



影響跑道積水深度參數及預測 模式建置之研究

The Research on the Parameters
Affecting Runway Water Depth and
Establishing its Prediction Model

報告人：林沛達

國家運輸安全調查委員會

鐵道首席調查官兼組長

簡報內容

- 研究緣起
- 研究目的
- 研究方法
- 研究成果
- 未來規劃
- 研究經費及人員

研究緣起

台灣飛安統計2009-2018

- 國籍民用航空運輸業飛機 47 件航空器飛航事故，分類佔最高者為衝出/偏出跑道共 15 件，非發動機之飛機系統失效或故障發生 11 件次之。
- 跑道積水深度及側風

積水與水飄

- 汙染跑道：跑道積水深度超過3公厘（ICAO 第6、14號附約）
- 超過積水深度一定深度，很大的可能性_水飄現象（加拿大運輸部）
- 跑道狀況代碼：FAA Runway Condition Assessment Matrix, RCAM_ 3公厘

跑道狀況評估表

- 跑道狀況描述
- 代碼
- 摩擦係數檢測
- 運具減速
- 駕駛員宣告

Assessment Criteria		Downgrade Assessment Criteria		
Runway Condition Description	Code	Mu (μ) ¹	Vehicle Deceleration or Directional Control Observation	Pilot Reported Braking Action
<ul style="list-style-type: none"> • Dry 	6	40 or Higher	---	---
<ul style="list-style-type: none"> • Frost • Wet (Includes Damp and 1/8 inch depth or less of water) <p>1/8 inch (3mm) depth or less of:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Slush • Dry Snow • Wet Snow 	5		Braking deceleration is normal for the wheel braking effort applied AND directional control is normal.	Good
<p>5° F (-15°C) and Colder outside air temperature:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compacted Snow 	4	39 to 30	Braking deceleration OR directional control is between Good and Medium.	Good to Medium
<ul style="list-style-type: none"> • Slippery When Wet (wet runway) • Dry Snow or Wet Snow (Any depth) over Compacted Snow <p>Greater than 1/8 inch (3mm) depth of:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dry Snow • Wet Snow 	3		Braking deceleration is noticeably reduced for the wheel braking effort applied OR directional control is noticeably reduced.	Medium
<p>Warmer than 5° F (-15°C) outside air temperature:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compacted Snow <p>Greater than 1/8 (3mm) inch depth of:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Water • Slush • Ice² 	2		Braking deceleration OR directional control is between Medium and Poor.	Medium to Poor
<ul style="list-style-type: none"> • Wet Ice² • Slush over Ice • Water over Compacted Snow² • Dry Snow or Wet Snow over Ice² 	0	20 or Lower	Braking deceleration is significantly reduced for the wheel braking effort applied OR directional control is significantly reduced.	Poor
			Braking deceleration is minimal to non-existent for the wheel braking effort applied OR directional control is uncertain.	Nil

<p>Greater than 1/8 (3mm) inch depth of:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Water • Slush 	2
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

¹ The correlation of the Mu (μ) values with runway conditions and condition codes in the Matrix are only approximate ranges for a generic friction measuring device and are intended to be used only to downgrade a runway condition code; with the exception of circumstances identified in Note 2. Airport operators should use their best judgment when using friction measuring devices for downgrade assessments, including their experience with the specific measuring devices used.

² In some circumstances, these runway surface conditions may not be as slippery as the runway condition code assigned by the Matrix. The airport operator may issue a higher runway condition code (but no higher than code 3) for each third of the runway if the Mu value for that third of the runway is 40 or greater obtained by a properly operated and calibrated friction measuring device, and all other observations, judgment, and vehicle braking action support the higher runway condition code. The decision to issue a higher runway condition code than would be called for by the Matrix cannot be based on Mu values alone; all available means of assessing runway slipperiness must be used and must support the higher runway condition code. This ability to raise the reported runway condition code to a code 1, 2, or 3 can only be applied to those runway conditions listed under codes 0 and 1 in the Matrix.

