

維生線設施之易損性 與震害防治

劉季宇

自來水管線

九二一地震管線震害(1/2)



- 豐原φ2000mm銅管過車籠埔斷層挫屈破壞(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)

九二一地震管線震害(2/2)



Among all 4,411 pipe damages, 351 occurred in pipe size between 300 and 2,600mm.

管線之災損率與修正係數

中管徑PVC管災損率公式：

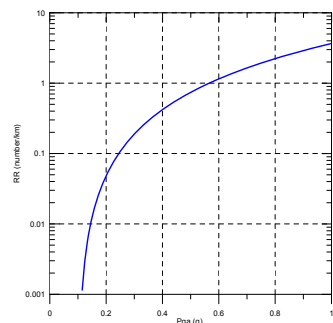
$$RR_0 = \max(RR_{PGA}, RR_{PGD(Fault)}) + RR_{PGD(Liquefaction)} \cdot P_{Liquefaction}$$

其他管線 ➡ $RR = C \cdot RR_0$

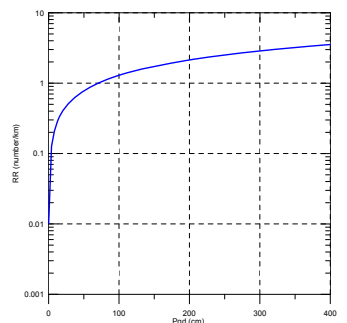
管材、管徑修正係數(Miyajima et al., 2011)：

管材	代表管種	修正係數	管徑	管徑區間	修正係數
T2	DIP(K), SP, SSP, HDPE	0.63	S1	13-80mm	2.86
T3	PVCP(RR), PEP, HIWP	1.00	S2	100-250mm	1.00
T4	DIP(A)	1.25	S3	300-450mm	0.29
T5	CIP, PVCP(TS), MJP, PCCP	3.13	S4	500-800mm	0.14
T6	GIP, RCP, ACP, ABSP, LP, FRP	9.38	S5	900mm以上	0.07

中管徑PVC管災損率： RR_{PGA} 與 RR_{PGD}



$$RR_{PGA} = 4.501 \cdot (PGA - 0.1)^{1.97}$$



$$RR_{PGD} = 0.04511 \cdot PGD^{0.728}$$

(PGA in g, PGD in cm)



地震動分析檢核項目

管體之合成應力：

$$\sigma_x = \sqrt{W \cdot \sigma_L^2 + \sigma_B^2} \quad W: \text{管線重要性加權係數}(1 \sim 3.12)$$

接頭伸縮量：

$$u = \pm \varepsilon_G \cdot \ell$$

$$\varepsilon_G = \eta \cdot \frac{\pi \cdot U_h}{L}$$

η ：地盤不均勻度係數(1~2)

接頭撓曲角：

$$\theta = \pm \frac{4\pi^2 \cdot \ell \cdot U_h}{L^2}$$

設計時，須一併納入設計內
水壓、車載荷重、溫度變化、
地盤下沉等考量！

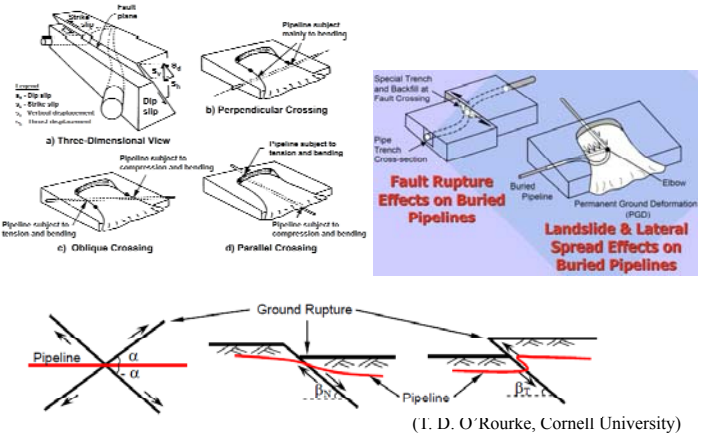
2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

7



地震引致地盤變位與管線震害



(I. D. O'Rourke, Cornell University)

