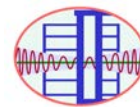




自來水系統的 地震風險評估與減災對策

劉季宇、葉錦勳



國家地震工程研究中心
National Center for Research on Earthquake Engineering

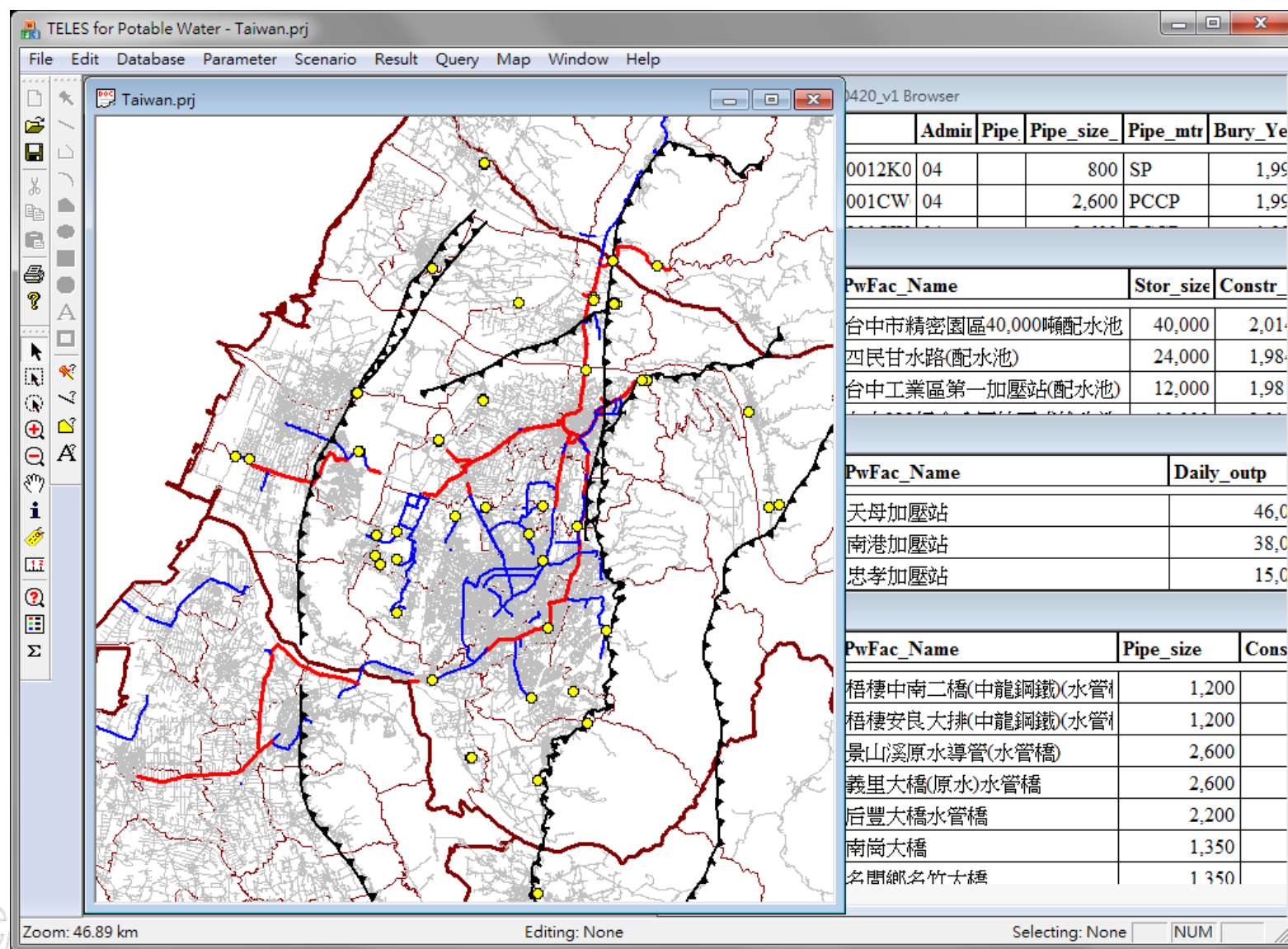


Twater 前世今生

Twater 簡介

- ✚ 整合地震災害潛勢及自來水管線/設施資料，想定地震情境模擬
- ✚ GIS軟體工具，地圖設定與展示
- ✚ 參考資料
 - 葉錦勳，2017，「自來水系統震損評估研究之現況與應用」，2017 TELES講習會
 - 經濟部水利署，2017，「公共給水原水導管地震風險評估技術之研究」，研究報告，計畫編號MOEA-WRA-1060241
 - 台灣自來水公司，2018，「高雄地區自來水系統地震暴險分析與情境模擬研究計畫」，期末報告書(定稿本)

Twater (TELES for Potable Water)



Twater 演進歷程

計畫別(年)	新增/更新模式	新增/更新資料	軟體研發/應用
北水處(95)	管線災損率(v.1)	北水處管線	TELES管線(v.1)
水利署(99, 100)	管網水理分析	台水八區管線	TELES管線(v.2) 早期評估簡訊通報(技術)
水利署(101)	管線災損率(v.2)	台水五、六區管線	Twater雛型 早期評估簡訊通報(開始)
水利署 (102, 103)		台水一、三、四、七、 十一、十二區管線 北水處、台水八區設施	早期評估雲端服務(Web-GIS 資訊網站、行動APP)
水利署(104)	設施易損性(v.1)	台水二、九、十區管線 台水四區設施	早期評估雲端服務(全國 管線)
水利署(105) 台水(105)	缺水率、停水戶數 管線災損率(v.3) 設施易損性(v.2)		台水800mm以上管線耐震 評估
水利署(106)	原水隧道、渠道易 損性	原水管道	
台水(107)	送水幹管送水模式	高雄設施(七區)	高雄系統耐震對策

Twater 震損評估流程

地震事件
震源參數

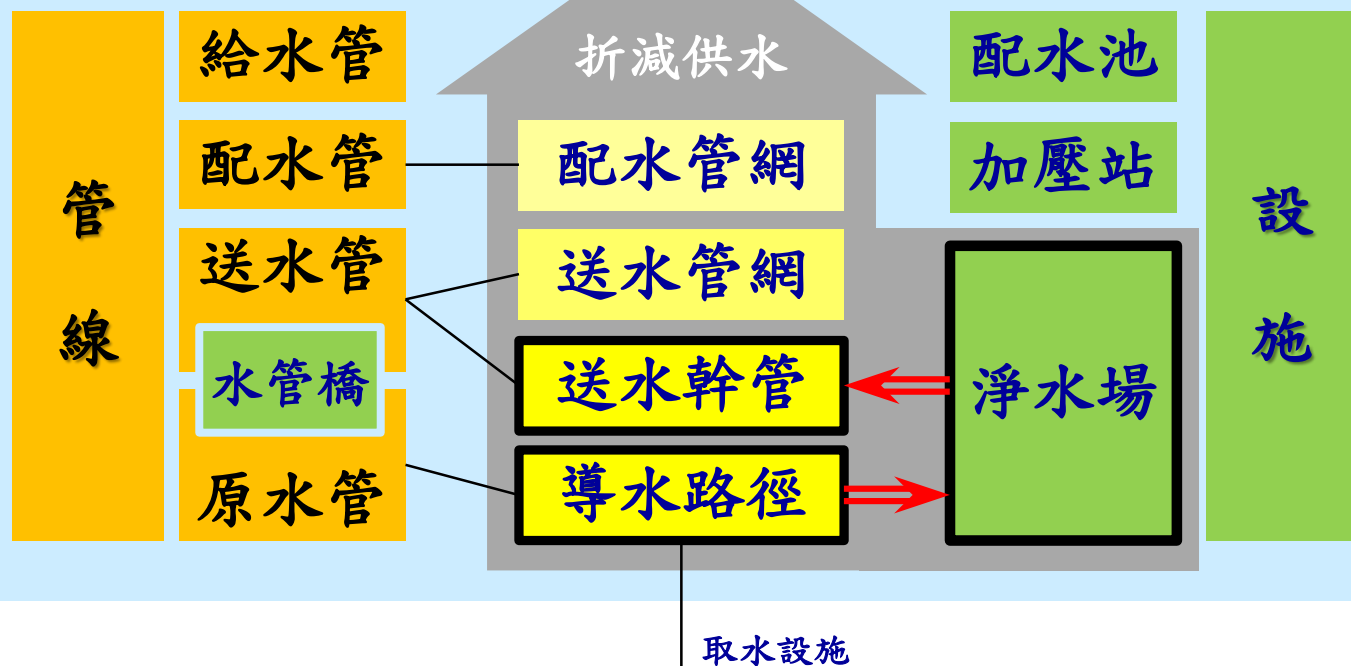
地震災害
潛勢

管線設施
損壞損失

元件
功能折減

自來水系統

供水評估單元



Twater 模式與特色

✚ 地震災害潛勢推估

- 地震動、斷層開裂、土壤液化

✚ 損害及損失推估

- 設施：易損性曲線(修復單價)
- 管線：災損率(損失比)

✚ 自來水系統模型

- 水庫堰壩 $\Rightarrow$ 導水路徑(導水率) $\Rightarrow$ 淨水場(出水率) $\Rightarrow$ 送水幹管(輸水率) $\Rightarrow$ 供水評估單元
 - ▶ 送水管網(送水管震後輸水率) $\Rightarrow$ 配水管網(配水管網震後流失率) $\Rightarrow$ 供水評估單元 缺水率與停水戶數
- 階層劃分、可粗可精，容許部分元件忽略(無資料即假設不損壞)

Twater 評估模式

供水評估單元之震後缺水率

由N個淨水場提供清水

震後用戶可得的水量

淨水場的震後出水能力

$$D' = \underbrace{\theta \cdot (1 - L)}_{\text{送/配水管網的震後輸水能力}} \cdot \sum_{k=1}^N \left[\overbrace{\bar{D}_k \cdot O_k}^{\text{淨水場至供水評估單元之送水幹管震後輸水能力}} \cdot \underbrace{\sum_{j=1}^{M_k} (\lambda_j \cdot \Omega_j)}_{\text{淨水場至供水評估單元之送水幹管震後輸水能力}} \right]$$

送/配水管網的震後輸水能力

淨水場至供水評估單元之送水幹管震後輸水能力

θ (震後)送水管網輸水率

L (震後)配水管網流失率

O_k (震後)第 k 個淨水場出水率

Ω_j (震後)第 k 個淨水場之第 j 送水幹管輸水率

在平時

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^{M_k} \lambda_j \equiv 1 \\ \theta = 1 \quad L = 0 \\ O_k = 1 \quad \Omega_j = 1 \end{array} \right.$$

供水評估單元之停水戶數推估模式

$$S \equiv \frac{\bar{D} - D'}{\bar{D}} \quad \text{震後缺水率}$$

$$+ \begin{cases} \bar{d} = \bar{D} / H & \text{每戶日均用水量} \\ \gamma \cdot \bar{d} & \text{震後每戶日均用水量} \\ H & \text{供水評估單元內的總戶數} \end{cases}$$

$$H' = \frac{D'}{\gamma \cdot \bar{d}} = \frac{\bar{D} \cdot (1 - S)}{\gamma \cdot \bar{d}} = \frac{1 - S}{\gamma} \cdot H \quad \text{有水可用的戶數}$$

$$V = H - H' = H \cdot \left[1 - \frac{1 - S}{\gamma}\right] \quad \text{停水的戶數}$$

案例——高雄地區自來水系統(1/2)

✚ 隸屬台水七區，共有
12個供水系統

✚ 設計總供水量
● 1,795,930 CMD

✚ 日均供水量
● 1,529,577 CMD

✚ 供水總人口
● 2,735,946人



案例——高雄地區自來水系統(2/2)

