

鳴門海峡に関する地形模型風洞実験  
成 果 報 告 書

(昭和47年度本州四国連絡橋公団委託研究)

昭 和 4 8 年 3 月

京都大学防災研究所耐風構造部門

## 目 次

1. 緒言 .....	1
2. 基本的問題点 .....	1
3. 実験の方法 .....	2
4. 風洞実験の結果 .....	3
5. 風洞実験結果と実測値との対比 .....	5
6. 鳴門海峡における設計用風速の推算 .....	5
7. 結果の要約 .....	6
参考文献 .....	7

## 1. 緒言

鳴門海峡架橋通過予定地点附近の強風時における風向風速および風の傾角の分布を地形模型風洞実験によって求め、さらにその結果を過去の風の実測の結果と対比して、設計用風速決定の基礎資料を得ることが本研究の目的である。風洞実験は京都大学防災研究所の風洞を用いて行い、その結果を過去に関西電力あるいは本四公団によって行われた実測の結果と対比して鳴門海峡における強風の特徴を検討し、設計用風速を得るための方策についても考察を試みた。以下に昭和47年度に得られた成果を報告する。なお、結果の要約は第7章にまとめられている。そこにも示されているとおり、半島上における風の分布について風洞実験の結果と実測との間に若干の差が認められ、さらに詳細な模型による検討を必要とすることがわかった。それらの点については数値実験と共に今後の問題として残されている。

なお、本研究の担当者は次のとおりである。

京都大学防災研究所耐風構造部門

教授	石崎	潑雄
助教授	光田	寧
○助手	森	征洋
〃	藤谷	徳之助
技官	羽野	淳介
〃	杉政	和光
研修員	加藤	晶子

(○本報告執筆者)

## 2. 基本的問題点

### 2.1 実験結果の応用

過去の実測によって鳴門海峡においては非常に強い風が吹くことが知られている。これは鳴門海峡附近の地形の影響によって生じる局地的なものであり、その影響を定量的に決定する手段として風洞実験が選ばれたのである。これ以外に直接的測定あるいは数値実験による方法も考えられるが、前者の実行には困難が多く、全ての位置で行うことが不可能であり、後者については現在のところその計算方法が確立しているとは言い難い。風洞実験によって海峡周辺の平均風速の分布が推定出来れば、これと過去の実測値の存在する点での風速の特性と対比して見て両者に一致が見られたならば、今度は海峡内の風速の期待値をさらに他の気象学的考察から求め、それに基づいて大鳴門橋通過鉛直断面内での風の分布を求めることができる。

また大鳴門橋は吊橋であり、風の上下方向の傾角が水平でないことは振動等の問題の生じる原因となる。海峡上の橋の通過する位置においてこれを実測することは不可能に近いので、これを推定するためにも風洞実験が利用される。

### 2.2 風洞実験の課題

前節に述べたような目的に応用するために風洞実験においては次のような測定を行う必要がある。

- 鳴門海峡周辺における定高度面および地表附近の風向風速の分布
- 主として門崎および孫崎の稜線上に分布している過去の実測のある点での風向風速の値
- 大鳴門橋通過鉛直面内での風向風速の分布
- 同上での風の傾角の分布

### 2.3 風洞実験上の問題点

風洞中において地形上の風の分布を模型を用いて実験するに当っては自然の流れと風洞中の流れとが物理的に相似になっていることが最も基本的な条件である。しかしこの問題について一般的な考え方は確立していない。

スケールの異った2つの流れが相似になるためにはa) 幾何学的相似、b) 力学的相似およびc) 熱力学的相似が成り立っていることが必要である。これらのうちa) の条件については模型の作り方等によって具体化でき、またc) の条件については風が強いきのみを考えるならば大気の熱的成層は中立であると考えるなら大過ないからまず問題にならない。

しかしb)の条件については定まった考え方が確立されておらず議論の分かれるところである。これは風の乱れの性質の相似の考え方に問題があるわけであるが、最近の考えでは自然界の乱れの性質と模型上の乱れの性質が相似であるためには、主にTurbulent Reynolds 数を一致させればよいとの考えが支配的である。根本(1)は乱れが充分発達している場合の模型上の風速の関係式として

$$\frac{U_{\infty M}}{U_{\infty N}} = \left( \frac{L_M}{L_N} \right)^{\frac{1}{3}}$$

という式を導いた。ここでU、Lはそれぞれ風速および代表的長さであり、添字M、Nはそれぞれ模型上および自然界での値を示す。

風速が大きくなりReynolds 数がある程度の値より大きくなれば流れの性質はReynolds 数に依存しなくなるから、強風時の実験を行うためには風洞中で流れの性質が風速に依存しなくなる限界以上の風速を用いれば、風速にはそれほど注意を払う必要はないことになる。

### 3. 実験の方法

#### 3.1 風洞

実験に用いた風洞は京都大学防災研究所のゲッチンゲン型風洞で、その測定部断面は直径約1mで、風速は約0.5m/sより約50m/sまで変化させることができる。模型の支持は測定部の上より $\frac{2}{3}$ 程の位置に地面板を置いて行い、また地面板上で境界層中の風速分布を作った。実際に用いた風洞風速は5m/sが主であり、風速による流れの性質の違いを見らるために2m/sおよび15m/sを用いた場合もある。

#### 3.2 地形模型

風の分布を調べる範囲は鳴門海峡の最狭部の周辺で実測の行われたことのある範囲を含むようにすることが望まれる。そのためには約10kmの範囲を模型化することが必要となるが、それでは縮率が $\frac{1}{10,000}$ 以上となり、海峡部大鳴門橋の附近の様子を調べるのが困難になる。従ってここでは第1図に示すような範囲を含む $\frac{1}{4,000}$ と $\frac{1}{12,000}$ の2種類の縮率の模型を製作し使用することにした。

しかし後に述べるように境界層の風速分布を自然界と一致させるためにそれを任意に変えることは比較的困難であるから、技術的な面から境界層の高さを同じにして実験を行うことにした。そのため高さ方向の縮率はいづれも $\frac{1}{4,000}$ とした。従って広範囲模型では高さ方向に3倍に拡大された模型を用いることになった。

模型の表面は海面部がプラスチック塗料による滑面仕上げ、陸地面上は約1mmφのオガクズを塗料で固めて塗りつけた粗面仕上げとなっている。

使用した模型は第2～4図に示すとおりである。ここで第2図に示したものは障害物のない海面上での境界層の測定を行うためのものである。また模型上の測定は風向にかかわらず地形上に固定することとし、 $\frac{1}{4,000}$ 模型については第5図に示すとおりである。

#### 3.3 風速の測定

風速の測定は定温度型熱線風速計(直径5μタングステン線)を用い、風速測定時には第6図左に示したようなI型プローブ(長さ3mm)を水平にして用い、風の傾角の測定に際しては特殊X型プローブ(同図右)を用いた。これらのプローブは第3、4図に示すように測定部の上から3軸移動装置によって測定位置に下された。

電気回路は第7図中央に示すようなもの(日本科学工業K.K製)で2台を1組として用いた。風の傾角計算を容易にするために、これらの熱線風速計は直線化回路を併用している。そのため風速と出力との関係は第8図に示すように直線的なものが作られる。さらにこの出力は第7図右に示すデータロガー(江藤電気K.K製)で数値化し、一定時間の平均値を記録するようにし、さらに必要な情報に換算するためにはミニコン(NOVA-OI)を用いてデータ処理の省力化を計った。さらにこの熱線風速計には風速変動のRMS値も同時に測定できる回路も組み込まれているので、この値もデータロガーに打ち出すようにしている。

模型上の風速分布を測定する際には1つの熱線を移動させ、他の1つは風洞風速の監視制御用に用いた。(風洞風速の

制御範囲5%以内)。

風向の測定にはお茶の水女子大学坂上教授の用いているタンポポの種子を用いた吹き流しを用い、これを写真に撮って読み取った。その1例は第12図に示すとおりである。

風の傾角を測定するためのX型プローブの検定結果の1例は第9図に示すとおりである。2つの熱線風速計の出力の比から風の傾角を知ることができる。

### 3.4 風速分布

先きにも述べたとおり、この風洞実験においては充分大きなTurbulent Reynolds数の領域で実験を行うことを目的としているので風速に対しては実験結果はそれほど支配されないことになる。そこで流れの幾何学的相似を成立させることに重点がおかれた。ここでは平板海面模型上(第2図)における風速の高さ方向の分布と乱れの強さが自然界と一致するように調整した。

Roll(2)によれば海面上の境界層の厚さは300m程度であり、Davenport(3)などの主張によれば境界層内の風速分布は指数分布を仮定するとその指数が0.1程度と言われている。また乱れの強さについては充分な資料が無いが、塩谷(4)の里浦の高さ40mでの測定結果を見ると10%ぐらいである。これらの値が相似の目標である。スペクトルの形の相似を考える研究者もいるが、ここでは風洞の性質などからenergy peakの領域で顕著な山を示すような形の乱れを作ることが困難であったので考慮しないことにした。

上述の条件を満たすために海面模型の風上側に地面板をのばし、さらにその先端にアングル(1辺1cm)のturbulent generatorを置いて乱れを与え、さらに地面板を傾けて測定予定領域内の全ての点で同じ風速分布を示し、しかもそれが上の条件を満足するようになるまで $\text{trial and error}$ で調整を行った。その結果は第10図および第11図に示すとおりである。風速は全て風洞風速を基準とした相対値(%)で与えてあるが、境界層の厚さは約80mmで高さ方向の模型の縮率は $1/4,000$ であるから現地高で約300mとなる。また地表面附近の乱れの強さは10%、風速分布の指数はほぼ $1/10$ で条件をほぼ満足している。しかも模型上の場所による風速の差も5%以下である。なおこれらの条件は風洞風速 $5\text{ m/s}$ に対して調整されたものであるため、風洞風速を変えるとそのままでは多少の差が生じる。その様子は第1表に示すとおりである。ここでは他の風速の場合にもこのまま用い、調整をやりなおすことはしなかった。

### 3.5 実験条件

実験には先きにも述べたとおり風洞風速 $5\text{ m/s}$ を主として用いた。これは実験がこの付近で容易であることによるが、根本の式を用いればこの風速は $1/4,000$ 模型の場合はほぼ $80\text{ m/s}$ の上空風速に対応する。さらに風向SSEの場合については流れの分布の風速による差を調べるために風洞風速 $2\text{ m/s}$ および $1.5\text{ m/s}$ の場合についても行った。

実験は $1/4,000$ 模型を中心に橋軸に対して8つの方向から風が当たる場合について行い、 $1/12,000$ 模型では2つの風向について海峡の広域の風速分布を調べることを行った。実験の内容は第2表に示すとおりである。

風速はすべて風洞風速(上空風速)に対する比(%)で示し、第5図に示した点で測定を行った。風向は写真(第12図はその1例)から平均の方向を読み取った。

## 4. 風洞実験の結果

風洞実験の結果は第2表に示すとおり、各風向毎に地表面上5mm(現地高20m、陸地上では相対高度)での地表風の風向風速分布、海拔高10mm面(現地海拔高40m)の風向風速分布、大鳴門橋通過鉛直面内の風速分布、門崎および孫崎の稜線上での風速分布および風の傾角の分布の図が作られた。それらは第13図より第57図までに示すとおりである。以下にその特徴について簡単に説明する。これらの図で風速は先きにも述べたとおり風洞風速に対する相対値(%)で示されており、その下に( )の内に示した数値は乱れの強さを示す。

### 4.1 風速分布

#### 4.1.1 $1/4,000$ 模型による結果

##### 4.1.1.1 風向SSEの場合(直角)

この場合は橋に直角に風が吹き、しかも太平洋から吹き込む風であり、実験で最も風が強かった場合である。風洞風速

5  $m/s$  の場合の結果は第 13～16 図に示すとおりであり、参考のために行った風洞風速 2  $m/s$  の場合は第 17～20 図、同じく 15  $m/s$  の場合は第 21～24 図に示すとおりである。

風洞風速による風速分布の違いは風洞風速の差による風速の高さ方向の分布の違いが調整されていないため、一概に比較することは困難であるが、これを考慮に入れば風速の水平分布すなわち地形による変形の様子には大きな差は見られない。

風洞風速 5  $m/s$  の場合について見ると門崎および孫崎の稜線上および先端付近では風が強くなり、岬の風下側では風が弱くなっているが、海峡中央部ではそれほど増強されていない。大鳴門橋通過予定面は稜線とは少しずれているので風速の変化はそれほど大きくない（第 15 図）。稜線上での風速分布（第 16 図）は低高度での風速が相対的に大きく、風速の高さ方向の変化は小さい。実測は主に地表面上 5～10 m の高さで行われており、第 13 図に○で示された位置である。しかし風洞実験では測定技術上の問題からそのように低い所の風速を測定することができないので、実測の高度より高い所に相当する風速の分布と対比せざるを得なかった。また送電線鉄塔上でも実測が行われているが、その位置での風速分布は第 16 図に示されている。

#### 4.1.1.2 風向 NNW の場合（直角）

この風向は前の場合とは正反対の方向から風が吹く場合に相当し、この場合も風は橋に直角に吹いている。結果は第 25～28 図に示すとおりである。結果は SSE の場合と同じ傾向を示している。ただこの場合は橋が岬の風下側になるので岬の近くの部分では風が弱くなっている。

#### 4.1.1.3 風向 ENE の場合（平行）

風が橋に平行に淡路側から海峡を横断して吹く場合である。この結果は第 29 図～32 図に示すとおりである。これらの図からも明らかとなり海峡部の狭い部分では平らな海面上での風速よりも弱くなっている、海峡の地形による増強は生じていないと考えるべきであろう。

#### 4.1.1.4 風向 WSW の場合（平行）

前の場合と風向が逆でやはり橋に平行に吹いている場合である。この結果は第 33～36 図に示すとおりである。風速の地形による増強が海峡部で見られないのは ENE の場合と同様であるが、風上に当たるため四国側での風の弱まりは著しく、橋の上の四国側と淡路側との風速の差が大きい。

#### 4.1.1.5 風向 ESE, SSW, WNW, NNE の場合（斜め 45°）

橋に対して斜め 45° の方向から吹く場合の風速分布は第 37～40 図に示すとおりである。全体としては地形の影響は少なく、岬の風下に入る部分では風が弱くなっている。

### 4.1.2 $1/12,000$ 模型による結果

#### 4.1.2.1 風向 SSE の場合

先きの模型より水平縮率が 3 倍異なった模型であり、水平と鉛直の縮率比が 1 : 3 になっている点で特色的である。第 41, 42 図は広域の分布図であり、第 43～46 図は各々第 13～16 図に対応するものである。両者を比較してみてもわかることは海峡部の低高度で淡路側において  $1/12,000$  模型の場合の方が  $1/4,000$  模型の場合よりも風速の値が多少大きくなっているのが見られる。また岬の風下側での風の弱まりもまた  $1/12,000$  模型の方が著しい。このことは広範囲な地形の影響が入ったことと水平対鉛直の縮率化が 1 : 3 になったことによる影響であると考えられるが、どちらが有効に作用しているかはこの実験からは決定できない。しかし大鳴門橋断面においては両者の差は 5% 以下であり有意な差であると考えする必要はなさそうである。

#### 4.1.2.2 風向 NNW の場合

上の場合と正反対の風向から風が吹く場合であり、その結果は第 47～52 図に示すとおりである。結果は上の場合のような特徴はあるが、 $1/4,000$  模型の場合と大差ない。

### 4.2 風の傾角の実験結果

第 2 表にも示したとおり、風の傾角は  $1/4,000$  模型で風向が SSE と NNW の 2 つの場合のみについて行った。その結果は第 53～57 図に示すとおりである。図には平均の傾角が吹き上げの場合を正として示してある。大鳴門橋の通過

予定断面においては風向がいずれの場合も四国側の裸島の上で $2^{\circ}$ 以上の大きな値が見られるだけで他ではほとんど測定誤差と思える程度の値しか得られていない。すなわち海峡中央部では流れは水平であると考えてよさそうである。もっとも稜線上での値について見ると $10^{\circ}$ 以上の大きな値が見られる。従って稜線上のたとえば送電鉄塔位置で得られた値と橋の通過予定線上での値には大きな差があるのがわかる。また風の傾角は下の地形によって高い所まで影響を受けているのがわかる。

## 5. 風洞実験結果と実測値との対比

この鳴門海峡においては横断送電線の設計に関連してかなり詳細な風の調査が行われている。その結果の1部は光田(5)によって報告されているが、その時の結果と今回の風洞実験の結果とを対比してみることはこの実験の信頼性を向上させるのに役立つ。ただ実測の風速分布は主に稜線上において高さ $5\sim 10\text{ m}$ 程度の測風柱を用いて行われているので、今回測定した表面上 $5\text{ mm}$ (現地高 $20\text{ m}$ )では対比が困難である。そこで実測の行われた点(地図上には $0$ で示されている)の上だけにおいては特に高さ $3\text{ mm}$ (現地高 $12\text{ m}$ )での測定を行ってみた。その結果は第3表に示すとおりである。

実測時には上空風速に相当するものの測定が無いので、海峡入口部に基準点を設け、そこでの風速に対する相対比を求めている。風向SSEの場合の基準点は里浦であり、縮率 $1/12,000$ 模型によってその点での風速は $70\%$ である。これに基づいて風洞実験によって得られた $3\text{ mm}$ 高(現地上 $12\text{ m}$ )の相対比を求めてみると、第3表中ほどに示したとおりとなり、同表右端および第5.8図に示した実測値とは定性的には一致してもその風速比は風洞実験の場合の方がずっと小さく出ていることがわかる。実測では2倍近い増強が鳥居で見られるにもかかわらず風洞実験で得られた値は $1.2$ に過ぎない。その差は無視できないぐらい大きい、それがなぜ生じたかについては明らかでない。

一方送電線完成後送電鉄塔においても観測が行われている。この際には大気安定度の測定も行われており、その結果の要約〔光田(5)〕は第5.9図に示すとおりである。この測定は淡路側の鉄塔で行われたものであり、今回の測定と比較することができる。実測では風速が強くなると気温勾配にかかわらず一定の風速分布になり、地上 $40\text{ m}$ 以上の風速差が非常に小さくなっている。今回の実験は風速の大きな場合と対応しているから、この風の強い場合と比較すると同様のことが見られ、送電線位置に対応する場所での風速の高さ方向の分布は低い所で風が急に強くなり、上部まで差のない形になっている。この点では実測と風洞実験とがよく一致している。

以上2つの対比を考えて見ると、地面に極く近い所では風洞実験は実測値とあまり一致しないが、地面から離れた所での様相はよく一致しているとみることができそうである。従って低高度の不一致の原因さえはつきりすれば、橋のように地表面から離れた所に作られるものを考える上においては風洞実験の結果は実測を比較的忠実に再現しているようである。

上に述べた不一致を調べるためにはさらに縮率の小さい模型で実験を行って見る必要がある。

## 6. 鳴門海峡における設計用風速の推算

上に述べたように地面に近い所を除けば風洞実験は実際の風の分布をかなりの精度で再現していると考えて良さそうであるから、これを用いて設計の参考にすべき平均風速の分布を算定することができる。そのためにはこの上空風速(風洞風速)に対比されるべき風速の大きさを決定することができればよいことになる。このような仕方は先きの瀬戸内海気象海象調査委員会の報告にも示されている考えとも一致するものである。

同報告には地衡風と鳴門送電鉄塔高さ約 $70\text{ m}$ (地上高)での実測風速の比が示されており、その値は平均して $0.96$ である。今回の実験で同じ位置での風速は風洞風速の $93\%$ であった。両者は比較的よく一致しているので気象学的に上空風(friction free wind)を推定することができれば、あとはこの実験の結果から海峡内の風速分布が求められることになる。

この海峡附近での上空風を直接代表するものとしては那賀川での $150\text{ m}$ の高さの測定値があるが、これについてはその風速の大きさについての調査が充分行われていないので直接利用できない。しかし海峡で最も風が強くなるSSEの風の場合について、那賀川の最大風速と徳島地方気象台の最大風速とを対比してみると

年	那賀川150 m	徳 島	比
昭和39年	44.1 m/s	29.8 m/s	1.56
" 41 "	25.2	18.0	1.40

となりほぼ1.5倍になる。徳島地方気象台での100年の再現期待風速は41 m/sでまずSSEで生じると考えても良いから、この比を用いると、鳴門海峡入口附近の高さ150 m程度での100年期待風速は約60 m/sと考えられることになる。そしてこれは模型実験の85~90%の風速に相当するから、上空風速の最大値は70 m/s程度と推定できる。もっともこれは十分な資料によったものではないから信頼することはできないがこのような手法が考えられる。

また過去の台風の統計〔光田(6)〕からみると四国に20年に1度ぐらいの割合で上陸する台風の中心気圧は約940 mbである。(四国に上陸した台風がこの場所に近づく確率は実際は1/5よりはずっと小さいが、ここでは1/5として20年の再現期待値を取ることが望ましい。) 台風中心の気圧降下が65 mbとすると、上空での最大風速は気圧分布の推定方法にもよるが、計算が可能である。

このように台風に対する最大風速が求められればこれからも上空風速を推定できることになる。

上に述べたような手法によって最大風速を推定すれば、これをこの実験で求められた風速比に乗ずることによって風速分布が求められることになる。このような方策に従って決定するためにはさらに気象学的な検討を必要とする。

## 7. 結果の要約

鳴門海峡附近の地形模型実験を行ってみた結果、各風向別の大鳴門橋通過予定面内での風速の分布を得た。その対応は次のとおりである。

風 向	断面図番号
SSE (直 角)	第15図
NNW ( " )	第27図
ESE (平 行)	第31図
WSW ( " )	第35図
ESE (斜め45°)	第37図
SSW ( " )	第38図
WNW ( " )	第39図
NNE ( " )	第40図

これらの実験の結果は上空風速に対する各点での平均風速の比を百分率で示すものであって、( )内に示された数値は乱れの強さを示している。

この実験の結果を過去の実測の結果と対比してみたところ、地表面近くでの風速は風洞実験の方が小さく出ており、実測で得られたほど強くない。しかし比較的高い所での風速分布は実測と風洞実験は一致しており、地表面近くを除いては風洞実験の結果を応用してよさそうである。この低高度での差異についてはさらに詳細な実験を行って確かめる必要がある。

実験の結果によれば過去に岬上での実測値から推定されていたほど海峡上での風の増強は大きくなさそうである。

上空風速を第6章で示した手法で決定することができれば、この結果から風速分布を計算することが可能である。

風の傾角は大鳴門橋通過予定線上では四国側着岸地点および裸島の上空で数度の値を取るが、それ以外の部分では平均的に零であるとみてもよい(第53, 56図参照)。



## 参 考 文 献

- (1) 根 本 茂, 1963 : 自然風を対象とした風洞模型実験の相似則. 航空学会誌, 第11巻, 第16号, PP272-278  
\* 1968 : Similarity between natural local wind in the atmosphere and model wind in a wind tunnel. Papers in Meteorology and Geophysics. Vol. 19, No. 2, PP131-230
- (2) Roll, H. U, 1965 : Physics of the marine atmosphere. Academic Press, New York, P193
- (3) Davenport, A.G, 1967 : Wind effects on buildings and structures, Proceedings, Vol.1, University of Toronto Press, P74
- (4) 塩 谷 正 雄, 1969 : 暴風時における突風の構造, 中間報告その4, P38
- (5) Mistuta, Y, 1971 : Characteristics of airflow over the barriers in the storm, Wind Effects on Buildings and Structures, International Wind Conference, Tokyo 1971.
- (6) 光 田 寧, 1965 : 標準計画台風について(I), 京大防災研究所年報, 第8号, PP605-612

第 1 表 海面模型（平板）上における風速 Profile。

風速は風洞風速に対する比（%）で示し、乱れの強さは（ ）内に示してある。

風 洞 風 速			
高 度	2 m/s	5 m/s	15 m/s
5 mm	65	74 (0.11)	79 (0.11)
10	73	76 (0.10)	82 (0.10)
20	80	84 (0.09)	86 (0.09)
30	86	90 (0.08)	90 (0.09)
40	92	93 (0.07)	95 (0.08)
50	95	95 (0.05)	
60	96	98 (0.03)	102 (0.05)
70	99	99	
80	99	99	
90	99	99	
100	99	99	100

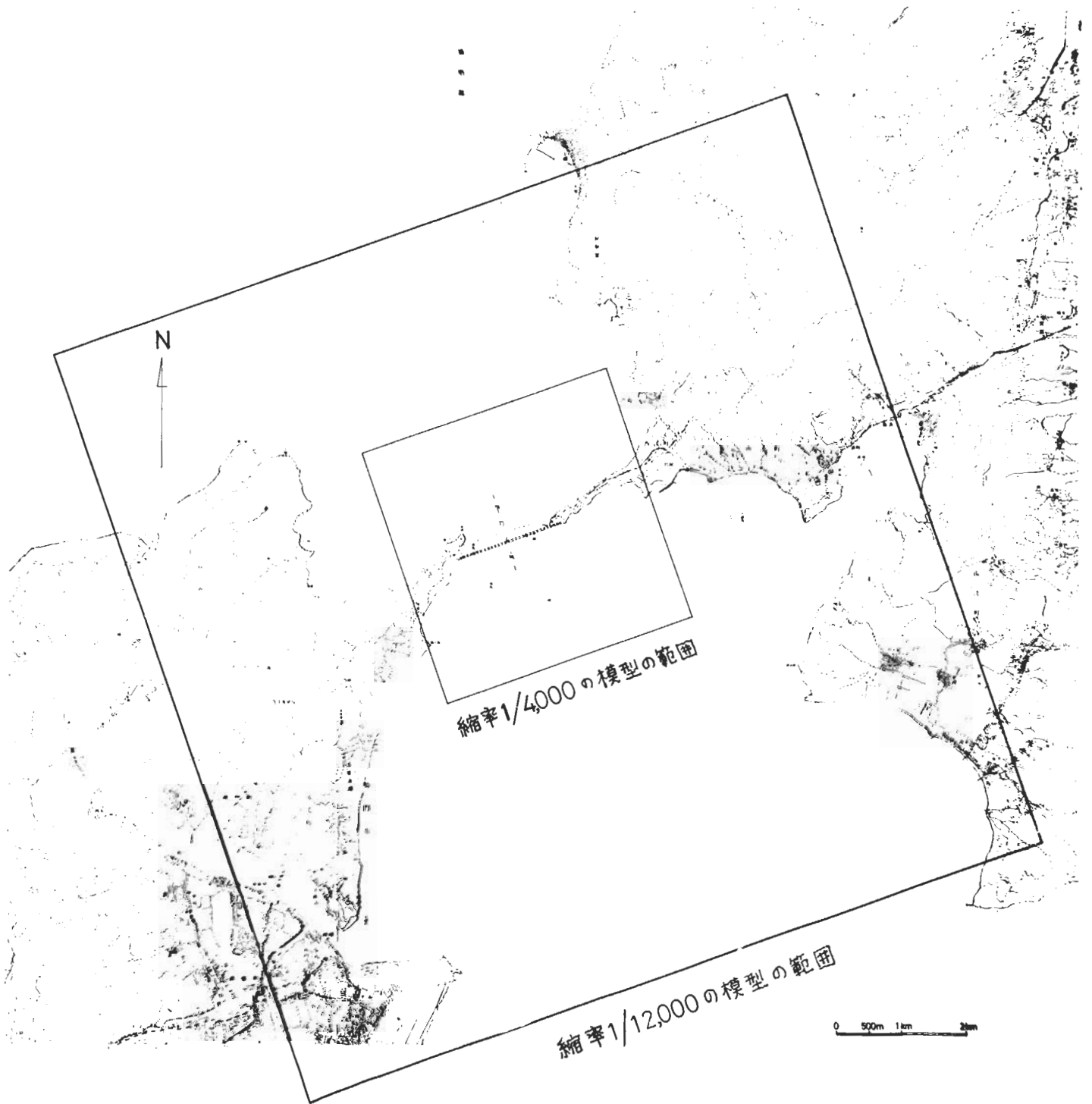
第 2 表 実験内容一覽表。

	風洞の風向		風洞の風速	測定項目				鉛直方向の風の傾角
	橋に対して	方向		地(梅)面上5 <sup>mm</sup> (現地上20m)の高さ の風速風向分布	海面上10 <sup>mm</sup> (現地上40m)の高さ の風速風向分布	橋の通過予定面の Profile 模型上5 <sup>mm</sup> ~60 <sup>mm</sup> (現地上20m~240m)	半島上の風速 Profile	
1/4,000 の 模型	直 角	SSE	2 m/s	○	○	○	○	○
			5 m/s	○	○	○	○	○
			15 m/s	○	○	○	○	×
	平 行	NNW	5 m/s	○	○	○	○	○
			5 m/s	○	○	○	○ (2箇所のみ)	×
			5 m/s	○	○	○	○ (2箇所のみ)	×
	45°	SSE	5 m/s	×	×	○	×	×
			5 m/s	×	×	○	×	×
			5 m/s	×	×	○	×	×
			5 m/s	×	×	○	×	×
直 角	SSE	5 m/s	○	○	○	○	×	
		5 m/s	○	○	○	○	×	
		5 m/s	○	○	○	○	×	

第 3 表 風向 S S E の場合の風洞実験と実測との対比。

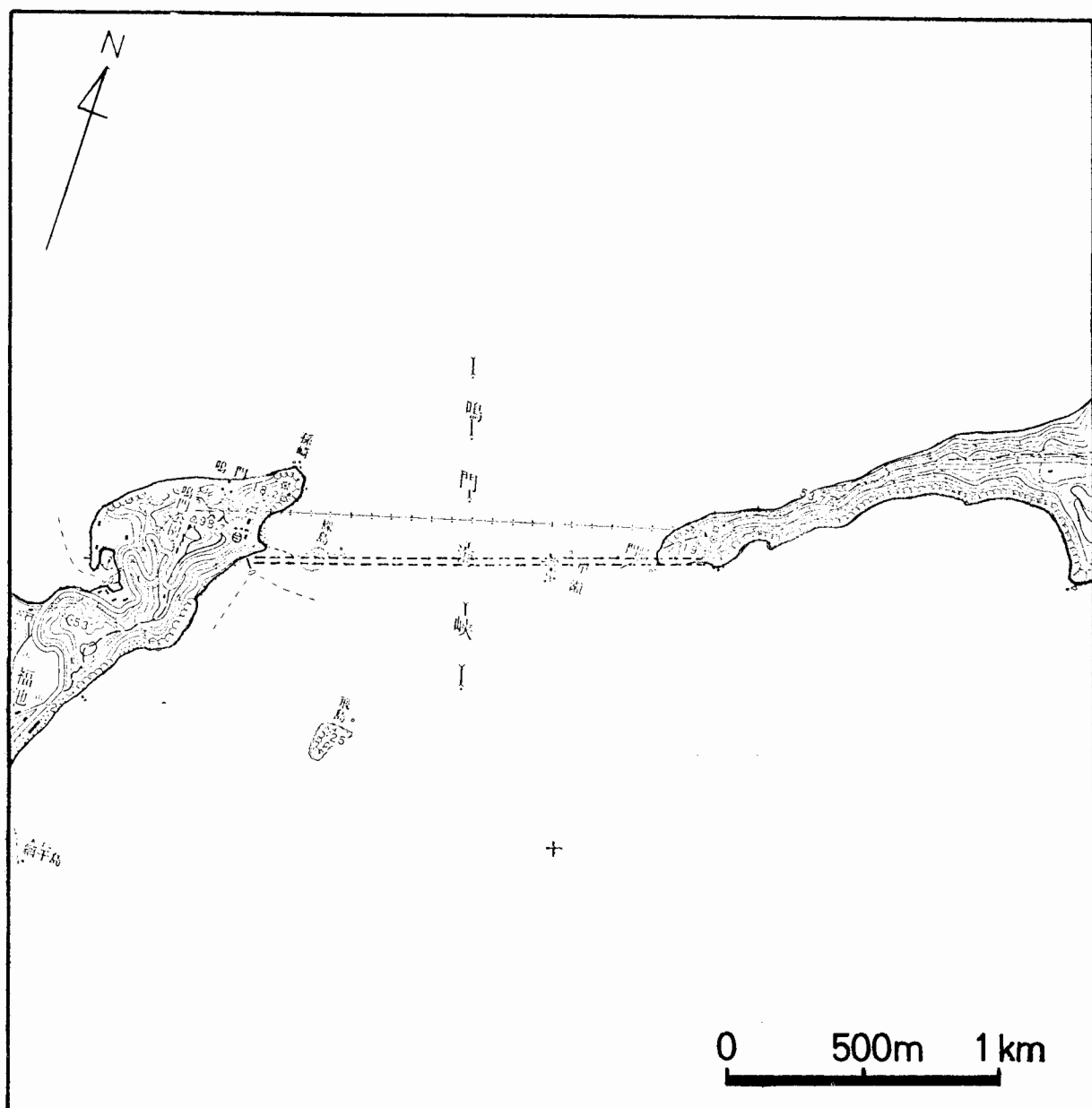
地 点 名	高さ	風洞実験による 風速 (%)	風洞実験による 相対比	実測による 相対比
里 浦	3 mm	70※	1.00	1.0
	5 mm	71※		
つ つ じ 丘	3 mm	77	1.10	1.1
	5 mm	87		
灯 台	3 mm	77	1.10	1.8
	5 mm	81		
飛 島	3 mm	83	1.19	1.15
	5 mm	82		
裸 島	3 mm	75	1.07	1.6
	5 mm	81		
鳥 居 (上)	3 mm	89	1.27	2.1
	5 mm	89		
や ぐ ら	3 mm	91	1.30	1.7
	5 mm	92		
駐 車 場	3 mm	80	1.14	1.8
	5 mm	80		
ガ レ	3 mm	84	1.20	2.05
	5 mm	88		
笹 山	3 mm	80※	1.14	1.8
	5 mm	75※		

※ <sup>1</sup>/<sub>12,000</sub> 模型による

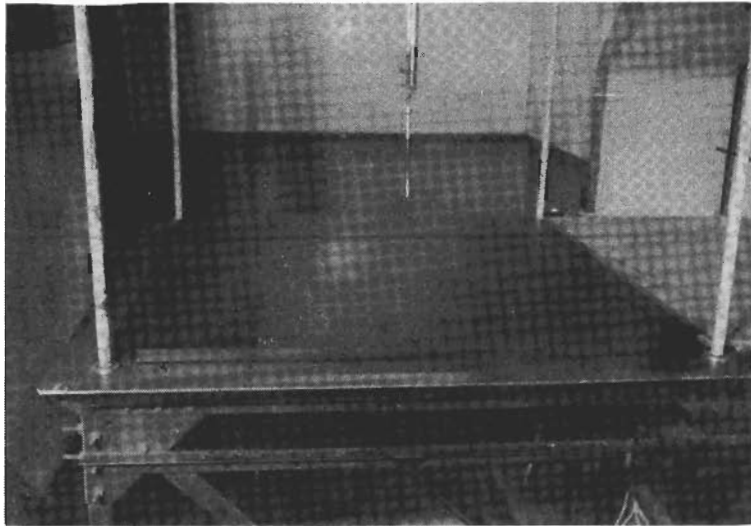


第1図 (a) 鳴門海峡周辺の地形図

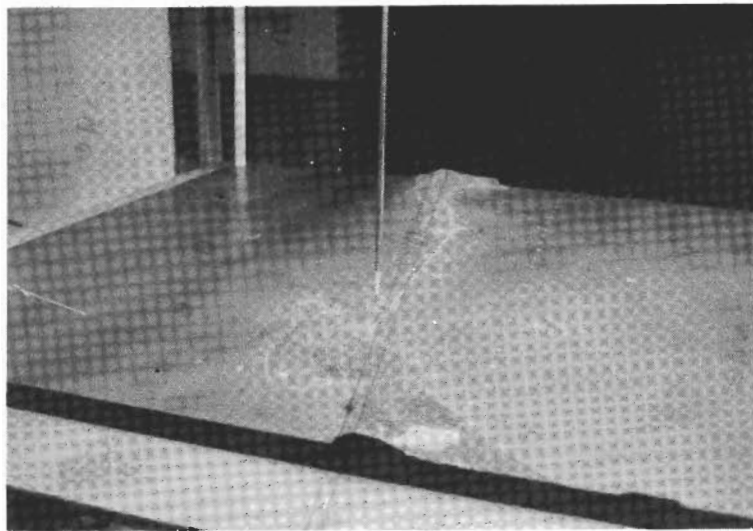
(中央附近の点線は大鳴門橋建設予定地)



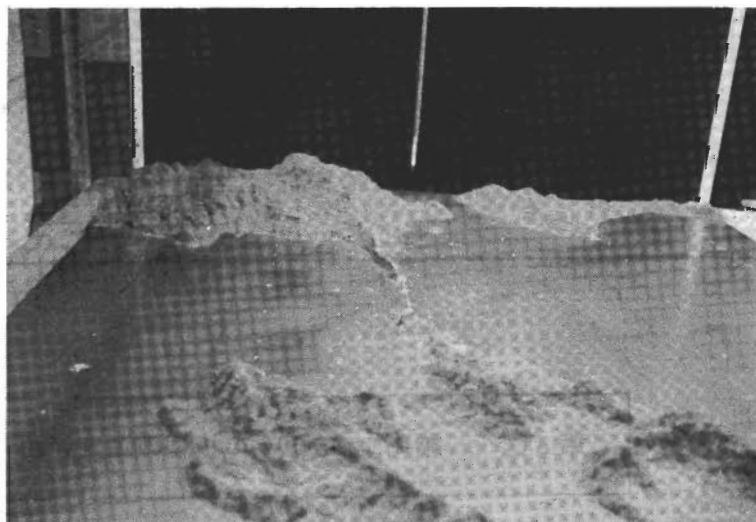
第1図 (b) 鳴門海峡周辺の地形図 (詳細図)  
 ===== 大鳴門橋建設予定地  
 ..... 既存の送電線



