

國家運輸安全調查委員會

1120316 順風飛行協會 SF2555 超輕型載具墜毀於彰化縣濁水溪沙洲事故調查報告

調查報告編號： TTSB-AOR-23-12-001

發布日期： 中華民國 112 年 12 月 14 日

事故發生日期與時間： 中華民國 112 年 3 月 16 日，約 1518 時¹

事故地點： 彰化縣溪州鄉順風活動場地南方濁水溪沙洲

活動場地與活動空域： 順風活動場地，濁水溪超輕空域

載具

所屬活動團體或專業機構： 社團法人順風飛行協會²

管制號碼： SF2555

檢驗合格證號碼： CAA-111-012

發證日期/有效日期： 民國 111 年 8 月 3 日/114 年 8 月 2 日

製造廠名稱： Shark Aero

載具類別/機型/機身序號： 固定翼載具/ Shark LSA /109

製造日期： 民國 110 年 9 月 1 日

引擎型號/引擎序號： Rotax 912 ULS/9574996

毀損情況： 載具全毀

人員

操作人所屬活動團體或專業機構： 社團法人順風飛行協會

操作證號碼： Y005**

操作證類別/載具屬別/機型： 教練/AP-5³/Shark LSA

發證日期/有效日期： 民國 112 年 1 月 18 日/114 年 1 月 17 日

機載人數： 2 人

傷亡情況： 機載 2 人罹難

¹ 本報告所列時間均為臺北時間 (UTC+8)。

² 事故載具所有人為協會理事長。

³ 載具屬別依最大平飛速度 (140 公里/時以上、以下)、陸地/水上、前三點/後三點/滑撬/浮筒分類，AP-5 為最大平飛速度 140 公里/時或以上，陸地前三點之超輕型載具屬別。

天氣：

鄰近事故地點之中央氣象局田中、溪州、西螺、荊桐及二水氣象站 1500 時之天氣紀錄為西北風至北風 4-9 哩/時，降水量 0 毫米。地面目擊者提供事故當時順風活動場地之天氣為：能見度大於 10 公里，無雲幕，依位於跑道旁之風向袋研判，當時風向約 340 度、風速約 5 哩/時。

事故說明：

1. 事故經過

民國 112 年 3 月 16 日，社團法人順風飛行協會（以下簡稱順風）一架 Shark LSA 型超輕型載具，管制號碼 SF2555，載有 1 名操作人及 1 名同乘人員（日本籍），1500 時自彰化縣溪州鄉順風活動場地起飛，於濁水溪上空飛行，1517 時使用 25 跑道低空進場，通過 07 跑道頭後爬升左轉，於本場航線二邊高度約 48 公尺時下墜，1517:46 時墜毀於活動場地南方之濁水溪沙洲（圖 1），機上 2 人罹難。



圖 1 事故載具之活動場地、事故前飛航軌跡及事故地點

2. 基本資料

2.1 操作人

事故載具操作人為 54 歲男性，持有交通部民用航空局（以下簡稱民航局）核發之有效超輕型載具教練操作證；依據操作人申請發證資料，其學科、術科及口試測驗紀錄均無異常。操作人曾擔任軍機駕駛員，依「超輕型載具學習操作證

申請書」所示，操作人軍機飛行時數為 1,936 小時，事故機型之飛行時數為 39.8 小時，合計總飛時為 1,975.8 小時。依據操作人之「普通汽車駕駛執照登記書」⁴，體格檢查結果為正常，體能測驗包含視野及夜視測驗結果為合格，體格檢查日期為民國 111 年 4 月 15 日。依據法務部法醫研究所毒物化學鑑定書，操作人血液、尿液均未檢出毒藥物成分；血液檢出酒精 23 mg/dL⁵，尿液則未檢出酒精成分。

2.2 載具

事故載具為斯洛伐克 Shark Aero 公司製造，型號 Shark LSA，具備民航局超輕型載具檢驗合格證；載具為單引擎縱列雙座機，機身及機翼均為複合材料，起落架為前三點固定式；外觀尺寸分別為：機身長 6.7 公尺，翼展寬度 7.9 公尺，機身最大高度 2.3 公尺（圖 2）。

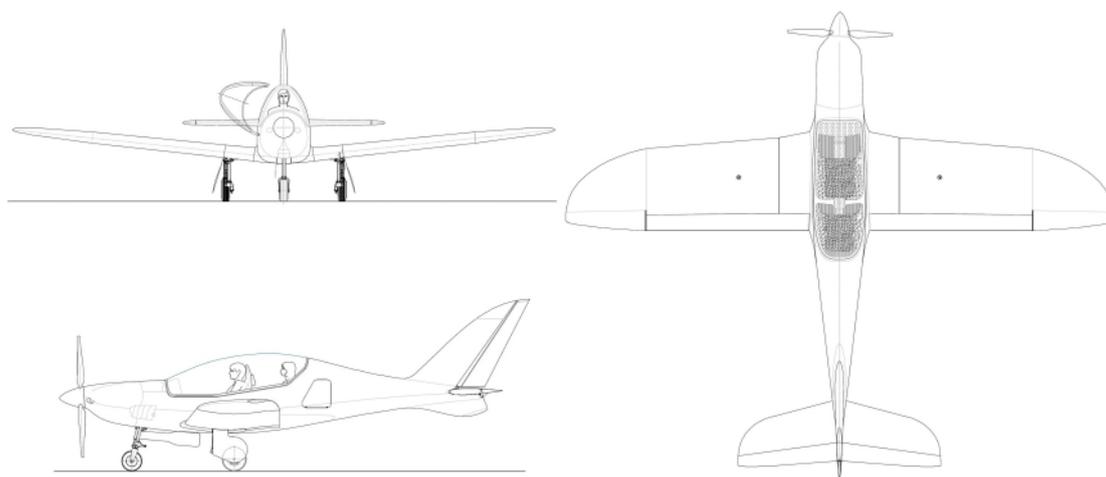


圖 2 Shark LSA 三視圖

燃油箱為機翼結構油箱，左、右機翼油箱容量各為 50 公升，總計容量為 100 公升；座艙儀表採用 Dynon Avionics 公司整合式多功能儀表 Skyview 系統，該儀表系統除基本飛行儀表及引擎資訊外，尚有飛機系統資訊、導航圖資等功能。

事故載具最大起飛重量為 580 公斤，出廠時空重為 339.33 公斤、重心為 19.7% 平均空氣動力弦（Mean Aerodynamic Chord, MAC），抵臺後順風執行全機彩繪及驗機秤重，空重略增為 344.6 公斤、重心變更為 17.9% MAC。依據順風之「超輕型載具飛航紀錄」，操作人及同乘人員體重各為 83 公斤及 70 公斤，飛行前載具載有 57 公升（41 公斤）之 95 無鉛汽油，當天起飛總重為 538.6 公斤。

⁴ 超輕型載具操作人應持有依據普通小型車體檢認定標準並經公路監理機關指定之醫療院所或教學醫院體格檢查合格之有效證明文件，或民航局核發之有效民用航空人員體格檢查及格證。

⁵ mg/dL=毫克/100 毫升，為毒藥物檢驗使用單位。

2.3 引擎

事故載具使用 BRP-Rotax 公司生產之 Rotax 912 ULS 引擎，該引擎為 4 行程、水平對向 4 汽缸型式，使用辛烷值 95 或以上之汽油；依據 Rotax 912 ULS 引擎操作手冊 (Operator's Manual, OM)，在標準大氣狀況下，最大起飛功率 (馬力) 為 73.5 kW (100 HP) / 5,800 RPM⁶，最大持續功率 (馬力) 為 69 kW (93.8 HP) / 5,500 RPM，慢車轉速約為 1,400 RPM。使用 Woodcomp 公司製造之 3 葉片式木質碳纖維包覆螺旋槳，型號為 SR200，槳葉角可於地面調整用以改變槳距 (Pitch)。

事故載具於斯洛伐克出廠試飛數據記載平飛最大速度 230 公里/時，其引擎轉速為 5400 RPM，未紀錄地面測試最高引擎轉速。順風機隊引擎調校係委由國內持有 Rotax 原廠完訓技師執行，依據順風飛試紀錄單，事故載具於組裝後完成引擎調校及試飛，螺旋槳槳距與出廠時相同，於地面最大油門 (Wide Open Throttle, WOT) 時，最高引擎轉速為 4,800 RPM。依據 Rotax 912 ULS OM 性能輸出圖 (圖 3)，在標準大氣狀況下，引擎轉速為 4,800 RPM 時最大功率輸出約為 65 kW。