The airport operator must also continually monitor the runway surface as long as the higher code is in effect to ensure that the runway surface condition does not deteriorate below the assigned code. The extent of monitoring must consider all variables that may affect the runway surface condition, including any precipitation conditions, changing temperatures, effects of wind, frequency of runway use, and type of aircraft using the runway. If sand or other approved runway treatments are used to satisfy the requirements for issuing this higher runway condition code, the continued monitoring program must confirm continued effectiveness of the treatment.

Caution: Temperatures near and above freezing (e.g., at 26.6° F (-3°C) and warmer) may cause contaminants to behave non-

3公厘困難

- 每一航機落地前由人工量測跑道積水深度並宣告至航機駕駛員？
- 量測儀器精準及成本？

研究目的

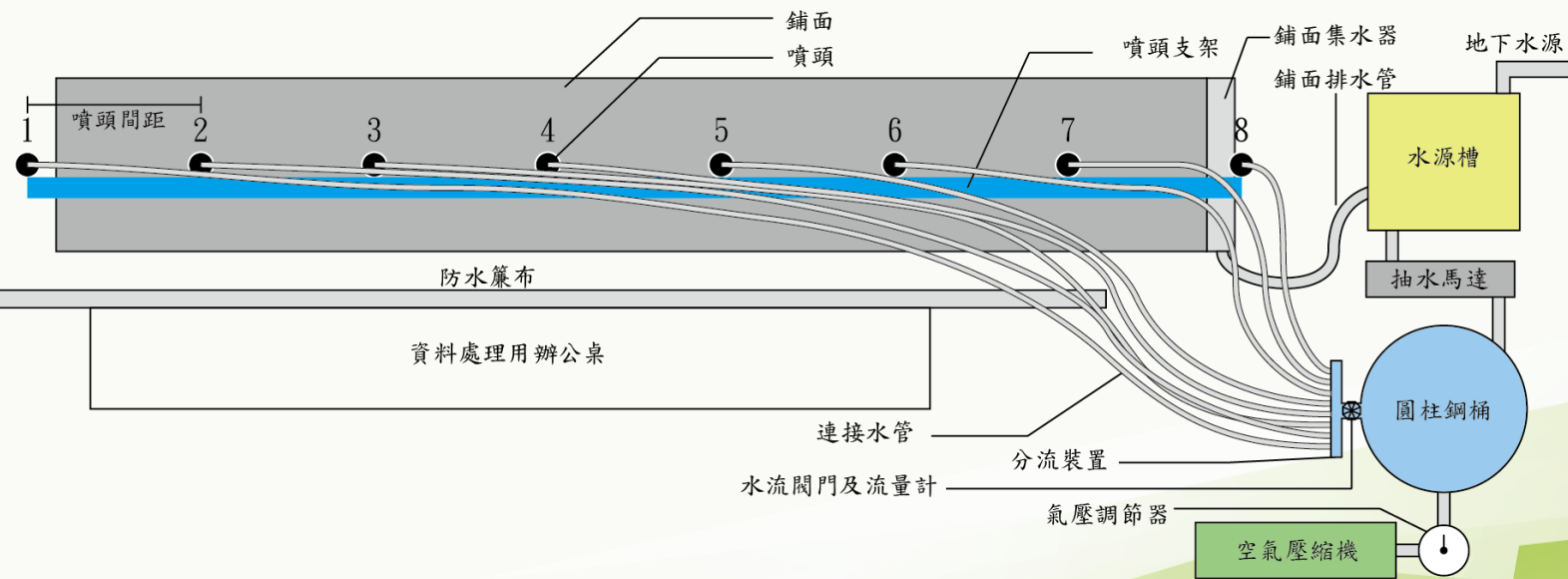
- 2017年起參考並改良
- 1960年代德州農工大學為德州運輸研究所 (Texas Transportation Institute, TTI) 高速公路積水預測模型
- 本研究依據跑道鋪面特性(粗質紋理及坡度)，建置鋪面及模擬降雨設備，量測鋪面積水深度並建立預測模型
- 航機落地前或高速道路積水預測超過一定深度時，採取預防性措施，避免產生水飄現象，危害運輸安全；提供調查員事故調查參考。

