

自來水管線耐震評估與補強對策

劉季宇

誌謝

- 台灣自來水公司
- 經濟部水利署
- 經濟部中央地質調查所

簡報大綱

- 歷史震害
- 管線基本資料整理
- 地震災害潛勢
- 管線易損性
- 風險值與補強排序
- 耐震對策
- 結語

歷史震害

九二一地震(1/2)



豐原 $\phi 2000\text{mm}$ 鋼管過車籠埔斷層挫屈破壞，此乃當時豐原第一、二淨水場共用之唯一出水幹管，震前提供大台中地區約74萬用戶的70%用水量。

九二一地震(2/2)



總災損數4,411件，其中351件管徑介於300至2,600mm。

高雄美濃地震(1/2)



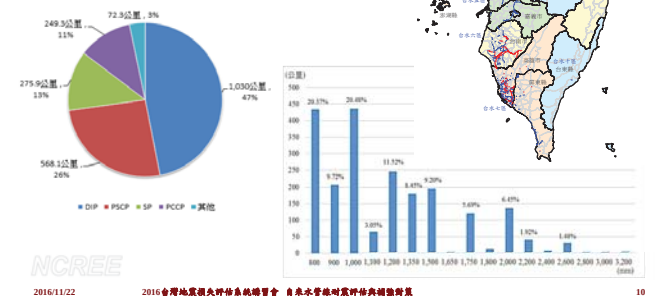
高雄美濃地震(2/2)



管線基本資料整理

標的管線統計

- 管徑800-3,200 mm
- 總長度約2,130公里

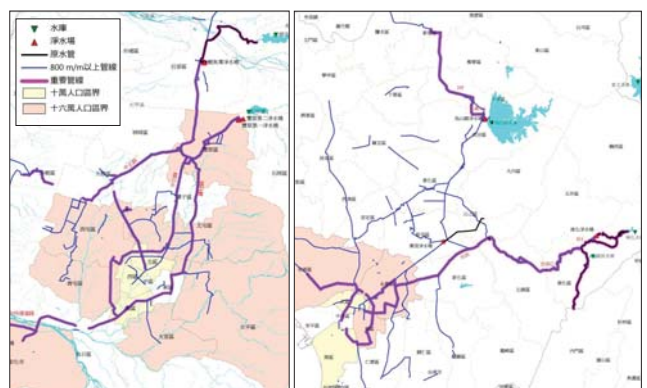


重要管線界定

- 原則一：供水系統之平均日配(供)水量達40,000 CMD者，其原水及清水管線列為重要管線
- 原則二：單一或數個鄉鎮區之累計人口數達16萬(生活用水40,000 CMD)，其供水管線單一且無備援者，列為重要管線
- 原則三：地下水源充足之鄉鎮區，即使人口數達16萬，其供水管線不列為重要管線

- 重要管線 ⇒ 高重要性、次高重要性(以φ1,500mm為界)
- 一般管線 ⇒ 中重要性、低重要性(以φ1,500mm為界)

重要管線(四區、六區)



管線評估單元

- 原始管線共6,568筆，長度與內容差異頗大，須予整理
- 建議不納入耐震補強排序之管線評估單元
 - 與主要幹線交叉(x)、獨立之標的管線(y)
 - 淨水場、配水池或加壓站等設施內的管線(z)
- 災害潛勢：取個別管線評估單元之環域，與災害潛勢圖套疊，進行空間分析
 - 判識與活動斷層關係
 - 計算地震動潛勢值
 - 計算土壤液化潛勢值
 - 計算坡地災害潛勢值
- 耐震易損性：根據所包含原始管線之管徑、管材、接頭型式和管長，重新計算其相對易損性
- 經整理得需補強排序之管線評估單元共1,676筆

