

第一章 緒論

1.1 研究動機

臺灣地區約 76.6%人口集中在都市化地區，在地狹人稠的先天環境下，由於建築生產及都市開發過程未充份考量整體生態環境因素，致產生許多建築與都市問題，如：建築生命週期各階段的污染，建築產業能源不當耗用，建築資源未能有效利用，室內環境品質日益低落，及都市永續發展的環境面臨危機等均是當前重要課題。因此，在即將邁入二十一世紀之際，如何因應聯合國”二十一世紀議程”(Agenda 21)的精神，調整人類活動，降低環境的破壞及保障永續發展，實應檢討現行建築生產及都市開發制度，加強建築、都市與環境共生的理念，規劃綠建築(環境共生建築)發展機制，為建築問題尋找解決方案。

為有效減緩建築及都市開發過程對環境造成的負荷，內政部建築研究所(以下簡稱本所)自八十五年度起積極規劃推動綠建築發展的有利環境，並擬定綠建築與居住環境科技中程計畫，積極進行建築污染防治、建築節約能源、建築資源利用及室內環境控制的研發工作，並於八十五年九月召開之第五次全國科學技術會議提出綠建築概念，及於行政院第十七次科技顧問會議，提出「綠建築示範計畫」，以擴大民間企業參與。另外，為促進政府單位間之合作研究，乃配合環保署出席 1996 年亞太經合會(APEC)永續發展部長會議，及參與經建會國家永續發展論壇負責綠建築議題，期能爭取各界支持，創造綠建築發展的有利環境。以「綠建築」為基礎進而擴展至「綠社區」、「綠都市」層面，循序漸進，研擬具有前瞻性、整合性的政策方案，以善盡建築產業對地球環境永續發展的責任。

近年來，國家經濟繁榮，建築產業蓬勃發展，高樓大廈如雨後春筍般地矗立於都會地區內。根據內政部營建署的統計資料，目前鋼筋混凝土構造建築約佔國內總建築量的 90% 左右，造成這種情形的主要原因為建築成本的考量，因為砂石、水泥及鋼筋國內均可產製，且價格低廉，所以鋼筋混凝土構造雖然施工繁複，工程品質不易控制，仍成為廣被採用之建築構造型式。由於社會結構變遷，國民從事粗重危險之工作意願低落，致使建築營建勞工缺乏，建築工資不斷上漲。而河川之優良石材經多年大量開採，已漸耗竭，鋼筋混凝土構造之優點，已不若往昔顯著。此外臺灣因幅員有限，隨著經濟的高度成長，國民所得日漸提高，一般人民的生活方式和 work 形態隨之改變，因此人口愈來愈集中都市，造成不均勻的分佈；但是都市內的建地取得不易，地價隨之狂飆，加上建蔽率及容積率之法規限制，在土地和人口之雙重壓力下，建築物必須向上發展已無法避免。鋼筋混凝土建築本身自重甚大，受基礎土壤承载力所限，其經濟高度原有限制；且臺灣位於環太平洋地震帶，地震頻仍，高層鋼筋混凝土建築較不易滿足耐震韌性的要求。反之鋼構造結構物重量較輕，基礎節省，韌性高；而且施工簡易，工期較短，符合社會迫切需用的要求。

鋼構造由於具有高強度，高韌性及耐震性優良且施工簡便迅速、信賴性高、可大幅縮短工期等諸多優點，加上近年來國內勞工短缺、砂石日漸耗竭、開採水泥涉及礦業污染，危及環境保護的情況下，非常適合在台灣推廣採用。由統計資料顯示目前臺灣建築物鋼構造所佔比例偏低，仍有很大的發展空間。另根據研究結果顯示，鋼構造除了在鐵礦的耗用上較鋼筋混凝土及鋼骨鋼筋混凝土構造為多之外，其餘不論在其他資源耗用、能源耗用、二氧化碳排放、逸散性粉塵排放、

拆除廢棄物以及景觀衝擊等環境負荷項目評估中的表現，均明顯的較其他兩種構造為佳，因此從環保的觀點來看，鋼構造確是較有利於地球生態資源的永續經營與符合建築開發與環境共生共存的理念，亦是本所近年來執行「綠建築」中長程研究計畫中建議推廣的重點。

鋼構造的主要特性在於所有的構件都可以在工廠預先製造，構件由工廠藉由適當的交通工具運輸至工地組裝而成為立體之剛架結構，所以工程品質較易控制且工期可以縮短。但由於鋼構造構件之連接處無法如鋼筋混凝土構造物一般可一體成型，連接處之應力狀況常較構件本身內之應力複雜，若是設計或施工稍有不慎，則對結構物安全性的影響甚鉅，由最近的美國北嶺地震與日本阪神地震後，鋼構造的損害狀況可以得到驗證。美日等國鋼構造相關設計手冊皆有建議之接合細節與設計示範例提供設計者參考，而國內相關研究單位近年來則多致力於鋼結構設計與施工規範的更新，對於本土化鋼結構接合細節與示範例之研擬則是著力較少。國內目前鋼結構接合設計或參考美日等國的資料，或自行創造，因國內設計規範與施工條件與國外不盡相同，或自行創造時無法把握到接合處應力分佈特性，則極可能設計出不安全的接合型式與細部。除特殊結構物外，構件之連接在建築結構內主要包括梁與梁、柱與柱及柱與梁之連接，因此針對上述各種接合狀況，配合目前已經本部建築技術審議委員會審議通過之鋼結構建築物設計技術規範(容許應力設計法及極限設計法)，研擬出適合臺灣本土化的鋼構造接合設計示範例，實為目前推廣鋼結構建築的當務之急。

1.2 研究目的

參酌本研究計畫的研究經費、參與人力與研究期程的限制，本計

畫研擬之鋼結構接合設計示範例，將以目前已經本部建築技術審議委員會審議通過之鋼結構容許應力法及極限設計法技術規範及解說為設計之依據，並且在引用條文時註明在技術規範及解說之出處，以增加將來本研究計畫成果的可讀性及實用性，並達到落實推廣本土化設計規範之目的。本研究計畫主要的目的有以下數項：

- ◇ 藉由本研究計畫成果的推廣應用，落實本土化鋼結構設計規範。
- ◇ 提供國內鋼結構設計者常見之鋼結構接合型式容許應力設計法與極限設計法之需注意事項。
- ◇ 提供國內鋼結構設計者常見之鋼結構接合型式容許應力設計法與極限設計法之設計示範例。

1.3 研究方法與流程

本研究計畫的參與研究人力以本所為主，並延聘學術界及產業界的專家學者共同參與，以使本研究計畫成果更為周延與符合實際需求。本研究計畫之研究流程概述如下：

- ◇ 蒐集國內外相關資料

蒐集國內外相關之設計規範、研究文獻及設計實例，參酌臺灣本土設計與施工現況，篩選具有參考價值的部份。

- ◇ 專家學者諮詢

諮詢學術界及產業界的專家學者之意見。

- ◇ 研究報告定稿

廣泛地徵詢產業界之意見，並據以修正本研究計畫的內容，完成

研究報告繕寫與定稿。

第二章 國內外相關資料之蒐集

民國六十三年本部頒布之建築技術規則建築構造編之條文共有四百九十五條，此條文規定國內建築物之結構及基礎之品質與安全基準。可是近年來由於結構及基礎技術之進步，以及社會環境之變遷，建築管理在觀念上與實務上均有檢討改進的必要。含有大部份規範條文之現行技術規則建築構造編因其內容之繁複與多樣性，增加建築管理上之困難以及規則不易修改，致使無法採用結構技術之最新規定與觀念。因此認為有規定結構上基本準則之規則應與設計方法之規範劃分之必要。按現行技術規則建築構造編所參照的美國 UNIFORM BUILDING CODE, ACI BUILDING CODE, AISC STEEL BUILDING CODE, ANSI, 日本建築學會基礎構造設計規準，均歷經相當多次的修改，故構造編實應由學術機構或有關學會隨時修改，如此規則可慎重地規定較有原則性的結構準則與安全的要求。

我國建築技術規則建築構造編有關鋼構造設計條文，大致沿襲美國鋼鐵協會(AISC)之相關規範，但是由於臺灣曾經由日本殖民統治五十年且地理位置接近，施工技術及環境與臺灣類似，故鋼結構產業深受日本系統影響，由目前國內建築技術規則及設計者尚習用公斤力之系統可見一斑。在本章中首先將對於國內現行鋼結構相關規範及與鋼結構接合有關之研究做一回顧與檢討，並且對於美國及日本兩國有關鋼結構接合相關資料，進行蒐集及彙整的工作。

2.1 國內現行建築技術規則有關鋼結構設計之規範

現行之建築技術規則，係由本部於民國六十三年二月頒佈實施，

其後多次修正增定，但其中建築構造編第五章「鋼構造」未有修正，此章自第二三五條至第三三一條止，共九十七條條文，是目前國內應用鋼材建造一般建築物結構設計及施工的依據。整章共分六節，內容包括通則、設計應力、構材設計、接合、塑性設計等單元，主要內容大致上是參照美國 AISC 規範 1969 年版容許應力法設計規範換算為公制而成。由於鋼結構材料及技術的快速發展及設計理論的演進，使得建築技術規則建築構造編第五章「鋼構造」之有關條文早已不敷時代的需求。

有鑑於此，營建署與本所，近年來積極地進行鋼結構相關規範之研究發展。其中以本所委託中華民國結構工程學會完成”鋼結構極限設計法設計規範與解說之研究”與”鋼結構容許應力法設計規範與解說之研究”最具代表性，前者主要係參考美國 AISC 規範 1986 年與 1994 年版極限設計法設計規範與解說，後者主要則是參考美國 AISC 規範 1989 年版容許應力法設計規範與解說。目前此二項設計規範已經內政部建築技術審議委員會第十五次會議審議通過，近日內便可以頒佈實施。

2.2 國內有關鋼結構接合設計之相關研究

國內鋼結構產業發展的起步較晚，一直至民國六十一年中國鋼鐵公司鋼板工廠完工後，開始可以製造供應鋼結構建築所需之結構用鋼板，才奠定了國內鋼結構產業的基礎。至於設計規範方面，民國六十三年本部頒布之「建築技術規則」中有鋼結構設計之有關條文，鄒承曾君於民國七十二年完成「鋼結構設計學」之第十章”構件之連接”乃是對於鋼構件接合設計首部較完整的中文參考書籍。但因當時國內

不生產充足之型鋼產品，更缺乏設計所必須之型鋼斷面性質等資料，乃引用美國 ASTM 規格的標準型鋼斷面設計，然因時隔十五年，所依據之建築技術規則條文過於老舊，且當時並無耐震設計之特別規定，故其適用性有待商榷。

最近幾年東和鋼鐵企業股份有限公司引進日本的設備與技術，開始大規模地生產日本 JIS 規格的標準型鋼，為推廣應用鋼結構，乃委託中華民國結構工程學會於民國八十六年完成「鋼結構設計手冊」，其中對於梁與梁、柱與柱之接合有原則性的建議，至於設計之細節則付之闕如。

國內鋼柱採用四片鋼板銲接而成的箱型柱相當普遍，此種方式在美國設計規範並未出現，其梁柱接合處之破壞型式與 H 型柱也不盡相同，臺灣在過去也曾對於臺灣本土性的箱型鋼柱做過一些試驗，並獲致若干的研究成果。依據這些成果，本所於民國八十三年委託中華民國結構工程學會，執行「鋼結構標準型鋼斷面及建議之接合型式與細部研擬(I)」研究專案，對於鋼結構工程師在設計時，可以提供原則性的建議，但是對於設計的細節則付之闕如，為有效地提昇鋼結構接合的安全性，本研究計畫確有其實用性與急迫性。

2.3 美國有關鋼結構接合設計之相關文獻

美國式之梁柱接合大部份採用在工廠製作時將連接板銲接於柱構材之上。於現場吊裝時利用高強度螺栓將連接板與梁腹板加以結合，再將梁翼板與柱以工地銲接方式加以完整的接合。

美國鋼鐵協會(AISC)於 1992 年針對 ASD 第九版與 LRFD 第一版所編訂之設計手冊第二冊接合設計，其有關鋼結構接合之設計示範例

包括：第三章簡支接合(Simple Shear Connections)、第四章彎曲接合(Moment Connections)與第六章柱之接合(Column Connections)，內容詳盡，極具參考價值，唯其採用之斷面為美國 ASTM 之標準斷面且採用英制單位，並且以美國 ASTM 規格螺栓設計，並不完全合乎國內採用公制單位及美國 ASTM 與日本 JIS 規格高強度螺栓並用的實際狀況。

2.4 日本有關鋼結構接合設計之相關文獻

日本式之梁柱接合大部份採用由柱接一小截的托梁，而柱與托梁於工廠預先銲接，再運至工地，梁與托梁在工地接合。此種方式的優點為可以提昇梁柱接合處的銲接品質，相對地其缺點在於具有托梁的柱在運輸時較不方便，增加運輸的成本。

