

鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)

設計規範之檢討修訂



內政部建築研究所研究報告

中華民國 97 年 12 月 31 日

鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)

設計規範之檢討修訂

受委託者：國立交通大學

研究主持人：王榮進

協同主持人：翁正強

研究員：陳誠直、陶其駿、施祖涵

研究助理：王琳、林意晴

內政部建築研究所研究報告

中華民國 97 年 12 月 31 日

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH

INSTITUTE MINISTRY OF THE INTERIOR

**A Study on Revision of the Taiwan
SRC Building Code**



By

R. J. Wang and C. C. Weng

C. C. Chen, C. C. Tao and C. H. Shih

L. Wang and Y. C. Lin

December 31, 2008

鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範之檢討修訂

內政部建築研究所研究報告



目次

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 目次..... | I |
| 表次..... | IV |
| 圖次..... | V |
| 照片目次..... | VII |
| 摘要..... | IX |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 1.1 前言..... | 1 |
| 1.2 研究背景與目的..... | 3 |
| 1.3 研究方法及過程..... | 4 |
| 1.4 研究內容..... | 6 |
| 第二章 結構系統「韌性容量 R 值」之檢討..... | 9 |
| 2.1 前言..... | 9 |
| 2.2 我國 SRC 設計規範相關規定..... | 9 |
| 2.3 SRC 構造「韌性容量 R 值」之檢討..... | 11 |
| 2.4 國內相關之研究成果..... | 13 |
| 2.5 建議修訂之規範條文與解說..... | 19 |
| 第三章 SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討..... | 25 |
| 3.1 前言..... | 25 |
| 3.2 我國 SRC 設計規範相關規定..... | 25 |
| 3.3 國內相關之研究成果..... | 27 |
| 3.4 日本相關之研究成果..... | 30 |
| 3.5 日本 AIJ-SRC 規範相關規定..... | 33 |
| 3.6 建議修訂之規範條文與解說..... | 34 |
| 第四章 SRC 柱「圍束箍筋」需求量之探討..... | 37 |

| | | |
|------------|--------------------------------|-----------|
| 4.1 | 前言 | 37 |
| 4.2 | SRC 柱圍束箍筋需求量相關文獻回顧 | 37 |
| 4.3 | SRC 柱之圍束箍筋設計方法 | 41 |
| 4.3.1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 42 |
| 4.3.2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 43 |
| 4.3.3 | Taiwan SRC Code (2004) | 44 |
| 4.3.4 | Strength Reduction Approach | 46 |
| 4.3.5 | Area Reduction Approach | 50 |
| 4.4 | 設計方法之觀察與比較 | 51 |
| 4.4.1 | 混凝土強度與主筋用量之影響 | 51 |
| 4.4.2 | 鋼骨斷面尺寸之影響 | 55 |
| 4.4.3 | SRC 柱之全斷面尺寸影響 | 58 |
| 4.4.4 | SRC 柱之長度影響 | 63 |
| 4.5 | 建議修訂之規範條文與解說 | 67 |
| 第五章 | 其它建議新增或修訂之條文與解說 | 73 |
| 5.1 | 前言 | 73 |
| 5.2 | SRC 「特殊同心斜撐構架系統」 | 73 |
| 5.2.1 | 動機與目的 | 73 |
| 5.2.2 | 建議修訂之規範條文與解說 | 74 |
| 5.3 | SRC 梁之「扭力強度」 | 76 |
| 5.3.1 | 動機與目的 | 76 |
| 5.3.2 | 建議修訂之規範條文與解說 | 78 |
| 5.4 | 採用「五螺箍」設計之 SRC 柱 | 80 |
| 5.4.1 | 動機與目的 | 80 |
| 5.4.2 | 建議修訂之規範條文與解說 | 81 |
| 5.5 | SRC 柱「最小鋼骨比」限制 | 83 |

| | |
|-----------------------------------|------------|
| 5.5.1 動機與目的..... | 83 |
| 5.5.2 建議修訂之規範條文與解說..... | 84 |
| 5.6 SRC 柱「最大鋼筋比」限制..... | 86 |
| 5.6.1 動機與目的..... | 86 |
| 5.6.2 建議修訂之規範條文與解說..... | 88 |
| 5.7 採用螺旋箍筋之 SRC 柱「強度折減係數」..... | 89 |
| 5.7.1 動機與目的..... | 89 |
| 5.7.2 建議修訂之規範條文與解說..... | 89 |
| 5.8 SRC 梁柱接頭採用補強或減弱式接頭之必要性探討..... | 92 |
| 5.8.1 動機與目的..... | 92 |
| 5.8.2 研究發現與初步建議..... | 92 |
| 第六章 結論與建議..... | 105 |
| 6.1 結論..... | 105 |
| 6.2 建議..... | 109 |
| 附錄一 期初報告會議意見回覆..... | 113 |
| 附錄二 第一次學者專家座談會會議紀錄..... | 115 |
| 附錄三 第二次學者專家座談會會議紀錄..... | 125 |
| 附錄四 第三次學者專家座談會會議紀錄..... | 129 |
| 附錄五 期中報告會議意見回覆..... | 133 |
| 附錄六 期末報告會議意見回覆..... | 139 |
| 參考書目..... | 145 |

表 次

| | |
|------------------------------------|----|
| 表 2.1 SRC 結構系統之韌性容量 R 值..... | 11 |
| 表 3.1 鋼梁接 SRC 柱接頭撓曲強度..... | 28 |
| 表 3.2 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗結果..... | 29 |
| 表 3.3 日本鋼梁接 SRC 柱接頭之試驗結果..... | 31 |
| 表 4.1 設計例 1：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 53 |
| 表 4.2 設計例 2：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 54 |
| 表 4.3 設計例 3：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 56 |
| 表 4.4 設計例 4：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 57 |
| 表 4.5 設計例 5：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 59 |
| 表 4.6 設計例 6：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 60 |
| 表 4.7 設計例 7：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 61 |
| 表 4.8 設計例 8：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 62 |
| 表 4.9 設計例 9：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 64 |
| 表 4.10 設計例 10：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 64 |
| 表 4.11 設計例 11：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 65 |
| 表 4.12 設計例 12：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 65 |
| 表 4.13 設計例 13：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 66 |
| 表 4.14 設計例 14：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較..... | 66 |
| 表 5.1 SRC 柱之鋼筋比試算表..... | 87 |
| 表 5.2 鋼梁接 SRC 柱之接頭相關文獻資料..... | 93 |

圖 次

| | |
|---|----|
| 圖 1.1 SRC 梁柱構件示意圖 | 2 |
| 圖 1.2 研究步驟流程圖 | 5 |
| 圖 2.1 早期「配筋太密」的 SRC 梁與 SRC 柱斷面 | 10 |
| 圖 2.2 目前我國 SRC 規範建議之 SRC 梁斷面配筋圖 | 12 |
| 圖 2.3 目前我國 SRC 規範建議之 SRC 梁斷面配筋圖 | 13 |
| 圖 2.4 SRC 梁柱之鋼骨與鋼筋配置示意圖 | 14 |
| 圖 2.5 鋼骨、鋼筋組立及 SRC 梁柱接頭區試驗後之情形 | 15 |
| 圖 2.6 「SRC 柱接鋼梁」試體受反復載重作用之遲滯迴圈 | 15 |
| 圖 2.7 鋼骨、鋼筋組立及 SRC 梁柱接頭區在混凝土灌漿前之情形 ... | 16 |
| 圖 2.8 「SRC 柱接鋼梁」試體在試驗前及層間變位角達 5.0% 弧度之情形 | 17 |
| 圖 2.9 「SRC 柱接鋼梁」試體受反復載重作用之遲滯迴圈 | 17 |
| 圖 2.10 「SRC 柱接 SRC 梁」試體在試驗前及層間變位角達 5.0% 弧度之情形 | 18 |
| 圖 2.11 「SRC 柱接 SRC 梁」試體受反復載重作用之遲滯迴圈 | 18 |
| 圖 3.1 鋼梁接 SRC 柱接頭反復載重與位移遲滯迴圈圖 | 30 |
| 圖 4.1 SRC 柱中混凝土受圍束之情形 | 39 |
| 圖 4.2 三角形圍束模式 | 40 |
| 圖 4.3 矩形圍束模式 | 40 |
| 圖 4.4 鋼骨對混凝土圍束範圍大小之變化：鋼骨用量相同但翼寬不同 | 46 |
| 圖 4.5 SRC 柱內鋼骨翼板寬度為零：鋼骨未能對核心混凝土提供圍束 | 46 |
| 圖 4.6 包覆填充型鋼管 SRC 柱中混凝土受圍束之情形 | 48 |

| | |
|--|----|
| 圖 4.7 包覆十字型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形：矩形圍束模式 | 49 |
| 圖 4.8 包覆 H 型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形：三角形圍束模式 | 49 |
| 圖 4.9 包覆 T 型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形：三角與矩形組合圍束模式 | 50 |
| 圖 5.1 配置「五螺箍」之矩形 SRC 柱斷面示意圖 | 80 |
| 圖 5.2 低鋼骨比 SRC 柱加配繫筋(Cross-tie)之斷面配置參考圖 | 84 |
| 圖 5.3 SRC 柱之主筋配置示意圖 | 86 |
| 圖 5.4 SRC 柱配置輔助筋示意圖 | 87 |
| 圖 5.5 SRC 構造接頭區混凝土扮演「補強式接頭」之功能 | 95 |
| 圖 5.6 鋼梁接 SRC 柱之反復載重與位移遲滯迴圈圖 | 96 |
| 圖 5.7 鋼梁接 SRC 柱之反復載重與位移遲滯迴圈圖 | 97 |
| 圖 5.8 鋼梁接 SRC 柱之反復載重與位移遲滯迴圈圖 | 99 |

照片目次

| | |
|------------------------------------|-----|
| 照片 5.1 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗之鋼梁塑性變形情況..... | 100 |
| 照片 5.2 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗之鋼梁塑性變形情況..... | 101 |
| 照片 5.3 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗之鋼梁塑性變形情況..... | 103 |





鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)

設計規範之檢討修訂

摘要

關鍵詞：鋼骨鋼筋混凝土(SRC)構造、設計規範、檢討修訂、結構系統韌性容量、梁柱接頭撓曲強度比、SRC 柱圍束箍筋

一、研究緣起

內政部於民國九十三年七月一日公佈我國首部「鋼骨鋼筋混凝土 (Steel Reinforced Concrete, SRC) 構造設計規範」以後，對於提昇國內 SRC 建築工程之品質已經產生正面的效益。不過，早期在研擬 SRC 規範時(民國 83 至 86 年間)，有部份條文尚缺乏充分的理論或實驗佐證，暫時採取比較保守的規定，因此實有檢討修訂之必要，以使我國 SRC 規範更為合理。本計畫主要針對近年來工程界反映 SRC 構造設計規範之中有部份條文規定過於保守的問題進行探討，其中主要包括以下三項主題：

- (一) 結構系統「韌性容量 R 值」之檢討；
- (二) 梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討；
- (三) SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討。

除了上述三項主題之外，本研究亦針對 SRC 構造設計規範中其他部份條文，提出相關檢討修訂之建議，以使我國 SRC 規範更臻完善。

二、研究方法及過程

本研究首先收集近年來國內外發表有關 SRC 構造之研究報告與論文，同時針對國內與國外先進國家之 SRC 構造相關設計規範進行研讀與分析，並將這些文獻及實驗結果與我國 SRC 規範相關條文之規定互相比較，以探討其對我國 SRC 構造設計規範修訂之參考價值。本研究亦舉辦學者專家諮詢座談會，以充分交換意見

與集思廣義。最後本研究小組提出具體的 SRC 規範條文修訂建議，作為未來修訂我國 SRC 構造設計規範之參考。

三、重要發現

本研究針對目前我國 SRC 構造設計規範之中部份條文規定過於保守或不盡合宜的問題進行深入檢討，期望本研究之成果可作為未來修訂 SRC 規範之參考與依據，謹綜合歸納如下：

1. SRC 結構系統「韌性容量 R 值」方面：

依據本研究之分析研討與學者專家討論的結果，建議取消我國 SRC 規範第九章第 9.3.2 節之中對於 SRC 結構系統「韌性容量 R 值」打九折之作法，亦即將折減係數 α_B 、 α_C 恢復至 1.0。這主要是由於目前美國 AISC Seismic Provisions (2005) 之中，對於 SRC 構造採取類似鋼結構之「R 值」並未有打九折之「懲罰」作法。此外，由於內政部已公佈「SRC 設計規範」作為 SRC 構造配筋之依據，只要依照規範設計與施工，SRC 梁柱配筋過密與混凝土澆置的問題應可避免。因此實在沒有必要再對 SRC 構造的 R 值施以打九折的懲罰規定。

2. SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」方面：

目前日本 AIJ-SRC 規範(2001)之中，對於 SRC 梁柱接頭採用「SRC 柱接鋼梁」時，鋼梁與 SRC 柱中之鋼骨的「撓曲強度比值」下限為 0.4；而我國 SRC 規範則要求不得小於 1.0，實在過於保守。本研究根據蒐集之國內外試驗研究資料及學者專家討論之結果，認為該項「撓曲強度比值」應可參考日本 SRC 規範之作法以予適度放寬。因此，建議目前 SRC 規範第八章第 8.4.2 節之中，對於 SRC 梁柱接頭採用「SRC 柱接鋼梁」時，鋼梁與 SRC 柱中之鋼骨的「撓曲強度比值」下限以予適度調整為 0.6。

3. SRC 柱「圍束箍筋」需求量方面：

由於 SRC 柱中之鋼骨可以分擔 SRC 柱的軸力，使得混凝土所需承受之軸力降低；同時鋼骨之翼板也對其所包圍之混凝土提供有效的圍束作用，形成「高度圍束區混凝土」。因此，相較於一般純 RC 柱，本研究認為 SRC 柱之圍束箍筋用量應

該可以適度折減。本研究並提出一組新的設計公式作為未來修訂 SRC 規範第九章第 9.7.3 節之中對於 SRC 柱圍束箍筋用量計算法之參考。

除上述三項之外，本研究亦針對 SRC 規範中其他部份條文，提出新增或修訂之建議。本研究建議新增之條文包括：「SRC 特殊同心斜撐構架系統」、「SRC 梁之扭力強度」與「採用五螺箍設計之 SRC 柱」。

本研究建議修訂之條文包括：「SRC 柱最小鋼骨比限制」、「SRC 柱最大鋼筋比限制」、「採用螺旋箍筋 SRC 柱之強度折減係數」及「SRC 梁柱接頭之鋼梁補強與切削之必要性探討」等。

四、主要建議事項

綜合本研究之分析研討與學者專家討論的結果，本研究針對我國 SRC 構造設計規範提出下列檢討修訂之建議：

(一) 立即可行之建議：

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

1. SRC 結構系統「韌性容量 R 值」之修訂：

修訂 SRC 規範第九章第 9.3 節「結構系統與韌性容量」之條文與解說，調整 SRC 結構系統分類與韌性容量 R 值，取消 α_B 、 α_C 打九折之折減係數。目前我國「建築物耐震設計規範與解說」亦進行修訂中，本次建議修訂之 SRC 結構系統分類與韌性容量 R 值將與新修訂之建築物耐震設計規範的規定相同。

2. SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」之修訂：

修訂 SRC 規範第八章第 8.4.2 節「梁與柱接合處之撓曲強度比」之中，有關梁柱接頭為「鋼梁接 SRC 柱」時之撓曲強度比值限制，由原本的 1.0 放寬為 0.6。本建議主要反映近年來有關 SRC 梁柱接頭之實驗與研究成果，並參考日本 AIJ-SRC 規範之作法以予適度放寬。

3. SRC 柱「圍束箍筋」需求量之修訂：

修訂 SRC 規範第九章第 9.7.3 節「柱之設計細則」對於 SRC 柱「圍束箍筋」需

求量之計算公式，以反映 SRC 柱內之鋼骨翼板對其所包覆之混凝土可以提供有效圍束作用之貢獻，形成 SRC 柱內之「高度圍束區混凝土」。

4. SRC「特殊同心斜撐構架系統」之增訂：

新增 SRC 規範第九章第 9.9 節「特殊同心斜撐構架」，並取消原本第 9.9 節「同心斜撐構架」之規定。本建議主要反映內政部新訂之「鋼結構極限設計法規範」及修訂中之「建築物耐震設計規範」均已納入「特殊同心斜撐構架」之規定。

5. SRC 梁「扭力強度」之增訂：

新增 SRC 規範第五章第 5.6 節「設計扭力強度」。本建議主要反映近年來有關 SRC 梁扭力強度之實驗與研究成果。

6. 採用「五螺箍」設計之 SRC 柱之增訂：

建議 SRC 規範第四章第 4.3.5 節「柱之箍筋」的解說中，納入有關「五螺箍」應用於 SRC 柱之內容。本建議主要反映近年來有關「五螺箍」應用於 SRC 柱之實驗與研究成果。

7. SRC 柱之「最大鋼筋比」之修訂：

修訂 SRC 規範第九章第 9.7.3 節「柱之設計細則」，將「SRC 柱鋼筋比」之上限由原本 4% 調降為 3%，以免 SRC 柱配筋過密。

8. 採用螺旋箍筋之 SRC 柱「強度折減係數」之修訂：

修訂 SRC 規範第二章第 2.6 節「載重係數與強度折減係數之配合」之解說及第六章第 6.4.1 節「強度疊加法」之本文與解說，調整「SRC 柱中 RC 部分之強度折減係數」。本建議主要針對採用螺旋箍筋之 SRC 柱，其 RC 部分之強度折減係數 ϕ_c 應參照 ACI 318-08 之新規定，由 0.7 提升為 0.75。

(二) 中長期建議：

本研究建議以下之課題可列為修訂我國 SRC 構造設計規範之中長期項目：

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

1. SRC 柱之「最小鋼骨比」之修訂：

建議 SRC 規範第六章第 6.3 節「一般要求」中，對於 SRC 柱「最小鋼骨比」之限制由原本 4% 調降為 1%，且應採取相關配套規定。本建議主要反映新版 AISC 鋼結構設計規範(2005)已將 SRC 柱之最小鋼骨比由 4% 降為 1%。

2. SRC 梁柱接頭之「鋼梁補強與切削之必要性」檢討修訂：

本研究初步建議，當採用 SRC 梁柱接頭時，在滿足強柱弱梁及梁柱交會區具備適當剪力強度等條件下，SRC 梁柱接頭處之鋼梁可以不需採取減弱(切削翼板)或補強(蓋板或肋板)措施。本建議主要反映近年來 SRC 梁柱接頭之實驗與研究成果，發現 SRC 梁柱接頭區之鋼筋混凝土可以扮演類似「補強式接頭」的角色，能夠發揮保護梁柱接頭區銲道之功能。

最後，為提昇我國 SRC 構造在設計與施工上的品質，並且適當反映工程界之意見及研發創新之成果，建議我國 SRC 設計規範宜每三到五年檢討修訂一次，且建議應持續贊助 SRC 相關之試驗研究，俾使我國的 SRC 設計規範更臻完善。



A Study on Revision of the Taiwan SRC Building Code

Abstract

Keywords: Steel Reinforced Concrete (SRC), Taiwan SRC Building Code, Revision, Structural System, Response Modification Coefficient, Beam-to-Column Connection, Moment Capacity Ratio, Column Confinement Reinforcement

For the last decade, the steel reinforced concrete (SRC) buildings have become increasingly popular in Taiwan. In July 2004, the Ministry of Interior Affairs announced an amendment to the government's building code and published the first edition of the "Design Code for Steel Reinforced Concrete (SRC) Structural Buildings." It is the first time that Taiwan has her own official document to regulate the design of SRC buildings. However, according to recently published research results, some of the design provisions in the Taiwan SRC building code have been found to be too conservative, which may result in unnecessarily waste of the construction materials. Thus, an immediate revision of the SRC building code becomes essential.

Among the overly conservative design provisions in the Taiwan SRC building code are those related to the structural system response modification coefficient "R" for seismic design, the limitation of the moment capacity ratio at the beam-to-column connection, and the consumption of the confinement reinforcement of the SRC column. The first step of this study is to investigate the above-mentioned conservative design provisions of the SRC building code in more depth. Then, based on the recently published research results and test data, this study has concluded with appropriate amendments to the current Taiwan SRC building code so that those overly conservative design provisions can be properly revised.



第一章 緒論

1.1 前言

自從「九二一集集大地震」之後，台灣民眾對建築物耐震能力與安全性的要求大幅提高，政府相關部門更是十分重視此一問題。民國八十八年的九月二十一日是台灣歷史上最悲傷的日子之一，也是作為土木與建築工程界一份子，心中最沉痛的時刻之一。由於強烈地震的侵襲，使得台灣島上許多鋼筋混凝土(Reinforced Concrete, RC)建築受到重創，也間接的使民眾慎重思考是否有另一種更好的建築構造可提供選擇。近年來，在國內新增的建築中，鋼骨鋼筋混凝土(Steel Reinforced Concrete, SRC)構造所佔的比例逐漸增加，顯示這種新型的建築構造日益受到建築業者與一般民眾的歡迎。

從工程專業的觀點而言，SRC 構造可以經由適當的設計，將鋼骨(S)與鋼筋混凝土(RC)有效的結合起來，使它成為一種更安全與經濟的結構體。因此，SRC 構造設計之目標在於有效的結合「S」與「RC」兩種構造，使它兼具這兩種構造的優點。換言之，一個經過適當設計的 SRC 構造可以擷取「S」與「RC」構造的優點，並可以利用彼此互相「截長補短」，進而達到更安全與更經濟的「雙贏目標」[1]。

從「優生學」的觀點而言，我們可以比喻說：「一個經過適當設計的 SRC 構造，就像是 S 構造與 RC 構造結婚之後所生的『優生寶寶』」[2]。優生學之目標在於結合不同的個體以產生更優良的下一代或新品種，其主要的作法是經由擷取被結合者各自的優點，讓優點儘可能充份發揮出來，並藉以彌補原本個體的缺點。不過，反觀一個未經用心設計的 SRC 構造，不但可能沒有享受到 S 構造與 RC 構造的優點，反而可能弄巧成拙衍生出更多的問題。因此，如何能夠設計出 SRC 優生寶寶而不是 SRC 低能兒，實在是一個成功的 SRC 構造設計者所欲努力達成的目標。

由於 SRC 構造具有許多建築與力學方面的優點，因此逐漸受到業主、建築師、土木與結構技師的青睞。圖 1.1 顯示兩種常見的 SRC 梁柱的配置情況[2]。設計者

可以選擇採用包覆十字型鋼骨 SRC 柱，或採用包覆填充型鋼管 SRC 柱。以 SRC 柱為例，包覆於鋼骨表面的混凝土主要可以發揮以下功能：(1)提供鋼骨柱防火被覆；(2)增進鋼骨柱防銹功能；(3)提昇鋼骨柱之抗壓能力；(4)增加鋼骨柱之結構勁度；(5)避免鋼骨發生局部挫屈。

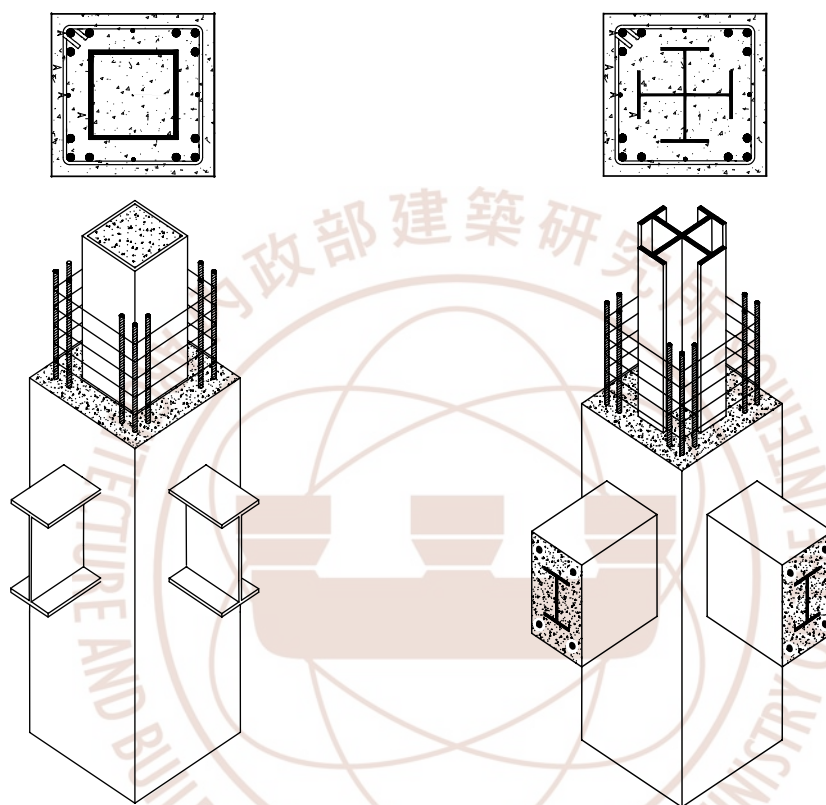


圖 1.1 SRC 梁柱構件示意圖

(資料來源：參考書目 2)

相對於一般鋼骨(S)構造與鋼筋混凝土(RC)構造而言，SRC 構造的主要優點可以摘要說明如下[2]：

(一) SRC 構造相對於一般鋼骨(S)構造：

1. 包覆鋼骨的混凝土可以成為良好的防火被覆，也可進一步降低成本。
2. 包覆鋼骨的混凝土可有效的減少鋼骨發生局部挫曲的問題。
3. 相對於一般鋼骨建築，SRC 建築的梁柱勁度較大，若以 SRC 柱取代純鋼柱，可以增加建築物的勁度，減少大樓側向位移。

4. 相對於純鋼柱，SRC 柱利用混凝土抗壓的優點提高抗壓能力，有助於降低成本，並減少超厚鋼板的使用，有助於減少發生銲接缺陷的機率。

(二) SRC 構造相對於一般鋼筋混凝土(RC)構造：

1. 對高層集合住宅而言，採用 SRC 柱取代傳統 RC 柱，能夠減少柱斷面積，增加實際可用空間。
2. 對辦公大樓而言，若採用鋼管混凝土柱，可在不增加柱斷面積的情況下，提高柱的抗壓強度與建築物之勁度，非常經濟有效。
3. 若採用鋼管混凝土柱，鋼管亦是澆注混凝土時的模板，並可以提供混凝土良好的圍束效應，提高混凝土的抗壓能力。

1.2 研究背景與目的

在民國九十三年之前，由於我國「建築技術規則」中尚未明訂 SRC 構造設計之規定，使得國內從事 SRC 構造設計之業者與審查機構缺乏一套依循的標準規範。因此基於提昇國內 SRC 建築工程品質之目標，在內政部建築研究所的大力推動之下，乃於民國八十三年以專案研究計畫之方式委託中華民國結構工程學會進行草擬我國 SRC 構造設計規範之研究，並由國立交通大學翁正強教授擔任計畫主持人[3]。經過研究小組多年持續不斷的努力，由資料收集、問卷調查、徵詢學者專家之意見與密集的研究過程，我國「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」草案終於在民國九十二年正式經過內政部審議通過[4]。

由於國內所採用的鋼結構與RC結構設計規範主要係參考美國AISC(American Institute of Steel Construction)[5,6]及ACI(American Concrete Institute)設計規範[7]而訂定，因此有關SRC規範的研擬係朝結合上述AISC與ACI規範的方向進行，其主要目的在於使國內的S、RC及SRC三種設計規範能夠具有一貫性。此外，由於日本在SRC構造方面經驗頗豐，因此國內SRC規範的發展亦適度的參考日本建築學會(Architectural Institute of Japan, AIJ) SRC規範[8]的經驗，特別是在SRC構造細則與強度疊加的概念方面。

內政部於民國九十三年一月十六日公佈修正我國「建築技術規則」之建築設計施工編第二百四十條及建築構造編部份條文[9]。從此以後，我國「建築技術規則」的建築構造編中增列「第七章：鋼骨鋼筋混凝土構造」，由第 496 條至 520 條明訂 SRC 構造之設計相關規定，內容包括設計原則、材料、構材設計、接合設計與施工等。隨後，內政部並公告我國第一部「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[10]自民國九十三年七月一日起正式施行，使得國內從事 SRC 構造設計之業者與審查機構有明確的 SRC 構造設計規範可以依循。

自從內政部公佈 SRC 構造設計規範以後，對於提昇國內 SRC 建築的工程品質已經產生相當的正面效益。不過，早期在研擬 SRC 規範時(民國 83 至 86 年間)，有部份條文尚缺乏充分的理論或實驗佐證，因此暫時採取比較保守的規定，其中包括 SRC 構造之結構系統「韌性容量 R 值」、SRC 梁柱接頭之「撓曲強度比值」限制、SRC 柱之「圍束箍筋需求量」等方面。

近年來，國內外陸續有許多 SRC 構造之研究報告與學術論文發表，其中不乏大尺寸的實驗結果，證實經過適當設計的 SRC 構造可以具備良好的強度與韌性。此外，許多土木技師、結構技師與相關的公會及工程顧問公司之設計者亦反映目前 SRC 構造設計規範確實有部份規定過於保守且不盡合理，並可能造成不必要的浪費，實有儘速檢討修訂之必要，以使我國 SRC 構造設計規範能夠更為合理。

1.3 研究方法及過程

本研究針對工程界反映 SRC 構造設計規範中，部份過於保守之條文規定的，進行深入且有系統的探討。首先，將收集近年來國內外發表之 SRC 構造相關研究報告與論文，同時針對國外先進國家之 SRC 構造相關設計規範進行瞭解，接著研讀與分析這些文獻與法規，並檢視新的 SRC 構造實驗結果，以探討其對我國 SRC 構造設計規範修訂之參考價值。

本計畫在研究過程中針對以下三項主題進行深入的分析：

- (1) SRC 構造耐震設計之結構系統「韌性容量 R 值」之合理性；

- (2) SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之合理性；
- (3) SRC 柱「圍束箍筋需求量」之合理性。

本研究亦舉辦學者專家諮詢座談會，邀請對象包括學術界、工程顧問業者、建築師、土木技師、結構技師及相關公會等代表，以期充分交換意見與集思廣義。最後本研究小組提出具體的規範條文修訂建議，以使我國 SRC 構造設計規範更為合理完善，研究步驟流程圖如圖 1.2 所示。

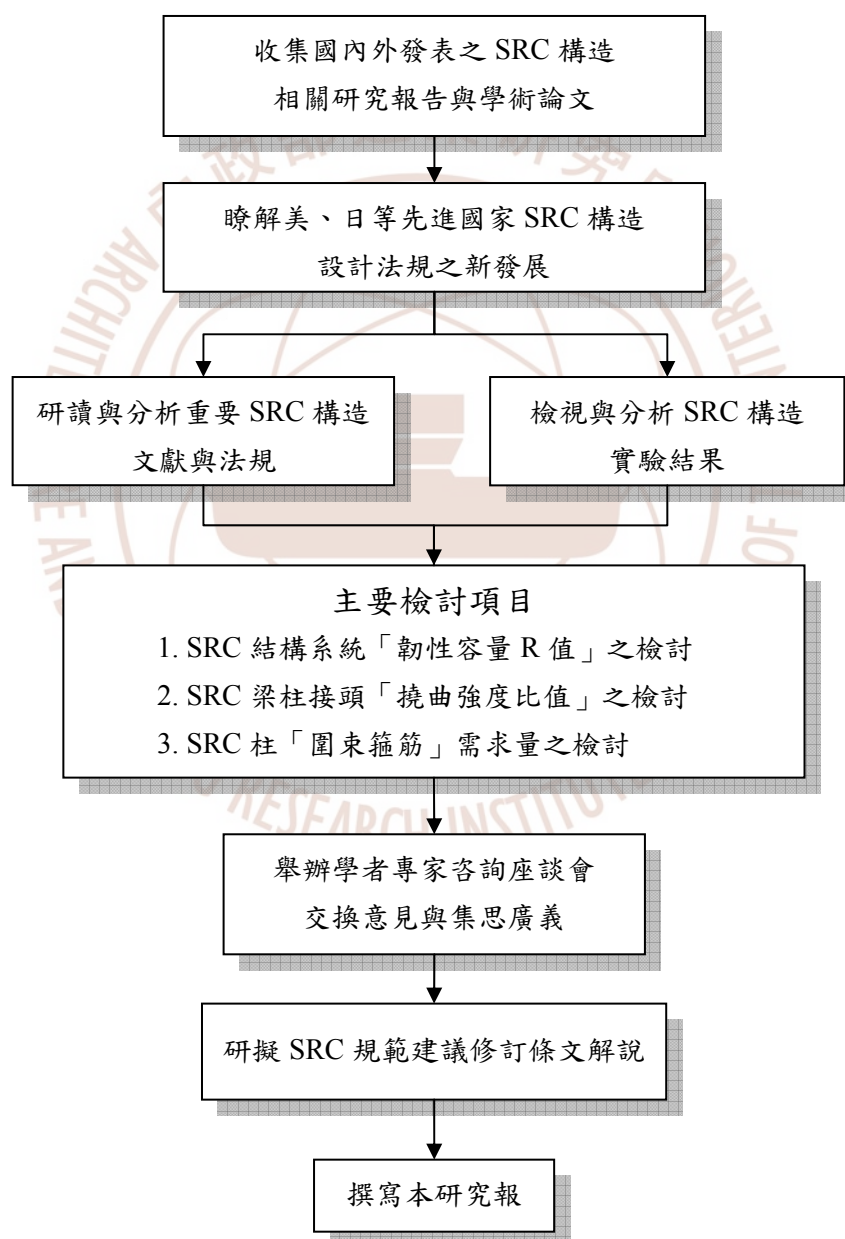


圖 1.2 研究步驟流程圖(資料來源：本研究繪製)

1.4 研究內容

本研究係針對目前我國 SRC 構造設計規範之中部份條文規定過於保守或不盡合宜的問題進行深入檢討，期望研究成果可提供未來修訂 SRC 規範之參考與依據。本研究共分為六章，其主要內容如下：

第一章：緒論。本研究首先介紹 SRC 構造之特性、相關研究背景與目的，並說明本計畫之研究方法與內容。

第二章：結構系統「韌性容量 R 值」之檢討。早期研擬我國 SRC 構造設計規範時，考慮到國內 SRC 構造常發生梁柱配筋過密的問題，導致混凝土澆置易產生蜂窩，因此乃對 SRC 結構系統「韌性容量 R 值」暫時採用「打九折」保守方式來設計。依據本研究之分析研討與學者專家討論的結果，建議取消我國 SRC 規範第九章第 9.3.2 節之中對於 SRC 「韌性容量 R 值」打九折之作法，亦即將折減係數 α_B 、 α_C 恢復至 1.0。這主要是由於目前美國 AISC Seismic Provisions (2005) 之中，對於 SRC 構造之「R 值」並未有打九折之「懲罰」作法。此外，由於內政部已公佈「SRC 設計規範」作為 SRC 構造配筋之依據，只要依照規範設計與施工，SRC 梁柱配筋過密與混凝土澆置的問題應可避免。

第三章：SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討。本研究考慮目前日本 AIJ-SRC 規範(2001)中，對於 SRC 構造梁柱接頭為「SRC 柱接鋼梁」時之鋼梁與 SRC 柱中之鋼骨的「撓曲強度比值」下限為 0.4，而我國 SRC 規範於訂定之初因缺乏充分研究成果而採取「撓曲強度比值」限制須大於 1.0 之保守規定，本章深入探討此種梁柱接頭限制規定予以放寬之可行性。

第四章：SRC 柱「圍束箍筋」需求量之探討。近年來，陸續有許多大尺寸的 SRC 柱實驗結果出現，證實 SRC 柱中之鋼骨可對混凝土提供良好之圍束效果，因此本計畫針對 SRC 柱之「鋼骨對混凝土之圍束效應」進行深入分析，採用國內外相關設計公式分析比較，以瞭解此一效應確實有助於降

低 SRC 柱之圍束箍筋需求量，並提出相關設計條文的建議。

第五章：其他建議新增或修訂之條文與解說。本研究除了討論結構系統「韌性容量 R 值」、SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」以及 SRC 柱「圍束箍筋」需求量三項研究主題之外，亦針對目前 SRC 規範部份條文規定，提出其它新增或修訂建議之條文或解說。內容包括 SRC 構造「特殊同心斜撐構架系統」、SRC 梁之「扭力強度」、採用「五螺箍」設計之 SRC 柱、SRC 柱「最小鋼骨比」限制、SRC 柱「最大鋼筋比」限制、採用螺旋箍筋 SRC 柱之「強度折減係數」、SRC 梁柱接頭之「鋼梁補強與減弱之必要性」等相關條文規定。

第六章：結論與建議。本章綜合歸納本計畫研究成果與結論，並提出 SRC 構造設計規範具體修訂之建議等。





第二章 結構系統「韌性容量 R 值」之檢討

2.1 前言

早期在研擬我國 SRC 構造設計規範期間（民國 83 至 86 年間），當時一方面考慮國內早期許多 SRC 構造常發生梁柱配筋過密的問題（如圖 2.1 所示），容易導致混凝土澆置困難與產生蜂窩；另一方面，由於尚未有適當的實驗資料（特別是大尺寸 SRC 梁柱接頭往復載重試驗）來佐證 SRC 構造的韌性，因此當時在訂定 SRC 構造的結構系統「韌性容量 R 值」時，暫時採用「打九折」的保守方式來設計[1,2]。

不過，自從內政部於民國 93 年七月一日公佈 SRC 構造設計規範以後，其中第四章「構造細則」明確規定 SRC 梁、SRC 柱及梁柱接頭之配筋細則，可以有效避免 SRC 梁、柱「配筋過密」之問題。

此外，目前美國 AISC Seismic Provisions (2005)[5]之中，對於 SRC 構造之「結構系統韌性容量 R 值」並未有打九折之「懲罰」作法。再者，這些年來陸續有許多大尺寸的 SRC 梁、SRC 柱及 SRC 梁柱接頭之相關實驗與論文發表，顯示其強度與韌性之表現良好，因此應該沒有必要對 SRC 構造的「韌性容量 R 值」施以懲罰性「打九折」的作法。

2.2 我國 SRC 設計規範相關規定

目前我國 SRC 規範第九章「耐震設計」第 9.3.2 節「韌性容量」中，對於 SRC 構造之「韌性容量 R 值」採用「打九折」的方式來設計，如表 2.1 所示。表中建議「結構系統韌性容量 R 值」係以 $R = R_s \times \alpha_B \times \alpha_C$ 方式計算，其中 R_s 之值源自於內政部頒佈之「建築物耐震設計規範與解說」[11]之鋼結構韌性容量值，而 α_B 與 α_C 分別為鋼骨鋼筋混凝土之梁韌性容量折減係數與柱韌性容量折減係數，係用以反映梁、柱之形式對 SRC 結構系統韌性容量的影響。

當時我國 SRC 規範採用韌性容量折減係數 α_B 與 α_C 主要是考慮下述原因：

1. 鋼筋施工性之影響：

由於包覆型 SRC 構材中有鋼骨存在，鋼筋之施工將較為複雜，尤其是在 SRC 梁柱接頭處圍束箍筋之施作。

2. 混凝土填充性之影響：

相對於一般 RC 構材而言，包覆型 SRC 構材中因內部有鋼骨存在，澆置混凝土時難度較高。尤其是在 SRC 梁柱接頭處，或是在 SRC 梁中之鋼骨翼板下方，有時會發生蜂窩或填充不實之現象，因此構材之韌性可能略受影響。

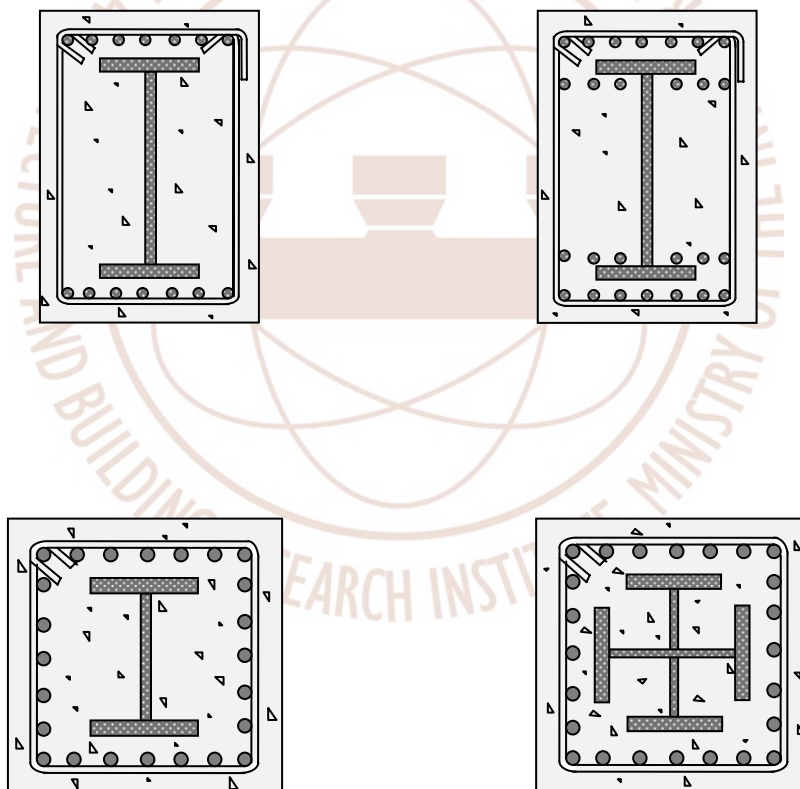


圖 2.1 早期「配筋太密」的 SRC 梁與 SRC 柱斷面
(資料來源：參考書目 1、2)

表 2.1 SRC 結構系統之韌性容量 R 值

| SRC 結構系統 | 結構系統 韌性容量 R | α_B | | α_C | | |
|----------------------------------|---|------------|--------------|-------------------|---------------------|--------------|
| | $R = R_S \times \alpha_B \times \alpha_C$ | 鋼梁 | 包覆型 SRC 梁 | 填充型 鋼管混 凝土柱 | 包覆填充 型鋼管混 凝土柱 | 包覆型 SRC 柱 |
| SRC 韌性抗彎矩構架 | $R = 4.8 \times \alpha_B \times \alpha_C$ | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| SRC 同心斜撐構架 | $R = 3.6 \times \alpha_B \times \alpha_C$ | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| SRC 偏心斜撐構架 | $R = 4.0 \times \alpha_B \times \alpha_C$ | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| SRC 二元結構系統 韌性抗彎矩構架與 同心斜撐構架 | $R = 4.4 \times \alpha_B \times \alpha_C$ | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| SRC 二元結構系統 韌性抗彎矩構架與 偏心斜撐構架 | $R = 4.8 \times \alpha_B \times \alpha_C$ | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| SRC 二元結構系統 韌性抗彎矩構架與 剪力牆 | $R = 4.8 \times \alpha_B \times \alpha_C$ | 1.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |

(資料來源：參考書目 10)

2.3 SRC 構造「韌性容量 R 值」之檢討

基於以下幾項理由，本研究小組認為目前 SRC 規範對 SRC 構造韌性容量 R 值「打九折」的方式顯得過度保守，亦可能造成不必要的浪費：

1. 目前美國 AISC Seismic Provisions (2005)[5]之中，對於 SRC 構造之「結構系統韌性容量 R 值」並未有打九折之懲罰作法。
2. 自從內政部於公佈「SRC 設計規範」作為 SRC 構造配筋依據以後，對於提昇 SRC 構造的工程品質已產生正面效益。由於 SRC 規範已訂有專章(第四章：「構造細則」)明確規定 SRC 梁、柱及 SRC 梁柱接頭之配筋細則(如圖 2.2 至圖 2.4 所示[1,10])，故可有效避免 SRC 梁、SRC 柱以及 SRC 梁柱接頭「配筋

過密」之問題。

3. 近年來由於國內混凝土科技快速進步，混凝土的工程品質與工作度大幅提升，使得 SRC 梁、柱及接頭混凝土發生澆置困難或產生蜂窩之問題可以獲得有效改善。
4. 近年來陸續有許多大尺寸的 SRC 梁 (文獻[12~19])、SRC 柱(文獻[20~31])及 SRC 梁柱接頭 (文獻[32~46])的試驗結果出現。許多研究顯示，依據我國 SRC 規範設計出來的 SRC 構材與梁柱接頭，其強度與韌性表現良好，似乎沒有必要再對 SRC 構造韌性容量 R 值乘以「打九折」的折減係數 α_B 與 α_C 。

