

第 4 章

4

観測・実験結果を設計に  
生かす

## 第4章 観測・実験結果を設計に生かす 目次

我孫子研究所 材料構造部 主任研究員 奥田 慎也  
我孫子研究所 材料構造部 主任研究員 石川 智巳  
我孫子研究所 流体科学部 主任研究員 杉本聡一郎

4 - 1 九州試験線・四国試験線における風および風応答観測 .....	59
4 - 2 地形周りの気流場に関する風洞実験 .....	65
4 - 3 架渉線の風応答に関する風洞実験・フィールド実験 .....	70
コラム3：気象ドップラーレーダーを用いた風速場の測定 .....	74

奥田 慎也（38ページに掲載）  
（4-1、4-2執筆）

石川 智巳（18ページに掲載）  
（4-3執筆）



杉本聡一郎（1997年入所）  
気象レーダー情報を用いた大気の3次元風速場の推定手法、および短時間降雨予測手法の開発に従事してきた。現在、メソ気象モデルの入力としてレーダー情報を利用するというデータ同化に着目し、降雨予測手法の高度化に関する研究に取り組んでいる。  
（コラム3執筆）

## 4 - 1 九州試験線・四国試験線における風および風応答観測

### 4-1-1 観測の概要<sup>(1)(2)</sup>

局地風対策研究推進委員会における研究計画に基づき、風および鉄塔・架渉線連成系の風応答観測を目的として、試験設備が設置された。試験設備は電力会社10社の共同研究設備とし、九州電力管内の既設66kV送電線（以下、九州試験線）および四国電力管内に新規に建設した500kV規模の試験送電線（以下、四国試験線）が用いられた。図4-1-1に九州・四国試験線の位置を示す。

なお、取得されたデータは当所において解析を行い、とりまとめを実施した。

#### (1) 九州試験線

九州試験線は、長崎県の島原半島の付け根に位置する愛野橋線 No.20 ~ No.22 鉄塔が用いられた。

試験線は南側の崖と北側の牧草地に挟まれた尾根上（標高240m ~ 300m）に位置し、海上からの風が送電線路直交方向に吹く。南側の崖斜面は樹高約10m程度の雑木に覆われ、南よりの風向では海上から直接崖斜面（勾配約20°）を駆け上がる比較的増速の大きい風が期待できる。一方、北側は緩やかな勾配の牧草地（勾配約10°）が広がっており、北よりの風向では比較的粗度の

小さい平坦な地形を通過した風となるため、南よりの風向の風との対比が可能である。

観測期間は、平成5年12月から平成10年3月までの約4年間である。

風観測は、既設の3基の鉄塔（愛野橋線：No.20 ~ No.22）と各径間に設置される8本の観測ポール（P1 ~ P8）が用いられた。図4-1-2に風観測設備の測器位置図を示す。鉄塔の測点としては、No.20、No.22鉄塔が各1箇所、No.21鉄塔では風速の鉛直分布の評価のために高さ方向に3箇所設けた（写真4-1-1参照）。また、観測ポールは、No.20 ~ No.21径間には地上高を同一高さ（20m）として不等間隔に5本、No.21 ~ No.22径間にはほぼ最下段（C3）の電力線の高さ（地上高：24.4 ~ 32.1m）で等間隔に3本をそれぞれ設けた。前者は変動風速の横方向の空間相関の評価を行い、後者は架渉線へ作用する風速の評価を行うことを主な目的としている。

風観測で用いた風速計は基本的にペーン型風速計であるが、鉛直成分を含めた測定が可能なギル型風速計も各径間に1台ずつとNo.21鉄塔の高さ方向に2台を設置した。さらに周波数特性の良好な超音波風速計をNo.21鉄塔頂部に1台設置した。

応答観測は、鉄塔の応答性状の把握のための加速度計を設置した。図4-1-3に応答観測設備の測器位置図を示



図4-1-1 九州・四国試験線の位置



写真4-1-1 No.21号鉄塔

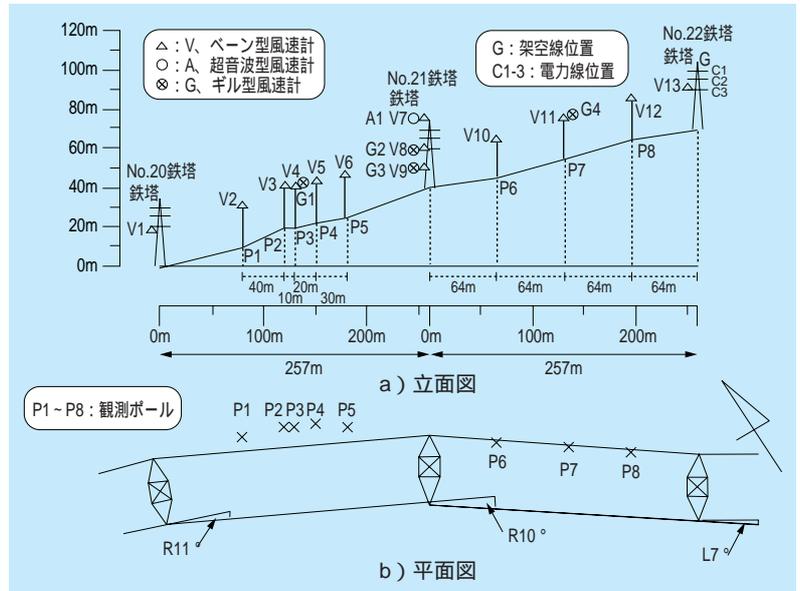


図4-1-2 九州試験線 風観測設備の測器位置図

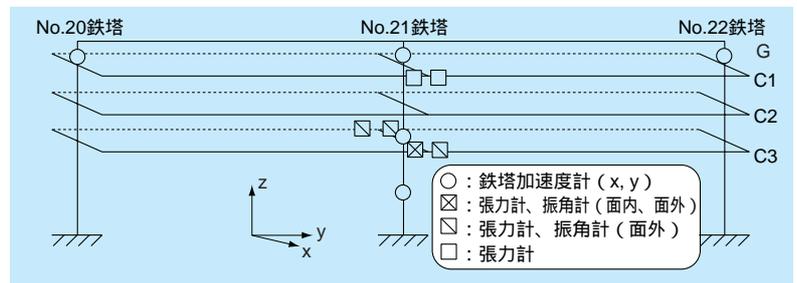


図4-1-3 九州試験線 応答観測設備の測器位置図

す。鉄塔の測点としては、No.20、No.22鉄塔が各1箇所、No.21鉄塔は高さ方向に3箇所設けた。また、架渉線の支持点張力および応答性状の把握のため、No.21鉄塔の架渉線支持点は張力計および振角計を配置した。

その他の気象観測は、No.20鉄塔付近において気温・気圧の測定を行った。

## (2) 四国試験線

四国試験線は、徳島県の四国山地系・剣山（標高1955m）に連なる東約15kmの川成峠近傍に位置し、概ね東西に伸びた尾根（標高約1500m）のやや南斜面側に建設した。南北の地形はいずれも急勾配の斜面（勾配約30°）で、樹高10～15m程度の雑木に覆われている。特に南側斜面を駆け上がる風は、谷筋の収束効果と相まって強風の期待できる地形である。

観測期間は、平成6年9月より平成13年11月までの

約7年間である。ただし、12月から翌4月（冬季期間）は観測機器への着冰雪により正常な測定が期待できないため、基本的に観測は行っていない。

風観測は、新規に建設した500kV規模の3基の鉄塔（四国試験線：No.1～No.3）と各径間に設置された13本の観測ポール（P1～P13）を用いて行った（表紙写真）。図4-1-4に風観測設備の測器位置図を示す。各鉄塔の測点としては、風速の鉛直分布の評価のために南側の腕金先と塔体で高さ方向に4箇所、さらにNo.2鉄塔には北側の腕金先にも2箇所設けた。また、観測ポールは、No.1～No.2径間にはほぼ最下段（C3）の電力線の高さ（12.6～26.5m）で等間隔に6本、No.2～No.3径間にはNo.2鉄塔付近で線路直交方向に2本（地上高12m）と線路方向に地上高を同一高さ（20m）として不等間隔に5本をそれぞれ設置した。No.1～No.2径間では架渉線へ作用する風速の評価を行い、No.2～No.3径間では、

