

第五章 受彎矩作用之構材

5.1 適用範圍

本章適用於受彎矩作用之鋼骨鋼筋混凝土構材。設計者可採用包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁或鋼梁作為抗彎矩構材。

採用包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁時，其設計應符合本章之規定。採用鋼梁時，其設計應符合內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」之相關規定。

5.2 包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁

本規範所稱之包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁，係指型鋼或組合鋼骨斷面完全包覆於鋼筋混凝土之中，且符合第 5.3 節之一般要求規定之鋼骨鋼筋混凝土梁。

解說：圖 C5.2.1 顯示兩種合理配筋的 SRC 梁斷面圖。SRC 梁之配筋以分佈在斷面四個角落為宜，配筋不應過密，以利主筋通過梁柱接頭。

圖 C5.2.2 顯示幾種不合理的 SRC 梁配筋情形。這些斷面的主要缺點是配筋太密，在梁柱接頭處，一部份的主筋將因為被 SRC 柱中的鋼骨阻擋而無法連續貫通，使梁柱接頭處主筋的連續性發生問題。如果 SRC 梁之主筋無法連續貫通梁柱接頭，將導致梁柱接頭處彎矩傳遞中斷，造成不良後果。

另一方面，圖 C5.2.3 顯示幾種空腹型 (Open Web) 斷面，此種空腹型的 SRC 梁多用於 SRC 構造發展之初期[10]，目前已甚少使用，主要是因為以前型鋼斷面較少且價格較貴之緣故。空腹型斷面雖具有混凝土澆置較易、鋼料較省及管線穿過容易等特色，但因其韌性較差且較為耗工，目前多已被採用型鋼的 SRC 斷面取代。

