

文部省科学研究費

自然災害特別研究研究成果

No. A — 51 — 3

自然災害科学総合研究班

建物・地物の影響を受けた強風の極値の研究

昭和52年2月

研究代表者 石 崎 潑 雄

# 1. 鳴門海峡付近の風の特徴の実験的研究

香川大学教育学部 森 征 洋・京都大学防災研究所 光 田 寧

## 1.1 はじめに

地形による風の局地的増強について、過去に詳細な現地観測が行なわれた鳴門海峡周辺を対象地域に選び研究を行った。鳴門海峡においては、過去の実測により非常に強い風が局地的に生ずることが知られている〔Mitsuta<sup>1)</sup>〕。鳴門海峡中央付近の地形は、図1.1(a)に示すように、2本の幅の狭い岬が幅約5kmの海峡の兩岸より相対して突き出しており、その先端の間は幅約1.3kmの狭いgapになっている。海峡最狭部付近の詳細図は図1.1(b)に示すとおり

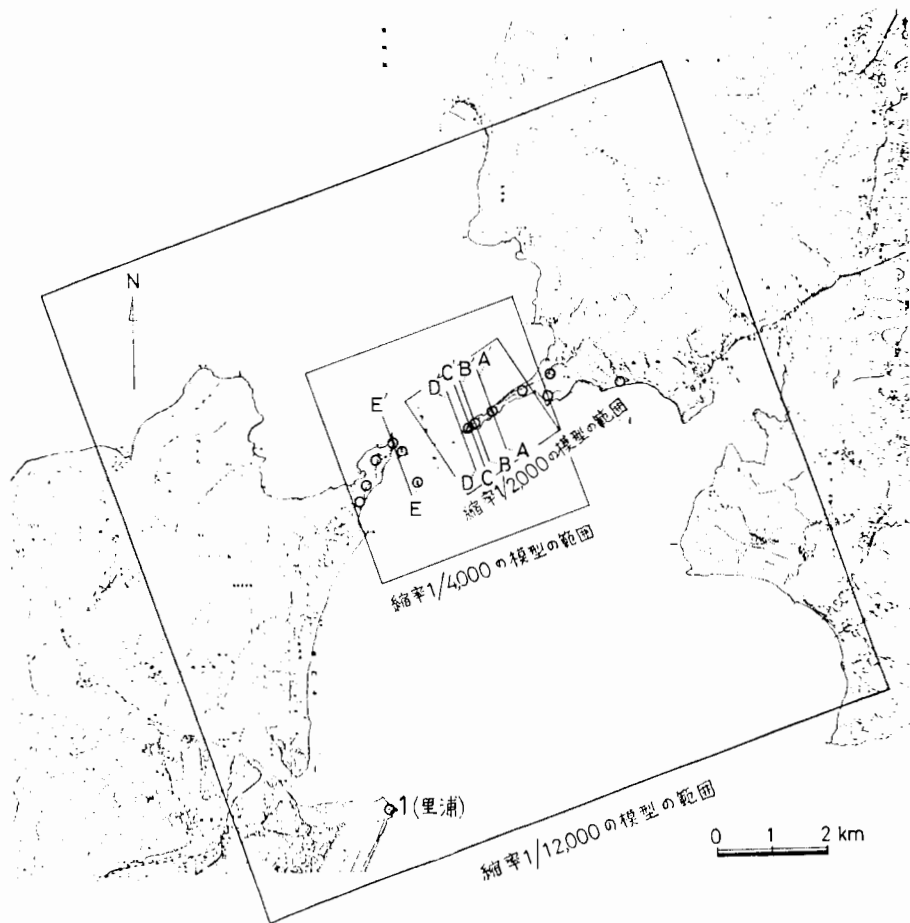


図1.1(a) 鳴門海峡周辺の地形図  
地形模型作成範囲および実測の行われた地点(白丸)を示す。

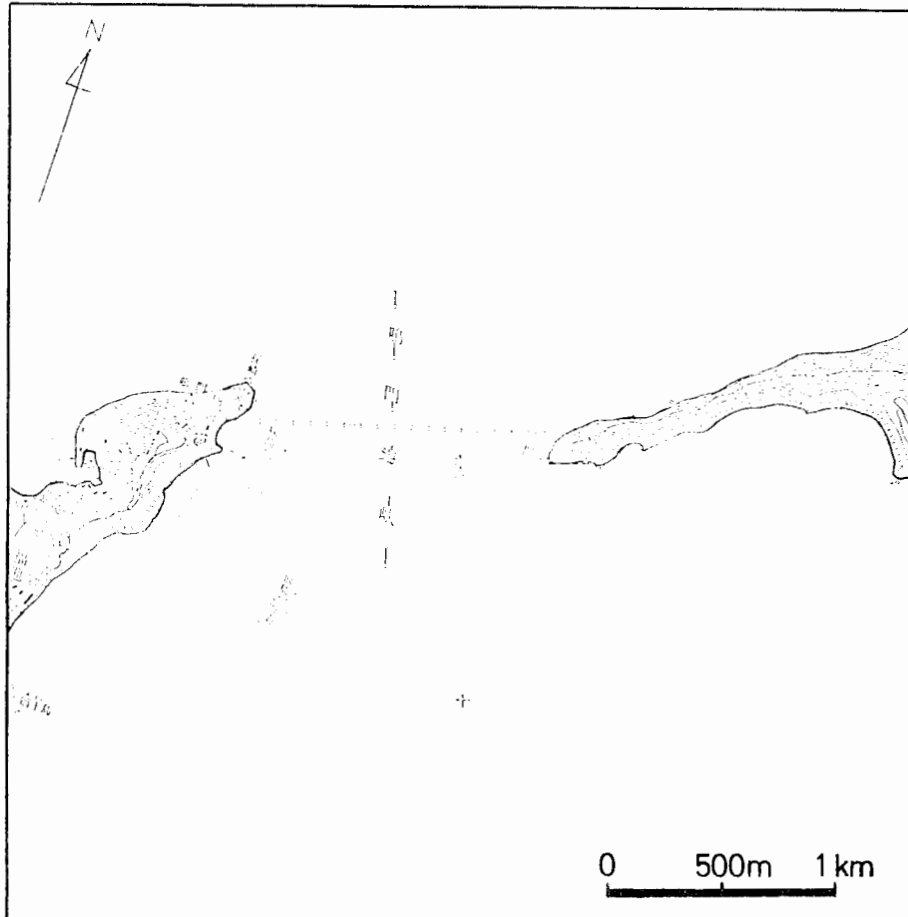


図1.1(b) 鳴門海峡周辺の地形図(詳細図)

で、淡路側(東側)は高さ約50mの細長い山脈状の岬、鳴門側(西側)は先端付近の最も高い所が高さ約100mの岬となっている。これらの岬の先端や稜線上で、風速の著しい増強が観測されているが、これは地形の影響による局地的な現象であると考えられる。

特定地域の風の局地性を研究する方法としては現地観測、風洞実験、数値実験の3つの方法が考えられる[Mori et al<sup>2)</sup>]。現地観測は問題とする地点の風の特徴を直接測定するものであり、最も信頼できる知識が得られる。