

ソーラー遊漁船における太陽電池モジュール屋根の強風対策

三原伊文* 角田哲也* 横島昭典* 藤谷親** 藤繁裕章*** 井上昇機**** 大石興基*****

Measures against a Strong Wind of the Solar Cell Module Roof in a Solar Fishing Boat

Yoshinori MIHARA, Tetsuya SUMIDA, Akinori YOKOBATAKE, Chikashi FUJITANI, Hiroaki FUJISHIGE, Shouki INOUE and Koki OOISHI

Abstract

By the strong wind in March, 1 set (two sheets) of module used as hull roof of the experimental solar fishing boat moored to the pontoon was blown away. Then, in order to investigate the hydrodynamic property of a hull roof, we manufactured model roofs, conducted a wind tunnel experiment and a flow visualization experiment, and examined some various effective measures. Furthermore, based on the result, a repair work is given to the roof of the boat and it is under observation now.

Key words: Solar fishing boat, Hull roof, Hydrodynamic property, Model test

1. まえがき

筆者らはソーラー遊漁船の製品化に取り組んでいく^{1)~4)}。図1に示すソーラー遊漁船“大空 2001” (“大空”と略す)の船体はアルミニウム合金(アルミと略す)製で、屋根は同材料のフレームに、アクリル板で上下より挟んだモジュールを取り付けた構造である。

2002年3月、本校練習船“大島丸”ポンツーンに係留していた“大空”のモジュール1組(2枚)が、折からの強風で図2のように吹き飛ばされた。



図1 ソーラー遊漁船“大空 2001”

そこで、船体屋根の流体力学的特性を調べるために、模型屋根を製作し、風洞実験と可視化実験を行ない、有効な方策を種々検討した。更に、その結果を踏まえて、“大空”の屋根に改修工事を施し、現在観察中である。



図2 穴の開いたモジュール屋根

2. 模型屋根の設計と製作

屋根改修後のモジュールは、昭和シェル FT136-Eを使用することにした為、その寸法を参考にする。

図3に実物と模型の比較寸法を記す。

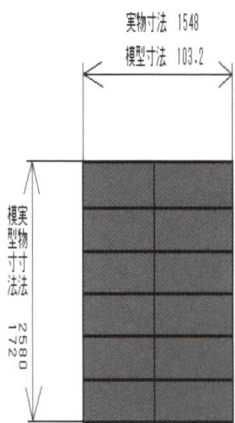


図3 実物と模型の寸法 (mm)

なお、これまでの“大空”の実験結果から、モジュール数を減らしても、通常の形態の運航には十分耐えるため、それまでの16枚から12枚にしている。

模型の寸法、縦172mm、横103mm、厚さ2mmは、風洞による実験時に模型と流路間の隙間の影響を排除するために考慮されねばならない閉塞比を約4%以下に抑えるべく図4中の式より算出した⁵⁾。

