

110 內政部建築研究所

年度 研 究 成 果 發 表 講 習 會



論文集

場次D 建築工程技術發展與整合應用

- 鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範柱及接合設計之修正研擬-周中哲
- 鋼構造建築物鋼結構設計技術規範之修正研擬-王炤烈
- 建築耐風設計規範之載重組合及簡易風力修正研究-羅元隆
- 以大數據預測季風機率分析研究-黎益肇

主辦單位：內政部建築研究所
中華民國111年5月

鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範柱及接合設計之修
正研擬

主講人簡歷

姓 名：周中哲

服務單位：國家地震工程研究中心、國立臺灣大學土木工程學系

職 稱：主任、教授

聯絡電話：(02)3366-4349

傳 真：(02)2739-6752

電子信箱：cechou@ntu.edu.tw

學 歷：美國 University of California, San Diego 博士

經 歷：國立臺灣大學土木工程教授、國家地震工程研究中主任

主要著作：

- (1) Chung, P-T, Chou, C. C.*, Ling, Y-T (2021). “Mechanics, Modeling and Seismic Behavior of a Dual-Core Self-Centering Brace in Series with a Frictional Gusset Connection.” *Engineering Structures* (19/134=14%, 5-Year IF= 3.775, IF=3.548, SCI, EI, in-reviewing)
- (2) Chou, C. C.*, Kuo, M. C. (2021). “Cyclic Flexural Test and Loading Protocol for Steel Wind Turbine Tower Columns.” *Thin-Walled Structures* (15/134=11%, 5-Year IF= 4.108, IF=4.033, SCI, EI in re-reviewing)
- (3) Pham, D. H., Chou, C. C.* (2020). “Strong-Axis Instability of Sandwiched Buckling Restrained Braces in a Steel Two-Story X-BRBF: Seismic Tests and Finite Element Analyses. *Thin-Walled Structures*, 157, 107011 (15/134=11%, 5-Year IF= 4.108, IF=4.033, SCI, EI)
- (4) Chou, C. C.*, Chen, G. W. (2020). “Lateral Cyclic Testing and Backbone Curve Development of High-Strength Steel

Built-Up Box Columns Under Axial Compression. *Engineering Structures* 223, 111147 (19/134=14%, 5-Year IF= 3.775, IF=3.548, SCI, EI)

- (5) Chou, C. C.*, Tseng, W. H., Huang, C. H., Tsuang, S., Chang, L. M., Chen, Y. H. (2020). “A Novel Steel Lever Viscoelastic Wall with Amplified Damper Force-Friction for Wind and Seismic Resistance. *Engineering Structures*, 210, 110362 (19/134=14%, 5-Year IF=3.775, IF=3.548, SCI, EI, 2018 臺灣國際創新發明暨設計競賽金牌獎, 臺灣知識創新學會及國立臺南大學所主辦)

中文摘要

周中哲¹ 劉郁芳² 周德光³

關鍵字：鋼骨鋼筋混凝土結構、柱設計、鋼柱寬厚比、梁柱接頭、接頭剪力強度

本研究收集鋼骨鋼筋混凝土(Steel Reinforced Concrete, SRC)柱及梁柱抗彎接頭最新國外設計規範及研究成果，再與臺灣鋼骨鋼筋混凝土規範及近年之研究進行分析比較，其中在 SRC 柱設計方面，對於混凝土強度、鋼骨強度、柱主筋間距、鋼柱寬厚比等在考慮研究及工程實務的可行性，提出設計條文建議修訂。另外鋼筋混凝土柱與鋼梁(Reinforced Concrete Steel, RCS)之接頭已被美國及日本規範列為一種抗彎接頭，臺灣規範目前尚未有此種接頭設計方法，但學術界及實務界已有一些相關研究供參考，本研究針對 RCS 接頭整合美日規範的設計理論，再與國內外研究的成果彙整成 RCS 接頭剪力設計方法作為規範修訂參考。藉由此次國內外相關規範研究及實驗結果彙整工作，修訂 2011 年版的鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說以期更符合現今國內實務應用及國際技術發展。

¹國家地震工程研究中心 主任 國立臺灣大學土木工程學系 教授

²國家地震工程研究中心 助理研究員

³國家地震工程研究中心 副技術師

ABSTRACT

Keywords : Steel-Reinforced-Concrete (SRC) Structure, Column, Width-to-Thickness Ratio, Beam-to-Column Moment Connection, Shear Strength of Connection

The design specifications and literatures related to SRC columns and beam-column connections in the United States, Japan, and Taiwan were collected for the revision of Taiwan Design Specifications and Commentary of Steel-Reinforced-Concrete Structures. The revision recommendation will be expected to be an essential reference for design and construction of SRC structures in Taiwan. Design of Reinforced-Concrete-Column and steel beam connection (called RCS connection) has been included in the design specifications of United States and Japan. However, this connection type has not been included in Taiwan specifications. This work was focused on revision of SRC code in Taiwan. In terms of SRC column design, concrete strength, steel strength, column reinforcement spacing, and column width-to-thickness ratio are revised based on AISC 341 (2016). Integrating the design theories of U.S. and Japan, as well as the research results in Taiwan, a new section of RCS design was recommended to the updated SRC code.

壹、緒 論

一、研究動機與目的

目前我國「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」係於民國 100 年公告，至今近 10 年，但該版規範是以美國混凝土學會 ACI 318-05(2005) 規範及美國鋼結構學會 AISC 341-05(2005) 為依據，其後 ACI 及 AISC 也多次進行修訂，期間我國鋼骨鋼筋混凝土工程之研究結果、施工方法、施工技術與檢驗方式均有相當程度的改變。

據此本報告蒐集鋼骨鋼筋混凝土(Steel Reinforced Concrete, SRC)梁柱接頭和柱設計最新國外規範及研究文獻，再與台灣鋼骨鋼筋混凝土規範及國內近代之研究成果進行比較及檢討，期以國內外相關研究及實驗結果，擬定台灣鋼骨鋼筋混凝土規範梁柱接頭及柱相關條文修訂方向及要點，盼能使鋼骨鋼筋混凝土規範更符合國內實務應用及國際技術發展。

貳、研究內容

從 102 年至今，內政部建研所及科技部已委託學界及業界進行鋼骨鋼筋混凝土構造之研究，本研究將以國內外規範及研究成果為基礎，從鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭及柱設計為修訂檢討的開始，結論有多項 SRC 規範待修議題。本研究內容包含資料蒐集、專家座談意見蒐集以及規範增修條文之研擬。研究步驟如下：

- (一) 蒐集調查美國、日本規範和國內外相關論文研究報告作為參考資料。
- (二) 由 SRC 規範編修小組先就美國、日本及台灣 SRC 柱及梁柱接頭設計相關規範及研究文獻蒐集，之後再將美日規範與現行台灣規範中相關條文比較整理差異。
- (三) 召開專家學者會議研討相關課題及台灣與國外規範差異修正之方向

檢討，更深入國內外規範差異性相關研究及實驗成果蒐集分析檢討。
(四)研擬鋼骨鋼筋混凝土設計規範條文修訂草案及送交鋼骨鋼筋混凝土
規範委員會進行審議討論，彙整研究成果並完成成果報告書。

參、研究發現

鋼筋混凝土柱與鋼梁之接合(Reinforced Concrete and Steel, RCS)為一種新的複合斷面構造型式，此種接合美國及日本都已納入規範，日本也有許多真實案例，台灣規範目前尚未有此種接合型式，但學術界及實務界已有相關研究，建議台灣規範也能新增此接合型式。本次梁柱接頭的研究也針對 RCS 構造，整合美日的設計理論及精神，再加上台灣研究的成果，集結成建議規範修改的草案，也彙整美日台建議的接頭剪力計算方法供工程師參考。SRC 梁柱接頭區一向是最難施工的區域，而台灣 SRC 構造大都是採用包覆填充型鋼骨混凝土柱與梁主筋以續接器連接，但目前台灣規範規定鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭處之梁主筋應以直接通過接頭為原則，宜儘量避免以鋼筋續接器銲於鋼柱翼板上以續接主筋，若欲達成此規定，梁主筋需繞過鋼柱，使傳力路徑的完整性有疑慮，然而此種連接方式無論國內外皆無相關實驗研究佐證，建議有必要進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱連續試體之實驗研究，以提升國內 SRC 建築整體耐震能力。

對於柱設計部份，項目包括鋼筋強度、柱鋼筋箍筋、柱鋼骨比、受軸壓力作用之構材 SRC 柱之設計受壓及彎矩強度、混凝土強度、鋼骨強度、柱鋼筋主筋間距、柱寬厚比、柱之箍筋等項目，發現前四項於美日規範與現行台灣規範差異不大，甚至現行台灣規範為較保守；至於後五項則有修訂之必要。

(一)於[鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說]第 1 章解說中新增 SC(Steel

Construction)構造相關說明，之前各規範無 SC 此名詞，擬於鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範第一章通則 1.1 節適用範圍解說內增加關於 SC 說明及設計時應注意部份。

(二)於〔鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說〕第 8 章中新插入 8.6 節鋼筋混凝土柱與鋼梁之接合條文與解說及圖 C8.6.1、圖 C8.6.2 與圖 C8.6.3(原 8.6 節依順序往後遞延)，鋼筋混凝土柱與鋼梁之接合 (Reinforced Concrete and Steel, RCS)為一種新的複合斷面構造型式，此種接合美國及日本都已納入規範，日本也有許多真實案例，台灣規範目前尚未有此種接合型式，但學術界及實務界已有相關研究，建議台灣規範也能新增此接合型式。本次梁柱接頭的研究也針對 RCS 構造，整合美日的設計理論及精神，再加上台灣研究的成果，集結成建議規範修改的草案，也彙整美日台建議的接頭剪力計算方法供工程師參考，依此新增 8.6 節。

(三)於〔鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說〕第 3、4 及 6 章中修正 3.4 節鋼骨斷面之寬厚比、3.5 節構材之勁度、4.3.3 節柱之主筋及圖 C4.3.3 與圖 C4.3.4、4.3.5 節柱之箍筋圖 C4.3.6、6.3 節一般要求。

綜整柱設計之檢討中，其中項目包括混凝土強度、鋼骨強度、柱鋼筋主筋間距、柱寬厚比、柱之箍筋等項目分別敘述如下：

修訂原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署 (2011)，其中 3.5 節構材之勁度，應對現行工程實際強度，混凝土單位體積重量在 1.5 至 2.5 tf/m³ 修改為 1440 至 2560 kgf/m³ 之間，而彈性模數 $E_c = w^{1.5} \times 4,270$ (kgf/cm²) 則修改為 $E_c = w^{1.5} \times 0.11$ (kgf/cm²)，原混凝土規定抗壓強度 f_c' 不宜小於 210 kgf/cm² 擬修改為 280 kgf/cm²；至於常重混凝土之彈性模數 E_c 可取為

$E_c=15000(\text{kgf/cm}^2)$ 擬修改為 $E_c=12000(\text{kgf/cm}^2)$ 。

修訂原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署(2011)，其中 6.3 節一般要求，應對現行工程實際強度，鋼骨規定降伏應力不宜大於 3520 kgf/cm^2 擬修改為 4200 kgf/cm^2 。

規範 Ch4.3.3 柱之主筋第二項，鋼骨鋼筋混凝土柱中之主筋間距不得大於 300mm ，為考慮限制鋼筋最小間距之目的加入且主筋與主筋之淨間距不得低於 4 cm 、主筋標稱直徑之 1.5 倍與粗骨材最大粒徑之 $(4/3)$ 倍三值之最大者。此外為避免壓力控制行為及高強度混凝土脆性行為，亦新增鋼骨鋼筋混凝土柱中 RC 部份所分擔之需要軸力強度 P_{urc} ，在 $P_{urc} > 0.3A_c f_c'$ 或 $f_c' > 700 \text{ kgf/cm}^2$ 時，鋼骨鋼筋混凝土柱中之主筋間距不得大於 200 mm ，並於解說中加入相關說明。

