



行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan)

108-109年度「南區水庫水質治理前瞻綜合管理計畫」

澎湖成功水庫多層複合濾料 (MSL) 模型廠案例

報告人：張智華

成大環工系、國際水質研究中心

民國109年11月2日

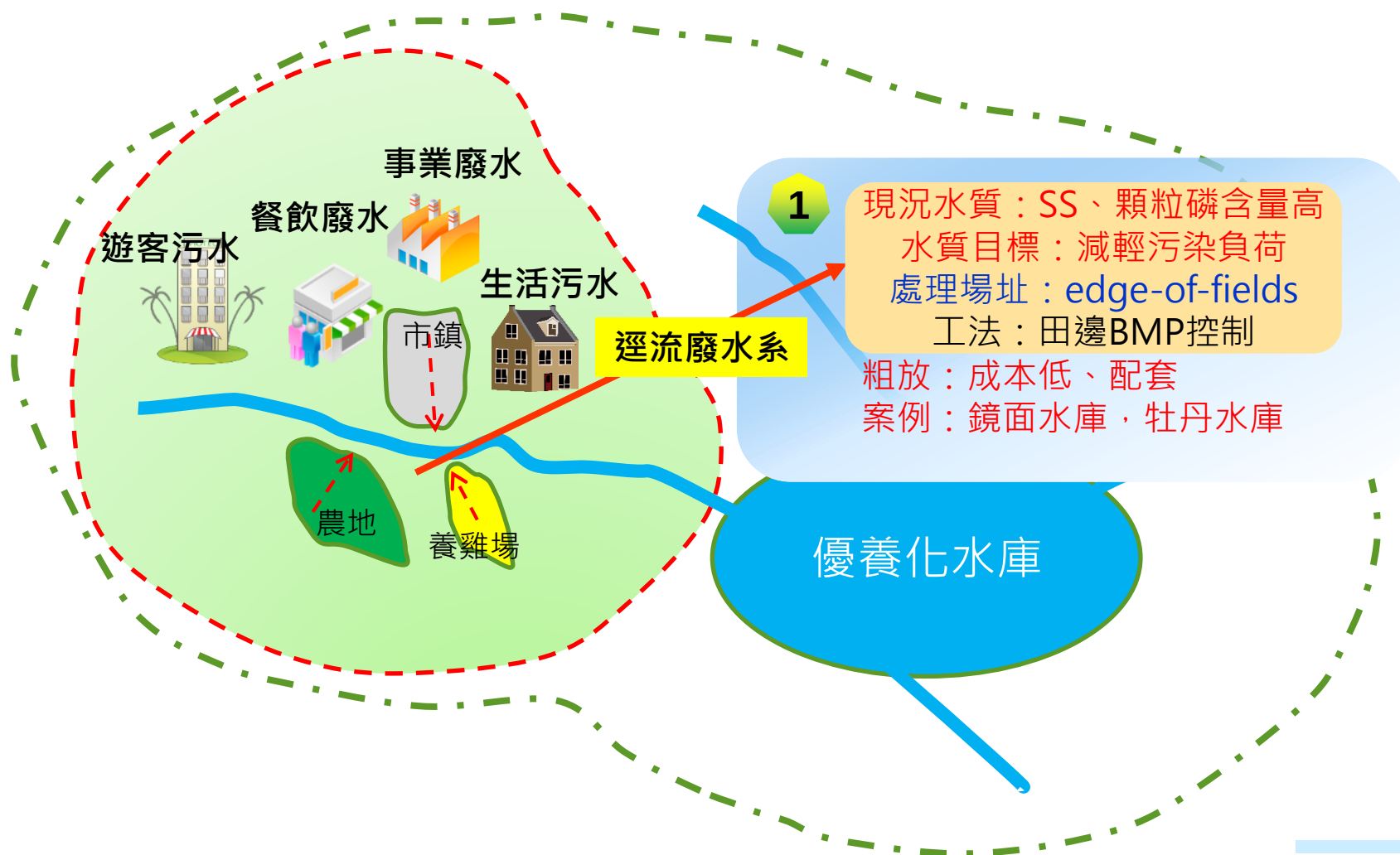
簡報大綱

- 一. 水庫總磷來源與現地削減策略
- 二. 成功水庫MSL試驗模場規劃與設計
- 三. 模場水質淨化效能評估
- 四. 操作問題排除與建議
- 五. 實場化規劃建議
- 六. 結論與建議



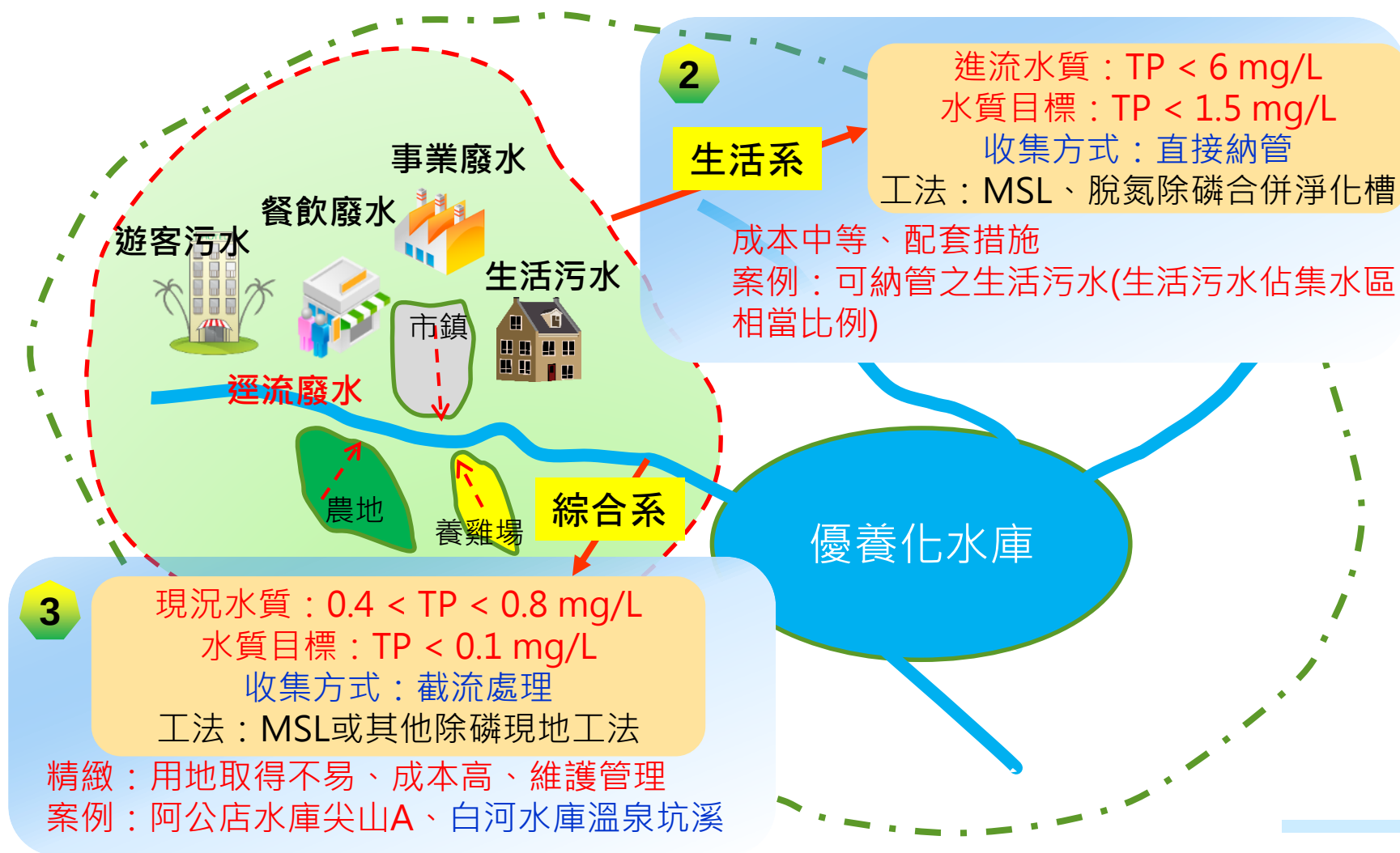
一、水庫總磷來源與現地削減策略

優養化水庫面臨問題與解決對策-優養化水庫治理構想圖 (一)



一、水庫總磷來源與現地削減策略

優養化水庫面臨問題與解決對策-優養化水庫治理構想圖 (二)



運用多層複合濾料(MSL)系統現地淨化入庫污水

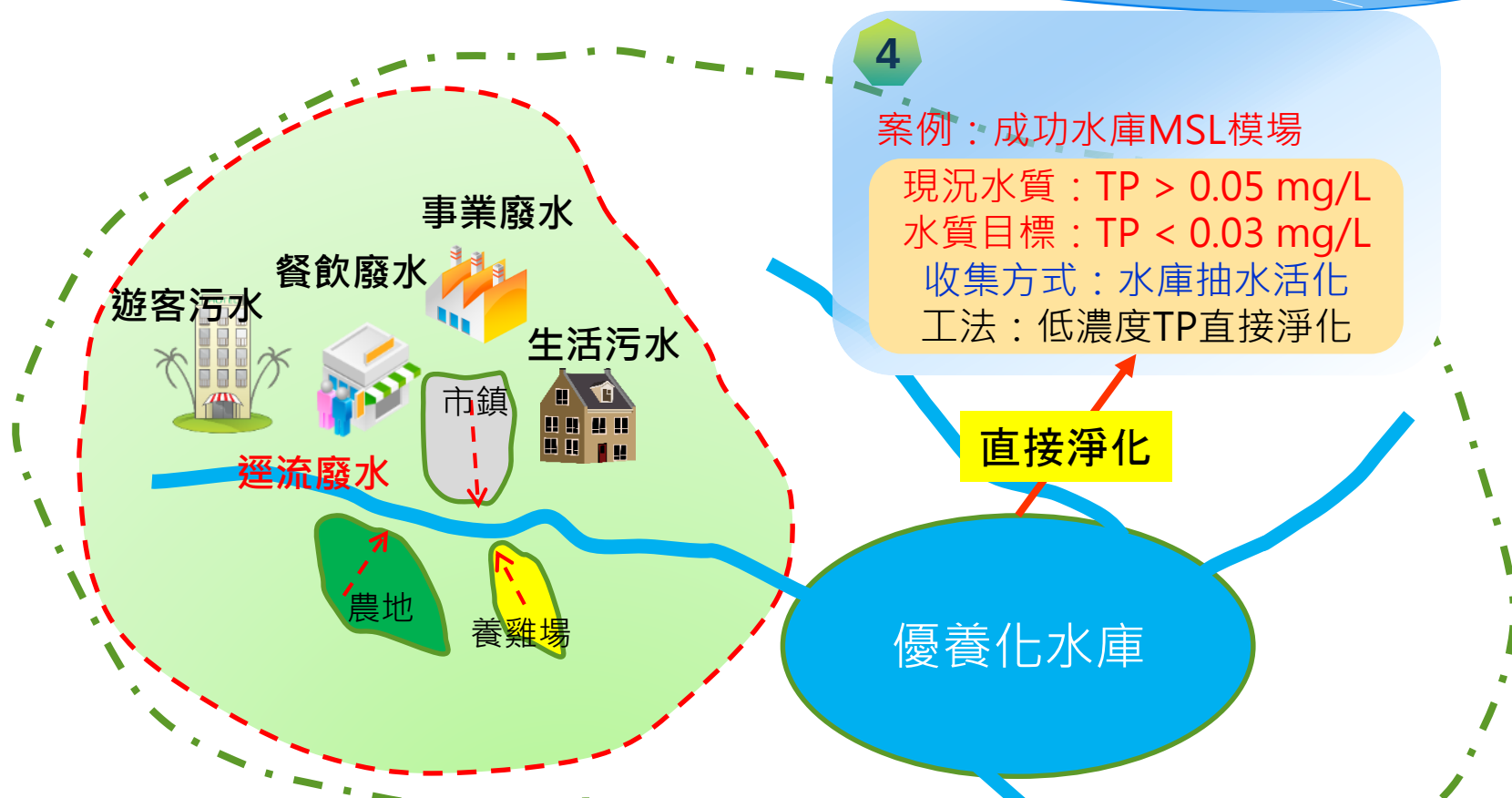
優點彙整

- 強化土壤淨化水質之過濾、吸附及生物分解功能，具有營養鹽去除能力
 - 採用金屬離子螯合磷，可去除溶解磷
 - 土工包可調控污染物去污反應
- 負荷率高，系統效能可操控性高
 - 兼具均勻與不均勻水流、可調整系統通氣量
 - 維護成本低
- 進流水質可接受範圍大，去除率穩定
- 無有害添加物，處理水及材料可回收利用



一、水庫總磷來源與現地削減策略

優養化水庫面臨問題與解決對策-優養化水庫治理構想圖 (三)



現地處理工法名稱	適用說明
湖內循環除磷工法	1. 適用現地工法場地取得不易之處 2. 處理迅速且可有效降低總磷濃度 3. 處理費用高

水庫TP目標 (單位mg/L)

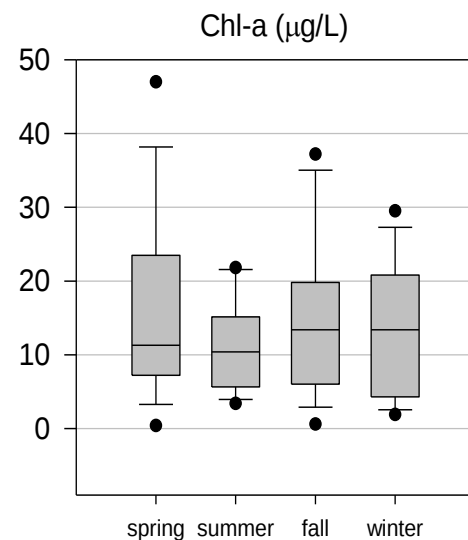
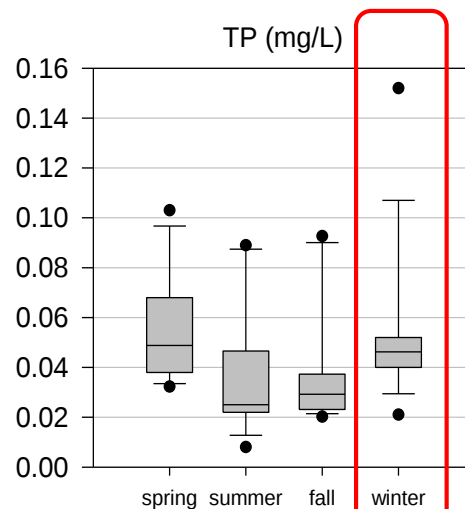
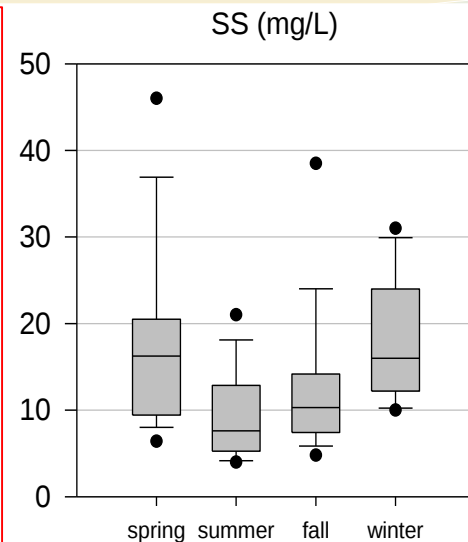
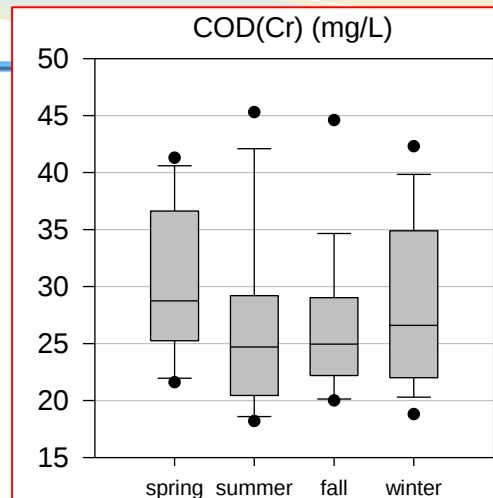
- CTSI
 - TP : 0.012 (貧養), **0.024** (普養), 0.048 (優養)
- 地面水體分類及水質標準
 - TP : **0.020** (甲類)、0.050 (乙類)
- USEPA, Numeric Nutrient Criteria
 - 2251座湖庫中有256座採用TP
 - 雖然PP不會被浮游植物直接利用，但水庫底層缺氧時仍有可能以DP (正磷酸鹽)形態釋出，因此美國絕大多數湖庫仍以TP作為管制指標
 - **0.025** (P25)、0.040 (P50 & P75)
- 日本湖庫營養鹽標準
 - 0.005 (名勝與景觀保存)、**0.010** (公共用水)、0.030 (公共3級)、0.05 (水產養殖)
- 英國湖庫TP參考狀態
 - Good/Moderate: **0.008** (低鹼度、水深) ~ **0.049** (高鹼度、水淺)

澎湖成功水庫水質

成功水庫水質

離島澎湖地區水庫水質關鍵問題

- **水庫春冬兩季蓄容小、交換率低**
 - 春冬兩季水庫蓄容小，涵容能力低
 - 海淡水用量增加、可用水庫水用量不足
- **水庫Chl-a, TOC高**
 - Chl-a : 9-14 mg/L
 - **TOC > 9 mg/L (4 mg/L)**
 - COD > 25 mg/L (25 mg/L)
 - 大部分生活污水已截流入海
- **水庫TP高**
 - 顆粒磷(PP)與溶解磷(DP)的比例：**溪流(2:1)、水庫(1:2)**
- **水庫SS高**
 - 水深淺，冬季風大引起水庫波浪與底泥再懸起所致



TP: 0.05~0.1 mg/L

運用MSL系統直接循環淨化水庫水質

設計考量

1. 進流水濃度與水質目標 (原水來源及計畫目標)

- **TP去除率隨原水濃度遞減**，當原水TP濃度低於0.1 mg/L時，去除效率需進一步驗證

2. 前處理程序選擇

- **原水SS及TOC**會造成MSL散水管及土包阻塞，降低MSL處理效率
 - **無機SS去除**：沉砂池...；**有機SS去除 (藻類)**：浮除槽
 - **TOC去除**：生物處理(Bionet, 礫間氧化, ...)