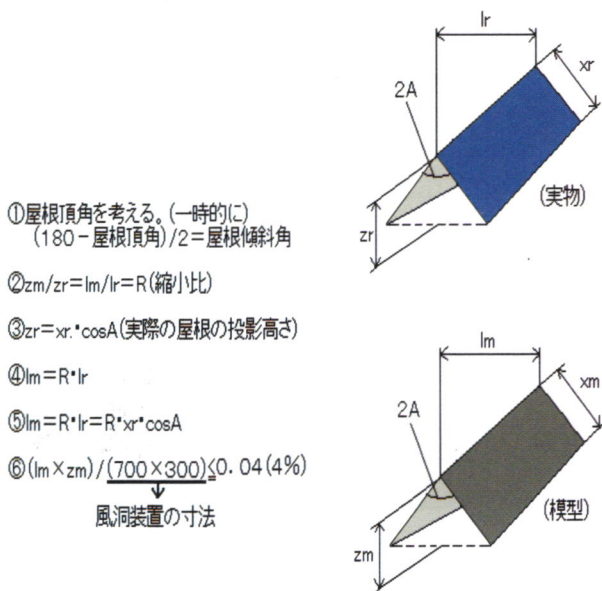


図4 模型寸法の決定

模型の支柱と土台は流体の流れを効率よくするために木を流線型にしたり、薄いアルミ板を利用するなど、完成に到るまで数々の試作模型を製作した。

図5、図6は完成模型である。柱はステンレス製の薄い板で製作し、屋根頂角のフレームは細くて硬

質のアルミ溶接棒を用い、屋根の投影面積が広くなるようにしている。

この模型屋根は図のように、船体傾斜を0°、15°、30°、45°に調節できる。同様に、屋根の頂角も変えることができる。

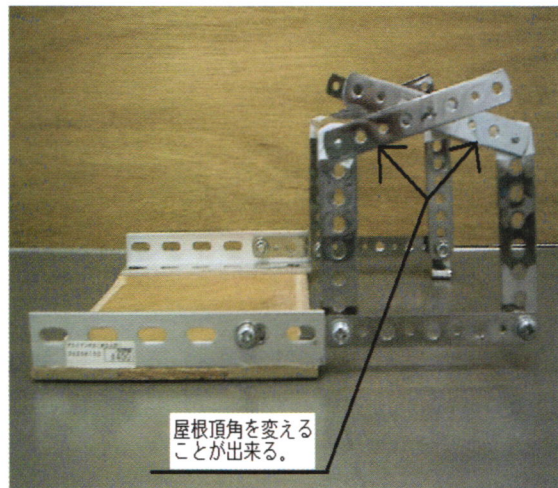


図5 船体傾斜0°及び屋根頂角
但し、(180 - 屋根頂角) / 2 = 屋根傾斜角

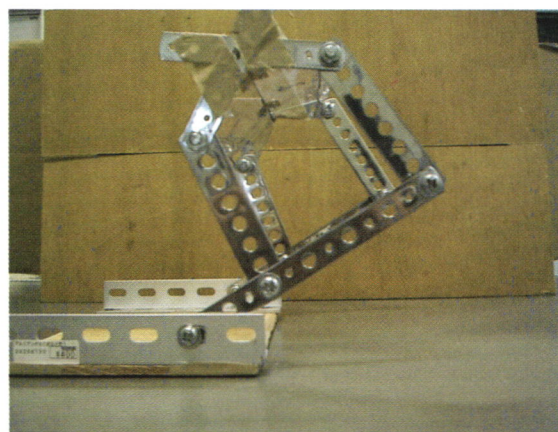
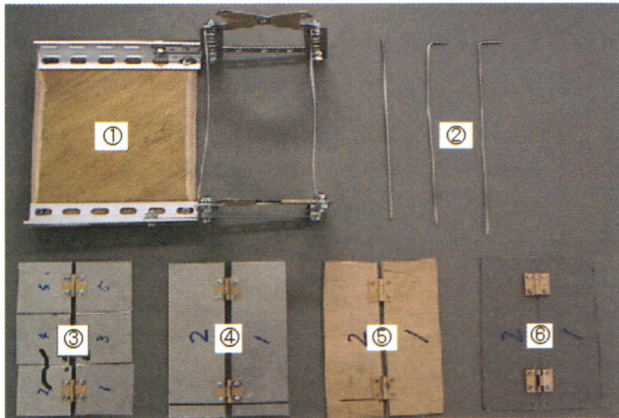


図6 船体傾斜30度

このフレームが完成した後に、図7に示す4種の屋根を製作した。手に入りやすく加工が容易なベニヤ板製、表面が滑らかでベニヤに比べて正確な計測結果が見込める塩ビ板製、放熱効果が大きく実物で使用予定のアルミ板製、それに、実物で使用時に、開いた際の振りを緩和する為に片側を3分割したアルミ製である。

いずれの屋根も安全弁のように、強い風を受けると開き、風がそこから通り抜ける構造である。



①フレーム ②屋根頂角の軸 ③アルミ片側3分割板屋根 ④アルミ板屋根 ⑤ベニヤ板屋根 ⑥塩ビ板屋根

図7 フレーム及び各種屋根

3. 風洞実験

3.1 基礎実験

風洞実験装置の概要を以下に記す。

- ・測定部の寸法：幅750、高さ300、長さ2100mm
- ・モーター：安川電機（株）製、可変速モータ、交流200V 3極、7.5kW
- ・送風機：極東電機（株）製、風量130m³/min、静風圧40mmHg、回転数850rpm

