

# 第九章 醫療與工業設施震害

## 9.1 概述

本章所稱之醫療與工業設施包括醫院設施、台中港區港灣設施、儲槽、電廠設施及高科技產業。根據林其璋等人的「工業設施 921 震害報告」【9.1】，以下將對各設施分別概述其地震災害、探討其災害原因，並提出檢討與建議。

## 9.2 醫院設施

### 9.2.1 震害概述

醫院設施之地震災害狀況可分成三類：(1) 建築結構物無大損害，只有少量非抗力結構物受損，(2) 結構物部份受損，大量非結構物受損，(3) 結構物嚴重受損。第一類受損醫院不須撤離病患，並可執行震後醫療救災工作。第二類受損醫院須要整理院內設施，然後才能執行震後醫療救災工作，但因非結構物損壞，甚至損及醫療設備及器具，使醫院暫時喪失功能，以致在地震後最需要醫療救災的 48 小時，南投縣損失了將近 1000 床的醫療能力。第三類受損醫院必須撤離病患至鄰近空曠地點，無法勝任震後醫療救災工作。

### 9.2.2 震害原因探討

除了部份醫院因承受地震力超過設計地震力，而使醫院結構體嚴重受損外，此次地震造成大部份醫院喪失震後緊急醫療救災功能的主因是非結構物的受損，例如醫療設備自桌面掉落或其輪式腳座滑動而發生撞擊，也有因為醫療設備被掉落的天花板或破裂掉落的磚牆擊中而損壞。綜合各種非結構物破壞的勘查資料，發現造成醫院設施破壞的主因有以下幾項：

(1) 在台灣的法規中對於非結構物的耐震要求不夠明確，以致於設計及施工單位大都不會或不願意針對各項重要裝修材及設備加裝抗震裝置。醫院中設備大多只依原售廠商規定安裝，並無防震考量，根據調查結果發現醫療設備若有錨定及加裝橡膠防振器，則能抵抗地震力而不損壞，例如台中縣大里市菩提醫院地下室的緊急發電機及屋頂的冷卻水塔。

(2) 一般人對於結構物受地震力作用的振動行為不瞭解，以致於未對

重要設施選擇適當地點，並採取適當的抗震措施，例如人們不瞭解：

(a) 樓層愈高處振動愈大。

(b) 重量大的設備在平時確是比較穩定不易傾倒，但在地震時，反而由於慣性力大，更易發生滑動或傾倒。

(3) 由於結構耐震觀念不正確，經常導致設計或施工上的錯誤。例如埔里榮民醫院將發電機房設置在動力中心的二樓樓版上，而又沒有做好適當的抗震措施，以致在地震中因設備破壞，使院內失去電力供應。

(4) 許多非結構物的耐震設計方法仍未有系統化的研究成果，以致於不能提供足夠的耐震設計參考資料，如電梯、不鏽鋼水塔、輕鋼架天花板等等。

(5) 許多昂貴的醫療設備在安置時，未能考慮地震作用下，建築物內各項非結構物可能對其產生的破壞，以致損失慘重，致使醫院無法發揮震後緊急醫療功能。

(6) 非結構物間的互制關係很複雜，而國內本土性的研究工作尚在萌芽階段。本次調查發現的主要問題計有：

(a) 空調送風機的漏水問題會造成醫療人員、病患及家屬行動上的障礙。

(b) 冷卻水塔之水管破裂會造成水冷式緊急發電機過熱而無法發電。

(c) 磚牆的破損會對醫療設備產生嚴重的損害，傷害院內人員，並使他們心裡產生極大的恐懼感。

### 9.2.3 檢討與建議

以下依據此次醫院受災狀況，提出檢討與建議如下：

(1) 醫院內除了有大量的住院病人在地震中須要照顧及保護，也要在災後擔負緊急救災醫療工作，因此其結構安全必須特別考量，設計時應瞭解醫院各設施的功能，藉以適當規劃其結構系統。

(2) 針對醫院內各項非結構物及設備支撐的設計及施工，應該要訂定耐震設計規範。此規範除了要規定醫療設備的減震及錨定裝置，天花板及磚牆要有適當的設計以防止物件掉落外，更應從整體醫院內醫療系統的觀點出發，考慮如何避免因某單項非結構物的破壞，而減損醫院的功能，而非只單獨考慮某一項非結構物的耐震支撐裝置而已。

