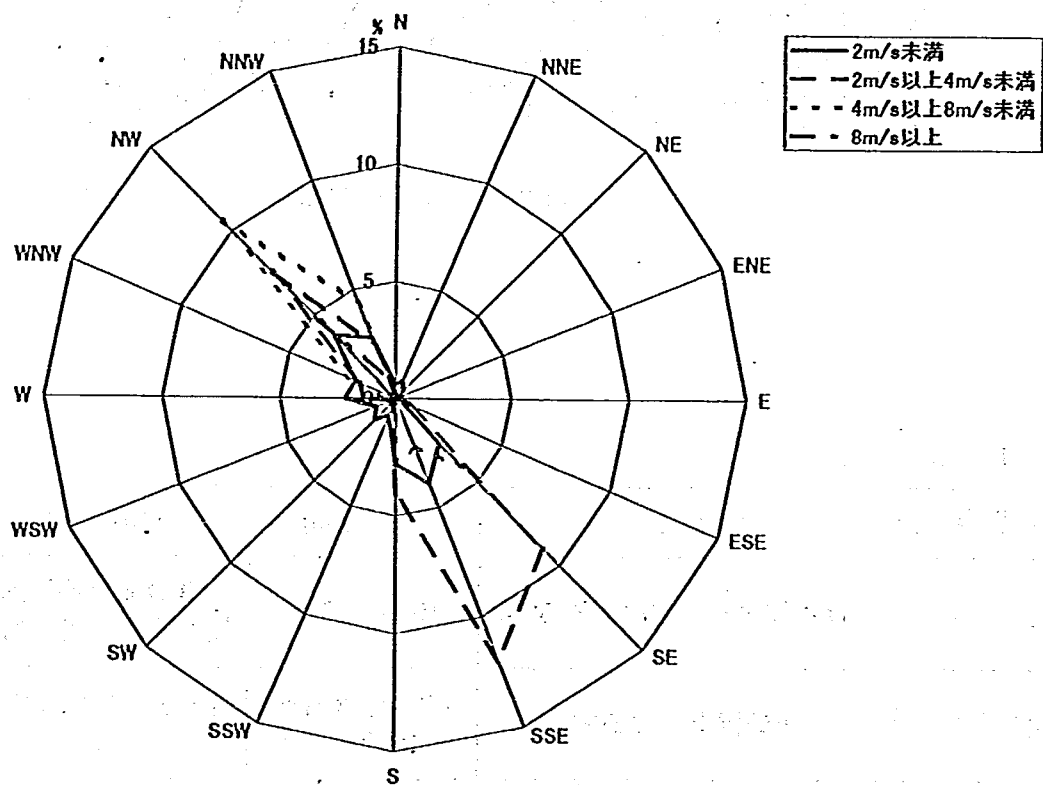


図-2.2.3 観測点2のウィンド・ローズ (1994年3月)

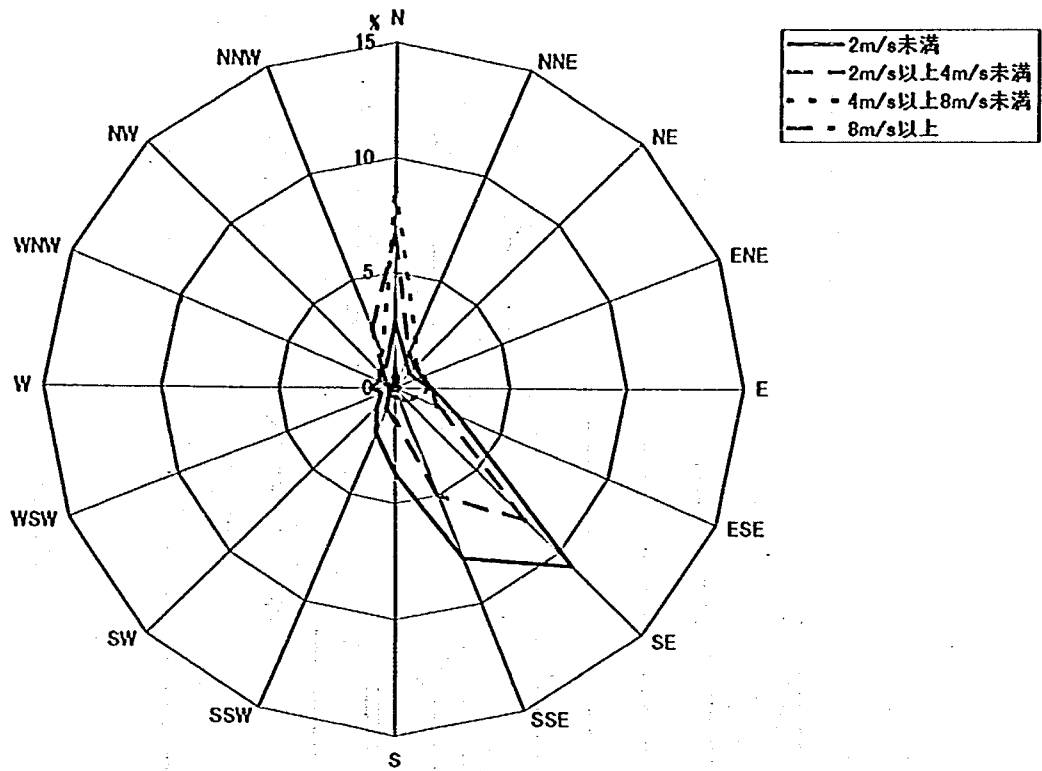


図-2.2.4 観測点3のウィンド・ローズ

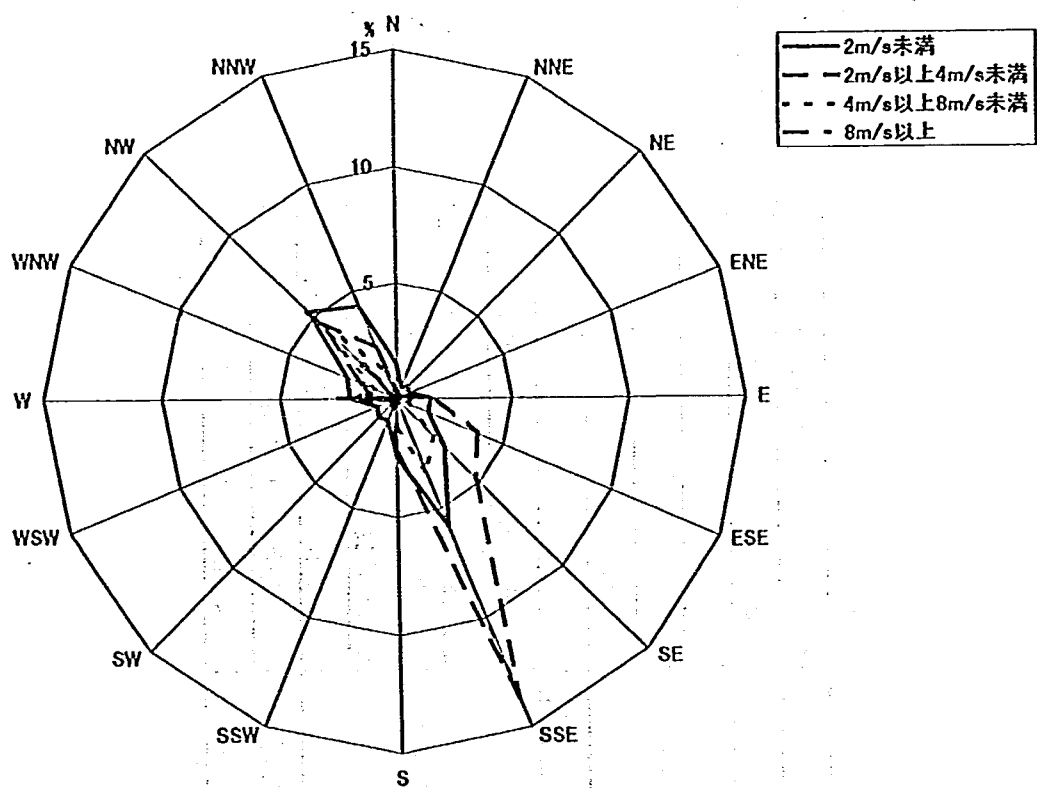


図-2.2.5 観測点2のウィンド・ローズ (1993年3月～1994年2月)

表-2.3.1 風洞諸元

風洞名		フラッター風洞
風洞形式		ゲッチンゲン型
測定胴	幅	2,500mm
	高	4,000mm
	長さ	10,000mm
風路全長		115m
送風機	動翼直径	4,000mm
	有効全圧	40.0mmAq
	風量	242.0m ³ /sec
	回転数	400.0rpm
	容量	250.0kW
気流	風速	1.0~25.0m/sec
	乱れ率	0.5%

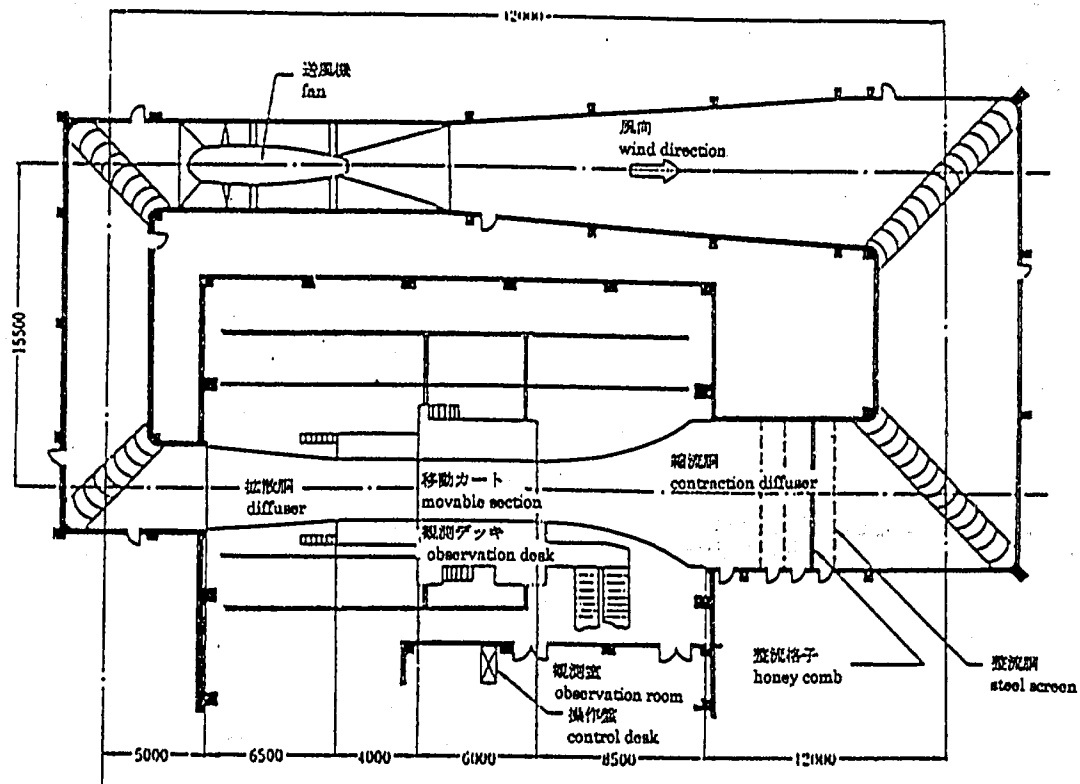


図-2.3.1 風洞平面図

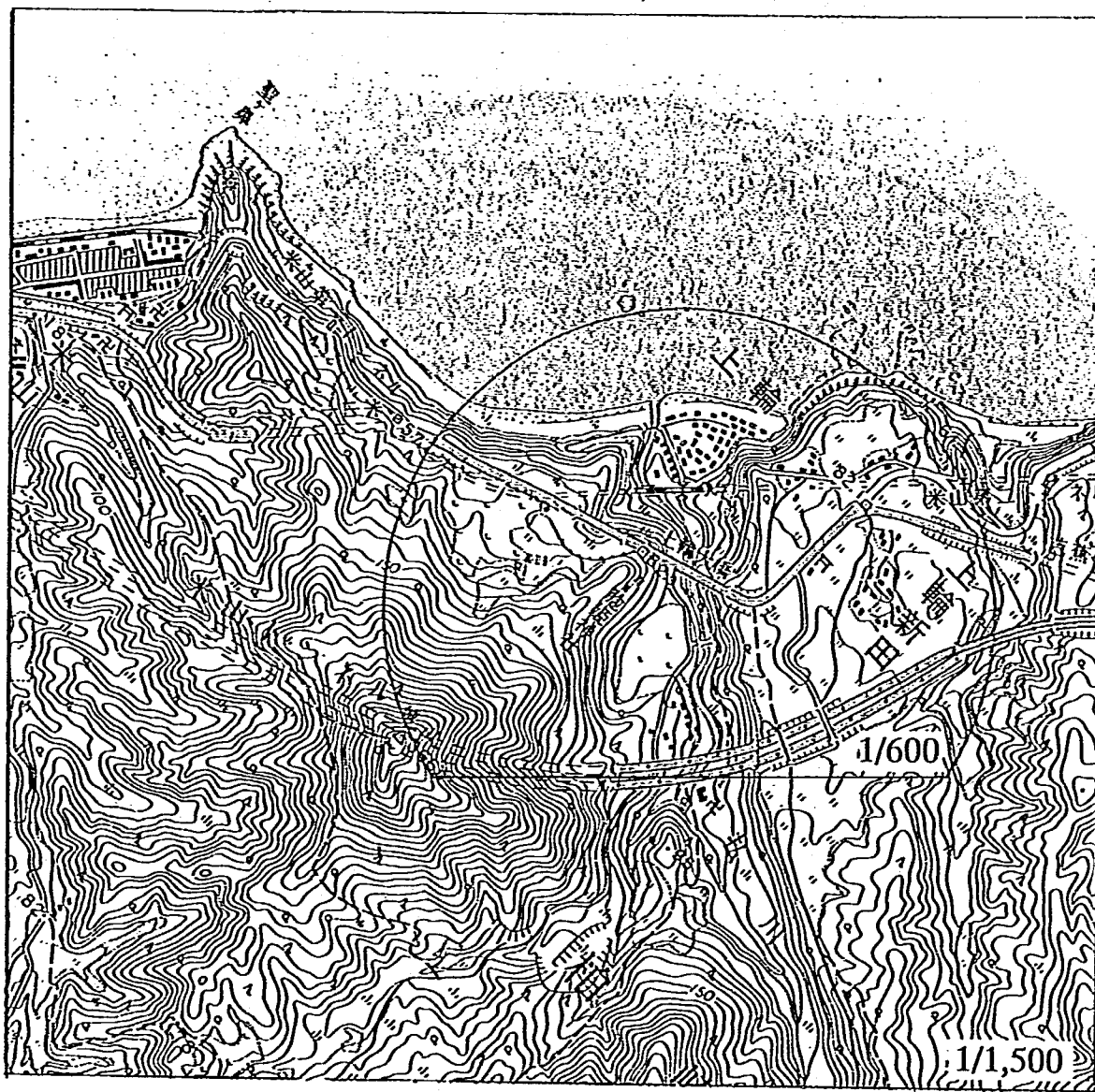


図-2.3.2 模型化の範囲

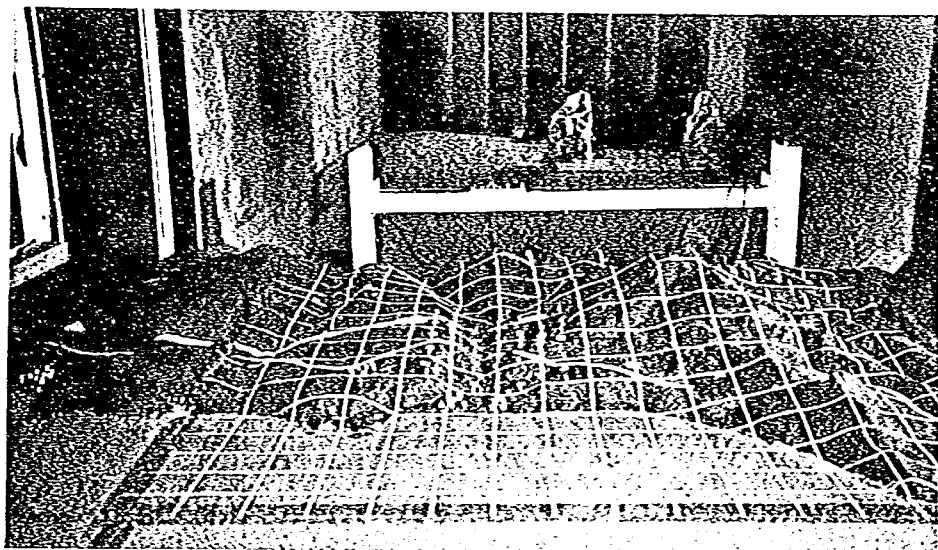


写真-2.3.1 1/1,500 模型

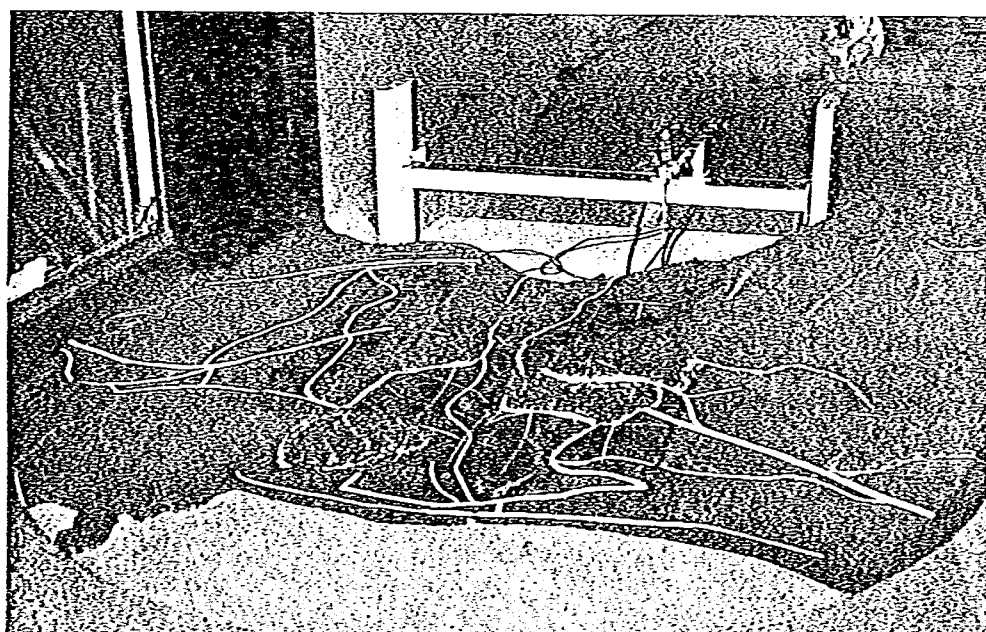


写真-2.3.2 1/600 模型

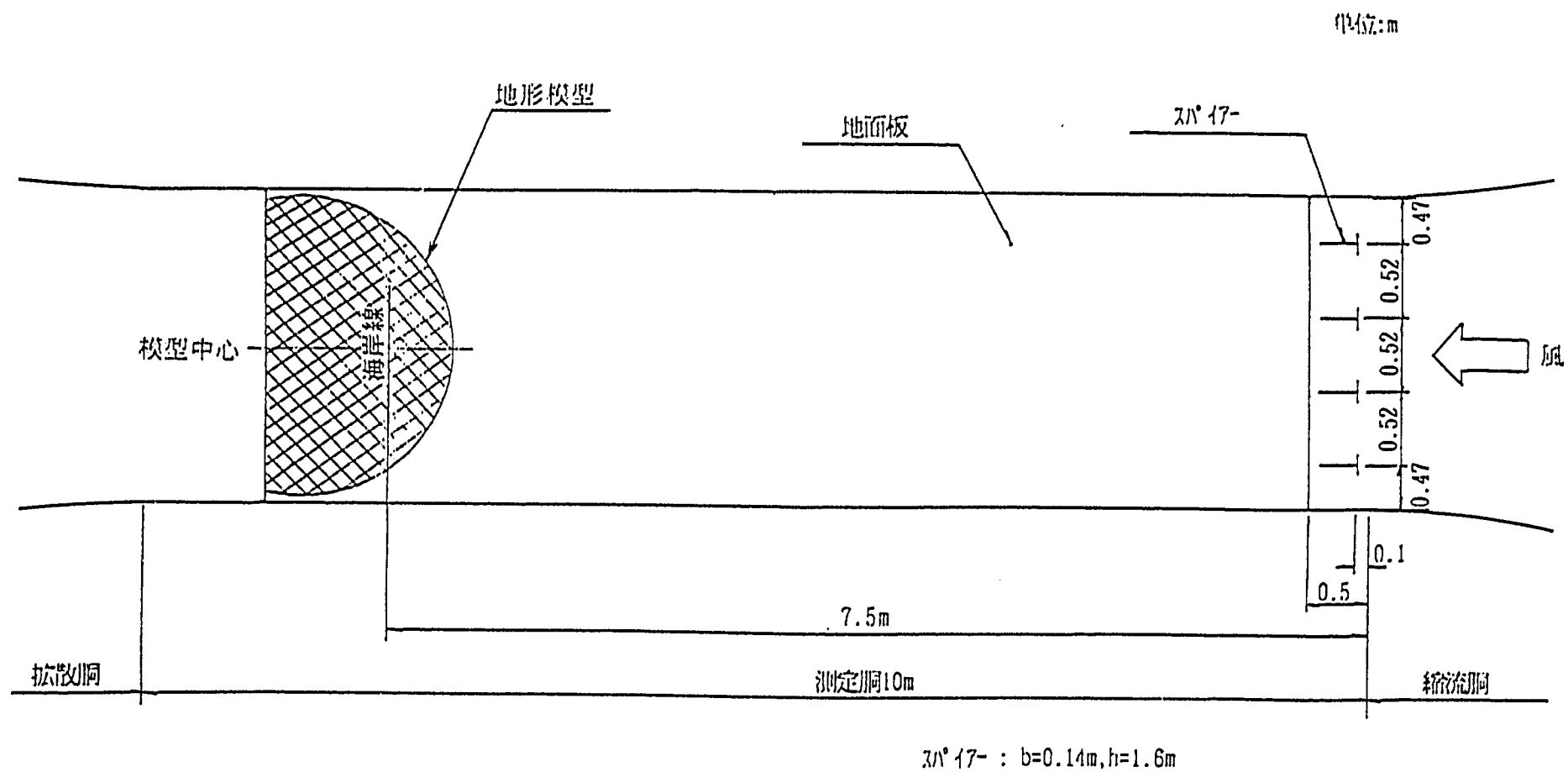


図-2.3.3 乱流発生状況図

表-2.3.2 実験ケース一覧

No.	縮尺	接近流	乱流発生方法	風洞内風速	風向	地表面粗度
1-1	1/1,500	乱流 2	スパイヤー	5m/s	NW	なし
1-2				7m/s		
1-3		乱流 1	地面板のみ	5m/s	NNW	
1-4		乱流 2	スパイヤー			
2-1	1/600	乱流 3	地面板のみ	5m/s	NW	あり
2-2						
2-3				7m/s		
2-4		乱流 4	スパイヤー	5m/s		

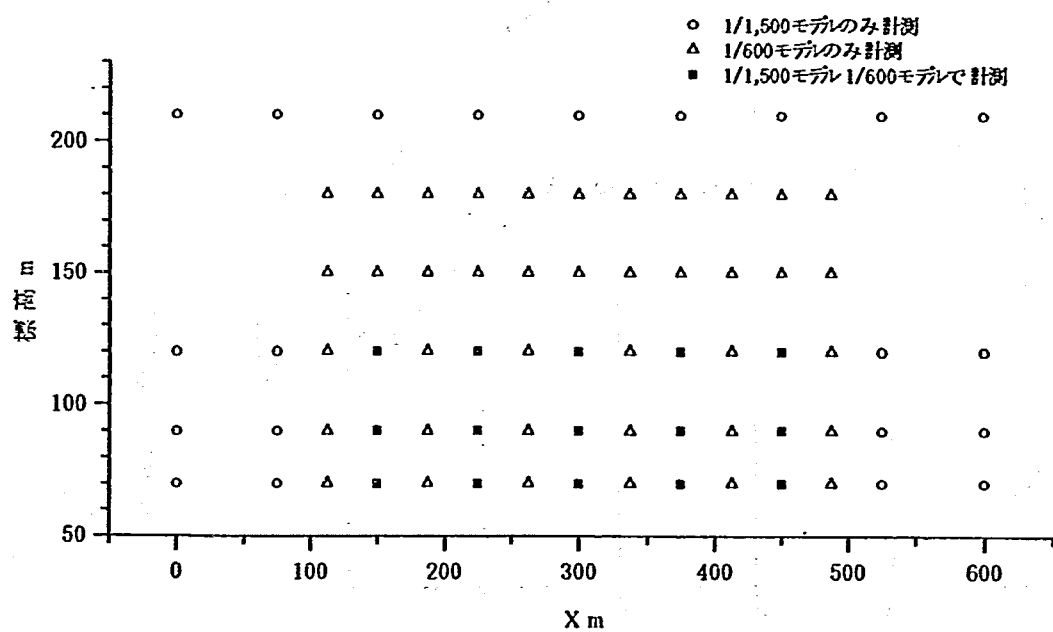
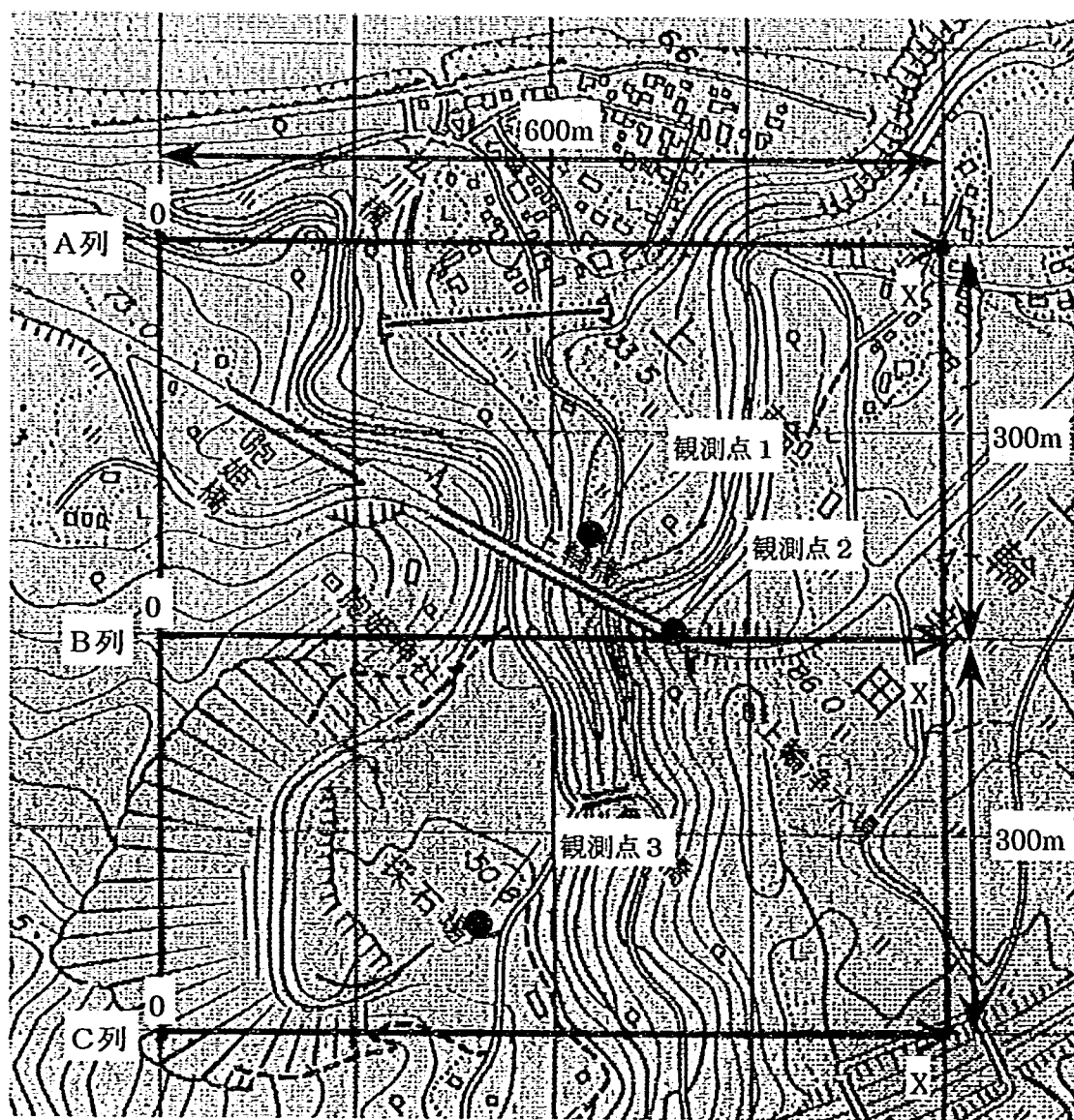


図-2.3.4 気流計測位置

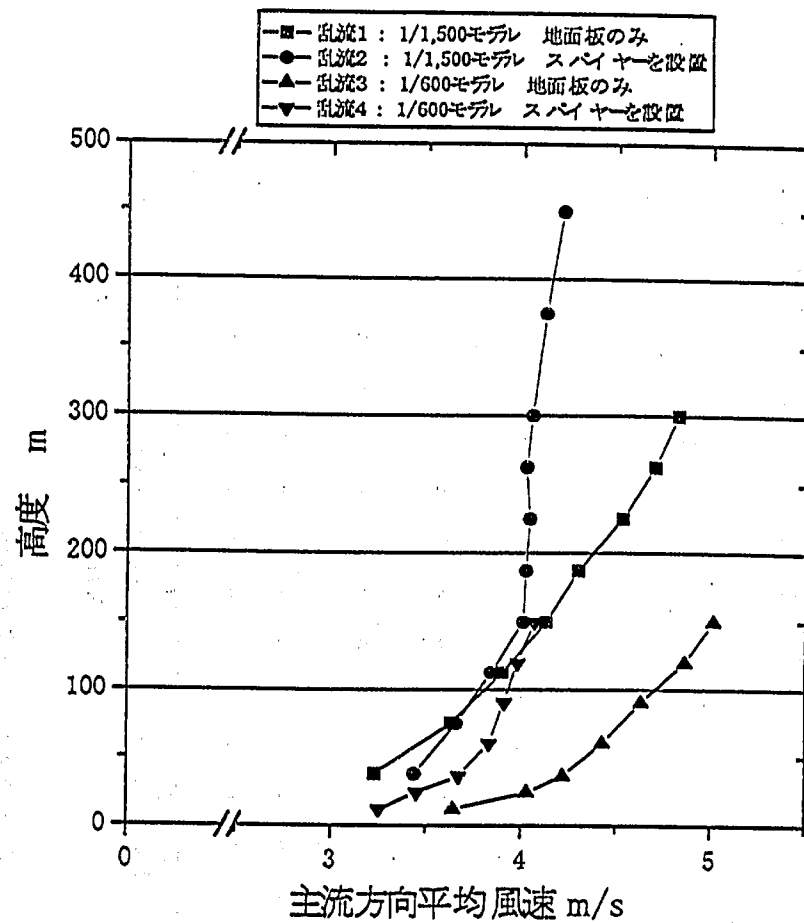


図-2.3.5 接近流の主流方向平均風速

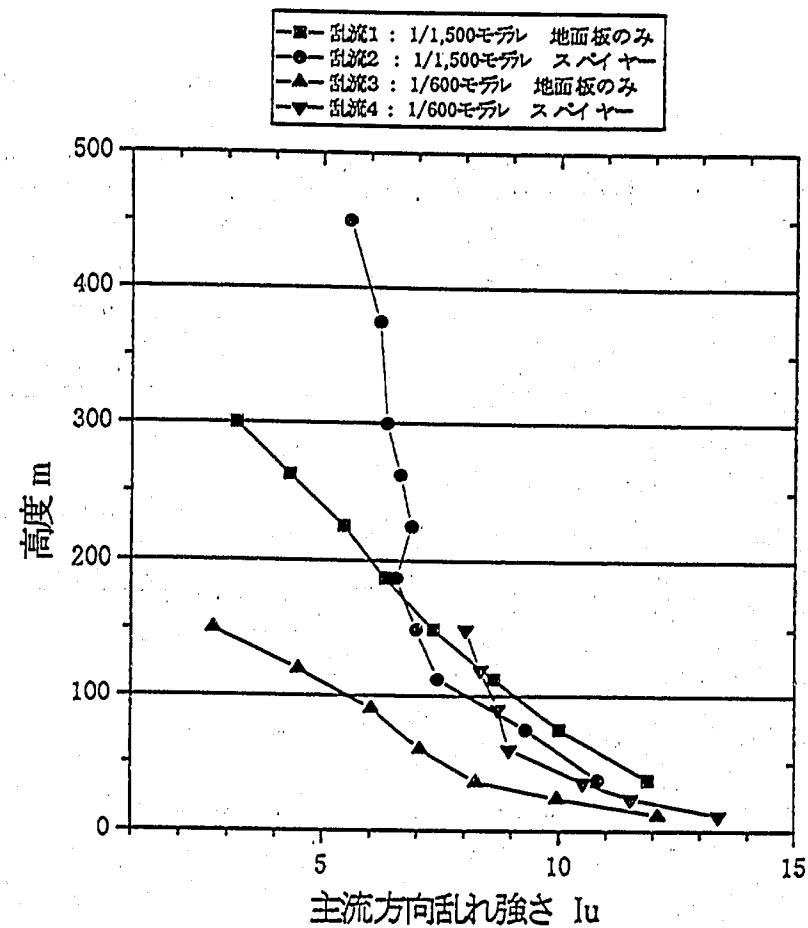


図-2.3.6 接近流の主流方向乱れ強さ

CASE No.	1-1
模型縮尺	1/1,500
接近流	乱流2
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	なし

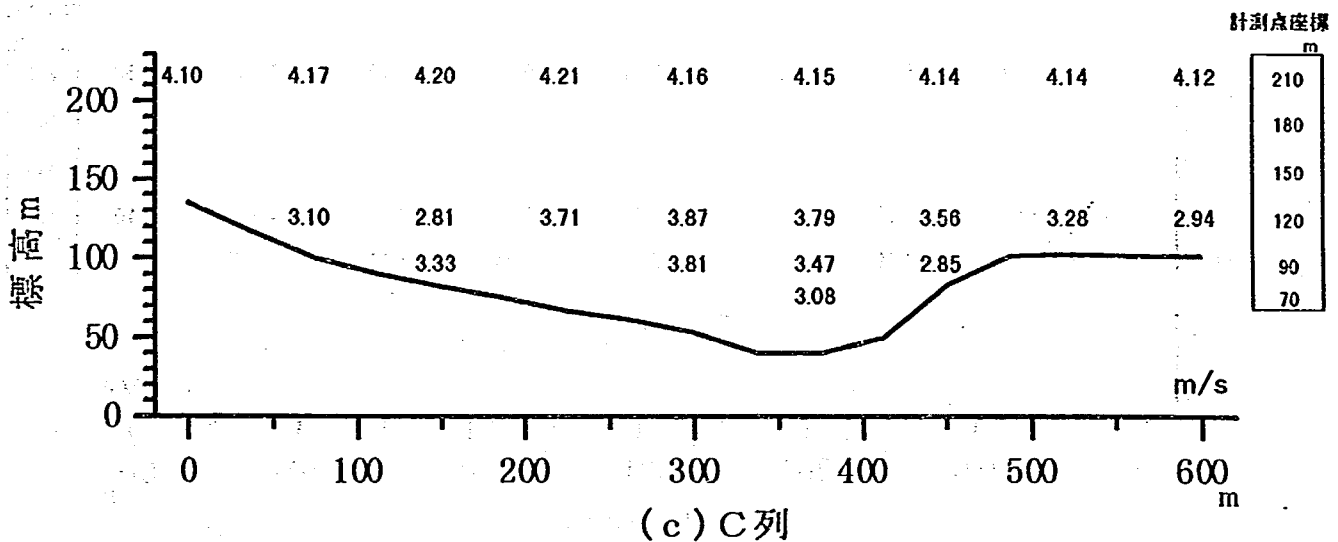
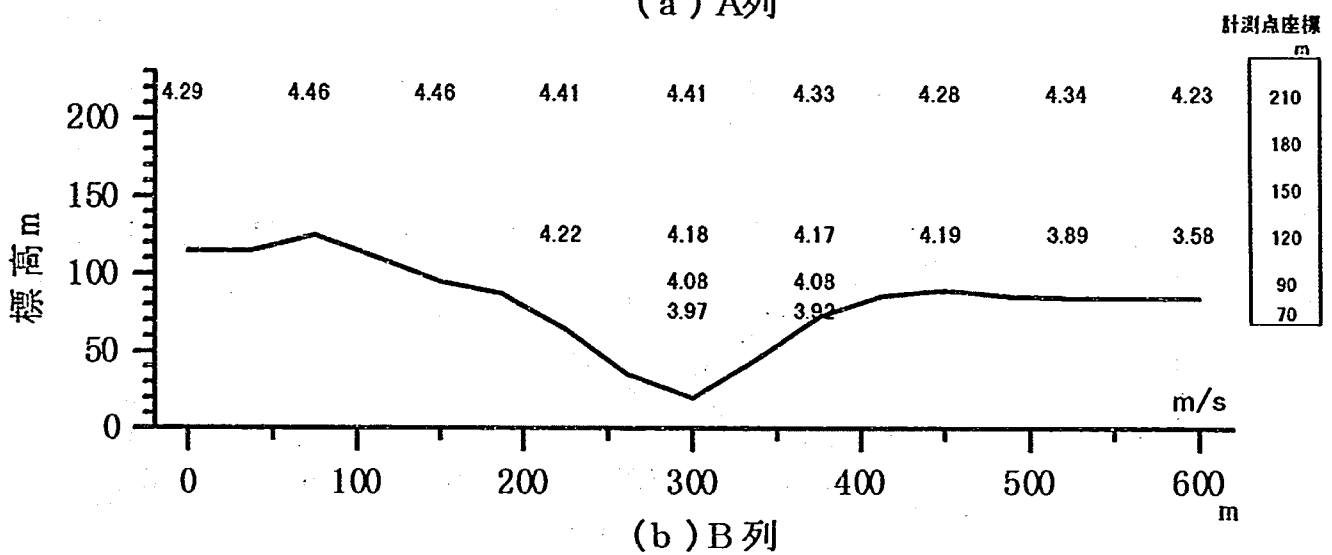
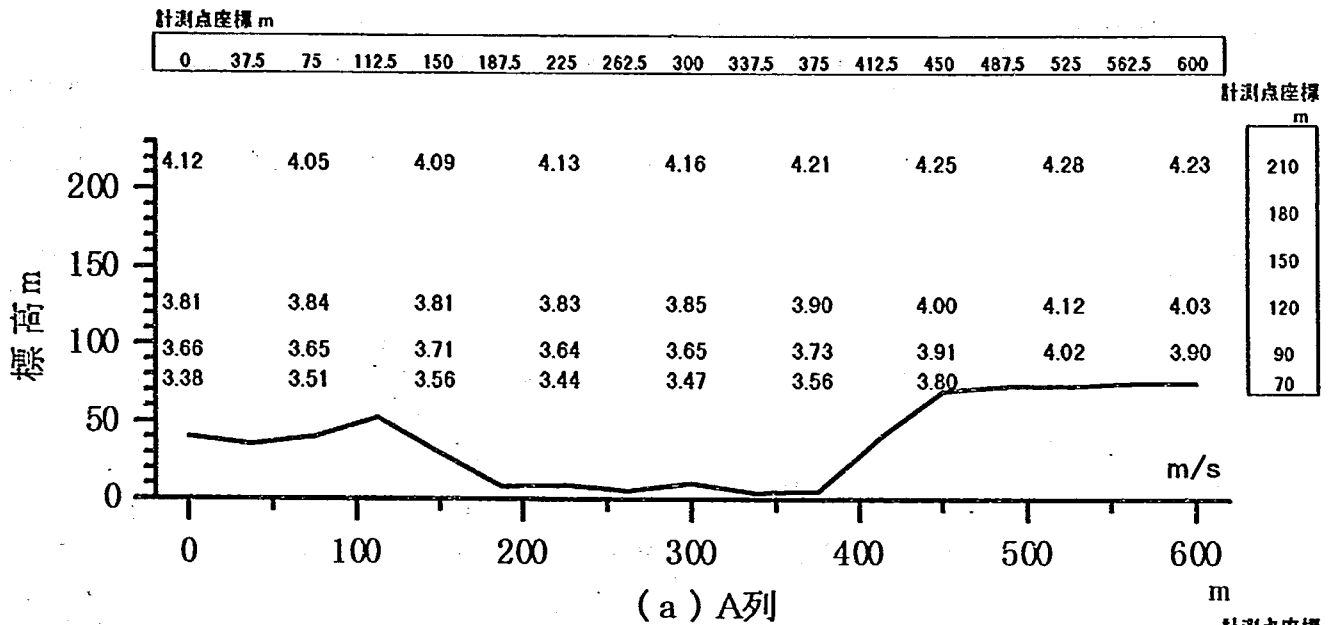