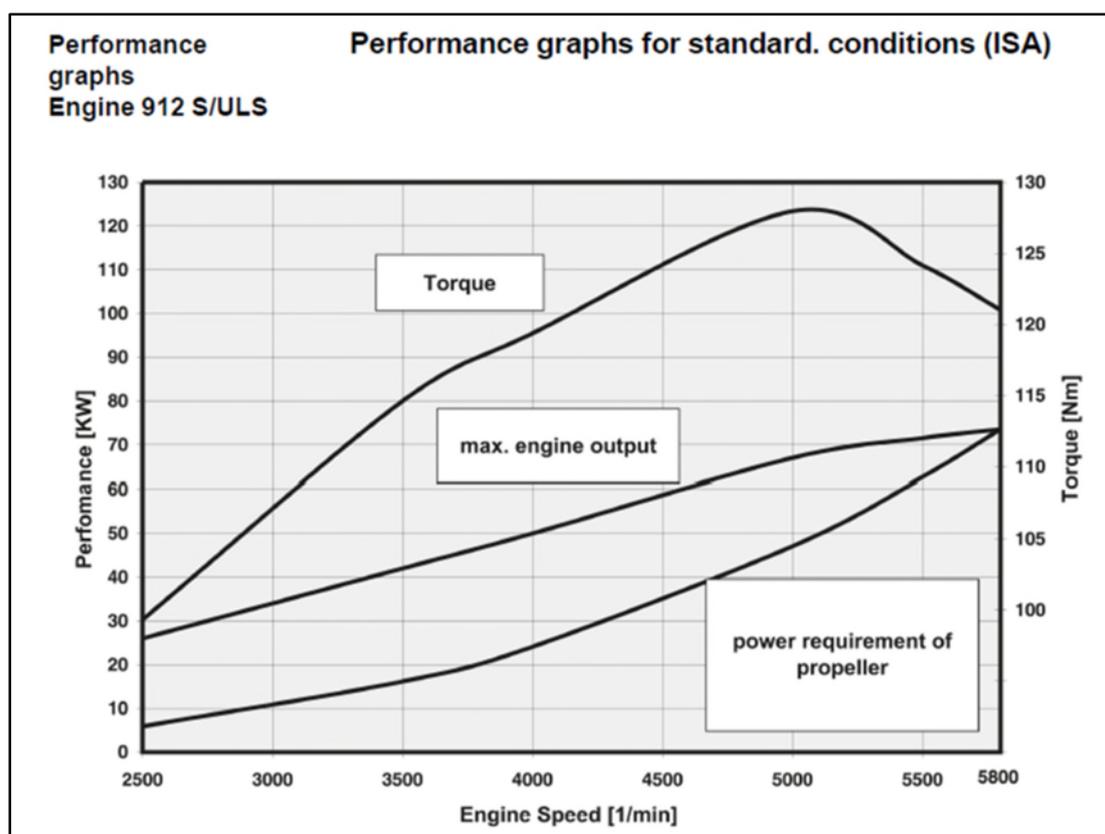


圖 3 Rotax 912 ULS 引擎性能輸出圖

⁶ kW：千瓦，為功率單位，HP：馬力，為英制功率單位；RPM：每分鐘轉數。

2.4 載具檢驗及維修

事故載具於民國 111 年 7 月 15 日由順風完成載具檢驗符合表報請民航局審查；民國 111 年 7 月 21 日民航局審核通過核發臨時檢驗合格證，民國 111 年 7 月 23 日順風完成試飛並填具飛試紀錄單，民航局審核通過後於民國 111 年 8 月 3 日核發檢驗合格證。

本次事故發生前，事故載具累計總飛行時數為 73.6 小時，事故當日「飛行前交接確認表」有記載完成飛行前檢查，但未於「飛行前檢查表」登錄⁷；機體及引擎 25 小時、50 小時檢查紀錄單、載具維護紀錄本均填寫完整，無異常登錄。

2.5 活動場地

事故載具起飛之順風活動場地屬合法之超輕型載具活動場地，使用之活動團體為順風，跑道為東西向之 07/25 跑道，道面為瀝青混凝土鋪面（如圖 1）。

2.6 活動空域

事故載具飛行之濁水溪超輕空域（圖 4）為民航局核定空域，使用高度上限為 1,000 呎 MSL⁸/SFC⁹，活動時間為週六、週日及國定假日：日出至日落。

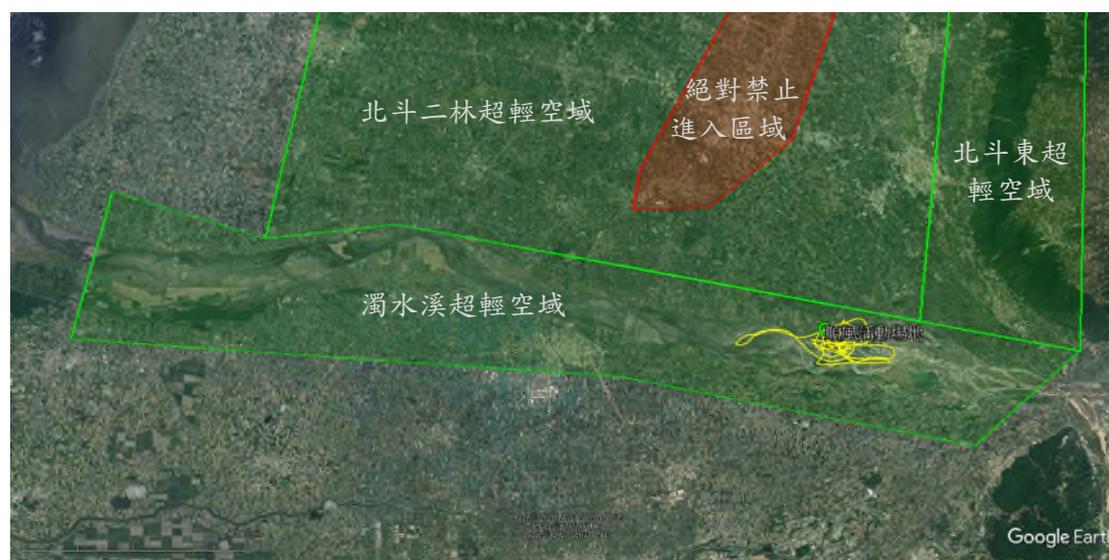


圖 4 事故載具活動空域及飛航軌跡（黃線）

⁷ 順風「飛行前檢查表」一般由維護人員登錄，事故當日維護人員排休，飛行前檢查由操作人執行。

⁸ 平均海平面高度（Mean Sea Level）。

⁹ 地面（Surface）。

3. 事故相關事實資料

3.1 現場勘查及殘骸檢查

3.1.1 現場勘查

事故地點位於順風活動場地 07 跑道頭南方約 245 公尺之濁水溪沙洲，事故載具主殘骸燃燒範圍及 3 片螺旋槳葉片斷裂後散布之位置，與無人機空拍影像套疊如圖 5 所示。依據現場勘查結果，事故載具以約 50 度夾角¹⁰撞擊地面，引擎前端已埋入土中，左側機翼略低於右側機翼；引擎自事故現場取出後之狀態如圖 6，載具撞擊地面示意圖如圖 7 所示。



圖 5 活動場地與事故現場殘骸位置圖

¹⁰ 載具引擎於事故時撞擊並嵌入地面，後經挖掘始得回收殘骸。暴露於外的部分因撞擊引發之燃燒而留有燒痕，埋入土中的部分則維持機件原本顏色。因此可由留存於引擎上的燒灼痕跡推算出載具撞擊地面角度。

