

強化建物耐震防災技術 確保民眾居住安全

彭朋畿 本協會副祕書長

日前世界銀行曾評估，全球僅有 5% 的地區，即約 35 個地區有 3 種複合式災害(如水災、旱災、颱風、地震與火山爆發等)，但經調查台灣地區面臨 2 種災害風險的可能性高達 9 成，3 種複合式災害的可能性高達 73%，故台灣可說是地球上最容易受到天災的地方。

近年全世界天災人禍頻繁，造成人員傷亡及財產重大損失。尤其台灣災害種類甚多幾乎防不勝防，有些會造成立即危險，而有些是漸進且持久災難。例如過去 921 南投大地震，造成房屋、橋梁結構物在無預警情況下發生倒塌、斷橋。近期如 0206 高雄大地震，包括台南維冠大樓倒塌等，均造成民眾恐慌與政府機關之重視。因此相關技術需求日益殷切，所以有必要強化建物耐震防災技術，以確保民眾居住安全。

一、前言

日前 0206 大地震(如圖 1 所示)，其所造成台灣之傷痛，大家一定記憶猶新。台灣每一次大地震對震央當地，甚至於整個社會皆造成巨大衝擊。因此國內應採取有效措施讓重大地震帶來不僅是傷痛記憶，更須有積極正面防止歷史重演之意義存在，以對無可抗拒之天災，減少人禍因子之加乘，有效降低地震帶來的災害。

有鑑於此，本協會為促進相關業者瞭解地震對建築物的影響，並強調耐震產品與防災檢驗技術的重要性，訂於四月二十六日假台灣科技大學會議廳舉辦耐震防災技術研討會。當天會員來賓反映相當熱烈並建議於南部加開，遂於七月十九日假中鋼總部大樓會議廳再加開一場研討會，兩場研討會來賓共有來自國內五十二公司團體，以及近一百五十人與會參與。



圖 1 台南維冠大樓倒塌(陳正平技師提供)

本協會黃重嘉秘書長開場致詞時表示(如圖 2 所示)，台灣在歷經 921 集集大地震及近期 0206 台南大地震後，大家應該重新思考建築物結構的安全性、耐震能力及檢測技術。期望新工程依建築物耐震設計規範要求，注重整體建物之結構系統、施工品質等，而老舊工程應注意防災檢驗。同時鋼結構技術包括設計、施工與檢驗，透過結構設計及耐震鋼材提高建築物耐震能力。另施工項目包括鋼材切割、組立、銲接等程序，當中每個重要環節如合格銲工人員造冊、銲接程序建立及過程中的檢驗等皆有明確規範，以確保施工品質等，現今更應該加速這些技術推廣落實。

近年來政府大力推廣耐震標章制度，主要目的是從規劃設計到施工階段層層把關，嚴格查證工程設計與施工品質，將建築物耐震設計品質列為優先考量，在面對不知何時何地發生地震的情況下，提供一個建築物耐震標章認證，以確保民眾居住的安全。



圖 2 本協會 黃重嘉秘書長開場致詞

二、研討會主題

今年七月十九日研討會共安排五個主題，共同探討建築物耐震防災技術與案例分享。上午由本協會理事陳正平技師主講今年年初台南維冠大樓倒塌模式與原因，藉實地踏勘初步探討倒塌發生之可能性，作為後續強化鋼結構設計與施工之經驗。第二場則邀請大彥工程顧問張宏成董事長主講耐震標章制度簡介及案例分享，希望推廣耐震標章，以利大家瞭解相關推行政策。

下午三個主題則分別針對鋼結構技術來探討，包括邀請公路總局李家順工程司主講鋼結構品質管理案例分享、中龍鋼鐵彭朋畿組長主講鋼構品管與工程防災檢驗技術，以及永峻工程顧問公司張敬昌協理主講建築結構鋼材之選用。這一系列主題提供最新工程防災技術與品質管理，也充分發揮鋼結構之優勢與材料技術