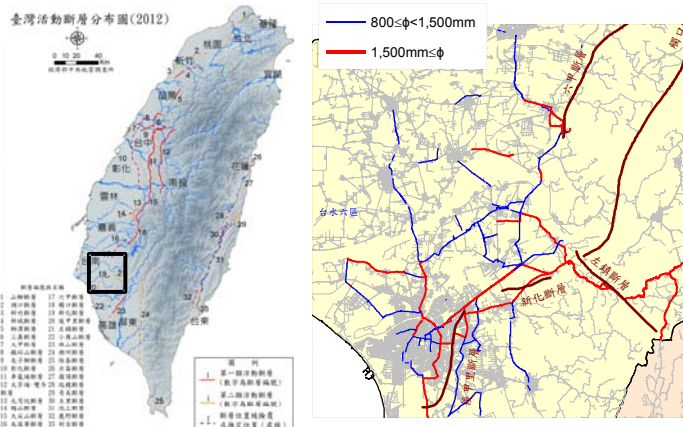
2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

8



活動斷層分布



2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

9



活動斷層參數

(Wen et al., 2005)

Name	Length (km)	Upper Bound of Magnitude (M_u)	Near-fault Distance (km)	Type	Width of Fault Zone (m)	Max. Offset (m)	Return Period (yr.)	Last Event (yr.)
Shintan	12	6.8	8	R	-	3	-	1935
Shenchoshan	5	6.8	8	R	-	0.6	-	1935
Tuntzuchiaio	14	6.8	12	R	-	1.5	-	1935
Meishan	13	7.1	8	OR	-	2.4	114	1906
Hsinhua	6~12	6.1	5	OR	-	2	210	1946
Milun	7~25	7.0	12	OR	-	2	1.2	600~700
Chimei	18	7.3	12	R	1	1~2	-	1951
Yuli	43	7.3	12	OR	-	1.63	< 250	1951
Chihshang	47	7.3	12	OR	-	< 0.5	-	1951
Hsincheng	15~28	> 7.0	-	R	50	1.3~1.85	2000	-
Chelungpu	105	7.3	12	R	-	-	400~1000	1999
Tachienshan	25	-	8	R	250~400	3.94	-	-
Chukou	40	-	8	R	60	-	-	-

(R: reverse, OR: oblique reverse)

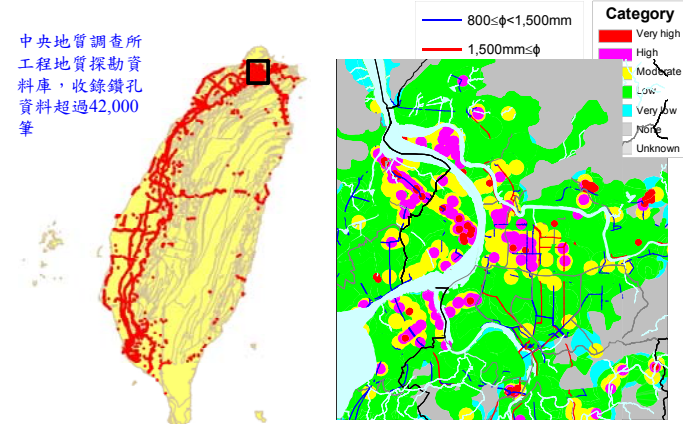
2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

10



土壤液化敏感類別



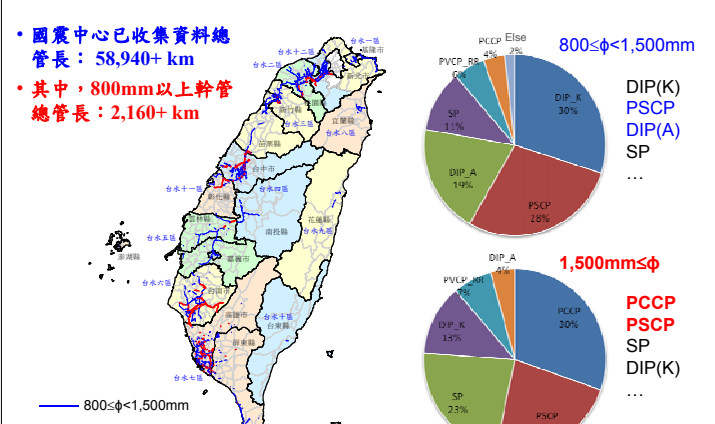
2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

11



自來水管材現況(以台水公司為例)



2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

12



管線耐震對策之分類

耐震管材

- SP、HDPE pipe、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...

