

## 地上設置型太陽光アレイに作用する風力に関する野外実測

### Field Measurement of the Wind Forces Acting on the Photovoltaic Array Installed on the Ground

建築防災分野 元木健智

2011年の東北大震災の影響で太陽光発電はクリーンエネルギーとして期待されている。現在 JIS C8955 では風洞実験に基づいた太陽光アレイの風力係数を定めているが、自然風の下に地上に設置されるアレイでは、様々な要因がアレイの風力係数に影響を与えと考えられる。本実測では、実寸アレイを用いて野外実測を行い、自然風によって作用する風圧および風力を測定する。野外実測と風洞実験の結果に基づいて、アレイ、パネルおよび支持部材に作用する風力を検証する。

Photovoltaic power generation is expected as clean energy under the influence of the Tohoku Earth quake in 2011. The coefficient of wind force of photovoltaic arrays based on a wind tunnel experiment is described in JIS C8955. But, it is conceivable that the coefficient of wind force of photovoltaic arrays installed on the ground in natural winds is influenced by various factors. This measurement is prosecuted with a full-sized model of the array in the field, and the wind pressures and the wind forces acting on the model are measured. The wind forces acting on the array, the panels and their support structures is verified based on the field measurement and the wind tunnel experiment.

#### 1. 序論

2011年の東北大震災の影響で、クリーンエネルギーとして期待されているのが、他と比べ比較的発電効率が良いとされる太陽光発電である。

現在、太陽光パネル複数枚により構成されるアレイに関する規定として、JIS C 8955<sup>1)</sup>では、アレイ傾斜角 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ において風洞実験に基づいたアレイ支持部の設計用風力係数が規定されており、アレイ全体で空間平均された値として定められている。

しかし、自然風の下に設置されるアレイでは、風向、風速の変化や粘性の影響など、風洞実験では再現が難しい問題があるため、アレイの風圧および風力性状が自然風の下での現象とは異なる可能性が考えられる。また、アレイの端部に近い部分ではアレイに作用する平均風力より大きな風力が作用することも予測される。

そこで本論文では、地上設置型太陽光アレイに関して実寸法の模型を用いた野外実測を行い、自然風の下で作用する風圧および風力を測定する。得られた結果を、風洞実験結果と比較することで、自然風の下での風圧、風力特性について調べる。また JIS で規定される設計用風力係数の検証を行い、得られた結果に基づくアレイの設計用風力係数を提案する。

さらに、風洞実験と野外実測のアレイに作用する風力の分布特性から、設計において必要な支持部材やパネルの設計用風力係数についても提案する。

#### 2. 野外実測概要

野外実測を行う場所は大阪府にある大阪市立大学の舞洲耐風構造実験所である。対象の太陽光アレイの概要を図1に示す。アレイは幅5m、奥行4mで傾斜角は $10^{\circ}$ である。風圧測定を行う模型はポリカーボネイトを用いた実寸模型であり、また風圧測定点を図2のとおり上下面 $6 \times 7$ 点ずつ、計84点設けた。アレイを構成する12枚のパネルは幅1662mm、奥行990mm、厚さ5mmである。パネル番号と実験風向角の定義を図3に示す。サンプリング周波数100Hz、1回の計測でのデータ数は65536で、実測模型の測定点に作用する風圧力の測定を行った。

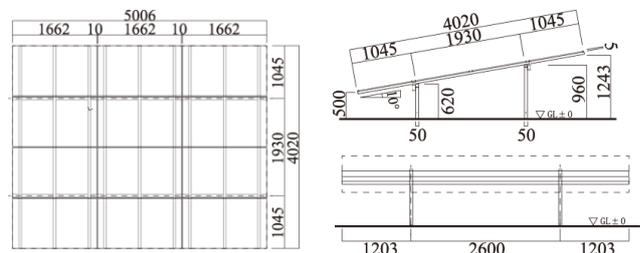


図1 アレイ概要(左:平面 右:立面)

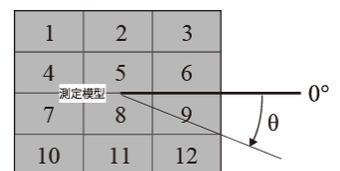
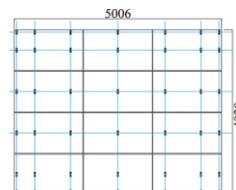


図2 測定点位置

図3 パネル番号と風向角定義

### 3. 風洞実験概要

風洞実験は大阪市立大学工学部付属の噴流式エッフェル型風洞装置を用いて行った。実験気流は一様流と建築物荷重指針にある粗度区分Ⅱを模擬した勾配流中において行った。図4に示す通り、実験模型は、縮尺1:20で塩化ビニル版を用いて作成した。模型アレイは幅250mm、奥行200mm、厚さ5mm、アレイの下端と地表面との間隔は25mmで傾斜角は10°である。実験は風向角0°~350°の範囲を10°ピッチで計36風向、サンプリング周波数1000Hz、1回の計測でのデータ数は65536で、模型に作用する風圧力を測定した。パネル番号、風圧測定点および風向角の定義は野外実測と同様である。ただし、パネルおよび支持部材の厚みの縮尺はそれぞれ、1:1、1:5となっており、厚みの縮尺の違いによる影響もできる可能性がある。