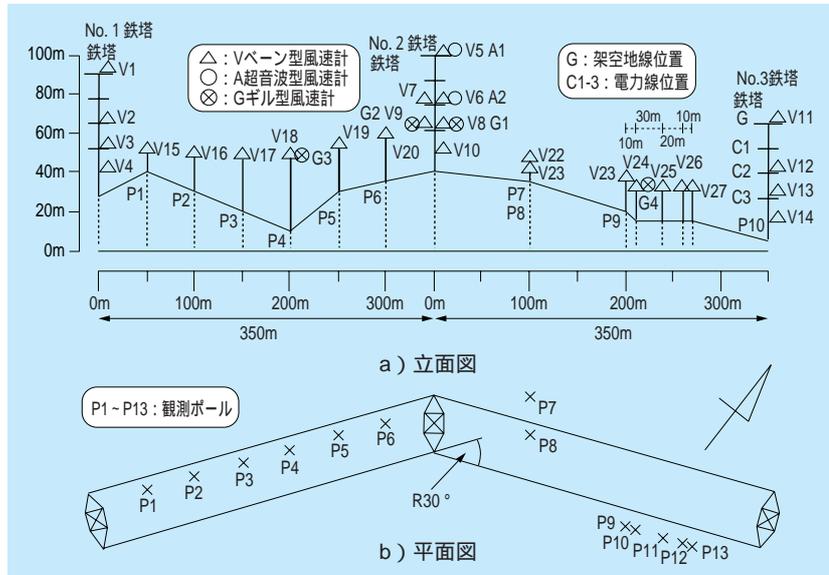


図4-1-4 四国試験線 風観測設備の測器位置図

変動風速の縦・横方向の空間相関の評価を主な目的としている。

風観測で用いた風速計は基本的にベーン型風速計であるが、鉛直成分を含めた測定が可能なギル型風速計も各径間に1台ずつとNo.2鉄塔に2台を設置した。さらに周波数特性の良い超音波風速計をNo.2鉄塔の高さ方向に2台設置した。

応答観測は、鉄塔応答関係と架渉線応答関係でそれぞれ詳細な測定を行った。図4-1-5、図4-1-6に応答観測設備の測器位置図を示す。鉄塔応答観測では、塔体の応答性状の把握のために加速度計を設置しており、各鉄塔の高さ方向に4ないし5箇所の測点と、さらにNo.2鉄塔には詳細な評価のために全ての腕金先にも測点を設けた。また、塔体風荷重の評価のため、No.1、No.3鉄塔の地際の4本の主柱材とNo.2鉄塔の地際、バンド下、C1腕金下における各々4本の主柱材と8本の斜材に軸力計（歪みゲージ）をそれぞれ設置した。架渉線応答観測では、架渉線の応答性

状把握のために加速度計および回転計を設置しており、C1およびC3の南側電力線に各径間で各々3箇所の測点を設けた。さらに、架渉線が鉄塔に与える荷重を評価するため、鉄塔腕金先の架渉線支持点に張力計および振角計（面内および面外）を設置しており、No.1、No.3鉄塔は張力計のみ4箇所、No.2鉄塔では全腕金先の若老番でそれぞれ張力計および振角計の測点を設けた。写真4-1-2に四国試験線No.2鉄塔の腕金先測器取付状況を示す。

その他の気象観測は、No.3鉄塔付近で気温・湿度・雨量・気圧の測定を行った。

#### 4-1-2 風観測結果

九州試験線では、観測終了までの約4年間に2523個（420時間30分）の強風時データを取得し、1995年4月23日の季節風において、No.21鉄塔頂部（高さ36m）にて、最大平均風速37.5m/s、最大瞬間風速52.6m/sを記録

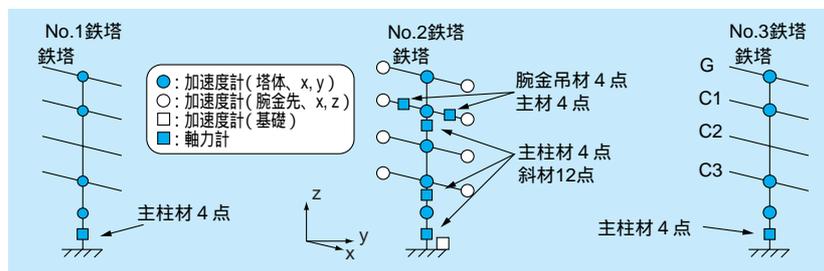


図4-1-5 四国試験線 鉄塔応答観測設備の測器位置図

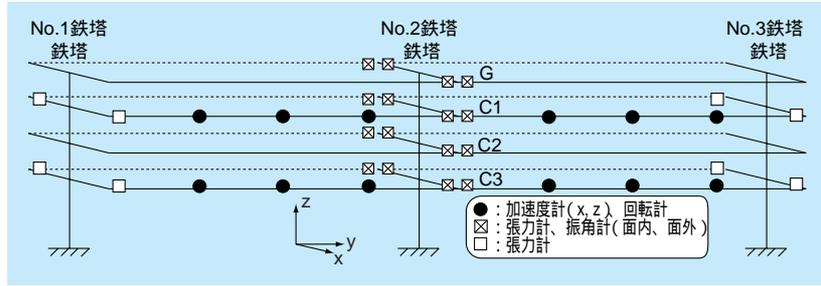


図4-1-6 四国試験線、架渉線応答観測設備の測器位置図



写真4-1-2 四国試験線No.2腕金先測器取付状況

した。四国試験線では、約7年間に1583個(263時間50分)の強風時データを取得し、1998年10月17日の台風9810号において、No.2鉄塔頂部(高さ58.5m)にて、最大平均風速28.2m/s、最大瞬間風速49.5m/sを記録した。

ガスト影響係数法による等価静的風荷重を取り入れた「送電用鉄塔の風荷重指針(案)」(以下、指針(案)と呼ぶ)において、風荷重算定に必要な風のパラメータは平均風速の鉛直分布、乱れの強さ、乱れのスケール、ディケイファクタである。したがって、九州・四国試験線の観測データの指針(案)への反映を念頭に置き、取得した全データを対象に乱流統計解析手法を行い、これら設計に必要なパラメータを評価した。

(1) 平均風速の鉛直分布

図4-1-7、図4-1-8に九州・四国試験線で観測された平均風速の鉛直分布を風速階級毎に示す。両試験線の鉛直分布とも斜面傾斜や樹木の影響を受け、一般平野部に比べて鉛直方向に一定の風速分布となる。特に四国試験線ではその影響が顕著である。

(2) 乱れの強さ

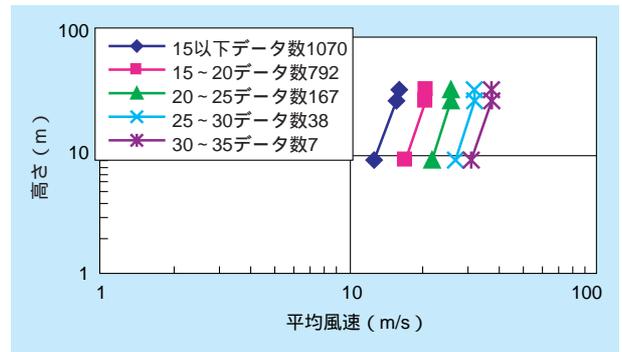


図4-1-7 平均風速の鉛直分布(九州試験線No.21)

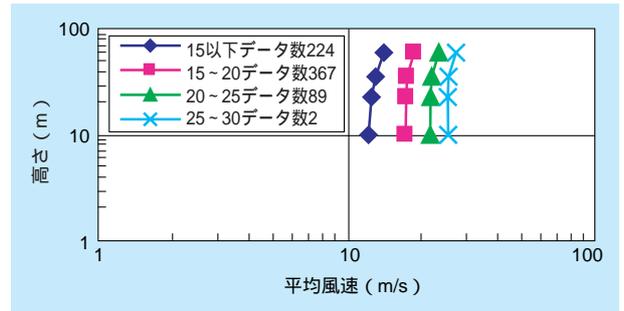


図4-1-8 平均風速の鉛直分布(四国試験線No.2)

