



## 橋梁メンテナンスの合理化を目指した多機能防食デッキに関する技術講習会

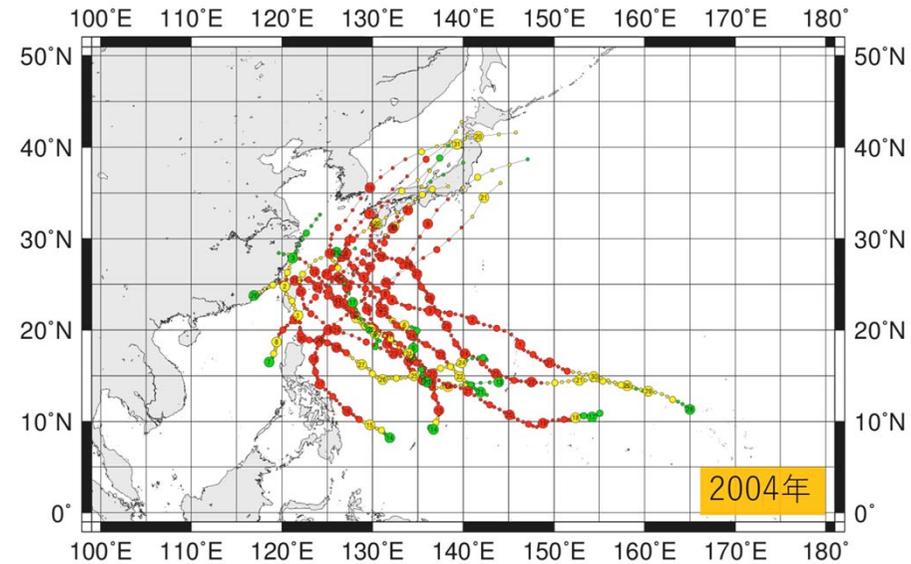
# 台風環境下における 多機能防食デッキの風圧特性

琉球大学工学部工学科社会基盤デザインコース  
構造設計工学研究室



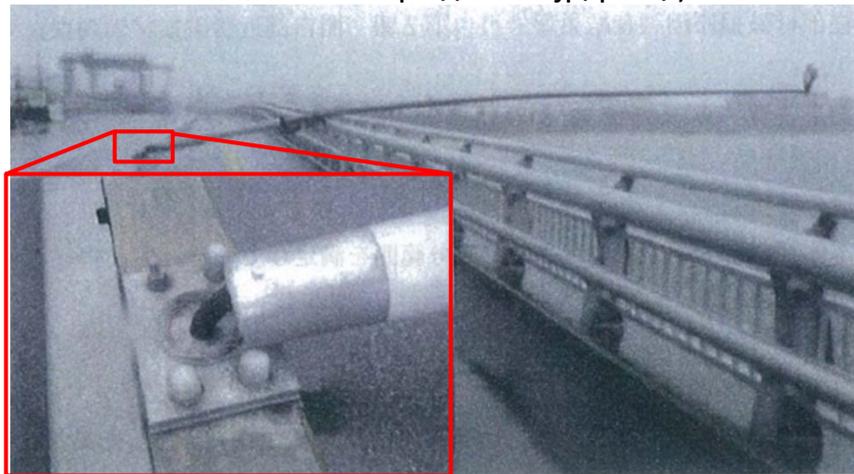


# 近年の台風



出典 デジタル台風, 北本研究室, 国立情報学研究所(NII): <http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/>

(出典: 日本気象協会 <https://tenki.jp/past/>)



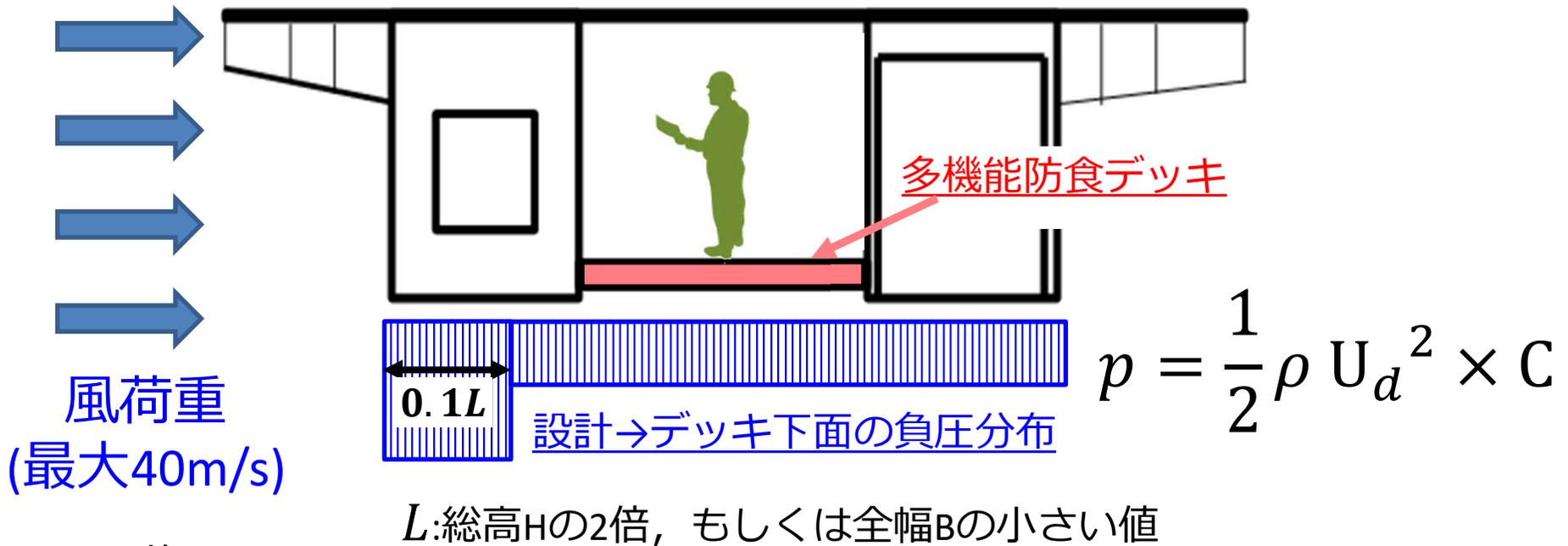
(出典: 朝日新聞)

台風の強風により, 構造物や生活に甚大な被害を及ぼす場合がある





**近年台風による建造物の被害が甚大化**  
 多機能防食デッキの耐風安定性の確保が求められる



目的

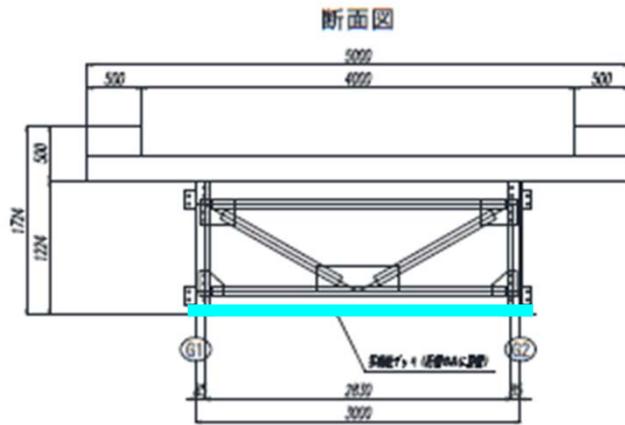
- 台風時の風環境
  - デッキ面の風圧
- 多機能防食デッキに作用する  
**風圧特性**を明らかにする



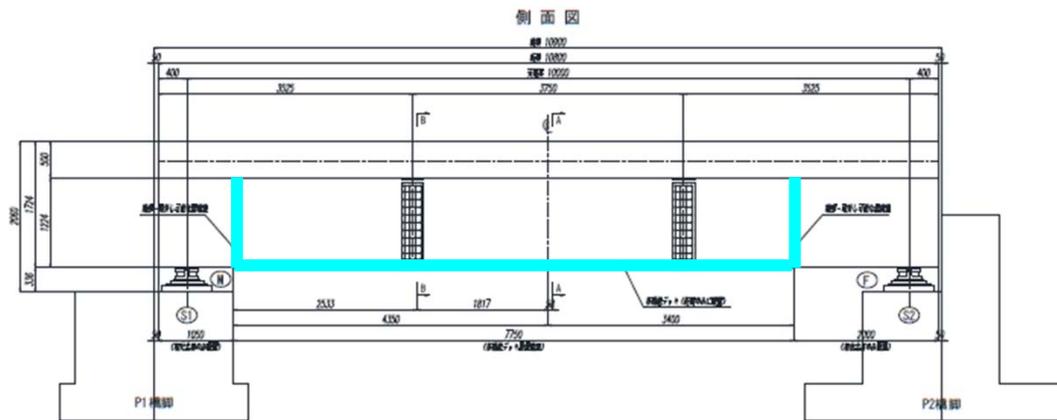
# 実物試験橋と多機能防食デッキ

the Ryukyus University of the Ryukyus

## 琉球大学暴露場 実物試験橋(鋼橋)



デッキ幅 2.83m



デッキ全長 7.75m





# 計測機器の設置状況



## 風況環境計測機器

**3次元超音波風向風速計** \* 計測周期40Hz

\* 計測可能項目

- 風速 (0-70m/s)
- 風向 (360度)
- 気圧 (600-1100hPa)
- 温湿度 (40~60度, 5-98%RH)



