

鋼結構改良式梁柱接頭安全性探討

陳正平 技師

摘要

梁翼圓弧形切削梁柱接頭之安全性，在地震力作用下，僅能於近圓弧之中央處之小區域產生塑性鉸，且因過度切削致其所對應梁柱交界面之強度僅為原設計之 62%~78%。尤其是跨度較大之梁其強度折減量更大，甚至在長期載重下之安全係數已不足，且易產生局部挫屈或側向扭轉挫屈等破壞現象。因此一個良好之梁柱接頭之設計，除應具足夠之強度、塑性變形能力外，其整體安全性亦應具均勻及一致性。

採用梯形切削法提高梁柱接頭韌性之經濟效益甚高，而切削對梁柱接頭勁度之影響僅 3~5%，且一般僅須對韌性需求較高之接頭進行切削即可，因此其對整體之勁度影響可忽略。

「梁翼梯形切削法之減弱式梁柱接頭」製作簡易，消能效果顯著，尤其是不妨礙鋼結構立體韌性剛構架之原有機能，亦可用於提高立體韌性剛構架耐震能力之結構補強，對接頭區橫隔板之高入熱量電熱熔渣銲道亦形成保護功能。實為目前已知之解決梁柱剛構架韌性問題之最佳方案。

一、前言

「梁翼梯形高韌性梁柱接頭」(見圖 1)是國立台灣科技大學陳生金教授執行「行政院國家科學委員會」研究計畫所研究發展之成果，並由「行政院國家科學委員會」獲得台灣、美國、日本及歐盟等國際性專利。自從「梯形切削減弱式高韌性梁柱接頭」發明問世後，雖然甚多相關研究如雨後春筍般展開，但至今仍無出其右者，且「梯形切削減弱式高韌性梁柱接頭」至今仍為鋼結構韌性剛構架梁柱接頭之主流，筆者對陳教授的發明在其專利期已於民國 103 年 5 月屆滿，藉本文予以推崇並藉以表達敬意。

現行建築物耐震設計規範的基本精神係在於當輕度及中度地震力作用下，結構體保持在彈性限度內沒有損壞，或在可修復補強的範圍內；在設計地震力作用下，則維持在可修復之程度。若規範規定在設計地震力作用下仍限制建築物須保持在彈性限度範圍內，則造價較高，不符合經濟效益。因此將設計地震力作適度的折減，並規定由梁之端部產生塑性轉角，來消耗所折減掉之地震能量，降低建築物之地震反應。因此現行設計規範規定結構物須符合耐震韌性設計之規定。

鑒於耐震設計規範已考慮建築物之韌性容量而將設計地震力折減，因此設計時應使其能達到預期之韌性容量。目前『鋼結構設計規範』對「韌性立體抗彎矩

構架」有關耐震之韌性需求有下列規定：

1、鋼材方面：

『鋼結構設計規範』對箱型柱之鋼材，考慮到柱內橫隔板須採用電熱熔渣銲或電熱氣體電弧銲來銲組梁柱接頭之橫隔板，以及梁翼板與柱板作全滲透開槽銲時，因銲接所產生之入熱量甚高，銲接熱影響區之範圍有可能產生銲接脆裂及層狀撕裂現象。因此規定「箱型柱之鋼材應使用符合 CNS 13812 SN 400B/C 或 SN 490B/C 之鋼板，且柱板厚超過 40mm 時規定應採用 CNS 13812 SN 400C 或 SN 490C 之鋼板」。

2、梁柱接頭方面

(1)梁、柱彎矩強度比：

梁柱構架須以降伏發生在梁端為設計原則，以確保強柱弱梁之結構行為。

(2)梁柱接合處之撓曲強度：

a、傳統翼板全滲透開槽銲，腹板栓接或銲接之接頭：須達到梁標稱塑性彎矩強度 M_p 。

b、補強式梁柱接頭：接合處所需之撓曲強度 M_u ，為梁臨界斷面產生塑性鉸時，所對應之梁端彎矩。

c、減弱式接頭：梁、柱接合處所需之撓曲強度 M_u 為梁標稱塑性彎矩 M_p 。

(3)梁、柱接合處之設計剪力強度：接合處之剪力強度須能抵抗由載重組合 $1.2D+0.5L$ ，並加上梁臨界斷面處產生該斷面之塑性彎矩所造成之剪力。

(4)梁、柱接合處「塑性轉角」變形需求以下列方法之一決定之：

a、0.03 弧度。

b、非線性動力分析所得之最大塑性轉角加上 0.005 弧度。

c、 $\theta_p = 1.1(R-1.0) \theta_E$

其中

θ_p = 塑性轉角。

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。



圖 1：減弱式梁柱接頭示意圖^[楊慶森]

