

鋼骨鋼筋混凝土 (SRC) 深梁之試驗與力學行為

Experimental study on mechanical behavior of SRC deep beams

計畫編號：NSC90-2211-E-009-033

執行時間：90 年 8 月 1 日 至 91 年 7 月 31 日

主持人：翁正強 交通大學土木工程系 教授

一、摘要

本研究藉由七組包覆型鋼骨鋼筋混凝土 (Steel Reinforced Concrete, SRC) 梁及一組鋼筋混凝土梁實驗來探討 SRC 深梁在單向載重作用下之力學行為。試體規劃參數主要包括剪力筋與剪力釘之配置以及梁之淨跨距與有效深度之比值 (L_n/d , 本文簡稱之為「跨深比」)。根據實驗觀察, 本研究發現 SRC 深梁與 RC 深梁均會發生繫拱作用 (Tie-Arch Action)。但是由於鋼骨的存在, SRC 深梁僅有在鋼骨翼緣左右兩側之混凝土因受到繫拱作用而被壓碎, 此現象與 RC 深梁之破壞情形有明顯的不同。此外, 本研究亦發現在鋼骨翼板或腹板加鉚剪力釘對於 SRC 深梁之抗剪強度並無明顯之貢獻。不過, 在 SRC 深梁之韌性改善方面, 本研究發現在鋼骨腹板加鉚剪力釘或配置適當的剪力筋有助於延後腹板在受到強大外力作用下發生局部挫屈現象, 使得 SRC 深梁具有較佳的韌性。

關鍵詞：SRC 深梁、跨深比、破壞模式、繫拱作用、剪力強度、韌性

Abstract

An experimental program is conducted to study the mechanical behavior of steel reinforced concrete

(SRC) deep beams. A total of seven SRC beams and one ordinary RC beam were tested with vertical monotonic load to study the tie-arch action of SRC deep beams. Major parameters studied include the influences of the shear reinforcement, the shear stud and the span-to-depth ratio. Experimental results showed that the shear capacity of SRC and RC deep beams are mainly controlled by the tie-arch action. However, due to the existence of steel shape in SRC deep beams, the crack pattern and failure mode are significantly different from those of an ordinary RC deep beam. Test results also revealed that application of shear stud on steel flange and web has little improvement on the ultimate shear strength. However, the use of shear reinforcement and shear stud on the steel web is found to be helpful for improving the ductility of SRC deep beams.

Keywords : SRC Deep Beam, Span-to-Depth, Failure Mode, Tie-Arch Action, Shear Strength, Ductility.

二、前言

鋼骨鋼筋混凝土結合了鋼骨 (S) 與

鋼筋混凝土 (RC) 兩種材料，若經由適當的設計，SRC 構造將可以有效發揮這兩種材料的優點，並可以得到較經濟的結合。相對於純鋼骨構造而言，SRC 構造的勁度較大，可減少結構體之側向位移；混凝土的包覆將有助於降低鋼骨發生局部挫屈之現象，亦是鋼骨良好的防火被覆。相對於純 RC 構材而言，SRC 構材所需的斷面尺寸較小，使建築物的空間利用更為經濟，而斷面中的鋼骨亦有助於構材強度與韌性的提昇。

有關 SRC 深梁的研究，除日本 AIJ-SRC 規範[1]有相關部分的規定之外，美國 ACI 318-02 規範[2]中並未明訂相關之設計條文。在一般 RC 構材剪力設計方面，ACI 規範中係以跨深比為 5.0 作為一般梁與深梁之區分。由於 RC 深梁主要為剪力破壞模式，預警程度較撓曲破壞為低，所以 ACI 規範中針對 RC 深梁作特別考量。另一方面，在美國 AISC-LRFD 規範[3]中並沒有以跨深比區分為深梁或一般梁，而是考慮鋼梁斷面之腹板深厚比 (h/t_w) 區分為梁與鉸梁 (Plate Girder) 兩大類，主要是針對鋼骨腹板之挫屈問題作考量。

國內過去十年來在 SRC 構造相關的研究方面，大多集中在探討 SRC 構材彎矩、軸力及梁柱強度方面之問題[4]，對於包覆型 SRC 深梁之繫拱行為尚未有深入之探討。因此本研究乃在國科會研究經費的贊助下，製作一系列 SRC 深梁試體進行實驗，以探討其強度、韌性及繫拱作用等力學行為。

三、文獻回顧

關於包覆型 SRC 構材剪力行為之研究，由於歐美各國甚少使用此類型的結構桿件，因此少有相關的論文發表。在日本方面，Wakabayashi[5]曾於 1987 年對日本在 SRC 構材相關之剪力強度試驗及設計方法作一回顧。