この装置を使って、強い風を受けると屋根が開き、風を逃すことでモジュールを保護する事が出来るか、種々の実験を行なった。

図8は風洞の中に入れた実験装置で右方向より、最大19.7m/sの風が吹いて来る。図9は、ベニヤ板製の屋根の上流側の屋根が開いた瞬間を示す。

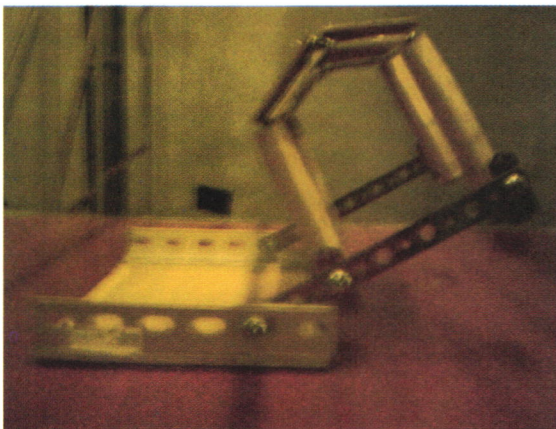


図8 屋根が開く前

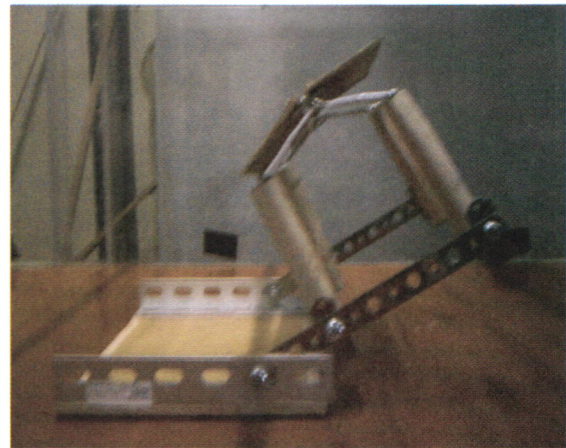


図9 屋根が開いた瞬間

屋根の頂角は170°（屋根の傾斜角5°に相当し、この値が小さいほど屋根の傾斜は大きくなる）、160°（＝大空”の頂角）、140°と変化させる一方、船体傾斜角も0度、15度、30度、45度という具合に変化させ、屋根が開いた瞬間の風速を計測した。その結果を図10～図11のグラフに示す。

各種屋根の開きを頂角160度で比較すると、上流側の屋根は、図10の*点で示すように、船体傾斜0°の場合、上面の圧力が大きく、風速19.7m/sに達してもどの屋根も開かない。15°以上になると下面に風圧を受けて、塩ビ、ベニヤ、アルミ3分割、アルミ1枚の順で開く。質量の軽い塩ビ板とベニヤ板が先に開く。塩ビ板、ベニヤ板共、重量は20gで等しいが、表面の粗度の違いで塩ビが早く開くと思われる。

アルミ片側1枚板とアルミ片側3分割板の比較をすると、ここでも重量の関係で、3分割した屋根の方が開きやすい。

一方、図11に示す下流側は船体傾斜0°で、塩ビ、ベニヤ、アルミ枚、アルミ片側3分割の順で開く。アルミ片側1枚板とその片側3分割した板とでは、1個当りの重量の重い方が先に開き、上流側と逆順になっている。片側3分割した屋根の下流側は上面、下面共、流れが複雑なためと思われる。

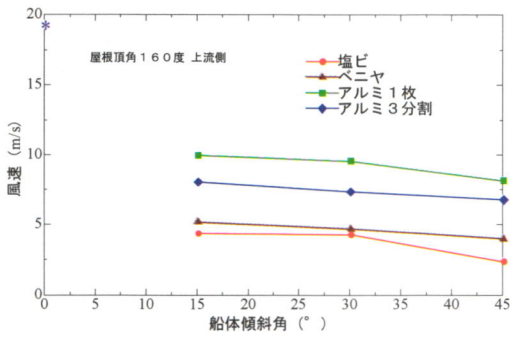


図10 基礎実験結果 (上流側)

