

中華建築技術學刊

ISSN 1814-8980

Vol.10, No.1

Sep , 2015

JOURNAL OF BUILDING AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY



社團法人中華民國建築技術學會發行

PUBLISHED BY NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING TECHNOLOGY

中華建築技術學刊

中華民國一〇四年九月

第十卷第一期

目 錄

- 地震對新澆置 RC 構件預留筋之擴孔分析.....林文山 01
- 人文藝術影響下的中國傳統建築.....詹秀芬 09
- 以震動台試驗探討地震對初期混凝土強度之影響
.....盧俊愷、蔡孟豪、鄒智瑋 19
- GFRP 複合材料應用於植生窗框之研究
.....陳巽煜、李有豐、彭光輝 27
- 國土規劃下推動智慧城市策略之研究.....黃冠華 39

地震對新澆置 RC 構件預留筋之擴孔分析

林文山

中華科技大學建築系 助理教授

摘要

本研究提供之分析方法與範例，可對 RC 結構物在建造中，遭遇地震的震動因甩筋而造成擴孔，評估擴孔之大小與分佈。分析方法是採用有限元素分析，在鋼筋與混凝土之間設置等值彈簧來分析擴孔之大小，分析包含靜態分析、反應譜分析與歷時分析。範例之分析結果，擴孔最大僅約為 0.5mm，而實驗所觀察僅在鋼筋周圍有微小裂痕，顯示擴孔亦相當小。因擴孔而降低握裹力，其影響深度僅達表面下 10cm 至 20cm，利用環氧樹脂加壓灌注，應可修復。

關鍵詞: 握裹力、新澆置混凝土、擴孔

Analysis of Enlarged Gap for Rebar Surrounding Fresh Concrete Subjected to Earthquake

Wen-Shan Lin

¹ Department of Architecture, China University of Science and Technology

Assistant Professor

Abstract

This paper presents the analytical methods and examples of the enlarged gap for rebar surrounding fresh concrete subjected to earthquake. The result of research can provide assessment the size and distribution of the enlarged gap for rebar surrounding fresh concrete. The finite element method is used in this study. The equivalent spring is used to simulate the size of the gap between the rebar and concrete. Analysis includes static analysis, response spectrum analysis and time history analysis. Examples of the analytic results show the maximum gap only about 0.5mm. The experimental observations have only the tiny cracks around the rebar. It displays the gap also quite small. The degrading of bonding strength due to enlarged gap only occurs within 10 to 20 cm from concrete surface. This can be repaired using high-pressured epoxy injection.

Keywords: Bonding strength, Fresh Concrete, Enlarged gap

一、前言

地震時由於混凝土尚未凝固，使得受震後之 RC 構造物，若存在可見破壞，如裂縫明顯過大，鋼筋彎折難以彎直復原等等，應可立即判斷結構之安全性，但若外觀無明顯裂紋或損傷，仍有混凝土之品質問題（如強度），及埋於混凝土內鋼筋因振動而引起之

握裹問題。關於混凝土品質，已經經由實驗及相關文獻驗證[1~5]，振動並不會影響混凝土之強度，但若因結構振動使混凝土構件受力或尚未澆置混凝土部份之鋼筋因振動而對混凝土施載，混凝土品質亦有可能劣化。混凝土與鋼筋之握裹，因剛澆置混凝土尚未完全凝固，振動後使得鋼筋在混凝土裡產生

擴孔，進而影響其間之握裹力，而其影響程度與擴孔之大小息息相關，本研究將未凝固混凝土與鋼筋之作用，以**彈簧係數模擬**，此**等值彈簧係數類比於地盤反力係數分析基樁**，不同混凝土齡期有不同之**彈簧係數**，利用有限元素分析彈簧之變位與分佈，此彈簧變位即為擴孔之大小，擴孔之大小配合相關握裹實驗[6]即可判定結構物，因地震影響後鋼筋與混凝土之握裹程度。

二、分析模式

RC 結構因澆置混凝土尚未完成而遭受地震，因混凝土尚未凝固，使剛澆置部份混凝土與鋼筋有擠壓而相對變形，此變形量與混凝土齡期有關，齡期愈久變形量較小，齡期愈少變形量較大，分析時可用等值彈簧替代，當然此等值彈簧與混凝土齡期有關（實驗得知），其分析模式如圖 1 所示，鋼筋籠內之主筋和箍筋皆採用 FRAME 元素，鋼筋與混凝土之相互作用採用等值彈簧元素替代，主筋與箍筋連接之結點具有相同之位移，但各自有旋轉之自由度，在 SAP 分析程式中，用 CONSTRAINTS 敘述來達到此種目的。

分析包含靜態分析與反應譜分析。靜態分析之水平總橫力 $V=ZCW$ ， W 為鋼筋之總重， ZC 採用台北盆地之工址正規化水平加速度反應譜係數和震區水平加速度係數，反應譜所需之週期乃依據反應譜分析中求得，豎向分配採用倒三角形分佈。反應譜分析之震譜採台北盆地之設計反應譜。

三、數值分析例子與結果

將以文獻[7]柱子之配筋與尺寸為分析例子，柱子之尺寸如圖 2 所示，其中主筋共長 900 cm，主筋採用 D32 鋼筋，每個斷面共有 24 支主筋，如圖 3 所示，主筋有 120 cm 埋於基礎上，並有 50 cm 長之彎勾，箍筋為 D16 鋼筋，箍筋間距為 7.5 cm，箍筋從基礎下方 95 cm 開始設置，鋼筋埋於混凝土內，用等值彈簧模擬鋼筋與混凝土之作用，彈簧係數有 $10 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 至 $100 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 10 種情

況，以代表不同混凝土齡期之狀態。

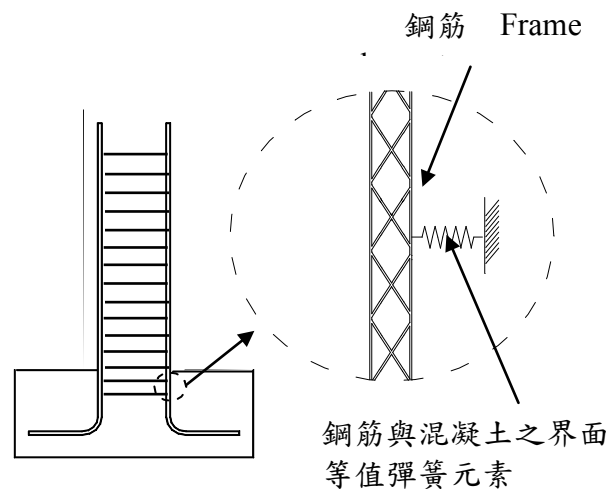


圖 1 分析模式

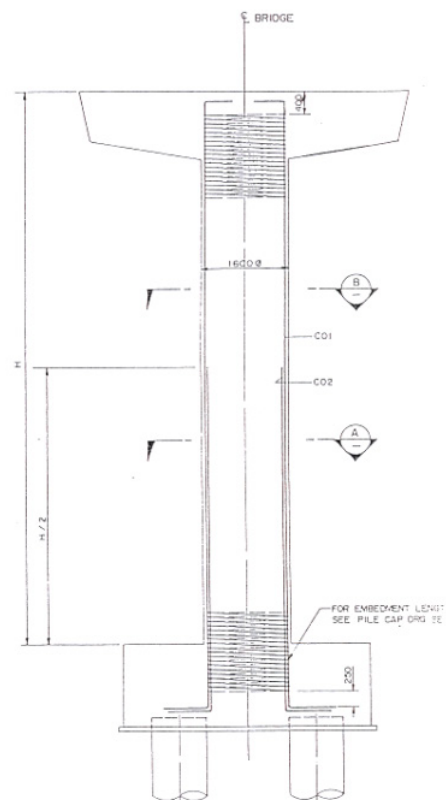
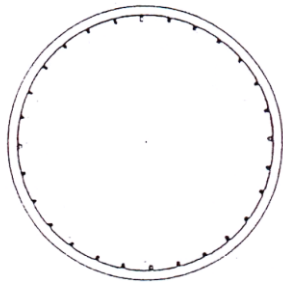


圖 2 分析之柱子尺寸

3.1 靜態分析結果

使用 SAP 分析程式，文獻[7]柱子分析模型如圖 4 所示，圖 5 為彈簧係數為 $10 \text{ kg/cm}^2/\text{cm}$ 之變形圖，吾人所關心之混凝土與鋼筋之相對變形如圖 6 所示，此變位即

為鋼筋對混凝土之擴孔大小，用此變位之大小與分佈，將來配合握裹試驗，即可判斷鋼筋與混凝土握裹能力與分佈。不同混凝土齡期皆可能遭受地震之振動，因此模擬鋼筋與混凝土間之等值彈簧係數，將有所不同，造成之擴孔程度不同，圖 7 為不同之等值彈簧係數，造成最大擴孔之大小。欲明瞭擴孔大小之分佈，需將擴孔大小沿主筋分佈求出，不同之等值彈簧係數之擴孔分佈大小不同，彈簧係數為 $10\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 和 $100\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 之擴孔分佈如圖 8 所示。



24 支 #10 主筋

圖 3 分析之柱子斷面

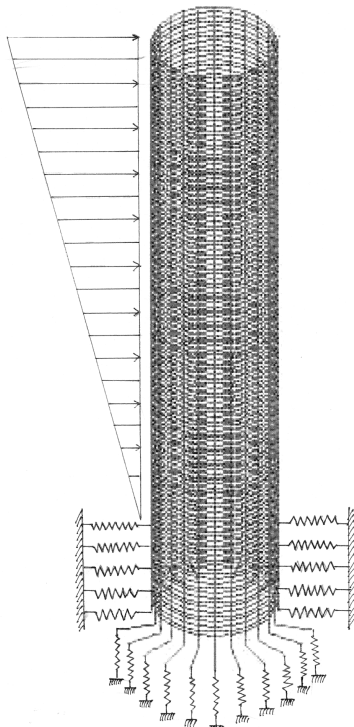


圖 4 靜力分析模型

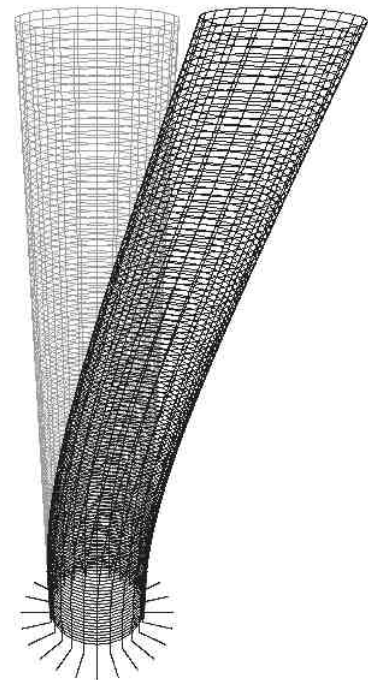


圖 5 彈簧係數為 $10\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 靜力分析之變形圖

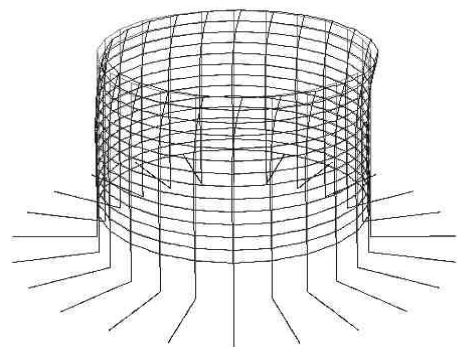


圖 6 彈簧係數為 $10\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 靜力分析鋼筋與混凝土間之變形

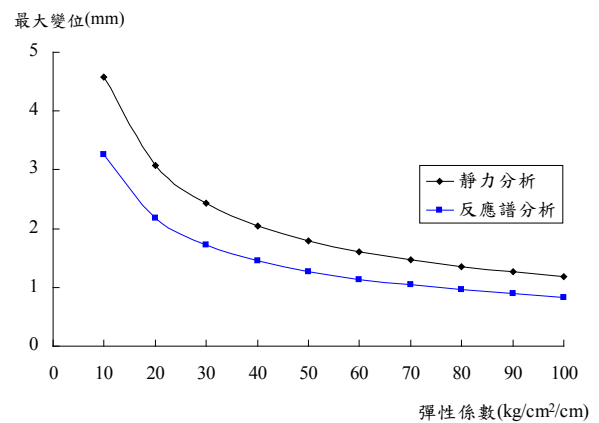


圖 7 最大變形與等值彈簧係數之關係

3.2 反應譜分析結果

使用 SAP 分析程式，分析模型與靜態分析相同，反應譜採台北盆地之設計反應譜，如圖 9 所示。不同混凝土齡期皆可能遭受地震之振動，因此模擬鋼筋與混凝土間之等值彈簧係數，將有所不同，造成之擴孔程度不同，圖 7 為不同之等值彈簧係數，造成最大擴孔之大小。欲明瞭擴孔大小之分佈，需將擴孔大小沿主筋分佈求出，不同之等值彈簧係數之擴孔分佈大小不同，彈簧係數為 $10\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 和 $100\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 之擴孔分佈如圖 10 所示。

四、實驗柱之數值分析

本節主要與文獻[8]所做之新澆置 RC 柱於國家地震工程研究中心所做實驗之之比較。由於鋼筋與混凝土之相互作用採用等值彈簧元素，實際為非線性行為，等值彈簧之割線勁度，實際上與混凝土澆置之時間、混凝土強度和等值彈簧位移有關，根據文獻[6]所做之實驗，利用最小二乘法可迴歸等值彈簧之割線勁度與時間和彈簧位移之關係，其中混凝土強度為 350kg/cm^2 之等值彈簧之割線勁度如下所示

$$K = 0.03162\Delta^{-0.86436}T^{4.104}\Delta^{0.082} \quad (1)$$

其中，K 之單位為 $\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ ， Δ 之單位為 cm (0.025cm 至 0.1cm 所迴歸出)，T 為小時。

分析模式如同第二節介紹，唯獨非線性等值彈簧之割線勁度，因與等值彈簧位移有關，在一般套裝 SAP 分析程式中並不能提供非線性，為解決此問題乃採用人為之非線性方法，首先假設彈簧之位移分佈，根據假設之位移分佈 (Δ) 及分析時混凝土澆置後之時間 (T)，即可決定等值彈簧割線勁度之分佈，利用等值彈簧割線勁度用 SAP 分析程式做線性分析，分析出之等值彈簧位移分佈與假設之位移分佈比較，若分析與假設之位移分佈相差太多，則繼續假設位移分佈直至收斂為止。

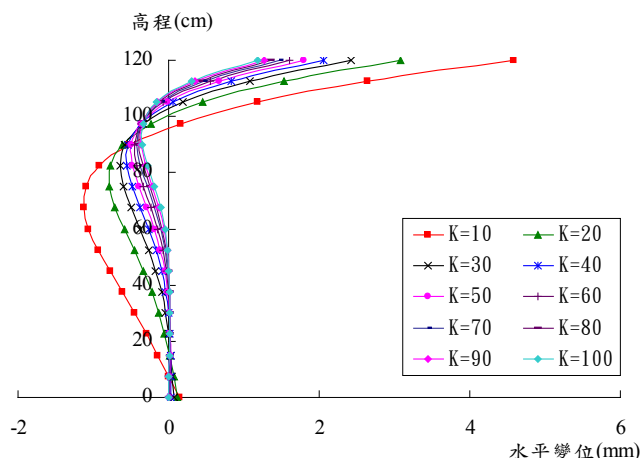


圖 8 靜力分析綜合比較

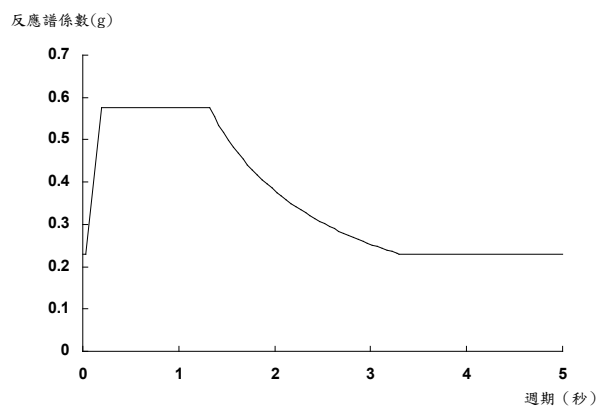


圖 9 台北盆地之設計反應譜

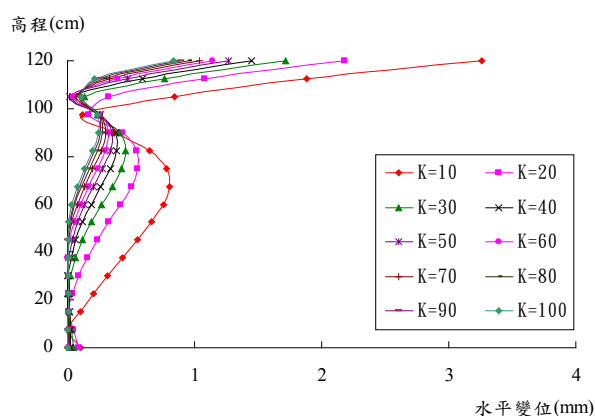


圖 10 反應譜分析綜合比較

將以實驗柱子之配筋與尺寸為分析，柱子之尺寸文獻[8]介紹，其中主筋共長 370 cm，主筋採用 D32 鋼筋，每個斷面共有 16 支主筋，主筋有 80 cm 埋於基礎上，並其中有 5 支主筋有 60 cm 長之彎勾，箍筋為 D13

鋼筋，箍筋間距從基座下方 40 cm 至基座上方 160 cm 為 12 cm，基座上方 160 cm 以上為 16 cm，為了模擬更高之柱子，乃在每一支柱主筋最上方掛上 20 kg 之重物，模擬更高之柱子，如圖 11 所示，鋼筋埋於混凝土內，用等值彈簧模擬鋼筋與混凝土之作用，混凝土齡期為 6 小時。

4.1 靜態分析結果

靜態分析之水平總橫力 $V=ZCW$ ， W 為鋼筋之總重， ZC 採用台北盆地之工址正規化水平加速度反應譜係數和震區水平加速度係數，由反應譜分析之振動週期為 0.999 秒，對應在反應譜為 0.575g，故豎向分配扣除 20×0.575 kg 後採用倒三角形分佈，並在柱頂加一側力 20×0.575 kg。

吾人所關心之混凝土與鋼筋之相對變形如圖 12 所示，混凝土與鋼筋之相對變形分佈，乃是考慮等值彈簧非線性行為，經過多次迭代所獲得之結果。

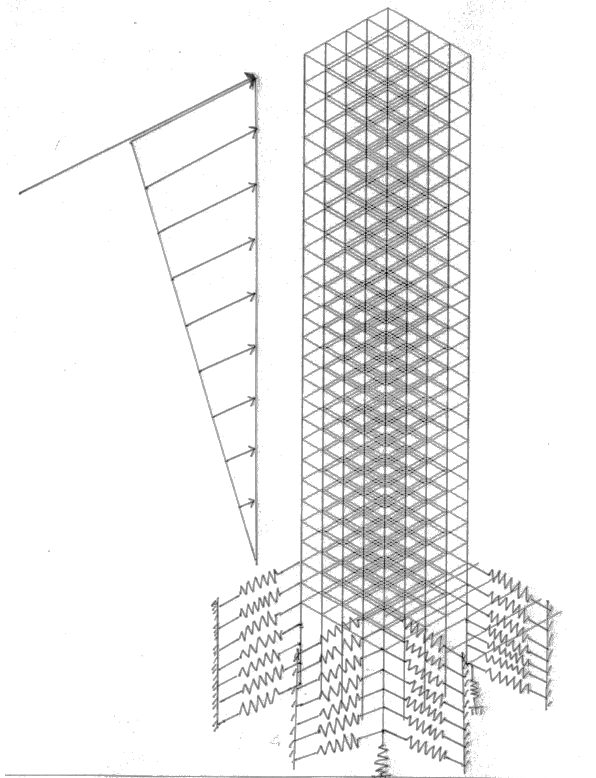


圖 11 試驗柱靜力分析模型

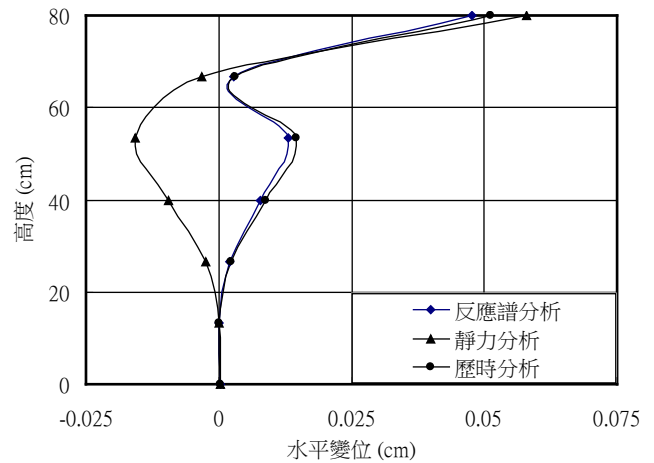


圖 12 變形分佈圖

4.2 反應譜分析結果

使用 SAP 分析程式，反應譜採台北盆地之設計反應譜，如圖 9 所示。圖 13 為整個結構之變形圖，吾人所關心之混凝土與鋼筋之相對變形如圖 14 所示，變形之分佈如圖 12 所示。此混凝土與鋼筋之相對變形分佈，乃是考慮等值彈簧非線性行為，經過多次迭代所獲得之結果，分析所獲得之等值彈簧位移配合相關之握裹與滑移之關係，即可判斷握裹損失量。

