

十一份氣象觀測坪雨量觀測田野量測比對初探

簡振和^{1*}、謝黎惠¹、莊旭楨、劉格非¹、王璿瑋²、林博雄²、錢煒曉³、李育祺³
國立台灣大學水文儀器（雨量計）校正實驗室¹ 國立台灣大學大氣科學系² 中央氣象局³

摘 要

傾斗式雨量計（TBRG）係國內外使用最廣泛，亦是國內目前最主要的雨量觀測儀。但TBRG之計量機制存在明顯系統性誤差（systematic error），而且該器差會隨著雨強加大而加劇。TBRG除其系統性誤差外，與其他捕集型雨量計一樣，亦受到承雨器周邊風場形變（wind field deformation）及器口顯露度（exposure）等環境因素的影響，而降低雨量的捕集率（catch ratio），造成雨量觀測值偏低問題。由於台灣之降雨不僅量大，雨強更十分驚人；而且強降雨時常伴隨強風，特別是颱風季節，強風也常挾帶著豐沛的雨量。此觀測雨量偏低問題，因近年地球暖化、氣候變遷，極端降雨事件發生更頻繁，已逐漸影響水文分析、水庫防洪操作、都市淹積水預警機制等之運作，並造成水利工作者之困擾。

本研究主要目的在探討不同類型雨量計之使用及風等因素對雨量觀測的影響，盼解決目前在強降雨，特別是颱風期間，雨量觀測值偏低所造成的困擾。本研究在水利署北區水資源局十一份氣象觀測坪建置一座雨量觀測參考地坑（reference rain gauge pit），並參考世界氣象組織WMO CIMO-14田野降雨強度比對程序，進行雨量計田野量測比對。參與比對的雨量計包括：傳統捕集型（catch type）不同分辨力（0.1、0.5、1.0mm）、不同器口高度（地面高程 0m、0.7m及3m高雨量觀測樁）傾斗式雨量計（TBRG），以及國外近年研發（non-catch type）撞擊式雨量計（WXT 520, VAISALA）。田野比對結果顯示傾斗雨量計之觀測雨量有普遍偏低現象（與地坑內參考基準比較）；而雨量偏低之量值受分辨力、儀器系統性誤差（systematic error）、以及雨量計安裝高度（風速）等因素影響。惟本研究自去年9月雨量計地坑建置迄今，因適逢台灣有史以來最大乾旱，蒐集到降雨事件特少，無論如何仍就目前蒐集到雨量資料，初步比對分析結果與大家分享。盼能拋磚引玉，促進更廣泛的田野雨量觀測試驗研究，俾獲致量化及更具實際應用價值之研究成果。

關鍵字：傾斗式雨量計(TBRG)、參考雨量計地坑、地面雨量計、水位量測雨量計(LMRG)

Keyword: Tipping Bucket Rain Gauge (TBRG), Reference Rain Gauge pits, Ground-level gauge、Level Measurement Rain Gauge (LMRG)

一、前言

「降雨量」依國際氣象組織（World Meteorological Organization, WMO）所訂定規範，係指雨水（液態降水）降落地面的總量，亦即以降雨量覆蓋在一水平面上所儲積之深度，一般係以長度【L】單位來表示（固態降水則用水的當量），降雨量通常以毫米（mm）為單位，雨量最小讀值為0.1mm；少於0.1mm之微量降雨稱為雨跡（trace precipitation）。由於降落地面的雨量（深度）與其累積所經歷時間的長短有關，因此觀測及記錄雨量時，除習慣以特定時距所累積之深度來表示其量值的大小（例如時雨量、日雨量、年雨量）外，常另以較短的時距（例如 1小時、10分鐘或 1分鐘）來

表示單位時間之降雨深度【L/T】，稱為「降雨強度（rainfall intensity, RI）」或簡稱「雨強」，雨強通常以 mm/h、mm/10min 或 mm/min 為單位。

