



研究報告



1950年代に行われた鳴門海峡横断送電線建設に関する風の研究の記録 Record of Study of Wind for Construction of a Transmission Line Crossing the Naruto Straits in 1950s

森 征洋*

Yukihiro MORI

SUMMARY

Once there was a long span of transmission line crossing the Naruto straits. The transmission line was planned to build in 1950s. An intensive study of wind in the area was made and the design wind speed over the straits was established. The transmission line was built in 1961 and used until 1985. At that time when the line was built, the span of line was the longest in Japan. Throughout the history of wind engineering in Japan the study was the first attempt to establish the design wind speed for large-scale structures such as transmission lines. An outline of this historical study has been shown.

key words: design wind speed, topographic effect, transmission line, strait

1. はじめに

淡路島と四国間の鳴門海峡には、かつて図1に示す位置に海峡を横断する長径間の送電線が架設されていた。この鳴門海峡横断送電線は、四国側から淡路島に電力を送るために1961年に建設され、その後25年間にわたって運用されていたが、大鳴門橋の建設に伴い、1985年に送電線としての役割を終えた。

この送電線は、図2に示すように、両岸に建てられた高さ100mを超える高鉄塔で支えられ、海峡をひ

とまたぎして架設されていた。そのため、径間は1700mになり、建設当時、日本最長であった。

鳴門海峡は狭い海域で潮流の変化が激しく、渦潮の発生するところとして知られているが、気象状況も厳しい。このような場所に長径間の架空送電線を建設することは日本で最初の試みであり、設計風速設定のため、大規模な風の調査研究が行われた。

この風の調査にはいずれも故人となられた京都大学名誉教授の滑川忠夫、石崎潑雄、光田寧の先生

* 香川大学名誉教授

Professor Emeritus, Kagawa University

(原稿受理年月日: 2014年11月11日, 採用決定年月日: 2015年4月21日)

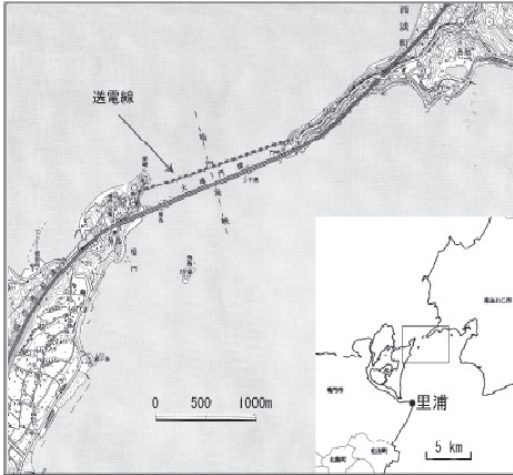


図1 鳴門海峡周辺の地形図
(国土地理院の地図より作成)
Fig. 1 Map of the Naruto straits

方が関係された。石崎先生は本学会前身の日本風工学研究会の創設に尽力された方で、初代会長も務められた¹⁾。光田先生は超音波風速計の開発および大気乱流の研究など気象学の分野で功績のあった方で、風工学の分野でも活躍された²⁾。

この送電線建設に関する研究は、日本において「風工学」という言葉がなかった時代³⁾に行われたもので、日本で行われた最初の大規模な風工学に関する調査と考えられる。筆者は、この調査資料を整理する機会があったので、日本における風工学の記録として当時行われた調査・研究について紹介したい。また、その後、個別に行われた地形模型風洞実験、数値シミュレーションの結果も合わせて紹介したい。

2. 鳴門海峡横断送電線

太平洋戦争後の復興期にあった1950年代、淡路島の電力は明石海峡を横断する20KV海底ケーブル2回線で関西から供給されていた。しかし、投錨による海底ケーブルの切断事故や、増大する電力需要に備えるため、四国側からも電力を供給する計画が持ち上がった。当時、ゆくゆくは電力に余裕のある四国の電源地帯から関西方面に電力を供給しようという大きな構想もあり、鳴門海峡を横断する187KVの超高压送電線の建設が計画された。

海峡を横断する送電線は海底ケーブルか架空線の



図2 淡路側から見た大鳴門橋と送電鉄塔
(徳島新聞社提供)

Fig. 2 Ohnaruto bridge and transmission towers view from the Awaji side. The photograph is provided by the Tokushima Shimbun Company.

