

水上太陽光フロートシステムに作用する風力係数

Wind Force Coefficient acting on Floating Solar Power System

作田 美知子 MICHIKO SAKUTA

岩本 毅 TAKESHI IWAMOTO

企画推進部 土屋 星 SEI TSUCHIYA

近年、太陽光発電システムは陸上だけでなく水上にも設置されている。太陽光発電システムを設置するには、耐風安全性の検討のために、太陽光パネルを含めた水上太陽光フロートシステムが受ける風力を把握することが重要である。本研究では、近年開発された水上設置型太陽光発電フロートシステムを対象として、太陽光パネルを含むフロートシステムが受ける風力について風洞実験により検討を行った。南北方向に複数フロートを配置する場合、最南端および最北端に設置されるフロートでは風力係数が大きくなる。それ以外のフロートでは風上側のフロートの遮蔽により風力係数は小さく、南北方向の位置に因らず風力係数はほぼ同じ値をとる。

キーワード：水上太陽光フロートシステム、風力係数、風洞実験

Recently solar power system has been constructed on the water area as well as on the ground. Examining safety against wind, it is important to examine wind force acting on floating solar power system including solar panel. In this study, the wind force coefficient acting on floating solar power system developed recently was measured by wind tunnel experiment. In the case that floats are arranged in north-south direction, the wind force coefficient acting on enclosed area are constantly distributed and the value is smaller than that at northern and southern edge due to shielding of the windward floating solar power system.

Key Words: Floating solar power system, Wind force coefficient, Wind tunnel experiment

1. はじめに

エネルギー自給率の向上や地球温暖化対策等の観点から太陽光発電システムの導入が進められてきた。これまで太陽光発電システムは主に陸上に設置されてきたが、近年、日本においても水上に太陽光発電システムを設置する事例がみられるようになった。水上での太陽光発電は陸上より高い発電量が期待でき、また各地で未利用となっているため池等の水面が活用できることから今後市場の成長が期待される。

太陽光発電システムを設置するには、耐風安全性を検討する必要がある。水上に設置される太陽光発電システムにおいても、強風時のフロートの浮上りや浮遊等の検討が必要となりフロートシステムの風荷重を把握することは重要である。地上設置あるいは屋根面に設置する太陽光電池アレイ支持物については、JISC8955:2011¹⁾に風荷重算定法が示されており、さらに、近年は5°～

60°までのパネル勾配での風力係数や複数アレイによる風力係数の低減効果等について研究がされている²⁾。地上に設置される太陽光発電システムの風荷重は、太陽光パネルが受ける荷重が支配的となるが、水上設置の場合は太陽光パネルを含めたフロートシステム全体が受ける風圧力を検討する必要がある。そのため、水上太陽光フロートシステムの耐風安全性の検討に、地上設置用太陽光パネルの風荷重を適用することは難しい。

そこで、本研究では当社が開発した水上太陽光フロートシステムを対象として、太陽光パネルを含むフロートシステムが受ける風力について風洞実験により検討を行った。

2. 水上太陽光フロートシステムの概要

当社が開発した水上設置型の太陽光発電用フロートシステムは、太陽光パネルを装着するフロート、フロート

を連結する連結板，フロートと連結版を固定する緊結バンドによって構成される。フロート本体のサイズは，幅1,029mm，奥行1,550mm，太陽光パネルはフロート毎に一枚ずつ取り付け。設置可能な太陽光パネルの外形サイズは幅1,500～1,700mm，奥行980～1,000mm，高さ35～50mmであり，設置角度は10度である。複数のフロートを配列する際には，東西の両端部分はパネルの防護や通路の確保を目的にパネルなしのフロートを1列配置する。水上太陽光フロートシステムのイメージを図-1に示す。