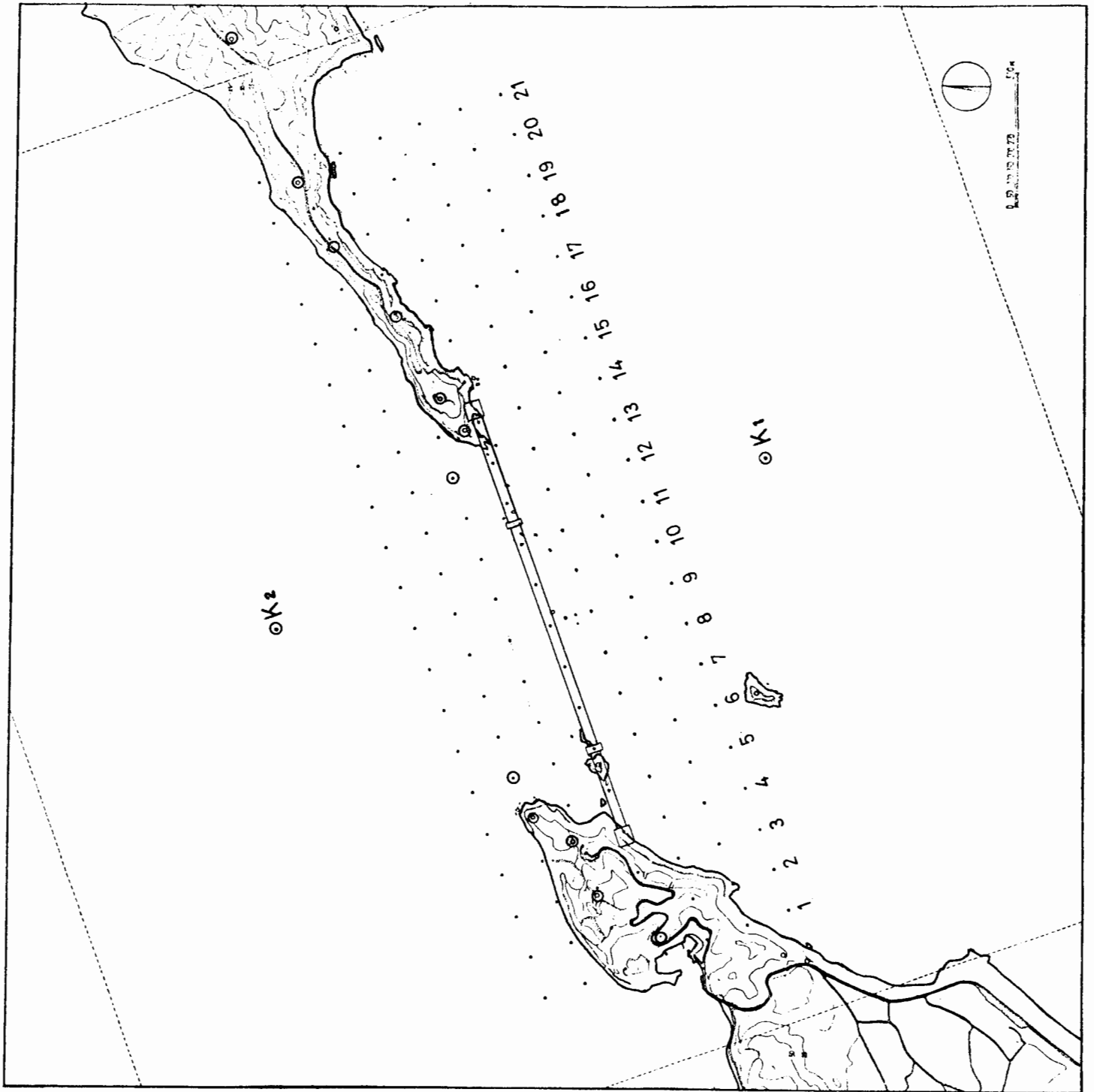
第2図 海面模型 (平板)



第3図 縮率  $1/4,000$  の模型  
(白線は大鳴門橋建設予定地)

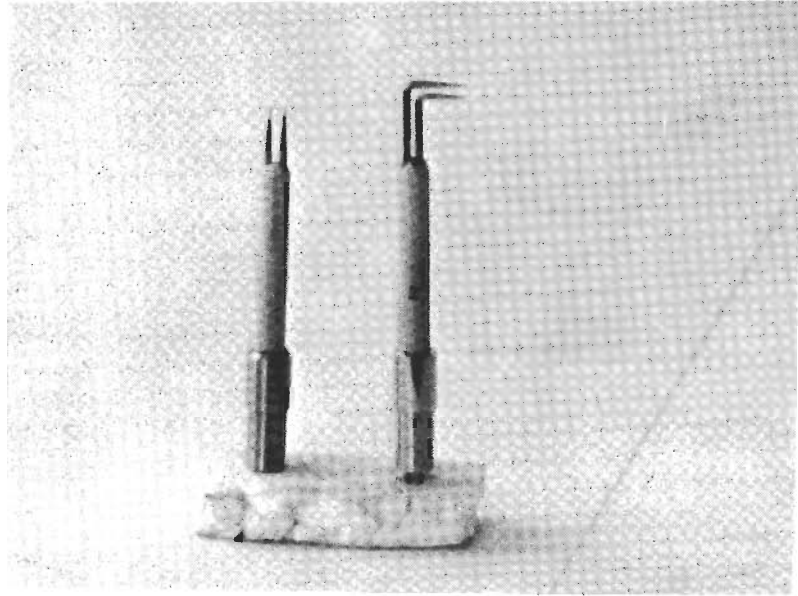


第4図 縮率  $1/12,000$  の模型

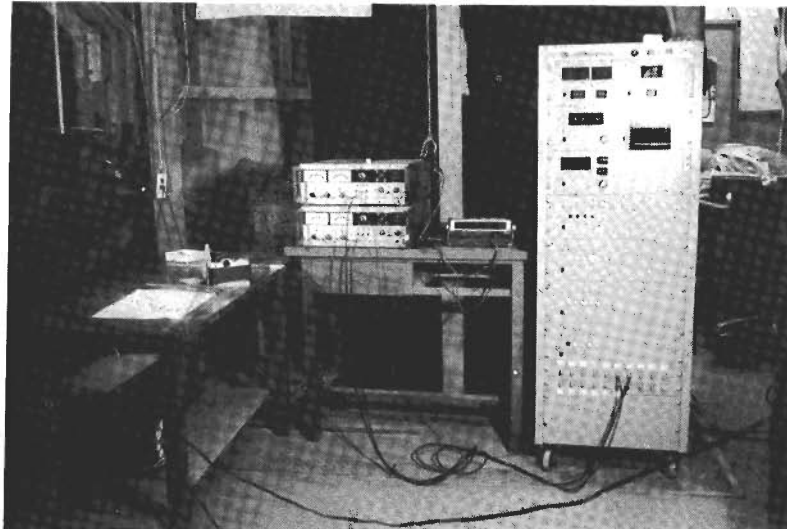


第5図 縮率1/4,000の模型の測定範囲

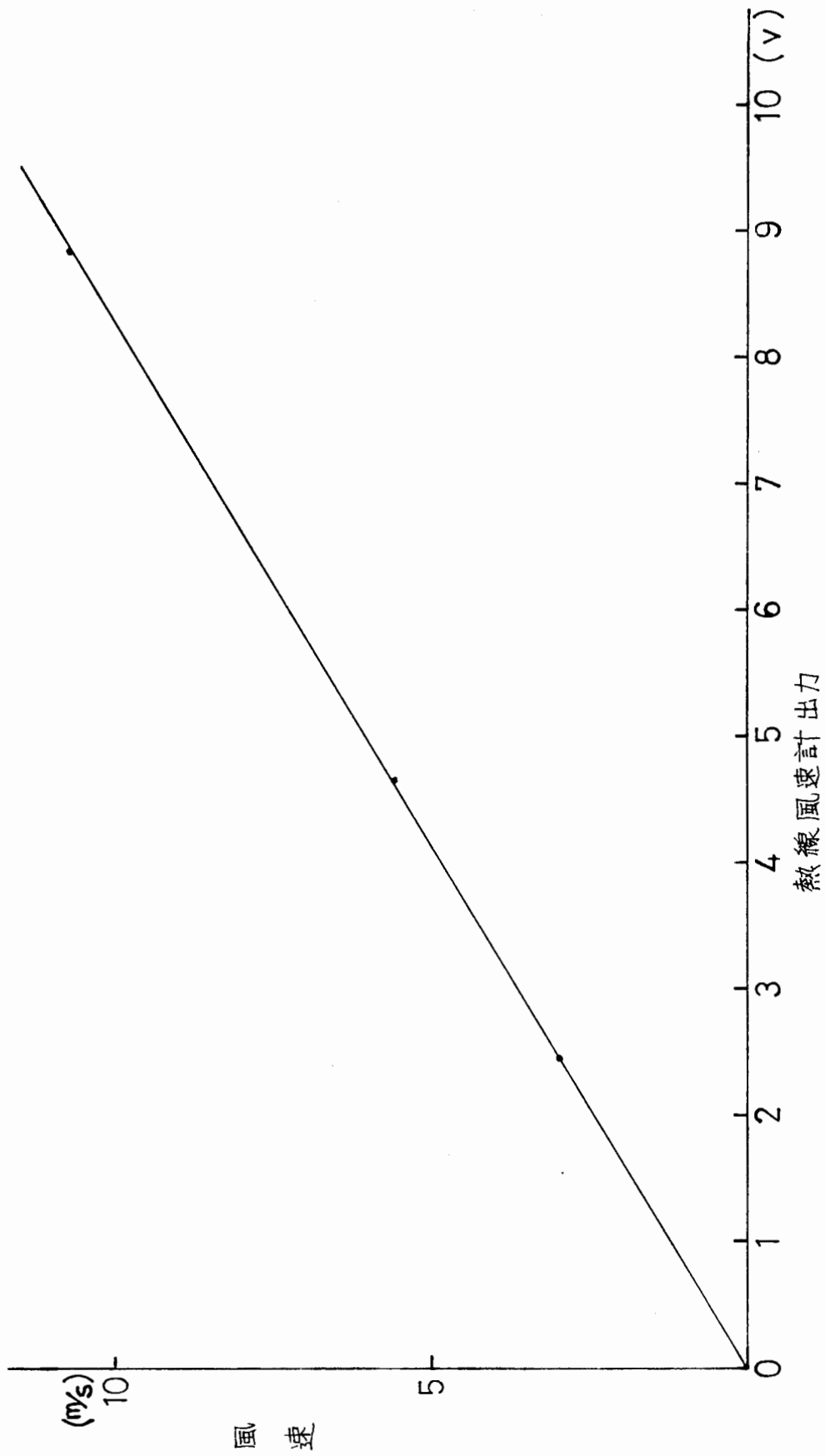




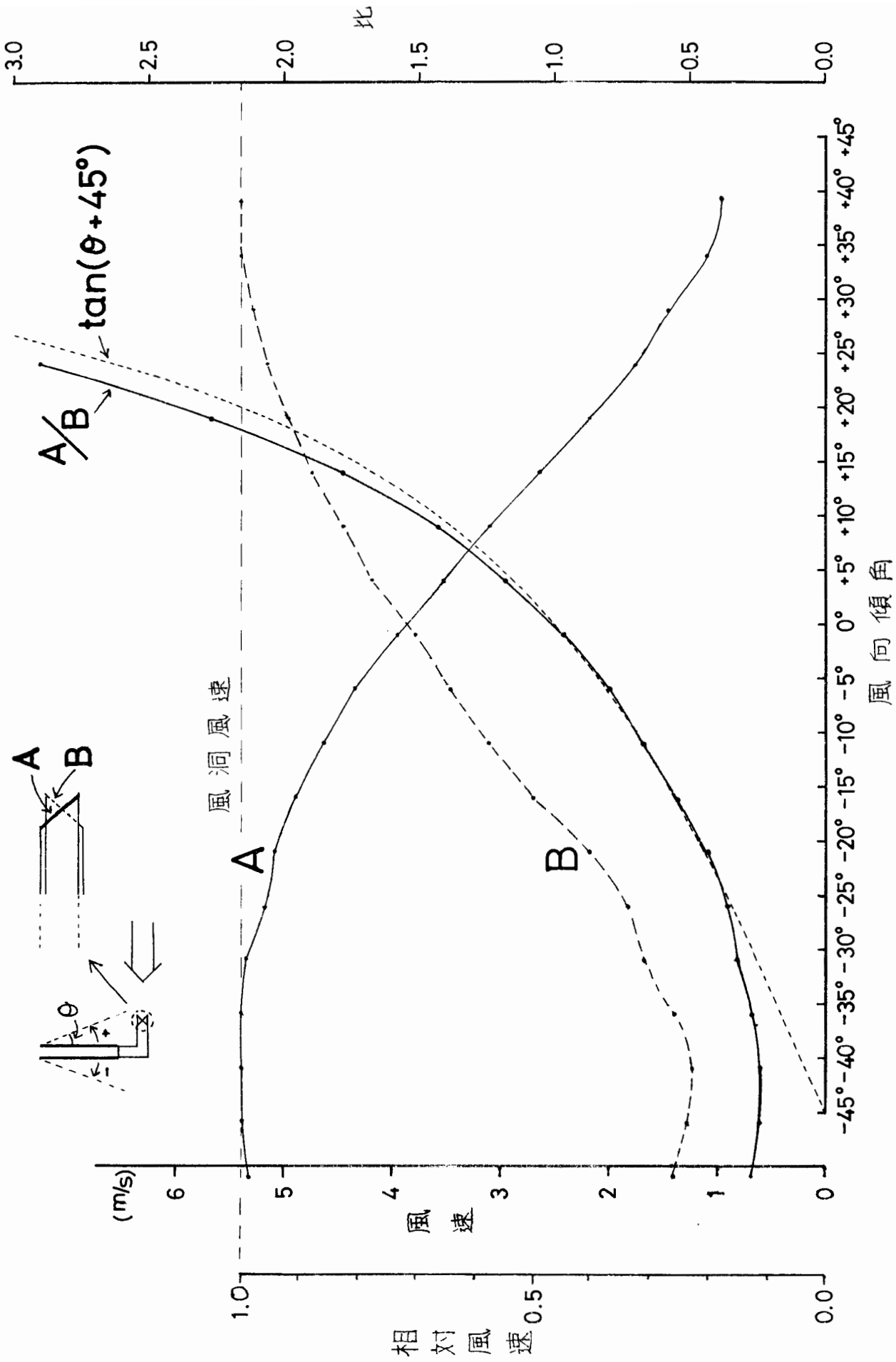
第6図 熱線風速計の感部 (右はX型)



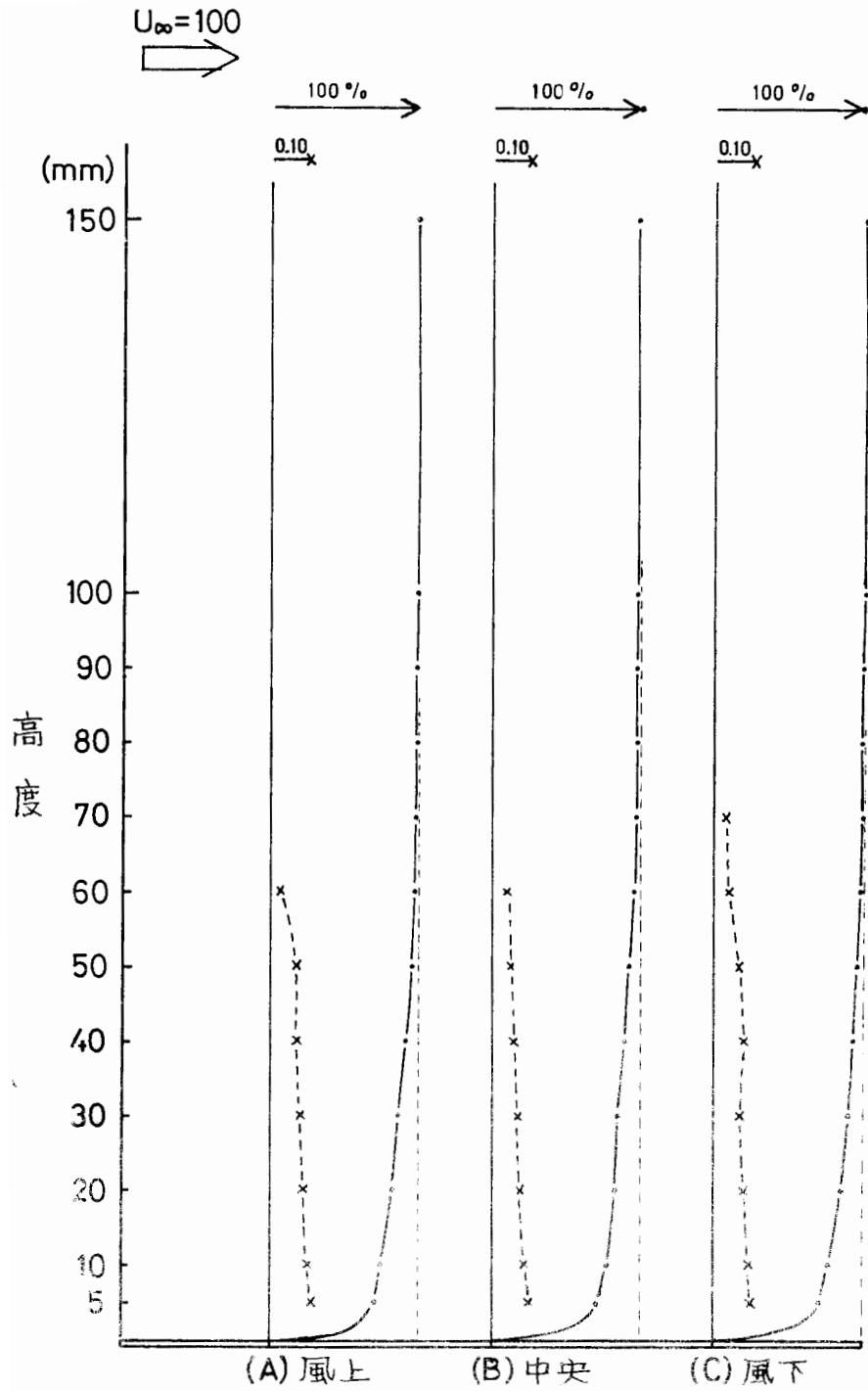
第7図 測定装置 (中央は熱線風速計の本体，  
右側はデータロガー)



第 8 図 熱線風速計檢定曲線

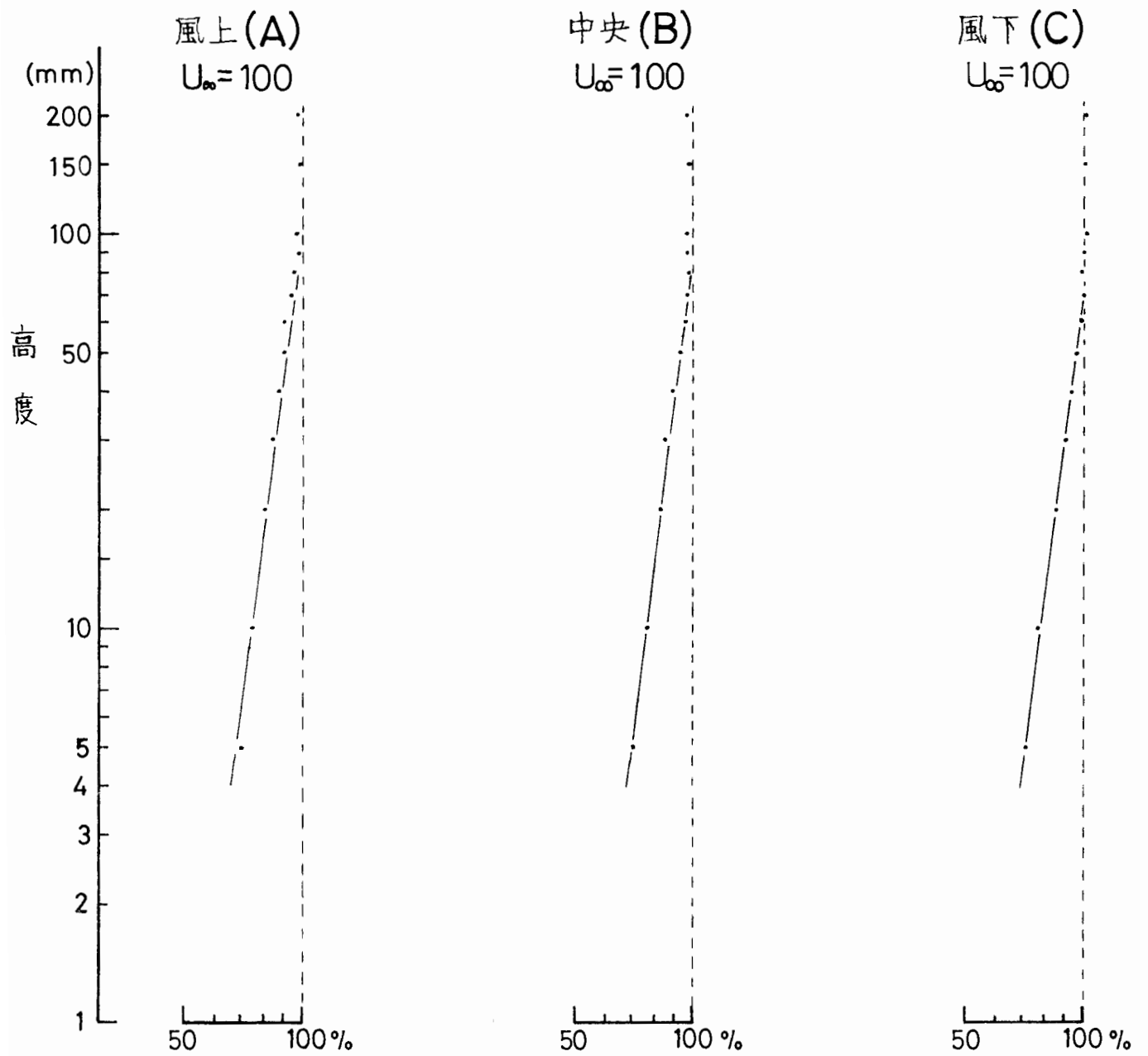


第 9 図 X 型熱線風速計檢定曲線

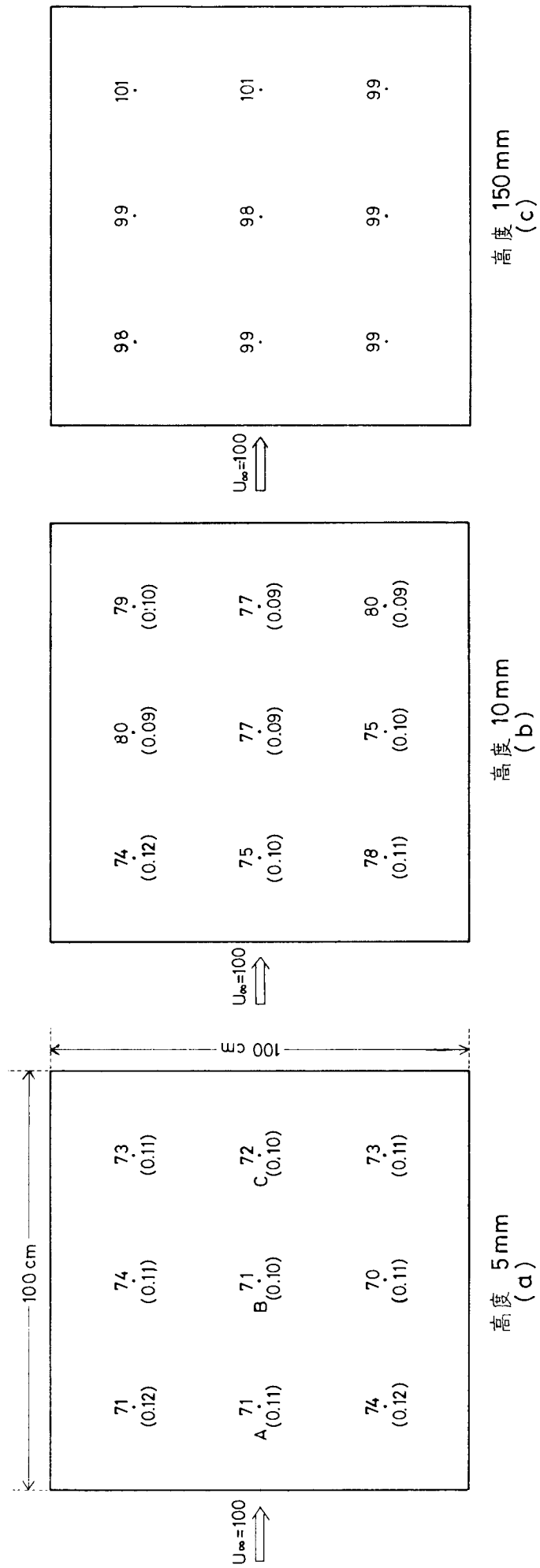


第10図 (a) 海面模型 (平板) 上の風速 Profile,

実線は平均風速, 点線は乱れの強さを示す。以下同じ  
(直線目盛)

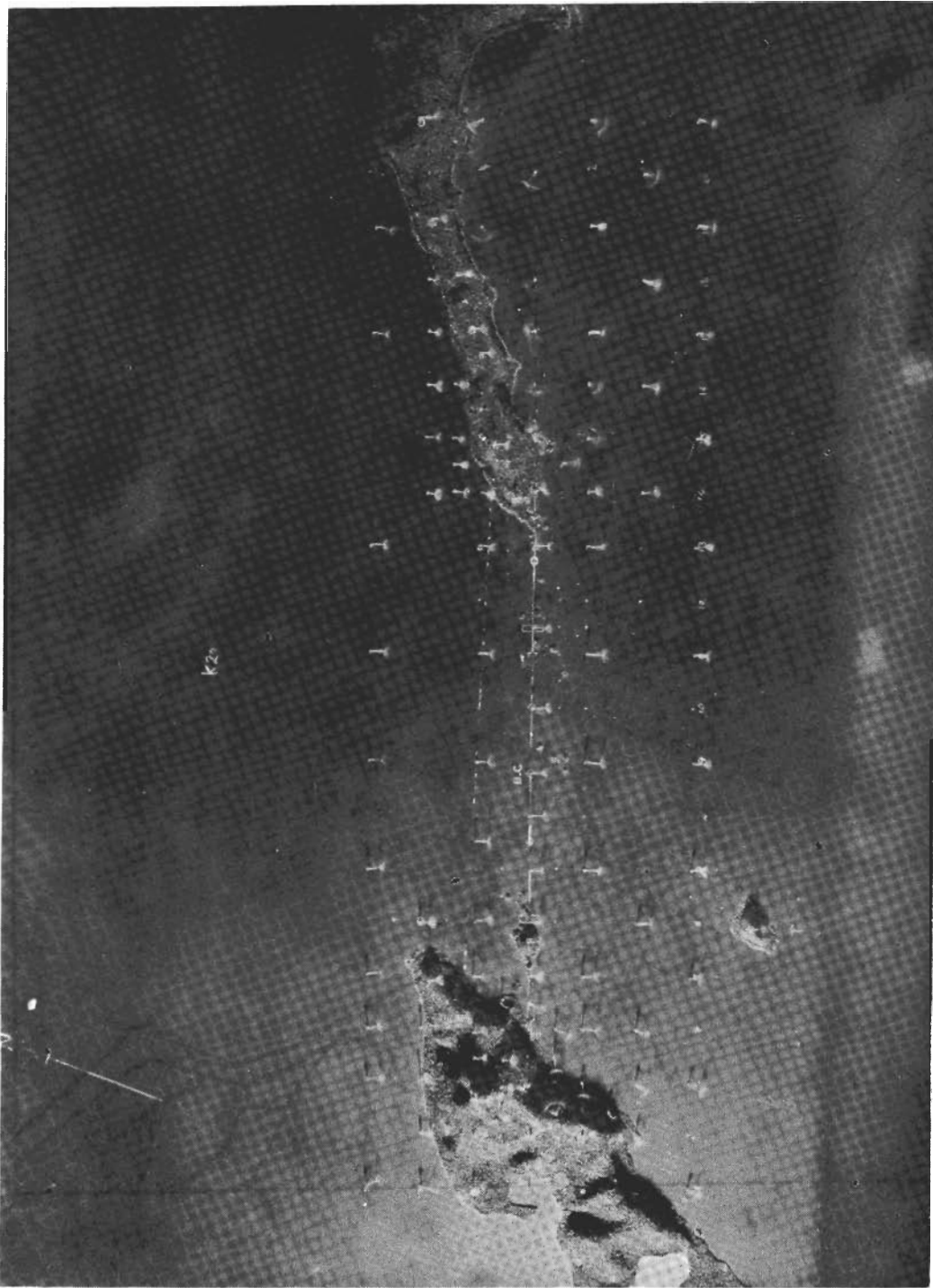


第10図 (b) 海面模型 (平板) 上の風速 Profile  
(両対数目盛)

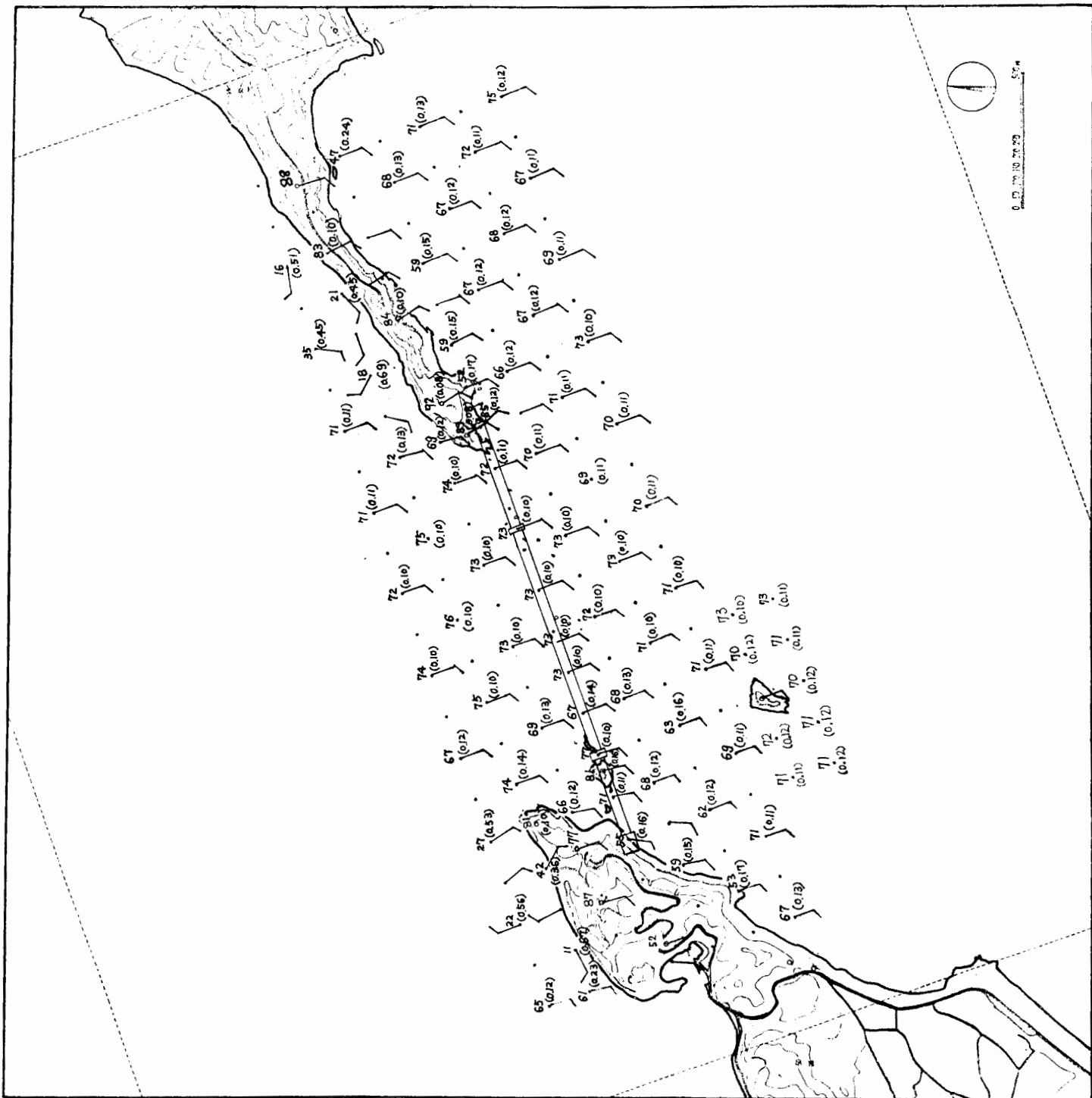


第 1 1 図 海面模型 (平板) 上の風速分布 (上段: 相对風速 (%), 下段: 乱れの強さ)

(a) 高度 5 mm  
 (b) 高度 10 mm  
 (c) 高度 150 mm

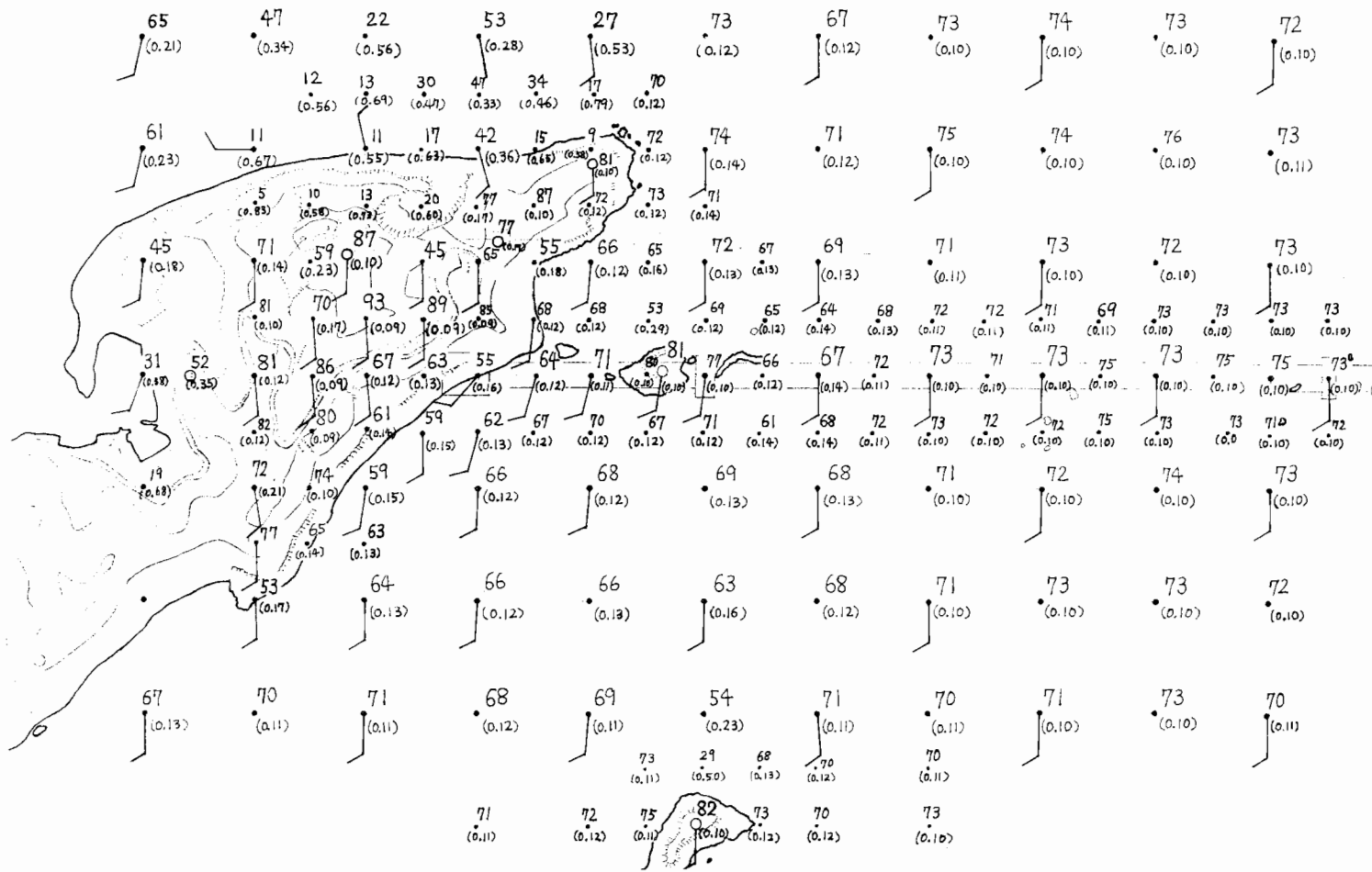


第12図 風向分布の写真の1例 (風洞風向はNNW)



第13図 (a) 概略図  
 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)





第13図 (b) 詳細図

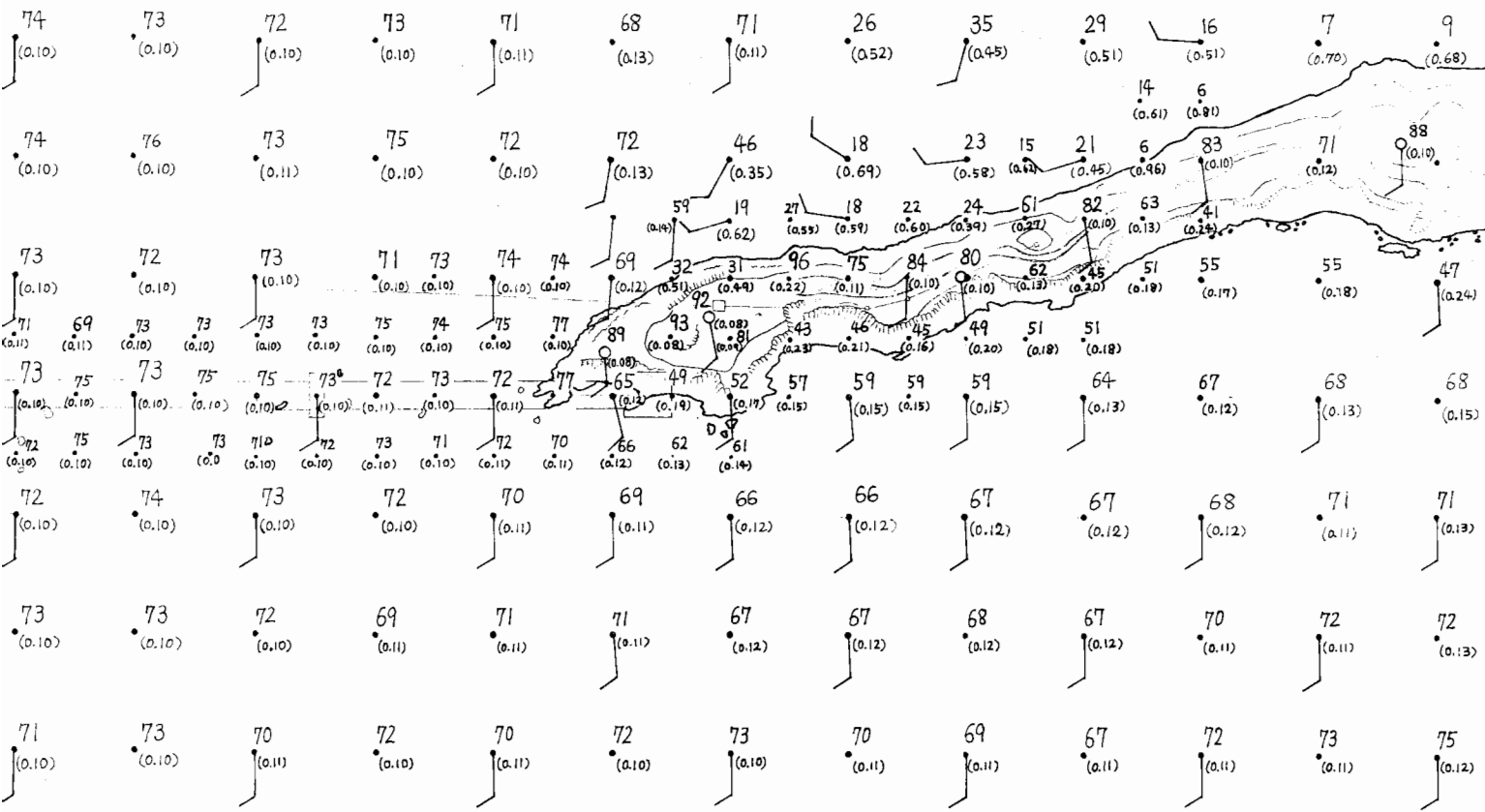
鳴門海峡周辺の風速  
(縮率 1/4,000 の模)

