

霧化氣泡式颱風水工觀測系統研發與應用 The Development and Application of an Atomization Air Bubble Hydraulic Typhoon Observation System

胡明森¹、陶家瑞²

Ming-Sen Hu¹, Chia-Rei Tao²

軍事氣象系副教授¹ 軍事氣象系講師² 空軍航空技術學院

^{1,2}Department of Military Meteorology, Air Force Institute of Technology

摘要

颱風侵襲為台灣最嚴重之自然災害之一。高聳的中央山脈縱貫其境內，每當颱風移近台灣時，因受台灣地形影響，其路徑或彎曲、或打轉、或由副低壓取代…等，極為複雜，更直接影響颱風預報之準確性。這些現象在教學上，只能使用圖表分析、衛星、雷達影像資料及觀測資料…等作數值模擬的研判分析，難以看出整個颱風環流受台灣地形影響的全貌及變化過程。本文主要是研發一套霧化氣泡式颱風水工觀測系統，並應用此觀測系統進行颱風移動時受各種地形影響之水工模擬實驗，以期能在實驗室內觀測到颱風侵台時，其氣流受地形影響的種種變化，達到將抽象的大氣現象形象化之目標。透過此種颱風觀測系統之微泡水工模擬實驗，一方面可讓學習者加深印象，引發學習興趣，提升學習成效，培養新一代的氣象預報員，提升預報之準確性。

關鍵字：颱風侵襲，水工實驗，強制渦流

Abstract

Typhoon invasion is one of most serious natural disasters over Taiwan. The Central Mountain Range goes through the Taiwan. The paths of typhoon varies irregular are affected by Taiwan terrain when typhoon approaches to Taiwan, it may be turn in curve, or go around, or substituted by the secondary low (wake)...etc. As the results, these effects influences directly to the accuracy typhoon forecast. In point view of teaching, all of these phenomena analyzed after the disasters by weather charts, surface observation records, satellite and radar imageries, etc. It's hard to capture reality world. This study mainly develops an atomization air bubble hydraulic typhoon observation system. We try to use this hydraulic experiment system to watch the typhoon circulation touch the terrain effects in all directions. After that, it will achieve the goals that these atmospheric phenomena visualized. Let the beginner deepen the impression, the initiation study interest, and the promotion study results. This system may also help the meteorologist more precise grasping typhoon invades Taiwan the different terrain influence all sorts of air current changes. The system may good help to train the new generation of weather forecaster and increase the accuracy of weather forecast.

Keywords: typhoon, hydraulic experiment, compulsion eddies,

一、前言

台灣位處西北太平洋颱風生成頻率最高、強度最強的海域，且在颱風西行路徑的要衝

上，當有颱風侵襲時都會經歷如狂風、暴雨、暴潮…等現象，主要原因是台灣有一座類似氣象中尺度大小的中央山脈(圖 1)[3]，颱風遇到類此高聳的山脈，就發生了許多特別的現象，這

些現象隨著颱風路徑之不同而變化多端，也給氣象預報人員帶來諸多挑戰與困擾，如圖 2 所示為歸納近百年來經過台灣附近之颱風路徑圖[3]，本研究是希望利用水工實驗設計出類似颱風侵台的大尺度環境，進而來觀察颱風接近台灣時山脈對於颱風氣流之影響。此類研究因為需要水工設備目前並不普遍，著名學者如朱、王[1][2]等。

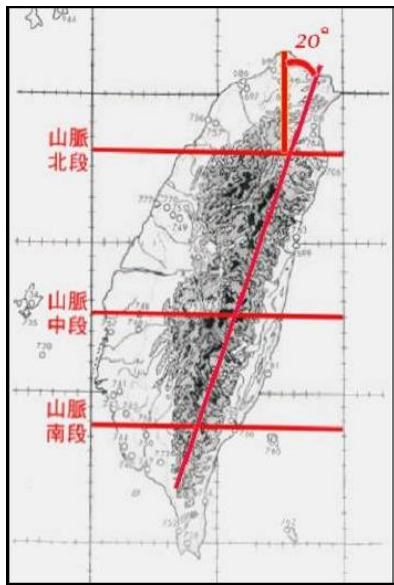


圖 1. 台灣山脈走向



圖 2. 近百年來經過台灣附近的颱風路徑[3]。

本研究團隊先前已陸續針對大氣現象中的鋒面(fronts)及大氣環流，分別開發一套鋒面[6]及大氣環流[7]的水工實驗系統，鋒面水工實驗

是模擬大氣因密度不同而產生的密度流，亦即鋒面現象。大氣環流水工實驗系統模擬地球旋轉因密度引起風切環流等現象(Kelvin-Helmholtz instability)，這些實驗結果適合用來解釋地球上大氣環流的理論與現象，更可讓學習者了解到大氣之密度與溫度梯度在地球自轉影響下之變化情況，對學習者建立抽象物理觀念非常有幫助。

本文之研究以先前研發鋒面水工實驗系統及大氣環流水工實驗系統之經驗為基礎，進一步規劃設計一套可在水槽中產生微氣泡強制渦流之水工實驗系統，此種微氣泡強制渦流可在水工模型中模擬颱風由下而上之逆旋轉氣旋，並藉由製作一套線控式地理模型移動裝置，供使用者操控將台灣地理模型移近或離開微氣泡強制渦流，以模擬並觀測颱風靠近台灣或遠離台灣之氣流變化。為進行颱風侵台之水工觀測，在本研究中我們首先在長方形水工模型中，分別以紅色及藍色高密度染液進行氣流過台灣之水工模擬實驗，探討不同角度之密度流經過台灣地理模型後之氣流變化；接著運用所研製之微氣泡颱風水工模擬實驗系統，在方形水工模型中產生微氣泡強制渦流，並進行多種角度之颱風侵台水工實驗，觀測渦流接觸台灣不同地點後受地形影響之渦流變化。另一方面，在此微氣泡颱風水工模擬實驗系統研發過程中，本研究亦創作並申請通過「可視化氣象模擬流場之噴嘴構造」[8]與「微氣泡氣象模擬器之水液表面真空裝置」[9]等兩項中華民國新型專利。