日本產業界為推動鋼結構產業的標準化與自動化，乃於 1986 年由社團法人鋼材俱樂部鐵骨構造接合部標準化委員會，編定「鐵骨構造標準接合部」共計兩冊，針對日本 JIS 規格各種標準型鋼梁柱接合及柱接合，制定接合詳圖，內容詳實而完整，可以免除結構設計者自行設計梁柱接合時可能發生的錯誤。但其缺點在於日本的鋼結構容許應力法設計規範與我國引用的美國規範不盡相同，且限制梁柱接合的方式，影響到設計者因時因地發揮的空間。

第三章 鋼結構接合一般性的原則

3.1 設計規範有關接合設計之一般規定

在容許應力法與極限設計法兩項規範之第十章對於接合設計之強度設計需求及原則有詳盡的規定，接合部可分為接合構件及接合物，其中接合構件包括加勁板、連接板、角鋼及托座等與構架構件設計方式一致，可參見規範相關各章之規定，在此不加贅述；而接合物則包括銲接與螺栓兩種(參見容許應力法與極限設計法設計規範 10.1)。

設計規範對於接合部之設計強度需求為：

- (1)依組合載重(依因數化組合載重，極限設計法)。
- (2)依接合構件強度之特定比例。

設計規範對於接合部之設計原則建議為：

- (1) 接合之受力模式宜簡單明確，傳力方式宜緩和漸變，以避免產生應力集中之現象。
- (2) 接合型式之選用以製作簡單、維護容易為原則。
- (3) 接合設計在必要時，應依接合所在位置對整體結構安全影響程度酌予提高其設計之安全係數。

此外規範對於銲接與螺栓應用的場合，亦有強制性的規定，以確保結構物之安全性，在以下的情況下必須使用高強度螺栓或銲接(參見容許應力法與極限設計法設計規範 10.1.9)：

- (1)梁續接

(a)在結構高度超過 36m 時，所有梁之接合。

(2)柱續接

(a)高度在 60m 以上之多層立體構架中柱續接。

(b)高度在 30m 至 60m，而其最小水平尺度小於其高度 40%之多層立體構架中柱續接。

(c)高度在 30m 以下而其最小水平尺度小於其高度 25%之多層立體構架中柱續接。

(3)梁與柱之接合

(a)在結構高度超過 36m 時，所有梁與柱之接合。

註：高強度螺栓係指美國 ASTM 規格之 A325 與 A490 螺栓及日本 JIS 規格之 F8T 與 F10T 螺栓。

3.2 鐸接接合物設計規範之規定

鐸接包括開槽鐸、填角鐸、塞孔鐸與塞槽鐸四種，開槽鐸又分為全滲透開槽鐸與部份滲透開槽鐸兩種，在鋼結構建築工程以開槽鐸及填角鐸應用最為廣泛。設計規範中對於鐸接設計除了強度的考量外，尚需檢核以下事項(參見容許應力法設計規範 10.2 解說)：

(1)母材之可鐸性

一般鋼板之鐸接性以其碳當量為衡量之參考，SS 系列鋼材因其材質常未包括含碳量之限制，並不適合於主要結構且須鐸接之構材使用。

(2)鐸材與母材之匹配

各種母材需以相匹配之銲材銲接(參見容許應力法與極限設計規範之表 12.2.6)。

註：表中之鋼材編號並非中國國家標準的編號。

(3)銲接效率

(4)疲勞強度

(5)銲接變形

(6)接合板挫屈

(7)殘留應力

設計規範之銲接設計強度計算方式如下：

容許應力法：

$$\text{設計強度} = \text{有效面積} \times \text{容許應力}$$

其中

有效面積=有效銲長與有效喉厚之乘積(開槽銲與填角銲)

=接合平面上圓孔或槽孔之標稱面積(塞孔銲與塞槽銲)

容許應力(包含拉應力、壓應力與剪應力)參見容許應力法設計規範之表 10.2.5。

極限設計法：

$$\text{設計強度} = \phi \times \text{有效面積} \times \text{標稱強度}$$

其中

有效面積之定義與容許應力法設計規範相同。

ϕ (強度係數)及標稱強度參見極限設計規範之表 10.2.5。

3.3 螺栓接合物設計規範之規定

一般而言，螺栓可分為摩阻型與承壓型兩種型式，目前在國內常用的螺栓規格有美國 ASTM 規格與日本 JIS 規格，而容許應力法設計規範對於兩項規格的螺栓強度要求均有規定，極限設計法設計規範則只對於美國 ASTM 規格部份的螺栓規定，必須引用國內鋼結構施工規範的相關內容。規範對於螺栓之強度要求有以下數項：

(1) 剪應力強度

參見容許應力法設計規範 10.3.3，極限設計規範 10.3.3、10.3.6 及鋼結構施工規範 5.1。

(2) 拉力強度

參見容許應力法設計規範 10.3.3，極限設計規範 10.3.3 與鋼結構施工規範 5.1。

(3) 拉力與剪力聯合強度

參見容許應力法設計規範 10.3.4 及 10.3.5，極限設計規範 10.3.4、10.3.7 及鋼結構施工規範 5.1。

(4) 承壓力強度

參見容許應力法設計規範 10.3.6 與極限設計規範 10.3.9。

(5) 塊狀剪力強度

參見容許應力法設計規範 10.4 與極限設計規範 10.4。

此外設計規範對於螺栓配置之要求有以下數項：

(1) 最小間距

螺栓之中心間距不宜太小，以避免安裝發生困難(參見容許應力法設計規範 10.3.9 與極限設計規範 10.3.11)。

(2)最小邊距

螺栓若距接合構件邊緣太近，以避免衝孔或鑽孔時邊緣開裂(參見容許應力法設計規範 10.3.10 與極限設計規範 10.3.12)。

(3)最大間距

螺栓之中心間距不宜太大，太大則接合效果減弱，且構件受軸壓力時其斷面之單元將在螺栓之間發生局部挫屈(參見容許應力法設計規範 10.3.11 與極限設計規範 10.3.13)。

(4)最大邊距

螺栓若距接合構件邊緣太遠，則易使接合構件邊緣部份翹起(參見容許應力法設計規範 10.3.11 與極限設計規範 10.3.13)

3.4 銲接與螺栓接合之選用時機

一般而言鋼結構接合部之接合物包括三種：(1)鉚釘、(2)銲接與(3)螺栓。目前鉚釘已被淘汰，而由銲接與螺栓所取代。銲接與螺栓各有其優劣點，結構設計者可以視實際情況而搭配應用，現將一般性的原則臚列於後以供參考：

(1) 銲接之特性：

- (a) 如結構物中構件之連接須具有高度連續性，連接處抵抗彎矩，則應該採用銲接。
- (b) 構件在工廠接合時，銲接為一般所樂於採用。但構件如在工地接合，接合以後銲接品質之檢驗須特別注意。

(2)螺栓之特性：

- (a) 在工地安裝架設構件，以採用螺栓最為快捷。
- (b) 如結構物為臨時性者，則應採用螺栓以利拆除。
- (c) 如結構物所受之荷重經常變換，使構件內應力常發生變化時，則採用高強度螺栓最為適宜。
- (d) 螺栓接合使結構物除構件本身鋼料之外，另增加螺栓頭與螺帽、及連接板等額外鋼料，較不經濟。

3.5 設計示範例之說明

在未正式進入設計示範例之前，本節對讀者可能會產生疑點之處先作一說明，本研究計畫之設計示範例係根據以下之原則：

- (1) 依據業經本部第十五次建築技術審議委員會審議通過之「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範(草案)」—(一)鋼結構容許應力設計法技術規範與解說與(二)鋼結構極限設計法技術規範與解說。
- (2) 若上述兩項設計規範未規定之事項，則引用本部訂頒之鋼結構施工規範的相關內容。
- (3) 設計示範例所採用之型鋼，引用中華民國結構工程學會於民國八十六年完成之研究報告「鋼結構設計手冊—容許應力法」之標準型鋼，以符合臺灣實際的情形。
- (4) 依據美國鋼鐵協會(AISC)在其設計手冊中示範例，鋼構件接合之間距採用 0.5 英吋，在鄒承曾先生的著作也採取類似的尺寸—1.3 公分，但是在日本社團法人鋼材俱樂部鋼骨構造標準化委員會發

行之「鐵骨構造標準接合部」之範例則採用 0.5 公分。國內目前鋼構廠的製造及施工水準已達相當的水準，故本報告中採用 0.5 公分。

- (5) 由於工地銲接的品質控制不易，本報告中的設計示範例以工地螺栓接合為原則；螺栓組承受偏心載重時，採用較保守的彈性向量分析法分析，而不採用考慮螺栓載重 - 變形關係的瞬時轉動中心分析法。
- (6) 目前國內較常採用的螺栓型式為日本 JIS 規格 F10T 與美國 ASTM 規格 A325 且標稱直徑大於 20 mm 的高強度螺栓，但為擴大本研究報告的適用性，設計規範所列出的螺栓型式，設計示範例都將儘量採用。

第四章 梁與梁之接合

鋼結構的構件多是於工廠內製造，而後以車輛運輸至工地安裝，由於工廠機具規格、車輛承載力的限制，使得鋼梁常需有續接的機會，鋼梁續接包括簡支與彎矩接合，此外大梁與小梁之一般的簡支與彎矩接合亦是本章要探討的範疇。依據設計規範之規定(容許應力法與極限設計規範 10.7.1)，「在板梁及梁中之開槽銲續接，其強度應發展至較小續接斷面之全部強度，在板梁和梁中之其它種型式之續接強度，應為續接點所需抵抗之作用力。」

一般而言，結構系統中梁只承受兩種外力亦即是剪力與彎矩。H 型鋼梁斷面內，外力傳遞的方式可由材料力學的基本觀念而得到簡化，也就是剪力由腹板承擔，彎矩由翼板承擔，這樣的假設可以大幅簡化鋼梁接合設計的工作。

4.1 梁與梁之簡支續接

例題 4.1(容許應力法)

有兩支 H-600×200×11×17 相同斷面之梁需做剪力續接，續接處之剪力為 35 t。鋼料均為 SM 400($F_u = 4.1\text{t/cm}^2$)，採用日本 JIS 規格 F8T M16 高強度螺栓。試設計此續接：(a)若為承壓型接合，剪力面含螺紋；(b)若為摩阻型接合，螺栓為標準孔徑，剪力面含螺紋。

設計步驟：

H-600×200×11×17 之梁斷面： $t_f = 17\text{ mm}$ ， $R = 22\text{ mm}$

梁斷面上下翼板填角間之淨距(用以檢核梁腹續接板之深度)

$$T = 600 - 2(17 + 22) = 522\text{ mm}$$

(a)承壓型接合

(1)螺栓所需之個數

$$\text{雙剪強度} = 1.41 \times \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 2 = 5.67 \text{ t/每支螺栓 (規範之表 C-10.3.2)}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{35}{5.67} = 6.17 \text{ (不考慮偏心效應), 採用 7 個}$$

∴ 採用 14 個 F8T M16 高強度螺栓(續接板之兩側各 7 個)

(2)續接板之設計

螺栓之最小間距 $S = 3d = 3 \times 1.6 = 4.8 \text{ cm}$ (規範之 10.3.9) , 間距採用 5cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 2.85 \text{ cm}$ (規範之表 10.3.7)

或

$$\text{螺栓之最小邊距 } L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{35}{7}}{4.1 \times 1.0} = 2.44 \text{ cm (規範之 10.3.10)}$$

續接板之厚度採用 1 cm , 螺栓邊距採用 3 cm

∴ 續接板採用兩片 $10 \times 360 \times 125 \text{ SM 400}$ 之鋼板

續接板之長度為 $36 \text{ cm} < 52.2 \text{ cm}$ OK

(3)螺栓之強度檢核

剪力強度之檢核 :

$$\text{螺栓之垂直剪力 } V_v = \frac{35}{7} = 5 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之水平剪力 } V_h = \frac{35 \times 3.25 \times 15}{2(5^2 + 10^2 + 15^2)} = 2.44 \text{ t}$$

螺栓之總剪力 $V_t = \sqrt{5^2 + (2.44)^2} = 5.56 \text{ t} < 5.67 \text{ t}$ (螺栓之剪力強度) OK

承壓力強度之檢核 :

螺栓孔之承壓力強度 = $1.6 \times 1.1 \times (1.2 \times 4.1) \times 7 = 60.61t$ (規範之 10.3.6)

螺栓孔之承壓力強度 $60.61 t > 35 t$ (總剪力) OK

(4) 續接板之強度檢核

撓曲強度之檢核：

$$\text{續接板之撓曲應力} = \frac{35 \times 3.25}{2 \times 1 \times \frac{36^2}{6}} = 0.27t/cm^2 < 0.6F_y (= 1.5t/cm^2) \quad \text{OK}$$

剪力強度之檢核：

$$\text{續接板之剪應力} = \frac{35}{2 \times 1 \times 36} = 0.49t/cm^2 < 0.4F_y (= 1t/cm^2) \quad \text{OK}$$

塊狀剪力撕裂之檢核：(規範之 10.4)

續接板之撕裂剪應力

$$= \frac{35}{2 \times 1 \times [36 - 7(1.6 + 0.15)]} = 0.74t/cm^2 < 0.3F_u (= 1.23t/cm^2) \quad \text{OK}$$