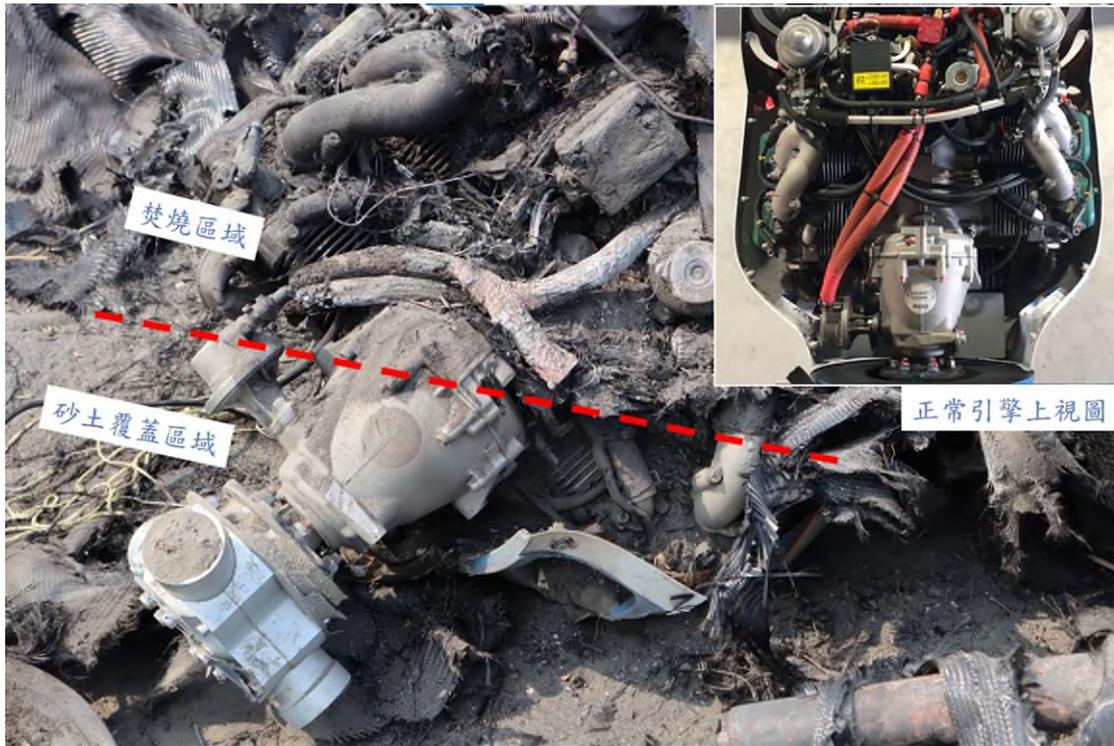


圖 6 事故載具引擎自事故現場取出後之狀態

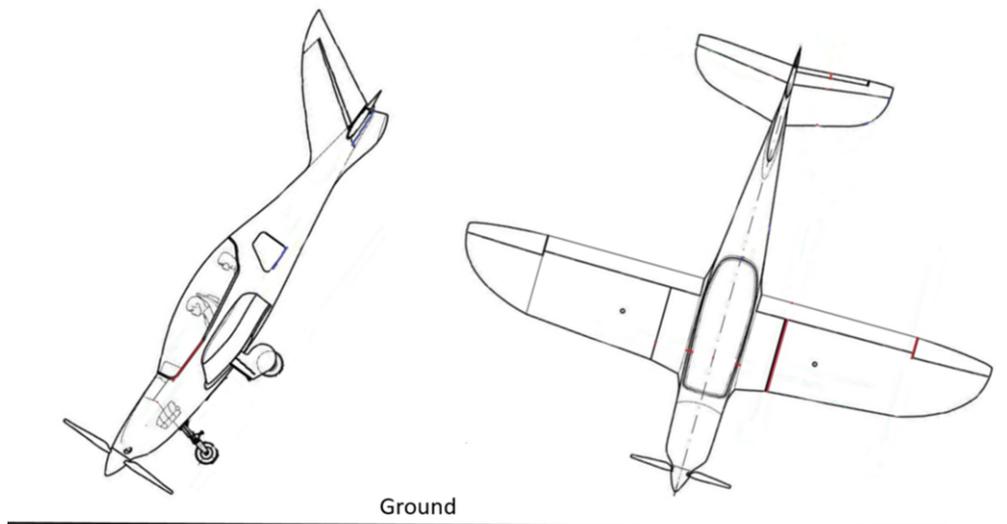


圖 7 事故載具撞擊地面示意圖

事故載具撞擊地面後起火燃燒，除引擎、緊急降落傘包、起落架、左升降舵及部分金屬管架可辨識外，其餘機體、機翼、座艙罩、操縱面均燒毀（圖 8）。



圖 8 事故載具撞擊地面起火燃燒後現場照片

3.1.2 殘骸檢查

檢視襟翼致動器，外殼為強化塑膠材質，致動器外殼經燃燒後僅餘尾端外殼，經剝除燒熔之塑膠外殼後，量測燒毀之致動器尾端至牙桿末端長度為 9 英寸；另量測同型機之襟翼致動器，在襟翼全收時，外殼長度不計桿頭為 9 英寸，量測尺寸比較如圖 9 所示，顯示事故時襟翼於全收上之狀態。



圖 9 襟翼致動器量測尺寸比較

載具螺旋槳為 3 葉片式，旋轉方向前視為逆時鐘方向旋轉；材質為木質核心碳纖維包覆，葉片前緣包覆不鏽鋼薄片；3 片槳葉均自根部斷裂，葉尖均呈現裂開狀況，3 片槳葉前緣鋼片均向後方凹陷，其中編號 3 號槳葉自中段斷開，1 號及 2 號槳葉中段均有裂紋（圖 10）。

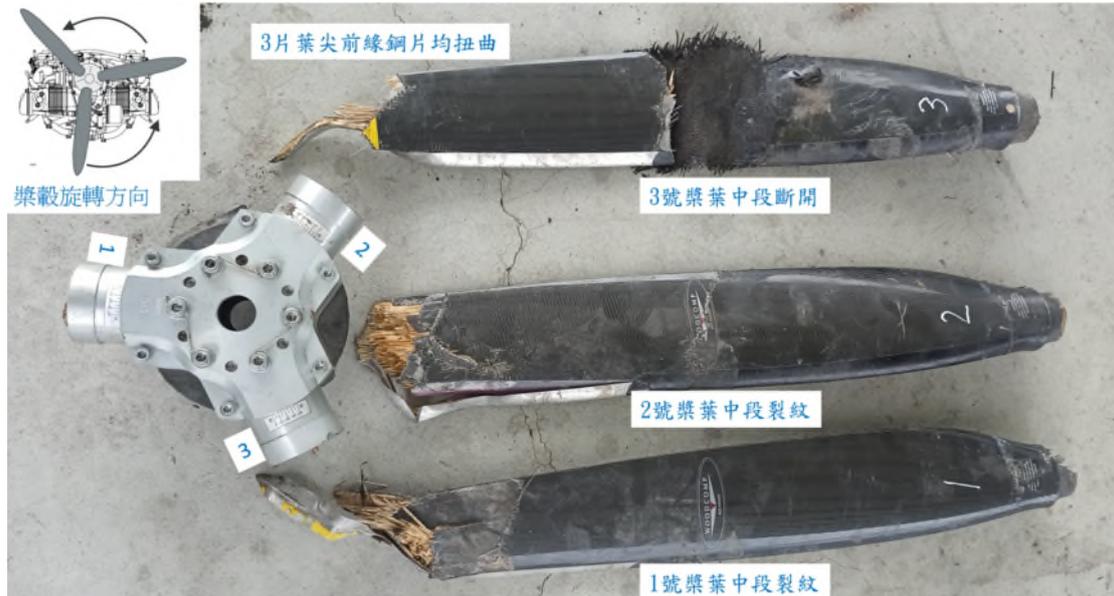


圖 10 三片螺旋槳自根部斷裂

事故載具引擎 4 具汽缸共計有 8 支火星塞，每具汽缸頭上下各 1 支火星塞，拆下每缸上方火星塞檢視，中心電極均呈現黑褐色及輕微積碳；活塞、汽缸壁及汽門除有輕微積碳外餘無損傷；減速齒輪箱拆下後檢視，內部齒輪仍可盤動，無異常損傷；檢視磁性塞 (Magnetic Plug) 累積堆疊金屬末小於 1 毫米，依據 Rotax 912 系列引擎維修手冊 (Maintenance Manual, MM) 12-20-00 磁性塞檢查，屬於可接受的程度 (未達 3 毫米)。

3.2 事故影像及引擎錄音資料

3.2.1 地面及機載錄影資料

與事故相關影片共計 4 支，其中 3 支影片為 3 位地面目擊者於順風活動場地 07 跑道頭附近草坪所拍攝 (影片 A、B、C)，影片內容均包含事故過程；另一支影片為事故載具後座艙機載影像設備所拍攝，並即時下傳之影像紀錄 (影片 D)，影片內容包含事故載具當天飛行前地面準備至墜毀前載具左傾之過程。經疊合比對事故發生過程之影像特徵及載具 GPS 位置/地速/時間資料 (5 秒一筆紀錄即時下傳，事故前 GPS 紀錄之位置詳圖 1)，以 GPS 時間為基準，完成 4 支影片時間同步。

時間同步後，自影片 C 擷取事故載具通過順風活動場地 25 跑道頭至墜地前

收回襟翼畫面，詳如圖 11 至 13 所示；自影片 D 中於同時段內觀察到事故載具飛行過程中發生機身抖振狀況，並做成文字抄件。

影片 C 顯示 1517:27.7 時載具通過風向袋，襟翼外型為伸放狀態；GPS 資料顯示 1517:28 時事故載具地速為 103.2 公里/小時；1517:29.1 時通過 07 跑道頭，襟翼外型為伸放狀態。