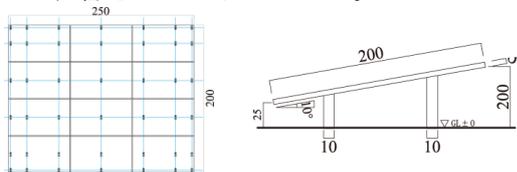


図4 風洞模型概要

### 4. アレイ面の風圧特性および風力特性

風洞実験と野外実測のアレイに作用する風力を比較する際、現在JIS C 8955に記載されているアレイの風力係数 $C_w$ も同時に示す。JIS規定値の算出方法は式1および式2に示す。

$$\text{正圧: } C_w = 0.65 + 0.009\theta \quad (\text{式1})$$

$$\text{負圧: } C_w = 0.71 + 0.016\theta \quad (\text{式2})$$

風洞実験で0°、15°および30°のアレイ傾斜角において同様の風洞実験を行った結果とJISの規定値を図5に示す。JISはアレイ傾斜角15°~45°の範囲で適用されるが、15°以下においても傾斜角 $\theta$ が小さくなるほどアレイに作用する風力も小さくなる傾向があった。

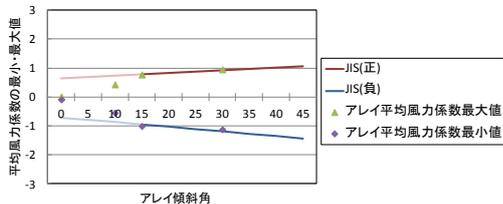


図5 傾斜角に伴うアレイ面の平均風力係数とJIS規定値  
風洞実験と野外実測の風力性状の傾向

まずアレイ全体に平均的にどのような風力が作用するかを確かめるために、風洞実験と野外実測における平均風力係数を比較したグラフを図6に示す。風洞実験と野外実測の平均風力係数の風向角による傾向は似たような形となってい

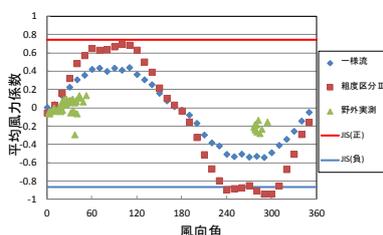


図6 アレイの平均風力係数

るが、風洞実験では粗度区分ⅡでJISの値を絶対値で上回っていることにに対し、野外実測においては値が小さかった。その傾向を確かめるためにアレイに作用する最小ピーク風力係数の風向角に伴う変化を図7に示す。なお、図7では本実験結果のピーク風力係数と比較するために、風力係数 $C_w$ に粗度区分Ⅱでのガスト影響係数 $G_f = 2.2$ を乗じたものをJISの規定値として用いて表示している。風向角270°~300°では野外実測と風洞実験で似た傾向が見られたが、野外実測では同じ風向角でも値にばらつきが見られる。風向角0°~60°において風洞実験では負の値を示さなかったが、野外実測では負の値を示している。これは、定常的な風が吹く風洞実験に対し、野外実測では、実際には約10分の評価時間の間に、吹き下ろすような風があることや、0°~60°以外の正の風力を与えるような風向角からも風が吹いていたことによる。

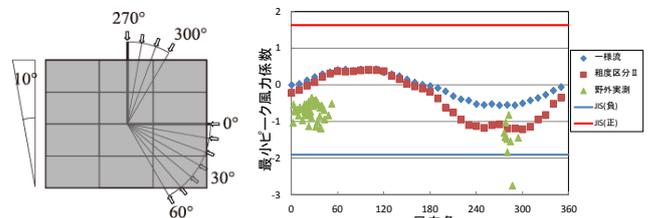


図7 アレイの最小ピーク風力係数

また、最大ピーク風力係数の風向角変化について図8に示す。風向角0°~60°ではばらつきがありながらも同様の傾向を示すが、風向角270°~300°においては風洞実験と野外実測で大きな傾向の違いがあり、野外実測では正の値を示している。アレイの風力係数に影響を与える現象について調べるためには、アレイの風圧性状についても調べる必要があると思われる。

