

114年 天氣分析與 預報研討會

2025 Conference on Weather
Analysis and Forecasting

日期
9.2 週二
—
9.4 週四

研討會主題

- 大氣監測與分析
- 天氣模擬與預報
- 氣候監測與預報
- 氣象防災與跨域應用
- 海象測報與應用
- 太空天氣監測與分析
- 人工智慧之氣象應用

地點 交通部中央氣象署 (臺北市公園路64號)

洽詢電話 (02)2349-1239 鄭小姐



主辦單位 | 交通部中央氣象署 協辦單位 | 中華民國氣象學會

©本研討會可登錄終身學習時數 conf.cwa.gov.tw

潮位站水位資料之基準偏移 偵測與改正分析

藍文浩¹ 郭重言² 廖乃慧³ 簡振宇²

¹國立高雄科技大學

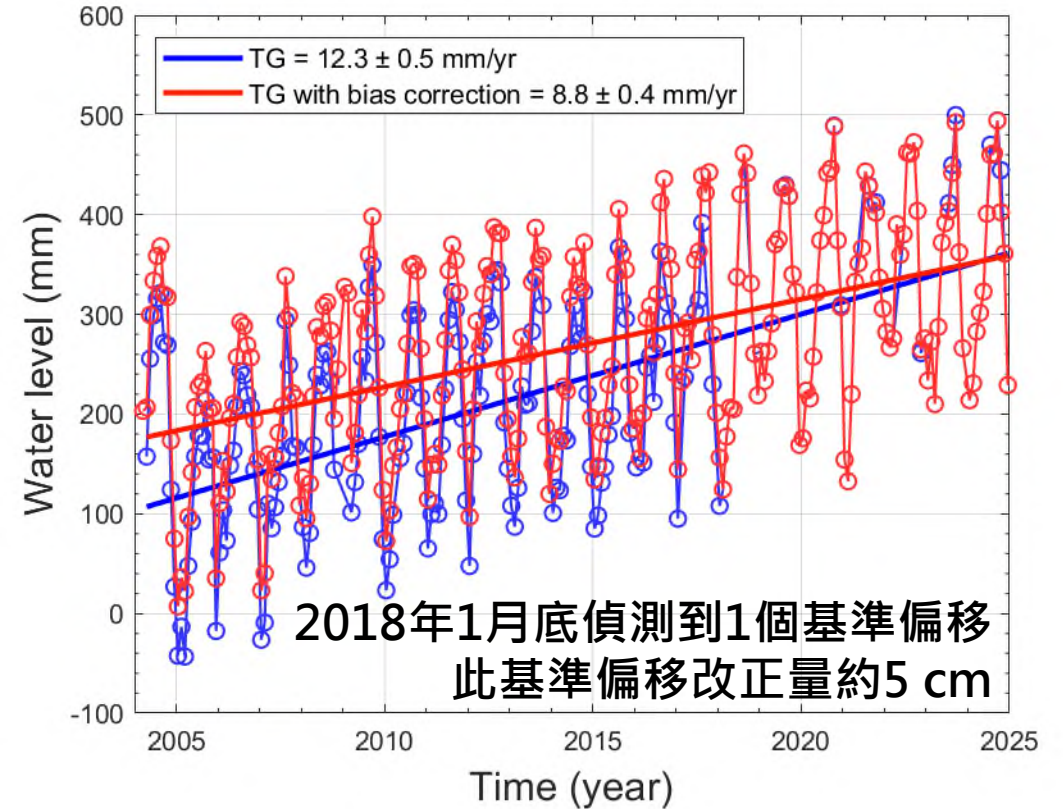
²國立成功大學測量及空間資訊學系

³中央氣象署海象氣候組

前言

- 隨著全球暖化日益加劇，海平面上升已成為全球關注的重大氣候變遷議題。為有效因應海洋環境變遷與極端氣候所帶來的風險，準確掌握海水位變化資訊對於環境監測與災害預警具關鍵性影響。
- 潮位站提供之長期觀測資料，廣泛應用於海洋科學研究、航運安全監控、港灣工程規劃、海岸帶管理，以及氣候變遷趨勢之監測與分析。然而，該類資料可能受限於基準偏移（如斷點）等因素，導致時間序列出現不連續性或系統性誤差，進而影響其在後續應用中的準確性與可靠性。

高雄潮位站資料



研究資料和方法

潮位站歷史水位資料斷點偵測技術發展

■ 調和分析偵測法

- 首先將利用調和分析法逐兩年(經驗法則)擬合潮位站資料，並利用解算後之調和參數重建海潮(又稱為天文潮)變化，然後自潮位站資料中移除海潮效應。
- 對於可能存在偏移點位，計算該點位前後1~2個月平均值並相減，若差值大於100 mm則該處可能有基準偏移情形須與鄰近潮位站進行雙重比較，以確定基準偏移點位。

$$TG(t) = a + b(t - t_0) + \sum_{i=1}^n [A_i \sin(\omega_i(t - t_0)) + B_i \cos(\omega_i(t - t_0))]$$

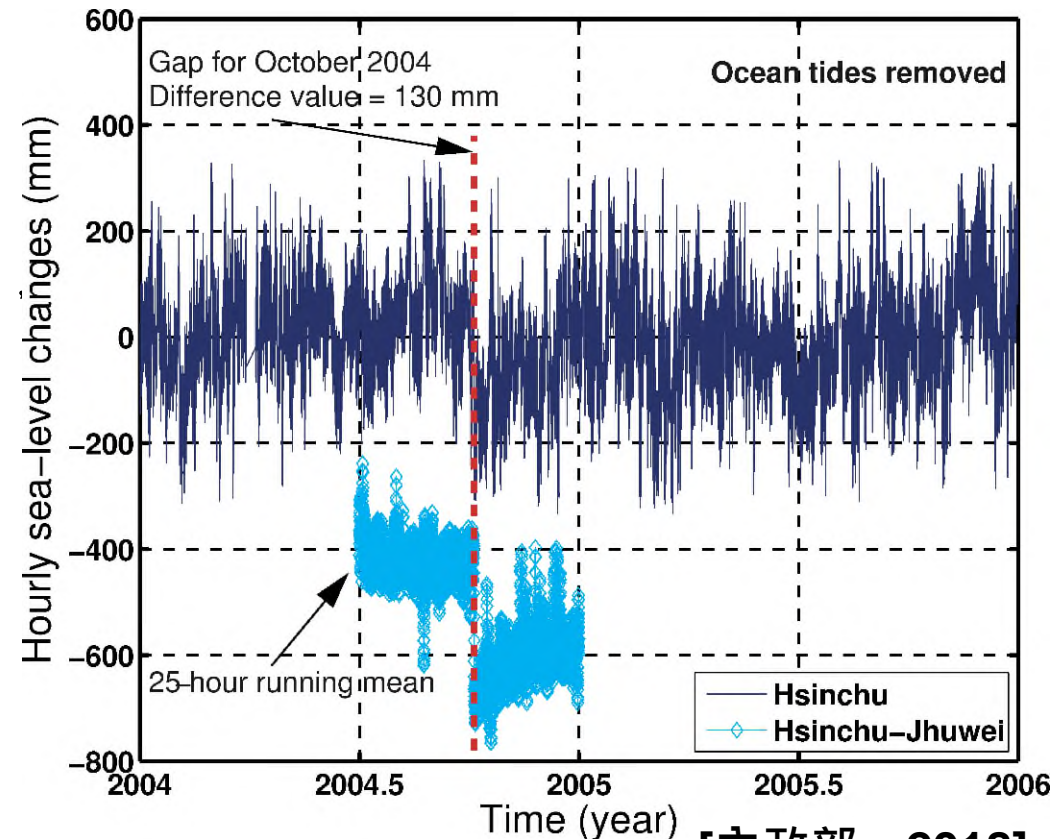
TG : 潮位站逐時資料; **t** 與 **t₀** : 時間與參考時間;

A : 偏差; **b** : 斜率;

n : 分潮個數 (**n=37**); **ω_i** : 各分潮之頻率;

A與**B** : 分潮的正弦函數sine與餘弦cosine函數之振幅;

逐時新竹潮位站資料之偏移量偵測



[內政部，2018]

潮位站歷史水位資料斷點偵測技術發展

■ 最佳分段法 [Yao, 1984; Jackson et al., 2005; Hogarth et al., 2020]

- 首先收集各種歷史檔案紀錄，確認潮位站曾經發生的儀器更換、設備維修、站址搬遷或人工水尺驗證等事件，以確定觀測儀器調整具體時間點或數據偏移情形。
- 將欲偵測潮位站與鄰近潮位站的觀測資料進行差值計算，以檢視兩測站資料是否存在基準偏移現象。
- 自潮位站資料中移除已知的地球物理訊號，以減小潮位站資料中的水位變動幅度，而使基準偏移現象更加明顯。
- 利用最佳分段法偵測步驟(b)和(c)結果的基準偏移點位。

➤ 最佳分段法

$$F(s) = \min_t \left\{ F(t) + C(y_{(t+1):n}) + \beta \right\}$$

$$C(y_{(t+1):n}) = \sum_{i=t+1}^n (y_i - \bar{y}_{t+1,n})^2$$

y : 時序資料; \bar{y} : 時序平均值; n : 資料數目;

β : 懲罰項 (penalty term) 常數;

$F(s)$: 資料從第1筆至第 n 筆的最小總成本;

$F(t)$: 從第1筆至第 t 筆的最小成本;

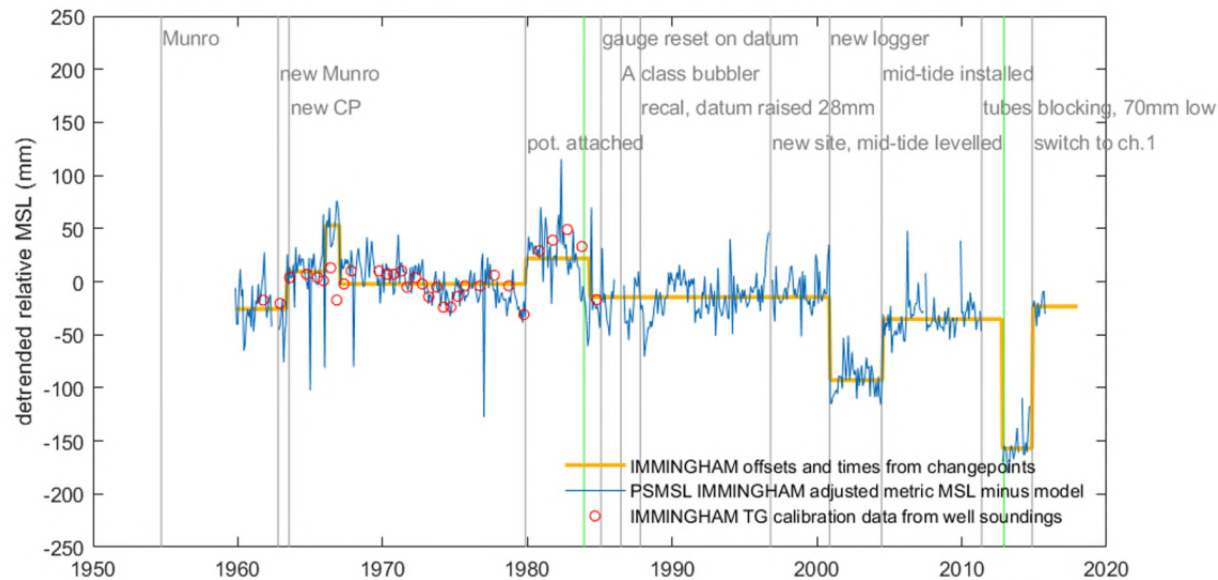
t : 前一個偏移點位置;

潮位站歷史水位資料斷點偵測技術發展

■ 最佳分段法 [Yao, 1984; Jackson et al., 2005; Hogarth et al., 2020]

e) 彙整步驟(a)(d)成果，以便偵測基準偏移點位。Hogarth et al. [2020]建議至少需要兩個以上分析成果偵測出相同基準偏移點位，則該點位即可確認為基準偏移點位。

Immingham潮位站資料的基準偏移點位分析



[Hogarth et al., 2020]

潮位站歷史水位資料斷點偵測技術發展

■ 潮位站資料

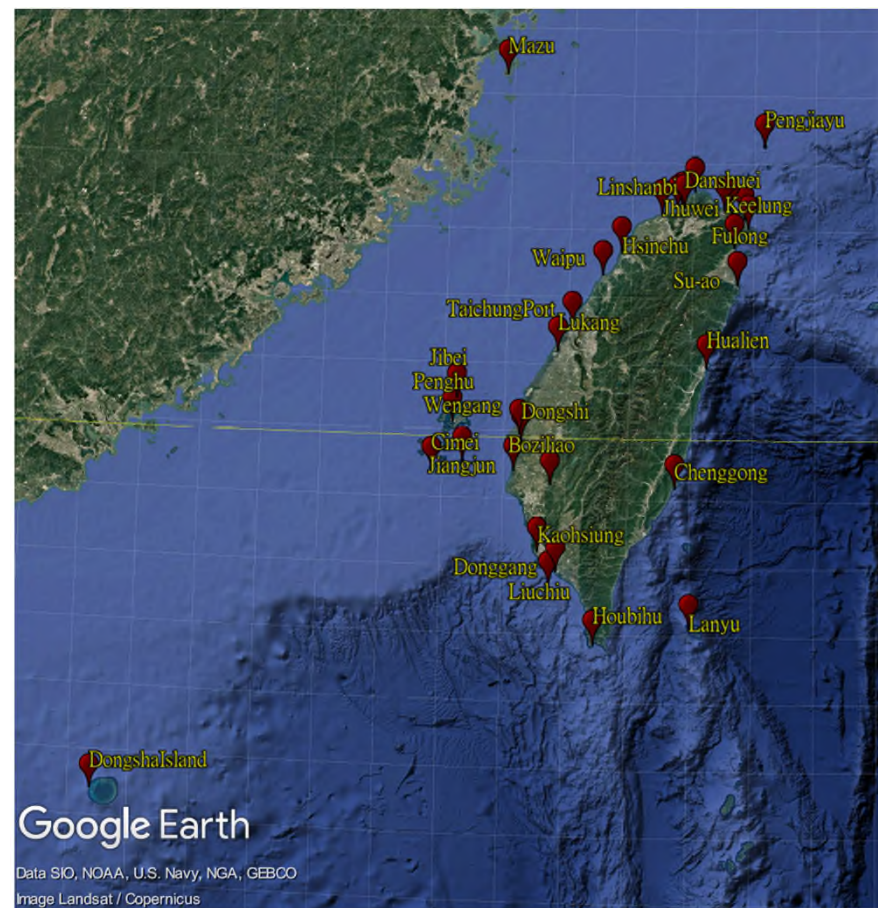
- 中央氣象署(33個): ~2025/03

■ 潮位站資料整理和資料品管

- 資料完整度(> 70%)
- 基準偏移初步分析
- 水位極端值移除(大於三倍標準偏差)
- 非線性變化分析

本研究欲選取基隆、高雄、臺中港和馬祖等四處潮位站作為代表性資料，以進行斷點(變化點)偵測分析。

海象環境資訊平台提供中央氣象署33個潮位站之位置分佈圖



潮位站歷史水位資料斷點修正技術發展

■ 利用調和分析法

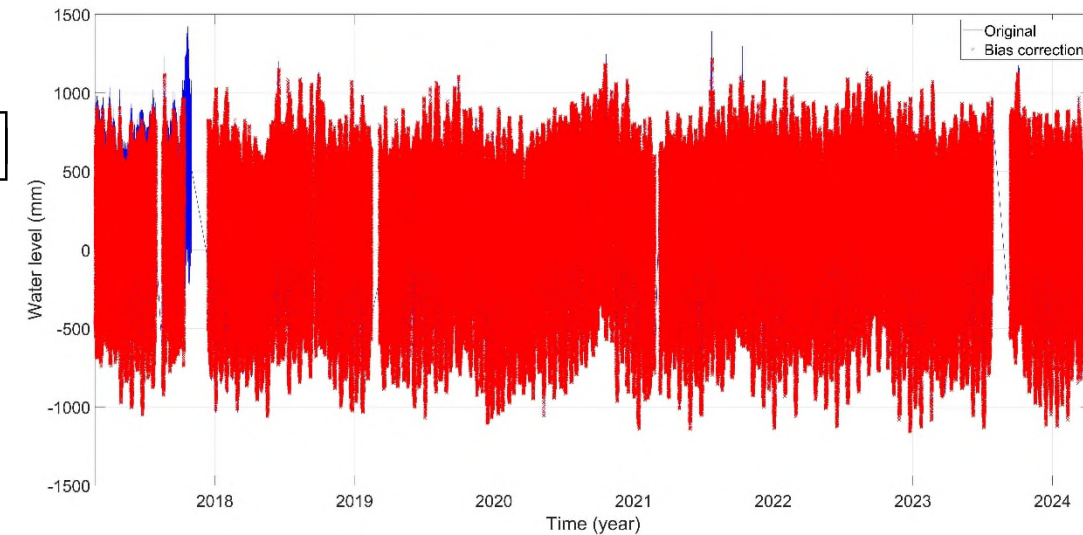
- 對於已確認的基準偏移點，可利用調和分析法加上步驟函數(step function) H 進行基準偏移修正。

$$TG(t) = a + \sum_{i=1}^m a_i H(t - t_{a_i}) + b(t) + \sum_{i=1}^n [A_i \sin(\omega_i(t)) + B_i \cos(\omega_i(t))]$$

$$H(t - t_{a_i}) = \begin{cases} 1 & , t \geq t_{a_i} \\ 0 & , t < t_{a_i} \end{cases}$$

