



環保署前瞻計畫多層複合濾料(MSL)工程改善水質實務案例及現地參訪會議

# 多層複合濾料 (MSL) 技術應用現況與發展

何嘉浚 教授

國立臺灣科技大學營建工程系

2020年11月02日

# 簡報大綱

系統簡介

呈層複合土壤  
水質淨化系統  
(MSL)

案例探討

去污機制

國內應用



# — MSL台灣應用緣起—

# 前瞻基礎建設計畫

## 食安建設

- 強化食安藥安與毒品檢驗量能
- 提升邊境查驗效能
- 興建現代化食品藥物國家級實驗大樓

## 軌道建設

- 城際軌道建設
- 軌道效能提升及觀光鐵路
- 都會區捷運

## 數位建設

- 推動資安基礎建設
- 完備數位包容、保障寬頻人權
- 發展數位文創普及高畫質服務
- 建構開放政府及智慧城鄉服務
- 建設下世代科研與智慧學習環境

## 因應少子化建設

- 營造友善育兒空間
- 建構幼兒社區公共托育

## 人才培育建設

- 優化技職校院實作環境
- 推動重點產業高階人才培育及年輕學者養成

## 水環境建設

- 創造水源、資源永續
- 韌性台灣、國土安全
- 水岸融合、環境優化

## 綠能建設

- 建構沙崙綠能科學城
- 太陽光電
- 風力發電

## 城鄉建設 推動民眾有感建設

- 改善停車問題、提升道路品質、城鎮之心工程、開發在地型產業園區
- 文化生活圈、校園社區化改造、公共服務據點整備
- 營造休閒運動環境、客家浪漫台3線、原民部落營造





願景  
三大主軸  
建設目標

## 大幅降低淹、缺水風險

## 擘劃優質水環境

### 水與發展

### 水與安全

### 水與環境



創造水源  
資源永續



海綿臺灣  
國土安全



水岸融合  
環境優化

### 穩定供水 (不缺水、喝好水)

### 防洪治水、韌性國土 (不淹水)

### 優化水質、營造水環境 (親近水)

113年增供常態供水100萬噸/日；備援供水200萬噸/日

改善易淹水面積200平方公里  
 施設縣市管堤防護岸及雨下水道完成250公里  
 中央管河川及區排治理120公里以上  
 海堤改善達16公里以上

推動 88處河川環境景觀及棲地營造  
 水環境親水空間營造420公頃

實質建設

- 石門水庫阿姆坪防淤隧道計畫(29.12億)
- 烏溪烏崎潭人工湖計畫(190.04億)
- 加強無自來水地區供水改善計畫(117億)
- 防災及備援水井建置(34億)
- 伏流水開發工程(20億)
- 推廣水資源智慧管理系統及節水技術(13億)
- 加強水庫集水區保育治理(130億)
- 白河水庫後續更新改善工程(20億)
- 大安大甲溪水源聯合運用工程(89億)
- 離島供水改善第2期計畫(19億)
- 雙溪生態水庫(102億)
- 天花湖生態水庫工程(129.42億)
- 再生水工程(35億)
- 曾文南化聯通管工程(120億)
- 湖山水庫第二原水管工程(10億)
- 金沙溪及前埔溪水資源開發計畫(14.85億)
- 深層海水取水工程計畫(4億)

- 縣市管河川及區域排水整體改善計畫(720億)
- 中央管河川、區域排水及一般性海堤整體改善計畫(431.3億)

- 全國水環境改善計畫(280億)

●加強水庫集水區保育治理(130億)

# 加強水庫集水區保育治理計畫-主要工作項目

## 減少土砂災害

### 崩坍處理

- .加強裸露地植生
- .穩定崩坍地減少土砂災害

### 野溪整治

- .視野溪採對應防砂設施
- .穩定河床蝕溝減少沖刷

### 水土災害預警應變

- .防災資訊調查及檢討
- .防災演練宣導

## 改善水體水質

### 削減生活及農業污染

- .村落型污水處理設施
- .農業低衝擊開發設施

### 監測護水

- .水環境調查監測
- .居民自主保育行動
- .建立汙染預警平台

# 臺灣水庫水質改善策略

## 點源污染削減策略 — 集中型生活污水處理廠



集中型城鎮

- 住宅密集度高
- 住戶數量多
- 污染貢獻大



興建污水處理廠 +  
衛生下水道

- 操作中之系統：翡翠水庫（坪林）、石門水庫、曾文水庫、明德水庫
- 興建中之系統：新山水庫、阿公店水庫、澄清湖水庫等
- 規劃中之系統：仁義潭水庫、白河水庫等

# 臺灣水庫水質改善策略

## 點源污染削減策略 — 分散型現地處理系統



分散型聚落

- 住宅分散人口少
- 用地取得不易
- 地形地勢干擾



興建現地處理系統

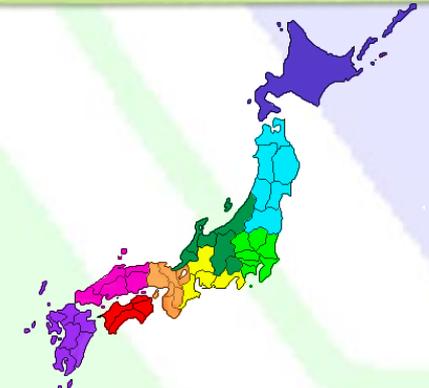


美國：約有25%人口(6千萬人)使用現地處理系統(2012)



澳州：超過100萬座現地處理系統操作中，供20%人口使用

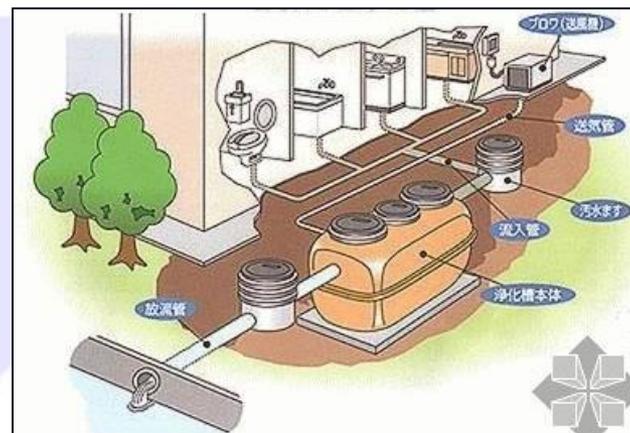
(2011)



