

課程一：繩索技術與防墜落的基本觀念

一. 技術攀登與繩索技術

「技術攀登」早期發源於登山及探險領域，爲了克服垂直地形的限制，以探索未知的領域，歐美人士研發精良的攀登技術與器材，以保障在垂直攀降時人們的安全。這些攀登技術已被廣泛應用在登山、攀岩、冰攀、探洞、攀樹、溯溪等等領域。

自 1930 年代，歐洲工業界將這一套技術和器材導入於社會上更重要的高空工作人員的保護、災難救援、及運動保護等領域。在高聳建物林立的都市裡，經常有高空工人墜落的事故發生，佔工安事故的 50% 以上。造成許多的家庭悲劇和社會問題。此外，許多急難發生在救援者或機具無法到達之處，但是藉由繩索與攀登技術，救援者可以輕易的到達並執行救援。於是「繩索技術」走向廣義的社會及工業安全用途，歐美國家已經普遍應用於高空工作的人身保護和災難救援。歐洲標準委員會(CEN)更積極將此攀登技術和器材予以制定完備的安檢標準(EN Norm)以嚴格執行。世界其他國家也隨之奉行，以建立普遍的高空作業安全制度。藉由正確的繩索器材之保護，使工人、救援者得以安全地在高空環境行進及定位工作，並提升工作的效率。

值得注意的是「繩索技術(Rope Access)」與「攀岩(Rock Climbing)」雖然均屬於技術攀登的領域，但由於二者的操作方式及用途不同。攀岩者運用肢體的技术附著岩壁以挑戰自我，繩索僅用作保護用途，只有在墜落發生時，繩索才發揮防墜落的用處。然而在繩索技術的領域，繩索是攀登者(工作者)的唯一安全確保來源，攀登者係沿著繩索行進及防止墜落，在操作過程中始終將其體重附加於繩索之上。因此二者所使用的技術與器材均有著相當大的差異，不應有混用的情況。

二. 安全係數與工作負荷

繩索器材與使用者之間的關係如何？二者休戚與共，必需維持一個基礎的默契。器材在使用中均有其承受衝擊力或重量的極限，這個極限稱爲破斷負荷(Breaking Load)。而使用者加諸於器材上的重量，即工作負荷(Working Load)，工作負荷必需遠低於這個破斷負荷，使用者方可始終處於安全狀態。安全係數(Safety Factor)即爲工作負荷與破斷負荷之間的比數關係。

英國工業繩索技術協會 IRATA 對於安全係數的建議： 紡織品器材 10:1 金屬器材 5:1

舉例說明：

項目	器材 Equipment	破斷負荷/強度 Breaking load/strength	工作負荷上限 Working Load	安全係數 Safety factor
1	CAMP 11mm 直徑 靜力繩(static rope)	29 kN (2,900 kg)	290 kg	10:1 (紡織品)
2	CMC 鋼製救難鈎環 (Steel carebiner)	72 kN (7,200 kg)	1,440 kg	5:1 (金屬)
3	台灣 鋁合金製工業鈎環 (Aluminum carabiner)	27 kN (2,700 kg)	540 kg	5:1 (金屬)
4	Petzl 扁帶環 (Sewn webbing sling)	22 kN (2,200 kg)	220 kg	10:1 (紡織品)

5	CAMP 工作安全吊帶上的掛接金屬 D 環	15 kN	300 kg	5:1 (金屬)
6	Petzl 運動安全吊帶上的掛接扁帶 D 環	15 kN	150 kg	10:1 (紡織品)
7	CAMP 工程雙滑輪 (Big Double Pulley)	32 kN (3200 kg)	640 kg	5:1 (金屬)
8	Petzl 固定點用不鏽鋼掛耳(bolt hanger)	25 kN (2500 kg)	500 kg	5:1 (金屬)

例如，使用者的組合裝備包括項目 1, 3, 4, 5, 7, 8，它們的工作負荷上限分別為 290, 540, 220, 300, 640, 500(公斤 kg)，其中任何一項都有可能單獨承受使用者的重量。於是使用者必需取其最低工作負荷 220kg(Petzl 扁帶環)。

亦即，使用者的體重(ex.80kg)加上他所攜帶的裝備(30kg)加上共用此系統的伙伴(如被救援者 70kg)及其裝備(20kg)，合計 200kg，仍然在安全範圍內(220kg)。