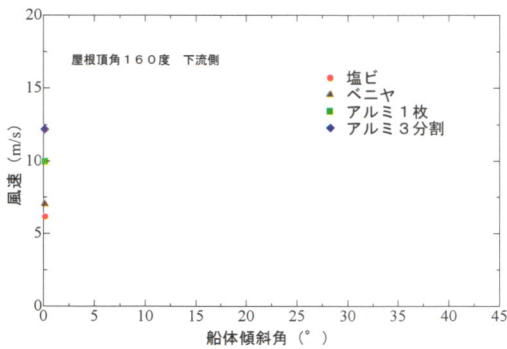


図11 基礎実験結果 (下流側)

3.2 屋根の頂角隙間の影響

基礎風洞実験の結果、模型屋根が風の影響を受けて、ある力が働けば安全弁のように開くことがわかった。これは、開いた時の風速が小さいほど屋根は吹き飛びやすい状態にあり、逆に大きいほど吹き飛びにくい状態であることを意味するので、実験で風の影響を調べるのに好都合である。

このことより、屋根の頂角に隙間を設け、アルミ製の片側1枚屋根と片側3分割屋根について、隙間がある場合とない場合の屋根の開き方を検討した。

その結果を、上流側屋根については図12に、下流側屋根については図13に示す。

上流側屋根については、

- ① 前節の基礎実験の結果同様、船体傾斜角0°では、頂角が170°、160°、140°いずれの場合も、屋根上面の圧力が下面の圧力より大きく、決して開くことはない。
- ② 船体傾斜角が15°になると、3つの頂角すべてで屋根が開く。頂角170°では片側3分割や隙

間の影響はあまり顕著ではないが、頂角160°の時、隙間の効果は明白で屋根は開きにくくなる。また、3分割して重量の軽くなったものは開きやすくなっている。頂角140°の場合は、1枚屋根については隙間の効果はより顕著であるが、3分割屋根の場合は殆ど差がない。頂角隙間は上流側屋根下面の圧力を弱める働きをしていると考えられる。

- ③ 船体傾斜角30°以上では3分割の効果も、隙間の効果もあまり見られない。

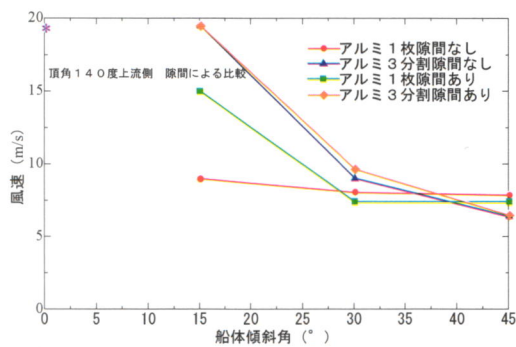
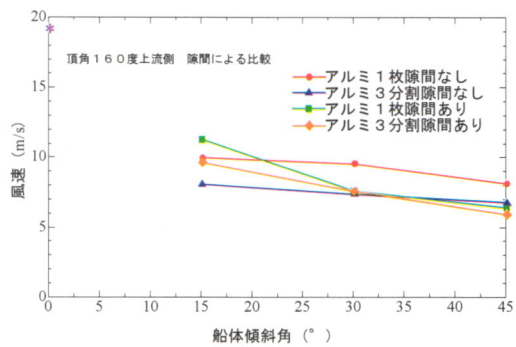
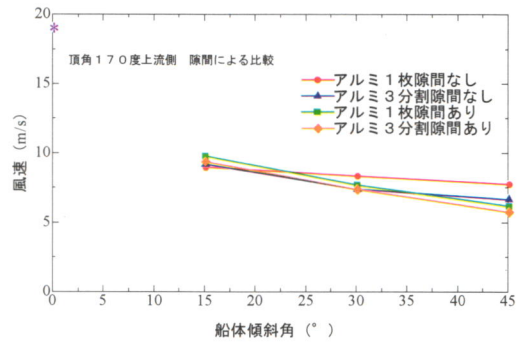