どちらかを選択することになる。現地調査から鳴門海峡では海底ケーブルは不可能に近く、架空線ならば可能という結論になった。そのため、鳴門海峡を挟む両方の岬の先端に鉄塔を建て、最狭部分1.6kmの間をひとまたぎする送電線の建設が計画された。

このようなところに架空線を設置する場合、工法上の問題のみならず、設計に必要な風圧の設定が問題となる。そのため大規模な風の調査研究が1956年から実施され、報告書が作成された⁴⁾。これらの調査結果に基づいて建設された鳴門海峡横断送電線は1961年9月1日に完成した。

この送電線が完成した直後の9月16日、第2室戸台風の中心が室戸岬の西方を通り、近畿地方を縦断した。送電線はこの台風による強風に耐えることができ、その後も台風などによる被害を受けることなく運用されてきた。しかしながら1985年本四連絡橋大鳴門橋の完成に伴い、橋梁下部に送電線が設置されたことにより、鉄塔による送電は終了した。電線と鉄塔はその後1997年に撤去された。

3. 設計風速の設定方法

鳴門海峡横断送電線は関西電力によって計画が進められた。しかしながら、気象、地質、建設方法など、さまざまな検討課題があったため、京大、阪大などの学識経験者を含む「鳴門海峡横断送電線建設調査委員会」が設置された。

送電線建設に当たって検討課題の一つの大きな問

題は、強風の吹くことが知られている鳴門海峡周辺の設計風速を決定することであった。そのため、風の調査が京都大学理学部の滑川忠夫教授、工学部の石崎潑雄助教教授に委託された。鳴門海峡周辺での風の調査は当時理学部の大学院生で後に京大防災研究所の教授として活躍された光田 寧博士が担当した。

送電線の設計にあたって、関西電力送電課が当初考えた設計風速の推奨値は永江公式⁹⁾を形式的に適用するものであった。しかし、この公式を鳴門海峡のような特殊地形のところにそのまま適用することが問題とされ、予備的に淡路側岬先端の門崎で1955年の台風期に風の観測が行われた。その結果、門崎では、淡路島の洲本測候所や徳島地方気象台における風より1.5から3倍強い風が吹くことが分かった。これが地形の縮脈（流れの断面が狭くなる）効果によるものであるならば鉄塔建設にとって看過できない問題となる。

地形によって風速がどのように増強されるかは、まず、実情を確かめなければならない。地表近くでの観測は比較的容易であるが、問題とされる高さ200mに及ぶ空域における観測は莫大な費用を投じないかぎり不可能である。また、強風時での状況を知る必要があるので、測風気球など、強風に弱い観測手法は採用できない。

地形による風の増強効果の研究方法として、今日では気流の粘性を考慮した3次元数値シミュレーションが可能であるが、当時は不可能で、また地形模型を用いた風洞実験による方法は、費用の点から除外された。

結局、実行可能な方策として、次の方法が採用された。

- (1) 海峡部の十数地点において地表近くの風の観測を行い、海峡入り口の風と比較することによって南東の強風時の各点の地形増強率の実測値を求める。
- (2) 水平2次元ポテンシャル流を仮定して、地形を考慮した理論計算を行い、それにより海峡横断部の高さ200m以下の空域における南東風の場合の理論的地形増強率を算出する。
- (3) (2)で得た結果が(1)で得た結果に近づくように適当な操作を加え、その結果を各点での想定された地形増強率として、目的の設計風圧の算定の基礎とする。

4. 現地観測の結果

鳴門海峡周辺の10数地点で風の観測が1956年から1959年まで、おもに台風期に行われた。観測に用いられた測器や設置高度などは表1に、観測地点の配置は図3に示す。海峡入口の地点1（里浦）の位置は図1に示す。風速の観測にはすべての地点で4杯ロビンソン風速計（気象庁検定済）が用いられた。この風速計は風程接点を持ち、風程パルスが積算記録器により記録された。地点5、6では風車型風向風速計も用いられ、瞬間風速・風向の観測も行われた。風向の観測は地点1を含むいくつかの地点で矢羽根型風向計により行われた。風向計からの出力は、自記器により連続的に記録された。淡路側岬先端近くでは、尾根上（地点9）と尾根より下がった階段状平地（地点8）に観測点が設けられた。この地点では5mと10mの2高度で観測が行われ、5mの高度ではロビンソン風速計のほかユニバーサル風速計（ダインス式風速計で、風向も測定できるようにしたもの）が用いられた。