風洞風向 S S I

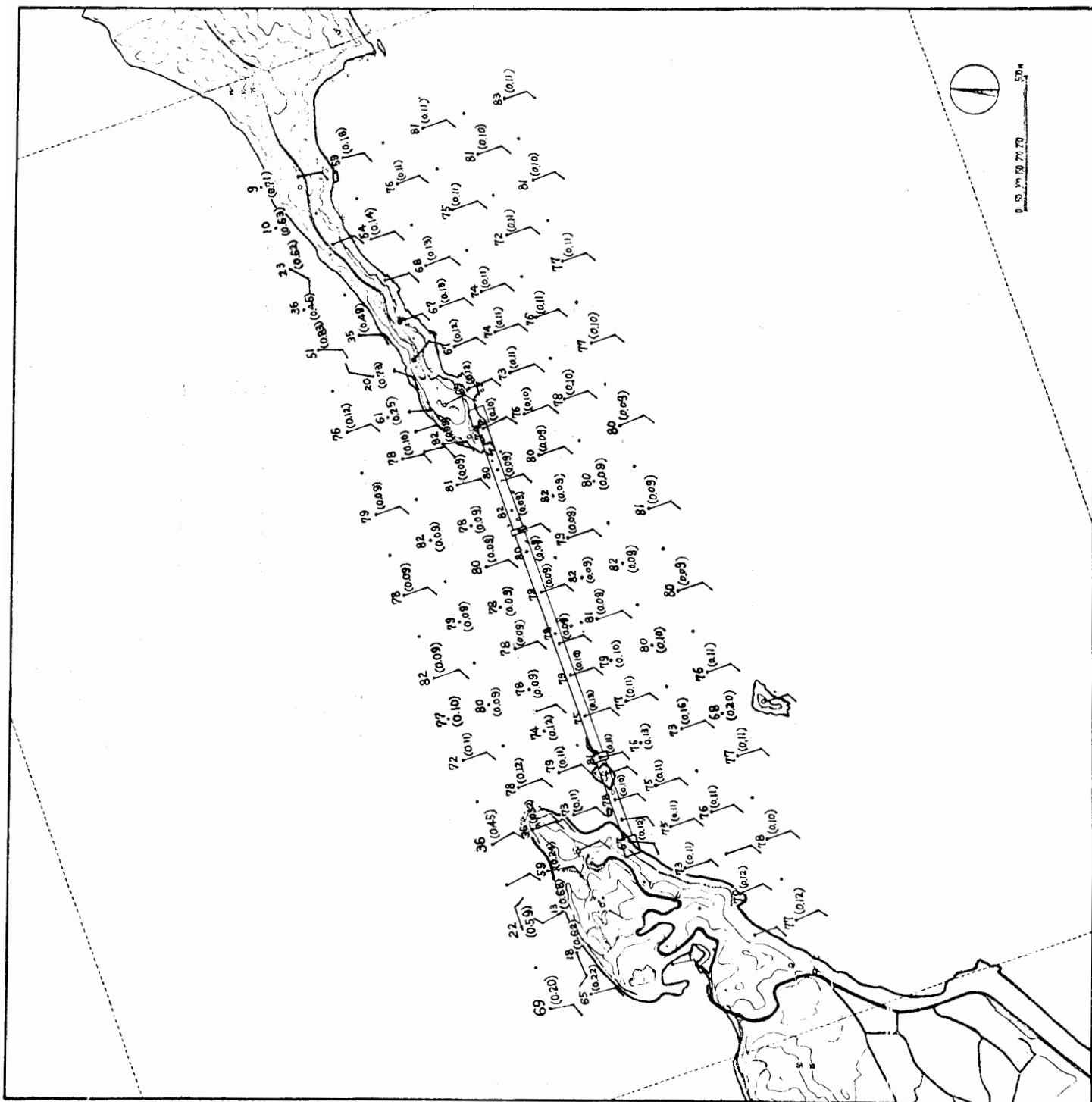
風洞風速 5 m/s

模型表面上 5 m/s

(現地上 20 m)



第13図 (b) 詳細図  
 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)



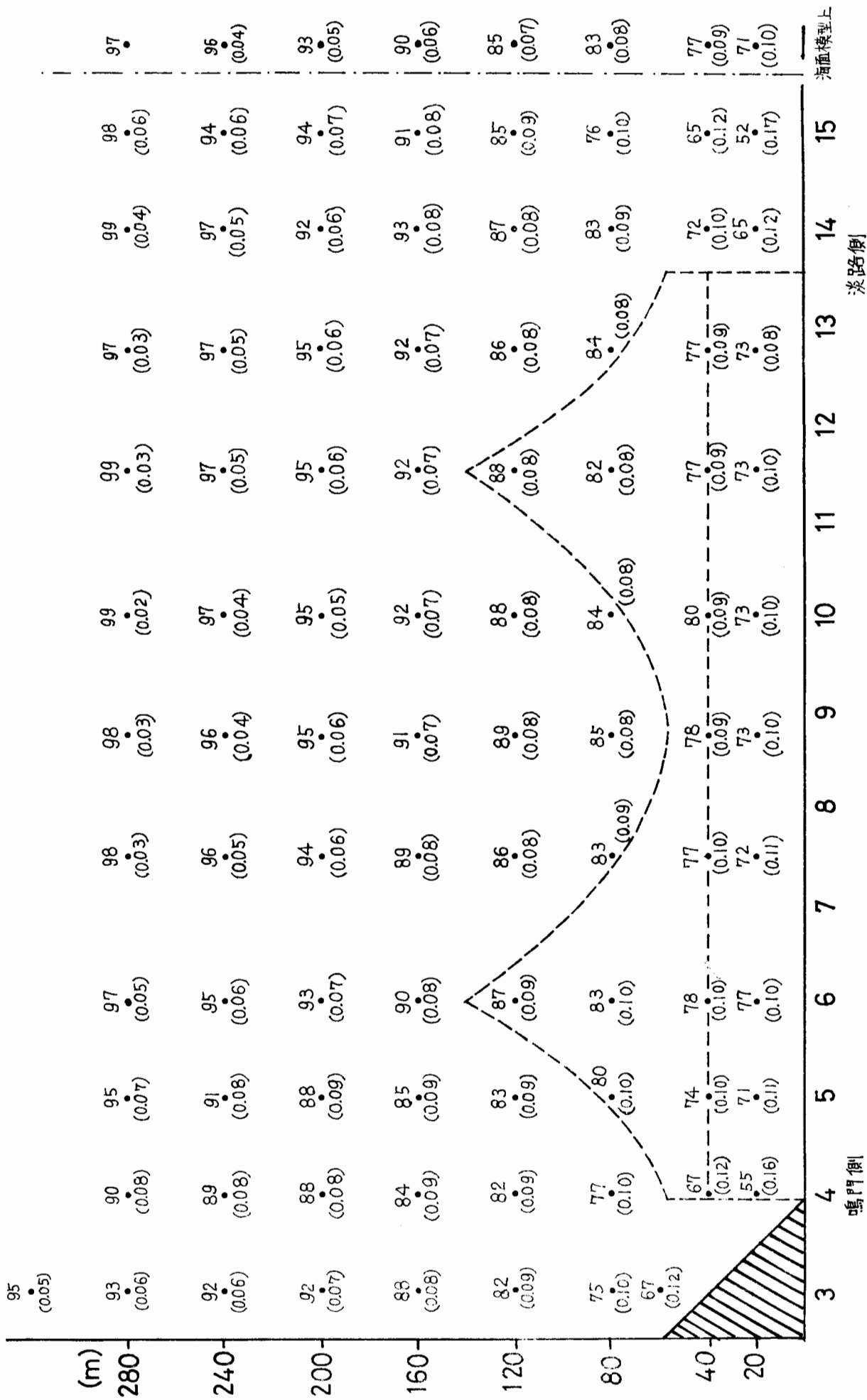
第14図 鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率 1/4,000 の模型)

風洞風向 SSE

風洞風速 5 m/s

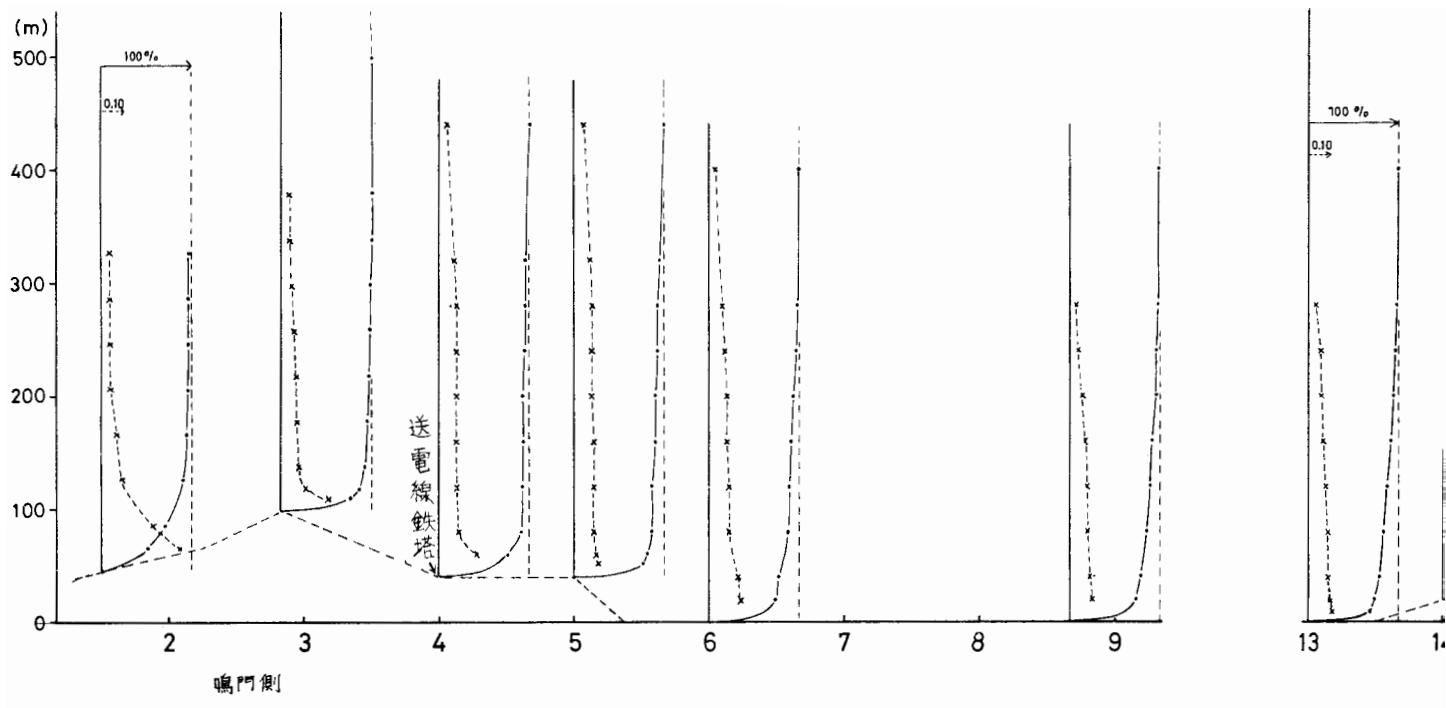
模型表面上 10 mm

(現地上 40 m)

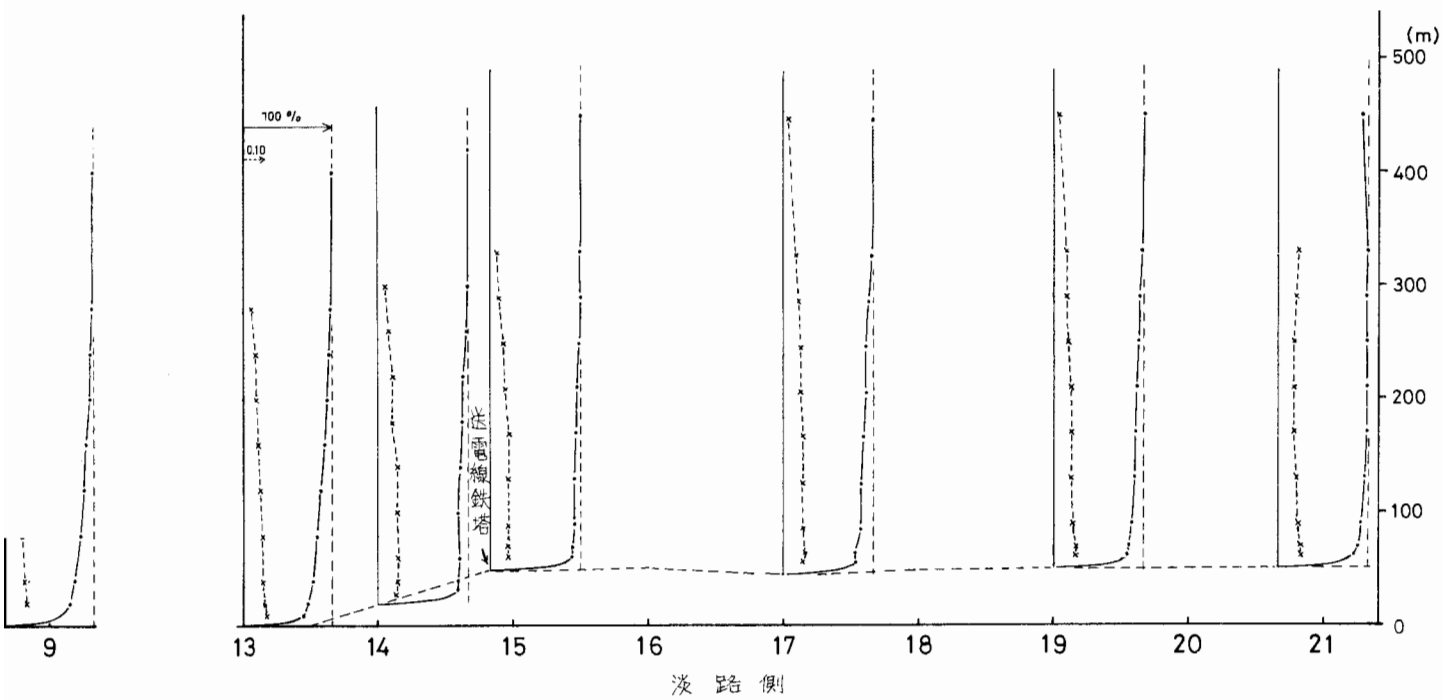


海面模型上  
淡路側

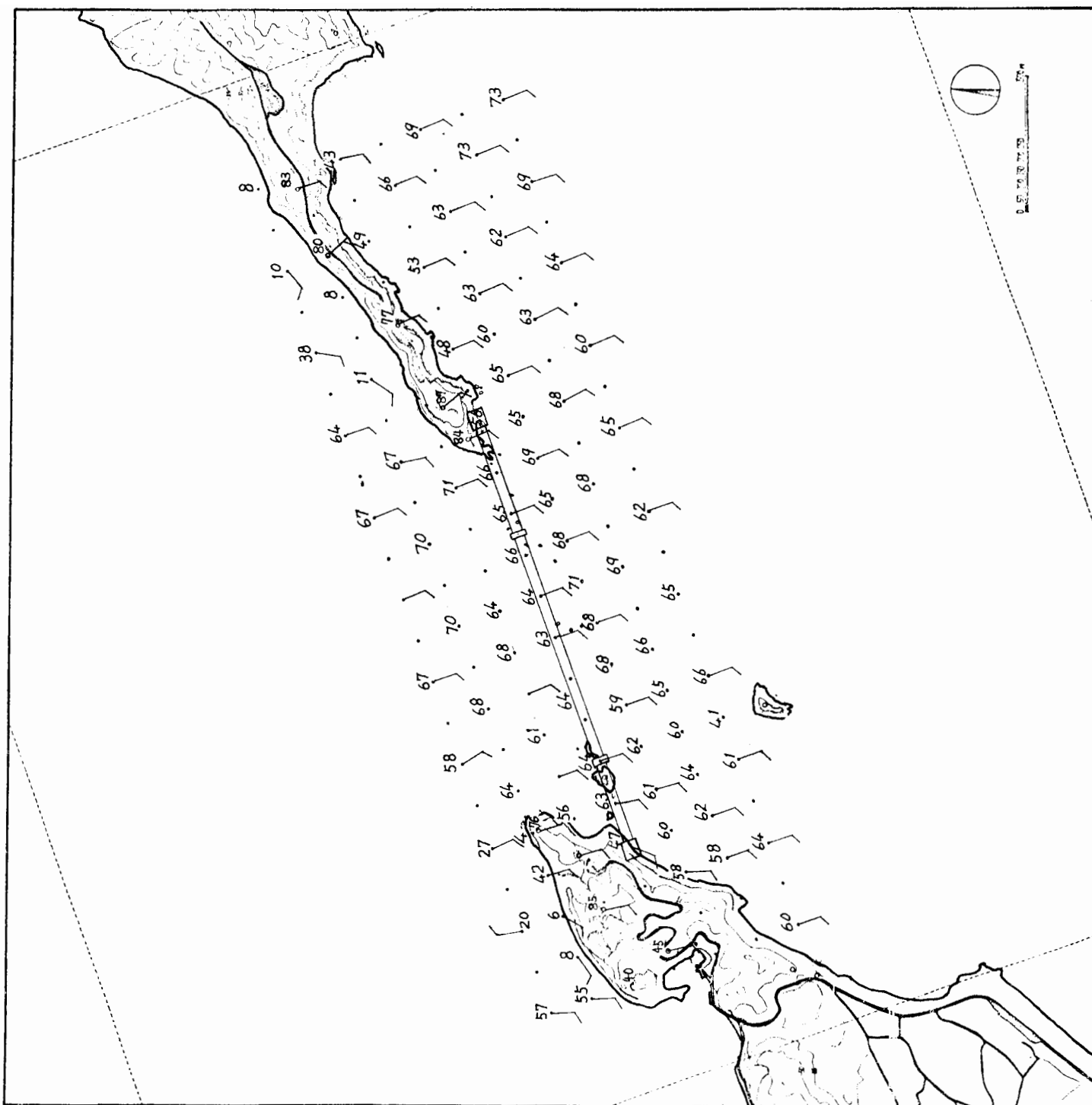
第15図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
(縮率 1/4,000 の模型)  
風洞風向 S S E  
風洞風速 5 m/s



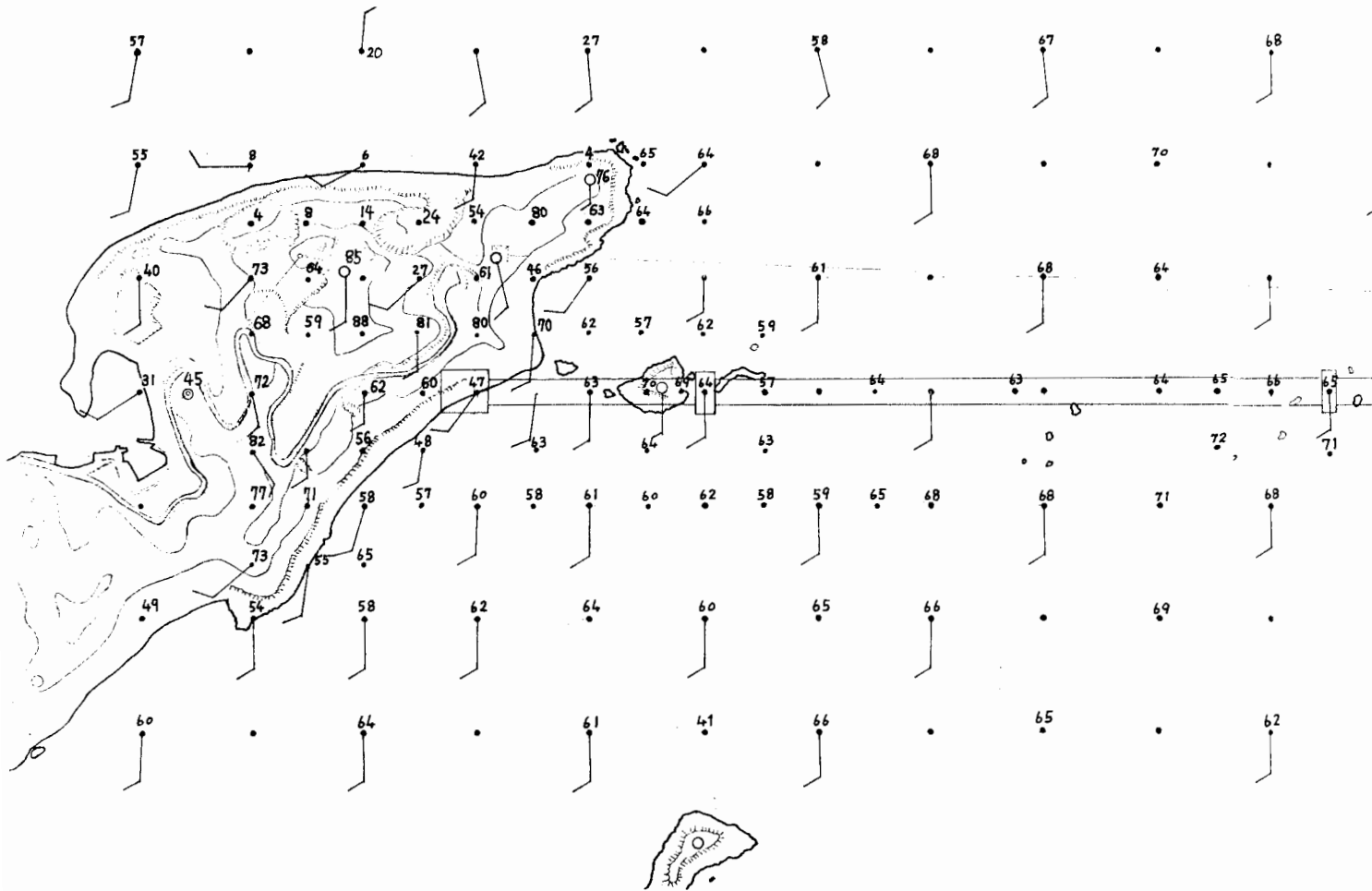
第16図 風速 Profile (鳴門側および淡路  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 5 m/s



Profile (鳴門側および淡路側の半島上)  
 1/4,000 の模型)  
 風向 S S E  
 風速 5 m/s



第17図 (a) 概略図  
 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 2 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)



第17図 (b) 詳細図

鳴門海峡周辺の風速  
(縮率 1/4,000 の模)

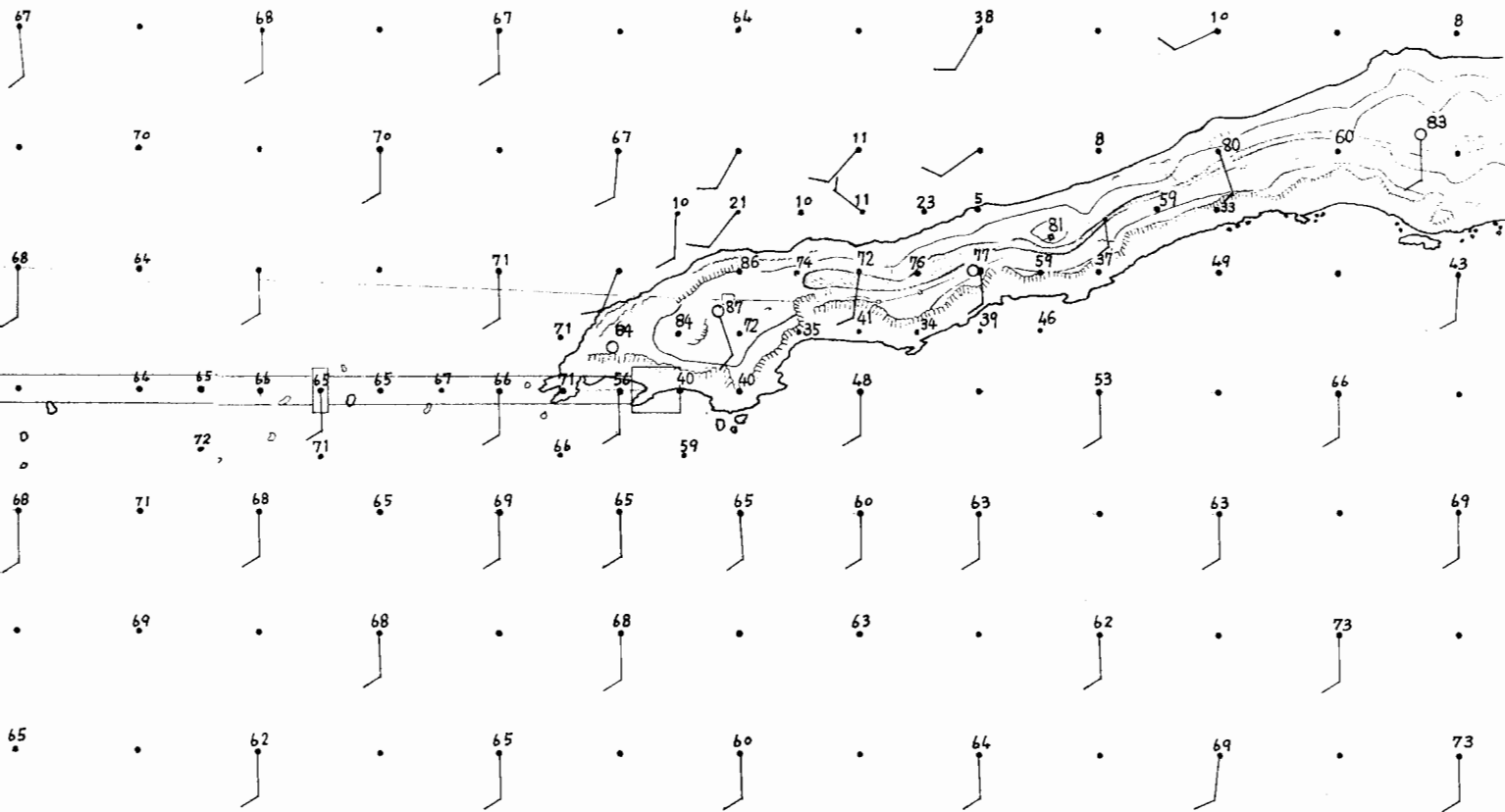
風洞風向 SS

風洞風速 2 m/s

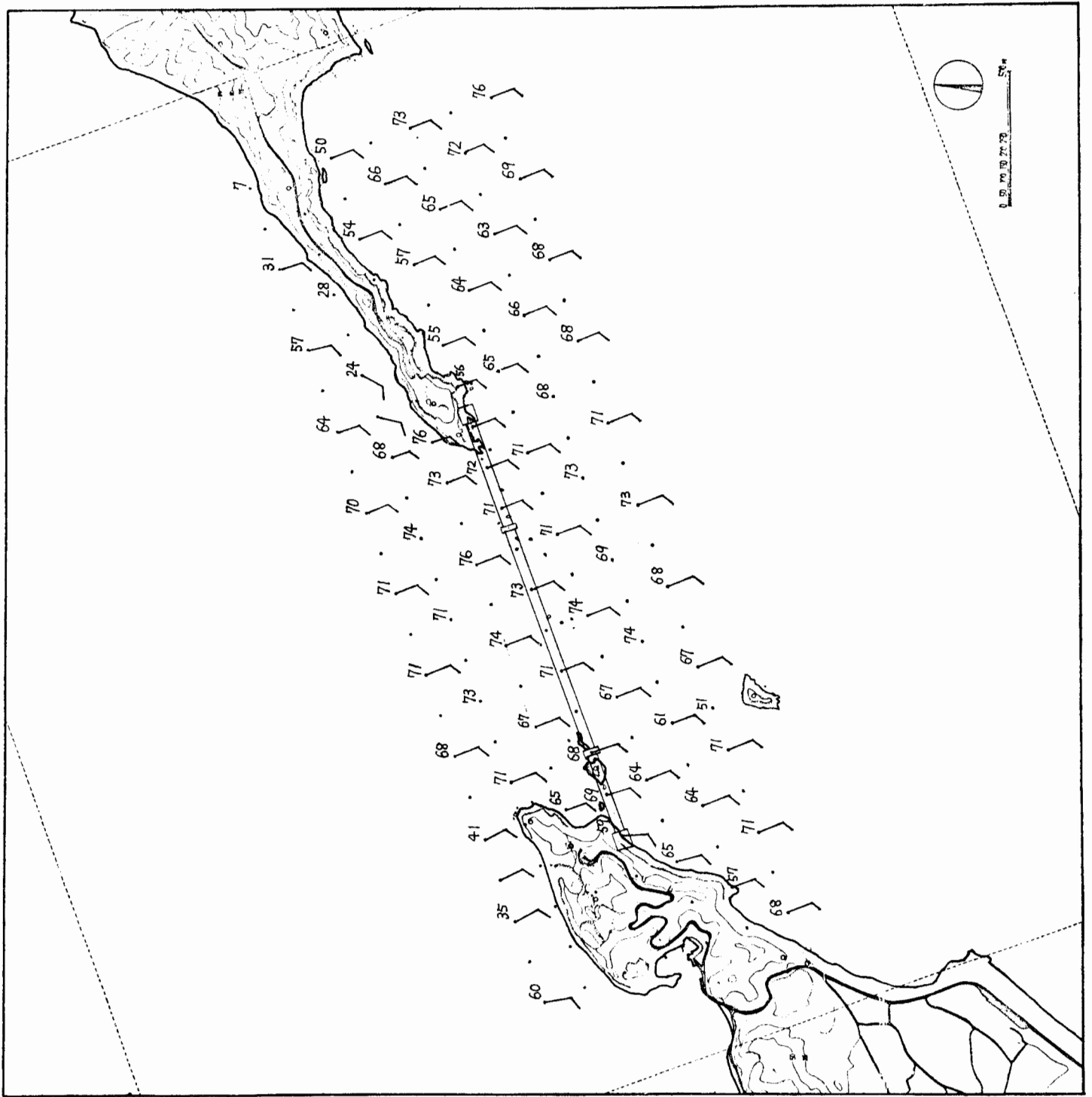
模型表面上 5 m/s

(現地上 20 m/s)





第17図 (b) 詳細図  
 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 2 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)



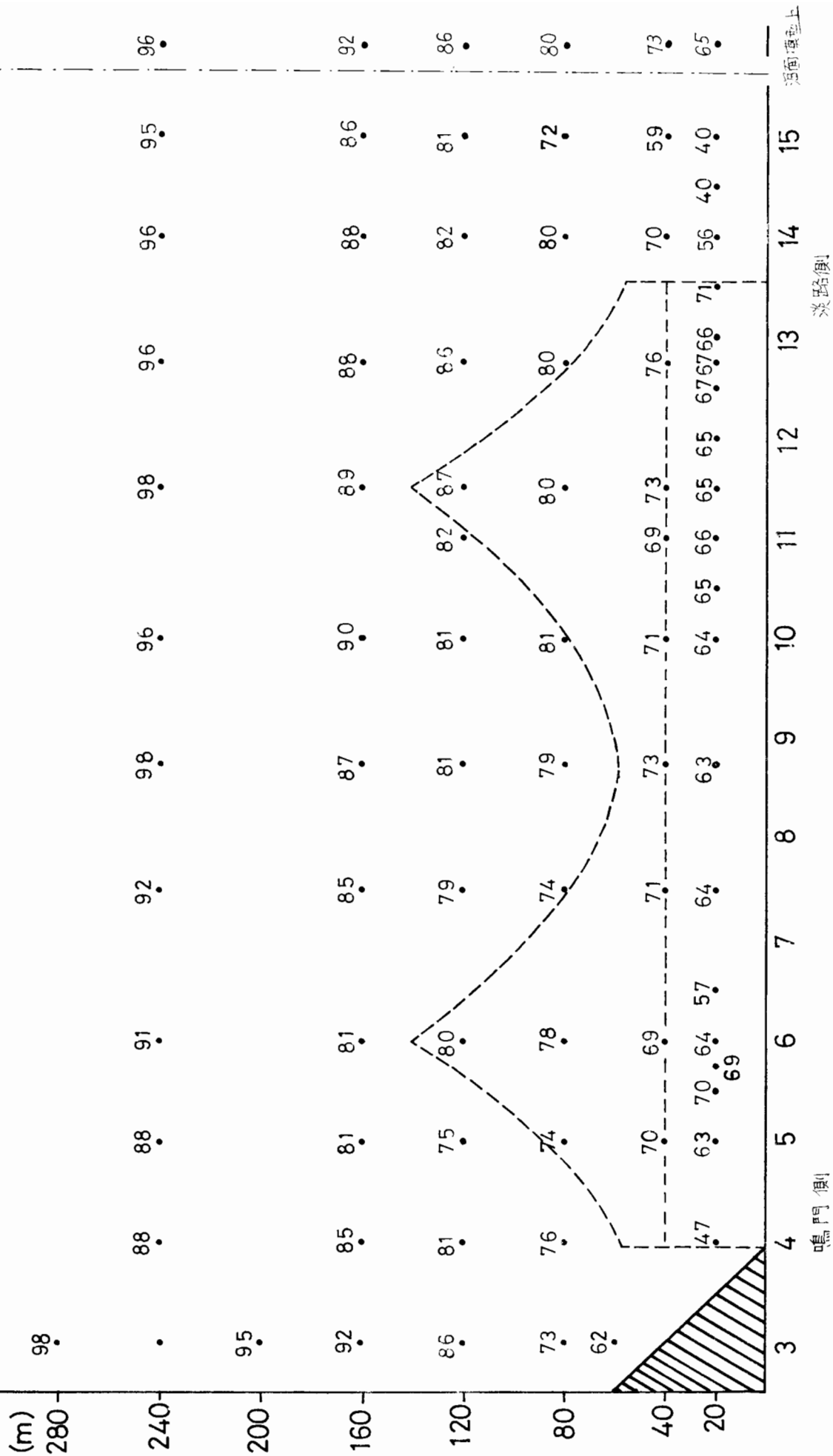
第18図 鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率 1/4,000 の模型)

風洞風向 S S E

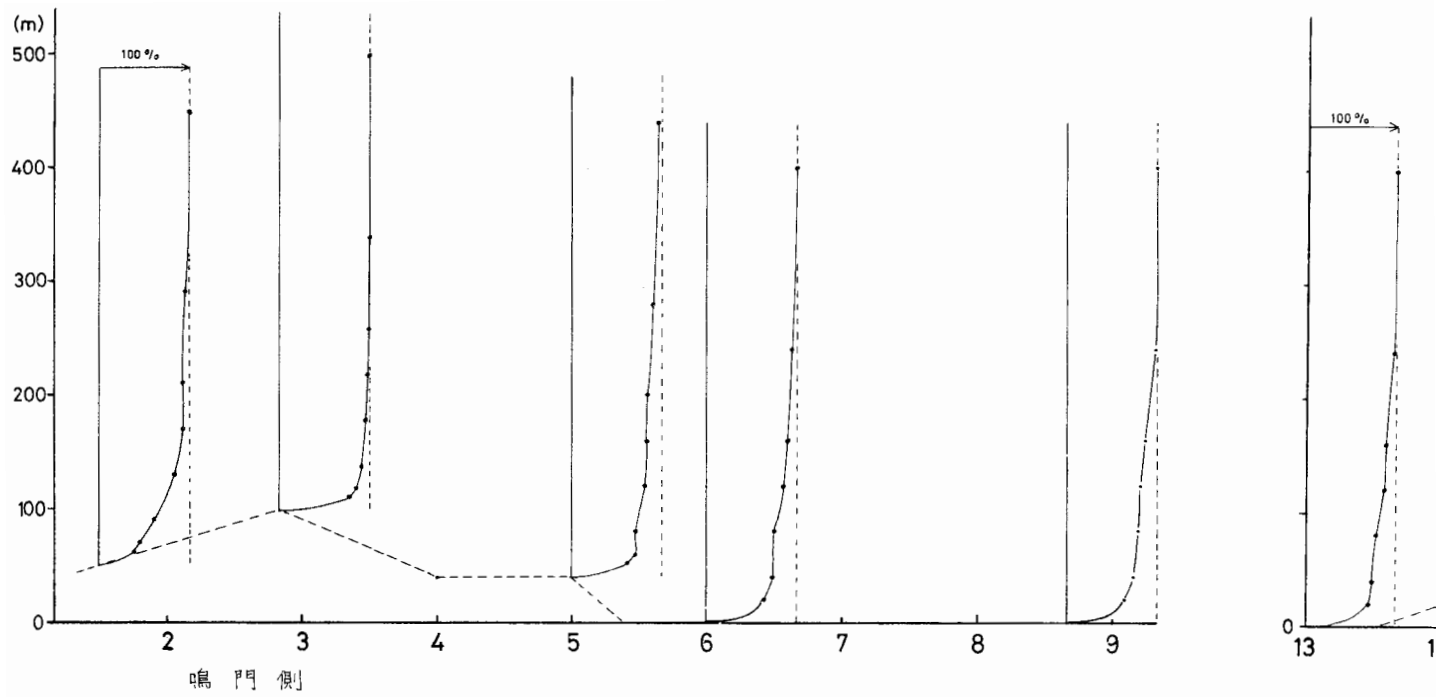
風洞風速 2 m/s

模型表面上 10 mm

(現地上 40 m)



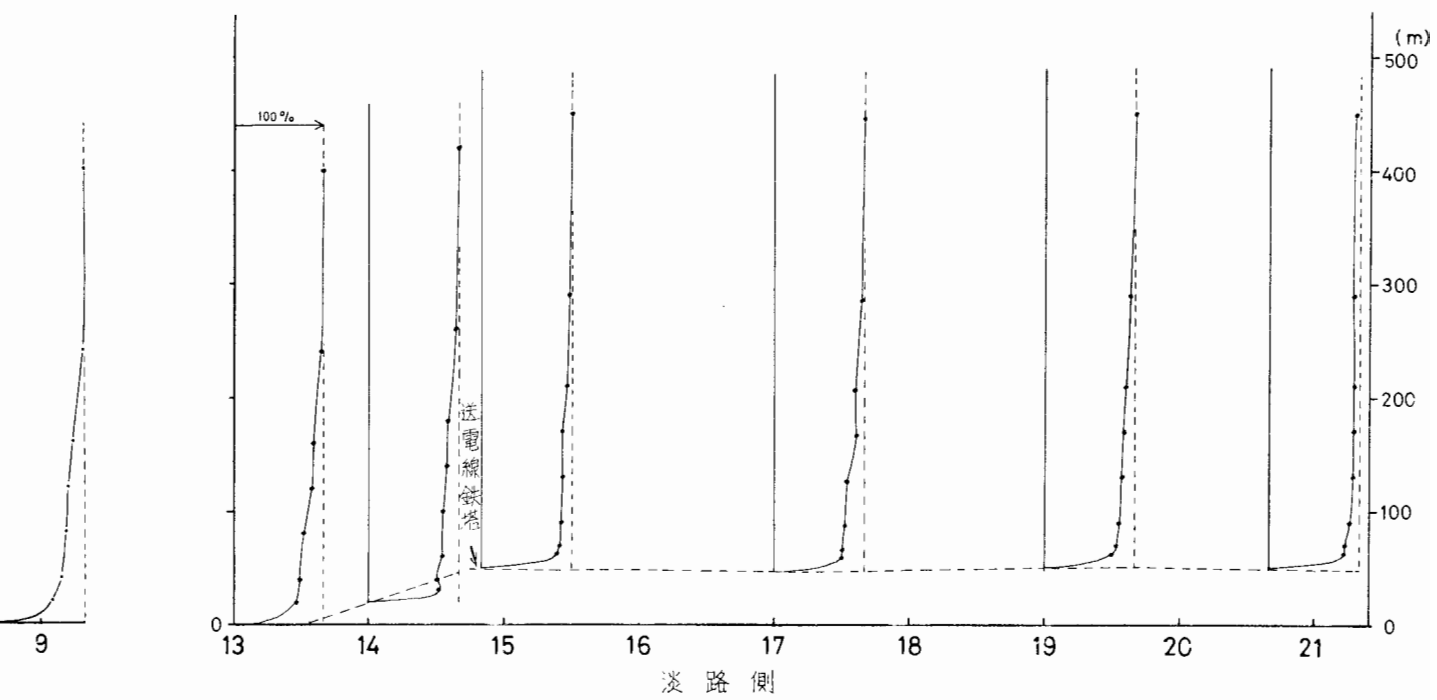
第19図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 SSE  
 風洞風速 2 m/s