共有12個供水系統

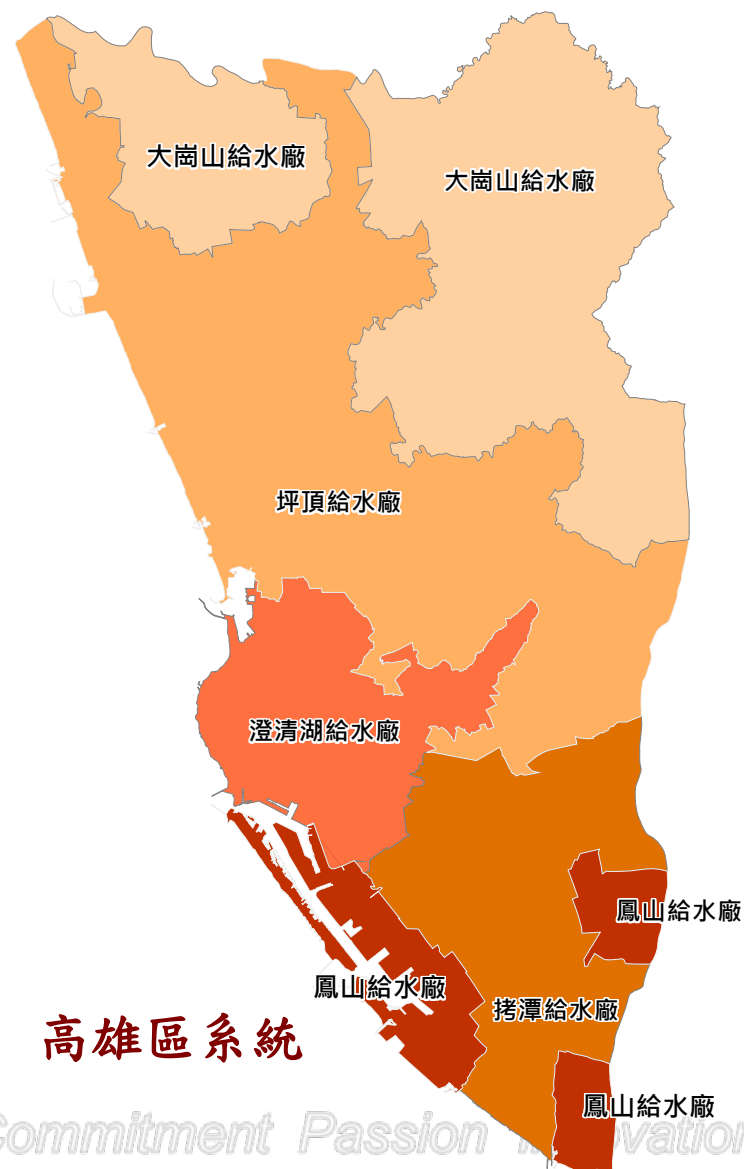
高雄區系統

- 最大之供水系統，配水量占高雄地區全區98.3%，宜予細分

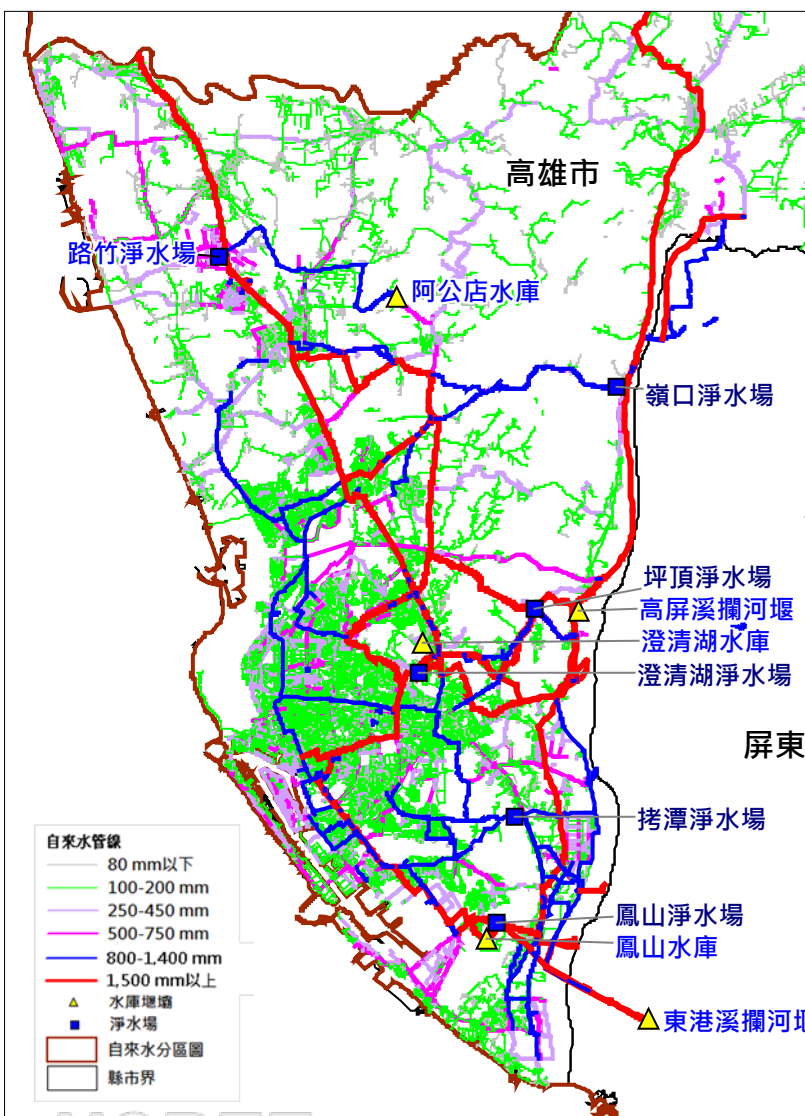
- 由六個給水廠供水

- ▶ 高雄給水廠，導送高屏溪攔河堰原水予坪頂、澄清湖、拷潭、鳳山等四個給水廠，亦負責南化聯通管之操控作業

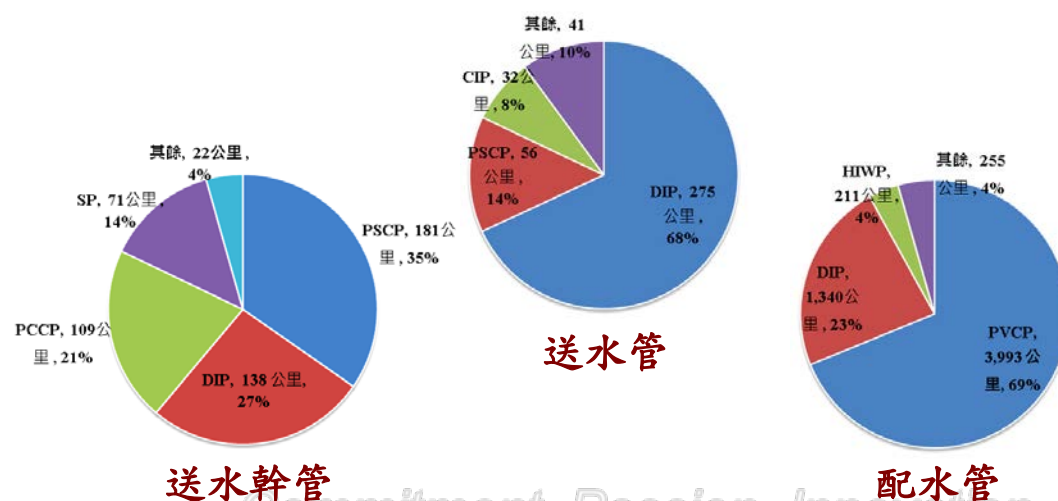
- ▶ 大崗山給水廠，導送阿公店水庫原水予路竹、嶺口兩座淨水場



管線基本資料



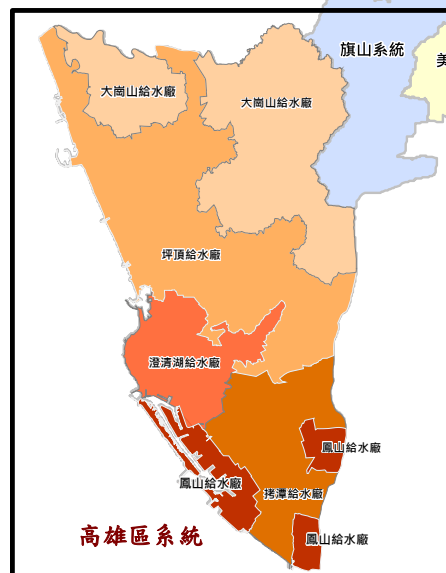
類別		管徑	長度 (公里)	占比 (%)
導送水幹管		1,500~3200 mm	250.37	3.2%
		800~1,400 mm	272.26	3.5%
一般管線	送水管	500~750 mm	404.09	5.1%
	配水管	100~450 mm	5,800.01	73.9%
	給水管	80 mm或以下	1,120.50	14.3%
總長(公里)			7,847.23	100.0%



供水評估單元劃分

✦ 其他11個供水系統，皆小型之供水系統，系統內供水方式亦相對單純，故不再劃分

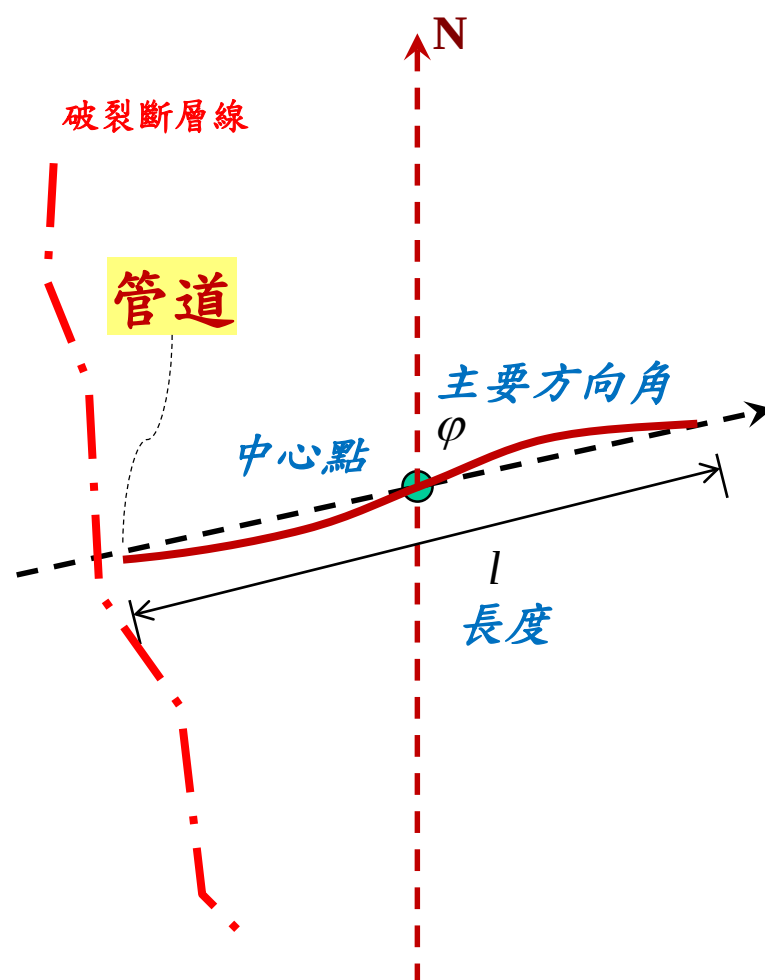
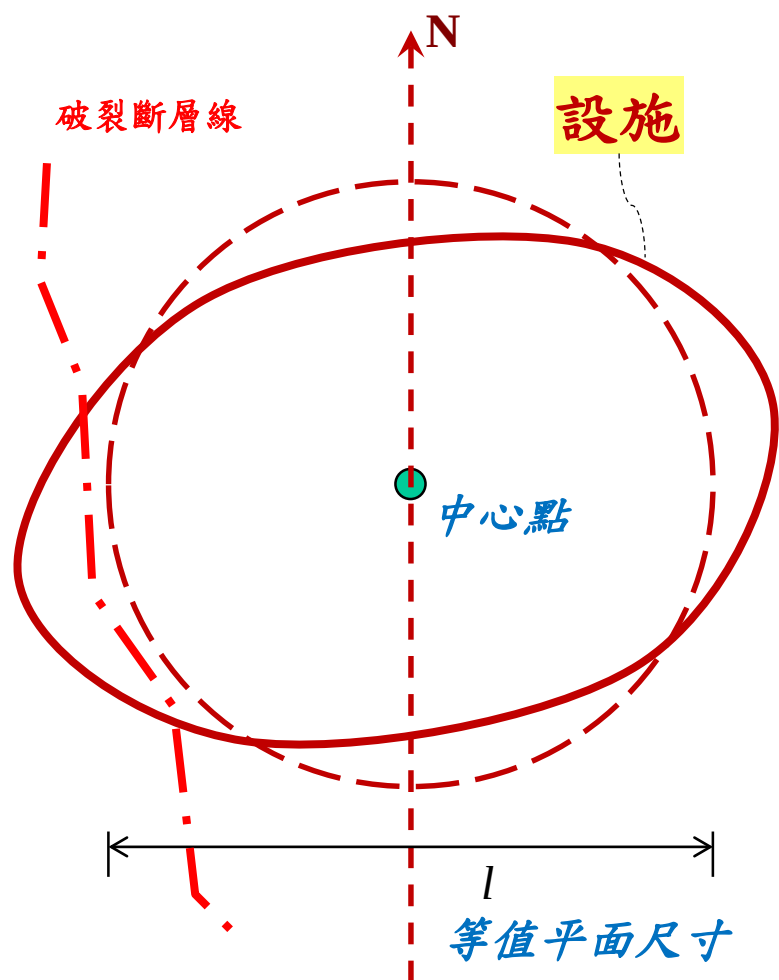
✦ 高雄地區原有12個供水系統，因此可重新劃分為24個供水評估單元