図-2.3.7 主流方向平均風速 CASE1-1

CASE No.	1-2
模型縮尺	1/1,500
接近流	乱流2
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	なし

計測点座標 m

0	37.5	75	112.5	150	187.5	225	262.5	300	337.5	375	412.5	450	487.5	525	562.5	600
---	------	----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

計測点座標 m

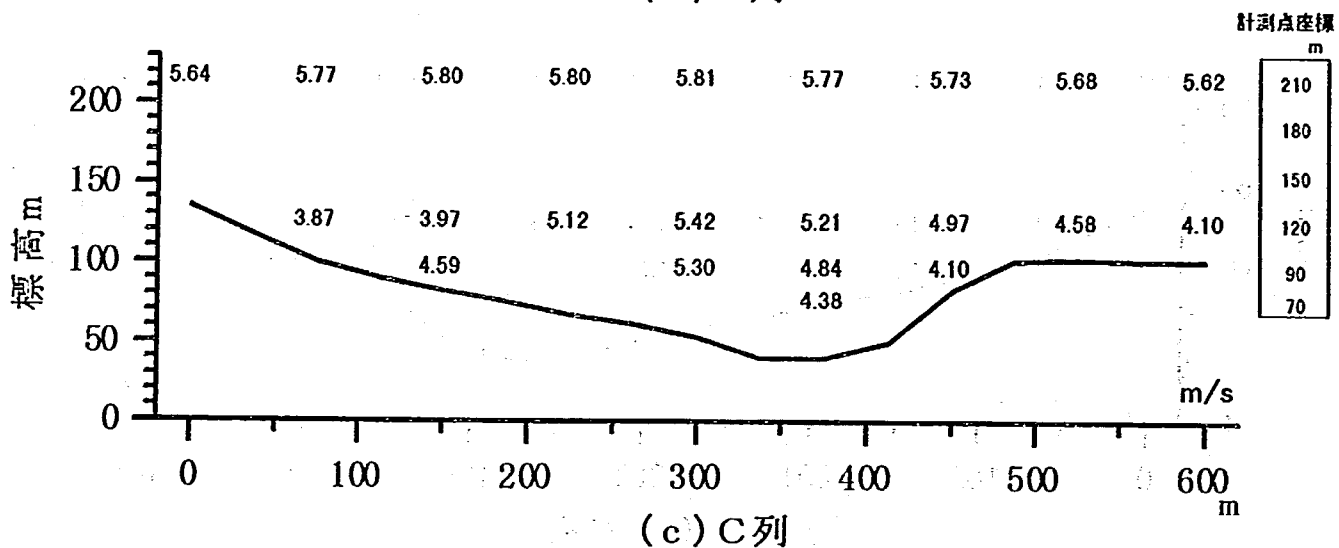
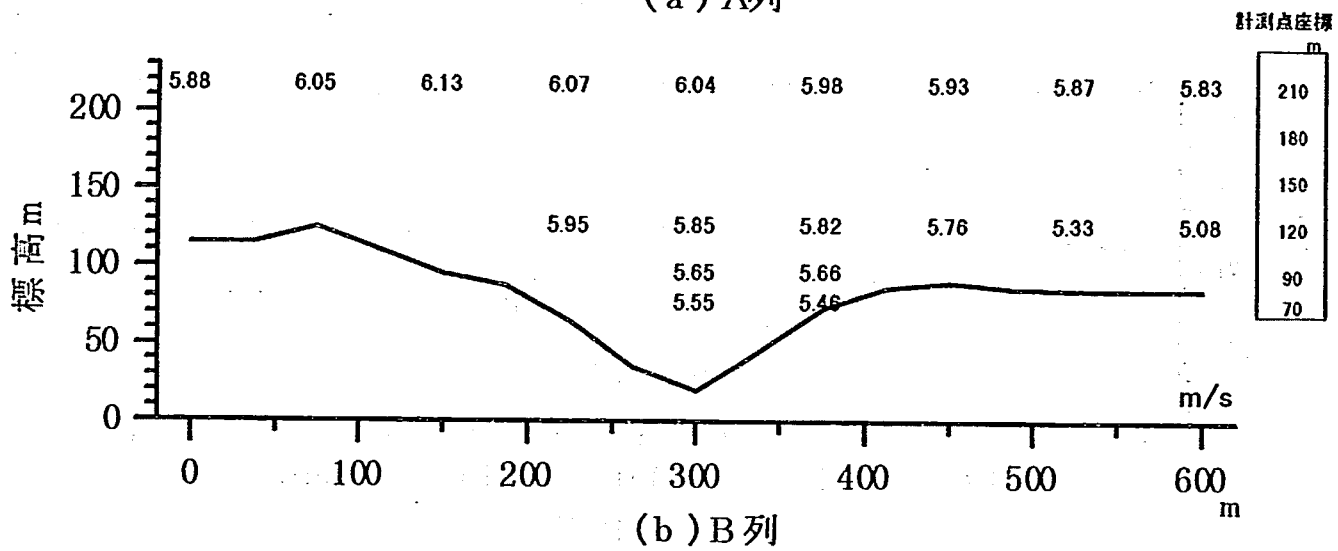
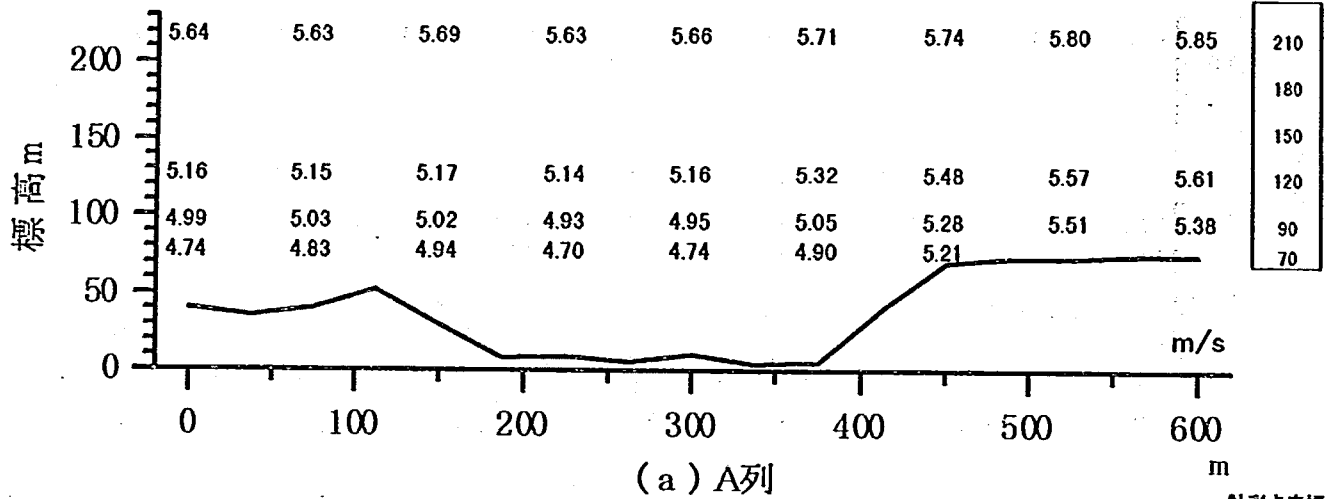


図-2.3.8 主流方向平均風速 CASE1-2

CASE No.	1-3
模型縮尺	1/1,500
接近流	乱流1
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	なし

計測点座標 m

0	37.5	75	112.5	150	187.5	225	262.5	300	337.5	375	412.5	450	487.5	525	562.5	600
---	------	----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

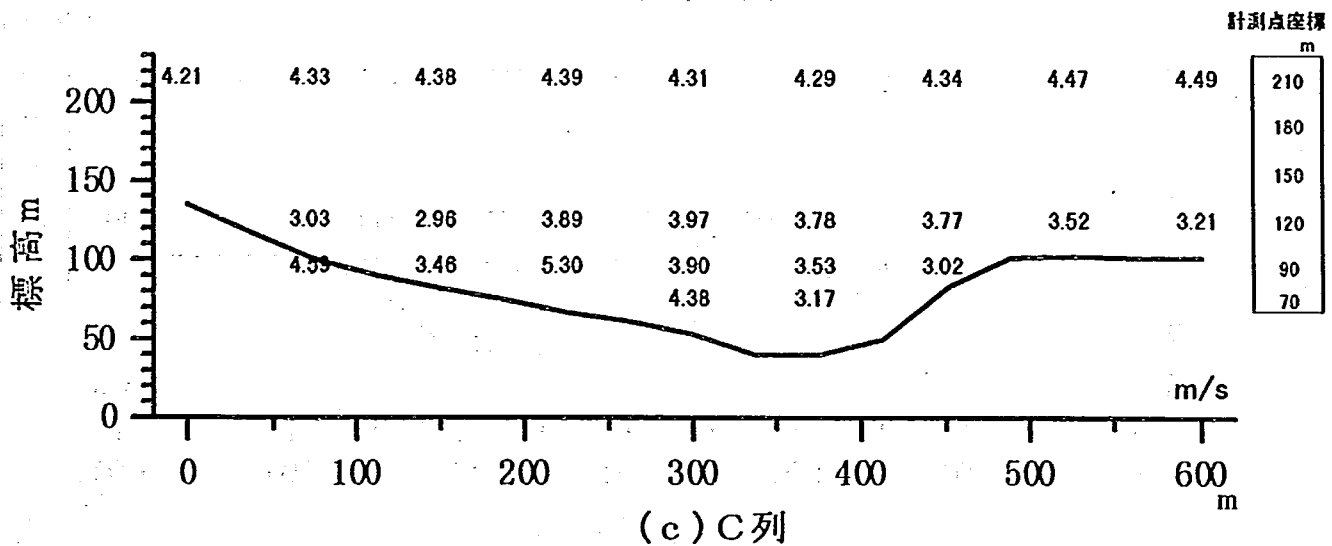
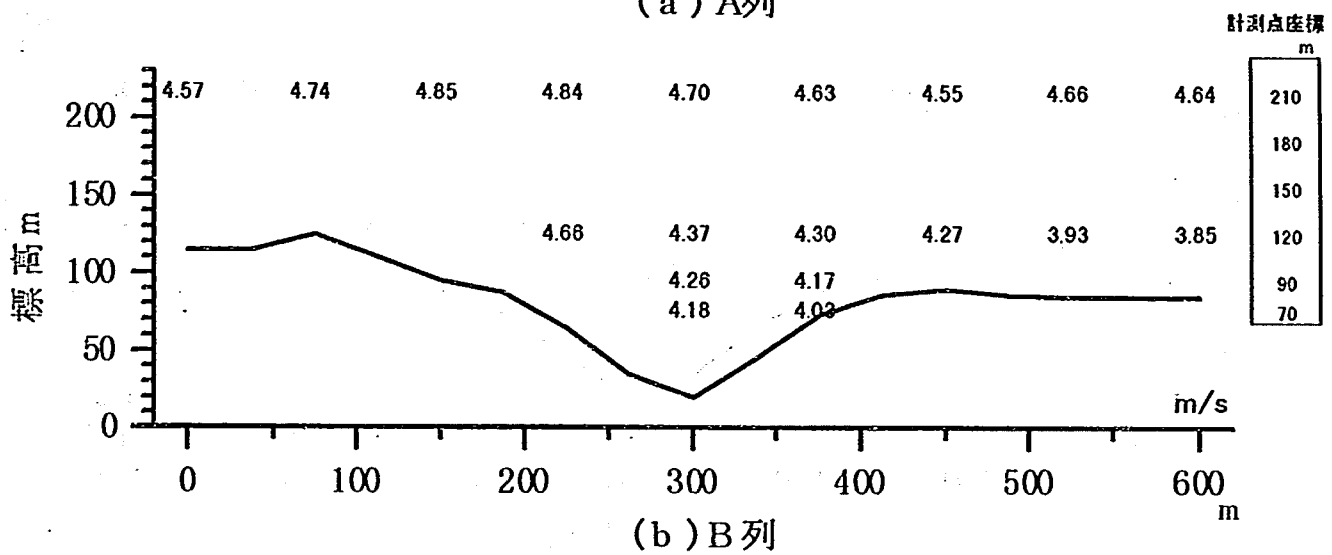
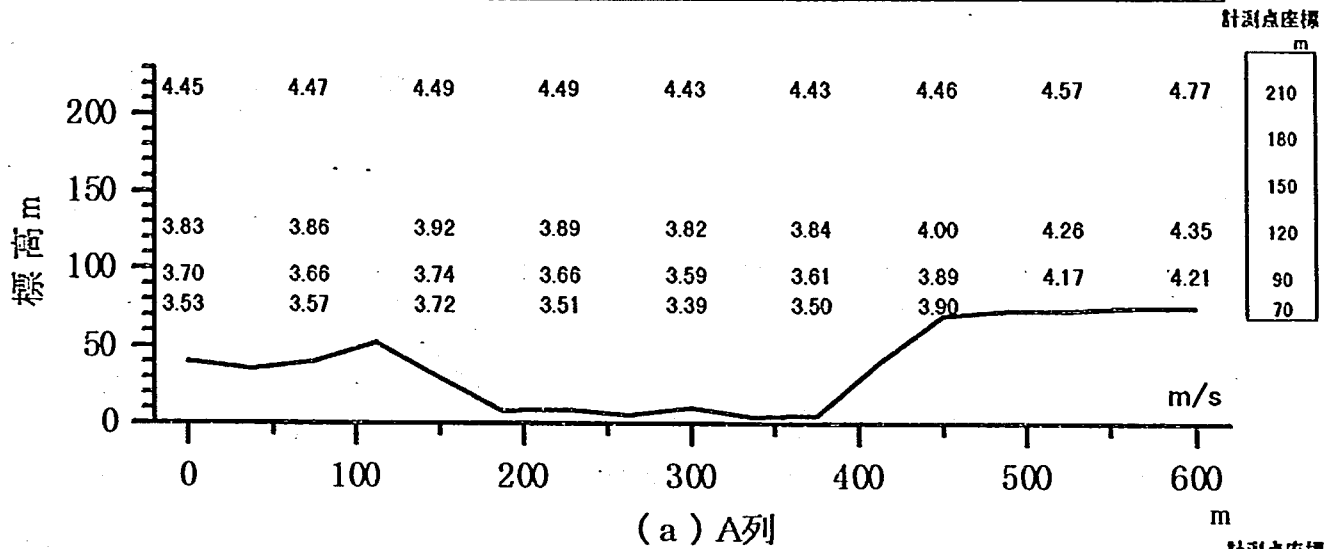


図-2.3.9 主流方向平均風速 CASE1-3

CASE No.	1-4
模型縮尺	1/1,500
接近流	乱流1
風洞内風速	5m/s
風向	NNW
地表面粗度	なし

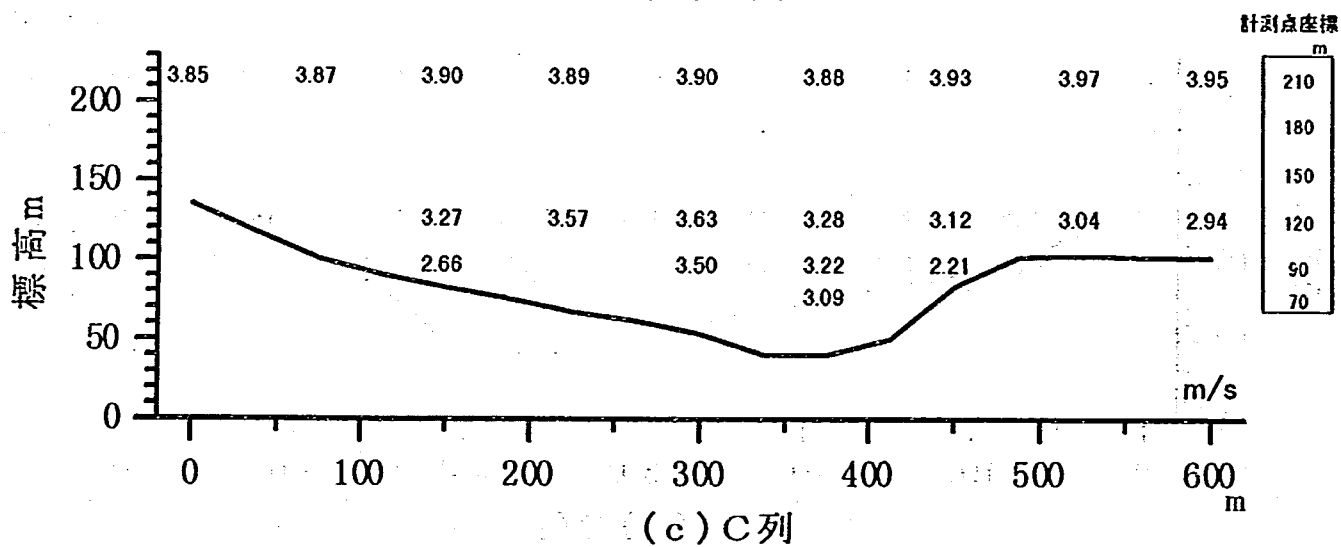
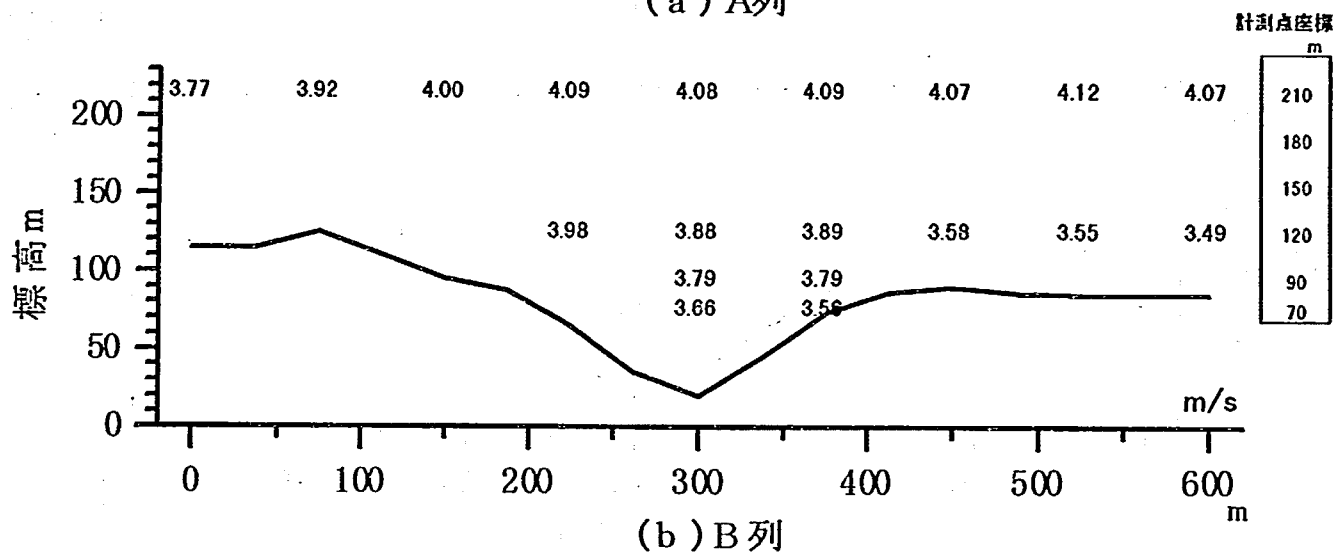
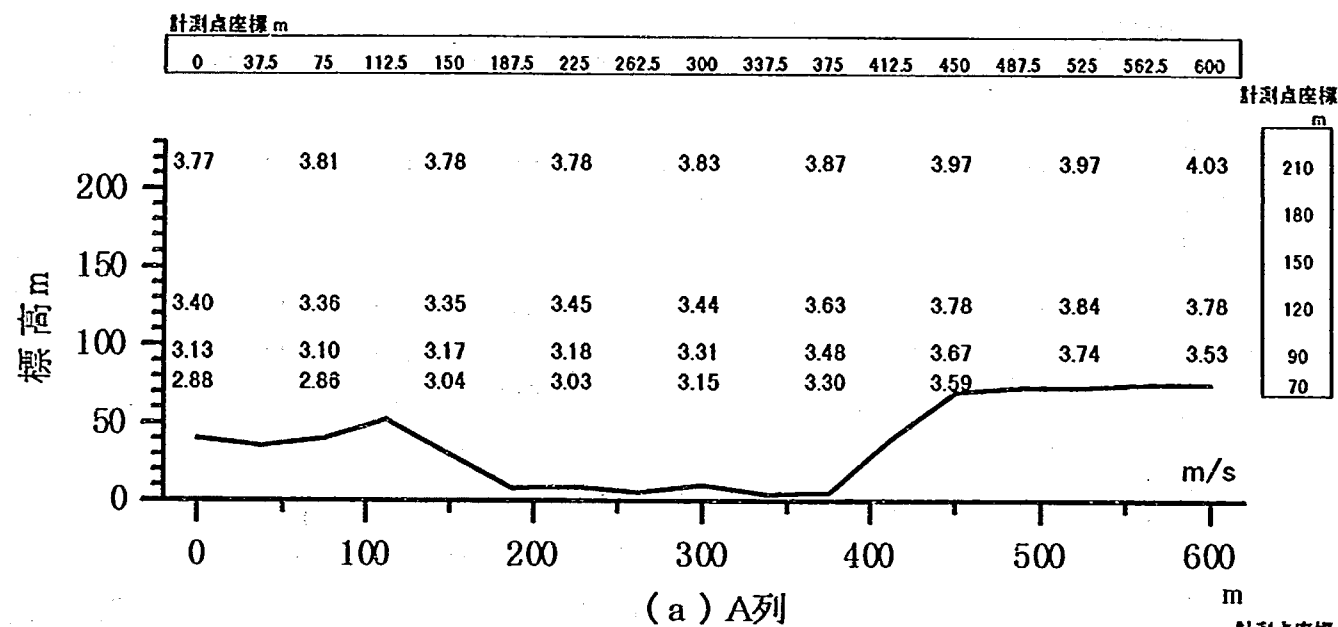


図-2.3.10 主流方向平均風速 CASE1-4

CASE No.	2-1
模型縮尺	1/600
接近流	乱流3
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	なし

計測点座標 m

0	37.5	75	112.5	150	187.5	225	262.5	300	337.5	375	412.5	450	487.5	525	562.5	600
---	------	----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

計測点座標 m

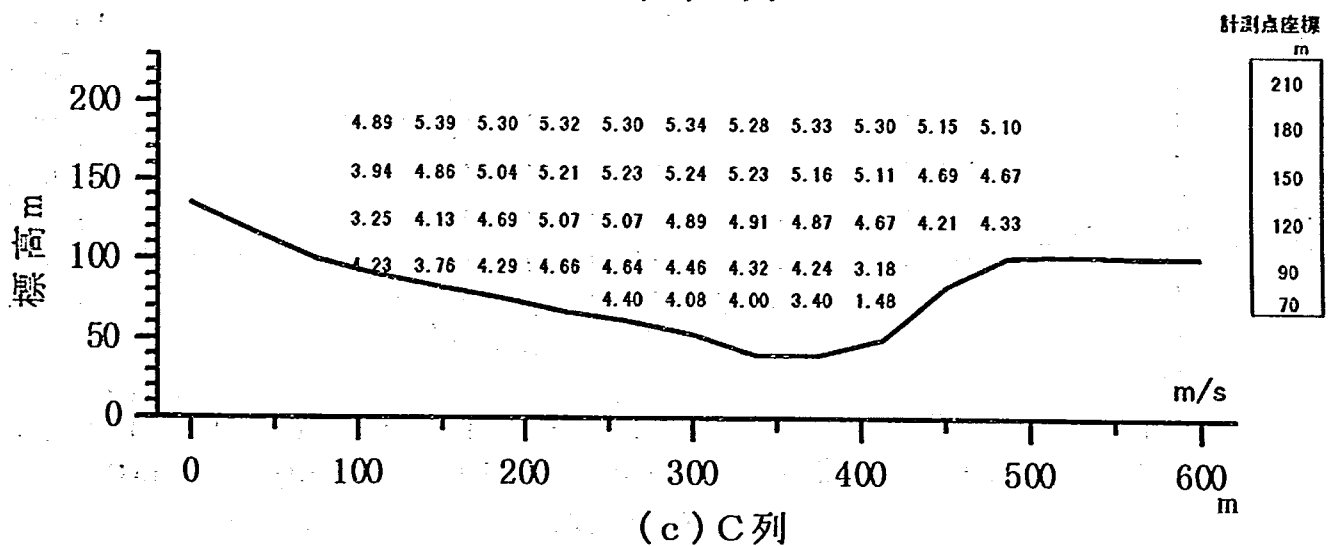
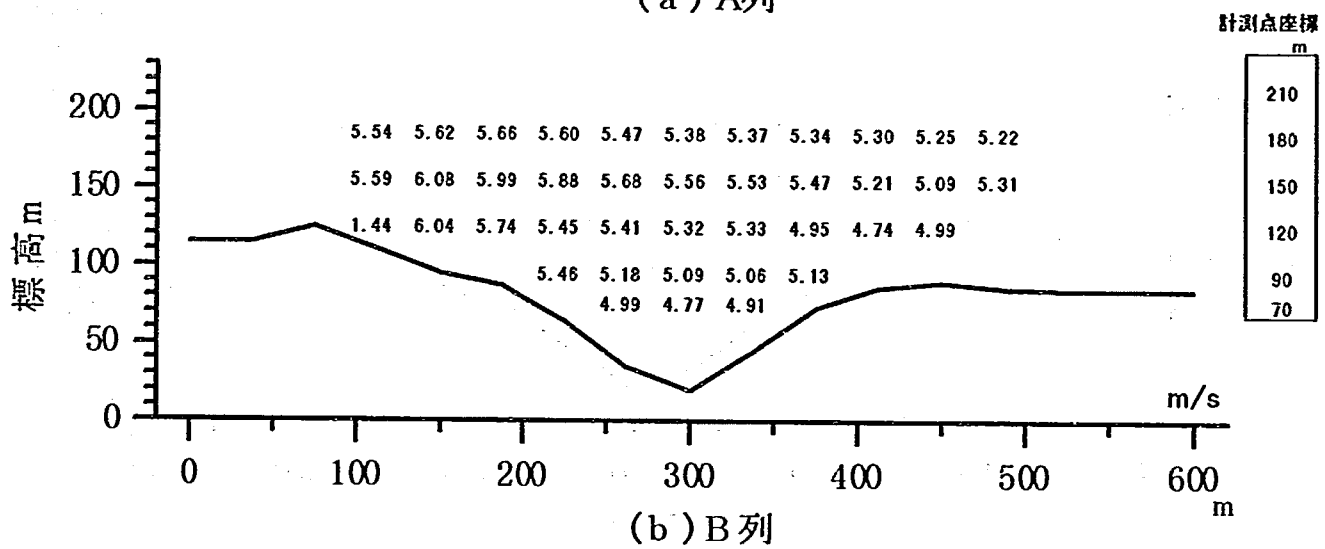
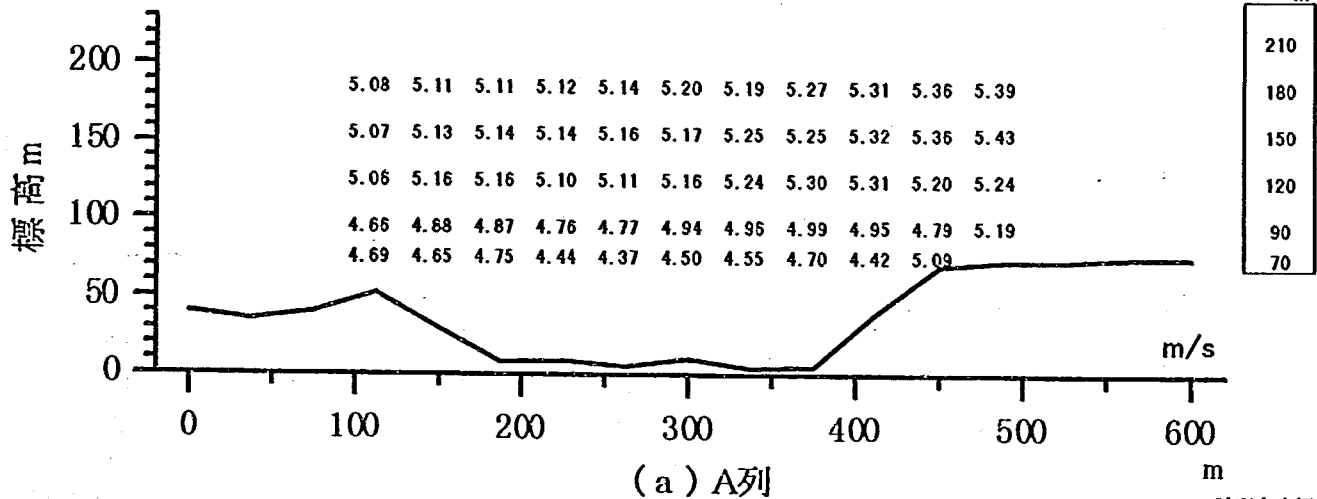


図-2.3.11 主流方向平均風速 CASE2-1

CASE No.	2-2
模型縮尺	1/600
接近流	乱流2
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	あり

計測点座標 m

0	37.5	75	112.5	150	187.5	225	262.5	300	337.5	375	412.5	450	487.5	525	562.5	600
---	------	----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

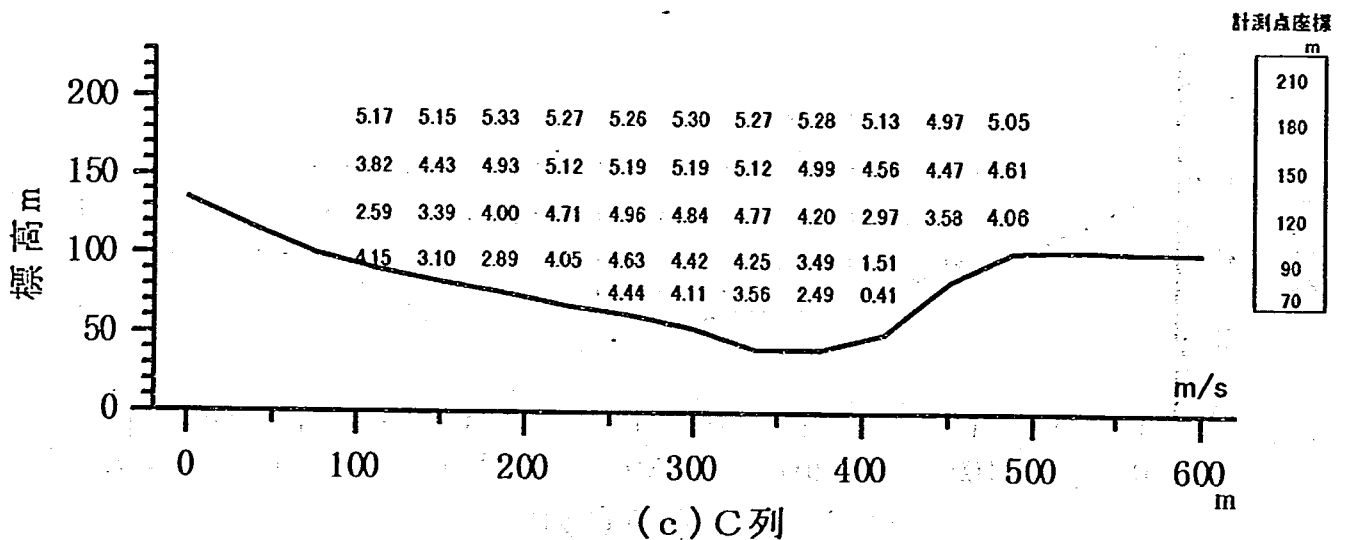
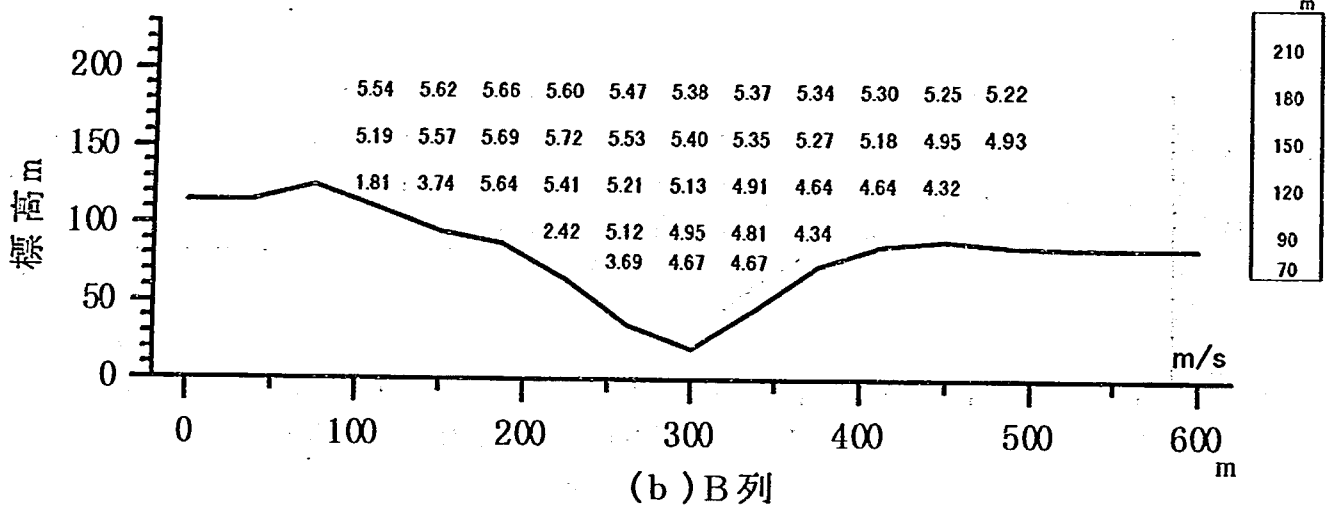
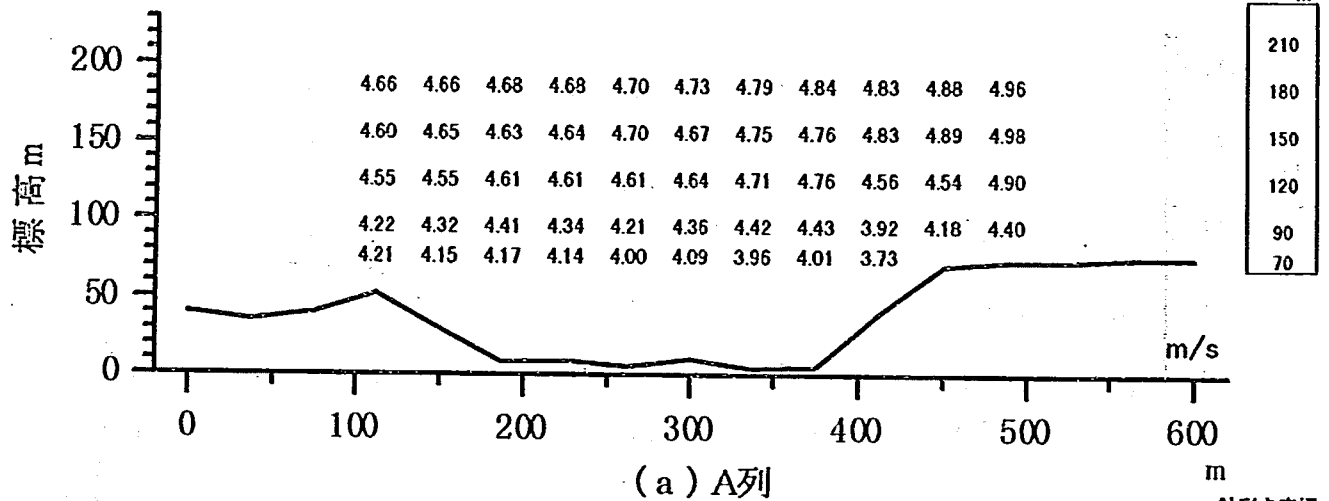


