

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱軸壓行為與圍束效應之數值模擬研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 99-2221-E-009-054-
執行期間：99年08月01日至100年07月31日
執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：翁正強

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：楊維莘
博士班研究生-兼任助理人員：梁景裕

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 100 年 08 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱軸壓行為與 圍束效應之數值模擬研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 99-2221-E-009-054

執行期間：2010年8月1日至2011年7月31日

執行機構及系所：國立交通大學 土木工程系

計畫主持人：翁正強 教授

計畫參與人員：梁景裕、楊維莘

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

- 赴國外出差或研習心得報告
- 赴大陸地區出差或研習心得報告
- 出席國際學術會議心得報告
- 國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

- 涉及專利或智慧財產權， 一年後可公開查詢

中華民國 100 年 8 月 28 日

鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱軸壓行為與 圍束效應之數值模擬研究

目 錄

- 中文摘要
- 英文摘要
- 一、 前言
- 二、 文獻回顧
 - 2.1 美國 ACI 設計規範
 - 2.2 美國 AISC 設計規範
 - 2.3 台灣 SRC 構造設計規範
 - 2.4 強度折減法
- 三、 本研究之 SRC 柱有限元素分析
 - 3.1 大尺寸 SRC 柱試體之數值模擬
 - 3.2 混凝土元素 SOLD65
 - 3.2 鋼骨元素 SOLID45
 - 3.4 鋼筋元素 LINK8
 - 3.5 ANSYS 分析模型之建立
- 四、 ANSYS 分析與 SRC 柱試驗結果之比較
 - 4.1 軸壓力學行為之比較與探討
 - 4.2 鋼骨對混凝土圍束效應之探討
- 五、 本研究建議之 SRC 柱箍筋需求量設計公式
- 六、 結論
- 七、 參考文獻
- 八、 圖表
- 九、 計畫成果自評

鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱軸壓行為與 圍束效應之數值模擬研究

關鍵詞： SRC 柱、軸壓行為、圍束效應、箍筋用量、實驗結果、數值模擬、ANSYS、強度、韌性、設計方法

摘要

近年來許多大尺寸的鋼骨鋼筋混凝土（Steel Reinforced Concrete，SRC）柱之試驗結果證實SRC柱具備優良的強度與耐震能力，且SRC柱中之鋼骨可以對混凝土起到良好的圍束效應，很適合推廣運用於台灣的住宅與高樓建築。

然而，由於SRC柱之設計參數較複雜，若要逐一進行試驗來探討各參數之影響，勢必要耗費龐大的人力、時間及金錢，且由於試驗設備及場地限制，常僅能針對一部份參數進行試驗，而無法作詳細的探討。為了有效運用資源，本研究針對SRC柱之「軸壓行為」與「圍束效應」進行數值模擬分析。根據文獻調查，ANSYS為一功能強大的有限元素軟體，其在鋼結構及RC結構之分析已有良好成果，故本研究乃採用ANSYS作為數值分析之工具。

本研究首先運用ANSYS建立SRC柱之分析模型，並與一系列SRC柱之試驗結果互相比對驗證。特別針對SRC柱之「圍束箍筋需求量」進行深入探討，經由分析證實，SRC柱內之鋼骨翼板能夠對混凝土發揮良好的圍束作用，大約可額外提升20%至33%的混凝土抗壓強度，顯示出SRC柱獨特的優越性。

最後，本研究並發展出一套更合理且更具經濟效益之「SRC柱圍束箍筋需求量」之計算公式，以提供學術界研究與建築工程界實務應用之參考。本研究之成果除了具備學術研究與工程應用價值外，亦將會有助於作為內政部修訂我國「鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範」之重要參考資料。

Numerical Simulation on Mechanical Behavior and Confinement Effect of SRC Columns

C. C. Weng

Professor, Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan

Key Words: SRC Column, Mechanical Behavior, Test Results, Confinement Effect, Transverse Reinforcement, Numerical Simulation, ANSYS, Strength, Ductility, Design Method

ABSTRACT

During the last decade, test results of full-scale steel reinforced concrete (SRC) columns obtained by previous researchers have demonstrated satisfactory performances both in strength and ductility. In addition, a special recognition has been accredited to the superior concrete confinement effect provided by the steel section embedded in the SRC column. However, due to the fact that the laboratory test of full-scale SRC columns is expensive and time consuming, an alternative approach using the numerical simulation technique has become increasingly desirable.

It is the objective of this study to utilize the highly recognized finite element method (FEM) software ANSYS to numerically simulate the mechanical behavior and the confinement effect of the SRC columns. In the first stage, a FEM model simulating the SRC test specimen was generated and analyzed. The numerical results were then compared to the SRC test data to confirm the validity of the FEM model. In the second stage, the parameters related to the design of the SRC columns were investigated using the FEM model generated from the previous stage.

The major parameters investigated in this study included the variations of the material property, the sectional dimension and the shape of the steel section. Also investigated were the axial strength, the ductility and the confinement effect of the steel section. The results of this numerical investigation have provided further insight on the mechanical behavior of the SRC columns. Furthermore, a new design method is proposed for the calculation of the consumption of the transverse reinforcement of the SRC column to account for the superior confinement effect provided by the steel section embedded in the column.

一、前言

鋼骨鋼筋混凝土 (Steel Reinforced Concrete, SRC) 是將鋼骨 (S) 與鋼筋混凝土 (RC) 這兩種構造結合起來，以期兼具兩者之優點，並發揮截長補短之功能。我國內政部於 2004 年公佈的 SRC 構造設計規範[1]主要係參考美國 ACI-318 規範[2]、AISC Seismic Provisions[3] 及日本 AIJ-SRC 規範[4]而訂定。在 SRC 柱之「圍束箍筋需求量」方面，我國 SRC 規範係參考 AISC [3]之規定，主要考慮 SRC 柱內鋼骨分擔軸力之貢獻，作為 SRC 柱箍筋用量折減之依據。不過值得注意的是，AISC 之規定僅考慮「鋼骨用量」之影響，並未考慮「鋼骨翼板寬度變化」對 SRC 柱混凝土圍束效應之影響，因此其合理性有待進一步探討。

關於「鋼骨翼板寬度變化」對 SRC 柱混凝土圍束效應之影響，可由圖 1 (a)與(b)和圖 2(a)與(b)之比較，清楚的看出其差異[5]。圖中顯示兩組具有相同鋼骨用量但是「翼板寬度不同」之 SRC 柱，若依 AISC 公式計算箍筋用量，則這兩組 SRC 柱將得到相同的結果，這種結果並不合理。此外，如圖 3 的兩組 SRC 柱，當鋼骨翼板寬度下降至零時，鋼骨將無法對混凝土提供圍束。因此，由於 AISC 公式對 SRC 柱之箍筋用量計算只考慮到「鋼骨用量」而未考慮「鋼骨翼板寬度變化」之影響，故未能對圖 1 至 3 之情況作出適當反映[5]。由於 SRC 柱中有鋼骨存在，因此其混凝土受圍束之情形有別於傳統 RC 柱。為了考量鋼骨對混凝土圍束之貢獻，可將 SRC 柱中混凝土分為三種區域：一為「高度圍束區」(Highly Confined Area)，即受鋼骨圍束之混凝土；二為「普通圍束區」(Ordinarily Confined Area)，即箍筋內之混凝土但不包含鋼骨包圍之區域；三為「未圍束區」(Unconfined Area)，即箍筋外圍之混凝土[6]。

為了驗證 SRC 柱的鋼骨翼板對混凝土之圍束效果，本研究收集相當數量之大尺寸「SRC 柱軸壓」之試驗結果，包括黃俊銘[7]、蔡克銓[8]、葉士青[9]與林義閔[10]等。前人之試驗結果顯示，SRC 柱中的鋼骨能對 SRC 柱之混凝土提供有效圍束，因此有助於提升 SRC 柱之強度與韌性，並可降低箍筋之用量。然而，由於 SRC 柱之設計參數較複雜，若要逐一進行試驗來探討各參數之影響，勢必耗費龐大的人力、時間及金錢，且由於試驗設備及場地限制，常僅能針對一部份參數進行試驗，而無法作詳細的探討。

因此，為了有效運用資源，本研究乃決定針對 SRC 柱受軸力作用之力學行為進行「數值模擬分析」。根據文獻調查，ANSYS[11]為一功能強大的有限元素軟體，其在鋼結構及 RC 結構之分析已有良好成果，故本研究乃選用 ANSYS 作為數值分析之工具。本研究希望透過數值模擬分析，針對 SRC 柱受軸力作用下之「軸壓強度」與「圍束效應」進行深入探討，以瞭解鋼骨的「圍束效應」對於降低 SRC 柱之箍筋需求量的影響，最後並提出一套新的 SRC 柱「圍束箍筋需求量」之計算公式，以提供學術界與工程界參考。

