

試驗規劃

本研究規劃以鋼筋搭接梁之撓曲載重試驗，來探討黏結品質受損下的鋼筋握裹行為及其對梁撓曲強度之影響。試驗主要考慮之黏結品質受損因素有：鋼筋表面塗佈 oil，鋼筋表面包覆 epoxy，及新澆置之混凝土在初凝後、終凝前即受到劇烈振動等。

載重試驗之設計，主要是參考 Chinn；Ferguson and Thompson 等學者之試驗設計，以梁受撓曲載重試驗，來探求其鋼筋搭接區產生劈裂破壞時之握裹強度。梁的撓曲變形會使抗拉鋼筋受力，因此在鋼筋與混凝土之間，會產生一種沿著鋼筋表面作用的握裹應力。此一握裹應力負責混凝土與鋼筋間之力量傳遞，唯有透過足夠之握裹應力強度，才能使鋼筋與混凝土兩種材料，形成完整之複合結構，進而發揮整體作用以抵抗外來荷重。此試驗模式與真實構件之握裹受力行為接近，亦是目前評估鋼筋搭接及伸展長度常被採用的試驗方法。因此，本試驗藉由混凝土梁的撓曲載重試驗，在搭接長度不足之情況下來瞭解鋼筋的握裹行為。試驗載重配置是使梁試體分成剪力區及純彎矩區兩區段如圖 1 所示，並在純彎區作搭接以測試其握裹強度並使拉力面產生於頂面，便於裂縫之描繪與觀測。

根據鋼筋表面狀況的不同因素，共規畫了 14 根鋼筋搭接之梁試體，試體尺寸及鋼筋配置如圖 2 所示，其中包括 10 根梁未受到振動及 4 根梁受到振動，梁之長度為 280cm、寬度為 30cm、高度為 25cm，拉力區之主筋一律採用 #8 鋼筋(其中一組改以等同於其標稱直徑的圓鋼棒代替)，壓力區之主筋則採用 #4 鋼筋，鋼筋保護層厚度則均為 4cm，拉力側鋼筋的搭接段位於梁中央的純彎矩區；為了避免撓曲載重試驗時，發生剪力破壞之情形，在支承外側的剪力區段則配置等間距(8cm) 之 #3 箍筋。此外，在澆置試體的同時，一併製作若干個混凝土圓柱試體及抗彎試體，以求得混凝土的基本材料性質以供相關性之研究。

在未受到振動之試體部份，為模擬鋼筋與混凝土界面間有變異而影響到黏結品質，在鋼筋搭接段表面分別塗佈半固態塑性油脂及環氧樹脂。而為了比較不同的握裹情況可能造成的影響，因此鋼筋的搭接長度及搭接區的箍筋配置均加以變化。

試體設計編號採用下列原則：第一碼代表鋼筋的表面性質，N 表示為無處理之正常情況、E 表示為鋼筋表面塗佈約 0.1~0.13cm 厚之環氧樹脂、O 表示為鋼筋表面塗佈約 0.1~0.2cm 厚之半固態塑性油脂、P 表示以直徑為 2.5cm 之圓鋼棒取代鋼筋；第二碼代表鋼筋的搭接長度，20 表示搭接長度為 20cm、30 表示搭接長度為 30cm；第三碼代表圍束情況，NC 表示為搭接區無配置箍筋圍束、C 表示為搭接區配置等間距(10cm) 之 #3 箍筋圍束；第四碼代表流水號，表示為同一設計條件下之試體編號，詳細試體規畫如表 1 所示。