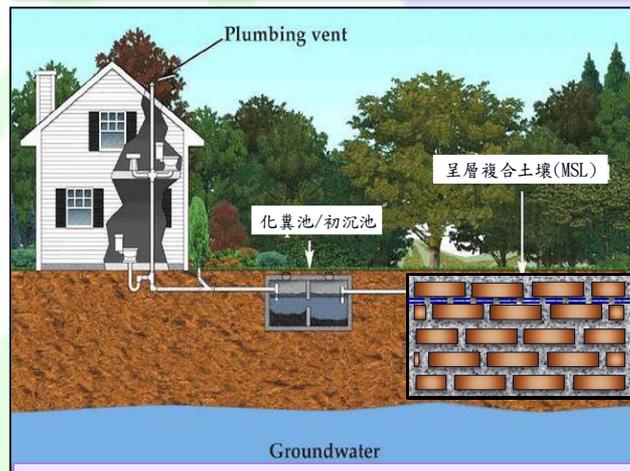
日本：約有29%人口(3.7千萬人)使用現地處理系統(2006)

# 現地處理設施台灣應用之考量原則

- **具有良好的總磷削減成效**：目前台灣水庫水質優養化之主要控制因子為總磷，故應達到一定之總磷削減目標。
- **用地取得簡單**：集水區土地取得不易且受限於地形，故處理設施所須之土地不宜過大。
- **低維護少管理**：因水庫集水區較為偏遠，故設置之處理設施應儘量減少人為操作並無須經常維護管理。
- **本土化材料應用**：設施興建及後續之維護管理所需的材料應儘可能本土化，以培植本土產業投入。



合併式淨化槽+電解除磷

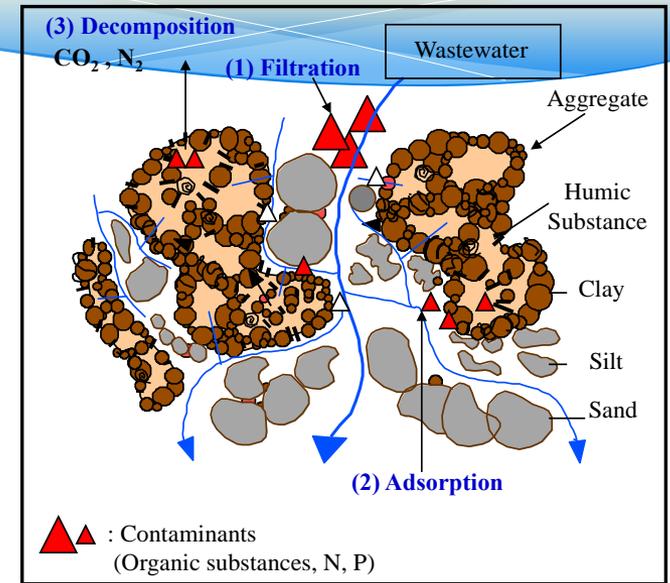


多層複合濾料水質淨化系統

# MSL工法介紹

- 土壤滲濾是人類歷史最悠久的水質處理方法，其利用現地材料即可製作、維護成本低、去除效果佳且淨化機能非常完整(包含生物分解、吸附及過濾)

- 其淨化方法及原理迄今仍廣泛應用在現地水質淨化系統、砂濾及化糞池等水質淨化單元。
- 土壤處理最大的缺點在於效率太低(需要大面積、容易阻塞)及其淨化效果取決於現地土壤特性，因此在地狹人稠處不易應用、淨化效果很難預測且不易掌控。

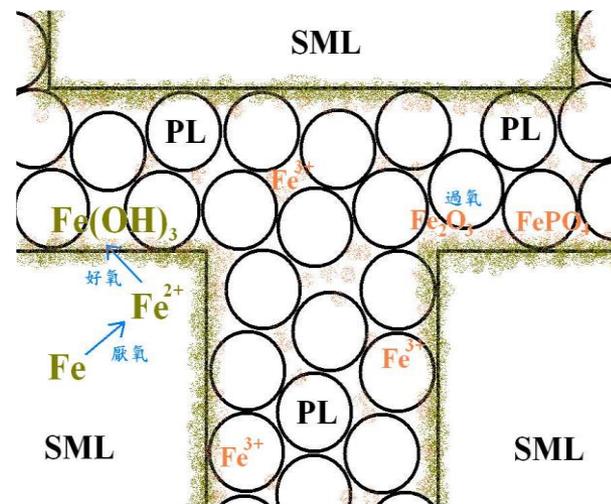
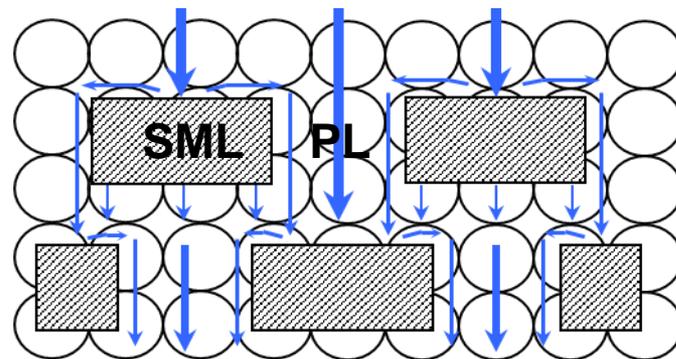


- 呈層複合土壤水質淨化系統 (多層複合濾料水質淨化系統、Multi-Soil-Layering system, MSL)是一種加強型土壤處理方法。在原有土壤處理功能的基礎上、設法提高土壤處理效率與能力，並使土壤處理能工程標準化、出流水質具有可預測性。

資料來源：Tsugiyuki Masunaga (島根大學曾永二之教授, MSLによる污水淨化機構と適用事例)

# MSL工法介紹

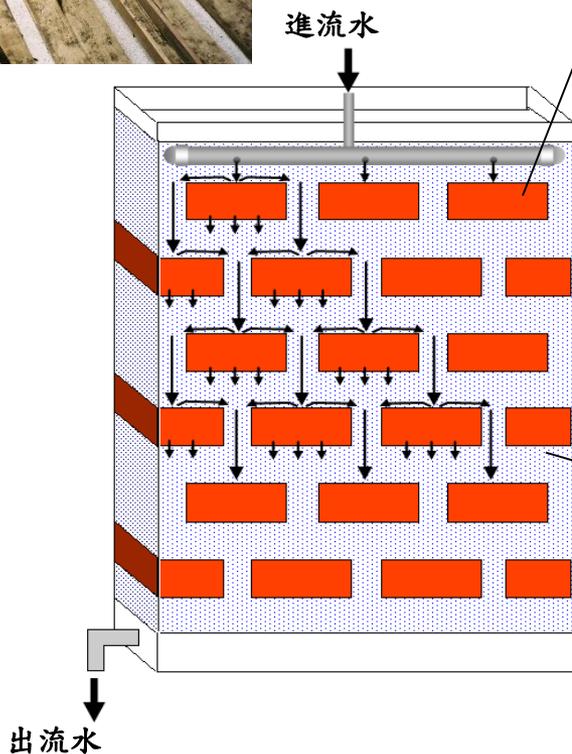
- MSL透過下列三大特殊調控，使淨化系統能維持並強化土壤淨化水質的三大功能(過濾、吸附及生物分解)。
- 均勻與不均勻水流兼具
  - 水流不均勻→處理效果好→不易控制處理量、水流阻塞、設施壽命短
  - 水流均勻→處理效果差
- 不同土壤成層排列
  - 導水性低但淨化水質能力佳的混合土塊層(soil mixture layer, SML)
  - 導水性高的透水層(permeable layer, PL)
  - 成層(layer by layer)鋪設組成，污水由表層藉重力往下流，過程中流經多層土壤而達到污染物移除的效果。
- 土壤組成物科學化配比
  - 使土壤處理能充分發揮其過濾、吸附及生物分解功能。