乱れの強さは、風速の乱れの度合を表すパラメータで、変動風速の標準偏差を平均風速で除した値で定義される。

乱れの強さは、地表面粗度の影響を大きく受けるため、日本建築学会の「建築物荷重指針<sup>(3)</sup>」では粗度区分毎に乱れの強さを式で与えている。粗度区分Ⅱに相当する九州試験線の観測値(図4-1-9)粗度区分Ⅲに相当する四国試験線の観測値(図4-1-10)は建築物荷重指針の値とほぼ対応しており、指針(案)では建築物荷重指針の式を採用した。

(3) 乱れのスケール

乱れのスケールは気流の渦の平均的な大きさを表すパラメータである。図4-1-11、図4-1-12に九州・四国試験線で観測された観測値と建築物荷重指針の値を示して

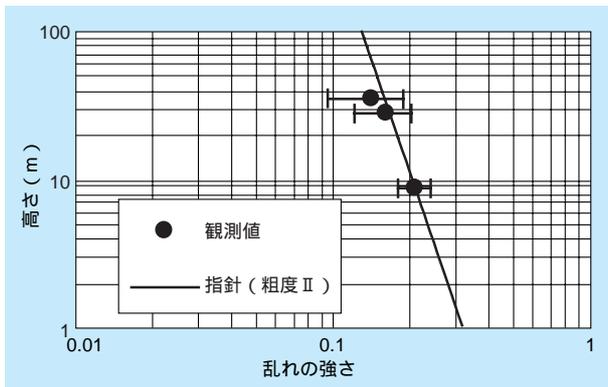


図4-1-9 乱れの強さの鉛直分布（九州試験線NO.21）

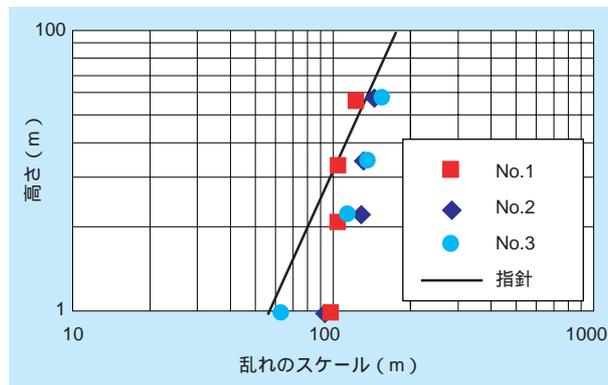


図4-1-12 乱れのスケールの鉛直分布（四国試験線）

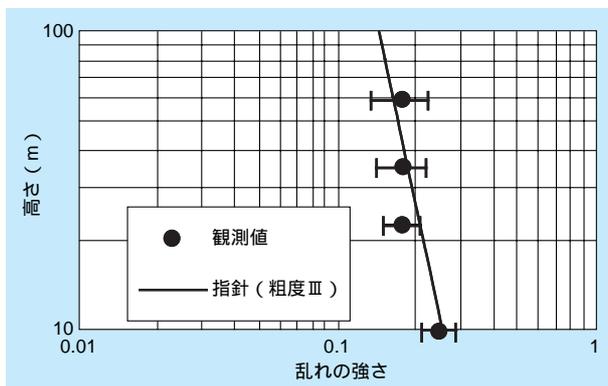


図4-1-10 乱れの強さの鉛直分布（四国試験線No.2）

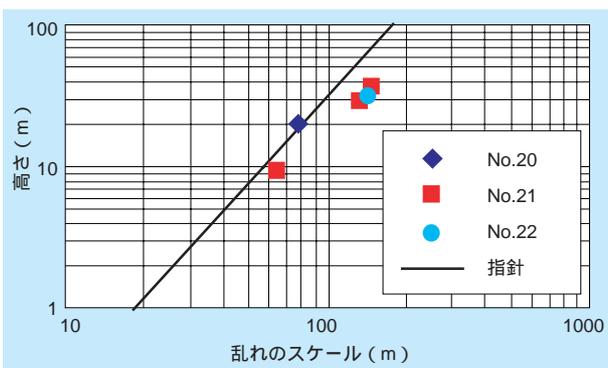


図4-1-11 乱れのスケールの鉛直分布（九州試験線）

いるが、両者は概ね一致することから乱れのスケールにおいても、建築物荷重指針の式を採用することにした。

#### (4) ディケイファクタ

ディケイファクタは、離れた2点の変動風速の周波数領域における相関の減少度合を表すパラメータで、設計では架渉線の規模効果を現すパラメータとして反映される。文献<sup>2)</sup>等では観測条件、解析方法の違いなどにより

様々な値が示されており、一律に比較するのは難しい。九州・四国試験線の観測結果を図4-1-13に示しているが、両試験線で異なる値をとっている。設計ではディケイファクタの値が小さいほど安全側となり、計算上の取り扱いやすさも考慮した上で、指針（案）ではディケイファクタの値を10とした。

#### 4-1-3 風応答観測結果

九州・四国試験線では、前述のように鉄塔および架渉線に加速度計が取り付けられている。これらの加速度計の応答データから、設計に必要な構造パラメータとして、固有周波数（周期）、減衰定数を算出し、評価を行った。

図4-1-14に鉄塔の1次固有周期について、九州・四国試験線の観測結果の他、電力各社より提供していただいた観測結果を示している。この図から、鉄塔の1次固有周期 $T_1$ は、塔高 $H$ の関数としてほぼ $T_1=0.01H$ で近似できることを確認し、指針（案）に反映した。

図4-1-15に鉄塔の減衰定数について、九州・四国試験線およびその他の観測結果を示している。解析手法の明確な九州・四国試験線の観測結果から、概ね山形鋼鉄

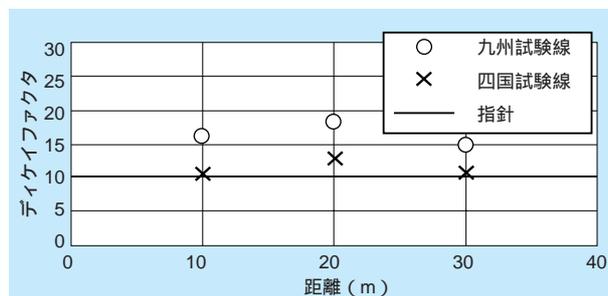


図4-1-13 ディケイファクタ（水平横方向）

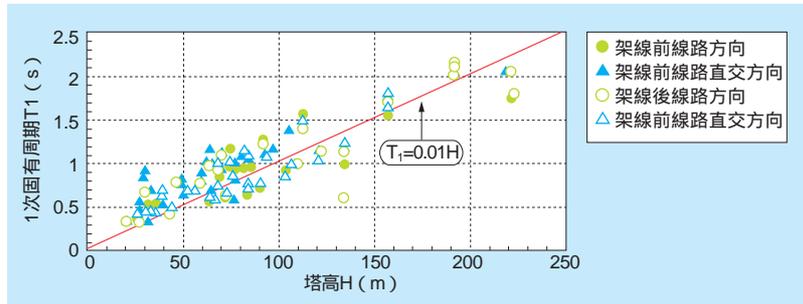


図4-1-14 鉄塔の1次固有周期

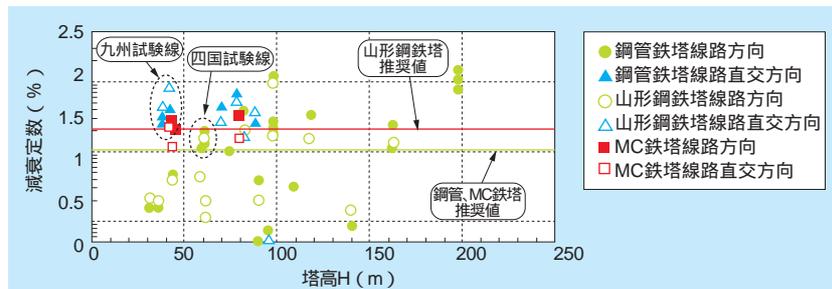


図4-1-15 鉄塔の減衰定数

塔で2%、鋼管鉄塔で1%程度の減衰が見込まれることから、指針(案)では、これらの値を用いることとした。

架渉線に関しては、空力減衰の寄与が大きく、最低次モードで数十%の減衰定数が観測され、設計においては共振効果は無視できることを確認した。

#### 4-1-4 風荷重観測結果

ここでは、四国試験線で観測された風および軸力・張力データ等を用いて、観測値としての風荷重を算出し、

2-4に示された等価静的風荷重と比較を行い、風荷重評価法の妥当性を検証した。

台風9708号時の四国試験線C2左回線若番側架渉線の風圧荷重と張力荷重について、観測値と等価静的風荷重評価式による計算値を比較した。その結果を、それぞれ図4-1-16、図4-1-17に示す。なお、風圧荷重の計算に用いた風のパラメータは、観測値に基づき、乱れの強さを0.2、吹上角を10°とした。

