

106年度
天氣分析與預報研討會

降雨觀測技術改善需求探討(2)

傾斗式雨量計
校準需求及允收標準之擬訂

國立臺灣大學（水工試驗所）
水文儀器（雨量計）校正實驗室

謝黎惠 簡振和 陳明仁

2017年9月14日

簡報大綱

- 雨量觀測現況
- 雨量計 (TBRG) 誤差來源及校驗需求
- 實例說明校驗現況及遭遇問題
- 結論與建議



NTU

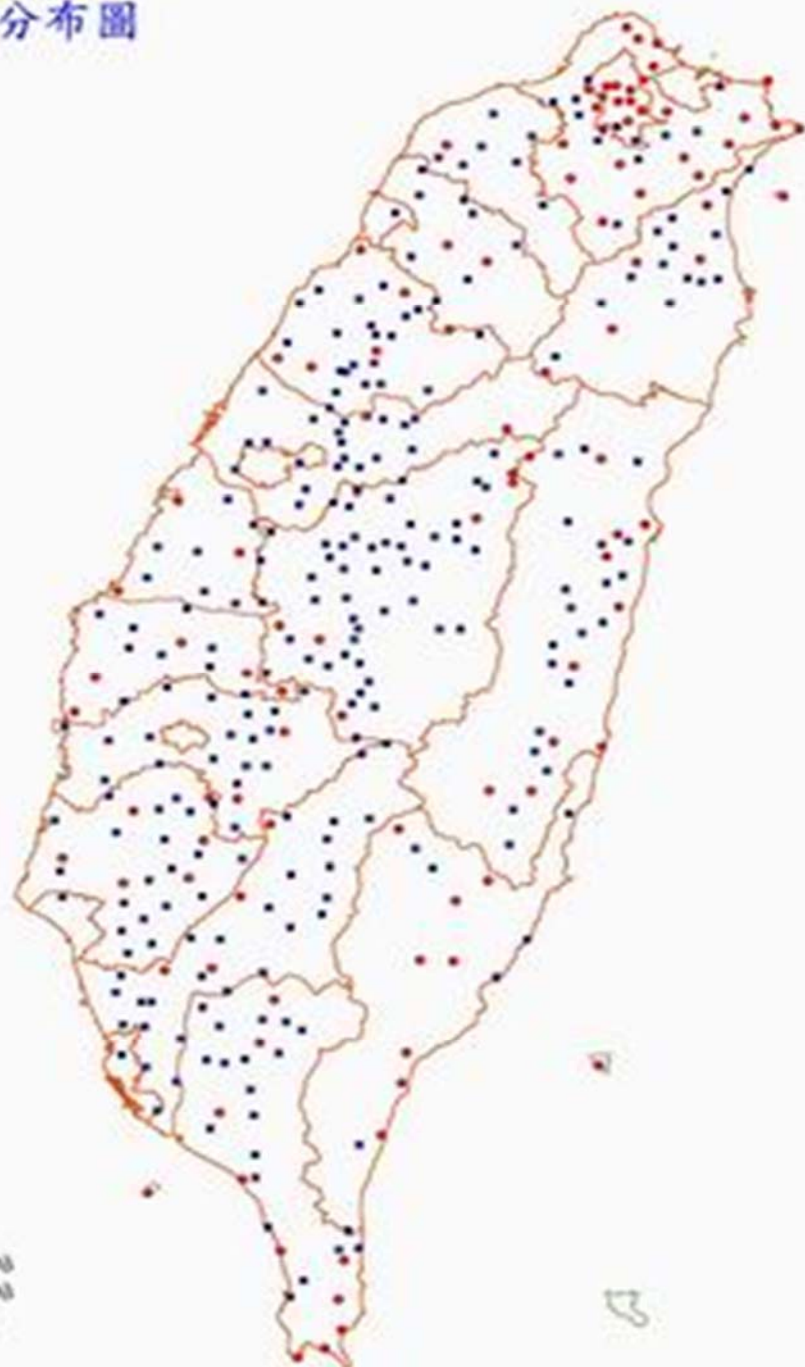
水工試驗所



前言

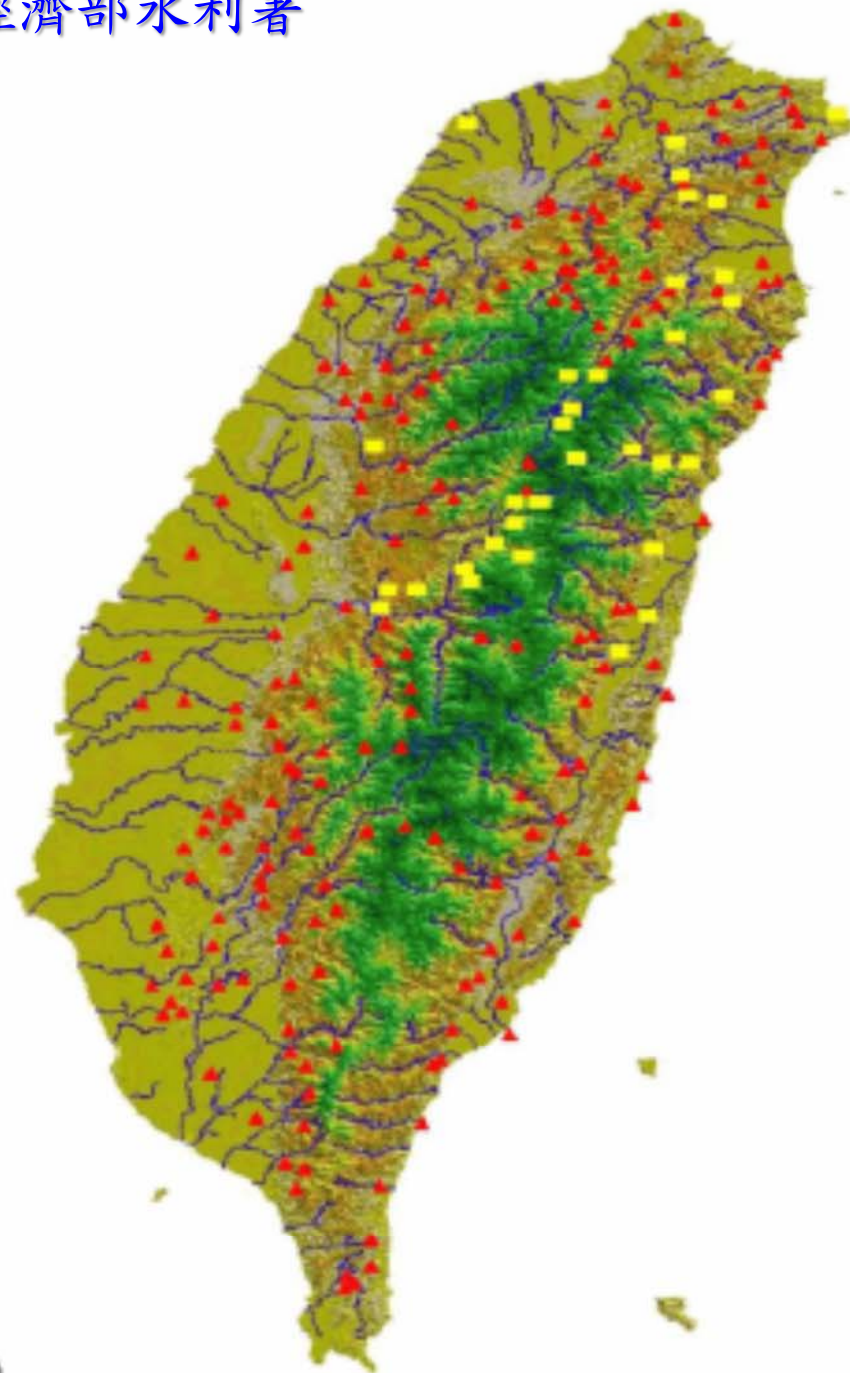
- 臺灣特有強降雨特性及脆弱地質環境，是天然災害頻繁發生最主要肇因。
- 水文觀測資料（降雨量、水位、流量、土壤含水量、泥砂濃度...）係政府在防災應變、水資源利用等重要決策上最主要依據。
- 其中，降雨資訊（降雨量、降雨強度、降雨時間、空間分布歷程）是最主要的關鍵因數。
- 水文觀測儀器定期辦理檢校並建立儀器檢校監理制度是確保水文觀測數據準確性，提昇水文觀測資料品質最重要的環節之一。
- 雨量觀測及雨量計檢校是氣象局的法定業務（氣象法第20條、專用觀測站觀測儀器校驗辦法第2條、第3條）