3. 面積負荷率

- 一般河川水表面負荷為 $2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ ，若原水TP濃度低需降低負荷至 $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$

4. 土壤性質

- 土包含有60%以上的現地土壤，其**土壤結構、有機質含量與磷吸附容量**是影響MSL系統效益的關鍵因素
- **系統壽命取決於鐵的含量**、但鐵不宜超過土包組成之10%

5. 系統曝氣與耗能

二、成功水庫MSL試驗模場規劃與設計



成功水庫MSL試驗模場規劃

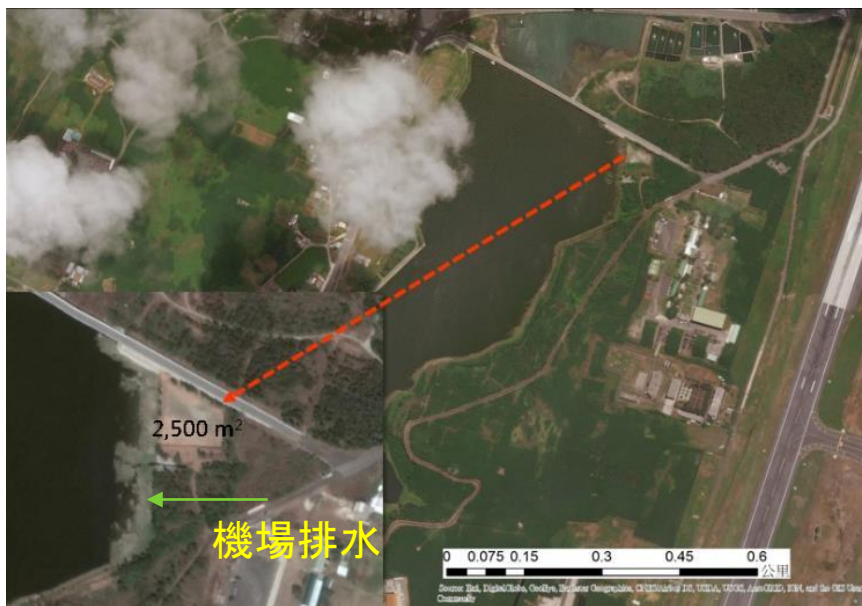
規劃大事紀

- ✓ 107年4月11日「澎湖水庫水質改善策略研商會」，與七區處及澎湖縣環保局第一次討論
- ✓ 107年6月11日「澎湖水庫水質前瞻綜合治理研商會」完成水庫現勘
- ✓ 107年9月7日舉辦「澎湖水庫水質總磷削減措施設置研商會」確定進行模場規劃
- ✓ 108年2至5月召開5次「澎湖水庫MSL工程進度」討論會
- ✓ 108年4月初團隊前往日本松江市參加MSL工作坊並進行現地考察
- ✓ 108年4月10日顏前處長主持「澎湖水庫MSL模場工程進度研商會議」
- ✓ 108年4月底日本島根大學曾永教授來台指導
- ✓ 108年5月17日召開「澎湖MSL工程進度及土包製作進度追蹤」會議
- ✓ 108年5月28日葉主秘主持「澎湖水庫削減設施討論會」並進行現勘
- ✓ 108年6月，成功水庫MSL試驗模場完工，進行試驗
- ✓ 108年9月4日，成功水庫MSL總磷削減試驗模場成果發表
- ✓ 109年3月3日「澎湖水庫總磷削減措施設置研商會」
- ✓ 109年6月30日，澎湖成功、澄清湖及阿公店水庫總磷削減措施設置研商會
- ✓ 109年9月23日，連江縣政府組團參訪



二、成功水庫MSL試驗模場規劃與設計

成功水庫MSL試驗模場規劃



- 成功水庫東北角非點源污染削減設施為入滲型礫間處理設施(重力流)，面積2500 m²，處理非點源逕流水(機場排水)
- 管理單位雖定期維護、除草，但每年可操作時間僅30天，改善水質效果有限
- 緊鄰成功水庫庫區，屬自來水公司用地、電力可由大壩控制室提供
- 規劃設置MSL模場，第一階段先抽取水庫原水進行處理。

二、成功水庫MSL試驗模場規劃與設計



成功水庫MSL試驗模場規劃



成功水庫東北角既有削減設施處，設置MSL試驗模場，抽取水庫大壩處原水進入MSL處理過後，再放回水庫中循環淨化



二、成功水庫MSL試驗模場規劃與設計



成功水庫MSL試驗模場規劃

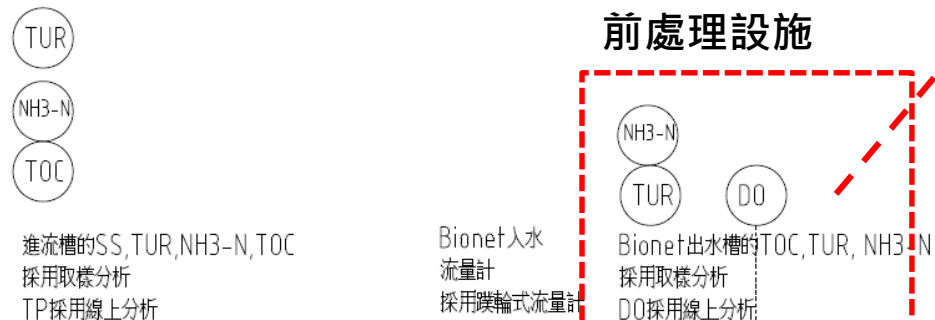
- MSL之TP去除率隨進流濃度降低而降低、隨HLR降低而增加

淨化效果	河川現地處理			成功水庫
	BOD	NH ₃ -N	TP	水庫TP
進流水質(mg/L)	4.2	7.3	0.95	0.05-0.1
MSL削減率	73~95%	54~89%	82~99%	?

- 規劃設置一小型MSL測試系統，測試系統面積為20 m² (欲有效活化水庫水質，HLR可能要1 m³/m²-d以下)：淨化效果驗證與成本效益評估
 - 水質活化：枯水期(11-隔年5月)操作，抽取庫區原水進行處理，處理後再排回水庫
 - 逕流削減：雨季(6月-9月)操作，強化原本非點源污染控制功能
- 本測試計畫可作為驗證MSL系統於成功水庫之處理成效，若效果良好，可將原東北角淨化場改為MSL處理系統，並能將MSL模場槽體運至其他水庫進行試驗

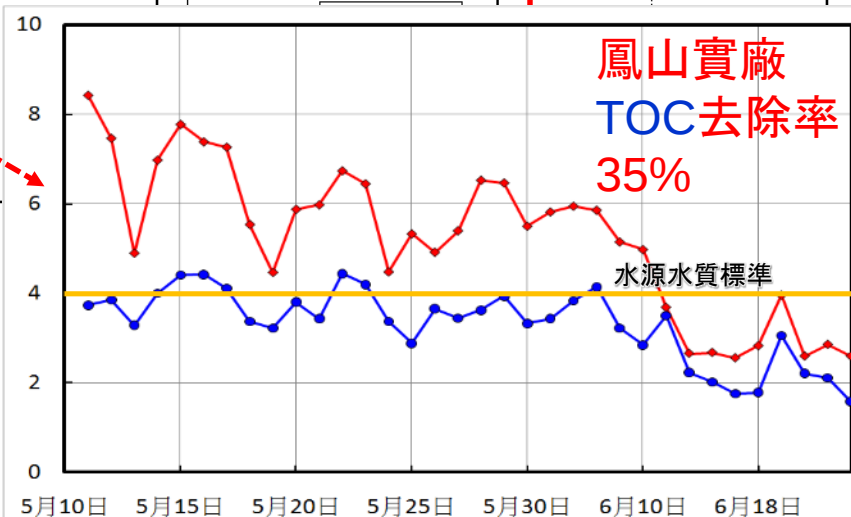
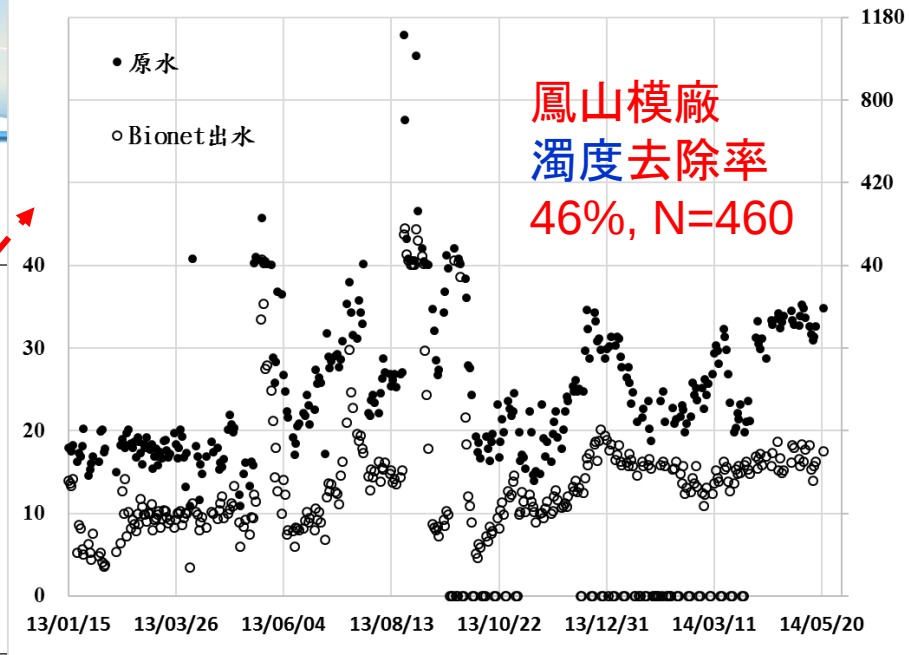
二、成功水庫MSL試驗模場規劃與設計

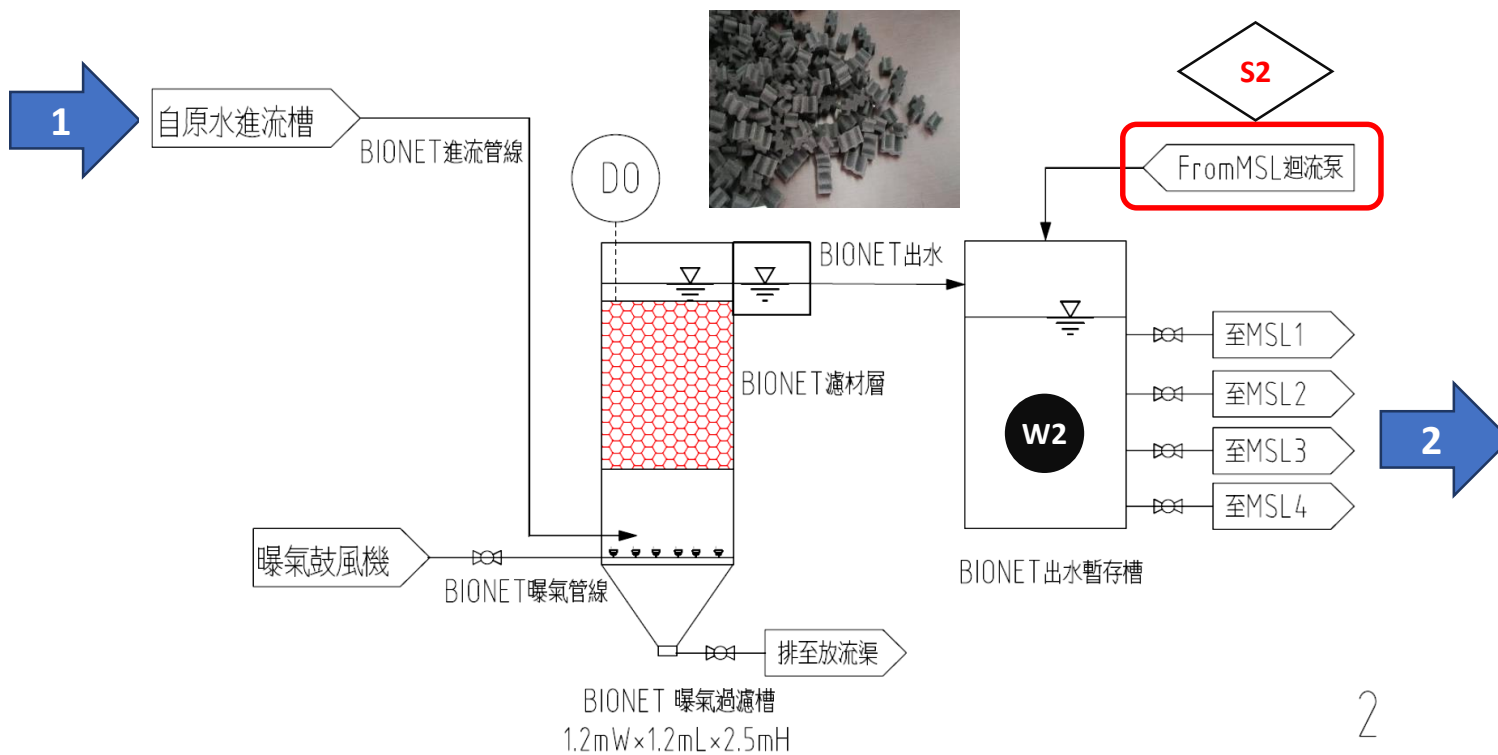
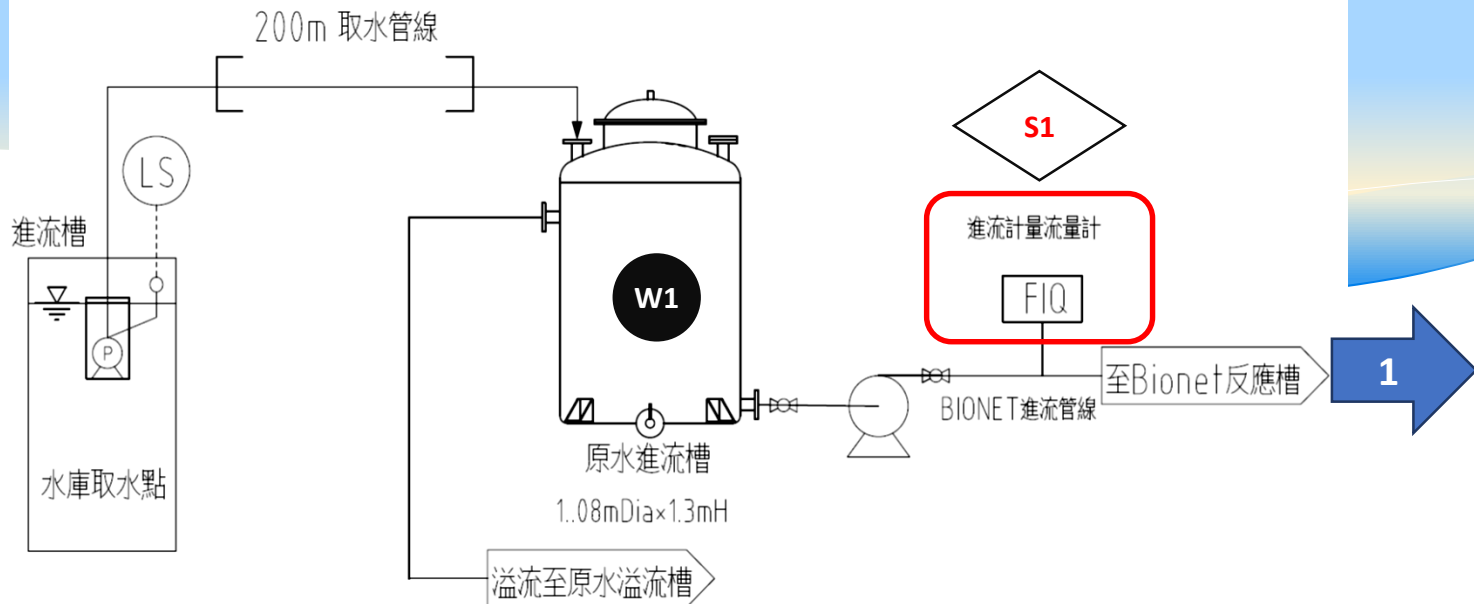
模場單元流程



