

鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接 設計之探討

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 109 年 12 月

PG10903-0363

鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接 設計之探討

研究主持人：李台光

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 109 年 12 月

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法及進度說明	2
第二章 文獻回顧	5
第一節 國內相關文獻蒐集	8
第二節 小結	14
第三章 大尺寸梁柱續接試體及試驗程序規劃	15
第一節 大尺寸梁柱續接試體之規劃設計	15
第二節 試驗裝置與加載歷程	31
第三節 試體製作品質管制計畫	35
第四章 結論與建議	41
第一節 結論	41
第二節 建議	42
參考資料	43
附錄 1 期初審查會議紀錄及回應表	45
附錄 2 期中審查會議紀錄及回應表	47

表次

表 3-1 試體規劃表 · · · · · 29

圖次

圖 1-1	填充型鋼箱型柱斷面圖	3
圖 1-2	鋼結構高樓地面層超挖示意圖	4
圖 2-1	SRC 梁與 RC 梁之斷面轉換示意圖	6
圖 2-2	包覆型 SRC 梁柱接頭之接合細部示意圖	7
圖 2-3	RC 梁與鋼骨托梁之接合型式	9
圖 2-4	RC 梁主筋以續接器銲接與鋼柱接合	10
圖 2-5	SRC 梁與 RC 梁縱向力偶傳遞圖	11
圖 2-6	SRC 梁與 RC 梁橫向力偶傳遞圖	12
圖 2-7	轉換段之插入鋼筋與剪力傳遞筋	13
圖 3-1	RC 梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體示意圖	16
圖 3-2	RC 梁斷面極限彎矩強度計算結果	22
圖 3-3	鋼骨柱與 RC 墩柱間之承壓力分佈	23
圖 3-4	鋼骨柱承壓有效寬度	24
圖 3-5	調整埋入深度之鋼骨柱與 RC 墩柱承壓力分佈	25
圖 3-6	SRC 梁與 RC 梁橫向力偶傳遞近似分佈圖	26
圖 3-7	A 試體細部圖	27
圖 3-8	B 試體細部圖	28
圖 3-9	大尺寸試體示意圖	32
圖 3-10	試驗裝置	33
圖 3-11	側向位移加載歷程圖	34
圖 3-12	SRC 梁柱接頭示意圖(鋼骨托梁續接方式)	38
圖 3-13	SRC 柱內之連續板適當開孔	39

摘要

關鍵詞：鋼骨鋼筋混凝土、梁、續接

一、研究緣起

鋼骨鋼筋混凝土結構(Steel Reinforced Concrete, 簡稱 SRC)是將鋼骨構造與鋼筋混凝土結構予以合併而成的合成結構，在民國 88 年 921 大地震之後，採用 SRC 結構之建築物日增。另一方面，供住宅用途之房屋，國人較習慣防振動性及隔音性較佳之包覆混凝土之結構，因此 SRC 結構應運而生。但 SRC 結構在施工過程，二種不同的結構系統會互相干擾，致施工品質會大受影響，甚而常有下降的情況發生。因此有關 SRC 結構耐震性能之設計與施工品質，影響建築物耐震能力甚鉅。其影響因素很多，其中以結構系統傳力路徑及結構耐震細部設計、以及鋼骨與鋼筋之設計空間與施工放樣精度等，最為關鍵。

鋼骨鋼筋混凝土(SRC)結構已在國內普遍使用，921 大地震後採用 SRC 結構之建築比率更迅速提昇。SRC 結構結合鋼筋混凝土與鋼骨兩種不同構材，不論在設計或施工上均較為繁複，以致於國內目前 SRC 結構之設計與施工仍存在許多問題，而對於處於地震帶之臺灣，SRC 結構之耐震能力更是值得重視。

影響建築物耐震能力的因素很多，但就施工的觀點來看，以耐震細部最為關鍵。結構之耐震細部影響構材之延展性進而影響結構之耐震能力，尤其是 SRC 結構內含鋼骨及鋼筋，使得配筋及澆置混凝土之施工困難度更高，不僅設計者須對 SRC 結構之細部有深入之瞭解，施工品質之確保亦為重要關鍵，因此為確保結構物之耐震能力，建立系統化之施工檢查機制乃為當務之急。

由於填充型鋼箱型柱不但可以降低結構材料的使用量，也可以提升材料回收再利用的效率，是有利於降低環境衝擊的方法，是適合在國內研發、推廣的構材型式，且未來若需拆除時，比鋼筋混凝土構件更容易回收再利用，因此使用填充型鋼箱型柱相當具有經濟上及環保上的優勢，目前國內常用的鋼箱型柱，是使用 4 片鋼板於角落使用全滲透開槽銲接接合而成。

國內鋼結構高樓在主要結構構架之外圍常有擴大範圍超挖的情形，很多設計案例在主要結構構架之外圍，考量梁、柱與外周連續壁相接之施工性、經濟性與耐久

性等考量因素，常會在超挖範圍，採用鋼筋混凝土梁與主要鋼結構構架或鋼骨鋼筋混凝土構架之鋼箱型柱相接的情形。

目前國內對於鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接主要採用 2 種型式，包含「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節建議之托梁型式，並改良為鋼筋混凝土梁主筋經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁續接，以及鋼筋混凝土梁主筋藉由鋼筋續接器與鋼骨鋼筋混凝土柱續接的型式，業界對於這 2 種型式設計之正確性尚有疑義，莫衷一是，影響 SRC 建築梁柱接頭之耐震安全性，因此有必要進行研究，以提升國內 SRC 建築整體耐震能力。

二、研究方法及過程

本計畫之工作內容包括相關文獻之回顧與蒐集、並進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體及試驗程序規劃，以及舉辦期中與期末簡報會議，邀請國內專家學者與相關業界人士與會，以進行意見交流。並視實際需求於下一年度進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之試驗，以驗證其耐震安全性。

三、重要發現

- (1)本計畫已完成相關文獻之回顧與蒐集，以及大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體及試驗程序初步規劃。
- (2)本計畫後續將進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之細部設計、施工場地及施工程序之規劃。
- (3)後續將完成進行大尺寸續接試體製作之招標文件，俾利明年度續接試體製作之招標作業。

四、主要建議事項

以下分別從立即可行的建議及長期性建議加以列舉。

大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之實驗研究。－立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

目前鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接主要採用 2 種型式，包含「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節建議之托梁型式，並改良為鋼筋混凝土梁主筋經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁續接，以及鋼筋混凝土梁主筋藉由鋼筋續接器與鋼骨鋼筋混凝土柱續接的型式，業界對於這 2 種型式設計之正確性尚有疑慮，莫衷一是，影響 SRC 建築梁柱接頭之耐震安全性，因此有必要進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之實驗研究，以提升國內 SRC 建築整體耐震能力。本研究針對現行「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節規定之鋼骨托梁型式，且鋼筋混凝土梁鋼筋沒有延伸至梁柱接頭內力學傳遞不佳的情形，規劃大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體，並視實際需求於下一年度進行試驗，以驗證其耐震安全性。

「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節修訂建議。－長期性之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

規劃明年度進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之實驗研究，研究成果可做為「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節修訂之參考。

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

國內常用的建築構造型式有鋼筋混凝土(RC, Reinforced Concrete)、鋼骨(Steel)及鋼骨鋼筋混凝土(SRC, Steel Reinforced Concrete)等3種。鋼筋混凝土(RC)由於具有工程造價較低、勁度高、受風力或地震力作用下，側向位移較小等優點，因此臺灣地區以鋼筋混凝土做為建築結構材料的情形相當普遍。依據內政部營建署107年營建統計年報[1]核發建築物建造執照資料顯示，國內鋼筋混凝土造建築樓地板面積約佔總樓地板面積的70%。由於RC結構自重大，且其強度不及鋼結構，因此建築高度會受到限制。而鋼骨結構雖然高度之限制較小，但其勁度較小，因此結構設計時常有層間位移太大的困擾。

鋼骨鋼筋混凝土結構是將鋼骨構造與鋼筋混凝土結構予以合併而成的合成結構，在民國88年921大地震之後，根據調查顯示建築物以鋼筋混凝土構造倒塌佔大多數，因而後續新建築及災區重建建築採用鋼骨鋼筋混凝土構造的比率有逐漸增加的趨勢，不論是公有建築物(如學校、機關、醫院、變電所等)及民間建築工程(如住宅、辦公大樓、醫院等)均可見甚多的SRC建築案例，這種現象不單只發生在高層建築，許多中低層建築亦見甚多案例。興建SRC建築似乎蔚為追求結構安全保證途之一，甚多建商亦紛紛標榜以SRC構造作為銷售重點訴求，並成為相關業主藉以行銷的重要利器。但SRC結構在施工過程，二種不同的結構系統會互相干擾，致施工品質會大受影響，甚而常有下降的情況發生。

影響建築物耐震能力的因素很多，但就施工的觀點來看，以耐震細部最為關鍵。結構之耐震細部影響構材之延展性進而影響結構之耐震能力，尤其是SRC結構內含鋼骨及鋼筋，使得配筋及澆置混凝土之施工困難度更高，不僅設計者須對SRC結構之細部有深入之瞭解，施工品質之確保亦為重要關鍵，因此為確保結構物之耐震能力。

由於填充型鋼箱型柱不但可以降低結構材料的使用量，也可以提升材料回收再利用的效率，是有助於降低環境衝擊的方法，是適合在國內研發、推廣的構材型式，且未來若需拆除時，比鋼筋混凝土構件更容易回收再利用，因此使用填充型鋼箱

型柱相當具有經濟上及環保上的優勢，目前國內常用的鋼箱型柱，是使用 4 片鋼板於角落使用全滲透開槽銲接接合而成，如圖 1-1 所示。

國內鋼結構高樓在主要結構構架之外圍常有擴大範圍超挖的情形，很多設計案例在主要結構構架之外圍，考量梁、柱與外周連續壁相接之施工性、經濟性與耐久性等考量因素，常會在超挖範圍，採用鋼筋混凝土梁與主要鋼結構構架或鋼骨鋼筋混凝土構架之鋼箱型柱相接的情形，如圖 1-2 所示。

依據現行「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2]第 8.7 節(構材斷面之轉換續接)鋼骨鋼筋混凝土結構接頭設計或轉接設計之基本原則，當設計鋼骨鋼筋混凝土柱與鋼筋混凝土梁相接時，為使應力傳遞平順，應使鋼筋混凝土梁之應力先傳遞至鋼骨鋼筋混凝土梁上，再由鋼骨鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱相接合。

此類梁柱接頭係參考日本建築學會出版的鋼骨鋼筋混凝土構造配筋指針[3]，除日本及臺灣外，在世界其他地區的應用並不廣泛，因此相關的研究文獻較為少見。目前在臺灣，此類梁柱接頭還是很常見到，同時國內業界常用的改良做法是將 RC 梁之主筋續接器，直接銲在 SRC 之鋼柱上。

目前鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接主要採用 2 種型式，包含前述「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2]第 8.7 節建議之托梁型式，並改良為鋼筋混凝土梁主筋經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁續接，以及鋼筋混凝土梁主筋藉由鋼筋續接器與鋼骨鋼筋混凝土柱續接的型式，業界對於這 2 種型式設計之正確性尚有疑慮，莫衷一是，影響 SRC 建築梁柱接頭之耐震安全性，因此有必要進行研究，以提升國內 SRC 建築整體耐震能力。

第二節 研究方法及進度說明

本計畫之工作內容包括相關文獻之回顧與蒐集、並進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體及試驗程序規劃，以及舉辦期中與期末簡報會議，邀請國內專家學者與相關業界人士與會，以進行意見交流。並視實際需求於下一年度進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之試驗，以驗證其耐震安全性。