整體而言，針對「韌性容量 R 值」的問題，經過研究分析與學者專家座談會討論的結果 (如附錄二所示)，大多數學者專家認為目前內政部已公佈「SRC 設計規範」作為 SRC 構造配筋之依據，只要依照 SRC 規範設計與施工，SRC 梁柱配筋過密與混凝土澆置的問題應可避免。因此，應該沒有必要再對 SRC 構造的 R 值施以「懲罰」性打九折，建議將 SRC 構造的 R 值「恢復」到與一般 RC 構造及鋼構造相同等級之水準。

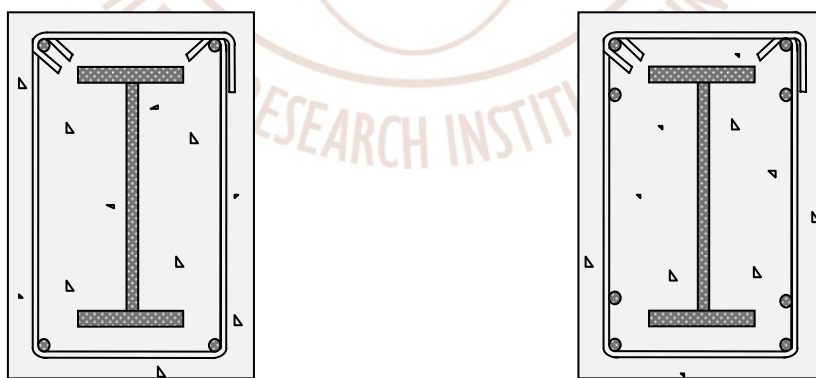


圖 2.2 目前我國 SRC 規範建議之 SRC 梁斷面配筋圖
(資料來源：參考書目 1、10)

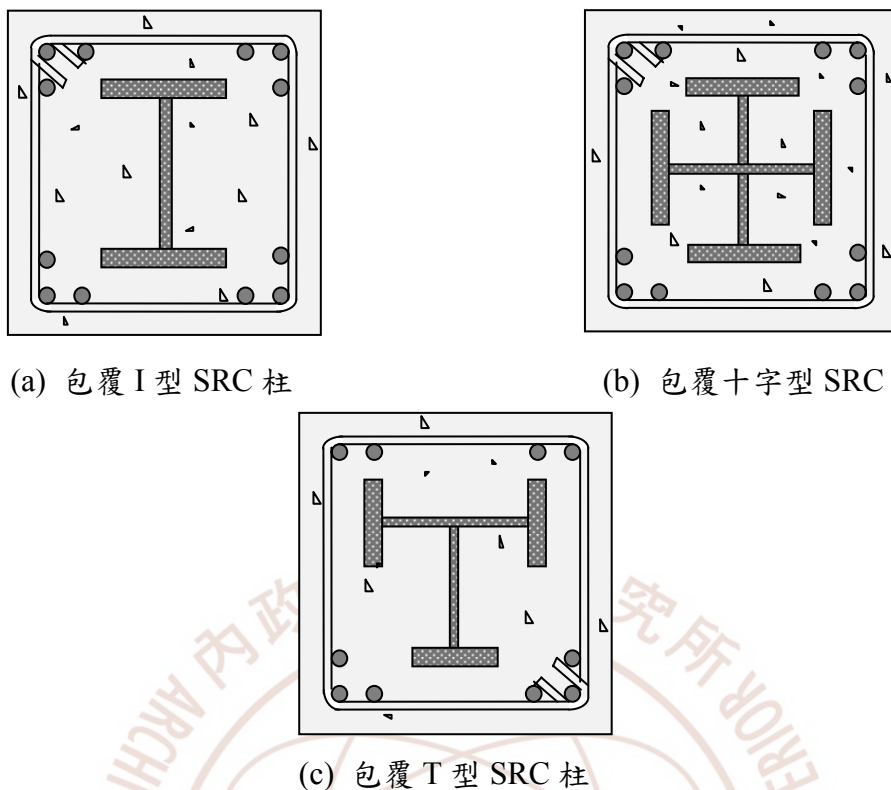


圖 2.3 目前我國 SRC 規範建議之 SRC 梁斷面配筋圖
(資料來源：參考書目 1、10)

2.4 國內相關之研究

過去幾年來陸續有許多大尺寸的 SRC 梁柱接頭的試驗結果出現，顯示依據我國 SRC 規範所設計出來的 SRC 構件與接頭，其強度與韌性之表現良好。限於篇幅，本研究小組將摘錄文獻[37]與[45]中部分 SRC 梁柱接頭試驗結果，藉以說明經過適當設計之 SRC 梁柱接頭在受反復載重下，具有卓越的韌性與耐震性能，對於保障大地震來襲時之生命與財產安全有重要意義。

首先，Weng 等[37]進行之大尺寸 SRC 梁柱接頭試驗，採用「SRC 柱接鋼梁」之型式，此種梁柱接頭主要特點在於能夠利用 SRC 柱側向勁度與抗壓強度之優點，又可以享受到鋼梁的韌性與施工方便性，同時避開 SRC 梁施工較複雜的缺點。一般而言，若以鋼梁取代 SRC 梁，將有助於簡化施工、縮短工期與提高品質，並且鋼梁上方之樓板亦可採用鋼承板(Steel Deck)施作。

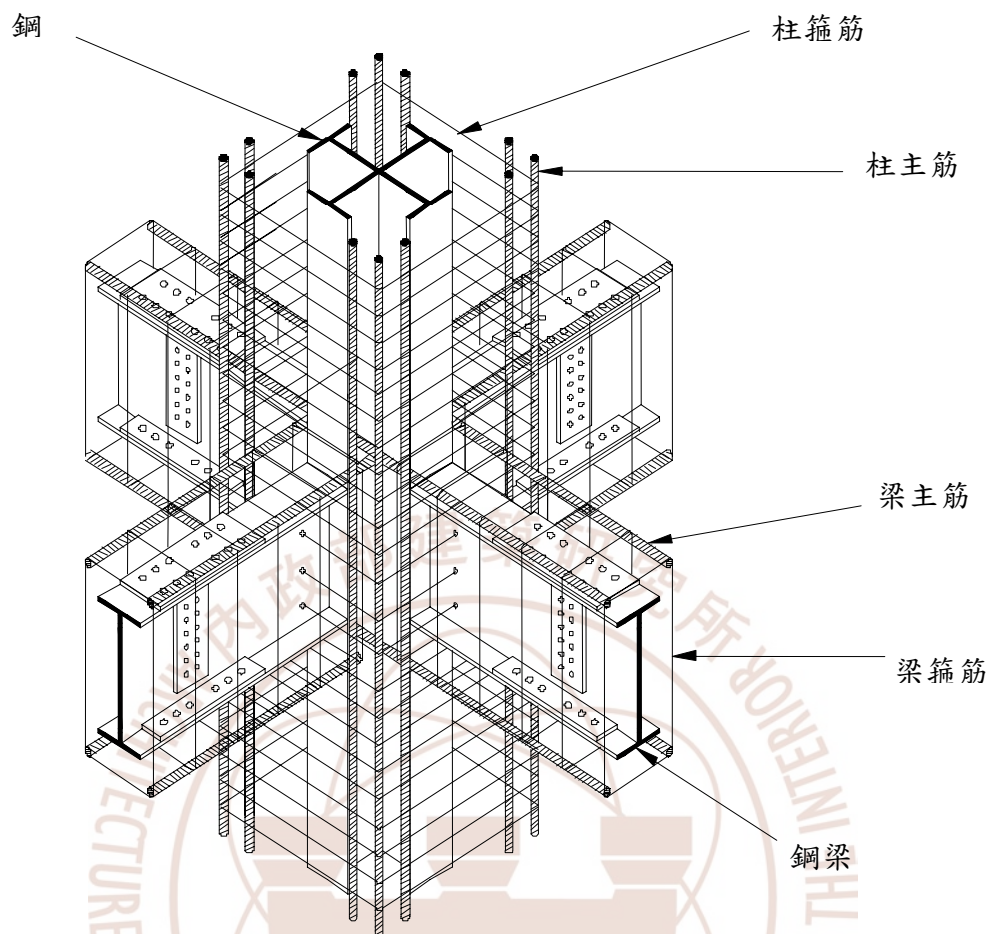
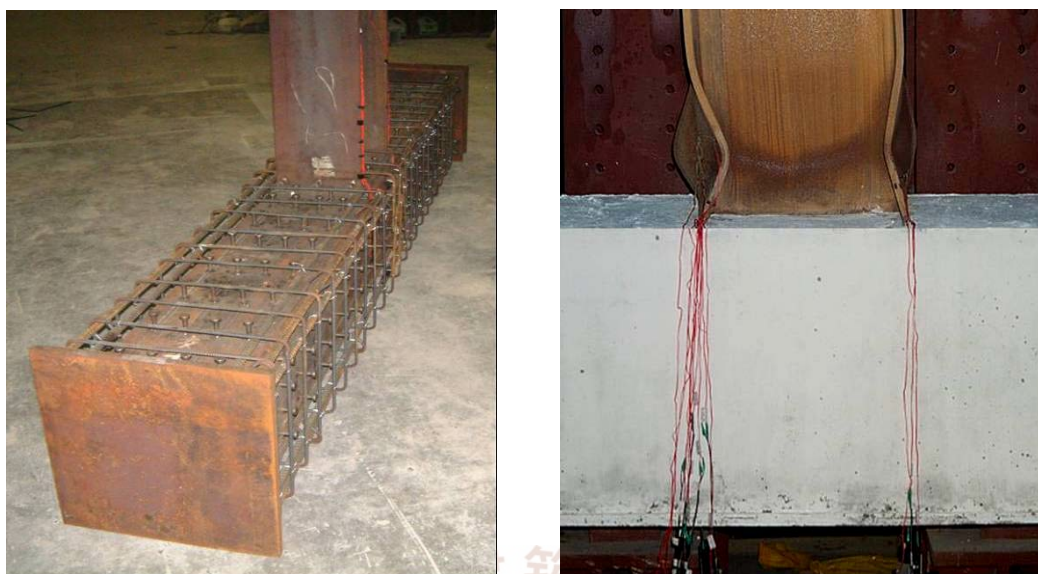


圖 2.4 SRC 梁柱之鋼骨與鋼筋配置示意圖
(資料來源：參考書目 2)

Weng 等[37]之實驗結果顯示，在滿足我國 SRC 規範配筋細則與強柱弱梁等條件下，SRC 梁柱接頭試體在反復載重作用下可以發展出穩定的遲滯迴圈(Hysteretic Loop)，且試體之層間變位角可以達到 5.5%弧度以上。圖 2.5(a)與(b)顯示一組這種 SRC 梁柱接頭的試體組裝與試驗結果照片，圖 2.6 則為該試體在反復載重作用下發展出的遲滯迴圈。

根據實驗觀察發現，由於鋼梁插入 SRC 柱的部份受到梁柱接頭區混凝土有效的圍束，使得鋼梁可以在 SRC 柱混凝土面外約 20 公分處發展出穩定且充分的塑性鉸。SRC 梁柱接頭試體之鋼梁塑性鉸穩定發生於 SRC 柱的混凝土面之外，由此顯示接頭區的鋼筋混凝土具有「保護鋼骨梁柱接頭銲道」的功能，並且成功將鋼梁的塑性鉸逼離銲道。



(a) SRC 梁柱接頭試體組立之情形 (b) 試體之鋼梁發展出良好塑性鉸

圖 2.5 鋼骨、鋼筋組立及 SRC 梁柱接頭區試驗後之情形

(資料來源：參考書目 37)

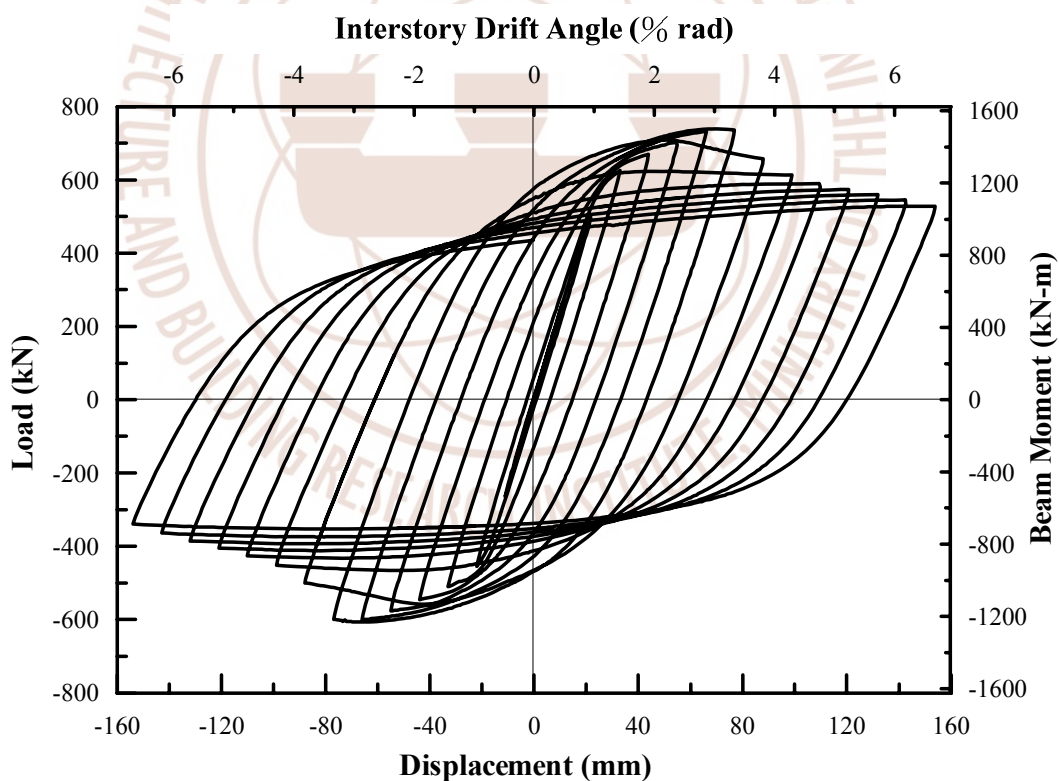


圖 2.6 「SRC 柱接鋼梁」試體受反復載重作用之遲滯迴圈

(資料來源：參考書目 37)

另一方面，翁正強等[45]進行三組大尺寸 SRC 梁柱接頭試驗，採用「SRC 柱接鋼梁」與「SRC 柱接 SRC 梁」兩種型式，該研究同時在探討一種新型的複合式螺旋箍筋（稱為「五螺箍」）應用於 SRC 構造之效益。

三組試體中，一組採用 SRC 柱接鋼梁，另兩組則採用 SRC 柱接 SRC 梁。試驗結果顯示，三組 SRC 梁柱接頭的層間變位角均可達 4.0% 弧度以上，且試體之遲滯迴圈均相當飽滿。當層間變位角到達 4.0% 弧度時，梁之抗彎強度仍可維持大於 80% 之極限彎矩強度，並沒有發生強度驟降的情形，顯示這種新型的梁柱接頭具有優越之抗震能力。

圖 2.7(a)與(b)顯示該研究兩組五螺箍 SRC 梁柱接頭試體的組裝照片，分別為「SRC 柱接鋼梁」與「SRC 柱接 SRC 梁」兩種不同的接頭型式。圖 2.8(a)與(b)則顯示「SRC 柱接鋼梁」試體之試驗裝置與試驗結果，圖 2.9 則為該試體在反復載重作用下發展出的遲滯迴圈。再者，圖 2.10(a)與(b)顯示「SRC 柱接 SRC 梁」試體之試驗裝置與試驗結果，圖 2.11 則為該試體在反復載重作用下發展出的遲滯迴圈。

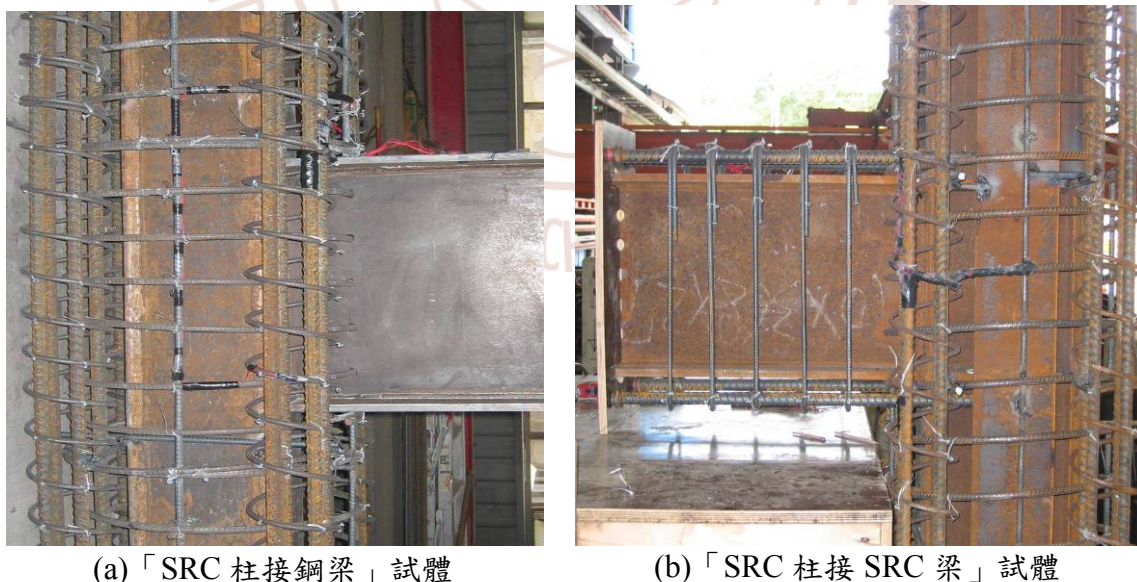


圖 2.7 鋼骨、鋼筋組立及 SRC 梁柱接頭區在混凝土灌漿前之情形
(資料來源：參考書目 45)



(a) 試體受反復載重作用之情形 (b) 層間變位角達 5.0% 弧度時之情形

圖 2.8 「SRC 柱接鋼梁」試體在試驗前及層間變位角達 5.0% 弧度之情形

(資料來源：參考書目 45)

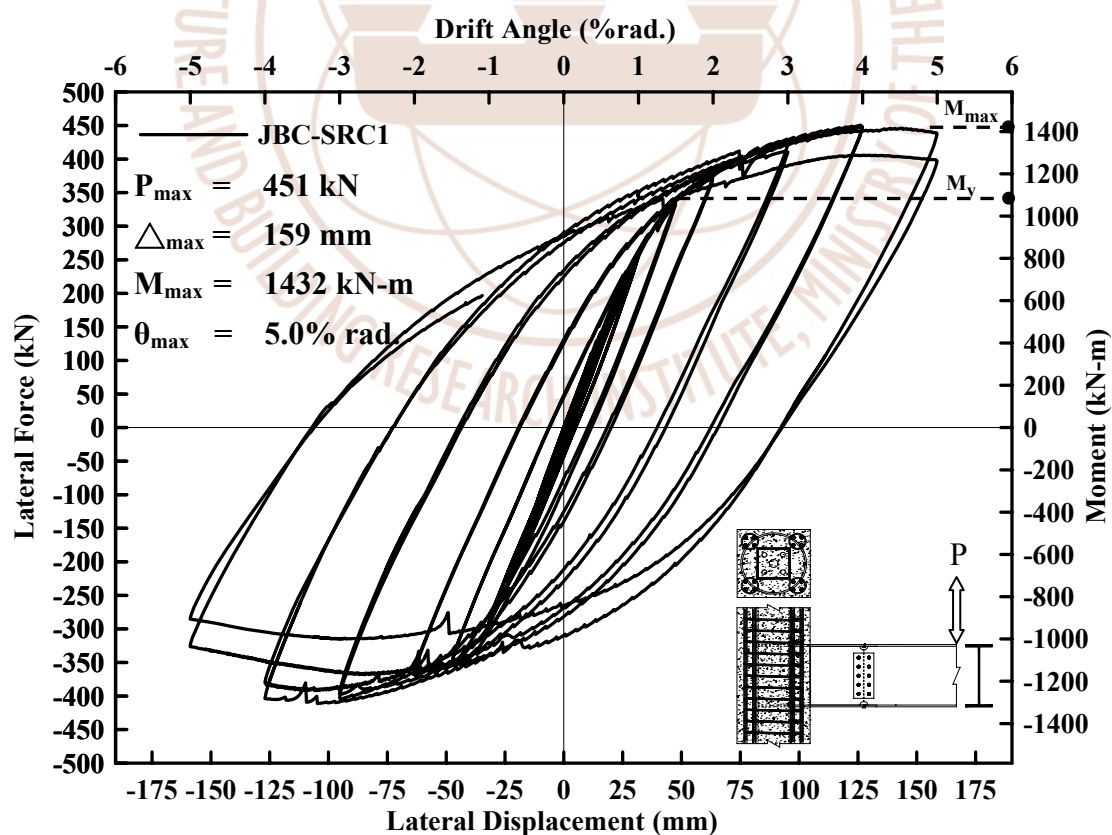
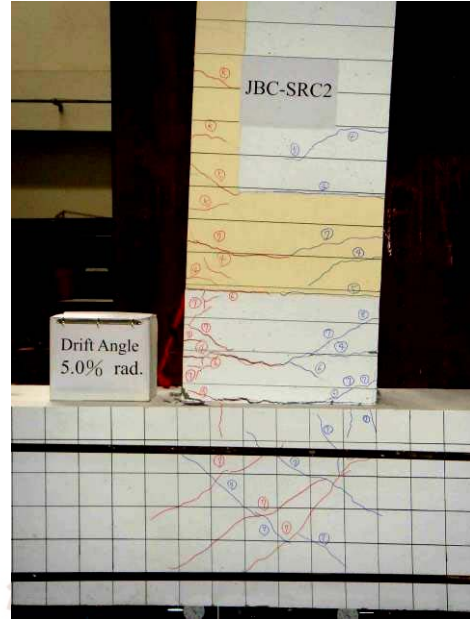


圖 2.9 「SRC 柱接鋼梁」試體受反復載重作用之遲滯迴圈

(資料來源：參考書目 45)



(a) 試體受反復載重作用之情形



(b) 層間變位角達 5.0% 弧度時之情形

圖 2.10 「SRC 柱接 SRC 梁」試體在試驗前及層間變位角達 5.0% 弧度之情形

(資料來源：參考書目 45)

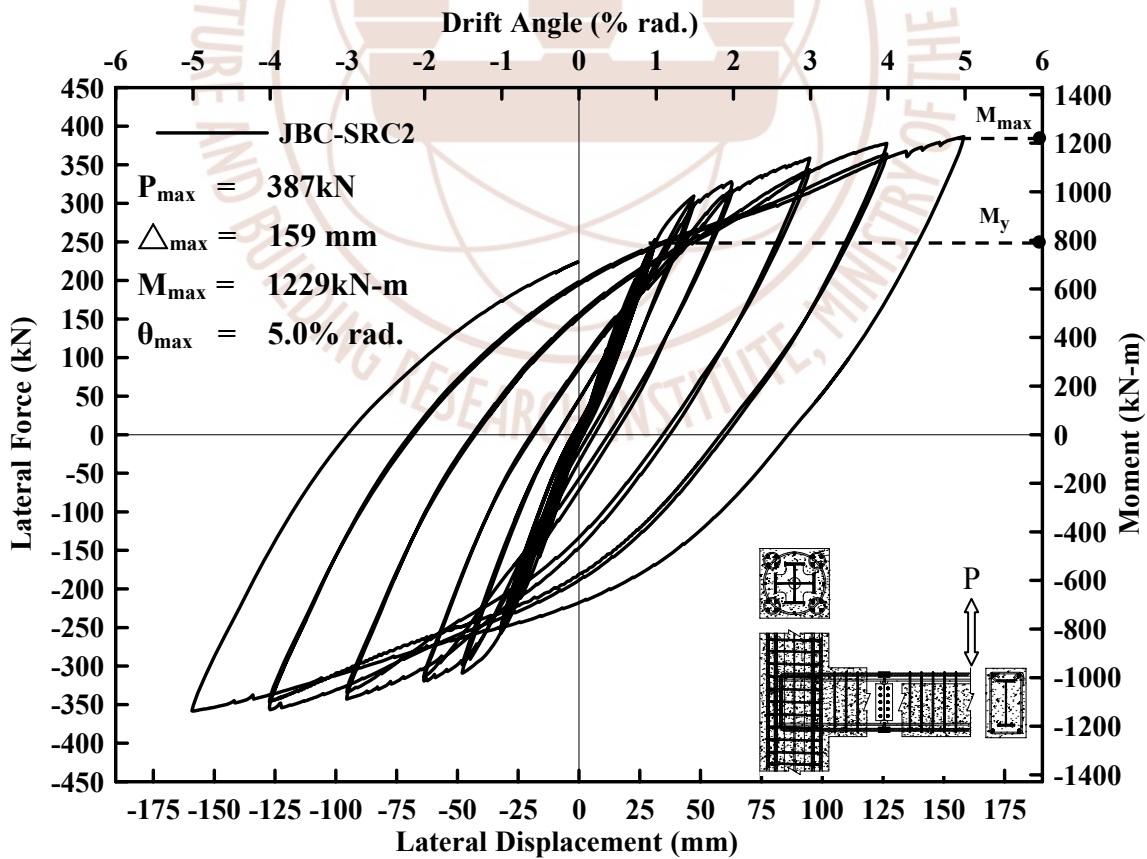


圖 2.11 「SRC 柱接 SRC 梁」試體受反復載重作用之遲滯迴圈

(資料來源：參考書目 45)

綜合以上大尺寸的 SRC 梁柱接頭試驗結果，顯示依據我國 SRC 規範所設計出來的 SRC 構件與接頭，其強度及韌性表現良好。因此，應該沒有必要對 SRC 構造的 R 值施以懲罰性打九折，建議將 SRC 構造的 R 值「恢復」到與一般 RC 構造及鋼構造相同等級之水準。

2.5 建議修訂之規範條文與解說

由於目前美國 AISC Seismic Provisions (2005)之中對 SRC 構造的「韌性容量 R 值」並未有打九折之作法；且目前內政部已公佈「SRC 設計規範」與「SRC 施工規範」作為 SRC 構造配筋之依據，只要依照規範設計與施工，SRC 梁柱配筋過密與混凝土澆置的問題應可避免。

國內過去幾年來已有許多大尺寸的 SRC 梁柱接頭試驗結果出現，顯示依據我國 SRC 規範所設計出來的 SRC 構件與接頭，其強度及韌性表現良好。因此，應該沒有必要再對 SRC 構造的 R 值施以「懲罰」性打九折，建議將 SRC 構造的 R 值「恢復」到與一般 RC 構造及鋼構造相同等級之水準，取消 α_B 、 α_C 打九折之折減係數(亦即恢復為 1.0)。

另一方面，在本計畫的期中報告會議中，王亭復技師建議 SRC 結構系統項下，所有「韌性抗彎矩構架」之名稱，宜均改為「特殊抗彎構架 (Special Moment Resisting Frames, SMRF)」。本研究小組十分認同委員之意見，建議目前規範所謂之「韌性抗彎矩構架」名稱應改為「特殊抗彎構架」較為理想。

此外，由於我國 2007 年「鋼結構極限設計法規範及解說[47]已參考 AISC Seismic Provisions (2005)新增「特殊同心斜撐構架(Special Concentrically Braced Frames, SCBF)」之設計規定，在考量我國設計規範相互配合的原則下，本研究乃建議我國 SRC 規範新增「SRC 特殊同心斜撐構架」之設計規定。

再者，目前我國「建築物耐震設計規範與解說」[11]中有關 RC 構造、鋼構造及 SRC 構造之結構系統韌性容量係數，亦進行全面檢討修訂，本規範採用之 SRC 結構系統韌性容量係數將與最新修訂之建築物耐震設計規範與解說採用之結構系

統韌性容量係數相同。

因此，本研究針對我國 SRC 規範之第九章「耐震設計」，建議採取以下之修訂：

1. 第九章之 9.3.1 節、9.3.2 節、9.5 節、9.6.1 節及 9.6.3 節中，所有「韌性抗彎矩構架」之名稱，均改為「特殊抗彎構架」；
2. 第九章之 9.3.1 節「鋼骨鋼筋混凝土結構系統」中，增列「鋼骨鋼筋混凝土特殊同心斜撐構架」及「特殊抗彎矩構架與特殊同心斜撐構架之二元結構系統」；
3. 第九章之 9.3.2 節「韌性容量」中，修訂「SRC 結構系統之韌性容量 R 值」之內容。

(以下建議修改與新增之 SRC 規範條文與解說，均以「細明體」之字型表示)

9.3 結構系統與韌性容量

9.3.1 鋼骨鋼筋混凝土結構系統

用以抵抗地震力之鋼骨鋼筋混凝土結構系統主要包括以下幾種形式：

1. 鋼骨鋼筋混凝土特殊抗彎矩構架
2. 鋼骨鋼筋混凝土特殊同心斜撐構架
3. 鋼骨鋼筋混凝土偏心斜撐構架
4. 特殊抗彎矩構架與特殊同心斜撐構架之二元結構系統
5. 特殊抗彎矩構架與偏心斜撐構架之二元結構系統
6. 特殊抗彎矩構架與剪力牆之二元結構系統

(...以下規定與原規範相同，故文字部分予以省略)

9.3.2 韌性容量

計算設計地震力時，應依內政部所定「建築物耐震設計規範及解說」之規定，惟鋼骨鋼筋混凝土構造之結構系統韌性容量 R 值應依表 9.3.1 決定之。

表 9.3.1 鋼骨鋼筋混凝土結構系統之韌性容量 R 值

| 基本結構系統 | 抵抗地震力之結構系統 | R |
|-----------------|------------------------------------|-----|
| 一、普通構架系統 | 1. 剪力牆： | |
| | (1) 鋼筋混凝土牆配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 3.6 |
| | (2) 鋼板牆配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.2 |
| | (3) 鋼板鋼筋混凝土牆配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.0 |
| | 2. 斜撐： | |
| | (1) 鋼造或鋼骨鋼筋混凝土偏心斜撐及鋼梁配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.2 |
| | (2) 鋼造特殊同心斜撐配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 3.0 |
| 二、抗彎矩構架系統 | 1. 特殊抗彎矩構架： | |
| | (1) 鋼骨鋼筋混凝土造 | 4.8 |
| 三、具特殊抗彎矩構架之二元系統 | 1. 剪力牆： | |
| | (1) 鋼筋混凝土牆配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.8 |
| | (2) 鋼板牆配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.8 |
| | (3) 鋼板鋼筋混凝土牆配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.8 |
| | 2. 斜撐系統： | |
| | (1) 鋼造或鋼骨鋼筋混凝土偏心斜撐及鋼梁配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.8 |
| | (2) 鋼造特殊同心斜撐配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.2 |
| | (3) 挫屈束制支撐配置鋼骨鋼筋混凝土邊界構材 | 4.8 |

解說：早期在研擬我國 SRC 構造設計規範時期間，當時一方面考慮國內許多 SRC 構造常發生梁柱配筋過密的問題，容易導致混凝土澆置困難與產生蜂窩；另一方面，由於尚未有適當的實驗資料（特別是 SRC 梁柱接頭往復載重試驗）來佐證 SRC 構造的韌性，因此當時在訂定 SRC 構造的「結構系統韌性容量 R 值」時，暫時採用「打九折」的保守方式來設計。不過，基於以下理由，對於 SRC 構造之韌性容量 R 值「打九折」的方式顯得過度保守，亦造成不必要的浪費：

- (1) 目前 AISC Seismic Provisions (2005)[5]之中對 SRC 構造的結構系統「韌性容量 R 值」並未有打九折之「懲罰」性作法。
 - (2) 自從內政部公佈「SRC 設計規範」與「SRC 施工規範」作為 SRC 構造配筋之依據以後，對於提昇 SRC 構造的工程品質已產生正面效益。由於本規範第四章已訂明確規定 SRC 梁、柱及 SRC 梁柱接頭之「配筋細則」，可有效避免 SRC 梁與 SRC 柱配筋過密之問題。
 - (3) 近年來國內混凝土科技快速進步，混凝土工程品質與工作度大幅提升，使得 SRC 梁、柱及接頭之混凝土發生澆置困難或產生蜂窩的問題可以獲得改善。
 - (4) 這些年來陸續有許多大尺寸的 SRC 梁([12~19])、SRC 柱([20~31])及 SRC 梁柱接頭([32~46])的試驗結果出現。研究顯示依據我國 SRC 規範「配筋細則」設計的 SRC 構材與梁柱接頭，其強度與韌性表現良好，因此沒有必要再對 SRC 構造的 R 值乘以「打九折」的折減係數 α_B 與 α_C ，所以將 SRC 構造的 R 值「恢復」到與一般 RC 構造及鋼構造相同等級之水準。
- 目前我國建築物耐震設計規範與解說[11]中有關 RC 構造、鋼構造及 SRC 構造之結構系統韌性係數亦進行檢討修訂，本規範之 SRC 結構系統韌性係數將會與新修訂之建築物耐震設計規範之韌性係數相同。

9.5 特殊抗彎矩構架

鋼骨鋼筋混凝土特殊抗彎矩構架之設計應滿足本規範第 9.5、9.6、9.7 與 9.8 節之規定。

鋼骨鋼筋混凝土特殊抗彎矩構架若採用包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱或包覆填充型鋼管混凝土柱時，梁可設計為鋼梁或鋼骨鋼筋混凝土梁；若構架採用填充型鋼管混凝土柱時，梁應以鋼梁設計之。

9.6 梁之設計要求

9.6.1 梁之彎矩強度

鋼骨鋼筋混凝土特殊抗彎矩構架中梁之設計彎矩強度 $\phi_b M_n$ 應不小於其需要彎矩強度 M_u 。 M_u 為依本規範載重組合所計得作用於梁上之最大需要彎矩， $\phi_b M_n$ 之大小應依第 5.4 節之規定決定之。

9.6.3 梁之設計細則

鋼骨鋼筋混凝土梁除應符合第四章之規定外，亦應滿足以下要求：

1. 梁之尺度

(...以下規定與原規範相同，故文字部分予以省略)

4. 鋼梁之側向支撐

採用鋼梁設計之特殊抗彎矩構架，於可能發生塑鉸處，鋼梁之上下翼板均須設置足夠之側向支撐。側向支撐間距不得超過 $170 r_y / F_{ys}$ ，其中 r_y 為鋼梁弱軸之迴轉半徑， F_{ys} 之單位為 tf/cm^2 。

(...以下規定與原規範相同，故文字部分予以省略)



第三章 SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討

3.1 前言

早期在研擬我國 SRC 規範期間(民國 83 至 86 年間)，由於當時國內 SRC 構造尚缺乏充分的理論及研究成果，因此在訂定 SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」限制時，初步採用較為保守之規定。然而，近年來國內外陸續有許多大尺寸 SRC 構造實驗結果、研究報告與學術論文發表，日本方面於此一主題亦有相當之研究成果，均顯示此規定過於保守，使國內許多土木與結構技師及相關顧問公司之工程師於設計時造成不必要之浪費，故此條文實有儘速檢討修訂之必要。

本章將引用國內相關之 SRC 梁柱接頭實驗結果、研究報告[43~46]及日本相關之研究成果[48~52]，並參考日本 AIJ-SRC 設計規範(2001)[8]之相關條文，以作為本研究對 SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」限制修訂之參考依據。

3.2 我國 SRC 設計規範相關規定

我國 SRC 設計規範[10]第八章「接合設計」第 8.4.2 節「梁與柱接合處之撓曲強度比」中，將 SRC 構造梁柱接頭分為以下兩類：(1)採用鋼骨鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱接合之梁柱接頭，簡稱為「SRC 柱接 SRC 梁」；(2)採用鋼梁與鋼骨鋼筋混凝土柱接合之梁柱接頭，簡稱為「SRC 柱接鋼梁」。

採用「SRC 柱接 SRC 梁」之梁柱接頭時，為了確保接頭處之應力能夠平順傳遞，我國 SRC 規範參考日本 AIJ-SRC[8]規範之規定，對梁柱接頭處鋼骨與 RC 部份所傳遞的彎矩比例作出限制，該限制主要在避免梁柱接頭處 SRC 柱與 SRC 梁內鋼骨及 RC 部份所分擔之彎矩比例過於懸殊。故規範規定採用「SRC 柱接 SRC 梁」之梁柱接頭時，接合處之梁與柱中之鋼骨或鋼筋混凝土，其撓曲強度符合以下規定之一：

(1) 鋼骨部份：

$$\frac{\sum(M_{ns})_C}{\sum(M_{ns})_B} \geq 0.6 \quad (3-1)$$

(2) 鋼筋混凝土部份：

$$\frac{\sum(M_{nrc})_C}{\sum(M_{nrc})_B} \geq 0.6 \quad (3-2)$$

其中：

$\sum(M_{ns})_C$ = 梁柱接合處所有柱中鋼骨部份之標稱彎矩強度之總和

$\sum(M_{ns})_B$ = 梁柱接合處所有梁中鋼骨部份之標稱彎矩強度之總和

$\sum(M_{nrc})_C$ = 梁柱接合處所有柱中 RC 部份之標稱彎矩強度之總和

$\sum(M_{nrc})_B$ = 梁柱接合處所有梁中 RC 部份之標稱彎矩強度之總和

當採用「SRC 柱接鋼梁」之梁柱接頭時，接合處之鋼梁與 SRC 柱中之鋼骨，其撓曲強度應符合以下之規定：

$$\frac{\sum(M_{ns})_C}{\sum(M_{ns})_B} \geq 1.0 \quad (3-3)$$

其中：

$\sum(M_{ns})_C$ = 梁柱接合處所有柱中鋼骨部份之標稱彎矩強度之總和

$\sum(M_{ns})_B$ = 梁柱接合處所有梁中鋼骨部份之標稱彎矩強度之總和

上述SRC規範8.4.2節中，對於梁柱接頭採用「SRC柱接鋼梁」時，規定其撓曲強度須符合公式3-3；然而，公式3-3中僅考慮SRC柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度之比值，而將SRC柱內混凝土對撓曲強度之貢獻忽略不計；因此設計上，往往造成柱斷面過度的浪費，使得設計者寧可採用較難施工的SRC柱接SRC梁，也較不願選用容易施工的SRC柱接鋼梁。

目前SRC規範在8.4.2節之解說中特別提到，訂定規範時因缺乏充分的研究成果，所以此處撓曲強度比值暫時採用較保守之1.0規定，若將來有進一步的研究成

果出現，則可考慮修訂之。因此本研究將探討「SRC柱接鋼梁」時，在接合處之鋼梁與SRC柱中之鋼骨，其撓曲強度比值之限制須大於1.0之合理性。

另一方面，我國SRC規範[10]於第九章「耐震設計」第9.7.1節「柱之彎矩強度」中亦有如下之規定：

進行耐震設計時，SRC 構造中各梁柱接頭應滿足下述「強柱弱梁」之要求，設計時若接頭處有兩方向之梁通過時，兩方向應分別檢討：

$$\frac{\sum M_C}{\sum M_B} \geq 1.2 \quad (3-4)$$

其中：

$\sum M_C$ = SRC 構架中連接於梁柱接頭處各柱在接頭交接面之標稱彎矩強度之總和。

$\sum M_B$ = SRC 構架中連接於梁柱接頭處各梁在接頭交接面之標稱彎矩強度之總和。

3.3 國內相關之研究成果

國內在梁柱接頭採用「SRC 柱接鋼梁」之相關研究方面，初期試體規劃皆依據我國 SRC 規範[10]規定之柱內鋼骨與鋼梁撓曲強度比值大於 1.0 設計，包括 Weng, C. C. 等人[37]、楊宗翰[43]、徐振益[44]等，其實驗結果均呈現良好之韌性行為。然而，上述實驗試體設計均符合我國 SRC 規範中對於梁柱接合處撓曲強度比值需大於 1.0 之限制，並無於實驗中探討其比值之限制是否合理。

由於國內對於採用「SRC 柱接鋼梁」梁柱接頭撓曲強度比值限制之合理性並無相關之研究，故王榮進等[46]進行了六組大尺寸「SRC 柱接鋼梁」之梁柱接頭試驗，以實驗探討 SRC 構造之鋼梁與 SRC 柱接合時，於梁柱接頭處 SRC 柱內鋼骨與鋼梁撓曲強度比值大於 1.0 之合理性，試體規劃之撓曲強度如表 3.1 所示。六組試體均滿足規範強柱弱梁以及梁柱交會區之設計剪力強度大於其最大需求剪力強

度之要求，而 SRC 柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度之比值則小於 1.0(介於 0.41 至 0.81 之間)。王榮進等[46]之實驗結果如表 3.2 所示，表中鋼梁之塑性彎矩強度 M_p 為依據拉力試片所得之強度計算；最大彎矩實驗值 $M_{u,test}$ 則為計算當梁端達最大載重時於柱面之彎矩值。六組試體之 $M_{u,test}/M_p$ 比值皆大於 1.0 (介於 1.02 至 1.14 之間)，其結果表示六組試體之鋼梁已達其塑性彎矩強度；亦即實驗結果顯示，即使縮小 SRC 柱內鋼骨尺寸，使 SRC 柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度之比值小於 1.0(介於 0.41 至 0.81 之間)，但由於 SRC 柱內鋼骨部分與 RC 部分能有效的結合，故梁端傳來之彎矩仍可由 SRC 柱內之鋼骨與 RC 部分共同抵抗，使得鋼梁能發展出其塑性彎矩強度。

表 3.1 鋼梁接 SRC 柱接頭撓曲強度

| 試體編號 | 鋼梁彎矩 | 鋼柱彎矩 | SRC柱彎矩 | 鋼柱與鋼梁撓曲強度比值 | SRC柱與鋼梁撓曲強度比值 | 交會區設計剪力強度與最大需求剪力強度比值 |
|----------|------------------------|------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| | $(M_{ns})_B$ (kN-m) | $(M_{ns})_C$ (kN-m) | M_C (kN-m) | $\Sigma(M_{ns})_C / (M_{ns})_B$ | $\Sigma M_C / \Sigma (M_{ns})_B$ | $\phi_v V_n / V_u$ |
| SR0.8-R8 | 275 | 112 | 485 | 0.81 | 3.53 | 1.65 |
| SR0.8-R6 | | 112 | 334 | 0.81 | 2.43 | 1.57 |
| SR0.6-R8 | | 85 | 458 | 0.62 | 3.33 | 1.69 |
| SR0.6-R6 | | 85 | 307 | 0.62 | 2.24 | 1.61 |
| SR0.4-R8 | | 57 | 431 | 0.41 | 3.14 | 1.42 |
| SR0.4-R6 | | 57 | 280 | 0.41 | 2.04 | 1.36 |

$(M_{ns})_B$ 為鋼梁標稱撓曲強度。

$(M_{ns})_C$ 為鋼柱標稱撓曲強度。

M_C 為 SRC 柱標稱撓曲強度。 $M_C = (M_{nrc})_C + (M_{ns})_C$ ，其中 $(M_{nrc})_C$ 為 SRC 柱中之 RC 部分之標稱撓曲強度。

V_n 為交會區整體之標稱剪力強度， $\phi_v V_n = \phi_{vrc} V_{ns} + \phi_{vrc} V_{nrc}$

V_{ns} 為交會區鋼骨腹板之標稱剪力強度。

V_u 為試驗時交會區需求之最大剪力， $V_u = [(M_{ns})_B / d_b - t_f] - V_T$ ， $(M_{ns})_B$ 為鋼梁之塑性彎矩， d_b 為鋼梁深度， t_f 為鋼梁翼板厚， V_T 為柱所承擔之剪力。

(資料來源：參考書目 46)

