

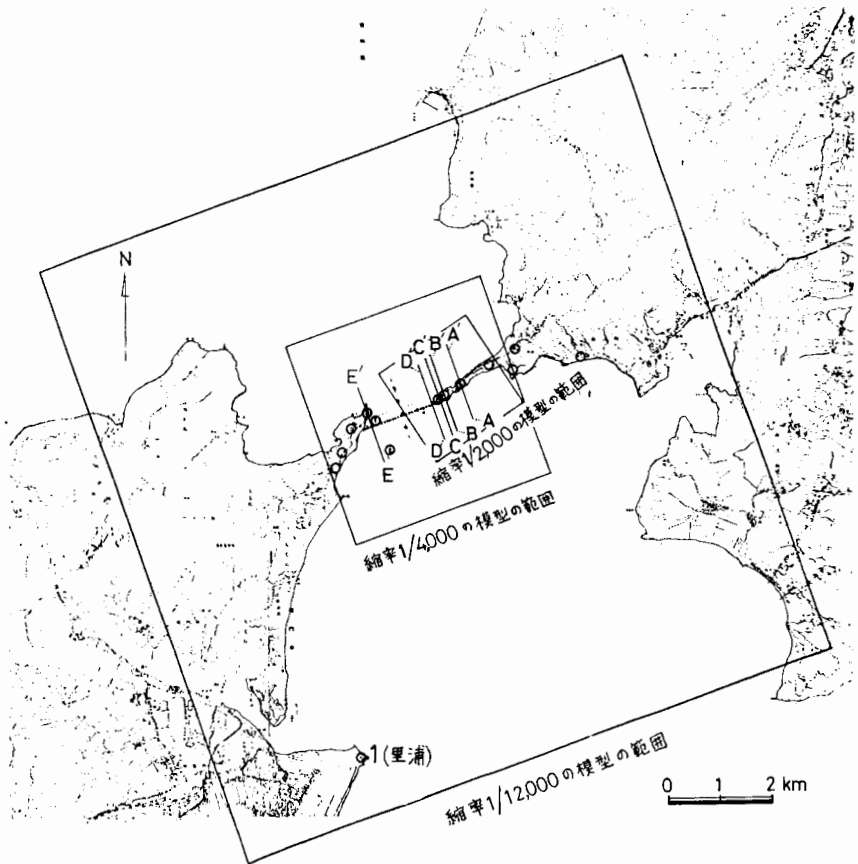
1. はじめに

過去に行われた現地観測によって鳴門海峡においては非常に強い風の吹くことのみことが知られている。鳴門海峡中央付近の地形は第1図に示すように二本の幅の狭い切り立った岬(淡路側は高さ約50m、鳴門側は高さ約100m)が幅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。この岬の先端や稜線上で風速の著しい増強が観測されており、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ている。したがってこのような場所に構造物を建設する場合には地形による風速の局地的な増強の効果を無視することはできない。

特定地域の風の局

地的増強を明らかにするための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 (1))。現地観測は問題とする地点の風の特性を直接測定するものであり最も信頼できる知識であるが、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鳴門海峡周辺全体にわたる風の特性を知ろうというような時にはこのような方法のみによって

調査を進めることは観測点の配置の問題



第1図、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。

* 京都大学防災研究所、助教授、気象学会

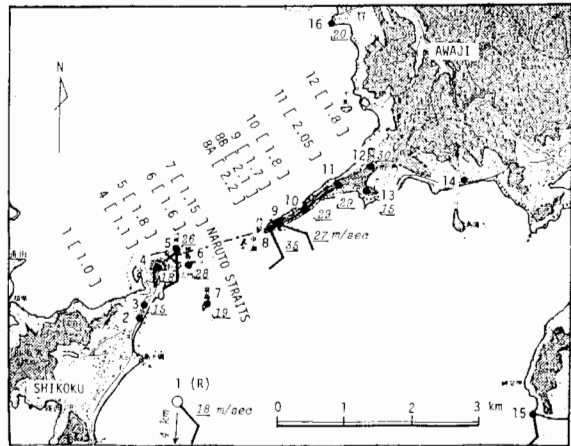
** 香川大学教育学部、助手、気象学会

などから不可能に近い。したがって現実には直接的な現地観測以外の方法を用いて実測を行い得た地点での知識から実測できなかった他の場所での風を推定する方法によらなければならない。ここでは今までに独立して行われた現地観測と風洞実験の結果を統合し、鳴門海峡付近の風の特性について調べてみた。