しかしながら多くの地点について長期間にわたって観測を行うことは現実には困難を伴うことが多く、特に海上をも含むような地域の風の特徴を知ろうというような時には、このような方法によってのみ調査を進めることは観測点の配置の問題などから不可能に近い。したがって現実には現地観測以外の方法によって調査対象領域全体の風の分布を推定しなければならない。しかしその際、その領域内で実測を行い得た地点があるならば、その地点での知識によってこの結果が現実の風を再現しているかどうかの検討を行なった上で、実測できなかった他の場所での風を推定するという方法をとることが必要である。

先に述べたように、鳴門海峡においては幸い過去に詳細な現地観測が行われているので、今回、風洞実験による方法で研究を行い、この結果と過去の実測結果とを総合し、この地域の風の実験について調べてみた。

## 1.2 過去の風の実測結果から推定された鳴門海峡における風の実験

この鳴門海峡においては横断送電線の設計に関連して1956年から1967年にかけてかなり詳細な風の調査が行われており、その結果の一部はMitsuta<sup>1)</sup>によって報告されている。実測は主に島あるいは稜線上に高さ6~10m位の測風柱を臨時に立てて、それに風向風速計を取り付けて行われた。実測によれば、風が海峡を吹き抜ける向きに吹く時に岬先端および稜線上で風速の増強が見られる。海峡部に南東から風が吹き込む場合の風速分布は図1.2に示す通りである。この図には台風接近時(1967年9月7日16時、台風6710)に得られた著しい強風の一例と共に、この風向で風が強い時の平均的な風速分布を、海峡入口部の里浦(地点1)の風速に対する相対比で表わしたものが示してある。岬先端および稜線上では、海峡入口の海面上10mの高さでの風速の1.7~2.1倍になっており、著しい風速の増強が生じている。