目前市面上有多種雨量觀測儀，由於各種雨量計觀測雨量之原理及計量結構之設計各有不同，各種雨量計皆存在些許的缺陷；這些缺陷直接影響到雨量觀測之準確度及雨量資料的品質。其中，傾斗式雨量計（Tipping Bucket Rain Gauge, TBRG）如圖1，由於計量原理及機械構件簡單，耗電量少，適合長期、持續性雨量觀測、便於訊號輸出並有利自動化觀測作業利用，因此成為目前包括臺灣在內世界各國最主要及最廣泛採用的雨量觀測設備之一。但傾斗式雨量計之計量機制存在明顯系統性誤差（systematic error），而

¹國立台灣大學水工試驗所水文儀器（雨量計）校正實驗室

*通訊作者，E-mail: grace.hsieh@hotmail.com

且該器差隨著雨強加大而加劇。TBRG除系統性誤差外，與其他捕集型（catch type）雨量計一樣，受到承雨器周邊風場形變（wind field deformation）及器口顯露度（exposure）等環境因素的影響而降低雨量的捕集率（catch ratio），造成雨量觀測值偏低問題。

台灣之降雨不僅量大，雨強更十分驚人；而且強降雨時常伴隨強風，特別是颱風季節，強風也挾帶著豐沛的雨量。此觀測雨量偏低問題因近年受到地球暖化、氣候變遷影響，台灣之極端水文事件發生更加頻繁，已逐漸影響水文分析、水庫防洪操作、都市淹積水預警機制等之運作，造成水利工作者之困擾。本研究主目的此係針對不同型式雨量計（包括傳統的捕集型及撞擊式）之使用及其觀測誤差來做探討，並嘗試著量化風對等環境因素對雨量觀測誤差之影響，俾解決目前在強降雨，特別是颱風期間，雨量觀測值偏低所造成的困擾。



圖 1 傾斗式雨量計各組件介紹

二、雨量觀測誤差可能來源

一般捕集型雨量計係利用特定面積之承雨器來捕集雨量後透過其計量組件（重量、水位或體積方式）來量測降雨量。但事實上，不管利用任何雨量儀所量測到的雨量一定會比落到地面的實際降雨量少，觀測損失所造成觀測雨量偏低之量值會與降雨型態、雨量計及觀測地點而異。造成觀測雨量偏低的主要原因可分為觀測儀器本身以及環境因素兩部分。觀測儀器本身所造成的雨量觀測損失誤差包括：(1)濕潤損失（wetting losses），源自集雨器及儀器內壁對雨水的吸附作用，依WMO報告夏天此項損失可能高達2-15%，

冬天則約 1-8%。^[8](2)蒸發損失（evaporation losses），集雨容器水表面之蒸發損失依WMO報告^[8]可能高達4%，此項損失對於氣候較乾、熱地區特別重要。由於濕潤及蒸發所造成之損失量顯然與觀測地區之降雨量有關，因此WMO報告所稱以上兩者損失所可能造成的量測誤差比例，應僅適用在降雨量較少的地區或內陸國家，臺灣是多雨地區，蒸發及濕潤損失對觀測雨量之影響並不顯著。(3)系統性誤差，此為傾斗式雨量計量測誤差最主要來源；由於與雨量計之計量機制有關，因此可藉由實驗室校正程序預先校驗出儀器之器差及並進行修正。除以上儀器本身造成的觀測損失外，另測站周遭環境因素包括：(4)遮蔽效應造成雨量計承雨器口顯露度不足，影響此類捕集型雨量計雨量之捕集率；(5)風的影響，風會影響雨量計的捕集率，特別是強風通過雨量計承雨口上方時，造成通過雨量計承雨口上方之風速大增（如圖2），並在雨量計周邊強制發展出無數的渦流；同時，在承雨口上方造成風場的