中央氣象局
自動測站分布圖



● 氣象站: 185站
● 雨量站: 257站
總計: 362站

經濟部水利署



LEGEND

備註說明 2011/07/25 18:16

1.雨量值顯示:(小時雨量,24小時雨量)

2.燈號顯示:

●綠燈:24小時雨量<350mm

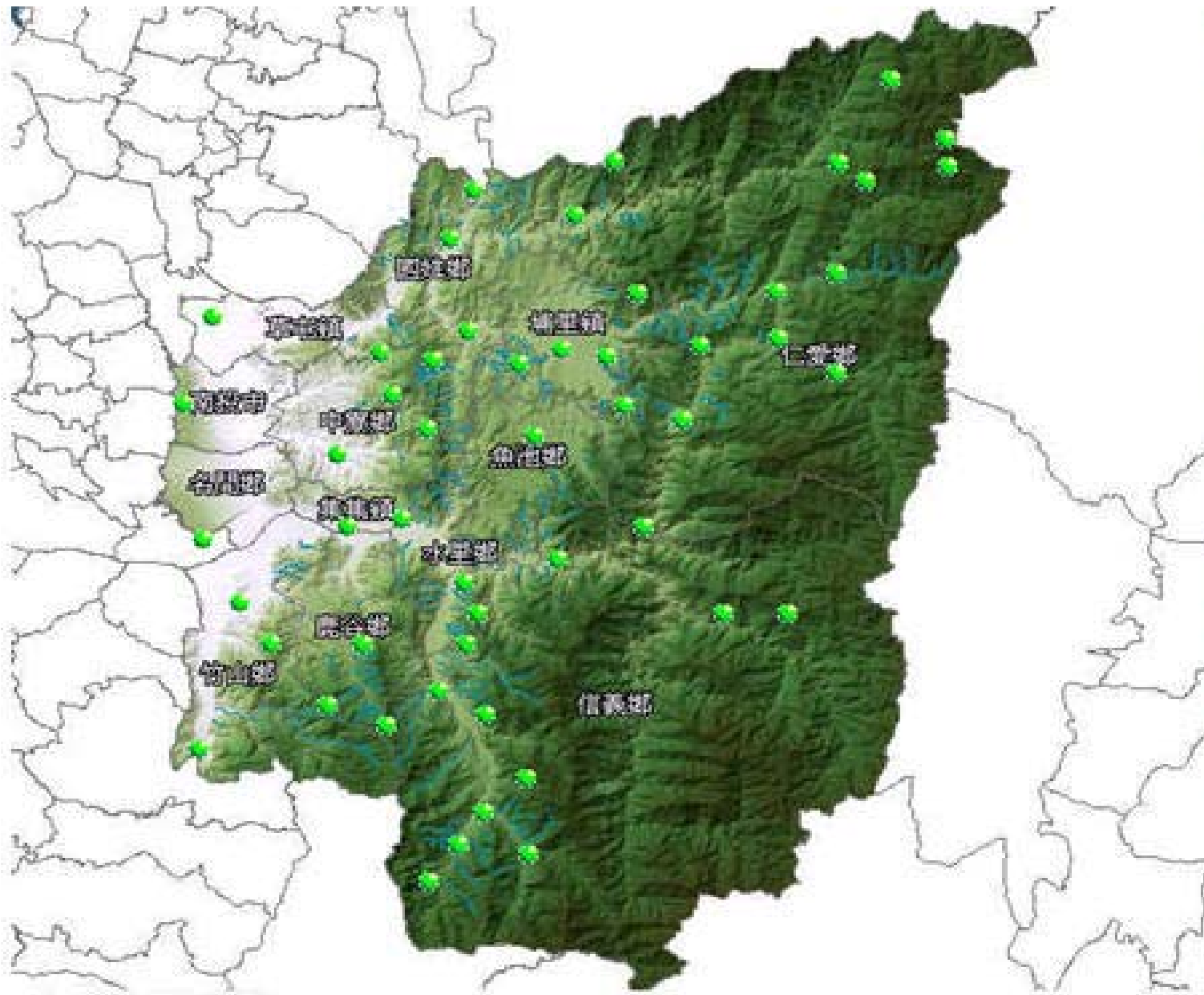
●黃燈:24小時雨量≥350mm

●紅燈:24小時雨量≥500mm

回首頁



台北市政府工務局
大地工程處：21站→
水利工程處：33站



雨量站資料			
站名	時雨量	單日累積	24小時
阿厝	5	14.5	101
樟湖	1	1.5	93.5
蘆竹溝	1.5	2	91
凌霄	2.5	6.5	90
合歡山	7.5	31.5	82
九份二山	1.5	1.5	72.5
上安橋	0	0	70.5
清流	0.5	7	67
中寮	0	0.5	66
中心橋	0	0	63
長福	1.5	4	61
大肚城	0.5	1.5	59.5
大鞍	0	0	59
桶頭	0	0	59
埔里	1	2	58
鳳凰	0.5	0.5	58
瑞岩	4.5	13	57
西密	0	0	57
埔中	0	0	56

頁數: 第1頁

土石流警戒基準值

■ 土石流是否發生的基準值，端視當地有效累積雨量多寡，不同地區有不同的土石流警戒雨量值，約位於 150 ~ 300 毫米間。

■ 準確預期土石流是不可能的！然而，雨量基準仍然是最為方便且可行的判定土石流發生與否的方法，因為雨量資料的取得相對而言較方便，而且雨量資料所涵蓋的範圍較廣泛。

■ 目前發生土石流的降雨臨界關係式，是屬於定律性降雨臨界關係式，也就是說，關係式中所採用的參數均是確定的數值（一般採用平均值），以二分法將臨界降雨關係曲線區分為土石流發生區及土石流不發生區。

土石流警戒基準值簡表

縣市	鄉鎮(溪流數)	警戒值(mm)	縣市	鄉鎮(溪流數)	警戒值(mm)	縣市	鄉鎮(溪流數)	警戒值(mm)
宜蘭縣(143)	三星鄉(5)	600	新竹縣(76)	竹東鎮(2)	500	台南市(48)	楠西區(7)	400
	大同鄉(41)	550*		芎林鄉(4)	550		龍崎區(1)	550
	冬山鄉(13)	600		峨眉鄉(3)	600		內門區(3)	550
	南澳鄉(10)	450*		新埔鎮(1)	500		六龜區(31)	250
	員山鄉(15)	550		橫山鄉(8)	500		田寮區(1)	600
	頭城鎮(23)	550		關西鎮(15)	500		甲仙區(17)	300
	礁溪鄉(16)	500		三灣鄉(1)	500		杉林區(4)	400
	蘇澳鎮(20)	500		大湖鄉(15)	500		那瑪夏區(14)	200
	七堵區(9)	550		公館鄉(4)	500		岡山區(1)	600
	中山區(3)	550		竹南鎮(1)	550		阿蓮區(1)	600
基隆市(34)	中正區(3)	550	苗栗縣(78)	卓蘭鎮(7)	350	高雄市(109)	美濃區(9)	500
	仁愛區(2)	600		南庄鄉(15)	500		茂林區(3)	400
	安樂區(6)	600		苑裡鎮(1)	550		桃源區(15)	200
	信義區(5)	600		泰安鄉(20)	400		旗山區(7)	500
	暖暖區(6)	550		通霄鎮(3)	550		鼓山區(3)	550
	八里區(10)	550		獅潭鄉(4)	500		三地門鄉(7)	400
	三芝區(4)	500		銅鑼鄉(7)	450		牡丹鄉(9)	600
	三峽區(23)	500		太平區(9)	400		來義鄉(11)	350
	土城區(4)	550		外埔區(2)	550		枋山鄉(1)	550
	中和區(1)	550		沙鹿區(1)	600		春日鄉(4)	550
新北市(221)	五股區(9)	500	台中市(106)	和平區(41)	300	屏東縣(70)	泰武鄉(5)	550
	平溪區(7)	550		東勢區(20)	300		高樹鄉(4)	550
	石門區(2)	500		新社區(21)	350		獅子鄉(17)	500
	石碇區(9)	500		潭子區(1)	550		萬壽鄉(1)	600
	汐止區(9)	500		霧峰區(8)	500		滿州鄉(2)	400
	坪林區(9)	550		北屯區(3)	450		瑪家鄉(7)	400
	金山區(8)	500		中寮鄉(7)	350		霧台鄉(2)	350
	泰山區(13)	500		仁愛鄉(34)	250		大武鄉(21)	450*
	烏來區(3)	550		水里鄉(32)	250		太麻里鄉(16)	350
	貢寮區(7)	600		名間鄉(2)	500		台東市(5)	550
台北市(50)	淡水區(4)	500	南投縣(248)	竹山鎮(6)	350	台東縣(165)	成功鎮(9)	500
	深坑區(6)	500		信義鄉(48)	250		池上鄉(2)	600
	新店區(20)	500		埔里鎮(48)	300		卑南鄉(38)	500
	新莊區(9)	550		草屯鎮(7)	400		延平鄉(10)	500
	瑞芳區(25)	500		國姓鄉(35)	300		東河鄉(20)	550
	萬里區(12)	550		魚池鄉(7)	350		金峰鄉(7)	400
	樹林區(5)	600		鹿谷鄉(21)	300		長濱鄉(4)	500
	雙溪區(21)	550		集集鎮(1)	500		海端鄉(18)	600
	鶯歌區(1)	500		二水鄉(5)	500		鹿野鄉(3)	600
	士林區(7)	500		彰化縣(7)	田中鎮(1)		550	達仁鄉(8)
中山區(1)	550	社頭鄉(1)	600		關山鎮(4)	600		
桃園縣(51)	內湖區(12)	500	雲林縣(12)	古坑鄉(12)	350	花蓮縣(166)	玉里鎮(24)	600
	文山區(3)	500		大埔鄉(4)	400		光復鄉(18)	450
	北投區(17)	500	嘉義縣(80)	中埔鄉(8)	400		吉安鄉(7)	550*
	信義區(5)	600		竹崎鄉(22)	350		秀林鄉(28)	450*
	南港區(5)	600		阿里山鄉(22)	250		卓溪鄉(15)	600
	大溪鎮(9)	550		梅山鄉(14)	300		花蓮市(2)	600
	桃園市(2)	550		番路鄉(10)	450		富里鄉(7)	600
	復興鄉(30)	350		六甲區(1)	550		瑞穗鄉(9)	550
	龜山鄉(10)	550		玉井區(1)	450		萬榮鄉(12)	500
	五峰鄉(15)	300		台南市(48)	白河區(11)		500	壽豐鄉(20)
北埔鄉(2)	550	東山區(16)			350	鳳林鎮(8)	500*	
尖石鄉(26)	300	南化區(11)			350	豐濱鄉(16)	450*	
						合計	1664	條

