

# 台南工業繩索意外事故

## 檢討報告書

案件編號：114-0224001

報告人：王守愚

現職：中華繩索技術協會理事長  
臺灣高空外牆協會常務理事

中華民國 114 年 5 月 1 日

<https://www.facebook.com/groups/181460752040717>

電話：02-27375790

# 目 錄

壹、 行業分類.....	1
貳、 災害類型.....	1
參、 媒介物 .....	1
肆、 人員傷亡情形 .....	1
伍、 發生經過.....	1
陸、 原因分析.....	2
柒、 災害防止或改善對策 .....	8
捌、 建議修法事項 .....	9
玖、 附現況照片 .....	10

## 圖目錄

1	玻璃破裂前示意圖.....	2
2	玻璃破裂後示意圖.....	2
3	繩索與玻璃延伸的夾角約 45°.....	3
4	應力集中導致玻璃破裂.....	4
5	FF 墜落係數 <a href="http://www.ropebook.com">www.ropebook.com</a> .....	5
6	繩索斷裂處位於保護套下方約 17cm 處.....	5
7	正確架繩方式.....	8
8	技術員清洗玻璃現況圖.....	10
9	屋突固定點現況圖 1.....	11
10	屋突固定點現況圖 2.....	12
11	繩索壓破玻璃處.....	13
12	黑色工作繩斷裂.....	14
13	藍色安全繩斷裂.....	15
14	繩索壓在玻璃破裂處.....	16
15	藍色繩索被玻璃割斷處.....	17

# 台南工業繩索意外事故檢討報告

## 壹、行業分類

工業繩索高空清洗作業 (Industrial Rope Access Work for High-rise Building Cleaning)

## 貳、災害類型

高處墜落事故 (Fall from Height Accident)

## 參、媒介物

建築物頂層無框式玻璃女兒牆 (Frameless Glass Parapet at Building Rooftop)

## 肆、人員傷亡情形

作業人員一名墜落致死 (Fatality of One Rope Access Technician)

