

鋼結構工程之工地管理（下）

陳純森 高雄市結構技師公會學術委員會主任委員

第九節 工地之檢驗與品管

9-1 吊裝精度管控

每一節或每一批之鋼結構吊裝均以螺栓鎖至鋼料貼身（snug tight）即可，泛稱「預鎖」。經測量儀器分別檢測高程與中心線之後，才能將螺栓索固。其檢測之精度或公差若契約無明確之規定，可參考鋼結構協會所發行之「鋼結構品質管制作業標準」辦理。螺栓的第一階段之預鎖扭力值可參考表 9-1。

表 9-1 強力螺栓之預鎖扭力值

螺栓標準直徑	預鎖扭力值 kgf-cm
M16	約 1,000
M20	約 1,500
M22	約 1,500
M24	約 2,000

於測量有偏差時，宜用鋼纜線調整，調整過程中不可用契鐵等強硬穿插構件之縫隙，以免造成鋼構件之損傷，可將鋼纜線綁紮在鋼構件所設置之臨時吊耳或吊環予以調整，吊耳或吊環可於事後用瓦斯切除，再用研磨片（grinder）修整即可。圖 9-1 為鋼柱吊耳於工地切除之情形。



圖 9-1 鋼柱之吊耳切除^[1]

9-2 螺栓之鎖固檢查

螺栓在鎖固時，當旋轉轉數愈多，鋼料會鎖得愈緊，即鋼料彼此間之壓力愈大，接頭之強度也愈強，所以螺栓是否鎖固理論上應該檢查鋼料之間的壓力，可是壓力量測太困難。反觀在鎖固之過程中，螺栓桿是愈鎖愈長，即螺桿本身承受拉力，而且此等拉力與前述鋼料間之壓力大小相對等，故如能檢查螺桿之拉力等同檢查鋼料間之壓力，所以常用拉力計（或稱軸力計）以檢測強力螺栓之拉力（bolt tension）是否發揮。但是拉力計僅能檢查鎖在儀器內之該顆螺栓，局限於實驗室或製造工廠使用，卻無法在工地使用。工地檢驗品管的目的，在於如何驗證鎖在高空中的所有螺栓群的強度，所以常用扭力計（或稱扭力扳手 torque wrench）代替拉力計檢查螺栓之扭力值。惟扭力計於工地使用前，必須先於實驗室與拉力計事先校對扭力值與拉力值之關係，才能適用。如圖 9-2 所示。

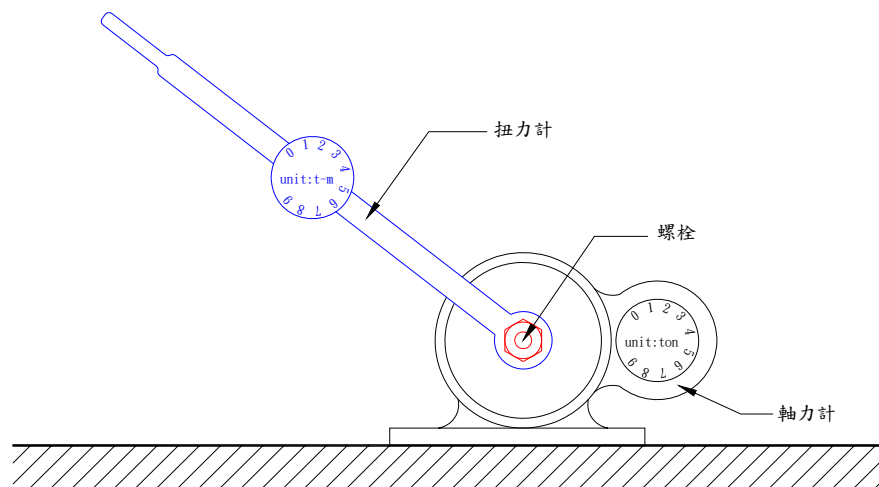


圖 9-2 軸力計與扭力計校對

有鑑於工地接頭之螺栓數量頗多，如果每顆螺栓都要施以扭力檢查非但費時，品質也不易掌控，因此有許多廠商研發檢查方便之專利型螺栓供業界使用，例如扭力控制型螺栓（torque control bolt，簡寫 T.C.B）、預示型螺帽（pre-indicated nut，簡寫 PI-Nut）及軸力指示墊圈（load indicated washer，簡寫 L.I.W）等等。其中以第一種在國內用量最多，扭力控制型螺栓又稱為自動斷尾螺栓，其構造如圖 9-3 所示，該螺栓桿末