二、系統設計

為進行強制渦流之颱風觀測實驗，本研究研製一套霧化氣泡式颱風水工觀測系統，其系統結構如圖 3 所示，各組成單元之功能分述如下：

各組成單元之功能分述如下：

(1) 觀測水槽：為颱風水工觀測之實驗容器，

外框以透明壓克力板製作成一個正方形的平底槽，水槽規格為長 80 公分，寬 80 公分，高 40 公分，水槽裝置在一鋁設備固定底盤上，並由一個具移動輪之鋁擠型支架所支撐。

- (2) 地理模型：為一可置換之模型，可裝置台灣地理模型或不同形狀、高度之地理模型。

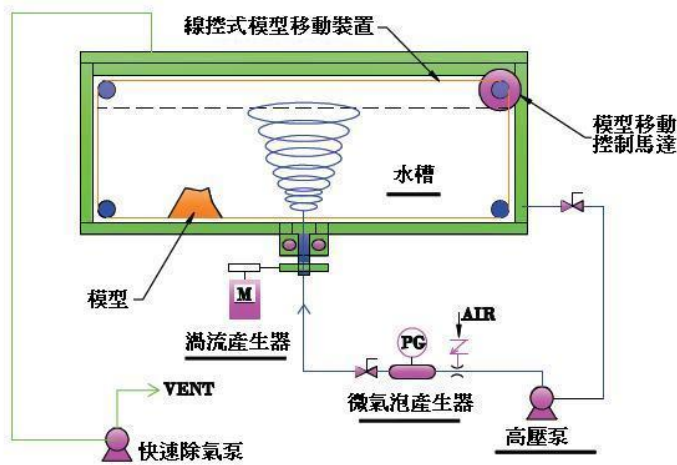


圖 3. 霧化氣泡式颱風水工觀測系統結構圖

- (3) 高壓泵：用於抽取水槽中底部水流並加高壓，以便空氣溶解率增加，配合出口之文氏管及空氣入口逆止裝置，將大氣中之空氣吸入並溶於水中。
- (4) 微泡產生器：入口接收大量溶解空氣之高壓水，並監看其系統壓力，出口以微量調整閥，調整出口流量，因水壓瞬間解除，其溶解於水中之空氣迅速析出而形成微泡，此時水因充滿微泡而形成與透明水不同之乳白色，利於觀測及拍照攝影。
- (5) 渦流產生泵：利用可調整速度及方向之旋轉馬達，將中心入口之乳白色微泡水形成向上之渦流，以模擬颱風或颶風之氣旋，並將其送入觀測水槽之底部轉盤，即可得一乳白色且可控制其旋轉速度及向量之觀測氣旋。再者，若置換不同大小之底部轉盤，即可模擬出不同半徑之颱風氣旋，以

供觀測實驗。

- (6) 快速除氣泵：為便於連續及長時期觀測需求，利用此除氣泵快速將漂浮於液面頂端之微泡吸出，以免其滯留時間過久而使觀測槽充滿過多之微泡，而失去觀測之功能。
- (7) 線控式模型移動裝置/模型移動控制馬達：利用馬達之正反轉及速度控制，配合滑輪組件及線控材料，可以控制位於水槽底部之(台灣)地理模型，使之接近或離開氣旋，並得以擾動最小之方式取得觀察數據。

本研究所開發之霧化氣泡式颱風水工觀測系統實體如圖 4 所示。



圖 4. 霧化氣泡式颱風水工觀測系統實體

三、台灣地形對水工實驗之設計考量

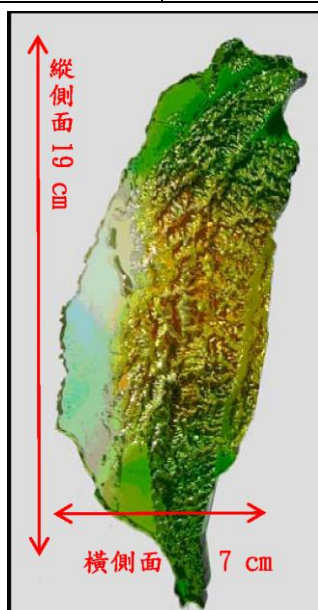
本研究之水工實驗是以水模擬颱風氣流在流經台灣地形時，氣流受山地阻擋，在山的附近及山的背後所產生的擾動情形。空氣與水均屬於流體，在所有流體的特性中，最重要的是

「密度」(density) 與「黏度」(viscosity)。簡單的說：「密度」是指在固定的體積內能容納多少分子，「黏度」則是指該流體分子之間的摩擦力的大小，黏度愈大，流體流動速度愈慢。雖然水的密度是空氣的 831 倍，差了很多，但就黏度而言，空氣與水的黏度卻差不多(如表 1)，因此我們採用水來模擬氣流過山的情形應有不錯的效果。