為使試體能模擬新澆置鋼筋混凝土梁受到劇烈振動，而造成鋼筋與混凝土界面間黏結品質受損之影響，首先在試驗室以 8 個彈簧常數 $k=193.7N/cm$ 、設計彈性伸縮量可達 10cm 以上之線彈性彈簧當做支承；再結合一長 170cm×寬 70cm×厚 2.2cm，重量為 255kg 之鋼板，組成一可產生自由振動之平臺。經由加速規量測後，求得此振動平臺組的自由振動頻率如圖 3 所示，其主要振動頻率為 3.66Hz，換算成振動週期為 0.27sec。之後再將新澆置完成之梁試體連同木製模板，趕在初凝後、終凝前，將其放在振動平臺上，並在模板底下適當位置，放置滾軸支承，使振動時試體能產生撓曲之振動行為。最後以擬動態試驗機強制使振動平臺組產生一向上之起始位

移，再將其瞬間釋放，使梁試體及振動平臺組產生上下方向之自由振動至自然停止，其試驗配置如圖 4 所示。

在受振動試體的規畫上，設計三根梁試體採用與未受到振動之正常試體(N-30-NC-1)同樣之鋼筋配置，搭接長度為 30cm 且搭接區無配置箍筋；另一根梁試體採用與試體(N-30-C-1)同樣之鋼筋配置，搭接長度為 30cm 且搭接區配置等間距(10cm) 之#3 箍筋 3 根。

試體設計編號採用下列原則：第一碼均為 S，代表梁受到振動；第二碼代表梁置放在振動台上的支撐距離，A 表示支撐距離為 100cm、B 表示支撐距離為 150cm；第三碼代表振動程度，分 1、2、3 三種情況；第四碼代表圍束情況，有箍筋圍束加入代碼 C、無箍筋圍束則不加代碼，詳細之試體規畫及量測到之振動歷時紀錄如表 2 所示。

握裹強度

本試驗探討之握裹強度是採用鋼筋降伏前劈裂破壞情況下之握裹應力，此握裹強度定義和推導 *OJB* model 之學者所採用的相同。

破壞之握裹強度計算，係假設握裹力沿著搭接長度區段呈均勻分佈。關於此假設，已在 Olsen 之試驗觀察中得到驗證。而由力量平衡條件，即鋼筋中的力量完全由均勻分佈的握裹應力來傳遞，可得以下關係式：

$$A_s \cdot f_s = u \cdot \pi \cdot d_b \cdot L_s \quad (1)$$

由公式(1)可推導出握裹應力 u ：

$$u = \frac{f_s \cdot d_b}{4 \cdot L_s} \quad (2)$$

在本試驗中鋼筋應力(f_s)是透過斷面分析計算而得。其計算程序如下：先由梁承受撓曲載重時量測得之荷重(P)，再乘以距離(65cm)即得作用在斷面上之彎矩。再假設受力前後平面維持平面、鋼筋與周圍混凝土具有相同應變，混凝土不承受任何拉應力，且其應力-應變關係呈線性行為。則利用下式求得鋼筋應力(f_s)：

$$f_s = \frac{M}{A_s \cdot j \cdot d} \quad (3)$$

為方便比較不同混凝土強度之試驗結果，本研究分析將握裹應力除以其混凝土強度之平方根當作『握裹指標』(bond index)，如公式(4)所示。

$$B.I. = \frac{u}{\sqrt{f'_c}} \quad (4)$$

同時為比較不同黏結條件之試體，將鋼筋表面情況有瑕疵的試體之 B.I.除以同條件下正常握裹的試體之 B.I 得到其『握裹率』(bond ratio)。

根據公式(2)所計算之握裹應力分別針對下列兩種情況進行分析：(1)在試驗過程中，紀錄現

場所觀察到產生第一道撓曲裂縫之載重，事後由量測數據中找出其對應勁度降低之真實載重，將其相對應的握裹應力稱為“開裂握裹應力”。(2)在極限載重下，其相對應的握裹應力稱為“極限握裹應力”。由於“開裂握裹應力”變化差異不大，由載重—變位關係圖中並不易判別，在考量可能有判讀誤差之情況下，僅以對應之握裹指標來描述其行為，而不進行握裹率之分析，其計算結果整理如表 3。而“極限握裹應力”之極限載重明確，可計算極限握裹率之變化，其分析結果整理如表 4。依據鋼筋表面黏結情況之差異，將其握裹應力之變化分別探討如下：