端增設小頭，當起重工將螺帽鎖至不動時，該螺桿小頭會自動斷落，工地之檢驗非常方便，原則上十分乾淨的螺栓鎖至小頭斷落後，代表該螺栓已經鎖固。任何螺栓於使用時，都必須十分乾淨才能使用，工地之保管十分重要，尤其是拆開包裝尚未用完之剩餘螺栓，必須原裝包封，避免灰塵污染與露水之沾濕，影響螺栓之鎖固。

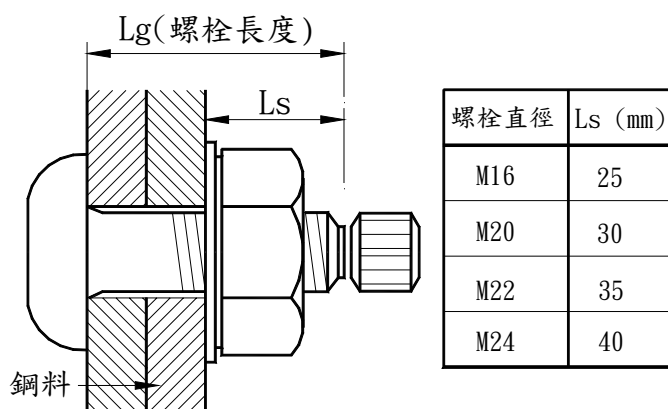


圖 9-3 扭力控制型螺栓^[1]

9-3 電銲工之資格

電銲為鋼結構施工中最具高度技術之工作，鋼結構之品質好壞全部取決於電銲工的技術，故電銲工之資格應予嚴格管制。每一位電銲工除應具備合格之資格外，尚需連續從事電銲工作，如果停頓電銲工作超過六個月以上，則必須再度接受資格檢定。

一般多層建築、橋梁與廠房之鋼結構電銲大多為直線之銲道，電銲工之資格分為四種等級，電銲工考試之方式又分為角銲檢定 (fillet weld) 與槽銲檢定 (groove weld)。所以電銲工之資格除了工種之外，還有級數與檢定方法之分，包括 1F、1G、2F、2G、3F、3G 與 4F、4G，其中阿拉伯數字代表銲工級數，F 與 G 則分別代表角銲檢定與槽銲檢定。

各種不同級數之銲工，其所能施銲之姿勢亦有所限制。電銲作業的姿勢亦可分為四種，即平銲 (flat weld)、橫銲 (horizontal weld)、立銲 (vertical weld) 與仰銲 (overhead weld)。其表達方式如圖 9-3~9-6 所示。電銲工所能施銲的姿勢如表 9-1 所示。

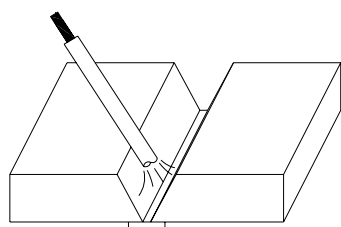


圖 9-3 平銲 (F)

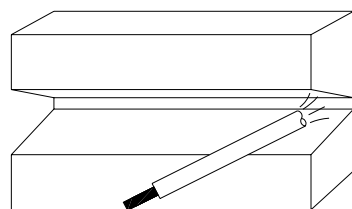


圖 9-4 橫銲 (H)

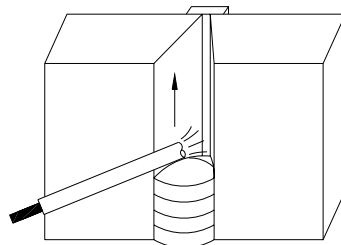


圖 9-5 立銲 (V)

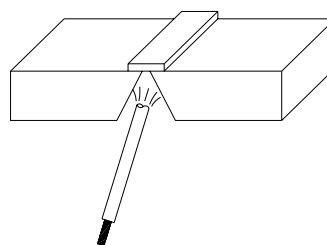


圖 9-6 仰銲 (O)

表 9-1 電銲工資格與作業姿勢

電銲工資格	可銲接之姿勢
1F, 1G	平銲
2F, 2G	橫銲
3F, 3G	立銲
4F, 4G	仰銲

如果從事鋼管等圓形之電銲工作，如石油廠、化工廠、水管工程等之鋼結構，因為電銲作業係繞著鋼管四周進行，依照各個契約規定，其電銲工必須具備 5F, 5G 甚至於 6F, 6G 之資格才能電銲。