研究方法

設備建置

- 預製跑道及高速道路類似粗質紋理之鋪面表面，鋪面架設於可以控制橫坡度之拖架上，並將降水以定壓方式透過噴灑系統噴灑至鋪面上，模擬均勻降雨，由流量控制降雨量變化，透過量測系統紀錄每一記錄點上不同時間的積水深度，依據不同粗質紋理、鋪面橫坡度、降雨量及距鋪面中心線量測點，以演算法建置預測模式。

實驗設備俯視圖



鋪面系統

- 8公尺、寬1.2公尺、厚6公分之不鏽鋼鋪面底座，並將鋪面架高1公尺，
- 為排出積水，鋪面下游出口另設集水器，落入集水器的水則會藉由鋪面排水管流回集水槽。
- 架設旋轉軸調整鋪面坡度，旋轉一圈平均升降約0.002%鋪面坡度，允許最大坡度為5%。
- 改質密級配瀝青混凝土，標稱粒徑為四分之三吋
- Hydrotimer設備及改良式鋪砂法量測鋪面粗質紋理，平均約1.0mm



降雨加壓

- 抽水馬達將水由水源槽運送至圓柱型鋼筒中，至一適當水位
- 空氣壓縮機(三相異步電動機)加壓至 $4\text{kg}/\text{cm}^2$
- 圓柱鋼筒頂部設置氣壓調節器，維持鋼筒內固定表定氣壓
- 空氣壓縮機需足夠馬力(3hp)才能提供及時穩定的加壓能力
- 旋轉圓柱鋼筒底部之水流閥門開關控制 $0\text{L}/\text{min}$ 至 $50\text{L}/\text{min}$ 流量
- 通過流量計後管線分流成八個支管，每個支管配備一閥門開關以控制單一噴頭流速



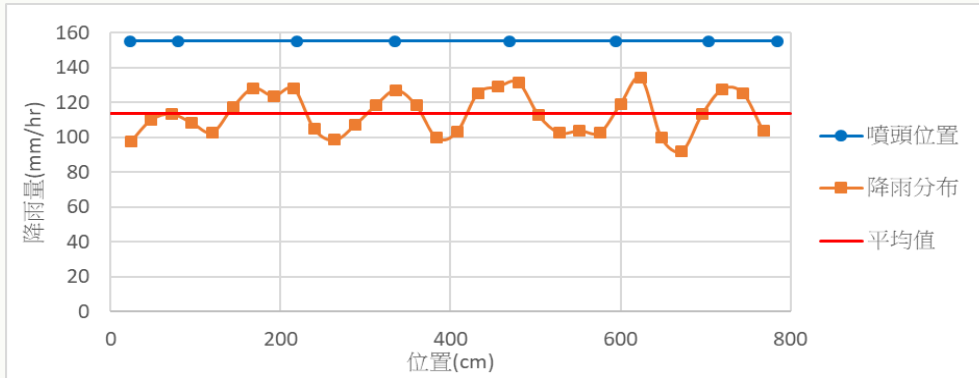
降雨噴嘴

- 鋪面上方1.5公尺處，架設8 具噴嘴
- Spraying Systems公司產製廣角實心小流量之噴嘴，可產生實心圓錐形噴霧圖案
- 在10 psi (0.7 bar) 時的噴霧角度為 102° 至 120° ，
- 該噴嘴葉片設計可執行均勻的噴霧分佈
- 傳統雨量計及量杯測量2分鐘、6分鐘、10分鐘之降雨，再換算成時雨量
- $4\text{kg}/\text{cm}^2$ 氣壓及 $45\text{L}/\text{min}$ 下，該型噴嘴能提供本實驗最高 $120\text{mm}/\text{hr}$ 降雨量之需求。