表1 観測地点と測器および設置高度。R：ロビンソン風速計，V：矢羽根型風向計，K：風車型風向風速計（コーシンペーン），U：ユニバーサル風速計

Table 1 Observation sites and instruments

地点番号	地点名	測器	地面高度 (m)	風速計地上高 (m)
1	里浦	R V	10	5
2	公園バス停	R	5	5
3	配電柱上	R	54	5
4	つつじ丘	R V	99	10
5	孫崎灯台	R V K	36	10
6	飛島	R K	25	3
7	裸島	R	19	5
8	鳥居上(B)	R	20	10
	鳥居下(A)	R U	20	5
9	やぐら	R V	50	10
10	駐車場	R	42	5
11	ガレ	R	75	5
12	篠山	R V	92	5
13	行者灯台跡	R	51	8

台風期における観測から、鳴門海峡で強風が生ずるのは、海峡に直角よりの方向から風が吹き込む場合で、最大風速は南東風または北西風の場合に発現すると考えられた。さらに、両岸から突き出した岬の間の海峡上の風を考える場合、南東風と、北西風とでは、左右は逆になるが、地形の影響は同じと考えられるので、設計風速は南西風の場合について検討された。

風の解析には風向、風速ともに1時間ごとの1時間平均値が用いられた。風速は、風程の1時間積算値から求められた。風向は1時間の風向変動の連続記録より平均値が読み取られた。台風接近時に観測された強風で、南西方向から吹き込む場合について、地点1（里浦）の風速に対する各観測点の同時風速比を求め、その平均値を地形増強率とした。観測地点によって風速計の高度が異なっているので、10mの高度に換算する補正が施された。

このようにして求められた平均的な地形増強率と、台風時に観測された風速分布の例を図3に示す。岬の先端や稜線上の地点で風速が増強され、地点1に比べて約2倍の強さの風が吹いていることが分かる。さらに、詳しく見ると淡路側岬の先端付近では、稜線上(地点9)より低い位置にある地点8で風速が大きく、しかも10m高度(8B)より高度の低い5m高度(8A)の方が大きくなる傾向がある。これは水平方向に岬を迂回する流れによるものと考えられた。

最大瞬間風速と平均風速の観測から突風率が調べられた。実測値から突風率は高さ10mでは1.4と設定され、高さによる変化は、Sherlockの実験式⁷⁾によるものとして、設計用の最大瞬間風速の予測値が決定された。

瞬間風向・風速の観測を行った地点の記録から、副産物として海峡上に小旋風の発生することが明らかにされた⁸⁾。小旋風は一般風が強風の場合も弱風の場合も発生し、大多数は反時計回りの回転を示していた。その内域の半径は0.5~1.5km、最大旋回風速は6~13m/s程度で、6~30km/hの移動速度で海峡に沿って北向き、または南向きに移動していた。

5. 設計風速の設定

現地観測から風の地形による増強効果が調べられたので、この結果に基づいて設計風速の検討が行われた。

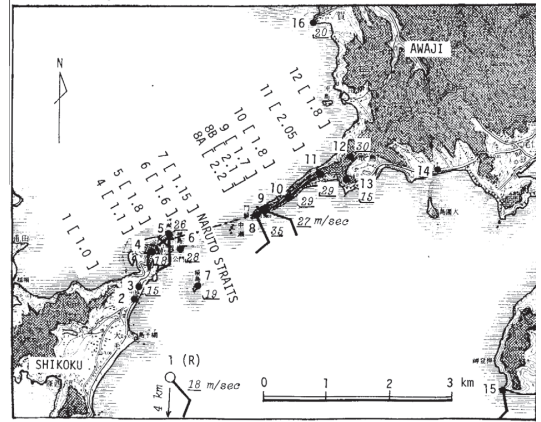


図3 台風6710号(1967年9月7日1600 JST)のときに観測された鳴門海峡における風速分布(実測値)⁶⁾。地点番号に付した[]内の数値は地形増強率。

Fig. 3 Map of the Naruto straits, which shows the distribution of the observing stations. The arrows and numbers in italic show the wind distributions in the straits observed in the typhoon 6710 at 1600 JST Sept. 7, 1967. The bold figures in the brackets are the intensification factors determined by the observational results of southeasterly storm winds.