9-4 電銲道之檢驗

常用之電銲方式包括角銲 (fillet weld)、半滲透銲 (partial penetration) 與全滲透銲 (complete penetration) 三種。電銲完成後，除了必須檢查一般的外觀、尺寸、銲冠 (crown)、氣孔 (pin hole)、燒缺 (undercut)、堆疊 (overlay) 外，尚須依規範採用非破壞檢驗 (non destructive testing) 以檢查電銲道的表面與內部品質。角銲與半滲透電銲之銲道腳長因與銲接強度有關，故一定要確實檢查，圖 9-7 為採用量規量測銲道腳長之情形。此外，角銲與半滲透電銲尚須依規範檢查銲道表面或淺層部分有無裂紋、氣孔或夾渣等缺陷，常用的非破壞

檢測方法為液滲檢測 (liquid penetration test)，簡稱 PT，與磁粉檢測 (magnetic particle test)，簡稱 MT。圖 9-8 與圖 9-9 分別為液滲檢測與磁粉檢測之操作情形。有關檢測結果之判定標準，如果契約規範未規定者，可參考文獻【2】與文獻【3】。



圖 9-7 角銲之腳長量測^{【1】}

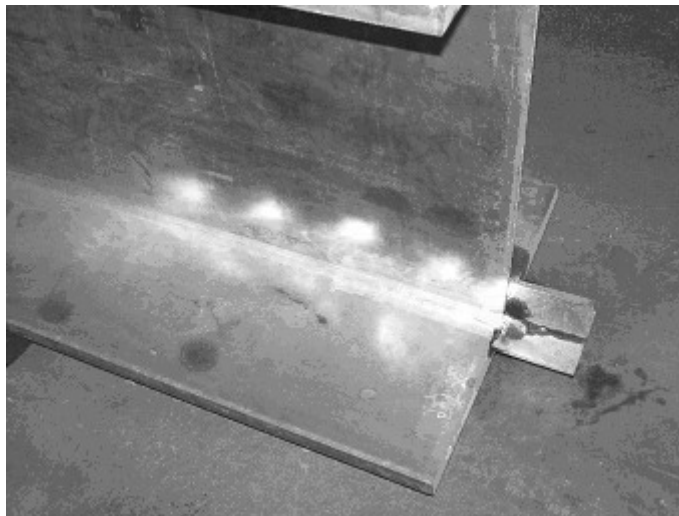


圖 9-8 液滲檢測

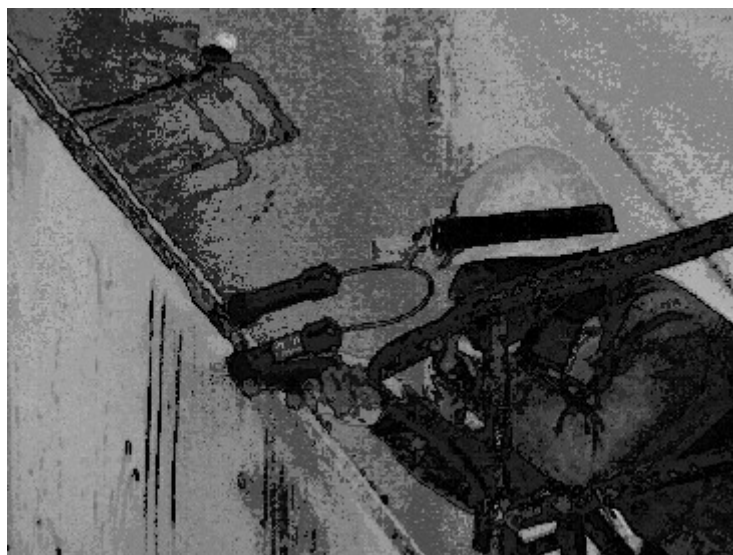


圖 9-9 鋼橋之工地磁粉檢測^[1]