# MSL工法介紹

材料的選用及配比依現地污水量、濃度及淨化目標而異

## MSL水質淨化系統之混



混合土壤層 (Soil Mixture Layer, 簡稱為**混合濾料包層**SMB或SML), 導水係數 $10^{-3}$  cm/s, 內容物建議:

- 1. 現地土壤**: 優點是成本低取得容易 or
- 2. 火山風化土**: 顆粒尺寸小之高聚合力土壤、優點是使系統具有較大磷吸附容量 or
- 3. 砂土**: 顆粒較大提高透水性, 增加處理效率
- 4. 鐵粒**: 提供亞鐵離子於系統中形成氫氧化鐵膠體吸附水中正磷酸鹽
- 5. 碳粉**: 高孔隙率之疏水性吸附劑、提供微生物棲地, 提高系統生物分解功能及除色
- 6. 有機質**: 樹葉、木屑、稻殼或稻桿, 提供微生物食物及作為脫硝反應之電子供應者

透水(氣)層 (Permeable Layer, 簡稱為PL), 導水係數 $10^{-1}$  cm/s, 內容物建議:

- 1. 細碎石**: 顆粒較大提高透水性, 增加處理效率
- 2. 沸石**: 具銨離子吸附能力、高陽離子交換力、高孔隙率
- 3. 浮石**: 高孔隙率、成本比沸石低
- 4. 碳粒**: 高孔隙率之疏水性吸附劑、提供微生物棲地, 提高系統生物分解功能
- 5. 牡蠣殼、發泡煉石等**

# Treatment processes of MSL Method



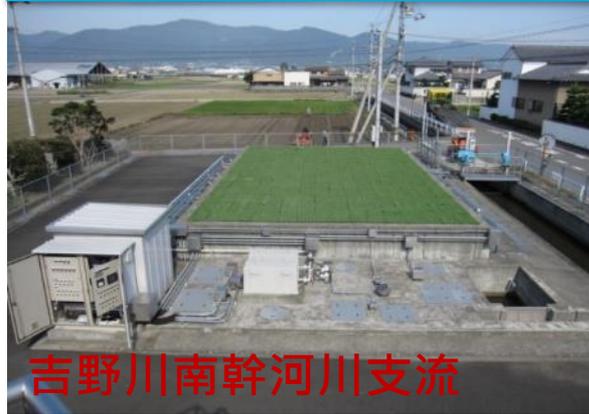
資料來源: Tsugiyuki Masunaga (島根大學曾永二之教授, MSLによる汚水浄化機構と適用事例)

# 日本案例

遊憩污水設施



河川水質淨化



農村污水處理(聚落式)



生活污水處理(單戶式)



MSL系統適用性廣泛，可應用於生活污水、遊憩污水、農林污水、河川淨化等



# — MSL台灣應用的發展—



# 台日雙方合作協議 (2016)



創ります！感動・笑顔・人・未来

代表取締役社長 金津任紀

総合建設業・総合水処理事業 ISO9001・14001 認証取得

**カナツ技建工業株式会社**

本社/〒690-8550 松江市春日町636番地  
TEL(0852)25-5555(代) FAX(0852)27-1207  
営業所 / 広島・鳥取  
URL <http://www.kanatsu.co.jp/>



人とともに 地域とともに  
国立大学法人  
**島根大学**



# 多層複合濾料 (MSL) 適用對象

NTS 種類	畜牧污水	農業污水	工業污水	民生污水	河川污水
草溝 Grassed swales	✓	✓			✓
草帶/緩衝帶 Grassed buffer zones	✓	✓			
人工濕地 Constructed Wetlands			✓	✓	
透水性鋪面 Pervious pavements				✓	
濕/乾滯留池 Detention basins (wet, dry)	✓	✓	✓	✓	✓
MSL multi-soil-layering system	✓	✓		✓	✓

# 多層複合濾料 (MSL) 污染去除能力

資料來源: Lawrence *et al.*, 1996

NTS種類	污染去除率 (%)				
	Solids	P	N	BOD	Metal
草溝 Grassed swales	20-40	20-40	20-40	20-40	0-20
草帶/緩衝帶 Grassed buffer zones	0-20	0-20	0-20	0-20	0-20
人工濕地 Constructed Wetlands	60-80	40-80	20-60	20-60	60-80
濕/乾滯留池 Detention basins (wet, dry)	80-100	40-60	20-40	40-60	60-80
MSL multi-soil-layering system	-	82-99	54-89	73-95	-

# 多層複合濾料 (MSL) 經濟效益

貨幣:新台幣元

NTS種類	建造成本	營運維護成本	土地需求	資料來源
人工濕地 constructed wetlands	360-550元/m <sup>2</sup>	0.22-0.76元/CMD	10m <sup>2</sup> /CMD	大漢溪人工濕地數據 (京華顧問, 2010)
接觸礫間 contact oxidation system by gravel	28,800-59,000元/m <sup>2</sup>	1.2-1.5元/CMD	0.23-0.37m <sup>2</sup> / CMD	美商傑明(2011)
	53,333元/m <sup>2</sup>	21.4元/CMD	-	日本Kanatsu公司(2011)
改良型接觸礫間 advanced contact oxidation system by gravel	100,000元/m <sup>2</sup>	23.6元/CMD	-	日本Kanatsu公司(2011)
MSL multi-soil-layering system	47,800元/m <sup>2</sup>	7.5元/CMD	0.15-0.25m <sup>2</sup> / CMD	日本Kanatsu公司(2011)
	22,500元/m <sup>2</sup>	0.24元/CMD	-	泰國Kasetsart Univ. (2000)
化糞池與土壤吸附系統 septic tank and soil absorption system, SAS	-	0.30元/CMD	-	泰國Kasetsart Univ. (2000)
污水處理廠	17,000-50,000元/m <sup>2</sup>	2.11-5.13元/CMD	1.1-1.8m <sup>2</sup> / CMD	京華顧問, 2010