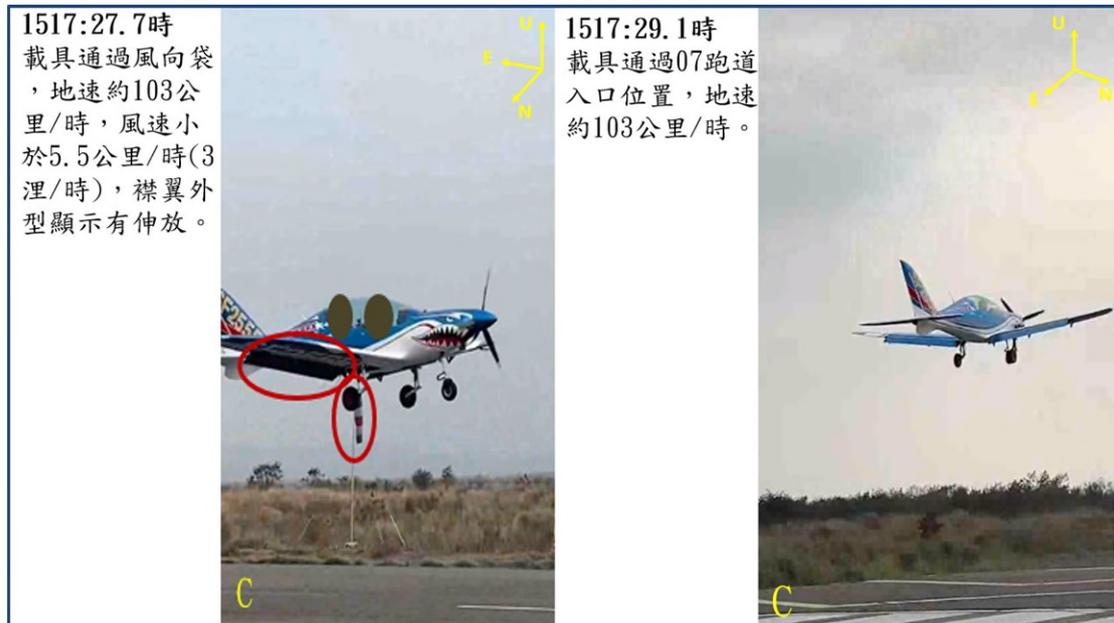


圖 11 襟翼伸放（一）

依據 GPS 資料，1517:33 時事故載具地速為 109.1 公里/小時。

影片 C 顯示 1517:34.3 時載具仰角超過 25 度¹¹，左坡度約 40 度，襟翼外型顯示伸放狀態。

影片 D 之影像紀錄顯示，載具於 1517:34.9 時發生第一次抖動現象，之後左坡度減小約為 23 度；於 1517:39.2 時發生第二次抖動現象，此時左坡度約為 15 度。

依據 GPS 資料，於 1517:38 時事故載具地速為 84.0 公里/小時。

影片 C 顯示 1517:40.2 時載具襟翼外型已無完整伸放。

影片 C 之影像紀錄顯示，自 1517:34.3 時至 1517:40.2 時期間，機身仰角由超過 25 度減至約 5 度，載具高度約為 48 公尺，載具由爬升轉為下沉。

¹¹ 影像計算之載具姿態由兩要素組成：影片當中載具姿態及拍攝者的手機對地面之仰角與傾斜角度。載具於影片中仰角約 23 度，拍攝者手機仰角約 6 度，忽略傾角誤差。影像計算之誤差控制於 10% 內（即約 3 度）。



圖 12 襟翼伸放 (二)

影片 C 顯示 1517:41.7 時載具襟翼外型完全收回，左坡度增加至約 60 度。

依據 GPS 資料，於 1517:43 時事故載具地速為 86.4 公里/小時。



圖 13 襟翼伸放 (三)

3.2.2 引擎錄音資料

事故載具因整合式多功能儀表系統已於事故時被燒毀，因此無法取得引擎於

事故前運轉之相關數據，惟由地面目擊者拍攝影片，內容包含事故載具飛越 25 跑道、通過目擊者前方後爬升及轉彎後墜落之引擎聲響，將此聲響音頻與事故後收集之同型機引擎運轉聲響音頻進行頻譜比對，以瞭解事故發生時事故載具引擎之運轉狀況，釐清事故發生前、後事故載具引擎動力輸出狀況及與事故之關聯，事故載具及同型機引擎運轉聲響音訊頻譜詳圖 14-17 所示。