1 ⇒ 13



設施或管道的中心點/大小/方向角



設施或管道距斷層破裂面之最短距離

$$d_e = \begin{cases} \max(0, d_c - 0.5 \cdot l \cdot \sin |\varphi - \theta| \cdot \sin \alpha) & \square \square \square \square \square \square \\ \max(0, d_c - 0.5 \cdot l \cdot \sin |\varphi - \theta|) & \square \square \square \square \square \square \end{cases}$$

d_c 中心點距破裂面距離

l 橋梁長度

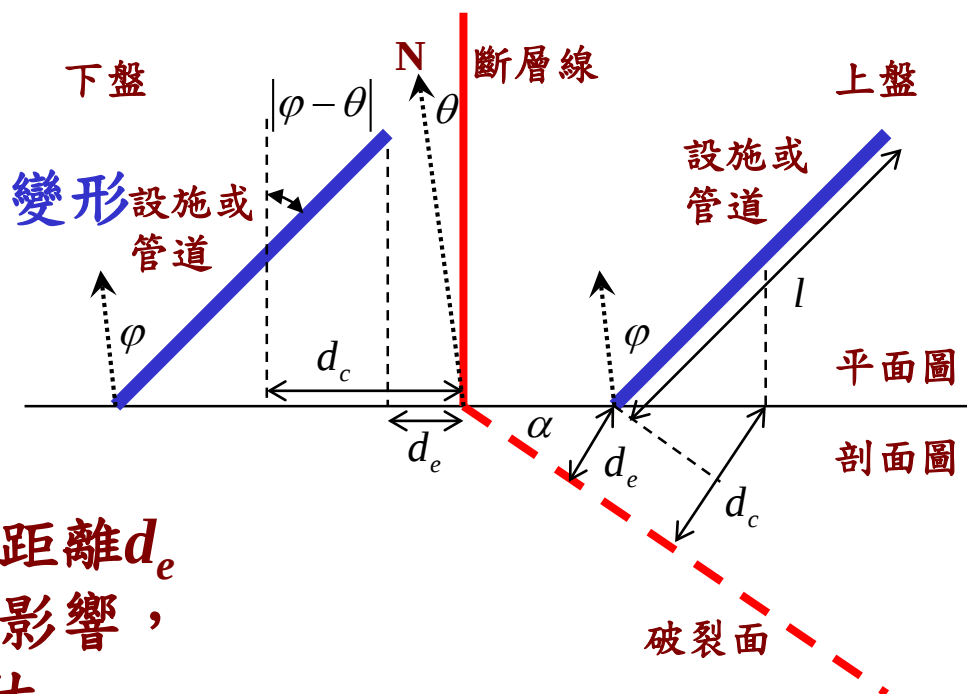
$|\varphi - \theta|$ 橋梁主線與斷層走向的夾角

α 斷層面傾角

$d_e = 0$ 代表可能跨越斷層

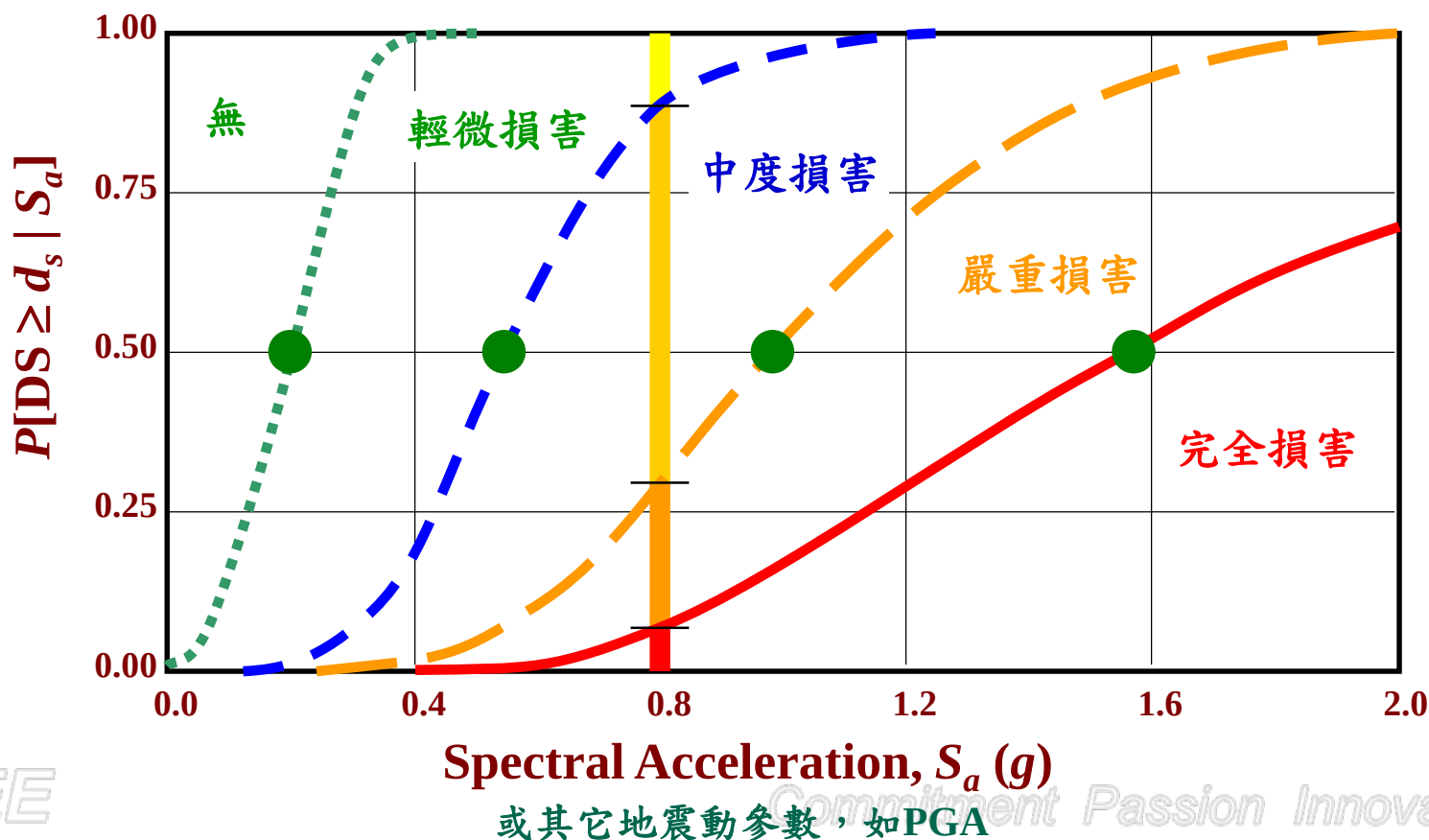
以橋梁距斷層破裂面的最短距離 d_e 推估橋梁受附近土層破裂的影響，其遭遇(發生)機率以下式推估

$$p = 0.7 \cdot \exp(-d_e / 2)$$



耐震易損性曲線

- ✦ 損害狀態概分無、輕微、中度、嚴重和完全損害
- ✦ 易損性曲線：超越不同損害狀態的超越機率曲線，包含中值和變異係數
- ✦ 易損性曲線的自變數可為災害潛勢或結構反應
- ✦ 依災害潛勢因子不同，概分為震動易損性和位移易損性兩類



淨水場出水能力推估模式

- 以每日設計出水量 (單位CMD) 概估可能的平面尺寸和重建成本；亦即淨水場的平面尺寸約為 $0.4 \sqrt{Q}$ (單位：公尺)；重建成本約為 $\sqrt{Q}$ (單位：百萬元)

➤ 平面尺寸 S_p

➤ 淨水單元數 n

➤ 處於損害狀態 i 的機率 p_i

➤ 處於損害狀態 i 的震後出水失效率 s_i

➤ 以超越機率恰達0.5以上所對應的損害狀態 $\bar{d}_n$ 作為該淨水場可能損害狀態的最佳推估

➤ 屬 $\bar{d}_n$ 損害狀態的最大值平面尺寸為 S_r

➤ 以內插方式計算超越機率恰等於0.5所對應的損害狀態值 d_n

➤ 假設淨水場所需原水量和出水量的比率 f 與其震後出水率 O 有關

$$f = \frac{2.2}{1+O}$$

● 處在損害狀態 i 的面積比率

$$A_{r,i} = \min(1, 2^{d_n-i} \cdot \frac{S_r}{S_p})$$

● 處在損害狀態 i 的淨水單元比率

$$d_{r,i} = \min(1, \frac{R(1 + A_{r,i} \cdot n)}{n})$$

$R(\cdot)$ 代表四捨五入之運算元

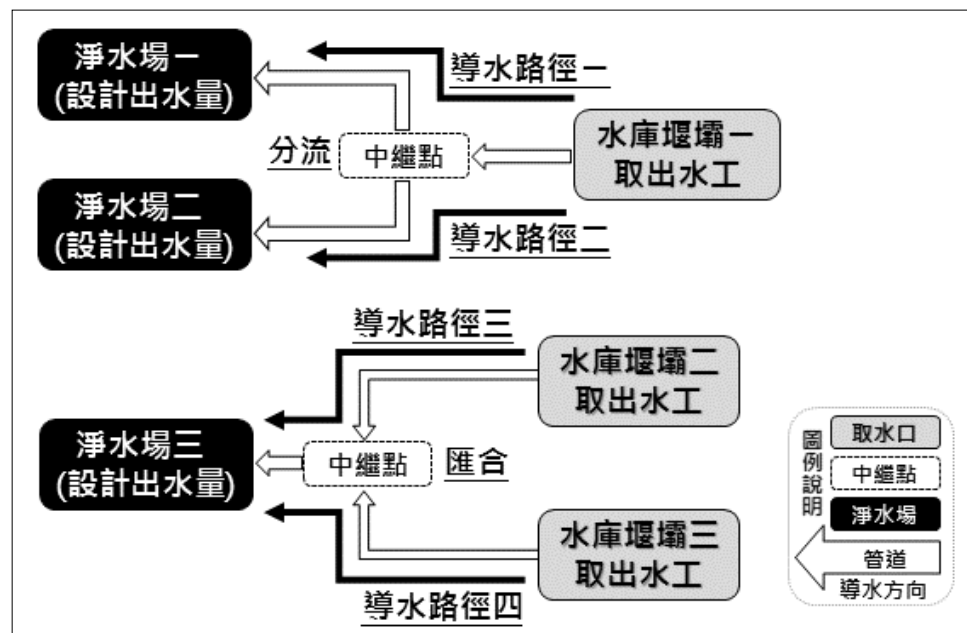
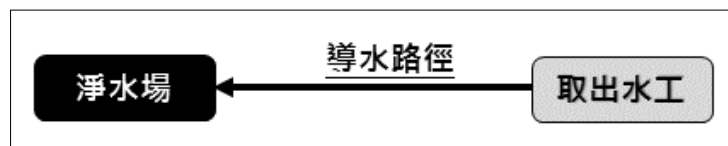
● 淨水場的震後出水率

$$O = 1 - \sum_{i=2}^5 (p_i \cdot d_{r,i} \cdot s_i)$$

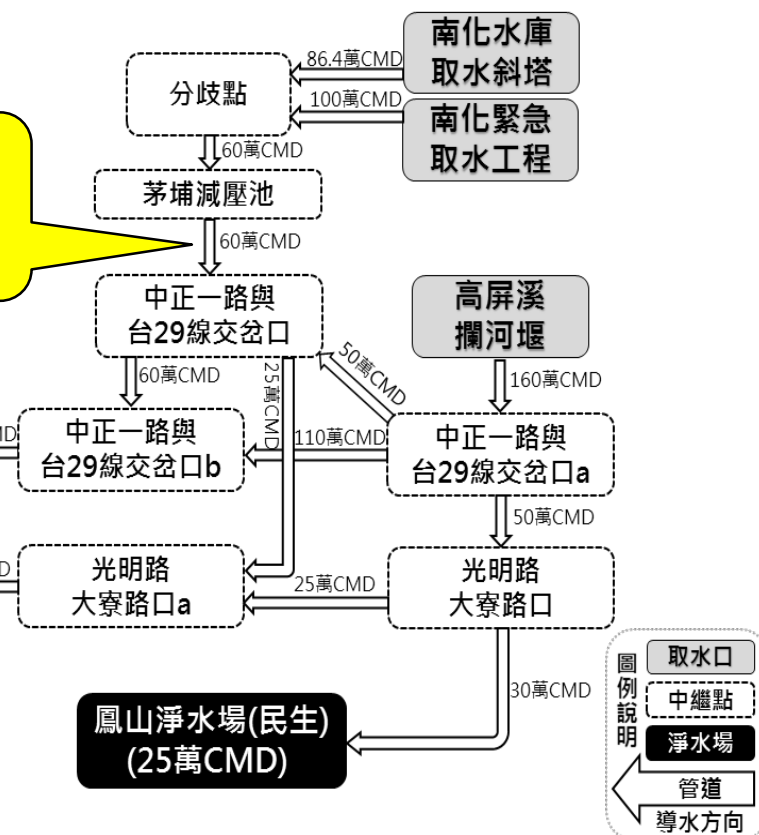
水庫堰壩⇒淨水場(導水路徑)

從水庫堰壩取水工至大型淨水場之多段串聯的原水管道集合視為一條導水路徑

- 導水路徑上原水匯合或分流處加設中繼點當控制節點
- 為方便辨識，每一段原水管道以兩端節點命名
- 每一段原水管道可能由隧道、渠道及管線任意組合而成
- 個別原水管道之導水能力或流量值採用原始設計流量，並取全段最小值作為代表



高雄地區 導水路徑



節點(node)和路段(link)表示

Commitment Passion Innovation

管線/渠道災損率

$$RR = \max \left(RR_{PGA}, \quad p_{fault} \cdot RR_{PGD(fault)}, \quad p_{lqf} \cdot RR_{PGD(lqf)} \right)$$

$$RR_{PGA} = 4.5 \cdot C_{S_i-PGA} \cdot C_{T_i} \cdot (PGA - 0.1)^{1.97}$$

地震動引致的震後災損率

$$RR_{PGD} = 0.04511 \cdot C_{S_i-PGD} \cdot C_{T_i} \cdot PGD^{0.728}$$

地表永久變形引致的震後災損率

C_{S_i-PGA} 地震動引致災損之管徑修正係數

C_{S_i-PGD} 地表永久變形引致災損之管徑修正係數

C_{T_i} 管線材質/接頭型式之修正係數

(水利署，2016)



(水利署，2017)

$$BR_{PGA} = \begin{cases} B_{S_i T_j - PGA} \cdot 2 \cdot (PGA - 0.1) & 0.1g < PGA < 0.6g \\ B_{S_i T_j - PGA} & PGA \geq 0.6g \end{cases}$$

$$BR_{PGD} = \begin{cases} B_{S_i T_j - PGD} \cdot 0.01 \cdot PGD & PGD < 100 \text{ cm} \\ B_{S_i T_j - PGD} & PGD \geq 100 \text{ cm} \end{cases}$$