*註:宜蘭縣大同鄉復興村(宜蘭DF143)警戒值為400;宜蘭縣南澳鄉東岳村(宜縣DF099)警戒值為500;
台東縣大武鄉大鳥村(東線DF097)、大竹村(東線DF092)警戒值為400;
花蓮縣秀林鄉和平村(縣DF025、026、166)警戒值為250;花蓮縣豐濱鄉磯崎村(花縣DF093、094、095、096、097、098)警戒值為400;
花蓮縣鳳林鎮山興里(花縣DF129、130、131、132)警戒值為450;花蓮縣光復鄉東富村(花縣DF124、164)警戒值為400

雨量觀測單位及雨量計數量

雨量觀測單位及雨量計數量

- 氣象局：**615站**（局屬自動站+合作站）
- 水利署河川局、水資源局：**215站**（**450雨量計**）
- 台灣電力公司：**32站**
- 農委會水土保持局：**89站**（含今年新增51站）
- 農委會農田水利會：**182站**？（15農田水利會）
- 台北市政府：大地、水利、翡翠（**61站+?**）
- 新北市政府：**?部**
- 各縣市政府防災單位：陸續建置中（台南市政府**?部**，雲林縣政府**?部**，桃園縣政府**?部**，高雄市政府**?部**、台東縣政府...）

測站		數量	小計	合計
氣象局	局屬自動測站	568		
	綜觀及合作站	47		615
水利署	第1河川局	16		
	第2河川局	20		
	第3河川局	12		
	第4河川局	14		
	第5河川局	14		
	第6河川局	8		
	第7河川局	27		
	第8河川局	16		
	第9河川局	13		
	第10河川局	19	159	
	石門水庫	10	169	
農委會	水土保持局 8-	23		
	水土保持局 swc-	15	38	
台北市政府	水利處	27		
	大地工程處	22	49	
	翡翠水庫	6	55	262
氣象局網站				877

雨量儀類別 (point gauge)

降水觀測最常用之測量儀具為捕集型 (catch type) 雨量儀。

■ **捕集式雨量計**：主要構件分兩部分，(1)承雨器與漏斗等所組成雨量捕集設備；(2)容雨器或計量傾斗與記錄裝置，用來記錄降雨量與時間歷程之關係。

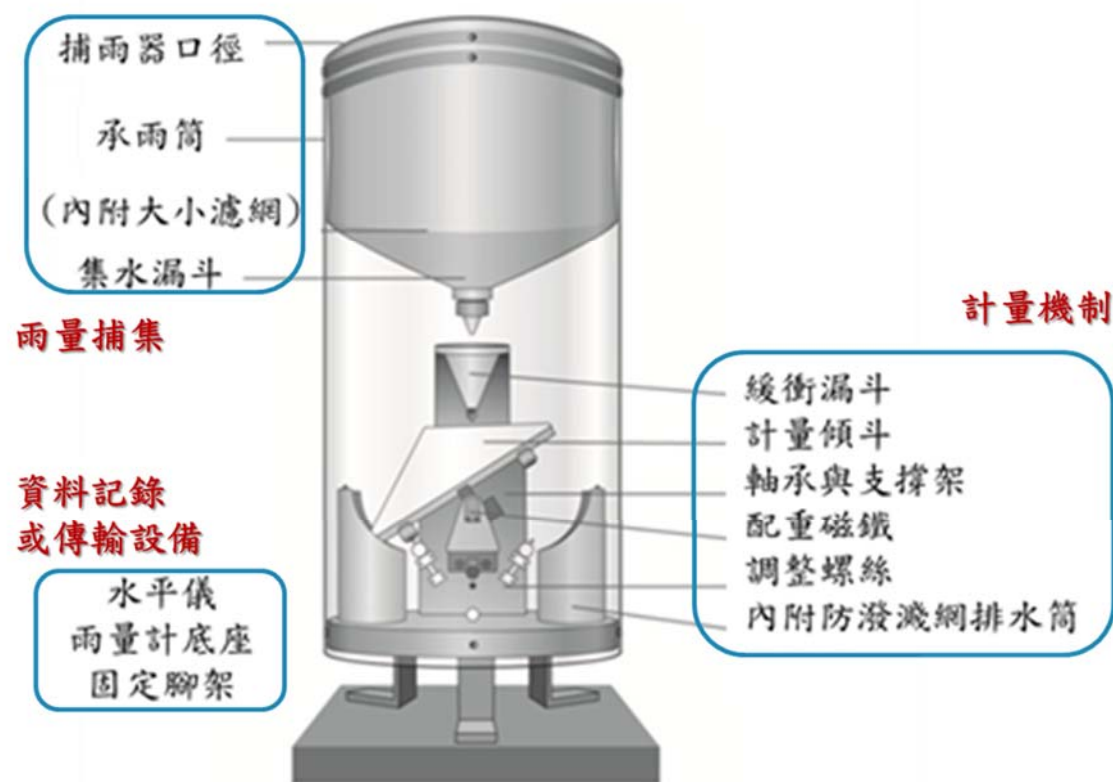
■ 依雨量計量方式 (**體積或重量**) 可分為：

□ 浮筒式 (Level Measurement RG)

□ 傾斗式 (Tipping Bucket RG)

□ 衡重式 (Weighting RG)

□ 虹吸式 (Siphon Pluviograph)



雨量儀類別（其他 point gauge）

■ 新型（非捕集型）雨量計：

- 光學式雨量計（Optical disdrometer, PASIVEL=OTT, Germany）
- 撞擊式雨量計（Impact disdrometer, WTX520-VAISALA, Finland）
- 微波雷達（Microwave Radar disdrometer, LCR “DROP” PVK ATTEX, Russian Fed.）



■ 共同特點：

- 降低維護成本
- 提高量測解析度及量測雨強範圍
（0.01~0.1mm；1~1,200mm/h；
1-minute-resolution）



- 除穩定度仍有待克服之缺點外，仍缺乏足夠長度資料比對（至少10年以上）；
考量資料連續性，尚無法直接納入常規雨量觀測設備。

雨量計計量原理及量測誤差

- 任何雨量計量測到的雨量一定會比落到地面的實際降雨量少
- 主要原因：來自於儀器本身之觀測損失及所處環境因素造成低估情形。觀測誤差所造成之低估量會依觀測地點氣候狀況、不同的降雨型態及採用之雨量計而異。雨量觀測損失造成的誤差包括：