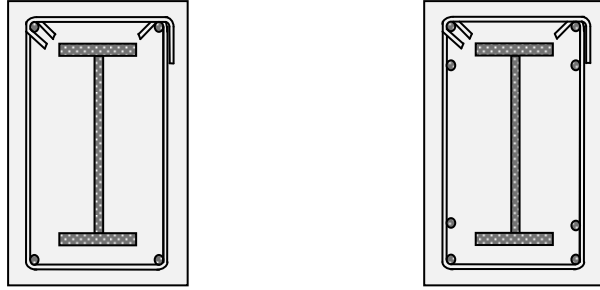


圖 C5.2.1 包覆型 SRC 梁斷面及配筋示意圖

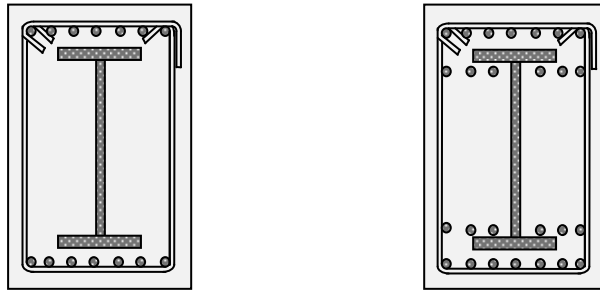


圖 C5.2.2 配筋太密的 SRC 梁斷面（梁柱構架中不宜使用）

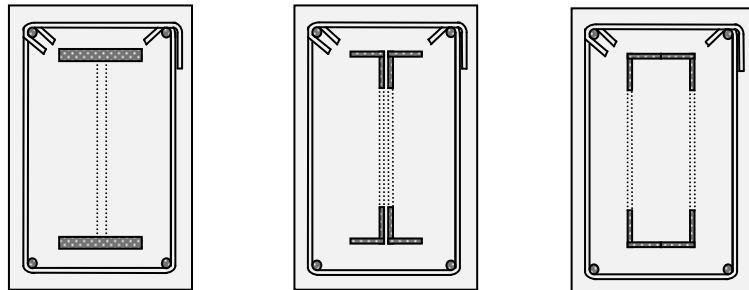


圖 C5.2.3 空腹型 SRC 梁（不建議使用）

5.3 一般要求

1. 鋼骨鋼筋混凝土梁中之主筋與箍筋配置應符合 4.3 節之規定。
2. 鋼骨鋼筋混凝土梁中之鋼骨與鋼筋之混凝土保護層應符合 4.5 節之規定。
3. 鋼骨鋼筋混凝土梁中之鋼骨斷面肢材寬厚比應符合 3.4 節表 3.4-1 中 λ_p 之規定。
4. 鋼骨鋼筋混凝土梁中鋼骨之規定降伏應力 F_{ys} 不宜大於 3,520 kgf/cm²，鋼筋之規定降伏應力 F_{yr} 不宜大於 5,600 kgf/cm²，混凝土之規定抗壓強度 f'_c 不宜小於 210 kgf/cm²。
5. 鋼骨鋼筋混凝土梁若需採用規定抗壓強度 f'_c 大於 420 kgf/cm² 之混凝土時，應以公認合理之試驗證明其可行性與可靠度。
6. 除非預先設置充分之臨時支撐，鋼骨鋼筋混凝土梁中之鋼梁應能承受混凝土凝固前之全部靜載重。

解說：進行 SRC 梁設計時，對於鋼筋間距、箍筋配置、鋼筋與鋼板之淨間距以及混凝土保護層之厚度等亦應妥善規劃，以確保 SRC 梁能夠發揮預期之功能。

設計時不得將長向主筋緊貼於鋼板，至少應保持 25mm 以上之淨距。詳細的 SRC 構造設計細則應參照第五章之規定辦理。

SRC 梁中鋼骨斷面肢材寬厚比之限制已較純鋼梁時之限制略為放寬，其緣由如 3.4 節之解說所述。

混凝土抗壓強度之限制主要是因為混凝土強度與品質之穩定性。有關鋼筋與鋼骨降伏強度之上限規定，主要是鑑於目前的實驗資料大多仍以採用降伏強度 F_{yr} 不大於 5,600 kgf/cm² 之鋼筋及 F_{ys} 不大於 3,520 kgf/cm² (50ksi) 之鋼骨所得之結果。若將來有較充分的實驗結果證明採用高強度之混凝土或鋼材亦能得到預期之強度與可靠性，則將不排除使用之可能性。

5.4 設計彎矩強度

符合 5.2 與 5.3 節規定之包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁，其設計彎矩強度 $\phi_b M_n$ 應不小於由因數化載重組合所計得之最大需要彎矩 M_u 。設計彎矩強度 $\phi_b M_n$ 得採用以下三種方式之一決定之：

1. 採用「強度疊加法」，依本章 5.4.1 節之規定計算。
2. 依內政部所定之「混凝土結構設計規範」相關規定計算。
3. 依內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」相關規定計算。

鋼骨鋼筋混凝土梁端部之主筋若未連續通過梁柱接頭，或未依規定於柱中適當錨定時，均應視為補助筋且不計其對彎矩強度之貢獻。

5.4.1 強度疊加法

包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁之設計彎矩強度 $\phi_b M_n$ 得採用「強度疊加法」計算如下：

$$\phi_b M_n = \phi_{bs} M_{ns} + \phi_{brc} M_{nrc} \quad (5.4-1)$$

其中：

$\phi_{bs} = 0.9$ ，鋼骨部分之彎矩強度折減係數

$\phi_{brc} = 0.9$ ，鋼筋混凝土部分之彎矩強度折減係數

$M_{ns} =$ 鋼骨部分之標稱彎矩強度，其值為 ZF_{ys} ， Z 為鋼骨之塑性斷面模數， F_{ys} 為鋼骨之規定降伏應力

$M_{nrc} =$ 鋼筋混凝土部分之標稱彎矩強度，依內政部所定之「混凝土結構設計規範」之相關規定計算

解說：對於 SRC 梁彎矩強度之計算，本規範採用「強度疊加法」(Strength Superposition Method) 之觀念來求得。有關強度疊加法的合理性，日本京都大學的若林實 (Minoru Wakabayashi) 教授曾針對此一問題進行深入探討 [15,16]。基本上，由於 SRC 構材是 S 與 RC 之組合體，且在日本 AIJ-SRC 規範與本規範均未強制要求 SRC 構材中之鋼骨斷面

均須配置剪力釘，故乃假設：在極限狀態下，鋼骨表面與混凝土之間的握裹力(Bond Force)可以保守的忽略。

強度疊加法的主要特色在於能夠使 SRC 梁之設計更簡便可行，並可以略為保守的合理預估 SRC 梁的彎矩強度。採用強度疊加法進行設計時，設計者可先決定鋼骨之尺寸，由鋼骨先負擔一部份之彎矩，剩餘之彎矩再由 RC 負擔；或設計者亦可先決定混凝土之尺寸與配筋，剩餘之彎矩再由鋼骨負擔。