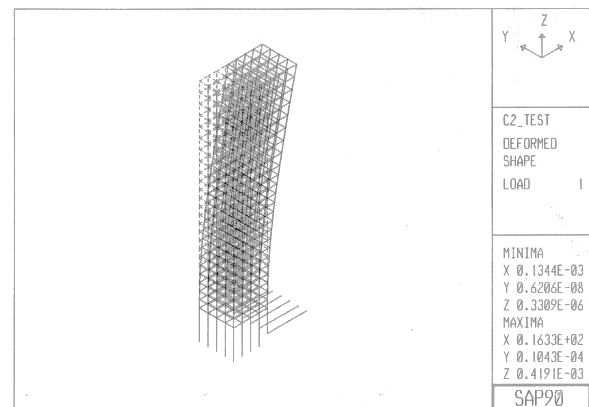


圖 13 試驗柱反應譜分析變形圖

4.3 歷時分析結果

實際上，實驗 RC 柱在建造基礎約 6 個小時，混凝土尚處於塑性狀態時，受到最大加速度 0.5g 之地震波振動，因此歷時分析應較

為正確，分析之震動波，乃實際試驗時之震動波，如圖 15 所示，等值彈簧係數與彈簧之變形有關，歷時分析之等值彈簧係數，實際應與每次增量之彈簧變位結果，視其變位之多寡而決定，然而在線性之分析程式根本無法實現，本研究乃採用最大位移時之等值彈簧係數分析。

吾人所關心之混凝土與鋼筋之相對變形，在歷時分析中乃隨時間而易，例如在基礎面（高程為 80 cm 處）之位移-歷時關係，如圖 16 所示，同樣的，可以得到每個彈簧變位歷時圖，將每個彈簧之最大變位與其在所在位置，即可知彈簧變形之分佈，如圖 12 所示。

五、結論

本研究提供之分析方法與範例，可對 RC 結構物在建造中，遭遇地震的震動因甩筋而造成擴孔，評估擴孔之大小與分佈。上述之分析結果，擴孔最大僅約為 0.5mm，而實際所觀察僅在鋼筋周圍有微小裂痕，顯示擴孔亦相當小。通常在混凝土澆置後 3 小時內，遭遇地震的振動，由於混凝土尚處於流態，因甩筋而造成擴孔可能回流，而不致影響鋼筋與混凝土間之握裹力[6]，因此在 3 小時內，實無須分析。混凝土澆置 5 小時後，等值彈簧係數可達 $60\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 以上，從本研究之分析中，彈簧係數達 $60\text{kg/cm}^2/\text{cm}$ 以後，其彈簧係數對擴孔之反應並不會太敏感，因此通常迭代幾次即可收斂。

參考文獻

1. Krell, W.C., "The effect of coal mill vibration on fresh concrete," Concrete International: Design and Construction, Vol. 1 No. 12, pp.31-34 (1979).
2. Hulshizer, A.J., "Acceptable shock and vibration limits for freshly placed and maturing concrete," ACI Materials Journal, Vol. 93, No. 6, pp.524-533 (1996).

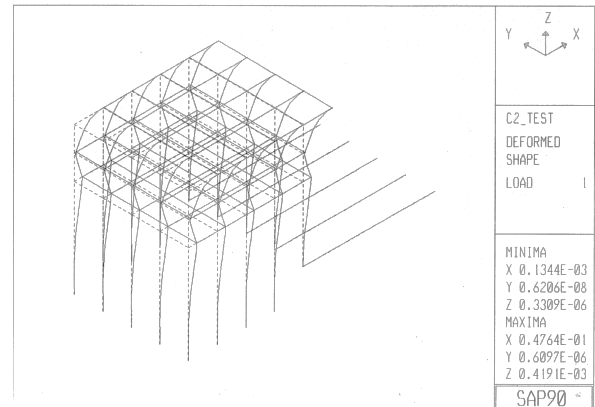


圖 14 試驗柱反應譜分析鋼筋與混凝土變形圖

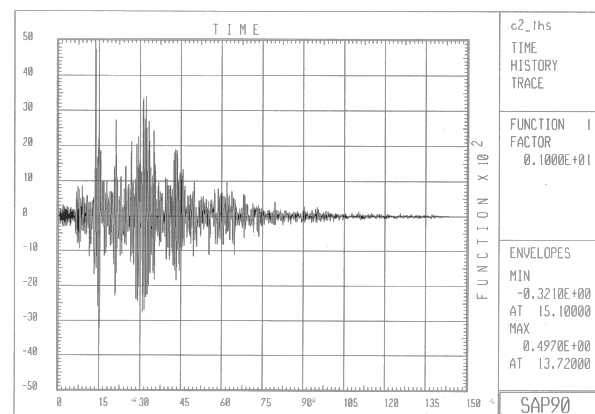


圖 15 歷時分析輸入之地震波

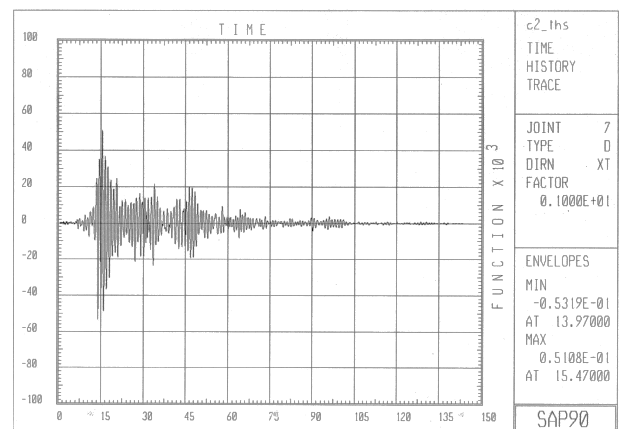


圖 16 試驗柱基礎面（高程為 80 cm 處）之位移-歷時

3. Krell, W.C., "The effect of coal mill vibration on fresh concrete," *Concrete International: Design and Construction*, Vol. 1 No. 12, pp.31-34 (1979).
4. Hulshizer, A.J., "Acceptable shock and vibration limits for freshly placed and maturing concrete," *ACI Materials Journal*, Vol. 93, No. 6, pp.524-533 (1996).
5. 李金旺，「混凝土二次振搗機理的分析」，*建築結構學報*，第十五卷，第六期，第 53 頁至 54 頁及 75 頁（1994）。
6. 黃世建，「台北市正氣橋改建工程 203 號橋墩鋼筋握裹力測試」*國立台灣科技大學測試報告*，台北（1999）。
7. 陳正平，「新澆灌混凝土集集地震後結構安全評估」，*結構工程*，第十四卷，第四期，第 86-100 頁（2000）。
8. 林文山、高健章、蔡益超、張阿本、阮智仁，「具剛性模板條件之新澆置鋼筋混凝土受地震之影響」*中國土木水利工程學刊*，第十五卷，第四期，(2003)。
9. 林文山、高健章、蔡益超，「全尺寸帽梁之結構試驗」，*中國土木水利工程學刊*，第十三卷，第三期，第 667-675 頁（2001）。
10. 郭啟文，「地震對新澆置混凝土柱之影響研究」*台灣大學*，碩士論文，(2001)。

人文藝術影響下的中國傳統建築

詹秀芬

成功大學建築研究所碩士、同濟大學建築暨城市規劃學院博士生

摘要

本文旨在由建築探求中國人對環境及人文藝術的觀點，並討論傳統建築如何受人文思想藝術境界的影響而產生中國特有的空間及形式。全文由孕育中國傳統建築的自然及人文環境出發，分析出中國人的藝術思想如何展現於空間、平面、立面乃至於細部。

關鍵詞：中國傳統建築、藝術與人文、二元相生

Traditional Chinese Architecture under The Influence of Arts and Humanities

Chang, Hsiu-Fen

Master of Architecture Institute, Cheng Kung University

PhD of Architecture and Urban Planning Institute, Tongji University

Abstract

This paper explores the environmental, cultural and artistic views of Chinese people, and discusses how the cultural thought and artistic ideal influence the traditional architecture to produce the Chinese-specific space and form will be investigated in terms of architecture. In addition, this paper analysis the architectural space and the form of traditional Chinese architecture under the influence of arts and humanities, which are discussed from three aspects: architectural space, plan, façade and even details.

Keywords: Traditional Chinese Architecture, Arts and Humanities, Binary Complementary Pairing

一、前言

建築的空間與形式受文化背景影響而不同，建築空間境界的形成即為人文藝術精神的體現。本文旨在討論儒道兩家主流思想、中國人民性格生活等文化因子如何反映於建築，及此背景下產生的人文藝術精神如何具象於中國傳統建築空間及平立面形式。孕育於中國文化發展而成的傳統建築，雖用途形體各異，但其形式之後的精神與境界，均源於吾人的生活方式、人生觀、宇宙觀、道德思想、民族性格等人文藝術背景。

二、建築空間的特質

中國建築不像西洋建築在形體上那麼多變，從古埃及的建築形式，歷經希臘、羅馬、拜占庭、哥德式、文藝復興式至今日的現代建築，在形體上可謂千變萬化，而中國建築一直維持著在漢唐已發展成熟的形式，只在細部繁簡上有所改變。本文所研究的中國建築是不分朝代的，在基本形式上探討其特有的空間特質。

(一) 空間意識

每一種獨立的文化都有它獨特的宇宙觀，由宇宙觀導引出不同空間意識。

史賓格勒在所著「西方的沒落」一書中

指出，每個文化的各份子，是經由其共同的世界感受和共同的世界形式所聯接起來，這種深刻的認同，成為此文化的靈魂。因而對空間的體認（距離及時間），可以一種具體的實物來表現，它表達了文化的特殊風格並形成歷史型式，此等傳統型式表現文化的靈魂，並不斷地實現它內在的可能潛力[1]。

古埃及的人認為在死亡之前必須行經一段狹隘而艱難的生命旅程，最後到達其終點，這可以「旅途」來象徵。因而舊王朝的墓殿，所強調的只是一條秘密的途徑，由龐大有力的石造物所築成的一種通道，道路兩旁壁面上的浮雕與繪畫永遠是成行排列，導引觀者沿一條確定的路途前進。

而中國文化的靈魂，史賓格勒以為是「道」，與埃及人的「路途」不同。中國人徜徉于其世界中[2]，以「俯仰自得」的人生態度發展出獨特的空間意識，它所表現的精神是一種「天人合一」的境界。吾人不把宇宙局限於有限，也不做永無止境的追求無限，對這無盡空間的態度是如古詩所說的「高山仰止，景行行止，雖不能至，而心嚮往之」，總是能夠找出一個中庸之法『以心境的神遊來達到追取無限的境界』。吾人相信深廣無窮的宇宙會來親近我、扶持我，無需我去爭取那無窮的時空，而常能悠然自得。

由「俯仰自得」匯出的空間意識是一種順從宇宙法則，雖動仍靜的。觀四時的運轉

不停，但其秩序依然存在，為一種有週期迴旋的節奏，從此種宇宙觀，發展出音樂性節奏化的空間意識。我們嚮往無窮，但仍須回歸自我，成一迴旋的節奏。

中國人的空間，因而如「空中之音、相中之色、水中之月、鏡中之象、言有盡而意無窮」[3]，能於有限中見無限，又於無限中回歸有限，成一「無往不復」的天地之際。

(二) 空間性質

1. 流動空間

西洋建築的空間概念是由實體建築發展的內空建築，及至近代才有內外互動的空間觀，而中國建築的空間概念卻自始即以內外互動的流動空間為主。由於中西建築在根本上使用的建材與構造法之不同，造成空間的性質亦不同。西方雕刻形建築其本身即佔有空間，修建使其成為適於使用的形式；而木材架構建築，其功能是在未有實物的空間中，組成架構內與架構外之別，架構內也未必稱之為室內。故柱梁建築開放度較石砌建築高，使得中國建築的流動性成為空間問題的核心。

以空間性質來說，為求內外空間互動，界定空間的牆面宜漏與空；為求界定有彈性對界定物門、窗等特別重視。屬於垂直面的界定物，在中國有屏風、照壁、門簾、布幕



圖 1 窗景



圖 2 蘇州留園磚框花窗

、門、窗……等等，每一樣又都富於變化；以窗來說，造型幾乎難以估計，方形、圓形、三角形、菱形、花瓶形、如意形……及各種自由的形狀。而窗戶不僅在造形上富變化，即在相同的造形下，因窗櫺疏密的不同亦會造成各種不同之流通性，其中內外空間滲透力有大有小，而開放度亦隨著有高有低。

2. 中性空間

相對於西方只重視建築所塑造的正空間而將外部空間視為佈景的作法，中國建築慣於把外在空間（內庭）視為整體設計的一部分。此種以外在空間為主要的思想是來自對大自然的崇敬與尊重，亦如在國畫中的留白，表現出對負空間的重視。在虛無之中點出生機，把人為的東西小心地放入自然之中而不破壞原本自然的美，此種概念導致中國藝術本質上是沒有剩餘空間的。在「秋水共長天一色，落霞與孤鶩齊飛」詩裡，水天一色所描寫的是發散的負空間，落霞與孤鶩所陳述的是收斂的正空間，這正空間與負空間是彼此相關，不可分離。因此，在空間特性上，中國藝術的正空間與負空間若以收斂性、發散性來講是可分的，但若以本質上的積極性或消極性來講，兩者均為積極空間，「以無為有，以虛為實」，沒有真正的無存在。

這種正負空間互相滲透的中性空間，內院因被四面廂房所包圍，其開放性不顯著，只有向天的一面是無限的，而內在空間亦因內外的流動使其封閉性降低，中性空間在中國建築中占了絕大部分的面積。此種中性空間最適於處理轉接的部分，可融內外於不知不覺之中，既不會有對立的態度，又給人親切的感覺。

（三）空間形式與意境

中國人對空間的要求不僅在能提供一個生活的場所，更重要的要能由空間表現一種意境，創作的成敗時常決定於「意境」出現的序列，即空間韻律的高下。

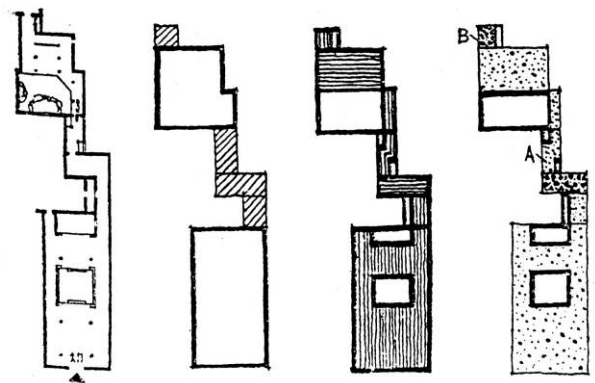
中國建築的佈局精神是以空間的組織串連為重點，將不同空間中景色的變化與轉換，納入一個組織程式中，使人從一個層次



圖 3 蘇州拙政園空間序列

進入另一個層次的時候，由視覺的效果引起一連串的感受，並且產生情感上的變化[4]。這種空間的感覺不只是三度的組合，而且是有時間因素介入的四度組合。構成空間韻律的因素包括空間界定物與內涵物的品質、空間橫剖面的變化（空間的大小）、空間縱剖面的變化（速度的控制）、空間的開放度等[5]。建築空間有了韻律的變化，就如詩詞、舞蹈一樣，有節奏的快慢舒疾，及視覺的大小明暗等。而韻律能豐富空間的意境，加強空間氣氛的掌握。

中國傳統建築特有的流動空間及中性空間，由建築上的漏窗、格扇、洞門及廊道、屋簷等形成。這兩種性質的空間配合吾人「



平面示意 大小變化 方向變化 明暗變化

圖 4 空間變化

俯仰自得」旋律化、節奏化的空間意識所組成的空間形式與意境，是以下所要探討的。

沈復於浮生六記中所云：「大中見小，小中見大，實中有虛，虛中有實。」在中國的宇宙觀中沒有二分的矛盾存在，兩種相反的

元素如大小、虛實、疏密、曲直、深淺、起伏、高下、明暗、藏露、開合等都可以相間得宜，並存而相生。不似西洋幾何庭園的一望無際與超尺度，使人們自覺渺小與無助，中國建築常以相反二元素的並用，使大而不曠，小而不抑，人游息於其中心情舒暢與寧靜。二元相生的處理手法大致形成以下三種空間：

1. 曲折的空間

空間的曲折有分「視線上的曲折」及「路徑上的曲折」。視線的曲折是利用各種取景角度，有遠景近景，可俯視仰視平視，根據陳器文氏的分析：「平視有家居日常的親切感，仰視有期盼嚮往的感覺，俯視有超出塵俗的感覺，近景有逼真的感覺，遠景有淒冷出塵感。」配合左右遠近俯仰的多角視點，層次自然豐富。

路徑的曲折，于園林建築的配合上可見一般。「絕處猶開，低方忽上」，其中彎折的角度是相當大的，有如「山窮水盡疑無路，柳暗花明又一村」的境界。非但路徑曲折，水池的外形也是彎彎曲曲，長橋則必成幾折的曲橋，長廊亦成幾折的迴廊。至於一般較端正的建築，平面雖以方正的水平與垂直線構成，其間的空間變化，亦不是呆板無奇的。於方形的基本型態上做有變化的排列，其路徑是一水平與垂直方向的折線，比起彎曲的園徑少了一個角度多變的自由，但兩者都是折線的空間。

2. 屏障的空間

欲明先暗、欲揚先抑、欲大先小的遮掩法常用來做為一系列空間的序幕。如「山窮水盡疑無路」以高挺的山遮掩前景，其目的是使人們對於其後景物有所期待與盼求，控制人的情緒，而由緊閉後的開朗，抑制後的舒暢，予人快感與滿足感。入口處的照壁、屏風、竹簾，用來隔離空間的牆面，遮掩視線的茂盛林木等，非但有屏障的作用，還可以用來控制空間的大小，使大而不曠，小而不抑。

一般住宅一進門常以一狹小的過渡空

間——門廊，收斂人們的視覺和尺度感，而後轉到一個較大的廳，使人心胸頓覺豁然開朗，對這廳的感覺尺寸會較實際為大，而後有一迴廊，廊道有漏窗與空窗，由此掩映可見的漏窗中望出，又別有洞天。如園冶所說「板壁常空，引出別壺之天地」，能隱而不藏，隔而未絕，隱現斷續，而有不盡之景。



圖 5 蘇州拙政園 柳蔭路曲

3. 相互參差的空間

也就是流動的空間，建築中大大小小的空間彼此不完全分隔，而是似隔非隔，似斷還續的組合在一起。空間彼此互相參差滲透的結果，使房屋一進又一進，空間一環扣一環，庭院一層深一層，數個空間的景物層層穿透，相互因借，造成園中有園，景外有景，小中見大，層疊錯落不可窮盡的幻覺。曲線的曲折及面的複疊容易形成空間的深度，同樣的距離，曲折多的路線比平直的看來層次較多；而同樣筆直的路徑，一條空無一物，一眼望盡，另一立牌坊於其上，層層入裡，人的視覺自然視後者較為深遠，由曲折及相互參差的空間形成具深度感的空間。對深度的追求一向為中國藝術的特色，「沖然而澹，儉然而遠」的境界在建築中以空間的深度與層次來達成。

三、平面的形式與內涵

中國建築群所注重的是單元之間、內外之間的轉接處理，以及單元組織的程式，重點放在整體的表現。以佈局結構而論，中國建築的空間組合存在一種文學與音樂的特質，建築設計與詩、書、畫、雕塑、音樂等