図-2.3.12 主流方向平均風速 CASE2-2

CASE No.	2-3
模型縮尺	1/600
接近流	乱流3
風洞内風速	7m/s
風向	NW
地表面粗度	あり

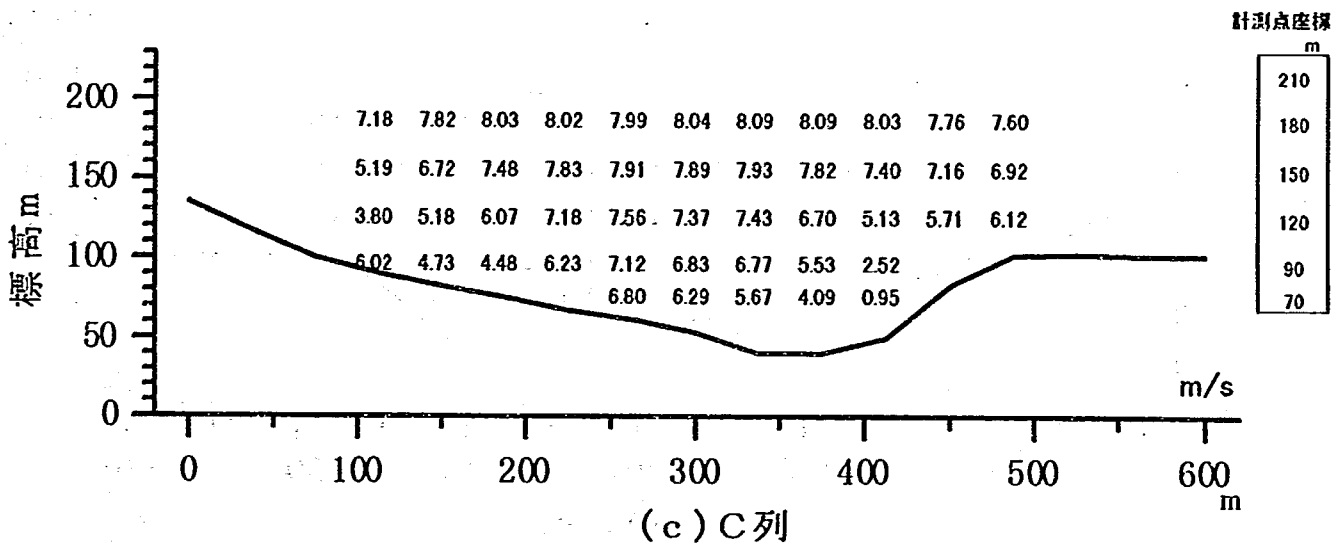
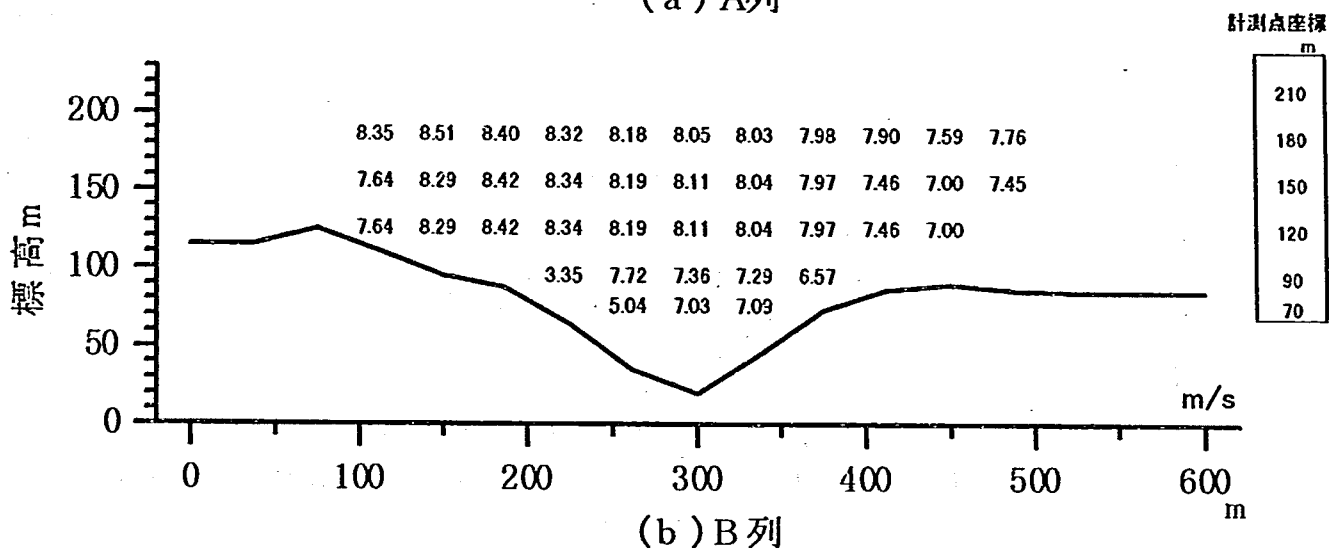
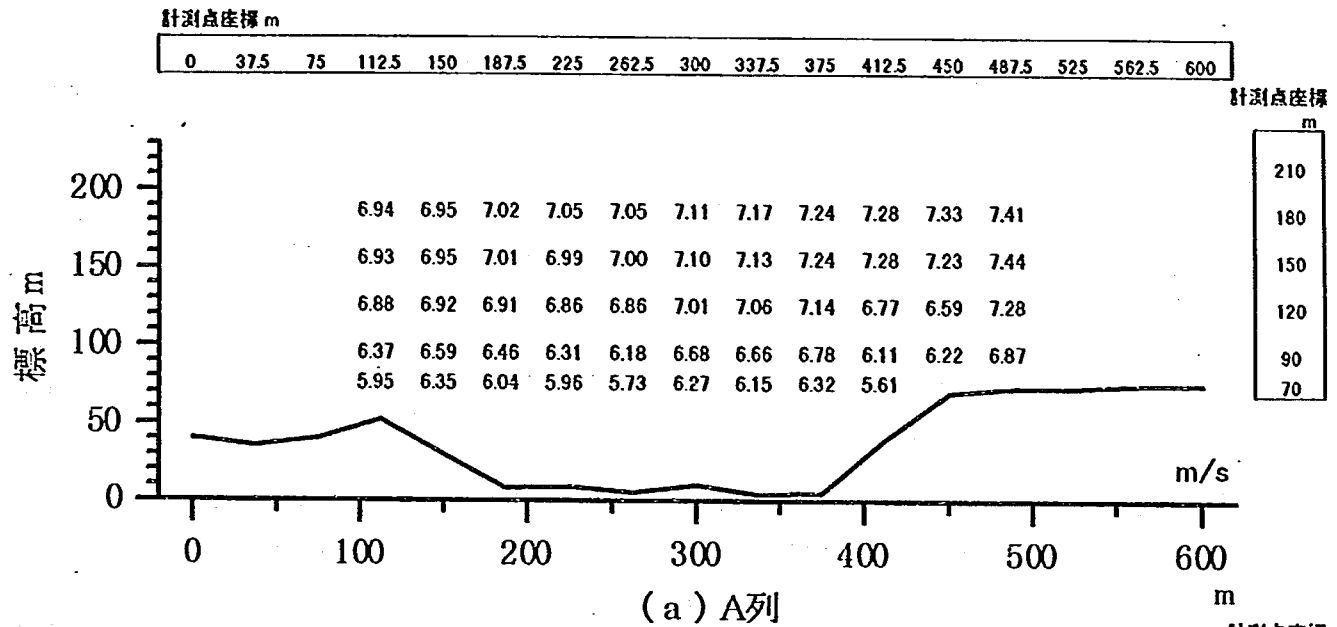


図-2.3.13 主流方向平均風速 CASE2-3

CASE No.	2-4
模型縮尺	1/600
接近流	乱流4
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	あり

計測点座標 m

0	37.5	75	112.5	150	187.5	225	262.5	300	337.5	375	412.5	450	487.5	525	562.5	600
---	------	----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

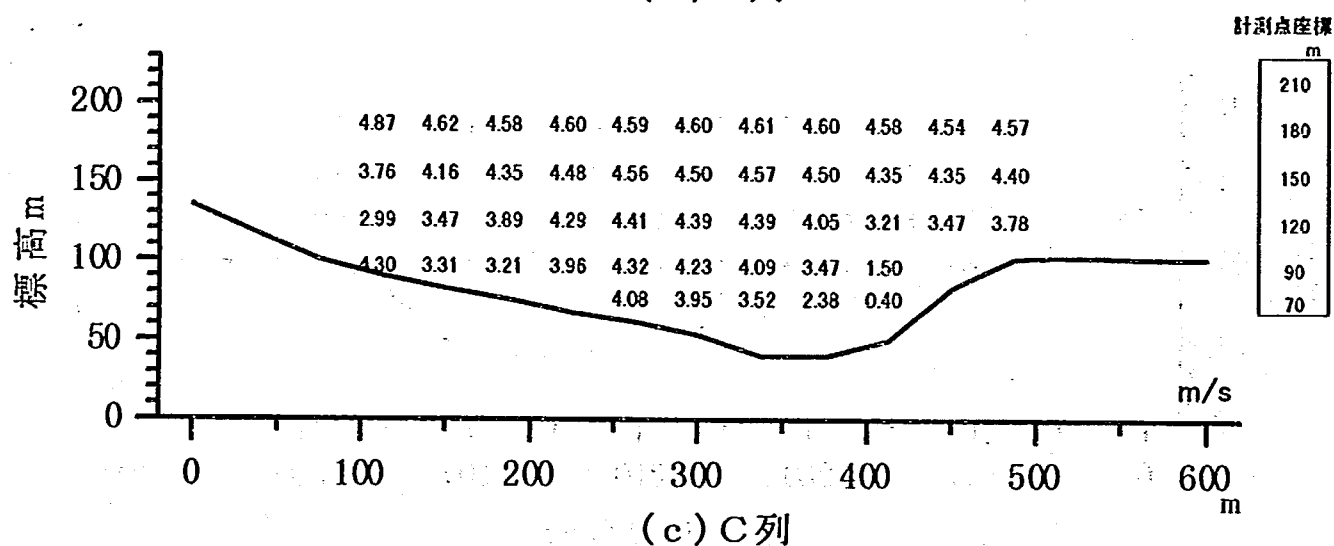
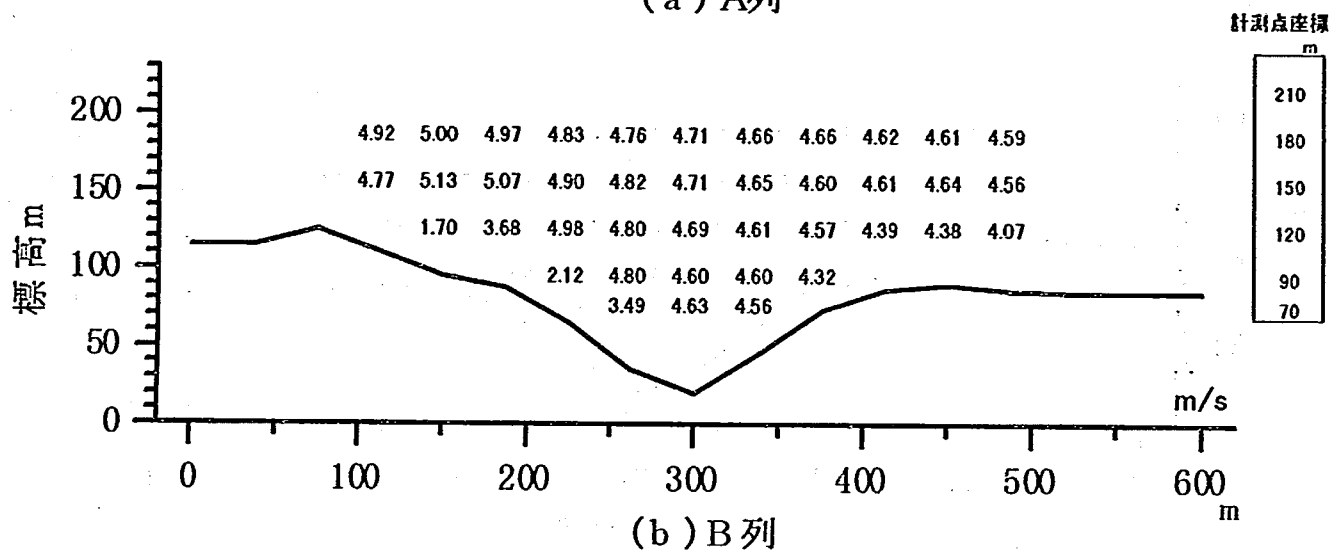
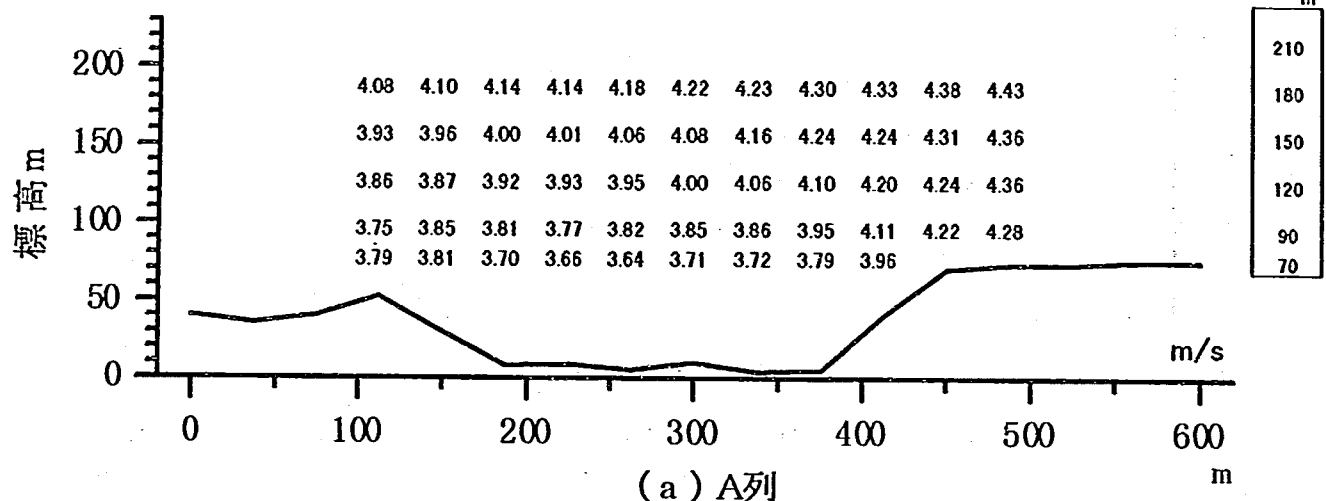


図-2.3.14 主流方向平均風速 CASE2-4

CASE No.	1-1
模型倍尺	1/1,500
接近流	乱流2
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	なし

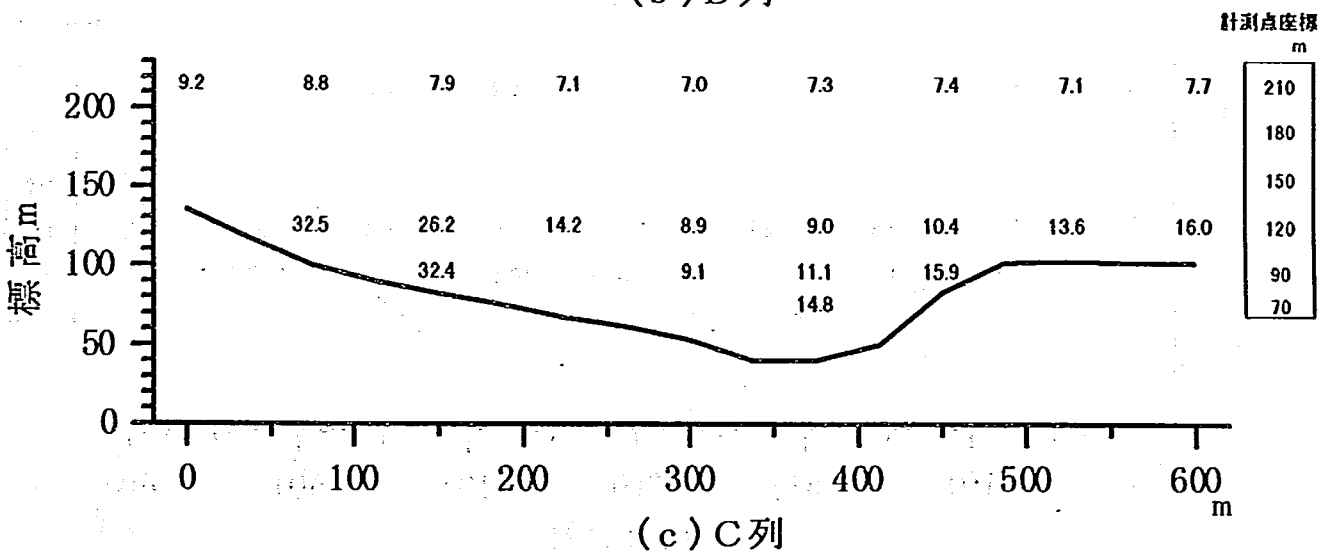
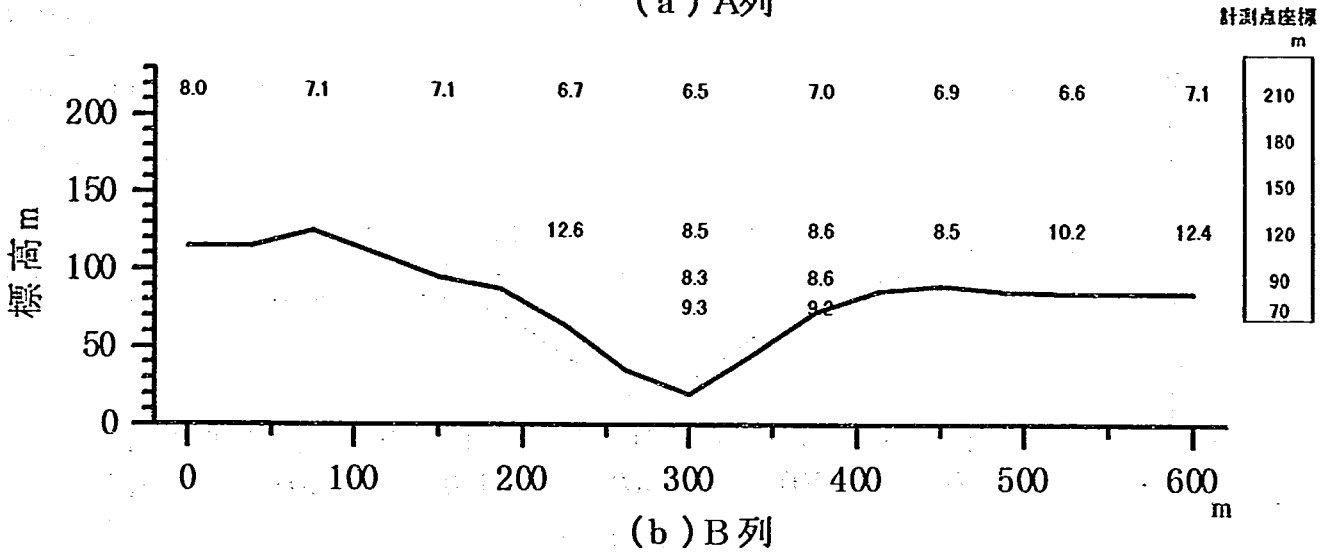
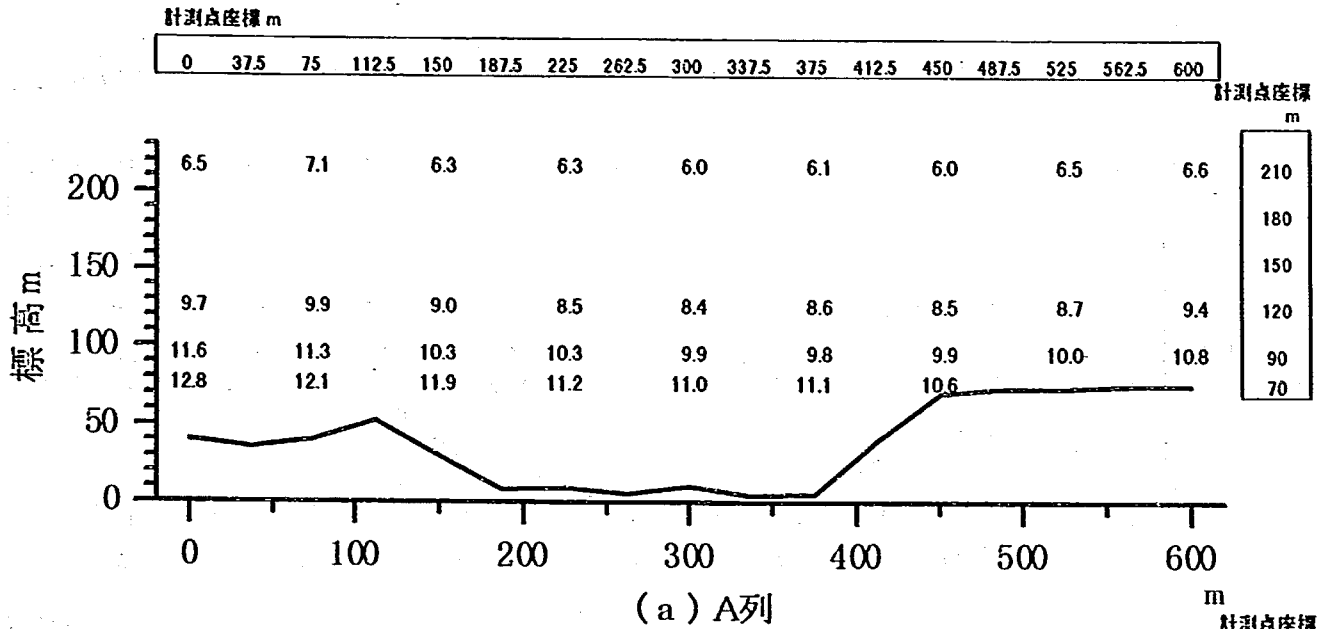


図-2.3.15 主流方向乱れ強さ CASE1-1

CASE No.	1-2
模型倍尺	1/1,500
接近流	乱流2
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	なし

計測点座標 m

0 37.5 75 112.5 150 187.5 225 262.5 300 337.5 375 412.5 450 487.5 525 562.5 600

計測点座標
m

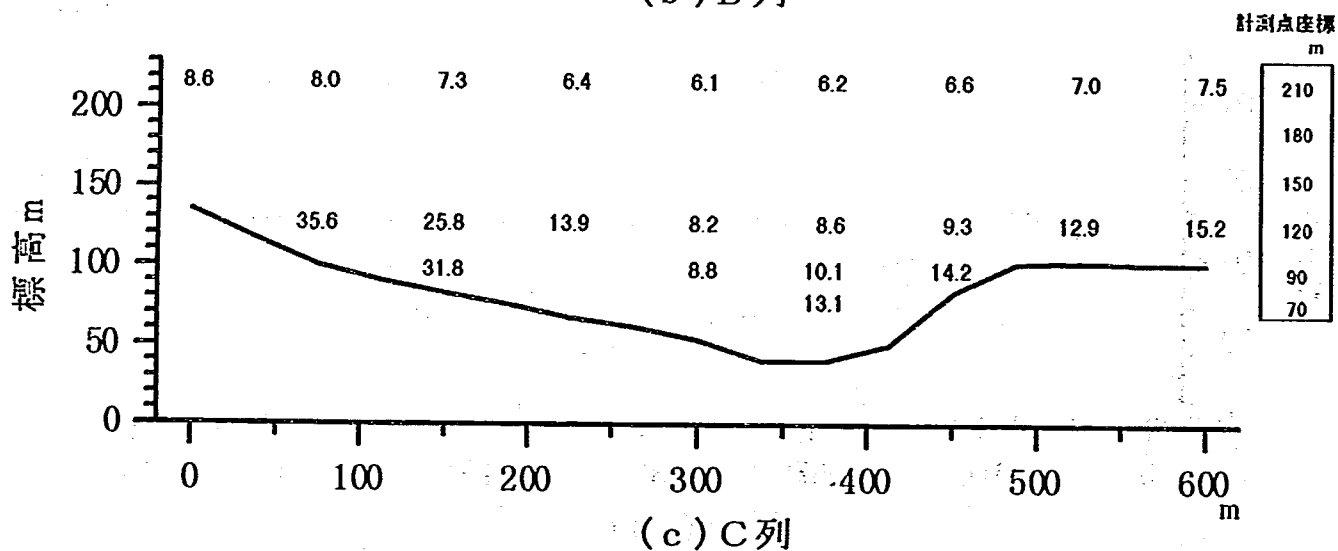
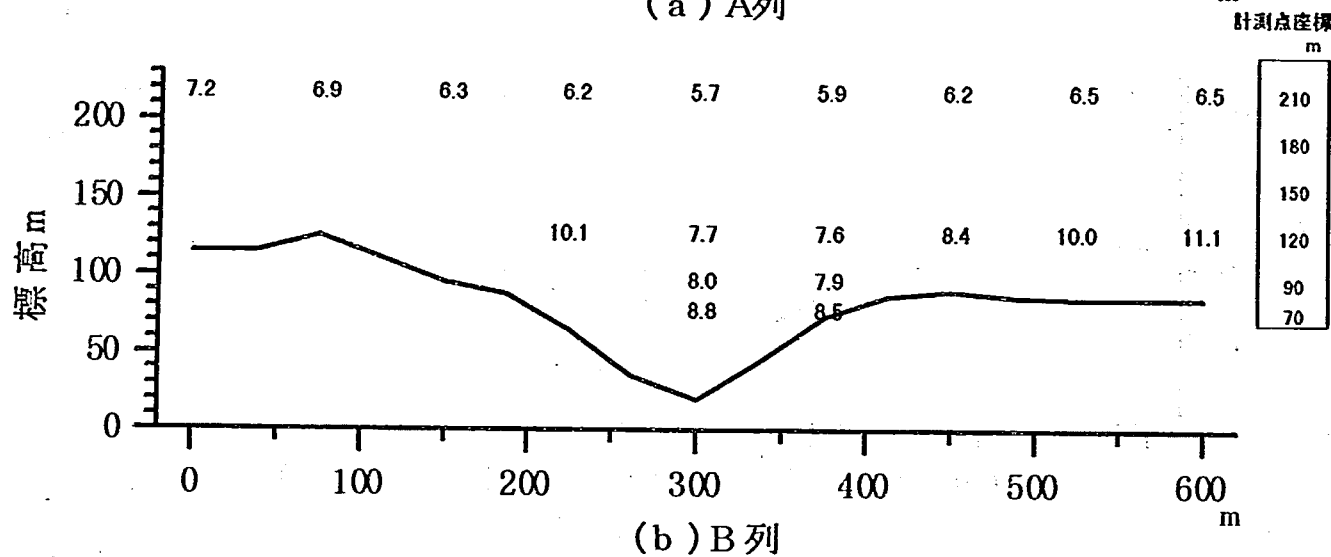
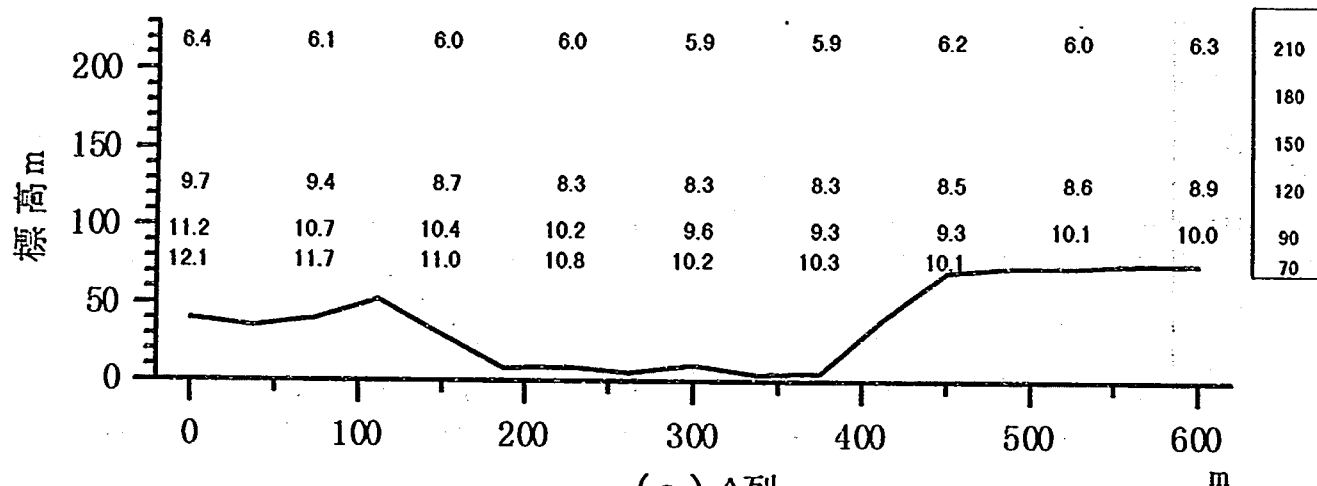


図-2.3.16 主流方向乱れ強さ CASE1-2

CASE No.	1-3
模型縮尺	1/1,500
接近流	乱流1
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	なし

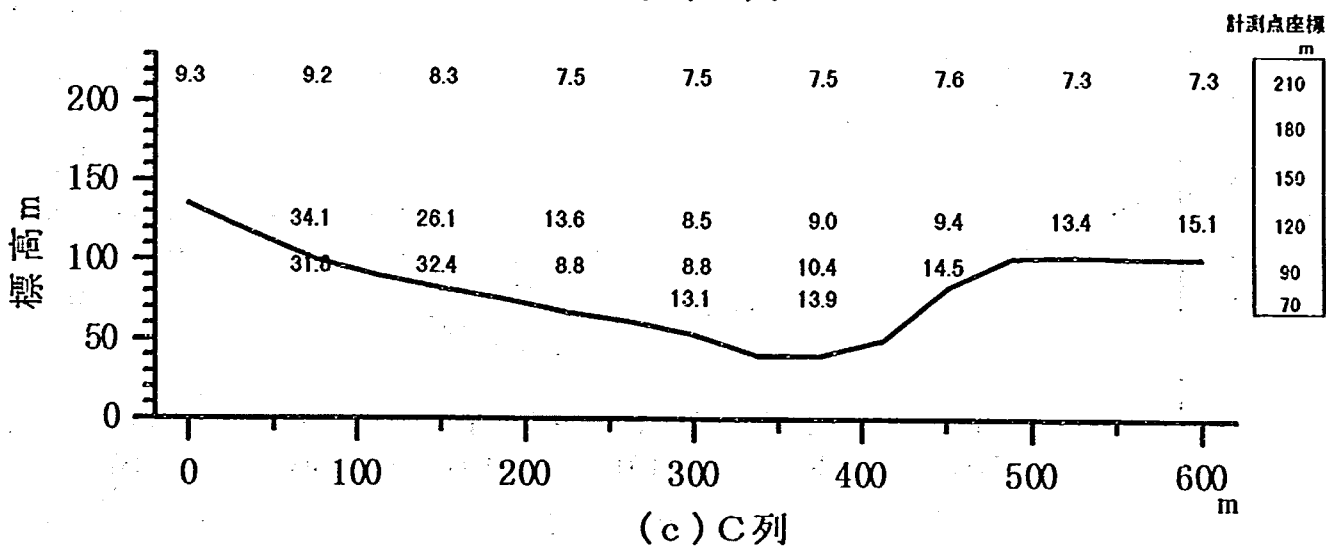
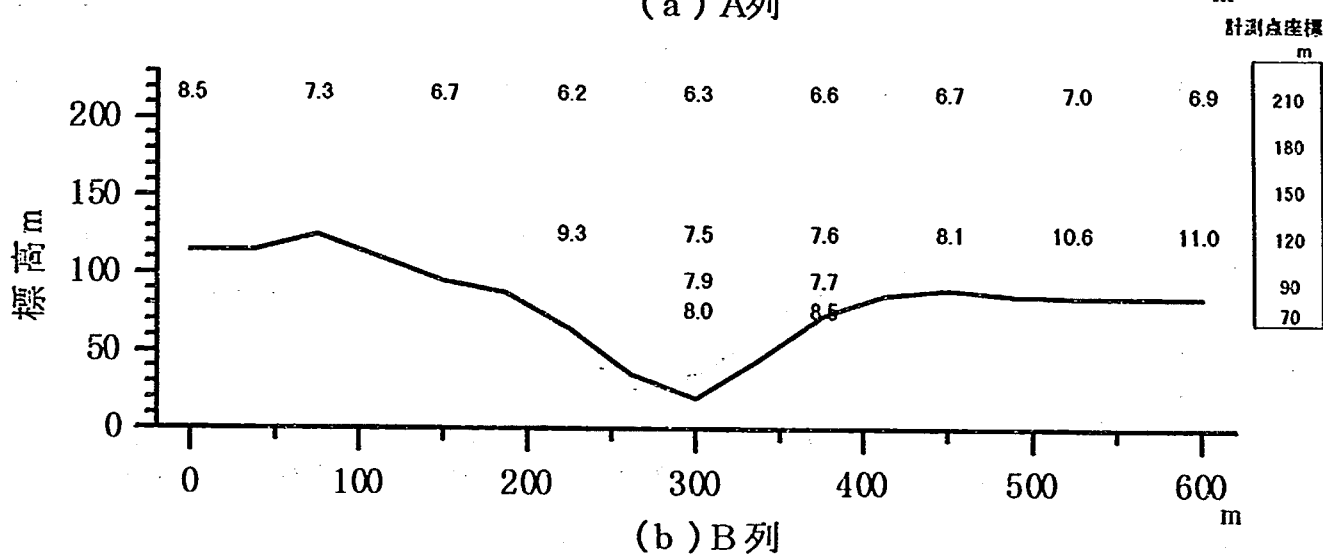
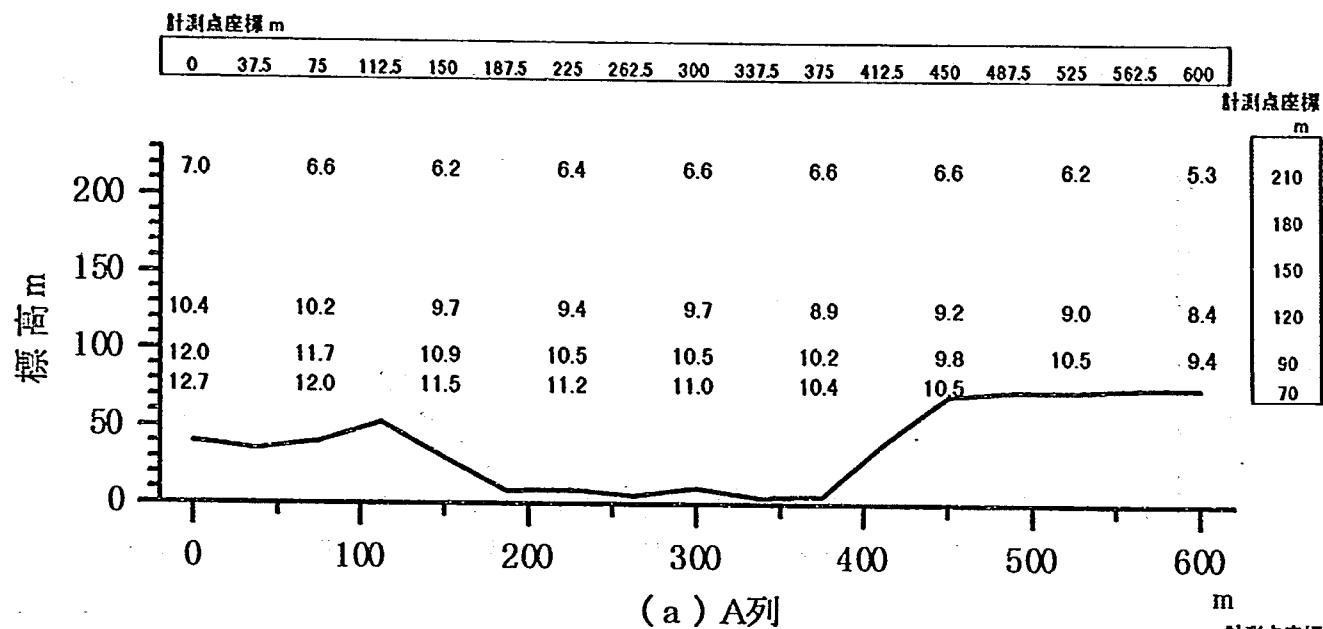