規範 3.4 鋼骨斷面之寬厚比，將表 3.4-2 及表 3.4-3 中進行修訂，其中 SS490、SM490、SN490 級仍維持保留，而移除 SS400 級(A36)該部份規定。再者考量現行實務已大量使用 SM570 級鋼材，故加入 SM570 級(A572Gr60)該部份規定。對於鋼骨斷面之寬厚比，考慮與 AISC 保持一致性，將表 3.4-2、表 3.4-3 中寬厚比 λ_{pd} 、 λ_p 二值修改為 λ_{hd} 、 λ_{md} 、 λ_p 三值，並於解說中加入相關說明。並列出現行規範中因應此一修正，所需對應修正條文及解說。將表 3.4-2、表 3.4-3 中寬厚比 λ_p 仍維持原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署(2011)規定，表 3.4-3 對於 λ_{hd} 、 λ_{md} 則依 AISC341-16(2016)；而表 3.4-2 對於 λ_{hd} 、 λ_{md} 則依照表 3.4.3 矩形填充型鋼管混凝土柱為依據，依比例進行換算。

規範 4.3.3 節柱之主筋中圖 C4.3.3 與圖 C4.3.4，規範 4.3.5 節柱之箍筋中圖 C4.3.6，都同時配合修改，建議柱四個角落之主筋應都要增加繫

筋，繫筋二端皆為 90 度。

(四)除探討 SRC「梁柱接合」及「柱設計」之國內外相關規範比較，並於專家學者座談會及規範委員會擬定規範修訂的共識，在第六章規範與解說修改建議中提出具體修改草案，但於研究及討論過程中發現以下二項議題，目前由於國內外資料不足或缺乏相關實驗數據，以致無法落實在修訂規範上，以下就此二項議題分別提出日後待研究方向，俾使我國 SRC 規範更臻完善。

(一)梁柱接合

規範 8.5 節梁柱接合細則中 8.5.1 節提到梁柱接頭之主筋配置，為了確保梁柱接頭處的彎曲應力(Bending Stress) 能夠有效傳遞，SRC 梁柱接頭處之主筋應以直接通過接頭為原則，宜儘量避免以鋼筋續接器銲於鋼柱翼板上以續接主筋，然而在實務設計上，此種接合方式常見於複合斷面中，國內外目前無實驗研究進一步證明，故建議有必要進行實尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之實驗研究，驗證其耐震強度及安全性，以供實務界遵循。

(二)柱設計

(1) 高強度混凝土抗壓強度公認合理之方法

規範 6.3 節一般要求與 9.2 節材料中，均提到包覆型鋼骨鋼筋混凝土構材若需採用規定抗壓強度大於 420 kgf/cm² 之混凝土時，或填充型鋼管混凝土構材若需採用規定抗壓強度大於 560 kgf/cm² 之混凝土時，應以公認合理之試驗證明其可行性與可靠度。在 SRC 柱採用高強度的混凝土方面，本節之限制主要考量當混凝土強度提高時，其脆性的現象將更為明顯，同時目前國內外的相關研究仍然有限。惟若有公認合理的試驗證明其可行性與可靠度，且在實際施工時亦能確保混

凝土之品質，則混凝土之強度限制應可考慮酌予放寬。由於 SRC 構造大抵為中高樓層建築，而且其混凝土強度愈發提高，由於現行規範對此並未有明確規定，故建議對高強度混凝土抗壓強度公認合理之方法試驗證明，應進行後續研究議題。

(2) 柱鋼筋主筋間距

規範 4.3.3 節柱之主筋第二項，其中鋼骨鋼筋混凝土柱中之主筋間距不得大於 300 mm，由於 SRC 結構包含鋼骨與鋼筋混凝土，二者皆對強度均有貢獻；但參考混凝土結構設計規範草案(2021)於不同狀態下其縱向鋼筋間距為 15、20、35cm，而 AISC341-16 不得大於 45cm，再由工程實際案例實際柱鋼筋主筋間距值，皆介於規範（2011）中 4.3.3 節上限值 30cm 與下限值 6.67cm 之間，考量 SRC 中仍有鋼骨之貢獻，而 RC 規範中純粹僅為鋼筋，當鋼骨鋼筋混凝土柱具有不同橫向支撐情況下，亦卻乏足夠資料佐證，目前國內外 SRC 柱之柱鋼筋主筋間距相關資料亦缺乏作為後續進一步修訂之依據，故建議對柱鋼筋主筋間距，應進行後續實驗研究。

(3) 柱寬厚比

台灣鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範(2011)表 3.4-2 及表 3.4-3 寬厚比，現行規範僅有對 λ_p 結實斷面之鋼骨肢材寬厚比之上限、 λ_{pd} 耐震設計斷面之鋼骨肢材寬厚比之上限訂出其值。隨著中高樓層建物日益增加，如果僅以傳統之 λ_p 與 λ_{pd} 值去衡量柱構件是否合於規定則有不足之慮，此外考量 AISC 360-16 及 AISC 341-16 (2016)中已定義 λ_{hd} 、 λ_{md} 、 λ_p 三值，但卻未能對於適用樓層範圍、層間變位等參數有明確建議值，AISC 341-16 中對於複合柱構件視不同構架型式，對柱寬厚比須分別滿足 λ_{hd} 或 λ_{md} 。蒐集國內外資料顯示隨著柱軸力、寬

厚比增加會致使柱韌性降低，由於缺乏具體相關實證數據支持，調整過嚴則造成工程造价提高或難以實施，反之則失去規範的安全初衷，故建議對柱寬厚比 λ_{hd} 、 λ_{md} 、 λ_p 相關定義，應進行後續研究或實驗驗證。

(4) 柱之箍筋

台灣鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範（2011），其中由於規範 4.3.3 節規定，主筋間距大於 300mm 須加配 D13 軸向輔助筋，對於圖 C4.3.4 具有輔助筋，是否增加繫筋與否，故對於國內外相關研究文獻進行蒐集，未查獲相關資料。對於包覆填充型箱型柱的橫向鋼筋，除了外圍之圍束箍筋外通常也需要配置繫筋以滿足規範之要求。但是傳統繫筋受到鋼骨箱型柱的阻撓而無法直通，因此箱型柱外側混凝土的圍束往往無法滿足規範的要求，目前國內現有相關實驗資料其數量仍不足夠，進而支持修訂規範，故建議建研所日後可規劃相關實驗，以作為柱具有輔助筋，是否增加繫筋與否調整之依據。

肆、結 論

本研究所獲之結論如下：將美國 AISC341-16（2016）及日本建築學會「鐵骨鋼筋混凝土構造計算規準同解說」（2014）與台灣「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」（2011）相互比較，針對台灣「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」（2011）中不合宜之條文規定擬定未來之修訂方向，謹綜合歸納成「梁柱接頭」、「柱設計」及「第三節 SRC 規範待研究課題」部份。

(一) 梁柱接頭

在強柱弱梁的檢討，美國 AISC 強柱弱梁彎矩比例與現行臺灣「鋼骨鋼筋混凝土規範」規定相近，因美國公式中已隱含材料超強因子及應變硬化之

影響，故建議臺灣強柱弱梁規定暫不需修改。美國、日本與台灣在計算梁柱接頭區剪力強度時皆利用強度疊加原理，將接頭區中各構材所提供的剪力強度分別計算再予以疊加，唯各規範對於各構材剪力強度的計算方式不同，日本「鐵骨鋼筋混凝土構造計算規準同解說」（2014）在強度計算方面採用容許應力設計；美國 AISC 341-16（2016）規範及台灣「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」（2001）則採用極限強度設計。雖然美國規範與台灣規範強度計算皆採用極限強度設計法，但梁柱接頭區剪力強度計算仍存有差異。

美國 AISC 341-16（2016）規範及台灣「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」（2001）中提出梁柱接頭區混凝土強度的計算公式皆參照美國 ACI 318-14 規範第 18 章中所提供的計算公式，唯台灣「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」（2001）對相關公式做了部份修改（詳見 4.2 節，表 4.1）。

當混凝土為常重混凝土時，美國 AISC 341-16（2016）規範與台灣「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」，美國規範建議除有足夠反覆載重試驗結果支持，否則給予 0.75 折減強度，台灣規範中的強度折減因子則包含了鋼骨與柱軸向強度的比值，但以實際算例計算，發現兩者結果差異不大，但美國已有新的 ACI 318-19 規範，也建議台灣可以參照 ACI 318-19 進行公式調整更新。

台灣「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」規範鋼骨鋼筋混凝土接頭種類中，無提及鋼筋混凝土柱與鋼梁接合型式之接頭，但此類型的接頭已列入 AISC 341-16(2016)規範(詳見 2.3 節)，建議台灣規範能參照 AISC 341-16(2016)之說明及研究結果，擬定相關規定及接合強度計算公式。本報告中分別使用 Parra(2001)、ACI318-14、ACI318-19、AIJ、Kathuria

等人 (2015) 之研究建議之接頭剪力計算方式，與 ASCE(1994)算例的結果比較。依照 Parra 及 ASCE 計算結果進行比較，發現 ASCE 整體計算較為保守，鋼柱腹板剪力強度、內部拉壓桿以及外部拉壓桿剪力強度各部分強度貢獻皆小於 Parra 公式計算出之結果，兩者差距約為 20%。其中 ACI318-14、ACI318-19 以梁連續、柱不連續時且無圍束情況計算結果較 ASCE 保守，相差約 10%。ASCE 與 AIJ 計算結果比較，AIJ 較為保守。若依照 Kathuria 等人 (2015) 與 ASCE(1994)計算結果進行比較，Kathuria 等人 (2015) 計算結果較保守，兩者相差 7%。依照 ACI318-14、ACI318-19 及 ASCE 計算之鋼筋混凝土強度結果比較，認為使用梁連續、柱不連續並無圍束情況計算結果較接近 ASCE 計算結果，因為 Deierlein 等人(1989) 比較實際試驗強度與 ASCE(1994)公式計算，誤差約為 8%，ASCE(1994) 提供之剪力標稱強度公式與實驗結果相近且略為保守，故建議採用 ACI318-19 梁連續、柱不連續並無圍束情況對應的公式作為 RCS 構造的接頭剪力計算，若需檢核梁柱接合承壓破壞建議詳 Kathuria 等人 (2015) 及歐昱辰等人(2021)之研究報告。

(二)柱設計

綜整柱設計討論，其中項目包括混凝土強度、鋼骨強度、柱鋼筋主筋間距、柱寬厚比、柱之箍筋等項目分別敘述如下：

修訂原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署(2011)，其中 3.5 節構材之勁度，應對現行工程實際強度，混凝土單位體積重量在 1.5 至 2.5 tf/m³ 修改為 1440 至 2560 kgf/m³ 之間，而彈性模數 $E_c = w^{1.5} \times 4,270$ (kgf/cm²) 則修改為 $E_c = w^{1.5} \times 0.11$ (kgf/cm²)，原混凝土規定抗壓強度 f_c' 不宜小於 210 kgf/cm² 擬修改為 280 kgf/cm²；至於常重混凝土之彈性模數 E_c 可取為 $E_c=15000$ (kgf/cm²) 擬修改為 $E_c=12000$

(kgf/cm²)。

修訂原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署(2011)，其中 6.3 節一般要求，應對現行工程實際強度，鋼骨規定降伏應力不宜大於 3520 kgf/cm² 擬修改為 4200 kgf/cm²。