各図より観測値と評価式による計算値は、概ね一致しており、評価式の妥当性が示された。

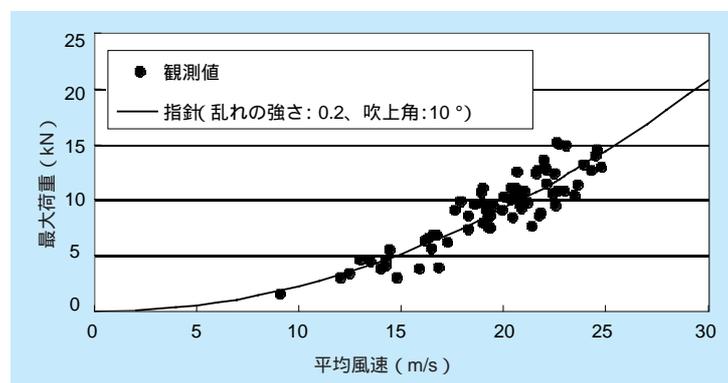


図4-1-16 架渉線風圧荷重(四国試験線C2左回線若番側架渉線、台風9708号)

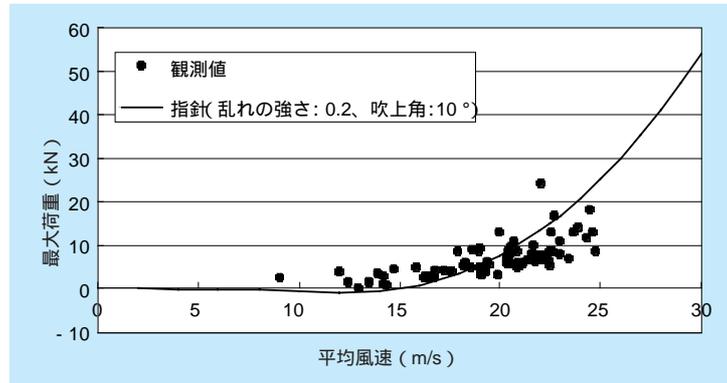


図4-1-17 架渉線張力荷重（四国試験線C2左回線若番側架渉線、台風9708号）

#### 4-1-5 ま と め

九州・四国試験線で観測された風の時系列データを用いて、風荷重算定に必要な風のパラメータ（乱れの強さ、乱れのスケール、ディケイファクタ等）を算出・評価し、

これらの結果を指針（案）に反映した。また、鉄塔・架渉線の応答特性についても、九州・四国試験線の観測結果および電力会社より提供していただいたデータを整理・分析し、指針（案）に反映した。さらに、指針（案）で採用した等価静的風荷重について、実際の観測値と比較を行い、風荷重評価法の妥当性を検証した。

## 4 - 2 地形周りの気流場に関する風洞実験

### 4-2-1 はじめに

送電設備に作用する風荷重を定量的に把握するためには、地形の凹凸や地表面粗度の影響を受けた強風の特徴を把握する必要がある。耐局地風設計研究、耐風設計合理化研究では、地形模型を用いた風洞実験を行い、地形影響を受けた流れ場の特徴を把握するとともに、気流解析コード（L-WIND）と比較・検証を行い、気流解析コードの精度を検証した。

本節では、耐局地風設計研究、耐風設計合理化研究で行った風洞実験の概要とその成果について紹介する。

### 4-2-2 基本地形模型、実地形模型の風洞実験

図4-2-1のような崖、尾根、丘、谷、鞍部などの基本地形における風の特徴を把握するため、山の高さ・斜面の傾斜角・地表面粗度などを変化させたモデル地形を用

いた風洞実験を行った。また、台風9117号及び9119号で送電設備が被害を受けた長崎県愛野地区を対象とした実地形模型の風洞実験を行った。このときの実験状況を写真4-2-1に示す。崖状地形における風洞実験結果およびL-WINDによる解析結果を図4-2-2に示す。また、実地形模型における風洞実験結果およびL-WIND解析結果を図4-2-3に示す。

これらの実験で得られた主な成果は以下のとおりである。

- 1) 崖、尾根、丘、谷、鞍部などの基本的な地形の起伏に対して、地表面付近の平均風速の変化（増速率）、鉛直分布および乱れの増減に関する基礎データを取得した。
- 2) 基本地形モデルにおいて、風洞実験結果とL-WINDの解析結果は定性的によく一致し、定量的には2次元地形（崖、尾根）で数値計算の方が若干大きくなった。
- 3) 実地形を模擬した地形モデルにおいても、風洞実験結果とL-WINDの解析結果は概ね一致した。

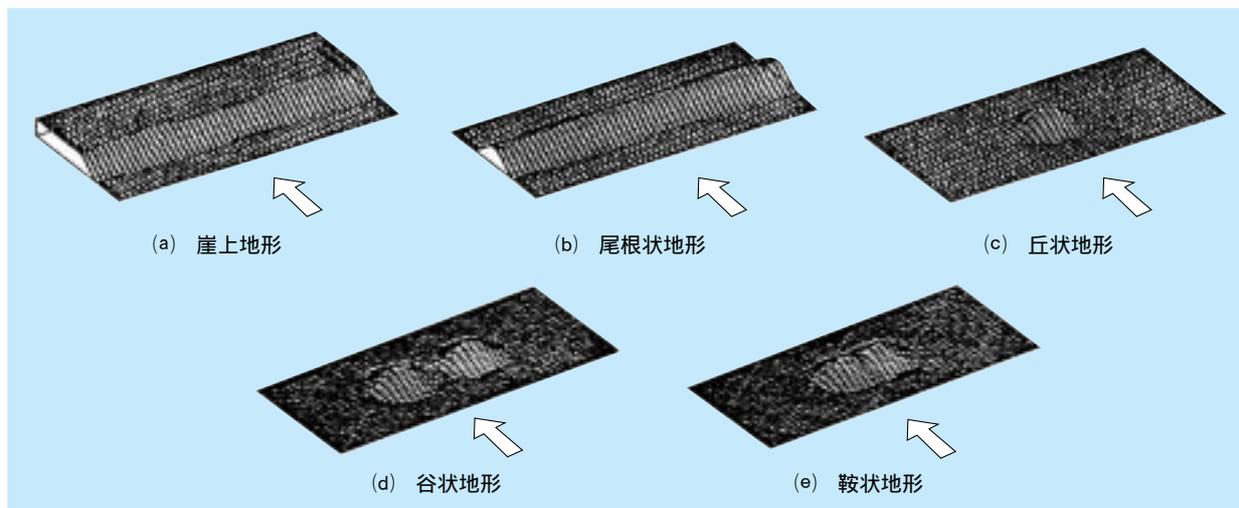


図4-2-1 風洞実験を行った基本地形モデル



写真4-2-1 愛野地区実地形模型実験状況

#### 4-2-3 2 山地形モデルの風洞実験<sup>5)</sup>

2つ以上の地形がお互いに影響を及ぼしあうような複雑な地形における気流特性を把握するため、2次元及び3次元の2山地形を用いた風洞実験を行った。この実験では、スプリットファイバープローブを用いての地形背後の逆流する流れまで計測した石原ら<sup>6)</sup>と同じ計測方法を採用し、減速領域まで含んだ複雑地形周りの気流計測を行った。写真4-2-2に2次元2山地形の実験状況を、写真4-2-3に3次元2山地形模型の実験状況を示す。図4-2-4、図4-2-5にそれぞれ2次元2山地形、3次元2