図-2.3.17 主流方向乱れ強さ CASE1-3

CASE No.	1-4
模型縮尺	1/1,500
接近流	乱流2
風洞内風速	5m/s
風向	NNW
地表面粗度	なし

計測点座標 m

0	37.5	75	112.5	150	187.5	225	262.5	300	337.5	375	412.5	450	487.5	525	562.5	600
---	------	----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----	-------	-----

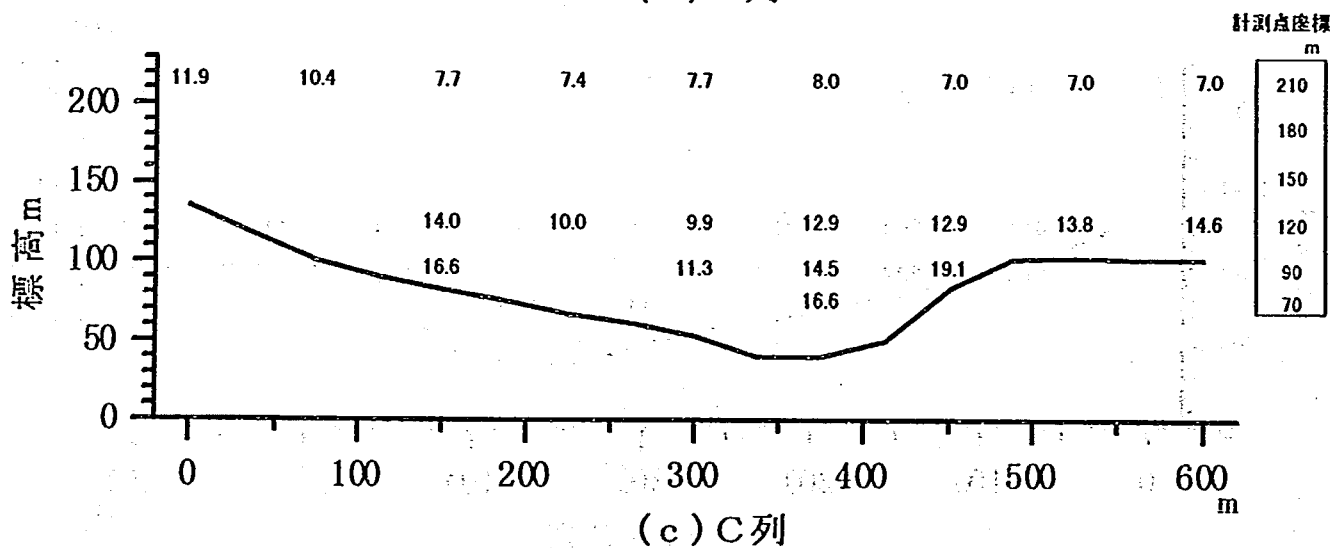
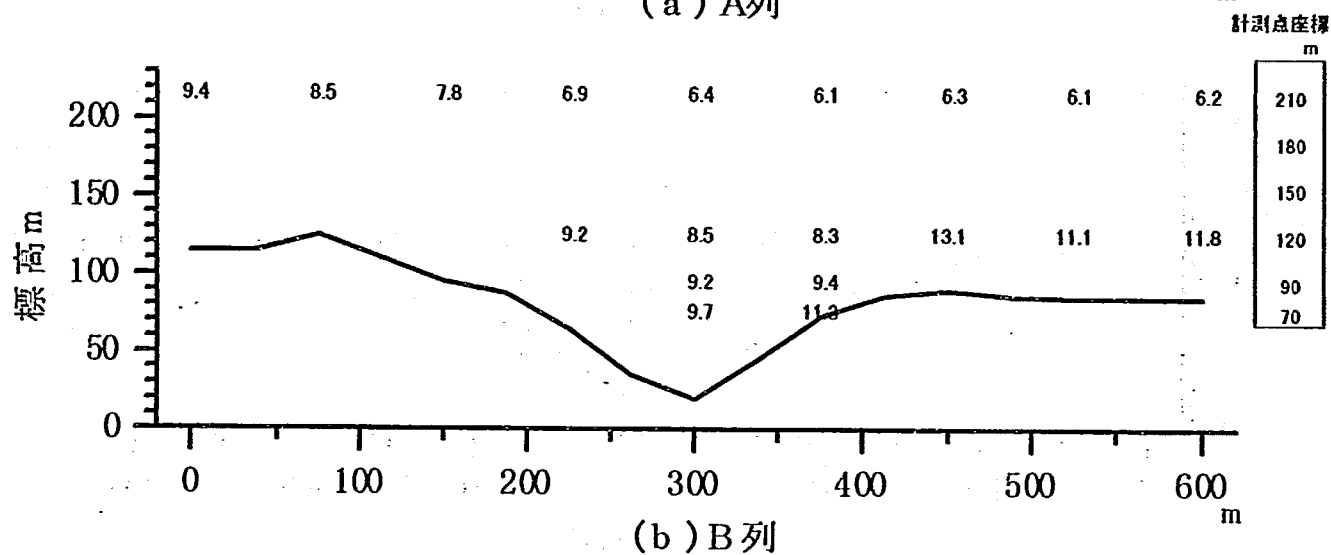
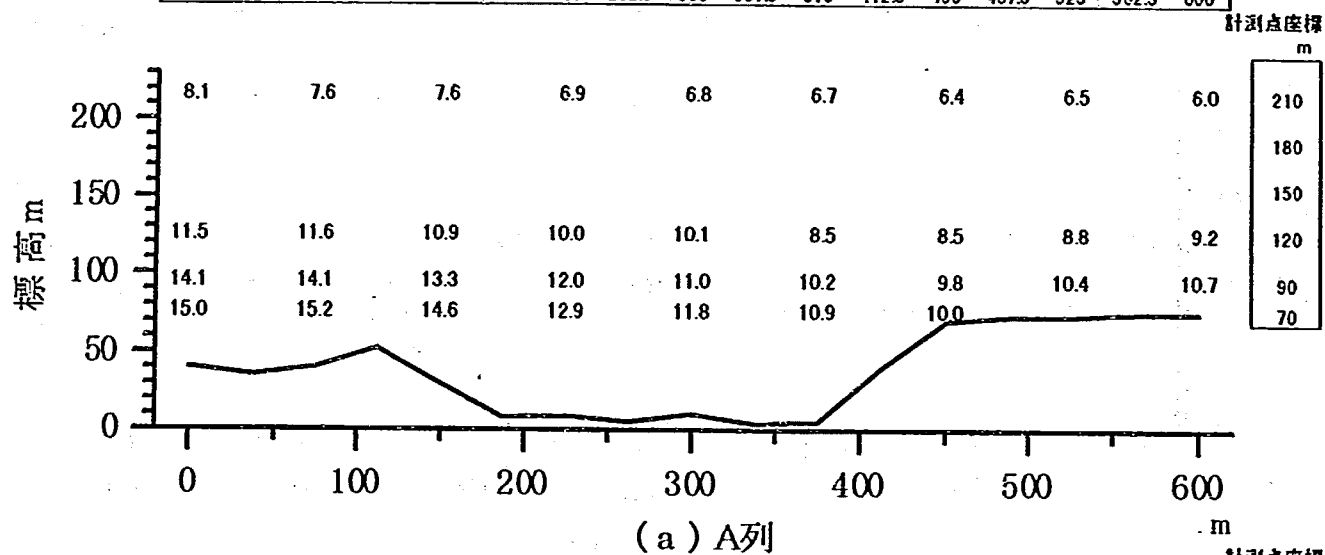


図-2.3.18 主流方向乱れ強さ CASE1-4

CASE No.	2-1
模型縮尺	1/600
接近流	乱流3
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	なし

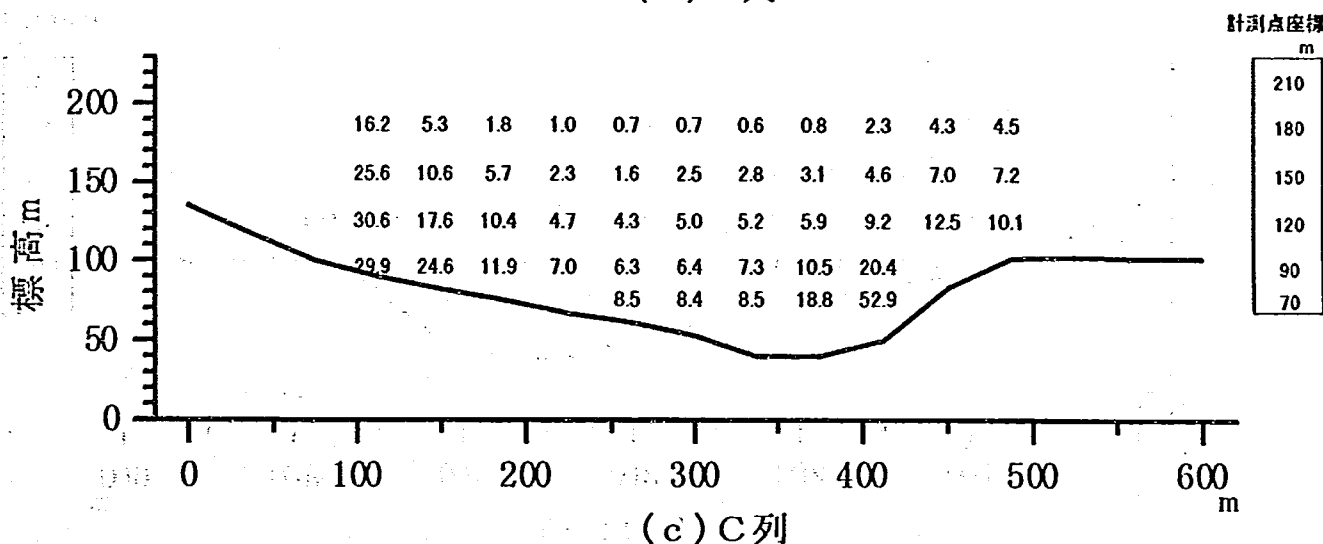
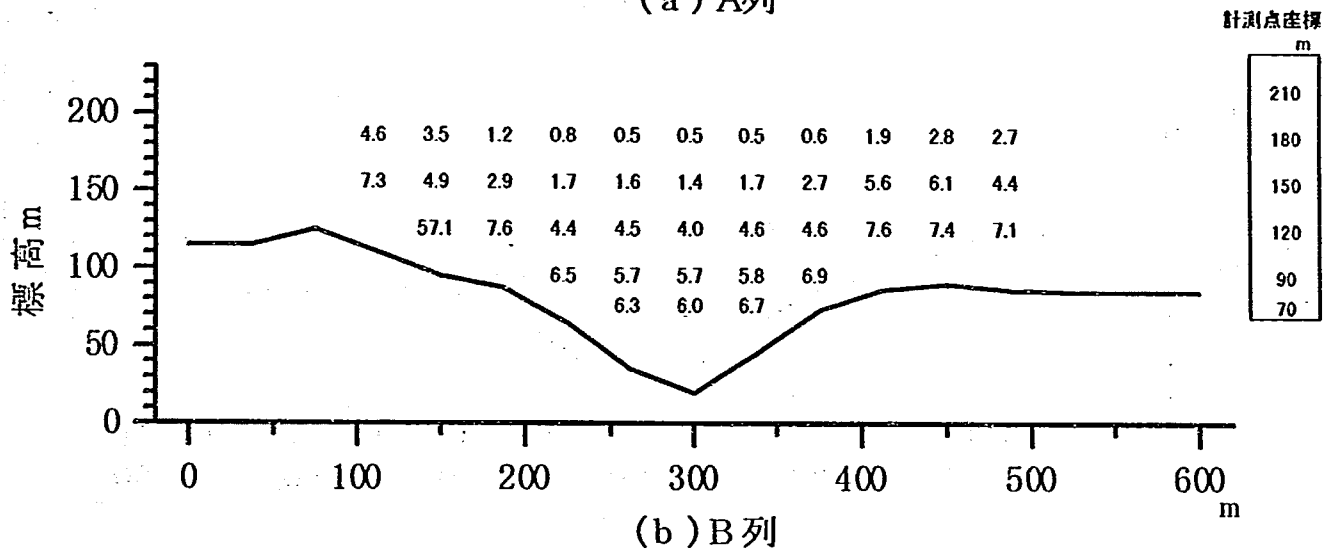
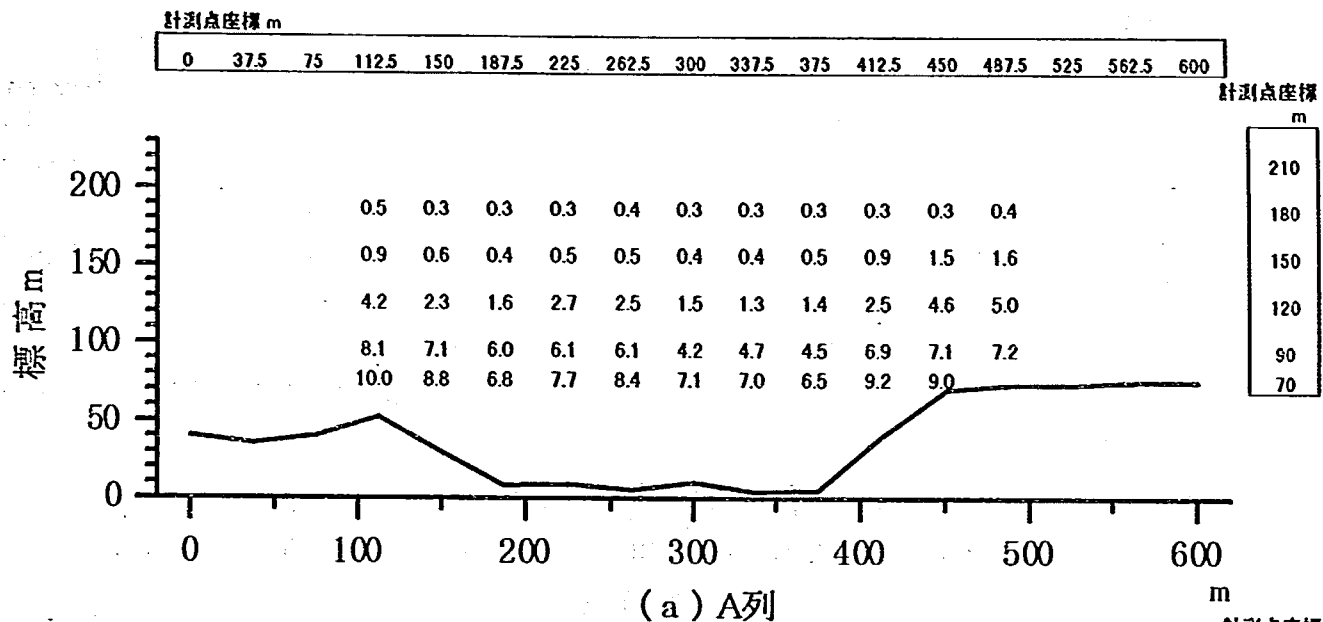


図-2.3.19 主流方向乱れ強さ CASE2-1

CASE No.	2-2
模型縮尺	1/600
接近流	乱流3
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	あり

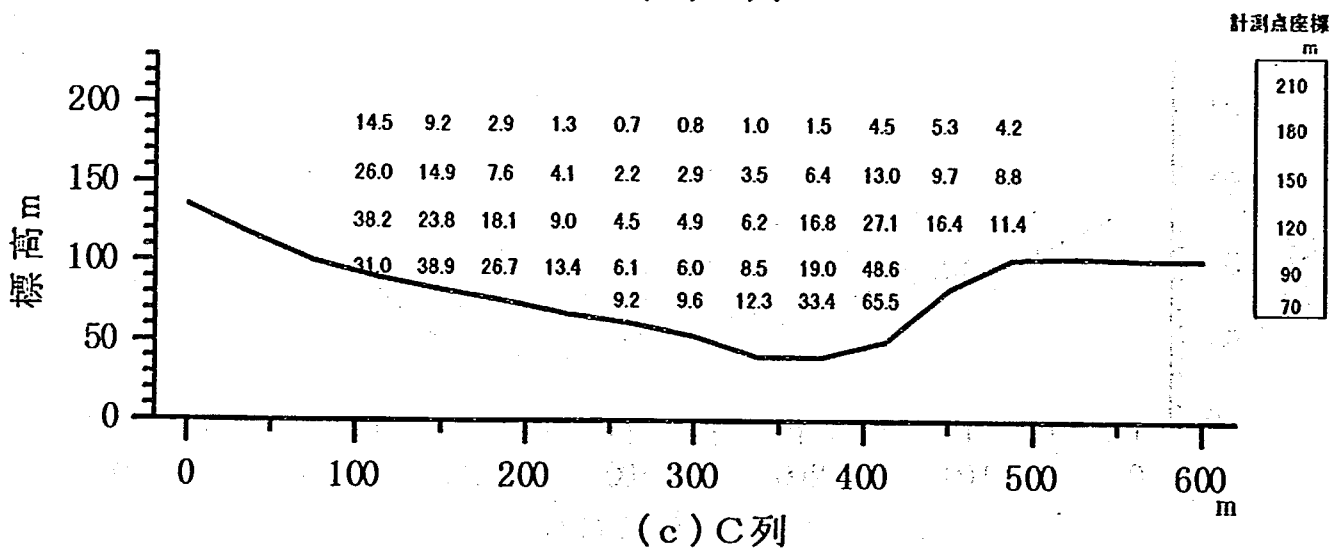
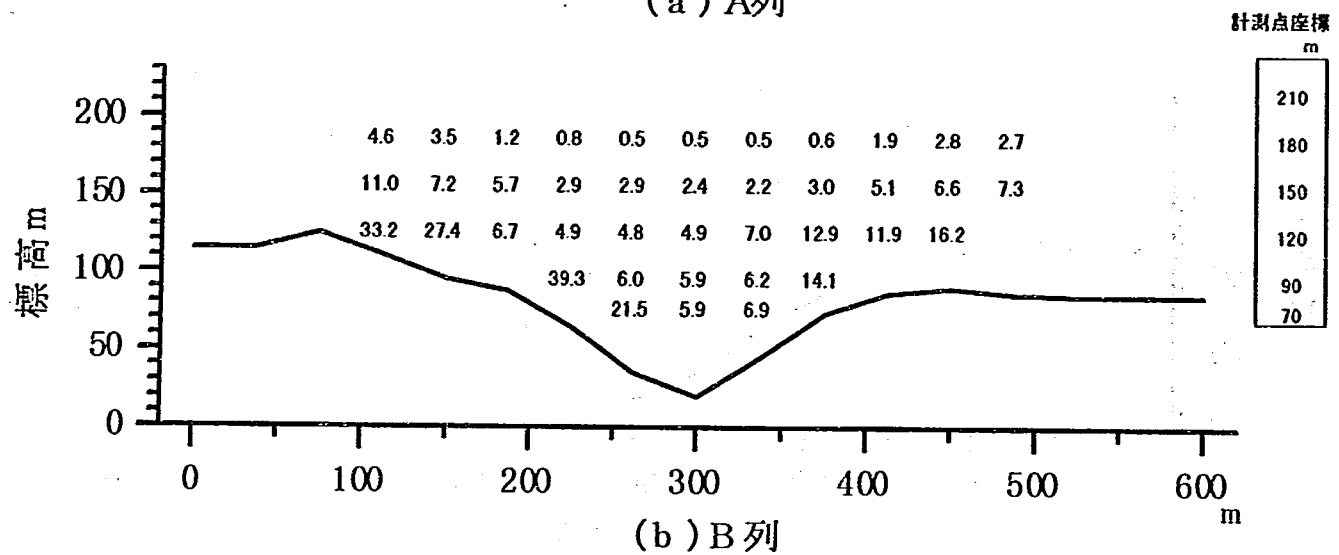
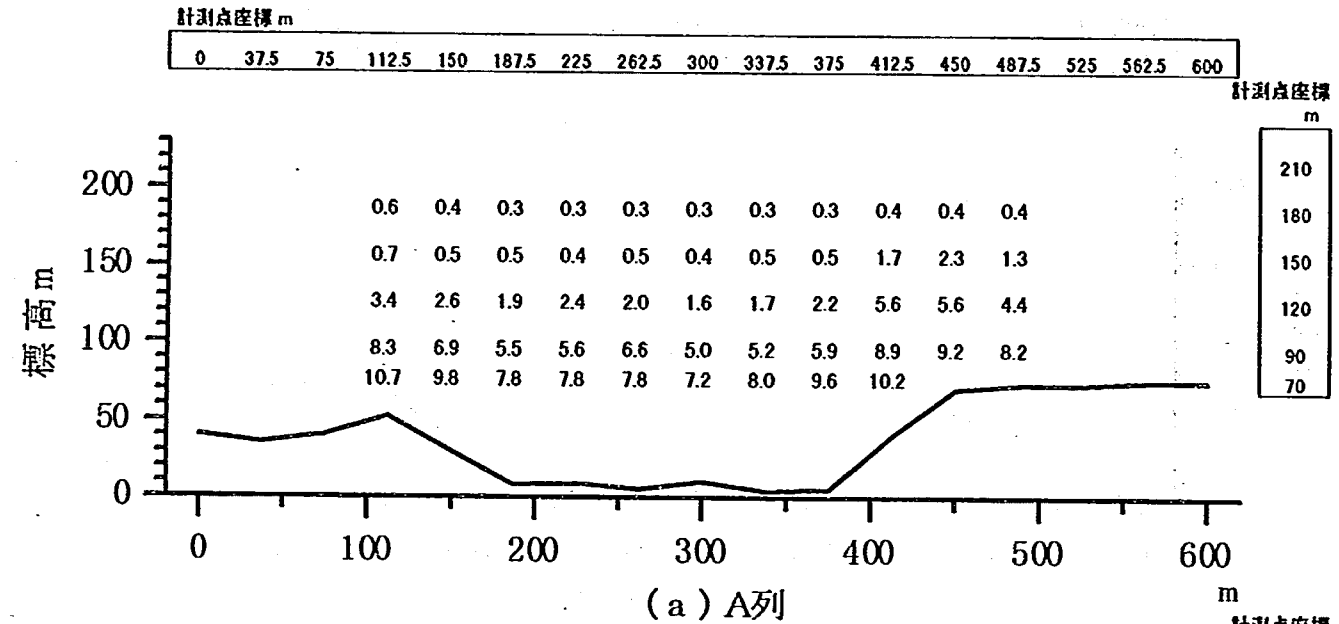


図-2.3.20 主流方向乱れ強さ CASE2-2

CASE No.	2-3
模型縮尺	1/600
接近流	乱流3
風洞内風速	7m/s
風向	NW
地表面粗度	あり

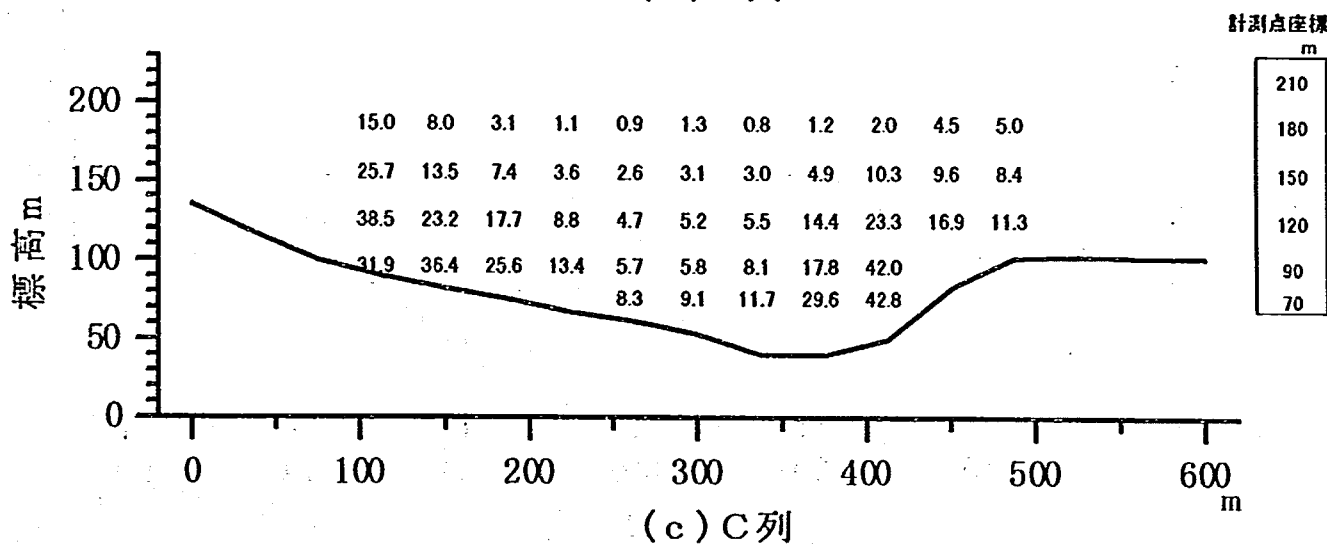
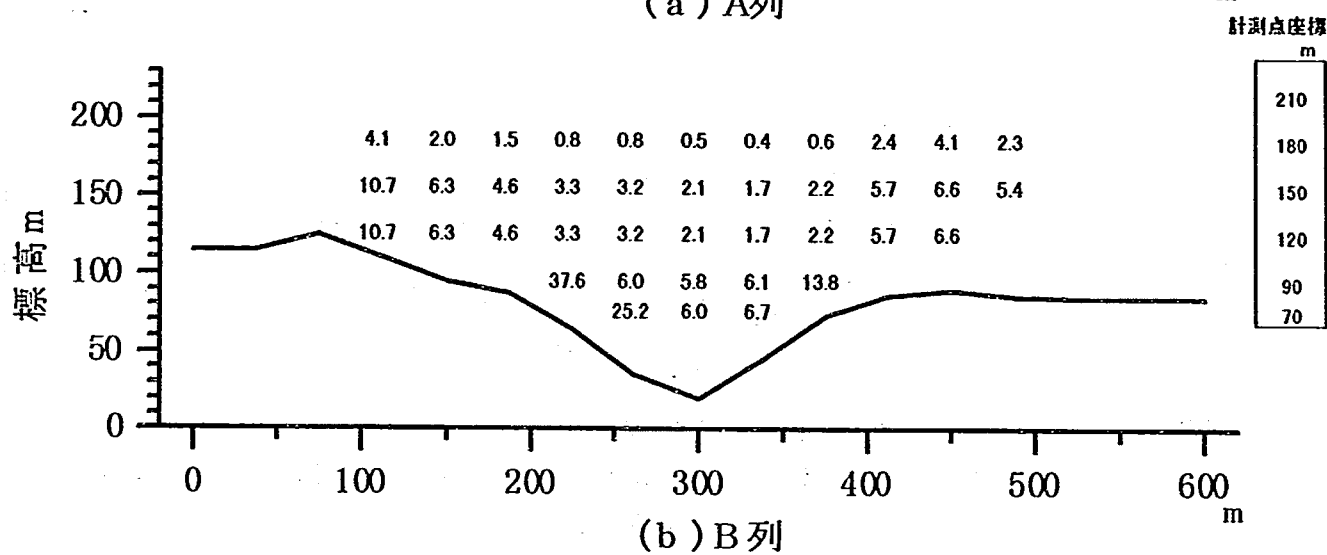
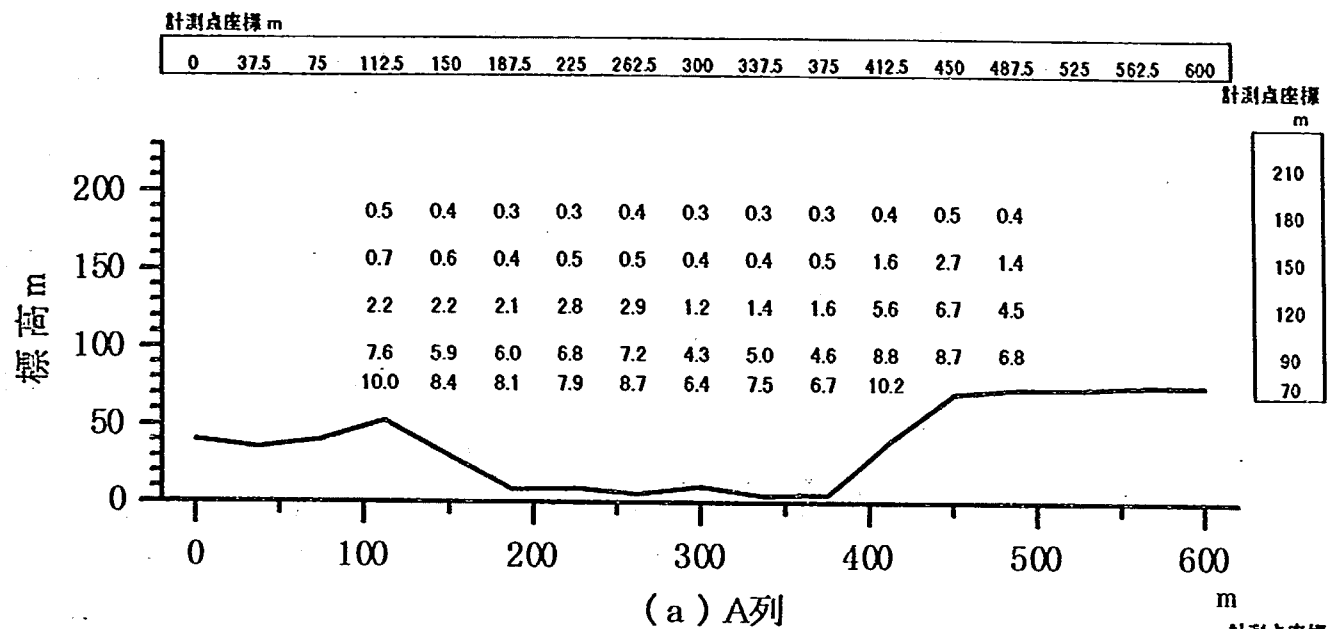


図-2.3.21 主流方向乱れ強さ CASE2-3

CASE No.	2-4
模型縮尺	1/600
接近流	乱流4
風洞内風速	5m/s
風向	NW
地表面粗度	あり

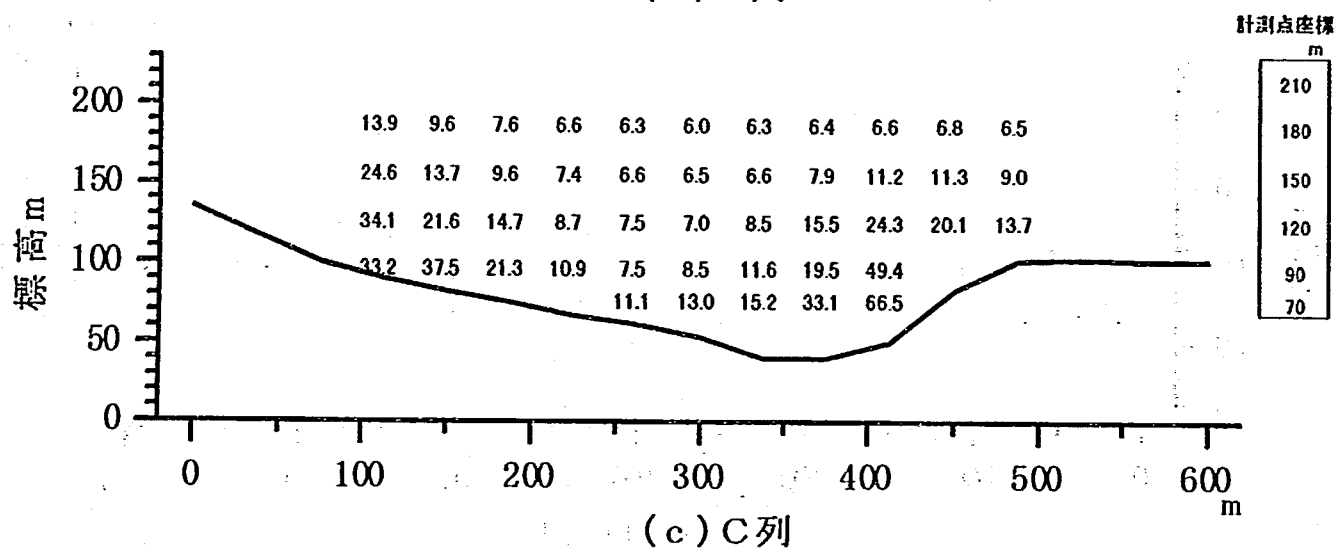
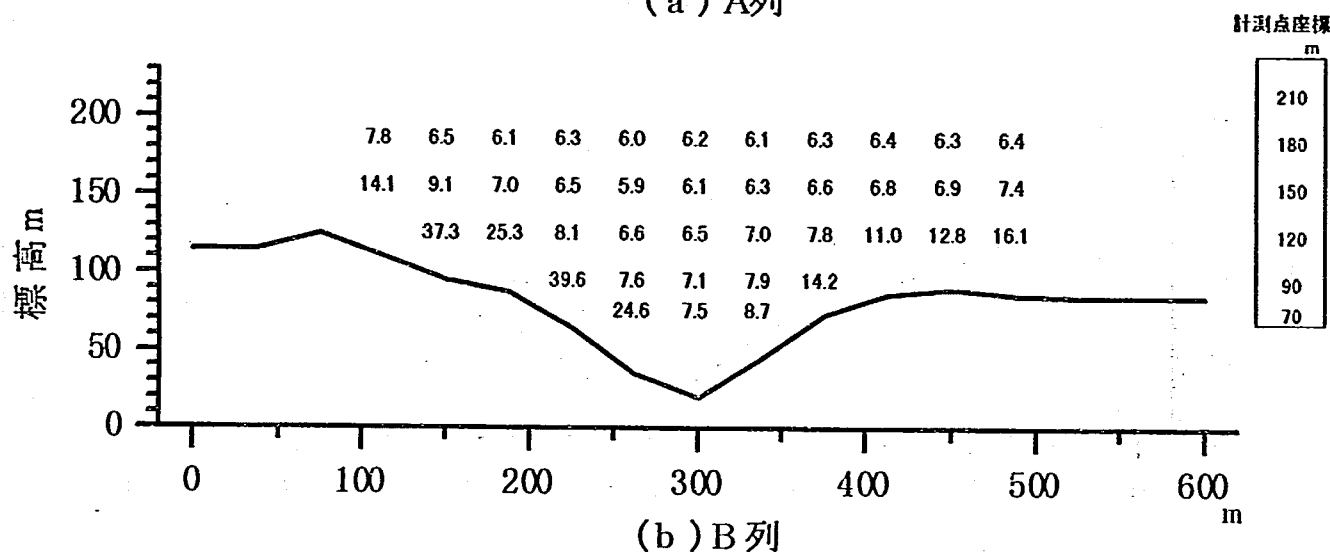
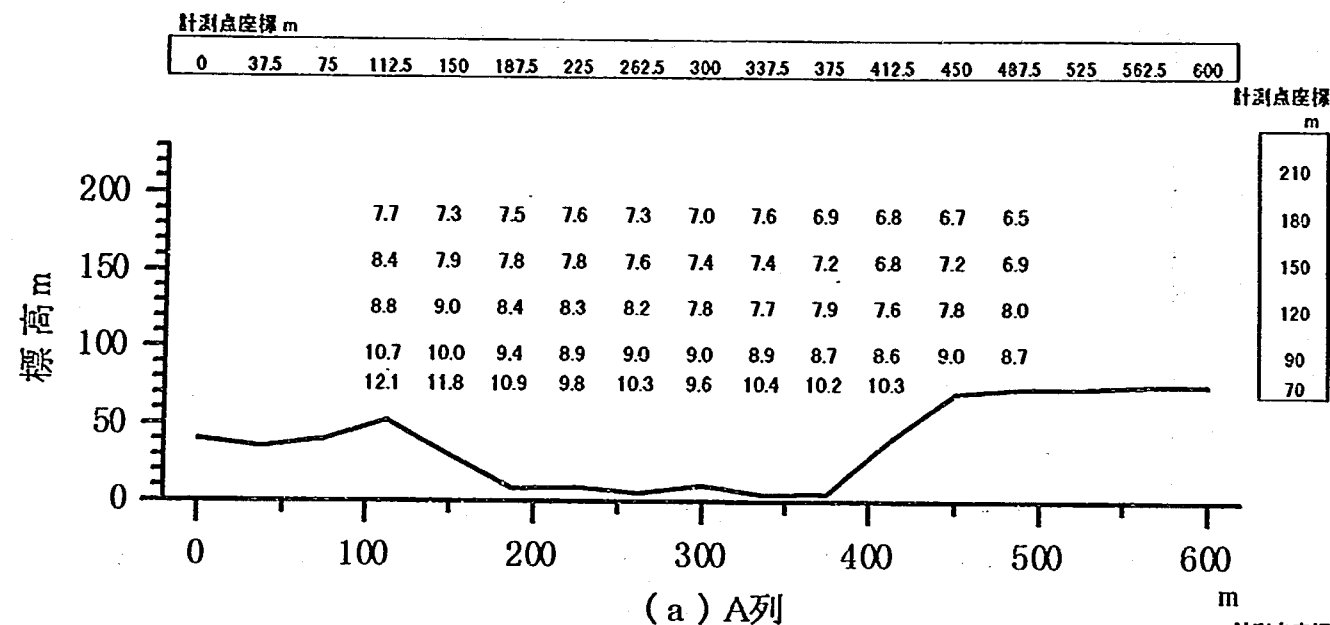