まず、この地域の最大風速を設定する。風速の再現期間が、徳島地方気象台の28年間の観測データを用いて Jenkinson の方法⁹⁾により検討された。その結果、最大風速を40m/sとすると、100年以上の再現期間を持つことが分かった。そこで、この風速を鳴門海峡に吹き込む風の最大値とした。

次に、このような風が鳴門海峡に吹き込むとき、岬の周辺および海峡上における風の予測値を求める。現地観測の結果から、岬近くの風は推定できるが、海峡上の風については分からない。そこで光田は理論計算によって海峡上の風を予測することを考えた。

まず、海峡に流入する wind profile を設定する。当時、海上については知られていなかったので、海岸近くの草地で観測された、次の Deacon の実験式¹⁰⁾が採用された。

$$v(z) = v_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{0.16} \quad (1)$$

ここで、 $v(z)$ 、 v_{10} は、それぞれ高さ z および 10m における風速である。この式のべき乗数は経験的に与えられるもので、現在では、海上の風については Davenport¹¹⁾による 0.1 の値が用いられる。乗数を 0.16 とし、地表面近くの風から上空の風を推定する場合、予測値は大きくなるが、結果としては安全側に予測することになる。

このような鉛直分布を持った気流が岬によってどのように変形をされるか、光田は実地形の周りの風を数値計算によって求めることを試みた。当時、摩擦を考慮しないポテンシャル流を仮定しても 3 次元問題として解くことは難しかった。光田は、海峡に流入する空気が海峡の狭くなったところで岬という障壁に衝突する際、岬を迂回する気流と岬を越える気流が生ずることに着目し、その割合を仮定することにより、水平 2 次元問題として解くことを考えた。境界条件には実地形を用いて、relaxation method¹²⁾でポアソン方程式を解き、結果を合成することにより風の分布を求めた。

岬を越える気流と迂回する気流の割合を幾通りか変えて計算を行った結果、この割合を半々として求めた計算結果に摩擦による減衰効果を考慮すると実測結果との整合性がよいこと分かった。そこで、この割合で計算を行った結果を予測値とした(図 4)。

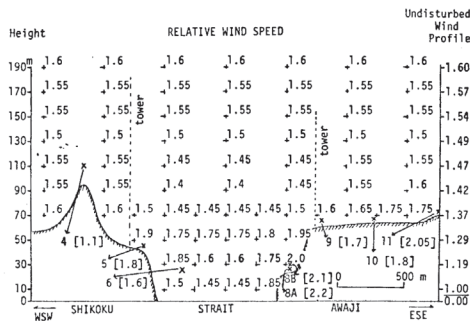


図 4 鳴門海峡断面における南東風の場合の風の予測値と地表付近の実測値(カギ括弧)。地形の影響を受けないところの高さ 10m の風速を 1 とし、相対比で表している。

Fig. 4 Estimated and observed (in the bracket) relative wind speeds (relative to the reference wind at a height of 10 m) in the cross section of the Naruto straits in the case of southeasterly wind.

この図では海峡断面の風速分布を風上海上 10m の

高さの風速を 1 とし、相対比で表している。海峡上の風には、高度に伴う風速の増加だけではなく、地形による増強効果が含まれている。この予測値に基づいて提案された設計風速推奨値(瞬間風速)には発生のある小旋風の影響も加算された。

光田が用いた数値計算の手法は、1970 年代後半に登場した Dickerson¹³⁾や Sherman¹⁴⁾による変分法を用いた複雑地形上の気流計算そのものであり、これらの研究に先立つことおよそ 20 年前にして、計算尺で流れポテンシャルを解き、複雑地形周囲の気流計算を行った光田の先進性には、今更ながら驚かされる。

6. 送電線の敷設

風の現地観測と海峡上の風の予測値より、送電線の設計風速は、上空の風について、平均風速 75m/s、最大瞬間風速 105m/s (ただし、電線に対しては平均風速 65m/s) という値が推奨された。

風の乱れの性質から、構造物の受圧面が大きくなれば最大瞬間風速は構造物全面に同時には作用しないと考えられる。したがって構造物が大きくなれば、対象とする構造部分の大きさに応じて設計用風圧度を減少させても差し支えないことになる。しかしながらこの減少率については当時知られていなかった。