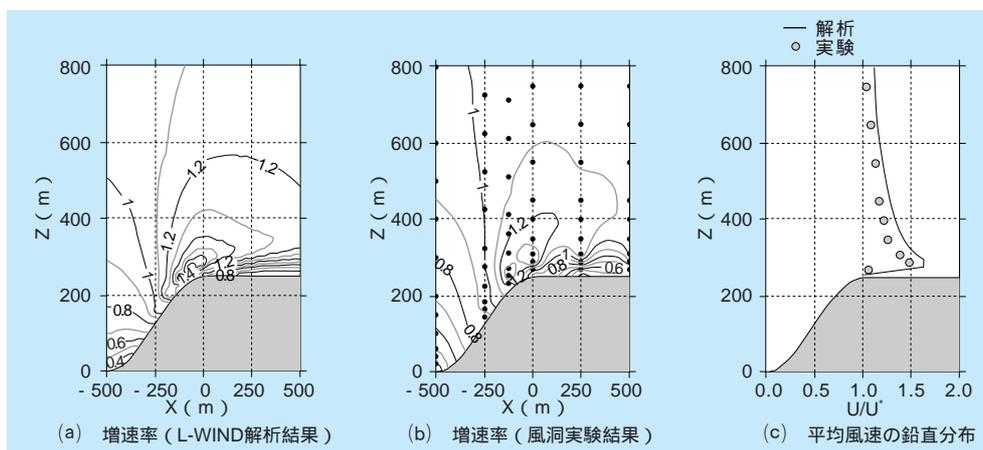


図4-2-2 風速の増速率および平均風速の鉛直分布（崖上地形）

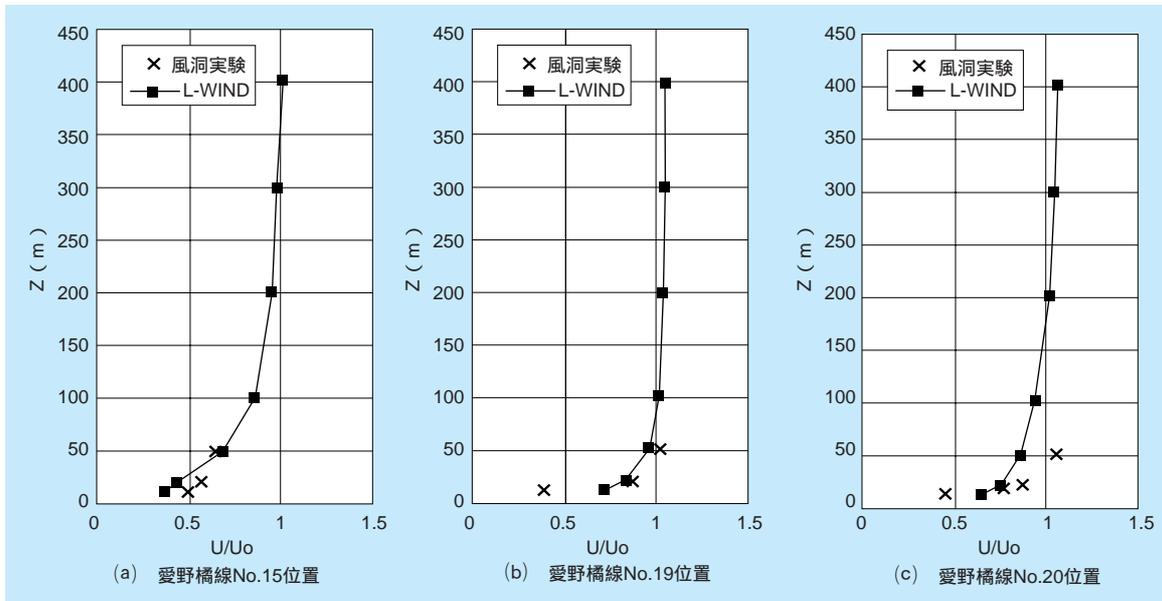


図4-2-3 平均風速の鉛直分布（愛野地区実地形）



写真4-2-2 2次元2山地形模型実験状況



写真4-2-3 3次元2山地形模型実験状況

山地形における風洞実験およびL-WIND解析結果を示す。

この実験で得られた主な成果は以下のとおりである。

- 1) 上流地形周りの流れは、2次元、3次元とも下流地形の影響をあまり受けない。
- 2) 2次元、3次元とも同じ高さの地形が並ぶ場合、下

流側地形周りの流れは、上流地形の影響を受け風上麓から上り斜面の風速が減少し、また、山頂部での増速効果も弱まる。

- 3) 風洞実験で減速地形を含む流れ場を計測することができ、気流解析コードI-windの検証データが取得できた。

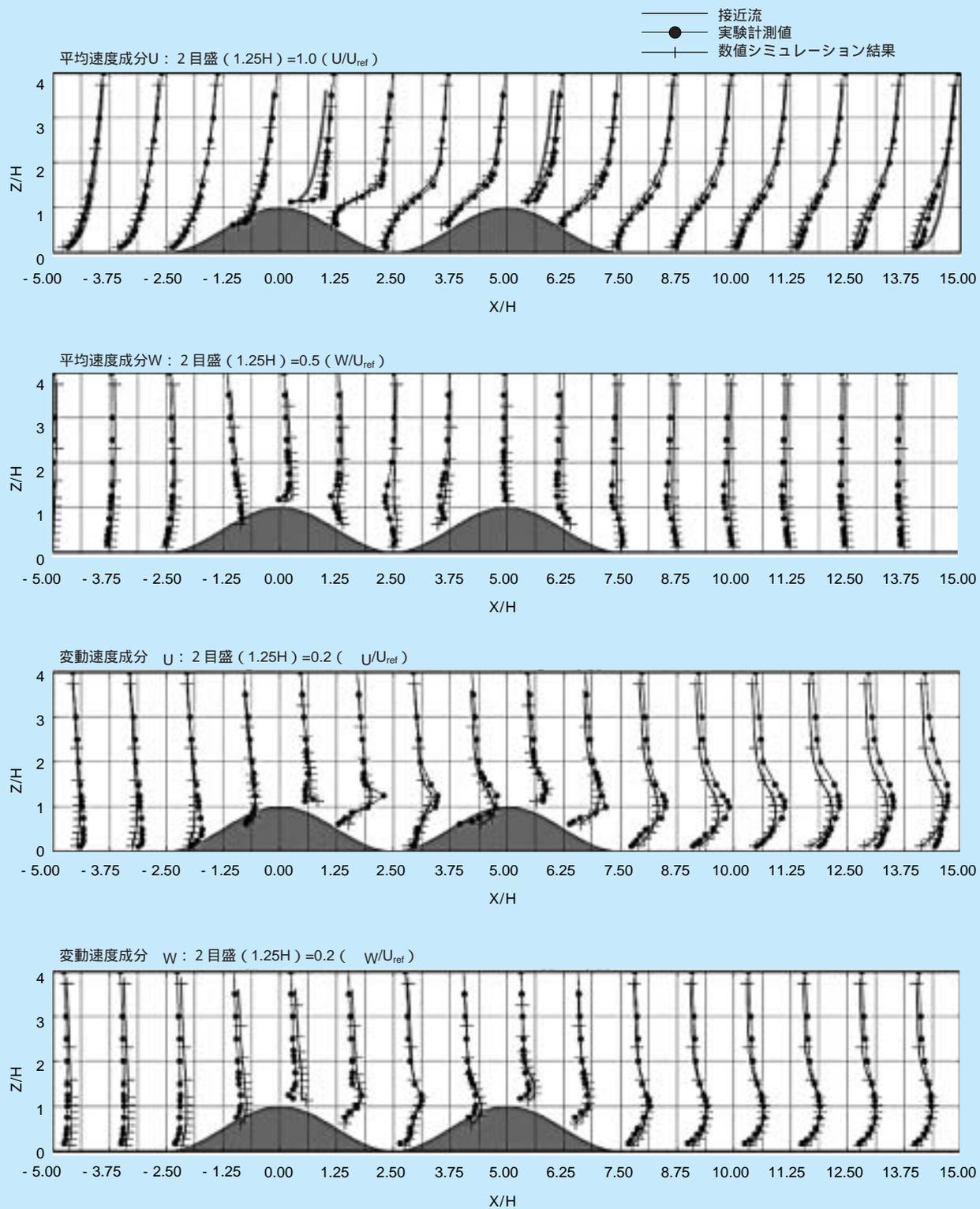


図4-2-4 平均速度および変動速度の鉛直分布 (2次元2山地形)