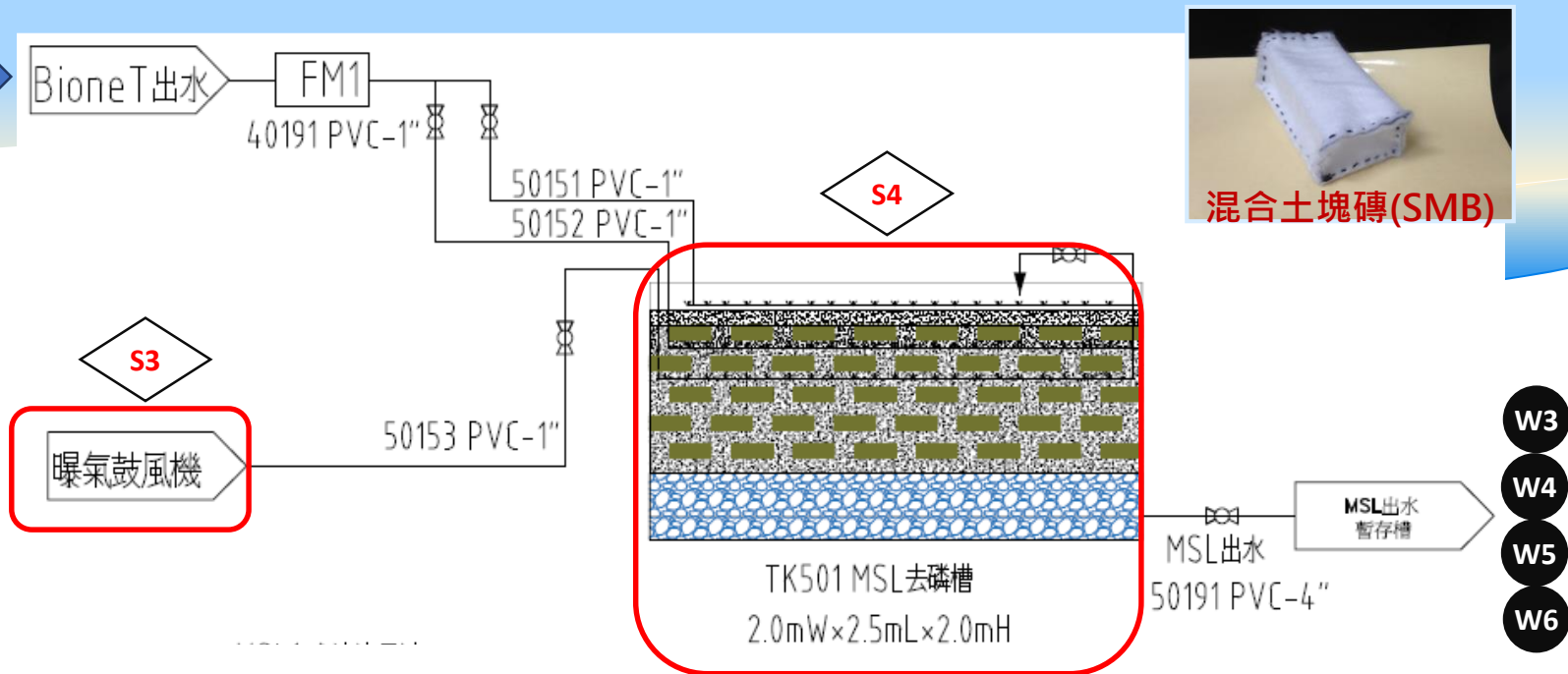
前處理注意事項

- 藻體顆粒
- 底泥、泥沙
- TOC





2

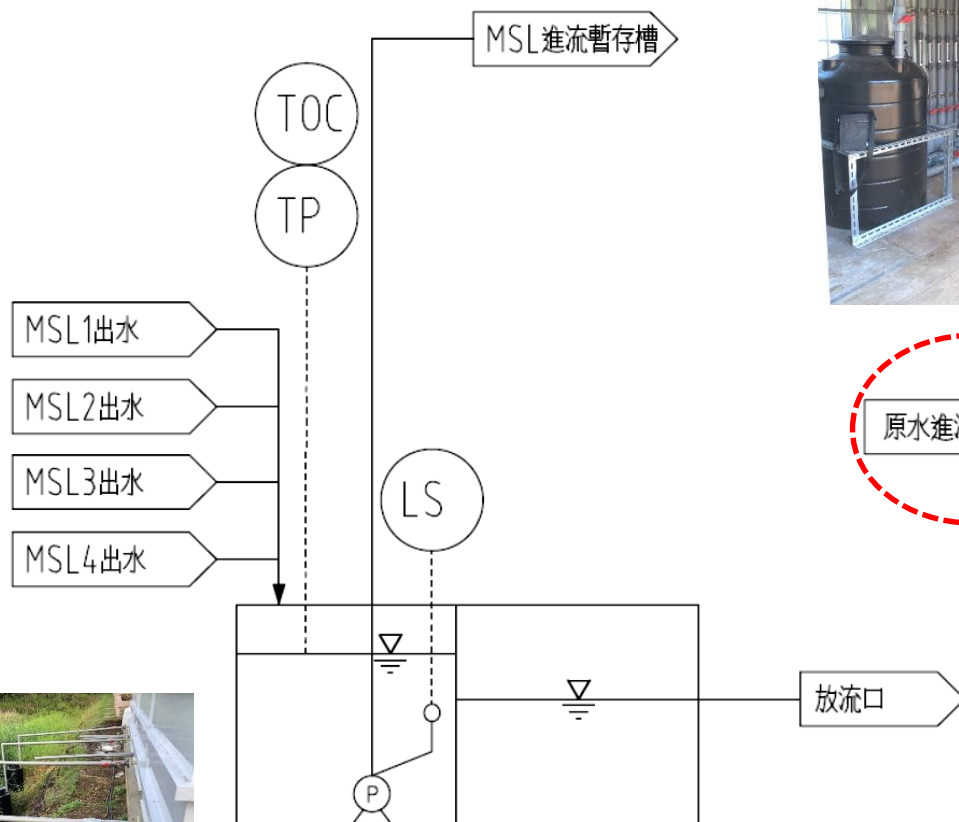


控制單元	試驗條件	測試目的	水質查核點
S1：進流流量計	10-80 CMD	● 找出能符合目標水質的前提下，系統可操作之最大面積負荷	W1
S2：MSL迴流泵	有、無	● 迴流操作能否改善MSL出流水質	W2
S3：MSL曝氣鼓風機	開、關	● 曝氣操作能否改善MSL出流水質	W3
S4：MSL反應槽	A, B, C, D四種土壤配比	● 找出SMB土包最佳配比 ● 比較PL層礫石與沸石之水質淨化效果 ● SMB過量添加鐵粒對水質淨化效果之影響 ● 最佳水質淨化效果之效益分析	W4 W5 W6

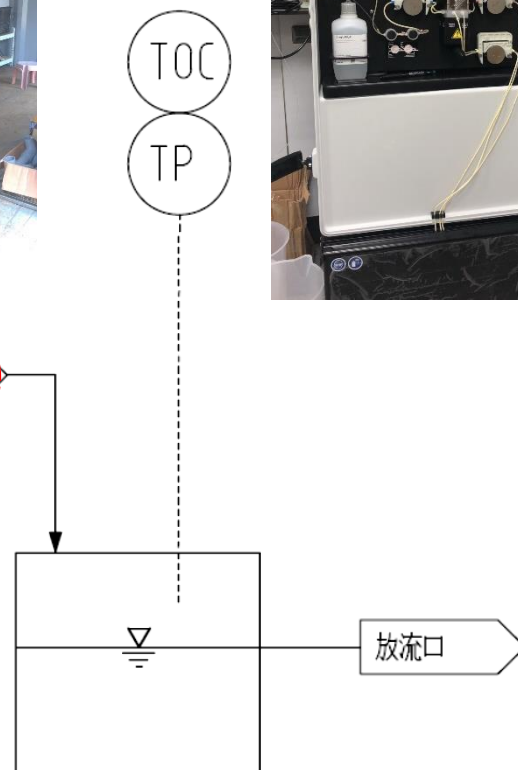
成功水庫MSL試驗模場規劃與設計

MSL試驗模場出流與線上監測系統

MSL出流系統



MSL出水暫存槽
MSL出水迴流泵



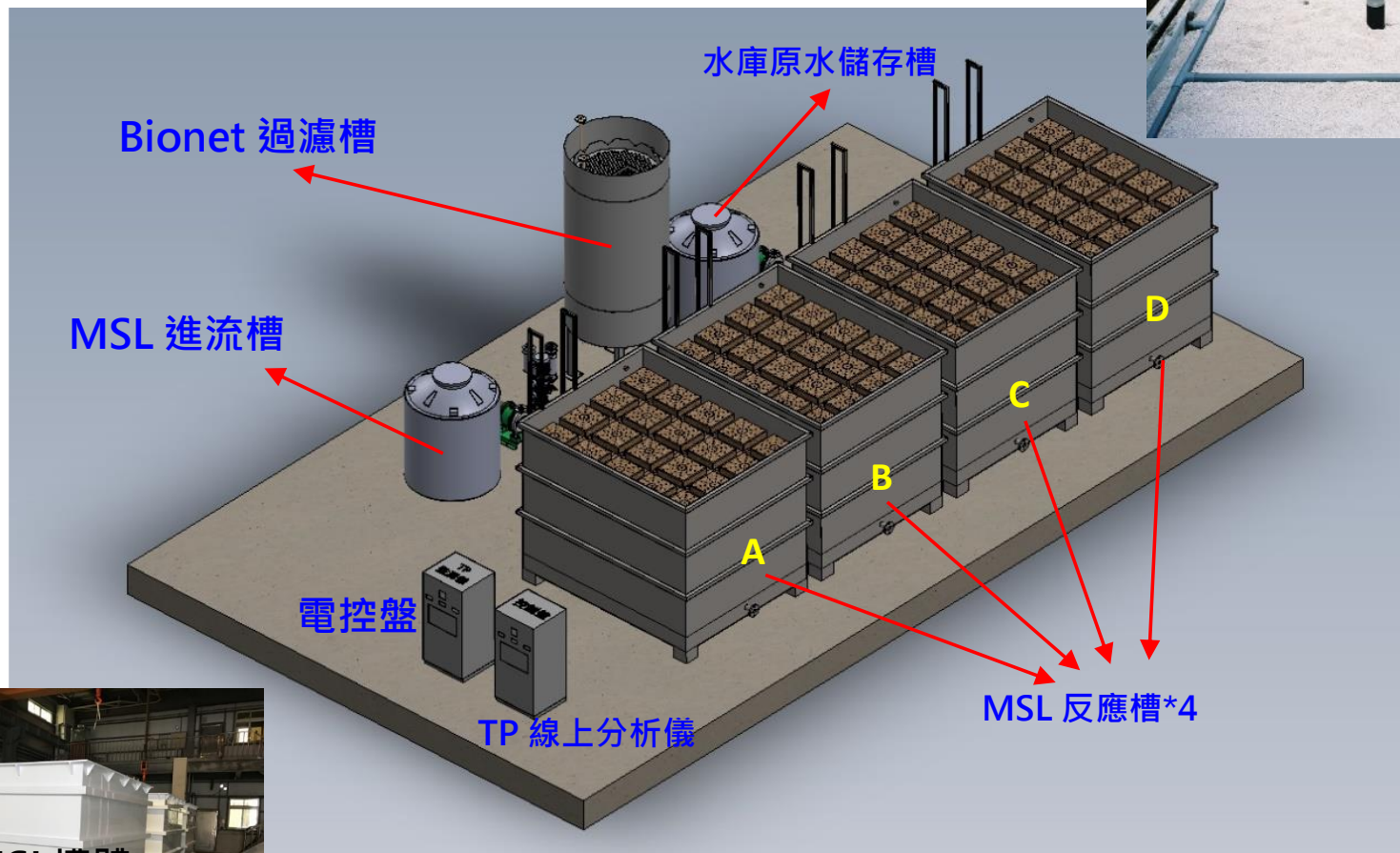
原水溢流槽



成功水庫MSL試驗模場規劃與設計



MSL模場系統配置外觀



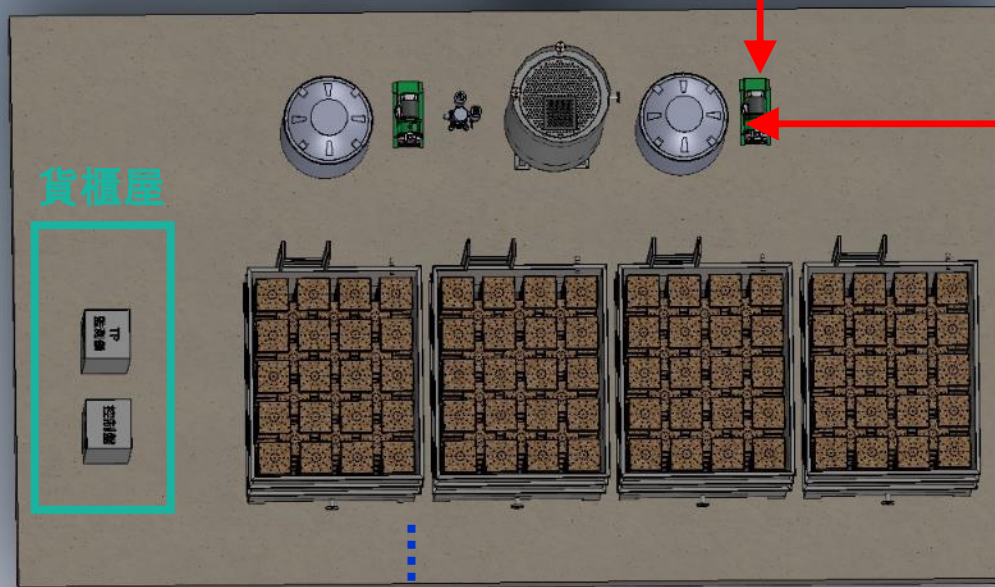
成功水庫MSL試驗模場規劃與設計



MSL模場系統配置外觀

模場進出聯絡道

入庫溪流逕流
(先不測試)