管線評估單元範例

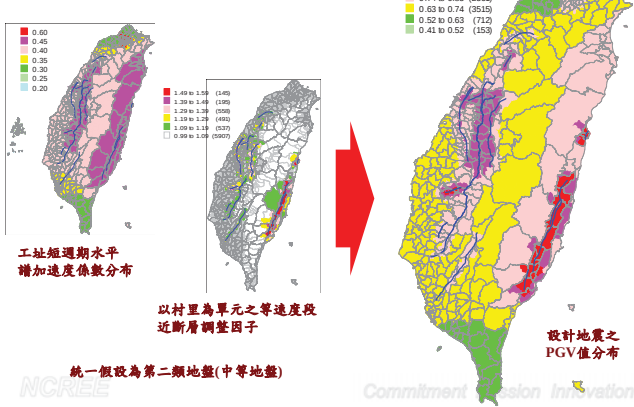


管線評估單元與災害潛勢圖套疊

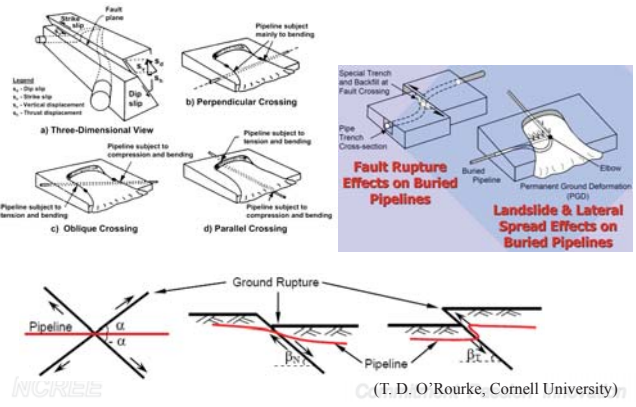


地震災害潛勢

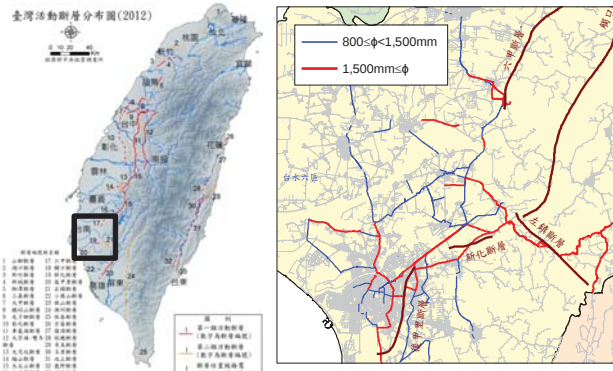
地震動PGV



地盤變位與管線震害



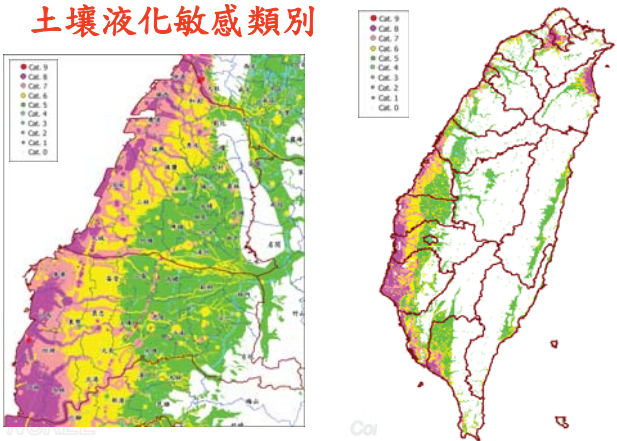
活動斷層分布



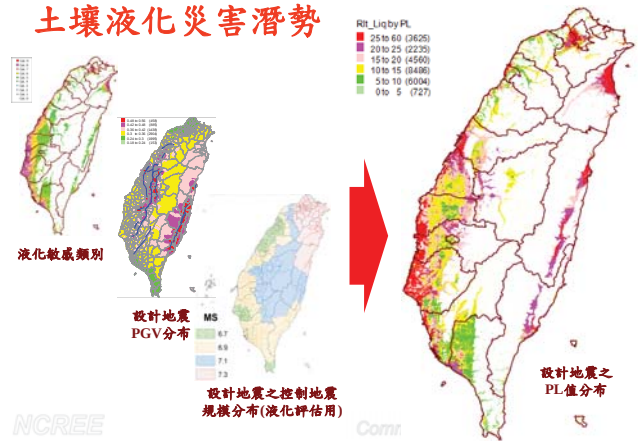
活動斷層參數

名稱	長度(km)	最大規模	近斷層距離(km)	斷層性質	破裂帶寬度(m)	可能錯動量(m)		回歸週期	前次事件
						水平	垂直		
獅潭斷層	12	6.8	8	逆斷層	-	-	3	-	1935
神卓山斷層	5	6.8	8	逆斷層	-	-	0.6	-	1935
屯子腳斷層	14	6.8	12	右移兼逆斷層	-	1.5	-	-	1935
梅山斷層	13	7.1	8	右移斷層	-	2.4	1.8	114	1906
新化斷層	6~12	6.1	5	右移兼逆斷層	-	2	0.76	210	1946
米崙斷層	7~25	7.0	12	右移兼逆斷層	-	2	1.2	600~700	1951
奇美斷層	18	7.3	12	逆斷層	1	-	1~2	-	1951
玉里斷層	43	7.3	12	右移兼逆斷層	-	-	1.63	< 250	1951
池上斷層	47	7.3	12	右移兼逆斷層	-	-	< 0.5	-	1951
新城斷層	15~28	> 7.0	-	逆斷層	50	-	1.3~1.85	2000	-
車籠埔斷層	105	7.3	12	逆斷層	-	-	-	400~1000	1999
大尖山斷層	25	-	8	逆斷層	250-400	3.94	-	-	-
觸口斷層	40	-	8	逆斷層	60	-	-	-	-