第20図 風速Profile (鳴門側および淡  
(縮率 1/4,000 の模型)

風洞風向 S S E

風洞風速 2 m/s

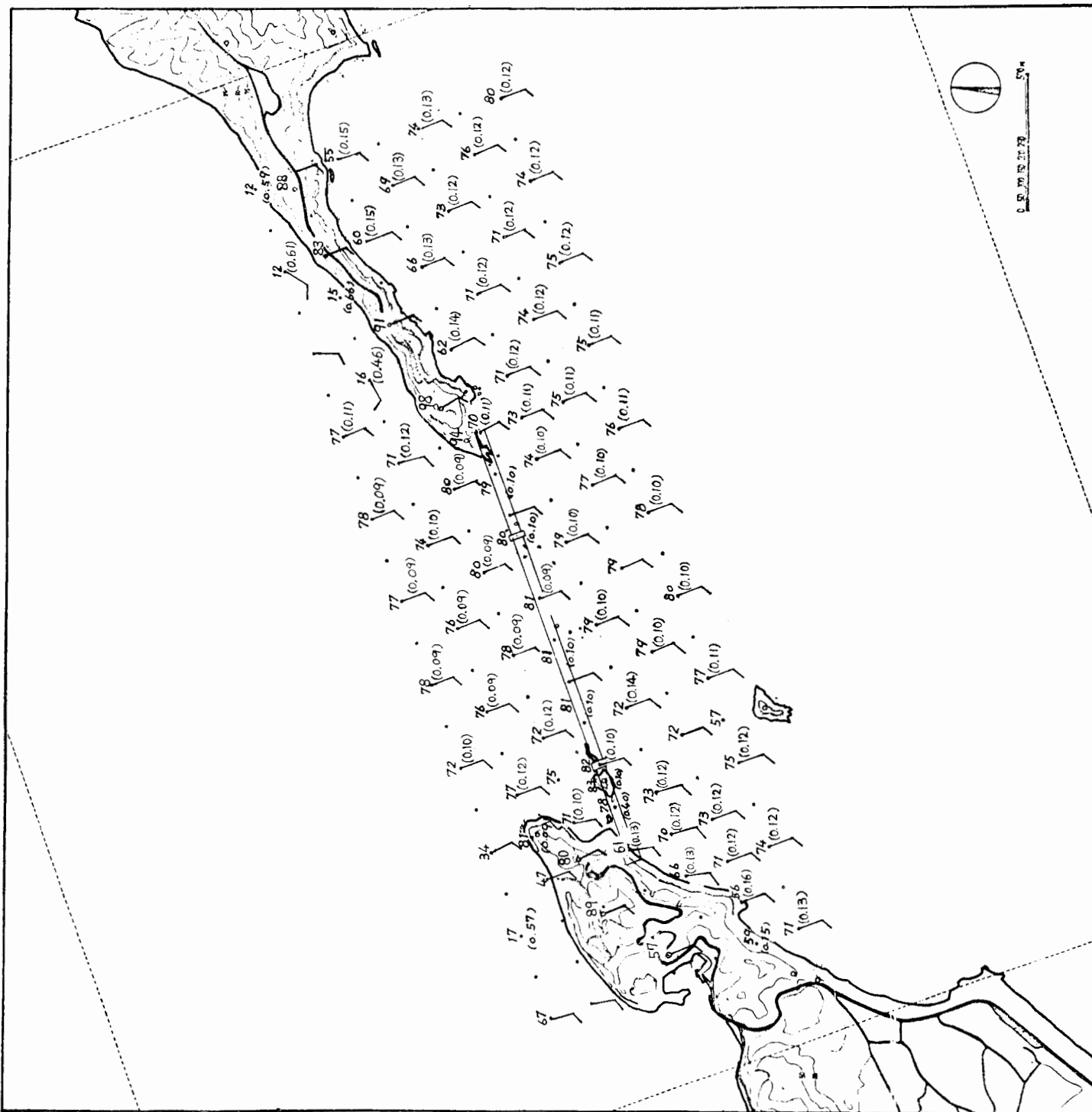


Profile (鳴門側および淡路側の半島上)

1/4,000 の模型)

洞風向 S S E

洞風速 2 m/s



第21図 (a) 概略図

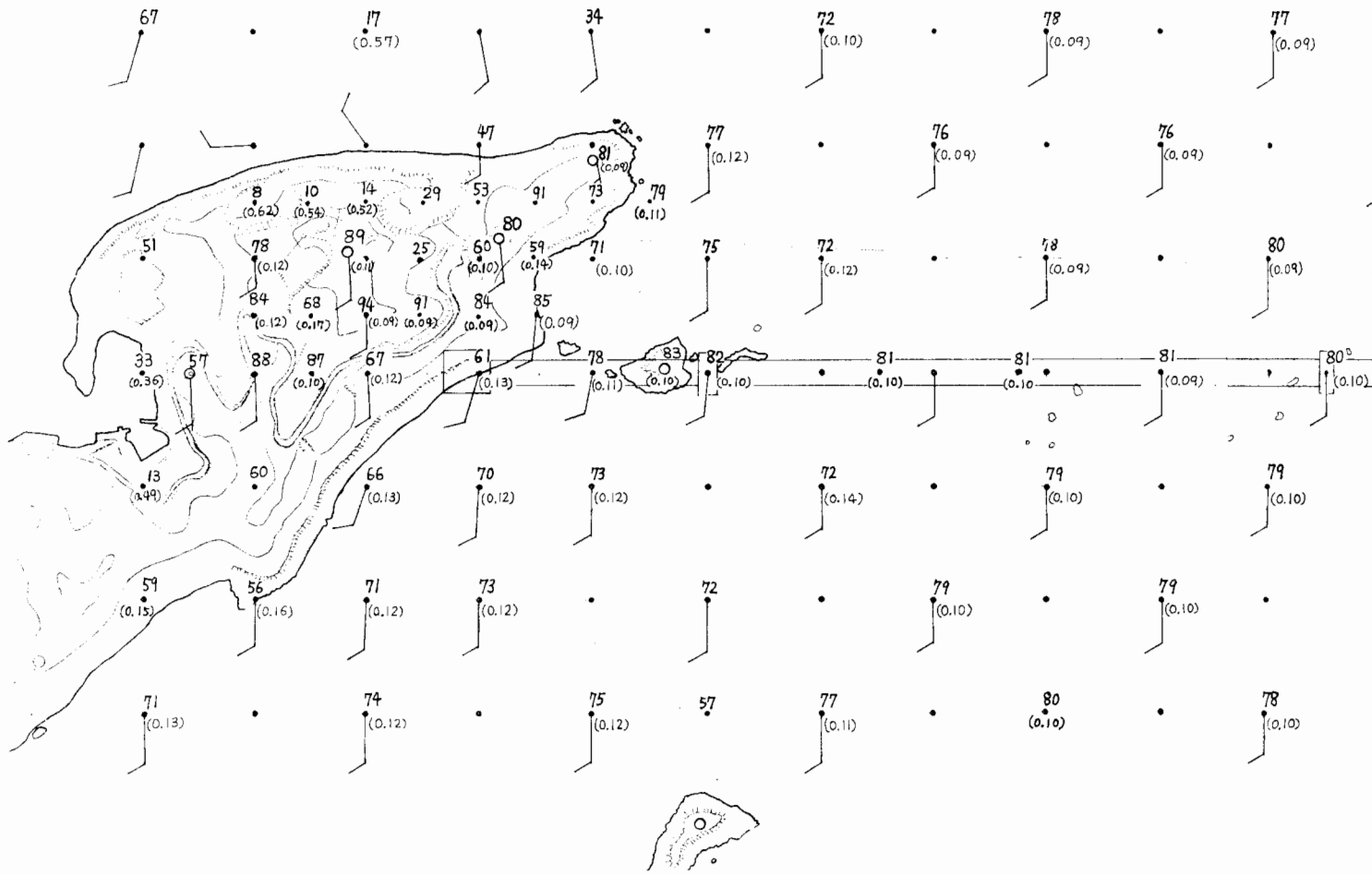
鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率1/4,000の模型)

風洞風向 SSE

風洞風速 15 m/s

模型表面上 5 mm

(現地上 20 m)



第21図 (b) 詳細図

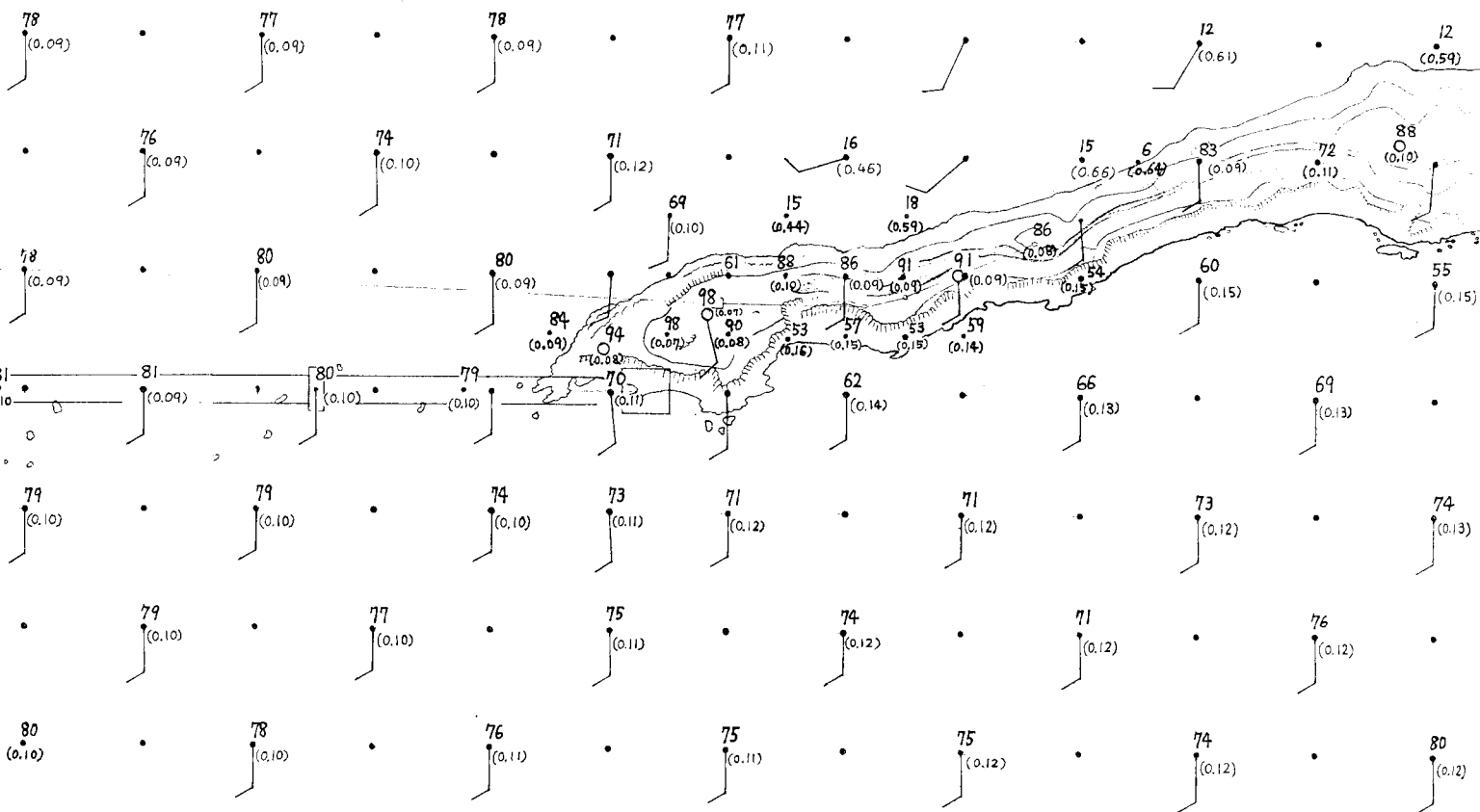
鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000 の模)

風洞風向 S S E

風洞風速 15 m/s

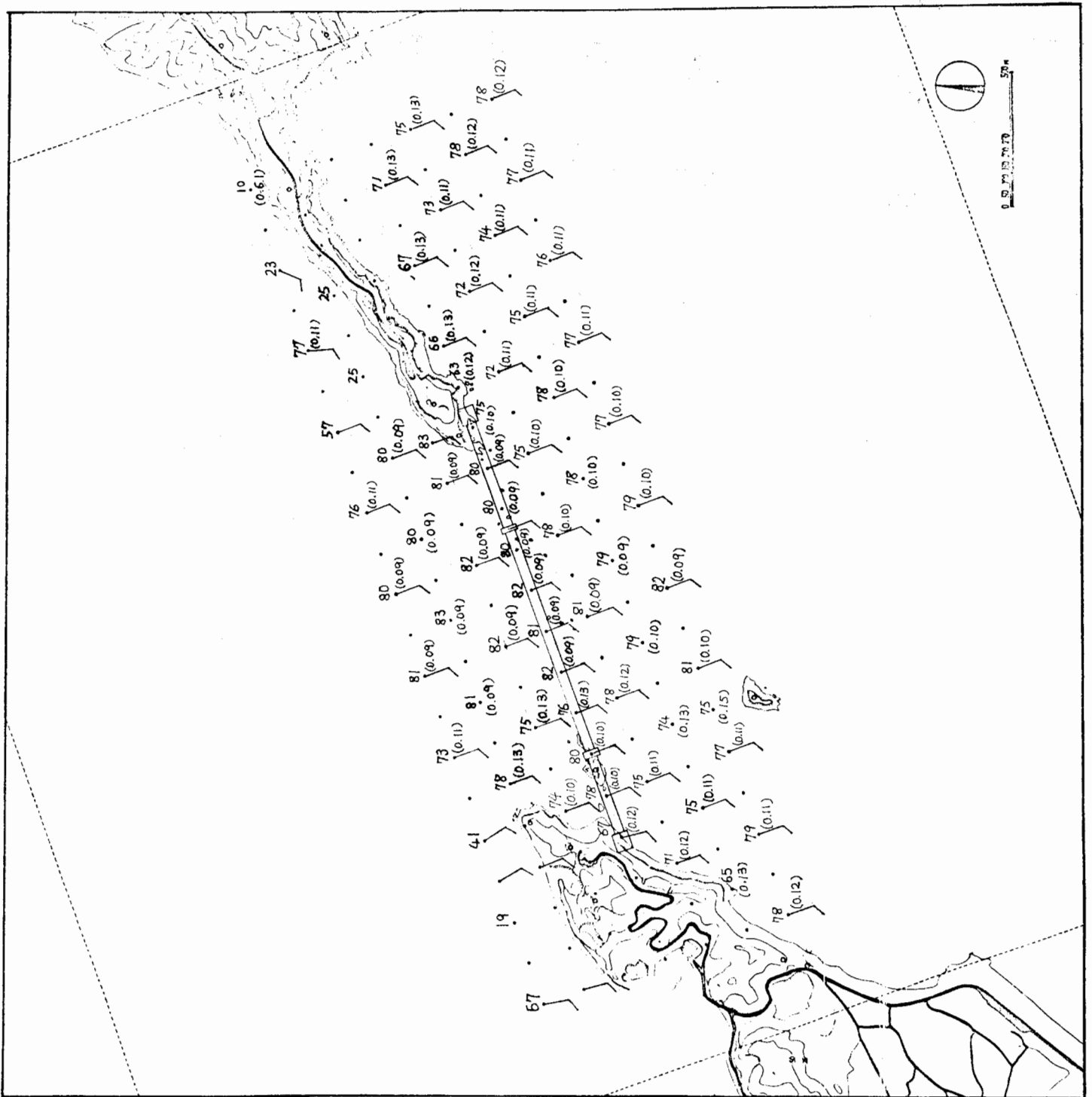
模型表面上 5 m

(現地上 20 m)

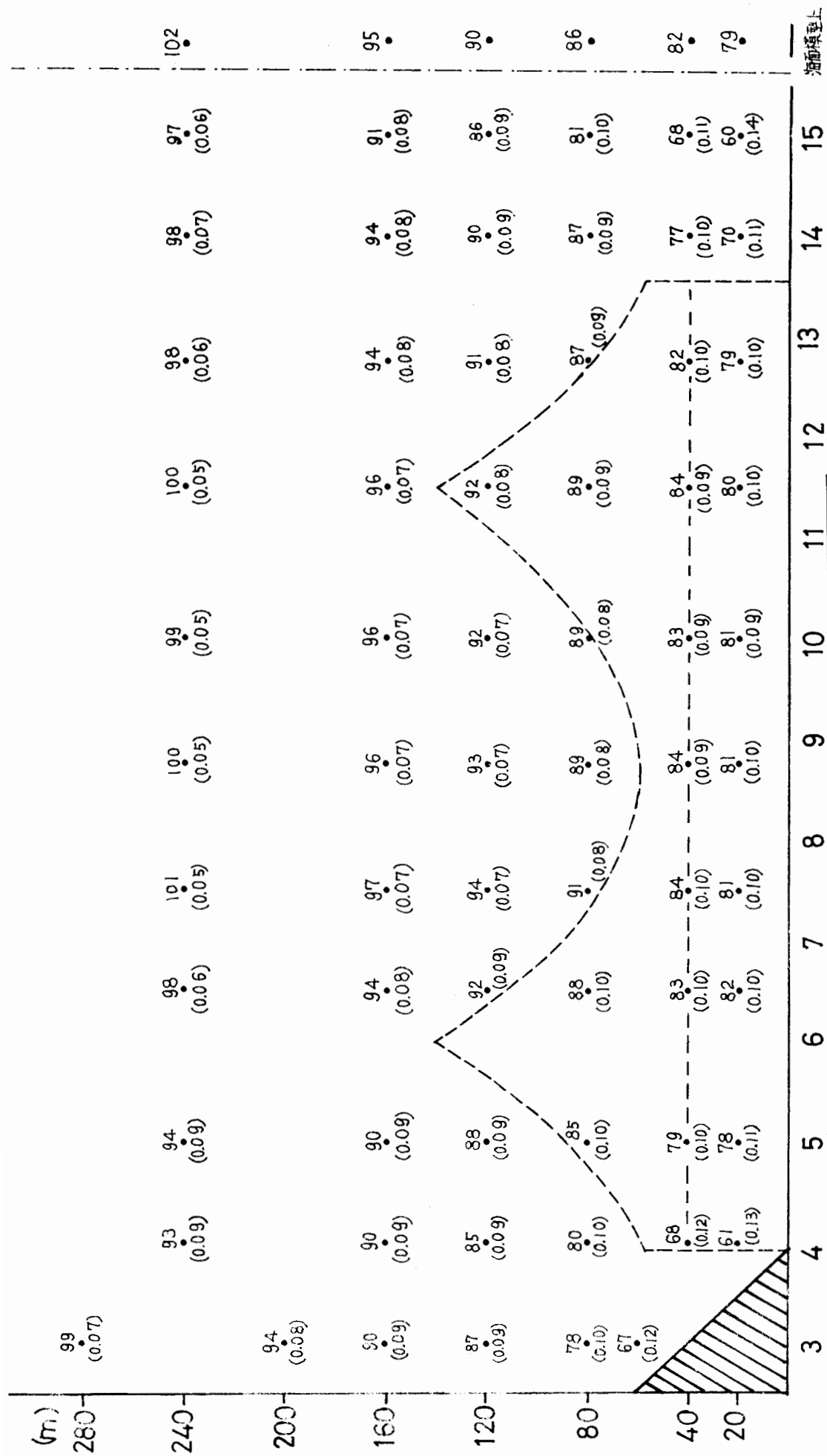


第21図 (b) 詳細図  
 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 15 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)

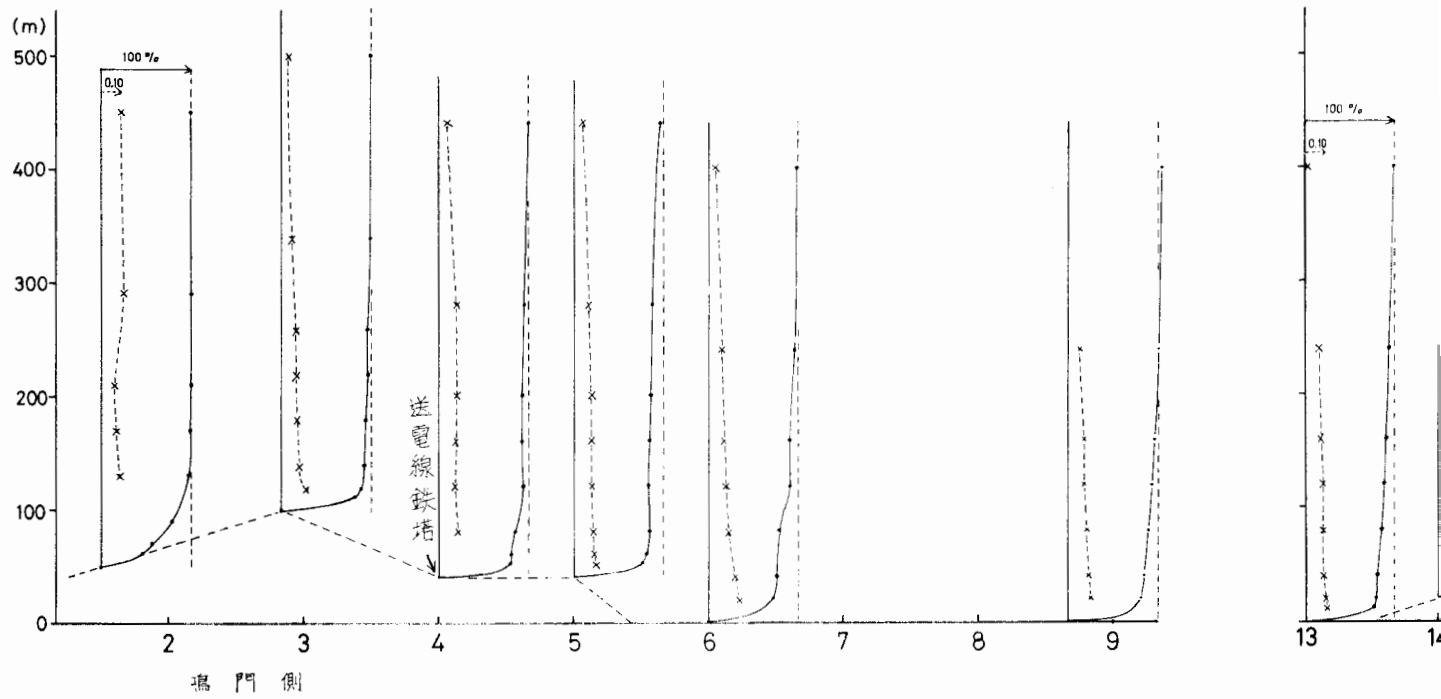




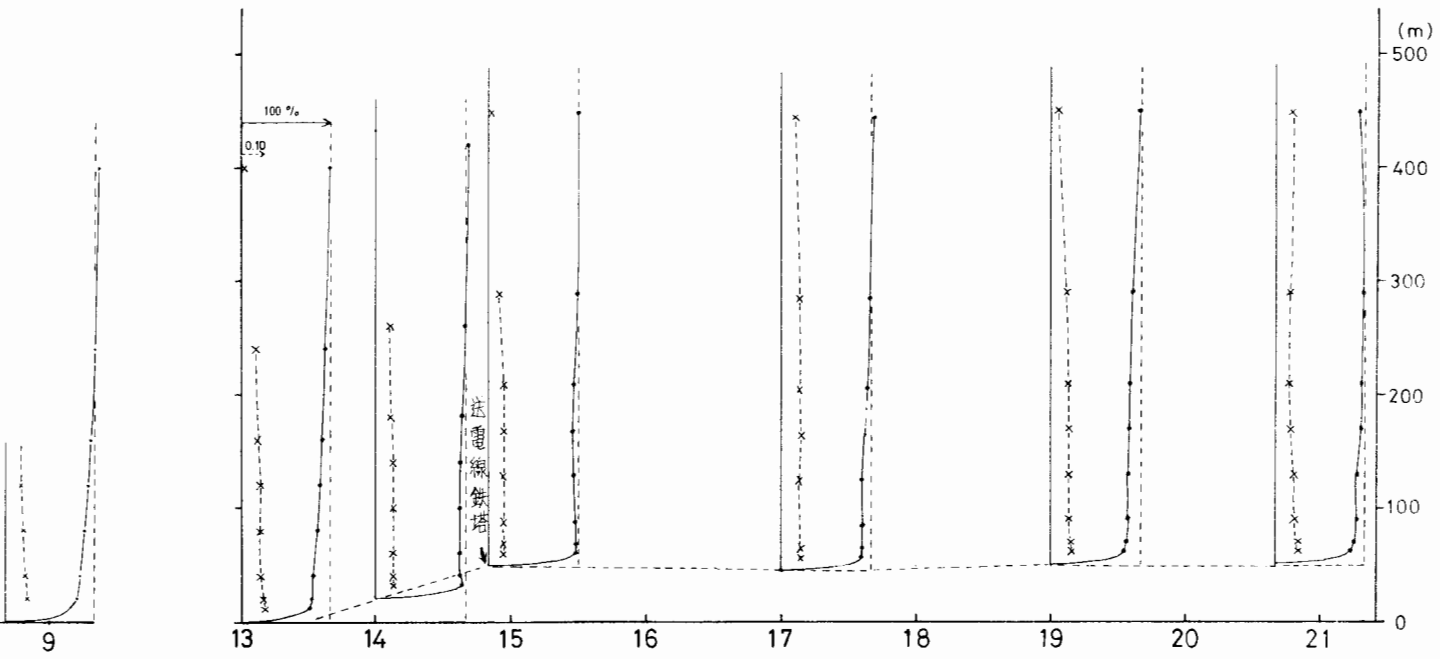
第22図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000の模型)  
 風洞風向 **SSE**  
 風洞風速  $15 \text{ m/s}$   
 模型表面上  $10 \text{ mm}$   
 (現地上  $40 \text{ m}$ )



第233図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 SSE  
 風洞風速 15 m/s

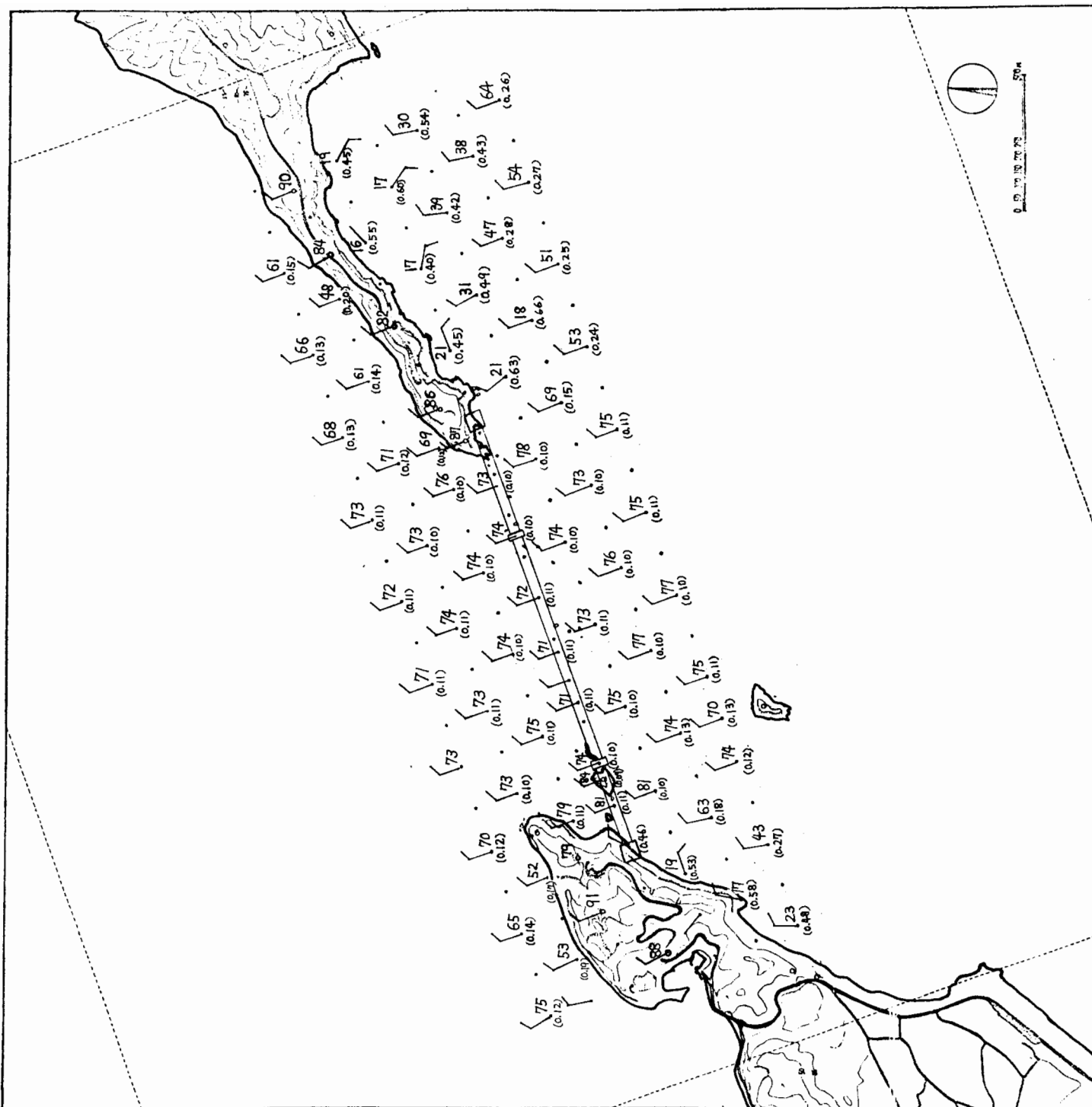


第24図 風速 Profile (鳴門側および  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 15 m/s



風速 Profile (鳴門側および淡路側の半島上)  
縮率 1/4,000 の模型)

風洞風向 **SSE**  
風洞風速 **15 m/s**



第25図 (a) 概略図

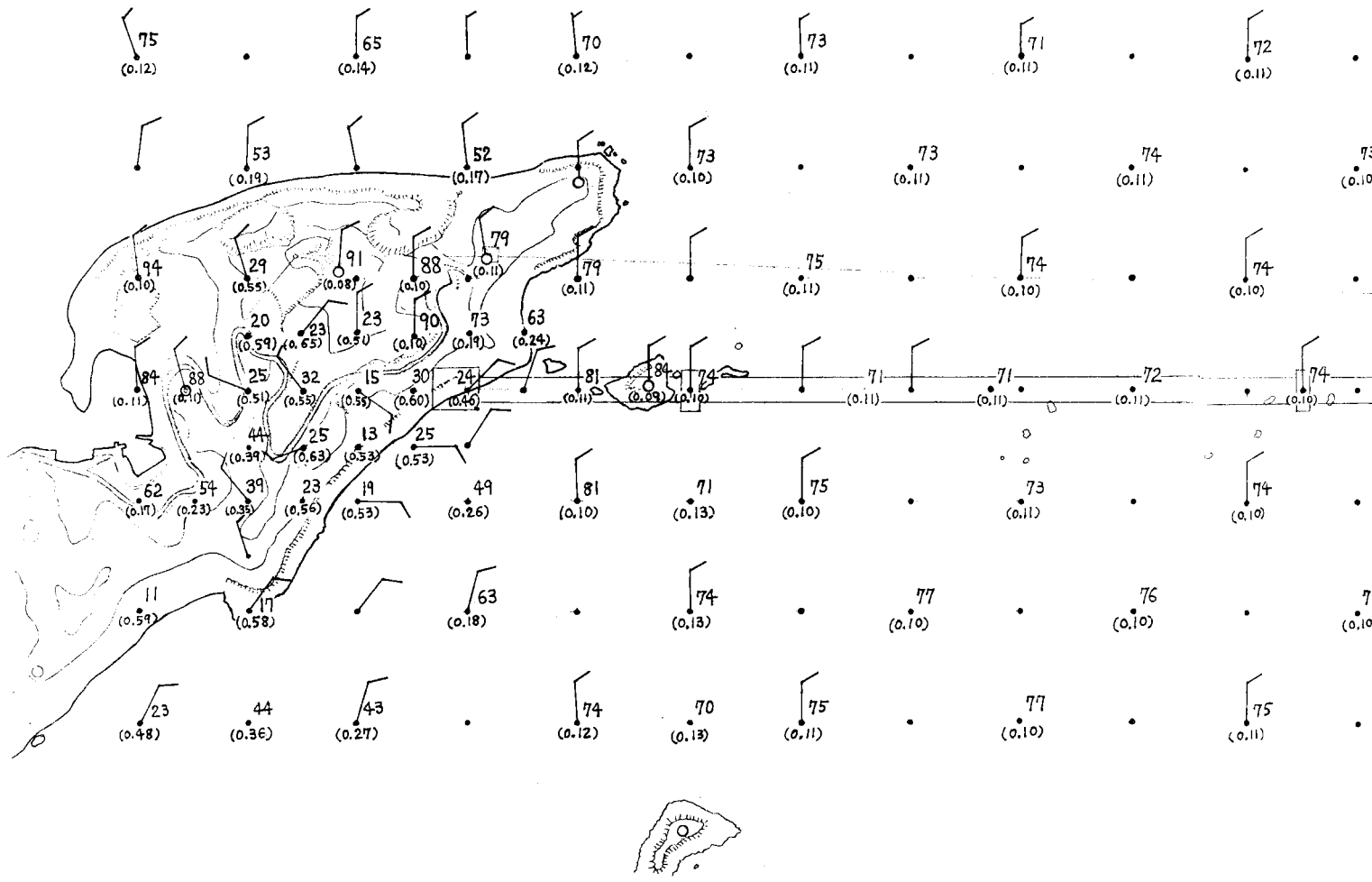
鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率 1/4,000 の模型)

風洞風向 **NNW**

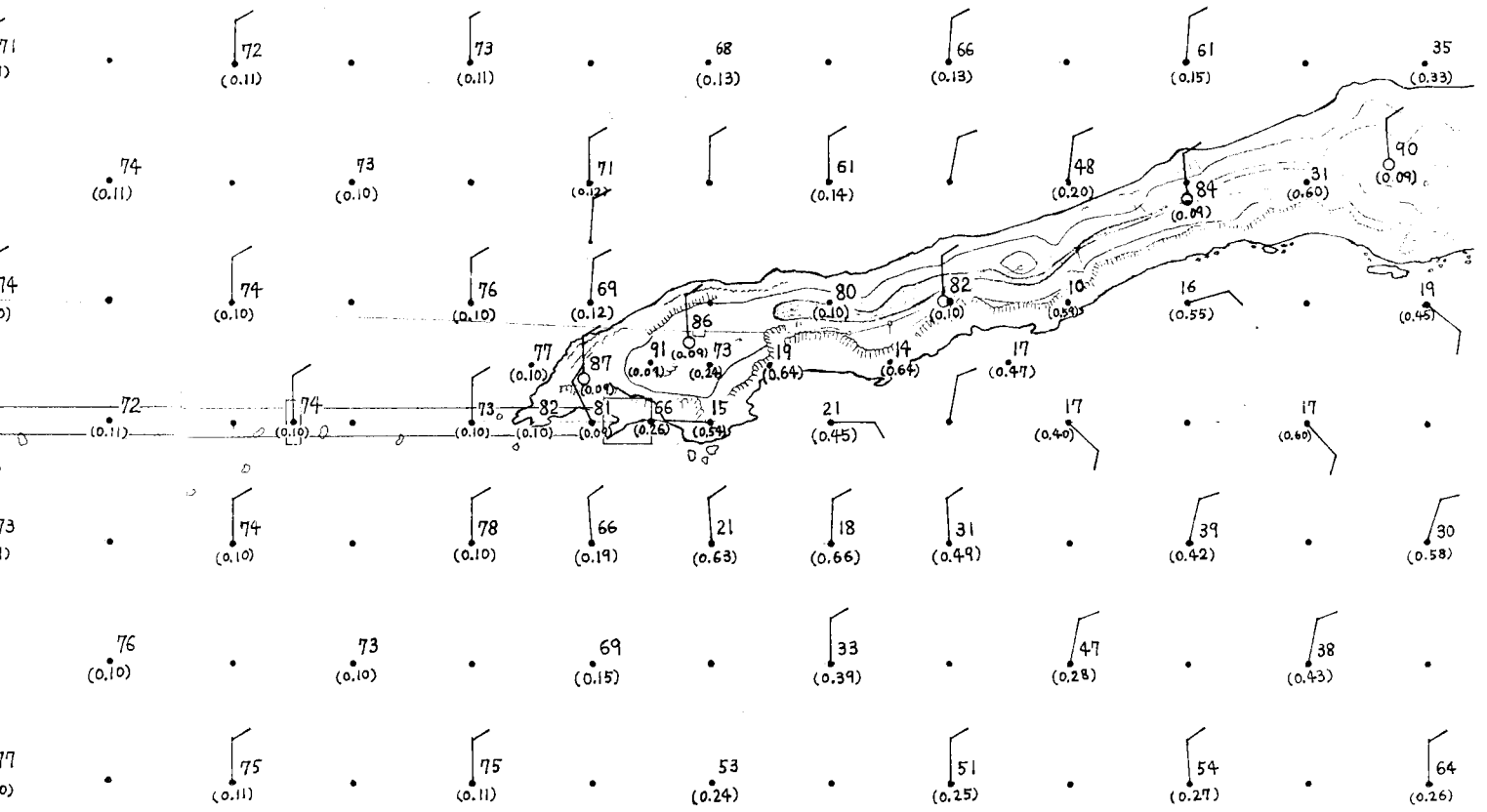
風洞風速 **5 m/s**

模型表面上 **5 mm**

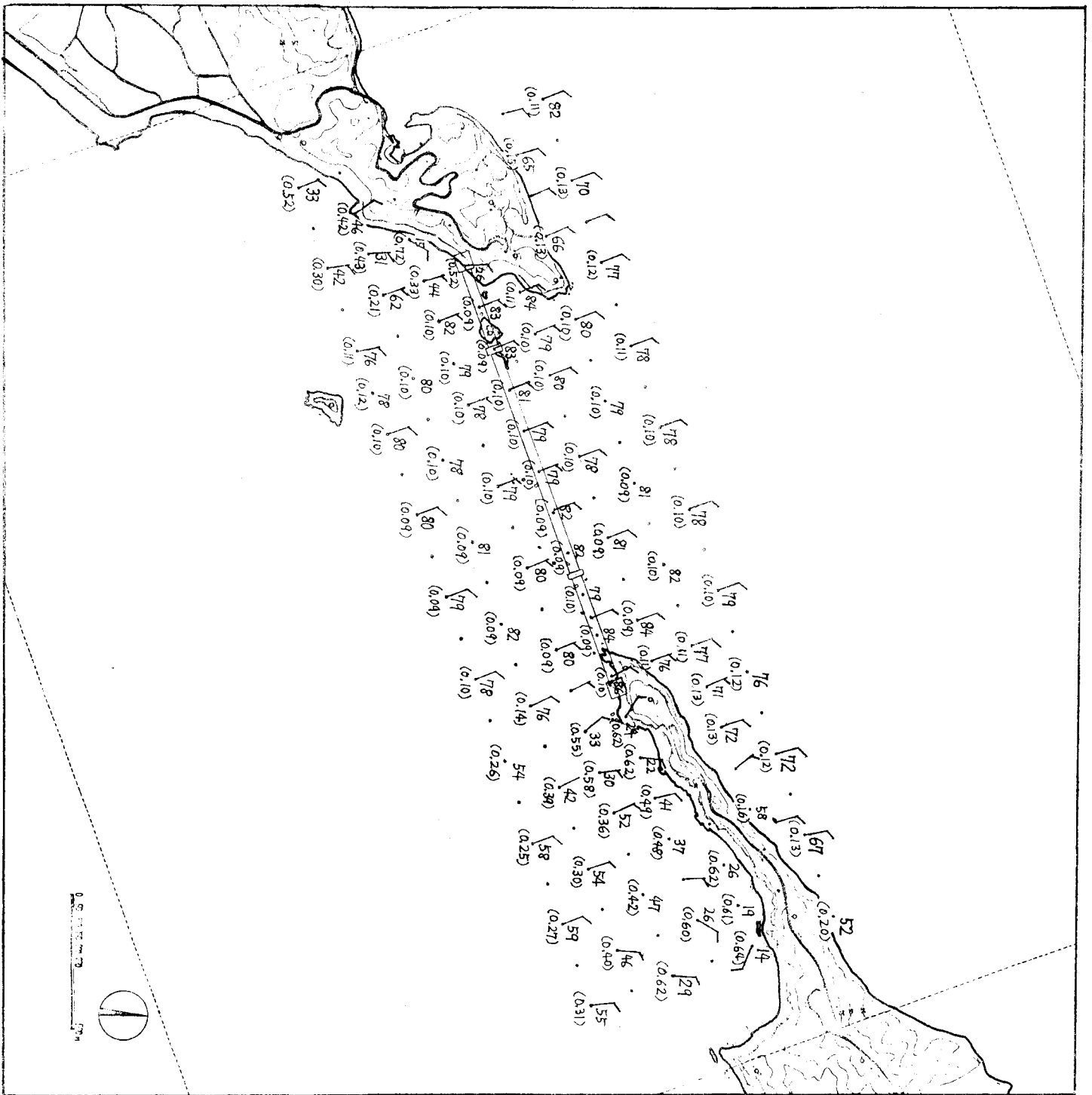
(現地上 **20 m**)