- 以七美潮位站為例，當七美潮位站時間序列未改正基準偏移前，可以發現原始水位資料在時間段2017-2018年間有明顯上移，而利用調和分析法改正後，此區間資料下調116.1 mm，可以看出水位高度變化更為一致。

利用調和分析法改正七美潮位站資料基準偏移成果

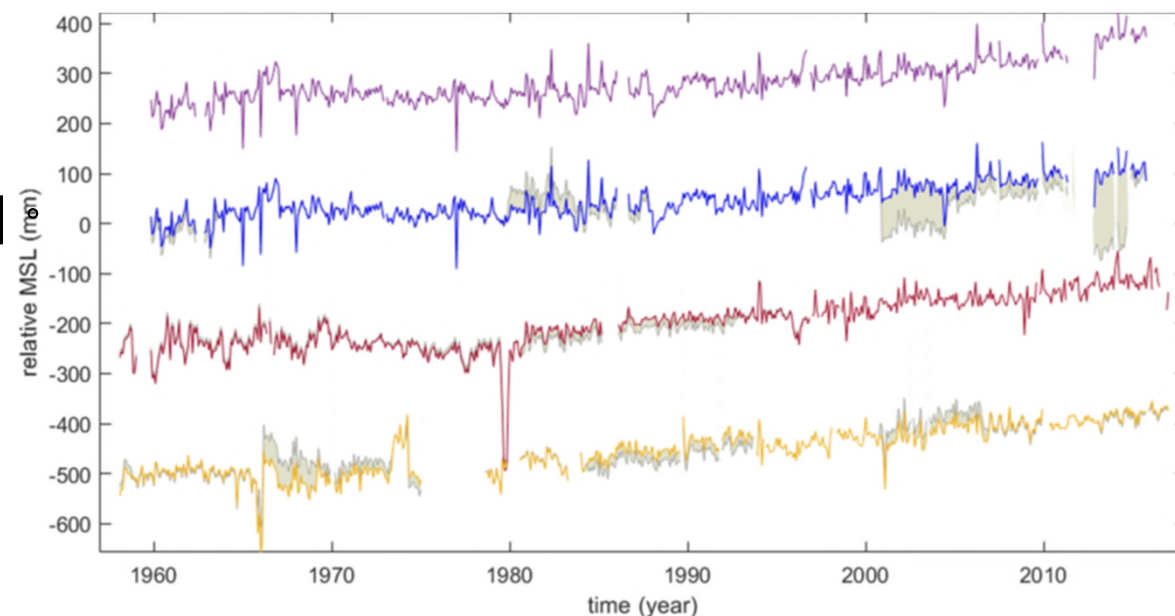


[內政部，2018]

潮位站歷史水位資料斷點修正技術發展

■ 二次多項式線性回歸分析法

- 首先利用歷史檔案中記錄的基準偏移量進行修正，當缺乏歷史檔案紀錄時，則利用二次多項式線性回歸分析方法估算並改正數據基準偏移[Hogarth et al., 2020]
- 以英國 Immingham 潮位站為例，針對2001年之前的基準偏移，利用歷史檔案中紀錄的基準偏移量進行修正；由於2001年之後的資料缺乏相關基準偏移修正值紀錄，因此採用二次多項式線性回歸分析方法進行估算並修正之。



[Hogarth et al., 2020]

潮位站歷史水位資料斷點偵測和修正技術發展

■ 執行步驟

- 1) 自中央氣象署潮位站中選取四個代表性潮位站(基隆、高雄、臺中港和馬祖)的觀測資料。
- 2) 參考中央氣象署提供之歷史斷點修正紀錄，於基隆、高雄、臺中港與馬祖等潮位站中選取品質較好之兩年期觀測資料作為分析對象。目前僅分析完成基隆和高雄潮位站資料。
- 3) 將步驟(2)潮位站資料加入多種基準偏移（斷點）模擬。
- 4) 利用調和分析(HA)擬合步驟(3)時間序列，將資料中海潮效應移除。
- 5) 相鄰潮位站進行差值計算，並利用調和分析移除差值資料中的斜率和殘餘海潮效應。

基隆潮位站之歷史斷點修正紀錄表

基隆			
STID	BEG	END	SHIFT
1516	1946/5/1 00:00	2000/12/31 23:00	-42
1516	1946/5/1 00:00	2000/12/31 23:00	-106
1516	1946/5/1 00:00	2006/7/31 00:00	-11
1516	2004/1/1 00:00	2007/10/26 04:00	-8
1516	2006/8/1 00:00	2007/10/26 04:00	-7
1516	2006/8/1 00:00	2007/10/26 04:00	15
1516	2006/8/1 00:00	2007/11/15 23:59	-920
1516	2007/11/1 00:00	2008/1/7 23:59	1593
1516	2012/12/11 22:00	2012/12/12 03:00	200
1516	2020/2/15 11:00	2023/9/20 23:59	43

潮位站歷史水位資料斷點偵測和修正技術發展

■ 執行步驟

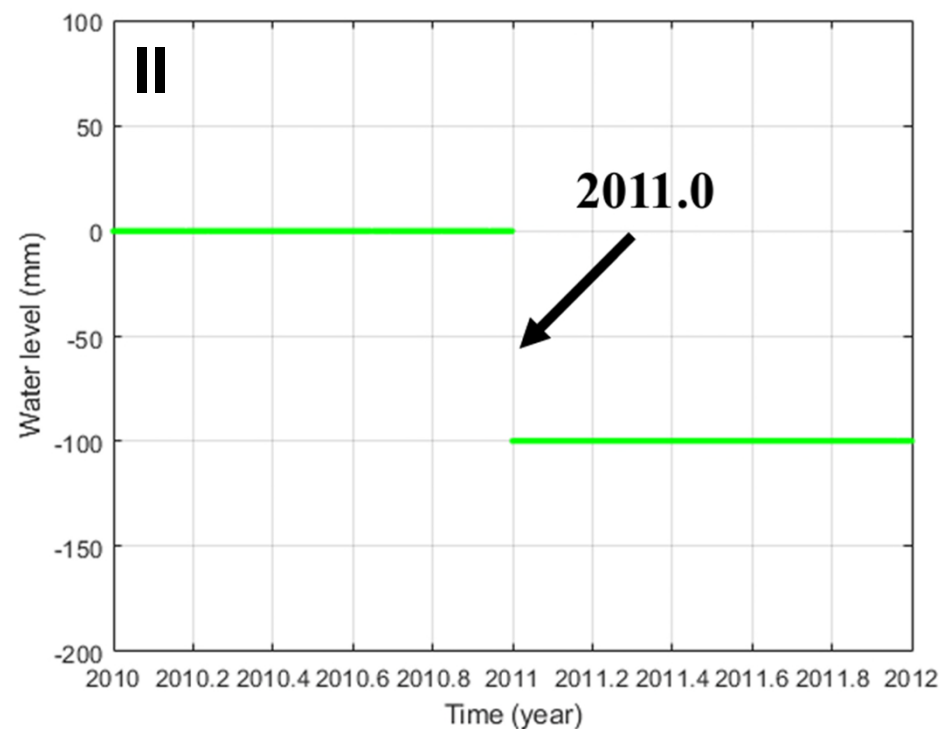
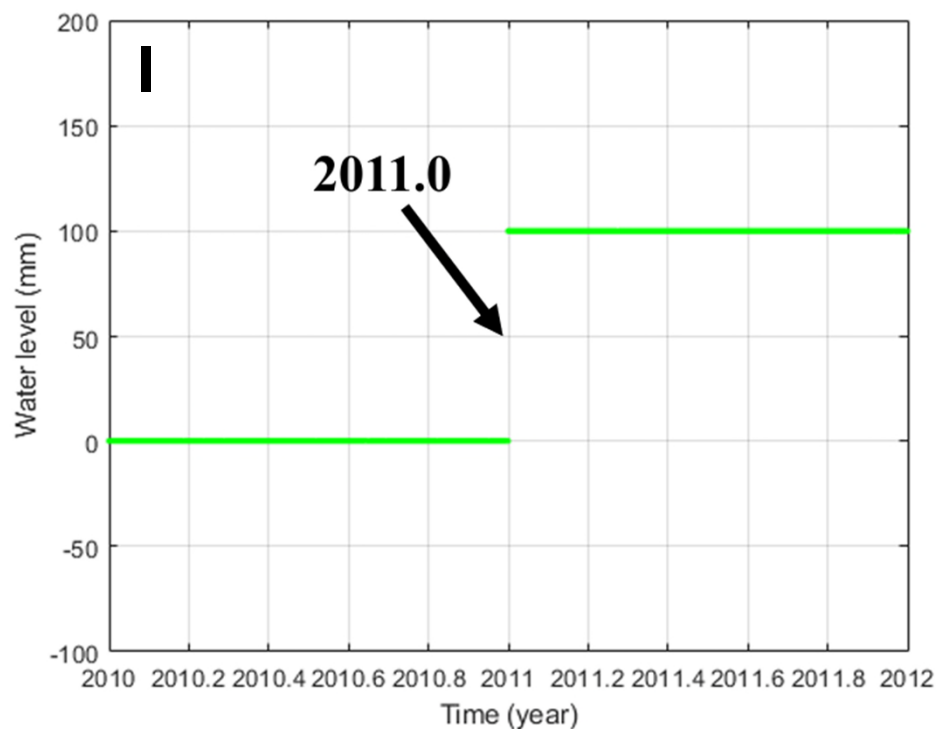
- 6) 自步驟(3)時間序列中移除已知地球物理訊號(如海潮和逆氣壓效應; TG-OTM-DAC)
- 7) 利用最佳分段法偵測法於步驟(4)(5)(6)時間序列，並評估此偵測方法適用性。考量海水面變化受區域性因素影響顯著，若未加以限制可能導致變化點偵測結果過度分段。故本研究將潮位站時間序列以每兩年為單位進行分段偵測，並於每次偵測設定最多可辨識10個變化點之上限。由於變化點數量已透過此方式加以控制，故忽略最佳分段法中懲罰項 β 。
- 8) 對於最佳分段法偵測出位置，計算平均差值，並標記平均差值 > 5 公分位置。
- 9) 利用基準偏移(斷點)修正方法對步驟(3)時間序列進行改正，並評估斷點修正方法適用性。

基準偏移（斷點）模擬情形

基準偏移（斷點）模擬情形

■ 本計畫設計並模擬五種不同類型之基準偏移情形

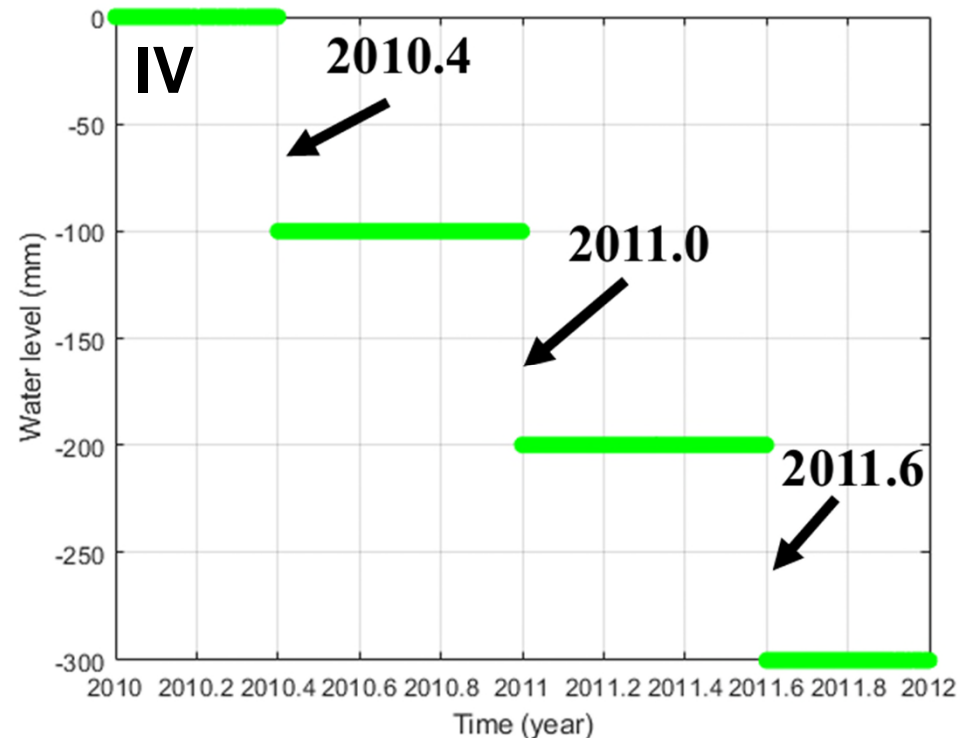
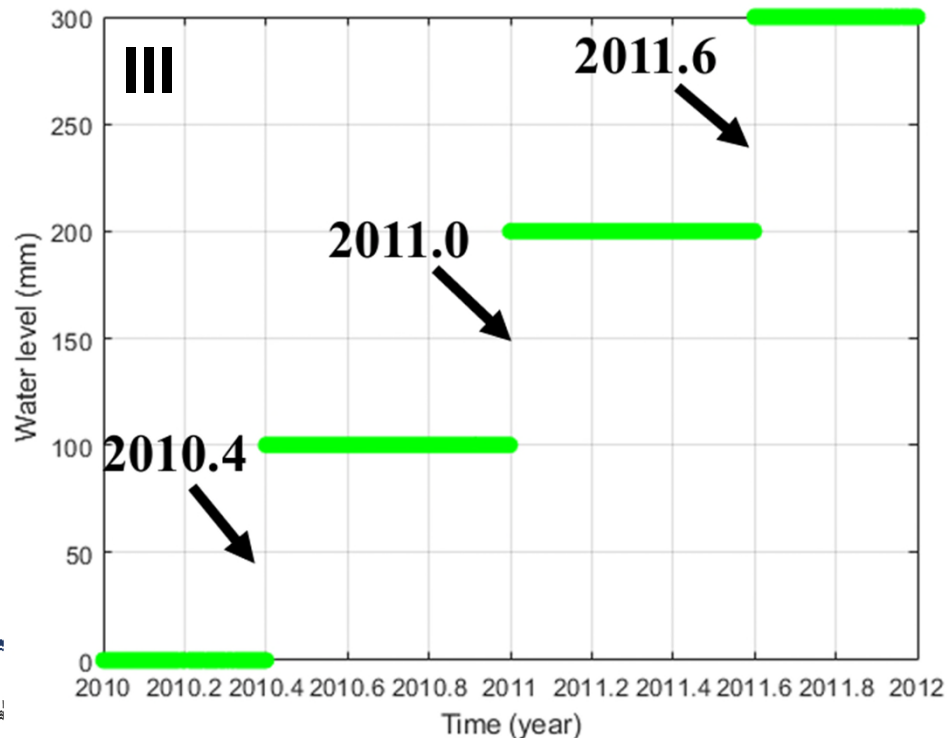
- 模擬資料I: 潮位站資料於2011.0 (2011/1/1 00:00:00)加入+ 10 cm偏移值
- 模擬資料II: 潮位站資料於2011.0 (2011/1/1 00:00:00)加入-10 cm偏移值



基準偏移 (斷點) 模擬情形

■ 本計畫設計並模擬五種不同類型之基準偏移情形

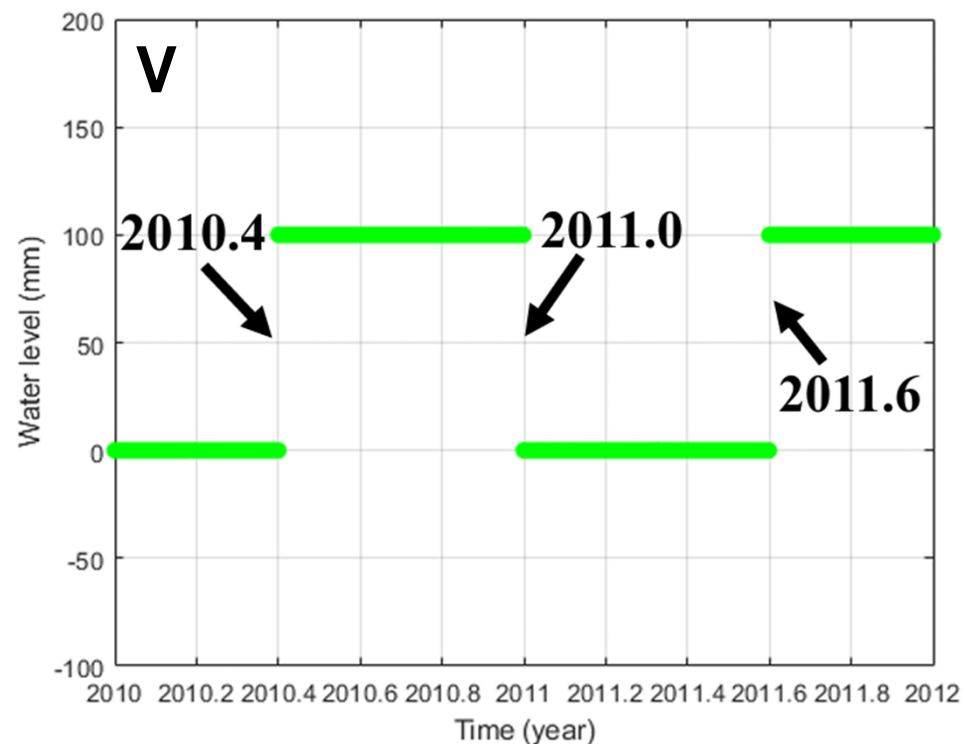
- 模擬資料III: 潮位站資料於2010.4 (2010/5/27 00:00:00)、2011.0 (2011/1/1 00:00:00)和2011.6(2011/8/8 00:00:00)皆加入+ 10 cm偏移值
- 模擬資料IV: 潮位站資料於2010.4 (2010/5/27 00:00:00)、2011.0 (2011/1/1 00:00:00)和2011.6(2011/8/8 00:00:00)皆加入-10 cm偏移值