石崎は鳴門の孫崎灯台およびその付近に歪計型風圧計を 3 台配置し、1956 年度、1958 年度の台風期にオシログラフ記録器で瞬間風圧の同時測定を行った。この結果に基づいて設計用風圧を受圧面の大きさに応じて低減できる実験式を提案した。

これらの結果に基づいて送電線の設計が進められた。送電線を鳴門海峡の上に敷設する工事は住友電工により 1961 年 6 月に行われた。この工事は、気球を使って送電線を渡すという世界でも初めての試みであり、同社の歴史において戦後からの復興を示す一時代を画した年に行われた出来事の一つとして記録されている¹⁵⁾。

電線架設工事は淡路側の門崎に建てられた鉄塔から直径 9mm のメッセンジャーワイヤを曳いた船が対岸に向かって出発することにより始められた。アドバルーン業者より集めた 77 個の気球に釣り下げられたワイヤが鳴門海峡の上に浮かび、2 時間後には鳴門側の孫崎に到着して工事は無事成功した。世界で 3 番目という長さで注目された海峡横断送電線の敷設工事だったが、ヘリコプターを使用せず、気球

を使ったということはまさに日本的と、週刊誌に「風船爆弾以来の着想」として写真(図 5)付きで紹介された¹⁶⁾。なお、1997 年に行われた送電線撤去工事ではヘリコプターが用いられた¹⁷⁾。



図 5 風船で送電線をかける鳴門海峡
(週刊新潮 1961 年, 279 号, 道 正太郎撮影)

Fig. 5 Wire stringing over the Naruto straits with the use of balloons

この送電線による四国から淡路島への送電は 1961 年 9 月から 66KV で始まり, 1972 年 11 月からは 187KV で運用されるようになった。この結果, 淡路島のおよそ南半分の電力は四国からの送電でまかなわれるようになった。

7. 鉄塔における風と気温の観測

送電線建設後, 設計風速算定の妥当性を検証するために, 四国側鉄塔(地面海拔 34m)では 5 高度(地上 21, 47, 74, 100, 146m)で風の観測, 淡路側鉄塔(地面海拔 42m)では 4 高度(地上 16, 37, 69, 115m)で風と気温の観測が行われた⁶⁾。

風の観測には風車型風向風速計(光進電機)が用いられた。風向風速計 9 台のうち 4 台は風程接点のみ内蔵された。風程パルスは電接计数器で積算値が記録され, 瞬間風速・風向は紙に連続的に記録された。風向風速計の動特性があらかじめ京大防災研究所の風洞で調べられ, 風速計の距離定数 6.2m, 風向計の固有波長 13.2m, 減衰比 0.18 であった。この結

果から, この風向風速計は 10m/s 程度以上も風が吹いていれば, 数秒周期の変動までは十分追隨すると見なされた。

平均風速は, 風程パルスの積算記録から 1 時間ごとに 1 時間平均値が求められた。最大瞬間風速は 1 時間ごとに, その間の最大値が目で見取り取られ, 平均風向も 1 時間ごとに 1 時間のトレースより目で見取り取られた。平均風速, 平均風向, 瞬間風速のほか, 気温の観測も行われ, 大気安定度も調べられた。

観測は送電線が完成した 1961 年 9 月 1 日の直後から始められる予定であったが, この月の中旬に襲来した第 2 室戸台風時には測器の準備が間に合わず, 観測は 10 月から始められ, 1965 年まで続けられた。4 年間の観測期間中に強烈な台風による強風の観測データしか得られなかったが, 海峡に突き出た岬の先端における wind profile の特徴が調べられた。岬の先端では, 大気安定度が安定な場合, 気流は岬の稜線を越えずに, 岬を迂回し, 大気安定度が中立的あるいは不安定になると, 稜線を越える傾向にあることが認められた⁶⁾。