第25図 (b) 詳細図  
 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 **NNW**  
 風洞風速 **5 m/s**  
 模型表面上 **5 mm**  
 (現地上 **20 m**)

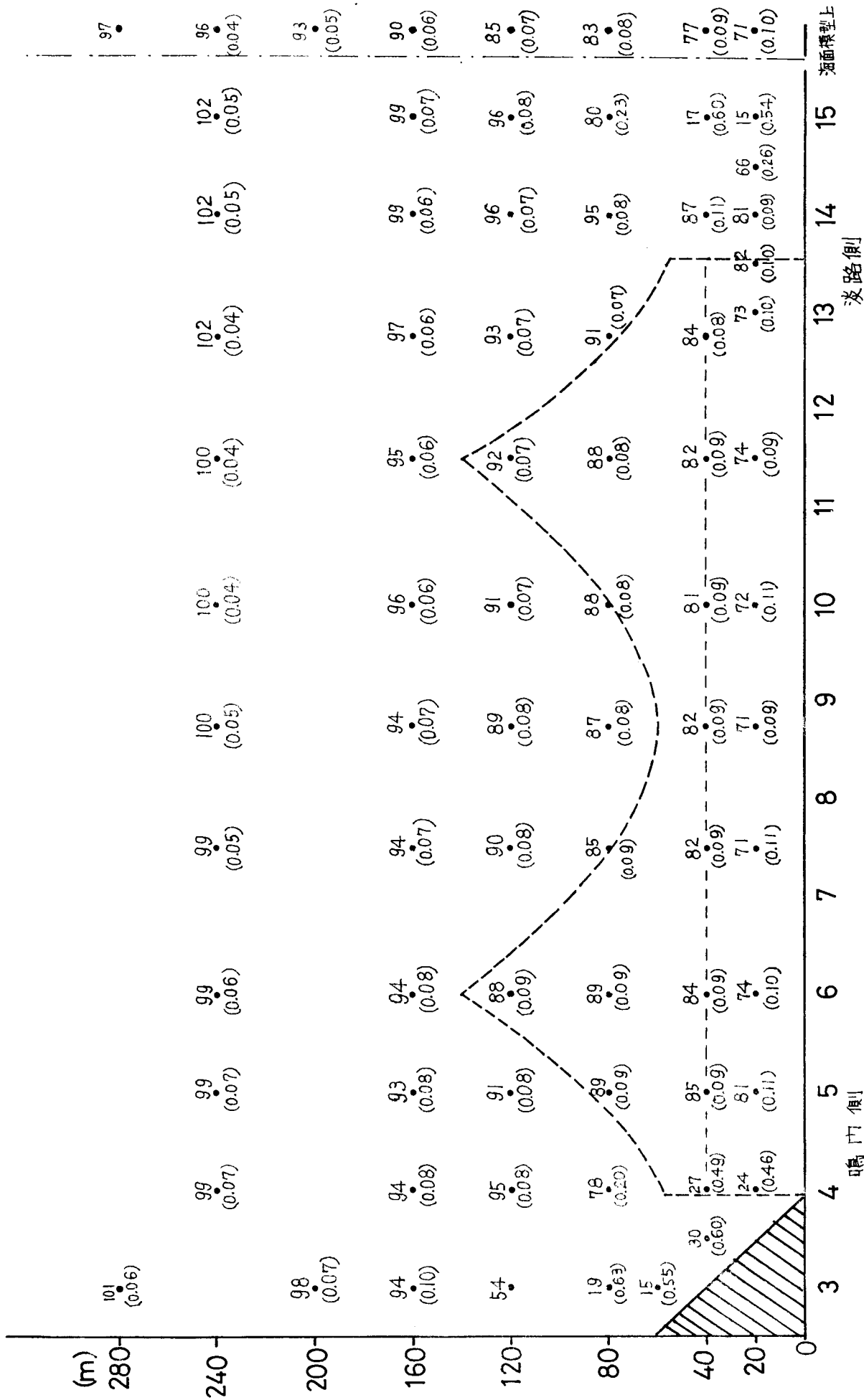


(b) 詳細図  
 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 **NNW**  
 風洞風速 **5 m/s**  
 模型表面上 **5 mm**  
 (現地上 **20 m**)

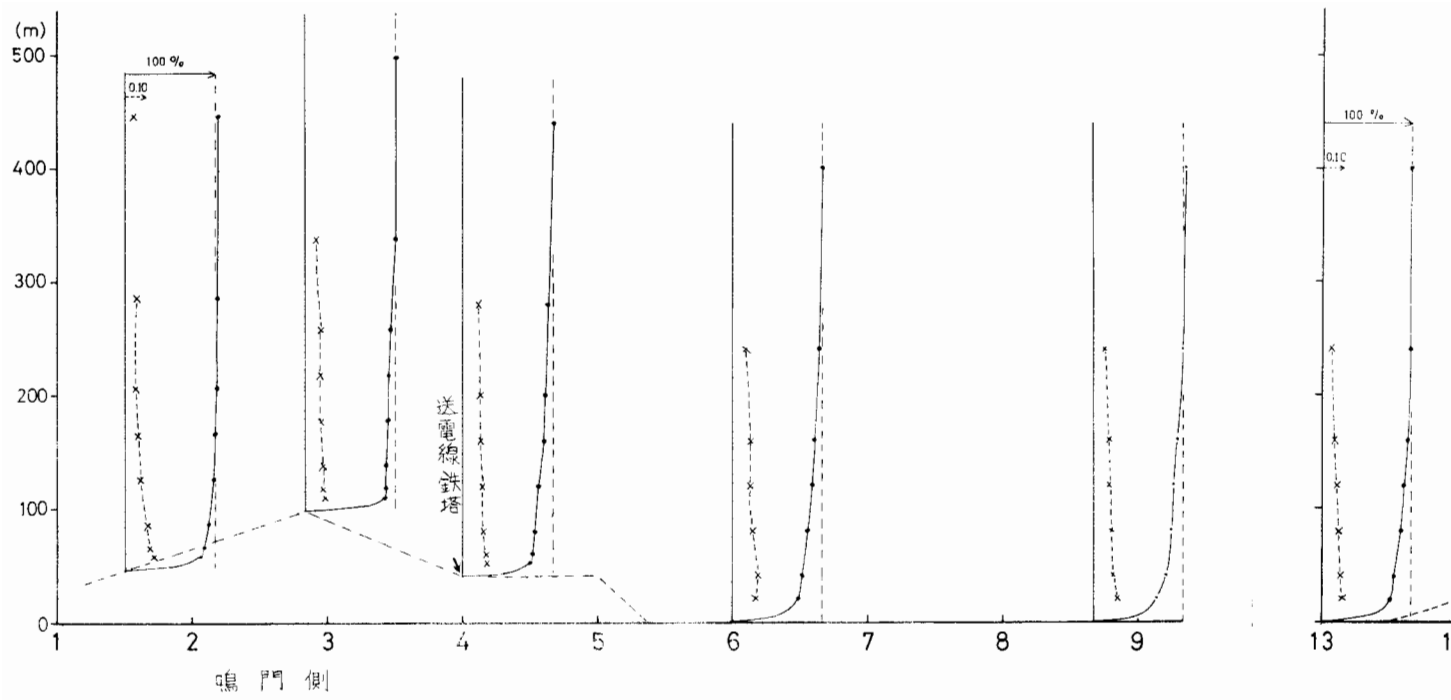


第26図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 N N W  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 10 mm  
 (現地上 40 m)





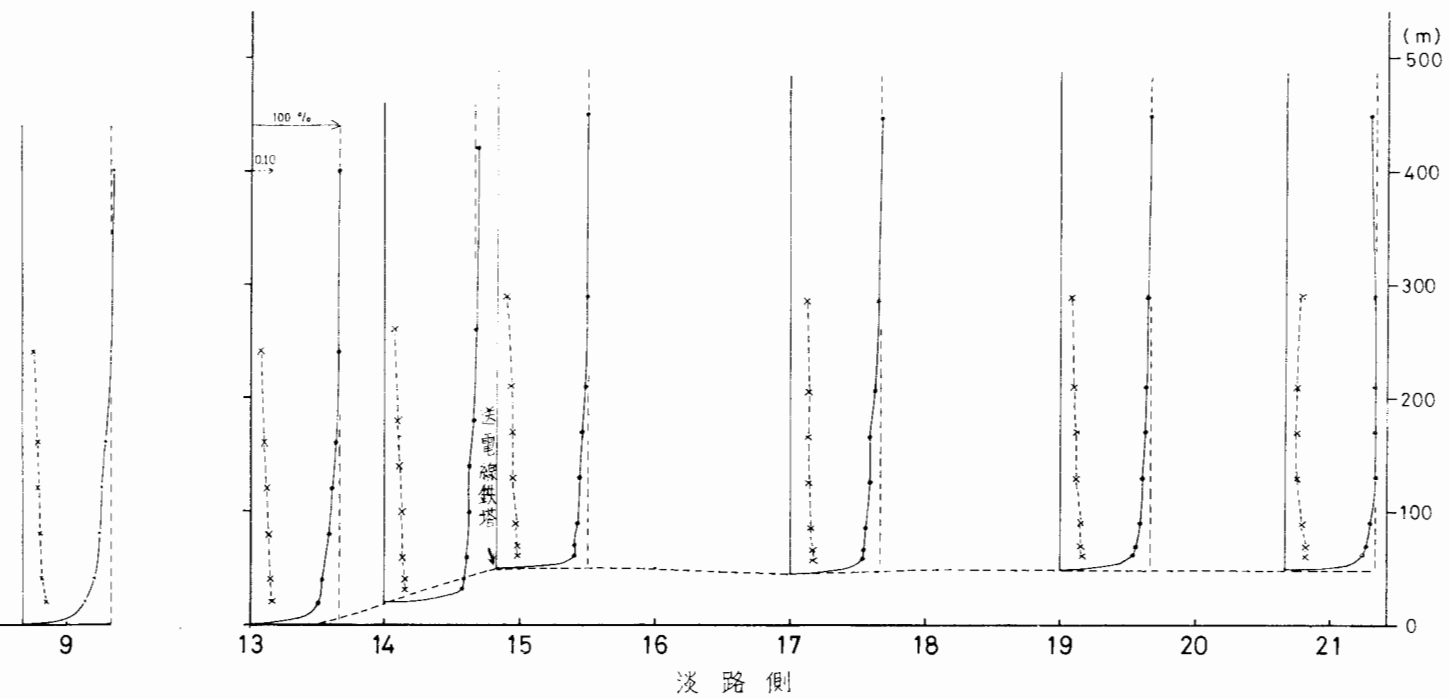
第27図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 N N W  
 風洞風速 5 m/s



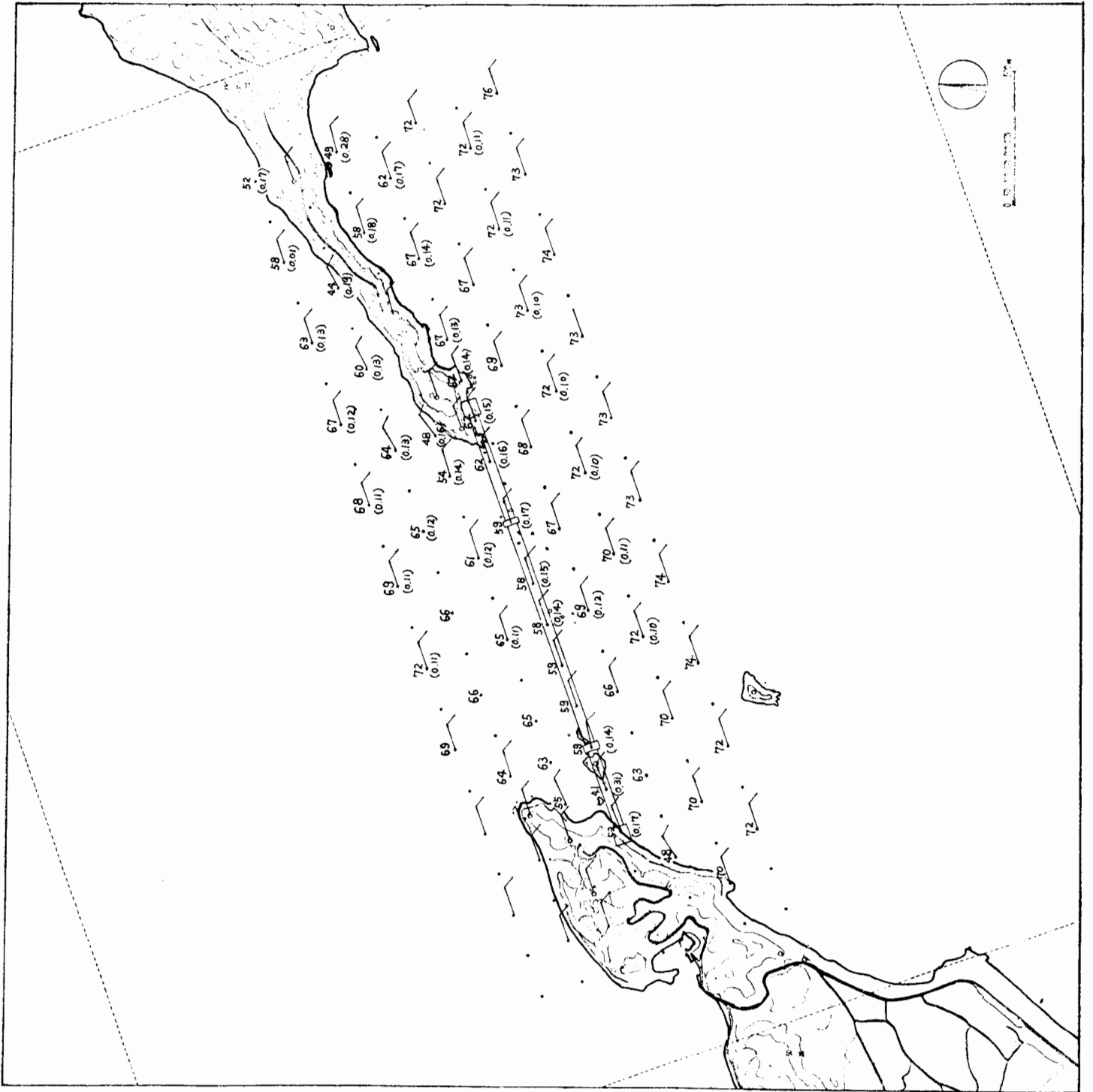
第28図 風速 Profile (鳴門側および淡路  
(縮率 1/4,000 の模型)

風洞風向 N N W

風洞風速 5 m/s



profile (鳴門側および淡路側の半島上)  
 /4,000 の模型  
 同風向 **NNW**  
 同風速 **5 m/s**



第29図 (a) 概略図

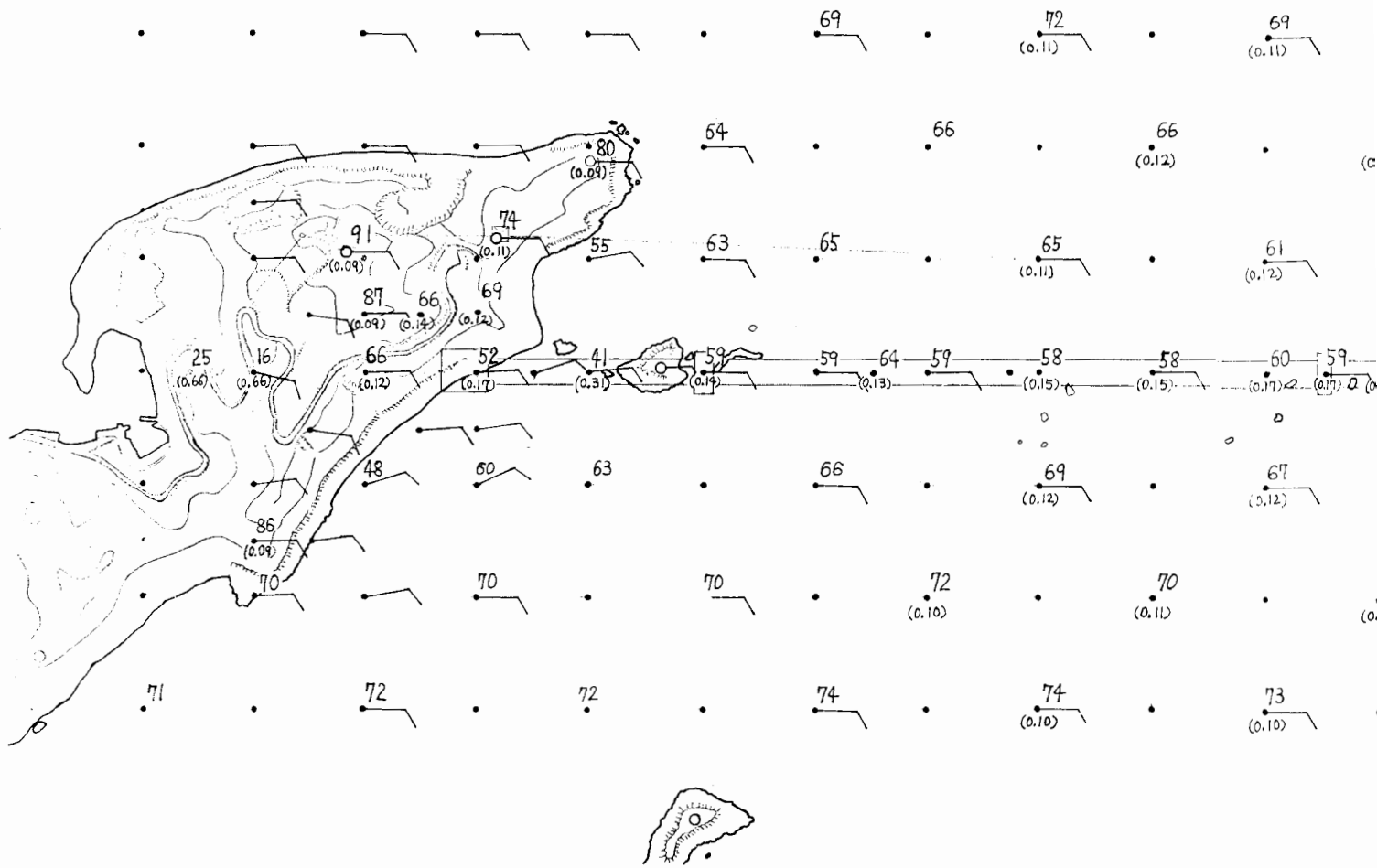
鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率1/4,000の模型)

風洞風向 ENE

風洞風速 5 m/s

模型表面上 5 mm

(現地上 20 m)



第29図 (b) 詳細図

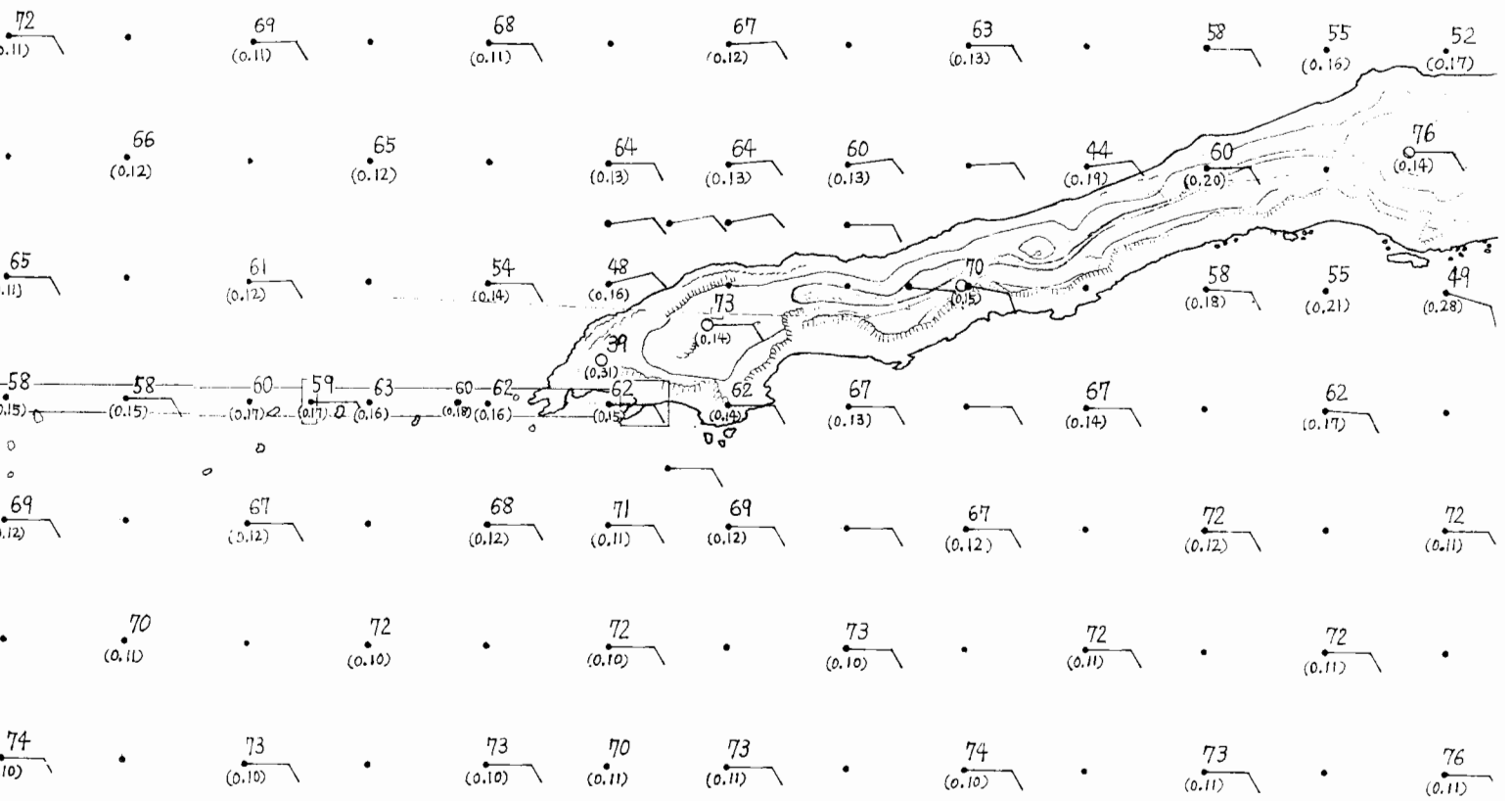
鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率 1/4,000 の模型)

風洞風向 ENE

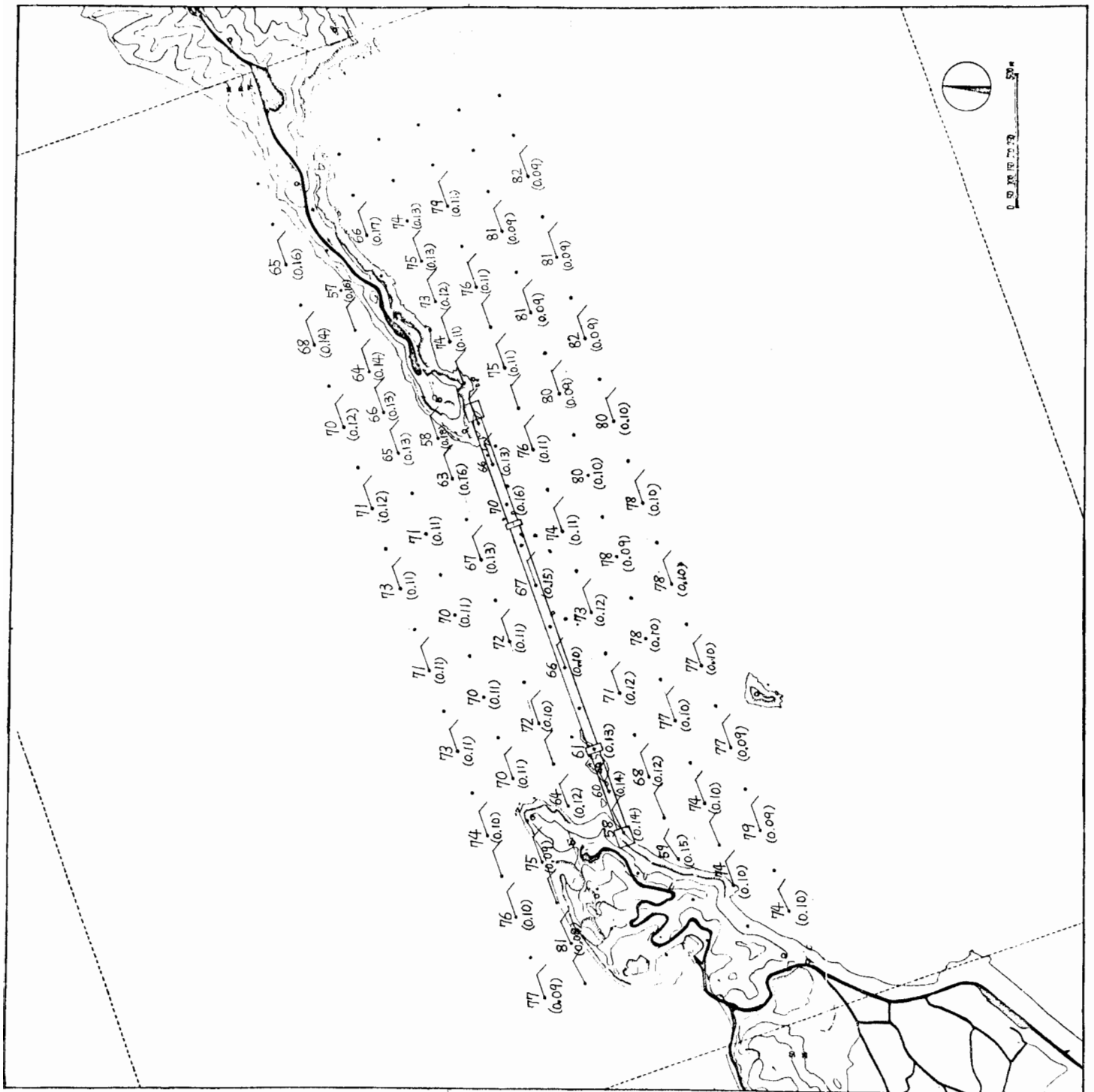
風洞風速 5 m/s

模型表面上 5 mm

(現地上 20 m)



**b) 詳細図**  
 門海峡周辺の風速分布  
 縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 **E N E**  
 風洞風速 **5 m/s**  
 模型表面上 **5 mm**  
 (現地上 **20 m**)



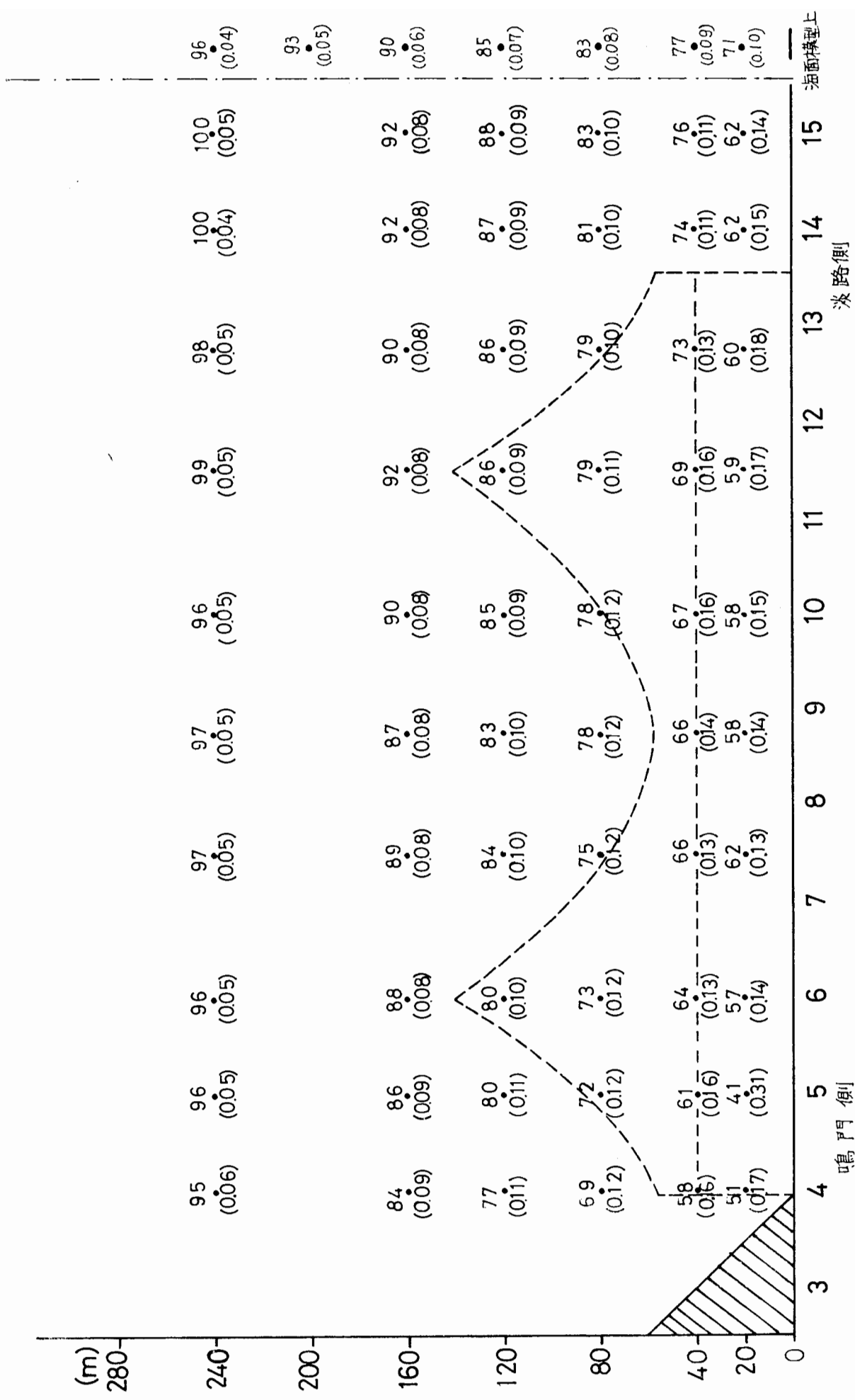
第30図 鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率 1/1,000 の模型)

風洞風向 ENE

風洞風速 5 m/s

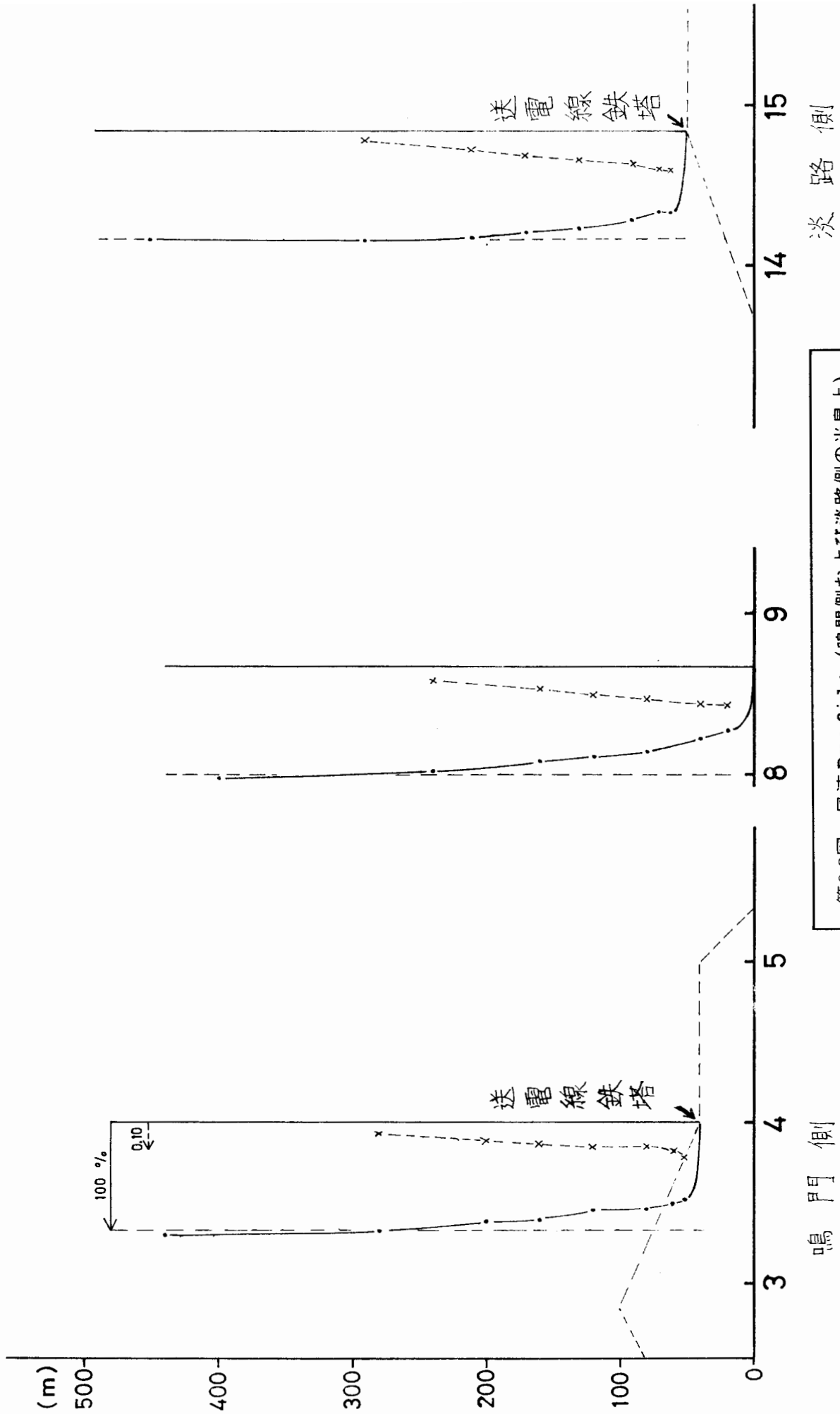
模型表面上 10 mm

(現地上 40 m)

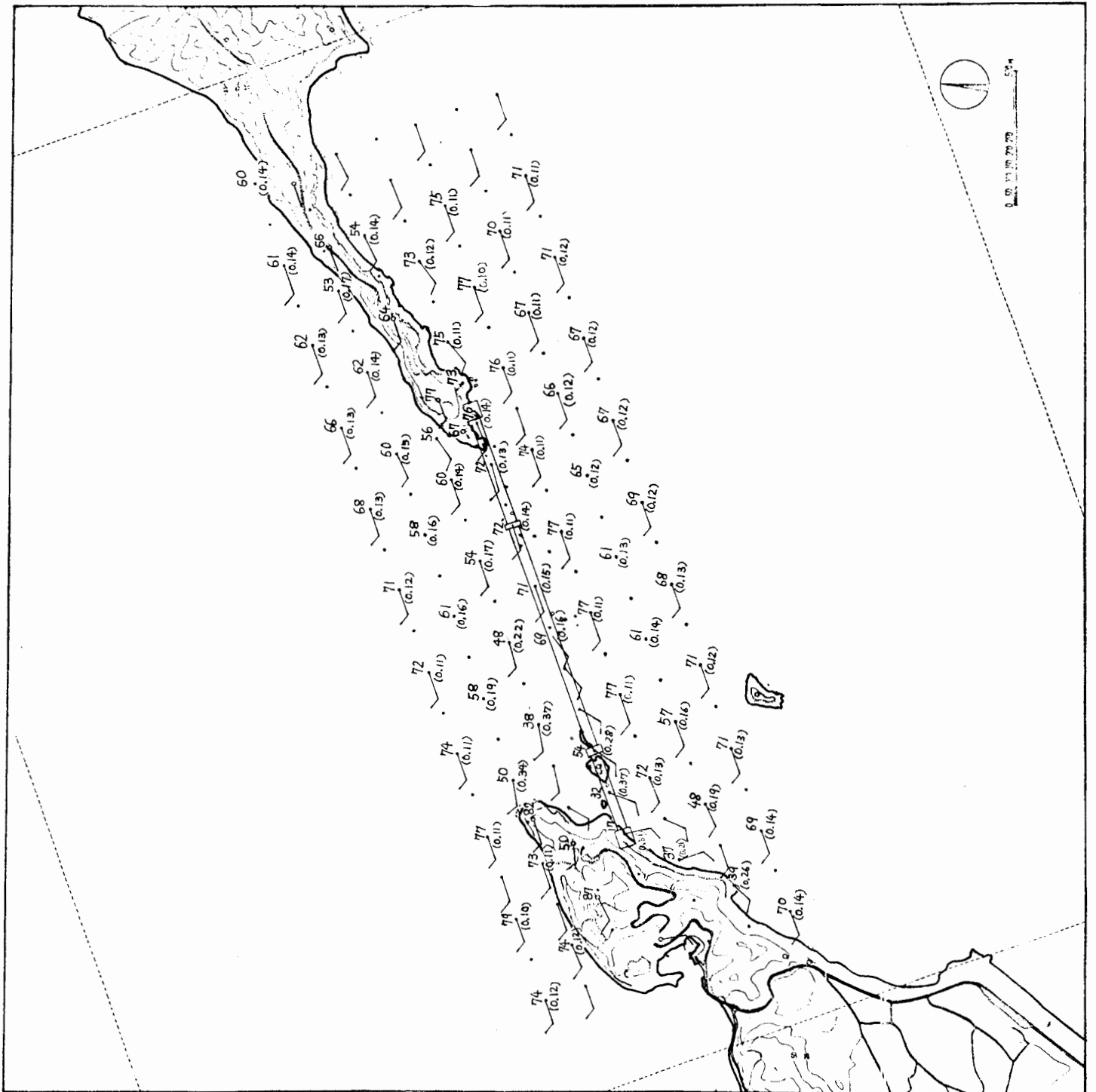


第31図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
 (縮率1/4,000の模型)  
 風洞風向 ENE  
 風洞風速 5 m/s