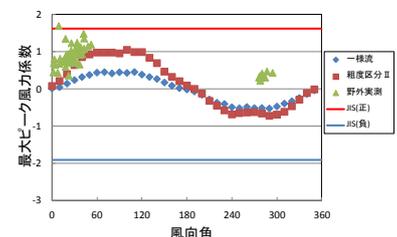


図8 アレイの最大ピーク風力係数

### 風洞実験と野外実測の風圧性状の傾向

アレイに作用する風力の傾向を詳しく調べるため、図9にアレイ下面における最大ピーク風圧係数の風向角による変化を示す。風向角0°~60°の野外実測では、風洞実験ではでない下面を押す力が作用していることが分かる。野外実測では風向角が評価時間内に変化し、特に0°を超えて、アレイの傾斜の高い方が風下になった時にはアレイ下面を押す力が支配的になる。

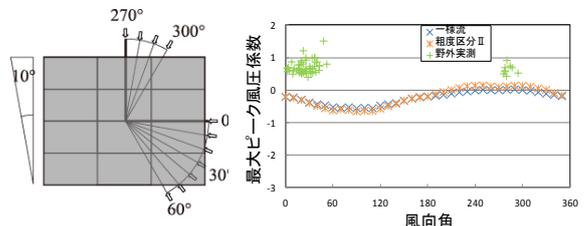


図9 アレイ下面の最大ピーク風圧係数

これにより、図 7 に示す風向角  $0\sim 60^\circ$  のアレイ全体の負の風力係数にも影響を与えていたと考えられる。

また風向角  $270\sim 300^\circ$  のピーク風力係数について調べるためにアレイ下面の最小ピーク風圧係数の風向角による変化を図 10 に、風向角  $280^\circ$  付近の時のアレイ下面の風圧係数分布の例を図 11 に示す。風向角  $270\sim 300^\circ$  において、風洞実験では、ほとんど 0 に近い値となっているのに対し、野外実測では最小ピーク風圧係数が顕著に現れている。このことから野外実測ではアレイ下面においてもアレイの端部から剥離が起きていると考えられ、図 11 の例も、剥離による負圧が作用していることが分かる。

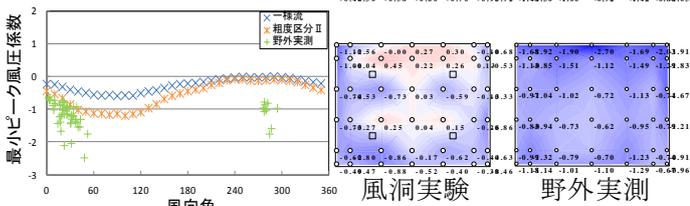


図 10 アレイ下面の最小ピーク風圧係数

その原因として、風洞実験では模型を縮小してつくることが原因だと考えられる。模型の縮尺を変えても、空気の密度や大きさを変えることができないため空気の粘性は同様であり、アレイ面の下の風の流れやすさはアレイと地表面との距離に依存する。つまり、隙間の大きい野外実測の実寸アレイではアレイの下を風が通り抜けやすく剥離なども起きやすいが、隙間の少ない風洞実験においては、アレイと地面との差が小さいため、アレイの下で流れが滞留してしまい、正圧が生じやすくなったと考えられる (図 12 参照)

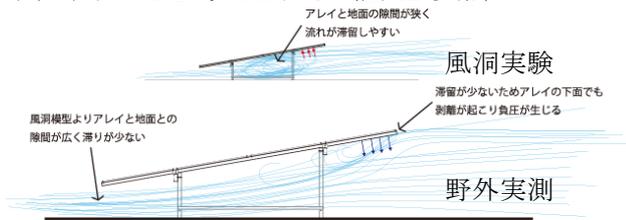


図 12 アレイと地表面の間の流れ  
野外実測のアレイの平均風力係数

野外実測と風洞実験にはアレイの風力性状において傾向が異なる場合があることが分かったが、アレイ全体の風力係数を考える際、どのように評価すれば良いかを考えなければならない。野外実測の平均風力係数の結果では、ピーク風力係数が風洞実験よりも大きく出ているにも関わらず、平均風力係数は小さくなってしまっている。また、風速が絶えず変化する野外では、評価時間内の平均風速が小さくても極端に大きな風速がでている時間帯がある時など、平均値が意味を持たない場合があり、その平均速度圧を用いて野外実測のピーク風力係数を求めると過剰な設計になる場合がある。ここで最大風速がでるときにアレイのピーク風力

が生じているとすれば、ピーク風力を最大速度圧とアレイ面積で係数化すれば野外での風力の変動成分を考慮出来るかもしれない。野外実測で得られたピーク風力と最大速度圧に面積を乗じたものの関係と風洞実験の平均風力係数を図 13 に示す。なお、風洞実験の値は、野外実測との比較のため、風向角  $0\sim 60^\circ$ 、 $270\sim 300^\circ$  での平均風力係数の最大値および最小値を示す。