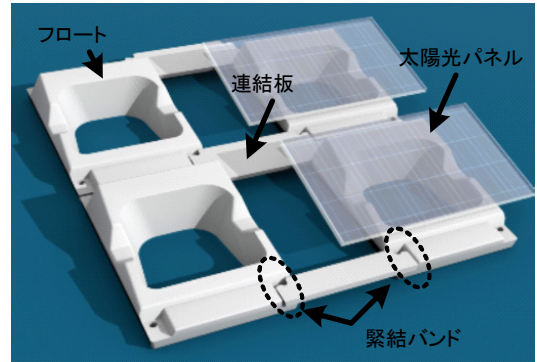


図-1 開発した水上太陽光フロートシステムイメージ

3. 実験概要

実験では，パネルを設置するフロート9個の両端部にパネルを設置しない足場用フロートを配置した東西方向11個のフロート配列を1ユニットと考え，18ユニットを縮尺1/25で模型化した。フロートに設置するパネルサイズは幅1,662mm，奥行990mmを想定した。風圧測定点は18ユニットのうち2ユニットに合計343点設け，16ユニットは風圧測定点を設けずに形状のみを再現した。実験は，単体ユニットと複数ユニットを配列した状況の2ケース行った。複数ユニットを配列とした実験では，風圧測定点を設けた模型をターンテーブル中央に固定し，風圧測定点のない模型の位置を変えることで南北方向の測定位置を変更した。実験模型を図-2に示す。風向は図-2に示すように設定し，風向北を0°として0°～180°まで37風向を5°ピッチで測定した。

実験気流は，建築物荷重指針・同解説（以下，荷重指針）の地表面粗度区分Ⅱを想定し，べき指数0.15の勾配流を用いた。実験気流の平均風速，乱れの強さを図-3に示す。パネル平均高さH（模型スケール10mm）での風速は約9m/s，乱れ強さは約19%である。実験気流の乱れ強さは，荷重指針で示される乱れ強さよりも小さいが，本実験結果においてはピーク風圧係数の補正等はない。実験のサンプリング周波数は200Hzとし，実スケール600秒相当の計測を5回行い，風圧係数を求める際の平均化個数は6個とした。

4. 実験結果

パネル面の風力係数 C_f は式(1)で定義する。

$$C_f(t) = \frac{f(t)}{1/2 \rho U_H^2 \cdot A_p} \quad (1)$$

$C_f(t)$; パネルの風力係数の時刻歴， $f(t)$; パネル面に加わる風力の時刻歴， A_p ; パネル面積(=0.066m × 0.040m)， U_H ; パネル平均高さ10mmでの実験風速(=約9m/s)， ρ ; 空気密度