之進步。以下是相關主題簡介：

2.1 台南維冠大樓倒塌模式與原因

陳正平技師具備豐富之設計經驗(如圖 3 所示)，其從台南市維冠金龍大樓倒塌原因，探討一樓橫隔版傳力路徑，以利解析倒塌真因。

2016 年 2 月 6 日凌晨高雄美濃發生芮氏規模 6.4 強震，台南市永康區維冠金龍大樓倒塌造成 115 人死亡。臺南地檢署起訴書中列出諸多結構設計及施工缺失，但由維冠金龍大樓倒塌後之樣態非常特別，很像「魚骨」之形狀，要往回推測維冠金龍大樓倒塌之原因及倒塌模式，首先要推測是什麼力量，大到可將構架第一跨之梁由外柱位置往上推擠，將各層梁往上彎折？又是什麼力量可將第二跨由第三根柱往上推擠而倒成魚骨之形狀？

高樓建築物之基礎並非只有筏基單一構材，而是包括整個地下室外牆、地下一樓柱，以及一樓橫隔版等，共同組合成一廣義的箱體基礎。由於維冠金龍大樓一樓橫隔版於北側靠近西側端已有出現大範圍破損現象，大樓地下室西側外牆與原地盤間有脫離約 15 公分間隙。同時由倒塌後，梁柱接頭處柱鋼筋有受拉向外突出現象，與倒塌成魚骨形之破壞樣態推測，連接騎樓柱之垂直向梁之背拉軸力疑似有拉斷梁縱向鋼筋或接頭脫開現象，為可能造成騎樓外柱首先折斷，致建築物外側因自重向下掉落撞擊地面致使第一跨反時鐘方向轉折，及第二跨呈順時鐘方向轉折。

從興建當年電腦程式之功能，一般結構設計者都容易遺漏一樓橫隔版傳力路徑之檢核。其一樓橫隔版現場既有損害現象，以及倒塌後之樣態，綜合初步研判，一樓橫隔版匯集構材傳力路徑中斷之損壞很可能是導致造成建築物失去廣義基礎支撐而傾倒，繼而拉斷西側柱之軸向鋼筋，應為最可能是造成維冠金龍大樓向東側傾覆倒塌成魚骨形樣態的主要原因。



圖 3 本協會 陳正平理事

2.2 耐震標章制度簡介及案例分享

1999 年 921 集集大地震是台灣共同的傷痛記憶，但隨著時間流逝，大家也漸漸淡忘，今年(2016) 206 南台灣大地震再度震醒了大家對建築結構安全的重視。早在 921 大地震後，政府相關單位調查出 921 大地震時國內有不少建築結構損毀或倒塌，其中施工不良是重要原因之一，而建築結構施工品質不良與建築結構之監造有密切關係。有鑑於此，內政部建研所積極參考國外相關做法，其中，美國於 1994 年北嶺大地震後施行「特別監造制度」(Special Inspection)，日本 1995 年阪神大地震後實施「中間檢查制度」，這些制度精神都在確保建築結構施工品質，於是內政部建研所制訂出第三者檢查制度(Third Party)，並於 2003 年成立耐震標章制度。

張宏成董事長表示(如圖 4 所示)，耐震標章認證制度係以公正客觀第三者(Third Party)立場針對結構設計與施工品質進行一系列查證。包括 1. 法源依據: 依據內政部頒佈之「建築物耐震設計規範與解說」第七章及附錄 A「耐震工程品質管」。2. 精神: 耐震標章之特色主要強調結構設計系統的合理性與施工可行性，同時落實工地現場監造，實施耐震特別監督。3. 執行重點: 耐震標章制度由內政部建研所為指導單位，財團法人台灣建築中心與特別監督團隊為執行單位，執行重點分別為設計與施工二階段。



圖 4 大彥工程顧問 張宏成董事長

其中設計階段為確保結構設計系統合理性與施工可行性為重點，施工階段為施工期間派遣特別監督人(專業技師)駐地監造，從施工計畫書審核、材料取樣試驗、工地現場鋼筋綁紮、混凝土澆置、鋼構廠查驗、鋼構電銲等做一系列連續性與週期性特別監督，務求每一個結構施工環節都確實落實監造，且耐震標章委員將會不定期至工地查證(施工審查要項如表 1 所示)。