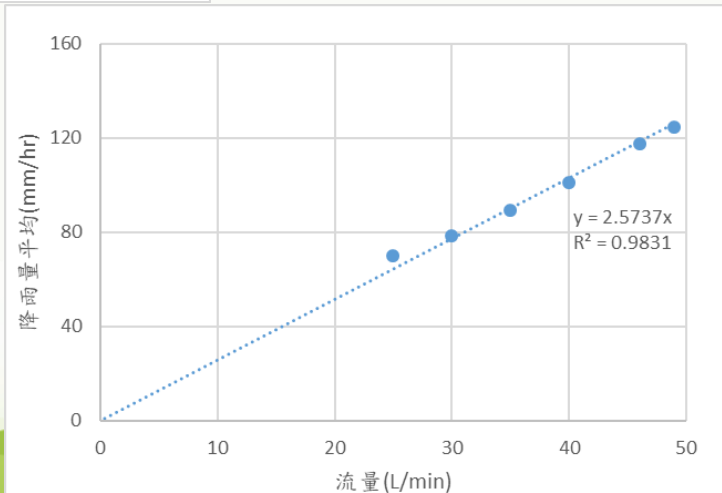


均勻降雨分布及雨流量關係

- 鋪面平均降雨分布圖(流量45L/min)



- 流量控制與降雨量關係圖



量測系統

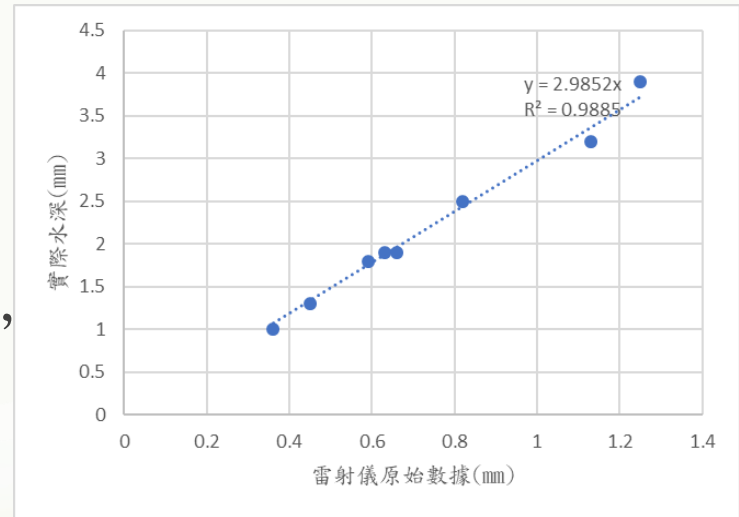
- 6具探針式水位計組成
- 降水經過濾器過濾後，水中無電解質類雜質存在，無法偵測
- 若去除過濾器後，恐怕嚴重阻塞濾嘴頭
- 架設探針式水位計雲臺過大，恐怕影響降雨分布
- 重新更新量測儀器
- 雷射儀偵測
- 量測範圍為 $50\pm 10\text{mm}$ ，波長655nm紅色雷射，最大功率1mW，最高量測反應速度1mS，防水等級IP67
- 採10Hz記錄每筆1/1000mm精度之積水深度
- 資料擷取器紀錄及儲存。

雷射儀折射與水深關係

- 雷射經過水的介質(折射率較高)，反射速度較慢，造成接收時間延遲，不同水深形成不同的時間延遲，獲得對應之實際水深
- 實驗前，透過雷射儀量測及探針式水位計驗證，於靜止水面中測試獲得對應轉換關係

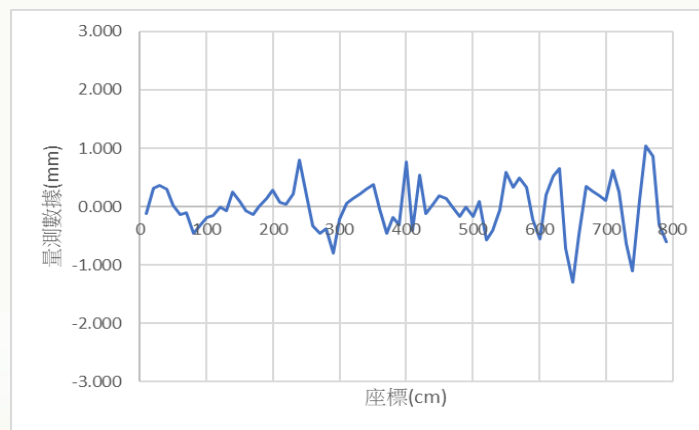
- R^2 值為 0.9885

量測位置設置最佳化



量測位置最佳化

- 模糊邏輯演算法，利用TTI實驗數據，推估量測儀器可以於上游處間距較長，下游處間距較密，並可以降低量測儀器之數量。
- 考量鋪面高程問題，會設定量測位置於相同水平面
- 距跑道中心線最高程 100、190、310、438、500、590公分，共6個點位架設雷射儀



