



Y型隅撐於鋼結構設計之應用

許協隆／國立中央大學土木系 教授

余子豪、薛培函、陳聖文／國立中央大學土木系 碩士

結構物之耐震性能為工程設計極為重要之考量，本文針對大跨距鋼結構設計上遭遇之挑戰，研擬提出以Y型隅撐搭配消能元件之方式解決之。此方案可大幅提升構架梁構件之支撐範圍，有效減低梁柱接頭區之梁端彎矩，延緩主要結構桿件進入降伏之時機，達到兼顧結構強度、勁度及消能能力之目標。由試驗結果顯示，本研究建議之隅撐設計細節應用於剛性或半剛性之抗彎構架設計，其均能有效提升結構之性能，相信對結構安全之提升，應可有所助益。

前言

台灣位於環太平洋地震帶，地震相當頻繁，就工程設計而言，結構物之耐震性能為重要之考量。鋼材為常見之建材，其材料性質均勻且力學性質易於掌握，其並具有高強度、高延展性、施工便利及工期較短之特性，實務工程上，鋼結構常應用於耐震設計。鋼結構系統中，抗彎構架甚為常見，此系統由梁與柱以剛性接頭組合而成，此系統具有良好之韌性^[1-3]，當結構系統受外力作用時，其可利用梁柱接頭之剛性來維持原有的接合角度，藉由梁柱構件之彎曲變形來抵抗側向力，並藉塑性變形消散能量。此系統具有良好的韌性，然此系統之側向勁度較低，應用於較高樓層之結構設計時，過大之側向位移將影響其應用性，如圖1所示，為提升結構承載性能，仍有進行改善之必要。

鋼結構設計性能提升方案依需求而有不同，應用斜撐構件為一可行之方法，斜撐構架主要係以斜撐構件之軸力抵抗側向力，當結構承受反復地震力時，若配置成對之同心斜撐構件於結構，兩斜撐構件將分別承受拉力及壓力，能有效地提升結構之側向勁度，並控制層間位移。然因勁度之提升，此系統可達之韌性將隨之減損，且於地震力之反復作用下，常發生接合

板或斜撐構件之挫屈破壞，使得構架之強度與勁度降低，影響其耐震性能，如圖2所示，另就建築設計而言，配置斜撐構件亦造成空間使用上之限制。

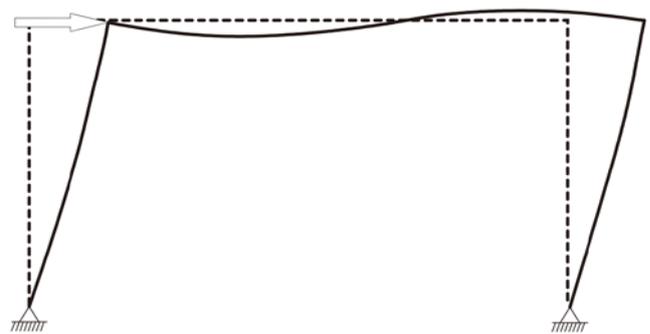


圖1 抗彎構架承載時產生大變形^[3]

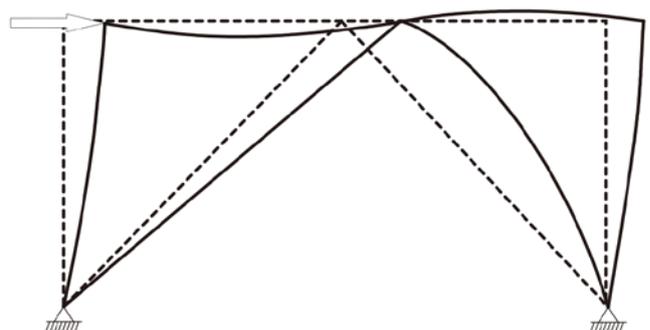


圖2 斜撐構架承載時，斜撐因過大軸力挫屈^[3]