形變（如圖3），當風速遠大於雨滴降落速度時，將原擬落入承雨器內的雨滴攔離原行進軌跡（阻止雨滴進入承雨器內），雨滴會直接被帶至雨量計承雨筒外之下風面側，並且大幅降低雨量計的捕集率，造成觀測雨量值持續偏低現象。

圖 2 風通過承雨器口上方風速增加百分比示意圖^[3]

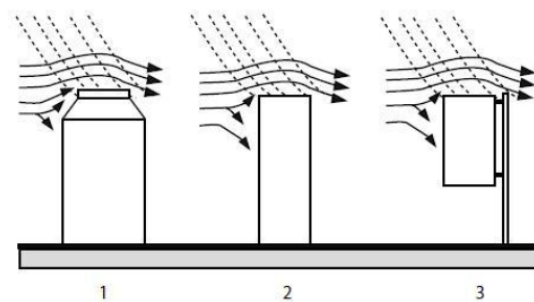


圖 3 風通過不同型態雨量計造成承雨口上方風場形變

根據WMO建議，雨量計承雨口一般高度應至少離地約 80 公分以上至 1.2 公尺，以避免雨滴撞擊地面後產生之霧狀滯留層影響。以國內中央氣象局遙測站為例，為避免雨量計受到周圍植栽或建物影響，以及植物攀爬或螞蟻或其他昆蟲築巢，將雨量計另置於雨量觀測樁之頂端，承雨口高度約在3公尺左右。雨量計高高矗立地面，雖然可提高承雨器顯露度，但雨量

計承雨口之高度愈高，風速亦愈大。根據WMO「氣象儀器與觀測方法指南」（1986年編印），風速增加會降低承雨器捕集雨量之效率；當風速達4.4公尺/秒，量測雨量較實際值低17%；當風速達13.3公尺/秒時，則將低估60%以上。但因世界各地降雨量大小不一，其受風影響的程度並不盡相同；因此，WMO並未進一步建議該如何修正。雖然文獻上已有多位國外學者針對風速對雨量觀測的影響進行研究，並提出依降雨型態來修正觀測雨量之方法與建議^[5]，但這些研究成果並不適用於台灣特有的水文特性，無法滿足台灣對高強度降雨觀測準確度需求。

臺灣的降雨量不僅量大，雨強更是十分驚人；而強降雨時亦常伴隨著強風，特別是颱風季節，一般輕度颱風（8 級風以上）最小風速至少 17.2m/s以上；中度颱風（12 級風）風速至少達 32.7m/s以上；而強烈颱風（16 級風）之最小風速是 51m/s。強風中挾帶著豐沛的雨量更增加雨量觀測之困難度。因此，推論我國利用傾斗式雨量計以及雨量觀測受到風影響的程度（造成觀測雨量偏低情形）比外國嚴重許多。但由於我國目前觀測及記錄雨量已經比外國之降雨量高出許多，因此雨量觀測值受到儀器系統性誤差及環境風場形變影響而造成偏低之現象，一直未能受到應有的重視。直至近年，由於受到氣候變遷影響，臺灣地區高強度降雨極端事件之發生更加頻繁，該雨量觀測偏低現象更加普遍，不僅造成集水區逕流係數、水收支平衡計算、水文分析諸多不合理現象，亦嚴重影響水庫入流量推估、水庫防洪操作、洪水預報及預警機制之運作。因此，本研究利用雨量計地坑所提供的參考標準，進行田野雨量計量測比對，俾針對不同型式雨量計之使用及其受風等環境因素影響進行分析探討，解決雨量觀測值偏低所造成的困擾。

三、研究方法

為探討不同型式雨量計之使用及其受風等環境因素影響，本研究，首先選擇在水利署北區水質源局旁，視野開闊的十一份氣象站（桃園龍潭）觀測坪，建置一座雨量計地坑（Reference Rain gauge Pit）以去除雨量計受到風影響造成的量測偏差（wind-induced bias）俾提供不受其他因素影響雨量觀測環境，並作為田野量測比對的參考基準^[7]。雨量計地坑佈設如下圖4，上圖是俯視圖，地坑（L1.5m×W1.5m×H1.8m）上方鋪上鍍鋅格柵板；下圖是地坑側視圖，上方設有截水板，俾將