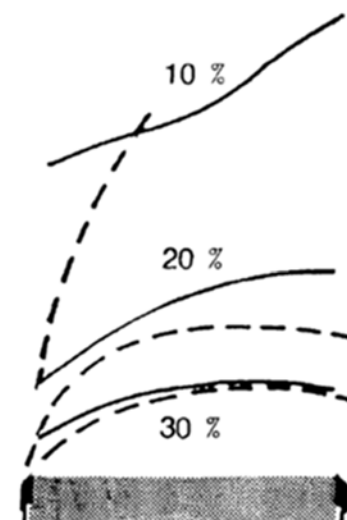
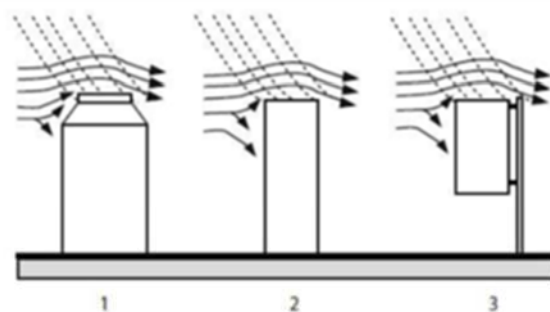
- 雨跡誤差：
- 濕潤損失：（依WMO報告夏天可能損失高達2-10%，冬天1-8%）
- 蒸發損失：（依WMO報告可能高達4%）
- 系統性誤差：與雨量計之計量機制有關

➤ 遮蔽效應（與雨量計承雨口顯露度有關）

➤ 風場形變：



Figure 2. Diagrams of gauge sites with four different degrees of protection against wind by trees and houses, as taken using a camera with a fish-eye lens through the gauge orifice. Clockwise: open site, partly open site, partly protected site, and protected site

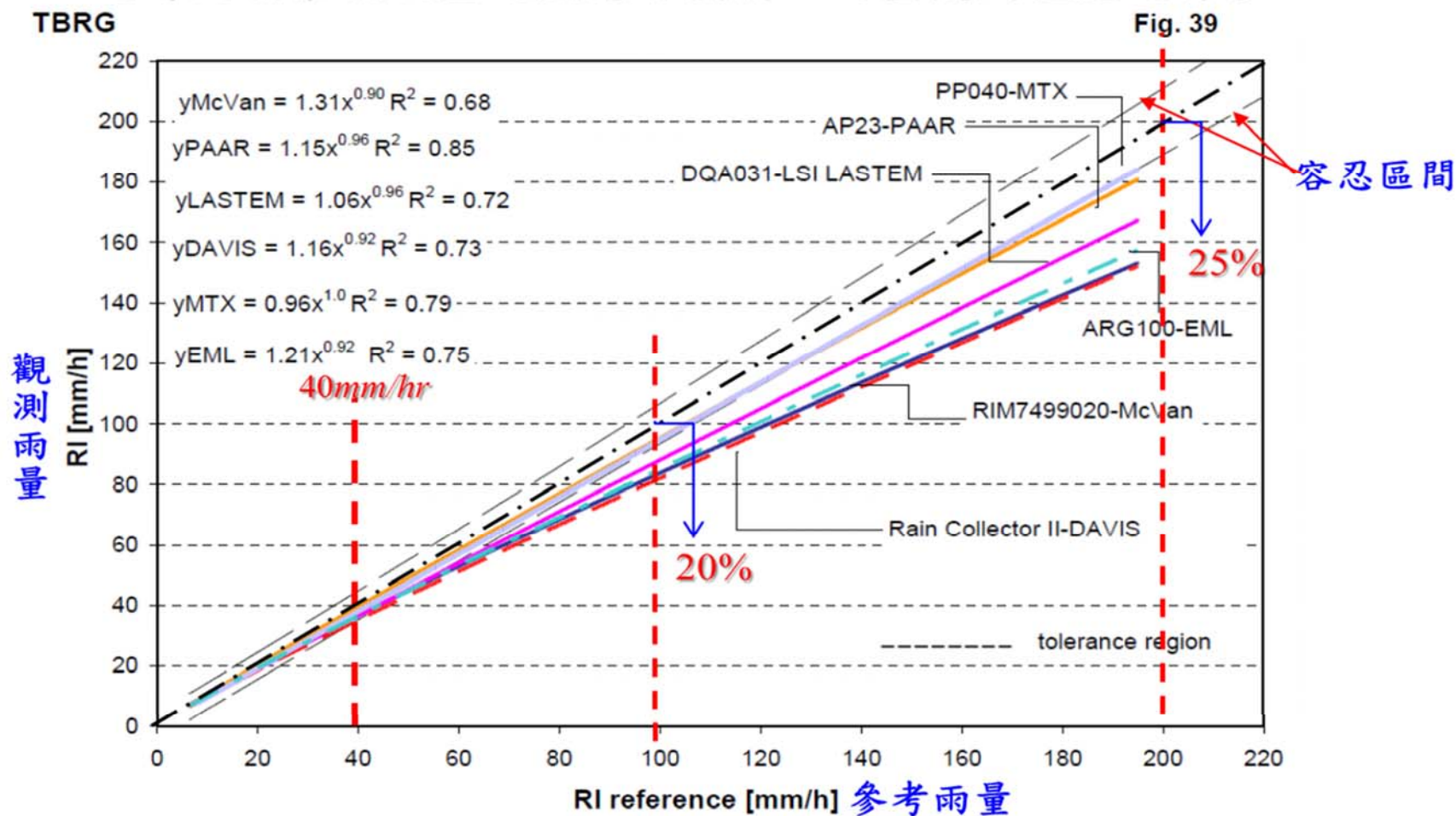


雨量計校正實驗室可以做什麼？

TBRG需要定時器差校驗(校準、校正)

雨量計誤差來源及檢校需求

- ▶ 傾斗式雨量計存在嚴重儀器系統誤差 (systematic error) — 雨量觀測誤差會隨著降雨強度 (RI) 之增加而增大。
 - ▶ 降雨強度超過 40mm/h，雨量觀測值 (RI) 與理論值 (RI reference) 即出現嚴重偏低現象 (超出 ±5% 容忍區間 tolerance region；資料來源：WMO 雨量計田野比對，2009)。
- WMO 認為此項系統誤差既然是可預期，雨量觀測值應進行修正。



傾斗式雨量計系統性誤差實例：

- 以日本竹田傾斗式雨量計（承雨器口徑 20cm，分辨力 1.0mm，傾斗標稱容量 31.4mL）
- 表中所示為在不同模擬雨強下之每傾斗實際裝載之雨水量；結果顯示：**相對器差隨雨強增大的加劇。**

模擬雨強 (mm/h)	每傾斗翻傾平均時間	每傾斗平均容量	每傾斗容量相對誤差
20	178.22 sec	30.99 mL	1.32%
70	51.50 sec	31.41 mL	-0.02%
120	29.93 sec	31.74 mL	-1.07%
200	18.15 sec	32.14 mL	-2.37%
300	12.01 sec	32.63 mL	-3.92%
400	9.16 sec	33.11 mL	-5.44%
600	6.34 sec	34.00 mL	-8.29%