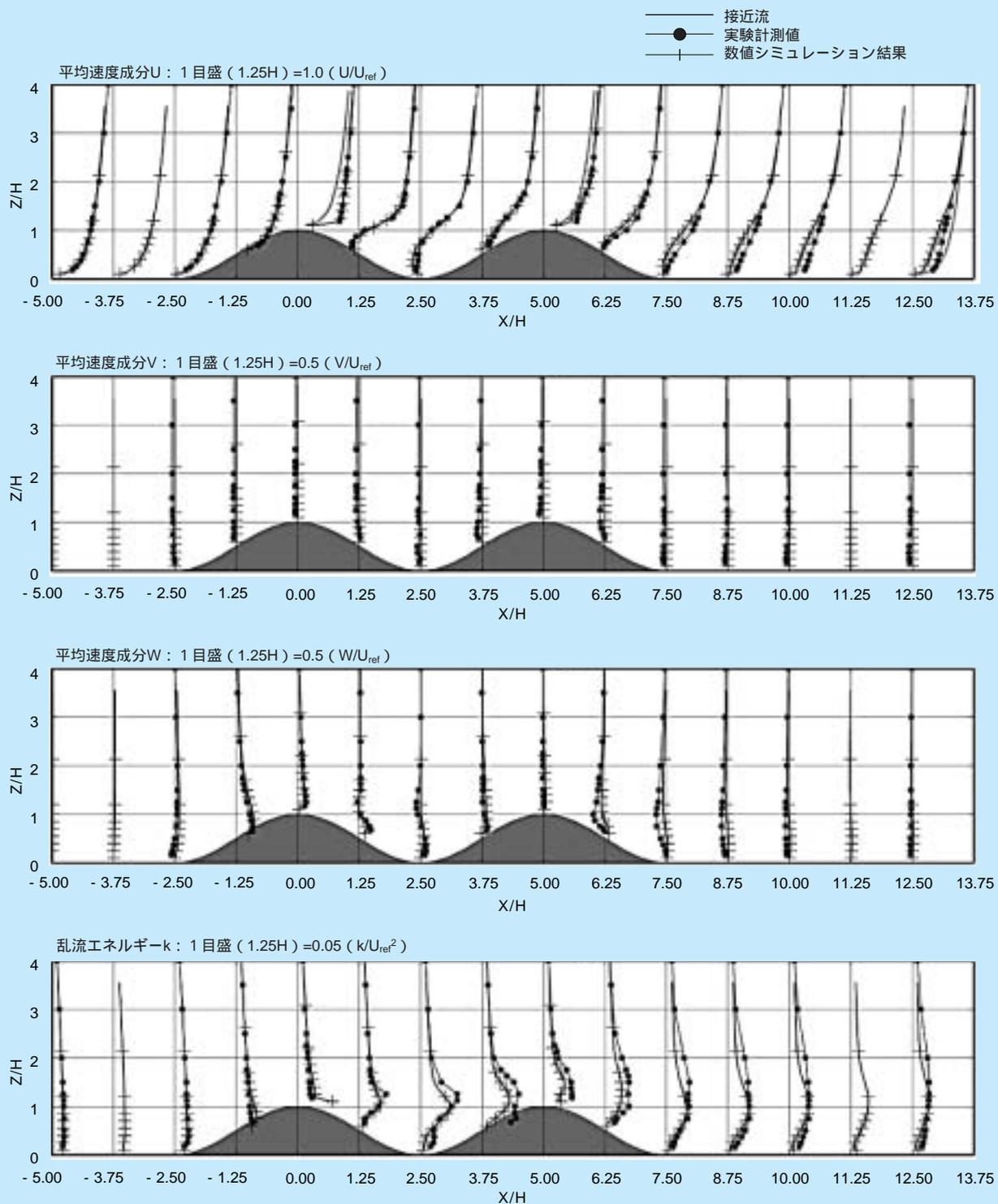


図4-2-5 平均速度および乱流エネルギーの鉛直分布 (3次元2山地形)

## 4-3 架渉線の風応答に関する風洞実験・フィールド実験

### 4-3-1 はじめに

動的応答解析手法や等価静的風荷重を、今後架空送電線路の設計に広く活用していくためには、その精度を様々な角度から実証データに基づき検証し、その信頼性を確認することが必要であろう。これまでの送電線路の耐風性に関する検討においては、多くは四国試験線などの実規模試験鉄塔における観測によって実証データを取得してきた。一方で、実際の送電線路は様々な規模、耐張型や懸垂型などの架線形態、さらには任意の径間長、水平角や高低差などの条件が付加される。このような様々な条件に対して実規模試験線で、ある程度の精度を確保した観測を行うことは、事実上難しい。さらには設計上考慮すべき強風時に恵まれることはごくわずかである。

このような状況から、四国試験線の実規模観測データを補い、種々の条件に対する実証データを取得するため、設計荷重の大きな部分を占める架渉線荷重に着目して風洞実験、縮小模型によるフィールド実験を実施した。このような全径間模型に関する実験がなされた例はきわめて少ない。

なお、当然ながら本風洞実験やフィールド実験では、相似則をすべて満足させることは困難であり、あくまでも実験条件における検証データである。

### 4-3-2 風洞による架渉線の風応答実験

風荷重評価のための基礎データを得ることを目的として、東京大学所有（工学研究科社会基盤工学専攻）の全径間風洞を用いて2径間架渉線に関する風洞試験を実施した。本風洞実験の概要は以下の通りである。

#### (1) 実験概要

ACSR410、径間長350m、4導体の架渉線ケーブルを対象に、1/50スケールの縮小模型（径間長7m）を作成し、架線形態（耐張型、懸垂型、サグ比）および気流

特性（平均風速、乱れの強さ）をパラメータに風洞実験を行った。本実験では、模型に作用する風速と支持点反力（線路直交方向反力と線路方向反力）を主な計測対象とした。この時の実験の様子を写真4-3-1、写真4-3-2に示す。

#### (2) 実験結果

実験結果の一例として、荷重評価として重要な支持点反力のパワースペクトル密度を図4-3-1、図4-3-2に示す。ただし、図中の凡例は、径間中央点の平均風速であり、括弧内は実規模換算時の平均風速を表す。

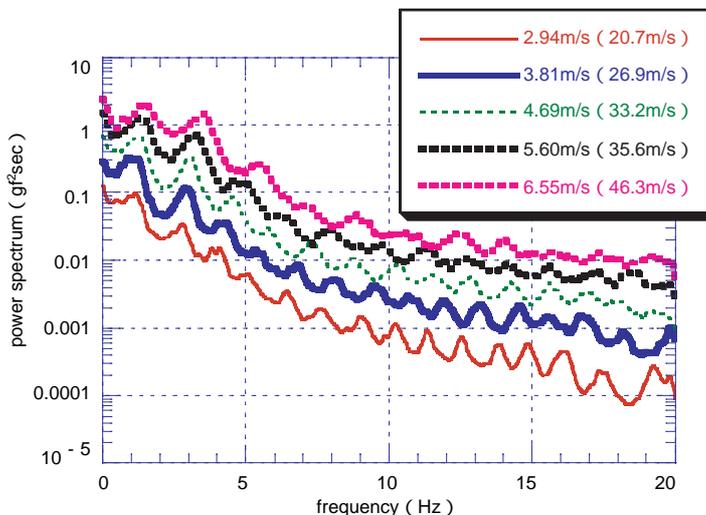
これらの図より、想定した固有振動数に対応したスペクトルピークが表れており、このピークは平均風速が大きくなるにしたがい、徐々に小さくなるのがわかる。空力減衰は、平均風速とともに大きくなると考えられて



