

超軽量飛行機用 FRP フロートの開発

日大生産工 邊 吾一
日大生産工 (院) ○佐竹 大介

1. 緒言

日本は陸地面積が世界で 61 位であるのに対し海洋面積は 6 位と、広い海洋を有している。この海洋を有効に活用するには有効な輸送手段の確立が必須である。そこで、水上飛行機に注目が集まりつつある。戦後、航空業界から姿を消していった水上飛行機だが、今日の技術をもってすれば軽量で耐腐食性に優れた水上飛行機用フロートの開発が実現できる。FRP(Fiber Reinforced Plastics, 繊維強化プラスチック)は比強度・比剛性、耐腐食性に優れ、重量や腐食に敏感な水上飛行機用フロートとしては最適の材料である¹⁾。そこで、フロートの心材を発泡材、表板を FRP としたサンドイッチ構造にすることにより、更なる軽量化・耐腐食性・耐海水性の向上、水抜き作業の手間を省くことができ、高性能な水上飛行機の開発が可能となる。

本研究では既存の離着陸用の超軽量飛行機(Ultra Light Airplanes, ULP)を海や湖で使用するため、FRP 製フロートの開発と設計を行う。特に FRP 製のフロートを取り付けた場合の水上飛行機の着水衝撃を動的陽解法有限要素法ソフト PAM-CRASH と、その中の機能の一つである SPH(Smooth Particle Hydrodynamics, 平滑粒子流体力学)法を用いて解析を行った。この解析結果からフロートのデッドライズ角を実験で使用した 28°のものからマイナス 4°毎に 20°まで、プラス 4°毎に 36°まで変化させた 5 通りのモデル(Fig.1)を用いて着水時の水飛沫の挙動やフロート先端部に発生する垂直方向加速度を比較する。

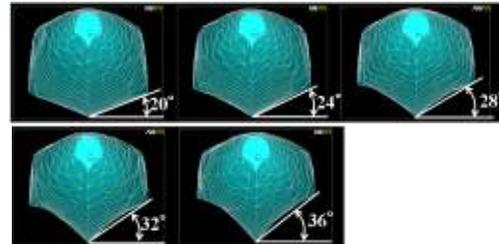


Fig.1 Change of Dead Rise Angle of Float

2. 着水衝撃解析

2.1 解析条件

着水衝撃解析を行うために、汎用有限要素プログラム ANSYS ver.11.0 を用いて解析するフロートと着水領域の FEM モデルを作成した。FEM モデルは機体軸に関して対称としてモデル化した。第一段階として水しぶきの挙動を明らかにするために、フロートはひとまず剛体として扱う。着水領域を表現するために、ANSYS 上ではソリッド要素で全長 12000mm、幅 4000mm、深さ 1000mm の領域をメッシュサイズ 100mm でモデリングした。最後に、着水面以外の水の周囲 5 面を剛体シェル要素で囲んだ。次に、モデリングした水のソリッド要素を PAM-CRASH で SPH 要素に変換し、速度や境界条件を設定した。SPH 要素に変換することによってソリッド要素を粒子として表現した(Fig.2)。水上飛行機には進行速度 17.8m/s、沈下速度-1.78m/s を与え²⁾、水の周囲の壁は全自由度を拘束した。また、解析の時間間隔は 1msec として、全体として 300msec の間解析した。

耐空性審査要領³⁾によれば、着水条件は水平軸に対して前方に傾いた着水、傾いていない着

水, 後方に傾いた着水(以下前部着水, 中部着水, 後部着水), またそれぞれに対して機体の左右が傾いて着水する場合と傾かないで着水する場合の6通りに分けられる. そのうち機体軸に関して垂直に着水する場合で, 前部着水時, 中部着水時, 後部着水時の解析を行った(Fig.3). なお前部着水・後部着水に関しては5°傾けたモデルを製作した²⁾.