(3) 震後各受損醫院皆積極從事重建工作，主管機關應儘速組成醫院

重建顧問團，以控制重建品質。對於新建醫院應建立結構外審制度，才能兼顧結構與非結構的安全。

## 9.3 台中港區港灣設施

### 9.3.1 震害概述

台中港位於台灣中部的砂質海岸，建港工程始於 1971 年 7 月，並於 1976 年 10 月開始營運，其港埠設施包括港口及航道、迴船池、營運碼頭、外廓堤防、淺水碼頭及漁業專業區等。目前共有 35 座營運碼頭，有重力式沉箱碼頭及棧橋式碼頭兩種。港埠設施此次的震災，集中在北碼頭區的 1 號至 4A 號五座沉箱式碼頭，主要災害型式包括沉箱外移、沉箱沈陷傾斜、背填土漏失塌陷，以及碼頭後線部分機具設施損壞等。1 號至 4A 號碼頭共有 45 座沉箱，地震致使每座沉箱發生不均量的外移，碼頭法線尚能保持。沉箱向海側的最大位移發生於 3 號碼頭末端，約達 1.68 公尺，1 號碼頭末端的沉箱則約外移 1.47 公尺。而碼頭沉箱沈陷則以 1 號至 3 號碼頭較為嚴重，最大沈陷量位於 3 號碼頭，約 1 公尺，1、2 號碼頭的沉箱最大沈陷量則約 50 公分，而 4 及 4A 碼頭則約 35 公分。除 3 號碼頭之傾斜率較大外，平均約 3/1000。碼頭沉箱的位移及沈陷，推測應與碼頭後線背填土區土壤液化及塌陷有關。1 號至 4A 號碼頭後線為背填土區，係以水力回填方式完成背填土，大地震發生後，背填土區出現許多的坑洞及砂土流失等土壤液化的表徵，回填土層本身塌陷達數 80 公分，背填土區瀝青及混凝土面均發生嚴重的龜裂現象。由於回填土區的塌陷，位於 1 號碼頭的遠東倉儲公司倉庫發生嚴重的沈陷、崗亭及繫船柱坍塌、後送輸送帶的支架下陷傾斜，而且鐵路運輸軌道發生凹凸的扭曲現象。3 號碼頭背填土區上的災損與 1 號碼頭類似，但平行於碼頭的輸送帶全面下陷達 80 公分。2 號、4 號及 4A 號碼頭背填土區亦同樣的發生漏失、下陷，鐵軌下陷扭曲及繫船柱坍塌等災損。而 4 號碼頭第二後線台灣糖蜜公司則發生 11 座儲槽扭曲受損，致糖蜜嚴重外洩。

### 9.3.2 震害原因探討

由於港區地質屬於河川沖積層，為一深厚沈泥質砂土(SM)與不良級配砂土(SP)相間的沈積土層，再加上臨海而地下水位高，先天上屬於土壤液化高危險區，此次地震即造成多處土壤液化，使得重力式沉箱碼頭外移，碼頭背填土區下陷，進而造成其地面設施因基礎土壤流失而損壞。

### 9.3.3 檢討與建議

台中港區的主要震害在於土壤液化，其主因是地下水位高及砂土地質。由於臨海，要降低地下水位甚為不易，因而斧底抽薪之計是改良地質，例如採夯實砂樁。另外大量的重力式沉箱的外移亦造成港區地面下陷，地面設施損壞，因此有必要提高沉箱的穩定性，例如增大重力式沉箱的底面積。

## 9.4 儲槽

### 9.4.1 震害概述

依儲槽型式之不同，可分為中油公司之儲油與儲氣槽、瓦斯公司之儲氣槽、工業區內工廠之原料儲槽與儲水槽、水泥廠之水泥儲槽、農會及碾米廠之穀倉及預拌混凝土廠之水泥與砂石儲槽。不同型式之儲槽在大地震後呈現不同類型之受損狀況，茲簡單歸類說明如下：