雨水集中至下方貯水箱（L1.0m×W0.8m×H1.2m）內，貯水箱內預置有 1 部 1HP抽水馬達，並可藉由液位偵測器自動啟動抽水馬達排水。

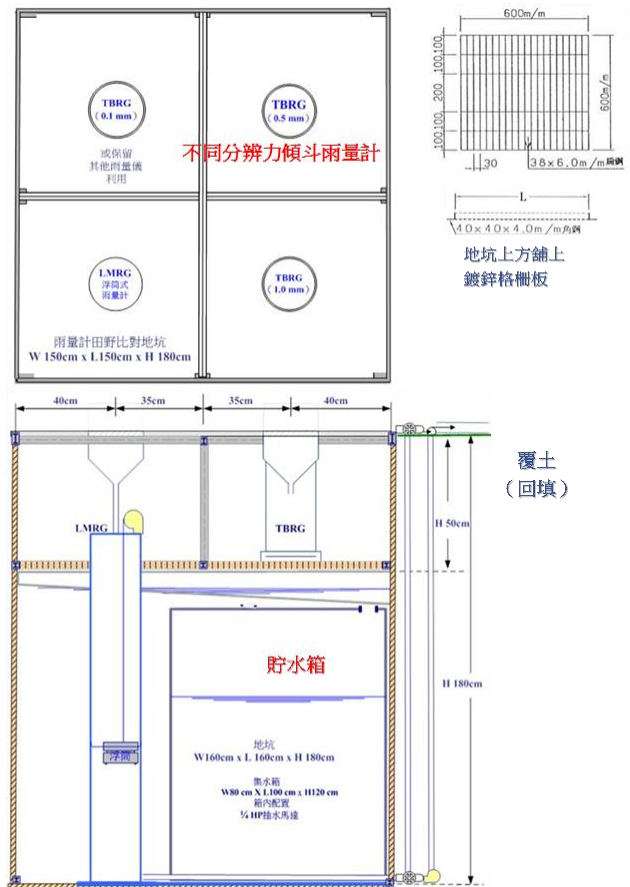


圖4 雨量計地坑布置示意圖

地坑內共可安置4座傳統捕集型雨量計，包括1座本研究自行設計可全量累積雨量（最大量測深度1,400 mm）、配置浮筒式高靈敏度液位感應器，無明顯量測偏差之水位量測雨量計LMRG（Level measurement rain gauge）來作為參考標準。LMRG設計樣式如圖5所示，資料解析度及頻率：1.0mm，每分鐘至少1筆。此外，分別在地坑內分別安置3座不同分辨力（0.1、0.5及1.0mm）傾斗式雨量計TBRG。地坑施工情形及完成後外觀如圖6所示。

參與田野量測比對受風場影響的雨量計共2類別包括：(1)傾斗式雨量計TBRG及(2)撞擊式多功能雨量計（WXT520-VAISALA）—可同時量測降雨量、溫度、濕度及大氣壓力及風速、風向等資訊。其中，參與比對之TBRGs又分為兩組，分別在觀測坪地面（承雨口高度約距地面 0.6m）以及2支雨量觀測樁頂端（承雨口高度距地面 3m），各建置0.5、1.0mm分辨力TBRG共 2 部。撞擊式多功能雨量計（WXT520）也是裝置在雨量觀測樁上