一方、送電線完成後に淡路側岬先端近くの送電塔においても観測が行われた。この場合、地上115mの高さまでの風速と共に、大気安定度の測定も行われており、この結果の要約

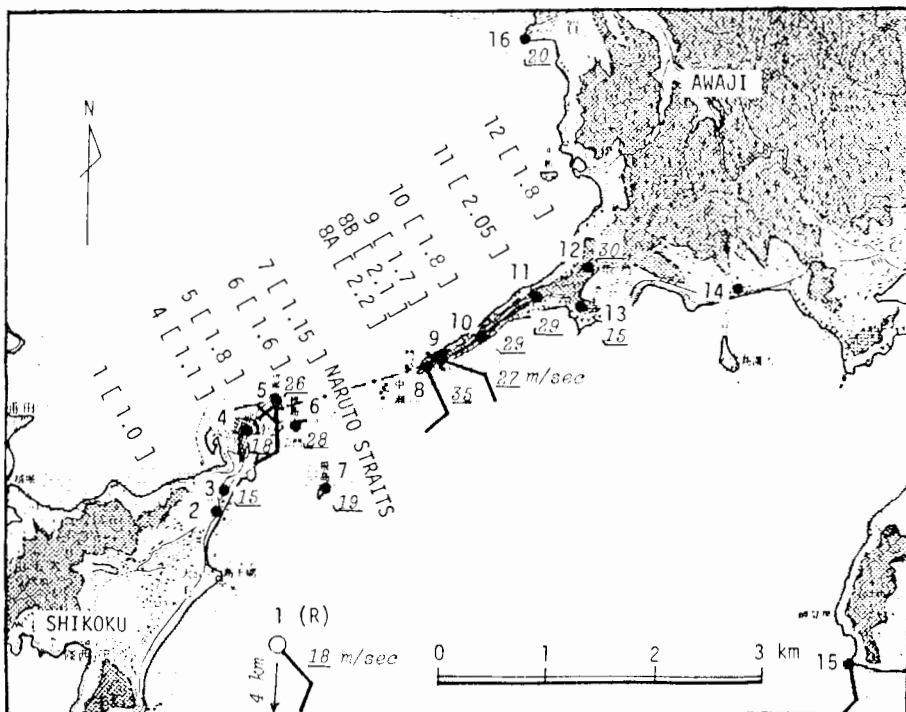


図 1.2 鳴門海峡における風速分布(実測値) [Mitsuta<sup>1)</sup>]

矢羽およびイタリックで示した数値は1967年9月7日16時(台風6710接近時)に観測された風の分布を示し、[ ]に示した数値はこの風向で風速が強い時の平均的な風速分布を里浦(地点1)の風速に対する相対比で表わしたものである。