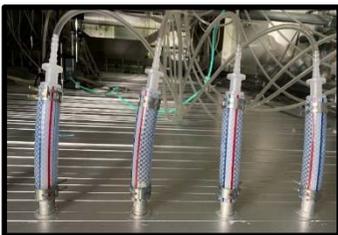
## 風圧環境計測機器



デッキ下面計測孔

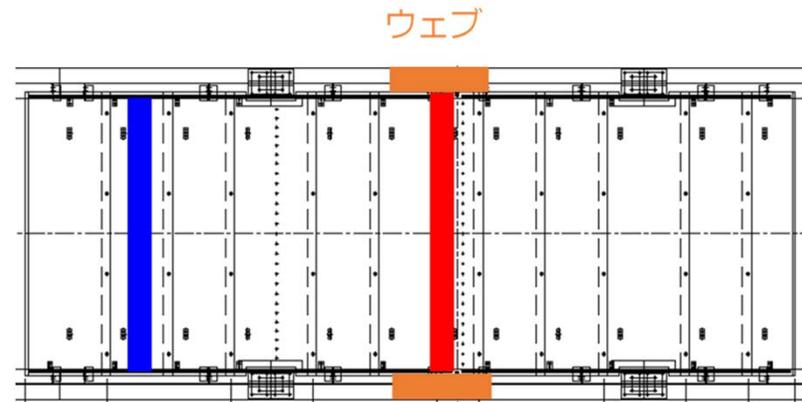


ウェブ側面計測孔



校正チューブ

**多点圧力計測システム** \* 計測周期100Hz



端部 : 27か所  
 中央部 : 21か所  
 ウェブ : 3か所ずつ



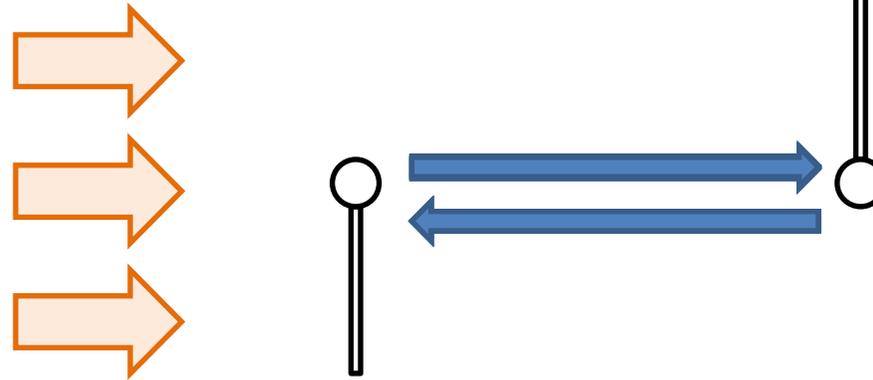


# 3次元超音波風向風速計について

## 3次元超音波風向風速計



## 測定メカニズム



向かい合うトランスデューサー（超音波送受信器）間を超音波パルスが伝播する所要時間を計測し，その伝播時間の変化を元に風速と風向の値を算出する。

$$T_2 = \frac{L}{C - V} \quad T_1 = \frac{L}{C + V}$$

$$V = \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right] \quad C = \frac{L}{2} \left[ \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} \right]$$

L= トランスデューサー表面同士の距離  
 C= 音速  
 V= 気体流速度  
 T1= 超音波の到達時間  
 T2= 超音波の到達時間

## メリット

鉛直方向成分を含む，立体的な風向風速計測が可能。

ある瞬間の風速を計測可能。機械部の摩耗が少ない。

デメリット：電源が必要。





# 3次元超音波風向風速計について

the Ryukyus University of the Ryukyus

## 風況環境計測機器

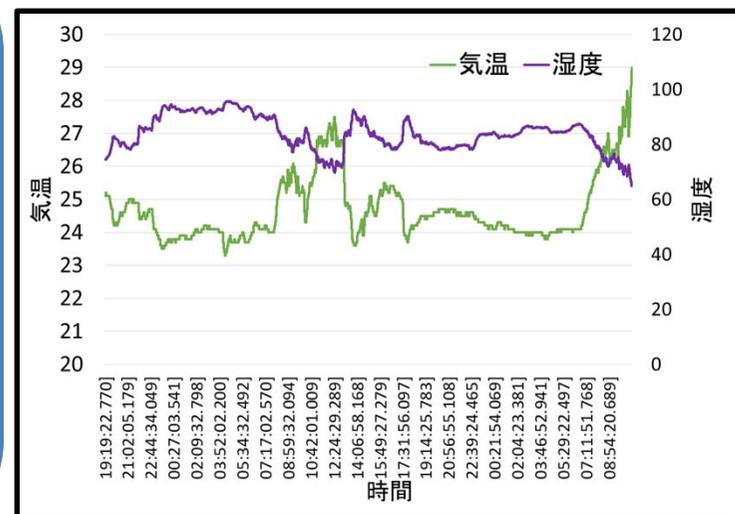
### 3次元超音波風向風速計 \* 計測周期40Hz



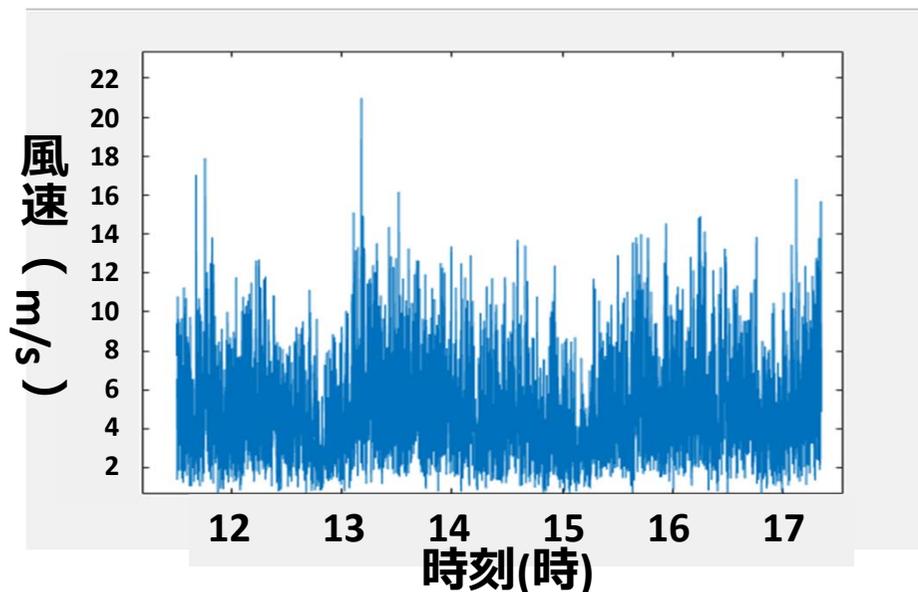
#### \* 計測可能項目

- 風速 (0-70m/s)
- 風向 (360度)
- 気圧 (600-1100hPa)
- 温湿度  
(40~60度, 5-98%RH)