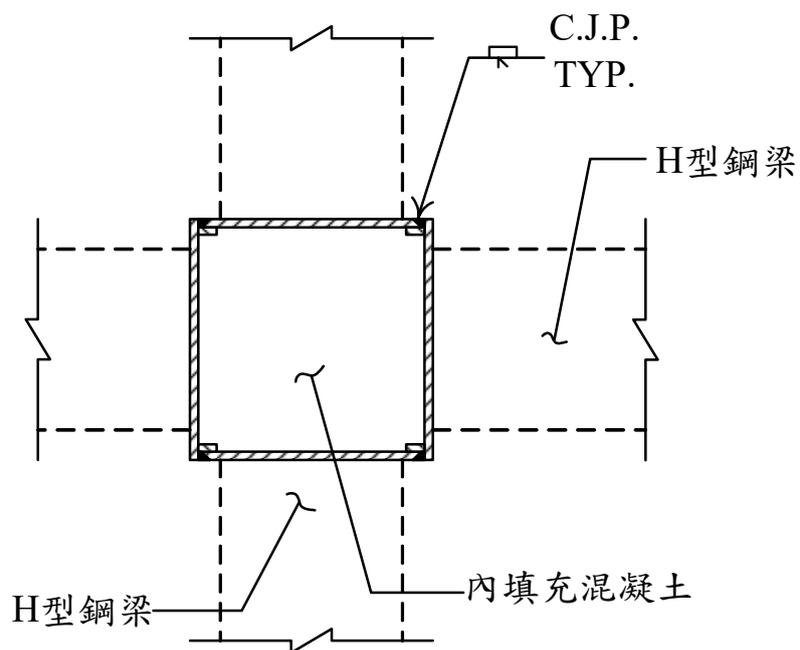


圖 1-1 填充型鋼箱型柱斷面圖

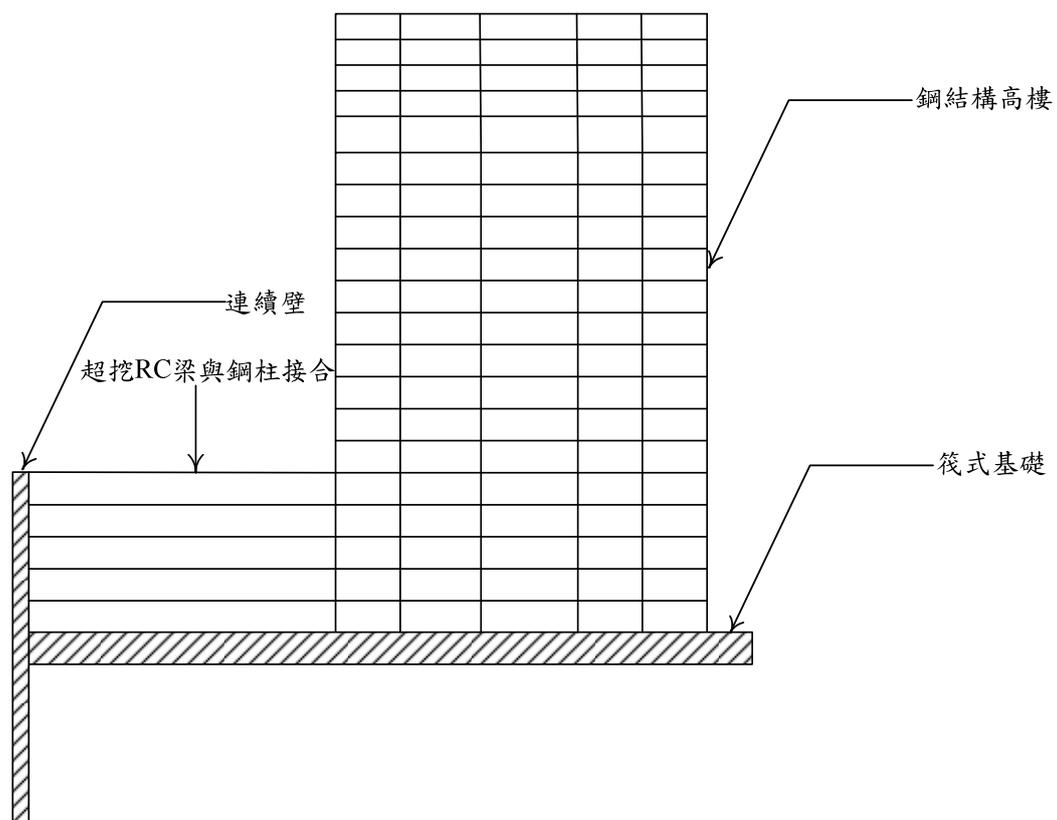


圖 1-2 鋼結構高樓地面層超挖示意圖

第二章 文獻回顧

現行「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2]第 8.7 節(構材斷面之轉換續接)，有關鋼骨鋼筋混凝土梁轉換成鋼筋混凝土梁之規定如下所述：

第 8.7 節(構材斷面之轉換續接)：

1.鋼骨鋼筋混凝土梁轉換成鋼筋混凝土梁，或鋼骨鋼筋混凝土柱轉換成鋼筋混凝土柱時，應檢討以下各事項：

(1)轉換處儘可能位於該構材反曲點附近彎矩較小的位置。

(2)轉換處應配置適當的剪力釘與箍筋，使鋼筋混凝土與鋼骨間能有效傳遞應力。

(3)轉換處之鋼筋混凝土部份之彎矩強度應大於該處需求彎矩之 1.1 倍，若有不足則應於轉換處加設補強鋼筋，並以該處彎矩之 1.1 倍設計補強筋量。

2.當設計鋼骨鋼筋混凝土柱與鋼筋混凝土梁相接時，為使應力傳遞平順，應使鋼筋混凝土梁之應力先傳遞至鋼骨鋼筋混凝土梁上，再由鋼骨鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱相接合。

第 8.7 節(構材斷面之轉換續接)之解說：

為了使 SRC 構材的應力能順利傳遞至 RC 構材上，在轉換處 SRC 構材之鋼骨可以配置適當的剪力釘，轉換處之 RC 部份亦可加配補強箍筋與長向補強筋。

有關轉換處之補強，依文獻[3]之建議，若轉換處之彎矩為梁端 RC 部份彎矩之 1/1.1 倍以上時，則於轉換處須加設補強筋。補強筋之計算方式為依 1.1 倍轉換處之彎矩計算必要之主筋量，扣除原設計主筋量後即為補強筋量。補強筋之錨定方法與續接相同，可不須延伸至梁柱接頭內。

為使應力傳遞平順，若設計上需要有 SRC 柱與 RC 梁相接時，應採用「漸進方式」來進行構材斷面之轉換續接，即先以 SRC 柱接一段 SRC 梁，再將 SRC 梁轉換為 RC 梁，如圖 2-1 所示。

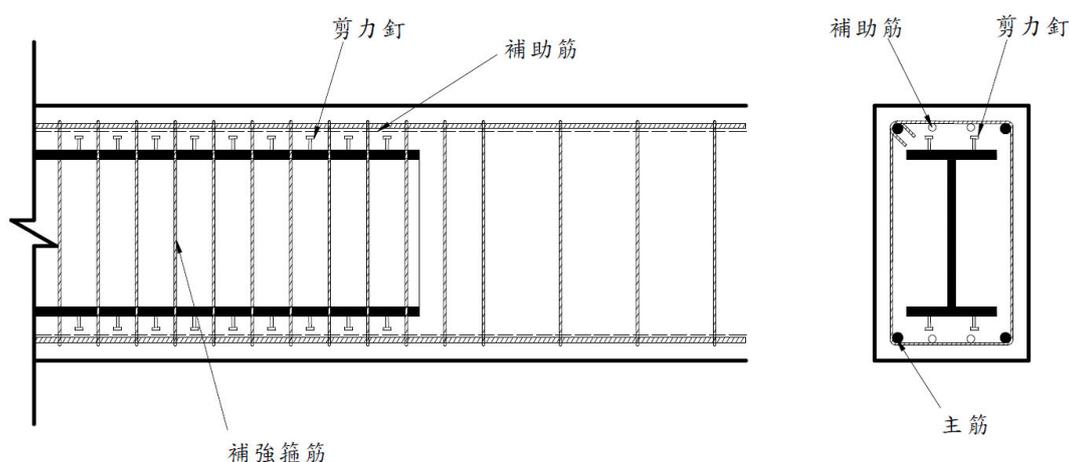


圖 2-1 SRC 梁與 RC 梁之斷面轉換示意圖[文獻 2]

檢討前述現行「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2]第 8.7 節之條文及解說，有關鋼骨鋼筋混凝土梁轉換成鋼筋混凝土梁之規定，似有不合理之處，如建議轉換處儘可能位於該構材反曲點附近彎矩較小的位置，建築梁構材在承受地震力的作用下，構材反曲點附近彎矩較小的位置應位於梁構材的中心，也就是說，若採用規範建議的設計原則，鋼骨托梁的長度應延伸至梁構材中心的附近位置，並非如國內業界習用使用一小段鋼骨托梁的作法。此外，依據圖 2.1 於鋼骨托梁配置剪力釘的作法，其彎矩傳力模式為由鋼骨翼板表面之剪力釘承受，國內業界亦有爭議，尚待釐清。

由於此類梁柱接頭係參考日本建築學會出版的鋼骨鋼筋混凝土構造配筋指針[3]，除日本及臺灣外，在世界其他地區的應用並不廣泛，因此國際上相關的文獻較為少見，本章僅就國內相關的文獻進行蒐集彙整。

此外，現行「鋼骨鋼筋混凝土設計規範與解說」第 8.5.1.1 節訂有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之規定，如圖 2-2 所示。另第 4.2.3.3 節訂有鋼骨鋼筋混凝土柱之鋼骨斷面之腹板，於必要時得設置鋼筋貫穿孔之規定。以上 2 項規定適用於在 H 型鋼骨斷面柱，或由 H 型鋼所組成之十字型鋼骨斷面柱，亦有類似傳力路徑完整性之疑義，可做為規劃後續研究課題之參考。

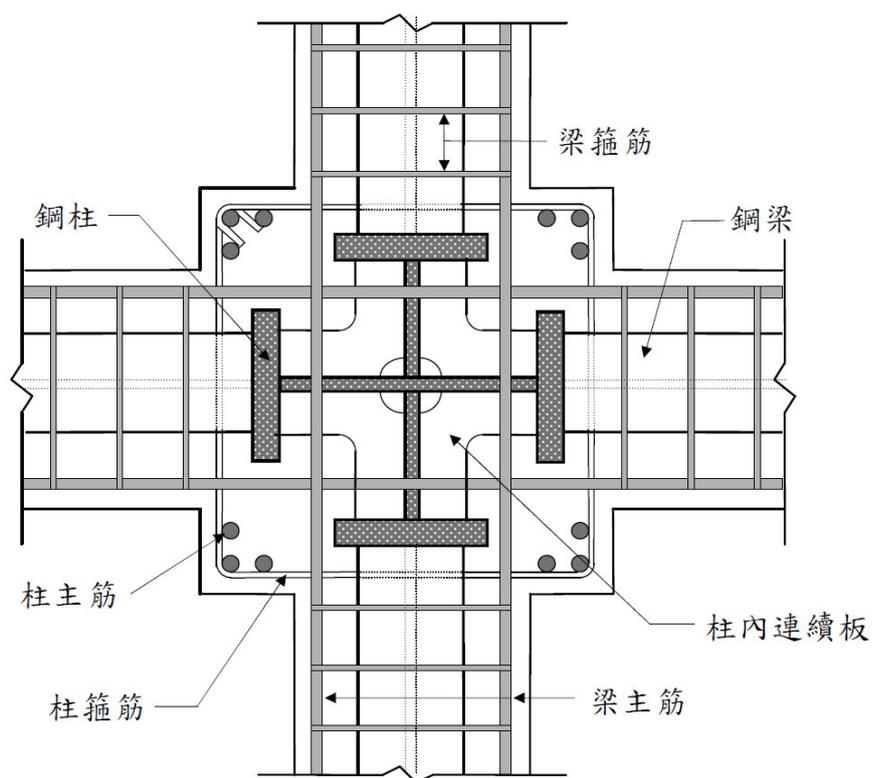


圖 2-2 包覆型 SRC 梁柱接頭之接合細部示意圖[文獻 2]

第一節 國內相關文獻蒐集

目前國內鋼筋混凝土梁主筋與鋼骨鋼筋混凝土柱續接主要有以下 2 種型式[4]:

1.鋼筋混凝土梁主筋經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁續接：填充箱型柱上使用一小段鋼骨托梁與 RC 梁主筋續接。鋼骨托梁主要用來與梁主筋進行續接，並將梁的剪力與彎矩傳遞接入柱。RC 梁主筋可以續接器與鋼骨托梁翼板疊接方式續接，當梁主筋需作雙層配置時，可於翼板之上、下面對稱配置，惟應注意第 2 層鋼筋之位置是否具有足夠的銲接施工空間，且內側層鋼筋應以配置於翼板內側外緣，並以 2 支為限。RC 梁之剪力則另需於鋼骨托梁腹板或鋼柱面上，植銲剪力釘傳遞剪力。此種接頭型式中，箱型柱內在梁鋼骨上、下翼板處僅需各設置一塊橫隔板即可，鋼筋與鋼骨翼板所需距離可以縮小，在相同的梁全深下可以使用較深之鋼骨梁斷面，如此一方面可以提升鋼骨梁斷面抗彎矩的有效深度，另一方面可以減少鋼筋的使用量，如圖 2-3 所示。

2.梁主筋以續接器銲於鋼骨柱面：梁主鋼筋可經由鋼筋續接器，銲接於柱翼板上之方式續接。這種型式的接頭，箱型柱內在鋼筋與鋼骨翼板的接合位置，皆須設置橫隔板，每個接頭需設置 4 塊橫隔板。考慮施工空間之需求，橫隔板間之淨距離需要 100 至 150 mm(以 150 mm 為佳)，因此鋼骨的深度常受到限制，而無法有效發揮其強度。改善此現象的可能辦法，是將鋼筋與鋼骨翼板配置在相同的高度，此種型式的梁斷面需要較大的寬度，但是可減少橫隔板的數量，也可以提升鋼材發揮彎矩強度的效率，如圖 2-4 所示。

由前述陳正平研究[4]發現，目前國內常見 2 種型式的接頭，並不與現行「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2]第 8.7 節的建議型式相符。其中第 1 型式雖然配置鋼骨托梁，但是卻以鋼筋混凝土梁主筋經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁續接，則 2 種型式的接頭之梁主筋的力量，皆可藉由續接器傳遞至梁柱接頭，應力傳遞應無太大的問題。



圖 2-3 RC 梁與鋼骨托梁之接合型式[文獻 4]