雨強愈大
裝載更多雨水量
相對器差愈大

國研院 颱洪中心雨量計採購規格：（0.5mm TBRG）

精度誤差 20mm/hr 以下，±0.5mm 以內；

20mm/hr 以上至 200mm/hr，±5%以內；

200mm/hr 以上至 300mm/hr，±10%

購入廠牌：小笠原 型號：RS-102（分辨力：0.5mm）

廠商提供 颱洪中心雨量計採購規格：（0.5mm TBRG）



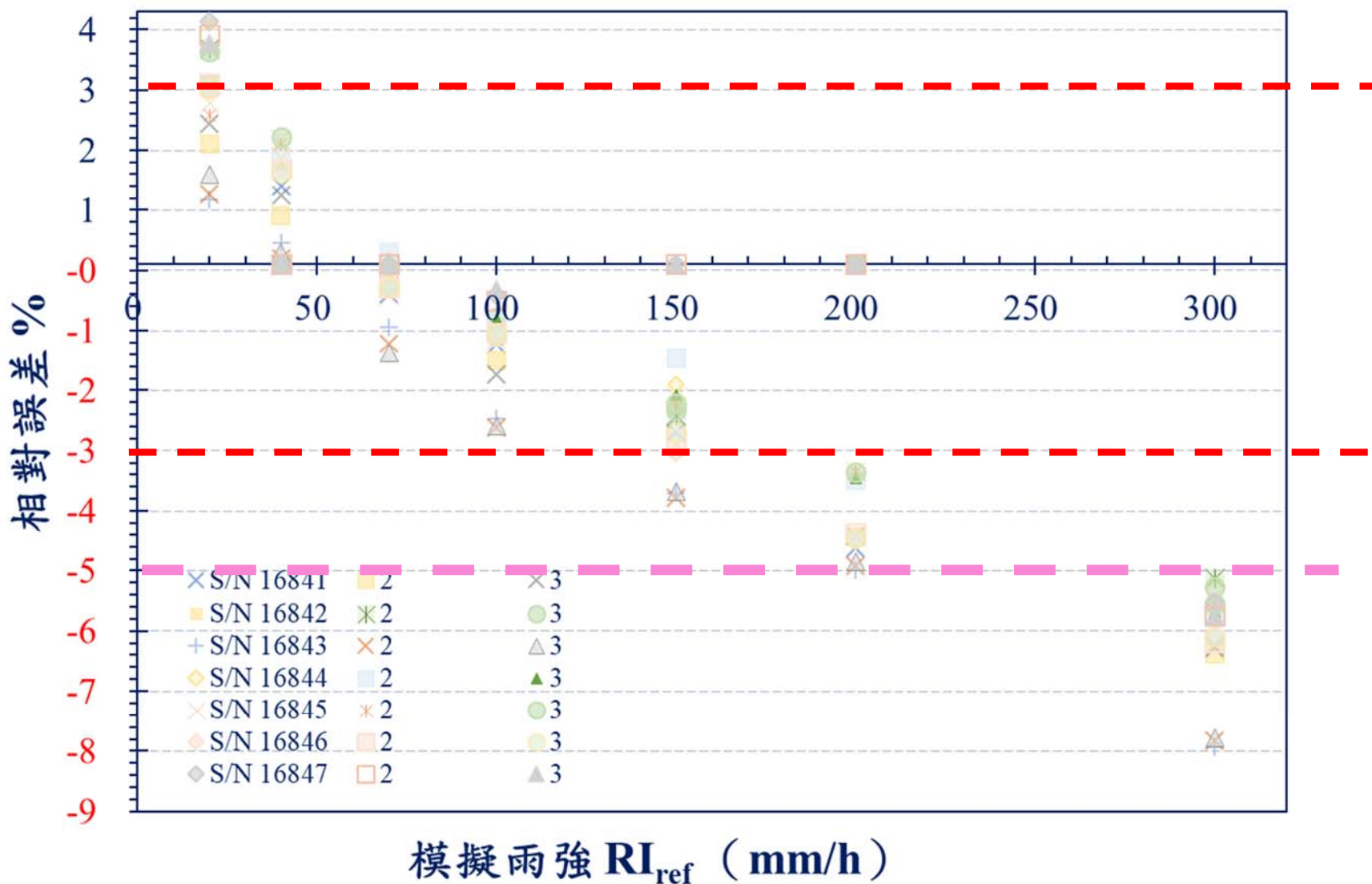
RS-102/103 シリーズ

転倒ます型雨量計発信器（型式証明取得）

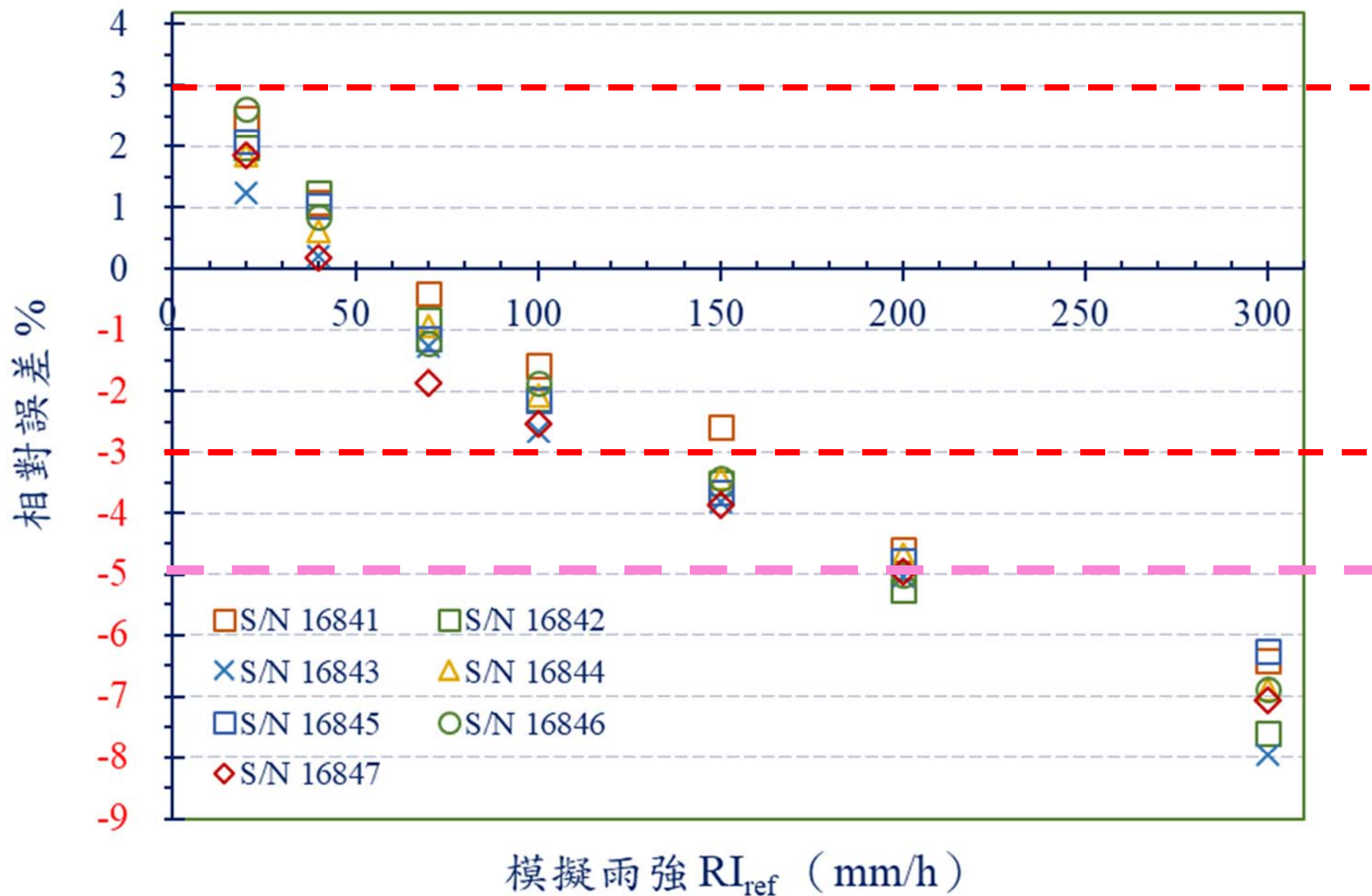
口径200mmの受水口に入る雨水により、転倒ますが正確に転倒して、0.5mmまたは1.0mm毎に接点パルス信号を出力します。N2型では目詰まり安心ろ水器により、豪雨などでも転倒ますに雨水が正確に入るよう工夫しています。

型 式：	RS-102-N1	RS-103-N1
1 転倒雨量：	0.5mm/P	1.0mm/P
検 出 方 式：	転倒ます式	
受 水 口 径：	200mm	
測 定 精 度：	20mm以下の雨量時、±0.5mm以下 (0.5mm計) 20mm以上の雨量時、±3%以内	
測 定 精 度：	40mm以下の雨量時、±1mm以下 (1.0mm計) 40mm以上の雨量時、±3%以内	
接 点 時 間：	100~250ms	
接 点 容 量：	DC30V 0.5A（抵抗負荷）	
信 号 電 線：	0.75mm ² ×2心ケーブル	
外 形 寸 法：	H450×φ210mm	
質 量：	約4kg	

TBRG (小笠原RS-102) 初次校驗 (調整前) 器差



TBRG (小笠原RS-102) 校驗 (調整後) 器差



雨量計檢用標準器：雨量50mm容量

基準值			台大雨量計校正實驗室										器差 變化範圍
雨量(mm)	轉倒回数	小笠原計器 測定值 轉倒回数	測定相對器差 (%)										
48.5~51.5	97.0~103.0	48.5~51.5 97.0~103.0	校驗雨強 (mm/h)										
RS-102-N1	分辨力	製造年月	20mm/h	80mm/h	20	40	70	100	150	200	300		
S/N 16841	0.5mm	2017/4/1	101.7	98.4	2.24	1.00	-1.14	-2.34	-3.37	-4.64	-7.86	10.1	
S/N 16842	0.5mm	2017/4/1	100.6	98.2	1.98	1.24	-0.84	-2.12	-3.50	-5.27	-7.60	9.6	
S/N 16843	0.5mm	2017/4/1	100.3	98.2	1.24	0.22	-1.28	-2.66	-3.82	-5.02	-7.95	9.2	
S/N 16844	0.5mm	2017/4/1	100.9	98.3	1.84	0.63	-0.95	-2.07	-3.43	-4.66	-6.87	8.7	
S/N 16845	0.5mm	2017/4/1	101.0	98.4	2.09	1.02	-1.14	-2.15	-3.67	-4.77	-6.26	8.3	
S/N 16846	0.5mm	2017/4/1	100.9	98.1	2.62	0.84	-1.24	-1.86	-3.42	-4.99	-6.86	9.5	
S/N 16847	0.5mm	2017/4/1	100.3	98.1	1.88	0.19	-1.87	-2.53	-3.87	-4.96	-7.05	8.9	
		均值	100.8	98.2	1.98	0.73	-1.21	-2.25	-3.58	-4.90	-7.21		
		測定值(mm)	50.41	49.12									
		RE(%)	0.81	-1.76	0.81		-1.76						