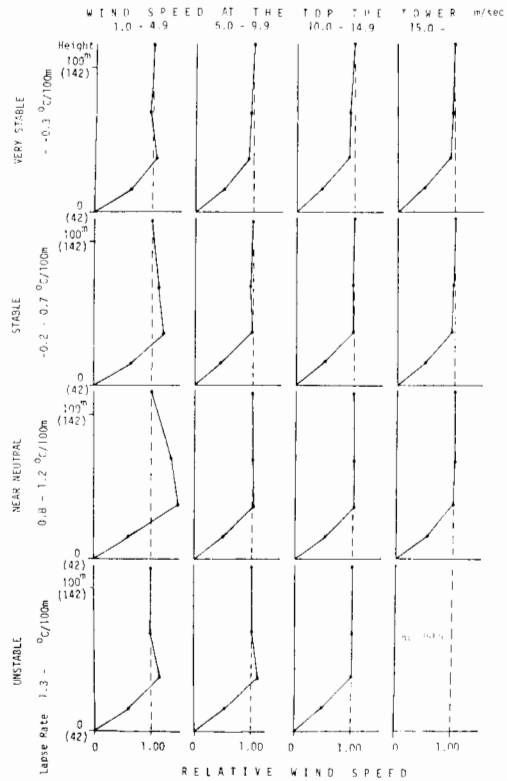
2. 鳴門海峡における風の実測結果から推定された風の特性

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1965年頃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 (2) 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5~10mの測風柱を臨時に建ててそれに風向風速計を取り付けて行われた。実測によればこの海峡においては風が海峡を吹き抜ける向きに吹く時に著しい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について得られた風速分布の例を第2図に示す。この図には台風接近時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風速分布を海峡入口部(里浦)におかれた基準点に対する相対比の平均値で表わしたものが示されている。岬先端および稜線上では海峡入口の海面上高さ10mでの風速の1.7~2.1倍の風速になっていることが見られ、著しい風の増強があることになる。

一方送電線完成後に送電鉄塔においても観測が行われた。この際には大気の安定度の測定も行われており、その結果の要約(Mitsuta (2))は第3図に示すとおりである。これは淡路側の岬の先端に近い位置の送電鉄塔上で観測されたもので、風速が強くなると共に風速の高さ方向の分布は温度勾配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以上では風速はほぼ一定の



第2図、鳴門海峡における風速分布(実測値)。〔〕内の数値は里浦(1)に対する相対比の平均値を示す。



第3図、送電鉄塔(淡路側岬先端付近)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。

形を示している。

3. 鳴門海峡周辺地形模型による気流の風洞実験の方法

風洞実験を行うに当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。ここでは風速の高度分布および乱れの強さの分布の相似性を考慮して実験を行った。乱れのスペクトルまでの相似を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。しかし、先の二つだけでも流れの性質をかなり相似させることはできると考えられる。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 pattern は風速に大きく依存しないものと考えることができ、Nemoto (3) の考えなど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テ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 $1/10,000$ 以上にせねばならない。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。ここでは第1図に示すような範囲を含む水平方向の縮率が $1/12,000$ 、 $1/4,000$ および $1/2,000$ の3種類の模型を作成し、実験を行い、細部の検討を容易にすることを考えた。このうち $1/12,000$ 模型は鉛直方向の縮率を $1/4,000$ としてあるので、高さ方向には実際より3倍拡大した形となっている。 $1/4,000$ および $1/2,000$ 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 5m/s で行なった。これはこの付近で数倍程度風速を変えても流れの pattern 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 (3) による相似則の考えに基づけば上空風速で $70\sim 100\text{m/sec}$ 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い、風向の測定はタンポポの種子の吹き流しを用いそれを写真に撮って読み取った。