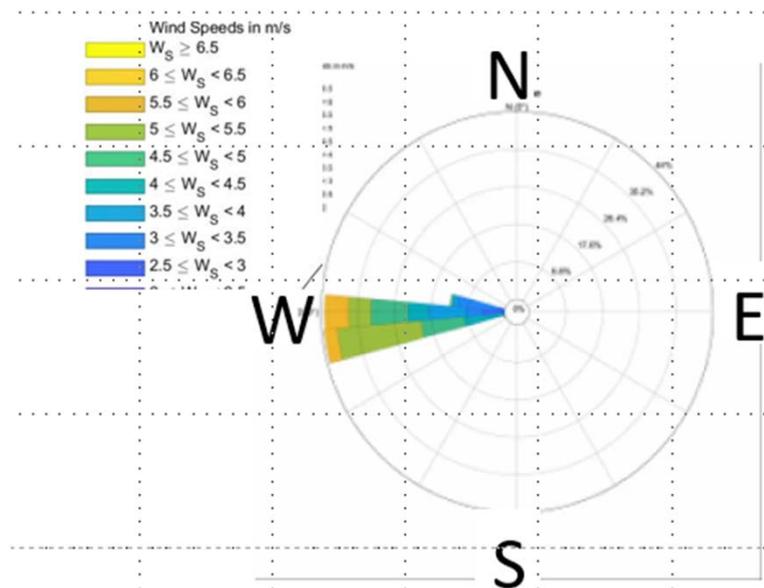
## 温湿度の計測例



## 風速の計測例



## 風向の計測例





## 多点同時圧力計測システム構成



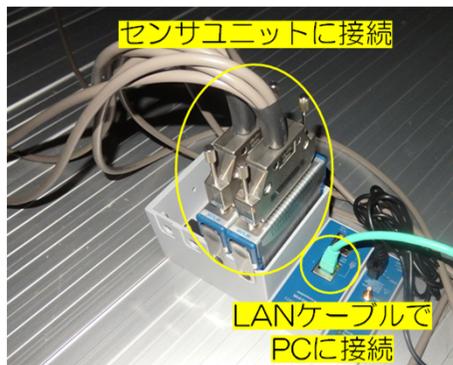
センサ電源×2  
センサユニットに接続



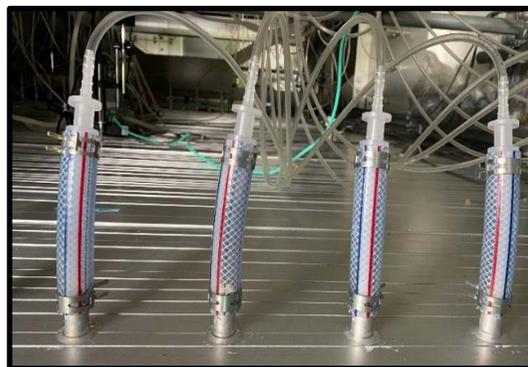
センサユニット×8  
計測孔と接続し圧力計測  
計測圧力±5000Pa



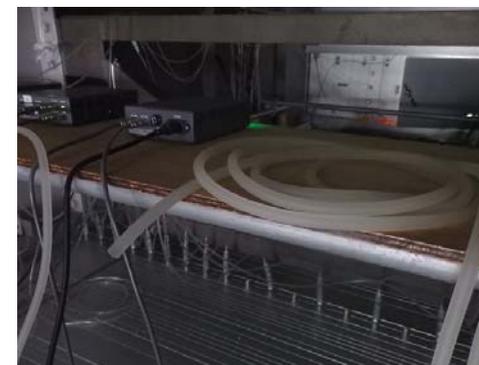
バッテリー×3  
容量1002Wh  
約1日計測可能



A/Dコンバータ  
100Hzで計測可能



校正チューブ×60ch  
長さ毎の伝達関数を設定



静圧用チューブ  
桁内の静圧を計測





# 多点同時圧力計測システム構成



計測孔  
直径15mm



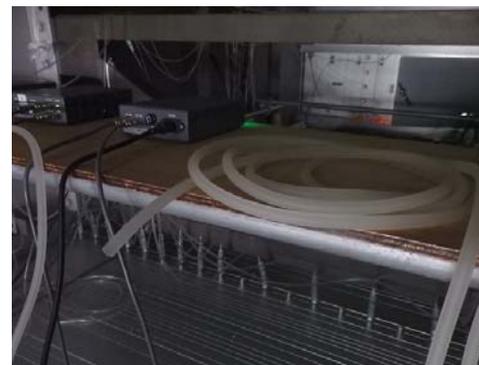
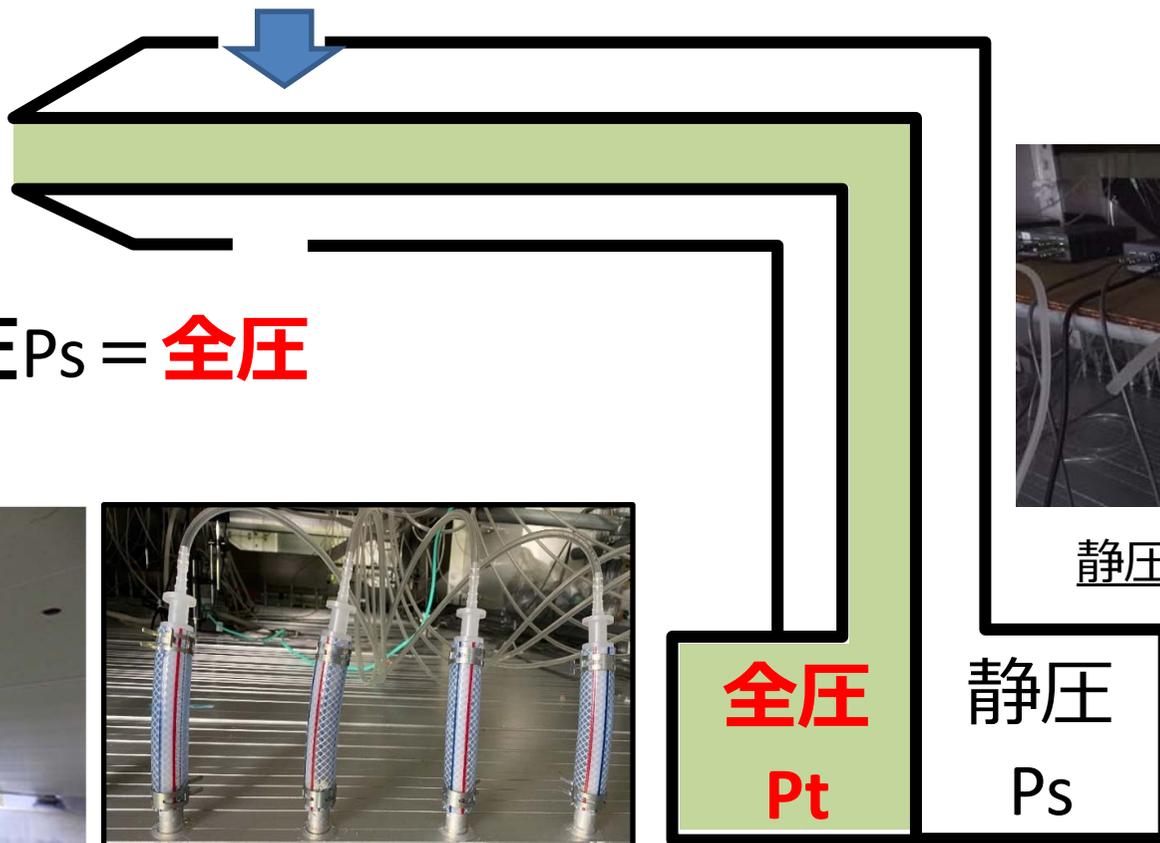
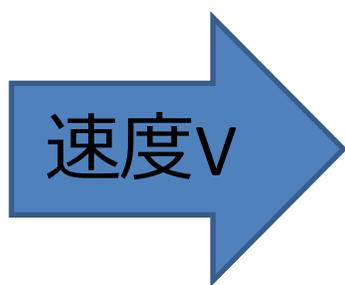
計測孔とセンサを校正チューブで接続  
各センサユニットを静圧測定チューブで接続





# 風圧計測メカニズム：差圧法

ピトー管 静圧Ps

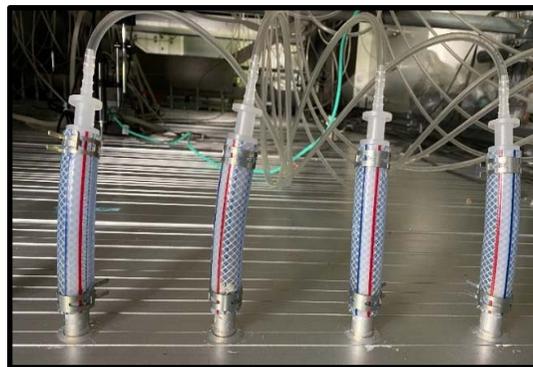


静圧測定チューブ

**動圧** Pd + **静圧** Ps = **全圧**



計測孔φ15mm



校正チューブ





# 風圧計測メカニズム：差圧法



$$\text{風圧} = \text{全圧} - \text{静圧}$$





# 台風環境下における 多機能防食デッキの風圧計測結果

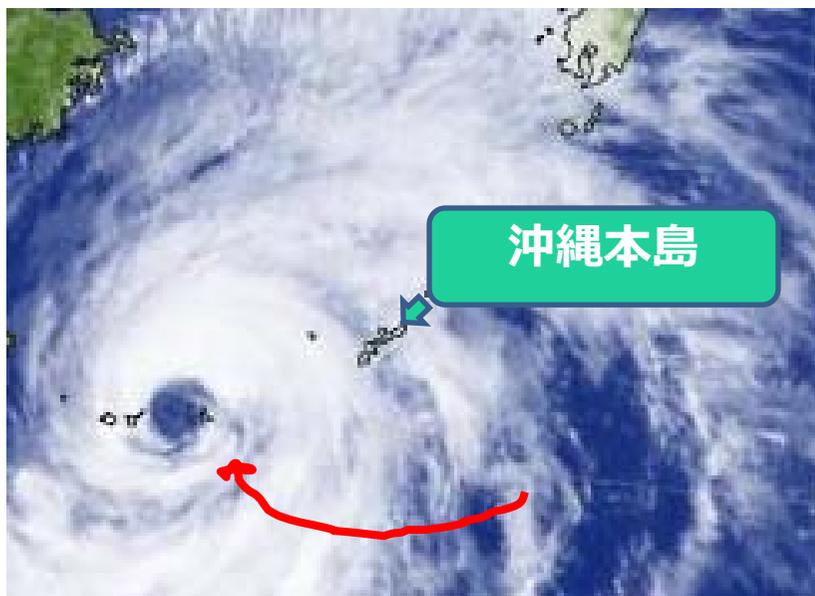




# 2021年台風6号の概況と風況状況

the Ryukyus University of the Ryukyus

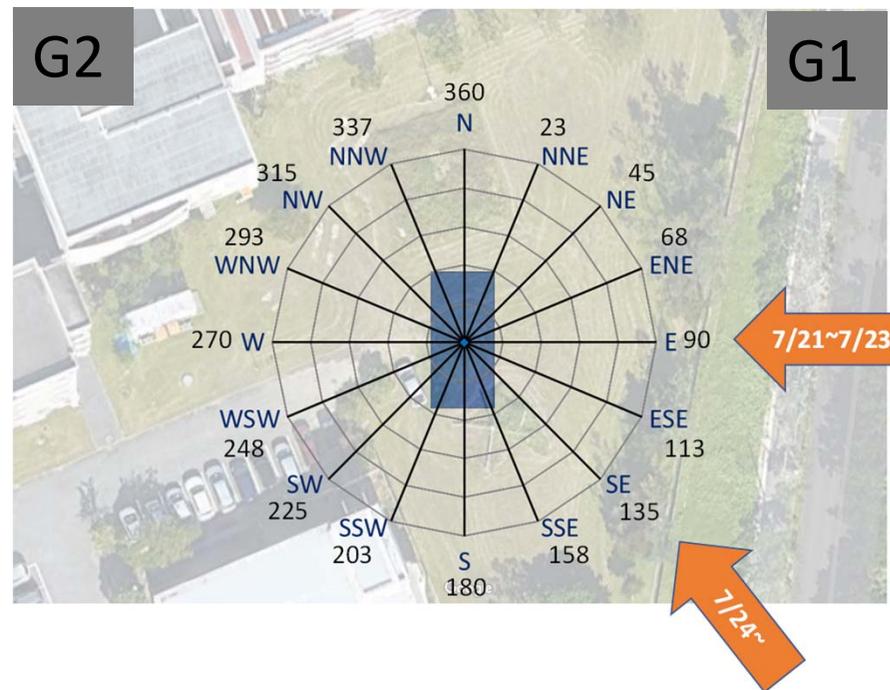
## 台風6号概況



台風6号接近時(7/23 15:00)の気象衛星画像

- ・沖縄接近期間：2021年7月21日～7月24日
- ・最大風速：18.7 m/s (那覇)
- ・最大瞬間風速：28.5 m/s (那覇)
- ・中心の最低気圧：955 hPa
- ・暴風域の範囲：半径185 Km以内