図-2.3.22 主流方向乱れ強さ CASE2-4

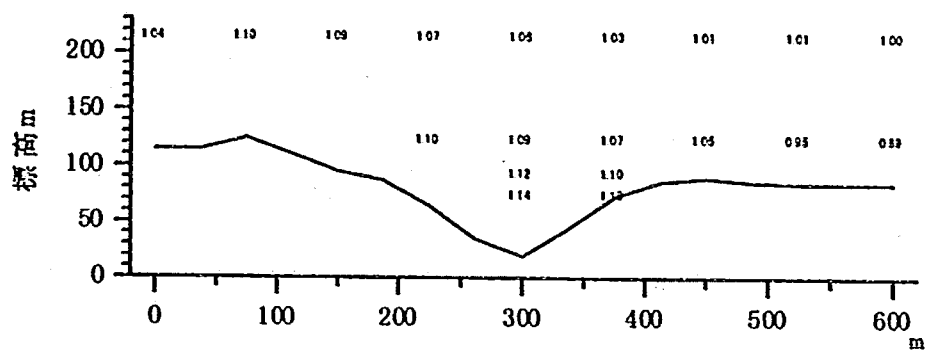


図-2.3.23 A列に対するB列の増速率 CASE1-1

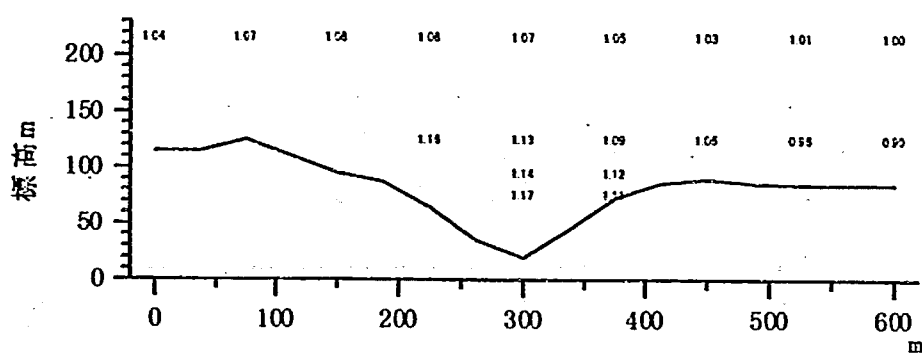


図-2.3.24 A列に対するB列の増速率 CASE1-2

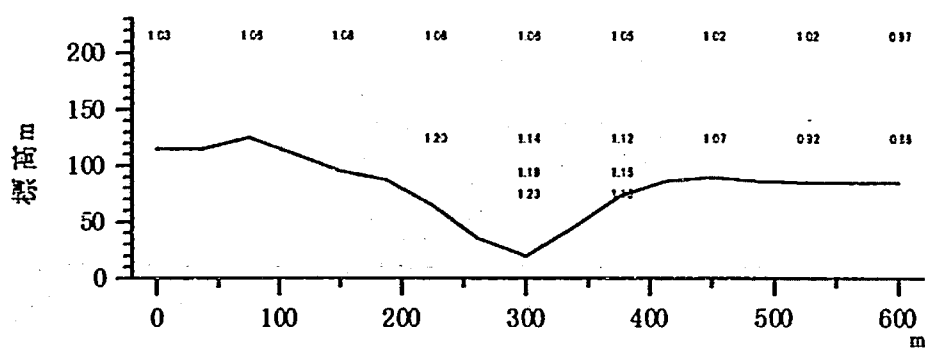


図-2.3.25 A列に対するB列の増速率 CASE1-3

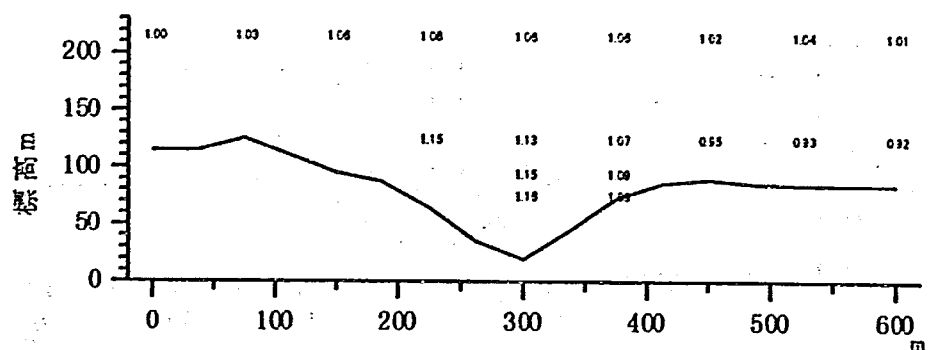


図-2.3.26 A列に対するB列の増速率 CASE1-4

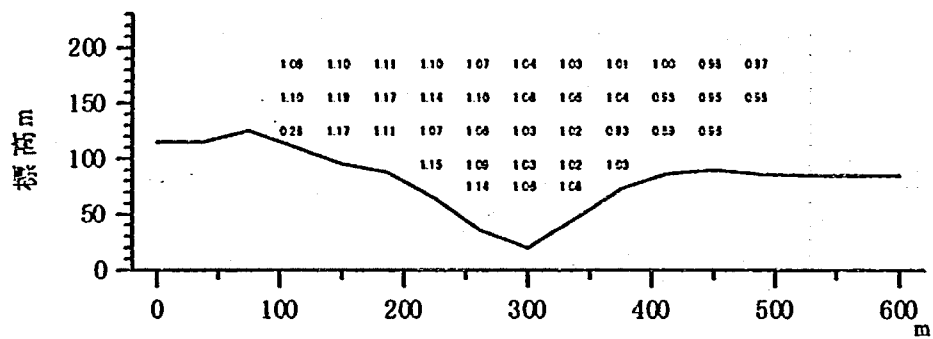


図-2.3.27 A列に対するB列の増速率 CASE2-1

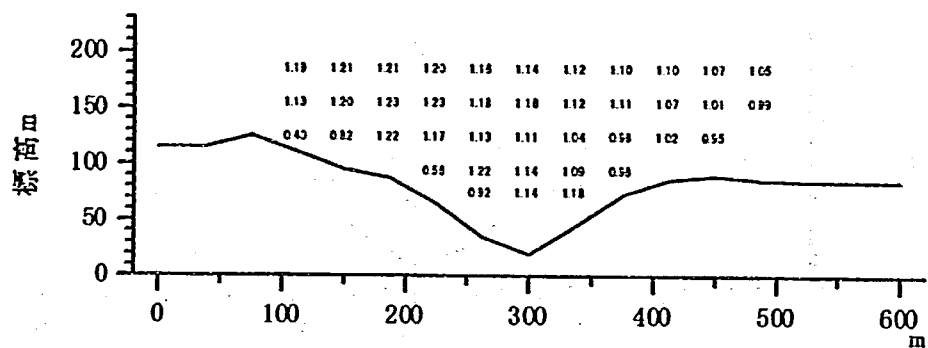


図-2.3.28 A列に対するB列の増速率 CASE2-2

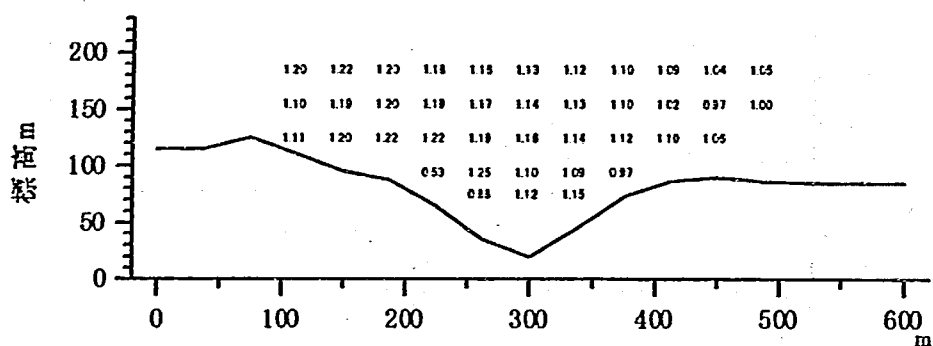


図-2.3.29 A列に対するB列の増速率 CASE2-3

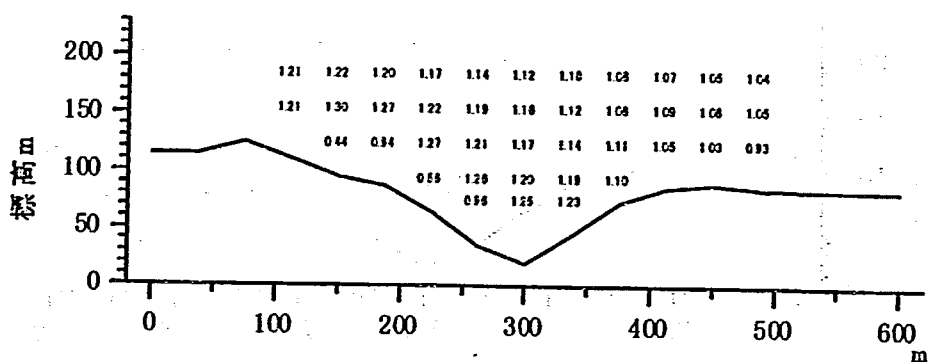


図-2.3.30 A列に対するB列の増速率 CASE2-4

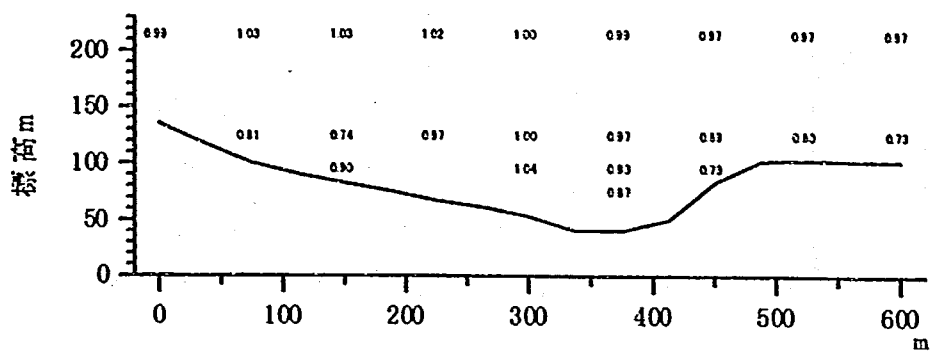


図-2.3.31 A列に対するC列の増速率 CASE1-1

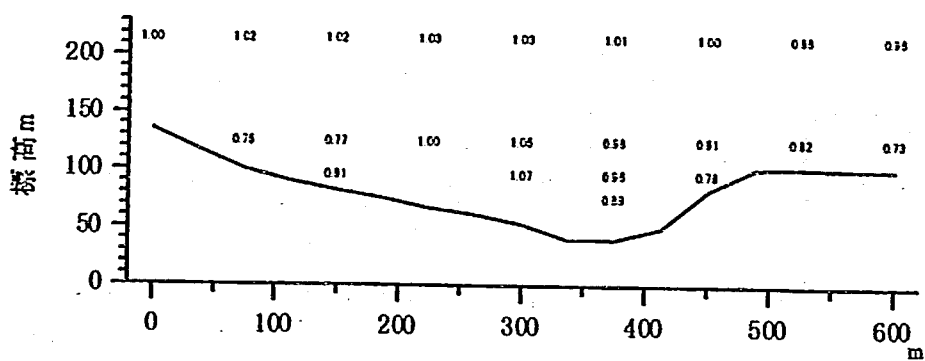


図-2.3.32 A列に対するC列の増速率 CASE1-2

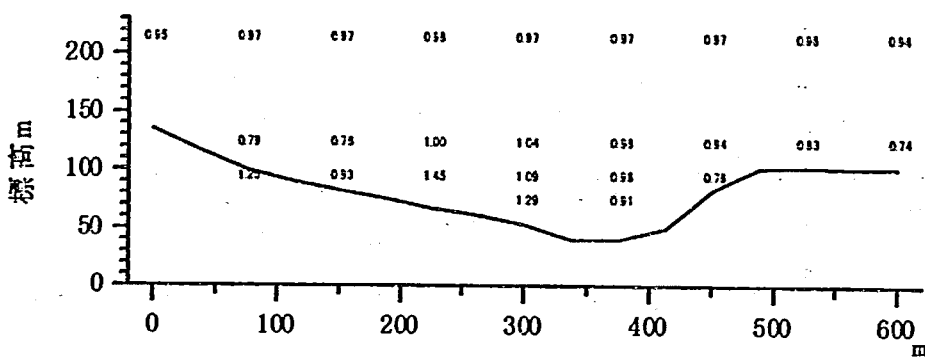


図-2.3.33 A列に対するC列の増速率 CASE1-3

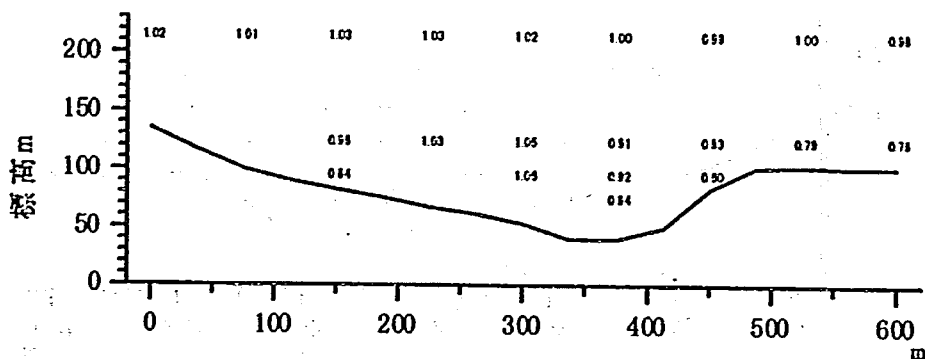


図-2.3.34 A列に対するC列の増速率 CASE1-4

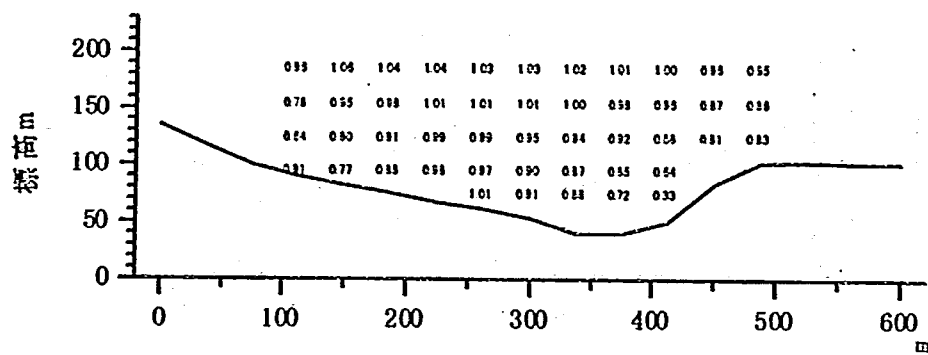


図-2.3.35 A列に対するC列の増速率 CASE2-1

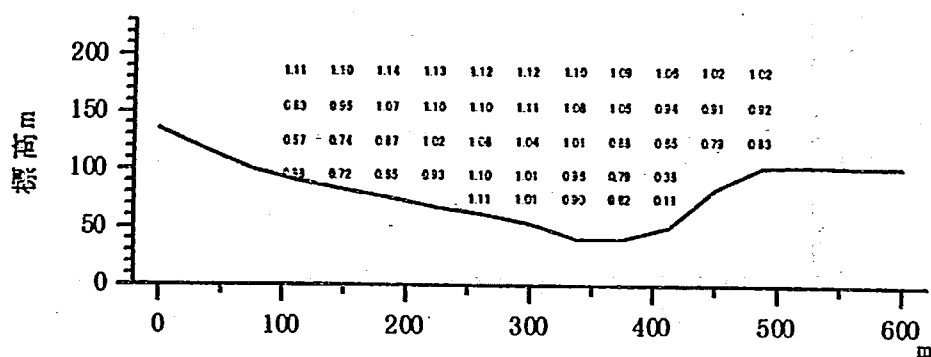


図-2.3.36 A列に対するC列の増速率 CASE2-2

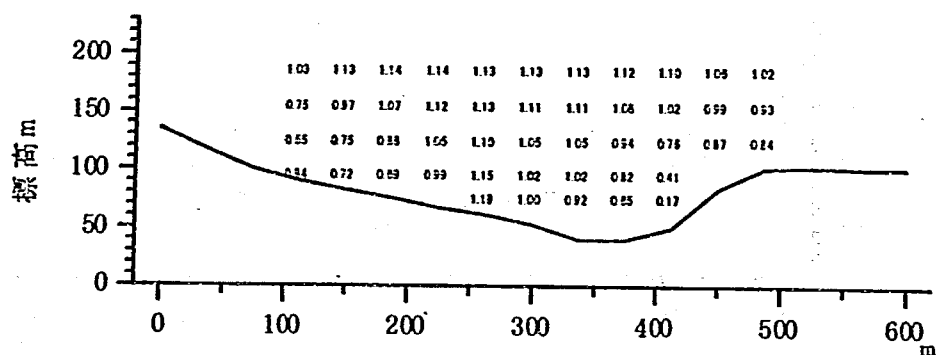


図-2.3.37 A列に対するC列の増速率 CASE2-3

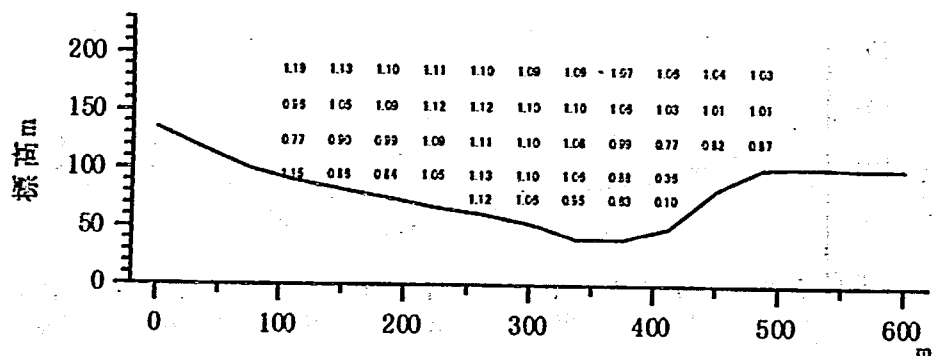


図-2.3.38 A列に対するC列の増速率 CASE2-4

表-2.3.3 計測点位置

観測点	現地観測	風洞実験 計測位置
観測点1(海側)	標高 約20m 風速計高さ 6m	B列 X=300m 標高70m
観測点2(上輪橋)	標高 約90m	B列 X=375m 標高90m
観測点3(山側)	標高 約55m 風速計高さ 6m	C列 X=300m 標高90m

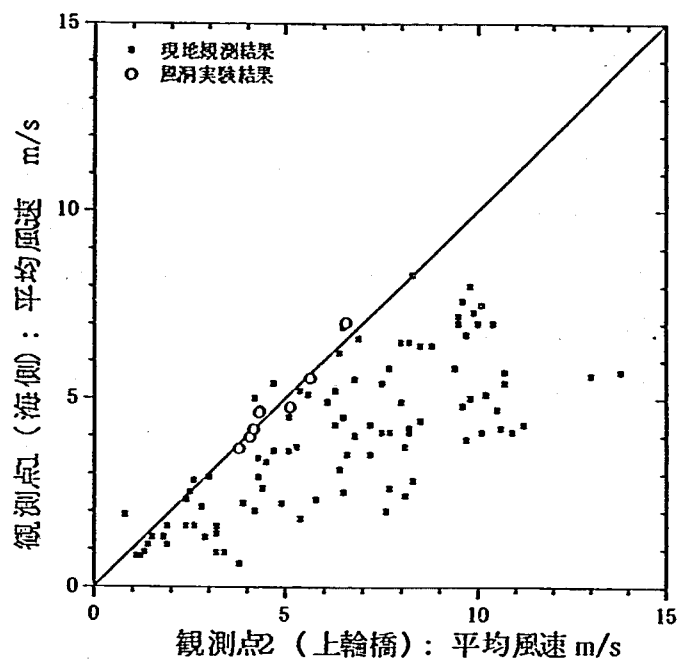


図-2.3.39 観測点1と観測点2の比較

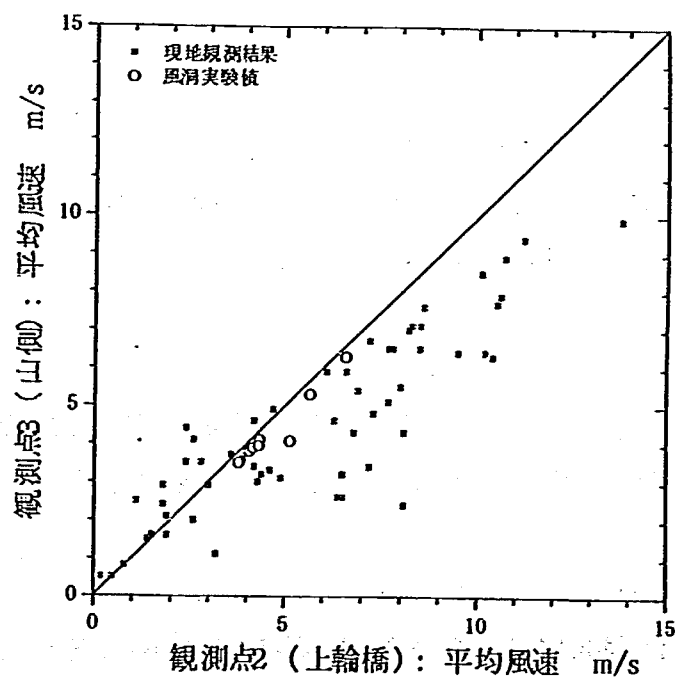


図-2.3.40 観測点2と観測点3の比較

3. 簡易地形模型風洞実験

3. 1 概要

実地形の風洞実験により、谷状地形の風況特性が明らかとなったが、谷の地形条件および接近流の気流条件が風況に与える影響をより詳細に検討するために、V字谷の角度、幅および接近流を変化させ、単純化した地形模型の風洞実験を実施した。

3. 2 実験方法

風洞は、土木研究所耐風工学実験施設内のフラッター風洞を用いた。主要諸元は前述の通りである。模型は、図-3.2.1 に示すようなV字谷および扇状地を単純化し、中央部分に谷を模した切り込みを入れた模型である。段丘の角度 α と谷の角度 α を同一とし、谷の角度 α と谷の幅 W を変化させた。材質は、上流側傾斜および谷間にはスタイロフォーム（発砲スチロール）とし、それ以外の段丘部分はベニヤ製とした。

試験気流は、乱流1を地面板上に発達する自然境界層とし、乱流2を地面板の上流側に高さ1.6mのスパイヤーを設置し発生させた境界層乱流とした。

気流の測定は上流用X型プローブを使用し、模型下流側に設置した2次元トラバース装置（鉛直、水平）により図-3.2.2～図-3.2.3に示すⅠ～Ⅲ断面について、図-3.2.4～図-3.2.8に示す各点において計測を行った。計測項目は、主流方向の平均風速および乱れ強さである。

3. 3 実験条件

実験は、接近流プロファイル、谷の角度（45deg、60deg、90deg）、谷の幅（ $W=2.0H$ 、 $W=1.15H$ ）を変化させて実施した。実験ケースを表-3.3.1に示す。風洞内の設定風速は5.0m/sとした。乱流1および乱流2の鉛直プロファイルを表-3.3.2および図3.3.1に示す。

3. 4 実験結果

各ケースのⅠ断面の主流方向平均風速の接近風速に対する増速率を図-3.4.1～図-3.4.10に示す。また、各ケースのⅠ断面における主流方向乱れ強さの分布図を図-3.4.11～図-3.4.20に示す。谷の横断面（Ⅱ断面、Ⅲ断面）における風速分布図を図-3.4.21～図-3.4.30に示す。

3. 5 考察

いずれの形状の谷においても、段丘前面の傾斜部より下流の平坦部において風速比が最大であり、谷に沿って流下するにつれ徐々に風速比が低下している。この傾向は、実地形の風洞実験の傾向と一致している。

3. 5. 1 谷の角度による比較

図-3.4.1～図-3.4.3、図-3.4.4～図-3.4.5 および図-3.4.6～図-3.4.8 より傾斜角で主流方向平均風速の接近流に対する増速率を比較すると、傾斜角60°のモデルが谷の幅、接近流に関わらず最も増速した。これは、

斜面の角度が大きいと強い剥離が生じるため縮流による増速効果が大きくなる一方、斜面の角度が小さいほど谷の面積が小さいため縮流による増速効果が大きくなると推測されるが、傾斜角 60° のモデルはこの2つの縮流の要因による増速効果の鞍部点に近い、今回実験を行った3つの角度の中では、最も増速効果が大きくなったものと推察される。また、谷の断面積の大きい傾斜角 90° のモデルは、谷の流下方向への風速比の低減が大きくなった。

3. 5. 2 谷の幅による比較

図-3.4.2 と図-3.4.4、図-3.4.3 と図-3.4.5 を比較すると、谷の幅が小さく谷の断面積の小さい図 3.5.4 および図 3.5.5 のほうが、段丘の傾斜部より下流の平坦部における風速比の最大値が大きな値を示している。また、谷の流下方向への風速比の低減は、谷の幅が小さいモデルが大きな低減率となっている。図-3.4.12～図-3.4.15 に示した主流方向乱れ強さの分布図より、いずれの条件においても、谷に沿って流下するにつれて乱れ強さは増加しているが、谷の幅が小さく、角度が大きなモデルほどその傾向が強い。

3. 5. 3 接近流による比較

図-3.4.1～図-3.4.3 と図-3.4.6～図-3.4.8 より乱流1を用いたケースと乱流2を用いたケースを比較する。接近流は図 3.3.1 より谷の高さ $H=100\text{mm}$ 付近では乱流1、2とも風速 5m/s 程度である。しかしながら、最大風速比は乱流1では $1.1\sim 1.15$ であるのに対し、乱流2では $1.2\sim 1.25$ まで増速しており、乱流2の方が谷状地形による増速率が大きいことがわかる。これは、図 3.3.1 のように、乱流1は谷の高さ $H=100\text{mm}$ 付近で主流方向乱れ強さが 3% 程度であるのに対し、乱流2は 8% 程度あることが増速の要因の一つと予想される。

3. 5. 4 谷の横断面の風速分布

図-3.4.21～図-3.4.28 に示した谷の横断面の風速分布より、谷の断面全域およびその上方において、谷による接近流の収束によって増速していることがわかる。また、いずれのモデルも谷の入り口付近のⅡ断面において、谷の中央断面ではなくその両側に最も強い増風域が存在している。

3. 5. 5 扇状地モデルの風速分布

図-3.4.9～図-3.4.10 より、扇状地モデルにおいても、谷モデルと同様に接近流が谷の入り口付近において増速している。谷の地形条件が同じ谷モデルと比較すると、扇状地モデルでは、谷の入り口に向かって接近流が収束され、徐々に増速しているのが確認できる。谷の傾斜角が 45° の扇状地モデルでは、谷の入り口付近において風速比が谷モデルに比べて増速率が大きく、扇状地モデルが水平方向に気流を収束させる効果が表れている。傾斜角 60° のモデルは谷モデルの方が大きな風速比を示しているが、これは扇状地による水平方向の収束効果よりも、谷の入り口における剥離による縮流の効果が大きいと推測される。

3. 6 まとめ

単純化した谷、扇状地の地形モデルを用いた風洞実験により以下のことが確認された。

(1) 谷状地形における風況は、谷の入り口における剥離、接近流の収束によって段丘の傾斜部より下流の平坦部において接近流に対する風速比が最大となり、谷に沿って流下するにつれて風速が減衰する。この傾向は、実地形モデルの風洞実験結果と一致する。

(2) 増速の比率は傾斜角、谷の幅、接近流によって左右され、場合によっては接近流の 1.3 倍程度まで増速する。

(3) 谷の横断面での速度分布は、谷の中央断面ではなくその両側に最も強い増速域が存在する。

(4) 扇状地においても谷状地形と同様の結果が得られ、扇状地部分の接近流の収束効果を確認した。

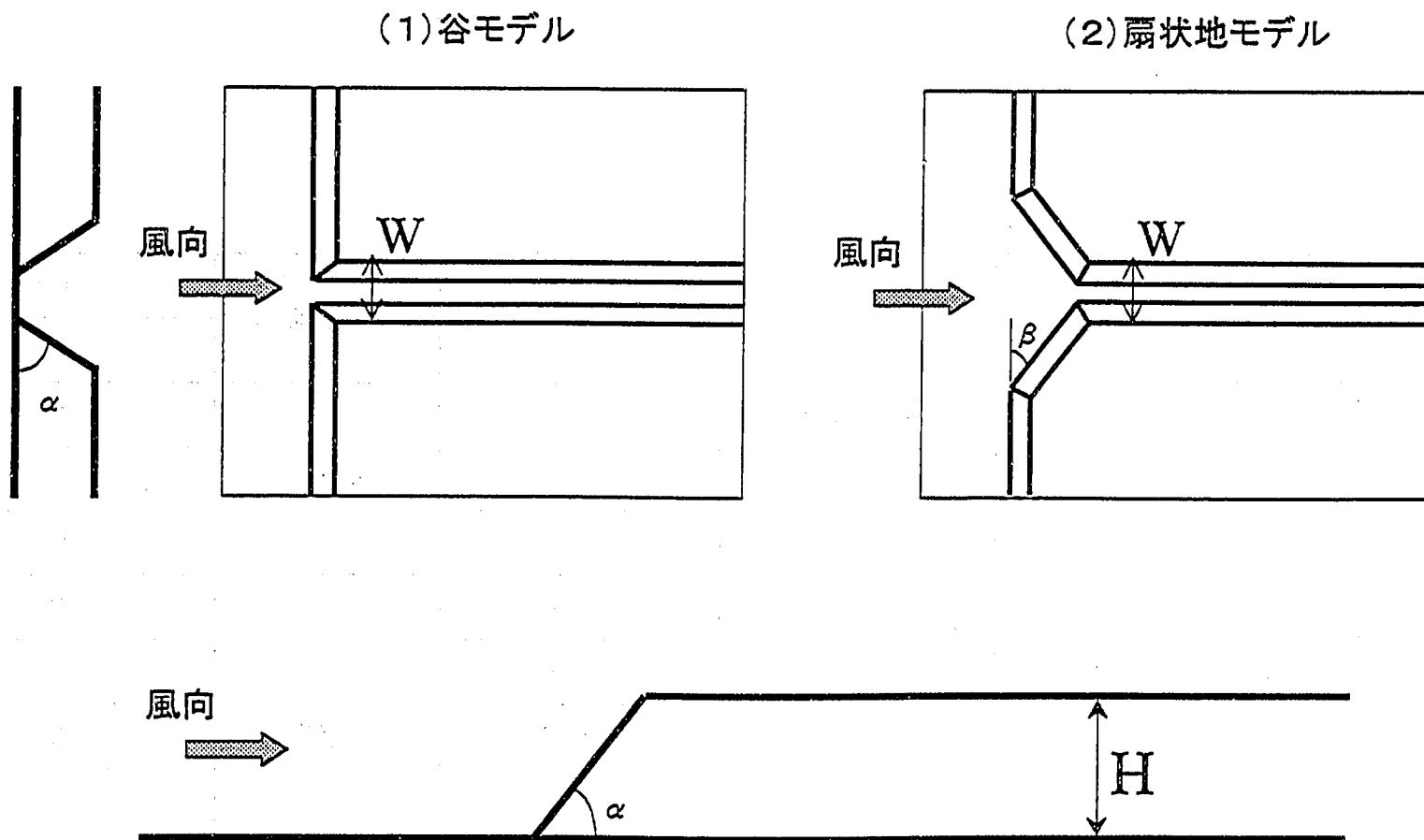


図-3.2.1 簡易地形モデル

表-3.3.1 実験ケース一覧

CASE No.	接近流	段丘前面・ 谷の傾斜角 α	谷の幅 W	扇状地角度 β	備考		
1	乱流 1	45°	W=2.0H	—	谷モデル		
2		60°					
3		90°					
4		60°	W=1.15H				
5		90°					
6	乱流 2	45°	W=2.0H	—	谷モデル		
7		60°					
8		90°					
9	乱流 1	45°				90°	扇状地モデル
10		60°					

表-3.3.2 接近流プロファイル

		乱流 1	乱流 2
ベキ乗数		1/6	1/9
乱れ強さ	主流	2.7%	8.0%
	鉛直	1.6%	4.4%

※乱れ強さは、 $Y/H=1$ での値

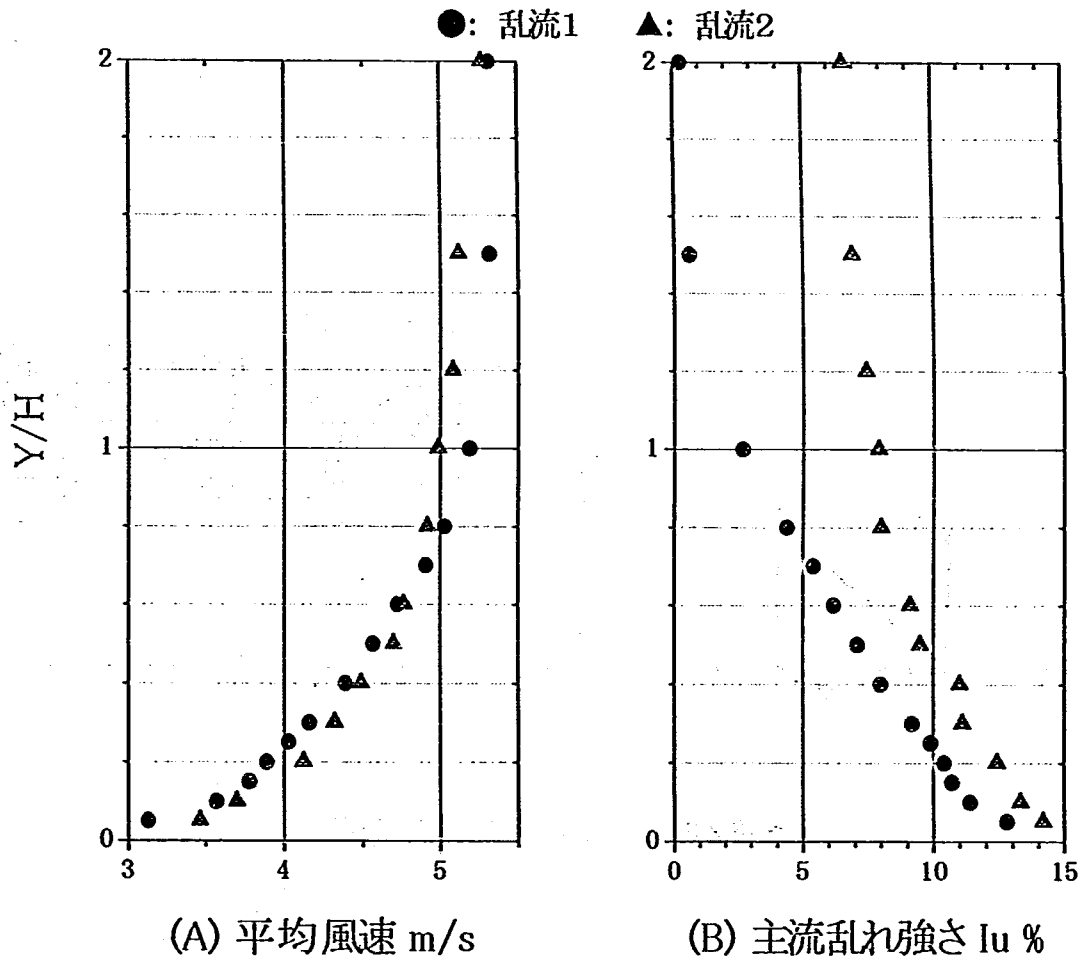


図-3.3.1 接近流プロファイル

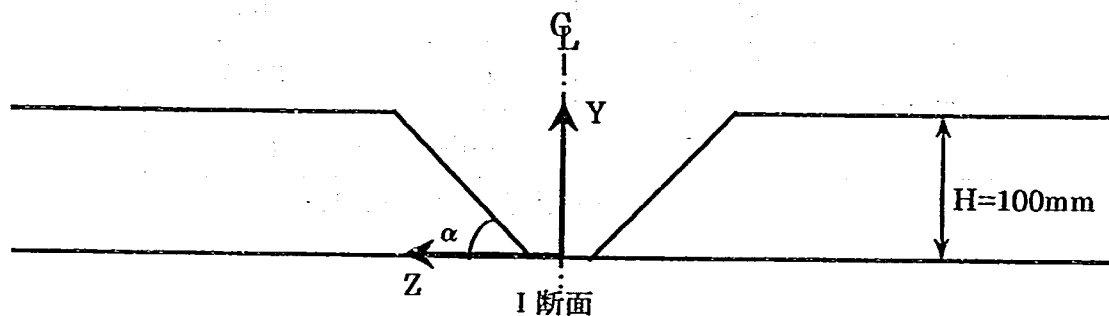


図-3.2.2 気流計測断面（横断面図）

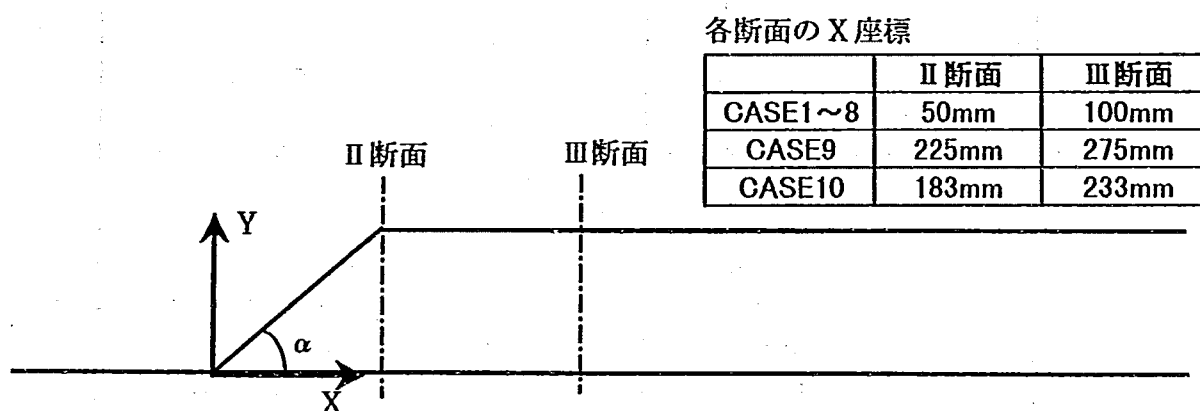


図-3.2.3 気流計測断面（縦断面図）

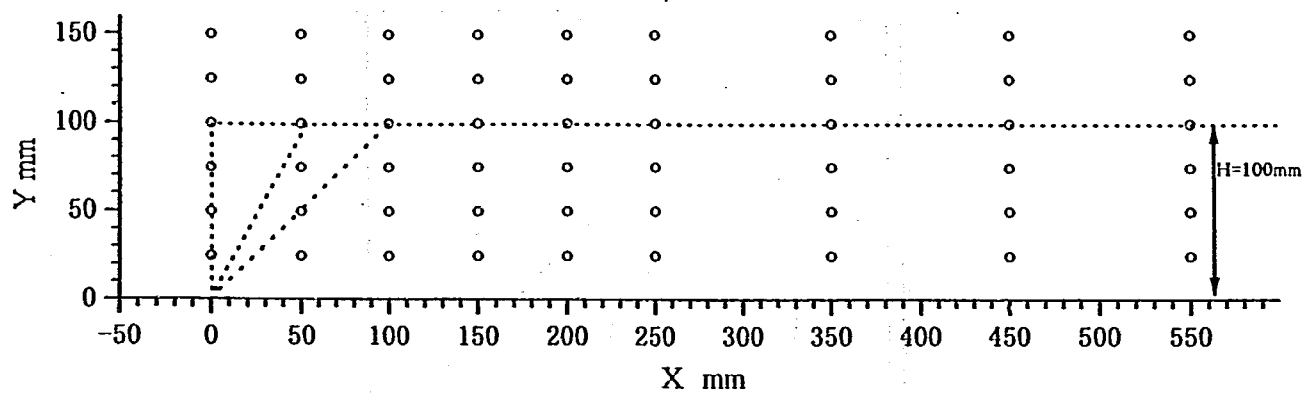


図-3.2.4 気流計測点 (I断面：谷モデル)