在國內方面，翁正強、程幼棟[6]於

1997 年針對包覆型 SRC 構材一般梁之剪力設計進行探討，研究結果顯示 SRC 梁除了應考慮類似一般 RC 梁中之斜張力所造成之剪力破壞外，必須再檢討剪力摩擦破壞的可能性，該研究並採用強度疊加之概念提出一套 SRC 構材剪力設計之方法。另一方面，張大鵬、陳正誠、方志楷[7]於 1999 年進行包括鋼梁、混凝土梁及 SRC 梁之剪力載重實驗，以探討 SRC 深梁之剪力強度與韌性。實驗結果顯示當 SRC 梁之箍筋量愈高，則 SRC 梁之韌性行為表現愈好，實驗結果亦顯示在鋼骨翼板加鉸剪力釘對 SRC 深梁之剪力強度並無明顯貢獻。

四、實驗計劃

本研究共製作八組梁試體，包括七組包覆型 SRC 梁試體及一組 RC 梁試體。試體之全斷面尺寸為 200×350 mm，H 型鋼骨斷面為 $198 \times 99 \times 4.5 \times 7$ mm，材質為 A36。試體之總長度有 2500 及 1250mm 兩種，實驗淨跨距分別為 1850 及 600mm，其對應之跨深比分別為 6.2 與 2.0。試體之規格見表一及圖一。試體之材料強度列於表二。表一中之試體編號，第一編號為梁之區分，有 B 與 D 兩類，分別表示為一般梁及深梁；第二編號為垂直剪力筋之間距值，有 15 及 NT 兩類，分別對應的是間距 150mm 及無剪力筋；而最後英文字母 NS、FS、WS 是表示鋼骨加剪力釘的位置，NS 表示在鋼骨上並沒有加鉸剪力釘，FS 表示在鋼骨翼板上加鉸剪力釘，WS 是表示於鋼骨腹板加鉸剪力釘。

本實驗利用交通大學大型結構實驗室 1000KN 之 MTS 油壓制動器 (Actuator) 進行三點彎曲單向靜力加載實驗，並於試體跨度中央設置線性變位位移感應計 (LVDT) 以量測梁中央之最大變形，實驗設置詳見圖二及照片一。實驗之進行採位移控制，以便獲取極限載重後之各項實驗資料及韌性發揮情

況，加載行程速率控制為 0.03mm/sec。

五、實驗結果與討論

5.1 SRC 深梁之繫拱作用

ACI 318-02 規範以跨深比 5.0 作為一般 RC 梁與 RC 深梁之分界點，主要是考量深梁為剪力破壞模式，其預警程度較撓曲破壞為低。在鋼梁方面，AISC-LRFD 規範係以腹板深厚比作為梁與鈹梁之區分，主要是針對鋼骨腹板之挫屈問題作考量。SRC 梁是否適合以跨深比作為深梁與一般梁之區分，則仍需藉由實驗觀察來驗證。

照片二與照片三為分別為 SRC 一般梁（跨深比為 6.2）與 SRC 深梁（跨深比為 2.0）之破壞情形。由該照片中可以發現，SRC 一般梁試體 B-15-NS 與 SRC 深梁試體 D1-15-NS 分別屬於不同之破壞模式，前者為撓曲破壞，而後者為剪力破壞。此外，SRC 一般梁試體 B-15-NS 在試驗結束後剝除破裂的混凝土，可發現壓力筋發生挫屈（如照片二(b)所示）及拉力筋發生拉斷之情形（如照片二(c)所示），而此種情形並未出現於 SRC 深梁試體 D1-15-NS（如照片三(b)與(c)所示）。因此，照片顯示 SRC 一般梁的破壞模式不同於 SRC 深梁，而其中主要的差異在於跨深比之不同，顯示跨深比為影響 SRC 梁破壞模式的重要參數之一。

有關 RC 深梁的真實力學行為，近年來許多研究顯示[8~10]，現行 ACI 規範之深梁抗剪強度預測方法有許多不盡理想之處，而較適宜之極限強度分析方法乃是採用繫拱模型（Strut-and-Tie Model）。圖三顯示一個典型的 RC 深梁繫拱模型，繫拱作用破壞的原因乃在於混凝土壓力支桿（Strut）的壓碎、鋼筋拉力繫桿（Tie）錨定的消失或支桿相交處節點（Node）的混凝土被壓碎等[11]。