表 3.2 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗結果

| 試體編號 | 鋼梁塑性彎矩強度 | 柱面最大彎矩(實驗值) | 彎矩強度比值 | 試體提供剪力強度 | | | 最大需求剪力強度(實驗值) | 剪力強度比值 |
|----------|-----------------|------------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------|----------------------|------------------|
| | M_p (kN-m) | $M_{u,test}$ (kN-m) | $M_{u,test}/M_p$ | V_{ps} (kN) | V_{prc} (kN) | V_p (kN) | $V_{u,test}$ (kN) | $V_{u,test}/V_p$ |
| SR0.8-R8 | 311 | 343 | 1.10 | 630 | 1362 | 1992 | 1330 | 0.67 |
| SR0.6-R8 | | 319 | 1.03 | 630 | 1403 | 2033 | 1238 | 0.61 |
| SR0.4-R8 | | 318 | 1.02 | 252 | 1529 | 1781 | 1234 | 0.69 |
| SR0.8-R6 | | 357 | 1.14 | 630 | 1259 | 1889 | 1387 | 0.73 |
| SR0.6-R6 | | 330 | 1.06 | 630 | 1302 | 1932 | 1283 | 0.66 |
| SR0.4-R6 | | 320 | 1.03 | 252 | 1441 | 1693 | 1243 | 0.73 |

M_p 為依據拉力試片強度所計算出之鋼梁塑性彎矩強度。
 $M_{u,test}$ 為MTS施加之水平載重乘以梁端至SRC柱面之距離而得之彎矩。
 V_{ps} 為依據拉力試片強度所計算出之鋼梁交會區剪力強度。
 V_{prc} 為根據混凝土材料及鋼筋強度所計算出之RC交會區提供剪力強度。
 V_p 為 V_{ps} 與 V_{prc} 相疊加。

(資料來源：參考書目 46)

另一方面，六組試體之遲滯迴圈如圖 3.1 所示，雖然圖中顯示在原點附近產生混凝土束縮的現象，但因為該現象之產生是由於柱面之混凝土遭鋼梁翼板壓碎，以及梁柱交會區之剪力裂縫所造成，而六組試體之遲滯迴圈仍十分飽滿，因此由遲滯迴圈可顯示六組試體能發展出良好之韌性行為。

綜合上述討論可發現，採用「SRC 柱接鋼梁」之梁柱接頭時，在符合我國 SRC 設計規範[10]所要求之強柱弱梁比值(SRC 規範第 9.7.1 節)以及梁柱交會區擁有足夠的剪力強度(SRC 規範第 9.8.1 節)下，即使 SRC 柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度之比值小於 1.0(介於 0.41 至 0.81 之間)，其梁柱接頭仍可發揮良好的強度以及韌性行為。故現有規範對於採用「SRC 柱接鋼梁」之梁柱接頭，其 SRC 柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度之比值 $\Sigma(M_{ns})_C / \Sigma(M_{ns})_B$ 需大於 1.0 之規定，應可予以放寬。

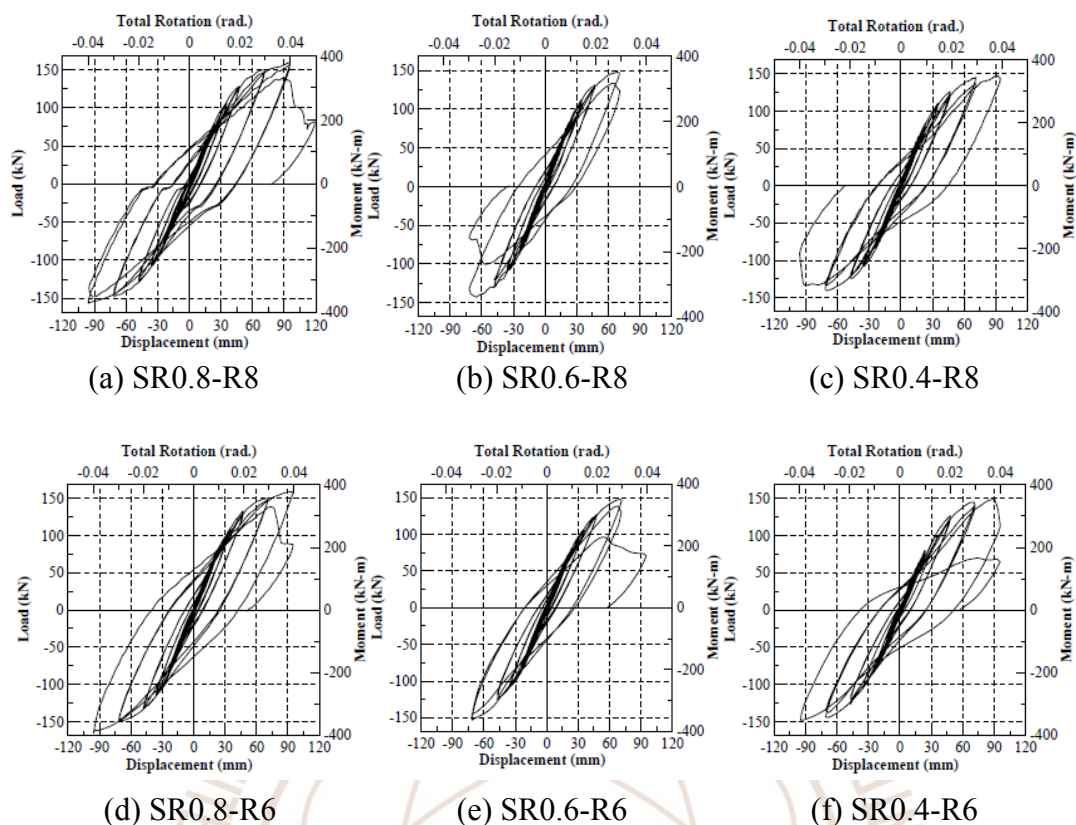


圖 3.1 鋼梁接 SRC 柱接頭反復載重與位移遲滯迴圈圖

(資料來源：參考書目 46)

3.4 日本相關之研究成果

在日本相關研究方面，已有多位學者對於較小的 SRC 柱內鋼骨與鋼梁撓曲強度比值進行研究，如 Yamashita(2000)等[48]、Okayasu(2000)等[49]、Fukuchi(2002)等[50]、Imanishi(2003)等[51]與 Oshida(2003)等[52]分別採用不同型式之 SRC 柱與鋼梁之接頭或對於部分試體之交會區加以補強，以探討接頭之耐震行為，其試驗結果如表 3.3 所示。

日本學者 Yamashita 等人(2000)[48]進行一組 1/2 縮尺之鋼梁接 SRC 柱接頭試驗。其試體之 SRC 柱內鋼骨與梁鋼骨撓曲強度比值僅為 0.2，但梁柱接頭仍有良好之耐震行為。然而，Yamashita 等人研究所用之試體斷面在台灣並不常用，因為其試體採用單一 H 型鋼，柱內鋼骨之斷面甚小，且鋼梁貫穿 SRC 柱。

表 3.3 日本鋼梁接 SRC 柱接頭之試驗結果

| | 試體名稱 | 接頭區補強方式 | $(M_{ns})_C/(M_{ns})_B$ | V_n/V_u | $\Sigma M_C/\Sigma M_B$ | 破壞模式 | 層間變位角 θ (%) |
|--------------------------------|------|--|-------------------------|-----------|-------------------------|--|--------------------|
| Yamashita et al. (2000)[48] | | 接合處以擺放較密集之箍筋增加強度 | 0.20 | 1.61 | 1.30 | 鋼梁達全塑性 | 5.0 |
| Okayasu et al. (2000)[49] | NO.1 | 鋼梁與 SRC 柱交界面以 FBP 補強 | 0.18 | 0.83 | 0.62 | 鋼梁與 SRC 柱之交接面之混凝土在受壓時遭嚴重破壞，實驗結束後交會區也因剪力而破壞 | 8.0 |
| | NO.2 | | 0.33 | 1.05 | 0.62 | | |
| | NO.3 | | 0.22 | 1.00 | 0.74 | | |
| | NO.4 | 接合區上下分別以八角形鐵筐補強，且鋼梁與 SRC 柱交界面再以 FBP 補強 | 0.18 | 0.83 | 0.62 | | |
| | NO.5 | 接合區上下分別以圓形鐵筐補強 | 0.18 | 0.83 | 0.62 | | |
| | NO.6 | 鋼梁與 SRC 柱交界面以 FBP 補強 | 0.12 | 0.75 | 0.48 | | |
| | NO.7 | 接合區上下分別以八角形鐵筐補強，且鋼梁與 SRC 柱交界面再以 FBP 補強 | 0.12 | 0.75 | 0.48 | | |

(續下頁)

(資料來源：本研究整理)

表 3.3 日本鋼梁接 SRC 柱接頭之試驗結果(續)

| | 試體名稱 | 接頭區補強方式 | $(M_{ns})_C/(M_{ns})_B$ | V_n/V_u | $\Sigma M_C/\Sigma M_B$ | 破壞模式 | 層間變位角 θ (%) |
|-------------------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|--------------------|
| Fukuchi et al. (2002)[50] | B50-D100 | | 0.11 | 0.61 | 0.86 | | 5.0 |
| | B50-D130 | | 0.15 | 0.68 | 0.91 | | |
| | B50-D160 | | 0.20 | 0.74 | 0.96 | | |
| | B75-D100 | | 0.15 | 0.62 | 0.91 | | |
| | B100-D100 | | 0.19 | 0.63 | 0.95 | | |
| | B50-D100-H50 | 接合處上下以較密集之間 距 50 mm 擺放箍筋 | 0.11 | 0.61 | 0.86 | | |
| | B50-D100-H30 | 接合處上下以較密集之間 距 30 mm 擺放箍筋 | 0.11 | 0.61 | 0.86 | | |
| Imanishi et al. (2003)[51] | 卜-2 | 接合處以擺放較密集之箍 筋增加強度 | 0.60 | 0.80 | 1.90 | 接頭區剪力破壞， 接合部主筋、繫筋 露出 | 8.2 |
| | 卜-3 | | 0.60 | 0.22 | 1.90 | | 3.5 |
| | 卜-4 | | 1.52 | 0.70 | 2.81 | | 6.2 |
| Oshida et al. (2003)[52] | 十-7 | 接合處以擺放較密集之箍 筋增加強度 | 1.30 | 1.19 | 2.41 | 接頭區剪力破壞， 接合部主筋、繫筋 露出 | 8.2 |
| | 十-8 | | 1.30 | 0.39 | 1.77 | | 8.4 |
| | 十-9 | | 0.59 | 1.08 | 1.88 | | 7.5 |
| | 十-10 | | 0.50 | 0.95 | 1.10 | | 6.0 |

(資料來源：本研究整理)

日本學者 Okayasu 等人(2000)[49]進行八組 1/2 縮尺之鋼梁接 SRC 柱接頭試驗，試體之 SRC 柱內鋼骨與梁鋼骨撓曲強度比值為 0.12 至 0.33。其中五組試體採用承壓面板(Face Bearing Plate, FBP)補強，兩組試體採用八角形加勁鐵筐補強，另一組試體則採用圓形加勁鐵筐補強。試驗結果顯示，因補強有效提升接頭區之強度，故 SRC 柱內鋼骨與梁鋼骨撓曲強度比值即使很小，接頭區能仍發揮優異之韌性行為。

日本學者 Fukuchi 等人(2002) [50]進行七組鋼梁接 SRC 內柱接頭試驗，其鋼梁貫穿 SRC 柱，試體之 SRC 柱內鋼骨與梁鋼骨撓曲強度比值為 0.11 至 0.2。試驗結果顯示每組試體均能達層間變位角 5%弧度，而接合處之強度不致大幅下滑；亦即表示其接頭區具有良好之韌性行為。

日本學者 Imanishi 等人(2003)[51]進行三組鋼梁接 SRC 邊柱接頭試驗，其中一組試體交會區內柱鋼骨並無腹板，另外兩組試體之 SRC 柱內鋼骨與梁鋼骨撓曲強度比值分別為 0.6 與 1.52。實驗結果顯示，除了柱鋼骨無腹板之試體外，其餘試體皆有良好之韌性行為。

日本學者 Oshida 等人(2003)[52]進行四組鋼梁接 SRC 內柱接頭試驗，試體之 SRC 柱內鋼骨與梁鋼骨撓曲強度比值分別為 1.3、0.59 與 0.5。實驗結果顯示，除了柱鋼骨無腹板之試體交會區剪力強度不足外，其餘試體皆有良好之耐震性能。

綜合以上多位日本學者之研究成果，發現即便柱梁鋼骨撓曲強度比值小，但若於梁柱交會區有適當加勁補強或適當之設計，該接頭能保有良好之韌性。而國內相關之研究亦提出類似建議，故當梁柱交會區之設計滿足現有 SRC 規範相關規定，則 SRC 柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度比值應可適度放寬。

3.5 日本 AIJ-SRC 規範(2001)相關規定

日本 AIJ-SRC 規範(2001)[8]第四章第 4.20.3 節中對於 SRC 構造梁柱接頭「撓曲強度比值」之規定如下，當 SRC 構造梁柱接頭內鋼骨部分或混凝土部分之撓曲強度比值滿足以下公式 3-5 或 3-6，則認定其應力能在梁與柱間平順傳遞：

$$0.4 \leq \frac{s_C M_A}{s_B M_A} \leq 2.5 \dots\dots\dots(3-5)$$

$$0.4 \leq \frac{r_C M_A}{r_B M_A} \dots\dots\dots(3-6)$$

由上述規定中可以發現，日本 AIJ-SRC 規範並沒有如我國 SRC 規範將梁柱接頭分為「SRC 柱接 SRC 梁」及「SRC 柱接鋼梁」兩種，而是直接檢核鋼骨部分以及混凝土部分之撓曲強度；亦即當梁柱接頭採用「SRC 柱接鋼梁」時，SRC 柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度之比值僅需滿足公式 3-5 中 0.4 之下限即可。因此，我國 SRC 規範對於梁柱接頭採用「SRC 柱接鋼梁」時，SRC 柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度比值需大於 1.0 之規定過於嚴格，應可參考日本 AIJ-SRC 規範之作法適度放寬。

3.6 建議修訂之規範條文與解說

綜合上述國內外相關之研究與學者專家座談會討論之結果，由於目前日本 AIJ-SRC 規範(2001)對於 SRC 構造之梁柱接頭為「SRC 柱接鋼梁」時，鋼梁與 SRC 柱內鋼骨之「撓曲強度比值」下限為 0.4，且國內外相關實驗與研究報告亦顯示此種梁柱接頭之「撓曲強度比值」小至 0.4 時，其強度及韌性仍有不錯的表現。因此，本研究小組與大多數學者專家均認為，目前我國 SRC 規範在梁柱接頭採用「SRC 柱接鋼梁」時，「撓曲強度比值」限制須大於 1.0 之規定過於嚴格，應可適度放寬。

故本研究小組建議將目前我國 SRC 規範第八章第 8.4.2 節「梁與柱接合處之撓曲強度比」之本文與解說中，有關梁柱接頭採用「SRC 柱接鋼梁」時之「撓曲強度比值」限制，參考日本 AIJ-SRC 規範之作法予以放寬，但由於日本規範對韌性之要求較低，故乃建議放寬之幅度略縮減為 0.6；亦即將原有規範對於採用「SRC 柱接鋼梁」之梁柱接頭，其 SRC 柱內鋼骨撓曲強度與鋼梁撓曲強度比值 $\Sigma(M_{ns})_C / \Sigma(M_{ns})_B$ 需大於 1.0 之規定適度放寬至 0.6，修改後之本文與解說如下(以下建議修改之規範條文與解說，內容以「細明體」之字型表示)：

8.4.2 梁與柱接合處之撓曲強度比

1. 採用鋼骨鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱接合時，在接合處之梁與柱中之鋼骨或鋼筋混凝土，其撓曲強度應符合以下規定之一：

- (1) 鋼骨部分：

$$\frac{\sum (M_{ns})_C}{\sum (M_{ns})_B} \geq 0.6 \quad (8.4.1)$$

- (2) 鋼筋混凝土部分：

$$\frac{\sum (M_{nrc})_C}{\sum (M_{nrc})_B} \geq 0.6 \quad (8.4.2)$$

2. 採用鋼梁與鋼骨鋼筋混凝土柱接合時，在接合處之鋼梁與鋼骨鋼筋混凝土柱中之鋼骨，其撓曲強度應符合以下之規定：

$$\frac{\sum (M_{ns})_C}{\sum (M_{ns})_B} \geq 0.6 \quad (8.4.3)$$

其中：

$\sum (M_{ns})_C$ = 梁柱接合處所有柱中鋼骨部分之標稱彎矩強度之總和

$\sum (M_{ns})_B$ = 梁柱接合處所有梁中鋼骨部分之標稱彎矩強度之總和

$\sum (M_{nrc})_C$ = 梁柱接合處所有柱中鋼筋混凝土部分之標稱彎矩強度之總和

$\sum (M_{nrc})_B$ = 梁柱接合處所有梁中鋼筋混凝土部分之標稱彎矩強度之總和

解說：(…原規範解說之第一段保留不變。)

對於 SRC 構造之梁柱接頭為「SRC 柱接鋼梁」時之鋼梁與 SRC 柱內鋼骨之「撓曲強度比值」的限制方面，由於目前日本 AIJ-SRC 規範[8]對於此種梁柱接頭之「撓曲強度比值」下限為 0.4，且根據王榮進等之實驗結果[46]與國外相關實驗與研究報告[48~52]顯示此種梁柱接頭之「撓曲強

度比值」小至 0.4 時，其強度及韌性的表現良好。因此，先前我國 SRC 規範對於梁柱接頭採用「SRC 柱接鋼梁」時之「撓曲強度比值」限制須大於 1.0 之規定顯得過於嚴格，應可適度放寬；但由於日本規範對韌性之要求較低，故乃建議公式 8.4.3 之梁柱接頭「撓曲強度比值」放寬幅度略縮減為 0.6。



第四章 SRC 柱「圍束箍筋」需求量之探討

4.1 前言

早期在研擬我國 SRC 構造設計規範時，主要是參考美國 ACI 318 規範、AISC 規範與日本 AIJ-SRC 規範。目前我國 SRC 規範有關 SRC 柱「圍束箍筋需求量」之規定主要係參考 AISC Seismic Provisions (2002)[53]之規定，然而 AISC 規範於計算「圍束箍筋需求量」時，雖然已考慮到 SRC 柱內鋼骨分擔柱軸力之貢獻，但並未考慮「鋼骨翼板寬度變化」對 SRC 柱核心混凝土圍束效應之影響。

因此，本研究提出兩種新的設計方法：強度折減法 (Strength Reduction Approach)及面積折減法(Area Reduction Approach)，並與現有的三種設計「圍束箍筋需求量」之規定 AISC Seismic Provisions (2002)、AISC Seismic Provisions (2005)[5]及 Taiwan SRC Code (2004)[10]互相比較，再召開學者專家座談會進一步探討何種設計方法較為合理，以作為我國 SRC 規範修訂之依據。

4.2 SRC 柱圍束箍筋需求量相關文獻回顧

由於 SRC 柱內部之鋼骨能夠有效的圍束混凝土，有助於降低 SRC 柱之圍束箍筋需求量，對於提昇 SRC 柱的經濟性有明顯的助益。再加上近年來，陸續有許多大尺寸的 SRC 柱實驗結果出現，證實 SRC 柱中之鋼骨對混凝土圍束確實有所貢獻[25~31]。故本研究針對 SRC 柱之「鋼骨對混凝土圍束效應」進行深入分析，以瞭解此一效應能否有助於降低 SRC 柱之圍束箍筋需求量，並提出相關設計條文之建議，使 SRC 柱之圍束箍筋用量酌予放寬。

SRC 柱中由於有鋼骨存在，因此當 SRC 柱受軸壓時，其混凝土受圍束之情形有別於一般純 RC 柱。由 Mirza 等[20~22]針對包覆 H 型鋼骨的 SRC 柱之研究顯示，鋼骨翼板可對混凝土提供良好的圍束，鋼骨對混凝土之圍束區域約呈拋物線狀，如圖 4.1 所示。另一方面，翁正強等[28,29]考量包覆十字型鋼骨對 SRC 柱中混凝土

土之圍束效果；並進一步簡化拋物線狀之區域，建議對於包覆 H 型鋼骨之 SRC 柱可採「三角形圍束模式」，而包覆十字型鋼骨之 SRC 柱可採「矩形圍束模式」，如圖 4.2 及圖 4.3 所示。為了考量鋼骨對混凝土圍束之貢獻，將 SRC 柱中混凝土受圍束的情形分為三種區域：

1. 「高度圍束區域」(Highly Confined Area)：即受鋼骨翼板與腹板間所圍束之混凝土。
2. 「普通圍束區」(Ordinarily Confined Area)：即箍筋內側之混凝土但不包含上述鋼骨翼板與腹板所包圍之區域。
3. 「完全未受圍束區域」(Unconfined Area)：即箍筋外圍之混凝土部份。

由於 SRC 柱中的鋼骨翼板可以對混凝土發揮圍束功能，因此翁正強等[28,29]乃針對 SRC 柱內「鋼骨翼板寬度」的變化作為主要參數，來探討其對混凝土圍束效應之影響。試驗結果顯示，鋼骨翼板寬度愈寬，愈能夠對 SRC 柱核心混凝土提供良好的圍束，因此對於鋼骨翼板較寬之 SRC 柱，將可適當的減少其圍束箍筋用量。另一方面，由於 SRC 柱中的鋼骨能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，故柱中所需之箍筋用量亦得以減少。基於上述發現，翁正強等[28,29]乃提出一套 SRC 柱圍束箍筋量之設計新方法，該法的主要特色是能夠同時考量「鋼骨用量」及「鋼骨翼板寬度」對 SRC 柱中混凝土圍束效應的雙重影響，使得 SRC 柱之圍束箍筋需求量能夠合理的放寬。

在我國 SRC 構造設計規範公佈之前，國內設計者在進行 SRC 構造設計時，大多引用美國的設計規定，如 ACI 318 規範與 AISC Seismic Provisions 等。目前 ACI 318 規範僅對一般 RC 柱之圍束箍筋用量有相關要求，對 SRC 柱之箍筋設計尚無明文規定；而 AISC Seismic Provisions 雖然已考慮到 SRC 柱中之鋼骨分擔柱軸力之貢獻，但並未考慮「鋼骨翼板寬度」變化對 SRC 柱核心混凝土圍束效應之影響。

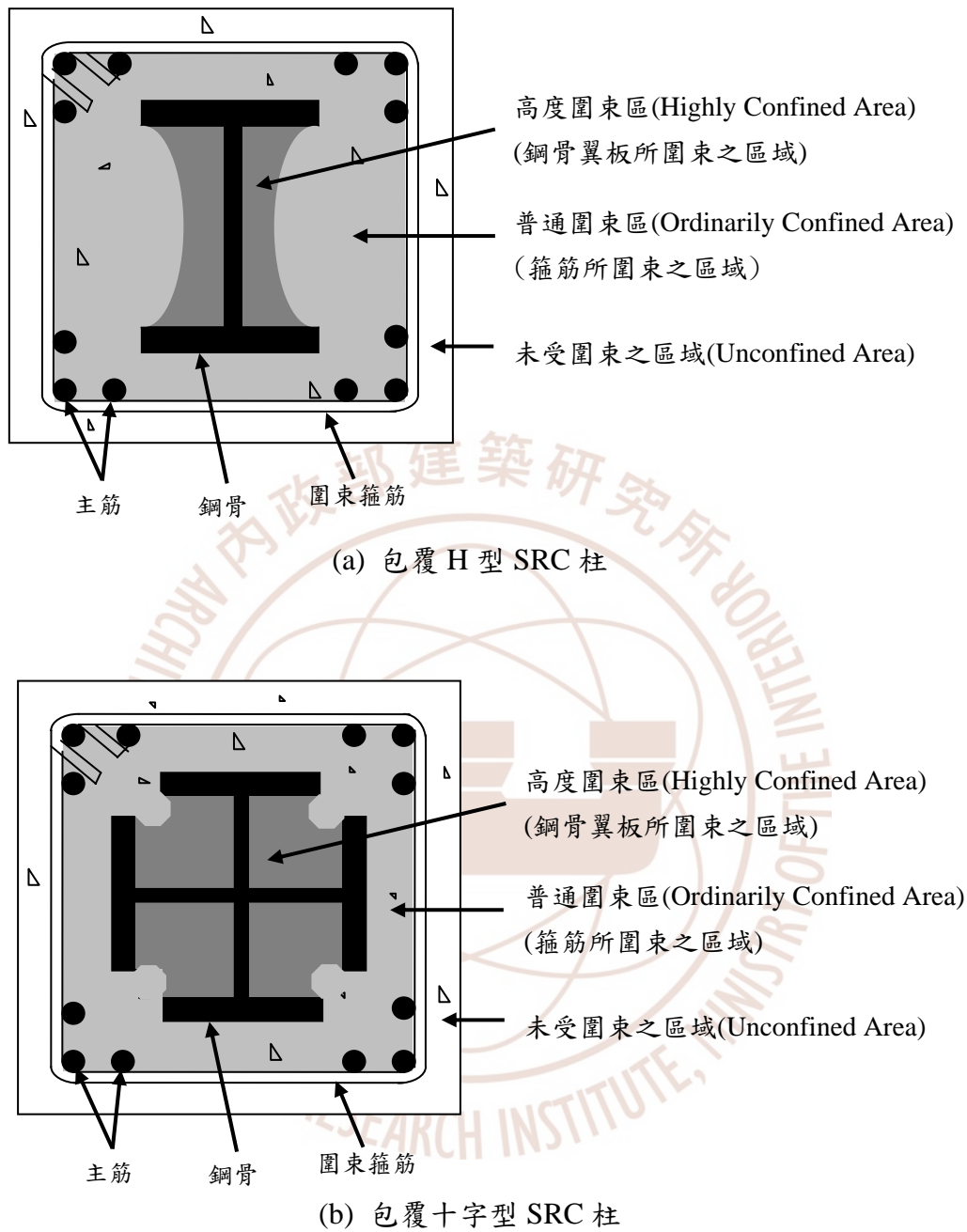


圖 4.1 SRC 柱中混凝土受圍束之情形
(資料來源：參考書目 28、29)

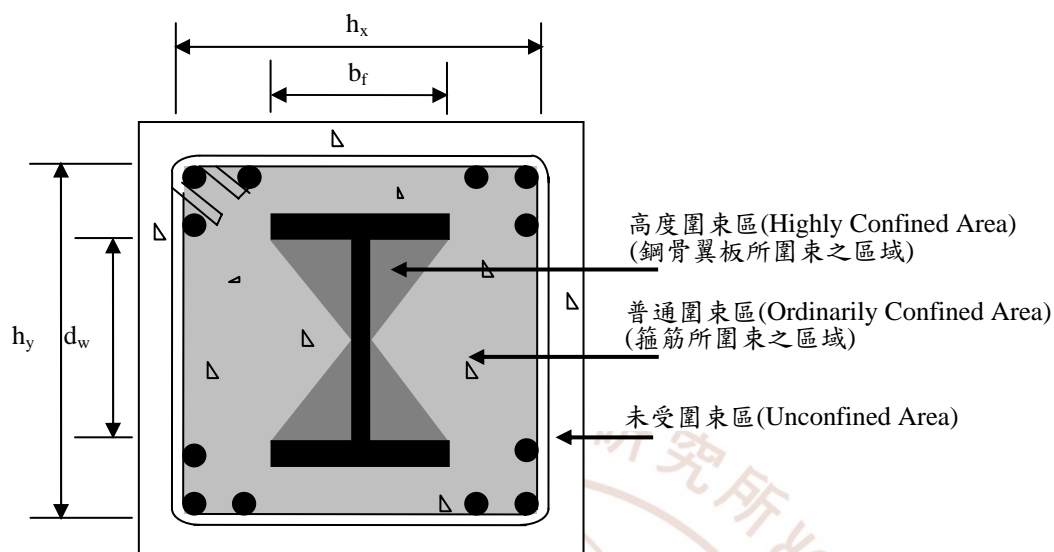


圖 4.2 三角形圍束模式(資料來源：參考書目 28)

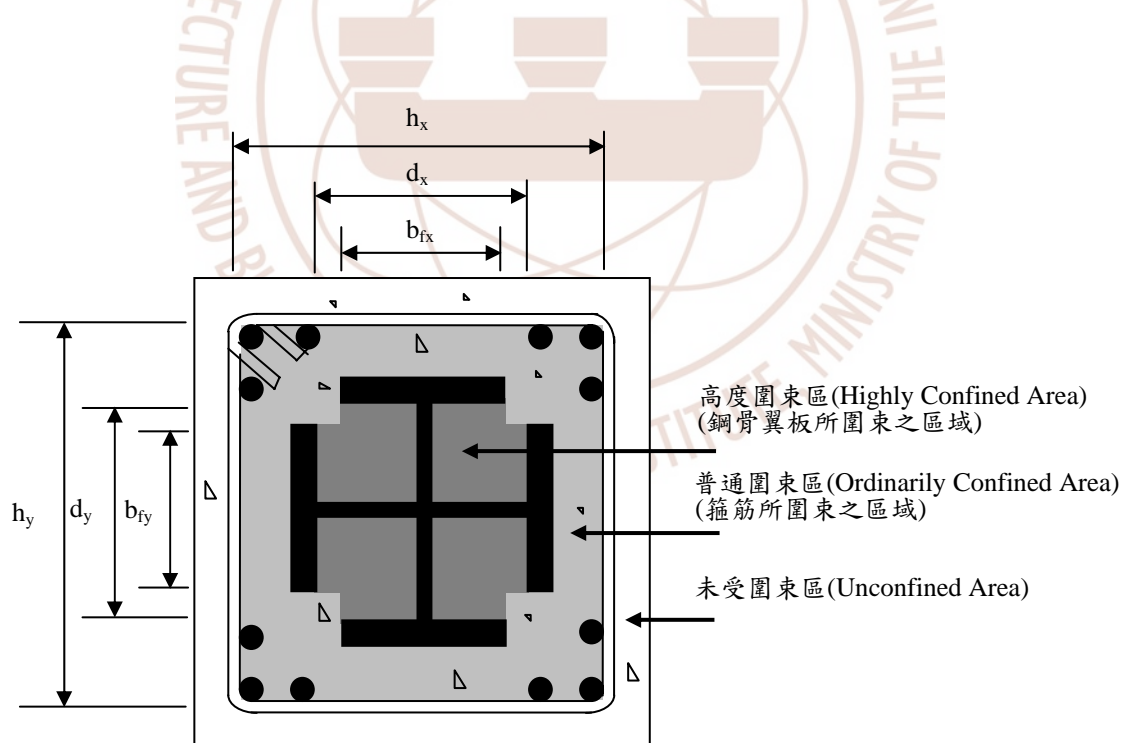


圖 4.3 矩形圍束模式(資料來源：參考書目 28)

換言之，上述三種規範在設計 SRC 柱之圍束箍筋時，皆未考慮到「鋼骨翼板寬度」變化對 SRC 柱內混凝土圍束效應的影響，因此其設計公式之合理性仍然有待進一步之探討。

4.3 SRC 柱之圍束箍筋設計方法

如前所述，本章同時將 2002 年與 2005 年版本的 AISC Seismic Provisions 之設計方法納入比較，主要是因為我國 SRC 規範之圍束箍筋需求量計算公式係參考 2002 年版本的 AISC 規範，而 2005 年版本的 AISC 規範已經作了一部分的改變，因此乃同時將這兩個版本的 AISC 規範納入比較。相對於 2002 年的版本，2005 年的 AISC 規範主要的改變是在計算 SRC 柱之軸向標稱強度 P_n 時，採用一個全新的公式來計算 SRC 柱斷面之有效勁度， EI_{eff} ，如式(4-14)所示。這一點可以由 2002 年與 2005 年版本的 AISC Seismic Provisions 之設計公式中比較觀察出來。

本節主要針對 SRC 柱「圍束箍筋需求量」之問題進行較詳細探討。經分析研究後，本研究針對五種不同的「SRC 柱之圍束箍筋用量計算法」提出比較討論。這五種不同的設計方法如下：

1. AISC Seismic Provisions (2002)
2. AISC Seismic Provisions (2005)
3. Taiwan SRC Code (2004)
4. Strength Reduction Approach (New Method)
5. Area Reduction Approach (New Method)

以下將針對五種不同的設計方法作簡要之敘述，並提供一系列的 SRC 柱圍束箍筋之設計例，再針對設計例之試算結果進行比較討論。本章同時將 2002 年與 2005 年版本的 AISC Seismic Provisions 之設計方法納入比較，主要是因為我國 SRC 規範之圍束箍筋需求量計算公式係參考 2002 年的 AISC 規範，而 2005 年版本的 AISC 規範已經作了一部分的改變，因此乃同時將這兩個版本的 AISC 規範納入比較。

4.3.1 AISC Seismic Provisions (2002)

美國 AISC Seismic Provisions(2002)中有關包覆型 SRC 柱之箍筋配置，規定 SRC 柱之最小圍束箍筋量， A_{sh} ，應依下式計算：

$$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(1 - \frac{A_s f_{ys}}{P_n} \right) \dots\dots\dots(4-1)$$

令 (4-1) 式中最後一項為圍束箍筋折減係數 (Hoop Reduction Factor) ϕ_h ：

$$\phi_h = \left(1 - \frac{A_s f_{ys}}{P_n} \right) \dots\dots\dots(4-2)$$

以上公式中：

s 為箍筋之間距；

b_c 為受箍筋圍束之柱核心斷面之寬度；

f'_c 為混凝土之抗壓強度；

f_{yh} 為箍筋之降伏應力；

A_s 為鋼骨之斷面積；

f_{ys} 為鋼骨之降伏應力；

P_n 為柱之軸向標稱強度，其值依 AISC-LRFD 設計規範 Sect. I2 之規定計算：

(a) 當 $\lambda_c \leq 1.5$

$$P_n = \left[\exp(-0.419\lambda_c^2) \right] F_{my} A_s \dots\dots\dots(4-3)$$

(b) 當 $\lambda_c > 1.5$

$$P_n = (0.877 / \lambda_c^2) F_{my} A_s \dots\dots\dots(4-4)$$

其中 λ_c 依下式計算：

$$\lambda_c = \frac{KL}{\pi r_m} \sqrt{\frac{F_{my}}{E_m}} \dots\dots\dots(4-5)$$

其中 K 為有效長度係數；

L 為構材之無側撐長度；

r_m 為型鋼或鋼管之修正迴轉半徑；

F_{my} 為修正降伏應力，使用下述公式計算：

$$F_{my} = F_y + c_1 F_{yr} (A_r / A_s) + c_2 f'_c (A_c / A_s) \dots \dots \dots (4-6)$$

E_m 為修正彈性模數，使用下述公式計算：

$$E_m = E + c_3 E_c (A_c / A_s) \dots \dots \dots (4-7)$$

其中 A_c 為混凝土部分之斷面積；

A_r 為縱向鋼筋之斷面積；

E 為鋼材之彈性模數；

E_c 為混凝土之彈性模數；

F_y 為型鋼或鋼管之標稱降伏應力；

F_{yr} 為縱向鋼筋之標稱降伏應力；

c_1 、 c_2 、 c_3 為修正係數（圓形或矩形鋼管混凝土斷面： $c_1 = 1.0$ 、 $c_2 = 0.85$ 、 $c_3 = 0.4$ ，混凝土包覆之斷面： $c_1 = 0.7$ 、 $c_2 = 0.6$ 、 $c_3 = 0.2$ ）。

4.3.2 AISC Seismic Provisions (2005)

美國 AISC Seismic Provisions(2005)中有關包覆型 SRC 柱之箍筋配置，規定 SRC 柱之最小圍束箍筋量， A_{sh} ，應依下式計算：

$$A_{sh} = 0.09 s b_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(1 - \frac{A_s f_{ys}}{P_n} \right) \dots \dots \dots (4-8)$$

令 (4-8) 式中最後一項為一圍束箍筋折減係數(Hoop Reduction Factor) ϕ_h ：

$$\phi_h = \left(1 - \frac{A_s f_{ys}}{P_n} \right) \dots \dots \dots (4-9)$$

以上公式中， P_n 為柱之軸向標稱強度，其值依 AISC-LRFD 規範(2005) Sect. I2 之規定計算如下：

(a) 當 $P_e \geq 0.44P_0$

$$P_n = P_0 \left[0.658^{\left(\frac{P_0}{P_e}\right)} \right] \dots\dots\dots(4-10)$$

(b) 當 $P_e < 0.44P_0$

$$P_n = 0.877P_e \dots\dots\dots(4-11)$$

其中 P_0 、 P_e 分別使用下述二式計算：

$$P_0 = A_s F_y + A_{sr} F_{yr} + 0.85 A_c f_c' \dots\dots\dots(4-12)$$

$$P_e = \pi^2 (EI_{eff}) / (KL)^2 \dots\dots\dots(4-13)$$

其中 A_{sr} 為鋼筋之總斷面積；

EI_{eff} 為 SRC 柱斷面之有效勁度，依下式計算：

$$EI_{eff} = E_s I_s + 0.5 E_s I_{sr} + C_1 E_c I_c \dots\dots\dots(4-14)$$

$$C_1 = 0.1 + 2 \left(\frac{A_s}{A_c + A_s} \right) \leq 0.3 \dots\dots\dots(4-15)$$

其中 E_s 為鋼材之彈性模數； I_c 為混凝土斷面慣性矩； I_s 為鋼骨斷面慣性矩；

I_{sr} 為鋼筋慣性矩。

相對於 2002 年版本的 AISC 規範，2005 年 AISC 規範主要的改變是在計算 SRC 柱之軸向標稱強度 P_n 時，採用一個全新的公式來計算 SRC 柱斷面之有效勁度， EI_{eff} ，如式(4-14)所示。

4.3.3 Taiwan SRC Code (2004)

我國 SRC 構造設計規範參考 AISC Seismic Provisions(2002)之作法，於第九章 9.7.3 節規定採用矩形閉合箍筋之 SRC 柱，其圍束箍筋量， A_{sh} ，不得小於下列二

式之要求：

$$A_{sh} = 0.3sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left[1 - \left(\frac{A_s F_{ys}}{(P_n)_u} \right) \right] \dots\dots\dots(4-16)$$

$$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[1 - \left(\frac{A_s F_{ys}}{(P_n)_u} \right) \right] \dots\dots\dots(4-17)$$

令 (4-16) 與 (4-17) 式中最後一項為一圍束箍筋折減係數 ϕ_h ：

$$\phi_h = \left[1 - \left(\frac{A_s F_{ys}}{(P_n)_u} \right) \right] \dots\dots\dots(4-18)$$

其中 $(P_n)_u$ 為 SRC 柱之軸壓標稱強度，依下式計算：

$$(P_n)_u = A_s F_{ys} + 0.85f'_c A_c + A_r F_{yr} \dots\dots\dots(4-19)$$

公式(4-16)與(4-17)係沿用 ACI 318 規範對一般 RC 柱圍束箍筋設計公式之基本架構，但因為 SRC 柱中之鋼骨亦能提供抗壓強度，所以公式(4-16)與(4-17)中的 $(1 - A_s F_{ys} / P_n)$ 是一個「圍束箍筋用量折減係數」，主要考慮鋼骨分擔 SRC 柱之軸力，有助於降低 SRC 柱之圍束箍筋需求量。

不過，值得注意的是，公式(4-16)與(4-17)之計算方式僅考慮「鋼骨用量」之影響，而並未考慮「鋼骨翼板寬度」之變化對混凝土圍束效應的影響，因此其公式之合理性仍有待進一步探討。這種差異現象可以經由圖 4.4(a)與(b)之互相比較來加以說明[29]，該圖顯示兩組具有相同鋼骨用量但是「翼板寬度不同」之 SRC 柱，若依照公式(4-16)與(4-17)設計其所需之圍束箍筋用量時，這兩組 SRC 柱將會得到相同的箍筋用量，這種結果似乎並不合理。

此外，如圖 4.5 所示的兩組 SRC 柱斷面，當 SRC 柱之鋼骨翼板寬度為零時，其鋼骨將無法對混凝土提供有效的圍束(亦即此時「高度圍束區混凝土」之面積為零)[29]。由於公式(4-16)與(4-17)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 4.4 與圖 4.5 之情況作出適當的反映，因此其公式之合理性仍有待進一步探討。

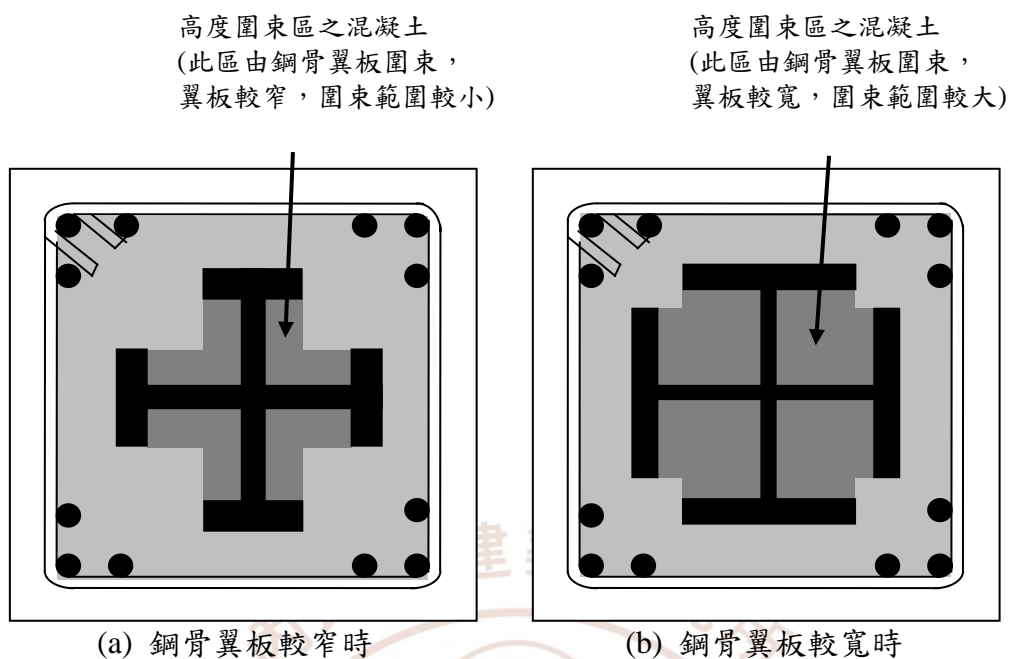
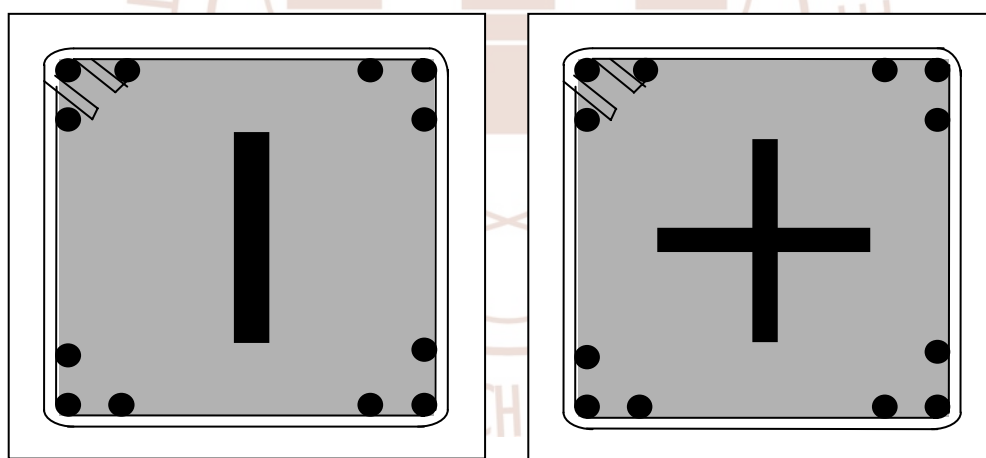


圖 4.4 鋼骨對混凝土圍束範圍大小之變化：鋼骨用量相同但翼寬不同
(資料來源：參考書目 29)



4.3.4 Strength Reduction Approach

本節提出一稱為「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 柱所需之圍束箍

筋用量得以減少。

2. 鋼骨翼板圍束混凝土之影響：由於 SRC 柱內的鋼骨翼板可以對混凝土發揮圍束功能，且鋼骨翼板寬度愈寬，愈能夠對 SRC 柱核心混凝土提供良好的圍束。

本法建議採用矩形閉合箍筋之 SRC 柱，其圍束箍筋量， A_{sh} ，不得小於下列二式之要求：

$$A_{sh} = 0.3sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left[1 - \left(\frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right) \right] \dots\dots\dots(4-20)$$

$$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[1 - \left(\frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right) \right] \dots\dots\dots(4-21)$$