災損數中的斷裂比率：
與管徑、管材、接頭型式、
地震動強度和永久變形量等
皆有相關性

原水管道導水率

Formula (1)

$$\begin{aligned}\Omega &= \exp[-(0.5n_l + n_b)] \\ &= \exp[-0.5(n_r + n_b)]\end{aligned}$$

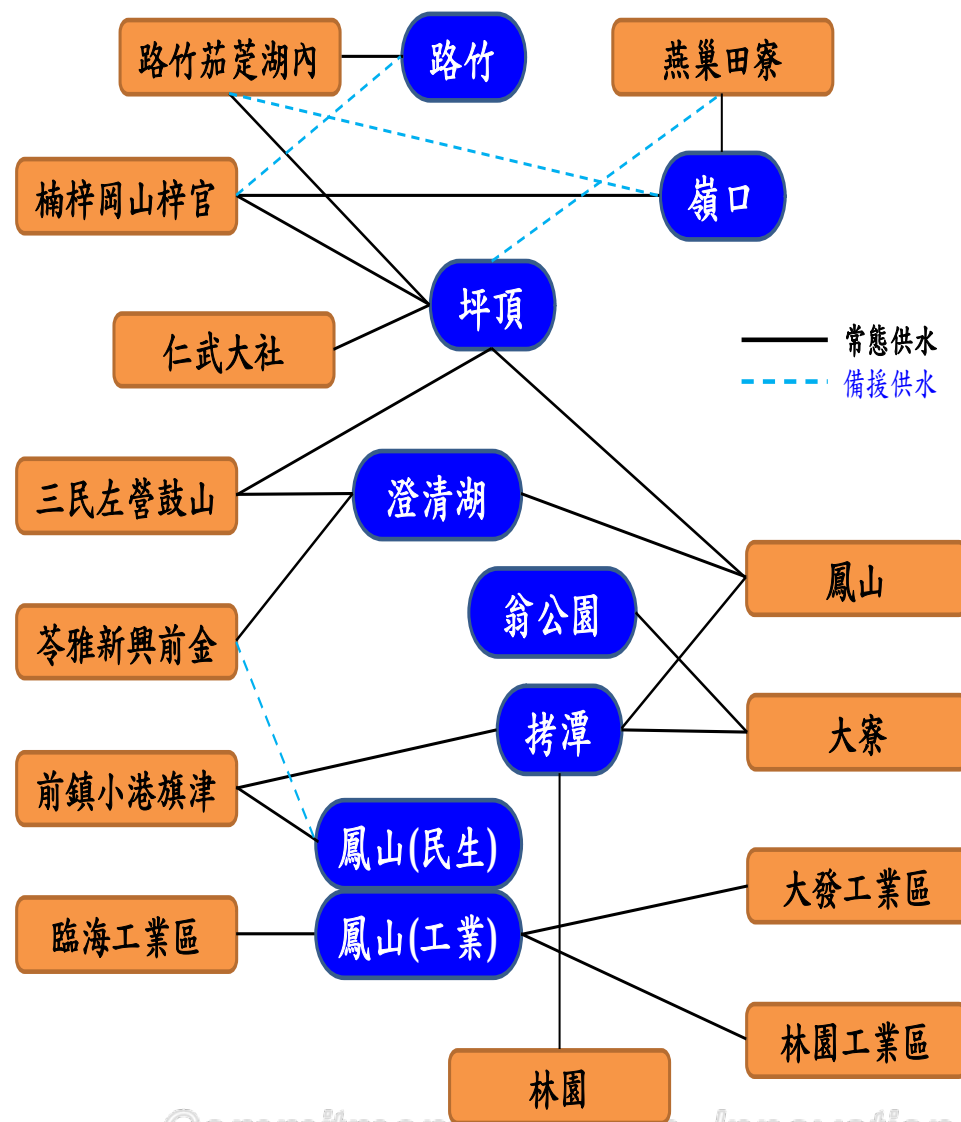
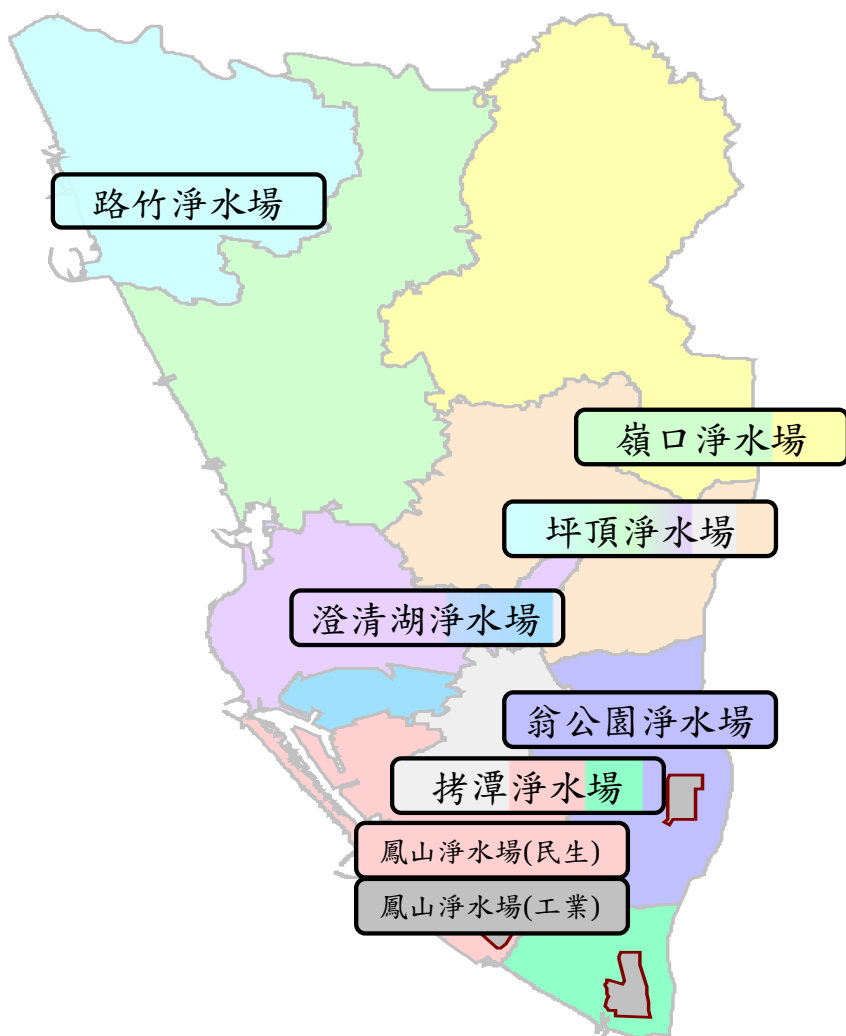
n_l 滲漏數
 n_b 斷裂數
 n_r 災損數

Formula (2)

$$\begin{aligned}\Omega &= \exp[-1.582 \cdot (1 - e^{-(0.5n_l + n_b)})] \\ &= \exp[-1.582 \cdot (1 - e^{-0.5(n_r + n_b)})]\end{aligned}$$

- 在原水管道之震後導水率推估式中，假設兩個滲漏處對導水能力的影響相當於一個斷裂處
- 根據推估結果，如某原水管道可能有一個以上的等值斷裂處，則假設該原水管道震後可能阻斷，完全喪失原有功能

淨水場⇒供水評估單元(送水幹管)



淨水場⇒供水評估單元(供水量)

淨水場			供水評估單元		淨水場提供供水評估單元	
名稱	最大可出水量 (CMD)	日均出水量 (CMD)	評估單元名稱	需求水量(CMD)	最大可供水量 (CMD)	日均供水量 (CMD)
坪頂淨水場	660,000	461,746	路竹茄荖湖內	71,757	57,896	50,741
			楠梓岡山梓官	220,687	221,052	172,520
			三民左營鼓山	283,603	115,789	101,483
			鳳山	144,604	115,789	71,038
			仁武大社	65,964	115,789	65,964
			燕巢田寮	19,267	23,158	-
澄清湖淨水場	400,000	320,878	三民左營鼓山	283,603	228,571	182,120
			苓雅新興前金	123,340	152,381	123,340
			鳳山	144,604	19,048	15,418
鳳山淨水場(民生)	250,000	162,512	前鎮小港旗津	199,516	200,000	162,512
			苓雅新興前金	123,340	50,000	-
拷潭淨水場	225,000	137,441	鳳山	144,604	73,256	58,148
			大寮	43,646	36,628	10,572
			林園	31,717	41,860	31,717
			前鎮小港旗津	199,516	73,256	37,004
嶺口淨水場	120,000	67,433	楠梓岡山梓官	220,687	60,000	48,166
			路竹茄荖湖內	71,757	30,000	-
			燕巢田寮	19,267	30,000	19,267

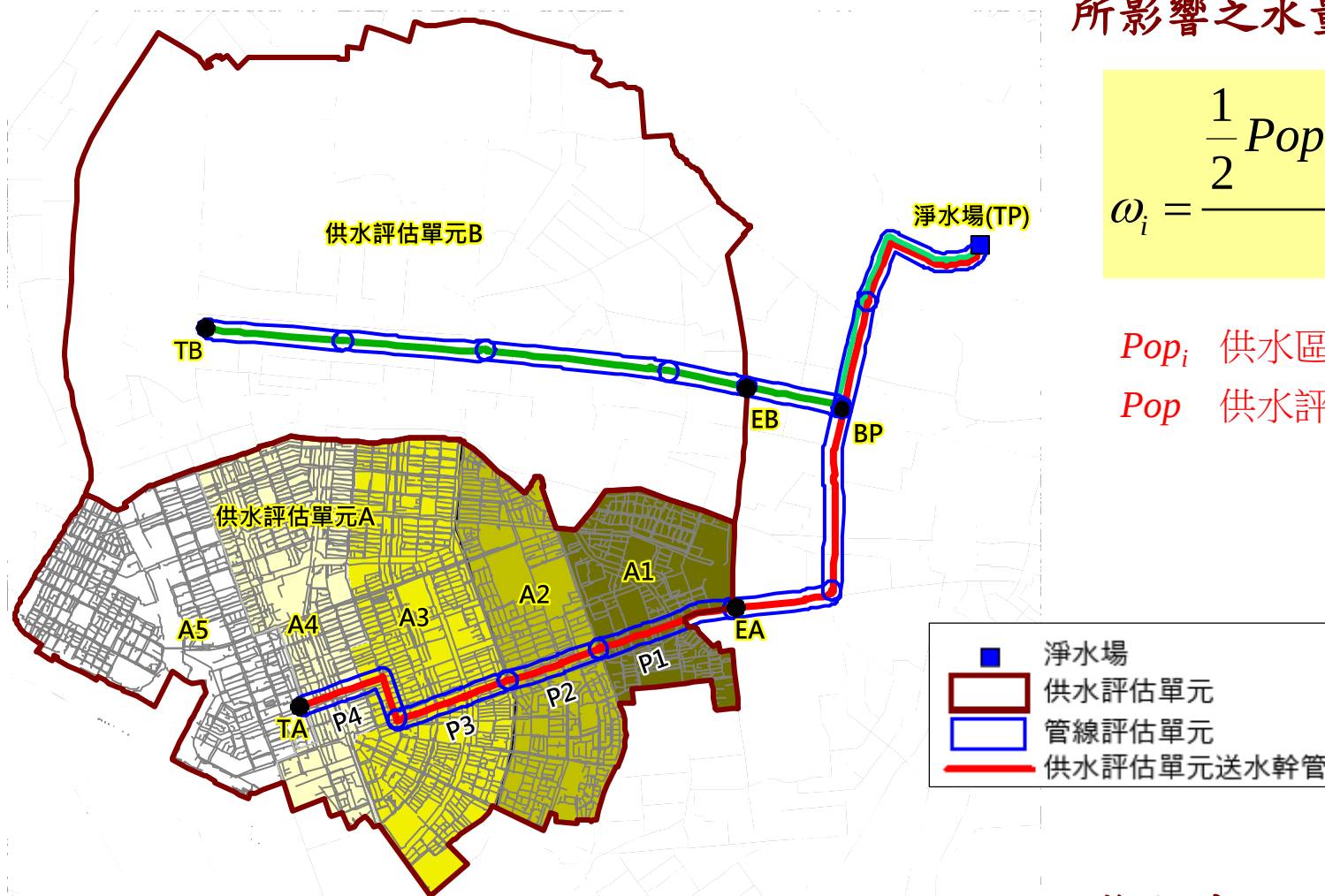
供水評估單元內送水幹管災損之影響

內部送水幹管 i 發生災損，
所影響之水量比

$$\omega_i = \frac{\frac{1}{2}Pop_i + \sum_{j=i+1}^n Pop_j}{Pop}$$

Pop_i 供水區域 A_i 之人口數

Pop 供水評估單元總人口數



(台灣自來水公司，2018)