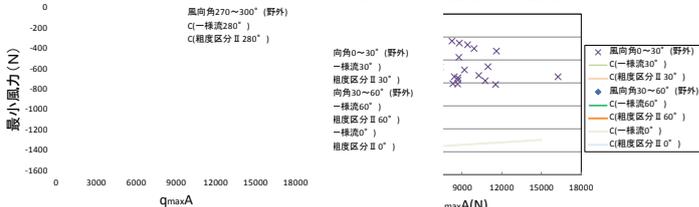


図 13 ピーク風力と最大速度圧の関係

図 13 を見ると最大速度圧により求めた野外実測の値は風洞実験の平均風力係数の絶対値をほとんどこえない結果となった。つまり、風洞実験で得られた一様流の平均風力係数をアレイの設計用風力係数として用いることができると考えられる。ただし、図 13 でも示されるように平均風向角や最大速度圧が同じような場合でも野外実測においては値がばらついており、さらに強い風力が生じる可能性も考えられる。そのため、どのような現象によりばらつきが生じているのかを詳細に検証しなければならない。

### 野外実測の測定値の検証

野外実測ではアレイの風力に影響を与える様々な要因があると思われる。アレイの風力係数を考えるためには、それらの現象による影響を少しでも知る必要があるため、本実測で得られた測定値の中でも似た風向角で比較的ピーク風力係数が大きいもの(データ①,②,⑤)や小さいもの(データ④)、風洞実験と似た結果になったもの(データ③)について検証する。対象となる測

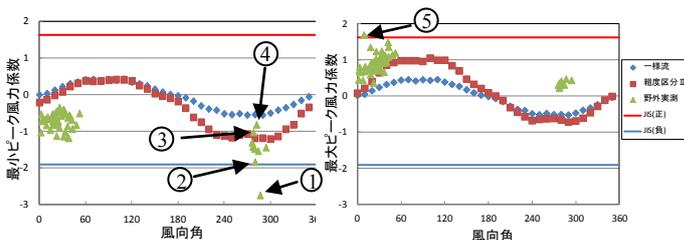


図 14 対象となるピーク風力係数の測定アーク  
①の最小ピーク風力係数について

ピーク風力係数は風向角  $270\sim 300^\circ$  において最小となっていた。この最小風力を示した瞬間を含めた 4 秒間の 1 秒間毎にアレイに作用した風圧力分布と風速を図 15 に示す。2-3s 間にアレイ上下面の差圧が大きくなり最小風力の絶対値が最大となっている。風速が最大となったのは 1-2s 間であるが、風圧測定点と風速計の場所の違いによる時間差があった可能性がある。また、ピーク風力係数はピーク風力を評価時間 10 分での平均速度圧で除して求めており、①の 10 分の平均風速

は 4.6m/s であったため、最大風速との差が大きく過大に評価してしまった可能性がある。

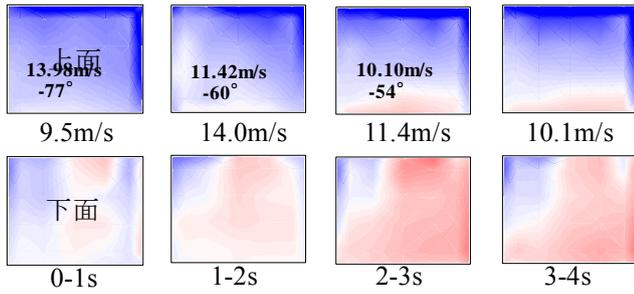


図 15 1 秒間毎のアレイ上下面風圧分布の変化

②の最小ピーク風力係数について

②のデータはも①と同様に小さなピーク風力係数を示しており JIS の規定値と同じぐらいの値であった。この時のアレイ上下面の風圧力、アレイの風力の変化と風速の変化を図 16 に示す。風速が 1m/s 程度の時には風力も 0 に近い値であったが、風速が上がるとともに負の風力も急激に大きくなっている。このことから、風速が急に速くなると大きな風力が瞬間的に作用する可能性があると考えられる。

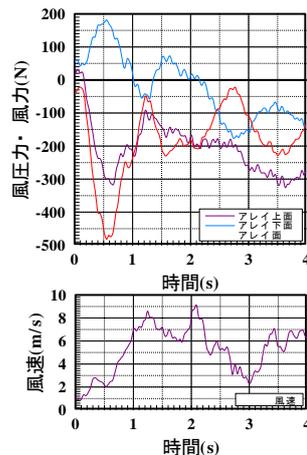


図 16 アレイに作用する風力風圧力と風速変化

③の最小ピーク風力係数について

データ③はなぜ風洞実験(粗度区分Ⅱ)の値に近い結果が得られたかについて検証する。表 1 に野外実測の③の測定値と①の測定値における風向角の変化を、評価時間を 10 秒および 600 秒として平均風向角を求めたものの最大値と最小値を示す。この結果から③の結果が風洞実験の結果に近くなったのは、風向角が比較的安定していたことが要因になる場合があると考えられる。