令公式(4-20) 與(4-21) 中最後一項為一圍束箍筋折減係數 ϕ_h ，並以下述方式表示之：

$$\phi_h = \left[1 - \left(\frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right) \right] \dots\dots\dots(4-22)$$

其中 $(P_n)_u$ 為 SRC 柱之軸向標稱強度，依下式計算：

$$(P_n)_u = A_s f_{ys} + A_r f_{yr} + 0.85 f'_c A_c \dots\dots\dots(4-23)$$

P_s 為鋼骨之軸壓強度，依下式計算：

$$P_s = f_{ys} A_s \dots\dots\dots(4-24)$$

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」混凝土而言)，初步建議保守的依下式計算：

$$P_{hcc} = 0.2 f'_c A_{hcc} \dots\dots\dots(4-25)$$

其中 A_{hcc} 為「高度圍束區」混凝土之面積，如圖 4.6 至圖 4.9 所示。

換言之，相對於 SRC 柱內「普通圍束區」之混凝土，「高度圍束區」之混凝土具備額外提昇 SRC 柱軸壓強度之功能。因此，「強度折減法」對於鋼骨翼板較寬之 SRC 柱（「高度圍束區」面積愈大），將可進一步減少其圍束箍筋用量；亦即 SRC

柱內的鋼骨翼板可以對混凝土發揮圍束功能，且鋼骨翼板之寬度愈寬，愈能夠對 SRC 柱核心混凝土提供良好的圍束。

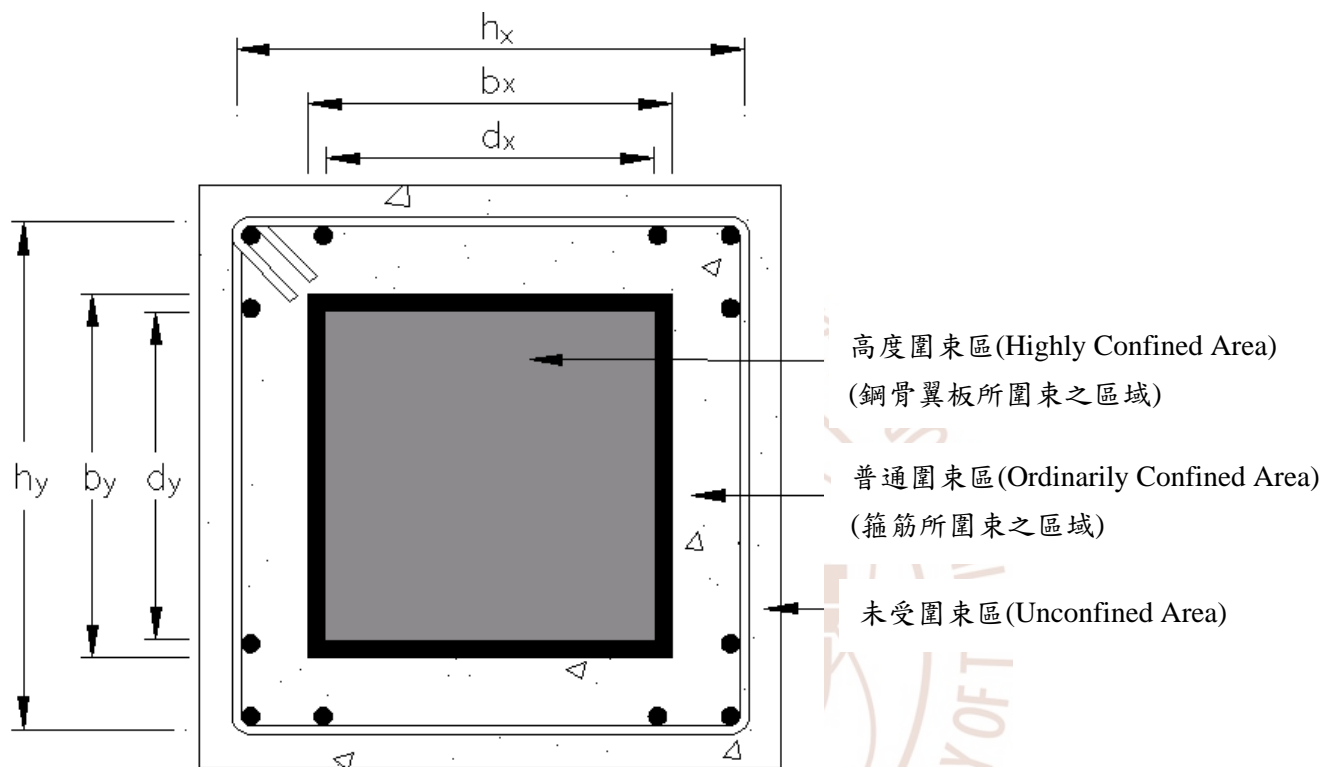


圖 4.6 包覆填充型鋼管 SRC 柱中混凝土受圍束之情形
(資料來源：本研究繪製)

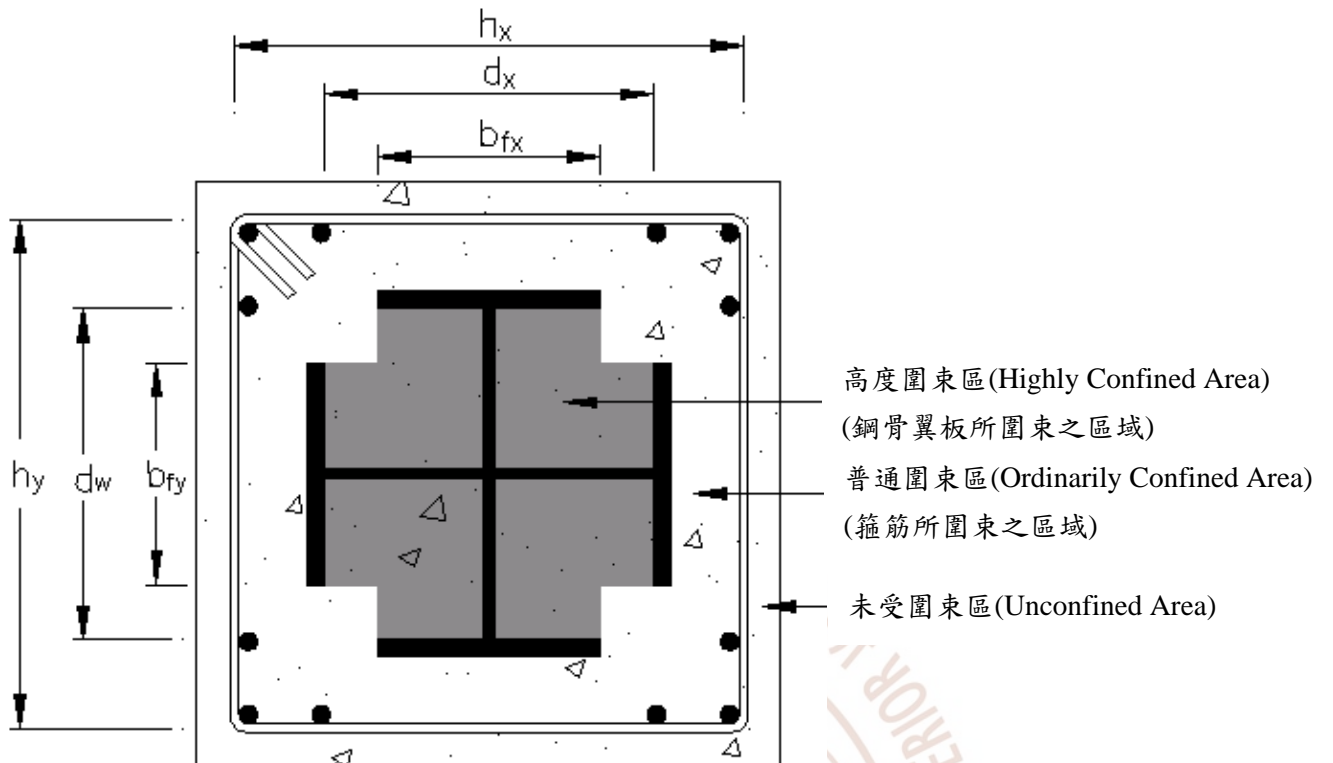


圖 4.7 包覆十字型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形：矩形圍束模式
(資料來源：本研究繪製)

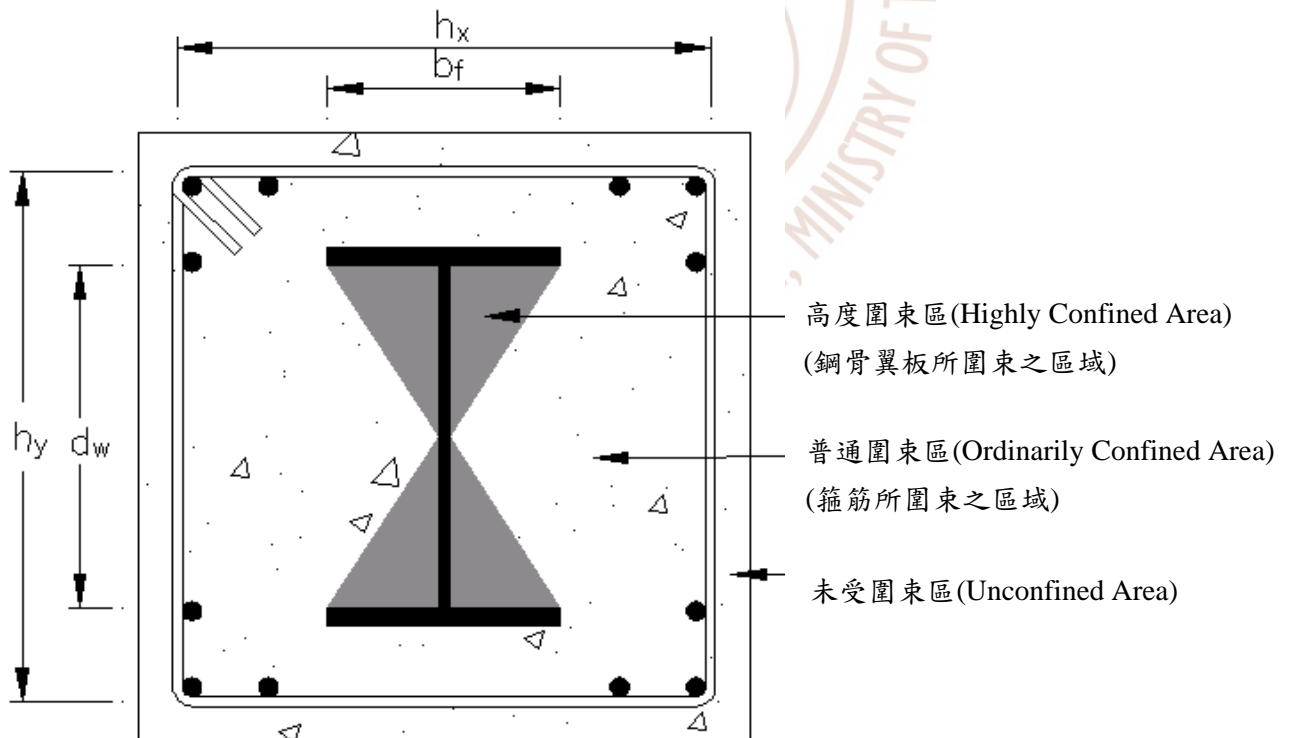


圖 4.8 包覆 H 型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形：三角形圍束模式
(資料來源：本研究繪製)

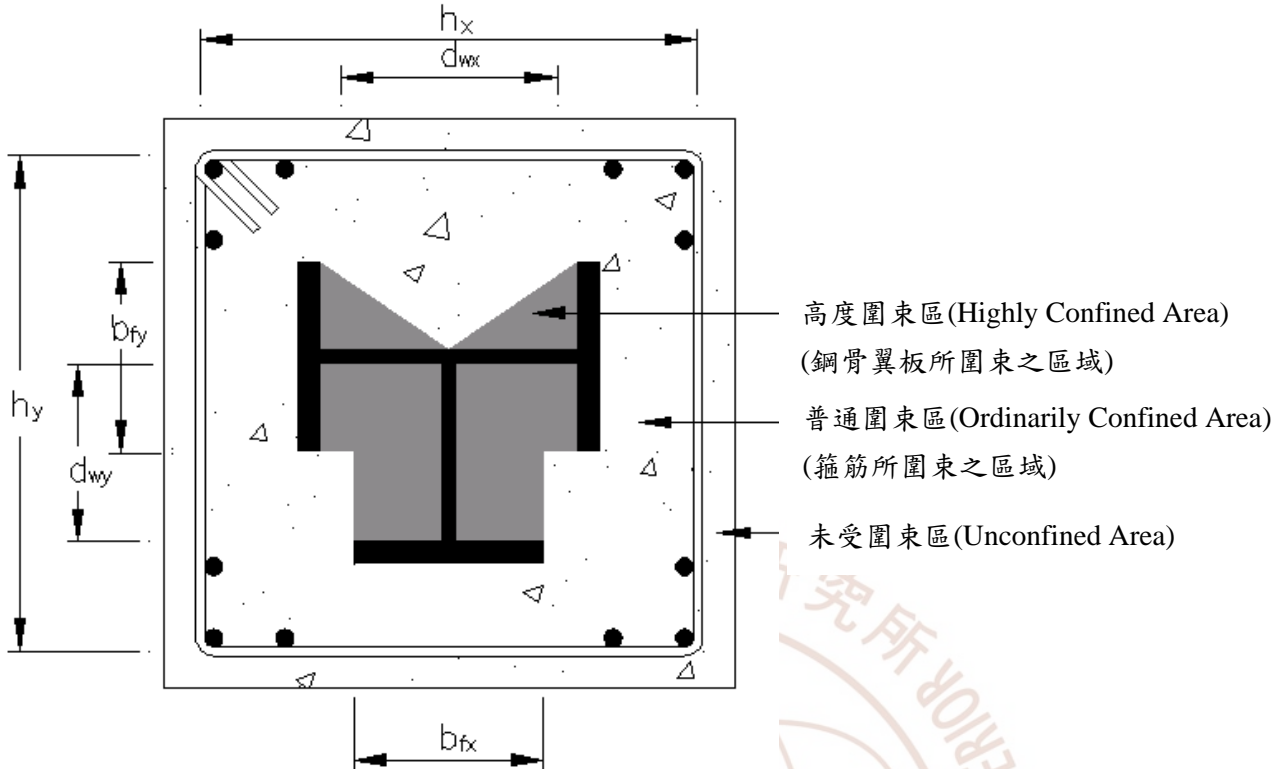


圖 4.9 包覆 T 型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形：三角與矩形組合圍束模式
(資料來源：本研究繪製)

4.3.5 Area Reduction Approach

面積折減法 (Area Reduction Approach) 主要考慮 SRC 柱內「高度圍束區」混凝土可由鋼骨翼板來圍束，因此，箍筋只需用來圍束「普通圍束區」之混凝土。本法並不考慮鋼骨分擔 SRC 柱軸力之影響。

本法建議採用矩形閉合箍筋之 SRC 柱，其圍束箍筋量， A_{sh} ，不得小於下列二式之要求：

$$A_{sh} = 0.3sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left[1 - \left(\frac{A_s + A_{hcc}}{A_{ch}} \right) \right] \dots\dots\dots(4-26)$$

$$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left[1 - \left(\frac{A_s + A_{hcc}}{A_{ch}} \right) \right] \dots\dots\dots(4-27)$$

令公式 (4-26) 及 (4-27) 中最後一項為一圍束箍筋折減係數 ϕ_h ，並以下述方式表示之：

$$\phi_h = \left[1 - \left(\frac{A_s + A_{hcc}}{A_{ch}} \right) \right] \dots \dots \dots (4-28)$$

其中 A_{hcc} 為高度圍束區混凝土之截面積，如圖 4.6~圖 4.9 所示。公式 (4-28) 顯示，面積折減法所求得之箍筋折減係數主要與混凝土受鋼骨翼板圍束之面積大小有關，而與材料強度及主筋用量之變化無關。

4.4 設計方法之觀察與比較

本節將提供一系列的 SRC 柱「最小圍束箍筋需求量」之設計例，再以每個不同設計方法之試算結果作為比較討論之依據，例題中之鋼骨斷面型式包括十字型與箱型鋼管斷面。試算結果分成四部份探討，第一部分是針對改變「混凝土強度與主筋用量」所計得之 SRC 柱圍束箍筋用量的比較；第二部分是針對改變「鋼骨斷面尺寸」所計得之圍束箍筋用量的比較；第三部分則是針對「加大 SRC 柱之全斷面尺寸」所計得之圍束箍筋用量的比較；第四部分是針對改變「SRC 柱之長度」所計得之圍束箍筋用量的比較。

根據學者專家座談會議討論的結果(如附錄三所示)，大多數學者專家認為 SRC 柱之圍束箍筋用量計算，以採用 Strength Reduction Approach 設計法最有共識，該法同時考慮 SRC 柱之鋼骨「分擔軸力」之貢獻及「鋼骨翼板」對混凝土圍束效應之影響。由於 SRC 柱內部之鋼骨能夠幫忙分擔軸力，使得混凝土所需承受之軸力變少；此外，鋼骨翼板對混凝土形成一個有效的「高度圍束區」，使得混凝土受到良好的圍束。因此相較於一般純 RC 柱，SRC 柱之圍束箍筋用量可以適度折減，對於提昇 SRC 柱的經濟性與施工性有明顯助益。

4.4.1 混凝土強度與主筋用量之影響

表 4.1 與表 4.2 之設計例顯示變化混凝土強度與主筋用量，五種設計方法所計得之 SRC 柱「最小圍束箍筋需求量」的試算結果。表中之 ϕ_h 值為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數 (Hoop Reduction Factor)」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC

柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。表中設計例題的箍筋均採用#4(D13)，若某一設計法求得之箍筋間距 S 越大，表示該設計法之箍筋用量越經濟。

由表 4.1 與表 4.2 觀察發現，在相同的 SRC 柱斷面(800×800 mm)與鋼骨斷面(2H400×250×12×18)之情況下，當混凝土強度由 $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ 提高至 $f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$ 與主筋用量由 12#8(D25)增加至 12#10(D32)時，箍筋折減係數 ϕ_h 跟著提高，亦即所需用來圍束混凝土之箍筋也要增加。以 AISC–Seismic Provisions (2005)為例，箍筋折減係數由 0.59 提高至 0.65；以 Taiwan SRC Code 為例，箍筋折減係數由 0.65 提高至 0.70；以 Strength Reduction Approach 為例，箍筋折減係數由 0.62 提高至 0.68。以此類推，當混凝土強度提高與主筋號數增加時，表示 SRC 柱中之混凝土部分與主筋所分擔之軸力變多，因此箍筋折減係數 ϕ_h 跟著提高，即表示圍束箍筋需求量增多。

另外，經由觀察表中之 Area Reduction Approach 所求得之箍筋折減係數可以發現，當混凝土強度由 $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ 提高至 $f'_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$ 與主筋用量由 12#8(D25)增加至 12#10(D32)時，其箍筋折減係數均維持在 0.73。此一現象顯示，該法所求得之箍筋折減係數主要與混凝土受鋼骨圍束之面積大小有關，而與混凝土強度及主筋用量之變化無關；反應出 Area Reduction Approach 並未考慮鋼骨分擔 SRC 柱之軸力對圍束箍筋用量折減的影響。

表 4.1 設計例 1：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討(1)柱尺寸、(2)鋼骨型式與尺寸、(3)混凝土強度、(4)主筋用量之變化影響

(本例題 SRC 柱：800×800 mm，鋼骨：2H400×250×12×18，混凝土：280 kgf/cm²，主筋：12#8，箍筋：#4)

| Design Method | | A_s (cm ²) | A_c (cm ²) | A_{ch} (cm ²) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm ²) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm ²) | s (cm) | ϕ_h (SRC Column Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|---|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 266 | 6073 | 5184 | 70.7 | — | 931 | 1618 | — | 2.54 | 14.1 | 0.42 |
| 2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 266 | 6073 | 5184 | 70.7 | — | 931 | 2254 | — | 2.54 | 10.2 | 0.59 |
| 3 | Taiwan SRC Code (2004) | 266 | 6073 | 5184 | 70.7 | — | 931 | 2632 | — | 2.54 | 9.2 | 0.65 |
| 4 | Strength Reduction Approach | 266 | 6073 | 5184 | 70.7 | 1109 | 931 | 2632 | 62 | 2.54 | 9.6 | 0.62 |
| 5 | Area Reduction Approach | 266 | 6073 | 5184 | 70.7 | 1109 | — | — | — | 2.54 | 8.1 | 0.73 |

註：(1) ϕ_h 為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC 柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。有關各設計法之計算公式，請參閱本文相關章節。
 (2) 本例題之箍筋採用 #4， $A_{sh} = 2 \times 1.27 = 2.54 \text{ mm}^2$ ；若某一設計法求得之箍筋間距 s 越大，表示該法之箍筋用量越經濟。

(資料來源：本研究整理)

表 4.2 設計例 2：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討(1)柱尺寸、(2)鋼骨型式與尺寸、(3)混凝土強度、(4)主筋用量之變化影響

(本例題 SRC 柱：800×800 mm，鋼骨：2H400×250×12×18，混凝土：350 kgf/cm²，主筋：12# 10，箍筋：# 4)

| Design Method | | A_s (cm ²) | A_c (cm ²) | A_{ch} (cm ²) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm ²) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm ²) | s (cm) | ϕ_h (SRC Column Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|---|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 266 | 6036 | 5184 | 70.7 | — | 931 | 1826 | — | 2.54 | 9.8 | 0.49 |
| 2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 266 | 6036 | 5184 | 70.7 | — | 931 | 2680 | — | 2.54 | 7.3 | 0.65 |
| 3 | Taiwan SRC Code (2004) | 266 | 6036 | 5184 | 70.7 | — | 931 | 3137 | — | 2.54 | 6.8 | 0.70 |
| 4 | Strength Reduction Approach | 266 | 6036 | 5184 | 70.7 | 1109 | 931 | 3137 | 78 | 2.54 | 7.0 | 0.68 |
| 5 | Area Reduction Approach | 266 | 6036 | 5184 | 70.7 | 1109 | — | — | — | 2.54 | 6.5 | 0.73 |

註：(1) ϕ_h 為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC 柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。有關各設計法之計算公式，請參閱本文相關章節。

(2) 本例題之箍筋採用 #4， $A_{sh} = 2 \times 1.27 = 2.54 \text{ mm}^2$ ；若某一設計法求得之箍筋間距 s 越大，表示該法之箍筋用量越經濟。

(資料來源：本研究整理)

4.4.2 鋼骨斷面尺寸之影響

表 4.3 與表 4.4 之設計例顯示變化 SRC 柱中之鋼骨斷面尺寸時，五種不同的設計方法所計得之 SRC 柱「最小圍束箍筋需求量」的試算結果。由表中觀察比較可發現，在相同的 SRC 柱斷面尺寸(800×800 mm)、混凝土強度 ($f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$) 與主筋用量(12#8)之情況下，當 SRC 柱中之鋼骨斷面尺寸由□400×400×15×15 增大至□500×500×25×25 時，此時箍筋折減係數(Hoop Reduction Factor) ϕ_h 跟著變小，亦即圍束箍筋用量也跟著越經濟。以 AISC Seismic Provisions(2005)為例，箍筋折減係數由 0.63 降低為 0.45；以 Taiwan SRC Code 為例，箍筋折減係數由 0.68 降低為 0.50。

另外，表 4.3 與表 4.4 亦顯示當鋼骨斷面尺寸增大時，Strength Reduction Approach 所計得之箍筋折減係數 ϕ_h 由 0.65 降低為 0.46；而 Area Reduction Approach 所計得之箍筋折減係數則由 0.69 降低為 0.52。值得注意的是，Area Reduction Approach 在計算 SRC 柱之箍筋折減係數時並不考慮鋼骨分擔 SRC 柱之軸力的影響，不過其特點是直接反應 SRC 柱中混凝土受鋼骨圍束面積大小之的影響，且其計算公式亦較為簡單。

以此類推，可以發現，在相同之混凝土強度與相同之主筋用量情況下，當 SRC 柱中之鋼骨斷面尺寸增大時，其箍筋折減係數 ϕ_h 跟著變小，表示 SRC 柱中之鋼骨部分擔之軸力比例提高，混凝土所分擔之軸力變少，因此圍束箍筋之用量也需要跟著減少。

表 4.3 設計例 3：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討(1)柱尺寸、(2)鋼骨型式與尺寸、(3)混凝土強度、(4)主筋用量之變化影響

(本例題 SRC 柱：800×800 mm，鋼骨：□400×400×15×15，混凝土：280 kgf/cm²，主筋：12#8，箍筋：#4)

| Design Method | | A_s (cm ²) | A_c (cm ²) | A_{ch} (cm ²) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm ²) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm ²) | s (cm) | ϕ_h (SRC Column Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|--|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 231 | 6108 | 5184 | 70.7 | — | 809 | 1852 | — | 2.54 | 10.6 | 0.56 |
| 2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 231 | 6108 | 5184 | 70.7 | — | 809 | 2192 | — | 2.54 | 9.5 | 0.63 |
| 3 | Taiwan SRC Code (2004) | 231 | 6108 | 5184 | 70.7 | — | 809 | 2518 | — | 2.54 | 8.8 | 0.68 |
| 4 | Strength Reduction Approach | 231 | 6108 | 5184 | 70.7 | 1369 | 809 | 2518 | 77 | 2.54 | 9.2 | 0.65 |
| 5 | Area Reduction Approach | 231 | 6108 | 5184 | 70.7 | 1369 | — | — | — | 2.54 | 8.6 | 0.69 |

註：(1) ϕ_h 為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC 柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。有關各設計法之計算公式，請參閱本文相關章節。
 (2) 本例題之箍筋採用#4， $A_{sh} = 2 \times 1.27 = 2.54 \text{ mm}^2$ ；若某一設計法求得之箍筋間距 s 越大，表示該法之箍筋用量越經濟。

(資料來源：本研究整理)

表 4.4 設計例 4：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討(1)柱尺寸、(2)鋼骨型式與尺寸、(3)混凝土強度、(4)主筋用量之變化影響

(本例題 SRC 柱：800×800 mm，鋼骨：□500×500×25×25，混凝土：280 kgf/cm²，主筋：12#8，箍筋：#4)

| Design Method | | A_s (cm ²) | A_c (cm ²) | A_{ch} (cm ²) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm ²) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm ²) | s (cm) | ϕ_h (SRC Column Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|---|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 475 | 5864 | 5184 | 70.7 | — | 1663 | 2712 | — | 2.54 | 15.5 | 0.39 |
| 2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 475 | 5864 | 5184 | 70.7 | — | 1663 | 3020 | — | 2.54 | 13.3 | 0.45 |
| 3 | Taiwan SRC Code (2004) | 475 | 5864 | 5184 | 70.7 | — | 1663 | 3314 | — | 2.54 | 12.0 | 0.50 |
| 4 | Strength Reduction Approach | 475 | 5864 | 5184 | 70.7 | 2025 | 1663 | 3314 | 113 | 2.54 | 12.9 | 0.46 |
| 5 | Area Reduction Approach | 475 | 5864 | 5184 | 70.7 | 2025 | — | — | — | 2.54 | 11.5 | 0.52 |

註：(1) ϕ_h 為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC 柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。有關各設計法之計算公式，請參閱本文相關章節。

(2) 本例題之箍筋採用#4， $A_{sh} = 2 \times 1.27 = 2.54 \text{ mm}^2$ ；若某一設計法求得之箍筋間距 s 越大，表示該法之箍筋用量越經濟。

(資料來源：本研究整理)

4.4.3 SRC 柱之全斷面尺寸影響

表 4.5 至表 4.8 之設計例顯示變化 SRC 柱全斷面尺寸所計得之 SRC 柱「最小圍束箍筋需求量」的試算結果，其中表 4.5 及表 4.7 之 SRC 柱斷面尺寸為 1000×1000 mm，表 4.6 及表 4.8 之 SRC 柱斷面尺寸為 1200×1200 mm。

由表 4.5 與表 4.6 之觀察可發現，當 SRC 柱之全斷面尺寸由 1000×1000 mm 變大為 1200×1200 mm 時（此二例題之鋼骨斷面：2H700×300×13×24 與 2H800×300×14×26，混凝土：350 kgf/cm²，主筋：12#11，箍筋：#5），由於混凝土佔 SRC 柱斷面之比例相對提高，表示 SRC 柱中之混凝土分擔的軸力加大，此時其箍筋折減係數(Hoop Reduction Factor) ϕ_h 也跟著變大，亦即所需用來圍束混凝土之箍筋也要增加。以 AISC Seismic Provisions (2005) 為例，箍筋折減係數由 0.64 提高至 0.75；以 Taiwan SRC Code (2004) 為例，箍筋折減係數由 0.67 提高至 0.77；以 Strength Reduction Approach 為例，箍筋折減係數由 0.63 提高至 0.70。

由表 4.7 與表 4.8 之觀察可發現，當 SRC 柱之全斷面尺寸由 1000×1000 mm 變大為 1200×1200 mm 時（此二例題之鋼骨斷面：□ 550×550×20×20 與 □ 600×600×25×25，混凝土：350 kgf/cm²，主筋：12#11，箍筋：#5），由於混凝土佔 SRC 柱斷面之比例相對提高，此時其箍筋折減係數 ϕ_h 也跟著越來越高。以 AISC Seismic Provisions (2005) 為例，箍筋折減係數由 0.66 提高至 0.73；以 Taiwan SRC Code (2004) 為例，箍筋折減係數由 0.69 提高至 0.76；以 Strength Reduction Approach 為例，箍筋折減係數由 0.65 提高至 0.72。

在一般設計情況下，當 SRC 柱之全斷面尺寸變大時，SRC 柱斷面之混凝土所佔之比例通常會比鋼骨之比例大的越來越多，這表示 SRC 柱中之混凝土所幫忙分擔之軸力變大，因此箍筋折減係數 ϕ_h 也跟著越來越高，即所需用來圍束混凝土部分之箍筋用量也需要相對增加。

表 4.5 計例 5：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討(1)柱尺寸、(2)鋼骨型式與尺寸、(3)混凝土強度、(4)主筋用量之變化影響

(本例題 SRC 柱：1000×1000 mm，鋼骨：2H700×300×13×24，混凝土：350 kgf/cm²，主筋：12#11，箍筋：#5)

| Design Method | | A_s (cm ²) | A_c (cm ²) | A_{ch} (cm ²) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm ²) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm ²) | s (cm) | ϕ_h (SRC Column Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|--|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 456 | 9423 | 8464 | 70.7 | — | 1595 | 3541 | — | 3.18 | 8.7 | 0.55 |
| 2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 456 | 9423 | 8464 | 70.7 | — | 1595 | 4490 | — | 3.18 | 9.1 | 0.64 |
| 3 | Taiwan SRC Code (2004) | 456 | 9423 | 8464 | 70.7 | — | 1595 | 4906 | — | 3.18 | 8.7 | 0.67 |
| 4 | Strength Reduction Approach | 456 | 9423 | 8464 | 70.7 | 2844 | 1595 | 4906 | 199 | 3.18 | 9.2 | 0.63 |
| 5 | Area Reduction Approach | 456 | 9423 | 8464 | 70.7 | 2844 | — | — | — | 3.18 | 9.6 | 0.61 |

註：(1) ϕ_h 為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC 柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。有關各設計法之計算公式，請參閱本文相關章節。

(2) 本例題之箍筋採用#5， $A_{sh} = 2 \times 1.59 = 3.18 \text{ mm}^2$ ；若某一設計法求得之箍筋間距 s 越大，表示該法之箍筋用量越經濟。

(資料來源：本研究整理)

表 4.6 設計例 6：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討(1)柱尺寸、(2)鋼骨型式與尺寸、(3)混凝土強度、(4)主筋用量之變化影響

(本例題 SRC 柱：1200×1200 mm，鋼骨：2H800×300×14×26，混凝土：350 kgf/cm²，主筋：12#11，箍筋：#5)

| Design Method | | A_s (cm ²) | A_c (cm ²) | A_{ch} (cm ²) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm ²) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm ²) | s (cm) | ϕ_h (SRC Column Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|---|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 519 | 13760 | 12544 | 70.7 | — | 1818 | 4650 | — | 3.18 | 7.9 | 0.61 |
| 2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 519 | 13760 | 12544 | 70.7 | — | 1818 | 5967 | — | 3.18 | 6.9 | 0.70 |
| 3 | Taiwan SRC Code (2004) | 519 | 13760 | 12544 | 70.7 | — | 1818 | 6419 | — | 3.18 | 6.7 | 0.72 |
| 4 | Strength Reduction Approach | 519 | 13760 | 12544 | 70.7 | 3381 | 1818 | 6419 | 237 | 3.18 | 7.1 | 0.68 |
| 5 | Area Reduction Approach | 519 | 13760 | 12544 | 70.7 | 3381 | — | — | — | 3.18 | 7.0 | 0.69 |

註：(1) ϕ_h 為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC 柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。有關各設計法之計算公式，請參閱本文相關章節。

(2) 本例題之箍筋採用#5， $A_{sh} = 2 \times 1.59 = 3.18 \text{ mm}^2$ ；若某一設計法求得之箍筋間距 s 越大，表示該法之箍筋用量越經濟。

(資料來源：本研究整理)

表 4.7 設計例 7：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討(1)柱尺寸、(2)鋼骨型式與尺寸、(3)混凝土強度、(4)主筋用量之變化影響

(本例題 SRC 柱：1000×1000 mm，鋼骨：□550×550×20×20，混凝土：350 kgf/cm²，主筋：12#11，箍筋：#5)

| Design Method | | A_s (cm ²) | A_c (cm ²) | A_{ch} (cm ²) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm ²) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm ²) | s (cm) | ϕ_h (SRC Column Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|---|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 424 | 9455 | 8464 | 70.7 | — | 1484 | 3787 | — | 3.18 | 7.9 | 0.61 |
| 2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 424 | 9455 | 8464 | 70.7 | — | 1484 | 4394 | — | 3.18 | 8.8 | 0.66 |
| 3 | Taiwan SRC Code (2004) | 424 | 9455 | 8464 | 70.7 | — | 1484 | 4804 | — | 3.18 | 8.5 | 0.69 |
| 4 | Strength Reduction Approach | 424 | 9455 | 8464 | 70.7 | 2601 | 1484 | 4804 | 182 | 3.18 | 9.0 | 0.65 |
| 5 | Area Reduction Approach | 424 | 9455 | 8464 | 70.7 | 2601 | — | — | — | 3.18 | 9.1 | 0.64 |

註：(1) ϕ_h 為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC 柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。有關各設計法之計算公式，請參閱本文相關章節。

(2) 本例題之箍筋採用 #5， $A_{sh} = 2 \times 1.59 = 3.18 \text{ mm}^2$ ；若某一設計法求得之箍筋間距 s 越大，表示該法之箍筋用量越經濟。

(資料來源：本研究整理)

表 4.8 設計例 8：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討(1)柱尺寸、(2)鋼骨型式與尺寸、(3)混凝土強度、(4)主筋用量之變化影響

(本例題 SRC 柱：1200×1200 mm，鋼骨：□600×600×25×25，混凝土：350 kgf/cm²，主筋：12#11，箍筋：#5)

| Design Method | | A_s (cm ²) | A_c (cm ²) | A_{ch} (cm ²) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm ²) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm ²) | s (cm) | ϕ_h (SRC Column Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------|-------------------|--------------------------------|-------------|--|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2002) | 575 | 13704 | 12544 | 70.7 | — | 2013 | 6474 | — | 3.18 | 5.0 | 0.69 |
| 2 | AISC Seismic Provisions (2005) | 575 | 13704 | 12544 | 70.7 | — | 2013 | 7588 | — | 3.18 | 4.7 | 0.73 |
| 3 | Taiwan SRC Code (2004) | 575 | 13704 | 12544 | 70.7 | — | 2013 | 8228 | — | 3.18 | 4.5 | 0.76 |
| 4 | Strength Reduction Approach | 575 | 13704 | 12544 | 70.7 | 3025 | 2013 | 8228 | 296 | 3.18 | 4.8 | 0.72 |
| 5 | Area Reduction Approach | 575 | 13704 | 12544 | 70.7 | 3025 | — | — | — | 3.18 | 4.8 | 0.71 |

註：(1) ϕ_h 為 SRC 柱之「圍束箍筋用量折減係數」， ϕ_h 是指 SRC 柱相對於同尺寸的 RC 柱之「最小圍束箍筋需求量之比值」；若某一設計法求得之 ϕ_h 值越小，表示該法之箍筋用量越經濟。有關各設計法之計算公式，請參閱本文相關章節。

(2) 本例題之箍筋採用#5， $A_{sh} = 2 \times 1.59 = 3.18 \text{ mm}^2$ ；若某一設計法求得之箍筋間距 s 越大，表示該法之箍筋用量越經濟。

(資料來源：本研究整理)

4.4.4 SRC 柱之長度影響

為了進一步探討 SRC 柱長度變化對圍束箍筋需求量之影響，本研究乃特別針對 2005 年 AISC Seismic Provisions 設計法與 Strength Reduction Approach 進行比較，分別探討 SRC 柱之長度由 3.5m 增大至 4.5m 與 6.0m 時之變化，設計例題如表 4.9 至表 4.14 所示。值得注意的是，Strength Reduction Approach 在計算 SRC 柱之軸向標稱強度 P_n 時並未考慮 SRC 柱長度變化之影響，如式(4-23)所示，其特點是直接採用 SRC 柱之軸向極限強度作為計算箍筋折減係數 ϕ_h 之基準，且其計算公式亦較為簡單。反之，AISC Seismic Provisions 設計法則有考慮到 SRC 柱長度變化對挫屈強度之影響，其主要的缺點是計算過程較為複雜。

表 4.9 至表 4.11 三組設計例之 SRC 柱斷面尺寸、材料與配筋均相同（鋼骨斷面：2H700×300×13×24，混凝土：280 kgf/cm²，主筋：12#10，箍筋：#4），主要的差異為 SRC 柱之長度，其中表 4.9 之 SRC 柱長度為 3.5m、表 4.10 之柱長為 4.5m、表 4.11 之柱長為 6.0m。由表中觀察可發現，當 SRC 柱之長度越來越長時，AISC Seismic Provisions(2005)計算之箍筋折減係數(Hoop Reduction Factor) ϕ_h 跟著越來越小，由 0.59、0.57 再降到 0.52；而 Strength Reduction Approach 計算之箍筋折減係數 ϕ_h 則為 0.60，維持不變。

表 4.12 至表 4.14 四組設計例之 SRC 柱斷面尺寸、材料與配筋均相同（鋼骨斷面：□600×600×25×25，混凝土：350 kgf/cm²，主筋：12#11，箍筋：#4），主要的差異為 SRC 柱之長度，分別為 3.5m、4.5m 與 6.0m。由表中觀察可發現，當 SRC 柱之長度越來越長時，AISC Seismic Provisions(2005)計算之箍筋折減係數 ϕ_h 跟著越來越小，由 0.59、0.57 再降到 0.53；而 Strength Reduction Approach 計算之箍筋折減係數 ϕ_h 則維持在 0.58。

以此類推，可發現，當 SRC 柱之長度增大時，AISC Seismic Provisions (2005) 計算之箍筋折減係數 ϕ_h 將會變小，箍筋用量可以折減越多。惟當 SRC 柱之長度越來越長時，則 AISC Seismic Provisions (2005)設計法可能會有過度折減之疑慮。反之，Strength Reduction Approach 計算之箍筋折減係數 ϕ_h 則未考量 SRC 柱之長度之影響，所以其計算之 ϕ_h 值維持不變。這顯示出 Strength Reduction Approach 設計法之設計結果相對於 AISC Seismic Provisions (2005)的作法仍是比較保守的。

表 4.9 設計例 9：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討 SRC 柱長度之變化影響

(本例題 SRC 柱： $L = 3.5m$ ， $1000 \times 1000 mm$ ，鋼骨： $2H700 \times 300 \times 13 \times 24$ ，混凝土： $280 kgf/cm^2$ ，主筋： $12\#10$ ，箍筋： $\#4$)

| Design Method | | A_s (cm^2) | A_c (cm^2) | A_{ch} (cm^2) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm^2) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm^2) | s (cm) | ϕ_h (Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2005) | 456 | 9446 | 8464 | 70.7 | — | 1595 | 3917 | — | 2.54 | 7.9 | 0.59 |
| 2 | Strength Reduction Approach | 456 | 9446 | 8464 | 70.7 | 2844 | 1595 | 4254 | 159 | 2.54 | 7.9 | 0.60 |

(資料來源：本研究整理)

表 4.10 設計例 10：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討 SRC 柱長度之變化影響

(本例題 SRC 柱： $L = 4.5 m$ ， $1000 \times 1000 mm$ ，鋼骨： $2H700 \times 300 \times 13 \times 24$ ，混凝土： $280 kgf/cm^2$ ，主筋： $12\#10$ ，箍筋： $\#4$)

| Design Method | | A_s (cm^2) | A_c (cm^2) | A_{ch} (cm^2) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm^2) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm^2) | s (cm) | ϕ_h (Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2005) | 456 | 9446 | 8464 | 70.7 | — | 1595 | 3711 | — | 2.54 | 8.2 | 0.57 |
| 2 | Strength Reduction Approach | 456 | 9446 | 8464 | 70.7 | 2844 | 1595 | 4254 | 159 | 2.54 | 7.9 | 0.60 |

(資料來源：本研究整理)

表 4.11 設計例 11：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討 SRC 柱長度之變化影響

(本例題 SRC 柱： $L = 6.0\text{ m}$ ， $1000 \times 1000\text{ mm}$ ，鋼骨： $2H700 \times 300 \times 13 \times 24$ ，混凝土： 280 kgf/cm^2 ，主筋： $12\#10$ ，箍筋： $\#4$)

| Design Method | | A_s (cm^2) | A_c (cm^2) | A_{ch} (cm^2) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm^2) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm^2) | s (cm) | ϕ_h (Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2005) | 456 | 9446 | 8464 | 70.7 | — | 1595 | 3338 | — | 2.54 | 8.9 | 0.52 |
| 2 | Strength Reduction Approach | 456 | 9446 | 8464 | 70.7 | 2844 | 1595 | 4254 | 159 | 2.54 | 7.9 | 0.60 |

(資料來源：本研究整理)

表 4.12 設計例 12：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討 SRC 柱長度之變化影響

(本例題 SRC 柱： $L = 3.5\text{ m}$ ， $1000 \times 1000\text{ mm}$ ，鋼骨： $\square 600 \times 600 \times 25 \times 25$ ，混凝土： 350 kgf/cm^2 ，主筋： $12\#11$ ，箍筋： $\#4$)

| Design Method | | A_s (cm^2) | A_c (cm^2) | A_{ch} (cm^2) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm^2) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm^2) | s (cm) | ϕ_h (Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2005) | 575 | 9304 | 8464 | 70.7 | — | 2013 | 4909 | — | 2.54 | 6.3 | 0.59 |
| 2 | Strength Reduction Approach | 575 | 9304 | 8464 | 70.7 | 3025 | 2013 | 5288 | 212 | 2.54 | 6.4 | 0.58 |

(資料來源：本研究整理)

表 4.13 設計例 13：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討 SRC 柱長度之變化影響

(本例題 SRC 柱： $L = 4.5\text{ m}$ ， $1000 \times 1000\text{ mm}$ ，鋼骨： $\square 600 \times 600 \times 25 \times 25$ ，混凝土： 350 kgf/cm^2 ，主筋： $12\#11$ ，箍筋： $\#4$)

| Design Method | | A_s (cm^2) | A_c (cm^2) | A_{ch} (cm^2) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm^2) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm^2) | s (cm) | ϕ_h (Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2005) | 575 | 9304 | 8464 | 70.7 | — | 2013 | 4677 | — | 2.54 | 6.5 | 0.57 |
| 2 | Strength Reduction Approach | 575 | 9304 | 8464 | 70.7 | 3025 | 2013 | 5288 | 212 | 2.54 | 6.4 | 0.58 |

(資料來源：本研究整理)