TBRG計量原理與誤差特性

假設 W 為TBRG斗杯每次傾覆動作實際翻倒水量， w 為啟動斗杯翻傾所需水量（斗杯標稱容量）。 Δw 為斗杯傾覆過程中持續注入的水量； w_r 為斗杯翻傾後殘留水量（在一般正常狀況下 w_r 可視為固定值），則

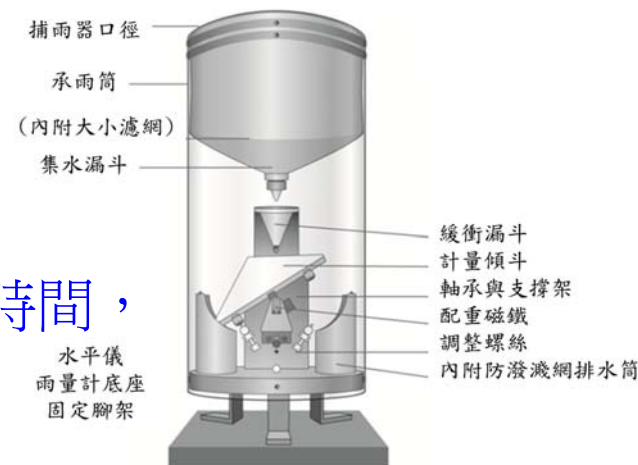
$$W = w + \Delta w - w_r$$

暫忽略斗杯殘留水量 w_r ，則 $W = w + \Delta w$ 。

假設 i 為降雨強度， Δt 為在斗杯翻傾程中雨水持續注入的時間，則 $\Delta w = i \times \Delta t$ 。

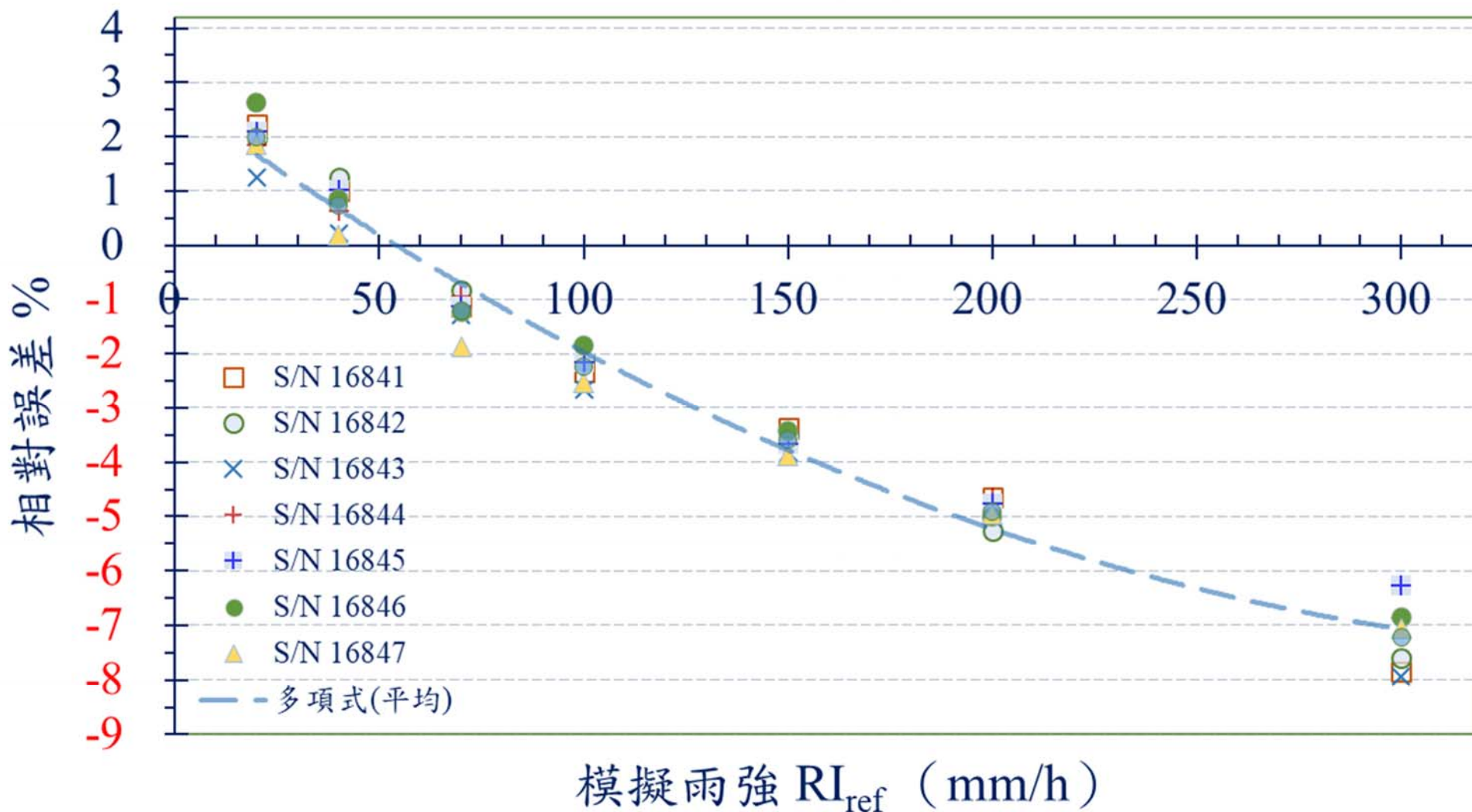
以國內水利單位使用最多—分辨力1.0mm、承雨口徑（200mm）雨量計為例，上式中， $w = w_{1.0} = 31.4\text{mL}$ （換算雨水重量約為31.4g）。

但量測誤差 $\Delta w = 0$ （亦即 $W = w$ ），祇有在降雨強度 $i = 0$ 極度理想狀況下才有可能。當雨強 $i > 0$ ，雨強 i 愈大， $\Delta w (= i \times \Delta t)$ 愈大，斗杯實際承載水量 W 亦愈多，亦即量測雨量（器示值）會比實際降雨量小。