至於全滲透銲接之品質檢驗，重點在於銲道內部之電銲品質，所以必須借重具有貫穿能力之儀器檢查，常用之非破壞檢測方法為幅射線檢驗（radiographic test），簡稱 RT，與超音波檢驗（ultrasonic test 或稱為 supersonic test），簡稱 UT。前者泛稱照 X 光，利用 X 光之貫穿鋼料能力，將影像感光到銲道背部之底片，視底片顯像的結果以檢測銲道內部有無缺陷，此與醫療系統之照 X 光原理極近相似。對於較厚的銲道，由於 X 光之滲透性較差，感光效果較模糊，必須改採滲透性較強之 γ 光照射，才有明顯之檢查效果。由於幅射線對人體有害，幅射檢驗的時候，現場必須清場，將閒雜人等清離現場方能檢驗。幅射線檢測的優點是存證紀錄可靠，有底片存查。缺點則是底片之貼付常受電銲接頭之型式限制，許多結合無法測試，如多層建築之梁柱接頭，雖然梁之上、下翼板都採全滲透銲接，但底片無處可貼，故無法用幅射線檢測，且幅射線檢測無法探查缺陷存在位置之深淺，修改銲道容易剷錯方向，浪費修改時間。幅射線檢測之另外缺點為效率太慢，必須等到照完相當數量之底片才一併充洗判斷。圖 9-10 為照 X 光之情形。



圖 9-10 幅射線檢測^[1]

超音波檢測之原理乃利用壓電效應放射超頻率之音波，其音頻為1~6Mhz，由超音波之反射次數判斷銲道內部之缺陷。超音波之檢測效率最快，可於檢查時當場判定合格與否，且放射音波之角度較具彈性，有直射檢驗與斜射檢驗，幾乎無死角之限制，所以工地之檢測較常使用。其缺點則是人為因素太大，常常影響判斷的正確性，缺少客觀之檢測紀錄，目前有影像紀錄之超音波檢測儀器，因為體積龐大無法搬到工地的高空檢驗。圖 9-11 為工地柱子對接電銲之超音波檢測情形。



圖 9-11 工地全滲透電銲之超音波檢測^[1]

超音波檢測與之幅射線檢測均為銲道內部檢測之優良方法；而前述之液滲檢測與磁粉檢測則為銲道表面檢測之優良方法。有關各種非破壞檢測之原理與說明參考文獻【1】。

9-5 非破壞檢測之專業人員資格

鋼結構之非破壞性檢驗人員，分成三級列管，國內之訓練發證單位為台灣非破壞檢測協會。檢驗人員之分級與任務分述如下：

1. 第一級 (Level I)：

又稱初級檢驗員，可以操作各型之檢驗儀器，但不得判定檢測結果。

2. 第二級 (Level II)：

又稱中級檢驗員，熟諳檢驗規範與標準，可以判定檢查結果並簽註檢驗報告表。

3. 第三級 (Level III)：

又稱高級檢驗員，可擔任講師，從事檢驗人員之訓練，並可擔任監考人員。

檢測結果之報告表須由二級檢驗員簽注意見，共有二段內容。前段為檢驗程序說明，後段則為實質檢測項目與內容。至於鋼結構之非破壞檢測判定標準可參考文獻【2】與【3】之規定。

9-6 防護材料之檢測

鋼結構工程之防護材料包括塗裝油漆與防火被覆，完成後必須依規範檢查其漆膜厚度與被覆厚度。一般規定在每平方公尺檢查五點的厚度，取其平均值不得小於契約或規範規定的厚度。圖 9-12 為乾膜厚度之檢測情形。



圖 9-12 塗裝膜厚之檢查^[1]

第十節 其他注意事項

10-1 氣候條件

工地的氣候狀況影響施工品質甚鉅，除下雨天不宜施工外，工地銲接與鎖螺栓均必須維持乾燥之表面，不可潮濕。工地之高空作業常會刮風，尤其高度愈高風速愈大，一般規定風速大於 2 m/sec 時工地之電銲必須遮掩或圍堵，而風速大於 10 m/sec 時則必須停工，不得電銲。

噴塗油漆時，溫度不宜太高，高溫的環境噴漆時，高溫的鋼料會造成油漆起泡，汽泡破掉後減少漆膜，鋼構件容易生鏽；太低之溫度亦不宜噴漆，寒冷的天氣噴漆容易造成油漆的冷裂，亦容易造成鋼構件之生鏽。故一般規定適當之溫度為 10°C~35°C。至於噴漆時之濕度則應維持在 85%以下，太潮溼之環境噴漆，油漆無法完全附著並容易剝落。所以，切忌在晚上加班噴塗油漆。