2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

13



管線耐震對策之實例



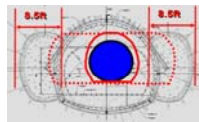
Japan NS-type DIP in typhoon (courtesy Prof. Miyajima)



Steel pipe for crossing fault (SPF) using buckling pattern (courtesy JFE Engineering)



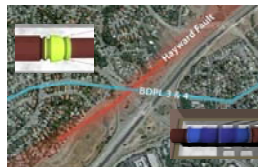
Plastics piping system (hose lining) for renovation in Taipei (courtesy Ashimori Industry Co.)



Enlarged bypass tunnel vault for fault offset (courtesy EBMUD)



Temporary HDPE bypass lines for fault crossing (courtesy EBMUD)



SFPUC Bay Division Pipeline (BDPL) Nos. 3 and 4 (courtesy SFPUC)

2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

14



北水處二重疏洪道重劃區試辦耐震管



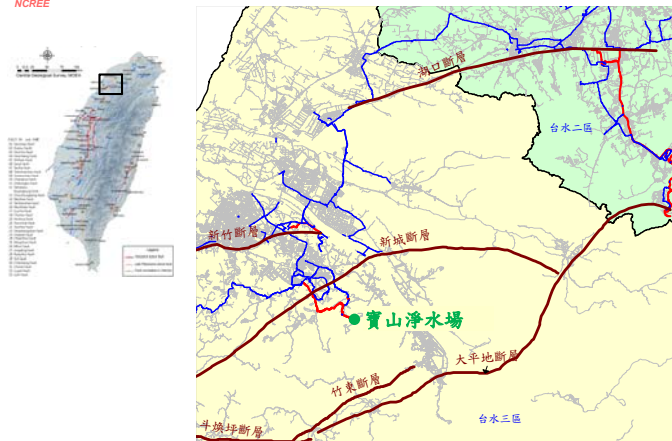
2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

15



台水三區φ2000mm鋼管過新城斷層(1/3)



2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

16

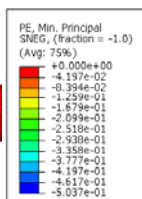
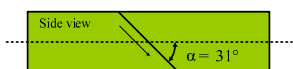
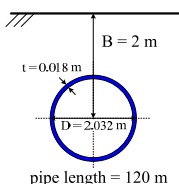


台水三區φ2000mm鋼管過新城斷層(2/3)

Name	Length (km)	Upper Bound of Magnitude (M_L)	Near-fault Distance (km)	Type	Width of Fault Zone (m)	Max. Offset (m)		Return Period (yr.)	Last Event (yr.)
						Hor.	Ver.		
Hsincheng	15~28	> 7.0	-	R	50	-	1.3~1.85	2000	-

$$\Delta_H = 0.0 \text{ m}$$

$$\Delta_V = 2.0 \text{ m}$$



2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

17



台水三區φ2000mm鋼管過新城斷層(3/3)

	對 策	優 點	缺 點
1	引入日本耐震管材	耐震管材已商品化	尚無過斷層實例驗證
2	實施耐震補強工程設計	依個案需求，量身打造	費用昂貴
3	設置旁通管	經濟有效	接管時須斷水

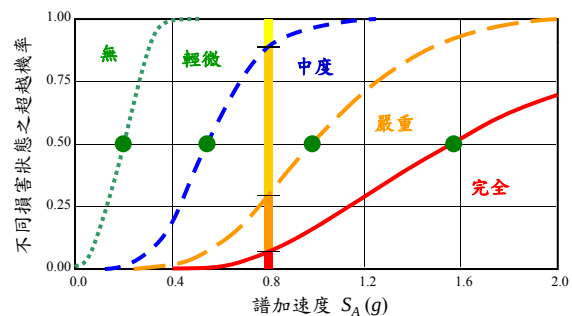
2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