是相通的，其作品除滿足「視覺感官」的形式美之外，還要能滿足吾人對「心靈體驗」的情調美。

（一）單元平面之形式

中國建築的平面，以單元來看變化極少，方整的矩形幾乎可以供所有建築之用。中國建築最基本的平面形式，是長方的「一字型」，三開間或五開間，然後變化配置而成為三合院、四合院成一群。「一，萬物之本也」，中國建築即以這「一字型」平面為基本，組合成各種豐富的平面系列。

合院式的配置，排列上多採對稱之方式，對稱表示一種秩序：人類與宇宙的秩序，人與社會的秩序，個人與家庭的秩序。以堂屋為中心，天地君親師之神位在此，婚喪之禮在此，長者教子孫也在此。堂屋為政治、社會、教育禮儀規範之場所，千年來儒家引導的禮儀社會，從大至宮庭君臣之間，小至家庭父子之間，都存在著莊嚴端正之行為標準，因而以堂屋為中心的住宅配置，以殿堂為中心的廟宇建築，甚至以一系列宮殿組成的中軸線為中心的宮庭建築，都表現出「立德敦化」的對稱端整格式。此外，中軸對稱的配置，在封建社會中尚能反映身分與階層，主要建築如廳、堂、長輩住宅等，均排列於中心主軸上，附屬房屋則位居次軸，一般以「前公後私」、「前下後上」、「左尊右卑」為原則。

（二）平面之機能

西方建築所強調的「機能」是「Form Follow Function」，一切以快速實用為主的物質性考量使建築失去對意境及情感的追求。以藝術反映民族文化來說，工業社會機械方式的機能並不適用於中國以農立國的社會，西洋建築空間專門化的方式亦不同於中國建築空間無分化的特性。對於一個「以一當十」的民族，我們的一切設施均求通用與彈性：鞋子，是可左右腳交換穿的；筷子，是只憑兩根直棍就可應付一切的餐點。我們的民房，不僅是住家、也兼學堂、祠堂、婚喪、娛樂場所等功能，平面自然無法專門化，需要相當彈性做為變通之道[6]。因此

本質上，我們對空間的需求要有個性，而這種個性的空間不是由型體的特殊造成，只需改變傢俱陳列，相同的平面就有不同的空間氛圍，隨著居住者的擺設方式不同顯示出功能。因此中國建築的平面在形式上不管居室、餐廳、廚房都是相近的，僅在方位上有所不同。彈性給予人自由度，而借著個性的塑造又使其不乏味，彈性與個性的處理，充分表現出吾人對二分性格的融合能力。



圖 6 中國建築標準合院建築

至於動線的長短，在中國建築裡向來不以動線的短捷為機能條件，中國人總想有一天能達到「物我合一」「靜觀自得」的境界，因此我們創造的法則是「仰觀於天，俯察於地」。尤其於塑造幽靜氣氛時，常用曲徑遊廊使人倍增賞心悠遊之情。而入口處照壁，室內置屏風之作用對動線的短捷來說根本是不合理的，但是中國人喜歡，居住的空間不是緊張急促，應是悠閒自得。中國建築的平面含滿足精神層次的機能，因此基本型式雖少但富有充分的彈性，組合方式甚多，且可創造多樣化的空間，而給予人自在、豐富的精神需求。

（三）平面的群體組合

由大型住宅、廟宇以至宮殿的平面圖上，可以看出中國建築群組的特性。中國建築的群組以「院落」為基本單元，「院落」由四面廂房或廊道包圍中間的內庭而成，每個獨立「院落」又以門廊相連接，並依中軸線做規矩的縱向或橫向排列表示出禮儀階層的制度，如宮庭、廟宇、住宅等行儀之處；或依一迴環的路線做自由的排列，如苑囿、

園林等娛樂之處。中國人「與物無爭，不量力顯，不尚其大」的態度造成與西方完全不同的建築方式。西方重「顯」，重驚人之偉大、重一時之吸引，為一種外在顯耀的表現；而中國則重「隱」，重親人之平凡、重長久之欣賞，為一種內在涵養的表露。故在大規模建築設計上，西方以追求超人類尺度來表現出技術的偉大與對自然的征服。中國出於對人類尺度的重視，以平面的「數量」延伸來達成擴大規模的目的，「數量」的增加造成群體組合的必要，但組合關係使其更能與自然相合，使空間仍保親切感人。

以法國羅浮宮與北平故宮做比較，兩者不論產生的時代，使用目的及建築面積均大致相同，但由於建築方式之不同，造成了完全不同之平面佈局。以「積量」的增大來擴大規模的羅浮宮，將多而複雜的內容組織在一座房屋之內，只好將建築物增大、增高來容納；設計的重點因而放在單幢建築內部之變化及外表之裝飾。西方建築在單幢平面之形式變化繁多，方形、圓形互相穿插以增加複雜性，立面的形式從希臘建築、羅馬建築、拜占庭建築、哥德建築……至現代建築，千變萬化不一而足。

中國建築則正好相反，平面、立面千百年來似乎少有變化，但是在空間的變化上往往令人稱奇。由「數量」的增加來擴大規模的北平故宮，設計重點放在由「數量」增多後之組合問題——「院落」的組合方式與組織程式，屋與屋間、室內與室外之連繫等。利用單元的「院落」組合成一群體建築，除能合乎各單元之使用需求，單元亦可隨需要增減。彼此既有間隔且是相連的，可有私密性，亦具連通性，由庭院、廊道連繫整個群組，把整個建築群串連成一個自足的小社會。

這種單元間的連通性與戶外空間的包融性使空間變化遠勝過任何形式的建築。個體的單元是沒有個性的，價值的重點放在整體的表現上，所顯現出的是集團性格而非個別的性格。至於戶外空間的包融性，置於每一單元中的庭院，有多種用途，且人生於其中也能感到自己與自然同在，進而能愛物惜

物。同時室內外空間之配合還反映了中國思想中「虛實相生」之自然觀，存在「萬物非永相矛盾衝突，而有由相感通以歸中和」[7]之信念，因此虛實在中國藝術家的手裡成為配合無間的二元素，庭院的地位也因此不下於建築物本身。

以佈局之結構而論，中國建築的空間組合存在一種文學與音樂的特質，整個平面配置在一組織程式下展開。通常屬於禮儀教化之場所，如宮殿、宗廟……等，其組織程式為一論說文之程式，莊嚴肅穆之情緒由平緩之序幕開端，地平標高逐漸增高，建築物形體逐步加大，沿著中軸線開展下去，人們觀感由不斷變化中走向高潮。主要庭院面積更大，周圍依次為次要的殿、閣、廊和角樓等簇擁著中軸線上的主體建築「正殿」，正殿居中，其四方通常均為四周有建築物的庭院，最後用高大的殿閣作整個組群的結束[8]。



圖 7 北京城鳥瞰中軸線

北平故宮就是以天安門為序幕，外朝三殿為高潮，景山作尾聲，就論說文起、承、轉、合的組織程式，在中軸線方向展開。而一般園林建築的功能是悠閒的，因此所表現的氣勢完全相反，飄逸自在，不成定規。在空間結構上，利用空間大小、高低、明暗……產生擴張、凝聚、轉向、深度等效果，與詩詞歌曲的佈局結構是相同的，句句都含豐富情感，互相因借使情調愈濃感人愈深，每一景至少有一個意境，而一意境有時包含幾個景，巧用空間中每一段時間，藉景物的交互映射把一連串的意境連繫起來成一首詩。

在此，建築設計是與詩、書、畫、雕塑、音樂等相通的，除滿足「視覺感官」的形式美之外，還要能滿足吾人對「心靈體驗」的情調美，生命情調之美感在此得以發揮，胸中氣度在此得以舒展，心中靈氣在此得以昇華而至高超之境界。

四、立面形式與內涵

以建築的內外而言，西洋建築重外在的表現，只有外表的立面能清楚地表示居住者的階層身分，就如人的外衣一樣，建築的內部是沒有立面可言的。中國建築卻把許多豐富的變化藏之於內，由中庭的運用達到內部設計的完美，蘊含於內而又能通於外。立面的設計偏向于方盒的內面而非外面，整群建築的各向立面之間的關連性在比重上不如圍成內院的各牆面，而群體建築的組合使外觀立面表現的重點放在建築物的高低配置、大小組合，由連綿起伏的屋頂輪廓譜出不同的旋律。因此可以說中國建築的立面是方盒內面的設計，而西洋建築的立面則為方盒外面的設計。

(一) 流動的視線

西方藝術觀念中，建築繪畫和雕刻是同一性質的，著重於數量比例、光影凹凸的立體美，人們觀賞的視線僅集中於個體本身，在立體畫派出現以前，西洋透視一直固定在靜止的一點透視。以靜止的物體為物件，建築物被看成是大型的雕塑物來處理，除了必須配合使用機能外，幾乎可以當成雕塑體來設計。整個建築物的立面重點即在外表的正



圖 8 巴黎聖母院

立面，古典建築的繁複裝飾與現代建築對立面黃金比的提出，窗戶對角線的平行等。一切的韻律與秩序僅凝注於單體建築本身，正如叔本華所說「西方建築為凝固的音樂」。

中國藝術家則自古以來以流動轉折的視線，由高轉深、由深轉近、再橫向于平遠，視線迴轉於遠近之間，能放能收，由有限通無限，再由無限歸有限，心隨著視線盤桓神遊，為一種動態的、自在的觀景法，採取多個視點以構成節奏化的空間。此種藝術最高層次存在于心之自由，在視覺效果之外還要達到內心的「自在」、「無我」與「忘我」的境界。多點透視容許人們取景的自由度，「遠近取與」，遠景與近景並重。而群體組合的特性更使視線能於其中流轉迴環，隨著流動的空間收放有致。故中國建築外觀上看來，較適於遠距離的觀賞，群體的輪廓線變化豐富，再加入曲線的運用，引著吾人的視線滑上滑下，較具線的組成特質，類似書法繪畫的線條處理，又如音樂的旋律一般，每一群建築如一曲盤旋迴繞的音樂使人悠然意遠。



圖 9 福建永定縣住宅(大夫第)側面
(中國建築研究室調查)

流動的視線導引人由內而外，由一景至另一景，配合流動空間的概念，空間的延續性使景物間亦具不可分的群體關連，一院連接另一院，立面的變換就如戲劇的佈景一幕幕地更換，共同烘托一個主題。此種視覺的安排不是純粹圖面的二度空間或雕刻體的三度空間，而是加入人體運動因素的四度空間，正如現代建築中都市景觀所需考慮的因素一樣，考慮一系列運動中景物的更換，彼此間的和諧與變化，次序地將景物組織串連起來，由此而將欲傳達的意象表現出來，使人觸景而生情，化物而為神，由物性的誘導

，引起目之所接、心之所感成的意境，而能達到「意之所遊」，多點透視的流動視線。

(二) 木構架建築

木材取代土石的地位而成為中國建築最主要的材料，原因在其重量輕、易於加工，因木構架組成的框架結構亦較土石疊砌的承重牆結構具較大的彈性及靈活度。因具有這種靈活性，在廣大的中國之內，不同氣候條件之下，只要在房屋高度、牆壁的厚度及開窗的大小等方面加以變化，便能廣泛地適用於各地區，合乎吾人喜愛的彈性形式。木竹的本身是屬於線材，由線材組構的中國建築自然不同于以石材為主的西洋建築，線材本身有輕巧、流通的特性，表現不以體的量感來完成，這也是中國建築的立面有層次而少積量的凹凸變化之原因。木構架框架系統的運用造成室內外空間可連接一氣的流動空間、中性空間；而為了保護屋身木料而產生的飛簷，使木材更能發揮其易加工的特點，動態曲線的線條，就如同書法的表現一樣，當然需要像毛筆這種能運轉自如，曲直粗細隨心所欲的媒介物，而木材正具有此種性質，能充分表達線條的變化、飛舞的境界，中國一般藝術莫不與此相同。



圖 10 木構造出簷深而輕

(三) 細部及色彩

木材的使用對於裝飾方式的影響亦不

同于石材，木材以油漆上彩來保護，其後發展為彩畫，中國建築的細部美化已成為吾人心靈上的美感追求，豐富的色彩變化及繪畫內容為中國建築造成另一特色。主要的裝飾部位，基本上有兩重點，一是兼顧實用與裝飾，在做為保護作用的機能上，施以美化及藝術化。另一則為選擇重點部位處理，純粹為了美學上整體造型的變化與統一。這種重點處理有兩個方向：一是於轉折或收束部位的轉接與收頭處理；二是於統一中求變化，以諧和的面為主，其中加以點的對比。

1. 色彩

中國人對色彩的心理情態多受陰陽五行說的影響，以青（包括綠藍）代表東方，為溫和之春，木葉萌芽之色；赤代表南方炎熱之夏，為火燃之色，黃代表中央，為培育萬物的大地之色；白代表西方，為清涼之秋，金屬光澤之色；黑代表北方，為寒冷之冬，為水深之色。因此，五色各有其象徵的意味，「青」是永久與平和；「赤」是歡樂與喜慶；「黃」是力量的源泉，權勢的象徵；「白」是空靈與清高；「黑」是平靜與深遠。因此，中國建築常以色彩的施用來表示使用者的身分，正如中國人的服裝一樣，宮庭式建築以黃色為最高權勢的象徵，如天子的黃袍；另紅、綠、青藍等鮮豔之色彩，猶如權貴者的華服。民間建築則以青、灰、白、褐的色調為主，猶如平民的素裝。這種等級上的差別，完全由政治地位所決定。

蘇州庭園中的建築及運河兩畔的建築，其用色之簡素就如中國山水畫一般，帶著濃厚的文人氣息。白灰的牆、灰黑的瓦及少許褐色的柱梁窗框，清幽而寧靜，大大不同於色彩繽紛的宮殿建築。然而，宮殿建築在滿足「表達特殊身分」這方面，也有其高度的藝術成就。在大面積的部分以純色為主，台基牆身屋頂等都是，彩畫的裝飾只占梁枋的部分，成為統一中的一點變化，不過份複雜亦不單調，能於強烈的原色—紅、藍、黃、綠、白、金之中，達到對比的和諧，輕重得當，適度的表現華麗莊嚴，而不流於鄙俗妖冶。

2. 裝飾圖案

在應用磚、石、木、金屬和手工加工條件下，裝飾的技術主要是塗繪、雕刻、塑鑄、鑲嵌等，形式則以花紋線腳為主。於木上多用塗繪或雕刻，石上專用雕刻，磚上用雕刻或塑燒，金屬則用鑄造。在建築裝飾題材方面，如中國其它藝術一樣，是廣泛的大自然整體，有動物、植物、天體、人物……，以表現吾人對大自然的深厚感情。有簡化形象成圖案化，有完全寫實；裝飾之外並用以象徵吉祥、富貴與圓滿，且其中顯現的平和與儒雅之精神，正能代表一個樂觀知足、和平廣大的民族。



圖 11 彩繪紋飾

紋飾在中國建築中的分量甚於其它各國的建築，種類也特別多。題材大概分為(1)植物花樣(2)動物花樣(3)天體花樣(4)幾何花樣(5)人事花樣(6)文字花樣(7)器具花樣等，上古時代人們對大自然認識與描繪而以動、植物及天體的雲雷紋為主。

對題材的選取含強烈的象徵意味，雲雷紋代表農事的活躍季節；而由雲雷紋變化而來的龍鳳紋則用以象徵自然界豐盛的繁殖力；蛹是綿延不斷，象徵永生；蟬則取其蛻化，象徵再生。紋飾的象徵性，自古即然。其中雲雷龍鳳的回狀線紋，往復迴圈，為中國線條藝術曲線迴旋的開端，而線條藝術地位甚於造型藝術，與這上古紋飾的發展有重大的關係。因吾人能感「萬物有德」之故，

紋飾的花樣之中以動物為最多。龍象徵強健的生命力，為至尊之位。鳳百鳥之王象徵天下承平。麒麟象徵祥瑞之氣。龜能兆吉凶，象徵長壽與上三者合稱「四靈」。獅虎用以示威武、鎮邪。蝙蝠蝴蝶的蝠及蝴與「福」同音，用以祈福。

在建築中，窗槓、掛落常用拐子龍紋；由龍紋簡化變形而串連起來的紋飾常用來做邊飾；龍頭禱首用來做屋脊正吻、梁頭及台基落水口的裝飾，龍亦有用於柱上為蟠龍柱。另外一種叫椒圖的猛獸，被用為門上銅環的圖飾，青龍、白虎、朱雀、玄武是瓦當上常見的圖飾，石獅常置於大門兩旁，吉獸面及魚是山牆上懸魚的主要圖飾。至於植物花樣，以花為主，牡丹表富貴，菊花長壽、萱草表高壽，蓮花莊嚴、芙蓉表富貴榮華、藤蔓表綿延不絕，另外有佛家圖案的寶相花等。這些吉祥花草，通常用於建築的雀替（花牙子）、吊柱頭（垂花）、掛落、柱礎以及欄杆的華板部分，門的裙板部分等。

立面的各元素（門、窗、屋簷、廊……）具各種象徵與暗示性，除了物理環境的機能、尺寸比例的和諧，更重要的是構成一系列景象能引起人心的共鳴，像欣賞一首詩、一幅畫、一曲音樂，為物情所逗而目寄心期。在時間中徘徊移動，游目周覽，集合數層與多方的視點，提神太虛以觀照全整律動的大自然。一切表現以宇宙生命之美為最高境界，「飛簷高下起伏，低方忽上，長廊一帶迴旋，絕處猶開，窗花蕉影，招搖不盡之春；板壁常空，隱出無窮之態；虛實有無，相間得宜」[9]，情緒意想所行之境，飛躍的燕尾是山，曲徑迴廊是水，門窗則正是葉綠花繁，陽光穿梭流動，一片自然形象的再現。建築立面上的各元素，因而為吾人縈情寄意之所，猶如吾人的空間意識一樣，如空中音，水中月，形有盡而意無窮。內庭立面則以細部的表現為主，細部的組合不只在比例形式上要和諧，更著重於其象徵暗示的作用，要能引起人的暇思與共鳴，構成詩情與畫意的境界。

五、結論

建築空間意識即為人文藝術精神的體現，相較西方大而顯的建築手法，中國傳統建築更著重於精神意志的展現。

在平面上，中國建築以「隱」為手法表現偉大中之平凡。建築群體的設計上以平面的「積量」來達成擴大規模的目的，設計重點在院落組合方式與組織程式，單元之間、內外之間的轉接處理，隱含「無往不復」的無限空間理念。

以空間佈局之結構而言，則展現了「俯仰自得」旋律化節奏化的空間意識。由二元相生的藝術精神及韻律意境形成的三種空間形式—曲折空間、屏障空間、相互參差的空間—使中國傳統建築的空間組合存在一種文學與音樂的特質。

在立面所能表現的是建築物的高低配置、大小組合，由連綿起伏的屋頂輪廓譜出不同的旋律變換就如戲劇的佈景一幕幕地更換，共同烘托一個主題。內庭立面則以細部的表現為主，立面的各元素除了機能、尺寸比例形式和諧外，更著重於其象徵暗示的作用以引起人心的共鳴。

平面的無限、空間的二元旋律、立面的連綿及細部象徵，中國的傳統建築手法使人在移動中，合四維的時間序列，構成中國文化精神——「天人合一」的『道』心之境。

參考文獻

1. 陳曉林譯 Written by Oswald Spengler
，《西方的沒落》，臺北：桂冠，P. 117
2. 陳曉林譯 Written by Oswald Spengler
，《西方的沒落》，臺北：桂冠，P. 131
3. 宋代嚴羽，《滄浪詩話》，中國唐代詩人的詩中境界
4. 李允酥，《華夏意匠》，臺北：龍田，P. 170
5. 成功大學建築研究所 70 級碩士歐陽筠論文《景觀意像與韻律方法之研究》
6. 席德進《臺灣古建築體驗》【藝術家雜誌】第 7 卷第 3 期
7. 唐君毅，《中國文化之精神價值》，臺北：正中，P. 89
8. 謝敏聰，《宮殿之海紫禁城》，世界地理出版社
9. 明代計成，《園冶》

以震動台試驗探討地震對初期混凝土強度之影響

盧俊愷¹、蔡孟豪¹、鄒智瑋²

¹ 屏東科技大學土木工程系教授

² 屏東科技大學土木工程系研究生

摘要

初期混凝土強度尚未發展完成，遭受地震力作用下，可能對混凝土強度造成折損。本文將不同試驗齡期之純混凝土及含鋼筋混凝土試驗試體置於震動台上，分別施加不同地表最大加速度及不同地震延時，進行模擬地震之震動試驗，並與完全未受地震力作用之對照組做比較與分析，以探討地震對初期混凝土強度之影響。本文採用 $\psi 10 \times 20$ cm 圓柱試體，試驗之齡期分別為 1 天、2 天、3 天、4 天及 5 天五種不同齡期，施加之地表最大加速度分別為 0.4 g 及 1.0 g 兩種不同加速度，施加之地震延時分別為 18 秒及 48 秒兩種延時，試體包括混凝土及含鋼筋混凝土兩種。本文試驗結果顯示，混凝土在齡期 3 天以上遭受到地震之侵襲，對其 28 天抗壓強度影響不大。而含鋼筋混凝土則是在齡期 4 天以上，其 28 天抗壓強度才比較不受地震作用之影響。

關鍵字: 地震，初期混凝土，地表最大加速度。

The effects of earthquake on the strength of early-age concrete by using the vibration table

Jun-Kai Lu¹ Meng-Hao Tsai¹ Zhi-Wei Zou²

¹ Professor, Department of Civil Engineering, Pingtung University of Science and Technology

² Graduate student, Department of Civil Engineering, Pingtung University of Science and Technology

Abstract

The early-age concrete might be damaged under the seismic force. In this study, the effects of earthquake on the strength of early-age concrete are discussed. The $\psi 10 \times 20$ cm specimens of early-age concrete are placed with and without reinforced. Then, the specimens are test under the seismic force by using the vibration table. The test specimens in this study are test 1, 2, 3, 4 and 5 days after placed. Two different peak ground acceleration, 0.4g and 1.0g, and two different earthquake duration, 18 seconds and 48 seconds, are used during test. The results of test are compared with normal concrete. And, the effects of seismic force on the strength of early-age concrete are discussed.