修訂原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署(2011)，其中規範 Ch4.3.3 柱之主筋第二項，鋼骨鋼筋混凝土柱中之主筋間距不得大於 300mm，為考慮限制鋼筋最小間距之目的加入且主筋與主筋之淨間距不得低於 4 cm、主筋標稱直徑之 1.5 倍與粗骨材最大粒徑之(4/3)倍三值之最大者。此外為避免壓力控制行為及高強度混凝土脆性行為，亦新增鋼骨鋼筋混凝土柱中 RC 部份所分擔之需要軸力強度 P_{urc} ，在 $P_{urc} > 0.3A_c f_c$ 或 $f_c > 700 \text{ kgf/cm}^2$ 時，鋼骨鋼筋混凝土柱中之主筋間距不得大於 200 mm，並於解說中加入相關說明。

修訂原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署(2011)，其中規範 3.4 鋼骨斷面之寬厚比，將表 3.4-2 及表 3.4-3 中進行修訂，其中 SS490、SM490、SN490 級仍維持保留，而移除 SS400 級(A36)該部份規定。再者考量現行實務已大量使用 SM570 級鋼材，故加入 SM570 級(A572Gr60)該部份規定。對於鋼骨斷面之寬厚比，考慮與 AISC 保持一致性，將寬厚比 λ_{Pd} 、 λ_P 二值修改為 λ_{hd} 、 λ_{md} 、 λ_P 三值，並於解說中加入相關說明。並列出現行規範中因應此一修正，所需對應修正條文及解說。將表 3.4-2、表 3.4-3 中寬厚比 λ_P 仍維持原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署(2011)規定，表 3.4-3 對於 λ_{hd} 、 λ_{md} 則依據 AISC341-16(2016)；而表 3.4-2 對於 λ_{hd} 、 λ_{md} 則依照表 3.4.3 矩形填充型鋼管混凝土柱為依據，依比例進行換算。

修訂原鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說內政部營建署(2011)，

其中規範 4.3.3 節柱之主筋中圖 C4.3.3 與圖 C4.3.4，規範 4.3.5 節柱之箍筋中圖 C4.3.6，都同時配合修改，建議柱四個角落之主筋應都要增加繫筋，繫筋二端皆為 90 度。

伍、參考文獻

- (1) 日本建築學會 (2014)，「鐵骨鋼筋混凝土構造配筋指針 (案) 同解說」，東京。(日文)
- (2) 中國建築工業出版社 (2014)，「鋼管混凝土結構技術規範」(GB50936-2014)。
- (3) 內政部營建署 (2010)，「鋼結構極限設計法規範及解說」，民國九十九年，台北。
- (4) 內政部營建署 (2011)，「混凝土結構設計規範」，民國一百年，台北。
- (5) 內政部營建署 (2011)，「建築物耐震設計規範及解說」，民國一百年，台北。
- (6) 內政部營建署 (2010)，「建築技術規則」，民國九十九年，台北。
- (7) 內政部營建署 (2011)，「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」。
- (8) 內政部營建署 (2021)，「混凝土結構設計規範草案」。
- (9) 王榮進、翁正強 (2008)「鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範之檢討修訂」，內政部建築研究所研究報告，十二月，台北。
- (10) 西村泰智(2014)，「建築領域之 RC 柱 S 梁複合構造」，日本混凝土工學協會，第 52 卷 1 號，pp71~pp76，日本。(日文)
- (11) 西村泰智(2018)，「RC 柱及 S 梁以梁貫通型式之柱梁接頭處應力傳達機制抵抗機制」，日本建築學會論文集，第 1714 號，pp44，日本。(日文)
- (12) 周中哲、吳松城 (2017)，「高強度混凝土充填箱型鋼柱於高軸力下

- 之耐震試驗」", 中華民國結構工程學會, 結構工程, 第 32 卷第 1 期, pp. 25-48, (2017.03)
- (13)周中哲、陳冠維、林德宏 (2020), "「箱型鋼柱於不同寬厚比軸力及近斷層地震下的耐震行為與背骨曲線發展」", 中華民國結構工程學會, 結構工程, 第 35 卷第 4 期, pp. 57-75, (2020.12)。
- (14)陳正誠、周家希、吳品達(2015), 「包覆填充型箱型柱橫向鋼筋配置方式之軸向強度與韌性」, 內政部建築研究所 103 年度研究成果發表講習會, 台北, 內政部建築研究所, 104 年 4 月 29 日。
- (15)陳正誠、吳品達、許瑜麟 (2020), 「包覆填充型箱型柱接力式繫筋對混凝土圍束的有效性」, 中華民國結構工程學會, 結構工程, 第 35 卷, 第 1 期, 31-51 頁。
- (16)歐昱辰、周中哲、王威儒、賴柏丞(2021), 「新型鋼骨預鑄混凝土複合式構架接頭試驗報告」, 國家地震工程研究中心, NCREE-21-003。
- (17)劉郁芳、周中哲、曾郡于、孫琛琛 (2020), 「國內外規範之鋼骨鋼筋混凝土構造梁柱接合設計」, 國家地震工程研究中心, NCREE-20-017。
- (18)American Concrete Institute Committee (ACI 318R-99). (1999).
“Building code requirements for structural concrete and commentary.”
ACI 318R-99, USA.
- (19)American Concrete Institute Committee (ACI 318-02). (2002).
"Buildings Code Requirements for Structural Concrete." ACI -318-02, MI
- (20)American Concrete Institute (ACI 352R-02). (2002). “Recommendations for design of beam-column connections in monolithic reinforced concrete structures.” ACI 352R-02, Detroit, USA.
- (21)American Concrete Institute Committee (ACI 318R-05). (2005).
“Building code requirements for structural concrete and commentary.”

ACI 318R-05, USA.

- (22) American Concrete Institute (ACI 318R-14). (2014). "Building Code Requirements for Structural Concrete" ACI 318-14 Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI Committee 318.
- (23) American Concrete Institute (ACI 318R-19). (2019). "Building Code Requirements for Structural Concrete" ACI 318-19 Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI Committee 318.
- (24) American Institute of Steel Construction (1999). "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings." AISC-LRFD-99, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

鋼構造建築物鋼結構設計技術規範之修正研擬

主講人簡歷

姓 名：王炤烈

服務單位：中華民國鋼結構協會

職 稱：理事長

聯絡電話：02-25026602

傳 真：02-25172526

電子信箱：shiluaw@gmail.com

學 歷：國立成功大學土木工程研究所碩士

經 歷：台灣世曦工程顧問公司總經理、台灣省結構技師公會理事長

主要著作：

1. 王炤烈，「鋼結構設計精要」，文笙書局。
2. 中國土木工程學會，「混凝土工程設計規範與解說[土木401-110]」，科技圖書股份有限公司。

中文摘要

王炤烈¹ 林克強²

關鍵字：鋼結構、設計、耐震

目前我國「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」係於民國 96 年 7 月公告，至今已超過十三年，當時主要是以美國鋼結構協會 AISC 2005 規範為依據，其後 AISC 規範於 2010 年及 2016 年曾配合當時之研究成果與工程實務需要，再修訂過兩次；而我國鋼結構工程技術在這期間亦有相當程度之進步，包括製造、吊裝與檢驗方式均有相當程度之改變；而且我國主要鋼材規範近期亦都有修改；另近年我國耐震規範與耐風規範亦均有所修改；此外，近期鋼結構工程所常採用之一些抗震結構系統與接合方式，亦有不少是目前規範所沒有；此外因應台商回潮，近期低矮、較輕型鋼廠房之案例亦不少，這都是過去規範較少注意。因此，為符合工程界之使用情形與國際發展方向，我國鋼結構設計規範亦宜研擬更合適之規範架構與內容。

故為使我國鋼結構設計規範更精進、更臻完善，及符合技術發展情形與工程需要，並讓國家規範能與業界常參採之我國鋼結構協會發行之規範或美國 AISC 規範一致。因此，我國現行鋼結構設計規範應配合目前之學術研究成果、實際技術情況與國際發展趨勢，與時俱進，更新我國「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」實有其必要，乃擬研究提出新版建築物鋼結構設計規範草案。

¹中華民國鋼結構協會 理事長

²國家地震工程研究中心 研究員

ABSTRACT

Keywords : Steel structures, Design, Seismic resistance

The currently used Design and Technique Specifications of Steel Structures for Buildings in Taiwan was published in 2010, which was more than a decade ago. At the time it was published, it was mainly based on the specification of the AISC 2005. The AISC specification has been modified twice since then due to the research and engineering needs of the time. Meanwhile, the engineering technology of steel structures in Taiwan has also improved to a great extent during this period. There have been changes in the manufacturing, hoisting, and inspection methods, and recent designs often use some seismic structural systems and beam-column joints, many of which are not available in the current specifications. In addition, the major steel-related specifications in Taiwan such as CNS 2947 and CNS 13812 have also been revised recently.

Therefore, in order for Taiwan's steel structure design specification to be more standardized, for the content to be more compatible with the current situation to meet the needs of the industry, and to be more in line with the new trend of international technological development, it is advisable to develop a new version of the Taiwanese steel structural buildings design specification.

壹、緒 論

一、研究動機與目的

鋼結構由於強度強、重量輕、性能優越、施工快速，已是一般建築物在結構系統與材料之主要選擇。我國鋼結構過去因鋼板供應問題，發展較緩慢，直到 1969 年中鋼開始生產結構鋼板後，我國鋼結構建築方才起步，其後隨著經濟發展，加上人口集中，建地有限，造成建築物高層化，使得大量鋼結構建築如雨後春筍般的出現，近期鋼結構建築之發展更是突飛猛進，迄今台灣超過 30 層以上之鋼結構建築物已有數十棟，目前台灣的鋼結構建築工程已達國際頂尖水準。

國內建築鋼結構設計規範始於民國 88 年(1999)，根據「建築技術規則」的法源制定，規範名稱為「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」，分為「鋼結構容許應力設計法規範及解說」與「鋼結構極限設計法規範及解說」兩冊。此規範於民國 96 年(2007)修訂，並沿用至今，已逾 14 年。國內鋼結構設計規範的訂定，主要以美國鋼結構協會(AISC)出版之設計規範為藍本。現行鋼結構設計規範的容許應力設計法與極限設計法，分別依據 AISC 於 1989 年的容許應力設計法(Allowable Stress Design, ASD)與 1999 年的載重與強度因子設計法(Load and Resistance Factor Design, LRFD)修訂，相對美國現行 2016 年版 AISC 360(鋼結構建築規範)與 AISC 341(鋼結構建築耐震規定)已相距 17 年，且 AISC 360 與 341 的新修訂版亦預計於 2022 年再新版。在此期間，較先進的鋼結構設計觀念、方法、系統等已被研發，並納入 AISC 360 與 341 規範中。因此，本研究是針對國內鋼結構設計規範的修訂進行探討與研擬，初步是以美國 AISC 360 與 341 2019 版為基礎，研擬適合我國之新版鋼結構設計技術規範。

貳、研究內容

一、規範架構

鋼結構由於強度強、重量輕、性能優越、造型活潑、施工快速，且可回收再利用，已是一般建築物在結構系統與材料之主要選擇。我國鋼結構過去因鋼板供應問題，發展較緩慢，直到 1969 年中鋼開始生產結構鋼板後，我國鋼結構建築方才起步，其後隨著經濟發展，加上人口集中，建地有限，造成建築物高層化，使得大量鋼結構建築如雨後春筍般的出現，近期鋼結構建築之發展更是突飛猛進，自 1980 年完成 26 層樓之台電大樓後，迄今台灣超過 20 層以上之鋼結構建築物已有數十棟，目前台灣的鋼結構建築工程已達國際頂尖水準。