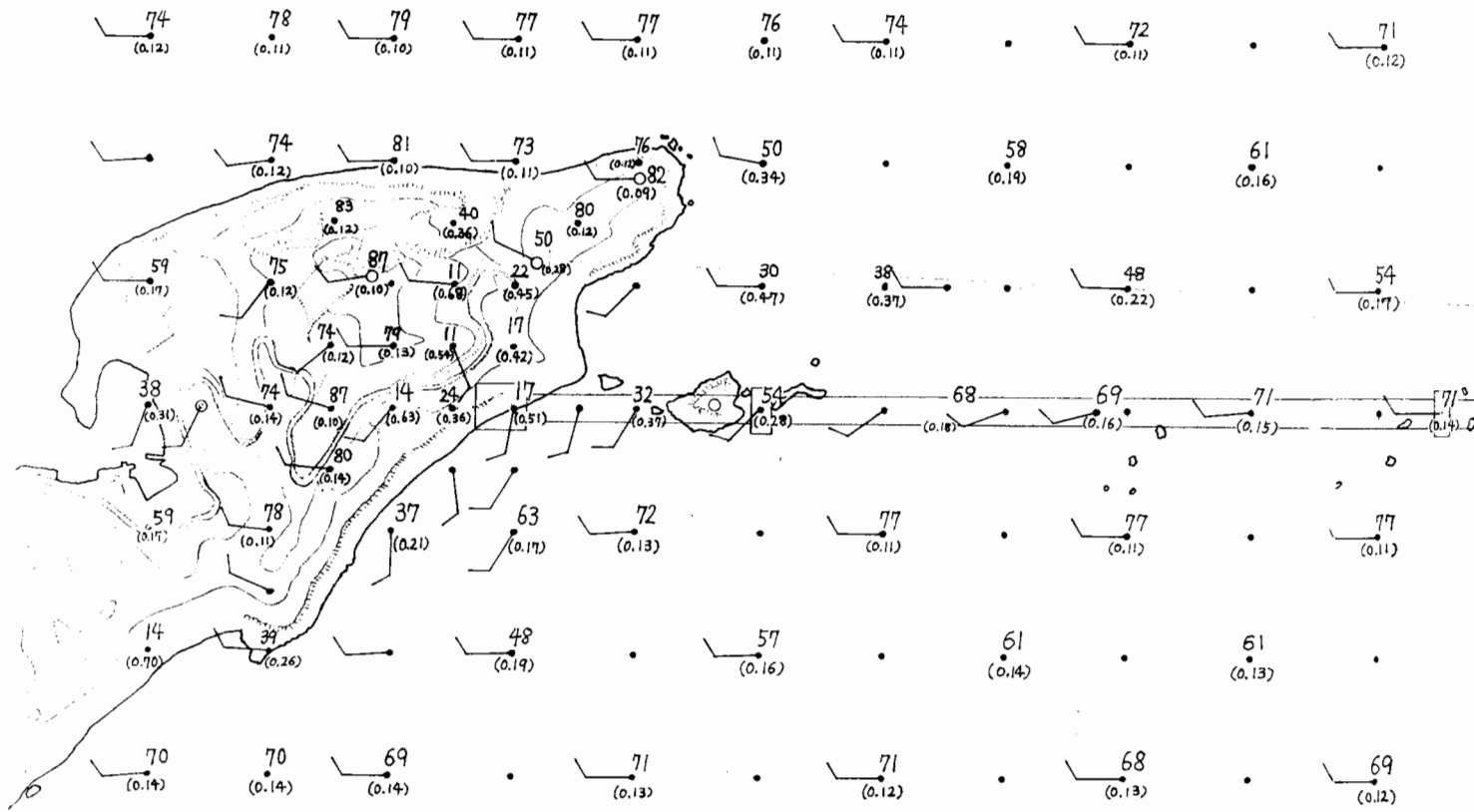




第32図 風速Profile (鳴門側および淡路側の半島上)  
 (縮率1/4,000の模型)  
 風洞風向 ENE  
 風洞風速 5 m/s



第33図 (a) 概略図  
 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率1,000の模型)  
 風洞風向 WSW  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)



第33図 (b) 詳細図

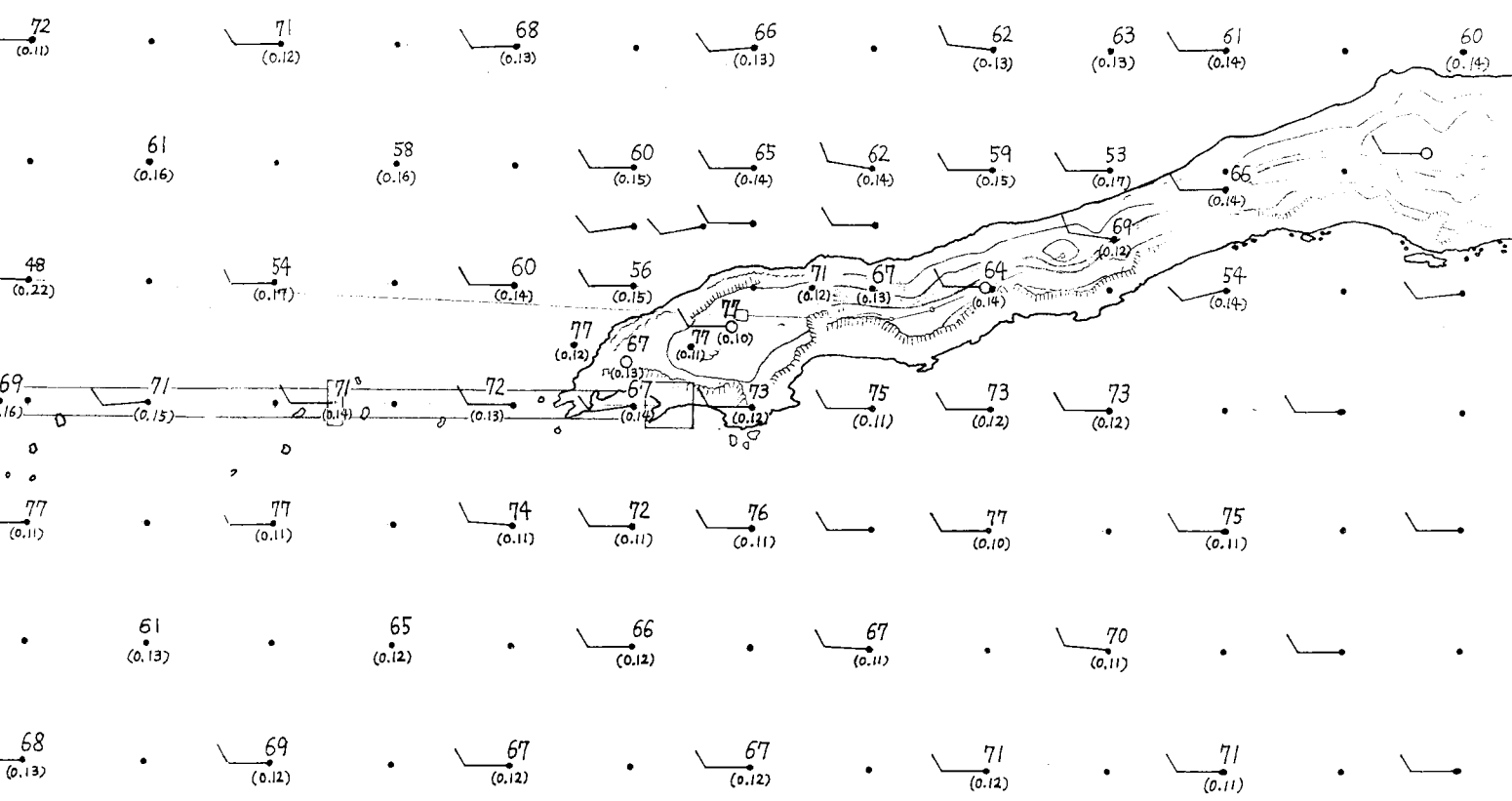
鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率 1/4,000 の模型)

風洞風向 W S W

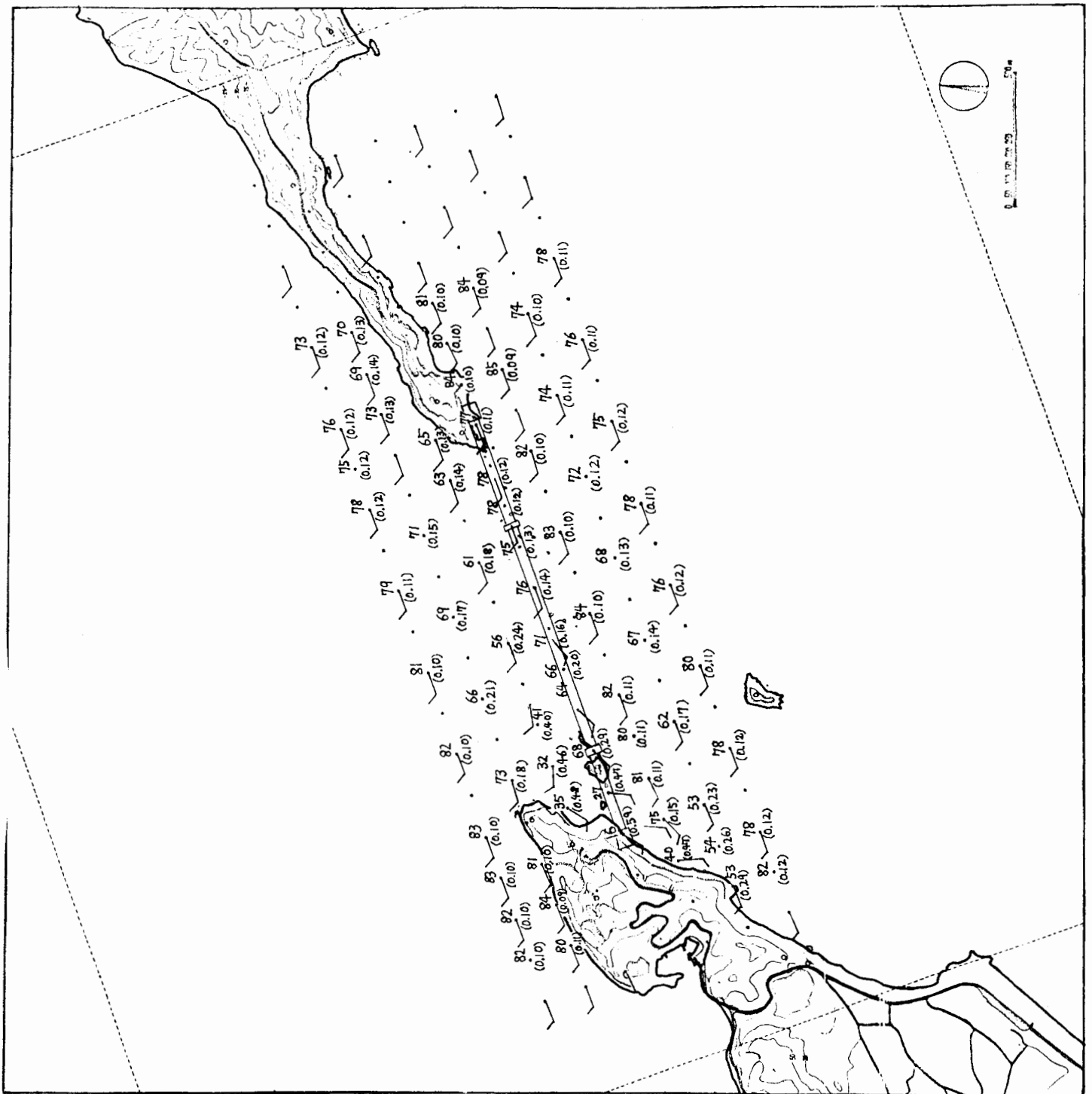
風洞風速 5 m/s

模型表面上 5 mm

(現地上 20 m)



分布  
(模型)  
W  
S  
MM  
(n)



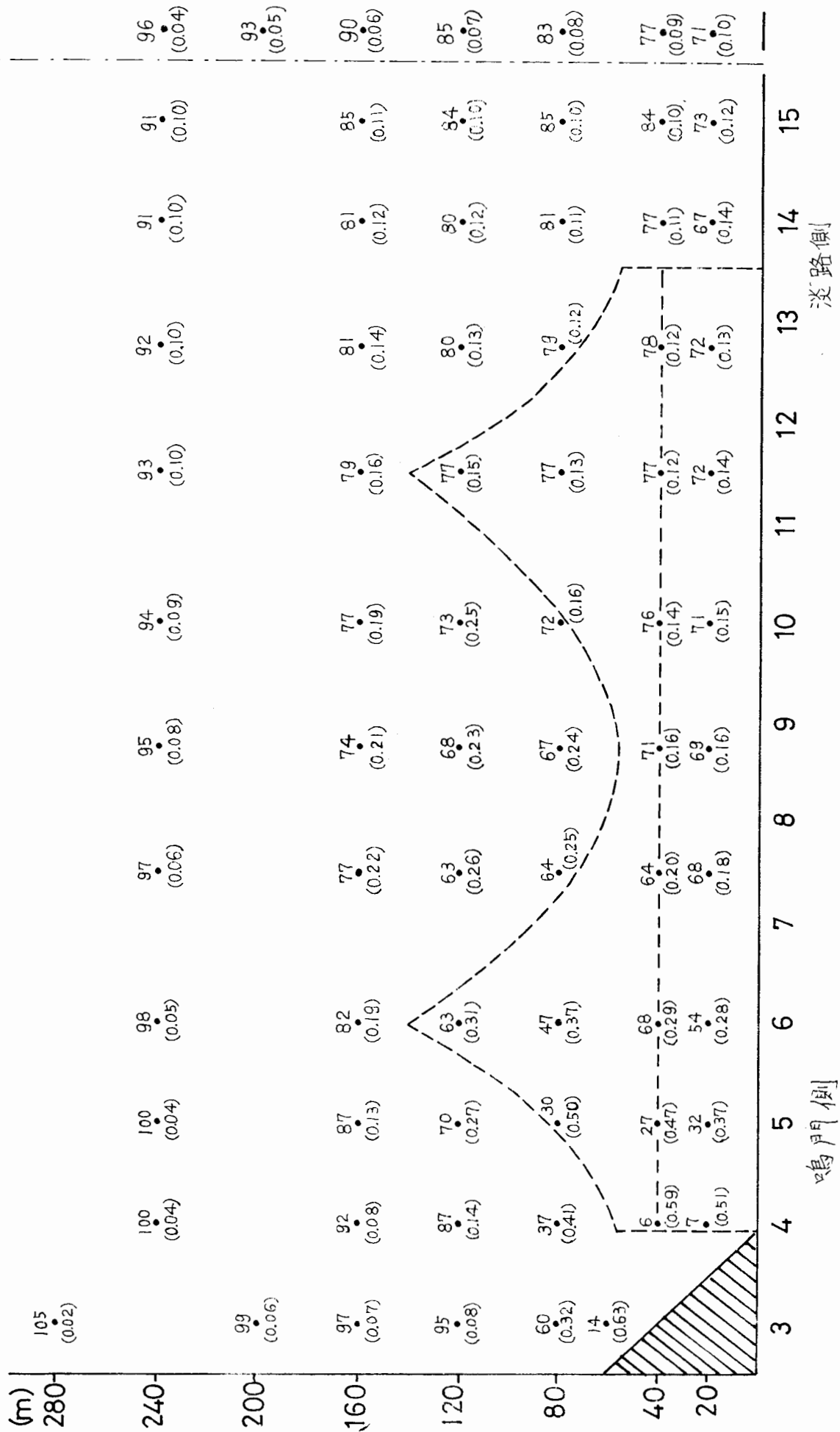
第34図 鳴門海峡周辺の風速分布  
(縮率1/4,000の模型)

風洞風向  $\bar{W} S W$

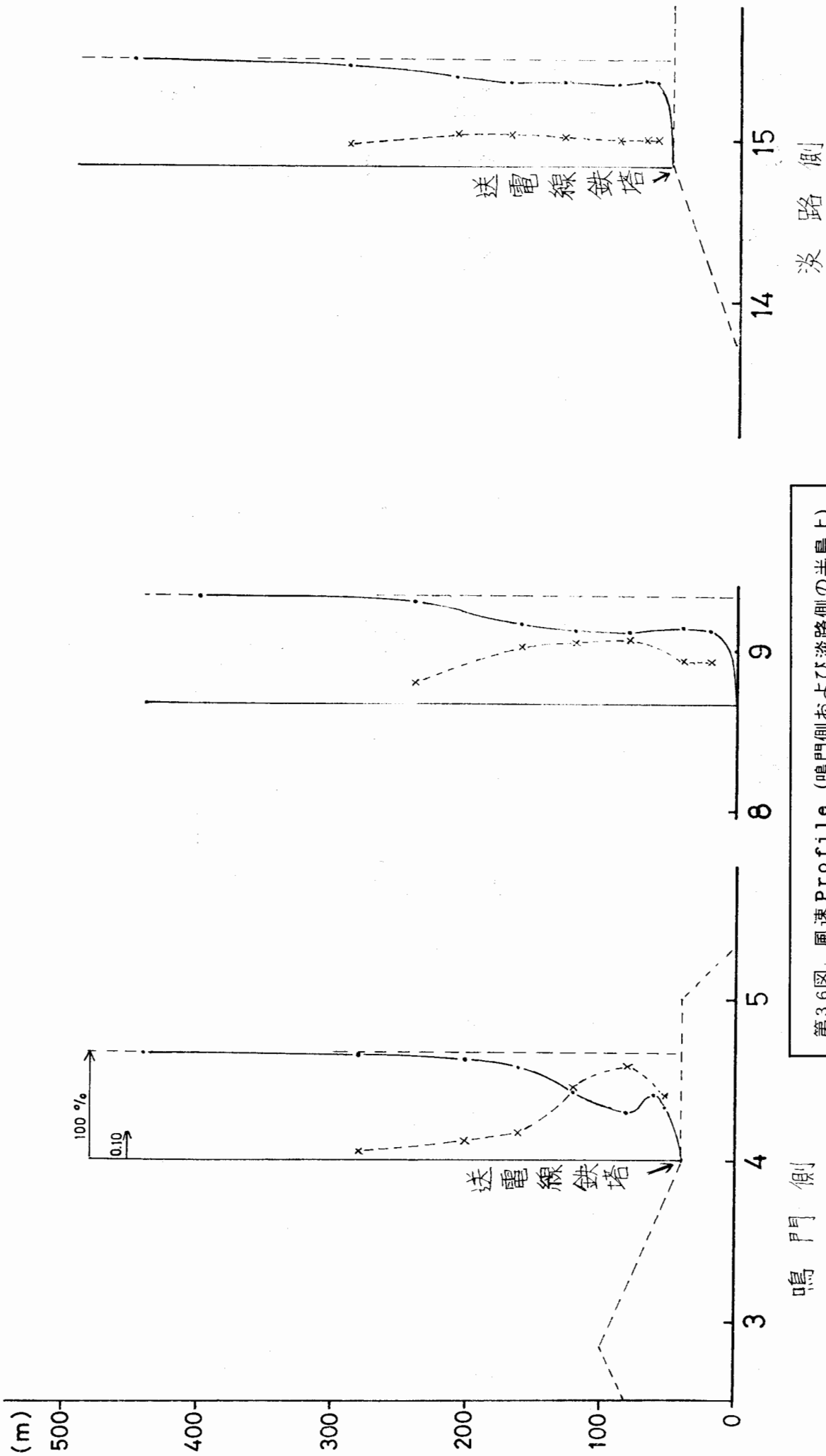
風洞風速  $5 \text{ m/s}$

模型表面上  $10 \text{ mm}$

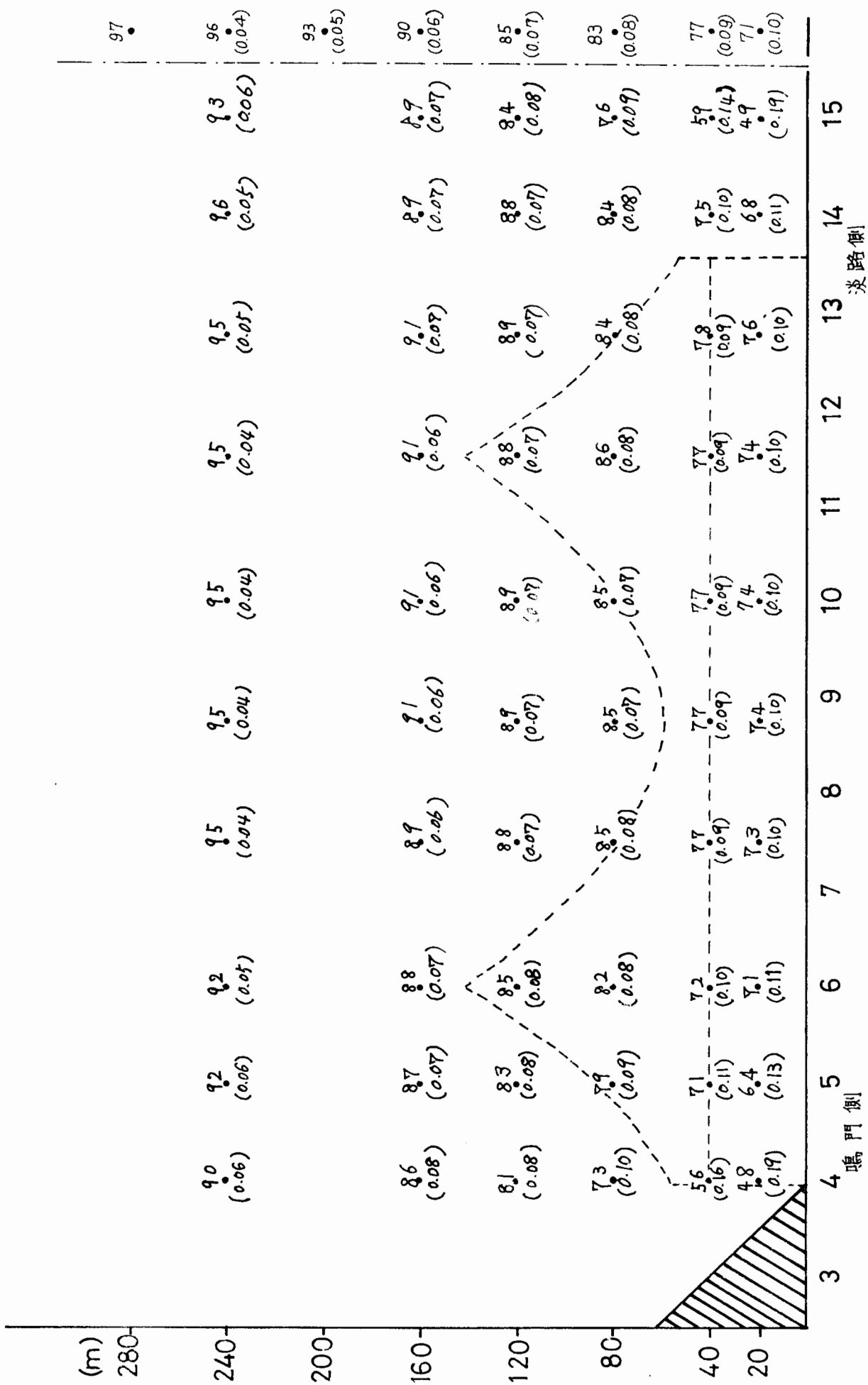
(現地上  $40 \text{ m}$ )



第35図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 W S W  
 風洞風速 5 m/s

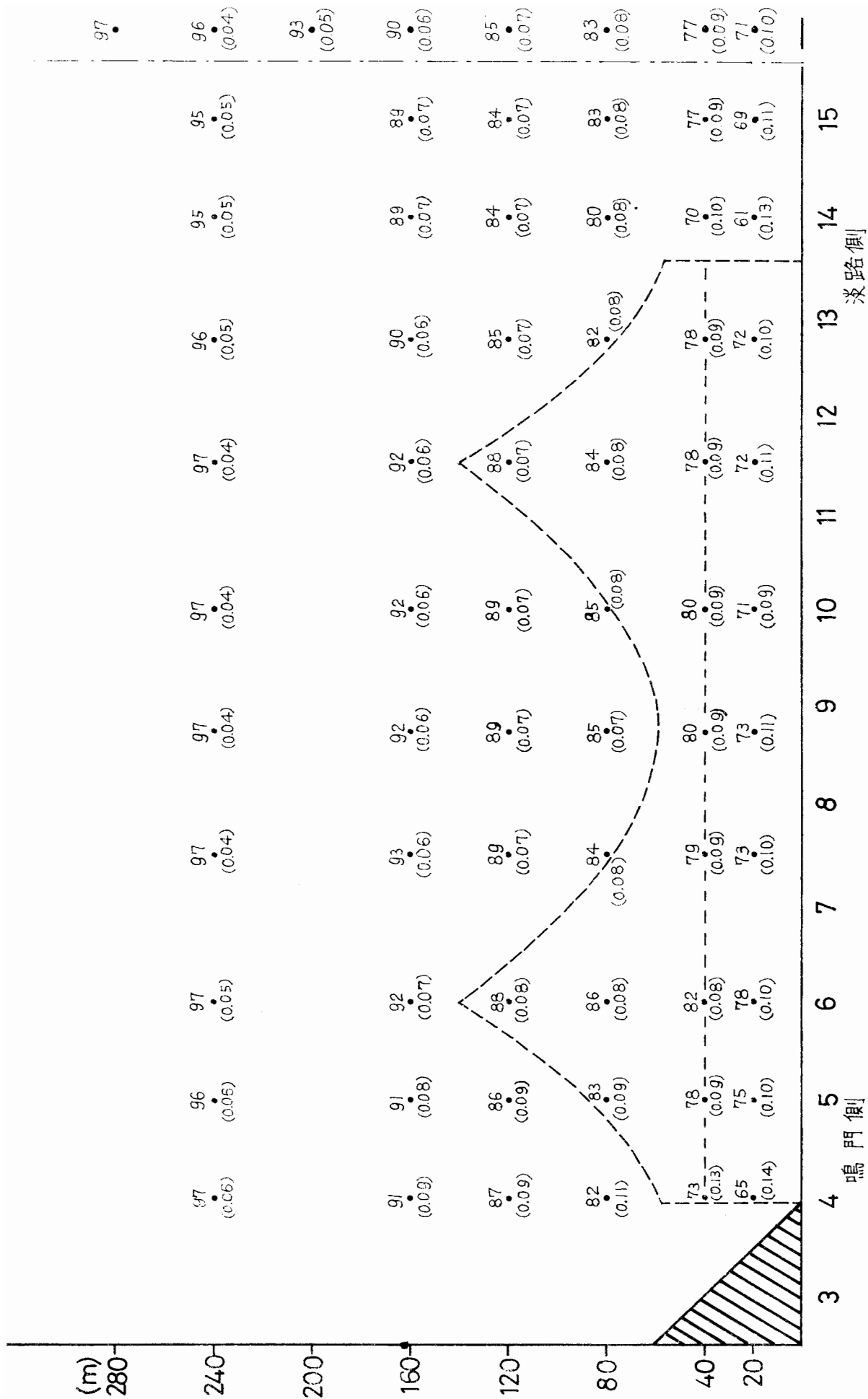


第36図 風速Profile (鳴門側および淡路側の半島上)  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 WSW  
 風洞風速 5 m/s



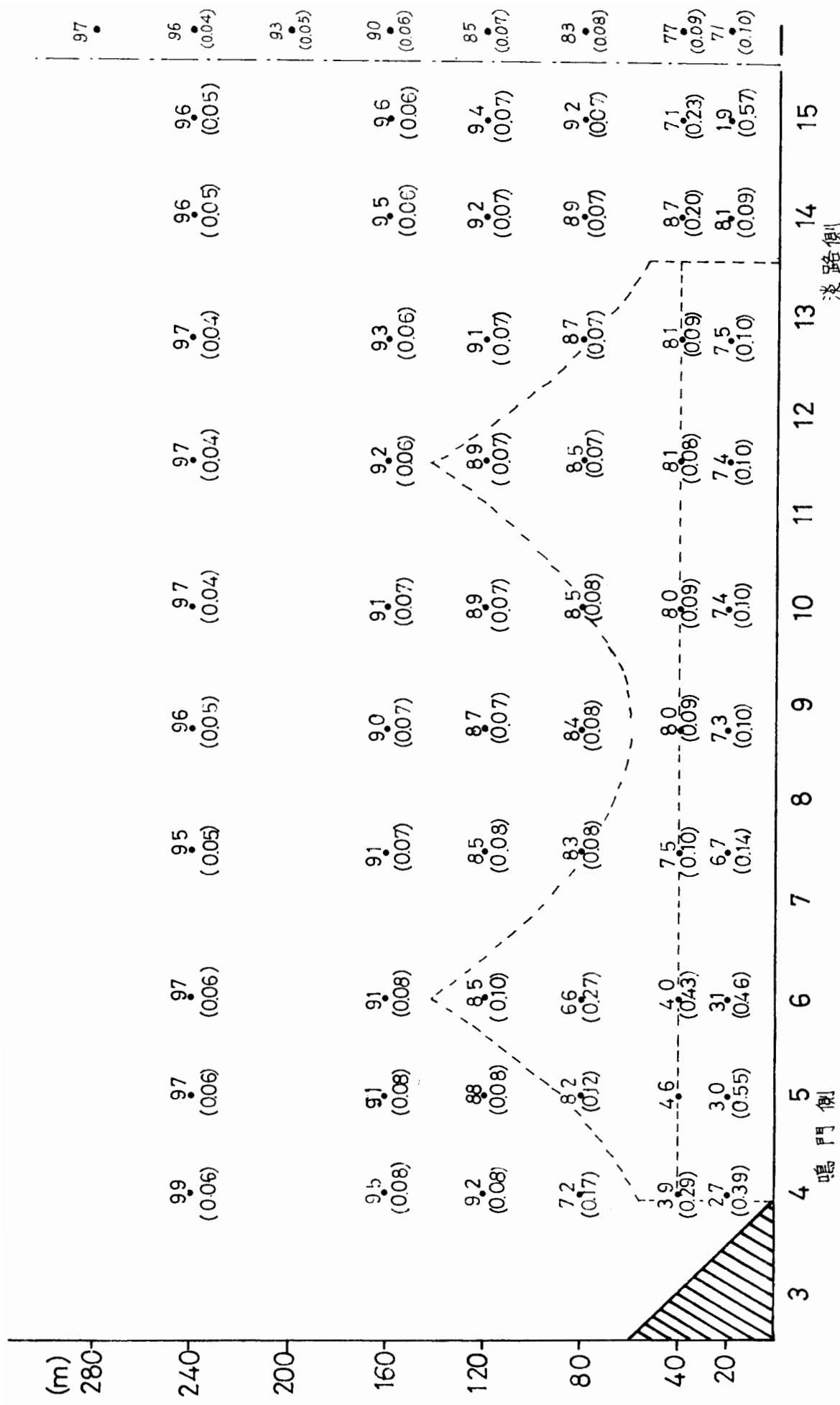
第37図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速 Profile  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 ESE  
 風洞風速 5 m/s





3 4 鳴門側 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 淡路側

第38図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
(縮率 1/4,000 の模型)  
風洞風向 SSW  
風洞風速 5 m/s



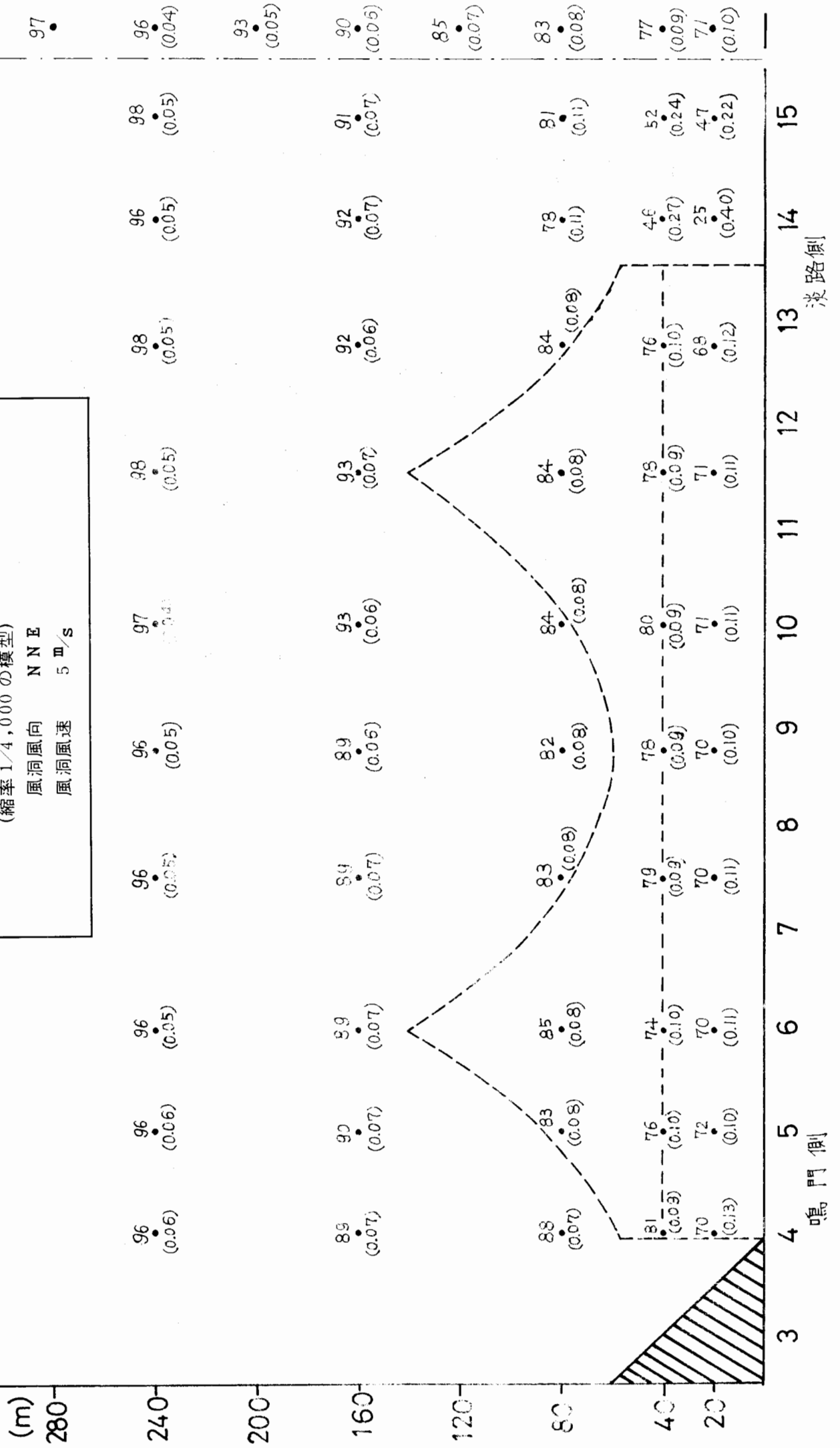
第39図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 WNW  
 風洞風速 5 m/s

第40図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile

(縮率 1/4,000 の模型)