表 1 施工審查要項

審查要項	注意事項
特別監督進度	1. 預計進度表、實際進度表 2. 人力動員說明 3. 整體結構施工完成進度差異 4. 施工相關會議摘要紀錄
施工缺失改善與其他事項記錄	1. 施工缺失改善通知書追蹤 2. 異常反映事項 3. 請求協助處理事項
請求協助處理事項	1. 耐震標章相關關鍵項目與內容照片說明 2. 施工缺失改善佐證照片說明
文件檢驗記錄	1. 材料檢(試)驗結果 2. 施工查驗結果 3. 相關文件審查
附件	相關檢驗資料等紀錄

2.3 鋼結構品質管理案例分享

鋼結構施工品質的良窳直接關係著大眾生命財產的安全，除使用之材料外，其中屬「銲接製程」被列為影響結構安全的主要施工項目之一。AASHTO 鋼構橋梁規範亦對橋梁建造中之「人員組織、資格、經驗、製作程序、設備等」均有所規定，例如銲接人員或非破壞檢測(NDE)人員必須通過實作，以確認其能力。

李家順工程司多年來走訪國內多家鋼構廠(如圖 5 所示)，發現國內鋼構界對鋼構製造與監造，對施工品質要求，大部分僅著重於「銲道檢驗」，卻忽略「銲接檢驗」。從銲接前、銲接中至銲接後的全部過程，為避免銲接缺陷，為得到理想銲道而做的一系列必要檢查，謂之「銲接檢驗」。



圖 5 公路總局李家順工程司

本簡報內容先就鋼結構製造流程，從鋼板進廠儲存、物料管理、裁切、加工、組立、銲接、檢驗、整形、預裝、塗裝及運輸至現場架設等作一簡單介紹(如圖 6 所示)，再對國內鋼構廠查核與督導鋼結構製造過程中，各施工流程所發現之缺失案例，再逐一提出說明。最後再探討造成此現象之原因，及如何於短期及長期作有效之改善提出建議。其認為原因之一可能是多年來營造廠低價搶標，相對壓縮鋼構廠的報價，而一些設備及品管能力未達承造建築鋼骨大樓及橋梁之鋼構廠(應稱鐵工廠)也大量投入承造，對施工規範及生產流程品管重點並不了解，欠缺合格之銲接與品管人員，造成品質低落。



圖 6 鋼橋預裝

若要提升工程品質，其建議可先提升鋼構廠施工水準及監造單位監造能力，因此鋼構廠分級制度之實施是有其必要。另監造單位應長期派員駐廠監造(如圖 7 所示)，且應受相關鋼構專業訓練及考核，例如考核通過鋼結構協會及銲接協會所舉辦鋼構監造及銲接檢驗相關訓練課程，方可辦理監造與檢驗，以有效提高鋼結構品質管理能力。



圖 7 成品外觀檢查

2.4 鋼構品管與工程防災檢驗技術

鋼結構銲接工程應用範圍非常廣泛，其中針對銲接品質之非破壞檢測，已為工程業界普遍接受之品管方式之一，並有相關規範予以判讀及允收。彭朋畿組長提供一般鋼結構工程銲接品質發生之四大異常原因，並建議銲接品質之九項管理措施與四種常用之非破壞檢測方法，以利相關鋼結構工程檢測技術之推廣(如圖 8 所示)。



圖 8 中龍鋼鐵 彭朋畿組長

本簡報提供一般鋼結構銲接品質異常之原因分析，並建議適當品質管理措施，其中非破壞檢測技術可輔助確認銲接品質之良窳，故若能於鋼結構工程之銲接前、中及後執行相關檢驗，預期應可有效提高銲接品質。非破壞檢測方法之互相搭配是提高檢測準確度之趨勢，因此建議檢測者在執行檢測時，可搭配不同之非破壞技術，針對檢測結果較嚴重或較重要之部位進行再確認之工作，以達到有效檢測之目的。

由於鋼結構銲接品質攸關鋼結構整體功能是否符合原設計之要求，因此良好之銲接品質更顯重要。銲接品質除執行相關物化性試驗外，亦會執行適當之非破壞檢測，以了解銲道是否有瑕疵或缺陷。瑕疵是指在某一均勻的事物中的任一間斷，若超過規範或合約即為缺陷。