成功水庫原水

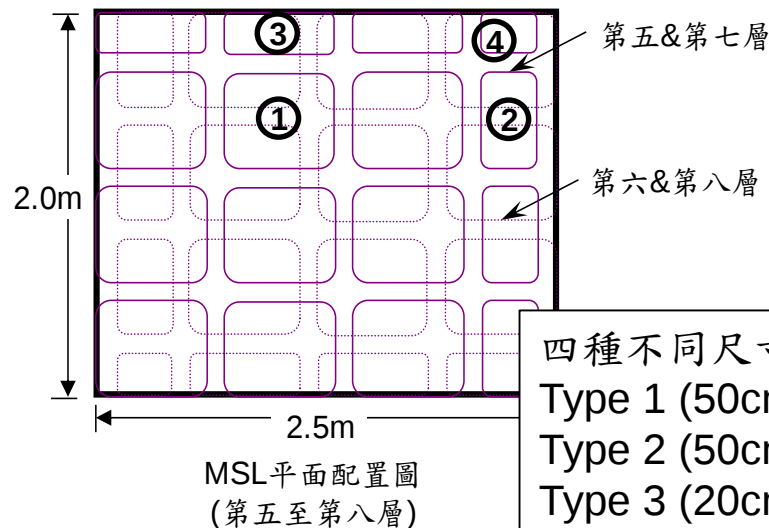
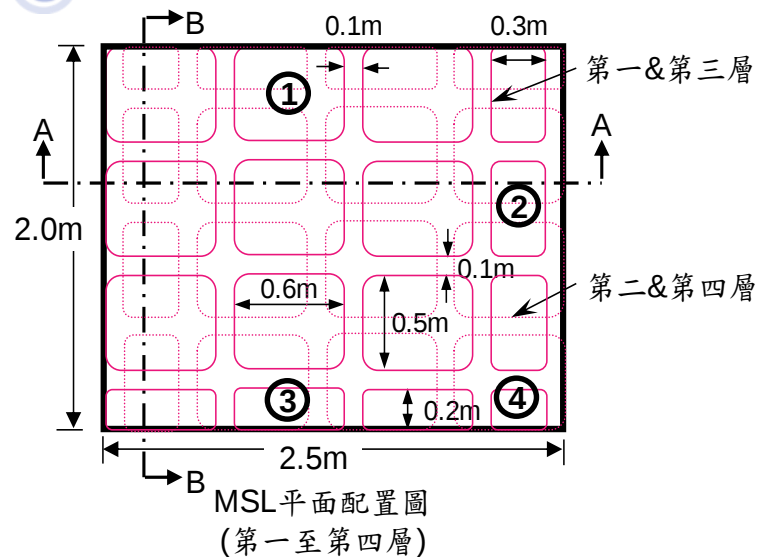
處理後放流水

原成功水庫非點源污染削減設施



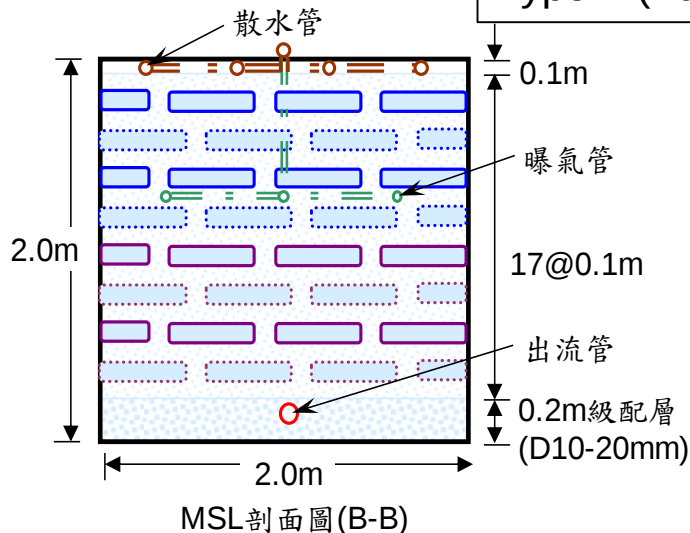
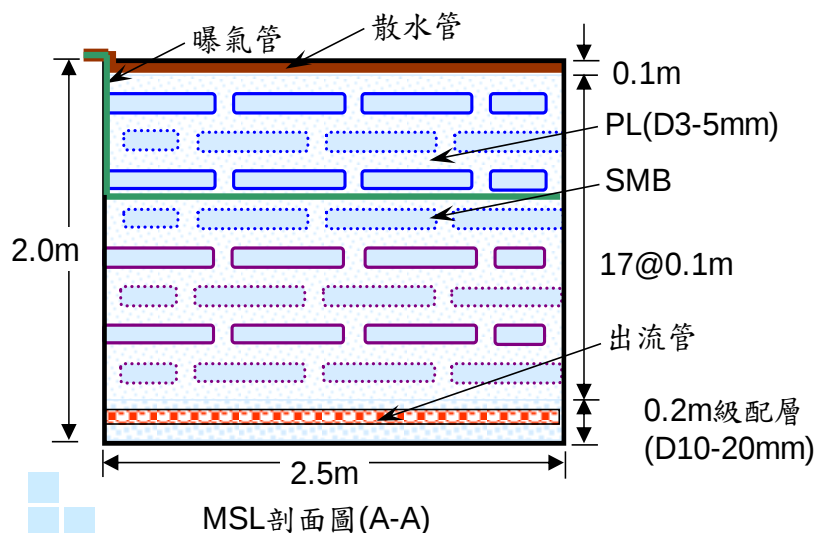
成功水庫MSL試驗模場規劃與設計

MSL內部材料配置圖



四種不同尺寸土工包:

- Type 1 (50cm x 60cm x 10cm)
- Type 2 (50cm x 30cm x 10cm)
- Type 3 (20cm x 60cm x 10cm)
- Type 4 (20cm x 30cm x 10cm)



成功水庫MSL試驗模場規劃與設計



MSL土工包組成

配置 No.	尺寸	PL層 ¹	SMB層	SMB數量 ²	備註
A	2.5m(W) x 2m(L) x 2m(H)	沸石 (粒徑3-5mm)	土:有機質:碳粉:鐵粒 =75%:5%:10%:10%	•Type 1: 72個 •Type 2: 24個 •Type 3: 24個 •Type 4: 16個	沸石取代礫石
B	2.5m(W) x 2m(L) x 2m(H)	礫石 (粒徑3-5mm)	土:有機質:碳粉:鐵粒 =75%:5%:10%:10%		對照組
C	2.5m(W) x 2m(L) x 2m(H)	礫石 (粒徑3-5mm)	土:有機質:碳粉:鐵粒 =80%:5%:10%:5%		鐵粒減少5%
D	2.5m(W) x 2m(L) x 2m(H)	礫石 (粒徑3-5mm)	土:有機質:碳粉:鐵粒 =70%:5%:10%:15%		鐵粒增加5%

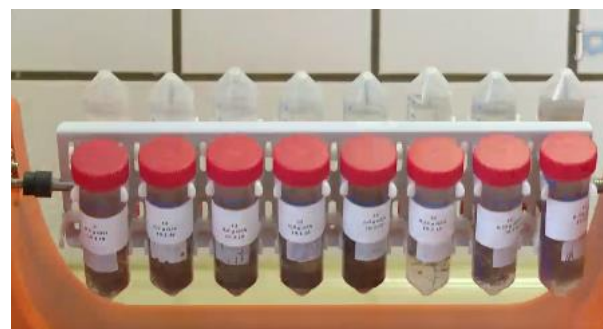
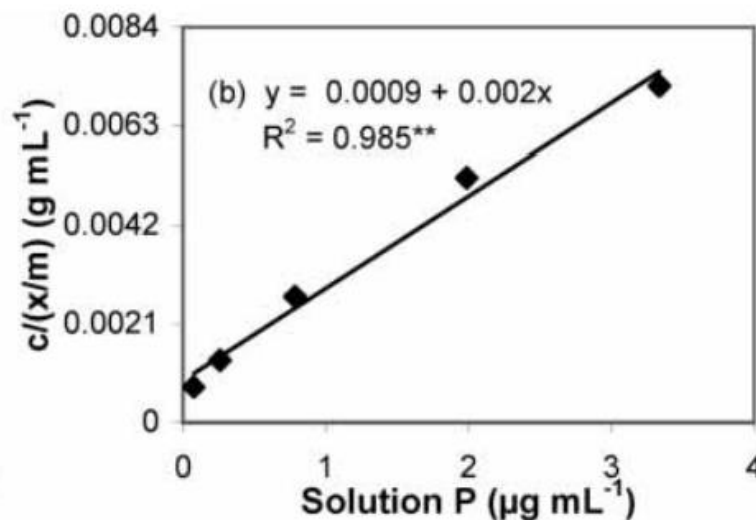
註1：PL層之滲透係數為 $1 \times 10^{-2} \sim 9 \times 10^{-2}$ cm/s；SMB層之滲透係數為 $1 \times 10^{-3} \sim 9 \times 10^{-3}$ cm/s

註2：Type 1 (50cm x 60cm x 10cm)；Type 2 (50cm x 30cm x 10cm)；Type 3 (20cm x 60cm x 10cm)；Type 4 (20cm x 30cm x 10cm)

成功水庫MSL試驗模場規劃與設計

模場土壤測試與選擇

- 土的比例佔了60-80%，實務上以現地砂土優先，但針對低濃度P之吸附，有必要先測試土壤的磷酸吸附容量
- 砂土選擇
 - 土壤結構好(團聚力佳)、含有較高鐵、鋁元素
 - 好：火山灰土、玄武岩風化紅土
 - 不好：沉積土、農地土壤
- 加入更多鐵粒(>15% 可能會阻塞)



成功水庫MSL試驗模場規劃與設計

模場土壤測試與選擇



1. 4/10於澎湖成功水庫周遭採取土壤回成大，先烘乾後進行**磷吸附容量測試**
模場場址-雜土、環保局附近-紅壤、機場附近-黃色崩積土
2. 已採取土壤樣本至臺科大進行**夯實及滲透性配比試驗**，至成大進行**磷酸鹽吸附性實驗**
3. **現地土壤及紅壤對於磷酸鹽吸附性較佳**，優先使用現地土壤進行土包製作

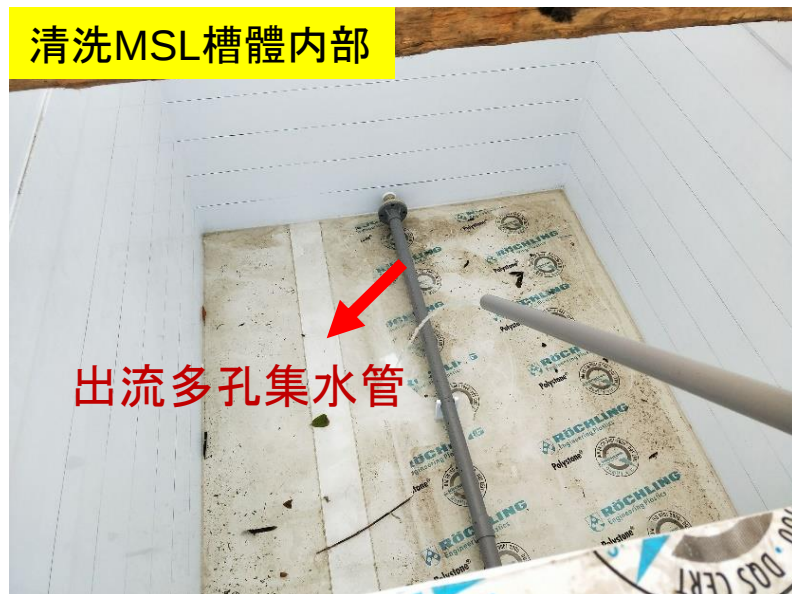
成功水庫MSL試驗模場規劃與設計

成功水庫MSL模場施工情形

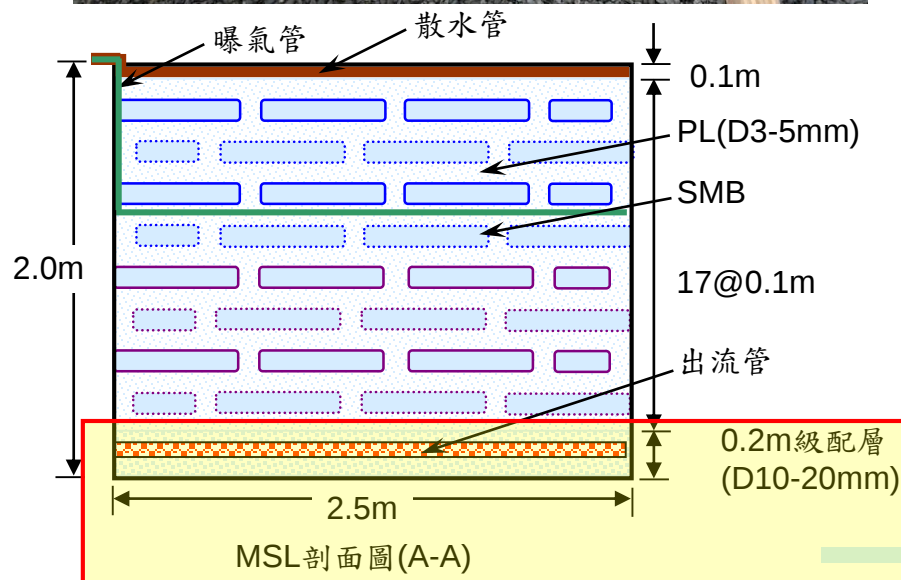
模場整地完成, MSL槽體運抵現場



清洗MSL槽體內部



級配層鋪設



土壤篩分



秤量填充料



土工包填充料拌合



填充料拌合備用



土工包縫合



土工包製作完成



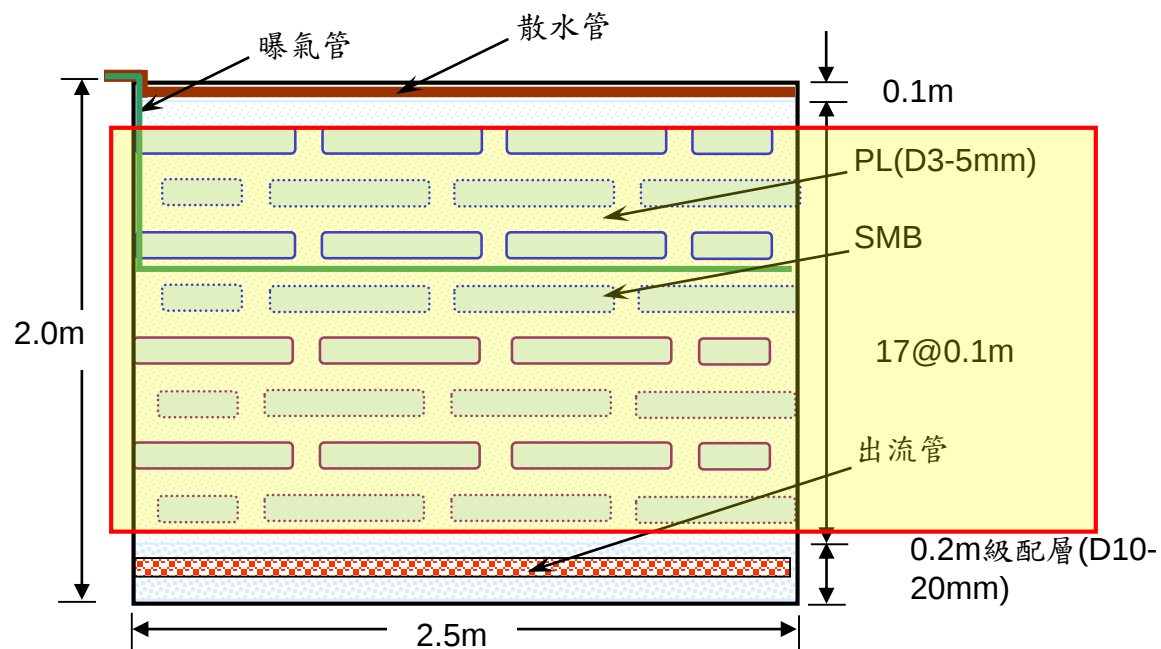
利用土工包模具鋪設SMB層



土工包模具



PL層鋪設



MSL剖面圖(A-A)

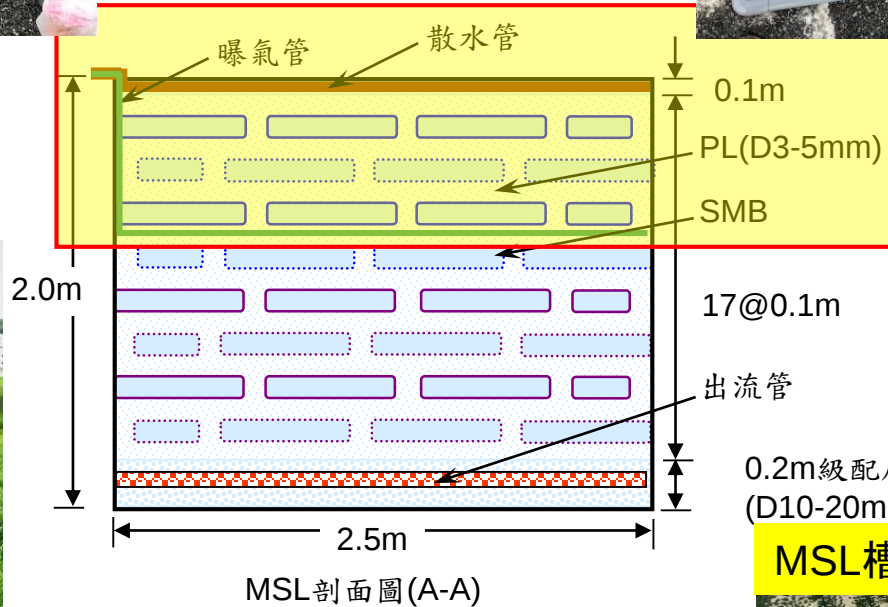
配置曝氣管



配置進流散水管



頂部鋪設礫石及防水布



MSL槽體完工



三、成功水庫MSL模場水質淨化效能評估



試程規劃

進流量10 CMD相當於面積負荷率2000 L/m²/d

試驗時程	試程規劃	運作槽體	操作條件	備註
108/7/22-108/12/25	第一試程	A、B、C、D	每槽進流量10 CMD 每槽曝氣量70 L/min	TOC數據僅收到108/9/26
108/12/25-109/2/25		A、B、C、D	進流量10 CMD 曝氣量70 L/min	未收數據
109/2/26-109/5/4	第二試程	A、B、C、D	進流量10 CMD 曝氣量70 L/min	109/4/8前，四槽皆運作 109/4/8後，A、C及D槽處理效果變差，故停水並維持曝氣，僅B槽維持運作
109/5/5-109/7/23		無槽體運作	曝氣量70 L/min	進水系統故障，四槽維持曝氣
109/7/24-109/9/29	第三試程	A、B	進流量10 CMD 曝氣量70 L/min	因A、B槽對TOC之去除效率較佳且穩定，故選擇A、B兩槽出流水(W3、W4)進行FEEM及AFI分析，探討其有機物組成及A、B槽對各類有機物之去除率，以瞭解有機物去除機制