由實驗中可以發現 SRC 深梁與 RC 深梁之裂縫發展過程頗為相近，顯示在

裂縫形成之後都是藉由繫拱作用來傳遞載重。實驗過程中亦發現，當載重持續增加，但在未達極限載重之前，雖然仍有新的裂縫產生，但此時 SRC 深梁仍處於繫拱作用之穩定狀況。當載重增加至極限時，繫拱作用亦同時達到臨界狀態（Critical State），隨之而來的是之穩定狀態遭受破壞而造成強度下降。照片四為 SRC 深梁（D4-15-WS）在接近極限載重前後之情形，顯示 SRC 深梁在加載至極限載重之後，由於混凝土壓力支桿遭到壓碎而造成強度下降。

圖四顯示本研究 SRC 深梁與 RC 深梁的載重-位移曲線圖。由圖中可以發現 RC 深梁試體 D7-15-RC 在加載至極限載重之前，拉力筋已先達到降伏（圖中打星號之點）並造成勁度明顯折減，待加載至極限載重時，由於混凝土壓力支桿壓碎而造成強度驟然下降。在 SRC 深梁方面，由該圖可發現 SRC 深梁試體 D1-15-NS 是在加載至接近於極限載重時，拉力筋才達到降伏，隨後不久 SRC 深梁即因混凝土壓力支桿被壓碎而造成強度下降，此種現象明顯與 RC 深梁不同，其原因可以由下節之說明得知。

照片三顯示 SRC 深梁 D1-15-NS 之剪力破壞情形，其中照片三(a)為 SRC 深梁最後破壞情形，照片三(b)與(c)為將壓碎混凝土剝除後之情形。由照片三(b)與(c)可發現 SRC 深梁鋼骨上下翼板內側之混凝土並沒有被壓碎，顯示 SRC 深梁內 RC 部份僅在鋼骨翼緣左右兩側之混凝土有發生壓碎之現象（如圖五所示）。此種現象的可能原因是 SRC 深梁由於 H 型鋼骨的存在而造成混凝土壓力支桿寬度變窄，使其受壓面積減少，進而導致混凝土壓力支桿之抗壓能力降低，使得 SRC 深梁在產生拉力筋降伏之後，隨後即發生混凝土壓力支桿壓碎而造成強度開始下降。據此將可以解釋圖四的載重曲線中為何本研究 SRC 深梁之拉力筋幾乎是在達到極限載重的同時達到降伏（如圖中之星號所示），而不同於 RC 深

梁係在拉力筋已先達到降伏之後一段時間，待逐漸加載至混凝土壓力支桿被壓碎材達到其極限載重，然後隨即發生強度陡降以至破壞為止。

基於前述的討論，顯示 SRC 深梁與 RC 深梁都有發生繫拱行為，但由於鋼骨的存在，使得本研究 SRC 深梁僅有在鋼骨翼緣左右兩側之混凝土因受到繫拱作用而被壓碎。

5.2 SRC 深梁之抗剪強度

對於 RC 深梁而言，繫拱模型係依據其裂縫開裂情形而提出的一套分析方法，以模擬構材內之力學傳遞行為。若要以繫拱模型分析 SRC 深梁之極限抗剪強度，則根據前節的各項實驗觀察，包括裂縫發展過程與壓力支桿破壞模式等，其有效斷面之寬度應為全斷面寬度扣除鋼骨翼板寬度（如圖五(b)所示），換言之，即繫拱模型不考量內側混凝土部份承受剪力。但是依據方志楷[7]之實驗結果顯示，比較 SC (Steel Concrete) 梁與鋼梁之抗剪強度，腹板填充之混凝土有助於提升梁之抗剪強度。另一方面，表三為本研究深梁試體之試驗極限強度，由該表可以發現由於鋼骨的存在，使得 SRC 深梁的極限抗剪強度提昇不少，顯示鋼骨部分亦承受相當的剪力作用。

因此本研究初步推論 SRC 深梁抵抗剪力作用之情形大致可分為三部份：第一部份主要是由鋼骨翼緣左右兩側之 RC 部份以繫拱行為承受載重，第二部份主要是由鋼骨腹板來承受剪力，第三部份主要是由鋼骨翼板內側之混凝土承受剪力。

本研究的 SRC 深梁試體中 D1-15-NS 與 D2-15-NS 為尺寸相同之重複試體，其剪力筋間距為 150mm，且均未加鉚剪力釘，此二支深梁的平均剪力強度為 399.9 kN。對於在翼板或腹板加鉚剪力釘的 SRC 深梁而言，試體 D3-15-FS 與 D4-15-WS 之剪力強度分別

為 414.3 kN 與 398.3 kN，為未加剪力釘者剪力強度之 103.6% 與 99.6%。而未配置剪力筋的試體 D6-NT-NS 之剪力強度為 396.0 kN，為有配置剪力筋者剪力強度之 99.0%。基本上這些數據均在試驗誤差範圍內，顯示剪力筋與鋼骨翼板或腹板加鉚剪力釘對於 SRC 深梁之極限抗剪強度並無明顯之貢獻。