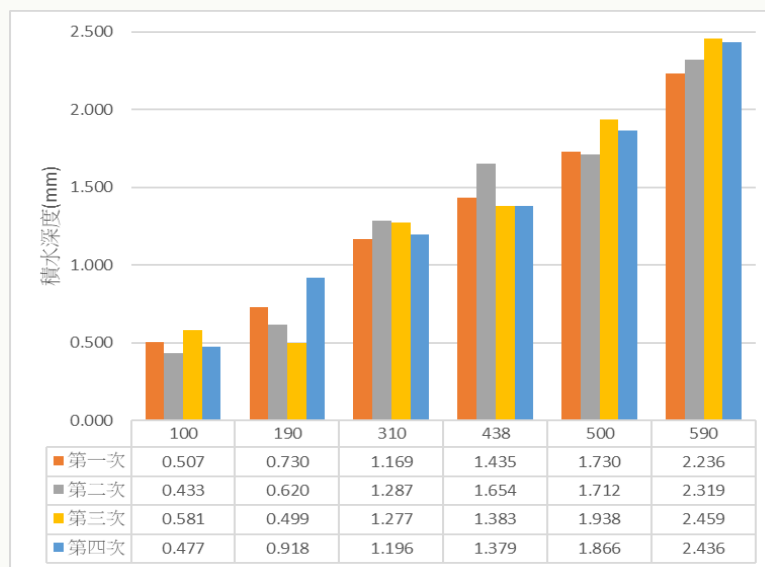
量測過程

- 本研究於圓柱鋼筒中注水後，再利用空氣壓縮機壓縮空氣，並開啟雷射儀及資料擷取器，隨後旋轉水流閥門至穩定流量，對應降雨量
- 經過6分鐘噴灑及蒐集資料過程，考量到積水穩定歷程並排除水流波動影響
- 本實驗擷取150秒至300秒間之穩定積水深度數值，並刪除小於平均值減3倍標準差的數值，計算其餘數據的平均值與標準差，提出平均值加上1.645倍標準差，以此數值作為在95%信心水準下的最大積水深度。

研究成果

初步成果

- 鋪面平均粗質紋理為0.98公厘時，平均橫坡度0.5%，平均時降雨量115.8公厘；去除極端值後選取三組進行平均



編號	1	2	3	4	5	6
量測位置 (cm)	100	190	310	438	500	590
水深 (mm)	0.47	0.76	1.25	1.40	1.77	2.40

未來規劃

- 該研究歷經長時期調整實驗設備及穩定量測方式後，目前已進入快速擷取資料階段，預計於先固定粗質紋理深度為定值，將不同降雨量，不同橫坡度及距跑道中心線不同量測點之3變數，以模糊邏輯方法將此3變數建模，求取固定粗質紋理深度鋪面之積水深度預測模型。
- 完成後依序更換不同粗質紋理深度之鋪面進行建模，最後再將不同粗質紋理深度變數納入，依模糊邏輯方式建立完整鋪面降雨預測模型，期望降低航空及公路水飄事故，預估此期程至少需要6個月時間。

研究經費及人員

感謝運(飛)安會108年度科研計畫及民航局補助

1. 林沛達 國立臺灣大學土木工程學系 博士候選人
2. 李延年博士 國家運輸安全調查委員會 首席調查官(水路)兼組長
3. 周家蓓 國立臺灣大學土木工程學系特聘教授兼副校長
4. 陳艾懃 國立臺灣大學土木工程學系鋪面研究中心研究員
5. 曲遠綺 國立臺灣大學土木工程學系 碩士生
6. 李耀瑄 國立臺灣大學土木工程學系 碩士生
7. 張禾 國立臺灣大學土木工程學系 碩士生

簡報完畢
敬請指教