二、文獻回顧

2.1 美國 ACI 設計規範

ACI-318 設計規範 [2]於第 21 章 21.6.4 節中規定，採用矩形閉合箍筋及繫筋之 RC 柱，其圍束箍筋需求量 (A_{sh}) 不得小於下列二式之規定：

$$A_{sh} = 0.3 sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (1)$$

$$A_{sh} = 0.09 sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \quad (2)$$

其中 s 為箍筋間距； h_c 為受箍筋圍束之柱核心斷面之寬度； f'_c 為混凝土標稱抗壓強度； F_{yh} 為箍筋標稱降伏強度； A_g 為柱構件全斷面積； A_{ch} 為受箍筋圍束部分柱核之斷面積。

2.2 美國 AISC 設計規範

AISC Seismic Provisions [3] 中有關包覆型 SRC 柱之圍束箍筋配置，規定最小圍束箍筋需求量 (A_{sh}) 應依下式計算：

$$A_{sh} = 0.09 sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left(1 - \frac{F_{ys} A_s}{P_n} \right) \quad (3)$$

上式沿用公式 (2) 之基本架構，式中之 $(1 - F_{ys} A_s / P_n)$ 是一個「箍筋需求量折減係數， ϕ_h 」，以反映鋼骨對 SRC 柱軸力分擔的貢獻。其中 F_{yh} 為箍筋標稱降伏強度； F_{ys} 為鋼骨標稱降伏應力； A_s 為鋼骨斷面積； P_n 為柱之軸向標稱強度。

2.3 台灣 SRC 構造設計規範

內政部於 2004 年公佈的 SRC 構造設計規範[1] 主要是參考 AISC Seismic Provisions [3] 之作法，於第九章 9.7.3 節規定採用矩形閉合箍筋之 SRC 柱，其圍束箍筋需求量 (A_{sh}) 不得小於下列二式之要求：

$$A_{sh} = 0.3 sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left[1 - \left(\frac{A_s F_{ys}}{(P_n)_u} \right) \right] \quad (4)$$

$$A_{sh} = 0.09 sh_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left[1 - \left(\frac{A_s F_{ys}}{(P_n)_u} \right) \right] \quad (5)$$

其中 $(P_n)_u$ 為 SRC 柱之軸壓標稱強度，依下式計算：

$$(P_n)_u = A_s F_{ys} + A_{sr} F_{yr} + 0.85 f'_c A_c \quad (6)$$

2.4 強度折減法

由於前述各規範對於 SRC 柱箍筋用量之計算皆僅考慮「鋼骨用量」之影響，而未考慮到「鋼骨翼板寬度」之變化對混凝土圍束效應的影響。在王榮進、翁正強等[12]之研究報告中提出一稱為「強度折減法 (Strength Reduction Approach)」之 SRC 柱圍束箍筋用量設計法，該法主要考慮兩項影響 SRC 柱混凝土圍束狀態之重要因素：(1) 鋼骨分擔 SRC 柱軸力之影響：由於 SRC 柱內之鋼骨可以分擔一部份的柱軸力，使得 SRC 柱中混凝土所需要承擔之軸力相對的降低，故 SRC 柱所需之箍筋用量得以減少；(2) 鋼骨圍束混凝土之影響：由於 SRC 柱內的鋼骨翼板可以對混凝土發揮圍束功能，鋼骨翼板寬度愈寬，愈能夠對 SRC 柱混凝土提供良好的圍束。本報告限於篇幅，更詳細之資料請參閱文獻[12]。

三、本研究之 SRC 柱有限元素分析

本研究運用 ANSYS 有限元素分析軟體針對 SRC 柱之力學行為進行數值模擬分析。分析時採用 SOLID45、LINK8 與 SOLID65 元素來分別模擬 SRC 柱之鋼骨、鋼筋與混凝土。

3.1 大尺寸 SRC 柱試體之數值模擬

本研究模擬之 SRC 柱包括黃俊銘[7]、蔡克銓[8]、葉士青[9]及林義閔[10]之軸壓試驗結果，涵蓋包覆箱型鋼骨、十字型、H 型及 T 型鋼骨之 SRC 柱。SRC 柱試體斷面如圖 4 所示，試體規格如表 1 所示。本報告限於篇幅，試體詳細資料請參閱相關文獻。此外，根據 Bresler[13]研究認為混凝土抗壓強度會因試體尺寸增加而降低，稱為尺寸效應(Size Effect)。因此本研究於分析時參考 Bresler 之建議，將混凝土強度適度修正。例如黃俊銘[7]之 SRC 柱斷面為 600×600 mm，考慮尺寸效應後，分析之混凝土抗壓強度採用 $0.84f'_c$ ；蔡克銓[8]和葉士青[9]之 SRC 柱斷面為 280×280 mm，考慮尺寸效應後，混凝土抗壓強度採用 $0.93f'_c$ ；林義閔[10]之 SRC 柱為 300×300 mm，考慮尺寸效應後，混凝土抗壓強度採用 $0.92f'_c$ 。

3.2 混凝土元素 SOLID65

SOLID65 是 ANSYS 針對混凝土、岩石等抗壓能力遠大於抗拉的材料所開發之元素，可模擬混凝土因受壓產生壓碎和張力產生開裂之行為。本研究採用 Mander 等[14]提出之混凝土材料應力-應變曲線關係，如圖 5 所示。於分析時將 SRC 柱中混凝土分為「未圍束區」、「普通圍束區」及「高度圍束區」來考量。

3.3 鋼骨元素 SOLID45

SOLID45 是用以建立三維實體結構的基本元素，具有 8 個節點，每節點有三個自由度，此元素支援線彈性、塑性等材料非線性模式，以及大變形、大應變等幾何非線性功能。SOLID45 其形狀通常是三維六面體。本研究鋼骨之材料模型採用多線性之彈塑性應力-應變曲線來模擬，如圖 6 所示，彈性模數設定為 $E_s = 2.0 \times 10^5$ MPa，波松比為 0.3。

3.4 鋼筋元素 LINK8

LINK8 為三維連桿元素，每個節點具有 X、Y、Z 三個位移方向的自由度。LINK8 在三維空間中僅可承受單軸張力與壓力之元素而無法承受彎矩。本研究在分析中，由於鋼筋主要承受軸向拉力與壓力，因此選用 LINK8 來模擬鋼筋，其材料模型採用多線性之彈塑性應力-應變曲線，如圖 6 所示。

3.5 ANSYS 分析模型之建立

本研究之 ANSYS 分析模型皆比照 SRC 柱試驗之試體，圖 7 顯示試體 SRC-B1 之模型分割圖，包括混凝土、鋼筋以及鋼骨模型。進行模型建立時，採取以下方式：(1) 建立 SRC 柱斷面形狀，將斷面分割，包括鋼骨、鋼筋及混凝土未圍束區、普通圍束區與高度圍束區之劃分；(2) 依各分割面延伸為實體模型；(3) 設定分割網格，指定各區之屬性；(4) 將鋼筋元素附在混凝土元素之邊緣，注意節點之共用，完成幾何模型建立。本研究模擬 SRC 柱受軸壓作用，採用位移控制加載。圖 8 顯示用 ANSYS 模擬建立各試體之模型網格。網格分割主要考量各斷面之鋼筋位置與鋼骨型式而作調整。網格分割後，需消除網格分割後產生之重疊的節點，並使用節點壓縮，減少矩陣之主自由度以節省計算時間。

四、ANSYS 分析與 SRC 柱試驗結果之比較

4.1 軸壓力學行為之比較與探討

由於本精簡報告受限於篇幅，茲謹將較具代表性之研究成果於本文中敘述。本研究之數值模擬分為兩個階段：一為「前期分析」階段，此階段暫不考慮「高度圍束區」混凝土之圍束效應，將 ANSYS 分析之 SRC 柱軸壓強度 $(P_u)_{ANSYS}$ 與 SRC 柱軸壓試驗結果 $(P_u)_{test}$ 互相比對，可以求得 SRC 柱內「高度圍束區」混凝土因受鋼骨圍束所「額外提昇之軸壓強度， ΔP_u 」(相對於普通圍束區混凝土而言)；二為「後期分析」階段，將前期分析所得「高度圍束區」混凝土之圍束效應反映至 ANSYS 分析中，以驗證「前期分析」之可靠度。「後期分析」時，SRC 柱中混凝土細分為「未圍束區」、「普通圍束區」以及「高度圍束區」來考量，其中「高度圍束區」混凝土之抗壓強度是藉由前期分析所得。

換言之，進行 ANSYS 模擬之「前期分析」時，本研究可透過比較各試體之數值分析與試驗結果，來預測 SRC 柱內高度圍束區混凝土所額外提昇之軸壓強度。試體之 $(P_u)_{test}$ 與 $(P_u)_{ANSYS}$ 之差值即為 ΔP_u ，此值即為高度圍束區之混凝土因受鋼骨圍束所「額外提昇之軸壓強度」， ΔP_u 值越大表示額外提昇之軸壓強度越多。然後，再以所得之 ΔP_u 值，計算高度圍束區之混凝土抗壓強度 f_{ch}' ，藉此可以了解高度圍束區混凝土受鋼骨圍束的情形。