基準偏移（斷點）模擬情形

■ 本計畫設計並模擬五種不同類型之基準偏移情形

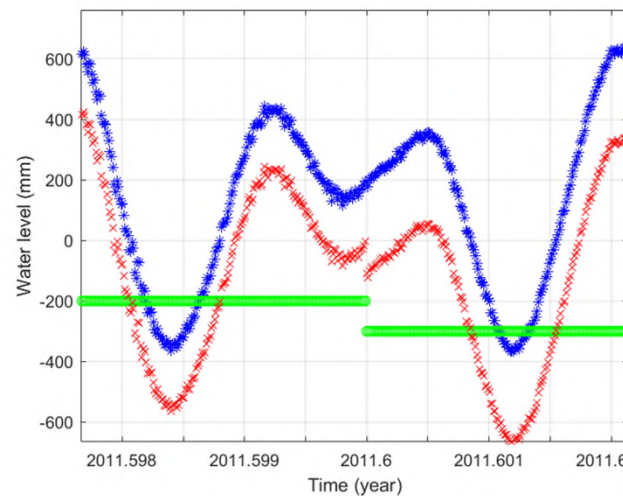
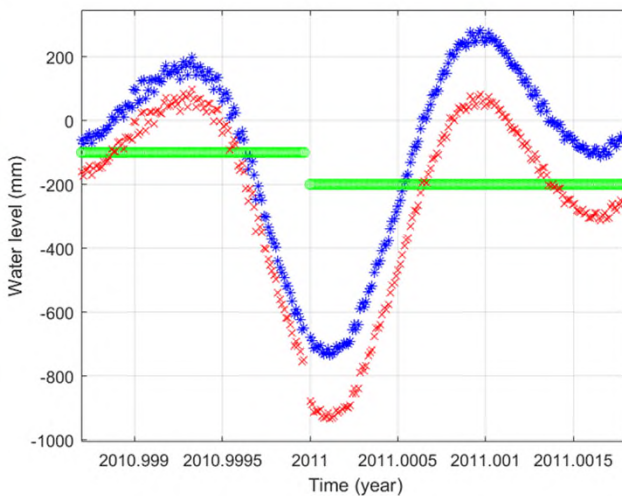
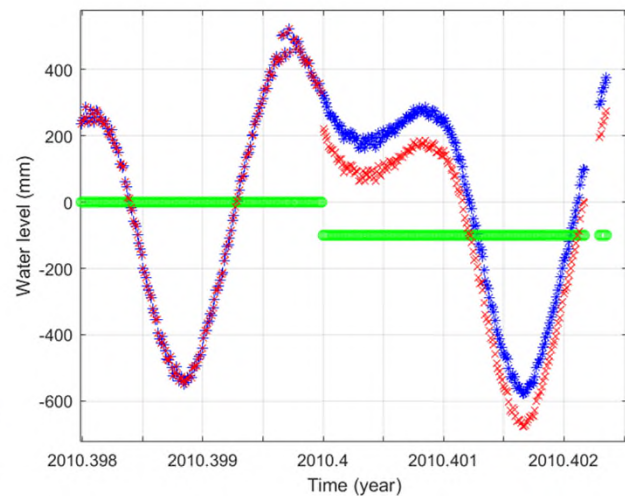
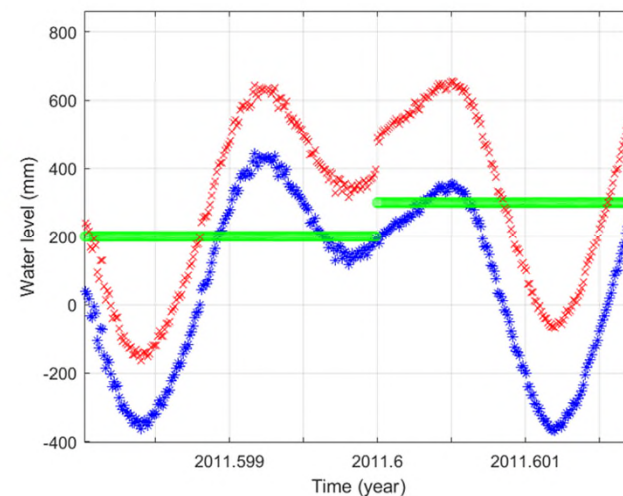
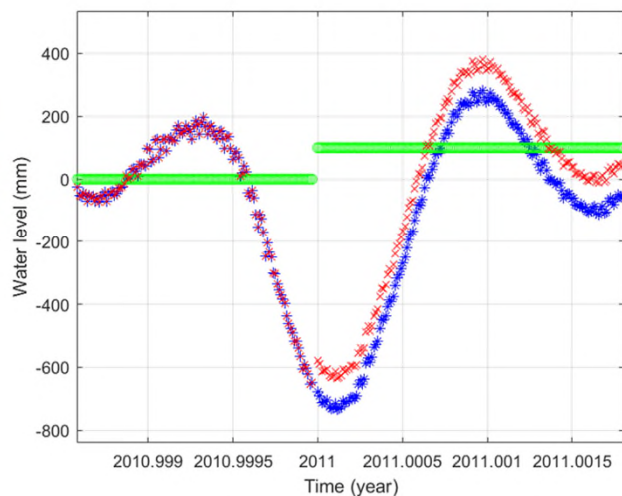
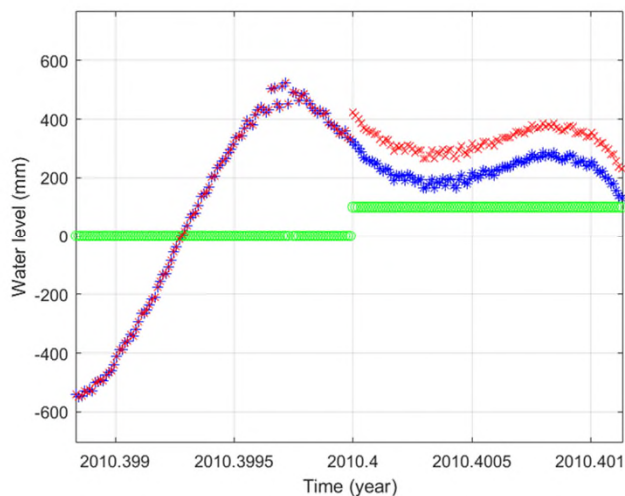
- 模擬資料V: 潮位站資料於2010.4 (2010/5/27 00:00:00)、2011.0 (2011/1/1 00:00:00)和2011.6(2011/8/8 00:00:00)分別加入+10 cm、-10 cm、+10 cm偏移值



基準偏移 (斷點) 模擬情形

■ 基隆潮位站原始資料加入 **+10/-10 公分** 偏移量

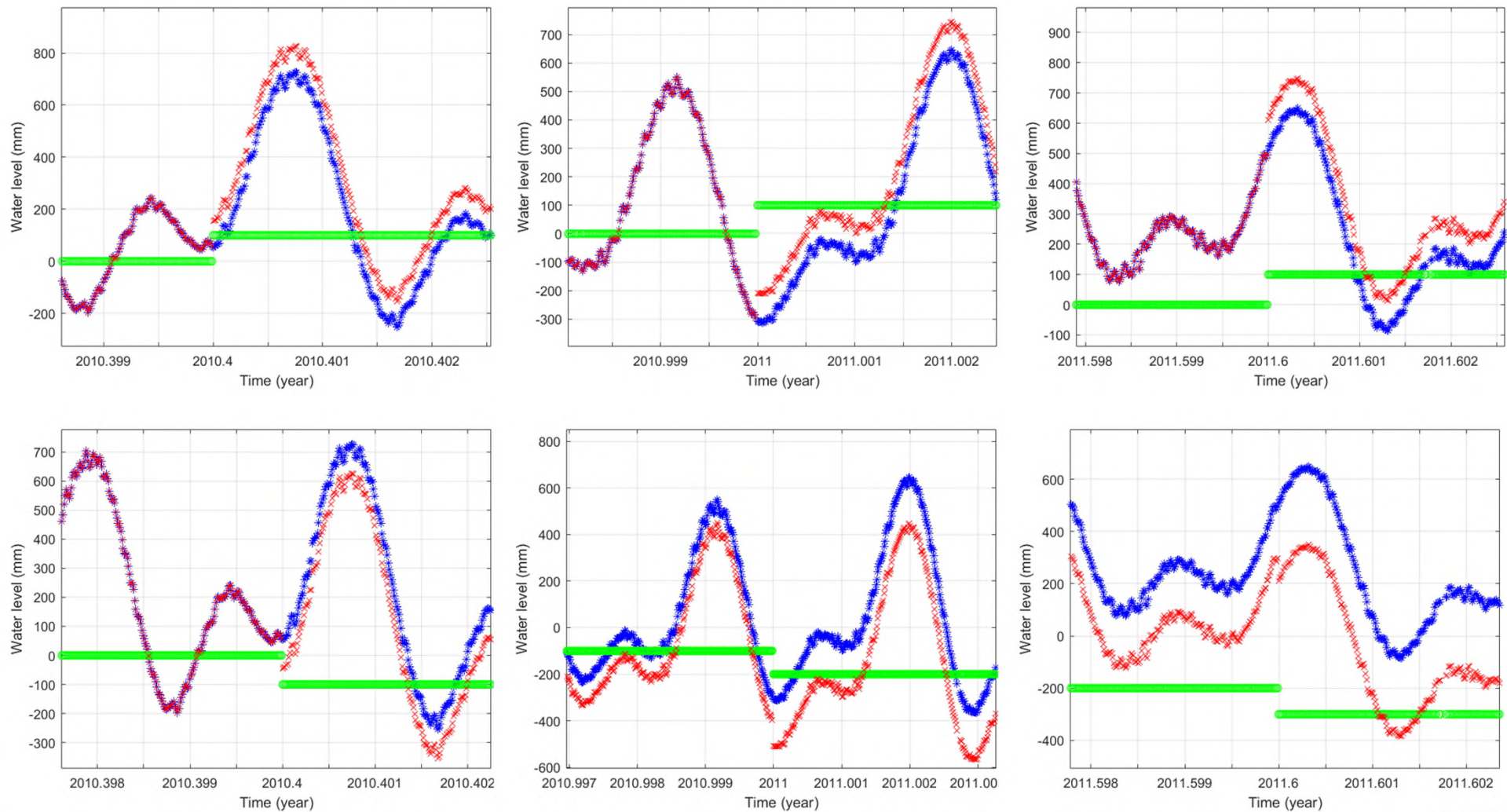
平均潮差 = 0.55 m 最大潮差 = 1.50 m



基準偏移 (斷點) 模擬情形

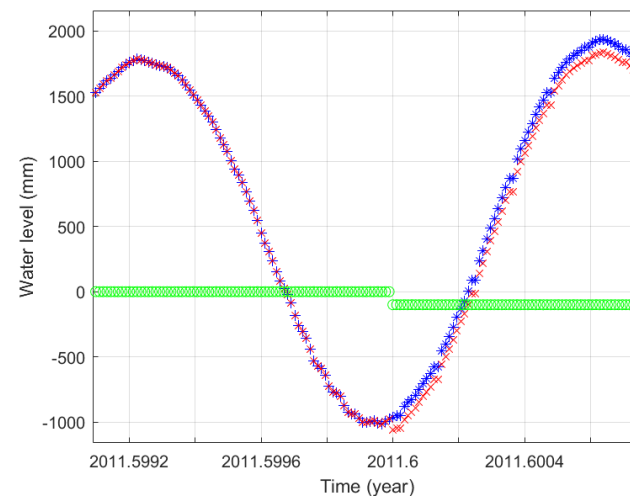
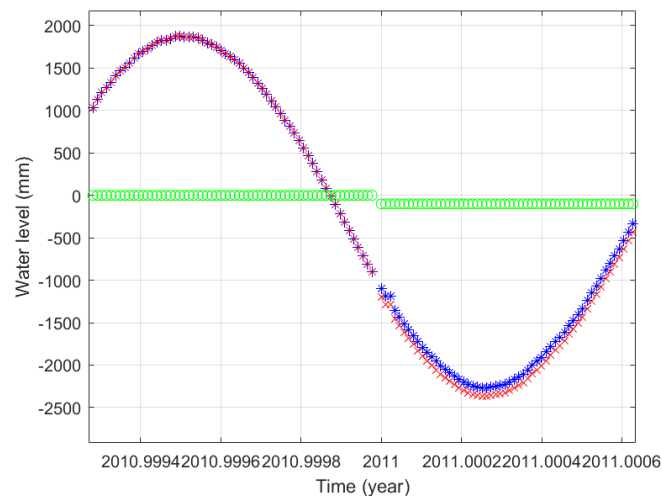
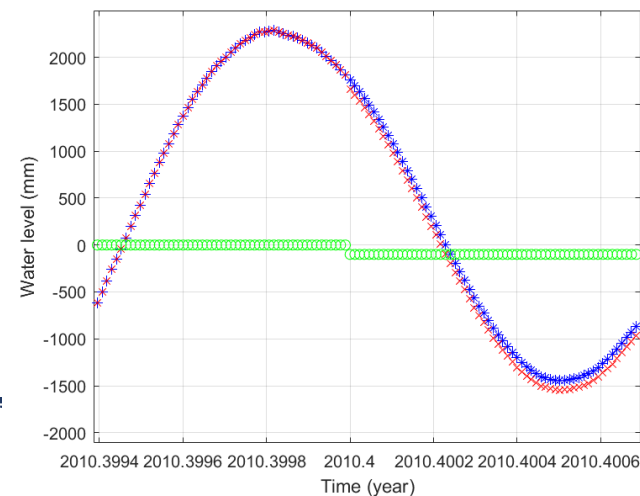
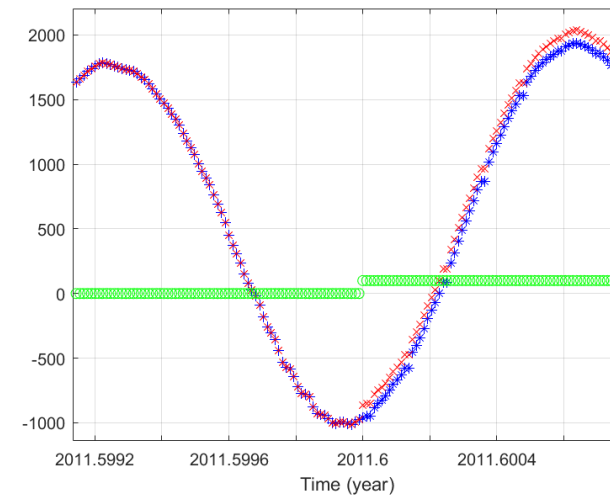
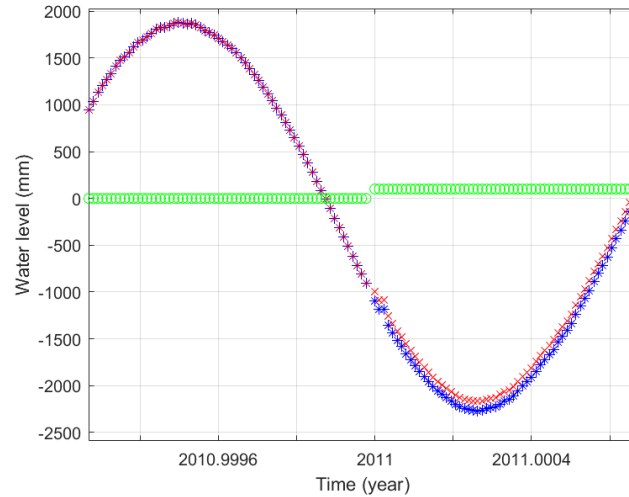
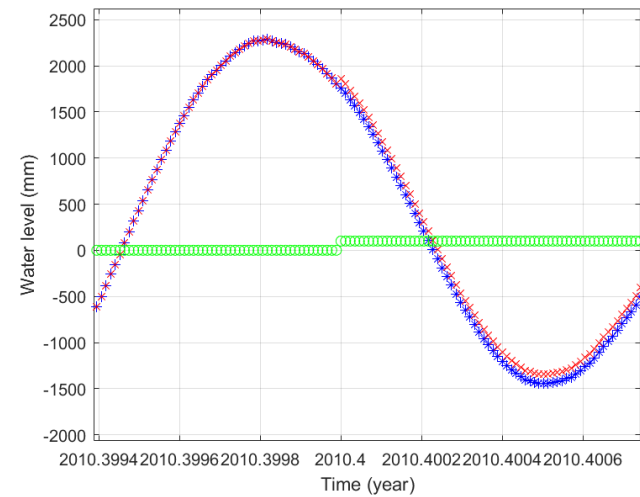
■ 高雄潮位站原始資料加入 **+10/-10 公分** 偏移量