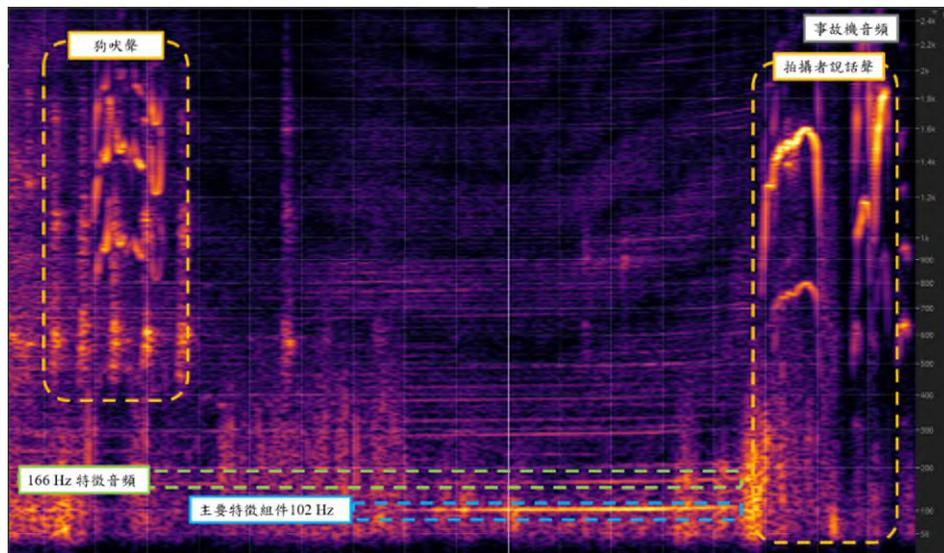


圖 14 地面目擊者拍攝事故載具影片（爬升轉彎階段）音訊頻譜圖

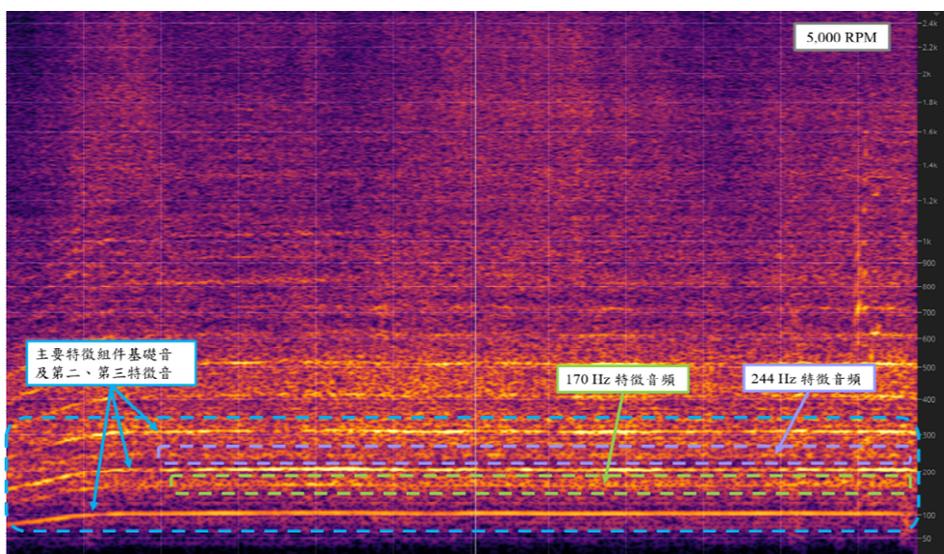


圖 15 同型機引擎轉速 5,000 RPM 頻譜圖

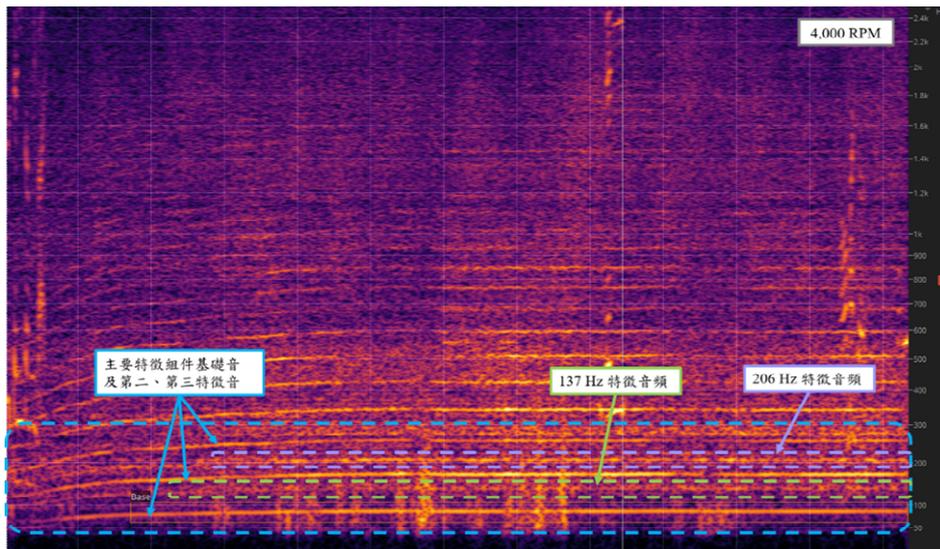


圖 16 同型機引擎轉速 4,000 RPM 頻譜圖

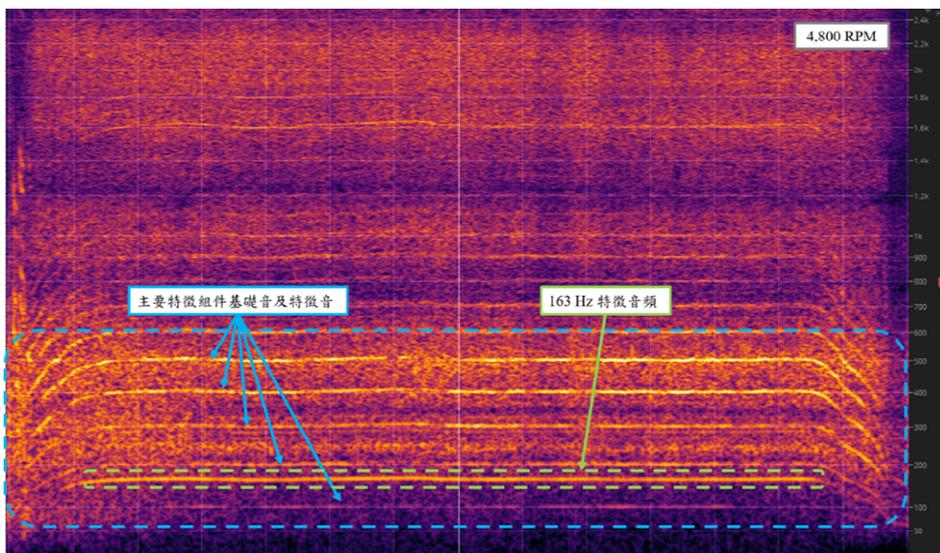


圖 17 同型機引擎轉速 4,800 RPM 頻譜圖

3.3 訪談摘要

順風理事長訪談

順風於民國 111 年 9 月 24 日成立，受訪者為該協會理事長，亦為事故載具所有人，持有事故載具機型 Shark LSA 教練操作證，曾擔任民航機師及軍機駕駛員。受訪者表示，順風共引進 4 架斯洛伐克製造的 Shark LSA，已通過民航局驗機、試飛並取得合格證，可於後座載人同乘飛行。順風 Shark LSA 起落架為固定式不可收放，安裝空中不可變槳距之 3 片式螺旋槳，符合民航局最大 220 公里/

時的速度限制¹²。

順風 5 位飛行教練皆具戰鬥機駕駛員背景，其中 3 位曾赴 Shark Aero 原廠受訓為種子教官。事故載具操作人自軍中退役約 5 年多，民國 111 年初加入順風，依規定申請學習操作證後開始進入訓練，為了讓事故載具操作人多熟練，飛行術科訓練 20 小時¹³後才取得教練操作證。其他 3 位在原廠受訓的教官則是飛 10 個小時後取得普通操作證，再約 5 小時後取得教練操作證。

受訪者表示，事故當日天氣為完全目視而且幾乎靜風，天氣非常好的情況下，不可能產生錯覺。事故載具操作人當天返航時，申請做一個低空進場（Low Approach），會轉一圈回來後再作一個全停。受訪者看過地面目擊者拍攝影片，認為操作人在低飛進場時，有放外型，因此速度可能只有 120 公里/時以下。先做了一個低空的衝場，然後瞬間就做一個拉升，這樣速度一定減小，在這同時操作人做一個爬升的轉彎，這個時候速度相信一定上不來，而從後座的監視影像可以看到飛機已經有點輕微的抖動了。後來它有稍微改平了一下，如果改平後不管是以正常有點爬升的角度，或者是稍微放下來，基本上都不會有事。受訪者表示若襟翼沒有收上，是沒有辦法加速的，在改平而且油門最大的情況下，載具可以維持穩定，不會進入失速狀況，不會惡化，但在有爬升角度的情況下，加速不會那麼快。

受訪者表示，因為這一型的飛機在原廠的規定就是禁止進入失速狀態，所以會在高於失速速度很多的狀況下做訓練。但若是真正失速，假設速度低到 70 或 80 公里/時的時候，它一定會抖動。改正方式就是鬆機頭，機翼改水平，機頭往下就完全改出。順風訓練時不會讓飛機進入失速的狀態或出現失速警告，會讓學員知道在低速放外形時，飛機的狀態會是如何，類似於像慢飛的狀況，就做一個失速的改正動作，所以基本上順風對於這個飛機，系統的失速警告以及飛機明顯震顫，比較沒有經驗。

順風地面管制人員訪談

受訪者於民國 108 年 1 月從軍中退休，飛行時數約 2,900 小時，民國 109 年 8 月進入順風任職，事故機型的總飛行時數約 100 小時，為 3 位赴原廠受訓之種子教官之一。受訪者事故當日擔任地面管制人員，抵達活動場地後先觀察當日天氣，當日能見度超過 7 哩，沒有雲幕，風向為正側風，天氣都符合標準，接著便巡視場面。

¹² 超輕型載具於海平面高度、標準大氣及最大持續動力之條件下，最大平飛速度每小時不逾 222 公里。

¹³ 依事故載具操作人飛航時間紀錄表資料，操作證術科 L1 至 L8，8 個科目飛時共 7 小時，加上熟飛時數，操作證考核前飛行時數為 9 小時 56 分；教練操作證術科 7 個科目飛時共 7 小時，加上熟飛時數，教練證考核前飛行時數為 26 小時。

受訪者表示該活動場地，在飛行前需要跟航管聯絡，記得是操作人聯絡的，但不知道操作人是否記錄於航管聯絡紀錄簿¹⁴。當日載具上的燃油，是事故前幾天由機務人員添加，左油箱 28 公升，右油箱 29 公升，共計 57 公升。載具當天約 1501 時起飛，先在航線上繞，之後操作人呼叫前往西螺大橋。

載具返場時本場風向約是 340 度，風速 5 哩/時左右，操作人決定使用 25 跑道落地，第一次申請做低空進場，後座同乘者的家人也在地面拍照。受訪者表示，操作人從 25 跑道低空進場後重飛離場，有聽到引擎聲音提升，聽起來都是正常，低空時看襟翼也是正常，到了離場端跑道頭以後拉三邊航線，轉三邊時高度大概 100 多呎，向南的時候事故載具有改平一下，然後又壓坡度，接著就看到載具不明原因墜毀。

關於正常航線一些數據，受訪者表示，從跑道頭起飛加速到大概 85 公里/時鼻輪離地，約 90 公里/時主輪離地。離地之後加速一直到達高度 150 呎，然後把襟翼由 flap 1 位置收上。收上後轉三邊，三邊飛 500 呎，速度 150 公里/時，到三邊改平，平行跑道飛 500 呎 140 公里/時，一直到下滑轉彎點。

受訪者表示重飛時的仰角大概 5 到 8 度，不超過 10 度，不會像戰鬥機一樣一次帶太大。不過因為是目視飛行，所以操作時不會一直看儀表操作。5 到 8 度仰角，油門最大，可以由 85-90 公里/時加速到 130 公里/時。重飛時原則上應該要將襟翼完全收上，速度約 130 到 140 公里/時，高度約 150 呎，可以開始淺平坡度轉彎，當速度加到 150 公里/時，坡度可以增加到 40 度轉彎。

受訪者提到低空進場之後程序，應該是要由 Flap 2 依序到 Flap 1 再到全收，當日並沒有目擊到，但後續觀看影片，飛機有下沉的狀況，依照事故載具收襟翼時的特性，飛機會有一點小小的下沉，所以受訪者認為是有收襟翼。