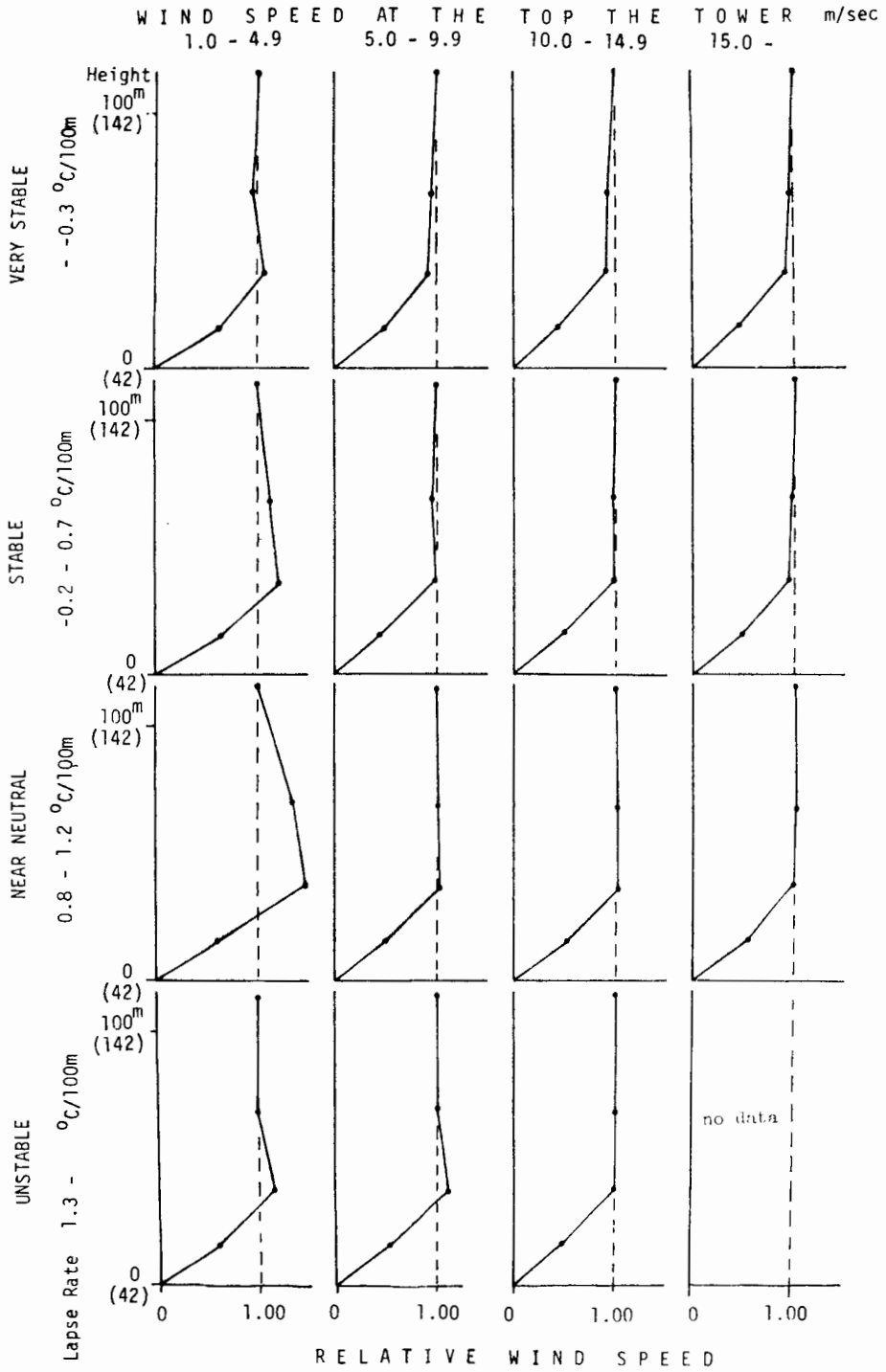


図 1.3 送電鉄塔（淡路側岬先端附近）における風速分布 [Mitsuta<sup>1)</sup>]  
 風速および温度成層と、風速の鉛直分布との関係を示す。

〔Mitsuta<sup>1)</sup>〕は図1.3に示す通りである。これによると風速が強くなると共に、風速の高さ方向の分布は安定度に関係なく一定の形を示すようになり、その形は地表面付近で風速勾配が非常に大きく、高さ40m以上では風速は高さによらずほぼ一定の形を示している。

### 1.3 鳴門海峡周辺地形模型による風洞実験の方法

風洞実験を行うに当たっては風洞中の流れと自然の流れが相似になっていることが必要である。しかしながら、この問題についての一般的な考え方は未だ確立しているとは言えない。ここでは風速および乱れの強さの高度分布の相似性を考慮して実験を行った。乱れのスペクトルの相似まで考えればさらに望ましいことは明らかであるが、技術的な問題が多いために実行できなかった。また、風速そのものの相似性については、Reynolds数が大きく流れの熱的安定度を考える必要のない強風時には流れのパターンは風速にそれほど大きく依存することはないと考えることができる。したがって風速の設定はそれほど厳しい条件とはならないと考えられるが、Nemoto<sup>3)</sup>の考えを利用すれば、対応する風速を算定することもできる。

実験には京都大学防災研究所のゲッチンゲン型風洞を使用した。その測定部断面の直径は約1mである。

鳴門海峡の周辺で実測の行われたことのある範囲を全て含むように地形模型を作成するには縮率1/10000以上にしなければならない。しかしそれでは中央部の様子を詳細に調べることは困難になる。ここでは、図1.1(a)に示すような範囲を含む水平方向の縮率が1/12000、1/4000および1/2000の3種類の模型を作成し、細部の検討を容易にすることを考えた。このうち1/12000模型は鉛直方向の縮率を1/4000としてあるので、高さ方向には実際の形より3倍拡大した形となっている。他の2つの模型は水平・鉛直とも同じ縮率である。