## 琉大暴露場での風況状況



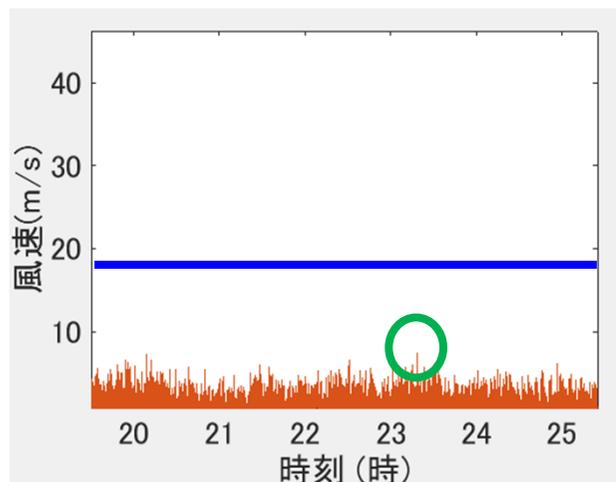
- ・接近当初は東からの風が吹き、台風北上に伴い、南東からの風に遷移した。





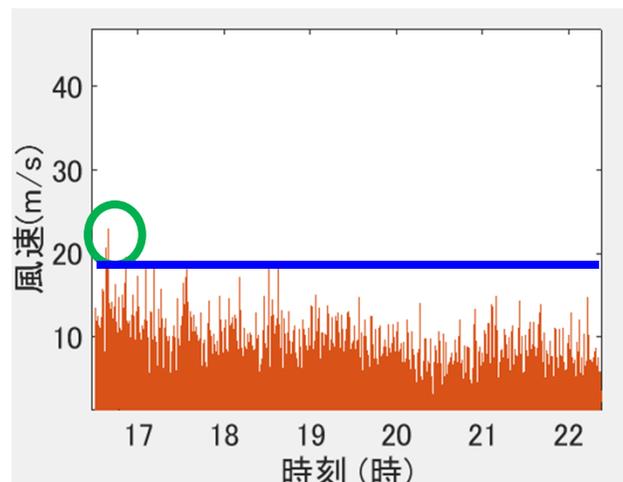
## 特徴①：突風の頻度・大きさが大きい

常時(8月21日23:20頃)



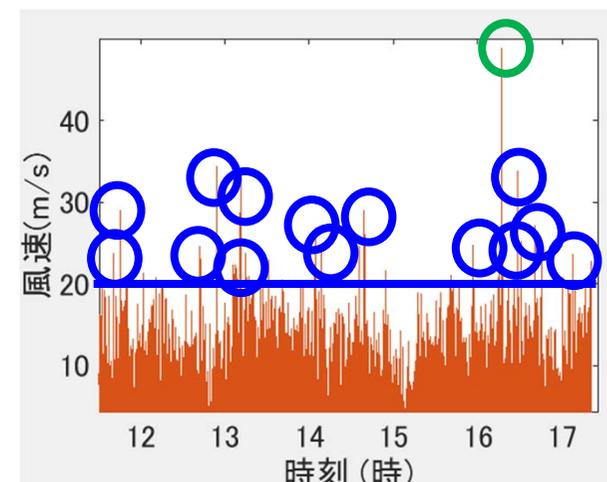
突風 7.38m/s

強風時(7月24日17:30頃)



突風 23m/s

台風時(7月23日13:04頃)



突風 48.79m/s

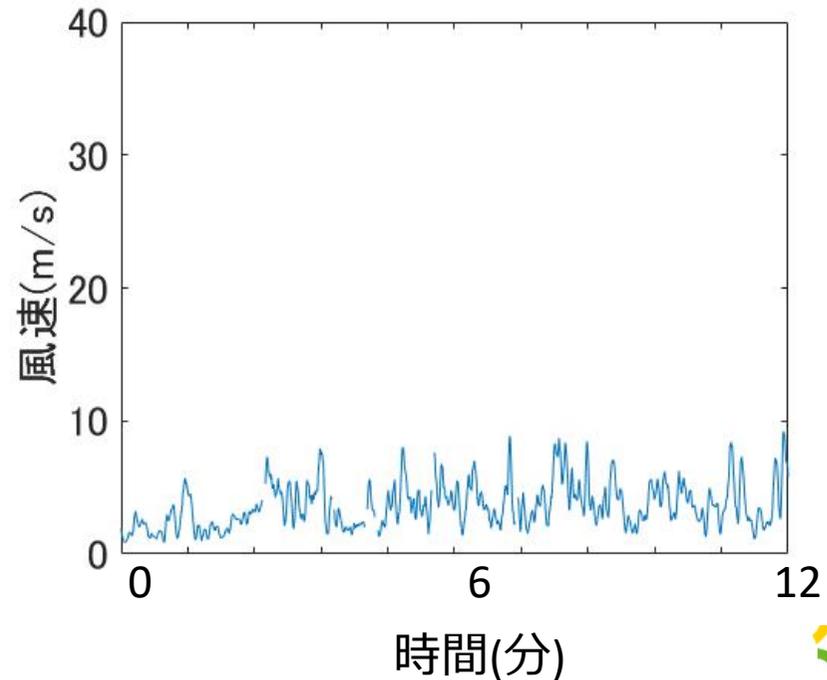
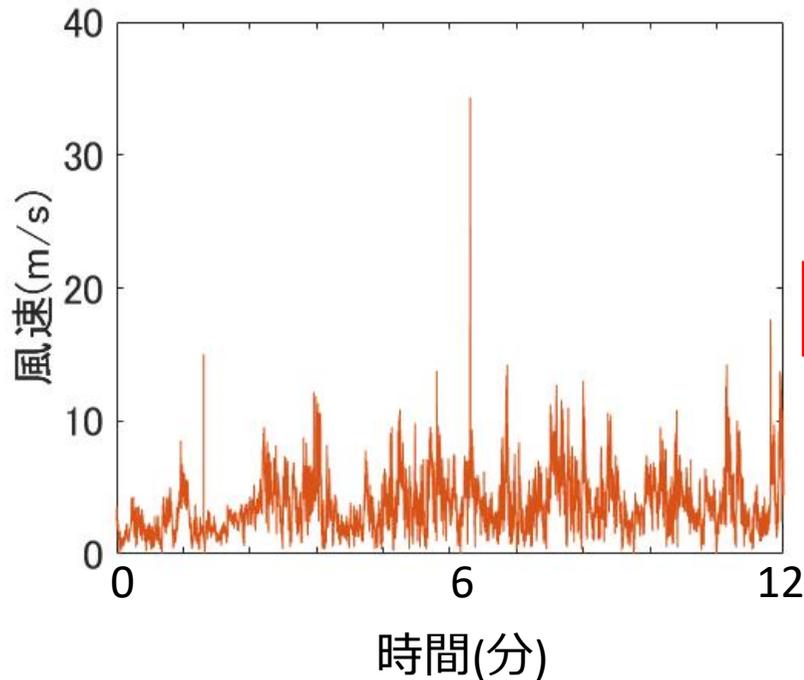
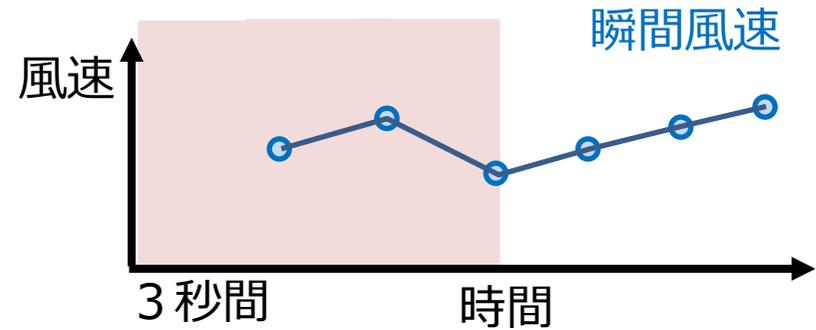
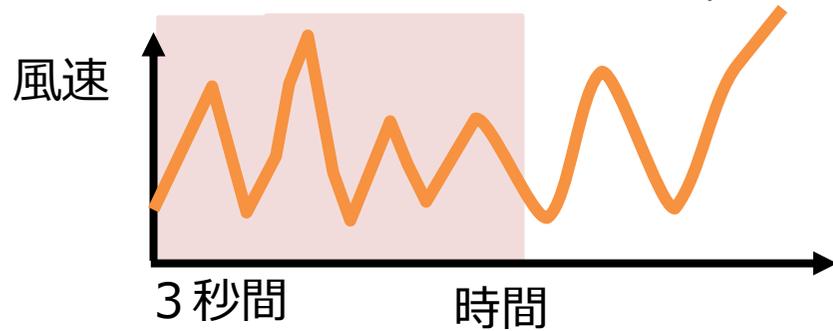
- ・ 瞬間的な突風は40m/sを超えるような、強い風が発生する。
- ・ 台風時には瞬間的に20m/s以上の大きな突風が多く発生する。