針對上述，在兼顧結構強度、勁度及韌性之考量下，近年來有隅撐構架研究之提出。隅撐構架係利用具有良好承載效能之斜撐構件加裝於抗彎構架之角隅處，藉由隅撐對梁與柱之束制作用，將構架最大彎矩由梁柱接頭位置轉移至隅撐與梁的交界處，避免梁柱接頭發生脆性破壞。其相較於傳統抗彎構架，具有較高之側向勁度，另相對於斜撐構架，其亦可提升韌性，並能有效解決斜撐構件造成之空間使用問題。

隅撐在鋼結構設計之應用性可由 Hsu 和 Jean [4] 之研究證實，例如隅撐構件以 45 度及四分之一梁跨距方式配置，隅撐構架之側向勁度可提升為抗彎構架之 1.3 至 1.8 倍，如圖 3 所示。另由 Hsu 與 Li [5] 之研究結果顯示，構架除可利用隅撐改變構架最大受力位置，亦可藉調整隅撐構件的細長比、斷面尺寸來控制隅撐構件挫屈時機，詳如圖 4，確保主要梁、柱構件不致過早破壞。惟就大跨距構架而言，其梁構件較一般抗彎構架之梁為長，前述隅撐構件可支撐之梁構件範圍較小，導致梁構件之未支撐長度過大，造成梁與隅撐接合處因過大彎矩降伏或挫屈，再者，對較大跨距結構而言，其所需之隅撐長度增大，隅撐構件之挫屈強度將顯著降低，結構效能提升因之而受影響。為解決此一問題，設計上可採 Y 型隅撐方式，詳如圖 5 所示，其方法係將傳統之隅撐分段，藉以達到相同支撐區域內減低隅撐各元件長度之目的，此設計中同時可於 Y 型隅撐之內側或外側配置消能元件，以達到構架同時提升勁度及消能能力之目標，以下分就不同消能元件配置之 Y 型隅撐構架行為進行探討。

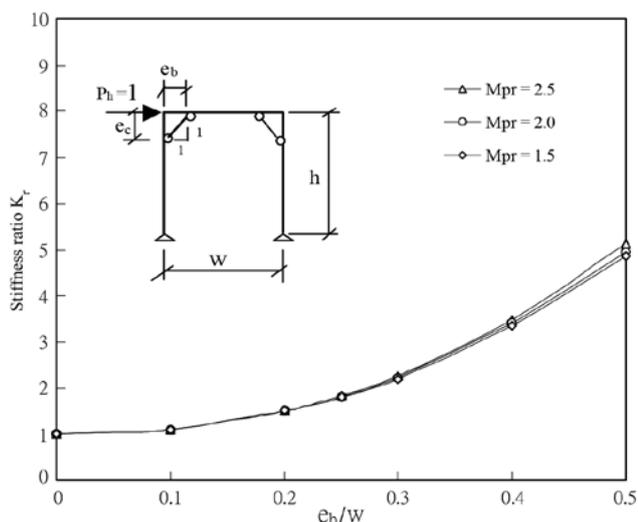


圖 3 構架勁度因隅撐配置而大幅提升 [4]

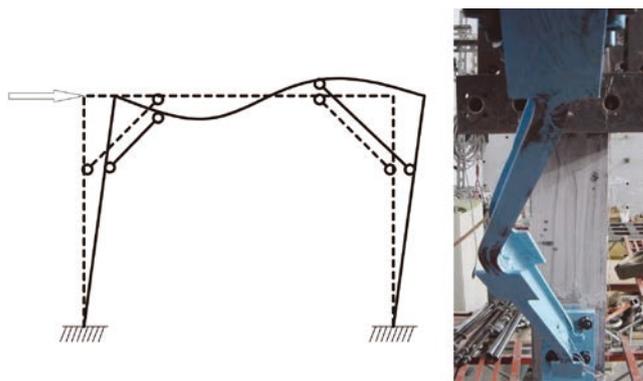


圖 4 隅撐元件承載時之破壞模式 [5]