二、改良式梁柱接頭型式

由 1994 年元月美國南加州洛杉磯西北方之北嶺地震中，所出現之鋼結構接頭破壞模式，已證實傳統之梁翼板銲接，腹板鎖高強度螺栓之抗彎矩接頭，無法可靠地提供所需之塑性轉角。近年來針對此項缺失所研發出來之改良式接頭型式主要可分為二大類，一為梁端加勁或加強之補強式接頭(見圖 2^[1])；另一為在接近梁端之塑鉸區切削減弱之減弱式接頭(見圖 3^[1])。補強式接頭最常採用之型式為蓋板補強式接頭(見圖 2(a)所示)，其塑性轉角由文獻資料顯示雖勉強可以達到 0.03 弧度之需求^[1]，但仍有下列缺點不易獲得改善：

- (1) 蓋板增加梁翼之全滲透開槽銲之厚度，大幅增加銲接入熱量及銲接熱影響區之範圍，容易產生脆性斷裂現象，及柱翼板容易產生層狀撕裂現象。
- (2) 以蓋板增厚後之梁翼板厚度與箱形柱內橫隔板厚度差異過大，致橫隔板厚度不足且產生應力集中現象及柱板偏心彎矩。

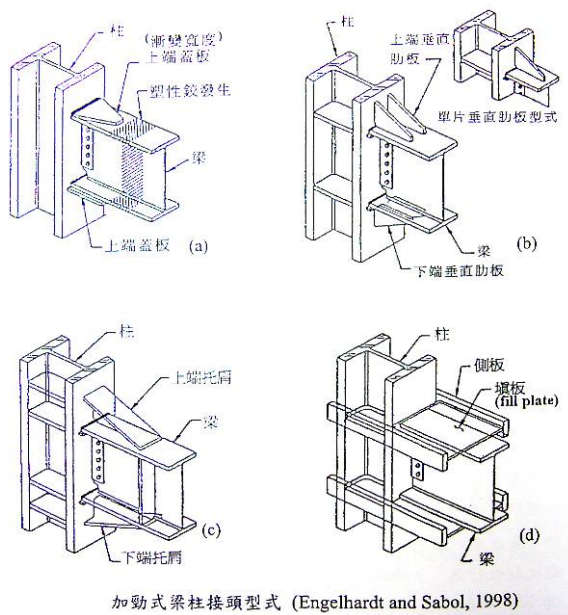


圖 2：補強式梁柱接頭示意圖^[1]

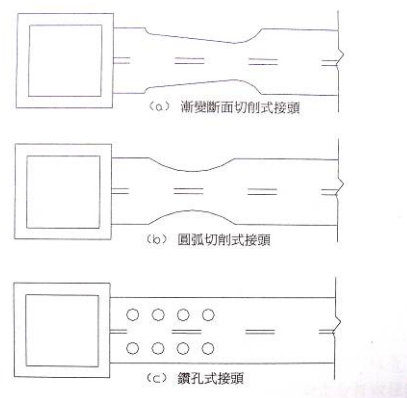


圖 3：減弱式梁柱接頭示意圖^[1]

最經濟有效之梁翼減弱式梁柱接頭首推台灣科技大學陳生金教授所研發之梯形漸變斷面切削減弱式梁柱接頭(見圖 4(b)所示)。鋼結構梁柱接頭之設計應符合鋼結構設計規範「塑性轉角」之基本韌性要求，而梁翼切削減弱式梁柱接頭為最容易滿足「塑性轉角」需求之梁柱接頭型式，因此已廣泛使用於國內外之鋼結構高樓結構中。常見之梁翼切削減弱式梁柱韌性接頭有「梯形切削」與「圓弧切削」二種主要型式(見圖 4 所示)，二者均屬非等斷面之切削型式，但事實上其結構行為及消能效果仍有很大的差異。圖 4(b)之梯形切削係依據圖 4(a)之梁設計彎矩梯度切削而成，可依「塑性轉角」需求改變梯形切削段之長度，可明確地規劃出一擴大之塑性鉸區域，其消能效果甚佳，故梯形切削減弱式梁柱韌性接頭為目前已知之最佳韌性梁柱接頭型式。圖 4(b)中梯形切削減弱式梁柱韌性接頭係由 ab 段及 cd 段，作為前後兩弧線漸變段，及中間 bc 梯形切削段所組成。其形狀之切割可採用樣板作半自動切割(見圖 7)，或採 NC(數位控制切割機) 作全自動切割^[3]。