## 瞬間風速：風速計の測定値を3秒間で平均した値

風は常に一定の強さで吹いているわけではないため、3秒間の風速の変化を平均化して比較する：気象庁，世界気象機関





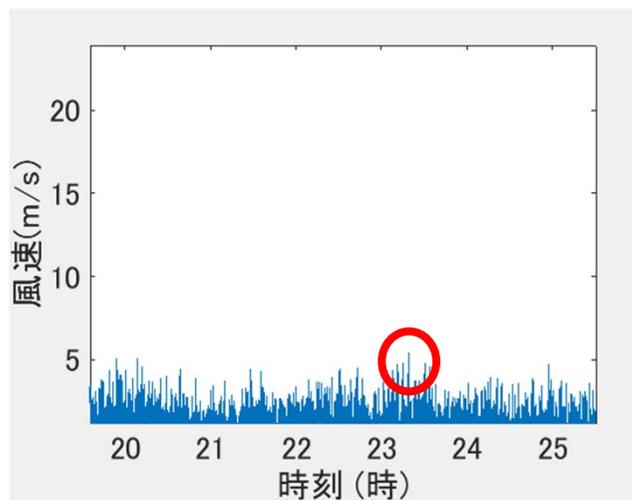
## 特徴②：平均的に強い風が発生している。

瞬間風速（定義（気象庁）3秒間の平均風速）

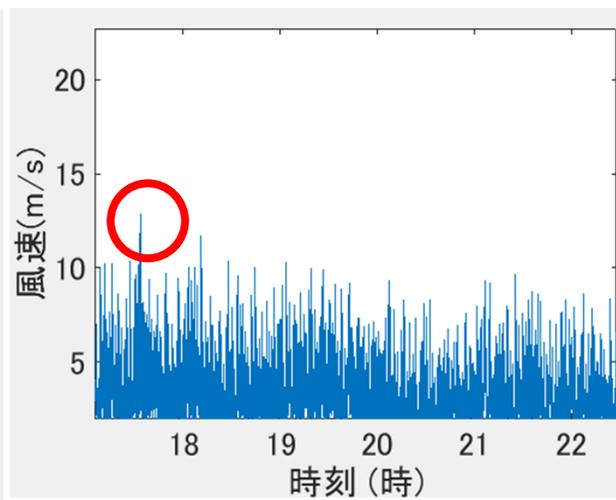
常時(8月21日23:20頃)

強風時(7月24日17:30頃)

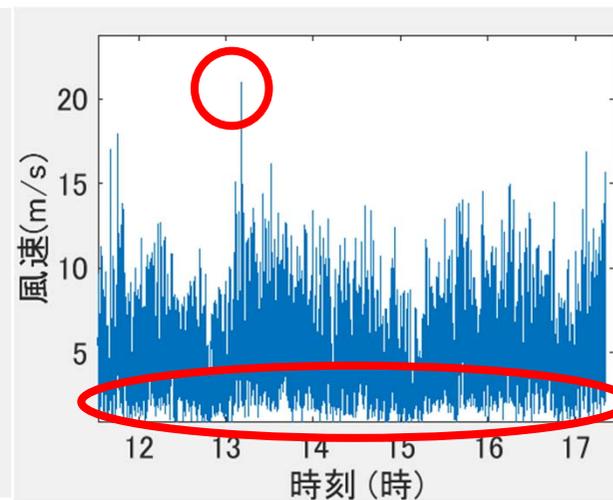
台風時(7月23日13:04頃)



瞬間風速5.41m/s



瞬間風速12.67m/s



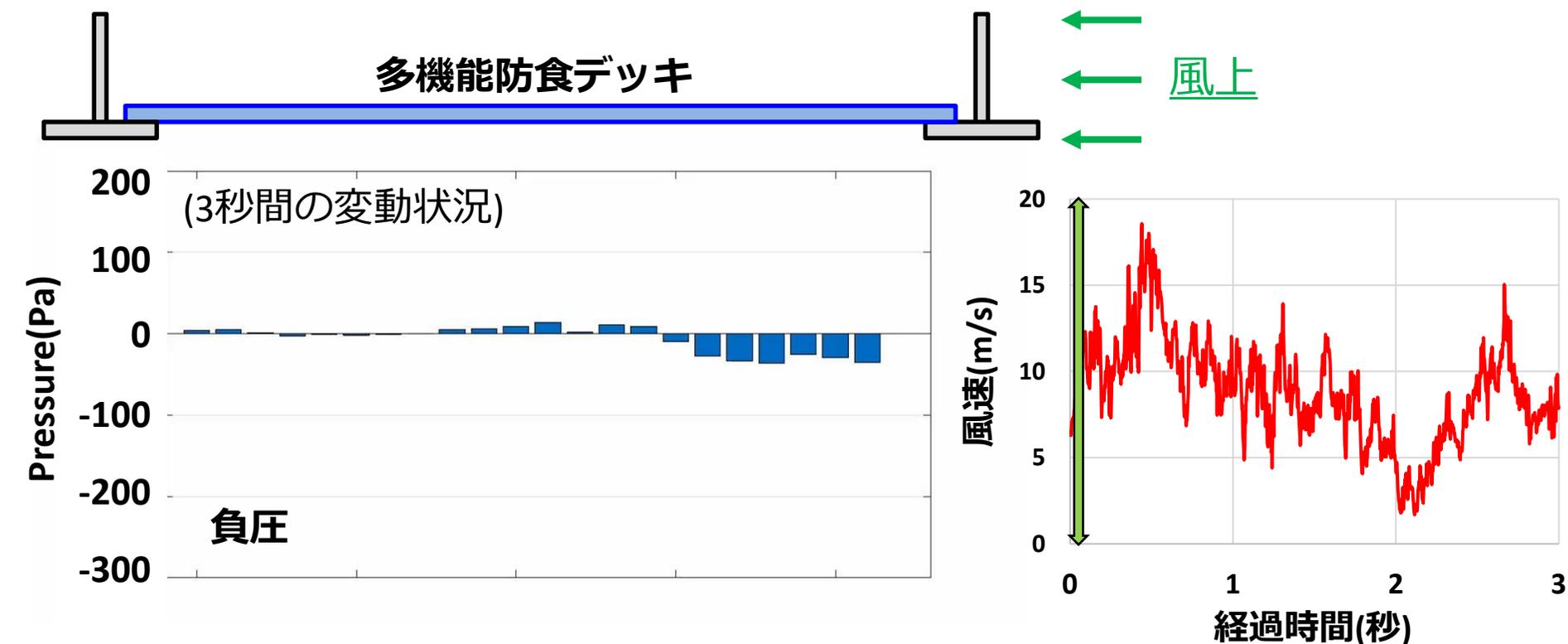
瞬間風速20.97m/s

- ・ 台風時の瞬間最大風速は、他と比べて増加する割合が高い。





# 多機能防食デッキに作用する風圧の状況



## デッキ下面の負圧の発生状況

- デッキ下面の風圧は増減を繰り返す.
- デッキ下面風上側の桁端部付近で負圧が発生し、減少しながら風下側に移動する.