雖然本規範所採用的強度疊加法與日本 AIJ-SRC 規範[10]所採用的簡單疊加法(Simple Superposition Method, SSM)在概念上相近，不過仍然有以下幾項十分重要的差異[17,18,19,20,21]：

- (1) 本規範採用的設計方法為極限強度設計法(USD)，日本 AIJ-SRC 規範則採用容許應力設計法(ASD)。
- (2) 在鋼骨與 RC 之強度計算方面，本規範係將 SRC 構材中的鋼骨與 RC 部分分別依照國內工程師熟悉的 AISC 規範[11]及 ACI 規範[9]個別計得其強度之後再予疊加，以求得 SRC 構材之強度。此一方式與 AIJ-SRC 規範並不相同，AIJ 係將 SRC 梁中之鋼骨與 RC 部分分別依照日本的鋼結構與 RC 設計規範求得後再予疊加。
- (3) 由於教育背景之因素[22]，國內多數的工程師對於鋼結構與 RC 的設計仍以美國 AISC 與 ACI 規範作為主要的參考。再者，目前內政部所定的「建築技術規則」中[6]，其鋼結構與 RC 規範亦以 AISC 與 ACI 規範為藍本而訂定。因此，本規範所採用的方法將使內政部頒佈的 Steel、RC 及 SRC 三種規範能夠具有一貫性。

另一方面，本規範容許 SRC 梁之彎矩強度亦得採用另外兩種方式決定的原因，在於「混凝土結構設計規範」[2]與「鋼結構極限設計法規範及解說」[1]亦為內政部已經正式頒佈之規範。

近年來部分有關 SRC 梁之研究顯示，採用 ACI 規範之合成梁計算法亦可近似預估 SRC 梁之彎矩強度[23,24]。不過，因該法將鋼骨視為等量的竹節鋼筋，在計算上可能複雜許多。有關強度疊加法略偏保守

的假設忽略鋼骨與混凝土之間的合成作用與 ACI 規範將鋼骨未配置剪力釘之 SRC 梁假設為完全合成作用(Fully Composite) ，其合理性尚有進一步討論之空間[23,25,26]。

在強度折減係數的使用方面，本節 RC 部分之彎矩強度採用 $\phi_{brc} = 0.9$ 係依據 ACI-318-05 規範第九章而訂定[50]。

此外，本節對於 SRC 梁端部主筋配置之規定，主要在避免設計者在 SRC 梁內配置過多主筋，導致施工時主筋無法連續通過梁柱接頭的現象。倘若在 SRC 梁內配置過多主筋，工人可能因施工困難而將主筋於梁柱接頭處切斷或彎折，將嚴重損壞梁柱接頭傳遞彎矩之功能。

5.5 設計剪力強度

符合 5.2 與 5.3 節規定之包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁，其鋼骨部分及鋼筋混凝土部分之設計剪力強度應分別滿足以下之要求：

$$\phi_{vs} V_{ns} \geq (M_{ns} / M_n) V_u \quad (5.5-1)$$

$$\phi_{vrc} V_{nrc} \geq (M_{nrc} / M_n) V_u \quad (5.5-2)$$

其中：

$\phi_{vs} V_{ns}$ = 鋼骨部分之設計剪力強度， $\phi_{vs} = 0.9$ ， V_{ns} 依 5.5.1 節計算

$\phi_{vrc} V_{nrc}$ = 鋼筋混凝土部分之設計剪力強度， $\phi_{vrc} = 0.75$ ， V_{nrc} 依 5.5.2 節計算

M_{ns} = 鋼骨部分之標稱彎矩強度，依 5.4.1 節計算

M_{nrc} = 鋼筋混凝土部分之標稱彎矩強度，依 5.4.1 節計算

M_n = 鋼骨鋼筋混凝土梁之標稱彎矩強度，依 5.4.1 節計算

V_u = 由因數化載重組合所引致作用於鋼骨鋼筋混凝土梁之需要剪力

解說：本節要求 SRC 梁中的鋼骨部分與 RC 部分的設計剪力強度應分別大於或等於其所對應的需要剪力強度，而鋼骨與 RC 部分的需要剪力強度之大小則與其各別所分擔的彎矩大小有關[10]。