N 系列試體

正常黏結鋼筋的試驗結果，先以 *OJB* model 之建議公式來加以驗證：在無箍筋圍束的試體部份，其 u_{OJB} 為 5.53MPa，而本試驗分析所得之 u_{test} 為 4.98MPa；在有箍筋圍束的試體部份，計算所得之 u_{OJB} 為 6.71MPa，而本試驗分析所得之平均 u_{test} 為 5.68MPa，雖然二者存在些許差異，但因 *OJB* model 為一經驗公式，此差異應可被接受。顯示本研究規畫之鋼筋搭接梁承受撓曲載重試驗，是與前人在探討鋼筋降伏前劈裂破壞情況下之握裹研究，有相同之握裹行為。

進一步分析試驗結果，無箍筋圍束的梁試體，其開裂載重下之 *B.I.* 為 1.04、極限載重下之 *B.I.* 為 2.43；有箍筋圍束的梁試體，其開裂載重下之平均 *B.I.* 為 1.15、極限載重下之平均 *B.I.* 為 3.09。明顯地，有箍筋圍束的梁試體，其極限握裹應力比無箍筋圍束的梁試體提高許多，但在初期的開裂握裹應力上則影響不大。

E 系列試體

當鋼筋表層用 epoxy 包覆時，受 epoxy 影響造成鋼筋表面光滑，使得黏結情況受到改變，同時鋼筋與混凝土間之摩擦力亦會降低，因此其握裹力大多靠支承力來提供，理論上將比無 epoxy 包覆之鋼筋的握裹力來得低，意即握裹力將因鋼筋表面光滑而有所折減。

開裂載重下之試驗分析結果：鋼筋有塗佈 epoxy 的試體，其無箍筋圍束的梁之 *B.I.* 為 0.69；有箍筋圍束的梁之 *B.I.* 為 0.91。相較於正常黏結鋼筋之試驗結果，可觀察出在受到 epoxy 包覆之影響下，其開裂握裹應力有降低之趨勢，且無箍筋圍束的試體比有箍筋圍束的試體，其降低之趨勢更加明顯。

極限載重下之試驗分析結果：鋼筋有塗佈 epoxy 的試體，其無箍筋圍束的梁之 *B.I.* 為 2.2，其相對於正常握裹之鋼筋的握裹率為 0.9，即極限握裹應力折減率為 10%；有箍筋圍束的梁之 *B.I.* 為 2.73，其相對於正常握裹之鋼筋的握裹率為 0.88，極限握裹應力之折減率為 12%。在受到 epoxy 包覆之影響下，鋼筋極限握裹應力有折減趨勢；同時可看出箍筋圍束將對極限握裹應力有提升之作用。

O 系列試體

當鋼筋表層塗佈油脂時，混凝土無法與鋼筋產生黏結，使得鋼筋與混凝土間之黏結力喪失，同時由於油脂具有潤滑作用，使得其界面間之摩擦力亦大幅降低，因此可預期其握裹力之折損將比塗佈 epoxy 的梁試體來的嚴重。

開裂載重下之試驗分析結果：鋼筋有塗佈油脂的試體，其無箍筋圍束的梁之 *B.I.* 為 0.72；有箍筋圍束的梁之平均 *B.I.* 為 0.64。因此，鋼筋受到油脂包覆之影響，其開裂握裹應力亦明顯有降

低趨勢。

極限載重下之試驗分析結果：鋼筋有塗佈油脂的試體，其無箍筋圍束的梁之 $B.I.$ 為 2.01，其相對於正常握裹之鋼筋的握裹率為 0.83，即極限握裹應力折減率為 17%；有箍筋圍束的梁之平均 $B.I.$ 為 2.38，其相對於正常握裹之鋼筋的平均握裹率為 0.77，極限握裹應力之折減率為 23%。同樣地可看出在受到油脂包覆之影響下，其極限握裹應力有折減趨勢，而且明顯的比塗佈 epoxy 的梁試體下降更多。

