

第三章 有限元素分析

3.1 概論

有限元素分析近年來廣泛運用在土木、機械等領域，用以分析結構複雜的非線性力學行為。藉由有限元素合理的假設及模擬，可更深入的瞭解梁柱接頭區的行為，並依照結構之不同需要，改變設計參數，如尺寸、型式及邊界條件等；於實尺寸試驗前決定可行性較高的試體型式，減少實驗前的不確定因素，降低實尺寸實驗於人力、材料與金錢上的消耗力。

3.2 模型的建立

本節針對 H 型鋼梁接箱型柱，分別加上槽型鋼置於梁腹兩側與箱型斷面包覆於梁外之具協力桿件梁柱接頭子結構以 ANSYS 有限元素分析程式 (2002) 進行模擬，其細節及假設如下：

1. 基本假設：不考慮試體製作、銲接熱影響等因素產生之殘留應力和構件肢材挫屈及斷裂的行為。
2. 分析元素選擇：採用三維結構固體元素 Solid 45 (3-D Structural Solid) 進行模擬，每個元素有 8 個節點，每個結點有 3 個自由度；協力桿件與梁翼接觸面採三維 4 節點四邊形接觸元素 Conta 173，搭配三維 4 節點四邊形目標元素 Targe 170 進行支撐塊與鋼梁接觸面的模擬。

3. 材料性質：模擬鋼材採 A572 Gr. 50，降伏強度 345 MPa，鋼材與銲材之應力應變曲線簡化成二線段。第一階段為材料彈性範圍，彈性模數 E 採 200,000 MPa，第二階段模擬材料降伏，應變硬化 E_{st} 採 $0.05E$ 。
4. 外部梁柱接頭子結構模型：梁採 H588×300×12×20、柱為□550×550×27×27，梁至柱面長 3030 mm，柱長 3000 mm。
5. 銲道模擬：於梁柱交接面上模擬一道銲道，假設 E7016 銲條，降伏強度 480 MPa。
6. 剪力板模擬：梁腹與柱以銲道連接，不考慮剪力板之存在，亦即忽略極限狀態剪力板與梁腹板之間的滑移。
7. 邊界條件假設：分析模型之邊界條件模擬真實情況並予簡化，柱之一端模擬為鉸接，另一端則模擬為輻支承。此外，為縮短程式計算所需之時間，假設模型具有單軸向對稱之幾何特性，故分析之模型為實際試體之一半。
8. 施加载重：模擬方式在梁端施加單向荷重，以位移控制方式逐步加載。

3.3 協力桿件接頭模型

本分析乃針對具有協力桿件之箱型柱梁柱接頭行為進行研究，將比較協力桿件長度、協力桿件型式對梁柱接頭行為影響之

差異。以下對模型進行說明。

槽型協力桿件置於梁內之接頭型式：將槽型協力桿件置於梁腹兩側，勁度採節 2.2.3 Case (3) 來設計。此時梁斷面剪力小於容許剪力強度。為避免協力桿件發生側向扭轉及翼板發生局部挫屈，於槽型桿件支撐處加鉸支撐塊及加勁板，並使支撐位置通過槽型斷面之剪力中心。另為防止梁翼於協力桿件支撐處發生應力集中而局部挫屈，於梁翼兩側各加鉸一塊加勁板。此外建立不同長度的協力桿件以探討支撐位置改變對接頭的影響，選取的長度為柱面至支撐點距離為 L_s ，設計上使梁柱接面彎矩皆降至 $0.6M_p$ ， M_p 為梁之塑性彎矩強度。經由節 2.2.3 公式計算後，協力桿件尺寸分別為 C454×95×25×25 與 C454×90×28×28，以 C600 及 C700 表示之，模型建立可參照圖 3.1。

箱型協力桿件包覆於梁外之接頭型式：協力桿件採用箱型斷面包覆於梁外，並不與梁完全接觸，只於支撐點處設置支撐塊與梁翼接觸，梁腹於支撐處也加鉸加勁板來防止梁翼局部挫屈。箱型協力桿件的勁度採用節 2.2.3 Case (4) 來設計，使梁於支撐段剪力降伏產生塑性變形，而與槽型協力桿件差異處在於槽型協力桿件是由彎矩降伏控制，於支撐處產生塑性鉸。協力桿件斷面尺寸為 $\square 780 \times 370 \times 25 \times 46$ ，長度為支撐點至柱面距離 600 mm。模型以 B600 表示之，可參照圖 3.2。

