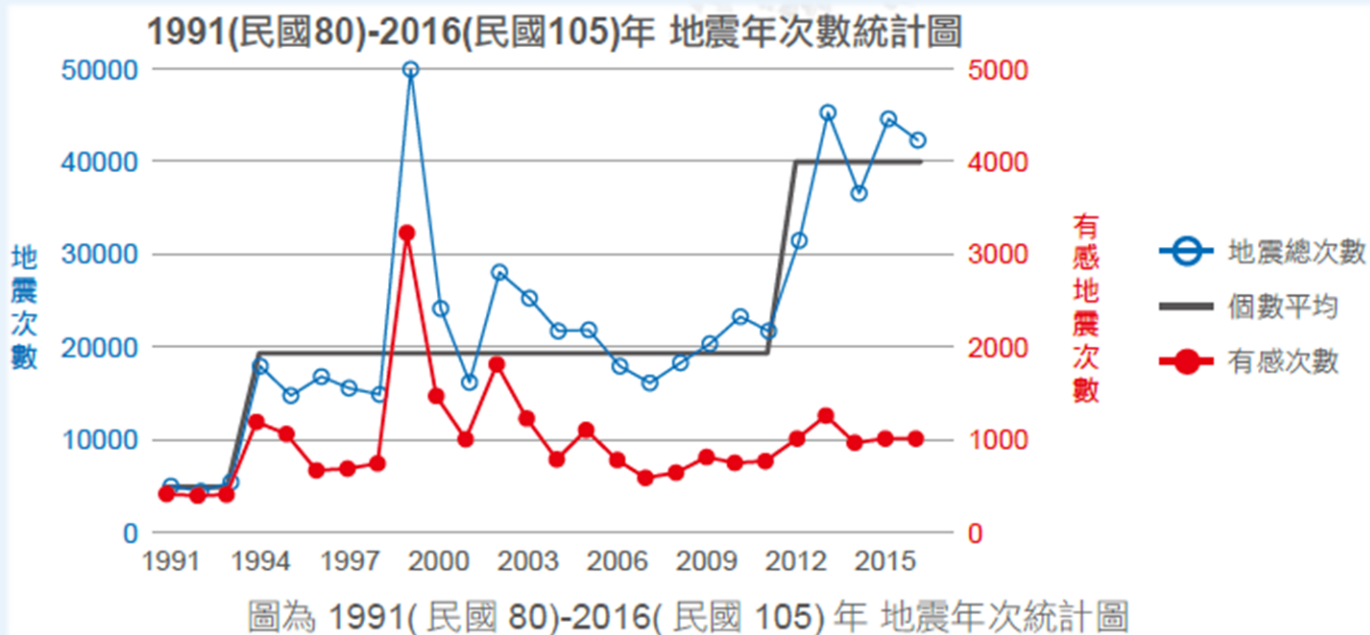




國內外天然氣管線過斷層損壞機率 評估案例



前言



圖為 1991(民國 80)-2016(民國 105)年地震年次統計圖

台灣每年地震事件統計圖

台灣位處菲律賓海與歐亞大陸板塊交界處，每年發生有感與無感地震事件次數逐漸攀升，對於民眾、建築物、橋梁、大地、自來水管線等造成莫大的衝擊，亦對於社會經濟發展造成影響。