# MSL目前應用現況(已完工)



- 地點：澎湖成功水庫
- 完工日期：2019年6月
- MSL設施尺寸：2.5m(W)×2m(L)×2m(H) \* 4槽
- 處理水量：10CMD
- 前處理設施：Bionet
- 設計監造單位：國立成功大學
- 施工單位：松橋環保公司



- 地點：高雄阿公店水庫
- 完工日期：2020年2月
- MSL設施尺寸：22.5m(W)×2.8m(L)×2m(H) \* 4槽
- 處理水量：300CMD
- 前處理設施：沉澱池+礫石帶沉澱區
- 設計監造單位：磐誠工程顧問公司
- 施工單位：捷博科技股份有限公司

# MSL目前應用現況(施工/設計中)



- 地點：桃園龍潭大池
- 預計完工日期：2020年12月
- MSL設施尺寸：2.5m(W)×2m(L)×2m(H) \* 6槽
- 處理水量：18,000CMD
- 前處理設施：沈澱池
- 設計監造單位：美商傑明工程顧問公司
- 施工單位：泰誠發展營造公司



- 地點：馬祖勝利水庫上游集水區
- 預計完工日期：2020年11月
- MSL設施尺寸：2m(W)×4m(L)×2m(H) \* 4槽
- 處理水量：25CMD
- 前處理設施：合併式淨化槽
- 設計監造單位：華邦工程顧問公司
- 施工單位：柏宏營造公司

# MSL目前應用現況(施工/設計中)



- 地點：新竹港南運河
- 預計完工日期：2021年12月
- MSL設施尺寸：
- 處理水量：
- 前處理設施：沈澱池
- 設計監造單位：美商傑明工程顧問公司
- 施工單位：泰誠發展營造公司



- 地點：金門山外溪(太湖水庫上游)
- 預計完工日期：2020年12月
- MSL設施尺寸：設計中
- 處理水量：60CMD
- 前處理設施：設計中
- 設計監造單位：崇峻工程顧問公司
- 施工單位：-