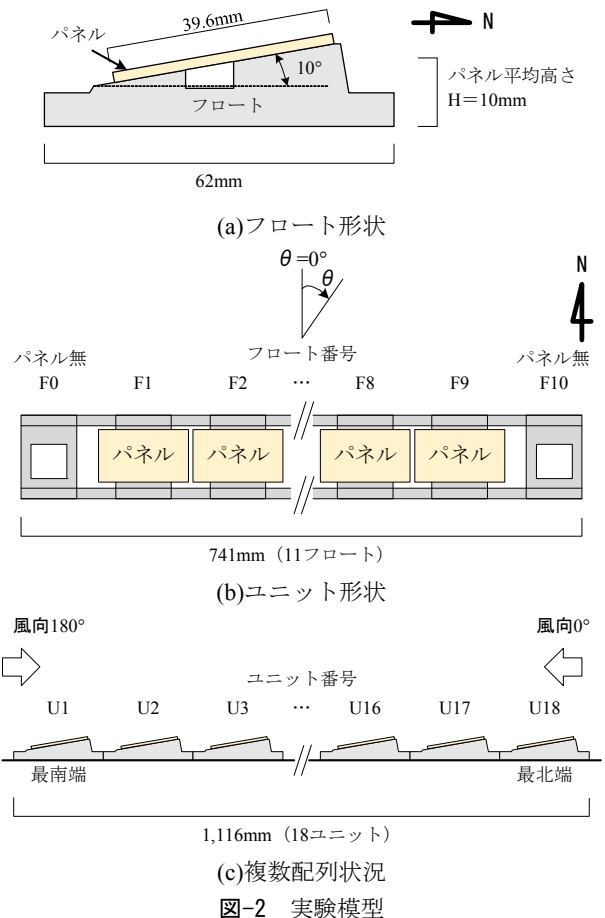


図-2 実験模型

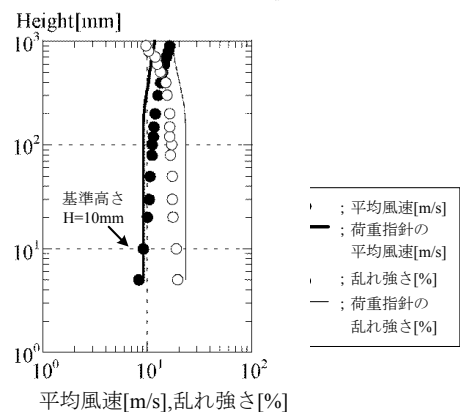


図-3 実験気流

フロートおよびユニットの風力係数は各軸方向の風力係数 C_{Fx}, C_{Fy}, C_{Fz} として式 (2) ~ 式 (4) で定義する。風力の定義を図-4に示す。

$$C_{F_x}(t) = \frac{F_x(t)}{1/2 \rho U_H^2 \cdot A}, \quad C_{F_y}(t) = \frac{F_y(t)}{1/2 \rho U_H^2 \cdot A}$$

$$C_{F_z}(t) = \frac{F_z(t)}{1/2 \rho U_H^2 \cdot A} \quad (2),(3),(4)$$

$C_{F_x}(t), C_{F_y}(t), C_{F_z}(t)$; それぞれ x, y, z 方向のフロートもしくはユニットの風力係数の時刻歴, $F_x(t), F_y(t), F_z(t)$; それぞれ x, y, z 方向のフロートもしくはユニットに加わる風力の時刻歴, A ; フロート面積 ($=0.041\text{m} \times 0.062\text{m} \times \text{フロート個数}$ (ユニットの風力係数の場合は11個とする。))

(1) パネルの風力係数

パネル上面の風力はパネル上面に設けた4点の測定点の風圧力, パネル下面の風力はフロート内部に設けた1点の測定点およびフロート側面の4点の測定点の風圧力から求めた。単体ユニットで測定した場合のパネルの風力係数を図-5に, ピーク風力係数の全風向中の最大値, 最小値を表-2に示す。パネルの風力係数は, 既往の太陽光パネルの実験と同様に $\theta = 0^\circ$ で負の最大値, $\theta = 180^\circ$ で正の最大値をとる。ピーク風力係数の最大値, 最小値は既往のパネル勾配 10° の実験結果²⁾と同程度の値をとる。本実験では, パネルの風力係数は中央部よりも東西端部に設置されるパネルで値が小さい。これはパネル下面の風力がフロート形状の影響を受けるためである。

複数ユニットで測定した場合のフロート F5 のパネルの風力係数を図-6に示す。最南端のユニット U1 ではピーク風力の最大値は単体ユニットと同程度の値をとるが, 最北端のユニット U18 ではピーク風力係数の最小値は単体ユニットと比べて小さい。これは, 風下側にユニットがあることにより最北端のユニット U18 のパネル上面の負圧が単体ユニットと比べて小さくなるためである。最北端, 最南端以外のユニットでは, ユニットの位置に係らず風力係数は同程度の値をとる。

(2) フロートの風力係数

パネルおよび連結板を含む各フロートの風力係数を求めた。連結板の風力は各フロート片側1枚分を負担することとしたが, 中央に位置するフロート F5 のみ両側2枚分とした。単体ユニットで測定した場合のZ方向のフロートの風力係数を図-7に示す。パネルが設置されるフロートでは, パネルの風力係数と同じく $\theta = 0^\circ$ で負の最大値をとる。東西端部のフロート F1, F9 では中央部のフロート F5 よりもピーク風力係数の最小値は小さくな

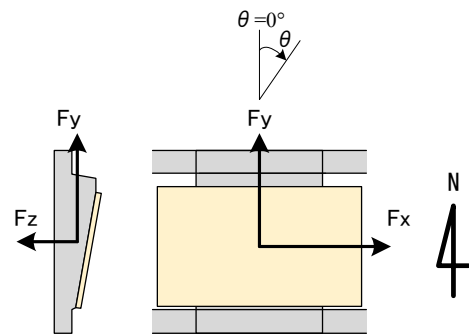


図-4 風力の定義

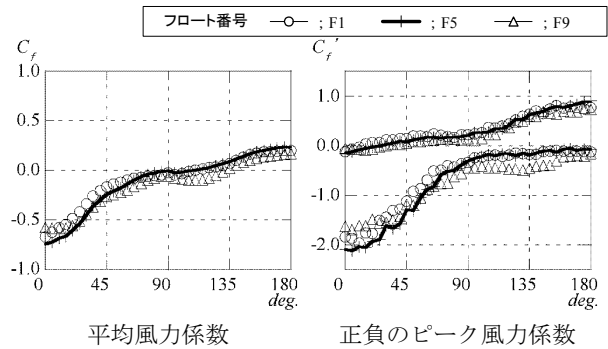


図-5 パネルの風力係数 (単体ユニット時)