接合之詳圖請參見圖 4.1。

(b) 摩阻型接合

(1) 螺栓所需之個數

$$\text{雙剪強度} = 1.14 \times \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 2 = 4.58t / \text{每支螺栓} \text{ (規範之表 C-10.3.2)}$$

$$\text{需要螺栓數} \frac{35}{4.58} = 7.64 \quad (\text{不考慮偏心效應}), \text{ 採用 } 9 \text{ 個}$$

∴ 採用 18 個 F8T M16 高強度螺栓(續接板之兩側各 9 個)

(2) 續接板之設計(參見承壓型接合)

續接板採用兩片 $10 \times 460 \times 125$ SM 400 之鋼板

續接板之長度為 $46 \text{ cm} < 52.2 \text{ cm}$ OK

(3) 螺栓之強度檢核

剪力強度之檢核：

$$\text{螺栓之垂直剪力 } V_v = \frac{35}{9} = 3.89 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之水平剪力 } V_h = \frac{35 \times 3.25 \times 20}{2(5^2 + 10^2 + 15^2 + 20^2)} = 1.52 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之總剪力 } V_t = \sqrt{(3.89)^2 + (1.52)^2} = 4.17 \text{ t} < 4.58 \text{ t} \text{ (螺栓之剪力強度) OK}$$

(4) 續接板之強度檢核

撓曲強度之檢核：

$$\text{續接板之撓曲應力 } \frac{35 \times 3.25}{2 \times 1 \times \frac{46^2}{6}} = 0.16 \text{ t/cm}^2 < 0.6F_y (= 1.5 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

剪力強度之檢核：

$$\text{續接板之剪應力 } \frac{35}{2 \times 1 \times 46} = 0.38 \text{ t/cm}^2 < 0.4F_y (= 1 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

塊狀剪力撕裂之檢核：(規範之 10.4)

續接板之撕裂剪應力

$$= \frac{35}{2 \times 1 \times [46 - 9(1.6 + 0.15)]} = 0.58 \text{ t/cm}^2 < 0.3F_u (= 1.23 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

接合之詳圖請參見圖 4.2。

例題 4.2(極限設計法)

有兩支 $H-600 \times 200 \times 11 \times 17$ 相同斷面之梁需做剪力續接，續接處之因數化剪力為 50 t。鋼料均為 SM 400 ($F_y = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格

A325 M16 高強度螺栓。以剪力面含螺紋的承壓型螺栓設計。

設計步驟：

H-600×200×11×17 之梁斷面： $t_f = 17$ mm， $R = 22$ mm

梁斷面上下翼板填角間之淨距(用以檢核梁腹續接板之深度)

$$T = 600 - 2(17 + 22) = 522 \text{ mm}$$

(1) 螺栓所需之個數

$$\text{雙剪強度} = 0.75 \times 3.36 \times \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 2 = 10.13 \text{ t/每支螺栓(規範之表 10.3.2)}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{50}{10.13} = 4.94 \text{ (不考慮偏心效應), 採用 6 個}$$

∴ 採用 12 個 A325 M16 高強度螺栓(續接板之兩側各 6 個)

(2) 續接板之設計

螺栓最小間距 $S = 3d = 3 \times 1.6 = 4.8$ cm(規範之 10.3.11)，間距採用 5 cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 2.85$ cm(規範之表 10.3.7)

續接板之厚度採用 1 cm，螺栓邊距採用 3 cm

∴ 續接板採用兩片 10×310×125 SM 400 之鋼板

續接板之長度為 31 cm < 52.2 cm OK

(3) 螺栓之強度檢核

剪力強度之檢核：

$$\text{螺栓之垂直剪力 } V_v = \frac{50}{6} = 8.33 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之水平剪力 } V_h = \frac{50 \times 3.25 \times 12.5}{2[(2.5)^2 + (7.5)^2 + (12.5)^2]} = 4.64 \text{ t}$$

$$\text{螺栓總剪力 } V_t = \sqrt{(8.33)^2 + (4.64)^2} = 9.54 \text{ t} < 10.13 \text{ t (螺栓之剪力強度) OK}$$

承壓力強度之檢核：

螺栓孔之承壓力強度 $= 0.75 \times 3 \times 1.6 \times 1.1 \times 4.1 \times 6 = 97.42 \text{ t}$ (規範之 10.3.9)

螺栓孔之承壓力強度 $97.42 \text{ t} > 50 \text{ t}$ (總剪力) OK

(4) 續接板之強度檢核

撓曲強度之檢核：

續接板之撓曲彎矩

$$= 50 \times 3.25 = 162.5 \text{ t-cm} < 0.9 \times 2 \times 1 \times \frac{31^2}{4} \times 2.5 (= 1081.13 \text{ t-cm}) \quad \text{OK}$$

剪力強度之檢核：

$$\text{續接板之剪應力} = \frac{50}{2 \times 1 \times 31} = 0.81 \text{ t/cm}^2 < 0.9 \times 0.6 F_y (= 1.35 \text{ t/cm}^2) \quad \text{OK}$$

接合之詳圖請參見圖 4.3。

4.2 梁與梁之彎矩續接

例題 4.3(容許應力法)

有兩支 $H-600 \times 200 \times 11 \times 17$ 相同斷面之梁需做彎矩續接，續接處之剪力為 35 t ，彎矩為 10 t-m 。鋼料均為 SM 400 ($F_y = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用日本 JIS 規格 F8T M16 高強度螺栓。試設計此續接：(a)若為承壓型接合，剪力面含螺紋；(b)若為摩阻型接合，螺栓為標準孔徑，剪力面含螺紋。

設計步驟：

腹板的接合設計請參見例題 4.1。

由鋼結構設計手冊：

$H-600 \times 200 \times 11 \times 17$ 斷面之基本資料為

$$S_x = 2588 \text{ cm}^2, R=22 \text{ mm}$$

鋼梁翼板單側由填角至邊緣之淨距(以檢核梁翼內側續接板之寬度)

$$W_1 = \frac{200}{2} - \frac{11}{2} - 22 = 72.5 \text{ mm}$$

(a)承壓型接合

$$\text{雙剪強度} = 1.41 \times \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 2 = 5.67 \text{ t/每支螺栓 (規範之表 C-10.3.2)}$$

翼板接合設計：

$$\text{受拉翼板之總拉力} = \frac{1000}{(60-1.7)} = 17.15 \text{ t}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{17.15}{5.67} = 3.02, \text{ 採用 4 個。}$$

∴ 採用 16 個 F8T M16 高強度螺栓(上下翼板續接板之兩側各 4 個)

續接板之設計：

螺栓之最小間距 $S = 3d = 3 \times 1.6 = 4.8 \text{ cm}$ (規範之 10.3.9)，間距採用 5 cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 2.85 \text{ cm}$ (規範之表 10.3.7)

或

$$\text{螺栓之最小邊距 } L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{17.15}{4}}{4.1 \times 1} = 2.09 \text{ cm (規範之 10.3.10)}$$

續接板之厚度採用 1 cm，螺栓邊距採用 3 cm。

∴ 續接板為四片 $10 \times 225 \times 60$ 及兩片 $10 \times 225 \times 200$ SM 400 之鋼板

翼板內側續接板之寬度為 $6 \text{ cm} < 7.25 \text{ cm}$ OK

螺栓之強度檢核：

$$\text{螺栓之剪力 } V = \frac{17.15}{4} = 4.29 \text{ t} < 5.67 \text{ t (螺栓之剪力強度) OK}$$

螺栓孔之承壓力強度 = $1.6 \times 1.7 \times (1.2 \times 4.1) \times 4 = 53.53 \text{ t}$ (規範之 10.3.6)

螺栓孔之承壓力強度 $53.53 \text{ t} > 17.15 \text{ t}$ (總壓力) OK

續接板之強度檢核：

續接板之拉應力 = $\frac{17.15}{1 \times (20 + 2 \times 6)} = 0.54 \text{ t/cm}^2 < 0.6F_y (= 1.5 \text{ t/cm}^2)$ OK

或 $= \frac{17.15}{1 \times (20 + 2 \times 6 - 1.75 \times 4)} = 0.69 \text{ t/cm}^2 < 0.5F_u (= 2.05 \text{ t/cm}^2)$ OK

接合之詳圖請參見圖 4.4。

(b) 摩阻型接合

雙剪強度 = $1.14 \times \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 2 = 4.58 \text{ t/每支螺栓}$ (規範之表 C-10.3.2)

翼板接合設計：

受拉翼板之總拉力 = $\frac{1000}{(60 - 1.7)} = 17.15 \text{ t}$

需要螺栓數 = $\frac{17.15}{4.58} = 3.74$ ，採用 4 個。

∴ 採用 16 個 F8T M16 高強度螺栓(上下翼板續接板之兩側各 4 個)

續接板之設計：

螺栓間距採用 5 cm

續接板之厚度採用 1 cm，螺栓邊距採用 3 cm。

∴ 續接板為四片 $10 \times 225 \times 60$ 及兩片 $10 \times 225 \times 200$ SM 400 之鋼板

翼板內側續接板之寬度為 $6 \text{ cm} < 7.25 \text{ cm}$ OK

螺栓之強度檢核：

螺栓之剪力 $V = \frac{17.15}{4} = 4.29 \text{ t} < 4.58 \text{ t}$ (螺栓之剪力強度) OK

續接板之強度檢核：

$$\text{續接板之拉應力} = \frac{17.15}{1 \times (20 + 2 \times 6)} = 0.54 \text{ t/cm}^2 < 0.6F_y (= 1.5 \text{ t/cm}^2) \quad \text{OK}$$

$$\text{或} \quad = \frac{17.15}{1 \times (20 + 2 \times 6 - 1.75 \times 4)} = 0.69 \text{ t/cm}^2 < 0.5F_u (= 2.05 \text{ t/cm}^2) \quad \text{OK}$$

接合之詳圖請參見圖 4.5。

例題 4.4(極限設計法)

有兩支 H-600×200×11×17 相同斷面之梁需做彎矩續接，續接處之因數化剪力為 50 t，因數化彎矩為 15 t-m。鋼料均為 SM 400 ($F_u = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格 A325 M16 高強度螺栓。以剪力面含螺紋之承壓型螺栓設計。

設計步驟：

腹板的接合設計請參見例題 4.2。

由鋼結構設計手冊：

H-600×200×11×17 斷面之基本資料為

$$S_x = 2588 \text{ cm}^2, R = 22 \text{ mm}$$

鋼梁翼板單側由填角至邊緣之淨距(以檢核梁翼內側續接板之寬度)

$$W_1 = \frac{200}{2} - \frac{11}{2} - 22 = 72.5 \text{ mm}$$

$$\text{雙剪強度} = 0.75 \times 3.36 \times \frac{\pi}{4} \times (1.6)^2 \times 2 = 10.13 \text{ t/每支螺栓(規範之表 10.3.2)}$$

翼板接合設計：

$$\text{受拉翼板之總拉力} = \frac{1500}{(60 - 1.7)} = 25.73 \text{ t}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{25.73}{10.13} = 2.4, \text{ 採用 4 個。}$$

∴ 採用 16 個 A325 M16 高強度螺栓(上下翼板續接板之兩側各 4 個)

續接板之設計：

螺栓最小間距 $S = 3d = 3 \times 1.6 = 4.8 \text{ cm}$ (規範之 10.3.11)，間距採用 5 cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 2.85 \text{ cm}$ (規範之表 10.3.7)

續接板之厚度採用 1 cm，螺栓邊距採用 3 cm。

∴ 續接板為四片 $10 \times 225 \times 60$ 及兩片 $10 \times 225 \times 200$ SM 400 之鋼板

翼板內側續接板之寬度為 $6 \text{ cm} < 7.25 \text{ cm}$ OK

螺栓之強度檢核：

螺栓之剪力 $V = \frac{25.73}{4} = 6.43 \text{ t} < 10.13 \text{ t}$ (螺栓之剪力強度) OK

螺栓孔承壓力強度 $= 0.75 \times 3 \times 1.6 \times 1.7 \times 4.1 \times 4 = 100.37 \text{ t}$ (規範之 10.3.9)

螺栓孔之承壓力強度 $100.37 \text{ t} > 25.73 \text{ t}$ (總壓力) OK

續接板之強度檢核：

續接板之拉應力 $= \frac{25.73}{1 \times (20 + 2 \times 6)} = 0.8 \text{ t/cm}^2 < 0.9F_y (= 2.25 \text{ t/cm}^2)$ OK

或 $= \frac{25.73}{1 \times (20 + 2 \times 6 - 1.75 \times 4)} = 1.03 \text{ t/cm}^2 < 0.75F_u (= 3.08 \text{ t/cm}^2)$ OK

接合之詳圖請參見圖 4.6。

4.3 小梁與大梁之簡支與彎矩接合

目前在臺灣較常採用的小梁與大梁之簡支接合方式，有兩種型式，如圖 4.7 所示；而較常用的小梁與大梁之彎矩接合方式，請參見圖 4.8，其優缺點讀者可自行參考本所之研究報告「鋼結構標準型鋼斷面及建議之接合型式與細部研擬(I)」₆。基本上小梁與大梁的接合設計與前述梁續接設

計的原理相當類似，本節不擬提供相關的設計示範例，此處僅提出設計時需注意的事項：

- (1)檢核連接板螺栓的剪力強度，必須考慮剪力偏心的效應。
- (2)連接板與大梁之垂直銲接強度，必須足以抵抗由梁傳入的剪力。
- (3)設計連接板時，必須檢核其塊狀撕裂剪力強度。