本研究 SRC 深梁在載重點至支承點間之斜裂縫產生後至極限載重前，係藉由繫拱行為來傳遞載重，其外載重經由梁腹混凝土壓力支桿或鋼骨腹板直接傳遞至支承，而不需透過撓曲之水平剪力傳遞內力，故可推知 SRC 深梁中鋼骨翼板上之剪力釘並無傳遞水平剪力之功用，如此亦可瞭解為何鋼骨翼板上剪力釘對於 SRC 深梁之極限抗剪強度無明顯貢獻之原因。另一方面，根據實驗觀察發現，本研究中所有 SRC 深梁試體鋼骨腹板與混凝土之間並無產生相對位移，因此可推知鋼骨腹板上之剪力釘亦無傳遞力量之功用，如此可瞭解為何鋼骨腹板上剪力釘對於 SRC 深梁之極限抗剪強度無明顯貢獻之原因。

5.3 SRC 深梁之韌性

對 RC 構材而言，一般認為混凝土為易碎之材料，而鋼筋則為具有韌性之材料，因此在設計時希望能在達到極限載重之前，就先發生鋼筋降伏，使得構材本身具有較優之韌性。由圖四可發現，RC 深梁試體 D7-15-RC 在達到極限載重之前拉力筋發生降伏現象，有助於增加其韌性。而 SRC 深梁試體 D1-15-NS 在產生拉力筋降伏之後，即發生混凝土壓力支桿壓碎而造成強度下降，就一般設計觀念而言，此現象屬於屬於不佳之表現，對於該 SRC 深梁之韌性並無助益。但是相較於圖四中之 RC 深梁而言，SRC 深梁在達到極限載重之後，由於鋼骨的存在，載重-位移曲線並未有陡降之趨勢，顯示鋼骨的存在有助於該 SRC 深梁在極限載重後之韌性。

圖六顯示五組 SRC 深梁之載重-位移曲線圖，由該圖可發現配置剪力筋及在鋼骨腹板加鉸剪力釘，將有助於 SRC 深梁在達到極限載重後強度的維持及構材韌性的增加。本研究為討論 SRC 深梁韌性的差異程度，乃引用 Park[12]對於位移韌性指數 (Displacement Ductility Index, \sim_{Δ}) 之定義，作為比較試體韌性之依據，詳見圖八所示。表四係根據圖六中五支 SRC 深梁實驗載重-位移曲線上所求得的 Δ_y 與 Δ_u 之值與位移韌性指數之計算結果。由表中可發現試體 D1-15-NS 與 D2-15-NS (配置間距 150mm 之剪力筋但未鉸剪力釘) 韌性指數分別為試體 D6-NT-NS (未配置剪力筋及剪力釘) 韌性指數的 1.33 及 1.27 倍，顯示配置剪力筋有助於提昇 SRC 深梁之韌性貢獻。另一方面，試體 D4-15-WS (配置間距 150mm 之剪力筋及在腹板加鉸剪力釘) 與 D5-NT-WS (未配置剪力筋及在腹板加鉸剪力釘) 韌性指數則分別為試體 D6-NT-NS 韌性指數的 1.63 及 1.45 倍，顯示在腹板加鉸剪力釘亦有助於增進 SRC 深梁之韌性。

經由上述的討論可以發現，當 SRC 深梁在達到極限載重後，混凝土壓力支撐開始被壓碎而有向外剝落的傾向，配置剪力筋將使得梁腹之混凝土延緩剝落，而能持續提供混凝土圍束作用，有助於提昇 SRC 深梁之韌性貢獻。

本研究在實驗完成之後，敲除各 SRC 深梁破裂的混凝土以觀察鋼骨變形狀況，發現本研究中有四支 SRC 深梁 (D1-15-NS、D2-15-NS、D3-15-FS 與 D6-NT-NS) 之鋼骨腹板發生明顯的壓摺挫屈 (Web Crippling) 現象。但相較於其餘試體而言，試體 D4-15-WS 與 D5-NT-WS 所發生之壓摺挫屈現象並不明顯。由圖六載重-位移曲線中可發現，試體 D1-15-NS、D2-15-NS 與 D6-NT-NS 在最後段曲線都可看出有陡降的趨勢，此可能為鋼骨腹板發生壓摺挫屈現象所造成之影響。該陡降的趨勢將影響表四

中所求得 Δ_u 之值，進而其韌性指數變小。因此，當 SRC 深梁在達到極限載重之後，若鋼骨腹板發生挫屈現象，將對 SRC 深梁之韌性有負面的影響。

若要改善 SRC 深梁之韌性，則避免鋼骨腹板發生挫屈將成為一個重要的前提。根據本研究結果顯示配置剪力筋或在鋼骨腹板加鉸剪力釘能提供混凝土圍束作用，有助於延後鋼骨腹板在受到強大剪力作用下發生局部挫屈現象，使得 SRC 深梁具有較優良之韌性。