(1) 大型儲槽：包括中油公司之儲油槽及臺中港區味丹公司之原料儲槽，其浮頂及槽體頂部均發生明顯凹陷與外凸變形。

(2) 瓦斯儲槽：未發生損害。

(3) 工業區內工廠之鋼製儲水槽：滿載者因未固定在支承架上而翻覆損毀，存量較少者則未發生損害。

(4) 鋼筋混凝土製水泥儲槽：未發生損害。

(5) 鋼筋混凝土製穀倉：未發生損害。

(6) 鋼製穀倉：倉儲量超過六成者均發生倒塌損毀，倉儲量較少者除部份因鄰近滿載穀倉倒塌而連帶倒塌損毀外，其餘則多未發生損害。

(7) 鋼製水泥及砂石儲槽：與鋼製穀倉類似，倉儲量超過六成者均發生倒塌損毀，倉儲量較少者則未發生損害。

(8) 鋼筋混凝土製水泥及砂石儲槽：未發生損害。

### 9.4.2 震害原因探討

綜合震災調查結果，可發現直接設置於地面之鋼筋混凝土儲槽均未發生損害，其原因是儲槽的重心低，地震引致的傾倒力矩小於儲槽的穩定力矩。而高架於支承結構之鋼製水泥儲槽與穀倉，如倉儲量超過六成者多發生倒塌損毀，裝載量低於六成者則多未發生損害，其原因為倉儲量超過六

成之儲槽與穀倉具有較大的質量，其引致之地震力造成過大之剪力與彎矩，使得支承結構損毀，進而導致整個儲槽與穀倉倒塌損毀。而大型儲槽之浮頂及槽體頂部發生明顯凹陷與外凸變形，其原因為地震力使儲槽結構與儲存液體產生互制，對浮頂及槽體造成過大之撞擊而變形。

### 9.4.3 檢討與建議

由此次儲槽的震害，可發現儲槽的穩定性關係其抗震能力。儲槽內容物較輕者，如液化瓦斯槽、倉儲量未超過六成之儲槽與穀倉，多無損壞。儲槽較重及基礎穩固者，如直接放置在地面的鋼筋混凝土製儲槽，亦無損壞。另外內容物為半滿的液體之儲槽也由於地震力引致之激盪造成損壞。因此對於儲槽的抗震，第一步是增加儲槽的穩定性，降低儲槽的重心，將儲槽直接放置在地面為原則，若有必要高架，則其支撐結構必須進行耐震設計，另外對於液體儲槽必須考慮液體與結構互制產生動態水壓之作用。目前國內儲槽多無設計圖及計算書，更不必說耐震設計，因此中部地區有大量的儲槽毀於此次地震，未來應將儲槽納入「建築技術規則」管理，並要求耐震設計。

## 9.5 電廠及其設施

### 9.5.1 震害概述

本次地震損壞調查包括大甲溪河系之德基、青山、谷關、天輪及馬鞍水力電廠，濁水溪河系之明湖、明潭電廠及大安溪河系鯉魚潭士林水力電廠，火力電廠則有台中火力電廠及通霄火力電廠。各電廠損害情形如下：

#### (一) 水力電廠

##### 1. 大甲溪河系

(1) 德基、青山、谷關等電廠屬地下鋼筋混凝土廠房，均無損壞發生。

(2) 天輪電廠，屬半地下式廠房，為鋼骨鋼筋混凝土造(SRC)，電廠本体無損壞，部份牆、梁有小裂縫。其他週邊設施部份：渡槽龜裂，主變壓器？子掉落，161KV 開關場地坪下陷三至四公分，？子嚴重損壞，345KV 開關場地坪下陷三至四公分，排氣管歪斜，？子掉落。另導水渠道渠壁龜裂，有滲水情形；堤頂及護坡崩損，沉砂池及溢流道損壞。

(3) 馬鞍電廠，屬半地下式廠房，為鋼骨鋼筋混凝土造(SRC)，電廠本体未損壞，惟發電廠房每個機組單元間廠房之伸縮縫破壞，垂直伸縮縫移位 2 公分，#1 及#2 機組間 SRC 柱相對位移 0.5 公分，但不影響結構体安

全，另輕鋼架天花板變形。廠外壓力鋼管移位，地坪下陷 8 至 10 公分。設施損壞部份：發電機組設備之一號與二號壓力鋼管與水輪機間之伸縮接頭分別被拉開 2 公分及 1.6 公分；二號壓力鋼管與廠房外牆交接處包裹材料脫落，有地下水滲漏，另因廠房每個機組單元間伸縮縫拉開，導致裝機平台吊車軌道輕度變形；二號變壓器固定螺栓搭壞，二次側出口端開裂漏油，下池接近閘道處之道路崩塌 70 至 80 公分。