前言

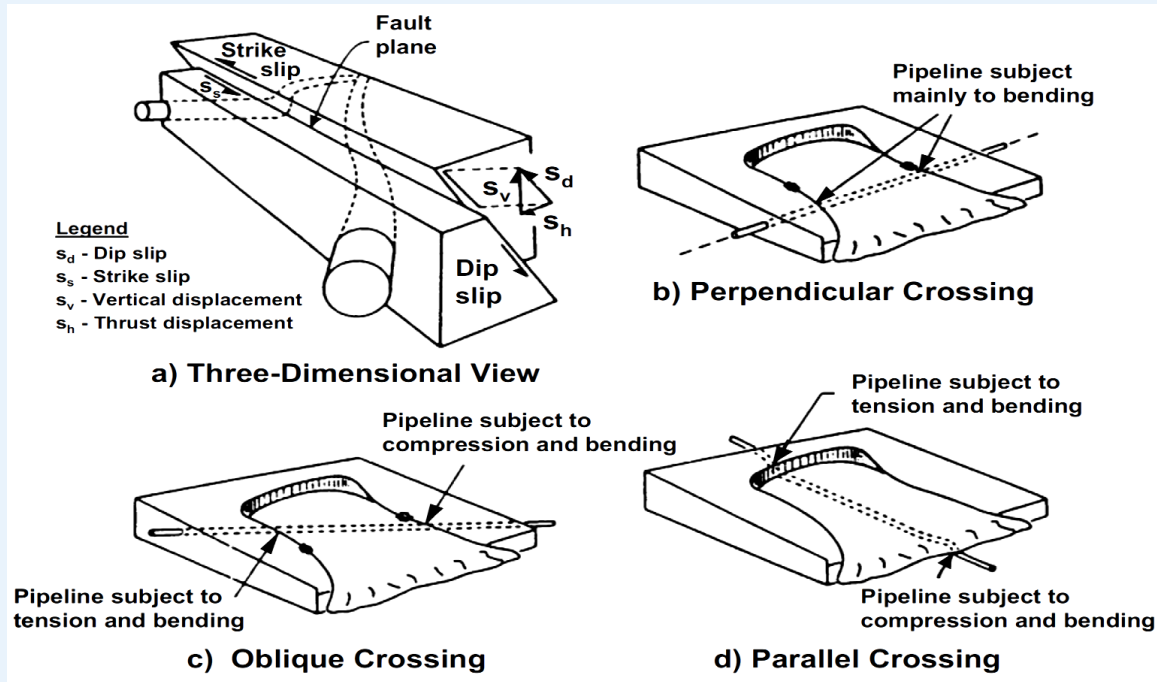
觀察921集集地震所引致的災損事件中，可以發現在台灣中部地區因車籠埔斷層錯動，對於當地公用天然氣事業之管線造成相當程度的破壞。



天然氣鋼管在921地震之震損狀況



前言



管線走向與土層破壞模式將會影響管材的受力行為，該受力行為將造成管線破壞模式上產生差異。

假設管線係通過斷層之條件下，當斷層產生錯動時，主要將對於管線產生剪切外力，在此時便需要若管線材料的性能無法抵抗此剪力作用，將會產生彎折剪斷的破壞。

不同土層破壞下管線之受力行為
(O'Rourke, Cornell University)



前言

將會造成埋地管線產生破壞的相關因子：

- 土壤承载力減低
- 土壤滑動以致在臨界面產生極大剪力
- 管材承受偏心土壓而破壞
- 管線在軸向變形被迫上升或壓碎，垂直管向則被折斷
- 管材或其它地層剛度之改變而造成管線力矩
- 彎管部分承受額外力矩
- 管內流體施壓於特殊管件產生局部應力



前言

管線易損性函數：

是將預期結構失效與強烈地震動或任何其他地震參數之函數關係，也可以表示為不同的狀態，例如脆弱性關係和失效曲線。

管道損壞率

最大地表速度
(Peak Ground Velocity, PGV)

永久地表位移
(Permanent Ground Displacement, PGD)

與之關係



修復率
(Repair Rate, RR)



國內外天然氣管線過斷層損壞機率評估案例

為了最大限度地減少地震等重大災難後的損失，地下管網必須能夠在事件發生後盡可能減少中斷服務的時間，然分析地下管道因地表運動所產生的反應最重要的一個步驟是要確定地表運動預計會造成多少損壞。

Katayama等人於1975提出管道之損壞率與最大地表加速度之間存在相關性。而Eguchi (1983)認為管道損壞率與永久地表位移和修正麥卡利強度(MMI)相關。