一般銲接瑕疵包括裂縫(cracks)、熔合不良(incomplete fusion)、滲透不足(incomplete penetration)、銲渣(slag)、夾渣(inclusions)、氣孔(porosity)、銲蝕(undercut)、銲道未填滿(underfill)、重疊(overlap)、銲道凸出(convexity)等。相關常見銲接瑕疵如圖 9 所示

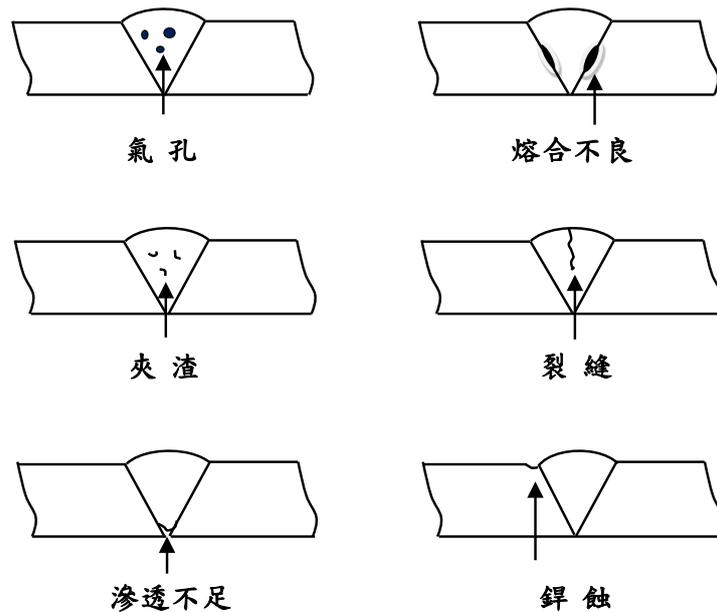


圖 9 常見鉅接瑕疵

瑕疵發生原因與相關鉅接管理直接相關，因此除了解瑕疵發生原因外，更應針對可能之因素予以消弭，以降低發生瑕疵之機率。如鉅接氣孔產生原因主要為鉅接區存在污染物或濕氣，這些污染物或濕氣可能來自母材、鉅條及保護氣體等。鉅接時污染物或濕氣被逐漸溶解與冷卻，上述過程氣體會逐漸被排出，同時先在熔融金屬內移動再往大氣排出，若熔融金屬之凝固速度比氣泡移動或排出速度快時，氣泡就會殘留在凝固金屬內形成氣孔瑕疵。因此相關鉅條之乾燥、保護氣體之充分與鉅前鉅道之清潔等因素，均會導致鉅接氣孔之產生。另夾渣發生之原因多為多道鉅接時，未將前一層之鉅渣清除乾淨或鉅接過程中鉅渣與鐵水相互熔在一起，故當熔池凝固時，熔渣來不及浮出表面，即造成夾渣之瑕疵，一般瑕疵發生之原因整理如表 2 所示。

相關單位應落實相關鉅接程序之管理，同時使用適當之 NDT 檢測技術，方能正確檢出瑕疵，如一般鉅道表面瑕疵可使用 PT 或 MT 檢測，內部瑕疵可使用 UT 或 RT 檢測。

表 2 一般瑕疵發生原因

瑕疵分類	瑕疵發生原因
氣孔	1. 電流過大 2. 電弧過長 3. 鉅條乾燥不良 4. 鉅前鉅道內污染物、濕氣及清潔不良 5. 保護氣體不足
夾渣	1. 電流過大 2. 鉅層間之清除不清潔 3. 鉅接過程中鉅渣與鐵水相互熔在一起 4. 開槽面切割不良 5. 鉅條大小不適合

滲透不足	1.電流太小 2.間隙太大或太小
熔合不良	1.電流過小 2.鐸道內有雜物 3.堆焊層次順序不良 4.鐸條大小不適合 5.鐸接速度不均勻
裂縫	1.鐸道急速冷卻 2.鐸材不當 3.工作方法不良 4.內應力太強
鐸蝕	1.電流太大 2.電弧過長 3.運棒速度太快 4.鐸條運棒角度不良