由 ANSYS 數值模擬各 SRC 柱試體所得的軸力一位移曲線如圖 9 與 10 所示。由圖中可看出「前期分析」(不含鋼骨圍束效應)與「後期分析」(含鋼骨圍束效應)之結果，不論在初始階段或後期部份的趨勢皆與試驗結果大致吻合，證實數值分析有良好的模擬效果。另一方面，由表 2 發現，高度圍束區之混凝土因受鋼骨圍束所「額外提昇之軸壓強度」 ΔP_u 值，約佔 SRC 柱極限強度的 1.1% 至 4.8%。此外，分析中發現，包覆 H 型鋼骨 SRC 柱之高度圍束區對柱軸力之貢獻明顯不及包覆箱型鋼管及十字型鋼骨 SRC 柱。

透過 ANSYS 分析亦可觀察試體受軸壓之變形與 SRC 柱中各混凝土區域之應力分佈。當 SRC 柱受軸壓後，以試體 SRC-C1 為例，其整支試體、鋼骨及鋼筋之變形圖，如圖 11 至 13 所示。此外，對於「未圍束區」、「普通圍束區」及「高度圍束區」混凝土，可透過應力分佈圖來觀察其受圍束之情形。以下列舉三種不同型式之鋼骨斷面，包括箱型鋼管斷面(以 SRC-B1 為例)，如圖 14 與圖 15 所示；十字型鋼骨斷面(以 SRC-C1 為例)，如圖 16 與圖 17 所示；以及 H 型鋼骨斷面(以 SRC-H2 為例)，如圖 18 與圖 19 所示。經由觀察混凝土應力分佈圖，可以發現受箍筋與鋼骨雙重圍束之「高度圍束區」混凝土之應力值為最大，而受箍筋圍束之「普通圍束區」混凝土之應力也較「未圍束區」混凝土應力值高些。顯然「高度圍束區」混凝土確實發揮較佳之圍束效應，有助於提升混凝土之抗壓強度。

4.2 鋼骨對混凝土圍束效應之探討

如前節所述， ΔP_u 為高度圍束區之混凝土因受鋼骨圍束所「額外提昇之軸壓強度」，此值為「高度圍束區混凝土面積」與「額外提昇之混凝土強度」之乘積。為了方便計算，本

研究在計算公式中採用一個「鋼骨圍束效應係數， α 值」的概念，令此「額外提昇之混凝土強度」等於 α 倍的混凝土圓柱試體之抗壓強度 f'_c ；亦即高度圍束區之混凝土因受鋼骨圍束所「額外提昇之軸壓強度」等於「 α 倍的混凝土圓柱試體之抗壓強度」與「高度圍束區混凝土之面積」之乘積。 ΔP_u 值與 α 值之關係如下：

$$\Delta P_u = (P_u)_{test} - (P_u)_{ANSYS} = \alpha f'_c A_{hcc} \quad (7)$$

其中 $(P_u)_{test}$ 為試體試驗之軸壓強度； $(P_u)_{ANSYS}$ 為 ANSYS 分析之軸壓強度； α 為鋼骨圍束效應係數； A_{hcc} 為高度圍束區混凝土之面積。根據此式，由 SRC 柱之試驗軸壓強度 $(P_u)_{test}$ 與 ANSYS 分析之軸壓強度 $(P_u)_{ANSYS}$ 之差值，可求得高度圍束區之混凝土因受鋼骨圍束所「額外提昇之軸壓強度」 ΔP_u ，再將 ΔP_u 值除以混凝土圓柱試體之抗壓強度和高度圍束區混凝土之面積，即可估計各試體之 α 值大小， α 值越大表示混凝土受鋼骨圍束的效應越好。

表 2 顯示以 ANSYS 求得各組 SRC 柱試體之鋼骨圍束效應係數 α 值。由表中可發現，包覆箱型鋼管斷面之 α 值為 0.33；包覆十字型鋼骨斷面之 α 值分別為 0.32、0.2 及 0.28；包覆 H 型鋼骨斷面之 α 值分別為 0.21 和 0.25；包覆 T 型鋼骨斷面之 α 值分別為 0.23 和 0.22。 α 值介於 0.2 至 0.33 之間，平均值約為 0.26。換言之，SRC 柱中之「鋼骨翼板」能對 SRC 柱混凝土發揮良好的圍束功能，大約可以額外提升 20% 至 33% 的混凝土抗壓強度。

五、本研究建議之 SRC 柱箍筋需求量設計公式

由於 SRC 柱中之鋼骨可分擔 SRC 柱的軸力，使得混凝土所需承受之軸力降低；同時鋼骨之翼板對其所包圍之混凝土可以提供圍束作用，形成「高度圍束區混凝土」。因此，相較於一般傳統的 RC 柱，SRC 柱之圍束箍筋用量應該可以適度折減。

由於內政部於 2004 年公佈的 SRC 構造設計規範[1]尚未對鋼骨翼板圍束之「高度圍束區混凝土」所「額外提昇之軸壓強度」作適當之考量。因此，本研究提出一套新的 SRC 柱圍束箍筋需求量之計算公式，以提供學術界與工程界參考。此一設計方法主要特色就是同時考慮「鋼骨分擔 SRC 柱軸力」以及「鋼骨翼板圍束混凝土」之貢獻，以作為放寬 SRC 柱圍束箍筋需求量之主要參數，將有助於使 SRC 柱圍束箍筋配置更為合理，亦有助於簡化施工，並可達到較經濟的設計結果。本研究建議採用矩形閉合箍筋之 SRC 柱，其圍束箍筋需求量 (A_{sh}) 不得小於下列二式之規定：

$$A_{sh} = 0.3 sh_c R_h \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \quad (8)$$

$$A_{sh} = 0.09 sh_c R_h \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \quad (9)$$

其中 R_h 為箍筋需求量折減係數：

$$R_h = \left[1 - \left(\frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right) \right] \quad (10)$$

上式中 $(P_n)_u$ 依公式 (6) 計算； P_s 為鋼骨軸壓強度； P_{hcc} 為「高度圍束區」混凝土因受鋼骨圍束所「額外提昇之軸壓強度」(相對於普通圍束區混凝土)，依下式計算：

$$P_{hcc} = \alpha f'_c A_{hcc} \quad (11)$$

其中 A_{hcc} 為高度圍束區混凝土之面積； α 為鋼骨圍束效應係數，根據表 2 之分析結果，SRC 柱 α 值介於 0.2 至 0.33，平均值約為 0.26。因此，本研究建議 α 值可取為 0.25。

針對本研究模擬的各組 SRC 柱試體，表 3 比較了台灣 SRC 規範、ANSYS 分析以及本研究建議公式所求得之 SRC 柱「圍束箍筋量折減係數 α 值」之差異。由表 3 中可以看出，目前台灣 SRC 規範對於 SRC 柱箍筋需求量之規定尚有空間可以修正，若採用本研究建議之設計公式，SRC 柱之「圍束箍筋折減係數」將可再下降約 1% 至 4%。

此外，如表 4 所示，本研究更進一步重新設計了八組實尺寸 SRC 柱「圍束箍筋需求量」之設計例，其中之鋼骨型式包括箱型斷面與 H 型斷面，主要目的在於比較本研究建議之公式與台灣 SRC 設計規範之公式所求得之 SRC 柱箍筋需求量之變化差異。由表 4 中可發現，本研究建議公式計算之 SRC 柱箍筋折減係數， R_h ，大約比台灣 SRC 規範公式計算之箍筋折減係數， ϕ_h ，下降約 4 至 6 個百分點；本研究建議公式求得之 SRC 柱「箍筋間距」比台灣 SRC 規範公式計算求得之間距大約可放寬 1 至 2 公分。換言之，本研究建議公式計算之 SRC 柱箍筋用量將會比台灣 SRC 規範公式計算求得之箍筋用量較為節省。

六、結論

本研究運用 ANSYS 有限元素軟體，針對受軸壓之 SRC 柱進行數值模擬分析，並與一系列 SRC 柱之試驗結果互相比對，以探討 SRC 柱之「軸壓力學行為」與鋼骨對 SRC 柱中混凝土之「圍束效應」。根據分析結果，本研究並針對我國 SRC 設計規範中 SRC 柱之「圍束箍筋需求量」計算公式提出修正建議。