第五章 柱與柱之續接

臺灣超高層建築結構大多為梁柱結構系統，鋼柱有 H 型柱、十字型柱與箱型柱，其中較高建築或荷重大者多採箱型柱。而型鋼之製作又有熱軋成型及組銲成型兩者，一般而言熱軋型鋼之品質穩定性及力學性質較組銲成型者為穩定，不過由於國內生產熱軋型鋼之業者極少，必須仰賴進口且規格不全難以配合需求，因此國內絕大多數工程以採用組銲成型之型鋼為主。因為受限於工廠機械設備與運輸工具能力，並且考量鋼柱設計的經濟性(依據載重的大小，設計鋼柱的尺寸)，鋼結構工程師常需要作柱與柱的接合設計。本章將針對無偏心且相同斷面之 H 型鋼柱、十字型鋼柱與銲接組合箱型鋼柱的續接設計做一介紹；至於較特殊的接合情況，讀者可以依據基本型式的設計示範例並且配合力學的觀念進行設計。鋼柱斷面內外力傳遞的假設與鋼梁類似，也就是說剪力由腹板承擔，彎矩由翼板承擔；而唯一不同之處在於軸力由全斷面承擔，這樣的假設可以簡化設計的工作。

5.1 H 型鋼柱之續接

H 型鋼柱在國內建築結構系統中較不常見，原因在於其強軸與弱軸兩方向上的構件強度相差很大，不符合設計經濟性的原則。以一個 H 型斷面配合兩個 T 型斷面組合銲接而成的十字型斷面，可以彌補上述的缺點。但是由於 H 型鋼柱的續接設計的過程較為簡易，且觀念與十字型鋼柱類似，在本節中只介紹 H 型鋼柱的續接設計的步驟；至於十字型鋼柱的續接，讀者可以類似的步驟設計。

例題 5.1(容許應力法)

有兩支 H-400×400×13×21 相同斷面之鋼柱需做續接，續接處之軸

壓力為 120 t，強軸方向之彎矩為 15 t-m，剪力為 45 t。鋼料均為 SM 400($F_u = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用日本 JIS 規格 F10T M22 高強度螺栓。試設計此續接，接合為承壓型接合，剪力面含螺紋。

設計步驟：

由鋼結構設計手冊：

H-400×400×13×21 斷面之基本資料為

$$A=218.69 \text{ cm}^2, S_x=3331 \text{ cm}^2, R=22 \text{ mm}$$

鋼柱翼板之單側由填角至邊緣之淨距(檢核柱翼內側續接板之寬度)

$$W_1 = \frac{400}{2} - \frac{13}{2} - 22 = 171.5 \text{ mm}$$

鋼柱斷面上下翼板填角間之淨距(用以檢核柱腹續接板之寬度)

$$W_2 = 400 - 2(13 + 22) = 330 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = \frac{120}{218.69} = 0.55 \text{ t/cm}^2 \text{ (鋼柱之平均壓應力)}$$

$$\sigma_t = \frac{1500}{3331} = 0.45 \text{ t/cm}^2 \text{ (鋼柱因彎矩而產生受拉翼板外緣之拉應力)}$$

$\sigma_c > \sigma_t$ ，翼板的接合設計由因彎矩作用下之受壓翼板所控制。

(a)承壓型接合

$$\text{雙剪強度} = 1.87 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 \times 2 = 14.2 \text{ t/每支螺栓 (規範之表 C-10.3.2)}$$

(1)翼板接合設計

$$\text{受壓翼板之總壓力} = 0.55 \times 40 \times 2.1 + \frac{1500}{(40 - 2.1)} = 85.78 \text{ t}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{85.78}{14.2} = 6.04, \text{ 採用 8 個。}$$

∴ 採用 32 個 F10T M22 高強度螺栓(上下翼板續接板之兩側各 8 個)

續接板之設計：

螺栓之最小間距 $S = 3d = 3 \times 2.2 = 6.6 \text{ cm}$ (規範之 10.3.9)，間距採用 7 cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 3.8 \text{ cm}$ (規範之表 C-10.3.7)

或

$$\text{螺栓之最小邊距 } L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{85.78}{8}}{4.1 \times 1.2} = 4.35 \text{ cm (規範之 10.3.10)}$$

續接板之厚度採用 1.2 cm，螺栓邊距採用 5 cm。

∴ 續接板為四片 $12 \times 345 \times 170$ 及兩片 $12 \times 345 \times 400$ SM 400 之鋼板

翼板內側續接板之寬度為 $17 \text{ cm} < 17.15 \text{ cm}$ OK

螺栓之強度檢核：

$$\text{螺栓之剪力 } V = \frac{85.78}{8} = 10.72 \text{ t} < 14.2 \text{ t (螺栓之剪力強度) OK}$$

螺栓孔之承壓力強度 $= 2.2 \times 2.1 \times (1.2 \times 4.1) \times 8 = 181.84 \text{ t}$ (規範之 10.3.6)

螺栓孔之承壓力強度 $181.84 \text{ t} > 85.78 \text{ t}$ (總壓力) OK

續接板之強度檢核：

$$\text{續接板之壓應力} = \frac{85.78}{1.2 \times (40 + 2 \times 17)} = 0.97 \text{ t/cm}^2 < 0.6F_y (=1.5 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

$$\text{或} \quad = \frac{85.78}{1.2 \times (40 + 2 \times 17 - 2.35 \times 8)} = 1.29 \text{ t/cm}^2 < 0.5F_u (=2.05 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

(2)腹板接合設計

$$\text{需要螺栓數} = \frac{45}{14.2} = 3.2 \text{ (不考慮偏心的效應)，採用 8 個}$$

∴ 採用 16 個 F10T M22 高強度螺栓(腹板續接板之上下側各 8 個)

續接板之設計：

螺栓間距採用 7 cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 3.8 \text{ cm}$ (規範之表 C-10.3.7)

或

$$\text{螺栓之最小邊距 } L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{45}{8}}{4.1 \times 1.2} = 2.29 \text{ cm (規範之 10.3.10)}$$

續接板之厚度採用 1.2 cm，螺栓邊距採用 4 cm。

∴ 續接板為兩片 $12 \times 305 \times 290 \text{ SM } 400$ 之鋼板

腹板續接板之寬度為 $29 \text{ cm} < 33 \text{ cm}$ OK

$$\text{螺栓之水平剪力 } V_h = \frac{45}{8} = 5.625 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之垂直剪力 } V_v = \frac{45 \times 7.75 \times 10.5}{4 \times [(3.5)^2 + (10.5)^2]} = 7.47 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之總剪力 } V_t = \sqrt{(5.625)^2 + (7.47)^2} = 9.35 \text{ t} < 14.2 \text{ t} \text{ OK}$$

$$\text{螺栓孔之承壓力強度} = 2.2 \times 1.3 \times (1.2 \times 4.1) \times 8 = 112.57 \text{ t (規範之 10.3.6)}$$

螺栓孔之承壓力強度 $112.57 \text{ t} > 45 \text{ t}$ (總剪力) OK

續接板之強度檢核：

$$\text{續接板之撓曲應力} = \frac{45 \times 7.75}{2 \times 1.2 \times \frac{29^2}{6}} = 1.04 \text{ t/cm}^2 < 0.6F_y (= 1.5 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

$$\text{續接板之剪應力} = \frac{45}{2 \times 1.2 \times 29} = 0.65 \text{ t/cm}^2 < 0.4F_y (= 1 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

續接板之撕裂剪應力(規範之 10.4)

$$= \frac{45}{2.1 \times [21 + 22 - 6 \times 2.35]} = 0.74 \text{ t/cm}^2 < 0.3F_u (= 1.23 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

接合之詳圖請參見圖 5.1。

(b) 摩阻型接合

$$\text{雙剪強度} = 1.41 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 \times 2 = 10.72 \text{ t/每支螺栓 (規範之表 C-10.3.2)}$$

(1) 翼板接合設計

$$\text{受壓翼板之總壓力} = 85.78 \text{ t}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{85.78}{10.72} = 8, \text{ 採用 8 個。}$$

∴ 採用 32 個 F10T M22 高強度螺栓(上下翼板續接板之兩側各 8 個)

續接板之設計：

螺栓之最小間距 6.6 cm(規範之 10.3.9)，間距採用 7 cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 3.8 \text{ cm}$ (規範之表 C-10.3.7)

或

$$\text{螺栓之最小邊距 } L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{85.78}{8}}{4.1 \times 1.2} = 4.36 \text{ cm (規範之 10.3.10)}$$

續接板之厚度採用 1.2 cm，螺栓邊距採用 5 cm。

∴ 續接板為四片 $12 \times 345 \times 170$ 及兩片 $12 \times 345 \times 400$ SM 400 之鋼板

翼板內側續接板之寬度為 $17 \text{ cm} < 17.15 \text{ cm}$ OK

螺栓之強度檢核：

$$\text{螺栓之剪力 } V = \frac{85.78}{8} = 10.72 \text{ t} = 10.72 \text{ t (螺栓之剪力強度) OK}$$

續接板之強度檢核：

$$\text{續接板之壓應力} = \frac{85.78}{1.2 \times (40 + 2 \times 17)} = 0.97 \text{ t/cm}^2 < 0.6F_y (= 1.5 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

或
$$= \frac{85.78}{1.2 \times (40 + 2 \times 17 - 2.35 \times 8)} = 1.29 t/cm^2 < 0.5F_u (= 2.05 t/cm^2) \quad \text{OK}$$

(2)腹板接合設計

需要螺栓數 $= \frac{45}{10.72} = 4.2$ (不考慮偏心的效應), 採用 8 個

∴ 採用 16 個 F10T M22 高強度螺栓(腹板續接板之上下側各 8 個)

續接板之設計 :

螺栓間距採用 7 cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 3.8$ cm (規範之表 C-10.3.7)

或

螺栓之最小邊距 $L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{45}{8}}{4.1 \times 1.2} = 2.29$ cm (規範之 10.3.10)

續接板之厚度採用 1.2 cm , 螺栓邊距採用 4 cm。

∴ 續接板為兩片 $12 \times 305 \times 290$ SM 400 之鋼板

腹板續接板之寬度為 29 cm < 33 cm OK

螺栓之水平剪力 $V_h = \frac{45}{8} = 5.625$ t

螺栓之垂直剪力 $V_v = \frac{45 \times 7.75 \times 10.5}{4 \times [(3.5)^2 + (10.5)^2]} = 7.47$ t

螺栓之總剪力 $V_t = \sqrt{(5.625)^2 + (7.47)^2} = 9.35 t < 10.72 t \quad \text{OK}$

續接板之強度檢核 :

續接板之撓曲應力 $= \frac{45 \times 7.75}{2 \times 1.2 \times \frac{29^2}{6}} = 1.04 t/cm^2 < 0.6F_y (= 1.5 t/cm^2) \quad \text{OK}$

續接板之剪應力 $= \frac{45}{2 \times 1.2 \times 29} = 0.65 t/cm^2 < 0.4F_y (= 1 t/cm^2) \quad \text{OK}$

續接板之撕裂剪應力(規範之 10.4)

$$= \frac{45}{2.1 \times [21 + 22 - 6 \times 2.35]} = 0.74 \text{ t/cm}^2 < 0.3F_u (= 1.23 \text{ t/cm}^2) \quad \text{OK}$$

此接合設計與圖 5.1 完全相同。

例題 5.2(極限設計法)

有兩支 H-400×400×13×21 相同斷面之鋼柱需做續接，續接處之因數化軸壓力為 180 t，強軸方向之彎矩為 20 t-m，剪力為 65 t。鋼料均為 SM 400($F_u=4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格 A490 M22 高強度螺栓。以剪力面含螺紋的承壓型螺栓，設計此續接。

設計步驟：

由鋼結構設計手冊：

H-400×400×13×21 斷面之基本資料為

$$A=218.69 \text{ cm}^2, S_x=3331 \text{ cm}^2, R=22 \text{ mm}$$

鋼柱翼板之單側由填角至邊緣之淨距(用以檢核柱翼續接板之寬度)

$$W_1 = \frac{400}{2} - \frac{13}{2} - 22 = 171.5 \text{ mm}$$

鋼柱斷面上下翼板填角間之淨距(用以檢核柱腹續接板之寬度)

$$W_2 = 400 - 2(13 + 22) = 330 \text{ mm}$$

$$\sigma_c = \frac{180}{218.69} = 0.82 \text{ t/cm}^2 \text{ (鋼柱之平均因數化壓應力)}$$

$$\sigma_t = \frac{2000}{3331} = 0.6 \text{ t/cm}^2 \text{ (因彎矩而產生受拉翼板外緣之因數化拉應力)}$$

$\sigma_c > \sigma_t$ ，翼板的接合設計由因彎矩作用下之受壓翼板所控制。

$$\text{雙剪強度} = 0.75 \times 4.2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 \times 2 = 23.95 \text{ t (規範之表 10.3.2)}$$

(1)翼板接合設計

$$\text{受壓翼板之總壓力} = 0.82 \times 40 \times 2.1 + \frac{2000}{(40 - 2.1)} = 121.65 \text{ t}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{121.65}{23.95} = 5.08, \text{ 採用 8 個。}$$