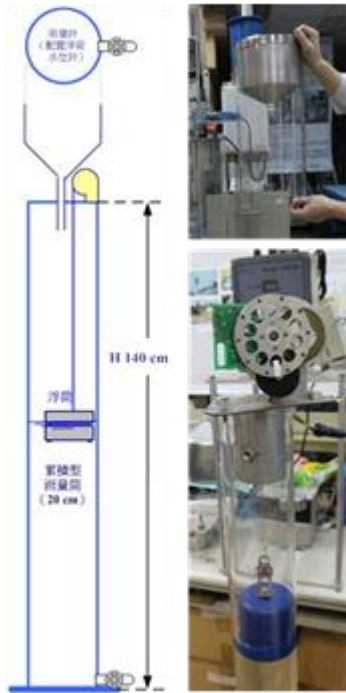


圖5 LMRG設計樣式示意圖

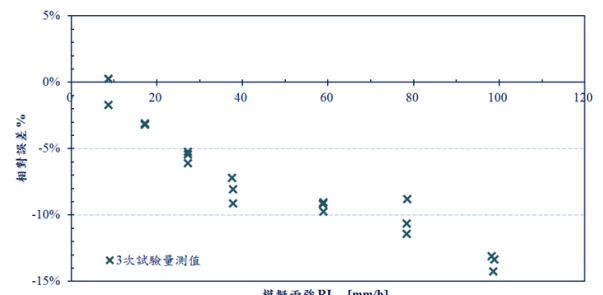
在同樣3m高程處，俾取得地面3m高程風向風速資料，並提供給雨量觀測樁上及地面的2組TBRG雨量計相互參照、比對利用。

參與量測比對各類型雨量計分別屬：中央氣象局、北水局、國立台灣大學大氣科學系及水工試驗所，參與比對雨量計詳細背景資料表如表1。傾斗式雨量計皆預先送台大TAF認證雨量計校正實驗室（TAF編號：2859）校驗，並獲取雨量器差修正公式（如圖7），俾可用來修正TBRG因系統性誤差所造成的量測差異。為

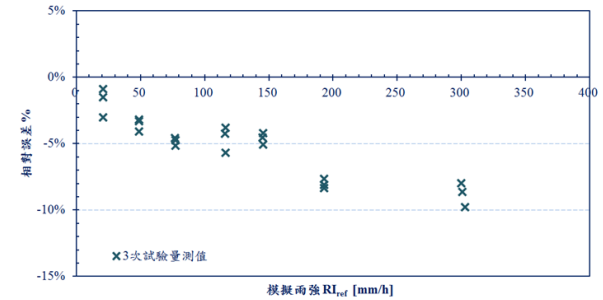
避免因承雨器口徑不同，造成採樣誤差，參與比對各型雨量計原則上優先採用口徑相同之承面器 $\Phi = 20 \text{ cm}$ （雨量捕集面積 314 cm^2 ）；但 WXT520 蒐集雨量撞擊面感應面積是 60 cm^2 ；而分辨力 0.1 mm 雨量計並無該口徑之可利用，因此改採集雨面積 200 cm^2 ；