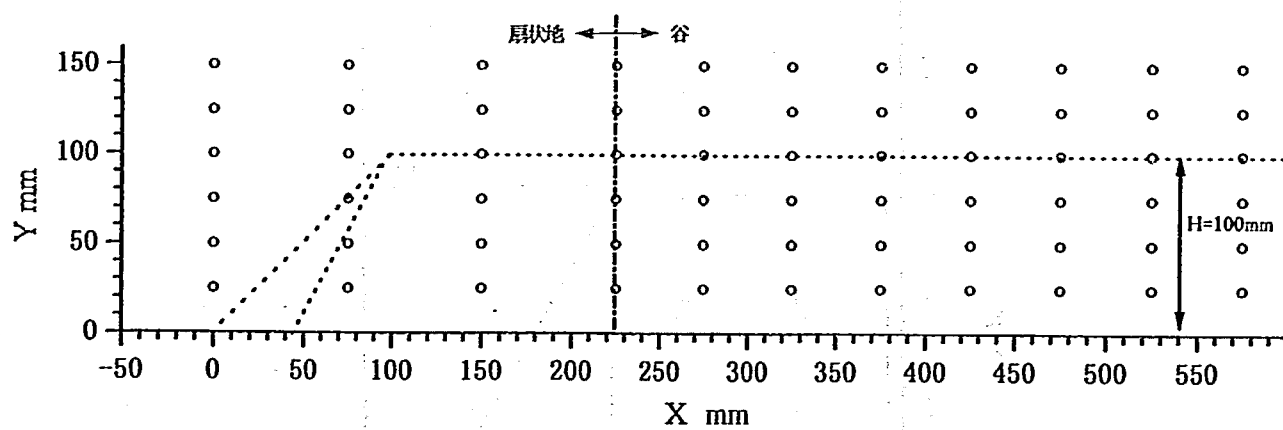


図-3.2.5 気流計測点 (I断面：扇状地モデル)

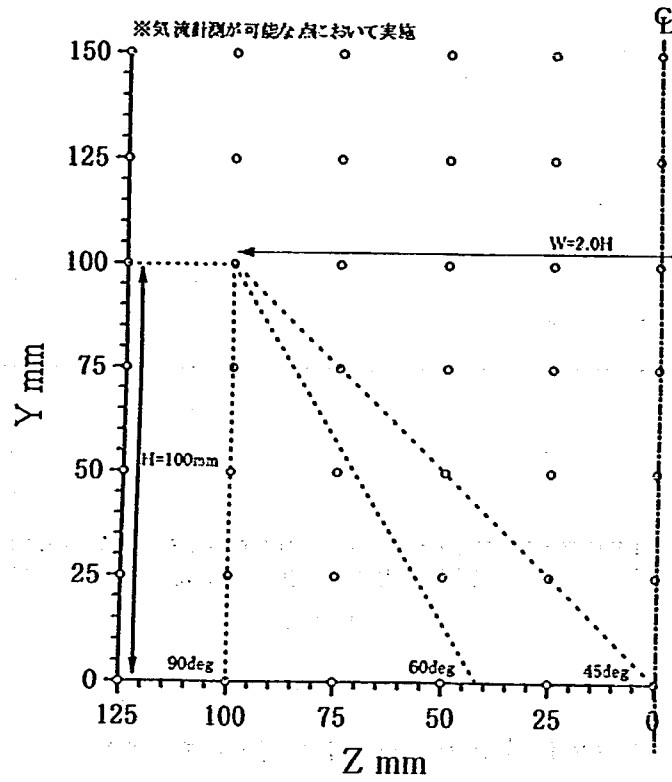


図-3.2.6 気流計測点 (Ⅱ、Ⅲ断面 : $W=2H$)

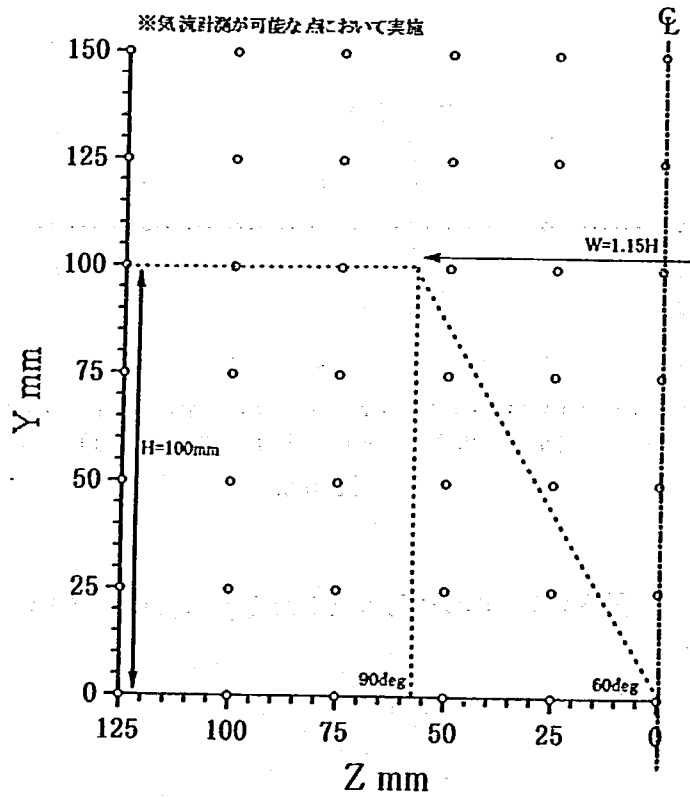


図-3.2.7 気流計測点 (Ⅱ、Ⅲ断面 : $W=1.15H$)

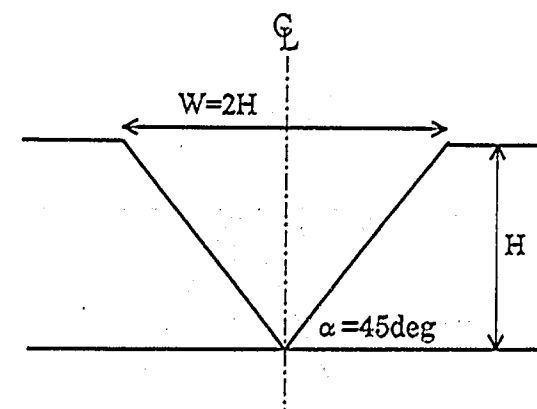
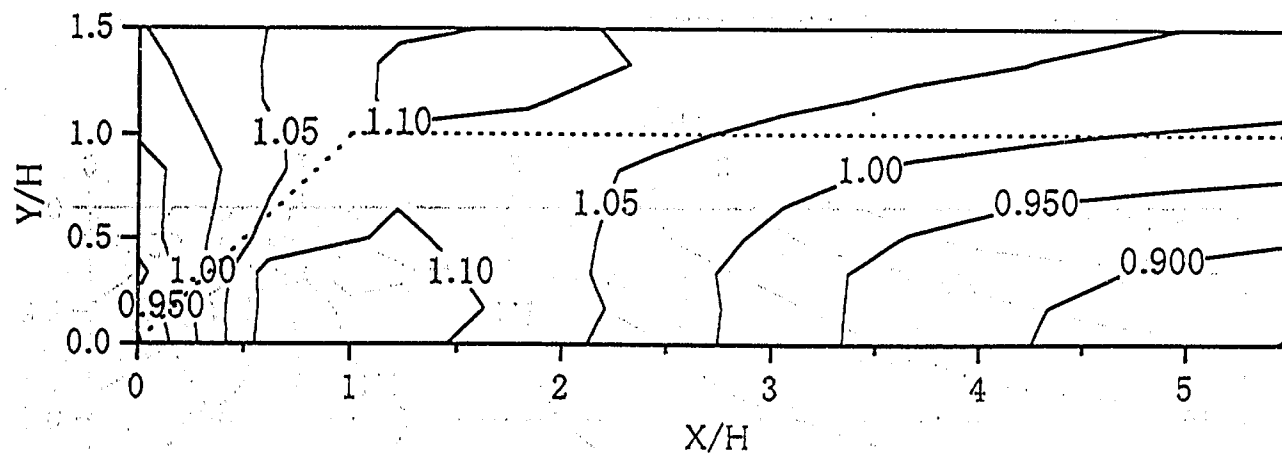


図-3.4.1 主流方向平均風速の増速率 CASE 1 (I 断面)

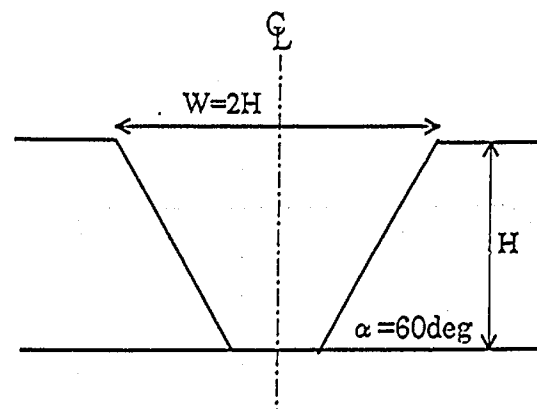
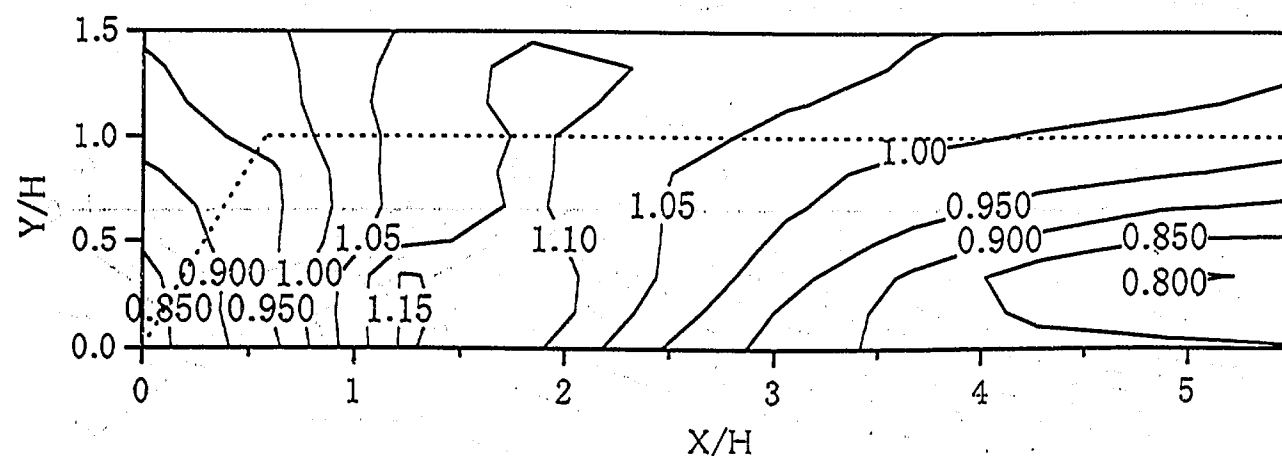


図-3.4.2 主流方向平均風速の増速率 CASE 2 (I 断面)

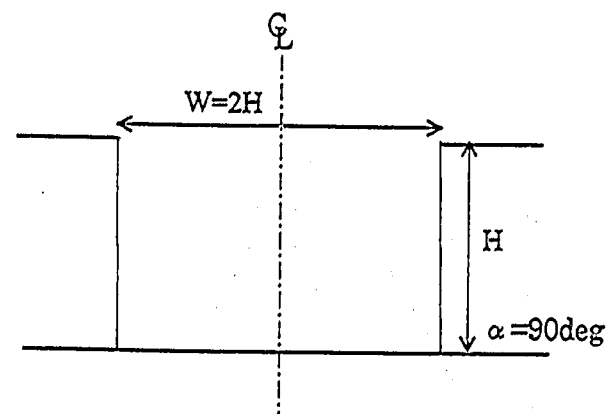
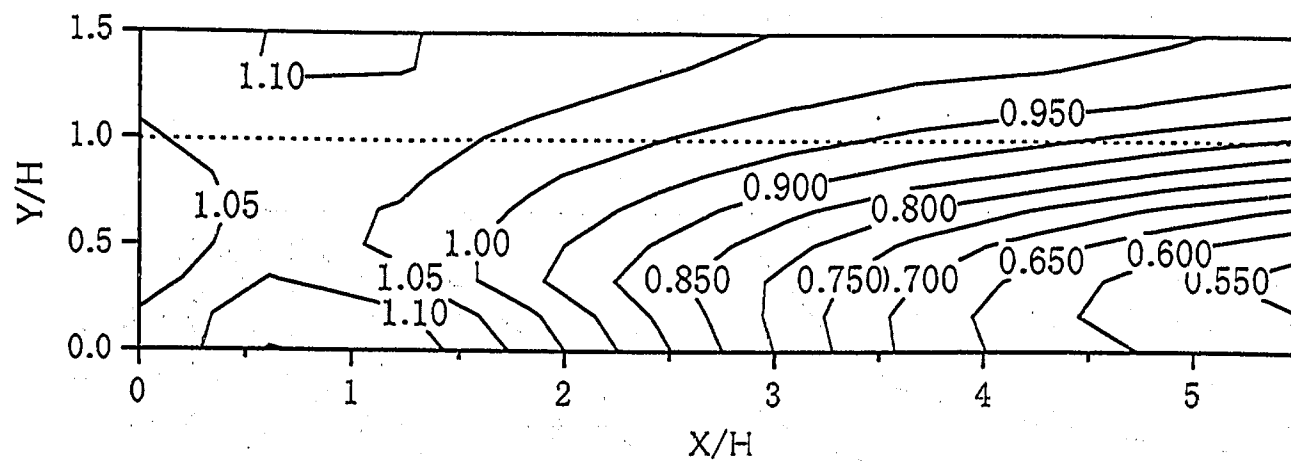


図-3.4.3 主流方向平均風速の増速率 CASE 3 (I 断面)

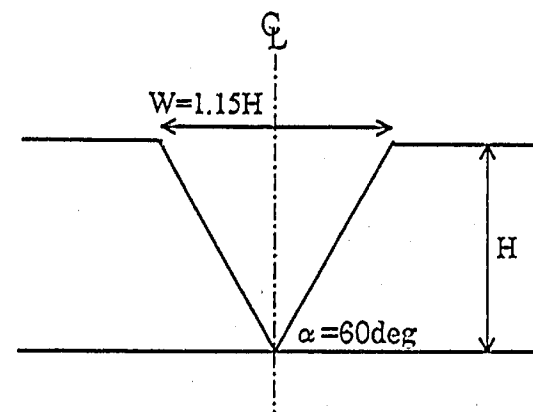
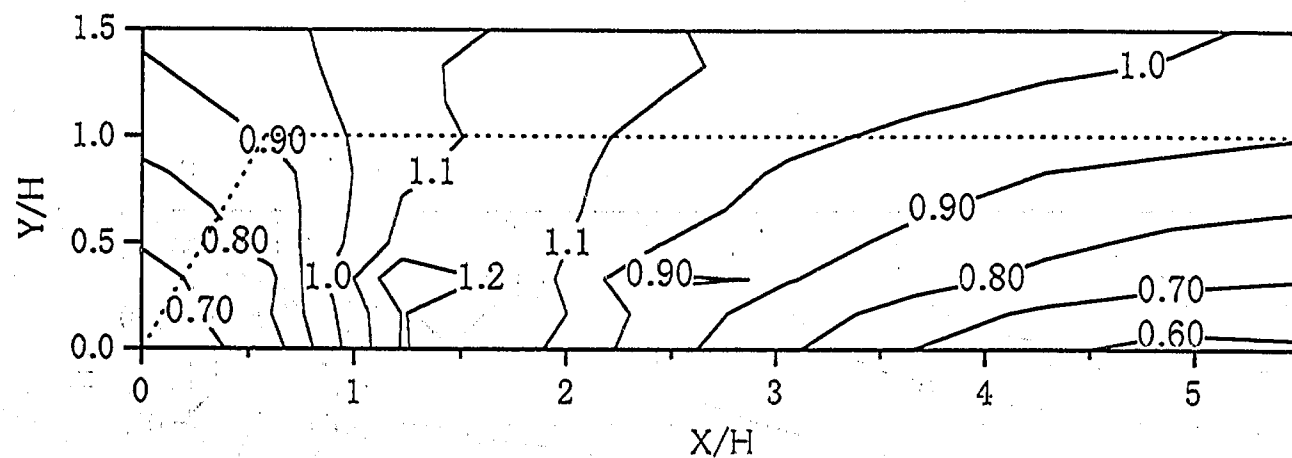


図-3.4.4 主流方向平均風速の増速率 CASE 4 (I 断面)

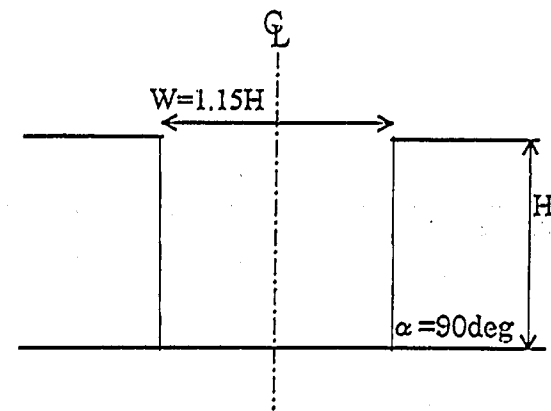
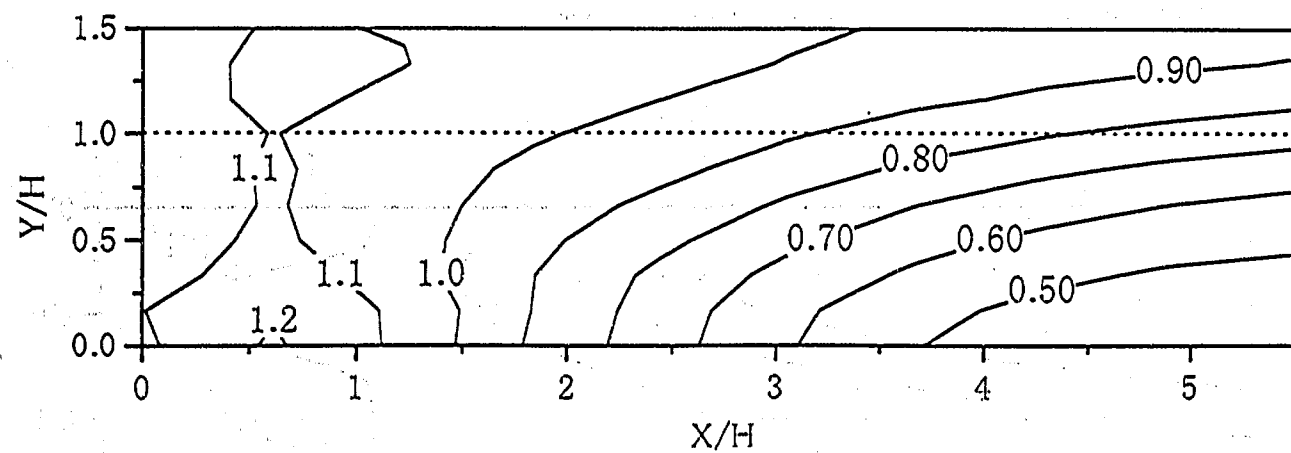


図-3.4.5 主流方向平均風速の増速率 CASE 5 (I 断面)

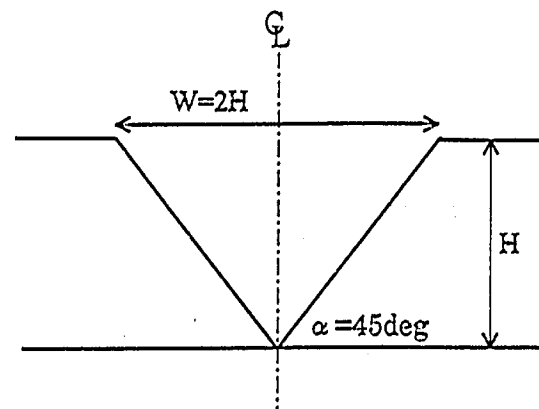
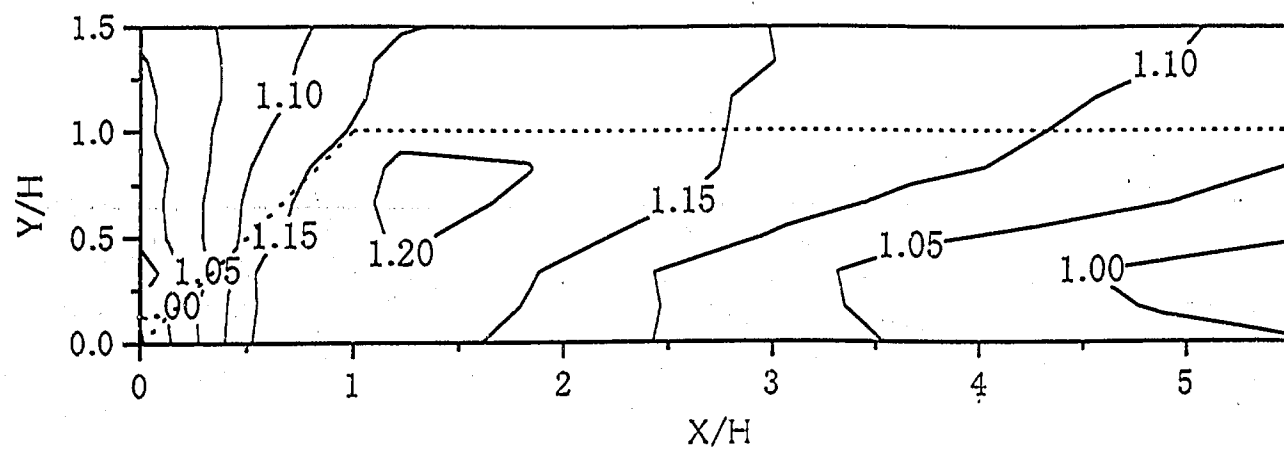


図-3.4.6 主流方向平均風速の増速率 CASE 6 (I 断面)

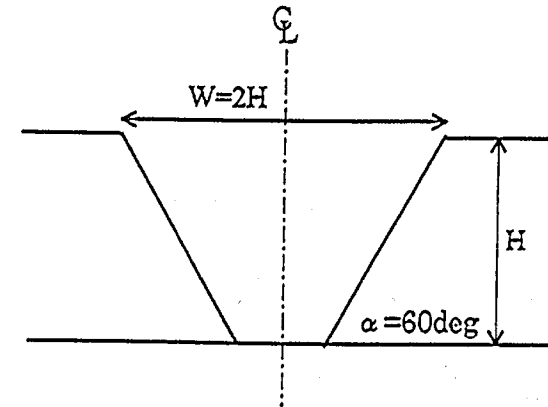
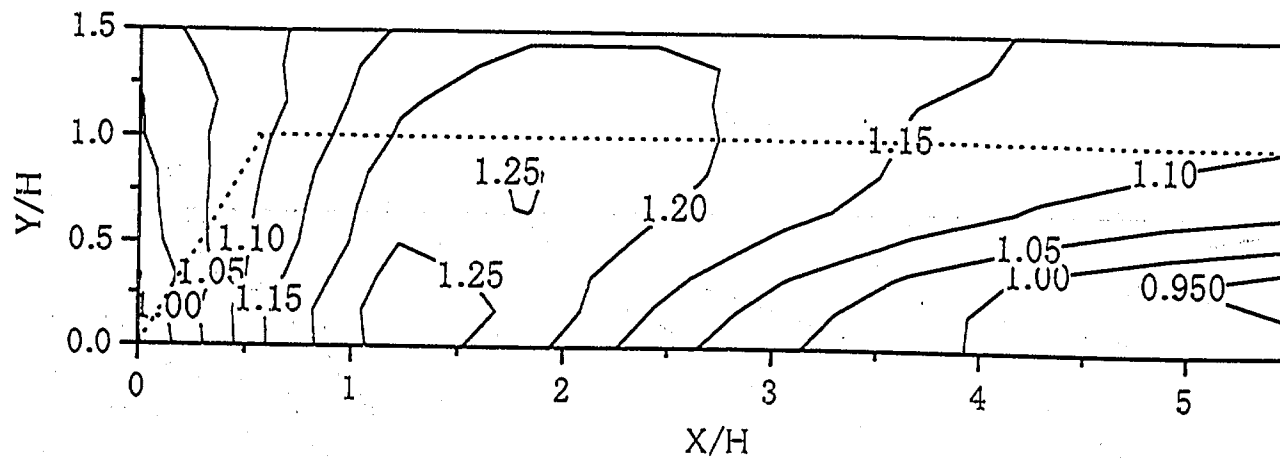


図-3.4.7 主流方向平均風速の増速率 CASE 7 (I 断面)

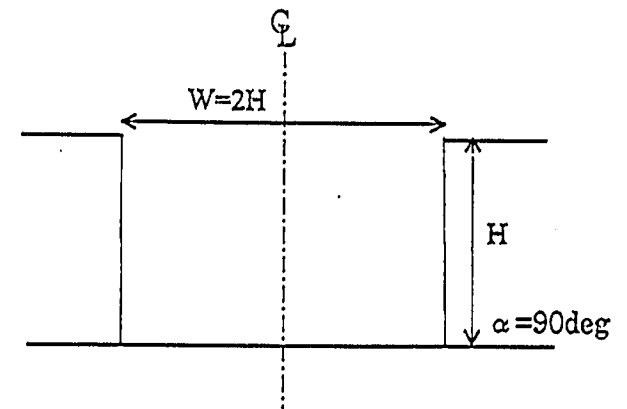
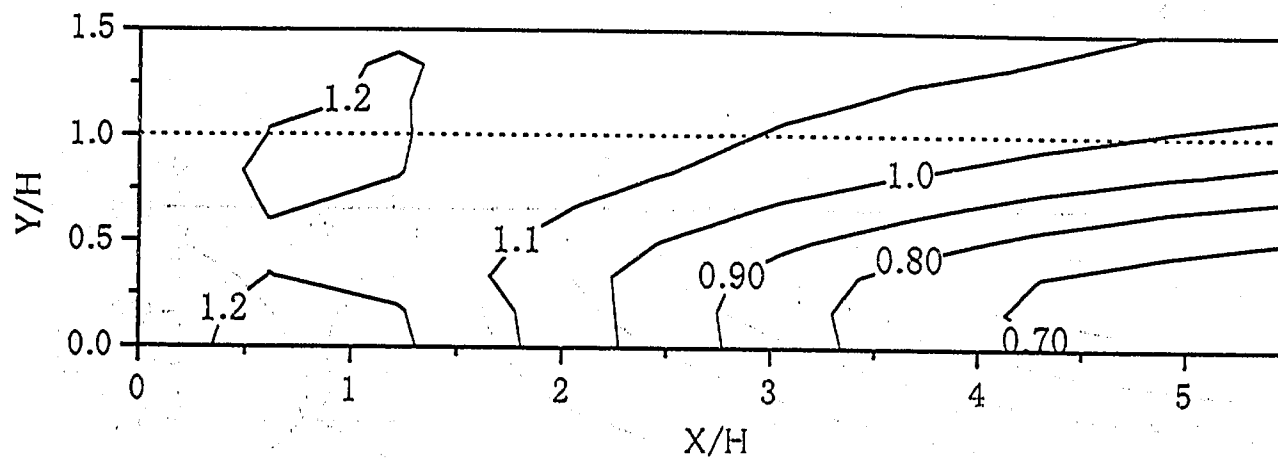


図-3.4.8 主流方向平均風速の増速率 CASE 8 (I 断面)

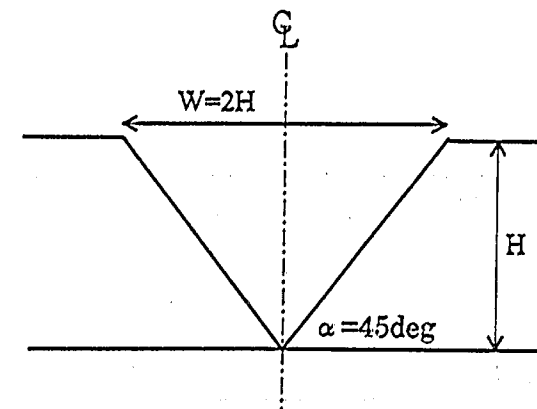
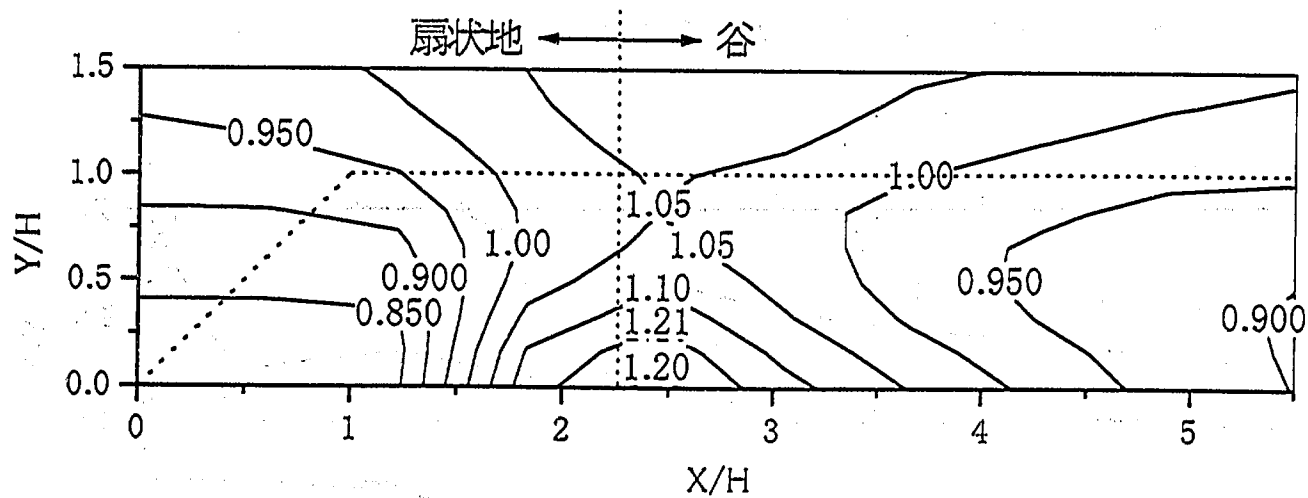


図-3.4.9 主流方向平均風速の増速率 CASE 9 (I 断面)

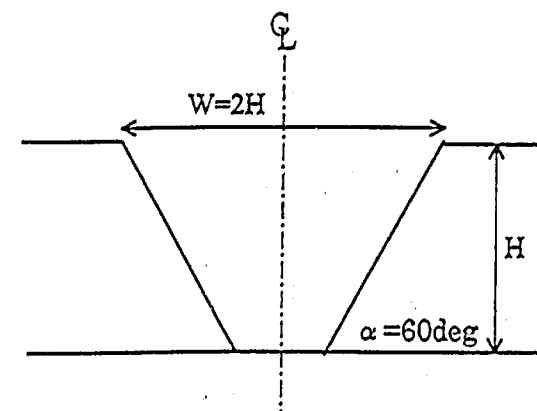
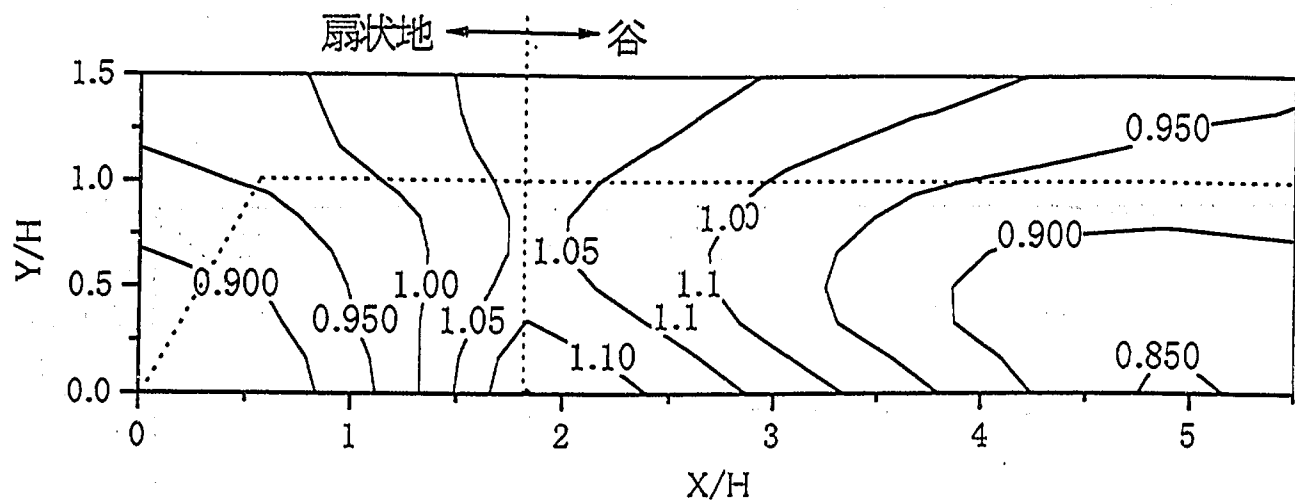


図-3.4.10 主流方向平均風速の増速率 CASE 10 (I 断面)

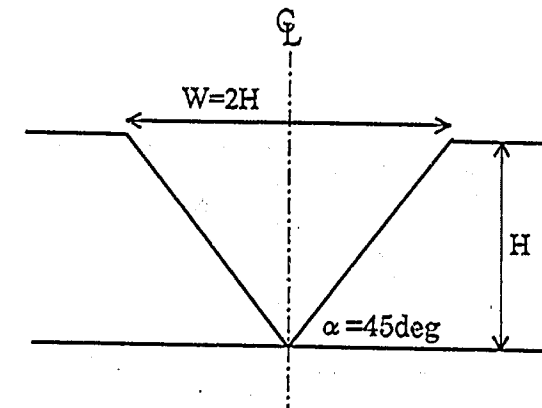
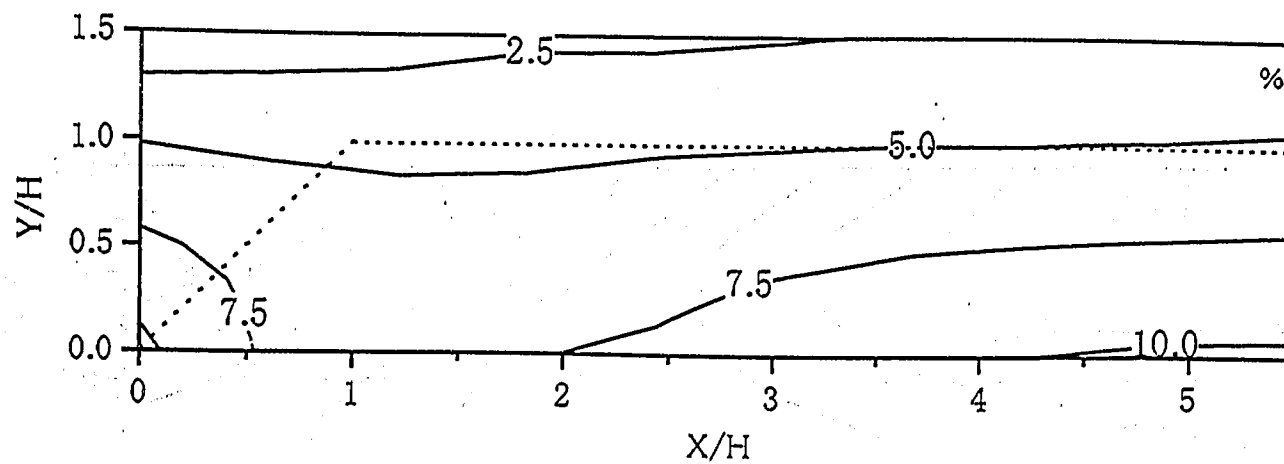


図-3.4.11 主流方向乱れ強さ CASE 1 (I 断面)

