

# 性能測試與理論驗證結果

為了探索及驗證雙核心柱中柱的優異耐震行為，本研究團隊規劃及製作三座實尺寸鋼筋混凝土柱構件試體，包括 SC1 傳統柱試體、SC2 雙核心柱中柱及 SC3 雙核心柱中柱 2.0，在國家地震中心進行高軸力作用下( $0.5 \cdot A_g \cdot f_{ca}'$ )的反覆載重試驗以獲取每座試體的遲滯迴圈圖(hysteresis loops)及特性參數，諸如強度衰減，勁度衰減，遲滯迴圈頸縮(pinching)以及韌性強度(ductility)等資料。

除此之外，本研究團隊在國立台北科技大學土木工程系土木與防災所-張順益 教授的指導下，針對傳統柱及雙核心柱中柱的非線性行為進行一系列的數值模擬分析及比較研究，其中，在數值模擬分析方面，除了採用 TESSA 分析模型之外，更提出全新的分析模型 NRCCSM；由實驗及模擬分析結果顯示：

- (一) 由於三組試體的配筋皆滿足耐震設計特別規定的要求，因此三組試體都能具有良好的耐震行為。在達到極限強度前，遲滯迴圈飽滿，亦無明顯遲滯迴圈頸縮現象發生。試體 SC1、SC2 及 SC3 分別在柱體的上、下兩端形成塑鉸，而無任何剪力破壞的現象，因此在軸力與撓曲彎矩的作用下能出現預期的雙曲率撓曲破壞模式。

- (二) 試體 SC1、SC2 及 SC3 其正、負向的最大剪力平均值分別為 1501kN、1745kN 及 1764kN，而極限轉角的平均值分別為 3.64%、4.19%及 5.19%。
- (三) 傳統箍筋在角隅處存在一非閉合結構，箍筋結構並不完整，由試體 SC1 最終破壞情形可以發現當此非閉合結構因主筋挫屈並外彎曲推擠時，有脫鈎或繃開現象；而雙核心柱中柱(SC2)及雙核心柱中柱 2.0(SC3)採用連續環繞之箍筋，結構完整，由試體 SC2 及 SC3 最終破壞情形顯示，當連續環繞之箍筋受外圍主筋挫屈並向外彎曲及推擠時，雖仍有外擴變形情況，但並無崩開或脫鈎現象。
- (四) 傳統柱 SC1 由於無內核結構，一旦外圍主筋受壓挫屈，箍筋脫鈎或繃開，混凝土便隨即失去圍束而崩潰並急速喪失強度及軸向承載力，而雙核心柱中柱 SC2 及 SC3 則由於具有內核結構，當外圍主筋及混凝土失去軸向承載力後，尚能依靠內核結構維持其軸向承載力。

(五) 由實驗及模擬分析結果可以驗證雙核心柱中柱耐震性能優於傳統柱之關鍵因素包括：

1. 雙核心柱中柱 SC2 及 SC3 採用連續環繞之箍筋，為完整閉合結構，不但具有更佳的圍束效果，還可承受主筋外擠的力量而不脫開，確保柱體混凝土不崩潰，並使內核主筋受充分束制而不產生挫屈，當柱體外圍混凝土或主筋喪失強度而發生破壞時，內核心混凝土及主筋仍可維持其強度及韌性，進而提升柱體的耐震性能。
2. 雙核心柱中柱 2.0 外圈主筋因受 180 度彎勾束縛，由於不易因脫鈎失去圍束效應，故可降低主筋有效挫屈長度，減緩強度衰減現象，即使柱體外核主筋進入挫屈軟化，仍可為柱體提供一定的強度。

(六) 當傳統柱外圍主筋因排列過密影響樑柱接頭區樑主筋安裝時，建議可考慮採用雙核心柱中柱 2.0，將部份外圍主筋配置於內核心，以疏解外圍主筋排列過密的問題，只要配筋配置得宜，雙核心柱中柱 2.0 不僅可在不增加配筋的情況下滿足規範所要求之標稱彎矩，還可擁有更佳的耐震性能。

- (七) NRCCSM 分析模型係基於材料變形的諧和性及滿足靜力平衡條件，以數值計算建立柱構件的彎矩-轉角關係，由 TESP A 及 NRCCSM 分析模型針對個別試體進行模擬分析的結果顯示，NRCCSM 分析模型不論在極限彎矩值、極限轉角值及曲線型態趨勢上，都能具有較佳的模擬，可作為後續評估柱構件撓曲破壞非線性行為模擬分析的參考。
- (八) 對於相同高度的柱構件，其極限轉角將隨斷面尺寸的增加而減少，但現行規範或美國 ACI318-14 規範並未將影響柱構件極限轉角及韌性強度的柱斷面尺寸納入考量。
- (九) 由實驗到理論分析結果均證實雙核心柱中柱 2.0 在高軸力作用下仍具有極為優異的耐震行為，因此非常適用於中、高層鋼筋混凝土建築物底層柱構件的設計，以滿足高軸力設計條件下的耐震需求。