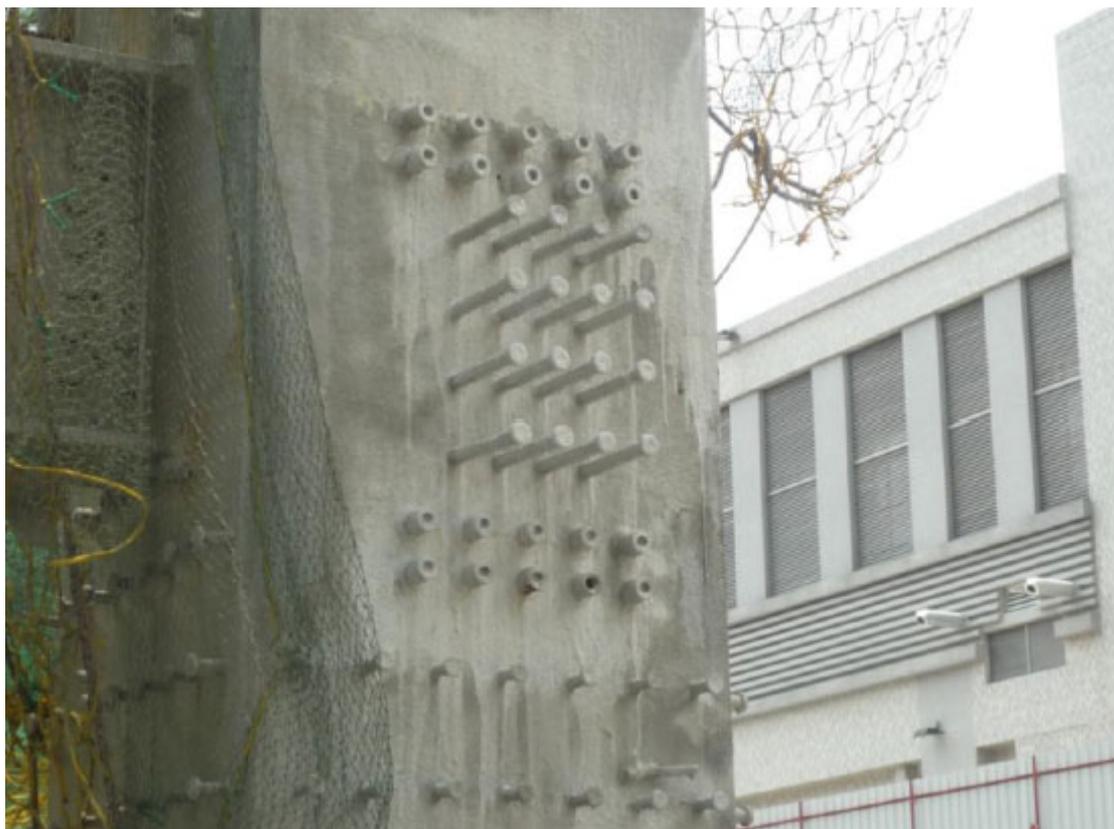


圖 2-4 RC 梁主筋以續接器銲接與鋼柱接合[文獻 4]

前述 2 種形式的第 1 型式與現行「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2] 第 8.7 節規定形式類似，但鋼筋混凝土梁主筋是經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁續接，而非如圖 2-1 所示，藉由鋼骨托梁翼板表面之剪力釘傳遞至鋼骨托梁。依陳正平[5]之研究，現行規範規定疑有不當之處，建議採用第 2 型式。其立論在於 RC 梁銜接入 SRC 柱或鋼柱，力量是由較低強度材質之 RC 構材，接入較高強度材質之鋼構材的接頭，因 RC 構材之強度較低，直接接入 SRC 柱或鋼柱，其力量可平順傳遞進入 SRC 柱或鋼柱，並無需要採用「漸進方式」，先以 SRC 柱接一段 SRC 梁，再將 SRC 梁轉換為 RC 梁。其接合界面並無力量傳遞路徑產生弱面之疑慮，惟鋼柱內側在鋼筋續接器銲接高度須有橫隔板，且柱面須配置剪力釘傳遞 RC 梁之剪力。

此外鋼骨托梁在構材斷面之內心部，而鋼筋配置於外周。鋼筋之拉力是透過鋼骨托梁翼板上之剪力釘轉給鋼骨托梁翼板，因鋼骨托梁翼板上之剪力釘承受剪力時會有滑移產生，而依鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範，第 8.7 節解說：「補強筋之錨定方法與續接相同，可不須延伸至梁柱接頭內」。因此除了位於 SRC 梁外周之鋼筋原

本就會有較大的變形外，另會因鋼骨托梁翼板上之剪力釘承受剪力時會有滑移現象產生之變形，再因鋼筋端部「可不須延伸至梁柱接頭內」，導致所有的變形裂縫會集中在鋼筋端部與鋼柱柱面間處，而致有耐久性疑慮。剪力釘滑移現象參考「鋼柱埋入混凝土柱墩之剪力連接物設計」[6]，由其試驗結果所得之對應於極限強度處之滑移量約有 5 mm。

依陳正誠[6]之研究，鋼骨托梁轉換續接之傳力模式，並非如圖 2-5 所示全由鋼骨托梁翼板表面之剪力釘承受。鋼柱插入混凝土柱墩之試驗顯示，轉換續接段會產生高剪力，其力學平衡模式主要大部分是由鋼柱(托梁)二端之混凝土承壓模式及托梁二端密集配置之剪力釘抵抗，而由圖 2-5 所示之翼板上縱向配置之剪力釘承受之部分僅為小部分。鋼骨托梁之轉換續接段會產生很大的橫向剪力力偶，且此剪力須於鋼柱(托梁)二端處之 RC 梁內配置密集之箍筋承受，且對應 RC 梁密集箍筋處之鋼梁上，除由鋼梁翼腹轉角處提供錨定及混凝土承壓之貢獻外，尚須密集配置適量之剪力釘來確保可轉接剪力至鋼拱頭內，如圖 2-6 所示。圖 2-5 所示之傳力模式內涵及規範解說之內容未能滿足前述傳力連結之需求及設計要點。結構設計者若依其建議之模式施作，將首先會在托梁二端產生剪力破壞，發生工程災害是遲早的事。另外，1995 年 1 月 17 日發生於日本阪神之直下型地震中，發生多起下部為 SRC 結構與上部為 RC 結構之轉接層，整層柱壓垮之破壞模式，推測即為轉接層柱之下半柱拱頭處因勁度突變而致在直下型地震中，發生中間層柱整層柱壓垮之破壞模式。

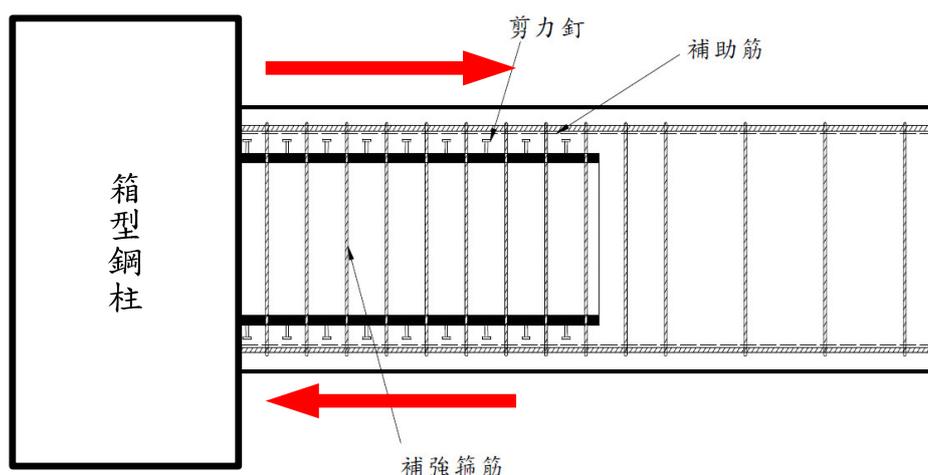


圖 2-5 SRC 梁與 RC 梁縱向力偶傳遞圖

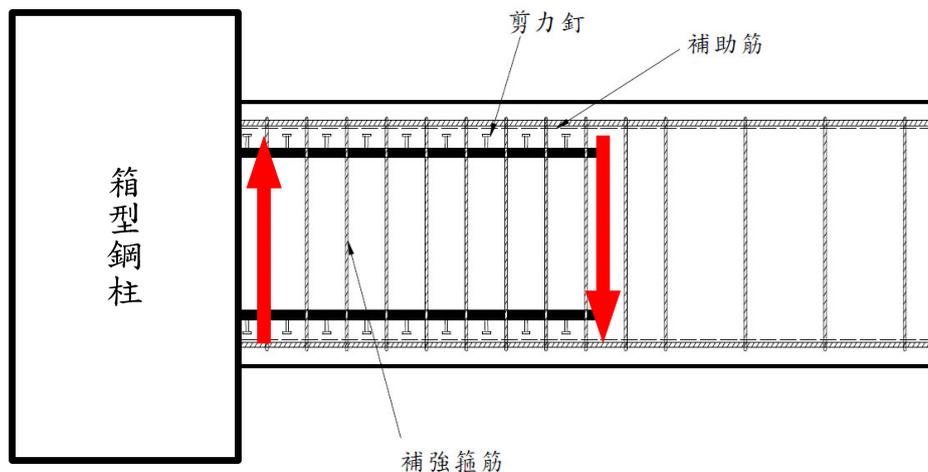


圖 2-6 SRC 梁與 RC 梁橫向力偶傳遞圖

然而依陳純森[7]之研究，其論點為鋼骨鋼筋混凝土之梁柱接頭，國內業界常用 RC 梁之主筋續接器，直接銲在 SRC 之鋼柱上，其實並不符合建築技術規則與 SRC 規範之規定，如欲符合規範之設計，日本建築學會務實之設計細則與指針，是頗值得參考的，如圖 2-7 所示。

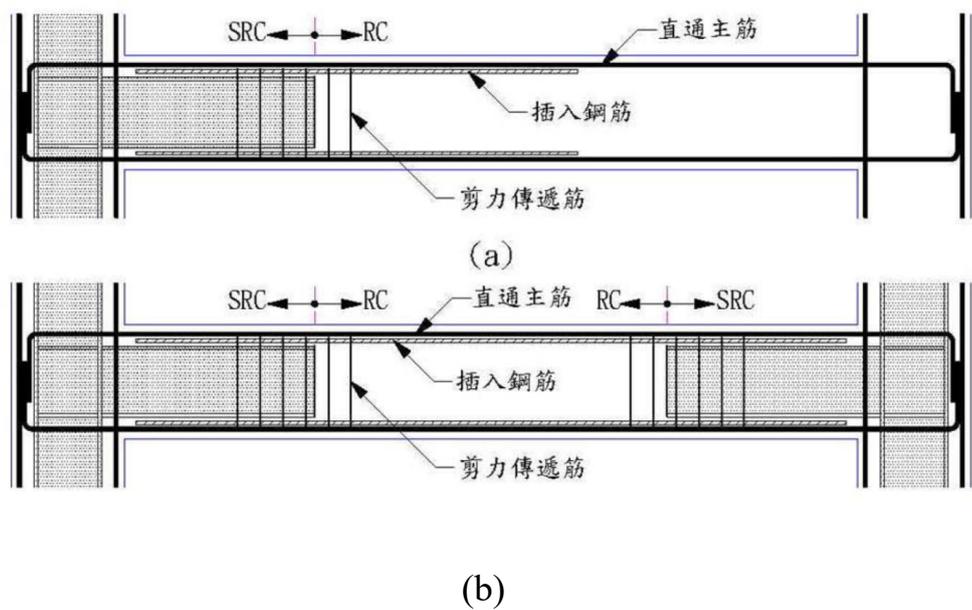


圖 2-7 轉換段之插入鋼筋與剪力傳遞筋[文獻 7]

第二節 小結

由前 1 節國內相關文獻之蒐集及分析可知，目前國內鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接主要採用 2 種型式，包含「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節建議之托梁型式，並改良為鋼筋混凝土梁主筋經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁續接，以及鋼筋混凝土梁主筋藉由鋼筋續接器與鋼骨鋼筋混凝土柱續接的型式，業界對於這 2 種型式設計之正確性尚有疑慮，莫衷一是，影響 SRC 建築梁柱接頭之耐震安全性。

本研究擬針對鋼筋混凝土梁主筋與鋼骨鋼筋混凝土柱續接疑義之處，進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體及試驗程序規劃，並視實際需求於下一年度進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之試驗，以驗證其耐震安全性。

第三章 大尺寸梁柱續接試體及試驗程序規劃

第一節 大尺寸梁柱續接試體之規劃設計

由第二章蒐集之國內相關文獻得知，目前國內建築業界確實常見鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接的情形，同時有 2 種常見的續接型式，而業界對於這 2 種型式的耐震性能仍存有疑義。又根據陳正平研究[5]，依現行「混凝土工程設計規範與解說」[8]第 15.4.2.3 節規定：「受撓鋼筋之搭接，必須於搭接範圍配置閉合箍筋或螺箍，此橫向鋼筋之最大間距不得大於 $d/4$ 或 10 cm。搭接不得用於：(1)構材接頭內；(2)距接頭交接面 2 倍構材深度以內範圍，及(3)分析顯示由構架非彈性側向變位所引起撓曲降伏之位置。」，而鋼骨托梁所在位置常在距接頭交接面 2 倍構材深度以內範圍，並不符合現行混凝土規範之條文。

考量國內建築業界常見之鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱 2 種常見的續接型式，梁主筋經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁或直接與鋼柱續接，力學傳遞應無太大的問題。本研究擬針對現行「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2]第 8.7 節規定之鋼骨托梁型式，且鋼筋混凝土梁鋼筋沒有延伸至梁柱接頭內力學傳遞不佳的情形，規劃大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體，並視實際需求於下一年度進行試驗，以驗證其耐震安全性。