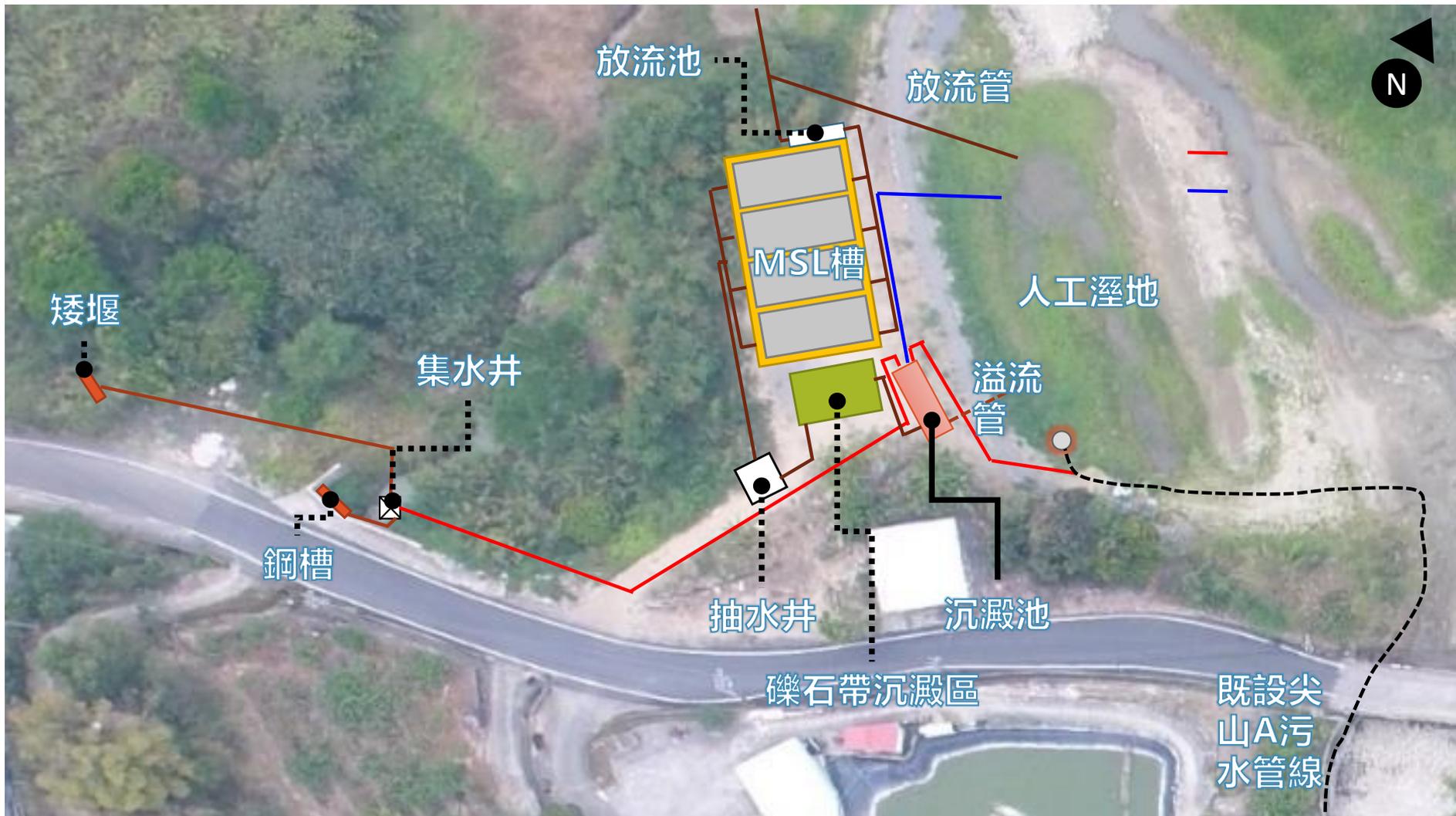
## MSL應用案例操作一

# 阿公店水庫設置合併式淨化槽、低 衝擊開發或非點源控制設施工程 - 尖山A與過鞍子地區 -

主辦機關： 高雄市政府水利局  
設計單位： 磐誠工程顧問股份有限公司  
監造單位： 磐誠工程顧問股份有限公司  
施工廠商： 捷博科技股份有限公司

中華民國108年4月-12月

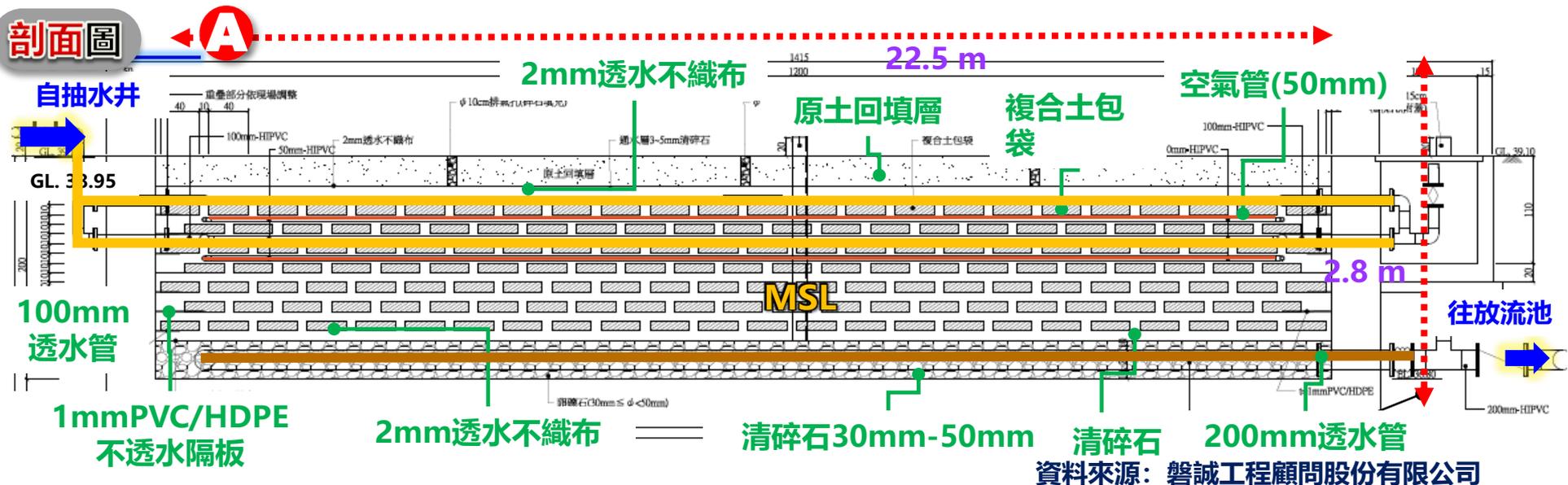
# 平面配置圖



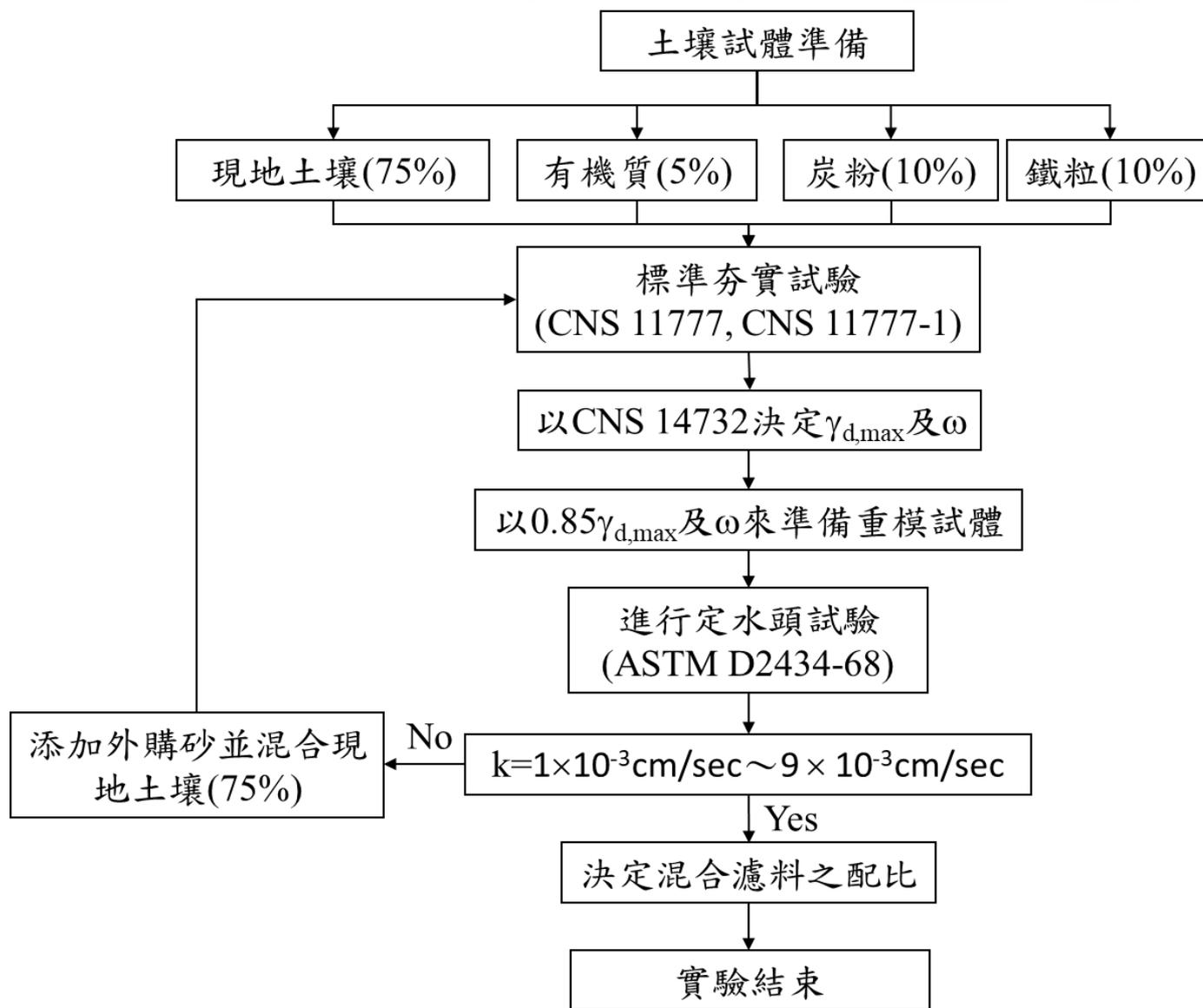
資料來源：磐誠工程顧問股份有限公司

# MSL槽配置說明

項目	規範
混合濾料材料	調配夯實後(相對夯實度85%以上)透水係數 $1 \times 10^{-3} \sim 9 \times 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$
土壤	現地土壤(75%)搭配外購砂土
鐵粒	粒徑 $\text{Ø}1 \sim 3.5\text{mm}$
稻稈/木屑	破碎至粒徑 $< 5\text{cm}$
炭粉	木炭/竹炭/椰子殼/煤質, 粒徑 $\leq 200\text{mesh}$ , 碘質 $\geq 800\text{mg/g/min}$ , 水份 $\leq 10\%$ , 灰份 $\leq 20\%$
透水不織布	PET/PP/PE/PVC, 厚度 $2\text{mm}$ , 透水係數 $\geq 0.8 \text{ 1/S}$
防滲濾布	PET/PP/PE/PVC, 透水係數 $\geq 0.1 \text{ 1/S}$ , 透砂率 $\leq 0.5\text{mm}$
工地密度	每層每個槽體至少1次, 採最大乾密度85%以上