圖 4(c)為以三直線組成，惟若以三直線組成，易於轉折凹角處產生應力集中現象，且切割時易於轉折凹角處產生焰切凹陷，故應避免使用。美國亦有研究人員採用圖 4(c)之三直線段式切削作試驗，此種切削型式試驗結果雖亦可發揮不錯之塑性變形能力，但由於兩直線相交之設計因易於凹角處造成切割燒蝕而凹陷，因而在轉折處產生應力集中等問題而容易由該處產生疲勞斷裂情形，故應避免直線轉折方式切削，建議應以圖 4(b)之兩弧線採前、後小區段漸變轉換，再於中間段以梯形直線段連接。

圖 4(d)之切削方式為採「圓弧切削」型式為之，其切削形狀詳如圖 4(d) 中之 abcef 圓弧線來模擬圖 4(a)及 4(b)之目標區 bc 段，但因 bc 段為直線段，因此僅能得到概略近似之值。且若希望使其形成一圓弧形狀，則為達到足夠的塑性轉角變形量，其整體之切削區將大於圖 4(b)之 abcd 長度兩倍以上。但若檢視圖 4(a)可知，當彎矩梯度通過目標區 bc 後地震力逐漸減小，因此在目標區終(c)點後之切削，僅為提供一平順之力量轉換區之功能，對塑性消能之助益不大。另外，鋼梁之抗側向扭轉挫屈之勁度主要係來自於翼板之面內勁度，而圖 4(d)中之 abcef 將形成過度切削，且將易引致鋼梁整體側向扭轉挫屈之發生。圓弧切削型式亦常大幅簡化如圖 4(e)之切削，並以經驗公式決定切削型式及切削量 (如圖 4(e))^[4]所示。

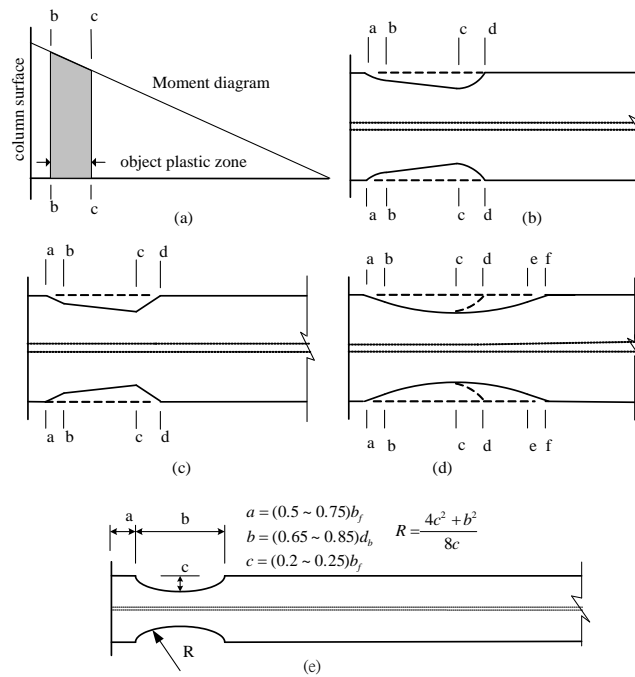


圖 4：主要梁翼切削式梁柱接頭型式示意圖

三、各種減弱式梁柱接頭之安全性

減弱式梁柱接頭並非可無限制的將梁之強度減弱，在設計上有甚多須特別注意之要點，設計時仍應符合梁在各種可能載重組合力量作用下所需之強度，當梁之斷面尺寸決定後，依韌性抗彎矩構架之設計需求，在設計梁柱之抗彎矩接頭時，其強度需求應能發揮梁之全部強度，因此其設計強度須達梁之塑性彎矩強度，亦即須達 M_p 。而我國鋼結構設計規範對梁柱接頭設計之規定，則首先須符合強度需求，其次再符合塑性變形能力需求，但不得為了符合塑性變形能力需求，而降低強度需求。塑性變形能力則須以實驗驗證，或提供過去所曾進行之實驗資料以驗證其可行性。設計者應了解實驗驗證之目的在於其塑性變形能力，而非驗證其強度。