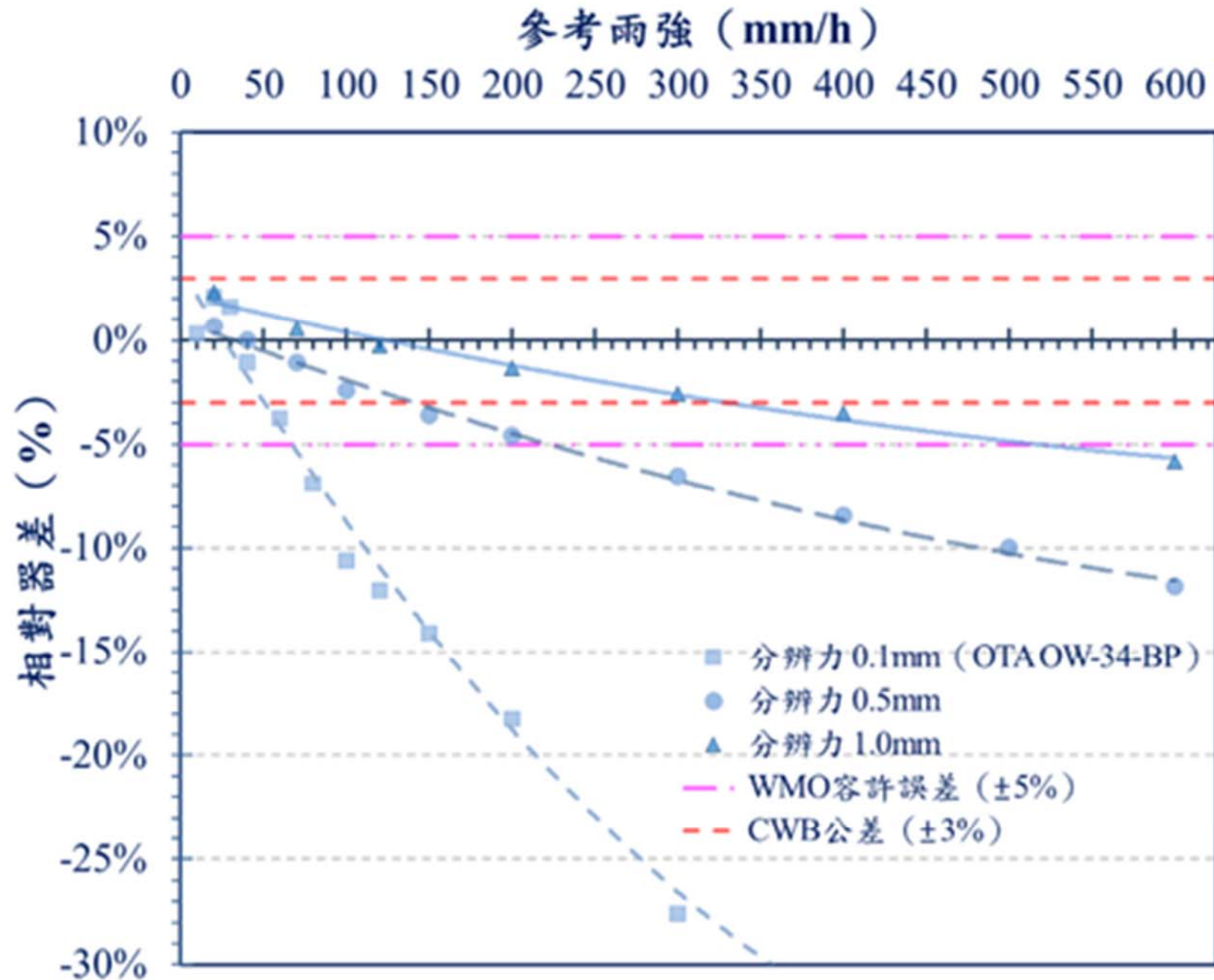


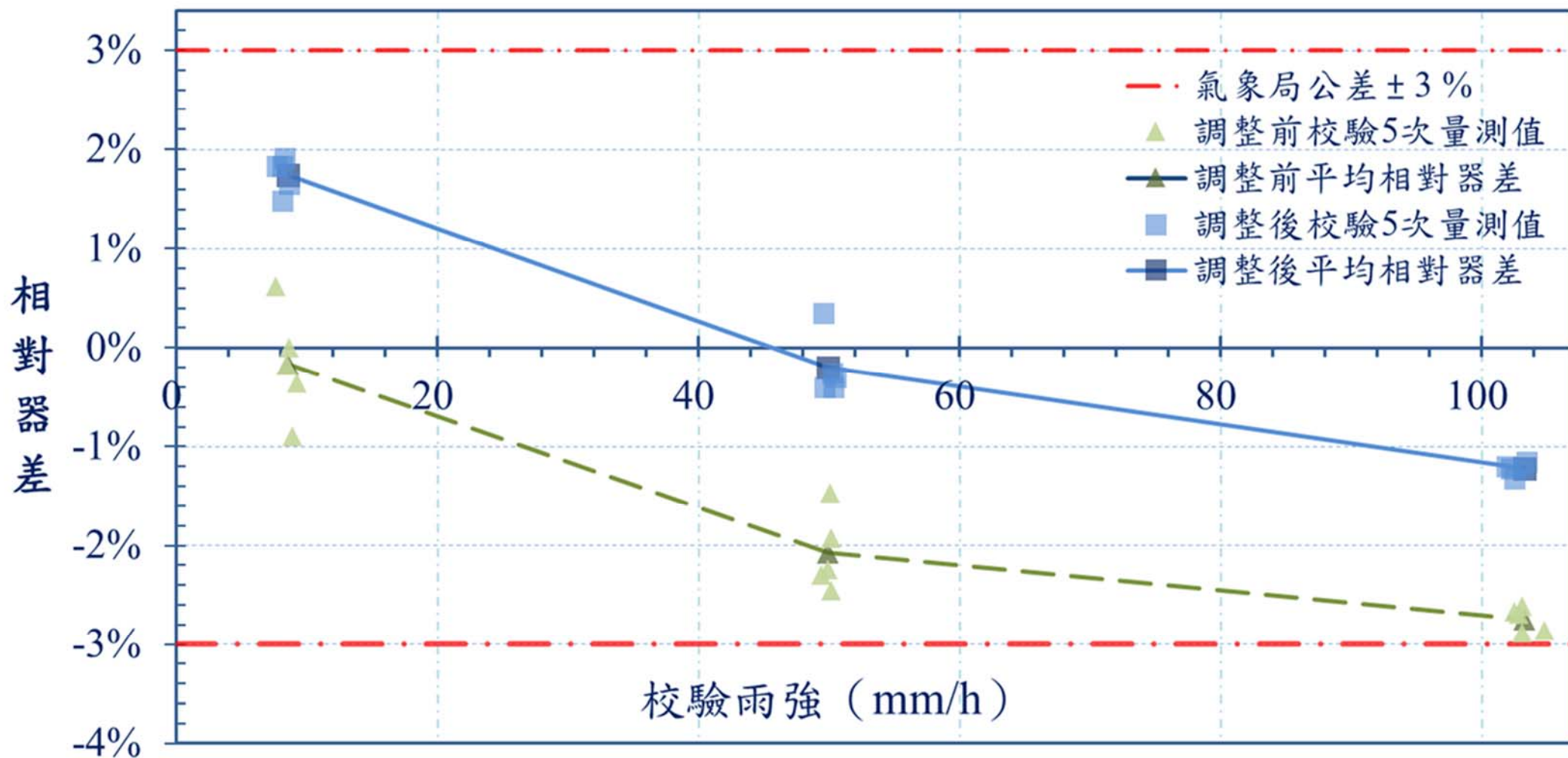
廠牌OSG (0.5mm) TBRGs器差隨雨強變化趨勢

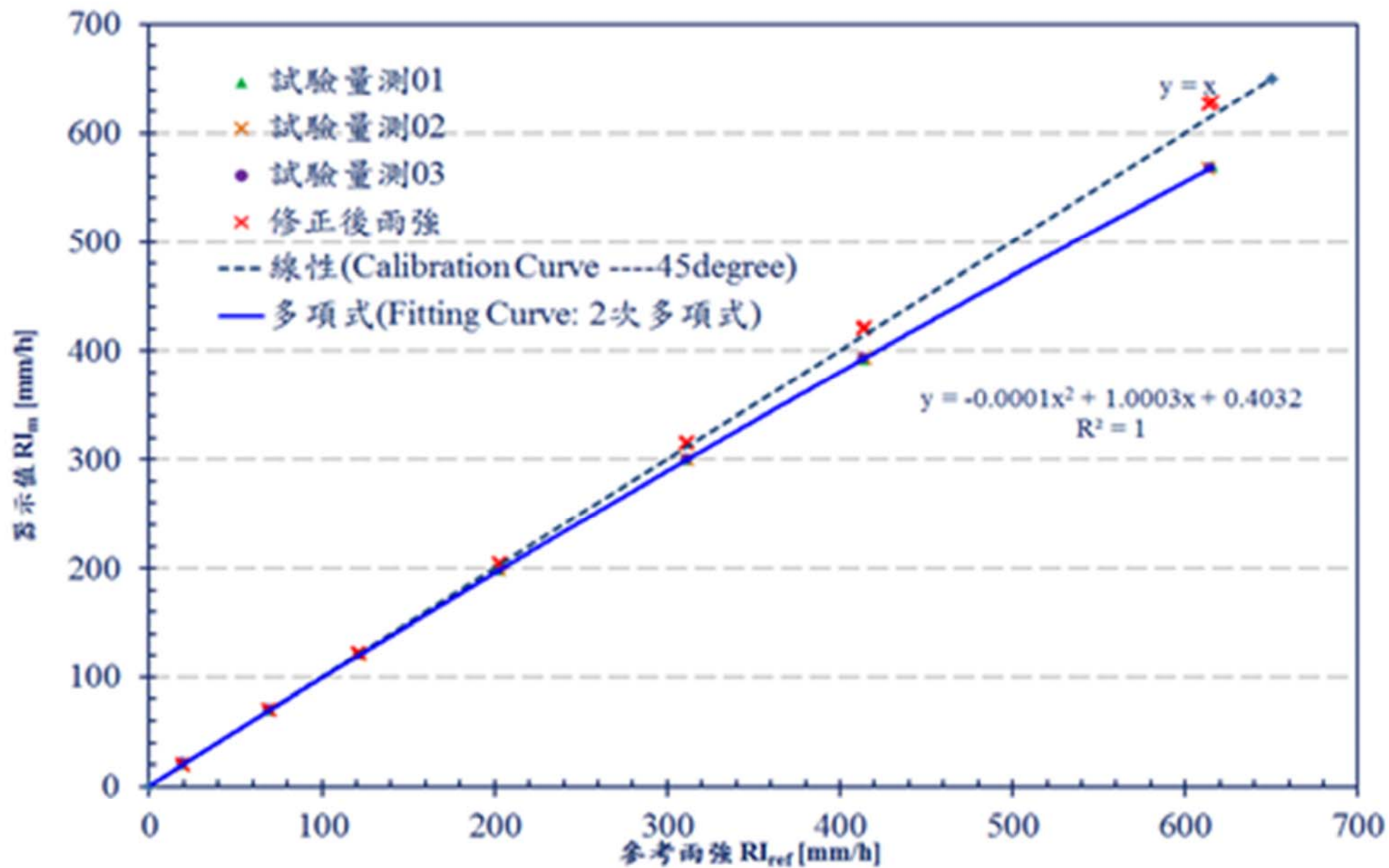
OSG廠牌 (0.5mm) TBRGs器差隨雨強變化之趨勢 (該圖顯示 i_0 約等於50mm/h 時, $\Delta w \approx 0$) , 當小雨時 ($i_r < i_0$) , 器示值偏向高估; 但大雨 ($i_r \geq i_0$) 時, 觀測值偏低 (此係造成強降雨時雨量觀測值偏低最主要的原因之一) 。