表 4.14 設計例 14：SRC 柱圍束箍筋設計法之比較---探討 SRC 柱長度之變化影響

(本例題 SRC 柱： $L = 6.0\text{ m}$ ， $1000 \times 1000\text{ mm}$ ，鋼骨： $\square 600 \times 600 \times 25 \times 25$ ，混凝土： 350 kgf/cm^2 ，主筋： $12\#11$ ，箍筋： $\#4$)

| Design Method | | A_s (cm^2) | A_c (cm^2) | A_{ch} (cm^2) | b_c (cm) | A_{hcc} (cm^2) | P_s (tf) | P_n (tf) | P_{hcc} (tf) | A_{sh} (cm^2) | s (cm) | ϕ_h (Hoop Reduction Factor) |
|---------------|--------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 1 | AISC Seismic Provisions (2005) | 575 | 9304 | 8464 | 70.7 | — | 2013 | 4251 | — | 2.54 | 7.1 | 0.53 |
| 2 | Strength Reduction Approach | 575 | 9304 | 8464 | 70.7 | 3025 | 2013 | 5288 | 212 | 2.54 | 6.4 | 0.58 |

(資料來源：本研究整理)

4.5 建議修訂之規範條文與解說

綜合以上研究分析與學者專家座談會討論的結果(如附錄三所示)，本研究小組建議 SRC 柱之圍束箍筋需求量之計算，以採用「強度折減法(Strength Reduction Approach)」之設計法較為合理，主要是該法能夠同時考慮到 SRC 柱之鋼骨「分擔軸力」之貢獻及「鋼骨翼板」對混凝土圍束效應之影響。由於 SRC 柱內部之鋼骨能夠幫忙分擔軸力，使得混凝土所需承受之軸力變少；此外，鋼骨翼板對混凝土形成一個有效的高度圍束區，使得混凝土受到良好的圍束。因此相較於一般純 RC 柱，SRC 柱之圍束箍筋用量可以適度折減，有助於提昇 SRC 柱的經濟性與施工性。本研究小組建議我國 SRC 規範之圍束箍筋需求量計算法可以採用「強度折減法」之設計法。

因此，本研究建議在我國 SRC 構造設計規範的第九章第 9.7.3 節「柱之設計細則」之本文與解說中，修訂以下有關 SRC 柱「圍束箍筋需求量」之內容：(以下建議修訂之內容，以「細明體」之字型表示)

9.7.3 柱之設計細則

鋼骨鋼筋混凝土柱除應符合第四章之規定外，亦應符合以下要求：

1. 柱之斷面尺寸

(...與原規範相同，故予以省略)

3. 柱之箍筋

(1) 圍束箍筋需求量

矩形柱之圍束箍筋除應滿足第四章之規定外，其圍束箍筋總面積 A_{sh} 應不小於剪力鋼筋之需求量，且不得小於(9.7-6)與(9.7-7)式所計算者：

$$A_{sh} = 0.3sb_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left[1 - \left(\frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right) \right] \quad (9.7-6)$$

$$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{F_{yh}} \right) \left[1 - \left(\frac{P_s + P_{hcc}}{(P_n)_u} \right) \right] \quad (9.7-7)$$

其中：(P_n)_u = A_sF_{ys} + 0.85 f'_c A_c + F_{yr} A_r (9.7-8)

s = 圍束箍筋之間距，cm

b_c = 受箍筋圍束之柱核心斷面之寬度，cm

F_{yh} = 圍束箍筋之規定降伏應力，kgf/cm²

A_g = 鋼骨鋼筋混凝土柱之全斷面積，cm²

A_{ch} = 受箍筋圍束部分柱核之斷面積，cm²

P_s = 鋼骨部分之軸壓強度，依下式計算

$$P_s = F_{ys} A_s \quad (9.7-9)$$

其中 A_s 為鋼骨部分之斷面積，cm²

P_{hcc} = 高度圍束區混凝土因受鋼骨圍束所額外提昇之軸壓強度，依下式計算

$$P_{hcc} = 0.2f'_c A_{hcc} \quad (9.7-10)$$

其中 A_{hcc} 為高度圍束區混凝土之面積，係指 SRC 柱中鋼骨翼板所圍束之混凝土面積，cm²

(2) 圍束範圍

(...以下與原規範相同，故予以省略)

解說：SRC 柱主筋用量上限之規定旨在避免主筋太密妨礙施工，並避免引致柱過高之剪力。柱端因彎矩較大，混凝土保護層可能剝落，因此規定在該處主筋不得搭接，若主筋須搭接則須在反復應力較小之中央一半柱長內進行，且須配置適當的圍束箍筋。

SRC 柱中配置圍束箍筋的主要目的在圍束混凝土並提供主筋側向支撐。本節圍束箍筋需求量計算公式(9.7-6)與公式(9.7-7)係將一般 RC 柱之圍束箍筋需求量公式，乘以一個折減係數[1 - (P_s+P_{hcc})/(P_n)_u]，來作為 SRC 柱

圍束箍筋需求量之計算公式。式中之折減係數主要目的在考量 SRC 柱之鋼骨「分擔軸力」之貢獻及「鋼骨翼板」對混凝土圍束效應之影響。由於 SRC 柱內部之鋼骨能夠幫忙分擔軸力，使得混凝土所需承受之軸力變少；此外，鋼骨翼板對混凝土形成一個高度圍束區，使得混凝土受到良好的圍束。因此相較於一般純 RC 柱，SRC 柱之圍束箍筋用量可以適度折減，有助於提昇 SRC 柱的經濟性與施工性。本規範建議 SRC 柱之高度圍束區(Highly Confined Area)混凝土，因受鋼骨圍束所額外提昇之軸壓強度可以保守的採用 $P_{hcc} = 0.2f'_c A_{hcc}$ ，其中 A_{hcc} 為高度圍束區混凝土之面積，係指 SRC 柱中鋼骨翼板所圍束之混凝土面積，如圖 C9.7.3-1 至圖 C9.7.3-4 所示。圖中顯示，若 SRC 柱內的鋼骨翼板愈寬，則高度圍束區混凝土之面積 A_{hcc} 愈大，愈能夠對 SRC 柱之混凝土提供良好的圍束。

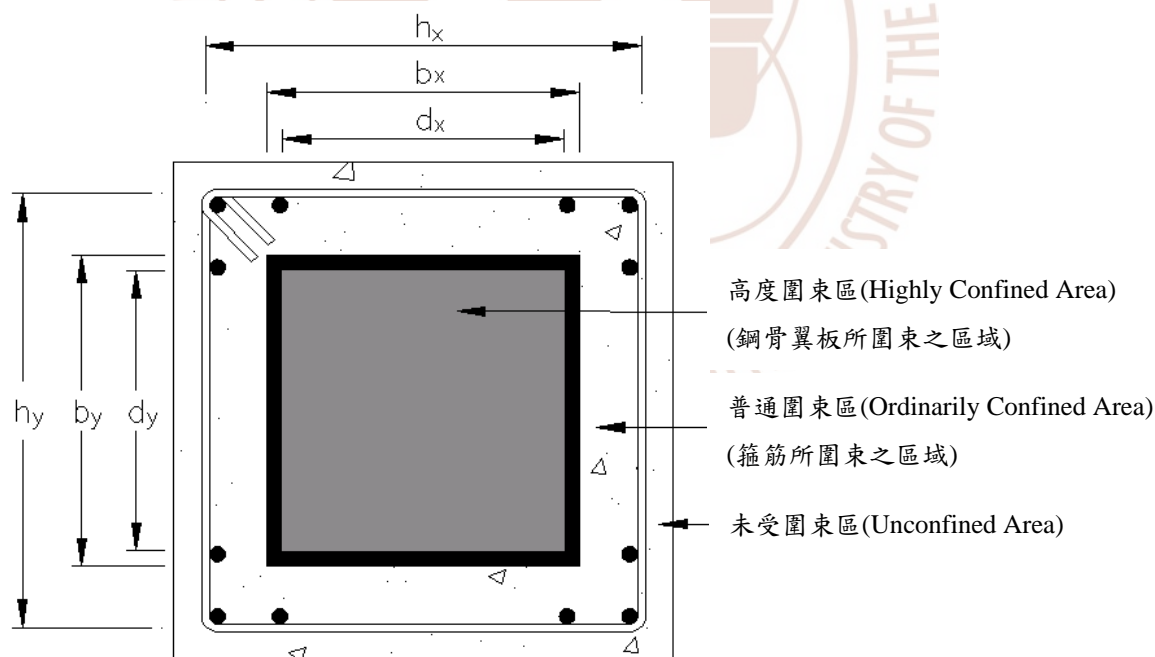


圖 C9.7.3-1 包覆填充型鋼管 SRC 柱中混凝土受圍束之情形
(資料來源：本研究繪製)

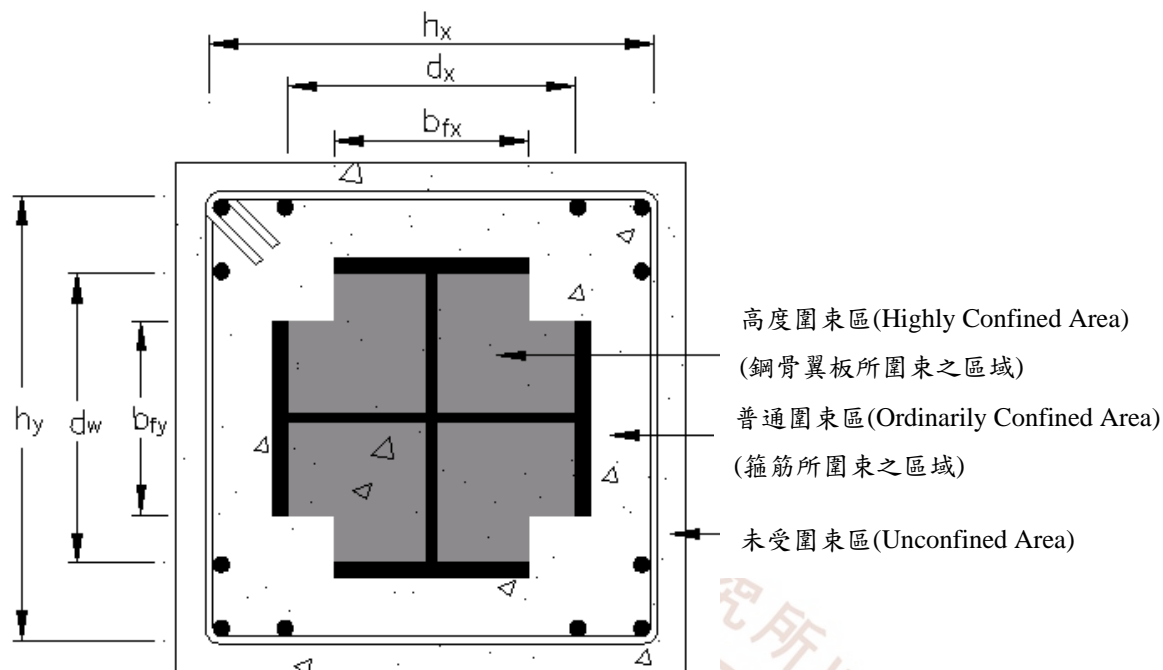


圖 C9.7.3-2 包覆十字型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形
(資料來源：本研究繪製)

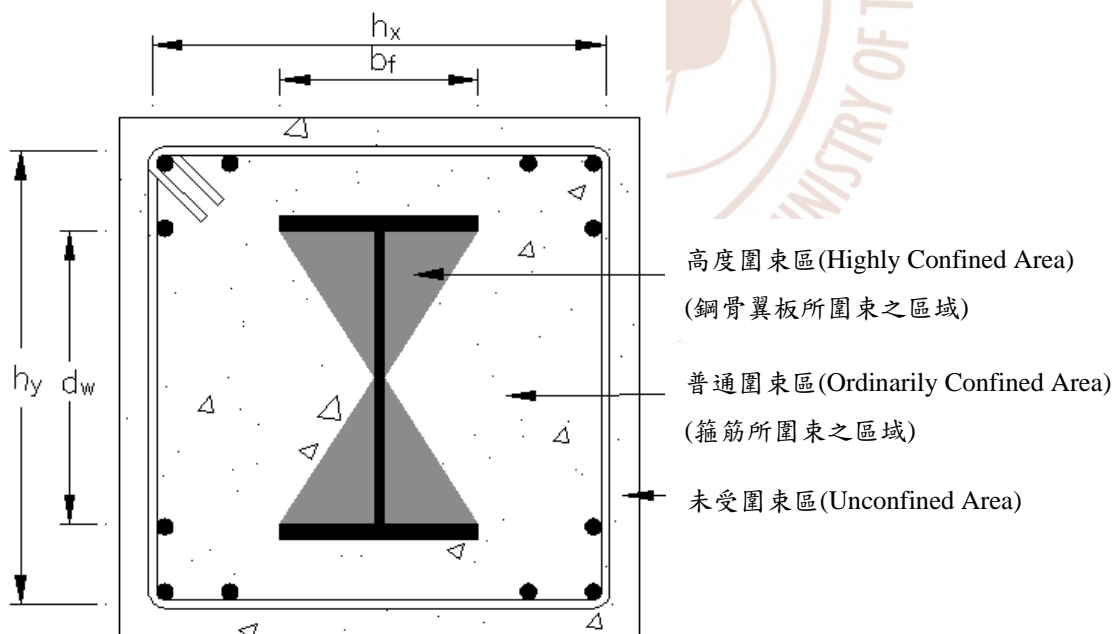


圖 C9.7.3-3 包覆 H 型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形
(資料來源：本研究繪製)

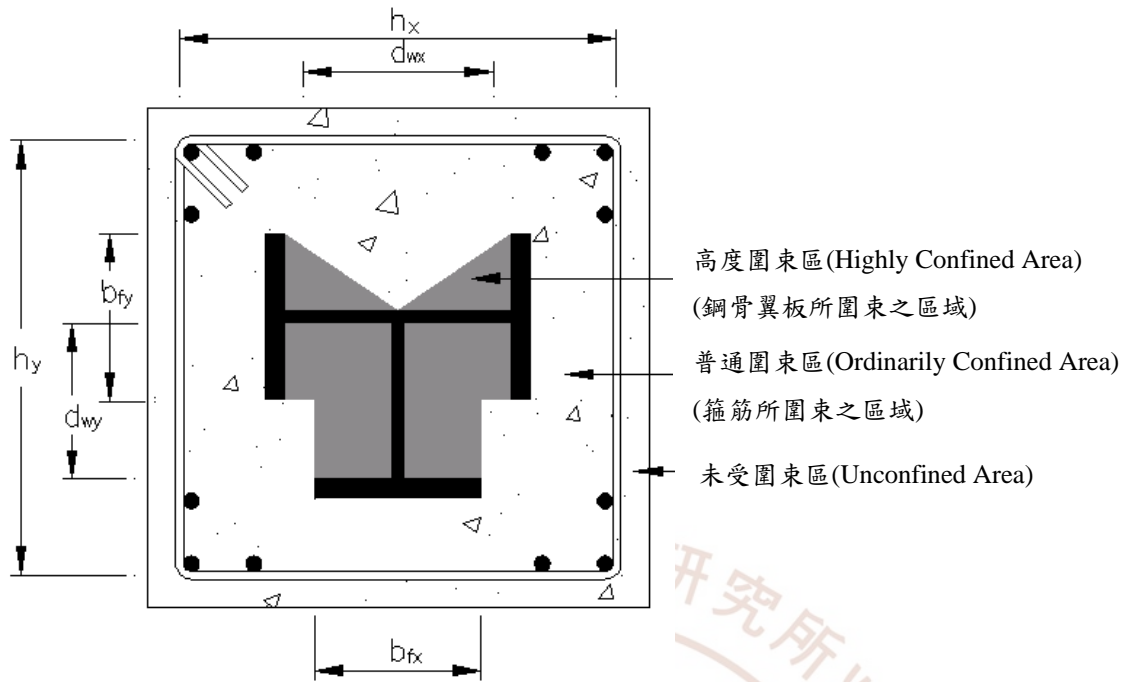


圖 C9.7.3-4 包覆 T 型鋼骨 SRC 柱中混凝土受圍束之情形
(資料來源：本研究繪製)

(...以下規定與原規範之解說相同，故文字部分予以省略)



第五章 其它建議新增或修訂之條文與解說

5.1 前言

本計畫除了探討 SRC 結構系統「韌性容量 R 值」、SRC 梁柱接頭之「撓曲強度比值」限制及 SRC 柱之「圍束箍筋需求量」三項主題之外，本研究小組同時針對目前 SRC 規範中其他部份的條文規定，提出新增或修訂之建議，俾使我國 SRC 規範更臻完善。這些建議主要包括：

1. SRC 「特殊同心斜撐構架系統(SCBF)」；
2. SRC 梁「扭力強度」；
3. 採用「五螺箍」設計之 SRC 柱；
4. SRC 柱「最小鋼骨比」限制；
5. SRC 柱「最大鋼筋比」限制；
6. 採用螺旋箍筋之 SRC 柱「強度折減係數」；
7. SRC 梁柱接頭之「鋼梁補強或減弱式」必要性探討。

以下將針對上述各項主題，分別闡述本研究提出之新增或修訂建議。

5.2 .SRC 「特殊同心斜撐」構架系統

5.2.1 動機與目的

斜撐構架系統為廣泛使用的結構系統之一，一般可分為同心斜撐構架與偏心斜撐構架。2005 年 AISC 耐震設計規定(Seismic Provisions)[5]中又將同心斜撐構架系統分為「普通同心斜撐構架(OCBF)」與「特殊同心斜撐構架(SCBF)」兩種。根據國內外學者之實驗研究發現，耐震結構系統若單獨使用 OCBF 時，以目前的設計要求，在非彈性階段容易產生軟弱層(Soft Story)現象。當斜撐構材受到過大的軸向壓力而產生整體挫屈(Global Buckling)或局部挫屈 (Local Buckling)時，甚至可能因過度之挫屈變形，導致斜撐構材在未發揮消能容量之前即提早失敗，進而影響整體構架之耐震性能。

特殊同心斜撐構架(SCBF)的出現改善了上述 OCBF 之缺點，AISC Seismic Provisions[5]係利用斜撐構材長細比及斷面寬厚比等限制，來避免 SCBF 之斜撐構材發生非預期的挫屈變形，進一步提升其韌性及增加在非彈性階段之變形能力。SCBF 在系統配置與接合細部要求上較 OCBF 嚴格，當受到較大的反復側向水平力作用時，相對於 OCBF 可承受較大之非彈性變形，使整體構架耐震性能提升。

檢視目前國內外鋼結構設計規範，在 2005 年新版的 AISC Seismic Provisions 與 2007 年內政部訂定之「鋼結構極限設計法規範及解說」中皆包含有關「特殊同心斜撐構架」設計要求之章節。然而，目前我國 SRC 規範中，斜撐構架之規定僅包含同心斜撐構架(CBF)與偏心斜撐構架(EBF)，對於特殊同心斜撐構架(SCBF)並沒有提出相關章節加以說明。因此，本研究小組建議於我國 SRC 規範第九章，將原第 9.9 節「同心斜撐構架」修訂為「特殊同心斜撐構架」。

5.2.2 建議修訂之規範條文與解說

由於 2005 年新版的 AISC Seismic Provisions 與 2007 年內政部訂定之「鋼結構極限設計法規範及解說」皆包含有關「特殊同心斜撐構架」設計要求之章節，因此本研究建議在我國 SRC 構造設計規範的第九章「耐震設計」篇中，修訂第 9.9 節為「特殊同心斜撐構架」。(以下建議新增之內容，以「細明體」之字型表示)

9.9 特殊同心斜撐構架

1. 採用特殊同心斜撐構架之鋼骨鋼筋混凝土構造，其斜撐應採用鋼骨構材或內部填充混凝土之鋼管所組成。
2. 斜撐構材採用鋼骨構材設計時，應符合內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」中之特殊同心斜撐構架相關規定；採用內部填充混凝土之鋼管斜撐構材，其設計應符合本規範第六章之相關規定。
3. 斜撐構材與構架之接合應符合「鋼結構極限設計法規範及解說」中之特殊同心斜撐構架相關規定。

解說：根據 2005 年新版 AISC Seismic Provisions[5]中將同心斜撐構架系統分為普通同心斜撐構架(Ordinary Concentrically Braced Frame, OCBF)與特殊同心斜撐構架(Special Concentrically Braced Frame, SCBF)，其中 OCBF 在彈性階段具有相當高的勁度與強度，是抵抗中、小型地震之良好系統。然而，就抵抗強烈地震而言，受到較大的反復側向水平力作用時，斜撐構材受到過大的軸向壓力而產生整體挫屈與局部挫屈，甚至可能因過度之挫屈變形，導致材料在未發揮消能容量之前即提早斷裂，使得遲滯迴圈呈現強度衰減與束縮現象，嚴重影響結構系統之韌性。

特殊同心斜撐構架(SCBF)的出現改善 OCBF 之缺點，AISC Seismic Provisions[5]係利用斜撐構材長細比(Slenderness Ratio)及斷面寬厚比(Width-Thickness Ratio)等限制，來避免 SCBF 之斜撐構材發生非預期的挫屈變形，進一步提升其韌性及增加在非彈性階段之變形能力。SCBF 在系統配置與接合細部要求上較 OCBF 嚴格，當受到較大的反復側向水平力作用時可承受較大之非彈性變形，使整體構架耐震性能提升。

由於 SCBF 須藉由斜撐構材之塑性變形來消散地震能量，換言之，應避免在斜撐構材未發揮其塑性變形能力前，發生接合處破壞之情形。因此，接合板之設計是否適當將會影響整體構架之耐震行為。接合板之設計隨斜撐構材之挫屈型式有所不同，其斜撐挫屈型式可分為構架平面內挫屈(In-Plane Buckling)及構架平面外挫屈(Out-of-Plane Buckling)。若斜撐產生平面外挫屈，則接合板必須設計成可自由彎曲之型式，容許接合板在斜撐構材末端 2 倍接合板厚度範圍處產生塑性變形，如圖 C9.10.1 所示。此外，在梁及柱與接合板之交接處，應於適當之位置設置加勁板。

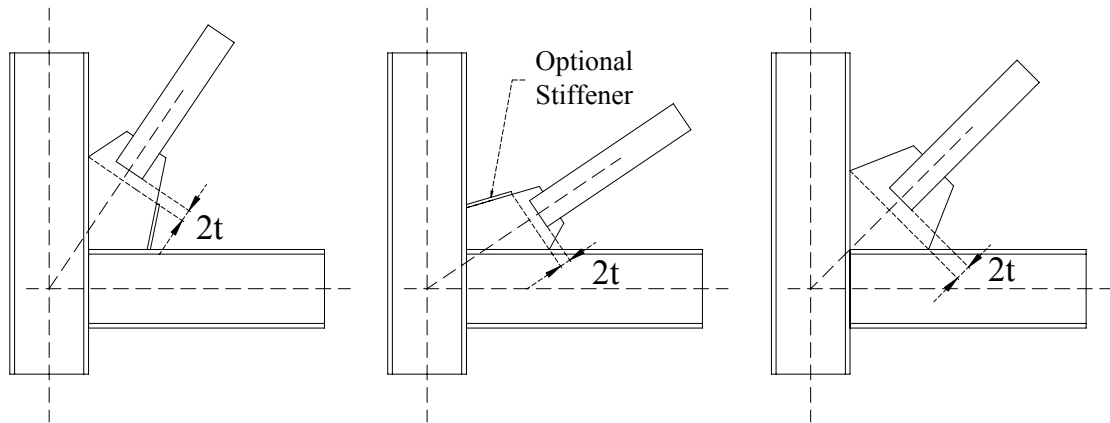


圖 C9.10.1 斜撐構材面外挫曲時接合板之設計
(資料來源：參考書目 54)

5.3 SRC 梁之「扭力強度」

5.3.1 動機與目的

目前我國 SRC 規範尚無有關「SRC 梁扭力強度」之相關規定。近年來，國內外陸續有關於 SRC 構材扭力強度之研究報告與學術論文發表，其中包含許多實驗和研究結果可供參考，故本研究小組建議於我國 SRC 規範第五章中新增第 5.6 節「設計扭力強度」。

於結構系統中，扭力常與其他型式之載重(如彎矩)共同形成組合載重，若構件之扭力強度不足，結構物常會因扭力作用而造成非預期之破壞減低其承載能力，因此設計構件時扭力強度應予以檢核。當 SRC 構造受到扭力作用時，雖然 RC 提供了大部分之扭力強度，但由於鋼骨也提供了部份之扭力強度；再加上 SRC 構造中 RC 與鋼骨兩者緊密結合，因此，RC 與鋼骨間有其互制作用，故 SRC 構造受扭力作用之情形與一般 RC 構造受扭力作用之情形不盡相同。所以在計算 SRC 構造之扭力強度時，除了需考慮 RC 部份之扭力強度外，鋼骨在 SRC 構造中之貢獻亦應予以考量。

SRC 構造之扭力強度 T_n 可由 RC 部份與鋼骨部份之扭力強度以「強度疊加法」疊加如下：

$$T_n = T_{nrc} + T_{ns} \dots\dots\dots(5-1)$$

上式中 T_{nrc} 為 RC 構造之扭力強度； T_{ns} 為鋼骨之扭力強度。

RC 部分扭力強度(T_{nrc})之計算可參考內政部所訂之「結構混凝土設計規範」[55]；鋼骨部分之扭力強度(T_{ns})計算，由於相關鋼結構設計規範中並未設有專章以供遵循，一般可經由理論方式求解[56]，其扭力強度包含聖維南扭力(St. Venant Torsion) T_s 與翹曲扭力(Warping Torsion) T_w 兩部分；亦即 $T_{ns} = T_s + T_w$ 。

許協隆等[57]之研究顯示，對於包覆型 SRC 梁在鋼骨無配置剪力釘時，其扭力強度可由 RC 與鋼骨各別計算之扭力強度以疊加方式求得如下：

$$T_n = T_{nrc} + T_s + T_w \dots\dots\dots(5-2)$$

其中 H 型鋼骨斷面之聖維南塑性扭力強度之大小如下[56]：

$$T_s = \tau_y \left[t_f^2 \left(b_f - \frac{t_f}{3} \right) + \frac{t_w^2}{2} \left(d_b + \frac{t_w}{3} \right) - t_f t_w^2 \right] \dots\dots\dots(5-3)$$

上式中 τ_y 為鋼材之剪力降伏強度，其值約為鋼材拉力降伏強度 F_{ys} 之 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 倍。

翹曲扭力強度與構材細部及邊界條件有關，其計算頗為複雜；由實驗發現，翹曲扭力強度僅為聖維南扭力強度之 20% 至 30%，因此為方便設計，在計算鋼骨扭力強度時可將翹曲扭力強度忽略。因此，在計算 SRC 梁之設計扭力強度時，以「強度疊加法」將 RC 部分之扭力強度與鋼骨部分之聖維南扭力強度之疊加如下：

$$T_n = T_{nrc} + T_s \dots\dots\dots(5-4)$$

由許協隆等[57]之實驗結果得知，實驗求得之扭力強度與利用「強度疊加法」計算之扭力強度其比值大約落在 1.28~1.33 間，發現以「強度疊加法」計算之結果略偏保守。

綜合以上之實驗結果及分析，本研究建議 SRC 梁之設計扭力強度，可依「強度疊加法」計算如下：

$$\phi_t T_n = \phi_{ts} T_{ns} + \phi_{trc} T_{nrc} \dots\dots\dots(5-5)$$

惟式(5-5)所估算之值並未計入鋼骨配有剪力釘時之複合作用，因此仍屬保守。

5.3.2 建議修訂之規範條文與解說

由於目前我國 SRC 構造設計規範尚無「SRC 梁之扭力強度」相關規定，加上近年來國內外陸續有關於 SRC 構材扭力強度之研究報告與學術論文發表，其中包含許多實驗和研究結果可供參考。由許協隆等[57]之研究結果顯示 SRC 梁之扭力強度可依「強度疊加法」計算，其設計之結果略偏保守。

因此，本研究小組建議於我國 SRC 構造設計規範第五章中，新增第 5.6 節「設計扭力強度」。(以下建議新增之規範條文與解說，以「細明體」之字型表示)

5.6 設計扭力強度

符合 5.2 與 5.3 節規定之包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁，其設計扭力強度 $\phi_t T_n$ 得採用「強度疊加法」計算如下：

$$\phi_t T_n = \phi_{ts} T_{ns} + \phi_{trc} T_{nrc} \quad (5.6-1)$$

其中：

$\phi_{ts} = 0.75$ ，鋼骨部分之扭力強度折減係數

$\phi_{trc} = 0.75$ ，鋼筋混凝土部分之扭力強度折減係數

T_{nrc} = 鋼筋混凝土部分之標稱扭力強度，依內政部所訂之「結構混凝土設計規範」之相關規定計算

T_{ns} = 鋼骨部分之標稱扭力強度，其值如下：

$$T_{ns} = 0.55F_{ys} \left[t_f^2 \left(b_f - \frac{t_f}{3} \right) + \frac{t_w^2}{2} \left(d_b + \frac{t_w}{3} \right) - t_f t_w^2 \right] \quad (5.6-2)$$

其中： b_f = 鋼骨翼板寬度，cm

t_f = 鋼骨翼板厚度，cm

t_w = 鋼骨腹板厚度，cm

d_b = 鋼骨深度，cm

F_{ys} = 鋼骨之規定降伏應力，kgf/cm²

解說：結構系統中，扭力通常與其他型式之載重(如彎矩)共同形成組合載重，若

構件之扭力強度不足，結構物常會因扭力作用而造成非預期之破壞減低其承載能力，因此設計構件時扭力強度應予以檢核。當 SRC 構造受到扭力作用時，雖然 RC 提供了大部分之扭力強度，但由於鋼骨也提供了部份之扭力強度；再加上 SRC 構造中 RC 與鋼骨兩者緊密結合，因此，RC 與鋼骨間有其互制作用，故 SRC 構造受扭力之情形與一般 RC 受扭力作用之情形不盡相同。所以在計算 SRC 構造之扭力強度時，除了需考慮 RC 部份之扭力強度外，鋼骨在 SRC 構造中之貢獻亦應予以考量。

由許協隆等[57]之研究結果得知，包覆型 SRC 梁在鋼骨無剪力釘之條件下，構材之扭力強度約可由 RC 與鋼骨之扭力強度以疊加方式求得，RC 部分扭力強度(T_{mrc})之計算可參考內政部所訂之「結構混凝土設計規範」[55]；鋼骨部分之扭力強度計算，由於相關鋼結構設計規範中並未設有專章以供遵循，一般可經由理論方式求解[56]。

純鋼骨扭力強度之計算包含聖維南扭力(St. Venant Torsion)與翹曲扭力(Warping Torsion)，H 型鋼骨斷面之聖維南扭力強度之大小為

$$\tau_y \left[t_f^2 \left(b_f - \frac{t_f}{3} \right) + \frac{t_w^2}{2} \left(d_b + \frac{t_w}{3} \right) - t_f t_w^2 \right]$$

值約為鋼骨拉力降伏強度 F_{ys} 之 $1/\sqrt{3}$ 倍；翹曲扭力強度則與其構材細部及邊界條件有關，其計算頗為複雜且由實驗結果發現翹曲扭力強度約僅為聖維南扭力強度之 20%至 30%，因此為簡化設計，在計算鋼骨扭力強度時可將翹曲扭力強度之貢獻保守的予以忽略。亦即計算鋼骨之扭力強度時，只需考慮聖維南扭力強度。

因此，在計算 SRC 梁之設計扭力強度時，可採用「強度疊加法」將 RC 部份之扭力強度與鋼骨部分之聖維南扭力強度疊加，如式(5.6-1)所示。惟式(5.6-1)所估算之值並未計入鋼骨在配有剪力釘時可能提昇之複合作用，因此估算值仍屬保守。

5.4 採用「五螺箍」設計之 SRC 柱

5.4.1 動機與目的

如圖 5.1 所示，近年來有許多採用新型的「五螺箍」(5-Spirals)之 SRC 短柱、SRC 長柱與 SRC 梁柱接頭之試驗成果出現[26,30,45]，試驗結果證實這種新型的 SRC 構造具有良好的強度、韌性與經濟效益。因此，本研究乃針對「五螺箍應用於 SRC 柱」之主題召開學者專家座談會，討論其是否適合納入 SRC 規範。

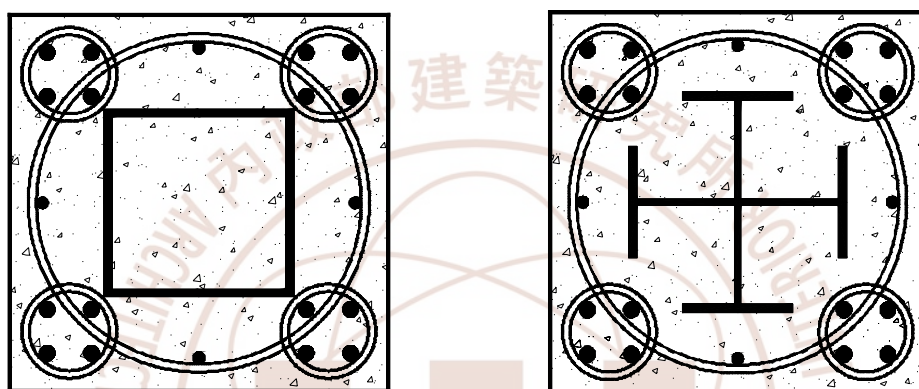


圖 5.1 配置「五螺箍」之矩形 SRC 柱斷面示意圖
(資料來源：本研究繪製)

根據學者專家座談會討論的結果，大多數人相當肯定「五螺箍」應用於 SRC 構造之效益。建議可納入我國 SRC 構造設計規範的解說 (Commentary)，並建議專利權所有人考慮釋出相關之專利權。(註：五螺箍之發明人潤泰集團尹衍樑總裁已於 2008 年夏天公開宣佈將五螺箍之專利權釋放出來，免費提供國人使用。)

「五螺箍」是一種新型的組合式螺旋箍筋，可應用於具有矩形斷面之 SRC 柱，這種創新構想是由尹衍樑博士率先提出，因此又稱為尹氏螺箍 (Yin's Spirals)。五螺箍的配置方式是以一個中心的大圓螺箍，再搭配四個角落的小圓螺箍交織而成。由於五螺箍是由五個圓交織而成，其形狀類似奧運標誌，故早期亦有奧林匹克螺箍 (Olympic Spirals) 之稱。

「五螺箍」的特色在於突破傳統上螺旋箍筋只適用於「圓形斷面」柱的限制。五螺箍巧妙的克服了傳統單一螺旋箍筋無法應用於「矩形斷面柱」的困擾，它的

四個小圓螺旋箍對矩形柱「四個角落的混凝土」發揮了良好的圍束效果。此外，由於螺旋箍筋具有連續性，不像每一支橫箍筋 (Rectangular Hoop) 均為獨立個體且需在角隅處以彎鉤來固定，所以螺旋箍筋不僅對混凝土之圍束效果比橫箍筋更好，更因為不需要角隅彎鉤而節省可觀的箍筋用量。

在施工方面，由於橫箍筋之綁紮較耗費工時，因此若能採用螺旋箍筋，並以預鑄 (Precast) 方式來施作，將可大幅降低箍筋綁紮之人力並有效的節省成本、縮短工期、提昇工程品質與降低工地污染。

關於五螺箍應用於矩形 SRC 柱之配置方式，已經由尹衍樑與翁正強等進行一系列的短柱軸壓試驗[26]、長柱反復載重耐震試驗[30]與梁柱接頭之反復載重耐震試驗[45]，證實五螺箍可以成功的應用於矩形 SRC 柱上。試驗結果顯示，採用五螺箍之 SRC 柱其「強度」、「韌性」及「經濟效益」三項指標皆優於採用傳統橫箍者。因此，建築構造中採用五螺箍 SRC 柱，對於保障地震來襲時生命與財產安全具有正面效益。

5.4.2 建議修訂之規範條文與解說

根據上述之討論結果，本研究初步建議將「五螺箍應用於矩形 SRC 柱」納入我國 SRC 規範的解說中，亦即在我國 SRC 構造設計規範的第四章第 4.3.5 節「柱之箍筋」之解說中，增列以下有關「五螺箍」應用於 SRC 柱之內容(以下建議新增之規範條文與解說，以「細明體」之字型表示)：

4.3.5 柱之箍筋

1. 鋼骨鋼筋混凝土柱中之箍筋直徑須為 D10(#3)以上。
(...以下規定與原規範相同，故文字部分予以省略)

解說：(本節原有之解說不變，新增以下有關「五螺箍」應用於 SRC 柱之內容)

如圖 C4.3.8 所示，近年來有許多採用「五螺箍」(5-Spirals) 之 SRC 短柱、SRC 長柱與 SRC 梁柱接頭之試驗成果出現，實尺寸之試驗結果顯示這種

新型的 SRC 構造具有良好的強度、韌性與經濟效益[26,30,45]。五螺箍的配置方式是以一個中心大圓螺箍，再搭配四個角落小圓螺箍交織而成；其中，四個小圓螺箍主要扮演以下功能：(1)圍束矩形柱四個角落的混凝土；(2)對大螺箍提供側向束制以減緩大螺箍外擴現象；(3)固定角落的主筋並提供其側向支撐。

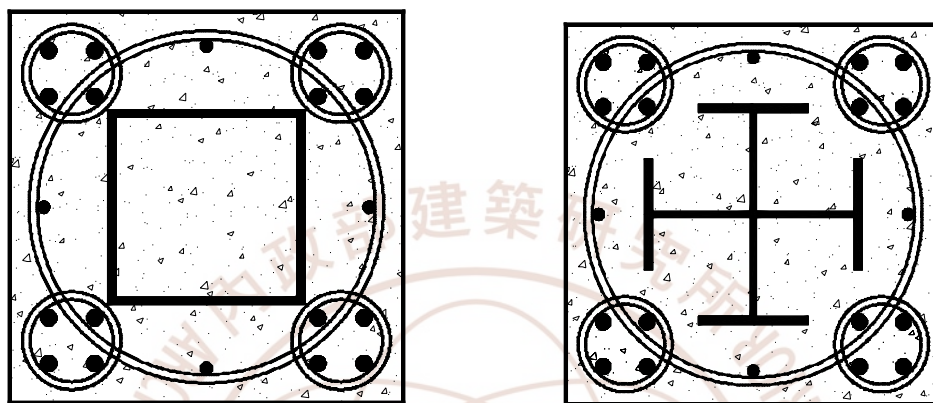


圖 C4.3.8 配置「五螺箍」之矩形 SRC 柱斷面示意圖
(資料來源：本研究繪製)

五螺箍的特色在於突破傳統單一螺箍無法應用於矩形斷面柱的限制，它的四個小圓螺箍對矩形柱四個角落的混凝土發揮了圍束效果。此外，由於螺旋箍筋具有連續性，不像橫箍筋均為獨立個體且需在角隅處以彎鉤固定，所以螺旋箍筋不僅對混凝土之圍束效果良好，亦因不需要彎鉤而節省箍筋用量。在施工方面，由於傳統橫箍筋之綁紮較耗費工時，因此若採用螺旋箍筋並以預鑄(Precast)方式來施作，將可降低箍筋綁紮之人力、節省成本、縮短工期與降低工地污染。

進行五螺箍設計時，大螺箍之圍束直徑可以盡量放大（但仍需符合混凝土保護層之要求）以圍束柱核心區域之混凝土，小螺箍之圍束直徑可取為約 0.3 倍左右的大螺箍圍束直徑。由於大螺箍需要圍束較多的混凝土，因此設計時大螺箍之鋼筋尺寸（線徑）通常比小螺箍之線徑大一些，例如大螺箍之線徑採用#5(D16)鋼筋，小螺箍之線徑則採用#4(D13)鋼筋。此外，宜使大螺箍與小螺箍具有相同之間距以利互相嵌合。

關於五螺箍應用於 SRC 構造之研究，尹衍樑等[30]首先針對傳統橫箍及五螺箍應用於矩形 SRC 柱進行一系列短柱軸壓試驗，並採用不同方法設計 SRC 柱之圍束箍筋需求量。Weng 等[26]進行四支五螺箍 SRC 長柱之反復載重耐震試驗，試驗結果顯示，SRC 柱之遲滯迴圈飽滿，試體的層間變位角可達6.0% 弧度。此外，翁正強等[45]進行三組五螺箍 SRC 梁柱接頭之反復載重試驗，其中一組採用 SRC 柱接鋼梁，兩組採用 SRC 柱接 SRC 梁。試驗結果顯示梁柱接頭的遲滯迴圈飽滿，層間變位角可達到4.0%弧度以上。此種 SRC 梁柱接頭之鋼梁在未經過翼板切削減弱或蓋板補強之情況下，仍可發揮良好耐震性能。研究結果顯示，SRC 梁柱接頭區之鋼筋混凝土可以扮演類似「補強式接頭」的角色，使鋼梁與 SRC 柱中鋼骨接合處之銲道受到接頭區鋼筋混凝土的有效保護。

5.5 .SRC 柱「最小鋼骨比」限制

5.5.1 動機與目的

根據我國 SRC 規範第六章第 6.3 節「一般要求」中之規定，SRC 柱中之鋼骨斷面積不得小於構材全斷面積之百分之二，亦即 SRC 柱之「最小鋼骨比(Minimum Steel Ratio)」不得小於 2%。

目前我國 SRC 規範有關「最小鋼骨比」之限制是參考美國 AISC LRFD-99 及日本 AIJ-SRC(2001)規範訂定；其中 AISC LRFD-99 規範第 I 章第 I2.1.1a 節對於「最小鋼骨比」之規定為 4%[59]，而 AIJ-SRC(2001)規範第三章第 3.7.5 節則僅要求不得小於 0.8%[8]。此兩種不同規範之規定各有特色，AISC 規範之規定可以使 SRC 構造中鋼骨發揮較大貢獻，並有助於縮小柱斷面尺寸；AIJ-SRC 規範之規定則賦予設計者於設計時較大的自由選擇空間。目前我國 SRC 規範對於「最小鋼骨比」之規定即是採用上述兩種規範之折衷值 2%。

然而，美國 2005 年新版的 AISC LRFD-05 規範第 I 章第 I2.1.1a 節對於「最小鋼骨比」之規定，已從原本之 4%降低為 1%[6]。因此，依照我國 SRC 規範訂定之

理念，參考美國 AISC LRFD-05 規範(最小鋼骨比 1%)以及日本 AIJ-SRC 規範(最小鋼骨比 0.8%)，本研究建議將我國現有 SRC 規範對於 SRC 柱中鋼骨斷面積不得小於構材全斷面積 2%之規定，修改為不得小於 1%。

由於 SRC 柱「最小鋼骨比」之限制由 2%修改為 1%後，可能面臨所設計之鋼骨斷面變小；亦即 SRC 柱斷面中混凝土所佔之比例增加，造成圍束箍筋所圍束之混凝土變多。因此，若依照現有 SRC 規範設計圍束箍筋，可能會導致混凝土因圍束箍筋之圍束能力不足而提早破壞。故本研究建議在「最小鋼骨比」之限制由 2%修改為 1%後，應在 SRC 柱內加配繫筋 (Cross-tie) 以避免發生混凝土圍束能力不足問題，其建議配置方式如圖 5.2 所示。SRC 柱內繫筋與相鄰鋼骨表面及相鄰箍筋之「最大間距」限制，應參照 ACI 318 第 21 章耐震設計之規定， $S_{max} \leq 35cm$ [7]。