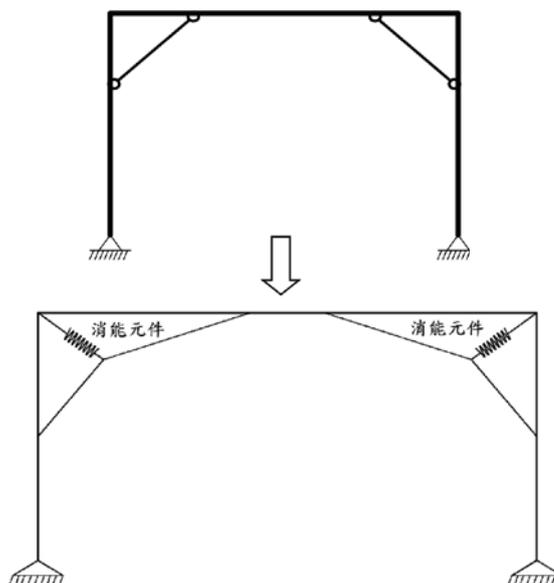


圖 5 隅撐構架改善設計

外側配置消能元件 Y 型隅撐構架

試驗配置

外側配置消能元件之 Y 型隅撐構架如圖 6 所示，此設計中，接合板設置於梁柱接頭區，接合板內設置滑槽，Y 型隅撐則由分段隅撐元件與一組以摩擦力結合且可於接合板內滑動之消能鋼板組成，當此 Y 型隅撐配置於抗彎構架時，構架可產生摩擦及挫屈控制等二組機制，當消能鋼板所受外力大於最大靜摩擦力後開始滑動，摩擦力為定值，能提供一穩定消能機制，當滑動位移大於接合板內之滑槽長度時，消能鋼板即可以其抗拉或抗壓強度提供構架有效支撐及能量消散。

為驗證前述研擬方案於結構設計之可行性，本研究以一系列不同尺寸之消能鋼板搭配隅撐構件製作 Y 型隅撐，並進行反覆載重試驗。試驗構架之柱構件尺

寸為 H250 × 250 × 9 × 14，有效高度為 2,520 mm，梁構件尺寸則為 H200 × 200 × 8 × 12，有效跨距為 5,960 mm，梁柱構件以角鋼及高拉力螺栓連結，形成半剛性接合，隅撐構件使用 C125 × 65 × 6 × 8 槽鋼製作，有效長度分別為 525 mm 及 1,316 mm，此配置下，隅撐約可支撐 1/3 之梁跨距，Y 型隅撐構架以反復載重測試之，外力係以伺服控制油壓動力機施加，採用漸增位移控制方式，加載歷時如圖 7 所示。



圖 6 外側配置消能元件 Y 型隅撐構架

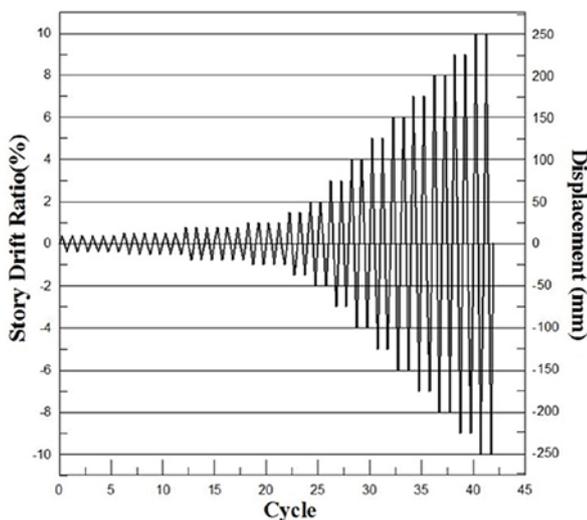


圖 7 加載歷時

承載性能

此試驗中，抗彎構架在反復載重下之承載反應良好，如圖 8 所示，構架梁端約於樓層位移比 1.78% 時達到降伏，另就本研究測試之外側配置不同消能元件之 Y 型隅撐構架而言，其遲滯行為穩定，承載模式亦相近，如圖 9 所示，結構約在樓層位移比達 0.5% 時，消能鋼板出現滑移，當結構樓層位移比約達 2% 時，消能鋼板