平均潮差 = 0.49 m 最大潮差 = 1.37 m



基準偏移（斷點）模擬情形

■ 臺中港潮位站原始資料加入 **+10/-10 公分** 偏移量 **平均潮差 = 3.75 m** **最大潮差 = 5.81 m**

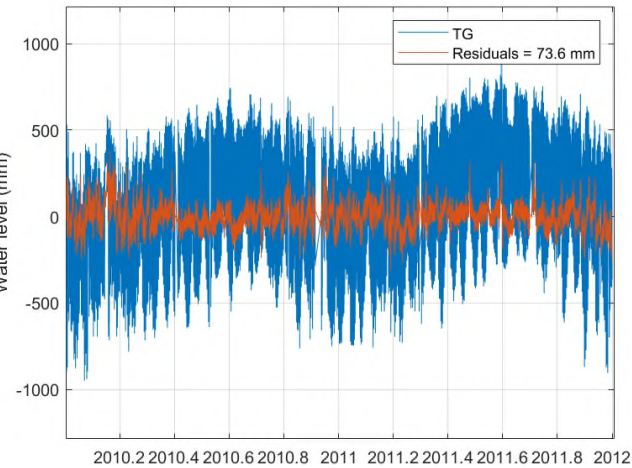


結果顯示，若原始潮位變化較為劇烈，將使得偏移量易被自然訊號所掩蓋，導致偏移點位的辨識度降低。而偏移發生時間點與潮位變化之交互作用，亦對於偏移偵測效果具有顯著影響。

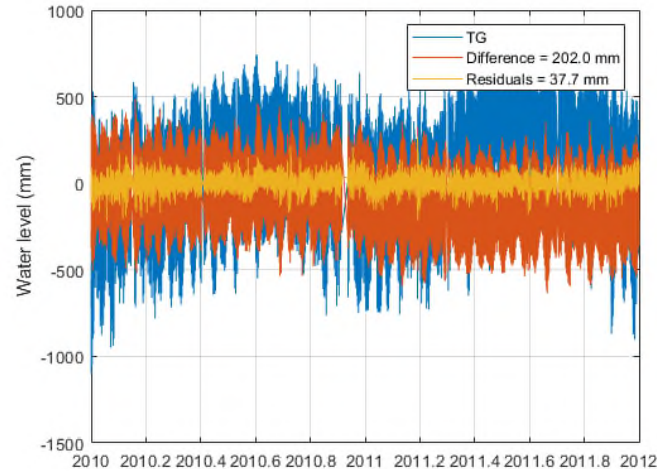
利用最佳分段法偵測基隆潮位站基準偏移 (斷點) 情形

■ 模擬資料I (於2011.0時間點加入+10公分偏移量)

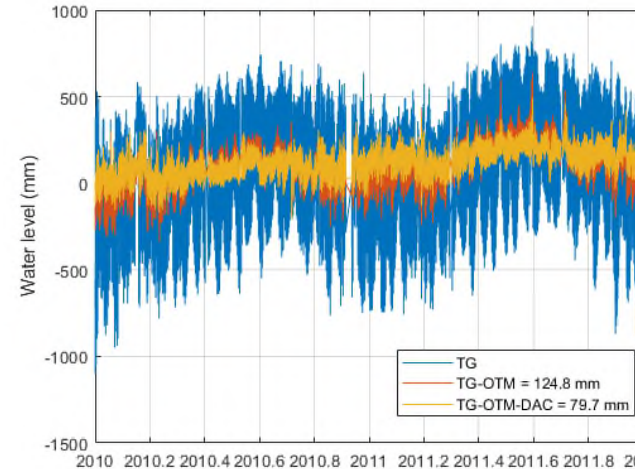
移除潮汐效應



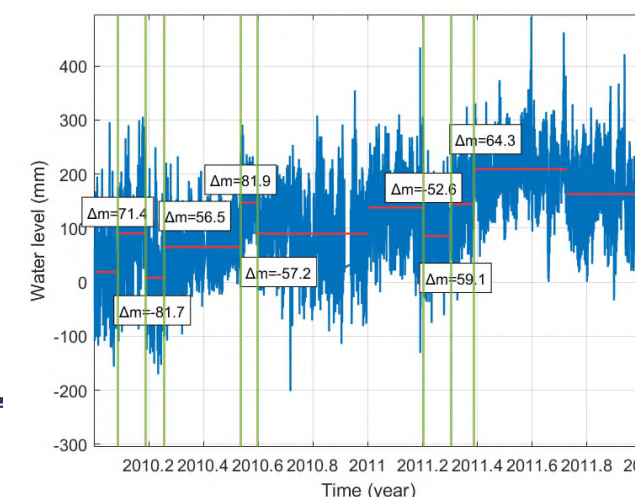
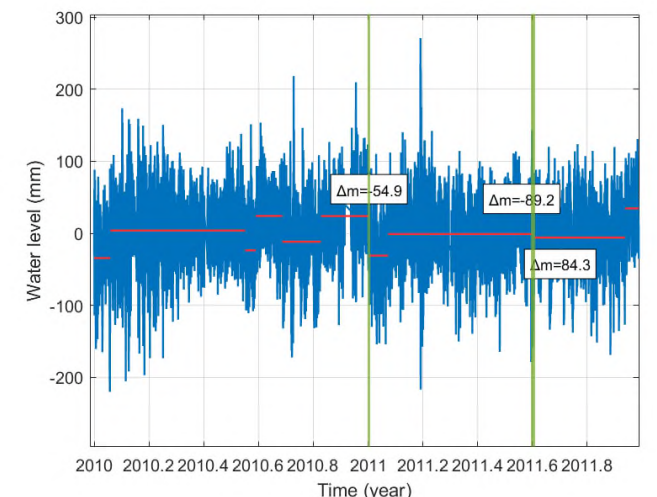
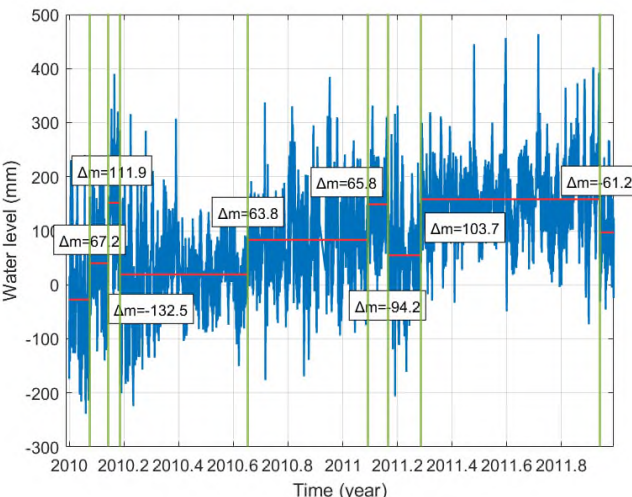
基隆和龍洞潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



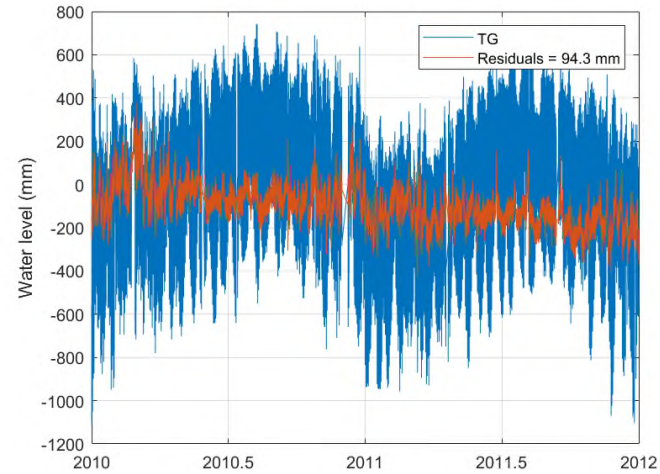
最佳分段法偵測
移除潮汐和逆氣
壓效應之基隆潮
位站等模擬資料
皆無法成功偵測
出基準偏移正確
位置；而對於潮
位站差值則可以
成功辨識出基準
偏移位置。



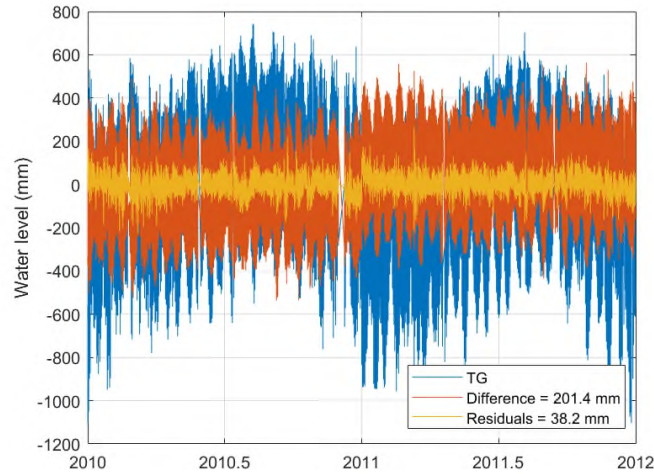
利用最佳分段法偵測基隆潮位站基準偏移 (斷點) 情形

■ 模擬資料II (於2011.0時間點加入-10公分偏移量)

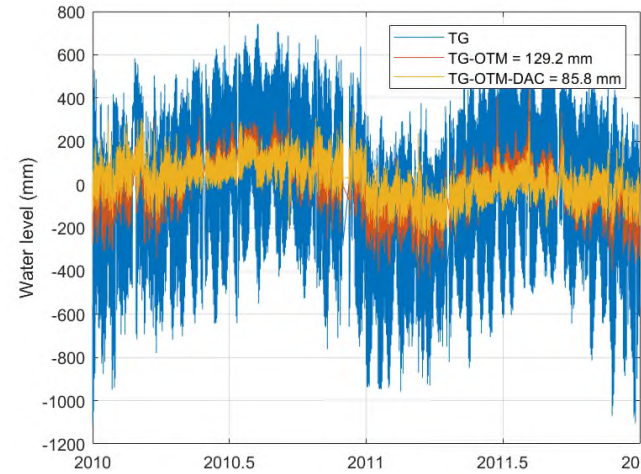
移除潮汐效應



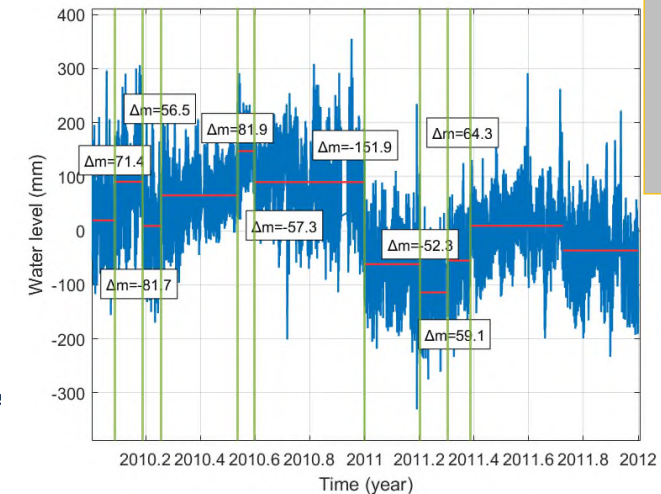
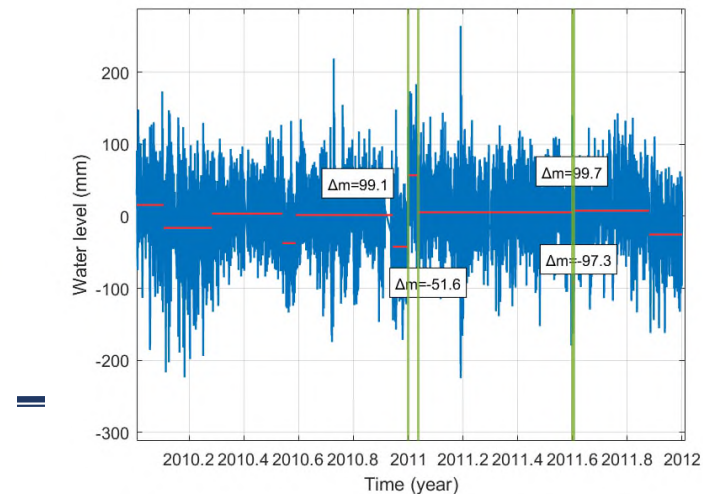
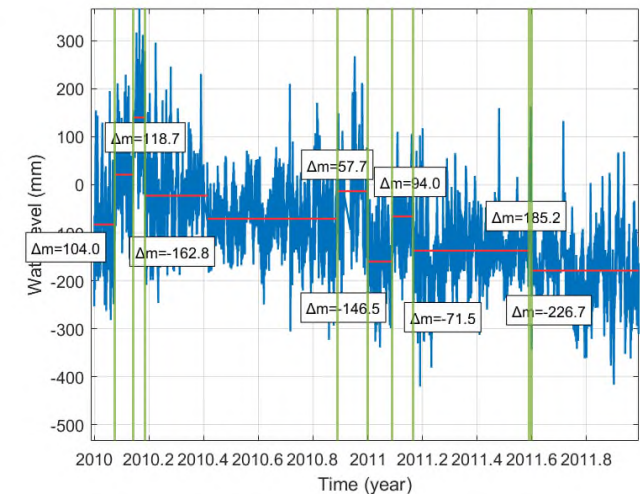
基隆和龍洞潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



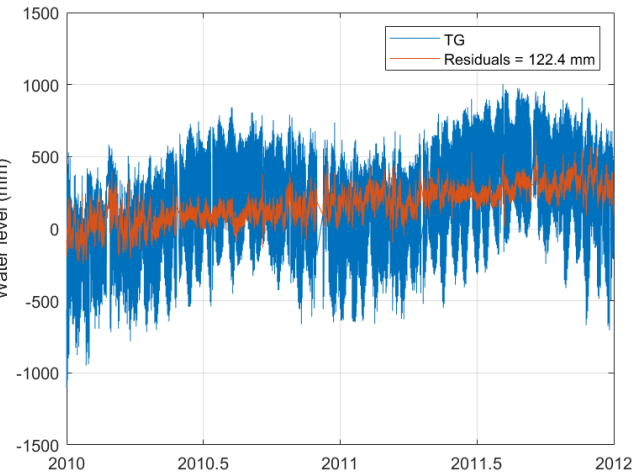
最佳分段法對於三種模擬資料皆可成功辨識出基準偏移位置，顯示基準偏移方向（向上或向下）在不同情境下對於變化點的可辨識效果具有顯著影響。



利用最佳分段法偵測基隆潮位站基準偏移（斷點）情形

■ 模擬資料III (於2010.4、2011.0、2011.6等時間點皆分別加入+10公分偏移量)

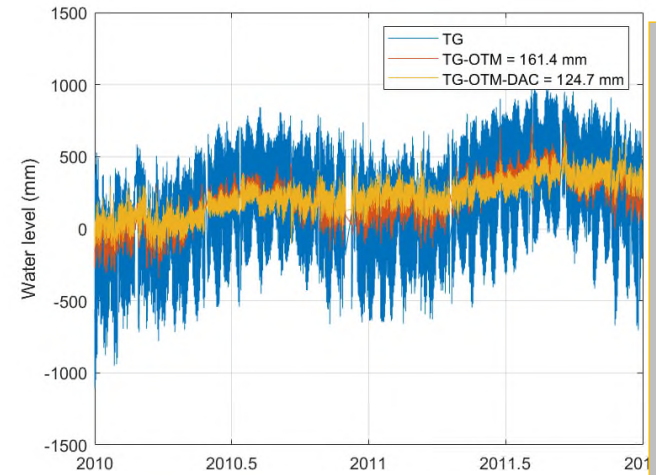
移除潮汐效應



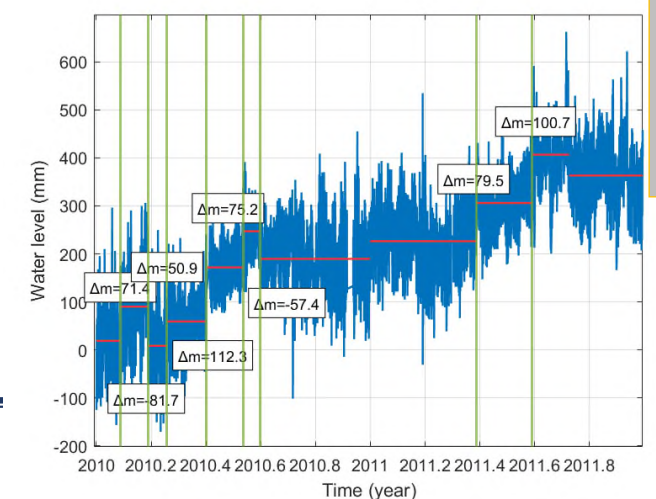
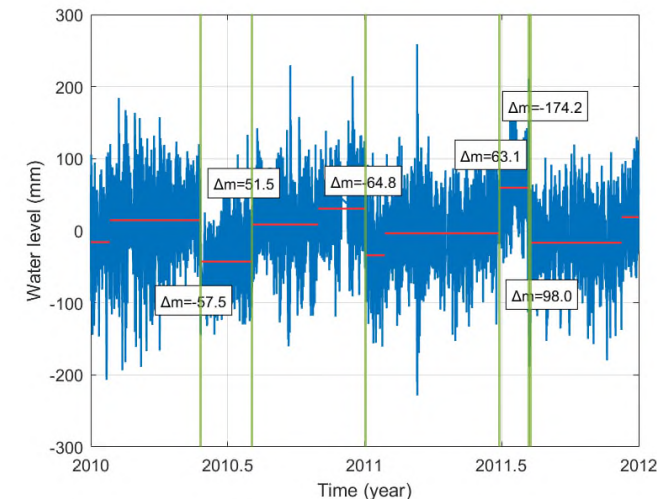
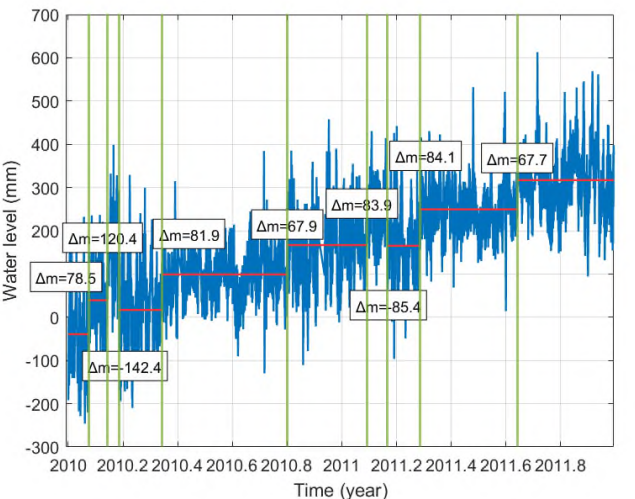
基隆和龍洞潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