Keywords: earthquake, early-age concrete, peak ground acceleration

一、前言

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之碰撞帶上，因弧陸碰撞的結果，造成台灣地區地殼變動激烈，地震頻繁。民國八十八年九二一地震造成約萬餘棟房屋嚴重受損與倒塌，2 千多人死亡、8 千多人受傷及十萬餘人無家可歸，造成不少生命及財產的損失。同時也震出許多工程上之問題，其中之一即為新澆置完之初期混凝土結構物受到地震來襲時的影響。鋼筋混凝土結構物在新澆置完成後短時間內發生地震，此時混凝土之強度尚未達到設計強度，以致鋼筋與混凝土經過地震的震動、搖晃後，可能出現細小縫隙及鋼筋握裹受損等情形，因而降低構件之強度並造成整個構造物承载力遞減，嚴重時可能造成結構物之塌陷，安全堪慮[1,2]。

921 大地震發生當時，在台中地區之公家機關所新澆置的鋼筋混凝土結構物就有 70 幾個工地，民間的私人工程更多。這些工地於地震後都完全停工，結構體的混凝土強度及混凝土與鋼筋間的握裹強度之受損程度未知，政府單位要求工程施工者須提出安全鑑定證明才可繼續施工，可見其急迫性與嚴重性[3]。因此結構物在澆置期間，混凝土尚未達到 28 天的強度時，若發生地震以致造成結構物強度受損而衍生之破壞也引起工程界及學術界的關心與重視[3-8]。本文使用震動台試驗探討新澆置混凝土在不同齡期以及遭受不同地震力作用下，其強度之損害程度。

混凝土是由具有水化膠結性能的水泥，加上「水」後開始進行水化凝固，將堅硬的碎石、石子、砂等固態粒子膠結在一起逐漸產生強度而形成人造石材[9-11]。混凝土強度的成長過程可分為凝結與硬化兩個階段；凝結前混凝土屬於粘滯性流體，具有流動性、可工作性，之後歷經凝結，最終硬化產生強度[12]。凝結中之混凝土逐漸失去其可塑性，在受到震動時，可能導致界面的水化結構產生微裂縫，並延伸至連續鍵結的漿體

內部，造成界面強度的大量損失，使得強度折損[12]。

為了評估地震來襲時對初期之鋼筋混凝土結構物的破壞，本文以震動台試驗探討地震對初期混凝土強度之影響，在 1-5 天齡期、受到不同程度之地震力擾動、在 28 天齡期時進行混凝土圓柱試體之抗壓強度試驗，以探討其強度折損之情形。考慮之變數包括混凝土受震時之齡期及地表最大加速度與地震延時。本文之研究範圍為混凝土與含鋼筋混凝土在不同的早齡期遭受各種地震力作用下，混凝土之強度的折損情形。

二 試驗計畫

本文採用 Quanser 震動台，模擬實際地震力，震動台之尺寸為 45×45 cm，最大承載為 15 kg，最大加速度可到達 2.5 g。

因受震動台載重之限制，故採用直徑 10 cm、高 20 cm 之圓柱試體模，混凝土圓柱試體為 $\psi 10 \times 20$ cm，含鋼筋混凝土圓柱試體則為一支長 18 cm 之 3 號鋼筋插入 $\psi 10 \times 20$ cm 混凝土圓柱試體中心。圓柱試體澆置後，選擇 1、2、3、4 及 5 天 5 個齡期進行試驗。

為模擬實際之地震力，本文蒐集 921 大地震當天 TCU079 及 TCU084 測站之文獻資料[13]，分別採用(0.4 g, 18 秒)、(1.0 g, 18 秒)及(1.0 g, 48 秒)3 種不同之地表最大加速度延時，進行震動試驗。

3 種不同地表最大加速度延時，各取 3 個試體，每一試驗齡期製作 9 個混凝土圓柱試體，共 5 個試驗齡期，另外製作 3 個對照組試體，與受震試體在 28 天後同時進行抗壓強度試驗，故單一次試驗需製作 48 個混凝土圓柱試體。本文試體分為 A 組混凝土圓柱試體與 B 組、C 組不同強度之含鋼筋混凝土圓柱試體。

為了模擬一般工地養護條件，本文將製作完成的試體靜置於室外陰涼處進行養護

，初期 7 天採用澆水養護，使試體經常保持濕潤狀態，當試體達到 7 天養護後，以自然養護於空氣中，且於 28 天後再將試體移置混凝土抗壓試驗機進行抗壓試驗。

表 1 A 組混凝土對照組 28 天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
A0-01	191.35	184.82
A0-02	183.28	
A0-03	179.83	

表 2 A0418 混凝土 28 天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
A0418-D1-01	175.87	178.28
A0418-D1-02	186.03	
A0418-D1-03	172.94	
A0418-D2-01	160.17	176.33
A0418-D2-02	173.53	
A0418-D2-03	195.28	
A0418-D3-01	189.14	193.16
A0418-D3-02	194.53	
A0418-D3-03	195.80	
A0418-D4-01	182.55	191.95
A0418-D4-02	186.78	
A0418-D4-03	206.53	
A0418-D5-01	179.60	183.34
A0418-D5-02	190.10	
A0418-D5-03	180.33	

三 抗壓試驗結果

本文試體編號方式為「加速度歷時-震動齡期-編號號碼」，A 為混凝土試體，B 及 C 為含鋼筋混凝土試體，例如編號 A0418-D1-01 即為混凝土試體受到地震力 0.4 g 歷時 18 秒，震動齡期為第 1 天的第 1 顆試體。

表 3 A1018 混凝土 28 天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
A1018-D1-01	169.62	173.58
A1018-D1-02	179.08	
A1018-D1-03	172.05	
A1018-D2-01	198.28	191.58
A1018-D2-02	170.19	
A1018-D2-03	206.28	
A1018-D3-01	188.19	190.74
A1018-D3-02	188.03	
A1018-D3-03	195.99	
A1018-D4-01	181.44	188.90
A1018-D4-02	204.56	
A1018-D4-03	180.69	
A1018-D5-01	182.67	181.74
A1018-D5-02	180.87	
A1018-D5-03	181.69	

表 4 A1048 混凝土 28 天抗壓強度計算

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
A1048-D1-01	154.03	164.24
A1048-D1-02	174.17	
A1048-D1-03	164.51	
A1048-D2-01	166.73	172.07
A1048-D2-02	171.53	
A1048-D2-03	177.94	
A1048-D3-01	193.05	192.53
A1048-D3-02	193.69	
A1048-D3-03	190.85	
A1048-D4-01	209.10	203.32
A1048-D4-02	202.58	
A1048-D4-03	198.28	
A1048-D5-01	179.51	186.12
A1048-D5-02	187.10	
A1048-D5-03	191.75	

表5 B組含鋼筋混凝土對照組28天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
B0-01	147.53	142.47
B0-02	140.91	
B0-03	138.96	

表6 B0418含鋼筋混凝土28天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
B0418-D1-01	129.12	135.10
B0418-D1-02	136.22	
B0418-D1-03	139.96	
B0418-D2-01	135.84	139.32
B0418-D2-02	146.07	
B0418-D2-03	136.05	
B0418-D3-01	139.94	136.97
B0418-D3-02	132.28	
B0418-D3-03	138.69	
B0418-D4-01	152.85	145.54
B0418-D4-02	144.21	
B0418-D4-03	139.55	
B0418-D5-01	141.21	146.27
B0418-D5-02	146.53	
B0418-D5-03	151.08	

本文模擬5種震動齡期、不同大小地震力震動，在28天後進行抗壓試驗，所得之抗壓強度與對照組之抗壓強度進行比較，並以列表方式計算各平均值，以顯示資料之變化情形。表1為A組混凝土對照組28天抗壓強度，表2~表4為A組混凝土A0418、A1018及A1048之28天抗壓強度，表5為B組含鋼筋混凝土對照組28天抗壓強度，表6~表8為B組含鋼筋混凝土B0418、B1018及B1048之28天抗壓強度，表9為C組含鋼筋混凝土對照組28天抗壓強度，表10~表12為C組含鋼筋混凝土C0418、C1018及C1048之28天抗壓強度。

表7 B1018 含鋼筋混凝土 28 天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
B1018-D1-01	131.64	131.29
B1018-D1-02	136.87	
B1018-D1-03	125.37	
B1018-D2-01	127.96	131.92
B1018-D2-02	128.94	
B1018-D2-03	138.87	
B1018-D3-01	135.37	137.51
B1018-D3-02	129.09	
B1018-D3-03	148.07	
B1018-D4-01	145.41	143.75
B1018-D4-02	141.16	
B1018-D4-03	144.68	
B1018-D5-01	133.57	139.78
B1018-D5-02	145.05	
B1018-D5-03	140.73	

表8 B1048含鋼筋混凝土28天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
B1048-D1-01	115.75	118.97
B1048-D1-02	123.73	
B1048-D1-03	117.43	
B1048-D2-01	102.46	117.60
B1048-D2-02	124.39	
B1048-D2-03	125.96	
B1048-D3-01	120.66	128.11
B1048-D3-02	126.32	
B1048-D3-03	137.35	
B1048-D4-01	138.17	134.23
B1048-D4-02	136.32	
B1048-D4-03	128.21	
B1048-D5-01	149.30	143.84
B1048-D5-02	145.22	
B1048-D5-03	137.01	

表9 C組含鋼筋混凝土對照組28天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
C0-01	182.03	176.75
C0-02	174.14	
C0-03	174.08	

表10 C0418含鋼筋混凝土28天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
C0418-D1-01	161.79	166.05
C0418-D1-02	163.94	
C0418-D1-03	172.43	
C0418-D2-01	175.22	171.14
C0418-D2-02	170.37	
C0418-D2-03	167.82	
C0418-D3-01	172.78	174.85
C0418-D3-02	180.34	
C0418-D3-03	171.43	
C0418-D4-01	182.69	177.05
C0418-D4-02	175.10	
C0418-D4-03	173.36	
C0418-D5-01	182.79	175.49
C0418-D5-02	168.24	
C0418-D5-03	175.44	

本文將實驗組除以對照組以百分比表示，計算其相對抗壓強度及折損率：

$$\text{相對抗壓強度}\% = \frac{\text{實驗組}}{\text{對照組}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{折損率}\% = 100\% - \text{相對抗壓強度}\% \quad (2)$$

折損率為相對抗壓強度小於100%之差距，相對抗壓強度大於100%時，視同無影響。

表11 C1018含鋼筋混凝土28天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
C1018-D1-01	159.22	164.85
C1018-D1-02	164.14	
C1018-D1-03	171.20	
C1018-D2-01	162.49	167.07
C1018-D2-02	169.24	
C1018-D2-03	169.49	
C1018-D3-01	167.55	172.28
C1018-D3-02	175.44	
C1018-D3-03	173.85	
C1018-D4-01	182.94	178.91
C1018-D4-02	183.43	
C1018-D4-03	170.37	
C1018-D5-01	176.58	174.61
C1018-D5-02	172.51	
C1018-D5-03	174.75	

表12 C1048含鋼筋混凝土28天抗壓強度

試體類型編號	28天強度 (kg/cm ²)	平均值 (kg/cm ²)
C1048-D1-01	148.24	153.12
C1048-D1-02	152.03	
C1048-D1-03	159.08	
C1048-D2-01	155.83	157.15
C1048-D2-02	154.28	
C1048-D2-03	161.34	
C1048-D3-01	160.61	172.86
C1048-D3-02	183.18	
C1048-D3-03	174.79	
C1048-D4-01	179.98	171.55
C1048-D4-02	168.20	
C1048-D4-03	166.47	
C1048-D5-01	174.28	174.66
C1048-D5-02	175.33	
C1048-D5-03	174.37	

本文並將混凝土及含鋼筋混凝土試體之 28 天相對抗壓強度繪製成圖，以圖形表現出資料之特性。圖 1 為 A 組混凝土試體相對抗壓強度圖，圖 2 為 B 組含鋼筋混凝土試體相對抗壓強度圖，圖 3 為 C 組含鋼筋混凝土試體相對抗壓強度圖。

四 抗壓試驗結果分析討論

(1) 混凝土試體

由圖 1 可看出，A 組混凝土試體在齡期第 1 天受到震動後，其 28 天的抗壓強度折損最為明顯，尤其隨著地表最大加速度跟地震延時之增加，強度折損也越多。至於第 2 天受到震動後，其 28 天的抗壓強度折損率較小，表示齡期 2 天以上的混凝土受到地震作用的影響不大。而在齡期第 3 天以後受到震動之試體，其 28 天抗壓強度並無明顯折損，因為在齡期 3 天時，試體已具有一定的強度，受地震力作用下影響不大。

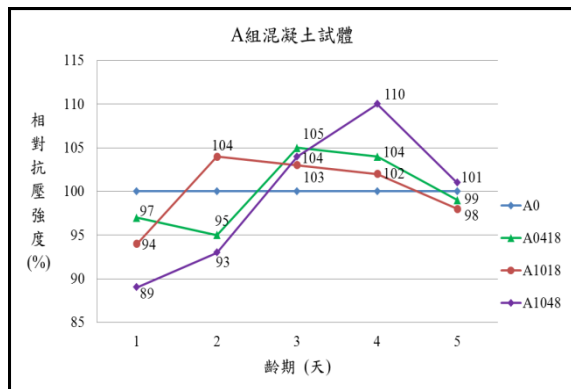


圖 1 A 組混凝土相對抗壓強度

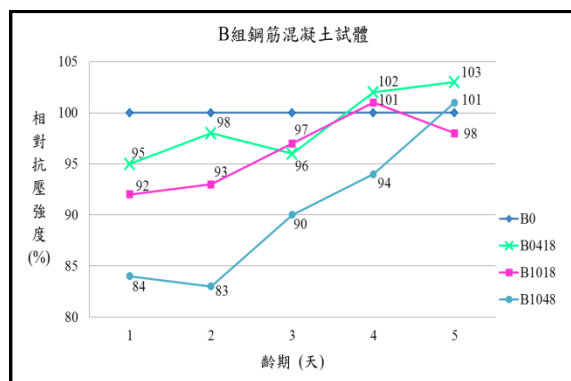


圖 2 B 組含鋼筋混凝土相對抗壓強度

(2) 含鋼筋混凝土試體

由圖 2 可看出，B 組含鋼筋混凝土試體之折損，會隨著震動試驗齡期的增加，其 28 天抗壓強度之折損逐漸減少，尤其在齡期第 1 天時，其 28 天的抗壓強度折損最為明顯，隨著地表最大加速度跟地震延時之增加，強度折損也越多。在齡期第 3 天受到震動之試體，其 28 天抗壓強度折損甚小，但會因為地震延時之增加。至於齡期第 4 天受到震動之試體，因為此時已具有一定強度，其 28 天抗壓強度之折損並不會隨著地表最大加速度的增大而明顯折減，但會因為地震延時之增加。

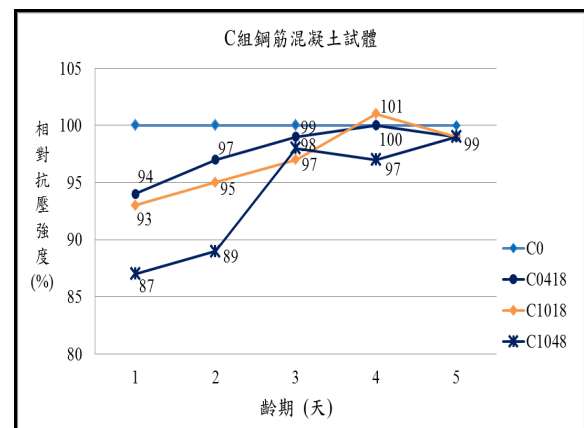


圖 3 C 組含鋼筋混凝土相對抗壓強度

由圖 3 可看出，C 組含鋼筋混凝土試體在齡期第 1 天時，受到震動後其 28 天抗壓強度之折損最為明顯，且隨著地表最大加速度跟地震延時之增加，強度折損也越多，而在齡期第 2 天受震動後，其 28 天抗壓強度雖會折損，但比較於齡期第 1 天之折損率皆有減少，而齡期第 3 天以後所受到震動之試體，其 28 天抗壓強度折損甚小。

整體而言 B 組與 C 組折損趨勢線相似，皆會隨著齡期的增加，其 28 天抗壓強度之折損逐漸減少。

(3) 混凝土與含鋼筋混凝土試體之相對抗壓強度比較

圖 4 到圖 6 為混凝土與含鋼筋混凝土試體相同地表最大加速度、相同地震延時之相對抗壓強度比較圖，由圖中可看出，混凝土試體在齡期 3 天以後，其 28 天抗壓強度無明顯之折損，不太受地震作用之影響。而含鋼筋混凝土若遭受到地表最大加速度大且地震延時長之震動時，要在齡期 4 天以後，其 28 天抗壓強度才比較不受地震作用之影響。

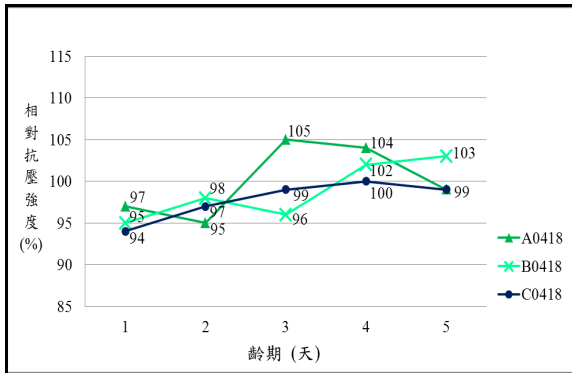


圖 4 A0418、B0418與C0418相對抗壓強度

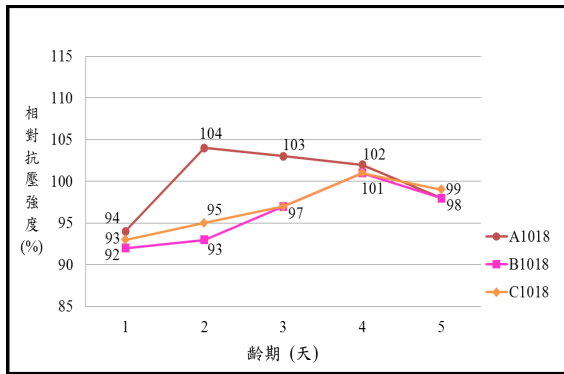


圖 5 A1018、B1018與C1018相對抗壓強度

(4) 小結

綜合以上可知，混凝土試體在齡期 3 天以後，其 28 天抗壓強度無明顯之折損，故不太受地震作用之影響。且在齡期第 1 天時，其 28 天抗壓強度之折損會隨著地表最大加速度之增大而增加，以上結果與文獻 [3, 15-17] 之結果一致。而含鋼筋混凝土若遭受到地表最大加速度大且地震延時長之

震動時，要在齡期 4 天以後，其 28 天抗壓強度才比較不受地震作用之影響。受到相同地表最大加速度作用後，其含鋼筋混凝土試體之 28 天抗壓強度折損比混凝土試體還多，因為其中鋼筋受震動後，使鋼筋與混凝土間界面分離而產生裂隙，導致強度之折損多於混凝土試體。而兩種不同強度之含鋼筋混凝土若在強度成長初期遭受到強烈地震影響時，其 28 天抗壓強度之折損趨勢極為相近，且抗壓強度大者之折損率較小。