與滑槽端點接觸，此時結構仍保持於彈性狀態。當樓層位移比達 3% 時，西側消能鋼板發生挫屈，如圖 10 所示，其後，東側消能鋼板亦可發現挫屈現象，Y 型隅撐構架於樓層位移比約達 3.18% 時，梁端上下翼板達到降伏，當樓層位移比為 5% 時，Y 型隅撐構架之強度約為抗彎構架之 1.74 倍。就此半剛性構架而言，Y 型隅撐構架之消能量可達抗彎構架之 2.5 至 3 倍。

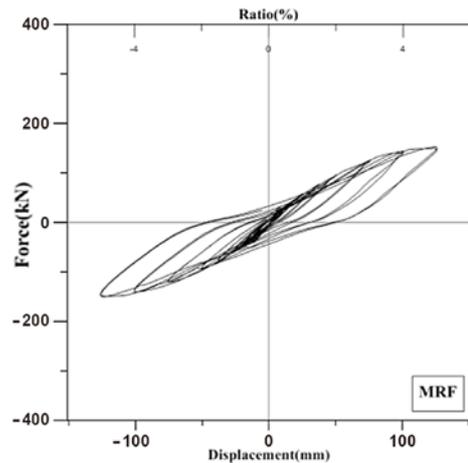


圖 8 抗彎構架承載模式

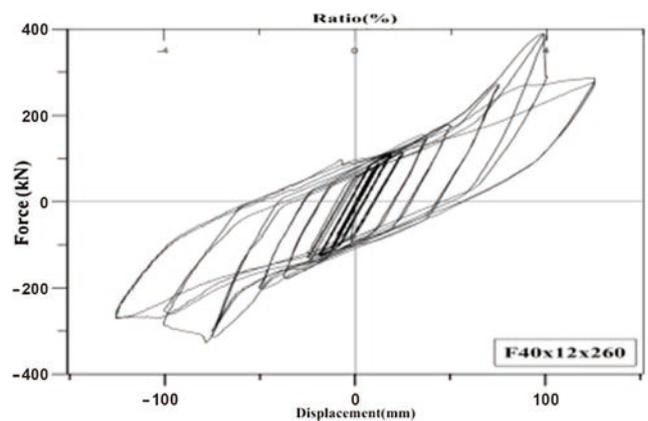


圖 9 外側配置消能元件 Y 型隅撐構架承載模式



圖 10 Y 型隅撐構架之消能鋼板挫屈模式

內側配置消能元件 Y 型隅撐構架

試驗配置

Y 型隅撐構架設計之另一方案，可將消能元件配置於隅撐元件之內側，如圖 11 所示，本研究使用具有良好承載行為之曲線消能鋼板作為消能機制，此曲線消能鋼板承載模式與具有初始偏心變形之桿件類似，當其受外力作用時，鋼板可因其幾何易於變形之特性，達到撓曲變形控制、減低元件因高軸力而挫屈之可能。此設計中，可維持隅撐於大區域支撐梁構件之特性，亦可因隅撐之幾何配置在較小樓層位移時，即可在曲線消能鋼板上，形成較大變形，有效提升結構之消能能力，曲線消能鋼板之承載行為如圖 12 所示，由圖可知，此元件在拉、壓載重作用下，均可提供有效之強度。