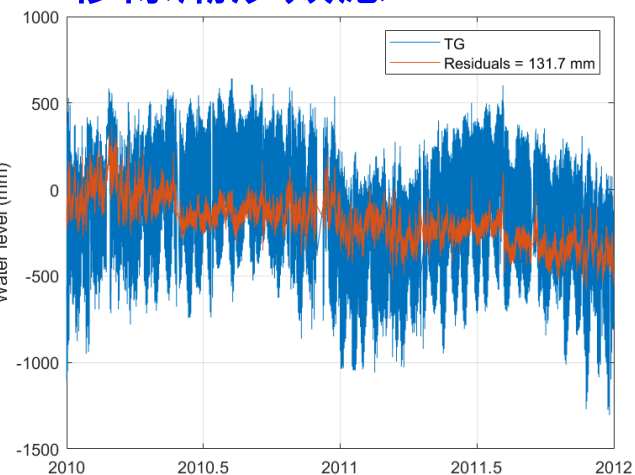
最佳分段法偵測
移除潮汐和逆氣
壓效應之基隆潮
位站等模擬資料，
皆無法成功偵測
出基準偏移正確
位置；而對於潮位
站差值則可以成
功辨識出基準偏
移位置。



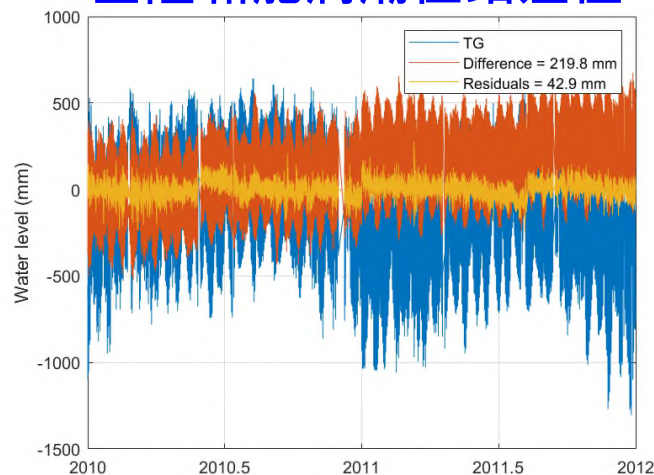
利用最佳分段法偵測基隆潮位站基準偏移（斷點）情形

■ 模擬資料IV (於2010.4、2011.0、2011.6等時間點皆分別加入-10公分偏移量)

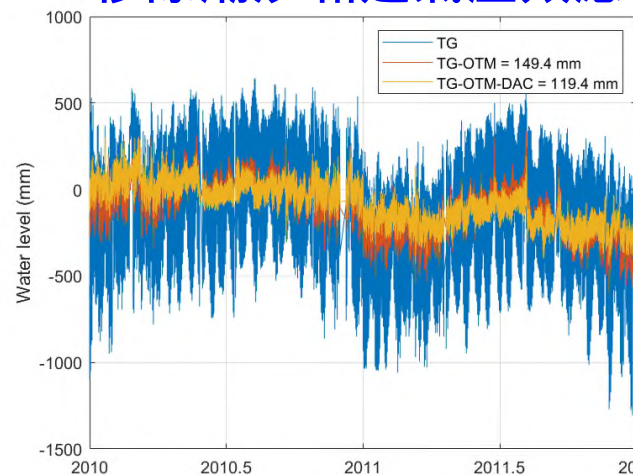
移除潮汐效應



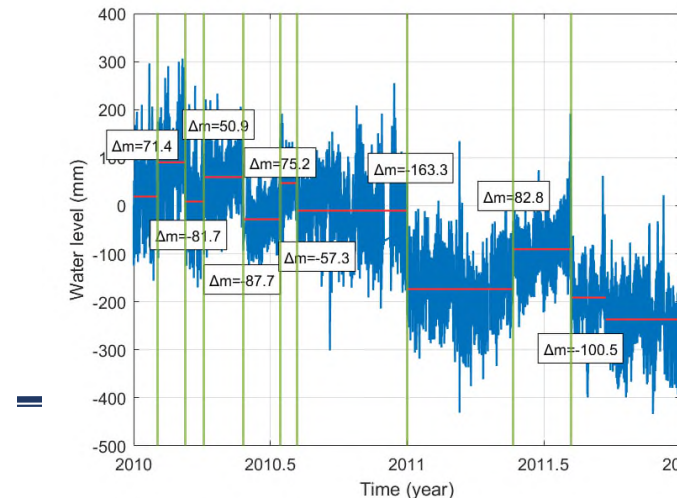
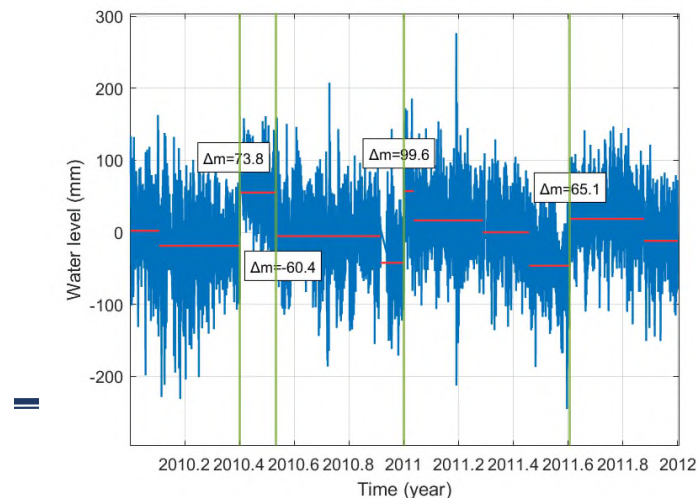
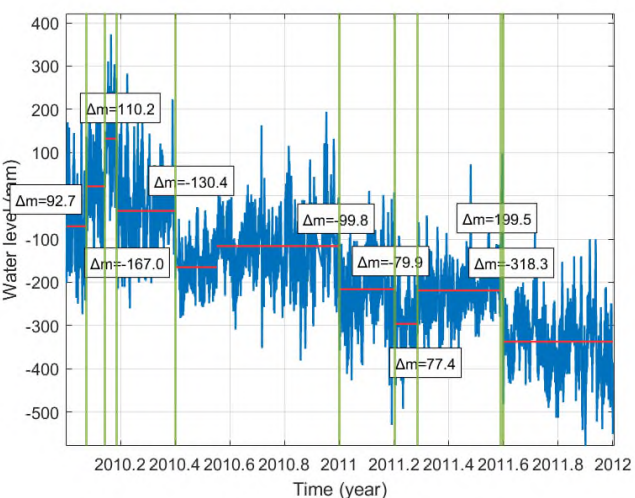
基隆和龍洞潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



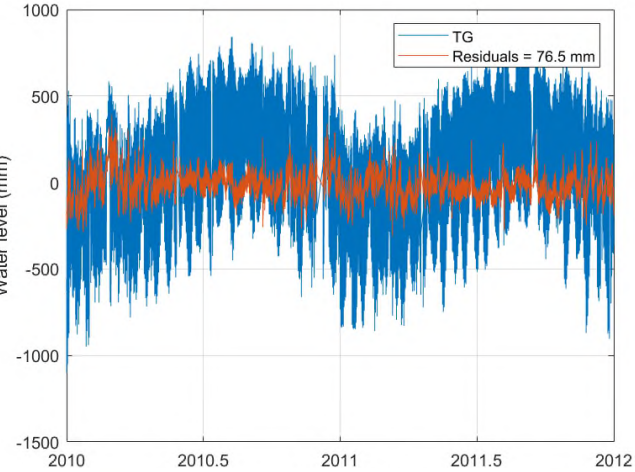
最佳分段法對於三種模擬資料皆可成功辨識出3個基準偏移位置。基準偏移方向（向上或向下）在不同海況情境下對於變化點的可辨識效果具有顯著影響。



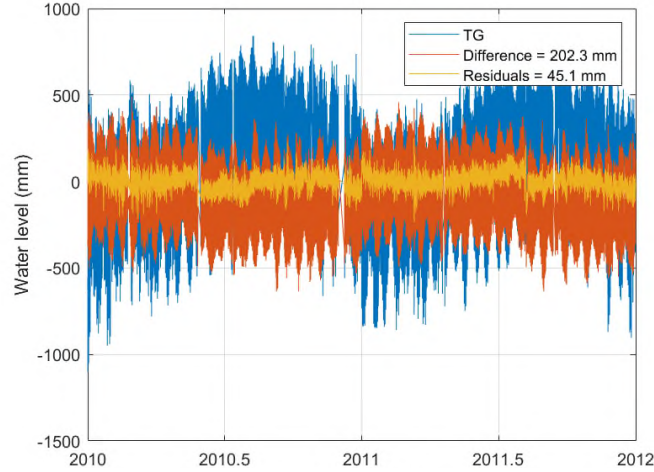
利用最佳分段法偵測基隆潮位站基準偏移 (斷點) 情形

■ 模擬資料V (於2010.4、2011.0、2011.6等時間點分別加入+10公分、-10公分、+10公分偏移量)

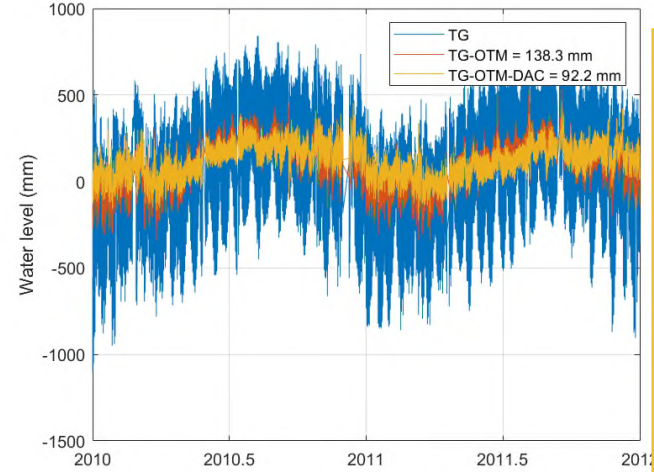
移除潮汐效應



基隆和龍洞潮位站差值

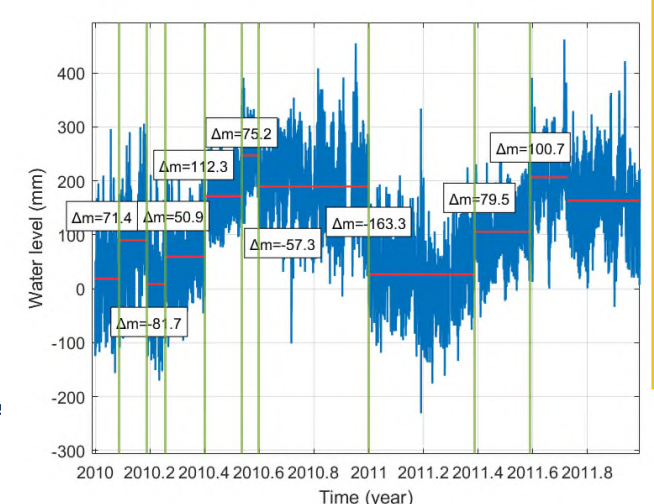
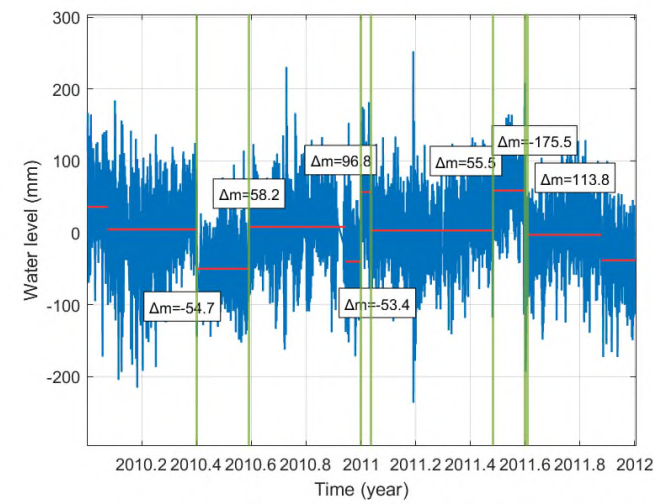
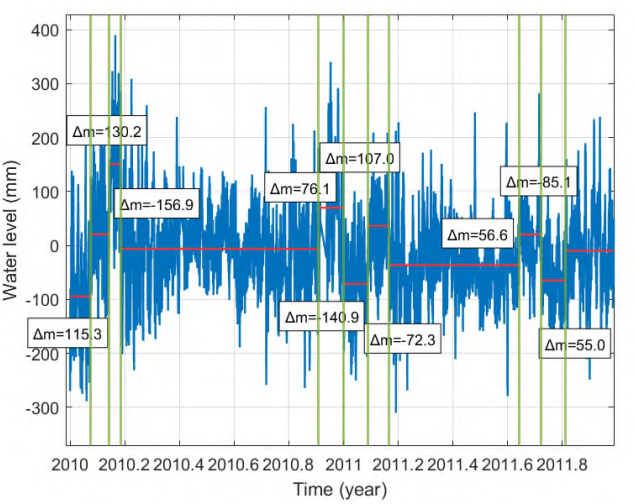


移除潮汐和逆氣壓效應



當最佳分段法應用於移除潮汐效應之基隆潮位站模擬資料無法偵測出正確基準偏移位置。

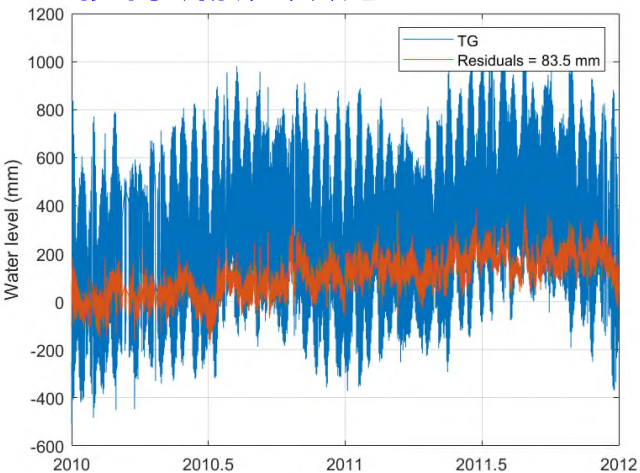
相較之下，移除潮汐和逆氣壓效應之基隆潮位或鄰近潮位站差值皆可以成功辨識出基準偏移位置



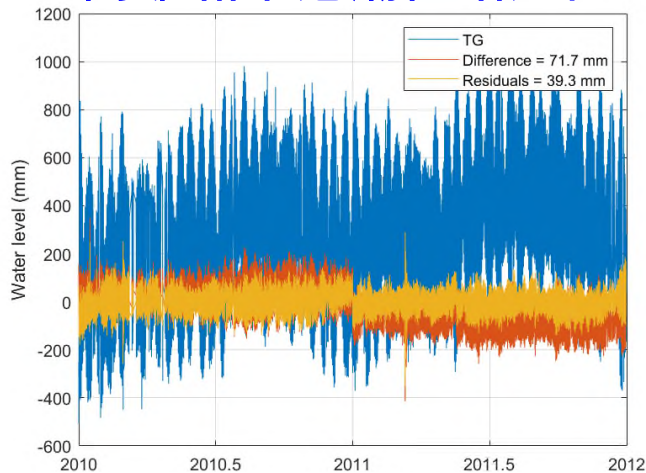
利用最佳分段法偵測高雄潮位站基準偏移 (斷點) 情形

■ 模擬資料I (於2011.0時間點加入+10公分偏移量)