綜合本研究之分析結果，可以獲得以下的結論：

- 1、針對 SRC 柱進行 ANSYS 有限元素分析，本研究發現合理的選用分析元素、材料性質和邊界條件，將可以取得良好的分析結果，其中混凝土採用 SOLID 65 元素、鋼筋採用 LINK 8 元素以及鋼骨採用 SOLID 45 元素來模擬。在 SRC 柱之軸壓強度方面，ANSYS 分析值與試驗值之差距微小，分析所得的各試體之軸力一位移曲線皆與前人試驗結果大致吻合，驗證本研究之分析具有良好的模擬效果。
- 2、本研究發現，利用 ANSYS 分析 SRC 柱中混凝土受圍束之行為時，宜將不同圍束區域劃分為「未圍束區」、「普通圍束區」及「高度圍束區」，並建立不同的材料模型來模擬，給予不同之應力—應變曲線。
- 3、分析結果顯示，SRC 柱中之鋼骨翼板確實能對 SRC 柱之混凝土發揮良好的圍束功能，大約可額外提升 20% 至 33% 的混凝土抗壓強度。因此，高度圍束區之混凝土可額外提昇 SRC 柱軸壓強度，高度圍束區之面積越大，其額外提昇之強度也越大。

- 4、由於 SRC 柱中之鋼骨可分擔 SRC 柱的軸力，使得混凝土所需承受之軸力降低；同時鋼骨之翼板對其所包圍之混凝土可以提供圍束作用，形成「高度圍束區混凝土」。因此，相較於一般傳統的 RC 柱，SRC 柱之圍束箍筋用量應該可以適度折減。
- 5、本研究提出一套新的 SRC 柱圍束箍筋需求量設計公式以供學術界與工程界參考。此一設計方法之概念，主要是同時考慮「鋼骨分擔 SRC 柱軸力」以及「鋼骨翼板圍束混凝土」之貢獻，以作為放寬 SRC 柱圍束箍筋需求量之主要因數，將有助於使 SRC 柱箍筋配置更為合理，亦有助於簡化 SRC 柱施工，並達到較經濟的設計結果。

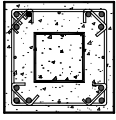
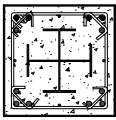
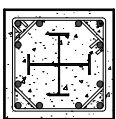
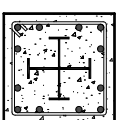
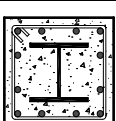
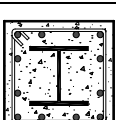
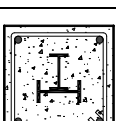
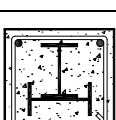
七、參考文獻

1. 內政部 (2004)「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」，營建署，七月，台北。
2. ACI(2008)“Buildings Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-08)and Commentary,” American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
3. AISC (2005)“Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,” American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
4. 日本建築學會 (2001)「鐵骨鐵筋混凝土構造計算規準同解說」，Architecture Institute of Japan (AIJ)，東京。
5. 翁正強、王暉舜、李讓、梁景裕 (2006)「鋼骨鋼筋混凝土柱圍束箍筋量之試驗與耐震設計」，結構工程，中華民國結構工程學會，第二十一卷，第三期，pp. 55-83，九月，台北。
6. 翁正強、顏聖益、林俊昌 (1998)「包覆型 SRC 柱鋼骨對混凝土圍束箍筋量之影響」，中國土木水利工程學刊，第十卷，第二期，pp. 193-204，台北。
7. 黃俊銘 (2008)「預鑄五螺箍矩形 SRC 柱之軸壓試驗與反覆載重試驗」，碩士論文，國立交通大學，土木工程研究所，新竹。
8. 蔡克銓，連陽，陳誠直 (1995)「鋼骨鋼筋混凝土柱軸向載重行為」，中國土木水利工程學刊，第八卷，第四期，pp. 535-545。
9. 葉士青 (1996)「鋼骨鋼筋混凝土柱軸向載重行為研究」，碩士論文，國立交通大學，土木工程研究所，新竹。
10. 林義閔 (1999)「非對稱斷面鋼骨鋼筋混凝土 (SRC) 梁柱構材極限強度之研究」，碩士論文，國立交通大學，土木工程研究所，新竹。
11. ANSYS (2007)“Release 11.0 Documentation for ANSYS,” ANSYS Inc, Canonsburg, Pennsylvania.
12. 王榮進、翁正強、陳誠直、陶其駿、施祖涵、王琳、林意晴 (2008)「鋼骨鋼筋混凝土構造 (SRC) 設計規範之檢討修訂」，內政部建築研究所委託研究報告，十一月，台北。
13. Bresler, B. (1974)“Reinforced Concrete Engineering: Volume I - Materials, Structural Elements, Safety,” John Wiley & Sons, New York.
14. Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R. (1988)“Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete,” Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 114, pp. 1804-1826.

表 1 前人 SRC 柱軸壓試驗之試體資料表

試體斷面	試體名稱	斷面尺寸 (mm)	柱長 (mm)	鋼骨型式	鋼骨尺寸 (mm)	主筋	箍筋	箍筋間距 (mm)	軸壓強度 (P_u) _{test} (kN)	資料來源 [7~10]
	SRC-B1	600×600	1200	箱型	□ 275×275×10×10	12-#9	#4(D13)	75	19885	試體 SRC6 黃俊銘,2008[7]
	SRC-C1	600×600	1200	十字型	2H 350×175×6×9	12-#9	#4(D13)	75	19522	試體 SRC2 黃俊銘,2008[7]
	SRC-C2	280×280	1200	十字型	2H 160×50×3.2×4.5	12-#5	#2(D6)	140	3696	試體 SRC7 蔡克銓,1995[8]
	SRC-C3	280×280	1200	十字型	2H 160×50×3.2×4.5	12-#5	#2(D6)	100	3748	試體 SRC9 蔡克銓,1995[8]
	SRC-H1	280×280	1200	H 型	H 150×150×7×10	12-#5	#2(D6)	140	4215	試體 SRC1 葉士青,1996[9]
	SRC-H2	280×280	1200	H 型	H 150×150×7×10	12-#5	#2(D6)	75	4224	試體 SRC2 葉士青,1996[9]
	SRC-T1	300×300	1000	T 型	H 125×60×6×8 H 100×50×5×7	4-#6	#3(D10)	100	3448	試體 CL-TO 林義閔,1999[10]
	SRC-T2	300×300	1000	T 型	H 175×90×5×8 H 150×100×6×9	4-#6	#3(D10)	100	4718	試體 CH-TO 林義閔,1999[10]

表 2 ANSYS 分析求得 SRC 柱試體之「鋼骨圍束效應係數」 α 值

試體斷面	試體名稱	箍筋 間距 s (mm)	$f_c^{(1)}$ (MPa)	A_{hcc} (mm ²)	$(P_u)_{test}$ (kN)	$(P_u)_{ANSYS}$ (kN)	$\Delta P_u^{(2)}$ (kN)	$f_{c0}'^{(3)}$ (MPa)	$f_{cc}'^{(4)}$ (MPa)	$f_{ch}'^{(5)}$ (MPa)	α
	SRC-B1	75	34.6	65025	19522	18790	732	29.06	34.31	45.57	0.33
	SRC-C1	75	34.6	81627	19885	18982	903	29.06	34.31	45.37	0.32
	SRC-C2	140	25.0	11644	3696	3639	57	23.25	26.85	31.75	0.20
	SRC-C3	100	24.6	11644	3748	3667	81	22.88	28.95	35.91	0.28
	SRC-H1	140	29.2	9295	4215	4159	56	27.16	29.93	35.95	0.21
	SRC-H2	75	28.1	9295	4224	4160	64	26.13	33.09	39.98	0.25
	SRC-T1	100	22.9	6935	3448	3412	36	21.07	25.47	30.66	0.23
	SRC-T2	100	31.4	18294	4718	4594	124	28.89	33.38	40.16	0.22
Average											0.26

註解：(1) f_c' 為混凝土標準圓柱試體之實測抗壓強度。

(2) ΔP_u 為高度圍束區之混凝土因受鋼骨圍束所「額外提昇之軸壓強度」(相對於普通圍束區混凝土而言)，
以下式計算： $\Delta P_u = (P_u)_{test} - (P_u)_{ANSYS} = \alpha f_c' A_{hcc}$ ，其中 A_{hcc} 為高度圍束區混凝土之面積。

(3) f_{c0}' 為未圍束區之混凝土抗壓強度 (已考慮尺寸效應)。

(4) f_{cc}' 為普通圍束區之混凝土抗壓強度 (已考慮尺寸效應)。

(5) f_{ch}' 為高度圍束區之混凝土抗壓強度 (已考慮尺寸效應)。

表 3 台灣 SRC 規範、ANSYS 分析與本研究建議公式求得之 SRC 柱「圍束箍筋用量折減係數」之比較

試體名稱	箍筋間距 s (mm)	台灣 SRC 規範公式			ANSYS 分析結果							本研究建議公式	
		P_s (kN)	$(P_n)_u$ (kN)	$\phi_h^{(1)}$	$(P_u)_{test}$ (kN)	$(P_u)_{ANSYS}$ (kN)	ΔP_u (kN)	α	f'_c	A_{hcc} (mm ²)	$\phi_{h,ANSYS}^{(2)}$	α	$R_h^{(3)}$
SRC-B1	75	4441	17897	0.75	19522	18790	732	0.33	34.6	65025	0.71	0.25	0.72
SRC-C1	75	4585	18050	0.75	19885	18982	903	0.32	34.6	81627	0.70	0.25	0.71
SRC-C2	140	668	3323	0.80	3696	3639	57	0.20	25.0	11644	0.78	0.25	0.78
SRC-C3	100	668	3298	0.80	3748	3667	81	0.28	24.6	11644	0.77	0.25	0.78
SRC-H1	140	1234	3858	0.68	4215	4159	56	0.21	29.2	9295	0.67	0.25	0.66
SRC-H2	75	1234	3790	0.67	4224	4160	64	0.25	28.1	9295	0.66	0.25	0.66
SRC-T1	100	910	3031	0.70	3448	3412	36	0.23	22.9	6935	0.69	0.25	0.69
SRC-T2	100	1534	4221	0.64	4718	4594	124	0.22	31.4	18294	0.61	0.25	0.60