六、 結論

本研究依據實驗結果探討包覆型 SRC 深梁的力學行為，謹作成結論如下：

1. SRC 梁的跨深比為影響其破壞模式之重要參數，實驗結果顯示跨深比為 6.2 之 SRC 梁屬於撓曲破壞，而跨深比為 2.0 之 SRC 梁均產生繫拱現象，屬於深梁剪力破壞。
2. 實驗結果顯示，SRC 深梁與 RC 深梁均會發生繫拱行為，但由於鋼骨的存在，使得 SRC 深梁僅有在鋼骨翼板左右兩側之混凝土因受到繫拱作用而被壓碎，而鋼骨上下翼板之間的混凝土則未遭到明顯的破壞。
3. 實驗結果顯示，SRC 深梁試體在產生拉力筋降伏之後，隨即發生鋼骨翼板兩側的混凝土壓力支撐壓碎而造成強度逐漸下降。不過，相較 RC 深梁而言，SRC 深梁在極限載重之後，由於鋼骨的存在，載重-位移曲線並未有急速陡降之趨勢，顯示鋼骨的存在有助於 SRC 深梁在極限載重後之韌性。
4. 實驗結果顯示，在鋼骨翼板加鉸剪力釘對於 SRC 深梁之極限強度並無貢獻，其主要原因在於 SRC 深梁係透過繫拱作用來承受力量，而非透過水平剪力傳遞之機制。
5. 實驗結果顯示，在鋼骨腹板加鉸剪力

釘對於 SRC 深梁之極限強度亦無貢獻，其主要原因在於鋼骨腹板與混凝土之間並未產生相對位移，無須剪力釘傳遞力量。

6. 實驗結果顯示，在 SRC 深梁配置適當的剪力筋或在鋼骨腹板加鉸剪力釘，其構材之韌性指數 \sim_{Δ} 均高於未配置者。其主要原因在於配置剪力筋能提供混凝土圍束作用，而在腹板加鉸剪力釘有助於延後腹板發生局部挫屈，使得 SRC 深梁具有較佳之韌性。
7. 本文主要係依據 SRC 深梁之實驗結果，針對繫拱行為與韌性進行探討。有關 SRC 深梁抗剪強度之預測及理論公式之推導將於另一篇論文中詳細闡述。

七、參考文獻

1. AIJ, "Standards for Structural Calculation of Steel Reinforced Concrete Structures," Architectural Institute of Japan, Tokyo, 2001.
2. ACI, "Buildings Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02)," American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 2002.
3. AISC, "Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings," 3rd Ed., American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, 1999.
4. 翁正強、顏聖益、陳誠直、黃明慧，「包覆型鋼骨鋼筋混凝土梁之極限彎矩強度研究」，中國土木工程學刊，第十二卷，第三期，pp.521-531，台北，九月，2000。
5. Wakabayashi, M., "A Historical Study of Research on Composite Construction in Japan," Proc. Composite Construction in Steel and Concrete Conf., ASCE, pp.400-427, New York, 1987.
6. 程幼棣，「鋼骨鋼筋混凝土 (SRC) 構材剪力設計之研究」，碩士論文，翁正強老師指導，國立交通大學土木工程研究所，新竹，1997。
7. 方志楷，「鋼骨鋼筋混凝土深梁之剪力強度實驗行為」，碩士論文，張大鵬、陳正誠老師指導，國立台灣科技大學營建工程技術研究所，台北，1999。
8. Schlaich, J., Schäfer, K. and Jennewein, M., "Toward a Consistent Design of Structural Concrete," PCI Journal, May-June, pp.74-150, 1987.
9. 呂文堯、黃世建，「鋼筋混凝土深梁之抗剪強度評估」，中國土木工程學刊，第十二卷，第一期，pp.11-20，三月，台北，2000。
10. Hsu, T.T.C., "Unified Theory of Reinforced Concrete," CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 1993.
11. MacGregor, J.G., "Reinforced Concrete: Mechanics and Design," 3rd ED, Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 1997.
12. Park, R., "Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages from Laboratory Testing," Bulletin of the New Zealand Society. for Earthquake Engineering, 22(3), pp.155-166, 1989.