## 2.濁水溪河系

明湖、明潭、鉅工等電廠均屬地下鋼筋混凝土電廠。明潭辦公大樓混凝土牆出現剪力裂縫，輕鋼架天花板損毀、掉落。發電廠房部份：廠房機組單元間伸縮縫有部份拉開。設施損壞部份：頭水隧道過河段鋼管支承受損。明湖、鉅工等電廠未見有損壞情況。

## 3.大安溪河系

鯉魚潭士林發電廠，屬地下鋼筋混凝土廠房，整體移位 3 公分，吊車軌道變形，但未見損壞。

### (二) 火力電廠

#### 1.台中火力電廠

(1) 整個廠區下陷 1-2cm，約為 1-2 年之沈陷量，但由於還算平均，沒有影響。

(2) 汽機房、主控大樓、鍋爐房均為鋼構造，未見結構體損壞，但#7 鍋爐機本身汽牆管中度破壞，#1、#3 ~ #6 鍋爐汽牆管亦輕度破壞，#8 鍋爐因壓力過大造成些微膨脹，並導致鍋爐外鋼梁彎曲。

(3) 四號煙囪約在一半高度處有六根拉力桿件（連接煙道與煙囪 RC 外壁）斷裂：此乃由於煙道懸吊於 RC 外壁，因此約在一半高度處相對位移最大。

(4) 電解室、GIS 房、FGD 控制大樓、脫水機房、運煤系統、生水泵房、飛灰儲倉等均為鋼筋混凝土構造，除 GIS 房伸縮縫附近輕微開裂，餘皆無損壞。

(5) 抽水機房、排灰泵房、石灰儲存房等均為鋼骨構造，亦未損害。

(6) #1 ~ #8 循環水渠道多處開裂，特別是在渠道彎道處，嚴重破壞並影響發電。

(7) 出水導流堤沉陷 1.1 ~ 3.8cm，二渠道間因土壤遭淘空導致路面下陷。

## 2.通霄火力電廠

未見因本次地震引致之損害。

### 9.5.2 震害原因探討

(1) 所有水力地下電廠及半地下電廠建於堅實岩盤上以及火力電廠結構體建於基樁上，均未損害。

(2) 大部份屋外設備損害均因烈震引致伸縮縫及屋外地坪沉陷，地盤移位所致。

(3) 天輪電廠 161KV 及 345KV 開關場因烈震引致？子搖晃厲害互相碰撞破壞。

(4) 馬鞍與明潭電廠均屬非結構性破壞及移位。

(5) 台中火力電廠鍋爐汽牆管因烈震晃動厲害導致破裂，循環水暗渠彎道處因應力集中在該處而致破壞，出水導流堤亦因基底海砂部份被淘空而沉陷。

### 9.5.3 檢討與建議

(1) 本次地震震度超出設計地震力，且地(岩)盤錯動，但由於所有水力地下電廠及半地下電廠建於堅實岩盤上以及火力電廠結構體建於基樁上，以致電廠結構體均未受損，但其相關附屬設備卻損壞致無法發(供)電。

(2) 宜加強各相關附屬設備之耐震、減震、隔震考慮及其零組件備品儲存，如鍋爐支撐及 345KV ？子之減震設計及增加備品等。

(3) 有關循環水路之設計，於彎道部份儘可能採伸縮縫分段設計。

(4) 各水庫管理局及電廠應建立安全評估辦法(含地震事件)，於事件發生後可立即應用此辦法進行安全評估。

## 9.6 高科技產業

### 9.6.1 震害概述

由地理位置與產業特性，高科技產業分為兩大類，即新竹科學工業園區及位於中部斷層沿線附近之高科技工業區。損害情形如下：

#### (一) 新竹科學工業園區

此次災變後，在國科會政策主導下，園區管理局與園區科學工業同業公會立即共同成立災變危機處理小組，由科管局負責指揮救災與復建工作，而公會負責水電油氣之供需協調，使大部份廠商皆能儘速復機、復工。早在 9 月 25 日已全面恢復園區供電 50 萬千瓦。初步估計，產業受損主要在於晶圓廠，約新台幣 118 億元，而其餘資訊電子產業則只有輕微停工損失。建物之損害主要在於非結構性的破壞—牆面開裂，僅少數有梁柱裂縫。損壞之種類與模式包括天花板掉落、大理石牆面剝落、RC 牆開裂、隔間牆裂縫、梁接頭剪力裂縫、梁與樓板交接處開裂及建築物間伸縮縫開裂。儀器機台之損害包括石英內管破裂、石英外管破裂、加熱器損壞、加熱器內管彎曲變形、石英座破損及爐管外管開裂等。