送水幹管震後輸水率

送水幹管(≥ 800 mm)震後輸水率

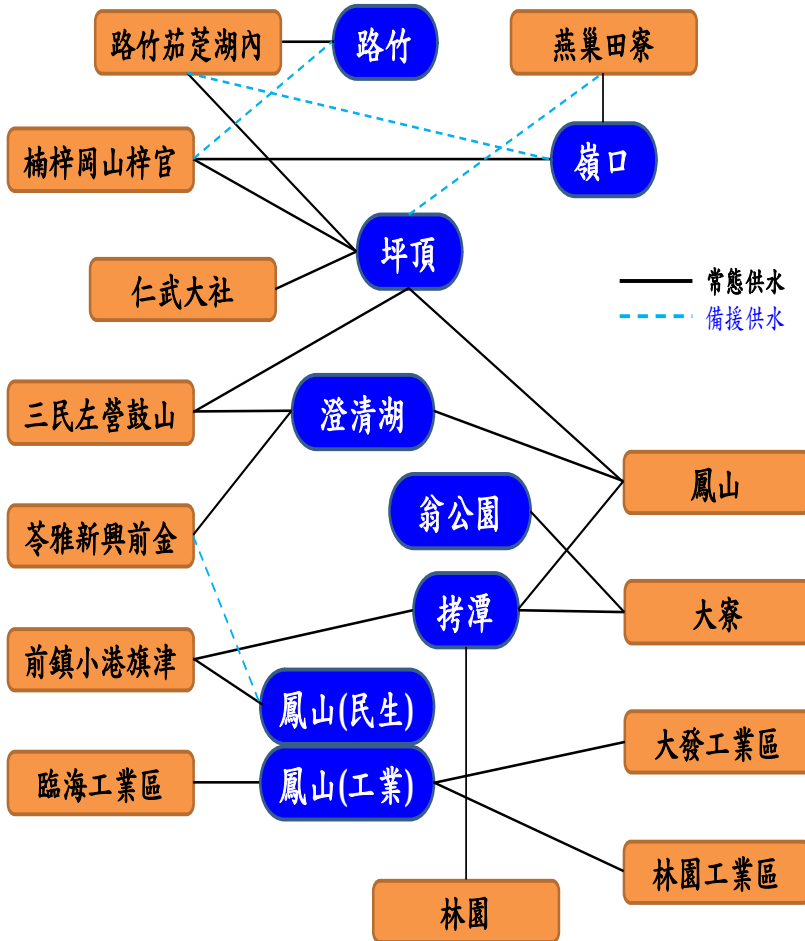
$$\Omega = \exp[-1.582 \cdot (1 - e^{-(0.5n_l + n_b)})]$$

$$= \exp[-1.582 \cdot (1 - e^{-0.5(n_r + n_b)})]$$

n_l 滲漏數

n_b 斷裂數

n_r 災損數

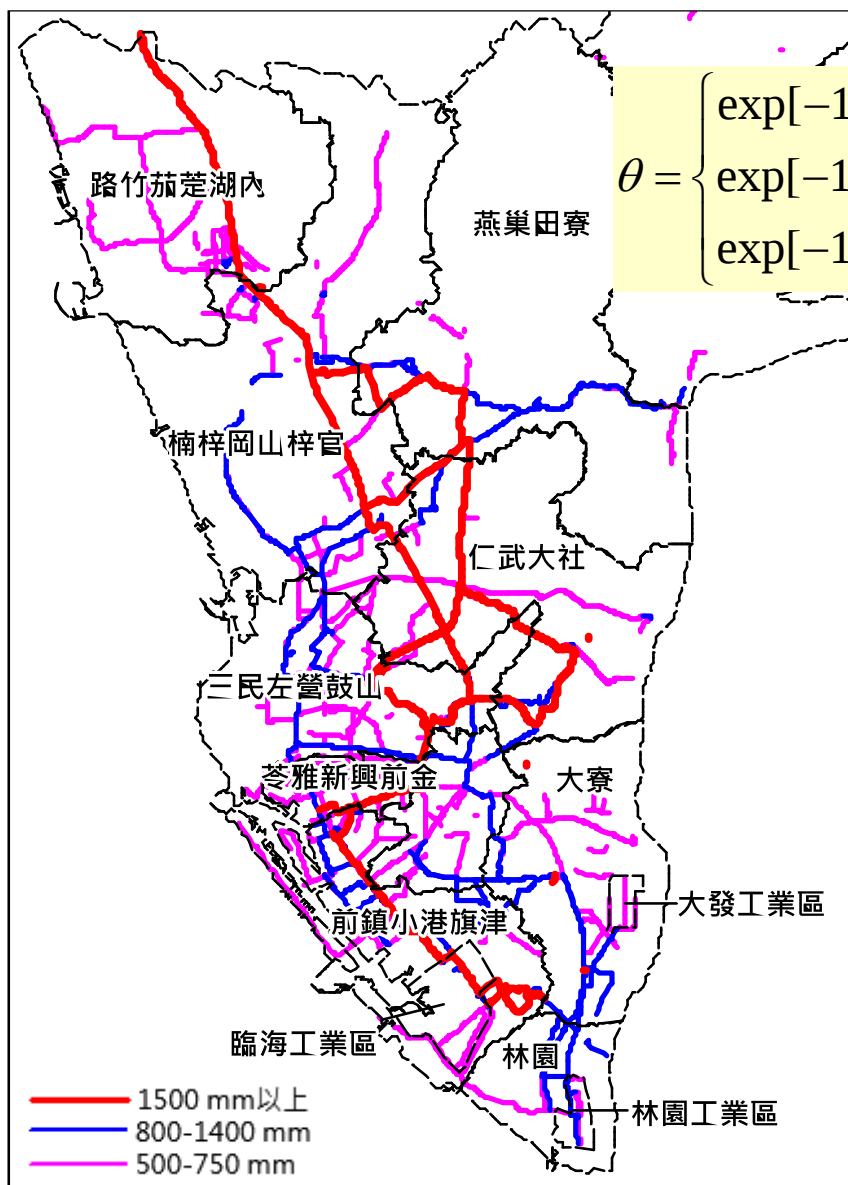


三民左營鼓山之送水幹管

淨水場			送水幹管		
名稱	最大可供水量 (CMD)	日均供水量 (CMD)	編號	最大可供水量 (CMD)	日均供水量 (CMD)
坪頂	660,000	461,746	073D1	115,789	101,483
澄清湖	400,000	320,878	074D1	114,286	91,060
			074D2	114,285	91,060

(台灣自來水公司, 2018)

送水管網震後輸水率

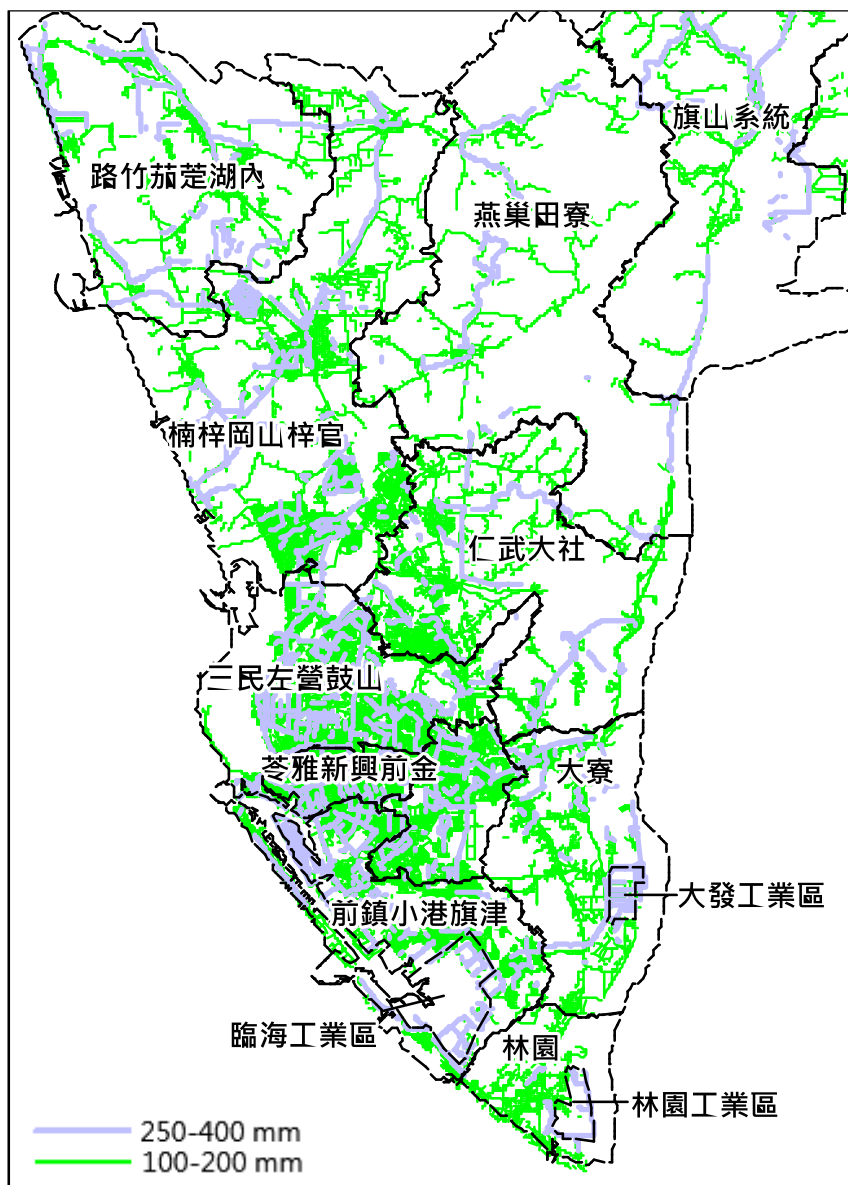


$$\theta = \begin{cases} \exp[-1.582 \cdot (1 - e^{-0.1(n_r + n_b)})], & \bar{D} \geq 100,000 \text{ CMD} \\ \exp[-1.582 \cdot (1 - e^{-0.2(n_r + n_b)})], & 10,000 \leq \bar{D} < 100,000 \text{ CMD} \\ \exp[-1.582 \cdot (1 - e^{-0.5(n_r + n_b)})], & \bar{D} < 10,000 \text{ CMD} \end{cases}$$

n_l 滲漏數
 n_b 斷裂數
 n_r 災損數

(水利署，2016)

配水管網震後流失率



$$L = \begin{cases} 1 / (1 + 0.667 \cdot RR^{-1.113}), & \bar{D} \geq 10,000 \text{ CMD} \\ 1 / (1 + 1.5 \cdot RR^{-1.113}), & \bar{D} < 10,000 \text{ CMD} \end{cases}$$

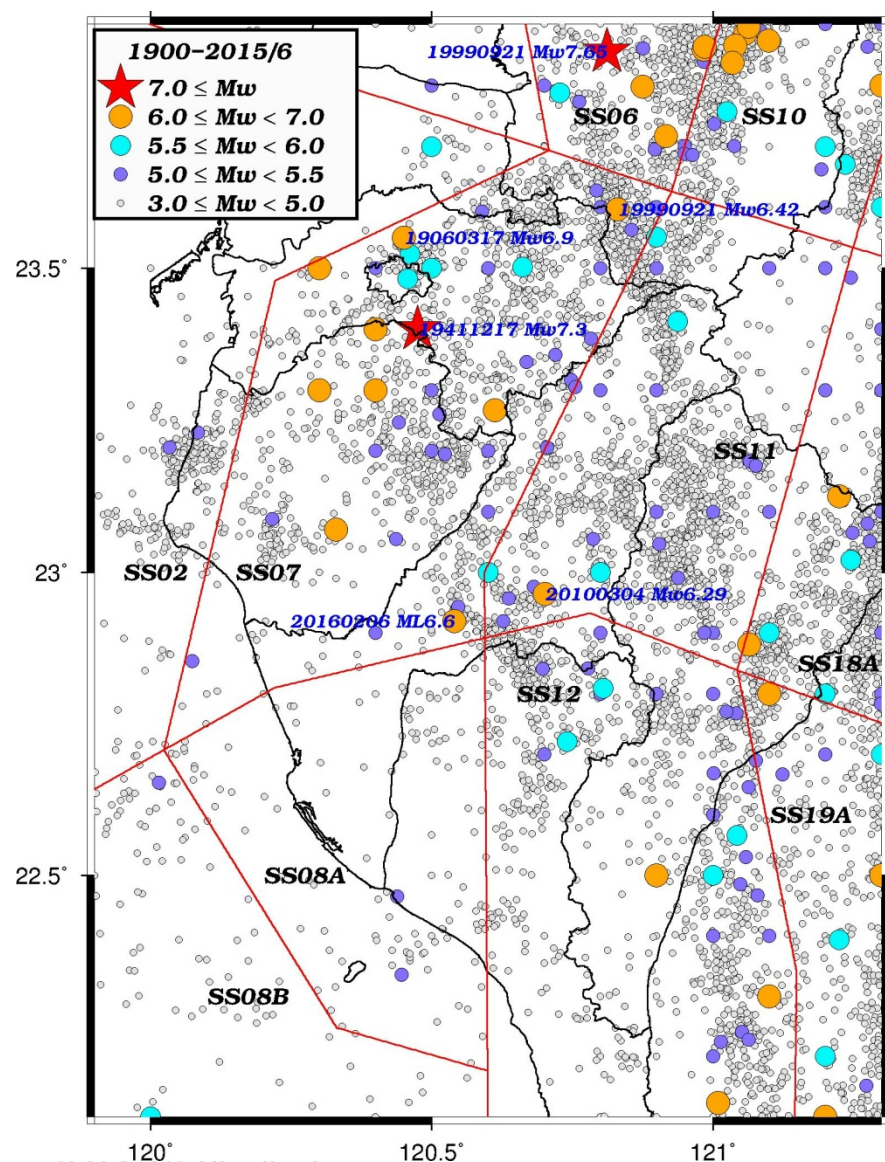
(水利署，2016)