10-2 加強工地螺栓穿鎖之管理

工地安裝最常遇到的問題為螺栓無法穿鎖，施工規劃時應視工程規模大小，儘量派員駐廠監工，確實要求工廠製造之品質，工地安裝時更應該禁止下列不良之作為：

一、以瓦斯切割機將孔徑焰切擴孔。

二、以大鐵鎚敲擊螺栓。

此兩種變相之施工方法，均嚴重影響鋼結構之施工品質，必須嚴格禁止。尤其夜間加班趕工更要嚴格監督管制。

10-3 加強工地電銲管理

工地的電銲品質一向不易掌控，因為高空作業缺乏適當之工作平台，電銲工在高空作業時，監工人員無法在旁監督，是一大漏洞。特別是趕工之工程，部分電銲工為了鑽趕工程，不擇手段以填塞銲條之方式代替冗長之電銲，影響工程品質甚鉅，必須嚴加管控。

此外，對於厚鋼料之電銲應特別注意殘留應力與高入熱量的脆化。施工前除了應確實執行「電銲程序」（welding procedure specification，簡稱 WPS）外，各種不同銲材，如包藥銲線之電銲方式，與銲接所造成的脆化影響也應該適度評估，特別是熱影響區（heat affective zone）所造成的後遺症，更必須並依規定施作熱處理或消除電銲所產生之殘留應力。有關殘留應力之深入探討可參考文獻【1】之專章說明。

10-4 鋼構件之清理

如何維持工地鋼構件之乾淨與清潔非常重要，放置地面上之鋼製成品，除應加以覆蓋外並應嚴禁作業人員或檢驗人員任意踐踏。鋼構件於最終表面處理時，無論是塗裝或防火被覆均應事先清理構件外表，以免影響防護材料之粘著效果。圖 10-1 為噴漆前之鋼構件未除銹乾淨，雖然噴塗油漆仍造成建物之快速銹蝕。



圖 10-1 鋼結構建築之快速銹蝕

10-5 安裝完成之後續維護

鋼結構安裝完成後，其後續之現場工作仍應作好品質之維護，澆灌混凝土時不宜噴濺或弄髒鋼結構件，混凝土具有鹼性腐蝕性質，鋼構件表面的油漆受到侵蝕後甚難復原，必須事先妥善預為防範。圖 10- 2 為灌漿溢濺鋼構件之不良後果。

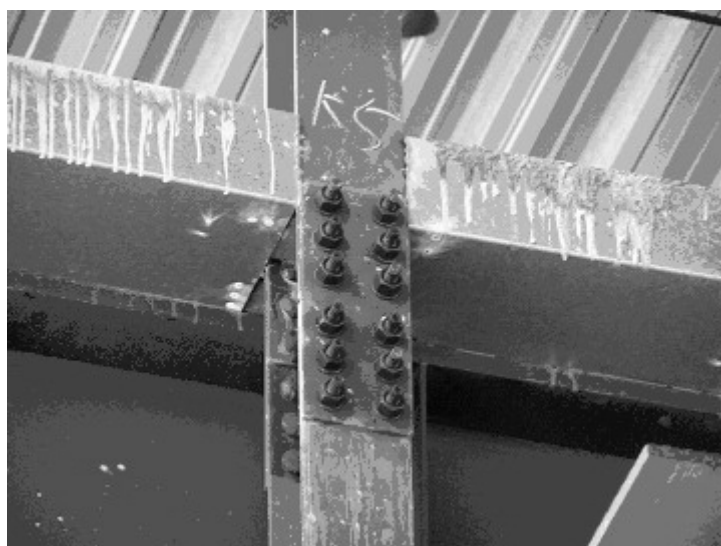


圖 10-2 澆灌混凝土侵蝕鍍鋅與塗裝

第十一節 工地安全

除一般的安全衛生應辦事項外，與鋼結構有關之工安部分列舉如下：

11-1 起重機之安全

工地起重機包括走行吊車與塔式吊車，其額定荷重與功能，均應事先申請工安檢查單位檢查合格之後才能使用。起重機操作手也必須具備合格證照才能操作吊車。機具之零組件、鋼纜繩、潤滑、煞車等配件應檢查是否合格可用，且應定期更換新品。起重機操作時，必須有第三者負責指揮起重工與吊車操作手，如圖 11-1，不能任憑操作手自行起吊鋼構件，因為現場之死角與盲點甚多，容易發生危險，即使吊車已經煞車，鋼纜所吊掛之鋼構件仍會慣性擺動，十分危險。