然鋼結構之材料雖然強度強、延展性好，但要建造成為承載能力高、耐震性佳之建築物，則需要有良好的設計與施工。尤其鋼結構之構件組合均需透過銲接與螺栓接合，且需先在鋼構廠經裁切與製造，再載運至工地現場組裝，因此其斷面構造情形與接頭接合方式均需要有合適的分析與設計，並要考慮施工性與材料規格，另外鋼結構建築尚需注意耐久性與防火功能，所以鋼結構之設計作業，需經過詳細的規劃與分析，且需要有嚴謹與繁雜的計算程序，方得完成，所以相關的規格與規範之制訂即顯重要。

本研究配合規範需要，是經蒐集國內相關鋼結構設計、施工資料和國外最新鋼結構設計規範，以及我國鋼結構協會最新之「鋼構造建築物鋼結構設計規範」，以及配合近年來我國耐震設計規範、耐風設計規範與 CNS 國家標準之修訂情形，研擬可滿足國內鋼構造建築物之功能與安全需求，並可符合國際技術發展之新版建築物鋼結構設計技術規範(草案)。為延續現行規範的一致性，本次國內鋼結構設計規範修訂是以

AISC 360 與 341 之 2016 年版為基礎，並參考國內工程實務與研究成果等修訂之。

二、研究成果

本項規範草案研究是由中華民國鋼結構協會規範委員會辦理，經由相關技術研究與資料蒐集後，由 18 位委員、經 24 次密集會議，編撰初我國新版鋼結構設計規範草案，其章節內容如下：

第一章 總則

第二章 載重與設計規定

第三章 材料

第四章 結構穩定設計

第五章 受拉構材

第六章 受壓構材

第七章 受剪構材

第八章 受撓曲構材

第九章 受組合力或扭力構材

第十章 合成構材

第十一章 接合設計(含 HSS)

第十二章 服務性設計

第十三章 製造、安裝與品管

第十四章 耐震設計

附錄 A 先進分析法設計

附錄 B 積水設計

附錄 C 疲勞設計

附錄 D 結構火害條件設計

附錄 E 既有結構物評估

附錄 F 構材穩定性側撐

本次規範草案是將現行規範的容許應力設計法與極限設計法兩冊合併為一冊。將容許強度設計法(Allowable Strength Design, 仍稱為 ASD)取代現行規範的容許應力設計法，並以構材極限強度與機率式(probability-based)載重準則結合的 LRFD 設計法為修訂基準，使容許強度設計法與 LRFD 設計法具相同安全等級的設計結果。

並為提升鋼結構建築的耐震設計有效性，本修訂版本在第十四章耐震設計中導入材料的預期實際強度概念，做為構材或元件的強度容量設計基準，以期確保建築結構的實際受震行為與設計假設條件儘可能一致，驅使耐震消能元件的韌性能如預期地發展。

除此之外，本修訂草案也新增國內工程實務需求，或具高效率耐震性能的耐震系統，包括：懸臂柱、挫屈束制斜撐(BRB)與鋼板剪力牆(SPSW)等耐震結構系統，及相關耐震設計規定。在本修訂版本研擬研究中，也增加耐震構材、元件、接合與構架的驗證試驗規定章節，以提出驗證試驗之方法、程序與合格標準有一致的規範；也可做為設計者驗證所設計或開發者所研發之耐震構材、元件、接合或構架的有效性。其中在第十四章耐震設計的內容如下：

14.1 總則

14.2 材料與強度

14.3 基本設計要求

14.4 構材與接合設計規定

14.5 普通抗彎構架 OMF

14.6 部分抗彎構架 IMF

- 14.7 特殊抗彎構架 SMF
- 14.8 普通懸臂柱系統 OCCS
- 14.9 特殊懸臂柱系統 SCCS
- 14.10 普通同心斜撐構架 OCBF
- 14.11 特殊同心斜撐構架 SCBF
- 14.12 偏心斜撐構架 EBF
- 14.13 挫屈束制斜撐構架 BRBF
- 14.14 特殊鋼板剪力牆 SPSW
- 14.15 製造、安裝與品管
- 14.16 預先驗證與反復載重驗證試驗規定

有關中空結構斷面(hollow structural section, HSS)鋼管的接合規定也大幅增列於本修訂版本中，此部分有助於國內發展離岸風電支撐結構的本土化設計與施工技術。

參、結 論

本研究所獲之我國新版鋼結構設計規範草案，業經兩次說明會，及於結構技師公會幾辦過兩場研討會，尚獲得好評，應可適用後續我國鋼結構建築設計需要，後續將再經更細節與技術性的調整後，依法定程序成為我國未來新版之「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」。

肆、參考文獻

- [1] 1. AISC (1997, 2002, 2005, 2010, 2016), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.
- [2] AISC (2005, 2010, 2016), Specifications for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL.

建築耐風設計規範之載重組合及簡易風力修正研究

究

主講人簡歷

姓 名：羅元隆

服務單位：國立臺北科技大學土木工程系

職 稱：副教授

聯絡電話：02-27712171 轉 2680

傳 真：02-27814518

電子信箱：yllo@mail.ntut.edu.tw

學 歷：日本東京大學環境學博士

經 歷：國立臺北科技大學土木工程系副教授

主要著作：

1. 羅元隆，「國際耐風設計規範局部風壓係數之本土化擬合研究」，內政部建築研究所專題研究計劃報告，2020。
2. Mao Xu, Luca Patruno, Yuan-Lung Lo, Stefano de Miranda, 2022 Jan., On the numerical simulation of perforated bluff-bodies: a CFD study on a hollow porous 5:1 rectangular cylinder. *Wind and Structures*, Vol. 34, No. 1, p1-14. (SCI) DOI: <https://doi.org/10.12989/was.2022.34.1.001>
3. Ming-Hui Huang, Yuan-Lung Lo, 2021 May, A refined method of multi-target equivalent static wind loads: a bridge case. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2021.104609>
4. Mao Xu, Luca Patruno, Yuan-Lung Lo, Stefano de Miranda, 2020 Dec., On the use of the pressure jump approach for the simulation of separated external flows around porous structures: a forward facing step, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2020.104377>

5. Yuan-Lung Lo, Yu-Ting Wu, Chung-Lin Fu, Ying-Chang Yu, 2020 Oct., Wind load reduction effects on inner buildings by exterior porous façades, Building and Environment, Vol.183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107148>

中文摘要

羅元隆¹ 王人牧² 陳正璋³ 王家驊³

關鍵字：靜力分析、設計載重、載重組合、風洞實驗

我國建築物耐風設計規範及解說之內容僅適用於近似矩形之建築物。其中，風力計算方法參照國外規範，以陣風反應因子法作為順風向風力的計算理論，橫風向及扭轉向風力的計算則採用經驗式，以擬合風洞試驗的結果獲得。在依據規範公式計算獲得風力後，應該如何合理地組合這些風力，仍是一個急待解決的問題。根據目前作法，順、橫、扭轉向風力首先須分別獨立作用於結構模型上進行靜力分析，獲得了結構物的結構反應後再進行組合。接著取其組合後的最大反應者，對應此最大反應的來風方向的順、橫、扭轉向風力作為設計風力。實際上，目標結構物的結構反應可能因為結構系統之選擇而有所不同；而且三個方向的風力未必在同一時間發生最大值，故組合時理應存在機率問題。

本研究採用之研究方法有二：(1)以傳統的風洞物理模擬方法執行計畫內容有關必要的風力或風壓數據之取得及後續探討；(2)以 MATLAB 程式語言撰寫建築物結構分析程式進行靜力分析及動力分析；並以 MATLAB 程式語言撰寫探討載重組合所需要的機率分析理論程式。研究團隊針對規範修訂分為兩部分提出建議。首先是第十二節的部分，研究團隊提出三種不同方法以載重直接進行組合的方式，與動力分析結果進行比較。其結果雖然相較於日本規範及 ISO 規範採用結構效應組合的方式來得稍偏保守，但採用外力直接進行組合的方式較為快速且同樣具有與動力分析結果相同的變化趨勢。研究團隊也納入了目前國內外實驗室常採用的聯合機率方式來進行估算，證實了此種方式在具有風洞實驗數據的狀況下，可以獲得最佳的準確度，然而相對地，其計算過程也最為繁

複。

接著是第十三節簡易風力的修訂部分，研究團隊認為簡易風力可以改用放大順風向風力的風載重效應的方式來涵蓋橫風向及扭轉向風力的作法。此作法在日本規範及 ISO 規範均已揭示許久，執行起來又十分快速便利。

¹ 國立臺北科技大學土木工程系 副教授

² 淡江大學土木工程學系 副教授

³ 淡江大學風工程研究中心 研究助理

ABSTRACT

Keywords : Static analysis, Design wind load, Load combination,
Wind tunnel test

In Taiwan's design wind code, it is clearly defined that the regulation content regarding the design wind load on the mainframe system and local component claddings is only applicable to those buildings with regular rectangular shapes. In design loads of the mainframe system, the along-wind load is estimated based on the gust response factor, the across-wind load and the torsional wind load are based on empirical models approximated from wind tunnel test data. Reasonably combining along-wind, across-wind, and torsional wind loads is one of the essential issues to define. According to the current regulation, the along-wind, across-wind, and torsional wind loads are individually applied to the structural model to obtain the corresponding individual structural responses. By selecting the target structural response quantity, individual along-wind responses, across-wind response, and torsional response are combined based on the SRSS concept as a resultant response. The maximum wind loads in the along-wind, across-wind, and torsional directions are not necessarily happening simultaneously. It would be reasonable to involve a joint probability relationship when combining them.

This research adopts two approaches: (1) to obtain necessary wind force data of buildings based on conventional wind tunnel testing; and (2) to proceed with static analysis and dynamic analysis based on MATLAB-language programs for structural response estimation. The research team has proposed two revision suggestions. The first suggestion is to suggest a new combination of rules for the along-wind, across-wind, and torsional wind forces. There are three approaches tested with the dynamic analysis results. Although the comparison results are more conservative, they are genuinely faster than the original way in the current code. The SRSS approach has also been verified to be precise enough and applicable. Finally, the research team would like to propose a procedure based on the same combination of rules in AIJ and ISO codes. The second suggestion in this research is to replace the current simplified procedure with the same one adopted in AIJ and ISO codes. If the existing code has remained, we can propose a new simplified formula for the torsional wind force to replace the current one. The new one will provide a better convergent result with the general formula for the torsional wind force.