台灣的颱風特別引人注意的是台灣孤立於海中，但是境內一座長約 300 公里，寬約 80 公里，平均高度約 3000 公尺的中央山脈，此山的大小若以氣象對天氣現象的分類而言，恰與中尺度的氣象範圍相當，加上台灣的南北總長度約 400 多公里，約與一個中小型的颱風範圍差不多，我們就依這些條件設計出此水工實驗。此外我們還訂製一個約 200 萬分之一比例的仿真實台灣的地形障礙模型(如圖 5)，希望能讓初學者能夠在實驗室內就可以觀測到颱風侵台時氣流遇到台灣山地阻擋，會產生的各種現象。

表 1、空氣、水與蜂蜜的黏度[12]

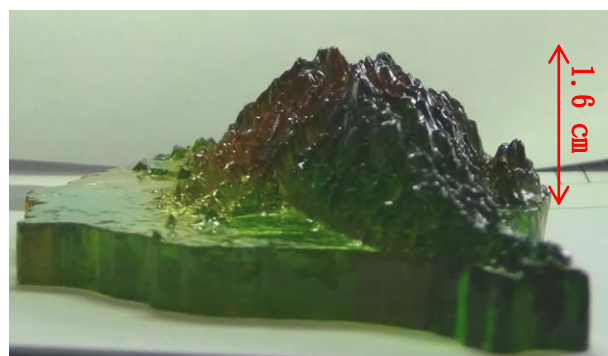
流體種類	黏度(Pa-s)
空氣	1.83×10^{-5}
水	1.0×10^{-3}
蜂蜜	1000



(a) 台灣模型全貌(2 百萬分之一)



(b) 縱側面地形



(c) 橫側面地形

圖 5. 仿真實台灣真實地形模型

依據弗路得數 (Froude Number) (Schlichting, 1979)

$$F = U / NL$$

弗路得數 F 的大小會受到流體的流速 (U)，山高 (L) 及流體穩定度 (N) 之影響[4]。當流體的流速小，不足以越過山脈，相對的氣流穩定度也增加，兩者效果的相乘結果讓分母值倍增，為簡化問題僅考量當颱風侵襲台灣時，當 $F \rightarrow 0$ ，其風速較小如輕度颱風，直接衝向中央山脈，氣流無法越過中央山脈，氣流大部分在迎風面採沿山脈兩側產生分流，向南北兩側繞過山脈而在背風面再會合的方式(如圖 6(a))。當流體的流速增加時，山高不變，氣流穩定度會相對降低，其結果使得 F 值會增加，

如 $F \geq 0.5$ 或更高時，即中度或強烈颱風時，觀察氣流在台灣地形附近所衍生的現象，其不僅有繞山氣流也有越山氣流(如圖 6(b))，也會在背山相對的位置產生尾流(wake)，也就是我們常說的副低壓中心，如圖 6(c)為在台灣東南方產生尾流，圖 6(d)之尾流出現在台灣西邊，圖 6(e)則在台灣西南方產生尾流。這些因地形所產生的現象與颱風環流互相影響，大大的增加了颱風路徑預報的困難度。因我們希望利用此套系統在實驗室中能看出上述的現象，加深學習者的興趣與印象。

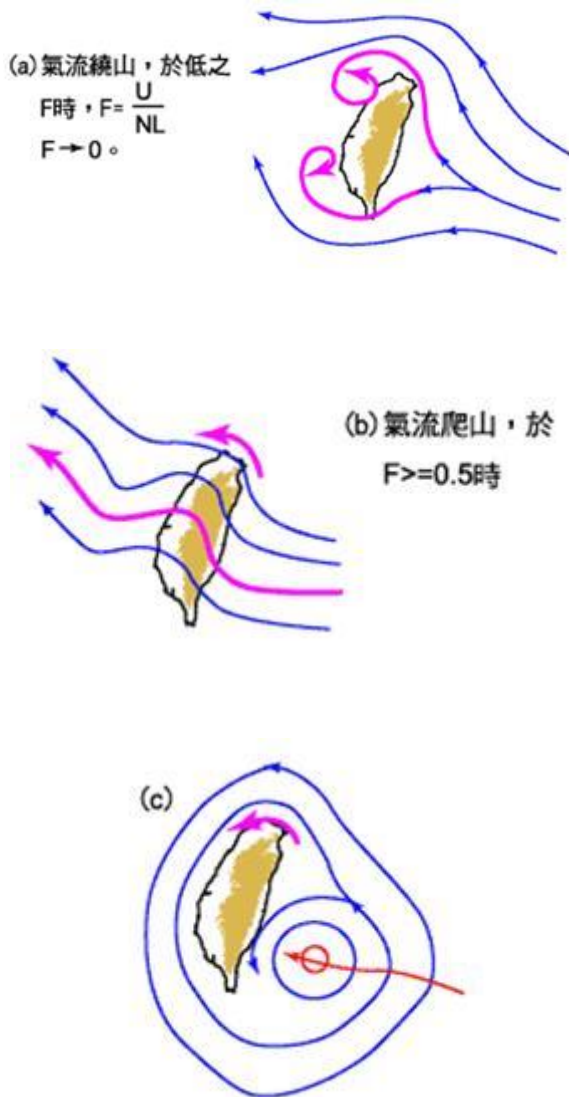


圖 6. 颱風駛流與颱風繞山環流示意圖

四、颱風氣流過台灣之水工模擬觀測

綜觀過去歷史颱風資料，颱風侵台時很容易產生副低壓，此即為實驗中的尾流，這些颱風路徑及尾流位置極為複雜，因受限於模型裝置，無法一一模擬，在此先以第二類颱風路徑，自台灣中央穿越，山脈與氣流呈 90° 來模擬(如圖 7)。