図12 頂角隙間の影響 (上流側)

下流側屋根については、

- ① 船体傾斜角 0° では、頂角隙間の効果は、3つの頂角すべてにおいて顕著であり、屋根は開きにくくなっている。頂角隙間を抜けた風が下流側上面に発生する負圧を弱める働きをしていると思われる。頂角 170° の時の、3分割の効果は少ない。
- ② 船体傾斜角が 15° になると、頂角 170° 、 160° で、頂角隙間がない場合は、上流側屋根の方が先に開いて下流側に重なるので、重量が増した下流側の屋根は開かなくなり、データは得られなかった。3分割の効果は頂角 160° において明らかである。
- ③ 船体傾斜角が 15° 以上で、頂角 170° 、 160° で、頂角隙間がある場合は、船体傾斜角の増加にほぼ比例して、開きやすくなっていく。
- ④ 頂角 140° 、船体傾斜角 15° 以上になると、もはや、隙間の効果も3分割の効果もなくなる。

4. 流れの可視化実験

4. 1 可視化実験装置の概要

実験装置の概要を以下に述べる。

- ・循環水用タンク容量： 5 m^3
- ・循環水ポンプ：全揚程 $14.5\sim 18.5\text{m}$ 、吐出量 $0.5\sim 0.9\text{m}^3/\text{min}$ 、所要動力 3.7kW 、定格回転数 1800rpm
- ・貯水タンク容量：約 0.5 m^3
- ・流量調節用タンク：長さ 1100mm 、幅 710mm 、深さ 600mm
- ・排水タンク：長さ 810mm 、幅 600mm 、深さ 500mm
- ・水槽本体長さ：約 3m
- ・水槽測定部寸法：幅 400mm 、深さ 400mm 、長さ 1630mm
- ・流速： 3 cm/s
- ・水槽を流れる流量：約 $0.188\text{ m}^3/\text{min}$

装置は上記の機器を備えたシステムで構成されている開水路で、この水槽本体の材質は総アクリル製である。実験で使用する流れの境界層の状態は層流境界層である。

実験は水中に染料を流す色素流脈法で行った。染料は水に溶解したフルオレセレン（比重1）をステンレス管（外形 1.06mm 、厚さ 0.18mm ）より水中に流した。なお、流脈を観察する際の光源は 1.5kW の電球を用いる。

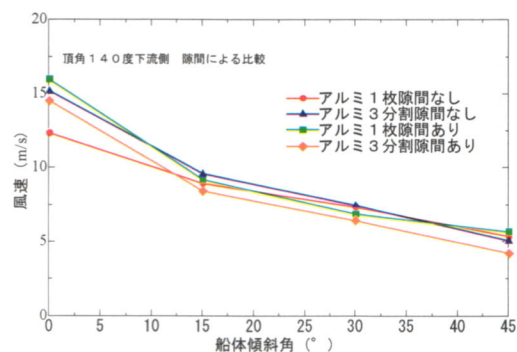
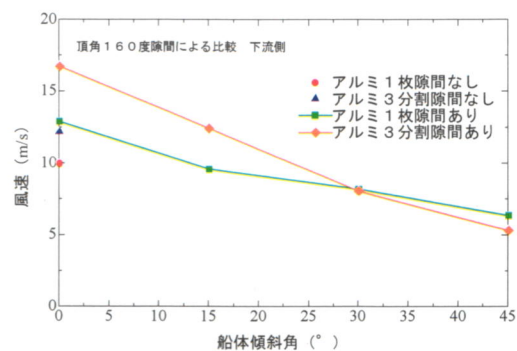
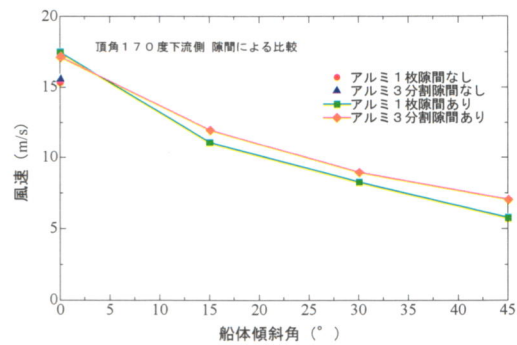