壹、緒 論

以規則的矩形高層建築物而言，目前耐風設計規範中所採用之陣風反應因子法所評估之結果與時間域動力分析結果十分符合。針對規則的高層建築物而言，在不簡化順風向風力的前提下，如何將其與橫風向風力及扭轉向風力進行有效的結合以獲得該結構物的最大反應，是規範第二章第十二節內容的重點。而由於此三種風向的最大風力不見得會同時發生，因此應該考慮此三力的機率組合問題。因此，提供一個合理且快速的載重組合方式，方能真正提升設計者使用規範的效率。我國規範第二章第十三節內容中，提供了高寬比小於 3 以下的低矮樓層建築物有關順風向、橫風向、及扭轉向簡化風力公式。其公式之提出，是針對高寬比較小的低矮建築物通常不需要複雜的陣風反應因子法，而逕自採取較快速的計算方式。然而，簡化公式通常提供以相較於一般風力計算式來得更保守的載重。因此在接近此簡化公式使用之門檻條件範圍的建築物高寬比時，採用何種方式給定風力將造成設計者的揣測，進而無法維持規範的一致性。因此，本計畫亦欲提出折衷方案以避免此敏感高寬比範圍的不協調現象。

貳、研究內容與方法

本研究採用之研究方法有二：(1)以傳統的風洞物理模擬方法執行計畫內容有關必要的風力或風壓數據之取得及後續探討；(2)以 MATLAB 程式語言撰寫建築物結構分析程式進行靜力分析及動力分析；並以 MATLAB 程式語言撰寫探討載重組合所需要的機率分析理論程式。結合以上兩方法以及本計畫所蒐集之重要文獻進行綜合討論，最後提出本研究的結論。在風洞實驗方面，由於本計畫首要任務為探討高層建築物的載

重組合，因此首先製作具代表性的高層建築物模型至少兩座作為風洞試驗模型，量取其表面風壓並分析其風壓及風力係數與各規範比較，確認此兩模型可用以作為後續分析所用。此兩模型與過去模型不同之處在於，此兩模型必須進行高寬比不同的風洞實驗，且分別為方柱與矩柱外型，足以提供可顯示出橫風向風力及扭轉向風力比例較大的案例模型為原則。本研究預備於內政部建築研究所的風雨風洞實驗室中進行風壓量測實驗。為了確保後續探討所需要的實驗數量足夠，以淡江大學風工程研究中心的第一號風洞實驗室作為預備。首先以皮托管量測邊界層高度風速，原理為利用量測內外管的壓力差，經 Cobra 風速計及皮托管校正後可量測邊界層位置的動態風速作為參考風速壓。接著量測模型表面的動態分壓分布，並利用參考風速壓來計算風壓係數。獲得風壓係數積分為各樓層風力，然後按照長度縮尺放大回實場估算實場建築物風力，最後建立實場尺寸的建築物有限元素模型進行靜、動力分析。對於高層建築物而言，風速的改變並不會造成分離的現象改變，因此可以僅採用一合理縮尺風速即可；然而具有曲面的結構物則會因為雷諾數的影響而改變風力的估算。在本研究中，將盡量採用高風速以獲得符合實際的高雷諾數範圍。

參、研究發現

研究團隊針對幾個較為國內外引用的規範的相關內容來作探討。在美國 ASCE 7-16 規範中針對風載重的計算定義了十分詳盡的內容，然而卻並沒有建築物的橫風向風力及扭轉向風力的定義，而是採用風壓方式估算。因此也沒有如同我國規範第二章第十二節的風載重效應組合的建議。加拿大規範 NRC-NBC 2015 則與美國規範類似，因此兩者不予多加

討論。

在最新版的日本規範 AIJ 2016 中揭示，針對高寬比大於 3 的建築物部分，提供三種不同的組合情境如表 1 所示。表中的 W_D 、 W_L 、 W_T 皆由該規範中所定義的順風向風力、橫風向風力、扭轉向風力所分別造成的風載重效應求得。 G_D 則是日本規範中計算順風向風力的陣風反應因子。 ρ_{LT} 則是橫風向振動與扭轉向振動的相關係數。為了簡便，表 2 所示為各種不同深寬比(D/B)及頻率比所歸納出的相關係數 ρ_{LT} 值。由此兩表可得知，日本規範要求三種情境來測試高寬比大於 3 的建築物風載重效應，分別為當順風向風力為其最大值時，橫風向及扭轉向的風載重效應進行折減。同理，當橫風向風力或扭轉向風力為最大值時，其他兩風向的風載重係數也需折減。這是考慮到規範中所估算的三個風向的風力均為該風向下的最大值，若直接將其組合使用則導致過度保守，因此必須進行折減。在考慮折減(組合)係數時，日本規範除了考慮深寬比影響以外，也考慮了三個風向反應的主要影響因素，對於順風向風力來說，考量了陣風反應因子的效應。對於橫風向及扭轉向風力來說，考量了其第一振態頻率值的相對關係以及振動的相關性。可以說十分詳細。

在國際標準規範 ISO 4354 2009 中，同樣也揭示了與日本規範 AIJ 2016 相似的組合係數建議表格。然而比較兩組表格可以得知，ISO 4354 2009 的表格進一步簡化了有關橫風向風力與扭轉向風力因為結構振態的影響。

在我國規範的解說文字中，同樣也參考日本規範類似的作法，如式(1)所示。重新整理可以獲得式(2)。其中 \bar{G} 即為陣風反應因子，普通建築物為 G ，柔性建築物為 G_f 。 W_D 、 W_L 、 W_T 為順風向風力、橫風向風力、扭轉向風力所造成的風載重效應，其定義基本與表 1 相同，但計算方式

需依據各自規定內容而定。

$$W_{1,2} = W_D \left\{ \left(\frac{1}{1.128\bar{G}} \right) + 0.7 \left(\frac{1.128\bar{G} - 1}{1.128\bar{G}} \right) \right\} + 0.7(W_L + W_T) \quad (1)$$

$$W_{1,2} = \left(\frac{0.3 + 0.8\bar{G}}{1.128\bar{G}} \right) W_D + 0.7W_L + 0.7W_T \quad (2)$$

表 1 日本規範 AIJ 2016 水平風力組合方式

組合情境	順風向風力	橫風向風力	扭轉向風力
1	W_D	$0.4W_L$	$0.4W_T$
2	$W_D \left(0.4 + \frac{0.6}{G_D} \right)$	W_L	$(\sqrt{2 + 2\rho_{LT}} - 1)W_T$
3	$W_D \left(0.4 + \frac{0.6}{G_D} \right)$	$(\sqrt{2 + 2\rho_{LT}} - 1)W_L$	W_T

表 2 日本規範 AIJ 2016 橫風向風力與扭轉向風力之相關係數 ρ_{LT} 建議值

D/B	$f_1 B/U_H$	ρ_{LT}		
		$\xi = 1.0$	$\xi = 1.1$	$\xi = 1.4$
≤ 0.5	≤ 0.1	0.9	0.7	0.5
	0.2	0.3	0.6	0.5
	0.3	0.4	0.6	0.6
	0.6	0.6	0.6	0.6
	≥ 1	0.7	0.7	0.7
1	≤ 0.1	0.8	0.5	0.2
	0.2	0.6	0.5	0.5

	≥ 0.3	0.5	0.5	0.5
≥ 2	≤ 0.05	0.6	0.4	0.3
	0.1	0.6	0.2	0.2
	≥ 0.2	0.2	0.2	0.2
<p>註：$\xi = \begin{cases} f_L/f_T & f_L \geq f_T \\ f_T/f_L & f_L < f_T \end{cases}$</p> <p>$f_L$：橫風向結構第一模態的振動頻率值；$f_T$：扭轉向結構第一模態的振動頻率值；</p> <p>f_1：f_L與f_T取小者。對於介於D/B、$f_1 B/U_H$、ξ的中間值，可採用線性內插方式估算。</p>				

由於目前規範中沒有針對風攻角的改變，因此風載重組合的考慮以 0 度風攻角為主來作討論。本研究探討不同深寬比的影響，除了引用我國規範、日本規範、ISO 規範以外，尚提出三種不同組合方法作為比較。以下針對三種組合方法及聯合機率法作概要說明。

以王靚蕙(2013)論文為主的作法，首先利用風洞實驗中的基底順風向風力係數、基底橫風向風力係數、基底扭轉向風力係數，求取出當基底順風向風力係數值為最大時，相對應時間的基底橫風向風力係數值及基底扭轉向風力係數值。接著將取出的基底橫風向風力係數值及基底扭轉向風力係數值分別除以基底橫風向最大風力係數值、基底扭轉向最大風力係數值，獲得橫風向折減係數及扭轉向折減係數。分別擬合其非超越機率分布曲線，以 80%非超越機率作為目標值，取得橫風向風力的折減係數以及扭轉向風力的折減係數。相同的道理，也可以取得當基底橫風向風力係數值為最大時，其餘兩風向的折減係數，以及當基底扭轉向

風力係數值為最大時，其餘兩風向的折減係數。此為本研究嘗試的第一種方法。

同樣採用第一種作法，但將基底順風向風力係數、基底橫風向風力係數、基底扭轉向風力係數改為建築物屋頂高的順風向位移、橫風向位移、扭轉向位移。然後依照相同的方式取得第二種方法的折減係數。第三種方法則參考 Copula 關聯函數，將基底順風向風力係數歷時、基底橫風向風力係數歷時、基底扭轉向風力係數歷時進行 Copula 關聯函數的兩兩擬合，然後以亂數產生大量的 Copula 變數組合，接著將產生的亂數以非超越機率的方式排列後，再取 80%非超越機率相對應的值作為折減係數。

此三種方法均包含了兩兩變數之間的相關性，然而對於前兩種方法而言，有可能因為樣本數不足的關係導致取值的時候有所偏差。而第三種方法因為具有其關聯函數特性，則可以無止盡產生多種組合來獲得十分平滑的非超越機率分布曲線，有助於取值。表 3 所示為本研究於假設橫風向及扭轉向完全相關的作法下所設計的兩種情境組合。

圖 1 為利用上述所描述的三種方法，配合兩種情境，進行三風力的組合之後再將此組合風力作用於結構有限模型進行靜力分析，並將各種案例的底層柱最大應力選取出來後，跟動力分析歷時的最大應力值進行比較。從深寬比系列來看，當高寬比越高時，不管情境 1 或 2，均較為貼近動力分析結果。也可以從中發現，當深寬比為 0.5 時，此三種方法顯然均出現了不保守的結果，推估可能是目前僅假設為橫風向與扭轉向為完全相關的背景下造成的。此外，可以發現情境 1 會獲得較為保守的結果。從高寬比系列來看，在方柱時，此三種方法在不同高寬比時，均提供了偏保守的預測值。隨著高寬比升高，其保守差異變大。對於結構設計者

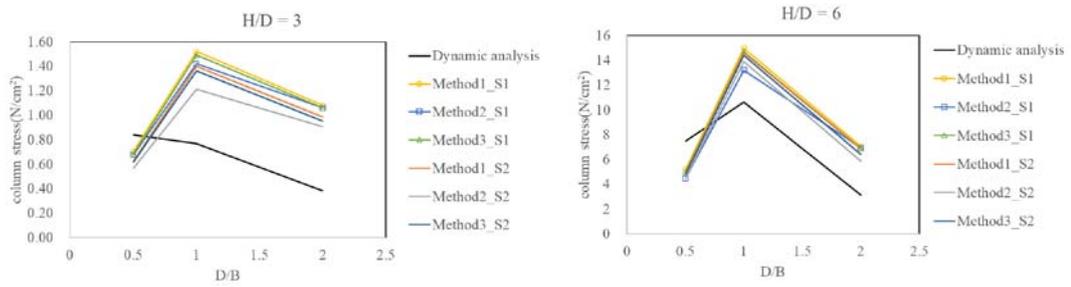
來說，高寬比系列顯然是可以採用的。綜合深寬比及高寬比系列結果，在深寬比1以上者，此三種方法對於不同高寬比均有不錯的預測。

圖2採用了三個規範的組合係數進行探討。其中我國規範是以結構反應的SRSS組合原理為主。而日本規範跟ISO規範則具有三種不同情境組合來作比較。為了具有一致性的比較基準，圖2首先採用我國規範將三個風向的風力事先計算出來後，各自結合有限元素模型進行靜力分析而獲得底層柱的各自應力值。接著按照不同規範的組合係數直接將各自應力組合為合成應力值。最後將此合成應力值與動力分析的結果作比較。深寬比系列的圖中顯示，高寬比3的預測結果相較高寬比6的保守很多，此為合理現象。可以從結果中看出，我國規範的組合介於日本規範及ISO規範的結果範圍之內，預測結果不錯。以最為貼近的結果而言，應當要考量不同情境的可能組合為佳。整體來說，多數的組合預測均屬偏保守。與圖1的深寬比比較，可以看出以結構反應的組合其效果比以外力的組合更為貼近動力分析，然而互相之間呈現出較為不一致的分布。高寬比系列的預測比較結果則顯示出圖1較圖2略為保守。