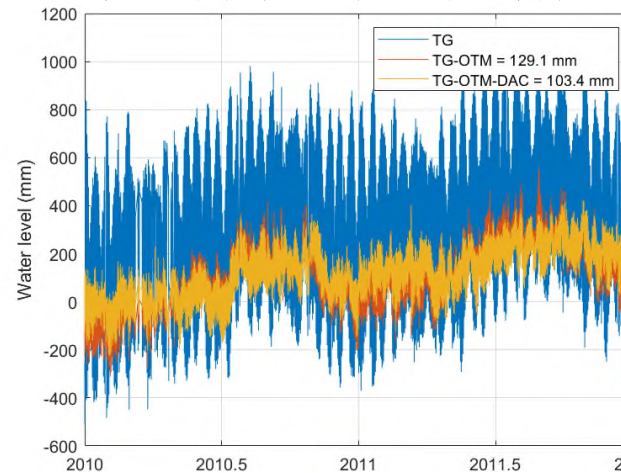
移除潮汐效應



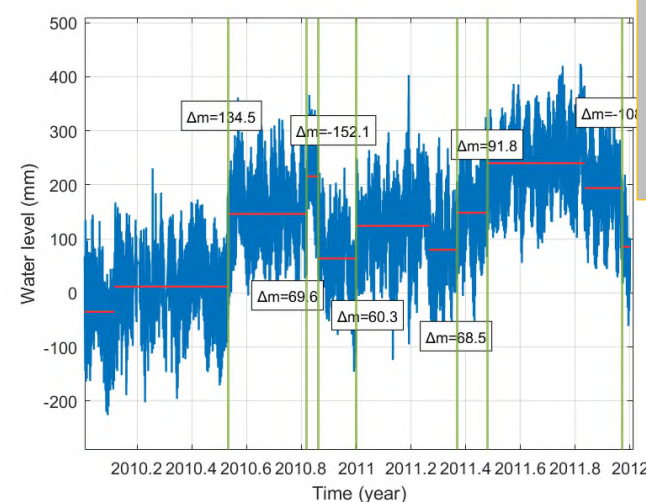
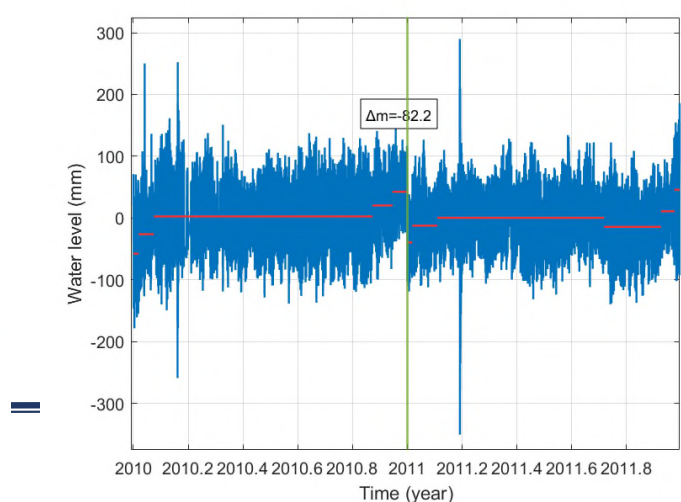
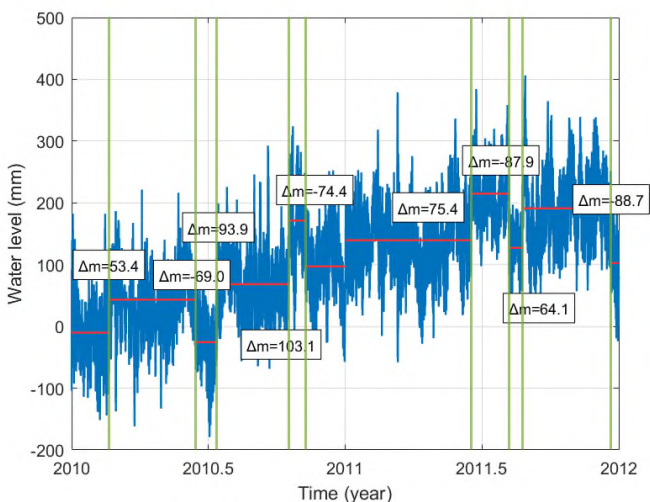
高雄和東港潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



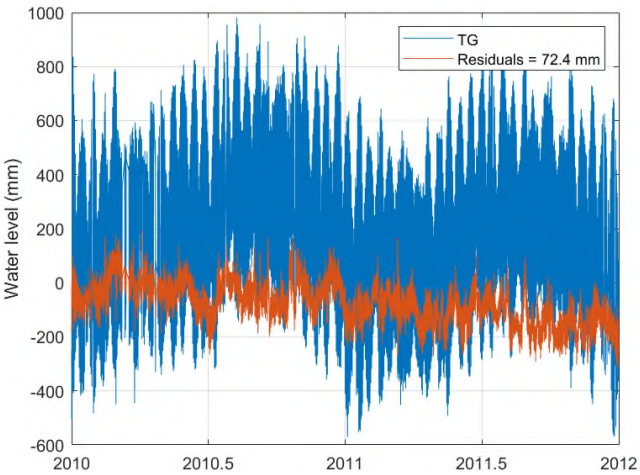
與基隆潮位站模擬資料I偵測結果相似。在缺乏佐證資訊的情況下，單一潮位站資料在進行基準偏移偵測時易受自然變異影響而產生誤判。



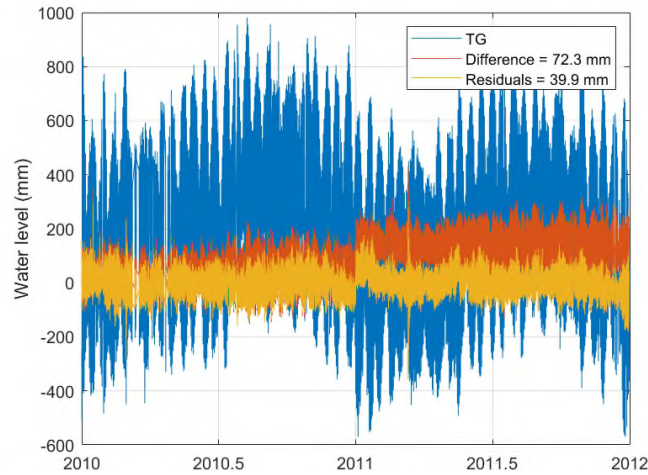
利用最佳分段法偵測高雄潮位站基準偏移 (斷點) 情形

■ 模擬資料II (於2011.0時間點加入-10公分偏移量)

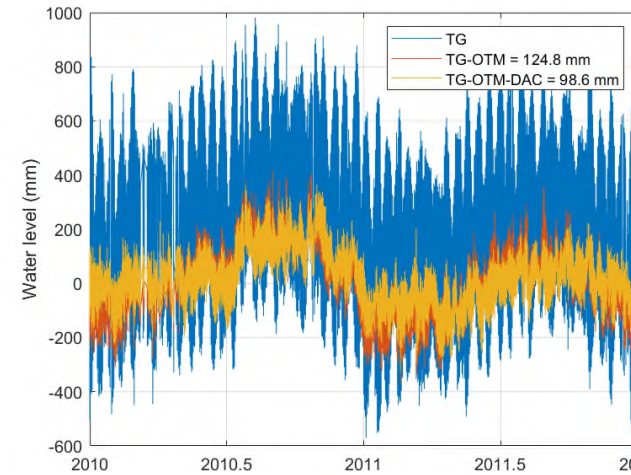
移除潮汐效應



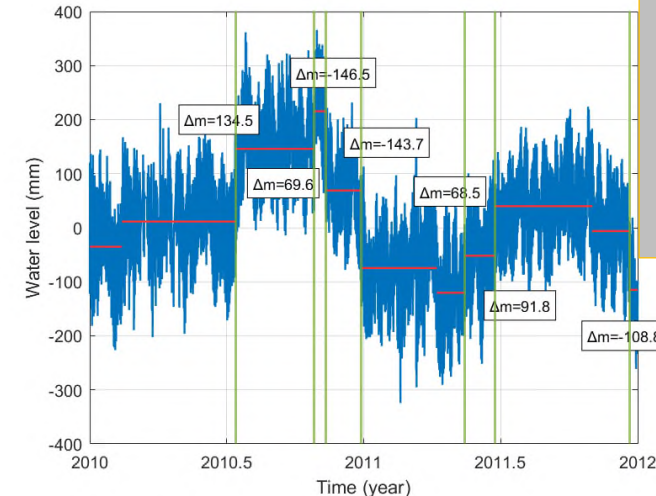
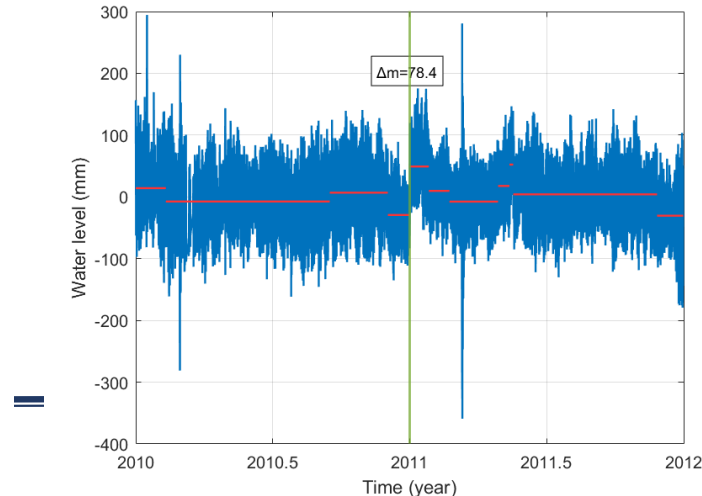
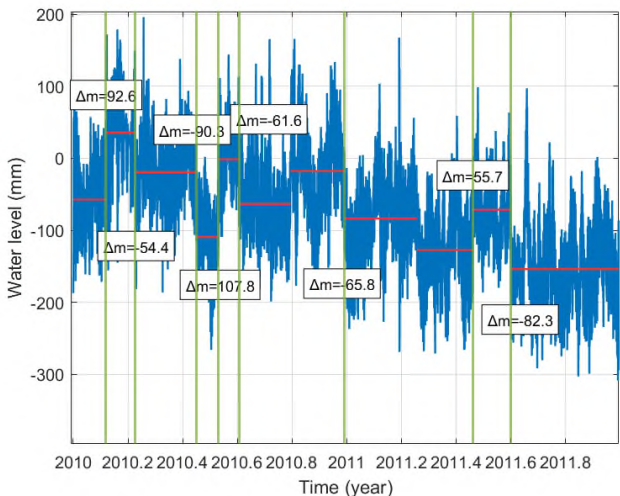
高雄和東港潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



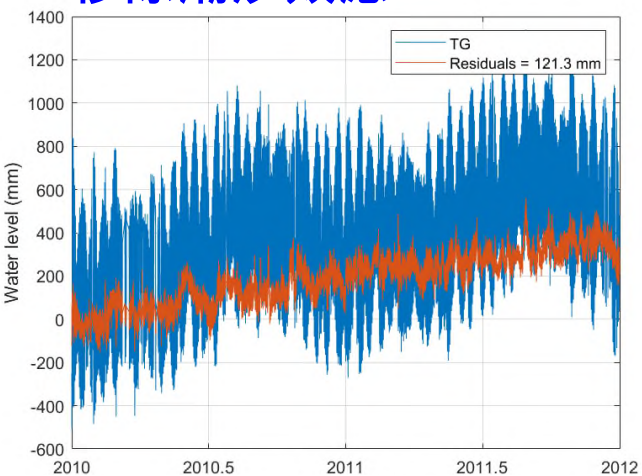
與高雄模擬資料偵測結果一致，單一潮位站資料偵測時仍然有其他變化點容易被誤判為偏移點位。相較之下，僅使用鄰近潮位站差值在基準偏移偵測中具備較高偵測準確性。



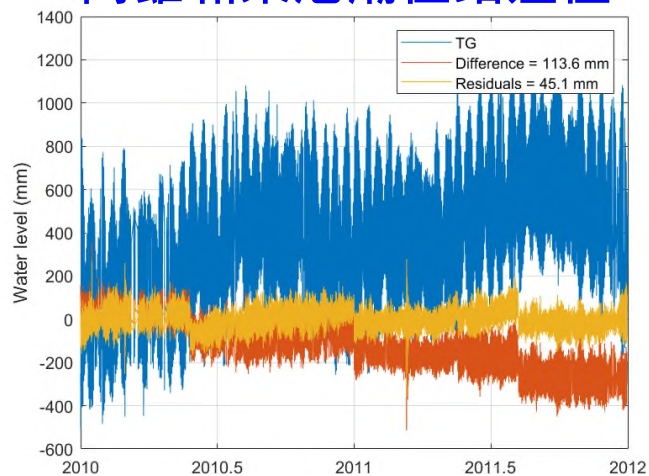
利用最佳分段法偵測高雄潮位站基準偏移（斷點）情形

■ 模擬資料III (於2010.4、2011.0、2011.6等時間點皆分別加入+10公分偏移量)

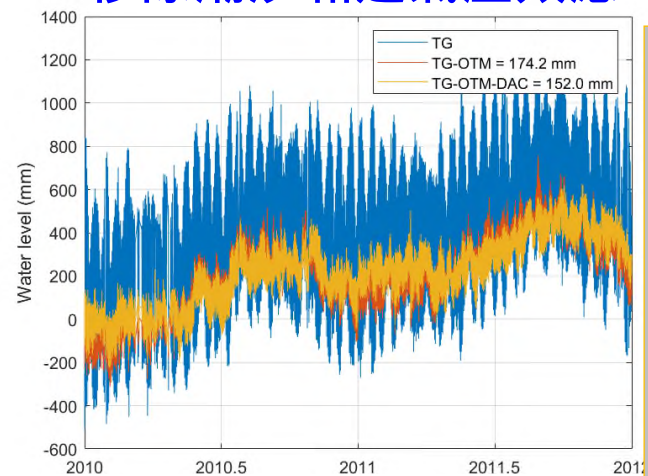
移除潮汐效應



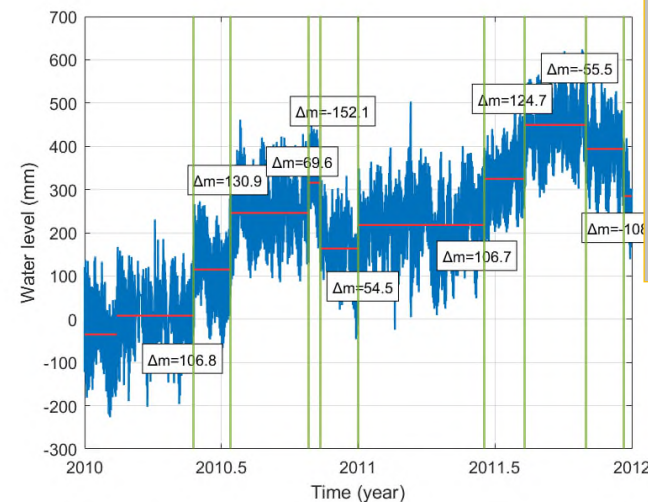
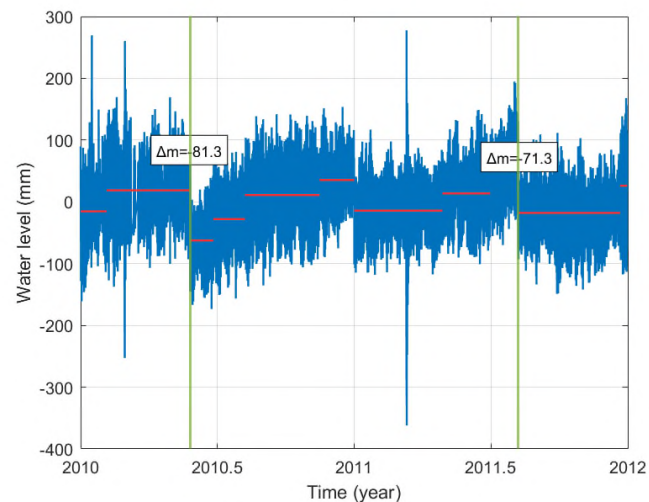
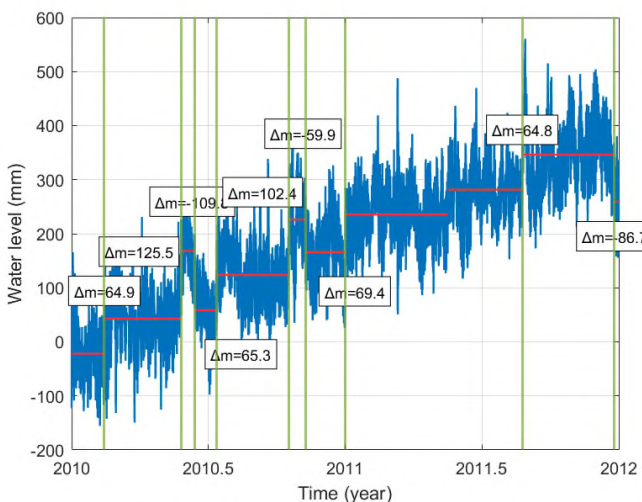
高雄和東港潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



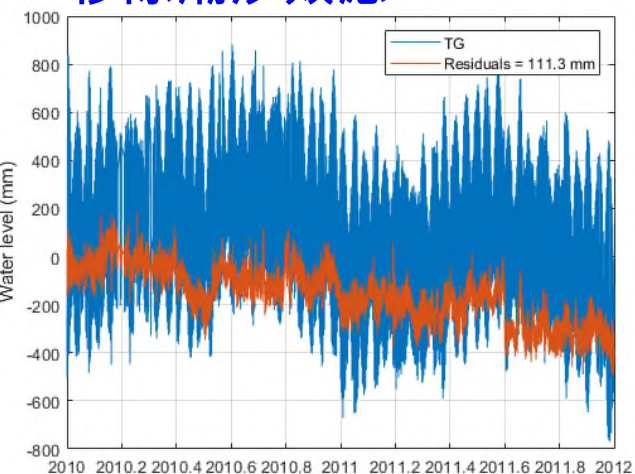
偵測鄰近潮位站
差值時，僅能成
功辨識出2個基準
偏移正確位置，
位於2011.0年的
基準偏移點位前
後段平均差值僅
49.42 mm，未達
5 cm門檻值，故
未能被有效被辨
識出。