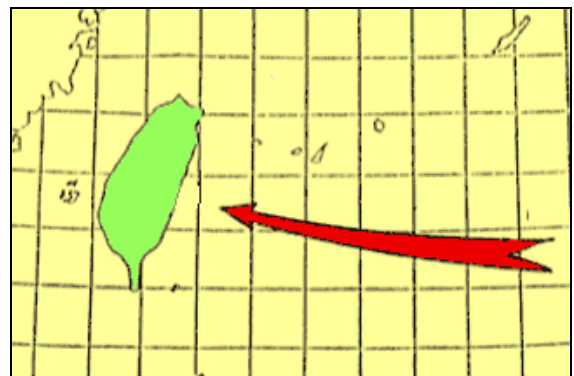


圖 7. 颱風從東部直接穿越台灣

為了要在實驗室中呈現此現象，我們用鋒面水工實驗長槽型平直水流，氣流與台灣中央山脈呈 90 度，用 1% 的鹽水濃度加上紅色食用染料式作颱風氣流，並將台灣地形放入鹽水流經的途中，可以明顯看到，紅色氣流從台灣的兩端繞過，然後在背風處再從兩端匯流集中，在兩股氣流尚未匯集之前，在台灣西側中部均無任何紅色染液存在，此即為氣流因受台灣地形影響所形成的尾流，此尾流會隨著兩側匯流的質量逐漸增多，尾流面積會由大逐漸變小，而後由台灣陸地逐漸向西方外海移動，面積也逐漸縮小，最後消失(圖 8)。由圖 8(a)-(d) 的四張擷圖可以看出其與圖 6 的理論圖非常吻合。在此值得注意的是中央山脈有兩個主峰高度均超過 3000 公尺，北方的是雪山山脈，南方的是玉山山脈，在中央的部分雖為山脈的一部分，但比兩個主峰還是稍矮些，從圖 8 的實驗可以看到，從圖 8(a-d) 均有少量的氣流越過山脈的中央較矮的部分，這也可以解釋颱風尚未來之前，台中地區容易有焚風的原因，此一現象，在過去我們用氣象資料是分析不出來的，但是在此水工實驗中我們可以清楚的看到此一現象。

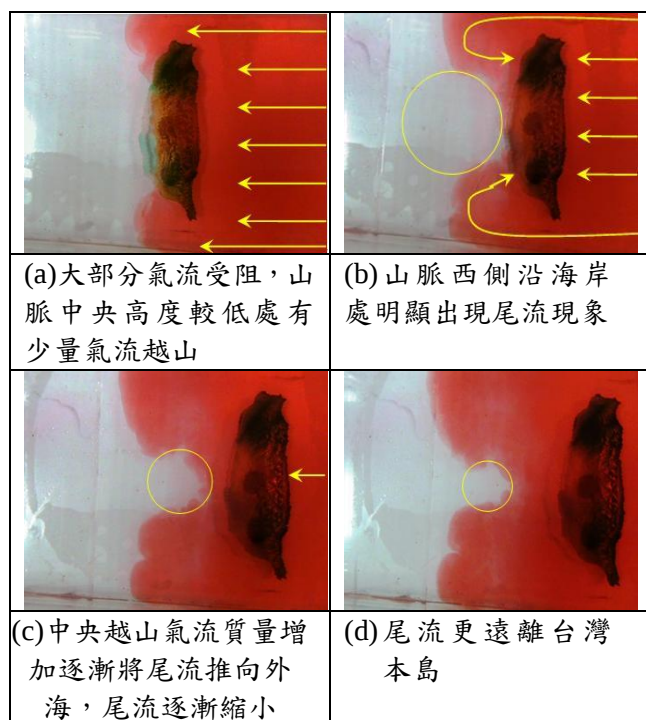


圖 8. 台灣地形與氣流呈 90° 阻擋通過中央山脈的鳥瞰過程

我們也嘗試將台灣地形與氣流呈 45 度角，颱風氣流從台灣東北部往西南部流動(如圖 9)，其所得的結果與圖 8 的結果類似，但是尾流產生的位置在台灣西南部陸地，尾流之面積較圖 8 為小，隨後移出海。

從實驗中可以明顯看出圖 9(a) - (b) 之氣流受山脈阻擋，由於台灣南北兩端氣流並未受阻，仍然前進，但在山背處呈現空氣質量不足形成低壓區，此低壓區受南北氣流不斷流入，範圍逐漸縮小如圖 9(c)-(d)；不過值得注意的是，在南北兩高峰之間的較低的山區，因山東側氣流不斷堆積，也有少量的氣流會越山到達山的西側，但過一段時間之後，山西側的氣流也增加，在副低壓範圍變小後，會將副低壓推向外海。