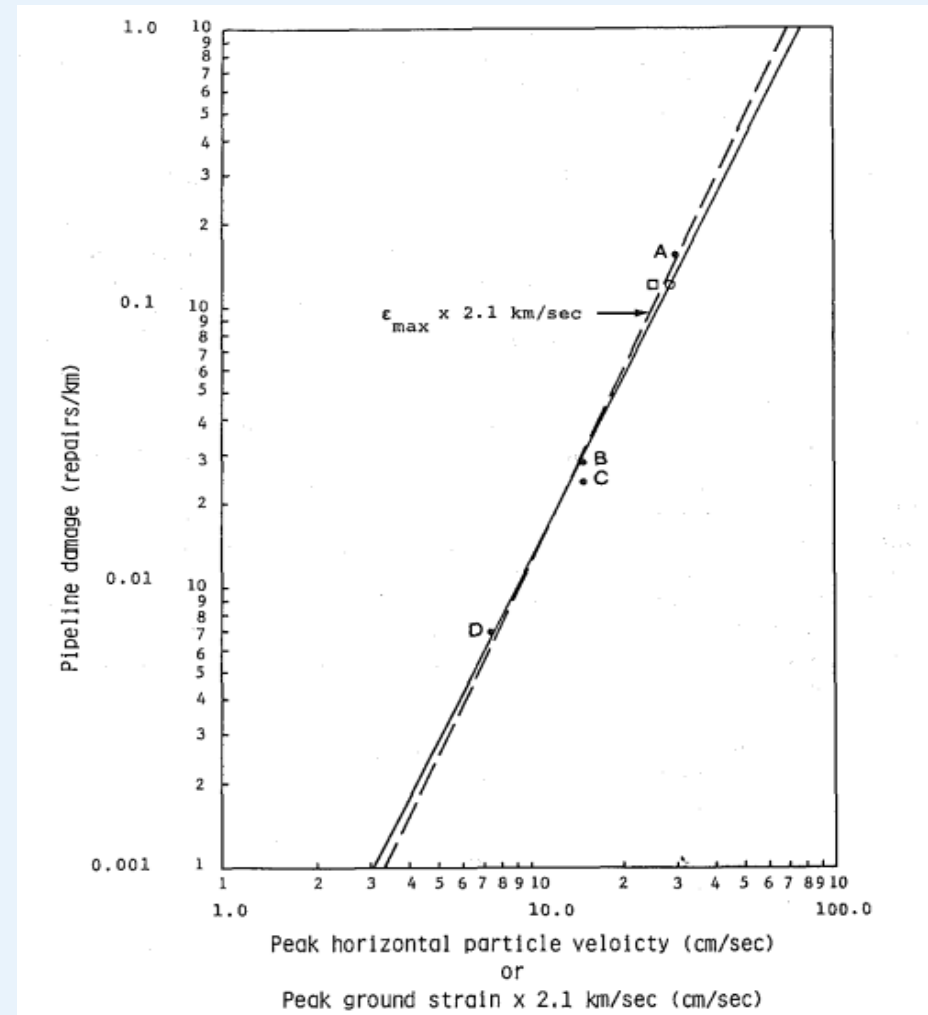


國內外天然氣管線過斷層損壞機率評估案例

O'Rourke、Castro (1981) :

研究了1971年聖費爾南多地震期間所記錄的21個地震加速度的相關性，發現研究記錄的平均地表傳播速度等於2.1公里/秒。因此，此速度值將用於將 O'Rourke 數據的地表最大速度轉換為地表應變，於圖中以虛線進行繪製。