註解：(1) ϕ_h 為台灣 SRC 設計規範第九章第 9.7.3 節公式(9.7-6)與(9.7-7)中最後一項求得之 SRC 柱「圍束箍筋用量折減係數」，
 $\phi_h = \left[1 - A_s F_{ys} / (P_n)_u \right]$ 。 ϕ_h 值愈小表示圍束箍筋用量可以愈節省。
(2) $\phi_{h,ANSYS}$ 為透過 ANSYS 分析結果，計算求得之 SRC 柱「圍束箍筋用量折減係數」， $\phi_{h,ANSYS} = \left[1 - (P_s + \Delta P_u) / (P_n)_u \right]$ 。
(3) R_h 為本研究建議之計算公式求得之 SRC 柱「圍束箍筋用量折減係數」。

表 4 SRC 柱「箍筋需求間距」設計結果之比較：本研究建議公式 vs. 台灣 SRC 規範公式

設計例	全斷面尺寸 (mm)	鋼骨斷面 (mm)	主筋	箍筋	$\phi_h^{(1)}$	$R_h^{(2)}$	A_{sh} (mm ²)	$s_{(CODE)}^{(3)}$ (mm)	$s_{(PROP)}^{(4)}$ (mm)
1	800×800	箱型 □ 500×500×20×20	12#8	#4	0.55	0.51	254	105	115
2	800×800	箱型 □ 550×550×20×20	12#8	#4	0.53	0.47	254	110	125
3	1000×1000	箱型 □ 600×600×25×25	12#10	#5	0.57	0.52	397	125	140
4	1000×1000	箱型 □ 700×700×25×25	12#10	#5	0.52	0.47	397	135	155
5	800×800	十字型 2H 500×300×15×24	12#8	#4	0.53	0.49	254	110	120
6	800×800	十字型 2H 550×300×15×24	12#8	#4	0.52	0.48	254	110	125
7	1000×1000	十字型 2H 600×400×15×24	12#10	#5	0.58	0.54	397	125	135
8	1000×1000	十字型 2H 700×400×15×24	12#10	#5	0.57	0.51	397	125	140

註解：(1) ϕ_h 為台灣 SRC 設計規範第九章第 9.7.3 節公式(9.7-6)與(9.7-7)中之 SRC 柱「圍束箍筋用量折減係數」。
 (2) R_h 為本研究建議之計算公式求得之 SRC 柱「圍束箍筋用量折減係數」。
 (3) $s_{(CODE)}$ 為依據台灣 SRC 設計規範公式計算求得之箍筋間距。
 (4) $s_{(PROP)}$ 為依據本研究設計公式計算求得之箍筋間距。
 (5) 材料強度：混凝土 $f'_c = 280\text{kgf}/\text{cm}^2$ ；鋼骨 $F_{ys} = 3500\text{kgf}/\text{cm}^2$ ；鋼筋 $F_{yr} = 4200\text{kgf}/\text{cm}^2$ ；箍筋 $F_{yh} = 4200\text{kgf}/\text{cm}^2$ 。

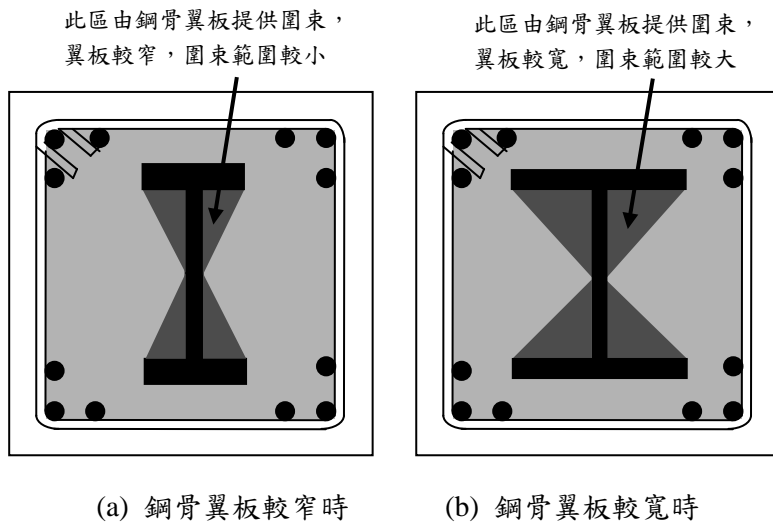


圖 1 鋼骨翼板寬度變化對混凝土圍束區域大小之影響：包覆十字型鋼骨 SRC 柱[5]

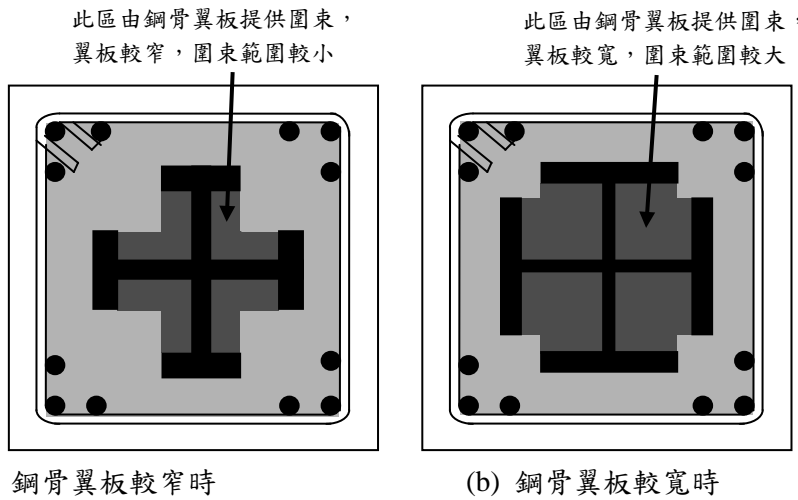


圖 2 鋼骨翼板寬度變化對混凝土圍束區域大小之影響：包覆十字型鋼骨 SRC 柱[5]

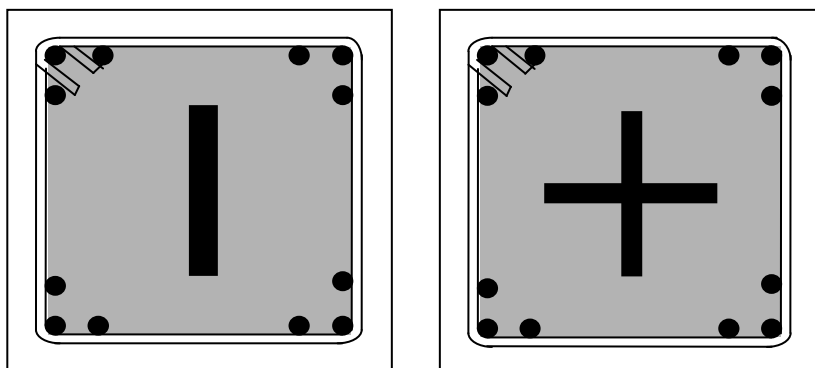


圖 3 鋼骨未能對核心混凝土提供圍束：SRC 柱內鋼骨之翼板寬度為零時[5]

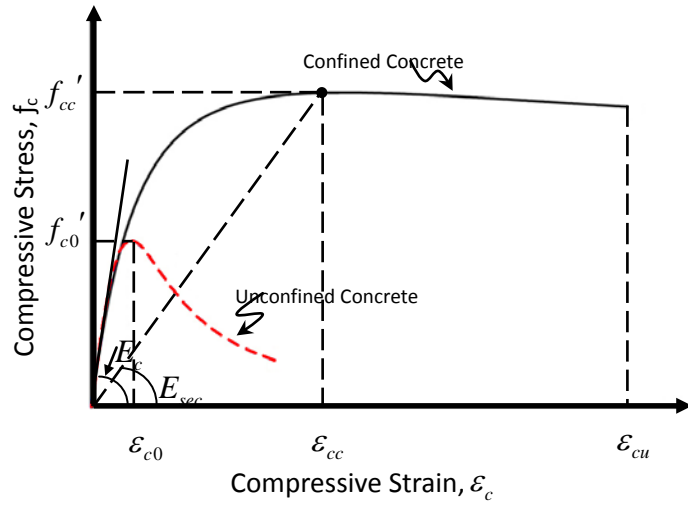


圖 5 混凝土之應力—應變曲線 (Mander et al., 1988) [14]