當考慮耐震設計時，本規範對 SRC 梁之剪力設計有較嚴格之規定，除本節之要求外，並應符合第九章之相關規定。

在強度折減係數方面，本節 RC 部分之剪力強度折減係數採用 $\phi_{vrc} = 0.75$ ，而非 ACI-318-99 結構混凝土設計規範所用之 $\phi_v = 0.85$ 的原因，在於本規範使用的載重係數是依據 ASCE-7-02 訂定[49]，而非直接採用 ACI-318-99 規範中的載重係數之緣故。因此需要將 RC 部分之強度折減係數相對的調整， $\phi_{vrc} = 0.75$ 是依據 ACI-318-05 規範第九章而訂定[50]。

5.5.1 鋼骨部分之剪力強度

符合 5.2 與 5.3 節規定之鋼骨鋼筋混凝土梁，其鋼骨部分之標稱剪力強度 V_{ns} 應依以下規定計算：

$$V_{ns} = 0.6F_{yw} A_w \quad (5.5-3)$$

其中 F_{yw} 為腹板之規定降伏應力， A_w 為腹板斷面積， $A_w = t_w \times d$ ， t_w 為腹板厚度， d 為鋼骨斷面之深度。

解說：公式(5.5-3)所示的鋼骨標稱剪力強度係基於 AISC-LRFD 規範中對鋼梁剪力強度之規定[11]，惟因符合 5.2 與 5.3 節規定之包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁，其鋼骨部分受到混凝土之適當圍束，故可不考慮鋼骨腹板剪力挫屈之問題。

5.5.2 鋼筋混凝土部分之剪力強度

符合 5.2 與 5.3 節規定之鋼骨鋼筋混凝土梁，其鋼筋混凝土部分之標稱剪力強度 V_{nrc} 應為以下第 1 及第 2 項計算所得之較小者：

1. 一般剪力破壞

$$V_{nrc} = V_{nr} + V_{nc} \quad (5.5-4)$$

其中：

(1) V_{nr} 依以下規定計算，惟不得大於 $2.12\sqrt{f'_c}bd$ ：

(i) 剪力鋼筋與構材長軸垂直時：

$$V_{nr} = \frac{A_v F_{yh} d}{s} \quad (5.5-5)$$

(ii) 剪力鋼筋與構材長軸斜交時：

$$V_{nr} = \frac{A_v F_{yh} (\sin \theta + \cos \theta) d}{s} \quad (5.5-6)$$

其中： A_v = 剪力鋼筋在間距 s 之斷面積， cm^2

F_{yh} = 剪力鋼筋之規定降伏應力， kgf/cm^2

d = 拉力鋼筋形心至混凝土受壓外緣之距離， cm

s = 剪力鋼筋之間距， cm

θ = 斜向剪力鋼筋與構材長軸之交角，度

(2) V_{nc} 依以下規定計算：

(i) 構材僅受剪力與彎矩作用時：

$$V_{nc} = 0.53\sqrt{f'_c}bd \quad (5.5-7)$$

(ii) 構材受軸壓力作用時：

$$V_{nc} = 0.53(1 + \frac{P_{urc}}{140A_g})\sqrt{f'_c}bd \quad (5.5-8)$$

(iii) 構材承受較大軸拉力作用時， V_{nc} 得依下式計算，或由箍筋承受全部剪力：

$$V_{nc} = 0.53(1 + \frac{P_{urc}}{35A_g})\sqrt{f'_c}bd \geq 0 \quad (5.5-9)$$

其中： f'_c = 混凝土規定抗壓強度， kgf/cm^2

b = 鋼骨鋼筋混凝土構材之全斷面寬度， cm

A_g = 鋼骨鋼筋混凝土構材全斷面之面積， cm^2

P_{urc} = 鋼筋混凝土部分分擔之需要軸力，依公式 (7.3-5) 決定，壓力為正值，拉力為負值

2. 剪力摩擦破壞

$$V_{nrc} = V'_{nr} + V'_{nc} + V'_{ns} \quad (5.5-10)$$

其中：

(1) V'_{nr} 依以下規定計算，惟不得大於 $2.12\mu\sqrt{f'_c}bd$ ：

(i) 剪力摩擦鋼筋與剪力摩擦面垂直時：

$$V'_{nr} = \mu A_{vf} F_{yh} (\frac{d}{s}) \quad (5.5-11)$$

(ii) 剪力摩擦鋼筋與剪力摩擦面斜交且剪力導致剪力摩擦鋼筋承受拉力時：

$$V'_{nr} = A_{vf} F_{yh} (\mu \sin \theta_f + \cos \theta_f) (\frac{d}{s}) \quad (5.5-12)$$