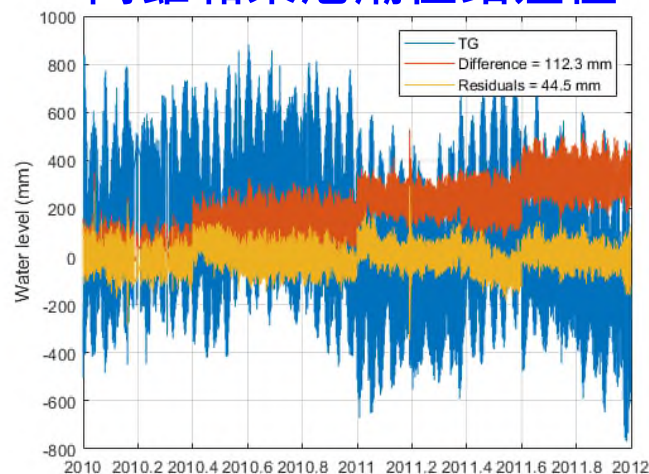
利用最佳分段法偵測高雄潮位站基準偏移（斷點）情形

■ 模擬資料IV (於2010.4、2011.0、2011.6等時間點皆分別加入-10公分偏移量)

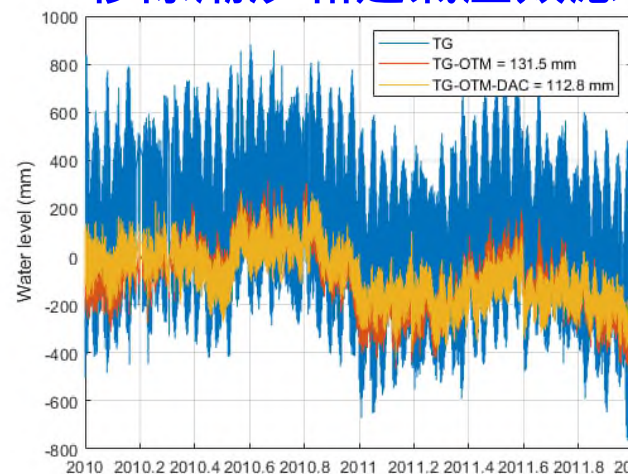
移除潮汐效應



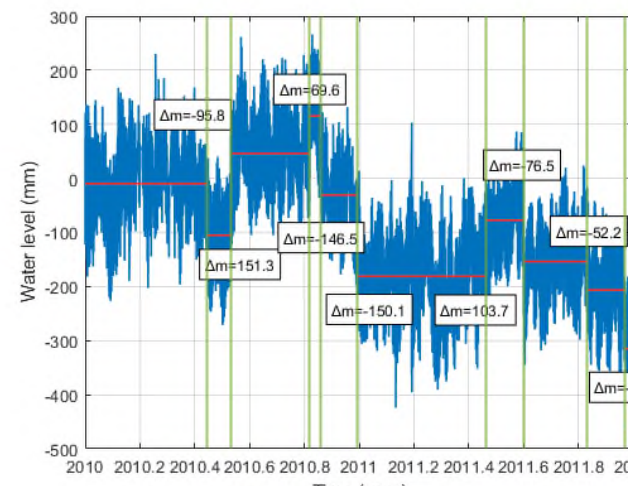
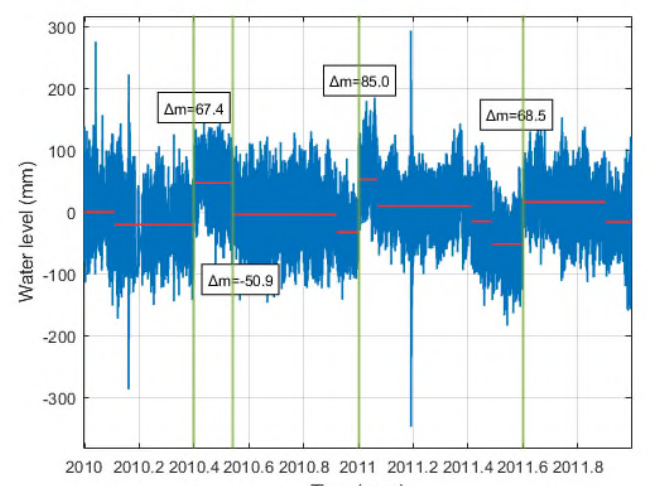
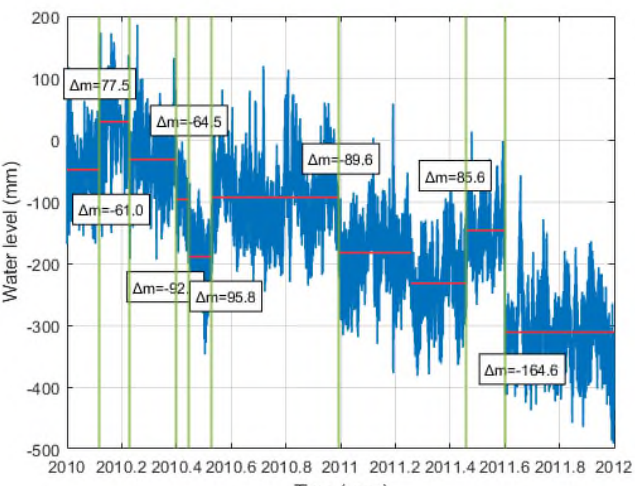
高雄和東港潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



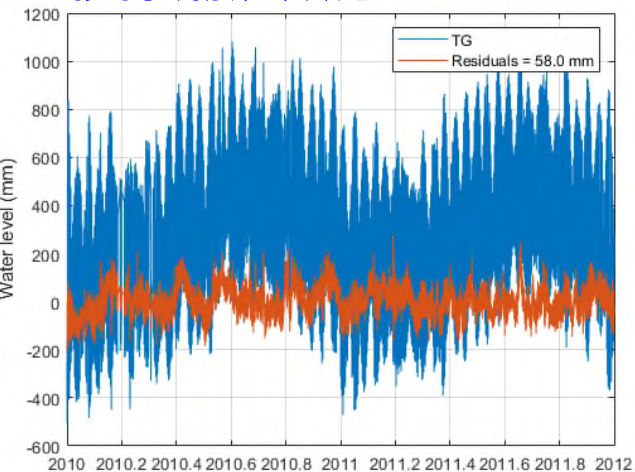
對於三組模擬資料皆可成功辨識出3個基準偏移位置，但是仍然伴隨偵測出多個額外變化點位，僅使用鄰近潮位站差值在基準偏移偵測中具備較高偵測準確性



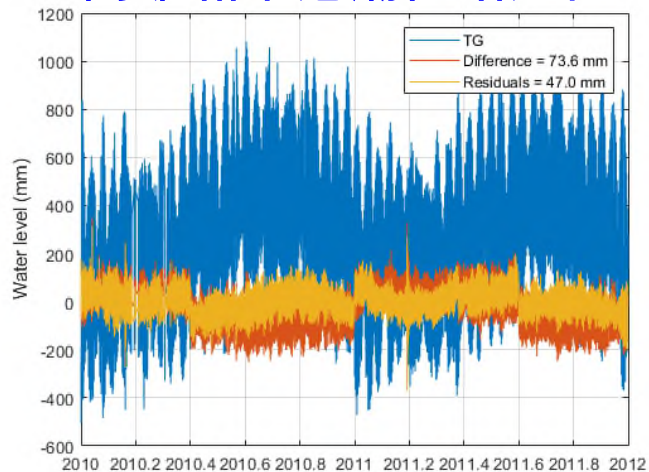
利用最佳分段法偵測高雄潮位站基準偏移 (斷點) 情形

■ 模擬資料V (於2010.4、2011.0、2011.6等時間點分別加入+10公分、-10公分、+10公分偏移量)

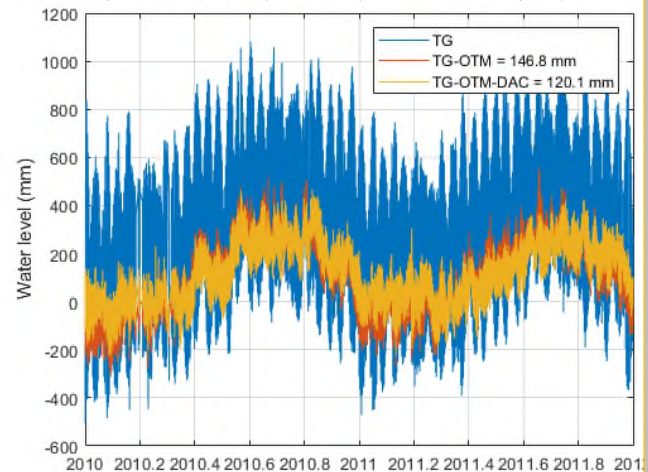
移除潮汐效應



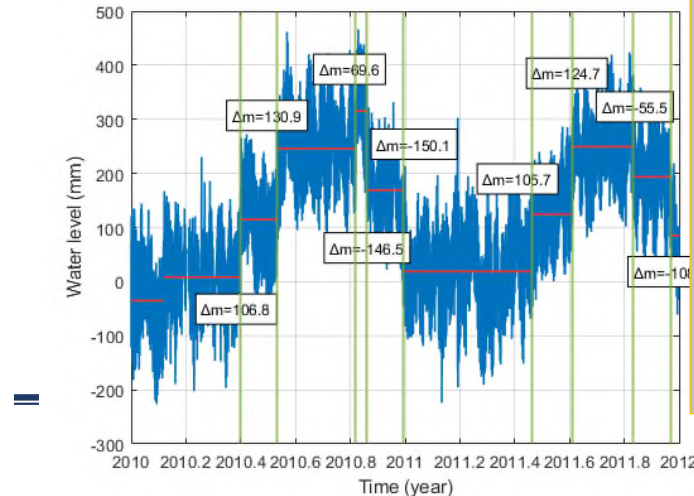
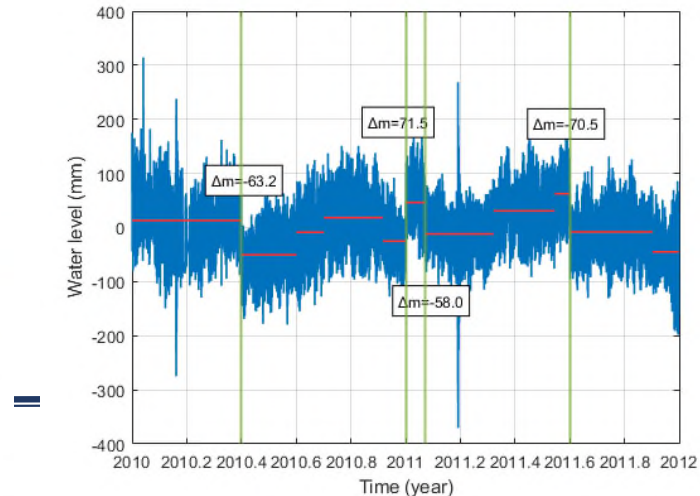
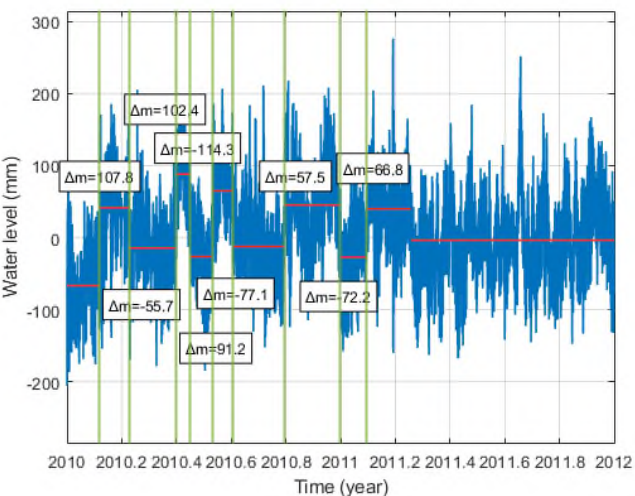
高雄和東港潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



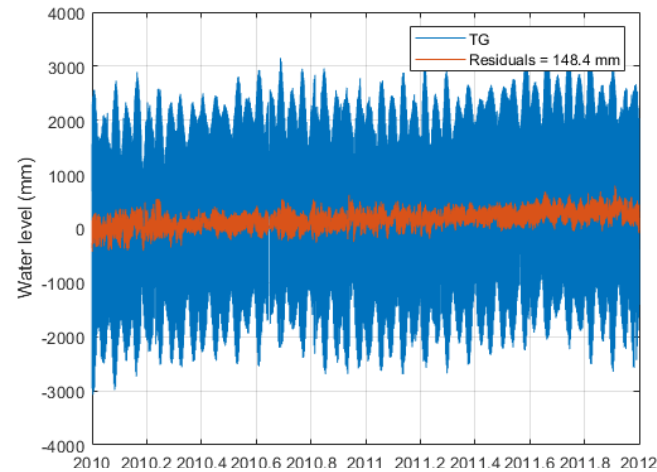
使用鄰近潮位站差值進行基準偏移偵測，將具備較高偵測準確性。相較之下，對於移除潮汐和逆氣壓效應之高雄潮位站模擬資料可辨識出3個偏移點但受偏移訊號影響，資料呈現明顯季節性變化。若無輔助資料將難以正確分辨出基準偏移點位。



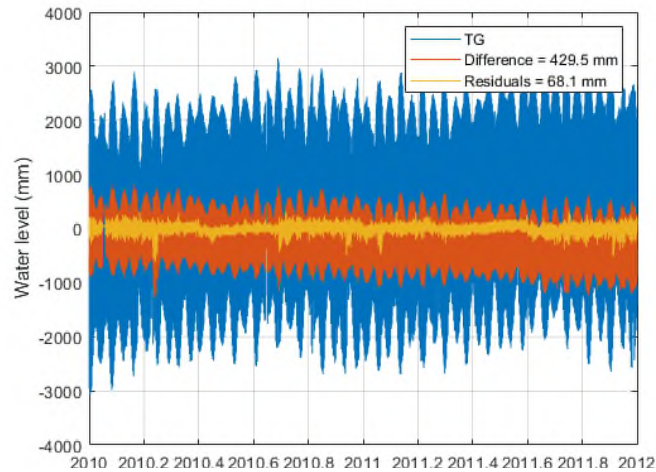
利用最佳分段法偵測臺中港潮位站基準偏移 (斷點) 情形

■ 模擬資料III (於2010.4、2011.0、2011.6等時間點皆分別加入+10公分偏移量)

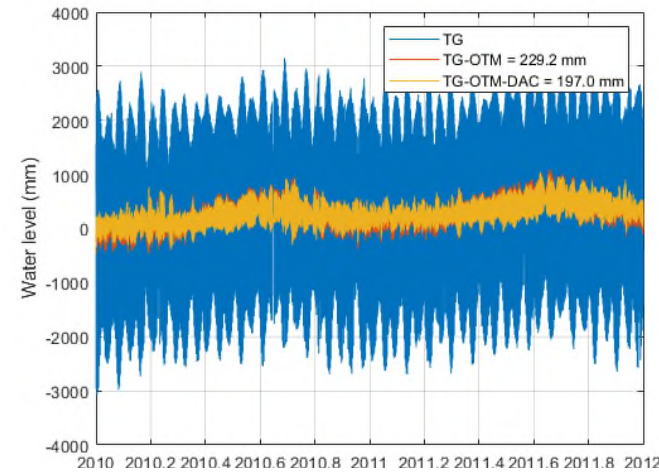
移除潮汐效應



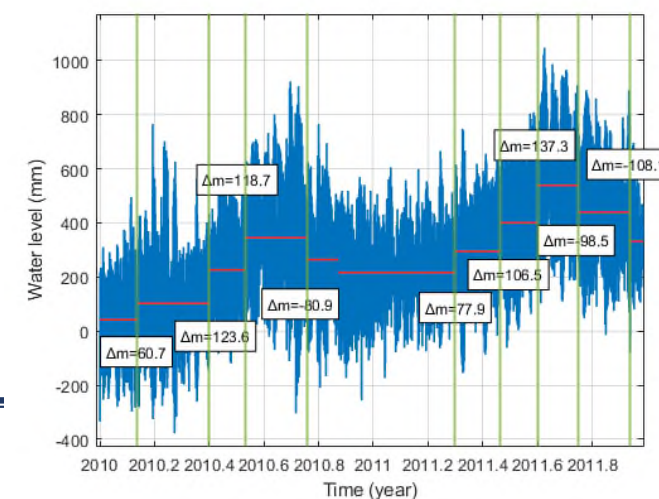
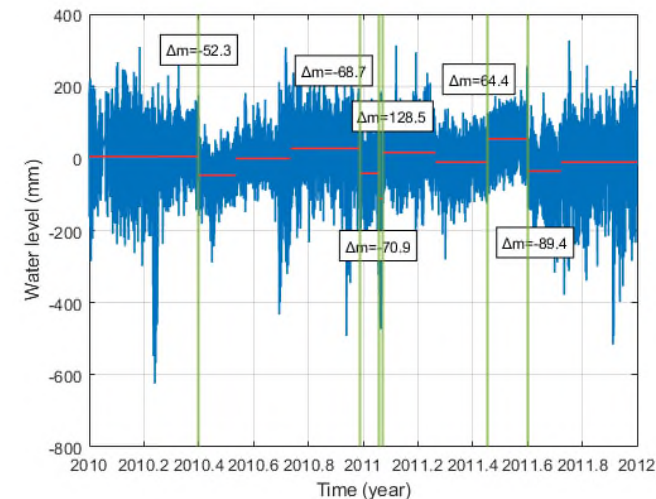
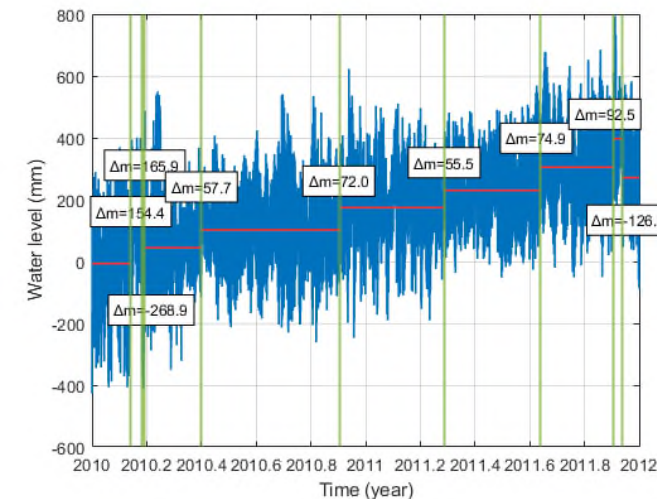
臺中港和麥寮潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