若以地表應變作為參數，管道損壞與地表應變的相關性益呈現非常好的結果。



管道損壞與瞬態地面運動參數

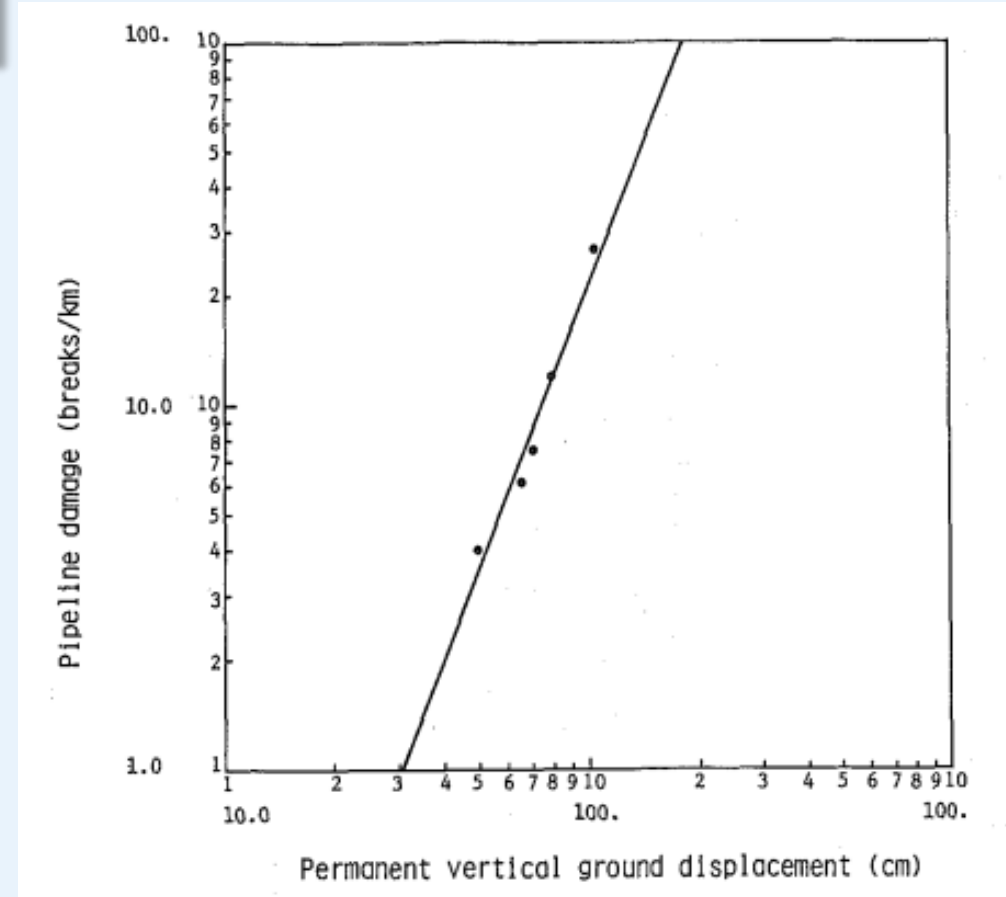


國內外天然氣管線過斷層損壞機率評估案例

美國國家海洋和大氣管理局(1973)：

將聖費爾南多谷的東北部地區以1平方英里(2.6平方公里)的尺寸進行網格化，針對其管徑305mm以上的主要配水管道的斷裂數量進行統計，進而得到了管道損壞和地表永久垂直位移的數據，發現**管道損壞與永久地表位移**存在有很好的相關性。