表-2 パネルのピーク風力係数の最大値, 最小値 (単体ユニット時)

	東西端部のパネル (F1, F9)	中央部のパネル (F1, F9以外)
最大値	0.80	1.06
最小値	-1.96	-2.45

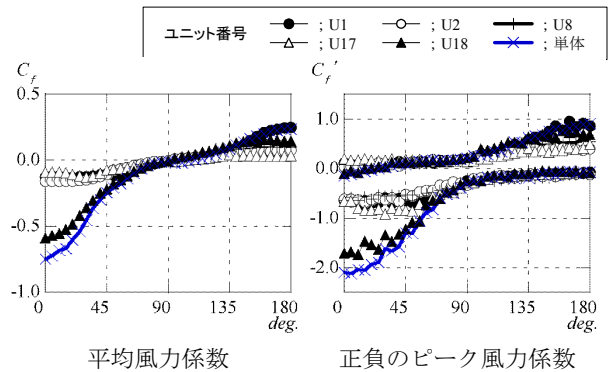


図-6 パネルの風力係数 (複数ユニット配列時, フロートF5)

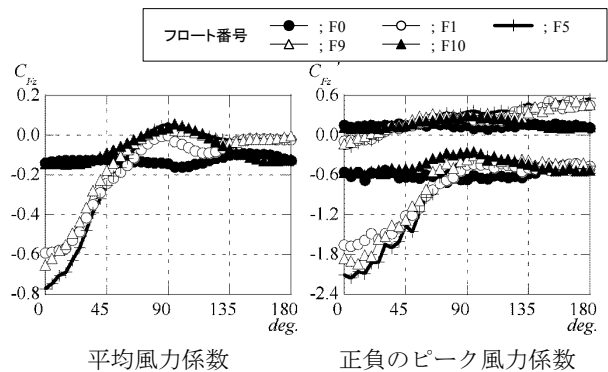


図-7 フロートのZ方向風力係数 (単体ユニット時)

る。パネルが設置されないフロートF0,F10は風向による値の変化は小さい。

複数ユニットで測定した場合のフロート F5 の Z 方向の風力係数を図-8に示す。θ = 0° で最北端のユニット U18 が負の最大値をとる。U1 および U17 の値は他のユニットよりわずかに大きな値をとるが、その他のユニットでは風力係数の差は小さい。

(3) ユニットの風力係数

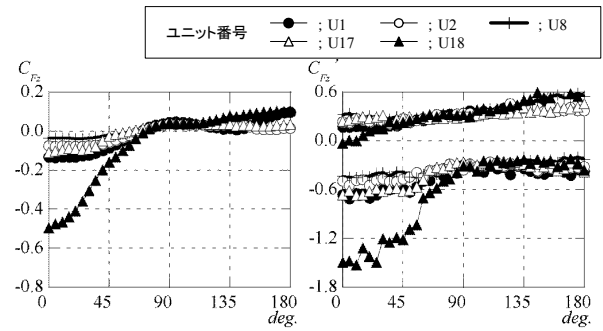
ユニットの風力係数として、東西方向11個のフロートに加わる風力係数を求めた。複数ユニットを配列した場合のユニットの風力係数を図-9に示す。X方向の風力係数は、最南端および最北端に位置するユニット U1,U18 はそれぞれ θ = 135°, 45° 付近において風上側のフロートによる遮蔽効果が小さく、ピーク風力係数の絶対値はそれぞれ約 0.08,0.1 と大きくなる。それ以外のユニットでは同程度の値をとり、ピーク風力係数の絶対値は最大で約 0.05 である。Y方向の風力係数は、最南端および最北端のユニット U1,U18 は風上側に位置するとき絶対値が大きくなる。θ = 0° では負のピーク風力係数は U18 で約 -0.55 となるが、それ以外のユニットでは約 -0.15 となる。Z方向の風力係数は、θ = 0° で最北端のユニット U18 が負のピーク風力係数の最大値約 -1.0 をとるが、その他のユニットでは差は小さい。