圖 11 內側配置消能元件 Y 型隅撐構架

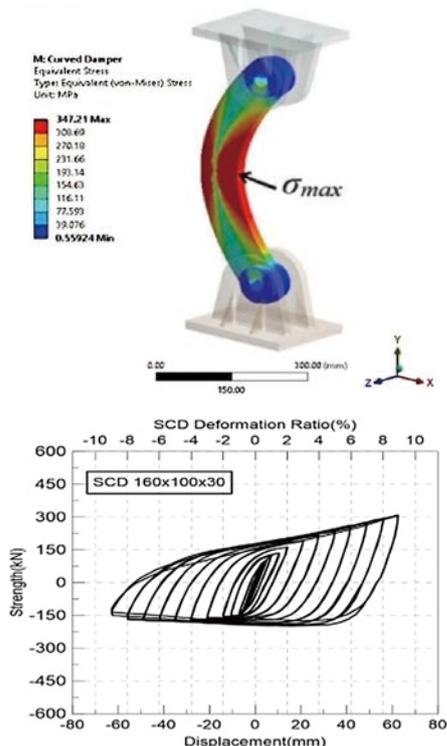


圖 12 曲線消能鋼板之承載行為

曲線消能鋼板依其尺寸命名，例如 160 × 80 × 30 代表偏心距為 160 mm、鋼板深度為 80 mm、鋼板厚度為 30 mm。構架之梁、柱尺寸與前述試驗相同，梁柱之接合係以剛性接頭設計，配合構架尺度，隅撐元件以一對 C200 × 75 × 6 × 12 之槽鋼製作而成，隅撐兩端距離為 1,100 mm。構架設計中，使用二種接合板，分別連接梁、柱及隅撐構件，接合板厚度皆為 30 mm，前述接合板均以鋼板加勁，避免承載時產生變形，構架亦以伺服控制油壓動力機採漸增位移方式測試之。

承載性能

如前所述，抗彎構架承載過程中梁端於樓層位移比 1.78% 時達到降伏，由於構架設計滿足強柱弱梁要求，因此降伏皆發生在梁柱接頭處之梁端，柱則有效維持在彈性。另就隅撐構架而言，其遲滯行為亦極穩定，隅撐構架之承載反應如圖 13 所示，由實驗觀察可知，西側曲線消能鋼板於構架樓層位移比 0.68%，東側曲線消能鋼板則約於構架樓層位移比 1% 時，達到降伏，開始消能，此時，梁、柱構件均仍維持彈性。由梁端應變發現，抗彎構架安裝隅撐後，梁柱接頭之受力可獲得有效減低，成功地延緩梁柱接頭之梁端降伏時機。依曲線消能鋼板斷面之不同，隅撐構架之梁端約於樓層位移比 2.12% 至 2.87% 時始發生降伏，由此可知，當抗彎構架配置此消能元件後，結構之穩定性，可獲有效提升。

依試驗結果，隅撐構架於 5% 樓層位移比之強度可提升至抗彎構架之 2.11 倍，如圖 14 所示。另就能量消散而言，抗彎構架於樓層位移比 1.78% 時梁端降伏，構架主要能量消散由此開始，惟就隅撐構架而言，在樓層位移比介於 0.44% 至 2.87% 之間時，構架主要藉由曲線消能鋼板消散能量，梁柱構件均可有效保持完整，由此可知，在 2% 樓層位移比前，結構之損壞修復應可侷限在更換曲線消能鋼板即可，此對結構設計及維修均有甚大助益。就本研究剛性接合之結構而言，內側配置消能元件 Y 型隅撐構架之消能量可達抗彎構架之 2 倍，如圖 15 所示。