順風飛行教練訪談

受訪者為順風飛行教練，為赴 Shark Aero 公司原廠受訓之種子教官，持有民航局核頒之教練操作證。

受訪者說明事故載具接近失速前，會有「Stall Stall」的語音提示及機身抖動，除此之外沒有儀表或其他的提醒；在原廠受訓時，有特別提醒這架飛機在失速的時候一定要保持機翼水平，不然會很容易進入螺旋；失速改正是依照緊急程序，立即鬆下機頭，推至最大油門。

關於順風失速的學科訓練，除了民航局的學科教材外還有簡報檔輔助，共有 11 節課。術科訓練從操作證到教練證的科目配當中，都有失速改正的課程，實際

¹⁴ 航管聯絡紀錄簿當日無聯絡紀錄。

操作都不會做到完全失速。

維護技師 A 訪談

受訪者具 30 年以上之超輕型載具維修經驗，曾赴 Rotax 原廠受訓，為順風授權檢驗人員，受順風委託的項目僅限原廠技術手冊範圍內的維修或改裝。

受訪者說明 Rotax 912 ULS 引擎如搭配 SR200 型螺旋槳，依不同機種特性，於地面最高引擎轉速設在 4,800 至 5,200 RPM 均可，飛行期間引擎轉速會上升 500-600 RPM，若地面最高引擎轉速設在 5,300 RPM 以上，空中會超過手冊最大轉速 5,800 RPM 的限制；順風的原廠交機設定，地面全油門就是 4800-4900 RPM，順風曾嘗試降低槳葉角度提高轉速，但實際飛行引擎會超轉，最終還是回復原先設定。

有關 Rotax 原廠於 2020 年發布的服務信函內容，受訪者說明 95 及 98 汽油都可以用，98 汽油抗爆震¹⁵能力較好，常飛的就用 98 汽油，不常飛的用 95 汽油，因為 98 汽油放久容易有紅色沉澱物阻塞化油器。

維護技師 B 訪談

受訪者為順風授權檢驗及機務管理人員，曾任職遠東及復興航空從事民用航空器維修工作，受訪者事故當日排休，依慣例遇機務休假時，飛行前檢查則由操作人執行。

受訪者說明飛行前根據手冊的項目執行飛行前檢查，民航局無特別規定，亦無固定的表格，順風有設計「飛行前檢查表」記載電壓、胎壓、油量、滑油及煞車油。操作人負責載重與平衡，填寫「飛行前交接確認表」，飛行後會抄錄載具上資料及執行飛行後檢查，無特定表格。

順風的 4 架同型載具有 3 架使用 SR200 型螺旋槳，另 1 架為 DUC 型螺旋槳，事故載具在國外試飛時平飛可達時速 230 公里，引擎轉速 5,400 RPM。因國內法規有最高 222 公里/時的限制，因此組裝使用 SR200 型的新機時，設定槳葉角會考量法規限制、螺旋槳特性和引擎轉速不超過 5,800 RPM 的前提下，地面最大轉速設定在 4,800 RPM，使用 DUC 之載具因飛行時引擎轉速增加不大，地面設定在 5,300 RPM 左右，飛行時約上升 100-200 RPM。

¹⁵ 爆震 (Detonation) 為內燃機燃燒室非正常點火，所產生的局部混合氣爆燃現象，將減損內燃機輸出功率及損壞內部機件，影響引擎壽命。

4 法規及手冊

4.1 超輕型載具管理辦法

超輕型載具管理辦法依民用航空法第九十九條之一第三項訂定，與本次事故相關條文節錄如下：

- 第 5 條：超輕型載具所有人（以下簡稱所有人）及超輕型載具操作人（以下簡稱操作人）應負超輕型載具飛航安全之責，對超輕型載具為妥善之維護，並從事安全飛航作業。
- 第 27-1 條：活動團體應於飛航活動前，向民航局指定之飛航管制單位詢問與活動空域相關之飛航公告資訊。活動空域經飛航公告發布關閉時，活動團體不得從事活動。

4.2 順風活動指導手冊

順風活動指導手冊與本次事故相關條文節錄如下：

參、活動空域之使用申請及安全協調事宜：

三、(二)本協會相關飛航活動確遵民航局飛行與空域管制時段限制，並於軍方執行實彈射擊期間主動停止飛行活動。(三)於每日飛行前本協會應先與航管單位(臺北、高雄近場臺)、太亞飛行協會、軍方電話聯繫飛航事宜以維飛地安全。

4.3 飛行手冊

依據飛行手冊 (Flight Manual, FM) 第 2 章第 2.14 節告示牌 (Placards)，駕駛艙內載重與平衡相關之告示牌應包括前/後座人員及行李個別限重告示牌、不同燃油量及行李重量之人員總重限制告示牌，以及操作資訊與限制告示牌，詳如圖 18 至 20 所示。

	Front seat limit	Rear seat limit	Luggages limit
solo	110 kg	0 kg	25 kg
2+lugg.	110 kg	85 kg	10 kg
2 max	110 kg	105 kg	0 kg

圖 18 前/後座人員及行李個別限重告示牌

MAXIMAL CREW WEIGHT (kg) DEPEND ON FUEL AND BAGGAGE QUANTITY						
Fuel tank filling →	Fuel gauge indication →	full	3/4	1/2	1/4	30min of flight
	Fuel quantity in liters →	100	75	50	25	5
Baggage weight →	Max: 10 kg	151,7	169,7	187,7	205,7	220,1
	½ : 5 kg	156,7	174,7	192,7	210,7	225,1
	Without baggage	161,7	179,7	197,7	215,7	230,1

圖 19 人員總重限制告示牌

OPERATION INFORMATIONS AND LIMITS - speeds IAS	
Imatriculation	
Empty weight	339,33 kg
Max. take-off weight	580 kg
Max. payload	240,7 kg
Max. baggage weight for 1 pers. / 2. pers.	25 / 10 kg
Min / Max. pilot weight	55 / 110 kg
Max. passanger weigh (rear seat)	110 kg
Stalling speed with flaps	V _{SO} 30 knots
Maximum flap extended speed	V _{FE} 77 knots
Max maneuvering speed	V _A 95 knots
Max speed in hard turbulence	V _{RA} 120 knots
Never exceed speed	V _{NE} 177 knots

圖 20 操作資訊與限制告示牌

飛行手冊第 3 章緊急程序第 3.12 節，嚴禁於正常飛行中進入載具失速與螺旋。3.12.1 失速改正 (Stall Recovery) 中說明失速改正程序依序為：1.透過操縱桿推頭以增加速度；2.逐漸增加馬力。載具在平飛狀況下，失速改正所需之高度為 137 公尺至 150 公尺 (450 呎至 500 呎)。

飛行手冊第 4 章正常程序第 4.6、4.7 節，載具於正常狀況之起飛離地速度為 91 公里/時 (49 浬/時)，起始爬升速度為 120 公里/時 (65 浬/時)，襟翼收起之爬升速度為 120 至 180 公里/時 (65 至 97 浬/時)，在速度達 115 公里/時 (62 浬/時) 之前不可爬升。事故載具最大爬升角之速度 (V_x)，約為 130 公里/時 (70 浬/時)；維持最佳爬升率之速度 (V_y) 約為 180 公里/時 (97 浬/時)。

飛行手冊第 5 章性能數據第 5.2 節，載具襟翼角度設定計有 0 度、20 度、30 度及 40 度四段，對應之平飛失速速度分別為 45、42、39 及 38 浬/時或 83、78、72 及 70 公里/時，0 度角度為襟翼全收。

4.4 駕駛艙告示牌

事故載具駕駛艙內之操作資訊與限制告示牌、人員總重限制告示牌如圖 21 所示。



圖 21 操作資訊與限制告示牌（左）、人員總重限制告示牌（右）

4.5 失速相關事實資料

依據順風地面學科/飛行員航空知識手冊/第三章飛行空氣動力學，失速相關簡介說明如下（原文照錄）：

只要機翼產生的升力足夠抵消飛機的總載荷，飛機就會一直飛行，當升力完全失去時，飛機就失速。

記住，每次失速的直接原因時迎角¹⁶過大。有很多飛行機動會增加飛機的迎角，但是直到迎角過大之前飛機不會失速。

必須要強調的是，每個飛機的失速速度在所有飛行條件下都不是固定的值。然而，一個特定的飛機總會在同一個迎角時失速，而不管空速，重量，載荷因素或密度高度。每一個飛機都有一個特殊的迎角，那時，氣流從飛機的上表面分離，發生失速。根據飛機設計，臨界迎角可以從 16 度到 20 度變化。但是每個飛機只有一個特定的發生失速的迎角。