表一 試體編號及尺寸

Specimen Designation	Dimensions			
	Length	Span-Depth	Cross Section	Steel Shape
	L_n (mm)	Ratio	B×H (mm)	$d \times b_f \times t_w \times t_f$ (mm)
B-15-NS*	SRC Ordinary Beam			
	1850	6.2	200×350	198×99×4.5×7
D1-15-NS* D2-15-NS* D3-15-FS* D4-15-WS* D5-NT-WS* D6-NT-NS*	SRC Deep Beams			
	600	2.0	200×350	198×99×4.5×7
	RC Deep Beam			
	600	2.0	200×350	-

表二 試體材料強度

Specimen Designation	Material Properties						
	Steel		Rebar		Stirrup		Concrete
	F_y (Mpa)	F_u (Mpa)	F_y (Mpa)	F_u (Mpa)	F_y (Mpa)	F_u (Mpa)	f'_c (Mpa)
B-15-NS*	SRC Ordinary Beam						
	325	450	387	568	407	559	24.8
D1-15-NS* D2-15-NS* D3-15-FS* D4-15-WS* D5-NT-WS* D6-NT-NS*	SRC Deep Beams						
	325	450	387	568	407	559	23.3
							24.5
							23.9
							23.9
							24.2
							23.7
D7-15-RC	RC Deep Beam						
	-	-	387	568	407	559	23.5

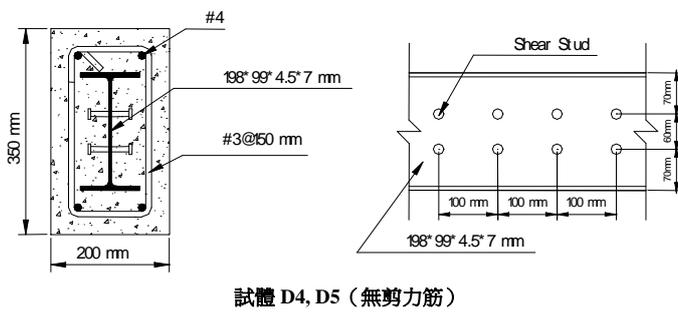
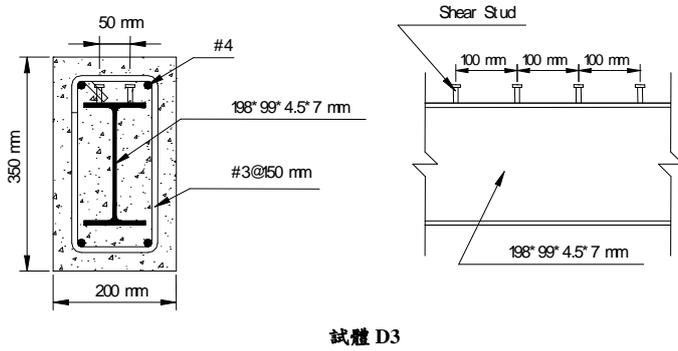
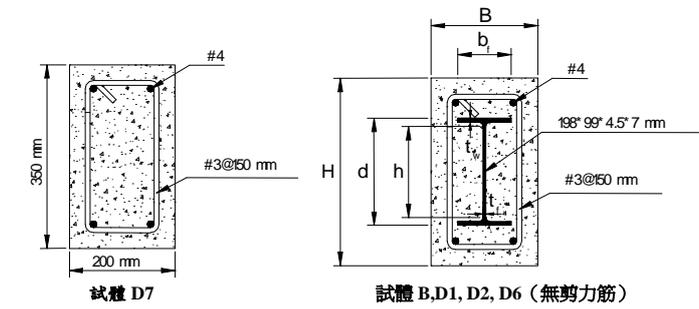
表三 SRC 深梁與 RC 深梁試體之極限強度

Specimen Designation	Ultimate Strength	
	$(P_u)_{TEST}$ (kN)	$(V_u)_{TEST}$ (kN)
SRC Deep Beams		
D1-15-NS	781.9	391.0
D2-15-NS	817.3	408.7
D3-15-FS	828.6	414.3
D4-15-WS	796.5	398.3
D5-NT-WS	860.6	430.3
D6-NT-NS	771.9	396.0
RC Deep Beam		
D7-15-RC	380.9	190.5