写真4-3-1 風洞吹き出し口（乱流格子設置状況）

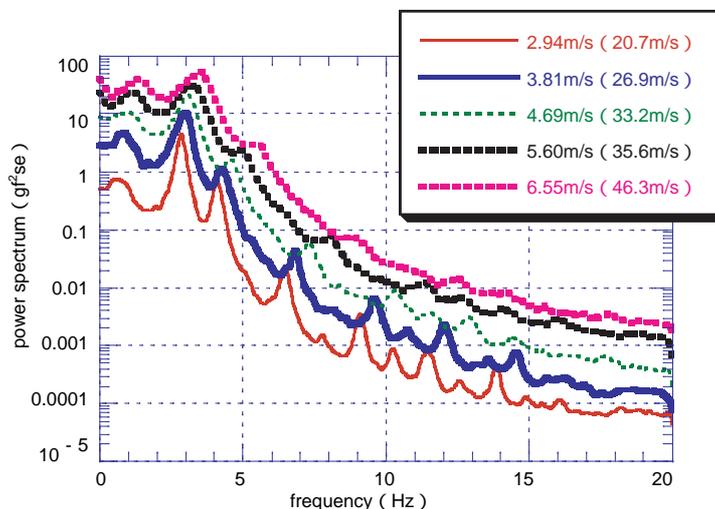


写真4-3-2 架渉線風応答実験の様子（耐長型）



耐張型、サグ比0.028、乱れの強さ0.15

図4-3-1 線路直交方向反力のパワースペクトル密度

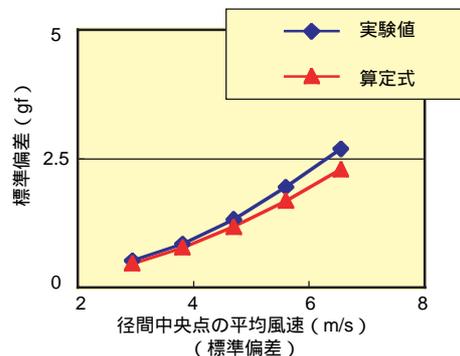


耐張型、サグ比0.028、乱れの強さ0.15

図4-3-2 線路方向反力のパワースペクトル密度

おり、実験結果は、この影響を表している。また、ピーク振動数については、平均風速の上昇とともに、高周波数側へシフトしている。この現象は、平均風速の増加とともに張力が大きくなり、剛性が増加しているためである。本実験では、以上のように、架渉線の物理的な特徴を精度良くとらえており、検証用データとして活用できるものである。

次に、本実験結果と等価静的風荷重による予測値（応答の標準偏差）との比較結果の一例を図4-3-3、図4-3-4に示す。なお、等価静的風荷重の架渉線風圧荷重は、線路直交方向反力に、架渉線張力荷重は、線路方向反力に対応する。



耐張型、サグ比0.028、乱れの強さ0.15

図4-3-3 架渉線風圧荷重の標準偏差

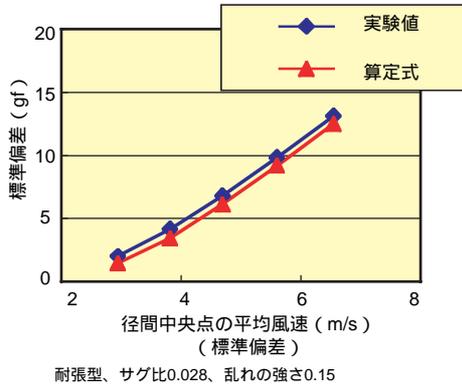


図4-3-4 架渉線張力荷重の標準偏差

これらの図より、等価静的風荷重による標準偏差の予測値は、実験結果とよい対応を示しており、提案した風荷重評価法の信頼性が明らかとなった。

### 4-3-3 赤城試験センターにおける架渉線の風応答実験

4-3-2に紹介した風洞実験では、実験設備の制約もあり変動風速の乱流統計量である乱れのスケールに関して、相似則を満足することはできない。つまり本実験においては、乱れの長さスケール比が実大気に比べて1桁以上小さくなる（(径間長)/(乱れのスケール)：実大気400/200、風洞：7/0.1）。乱れのスケールは、動的風応答特性に少なからず影響を与えるため、風洞実験結果のみでは、検証データとしては不十分である。特に、若老間の架渉線風荷重の非同時性は、乱れのスケールに大きく依存することが明らかとなっている。

そこで、風洞実験を補完するために当所赤城試験センターにおいて、架渉線縮小模型の自然風に対する風応答観測を実施した。

### (1) 実験概要

ここでは4-3-2の風洞実験と同様に、ACSR410、4導体、径間長400mに相当する1/20スケールの3基2径間架渉線模型（ただし等径間）を対象に、中央ポール位置の支持点反力を観測するものとし、架線形態（耐張型と懸垂型）、サグ比をパラメータとした。また、同時に線路方向に3箇所超音波風速計を設置し、応答観測と同時に風観測を行っている。写真4-3-3に、観測状況の写真を示す。

なお、事前に風のみでの観測を行い、冬季の赤城おろしを対象とすれば、所定の平均風速、乱れのスケールを有する風が観測されることを確認の上、観測サイトを決定した。

### (2) 実験結果

実験結果の一例として、耐張型、サグ比0.028の実測結果を紹介する。後に述べる非同時性に関する検討内容の理解を助けるために、図4-3-5に耐張型架渉線荷重の測定概要図と記号の定義を示す。



写真4-3-3 フィールド実験の様子（懸垂型）

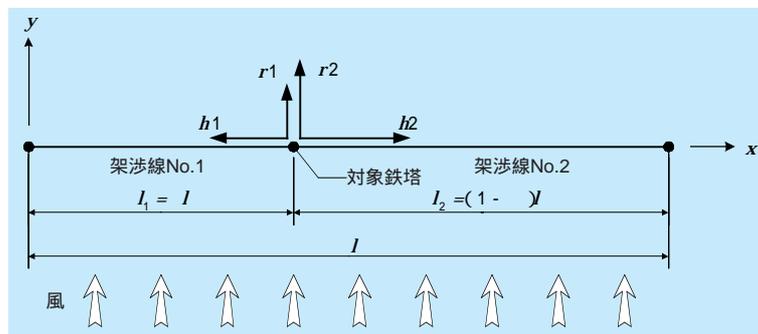


図4-3-5 耐張型の架渉線荷重の概要と記号の定義

ここに、 $l_1$ 、 $l_2$ は各架渉線の径間長（本実験では、 $l_1=l_2=20\text{m}$ ）これらの和を $l$ とする。 $\alpha$ は径間長の比である。また $r_1$ 、 $r_2$ は架渉線No.1、No.2の架渉線風圧荷重、 $h_1$ 、 $h_2$ は架渉線張力荷重を表す。

図4-3-6、図4-3-7に架渉線風圧荷重および架渉線張力荷重の標準偏差の実測結果を示す。また等価静的風荷重算定式の精度検証のため、これによる予測値も併記した。これらの図より、実測値との比較であるため多少のばらつきはあるものの、等価静的風荷重算定式は実測結果とよく対応しており、算定式の有用性が検証できた。

次に、各径間相互の荷重の非同時性に関する検討結果について示す。対象とする鉄塔（図4-3-5における対象鉄塔）へ各々の径間の架渉線から作用する力は、動的な力であるため同時に最大値が作用することはない。このような影響を考慮するため、等価静的風荷重では、非同時性低減係数を導入しており、これは、 $r_1$ と $r_2$ あるいは $h_1$ と $h_2$ の理論的に導いた相関係数に基づいている。ここでは、本実測結果と等価静的風荷重評価法における算定式による相関係数