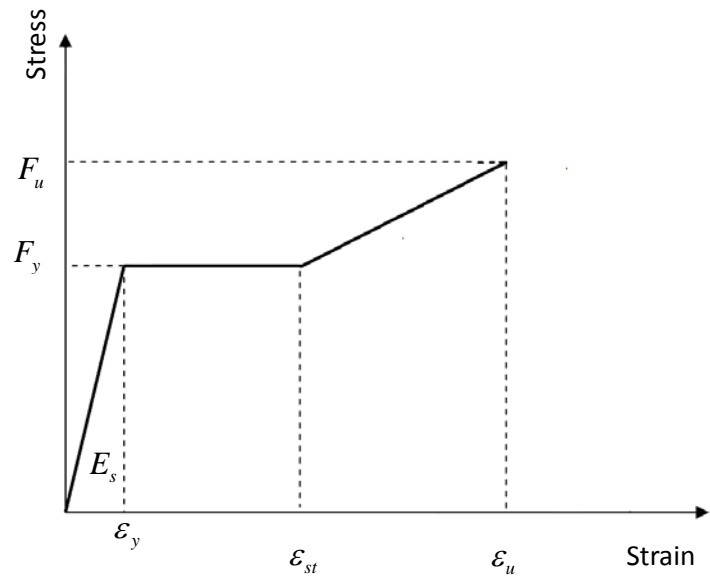
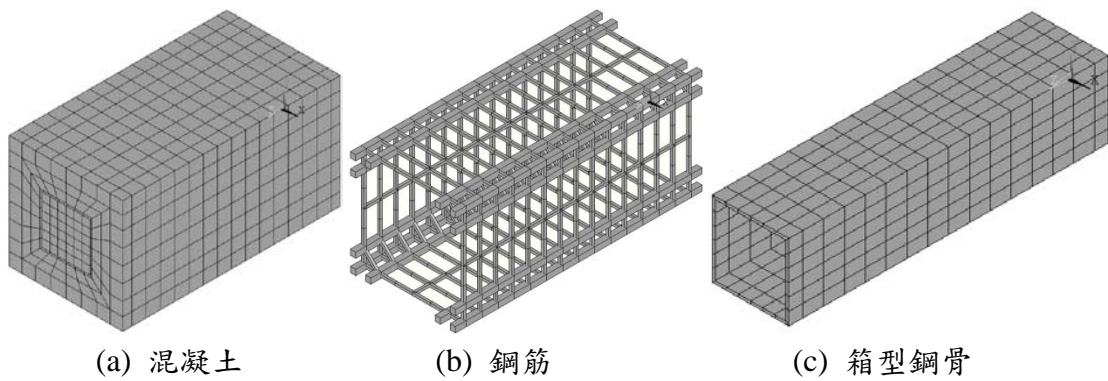