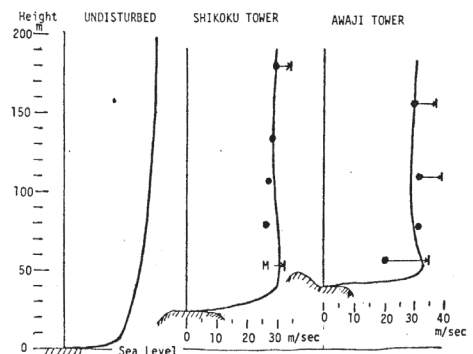


図 6 鉄塔における風の予測値と実測値⁶⁾。黒丸は台風 6419 号(1964 年 8 月 24 日, 1700 JST)における南西風のときに観測された平均風速, 矢印は最大瞬間風速。

Fig. 6 Estimated and observed wind profiles at the transmission towers. The black dot shows mean wind speed and the arrow means peak gust observed in the Typhoon 6414, at 1700 JST Aug. 24, 1964 when wind blows from southeast.

鉄塔における風の実測値と予測値との関係を図 6 に示す。Wind profile は上空で一致させている。淡路側の地表近くで実測値と予測値との間に大きな差が見られるが、それより高いところでは wind profile は一致している。瞬間風速の観測が行われていた 5 か所での最大瞬間風速の結果も示す。また、鉄塔において南よりの強風の場合に観測された突風率の平均値と設計用風速算定のために用いた突風率の対比を表 2 に示す。低い高度では実測値の方が大きい、高い高度ではほぼ一致している。

表 2 南よりの風の場合の突風率
Table 2 Gust factors for southerly wind

鉄塔	淡路側(34m)		四国(鳴門)側(42m)		
	地上高	21m 146m	16m	69m	115m
実測値	1.57	1.18	1.55	1.13	1.14
設計用	1.34	1.18	1.37	1.24	1.20

8. その後の研究

鳴門海峡の風については、後に地形模型風洞実験と 3 次元数値シミュレーションが行われた。

風洞実験は本州四国連絡橋大鳴門橋の建設に関して京都大学防災研究所で行われた^{18),19)}。実験には、図 7 に示すように、鳴門海峡を囲む、水平方向の縮率が 1/12000、1/4000 の地形模型と、淡路側岬の部分拡大した縮率 1/2000 の 3 つの地形模型が用いられた。1/12,000 模型については、実験の都合で、鉛直方向の縮率を 1/4000 とし、3 倍に拡大された。実験は海峡に吹き込む南南西の風について行われた。

数値シミュレーションは吉田により CHAM 社の 3 次元流体解析ソフトウェア PHOENICS を用いて行われた²⁰⁾。格子間隔は水平方向に 50m×50m、鉛直方向に 5m とし、風上の風速プロファイルは(1)式で、ベキ乗数を 0.1 として与えた。

これらの結果と、現地観測の結果とを比較してみる。風洞実験では、模型の縮率による違いは小さかったので 1/4000 模型の結果を用いる。地形の影響を受けない海上 10m 高度の風に対する風速比で表した地形増強率について、比較を図 8 に示す。風洞実験による地形増強率は全体に小さく、局所的な地形による風速の増強は再現されていない。

数値シミュレーションの結果について見ると、岬の先端の地点 5 (孫崎灯台)、地点 8B (鳥居上) にお

いては、実測では 1.8 および 2.1 であるが、計算値では両地点とも 1.5 で実測によるものより小さい。稜線上の地点 (地点 10, 11) では計算値は 1.7 となり、岬の先端より大きく、実測の値に近くなる。一方、地点 4 (つつじ丘) においては、実測では 1.1 であるのに対して、計算値では 1.7 と大きい。この地点は岡の最頂部で地面高度が高いところにあるにもかかわらず、他の地点より小さい。実測値は局所的な地形の影響も受けているものと考えられる。

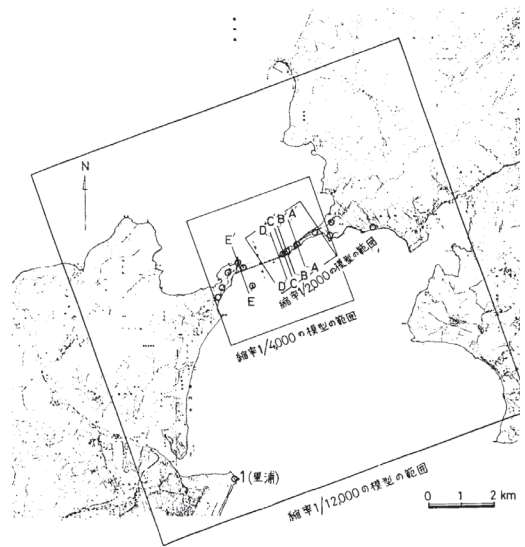


図 7 地形模型作成範囲および実測地点 (白丸)
Fig. 7 Coverage areas for topographic models and the observing stations