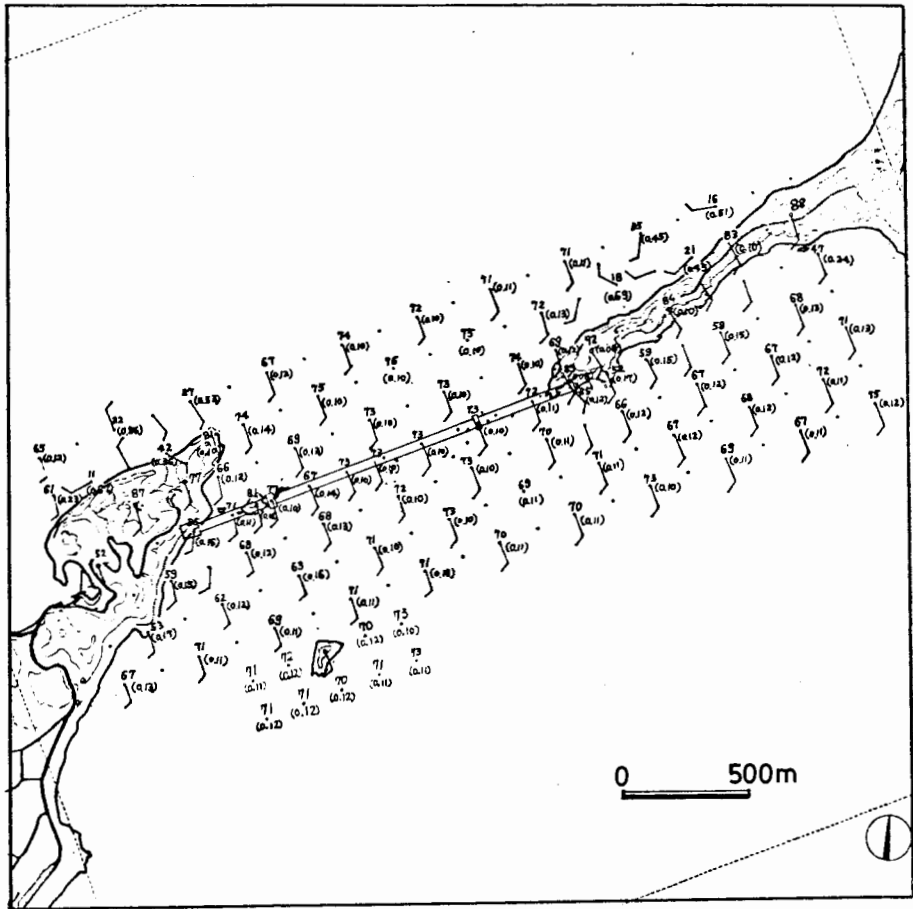
先に風速および乱れの強さの分布の相似を計るということにしたが、現実の地形により、変形を受けた気流についてこれを相似にすることは不可能であるから、まず地形模型を用いた実験を行うに先だって、地形模型を入れずに平板上での分布が海面上の境界層に相当する様に調整した。海面上の境界層については十分な資料はないが、境界層の厚さは Roll (4) によれば 300m 程度であり、下層での風速分布は、指数分布を仮定すると、その指数は 4 程度 [Davenport (5)]。また乱れの強さは、塩谷 (6) による鳴門海峡に近い里浦海岸の高さ 40m での測定結果が海からの強風時には 10% 程度であることが利用できる。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。

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なった。3種類の模型のうち縮率 $1/12,000$ および $1/4,000$ 模型の場合は海峡の方向にその風向 SSE の場合について行い、 $1/2,000$ 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 SSE より 14° 東に傾いた風向を選んで実験