図1-3 頂角隙間の影響（下流側）

4. 2 頂角隙間の効果の視認

可視化実験は風洞実験結果の証明として、流れを実際に可視化し、その流れを確認するために行った。

この実験では、屋根はアルミ1枚板を使用。頂角は“大空2001”の頂角 160° （屋根傾斜角 10° ）に固定して、船体傾斜角のみ 0° 、 15° 、 30° 、 45° と変化させていった。その結果を図14～図17に示す。

これらの図を参照して、隙間の有無の影響を比較する。図14の船体傾斜角 0° で、隙間がない場合は、

屋根の先に進入してきた細い緑色に発光した染料が、屋根表面を上下に分かれて流れていき、下流側屋根を出るときには大きな渦を描いて抜けている。この現象が原因で、下流側屋根の上面の圧力が減少して屋根が開きやすくなることが判明した。

図15のように屋根頂角に隙間を設けると、隙間から流体が流出する事によって下流側屋根の上面の圧力が若干上昇し、屋根は開きにくくなる。

風洞実験の結果、船体傾斜角が 15° を超えると、隙間がない場合は上流側屋根が開いて下流側に重なったが、その理由は図16に示す船体傾斜 30° 時の上流側の写真を見ると明白である。即ち、その上面には流れによる負圧が発生し、上流側屋根は開きやすくなる。隙間を設けると、図17のようにその負圧は弱まって開きにくくなる。

