

## メガソーラー用単体パネルにおける局所レイノルズ数効果の実験的検討

九州工業大学大学院 学生会員 梶谷諒      九州工業大学大学院 正会員 松田一俊  
九州工業大学 (研究当時) 森塚佑哉      九州工業大学 (研究当時) 正会員 加藤九州男

### 1. はじめに

メガソーラーパネル用単体パネルに作用する風荷重は、JIS の設計基準<sup>1)</sup>により規定されている。その設計基準は縮尺模型を用いた風洞実験の結果から定められ、地面とソーラーパネルとの隙間を通過する気流特性が縮尺模型と実機において同じであることが前提条件となる。しかし、過去に行われた橋梁の風洞実験<sup>2)</sup>では模型縮尺の違いにより空気力学的特性が変化し、耐風部材と桁の間の気流特性が異なる「局所レイノルズ数効果」という現象が観測された。ソーラーパネルと地面の隙間においても同様の現象が発生する可能性が考えられるため、本研究ではソーラーパネルと地面の隙間において、局所レイノルズ数効果の有無を確認し、ソーラーパネルの耐風設計に役立つ知見を得ることを目的とした。

### 2. パネル模型諸元及び風力係数、レイノルズ数 ( $Re$ 数) の定義

パネル模型の縮尺は 1/15、大きさはパネル長 1000mm×幅 263mm×厚さ 5mm とし、風向は図-1 に示すように順風・逆風の 2 ケースを対象とした。図中の  $F_x$ 、 $F_z$ 、 $F_w$  はそれぞれ抗力、揚力、合成風荷重を表す。3 分力天秤を用いて  $F_x$ 、 $F_z$ 、 $F_w$  を測定し、図中の式より  $F_w$  を求め、式(1)により風力係数を算出した。また、今回の実験では風速を変化させることにより、 $Re$  数を変化させた。 $Re$  数の定義は式(2)に示す通りである。風速は 4m/s、8m/s、12m/s、16m/s の 4 種類で測定を行い、風力係数を求めた。 $Re$  数の代表長はパネル幅の 236mm とし、 $Re$  数の範囲は  $7.0 \times 10^4 \sim 2.8 \times 10^5$  である。

$$C_w = \frac{F_w}{\frac{1}{2} \rho U^2 h L} \quad \dots (1) \quad Re = \frac{Uh}{\nu} \quad \dots (2)$$

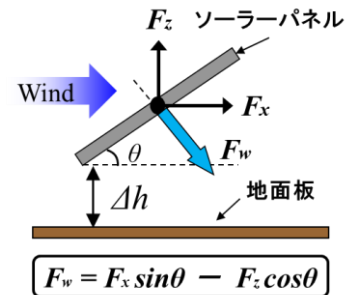
ただし、 $F_w$ : パネル面に直角方向の風荷重(N)、 $C_w$ : 風力係数、 $\rho$ : 空気密度(kg/m<sup>3</sup>)、 $U$ : 風速(m/s)、 $h$ : パネル幅(m)、 $L$ : パネル長(m)、 $\nu$ : 動粘性係数(m<sup>2</sup>/s)とした。

### 3. 設置角度 $\theta$ 、地面板とパネル下端の隙間間隔 $\Delta h$ 、及び $Re$ 数が風力係数 $C_w$ に及ぼす影響

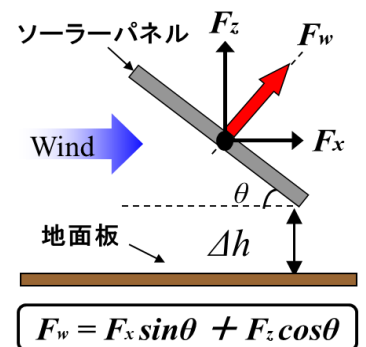
設置角度  $\theta$ 、地面板とパネル下端の隙間間隔  $\Delta h$ 、及び  $Re$  数が風力係数  $C_w$  に及ぼす影響を確認し、局所レイノルズ数効果の有無及び地面板とパネル下端の隙間間隔の流れを把握する。

#### 3-1 実験方法

順風・逆風の各風向に対し、単体パネル模型と地面板の隙間間隔  $\Delta h$  を 6.7mm、13.3mm、20.0mm、26.7mm、33.3mm と変化させる。また、パネル設置角度  $\theta$  を 10°、15°、20° と変化させ、風速  $U$  も 4m/s、8m/s、12m/s、16m/s と変化させて風荷重測定を行う。写真-1 及び写真-2 にそれぞれ順風及び逆風の模型設置状況を示す。



(a) 順風



(b) 逆風

図-1 風荷重・風向の定義図



写真-1 模型設置状況(順風)



写真-2 模型設置状況(逆風)

### 3-2 実験結果

#### 3-2-1 設置角度 $\theta$ が風力係数 $C_w$ に与える影響

$Re$  数  $2.8 \times 10^5$  における順風と逆風の設置角度  $\theta$  と風力係数  $C_w$  の関係図を図-2 に示す。図-2 から、風向に関わらず  $\theta$  の増加に伴い、 $C_w$  が増加していることが分かる。これは他の  $Re$  数でも同様な傾向が見られた。 $C_w$  の増加の主要因は、 $\theta$  の増加によるソーラーパネルの受風面積の増加であると考えられる。

#### 3-2-2 隙間間隔 $\Delta h$ が風力係数 $C_w$ に与える影響

$Re$  数  $2.8 \times 10^5$  における順風と逆風の隙間間隔  $\Delta h$  と風力係数  $C_w$  の関係図を図-3 に示す。図-3 から、 $\Delta h$  が増大すると、 $C_w$  が順風では増大傾向、逆風では減少傾向にあることが分かる。これは他の  $Re$  数でも同様な傾向が見られた。 $C_w$  の増加の要因は、 $\Delta h$  の増加により、抗力  $F_x$  の増加分以上に、下向き揚力の増加分が大きく寄与したためである。