∴ 採用 32 個 A490 M22 高強度螺栓(上下翼板續接板之兩側各 8 個)

續接板之設計：

螺栓最小間距 $S = 3d = 3 \times 2.2 = 6.6 \text{ cm}$ (規範之 10.3.11)，間距採用 7 cm

螺栓之最小邊距 $L_e = 3.8 \text{ cm}$ (規範之表 10.3.7)

續接板之厚度採用 1.2 cm，螺栓邊距採用 4 cm。

∴ 續接板為四片 $12 \times 305 \times 150$ 及兩片 $12 \times 305 \times 400$ SM 400 之鋼板

翼板內側續接板之寬度為 $15 \text{ cm} < 17.15 \text{ cm}$ OK

螺栓之強度檢核：

$$\text{螺栓之剪力} V = \frac{121.65}{8} = 15.2 \text{ t} < 23.95 \text{ t (螺栓之剪力強度)} \text{ OK}$$

螺栓孔承壓力強度 = $0.75 \times 3 \times 2.2 \times 2.1 \times 4.1 \times 8 = 340.96 \text{ t}$ (規範之 10.3.9)

螺栓孔之承壓力強度 $340.96 \text{ t} > 121.65 \text{ t}$ (總壓力) OK

續接板之強度檢核：

$$\text{續接板之設計壓力} = 0.9 \times 1.2 \times (40 + 2 \times 17) \times 2.5 = 199.8 \text{ t} > 121.65 \text{ t} \text{ OK}$$

$$\text{或} \quad = 0.75 \times 1.2 \times (40 + 2 \times 17 - 2.35 \times 8) \times 4.1 = 203.69 \text{ t} > 121.65 \text{ t} \text{ OK}$$

(2)腹板接合設計

$$\text{需要螺栓數} = \frac{65}{23.95} = 2.7 \text{ (不考慮偏心的效應)}, \text{ 採用 4 個}$$

∴ 採用 8 個 A490 M22 高強度螺栓(腹板續接板之上下側各 4 個)

續接板之設計：

螺栓間距採用 7 cm

續接板之厚度採用 1.2 cm，螺栓邊距採用 4 cm。

∴ 續接板為兩片 12×165×290 SM 400 之鋼板

腹板續接板之寬度為 29 cm < 33 cm OK

$$\text{螺栓之水平剪力 } V_h = \frac{65}{8} = 8.125 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之垂直剪力 } V_v = \frac{65 \times 4.25 \times 10.5}{2 \times [(3.5)^2 + (10.5)^2]} = 11.84 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之總剪力 } V_t = \sqrt{(8.125)^2 + (11.84)^2} = 14.36 \text{ t} < 23.95 \text{ t} \text{ OK}$$

$$\text{螺栓孔承壓力強度} = 0.75 \times 3 \times 2.2 \times 2.1 \times 4.1 \times 4 = 170.48 \text{ t (規範之 10.3.9)}$$

螺栓孔之承壓力強度 170.48 t > 65 t (總剪力) OK

續接板之強度檢核：

續接板之撓曲彎矩

$$= 65 \times 4.75 = 308.75 \text{ t-cm} > 0.9 \times 2 \times 1.2 \times \frac{29^2}{4} \times 2.5 (= 1135.35 \text{ t-cm}) \text{ OK}$$

$$\text{續接板之剪應力} = \frac{65}{2 \times 1.2 \times 29} = 0.93 \text{ t/cm}^2 < 0.9 \times 0.6 F_y (= 1.35 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

接合之詳圖請參見圖 5.2。

5.2 銲接組合箱型鋼柱之續接

除了十字型鋼柱之外，銲接組合箱型鋼柱也是國內鋼結構建築常採用的鋼柱型式，但在美國鋼結構設計手冊中，並沒有銲接組合箱型鋼柱相關設計資料。對於以較薄的鋼板(厚度不超過 5cm)銲接組合的箱型鋼柱，設計規範容許以部份滲透或全滲透開槽銲續接，設計的過程較為簡

單，讀者可依規範的相關條文設計，在此不加贅述。但因臺灣地區位於環太平洋地震帶，為了抵抗地震的側向載重，高層鋼結構建築中，所設計之銲接組合箱型鋼柱的鋼板厚度時常很厚，對於以較厚的鋼板(厚度超過 5cm)銲接組合的箱型鋼柱，為了確保安全性，設計規範有特別的規定。

設計規範條文(容許應力法與極限設計規範 10.7.2)對於厚度超過 5cm 之熱軋型鋼，或由厚度超過 5cm 之鋼板以銲接方式組合而成之組合型鋼斷面，其續接斷面受拉力或彎矩所產生之主要拉應力所作用時，因為鋼板厚度過厚，有以下特別的規定：

- (1) 這些斷面之拉應力由全滲透開槽銲之續接所傳遞時，其母材應具足夠之衝擊韌性(於 20°C 時應有 2.7kg-m 之衝擊能量)，且應滿足相關之加工、預熱、銲接與檢驗要求。
- (2) 此斷面於拉力續接時，銲接之起弧板導板應切除且表面須磨平。
- (3) 受壓構材以及因風力與地震力作用之受拉構材續接時，可使用續接板來達成，以避免過度之銲接收縮應變。

第六章 梁與柱之簡支接合

目前國內最常採用之梁柱簡支接合的型式為美式腹部連接板接合方式，本章除了介紹前述接合方式的設計步驟外，並介紹較不常用到的梁柱簡支接合型式有(1)雙角鋼接合、(2)座式接合與(3)端板式接合。依據容許應力法與極限設計規範 10.1.1 之規定，簡支接合必須依據結構分析於接合處所得之剪力設計。

6.1 腹部連接板接合

腹部連接板接合為在梁端部之腹板，以螺栓在工地與一連接板連接，連接板的另一邊則在工廠與柱預先以填角鐸連接。因此種接合屬於簡支性，僅承受剪力，此種接合，梁端需與柱面保持 5 mm 的距離以方便安裝。

腹部連接板接合之詳細設計，讀者可自行參閱參考文獻七附錄 C 的說明，由於此類梁端承受剪力之簡支接合，在實務上不能接合於理論支點上，其因偏心產生的彎矩應予考慮。偏心彎矩的偏心距離與支點的柔軟性，及採用的螺栓型式有關，在本報告中對於螺栓組設計，所採用的偏心距離為螺栓中心至柱面的距離；對於連接板與柱面間之鐸接設計，則採兩倍的螺栓中心至柱面距離為偏心距離。

例題 6.1(容許應力法)

H-446×199×8×12 斷面之梁以腹部連接板接合法連接於柱之翼板，梁之反力 10 t。鋼料均為 SM 400($F_y=4.1\text{t/cm}^2$)，採用日本 JIS 規格 F8T M22 高強度螺栓。試設計此接合：(a)若為承壓型接合，剪力面含螺紋；(b)若為摩阻型接合，螺栓為標準孔徑，剪力面含螺紋。

設計步驟：

H-446×199×8×12 之斷面， $t_f = 12 \text{ mm}$ ， $R = 18 \text{ mm}$

梁斷面上下翼板填角間淨距(用以檢核梁腹連接板之深度)

$$T = 446 - 2(12 + 18) = 386 \text{ mm}$$

(a)承壓型接合

(1)鋼梁上螺栓

$$\text{單剪強度} = 1.41 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 = 5.36 \text{ t (規範之表 C-10.3.2)}$$

$$\text{承壓強度} = 2.2 \times 0.8 \times (1.2 \times 4.1) = 8.66 \text{ t (規範之 10.3.6)}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{10}{5.36} = 1.8 \text{ , 採用 3 個 F8T M22 高強度螺栓。}$$

(2)連接板之設計

螺栓最小間距 $S = 3d = 3 \times 2.2 = 6.6 \text{ cm}$ (規範之 10.3.9)，間距採用 7 cm。

螺栓之最小邊距 $L_e = 3.8 \text{ cm}$ (規範之表 10.3.7)

或

$$L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{10}{3}}{4.1 \times 0.8} = 2.03 \text{ cm (規範之 10.3.10) , 採用 4 cm。}$$

∴ 連接板為一片 8×220×85 SM 400 之鋼板

腹板連接板之寬度為 22 cm < 38.6 cm OK

(3)螺栓剪力強度之檢核

$$\text{螺栓之垂直剪力 } V_v = \frac{10}{3} = 3.33 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之水平剪力 } V_h = \frac{10 \times 4.5 \times 7}{2 \times 7^2} = 3.21 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之總剪力 } V_t = \sqrt{(3.33)^2 + (3.21)^2} = 4.63 \text{ t} < 5.36 \text{ t OK}$$

(4) 連接板與柱連接之填角銲量(規範之 10.2.2 與表 10.2.4 及 10.2.5)

採用 E70XX 銲材，單側之填角銲量(6 mm)。

$$\text{所需的銲接長度} = \frac{10}{\left(\frac{0.6}{\sqrt{2}}\right) \times 0.3 \times 5.07} = 15.5 \text{ cm} < 22 \text{ cm}$$

∴ 採用 E70XX 銲材，兩側填角銲量為 6 mm，銲接長度為 22 cm。

(5) 檢核連接板與柱間填角銲之拉力強度(規範之表 10.2.5)

$$\text{填角銲拉應力} = \frac{10 \times 9}{2 \times \frac{1}{6} \times \left(\frac{0.6}{\sqrt{2}}\right) \times (22)^2} = 1.31 \text{ t/cm}^2 < 0.6F_y (=1.5 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

(6) 連接板之抗剪強度

$$0.8 \times [22 - 3(2.2 + 0.15)] \times (0.4 \times 2.5) = 11.96 \text{ t} > 10 \text{ t} \text{ OK}$$

接合之詳圖請參見圖 6.1。

(b) 摩阻型接合

(1) 鋼梁上螺栓

$$\text{單剪強度} = 1.14 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 = 4.33 \text{ t (規範之表 C-10.3.2)}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{10}{4.33} = 2.3, \text{ 採用 4 個 F8T M22 高強度螺栓。}$$

(2) 連接板之設計

螺栓最小間距 $S = 3d = 3 \times 2.2 = 6.6 \text{ cm}$ (規範之 10.3.9)，間距採用 7 cm。

螺栓之最小邊距 $L_e = 3.8 \text{ cm}$ (規範之表 10.3.7)

或

$$L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{10}{3}}{4.1 \times 0.8} = 2.03 \text{ cm (規範之 10.3.10)}, \text{ 採用 4 cm。}$$

∴ 連接板為一片 $8 \times 290 \times 85$ SM 400 之鋼板

腹板連接板之寬度為 $29 \text{ cm} < 38.6 \text{ cm}$ OK

(3) 螺栓剪力強度之檢核

$$\text{螺栓之垂直剪力 } V_v = \frac{10}{4} = 2.5 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之水平剪力 } V_h = \frac{10 \times 4.5 \times 10.5}{2 \times [(3.5)^2 + (10.5)^2]} = 1.93 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之總剪力 } V_t = \sqrt{(2.5)^2 + (1.93)^2} = 3.16 \text{ t} < 4.33 \text{ t} \text{ OK}$$

(4) 連接板與柱連接之填角銲量(規範之 10.2.2 與表 10.2.4 及 10.2.5)

採用 E70XX 銲材，單側之填角銲量(5 mm)。

$$\text{所需的銲接長度} = \frac{10}{\left(\frac{0.5}{\sqrt{2}}\right) \times 0.3 \times 5.07} = 18.6 \text{ cm} < 29 \text{ cm}$$

∴ 採用 E70XX 銲材，兩側填角銲量為 5 mm，銲接長度為 29 cm。

(5) 檢核連接板與柱間填角銲之拉力強度(規範之表 10.2.5)

$$\text{填角銲拉應力} = \frac{10 \times 9}{2 \times \frac{1}{6} \times \left(\frac{0.5}{\sqrt{2}}\right) \times (29)^2} = 0.9 \text{ t/cm}^2 < 0.6F_y (=1.5 \text{ t/cm}^2) \text{ OK}$$

(6) 連接板之抗剪強度

$$0.8 \times [29 - 4(2.2 + 0.15)] \times (0.4 \times 2.5) = 15.68 \text{ t} > 10 \text{ t} \text{ OK}$$

接合之詳圖請參見圖 6.2。

例題 6.2(極限設計法)

H-446 \times 199 \times 8 \times 12 斷面之梁以腹部連接板接合法連接於柱之翼板上，梁之因數化反力 15 t。鋼料均為 SM 400 ($F_y = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美

國 ASTM 規格 A325 M22 高強度螺栓。以剪力面含螺紋之承壓型螺栓設計。

設計步驟：

H-446×199×8×12 之斷面， $t_f = 12$ mm， $R = 18$ mm

梁斷面上下翼板填角間淨距(用以檢核梁腹連接板之深度)

$$T = 446 - 2(12 + 18) = 386 \text{ mm}$$

(1)鋼梁上螺栓

$$\text{單剪強度} = 0.75 \times 3.36 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 = 9.58 \text{ t (規範之表 10.3.2)}$$

$$\text{承壓強度} = 0.75 \times 3 \times 2.2 \times 0.8 \times 4.1 = 16.24 \text{ t (規範之 10.3.9)}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{15}{9.58} = 1.57, \text{ 採用 3 個 F8T M22 高強度螺栓。}$$