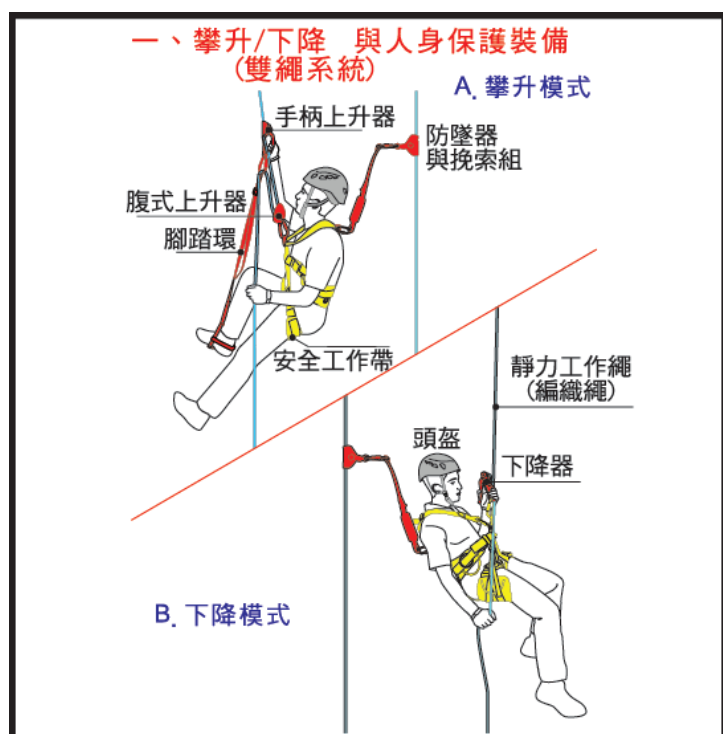
「破斷負荷/強度」通常都會標示在器材的明顯處，在使用前必需妥善檢查。使用者絕不可以使裝備承受過度的負荷，否則使用時若發生側拉、墜落等所產生的衝擊力可能超過此器材的最低破斷負荷。更何況器材使用久了，其折舊損耗或磨擦割痕等，使得實際的破斷負荷可能比標示的要折扣許多。

三.單繩系統與雙繩系統

繩索技術在實用上可分單繩及雙繩的應用：

- 1 單繩系統：使用者所有的行進、操作與防墜確保都在單一繩索上完成，是名符其實的「Life on a line 生命在一條繩索之上」(書名)。由於架設簡便快速，適合大部份的架設環境。經常被運用在各種的高空工作或娛樂運動(攀降、溯溪、.....)之中。
- 2.雙繩系統僅是在單繩系統狀態下，另行架設一條獨立的繩索(安全繩)，以備使用者的工作主繩如果崩壞或斷裂時，作為防墜的確保繩。另外，當使用者在工作主繩上若發生意外，那麼這一條安全繩亦可作為備用的救援繩，供救援者使用。

右圖：攀升與下降均用雙繩系統



四.風險管理

高空作業的高風險來自垂直環境的墜落機會、裝備不當和工人本身的錯誤操作。只要作好適當的管理風險，絕大多數可能發生的危險均可以預先排除：

1. 突然死亡原則 (The Sudden Death Rule)

「在繩索技術操作的系統中，人必需是系統的操作者，而決非系統的一部份」這句話代表的意義是這個系統的本身必需是經過認證而絕對地安全。而人的本身可能因昏迷、休克或突然的外傷，而發生暫時失控。這時如果人是系統的一部份，則將導致整個系統的瓦解及工人的突然墜落死亡。

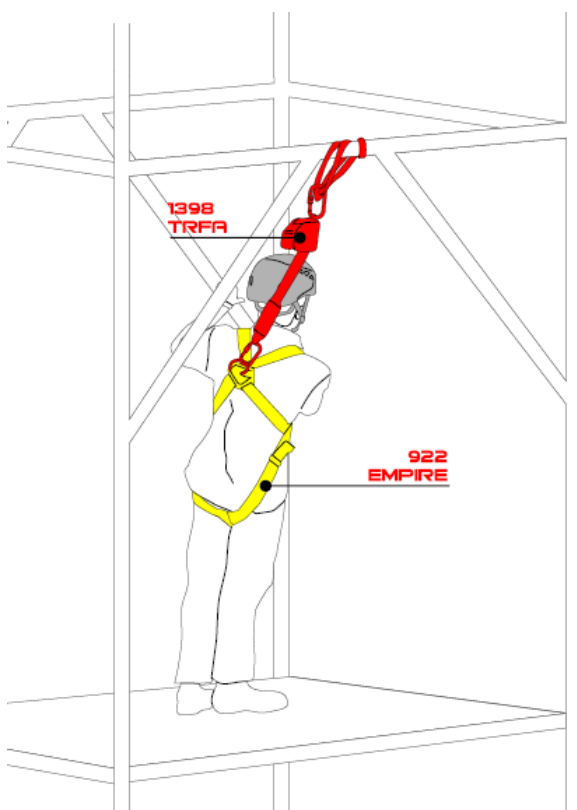
舉例來說，國內許多高空工人使用 8 字環或 ATC(豬鼻子)等無自動掣停功能的垂降器。如果在單繩系統的垂降過程，工人因任何因素(如中暑休克、頭部撞傷、制動手遭擊傷等)而突然鬆開制動手(一般為右手)，則工人將突然墜落。因為他的制動手是系統的一部份。

承上例，如果工人裝設自動掣停裝置或使用具有自動掣停的下降器，當他的制動手突然鬆開時，系統將呈現操作停止而靜止懸掛於空中，工人仍保持安全的狀態。因為他的右手只是系統的操作者。