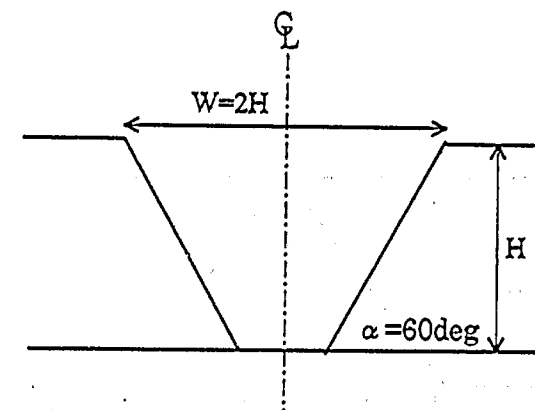
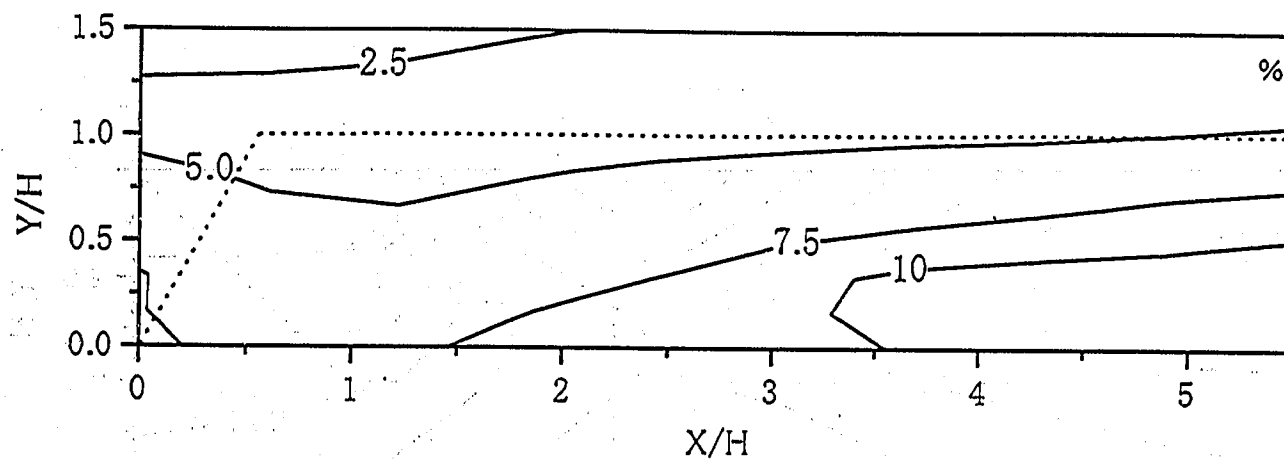


図-3.4.12 主流方向乱れ強さ CASE 2 (I 断面)

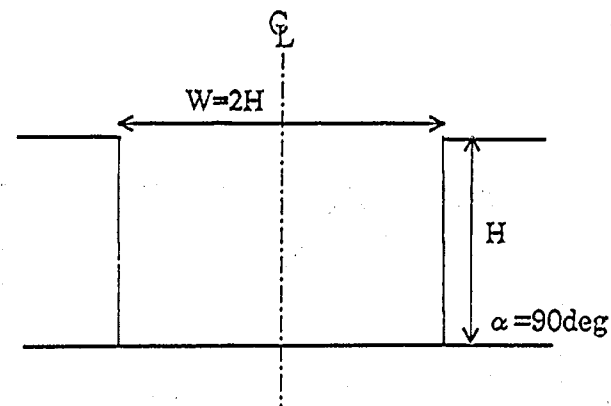
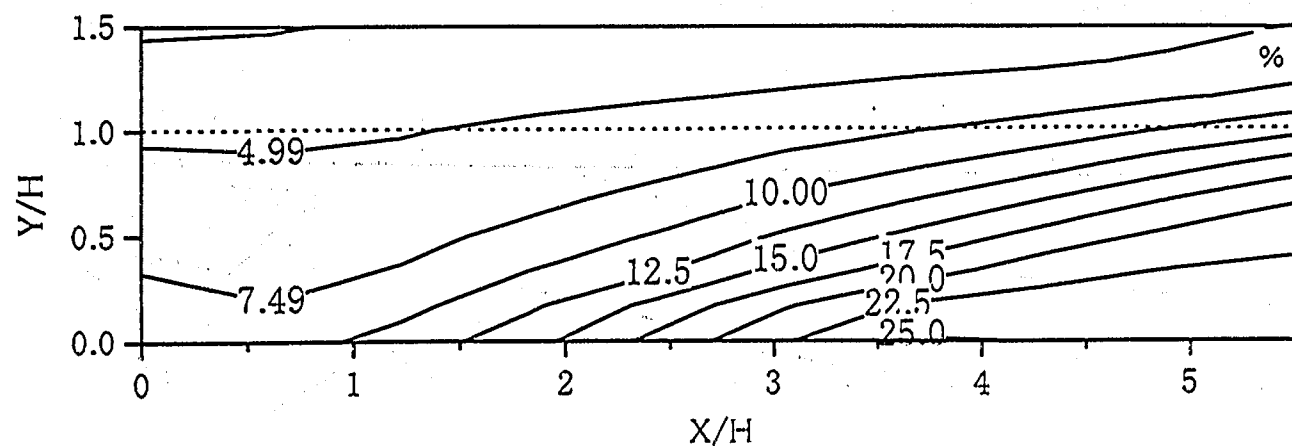


図-3.4.13 主流方向乱れ強さ CASE 3 (I 断面)

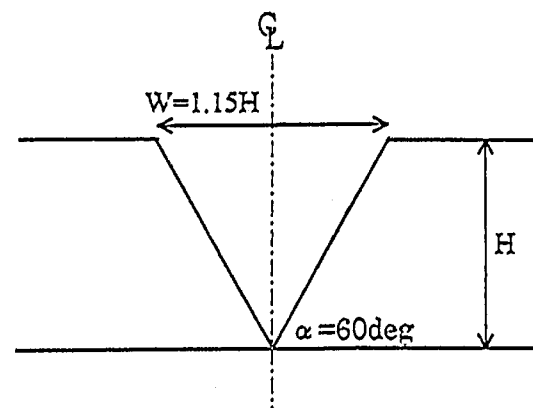
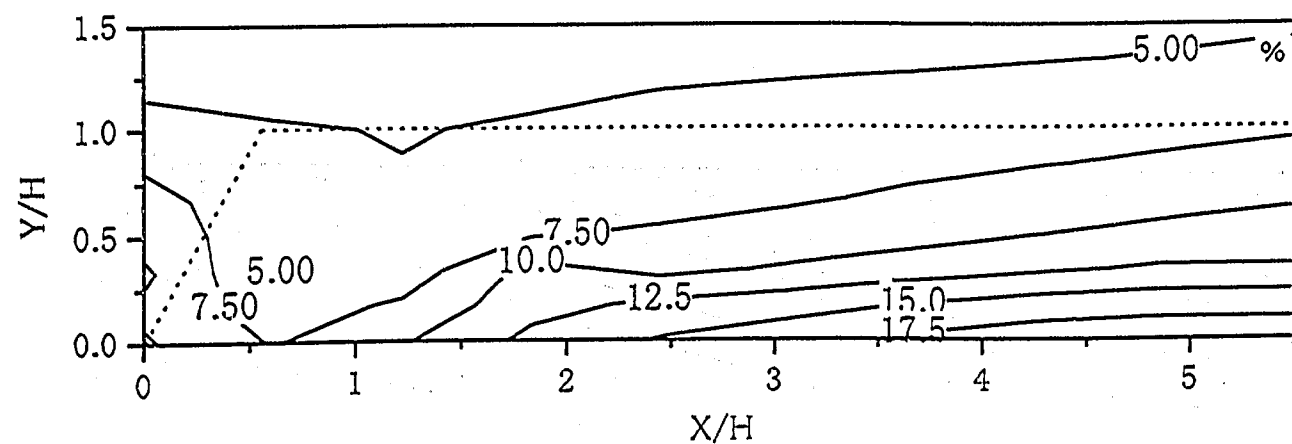


図-3.4.14 主流方向乱れ強さ CASE 4 (I 断面)

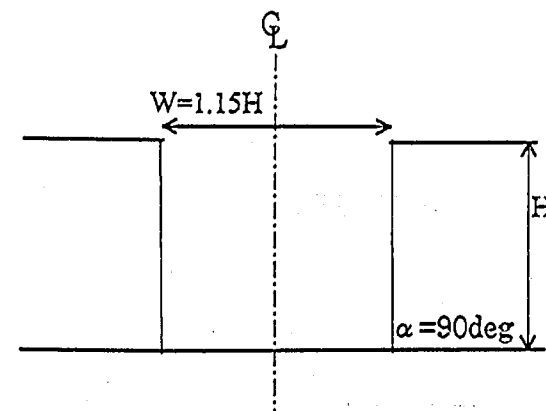
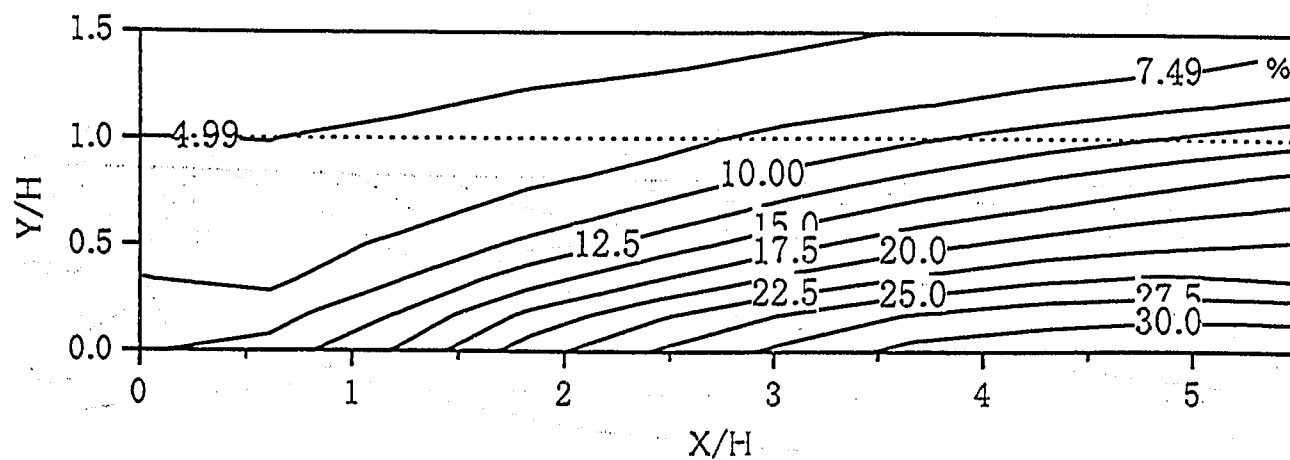


図-3.4.15 主流方向乱れ強さ CASE 5 (I断面)

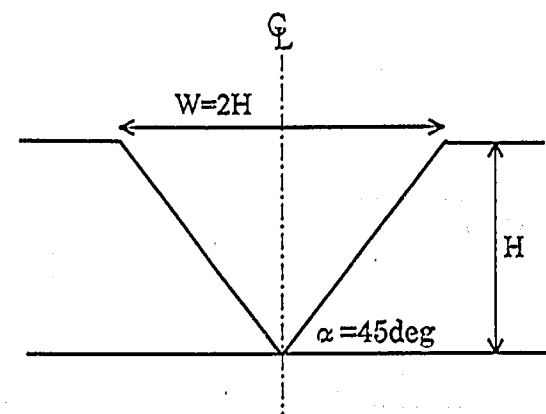
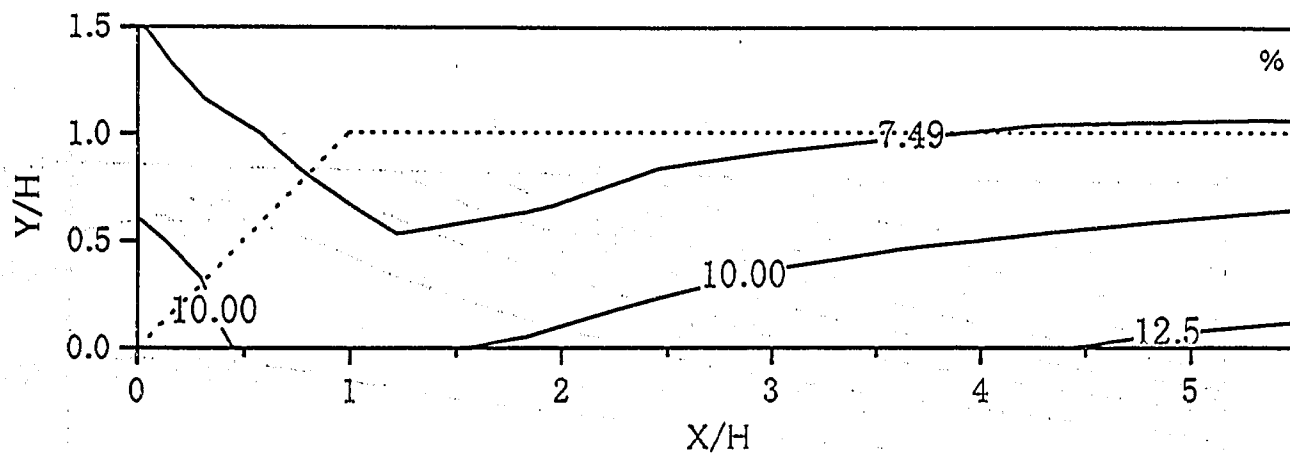


図-3.4.16 主流方向乱れ強さ CASE 6 (I断面)

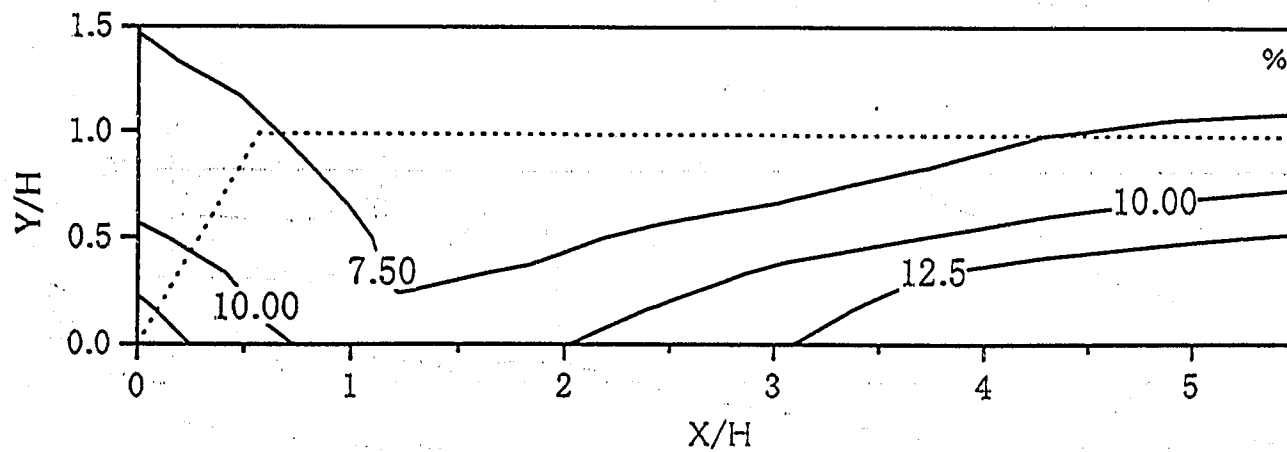


図-3.4.17 主流方向乱れ強さ CASE 7 (I 断面)

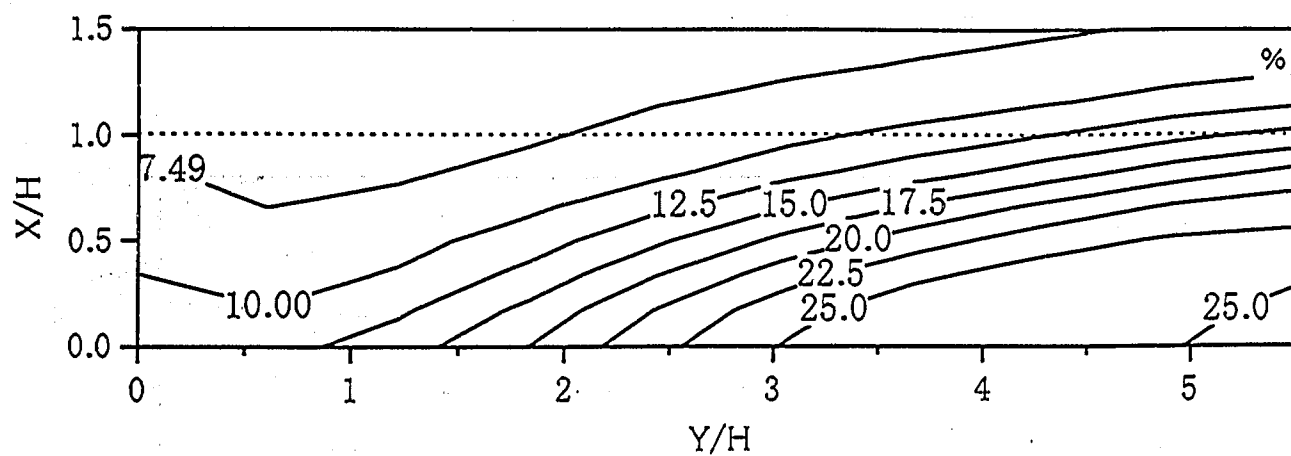
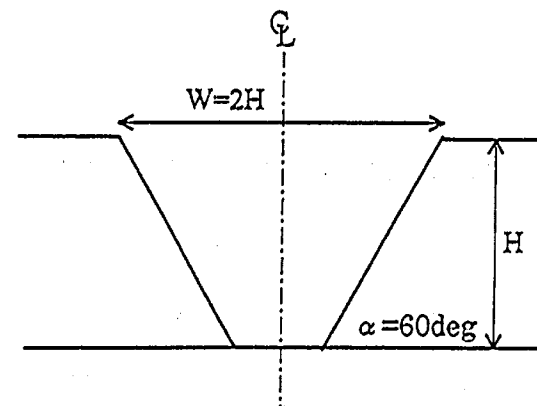
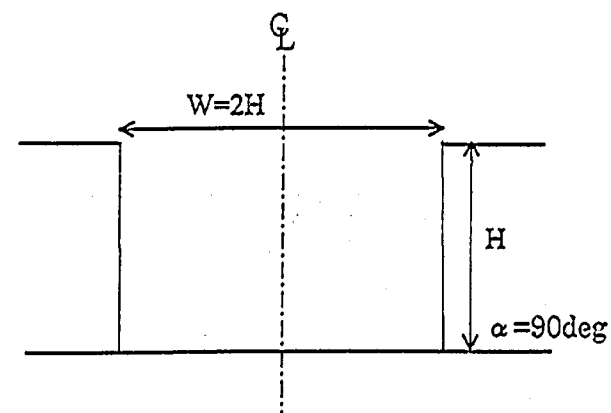


図-3.4.18 主流方向乱れ強さ CASE 8 (I 断面)



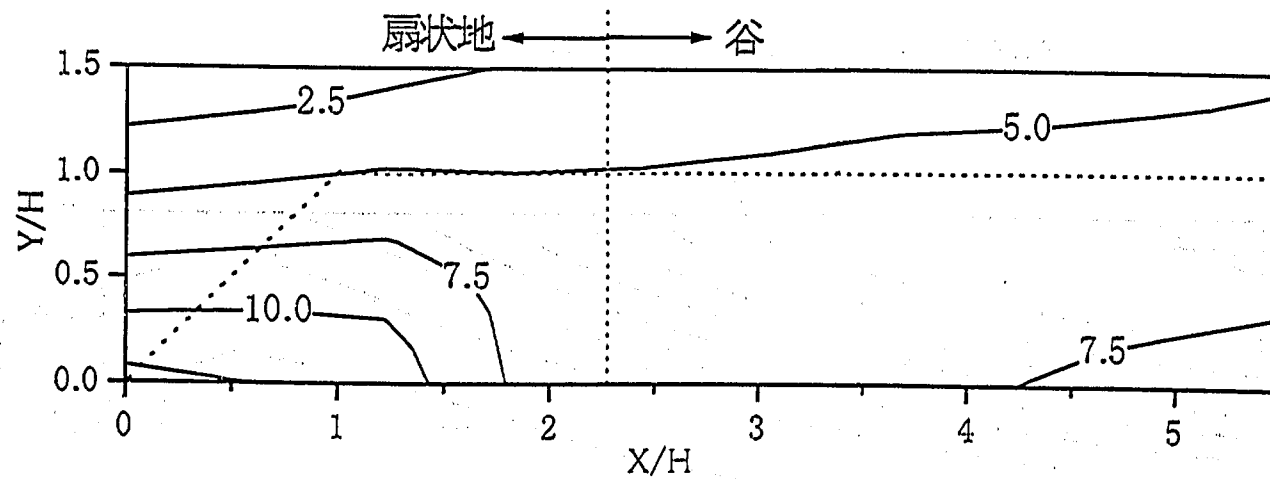


図-3.4.19 主流方向乱れ強さ CASE 9 (I断面)

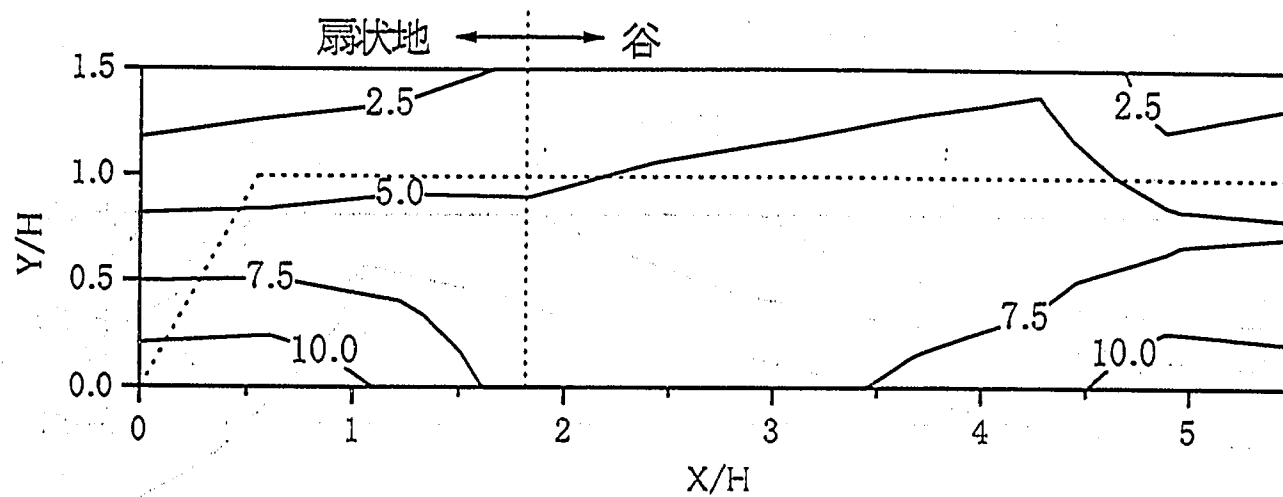
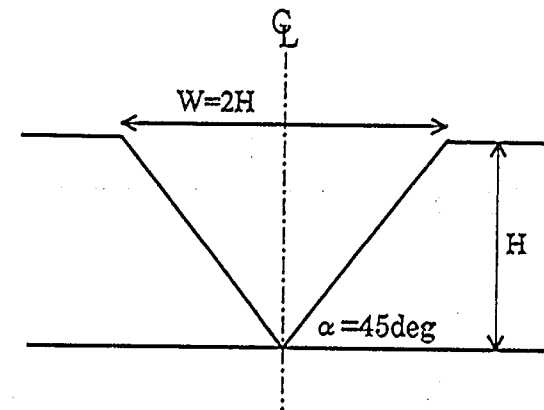
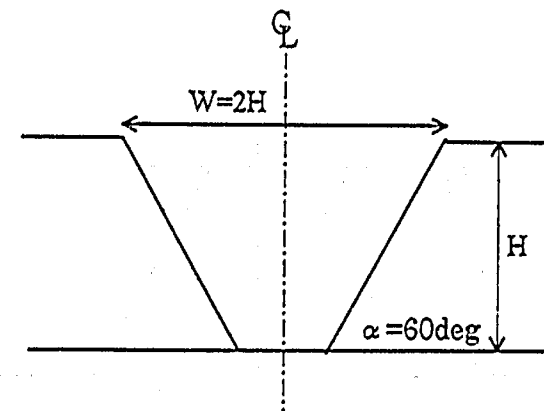
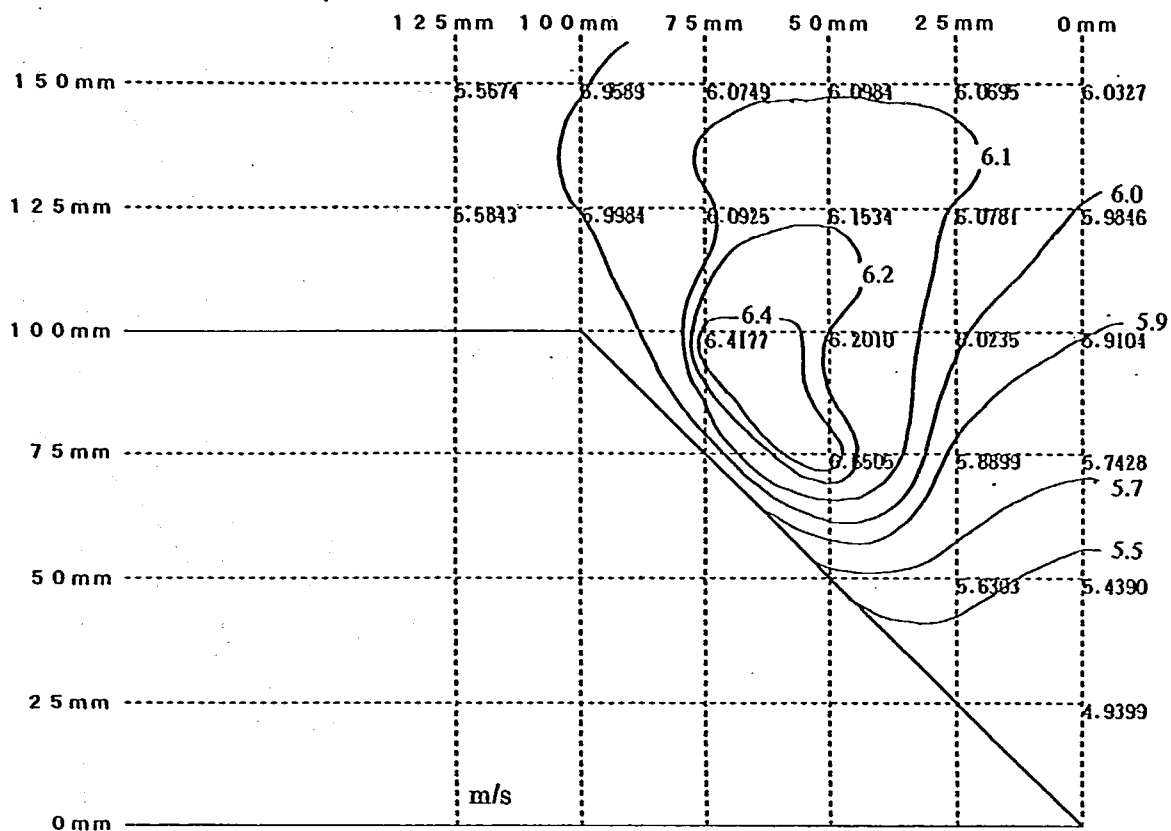
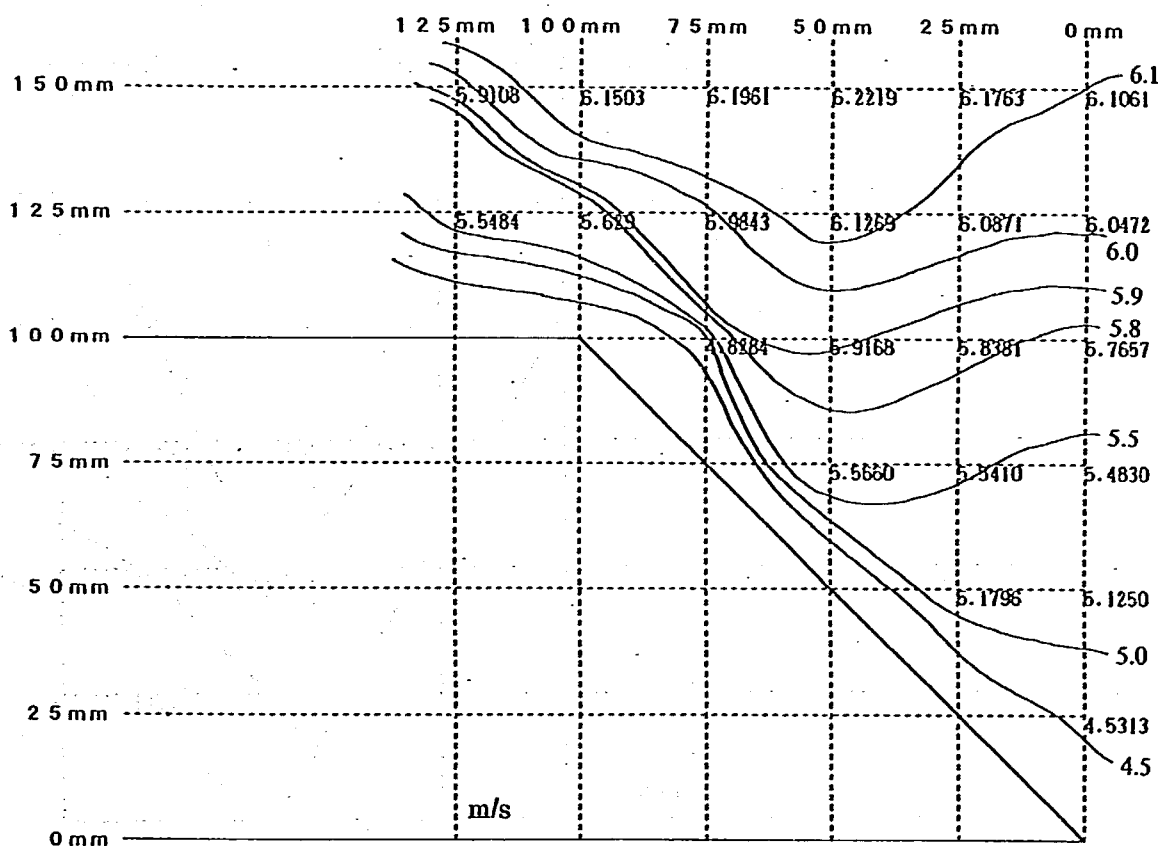


図-3.4.20 主流方向乱れ強さ CASE 10 (I断面)