其中： μ = 剪力摩擦面之摩擦係數，如表 5.5.1 所示

A_{vf} = 剪力摩擦鋼筋在間距 s 之斷面積， cm^2

θ_f = 剪力摩擦鋼筋與剪力面之交角，度

$$(2) V'_{nc} = K_1 b' d \quad (5.5-13)$$

其中： b' = 全斷面寬度扣除鋼骨翼板寬度後之淨寬度， cm

K_1 = 沿剪力摩擦面之混凝土對剪力阻抗之經驗常數，當採用常重混凝土時為 28 kgf/cm^2 ，天然砂輕質混凝土時為 17.5 kgf/cm^2 ，全輕質混凝土時為 14 kgf/cm^2

(3) V'_{ns} = 沿剪力摩擦面鋼骨翼板上所配置之剪力釘對剪力強度之貢獻。剪力釘之抗剪強度依內政部所定之「鋼結構極限設計法規範及解說」相關規定計算。

表 5.5.1 剪力摩擦係數 μ

剪力面狀況	μ
(1) 混凝土整體澆置	0.8λ
(2) 混凝土澆置於硬化混凝土面而該面	
(a) 經表面粗糙處理	0.55λ
(b) 未經表面粗糙處理	0.35λ
混凝土種類	λ
(1) 常重混凝土	1.0
(2) 天然砂輕質混凝土	0.85
(3) 全輕質混凝土	0.75

解說：本節有關 SRC 梁中 RC 部分的剪力設計主要考慮兩種可能的破壞模式：(1)一般剪力破壞與(2)剪力摩擦破壞[10,27,28,29]。

在一般剪力破壞方面，公式(5.5-4)係依據內政部所定的「混凝土結構設計規範」訂定[2]。在剪力摩擦破壞方面，圖 C5.5.1 顯示一個 SRC 斷面發生剪力摩擦破壞的情形[28]。由於 SRC 斷面中有鋼骨存在，因此在斷面中的混凝土部分沿著鋼骨翼板的水平方向將可能形成一個弱面，且當翼板寬度愈大時，破壞的可能性愈大。目前 ACI-318-05 規範[50]在剪力摩擦設計公式中並未考慮 RC 斷面中內含鋼骨之情形，故本規範並未直接引用其結果。

由於一般包覆型 SRC 斷面中均有配置剪力鋼筋，此時剪力鋼筋亦扮演抵抗剪力摩擦破壞的角色。剪力摩擦之設計係假想 SRC 構材在某一斷面上因剪力作用而產生裂縫。當裂縫面開始滑動分離時，此種分離所產生的作用力由穿過假想裂縫的鋼筋承擔。經由鋼筋應變產生的拉力提供了大小相等方向相反的正向夾緊力；此種夾緊力又產生平行於裂縫的摩擦力，並阻止進一步的滑動[27,28]。

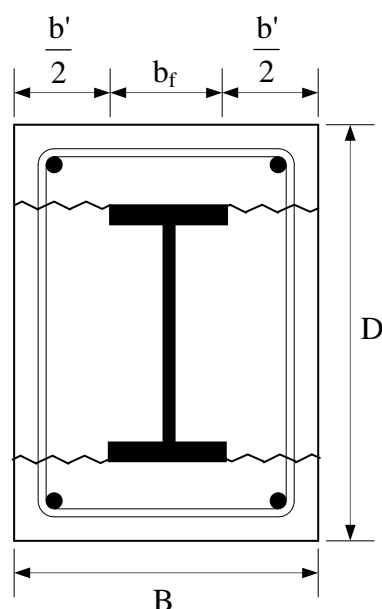


圖 C5.5.1 SRC 斷面之剪力摩擦破壞[10,28]