#### 3-2-3 $Re$ 数が風力係数 $C_w$ に与える影響

設置角度  $\theta = 20^\circ$  における順風と逆風の  $Re$  数と風力係数  $C_w$  の関係図を図-4 に示す。図-4 から、風向に関わらず、 $Re$  数の増加に伴い  $C_w$  がやや減少傾向にあることが分かる。これは  $\theta = 10^\circ$ 、 $15^\circ$  においても同様な傾向が見られた。 $C_w$  が減少した要因は、 $Re$  数によりパネル表面の圧力分布が変化し、流れの再付着が促進され、順風では下向き揚力、逆風では上向き揚力が減少したためと推察される。また、矩形断面を対象とした既往の研究<sup>3)</sup>でも、 $Re$  数の増加に伴い揚力が減少する傾向が確認されている。

よって、 $Re$  数が  $7.0 \times 10^4 \sim 2.8 \times 10^5$  の範囲においては風向に関わらず、若干の局所レイノルズ数効果が発生したと考えられる。

### 4. 結論及び今後の課題

風向に関わらず、 $\theta = 10^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $20^\circ$  の全ての設置角度、及び  $\Delta h = 6.7\text{mm}$ 、 $13.3\text{mm}$ 、 $20.0\text{mm}$ 、 $26.7\text{mm}$ 、 $33.3\text{mm}$  の全ての隙間間隔において若干の局所レイノルズ数効果が発生したと考えられる。

JIS 規定ではソーラーパネルに作用する風荷重は設置角度  $\theta$  のみで定義されているが、 $Re$  数や隙間間隔により  $C_w$  の値が変化する可能性がある。そのため、既存の風荷重を用いた設計では、必ずしも安全側であるとは言えない可能性がある。今後の課題としては、パネル表面の圧力分布の測定を行うこと、パネルと地面板の隙間における流れの変化を見るために流れの可視化実験を行うことが挙げられる。

### 5. 参考文献

- 1) 日本規格協会：太陽電池アレイ用支持物設計基準 JIS C 8955, 2004.
- 2) Allan Larsen et al. : Investigation of vortex response of a twin box bridge section at high and low Reynolds numbers, JWEIA, 96, pp.934-944, 2008.
- 3) Claudio Mannini et al. : Unsteady RANS modelling of flow past rectangular cylinder : Investigation of Reynolds number effects, Computers & Fluids, 39, pp.1609-1624, 2010.

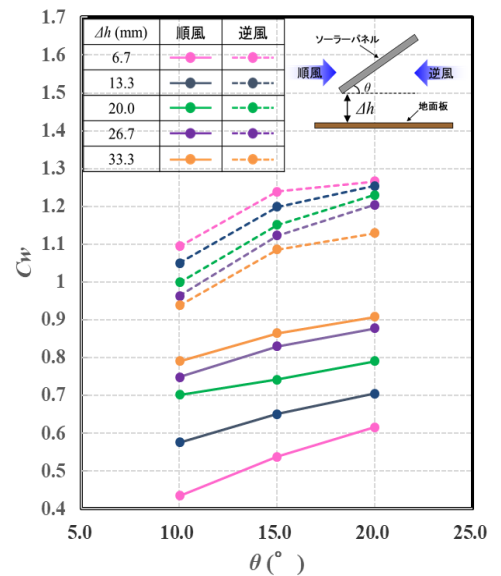


図-2 設置角度  $\theta$  と風力係数  $C_w$  の関係

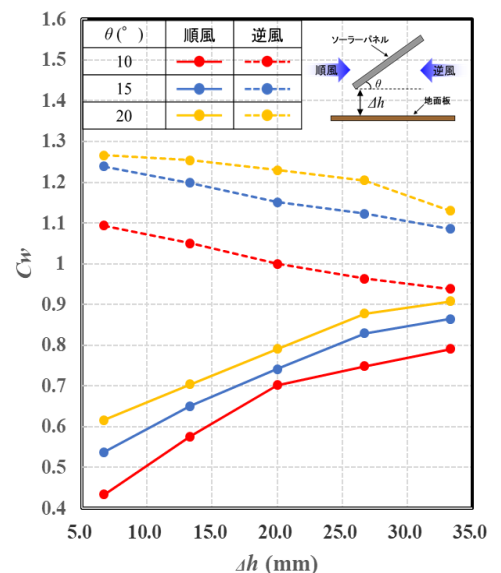


図-3 隙間間隔  $\Delta h$  と風力係数  $C_w$  の関係

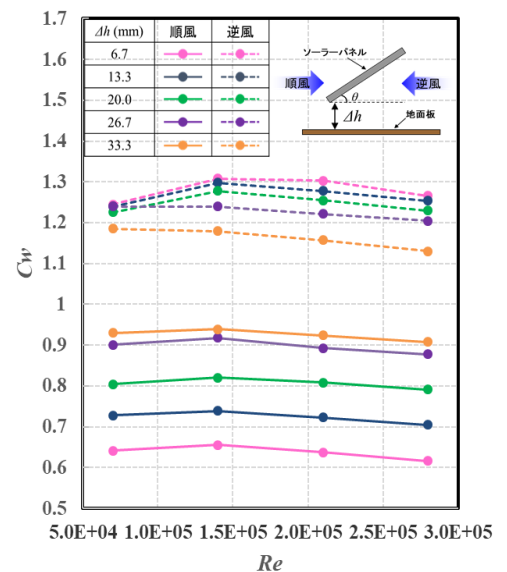


図-4 隙間間隔  $\Delta h$  と  $Re$  数の関係