考量本所材料實驗中心大型力學實驗室場地及設備的規格，鋼筋混凝土梁的跨度設定為 8 m，試體梁長度設定為 4 m(假設梁構材中心為反曲點)，鋼骨托梁長度設定為 1560 mm。此外鋼筋混凝土梁的尺寸：450×600 mm；鋼骨托梁尺寸：H 450×250×16×36 (mm)，如圖 3-1 所示。材料強度為 $f'_c = 28$ MPa； $f_y = 420$ MPa； $f_{yt} = 420$ MPa； $F_y = 350$ MPa。

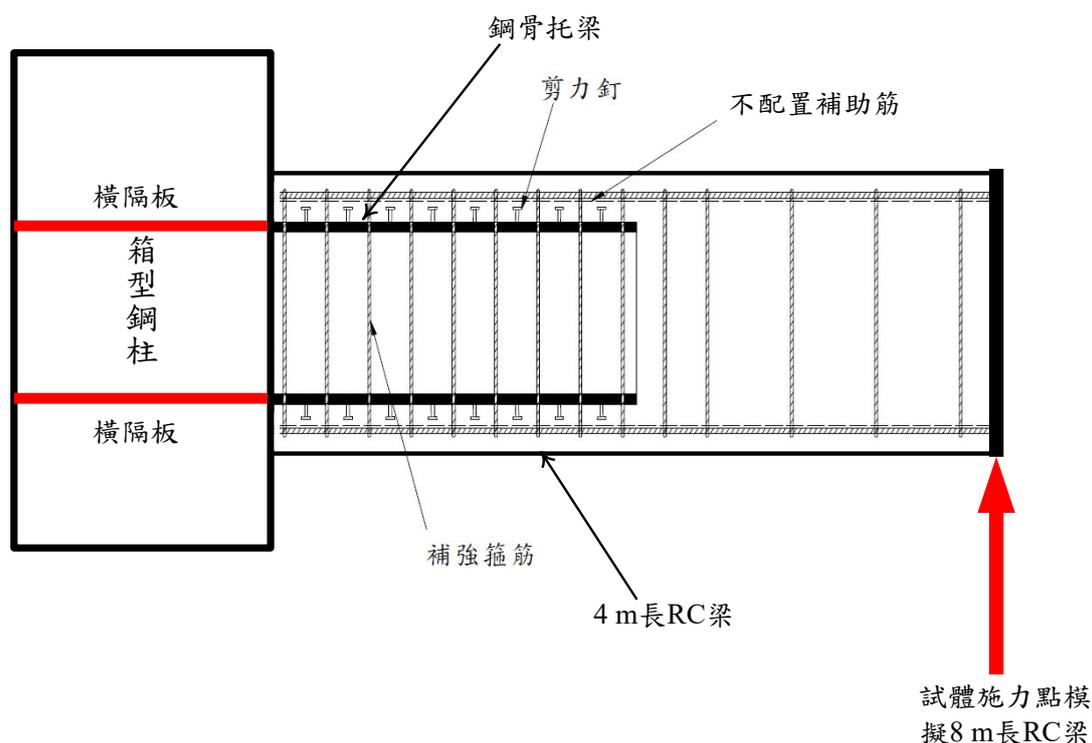


圖 3-1 RC 梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體示意圖

依據 ACI 318M-11[9]式 12-1，鋼筋受拉伸展長度如下式：

$$\ell_d = \left(\frac{f_y}{1.1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b$$

其中

f_y = 鋼筋規定降伏強度

f'_c = 混凝土規定抗壓強度

$\psi_t = 1.3$ 鋼筋位置修正因數(對於水平鋼筋其下混凝土澆置厚度大於 300 mm 者)

$\psi_e = 1.0$ 鋼筋塗布修正因數(對於未塗布鋼筋)

$\psi_s = 1.0$ 鋼筋尺寸修正因數(對於 D22 或較大之鋼筋)

$\lambda = 1.0$ 混凝土單位重之修正因數(對於常重混凝土)

c_b = 鋼筋中心至最近混凝土表面之距離及待伸展鋼筋中心間距之半之較小者

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn} \quad \text{橫向鋼筋指標}$$

d_b = 鋼筋之標稱直徑

$$\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \leq 2.5$$

A_{tr} = 在 s 距離內且垂直於待伸展或續接鋼筋之握裹劈裂面橫向鋼筋總面積

n = 在握裹劈裂面上待伸展或續接鋼筋根數

另依據 ACI 318M-11 第 12.3.2 節，鋼筋壓力伸展長度如下式：

$$\ell_{dc} = \frac{0.24f_y}{\lambda\sqrt{f'_c}}d_b$$

$$\ell_{dc} = (0.043f_y)d_b$$

本研究試體若採用 SD420W D32(#10)梁主筋之拉力伸展長度為

$$\ell_d = \left(\frac{420}{1.1 \times 1.0 \times \sqrt{28}} \frac{1.3 \times 1.0 \times 1.0}{2.5} \right) \times 32 = 1201 \text{ mm}$$

此外 SD420W D32(#10)梁主筋之壓力伸展長度為

$$\ell_{dc} = \frac{0.24 \times 420}{1.0 \times \sqrt{28}} \times 32 = 610 \text{ mm (Control)}$$

$$\ell_{dc} = 0.043 \times 420 \times 32 = 578 \text{ mm}$$

本研究 RC 梁主筋採用 B 級搭接長度 $1.3\ell_d = 1.3 \times 1201 = 1561 \text{ mm}$ ，因此鋼骨托梁長度採用 1560 mm，符合規範之規定。

有關鋼筋混凝土梁的剪力設計相關規定，說明如下：

混凝土之剪力計算強度，依據 ACI 318M-11[9]式 11-3 計算：

$$V_c = 0.17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd$$

其中

b_w = 梁腹寬度

d = 構材最外受壓纖維至縱向受拉鋼筋斷面重心之距離

剪力鋼筋之剪力計算強度，依據 ACI 318M-11[9]式 11-15 計算：

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$$

其中

A_v = 剪力鋼筋於 s 距離內之面積

f_{yt} = 橫向鋼筋之規定降伏強度

s = 橫向鋼筋之中心距

依據 ACI 318M-11[9]第 11.4.5.1 節，剪力鋼筋之配置垂直於構材軸向者，其間距在非預力混凝土中不得超過 $d/2$ ，依據 ACI 318M-11[9]第 11.4.5.3 節，若 $V_s \geq 0.33\sqrt{f'_c}b_w d$ ，其間距在非預力混凝土中不得超過 $d/4$ 。依據 ACI 318M-11[9]第 11.4.6.3 節，若 $V_u = 0.5\phi V_c$ ，構材最少剪力鋼筋量如下式：

$$A_{v,\min} = 0.062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}$$

有關鋼梁的彎矩及剪力設計相關規定，說明如下：

依據 ANSI/AISC 360-10[10]式 F2-1，鋼骨斷面標稱撓曲強度如下式：

$$M_n = M_p = F_y Z_x$$

其中

F_y = 標稱降伏強度

Z_x = 斷面之塑性模數

另依據 ANSI/AISC 360-10[10]式 G2-1，鋼骨斷面標稱剪力強度如下式：

$$V_n = 0.6F_y A_w C_v$$

其中

A_w = 腹板面積

$C_v = 1.0$ 若 $h/t_w \leq 2.24\sqrt{E/F_y}$

h = 於熱軋型鋼為兩翼板間扣除二倍角隅半徑後之淨距；於銲接組合斷面為翼板間淨距

t_w = 腹板厚度

$E =$ 鋼之彈性模數

此外依據鋼結構設計手冊[11]第 5-100 頁

$$f'_c = 28 \text{ MPa} ; \phi = 16 \text{ mm} ; Q_n = 8.3 \text{ tf}$$

若上下梁主筋各 5 支時，

$$n = \frac{5 \times 8.143 \times 4200}{8.3 \times 1000} = 20.6, \text{ 鋼骨托梁上下翼板採用 21 支剪力釘。}$$

依據雙鋼筋矩形梁斷面分析應力分析，RC 梁斷面之極限彎矩強度為 857.55 MN-mm，如圖 3-2 所示。另依陳正誠[6]之有關鋼柱埋入墩柱之剪力釘設計之研究，根據現有慣用設計方法與結構細部，剪力釘無法充分發揮其強度，且強度發揮的程度也尚難以估計，因此當鋼骨柱不承受拉力時，鋼骨埋入 RC 墩柱的設計以不考慮剪力釘的貢獻為宜。此外根據 Pertold 的建議，鋼骨柱與 RC 墩柱間之承壓力分佈如圖 3-3 所示。承壓力以矩形應力塊估計之，承壓強度為 $0.67f'_c$ ，對鋼骨而言鋼骨埋入段上端的承壓力 F_t 由右向左，而下端的承壓力 F_b 則由左向右。承壓力的計算還需要知道鋼骨柱承壓有效寬度 b_{eff} ，如圖 3-4 所示。鋼骨柱的兩個翼板皆可傳遞承壓力，當力量由左向右時，右側翼板寬度全部有效，而左側翼板在鋼骨斷面深度較小時則只有部分寬度有效。有效寬度的計算根據式 3-1 及 3-2 決定之，而 F_t 及 F_b 即可由式 3-3 及 3-4 表示之。

$$b_{eff} = b + 2b_l \quad (\text{式 3-1})$$

$$b_{eff} = \min \left\{ \begin{array}{l} b + 0.5d \\ 2b - t_w \end{array} \right\} \quad (\text{式 3-2})$$

$$F_t = 0.67f'_c \times 0.8x \times b_{eff} \quad (\text{式 3-3})$$

$$F_b = 0.67f'_c \times 0.8(H - x) \times b_{eff} \quad (\text{式 3-4})$$

根據水平方向之力平衡條件 $\sum F_x = 0$ ，可以建立式 3-5，將式 3-3 及 3-4 代入式 3-5 並經整理後，可以得到標示中立軸位置之 x 的表示式如式 3-6。再根據力矩平衡條件，對 A 點(圖 3-3)取力矩並令其等於零(即 $\sum M_{@A} = 0$)，可以得到第 2 條平衡方程式如式 3-7，並經整理後可以得到鋼骨柱所需埋入深度 required H 之表示式如式 3-8。

$$V_{sd} - F_t + F_b = 0 \quad (\text{式 3-5})$$

$$x = \frac{0.93V_{sd} + 0.5Hb_{eff}f'_c}{b_{eff}f'_c} \quad (式 3-6)$$

$$M_{sd} + V_{sd}H + F_b \times 0.4(H - x) - F_t(H - 0.4x) = 0 \quad (式 3-7)$$

$$H_{required} = \frac{1.56V_{sd} + \sqrt{4.74V_{sd}^2 + 6.22M_{sd}f'_c b_{eff}}}{b_{eff}f'_c} \quad (式 3-8)$$

計得 $H_{required}$ 後即可根據平衡條件計算鋼骨柱埋入段之剪力分佈，鋼骨柱之最大剪力等於 F_b 。對 RC 墩柱而言，最大剪力等於 $V_{sd} + F_b$ 。除了剪力外，亦可以根據平衡條件計算鋼骨柱及 RC 墩柱之彎矩分佈。鋼骨柱最大彎矩發生在接近 V_{sd} 施加點(圖 3-3)，其值略高於 M_{sd} 。RC 墩柱最大彎矩發生在墩柱底部，其彎矩等於 $M_{sd} + V_{sd} \times H$ (圖 3-3)。有了鋼骨柱及 RC 墩柱的剪力及彎矩分佈，就可以據以進行設計或強度檢核。

當 H 加大，承壓力也會下降，假設承壓力仍呈矩形分佈，且承壓應力會下降，假設承壓應力為 $\alpha f'_c$ ，此時墩柱的受力情況如圖 3-5 所示。根據 $\sum F_x = 0$ 及 $\sum M_{@A} = 0$ 等兩個平衡條件，可以重新推導 H 的表示式如式 3-9。此時可以選取一個大於 $H_{required}$ 之 H ，並根據式 3-9 及試誤法求得 α 值，然後使用平衡條件求得鋼骨柱及 RC 墩柱所承受之內力。

$$H = \frac{1.042V_{sd} + \sqrt{2.127V_{sd}^2 + 4.167M_{sd}\alpha f'_c b_{eff}}}{b_{eff}\alpha f'_c} \quad (式 3-9)$$

前述計算流程稍嫌繁複，應用於鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接的情形，可採用近似計算法，亦即假設鋼骨托梁的應力呈線性分佈，且中性軸位於鋼骨托梁的，而 F_t 及 F_b 的作用點分別為距離鋼骨托梁邊緣 $H/6$ ，則 F_t 及 F_b 可由以下兩式求得，如圖 3-6 所示。

$$F_b = \frac{V_{sd}}{2H/3} \quad (式 3-10)$$

$$F_t = V_{sd} - F_b \quad (式 3-11)$$

若取 $H = 1560 \text{ mm}$

由式 3-10 及式 3-11 可求得

$$F_b = \frac{1299}{2 \times 1560 / 3} = 1.25 \text{ MN}$$

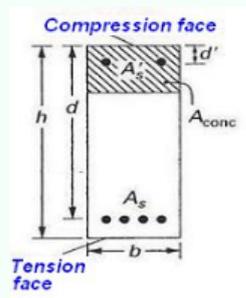
$$F_t = 0.3248 - 1.25 = -0.9252 \text{ MN (RC 梁之最大剪力)}$$