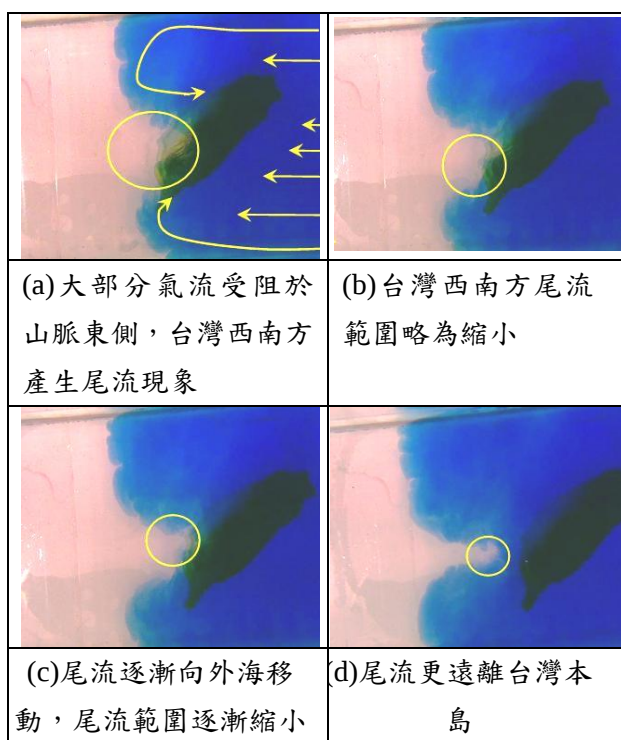


圖 9. 台灣地形與氣流呈 45° 阻擋通過中央山脈的鳥瞰過程

五、颱風侵台之強制渦流水工模擬觀測

本研究所研製之微氣泡颱風水工模擬實驗系統，可在方形水槽模型中產生微氣泡強制渦流，並進行多種角度之颱風侵台水工實驗，藉以觀測渦流接觸台灣不同地點後受地形影響之渦流變化。本實驗系統可透過專利創作的噴嘴設計產生霧化(微氣泡)效果之強制渦流，將有利於颱風模擬之觀測，如圖 10 所示為未經霧化處理颱風環流與霧化測試結果。

在本研究中，我們運用此微氣泡颱風模擬系統分別進行颱風由台灣東部與台灣東南部靠近台灣，以及沿著台灣中央山脈由南北上侵襲台灣之模擬實驗，藉以觀測颱風環流之變化情形。圖 11 為颱風由台灣東部靠近台灣之模擬實驗結果。

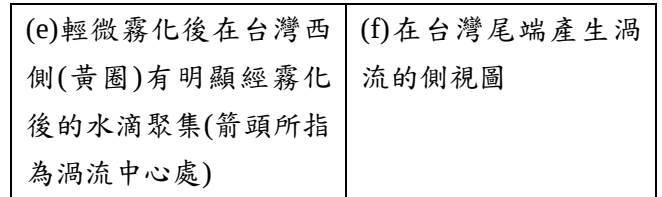
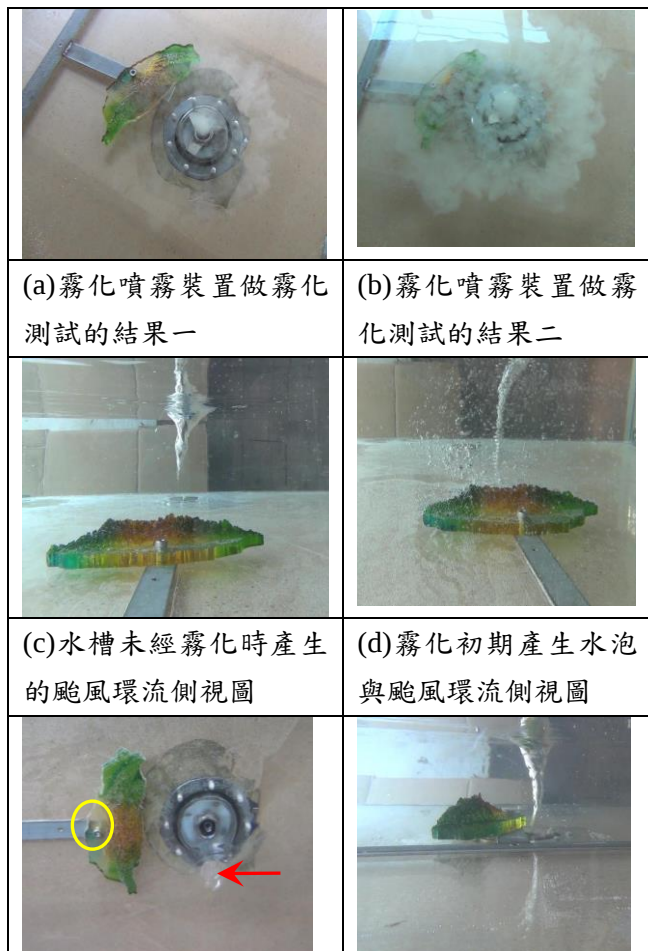