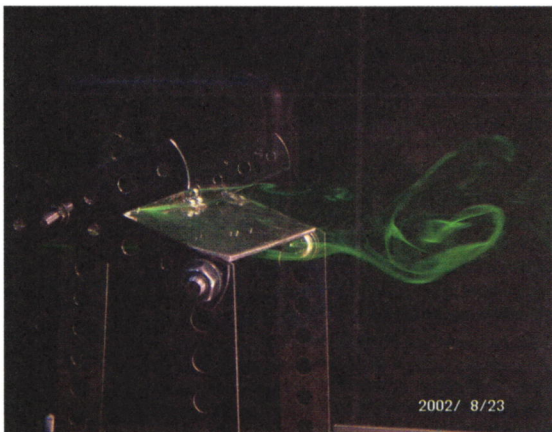


図14 船体傾斜 0° 頂角隙間なし

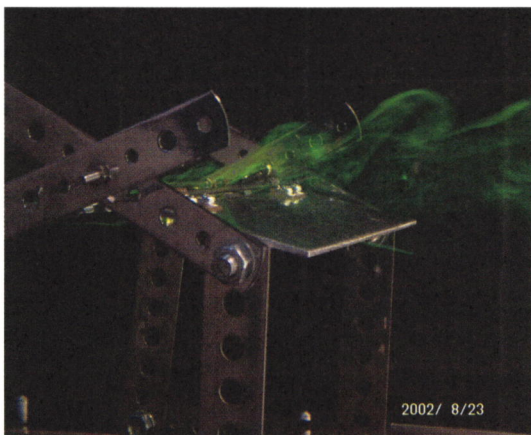


図15 船体傾斜角 0° 頂角隙間あり

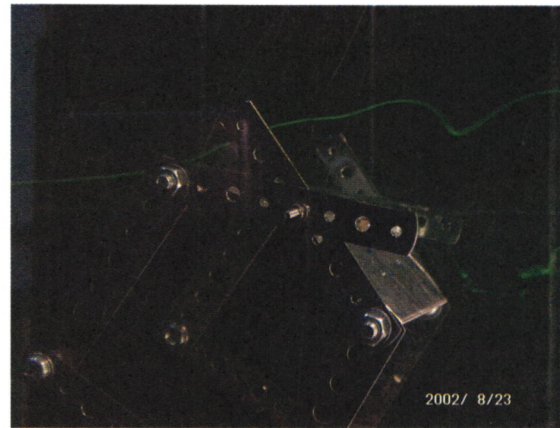


図16 船体傾斜 30° 隙間なし

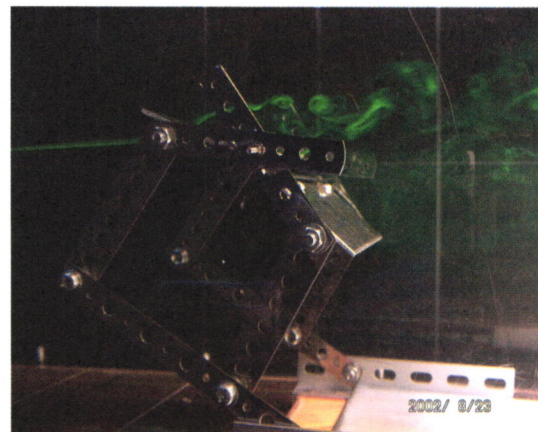


図17 船体傾斜 30° 隙間あり

5. 屋根改修

模型を使った風洞実験及び流れの可視化実験より頂角隙間の効果が期待できると考え、“大空”の屋根を図18のように改修した。その詳細を図19に示す。改修後3ヶ月海上に係留しているが、今のところ問題ない。

なお、屋根の安全弁としての機能は、実用を考えた時、強風の度に開閉を繰り返す、屋根が破損しやすくなる恐れがあるので、今回は採用しなかった。



図18 改修後の屋根

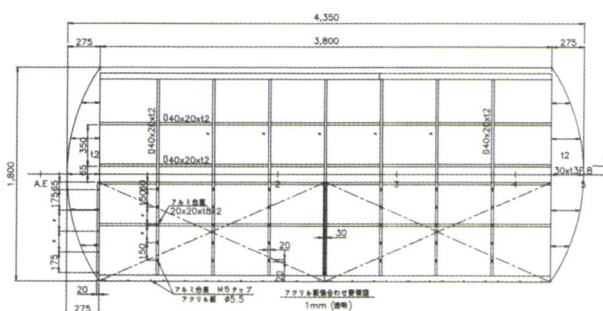


図19 改修後の屋根詳細図

6. あとがき

アルミ片側1枚板の模型を使った風洞実験及び流れの可視化実験で得られた結果を次にまとめる。

上流側屋根は

- ① 船体傾斜角 0° では、頂角が 170° 、 160° 、 140° いずれの場合も、決して屋根は開かない。
- ② 船体傾斜角 15° になると、頂角 170° 、 160° 、 140° いずれの場合も、それぞれ異なる風速で屋根は開くようになるが、頂角隙間を設けるといづれも開きにくくなる。
- ① 船体傾斜角 30° 以上になると、頂角隙間の効果はなくなる。

下流側屋根は

- ① 船体傾斜角 0° では、頂角 170° 、 160° 、 140° いずれの場合も、それぞれ異なる風速で屋根は開くが、頂角隙間の効果は顕著で屋根は開きにくくなる。
- ② 船体傾斜角 15° になると、頂角 170° 、 160° で、頂角隙間がない場合は、上流側屋根の方が先に

開いて下流側に重なるので、重量が増した下流側の屋根は開かなくなり、風洞実験のデータは得られなくなる。

- ③ 船体傾斜角 15° 以上で、頂角 170° 、 160° で、頂角隙間がある場合は、船体傾斜角の増加にほぼ比例して、開きやすくなる。
- ④ 頂角 140° 、船体傾斜角 15° 以上になると、もはや、隙間の効果はなくなる。

実験結果より得られた頂角隙間の効果を応用して、ソーラー遊漁船“大空 2001”の屋根を改修し、その後海上に係留しているが、これまでのところ問題はない。

参考文献

- 1) 三原伊文他、「内海における高齢者のためのソーラー遊漁船の開発」、マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、2001年5月
- 2) 三原伊文他、「環境への影響を考慮したソーラー遊漁船の製作」、マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、2001年10月
- 3) 三原伊文他、「ソーラー遊漁船の運転性能」、マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、2002年5月
- 4) 三原伊文他、「ソーラー遊漁船における発生電力・消費電力の計測」、マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、2002年11月
- 5) 比良二郎、瀧澤英一共著、「流体力学の基礎と演習」、東京書店発行