# MSL內填料配比試驗



# MSL內填料配比試驗

試驗編號	原土	砂	五厘石	鐵粒	碳粉	木屑	稻稈	k值
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
No.1	75	-	-	10	10	5	-	$1.23 \times 10^{-5}$
No.2	11.25	63.75	-	10	10	5	-	$1.98 \times 10^{-4}$
No.3	3.75	37.5	33.75	10	10	5	-	$4.94 \times 10^{-4}$
No.4	18.75	56.25	-	10	10	5	-	$1.01 \times 10^{-4}$
No.5	-	75	-	10	10	5	-	$2.37 \times 10^{-4}$
No.6	-	37.5	37.5	10	10	5	-	$4.25 \times 10^{-4}$
No.7	3.75	11.25	60	10	10	5	-	$3.15 \times 10^{-4}$
No.8	-	-	75	10	10	5	-	$3.88 \times 10^{-4}$
No.9	-	100	-	-	-	-	-	$2.68 \times 10^{-3}$
No.10	-	80	-	10	10	-	-	$4.92 \times 10^{-4}$
No.11	-	30(#40以上)	45	10	10	5	-	$6.95 \times 10^{-4}$
No.12	-	75(#40以上)	-	10	10	5	-	$6.24 \times 10^{-4}$
No.13	-	75(#40以上)	-	10	10	-	5	$4.74 \times 10^{-3}$
No.14	-	75(#40以上)	-	10	10	-	5	$4.24 \times 10^{-3}$

桃園市政府環保局

## MSL應用案例操作二

# 桃園老街溪上游龍潭大池 水質改善及水岸營造計畫

**主辦機關：** 桃園市環保局

**設計單位：** 美商傑明工程顧問公司

**監造單位：** 美商傑明工程顧問公司

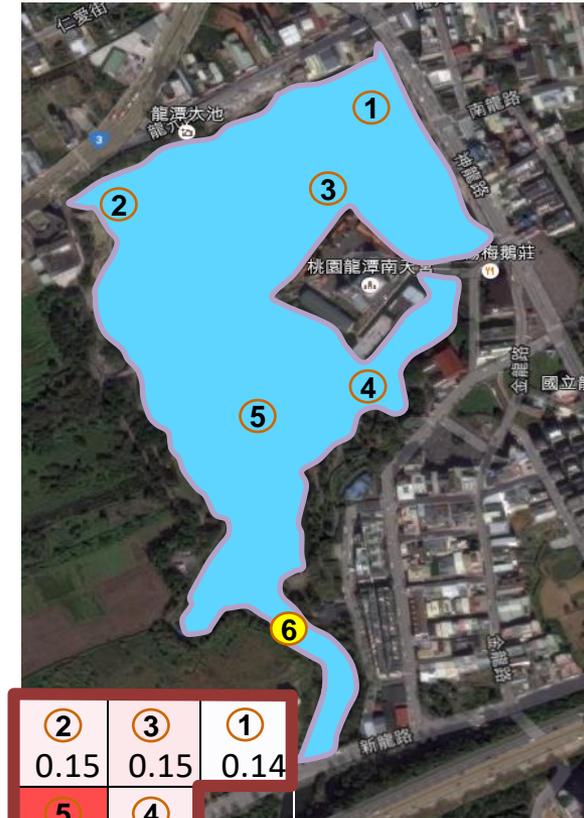
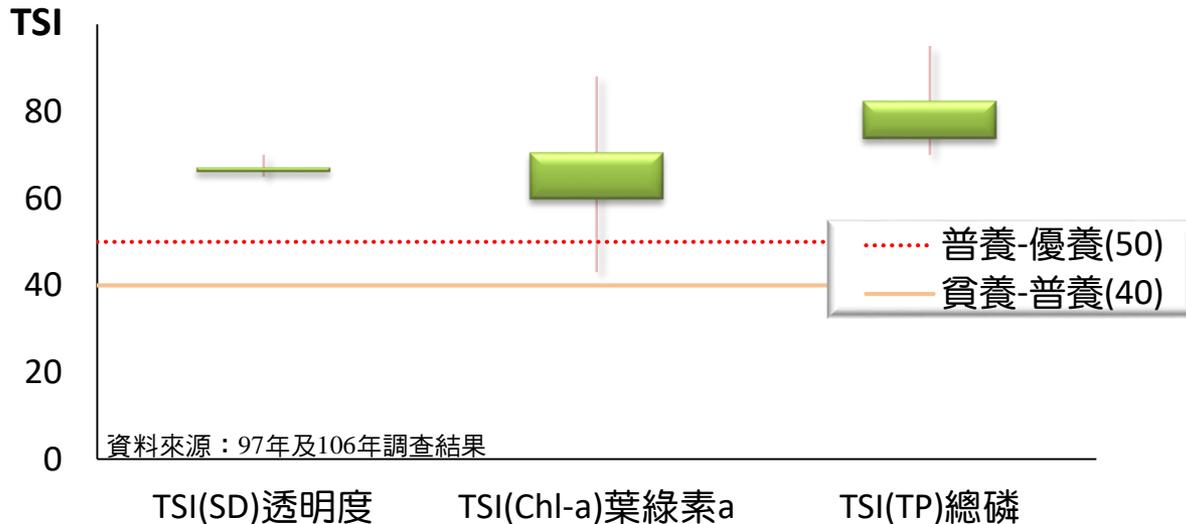
**施工廠商：** 泰誠營造工程公司

**中華民國108年10月-109年12月**



# 龍潭大池歷年調查成果分析

- ◆ 歷年龍潭大池水質卡爾森指數(CTSI)介於60~84，水質呈現**優養狀態**
- ◆ 比較CTSI三種項目：透明度、葉綠素a及總磷，其中**總磷之歷次TSI範圍最大、皆為優養**
- ◆ 影響龍潭大池水質優養關鍵項目：**總磷**



②	③	①
0.15	0.15	0.14
⑤	④	
0.24	0.15	
⑥		
0.28		

全池呈現優養  
以入流端濃度較高

磷酸鹽濃度(mg/L)



# 污染排放口調查

- ◆ 入池溪流沿線共計89處排放口
- ◆ 右岸45處，左岸44處
- ◆ 其中**水量較大且常時有水僅6處，右岸2處，左岸4處**



龍潭都市計畫區  
國道三號  
部分區域排水排放口  
(常時有水量)

多處農田回歸水排放口  
(平時無水量)