	評価時間(s)	平均風向角	
		最小値	最大値
データ③	10s	261°	287°
	600s	278°	
	評価時間(s)	平均風向角	
		最小値	最大値
データ①	10s	215	335°
	600s	286°	

表 1 平均風向角の最大値と最小値

④の最小ピーク風力係数について

④の測定値は風向角 270~300° の測定値の中で最小ピーク風力係数の絶対値が最も低い結果となっている。データ④の測定値における風向角変化を評価時間 10 秒および 600 秒として平均風向角を求めたものの最大値と最小値および平均風速を表 2 に示す。③と同様に風向角が安定していることが分かるが、平均風速において 1m/s 程度の差が見られた。平均風速の差がピーク風力係数の違いにどのような影響を与えたかについては詳しくはわからなかった。この 2 つのデータでは平均風向角がわずかにデータ④が上回っているため、

平均風向角の差が最小ピーク風力係数の最小値となった原因であるかもしれない。

	評価時間(s)	平均風向角		平均風速
		最小値	最大値	
データ④	10s	265°	293°	4.36
	600s	282°		
	評価時間(s)	平均風向角		平均風速
		最小値	最大値	
データ③	10s	261°	287°	5.28
	600s	278°		

表 2 平均風向角の最大値と最小値

⑤の最大ピーク風力係数について

⑤の測定値は唯一 JIS 規定値を超えた最大ピーク風力係数であり約 1.7 となっている。この値のでている 10 秒間の風圧力、風力の変化および、その時の風速変化を図 17 に示す。風速が約 5m/s から 15m/s に跳ね上がる瞬間に対応するように、アレイ下面の風力も急激に下がっている。また、この 10 秒間の平均風向角は 33.5° でありアレイを上から押す方向に吹いているため、アレイ上面の風圧力が上昇し、下面では剥離により強い負圧が発生したと考えられる。図 18 に時間 1~5s における 1 秒間毎のアレイ上下面の風圧力分布を示す。風速が急激に上がっている 2-3 秒、3-4 秒の間では上面の正圧が強まり、反対に下面の負圧が強くなっていることが分かる。そして、風速が下がり始める 4-5s では上面、下面ともに圧力が小さくなっている風力が弱くなっている。風向角の異なるデータ②と同様に、風速の急激な上昇とともにピーク風力係数が大きくなる可能性があるという結果になった。

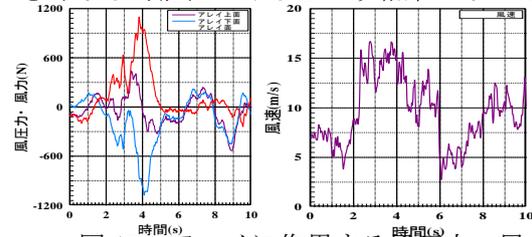


図 17 アレイに作用する風圧力、風力

および風速の時刻歴変化

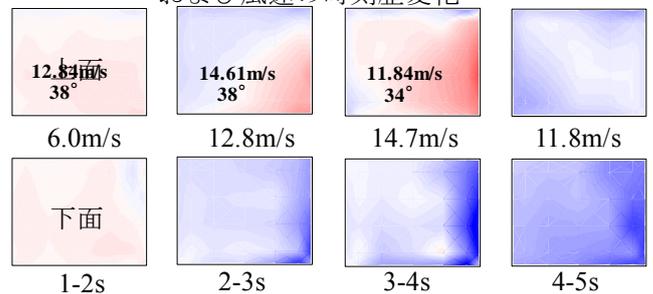


図 18 1 秒間毎のアレイ上下面風圧分布の変化

5. アレイ支持部材の設計用風力係数の提案

次にアレイに作用する風力から支持部材の設計用風力係数を考える。その際、アレイと支持部材の支点に作用する荷重を考慮する必要があると考えられるが、傾斜のあるアレイの支持材では、支持材の場所によって作用する風力に差があると予測される。そのため、前章で示したアレイの平均風力係数では、各支持材に

作用する風力を反映できないと考えられる。そこで、風洞実験と野外実測の結果を基に、アレイに作用する風力分布やモーメントの傾向を考慮することで支持材の支点に作用する力を検証し、必要な設計用風力係数について考察する。図 19 にアレイ支持材の支点とモーメントの定義を示す。

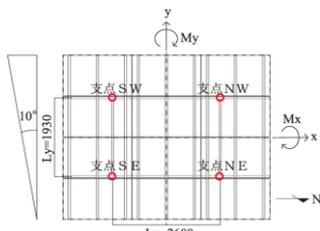


図 19 アレイの支点とモーメントの定義

まず、アレイ傾斜角により作用する風力に差があると予想される支点 NW と支点 NE において、風洞実験と野外実測の平均風力係数の風向角に伴う変化を図 20 に示す。風向角 0~60 の範囲では同様の傾向を示しているが、風向角 270~300° において北側の支点 NW、NE の支点の風力に差がみられ、風洞実験の場合、西側に負の風力が作用することで x 軸まわりに回転させるような力が作用していたが、野外実測の場合、回転の力はほとんど作用せず平均的に少しだけ持ちあがるような形で負圧が作用している。