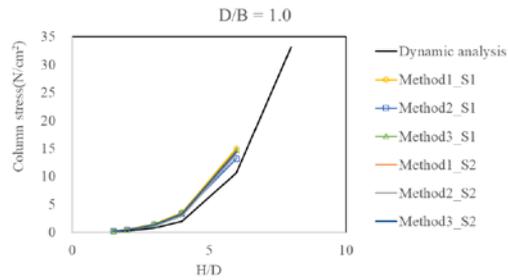
表 3 風載重組合情境係數

	順風向	橫風向	扭轉向
情境 1 (S1)	1	η	η
情境 2 (S2)	ζ	1	1

綜合圖1及圖2的結果來看，若以預測準確度來說，則日本規範及ISO規範的方式有可能提供較貼近動力分析的結果。但若以規範使用者操作便利性來說，則直接以外力進行組合之後進行單次的靜力分析較快。對於初步設計所使用的風載重評估來說，稍微保守但快速具有相同趨勢的作法應是可以被接受的。

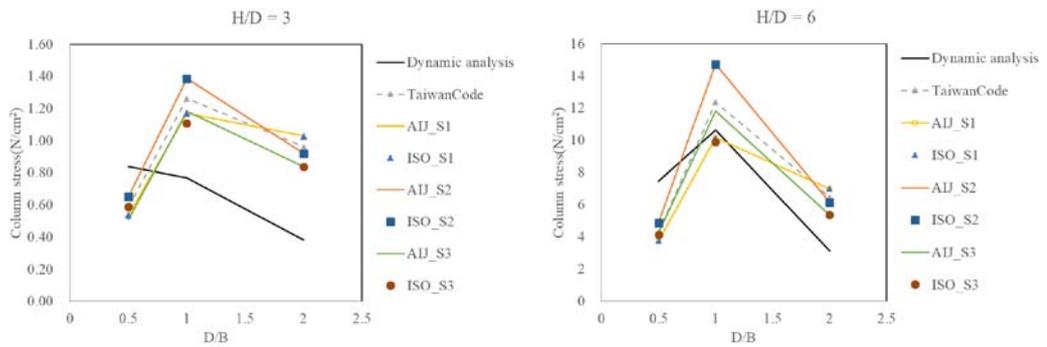


(a) 深寬比系列

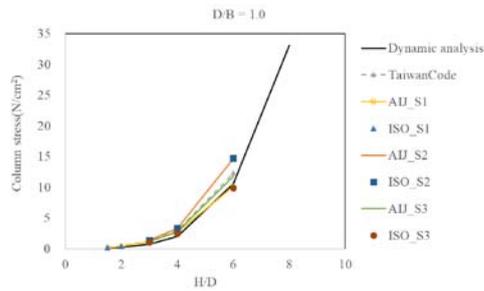


(b) 高寬比系列

圖 1 以風力作組合後進行動力分析的柱應力分布圖



(a) 深寬比系列



(b) 高寬比系列

圖 2 以結構反應直接作組合後的柱應力分布圖

肆、結 論

本研究針對規範修訂分為兩部分提出建議。首先是第十二節的部分，研究團隊提出三種不同方法以載重直接進行組合的方式，與動力分析結果進行比較。其結果雖然相較於日本規範及 ISO 規範採用結構效應組合的方式來得稍偏保守，但採用外力直接進行組合的方式較為快速且同樣具有與動力分析結果相同的變化趨勢。研究團隊也納入了目前國內外實驗室常採用的聯合機率方式來進行估算，證實了此種方式在具有風洞實驗數據的狀況下，可以獲得最佳的準確度，然而相對地，其計算過程也最為繁複。接著是第十三節簡易風力的修訂部分，研究團隊認為簡易風力可以改用放大順風向風力的風載重效應的方式來涵蓋橫風向及扭轉向風力的作法。此作法在日本規範及 ISO 規範均已揭示許久，執行起來又十分快速便利。

由本研究成果可以了解目前我國規範在第十二節及第十三節的內容上均有可以調整的空間，而且第十三節與第十節尚有矛盾的公式不一致的情況。研究團隊建議可以參考日本規範或 ISO 規範的作法，並且採用本研究提出的三種方法其中一種作為風力組合的模式，簡化風力組合時的繁複過程。此外，研究團隊亦建議可以採用日本規範及 ISO 規範中等值橫風向風力的方式，以放大順風向風力效應的方法來估算低矮建築物的整體風力。我國規範第一版承襲美國規範架構而來，定義了順風向風力計算方式。而後於第二版中納入了日本規範的橫風向與扭轉向風力計算方式。如今最新版的美國規範實際上已經跟過去我國規範第一版所參考的版本內容相差甚多，架構也已完全不同。相互比較之下，反倒我國規範的架構與日本規範或者歐洲國家多採用的 ISO 規範較為相近。研

究團隊認為，我國規範在下一版的修訂中，應首先探討整個架構的問題，然後再討論細部修訂，如此規範的修訂才能有條不紊，遵循穩定的發展。研究團隊建議可以考慮以日本規範架構為主進行架構翻修，其主要原因有三：第一、日本建築物環境跟氣象條件跟我國類似；第二、日本規範採用十分鐘平均風速與我國相同，且我國規範有許多部份參考日本規範而來；第三、日本規範篇幅及計算方式較最新版的美國規範來得容易調整，而且未來也較為容易持續引用其新增的內容。

伍、參考文獻

- (1) 建築物耐風設計規範及解說(2015)，中華民國內政部營建署。
- (2) 羅元隆(2016)建築耐風設計規範風速模式探討及設計風速修訂研究，內政部建築研究所協同研究計畫報告。
- (3) 朱佳仁(2019)建築物耐風設計規範之基本設計風速修訂研究，內政部建築研究所協同研究計畫報告。
- (4) 陳若華(2007)低層建築耐風設計風載重之修訂研究，內政部建築研究所委託研究計畫報告。
- (5) 鄭啟明(2007)高層建築耐風設計風力頻譜與風載重之修訂研究，內政部建築研究所委託研究計畫報告。
- (6) 羅元隆(2018)應用風洞試驗進行建築結構物等值靜載重評估研究，內政部建築研究所委託研究計畫報告。
- (7) ASCE 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (2016), American Society of Civil Engineers.
- (8) AIJ Recommendations for Loads on Buildings (2015),

Architectural Institute of Japan.

- (9) ISO 4354:2009 (2015), International Organization for Standardization.
- (10) National Building Code of Canada (2015), National Research Council Canada.
- (11) AS/NZS 1170.2:2011 (R2016) Structural design actions Wind actions (2016), Standards Australia.
- (12) Y. Tamura, H. Kikuchi, and K. Hibi (2003) Quasi-static wind load combinations for low- and middle-rise buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 91, p1613 - 1625.
- (13) G. Bartoli, C. Mannini, and T. Massai (2011) Quasi-static combination of wind loads: A copula-based approach, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99, p672 - 681.
- (14) Y. Tamura, Y.C. Kim, H. Kikuchi, and K. Hibi (2014) Correlation and combination of wind force components and responses, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 125, p81 - 93.
- (15) X. Chen (2015) Revisiting combination rules for estimating extremes of linearly combined correlated wind load effects, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 141, p1-11.

以大數據預測季風機率分析研究

主講人簡歷

姓 名：黎益肇

服務單位：國立臺灣科技大學台灣建築科技中心

職 稱：專案助理教授

聯絡電話：02-27301164

傳 真：02-27376216

電子信箱：liyichao@mail.ntust.edu.tw

學 歷：國立中興大學土木系博士

經 歷：社團法人中華民國風工程學會秘書長

主要著作：

1. 黎益肇、陳瑞華 (2021)，以大數據預測季風機率分析研究，內政部建築研究所委託研究。
2. 黎益肇、賴祐吉 (2020)，整合擴增實境 AR 及 CFD 以建構風洞實驗室流場可視化技術研究，內政部建築研究所委託研究。
3. Yuan-Lung Lo, Yi-Chao Li* and Yong Chul Kim, 2020, Downstream interference effect of low-Scruton-number high-rise buildings under turbulent boundary layer flow, Journal Wind Engineering Industrial Aerodynamic, Vol. 198. 104101. (corresponding author)
4. Yi-Chao Li, Fuh-Ming Fang and Shi-Xian Zhang, 2019, Thermal comfort assessment of urban ventilation by using computational fluid dynamics, Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering, Vol. 31, No. 8, pp. 731–738.
5. Yi-Chao Li, Cheng-Yang Chung and Fuh-Ming Fang, 2018, Effect of turbulent uniform flow past a two- dimensional square cylinder, Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 11, No. 5, pp. 1185-1192.

中文摘要

黎益肇¹ 陳瑞華² 林柏宇³ 江桐³

關鍵字：風洞實驗、計算流體力學、類神經網路、氣象資料、風速機率

以往在進行風環境分析、室內自然通風評估等作業時，需要蒐集鄰近氣象站 10-20 年之風速風向資料進行計分析，找出各風向之機率函數，以作為模擬的參考參數。目前氣象局全臺灣地面氣象站有 33 個，涵蓋的範圍並不夠全面，且部分為新設。在選用測站資料時可能會面臨距離測試區過遠，無法真切代表當地的風速風向資訊。近年氣象局廣設自動氣象站，目前有 436 個，遍佈全臺灣。雖可彌補部分地區資料不足的缺憾，但因設站時間未久，且儀器可能因當機而缺乏資料，進而發生統計資料不足的窘境。如何合理地將氣象站風速資訊轉換至建築基地之風速，亦是近年風工程界關注之議題。常被提出的解決方案為利用模擬方式(風洞實驗或計算流體力學-CFD)，將測站風速與工址風速進行關聯，以考量地貌所造成的影響。

本研究以新北市板橋為示範區，主要工作有 3 項：首先以類神經網路訓練風速資料，補足區域內自動測站風速，以有效代表氣象站統計資料；其次，蒐集國土測繪中心所建置之建築模型資料以進行區域內 CFD 風場模擬，了解氣象站風速與區域內空間之風速關係；最後建立風速地圖轉換機制，合理獲得研究區域內各位置之常季風風速資訊，據以提供建築設計者貼近於實際之氣象資訊分析結果。

¹國立臺灣科技大學台灣建築科技中心 專案助理教授

²國立臺灣科技大學 營建系 副教授

³國立臺灣科技大學 營建系 碩士

ABSTRACT

Keywords : Wind Tunnel Test; Computational Fluid Dynamics; Neural Network; Meteorological Data; Wind Speed Probability

In either the wind environment analysis or indoor natural ventilation assessment, collection and analysis of 10-20 years' wind speed data of nearby weather stations are necessary for evaluating the wind speed probability distribution in each direction. The Central Weather Bureau has 33 ground-based weather stations; their coverage is not so comprehensive and some of them are new. In recent years, the Central Weather Bureau has set up 436 automatic weather stations in Taiwan, but the amount of data is still insufficient due to shorter collection time and instrumental malfunction. How to reasonably convert wind speed information from meteorological stations to wind speeds at construction sites has also been a topic of concern to the wind engineering community. The often-proposed solution is to use simulations to correlate station wind speeds with site wind speeds.

This study selects the Banqiao district of New Taipei City as the demonstration area. The main work includes 3 items. First, the wind speed data of automatic stations in the area is complemented by the artificial neural network method for representing weather station statistics efficiently. Second, the building model data of NLSMC is collected for CFD simulation to understand the relationship of wind speed between the weather station and other locations in the area. Finally, the wind speed map conversion mechanism is established to obtain the monsoon information of any location.