不同分辨力TBRG相對器差隨雨強變化趨勢



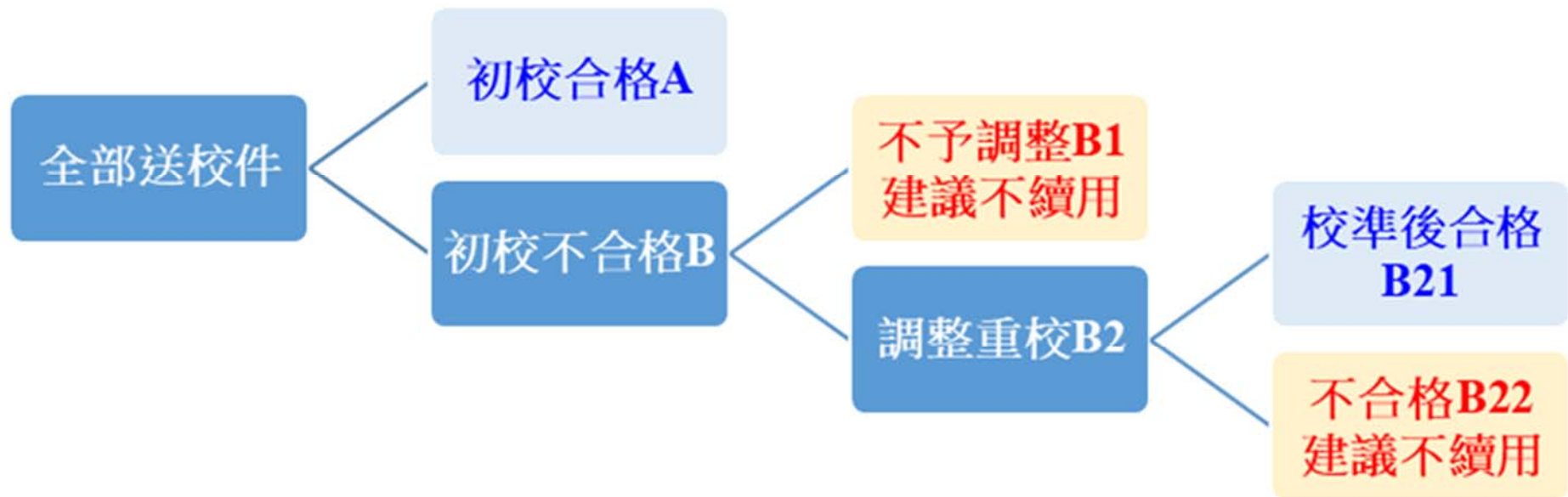




- 勘用狀況良好TBRG，由於其器差隨雨強變化之趨勢十分明顯，因此即可利用數學方法（器示值修正公式）來修正其該系統性誤差。
- 經修正前後之器示值與參考值之比較（如圖 10 所示），不僅顯示可以讓TBRG器示值（觀測雨量）更接近實際降雨量；同時亦可讓各分辨率雨量計適用觀測雨強範圍大幅擴展。

送校件校驗過程分類數量統計示意圖

臺大曾統計分析近年（2015～2017）雨量計送校驗結果，新舊校件數量統計整理如表 2。除前述部份全新雨量器差無法通過合格認定問題外，舊校件也有同樣問題。如果將全部送校件 n ，在初校後可將送校件簡單區分為合格A、或不合格B；而不合格件又可區分不需調整（直接淘汰）B1及需要調整後重校者。後者經重校後結果可分為合格B21及不合格B22



臺大近年驗新舊雨量計校驗結果比例統計

年度別	104			105			106		
件別	舊品回校	新品送校	合計	舊品回校	新品送校	合計	舊品回校	新品送校	合計
校驗數量	77	83	160	139	104	243	138	66	204
初校合格件(A)	39	75	114	64	94	158	59	54	113
比率	50.6%	90.4%	71.3%	46.0%	90.4%	65.0%	42.8%	81.8%	55.4%
需調整件(B21+B22)	18	8	26	62	9	71	65	11	76
比率	23.4%	9.6%	16.3%	44.6%	8.7%	29.2%	47.1%	16.7%	37.3%
建議不續用(B1+B22)	18	2	20	30	6	36	29	1	30
比率	23.4%	2.4%	12.5%	21.6%	5.8%	14.8%	21.0%	1.5%	14.7%
備註	1. 建議不續用包括：不合格（器差無法符合公差要求）—部份構件損壞應先送廠維修更換構件—或不勘用（已嚴重影響計量功能建議逕行淘汰）。 2. 106 年度資料統計截止至 106 年 7 月 31 止。								

- 結果顯示回校件初校合格之比率偏低（不及 5 成），此意謂國內在役中 TBRG 數量至少有 5 成，其器差可能不符合公差要求（不合格），亦即水利單位雨量資料承受準確度不符精度需求風險偏高。
- 值得進一步關注，並採取相關因應措施。例如另改用採較短或具彈性之校驗週期，或增加雨量計現地查核等作為，以利及早發現（器差不符公差要求）問題，並針對測站不合格雨量計觀測資料（依據校驗器差）啟動檢覈、修正等補救措施，俾降低該器差問題所帶來的影響與衝擊。

臺大（水文儀器量測技術研發暨服務中心）基於協助提昇降雨觀測技術及雨量資料品質初衷，根據累積超過600件雨量計校驗經驗（同時也考量台灣特殊水文環境條件及降雨觀測需求），仍提出雨量計校驗週期之建議（另應將雨量計已使用年限納入考量）如下：

- 1.全新傾斗雨量計之校驗週期：3年；
- 2.使用年限未滿 4年（已使用過、或第2次送校）雨量計之校驗週期：2年；
- 3.其他使用年限滿 4 年雨量計之校驗週期：1年。

結論：

1. 由於雨量資料係政府在防災應變、水資源利用等重要決策最主要的依據，因此必需確保雨量資料準確度。

2. 雨量計校驗方法、

方法、

田野

果。

雨量

透過

誌謝

2. 雨量計校驗室一些技術性、看似枝微細節但卻重要的觀察，寫成論文與大家分享交流。

3. 感謝氣象局二組長官、台大大氣系林博雄教授、水工所顏清連教授不時提供我們在雨量計校驗方面諸多寶貴意見，衷心感謝！

建議：

1. 雨量計校驗合格判定準則訂定
2. 合格判定準則訂定
3. 允收標準訂定
4. 編列年度校驗經費預算



TBRG 分辨力	建議最大 觀測雨強	校驗雨強範圍	備 註
0.1 mm	≤ 40 mm/h	10~100 mm/h	1.分辨力 0.1、0.2mm 雨量計僅適用小雨觀測
0.2 mm	≤ 60 mm/h	10~120 mm/h	2.分辨力 0.1 inch 適用 0.2mm 雨量計
0.5 mm	≤ 100 mm/h	20~300 mm/h	3.強雨降觀測建議選用分辨力 0.5、1.0mm 雨量計
1.0 mm	≤ 120 mm/h	20~600 mm/h	4.最大校驗雨強係考量足以涵括 95%歷史降雨事件之最大瞬間雨強 100mm/10min 或 10mm/min。