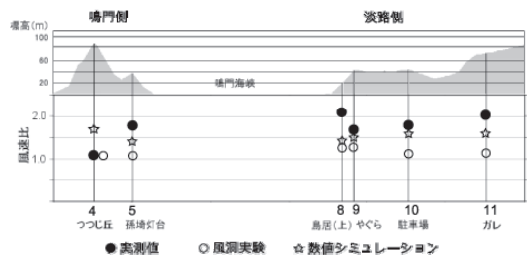


図 8 鳴門海峡における南東風の場合の地形増強率 (風上海上 10m 高度の風に対する相対比)
Fig. 8 Topographic intensification factors of wind speed in the case of southeasterly wind in the Naruto straits

風洞実験では、地表近くの実測においてみられるような地形による風速の大きな増強は再現されなかった。しかしながら、図 9 に示したように、淡路側送電鉄塔における wind profile の実測値と風洞実験の結果とは地表近くを除けばよく一致していたので、風洞実験は上空の風の性質についてはかなりよく再現していると考えられる。

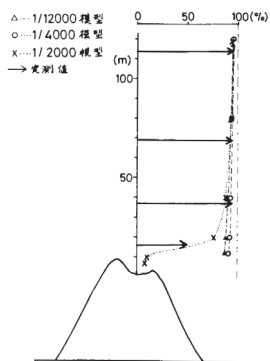


図 9 淡路側鉄塔における wind profile の実測値と風洞実験の結果との比較⁸⁾

Fig. 9 Comparison of wind profiles obtained from the wind tunnel experiment and observed ones at the Awaji tower

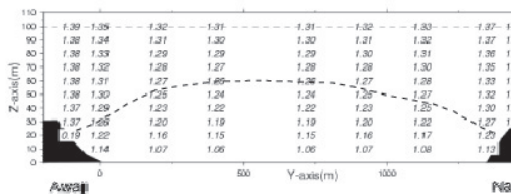


図 10 鳴門海峡における南東風の場合の相対風速の分布²⁰⁾。風上海上 10m の風速を 1 としたときの相対比で表す。太い鎖線は 1.26 (風上海上 100m の風に相当)

Fig. 10 Relative wind speeds estimated from the numerical experiment in the case of southeasterly wind in the cross section of the Naruto straits

吉田による、図 4 に対応する 3 次元シミュレーション結果を図 10 に示す。北西側から鳴門海峡を見る断面で表しているので、図 4 とは、淡路側、四国側が反対になっている。海峡上の風は全体的に強くなる。例えば、与えられた wind profile では、風上海上

100m 高度の風速比は 1.26 となるが、この風速比になる高さは海峡中央部では高度 60m まで下がり、両岬に近づくほどさらに低くなる。海面近くの風の増強の程度は、海峡中央部の 10m の高さで 1.06 となっており、図 4 の場合と大きく異なる。この違いは図 4 の場合、2 次元ポテンシャル流で計算を行っていることと関係していると思われる。

図 10 の相対風速は図 4 の場合に比べ全体的に小さい。この原因の一つは、図 4 では風上における wind profile のべき乗数を 0.16 としているので、基準とした 10m 高度の風速に対する相対比で表すと、べき乗数を 0.1 とする場合に比べて上空の風速比は大きくなる。

海峡上では中央部よりも陸に近いところで風速が最も大きくなるという特徴は、明石海峡や関門海峡などにおける現地観測や風洞実験における結果と一致している²¹⁾。

9. おわりに

複雑な地形上の構造物に対する風の影響を考える場合、地形による風の変形が問題になる。鳴門海峡横断送電線建設に関しては、海峡という特殊地形上での風の特徴が問題とされた。この建設計画が始まった 1950 年代において、風の調査は、自記紙に記録されたトレースを読み取り数値化するという大変労力を要するものであった。コンピュータが普及する以前の時代に困難な現地観測と手計算による数値解析とを結合させることにより設計風速が決定され、長径間の送電線が建設された。