可適用於採用鑄鐵或焊接鋼之材質的管道，且具有半剛性或焊接不良的接頭，但若需應用於其他類型的管道時，應須進行更審慎的評估。



管道損壞率與永久地表垂直位移間之關係

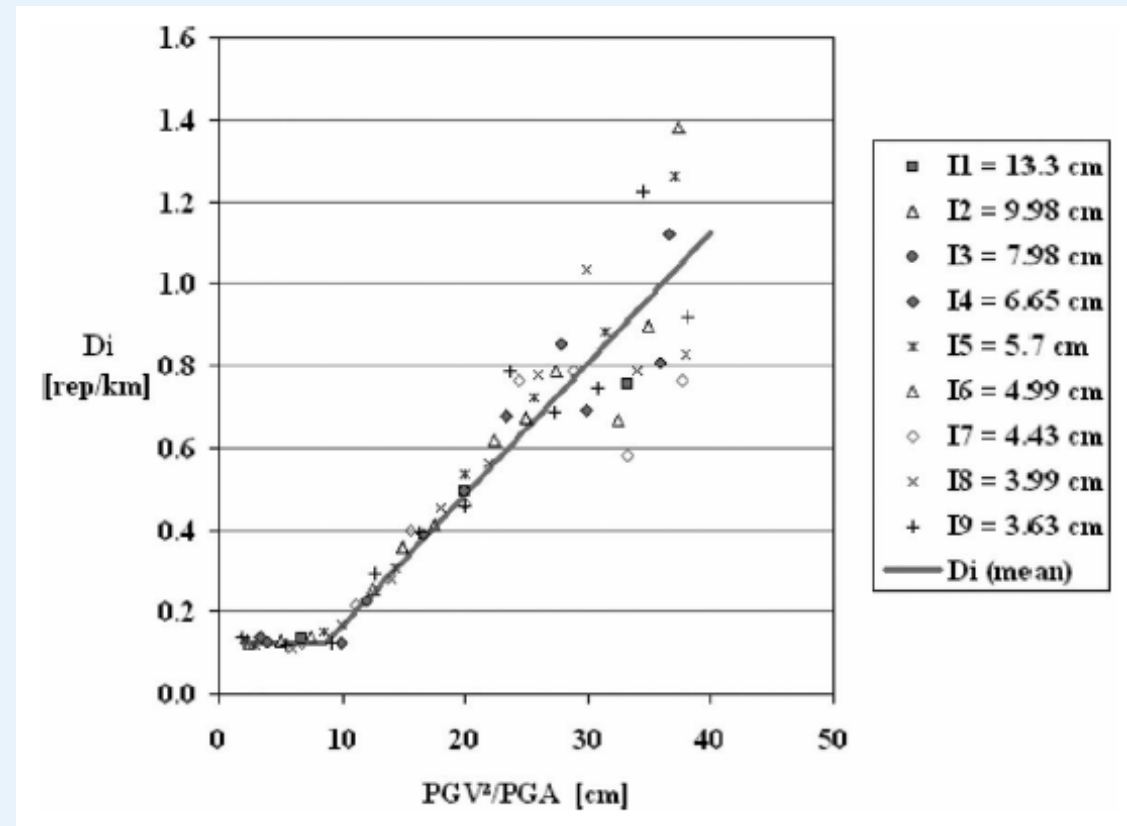


國內外天然氣管線過斷層損壞機率評估案例

Pineda-porras & Ordaz(2007) :

提出一個考量新的震度參數以評估地下管線受震破壞的狀態，這個新的震度參數與最大地表速度(PGV)以及最大地表加速度(PGA)有關，該研究指出 PGV^2/PGA 與位移相關，而位移又與地表應變相關，地表應變乃地下埋管受損的主要因子。

管線損壞率 D_i (rep/km)與新提出的參數 PGV^2/PGA 呈現比例關係，相較之下更易於評估與比較。



管線損傷率(D_i)與震度參數 PGV^2/PGA 的關係



國內外天然氣管線過斷層損壞機率評估案例

採用PGA作為管道損壞指標的應用主要流行於1975年後之25年間，儘管在當時有很多資料證明PGV與管線損傷的關係比PGA更大，但仍採用在2000年之前使用PGA而不是PGV來創建一些易損性關係之原因如下：

- 大多數地震站所記錄的是加速度的時間歷程，而不是速度，因此可以直接從地震記錄中獲得PGA，而不涉及計算PGV所需的積分過程。
- 大多數衰減定律提供2000年之前PGA的估計值，PGV衰減定律是有限的。



國內外天然氣管線過斷層損壞機率評估案例

出於實際目的，**PGA** 是分析管線損壞並因此創建管線易損性關係的理想參數，以下為採用PGV比PGA更佳之原因：

- PGV 與地面應變有關，地面應變是地震波傳播導致管線損壞的主要原因。
- PGA 與慣性力更相關，慣性力為不會影響管線等埋地結構的力量。
- 對於軟土， PGV^2 / PGA 比PGV更好的損傷指標。



國內外天然氣管線過斷層損壞機率評估案例

管線分為分段式或連續式：

- 分段管線：

通常由混凝土、CI和AC製成（例如帶鉛鉚接接頭的鑄鐵管）。

- 連續管線：

通常以焊接接頭為特徵（例如，帶有焊接接頭的鋼管）

目前文獻中可用的易損性關係基於分段管線的損傷情境。連續管線沒有易損性關係，主要是因為缺乏地震波傳播造成的損傷證據。



國內外天然氣管線過斷層損壞機率評估案例

HAZUS MH 2.0 Earthquake Technical Manual :

運用實驗數據以及美國4次地震和墨西哥2次地震的基礎上，針對自來水管線所建立的修復率與PGV、PGD之關係。值得注意的是，該表中須分為脆性材料(石綿管、混凝土管以及鑄鐵管)以及延性材料(鋼管、延性鑄鐵管及 PVC)兩種管線材質，延性材料之修復率為脆性材料的0.3倍。

Pipe Type	Damage Caused by PGV (cm/s)		Damage Caused by PGD (Inch)	
	Multiplier	Example of Pipe	Multiplier	Example of Pipe
Brittle Pipes	1	CI, AC, RCC	1	CI, AC, RCC
Ductile Pipes	0.3	DI, S, PVC	0.3	DI, S, PVC

輸水管線之地震損害關係表



小結

針對國際上埋地管線受地震引致的災損率評估案例進行蒐集並彙整，可以發現隨著時代的演進與地震事件紀錄的增多，對於埋地管線的災損率估算方式由MMI演變至PGA，再演變成PGV以及PGD，即便投入相關的研究學者與能量眾多，但對於連續管線的可靠損傷評估、易損性關係提供的關於管線維修次數的洩漏和破裂比例、考慮管線方向的管線損傷評估以及特殊土壤和波傳條件之易損性的部分仍須持續精進。