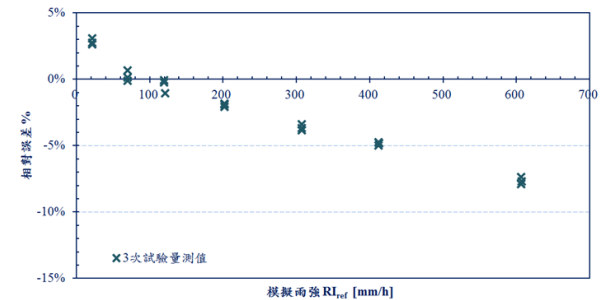
圖6 雨量計地坑施工及完成照



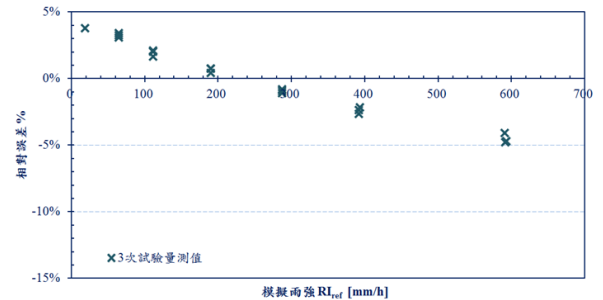
(1) Young 0.1mm（地坑內TBRG）



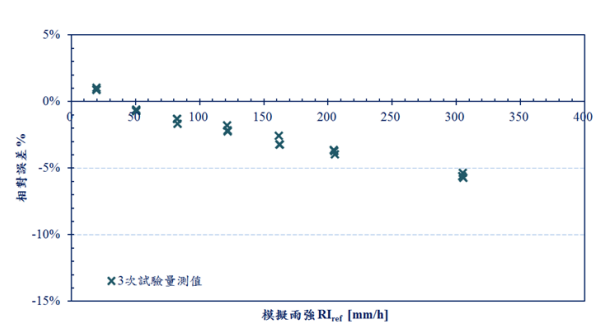
(2) Yokogawa 0.5mm（地坑內TBRG）



(3) 竹田 1.0mm（地坑內TBRG）



(4) 竹田 1.0mm TBRG（雨量觀測樁El. 3m）



(5) Komatsu 0.5mm（雨量觀測樁El. 3m）

圖7 TBRG雨量器示值修正公式

而氣象局參與比對Komatsu 0.5mm 分辨力之TBRG，承雨器口徑 $\Phi=30\text{cm}$ （集雨面積 706.9 cm^2 ）係氣象局現役採用之標準規格品。

四、初步結果討論

本研究地坑部份首於2014/09/11建置完成，鳳凰颱風（2014/09/22～09/23）隨即來襲，地坑內的4部雨量計，包括3部不同分辨力TBRG及1部（無顯著系統性偏差）LMRG全量累積水位雨量計順利蒐集到本次鳳凰颱風完整降雨資料。

輕度鳳凰颱風（編號：201416）09/21上10 時左右其中心掠過鵝鑾鼻，之後向北北東沿東部近海轉北移動，當日22 時左右掠過三貂角，中心進入北部海面繼續朝北移動。十一份雨量觀測坪初實際觀測結果顯示，鳳凰颱風降雨期間：9/21 16:10～9/22 9:20，地坑內參與量測比對之3部TBRG（不同分辨力：0.1、0.5及1.0mm）及LMRG雨量計總累積雨量分別為：105mm、141.5mm、140.0mm及158mm。最早記錄到降雨的雨量計是分辨力0.1mmTBRG：9/21 16:10（其他分別是0.5mmTBRG：9/21 15:40，1.0mmTBRG：9/21 15:50）；LMRG雨量計：9/21 15:50。

初步分析地坑內4個雨量計及十一份氣象站觀測坪內地面0.5mm傾斗式雨量計之雨量觀測數據，結果如圖6所示。圖中顯示：TBRG因系統性誤差，總累積雨量皆比LMRG低，並且低估量與與分辨力有明顯相關性。資料期間記錄最大10分鐘降雨量分別為6.9mm、10mm、10mm及13mm，雨強（RI）約在60～78mm/h間，（以一般慣用之「時雨量」而言）降雨強度並不是特別大；颱風近中心之最大風速 25 m/sec，也不算特別的大。但由不同分辨力TBRG之觀測雨量值來看，仍可看出TBRG器示值偏低情況（與LMRG參考值相較），而且偏低量值與大小與雨量計分辨力有關（分辨力愈小，偏低量值愈大），與原先預期趨勢大致相符。而十一份氣象站之0.5mm分辨力TBRG之雨量記錄126.5mm也小於地坑內0.5mm雨量計相當多，除可能因久未曾速送檢校導致器差偏大外，另一個可能原因就是受到環境因素，包括風及其旁圍籬遮蔽效應的影響。