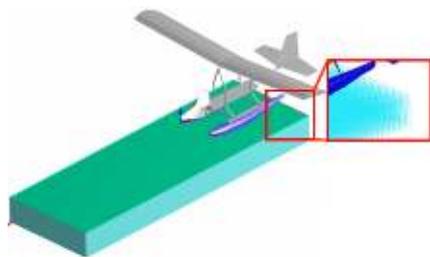


Fig.2 Model of Floatplane

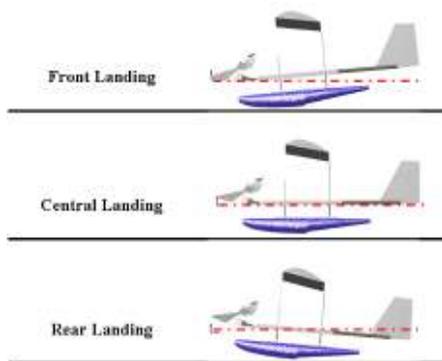


Fig.3 Pattern of Landing

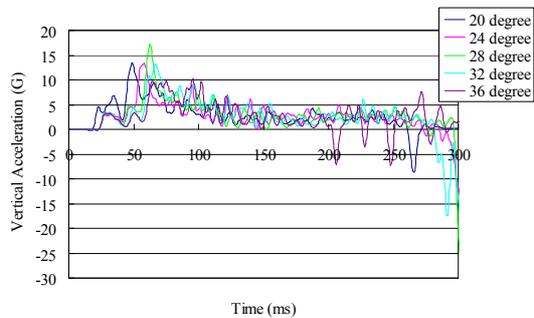
2.2 解析結果

解析結果(Fig.4)より着水時の水飛沫をSPH要素で再現することが出来た. 前部着水, 中部着水, 後部着水における水飛沫の挙動を比較すると, デッドライズ角が大きい程水飛沫がより機体の外側に飛ぶことを確認出来る. またフロート先端に発生する垂直方向加速度を見ると前部着水(Fig.5 a)においてステップがSPH要素に接する60msec付近で加速度の最大値が発生することがわかる. これはステップ後方の着水時にSPH要素とフロートの接する面積が急に増加するためと考えられる. 中部着水垂直方向加速度の時刻暦応答(Fig.5 b)では250msecから解析終了までの

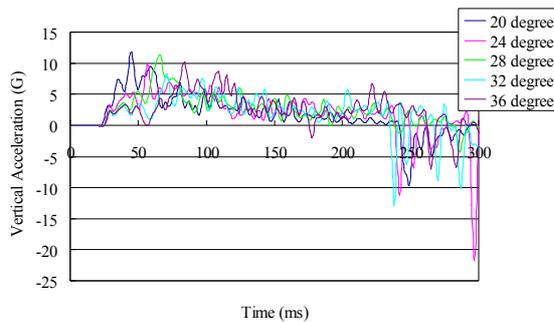
300msecの間でフロート先端部に鉛直下向きに加速度が発生している. これは解析での動画を確認した結果ステップ部で舞い上がったSPH要素が水上飛行機の尾部に当たり機体に頭下げのピッチングが発生したためと考えられる. 後部着水垂直方向加速度の時刻暦応答(Fig.5 c)においても220msec付近から同様に鉛直下向きに加速度が発生している. これも動画を確認した結果上記と同様な考察が可能である. また後部着水において解析値の最大加速度はデッドライズ角36°において発生しているがその間の時間間隔は極めて短いのに対しデッドライズ角20°において8Gから10Gの高い値が50msecから80msecまで連続して発生している. パイロットや機体にとっては後者の方がより大きな負荷になると考えられる. 各着水場合に発生した最大加速度をFig.6に示す. デッドライズ角36°における垂直方向加速度は着水姿勢で大きく変化することなく安定していると考えられる.



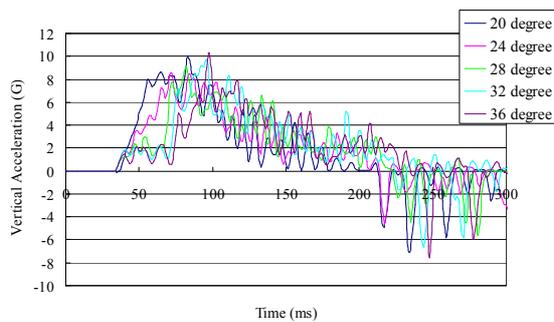
Fig.4 Results of Impact Analysis



a) Front Landing



b) Central Landing



c) Rear Landing

Fig.5 Analytical Results of Vertical Acceleration vs. Time

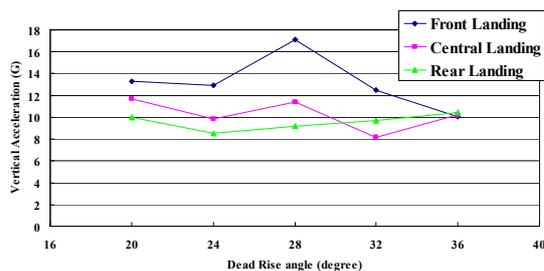


Fig.6 Maximum Value of Vertical Acceleration vs. Time

3. フロート静荷重試験

3.1 フロート概要

成形型が一つですむ対称フロートを成形したが、その形状寸法は全長 4710mm, 最大幅 612mm,

最大高さ 400mm とした。構造は心材を発泡スチレン、表板を日東紡績(株)製ガラスクロス WF230 としたサンドイッチ構造とし、板厚 1mm の GFRP 積層板の隔壁をフロート前方から 592mm, 842mm, 1592mm, 2342mm, 2592mm, 3092mm, 3592mm の位置に 7 枚設け、GFRP で全体を 3PLY, それに加えてフロート上面には 3PLY, キール部は東レ(株)製カーボクロス CO6644B を 4PLY した結果、片方のフロートの重量は 23.4kg となった。