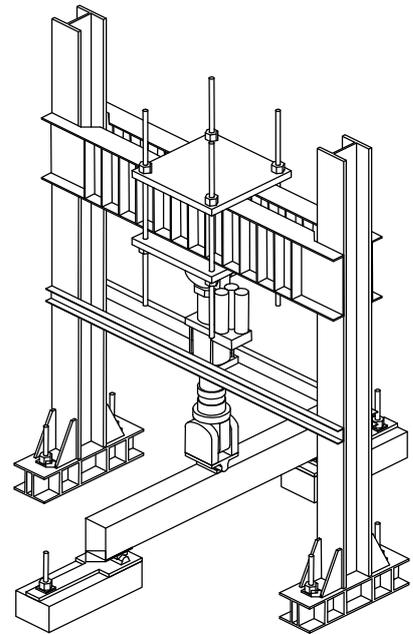
表四 SRC 深梁試體之位移韌性指數 \sim_{Δ}

Specimen Designation	Yielding Displacement Δ_y (mm)	Ultimate Displacement Δ_u (mm)	Displacement Ductility Index $\sim_{\Delta} = \frac{\Delta_u}{\Delta_y}$	Displacement* Ductility Ratio
D1-15-NS	4.1	24.9	6.07	1.33
D2-15-NS	3.4	19.6	5.77	1.27
D4-15-WS	4.9	36.3	7.41	1.63
D5-NT-WS	4.0	26.5	6.63	1.45
D6-NT-NS	3.9	17.8	4.56	1.00

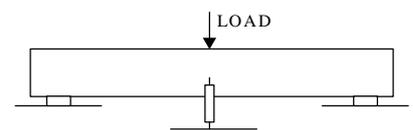
*註解：1.各試體之位移韌性指數與D6-NT-NS試體之位移韌性指數的比值。
2.試體 D3-15-FS 位移資料無法獲得。