以上のことから、X,Y,Z 方向のいずれの風力係数も最南端、最北端に設置されるユニットでは風力係数は大きくなるが、最南端、最北端以外のフロートではその風力係数は小さくほぼ同じ値と考えることができる。なお、

JISC8955:2011 では架台が複数配列される場合に、中央部は周囲端部に対して50%の荷重の低減としているが、本実験では中央部に設置されるフロートユニットは最北端および最南端に設置されるフロートの風力係数の50%よりも小さい値となる。これは、パネルを含めたフロートシステムの形状により、風下側への遮蔽が大きいためと考えられる。

5. おわりに

本論文では、当社が開発した水上太陽光発電フロートシステムを対象として風圧実験を行い、耐風安全性の検討に必要なデータを得た。その結果、南北方向に複数フロートを配置する場合には、最南端および最北端に設置されるフロートでは風力係数が大きくなる。それ以外のフロートではほぼ同様の風力特性を示し、その風力係数は風上側のフロートの遮蔽により、最南端および最北端に設置されるフロートよりも小さくなる。



平均風力係数 正負のピーク風力係数
図-8 フロートF5のZ方向風力係数
(複数ユニット配列時)

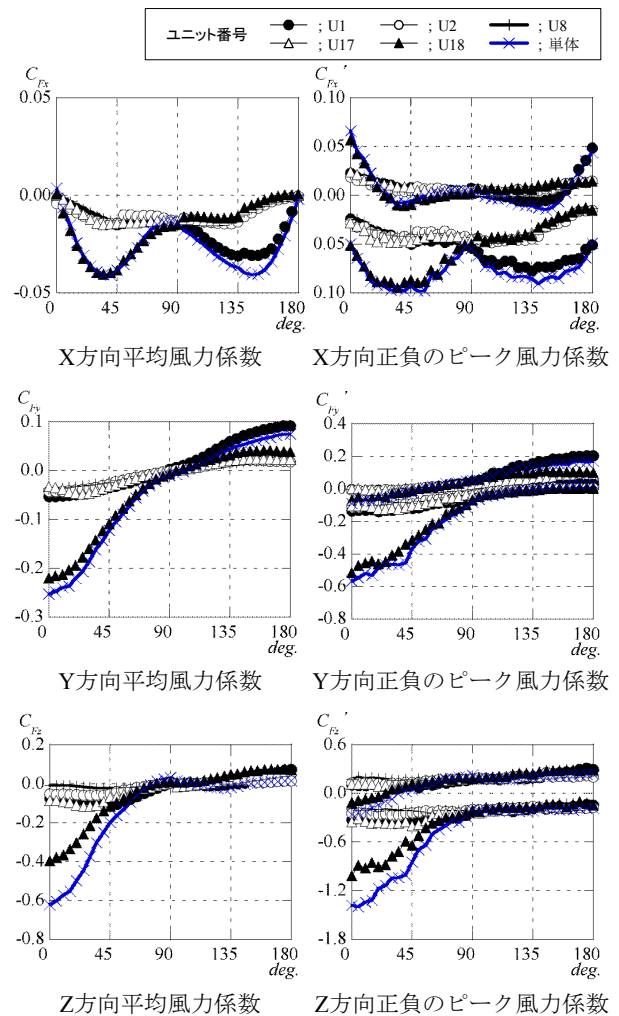


図-9 ユニットの風力係数 (複数ユニット配列時)

参考文献

- 1) JIS C 8955 : 2011 太陽電池アレイ用支持物設計標準
- 2) 高森浩治ほか; 地上設置形太陽電池パネルの設計用風力係数 (その1: 風洞実験概要および単独パネルの風力係数, その2: アレイ群の風力係数および設計用風力係数の提案), 日本建築学会大会学術講演梗集, pp.167-170, 2013.8