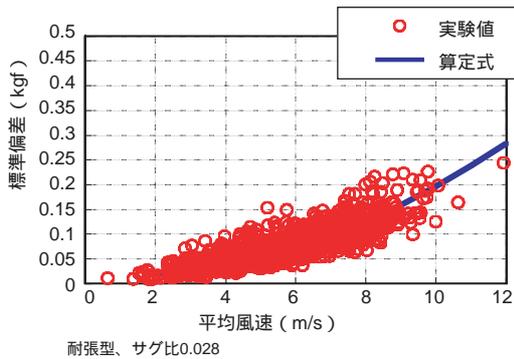


図4-3-6 架渉線風圧荷重の標準偏差

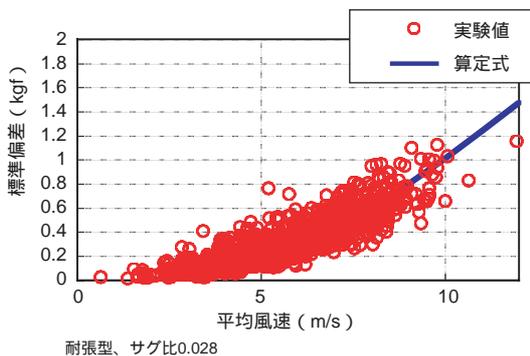


図4-3-7 架渉線張力荷重の標準偏差

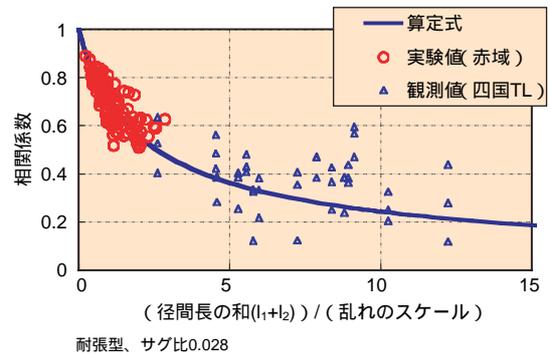


図4-3-8 架渉線風圧荷重の相関係数

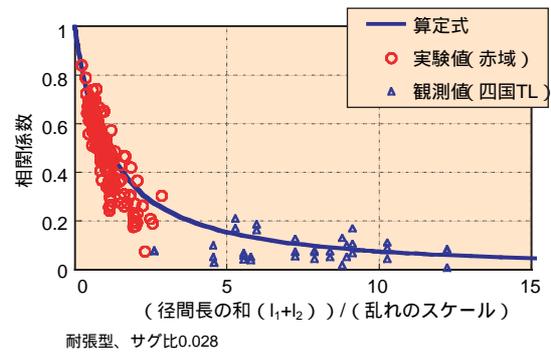


図4-3-9 架渉線張力荷重の相関係数  
(耐張型、サグ比0.028)

を比較する。図4-3-8、図4-3-9にそれぞれ架渉線風圧荷重、架渉線張力荷重の相関係数の比較図を示す。

これらの図には、比較のため四国試験線観測値による相関係数の値も図示した。なお、4-3-2に述べた風洞実験でも相関係数を算定しているが、乱れのスケールが小さいため、ここでは省略した。

これらの図より、実験値と算定式はよく対応しており、径間長の和と乱れのスケールの比が大きくなるにしたがい、急激に相関係数が低下している状況や、架渉線張力荷重の方が低下の度合いが大きいことなど、算定式の特性を裏付ける結果が得られた。

### コラム3：気象ドップラーレーダーを用いた風速場の測定

気象レーダーは、アンテナから電磁波を発射し、大気中に存在する降水粒子（雨、雪、氷など）に代表される目標物から散乱される電磁波を測定することによって、降水の位置と量を推定する測器である。送受信した電磁波の位相差をも測定できるレーダーはドップラーレーダーと呼ばれ、単位体積中の降水粒子群のレーダーの視線方向の平均移動速度（ドップラー速度）は、この位相差から求められる。

降水粒子は大気の流れ場（風速場）と自らの重力によって移動するが、強風時は風速場に支配されるため、ドップラー速度は3次元風速場と密接に関連している。理論的には、3台以上のレーダーが風速場の推定に必要であるが、仮定によっては2台、あるいは1台でも風速場を推定できる。

複雑な地形を有するわが国では、降水過程が地形の影響を受け、時には局地的に集中豪雨がもたらされる。数値シミュレーションを基礎とした多くの研究によって、そのメカニズムが解明されつつある反面、実際に複雑地形下での大気観測をレーダーによって行う研究は少なかった。すなわち、シミュレーションの結果の妥当性を大気側の観測データから述べるには、データが少ないのが現状である。

当所は1995年よりドップラーレーダーを導入し、

複雑な地形を含む領域での観測を行ってきた。レーダー情報を加味した豪雨のリアルタイム予測手法の開発を大目標に、まずは複雑地形下での豪雨のメカニズムを観測値から理解したり、観測で得たレーダー情報を用いて、メソ気象モデルによる再現結果を評価したりしている。

九州山岳域における雨雲周りの水平風速場を、1台のレーダー情報をもとに推定した例を図1に示した。この降雨域は梅雨前線と地形の影響によって形成されたもので、風下側で風速場が強く収束している（図中の円で囲まれた部分）。南方から湿った空気が強制的な上昇流を伴いながら降雨域A、Bに流入して降雨が発達した。図2は、東北会津盆地で生じた雷雲の鉛直構造を2台のドップラーレーダー情報から推定したものである。雷雲の強エコー部とその周辺で強い上昇気流が生じているのが把握できる。

降水のメカニズムを知る上でレーダー情報は有用であるが、この情報をメソ気象モデルに導入して、豪雨を高分解能に再現、あるいは予測しようという研究が最近認識され始めた。当所で観測した山岳域での観測成果は、山岳域にも適用可能な豪雨、あるいは局地風の予測手法の開発に大きく役立つことが期待できる。

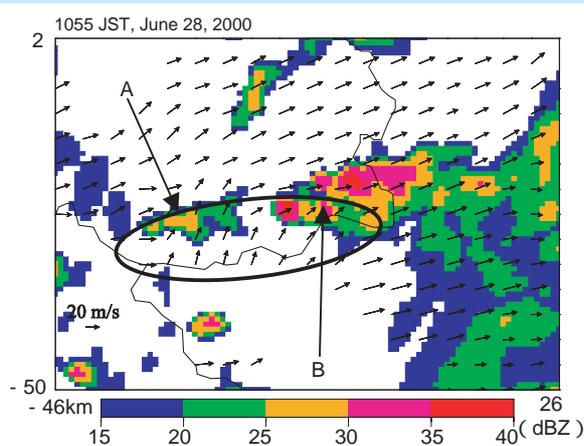


図1 宮崎・熊本県境付近で観測された降雨域周辺の推定水平風速（3 km高度）

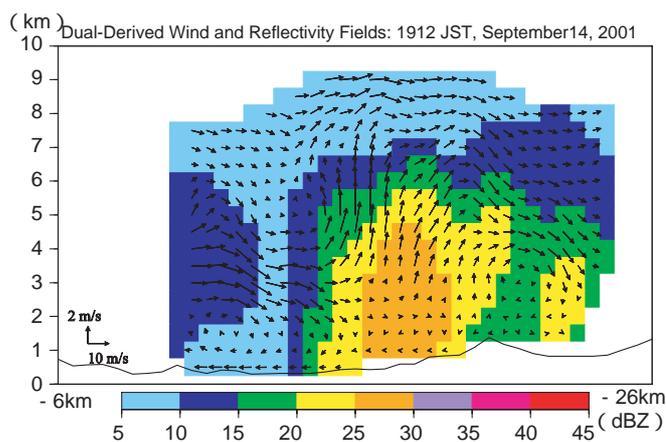


図2 エコー強度と降雨の動きと相対的な3次元風速場の垂直分布