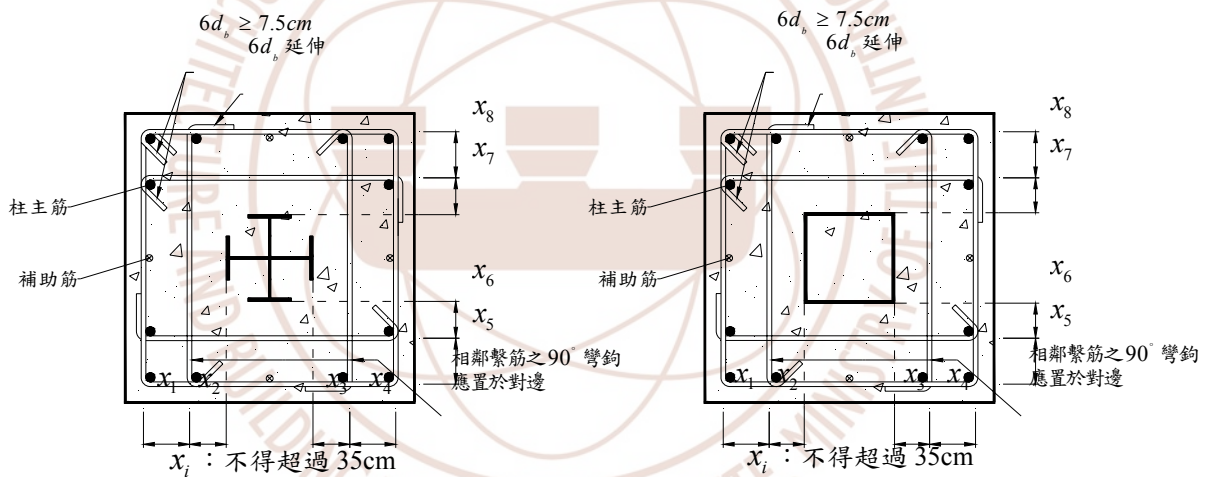


圖 5.2 低鋼骨比 SRC 柱加配繫筋(Cross-tie)之斷面配置參考圖
(資料來源：本研究繪製)

5.5.2 建議修訂之規範條文與解說

由於日本 AIJ-SRC(2001)規範對於 SRC 柱的「最小鋼骨比」限制為 0.8%，且 2005 年新版的 AISC LRFD-05 第 I 章第 I2.1.1a 節已將 SRC 柱的最小鋼骨比由 4%降為 1%。因此，本研究小組建議將我國 SRC 構造設計規範第六章 6.3 節「一般要求」對於 SRC 柱「最小鋼骨比」之限制由原規範之 4%修改為 1%。

為避免 SRC 柱因鋼骨比過小而導致圍束箍筋發生混凝土圍束能力不足之問題，本研究建議在「最小鋼骨比」之限制由 2%修改為 1%後，應在 SRC 柱內加配適當的繫筋 (Cross-tie) 以避免發生混凝土圍束能力不足問題，SRC 柱內繫筋與相鄰鋼骨表面及相鄰箍筋之「最大間距」限制，應參照 ACI 318 第 21 章耐震設計之規定， $S_{max} \leq 35\text{cm}$ [7]。

因此，本研究初步建議在我國 SRC 構造設計規範的第六章 6.3 節「一般要求」之本文與解說中，修改以下有關「SRC 柱最小鋼骨比」由原規範之 4%修改為 1%之內容：(以下建議修改與新增之 SRC 規範條文與解說，均以「細明體」之字型表示)

6.3 一般要求

1. 鋼骨鋼筋混凝土柱中之鋼骨斷面積不得少於構材全斷面積之 1%。若鋼骨斷面積少於構材全斷面積之 1%，則應依內政部所定之「混凝土工程設計規範與解說」之規定設計。
2. (…以下規定與原規範相同，故文字部分予以省略)

解說：有關 SRC 柱斷面最小鋼骨比之限制，美國 AISC LRFD-05 規定不得小於 1%[6]，而日本 AIJ-SRC(2001)規範則要求不得小於 0.8%[8]。故我國 SRC 規範參考美國 AISC LRFD-05 及日本 AIJ-SRC 規範，採用最小鋼骨比之限制為 1%。然而，為避免因鋼骨比過小而使圍束箍筋發生圍束能力不足之問題，故建議在 SRC 柱內加配繫筋(Cross-tie)，其配置方式如圖 C6.3.1 所示。SRC 柱內繫筋與相鄰鋼骨表面及相鄰箍筋之「最大間距」限制，應參照 ACI 318 規範第 21 章之耐震設計規定， $S_{max} \leq 35\text{cm}$ [7]。

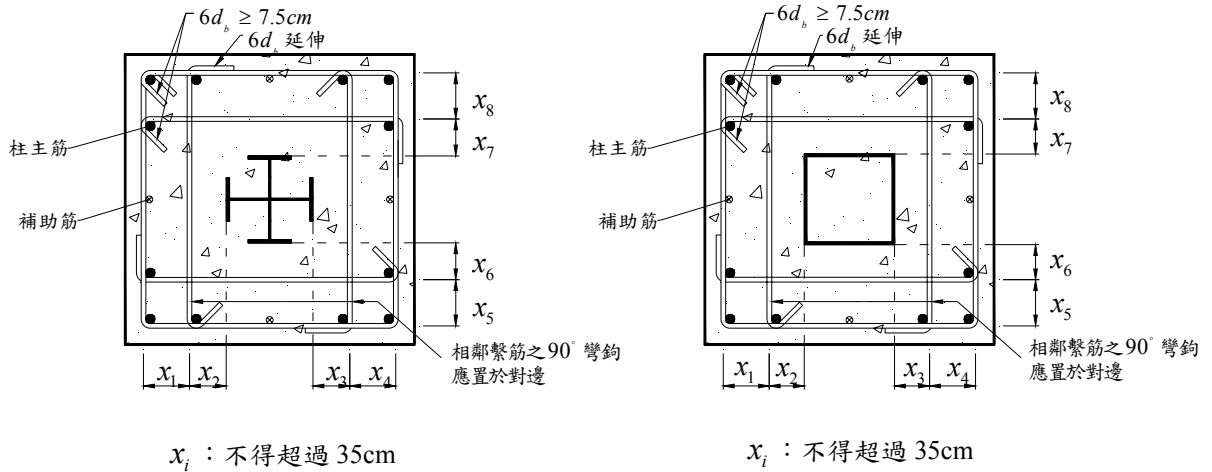


圖 C6.3.1 低鋼骨比 SRC 柱加配繫筋(Cross-tie)之斷面配置參考圖
(資料來源：本研究繪製)

(...以下規定與原規範相同，故文字部分予以省略)

5.6. SRC 柱「最大鋼筋比」限制

5.6.1 動機與目的

根據我國 SRC 規範第四章第 4.3.3 節「柱之主筋」中，規定對於矩形斷面之 SRC 柱，其主筋配置之原則為，於斷面的各角落配置三根，如圖 5.3 所示。此種配置方式，主要是為了避免主筋在梁柱接頭處受到 SRC 梁內之鋼骨阻擋而無法通過梁柱接頭。另外，本規範第四章第 4.3.3 節「柱之主筋」中，考慮當全斷面尺寸較大的情況下，SRC 柱中之主筋間距不得大於 300 mm。若主筋間距大於 300 mm 時，則須加配 D13(#4)以上之軸向補助筋如圖 5.4 所示。

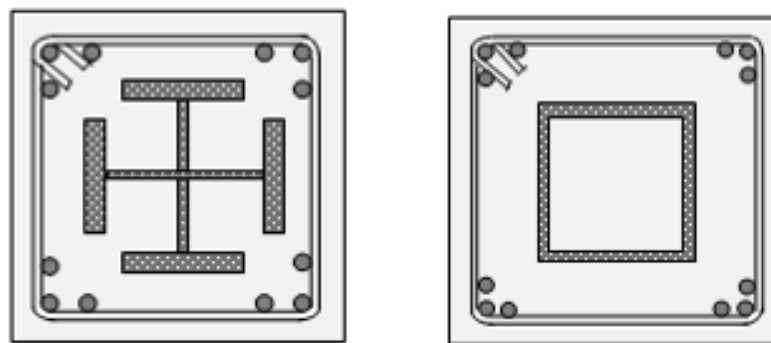


圖 5.3 SRC 柱之主筋配置示意圖
(資料來源：參考書目 10)

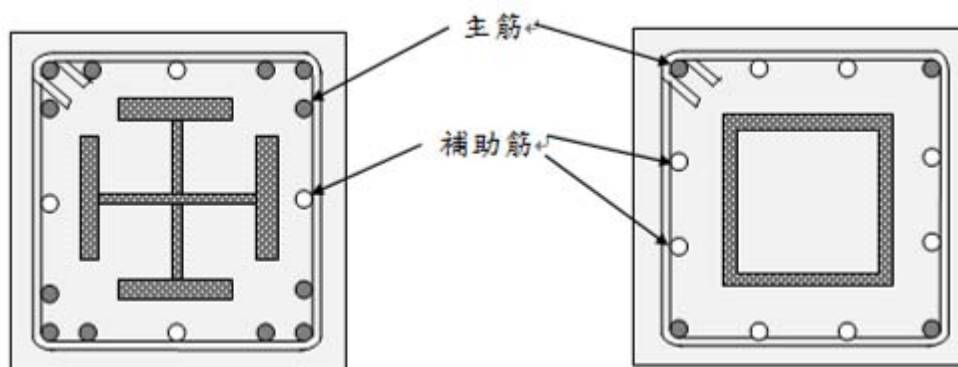


圖 5.4 SRC 柱配置輔助筋示意圖

(資料來源：參考書目 10)

SRC 規範第九章「耐震設計」第 9.7.3 節「柱之設計細則」中規定，鋼骨鋼筋混凝土柱斷面各角落至少須設置一支主筋，且柱主筋斷面積與柱全斷面積之比不得大於百分之四，即 SRC 柱的「最大鋼筋比(Maximum Reinforcement Ratio)」上限值為 4%。SRC 柱主筋量上限之規定主要旨在避免主筋配置過密因而妨礙施工，並避免引致柱過高之剪力。

本研究於學者專家座談會中，提到 SRC 柱的最大鋼筋比規定上限值為 4%時，仍可能發生主筋配置過密的情形。故為避免此一情形發生，建議可針對 SRC 柱的鋼筋用量 ρ_r 上限值降為 3%之問題進一步研究探討。因此，本研究小組針對 SRC 柱鋼筋比進行試算，SRC 柱斷面配置方式採用多種矩型斷面尺寸並在斷面的每個角落配置三根常用號數之主筋，結果見表 5.1。

表 5.1 SRC 柱之鋼筋比試算表

| 主筋號數 斷面 尺寸(cm) | 鋼筋比 ρ_r (%) | | | | | | | |
|----------------------|------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| | 不含輔助筋 | | | | 含#6(D19)輔助筋 | | | |
| | #8 (D25) | #9 (D29) | #10 (D32) | #11 (D36) | #8 (D25) | #9 (D29) | #10 (D32) | #11 (D36) |
| 70×70 | 1.24 | 1.58 | 1.99 | 2.47 | 1.47 | 1.82 | 2.23 | 2.70 |
| 80×80 | 0.95 | 1.21 | 1.53 | 1.89 | 1.13 | 1.39 | 1.71 | 2.07 |
| 90×90 | 0.75 | 0.96 | 1.21 | 1.49 | 0.89 | 1.10 | 1.35 | 1.63 |
| 100×100 | 0.61 | 0.78 | 0.98 | 1.21 | 0.84 | 1.01 | 1.21 | 1.44 |
| 110×110 | 0.50 | 0.64 | 0.81 | 1.00 | 0.69 | 0.83 | 1.00 | 1.19 |
| 120×120 | 0.42 | 0.54 | 0.68 | 0.84 | 0.58 | 0.70 | 0.84 | 1.00 |

(資料來源：本研究整理)

根據本研究小組試算之 SRC 柱鋼筋比結果發現，在正常配置下之 SRC 柱主筋鋼筋比 ρ_r 其值大多界於 1%~3% 之間，即使在最小尺寸為 70cmx 70cm 的斷面中額外多配置一根輔助筋，其鋼筋比 ρ_r 仍未超過 3%，與目前規範所定之上限值 4% 相比，具有相當程度的調整空間。因此，本研究初步建議 SRC 柱之最大鋼筋比 ρ_r 上限可將其調降為 3%，不但可以避免 SRC 柱配筋過密的問題，同時也降低 SRC 構造的施工複雜度，使 SRC 構造之工程品質得以提升。

5.6.2 建議修訂之規範條文與解說

根據本研究小組試算之 SRC 柱鋼筋比結果發現，在正常配置下之 SRC 柱主筋鋼筋比 ρ_r 其值大多界於 1%~3% 之間，與目前規範所定之上限值 4% 相比，具有相當程度的調整空間，建議 SRC 柱之最大鋼筋比 ρ_r 上限可將其調降為 3%，不但可以避免 SRC 柱配筋過密的問題，同時也降低 SRC 構造的施工複雜度，使 SRC 構造之工程品質得以提升。因此，本研究初步建議在我國 SRC 構造設計規範的第九章第 9.7.3 節「柱之設計細則」之本文中，修改以下有關「SRC 柱鋼筋比」之內容：(以下建議修訂之規範條文，以「細明體」之字型表示)

9.7.3 柱之設計細則

鋼骨鋼筋混凝土柱除應符合第四章之規定外，亦應符合以下要求：

1. 柱之斷面尺寸

通過幾何形心量測，包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱斷面之最小尺寸不得小於 30 公分，且其與斷面另一垂直方向尺寸之比值不得小於 0.4。

2. 柱之主筋

(1) 鋼骨鋼筋混凝土柱斷面各角落至少須設置一支主筋，且主筋斷面積與全斷面積之比不得大於百分之三。

(...以下部分與原規範相同，故予以省略)

5.7 採用螺旋箍筋之 SRC 柱「強度折減係數」

5.7.1 動機與目的

由於 ASCE 7-98[60]的載重係數與載重組合逐漸獲得認同，因此在 2002 年之後出版的 ACI 318 規範[7,58,61]皆是依據 ASCE 7-98 的載重係數與組合。2002 年之後出版的 ACI 318 規範與先前 1999 年版的 ACI 318-99 規範[62]在載重係數與載重組合上有明顯不同，前者採用「1.2D 與 1.6L」，但是後者則採用「1.4D 與 1.7L」，亦即這兩種規範所採用的載重係數並不一致，故其相應之強度折減係數亦應隨之調整。目前我國 SRC 規範[10]對於 SRC 構造中 RC 部分所採用之強度折減係數，即是依照 ACI 318-02 規範第九章中之規定。

再者，由於 RC 柱配置螺旋箍筋(Spiral)時，其對混凝土之圍束效果明顯比配置橫箍筋(Rectangular Hoop)者為佳，所以 2008 年出版的 ACI 318-08[7]對於採用螺旋箍筋之 RC 受壓構材，將其強度折減係數 ϕ_c 由 ACI 318-02 的 0.7 提升為 0.75。因此，本研究建議我國 SRC 規範對於採用螺旋箍筋之 SRC 柱，其 RC 部分的強度折減係數 ϕ_c 亦應參照 ACI 318-08 之規定，由 0.7 提升為 0.75。

5.7.2 建議修訂之規範條文與解說

本研究建議於我國 SRC 構造設計規範第二章第 2.6 節「載重係數與強度折減係數之配合」之解說，以及第六章第 6.4.1 節「強度疊加法」之本文中，修訂有關採用「螺旋箍筋」之 SRC 柱其 RC 部分的強度折減係數，將其強度折減係數 ϕ_c 由原本的 0.7 提升為 0.75。(以下建議修訂之規範內容，以「細明體」之字型表示)

2.6 載重係數與強度折減係數之配合

鋼骨鋼筋混凝土構造因同時涉及鋼骨構材與鋼骨鋼筋混凝土構材之設計，有關載重係數與強度折減係數之使用與配合，應依本規範相關章節之規定辦理。

解說：本規範採用 ASCE 7-98[60]之建議作為載重係數與組合之主要依據。基本上，此一規定與內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」[47]中的規定大致相同。不過，此一規定與國內工程師過去多年來熟悉的 1999 年版的 ACI 318 規範[62]中所採用的載重係數有明顯差異。例如，對於靜載重與活載重組合所採用之載重係數大小，鋼結構極限設計法規範中採用「1.2D 與 1.6L」，但是 ACI 318-99 規範則採用「1.4D 與 1.7L」，亦即這兩種規範所採用的載重係數並不一致。

由於 ASCE 7-98 的載重係數與載重組合逐漸獲得認同，因此在 2002 年之後出版的 ACI 318 規範[58,61]皆是依據 ASCE 7-98 的載重係數與載重組合。由於 2002 年之後出版的 ACI 318 規範與先前 1999 年版的 ACI 318-99 規範在載重係數與載重組合上有明顯不同，故其相應之強度折減係數亦應隨之調整，如表 C2.6.1 所示。

再者，由於 RC 柱配置螺旋箍筋(Spiral)時，其對混凝土之圍束效果明顯比配置橫箍筋(Rectangular Hoop)者為佳，所以 2008 年出版的 ACI 318-08[7]對於採用螺旋箍筋之 RC 受壓構材，將其強度折減係數 ϕ_c 由 ACI 318-02 的 0.7 提升為 0.75。因此，本研究建議我國 SRC 規範對於採用螺旋箍筋之 SRC 柱，其 RC 部分的強度折減係數 ϕ_c 亦應參照 ACI 318-08 之規定，由 0.7 提升為 0.75，如表 C2.6.1 所示。

表 C2.6.1 RC 部分之載重係數與強度折減係數之配合

| 折減係數 載重係數 | 撓曲 ϕ_b | 剪力 ϕ_v | 壓力 ϕ_c | |
|---------------|----------------|----------------|-------------|------|
| | | | 橫箍筋 | 螺箍筋 |
| ACI 318-99(舊) | 0.9 | 0.85 | 0.7 | 0.75 |
| ACI 318-02(舊) | 0.9 | 0.75 | 0.65 | 0.7 |
| ACI 318-08(新) | 0.9 | 0.75 | 0.65 | 0.75 |

(資料來源：本研究整理)

6.4.1 強度疊加法

鋼骨鋼筋混凝土柱之設計受壓強度 $\phi_c P_n$ 得採用「強度疊加法」計算如下：

$$\phi_c P_n = \phi_{cs} P_{ns} + \phi_{crc} P_{nrc} \quad (6.4-1)$$

其中：

P_{ns} = 鋼骨部分之標稱受壓強度，依 6.4.2 節之規定計算

P_{nrc} = 鋼筋混凝土部分之標稱受壓強度，依 6.4.3 節之規定計算

ϕ_{cs} = 鋼骨部分之強度折減係數， $\phi_{cs} = 0.85$

ϕ_{crc} = 鋼筋混凝土部分之強度折減係數

(1) 包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱：

(i) 配置橫箍筋， $\phi_{crc} = 0.65$

(ii) 配置螺箍筋， $\phi_{crc} = 0.75$

(2) 鋼管混凝土柱：

(i) 填充型鋼管混凝土柱， $\phi_{crc} = 0.75$

(ii) 包覆填充型鋼管混凝土柱， $\phi_{crc} = 0.7$

解說：(本節原有之解說不變，僅修訂有關 RC 部分的強度折減係數 ϕ_c 之內容)

由於 RC 柱配置螺旋箍筋(Spiral)時，其對混凝土之圍束效果明顯比配置橫箍筋(Rectangular Hoop)者為佳，所以 2008 年出版的 ACI 318-08[7]對於採用螺旋箍筋之 RC 受壓構材，將其強度折減係數 ϕ_c 由 ACI 318-02 的 0.7 提升為 0.75。因此，我國 SRC 規範對於採用螺旋箍筋之 SRC 柱，其 RC 部分的強度折減係數 ϕ_c 亦參照 ACI 318-08 之規定，由 0.7 提升為 0.75。

5.8 SRC梁柱接頭採用補強或減弱式接頭之必要性探討

5.8.1 動機與目的

一個經過適當設計的梁柱接頭，其梁柱構件在地震力作用下，應可發展出足夠的塑性變形，使其具有可靠且足夠的韌性以消散地震引致之能量。然而在 1994 年美國加州洛杉磯發生規模 6.6 的北嶺地震，以及 1995 年日本發生規模 7.2 之阪神地震後，發現傳統鋼結構梁柱接頭的變形能力不足，其主要原因為於地震力作用時，梁柱接頭最大受力位置位於梁柱交接面，使破壞大多發生在梁柱交接面之銲道，而銲道破壞將造成梁柱構件無法發展出足夠的塑性變形來消散地震所引致之能量。

為了改善梁柱接頭之耐震性能，FEMA 350[63]乃建議鋼骨梁柱接頭可採用以下兩種型式：(1) 補強式接頭；(2) 減弱式接頭。此兩種型式之接頭可將梁柱接頭最大受力位置由梁柱交界面移開，使塑性角產生於梁端，避免如傳統梁柱接頭因最大受力位置位於梁柱交界面而使破壞發生於銲道。

我國鋼結構設計規範第 13 章耐震設計第 13.6 節中，對於韌性抗彎矩構架之梁柱接頭亦有類似 FEMA 350 之規定[47]。然而，我國 SRC 構造設計規範[10]中，對於 SRC 梁柱接頭是否須採用上述補強或減弱式接頭，並無明確之要求。因此，在工程實務上，常常造成許多相關工程顧問業者及土木與結構技師之困擾，故本研究小組乃針對於此一主題進行較深入的研究並提出以下初步之建議。

5.8.2 研究發現與初步建議

一般鋼結構梁柱接頭採用「補強」或「減弱」式接頭之主要目的，在於使梁柱接頭最大受力位置由梁柱交界面移開，以避免梁柱交界面銲道破壞。不過值得注意的是，SRC 構造於梁柱接頭處，SRC 柱中除了鋼骨之外，外層尚有鋼筋混凝土存在；而 SRC 梁柱「接頭區的鋼筋混凝土」可以對插入接頭區之鋼梁提供有效的束制，扮演類似「補強式接頭」的角色，使得鋼梁與 SRC 柱中鋼骨接合處之銲道受到接頭區鋼筋混凝土的保護。

換言之，如圖 5.5 所示，SRC 梁柱接頭中最大受力位置，將由鋼梁與 SRC 柱中鋼骨之交界面，向外移至鋼梁與 SRC 柱混凝土表面之交界面，SRC 梁柱接頭區的鋼筋混凝土可以扮演類似「補強式接頭」的角色。如此，將有助於避免破壞發生在銲道上。

然而，受到地震力作用時，梁端彎矩會引發接頭區內產生相對應之剪力，此時若 SRC 梁柱接頭區抗剪能力不足，將導致混凝土開裂或剝落，使得鋼梁與 SRC 柱中鋼骨接合處之銲道無法受到混凝土保護，造成銲道破壞而失去韌性。為了防止 SRC 柱內混凝土於鋼梁產生塑性鉸前發生嚴重開裂，梁柱接頭區之強度即為一重要之課題。

因此，本研究建議 SRC 梁柱接頭除了需滿足我國 SRC 規範強柱弱梁 (SRC 規範第 9.7.1 節) 之外，梁柱交會區並應具有足夠的剪力強度 (SRC 規範第 9.8.1 節) 以避免接頭區混凝土發生明顯開裂，如此將可確保 SRC 梁柱「接頭區的鋼筋混凝土」可以對插入接頭區之鋼梁提供有效的束制，扮演類似「補強式接頭」的角色，使得鋼梁與 SRC 柱中鋼骨接合處之銲道受到接頭區鋼筋混凝土的保護。

表 5.2 SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭相關文獻資料

| | 試體編號 | 接頭區鋼梁處理方式 | 破壞模式 | 層間變位角(%) | 鋼梁塑性轉角 θ_{bp} (%) |
|--------------------------|-------------|----------------------------|----------------|----------|--------------------------|
| 徐振益 (2004)[44] | SRC1-VR1.38 | 未減弱 (未切削翼板) 未補強 (未加銲蓋板) | 鋼樑上形成 良好塑性鉸 | 4.77 | 3.74 |
| | SRC2-VR1.15 | | | 6.20 | 5.48 |
| | SRC3-VR0.98 | | | 4.77 | 3.81 |
| | SRC4-VR0.82 | | | 5.73 | 4.78 |
| 楊宗翰 (2004)[43] | SRC1-MR2.24 | 未減弱 (未切削翼板) 未補強 (未加銲蓋板) | 鋼樑上形成 良好塑性鉸 | 5.24 | 4.14 |
| | SRC2-MR1.26 | | | 5.23 | 3.99 |
| | SRC3-MR1.04 | | | 6.22 | 5.38 |
| Weng, C.C. (2008)[37] | SRC1-BOX-N | 未減弱 (未切削翼板) 未補強 (未加銲蓋板) | 鋼樑上形成 良好塑性鉸 | 6.20 | 5.35 |
| | SRC2-BOX-S | | | 6.68 | 5.73 |

(資料來源：參考書目 37、43、44)

如表 5.2 所示，楊宗翰[43]、徐振益[44]、Weng 等[37]等在滿足強柱弱梁及接頭區剪力強度等條件下，針對此一主題進行一系列大尺寸且鋼梁未經減弱(切削)或補強之 SRC 梁柱接頭反復載重試驗。試驗結果發現，SRC 梁柱接頭區由於鋼梁受到 SRC 柱混凝土的圍束，雖然鋼梁並無減弱(切削)或補強，但仍可在離開 SRC 柱面外發展出所需之塑性轉角，且梁柱接頭區之混凝土均保持良好狀態無嚴重開裂情形，如照片 5.1 至 5.3 所示。另外，如圖 5.6 至圖 5.8 所示，試體之遲滯迴圈均相當飽滿，顯示此種形式之 SRC 梁柱接頭，雖然鋼梁並無減弱(切削)或補強，但仍可充分發揮韌性，達到保護鋼梁與 SRC 柱中鋼骨接合處銲道之目的。

再者，翁正強等[45]進行三組採用「五螺箍」SRC 柱之大尺寸梁柱接頭反復載重試驗，其中一組採用 SRC 柱接鋼梁，另兩組採用 SRC 柱接 SRC 梁（三組鋼梁均未減弱或補強）。試驗結果發現，三組 SRC 梁柱接頭試體之層間變位角均可達 4.0%弧度，梁之塑性轉角亦大於 3.0%弧度。此外，反復載重遲滯迴圈相當飽滿，且當層間變位角到達 4.0%弧度時，梁之彎矩強度仍可維持大於 80%之極限彎矩強度，亦即沒有發生強度驟降的情形，顯示 SRC 梁柱接頭之鋼梁並未減弱（切削）或補強，仍具有優越之抗震能力。

綜合以上之分析討論與一系列的大尺寸 SRC 梁柱接頭往復載重之實驗結果，本研究小組初步建議，當採用 SRC 梁柱接頭時，在滿足強柱弱梁及接頭區具有足夠的剪力強度等條件下，SRC 梁柱接頭區的鋼筋混凝土可以扮演類似「補強式接頭」的角色，因此其鋼梁可以不採取減弱（翼板切削）或補強（加銲蓋板或肋板）措施。

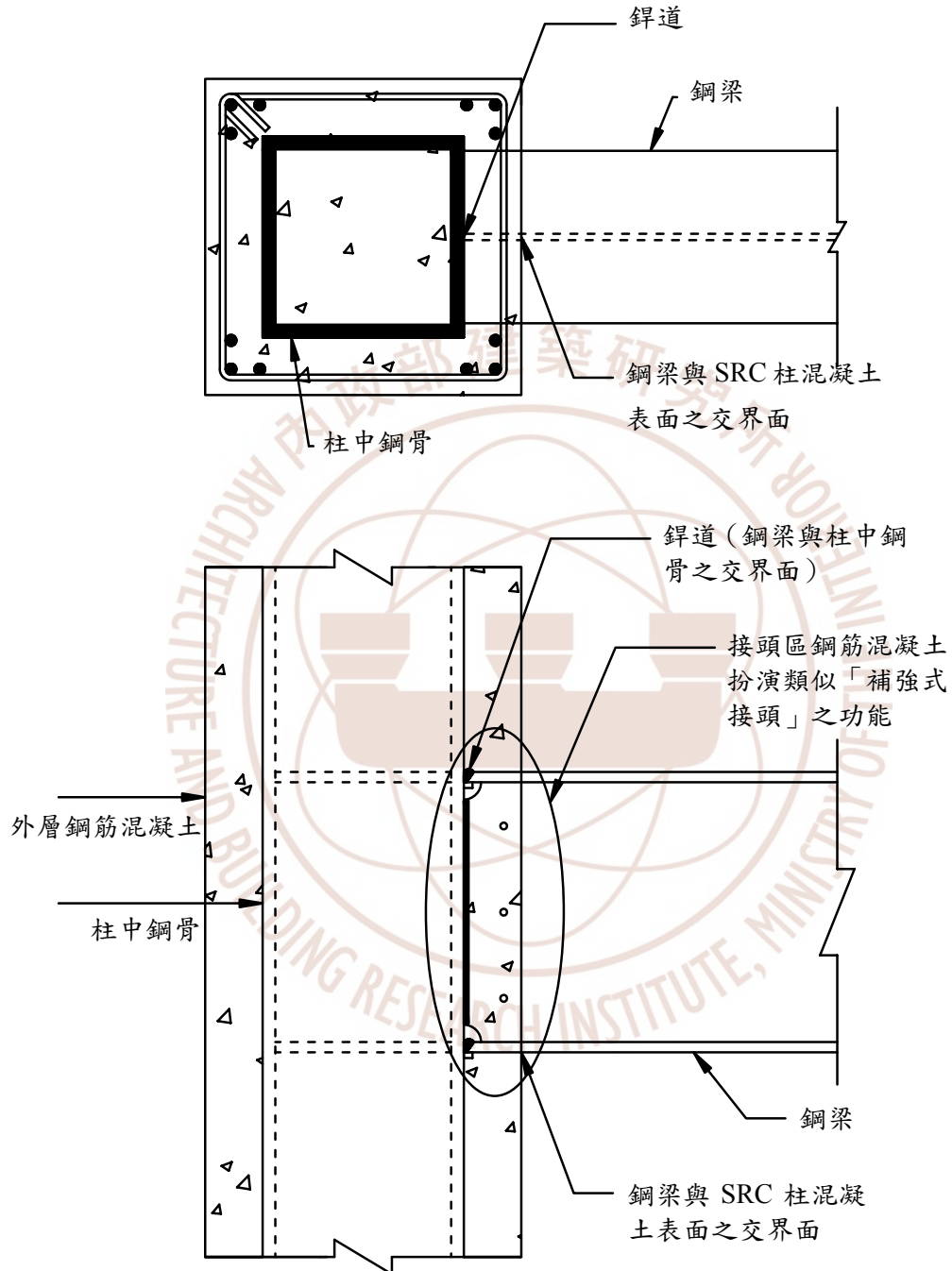
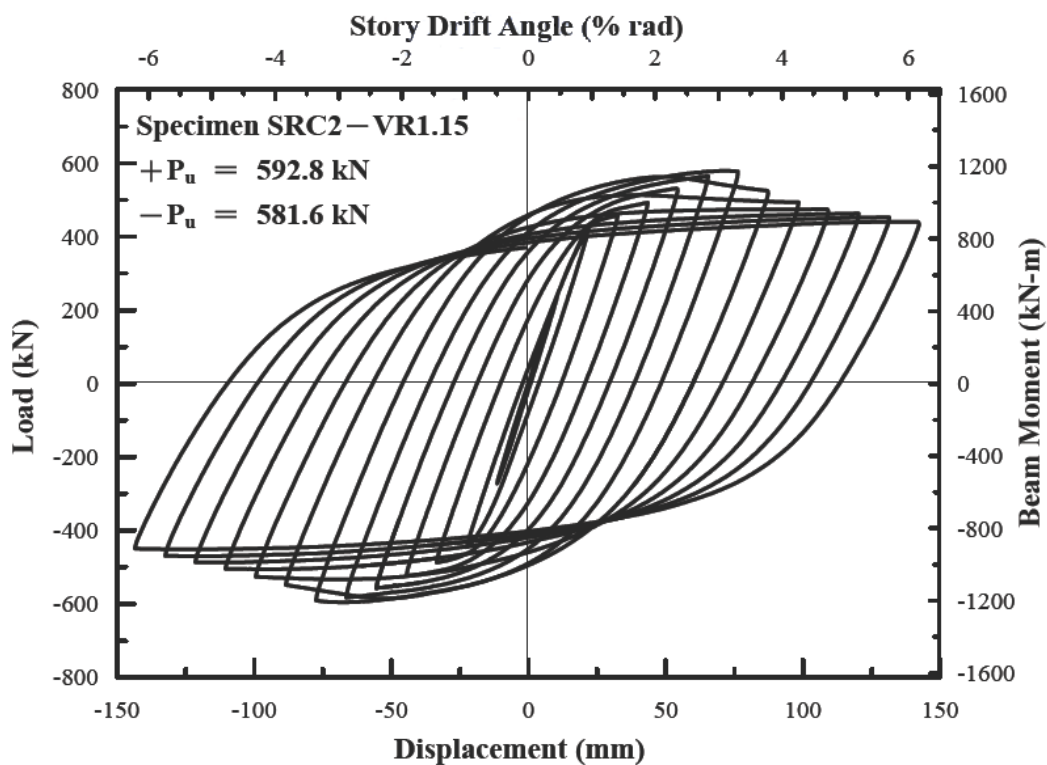
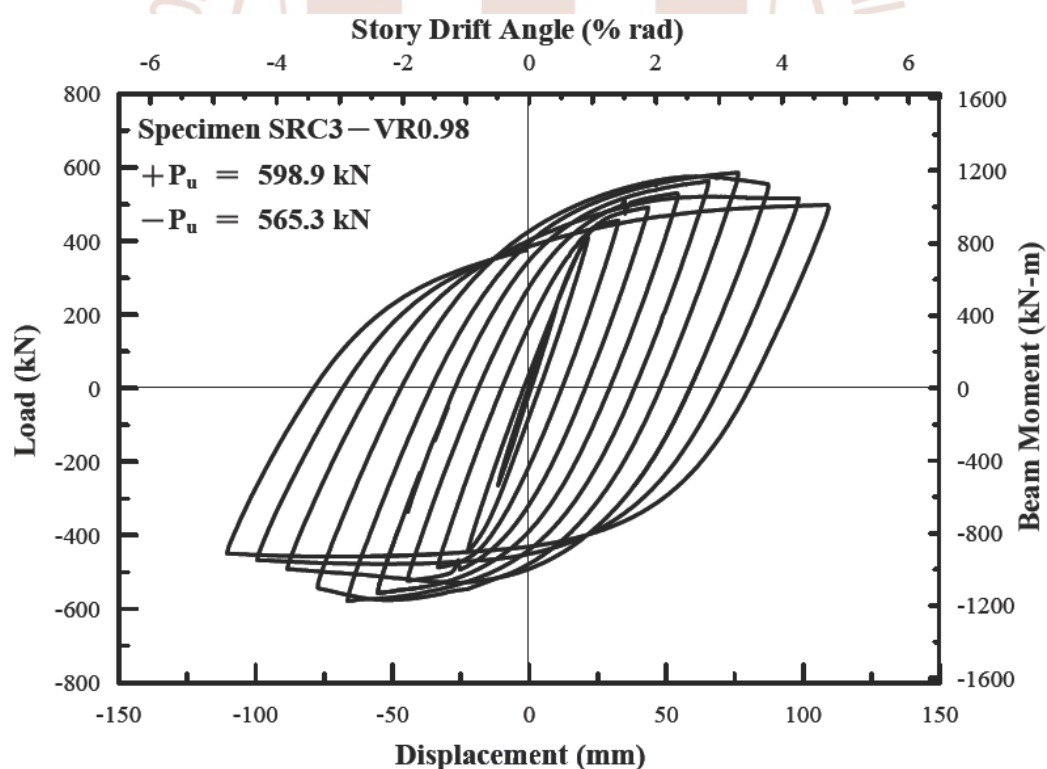


圖 5.5 SRC 構造接頭區混凝土扮演「補強式接頭」之功能
(資料來源：本研究繪製)

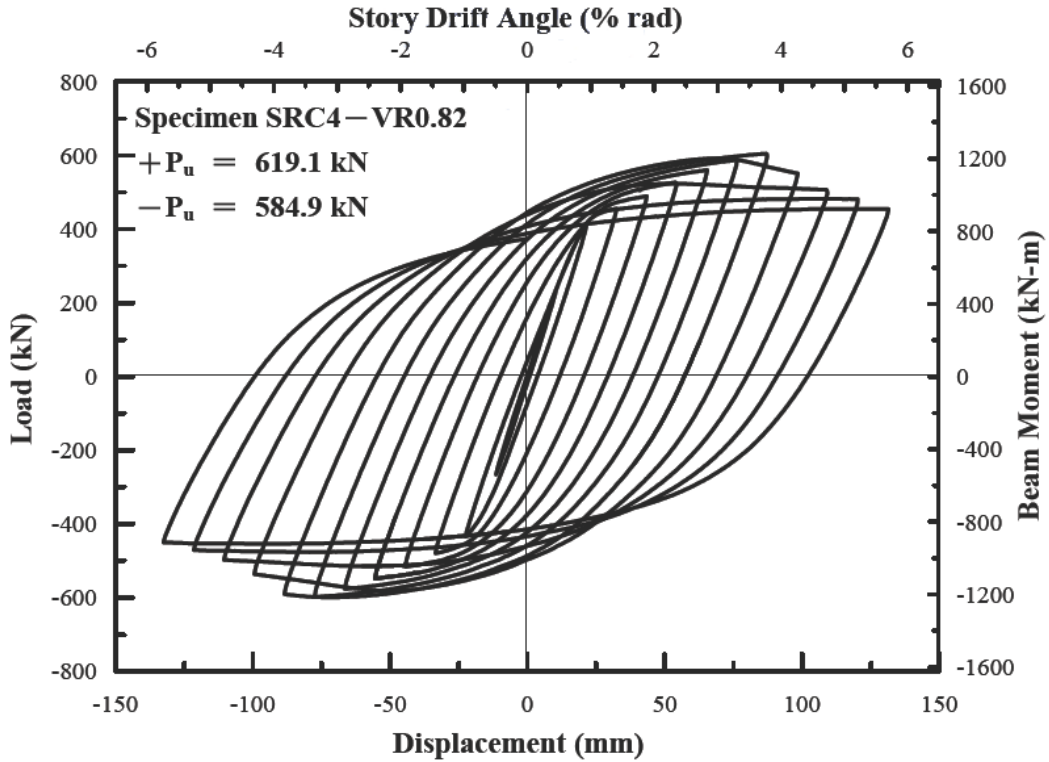


(a) 試體 SRC2-VR1.15



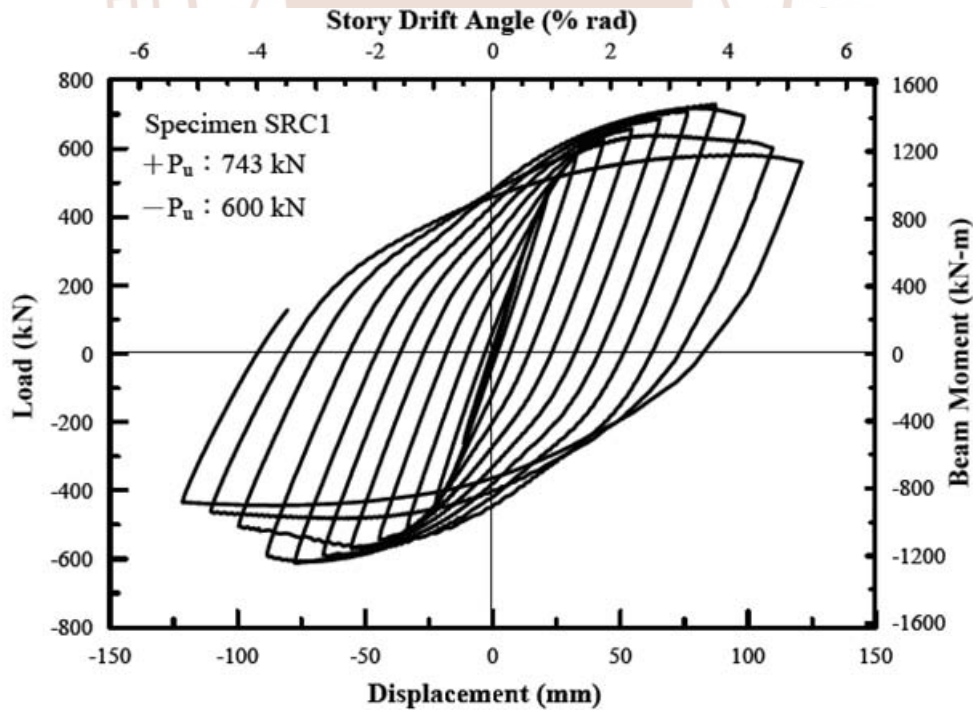
(b) 試體 SRC3-VR0.98

圖 5.6 鋼梁接 SRC 柱之反復載重與位移遲滯迴圈圖
(資料來源：參考書目 44)



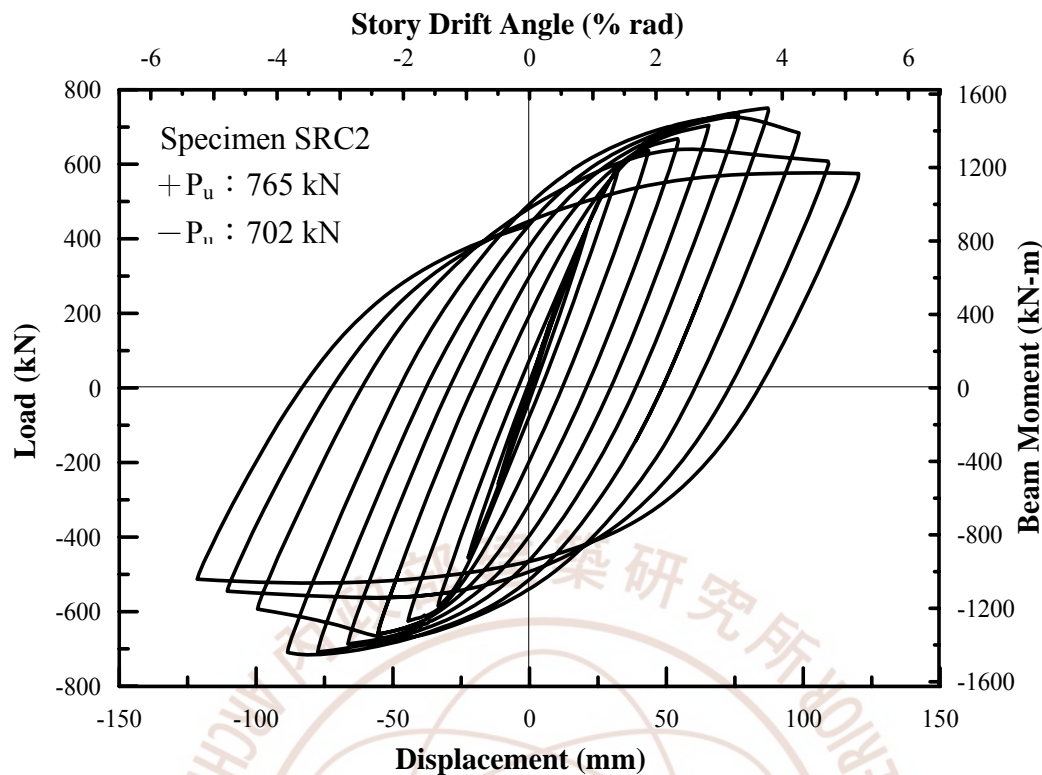
(c) 試體 SRC4-VR0.82

圖 5.6 鋼梁接 SRC 柱之反復載重與位移遲滯迴圈圖(續)
(資料來源：參考書目 44)