を行つた。風速は平均風速を測定し、風洞風速に対する相対比(%)で表現した。

参考までに地(海)面上20mの高さの風速分布を $1/4,000$ 模型を用いて求めた結果を第4図に示す。岬の風上、風下側で風速が幾分小さくなっており、稜線上および岬の先端では増強が見られるが、海峡中央部海上では風速の増強は見られない。

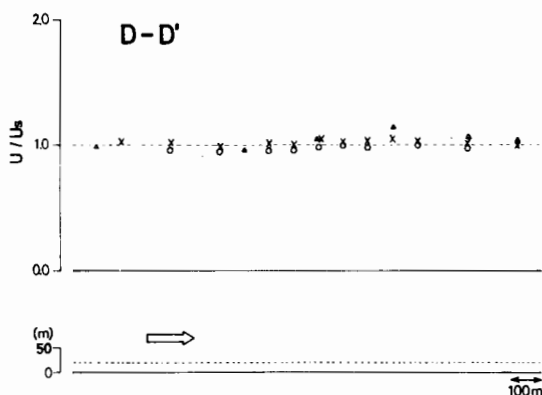
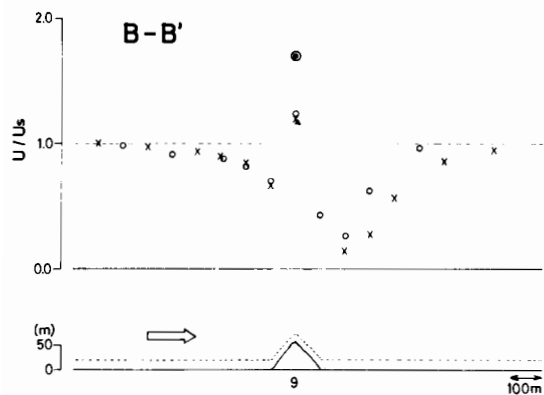
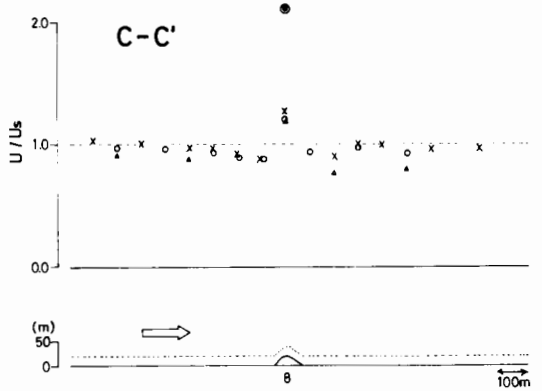
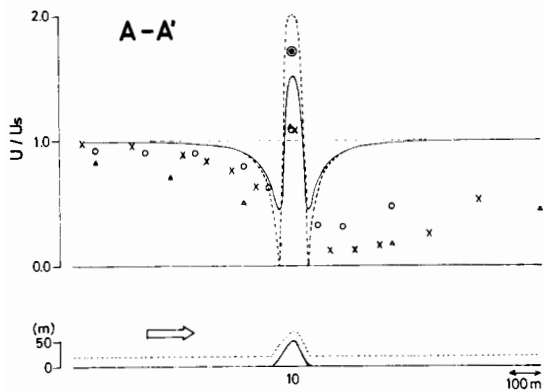


第4図、鳴門海峡における風速分布(風洞実験)。縮率 $1/4,000$ 模型によつて得られた地(海)面上20m相当の高さの風向、風速を示す。各点の風速は風洞風速に対する相対比(%)で示してある。