#### (二) 中部斷層沿線附近之高科技工業區

與車籠埔斷層之距離，台中加工出口區(位於潭子)約為西方 2~2.5 公里 大里工業區約為西方 1 公里(包含太平工業區緊鄰斷層)及南崗工業區(位於南投市)約為西方 2 公里。整體而言，潭子加工出口區之震害損失輕微，造成廠商較大損失之因素並非地震直接造成之廠房、設備損失，而是地震間接引起的停電導致產量損失及因延遲交貨之合約罰款和國外訂單減少。反之，大里及南崗工業區之震害損失程度及範圍則較大。以工業區內所有廠房所受震害來看，大里及南崗工業區內皆有廠房之結構體遭受嚴重破壞甚至局部倒塌者，尤其部份大里工業區內廠房與住家合併，導致部分出現軟層破壞者皆需拆除重建，但亦有鋼結構及新建 RC 結構廠房無明顯結構損壞。

### 9.6.2 震害原因探討

新竹科學園區的高科技廠房此次震害主要在於非結構物件的破壞，例如易脆的石英管、管線因過度振動而損壞，但園區高科技廠之致命打擊應仍在於停電。長期的電力缺乏與無法自力供電常會導致高精密與無毒環境

的遭受破壞，這種損害則不是短期內可恢復的。另外建築物間之伸縮縫開裂亦多見於園區，其原因為高科技廠常依製程來分建不同建築結構，而各製程間又須聯絡，因此，常以短距離之伸縮縫連結各結構。而各結構物間又常具有不同高度，或不同勁度之幾何配置，使得地震來襲時，會因結構物不同振動周期而互撞，輕則伸縮縫開裂，重則鄰接牆面之加勁鋼柱因撞擊效應而彎曲。至於其他工業區的震災，除了停電、停水問題外，就是不良的結構設置遭受嚴重破壞或局部倒塌。

### 9.6.3 檢討與建議

(1) 科學園區高科技廠房常具有多棟連結之特性。有時，相連結之各廠房間之伸縮縫不夠大，或結構勁度與幾何配置差異大，此時，須考慮“互撞”效應。建議在設計之初應加重考量結構勁度與幾何配置上之合諧性或一致性，或可加重剪力牆之份量，以減少振動振幅。

(2) 斷電問題是高科技產業的致命傷，科學園區及各大工業區應具備自行供電的能力，以免廠商不只被迫減產或停產，還必須面臨違約罰鍰與訂單流失之損失。

(3) 非結構破壞如牆壁傾倒、天花板掉落等所造成之設備損失，可以透過適當之隔間設計與廠房設備配置減至最低。

(4) 高科技廠房的易脆元件應有適當的減振措施，以降低破壞的機率。

(5) 一般工業區的廠房常與住家合併，導致部分出現軟弱層破壞，因此廠房設計要注意結構系統。

## 9.7 建議事項

(1) 調整震區劃分，提高中部地區結構物的設計地震力。

(2) 建立非結構物的設計規範。

(3) 工業區廠房設計要注意其結構系統，避免軟弱層出現及相鄰建物在地震中碰撞。

(4) 建立醫院建築及設備結構設計的外審制度。

(5) 台中港應改善地質，以降低液化潛能，重力式沉箱應增加穩定性。

(6) 儲槽的設計應納入「建築技術規則」管理。

(7) 工業設施的重要元件應有適當的減震措施及錨定裝置，也要增加備用品存量。

- (8) 改善台電公司電力輸送的穩定性。
- (9) 各大工業區應建立自己的供電能力。

## 參考文獻

- 9.1 國家地震工程研究中心，”工業設施 921 震害報告”，召集人：林其璋，中華民國八十八年十一月。