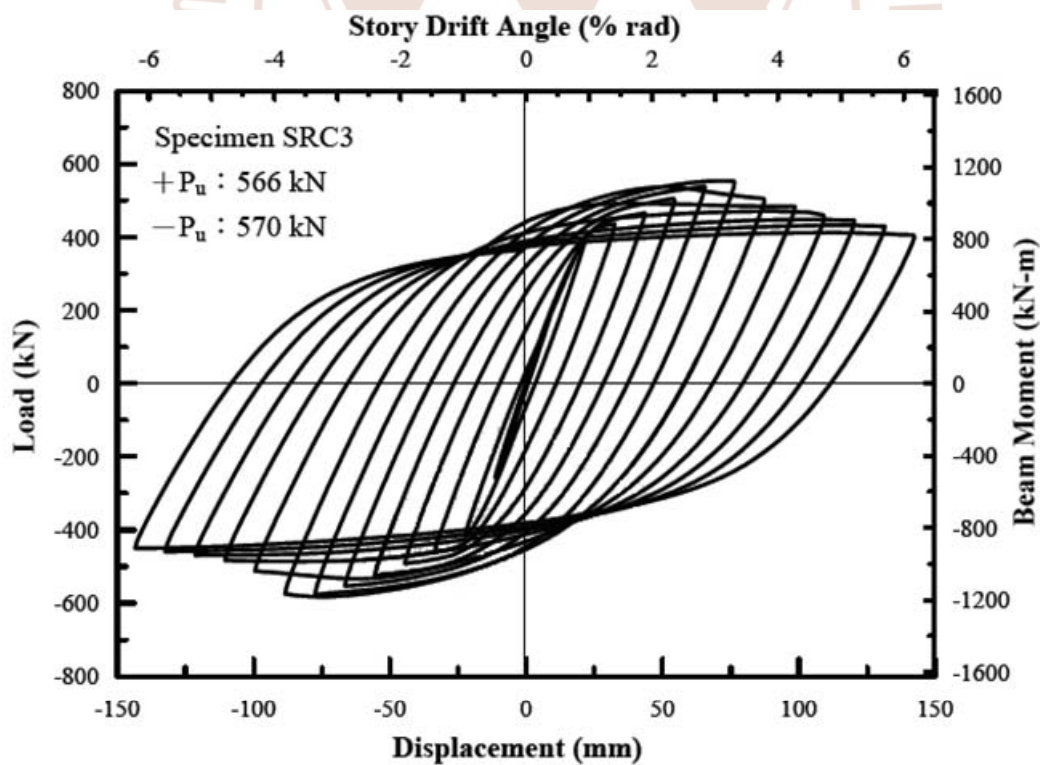


(a) 試體 SRC1

圖 5.7 鋼梁接 SRC 柱之反復載重與位移遲滯迴圈圖
(資料來源：參考書目 43)



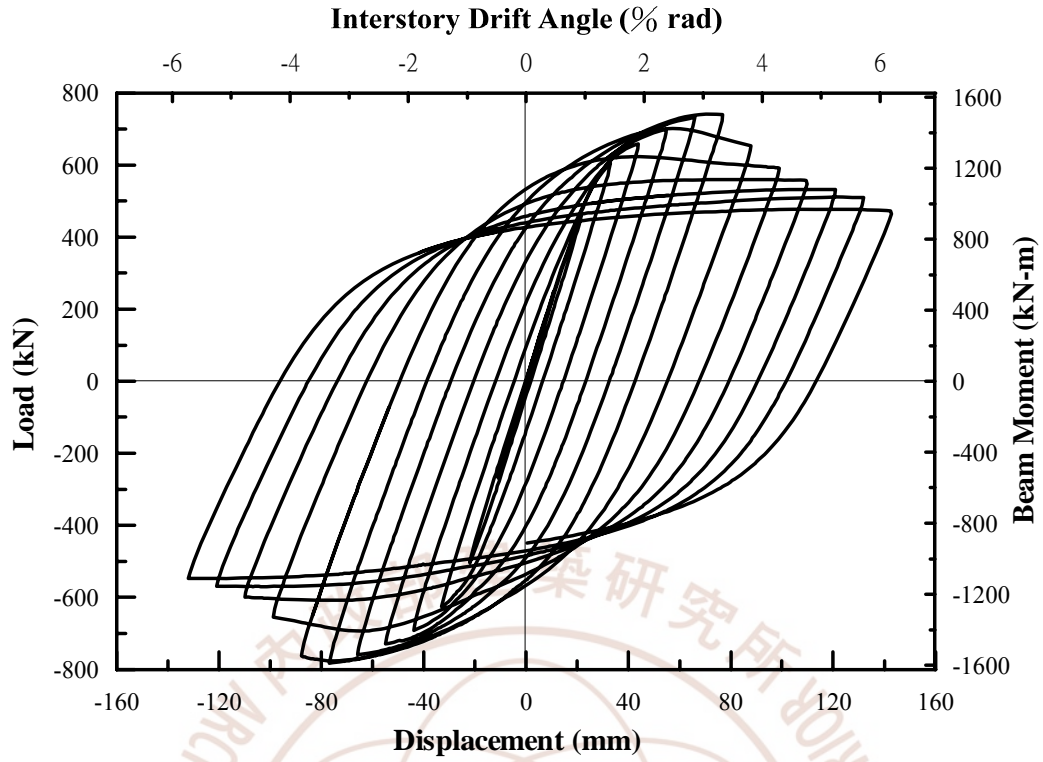
(b) 試體 SRC2



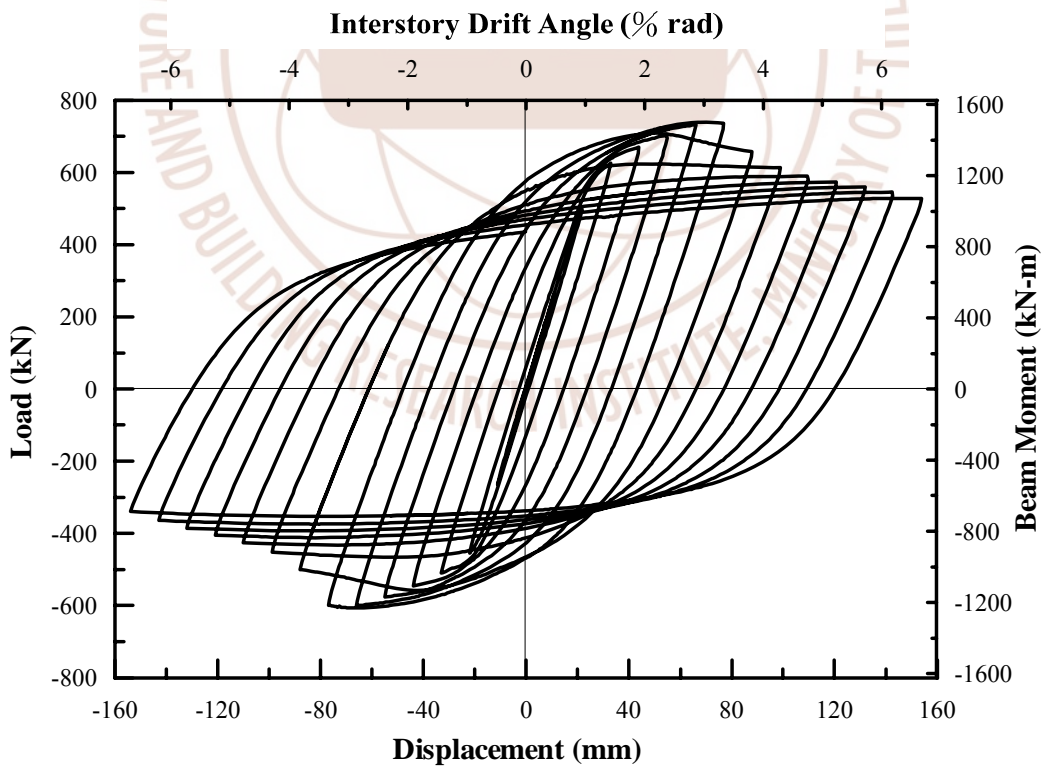
(c) 試體 SRC3

圖 5.7 鋼梁接 SRC 柱之反復載重與位移遲滯迴圈圖(續)

(資料來源：參考書目 43)



(a) 試體 SRC1-BOX-N



(b) 試體 SRC2-BOX-S

圖 5.8 鋼梁接 SRC 柱之反復載重與位移遲滯迴圈圖
(資料來源：參考書目 37)



(a) 試體SRC2-VR1.15位移 $13\Delta y$ 時(Story Drift Angle $\theta_t=6.20\%$)



(b) 試體 SRC3-VR0.98 位移 $10\Delta y$ 時(Story Drift Angle $\theta_t=4.77\%$)

照片 5.1 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗之鋼梁塑性變形情況
(資料來源：參考書目 44)



(c) 試體SRC4-VR0.82位移 $12\Delta y$ 時(Story Drift Angle $\theta_t = 5.73\%$)

照片 5.1 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗之鋼梁塑性變形情況(續)
(資料來源：參考書目 44)



(a) 試體 SRC1-MR2.24 位移 $11\Delta y$ 時(Story Drift Angle $\theta_t = 5.24\% \text{ rad}$)

照片 5.2 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗之鋼梁塑性變形情況
(資料來源：參考書目 43)



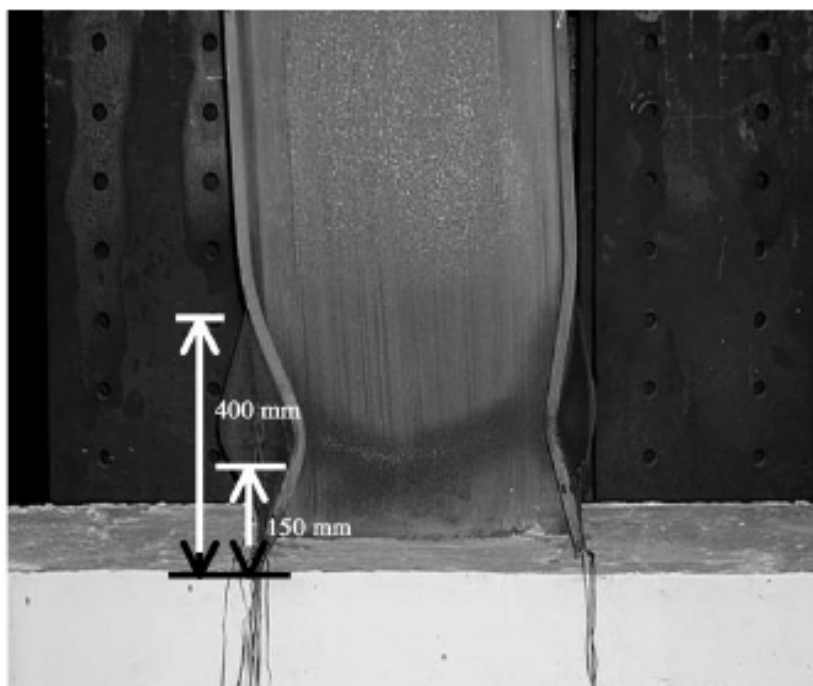
(b) 試體 SRC2-MR1.26 位移 $11\Delta y$ 時(Story Drift Angle $\theta_t = 5.23 \% \text{ rad}$)



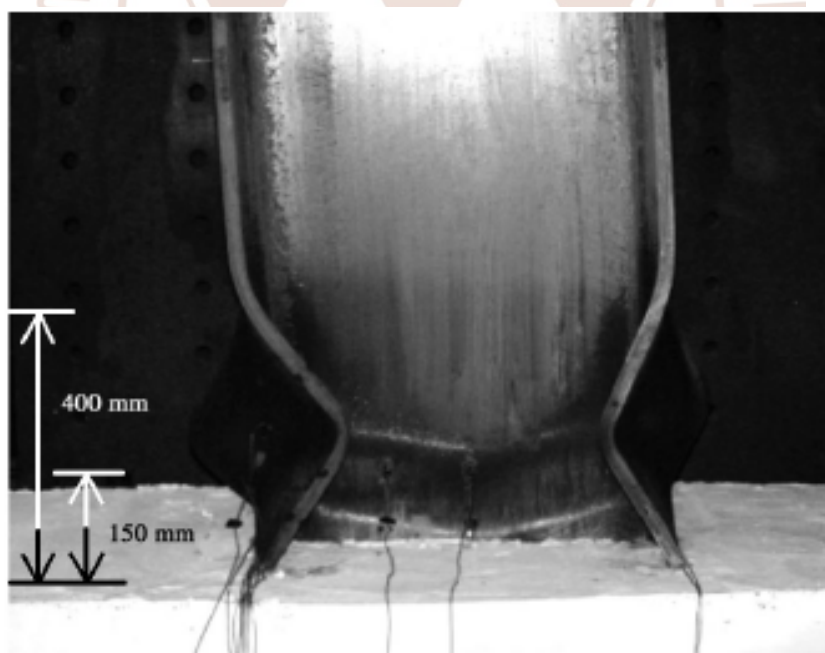
(c) 試體 SRC3-MR1.04 位移 $13\Delta y$ 時(Story Drift Angle $\theta_t = 6.22 \% \text{ rad}$)

照片 5.2 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗之鋼梁塑性變形情況(續)

(資料來源：參考書目43)



(a) 試體SRC1-BOX-N位移 $12\Delta y$ 時(Story Drift Angle $\theta_t = 6.2\%$ rad)



(b) 試體SRC2-BOX-S位移 $14\Delta y$ 時(Story Drift Angle $\theta_t = 6.7\%$ rad)

照片 5.3 鋼梁接 SRC 柱接頭試驗之鋼梁塑性變形情況
(資料來源：參考書目 37)



第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究針對目前我國「鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範與解說」之中，部份條文規定過於保守或不盡合宜的問題進行深入檢討分析，並獲得以下結論與建議。期望本研究之成果可作為未來修訂 SRC 規範之參考與依據，並有助於使我國 SRC 構造設計規範更臻完善。

1. SRC 結構系統「韌性容量 R 值」方面：

依據本研究之分析研討與學者專家討論的結果，由於美國 AISC Seismic Provisions(2005)對 SRC 構造之「韌性容量 R 值」並未有「打九折」之作法；且內政部已公佈「SRC 設計規範」作為 SRC 構造配筋之依據，只要依照 SRC 規範設計與施工，SRC 梁柱配筋過密與混凝土澆置的問題應該可以避免。因此，大多數學者專家認為沒有必要再對 SRC 構造的 R 值施以「打九折」的懲罰規定，建議將 SRC 構造的 R 值「恢復」到與一般 RC 構造及鋼構造同等級之水準。因此，本研究建議修訂我國 SRC 規範第九章第 9.3 節「結構系統與韌性容量」之條文與解說，調整 SRC 結構系統分類與韌性容量 R 值，取消 α_B 、 α_C 打九折之折減係數(亦即恢復為 1.0)。目前我國「建築物耐震設計規範與解說」亦進行修訂中，本次建議修訂之 SRC 結構系統分類與韌性容量 R 值將與新修訂之建築物耐震設計規範的規定相同。

2. SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」方面：

由於日本 AIJ-SRC 規範(2001)對於 SRC 梁柱接頭為「SRC 柱接鋼梁」時之鋼梁與 SRC 柱中之鋼骨的「撓曲強度比值」下限為 0.4，大多數學者專家認為我國 SRC 規範對這種梁柱接頭之「撓曲強度比值」限制須大於 1.0 之規定，實在過於保守。本研究根據國內外試驗資料及學者專家討論之結果，認為該項「撓曲強度比值」應可參考日本 SRC 規範之作法，以予適度放寬。故乃建議將我國 SRC 規範第

八章第 8.4.2 節「梁與柱接合處之撓曲強度比」之中，梁柱接頭為「SRC 柱接鋼梁」時之「撓曲強度比值」限制放寬，但放寬幅度則略縮減為 0.6，此一方式應該是較為合理可行的作法。

3. SRC 柱「圍束箍筋」需求量方面：

依據本研究之分析研討與學者專家討論的結果，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有效的圍束作用，形成「高度圍束區混凝土」。因此，相較於一般純 RC 柱，本研究認為 SRC 柱之圍束箍筋用量應該可以適度折減，有助於提昇 SRC 柱的經濟性與施工性。本研究並提出一組新的設計公式作為未來修訂 SRC 規範第九章第 9.7.3 節「柱之設計細則」對於 SRC 柱「圍束箍筋」需求量計算法之參考。

4. SRC「特殊同心斜撐構架系統」方面：

由於 2005 年 AISC Seismic Provisions 與 2007 年內政部之「鋼結構極限設計法規範」皆已包含「特殊同心斜撐構架(Special Concentrically Braced Frames, SCBF)」設計要求之章節，因此本研究建議在我國 SRC 構造設計規範的第九章「耐震設計」中，修改第 9.9 節為「特殊同心斜撐構架」，並增列相關的斜撐設計及接合細部規定。此外，本研究建議將第九章「耐震設計」中所有「韌性抗彎矩構架」之名稱，均改為「特殊抗彎矩構架(Special Moment Resisting Frames, SMRF)」。

5. SRC 梁之「扭力強度」方面：

目前我國 SRC 規範尚無有關 SRC 梁之扭力強度相關之規定。近年來，國內外陸續有關於 SRC 梁扭力強度之研究報告與學術論文發表。本研究參考這些研究結果並彙整分析，建議於我國 SRC 構造設計規範中，新增第五章第 5.6 節「設計扭力強度」。基本上，SRC 梁之扭力強度由 RC 與鋼骨共同提供，鋼骨除可提供扭力強度外還具備良好的韌性。由實驗結果得知，包覆型 SRC 梁之扭力強度可略偏保守的由其組成的 RC 與鋼骨之扭力強度以強度疊加方式求得。

6. 採用「五螺箍」之 SRC 柱方面：

近年來陸續有許多採用「五螺箍」(5-Spirals) 之 SRC 短柱、SRC 長柱與 SRC 梁柱接頭之試驗成果與論文出現，證實這種新型的 SRC 構造具有良好的強度、韌性與經濟效益。因此，本研究乃針對「五螺箍應用於 SRC 柱」召開學者專家座談會，討論是否適合納入 SRC 規範。根據座談會討論的結果，大多數人均相當肯定「五螺箍」應用於 SRC 構造之效益。建議有關「五螺箍」應用於 SRC 柱之內容，可先納入我國 SRC 構造設計規範第四章第 4.3.5 節「柱之箍筋」的解說中，並建議專利權所有人考慮釋出相關之專利權。(註：五螺箍之發明人潤泰集團尹衍樑總裁已於 2008 年夏天公開宣佈將五螺箍之專利權釋放出來，免費提供國人使用。)

7. SRC 柱之「最小鋼骨比」方面：

目前我國 SRC 規範規定 SRC 柱內之鋼骨斷面積與柱全斷面積之比不得小於百分之二，即 SRC 柱的「最小鋼骨比(Minimum Steel Ratio)」為 2%。不過，由於日本 AIJ-SRC 規範(2001)對於 SRC 柱的「最小鋼骨比」限制為 0.8%，且新版的 AISC 鋼結構設計規範(2005)第 I 章 I2.1.1a 節已經將 SRC 柱的最小鋼骨比由 4%降為 1%。因此，本研究建議我國 SRC 構造設計規範第六章第 6.3 節「一般要求」中，對於 SRC 柱「最小鋼骨比」之限制由原規範之 4%宜調整為 1%，且應採取相關的配套規定(例如，在 SRC 柱內加配繫筋，以免發生混凝土圍束不足問題。本研究建議 SRC 柱內繫筋與相鄰鋼骨表面及相鄰箍筋之「最大間距」限制，應參照 ACI 318 規範第 21 章之耐震設計規定，亦即 $S_{\max} \leq 350 \text{ mm}$ 。)

8. SRC 柱之「最大鋼筋比」方面：

目前我國 SRC 規範規定 SRC 柱之主筋斷面積與柱全斷面積之比不得大於百分之四，即 SRC 柱的「最大鋼筋比(Maximum Reinforcement Ratio)」為 4%。為避免 SRC 柱配筋太密，有部份學者專家提議針對 SRC 柱的鋼筋用量之上限是否降為 3% 之問題進一步探討。因此，本研究根據我國 SRC 規範中對 SRC 柱之主筋配筋方式

進行試算，發現應可將 SRC 柱的鋼筋用量之上限降為 3%，如此將可避免 SRC 柱配筋太密，有助於降低 SRC 構造的施工複雜度，提升 SRC 構造之工程品質。因此，本研究建議於我國 SRC 構造設計規範於第九章第 9.7.3 節「柱之設計細則」之中，將「SRC 柱鋼筋比」之上限調降為 3%。

9. 採用螺旋箍筋之 SRC 柱「強度折減係數」方面：

根據國內外研究試驗發現，相較於矩形橫箍筋(Rectangular Hoop)，由於螺旋箍筋(Spiral)對混凝土具有較佳的圍束效果，所以 2008 年 ACI 318-08 規範對於採用螺旋箍筋之 RC 構材，將其強度折減係數 ϕ_c 由原本的 0.7 提升為 0.75。因此，本研究建議我國 SRC 規範對於採用螺旋箍筋之 SRC 柱，RC 部分的強度折減係數 ϕ_c 亦應參照 ACI 318-08 之規定，將其由 0.7 提升為 0.75。故乃建議在我國 SRC 構造設計規範第二章第 2.6 節「載重係數與強度折減係數之配合」之解說，以及第四章第 6.4.1 節「強度疊加法」之本文與解說中，修訂有關「SRC 柱中 RC 部分之強度折減係數」。

10. SRC 梁柱接頭「鋼梁補強與減弱」之必要性探討方面：

在 SRC 構造的梁柱接頭區，SRC 柱中除了有鋼骨之外，外層尚有鋼筋混凝土包覆。根據許多大尺寸 SRC 梁柱接頭實驗發現，在滿足強柱弱梁之要求及梁柱交會區具備適當剪力強度等條件下，SRC 梁柱接頭處之鋼梁，即使未採取減弱（切削）或補強之方式，仍然可以在 SRC 柱面外發展出良好的塑性鉸，發揮卓越的韌性與耐震性能。研究發現，SRC 梁柱接頭區之鋼筋混凝土可以扮演類似「補強式接頭」的角色，發揮保護銲道之功能(鋼梁與 SRC 柱內鋼骨接合處之銲道)，避免銲道發生脆性破壞，且接頭區混凝土仍保持良好狀態。換言之，SRC 梁柱接頭中最大受力位置，將由鋼梁與 SRC 柱中鋼骨之交界面，外移至 SRC 柱混凝土表面。因此，本研究初步建議，當採用 SRC 梁柱接頭時，在滿足強柱弱梁之要求及梁柱交會區具備適當的剪力強度等條件下，SRC 梁柱接頭處之鋼梁應該可以不需採取減弱(切削翼板)或補強(蓋板或肋板)之措施。

6.2 建議

綜合分析國內外相關設計規範、實驗資料、研究成果與學者專家提供之寶貴意見，本研究建議以下之課題宜列為修訂我國「鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範與解說」之優先項目：

(一) 立即可行之建議：

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

1. SRC 結構系統「韌性容量 R 值」之修訂：

修訂 SRC 規範第九章第 9.3 節「結構系統與韌性容量」之條文與解說，調整 SRC 結構系統分類與韌性容量 R 值，取消 α_B 、 α_C 打九折之折減係數。目前我國「建築物耐震設計規範與解說」亦進行修訂中，本次建議修訂之 SRC 結構系統分類與韌性容量 R 值將與新修訂之建築物耐震設計規範的規定相同。

2. SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」之修訂：

修訂 SRC 規範第八章第 8.4.2 節「梁與柱接合處之撓曲強度比」之中，有關梁柱接頭為「鋼梁接 SRC 柱」時之撓曲強度比值限制，由原本的 1.0 放寬為 0.6。本建議主要反映近年來有關 SRC 梁柱接頭之實驗與研究成果，並參考日本 AIJ-SRC 規範之作法以予適度放寬。

3. SRC 柱「圍束箍筋」需求量之修訂：

修訂 SRC 規範第九章第 9.7.3 節「柱之設計細則」對於 SRC 柱「圍束箍筋」需求量之計算公式，以反映 SRC 柱內之鋼骨翼板對其所包覆之混凝土可以提供有效圍束作用之貢獻，形成 SRC 柱內之「高度圍束區混凝土」。

4. SRC「特殊同心斜撐構架系統」之增訂：

新增 SRC 規範第九章第 9.9 節「特殊同心斜撐構架」，並取消原本第 9.9 節「同心斜撐構架」之規定。本建議主要反映內政部新訂之「鋼結構極限設計法規範」及修訂中之「建築物耐震設計規範」均已納入「特殊同心斜撐構架」之規定。

5. SRC 梁「扭力強度」之增訂：

新增 SRC 規範第五章第 5.6 節「設計扭力強度」。本建議主要反映近年來有關 SRC 梁扭力強度之實驗與研究成果。

6. 採用「五螺箍」設計之 SRC 柱之增訂：

建議 SRC 規範第四章第 4.3.5 節「柱之箍筋」的解說中，納入有關「五螺箍」應用於 SRC 柱之內容。本建議主要反映近年來有關「五螺箍」應用於 SRC 柱之實驗與研究成果。

7. SRC 柱之「最大鋼筋比」之修訂：

修訂 SRC 規範第九章第 9.7.3 節「柱之設計細則」，將「SRC 柱鋼筋比」之上限由原本 4%調降為 3%，以免 SRC 柱配筋過密。

8. 採用螺旋箍筋之 SRC 柱「強度折減係數」之修訂：

修訂 SRC 規範第二章第 2.6 節「載重係數與強度折減係數之配合」之解說及第六章第 6.4.1 節「強度疊加法」之本文與解說，調整「SRC 柱中 RC 部分之強度折減係數」。本建議主要針對採用螺旋箍筋之 SRC 柱，其 RC 部分之強度折減係數 ϕ_c 應參照 ACI 318-08 之新規定，由 0.7 提升為 0.75。

(二) 中長期建議：

本研究建議以下之課題可列為修訂我國 SRC 構造設計規範之中長期項目：

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

1. SRC 柱之「最小鋼骨比」之修訂：

建議 SRC 規範第六章第 6.3 節「一般要求」中，對於 SRC 柱「最小鋼骨比」之限制由原本 4%調降為 1%，且應採取相關配套規定。本建議主要反映新版 AISC 鋼結構設計規範(2005)已將 SRC 柱之最小鋼骨比由 4%降為 1%。

2. SRC 梁柱接頭之「鋼梁補強與切削之必要性」檢討修訂：

本研究初步建議，當採用 SRC 梁柱接頭時，在滿足強柱弱梁及梁柱交會區具備

適當剪力強度等條件下，SRC 梁柱接頭處之鋼梁可以不需採取減弱(切削翼板)或補強(蓋板或肋板)措施。本建議主要反映近年來 SRC 梁柱接頭之實驗與研究成果，發現 SRC 梁柱接頭區之鋼筋混凝土可以扮演類似「補強式接頭」的角色，能夠發揮保護梁柱接頭區銲道之功能。

最後，研究小組十分感謝審查委員與學者專家對本計畫之勉勵與寶貴意見。誠如許多委員所言，科技進步日新月異，我國 SRC 規範宜每三到五年檢討修訂一次，以適時反映工程界之意見及學術界之研發成果，俾使我國的 SRC 構造設計規範更臻完善。





附錄一、期初報告會議意見回覆

一、會議時間：民國 97 年 3 月 5 日(星期三)，上午 9：30

二、會議地點：內政部建築研究所

三、出席人員：如簽到表

四、主席：王榮進

五、研究小組意見回覆：

1. 感謝審查委員對本計畫之肯定。誠如大多數審查委員所言，SRC 設計規範應每 3 到 5 年檢討修訂一次，以適當反映研發成果及工程界之意見，俾使我國的 SRC 規範更臻完善。
2. 有關目前 SRC 規範之部分設計條文過於保守的情況，大多數委員亦贊同儘速加以研修。本研究小組將努力朝此一方向努力，並兼顧相關的設計細節配套規定。
3. 在 SRC 柱接鋼梁之接頭的「撓曲強度比值」規定方面，蔡益超教授建議可取消目前 SRC 規範中之保守公式，而改為參考日本 AIJ-SRC 規範之作法，此一方式應該是較為合理可行的方式。
4. 在 SRC 柱之圍束箍筋用量方面，感謝多位委員肯定計畫書中所述「應考慮鋼骨翼板對混凝土之圍束貢獻」的觀點，將有助於 SRC 柱之圍束箍筋用量更為合理。
5. 在 SRC 構造之韌性容量 R 值方面，多數委員認為目前 SRC 規範中「打九折」之方式確有太保守之情況。本研究小組將進一步瞭解更多的 SRC 梁柱接頭之實驗結果，以作為調整 R 值之依據。
6. 在調整 SRC 柱之最小鋼骨比限制方面，雖然目前美國 AISC 規範已由先前的 4 %降為 1%，惟我國 SRC 規範是否跟著調整為 1%，仍應仔細評估 SRC 柱相關的配筋(如：輔助繫筋)細節，以免發生混凝土圍束不足或應力傳遞問題。

7. 由於我國 SRC 規範對構材強度之計算主要參考日本 AIJ-SRC 規範之強度疊加概念，研究小組將會注意引用美國 AISC 規範中之合成柱相關設計規定之差異性。
8. 目前國內鋼結構設計規範已納入 SCBF 構架系統，未來新版本的 SRC 規範應可考慮納入類似的合成構造 C-SCBF 系統，並增列相關的斜撐設計及接合細部規定。
9. 由於 SRC 構造同時包含 S 與 RC 兩種構造的工法，為了確保施工品質，所以 SRC 規範中將繼續加強檢討鋼筋與鋼骨的配置細則，以降低 SRC 構造的施工複雜度，提升 SRC 構造之工程品質



附錄二、第一次學者專家座談會會議紀錄

一、會議時間：民國 97 年 4 月 24 日(星期四)，下午 2：00

二、會議地點：國立交通大學土木系，工程二館 325 會議室

三、出席人員：如簽到表

四、主席：翁正強

五、主席說明本次會議主要目的：

首先感謝各位學者專家在百忙中撥冗出席這次會議，期望透過各位的寶貴建議能夠使我國 SRC 構造設計規範更臻完善。敬請各位學者專家踴躍發言，若有其他 SRC 構造設計規範應改進之處也請提供指教。本計畫擬針對近年來工程界反映 SRC 規範中有部份的條文規定過於保守且不盡合理的問題進行探討，其中主要包括以下三項主題：

- (一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討；
- (二)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討；
- (三)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討。

關於 SRC 構造「R 值」之檢討，在早期研擬我國 SRC 規範期間(民國 83 至 86 年間)，由於當時考慮 SRC 構造常發生配筋過密的問題，容易導致混凝土澆置困難與蜂窩，因此對 SRC 構造的 R 值「打九折」。但是自從內政部公佈 SRC 規範之後，在第四章明確規定 SRC 梁、SRC 柱及梁柱接頭之配筋細則，已經可以避免「配筋過密」之問題。

基於以上考量，目前應該沒有必要再對 SRC 構造的 R 值乘以「打九折」的折減係數 α_B 與 α_C 。這次修訂 R 值，主要是不再對 SRC 構造的韌性施以「懲罰」，而是將 SRC 構造的 R 值「恢復」到與一般鋼構造與 RC 構造相同等級之水準，並非「提高」SRC 構造的韌性容量。

六、會議簡報：

內政部於民國 93 年公佈我國第一部「鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範」以後，對於提昇國內 SRC 建築工程品質已經產生正面效益。不過，早期在研擬 SRC 規範時(民國 83 至 86 年間)，尚缺乏充分的理論或實驗佐證，因此有部份條文暫時採取比較保守的規定，實有儘速檢討修訂之必要，以使我國 SRC 規範更為合理。本計畫擬針對工程界反映 SRC 規範中有部份條文規定過於保守且不盡合理的問題進行探討，主要包括 SRC 構造之結構系統「韌性容量 R 值」、SRC 梁柱接頭之「撓曲強度比值」限制、SRC 柱之「圍束箍筋需求量」等方面。

(1)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：

在研擬我國第一部 SRC 構造設計規範期間，當時考慮到國內早期許多 SRC 構造常發生梁柱配筋過密的問題，容易導致混凝土澆置困難與產生蜂窩，因此乃對 SRC 構造之結構系統「韌性容量 R 值」暫時採用「打九折」的保守方式來設計。我國 SRC 規範中對於 SRC 構造之「韌性容量 R 值」係以 $R = R_s \times \alpha_b \times \alpha_c$ 的方式計算，其中 R_s 之值源自於內政部頒佈之「建築物耐震設計規範與解說」之鋼結構韌性容量，而 α_b 與 α_c 分別為梁韌性容量柱韌性容量之折減係數。

不過，自從內政部於 2004 年公佈 SRC 設計規範以後，第四章構造細則明確規定 SRC 梁、SRC 柱及梁柱接頭之配筋細則，可以有效避免 SRC 梁、SRC 柱「配筋過密」之問題，及降低 SRC 梁柱接頭不合理的鋼筋配置損害結構安全的疑慮。此外，近年來由於國內混凝土產製相關科技的成熟發展，使得混凝土澆置困難與產生蜂窩的問題獲得有效的改善。再者，這些年來陸續有許多大尺寸的 SRC 梁、SRC 柱及 SRC 梁柱接頭，其強度與韌性之表現良好，因此應該沒有必要對 SRC 構造的「韌性容量 R 值」乘以「打九折」的折減係數 α_b 與 α_c 。

(2)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

早期在研擬 SRC 規範時，由於尚缺乏充分的實驗佐證，因此對於 SRC 梁柱接頭之「撓曲強度比值」有部份條文暫時採取比較保守的規定。本研究將針對 SRC 規範

9.1節採取較為保守之鋼梁與SRC柱接合「撓曲強度比值」限制進行探討(目前規範要求 $\Sigma(M_{ns})_C / \Sigma(M_{ns})_B$ 不得小於1.0)，以期能夠提出修訂該設計條文的建議，使我國SRC設計規範更臻合理，且在工程應用上更具有經濟性。

根據王榮進與陳誠直所進行之SRC梁柱接頭實驗結果(2007)顯示，六組大尺寸的SRC柱接鋼梁之梁柱接頭試體，其SRC柱內鋼骨撓曲強度雖小於鋼梁之撓曲強度($\Sigma(M_{ns})_C / \Sigma(M_{ns})_B$ 介於0.42至0.82之間)，但試驗結果顯示鋼梁傳遞至柱內鋼骨的彎矩能由SRC柱所承受，亦即SRC柱內鋼骨能與RC共同抵抗彎，因此有助於鋼梁發展出其塑性彎矩強度。

(3)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

由於SRC柱內部之鋼骨能夠有效的圍束混凝土，有助於降低SRC柱之圍束箍筋需求量，對於提昇SRC柱的經濟性有明顯的助益。近年來，陸續有許多大尺寸的SRC柱實驗結果出現，證實SRC柱中之鋼骨對混凝土圍束之貢獻。為了考量鋼骨對混凝土圍束之貢獻，將SRC柱中混凝土受圍束的情形分為三種區域，高度圍束區域、普通圍束區、完全未受圍束區域。

本計畫擬針對SRC 柱之「鋼骨對混凝土之圍束效應」進行深入分析，以瞭解此一效應確實有助於降低SRC柱之圍束箍筋需求量，並能夠提出相關設計條文的建，使SRC柱之圍束箍筋用量酌予放寬。AISC-Seismic Provisions 雖然已考慮到SRC柱中之鋼骨對分擔柱軸力之貢獻，但並未考慮「鋼骨翼板寬度」對核心混凝土圍束效應之影響，因此其設計公式之合理性仍然有待更進一步之探討。

本研究旨在針對近來工程界反映 SRC 構造設計規範中部份的條文規定過於保守的問題，進行深入且有系統的探討，並將舉辦學者專家諮詢座談會，以期充分交換意見與集思廣義。最後本研究小組將提出具體可行的規範條文修訂建議，以使我國 SRC 構造設計規範更為合理。

七、討論內容：

陶副研究員其駿：

首先本人代表內政部建研所感謝各位學者專家熱烈出席這次會議，期望透過各位的寶貴建議能夠使我國 SRC 構造設計規範更為合理。同時本人也很感謝翁教授在 SRC 規範的長期努力與付出。敬請各位踴躍發言，若有其他相關問題也請提出指教。

蘇總經理晴茂：

本人對研究計畫書中所提出的三項建議非常肯定與支持。

(一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：

1、早期 SRC 梁柱的配筋過密，容易導致混凝土澆置困難與蜂窩。但是自從公佈 SRC 規範之後，只要依據 SRC 規範設計，應可避免此問題。故目前應該沒有必要再對 SRC 構造的 R 值打九折。

2、以一棟 34 層樓為例，當 R=4.0 與 R=3.2 時，地震力比相差 18%，總用鋼量差異 13%，如果固定主筋數量調整鋼骨，整棟結構預算差將近 4000 萬，原先之 R 值打九折，對 SRC 結構系統而言並不公平。

(二)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

1、目前規範 $\frac{\sum M_c}{\sum M_b} \geq 1.2$ ，建議是否可以考慮調整為 1.0，若以 34 樓為例，由 1.2 變成 1.0，預算可能相差 1300 萬。此外，針對箱型柱之接頭，SRC 梁筋如何續接？

2、目前鋼柱對鋼梁 $\frac{\sum M_c}{\sum M_b} \geq 0.6$ ，陳誠直老師之梁柱接頭實驗結果顯示 0.4~0.8，而日本規範有給上下限值(0.4~2.5)，如果實驗也有 0.4 如此結果，那我國規範何不改用 0.4？

(三)其他：

1、SRC 規範對扭力交代不清楚，扭力是否可用疊加的方式計算？扭力筋續接，扭力筋如何穿過梁柱接頭？側筋是否鉚上去？

- 2、在 RC 耐震設計規範中，若地震力引致剪力大於設計剪力的一半，RC 剪力 V_c 應忽略，SRC 規範是否比照辦理？
- 3、SRC 梁柱接頭之鋼梁翼板是否該切削？
- 4、SRC 構造之側推分析如何進行？梁柱塑鉸如何模擬？
- 5、SRC 梁預拱時，鋼梁拱、RC 梁不拱？將導致混凝土保護層不一致之問題。

陳技師村林：

(一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：

- 1、SRC 構造的「韌性容量 R 值」沒有必要再對其打九折。當初考慮 SRC 施工品質欠佳，近年來有明確 SRC 規範依據，工程品質已有明顯改善。除非 SRC 梁柱的配筋過密(未依 SRC 規範設計)，否則打九折是不必要的懲罰。

(二)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

- 1、鋼梁與 SRC 柱接合時，SRC 規範在梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之規定較為嚴格，應可適度放寬。
- 2、梁柱接頭切削問題，SRC 柱接鋼梁時，鋼梁是否需要切削？又 SRC 梁內之鋼骨是否須切削？

(三)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

- 1、SRC 柱之鋼骨能夠圍束混凝土，可降低 SRC 柱之圍束箍筋用量，肯定計畫書中所提出的建議。
- 2、SRC 柱之鋼骨若為 T 型斷面，高度圍束區之面積如何計算？

(四)其他：

- 1、SRC 規範對極限層剪力尚無明確規定，如何計算極限層剪力？
- 2、鋼構規範對於厚度 $> 40\text{mm}$ 之鋼板要用 SN 系列之鋼材，SRC 規範是否也要改用 SN 系列的鋼材，A572 鋼材要拿掉嗎？
- 3、建議 SRC 規範之耐震構架系統，宜增列 SCBF 耐震構架。

陳教授誠直：

(一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：

- 1、目前國內已有 SRC 規範作為設計之依據，且近年來有許多 SRC 梁柱接頭實驗表現良好，因此對 SRC 構造的 R 值懲罰應無必要。

(二)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

1、SRC 柱接鋼梁的優點是施工性較好、工期快、方便與 steel deck 樓板連接。去年本人受建研所委託進行之 SRC 梁柱接頭實驗結果顯示，SRC 柱內鋼骨撓曲強度雖小於鋼梁之撓曲強度(介於 0.42 至 0.82 之間)，但試驗結果顯示鋼梁傳遞至柱內鋼骨的彎矩能由 SRC 柱所承受，鋼梁可發展出其塑性彎矩強度。

蔡理事長榮根：

(一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：

1、首先肯定翁教授在 SRC 構造的研究成果與對我國 SRC 規範的努力付出。本人贊同前面幾位先進的看法，由於目前已有 SRC 規範作為設計與施工之依據，可以避免 SRC 梁柱配筋過密問題，近年來工程品質有進步，應該不必對 R 值打九折。

(二)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

1、實際建築中，由於梁與樓板、牆結為一體，導致規範中要求的「強柱弱梁」的目標常不能實現。大地震發生崩塌的建築物大多是「強梁弱柱」！
2、不過雖然如此，強柱弱梁規定仍有其安全上的必要性，若不要求強柱弱梁，柱的破壞將會更嚴重。

(三)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

1、SRC 柱有鋼骨圍束混凝土，使箍筋用量降低，絕對肯定。建議適當考慮高度圍束區的貢獻。

(四)其他：

1、SRC 梁柱接頭區箍筋較複雜，由於 SRC 柱有鋼骨可以圍束混凝土，是否研究 SRC 梁柱接頭區可以不配箍筋？

呂教授東苗：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

1、有關「強柱弱梁」的目標常不能實現，除非將柱設計特別強，通常梁與樓板接合在一起，樓板強度也很大，強柱弱梁自然有問題。
2、美國 AISC 規範也有強柱弱梁規定，因為其鋼浪板用剪力釘與鋼梁接合，鋼梁可發展出塑性鉸。不過 RC 構造有混凝土樓板，RC 梁與混凝土樓板打在一起，RC 梁很難發展出塑性鉸。

(二)其他：

1、美國地大物博，人才濟濟，RC 規範可以三年改一次。我國人力有限，若要跟

| |
|--|
| <p>著三年改一次將很困難。</p> |
| <p>周教授中哲：</p> |
| <p>(一)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：</p> <p>1、有關 SRC 構造的「韌性容量 R 值」是否應該改變，建議主翁老師向內政部或其他機構、廠商爭取經費，進行大型的 SRC 構架振動台試驗(如四層樓)，以實驗來證明 SRC 構造的韌性。</p> <p>(二)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：</p> <p>1、有關 SRC 柱接鋼梁的梁柱接頭試驗，鋼梁是否需要切削？翁老師的試驗結果顯示鋼梁不必切削，鋼梁可發展出良好的塑性彎矩強度。本人於美國求學時亦曾進行 SRC 柱接鋼梁試驗，不過當時鋼梁均有切削，梁柱接頭均可發展出良好的韌性。目前大尺寸的 SRC 梁柱接頭仍然有限，似乎仍不足以作出明確結論。</p> <p>2、構架的邊柱接頭與中間柱之梁柱接頭受力模式不同，建議繼續多進行一些梁柱接頭試驗，針對不同的參數進行廣泛的研究，以求更為周詳。</p> <p>(三)其他：</p> <p>1、SRC 梁柱接頭之剪力評估是否參考 ACI-318 規範將 Strut and Tie Model 納入考量？</p> |
| <p>許教授協隆：</p> |
| <p>(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：</p> <p>1、目前的 SRC 梁柱接頭實驗資料多數為構架的邊柱接頭，梁柱接頭大多可發揮良好韌性。建議內政部將來繼續贊助經費，針對構架的中間柱之梁柱接頭進行試驗。</p> <p>2、近年來高強度材料使用日益普遍，建議未來的 SRC 試驗能夠針對更廣泛的鋼材強度 F_y 與混凝土強度 f'_c 進行探討。</p> <p>(二)其他：</p> <p>1、關於 SRC 構件的扭轉強度，強度疊加法或許也可以用來評估 SRC 梁柱構件的扭轉強度，其準確性可以經由與實驗結果互相比較來驗證。</p> |
| <p>李教授錫霖：</p> |
| <p>(一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：</p> <p>1、目前 SRC 規範的 R 值對結構系統有很大的懲罰，對 SRC 構造不公平，打九折可以拿掉。</p> |

2、有關是否需要進行 SRC 構架試驗，尚待進一步探討。不過若要做，對業主而言當然不希望再自己做實驗，希望能直接由政府出資。國內超高層建築很多，可加強收集先前的實驗數據作為參考，再將沒做過實驗的部份補起來。

(二)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

1、SRC 柱尺寸很大時應考慮加補助筋或繫筋，建議規範應將繫筋具體建議放進來考量。

2、SRC 比 RC 多了鋼骨，箍筋用量可以降低，這是 SRC 柱的重要優點之一。

(三)其他：

1、國內目前 SRC 規範鋼骨比例最小要 2%，可否降低？

2、SRC 規範訂定 SRC 柱的鋼筋用量上限為 4%，如此可能造成主筋太密問題，建議鋼筋用量上限應做檢討。

楊教授國珍：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

1、目前 SRC 梁柱接頭之配筋似乎仍太複雜，是否可以單純些？

(二)其他：

1、國內目前 SRC 規範定訂 SRC 構材的鋼骨斷面寬厚比的限制約比鋼構規範放寬 1.5 倍，是否有足夠實驗依據？

2、箱型鋼柱板厚度 $t \geq 40\text{mm}$ 要用 SN 系列鋼材，主要在於硫含量與銲接性不同，A992 也許可替代 SN490B 鋼材，但硫含量差很多，並不完全相同。