剪力摩擦設計公式(5.5-10)中之 V'_{ns} 係考慮到沿剪力摩擦面鋼骨翼板上所配置之剪力釘對剪力強度之貢獻。至於公式(5.5-11)與(5.5-13)則分別表示 SRC 斷面中剪力鋼筋與混凝土對剪力摩擦破壞的抵抗能力[28]。如果斷面中之剪力鋼筋與混凝土對剪力摩擦破壞的抵抗能力已經足夠，則鋼骨翼板無需配置剪力釘。

公式(5.5-13)中 $V'_{nc} = K_1 b' d$ 的 b' 為 SRC 全斷面寬度扣除鋼骨翼板寬度後的淨寬度，該式表示寬度為 b' 的混凝土對剪力摩擦的抵抗能力。該式保守的假設鋼板翼板與混凝土之交界面為光滑面，忽略其間握裹力之貢獻[10,28]，其中 K_1 之值係依據文獻[30]之實驗結果所得之常數。另一方面，由於剪力摩擦係數 μ 與剪力面之情況及混凝土之種類有關，故 μ 值之大小應該反映此一現象。表 5.5.1 係參考 ACI-318-05 規範及文獻[30,31]之研究成果修訂而得。

圖 C5.5.2 顯示一 SRC 構材受剪力摩擦作用之情形[28,29]，其中圖(a)顯示構材可能之剪力摩擦破壞面，圖(b)則顯示混凝土摩擦面抵抗剪力傳遞之水平摩擦力 V_{hf} 。依據 Hofbeck [30] 與 Mattock [31]之研究，圖(b)中混凝土摩擦面抵抗剪力傳遞之水平摩擦力 V_{hf} 可表示為

$$V_{hf} = \mu A_{vf} F_{yh} + K_1 A_c \quad (C5-1)$$

其中第一項為由箍筋所提供之被動摩擦力，而第二項則為由混凝土摩擦面之粗糙性所提供之互鎖力。當吾人欲將此一水平力轉換為相當的垂直剪力時，可經由梁斷面上某一點之水平剪應力與垂直剪應力相等之關係推導求得，公式(5.5-11)與(5.5-13)即為所求之結果。

圖 C5.5.3 顯示 SRC 構材中之 RC 部分所提供垂直於構材長軸方向之標稱剪力強度 V_{nrc} 與混凝土摩擦面抵抗剪力傳遞之水平摩擦力 V_{hf} 之關係[28,29]。圖中作用在水平摩擦面上之剪應力 τ_{yx} 為