本研究規劃包括 A 及 B 共 2 座試體，其中 A 試體係依據「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2]第 8.7 節規定之鋼骨托梁型式，且鋼筋混凝土梁鋼筋沒有延伸至梁柱接頭，且 SRC 梁與 RC 梁以縱向力偶傳遞；B 試體則是假設 SRC 梁與 RC 梁以橫向力偶傳遞。試體包括鋼筋混凝土梁及基礎等 2 個部分。本研究試體設計彙整於表 3-1。

對於 A 試體，假設為縱向力偶傳遞機制，因此配置 21 支剪力釘，另以梁柱界面為設計目標斷面，鋼梁的彎矩強度 1299 MN-mm，則對應剪力需求 0.3248 MN，托梁界面對應彎矩 792.51 MN-mm，低於 RC 梁斷面之極限彎矩強度，故鋼骨托梁界面彎矩強度滿足要求，RC 梁斷面混凝土提供之剪力強度為 0.223 MN，若配置 #3@270 剪力鋼筋，則剪力鋼筋提供剪力強度為 0.121 MN，RC 斷面提供之總剪力強度為 0.344 MN，高於剪力需求 0.3248 MN，故滿足設計要求，因此 A 試體全長配置 #3@270 剪力鋼筋。A 試體細部圖，如圖 3-7 所示。

對於 B 試體，假設為橫向力偶傳遞機制，因此不配置剪力釘，亦以梁柱界面為設計目標斷面，不含鋼骨托梁部分之設計與 A 試體相同，另採用近似計算法，亦即假設 F_t 及 F_b 的作用點分別為距離鋼骨托梁邊緣 $H/6$ ，則 F_t 及 F_b 可由式 3-10 及由式 3-11 求得， $F_b = 1.25 \text{ MN}$ 及 $F_t = -0.9252 \text{ MN}$ 。含鋼骨托梁部分 RC 梁斷面混凝土提供之剪力強度為 0.223 MN，若配置 #4@80 剪力鋼筋，則剪力鋼筋提供剪力強度為 0.745 MN，RC 斷面提供之總剪力強度為 0.968 MN，高於剪力需求 0.9252 MN，故滿足設計要求，因此 B 試體含鋼骨托梁部分配置 #4@80 剪力鋼筋。另於鋼骨托梁兩端因應 $F_b = 1.25 \text{ MN}$ 及 $F_t = -0.9252 \text{ MN}$ 之集中剪力，配置 2#4@80 剪力鋼筋。B 試體細部圖，如圖 3-8 所示。

Calculator for Strength of Reinforced Concrete beam with one layer of tension rebar (SI/Metric Units)



This calculator is useful for **doubly reinforced** rectangular concrete beam with one layer of tension re-bar. It uses SI/Metric system of units. You can also use it for **singly reinforced** section, just by entering compression rebar equal to zero.

Effective depth is measured from the top edge to the centroid of tension rebar. This calculator uses the concept of Whitney's stress block and measures the depth of stress block "a" from the top edge. The user of this calculator is advised to comply with [ACI guidelines for beam](#) thickness, rebar spacing and cover etc.

This calculator also determines the minimum area of tension rebar required for crack control and balanced steel area required for a balanced section. Please enter the values in the appropriate units (SI/Metric) mentioned in the form given below and start calculations. [Click here for beam with Two layers of tension rebar](#)

INPUT VALUES

Width of beam (mm):	450
Effective Depth of beam (mm):	550
Compr. Strength of Conc. f'_c (MPa):	28
Yield Stress of Tension Steel f_y (MPa):	420
No. of Rebar in Tension (nos.):	5
Dia of Rebar in Tension (mm):	32
Yield stress of Comp. steel f'_y (MPa):	420
No. of Rebar in Compr. (nos.):	5
Dia. of Rebar in Compr. (mm):	32
Cover of compr. steel (mm):	50

Please make sure that all the values are entered

OUTPUT RESULTS

Min. Area of Steel (sq mm)=	825
Balanced Area of Steel (sq mm)=	7012.5
Area of Tension Steel (sq mm)=	4021.239
Force of Tension steel: T (kN)=	1688.92
Beta 1(Whitney's coefficient)=	0.85
'a' (stress block depth) (mm)=	42.523
'X' (neutral axis depth) (mm)=	50.028
Area of Compr. steel (sq mm)=	4021.239
Strength of Compr. Steel: C_s (kN)=	1233.494
Strength of Concrete: C_c (kN)=	455.426
Strength of Compr.: C_c+C_s (kN)=	1688.92
Nominal Moment, M_n (kNm)=	857.548
Yield strain of steel =	0.0021
Strain in compr. steel =	2.0E-6
Strain in Tension steel =	0.029982