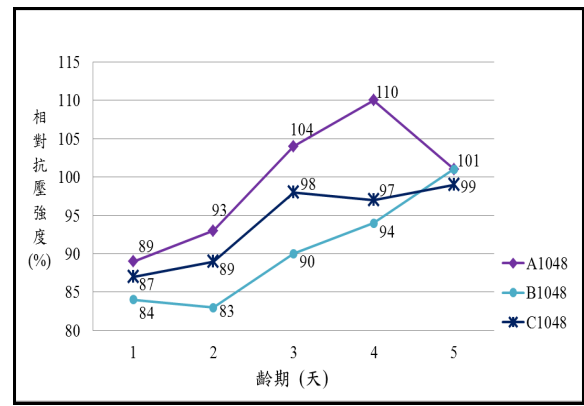


圖 6 A1048、B1048與C1048相對抗壓強度

五 結論

本文以混凝土及含鋼筋混凝土兩種之試體，利用 $\varphi 10 \times 20$ cm 圓柱試體，在初期混凝土強度尚未發展完成時，分別施加不同地表最大加速度及不同地震延時之震動作用，試驗其抗壓強度之變化情形，經分析與討論後可得到下列之結論：

1. 混凝土與含鋼筋混凝土試體在齡期第 1 天若遭受到地震之侵襲，其 28 天之抗壓強度折損最多，且隨著地表最大加速度與地震延時之增加，強度折損也越多。
2. 混凝土與含鋼筋混凝土兩者在齡期第 2 天若遭受到地震之侵襲，其 28 天之抗壓強度雖會折損，但隨著齡期之增加，折損率有逐漸減少之趨勢。
3. 若兩組不同強度含鋼筋混凝土，在強度成長初期同時遭受到震度 7 級地震時，其 28 天的抗壓強度折損趨勢均相近，但強度大

者的折損率則較小。

4. 混凝土在齡期3天以上遭受到地震之侵襲，對其28天抗壓強度影響不大。而含鋼筋混凝土則是在齡期4天以上，其28天抗壓強度才比較不受地震作用之影響。

施之衝擊研討會，國立中興大學，pp. 3-1 - pp.1-3-1-9(1999)。

- 13.交通部中央氣象局，
http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/damage_eq.htm (2014)。

參考文獻

1. 黃奇瑜，「921 集集大地震堪災報告」，國家地震中心(1999 年)。
2. 蕭江碧，「921 集集大地震建築物震害調查初步報告」內政部建築研究所(1999 年)。
3. 蘇人輝，「地震對新澆置鋼筋混凝土力學性質之影響」，國立中興大學土木工程系，博士論文(2004)。
4. 阮智仁，「地震力對新澆置混凝土的影響」，國立台灣大學土木工程系，碩士論文(2001)。
5. 胡志鴻，「地震對新澆置混凝土強度之影響」，國立中興大學土木工程系，碩士論文(2002)。
6. 高銘仁，「地震對新澆置鋼筋混凝土握裹強度之影響」，國立中興大學土木工程系，碩士論文(2003)。
7. 柯小迪，「新澆置鋼筋混凝土基礎版受震動擾動後之強度研究」，朝陽科技大學營建工程研究所，碩士論文(2005)
8. 楊凱翔、施佩茹、王瑞伶、呂亭萱，「地震對新澆置混凝土的影響」，國立屏東科技大學土木工程系，專題研究報告(2012)。
9. 黃兆龍，混凝土性質與行為，詹氏書局出版，臺北(1997)。
10. Metha, P. K. and Monteiro, P. J. M., "Concrete – Microstructure, Properties, and Materials," Third Ed., McGraw-hill Companies Inc.USA(2006).
11. Mindess, S. and Young, J. F. , "Concrete." Prentice Hall, NJ, USA(1981).
12. 顏聰，「地震對新澆置鋼筋混凝土結構與強度之影響」，集集大地震對土木工程設

GFRP 複合材料應用於植生窗框之研究

陳巽煜¹ 李有豐² 彭光輝³

¹ 國立臺北科技大學土木與防災研究所 碩士生

² 國立臺北科技大學土木與防災研究所 教授

³ 國立臺北科技大學建築與都市設計研究所 教授

摘要

本文係利用玻璃纖維強化高分子複合材料(Glass Fiber Reinforced Plastic, GFRP)具備質量輕、強度高、耐腐蝕、耐候性佳以及施工容易等特性，應用 GFRP 構件設計並施作「GFRP 植生窗框」，以取代傳統植生立面結構體所使用之各種金屬材料。本文為瞭解 GFRP 複合材料之力學性質，以確保 GFRP 構件所打造之「GFRP 植生窗框」能提供足夠之荷重承載能力，係進行 GFRP 構件三點抗彎實驗；並藉由原料、運輸至組裝階段之生命週期範圍，針對目前門窗工程廣泛使用之傳統金屬材料-不鏽鋼(SUS304)以及鋁合金(6063-T5)，模擬與「GFRP 植生窗框」相同尺寸之設計，以探討各材料之碳足跡減量效益與生命週期成本分析。利用本文之實驗結果，將 GFRP 複合材料應用於植生壁面綠化系統做為支撐結構材，對發展植生壁面綠化技術有所助益。

關鍵詞：玻璃纖維強化高分子複合材料、植生窗框、碳足跡、生命週期成本

A Study on the GFRP Vegetation Window Frame

Chen, Syun-Yu¹, Li, Yeou-Fong², Peng, Kuang-Hui³

¹Graduate student, Department of Civil Engineering, National Taipei University of Technology

²Professor, Department of Civil Engineering, National Taipei University of Technology

³Professor, Graduate Institute of Architecture and Urban Design, National Taipei University of Technology

Abstract

In this paper, the application of light weight, high strength, anti-corrosion, excellent durability and heat insulation glass fiber reinforced plastic (GFRP) composite members to “GFRP vegetation window frame” is presented. The three-point bending test was used to obtain the mechanical behaviors of the GFRP composite members. From the test results, the GFRP vegetation window frame for vines was designed using the GFRP components. Finally, in order to investigate the carbon footprint and carbon reduction benefits of the GFRP vegetation window frame, carbon footprint comparison was made with that of a similar stainless steel (SUS304) frame and aluminum (6063-T5) before discussing the overall carbon

footprint reduction benefits of the GFRP vegetation window frame. This study focuses on the GFRP materials in making “Green Vegetation Units” in order to overcome the disadvantages of existing Green facades by using steel and aluminum materials, and expected GFRP composite material to be useful on urban buildings.

Keywords: GFRP, Vegetation Window Frame, Carbon Footprint, Life Cycle Cost Analysis

一、前言

近年來由於石油、煤等石化能源的大量消耗，使全球氣候產生「溫室效應」而導致「全球暖化」，造成全球氣候產生異常變遷，自然災害頻率與尺度大幅增加。因此「節能減碳」儼然已成為全球必須共同面對的國際議題。為減少二氧化碳對氣候變遷造成的衝擊，以減緩「全球暖化」現象，世界各國政府無不積極致力於減少二氧化碳排放量，因此環境改善、綠化節能的議題逐漸抬頭並且受到重視，使得城市綠化理念的施行，已成為世界各國視為減少二氧化碳等溫室氣體生成的方向之一。於壁體上施行壁面綠化除了可豐富都市環境內的綠化層次以及增加建築物的美觀效果外，還可達到建築物隔熱降溫以減少能源消耗等效益，將能改善都市的生態環境，以落實節能減碳、環境永續長存之目標。

現今國內尚未對立面綠化訂定出明確的名詞用語，常運用之名詞有綠牆、綠壁、植生牆、綠帷幕、綠幕牆、垂直花園、垂直綠化、立體綠化等。本文為統一名詞用語，故通稱為「植生壁面綠化系統」。

根據彭光輝(2012)針對植生壁面綠化系統的應用技術進行資料研究探討後，最直接相關的項目有三者，包括植物、建築物以及附加設置結構系統，相關項目與影響因素如表 1 所示。

「植生壁面綠化系統」之技術於歐美亞等地已發展了數十年之久，本文就幾則國內外學者對於「植生壁面綠化系統」案例，係依照結構型式設計與組裝材質進行分類與比較之參考文獻，整理如表 2 所示。

表 1 綠化技術相關項目與影響因素表

項目	植物	結構系統	建築物
影響因素	<ul style="list-style-type: none"> ● 種類 ● 栽植方式 ● 維護方式 ● 適用時機 ● 限制條件 	<ul style="list-style-type: none"> ● 直接攀爬 ● 盆狀 ● 網狀 ● 版狀 ● 面狀 	<ul style="list-style-type: none"> ● 建築種類 ● 綠化部位 ● 影響因素 ● 維護方式 ● 災害

表 2 植生壁面綠化系統分類整理表

研究學者	分類項目	主要內容
王銘琪(2009)	1. 植生綠牆系統	成本較高但可快速達到綠覆的效果。
	2. 維護綠帷幕綠牆系統	通常需要幾年時間才能達到全面綠覆的效果，但維護管理成本較低。
	3. 金屬框架嵌入植栽型綠牆系統	依附於原金屬圍牆補強的支撐架構，或以站立之方式，施力於壁體鎖定支點。
尹道鑑(2010)	1. 牆面自然攀爬型	利用具有吸盤附著能力的藤蔓植物沿牆面攀爬。
	2. 獨立支撐架攀爬型	在牆上或牆前安裝攀爬支撐材，利用植物攀附。
	3. 牆面前植栽槽型	利用與牆面一體成型的植栽基礎，以達到綠化。
	4. 無土栽培型	直接將植物安插在毛氈層上，提供植物所需的水份與礦物

		質，沿不織布自然生長。	
Pérez 等人 (2011)	1. 傳統的自然植生綠牆	利用植物自然攀爬於牆體上以達到綠化。	
	2. 雙層	模組化網格	利用金屬材料所組成的不同造型，安裝在建築物的牆壁或獨立結構，成為植物生長攀附用。
		線狀網格狀	

另外，陳佳榮(2010)依據壁面綠化系統支撐架，調查較具代表性之國內 17 項、國外 11 項案例，其「支撐層」所使用的材料；發現國內以熱浸鍍鋅鐵材佔總數達 41 % 的比例最多。而防鏽塗裝鐵材佔總數 29 % 的比例為第二；該研究調查的國內案例大多都未達一年，遂發現有 8 個案例，即占總數達 44 % 的支撐層構材已有嚴重鏽蝕與變形產生，且集中在熱浸鍍鋅鐵材與防鏽塗裝鐵材。

綜觀國內外具有採用垂直綠化結構體之「植生壁面綠化系統」中，大多利用金屬材料進行打造，其所面臨的問題，無外乎施工成本過高、後續維護管理不易。另外，除了需注意植物生長分泌的化學物質所造成的侵蝕之外，地處於亞熱帶及熱帶之間具有海島型氣候的臺灣，亦極易受濕熱多雨的氣候型態而發生鏽蝕情形。金屬結構若未定期維護，將因長期受生物腐蝕以及溼暖氣候影響而劣化，易造成公共危險。

有鑒於傳統垂直綠化結構體金屬材料劣化問題，並降低維護成本、提升耐久性，故尋求一更具優勢之材料，以替代垂直綠化結構體之金屬材料，係可由生態、永續與環保等三面向進行探討，以滿足「植生壁面綠化系統」中垂直植生綠化單元之設計需求，如圖 1 所示。

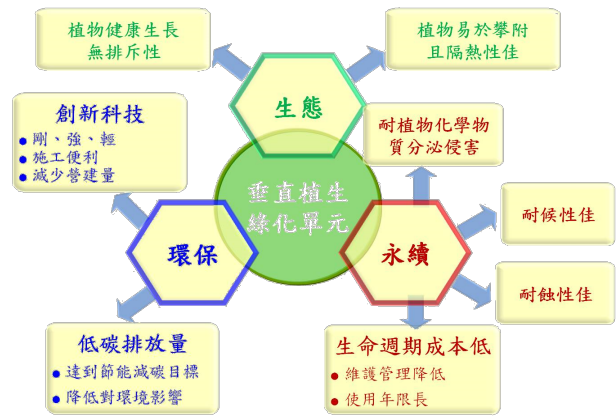


圖 1 垂直植生綠化單元設計需求三面向

圖 2 係為纖維強化高分子複合材料 (Fiber Reinforced Plastic, FRP) 與現行廣泛使用之傳統金屬營建材料之差異比較，於比剛性、比強度、低碳排放量、耐久性以及生命週期成本等評比項目中，FRP 複合材料之性能表現皆優於現行材料，故若能將具有抗酸鹼、抗腐蝕、質量輕、强度高以及產品形式多樣化的 FRP 複合材料應用於「植生壁面綠化系統」，即成了更具優勢之替代性營建材料。

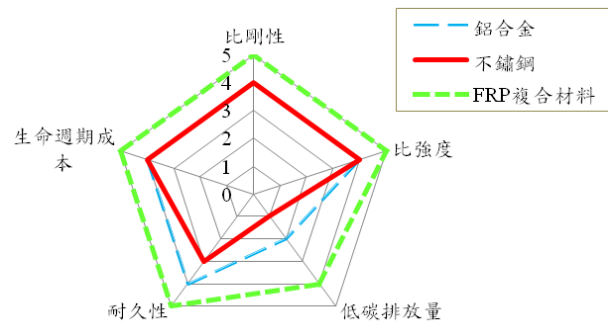


圖 2 各材料性質比較

而為探討生態面向中，FRP 複合材料與植物生長之相容性關係，陳巽煜(2013)針對具吸附性的薜荔與纏繞性的炮仗花進行植物與玻璃纖維強化高分子複合材料 (Glass Fiber Reinforced Plastic, GFRP) 圓棒構件之生物相容性實驗，實驗結果顯示植物對於 GFRP 圓棒構件之攀附不會產生樹脂或纖維等排斥任何影響植物健康之不良現象，而不

同之 GFRP 表面則會產生攀附性能之優劣，以螺紋圓棒構件之攀附性能優於光滑圓棒構件；因此可以得知 GFRP 材料對植物的生長不會產生排斥影響，植物攀爬性以具有螺紋之表面較光滑表面佳。

近年來，隨著環境永續長存之意識抬頭，具有多項優異性能之 FRP 材料明顯地突破了傳統材料的許多限制，進而達到落實節能減碳、環境永續長存之目標。本文研究目的主要有三，如下列所示。

- (一) 運用 GFRP 構件，針對結構物窗戶部位進行植生綠化設計，實際施作出一垂直植生綠化單元-「GFRP 植生窗框」。
- (二) 為瞭解 GFRP 複合材料力學性質及可能的破壞模式，故針對 GFRP 構件進行力學測試，係進行三點抗彎實驗，以確保採 GFRP 構件所打造之「GFRP 植生窗框」能提供足夠之荷重承載能力。
- (三) 為瞭解「GFRP 植生窗框」碳減量效益與成本效益，以目前國內門窗工程廣泛使用之傳統金屬材料-不鏽鋼(SUS304)與鋁合金(6063-T5)，模擬針對「GFRP 植生窗框」進行以上三者碳足跡計算與生命週期成本分析比較。

二、GFRP 複合材料性質簡介

GFRP 複合材料係以兩種以上材料，藉由複合技術所組成。一般來說，主要包含三種基本成分：纖維(Fiber)、基材(Matrix)及纖維-基材之界面(Interface)。根據纖維與基材兩者間的不同配比，可決定 FRP 材料之機械強度、剛性、物理、化學特性與加工性質等，故可依照不同的使用需求搭配適當纖維與基材進行應用，以滿足使用者需求。

(一) GFRP 複合材料性質比較

GFRP 複合材料與主要金屬結構材料之耐蝕性比較如表 3 所示，由表中顯示出許多金屬結構材料長期處於酸、鹼、鹽等嚴苛的環境下，容易發生劣化、鏽蝕等耐久性問題，故應用 GFRP 複合材料構件於「植生壁

面綠化系統」中，係能發揮耐腐蝕性佳、耐久性佳之特性，後續維護費用更遠低於金屬材料結構體，亦可減少對現地環境之破壞。大幅降低結構維護費用並延長使用年限。

表 3 GFRP、不鏽鋼與鋁合金之耐蝕性比較

藥液種類	FRP	不鏽鋼	鋁合金
稀硫酸	○	○	×
濃硫酸	○	○	×
稀鹽酸	○	×	×
濃鹽酸	○	×	×
稀磷酸	○	○	×
濃磷酸	○	○	×
鹽酸化合物	○	×	×

(資料來源：FRP 橋梁-技術とその展望，2004)

而 GFRP 複合材料亦具備輕量化之特性，將材料強度及彈性模數分別除以材料比重，稱為比強度(σ/ρ)及比彈性模數(E/ρ)，與主要金屬結構材料進行比較(如表 4 所示)，可發現 GFRP 複合材料之比強度較傳統金屬材料高 10 倍以上，因 GFRP 之組成材料均為輕質材料，可減輕結構自重，進而減少地震力的影響，除了可減少安裝機具與設備使用，施工較為容易之外，還可縮短建造工期、大幅降低社會成本以增加經濟性。

表 4 GFRP、不鏽鋼與鋁合金之物理性質比較

結構材料種類	比強度 (σ/ρ) (MPa·cm ³ /g)	比彈性係數 (E/ρ) (GPa·cm ³ /g)
不鏽鋼	51	26.4
鋁合金	54.3	25.8
玻璃纖維	500	21.5

(資料來源：FRP 橋梁-技術とその展望，2004)

(二) GFRP 複合材料製程介紹

複合材料成型方法種類繁多，常用且較具代表性的成型方法包括手工塗布積層法、手工噴塗成型法、拉擠成型法等。

而本文係採拉擠成型法所製成之 GFRP 構件進行設計與施作「GFRP 植生窗框」，其

製程是一種利用強化塑膠以連續製造結構異性產品的加工方式，將所需要數目的纖維紗束拉入預浸槽中浸滿樹脂並充分潤濕，經過加熱模，並將樹脂纖維束固定成所需形狀，並進入一加熱之拉擠成型模具中，待樹脂熟化至定型後再行切割可得最終產品。本製程方法的重大優點是產品可在效率高且品質穩定的狀態下進行大量生產，且成品長度可自由控制並且價格便宜，其拉擠成型法加工示意圖如圖 3 所示。

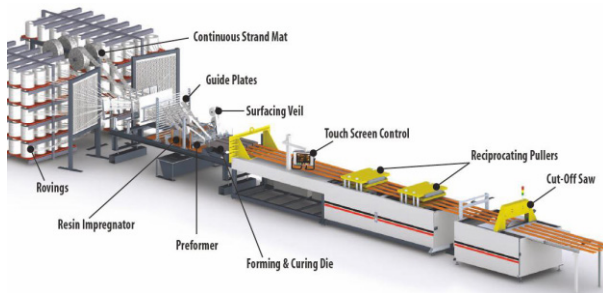


圖 3 拉擠成型法加工過程示意圖
(資料來源：<http://www.strongwell.com/about/the-pultrusion-process/>)

三、 GFRP 植生窗框構件力學測試

本文所施作之「GFRP 植生窗框」係以安放於國立臺北科技大學土木館四樓 408 研究室之鋁窗間進行設計，故需考量安放的現地環境尺寸(如圖 4 所示)，所以採尺寸如表 5 所示之正方管構件作為「GFRP 植生窗框」之主體構件。

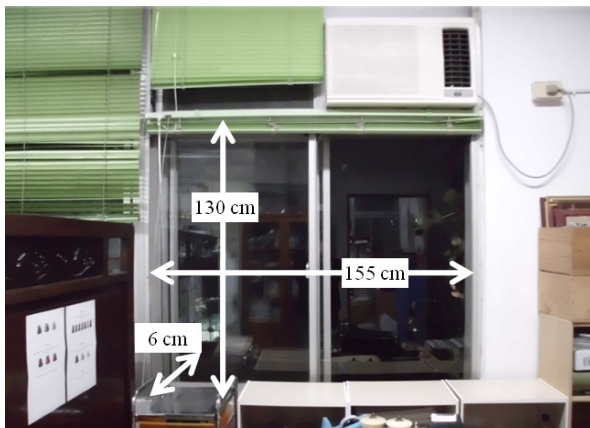


圖 4 放置環境之三維尺寸示意圖

表 5 GFRP 方管構件規格與編號表

型號	斷面圖	規格(cm)	試體
GTI-GSH0016		5.08 × 5.08 × 0.4 × 150 (寬×深×厚×長) 跨度為 140 cm	S1
			S2
			S3