¹⁶ 即「攻角」。

在三種情況下會超過臨界迎角：低速飛行，高速飛行，和轉彎飛行。

飛機在平直飛行時如果飛得太慢也會失速。空速降低時，必須增加迎角來獲得維持高速所需要的升力。空速越低，必須增加更大的迎角。最終，達到一個迎角，它會導致機翼不能產生足夠的升力維持飛機，飛機開始下降。如果空速進一步降低，飛機就會失速，由於迎角已經超出臨界迎角，機翼上的氣流被打亂了（變成了紊流）。

這裡還要再次強調的是，低速不是發生失速所必要的。機翼可以在任何速度下處於過大迎角。例如，假設一個飛機以 200 節空速俯衝，這是飛行員突然向後猛拉升降舵控制。由於重力和離心力，飛機不能立即的改變它的航跡，但是只能突然的改變它的迎角從很低到很高，由於飛機航跡和迎面而來空氣的關係確定了相對風的方向，迎角突然增加，飛機機會和快的達到失速迎角，而這是它的空速是比一般失速的空速大得多。

類似的，水準轉彎¹⁷時的飛機失速速度高於平直飛行時的失速速度。這是因離心力增加到飛機的重力上，機翼必須產生足夠的額外升力抗衡離心力和重力的合力載荷。轉彎時，必要的額外升力通過向後壓升降舵控制來獲得。這增加了機翼的迎角，結果增加了升力。傾斜增加時迎角必須增加以平衡離心力導致的載荷增加。如果在轉彎的任何時候迎角過大，飛機就會失速。

4.6 引擎轉速調校服務信函

引擎製造廠 Rotax 於民國 109 年 12 月 4 日發布編號 SL-912-016R2 服務信函，建議使用 Rotax 912 系列引擎之飛機製造商或個人，搭配使用可於地面調整槳葉之螺旋槳，於設定引擎最大轉速時，應參考引擎性能限制及燃油種類調整適當之槳距，以免造成引擎過大負荷。

該服務信函同時建議使用辛烷值 98 以上之汽油，可減少引擎運作時產生爆震，延長引擎使用壽限。依據該服務信函所提示之 Rotax 912 S/ULS 性能與歧管壓力設定對照表中（圖 22），使用 95（藍線）或 98（紅線）汽油，在最大油門時歧管壓力曲線均不應低於黃虛線；此表格提供使用者根據使用的燃油種類來設定適合的最大轉速。

¹⁷ 即「水平轉彎」。

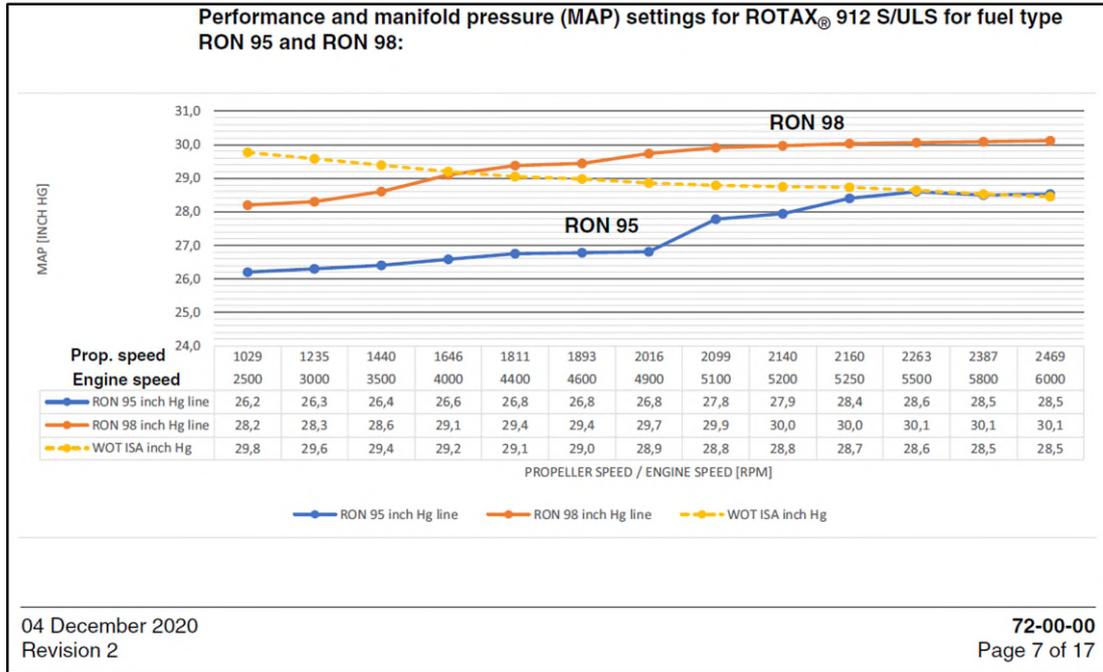


圖 22 Rotax 912 S/ULS 性能與歧管壓力設定對照表

4.7 Rotax 原廠代理商意見

本次事故發生後，調查小組洽詢事故載具 Rotax 引擎製造廠有關地面可調整槳距螺旋槳與燃油選用問題，原廠授權由亞太區代理商 Peiport 公司回復，相關意見摘要如下：

- SR200 型螺旋槳適用於 912 ULS 引擎，當選擇固定槳距螺旋槳（包括地面可調整槳距螺旋槳）時，載具製造商通常會選擇某個在飛機預期巡航速度下有效運行的螺旋槳槳距和直徑；每一個固定槳距的螺旋槳都只能是一個折衷方案，因為它只能在給定的空速和引擎轉速的組合下有最佳效果。像 Shark Aero 這樣較高速的飛機一般會使用大槳距螺旋槳，在巡航時會比較有效。但是因為槳距大且固定，在低速階段，螺旋槳槳葉相對氣流的攻角較大，會因此失速而推力較小，隨著速度增加，槳葉失速得到改善，引擎負載變小，轉速也會提高，推力增加。因此相對來說，大槳距螺旋槳通常起飛滑行距離會比較長，也不利爬升；如果使用較小槳距的螺旋槳，起飛距離可能會縮短，對起飛有利，但是巡航時需要高轉速。
- 依據 SL-912-016R2 服務信函所提供 Rotax 912 S/ULS 性能與歧管壓力設定對照表（圖 22），若使用 95 汽油且引擎轉速在最大油門狀況下低於 5,500 RPM 時，引擎可能發生爆震；使用 98 汽油且引擎轉速在最大油門狀況下低於 4,000 RPM 時，引擎可能發生爆震。

分析：

事故載具具備民航局超輕型載具檢驗合格證，事故前載具及引擎均依規定執行定期檢查，本次飛行之載重與平衡在限制範圍內。依據法務部法醫研究所解剖報告書暨鑑定報告書，操作人血液、尿液均未檢出毒藥物成分；操作人血液檢出酒精含量 23 mg/dL，但尿液中未檢出酒精成分，研判可能係血液因高溫及死亡後細菌發酵所產生的內生性酒精，無證據顯示操作人在本次事故受到酒精或藥物之影響。

依據事故載具之螺旋槳葉片檢視、引擎殘骸檢視、事故發生時地面目擊者錄影及引擎運轉聲響音頻分析結果，載具於墜落撞擊地面前，引擎仍正常運轉。

本事故相關分析將依：引擎運轉聲響頻譜分析、事故載具失速原因、活動空域操作，以及載重與平衡等 4 項分述如後。

引擎運轉聲響錄音頻譜分析

觀察事故載具由地面目擊者拍攝影像之聲音頻譜（圖 14），當載具進入爬升與轉彎階段，引擎相關之轉速音頻保持穩定，一項特徵之基礎音頻率為 102 Hz，此外亦觀察到另一特徵為 166 Hz 之頻率。

同型機於引擎 5,000 RPM 之頻譜圖（圖 15）清晰顯示一項基礎特徵音頻率為 104 Hz，及其第二與第三特徵音頻分別為 208 Hz、308 Hz；另外兩個特徵音頻於近 170 Hz 及 244 Hz 處。於該引擎轉速下，螺旋槳葉片之基礎掃略頻率¹⁸應為 250 Hz。

同型機於引擎 4,000 RPM 之頻譜圖（圖 16）顯示一項基礎特徵音頻率為 84 Hz，及其第二與第三特徵音頻分別為 169 Hz 及 254 Hz；另外兩個特徵音頻於近 137 Hz 及 206 Hz 處。於該引擎轉速下，螺旋槳葉片之基礎掃略頻率應為 200 Hz。