2.5 建築結構鋼材之選用

張敬昌協理於結構設計領域具備多年經驗(如圖 7 所示)，並參與台灣非常多高層建築物，如台北 101 大樓等。其表示台灣位處環太平洋地震帶，基於「小震不壞、中震可修、大震不倒」的耐震設計方法，結構體必須具有消能韌性，以降低設計地震力與構件尺寸。因此建築用鋼材除須考慮強度與施工性外，參與抗震之構材則另須滿足「耐震設計」之要求，以具有承受地震反復作用下，仍能維持應力傳遞的韌性需求。

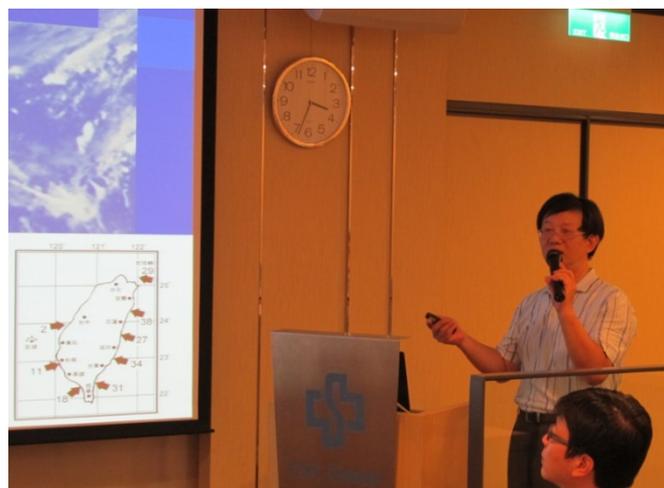


圖 7 永峻工程顧問公司 張敬昌協理

鋼材的耐震規格與設計方法、接合細部與施工方式等相關，雖然美國與日本分別於北嶺地震與阪神地震後，均提高 ASTM 及 JIS 建築用鋼的規格，但主要以符合熱軋型鋼耐震及施工需求的美國 ASTM 規格明顯較日本 JIS 規格低，針對特

殊耐震需求，美國鋼結構設計規範則另外訂定材料協商規格因應。我國鋼結構設計規範雖然以美國規範為藍本，但建築構件、構造系統及施工技術與同屬環太平洋地震帶的日本相近，CNS 國家規範中之結構用鋼亦參考日本 JIS 制定，因此內含狹降伏強度與衝擊韌性規格要求的 CNS 結構用鋼規格，仍較適用於國內鋼結構之使用(如表 3 所示)。我國鋼結構規範也依據國內鋼構設計實務與施工特性的差異，訂定箱型柱與圓鋼管之使用規格規定。

張協理表示建造一棟耐震建築，除使用具有穩定強度與韌性特性的鋼材，仍需結合良好的結構系統與合理的構件、細部設計才能逐步落實，因此耐震鋼材之選用更顯重要。

表 3 鋼材 (SN490C)相關規格

項目	規格要求	備註
降伏強度(N/mm ²)	325 ~ 445	16 ≤ 厚度 ≤ 40
	295 ~ 415	40 < 厚度 ≤ 100
抗拉強度(N/mm ²)	490 ~ 610	-
降伏比(%)	80	上限值
厚度方向收縮率(%)	15	單值下限
	25	均值下限
衝擊韌性(J)	27 at 0°C	下限值
超音波檢測		JIS G0901/CNS12845

三、結論與建議

震災之發生喚起民眾對結構物安全重視，亦推進工程界對防災技術與時俱進。一般鋼結構的重點有三，包括設計、施工與檢驗，耐震結構除使用合適耐震鋼材，以提供足夠之強度與韌性，抵抗地震造成之變形。結構設計則能適當吸收與分散地震能量，以保持結構完整性，達成「小震不壞、中震可修、大震不倒」的目標。而檢驗中之非破壞檢測則提供建物本身的重要資訊，找出病因後適當處理，以防止災害發生，屬於防災工程技術之重要一環。

本研討會強調預防重於事後補救與調查，前期設計、施工、檢驗之品質優劣，為耐震結構系統中關鍵要素，並直接影響結構物整體之安全性。省思震災後為國人帶來正向意義，應是良好防災意識與耐震結構系統之建構。希望未來地震之發生，僅止於地球科學之討論，而無衍生出社會成本之損耗。