実験は主に風洞風速5 m/secで行った。これはこの付近で数倍程度風速を変えても流れのパターンは変化しないことを確認した上で、実験がこの程度の風速で最も容易であることから便宜的に定めたものである。Nemoto<sup>3)</sup>による相似則の考えに基づけば、これは上空風速で70~100m/sec ぐらいの強風時に対応することになる。風速の測定は定温度型熱線風速計を用いて行った。風向の測定はタンポポの種子の吹き流しを多数作成して模型上に立て、それを写真に撮って読み取るという方法によった。

先に述べたように、実験条件として風速および乱れの強さの分布の相似を計ることにしたが、現実の地形によって変形を受けた気流についてこれを相似にすることは不可能であるから、地形模型を用いた実験を行うに先だって、平板上での分布が海面上の境界層に相当するように風洞気流を調整した。海面上の境界層については十分な資料はないが、境界層の厚さはRoll<sup>4)</sup>によれば300m程度であり、下層での風速分布は指数分布を仮定するとその指数は0.1程度〔Davenport<sup>5)</sup>〕である。乱れの強さは、鳴門海峡の里浦海岸の高さ40mでの実験結果〔塩谷<sup>6)</sup>〕によると海からの強風時には10%程度である。これらの値で相似になるようにするため、風洞中の地面板の風上にturbulent generatorを置き、風洞気流の乱れを調整した。このようにして得られた平板上の風速分布のうち縮率1/4000に相当する場合を図1.4に示すが、ほぼ先の条件は満足していると考えられる。

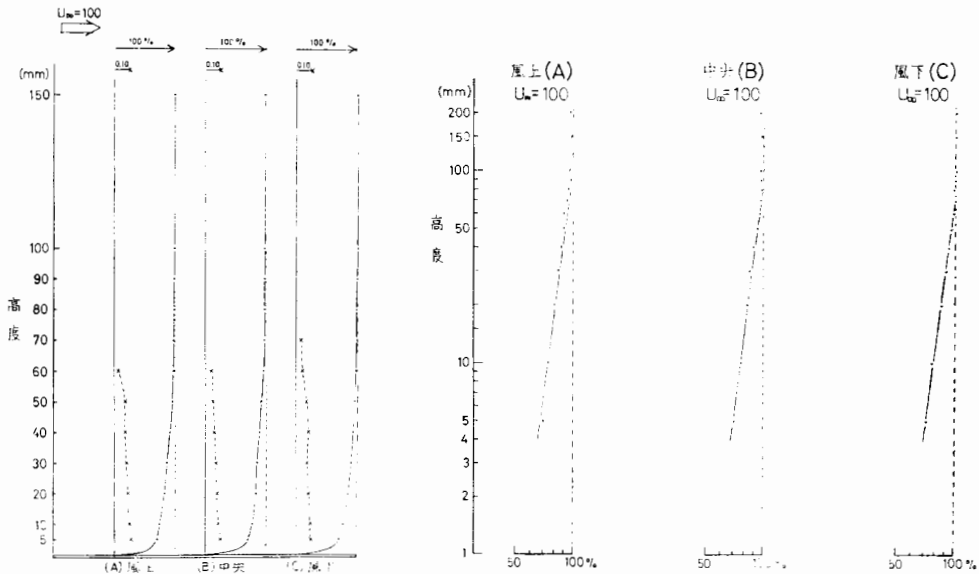


図 1.4 平板上の風速分布

実線は平均風速，点線は乱れの強さを示す。向対数目盛で示した図（左）中の直線は指数0.1の指数風速分布を表わす。

#### 1. 4 風洞実験の結果

実験は実測の場合と同じく海峡に南東方向から風が吹き込む場合を中心に行った。3種類の模型のうち1/12000模型，および1/4000模型の場合は海峡方向に沿う南南東の風向について実験を行い，1/2000模型の場合は岬に直角に当たる風について詳しく調べるために南南東より14°東に傾いた風向を選んで実験を行った。風速は風洞風速に対する相対比(%)で表わした。