18

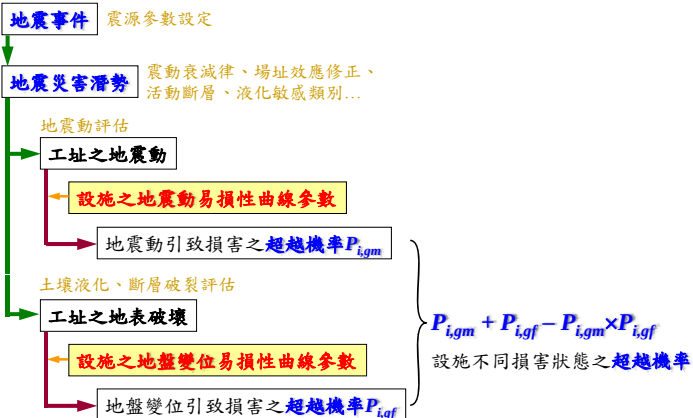
自來水設施

設施之耐震易損性曲線

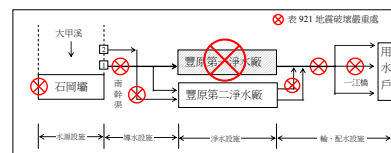


- 損害狀態概分無、輕微、中度、嚴重和完全損害
- 不同損害狀態之超越機率曲線，由中值和變異數決定

自來水設施損害評估流程



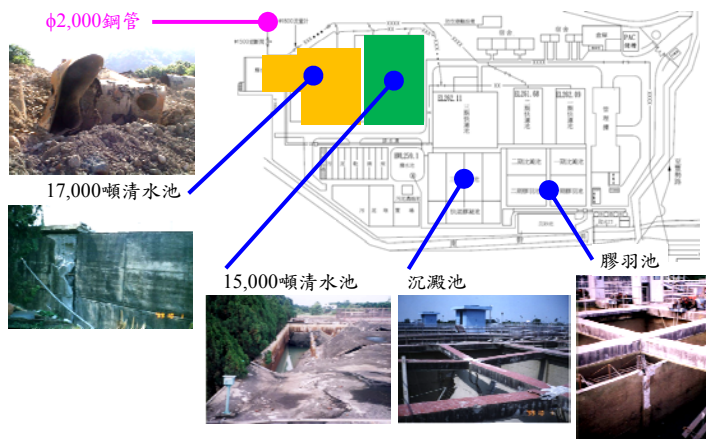
921設施震害(1/5)



圖一 921地震大台中地區供水系統主要受損示意圖



921設施震害(2/5)—豐原第一淨水場

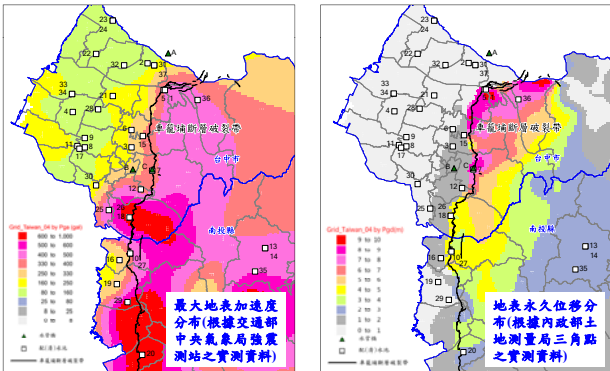


921設施震害(3/5)





921設施震害(4/5)—設施分布



共37座配(清)水池，7座損壞

共3座水管橋，1座損壞

2015/11/23 2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

25



921設施震害(5/5)—損壞設施屬性

No	配(清)水池名稱	容量(噸)	損害情形	結構材料	結構形式	配置方式	池體形狀	PGA (gal)	PGD (m)	距斷層最近距離 (m)	設施相對斷層位置	竣工年 (民國)
1	豐原第二淨水場50000噸清水池	50,000	頂板崩塌(緊鄰斷層)	RC		地下	長方體	388	8.72	273	上盤	79
2	福館配水池	18,000	伸縮縫全開、梁柱及底板嚴重開裂(緊鄰斷層)	RC	非框架式	地上	不規則	346	1.55	43	上盤	78
3	豐原第一淨水場17000噸清水池	17,000	池體毀損(緊鄰斷層)	RC		半地下	長方體	364	8.53	45	上盤	70
4	豐原第一淨水場15000噸清水池	15,000	池體毀損(緊鄰斷層)	RC		半地下	不規則	364	8.53	59	上盤	68
5	草屯第一淨水場清水池6000	6,000	池壁發生輕微縫	RC	非框架式	地下	不規則	314	4.28	341	上盤	86
6	林子頭淨水場清水池	4,000	池壁發生縫	RC	非框架式	半地下	長方體	244	1.26	1,637	下盤	83
7	東勢淨水場清水池	1,000	崩塌路、池頂崩塌	RC		地上	圓柱	444	7.94	2,655	上盤	75