圖 10. 未經霧化處理之颱風環流與霧化測試結果

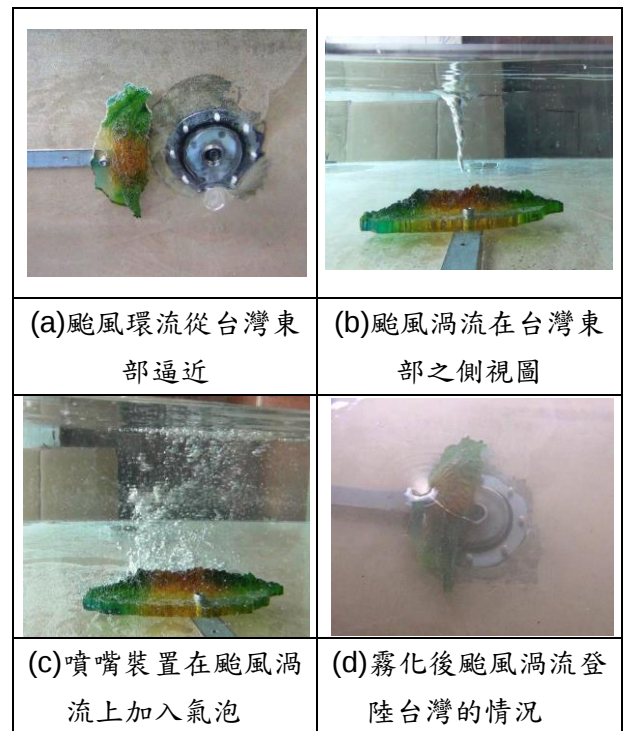
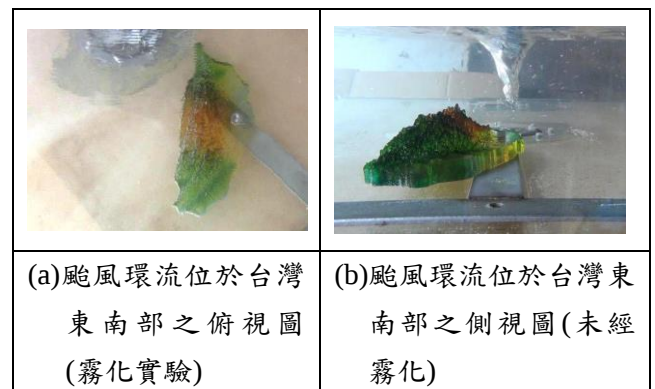


圖 11. 颱風由台灣東部靠近台灣之模擬實驗結果

圖 12 為颱風環流由台灣東南部逐漸靠近台灣，其環流在台灣地形上變化之模擬結果。



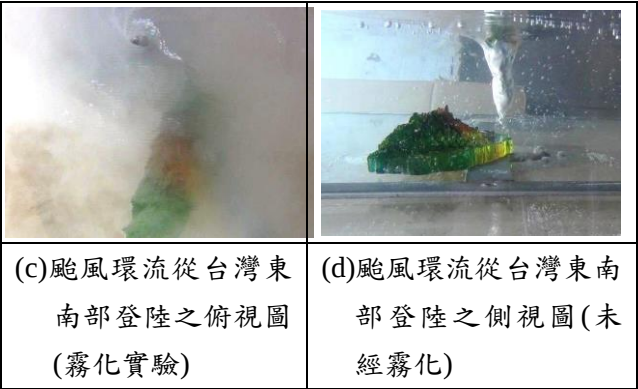


圖 12. 颱風環流由台灣東南部逐漸靠近台灣之模擬結果

另外，颱風沿著台灣中央山脈由南北上侵襲台灣之模擬實驗結果如圖 13 所示。

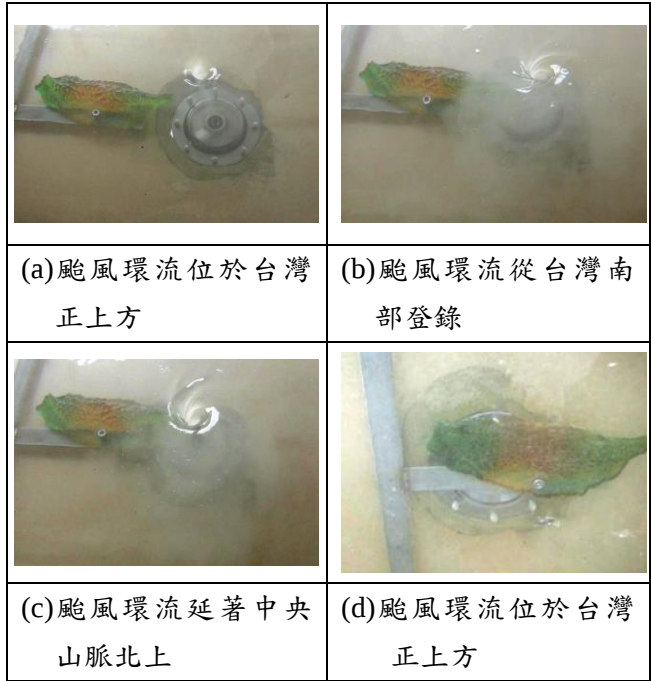


圖 13. 颱風沿著台灣中央山脈由南北上侵襲台灣之模擬實驗結果

在本研究中，為了增進水工觀測之效果，我們將觀測水槽底部貼上藍色防水膠布，以模擬藍色之海洋，再進行各種颱風環流侵台之水工實驗，如圖 14 所示為模擬颱風環流由東向西經過台灣北面之觀測結果(模擬圖 2 所示之第 1 條颱風侵台路徑)。