圖一 試體斷面尺寸資料

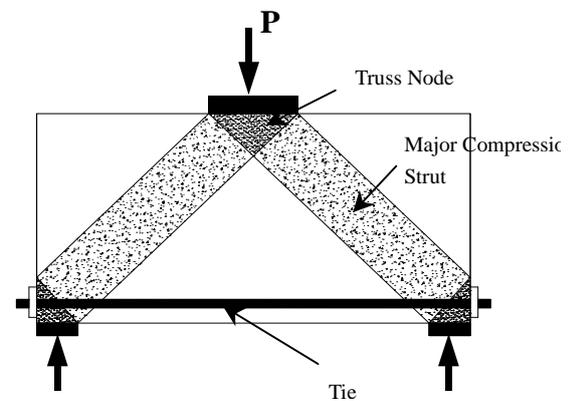


(a) 實驗配置

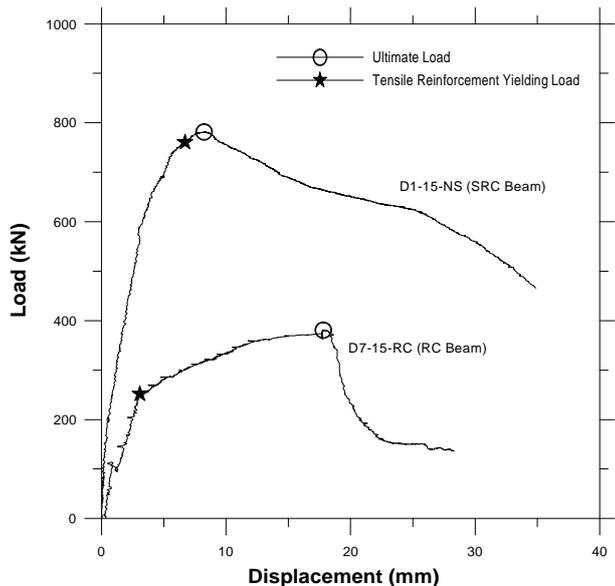


(b) LVDT

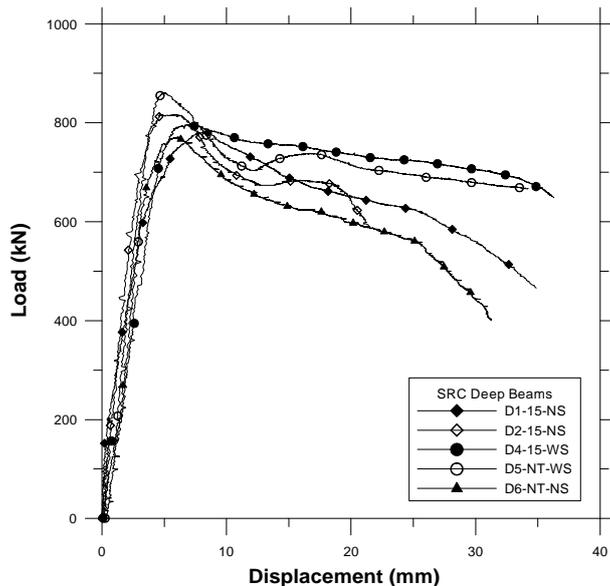
圖二 實驗配置圖



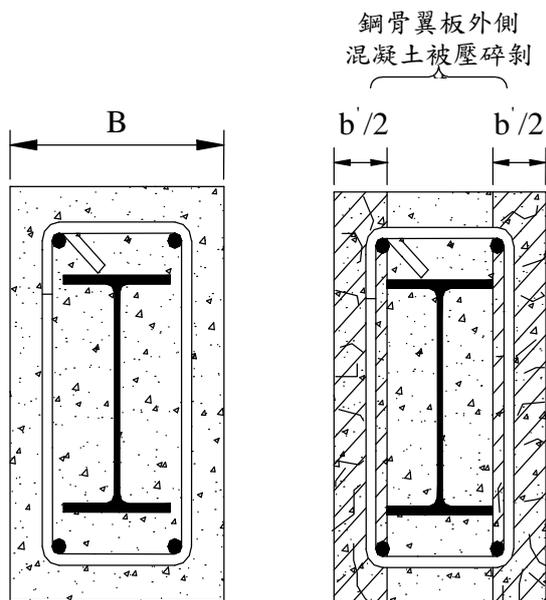
圖三 典型 RC 短梁之繫拱作用模式



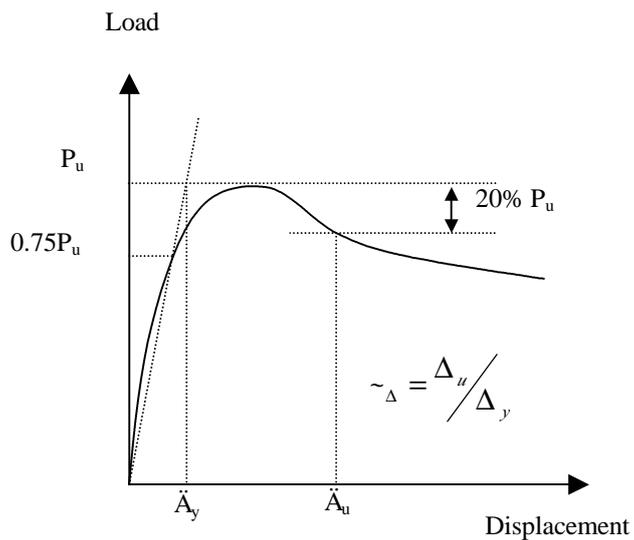
圖四 SRC 深梁與 RC 深梁試驗載重-位移曲線



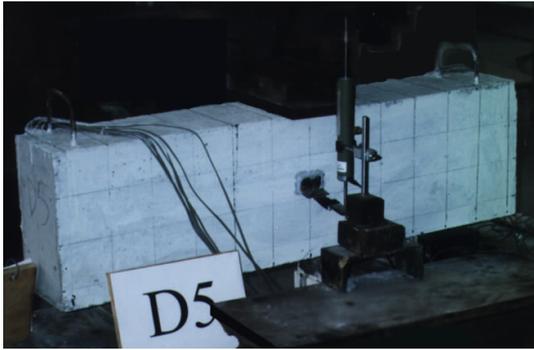
圖六 SRC 深梁試體之試驗載重-位移曲線關係



圖五 SRC 深梁因繫拱作用而造成鋼骨外側之混凝土被壓碎示意圖



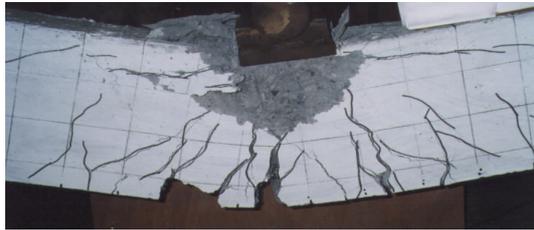
圖七 位移韌性指數 $\tilde{\Delta}$ 定義[12]



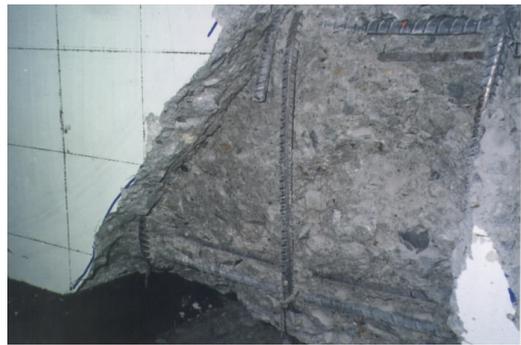
照片一 SRC 梁實驗設置



(a) 最後破壞情形



(a) 最後破壞情形



(b) 剝除壓碎混凝土後情形 (正面)



(b) 壓力筋挫屈



(c) 剝除壓碎混凝土後情形 (側面)



(c) 拉力筋斷裂

照片二 SRC 一般梁 (B-15-NS) 之撓曲破壞情形

照片三 SRC 深梁 (D1-15-NS) 之剪力破壞情形



P=700 kN



P=790 kN



P=740 kN

照片四 SRC 深梁 (D4-15-WS) 在極限
載重前後之情形