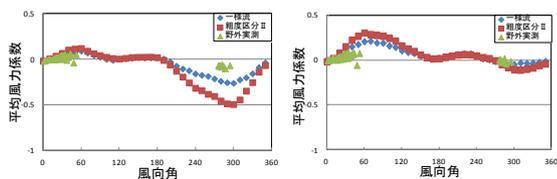


図 20 風向角変化に伴う支点の平均風力係数

左：支点 NW 右：支点 NE

風洞実験と野外実測の支点 NW、NE でなぜ風力係数に差が出たのかを検証するために、アレイに作用する x 軸まわりのモーメント  $M_x$  を支点間距離  $L_y$  で除することで、モーメントによる支点に生じる力  $F_M$  を求め、速度圧およびアレイ面積を用いて  $F_M$  を無次元化した平均風力係数  $\bar{C}_M$  の風向角による変化を図 21 に示す。風向角 270~300° のとき  $M_x$  による平均風力係数は風洞実験と野外実測で顕著な差があると思われる。

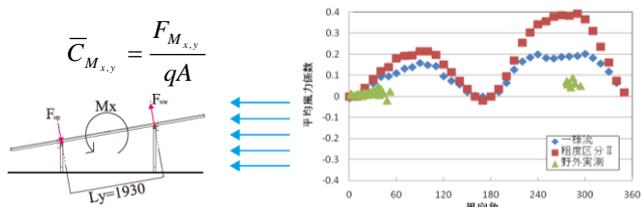


図 21 平均風力係数  $\bar{C}_M$  の風向角変化

また、風洞実験の一樣流中における風向角 280° と野外実測の平均風向角 280° のアレイ下面の平均風圧係数分布を図 22 に示す。風洞実験のアレイ下面の風上側では正圧が働いているのに対し、野外実測では剥離に

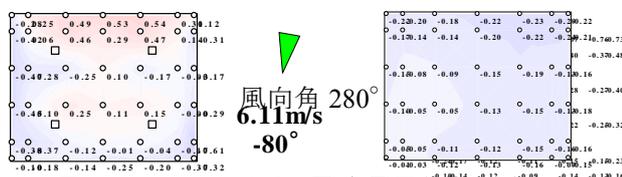


図 22 アレイ下面の平均風圧係数分布

左：風洞実験（一樣流） 右：野外実測

よる負圧が支配的である。これは前章で示したように、アレイと地表面との隙間の差が原因であり、野外実測ではアレイ下面でも剥離が支配的に起こっていることが原因だと考えられる。

### 野外実測の支点の平均風力係数

風洞実験と野外実測ではアレイ下面の風圧分布に違いが見られたが、野外実測ではアレイの負の風力を抑える方向に力が働いていた。ここで、支持部材において平均風力係数をどのように定めれば良いかについて考える。前章と同様に最大速度圧が生じた時に支持物にピーク風力が生じているとすれば、支点に作用するピーク風力を最大速度圧とアレイ面積で無次元化することにより野外での変動を考慮した風力係数を見いだせるかもしれない。図 23 に最小および最大ピーク風力と最大速度圧の関係を示す。野外実測の測定値はばらつきがあるもののいずれも風洞実験の平均風力係数を超えなかったため、支持物の設計用平均風力係数に一樣流の値を用いると考えられる。

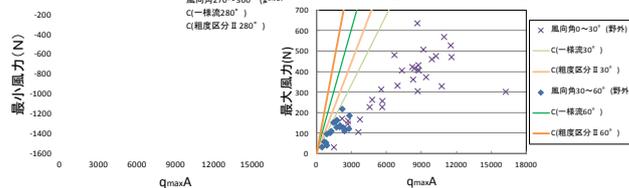


図 23 支点に作用するピーク風力と最大速度圧の関係 支持部の設計用風力係数

### アレイの風力係数では平均が小さいにも関わらずピークが大きく出ていた。そのため支持部などの設計にはピーク風力係数について考慮しなければならない。

風洞実験のピーク風力係数の最小値および最大値と野外実測における最小および最大ピーク風力係数の平均値を図 24 に示す。風洞実験と野外実測のピーク風力係数の結果には風上側から風下側にかけての風力係数の低減の傾向に違いがみられた。実際には様々な現象による風力の分布が考えられるため、野外実測の結果から一樣に決めることは難しいが、本実測の野外実測の傾向を考慮した支持材の設計用風力係数を考えると図 25 のように表された。