(僅考慮1000噸以上)

No	水管橋名稱	管徑 (mm)	損害情形	結構型式	跨數	管材	PGA (gal)	PGD (m)	距斷層最近距離 (m)	設施相對斷層位置	竣工年 (民國)
1	一江橋水管橋	1,000	落橋(過斷層)	管架(無加勁)	7	鋼管	346	1.55	127	過斷層	76

2015/11/23 2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

26



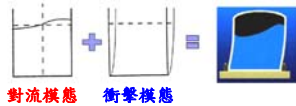
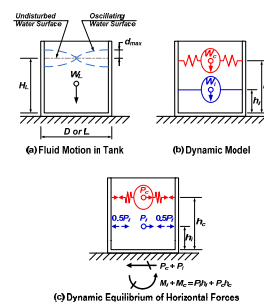
池狀結構特性與動力模型

結構特性

- 須考慮液體動力作用，壓力作用於池壁與底板
- 低韌性、低贅餘度—設計總橫力較建築物為高($R \downarrow$ 或 $I \uparrow$)

簡化動力模型

- 彈簧-質量系統
- 衝擊、對流模態
- 對流模態阻尼比0.5%



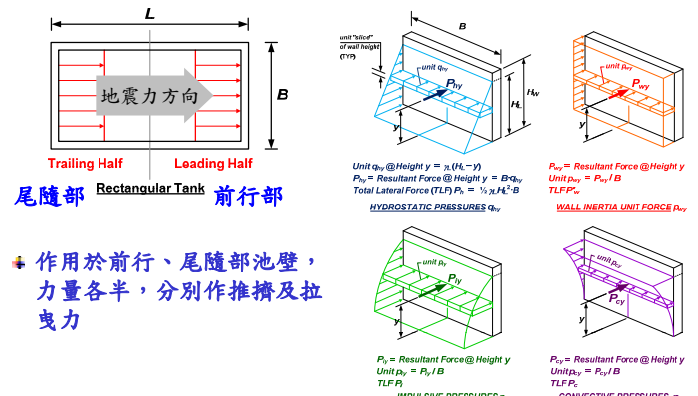
(摘自美國ACI 350.3-06規範)

2015/11/23 2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

27



池狀結構之池壁載重



- 作用於前行、尾隨部池壁，力量各半，分別作推擠及拉曳力

(摘自美國ACI 350.3-06規範)

2015/11/23 2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

28



配(清)水池損害狀態之定義

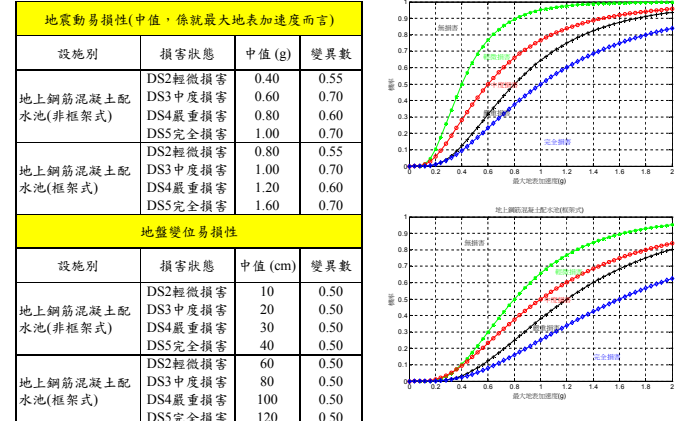
損害狀態	定義
DS1 無損壞	無
DS2 輕微損害	池體輕微損壞，例如池頂因水面晃動撞擊而輕微損壞、池壁輕微開裂，但仍維持儲水功能
DS3 中度損害	池體相當程度受損，例如池壁中度開裂、伴隨輕微漏水，略有漏水
DS4 嚴重損害	池體嚴重受損，例如池壁剪裂破壞、池頂崩塌，無法儲水
DS5 完全損害	池體極嚴重開裂或倒塌，儲水盡失