参考までに地(海)面上20mの高さの風速分布を1/4000模型によって求めた結果を図1.5に示す。岬の風上，風下側で風速が幾分小さくなっている。稜線上および岬先端では風速の増強が見られるが，海峡中央部海上では風速の増強は見られない。

縮率の異なった模型を用いたことによる結果の差異を調べるために，図1.1.(a)のAA'，BB'，CC'，DD'，EE'線上の地(海)面上実寸換算20mの高さの風速Uを，地型模型のない海面のみの状態に相当する平板上で測定した同一高度での風速U<sub>s</sub>(風洞風速の約74%)に対する相対比で図1.6に示した。1/12000模型による結果と1/4000模型による結果とを対比すると，高さ方向に拡大した1/12000模型による結果は，1/4000模型による場合より岬の風上，風上側での風速の弱화가強調されている。一方，1/2000模型による結果と1/4000模型による結果とを対比すると，風下側を別にするれば両者はほぼ一致し大差はない。稜線上の値は3つのどの模型でもほぼ同じ値を示し，今回用いた縮率の範囲内では系統的な差異は見られない。海峡中央部のDD'線上の風は，どの場所，どの模型でも差はなく，風速の地形による増強はこの部分ではほとんど見られない。





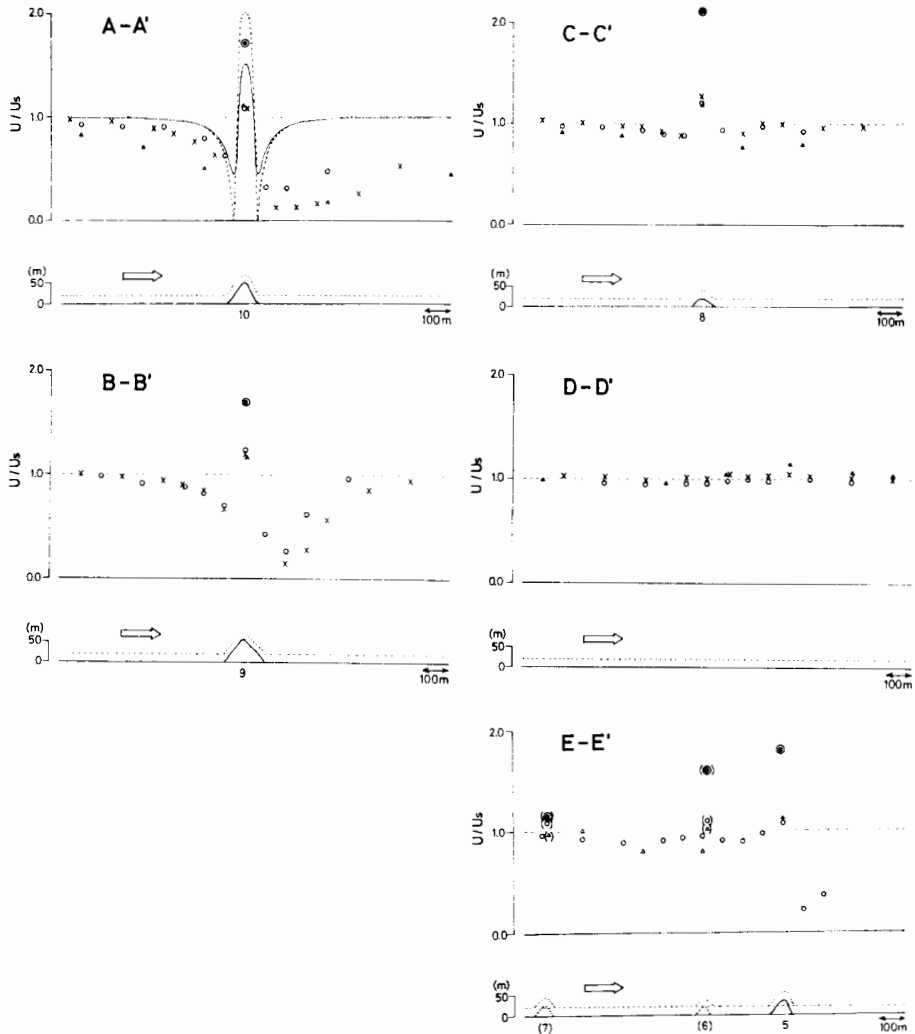


図 1.6 縮率の異なる模型による実験結果の対比

△：1/12000模型，○：1/4000模型，×：1/2000模型，●：実測値

大きな値を示しており、両者は必ずしも一致しない。この場合、比較した風速の測定高度が実験（現地土20m相当）と実測（6～10m）とで多少異なるので、これがこのような差の原因となったとも考えられる。そこで、風洞実験において実測地点に相当する点については、特別に低い高さの所まで測定を行ってみた。これらの結果は表 1.1 にまとめて示す。この表からも明らかな通り、風洞実験においては、測定高度を多少小さくしても相対風速には大きな差は見られず、実測値と実験値との差は大きい。例えば、岬先端の地点 8 では実測によると 2.1 倍の風速増強が見られるにもかかわらず、実験では 1.3 倍（1/2000 模型の場合）にすぎない。実測においてこの岬先端の地点で著しい強風が観測され、さらに、この値が稜線上より大きくなっているのは、岬を迂回する気流の効果も加わっている結果と考えられる。このよう

表 1.1 風洞実験値と現地実測値との対比

現地実測値は里浦に対する相対比で示し，風洞実験値は風洞風速に対する相対比および里浦の風速に対する相対比で示してある。[実測値は Mitsuta<sup>1)</sup>による]

地点番号	地点名	実測値 (相対比)	風 洞 実 験											
			縮率1/12,000模型			縮率1/4,000模型			縮率1/2,000模型					
1	里 浦	1.0	12m 20m	70 71	1.00									