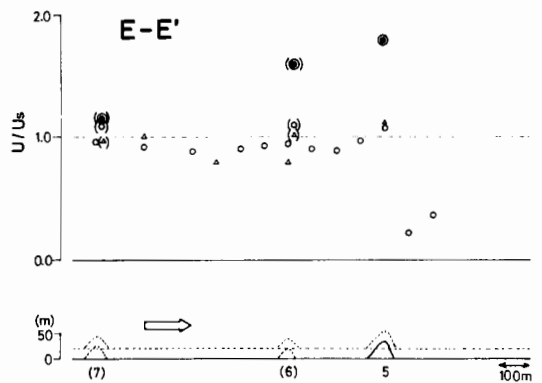
縮率の異つた模型を用いた結果の差異を調べるために、第1図のAA'、BB'、CC'、DD'、EE'線上の地(海)面上実寸換算20mの高さの風速Uと、地形模型のない海面のみの状態の平板上で測定した同じ高度での風速 U_s (風洞風速の約74%)との相対比で第5図に示した。縮率 $1/2,000$ と $1/4,000$ の模型による結果を対比すると高さ方向に拡大した $1/2,000$ 模型による結果は $1/4,000$ 模型の場合より岬の風上、風下側での風速の弱化が強調された形となっている。また $1/2,000$ 模型による結果は風下側を別にすれば $1/4,000$ 模型とほぼ一致し大差はない。稜線上の値はどの縮率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、地形によると思われる風速の増強はほとんど見られない。

5. 風洞実験結果と現地実測値との対比

風洞実験において、海峡入口にある地点里浦では風洞風速の70%の風速が測定されており、海面模型上での高さ20mに相当する所の風速74%とほぼ一致している。したがつて第5図に示した値は里浦



に対する風速の相対比を示すものと考えても差しつかえない。一方 AA' BB' CC' および EE' は現地観測における実測地点 10, 9, 8, 5 をそれぞれ通り、そこでの実測風速の里浦の風速に対する相対比の平均値が求められているから、それらの値によって風洞実験と現地観測の結果は比較することができる。このような現地での実測による相対風速は第5図に◎印で示してある。地点7(飛島)、6(裸島)の位置は EE' 測線より少しずれてはいるが EE' の図上に()で示してある。現地実測による値はいずれも風洞実験による値より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(現地上 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ているとも考えられる。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特別に低い高さの所で測定を行ってみた。これらの結果は第1表にまとめて示してある。この表からも明らかとなり、風洞模型の場合には測定

第5図、縮率の異なる模型による実験結果の対比。
 △: 1/12,000 模型, ○: 1/4,000 模型, X: 1/2,000 模型, ◎: 実測値。

高度を多少小さくし

第1表、風洞実験値と現地実測値との対比

ても相対風速には大きな差は見られない。例えば地点8では実測では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(1/2,000模型の場合)にすぎずその差は大きい。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

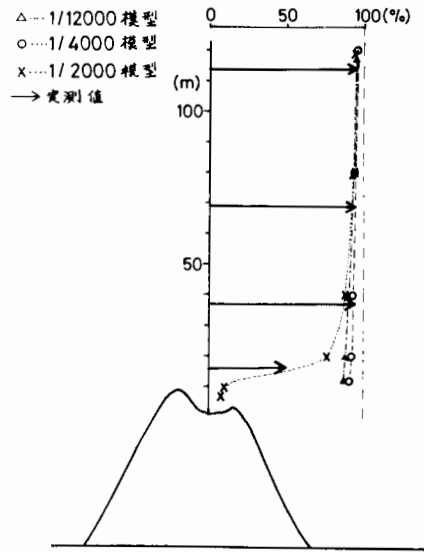
北点番号 地点名	実測値 (相対比)	風洞実験								
		縮率1/2,000 模型			縮率1/4,000 模型			縮率1/2,000 模型		
1 里浦	1.0	12m 20m	70 71	1.00						
4 つつ丘	1.1	12m 20m	91 92	1.28	12m 20m	77 87	1.10			
5 燈台	1.8	12m 20m	79 83	1.13	12m 20m	77 81	1.10			
6 飛鳥	1.15	12m 20m	72 76	1.03	12m 20m	83 82	1.19			
7 裸島	1.6	12m 20m	72 72	1.03	12m 20m	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 カレ	2.05	12m 20m	82 81	1.17	12m 20m	84 88	1.20			
12 笠山	1.8	12m 20m	80 75	1.14						