# 改善構想



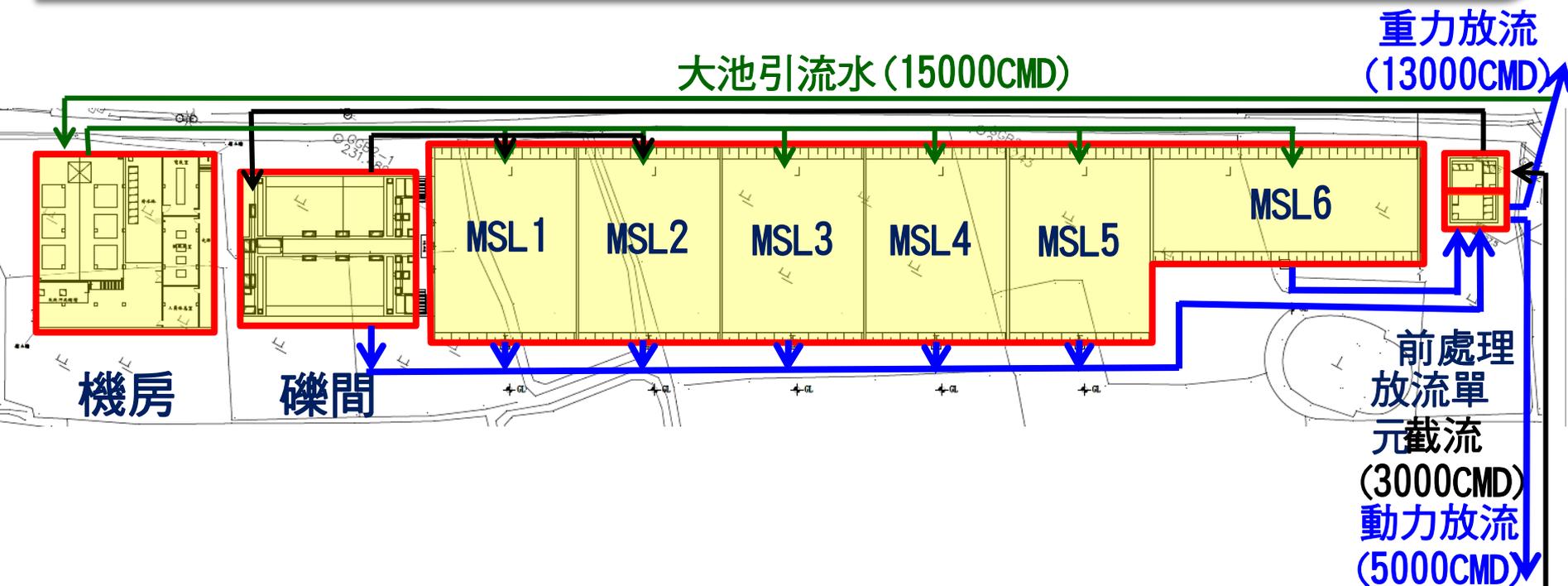
- ◆ 點源污染：優先針對有明確污染源(聚落、事業)進行截流，初估**截流水量約3,000 CMD**
- ◆ 非點源污染：將流入龍潭大池的非點源污染利用動力抽汲的方式抽至處理系統處理，初估**抽取水量約15,000 CMD**

資料提供：美商傑明工程顧問公司



# 處理單元平面配置

- 考量場址地形及高程
- 由西向東配置機房、礫間淨化單元、呈層土壤單元、前處理及放流單元
- 呈層土壤系統共配置6個子單元，分別由閘閥控制進流量3000CMD





		SS(mg/L)	COD(mg/L)	TP(mg/L)	NH <sub>3</sub> -N(mg/L)
原池水濃度		40	20	0.226	0.44
系統	HLR(L/m <sup>2</sup> /d)	淨化後濃度(括弧內數字為去除百分比)			
A	1,000	12 (70.0%)	4 (80.0%)	0.067 (70.4%)	0.02 (95.5%)
	2,000	13 (67.5%)	8 (60.0%)	0.107 (52.7%)	0.09 (79.5%)
B	1,000	10 (75.0%)	0 (99.9%)	0.044 (80.5%)	0.01 (97.7%)
	2,000	12 (70.0%)	8 (60.0%)	0.075 (66.8%)	0.02 (95.5%)

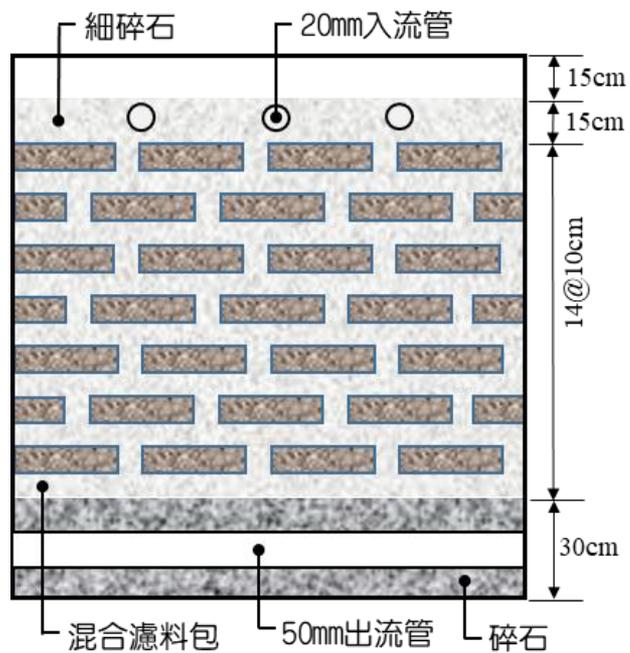


		SS(mg/L)	COD(mg/L)	TP(mg/L)	NH <sub>3</sub> -N(mg/L)
原池水濃度		47	120	0.73	1.89
曝氣量		淨化後濃度(括弧內數字為去除百分比)			
無曝氣		11 (76.6%)	32 (73.3%)	0.11 (84.9%)	0.11 (94.2%)
有曝氣	1 L/min	10 (78.7%)	16 (86.7%)	0.05 (93.2%)	0.02 (98.9%)
	2 L/min	12 (74.5%)	24 (80.0%)	0.08 (89.0%)	0.03 (98.4%)

# MSL內填料配比試驗

	配比A				配比B				配比C			
材料配比(%)	原土	砂土	鐵粒	炭粒	原土	砂土	鐵粒	炭粒	原土	砂土	鐵粒	炭粒
		80	-	10	10	16	64	10	10	-	80	10
$\gamma_{d,max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.631				1.642				1.506			
OMC(%)	22				21				22			
$0.85\gamma_{d,max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.386				1.396				1.280			
k值	$<10^{-4}$				$3.64 \times 10^{-4}$				$3.945 \times 10^{-3}$			
結論	X				X				O			