3.1 梁翼梯形切削之力學原理

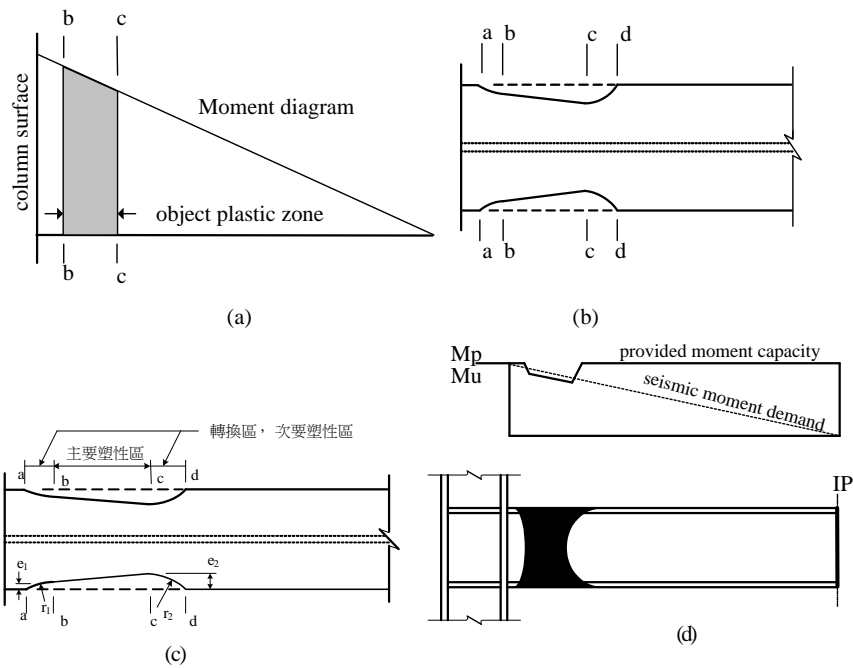
在評估梁柱接頭之強度需求時，因一般鋼梁皆以標準型鋼斷面設計，因此梁斷面強度應大於需求強度，因而縱使梁翼依彎矩需求切削減弱 5~10%，其強度仍可接近原設計強度之安全需求。減弱式梁柱接頭之設計，其強度最多僅能依設計值折減約 5~10%，超過此值應進行詳細分析，以免嚴重降低接頭處梁之強度。雖然在採用梁翼切削式接頭時，一般係在預選之塑性區將梁斷面提供之需求強度折減約 5%~10%，以強制於預選區先產生降伏，而梁翼切削後所提供之強度仍可符合設計安全需求。

梁翼切削減弱式梁柱接頭在設計時可簡化為依據圖 4(a)地震彎矩強度需求，並依梁柱接頭之韌性需求，決定切削之彎矩折減量及塑性目標區之長度，並將目標區鋼梁之翼板切削，以達成不同之塑性變形能力。一般可採目標區之設計強度等於 90%~95%之彎矩強度需求量，以強制使塑性消能區域發生於預先選定之位置，如圖 5(b)之 bb~cc 區域，切削起始點 aa 離柱面約 10 cm~20 cm 以避開銲接扇形孔、螺栓孔等，而圖 5 之 aa 至 bb 則為切削之前轉換區，約 5 cm，主要塑性降伏區長度 bb~cc 則約為 50%~80%梁深，cc 至 dd 則為切削之後轉換區，其長度約在 10~20 cm。

鋼板之切割甚為容易，可依樣板採半自動切割即可，亦可採自動切割機切割。且圖 5(b)之凹角弧形切割轉換區與鋼材拉力試片之基本切削型式相同，此亦是避免切割區產生疲勞斷裂之方法；凸角則無須設置弧形切割轉換區。目標區前後之轉換區可以 $r_1 \geq 2e_1$ 及 $r_2 \geq 2e_2$ 作為轉換區弧形段之半徑，其中 e_1 及 e_2 分別為 bb 斷面及 cc 斷面翼板單側之切削量，見圖 5(c)。