圖 11-1 第三人指揮吊裝^[1]

11-2 電銲機之安全

電銲機應裝設自動電擊防止裝置，未施工時其電壓須小於 25 伏特。各電路應設置適當之漏電斷路器。電銲槍之握把應有適當之絕緣，電纜線應定期換新，不得有破皮之現象。電銲機施銲時，應遠離油漆溶劑等易燃物，且應有適當之屏蔽措施，以防止電銲火花噴濺而導致火災。高空電銲作業時四周圍應有適當之斜蓬防止火花掉落。

11-3 現場工作架

工地的電銲與螺栓鎖固均屬高空作業，在施銲或鎖螺栓時，樓板到處是坑洞，既無混凝土樓板亦無鋼承板，所以必須設置安全之工作架，除提

供現場人員施工與檢驗外，並可擋住高空之勁風侵襲。工作架之材質與結合應結構計算，並繪製工作圖確實施作。圖 11-2 為優良之工作架設施。

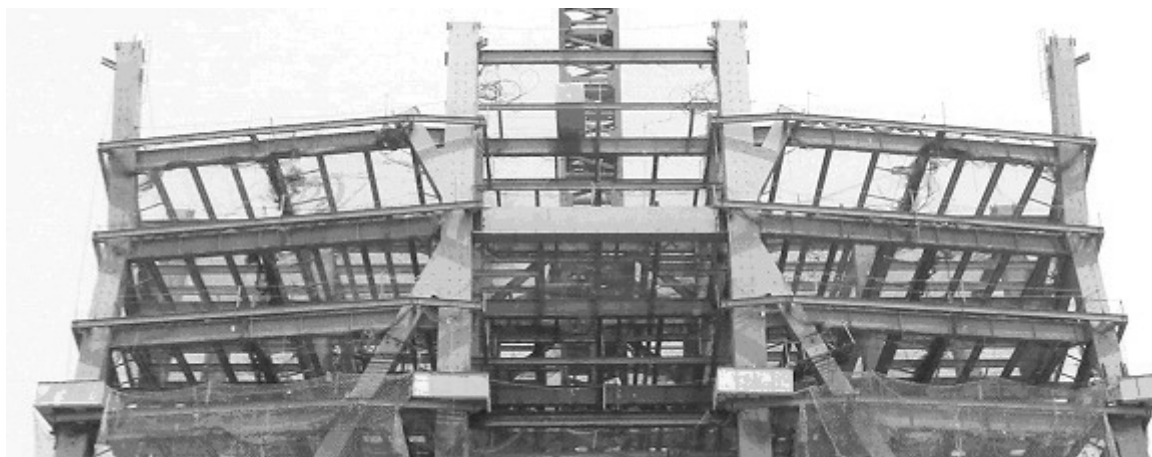


圖 11-2 現場工作架

11-4 現場工作人員之安全護具

鋼結構之工地大部分為高空作業，危險性甚高，如圖 11-3 所示。現場之工作人員均應依規定佩帶安全護具，從頭到腳均有嚴苛之規定，安全帽應比照鋼盔採用圓順之帽殼，以防高空零件或工具掉落貫穿帽殼，圖 11-4 為良好之安全帽，帽殼並無死角，東西掉落不易貫穿。現場人員之安全帽佩帶應隨時妥善扣住下巴，避免鬆脫。在高空作業時，腰帶之安全母索應隨時鉤住鋼骨環件，以防風吹、地震或不慎滑溜，如圖 11-5。工作鞋之鞋帶應繫入鞋子內部，且褲管末端最好綁紮綁腿或將褲管繫入鞋襪，以免高空行走時鉤到釘子而發生意外。



圖 11-3 鋼結構之高空作業十分危險^[1]



圖 11-4 良好之安全帽



圖 11-5 安全帽與母索護具

11-5 安全網之鋪設

為避免高空作業人員掉落之意外，工地於作業暫告段落時，應依規定妥善鋪設安全網，網索應儘量拉撐，如圖 11-6 所示。



圖 11-6 工地安全網^{【1】}

參考文獻

- 【1】 陳純森，鋼結構工程實務，科技圖書公司，2009 年 7 月，第三版。
- 【2】 行政院公共工程委員會，建築鋼結構工程施工品質管理及查核作業手冊，2005 年 3 月。
- 【3】 行政院公共工程委員會，橋樑鋼結構工程施工品質管理及查核作業手冊，2005 年 3 月。