Twater 執行步驟

- ✦ 管線、設施資料彙整
- ✦ 供水評估單元劃分
- ✦ 淨水場、導水路徑、送水幹管(管線評估單元)
關聯定義與數據設定
- ✦ Twater 資料匯入
- ✦ 震源參數設定
- ✦ Twater 執行
- ✦ 報表解讀、主題圖繪製

想定地震情境模擬

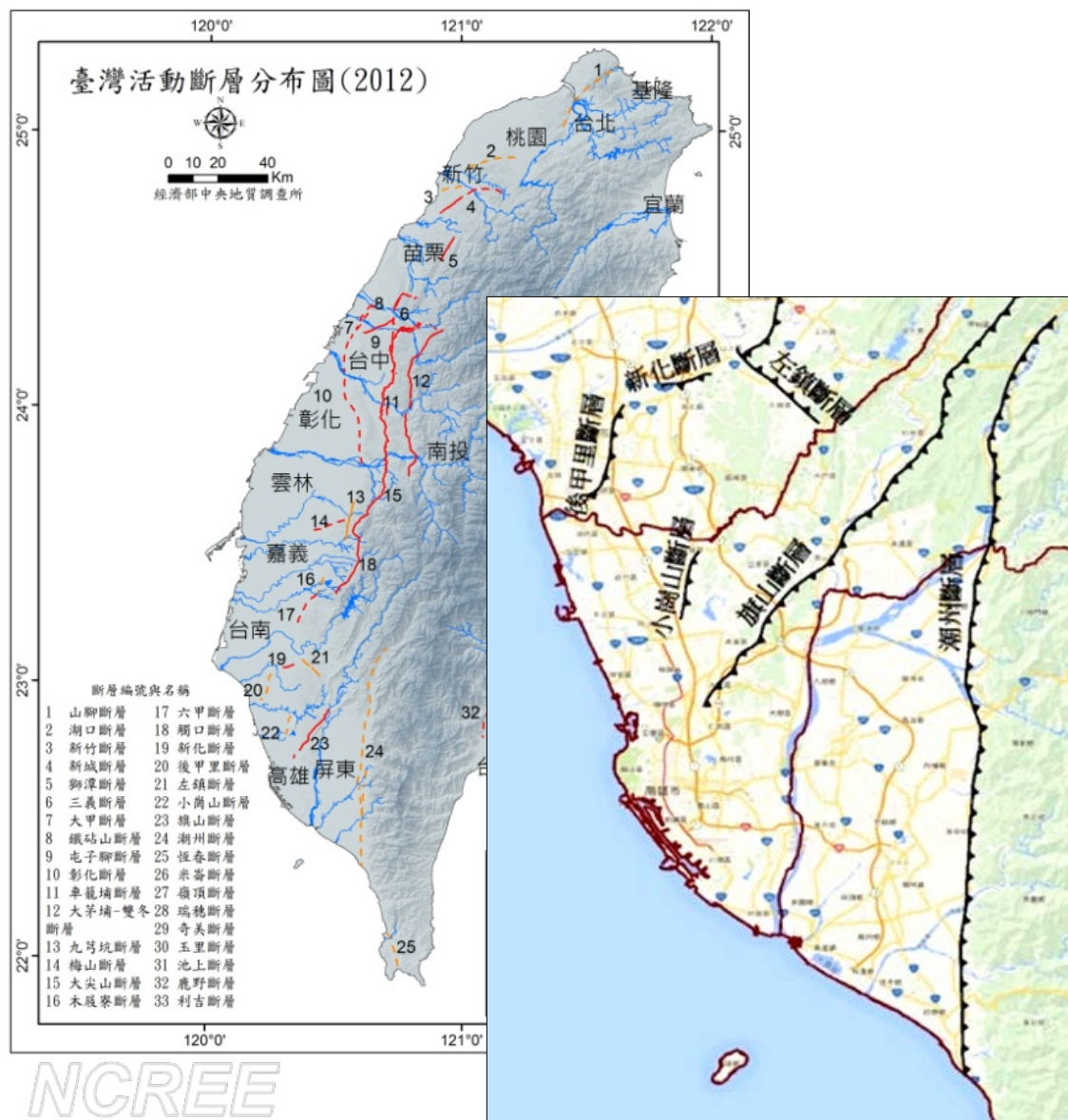
歷史地震分布、區域震源分區



規模	回歸期(年)			
	SS08A	SS12	SS11	SS07
6.0	495	17	60	22
6.2	798	25	96	34
6.4	1286	38	155	52
6.6	2074	56	250	80
6.8	3343	85	402	123
7.0	5390	127	647	190

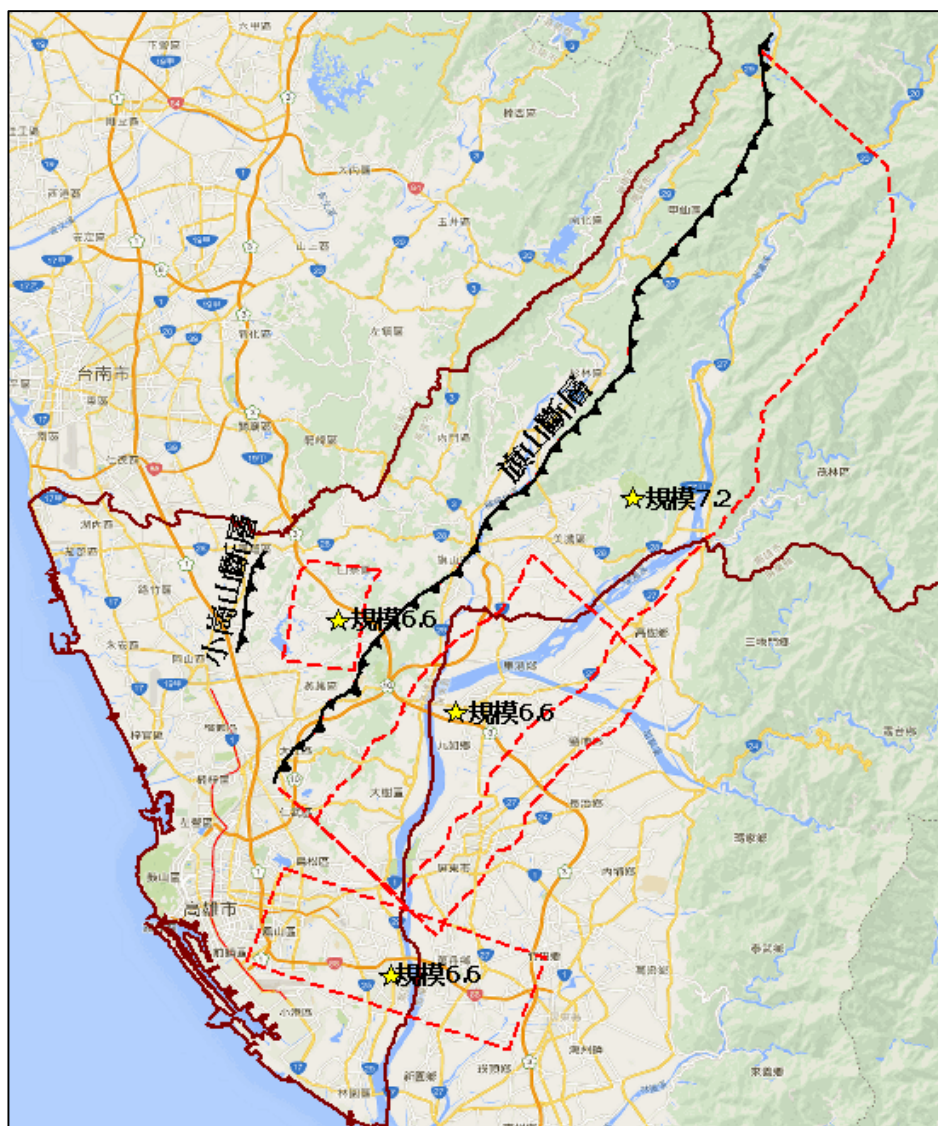
Commitment Passion Innovation

已知活動斷層



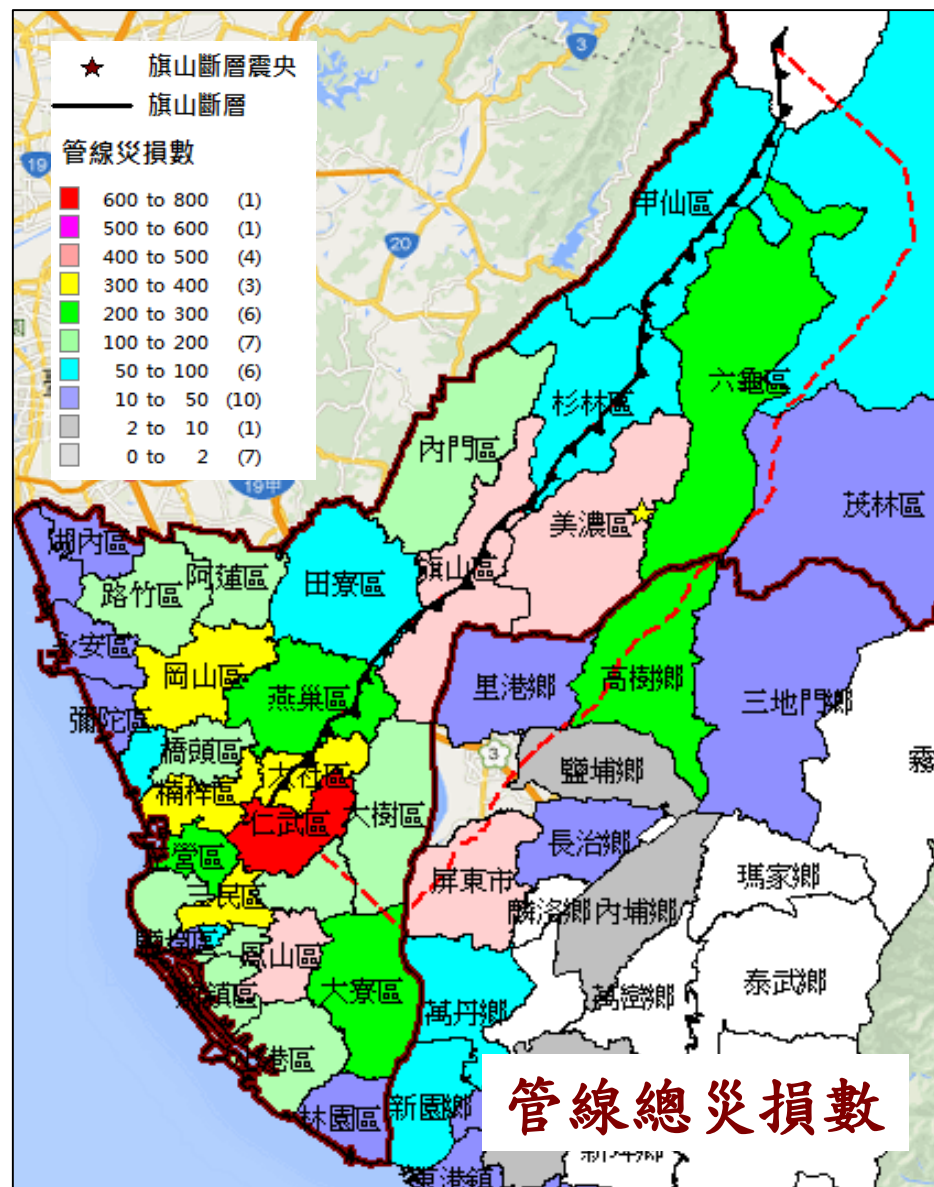
名稱	分類	長度(km)	滑移特性
旗山斷層	一	70	逆移
潮州斷層	二	85	逆移
小崗山斷層	二	8	逆移
新化斷層	一	6	右移
後甲里斷層	二	10	逆移
左鎮斷層	二	13	左移

四個想定地震之設定



	活動斷層 名稱	規模	長度 (km)	寬度 (km)
想定地震一	旗山斷層	7.2	70	20
想定地震二	旗山斷層	6.6	26.5	19.2
想定地震三	小崗山	6.6	8.1	8
想定地震四	盲斷層	6.6	20	10