**→ウェブ側面とデッキ面の風圧との関係に着目**





# 多機能防食デッキの設計風圧分布

the Ryukyus University of the Ryukyus

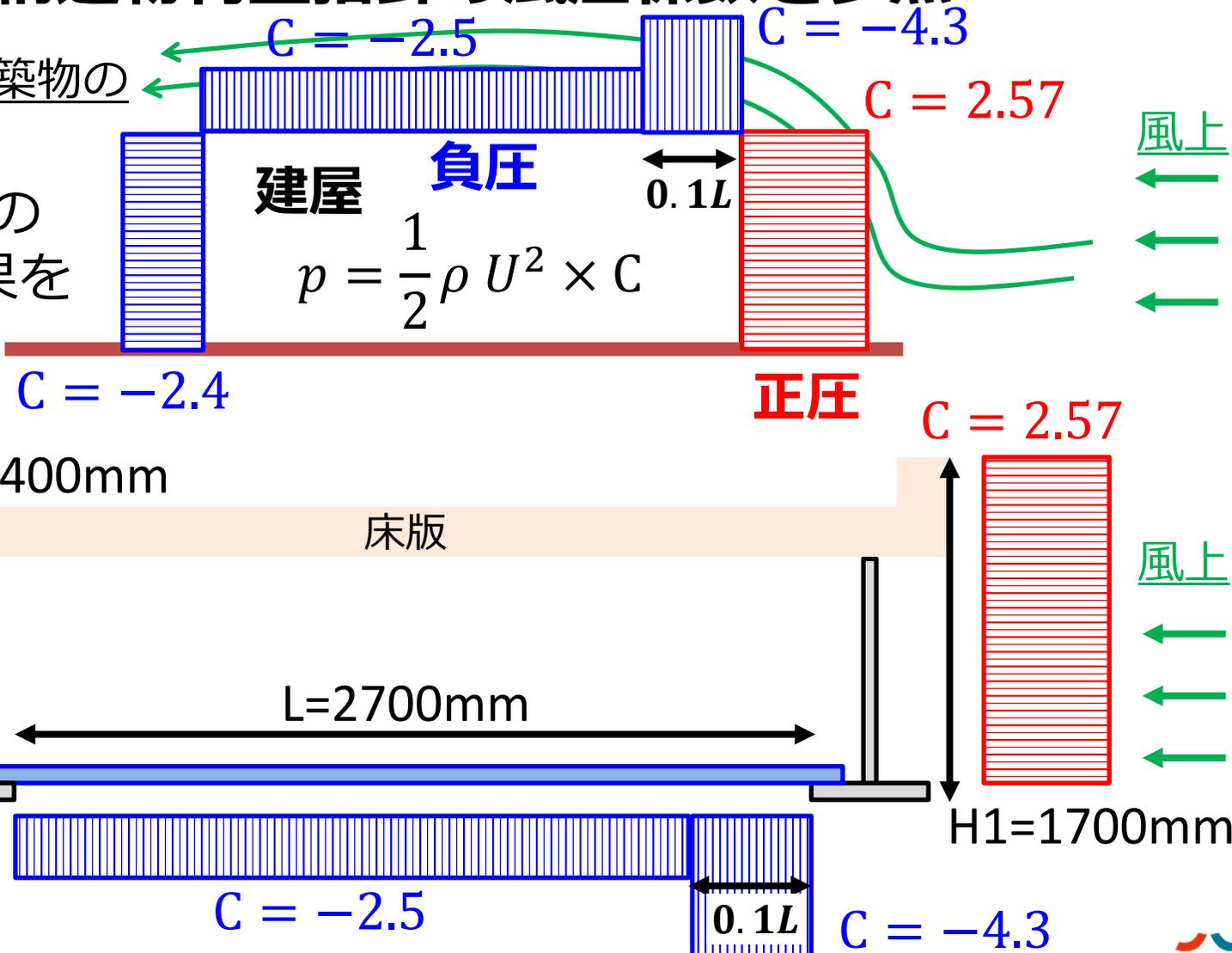
## 設計：建築構造物荷重指針の風圧係数を参照

陸屋根をもつ建築物の  
ピーク外圧係数

1/100サイズの  
風洞試験結果を  
基に算出

建屋 負圧

$$p = \frac{1}{2} \rho U^2 \times C$$

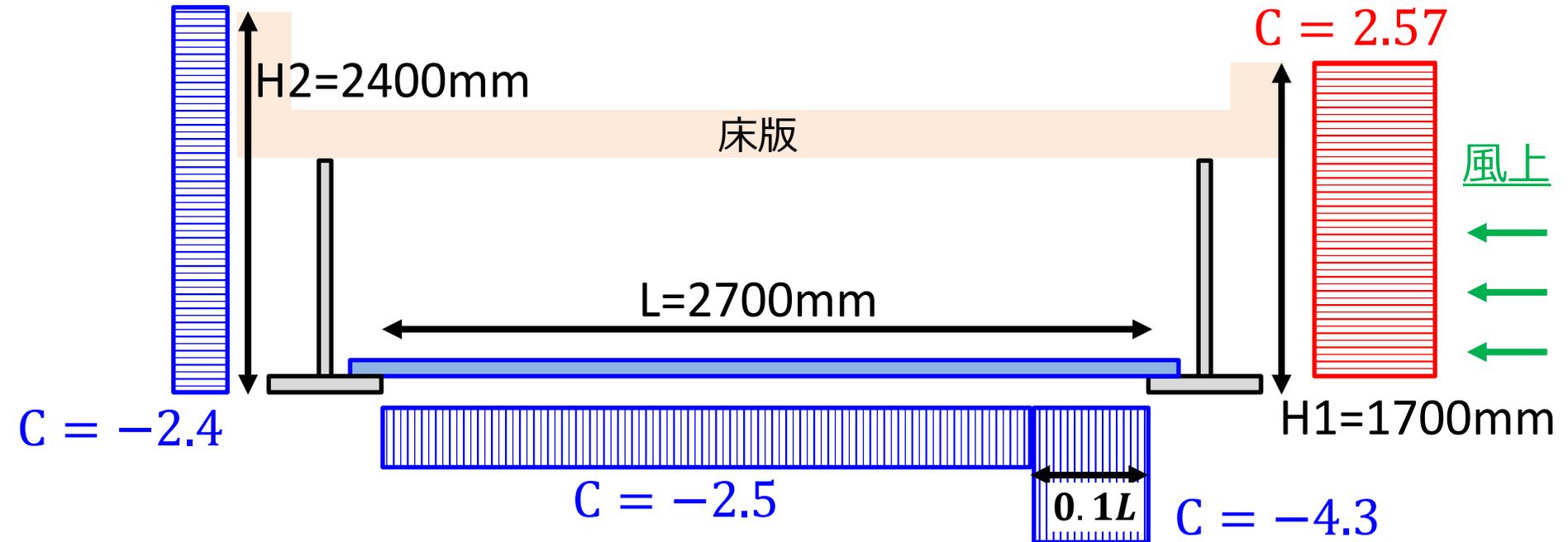


計測結果もこの風力係数を用いて評価





# 多機能防食デッキの設計風圧分布



$L$ :総高 $H$ の2倍, もしくは全幅 $B$ の小さい値

ウェブ面の正圧から瞬間の風速を推定

風圧算出式

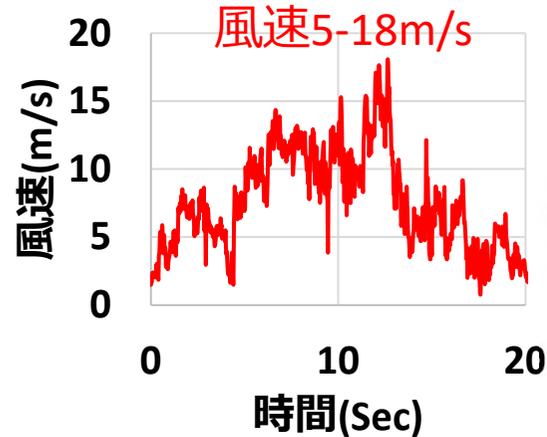
$$p = \frac{1}{2} \rho U^2 \times C \quad \Rightarrow \quad \text{推定風速} \quad U_e = \sqrt{\frac{2P}{\rho C}}$$

$\Rightarrow$  デッキ下面の推定風圧  $P = \frac{1}{2} \rho U_e^2 C$  と実計測値の比較

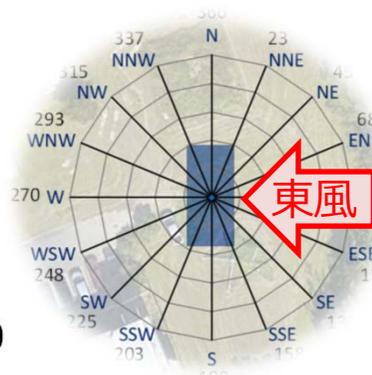


# 設計風圧分布と計測風圧分布の比較

## 風環境：台風時①



正圧平均ピーク118Pa



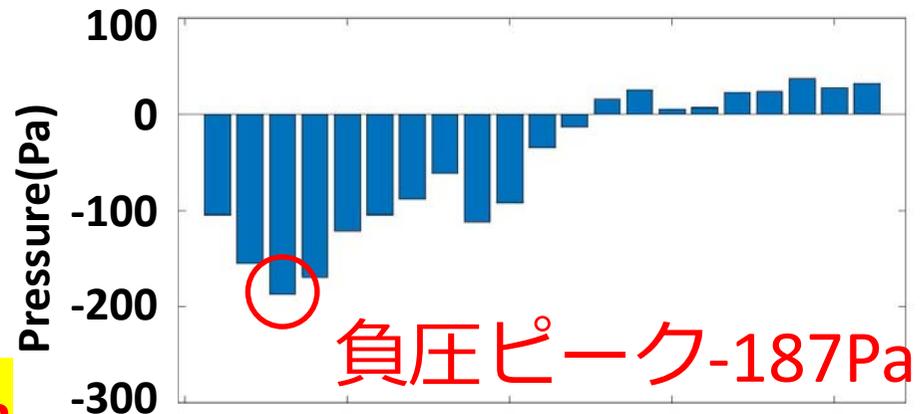
負圧最大時前0.5秒間のウェブ正圧最大値

$$P=118\text{Pa}$$

推定風速  $U_e=8.64\text{m/s}$

デッキ下面負圧推定値

$$P = \frac{1}{2} \times 1.23 \times 8.64^2 \times (-4.3) = -197\text{Pa}$$



側面の正圧から求めた負圧の値とおおむね等しい



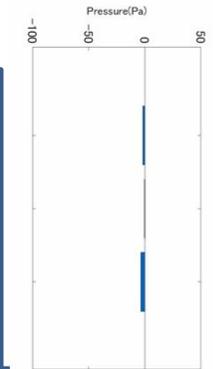
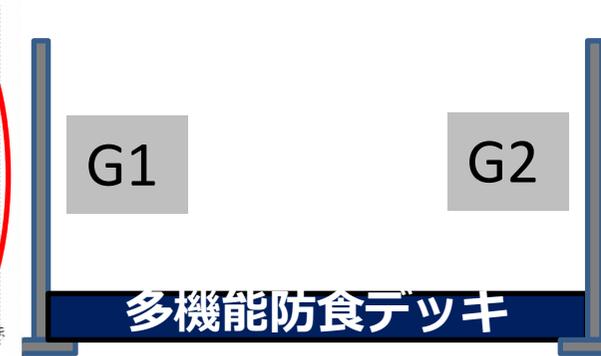
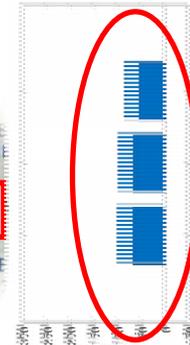
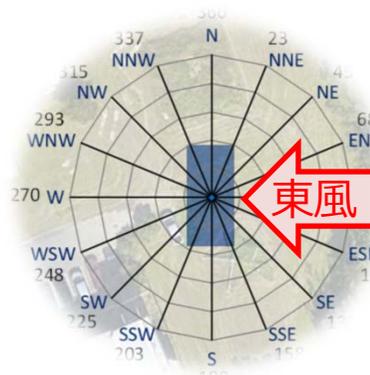
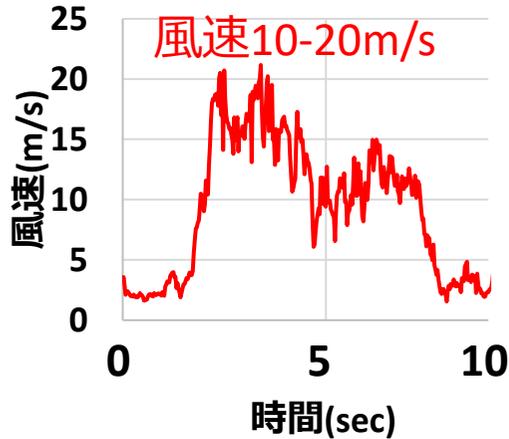