本測試係為確保正方管斷面構件能提供足夠之荷重承載能力，故進行本構件的三點抗彎實驗，採 3 組試體進行實驗，實驗過程如圖 5 所示。

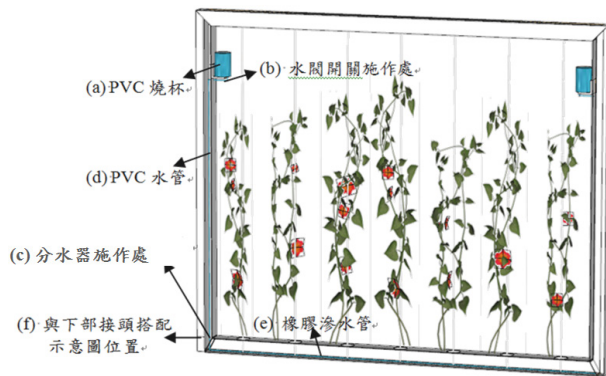


圖 5 GFRP 構件三點抗彎實驗過程圖

透過本文實驗結果可發現，本構件所能承受的實驗平均極限強度(P_{max})為 13.03 kN，經計算實驗平均極限彎矩正向應力(σ_{max})為 420.9 MPa，實驗結果彙整如表 6 所示；其強度已高於我國鋁門窗產業所需符合 CNS 2257 H3027 之 6063 鋁合金鑄錠而擠成 6063-T5 鋁合金擠型所要求之抗拉強度(150 MPa)，可確保 GFRP 植生窗框在承受外力所引起之撓曲時不致因彎矩正向應力而產生破壞。

表 6 GTI-GSH0016 正方管構件實驗結果

試體編號	實驗極限強度 P_{max} (kN)	實驗極限彎矩 M_{max} (kN-cm)	實驗極限彎矩正向應力 σ_{max} (MPa)
S1	11.52	403.30	372
S2	13.98	489.45	451.5
S3	13.60	476.06	439.2
平均值	13.03	456.27	420.9



(g) 滲水管澆灌系統示意圖

圖 9 滲水管澆灌系統各材料項目與示意圖



圖 11 GFRP 植生窗框施作完成圖

(三) GFRP 植生窗框上色與組裝

本文係採天然礦物塗料對「GFRP 植生窗框」進行塗布。而栽種介質係運用不織布包裹有機土、蛭石等所組成之混合型人工輕質土壤包。為考量人工輕質土壤包、滲水管澆灌系統皆施作於 GFRP 植生窗框之底部 GFRP 正方管構件，且亦為植物栽種處。為便於日後整理，遂對於此處之接合方式採下部接頭嵌入正方管構件中，而本窗框之上部接頭採行塗布 Epoxy 進行接合，上部接頭接合施作與 GFRP 植生窗框完成圖如圖 10 與圖 11 所示。

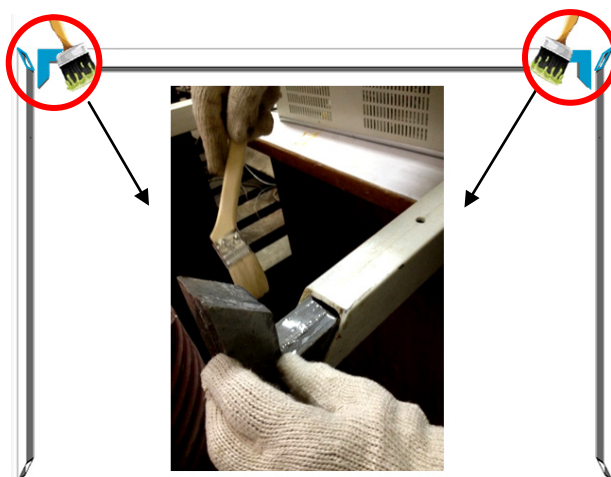


圖 10 上部接頭塗布 Epoxy 進行接合

五、 GFRP 植生窗框實際效益分析

為瞭解「GFRP 植生窗框」碳足跡與碳減量效益，係利用「生命週期」的概念進行計算「GFRP 植生窗框」碳足跡、生命週期成本，並以不鏽鋼材(SUS304)與鋁合金(6063-T5)材料模擬針對「GFRP 植生窗框」之整體碳足跡減量效益與生命週期成本分析進行探討。

(一) GFRP 植生窗框碳足跡與減碳效益

「GFRP 植生窗框」碳足跡計算，係依據 2010 年由我國行政院環境保護署所頒布之「產品與服務碳足跡計算指引」，按其計算步驟，針對原料、運輸與組裝階段進行碳盤查與碳足跡計算，GFRP 植生窗框評估流程如圖 12 所示。

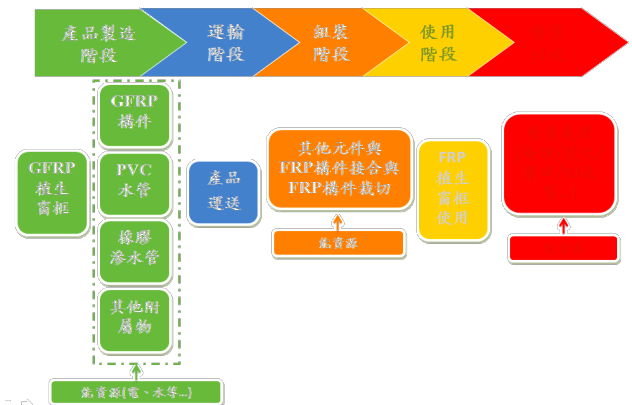


圖 12 「GFRP 植生窗框」評估流程圖

為探討 GFRP 植生窗框之碳足跡與碳減量效益，本文針對目前門窗工程廣泛使用之傳統金屬材料—不鏽鋼(SUS304)以及鋁合金(6063-T5)進行模擬設計如表 7 所示。

表 7 各材質植生窗框基本假設評估比較表

項目	GFRP		不鏽鋼材 (SUS304)	鋁合金 (6063-T5)
型式	單窗框設計			
三維尺寸(cm)	140 × 125 × 5.08 (寬 × 高 × 厚)			
材料密度 (g/cm ²)	玻璃纖維	環氧樹脂	不鏽鋼材 (SUS304)	鋁合金 (6063-T5)
	2.2	1.2	7.93	2.71
窗框重量(kg)	8.5		35.8	12.1
碳排放係數 (kgCO ₂ eq/kg)	玻璃纖維	環氧樹脂	不鏽鋼材 (SUS304)	鋁合金 (6063-T5)
	2.63	6.72	6.15	8.24
材料運輸距離 (km)	GFRP		不鏽鋼材 (SUS304)	鋁合金 (6063-T5)
	61.4 (桃園縣楊梅市金財興至國立臺北科技大學)		49.5 (桃園縣觀音鄉東和鋼鐵企業桃園廠至國立臺北科技大學)	33.4 (新北市鶯歌區新屋力懋鋁業至國立臺北科技大學)

GFRP 植生窗框與其他兩者材料之碳減量效益計算方式，說明如下列式(1)所示。

$$\text{減碳效益} = \frac{\text{傳統材料碳排放量} - \text{GFRP材料碳排放量}}{\text{傳統材料碳排放量}} \quad (1)$$

考慮整個 GFRP 植生窗框從原料製造、運輸至組裝階段，使用 GFRP 構件可較不鏽鋼減少 86 % 總碳排放量，較鋁合金減少 68 % 總碳排放量。減碳效益分析如表 8 所示，各材料窗框碳足跡比例長條圖如圖 13 所示。

表 8 各材料植生窗框減碳效益分析表

項目	GFRP	不鏽鋼 (SUS304)	減碳效益	鋁合金 (6063-T5)	減碳效益
原料	31.13	218.52	86 %	100.01	69 %
運輸	0.17	0.59	70 %	0.13	無
組裝	0.69	6.14	89 %	0.69	-
總計	32.00	227.18	86 %	100.83	68 %

單位:二氧化碳公斤當量(kgCO₂eq)

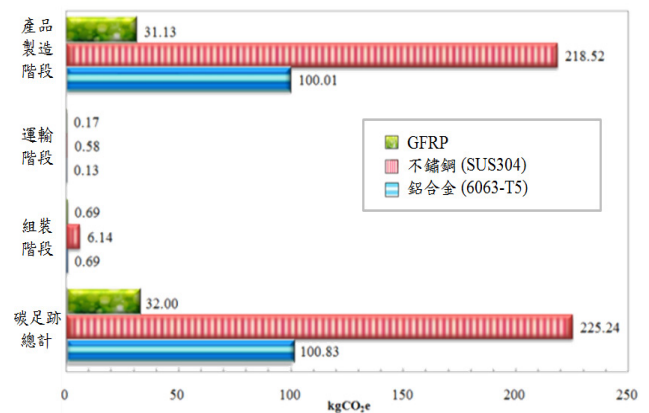


圖 13 各材料窗框碳足跡比例圖

而根據我國行政院農業委員會林務局的研究資料顯示，地球上每多 1 棵樹，一年約可以減少 12 公斤的二氧化碳排放量。故若以 GFRP 複合材料打造植生窗框，相較於以不鏽鋼材料打造而言，一年可減少近 195 公斤之二氧化碳排放量，相當於一年多種植了 16 棵樹；相較於以鋁合金材料打造而言，一年可減少近 68 公斤之二氧化碳排放量，相當於一年多種植了 6 棵樹。

(二) GFRP 植生窗框生命週期成本分析

本文分析方式係建立一成本分析架構，僅針對可量化成本之初始興建成本以及預防性定期維護成本進行計算。為保持成本分析之精確性，將分析生命週期年期定為 50 年進行分析。本文分析考量因子如表 9 所示。

表 9 生命週期成本分析考量因子

分析因子	內容
分析年期	50 年
市場價格	新北市金屬門窗商業同業公會、雲霖企業股份有限公司、晟鈺工程企業公司進行市場價格訪談
其他	不考慮拆除成本、回收成本與折現率
公式	生命週期成本 = 初始成本 + 定期維護成本

生命週期分析彙整如表 10 所示，由分析結果可知，若以初始興建成本而言，不鏽鋼材之初始價格最高，雖然鋁合金窗框初始成本較 GFRP 窗框價格低，但若以 50 年生命週期分析可知，GFRP 係因具備耐蝕性佳、耐候性佳等特性，對於做為植生綠化系統的結構支撐材而言，其預防性定期維護成本項目僅需考慮「GFRP 植生窗框」於外觀上之美觀，於構件表層塗布天然礦物塗料即可，可大幅降低後期的維護成本，並減少因維護作業對植栽所造成的環境影響，克服了傳統金屬材料耐候、耐蝕性不佳的問題。

以 50 年之生命週期成本而言，不鏽鋼為 GFRP 的 6.4 倍，鋁合金為 GFRP 的 5.7 倍，針對 50 年定期維護成本與生命週期成本以長條圖來做比較，如圖 14 所示。

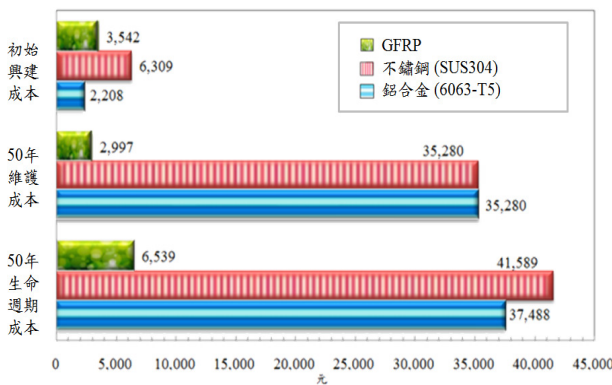


圖 14 各材料窗框生命週期成本比較長條圖

表 10 各材料植生窗框生命週期成本分析表

類別		GFRP	不鏽鋼 (SUS304)	鋁合金 (6063-T5)
初始成本	構件材料成本	GFRP 正方管構件 2,226 元	1. 不鏽鋼方管構件 4,505 元 2. 不鏽鋼空心圓管 504 元	1. 鋁合金窗材 1,355 元 2. 鎖固螺栓 50 元
		GFRP 螺桿 462 元		
		GFRP 平版 474 元		
		Epoxy 47 元		
預防性定期維護成本	塗料 / 加工費	塗料費: 333 元	1. 不鏽鋼焊接: 1,000 元 2. 電鍍防鏽: 300 元	1. 螺栓鎖固: 500 元 2. 烤漆: 303 元
	合計 (A)	3,542 元	6,309 元	2,208 元
	清潔維護項目	KEIM 礦物塗料每次塗布約 0.3 公升 (1,000 元 / 1 公升)	不鏽鋼保養油每次塗布約 0.3 公升 (1,200 元 / 1 公升)	中性清潔劑每次塗布約 0.3 公升 (1,200 元 / 1 公升)
50年生命週期總成本 (A+B)	50年維護次數	9 次 (1 次 / 5 年)	98 次 (2 次 / 1 年)	98 次 (2 次 / 1 年)
	50年維護成本合計 (B)	2,997 元	35,280 元	35,280 元
50年生命週期總成本 (A+B)		6,539 元	41,589 元	37,488 元

註:保養項目與維護費用採行市場價格訪談

六、結論

依據上述之研究成果，結論可歸納如下：

1. 本文進行施作「GFRP 植生窗框」的 GFRP 構件之三點抗彎實驗可發現，本構件所能承受的平均極限彎矩正向應力 (σ_{max}) 為 420 MPa，其強度已高於我國鋁門窗產業所需符合 CNS 2257 H3027 之 6063 鋁合金鑄錠而擠成 6063-T5 鋁合金擠型所要求之抗拉強度(150 MPa)，可確保「GFRP 植生窗框」在承受外力所引起之撓曲時不致因彎矩正向應力而產生破壞。
2. 本文所設計施作之「GFRP 植生窗框」，其設計理念為單窗框設計，搭配滲水管手動開關澆灌系統，可長時間供水以達到有效率之低維護管理，植栽亦可進行營養液之注入；其模組化之方式進行施作，能展現出 FRP 材料剪裁容易以及施工簡易等特質，係可達到大量生產以利推廣，並可降低成本以增加經濟性。
3. 本文透過碳足跡與生命週期成本分析可發現，「GFRP 植生窗框」其實際效益皆明顯高於目前植生綠化結構體所廣泛使用之金屬材料，顯現出 FRP 材料高經濟性與低碳排放量之特性。故以生命週期之觀點看待，是極具優良環保性質之材料，能夠真正落實節能減碳、達到環境永續長存之目標，對於拓展植生綠化壁面工程，具有發展潛力。

誌謝

本文係國科會計畫低碳優質生活:植生綠化科技應用於永續綠建築之研究 (NSC 101-2627-E-027-002-MY3)部分研究成果，作者們感謝行政院國家科學委員會的經費補助。

七、參考文獻

1. BSI, PAS 2050-Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services, British Standards Institute, London (2011).
2. Hammond, G. and Jones, C., Inventory of Carbon and Energy (ICE) Version 1.6a, University of Bath, Bath (2008).
3. Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M. and Cabeza, L. F., "Green Vertical Systems for Buildings as Passive Systems for Energy Savings Applied," Energy, Vol. 88, No. 12, pp. 4854-4859 (2011).
4. 日本土木學會構造工委員會 FRP 橋梁研究小委員會，FRP 橋梁-技術とその展望，社團法人土木學會，日本 (2004)。
5. 毛治國、陳添宇，「生命週期工程規劃管理之概念」，行政院研究發展考核委員會雙月刊，第三十五卷，第三期，第 106-107 頁 (2011)。
6. 尹道鏞，「臺北科技大學設計學院大樓西向壁面綠化設計」，碩士論文，國立臺北科技大學建築與都市設計研究所，臺北 (2010)。
7. 王銘琪，「立面綠化植生綠牆之發展淺介」，綠屋頂及綠牆交流討論推廣會，臺北 (2009)。
8. 行政院環保署，產品與服務碳足跡計算指引，行政院環保署，臺北 (2010)。
9. 李有豐，FRP 複合材料於土木與建築工程之應用，台灣區複合材料工業同業公會，臺北 (2012)。
10. 彭光輝，「綠建築垂直植生綠化應用於都市整建維護」，臺灣環境與土地法學雜誌，第一卷，第四期，第 1-12 頁 (2012)。
11. 陳屏甫，「國道預力混凝土橋與鋼橋生命週期成本評估個案之研究」，碩士論文，國立中央大學營管管理研究所，桃園 (2005)。
12. 陳佳榮，「建築物壁面綠化構法之研究以支撐架系統為例」，碩士論文，國立成功大學建築研究所，臺南 (2010)。
13. 陳巽煜，「GFRP 複合材料應用於垂直植生綠化單元之研究」，碩士論文，國立臺北科技大學土木與防災研究所，臺北 (2013)。

14. 張又升，「建築物生命週期二氧化碳減量評估」，博士論文，國立成功大學建築研究所，臺南 (2002)。
15. 魏佩如，「產品碳足跡計算不確定性分析之研究」，碩士論文，國立臺北科技大學環境工程與管理災研究所，臺北 (2010)。
16. <http://www.bsigroup.com/en/Standards-and-Publications/Industry-Sectors/Energy/PAS-2050/>
17. <http://www.carbontrust.com/>
18. <http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm>
19. <http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLConcept/FLFootLifeCycle.aspx>
20. <http://www.strongwell.com/about/the-pultrusion-process/>
21. http://www.rebar.com.tw/professional/index.php?action=share_detail&share_id=2
22. <http://www.forest.gov.tw/ct.asp?xItem=59104&ctNode=2577&mp=41>

國土規劃下推動智慧城市策略之研究

黃冠華

國立政治大學地政學系 博士生

摘要

目前智慧城市建設已經成都市運用資訊技術為基礎，整合建築、運輸、公共設施等系統，規劃與管理城市各種活動的重要選擇。而智慧城市主義為達到創造適宜的都市生活目的，必須建構一套有系統的智慧化策略。本文彙整智慧城市定義與主要內容，然後從 Benninger 的智慧都市主義之十項原則：環境永續性，歷史遺產保存，適當的科技技術，社會交際網絡，效率，人性化，創造機會、區域整合、整合交通運輸、制度完整性理論，建構國家空間規劃下推動智慧城市的指標，提供未來檢視智慧城市政策及擬定城市發展課題之解決對策的參考。

關鍵詞：智慧城市、策略、智慧都市主義

A Study on promotion Strategies and Framework of Smart City in the National Spatial Planning

Kuan-Hua Huang

Department of Land Economics, National Chengchi University

Doctoral Candidate

Abstract

At present, the construction of smart city has become the important choice of urban innovation and development in urban planning. In addition, intelligent urbanism that wants to achieve a convivial purpose must offer institutional choices to support a life of action and technologies that serve individuals themselves. This paper summarizes the definition and main content of the smart city, then from Benninger's Principles of Intelligent Urbanism (PIU) theory of environmental sustainability, appropriate technology, heritage conservation, infrastructure efficiency, social access, place making, transit oriented development, regional integration, institutional integrity, human scale, constructs a set of strategies and framework of smart city in the national spatial planning, with the characteristics of objectivity, clear orientation and justifiability, to provide a useful reference for the convivial and rapid development of smart cities.