鋼梁翼板之切削量若太大，除可能造成梁強度太低，致無法滿足實際強度需求外，亦將降低結構之勁度，而另一問題則因梁之抗側向扭轉勁度主要來自於梁之翼板的面內勁度，翼板切削量太大將造成斷面之 Z_f/Z 過低，及降低梁之側向扭轉挫屈強度。國內現行耐震規範規定梁斷面之 Z_f/Z 不應小於 70%，在切削區因屬變斷面，因此其 Z_f/Z 並非定值，但在最小斷面處(圖 5(b)之 cc 斷面)仍建議應維持在 65%以上，以免影響其整體之塑性變形能力，也因此若對於須進行切削之梁斷面，其 Z_f/Z 建議選用 75%以上之型鋼斷面，以提供足夠之切削容忍度；若無法避免時則可採加大梁之設計斷面再行切削之方式，或增設側撐位置，以提昇其側向扭轉挫屈之強度。在短梁之情況有可能切削後之剩餘斷面之 Z_f/Z 小於 65%，此時宜避免切削或增設上、下翼板之側向支撐，或改採補強式接頭。

在進行切削之主要目標區設計時，加大切削區之長度可增加其變形能力，但設計者應了解梁柱接頭設計之原理，過量之切削事實上將導致整體強度及勁度下降，不符設計規範對強度需求。在設計上若需較大之變形量則以加大切削區之長度為宜，由圖 5(a)及 5(b)亦可得知加大降伏區之長度可增加其消能量，此因塑性變形量與等應力之目標切削區長度成正比，但其強度則不致降低太多。亦即加大切削區長度可直接且有效的增大其塑性變形量。



(a) 接頭區之地震力彎矩變化 (b) 建議之切削方式
 (c) 切削設計之參數 (d) 切削區可提供一擴大之塑性區

圖 5：高韌性梁柱接頭之設計

3.2 梁翼圓弧形切削之力學原理

梁翼圓弧形切削型式為大幅簡化圖 4(d)之切削方式，並以經驗公式決定切削量及切削型式 (如圖 4(e)所示)^[4]。此種簡化之圓弧切削型式由於過度簡化致使接頭處所能提供之強度與梁之實際彎矩梯度間之差異太大。又為使簡化後之圓弧切削接頭具有足夠之變形能力，則常在最小斷面處過度切削，致使梁之強度下降過多，應力將集中於圓弧之最小斷面處，其塑鉸行為並僅形成於局部之小區域降伏，其降伏區將較圖 4(b)之梯形切削型式大幅減少，且因切削過大，甚至高達梁翼寬度之 50%^[4]，致其強度減弱之幅度可能高達全斷面之 30~40%以上，由於已將梁大幅減弱，致雖然其塑性變位可增加，但事實上強度不足，違反設計規範對強度需求及變形量之規定，致整體消能能力將大幅下降 (消能能力為強度與塑性變形量之乘積)。

四、梁翼切削梁柱接頭安全性評估

高韌性梁柱接頭之設計應依圖 4(a)之彎矩梯度，並採圖 4(b)之切削型式為之，以符合結構力學之基本學理，如此方能確保梁柱-接頭之韌性消能能力及結構強度之安全性，同時為避免轉換區所產生之應力集中現象，凹角之切削形式則應採用圖 4(b)之平順轉換切削型式。

採圖 4(e)簡化公式之圓弧切削，則因其過度簡化，其公式未包含梁之長度參數，而地震力在梁上之彎矩分佈梯度與梁之長度有關，若設計時未考量此參數之影響，則不同之梁長度，其受行為之反應即不同，因此圓弧切削接頭之韌性及安全性常出現過度切削致其強度嚴重不足，因而大幅降低其結構安全性。表 1 係以某一工程為例，若依圓弧切削經驗公式設計^[5]，由圖 4 及表 1 可知在地震力作用下，將於近圓弧之中央處之小區域產生塑性鉸，而此時其所對應梁柱交界面之強度僅為原設計之 62%~78%(見圖 6)，亦即設計地震力已降低 22%~38%，而因設計地震力之大小與地表加速度約成正比關係，因此若原來之震區設計地表加速度為 0.33 g，則經此圓弧切削後，其所對應之設計地震力事實上已依相同比例大幅折減，成為 $0.33g \times 0.62 = 0.20g$ ，亦即若原為強震區地表加速度 0.33g，經圓弧切削後已被降低為中震區甚或弱震區。尤其是跨度較大之梁其強度折減量更大，甚或在長期載重下安全係數已不足，亦可能產生過大之變形量而造成樓版開裂現象。因此圓弧切削型式會造成結構整體耐震能力及垂直荷重承載能力不足之現象。且常因過度簡化致使結構行為及其安全性呈現不均勻現象，而無形中有部份結構材料因無法發揮其強度而形成浪費及成為呆載重。梁之抗側向扭轉勁度主要來自於梁之翼板，翼板切削量太大將造成斷面之 Z_f/Z 過低，進而降低梁之側向扭轉挫屈強度(各種減弱式高韌性梁柱接頭性能比較見表 2)。