流の効果も加わっている結果と考えられる。このような現象は風洞中では顕著に見られない訳で、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、今回行な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'断面上での風速分布を、高さがこの岬に等しく断面が半円形の無限に長い地形の上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がな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。このようにして計算した地(海)面上20mの高さに相当する所の風速の計算値を変形を受けない時の風速に対する比で表わしたものが第5図(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ものにほぼ近い値を示しているが、稜線上では実験によって得られた値よりずっと大きな値を示している。一方現地実測値はこの理論値よりさらに大きな値を示している。しかし実測の測定高度が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、風下側でのポテンシャル流から計算した風速は風上側と対称になり、一方現実の流体を使って行な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のみについては比較的良好な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流れの成分が無視できなくなるから、このような簡単な二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)における風速の鉛直分布の実測と風洞実験値との対比を第6図に示した。風洞実験値は風洞風速に対する相対比で示し、現地での実測値は第2図に示した温度成層が中立で強風の場合の結果を示してあるが、別に行われた調査において地上70m高度での風速は平均

して地衝風の86%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。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付近まで実測値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よく一致していることを示しており、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り、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の模型の精度、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。



第6図、送電鉄塔(送路側)における風速profileの実測と風洞実験値との対比。

6. まとめ

鳴門海峡付近の風の特徴について縮率の異なる3種類の模型を用いた風洞実験によって調べ、その結果を先に得られている同地域での風の実測値と対比した。

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、実測においてみられるような局地地形による風速の大きな増強は実験においては再現されなかった。また風洞実験において換路上での風速は実験に用いた模型縮率の範囲内ではほぼ同じ値を示し、縮率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。

しかしながら地面から離れた上空での様相は風洞実験と実測がよく一致しており、地表面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と考えられる。

今回見られた地形表面のごく近い所の風速の風洞実験の値と現地実測の値との差異は、今回用いた模型で表わされるより更に局所的な地形の影響を現実の風が受けているのか、あるいは風洞風の性質が地表面近くでは自然の風の性質と相似になっていなかったということに問題があるのかは今後検討していかねければならぬ問題である。

参考文献

- (1) 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.
- (2) 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.
- (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, 日大理工習志野校舎物理研究室, 1969,

EXPERIMENTAL STUDIES OF CHARACTERISTICS OF WIND FIELD OVER
THE NARUTO STRAITS

by Yasushi MITSUTA¹ and Yukihiro MORI²

SUMMARY

Characteristics of wind field over the Naruto Straits were studied in the wind tunnel using three models of the topography in different scales (1:12000, 1:4000 and 1:2000). The results were compared with those of field observations carried out at the Naruto Straits area before.

The surface wind speed field observed in the wind tunnel shows the same tendency in qualitative sense as that observed in the field experiment, but the magnitudes of intensifications of wind speed on the ridge or at the point of the cape are much larger in the field experiment than those obtained in the wind tunnel experiment. For example, in the southeast wind case, at the Station 8 locating the point of the east cape wind speed is 2.1 times as large as that reference point on average in the field experiment, however this ratio is only 1.3 (1:2000 scale model) in the wind tunnel experiment. On the ridge of the cape wind speed at the lower level shows nearly the same relative values at the same topographic points of three different models in the wind tunnel. Consequently discrepancy of wind speed between in the field experiment and in the wind tunnel experiment is not reduced significantly by reducing the scale factor of the model by the factor of 6 as in this case.

On the other hand, wind profile observed at the power-transmission tower standing at near the point of the east cape coincides well with that observed at the corresponding point on the wind tunnel model at higher level. This indicates that wind flow in the wind tunnel represents natural wind flow at higher level from the surface fairly well.

The cause of difference between surface wind speed in the wind tunnel experiment and in the field experiment might come from the fact that natural wind flow is affected by extremely small scale topography which is not reproduced in the model or from the fact that similarity of characteristics of natural wind flow and wind tunnel flow cannot be achieved in the lower level near the topographic surface in this case. Further studies both in the field and wind tunnel are needed to obtain final conclusions.

1. Assistant Professor of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto Univ.
2. Research Associate of Kagawa Univ.