水質分析方法

總有機碳(Total Organic Carbon, TOC)

非揮發溶解性有機碳(Non Purgeable Dissolved Organic Carbon, NPDOC)

現地水樣收集後，每週於自來水公司七區管理處實驗室依環檢所公告之燃燒/紅外線測定法(NIEAW530.51C)分析TOC。水樣寄回成大實驗室，經0.45 μm 濾紙過濾後，亦依前述方法分析NPDOC



SUEZ Sievers M5310 C
TOC分析儀

M5310 C Portable	
線性範圍	4 ppb - 50 ppm TOC
精密度 (Precision)	<1% RSD
準確度 (Accuracy)	$\pm 2\%$ 或 ± 0.5 ppb
分析時間	2 分鐘
樣品流速	0.5 mL/分
配件	無機碳去除裝置 (ICR) 自動進樣器 (Autosampler)



Shimadzu® TOC-L

測量原理		680 °C燃燒觸媒氧化-非擴散型紅外線檢測 (NDIR) 法
測量範圍	TC	0 ~ 30,000 mg/L
	IC	0 ~ 35,000 mg/L
檢測上限		4 $\mu\text{g/L}$

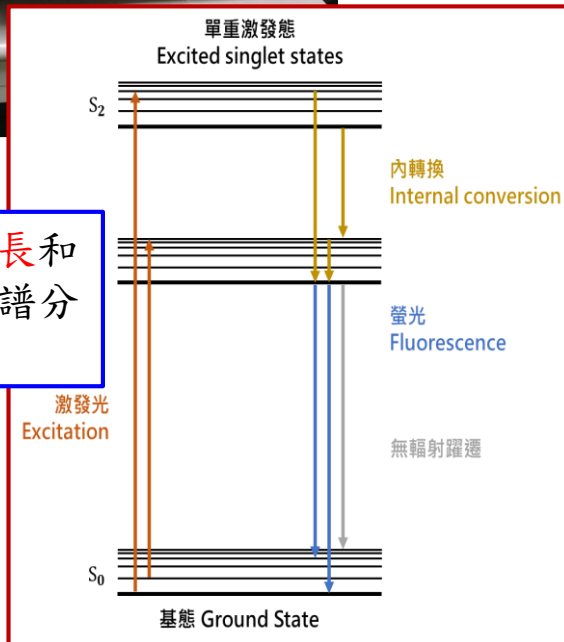
水質分析方法

螢光激發/發射陣列光譜(Fluorescence Excitation Emission Matrix, FEEM)

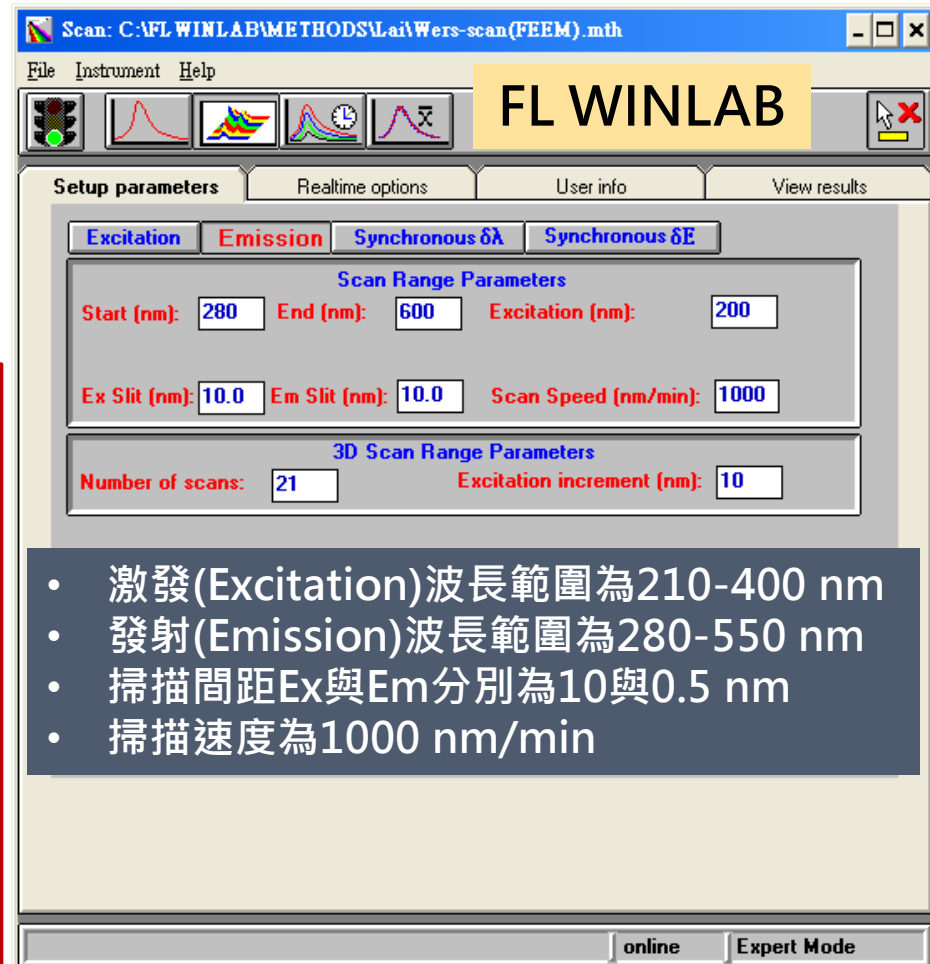
分析NPDOC之水樣亦分析FEEM

對水中天然有機物(Natural Organic Matter, NOM)作定性及定量分析

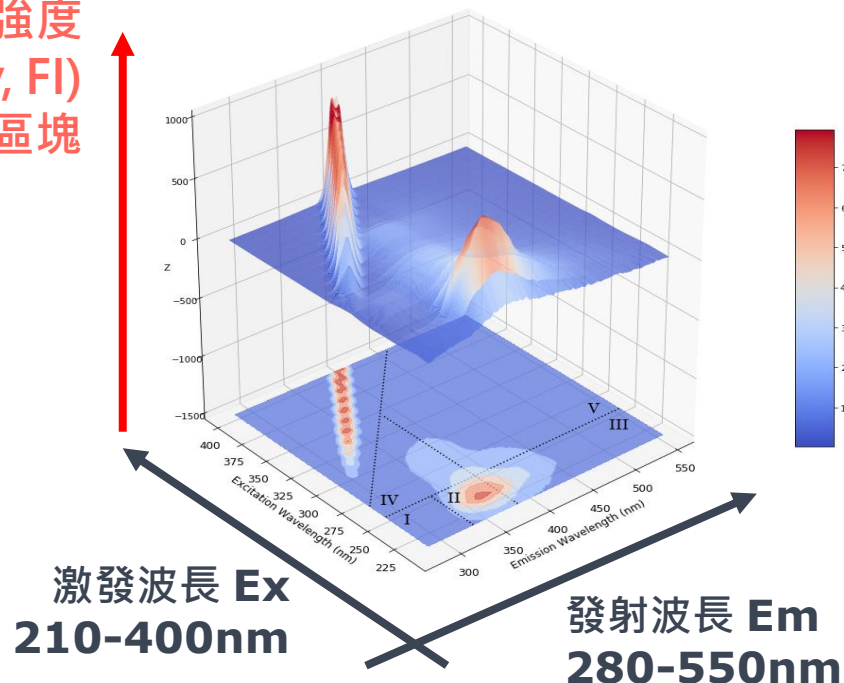
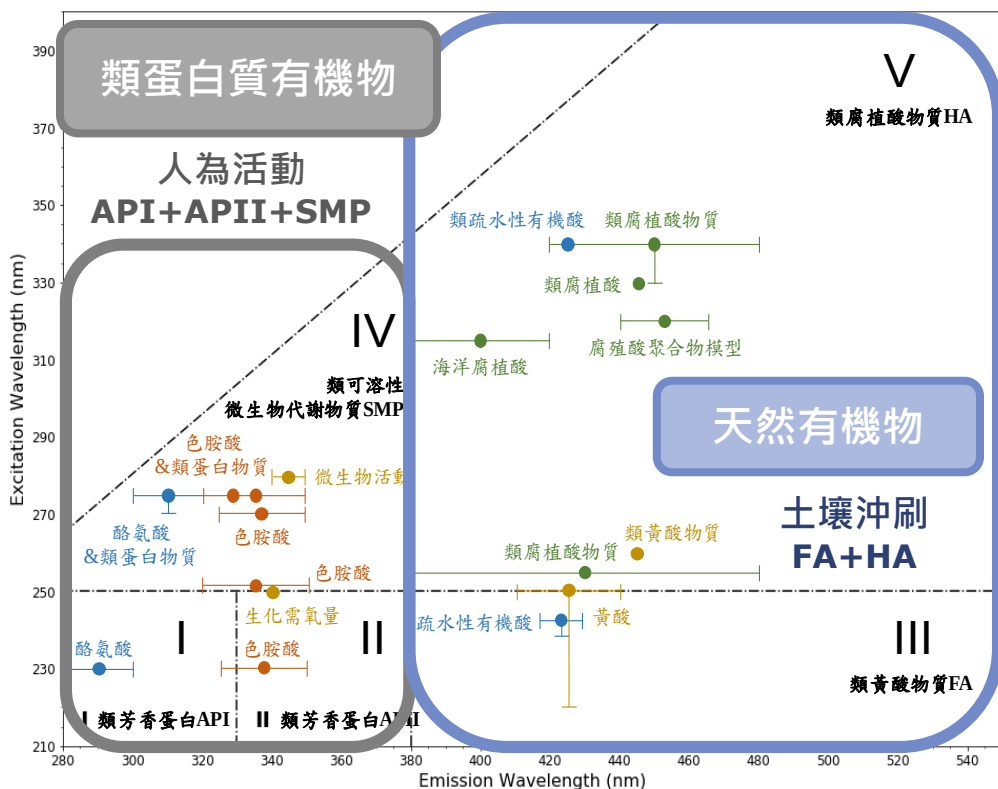
Perkin Elmer LS-55
螢光光譜分析儀



激發波長、發射波長和
螢光強度為螢光光譜分
析的重要參數



對應的螢光強度
(Fluorescence Intensity, FI)
將有機物性質區分成五個區塊



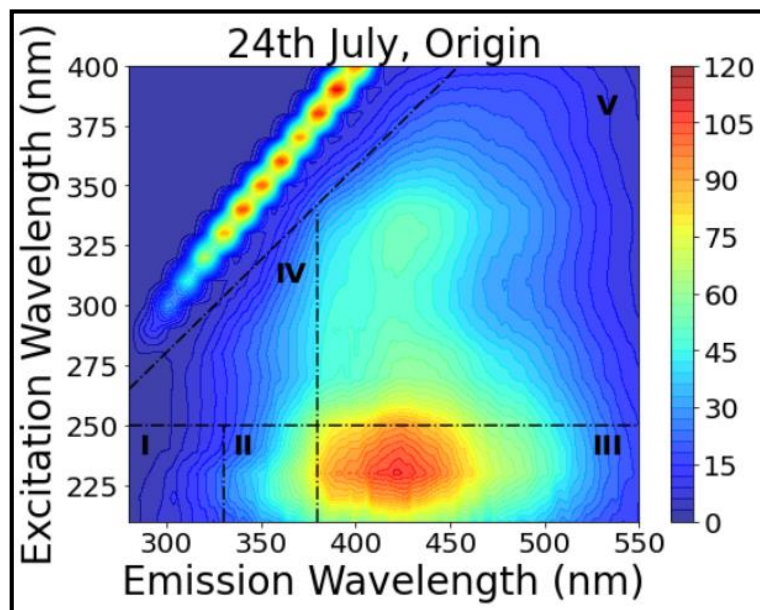
- I. 類芳香蛋白(API)
- II. 類芳香蛋白(APII)
- III. 類黃酸物質(FA)
- IV. 類可溶性微生物代謝物質(SMP)
- V. 類腐植酸物質(HA)

螢光特性區塊(Chen et al., 2003)

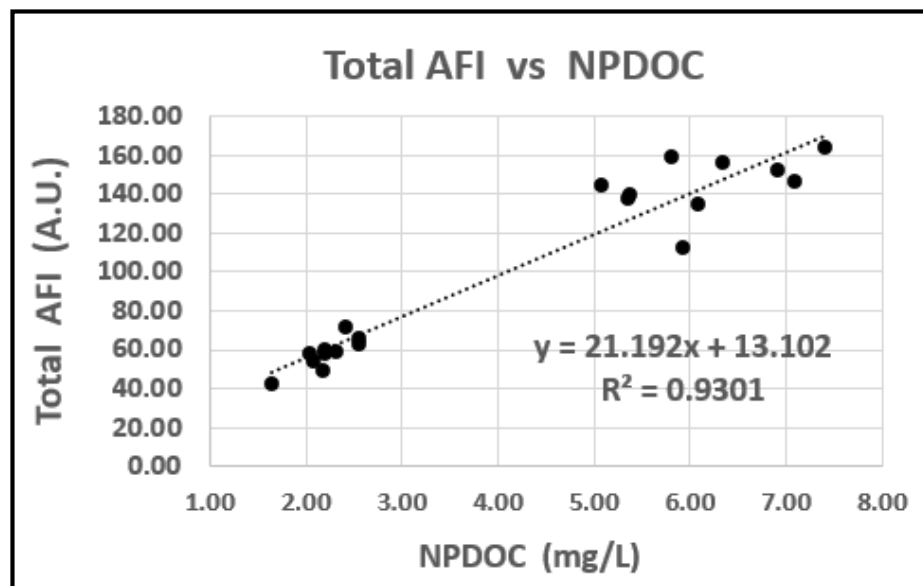
水質分析方法

螢光激發/發射陣列光譜(Fluorescence Excitation Emission Matrix, FEEM)