4	つつじ丘	1.1	12m 20m	91 92	1.28	12m 20m	77 87	1.10						
5	燈 台	1.8	12m 20m	79 83	1.13	12m 20m	77 81	1.10						
6	飛 島	1.15	12m 20m	72 76	1.03	12m 20m	83 82	1.19						
7	裸 島	1.6	12m 20m	72 72	1.03	12m 20m	75 81	1.07						
8	鳥居(上)	2.1	12m 20m	77 87	1.10	12m 20m	89 89	1.27	6m 10m 20m	88 91 93	1.30			
9	やぐら	1.7	12m 20m	87 87	1.24	12m 20m	91 92	1.30	6m 10m 20m	81 87 87	1.24			
10	駐 車 場	1.8	12m 20m	79 82	1.13	12m 20m	80 80	1.14	6m 10m 20m	81 82 80	1.17			
11	ガ レ	2.05	12m 20m	82 81	1.17	12m 20m	84 88	1.20						
12	笹 山	1.8	12m 20m	80 75	1.14									

現象は風洞中でははっきり見られない訳で，地表面のごく近い所で特に顕著になると考えられる風の局地的な地形による変形は，今回行った風洞実験では再現されていないと考えざるを得ない。細長く海上に突き出した淡路側岬の中ほどを横切る AA' 断面上の風速分布は，この岬に等しい高さを持った断面が，半円形の無限に長い地形の周辺の風で近似できるとすると，ポテンシャル流を仮定し，風速の shear が無い場合については理論的にこの地形のまわりの風速を求めることができる。このような場合について計算した実寸換算地（海）面上 20m の高さの風速の計算値を，変形を受けない時の風速に対する相対比で表わしたものが，図 1.6 の AA' に実線で示してある。風上側では，理論値は風洞実験で得られた値にほぼ近い値を示しているが，稜線上では風洞実験値よりもずっと大きな値を示している。現地実測値は理論値よりさらに大きな値を示しているが，実測の測定高度が 6m であることを考えると，この値はむしろ点線で示したポテンシャル流として計算した高さ 0m での風速に近くなって当然である。そういう点では実測値と理論値との対応はよい。ポテンシャル流を仮定したことから当然のことながら，風下側での計算値は風上側と対称になっており，一方，現実の流体を使って行った風洞実験の結果は風速がずっと小さくなっている。したがって，ポテンシャル流

による気流の近似は、稜線より風上側については比較的良好に気流の性質を示すものと考えてよい。しかし、海峡中央部に近い岬の先端付近では岬を水平に迂回して流れる気流の成分が無視できなくなるから、このような簡単な2次元ポテンシャル流の仮定で近似することは無理である。