Keywords: Smart city, Strategies, Intelligent Urbanism

一、前言

隨著全球經濟快速發展，人口高度集中於都市，據統計 1900 年全球城市人口僅 13%，但到了 2050 年，將有 70% 人口住在城市；每年地球會增加 7 個紐約市，未來 20 年將產生 500 個新城市，足見城市的地位愈形重要，但也衍生能源、水資源、交通、防災、治安、衛生、教育、醫療等問題 (IBM, 2015)，這些都市問題促使城市借助資訊技術的進步更智能地追求規劃、設計、金融、建築、治理、基礎設施營運和服務的新觀察與分析，因此智慧城市的理論與思想於 1998 年 Bollier「How Smart Growth Can Stop Sprawl」著作中，倡導應該秉棄舊的觀點，對城市規劃採用新的政策，這種新主張在 20 世紀 90 年代末被美國的波特蘭市實踐。從 2005 年以來，「智慧城市(Smart City)」一詞被全球大的資訊技術公司 (Siemens, 2004; Cisco, 2005; IBM, 2009) 等廣泛應用，構建複雜的信息系統，整合城市的建築、運輸、公共設施等系統，逐漸演化成以技術為基礎的城市規劃、發展與管理的創新活動。

過去文獻多著重於論述智慧城市發展背景、定義、與評比各國城市智慧化程度等文獻，少有以理論基礎建構明確、可操作的智慧城市評估指標體系與策略，另一方面，我國各地方政府也將智慧城市作為重要的施政計畫，但中央部會無明確的發展策略指導與協助地方之資源系統，因此，本研究認為我國積極邁向智慧城市的同時，應配合建立一套衡量客觀的評估指標架構，以利國土規劃下之智慧城市策略得以實踐，並可衡量都市智慧化程度，作為中央制定智慧國土政策與資源挹注地方建設智慧城市的參考。

二、智慧城市

(一)定義

智慧城市內涵定義多元，從資訊技術層面切入，即充分利用新型資通訊軟硬體科技工具，使城市營運效率極大化，耗能極小化。將民生、行政服務、工商業營運、能源使用等各種活動，以及城市內外環境資源有效整合(資策會 MIC, 2012)。主要包括運用技術提高城市的公共基礎設施，如交通運輸和公用事業，以及私人住宅和工作環境。例如都市為永續發展，運用資訊技術於都市系統中，以建構可再生能源循環利用和碳均衡的運輸系統(Girardet, 1999)。李嘉華(2012)以歐洲智慧城市計畫探討我國智慧城市發展方向，除須注重 ICT 應用領域外，廣義闡述城市的創新能量更是提升都市競爭力主要因素之一。他認為台北市發展智慧城市的同時，也須強化產業創新能量，提昇國際能度，朝國際型智慧城市發展。因此，本研究彙整狹義與廣義的智慧城市內涵如表 1。

表1 智慧城市定義彙整表

型式	定義	文獻來源
狹義	一個城市控制與集成各基礎設施，例如道路、橋樑、隧道、鐵路/地鐵、機場、港口、通訊、水、電等資源，使資源優化與安全受到保護，並提供市民最大的服務。	Hall, 2000
	一個智慧的城市或區域是透過資訊與通訊技術(ICT)，創造城市進步的機會。	Odendaal, 2003
	利用 ICT 技術作為主要的基礎設施服務都市，其中包含都市管理、教育、醫療、公共安全、房地產、交通運輸和公用事業等更智能(intelligent)、相互連繫與效率。	Washburn and Sindhu (2009)
	在智慧城市中，透過網路聯繫各單元，其技術與資料庫可不斷更新收集，並運用資料分析城市數據與優化營運效率，追求城市競爭力與永續發展；此外資訊整	Copenhagen Cleantech Cluster (2012)

	合、分享與傳遞溝通，以解決複雜的都市問題。	
	智慧城市是綜合知識溝通品質與社會的綜合硬體設施。	Batty et al., 2012
	城市視為一個整合型系統，其有數位神經系統，智能的回應能力，與可優化各層面的系統。	MIT (2013)
	運用網路管理一個城市，並基於高效能的固定與機動式的 ICT 技術設施提供市民服務。	Lee et al., 2013
廣 義	智慧城市在於投資人類與社會資本，運用傳統與現代的通訊設施，及智慧的天然資源管理、參與式治理，促進永續的經濟發展、高品質生活。	Caragliu, Del Bo and Nijkamp (2009)
	智慧城市就是信息通訊技術加強言論的自由與親近度，以公開資訊的服務。	Anthopoulos and Fitsilis (2010)
	智慧城市策略需要以創新的方式與利益相關者互動、管理資源、並於城市中的交通、公共安全、能源、教育、醫療等方面提供服務。	Nam and Pardo (2011)
	任何智慧城市的發展模式，必須關注於培養機靈的(Smartness)公民與社區，和創造以人為本的生活品質，而同時這過程中也會有歧異、衝突發生。	Haque (2012)
	智慧城市結合各種技術以減少環境影響和提供市民更好的生活品質。這不單是技術的挑戰，對於政府、創新提供者、學者、民間社會等組織都是至關重要的。	Smart Cities and Communities (2013)

綜上文獻回顧，本研究定義智慧城市為：「運用 ICT 技術工具，使都市經濟、交通、環境等面向朝永續發展，最終目的仍在於市民能享受良好的城市生活」。城市本身為一個生態系統，在城市中的人、物質、交通、能源、商業、通信等構成的諸多子系統，借助資訊技術，透過人性化、智能化、普及化的方式，將城市中各子系統普遍連繫、相互促進、彼此影響的生態圈(許晶華,2012)，因此，建立智慧城市之同時，對於環境敏感地等監測，提升公民智慧素質、政府治理效能

及資源有效利用，可朝向智慧國土目標發展。

(二)智慧城市評估指標研究綜述

2007 年以維也納理工大學 Rudolf Giffinger 教授為首的研究小組，從智慧人群、智慧經濟、智慧治理、智慧運輸、智慧環境、智慧生活等 6 大層面出發，構建了包含 31 項二級指標、74 項三級指標的歐洲智慧城市評估體系，進而在對指標體系進行標準化轉換與加總後，對 70 個歐洲中等規模智慧城市的發展水平進行評估與排名，最後研究結果表明，瑞典、芬蘭等北歐國家以及荷蘭、比利時、盧森堡、奧地利城市智慧程度較高。由該研究可見，智慧經濟、智慧運輸、智慧環境及智慧生活皆屬於執行智慧城市的結果，智慧市民重點為人力資本素質，及透過智慧治理進行都市發展決策，但該研究之評估指標選取過程，對於城市在制度、社會、文化還有環境面向的評估指標選取尚不全面。

Boyd Cohen(2012)更以此概念建構智慧城市輪盤(Smart City Wheel)，說明智慧城市目標與評估指標的關係，並透過「市民參與創造都市願景」；「制定基準，設定目標，並選擇指標」；「邁向精明發展(Go Lean)」3 關鍵步驟達到智慧城市目標。

IBM 公司於 2009 年 8 月發布「智慧的城市在中國」白皮書，定義智慧城市為能夠充分運用信息和通信技術手段感測、分析、整合城市運行核心系統的各项關鍵信息，從而對於包括民生、環保、公共安全、城市服務、工商業活動等各種需求做出智能的因應，為人類創造更美好的城市生活，故提出智慧城市建設應該基於人(公共安全、醫療教育與生活質量)、商業(商業計畫、對外開放、投資、勞工保障、產品市場等)、運輸

公共交通網路、海運和空運)、通信(電子通訊的基礎架構,如電話、寬頻和無線網路)、水供應與清潔)和能源(生產、運輸體系與廢棄物處理)等 6 大核心系統,並指出這些系統的有效性、高效性和安全性決定一個城市如何運作和實現目標。

國際智慧城市組織(Intelligent Community Forum)作為一個長期關注智慧城市發展的智囊團,以智慧社區建設為核心進行智慧城市的研究,尋求智慧城市的最佳實踐,以期推動城市的永續發展。ICF 主要從寬頻連接、知識型勞動力、創新、數位包融、社區行銷等 5 個方面去評估智慧社區的發展水平,而 ICF 公布的「全球頂尖 7 大智慧社區」得獎名單中,台灣從 2004 年起之臺北市、2012 年台中市、2013 年桃園縣、2014 年新北市與新竹市等城市發展陸續評選為智慧城市。因此,台灣各主要城市也將邁向智慧城市為主要施政目標,因區域條件不同,發展之重點也有所不同,本研究根據近年推動智慧台灣與 5 直轄市政府智慧城市發展彙整與歸納課題。

(三)台灣智慧城市發展概況

1.智慧台灣(Intelligence -Taiwan)

我國在推動發展智慧城市方面,行政院經建會(現改制為國發會)於 2008 年 12 月通過「新世紀第三期國家建設計畫(98-101 年)」,其中國家發展政策主軸之空間再造第五項即為「智慧台灣」。內容包含 6 大發展策略,即寬頻匯流網路路(Wireless Broadband & Convergence Network)、文化創意產業(Cultural and Creative Industries)、優質網路政府(Superior e-Government)、貼心生活應用與產業(Demand-Driven Applications)、公平數位機會

(Opportunity Equivalence)、人才培育(Manpower Cultivation)等,建構無線寬頻與數位匯流網路,發展文化創意產業,運用 ICT 技術整合創新政府服務,打造智慧環境,推動智慧交通相關服務與應用。國發會於 2015 年提出的「網路智慧新臺灣政策白皮書」草案,從基礎環境、透明治理、智慧生活、網路經濟、智慧國土五大構面建構智慧台灣,故綜觀台灣推動整體智慧環境背景來看,從定點的 E 化政府服務、2005 年的行動化的 M-Taiwan,至今的智慧化的 I-Taiwan 服務,從被動透過特定設備、供特定民眾使用,到自動融入一般社會大眾生活中,使民眾可以透過智慧終端設備,隨時隨地享受貼心服務。

2.台北市

台北市政府以臺北市政府資訊局為推動主體,推動主要可分為三個階段,第一階段(1999-2002 年)為「網路新都」計畫,以「多用網路、少用馬路」為核心概念,建構網路市政府,以提供民眾 24 小時全年無休的市政府服務,第二階段(2003-2006 年)則以「數位城市、行動台北」為發展願景,即積極致力於建設公眾無線區域網路及校園無線網路,加強電子化政府之服務以及提升民眾數位生活應用。2006 年及完成全市 90% 人口覆蓋率,全台第一,提供市民與遊客享有最便利的網路生活及線上市政服務。

第三階段改變都市發展策略,以民眾的需求、社區的參與以及政府的效率三個面向為出發點,推出「智慧城

市建設綱要計畫(2007-2014年)」，並以「智慧城市、優質生活」為願景，推動資訊基礎建設、共同性資訊平台、網路化社區、單一服務窗口等70項子計畫，期望透過建設U(Ubiquitous.指無所不在)化的台北市，故台北市發展路徑除持續推行的基礎建設、便民服務優化重點外，並加入政府資料公開計畫及雲端應用，正朝向智慧城市再造目標。

3. 新北市

新北市政府研考會及資訊中心將以3O(開放政府 Open Government、單一政府 One Government、掌上型政府 Government On-Hand)、3T(服務科技 Service Tech.、雲端科技 Cloud Tech.、行動科技 Mobile Tech.)、3I(智慧化政府 I-Government、智慧化城市 I-City、智慧化市民 I-Citizen) 做為智慧城市建構核心，強調朝向開放政府、服務雲端科技及智慧便民服務發展。

新北市利用雲端科技行政流程加以整合，打破區域及機關的限制，讓市民隨時隨地享有便利的公務服務。此外，為了面對並解決市民一再抱怨的老問題，新北市運用巨量資料(big data) 分析市政服務，從大量民意反映的案件中進行態樣、熱點的通案分析，並召集相關局處共同來檢討流程及政策。2012年新北市政府更與IBM合作強調科技安防、打造智慧防衛城，獲選為IBM 2012年全球「智慧城市大挑戰 (Smarter Cities Challenge) 」參與單位，利用E化偵查，彌補警力不足，透過大量資料分析，提昇警政在犯罪偵查、預防上的

效率。

4. 台中市

台中市政府資訊中心發展智慧城市策略強調打造完善的資訊基礎建設，以建構國際城市與推動智慧生活兩大目標，其中以寬頻連結，數位內涵、知識工作力、創新及行銷推廣作為台中智慧城五大指標，在寬頻連接指標方面，藉由與中華電信及威達雲端電訊的合作，投入無線寬頻網路基礎建設、影音多媒體的加值服務、光纖寬頻建置所提供的多種網路服務等，打造了健全的基礎建設與多元的電子化服務；另外四項指標則在寬頻基礎設施的支持下，得以實現具體內涵，如：大學育成中心的人才培育、數位機會中心的縮短數位落差、建構智慧型行車紀錄查詢、工程資料銀行等創新服務，使藉以創造商機。

5. 台南市

2011年起台南市政府研考會提出智慧城市大台南計畫，以在地環境所面臨之各項課題，目標打造台南市成為全球接軌的智慧城市，內容包含推動智慧便捷交通體系、城鄉衛生所社區健康照護智慧加值計畫、智慧觀光旅遊服務計畫、文化產業導覽智慧服務系統、智慧生活社區推廣計畫、智慧城鄉教室、智慧防災監控體系、城鄉社區智慧治安監控系統及三維地理資訊整合計畫。2012年起更推動智慧城市大台南旗艦策略規劃計畫，推動智慧電動車加值應用、智慧電網應用、行動觀光服務系統及農村智慧化行銷相關業務，期盼能解決地方問題，創造地方商機，打造低碳、科技、

智慧的產業城市。

6. 高雄市

高雄市推動智慧城市策略主要以無線城市計畫為主體，接續推動智慧型交通運輸計畫，長期以 GIS 地理資訊進行加值應用，打造安全、健康、生態的智慧城市，未來將持續推動「高雄科學園區」、「大發工業區」及「林園工業區」三大智慧運輸走廊的建置，提昇交通品質及安全(林欽榮，2013)，以及推動城市自行車租賃服務，配合硬體設施改建及資訊加值應用服務措施，塑造大眾運輸為導向之永續城市。2014 年高雄市政府與台灣大哥大合作建構 4G 智慧寬頻應用城市，未來將提供 4G 相關創新應用服務在高雄執行，內容則包含智慧商圈、智慧教育、智慧交通、智慧娛樂、智慧健康等。

透過都市設計方式實踐智慧環境部分，高雄市都市發展局為吸引創新企業廠商投資挹注，提供光纖建築(社區)開發獎勵的優惠措施，新開發建築中能夠配合高雄市政府推動數位建設政策，並引入及建置光纖寬頻網路的建築(社區)，經高雄市都市設計審議會同意後，除原有法定容積率外，可獲得增加容積率之獎勵。因此，政府透過都市設計獎勵的方式，鼓勵智慧建築、智慧社區的營造，並藉由都市公共空間的改造，創造無所不在的智慧化生活環境，創造新的城市美學。

綜合上述，台灣智慧城市推動經驗，皆有不同的發展目標，主要為應用新型資通訊軟、硬體科技工具，就

產業、交通、市民生活等各種活動進行管理與監控，但仍缺乏對於整合各環境資源、以及各部門參與者的協同合作，本研究綜整台灣推動智慧城市之問題：

- (1) 智慧城市串連成為智慧國土新資訊，助益國土空間規劃，但台灣目前尚無智慧國土空間治理策略，以指導各城市智慧化發展。
- (2) 我國除未有具體智慧國土空間發展政策指導與執行規範法制化外，且無評估都市智慧化的方式，以作為協助城市發展資源方配的依據。
- (3) 地方缺乏專責推動智慧城市之機構，智慧城市涉及層面廣泛，需要當地交通局、都市發展局、警察局等部會共同執行；研究發現各地方政府只有資訊部門單一運作，無整合各局處的專責組織。
- (4) 各地方政府發展智慧城市，過於偏重由上而下供給面向的資訊科技技術導向，卻忽略使用者由下而上需求面的參與規劃機制，導致許多民眾與產業無法實際感受寬頻網路建設的便利性，以及對於智慧城市之相關創新服務認知不足。

三、智慧都市主義

當代城市智慧空間規劃趨勢，以大眾運輸導向發展(TOD)的土地利用模式及 New Urbanism 為城市空間規劃為主流，提倡 Compact City 與土地混合使用減少旅次產生，避免城市向外擴張發展，以及推動綠色運具與保障人行空間等概念，未來配合 ICT 技術的服務與應用有效改善整體城市品質與服務。延續前述規劃趨勢，Benninger 2001

年提出的智慧都市主義 (Intelligent Urbanism)，認為適當的技術與打造適宜的都市生活是交疊互補的，並具有一套都市規劃與都市設計的理論原則，且該主義融入參與式規劃，可建立以人為價值的智慧都市基礎的架構。智慧都市主義係由十種原則 (Principles of Intelligent Urbanism) 組成，包含環境永續性 (environmental sustainability)、歷史遺產保存 (heritage conservation)、適當的科技技術 (appropriate technology)、社會交際網絡 (conviviality)、基礎設施效率 (infrastructure efficiency)、人性化 (human scale)、創造機會 (opportunity matrix)、區域整合 (regional integration)、順暢交通運輸 (balanced movement)、制度完整性 (institutional integrity)，目的是協調與管理多樣化的都市問題，故本研究以此多元且全方位的概念，作為建構國土規劃下智慧城市發展策略的理論基礎。

(一) 環境永續性

這原則目的是都市發展與自然環境平衡發展，強調透過環境評估指出環境脆弱區、受威脅的生態系統及棲息地，可透過加強保育、密度控制、土地利用計畫及開放空間設計等方式保護環境，避免過度都市發展，造成森林砍伐、水土流失、地下水枯竭、洪水等災害；另分析與控制建物使用周期的能源消耗，與廢棄物排放。

(二) 歷史遺產保存

從過去人們居住分布、循序的建築計畫、過去生活型態、與符號特徵等歷史發展中尋找傳統的智慧，目的使都市與傳統文化均衡發展，保存古蹟與歷史建築外，也尊重傳統習俗、風格和社區意識，利用地區知識與認知體系 (meaning systems)，整合文化資產，定位與建構都市發展計畫。

(三) 適當的科技技術

適當的技術以小而美 (精巧) 的觀點，強調建築材料、施工工藝、基礎建設和營運管理等技術精進，這些科技須與當地的人口量、地理氣候、地區資源、和資本投資一致；科技進步使都市擴張與服務範圍擴大使人們間資訊互動更透明。

(四) 社會交際網絡

規劃者透過公共場域進行社會互動，這空間可概分為不同的社會層次，從個人 (individual)、朋友間交誼 (friendship)、住戶 (householders)、鄰里 (neighborhood)、社區 (communities)、整個城市 (city domain)，而每一層次於居住結構裡都會有相對應的實質環境空間，透過都市設計於地方制定宜人、和睦 (neighborliness) 的社區與公民生活空間，使社會關係正常運作。

(五) 效率

本原則倡導計畫舒適、安全、可及、效率、衛生的目標，有效的運用能源、時間與財政等資源，避免過度消耗；這鼓勵土地使用以緊密 (Compact)、高密度發展，於每個社區單元中能以較少的成本提供服務予每一個居民，有效分配公共土地、道路、基礎設施、提供公共服務網絡。

(六) 人性化

智慧都市主義提倡行人導向的都市設計模式，於混合使用的街廓內，塑造對人友善的步道，並透過減量的建築量體提供開放空間，或利用騎樓與公園緩衝密集的建築量體與交通量，達到人性尺度規劃。

(七) 創造機會

這原則假設城市作為個人、社會和經濟發展的媒介，透過利用各種組織、服務、設施和信息提供了多種就業、教育和娛樂等活

動機會，使公眾得參與和辯論；並提供寬闊的空間(區、轄區、專用區等)、基礎醫療照護、通訊、飲用水、廢棄物處理與衛生等都市設施，促進經濟投資與交流活動。

(八)區域整合

假想都市作為大環境中的一個社會，經濟和文化地理系統的有機體，都市人口總會蔓延(擴張)到鄰近區域，增加此區域的都市工作、購物、娛樂、健康照護與教育需求，故都市規劃須預測到這都市與周遭區域的融合與密切互動的現象。

(九)整合交通運輸

主張大眾運輸導向的土地使用模式，整合交通系統，包括人行道、自行車道、公車專用道、輕軌、地鐵和渠道運輸，使不同行動運具銜接順暢，串連高密度、人行與混合使用的都市結點。

(十)制度完整性

這原則強調建立完整公民權利與義務的資料庫，以及具透明化、負責任的地方參與治理機制，來實現智慧都市。

Benninger(2002)更以智慧都市主義協助不丹首都 Thimphu 訂定都市綱要計畫，以該智慧城市主義的十項原則，建構出 10 項基本策略與 22 項計畫主題。它明確假設、規範、提供適當的評估計畫與提供替代方案保育自然資源，使都市可以與環境均衡發展。行動計畫指出藉由國家的開放空間系統(National Open Space System)來建立環境改善區域，這開放空間系統與環境改善區域包含步行的人行系統，例如樓梯與天橋。

此外，計畫中強調保存遺產的重要性，例如佛塔、寺廟或傳統的村莊進行保存與維護，也建議運用開放空間、城市走廊、主幹道，連通道路和行人步道等循環路網連通宗

教專用區，使人們可更親近歷史建築，並增加人們對遺產文化的體驗。Thimphu 綱要計畫不像西方的都市規劃指定區域單一的土地使用發展，而考量不丹的生活方式規劃混合使用。計畫經過詳細的日常生活調查分析，劃設超過 20 處特定地區，這些區域提供居民居住、工商交流的場所，並與宗教功能結合，使其生活於緊密(compact)、人行徒步的社區中；這綱要計畫也規劃了社會服務空間與設施，讓居民享有基本的衛生醫療、教育、飲用水、電力與通訊網路。

經由以上文獻與理論回顧分析，歸結出智慧城市的空間朝向「高科技化」、「環境永續」、「人性化」的生活營造，藉由以使用者為中心 (User-centered design) 的設計典範，且讓市民參與規劃過程處理棘手的都市問題，讓人們更能接受智慧城市提供的解決方案。就如 Oscar Wilde(1891)所言：「現在是機器與人競爭，在適當的條件下，機器將為人服務」，而此適當的條件便是把人擺在第一位，創造科技與尊重環境倫理的服務。