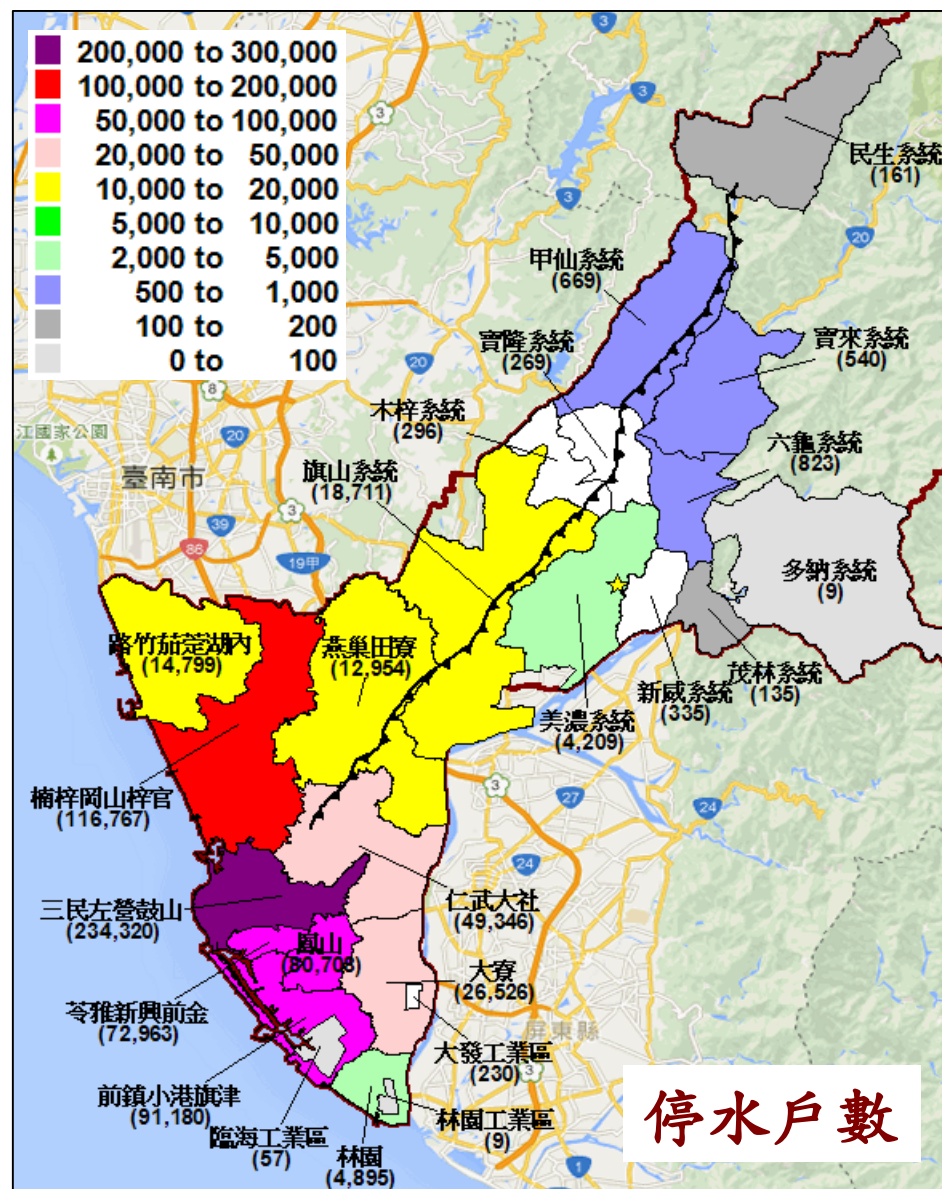
想定地震一：旗山斷層M7.2地震(1/2)



- ✦ 手巾寮淨水場嚴重損害
- ✦ 深水配水池完全損害
- ✦ 南化聯通管斷水，至拷潭與鳳山(民生)淨水場導水管，導水率折減至六成
- ✦ 管線災損數6,571個
(給水管圖資可能不足)
 - 送水管、送水幹管災損數較少(21、38個)，但預期嚴重影響整體供水
 - 管線修復所需金額一億四千多萬元
 - 管線修復需141,647人時
 - ▶ 若以500個人、每日工作10小時估計，則完全修復需費時一個半月

Commitment Passion Innovation

想定地震一：旗山斷層M7.2地震(2/2)



✦ 總停水戶數約73萬戶

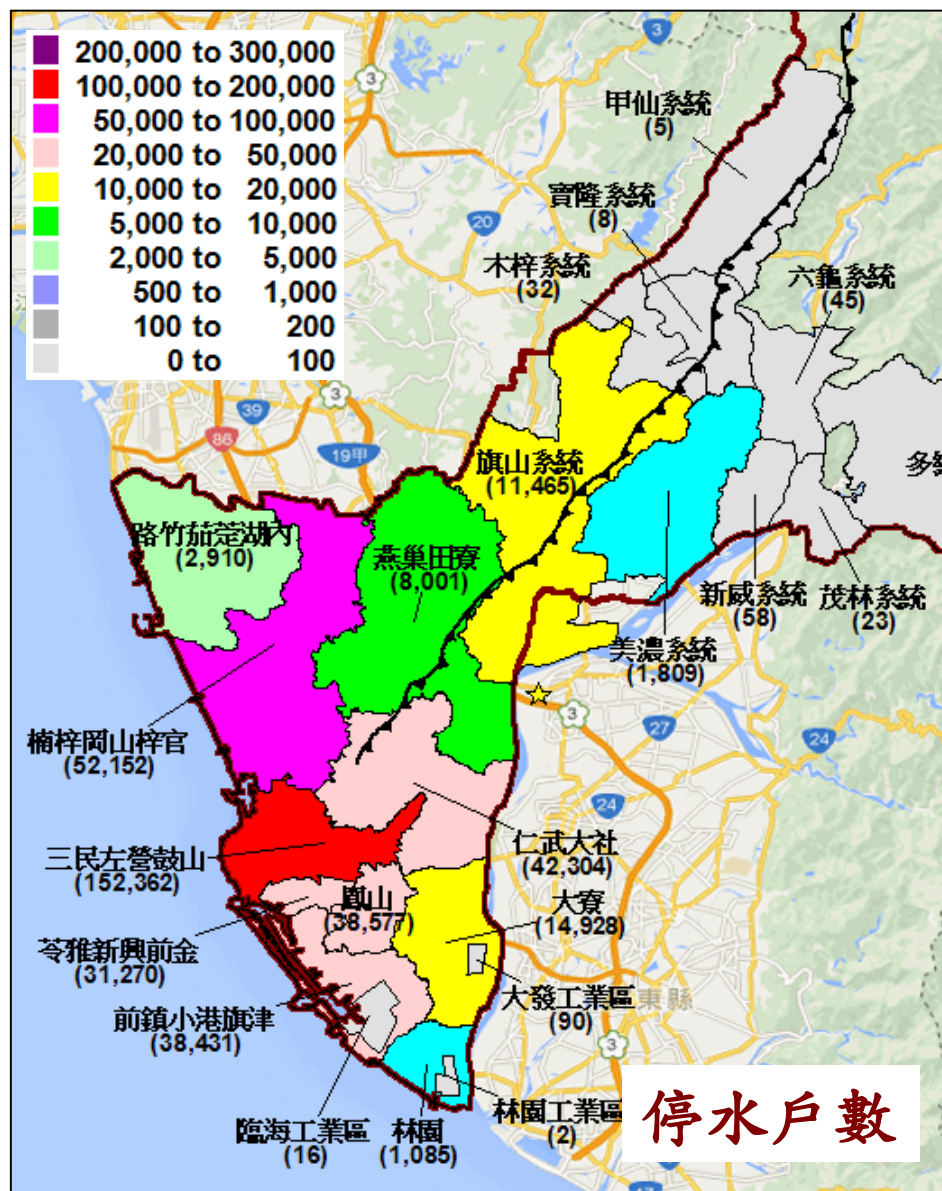
✦ 缺水率較高之供水評估單元：

- 仁武大社 (0.93)
- 旗山系統 (0.91)
- 三民左營鼓山 (0.91)
- 楠梓岡山梓官 (0.90)
- 燕巢田寮 (0.89)

✦ 停水戶數較多之供水評估單元：

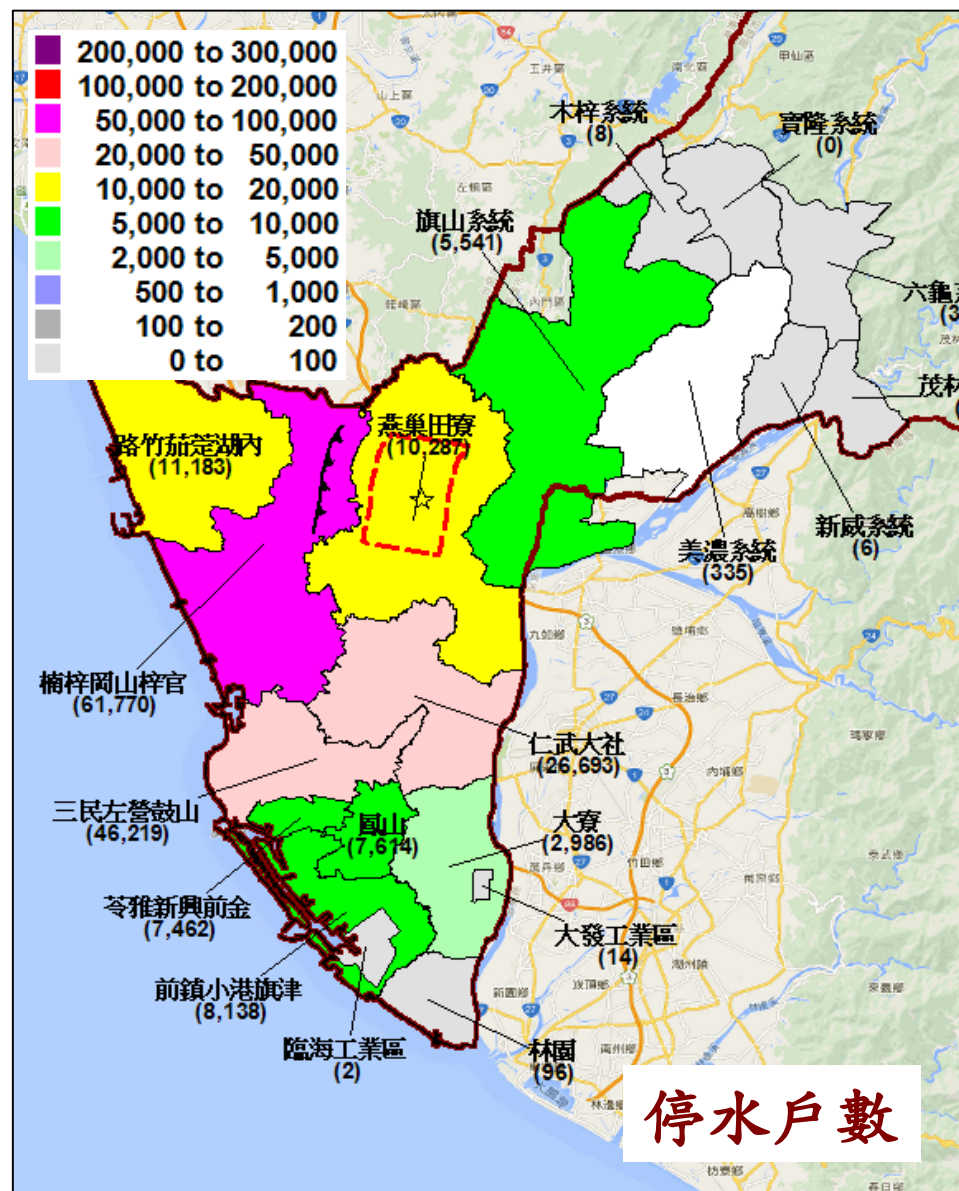
- 三民左營鼓山 (234,320)
- 楠梓岡山梓官 (116,767)
- 前鎮小港旗津 (91,180)
- 鳳山 (80,708)
- 苓雅新興前金 (72,963)

想定地震二：旗山斷層M6.6地震



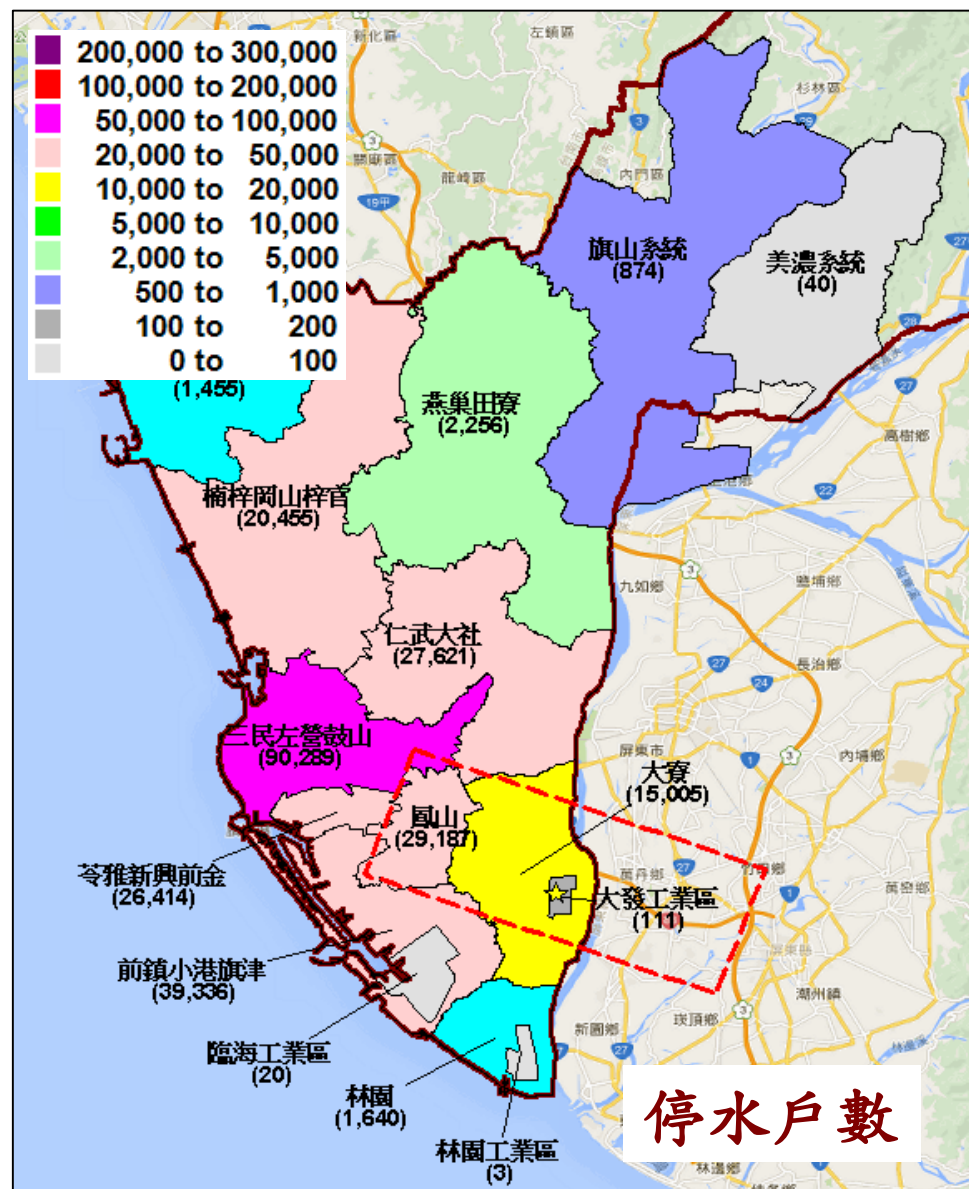
- 設施災損輕微
- 南化聯通管斷水，至拷潭與鳳山(民生)淨水場導水管，導水率折減至八成
- 管線災損數約2,276個
 - 送水幹管6個
- 總停水戶數約40萬戶
- 缺水率較高：
 - 仁武大社(缺水率0.83)
 - 三民左營鼓山(0.65)
 - 旗山系統(0.63)
- 停水戶數較多：
 - 三民左營鼓山(152,362)
 - 楠梓岡山梓官(52,152)