送電鉄塔位置（淡路側岬先端付近）においては先に示したように風速の鉛直分布の実測値が知られているから、この場所では地表面より離れた所での実測値と風洞実験値との対比が可能であり、その結果は図1.7に示す通りである。風洞実験値は風洞風速に対する相対比で示し、一方、現地実測値は先の図1.3における温度成層が中立で強風の場合の結果を利用したが、別に行われた調査において、地上70m高度での風速が平均して地衝風の96%であるという結果が得られているので、その値を用いて上層風に対する比に換算して示してある。風洞実験値は高さ40m以上では縮率によらず一致しており、この結果は実測結果ともよく一致している。特に小地形の再現性を向上させた1/2000模型による結果では、高さ16m付近まで実測と一致していると考えられる。このことは、地面から充分離れた所では風洞実験による流れの分布の性質と実測による風の分布とが比較的良好に一致していることを示している。一方、地表面に近くなるにつれて、局地的な地形の影響が大きくなるか、または流れの性質の相似度が悪くなり、風洞実験の結果が自然界の現象を示さなくなる。このことは、風洞実験においては、模型の精度、および縮率と、知ろうとする現象との関係に注意する必要があることを示している。

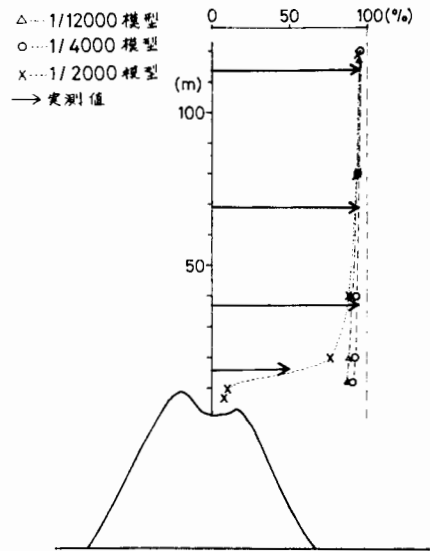


図 1.7 送電鉄塔（淡路側）における風速分布の実測値（矢印）と風洞実験値（図1.6と同じ記号）の対比

## 1.6 ま と め

地形の影響による風の局地的増強について、風洞実験によって研究を行った。過去の実測結果のある鳴門海峡付近を対象地域に選び、この地域について縮率の異なる3種類の模型を今回作成して風洞実験を行い、その結果を先に得られている同地域での現地実測値と対比した。

地形表面にごく近い10m以下の高さでの風速の分布は、現地実測値と風洞実験値との間に差が見られ、実測において見られる局地地形による風速の大きな増強は、風洞実験においては再現されなかった。また、今回の実験に用いた模型縮率の範囲内では、稜線上の風速はどの模型を用いてもほぼ同じ値を示し、縮率を変化させたことによる流れの性質の差は見られず、したがって、いずれの模型を用いても実測との差は変わらなかった。

しかしながら、地表から離れた上空での様相は、風洞実験と現地実測とがよく一致しており、地形表面のごく近傍を除いた上空域では風洞実験の結果は実際の強風時の風の性質をか

なりよく再現しているものと考えられる。

地形表面のごく近い所の風速に見られた、風洞実験の値と現地実測の値との差異が、今回用いた模型で表わされるよりさらに局所的な地形の影響を現実の風が受けていることによるのか、あるいは風洞の風の性質が地表面近くでは自然風の性質と相似になっていないことによるのかは、今後検討していかなければならない問題である。また、数値実験による検討も今後に残された課題である。

#### 参 考 文 献

- 1) Mitsuta, Y.: Characteristics of airflow over the barriers in the storm, International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Tokyo, 1971, pp.1-12.
- 2) Mori, Y., K. Miyata and Y. Mitsuta: A case study of wind over a hilly terrain. Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., Vol.21, Part 2, No.190, 1971, pp.179-189.
- 3) Nemoto, S.: Similarity between natural local wind in the atmosphere and model wind in a wind tunnel, Papers in Meteorology and Geophysics, Vol.19, No.2, 1968, pp.131-230.
- 4) Roll, H.U.: Physics of the marine atmosphere, Academic Press, New York, 1965, p.193.
- 5) Davenport, A.G.: The dependence of wind loads on meteorological parameters, Wind Effects on Buildings and Structures, Proceedings, Vol.1, University of Toronto Press, 1967, p.74.
- 6) 塩谷正雄: 暴風時における突風の構造, 中間報告その4, 日大理・工学部野校舎物理研究室, 1969, p.38.