# MSL模場試驗



槽體內部填料剖面



槽體分兩邊  
單一邊 H2M\*L2M\*D1M



槽體外觀及高度2M

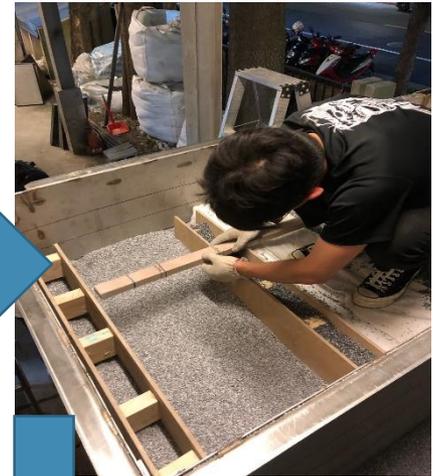
# MSL模場試驗



1. 清洗粗石/填底部粗石層



2. 填細石層



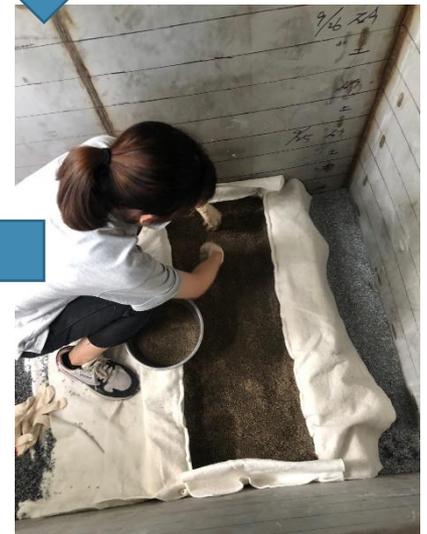
3. 分隔製作濾料包



6. 試驗合格重複第二步反覆到完成

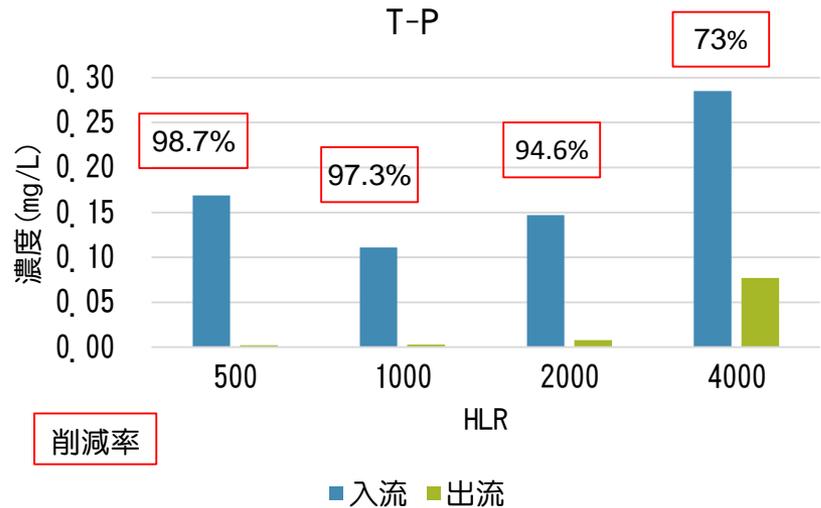
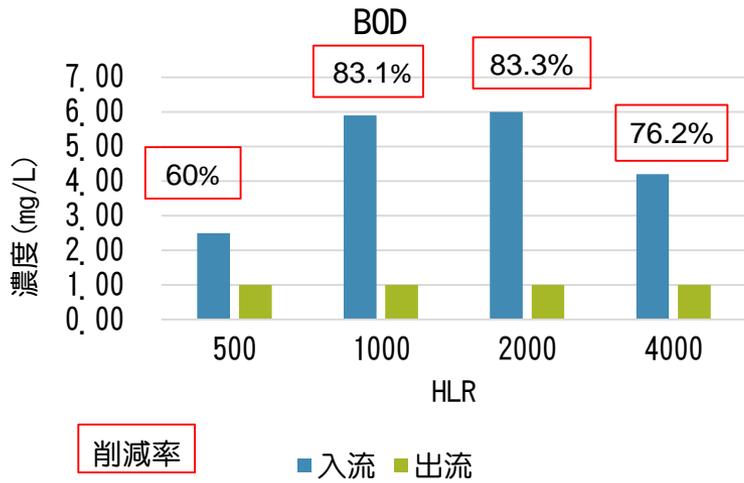
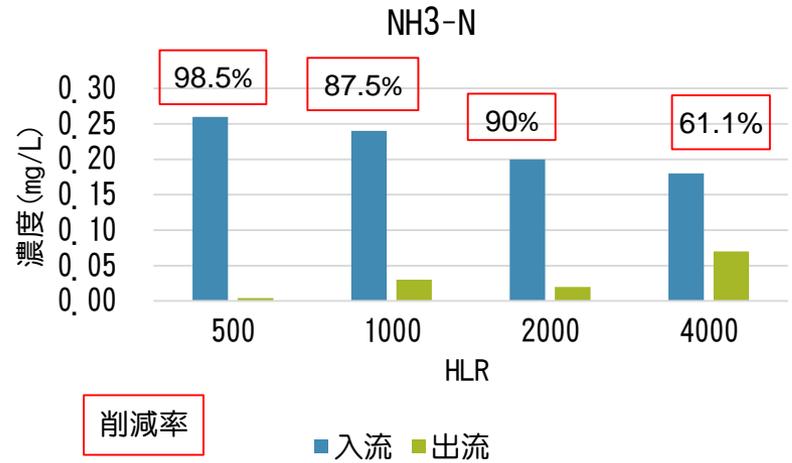
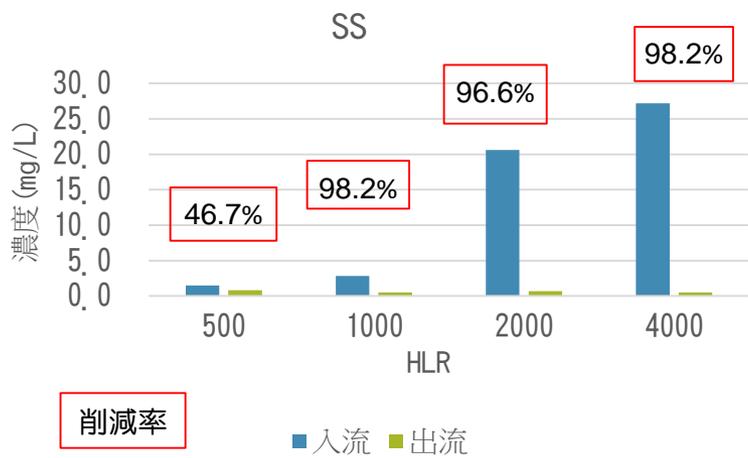


5. 隨機取樣做滲透試驗



4. 製作濾料包

# MSL模場試驗



簡報結束 敬請指教