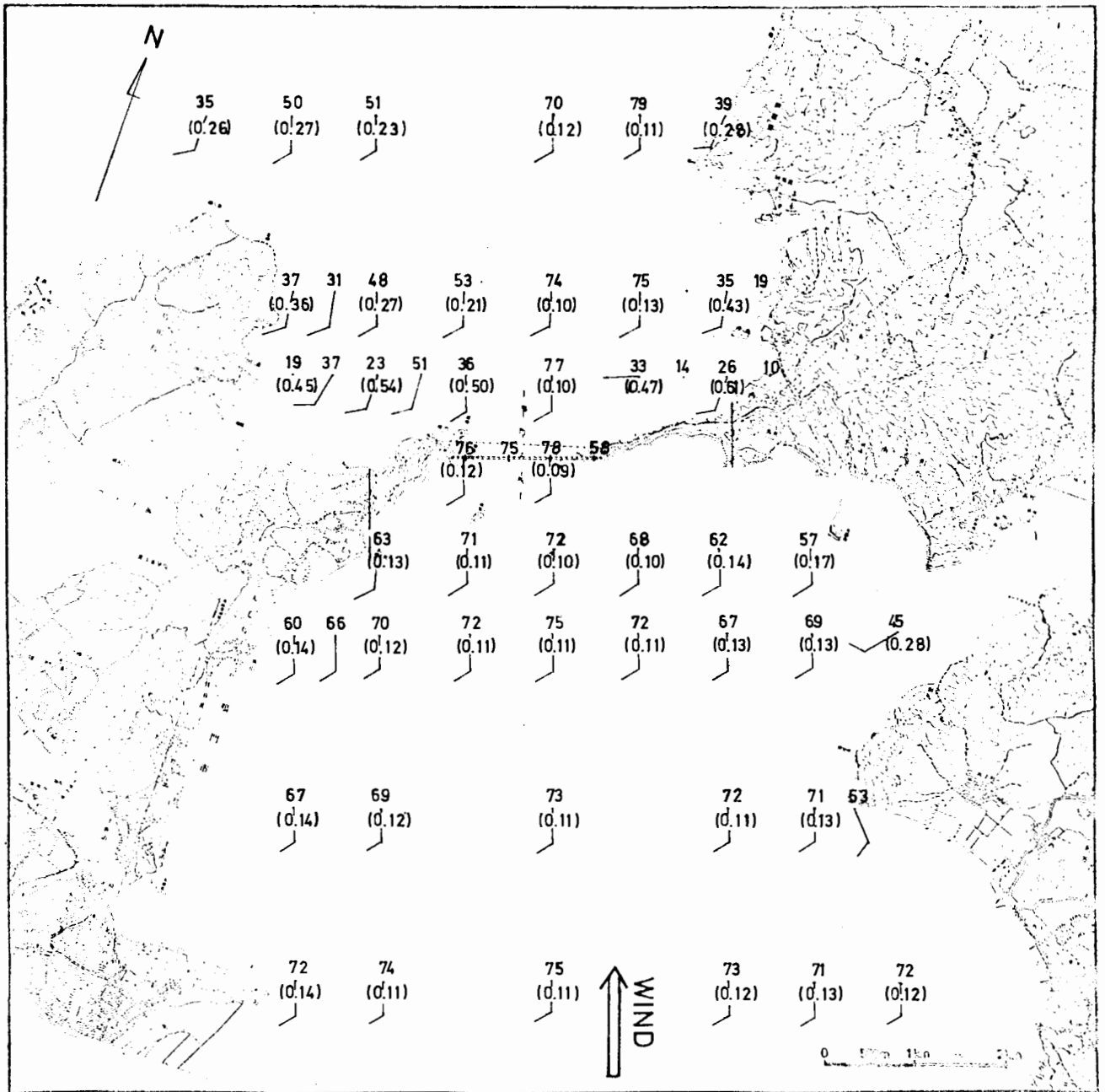
風洞風向 N N E

風洞風速 5 m/s

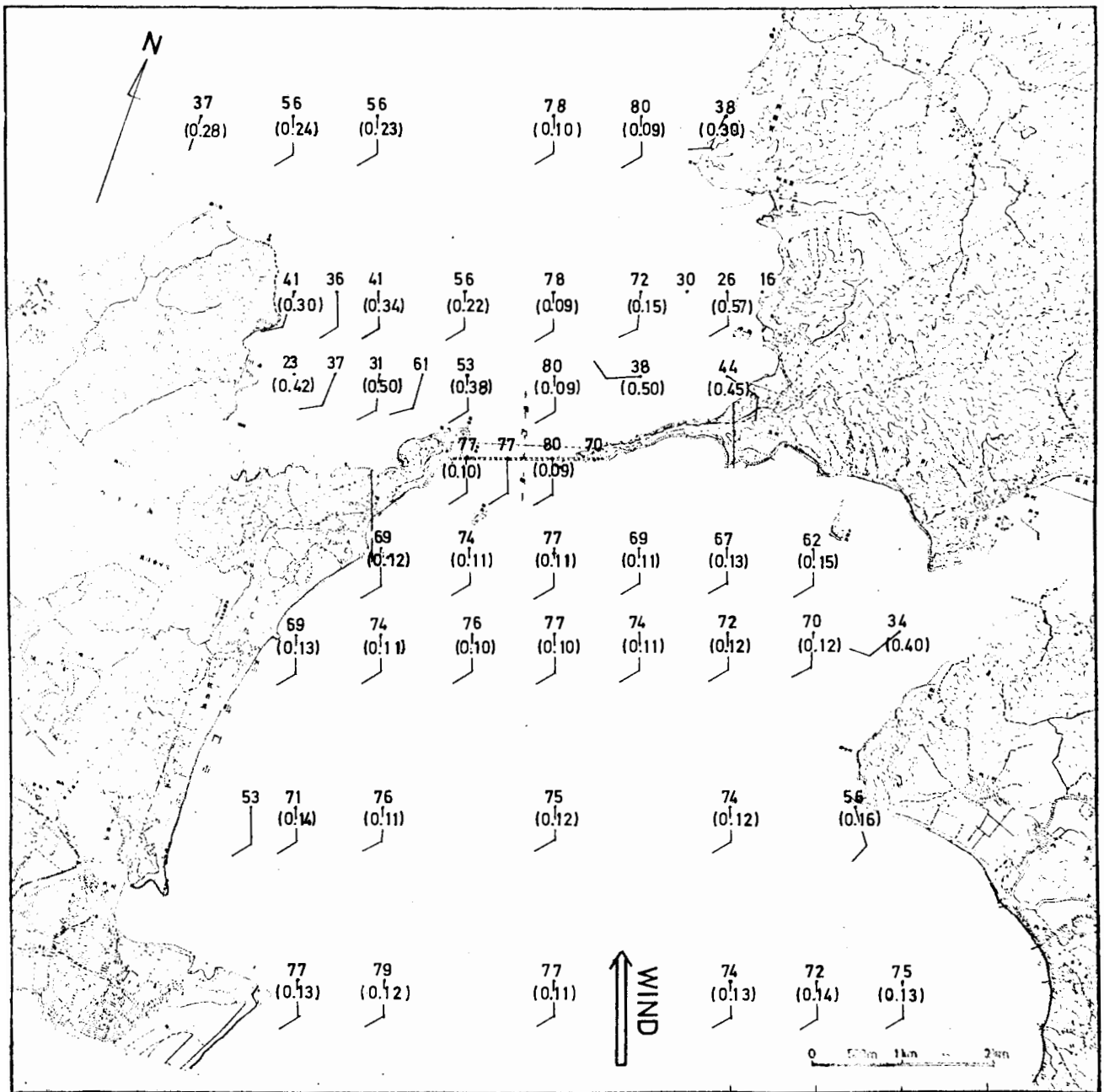


淡路側

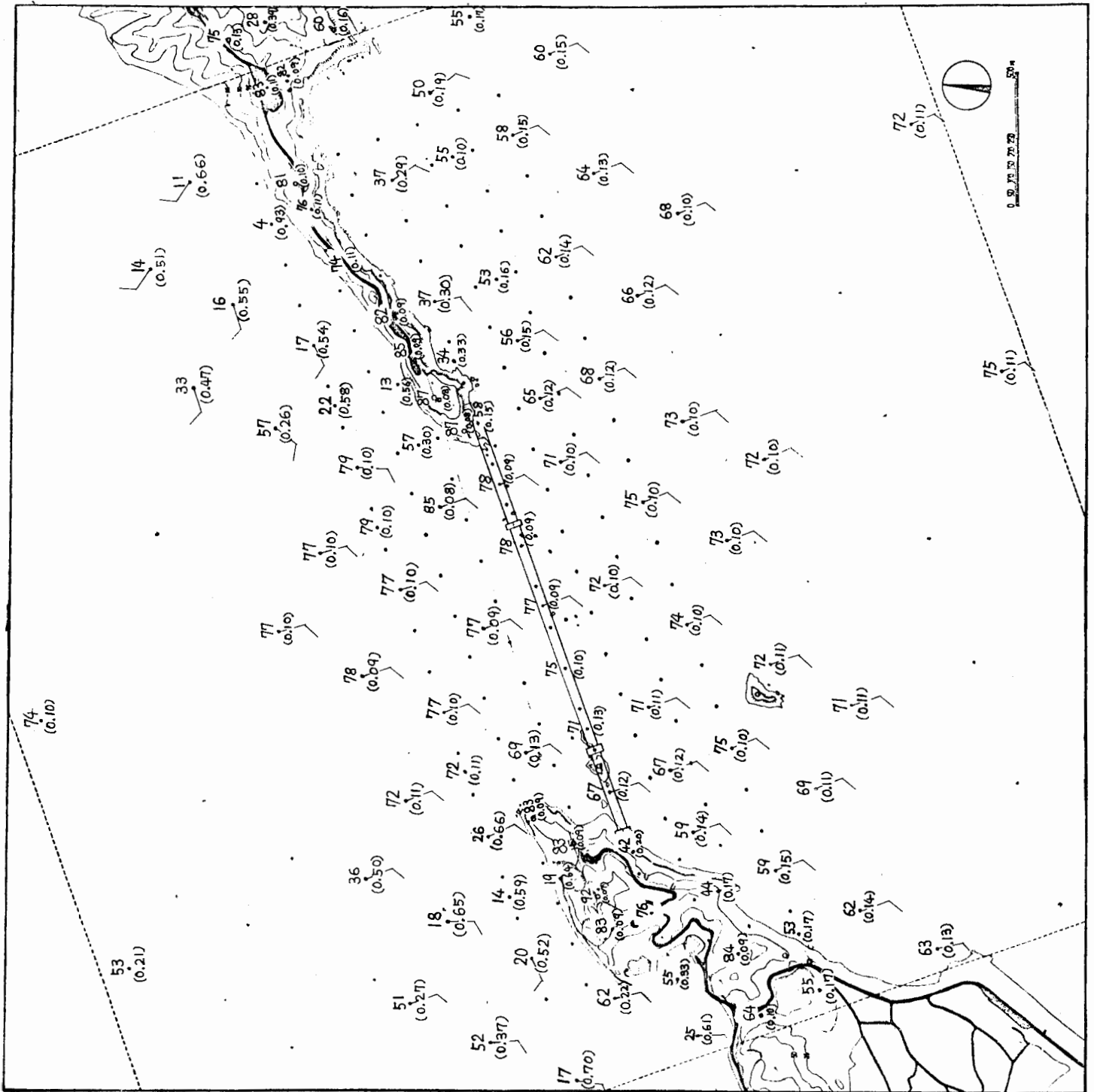
鳴門側



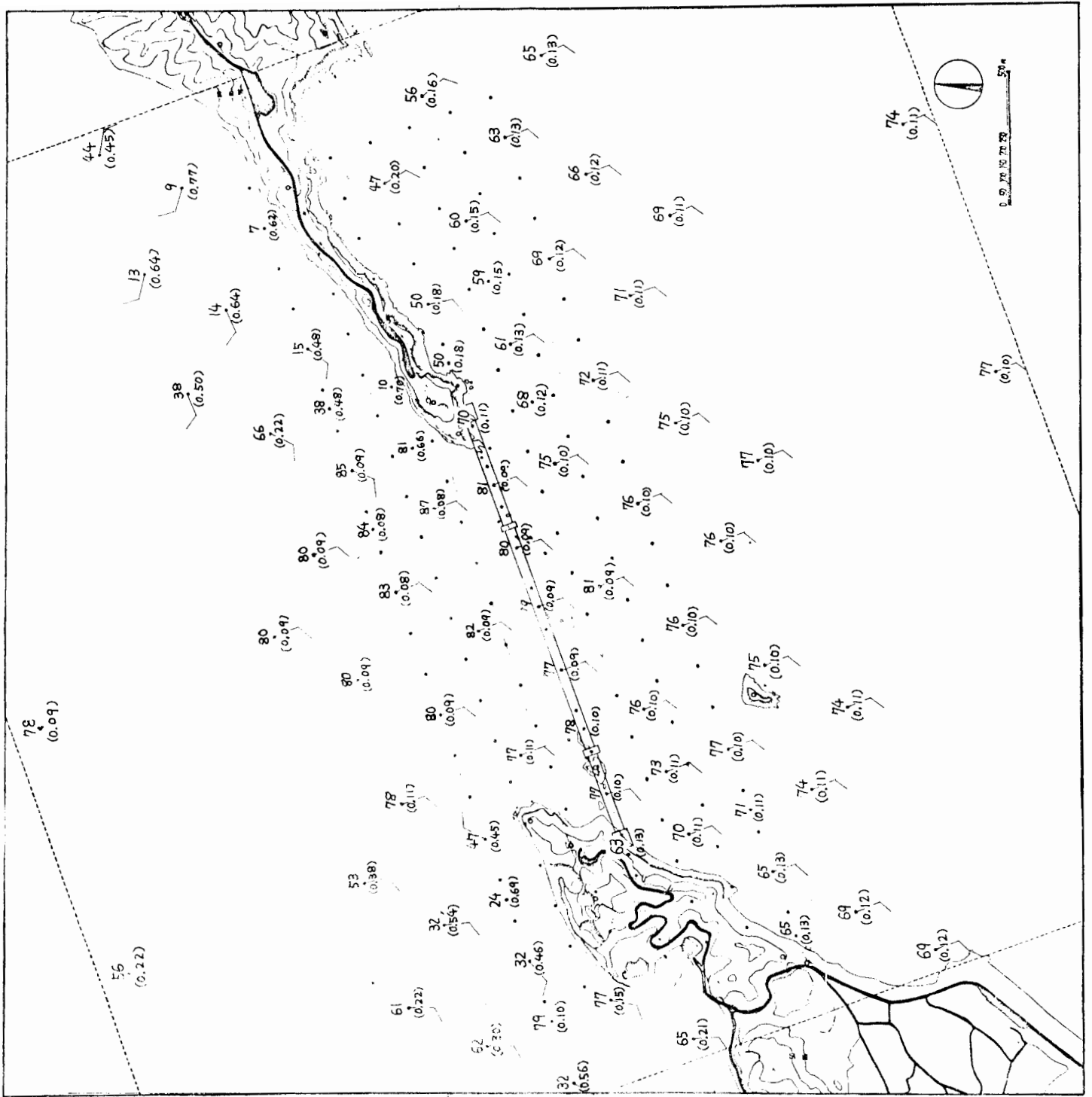
第41図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/12,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)



第42図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/12,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 10 mm  
 (現地上 40 m)



第43図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/12,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)



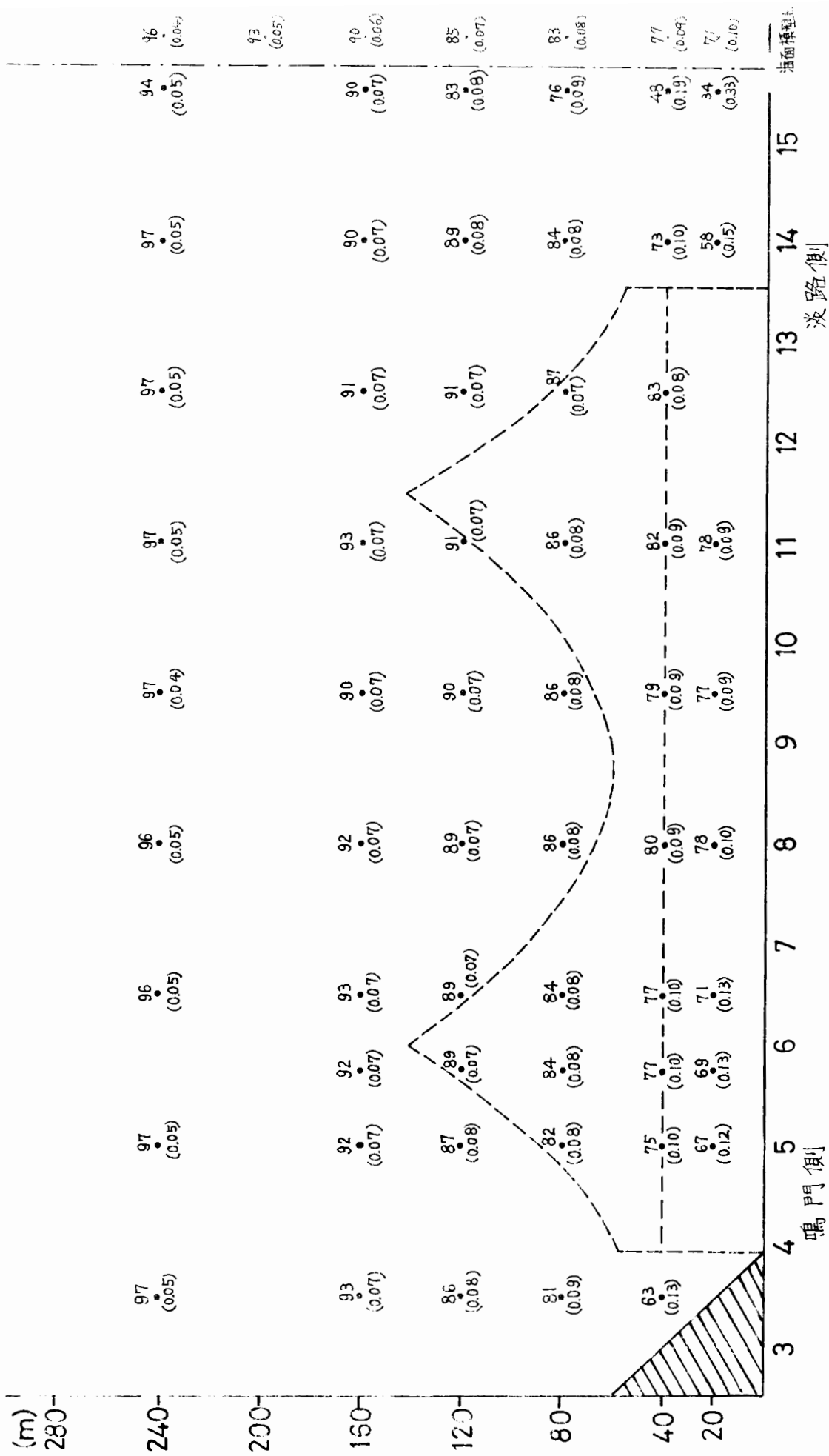
第44図 鳴門海峡周辺の風況分布  
(縮率 1/12,000 の模型)

風洞風向 SSE

風洞風速 5 m/s

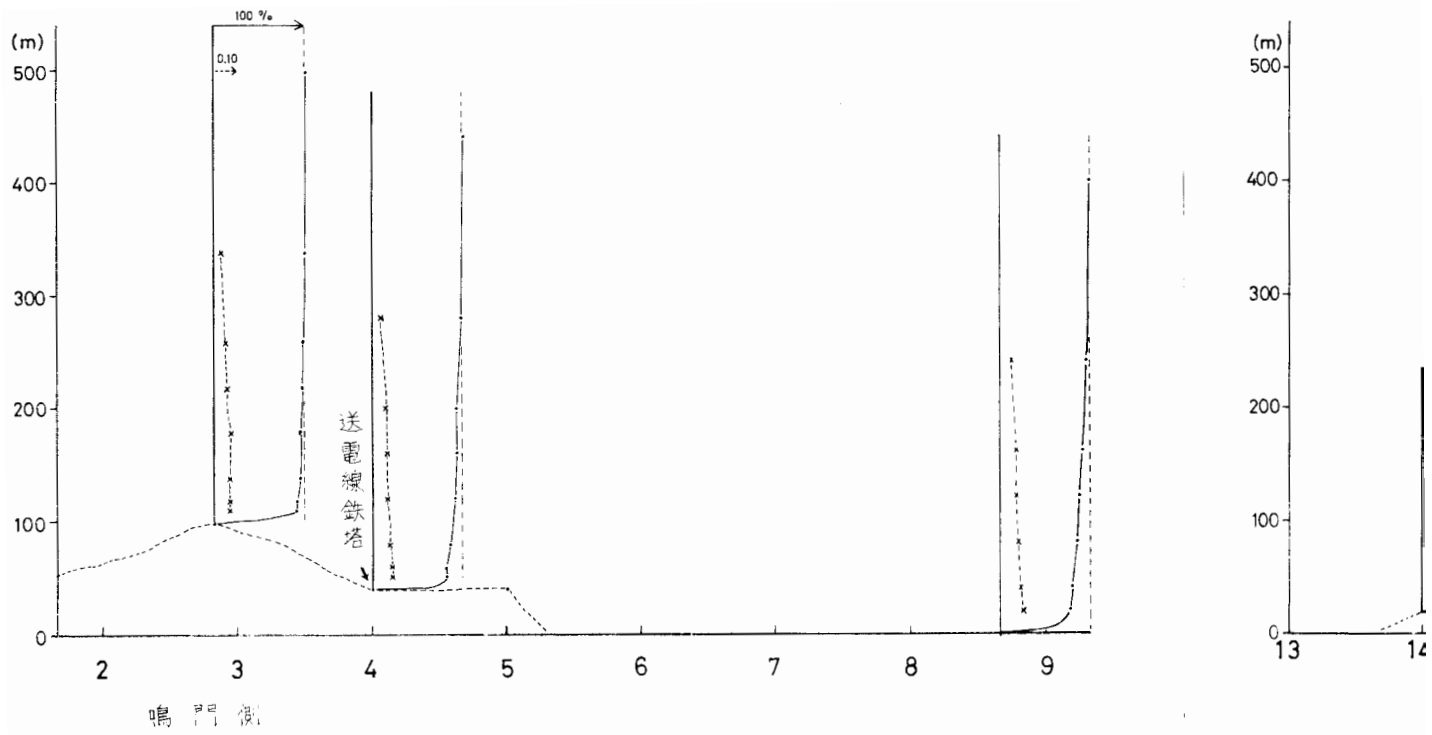
模型表面上 10 mm

(現地上 40 m)



第15図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
 (縮率1/4,000の模型)  
 風洞風向 SSE  
 風洞風速 5 m/s

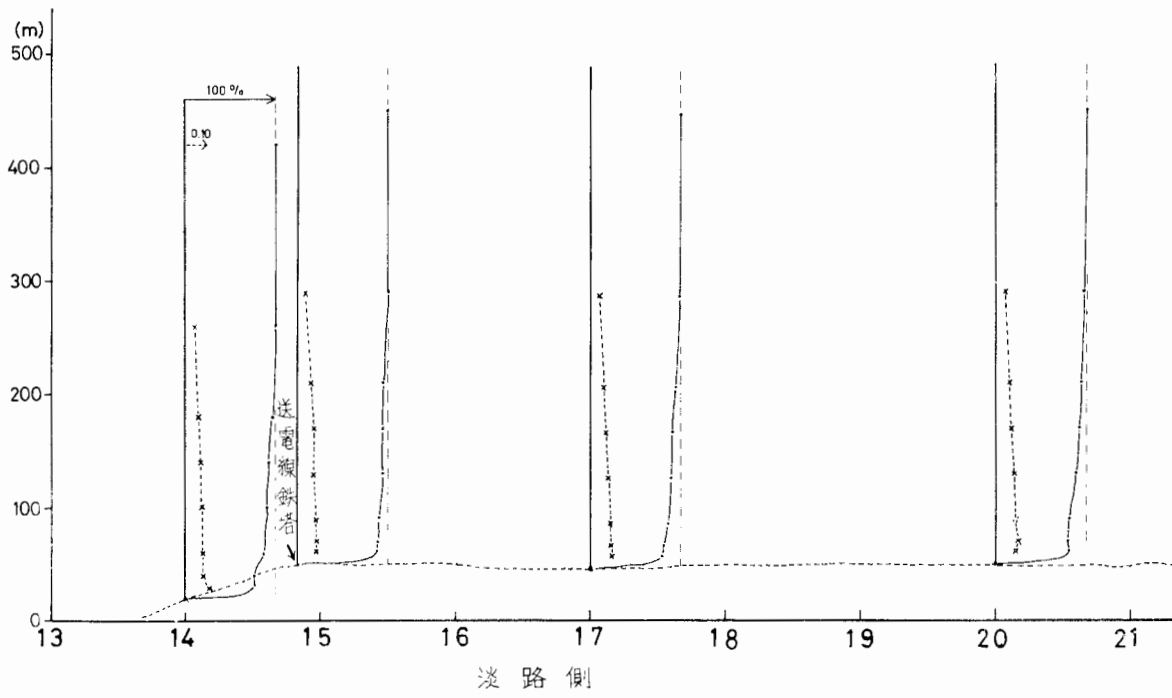




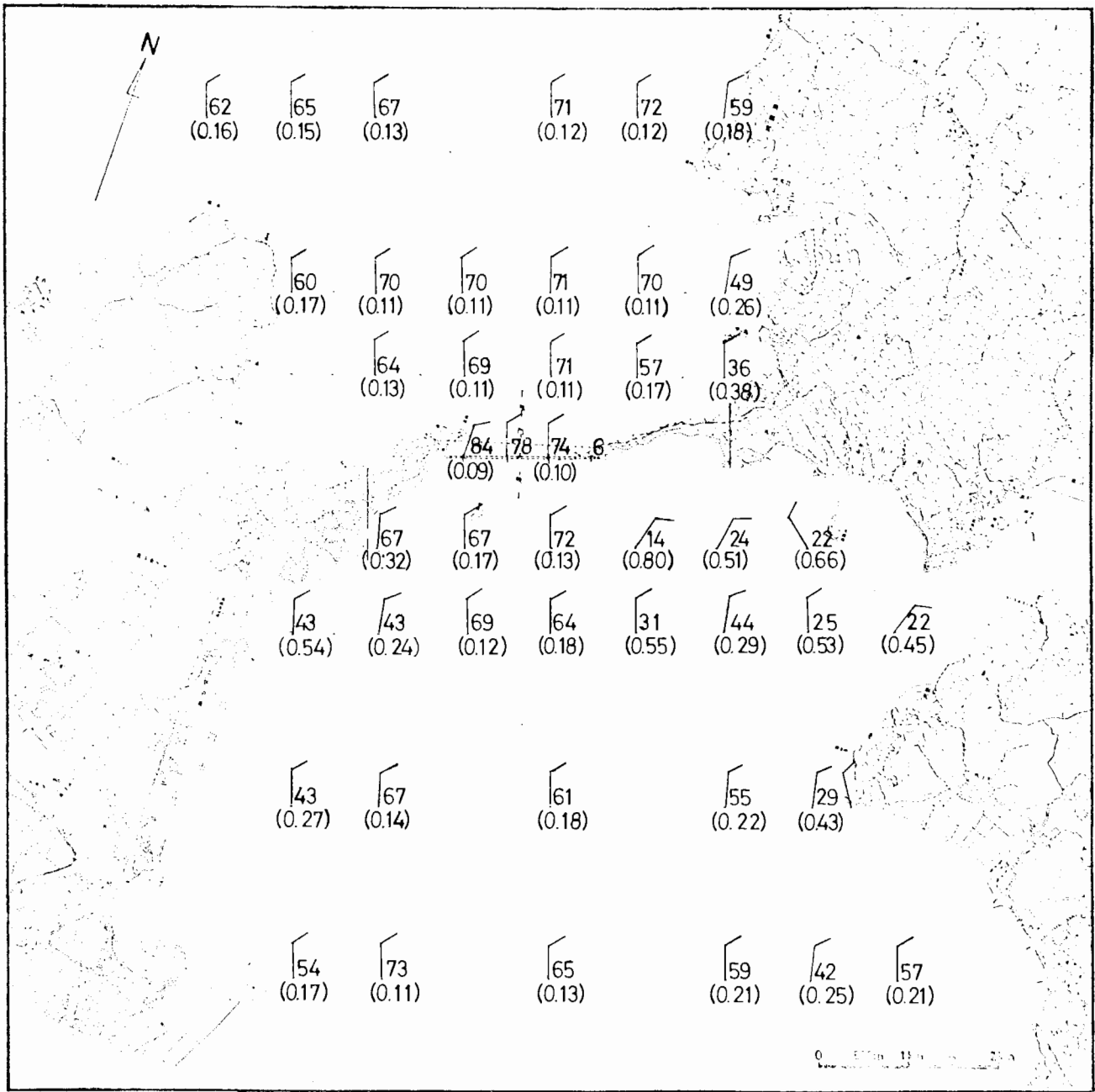
第46図 風速Profile (鳴門側および淡路  
(縮率 1/12,000 の模型)

風洞風向 S S E

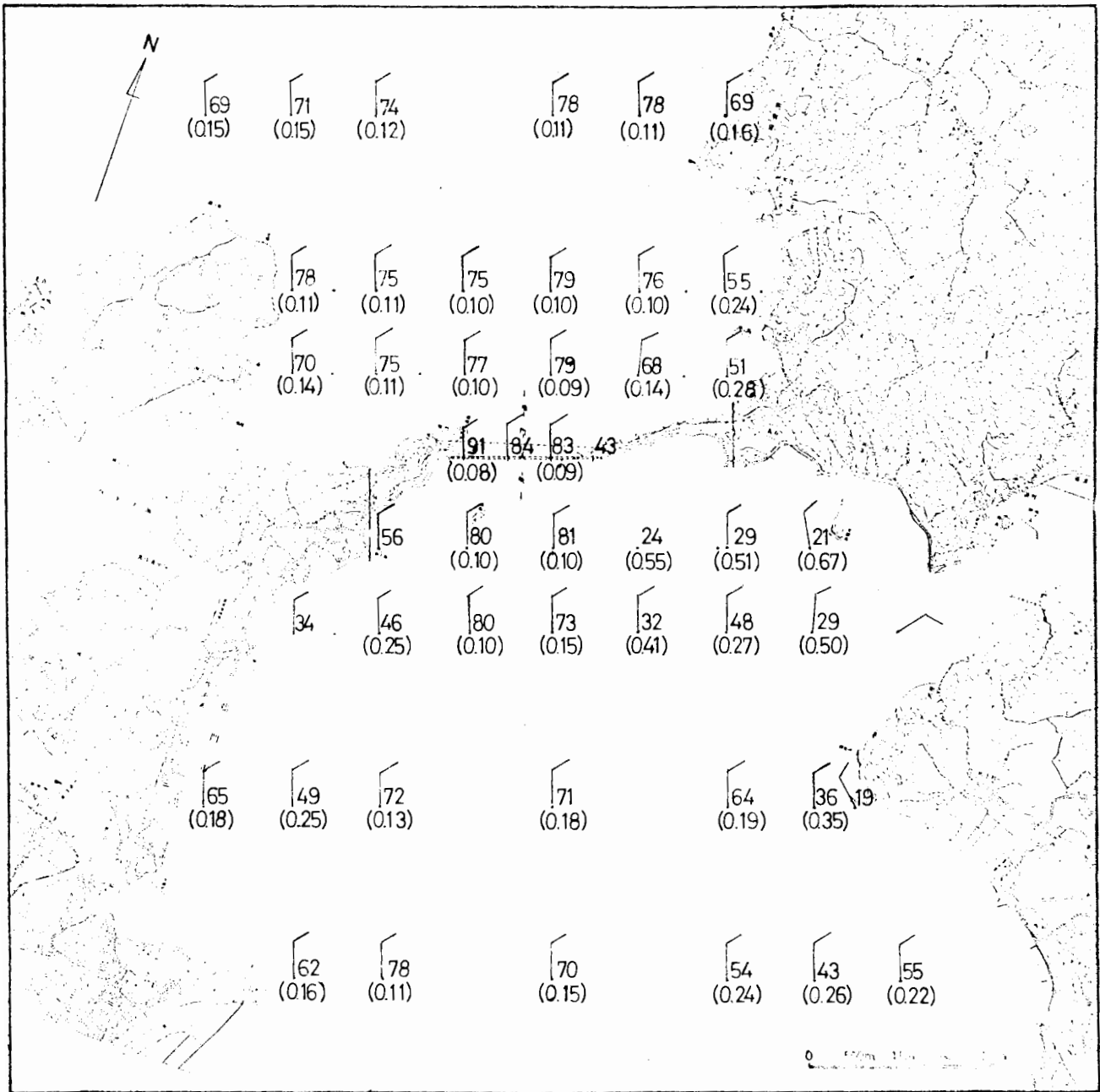
風洞風速 5 m/s



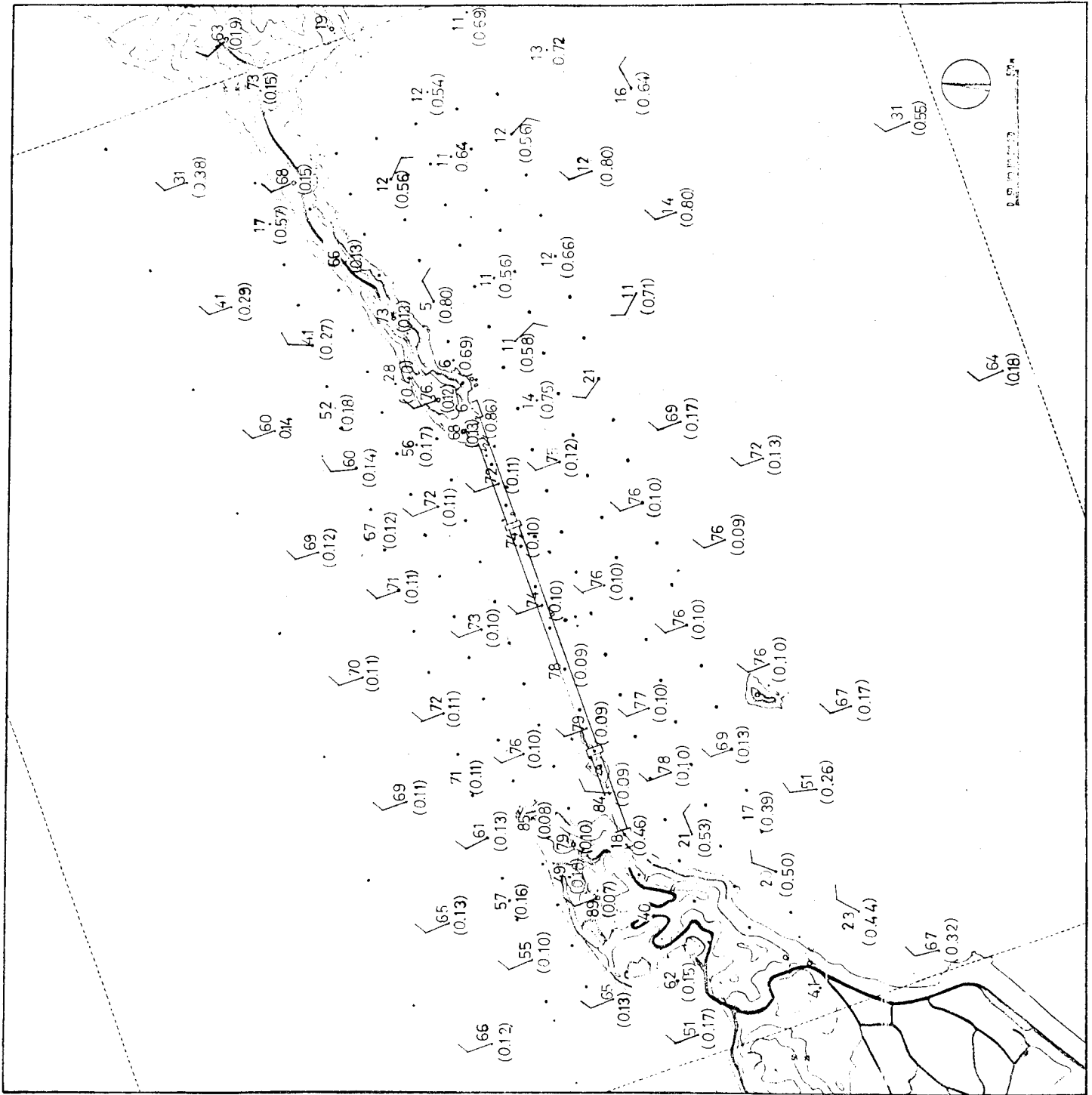
Profile (鳴門側および淡路側の半島上)  
 1/12,000 の模型  
 洞風向 S S E  
 洞風速 5 m/s



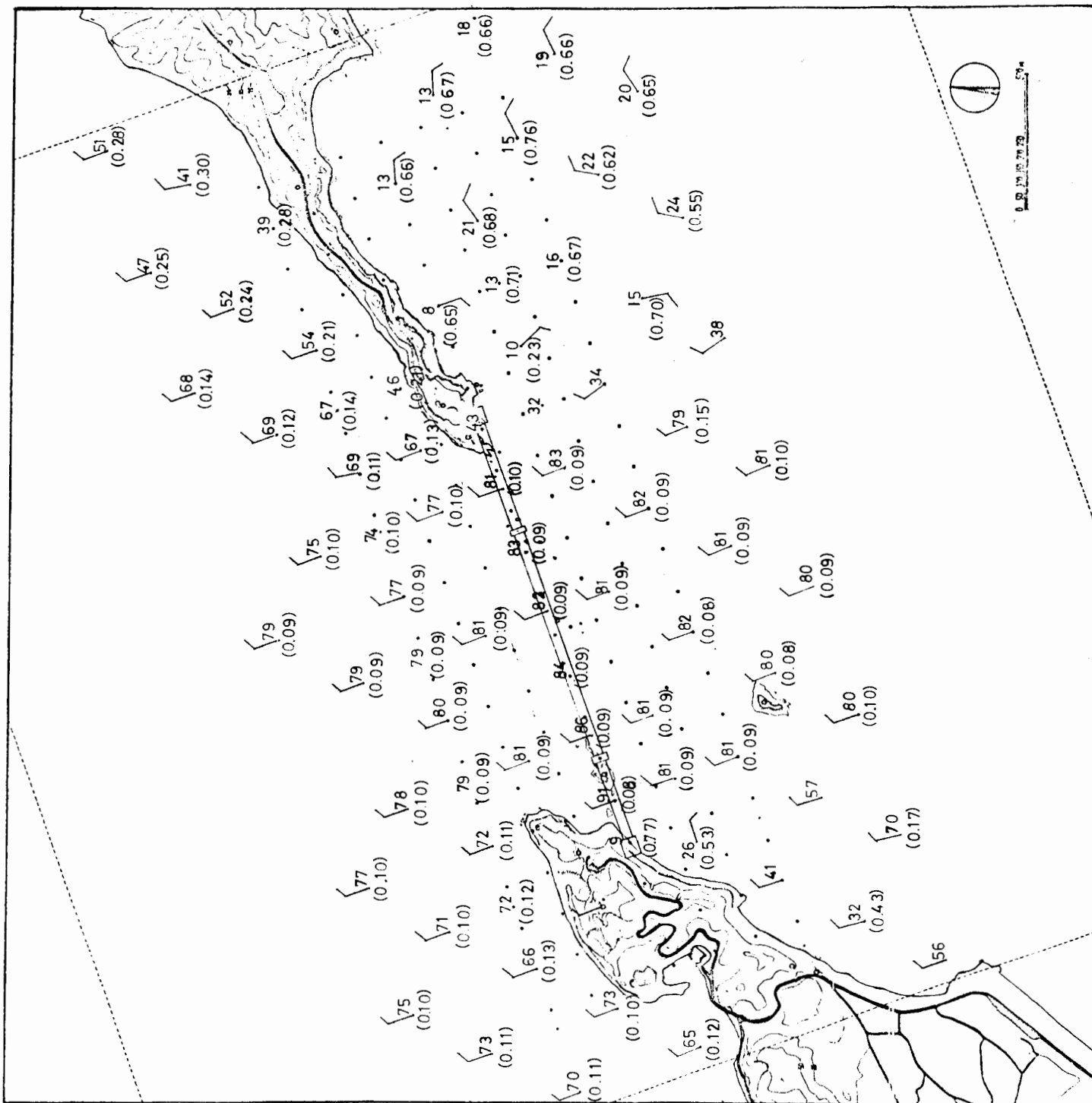
第47図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/12,000 の模型)  
 風洞風向 **NNW**  
 風洞風速 **5 m/s**  
 模型表面上 **5 mm**  
 (現地上 **20 m**)



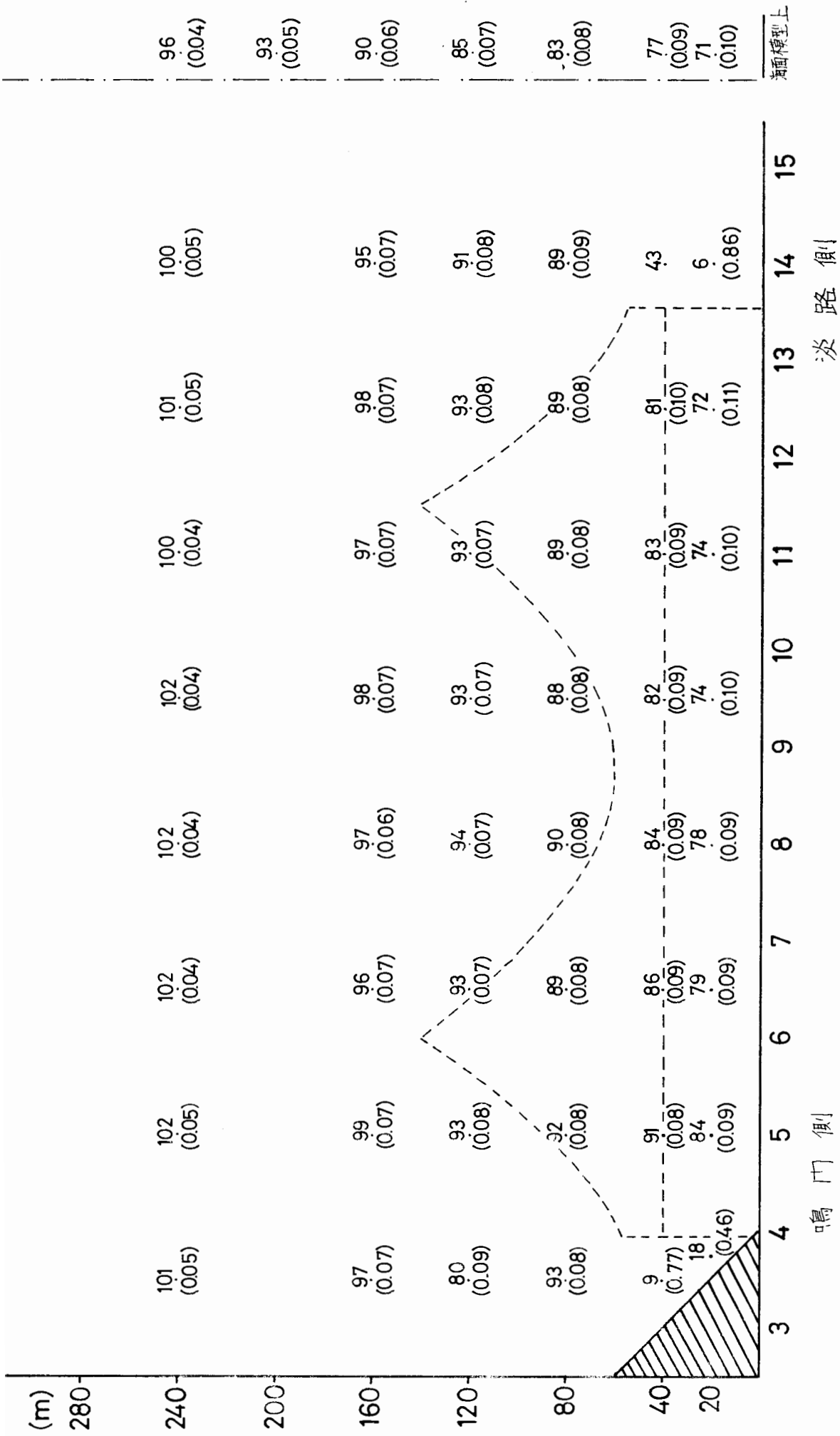
第48図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/12,000 の模型)  
 風洞風向 N N W  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 10 mm  
 (現地上 40 m)