3.4 分析結果與討論

為探討降伏區域對梁柱接頭的影響，以 von Mises 應力比較之。von Mises 應力是由最大形變能準則(Maximum-distortion-energy theory)推導而來。當物體內某一材料點的形變能達到同一材料在單拉試驗下之形變能極值時，該材料點達降伏；其中形變能 $U_d = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 / 12G$ ；在單軸應力下，其最大 $U_d = \sigma^2 / 6G$ ；而在多軸應力下，由前二式可推導出 von Mises 應力為 $\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$ 。

圖 3.3 所示為兩模型 C600 與 C700 梁端作用力與層間變位角之關係圖，以說明子結構之行為。由圖可知層間變位角為 0.5% 弧度時子結構還處於線性階段；層間變位角為 1% 弧度時子結構已有部分斷面開始進入非線性階段；層間變位角為 2% 弧度時則可比較斷面進入非線性階段應力分佈的趨勢；根據 AISC (2002) 規定，韌性抗彎矩接頭之層間變位角至少達到 4% 弧度，所以選取此四階段之層間變位角作為比較基準。

圖 3.4 至圖 3.13 分別為具槽型協力桿件接頭(C600)與(C700)於層間變位角 0.5%、1%、2%、4% 弧度時之 von Mises 應力分佈圖，由圖可以明顯看出降伏區域主要在支撐點附近。層間變位角 0.5% 弧度時高應力區域尚小(圖 3.4)，主要集中於協力桿件與柱之銲道、梁翼與柱全滲透銲處，兩種長度的協力桿件並無明顯的不

同。層間變位角 1% 弧度時除了上述區域略為擴張外，C600 支撐段內梁翼之應力也明顯提高(圖 3.5)。層間變位角 2% 弧度時高應力區域持續擴張，梁斷面已有近二分之一處呈現高應力之情形(圖 3.6)。層間變位角到達 4% 弧度時，C600 梁於支撐點外側之高應力區已擴大接近全斷面(圖 3.7)，顯示塑鉸機制將在此區形成，且由圖 3.8 可看出協力桿件之應力分佈仍小，而保持在彈性範圍內。C700 模型之 von Mises 應力分佈在初期層間變位角 0.5% 與 1% 弧度時(圖 3.9 與 3.10)，應力分佈與 C600 模型相似，顯示此階段 L_s 長度改變對梁斷面應力的影響並不顯著。進入塑性階段後，C700 斷面達降伏的區域較多；層間變位角 4% 弧度時，C700 梁於支撐點外側之高應力區已擴至全斷面形成塑性鉸(圖 3.12)；值得注意的是，此時支撐段內之梁翼已進入塑性階段且應力很高，且由圖 3.13 也可看出槽型鋼應力不大。

圖 3.14 至圖 3.17 為箱型協力桿件於層間變位角 0.5%、1%、2%、4% 弧度時之剪應力分佈圖，圖中顯示梁在支撐段與非支撐段內之剪應力方向相反，隨著外力的增加梁內的剪應力也隨之提高，層間變位角 2% 弧度時，高剪應力區發生於梁腹中央靠近接頭處(圖 3.16)；層間變位角 4% 弧度時，高剪應力區已擴大至整個支撐段內之梁腹區域(圖 3.17)，此時支撐段內之梁剪應力高於支撐段外甚多；梁斷面剪力降伏強度為 $F_y/\sqrt{3}=199.2$ MPa，圖中紅色區塊之剪應力值介於 150-200 MPa，與圖層顯示梁腹區域應力狀態接近。

圖 3.18 至圖 3.22 為箱型協力桿件於層間變位角 0.5%、1%、2%、4%弧度時之 von Mises 應力分佈圖，由圖可看出箱型協力桿件梁柱接頭受外力作用時，初期高應力分佈是由支撐處周圍開始發展，向兩側及梁腹中心擴張。層間變位角到達 1%弧度時，梁翼於支撐處附近已有部份達降伏進入塑性階段(圖 3.19)；層間變位角到達 2%弧度時，降伏區域擴大，梁全斷面也有一半以上進入塑性，顯示此區有可能形成塑性鉸(圖 3.20)。但層間變位角達 4%弧度時，由圖可發現梁於支撐段區域內已全斷面降伏，而梁於支撐處並未全斷面降伏(圖 3.21)。由於 von Mises 應力考慮剪應力的影響，此時剪應力明顯增加所致，因此可推斷此區會產生塑性變形來消能。

由以上分析可知具協力桿件接頭可能使塑性鉸發生於支撐處而遠離梁柱交界面，降低接頭處彎矩以避免鉸道應力過大產生脆性破壞。此外提高協力桿件之勁度，會增大支撐段內梁的剪應力，再加上彎矩造成撓曲應力的影響，使得梁於協力桿件支撐處未產生塑性鉸前，梁已發生剪力降伏變形。