梁翼圓弧形切削梁柱接頭試驗結果顯示其可能產生脆性斷裂現象，或局部挫屈或側向扭轉挫屈等破壞現象。因此一個良好之接頭設計除應具足夠之強度、塑性變形能力外，其破壞模式亦應具一致性且均勻分佈之力學行為。除此之外，亦常見設計者誤認為接頭之強度可由結構試驗之強度作為接受之標準，事實上如前所述，接頭試驗之目的乃在於驗證其變形能力，不在於驗證其強度。規範所規定之接頭強度為 $M_p (=ZF_y)$ ，而變形能力則規定須採結構破壞試驗之值。再者，我國及美國之鋼結構設計規範有關鋼梁設計之塑性變形能力皆以塑性彎矩之標稱值為設計基準，不得再加入應變硬化係數或依實驗數值作為設計基準。在鋼梁設計規範之訂定中，亦已考量材料實際強度較標稱強度為高之統計資料，及實際試驗強度亦可能高於標稱強度之現象，且此等變異已考量於極限設計法之強度變異及其安全指標上。設計者不可再考量鋼梁材料之超額強度，以免原設定之安全指標不足(safety index)，較詳細之學理背景可參閱^[5]「鋼結構設計--極限設計法與容許應力設計法」書中第二章之說明。

依據美國 FEMA 之報告顯示，採用圖 4(b)之梯形切割方式為一合理之方法^[4]。過去美國所採之不對稱切削常以圖 4(c)三直線段切削為之，雖其試驗結果常因韌性太好而超過油壓機之衝程，但仍有部份試體在梯形切削二端，因兩直線段相交之凹角處之燒蝕凹陷而造成應力集中處斷裂。經統計 FEMA 報告中之接頭試驗資料，亦可發現非對稱之梯形切削式梁柱接頭(圖 4(b)及 4(c))無任何脆性斷裂外，其平均塑性轉角約為 3.03%。但採圓弧切削之梁柱接頭(圖 4(e))除仍有脆性斷裂外，其平均塑性轉角為 2.67%，仍小於非對稱梯形切削之試體。因此近期之 FEMA 報告中亦建議應採圖 4(b)所示之轉換方式，且採此類設計之接頭在台科大陳生金教授過去所作之之實尺寸梁柱接頭破壞試驗中，亦均未發生切削區尾端發生斷裂之案例。

國內最近某單位進行圖 4(b)試體之試驗時，因製作試體時切削錯誤，再加以銲接修補，而造成於切削尾端斷裂之特例，但試驗結果仍具 2%之塑性轉角能力。前述之結構試驗曾進行二批試驗，首先進行圖 4(b)之非對稱切削試驗，再進行圓弧切削試驗，首批試體施工甚多銲道不合格剷修重銲，及起弧導板未切除等缺失，致部份試體塑性變形不理想。但仍無任何試體產生脆性斷裂，且亦無任何試體之塑性轉角小於北嶺地震前之傳統梁柱接頭之平均值。但隨後圖 4(e)之圓弧切削之試體有 20%試體產生脆性斷裂，40%之圓弧切削試體之塑性轉角低於北嶺地震前傳統接頭之試驗平均值(θ_p 約為 0.92%)。此系列之試驗亦顯示採用圓弧切削梁柱接頭呈現韌性及安全性欠佳之現象，究其原因已非單純施工之問題，設計上採用簡化公式決定圓弧切削型式，應為其塑性變形能力偏低及呈現韌性及結構安全性欠佳之主因。