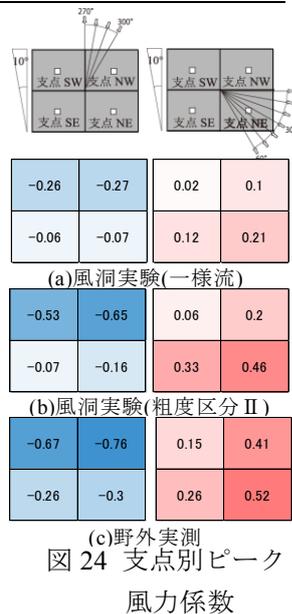


図 24 支点別ピーク風力係数

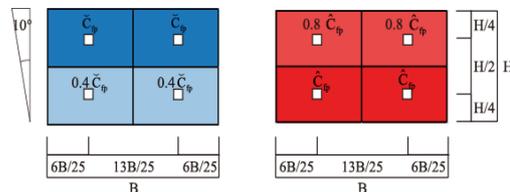


図 25 支持部の設計用ピーク風力係数

## 6. パネル設計用風力係数の提案

さらにパネルの設計用風力係数について考えるが、現在の JIS C 8955 ではアレイに作用する風力を空間平均しているため、全体の一様な風力係数しか定めておらず、パネル 1 枚分に作用する風力については考慮されていない。このことから、野外実測と風洞実験のパネルの風力係数の結果を基に、パネルに必要な風力係数を考察し、新たな設計用風力係数を提案する。

パネルにどの程度の風力が作用しているかを見るために、図 26 に負の風力が顕著に現れたパネル 3 のピーク風力係数と正の風力が顕著に現れたパネル 12 のピーク風力係数を示す。野外実測ではパネルのピーク風力係数において明らかに大きな値がでていることから、一様に風力係数を定めることはできないと考えられる。

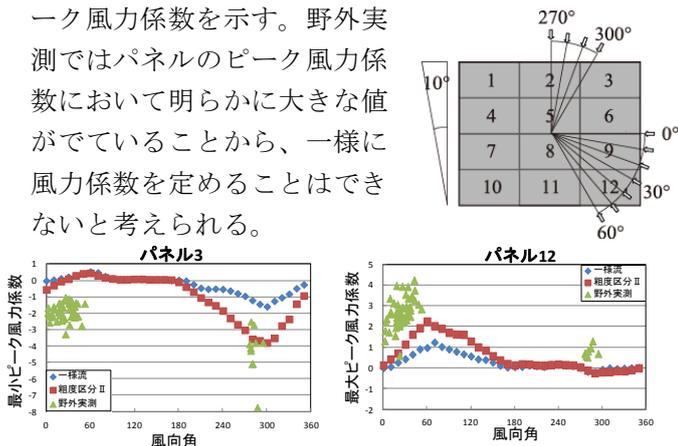


図 26 パネル 3 および 12 のピーク風力係数

### 野外実測のパネルの平均風力係数

野外実測ではパネルにおいても、平均風力係数が小さくなっていった。ここで、アレイや支持部材と同様に、ピーク風力を最大速度圧とパネル面積で除したものと風洞実験の平均風力係数を比較し図 27 に示す。野外実測の測定値はほとんど風洞実験の平均風力係数を超えなかったため、パネルの設計用平均風力係数にも一様流の値を用いることができると考えられる。しかし、値のばらつきが大きく、特に最大ピーク風力についてはさらなる考慮が必要となる可能性があると思われる。

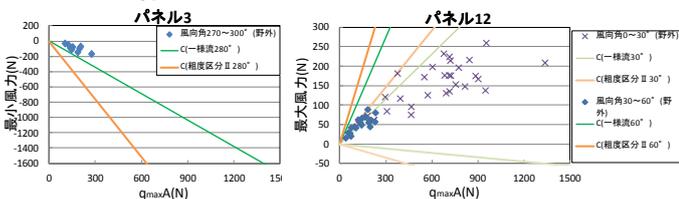


図 27 パネルに作用するピーク風力と最大速度圧の関係  
パネル設計用風力係数

パネルを設計する際には、アレイに作用する風力の分布を考慮してパネルの位置毎に適切な風力係数を設定する必要があると思われる。分布の形状を知るために風洞実験と野外実測のパネルのピーク風力係数の傾向について考える。また、野外実測の結果に整合するため、風洞実験の風向角 0°~60°および 270°~300°の値を示すが、この範囲内に風力係数の最小値および最大値が現れる傾向があるため、パネルのピーク風力係数

の傾向として扱うことができるものとする。

風洞実験で得られたパネルのピーク風力係数の最小値および最大値と野外実測における最小および最大ピーク風力係数の平均値を図 28 に示す。風洞実験と近い値を示したが、野外実測では少し異なる分布が現れている。特に、野外実測では隅角部のパネル 3 よりも中央部のパネル 2