圖 3-2 RC 梁斷面極限彎矩強度計算結果

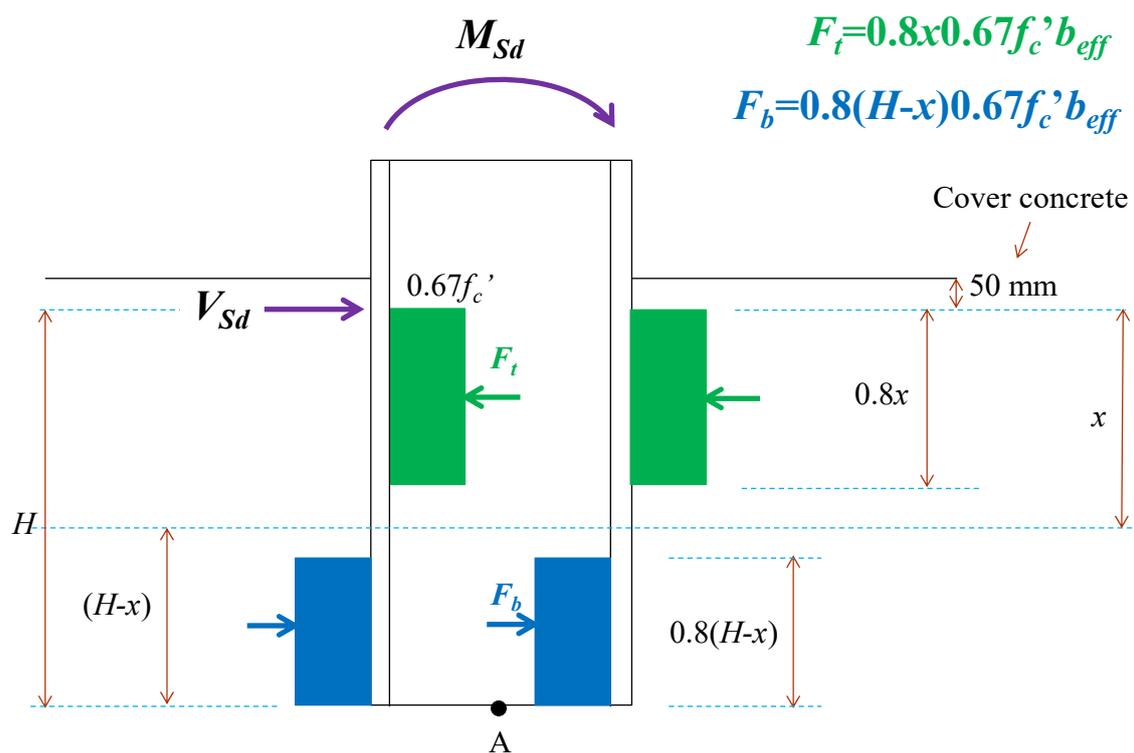


圖 3-3 鋼骨柱與 RC 墩柱間之承壓力分佈

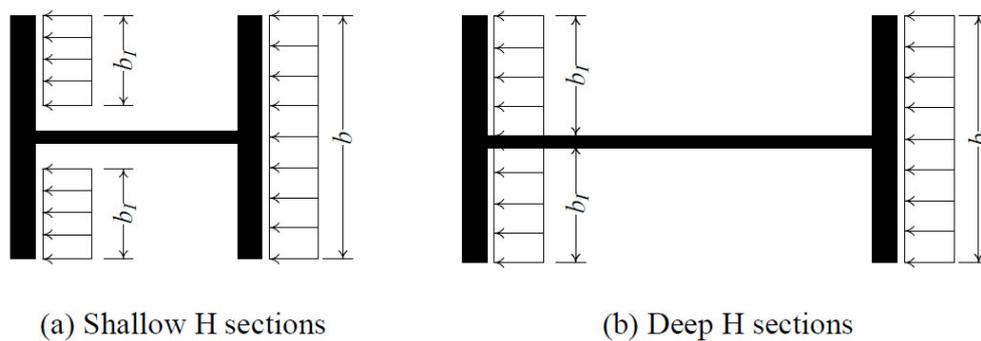


圖 3-4 鋼骨柱承壓有效寬度

- RC Pedestal
- α factor

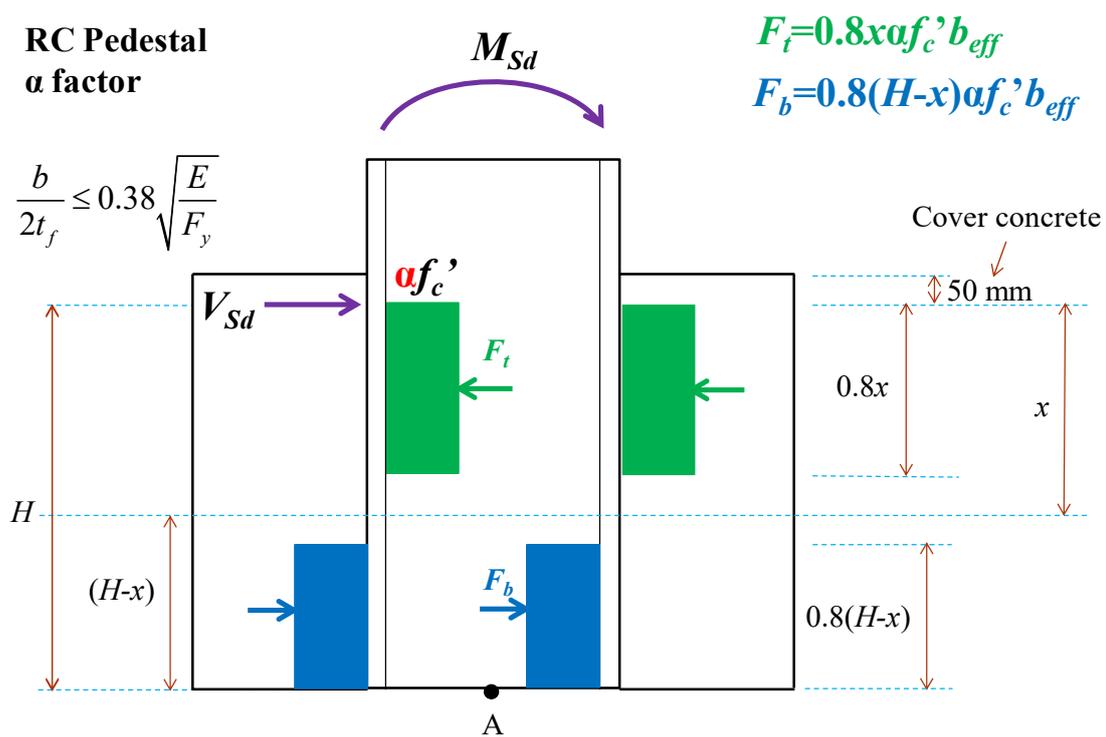


圖 3-5 調整埋入深度之鋼骨柱與 RC 墩柱承壓力分佈

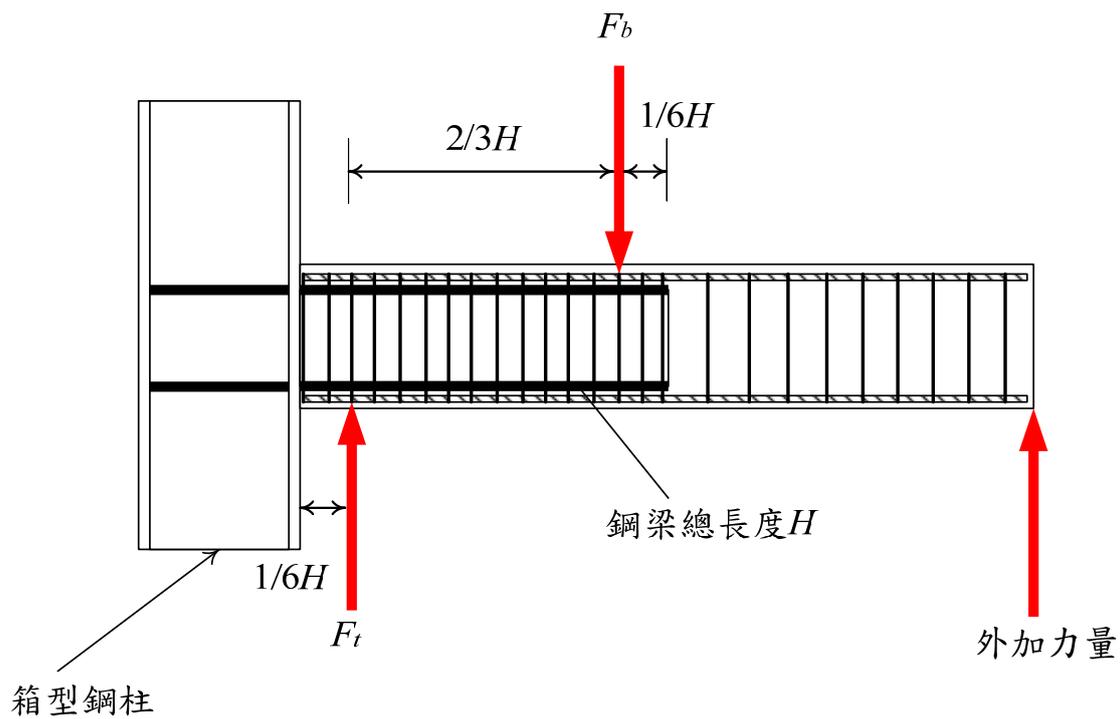


圖 3-6 SRC 梁與 RC 梁橫向力偶傳遞近似分佈圖

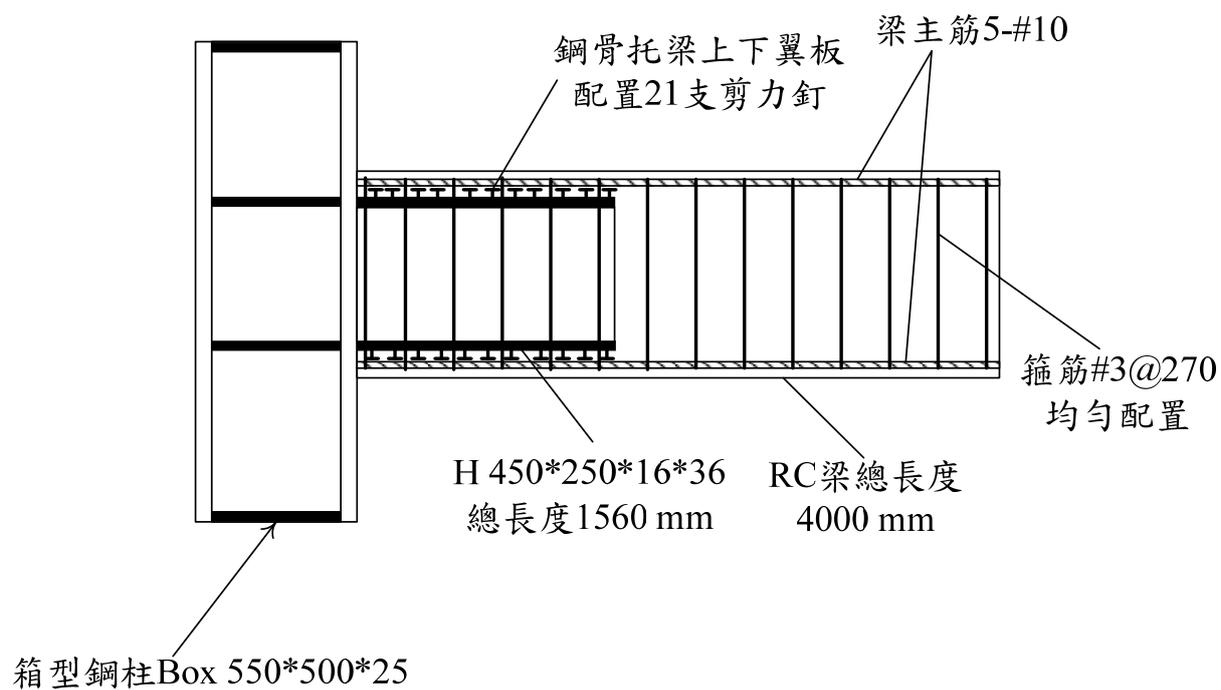


圖 3-7 A 試體細部圖

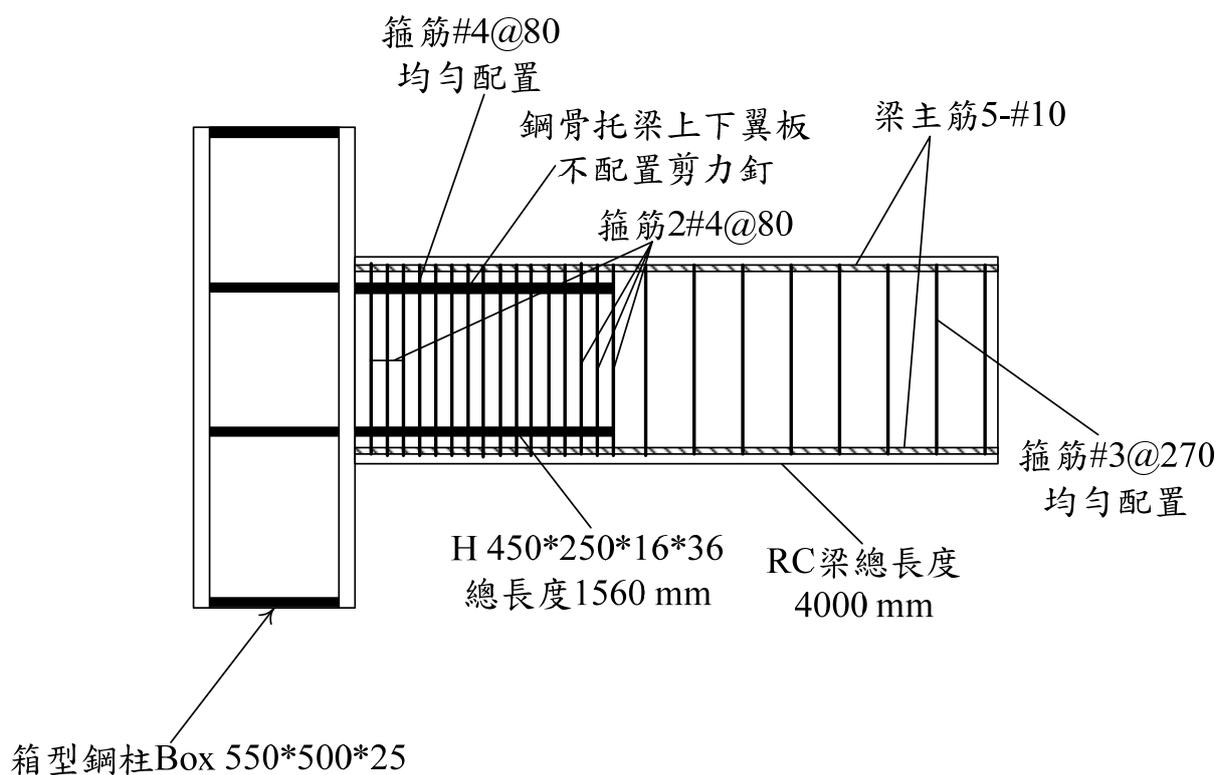


圖 3-8 B 試體細部圖

表3-1 試體規劃表

試體	RC 斷面	托梁斷面	托梁 長度 (mm)	剪力需求 (MN)	上下梁主 筋(#10) 根數	RC 斷面標稱 彎矩 (MN-mm)	托梁界面彎 矩(MN-mm)	混凝土 提供剪 力(MN)	剪力鋼筋提供 剪力(MN)	RC 斷面提供 剪力(MN)
A	450×600	H 450×250×16×36 (彎矩強度=1299 MN-mm ; $Z_x = 3710 \text{ cm}^3$) (剪力強度=1.344 MN)	1560	0.3248	5 (配置剪 力釘)	857.55	792.51(OK) Ratio=1.08	0.223	0.121(#3@270) 均勻配置	0.344(OK)
B	450×600	H 450×250×16×36 (彎矩強度=1299 MN-mm ; $Z_x = 3710 \text{ cm}^3$) (剪力強度=1.344 MN)	1560	0.3248 (-0.9252)	5 (無配置 剪力釘)	857.55	792.51(OK) Ratio=1.08	0.223	0.121(#3@270) 非托梁範圍 0.745(#4@80) 托梁範圍 1.49(2#4@80) 托梁兩端	0.344(OK) 0.968(OK) 1.713(OK)

第二節 試驗裝置與加載歷程

規劃試體包括鋼筋混凝土梁及基礎等 2 個部分，梁試體透過箱型鋼柱(Box 550×500×25)基礎，內灌 $f'_c = 28$ MPa 之混凝土，橫隔板及加勁板為 36 mm 厚度，以 50 mm 直徑之螺桿固定到強力地板，基礎之外觀及尺寸如圖 3-9 所示。所有試體鋼骨部分的銲接作業規劃皆在鋼構廠內完成，再將鋼骨送至大型力學實驗室進行鋼筋綁紮及混凝土澆置作業。所有試體之混凝土採用一階段澆置，同時澆置基礎柱及試體梁，其中基礎柱保持垂直方向，上方加勁板及梁柱接頭內 2 片橫隔板中心事先切割直徑 300 mm 圓孔供澆置混凝土用，待完成澆置混凝土後，再將直徑 300 mm 圓形鋼板蓋回上方加勁板，試體梁保持水平方向，以模擬工地實際澆置混凝土的情況。所有試體柱使用同一車預拌混凝土。試體所使用之鋼板，相同厚度者皆來自同一爐號，同號數鋼筋皆來自同一批。

試體載重試驗規劃於內政部建築研究所大型力學試驗室進行，試驗裝置如圖 3-10 所示。基礎柱以高強度螺桿鎖固至強力樓版，試體與反力牆間設置一台施加側向力之 200 噸油壓致動器。水平力由試驗機內建之荷重計量測，加載點之水平位移以編號 L1 之 LVDT 量測，另外設置 RG1~RG2 之角度計，監測試體及試驗機是否有過大之傾斜。此外，在鋼筋混凝土梁塗上一層白漆，並繪製間隔 100 mm 之格線，以紀錄裂縫發展之過程。

載重試驗開始時，以位移控制的方式施加側向位移，側向位移 Δ 由層間位移角 α 換算而得， Δ 等於 $\alpha \times L$ ，而側向位移加載歷程如圖 3-11 所示。

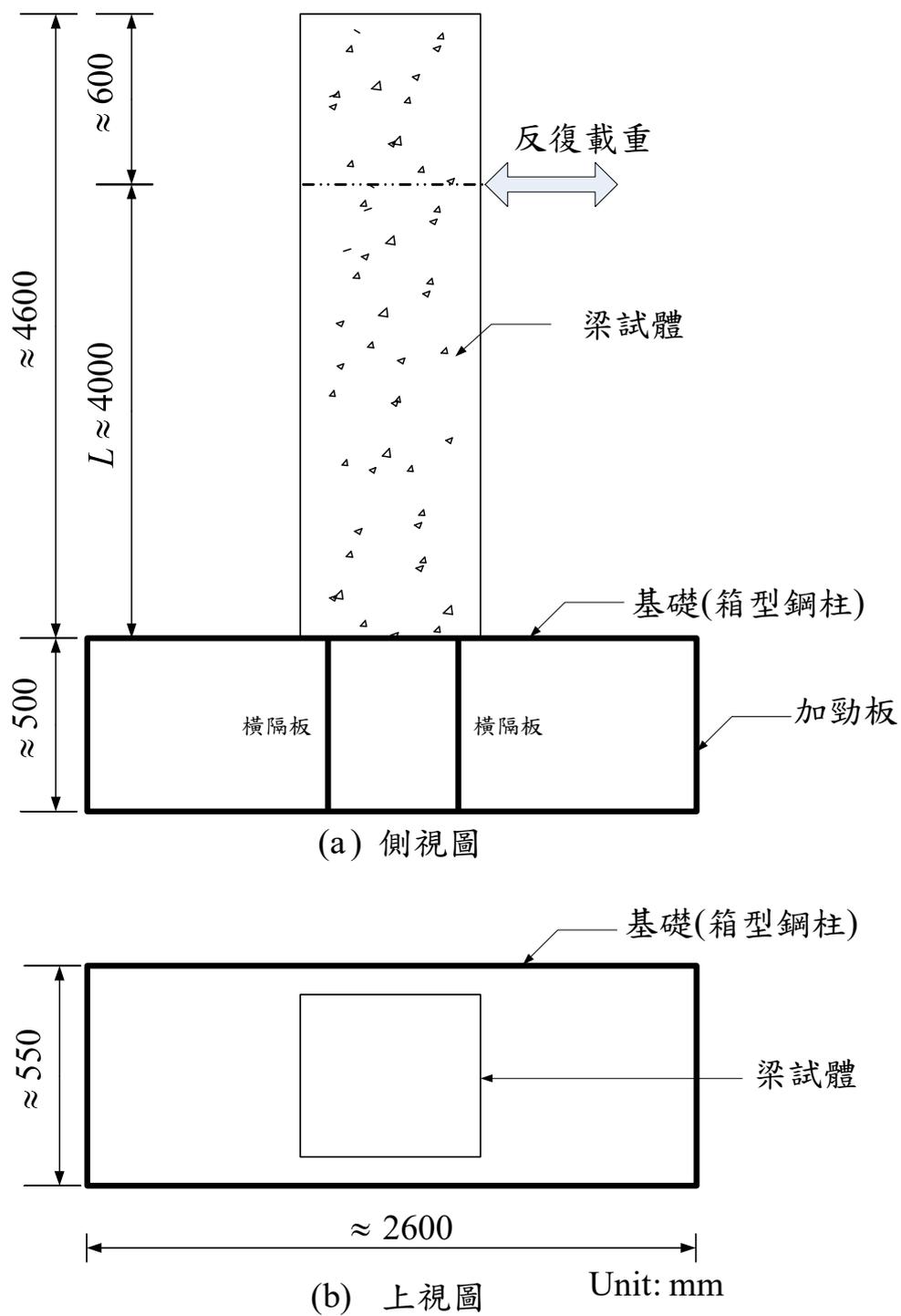
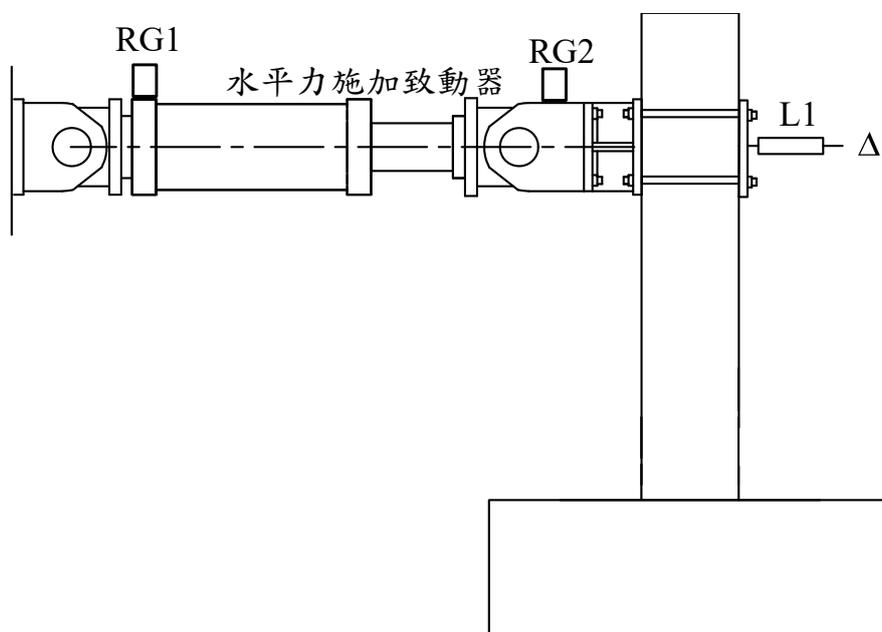