S 系列試體

新澆置之鋼筋混凝土梁在初凝後、終凝前即受到劇烈振動，有可能在鋼筋與混凝土之邊界形成孔隙或使其黏結力受到折損而形成弱面，受損情形端視其所受到振動之初始時間、持續時間及振動能量等各種因素而定。本研究僅以大位移之劇烈自由振動，迫使梁試體產生明顯之撓曲振動行為，來代表此種振動對握裹力產生之影響。

開裂載重下之試驗分析結果：受到振動的試體，其無箍筋圍束的梁之 $B.I.$ 約為 0.47~0.8；有箍筋圍束的梁之 $B.I.$ 為 0.38。因此，受到劇烈振動之影響的新澆置鋼筋混凝土梁試體，不論有無箍筋圍束，其開裂握裹應力均明顯有降低趨勢。

極限載重下之試驗分析結果：受到振動的試體，其無箍筋圍束的梁之 $B.I.$ 約為 1.86~2.15，其相對於正常握裹之鋼筋的握裹率約為 0.77~0.88，即極限握裹應力折減率約為 12%~23%；有箍筋圍束的梁之 $B.I.$ 為 2.91，其相對於正常握裹之鋼筋的握裹率為 0.95，極限握裹應力之折減率為 5%。同樣地可看出在受到劇烈振動之影響的新澆置鋼筋混凝土試體，其極限握裹應力的確會有折減趨勢。

值得注意的是，在無箍筋圍束的情況下，其折減程度與鋼筋有塗佈油脂的試體接近，可見其黏結力及摩擦力有大幅降低之趨勢；但有箍筋圍束的梁試體，其折減程度並不嚴重。因此可推論，在有良好箍筋圍束的情況下，劇烈振動對折減極限握裹應力的影響程度，可有效的獲得改善。另外，振動對於握裹力的影響，主要以振動發生之時間的影響最大，在拌合 6 小時後發生振動(約終凝開始時間)，即使給予相當大的振幅及較久的振動時間(S-B-3)，使試體表面形成明顯之振動裂縫，其極限握裹應力也只有折減約 12%；而振動發生時間較早的試體(S-A-2)，雖然在試體表面並無形成明顯之振動裂縫，但其極限握裹應力折減可達 23%，甚至低於完全喪失黏結力及摩擦力的試體(O-30-NC-1)，可見振動發生之時間是主要的影響因素。

P 系列試體

內置圓鋼棒之梁試體，其握裹應力主要是由黏結力及摩擦力所提供，在極限應力下，鋼棒與混凝土僅會產生相對滑脫，不易導致劈裂破壞，因此是否有足夠的箍筋圍束，對其極限握裹應力影響並不大，因此僅設計一組無箍筋圍束的梁試體進行探討。

試驗分析結果顯示：圓鋼棒之試體，在開裂載重下，其 $B.I.$ 為 0.64。而在極限載重下，其 $B.I.$ 為 1.36，其相對於正常握裹之鋼筋的握裹率為 0.56，極限握裹應力之折減率為 44%，只能發揮約鋼筋一半的握裹應力，若再考慮箍筋圍束之效應，其比例將降的更低，可見在極限應力上，竹節支承力的確為主要的握裹應力之來源。

載重—變位關係

載重與變位關係為描述梁試體之構件行為的基本曲線，此載重—變位關係中，載重是指左右兩側Load Cell所量測到之平均值；而變位是指梁中心點與外端加載點之相對位移。依照本試驗中梁試體有無箍筋圍束之差異，將其撓曲載重試驗之載重—變位關係，分別繪於圖 8 及圖 9 所示。圖中以(P_{cr})表示梁產生開裂時之載重，而極限載重(P_u)則是定義為劈裂破壞時所量測到之載重。由載重—變位關係曲線中，可觀察出梁在尚未產生撓曲開裂之前，其載重與變位大致上呈一線性關係，在混凝土開裂後，關係曲線上則約略呈現有轉折偏角，此即表示由於開裂導致梁試體產生軟化現象，意即勁度降低。