圖 6 鋼材之應力—應變曲線

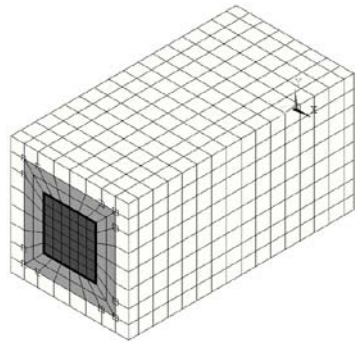


(a) 混凝土

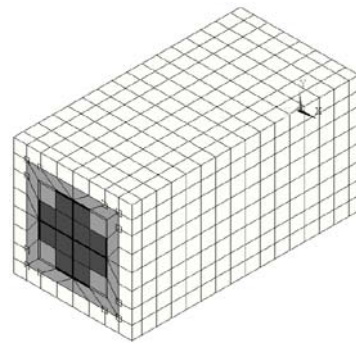
(b) 鋼筋

(c) 箱型鋼骨

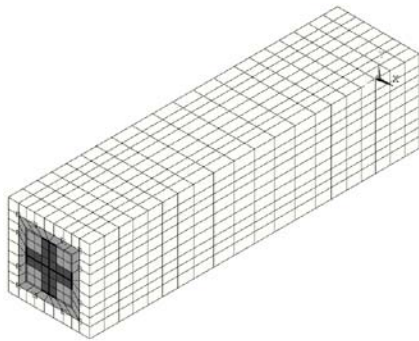
圖 7 SRC 柱試體之有限元素分析模型：以試體 SRC-B1 為例



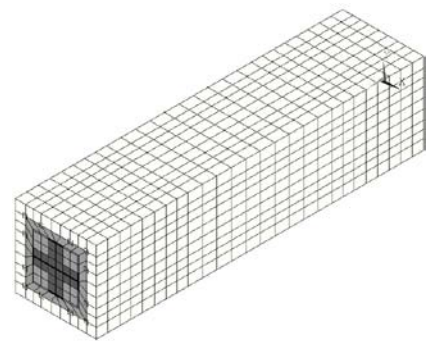
(a) 試體 SRC-B1



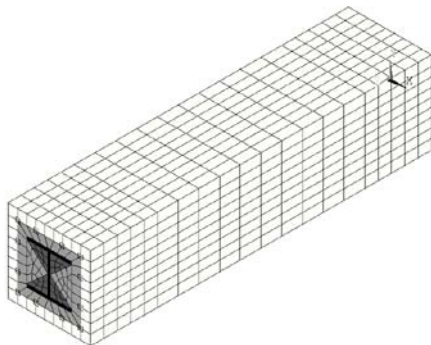
(b) 試體 SRC-C1



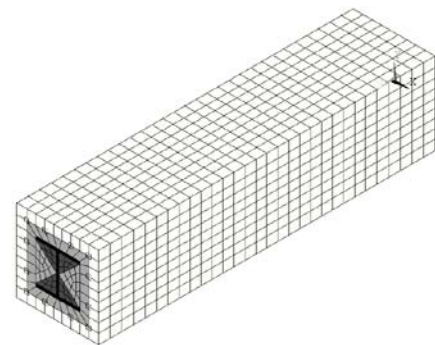
(c) 試體 SRC-C2



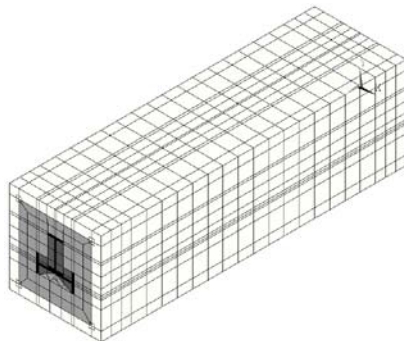
(d) 試體 SRC-C3



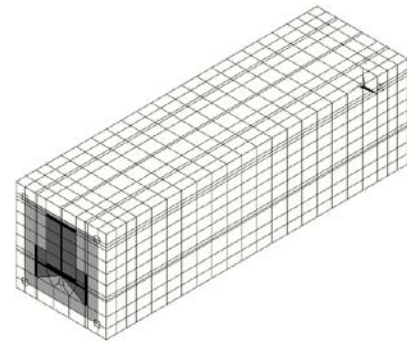
(e) 試體 SRC-H1



(f) 試體 SRC-H2



(g) 試體 SRC-T1



(h) 試體 SRC-T2

圖 8 各組 SRC 柱試體之有限元素分析網格

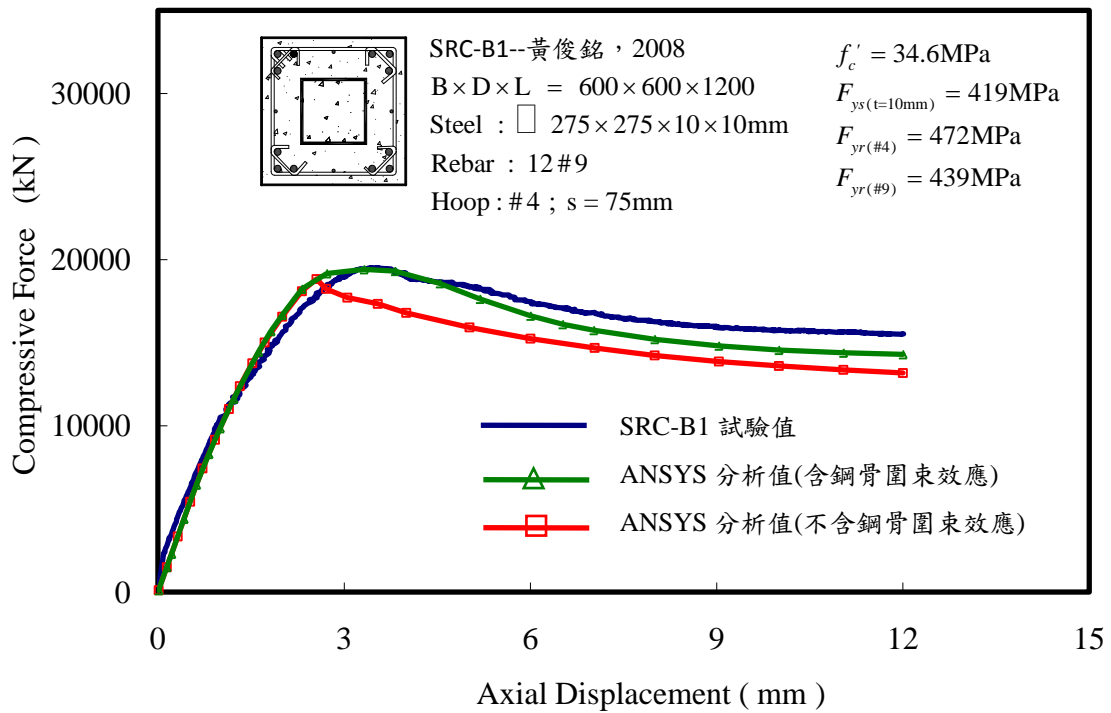


圖 9 試體 SRC-B1 之數值分析與軸壓試驗之軸力與位移曲線比較

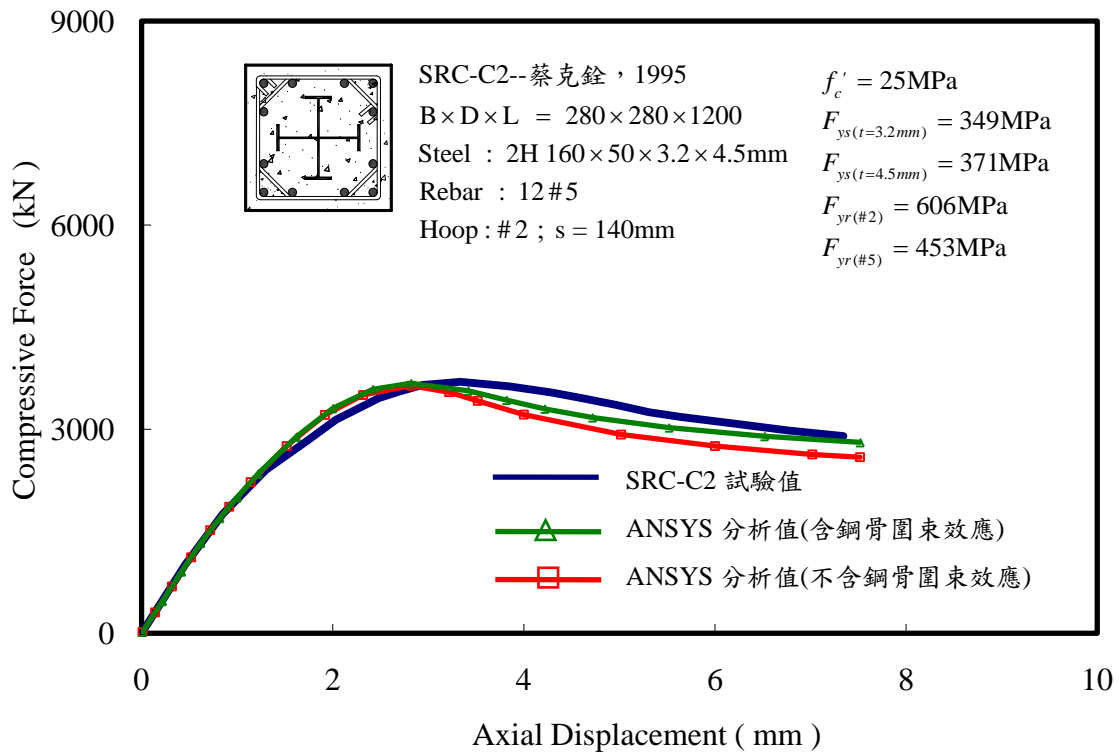
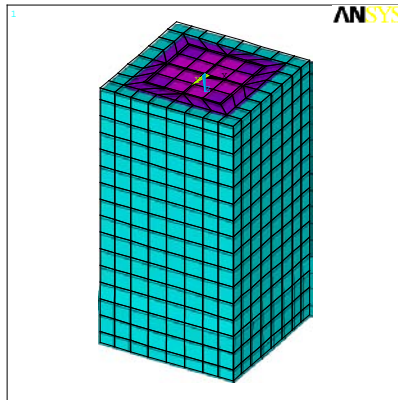
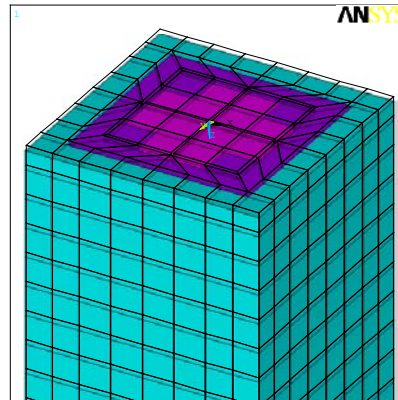