五、後續研究建議

目前利用雨量計地坑進行田野量測比對結果已初步證實文獻及雨量計實驗室校驗之結論：即分辨力越小，雨量低估量越大；而且隨著雨強越大，低估值越明顯。目前第二期施工已完成3m高雨量觀測樁之3個雨量量測設備（台大水工所1.0mm傾斗式雨量計、中央氣象局0.5mm傾斗式雨量計及台大大氣科學系撞擊式雨量計WTX520-VAISALA，如圖9）已建置完成。本研究將持續維持雨量計地坑之運作，蒐集更多資料以供分析，俾探討雨量觀測值受到雨量計系統性誤差及其使用與風等環境因素之影響。

參考文獻

1. 國立台灣大學水工試驗所（2014），「臺灣強降雨下提昇水文觀測品質之檢校技術發展與應用」，經濟部水利署委辦計畫（MOEAWRA1030014），103年12月。
2. 謝黎惠等（2014），傾斗式雨量計檢校技術研發與系統性誤差之修正，103年天氣分析與預報研討會，交通部中央氣象局，2014年9月16-18日。
3. Sevruk, B., Klemm, S., (1989), Catalogue of National Standard Precipitation Gauges, Instruments and Observation Methods. Report No. 39, 1989.
4. Sevruk, B., Zahlavova, L., (1994), Classification System of Precipitation Gauge Site Exposure: Evaluation and Application, International J. CLIMATOLOGY, Vol. 14, 681-689 (1994)
5. Chvila B., Sevruk, B., Ondras, M., (2005), The Wind-Induced loss of Thunderstorm Precipitation Measurements, Atmospheric Research 77, 29-38, 2005.
6. WMO (2006), WMO Laboratory Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges, Final Report, Instruments and observation Method.
7. WMO (2006), Abridged final report with resolutions and recommendations, WMO-No. 1019, ISBN 92-63-11019-0, Commission for Instruments and Methods of Observation, Fourteenth session, Geneva, 7-14 December 2006.
8. WMO (2008), Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, WMO Pub. No. 8 Seventh Edition. WMO, Geneva 978-92-63-10008-5.
9. WMO (2009), WMO Field Intercomparison of Rainfall Intensity Gauges, Instruments and observation Methods, Report No. 99.

表1 參與田野量測比對雨量計詳細背景資料表

位置	點	雨量計(解析度)	集雨面積	廠牌型號、序號	校正日期	雨量器示值修正公式	備註
地坑	1	TBRG (0.1mm)	200 cm ²	Young SN: ---	2014/03/10	$y = 0.015x^2 + 1.0222x - 0.0956$	台大(儀承公司捐贈)
	2	TBRG (0.5mm)	314 cm ²	Yokogawa/B-011-00 SN: 93204	2014/06/16	$y = 0.0002x^2 + 1.0483x - 1.882$	北水局汰品(三光雨量站 1993/03)；台大借用
	3	TBRG (1.0mm)	314 cm ²	竹田/TK-2 SN: 76596	2014/06/19	$y = 0.002x^2 + 0.9848x - 0.0977$	十河局汰品(2001/12)； 台大借用
	4	LMRG (1.0mm)	314 cm ²	水位計精度已預先校正	2013/09/10	None	台大自製(2013/09)； 台禹浮筒數位式水位計
地面 雨量 觀測 樁	5	TBRG (0.5mm)	707 cm ²	KOMATSU/R1-3W SN: 13150	2014/08/27	$y = 0.0002x^2 + 0.9977x - 0.1267$	氣象局提供備品(新品)
	6	TBRG (1.0mm)	314 cm ²	竹田/TK-2 SN: 80281	2014/04/29	$y = 0.0001x^2 + 0.974x - 0.6873$	十河局汰品(2005/03)； 台大借用(2011/10)
	7	撞擊式(0.1mm)	60 cm ²	WTX520-VAISALA SN: ---	--	None	台大大氣系
氣象 觀測 坪內	8	TBRG (0.5mm)	314 cm ²	大田 No.34-T (RA-1) SN: 262001	--	N/A	北水局氣象站(1997/08 購入) 在役中
	9	TBRG (1.0mm)	314 cm ²	松田 (MD-1) SN: 1003116	2010/05/20	N/A	北水局雨量站(2010/03 購入) 在役中