水樣FEEM示意圖



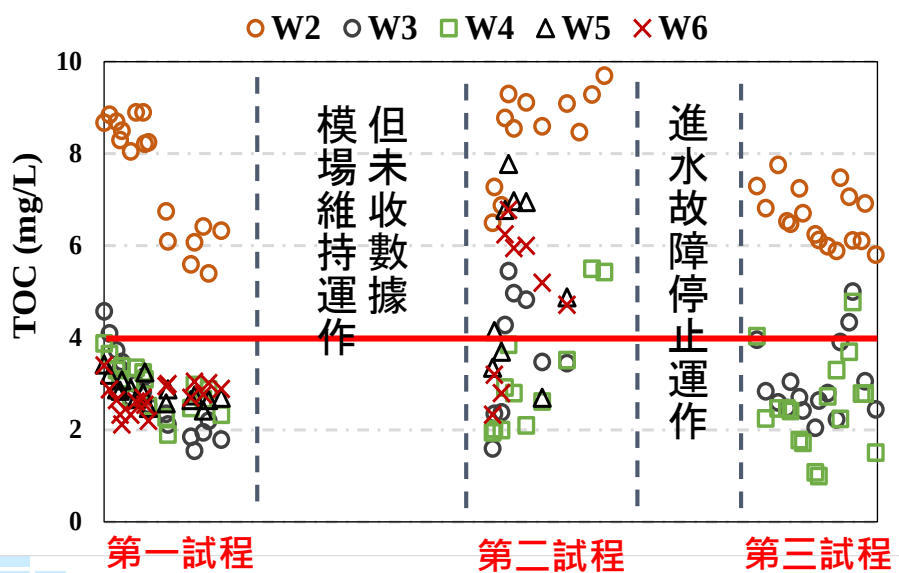
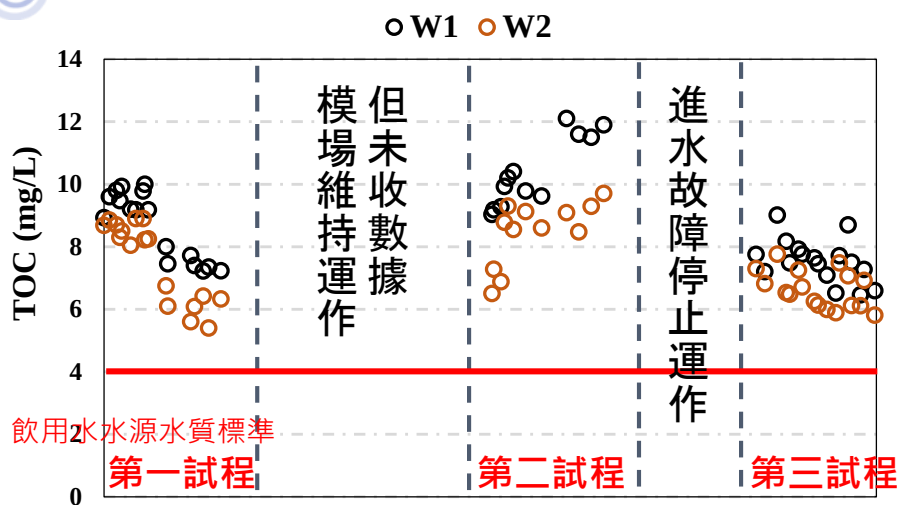
樣品總AFI與NPDOC之相關性



總AFI與NPDOC相關性佳($R^2 > 0.9$)，表示水樣總AFI可代表有機物的總量，故可以AFI量化水樣中各類有機物以探討其組成(諾維亞, 2015)

MSL模場試驗結果

總有機碳分析結果



第一試程

System	水樣	TOC濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	8.7±0.6	
BioNet	W2	7.5±0.7	13.2%
MSL A	W3	2.8±0.4	63.1%
MSL B	W4	2.9±0.3	61.1%
MSL C	W5	2.8±0.1	62.4%
MSL D	W6	2.7±0.2	63.9%

第二試程

System	水樣	TOC濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	10.4±0.7	
BioNet	W2	8.5±0.6	18.4%
MSL A	W3	3.6±1.0	57.0%
MSL B	W4	3.2±0.9	62.7%
MSL C	W5	5.3±1.4	38.0%
MSL D	W6	4.8±1.2	43.2%

第三試程

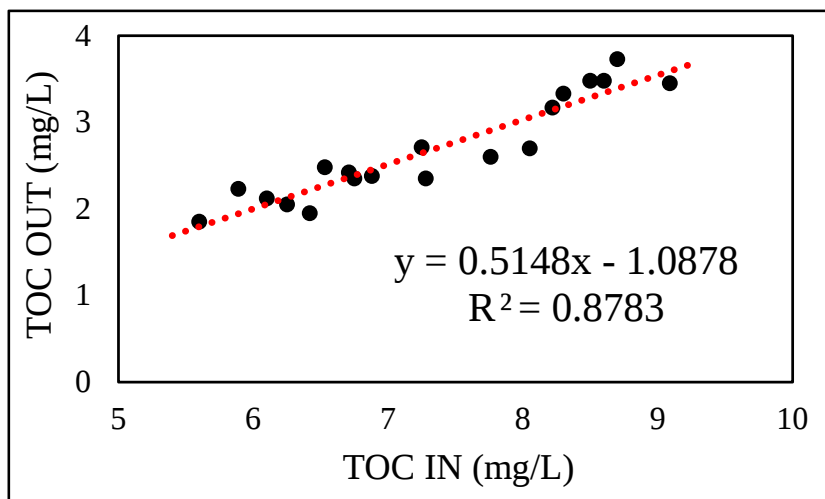
System	水樣	TOC濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	7.5±0.4	
BioNet	W2	6.6±0.3	12.2%
MSL A	W3	3.0±0.4	54.2%
MSL B	W4	2.5±0.5	61.8%

MSL模場試驗結果

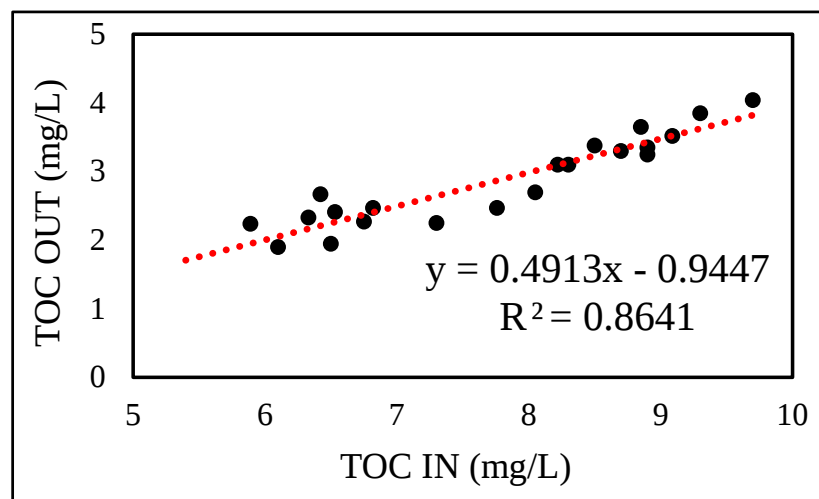
TOC

進、出流水總有機碳濃度關係圖

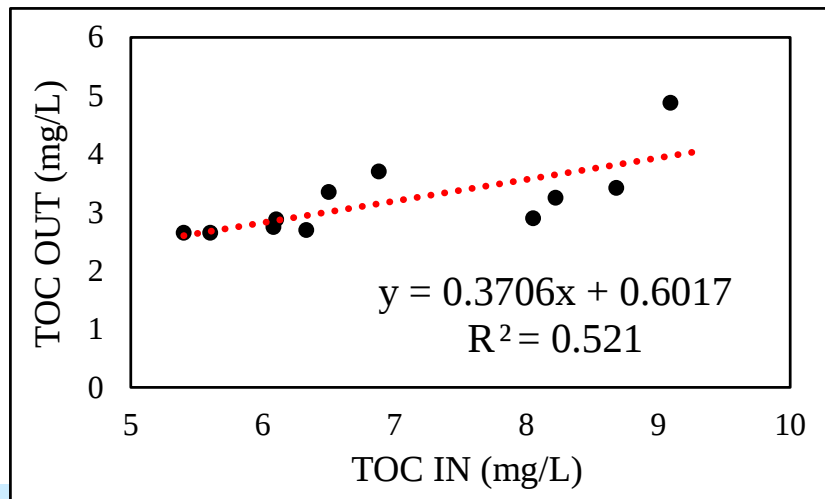
A槽



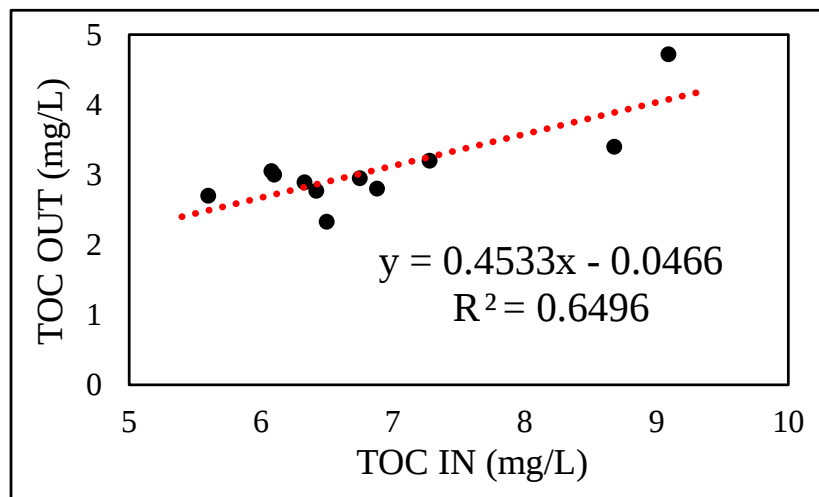
B槽



C槽



D槽





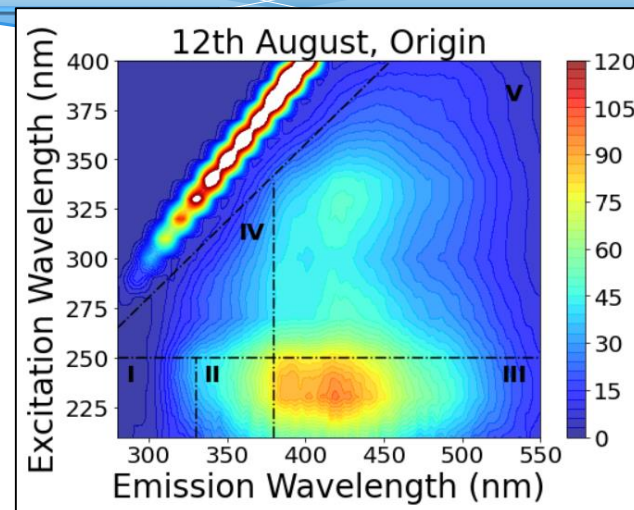
MSL對總有機碳的淨化效能

- MSL對TOC之去除效率取決於面積負荷率與進流原水濃度
- 負荷率2000 L/m²/d條件下，A、B及D槽進出流水TOC濃度具有良好的線性關係($R^2 > 0.6$)
- A、B槽MSL出流水TOC濃度可符合飲用水水源水質標準
 - 原水TOC濃度低於10 mg/L、BioNet出流水TOC濃度低於9 mg/L
- A、B兩槽複合濾料：
 - 透水層：A為沸石 (3-5 mm)、B為礫石 (3-5 mm)
 - 土工包：土:有機質:碳粉:鐵粒=75% : 5% : 10% : 10%

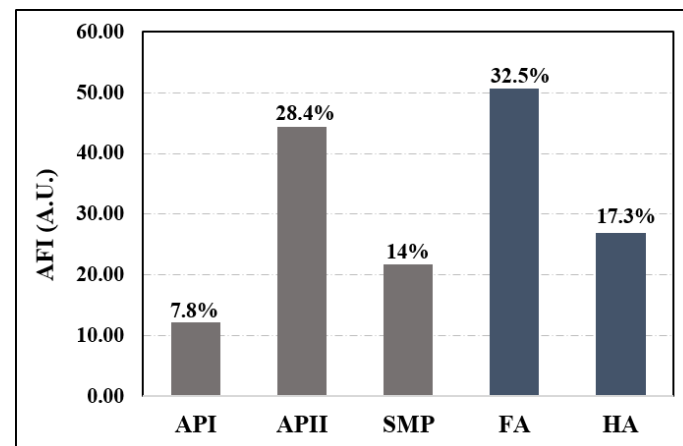
MSL模場試驗結果

螢光光譜分析(W1)

- 原水之FEEM分析結果以109年8月12日水樣為例，依圖判讀原水NOM組成依序為類黃酸(FA)、類芳香蛋白質II (APII)、類腐植酸(HA)、類可溶性微生物代謝物質(SMP)及類芳香蛋白質I (API)
- 原水水樣FEEM分析結果均類似，雖有強度之分但NOM組成類似，成功水庫夏季原水以FA為主佔32.5%、其次為APII佔28.4%，其他依序為HA、SMP及API
- 整體而言水庫原水較易被生物分解之NOM佔50.2% (API+APII+SMP)，不易分解為49.8% (FA+HA)



109/8/12原水FEEM (W1、夏季)



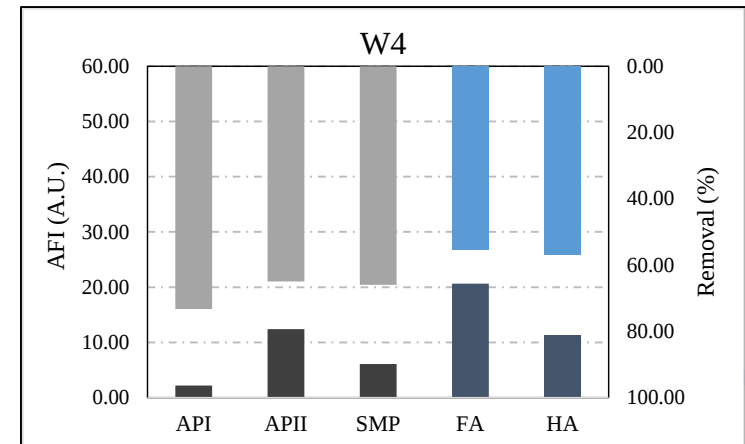
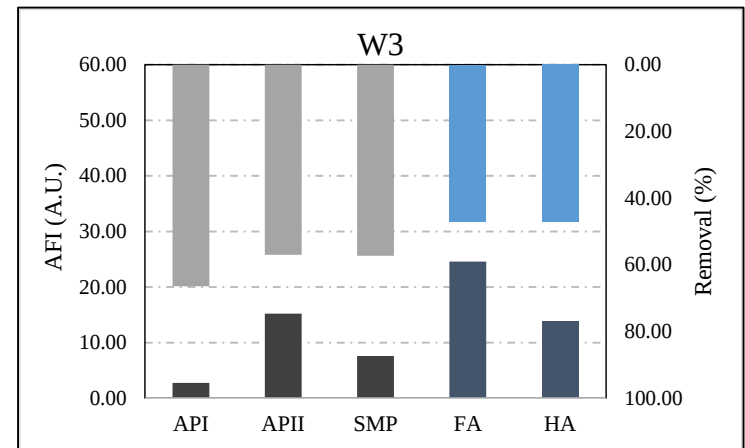
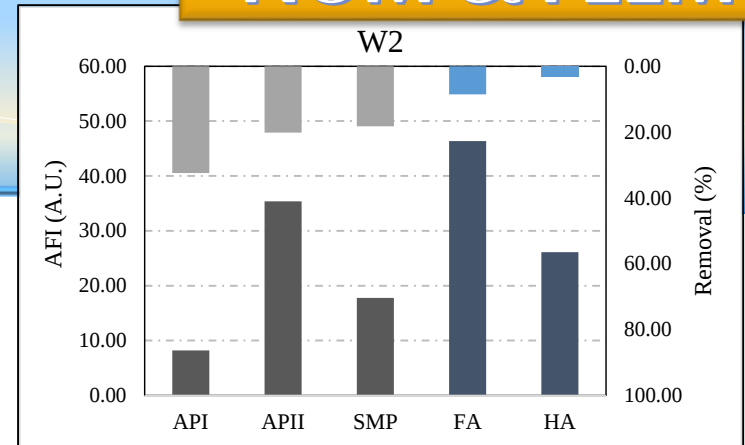
水庫原水NOM組成(W1、夏季)

MSL模場試驗結果

NOM & FEEM

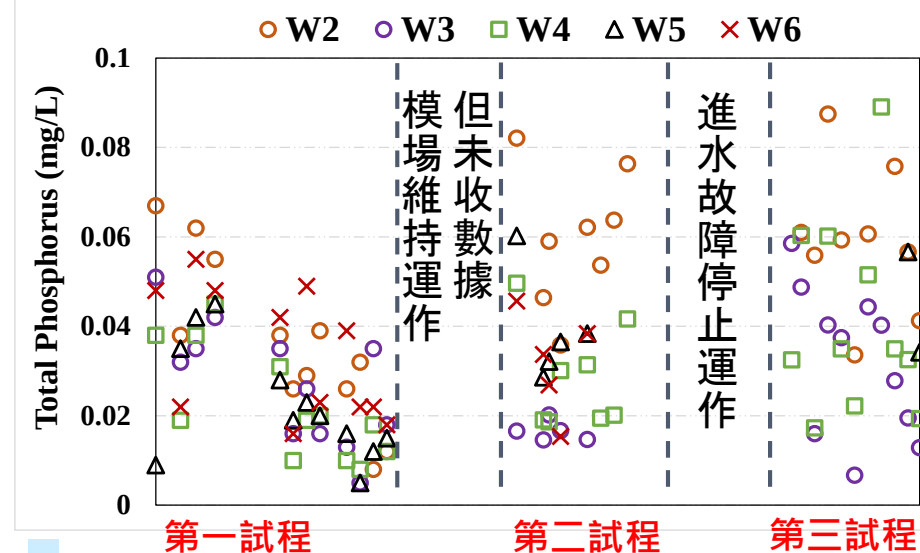
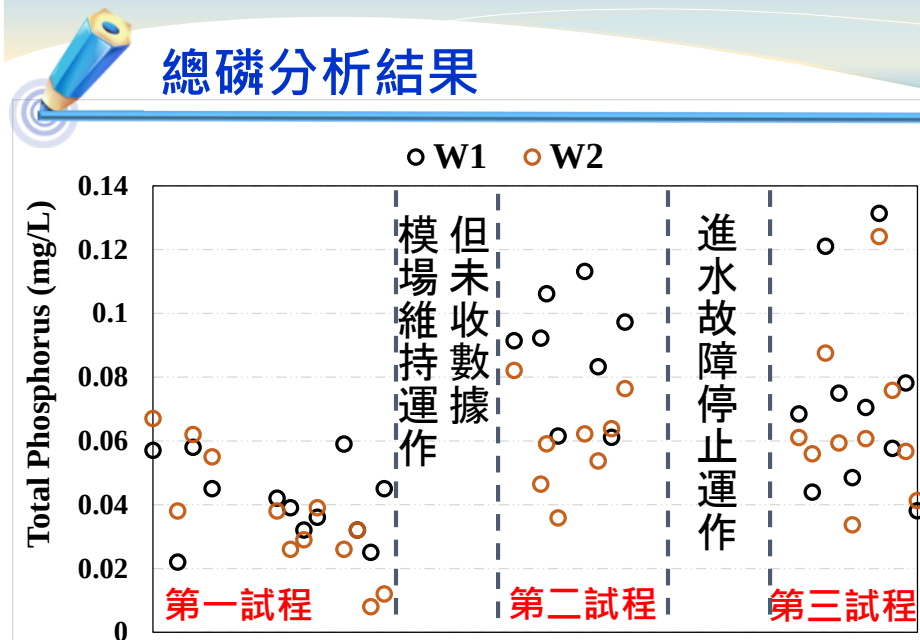
螢光光譜分析(W2、W3、W4)