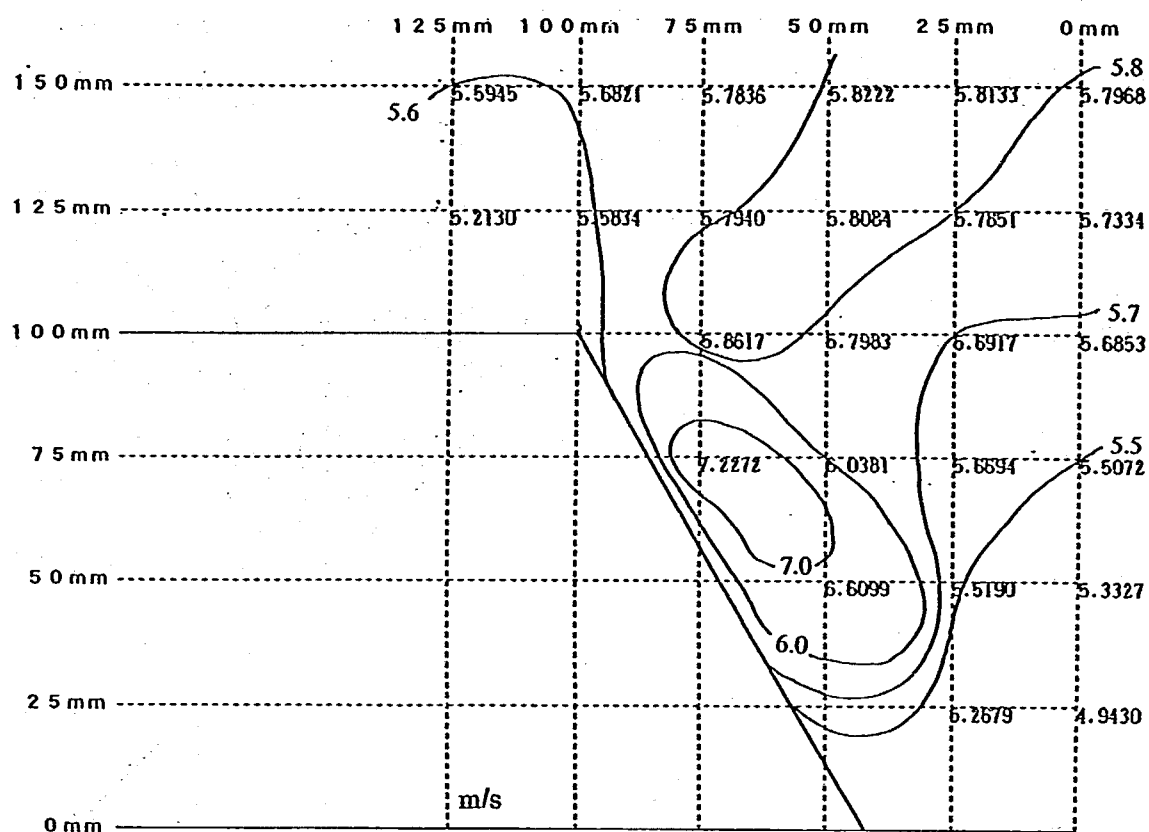


(a) II断面

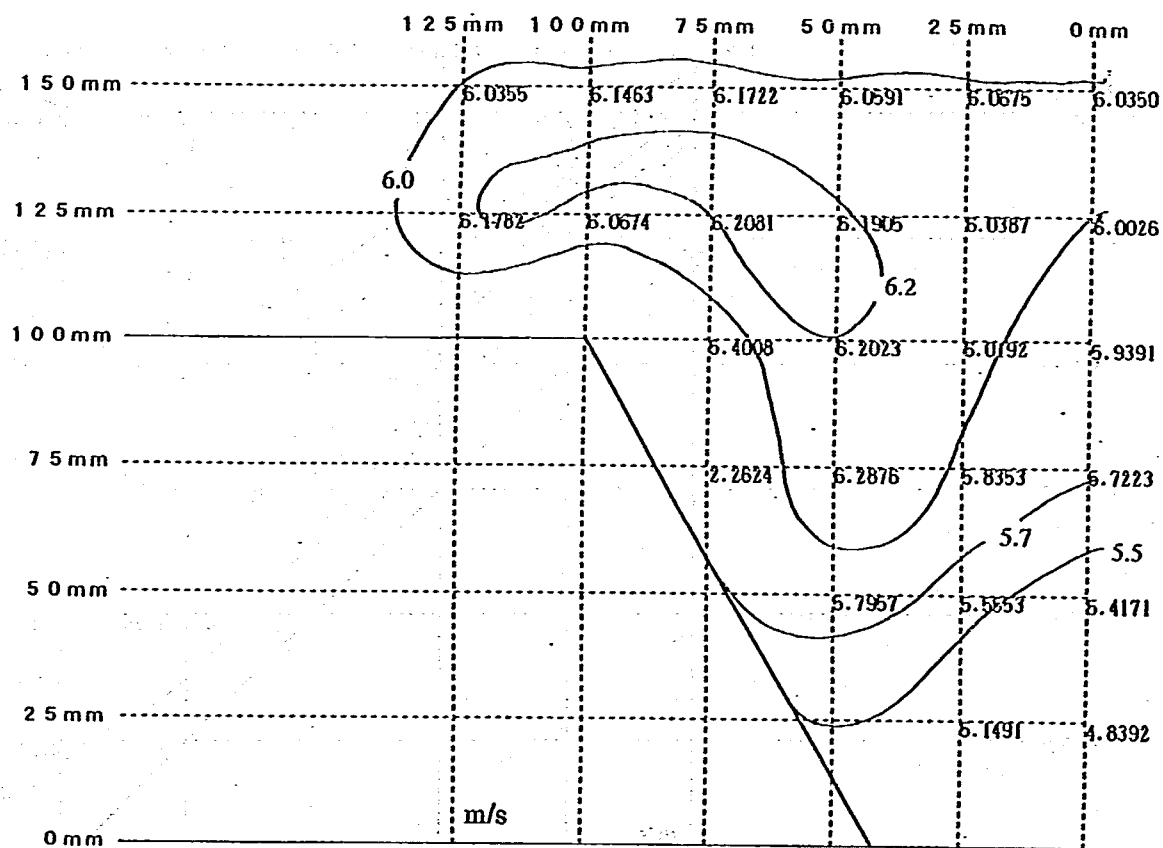


(b) III断面

图-3.4.21 主流方向平均风速 CASE1

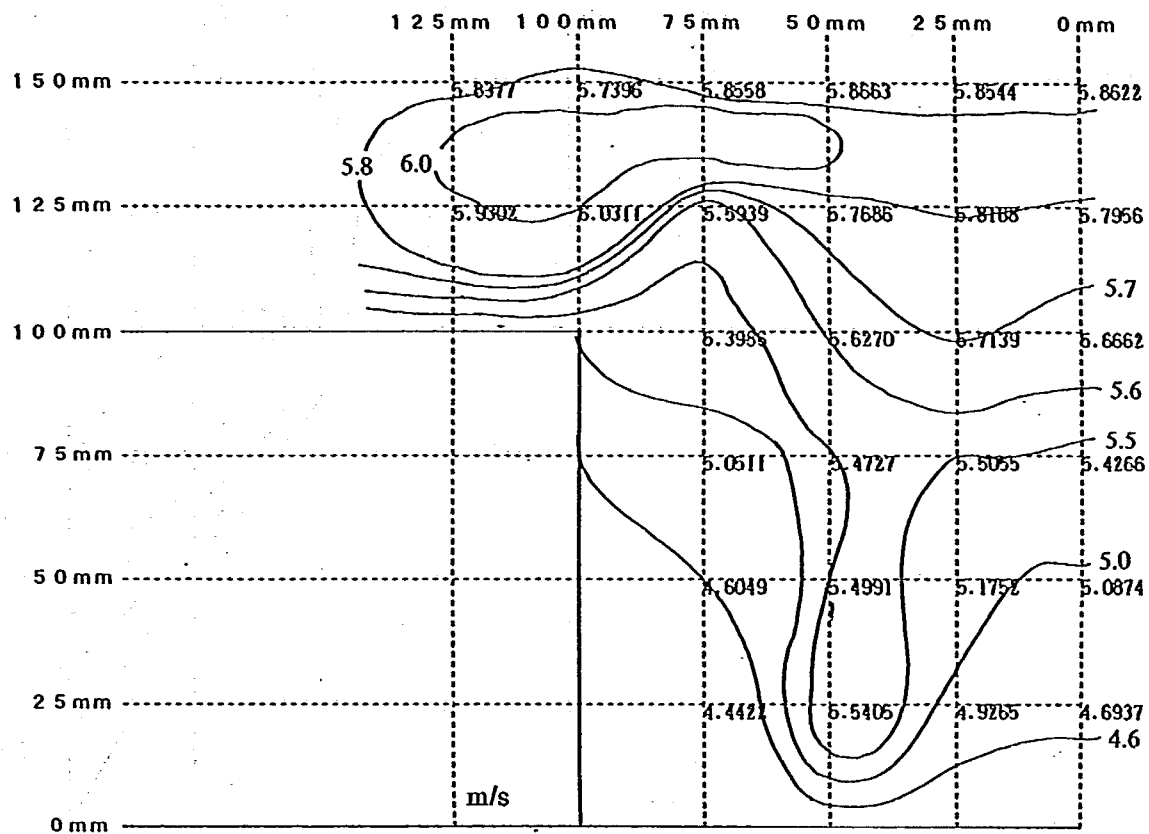


(a) II断面

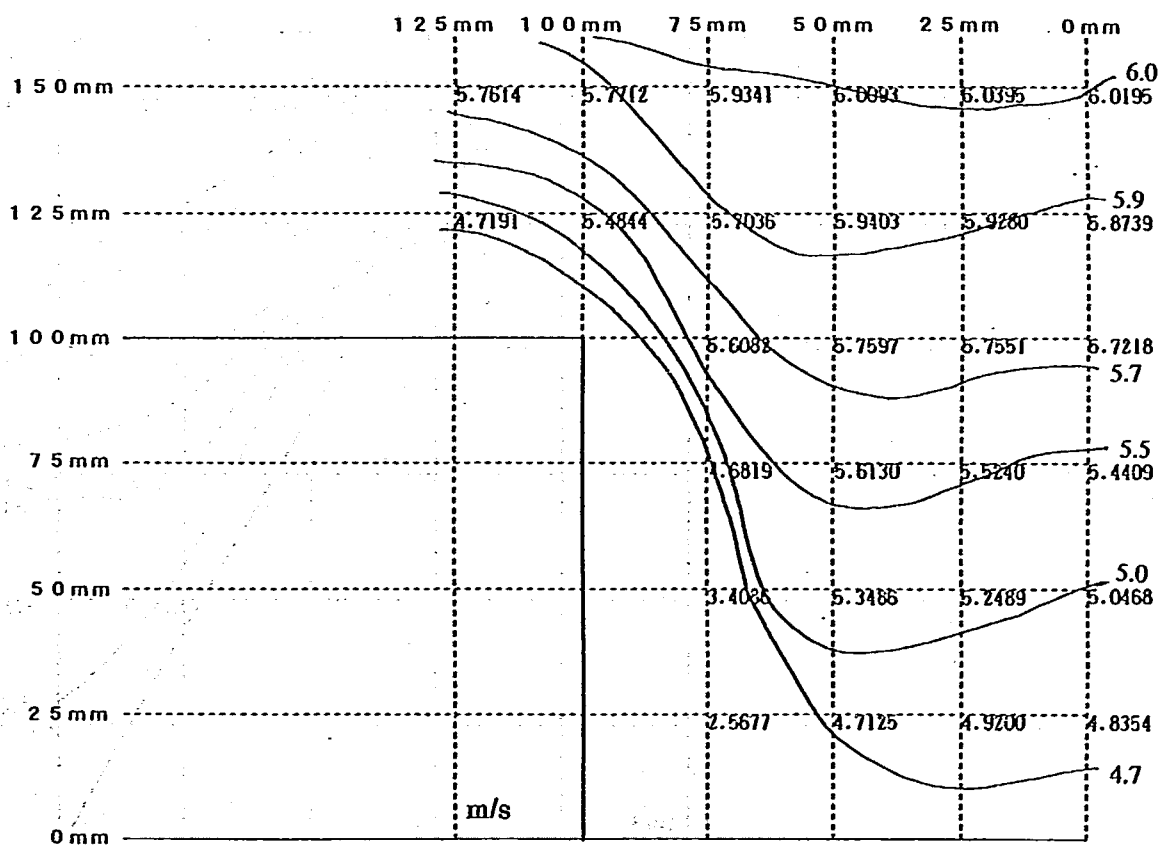


(b) III断面

图-3.4.22 主流方向平均风速 CASE2

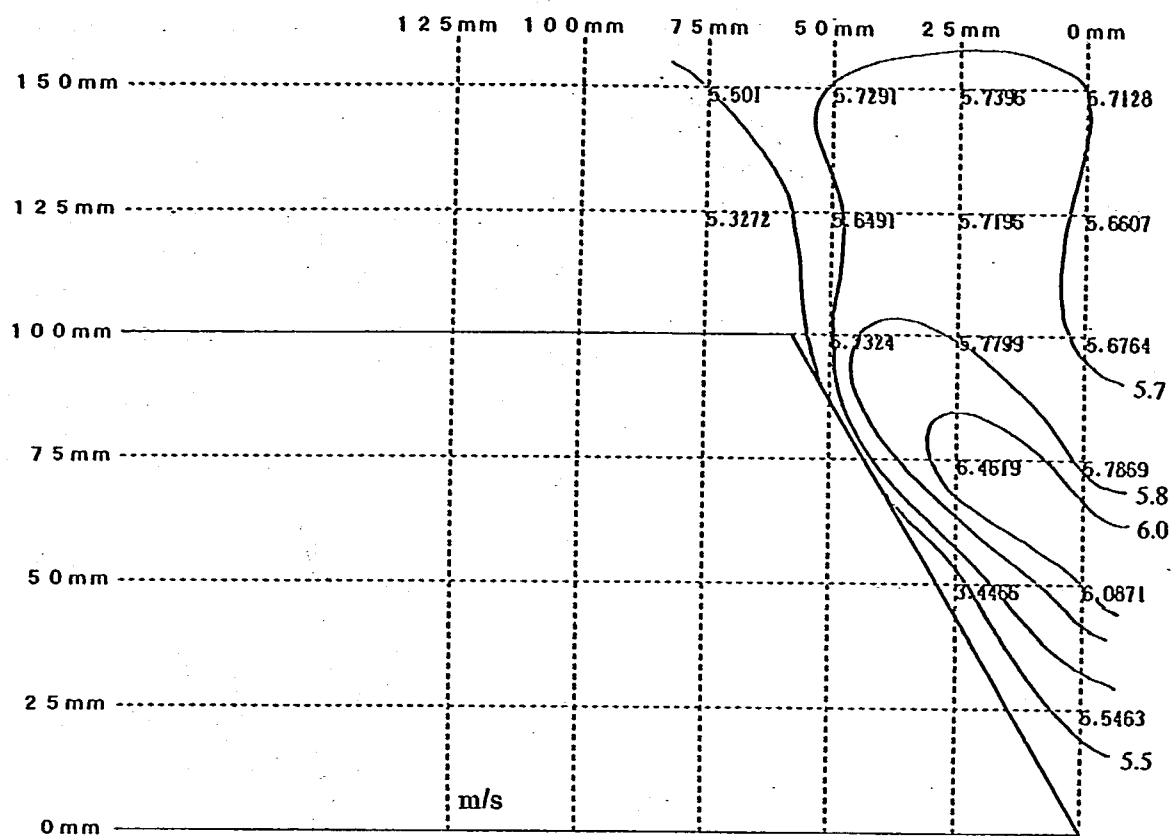


(a) II断面

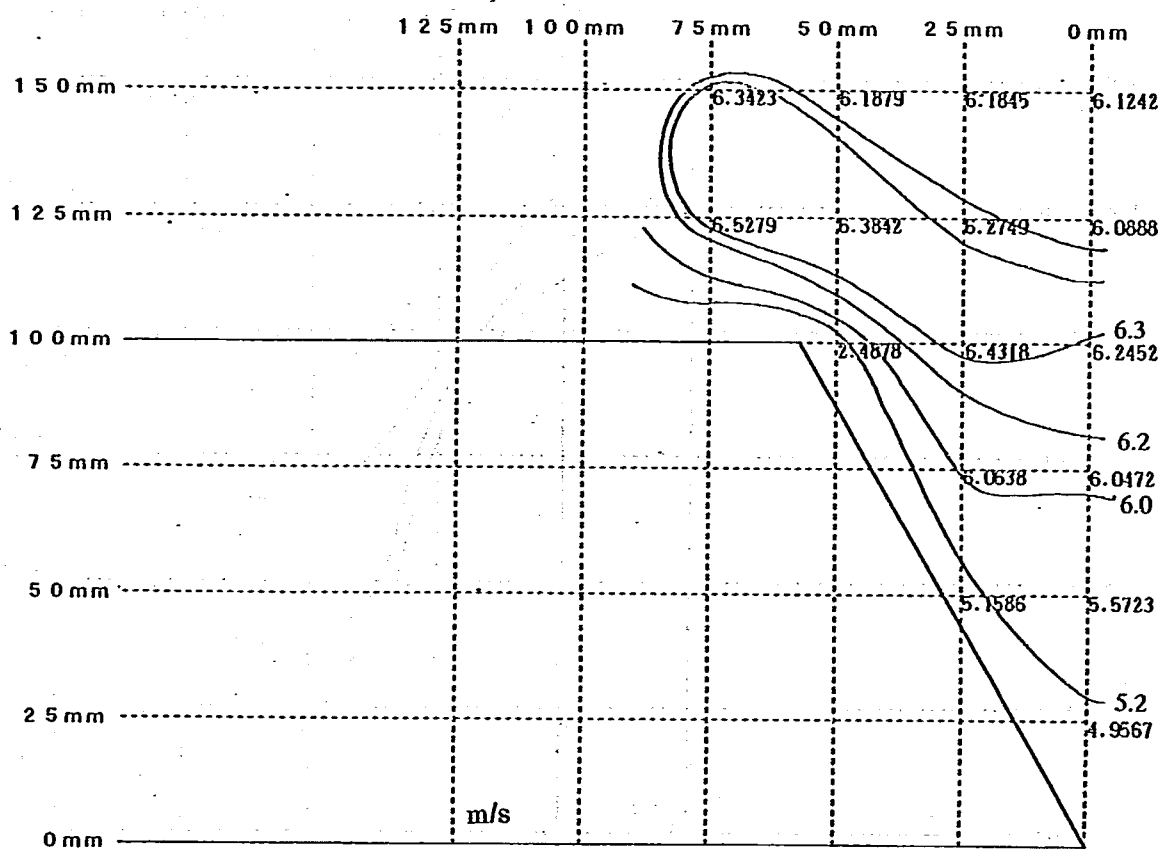


(b) III断面

图-3.4.23 主流方向平均风速 CASE3

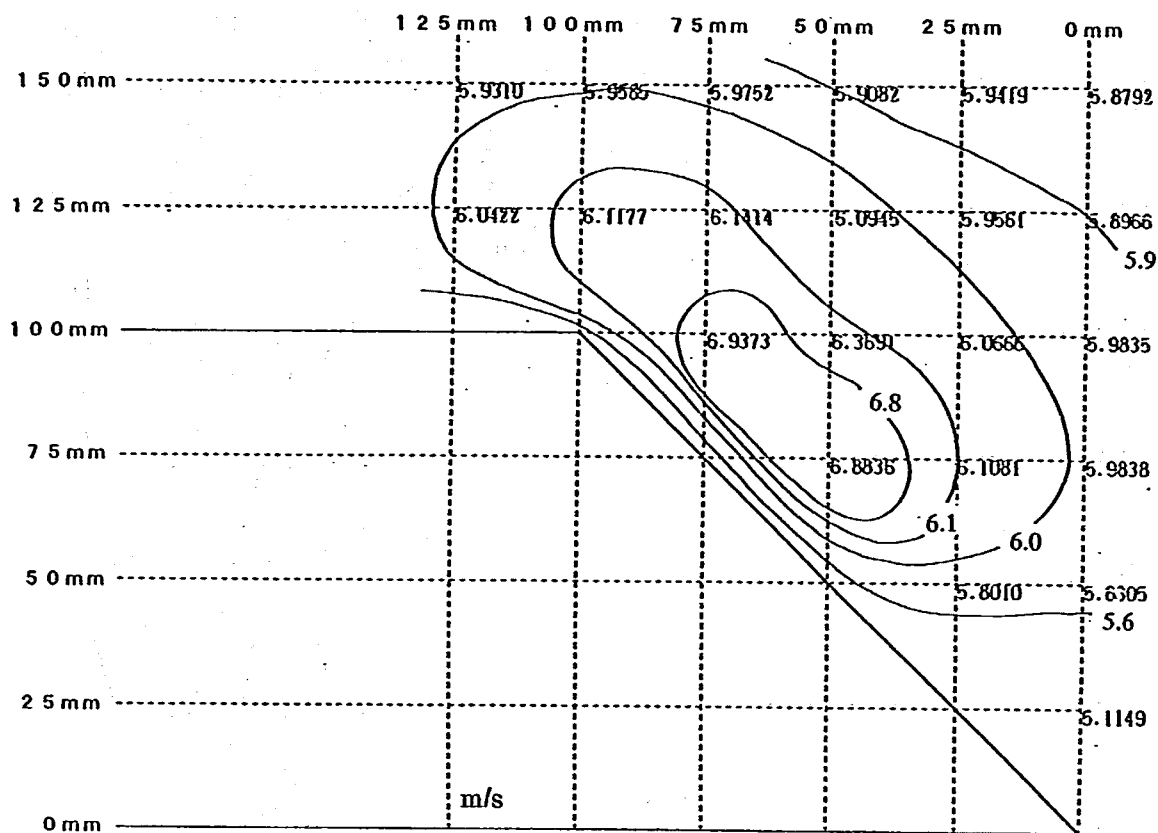


(a) II断面

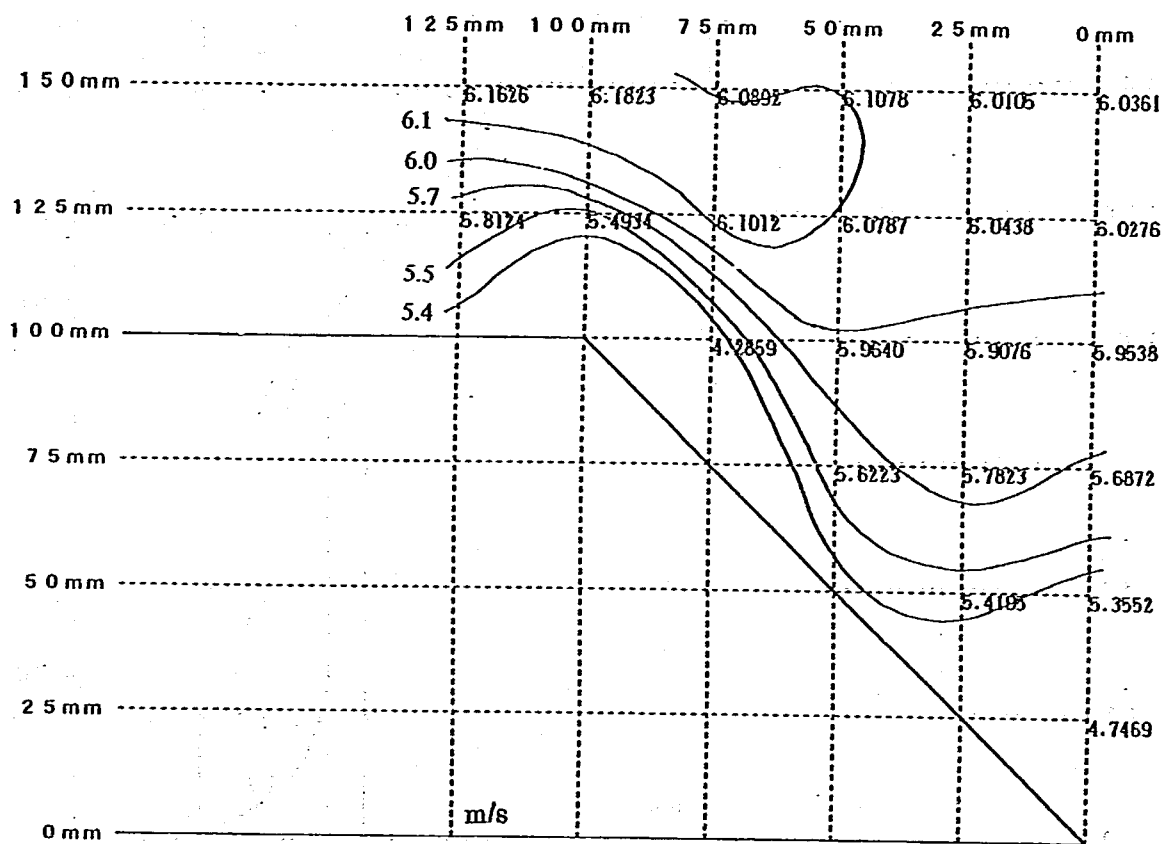


(b) III断面

图-3.4.24 主流方向平均风速 CASE4

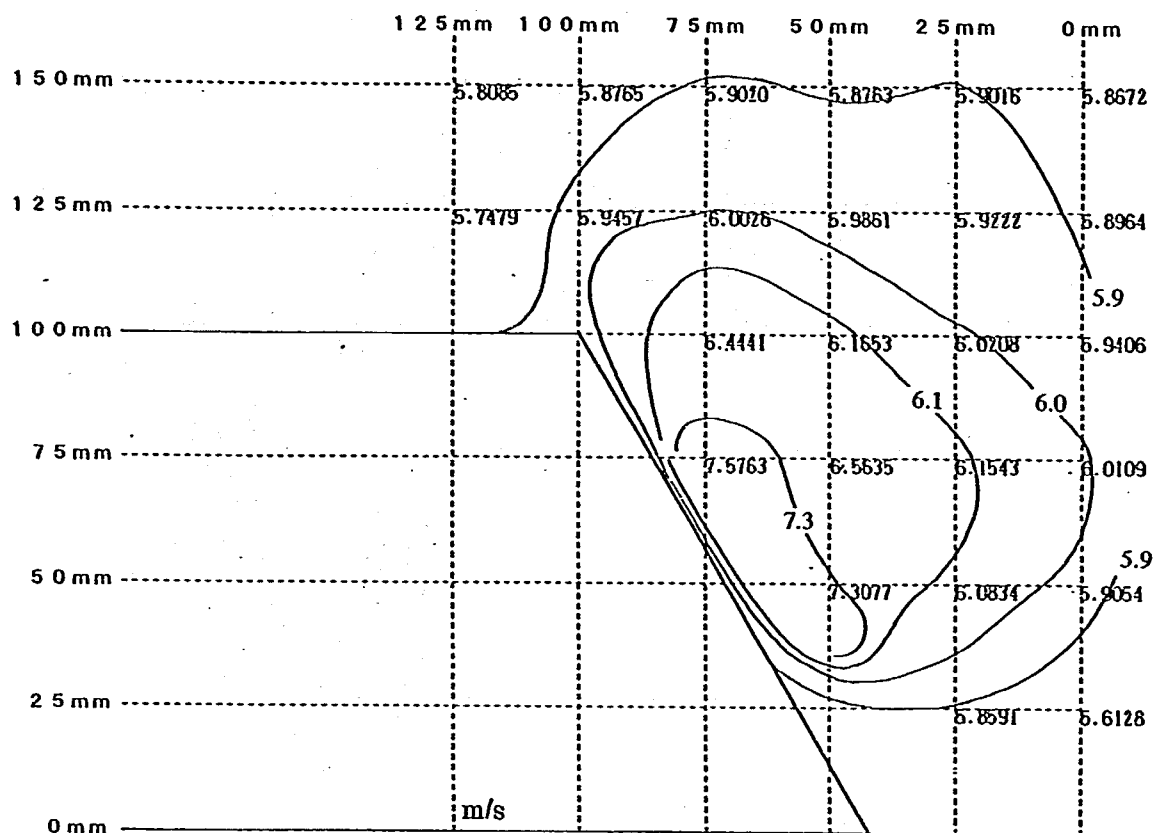


(a) II断面

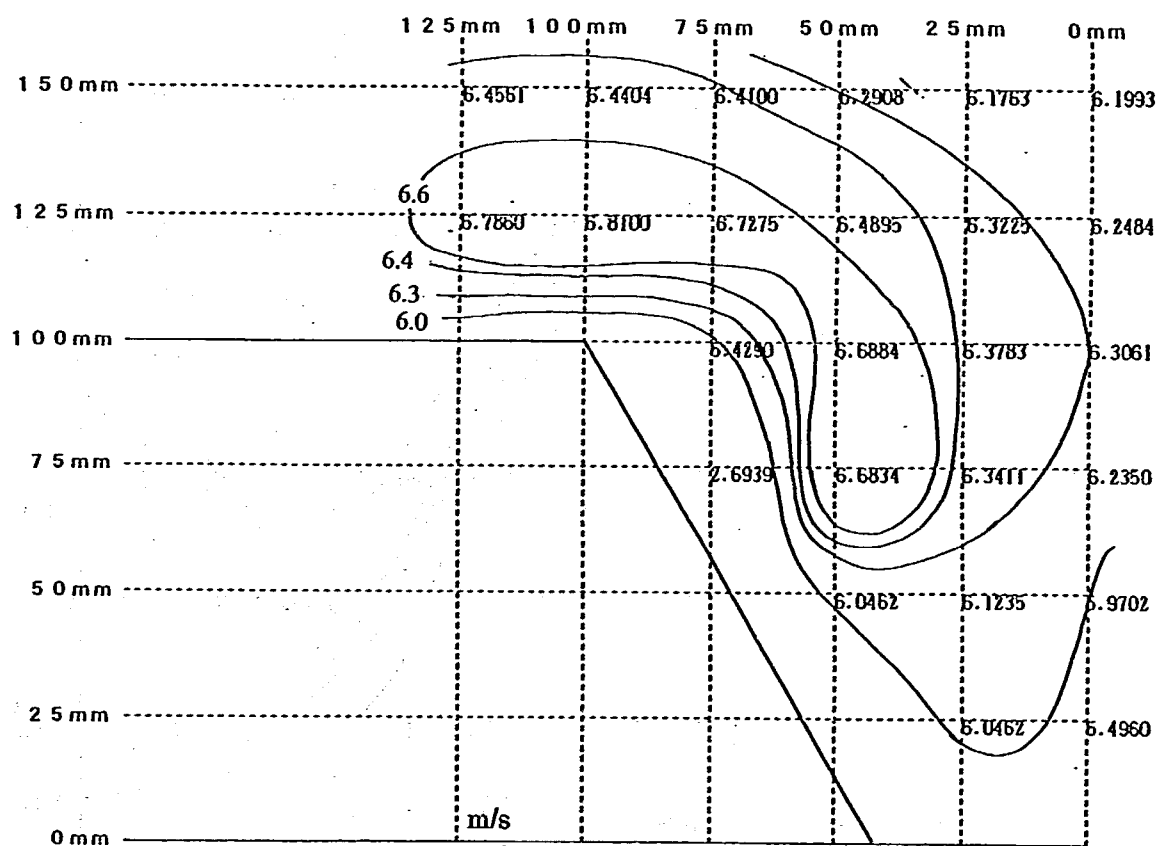


(b) III断面

图-3.4.26 主流方向平均风速 CASE6

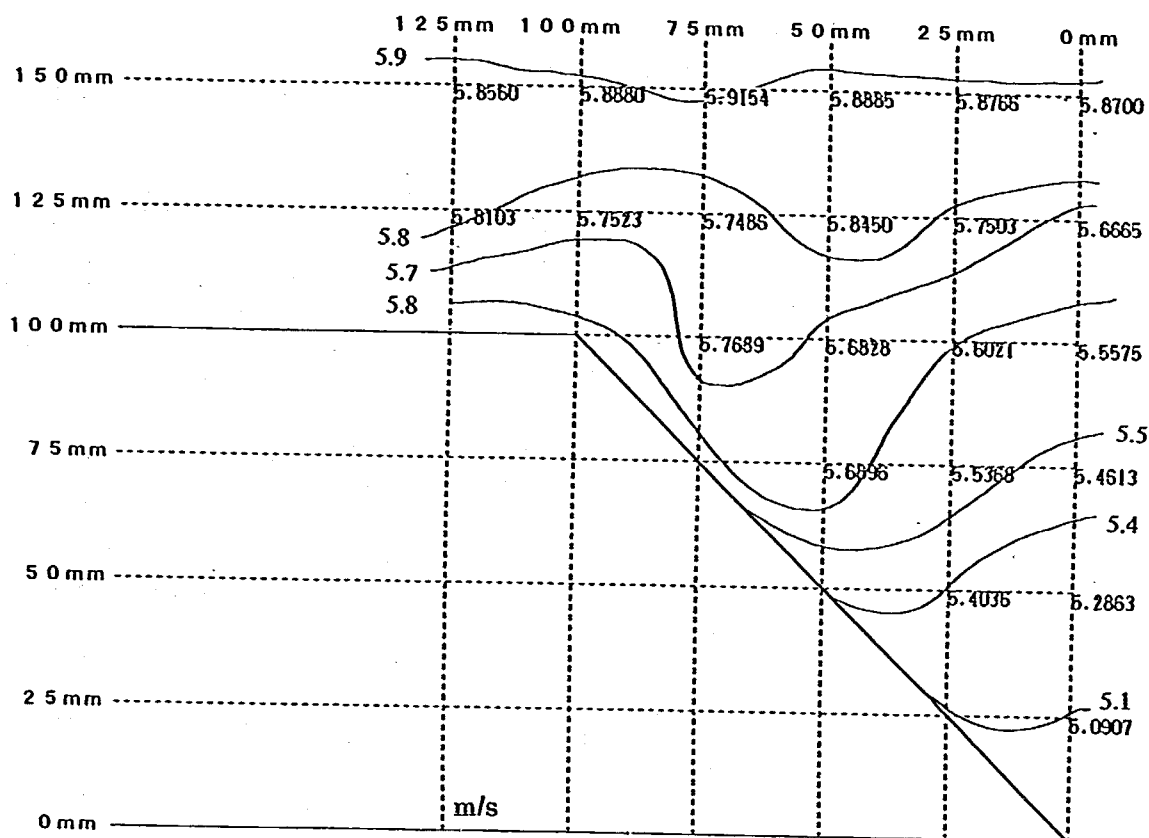


(a) II断面

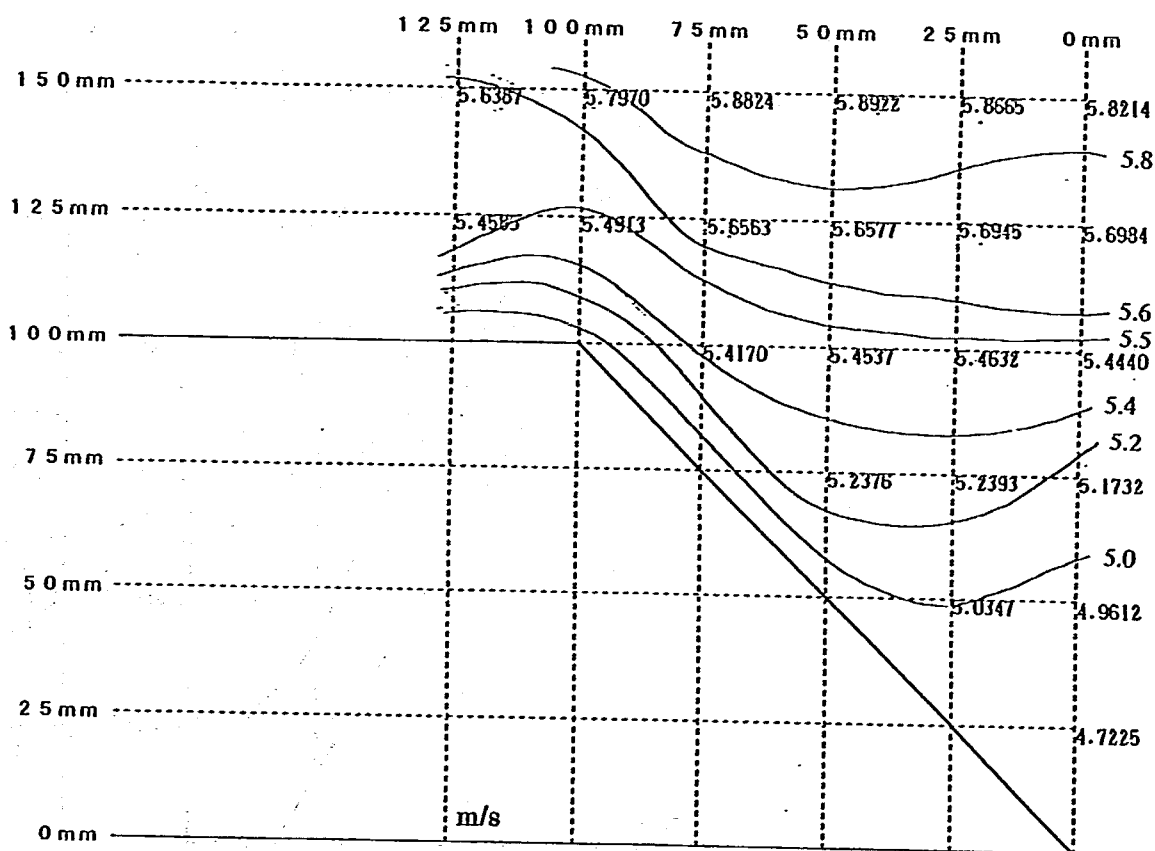


(b) III断面

图-3.4.27 主流方向平均风速 CASE7

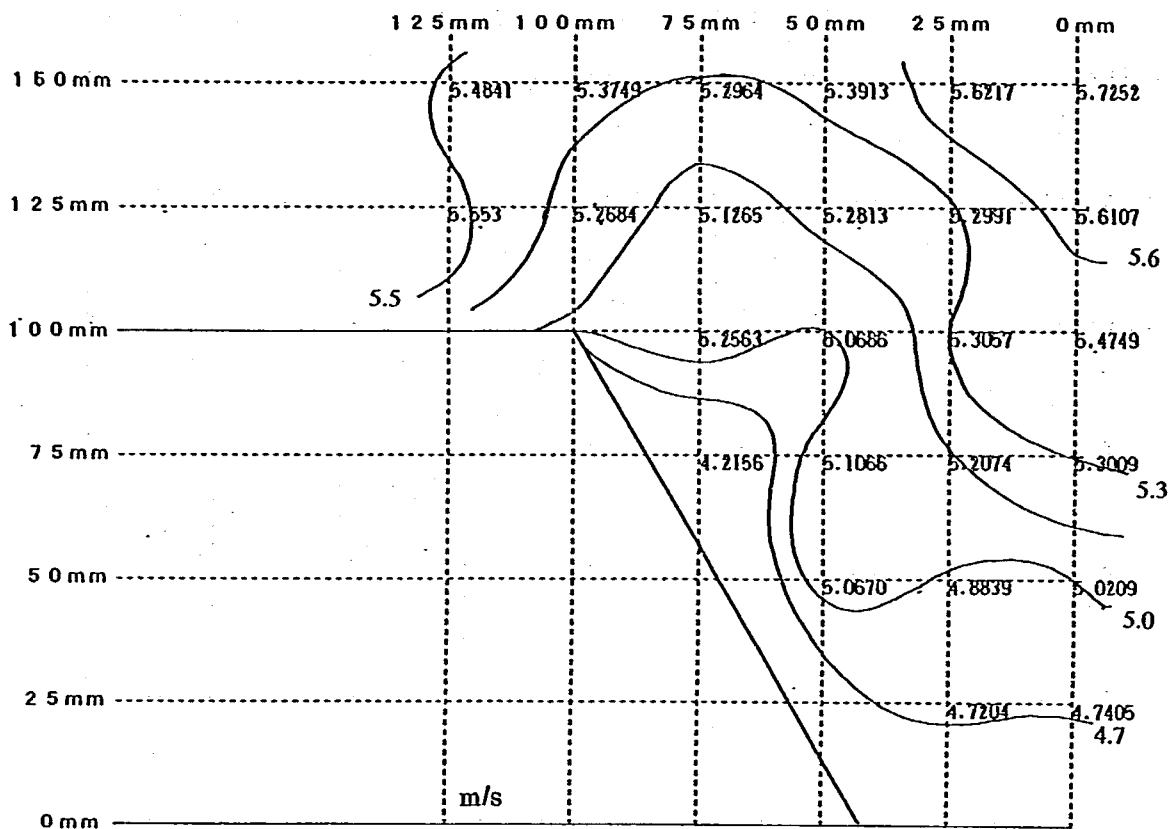


(a) II断面

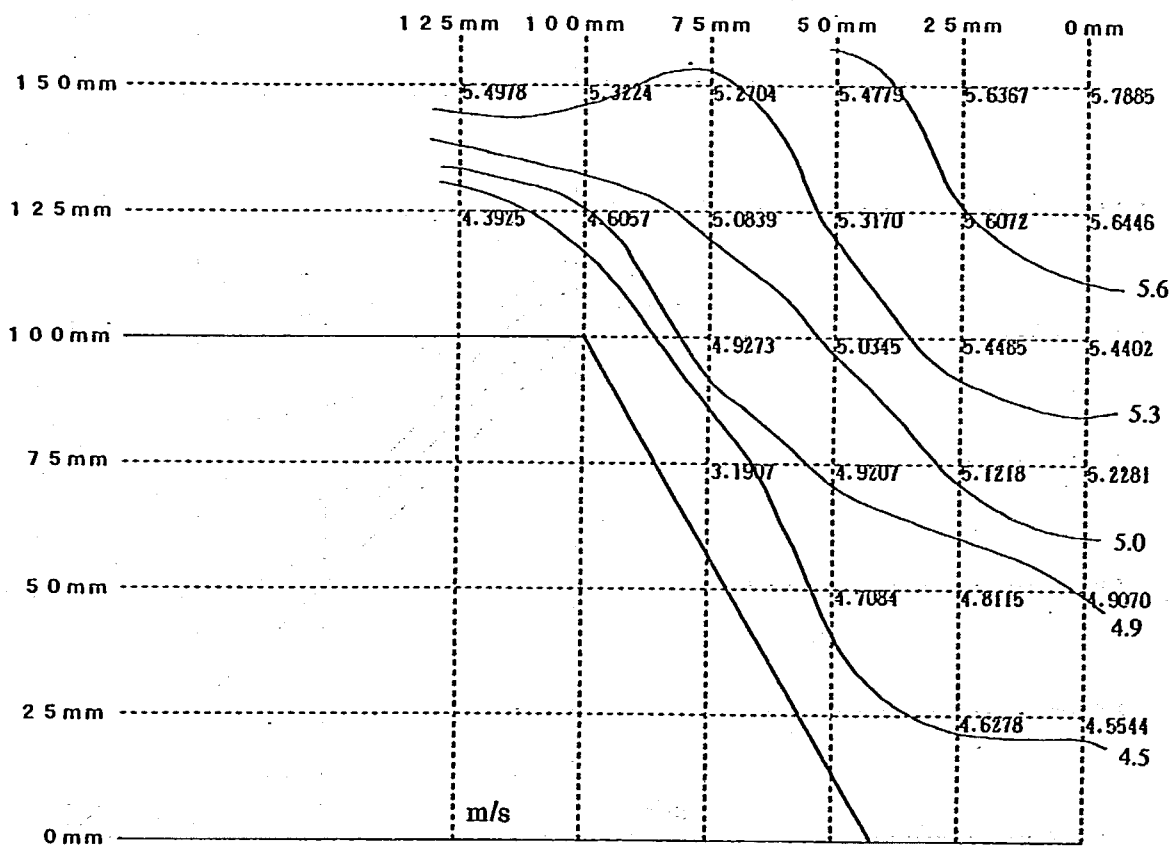


(b) III断面

图-3.4.29 主流方向平均风速 CASE9



(a) II断面



(b) III断面

图-3.4.30 主流方向平均风速 CASE10

4. まとめ

強風が吹き抜けるような地形での風況を予測するために、現在最も一般的に行われている、地形模型風洞実験を実施した。その際、模型化の範囲、地形模型の表面粗度、模型の縮尺、接近流等の影響を検討した。その結果、全体的な風況特性に対しては試験条件の影響は少ないことが明らかとなった。しかしながら、縮尺が小さい場合、および地表面粗度を考慮していない場合には、地表面付近の局所的な風況を再現できない場合があり注意を要する。

また、谷、扇状地における風況を系統的に把握するために、単純化した地形モデルの地形模型を用いて風洞実験を実施し、谷の角度、幅が風況に与える影響を調査した。その結果、谷状地形における風況は、谷の入り口における剥離、接近流の収束によって段丘の傾斜部より下流の平坦部において接近流に対する風速比が最大となり、谷に沿って流下するにつれて風速が減衰した。増速の比率は傾斜角、谷の幅、接近流によって左右され、場合によっては接近流の1.3倍程度まで増速し、谷の横断面での速度分布は、谷の中央断面ではなくその両側に最も強い増速域が存在することが明らかとなった。

今回の検討では、谷地形の風況について検討を行ったが、局地風が吹くその他の地形条件についても、風況特性を明らかにする必要がある。また近年、数値流体解析手法の技術が飛躍的に発展しており、数値流体解析を用いた風況推定手法を開発すれば、地形模型風洞試験よりも簡便に、また経済的に局地風の推定が可能になると思われる。