顏經理聖益：

(一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：

1、若要滿足韌性構架(R 達 4.8)，建議繼續加強探討 SRC 細部設計要求，尤其應注意施工性以確保其韌性。

(二)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

1、若要發展 SRC 預鑄構造，可考慮採用「梁貫通式接頭」，日本已發展此種系統，也可以發揮韌性構架的特性。

(三)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

1、SRC 柱的剪力大部分可以由鋼骨承擔，柱腹板常就足以抵抗剪力，因此 SRC 柱需求的箍筋量通常比一般 RC 柱節省很多。

王技師暉舜：

(一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：

1、若 SRC 梁主筋配置太多而導致鋼筋無法順利穿過梁柱接頭，則對 SRC 的韌性打折是可以理解的。不過若依現在的規範設計，SRC 梁主筋只配在斷面的四個角落則可放寬，沒有必要再對 R 值打折。

(二)其他：

1、若依現在的規範設計，主筋配在斷面的四個角落，則實際情況下，規範對 SRC 柱之主筋之上限不用 4% 這麼多，應該可以降下來一些，如此亦可避免主筋配置太密問題。

2、地下室 SRC 柱、RC 柱與鋼柱之轉換層處之繫筋如何配置？

蘇總經理晴茂(第二次發言)：

(一)結構系統「韌性容量 R 值」之檢討：

1、關於是否有進行構架耐震實驗的必要性，當初 RC 與鋼構定訂 R 值時，好像並沒有做構架耐震實驗，其 R=4.8 似乎並非由構架實驗得到。如果不是，SRC 應該也沒有做構架耐震實驗的需要。

2、此外，我國 SRC 規範之配筋細則主要都依照日本的作法，而日本並沒有 α_β 、 α_c 的折減規定，如果配筋已經參照日本規範，有必要再打折嗎？日本的 SRC 規範並沒有懲罰 SRC 的韌性，因此，台灣 SRC 規範應該也沒有需要對 R 值打九折。

八、主席結語：

再一次謝謝各位學者專家在百忙中撥冗出席這次會議，相信透過各位的寶貴建議能夠逐步的使我國 SRC 構造設計規範達到日趨完善的境界。各位所提的建議，研究小組將會認真思考以作為 SRC 規範改善的依據。

在結構系統「韌性容量 R 值」之檢討方面，綜合大家討論的結果，大多數學者專家認為目前國內已有明確的 SRC 規範可作為配筋之依據，只要依照規範設計，SRC 梁柱的配筋過密的問題應可避免。因此，沒有必要再對 SRC 構造的 R 值打九折，亦即 SRC 構造的 R 值可「恢復」到與一般鋼構造與 RC 構造相同等級之水準。此外，關於是否有進行整體大型構架耐震實驗的必要性，大家的意見或有不同，倘若內政部能贊助經費，亦可列為未來努力實現的目標。

在「撓曲強度比值」與「圍束箍筋」之檢討方面，大多數學者專家同意計畫書所提出的方向，認為目前 SRC 規範在梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之規定較

為嚴格，應可適度放寬；且 SRC 柱之圍束箍筋用量計算應同時考慮到鋼骨「分擔軸力」之貢獻及「鋼骨翼板」對核心混凝土圍束效應之影響。研究小組將會針對「撓曲強度比值」與「圍束箍筋」之主題再次召開會議，邀請大家來做更深入的討論。

九、散會



附錄三、第二次學者專家座談會會議紀錄

一、會議時間：民國 97 年 5 月 29 日(星期四)，下午 2：00

二、會議地點：國立交通大學土木系，工程二館 325 會議室

三、出席人員：如簽到表

四、主席：翁正強

五、主席說明本次會議主要目的：

本次會議擬討論之主題為「SRC 柱之圍束箍筋用量計算法」，主要包括以下五種不同的設計方法(詳如附件一)：

- 1、 AISC Seismic Provisions(2002)
- 2、 AISC Seismic Provisions(2005)
- 3、 Taiwan SRC Code(2004)
- 4、 Strength Reduction Approach(New Method)
- 5、 Area Reduction Approach(New Method)

由於 SRC 柱內部之鋼骨能夠幫忙分擔軸力，使得混凝土部分所需承受之軸力變少；此外，鋼骨翼板對混凝土形成一個有效的高度圍束區，使得混凝土受到良好的圍束。因此，相較於一般純 RC 柱，SRC 柱之圍束箍筋用量可以適度折減，對於提昇 SRC 柱的經濟性與施工性有明顯的助益。

另一方面，近年來陸續有許多採用新型的五螺箍(5-Spirals)之 SRC 短柱、長柱與梁柱接頭之試驗成果出現，試驗結果證實這種新型的 SRC 構造具有良好的強度與韌性。因此，希望藉由本次座談會來說明五螺箍 SRC 構造的特性，討論其是否適合納入未來的 SRC 規範。

六、討論內容：

蘇晴茂總經理(陳副總煥煒代)：

(一)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

- 1、採用箱型或十字型不同之鋼骨斷面時，建議高度圍束區之 P_{hcc} 計算宜作區隔。
- 2、由於高度圍束區可提昇 SRC 柱之軸力，在設計時 ϕ_n 、 P_n 是否可以相對提高？
- 3、Strength Reduction Approach 的考慮較為周延，是否也可考慮長度效應？
- 4、建議規範考慮當 SRC 柱所受之軸力小於某一比例的 ϕP_n 時，圍束箍筋之需求量可以適度放寬。

5、在某些狀況下，是否可不必檢核 $A_{sh} = 0.3sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \phi_h$ ？

(二)新型五螺箍 SRC 構造是否納入規範：

- 1、肯定這種新型的 SRC 構造具有良好的強度與韌性。一般而言，能提供設計者多一種選擇總是好事。只要設計者可以自由選擇而非強制性，應可放入規範。

陳總經理村林：

(一)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

- 1、Strength Reduction Approach 設計法看起來比較合理且與 AISC(2005)計算結果較為接近，應該可以採用此種設計法。
- 2、Area Reduction Approach 設計法比現有規範更為嚴格，效益不是很好。
- 3、採用十字型鋼骨斷面的 SRC 柱，在工程實務上多會在翼板外側加鉸加勁條。因此，十字型鋼骨斷面之高度圍束區的圍束效果是否會比箱型鋼骨斷面差，可以再進一步斟酌。

(二)新型五螺箍 SRC 構造是否納入規範：

- 1、五螺箍 SRC 柱是否只適合預鑄工法？現場澆置的施工性如何？
- 2、建議該項專利權最好能夠釋出，嘉惠工程界。

周教授中哲：

(一)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

- 1、Strength Reduction Approach 與 AISC(2005)計算結果最為接近，但該設計法之 P_n 並未考量細長效應，是否以也可以納入考慮？
- 2、Strength Reduction Approach 計算 $(P_n)_u$ 時，其分母未考慮 $0.2f'_c A_{hcc}$ ，只反映在分

| |
|---|
| <p>子部分，這樣是否不一致？P_{hcc} 是否可考慮用其他形式呈現？</p> <p>3、建議試算之例題再增加不同的斷面尺寸及柱長，以觀察 Strength Reduction Approach 與 AISC(2005)計算結果之趨勢變化。</p> <p>(二)新型五螺箍 SRC 構造是否納入規範：</p> <p>1、建議初步可以先放在 SRC 規範之解說(Commentary)。</p> |
| <p>許教授協隆：</p> |
| <p>(一)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：</p> <p>1、目前 SRC 規範在梁的剪力設計已有考慮翼板寬度的影響，因此在設計 SRC 柱時，採用 Strength Reduction Approach 設計法將翼板寬度的效應一併考量，如此也會使 SRC 規範更具有一致性。</p> <p>2、計算例可再增加f_y、f_c變化，以便觀察折減係數之變化？</p> <p>(二)新型五螺箍 SRC 構造是否納入規範：</p> <p>1、五螺箍 SRC 構造的試驗結果顯示具有良好的強度與韌性。專利若可以釋出，則應可納入 SRC 規範中。</p> |
| <p>顏經理聖益：</p> |
| <p>(一)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：</p> <p>1、從箍筋設計公式來看，AISC 規範只有$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \phi_h$，我國 SRC 規範參考 ACI 318 規範採用$A_{sh} = 0.3sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \phi_h$ 及$A_{sh} = 0.09sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \phi_h$ 兩組公式。當柱斷面較小時，可能由$A_{sh} = 0.3sb_c \left(\frac{f'_c}{f_{yh}} \right) \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \phi_h$ 控制，所以 Strength Reduction Approach 較能反映 SRC 柱斷面尺寸變化的影響。</p> <p>2、由於 SRC 柱斷面內有鋼骨存在，其抗剪能力很好，故當 SRC 柱所受之軸力較小時(例如不到$50\% \phi P_n$)，則其箍筋用量應可再放寬些。</p> <p>(二)新型五螺箍 SRC 構造是否納入規範：</p> <p>1、依個人的瞭解，尹總裁是位十分樂善好施的企業家；若有必要，他應該會樂於考慮將五螺箍專利權釋放出來。</p> |

李教授錫霖：

(一)SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

- 1、Strength Reduction Approach 應該是較佳的選擇。大陸有許多鋼管混凝土柱實驗數據， $P_{hcc} = 0.2f'_c A_{hcc}$ 是否可採用比 0.2 更高的值，可參考其實驗結果。
- 2、若 P_n 考慮長度效應， ϕ_h 可也許可再降 5~10%。

(二)新型五螺箍 SRC 構造是否納入規範：

- 1、五螺箍只要有經濟價值，即使需付專利費用，相信也會有人願意使用。
- 2、建議可先放在 SRC 規範的解說中。

七、主席結語：

1、SRC 柱「圍束箍筋」需求量之檢討：

綜合大家討論的結果，大多數學者專家認為 SRC 柱之圍束箍筋用量計算，以採用 Strength Reduction Approach 設計法最有共識，該法同時考慮到 SRC 柱之鋼骨「分擔軸力」之貢獻及「鋼骨翼板」對混凝土圍束效應之影響。對於該設計法仍有部份地方要再進一步探討改進之處，研究小組將會認真思考以作為改善的依據。

2、採用新型五螺箍(5-Spirals)之 SRC 構造是否適合納入規範：

- (1)大多數學者專家肯定這種新型的 SRC 構造具有良好的強度與韌性，並建議可先納入 SRC 規範的解說(Commentary)中。
- (2)五螺箍(5-Spirals)之專利是否釋出為多數學者專家關切之重點，綜合大家討論的意見，多數人建議該專利權最好能釋放出來。

八、散會

附錄四、第三次學者專家座談會會議紀錄

一、會議時間：民國 97 年 7 月 16 日(星期三)，下午 2：00

二、會議地點：國立交通大學土木系，工程二館 219 會議室

三、出席人員：如簽到表

四、主席：陳誠直

五、主席說明本次會議主要目的：

本次會議之目的為對於我國 SRC 設計規範 8.4.2 節要求 SRC 柱內之鋼骨與鋼梁其「撓曲強度比值」須大於 1.0 之限制進行檢討。

過去數年來，日本學者於 SRC 柱接鋼梁之接頭中，採用較小之柱鋼骨尺寸試驗已有相當之研究成果，並且訂定出適合日本當地情況之設計準則。目前日本 AIJ-SRC 規範 SRC 柱之鋼骨與鋼梁撓曲強度比值之下限是 0.4，所以對於國內規範中 SRC 柱之鋼骨與鋼梁撓曲強度比值是否須大於 1.0 仍有探討的必要，以使我國 SRC 設計規範之要求更為合理。

六、討論內容：

陳教授誠直：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

6、我國 SRC 規範 8.4.2 節規定，採用 SRC 梁與 SRC 柱接合時，在接合處之梁與柱中之鋼骨或鋼筋混凝土，其撓曲強度應符合以下規定之一：

A、鋼骨部分：

$$\frac{\Sigma(M_{ns})_C}{\Sigma(M_{ns})_B} \geq 0.6$$

B、鋼筋混凝土部分：

$$\frac{\Sigma(M_{nrc})_C}{\Sigma(M_{nrc})_B} \geq 0.6$$

7、採用鋼梁與 SRC 柱接合時，在接合處之鋼梁與 SRC 柱中之鋼骨，其撓曲強度應符合以下之規定：

$$\frac{\Sigma(M_{ns})_C}{\Sigma(M_{ns})_B} \geq 1.0$$

當初是指鋼構的強柱弱梁，不含 RC。

8、日本規範 $2.5 \geq \frac{\Sigma(M_{ns})_C}{\Sigma(M_{ns})_B} \geq 0.4$ ，目前日本實驗值已做到 < 0.4 ，我國若要維持

1.0，則等於完全忽略 RC 部份之貢獻，似乎過度保守。因此是否國內需要調整下限值？

顏經理聖益：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

4、造成梁柱接頭扯壞、破裂問題可能在 Panel Zone 之強度。針對 Panel Zone 的力量是否可轉換至 RC，若要把「撓曲強度比值」放寬，是否應該針對 Panel Zone 的地方要補強，使鋼構變形時，Panel Zone 強度夠，不至於使 Panel Zone 的混凝土產生剪力破壞，使 RC 造成破裂。

楊教授國珍：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

4、考慮破壞在梁柱接頭、破壞在鋼梁還是破壞在 Panel Zone？

5、日本之設計實驗數據破壞在鋼梁，我國是否也是這樣考慮？

6、我國之鋼構規範梁柱接頭區不容許 Panel Zone 降伏，美國鋼構規範容許 Panel Zone 降伏，且會提供貢獻至其反應，我國之規定較為嚴格，SRC 規範是否也允許破壞在 Panel Zone？

7、依目前實驗數據來看，破壞在鋼梁之迴圈顯示效果很好，建議可以訂出破壞之優先順序，供設計者選擇。

蘇晴茂總經理(陳副總煥煒代)：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

3、美國規範提供 Panel Zone 約 80%降伏，台灣規範 Panel Zone 需保持彈性，若

Panel Zone 檢討強度可過，則可放寬 $\frac{\Sigma(M_{ns})_C}{\Sigma(M_{ns})_B}$ 規定。

顏經理聖益：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

- 3、鋼梁力傳到 SRC 柱中之鋼骨確保彎矩可傳到 SRC 柱中之 RC，所以 Panel Zone 強度要夠強，若 Panel Zone 強度不足，鋼骨可能無法承受鋼梁傳遞過來的力量，則 RC 吃的力量及變形加大，若 Panel Zone 強度夠，則 RC 不會裂掉。
- 4、日本實驗尺寸似乎偏小，可能會有尺寸效應之問題。
- 5、建議建研所提撥經費進行更多梁柱接頭實驗，調整鋼構比例、Panel Zone 之厚度，探討 Panel Zone 是否為影響彎矩傳遞之主要原因。

蘇晴茂總經理(陳副總煥煒代)：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

- 1、 $\frac{\Sigma(M_{ns})_C}{\Sigma(M_{ns})_B}$ 確實有調降空間，但目前實驗數據仍不夠多，建議進行更多 SRC 梁柱接頭實驗。

楊教授國珍：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

- 1、建議可以訂出兩種破壞模式，一種為破壞在鋼梁，一種為破壞在 Panel Zone，供設計者選擇。

呂教授東苗：

(一)梁柱接頭「撓曲強度比值」限制之檢討：

- 1、有關建築耐震設計「強柱弱梁」之目標常不能實現，通常 SRC 梁與 RC 樓板接合在一起，樓板強度也很大，除非將柱設計特別強，強柱弱梁會有問題，實際似乎並不存在。

七、主席結語：

- 1、目前我國 SRC 設計規範要求 SRC 柱內之鋼骨與鋼梁其「撓曲強度比值」須大於 1.0 之限制確實趨於保守，應有調降空間。但由於目前實驗數據仍不夠多，建議建研所提撥經費進行更多 SRC 梁柱接頭實驗。

2、日本 AIJ-SRC 規範 SRC 柱之鋼骨與鋼梁撓曲強度比值之下限是 0.4，不過日本規範對韌性要求並沒有像我國這麼高，我國是否也要降低至 0.4，可能尚需進一步再討論。

八、散會



附錄五、期中報告意見回覆

一、會議時間：民國 97 年 8 月 26 日(星期二)，下午 2：30

二、會議地點：內政部建築研究所

三、出席人員：如簽到表

四、主席：王榮進

五、委員審查意見：

邱顧問昌平：

1、「SRC 結構系統韌性容量 R 值」方面：

目前我國 SRC 規範對 R 值打九折，應再請教之前訂定 SRC 規範之專家為何如此訂定?或是看看國外規範是如何訂定?有無打九折之觀念?此外，SRC 構造的施工性比鋼骨及 RC 困難，建議研究小組仍應適當考慮施工性之影響。

2、「SRC 柱圍束箍筋」方面：

針對鋼骨於翼板與腹板包覆之混凝土，國外學者認為具高度圍束之作用，翁教授等人提出「額外提昇之壓強度」 $P_{hcc}=0.2f_c'A_{hcc}$ ，並導入於 A_{sh} 及 ϕ_h 之計算，此為「強度折減法」之重點，以及於「面積折減法」中，考慮 A_{hcc} 之貢獻。此以五種不同設計方法，進行案例計算之比較，已得出一些論點。AISC 設計規範考慮柱長度效應對 SRC 柱圍束箍筋用量之影響，建議研究小組再探討長度效應在新的箍筋用量設計法之影響。此外，期中報告書之計算例最長之 SRC 柱為 9m，在實際工程上很少見，是否適用宜再檢討。

王技師亭復：

1、「SRC 結構系統韌性容量 R 值」方面：

(a)報告表 2.1 中，有關合成(C-SRC)構造系統項下，所有「韌性抗彎矩構架」之

名稱，建議均改為「特殊抗彎構架」，所謂韌性均針對構材而言，至於構架之 R 值，應存有其他贅餘因子(若為 IBC、FEMA、AISC 之 R，則尚包含過強因子、載重係數)，因此對於構架而言，依構材韌性程度可分為特殊、部份及普通構架。近期「建築物耐震設計規範」亦朝此方向修訂。建築物耐震設計規範中表 1.3，係根據 IBC-2005 及 FEMA 450，增訂多項合成構造，目前即將小幅修訂完成，屆時可引用該表之名稱，以求統一。

- (b) α_B 、 α_C 最好能取消(亦即為 1.0)，宜視 R 值對應構材韌性細部之局部韌性需求最大 μ_D (AASHTO Seismic Guide-08)及構架層變位角 θ 而定。另建議本研究可考慮增做一般混凝土包覆鋼板或型鋼，於長歷時後(混凝土可能收縮的時間)應力(軸力、剪應力與握裹力)之傳遞情形。

2、其他方面：

- (a) 建議於修訂內容中「SRC」一詞，能與「建築物耐震設計規範」中之「合成構造」之名稱相呼應，中譯名宜為「型鋼與鋼筋混凝土合成構造」，其英文可以 C(composite)代表，例如 C-SMRF 為「合成特殊抗彎構架」。
- (b) 有關合成(C-SRC)構造可降低成本及減少柱斷面等之貢獻，仍有待商榷，倒是為韌性構材於梁塑鉸區有不必要外移之優點。

陳技師正平：

1、「SRC 結構系統韌性容量 R 值」方面：

SRC 構造施工時常發生鋼骨與 RC 互相干擾之問題，且混凝土搗實不易驗證，導致施工品質有瑕疵。雖然自充填混凝土之工作度佳，但並非每個工地均用自充填混凝土。因此，有關 SRC 構造之 R 值仍應對施工問題審慎考量，建議韌性容量 R 值，宜維持原案暫不宜有所變動。

2、「SRC 柱圍束箍筋」方面：

SRC 規範原本考慮 SRC 柱中有箍筋存在而放寬鋼骨寬厚比，若放寬箍筋間距，

是否與規範原意不符？鋼柱翼板若考慮幫助圍束混凝土，則柱板受側壓是否容易發生挫屈？

3、其他方面：

(a)若降低 SRC 柱之鋼骨比，則 SRC 柱之經濟效益是否比不上一般 RC 柱？

(b) SRC 之鋼骨梁柱接頭處導銲板是否須切除及磨平？

(c)梁柱接頭處鋼筋續接器與柱內橫隔板偏位問題如何處理？

六、研究小組意見回覆：

研究小組非常感謝審查委員之寶貴意見，謹針對委員提出問題回覆如下：

1、「SRC 結構系統韌性容量 R 值」方面：

(a)有關 SRC 構造的施工問題：

如本研究期中報告書之第二章 2.2 節所述，當初在研擬我國 SRC 構造設計規範期間(民國 83 至 86 年)，主要是考慮國內早期許多 SRC 構造常發生梁柱配筋過密的問題，容易導致混凝土澆置困難與產生蜂窩；因此當時在訂定 SRC 構造的「韌性容量 R 值」時，暫時採用「打九折」的保守方式來設計。

不過，自從內政部於民國 93 年公佈「SRC 設計規範」與「SRC 施工規範」以後，對於提昇 SRC 構造的工程品質已產生正面效益。由於我國「SRC 設計規範」已訂有專章(第四章：「構造細則」)明確規定 SRC 梁、柱及接頭之配筋細則，可有效避免 SRC 梁與 SRC 柱「配筋過密」之問題。

換言之，如果能依照內政部公佈的「SRC 設計規範」與「SRC 施工規範」來設計與施工，SRC 梁柱配筋過密與混凝土澆置的問題應可避免。因此，我國「SRC 設計規範」應該沒有必要再對 R 值施以「懲罰」打九折，故乃建議將 SRC 構造的 R 值「恢復」到與一般 RC 構造及鋼構造相同等級之水準，亦即取消 α_B 、 α_C 打九折之折減係數(亦即恢復為 1.0)。

(b)國外 SRC 規範是否對 R 值有打九折之作法？

目前 AISC Seismic Provisions(2005)之中對 SRC 的「韌性容量 R 值」採用類似鋼結構之 R 值，並未有打九折之「懲罰」性作法。

(c)有關「韌性抗彎矩構架」之名稱建議改為「特殊抗彎構架」之問題:

研究小組十分認同委員之寶貴意見。

2、「SRC 柱圍束箍筋」方面：

(a)目前 AISC 規範(2005)對於 SRC 柱之圍束箍筋間距已有放寬之規定，而我國 SRC 規範更對箍筋間距放寬訂有上限之限制($S_{max} < 15\text{cm}$)，故應不致於發生箍筋間距過大的問題。由於鋼板能夠圍束 SRC 柱之核心混凝土而有助於降低 SRC 柱之圍束箍筋用量亦屬真實之力學現象，因此如何能夠找出適當的箍筋用量設計公式實為重要的努力方向。

(b) AISC 規範有考慮柱長度對 SRC 柱圍束箍筋用量之影響，研究小組將再探討長度效應在新的箍筋用量設計法之影響，並檢討報告書中計算例之適用性。

(c) SRC 柱之鋼板寬厚比放寬規定確實與鋼板受到 RC 之包覆與圍束有關。由於 SRC 柱內之鋼板受到混凝土的包覆與箍筋的圍束，因此鋼板受壓時發生挫屈的可能性相對降低很多。相較於一般箍筋，鋼板為一連續體且其面積比箍筋大很多，故當鋼板受到混凝土側壓時，其變形量甚小，在目前 SRC 規範的鋼板寬厚比限制下將不致於發生提早挫屈的問題。

3、其他方面：

(a) 有關「SRC」一詞與「建築物耐震設計規範」中之「合成構造」之名稱相呼應(中文譯為「型鋼與鋼筋混凝土合成構造」)之建議，由於內政部於民國九十三年一月十六日公佈修正我國「建築技術規則」之部份條文，於「建築技術規則」的建築構造編中增列「第七章：鋼骨鋼筋混凝土構造」，隨後並公告我國「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」自民國九十三年七月一日起正式施行，因此有關變更「SRC」一詞之中文名稱可能尚需進一步討論。

- (b) 由於新版的 AISC 規範(2005)第 I 章 I2.1.1a 節已經將 SRC 柱的最小鋼骨比由原本的 4%降為 1%，而日本 AIJ SRC 規範(2001)之最小鋼骨比規定為 0.8%。AISC 及 AIJ 設計規範主要是考慮到讓設計者有較大的彈性來進行 SRC 柱的斷面配置。因此，目前我國 SRC 柱最小鋼骨比為 2%的規定相對比較大。
- (c) 有關 SRC 之鋼骨梁柱接頭處之導銲板，其處理方式建議仍應比照我國鋼結構施工規範之要求。
- (d) 目前我國 SRC 設計規範第 8.5.1 節已明確要求鋼筋續接器與柱內橫隔板必須在同一水平位置上，以確保接頭處之水平力能夠順利傳遞。相關規定如下：

8.5.1 梁柱接頭之主筋配置

鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭處之主筋應以直接通過接頭為原則，宜儘量避免以鋼筋續接器銲於鋼柱翼板上以續接主筋。若不得已必須採用時，應符合以下之規定：

- (1) 鋼筋續接器之種類、材料、品質與施工均應符合內政部頒佈之「混凝土工程設計規範與解說」之相關規定。
- (2) 以鋼筋續接器銲於鋼柱翼板上續接主筋，若主筋與鋼梁翼板不在同一水平面時，則須在鋼柱內與主筋同一水平面處加銲適當之水平加勁板(連續板)以傳遞主筋之水平力。



附錄六、期末報告會議意見回覆

一、會議時間：民國 97 年 12 月 9 日 (星期二)，上午 9：30

二、會議地點：內政部建築研究所

三、出席人員：如簽到表

四、主席：李主任秘書玉生

五、委員審查意見：

1、SRC 結構系統「韌性容量 R 值」方面：

王技師亭復：

- (a) 由於最近國家地震工程研究中心亦針對各種建築構造之結構系統韌性容量進行研究，其成果將會作為修訂我國「建築物耐震設計規範」之依據。因此建議本報告中有關 SRC 構造系統之分類（如剪力牆、斜撐之分類方式），宜參考「建築物耐震設計規範」之方式，以求統一。
- (b) 台灣全區均屬強震區，因此未來修訂我國「建築物耐震設計規範」時將會排除普通同心斜撐之構造系統。因此建議有關 SRC 構造系統之普通同心斜撐亦宜比照辦理。
- (c) 本報告所提議對於 SRC 結構系統韌性容量 R 值之修訂建議應屬合理，亦即將 SRC 結構系統韌性容量 R 值之係數 α_B 、 α_C 恢復為 1.0。

邱顧問昌平：

- (a) 依照「SRC 設計規範」設計並依「SRC 施工規範」施工之 SRC 建築結構，已愈來愈合理。
- (b) 本計畫研究團隊依據國內外實驗結果與一些學者專家之討論，而提出一些對

SRC 設計規範之修訂建議，研究成果良好。

2、「SRC 柱圍束箍筋」方面：

王技師亭復：

本報告針對受到鋼骨翼板包覆之混凝土，認為具有高度圍束之作用，惟建議研究小組宜再探討鋼骨寬厚比之影響，放寬箍筋間距是否對 SRC 柱之韌性有負面作用。

陳技師正平：

SRC 柱內部之鋼柱翼板若考慮幫助圍束混凝土，則柱鋼板受側壓是否容易發生平面外變形？

3、SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」方面：

陳技師正平：

若在建築物頂樓採用大跨距之鋼梁接 SRC 柱時，梁柱接頭「撓曲強度比值」宜作特殊之考量以確保力量可以順利傳遞。

4、其他方面：

(1) SRC 柱的最大鋼筋比：

王技師亭復：

依照 SRC 設計規範之配筋方式，本報告建議將「SRC 柱最大鋼筋比」之上限由 4% 調降為 3% 應屬合理可行。

(2) SRC 柱的最小鋼骨比：

陳技師正平：

若降低 SRC 柱之鋼骨比，則 SRC 柱之效益是否隨之降低？此議題似乎較不急於修訂。

(3) 採用「五螺箍」設計之 SRC 柱：

施科長習諧：

- (a) 近來許多五螺箍 SRC 柱試驗證實這種新型的 SRC 構造具有良好的強度與韌性，這是值得肯定的。本報告建議五螺箍 SRC 柱之內容可納入我國 SRC 規範的解說中亦屬合理。
- (b) 惟五螺箍 SRC 柱可能較適合預鑄工法，若採場鑄將較不易施工，建議本報告宜加以說明此特性。

(4) SRC 梁柱接頭「鋼梁補強與減弱」之必要性探討：

王技師亭復：

- (a) 本報告收集不少 SRC 梁柱接頭試驗成果，證實 SRC 構造梁柱接頭之「鋼梁可以不需要補強與減弱」，其研究成果值得肯定。
- (b) 建議本報告宜再增加一些 SRC 梁柱接頭試驗成果之遲滯迴圈，以便顯示其具有良好的強度與韌性。

(5) SRC 後續研究方面：

施科長習諧：

由於 SRC 構造之品質與細部設計之施工可行性有密切關係，建議內政部應繼續贊助研究經費，請翁教授再針對「SRC 構造細部之施工可行性」進行研究，相信應該會對提昇 SRC 構造之工程品質有很大的助益。

六、研究小組意見回覆：

研究小組非常感謝審查委員之寶貴意見，謹針對委員提出問題回覆如下：

1、SRC 結構系統「韌性容量 R 值」方面：

- (a) 本報告中有關 SRC 構造系統之分類，將會參考最新修訂中之「建築物耐震設計規範」之分類方式，以求統一。

- (b) 本報告中將依建議排除普通同心斜撐之構造系統。
- (c) 感謝王技師亭復對本報告所提議對於 SRC 結構系統韌性容量 R 值之修訂建議之肯定。
- (d) 感謝邱顧問昌平對本計畫研究成果之肯定，研究小組會繼續努力。

2、「SRC 柱圍束箍筋」方面：

- (a) 根據研究小組收集之 SRC 柱試驗結果，顯示依據目前 SRC 規範之鋼骨寬厚比及本報告箍筋間距公式所設計之 SRC 柱試體，仍具有良好的強度與韌性。
- (b) 根據研究小組收集之 SRC 柱試驗結果，顯示依據 SRC 規範所設計之 SRC 柱，其內部之鋼柱翼板在幫助圍束混凝土之同時，鋼柱翼板並未發生明顯的平面外變形。這可能是受到鋼柱外部 SRC 柱的鋼筋混凝土包覆與束置之影響，使得 SRC 柱試體仍可發揮良好的強度與韌性。

3、SRC 梁柱接頭「撓曲強度比值」方面：

感謝陳技師正平之建議，本報告中將敘明若在建築物頂樓採用大跨距之鋼梁接 SRC 柱時，梁柱接頭「撓曲強度比值」宜作特殊之考量，以確保力量可以順利傳遞。

4、其他方面：

(1) SRC 柱的最大鋼筋比：

感謝王技師亭復之建議，本報告中將「SRC 柱最大鋼筋比」之修訂建議改列為未來修訂我國 SRC 構造設計規範之優先項目。

(2) SRC 柱的最小鋼骨比：

感謝陳技師正平之建議，本報告中將「SRC 柱的最小鋼骨比」之修訂建議仍列為未來修訂我國 SRC 構造設計規範之中長期修訂項目。

(3) 採用「五螺箍」設計之 SRC 柱：

感謝施科長習諧之肯定。本報告將建議於我國 SRC 構造設計規範的解說中，

敘明五螺箍 SRC 柱之施工特性較適合採用預鑄工法。

(4) SRC 梁柱接頭「鋼梁補強與減弱」之必要性探討：

感謝王技師亭復之肯定。本報告將依建議再增加一些 SRC 梁柱接頭試驗成果之遲滯迴圈，以便顯示其具有良好的強度與韌性。

(5) SRC 後續研究方面：

感謝施科長習諧基於對提昇 SRC 構造工程品質之目標，期望內政部能夠繼續贊助研究經費，針對「SRC 構造細部之施工可行性」進行研究。





參考書目

1. 翁正強 (2005)「我國鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範之發展」, 結構工程, 第二十卷, 第一期, pp. 3-30, 中華民國結構工程學會, 三月, 台北。
2. 翁正強 (2004)「鋼骨鋼筋混凝土構造設計教材」, 內政部建築研究所, 十二月, 台北。
3. 翁正強, 廖慧明, 張荻薇, 陳誠直 (1995)「鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規定之調查與規範架構研究」, 內政部建築研究所專題研究報告, 六月, 台北。
4. 翁正強, 廖慧明, 張荻薇, 陳誠直 (1997)「鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範與解說研究」, 內政部建築研究所專題研究報告, 六月, 台北。
5. AISC (2005) “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,” American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
6. AISC (2005) “Specification for Structural Steel Buildings,” American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
7. ACI (2008) “Buildings Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-08),” American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
8. 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。
9. 內政部 (2008)「建築技術規則」, 營建署, 台北。
10. 內政部 (2004)「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」, 營建署, 台北。
11. 內政部 (2006)「建築物耐震設計規範及解說」, 營建署, 台北。
12. Weng, C.C., Yen, S.I. and Chen, C.C. (2001) “Shear Strength of Concrete Encased Composite Structural Members,” Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 10, pp. 1190-1197.
13. Weng, C.C., Yen, S.I. and Jiang, M.H. (2002) “Experimental Study on Shear

- Splitting Failure of Full-Scale Composite Concrete Encased Steel Beams,” Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 128, No. 9, pp. 1186-1194.
14. 陳正誠、張大鵬、方至楷 (2000) 「鋼骨鋼筋混凝土短梁之剪力實驗行為」，中國土木工程學刊，第十二卷，第三期，pp. 511-520，九月，台北。
 15. 陳正誠、陳建中 (2001) 「包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁之撓曲行為特性」，中國土木工程學刊，第十三卷，第二期，pp. 263-275，六月，台北。
 16. 陳正誠、鄭兆麟 (2003) 「鋼骨鋼筋混凝土梁撓曲強度簡化全塑性法及其設計強度」，結構工程，第十八卷，第三期，pp. 3-18，中華民國結構工程學會，九月，台北。
 17. 翁正強，顏聖益，陳誠直，黃明慧 (2000) 「包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁之極限彎矩強度研究」，中國土木工程學刊，第十二卷，第三期，pp. 521-531，九月，台北。
 18. 翁正強，江銘鴻，陳誠直，林佳宏 (2001) 「剪力釘對包覆型 SRC 梁力學行為之影響」，中國土木工程學刊，第十三卷，第一期，pp. 181-192，三月，台北。
 19. 翁正強，江銘鴻，顏聖益 (2001) 「包覆型SRC梁剪力握裹破壞試驗與力學行為研究」，中國土木工程學刊，第十三卷，第三期，pp. 555-565，九月，台北。
 20. Mirza, S.A. (1989) “Parametric Study of Composite Column Strength Variability,” Journal of Constructional Steel Research, Vol. 14, No. 2, pp. 121-137.
 21. Mirza, S.A., and Skrabek, B.W. (1991) “Reliability of Short Composite Beam-Column Strength Interaction,” Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 8, pp. 2320-2339.
 22. Mirza, S.A., and Skrabek, B.W. (1992) “Statistical Analysis of Slender Composite Beam-Column Strength,” Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 118, No. 5, pp. 1312-1332.

23. Weng, C.C. and Yen, S.I. (2002) "Comparisons of Concrete-Encased Composite Column Strength Provisions of ACI Code and AISC Specification," *Engineering Structures*, Vol. 24, No.1, pp. 59-72.
24. Weng, C.C., Yen, S.I. and Wang, H.S. (2007) "A Relative Rigidity Approach for the Design of Concrete-Encased Composite Columns," *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 30, No. 4, pp. 621-633.
25. Chen, C.C., Li, J.M. and Weng, C.C. (2005) "Experimental Behavior and Strength of Concrete-Encased Composite Beam-Columns with T-Shaped Steel Section under Cyclic Loading," *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, Issue 7, pp. 863-1006.
26. Weng, C.C., Yin, Y.L., Wang, J.C. and Liang, C.Y. (2008) "Seismic Cyclic Loading Test of SRC Columns Confined with 5-Spirals," *Science in China Series E: Technological Sciences*, Vol. 51, No. 5, pp. 529-555
27. 蔡克銓，連陽，陳誠直 (1997) 「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. 535-545，十二月，台北。
28. 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. 193-204，六月，台北。
29. 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*，第二十一卷，第三期，pp. 55-83，中華民國結構工程學會，九月，台北。
30. 尹衍樑、翁正強、王瑞禎、梁景裕、黃俊銘 (2007) 「組合式五螺箍應用於SRC矩形柱之試驗研發」，*結構工程*，第二十二卷，第三期，pp. 3-27，中華民國結構工程學會，九月，台北。
31. 翁正強、尹衍樑、王瑞禎、梁景裕、施祖涵 (2008) 「預鑄五螺箍矩形SRC柱之反復載重耐震試驗」，*結構工程*，第二十三卷，第一期，pp. 85-133，中華

民國結構工程學會，三月，台北。

32. Sheikh, T. M., Deierlein, G. G., Yura, J. A., and Jirsa, J. O. (1989), Beam-Column Moment Connections for Composite Frames: Part 1, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 115, No. 11, pp. 2858-2876.
33. Deierlein, G. G., Sheikh, T. M., Yura, J. A., and Jirsa, J. O. (1989), Beam-Column Moment Connections for Composite Frames: Part 2, *Journal of Structural Engineering*, Vol. 115, No. 11, pp. 2877-2895.
34. Parra-Montesinos, G., and Wight, J. K., (2000), Seismic Response of Exterior RC Column-to-Steel Beam Connections. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 126, No.10, pp. 1113-1121.
35. Chou, C.C., and Uang, C.M. (2002) "Cyclic Performance of a Type of Steel Beam to Steel-encased Reinforced Concrete Column Moment Connection," *Journal Constructional Steel Research*, Vol. 58, pp.637-663.
36. Kitano, A., Joh, O., and Goto, Y. (2004), Experimental Study on Ultimate Shear Strength of Interior Beam-Column Joints of Steel and Reinforced Concrete Structure. *Proceedings of 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada.
37. Weng, C.C., Yin, Y.L., Wang, H.S. and Yang, C.H. (2008) "Experimental Study on Seismic Performance of Steel Beam to SRC Column Connections," *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 31, No. 2, pp. 239-252.
38. 陳昭榮 (1992) 「鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭行為研究」，碩士論文，台灣科技大學，營建工程研究所，台北。
39. 朱俊星 (1993) 「鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭新工法」，碩士論文，台灣科技大學，營建工程研究所，台北。
40. 蔡克銓、于瑞佐、連陽、項維邦 (1995) 「半預鑄鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭耐震行為」，*結構工程*，中華民國結構工程學會，第十卷，第二期，pp.35-51，

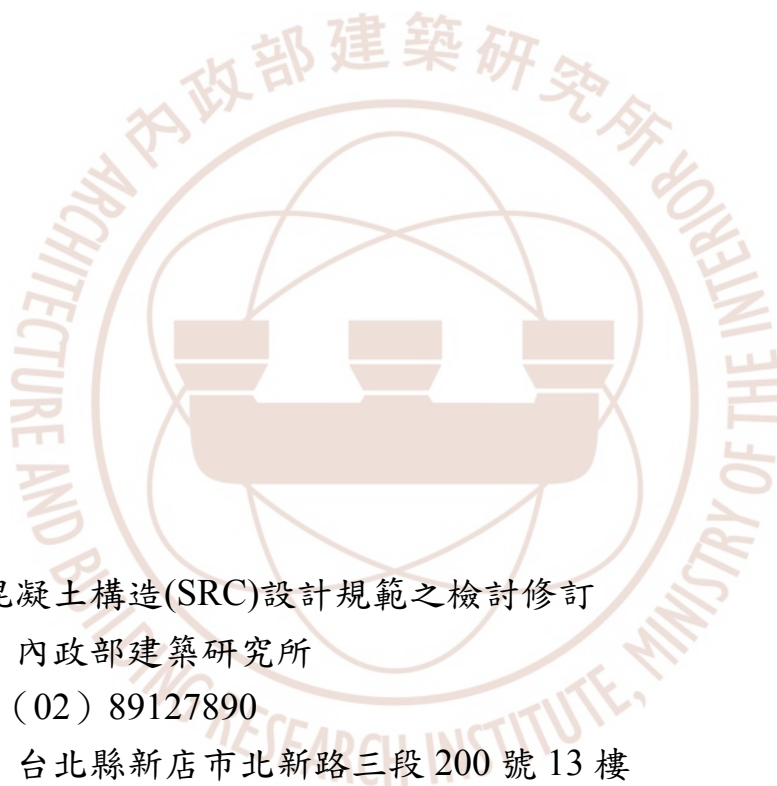
- 六月，台北。
41. 陳勤傑 (1996) 「鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭之耐震行為」，碩士論文，台灣科技大學，營建工程研究所，台北。
 42. 陳生金、陳昭榮、朱俊星 (2002) 「半預鑄鋼骨鋼筋混凝土梁柱接頭研究」，結構工程，第十七卷，第一期，pp.3-18，中華民國結構工程學會，三月，台北。
 43. 楊宗翰 (2004) 「鋼骨彎矩強度對 SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭耐震性能影響之研究」，碩士論文，交通大學，土木工程研究所，新竹。
 44. 徐振益 (2004) 「交會區鋼骨剪力強度對 SRC 柱接鋼梁之梁柱接頭耐震性能影響之研究」，碩士論文，交通大學，土木工程研究所，新竹。
 45. 翁正強、尹衍樑、王瑞禎、梁景裕、施祖涵、蕭永興 (2008)，「預鑄五螺 SRC 梁柱接頭之反復載重耐震試驗」，結構工程，第二十三卷，第三期，pp. 29-62，中華民國結構工程學會，九月，台北。
 46. 王榮進、陳誠直 (2007) 「鋼梁與包覆型鋼骨鋼筋混凝土柱接頭韌性行為研究」，內政部建築研究所研究報告，十二月，台北。
 47. 內政部 (2007) 「鋼結構極限設計法規範及解說」，營建署，台北。
 48. Yamashita, Y., Okamoto, T., Kei, T., and Ota, H. (2000), A Study on Strength Properties of Steel Beam to SRC Column Connection which has the Less Ratio of the Flexural Strength in Steel Part of SRC Column. Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, pp. 1279-1280. (in Japanese)
 49. Okayasu, T., Fukumoto, T., Tomita, A., Fukuda, T., Kawano, K., Yanguchi, T. (2000), Experimental Study of Joints Between Steel Beam and Steel Reinforced Concrete Columns with H-shape Steel Part.1 Outline of Experiment and Results. Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, pp. 1281-1282. (in Japanese)
 50. Fukuchi, Y., Wakamatsu, S., Oshima, M. (2002), Experimental Study on Stress

- Transfers of Joints of SRC Columns and Steel Beams. Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, pp. 1085-1086. (in Japanese)
51. Imanishi, M., Oshida, M., Fukazawa, K., Tachibana, M. (2003), Experimental Study on Strength of Steel Beam-to-SRC Column Connections (Part 7 Experiment of Exterior Beam-column Connections) Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, pp. 1091-1092. (in Japanese)
52. Oshida, M., Imanishi, M., Fukazawa, K., Tachibana, M. (2003), Experimental Study on Strength of Steel Beam-to-SRC Column Connections (Part 6 Experiment of Exterior Beam-Column Connections) Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, pp. 1089-1090. (in Japanese)
53. AISC (2002) “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,” American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.
54. Astaneh-Asl, A. (1998), “Seismic Behavior and Design of Gusset Plates”, Steel TIPS Report, Structural Steel Education Council, Moraga, California, December.
55. 內政部 (2002) 「結構混凝土設計規範」，營建署，台北。
56. Boresi, A.P. and Sidebottom, O.M., (1985) “Advanced Mechanics of Materials”, 4th Ed. Wiley, New York.
57. Hsu, H. L. and Wang, C. L. (2000) “Flexural-Torsional Behavior of Steel Reinforced Concrete Members Subjected to Repeated Loading,” Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 29, pp. 667-682.
58. ACI (2002) “Buildings Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-02),” American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
59. AISC (1999) “Specification for Structural Steel Buildings,” American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois.

60. ASCE (1998) “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.” (ASCE 7-98), American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
61. ACI (2005) “Buildings Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-05),” American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
62. ACI (1999) “Buildings Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-99),” American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
63. FEMA, 2000, “Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment Frame Buildings-FEMA-350,” Prepared by SAC Joint Venture for Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.







鋼骨鋼筋混凝土構造(SRC)設計規範之檢討修訂

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：王榮進、翁正強、陳誠直、陶其駿、施祖涵、王琳、林意晴

出版年月：97 年 12 月

版(刷)次：初版

工本費：

GPN：

ISBN：978-986-01-7483-0 (平裝)