土壤液化敏感類別



土壤液化災害潛勢



山崩潛勢

地調所圖資

- 斜坡單元與岩屑崩滑潛勢
 - ▶ 低、中、高潛勢
- 山崩目錄：2004~2015年

潛勢調整

- 計算各斜坡單元曾發生山崩之面積比
 - ▶ $\leq 0.05 \Rightarrow$ 低潛勢
 - ▶ $0.5 \sim 0.05 \Rightarrow$ 中潛勢
 - ▶ $\geq 0.5 \Rightarrow$ 高潛勢
- 與原潛勢相比，取大值



地震災害潛勢值

地震動	活動斷層
$H_{GM} = \sum_j \frac{A_j}{A} \cdot \overline{GM}_j$ $\overline{GM} = (PGV - 15)^{1.14} - (30 - 15)^{1.14} = (PGV - 15)^{1.14} - 21.915$	$H_F = \min(10L_c + L_n, 600) \cdot \overline{D} \cdot f$ $\overline{D} = \begin{cases} D & D < 1.0 \\ 1.0 & D \geq 1.0 \end{cases}$ $f = \begin{cases} 1 & R \geq 500 \\ 2 - \frac{R - 200}{300} & 200 < R < 500 \\ 2 & R \leq 200 \end{cases}$
土壤液化	山崩
$H_{LQF} = \left[\sum_j \frac{A_j}{A} \cdot \overline{PL}_j \right] \cdot \log_{10} L$ $\overline{PL} = \begin{cases} 0 & P_i < 10 \\ P_i - 10 & 10 \leq P_i < 30 \\ 20 & P_i \geq 30 \end{cases}$	$H_{LS} = \sum_{j=1}^4 \frac{A_{Lj}}{A} \cdot LS_j$

管線易損性

管線災損率與修正係數

$$R_m = C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot 0.00992 \times (PGV - 15)^{1.14}$$

管材質接頭	修正係數	管徑	修正係數
DIP(A)	1.0	φ50-80	2.0
DIP(K)	0.5	φ100-150	1.0
DIP(T)	0.8	φ200-250	0.4
DIP(耐震)	0	φ300-450	0.2
CIP	2.5	φ500-900	0.1
PVCP(TS)	2.5		
PVCP(RR)	0.8		
SP(焊接)	0.5 / 0		
SP(其他)	2.5		
ACP	7.5		
PEP(融接)	-		

日本水道技術研究中心，
2011，「地震による水道管
路被害予測の手引き」。

管線易損性值

✦ 管線易損性

$$V = \log_{10} \left(10 \cdot C_p \right) \times \left(\frac{800}{\phi} \right)^{0.125}$$

✦ 評估單元易損性值

$$V = \sum_k \frac{L_k}{L} \cdot V_k$$

✦ 正規化

$$\bar{V} = \frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}}$$

風險值與補強排序

地震風險值與群組

✦ 風險(Risk, R)，係由災害潛勢(Hazard, H)與易損性(Vulnerability, V)所構成

$$R = H \otimes V$$

✦ 管線評估單元之風險值，定義為正規化災害潛勢序分，以及正規化管線易損性之乘積

$$R = (\bar{H} + 1) \cdot (\bar{V} + 1)$$

✦ 所有管線評估單元，按風險值由高至低排列，均分為R1, R2, ..., R10等10個風險群組正規化

不同風險群組之管線評估單元數

風險群組	低重要性	中重要性	次高重要性	高重要性
R1	53	36	50	29
R2	42	42	34	50
R3	56	34	41	37
R4	63	29	54	22
R5	47	31	55	35
R6	56	51	46	15
R7	59	52	33	24
R8	67	44	33	24
R9	70	29	28	41
R10	85	26	47	6

補強建議名單及其排序

風險群組			次高重要性	高重要性
R1			50	29
R2			34	50
R3				37
R4				22

- ✚ 第一優先：G1群組(79)，按G1a、G1b排序
- ✚ 第二優先：G2群組(87)，混合排序
- ✚ 第三優先：G2群組(56)，混合排序
- ✚ 初步建議合計225個評估單元施予排序

2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

31

耐震對策

NCREE

Commitment Passion Innovation

2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

32

管線耐震對策之分類

- ✚ 耐震管材
 - SP、耐震DIP...
- ✚ 耐震設計、損壞阻絕
 - 耐震工程、增設閘栓、增設旁通管...
- ✚ 系統改善
 - 管線繞道、提升贅餘度、增設備援管...
- ✚ 緊急應變
 - 緊急供水、快速修復...
- ✚ 管中管(管路更新)
 - SP、耐震DIP、內襯軟管...