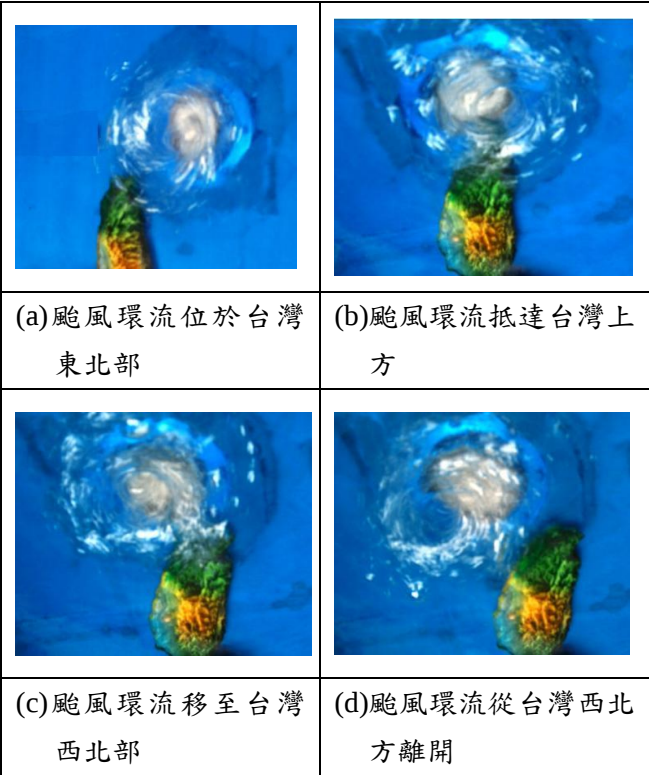
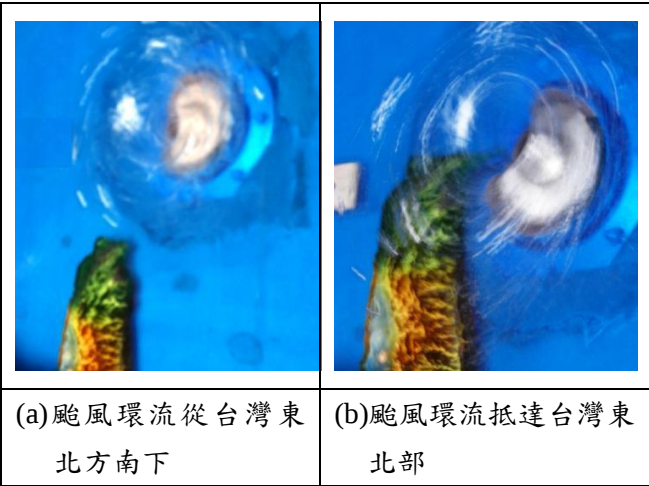