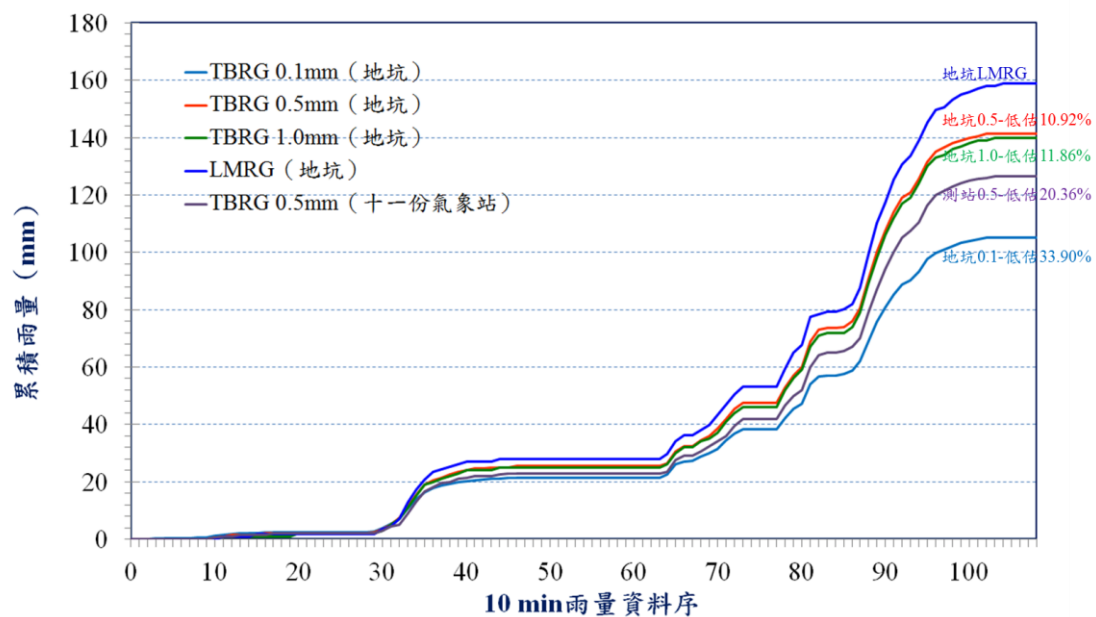


圖8 參與比對雨量計累積雨量比對初步結果(鳳凰颱風降雨事件)

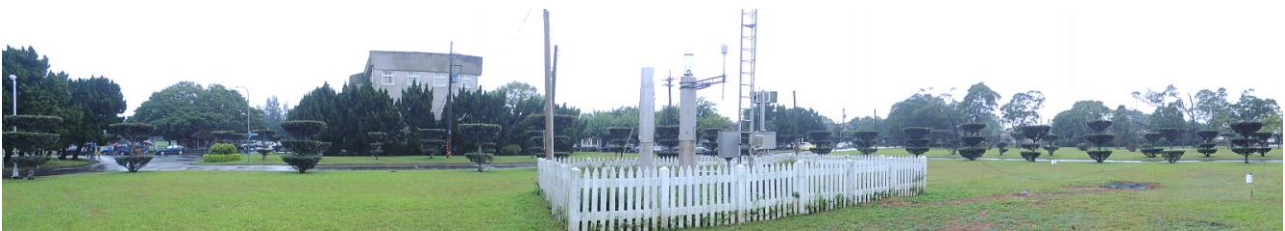


圖9 北區水資源局十一份氣象觀測坪及坪內雨量測樁(照片由林博雄教授拍攝提供)