同型機於引擎 4,800 RPM 之頻譜圖（圖 17）顯示位於 101 Hz、163 Hz、202 Hz、303 Hz、404 Hz、505 Hz 之特徵音頻；101 Hz 音頻強度較弱。於該引擎轉速下，螺旋槳葉片之基礎掃略頻率應為 240 Hz。

綜整以上資訊顯示事故載具引擎相關音頻呈現之特徵，與同型機引擎於轉速 4,800 RPM 所呈現之特徵較為吻合，推論事故載具通過 07 跑道頭後之爬升轉彎階段，引擎轉速最接近 4,800 RPM。

事故載具失速原因

根據地面目擊者拍攝影像及機載 GPS 地速資料綜合研判，當事故載具以低

¹⁸ 基礎掃略頻率：為與旋轉機械有關的物理特徵，指具有旋轉葉片的機械如渦輪機或發動機葉片於旋轉過程中經過固定點或觀察者的特徵頻率。

空進場通過 25 跑道，飛越 07 跑道頭時，襟翼外型顯示為伸放狀態。初始爬升階段，依據該機飛行手冊中的正常程序，其初始爬升速度為 120 公里/時(65 浬/時)，而事故載具之地速為 109 公里/時，略低於飛行手冊規定。事故載具於本場航線一邊轉二邊時，左轉坡度約 40 度，爬升仰角超過 25 度，此仰角明顯大於正常重飛之仰角。顯示事故載具以低於一般爬升所需的速度爬升，並於爬升過程中同時進行較大仰角及坡度的操作。由座艙影像可發現事故載具於 1517:34.9 時發生第一次失速前抖振現象¹⁹。當載具接近失速狀態，機身會有輕微抖振現象，在此飛行狀況下載具仍為可控，操作人應立即執行失速改正程序。

從地面拍攝影像及座艙影像發現事故載具轉至本場航線二邊後，左轉坡度減至約 23 度，仰角減至約 5 度，失速前抖振狀況亦暫時停止。地面拍攝影像顯示載具襟翼於本場航線二邊期間被收起，且襟翼收起過程地速減小至 84 公里/時²⁰；與此同時，載具航向向南處於尾風狀態，因此該事故載具於二邊時之空速，可能小於 84 公里/時。該型載具收上襟翼之平飛失速空速為 83 公里/時(45 浬/時)，故推測事故載具當時空速，可能已低於收上襟翼之平飛失速空速。故第一次失速前抖振現象後約 4 秒鐘，於 1517:39.2 時事故載具仰角約 5 度，坡度雖減小至約 15 度，此時發生第二次失速前抖振現象。

由地面拍攝影像可以觀察到事故載具位於航線二邊後，仰角雖無明顯變化，但高度由爬升轉為下沉，應為襟翼被收上期間升力係數變小，造成升力不足而開始下沉（爬升率小於零）。當載具由爬升狀態變成下沉狀態，雖仰角不變但攻角卻相對增加，若進入的氣流與機翼之間的角度超過臨界攻角，氣流將從機翼後緣部分開始分離，且機翼上表面的氣流分離現象將從後緣向機翼前緣移動，兩側機翼將逐步失去升力，導致事故載具逐漸進入失速狀態。第二次失速前抖動現象發生 1 秒鐘後，事故載具左側機翼急速下墜²¹，造成向左坡度繼續快速增加而進入失速狀態，當時事故載具於本場航線二邊之高度約為 48 公尺（約 158 呎），因改正高度不足而墜毀。

綜上述，操作人未確實遵守飛行手冊相關程序及操作限制，對於載具失速狀況之警覺及處置能力不足。

¹⁹ 載具失速速度可能因大仰角及大坡度之爬升過程中，帶桿操作增加之翼面負載及攻角改變而升高，致載具空速與失速速度間之安全裕度縮小。

²⁰ 依 GPS 資料顯示，於 1517:38 時事故載具地速減至為 84 公里/小時。

²¹ 因整合式多功能儀表系統已於事故時被焚毀，無法從中取得飛行操作數據紀錄，左側機翼因失速急速下墜之成因，就空氣動力學原理或飛行操作做以下推論：當航空器帶著坡度接近失速狀態且高度由爬升轉為下降時，內（左）側機翼的攻角將大於外（右）側機翼的攻角，故內側機翼將先失速，且內側機翼失去之升力大於外側機翼，導致飛機將因此向內側滾轉（Roll）。此類空氣動力學之特性，及不當使用副翼或方向舵，皆為不利於失速改正之可能因素並可能增加航空器進入螺旋之風險。

活動空域操作

事故載具當日飛行之活動空域為濁水溪超輕空域，其許可活動時間為周六、周日及國定假日之日出至日落，事故發生時間為周四，並非民航局許可活動時間。且順風未依活動指導手冊，於當日飛行前與航管單位、太亞飛行協會及軍方電話聯繫飛航事宜，影響飛航安全。

載重與平衡

載具後座有同乘人員時，其體重不應超過駕駛艙內載重與平衡限重規定，事故載具之載重與平衡位於限制範圍內。由事故載具駕駛艙內告示牌照片發現，順風未將前/後座人員及行李個別限重告示牌張貼於駕駛艙內，僅標示人員總重限制告示牌、操作資訊與限制告示牌，有造成操作人誤用數據，致後座人員重量超出載重與平衡限制之風險。

結論：

與可能肇因有關之調查發現

事故載具低空進場通過 07 跑道頭後之爬升過程中，操作人未能遵守並保持飛行手冊中規定之初始爬升速度，且因大仰角及大坡度轉彎增加翼面負載而造成載具失速。操作人於第一次失速前抖振現象發生時，未能迅速有效地執行失速改正程序以增加速度，並於速度不足狀況下收上襟翼，導致第二次失速前抖振後，發生失速而墜毀。

與風險有關之調查發現

活動空域屬合法超輕型載具活動空域，但事故當日非民航局許可該空域之活動時間，且順風未依活動指導手冊與相關單位聯繫飛航事宜，影響飛航安全。

其他調查發現

本次飛行之載重與平衡位於限制範圍內，然事故載具駕駛艙之載重與平衡告示牌無前/後座人員及行李個別限重告示牌，有造成操作人誤用數據，致後座人員重量超出限制之風險。

運輸安全改善建議：

致社團法人順風飛行協會

1. 加強操作人飛行訓練與管理，強化操作人對於失速之狀況警覺及處置能力，並確實遵守飛行手冊相關程序及限制進行飛航。（TTSB-ASR-23-12-001）
2. 確遵民航局核定空域之許可活動時間進行飛航，並依活動指導手冊與相關單位聯繫飛航事宜。（TTSB-ASR-23-12-002）

3. 於駕駛艙內張貼必要之載重與平衡相關告示牌，讓操作人清楚辨識並遵守，以確保載具於飛行時重心維持於操作許可範圍內。（TTSB-ASR-23-12-003）

致交通部民用航空局

1. 督導社團法人順風飛行協會加強人員訓練與管理，確實遵守飛行手冊與活動指導手冊進行作業與飛航。（TTSB-ASR-23-12-004）

附錄 社團法人順風飛行協會調查報告草案意見回復

SF2555 超輕型載具重大飛航事故調查報告草案 順風飛行協會意見回復表			
回覆日期: 2023.12.7			
頁數	調查報告草案內容	建議修正	理由
P24 至 25	<p>【分析】：</p> <p><u>載重與平衡：</u></p> <p>載具後座有同乘人員時，其體重不應超過駕駛艙內載重與平衡限重規定，事故載具之載重與平衡位於限制範圍內。由事故載具駕駛艙內告示牌照片發現，順風未將前/後座人員及行李個別限重告示牌張貼於駕駛艙內，僅標示人員總重限制告示牌、操作資訊與限制告示牌，有造成操作人誤用數據，致後座人員重量超出載重與平衡限制之風險。</p> <p>【結論】：</p> <p>本次飛行之載重與平衡位於限制範圍內，然事故載具駕駛艙之載重與平衡告示牌無前/後座人員及行李個別限重告示牌，有造成操作人誤用數據，致後座人員重量超出限制之風險。</p>	<p>無事證顯示與本案有何因果關係，且無風險存在，建議刪除。</p>	<p>本件並無事證顯示事故載具後座人員重量超出載重與平衡限制，但分析意見卻未提出此項結論，其文字恐令公布後使他人對本會致生誤會。</p> <p>況事實上，載具駕駛艙之載重與平衡告示牌標示為飛機原廠出廠格式，非本協會擅自製作，且依民航局規定每批飛行前需填寫載重平衡表(如附件)，本協會均依規定執行，並依規定每季呈報民航局，故不會發生重量超出限制之風險，既然無此風險存在，建議刪除。</p>