(2)連接板之設計

螺栓最小間距 $S = 3d = 3 \times 2.2 = 6.6$ cm(規範之 10.3.11)，間距採 7 cm。

螺栓之最小邊距 $L_e = 3.8$ cm(規範之表 10.3.7)，採用 4 cm。

∴ 連接板為一片 8×220×85 SM 400 之鋼板

腹板連接板之寬度為 22 cm < 38.6 cm OK

(3)螺栓剪力強度之檢核

$$\text{螺栓之垂直剪力 } V_v = \frac{15}{3} = 5 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之水平剪力 } V_h = \frac{15 \times 4.5 \times 7}{2 \times 7^2} = 4.82 \text{ t}$$

$$\text{螺栓之總剪力 } V_t = \sqrt{(5)^2 + (4.82)^2} = 6.94 \text{ t} < 9.58 \text{ t OK}$$

(4)連接板與柱連接之填角鐸量(規範之 10.2.2 與表 10.2.4 及 10.2.5)

採用 E70XX 鐸材，單側之填角鐸量(6 mm)。

$$\text{所需的鐸接長度} = \frac{15}{0.75 \times \left(\frac{0.6}{\sqrt{2}}\right) \times 0.6 \times 5.07} = 15.5 \text{ cm} < 22 \text{ cm}$$

∴ 採用 E70XX 鐸材，兩側填角鐸量為 6 mm，鐸接長度為 22 cm。

(5) 檢核連接板與柱間填角鐸之拉力強度(規範之表 10.2.5)

$$\text{填角鐸之彎矩} = 15 \times 9 = 135 \text{ t-cm} < 2 \times 0.9 \times \frac{bh^2}{4} \times F_y (=231 \text{ t-cm}) \text{ OK}$$

(6) 連接板之抗剪強度

$$0.9 \times 0.8 \times [22 - 3(2.2 + 0.15)] \times (0.6 \times 2.5) = 16.15 \text{ t} > 15 \text{ t} \text{ OK}$$

接合之詳圖與圖 6.1 相同。

6.2 雙角鋼接合(Framed Connections)

雙角鋼接合為在梁端部腹板之盡端夾裝角鋼兩個於兩側，角鋼之一肢與梁腹板連接，另一肢則與柱連接。因此種接合屬於簡支性，僅承受剪力，為保有適當之柔度，角鋼厚度不宜超過於 16mm(參見容許應力法與極限設計規範 10.1.1 之解說)。此種接合，梁端需與柱面保持 5 mm 的距離以方便安裝。

此類之簡支接合，對於鋼梁肢上的螺栓而言，螺栓組承受偏心載重；對於柱肢上的螺栓而言，因為偏心距的緣故，上方的螺栓兼受剪力與拉力。但是因為偏心距不大，且螺栓內有預拉力，於設計此種接合時，習慣上不考慮偏心距，兩肢上之螺栓均認為僅承受垂直剪力。

例題 6.3(容許應力法)

H-446 × 199 × 8 × 12 斷面之梁以雙角鋼接合法連接於柱之翼板上，梁之反力 30 t。鋼料均為 SM 400($F_u = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用日本 JIS 規

格 F8T M22 高強度螺栓。試設計此接合：(a)若為承壓型接合，剪力面含螺紋；(b)若為摩阻型接合，螺栓為標準孔徑，剪力面含螺紋。

設計步驟：

H-446×199×8×12 之斷面， $t_f = 12$ mm， $R = 18$ mm

梁斷面上下翼板填角間淨距(用以檢核梁腹角鋼之深度)

$$T = 446 - 2(12 + 18) = 386 \text{ mm}$$

選用角鋼 L 100×100×10，設安裝螺栓無問題。

(a)承壓型接合

(1)梁肢上螺栓

$$\text{雙剪強度} = 1.41 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 \times 2 = 10.72 \text{ t (規範之表 C-10.3.2)}$$

$$\text{承壓強度} = 2.2 \times 0.8 \times (1.2 \times 4.1) = 8.66 \text{ t (規範之 10.3.6)}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{30}{8.66} = 3.46, \text{ 採用 4 個。}$$

(2)柱肢上螺栓

$$\text{雙剪強度} = 10.72 \text{ t}$$

$$\text{承壓強度} = 2.2 \times 1.0 \times (1.2 \times 4.1) \times 2 = 21.65 \text{ t} > 8.66 \text{ t (假設柱翼板較厚)}$$

∴ 4 個螺栓 OK

(3)角鋼之長度

$$\text{螺栓最小間距 } S = 3d = 3 \times 2.2 = 6.6 \text{ cm (規範之 10.3.9), 間距採用 7 cm。}$$

$$\text{螺栓之最小邊距 } L_e = 2.85 \text{ cm (規範之表 10.3.7)}$$

或

$$L_e = \frac{2P}{F_u t} = \frac{2 \times \frac{30}{4}}{4.1 \times 0.8} = 4.57 \text{ cm (規範之 10.3.10)}, \text{ 採用 } 5 \text{ cm。}$$

角鋼長度 = $3 \times 7 + 2 \times 5 = 31 < 38.6 \text{ cm OK}$

(4)角鋼抗剪強度

$$2 \times 1.0 \times [31 - 4(2.2 + 0.15)] \times (0.4 \times 2.5) = 43.2 t > 30 t \text{ OK}$$

∴ 一對 L 100 × 100 × 10 × 310 角鋼與 12 個 F8T M22 高強度螺栓。

接合之詳圖請參見圖 6.3。

(b)摩阻型接合

(1)梁肢上螺栓

$$\text{雙剪強度} = 1.14 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 \times 2 = 8.67 \text{ t (規範之表 10.3.2)}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{30}{8.67} = 3.46, \text{ 採用 } 4 \text{ 個。}$$

(2)柱肢上螺栓

$$\text{雙剪強度} = 8.67 \text{ t}$$

∴ 4 個螺栓 OK

(3)角鋼之長度

螺栓之間距採用 7 cm。

螺栓之邊距採用 5 cm。

角鋼長度 = $3 \times 7 + 2 \times 5 = 31 < 38.6 \text{ cm OK}$

(4)角鋼抗剪強度

$$2 \times 1.0 \times [31 - 4(2.2 + 0.15)] \times (0.4 \times 2.5) = 43.2 t > 30 t \text{ OK}$$

∴ 一對 L 100 × 100 × 10 × 310 角鋼與 12 個 F8T M22 高強度螺栓。

接合之詳圖與圖 6.3 相同。

例題 6.4(極限設計法)

H-446 × 199 × 8 × 12 斷面之梁以雙角鋼接合法連接於柱之翼板上，梁之因數化反力 45 t。鋼料均為 SM 400 ($F_u = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格 A325 M22 高強度螺栓。以剪力面含螺紋的承壓型螺栓設計。

設計步驟：

H-446 × 199 × 8 × 12 之斷面， $t_f = 12 \text{ mm}$ ， $R = 18 \text{ mm}$

梁斷面上下翼板填角間淨距(用以檢核梁腹角鋼之深度)

$$T = 446 - 2(12 + 18) = 386 \text{ mm}$$

選用角鋼 L 100 × 100 × 10，設安裝螺栓無問題。

(1) 梁肢上螺栓

$$\text{雙剪強度} = 0.75 \times 3.36 \times \frac{\pi}{4} \times (2.2)^2 \times 2 = 19.16 \text{ t (規範之表 10.3.2)}$$

$$\text{承壓強度} = 0.75 \times 3 \times 2.2 \times 0.8 \times 4.1 = 16.24 \text{ t (規範之 10.3.9)}$$

$$\text{需要螺栓數} = \frac{45}{16.24} = 2.77, \text{ 採用 4 個。}$$

(2) 柱肢上螺栓

$$\text{雙剪強度} = 19.16 \text{ t}$$

$$\text{承壓強度} = 0.75 \times 3 \times 2.2 \times 1.0 \times 4.1 \times 2 = 40.59 \text{ t} > 16.24 \text{ t (設柱翼板較厚)}$$

∴ 4 個螺栓 OK

(3) 角鋼之長度

螺栓最小間距 $S = 3d = 3 \times 2.2 = 6.6 \text{ cm}$ (規範之 10.3.11)，間距採 7 cm。

螺栓之最小邊距 $L_e = 2.85 \text{ cm}$ (規範之表 10.3.7) , 採用 4 cm。

角鋼長度 $= 3 \times 7 + 2 \times 4 = 29 < 38.6 \text{ cm}$ OK

(4)角鋼抗剪強度

$$0.9 \times 2 \times 1.0 \times [29 - 4(2.2 + 0.15)] \times (0.6 \times 2.5) = 52.92 t > 45 t \text{ OK}$$

∴ 一對 L 100 × 100 × 10 × 290 角鋼與 12 個 A325 M22 高強度螺栓。

接合之詳圖請參見圖 6.4。

6.3 簡單座式接合(Seated Connections)

簡單座式接合係指梁與柱藉在柱側面安裝一托座以支持梁端而連接之，托座大多為橫置之角鋼。此種連接屬於簡支性，僅能承受梁之反力，對於彎矩之抗力應儘量使其薄弱。此外為了防止鋼梁可能發生側向傾斜，可在梁頂或腹板側加裝一小型角鋼，但其強度不予計入。

例題 6.5(容許應力法)

H-446 × 199 × 8 × 12 斷面之梁以座式接合法連接於 H-582 × 300 × 12 × 17 柱之翼板上，梁之反力 15 t。鋼料均為 SM 400 ($F_u = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格 A490 M25 高強度螺栓。以螺紋在剪力平面之承壓型螺栓設計。

設計步驟：

(1)角鋼長度

$$\text{H-446} \times 199 \times 8 \times 12 \qquad b_f = 199 \text{ mm}$$

$$\text{H-582} \times 300 \times 12 \times 17 \qquad b_f = 300 \text{ mm}$$

採用 $\ell = 25 \text{ cm}$ 介於二 b_f 之間。

(2)橫肢寬度 w (規範之 11.2.3)

H-446 × 199 × 8 × 12

$t_w = 8 \text{ mm}$, $R = 18 \text{ mm}$

$$k = t_f + R = 12 + 18 = 30 \text{ mm}$$

$$\frac{R}{t_w(N + 2.5k)} < 0.66F_{yw}$$

$$\frac{15}{0.8(N + 2.5 \times 3)} = 0.66(2.5) \Rightarrow N = 3.86 \text{ cm}$$

採用 $w = 10 \text{ cm}$ 大於 $(3.86 + 0.5) \text{ cm}$ 。

(3) 角鋼設計

選用角鋼 L 100 × 100 × 10 , $k = 1 + 1 = 2 \text{ cm}$

M(橫肢最弱斷面處之彎矩)

$$M = R \left(\frac{N}{2} + 0.5 - k \right)$$

$$= 15 \left(\frac{3.86}{2} + 0.5 - 2 \right)$$

$$= 6.45 \text{ t - cm}$$

$$M = F_b \frac{\ell t^2}{6} = 0.75 F_y \frac{\ell t^2}{6} = \frac{F_y \ell t^2}{8}$$

$$\therefore t = \sqrt{\frac{8M}{F_y \ell}}$$

$$= \sqrt{\frac{8 \times 6.45}{2.5 \times 25}} = 0.91 \text{ cm} < 1.0 \text{ cm OK}$$

(4) 豎肢與柱之連接

$$M = R \left(\frac{N}{2} + 0.5 \right)$$

$$= 15 \left(\frac{3.86}{2} + 0.5 \right) = 36.45 \text{ t - cm}$$

(5) 螺栓之設計

$$\text{螺栓單剪強度} = 1.95 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 = 9.57 \text{ t (規範之表 10.3.2)}$$

$$\text{承壓強度} = 2.5 \times 1.0 \times (1.2 \times 4.1) = 12.3 \text{ t (規範之 10.3.6)}$$

$$\text{僅受剪力時所需之螺栓數} = \frac{15}{9.57} = 1.57$$

採用水平一列兩個螺栓，其邊距與間距為

$$\text{螺栓垂直邊距} = 4 \text{ cm } (1.5 \times 2.5 = 3.75 \text{ cm})$$

$$\text{螺栓水平邊距} = 8 \text{ cm}$$

$$\text{螺栓水平間距} = 9 \text{ cm } (3 \times 2.5 = 7.5 \text{ cm})$$

$$\text{承受剪力時螺栓之剪應力} = \frac{15}{2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2} = 1.53 \text{ t/cm}^2$$

計算豎肢承受彎矩之中性軸(與豎肢自由端之距離)：

$$25 \times x \times \frac{x}{2} = 2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 \times (4 - x)$$

$$\Rightarrow x = 1.42 \text{ cm}$$

$$\text{承受彎矩時螺栓之張應力} = \frac{36.45}{2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 \times (4 - \frac{1.42}{2})} = 1.1 \text{ t/cm}^2$$

拉力與剪力同時作用承壓式螺栓之容許張應力(規範之 10.3.4)：

$$\sqrt{(3.75)^2 - 3.75(1.53)^2} = 2.3 \text{ t/cm}^2 > 1.1 \text{ t/cm}^2 \text{ OK}$$