$$\tau_{yx} = \frac{V_{hf}}{b' s} \quad (C5-2)$$

圖中沿垂直剪力 V_{nrc} 作用方向之剪應力為 τ_{xy} ，若將 τ_{xy} 保守的以作用於面積 $b'd$ 上之平均剪應力計算之，則

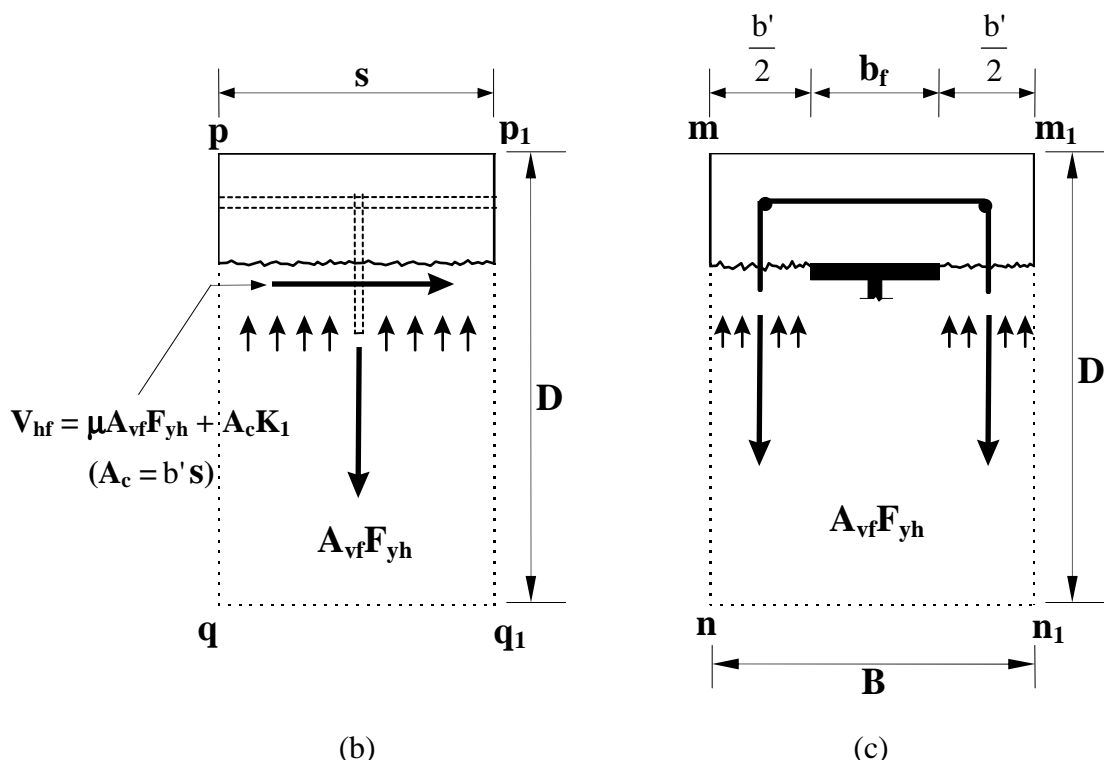
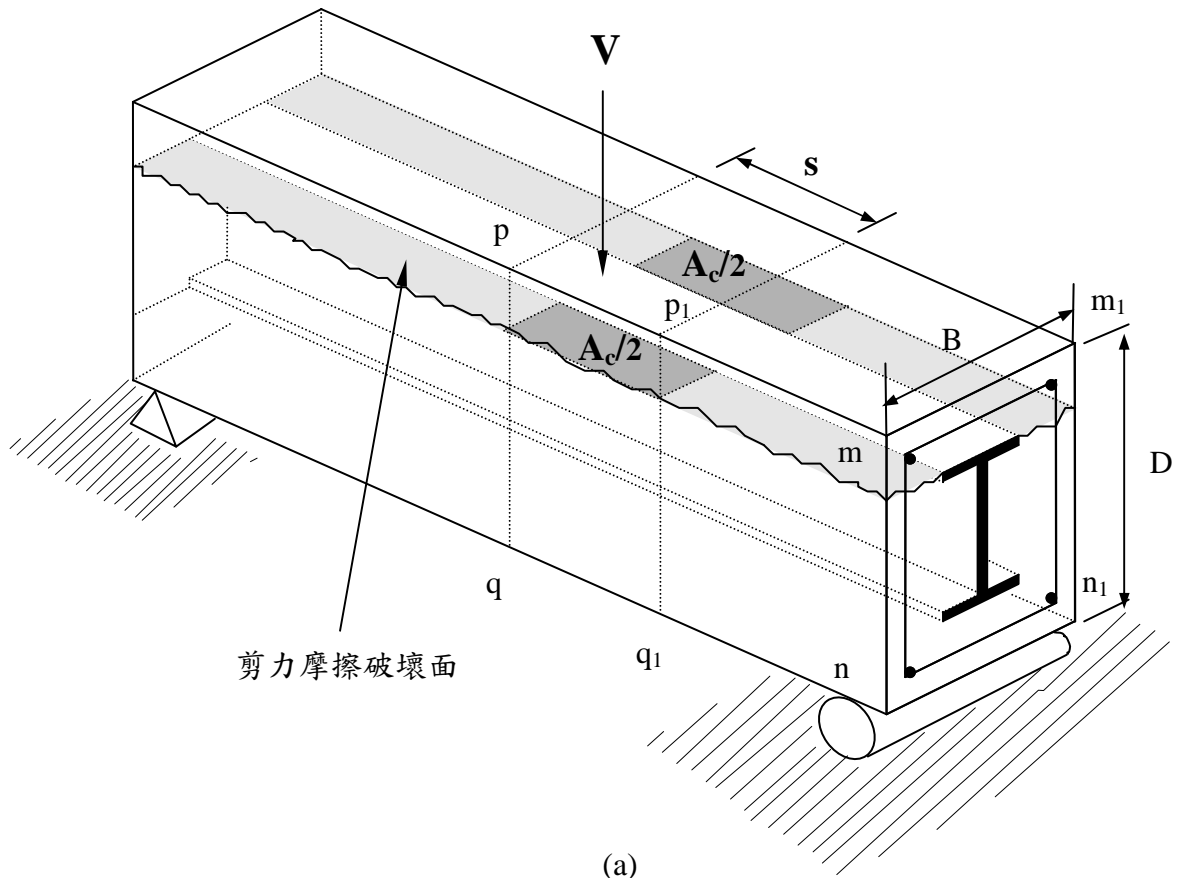