圖 3-9 大尺寸試體示意圖



NOTE  LVDT  Rotation gauge

圖 3-10 試驗裝置

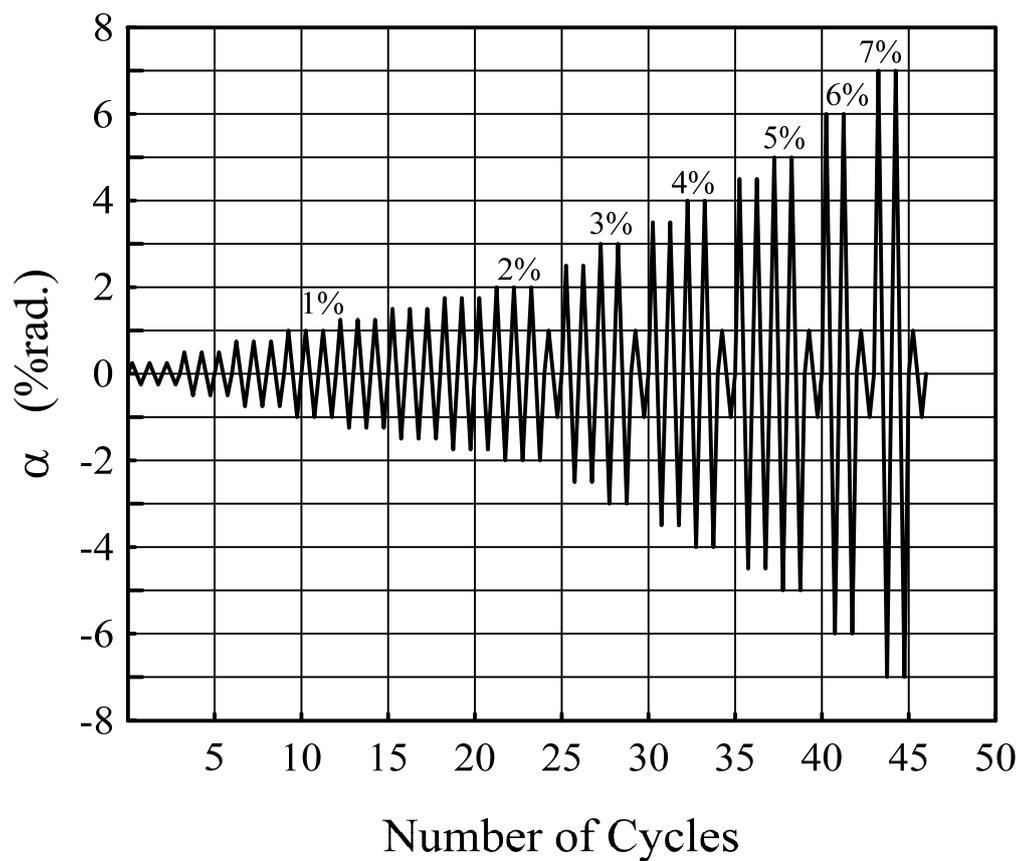


圖 3-11 側向位移加載歷程圖

第三節 試體製作品質管制計畫

為確保本研究試體製作之品質及精確度，試體製作一般注意事項規劃如下：

1. 試體鋼板之切割及鑽孔，應於工廠中進行。
2. 試體鋼板之銲接接合，應符合內政部「鋼構造建築物鋼結構施工規範」銲接施工之相關規定，不得有銲道厚度不足、下陷氣孔、或留有銲渣等瑕疵之現象。全滲透銲接接合之銲道，如鋼箱型柱的4片鋼板於角落使用全滲透開槽銲接、梁柱接頭內橫隔板及鋼骨托梁翼板銲接等，如圖 3-12 所示，均應通過超音波之檢測(須聯絡本所人員確認是否前往會驗)，尤其梁柱接頭內橫隔板之全滲透銲接超音波檢測要特別注意。
3. 梁柱接頭內橫隔板需適當開孔，以利澆置及填充混凝土，如圖 3-13 所示。
4. 試體之混凝土採用一階段澆置，同時澆置基礎柱及試體梁，其中基礎柱保持垂直方向，試體梁保持水平方向。試體於混凝土澆置後 7 天內，不得移動。
5. 所有製作完成之試體，應有足以識別試體編號之明顯標記。
6. 試體製作若有缺失，廠商應負責補強或重新製作。
7. 試體之材料試驗(例如金屬材料拉伸試驗及混凝土圓柱試體抗壓強度試驗)，應至具 TAF 認證之實驗室進行。
8. 混凝土工程施工前，試體底座區域應先行整平，且於底模鋪設前須由確認本所人員確認其水平度後，才能進行試體之施作。
9. 廠商於施工過程中，以及完工後須負責維護場地清潔。
10. 廠商須負責現場之安全衛生之設計及施工作業。
11. 試體適當位置需加設吊耳或螺栓孔，以利試體之移動與安裝，吊耳或螺栓孔之位置，應依本所人員要求施作。
12. 為便利於日後試體架設量測儀器，廠商應依本所人員要求，在試體適當位置銲接螺桿或鐵件。
13. 為便利日後試體架設油壓致動器，如有必要，廠商應依本所人員要求，在試

體適當位置預留凹槽。

14. 考量本所材料實驗中心實驗場地之排程及工項眾多，本案試體混凝土澆置前，廠商應至少提早 24 小時通知本所人員，確認本所可配合澆置作業。
15. 試體混凝土澆置時，廠商應以振動器進行內部及外部振實之工作，不得發生材料析離與泌水之情形。
16. 本所不提供混凝土圓柱試體製作用模具。
17. 混凝土圓柱試體拆模後，廠商應配合本所人員指示，對圓柱試體進行適當之處理。
18. 試體完成灌漿後，待試體進行試驗前，本所將另行通知承包廠商將所有試體垂直面塗上白色水泥漆或石膏，並完成畫線工作。
19. 廠商需於試驗完成後進行試體清運處理(依廢棄物清理相關法規規定辦理)。
20. 其他未盡事宜，除應遵照試體圖說、補充說明及契約書之規定外，依內政部「鋼構造建築物鋼結構施工規範」、「混凝土結構設計規範」及「結構混凝土施工規範」與建築土木工程施工慣例辦理。
21. 鋼材、鋼筋、結合鐵件及銲接材料要求：
 - (1) 厚度 16 mm、25 mm 及 36 mm 鋼板必須為 SN490B 鋼材或 A572 Gr.50 鋼材，需提供出廠證明。
 - (2) 厚度相同之箱型柱鋼板及其餘鋼板，需為同一片鋼板，鋼板切割前須通知本所人員以便瞭解製作進度。
 - (3) 按鋼板厚度(16 mm、25 mm 及 36 mm)之不同，需依 CNS 2112 製作厚度 16 mm、25 mm 及 36 mm 之金屬材料拉伸試驗試片，共計製作 18 片試片(每種厚度 6 片)，其中 9 片試片(不同厚度各 3 片)，應依 CNS 2111 進行金屬材料拉伸試驗，另 9 片試片(不同厚度各 3 片)於驗收同時，交本所收存。
 - (4) 鋼筋均應符合 JIS-G 3112 規格或竹節鋼筋 CNS 560 或 ASTM A706。不得使用水淬鋼筋。鋼筋之降伏強度要求為 420 MPa 不可超過 540 MPa)。使用竹節鋼筋#3、#4 及#10，組筋前，須先行至具 TAF 認證之實驗室做抗拉應力-應變曲線試驗(同批鋼筋料各號數鋼筋各提供 3 支 1000 mm 長之鋼筋試片試

驗結果，試驗費用由承包廠商支付)。

(5) 結合鐵件：SN490B 鋼材或 A572 Gr.50 鋼材之要求。

(6) 銲接材料：CNS 3506 E70XX、AWS A5.1 E70XX 或同級材料。

22. 混凝土材料要求：

(1) 水泥：符合 CNS 61「卜特蘭水泥」、CNS 3654「卜特蘭高爐水泥」或 CNS 11270「卜特蘭飛灰水泥」。

(2) 骨材：粗骨材最大尺寸為 25 mm，細骨材為未受污染之天然砂，含泥量不得超過 3%，FM 在 2.3 以上。

(3) 水：須潔淨，不得含有害的酸、鹼、油、鹽類有機物及懸游有害物質。

(4) 本案混凝土 28 天設計強度為 28 MPa。每一批混凝土材料針對 28 天提供 3 個抗壓試體(須做溼布養護)；每一試體之混凝土材料針對試驗當天提供 3 個抗壓試體(與柱試體養護條件相同)以供測試抗壓強度(f'_c)，試體取樣位置由本所人員於現場指定之，混凝土強度試驗須符合 ASTM 試驗規範及一般規定。混凝土澆置前，須提送配比至本所審核，並於現場澆置時做坍度試驗，不合格者則予以退回，不得澆置。混凝土抗壓強度，需至具 TAF 認證之實驗室進行混凝土抗壓試驗(試驗費用由承包廠商支付)。每一批混凝土 28 天材齡試體之抗壓試驗強度需滿足(a)個別抗壓強度均大於 28 MPa 且(b)平均抗壓強度小於 36 MPa 之合格標準，否則承包廠商必須拆除、重作，不得異議。經本所人員同意，28 天材齡試體之抗壓試驗得延期進行，惟以 3 天為限。

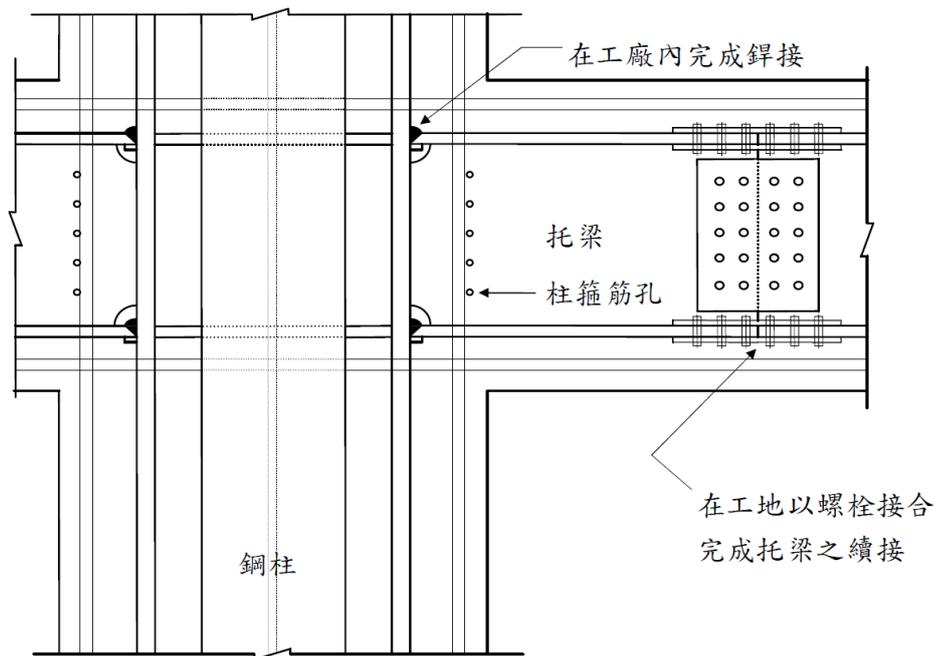


圖 3-12 SRC 梁柱接頭示意圖(鋼骨托梁續接方式)[文獻 2]