3.2 試験概要

フロートの着水時を想定した静荷重試験を行った(Fig.7)。フロートは水に接する下側の部分を上にし、支点間距離 1875mm で鉄製アングル材にボルト固定してある。荷重は 1 つが 0.0245kN の鉛弾帯を乗せていき耐空性審査基準による前部着水、中部着水、後部着水時の制限荷重に耐えられることを確認する。また、各荷重でのたわみをダイヤルゲージ及びスケールによって測定した。フロート前方からのダイヤルゲージの位置を Table 1 に示す。No.4 はスケールを使用して計測した。ここでフロート先端から前方の支持点までの 592mm を「前部」、支持点間の 1875mm を「中央部」、後方の支持点からフロート後部までの 2243mm を「後部」と呼ぶ。各着水時における制限荷重と実験で負荷した荷重の値を Table 2 に示す。荷重除荷後に全ての試験においてたわみが残ったが支持点の結合ボルトとボルト穴がずれを生じたためであり、おおよそ弾性域で試験出来たと考えられる。

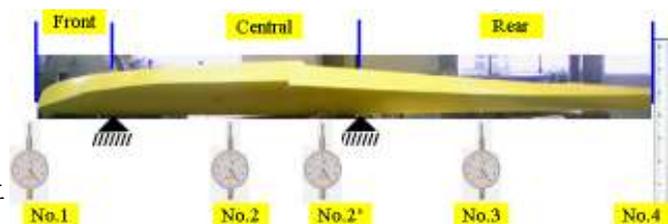


Fig.7 Overall View of Float

Table 1 Position of Dial Gages

Dial Gage Number	Distance from Front Edge(mm)
No.1	0
No.2	1592
No.2'	2342
No.3	3592

Table 2 Limit Load and Experiment Load

	Limit Load	Experiment Load
Front Landing	3.107	3.430
Central Landing	5.834	6.370
Rear Landing	2.201	2.450

Unit:kN

3.3 前部着水

前部に0kNから3.43kNまで荷重をかけ、0kNまで除荷した場合の荷重-たわみを Fig.8 に示す。ダイヤルゲージ No.1 の位置で最大たわみ4mmを得た。

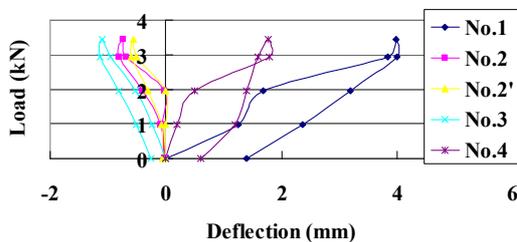


Fig.8 Load vs. Deflection at Front Loading

3.4 中部着水

中部に0kNから6.35kNまで荷重をかけ、0kNまで除荷した場合の荷重-たわみを Fig.9 に示す。スケール No.4 の位置で最大たわみ-4.8mm

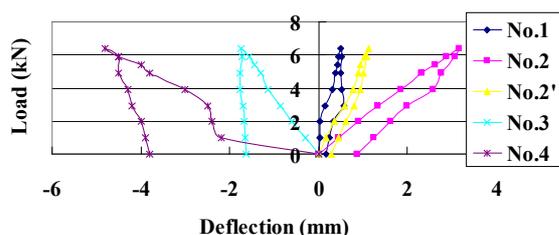


Fig.9 Load vs. Deflection at Central Loading

3.5 後部着水

後部部に0kNから2.45kNまで荷重をかけ、0kNまで除荷した場合の荷重-たわみを Fig.10 に示す。スケール No.4 の位置で最大たわみ46.2mmを得た。

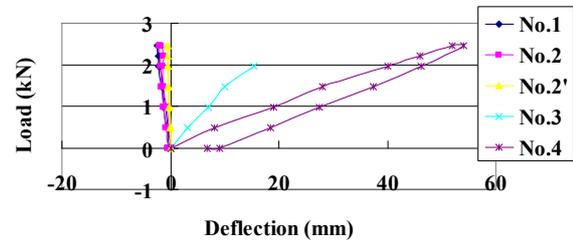


Fig.10 Load vs. Deflection at Rear Loading

4. 結言

- 1) SPH要素の使用により着水時の水飛沫のモデル化が可能であることを示した。
- 2) 水飛沫の挙動に関してフロートのデッドライズ角が大きい程、着水性が良いことが確認された。
- 3) GFRP-発泡材サンドイッチ構造のフロートを製作し、静荷重試験を行った結果、設計通りの強度を得ることができた。

参考文献

- 1) 邊吾一：FRP 水上飛行機開発プロジェクトの概要，51st FRP CON-EX 講演要旨集，(2006)
- 2) 伊藤宏一：超軽量動力機のための木製双フロートの設計と製作，東京都立産業技術高等専門学校研究紀要
- 3) 運輸省航空局航空機安全課：耐空性審査要領，鳳文書林出版販売，(2003)