圖 10 試體 SRC-C2 之數值分析與軸壓試驗之軸力與位移曲線比較

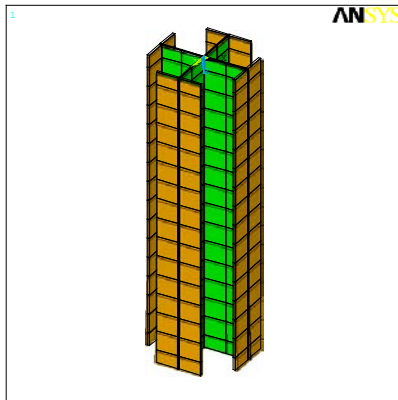


(a) 整體試體

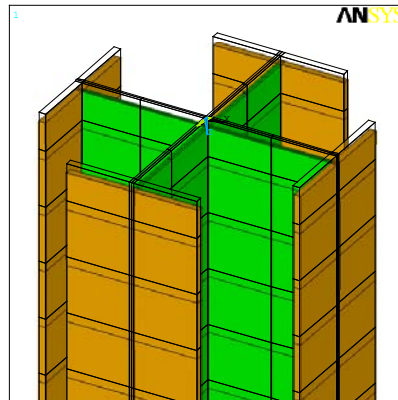


(b) 局部放大

圖 11 試體 SRC-C1 軸向應變達 0.01 時之變形圖

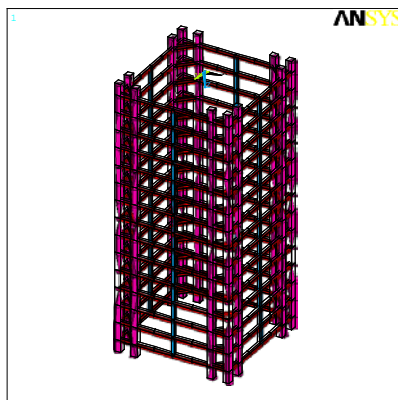


(a) 整體試體

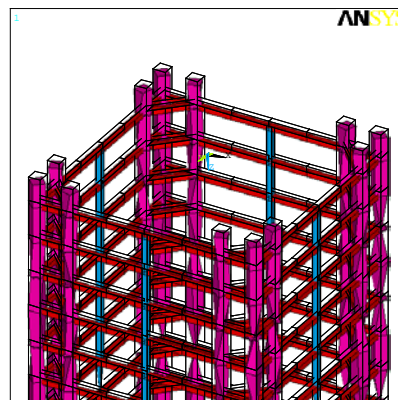


(b) 局部放大

圖 12 試體 SRC-C1 軸向應變達 0.01 時柱內鋼骨之變形圖



(a) 整體試體



(b) 局部放大

圖 13 試體 SRC-C1 軸向應變達 0.01 時柱內鋼筋之變形圖

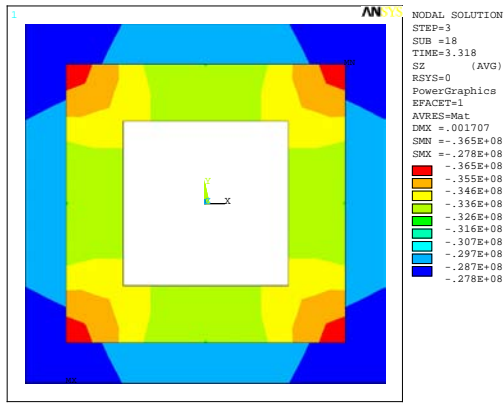


圖 14 試體 SRC-B1 柱中混凝土之
應力分佈圖：顯示未圍束區
與普通圍束區

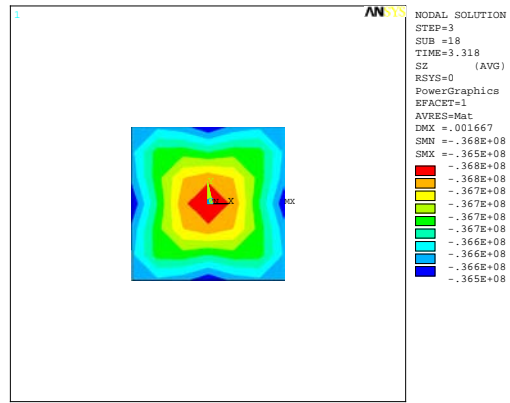


圖 15 試體 SRC-B1 柱中混凝土之應力
分佈圖：僅顯示高度圍束區

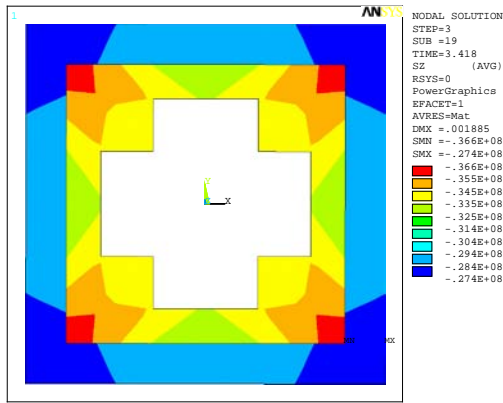


圖 16 試體 SRC-C1 柱中混凝土之
應力分佈圖：顯示未圍束區
與普通圍束區

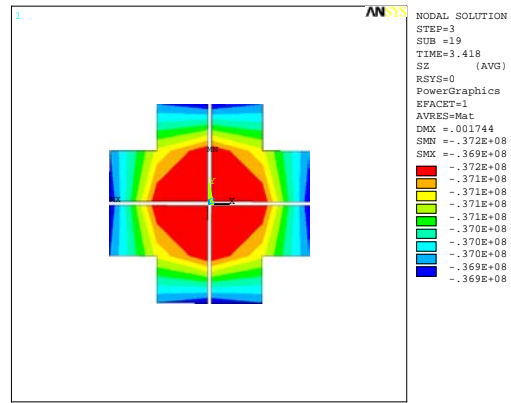


圖 17 試體 SRC-C1 柱中混凝土之應力
分佈圖：僅顯示高度圍束區

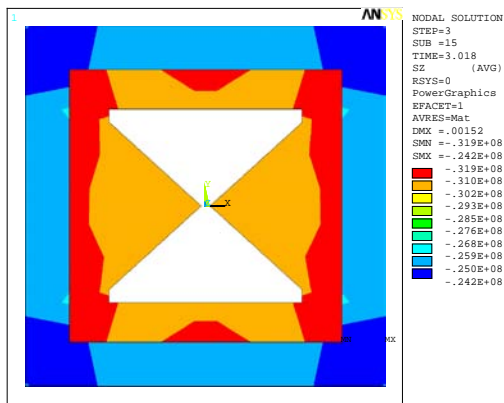


圖 18 試體 SRC-H2 柱中混凝土之
應力分佈圖：顯示未圍束區
與普通圍束區

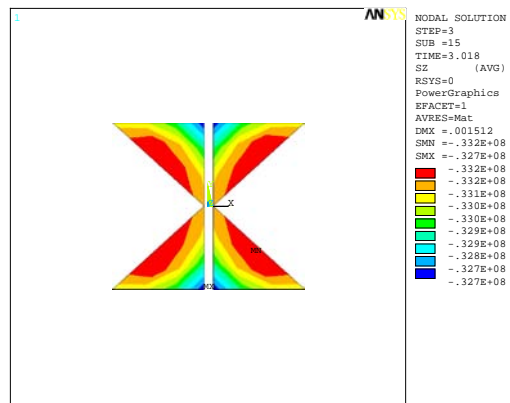


圖 19 試體 SRC-H2 柱中混凝土之應力
分佈圖：僅顯示高度圍束區

八、計畫成果自評

1. 本研究內容與原計畫相符，亦達成原訂預期之主要目標。目前正將研究成果撰寫為學術論文，擬將論文投稿於學術期刊。
2. 研究成果之學術或應用價值：
 - 本研究運用 ANSYS 有限元素分析軟體，探討鋼骨鋼筋混凝土 (Steel Reinforced Concrete, SRC) 柱之「軸壓力學行為」與 SRC 柱中之鋼骨對混凝土的「圍束效應」，特別針對 SRC 柱之「圍束箍筋需求量」深入研究。
 - 近年來許多大尺寸的 SRC 柱之試驗結果證實 SRC 柱具備優良的強度與耐震能力，且 SRC 柱中之鋼骨可以對混凝土起到良好的圍束效應，很適合推廣運用於台灣的住宅與高樓建築。
 - 然而，由於 SRC 柱之設計參數較複雜，若要逐一進行試驗來探討各參數之影響，勢必要耗費龐大的人力、時間及金錢，且由於試驗設備及場地限制，常僅能針對一部份參數進行試驗，而無法作詳細的探討。
 - 為了有效運用資源，本研究針對 SRC 柱之「軸壓行為」與「圍束效應」進行數值模擬分析。本研究運用 ANSYS 建立 SRC 柱之分析模型，並與一系列 SRC 柱之試驗結果互相比對驗證。
 - 經由研究證實，SRC 柱內之鋼骨翼板能夠對其所包覆之混凝土發揮良好圍束作用，大約可額外提升 20% 至 33% 的混凝土抗壓強度，彰顯出 SRC 柱「獨特的優越性」。
 - 最後，本研究並發展出一套更合理且更具經濟效益之「SRC 柱圍束箍筋需求量之計算公式」，以提供學術界研究與建築工程界實務應用之參考。
 - 本研究之成果除了具備學術研究與工程應用價值外，亦將會有助於作為內政部修訂我國「鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範」之重要參考資料。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2011/08/23

國科會補助計畫	計畫名稱: 鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱軸壓行為與圍束效應之數值模擬研究
	計畫主持人: 翁正強
	計畫編號: 99-2221-E-009-054- 學門領域: 結構應力
無研發成果推廣資料	

99 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：翁正強		計畫編號：99-2221-E-009-054-					
計畫名稱：鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱軸壓行為與圍束效應之數值模擬研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	0	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	1	0	100%	人次	
		博士生	1	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	1	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>1. 近年來許多大尺寸的鋼骨鋼筋混凝土(SRC)柱之試驗結果證實 SRC 柱具備優良的強度與耐震能力，且 SRC 柱中之鋼骨可以對混凝土起到良好的圍束效應，很適合推廣運用於台灣的住宅與高樓建築。</p> <p>2. 本研究運用 ANSYS 軟體建立 SRC 柱之數值分析模型，並與一系列 SRC 柱之試驗結果互相比對驗證。特別針對 SRC 柱之「圍束箍筋需求量」進行深入探討。經由分析證實 S, RC 柱內之鋼骨翼板能夠對其所包覆之混凝土發揮圍束作用，約可額外提升 20%至 33%的混凝土抗壓強度，突顯出 SRC 柱獨特的優越性。</p> <p>3. 本研究並發展出一套新的且更具經濟效益之「SRC 柱圍束箍筋需求量之計算公式」，以提供學術界研究與建築工程界實務應用之參考。</p> <p>4. 主持人長期投入我國「SRC 構造設計規範」之研究，本計畫提出之「SRC 柱圍束箍筋需求量之計算公式」將可作為內政部未來修訂我國建築法規中「SRC 構造設計規範」之重要參考資料。</p>
--	--

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

近年來許多大尺寸的鋼骨鋼筋混凝土（Steel Reinforced Concrete, SRC）柱之試驗結果證實 SRC 柱具備優良的強度與耐震能力，且 SRC 柱中之鋼骨可以對混凝土起到良好的圍束效應，很適合推廣運用於台灣的住宅與高樓建築。

然而，由於 SRC 柱之設計參數較複雜，若要逐一進行試驗來探討各參數之影響，勢必要耗費龐大的人力、時間及金錢，且由於試驗設備及場地限制，常僅能針對一部份參數進行試驗，而無法作詳細的探討。為了有效運用資源，本研究針對 SRC 柱之「軸壓行為」與「圍束效應」進行數值模擬分析。根據文獻調查，ANSYS 為一功能強大的有限元素軟體，其在鋼結構及 RC 結構之分析已有良好成果，故本研究乃採用 ANSYS 作為數值分析之工具。

本研究首先運用 ANSYS 建立 SRC 柱之分析模型，並與一系列 SRC 柱之試驗結果互相比對驗證。特別針對 SRC 柱之「圍束箍筋需求量」進行深入探討，經由分析證實 SRC 柱內之鋼骨翼板能夠對其所包覆之混凝土發揮圍束貢獻，大約可額外提升 20% 至 33% 的混凝土抗壓強度，顯示出 SRC 柱獨特的優越性。

最後，本研究並發展出一套新的且更具經濟效益之「SRC 柱圍束箍筋需求量之計算公式」，以提供學術界研究與建築工程界實務應用之參考。