# 設計風圧分布と計測風圧分布の比較

the Ryukyus University of the Ryukyus

## 風環境：台風時②

正圧平均ピーク99Pa



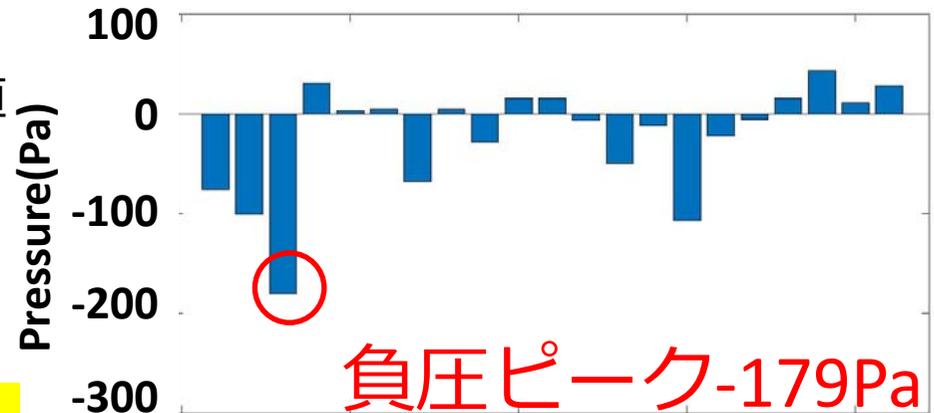
負圧最大時前0.5秒間のウェブ正圧最大値

$$P=99\text{Pa}$$

推定風速  $U_e=7.91\text{m/s}$

デッキ下面負圧推定値

$$P = \frac{1}{2} \times 1.23 \times 8.89^2 \times (-4.3) = -166\text{Pa}$$



### 側面の正圧から求めた負圧の値とおおむね等しい

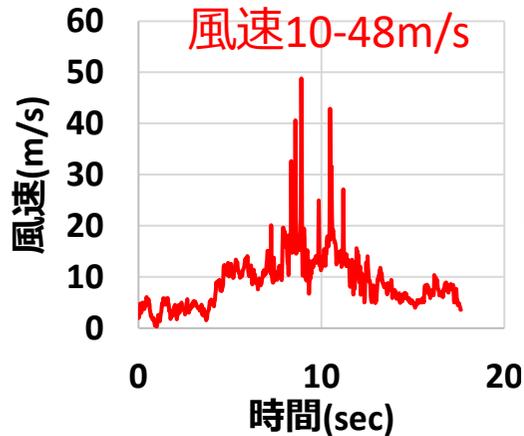




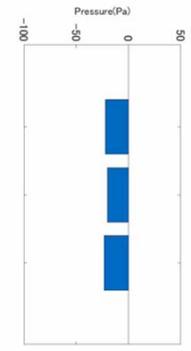
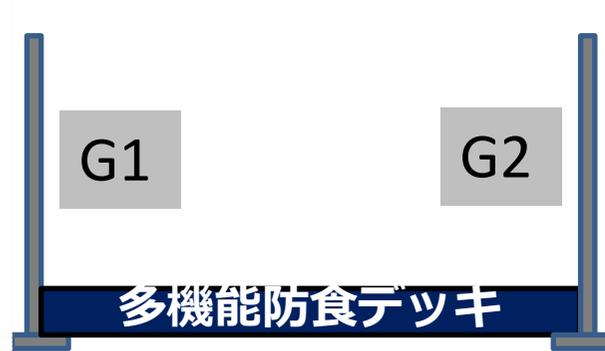
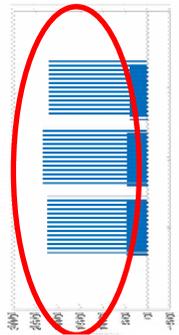
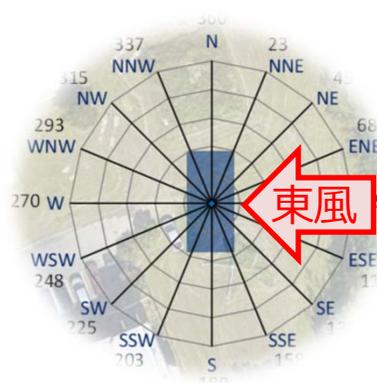
# 設計風圧分布と計測風圧分布の比較

the Ryukyus University of the Ryukyus

## 風環境：台風時③



正圧平均ピーク212Pa

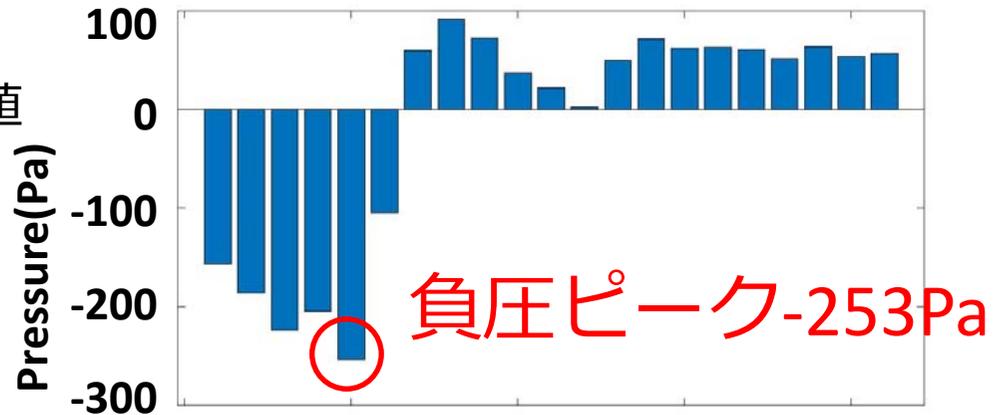


負圧最大時前0.5秒間のウェブ正圧最大値

$$P=212\text{Pa}$$

推定風速  $U_e=11.58\text{m/s}$

デッキ下面負圧推定値



$$P = \frac{1}{2} \times 1.23 \times 11.58^2 \times (-4.3) = -355\text{Pa}$$

デッキ下面の負圧の大きさに及ぼす突風などの瞬間的なピーク値による影響はそれほど大きくない

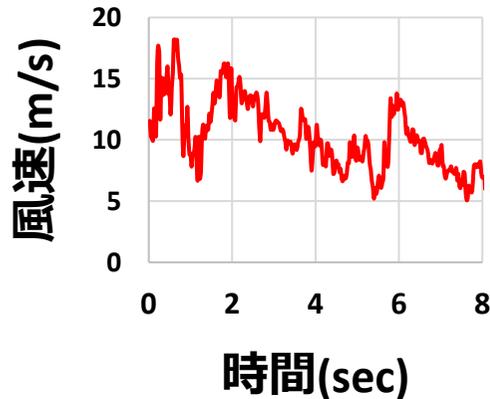




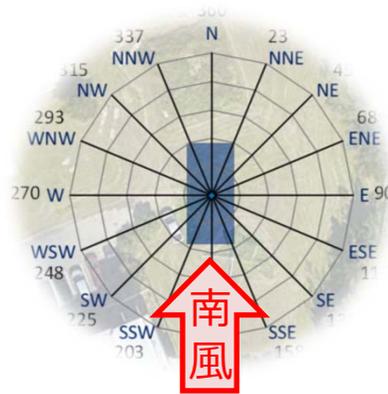
# 設計風圧分布と計測風圧分布の比較

## 風環境：台風時⑤

風速5-20m/s



正圧平均ピーク15Pa



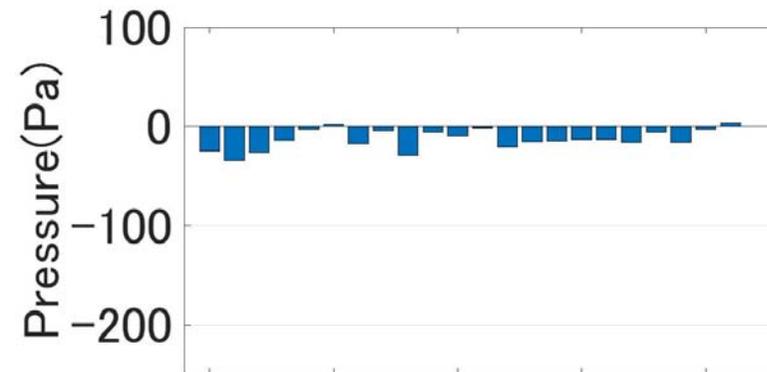
負圧最大時前0.5秒間のウェブ正圧最大値

$$P=15\text{Pa}$$

推定風速  $U_e=3.08\text{m/s}$

デッキ下面負圧推定値

$$P = \frac{1}{2} \times 1.23 \times 2.51^2 \times (-4.3) = -25\text{Pa}$$



10m/s程度の風を計測しているが側圧、負圧共に小さい  
 →南風ではデッキに直角に作用せず負圧ほとんど発生しない





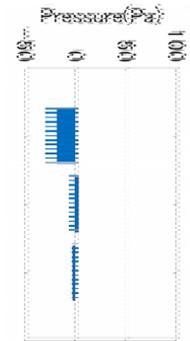
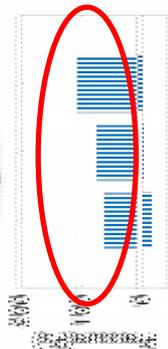
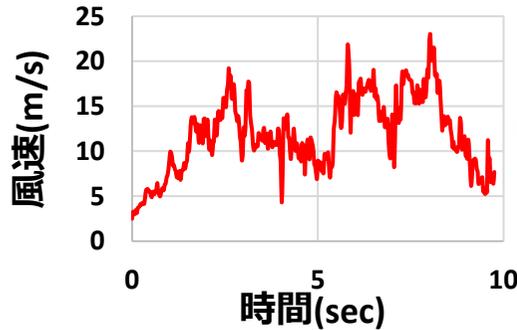
# 設計風圧分布と計測風圧分布の比較