- 原水經BioNet處理後有機物組成變化非常有限。BioNet對生物可分解有機物去除率為20-40%間，對FA+HA去除率不到10%
- 經MSL處理後，與BioNet出流水組成相比，5類有機物之組成比例雖變動不大($FA > APII > HA > SMP > API$)，但螢光強度皆大幅下降
- A、B槽對API、APII及SMP等生物可分解之有機物去除率分別為60.2%及68.1%，FA及HA分別為47.1%及56.2%，由此可知MSL對TOC的去除機制是以**生物分解**為主
- 經MSL處理後之水庫原水，易被生物分解之NOM佔40% ($API+APII+SMP$)，不易分解為60% ($FA+HA$)



MSL模場試驗結果

總磷分析結果



第一試程

System	水樣	TP濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	0.041±0.008	
BioNet	W2	0.036±0.011	12.2%
MSL A	W3	0.027±0.009	25.0%
MSL B	W4	0.022±0.008	38.0%
MSL C	W5	0.022±0.008	37.7%
MSL D	W6	0.034±0.009	6.5%

第二試程

System	水樣	TP濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	0.088±0.015	
BioNet	W2	0.060±0.012	32.1%
MSL A	W3	0.017±0.003	72.4%
MSL B	W4	0.029±0.010	52.0%
MSL C	W5	0.039±0.014	34.6%
MSL D	W6	0.032±0.013	46.6%

第三試程

System	水樣	TP濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	0.073±0.022	
BioNet	W2	0.066±0.018	10.5%
MSL A	W3	0.029±0.010	55.1%
MSL B	W4	0.042±0.016	35.6%

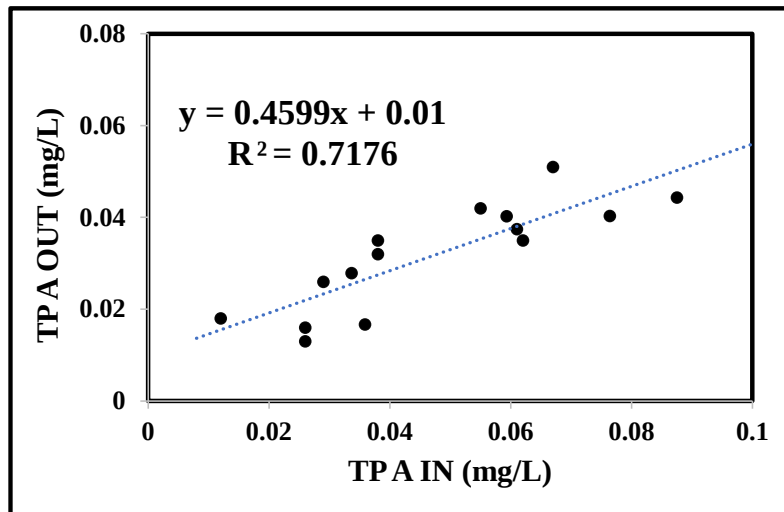
MSL模場試驗結果

TP

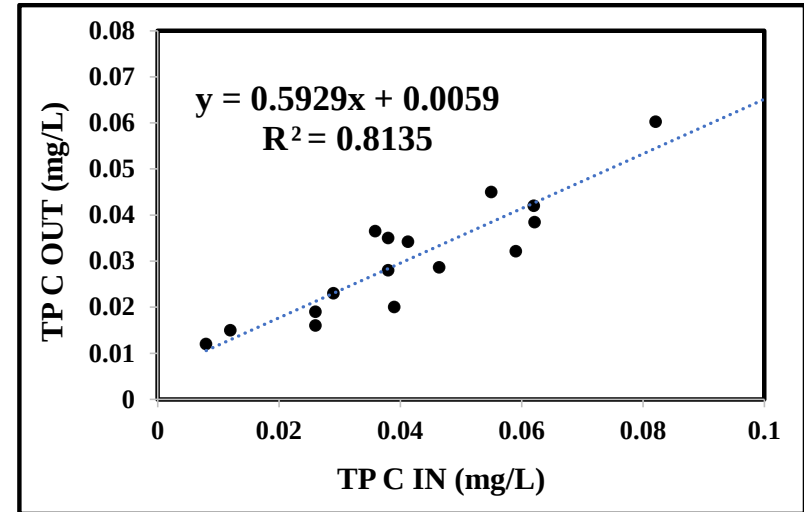
MSL對總磷的淨化效能

- 負荷率維持2000 L/m²/d條件下，四槽出流水TP濃度與去除率差異不大，進出流水具有良好的線性關係($R^2 > 0.6$)
- 冬、春兩季水庫TP濃度介於0.05-0.1 mg/L之間
 - 若原水濃度 < 0.09 mg/L，MSL出流水TP濃度可符合乙類水體水質標準

A槽



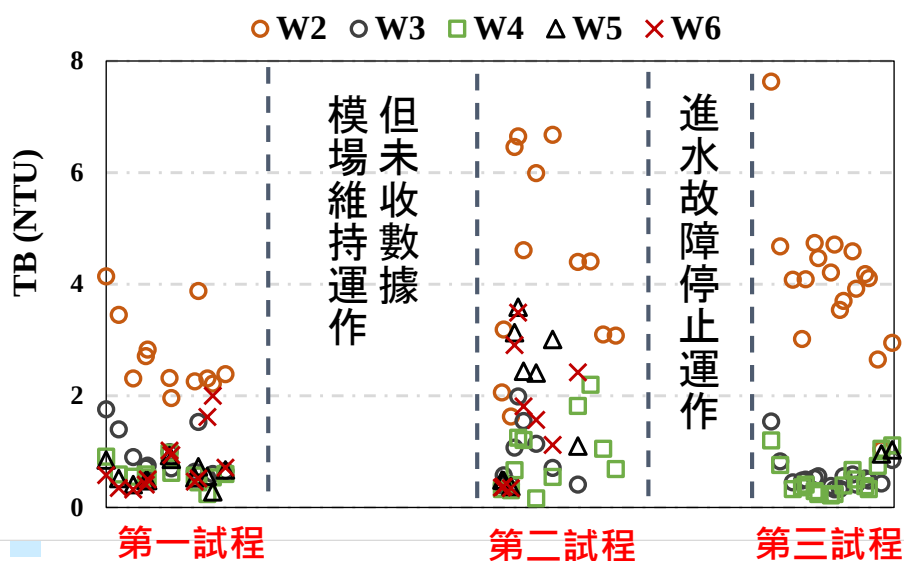
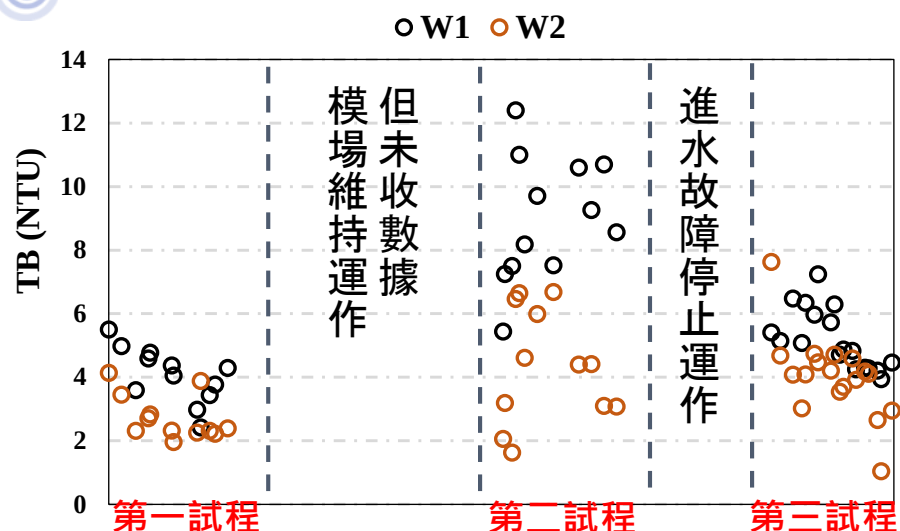
C槽



MSL模場試驗結果

Turbidity

濁度分析結果



第一試程

System	水樣	TB濃度95%信賴區間 (NTU)	平均去除率
原水	W1	4.1±0.5	
BioNet	W2	2.7±0.4	32.8%
MSL A	W3	0.9±0.3	66.0%
MSL B	W4	0.6±0.1	78.1%
MSL C	W5	0.6±0.1	77.7%
MSL D	W6	0.8±0.3	71.2%

第二試程

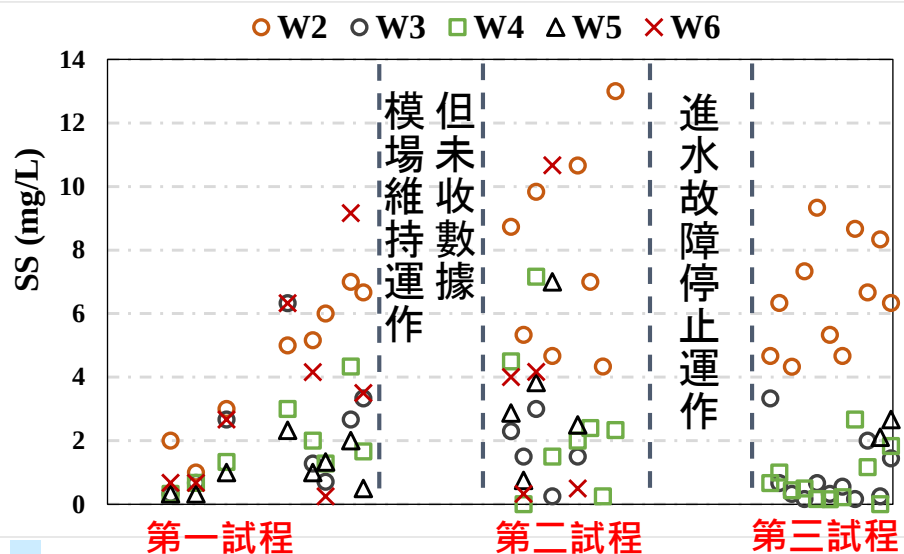
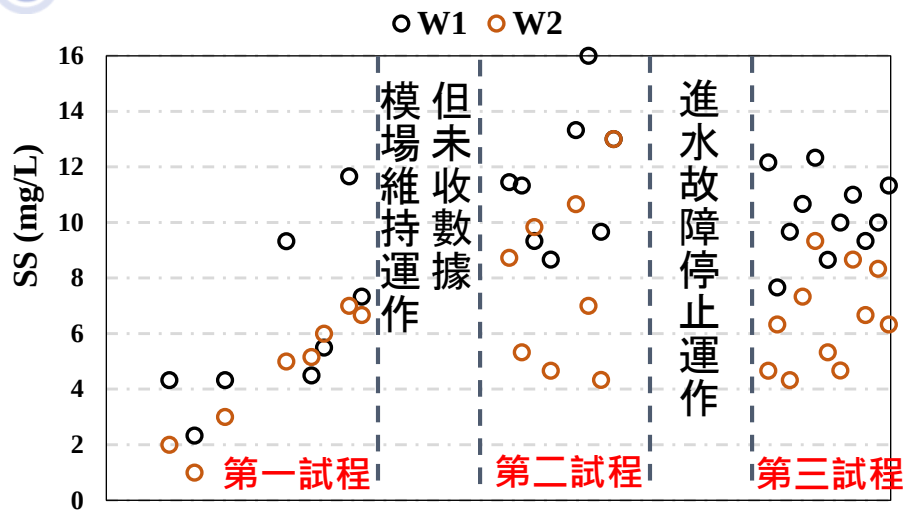
System	水樣	TB濃度95%信賴區間 (NTU)	平均去除率
原水	W1	9.0±1.2	
BioNet	W2	4.4±1.1	51.7%
MSL A	W3	0.9±0.4	79.0%
MSL B	W4	0.9±0.3	79.8%
MSL C	W5	1.9±1.0	56.6%
MSL D	W6	1.6±0.9	63.3%

第三試程

System	水樣	TB濃度95%信賴區間 (NTU)	平均去除率
原水	W1	5.2±0.5	
BioNet	W2	4.0±0.6	22.7%
MSL A	W3	0.6±0.1	85.7%
MSL B	W4	0.5±0.2	86.5%

MSL模場試驗結果

懸浮固體物分析結果



第一試程

System	水樣	SS濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	3.7±0.9	
BioNet	W2	2.0±0.8	45.4%
MSL A	W3	1.2±1.0	38.8%
MSL B	W4	0.8±0.4	61.2%
MSL C	W5	0.6±0.3	72.3%
MSL D	W6	1.3±0.9	33.2%

第二試程

System	水樣	SS濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	11.6±2.0	
BioNet	W2	7.9±2.6	31.5%
MSL A	W3	1.7±1.2	78.5%
MSL B	W4	2.5±2.1	68.3%
MSL C	W5	3.4±2.7	57.3%
MSL D	W6	3.9±4.8	50.5%

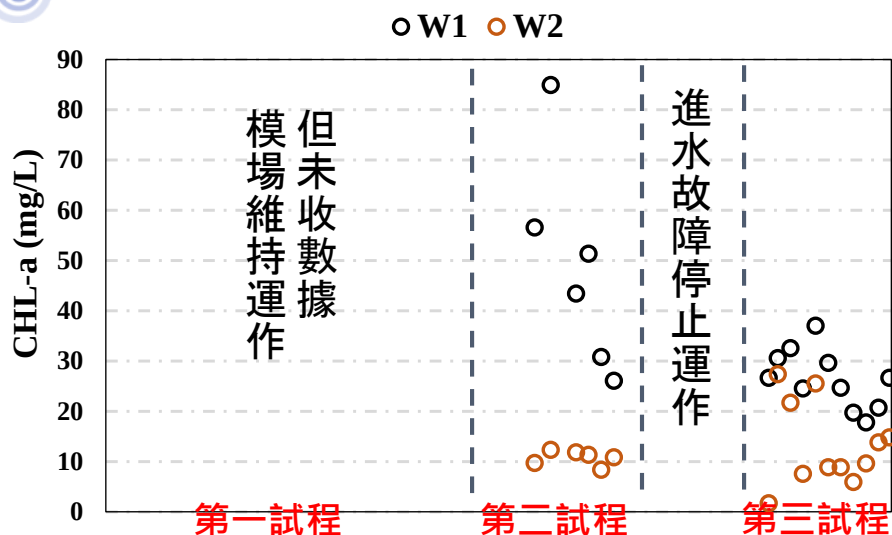
第三試程

System	水樣	SS濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	10.3±0.9	
BioNet	W2	6.5±1.1	36.2%
MSL A	W3	0.9±0.7	86.2%
MSL B	W4	0.9±0.6	86.5%