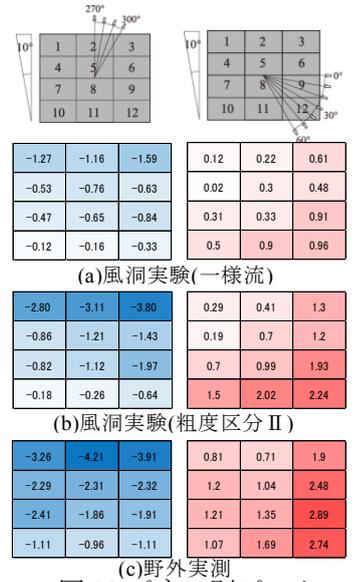


図 28 パネル別ピーク風力係数

で最も大きな負圧が発生している。これはアレイ傾斜角 10°では野外実測において、下面にも剥離による強い負圧が発生するため隅角部ではその現象が顕著に現れたと思われる。そのため、下面の負圧が強いパネル 3 よりも、隅角部の影響の受けにくいパネル 2 において

最小ピーク風力係数の絶対値が大きくなったと考えられる。また、正圧の場合においても野外実験の場合では、隅角部ではなくパネル 9 において最大となっている。中央部のパネル 11 では風洞実験の値よりも隅角部からの低減が大きいことから、野外実測では、傾斜角のある側面からの剥離による負圧の影響が大きく出ていると思われる。

これらの結果より、設計用風力係数を設定する際には野外実測で得られたピーク風力係数の分布を考慮して求めることで、風洞実験には現れないピーク風力等についても考慮できる可能性がある。本実測のアレイの平均風力係数を用いてピーク風力係数の分布を考慮した設計用ピーク風力係数は図 29 のように表された。

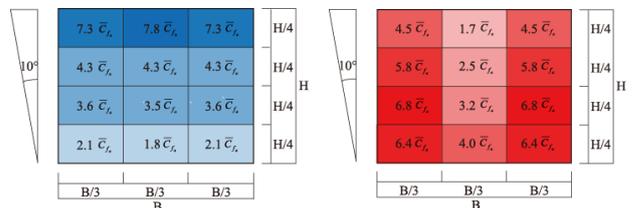


図 29 パネルの設計用ピーク風力係数

## 7. 結論

本実測では、実寸アレイによる野外実測を行ったことで、風洞実験とは異なったアレイの風力特性を示す場合があるという結果が得られた。また、風洞実験と野外実測による結果に基づいて、傾斜角 10°においての太陽光アレイの風圧および風力特性を検証し、パネルおよび支持部の設計用風力係数について提案した。

### 参考文献

- 1) 日本規格協会: JIS C 8955:2004 太陽光アレイ用支持物設計標準

## 討議

### 【質問者：谷口与史也教授】

太陽光アレイの支持部材の風による引き抜きは考えられるか。

### 【回答】

アレイ全体に負の風力が作用しており、アレイを持ちあげるような力の作用があるため考えられると思います。また、傾斜角のあるアレイにおいて、アレイの高い方を支えている支持部材は、より引き抜きが起りやすくなる可能性も考えられます。

### 【質問者：鬼頭宏明教授】

アレイの剛性はどのように考えるか。

### 【回答】

模型は剛体と捉えて実験を行っています。

### 【質問者：角掛久雄講師】

アレイの高さを変えることなどで、風洞実験模型の縮尺による誤差を補うことはできないか。

### 【回答】

アレイの高さを変えることはできますが、アレイの厚みや柱の太さなど、正確な縮尺でつくることが難しいものもあり、高さを変えるだけで本当に野外実測に似た環境になるかはわかりません。ただ、高さを調整してアレイの下を通る流れを少しでも改善することができれば、少しはアレイ周りの風の現象としても改善されるかもしれません。

### 【質問者：松村政秀講師】

風洞実験と野外実測の1番の違いはなにか。

野外実測と風洞実験では模型の精度や風の変動による違いが大きいですが、それらを考慮して今後どのようにすればいいか。

### 【回答】

風洞実験の風向や風速を変えるという手もありますが、1番は風洞実験と野外実測の違いを理解することだと思います。現在の風洞実験の利点は、定常的にどのような現象が起りやすいか、また、その現象においてどの程度の力が作用するのか、ということが非常に分かりやすいことだと思います。それにより野外で起りえる現象に対しても、現象を予測することができません。野外実測においては、風速や風向の変化なども含めた、実際に対象模型に作用する風力を調べることで

できることが利点だと思います。しかし、実測をする回数に依存するかもしれないですが、様々な要因がアレイに作用する風力に影響を与えるため、自然風の下では全く同じ結果は存在しません。そのため、風洞実験の結果と照らし合わせて、必要な設計用風力を定める必要があると考えています。