圖 14. 颱風環流由東向西經過台灣北面之模擬

圖 15 所示為模擬颱風環流由北向南經過台灣東面之觀測結果(模擬圖 2 所示之第 6 條颱風侵台路徑之反向移動)。



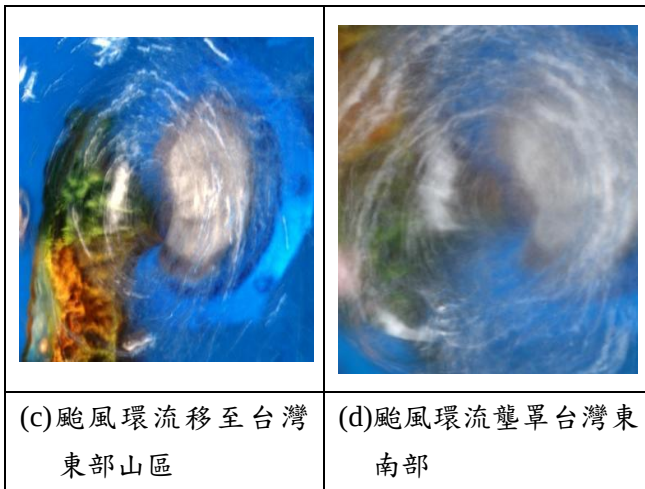


圖 15. 颱風環流由北向南經過台灣東面之模擬

圖 16 所示為模擬颱風環流自南海由西向東經過台灣南端之觀測結果(模擬圖 2 所示之第 8 條颱風侵台路徑)。

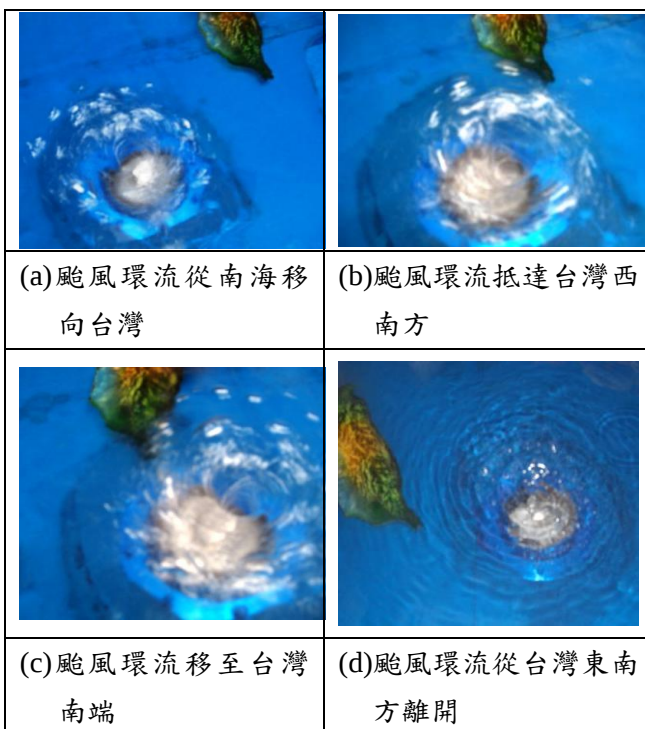


圖 16. 颱風環流由西向東經過台灣南端之模擬

圖 17 所示為模擬颱風環流自台灣西南方靠近並自南向北經過台灣西部之觀測結果(模擬

圖 2 所示之第 9 條颱風侵台路徑)，此實驗中我們進一步在渦流週邊加入霧化微氣泡，可供更清楚觀測颱風環流遇到台灣地形所產生之變化。

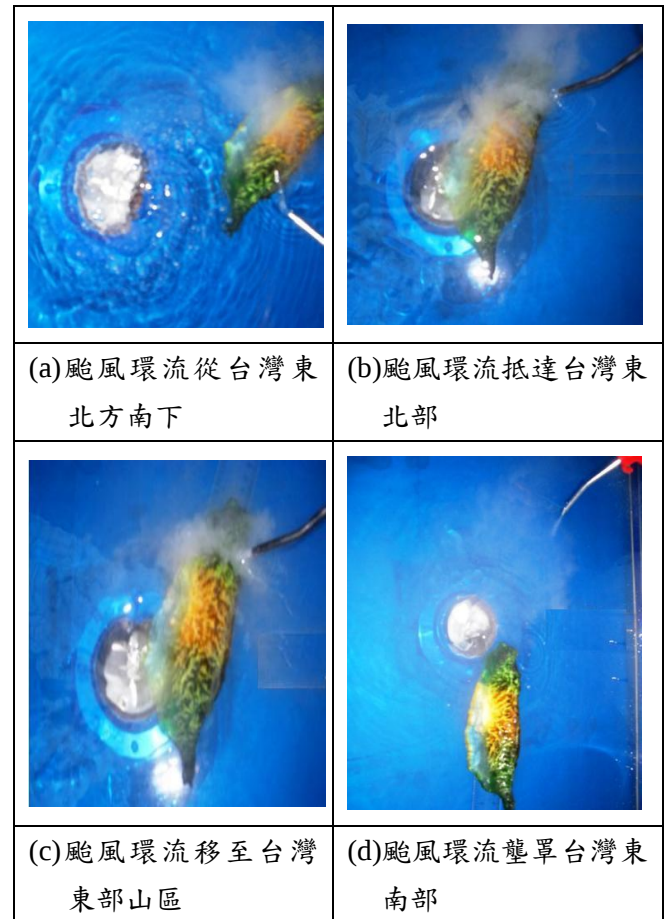


圖 17. 霧化颱風環流自南向北經過台灣西部之模擬

六、結論

在本研究中，我們規劃設計一套可在水槽中產生微氣泡強制渦流之水工實驗系統，此種微氣泡強制渦流可在水工模型中模擬颱風由下而上之逆旋轉氣旋，並藉由製作一套線控式地理模型移動裝置，供使用者操控將台灣地理模型移近或離開微氣泡強制渦流，以模擬並觀測颱風靠近台灣或遠離台灣之氣流變化。為進行颱風侵台之水工觀測，我們首先在鋒面水工實驗系統中，分別以紅色及藍色高密度染液進行

氣流過台灣之水力模擬實驗，探討不同角度之密度流經過台灣地理模型後之氣流變化；接著運用所研製之微氣泡颱風水力模擬實驗系統，在方形水力模型中產生微氣泡強制渦流，並進行多種角度之颱風侵台水力實驗，觀測渦流接觸台灣不同地點後受地形影響之渦流變化。

透過此種颱風觀測系統之微泡水力模擬實驗，一方面可讓學習者加深印象，引發學習興趣，提升學習成效；另一方面亦可協助氣象研究或作業人員更精確掌握颱風侵台時受不同地形影響之種種氣流變化，提升預報之準確性。

參考文獻

- [1] 朱錦洲，王時鼎和郭光輝，1992，*颱風過山之水力模擬*，天氣分析與預報研討會論文彙編，p463-474。
- [2] 朱錦洲，王時鼎和郭光輝，1993，*侵台颱風之水力模擬*，天氣分析與預報研討會論文彙編，p33-42。
- [3] 台灣颱風預報輔助系統，<http://photino.cwb.gov.tw/tyweb/mainpage.htm>。
- [4] 王時鼎，2004，*台灣的颱風*，財團法人中興工程科技研究發展基金會。
- [5] 趙樹海，1994，*航空氣象學*，北京，氣象出版社。
- [6] 胡明森、陶家瑞，2007，*鋒面水力實驗與飛航安全之研究*，第三屆航空產業創新發展研討會論文集，第 31-51 頁。
- [7] 胡明森、陶家瑞，2010，*大氣環流水力實驗系統研發與應用*，空軍航空技術學院學報，第九卷，第一期，p265-276。
- [8] 胡明森、陶家瑞，2011，*鋒面水力實驗系統*，中華民國新型專利第 M403566 號，專利權期間：自 2011 年 5 月 11 日至 2020 年 9 月 29 日。
- [9] 胡明森、陶家瑞、蘇榮華、李國祥、賈澤民，2012，*可視化氣象模擬流場之噴嘴構造*，中華民國新型專利，證書號數：M429159，專利期間：自 2012 年 5 月 11 日至 2022 年 1 月 4 日止。
- [10] 胡明森、陶家瑞、蘇榮華、李國祥、賈澤民，2012，*微氣泡氣象模擬器之水液表面真空裝置*，中華民國新型專利，證書號數：M429105，專利期間：自 2012 年 5 月 11 日至 2022 年 1 月 4 日止。
- [11] 胡明森、陶家瑞，2013，*霧化氣泡式颱風水力觀測系統研發*，2013 第三屆航空科技與飛航安全學術研討會，高雄岡山，102 年 9 月 27 日，第 443-452 頁。
- [12] 維基百科，<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E9%BB%8F%E5%BA%A6>
- [13] Ming-Sen Hu and Chia-Rei Tao, *Hydraulic Front Simulated Experiment System*, ISFV14 - 14th International Symposium on Flow Visualization, June 21-24, 2010, EXCO Daegu, Korea.
- [14] Hermann Schlichting, (1979), *Boundary Layer Theory*, 7th Edition, McGRAW-HILL Book Company. p16.