2015/11/23 2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

29



地上鋼筋混凝土配水池之地震動易損性曲線



2015/11/23 2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

30



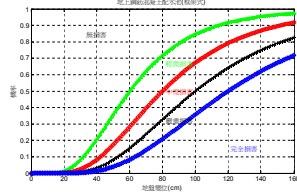
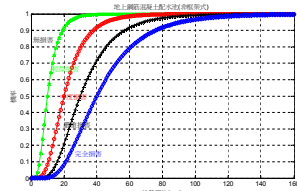
地上鋼筋混凝土配水池之地盤變位易損性曲線

地震動易損性(中值, 係就最大地表加速度而言)

設施別	損害狀態	中值 (g)	變異數
地上鋼筋混凝土配水池(非框架式)	DS2輕微損害	0.40	0.55
	DS3中度損害	0.60	0.70
	DS4嚴重損害	0.80	0.60
	DS5完全損害	1.00	0.70
地上鋼筋混凝土配水池(框架式)	DS2輕微損害	0.80	0.55
	DS3中度損害	1.00	0.70
	DS4嚴重損害	1.20	0.60
	DS5完全損害	1.60	0.70

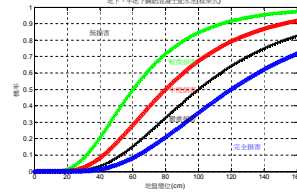
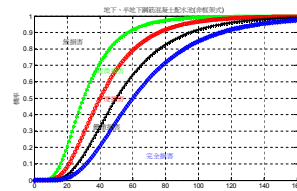
地盤變位易損性

設施別	損害狀態	中值 (cm)	變異數
地上鋼筋混凝土配水池(非框架式)	DS2輕微損害	10	0.50
	DS3中度損害	20	0.50
	DS4嚴重損害	30	0.50
	DS5完全損害	40	0.50
地上鋼筋混凝土配水池(框架式)	DS2輕微損害	60	0.50
	DS3中度損害	80	0.50
	DS4嚴重損害	100	0.50
	DS5完全損害	120	0.50



地下、半地下鋼筋混凝土配水池之易損性曲線

地盤變位易損性			
設施別	損害狀態	中值 (cm)	變異數
地下、半地下鋼筋混凝土配水池(非框架式)	DS2輕微損害	30	0.50
	DS3中度損害	40	0.50
	DS4嚴重損害	50	0.50
	DS5完全損害	60	0.50
地下、半地下鋼筋混凝土配水池(框架式)	DS2輕微損害	60	0.50
	DS3中度損害	80	0.50
	DS4嚴重損害	100	0.50
	DS5完全損害	120	0.50



九二一地震時主要配(清)水池之損害狀態再推估結果

No	配(清)水池名稱	結構型式與配置方式	實際損害狀態	損害狀態推估(根據測站推估之災害潛勢)	損害狀態推估(根據TELES推估之災害潛勢)
1	豐原第二淨水場5000噸清水池	非框架式、地下	嚴重損害	完全損害	完全損害
6	腦館配水池	非框架式、地上	完全損害	完全損害	完全損害
7	豐原第一淨水場17000噸清水池	非框架式、半地下	完全損害	完全損害	完全損害
8	豐原第一淨水場15000噸清水池	非框架式、半地下	完全損害	完全損害	完全損害
11	草屯第一淨水場清水池6000	非框架式、地下	輕微損害	完全損害	完全損害
17	林子頭淨水場清水池	非框架式、半地下	輕微損害	輕微損害	輕微損害
21	秀傳配水池	框架式、地上	無	完全損害	輕微損害
28	草屯第一淨水場清水池2000	非框架式、地下	無	完全損害	完全損害
37	東勢淨水場清水池	非框架式、地上	嚴重損害	完全損害	完全損害



水管橋損害狀態之定義

損害狀態	定義
DS1 無損壞	無
DS2 輕微損害	橋台發生細微裂縫, 橋墩有輕微混凝土剝落現象, 水管無恙
DS3 中度損害	橋墩出現中度剪力裂縫, 但結構仍屬安全, 橋台發生中度位移, 上部結構移動, 水管可能漏水, 但容易修復
DS4 嚴重損害	橋墩剪力破壞, 上部結構處於不安全狀態但尚未崩塌, 橋台產生垂直位移, 支承嚴重破壞, 水管嚴重損壞修復不易
DS5 完全損害	橋墩傾倒崩塌, 或連接處失去支承能力, 上部結構瀕臨或已經落橋, 基礎破壞造成下部結構嚴重傾斜