結語

結構耐震性能為國內工程設計上極為重要之考量，本研究針對大跨距鋼結構設計上遭遇之挑戰，研

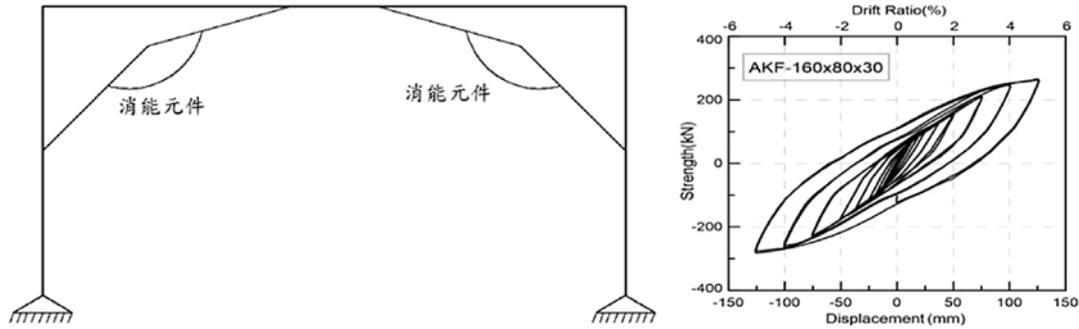


圖 13 內側配置消能元件 Y 型隅撐構架承載模式

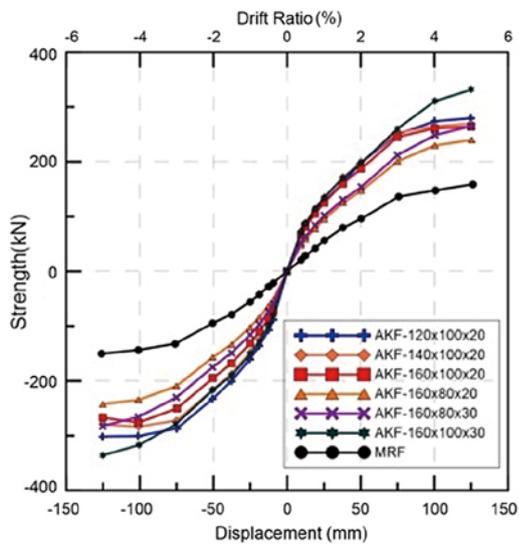


圖 14 內側配置消能元件 Y 型隅撐構架強度獲得有效提升

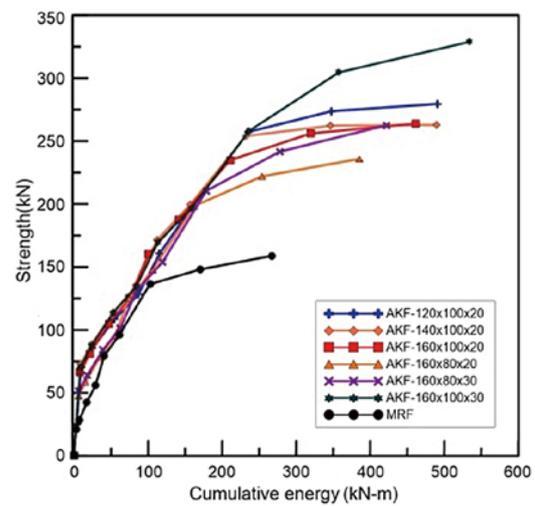


圖 15 內側配置消能元件 Y 型隅撐構架承載性能比較

擬提出以 Y 型隅撐搭配消能元件之方式改善。此方案可大幅提升構架梁構件之支撐範圍，有效減低梁柱接頭區之梁端彎矩，延緩主要結構桿件進入降伏之時機，達到兼顧結構強度、勁度及消能能力之目標。由試驗結果顯示，本研究建議之隅撐設計細節應用於剛性或半剛性之抗彎構架設計，構架強度及能量消散均可大幅提高，結構耐震性能因之有效提升，相信對結構安全之確保，應可有所助益。

參考文獻

1. Khandelwal K. and El-Tawil S. (2007), Collapse Behavior of Steel Special Moment Resisting Frame Connections. Journal of Structural Engineering, Vol. 133, pp. 646-655.
2. Lee, S.S. and Moon, T.S. (2002), Moment-rotation Model of Semi-rigid Connections With Angles, Engineering Structures, No. 24, pp. 227-237.
3. Hsu, H.L., Juang, J.L., and Chou, C.H. (2011), Experimental

Evaluation on the Seismic Performance of Steel Knee Braced Frame Structures with Energy Dissipation Mechanism, Steel & Composite Structures, Vol. 11, No.1, pp. 77-91.

4. Hsu H.L. and Jean S.Y. (2003), Improving Seismic Design Efficiency of Petrochemical Facilities, Practice Periodical on Structural Design and Construction, ASCE, Vol. 8, No. 2, pp. 107-117.
5. Hsu, H.L. and Li, Z.C. (2015), Seismic Performance of Steel Frames With Controlled Buckling Mechanisms in Knee Braces,” Journal of Constructional Steel Research, Vol. 107, pp. 50-60.

歡迎加入學會



www.ciche.org.tw

下載入會申請書



中國土木水利工程學會
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

e-mail: service@ciche.org.tw

電話：(02) 2392-6325

傳真：(02) 2396-4260