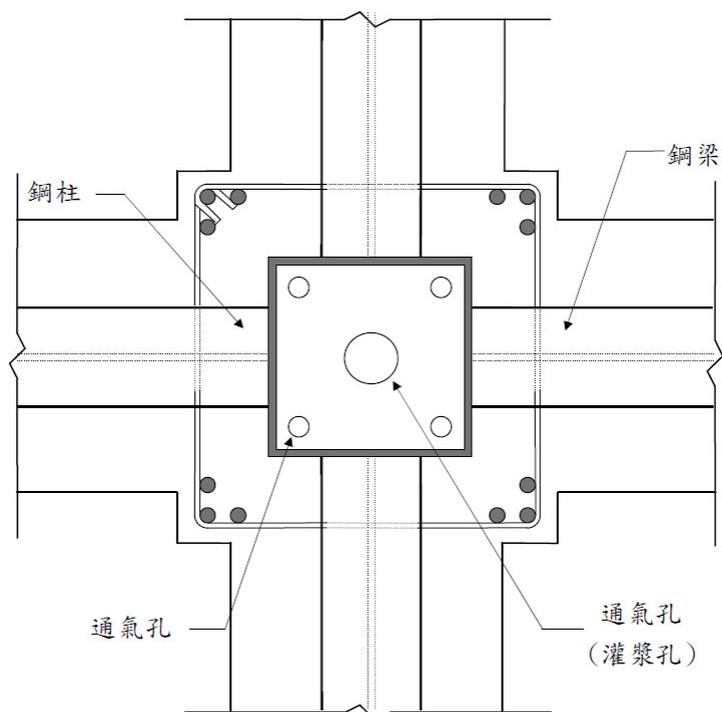


圖 3-13 SRC 柱內之連續板適當開孔[文獻 2]

第四章 結論與建議

第一節 結論

- (1)本計畫已完成相關文獻之回顧與蒐集，以及大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體及試驗程序規劃。
- (2)本計畫已完成大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之細部設計、施工場地及施工程序之規劃。
- (3)後續將修正完成大尺寸續接試體製作之招標文件，俾利明年度續接試體製作之招標作業。

第二節 建議

以下分別從立即可行的建議及長期性建議加以列舉。

大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之實驗研究。－立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

目前鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接主要採用 2 種型式，包含「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節建議之托梁型式，並改良為鋼筋混凝土梁主筋經由續接器與鋼柱上之鋼骨托梁續接，以及鋼筋混凝土梁主筋藉由鋼筋續接器與鋼骨鋼筋混凝土柱續接的型式，業界對於這 2 種型式設計之正確性尚有疑慮，莫衷一是，影響 SRC 建築梁柱接頭之耐震安全性，因此有必要進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之實驗研究，以提升國內 SRC 建築整體耐震能力。本研究針對現行「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節規定之鋼骨托梁型式，且鋼筋混凝土梁鋼筋沒有延伸至梁柱接頭內力學傳遞不佳的情形，規劃大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體，並視實際需求於下一年度進行試驗，以驗證其耐震安全性。

「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節修訂建議。－長期性之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

規劃明年度進行大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體之實驗研究，研究成果可做為「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8.7 節修訂之參考。

參 考 資 料

- [1] 內政部營建署 (2020). “107 年營建統計年報” ，內政部營建署網站 <http://www.cpami.gov.tw/>。
- [2] 內政部 “鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說” 2011 年。
- [3] 日本建築學會 (1994). “鐵骨鐵筋混凝土構造配筋指針(案)同解說” ， Architecture Institute of Japan (AIJ)，東京。
- [4] 陳正平 (2017). “SRC 結構對於 RC 梁主筋與鋼柱間之續接設計與施工” ，技師報第 1064 期，台灣省土木技師公會。
- [5] 陳正平 (2018). “鋼筋混凝土梁接鋼柱以鋼托梁轉接之正確性探討” ，技師期刊第 81 期第 83-90 頁，台北市土木技師公會。
- [6] 陳正誠 (2015). “鋼柱埋入混凝土柱墩之剪力連接物設計” ，財團法人中技社 104 年度專案計畫期末報告。
- [7] 陳純森 (2017). “鋼骨鋼筋混凝土結構 RC 梁與 SRC 柱之接合設計” ，技師報第 1072 期，台灣省土木技師公會。
- [8] 中國土木工程學會 (2011). “混凝土工程設計規範與解說(土木 401-100)” ，混凝土工程委員會，台北。
- [9] ACI Committee 318, 2011. “Building code requirements for structural concrete (ACI 318M-11) and commentary (ACI 318RM-11)”, Michigan, USA.
- [10] AISC, 2010. “ANSI/AISC 360-10 Specification for structural steel buildings”, Illinois, USA.
- [11] 陳正誠等人 (2003). “鋼結構設計手冊極限設計法(LSD)” ，中華民國結構工程學會，台北。

附錄 1 期初審查會議審查意見回覆

期初審查意見	意見回覆
<p>1. 國內建築結構設計規範，多參考美日相關規範，相關名詞的翻譯應統一，如「續接」、「接合」、「接頭」等類似名詞的意義應檢討與釐清。</p>	<p>目前「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」第 8 章接合設計包含梁柱接頭及構材之續接與錨定等內容，其中「接頭」一般適用於梁柱接頭，「續接」則適用於梁構材及柱構材。</p>
<p>2. 本案參考文獻臺灣省土木技師公會技師報「SRC 結構對於 RC 梁主筋與鋼柱間之續接設計與施工」，亦提及現行「鋼骨鋼筋混凝土設計規範與解說」第 8.5.1.1 節及第 4.2.3.3 節之相關規定，不符合結構力系平衡及耐震系統傳力路徑完整性的安全基本要求，亦請併入本案研究內容研討。</p>	<p>第 8.5.1.1 節訂有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之規定。另第 4.2.3.3 節訂有鋼骨鋼筋混凝土柱之鋼骨斷面之腹板，於必要時得設置鋼筋貫穿孔之規定。以上 2 項規定適用於在 H 型鋼骨斷面柱，或由 H 型鋼所組成之十字型鋼骨斷面柱，亦有類似傳力路徑完整性之疑義，可做為規劃後續研究課題之參考。</p>

附錄 2 期中審查會議審查意見回覆

專家	期末審查意見	意見回覆
陳組長建忠	1. 試問何種情況時，必須以 RC 梁搭接鋼柱？	感謝組長意見。國內鋼結構高樓在主要結構構架之外圍常有擴大範圍超挖的情形，很多設計案例在主要結構構架之外圍，考量梁、柱與外周連續壁相接之施工性、經濟性與耐久性等考量因素，常會在超挖範圍，採用鋼筋混凝土梁與主要鋼結構構架或鋼骨鋼筋混凝土構架之鋼箱型柱相接的情形。
	2. 實驗室施作方式與現場施工，有何差異？	感謝組長意見。本案所有試體鋼骨部分的銲接作業規劃皆在鋼構廠內完成，再將鋼骨送至大型力學實驗室進行鋼筋綁紮及混凝土澆置作業。所有試體之混凝土採用一階段澆置，同時澆置基礎柱及試體梁，其中基礎柱保持垂直方向，試體梁保持水平方向，以模擬工地實際澆置混凝土的情況。
	3. 本研究案期初審查之意見，請具體回應，並指引納入研究章節，並研擬試體製作品管清單。	感謝組長意見。期初審查之意見，已具體回應於附錄 1。試體製作品管事項於第三章第三節呈現。
	4. 試體如是以規範為目標，宜以常用者先。	感謝組長意見。考量國內業界常見作法，本研究僅規劃托梁梁翼板不進行切削之試體。
江建築師支川	1. 參考國外梁柱續接之案例時，請標示地點與年份、施工技術與社會環境等時空背景之參數關係。	感謝委員意見。由於此類梁柱接頭除日本及臺灣外，在世界其他地區的應用並不廣泛，因此國際上相關的研究文獻較為少見，本研究僅就國內相關的文獻進行蒐集彙整。
	2. RC 梁主筋與鋼柱表面之銲接，只能在工地施作，請問該如何確認銲接的品質？	感謝委員意見。本研究規劃之試體未包含 RC 梁主筋與鋼柱表面之工地銲接之作法。
	3. 鋼柱托梁與 RC 梁接合處，不易灌漿，對於混凝土的水灰比與坍度，將有何限制？	感謝委員意見。製作試體時，於鋼柱托梁與 RC 梁接合處會要求廠商確實搗實。

	<p>4. 一般先完成鋼柱後，再施作主梁，請問 RC 梁主筋的長度，該如何調整？</p>	<p>感謝委員意見。本研究規劃之 A 及 B 試體，不採用梁主筋與鋼筋續接器續接方式，梁主筋長度的精度要求較具彈性。</p>
	<p>5. 所有施工法都與經濟性有關，若不採用鋼梁而選擇 RC 梁，可節省多少成本？</p>	<p>感謝委員意見。若不採用鋼梁而選用 RC 梁，可節省鋼梁的費用。但箱型柱內在鋼筋與鋼骨翼板的接合位置，皆須設置橫隔板，每個接頭需設置 4 塊橫隔板。考慮施工空間之需求(橫隔板間之最小淨距)，因此鋼骨的深度常受到限制，而無法有效發揮其強度。</p>
<p>劉技師 賢淋</p>	<p>1. 無特別意見，惟應注意續接施工品質之確實性，並保證試體之均勻性。</p>	<p>感謝委員意見。試體製作品管事項於第三章第三節呈現。</p>
<p>李技師 英傑</p>	<p>1. 鋼骨短梁翼緣為光滑面，並非鋼筋，故採鋼筋搭接長$1.3l_d$來決定鋼梁長度，是否會有力量傳遞問題。</p>	<p>針對 SRC 梁與 RC 梁縱向力偶傳遞機制之 A 試體，本研究於鋼梁上下翼板配置剪力釘，以協助力量之傳遞。</p>
	<p>2. 試體 C 及 D 鋼梁有切削，其施力彎矩仍與試體 A 及 B 相同，請問如此設置的目的？</p>	<p>考量試體成本及國內業界習用作法，本研究暫不規劃托梁梁翼板切削之試體。</p>
	<p>3. 期中報告書第 30 頁試體斷面圖，是否可增加鋼梁、鋼筋主筋、箍筋、RC 梁標稱斷面尺寸及 RC 梁主筋有無續接器等之圖示及說明。</p>	<p>試體細部設計圖，如圖 3-7 及圖 3-8 所示。</p>
	<p>4. 該 RC 梁應以韌性構件或非韌性構件看待。</p>	<p>若用於地下室，較無韌性需求；若用地上層，則符合規範韌性需求。</p>
<p>林研究員 敏郎</p>	<p>1. 本研究案進行鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接設計之探討，以檢驗業界對於 SRC 規範建議的兩種續接方式之疑慮，研究具有其必要性及重要性，符合預期成果需求。</p>	<p>感謝委員意見。</p>

	<p>2. 對於本研究案研究成果，建議可提出相關設計手冊，方便工程師於實務上採用，以加速成果之推廣。</p>	<p>感謝委員意見。</p>
	<p>3. SRC 構件之實驗試體，施工困難度高，影響實驗結果之變數亦多，試體製作宜嚴格控管其品質。</p>	<p>感謝委員意見。試體製作品管事項於第三章第三節呈現。</p>
<p>張協理敬昌</p>	<p>1. 本研究案對托梁承受 RC 梁剪力之傳遞機制，托梁與鋼柱為剛接，而文獻中鋼柱為直接埋入混凝土墩，兩者傳力模式是否相同，後者墩柱尺度較大，可以承受壓應力，前者似乎須考慮箍筋量需足夠提供翼板外緣壓力之平衡力。</p>	<p>感謝委員意見。本研究托梁承受 RC 梁剪力之傳遞機制，而文獻鋼柱為直接埋入混凝土墩，兩者傳力模式，確有可否直接引用的疑慮，因此規劃大尺寸鋼筋混凝土梁與鋼骨鋼筋混凝土柱續接試體試驗，以驗證其正確性。</p>
	<p>2. 目前業界常用的短托架及剪力釘兩種方式，如可以試驗方式，確認其力學性能，有助於工程應用與施工性。</p>	<p>感謝委員意見。</p>
	<p>3. 國內實務用於地下室與地上層，前者除界面大梁外較無韌性需求，建議後續研究可納入考量。</p>	<p>感謝委員意見，納將為後續規劃研究課題之參考。</p>
<p>羅副總經理遠智</p>	<p>1. 比對鋼梁進行切削之作法，建議採業界常用之方式。</p>	<p>感謝委員意見。考量國內業界常見作法，本研究僅規劃托梁梁翼板不進行切削之試體。</p>
	<p>2. RC 與 SRC 續接之搭接長度，依 $1.3L_d$ 是否足夠，亦或採 $1.3L_l$ (頂層鋼筋)。</p>	<p>感謝委員意見。本研究計算搭接長度時，取 $\psi_l = 1.3$ 鋼筋位置修正因數，(對於水平鋼筋其下混凝土澆置厚度大於 300 mm 者)，已考量頂層鋼筋的效應。</p>
	<p>3. 試體設計有縱向及橫向力偶兩種方式，請詳述其不同之計算方式。</p>	<p>感謝委員意見。縱向力偶傳遞機制依「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」[2]第 8.7 節之條文及解說設計。橫向力偶傳遞機制依陳正誠研究報告流程設計[6]</p>

	<p>4. 建議可以加入業界常用之兩種方式(托梁+續接器，以及直接續接於鋼柱)之試體，以比對各種不同做法之性能差異，對實務應用很有幫助。</p>	<p>感謝委員意見，將做為後續規劃研究課題之參考。</p>
--	--	-------------------------------

鋼筋混凝土梁主筋與鋼柱續接設計之探討

內政部建築研究所自行研究報告

(109年度)