為做比較，將有無箍筋圍束之載重—變位繪在一起如圖 10 所示，圖中顯示在達到極限握裹應力後，變位開始大量增加，同時載重快速下降，而在有箍筋圍束的情況下，強度衰減速度較緩，呈現較為韌性之破壞趨勢；但若無箍筋圍束時，強度則迅速衰減，呈現脆性之破壞趨勢。

圖 11 為各種鋼筋表面不同黏結情況之載重—變位關係曲線圖，由圖 11 可發現其初期勁度相當接近，但由於受到黏結狀態改變之影響，其產生開裂之載重會有些許不同。在鋼筋表面為正常黏結的情況下，其曲線出現開裂轉折點的載重為最高；若鋼筋表面為有包覆 epoxy 或 oil 的試體，其曲線出現開裂轉折點的載重略為下降；若為受到劇烈振動之新澆置鋼筋混凝土梁試體，則其曲線勁度出現開裂轉折點的載重有可能降的更低，其原因可能為梁試體在受到劇烈振動的過程中，保護層之混凝土已有微細裂縫形成，或鋼筋與混凝土界面已產生明顯間隙。至於內置圓鋼棒之梁試體，其曲線勁度出現開裂轉折點的載重，則與鋼筋表面為包覆 epoxy 或 oil 的試體接近，表示其無法如同竹節鋼筋般，與混凝土結成一體，共同抵抗開裂彎矩。

在載重—變位關係曲線產生開裂轉折點後，會因鋼筋表面之黏結狀況的不同，其勁度走勢會有些微差異，但變化不大，主要是因為鋼筋在與混凝土產生些微相對位移後，黏結力之貢獻即大幅降低，甚至完全消失，僅靠竹節支承力及摩擦力繼續抵抗外加載重。而其中又以竹節支承力之貢獻最大，摩擦力只佔一小部份，這個推論可由圖 11 中，鋼筋正常黏結試體的勁度略大於鋼筋表面包覆 epoxy 試體的勁度，而鋼筋表面包覆 epoxy 試體的勁度又略大於鋼筋表面包覆油脂試體的勁度得到驗證。至於內置圓鋼棒之梁試體，則由於無竹節支承力之貢獻，因此在摩擦力達到最大貢獻後，應力即維持在該強度附近，但變位則持續增加。

CONCLUSIONS

根據試驗分析之結果，可歸納出以下之結論：

1. 載重試驗結果顯示，完全喪失黏結力及摩擦力的試體，其極限握裹應力約可達一般試體(N 系列)的 80%；而其他部份界面受損的試體則介於兩者之間。
2. 無竹節支承力，僅靠黏結力及摩擦力來提供握裹力的梁試體，其極限握裹應力可達一般試體的 56%，可見黏結力及摩擦力在載重前半段時期仍佔有相當大的比重。而一般試體在黏結力喪失後，握裹力轉而由摩擦力及竹節支承力來繼續提供。
3. 在無箍筋圍束的情況下，振動對於握裹力的影響相當大，以本研究之試體為例，振動發生在混凝土澆置後約 5 小時，其極限握裹應力折減可達 23%，低於完全喪失黏結力及摩擦力的試體。

4. 無配置箍筋之梁試體，則因僅靠混凝土提供圍束強度，因此鋼筋在達到極限握裹強度後，即因明顯的滑脫而呈現脆性破壞之趨勢。有配置箍筋之梁試體，因為圍束效果增加而呈現較為韌性之破壞趨勢。

一祥翻譯社 樣本
Elegant Translation Service Sample
請勿複製
Do not copy