四、智慧城市發展策略

本研究以廣義智慧城市角度切入，並結合智慧都市主義(Intelligent Urbanism)理念，歸納智慧都市不是僅強調資訊通信科技促進都市有效率的發展，也注重自然環境保育、文化資產的保存，以及政府、市民等相關權利人間的參與互動式規劃，以形塑更具人性化的都市空間。

因此，本研究採「高科技化資訊基礎建設，增進生活品質與永續發展」為智慧城市發展願景，並借鏡 Rudolf Giffinger 2007 年建構之歐洲城市智慧指標架構與 2014 年歐洲智慧城市計畫，並依據 Intelligent Urbanism 的理論概念，從智慧經濟(Smart

Economy)、智慧市民(Smart People)、智慧治理(Smart Governance)、智慧行動力(Smart Mobility)、智慧環境(Smart Environment)及智慧生活(Smart Living)等 6 大目標，可再結合智慧都市主義規劃原則，訂定目標、標的、準則之智慧城市發展架構，對於城市的制度、社會、文化還有環境面向的評估指標選取更具全面，作為評估都市智慧化(Smartness)，建構智慧城市發展策略之基礎。六大目標概述說明如下：

(一)智慧經濟

透過智慧經濟，指的是電子商務提高生產力與創造力，具有 ICT 的先進製造技術，提供新服務和商業模型，有效的運用能源、時間與財政等資源，避免過度消耗，實現以知識與創新為主的產業。

(二)智慧運輸

透過智慧運輸運用 ICT 技術支援與整合運輸物流系統，例如整合使電車、公共汽車、火車、地鐵、汽車、腳踏車、行人等多個交通模式，使其更安全與永續使用。智慧運輸優先以綠能與非機動車輛為主；此外，相關交通資訊公開，可以節省通勤時間、節約成本與降低二氧化碳排放，以及透過網路管理運輸系統，改善服務品質與提供市民回饋意見管道，使用者提供本身實際通勤時間等資料，有助於未來運輸規劃。

(三)智慧環境

智慧地理環境部分，包含可再生能源與替代能源的使用，以及 ICT 技術保育環境脆弱地區，提供測量、汙染控制和監測、密度控制，使資源利用更有效率。應用於都市服務，例如建物與設施的更新、綠建築、綠色都市計畫、廢棄物管理、水資源系統監控，以減少汙染改善水質。此外，人文環境

部分，保存古蹟與歷史建築外，也尊重傳統習俗、風格和社區意識。

(四)智慧公民

指人們能以 ICT 技術(e-skills)從事工作，且有機會接受教育，於包容與創新的社會進行人力資源管理。這部分可使人與社區可就他們自己需求、使用方式，建立人性化的資料庫，例如透過適當的資料分析工具與控制面板去進行決策和提供服務。

(五)智慧公民

指具 ICT 的生活、行為與消費方式。智慧生活也是健康、安全的生活在一個具包容多元文化與高品質住房的城市裡，且這城市具有高水準的社會凝聚力與社會資本，於人性化的社區與公民生活空間中互動。

(六)智慧治理

指城市內外整合的治理，包含公、私、公民與社區等各組織的整合管理與互動，使城市有機體能有效的運作，這過程主要透過 ICT 技術與資料庫之基礎設施運作來實現。於國家間、國內城市間或城市內部的連結都很重要，故都市規劃須預測到這都市與周遭區域環境的融合與密切互動的現象。此外，公私部門相關利益者一起合作追求智慧城市的目標，其目標包含運用 ICT 技術與 E 化政府(e-government)，使資料庫更透明開放，及共同決策與創造 E 化的服務，例如應用程式的應用(APP)，提供了多種就業、教育和娛樂等活動機會，使公民活動獨立與具智能。智慧治理也可與其他智慧城市特徵進行橫向整合及協調，是建構智慧城市的關鍵(Belissent,2011)，可建立完整公民權利與義務的資料庫，以及具透明化、負責任的地方參與治理機制，來實現智慧都市。

五、結論

智慧城市是空間與資通訊技術結合，以及城市經濟成長的新思維，非單一項長期計畫，而是一套延續性的短期計畫所組成，以循序漸進方式成願景與目標，換句話說，智慧是多元尺度、多樣層面的概念，城市運用資訊技術創造適宜人口居住的城市環境模式，進一步國家可以透過平台管理區域甚至城市的各項發展，邁向智慧國土發展目標。

迄今我國各大型城市也逐步邁向智慧城市為發展目標的階段，也陸續獲得國際肯定，但從歐洲智慧城市計畫及文獻回顧對智慧城市之認知與構成要件來看，臺灣發展多元化應用之智慧城市還有進步的空間，主要在於仍偏重於科技硬體建設，未全面應用於環境、生活、經濟、公民及治理等軟體服務層面，尚無全國、縣(市)等層級的智慧國土發展計畫，有效指導、整合、串連各都市政策與資源，建議從本研究之 Intelligent Urbanism 的理論基礎支持的智慧城市目標，持續發展智慧國土規劃策略，以利用資通訊技術 (ICT) 導入協助城市與鄉鎮發展，以及環境敏感地等監測，以提升政府治理效能及資源有效利用。

參考文獻

1. 李嘉華，2012，『從「歐洲智慧城市」計畫談我國智慧城市之發展方向—以台北市為例』，台灣經濟研究月刊，第 35 卷，第 2 期，頁 106-112。
2. 林欽榮，2013，「智慧城市國際發展趨勢與國內邁向智慧城市發展策略」，國土資訊系統通訊，第 86 期，頁 10-22。
3. 許晶華，(2012)，「我國智慧城市建設的現狀和類型比較研究」，都市觀察，第 4 期，頁 5-18。
4. 財團法人資訊工業策進會，2013，「智慧城市導入參考手冊」初版，洪毓祥總編，台北：資策會。
5. 台北市政府，2012，臺北市政府推動智慧城市建設綱要計畫(2011—2014 年)，台北市政府資訊局。
6. 台南市政府，2011，智慧城市大台南：台南十大旗艦計畫，台南市政府研考會，<http://www.tainan.gov.tw/tainan/search.asp> (2015/3/11)
7. 新北市政府，2012，智慧 ING-新北市智慧城市藍圖，新北市政府研考會。
8. 張忠吉，2012，大台中市智慧城市推動策略與具體措施，台中市政府資訊中心。
9. 行政院，2008，智慧台灣計畫書，行政院國家資訊通信發展推動小組。
10. <http://www.bost.ey.gov.tw/intelligenttaiwan/cp.aspx?n=75C03FED41B0DA99>
11. (2015/3/12)
12. 國家發展委員會，2015，網路智慧新臺灣政策白皮書(草案)，國家發展委員會。
<http://www.ndc.gov.tw/m1.aspx?sNo=0062215#.VQF1F0wVHcw>(2015/3/12)
13. Bollier, D., (1998), How Smart Growth Can Stop Sprawl, Essential Books, Washington, DC.
14. Benninger, C. (2001), "Principles of Intelligent Urbanism," in Ekistics, Volume 69, number 412, p. 39 -65, Athens.
15. Benninger, C. (2002), "Principles of intelligent urbanism: The case of the new Capital Plan for Bhutan" in Ekistics, Volume 69, number 414, p. 60 -80, Athens.
16. Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Ouzounis, G. and Portugali, Y. (2012) 'Smart Cities of the Future', European Physical Journal Special Topics, Vol. 214, No 1.Boyd Cohen,(2012), 'What Exactly Is A Smart City?'
17. <http://www.fastcoexist.com/1680538/what-exactly-is-a-smart-city> (2015/3/13)
18. Caragliu, A., Del Bo, C. and Nijkamp, P. (2009) 'Smart Cities in Europe', Serie Research Memoranda 0048, VU University Amsterdam, Faculty of

- Economics, Business Administration and Econometrics.
19. Copenhagen Cleantech Cluster ,(2012). www.cphcleantech.com/
 20. Hall, R. E. 2000. The vision of a smart city, presented at the second international life extension technology workshop, Paris, France.
 21. Haque, U. (2012) ‘Surely There’s a Smarter Approach to Smart Cities?’, <http://www.wired.co.uk/news/archive/2012-04/17/potential-of-smartercities-beyond-ibm-and-cisco> (2015/2/4).
 22. IBM · 智慧的城市在中國 , <http://www.ibm.com/cn>.(2015/1/18).
 23. Jennifer Belissent,(2011) “WEBINAR: The Core Of A Smart City Must Be Smart Governance”.
 24. <https://www.forrester.com/The+Core+Of+A+Smart+City+Must+Be+Smart+Governance/-/E-WEB7738>(2015/3/7)
 25. Leonidas Anthopoulos, Panos Fitsilis .(2010) ‘From online to ubiquitous cities: The technical transformation of virtual communities’ Next Generation Society. Technological and Legal Issues.360-372. Springer Berlin Heidelberg.
 26. Lee, J.H., Phaal, R., Lee, S.-H., 2013. An integrated service-device-technology roadmap for smart city development. *Technological Forecasting and Social Change* 80, 286–306. MIT (2013) ‘Smart Cities Group’, Cambridge, MA.
 27. <http://smartcities.media.mit.edu/frameset.html> (2015/2/7).
 28. Nam, T. and Pardo, T. A. (2011) ‘Conceptualizing Smart City With Dimensions of Technology, People, and Institutions’, from Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times, ACM New York, NY.
 29. <http://smartcitiescouncil.com/system/files/resources/Conceptualizing%20smart%20city.pdf> (2015/2/7).
 30. Oscar Wilde(1891) ‘The Soul of Man under Socialism’ *The Fortnightly Review* February 1,1891.
 31. <https://www.marxists.org/reference/archive/wilde-oscar/soul-man/>(2015/3/1)
 32. Odendaal, N., 2003. Information and communication technology and local governance: understanding the difference between cities in developed and emerging economies. *Computers, Environment and Urban Systems* 27, 585–607.
 33. Rudolf Giffinger etc. ‘Smart cities-ranking of European medium-sized cities’. Centre of Regional Science, Vienna UT, October 2007.
 34. Smart Cities and Communities (2013) ‘Key Messages for the High-Level Group from the Smart Cities Stakeholder Platform Roadmap Group’.
 35. http://eusmartcities.eu/sites/all/files/Final%20key%20messages%20to%20HLG%20from%20Stakeholder%20Platform_FINAL.pdf (2015/2/7)
 36. European smart cities3.0(2014), <http://www.smart-cities.eu/> (2015/2/7)
 37. Washburn, D., Sindhu, U., 2009. Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives. Growth.

中華建築技術學刊 作者注意事項

本學刊出版建築、土木、結構、大地、水利、環境、營建管理、防災工程及相關應用科學範圍之原創性論文。所收稿件於作者同意書寄達編輯部後，將以雙匿名式送所屬領域之二位以上專家學者審查，按文章之水準向編輯作適當之推薦。

稿件必須合乎下列格式：

1. 文字：所有稿件應以中文或英文撰寫並以文書軟體（如 Microsoft Word）編輯，文中並需附中文及英文摘要。
2. 單位：所有含因次之量須採用 SI 或公制單位。
3. 打字：中文稿件須用文書軟體進行編輯，並以橫式打字，單行間距，版面設定請以 A4 規格為準。英文稿件規格視同中文稿件。
4. 題目與作者：論文題目宜簡明，英文題目應以大寫字體打印。作者姓名列於論文題目之下方，其服務機關及職稱以 1, 2, 3 編號註記在後。論文題目字體為標楷體粗體 18 點，英文題目為 Times New Roman Bold 16pt。
5. 關鍵詞：在題目中須選出中文及英文三至四個關鍵詞，並置於摘要下方。字體為標楷體 12 點與 Times New Roman Bold 12pt。
6. 章節及標題：論文之章節標題須列於稿紙之中央對稱位置，且加編號。小節標題亦加編號但必須從文稿之左緣開始。字體為中文標楷體 12 點粗體，或英文 Times New Roman 12 點粗體字，並靠左對齊。
7. 數學式：所有公式及方程式均須利用數學或方程式軟體編輯，其後標式號於括弧內。為清晰起見，每一式之上下須多空一列。
8. 長度：論文之長度（含圖），英文以不超過 10,000 字，中文以不超過 25,000 字或其相當之長度為準（學刊 10 頁）。
9. 插圖：稿件經通知採用後，如有圖表、照片，作者應提供以電腦軟體製作後的圖表（或其光面照片）或照片電子檔等原件，並將其貼附於 A4 規格白紙上，所有圖表、照片必須附有編號及標題或簡短說明，中文稿圖表標題須為中文，以供審查。圖表之座標說明方式須全篇一致，並沿座標方向橫寫，字數以不超過座標軸長為準。圖中之文字，請統一全為中文或全為英文。
10. 符號：本文內所有符號，須於文內符號第一次出現時加以定義。

11. 參考文獻：所有直接引用的參考文獻須按其在文中出現之先後隨文標註號碼於方括弧內，並依序完整列於本文末。相關格式如下：

參考文獻之寫法須依下列格式：

1. 李釗、郭文田、陳忠元，「添加強塑劑及卜作嵐材料對水泥漿體早期行為之影響」，中國土木水利工程學刊，第十一卷，第五期，第 175-180 頁 (1999)。

Chang, T.P., Lin, S.H., Lin, H.C., and Lin, P.R., "Effects of Various Fineness Moduli of Fine Aggregate on Engineering Properties of High-Performance concrete," Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 24, No. 3, pp. 283-300 (2001).

2. 丁澈士、蘇惠珍，三維地下水模式，五南圖書，臺北，第 77-84 頁 (2004)。

Crow, D.R., Principles and Applications of Electrochemistry, Chapman & Hill, London, pp. 157-165 (1994).

3. 翁在龍、蘇錦江、楊仲家、黃然，「以外加電場試驗法探討電流與氫離子在水泥砂漿中傳輸行為之關係」，兩岸營建環境及永續經營研討會論文集，中華民國建築技術學會，臺北，第 265-288 頁 (2003)。

Tsai, K.C., and Lin, M.L., " Steel and CFRP Jacketing of RC Columns for Improved Seismic Axial Load Performance," Proceedings of the International Conference on Advances in Concrete and Structure, Xuzhou, Jiangsu, China, pp. 650-659 (2003).

4. 紀茂傑，「混凝土耐久性影響因素及評估方法之研究」，博士論文，國立台灣海洋大學河海工程研究所，基隆 (2002)。

Shane, J.D., "Electrical Conductivity and Transport properties of Cement-Based Materials Measured by Impedance Spectroscopy," Ph.D. Dissertation, Department of Materials Science and Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois (2000).

相關投稿資訊請上網查詢 www.nibt.org.tw

投稿信箱: pi@nibt.org.tw

連絡電話：(02)2377-5899

傳 真：(02)2377-5890

連絡人：畢寶玲

至上邊界預留 3.5cm

中文題目 (標楷體 粗體 18 點)

作者 1¹ 作者 2¹ 作者 3² (標楷體 14 點)

¹ 作者學校單位職稱 (標楷體 12 點)

² 作者學校單位職稱 (標楷體 12 點)

摘要

中文摘要部分，附關鍵字於其後 (若以英文發表者請附中文摘要)。中文：標楷體 12 點，英文：Times New Roman 12pt。中文：標楷體 12 點，英文：Times New Roman 12pt。中文：標楷體 12 點，英文：Times New Roman 12pt。中文：標楷體 12 點，英文：Times New Roman 12pt。

關鍵詞： 標楷體 12 點

英文題目 (Times New Roman Bold 16pt)

Author¹, Author¹, Author² (Times new roman 14Pt)

¹ 英文作者學校單位職稱 (Times New Roman 12pt)

² 英文作者學校單位職稱 (Times New Roman 12pt)

Abstract

Times New Roman 12Pt。Times New Roman 12Pt。Times New Roman 12Pt。Times New Roman 12Pt。

Keywords: Times New Roman 12Pt

說明：

1. 中文題目 (標楷體粗體 18 點) 置中對齊。
2. 英文題目 (Times New Roman Bold 16pt) 標題大寫字，置中對齊。
3. 作者 (標楷體 14 點) 置中對齊。
4. 作者學校單位職稱 (標楷體 12 點) 置中對齊。
5. 英文作者學校單位職稱 (Times New Roman 12pt) 置中對齊
6. 中文摘要部分，附關鍵字於其後 (若以英文發表者請附中文摘要)。中文：標楷體 12 點，英文：Times New Roman 12pt。
7. 稿件如經接受，將請作者提供 Microsoft Word 雙欄排版全文磁片與紙本定稿。
8. 圖表等必須列在文中。並儘可能靠近正文中第一次提及時的地方。各圖表請備說明內容，圖的說明應置於圖的下方，而表的說明則應置於表的上方。
9. 本文每小節標題請用中文標楷體 12 點粗體，或英文 Times New Roman 12 點粗體字，並靠左對齊。
10. 本文內容字體中文為標楷體、英文為 Times New Roman，12 點，單行間距。
11. 章節以一..、(一)..、1..、(1)..、a.... 為排序;表、圖以 1.2.3....表序。

至左邊界預留 2.5 公分

至右邊界預留 2 公分

至下邊界預留 2.5cm

參考文獻格式

1. 李釗、郭文田、陳忠元，「添加強塑劑及卜作嵐材料對水泥漿體早期行為之影響」，中國土木水利工程學刊，第十一卷，第五期，第 175-180 頁 (1999)。
Chang, T.P., Lin, S.H., Lin, H.C., and Lin, P.R., "Effects of Various Fineness Moduli of Fine Aggregate on Engineering Properties of High-Performance concrete," Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. 24, No. 3, pp. 283-300 (2001).
2. 丁澈士、蘇惠珍，三維地下水模式，五南圖書，臺北，第 77-84 頁 (2004)。
Crow, D.R., Principles and Applications of Electrochemistry, Chapman & Hill, London, pp. 157-165 (1994).
翁在龍、蘇錦江、楊仲家、黃然，「以外加電場試驗法探討電流與氯離子在水泥砂漿中傳輸行為之關係」，兩岸營建環境及永續經營研討會論文集，中華民國建築技術學會，臺北，第 265-288 頁 (2003)。
Tsai, K.C., and Lin, M.L., "Steel and CFRP Jacketing of RC Columns for Improved Seismic Axial Load Performance," Proceedings of the International Conference on Advances in Concrete and Structure, Xuzhou, Jiangsu, China, pp. 650-659 (2003).
3. 紀茂傑，「混凝土耐久性影響因素及評估方法之研究」，博士論文，國立台灣海洋大學河海工程研究所，基隆 (2002)。
Shane, J.D., "Electrical Conductivity and Transport properties of Cement-Based Materials Measured by Impedance Spectroscopy," Ph.D. Dissertation, Department of materials science and Engineering, Northwestern University, Evanston, Illinois (2000).
4. 張大鵬，「骨材微觀性質對高性能混凝土之影響」，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告 (1997)。
Stanish, K.D., Hooton, R.D., Thomas, M. D. A., "Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete: A Literature Review," FHWA Report, Toronto, Ontario, Canada, pp. 1-33 (1997).

中華建築技術學刊

JOURNAL OF BUILDING AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY

發行人:鄭讚慶

PUBLISHER: C.Z.Z

出版者:社團法人中華民國建築技術學會

PUBLICATION OFFICE:

地址:台北市 110 基隆路二段 189 號 8 樓

National Institute of Building Technology

Address:8F,#189,Sec.2,Keelung.Rd.,

Taipei, Taiwan 110, R.O.C.

電話:(02)2377-5899

Tel: (02) 2377-5899

中華建築技術學刊編輯委員會

EDITORIAL BOARD

地址:台北市基隆路二段 189 號 8 樓

Address:8F,#189,Sec.2,Keelung.Rd.,

Taipei, Taiwan 110, R.O.C.

電話:(02)2377-5899

Tel: (02) 2377-5899

傳真:(02)2377-5890

Fax: (02) 2377-5890

主任委員:黃然

Board Chairman: R. Huang

總編輯:宋永鑾

Editor-in-Chief: Y.L.Sung

副總編輯:卓世偉

Vice Editor-in-Chief: S.W.Cho

編輯委員:

Members of Editorial Board:

王春煌、朱國琴、李中、林大目、

C.H.Wang G.Q. Zhu C. Li D.M Lin

郭汝炘、黃丕陵、詹添全

R.X. QUO P.L.Huang T.Q.Zhan

(依姓氏筆劃排列)

本刊文責由作者自負

定價:新台幣 200 元

ISSN 18148980



9 771814 898008