∴ 一支 L 100 × 100 × 10 × 250 角鋼與 2 個 A490 M25 高強度螺栓。

接合之詳圖請參見圖 6.5。

例題 6.6(極限設計法)

H-446 × 199 × 8 × 12 斷面之梁以座式接合法連接於

H-582×300×12×17 柱之翼板上，梁之因數化反力 22 t。鋼料均為 SM 400($F_u = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格 A325 M25 高強度螺栓。以螺紋在剪力平面之承壓型螺栓設計。

設計步驟：

(1)角鋼長度

$$\text{H-446} \times 199 \times 8 \times 12 \qquad b_f = 199 \text{ mm}$$

$$\text{H-582} \times 300 \times 12 \times 17 \qquad b_f = 300 \text{ mm}$$

採用 $\ell = 25 \text{ cm}$ 介於二 b_f 之間。

(2)橫肢寬度 w (規範之 11.2.3)

$$\text{H-446} \times 199 \times 8 \times 12 \qquad t_w = 8 \text{ mm} , R = 18 \text{ mm}$$

$$k = t_f + R = 12 + 18 = 30 \text{ mm}$$

$$\frac{R}{t_w(N + 2.5k)} < F_{yw}$$

$$\frac{22}{0.8(N + 2.5 \times 3)} = 2.5 \Rightarrow N = 3.5 \text{ cm}$$

採用 $w = 10 \text{ cm}$ 大於 $(3.5 + 0.5) \text{ cm}$ 。

(3)角鋼設計

選用角鋼 L 100×100×10， $k = 1 + 1 = 2 \text{ cm}$

M(橫肢最弱斷面處之彎矩)

$$M = R \left(\frac{N}{2} + 0.5 - k \right)$$

$$= 22 \left(\frac{3.5}{2} + 0.5 - 2 \right)$$

$$= 5.5 \text{ t} - \text{cm}$$

$$M = \phi M_p = 0.9 F_y \frac{\ell t^2}{4} = 0.9 F_y \frac{\ell t^2}{4} = 0.225 F_y \ell t^2$$

$$\begin{aligned} \therefore t &= \sqrt{\frac{M}{0.225F_y \ell}} \\ &= \sqrt{\frac{5.5}{0.225 \times 2.5 \times 25}} = 0.63 \text{ cm} < 1.0 \text{ cm OK} \end{aligned}$$

(4) 豎肢與柱之連接

$$\begin{aligned} M &= R\left(\frac{N}{2} + 0.5\right) \\ &= 22\left(\frac{3.5}{2} + 0.5\right) = 49.5 \text{ t-cm} \end{aligned}$$

(5) 螺栓之設計

$$\text{螺栓單剪強度} = 0.75 \times 4.2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 = 15.46 \text{ t (規範之表 10.3.2)}$$

$$\text{承壓強度} = 0.75 \times 3 \times 2.5 \times 1.0 \times 4.1 = 23.06 \text{ t (規範之 10.3.9)}$$

$$\text{僅受剪力時所需之螺栓數} = \frac{22}{15.46} = 1.42$$

採用水平一列兩個螺栓，其邊距與間距為

$$\text{螺栓垂直邊距} = 4 \text{ cm } (1.5 \times 2.5 = 3.75 \text{ cm})$$

$$\text{螺栓水平邊距} = 8 \text{ cm}$$

$$\text{螺栓水平間距} = 9 \text{ cm } (3 \times 2.5 = 7.5 \text{ cm})$$

$$\text{承受剪力時螺栓之剪應力} = \frac{22}{2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2} = 2.24 \text{ t/cm}^2$$

計算豎肢承受彎矩之中性軸(與豎肢自由端之距離)：

$$25 \times x \times \frac{x}{2} = 2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 \times (4 - x)$$

$$\Rightarrow x = 1.42 \text{ cm}$$

$$\text{承受彎矩時螺栓之張應力} = \frac{49.5}{2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 \times \left(4 - \frac{1.42}{2}\right)} = 1.53 \text{ t/cm}^2$$

拉力與剪力同時作用承壓式螺栓之容許張應力(規範之 10.3.4)：

$$0.75 \times [10.3 - 1.9(2.24)] = 4.53 \text{ t/cm}^2 > 1.53 \text{ t/cm}^2 \quad \text{OK}$$

∴ 一支 L 100×100×10×250 角鋼與 2 個 A490 M25 高強度螺栓。

接合之詳圖與圖 6.5 相同。

6.4 簡支性端板式連接(End-Plate Connections)

端板式連接為最簡單之梁端連接，方法為將鋼板一塊鐸於梁端，板面與梁之軸線垂直，再將板緊貼緊柱面上，用螺栓連接。此種連接可為簡支性，亦可為抗彎性。

例題 6.7(容許應力法)

H-446×199×8×12 斷面之梁以簡支性端板式接合法連接於柱之翼板上，梁之反力 30 t。鋼料均為 SM 400($F_u = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格 A490 M25 高強度螺栓。以螺紋在剪力平面之承壓型螺栓設計。

設計步驟：

(1) 螺栓之設計

$$\text{螺栓單剪強度} = 1.95 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 = 9.57 \text{ t (規範之表 10.3.2)}$$

$$\text{僅受剪力時所需之螺栓數} = \frac{30}{9.57} = 3.13, \text{ 採用 4 個螺栓。}$$

(2) 端板之設計

$$\text{螺栓之邊距} = 5 \text{ cm } (1.5 \times 2.5 = 3.75 \text{ cm})$$

$$\text{螺栓之間距} = 12 \text{ cm } [> (2 \times 5 + 0.8) \text{ cm}]$$

∴ 一片 10×220×220 SM 400 之鋼板與 4 個 A490 M25 高強度螺栓。

(3)端板與柱連接之填角鐸量(規範 10.2.2 與表 10.2.4 及 10.2.5)

採用 E70XX 鐸材，單側之填角鐸量(8 mm)。

$$\text{所需的鐸接長度} = \frac{30}{2 \times \left(\frac{0.8}{\sqrt{2}} \right) \times 0.3 \times 5.07} = 17.4 \text{ cm} < 22 \text{ cm}$$

∴ 採用 E70XX 鐸材，單側填角鐸量為 8 mm，鐸接長度為 22 cm。

接合之詳圖請參見圖 6.6。

例題 6.8(極限設計法)

H-446 × 199 × 8 × 12 斷面之梁以簡支性端板式接合法連接於柱之翼板上，梁之因數化反力 45 t。鋼料均為 SM 400 ($F_u = 4.1 \text{ t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格 A490 M25 高強度螺栓。以螺紋在剪力平面之承壓型螺栓設計。

設計步驟：

(1)螺栓之設計

$$\text{螺栓單剪強度} = 0.75 \times 4.2 \times \frac{\pi}{4} \times (2.5)^2 = 15.46 \text{ t (規範之表 10.3.2)}$$

$$\text{僅受剪力時所需之螺栓數} = \frac{45}{15.46} = 2.9, \text{ 採用 4 個螺栓。}$$

(2)端板之設計

$$\text{螺栓之邊距} = 5 \text{ cm } (1.5 \times 2.5 = 3.75 \text{ cm})$$

$$\text{螺栓之間距} = 12 \text{ cm } [> (2 \times 5 + 0.8) \text{ cm}]$$

∴ 一片 10 × 220 × 220 SM 400 鋼板與 4 個 A490 M25 高強度螺栓。

(3)端板與柱連接之填角鐸量(規範 10.2.2 與表 10.2.4 及 10.2.5)

採用 E70XX 鐳材，單側之填角鐳量(8 mm)。

$$\text{所需的鐳接長度} = \frac{45}{0.75 \times 2 \times \left(\frac{0.8}{\sqrt{2}}\right) \times 0.6 \times 5.07} = 17.4 \text{ cm} < 22 \text{ cm}$$

∴ 採用 E70XX 鐳材，單側填角鐳量為 8 mm，鐳接長度為 22 cm。

接合之詳圖與圖 6.6 相同。

第七章 梁與柱之彎矩接合

目前國內較常採用的梁柱彎矩接合的施工方式有以下兩種：

(1)托梁接合(現場高強度螺栓接合)

此種接合方式屬於日本式的作法，乃是在柱梁交接處於工廠製作時即完成一段梁斷面當作托梁，於工地現場吊裝時再將梁與托梁利用高強度螺栓予以接合。其優點為將現場電銲作業減至最低，可以得到較好的品質；缺點在於由工廠將具有托梁的柱運送至工地運輸成本較高。

(2)翼板全滲透銲腹板栓接或銲接之接合(現場銲接接合)

這種接合方式屬於美國式的作法為目前最常見者。其作法為於工廠製作時將連接板銲接於柱構材之上。於現場吊裝時利用高強度螺栓或銲接將連接板與梁腹板加以結合，再將梁翼板與柱以工地銲接方式加以完整的接合，其缺點在於工地銲接的品質較難控制。

日本式的梁柱接合方式，托梁與柱是以銲接接合，而托梁與梁是以梁與梁之彎矩續接設計(參見第四章)。本章中只探討美國式的梁柱彎矩接合方式，並介紹一些美國鋼鐵協會(AISC)設計手冊之梁柱彎矩接合方式(包括端銲式、平板式與雙 T 式接合)以供參考。依據容許應力法與極限設計規範 10.1.2 之規定，彎矩接合必須依據接合處的結構分析所得之彎矩與剪力設計。

自從美國北嶺與日本阪神地震發生後，傳統的梁柱彎矩接合被認為不具有充分的耐震韌性，以抵抗地震時的反復側向載重，目前美國有關當局已通令廢止傳統的梁柱彎矩接合方法。現在美日等國正進行大規模的相關試驗，以尋求替代性的梁柱彎矩接合方式，目前尚無具

體結果，在本章中將只簡略地介紹傳統的梁柱彎矩接合方式，在下一章將介紹兩種新開發的韌性梁柱彎矩接頭。

7.1 梁柱彎矩接合之鋼柱加強

由於鋼梁上的彎矩大部份是藉由翼板軸力形成的力偶傳遞至鋼柱，軸拉力(壓力)的集中載重可能使鋼柱產生破壞，設計規範規定 H 型鋼柱斷面必須作以下的檢核：

(1)翼板之局部彎曲

軸拉力使鋼柱翼板產生變形，此種變形可能使鋼柱的翼板與腹板接合的銲道，因承受過量的載重而破壞(參見容許應力法與極限設計規範 11.2.2)。

(2)腹板之局部降伏

此鋼柱腹板的強度規定與鋼梁腹板承受集中載重的情況非常類似(參見容許應力法與極限設計規範 11.2.3)。

(3)腹板壓皺

通常不會控制梁柱彎矩接合鋼柱的構件強度(參見容許應力法與極限設計規範 11.2.4)。

(4)腹板之受壓挫屈

軸壓力可能使鋼柱腹板承受很大的集中應力，而導致腹板之局部挫屈(參見容許應力法與極限設計規範 11.2.6)。

(5)腹板之剪力強度不足

鋼柱腹板剪應力可能很大(參見容許應力法與極限設計規範 11.2.7)。

若鋼柱無法滿足上述的設計要求，則鋼柱需要配置適當的加勁板(加勁板之設計規定參見容許應力法與極限設計規範 11.2.8)。

至於組合銲接箱型鋼柱，目前的設計規範沒有相關的規定，現在實務上的作法大致上有兩種，即是內部加勁法與外部加勁法，參見圖 7.1 與 7.2。

7.2 翼板全滲透銲腹板栓接之接合

例題 7.1(容許應力法)

H-446×199×8×12 斷面之梁以翼板全滲透銲腹板栓接接合法連接於柱之翼板上，梁之反力 10 t，彎矩為 12 t-m。鋼料均為 SM 400($F_v = 4.1\text{t/cm}^2$)，採用日本 JIS 規格 F8T M22 高強度螺栓。試設計此接合：(a)若為承壓型接合，剪力面含螺紋；(b)若為摩阻型接合，螺栓為標準孔徑，剪力面含螺紋。

設計步驟：

腹部接合板之設計請參見例題 6.1。

(a)與(b)之上下翼板之接合：上下翼板皆採用 SM 400 鋼板之相稱銲材 E70XX 全滲透銲接(參見規範之表 10.2.5)。

(a)接合之詳圖請參見圖 7.3。

(b)接合之詳圖請參見圖 7.4。

例題 7.2(極限設計法)

H-446×199×8×12 斷面之梁以腹部連接板接合法連接於柱之翼板上，梁之因數化反力 15 t，因數化彎矩為 18 t-m。鋼料均為 SM 400($F_u = 4.1\text{t/cm}^2$)，採用美國 ASTM 規格 A325 M22 高強度螺栓。以