第19図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/12,000 の模型)  
 風洞風向 NNW  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 5 mm  
 (現地上 20 m)



第50図 鳴門海峡周辺の風速分布  
 (縮率 1/12,000 の模型)  
 風洞風向 NNW  
 風洞風速 5 m/s  
 模型表面上 10 mm  
 (現地上 40 m)

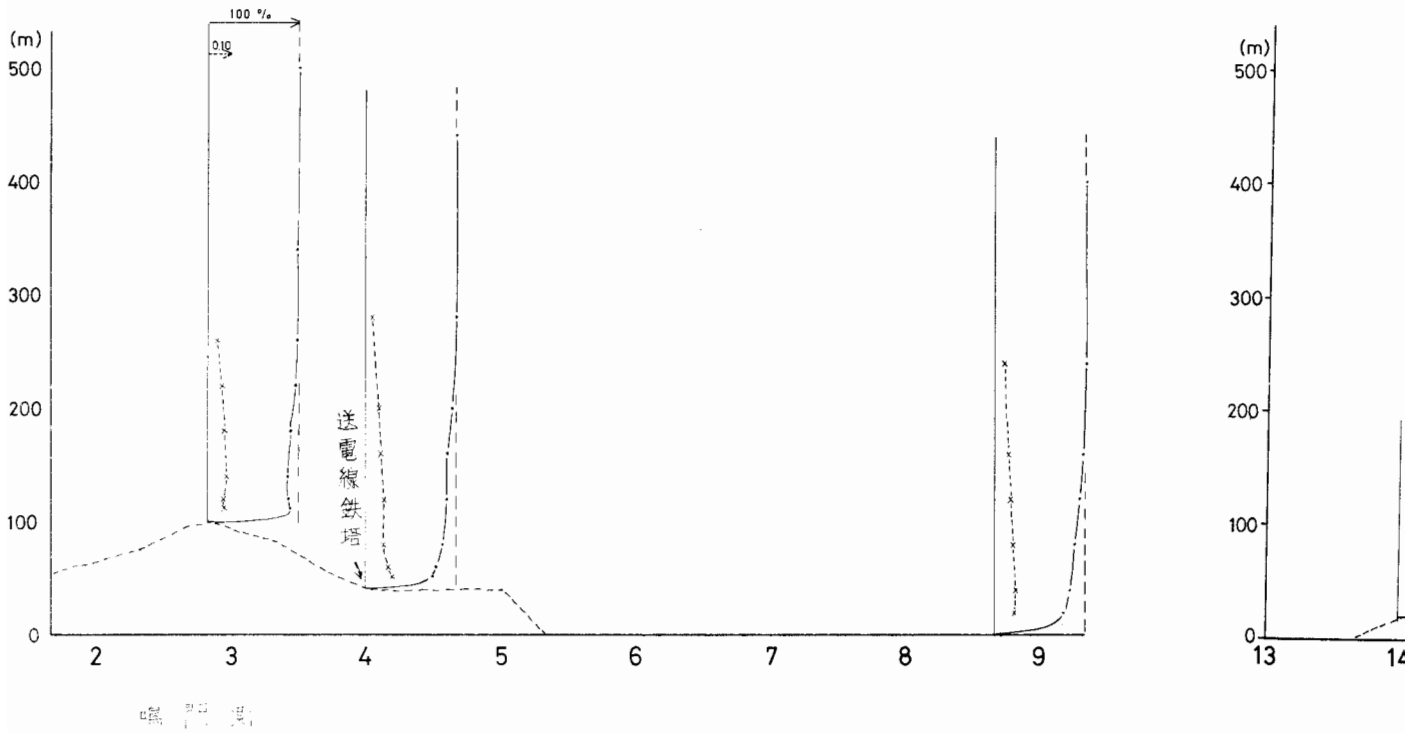


第51図 大鳴門橋通過予定鉛直断面の風速Profile  
 (縮率1/12,000の模型)  
 風洞風向 **NNW**  
 風洞風速 **5 m/s**

海面標型上

淡路側

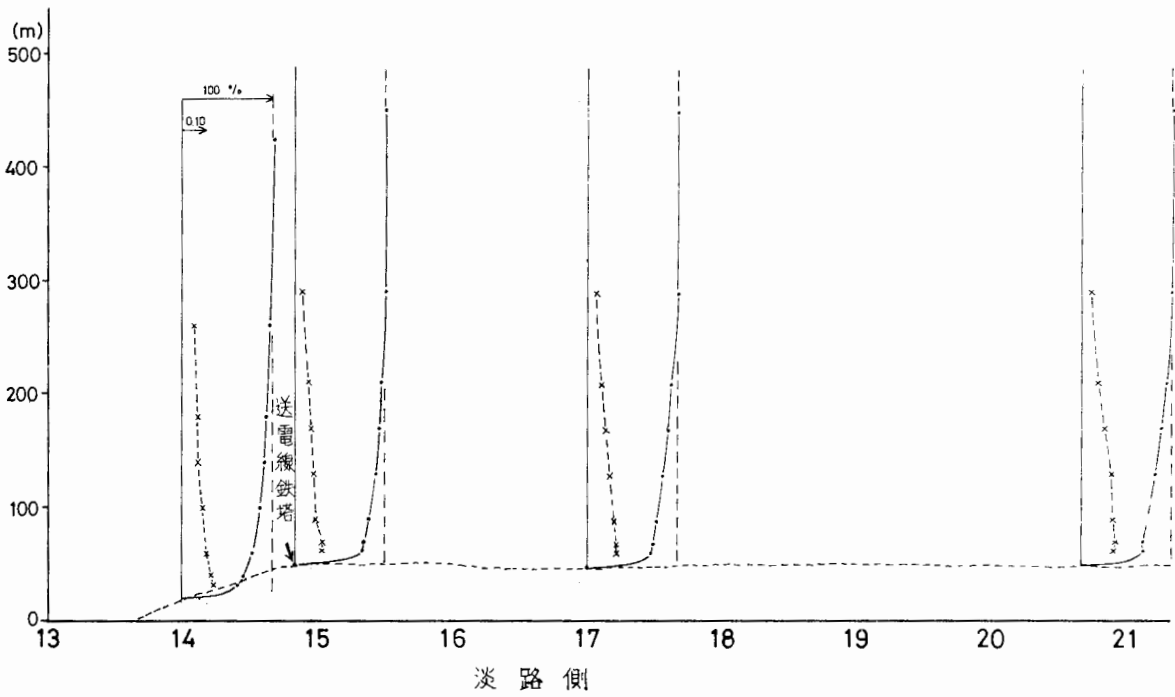
鳴門側



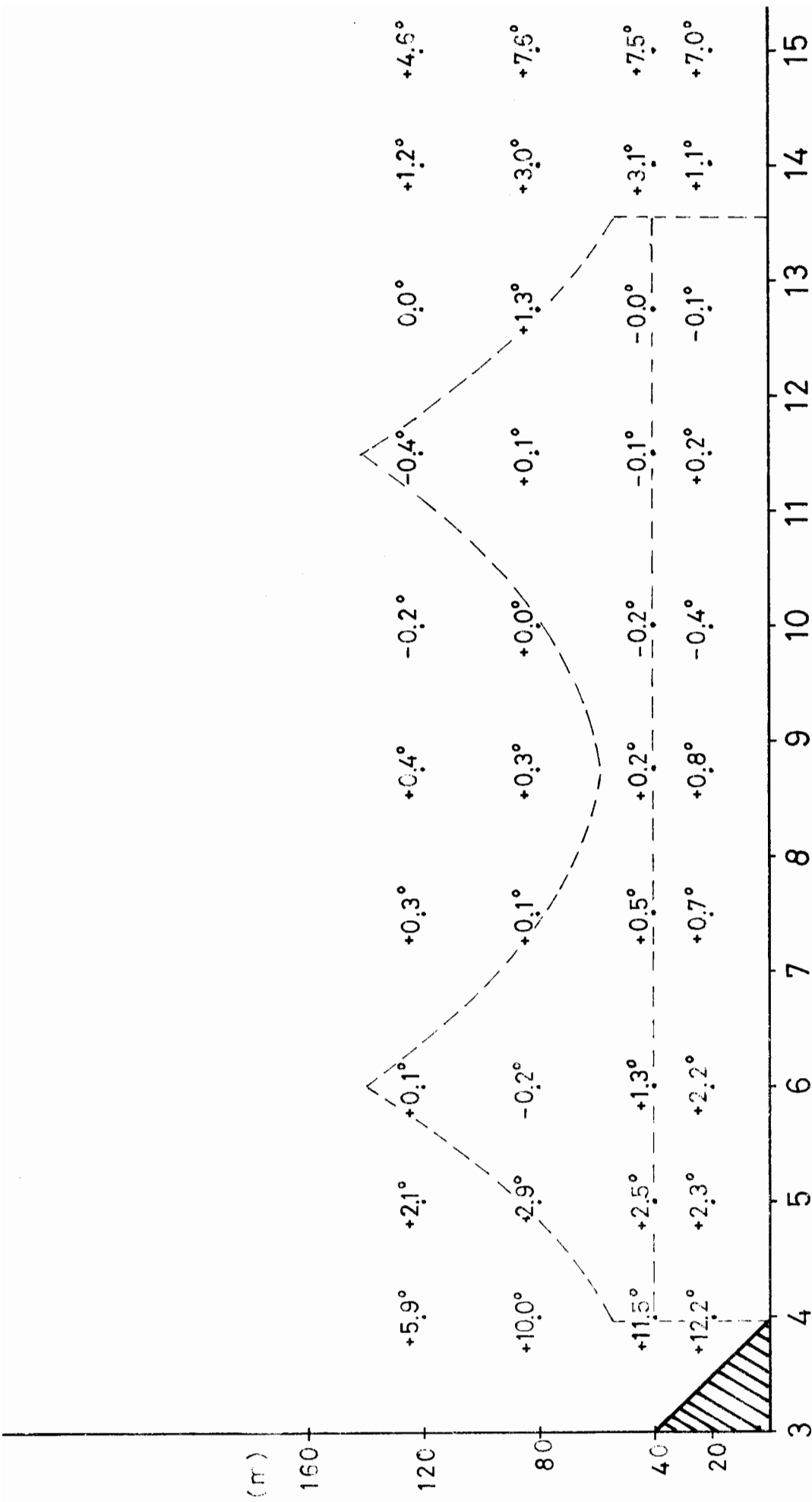
第52図 風速Profile (鳴門側および淡路側の半島)  
(縮率 1/12,000 の模型)

風洞風向 **NNE**  
風洞風速 **5 m/s**

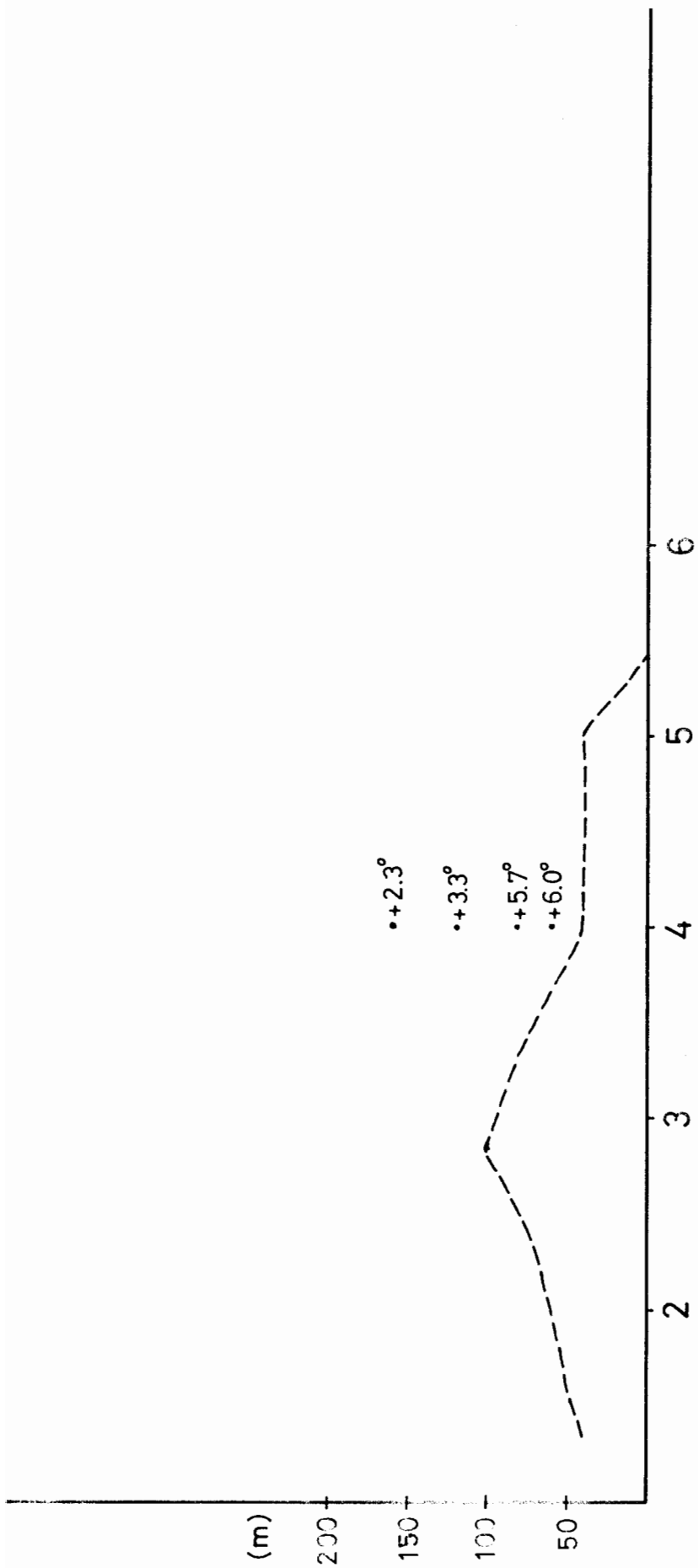




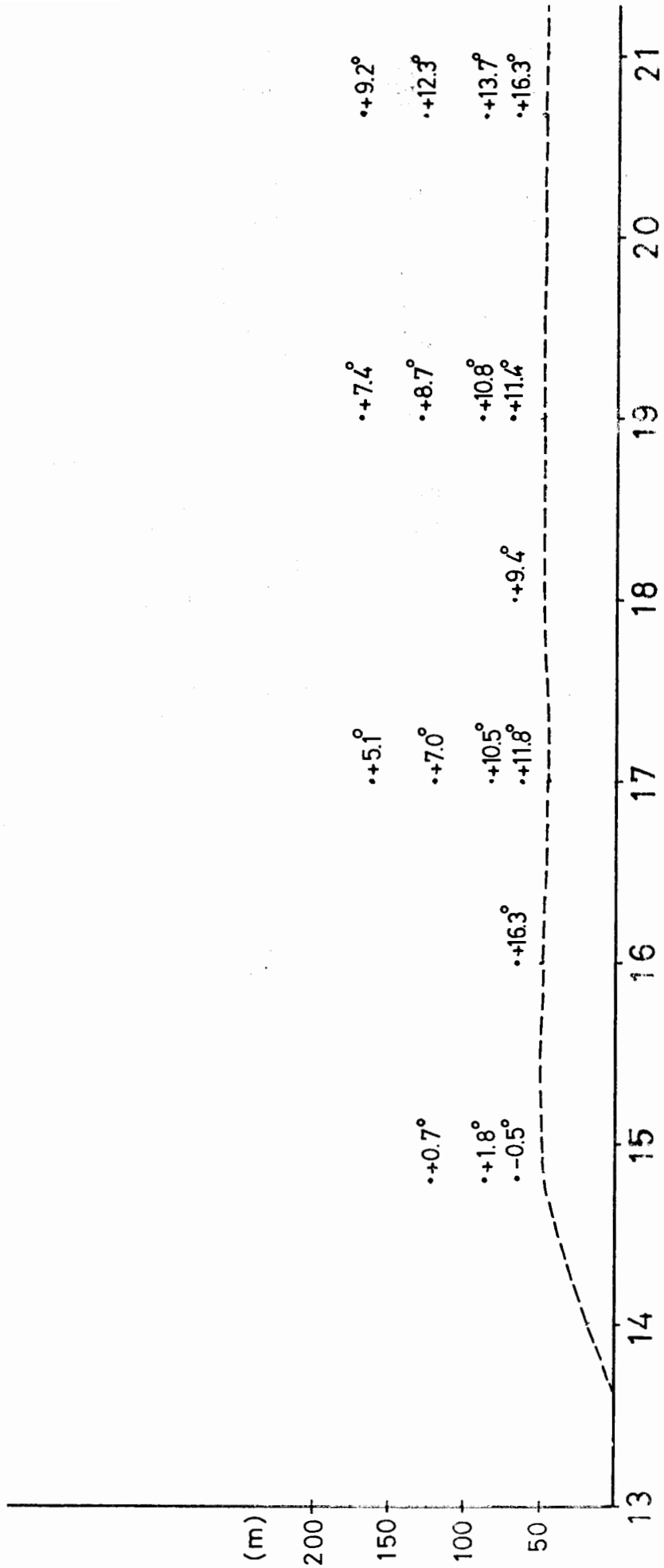
e (鳴門側および淡路側の半島上)  
 000 の模型)  
 N N E  
 5 m/s



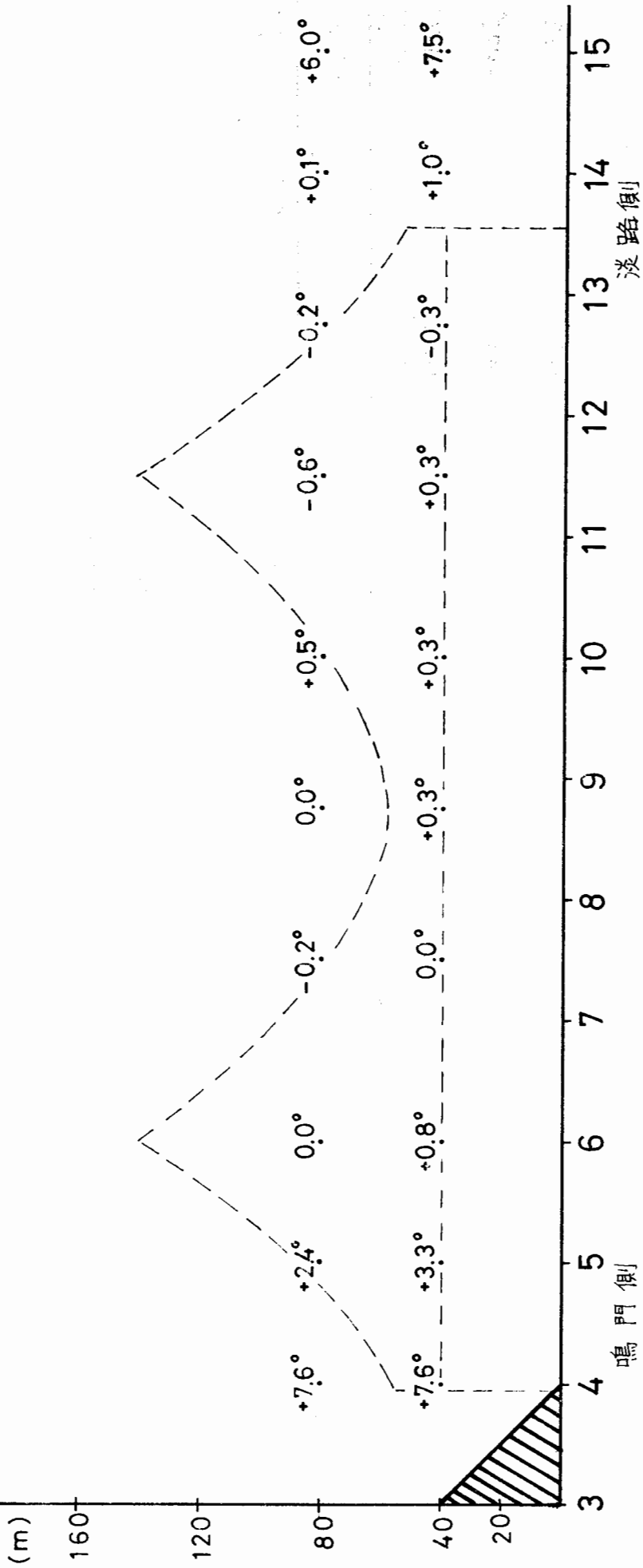
第 5 3 図 鉛直方向の風向傾角 (大鳴門橋通過予定鉛直断面)  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 5 m/s



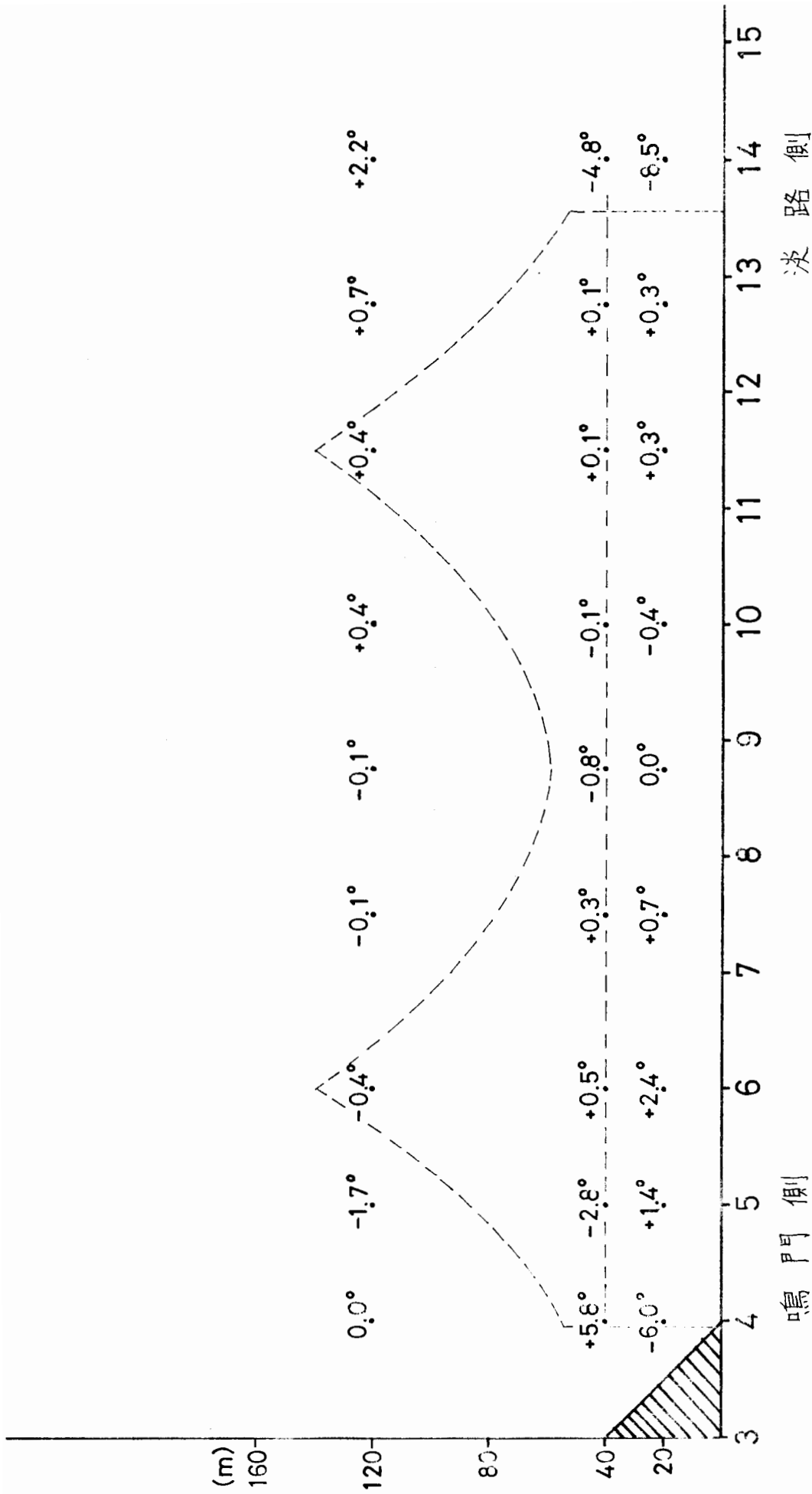
第54図 (a) 鳴門側  
 鉛直方向の風向傾角  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 S S E  
 風洞風速 5 m/s



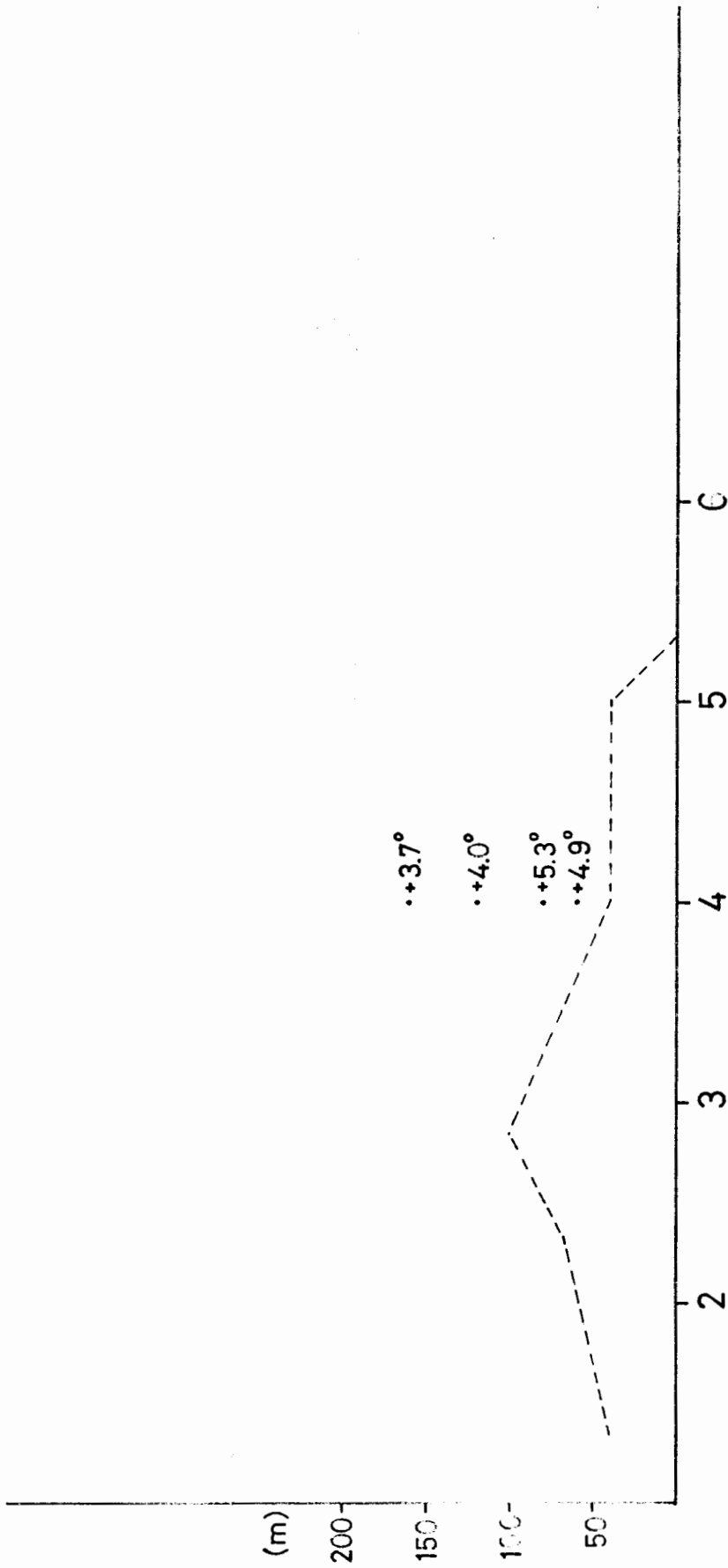
第54図 (b) 淡路側  
鉛直方向の風向傾角  
(縮率 1/4,000 の模型)  
風洞風向 SSE  
風洞風速 5 m/s



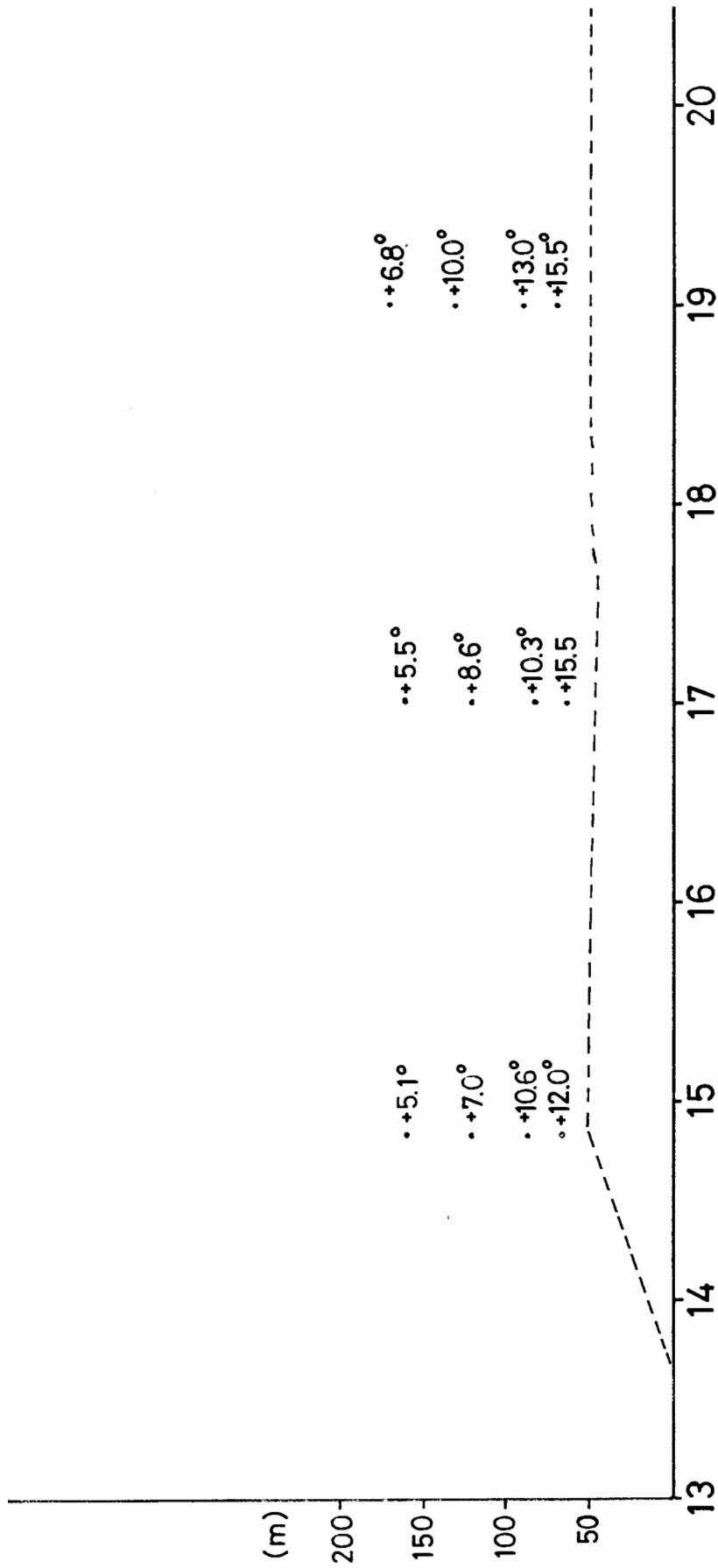
第55図 鉛直方向の風向傾角 (大鳴門橋通過予定鉛直断面)  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 SSE  
 風洞風速 2 m/s



第56図 鉛直方向の風向傾角 (大鳴門橋通過予定鉛直断面)  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 **NNW**  
 風洞風速 **5 m/s**

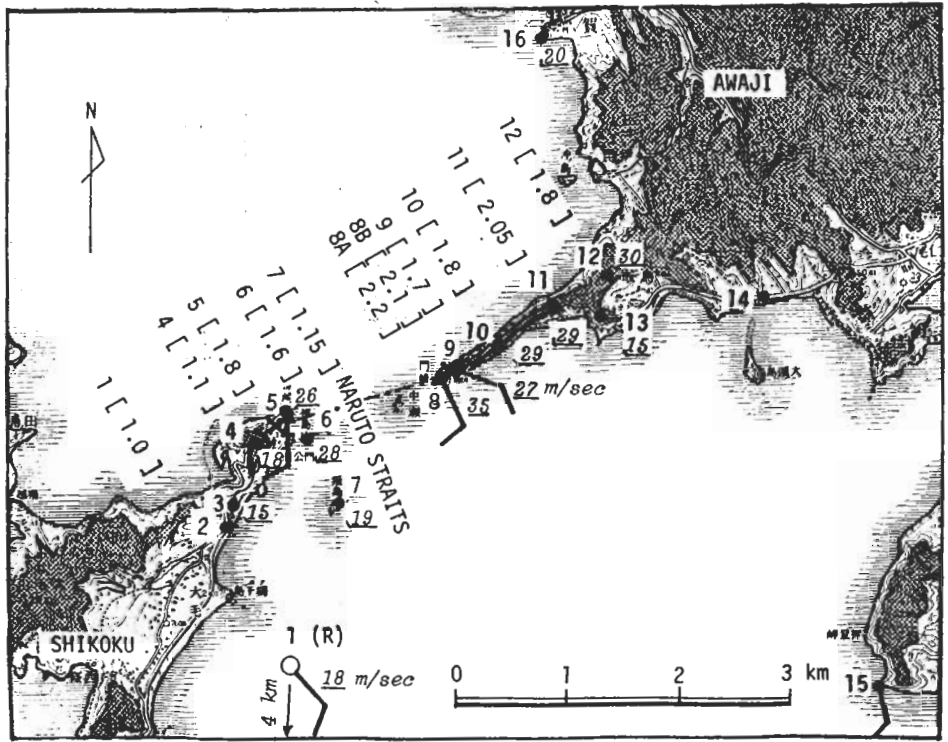


第57図 (a) 鳴門側  
 鉛直方向の風向傾角  
 (縮率1/4,000の模型)  
 風洞風向 **NNW**  
 風洞風速 **5 m/s**

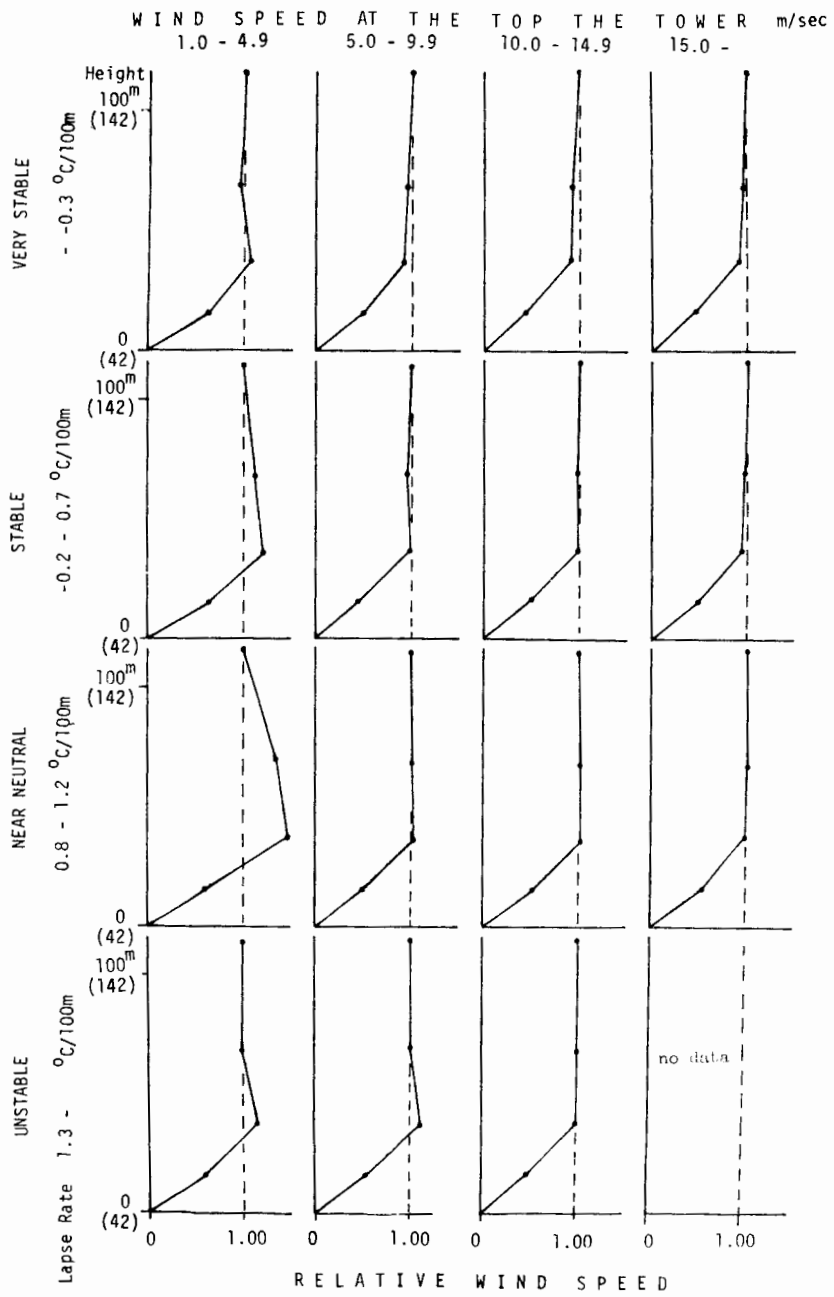


第57図 (b) 淡路側  
 鉛直方向の風向傾角  
 (縮率 1/4,000 の模型)  
 風洞風向 **NNW**  
 風洞風速 **5 m/s**





第58図 鳴門海峡における風速分布 (実測値)  
 1967年9月7日16時, 台風6710接近時に得られたもので, ( )は各観測点の風速を里浦の風速を1とした場合の相対値で示したものである



第 5 9 図 淡路側送電線鉄塔における風速 Profile ,  
風速および温度成層と風速 Profile との関係を示す