想定地震三：小崗山斷層M6.6地震



- 設施災損輕微
- 南化聯通管局部損壞，導水率減半
- 管線災損數約1,750個
 - 送水幹管4個
- 總停水戶數約19萬戶
- 缺水率較高：
 - 燕巢田寮(0.75)
 - 仁武大社(0.58)
 - 楠梓岡山梓官(0.55)
- 停水戶數較多：
 - 楠梓岡山梓官(61,770)
 - 三民左營鼓山(46,219)

想定地震四：盲斷層M6.6地震



- 設施災損輕微
- 管線災損數約1,093個
 - 送水幹管4個
- 總停水戶數約25萬戶
- 缺水率較高：
 - 仁武大社 (0.59)
 - 大寮 (0.48)
 - 三民左營鼓山 (0.42)
- 停水戶數較多：
 - 三民左營鼓山(90,289)
 - 前鎮小港旗津(39,336)

Commitment Passion Innovation

結果詮釋與減災對策

四個想定地震之災情彙整

想定地震事件	地震規模	超越輕微損壞設施數量		原水管道	管線災損數				缺水率	停水戶數
		淨水場	配水池	災損數	配水管 100-450mm	送水管 500-750mm	送水幹管 800mm以上	總災損數		
旗山斷層	7.2	14	20	15	3590	38	21	6,571	0.67	730,911
	6.6	2	0	3	1,313	14	6	2,276	0.38	395,573
小崗山斷層	6.6	0	1	1	764	8	4	1,750	0.22	194,019
盲斷層	6.6	0	0	1	714	8	4	1,093	0.27	254,706

旗山斷層M7.2地震之供水情勢

供水 評估單元	用戶數	日均 供水量	震後 供水率	送水 管網 震後 輸水率	配水 管網 震後 流失率	缺水 率	缺水量	停水 率	停水 戶數
三民左營鼓山	268,716	283,603	0.51	0.35	0.48	0.91	257,336	0.87	234,320
楠梓岡山梓官	135,461	220,687	0.38	0.46	0.43	0.90	198,404	0.86	116,767
前鎮小港		10,516	0.92	0.49	0.31	0.65			1,180
鳳山		1,604	0.79	0.67	0.46	0.71			10,708
苓雅新興前金	118,447	123,340	0.82	0.59	0.37	0.70	85,858	0.62	72,963
仁武大社	54,586	65,964	1.00	0.21	0.67	0.93	61,402	0.90	49,346

導水路徑、
淨水場、送
水幹管災損

供水評估單
元內部送配
水管網災損

旗山斷層M6.6地震之供水情勢

供水 評估單元	用戶數	日均 供水量	震後 供水率	送水 管網 震後 輸水率	配水 管網 震後 流失率	缺水 率	缺水量	停水 率	停水 戶數
三民左營鼓山	268,716	283,603	0.81	0.58	0.25	0.65	184,787	0.57	152,362
楠梓岡山梓官	135,461	220,687	0.85	0.75	0.17	0.47	104,215	0.39	52,152
仁武大社	54,586	65,964	1.00	0.29	0.43	0.83	54,809	0.78	42,304
鳳山	126,899	144,604	1.00	0.84	0.26	0.38	55,573	0.30	38,577
前鎮小港旗津	150,711	199,516	1.00	0.77	0.12	0.33	65,471	0.26	38,431
苓雅新興前金	118,447	123,340	1.00	0.80	0.17	0.34	41,807	0.26	31,270

想定地震分類

✚ 罕遇地震—旗山斷層M7.2地震

✚ 偶遇地震—M6.6想定地震

- 震後初期停水戶數約30萬
- 設施災損視震央位置而定，但或不嚴重
- 管線災損總數可達2,000個左右，遍布災區各處
 - ▶ 送水幹管(800mm以上)的災損數雖然較少(10個以內)，但可能造成部分地區嚴重的停限水

設防標準建議

✚ 以M6.6想定地震為設防標準

- 送水幹管，震後能否及時修復，為損害控制核心工作(左右數十萬停水戶數能否快速復水)
 - ▶ 應預作準備，儲備可於至少10處災損處，同時進行搶修、快速修復之應變能量

南化高屏聯通管路(原水重要備援)

✚ 導水路徑「Rw07_中正一_茅埔池」

✚ 強震時之備援助益有限

	設計流量	災損數	斷裂數	導水率	震後導水量
旗山斷層7.2	800,000	13.9	9.1	0.00	0
旗山斷層6.6	800,000	1.9	0.4	0.00	0
小崗山斷層6.6	800,000	0.9	0.1	0.54	434,128
盲斷層6.6	800,000	0.2	0.0	0.82	652,106

旗山系統(獨立供水系統)

✚ 以M6.6想定地震為設防標準

● 旗山系統轄下手巾寮淨水場，受旗山斷層地震(不同規模)之威脅極大

► 須審慎應對，以避免震後長時間之供水困難

手巾寮淨水場	日均 出水量	設計 出水量	損害 狀態	損失 (百萬)	震後 出水率	震後 處理能力	震後可取 得原水量	修復 所需天數	PGA
旗山斷層 7.2	10,515	21,000	嚴重	34.48	0.41	9,190	-	64	0.66
旗山斷層 6.6	10,515	21,000	無	2.04	0.84	18,052	18,052	4	0.49

旗山系統	用戶數	日均 供水量	震後 供水率	送水管線 震後輸水率	配水管網 震後流失率	缺水率	缺水量	用戶 停水率	停水 戶數
旗山斷層 7.2	21,311	10,515	0.81	0.24	0.54	0.91	9,575	0.88	18,711
旗山斷層 6.6	21,311	10,515	1.00	0.48	0.22	0.63	6,576	0.54	11,465

重要設備錨定(澄清湖高級淨水場)



臭氣產生設備之錨定



液氧蒸發機之錨定



臭氣產生機之錨定

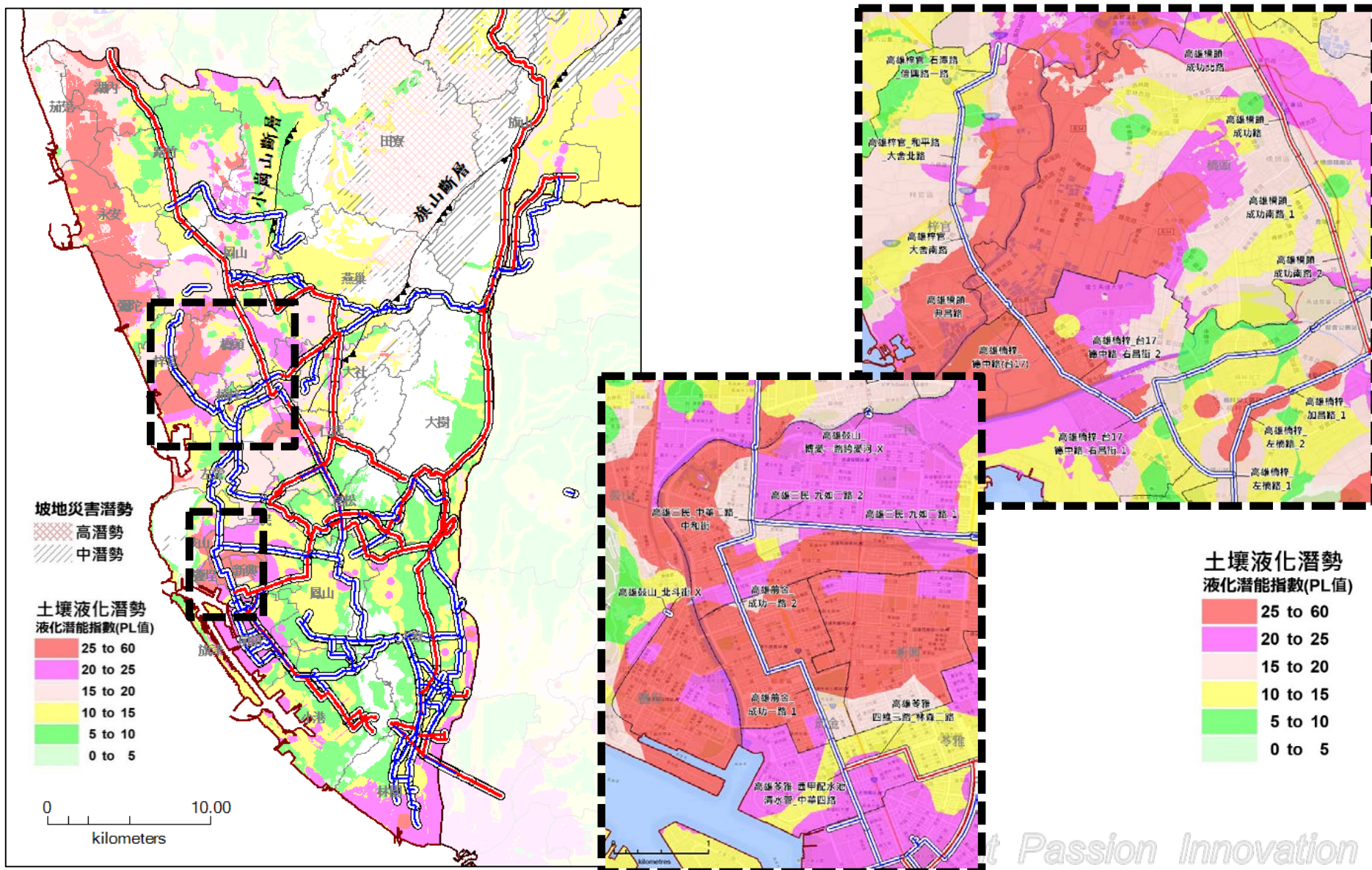


次氯酸鈉槽之錨定

自來水設施安全要求

- 主體土建結構，以及高毒性藥品儲存與投藥設備，應為首要目標
 - 一旦損壞或失效，可能長期癱瘓供水機能，或是對人身安全構成威脅者
- 次要土建結構或配管、機電儀錶、小型閥栓等，可為次要目標
 - 即使嚴重損壞或失效仍對供水無影響(或甚小)者
 - 可快速修復者
 - 對人身安全無任何威脅者
 - 高價值者
- 高級淨水設備、藥劑貯槽等之錨定安全，宜詳加確查

土壤液化災害暴險分析



土壤液化災害對策建議

- ✚ 暴險程度較高的自來水設施與管線，須審慎應對，視其重要性與災害類別，決定是否進一步施予耐震詳細評估與補強
- ✚ 關鍵設施(如重要政府廳舍、大型醫院、設為避難收容處所的學校或公園等)，清查負責供水的送、配水管線，若有耐震安全疑慮者，應著手改善
 - 耐震補強
 - 增設備援管
 - 增加貯水量 ...

結語

公共安全影響項目

- ✦ 自來水設施內部之人員安全、二次災害(自有設備之連帶受損)
- ✦ 具毒性或腐蝕性藥劑，或其他危險性或汙染性物質之溢漏，對於人員或環境造成的傷害
- ✦ 突然性之噴水，或是大量漏水淹沒鄰近之低窪地帶與建築物低樓層與地下室，足為附近民眾(路過或住戶)人身及財產安全的威脅
- ✦ 突然性之斷水，對於特別用戶(如醫院、工廠)之作業危害
- ✦ 其他可能之危害

供水風險影響項目

- ✦ 當下之供水影響(區域、供水量與影響戶數)
- ✦ 啟動備援設備或供水調配機制之方式(若有)，以及在此條件下之供水影響(區域、供水量與影響戶數)
- ✦ 修復或重建(若需要)所需之時間
- ✦ 不同損害程度(若可區分)之可修復性
- ✦ 不同損害程度(若可區分)之設備修復費用或資產損失
- ✦ 臨時與長期(若需要)的功能性可替代方案之有無(例如水管橋損壞時，架設臨時管路之可行性)
- ✦ 對於關鍵設施(如行政中心、醫學中心、交通樞紐設施、科學園區等)之供水影響
- ✦ 其他大規模缺水之不利影響

減災對策基本原則

✚ 採自來水系統之整體性觀點，考慮多元對策，權衡不同利弊得失

- 部分提升自來水設備安全性能，取得經濟性與可靠度之平衡
- 建置備援設備，以期失效時之影響得以降低
- 整備快速修復之技術能量，一旦失效時可以快速復水
- 強化應急貯水容量與臨時供水能力，一旦斷水時仍有所支撐

謝謝聆聽
敬請指教