剪力面含螺紋之承壓型螺栓設計。

設計步驟：

腹部接合板之設計請參見例題 6.2。

上下翼板之接合：上下翼板皆採用 SM 400 鋼板之相稱銲材 E70XX 全滲透銲接(參見規範之表 10.2.5)。

接合之詳圖與圖 7.3 相同。

7.3 其他型式的梁柱彎矩接合

其他較不常用的梁柱彎矩接合有三種，包括端銲式、平板式與雙 T 式接合，茲分別介紹如下：

- (1) 梁端直接銲於柱之翼板上，形成端銲式接合(參見圖 7.5)。
- (2) 平板式連接為藉梁之上翼板頂面與下翼板底面，均緊貼裝置一水平鋼板與柱連接，平板與梁翼板可藉螺栓或角銲連接一起，平板與柱翼板則用槽銲連接。另用一塊豎板藉螺栓裝於梁腹板之一側，其豎邊則用角銲與柱翼板連接(參見圖 7.6)。
- (3) 平板式之連接若將上下平板，換以 T 型之鋼件則成為雙 T 型連接(參見圖 7.7)。

第八章、柱續接及梁與柱彎矩接合之耐震設計

現行建築技術規則建築構造編有關鋼構造部份，並無耐震設計的相關條文，隨著高層建築物的增加，建築物耐震的需求也隨之提高。新公佈之「建築物耐震設計規範」，係參考美、日等國相關規範而制定，並已將一般建築物之設計地震力計算方式納入規範中，已於去(八十七)年五月公佈。而即將公佈的鋼結構兩項(ASD 與 LRFD)設計規範之第十三章之耐震設計，則是規範鋼構件耐震細部設計，主要係參考美國 UBC-94 與 AISC-92 耐震編，並參考北嶺地震與阪神地震後之相關研究報告，及國內之相關研究綜合而成。

由於柱構件在建築物中的重要性，以及國內普遍採用韌性抗彎矩構架做為抵抗地震力之鋼結構系統，在本章中將針對設計規範中有關前述部份做一簡要的說明。另外由於美國的北嶺地震與阪神地震後，韌性抗彎矩構架梁柱接頭大量破壞，引起各界震驚，而依據災後的研究顯示，傳統之翼板銲接，腹板鎖螺栓之抗彎接頭已無法可靠地提供耐震需求，目前美、日等國亦正積極進行替代式梁柱接頭相關之研究，現在尚無定論，本章亦介紹兩種代表性的韌性梁柱接頭供讀者參考。

耐震設計一章對於鋼構材所使用的材料、構材強度與設計地震力等，皆有特別的規定，以保障結構物的安全，茲分別敘述如下(參見容許應力法與極限設計規範 13.2.1~3)：

- (1) 用以抵抗地震力之鋼構材其材料規格應符合第三章之規定外，亦需符合特殊的規定。
- (2) 構材強度均採用塑性強度。

- (3) 結構分析時除須檢核各種載重外，若其他條文規定需再考慮放大地震力之情況時，則必須檢核含放大地震力之載重組合。

8.1 柱續接之耐震要求

柱為結構物的重要組成構件，若於地震時發生破壞，則將對於人命與財產產生相當大的損失。因此設計規範對於柱續接之耐震強度有特別的規定(參見容許應力法與極限設計規範 13.4.1~13.4.3)：

(1)柱強度要求

用以抵抗地震力之柱構材，除應滿足相關之載重組合外，在不考慮彎矩作用下，柱之軸向強度亦需滿足規範軸壓力與軸拉力之特定載重組合之要求。

(2)H 型鋼柱續接之規定：

- (a) 柱續接處須有足夠之強度抵抗柱耐震設計所規定之軸力，續接處須離梁柱接頭處梁翼板一公尺以上。
- (b) 續接時須採全滲透銲或高強度螺栓接合，以發揮斷面之全部強度。

(3)銲接組合箱型柱續接之規定：

- (a) 銲接箱型柱中，相鄰柱板間之銲接應以全滲透銲為之。
- (b) 在放大地震力作用下，若柱所受之軸壓力在其軸壓強度之 80% 以下，則相鄰柱板間之銲接得以部份滲透銲為之，惟在梁柱接頭區及其上下方各一倍柱寬之範圍內，仍須以全滲透銲為之，其中柱寬取兩向之較大值。
- (c) 含柱續接樓層之柱應全長採全滲透銲。

8.2 韌性抗彎矩構架梁柱接頭之耐震要求

韌性抗彎矩構架是國內目前最普遍採用的抗震結構系統，主要使用於抵抗地震力所引致之水平力，具有較可靠且足夠之韌性，以消散地震引致之能量。而由以往的地震後鋼結構破壞情形得知，大部份的破壞是由於韌性抗彎矩構架的梁柱接頭，無法如設計所預期進入塑性狀態以消散能量所致。因此設計規範特別對於韌性抗彎矩構架梁柱接頭之塑性變形能力有相關的規定，以確保鋼構架的安全。梁柱接頭之強度要求與塑性變形能力之限制如下(參見容許應力法與極限設計規範 13.6.1)：

(1)設計撓曲強度

(a)傳統翼板全滲透鉚腹板栓接或鉚接之接合(以下兩式取小者)

(i) 梁之塑性彎矩

(ii)梁柱腹板交會區剪力強度對應之梁端彎矩。

(b)補強式接頭

梁柱接合處所需之撓曲強度為梁臨界斷面產生塑性鉸時對應之梁端彎矩，惟計算該彎矩時應考慮臨界斷面部位實際鋼材材質之變異性及鋼材應變硬化之影響。

(c)減弱式接頭

梁柱接合處所需之撓曲強度為梁塑性彎矩。

註：補強式接頭係指將梁柱交界處局部加強，並將塑性鉸外移；減弱式接頭係指將梁柱交界處之鋼梁以切削等方法局部減弱，以提供一預先之擴大塑性區來消散地震所導致的能量。

(2)設計剪力強度

接合處之剪力強度須能抵抗由載重組合 $1.2D + 0.5L$ 而得，並加上梁臨界斷面產生該斷面之塑性彎矩所造成之剪力。但所需之剪力強度不須超過由載重組合(13.3-1)式所得之剪力。

(3)接合細則

a.梁柱接頭所需塑性轉角應以下述三規定之一決定之：

(1)0.03 弧度。

(2)非線性動力分析所得之最大塑性轉角加上 0.005 弧度。

(3) $1.1(R - 1.0)\theta_E$

其中

R = 結構系統韌性容量

θ_E = 在設計地震力 E 作用下之最大層間變位角。

b.梁柱接頭所能提供之塑性轉角應以下述三規定之一決定之：

(1) 反復載重試驗。

(2) 若未進行結構試驗，則設計者應提供一可信之證明，說明其設計之柱、梁構材及接頭與過去所進行過之破壞試驗不僅在設計方式相同，且其採用之材料、銲接方法、尺寸、施工方法、施工流程皆與過去所做的結構試驗情況類似，而其最大梁翼板厚不大於 1.25 倍過去所試驗之梁翼板厚，且其梁翼板之塑性模數與全斷面塑性模數之比值不小於過去所試驗之梁。

(3) 不符合前述(2)之板厚或塑性模數比值要求但梁翼板厚不超

過 45mm 者，設計者應提供可信之分析或計算，並經公正之第三者審查通過方得使用。

8.3 新開發韌性梁柱接頭之介紹

鋼骨結構一向被認為具有良好的耐震韌性，因此廣為使用於世界各地之建築結構上，尤其高層建築更是大量採用鋼骨結構。但自美國北嶺地震首次曝露韌性抗彎構架梁柱接頭大量破壞之現象，引起各界震驚，甚至造成社會恐慌。過去鋼梁腹板以螺栓鎖定，翼板則以工地全滲透銲接，被視為最佳的耐震系統，但現被證實其梁端之塑性轉角無法達到結構耐震的需求。目前美、日等國都在積極地進行各項的實驗與分析，希望能儘速尋求替代性的韌性梁柱接頭，此項工作刻正持續進行中，現在尚未得到具體的結論。目前建議的接頭設計著重於補強式接頭與減弱式接頭，而由於補強式之接頭施工甚為困難，且補強後的實驗結果並不穩定。故本節只介紹兩種最近開發的減弱式韌性梁柱接頭提供讀者參考。

8.3.1 鋼梁翼板切削式梁柱接頭

國立臺灣科技大學教授陳生金利用加大梁柱接頭的降伏區域，可以大幅提昇韌性消能能力的構想，將鋼梁翼板斷面依極限強度的需求，變更鋼梁翼寬，使構件在變斷面之區域可同時達到降伏狀態，並以全面吸收能量之方式提高構架的耐震能力(參見圖 8.1)。

依據陳教授所進行之實驗與數值分析成果顯示，該接頭確實具有極佳的之可靠消能能力。而由於此接頭之基本原理在於預先選定強制梁的降伏區域，並依據需求彎矩切削翼板。在考量垂直載重與側向載重之組合載重時，其彎矩梯度為二次變化，但因切削之目標區為梁深

之半左右，故可將其視為直線段以簡化切割之計算與施工；且鋼梁翼板之切削可於鋼構廠加工，此類加工無需電銲，品質穩定，變異小，比一般補強式接頭具有較佳的施工性。

8.3.2 鋼梁腹板開槽式梁柱接頭

美國 SSDA 工程顧問公司(Seismic Structural Design Associates, Inc.)在現代鋼結構雜誌於 1997 年 3 月提出鋼梁腹板開槽式梁柱接頭(參見圖 8.2)的觀念，該接頭是在美國傳統翼板全滲透銲腹板栓接或銲接接頭附近區域內，以及上下翼板與剪力板之間的鋼梁腹板上，開兩道平行翼板的槽其長度約一英尺，如此的作法可以使得梁柱接頭在反復的側向載重作用下，開槽區域上下鋼梁翼板同時達到降伏的狀態，產生消能的功效，目前在美國已有數棟建築物實績。

依據該公司的實驗成果與有限元素分析結果顯示，此種鋼梁腹板開槽式梁柱接頭在極大的地震力作用下，有以下的優點：

- (1) 梁柱交界處的鋼梁達到其塑性彎矩。
- (2) 使鋼梁塑性鉸遠離梁柱交界處。
- (3) 在梁柱交界處至開槽端部區域內，鋼梁翼板的拉與壓應力與應變幾乎成均勻分布。
- (4) 排除無開槽鋼梁可能產生的側向扭轉挫屈模式。
- (5) 大量降低鋼梁翼板之銲接垂直剪力。
- (6) 減少接頭的銲接殘留應力。

雖然鋼梁腹板處開槽，使得梁翼板能均勻承受由於彎矩所造成的拉、壓力作用，而改善翼板撓曲應力集中的情況。但構件的單元其局

部挫屈之寬厚比規定，就 H 型斷面而言，其受壓肢材之寬度為腹板支持邊至翼板自由邊之距離，即翼板標稱全寬度之一半。但若鋼梁翼板與腹板切開，將使翼板無適當的支持，而成為純粹的鋼板受壓，如此規範中之寬厚比限制已不復適用，需以彈性力學理論進一步探討翼板之挫曲行為，故此類梁柱接頭其適用性尚待更多的實驗與研究加以驗證。

第九章 結論與建議

- (1) 本研究計畫配合目前已經本部建築技術審議委員會審議通過之鋼結構建築物設計技術規範(容許應力設計法及極限設計法)，研擬出本土化的鋼構造接合設計示範例，對於推廣國內應用鋼結構具有正面的意義。
- (2) 而依據美國北嶺地震災後的研究顯示，美式傳統之翼板銲接，腹板鎖螺栓之抗彎接頭已無法可靠地提供耐震需求。目前美、日等國正積極進行大規模替代性梁柱接頭相關之研究，國內因受限於主客觀因素之影響，無法進行類似規模的實驗，但因我國鋼結構深受兩國的影響，國內應密切注意其研究發展的結果，並保持暢通的交流管道。
- (3) 雖然目前國內生產熱軋型鋼的工廠極少，且斷面的種類也不夠齊全，但是型鋼比組合斷面製造品質較易控制，且可以降低製造組合斷面時所使用的能源及產生的二氧化碳，是未來國內推動鋼結構必走的道路。政府相關單位也必須制定配合的相關措施，如鼓勵生產熱軋型鋼工廠的成立、及建立國家型鋼斷面標準等，才能得到明顯的功效。

參考文獻

- (1) 內政部建築研究所籌備處，鋼構造容許應力法規範及解說研究，民國八十四年六月。
- (2) 內政部營建署，鋼結構容許應力法技術規範及解說(草案)，民國八十六年一月。
- (3) 內政部營建署，鋼結構施工規範，民國八十四年五月。
- (4) 內政部營建署，鋼結構極限設計法技術規範及解說(草案)，民國八十六年一月。
- (5) American Institute of Steel Construction, Manual of Steel Construction, Allowable Stress Design, 1989.
- (6) American Institute of Steel Construction, Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design, 1986.
- (7) American Institute of Steel Construction, Manual of Steel Construction, Volume II Connections(ASD 9TH EDITION/ LRFD 1ST EDITION), 1992.
- (8) American Institute of Steel Construction, Modern Steel Construction, Seismic Design-Proprietary Slotted Beam Connection Designs, March 1997.
- (9) 日本社團法人鋼材俱樂部鐵骨構造接合部標準化委員會，鐵骨構造標準接合部 SCSS(上下冊)，1986 年。
- (10) 中華民國結構工程學會，鋼結構設計手冊(容許應力法)，民國八十六年八月。
- (11) 營建世界雜誌社，鋼結構設計學，民國七十九年五月。
- (12) 內政部建築研究所籌備處，鋼結構標準型鋼斷面及建議之接合型式與細部研擬(I)，民國八十三年六月。