五、結論

「梁翼梯形高韌性梁柱接頭」是國立台灣科技大學陳生金教授執行「行政院國家科學委員會」研究計畫所研究發展之成果，並由「行政院國家科學委員會」獲得台灣、美國、日本及歐盟等國際性專利。自從「梯形切削減弱式高韌性梁柱接頭」發明問世後，雖然甚多相關研究如雨後春筍般展開，但至今仍無出其右者，且「梯形切削減弱式高韌性梁柱接頭」至今仍為鋼結構韌性剛構架梁柱接頭之主流，筆者對陳教授的發明在其專利期已於民國 103 年 5 月屆滿，藉本文予以推崇並藉以表達敬意。由以上探討彙整結論如下：

- 1、梁翼圓弧形切削梁柱接頭之安全性，在地震力作用下，僅能於近圓弧之中央處之小區域產生塑性鉸，且因過度切削致其所對應梁-柱交界面之強度僅為原設計之 62%~78%，亦即設計地震力已降低為中震區甚或弱震區之設計地震力。尤其是跨度較大之梁，其強度折減量更大，甚至在長期載重下之安全係數已不足，且易產生局部挫屈或側向扭轉挫屈等破壞現

象。因此一個良好之梁-柱接頭之設計，除應具足夠之強度、塑性變形能力外，其整體安全性亦應具均勻及一致性。

- 2、切削對梁-柱接頭勁度之影響僅 3~5%，且一般僅須對韌性需求較高之接頭進行切削即可，因此其對整體之勁度影響可忽略。
- 3、梁翼梯形切削減弱式高韌性梁-柱接頭之設置數量及位置，可依結構分析決定，如在非彈性分析下，對於仍維持在彈性狀態之梁-柱接頭，因其塑性需求量甚低，故無需進行切削，亦可依簡化之彈性設計地震力放大後，若梁-柱接頭仍在彈性範圍則無需進行切削。如此可以減少不必要之切削位置，降低施工費用，故採用梯形切削法提高梁-柱接頭韌性之經濟效益明顯較高。
- 4、「梁翼梯形切削法之減弱式梁-柱接頭」製作簡易造價低廉，消能效果顯著，尤其是不妨礙鋼結構立體韌性剛構架之原有機能，亦可用於提高立體韌性剛構架耐震能力之結構補強，對接頭區橫隔板之高入熱量電熱熔渣鋸道亦形成保護功能。實為目前已知之解決梁-柱剛構架韌性問題之最佳方案。
- 5、本文除對發明人陳生金教授對國家的貢獻表達敬意外，亦周知行政院國家科學委員會之梁翼梯形切削減弱式高韌性梁-柱接頭專利期間已屆滿，工程界對台灣之光-「梯形切削減弱式梁柱接頭」宜多加利用。