管梁、加勁管梁水管橋



義里原水管橋



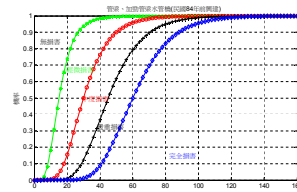
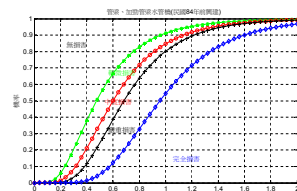
日本某水管橋



管梁、加勁管梁水管橋之易損性曲線

地震動易損性(中值, 係就一秒週期譜加速度而言)			
設施別	損害狀態	中值 (g)	變異數
管梁、加勁管梁水管橋(民國84年前興建)	DS2輕微損害	0.474	0.55
	DS3中度損害	0.599	0.50
	DS4嚴重損害	0.683	0.45
	DS5完全損害	0.956	0.40
管梁、加勁管梁水管橋(民國84年後興建)	DS2輕微損害	0.522	0.55
	DS3中度損害	0.781	0.50
	DS4嚴重損害	0.954	0.45
	DS5完全損害	1.336	0.40

地盤變位易損性		
設施別	損害狀態	中值 (cm)
管梁、加勁管梁水管橋(民國84年前興建)	DS2輕微損害	15
	DS3中度損害	30
	DS4嚴重損害	45
	DS5完全損害	60
管梁、加勁管梁水管橋(民國84年後興建)	DS2輕微損害	20
	DS3中度損害	40
	DS4嚴重損害	60
	DS5完全損害	80



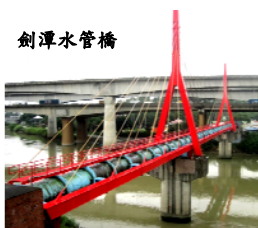


鋼梁、拱、桁架、斜張、吊橋水管橋



東勢埔原水管橋

劍潭水管橋



羅東溪水管橋



雙龍瀑布旁水管橋



后豐水管橋

2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

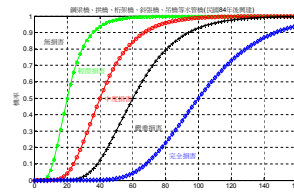
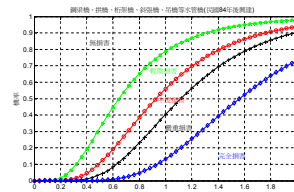
37



鋼梁、拱、桁架、斜張、吊橋水管橋之易損性曲線

地震動易損性(中值,係就一秒周期譜加速度而言)			
設施別	損害狀態	中值(g)	變異數
鋼梁橋、拱橋、桁架橋、斜張橋、吊橋等水管橋(民國84年前興建)	DS2輕微損害	0.560	0.55
	DS3中度損害	0.718	0.50
	DS4嚴重損害	0.824	0.45
	DS5完全損害	1.154	0.40
鋼梁橋、拱橋、桁架橋、斜張橋、吊橋等水管橋(民國84年後興建)	DS2輕微損害	0.644	0.55
	DS3中度損害	0.927	0.50
	DS4嚴重損害	1.115	0.45
	DS5完全損害	1.561	0.40

地盤變位易損性			
設施別	損害狀態	中值(cm)	變異數
鋼梁橋、拱橋、桁架橋、斜張橋、吊橋等水管橋(民國84年前興建)	DS2輕微損害	18	0.45
	DS3中度損害	36	0.40
	DS4嚴重損害	54	0.35
	DS5完全損害	90	0.30
鋼梁橋、拱橋、桁架橋、斜張橋、吊橋等水管橋(民國84年後興建)	DS2輕微損害	20	0.45
	DS3中度損害	40	0.40
	DS4嚴重損害	60	0.35
	DS5完全損害	100	0.30



2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

38



九二一地震時三座水管橋之損害狀態再推估結果

No	水管橋名稱	結構型式	實際損害狀態	損害狀態推估 (根據測站推估之災害潛勢)	損害狀態推估 (根據TELES推估之災害潛勢)
1	景山溪原水管	管梁水管橋	無	無	無
2	東門橋	管梁水管橋	無	無	無
3	一江橋水管橋	管梁水管橋	完全損害	完全損害	完全損害

2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

39



謝謝聆聽
敬請指教



2015/11/23

2015台灣地震損失評估系統講習會 維生線設施之易損性與震害防治

40