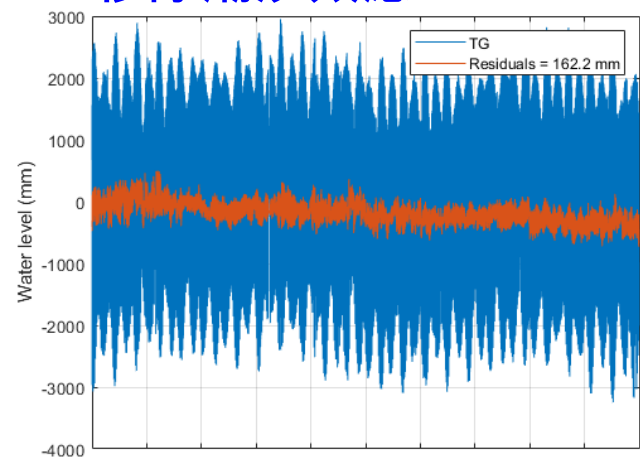
三種方法皆僅能成功辨識出2個基準偏移正確位置，位於2011.0年的基準偏移點位未能被有效被辨識出。



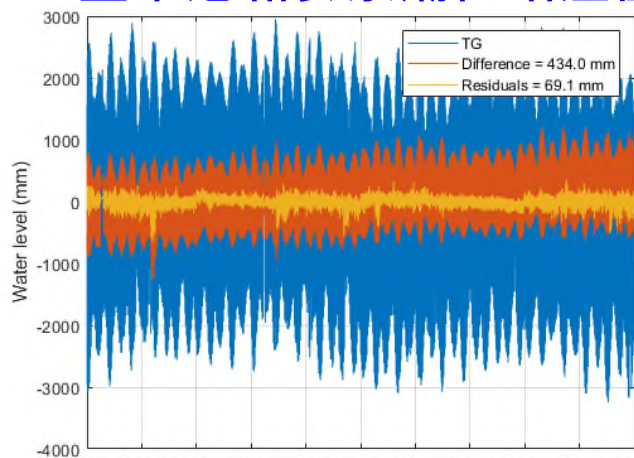
利用最佳分段法偵測臺中港潮位站基準偏移 (斷點) 情形

■ 模擬資料IV (於2010.4、2011.0、2011.6等時間點皆分別加入-10公分偏移量)

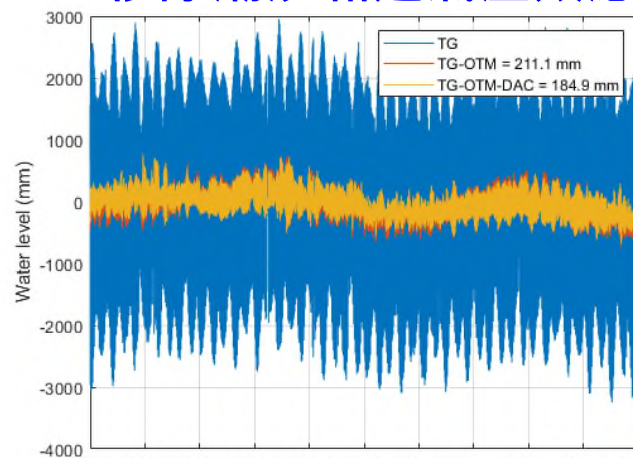
移除潮汐效應



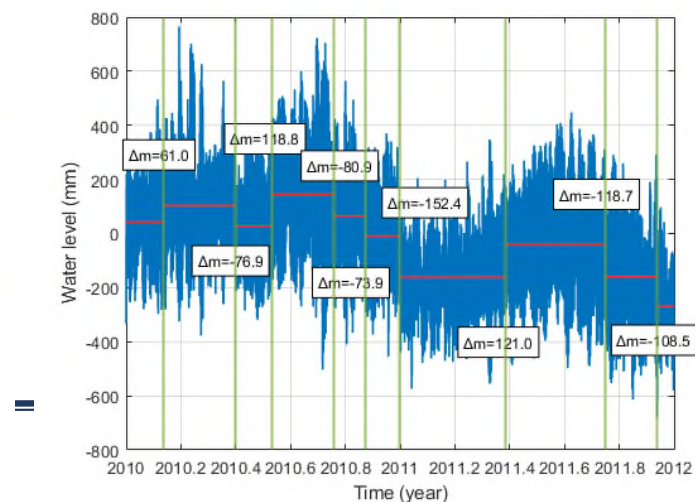
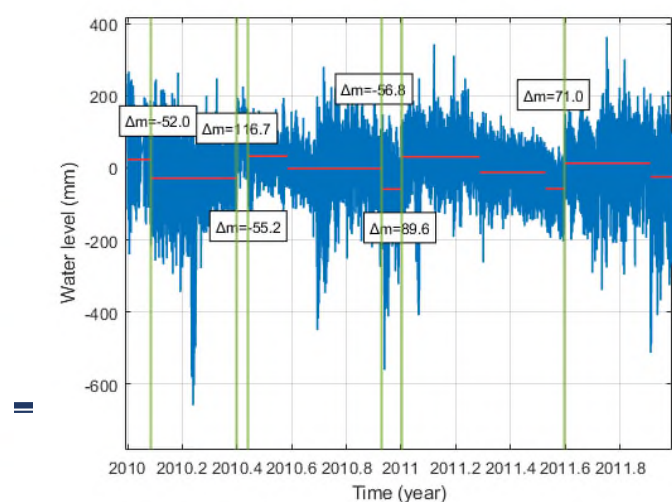
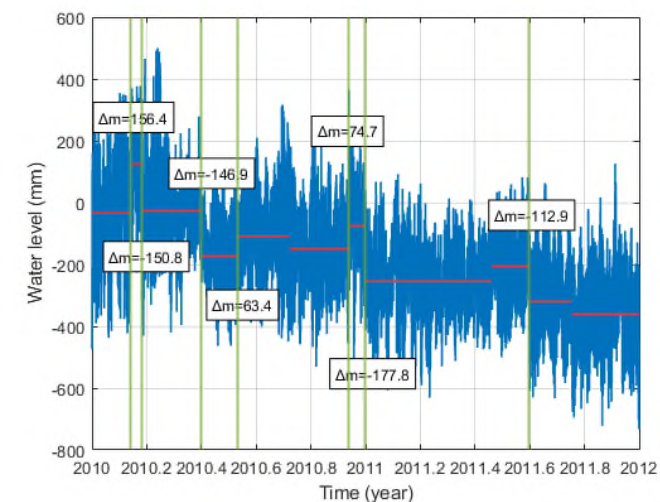
臺中港和麥寮潮位站差值



移除潮汐和逆氣壓效應



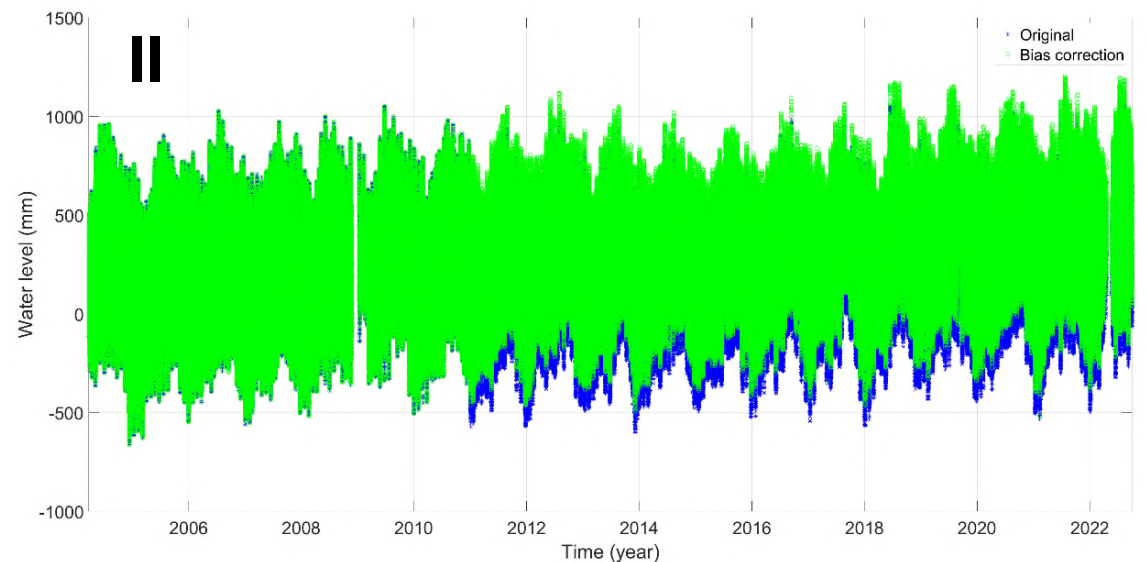
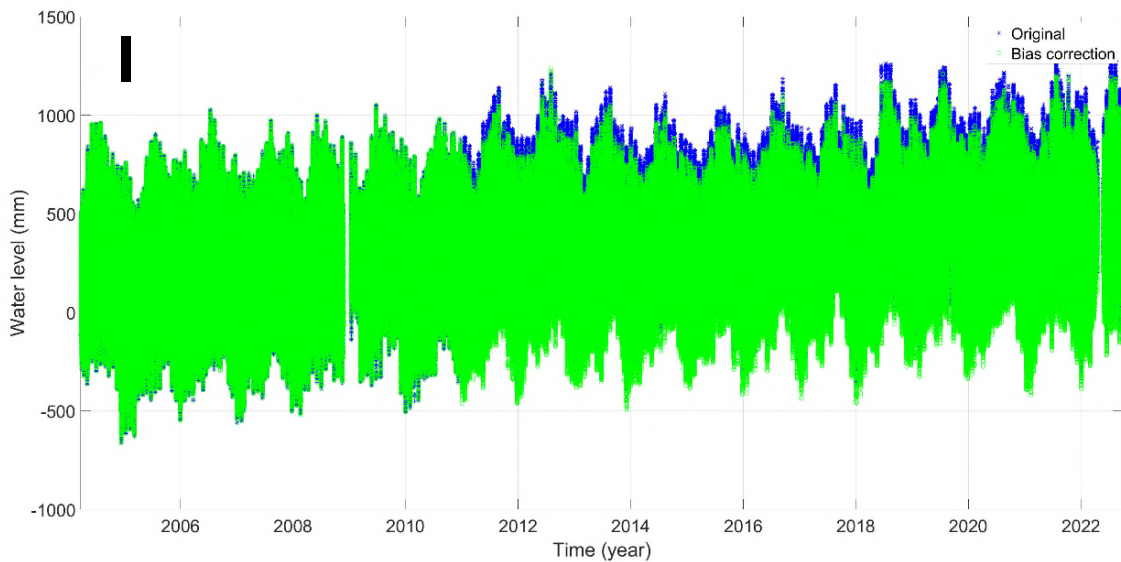
對於三組模擬資料皆可成功辨識出3個基準偏移位置，但是仍然伴隨偵測出多個額外變化點位，僅使用鄰近潮位站差值在基準偏移偵測中具備較高偵測準確性



基準偏移改正

■ 高雄潮位站模擬資料I&II進行基準偏移改正(綠線)

以高雄潮位站模擬資料I和II為例，修正之回復率成果分別達**92.2%**和**107.8%**，修正後誤差皆在**1公分**以內



基隆和高雄潮位站之基準偏移改正

基隆

模擬情境	偏移時間	差值 (mm)	回復率 (%)	回復偏差 (%)
I	2011	1.5	101.5	1.5
II	2011	1.5	98.5	1.5
III	2010.4	3.7	103.7	3.7
	2011	-26.5	86.8	-13.2
	2011.6	11.8	103.9	3.9
IV	2010.4	3.7	96.3	3.7
	2011	-26.5	113.2	-13.2
	2011.6	11.8	96.1	3.9
V	2010.4	3.7	103.7	3.7
	2011	-26.5	X	X
	2011.6	11.8	111.8	11.8
平均值		-2.7±15.8	101.6	0.7

高雄

模擬情境	偏移時間	差值 (mm)	回復率 (%)	回復偏差 (%)
I	2011	-7.8	92.2	-7.8
II	2011	-7.8	107.8	7.8
III	2010.4	9.2	109.2	9.2
	2011	-5.5	97.2	-2.8
	2011.6	-6.0	98.0	-2.0
IV	2010.4	9.2	90.8	9.2
	2011	-5.5	102.8	-2.8
	2011.6	-6.0	102.0	-2.0
V	2010.4	9.2	109.2	9.2
	2011	-5.5	X	X
	2011.6	-6.0	94.0	-6.0
平均值		-2.0±7.3	100.3	1.2

初步結論

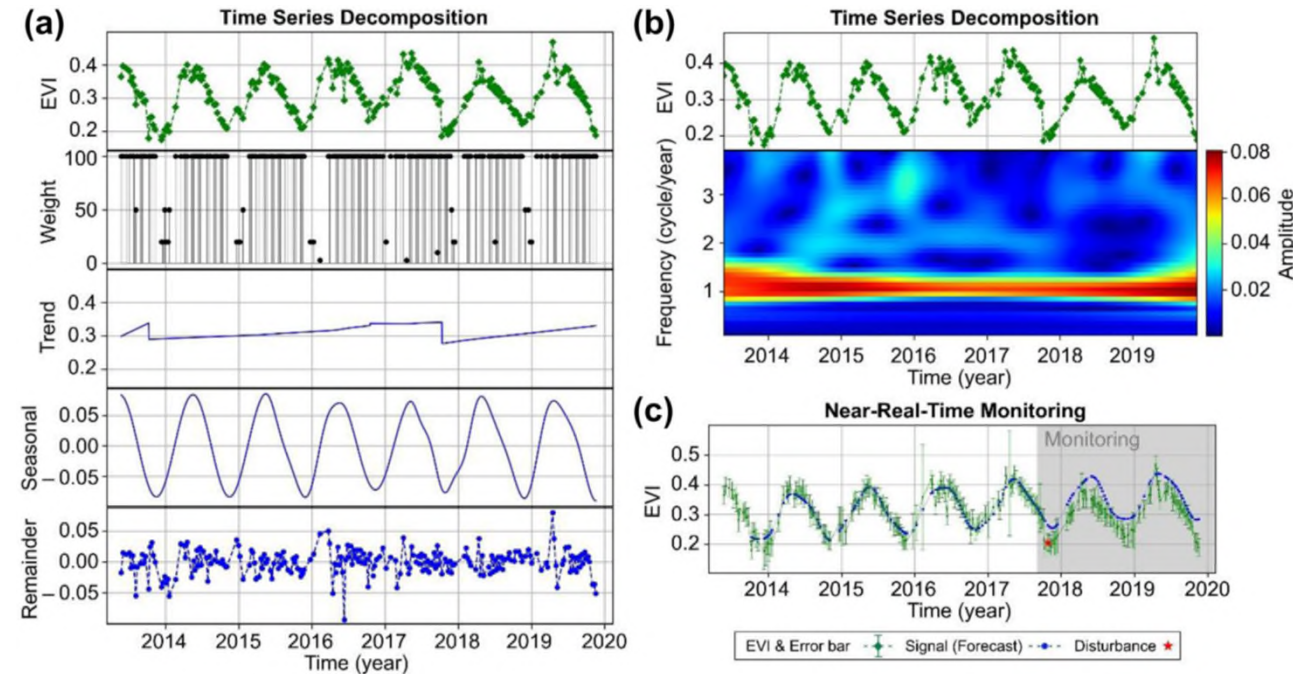
1. 當基準偏移(斷點)發生於海潮變化劇烈之時段(如臺中港)，易受潮汐訊號掩蓋，提高辨識難度；反之，若海況相對穩定之時間點(如基隆潮位站之 2010.4 與 2011.6)，加入相同大小之基準偏移量，其斷點偵測效果明顯優於劇烈變化時段。
2. 在五種基準偏移模擬情境中，鄰站差值加上殘餘潮汐移除具有最高穩定與準確的斷點偵測成果，而單一潮位站資料在進行基準偏移偵測時易受自然變異影響，在缺乏佐證資訊的情況下，容易產生誤判。
3. 本研究所提出之調和分析法結合步階函數修正方法，可有效應用於潮位站基準偏移之改正。以基隆和高雄潮位站模擬為例，偏移量修正後和真值差值平均值分別為 2.7 ± 15.8 與 -2.0 ± 7.3 mm，修正誤差最大不超過 26.5 mm，初步驗證本方法具備良好之修正能力。

未來工作

■ Jumps Upon Spectrum and Trend (JUST)偵測法[Ghaderpour, 2021]

- 首先利用JUSTdecompose函式將增強植被指數 (Enhanced Vegetation Index, EVI) 時間序列分解為趨勢、季節性和剩餘等訊號。
- 然後利用最小二乘小波分析(Least-Squares Wavelet Analysis, LSWA)函式將EVI時間序列轉換至頻率域。
- 最後利用JUSTmonitor函式來進行EVI時間序列的點位變化偵測。在計算過程中，須根據已知事件來設定監測期間。

利用JUST軟體進行資料變化點偵測等成果



[Ghaderpour, 2021]