MSL模場試驗結果

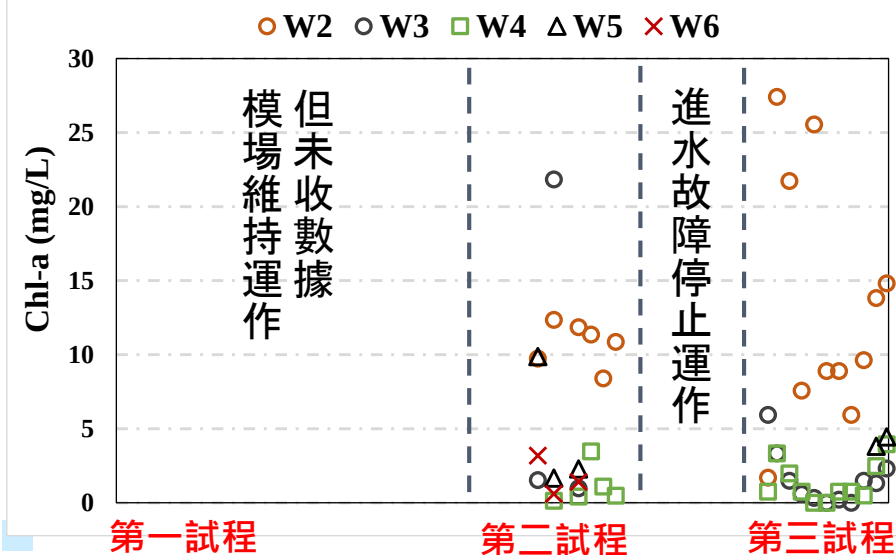
Chl-a

葉綠素分析結果



第二試程

System	水樣	Chl-a濃度95%信賴區間 (μg/L)	平均去除率
原水	W1	48.9±21.1	
BioNet	W2	10.8±1.5	78.0%
MSL A	W3	8.1±21.8	24.7%
MSL B	W4	1.1±0.5	89.7%
MSL C	W5	4.6±8.4	57.2%
MSL D	W6	1.7±2.4	84.0%



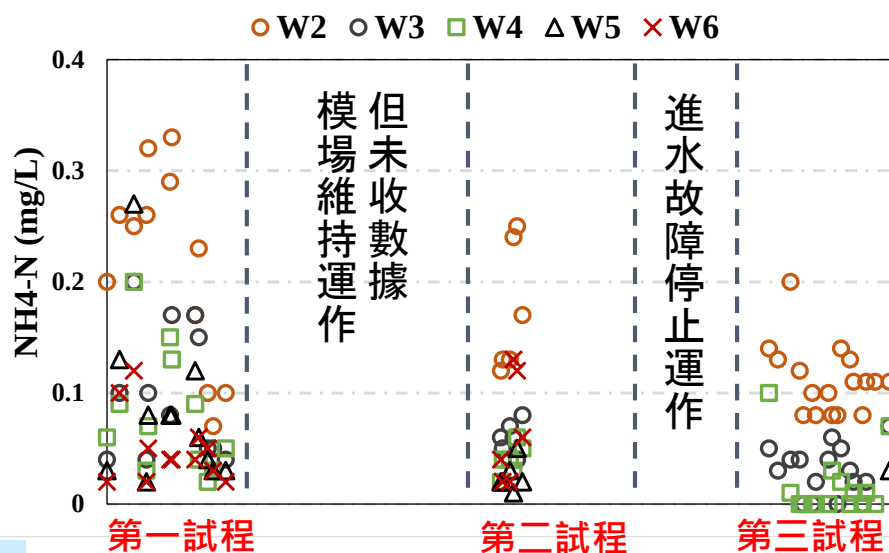
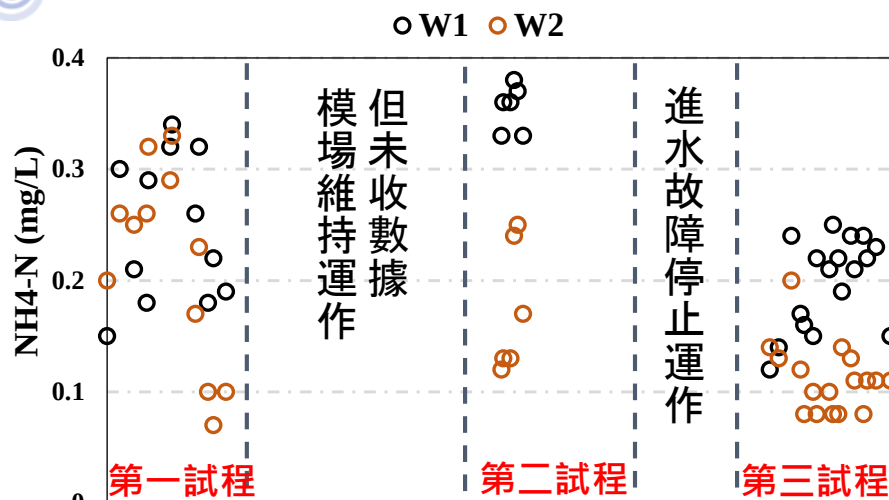
第三試程

System	水樣	Chl-a濃度95%信賴區間 (μg/L)	平均去除率
原水	W1	26.4±3.8	
BioNet	W2	13.3±5.5	49.8%
MSL A	W3	1.5±1.2	88.4%
MSL B	W4	1.4±0.9	89.6%

MSL模場試驗結果

NH₃-N

氨氮分析結果



第一試程

System	水樣	NH ₄ -N濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	0.25±0.04	
BioNet	W2	0.22±0.06	12.8%
MSL A	W3	0.10±0.04	53.9%
MSL B	W4	0.08±0.03	62.8%
MSL C	W5	0.08±0.04	62.4%
MSL D	W6	0.05±0.02	77.1%

第二試程

System	水樣	NH ₄ -N濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	0.36±0.02	
BioNet	W2	0.17±0.06	51.2%
MSL A	W3	0.06±0.01	65.4%
MSL B	W4	0.04±0.01	76.9%
MSL C	W5	0.03±0.01	85.6%
MSL D	W6	0.07±0.05	62.5%

第三試程

System	水樣	NH ₄ -N濃度95%信賴區間 (mg/L)	平均去除率
原水	W1	0.20±0.02	
BioNet	W2	0.11±0.02	43.5%
MSL A	W3	0.03±0.01	73.7%
MSL B	W4	0.02±0.02	85.1%

三、成功水庫MSL模場水質淨化效能評估



MSL水質直接淨化系統試驗數據彙整

參數		試驗結果	備註
水力負荷	BioNet	10-80 CMD	建議<40 CMD
	MSL	500-4000 L/m ² /d	每槽2000 L/m ² /d
TB	水庫原水	4-10 NTU	
	BioNet出流水	2-5 NTU	保護MSL系統避免阻塞
	MSL出流水	< 1 NTU	提高水庫透明度
SS	水庫原水	3-13 mg/L	
	BioNet出流水	2-10 mg/L; 去除率 30-40%	保護MSL系統避免阻塞
	MSL出流水	1-2 mg/L; 去除率 >80%	提高水庫透明度
Chl-a	水庫原水	20-50 µg/L	
	BioNet出流水	< 20 µg/L; 去除率>50%	
	MSL出流水	< 10 µg/L; 去除率>80%	降低優養程度
TOC	水庫原水	< 10 mg/L	
	BioNet出流水	< 9 mg/L	對減少MSL生物膜阻塞效果不大
	MSL出流水	< 4 mg/L	符合飲用水水源水質標準
TP	水庫原水	< 0.09 mg/L	
	MSL出流水	< 0.05 mg/L	符合乙類水質標準
NH ₃ -N	水庫原水	0.2-0.4 mg/L	符合飲用水水源水質及乙類標準
	BioNet出流水	0.1-0.3 mg/L; 去除率 40%	符合飲用水水源水質及乙類標準
	MSL出流水	<0.1 mg/L; 去除率 >60%	符合飲用水水源水質及甲類標準

三、成功水庫MSL模場水質淨化效能評估



初步藻類生長潛勢試驗

ASTM AGP 試驗

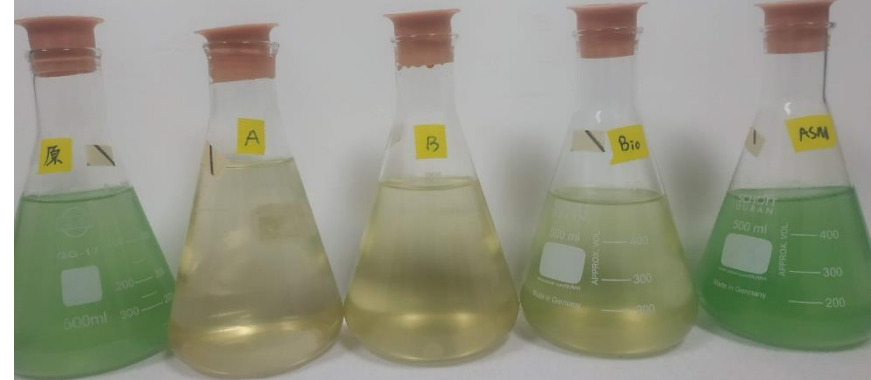
- 去除水中原有藻類
- 植入淡水標準藻，初始藻數： 7×10^5 cells/mL
- 恆溫震盪培養

Day 0



水庫原水 MSL A MSL B Bionet 營養液

Day 4



水庫原水 MSL A MSL B Bionet 營養液

Day 8



四、成功水庫MSL模場操作



取水系統(取水點選擇、沉水幫浦)

大壩取水點(水深較深)



水庫原水沉水幫浦



水庫原水沉水幫浦



沉水幫浦堵塞



四、成功水庫MSL模場操作



取水系統(起重吊臂)

安裝情形



使用時



未使用時，吊臂存放於貨櫃屋



鋼索(塑膠袋防水)

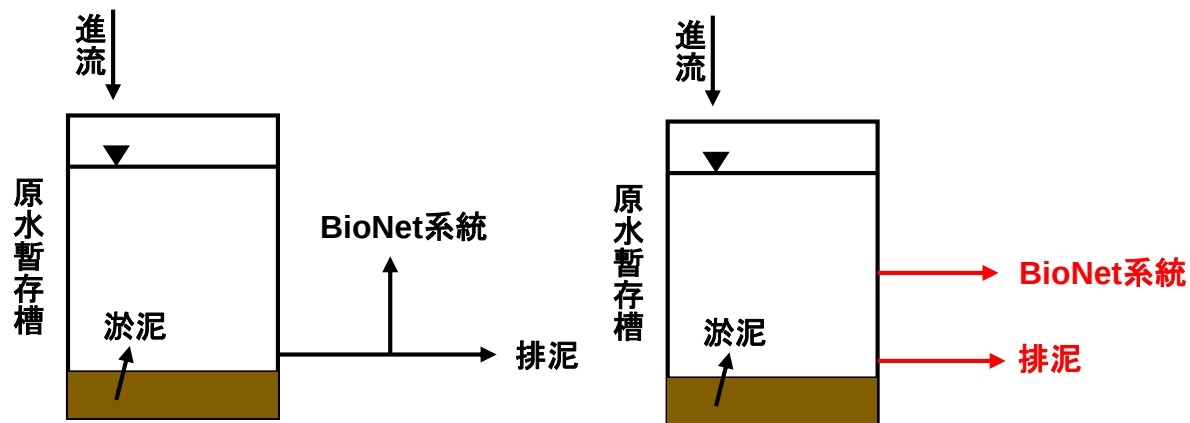


四、成功水庫MSL模場操作



取水系統(原水暫存槽)

操作問題	解決方法
原水暫存槽底部淤泥導致後端BioNet及MSL系統堵塞頻率增加	建議BioNet進流管與排泥管分開設置並將BioNet進流管設置於較上方處，避免抽取到底部淤泥
水庫大壩沉水幫浦連續抽水，用電量高	於原水暫存槽設置液面控制器，每日幫浦抽水時間約為6.74小時，每月用電量可減少750度



底部淤泥



液面控制器

四、成功水庫MSL模場操作



BioNet前處理系統

操作問題	解決方法
BioNet槽體頂部藻類大量生長，導致出流水藻體顆粒濃度增加	將黑色紗網覆蓋於槽體頂部，避免陽光直射
Bionet系統內產生污泥堵塞之現象	BioNet槽體底部設置排泥管線，每月定期排泥

BioNet系統(頂部藻類生長)



頂部黑色紗網遮光



頂部黑色紗網遮光



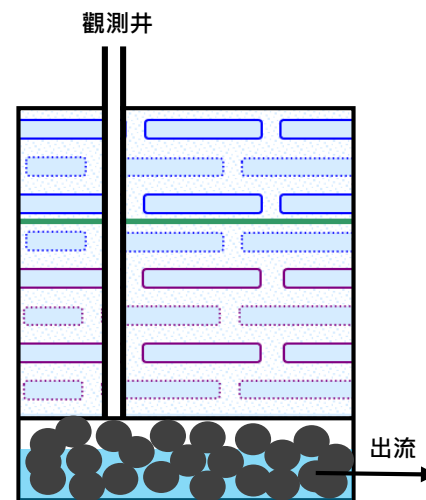
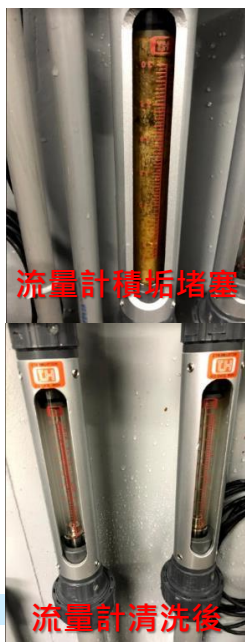
BioNet定期排泥



四、成功水庫MSL模場操作

MSL系統操作問題

操作問題	解決方法
MSL進流面積式流量計積垢堵塞，使進流量不穩，且流量不易判讀	每月定期清洗，或使用電磁式流量計(成本較高)
MSL進流散水管堵塞，使進流量不穩、進流分布不均	從MSL進流側管灌氣，並配合大流量進水可快速排除堵塞物
MSL槽內部系統堵塞(2-4個月後)	- 由觀測井觀察MSL槽內部是否有積水情形 - 停止進水並維持曝氣兩週後，再用大流量排空堵塞之污泥



五、模場實場化規劃建議



成功水庫MSL試驗模場實場化規劃

成功水庫水質vs海淡水用量背景分析(106年)

- 自來水公司澎湖營運所**每年需供水量1,100萬噸**，3/4用水來自海水淡化廠，僅1/4來自水庫。
 - 海淡水：清水每噸30-40元；水庫水：清水每噸約10元
 - 理想上，若能降低一噸海淡水購水量，並改以水庫水替代，則一噸水至少可省20元，100萬噸就省下2,000萬。不過，目前澎湖能否多取水庫水，是取決於成功水庫的水量，而非水質。
 - 在成功水庫可用水量不足的情況下，即便改善其水質，仍無法降低澎湖對海淡水的依賴。
- 即便MSL的興建成本與造水成本都遠低於海淡廠，只要成功水庫水量不增加，無論用哪一種方法改善成功水庫的水質，都不會降低澎湖對海淡水的依賴，以及自來水產水成本
 - 海水淡化廠：興建成本5萬/噸、造水成本30-40 元/噸 (清水)
 - MSL：興建成本1.5萬/噸、淨水成本2.5-3.5元/噸 (原水)

五、模場實場化規劃建議



成功水庫MSL試驗模場實場化規劃

成功水庫MSL實場化效益

- MSL實場投資(EPA前瞻)：1.2億(含光電系統)，縣府配合款1,200萬，預計使用15年
- MSL維護費(水公司)：500萬/年 (MSL每日處理5,000噸、每年300天計算，主要用於抽水電費)
- MSL其他收益(水公司)：
 - 種電收益150萬/年 (2,400 m²)；用藥成本降低200萬/年
- 優缺點
 - 環保機關：離島最大的水庫不再優養，成功水庫首次符合甲類水質標準、離島優養水庫減少一座
 - 自來水公司：淨收益為1,850萬/年 (前提是水庫可增加100萬噸供水量)
 - 購水費：每一噸水可節省20元，100萬噸就省下2,000萬
 - 民眾：飲用水口感好、更安全(藻毒、消毒副產物風險降低)

六、結論與建議



成功水庫MSL試驗模場

- 以MSL工法循環淨化**離島水庫**水質，可改善水質優養化問題，降低水廠處理成本，以及提高飲用水安全。
- 一年操作期間，系統內部無明顯阻塞，但進流散水管與流量計易產生生物性阻塞，影響進流量判讀與控制。
- 操作成本主要來自動力抽水費用，後續可再進行優化。
- 去除效果取決於進流濃度與負荷率，目前採用之負荷率為 $2000 \text{ L/m}^2/\text{d}$ ，已屬高負荷率，但仍有提高空間。



行政院環境保護署
Environmental Protection Administration
Executive Yuan, R.O.C. (Taiwan)



報告完畢，謝謝
請指教!!