NCREE

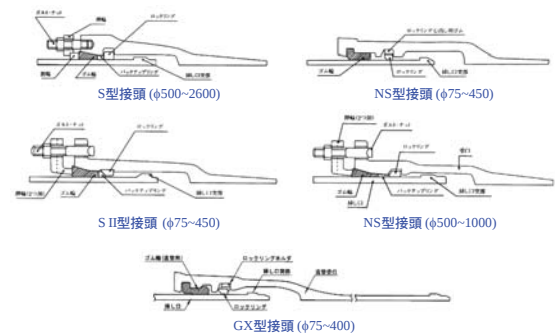
Commitment Passion Innovation

2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

33

日本耐震DIP (1/2)



NCREE

Commitment Passion Innovation

2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

34

日本耐震DIP (2/2)

- ✚ 2011年東北地震災，無任何損害
- ✚ 2014/8/21廣島市洪災，無任何損害



2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

35

過斷層鋼管設計考量

- ✚ 管線過平移斷層時，設法調整通過交角，產生張力(軸壓對管線較為不利)
- ✚ 管線過逆斷層時，斜角愈小愈好，以降低受壓之應變
- ✚ 斷層範圍內，管線維持直線線型及固定埋深
- ✚ 斷層範圍內，採較淺之管線埋深
- ✚ 斷層範圍內，降低管壁與土壤間摩擦力，例如施以堅硬光滑之被覆
- ✚ 斷層兩側各300公尺範圍內，管壁加厚
- ✚ 斷層兩側各300公尺範圍內，選用鬆軟粒質土壤(或地工泡棉Geofoam)作為回填

ASCE (1984) - Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems.

NCREE

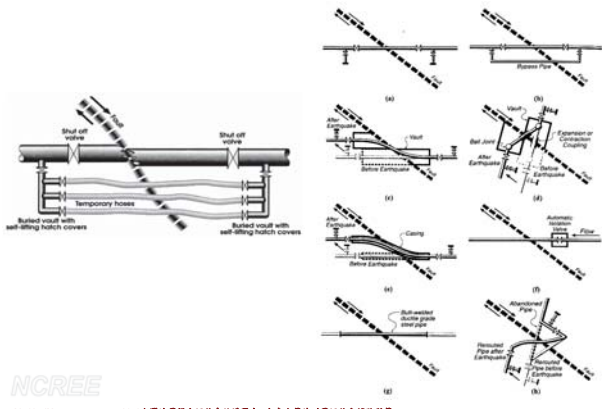
Commitment Passion Innovation

2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

36

EBMUD過斷層建議



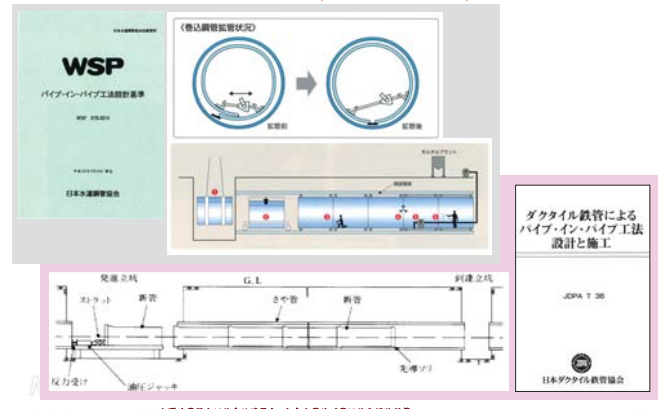
NCREE

2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

37

管中管(SP與DIP)



2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

38

結語

- ✦ 風險較高之管線評估單元共225個，概分為第一、二、三優先之排序群組，建議先施予耐震補強
- ✦ 實施耐震補強計畫，後續仍須微調排序結果，以顧及各原水管與送水管耐震提升之完整性
- ✦ 全國性管線耐震補強排序
 - 宏觀考量地震災害潛勢與管線易損性，有效掌握各項因子之相對高低，結果具參考性
 - 所依據之災害潛勢圖資，仍有其解析度與準確性之限制，辦理補強細部設計時，須以實地調查為準
 - ▶ 地盤種類、斷層位置、地下水位、坡度、液化潛勢
- ✦ 不同災害類別，均有適合之管線耐震補強工法(對策)，確切之適用性因個案條件而異

NCREE

2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

39

簡報完畢
敬請指教



NCREE

2016/11/22

2016台灣地震損失評估系統講習會 自來水管線耐震評估與補強計畫

40