圖 C5.5.2 SRC 梁剪力摩擦破壞的受力情形[28,29]

$$\tau_{xy} = \frac{V_{nrc}}{b'd} \quad (C5-3)$$

圖中作用在水平摩擦面上之剪應力 τ_{yx} 應等於作用在垂直面上之剪應力 τ_{xy} ，即

$$\frac{V_{nrc}}{b'd} = \frac{V_{hf}}{b's} \quad (C5-4)$$

將式(C5-1)之 V_{hf} 代入式(C5-4)，則 SRC 構材中 RC 部分抵抗剪力摩擦破壞之剪力強度可表示如下[28,29]

$$V_{nrc} = \mu A_{vf} F_{yh} (d/s) + K_1 b' d \quad (C5-5)$$

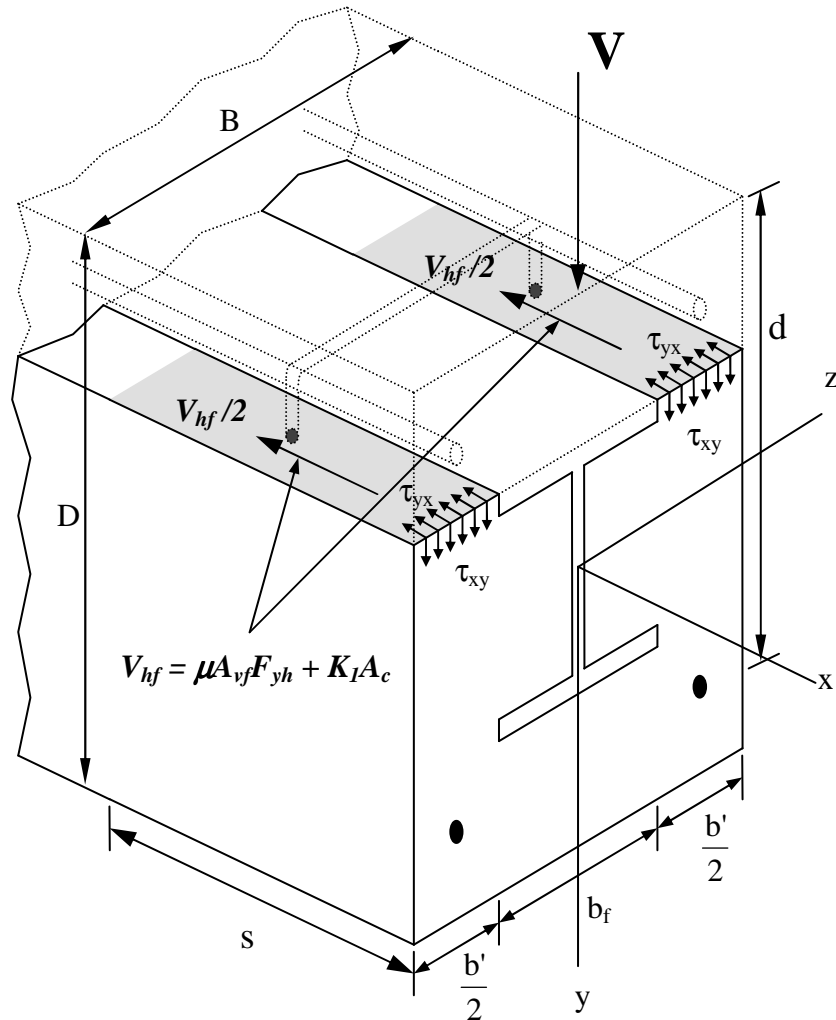


圖 C5.5.3 SRC 構材剪力摩擦破壞面之剪應力關係圖[28,29]