the Ryukyus University of the Ryukyus

## 風環境：台風時④

風速10-25m/s

正圧平均ピーク73Pa

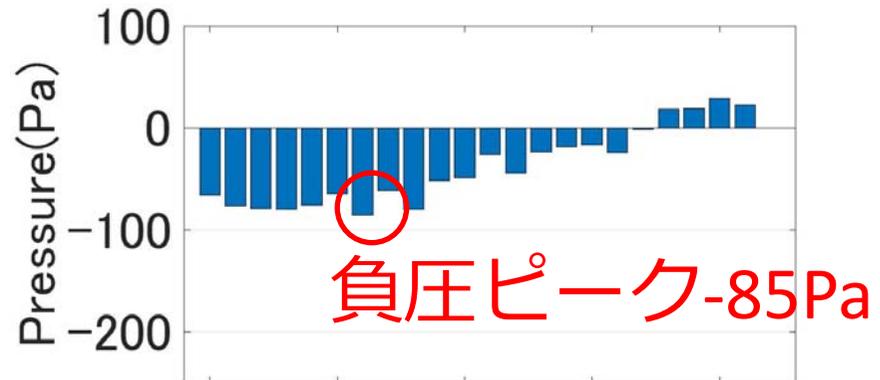


負圧最大時前0.5秒間のウェブ正圧最大値

$$P=73\text{Pa}$$

推定風速  $U_e=6.80\text{m/s}$

デッキ下面負圧推定値



$$P = \frac{1}{2} \times 1.23 \times 6.80^2 \times (-4.3) = -122\text{Pa}$$

正圧から求めた負圧の値より小さい

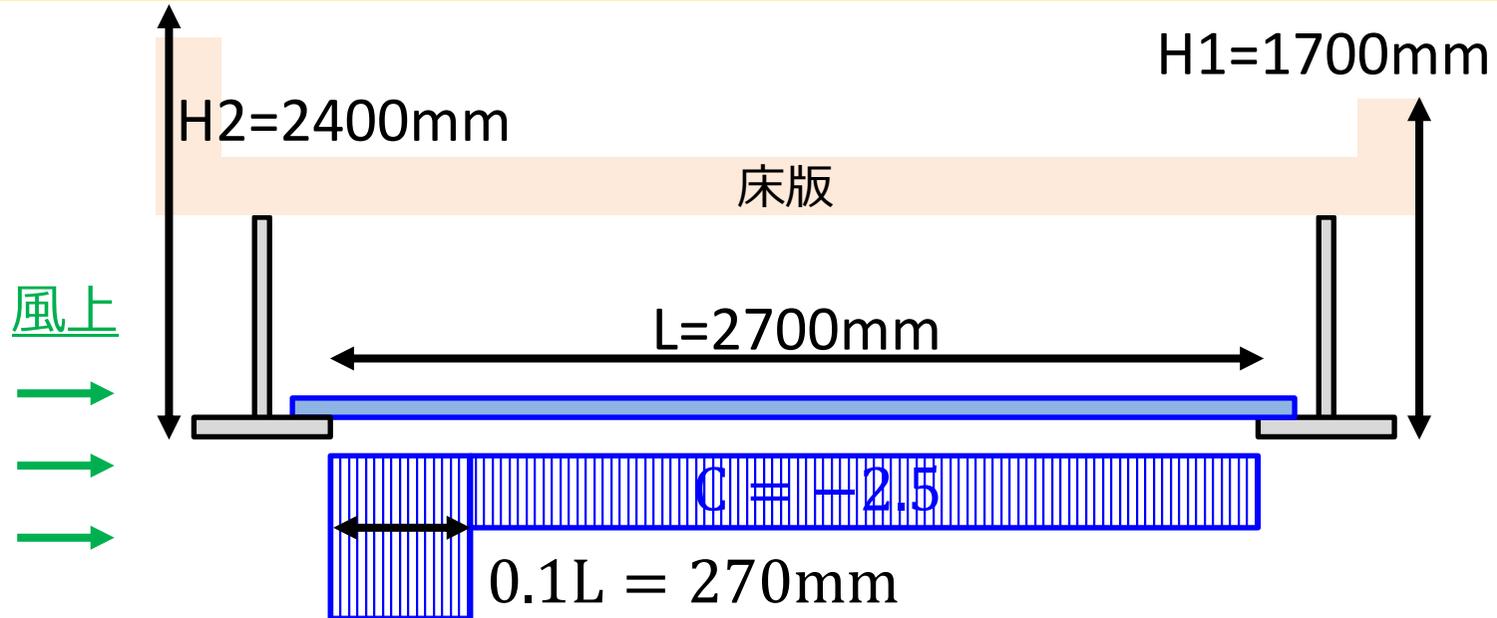
→南東風ではデッキに直角に作用せず負圧が発生しにくい





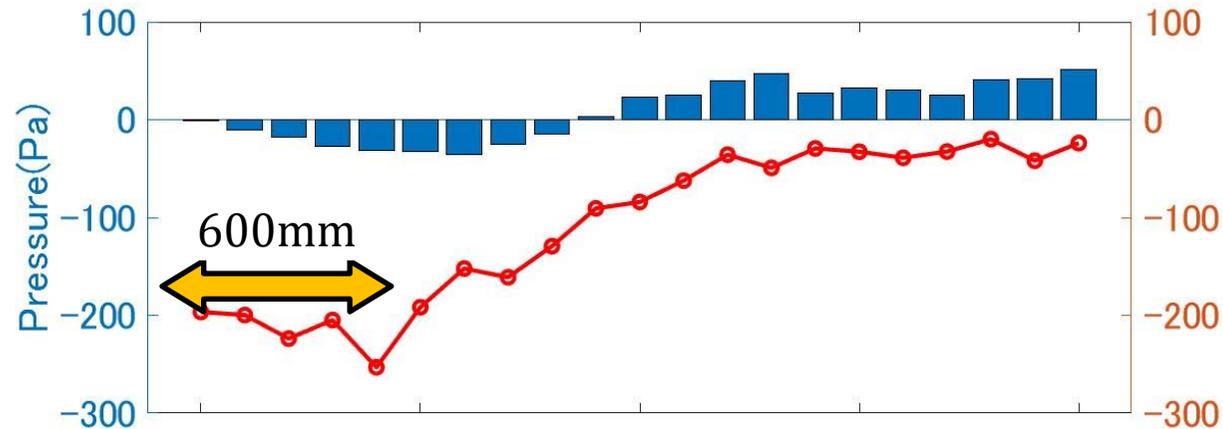
# 設計風圧分布と計測風圧分布の比較：分布形状の比較

the Ryukyus University of the Ryukyus



$C = -4.3$

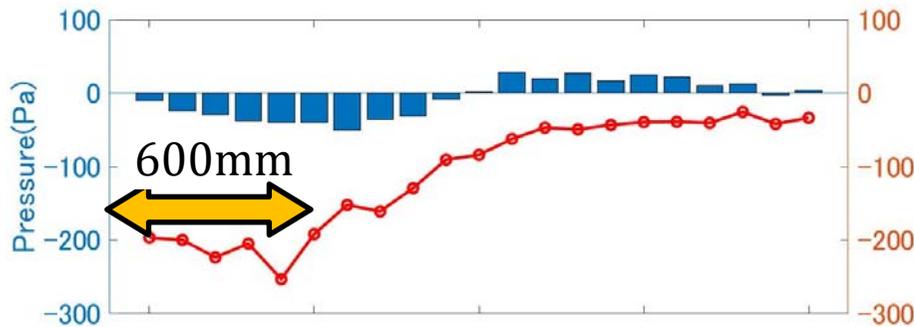
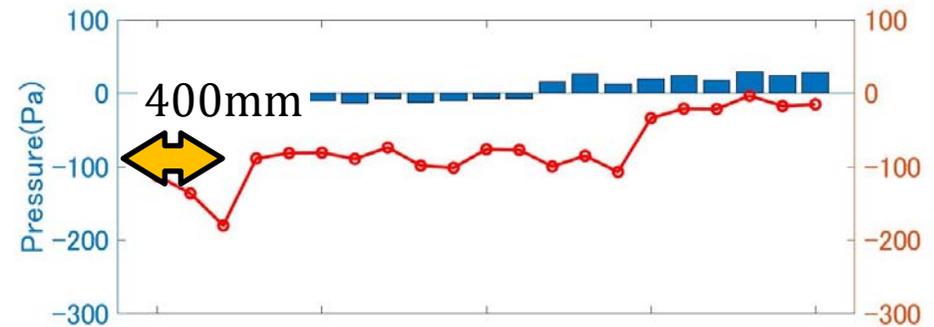
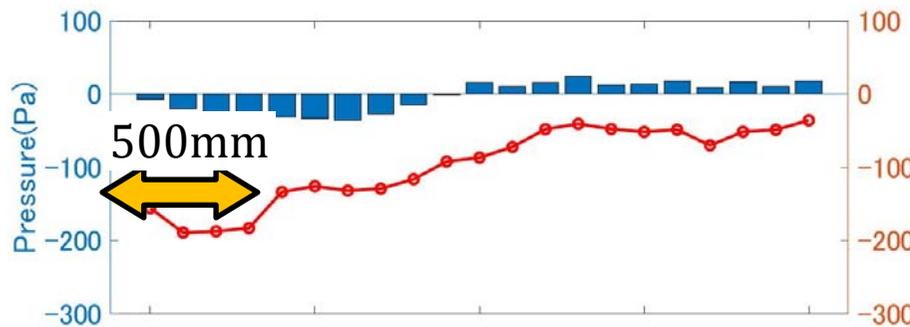
L:総高Hの2倍, もしくは全幅Bの小さい値





# 設計風圧分布と計測風圧分布の比較：分布形状の比較

the Ryukyus University of the Ryukyus



## 設計：風洞試験ベース

## 実環境での計測結果の蓄積と分析が必要





## まとめ

- 台風時の風は、突風の頻度とその大きさが大きい。また、瞬間最大風速（3秒間の平均風速）が、急激に増加する。
- デッキ下面風上側桁端部付近に負圧が発生し、減少しながら風下側に移動する。
- デッキ下面で生じる負圧のピーク値は、風上側ウェブ側面の正圧の大きさに比例する。ただし、瞬間的に計測される風速と風力係数を用いて算出される負圧値より小さい傾向がある。
- デッキ下面に生じる負圧が卓越する範囲は、設計で想定する範囲よりも大きくなる可能性が示唆された。
  
- 今後もモニタリング計測を継続し、大型台風接近・上陸時のデータの収集・分析を行い、耐風安定性の評価を行う必要がある。





ご清聴ありがとうございました