壹、緒論

一、研究動機與目的

以往在進行風環境分析、室內自然通風評估等作業時，需要蒐集鄰近氣象站 10-20 年之風速風向資料進行計分析，找出各風向之機率函數，以作為模擬的參考參數。截至 110 年 3 月 9 日統計，目前氣象局全臺灣地面氣象站有 33 座(離島 5 座)，涵蓋的的範圍並不夠全面，且部分為新設。在選用測站資料時可能會面臨距離測試區過遠，無法真切代表當地的風速風向資訊。

在建築耐風設計中，主要以颱風事件之極值風速作為其設計標準，透過氣象站資料進行極值分析，需要長年大量的統計資料進行[1; 10]，或蒙地卡羅方法模擬大量颱風事件[9]來補充的風速歷時資料的不足，進而獲得該區域之設計風速。而在一些以舒適性或以季風為主要考量之建築微氣候分析，諸如行人環境風場[5; 7]、戶外通風分析[6]、室內通風分析[8; 11]、估計風力發電量[4]或處理汙染擴散問題時，需要分析目標區域的常季風風向、風速分布以及發生機率，以季節分類作為輸入條件，據以進行後續之分析。根據 Palutikof et al. [3]所建議，對於歷史紀錄短少的測站所擁有的風速風向資料，同樣可以進行分析提供不錯的參考價值。而目前國內外研究中所使用解決對策主要可以分為三大類：(1) 增加數據長度；(2) 氣候機制模擬；(3) 母分布模擬等。

本研究旨在建立一套完整之分析模式，將局屬氣象站統計資料，透過相關性分析或類神經網路的學習預測方法，針對自動測站進行補遺，以預測自動測站完整之風速資料，進而建立氣象站季風統計資料庫。另結合國土測繪平台 LOD1(第一級建物模型, Level of Detail 1)建築模型資料庫，發展以 CFD 模擬成果進行地貌因子修正技術，以探討氣象站間，因地形地貌變化對於風場的影響。針對研究區域，進行大尺度範圍之模擬，並建立區域風速地圖，探討其與氣象站間風速風向改變之關係。

貳、研究內容

本研究主要工作項目為資料收集與理論分析，接下來分為 3 個分支進行工作，包含氣象資料蒐集與分析、類神經網路預測模式開發、示範區風速地圖建立。主要工作項目如圖 1 所示，分別為資料收集與理論分析，接下來分為 3 個分項以進行工作，包含氣象資料蒐集與分析、類神經網路預測模式開發、示範區風速地圖建立，各項工作如後所述。



圖 1 研究流程

一、研究區域

本計畫先以新北市板橋氣象站為中心為示範區，如圖 2 所示，其範圍包含台北、板橋、新莊、土城等區，探討如何補齊自動測站不足之風速、風向資料，以中央氣象局風速風向量測資料庫，計算當地不同風向之風速累積機率分布函數。一般而言，自動測站數據量較為不足且容易缺漏，而局屬測站資料相對完整。故第一階段選定土城氣象站為補遺目標，並以板橋局屬測站作為訓練以及預測時輸入之資料源，作為類神經網路模式建立之標的。



圖 2 示範區內局屬測站和自動測站分布圖

二、類神經網路訓練

資料處理的質量將會影響後續建立模型的好壞，因此在進行類神經網路預測時，先針對部分品質不佳之資料進行剔除，如低風速、颱風天等。之後將其正規化，使其提高模型收斂速度和模型精確度，間接提高所預測之風速與風向角精確度。氣象資料的風速儲存了包含風速(V)與風向(θ)，將其轉換為 $V\sin\theta$ 與 $V\cos\theta$ 表示，在經過不同組合嘗試後，其訓練之整體風速與風向保持良好，且可提升對於極值風速的預測結果。其中風向角 θ 由北起(N)順時針起算。正規化公式為：

$$\bar{V} = \frac{V - V, \min}{V, \max - V, \min} \quad (1)$$

$$\bar{S} = \frac{\sin\theta - \sin\theta, \min}{\sin\theta, \max - \sin\theta, \min} \quad (2)$$

$$\bar{c} = \frac{\cos\theta - \cos\theta, \min}{\cos\theta, \max - \cos\theta, \min} \quad (3)$$

其中， V, \min 為訓練年份中風速最小值； V, \max 為訓練年份中風速最大值。 $\sin\theta, \min$ 為訓練年份中 $\sin\theta$ 最小值； $\sin\theta, \max$ 為訓練年份中 $\sin\theta$ 最

大值。 $\cos\theta, \min$ 為訓練年份中 $\cos\theta$ 最小值； $\cos\theta, \max$ 為訓練年份中 $\cos\theta$ 最大值。

在建構類神經網路部分，需要適當選用參數，相關參數包含類神經形式、誤差形式、訓練函數、轉換函數等，本研究採用之設定參數如表 1 所示，本研究主要採用前饋式類神經網路來進行模式建立。

接著以類神經網路針對 2014~2020 年土城風速與風向角進行訓練，並假設 2010-2013 年為缺漏資料進行預測。將目標輸出向量與推算輸出向量輸出後，並轉換成風速與風向角進行與實測值進行 10 年 (2010-2020) 統計比較。表 2 顯示預測與實際之氣象站風速統計結果，可以發現各風向平均風速差異不大，表示類神經網路在整體預測方面具有不錯的準確性。

另將 2010-2020 年間土城測站的實測風速繪製成風花圖(圖 3a)，並與綜合部分實測與預測結果之風花圖(圖 3b)進行比較。結果發現，其預測風花圖與實際風花圖各風向占比相當接近，代表預測風向角與實際風向角相差不大，且其預測結果誤差尚在可接受範圍之內。

表 1 建立之類神經網路參數設定

輸入層向量個數	6
輸出層向量個數	3
隱藏層個數	1
神經元個數	30
類神經形式	前饋式類神經網路 (Feed-forward back-propagation)
誤差形式	均方誤差 (mean-square error)
訓練函數	Levenberg-Marquardt (TRAINLM)
轉換函數	雙曲正切 S 型函數 (Tan-Sigmoid Function)
訓練樣本 (Training sample) 占比	70%
驗證樣本 (Validation sample) 占比	15%
測試樣本 (Test sample) 占比	15%

表 2 土城測站各風向風速分析

	風向占比	預測平均風速 (m/s)	實際平均風速 (m/s)	差值 (預測平均風速-實際平均風速)
N	1.90%	1.74	1.83	-0.09
NNE	1.60%	1.65	2.04	-0.39
NE	10.80%	3.08	2.71	0.37
ENE	55.70%	2.48	2.65	-0.17
E	7.30%	1.81	2.31	-0.50
ESE	0.80%	1.56	1.65	-0.09
SE	0.10%	1.17	1.20	-0.03
SSE	0.80%	0.89	0.96	-0.08
S	3.60%	0.90	1.00	-0.10
SSW	1.80%	1.00	1.01	0.00
SW	1.90%	1.23	1.17	0.06
WSW	4.60%	1.92	1.56	0.36
W	3.40%	2.01	2.09	-0.08
WNW	2.60%	1.70	1.64	0.06
NW	1.00%	1.53	1.60	-0.08
N	1.90%	1.68	1.61	0.07
Total	100%	2.25	2.25	0.00

(a) 實測結果

(b) 含部分預測結果

土城預測風花圖 時間:2014-2020年訓練期

土城實際風花圖 時間:2014-2020年訓練期

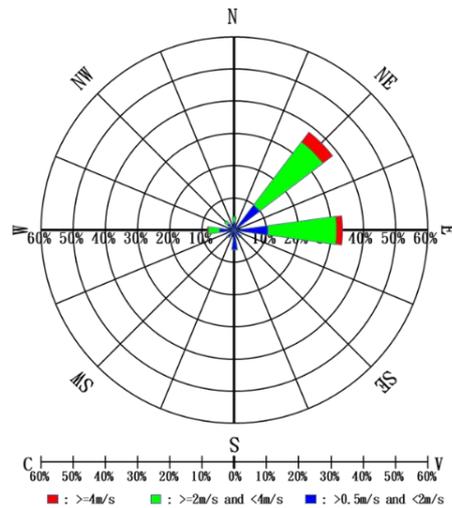
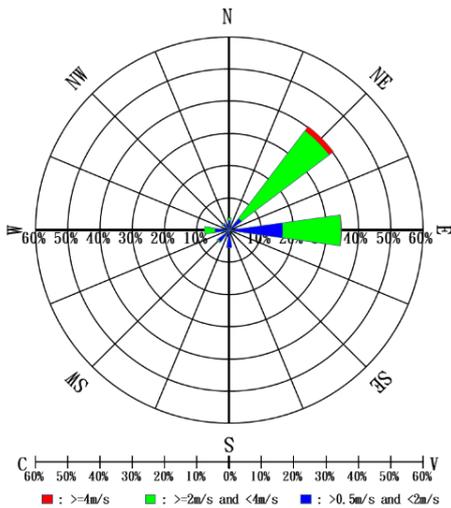


圖 3 土城氣象站 2010-2020 之統計風花圖

三、示範區風場模擬

建立板橋區及附近區域模型(板橋區範圍如見圖 4)導入CFD進行模擬，利用前述之國土測繪中心提供之kmz檔案進行轉換，轉換模擬區域圖資為 3D向量檔obj。本研究CFD模擬採用開源(open source)計算流體力學軟體OpenFoam V6 進行，紊流模型採realizable k- ϵ model，入流條件採ESDU[2]建議的指數率型式，地表粗糙高度採 $z_0=0.3$ m，屬於市郊地況。

利用擷取獲得氣象站與測定區之 16 風向角關係與風速比，並由板橋局屬測站之風向機率與平均風速資料推估測定區之風速地圖。因板橋測站周遭鄰近建築物高度遠高於測站風速計高度，使得板橋測站 14 m 處於建築群中的迴流區。為使 CFD 資料與板橋氣象站資料相符，所以由 CFD 模擬結果中板橋測站風向穩定之 30 m 高度(周遭建築高度約 30 m)利用指數律轉換至板橋局屬測站風速計高度 14 m，以利後續風速地圖轉換。圖 5 表示典型 4 組風向之示範區 14 m 高度之合成風速分布結果，後續據此與氣象測站比對分析以進行風速轉換，取得測定點之風速風向機率分布結果。