その後、鳴門海峡の風の特徴について、地形モデル風洞実験と 3 次元数値シミュレーションによる研究が行われた。風洞実験による結果と現地観測の結果とを比較すると、鉄塔による wind profile は地表近くを除くとよく一致していたが、局所的な地形による風速の増強は再現されなかった。

3 次元数値シミュレーションの結果を現地観測の結果と比較すると、全体として地形による風速の増強は再現されているが、地表近くの地形による風速増強の程度は実測より小さく、局所的な地形による風速増強を量的に再現には課題があることを示していた。

謝辞

この報告を作成するに当たり、京都大学防災研究所石川裕彦教授より有益なご助言をいただいたことに感謝します。また、光田 寧先生が保管していた鳴門海峡横断送電線建設に関する資料を借用させていただいた光田節子様へ感謝します。

参考文献

- 1) 石崎 潑雄, 伊藤 学, 加藤 勉, 白石 成人, 「日本風工学の発足にあたって」, 日本風工学会研究会会報, Vol. 1976, No. 1, p. 1, (1976)
- 2) 林 泰一, 「光田 寧先生のご逝去を悼んで」, 日本風工会誌, 第 79 号, pp. 219-220, (1999)
- 3) 石崎 潑雄, 「風工学以前」, 日本風工学会誌, Vol. 1985, No. 25, pp. 1-3, (1985)
- 4) 関西電力株式会社送電部工務課, 「設計風圧算定の目的で施工した鳴門海峡に於ける暴風観測報告」, 第 5 報(終末報告), (1960)
- 5) 永江 篤, 「風圧」, 電気学会雑誌, 第 58 巻, 第 584 号, (1937)
- 6) Mitsuta, Y., “Characteristics of airflow over the barriers in the storm”, Proceeding the 3rd International Conference on Wind Effects on Buildings and Structures, Saikan Shuppan Co., 4, pp. 1-12, (1971)
- 7) Sherlock, R. H., “Variation of wind velocity and gusts with height”, Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., Vol. 78, (Separate No.126), pp.1-16, (1952)
- 8) 光田 寧, 「鳴門海峡附近の小旋風について」, 海と空, 第 2 号, pp. 67-71, (1962)
- 9) Jenkinson, A. F., “The frequency distribution annual maximum (or minimum) values of meteorological elements”, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Vol. 81, pp. 158-171, (1955)
- 10) Deacon, E. L., “Gust variation with height up to 150m”, Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Vol. 81, pp. 562-573, (1955)
- 11) Davenport, A. G., “The dependence of wind loads on meteorological parameters”, Wind Effects on Buildings and Structures, Proceedings, Vol. 1, University of Toronto Press, pp. 19-81, (1967)
- 12) Southwell, R.V., “Relaxation Methods in Theoretical Physics”, Oxford, (1946)
- 13) Dickerson, M. H., “MASCON-A mass-consistent atmospheric flux model for regions with complex terrain”, Journal of Applied Meteorology, 17, pp. 241-253, (1978)
- 14) Sherman, C. A., “A mass-consistent model for wind fields over complex terrain”, Journal of Applied Meteorology, 17, pp. 312-319, (1978)
- 15) 長谷川 誠二, 松尾 綾子, 山口 敦, 「リーディング・カンパニーシリーズ 住友電気工業」, 出版文化社, (2008)
- 16) 週刊新潮, 「風船爆弾以来の着想—鳴門にかける送電線」, 通巻 279 号, pp. 123-125, 新潮社, (1961)
- 17) 鎌野 拓也, 「架橋に合わせて変わる送電設備」, 電気学会, 第 117 巻, 第 11 号, p. 781, (1997)
- 18) 京都大学防災研究所耐風構造部門, 「鳴門海峡に関する地形模型風洞実験成果報告書」, (1973)
- 19) 光田 寧, 森 征洋, 「鳴門海峡付近の風の特定の実験的研究」, 構造物の耐風性に関する第 3 回シンポジウム論文集, pp. 45-72, (1974)
- 20) 吉田 真純, 「地形による風の変形に関する研究—女木島と鳴門海峡における強風の数值シミュレーション—」, 香川大学大学院教育学研究科修士論文, (2005)
- 21) 塩谷 正雄, 「強風の性質—構造物の耐風設計に関連して—」, 開発社, (1992)