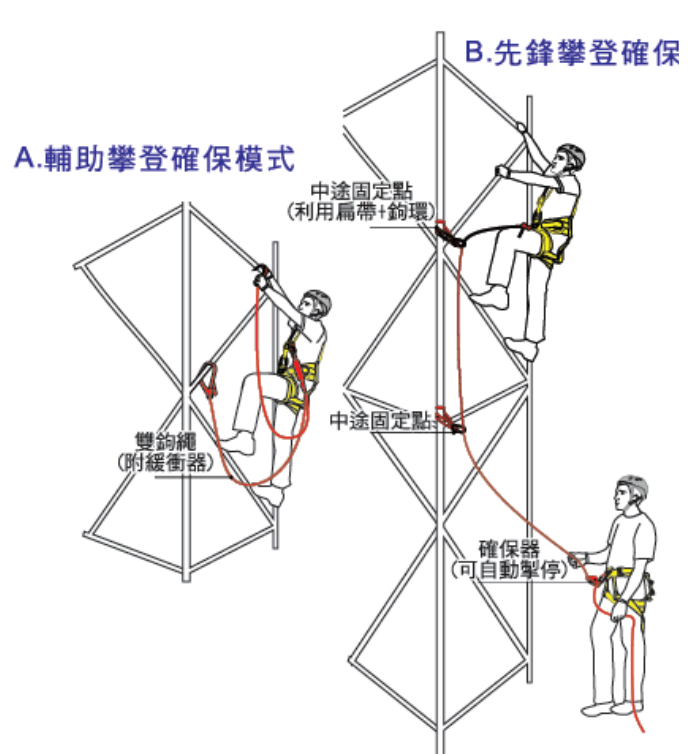
2. 墜落確保

無論在高空平台、鷹架上或繩索上，工人必需始終有挽索或繩索連接固定點確保防墜，以限制工人的行動範圍避免墜落。有必要採用雙繩確保或雙挽索防墜的模式，如下圖 b 之 A，預防單一的鈎掛固定點失效或者在更換鈎掛點時發生意外。

a. 水平活動確保模式



b. 垂直攀爬確保模式



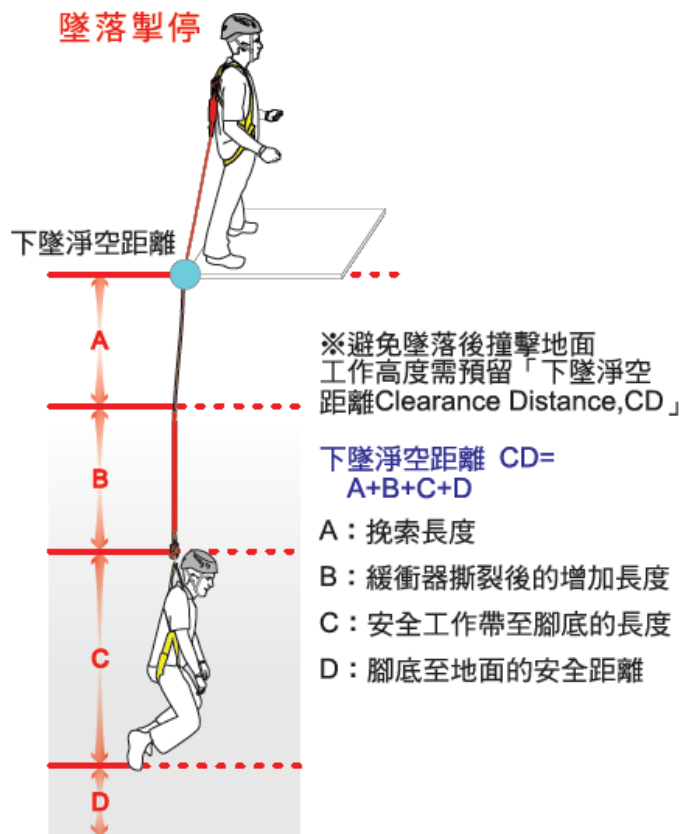
圖片來源：CAMP Italy

3. 墜落掣停

容許墜落的可能性發生，但使用緩衝器材以降低工人的墜落衝擊力(Impact Force)及傷害。並且預留下墜淨空距離，避免工人撞擊地面。

墜落衝擊力(Impact Force)：

人體在墜落後至繩索拉停的瞬間，其墜落能量傳到繩索及固定點，再回傳至人體的能量。單位為 kN，1kN=100kg。人體無法承受 6kN 以上的墜落衝擊力，過大的衝擊力將導致工人重傷或固定點的崩壞。



4. 降低墜落係數

降低墜落衝擊力(Impact Force)的最直接方法，便是降低墜落係數(Fall Factor)。恆常保持挽索的固定點高於安全吊帶的鉤掛點，便可以控制墜落係數小於 1。

如果固定點在工人的腳下，導致墜落係數接近 2 時(如右圖右)，此時工人處於危險的狀態。如果工作環境不得已，必需採取這樣的確保方式，工人應採用附緩衝器的挽索，以降低墜落的衝擊力。不能僅依靠彈性挽索(EN354, EN358)或動力繩 Cowstail (EN892)。