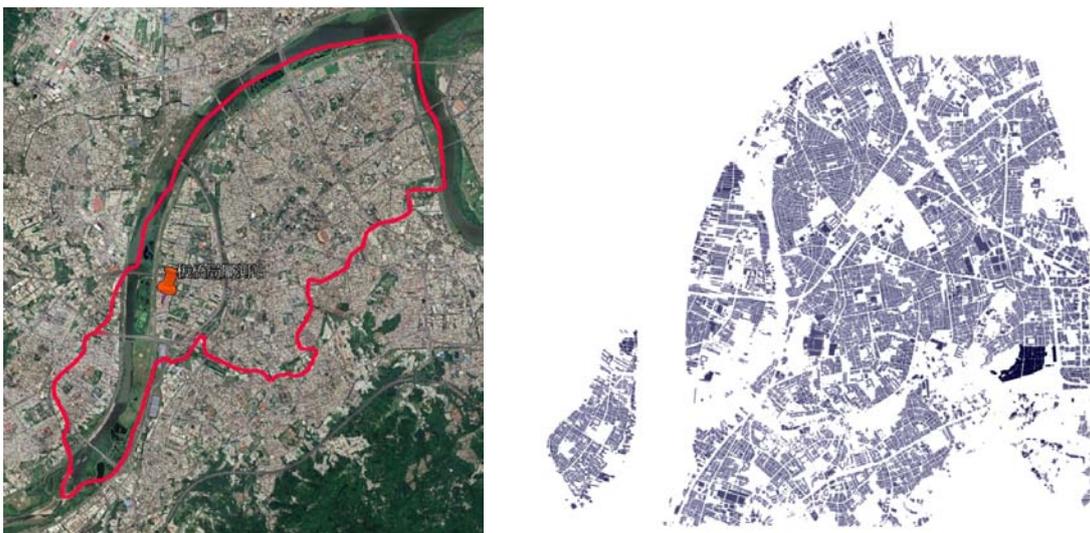


圖 4 風場模擬範圍與建築圖資轉換之模型

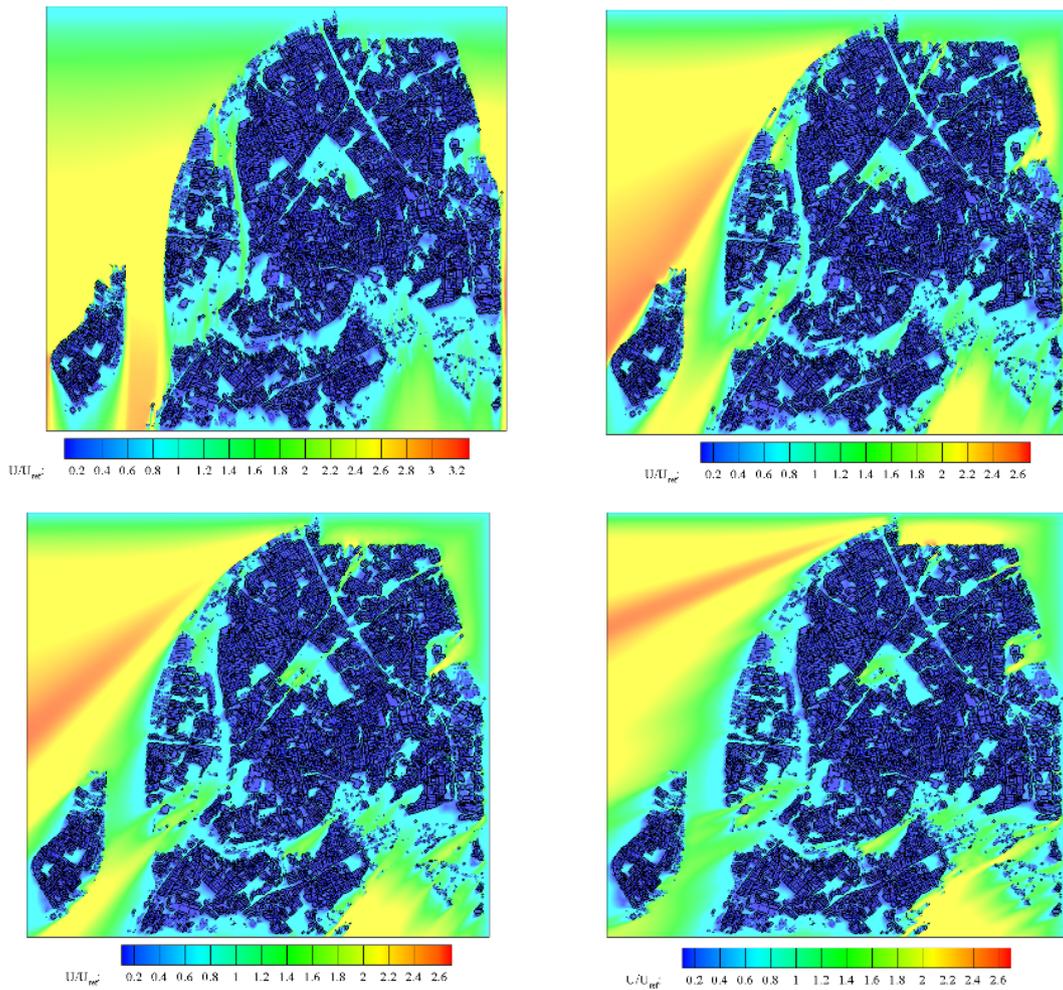


圖 5 典型風場模擬結果

四、風速地圖轉換應用

於此選定區域內 2 個測點作為風速地圖轉換之目標，圖 6 顯示其在區域內與板橋氣象站之位置關聯，表 3 為 2 個測點的空間位置資訊。統計板橋氣象站 16 個風向角的機率以及累積機率函數，並以韋伯函數型式表示如下：

$$p(\geq U) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{U}{a}\right)^b\right) \quad (3)$$

上式中， p 代表高於風速 U 的累積機率， a 表示累積機率函數比例參數， b

表示形狀參數。再由CFD模擬獲得氣象站與測定區之風向角關係，並計算氣象站與測定點之風速比值 $c(c=U_2/U_1)$ 。 U_1 表示特定風向下氣象站風速， U_2 代表特定風向下測點風速。並以下式轉換得到測點新的累積機率分布函數。

$$p(\geq U) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{U}{a/c}\right)^b\right) \quad (4)$$

在獲得測點各風向的累積機率分布函數後，進一步將結果繪製成風花圖(如圖 7)。可以發現，由於測點 2 鄰近板橋氣象站，主要風向發生在東北東風(ENE)，而高風速發生機率明顯降低許多，可能是因為測點 2 高度低於氣象站之風速計高度之故。而測點 1 主要風向為東北風(NE)，其主要原因為在此路口的東北方有一主要幹道，使得風向受到導引所致。

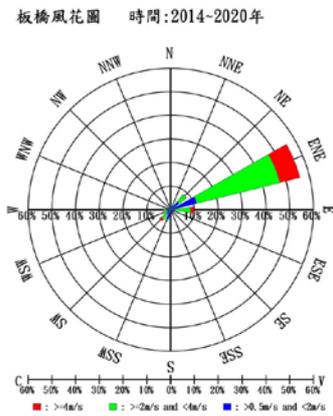


圖 6 板橋氣象站與 2 個測點位置關係

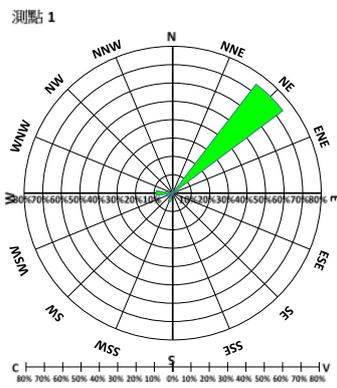
表 3 風速地圖轉換測點之空間位置資訊

站點名稱	經度	緯度	轉換高度	地址
測點 1	121.471	25.01831	10 m	新北市板橋區民生路縣民大道路口
測點 2	121.4411	24.99574	10 m	新北市板橋區環河西路五段 419-417 號

(a)板橋測站



(b)測點 1



(c)測點 2

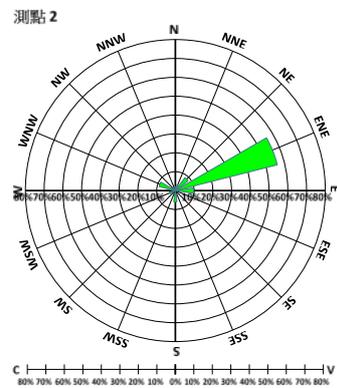


圖 7 風速地圖轉換後之測點風花圖

參、研究發現

本研究主要發現如後：

- (一)進行類神經預測時，平均風速可以掌握得很好，而在極值風速預測上略嫌不足，經適當選取地形變化以及正規化後的資料進行訓練，可提升極值風速的預測結果，且對於整體預測風速與風向角的結果依然良好。
- (二)將預測資料整合後利用韋伯分布回歸出其係數，與實測結果之誤差值低於 0.1，顯見補遺資料之統計分布結果具有代表性。
- (三)經過類神經補遺後，整理研究區內各氣象站近 10 年資料，統計資料包含各風向平均風速、發生機率、韋伯函數係數等資料。
- (四)由各測站四季白天與晚上之溫度年總平均與年標準差發現，各測站之溫度年總平均與年標準差差異不大，應可採用短期資料進行統計即可代表。
- (五)應用內政部國土測繪中心「多維度國家空間資訊服務平臺」提供之圖資，建立相應之轉換技術，可快速建立行政區中建築與地形 3D 模型並進行 CFD 模擬。
- (六)因建築模型以及山區地形模型整合介面處理問題，目前 CFD 模擬結果未納入東南側山區地形特性，故對於模擬驗證結果造成影響。另採用穩態的 realizable k- ϵ model 對於預測結果造成一定程度的誤差。但整體看來，CFD 模擬結果可以良好呈現該地區在受到地形地貌影響後的風速剖面特性，可作為後續建立風速地圖之工具。
- (七)選定新北市板橋行政區進行數值模擬，建立風速地圖資料。並可藉由建立之風速地圖以及板橋氣象站之關係，在考量地形地貌之影響下轉換得到二測定點之各風向平均風速及機率，此應用技術提供之資訊可作為風環境或室內通風評估之前導資訊。

肆、結 論

本研究所獲之結論如下：

- (一)經測試後，在風速資料經過適當處理後，以前饋式類神經網路進行氣象站風速資料訓練與補遺，所得之風速以及風向與實測值具有高相關性以及可接受之誤差範圍。建議可進一步將本方法做推廣應用，將資料記錄不足之自動測站或局屬測站進行補遺，首先可針對較有應用需求之都會區測站來進行。此外，因氣象站資料為逐時累積，故氣象站訓練資料應逐年更新，以完善補遺資料庫之精確度。
- (二)建議未來研究應開發自動地圖查找轉換技術，結合 GIS 圖資搜尋技術，提供更完整且友善之查找環境。另都會區建築或地貌會因開發、都市更新或其他因素改變，故 CFD 建立之風速地圖應逐年更新，或可依使用對象需求即時提供相關服務。

伍、參考文獻

1. Choi, E. C. C., and Tanurdjaja, A. (2002). Extreme wind studies in Singapore. An area with mixed weather system. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(12), 1611-1630.
2. ESDU, (1982). Characteristics of wind speed in the lower layers of the atmosphere near the ground; strong winds (Neutral atmosphere),
3. Palutikof, J., Brabson, B., Lister, D., and Adcock, S. (1999). A review of methods to calculate extreme wind speeds. *Meteorological Applications: A journal of forecasting, practical applications, training techniques and modelling*, 6(2), 119-132.
4. 工業技術研究院，(2014)，風力資訊整合平台，資料來源：<https://pro.twtpo.org.tw/GIS/>。
5. 中華民國風工程學會，2016，風工程理論與應用，中華民國風工程學會。
6. 王安強、林子平、梁文字、郭建源、曾淑翎、陳育成、侯凱山、藍士棠，2018，跨不同地況區域之風廊建置分析及都市通風環境評估，內政部建築研究所。
7. 朱佳仁，2006，風工程概論，科技圖書股份有限公司。
8. 郭建源，2017，集合住宅外部環境風場與室內自然通風互制效應分析研究，內政部建築研究所。
9. 陳建忠、朱佳仁、羅元隆、蔡宜中、張淇喻、郭建源、林禹安、羅仕亮、游聲迪，2019，建築物耐風設計規範之基本設計風速修訂研究，內政部建築研究所。
10. 陳建忠、羅元隆、傅仲麟、許敬昀、蔡宜中、李信宏、陳紀柔、曾育凡，2016，建築耐風設計規範風速模式探討及設計風速修訂研究，內政部建築研究所。
11. 陳若華、吳國昌、陳海曙、蔡明樹，2001，建築配置與自然通風評估模式之研究，內政部建築研究所。