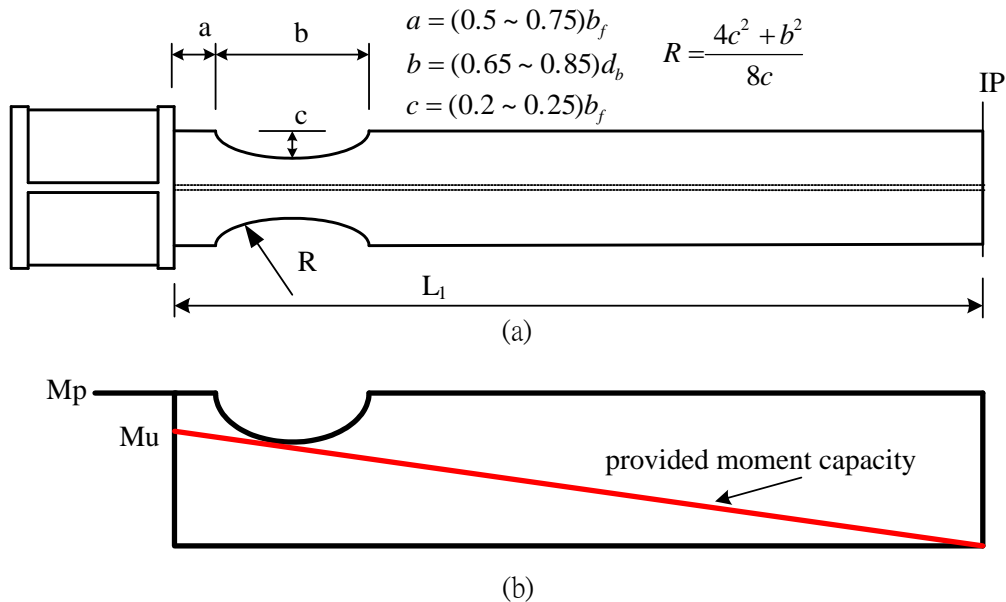


圖 6：圓弧切削之梁柱接頭在梁柱交界面所提供之強度

表 1： 圓弧切削式梁柱接頭之強度比較例

beam	a (cm)	b (cm)	c (cm)	Z_1 (cm^3)	M_u / M_p $L_1 = 4m$	M_u / M_p $L_1 = 6m$
H800x300x16x30 Z=9120	15	52	6	6348	0.78	0.75
	15	52	7.5	5655	0.69	0.67
H800x400x22x50 Z=1769	20	52	8	11695	0.75	0.72
	20	52	10	10195	0.65	0.62

Note: $a = (0.5 \sim 0.75)b_f$, $b = (0.65 \sim 0.85)d_b$, $c = (0.2 \sim 0.25)b_f$

M_p : 原梁之強度, M_u : RBS 接頭對應於梁柱交界面之實際強度,

L_1 : 梁中點距柱面距離。 Z_1 : 最小斷面處之塑性模數

表 2： 減弱式高韌性梁柱接頭性能比較表

內容	梯形切削法	圓弧形切削法
塑鉸範圍	區段 (0.5h~0.8h)。	單點。
火焰切削	以 NC 切削或以導軌引導一次切削完成 (見圖 7)。	以 NC 切削或單點固定旋轉, 一刀完成。
梁端彎矩強度檢核	依彎矩梯度削弱約 5~10%; 起始點離柱面約 10 至 20 公分, 依實體試驗結果不須檢核。	須檢核切削中心之塑性彎矩, 與塑性剪力對梁端產生之彎矩, 且須保持在梁端彎矩強度之 85~100% 之間
切削量	切削量依彎矩梯度保持在 90~95% 間, 翼板切削寬度之比例對短跨梁較大, 對長跨梁較小, 故不影響垂直載重狀況下之安全性	梁翼切削後對位於較高樓層之長跨梁會產生切削後之斷面不足以承載垂直載重之情況
穩定性	切削量較小, 下翼板較無側向挫屈顧慮	最大切削量約達 50%, 下翼板有側向挫屈顧慮
勁度影響	約 3~5%	切削量較大, 對勁度之影響較大 (約 4~7%)
切削位置	消能效果佳, 塑角位置不須全部產生, 故只須切削先達到塑角之位置	全部
安全性	略低 5~10%	約低 30~40%



圖 7：翼板切削導引模具照片

【參考文獻】

- [1] 廖文義(2003) “鋼結構建築耐震評估、補強及修復準則之研擬” 內政部建築研究所中華民國九十二年十二月。
- [2] 陳生金、陳舜田、葉禎輝、周作隆(1996) “強烈地震下鋼骨結構梁柱接頭之破壞及高韌性接頭之開發”，結構工程，第十一卷第四期，民國八十五年十二月。
- [3] Chen, S.J., Yeh, C.H. and Chu, J.M. (1996). Ductile steel beam-to-column connections for seismic resistance. J. Struct. Engrg., ASCE, 122 (11)1292-1299. °
- [4] FEMA. (2000). State of the art report on connection performance, Federal Emergency Management Agency, Report No. FEMA-355D, Washington, D.C. °
- [5] 陳生金(2003) “鋼結構設計—極限設計法與容許應力設計法，科技圖書公司。
- [6] 陳生金、涂進德(1998) “鋼骨抗彎構架梁柱接頭設計與施工探討” 鋼結構會刊第七期，中華民國鋼結構協會，民國八十七年元月。
- [7] 內政部建築研究所(1999) “鋼筋混凝土建築物耐震能力評估法及推廣” 內政部建築研究所，民國 88 年 10 月印行。
- [8] 陳生金等(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，民國 91 年 3 月。
- [9] “FEMA. Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings” Report No. FEMA-350, Federal Emergency Management Agency (2000)
- [10] 陳生金(2009)、鋼結構行為與設計，科技圖書公司
- [11] 陳生金(2003) “鋼結構設計—極限設計法與容許應力設計法，科技圖書公司。