## 伍、發生經過

一、事故時間：中華民國 114 年 2 月 24 日 13 時 20 分

二、事故地點：台南市某 15 層 (含屋突) 住宅大樓

三、事故概況：

(一)具三級工業繩索技術認證之技術員於屋突設置繩索系統

(二)採用雙繩系統 (黑色主工作繩/藍色安全繩) 進行外牆清洗作業

(三)繩索經 14 樓玻璃女兒牆時與玻璃面形成約 45° 夾角

(四)單一保護套同時包覆雙繩

(五)人員因施工時，重壓在玻璃上，依序導致：

1. 玻璃因應力集中破裂，主工作繩遭玻璃碎片割斷

2. 人員墜落動能使安全繩於保護套下方 17cm 處遭玻璃切口截斷

3. 防墜器 (ASAP) 位於人員下方，無法發揮救援功能。最終導致人員墜落死亡。

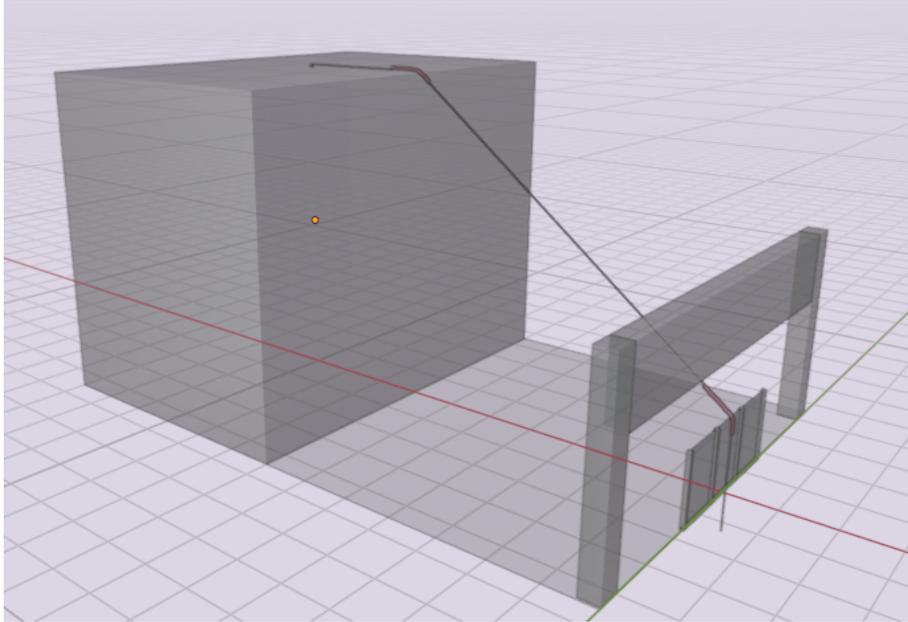


圖 1: 玻璃破裂前示意圖

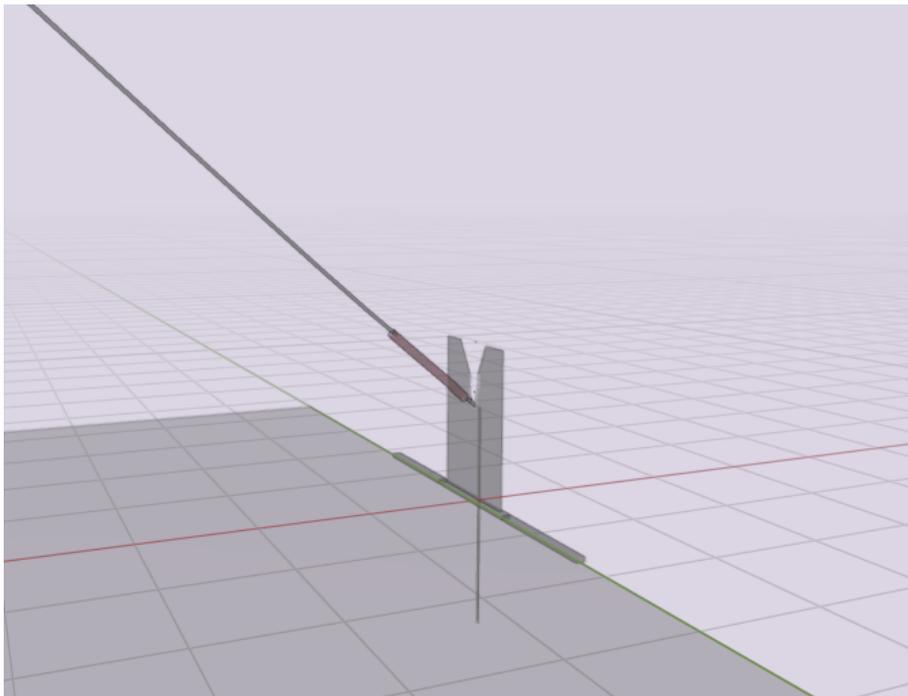


圖 2: 玻璃破裂後示意圖

## 陸、原因分析

### 一、直接原因 (Immediate Cause):

繩索保護套與防墜系統未發生作用導致繩索割破玻璃，施工人員墜落 (failure of fall arrest system)

### 二、間接原因 (Contributing Factors):

(一)不安全狀況：

1. 一般玻璃容易破裂，故實際應用時需要經過強化處理。但依舊有可能發生自爆現象。玻璃生產過程，會產生硫化鎳夾雜物是玻璃應用的問題。回火過後硫化鎳夾雜物處於亞穩定  $\alpha$  型。這些夾雜物最終轉化為  $\beta$  型（在低溫下穩定），體積增加並導致玻璃破裂。在強化玻璃的中間，材料容易受到張力導致裂縫擴展並導致玻璃自發性破裂。
2. 玻璃屬於建物附屬易碎物，假設本案不是自爆現象所引起，惟繩索與玻璃延伸的夾角  $\theta$  不宜過大（本案約  $45^\circ$ ）

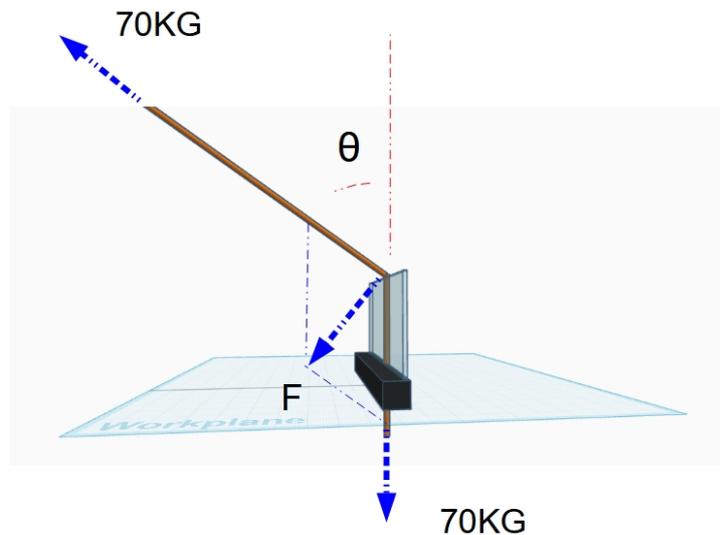


圖 3: 繩索與玻璃延伸的夾角約  $45^\circ$

假設人員重量 70kg，夾角  $\theta \approx 45^\circ = \frac{\pi}{4}$

依力的合成，向量和計算，玻璃靜態承受壓力，如下：

$$F = 70 * 2 * \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) = 70 * 2 * \sin\left(\frac{\pi}{8}\right) = 54.95 \text{ kg}$$

由於施工中，技術員來回移動施工

故，實際壓力 = 靜態壓力 + 擾動力，遠大於 54.95Kg

3. 繩索路徑規劃不當

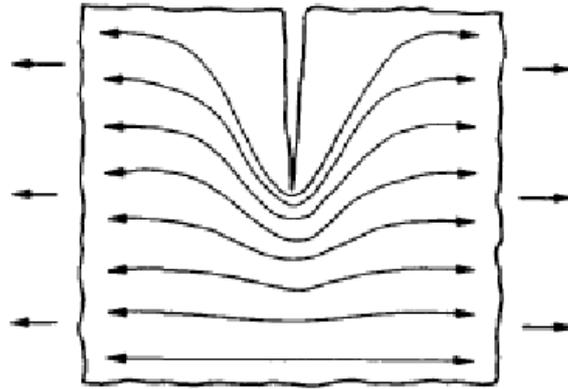


圖 4: 應力集中導致玻璃破裂

4. 玻璃女兒牆，可分為有邊框與無邊框玻璃，本案屬於無邊框玻璃女兒牆，風險較高。

(二)不安全的動作：

1. 未正確辨識作業風險：

未評估繩索與玻璃接觸造成的潛在破壞。對作業場地的結構認知不足，誤認為玻璃可承載壓力，未正確使用防墜器 (ASAP)。

2. 現場缺乏適當監督與施工前風險評估

沒有完整的 JSA (Job Safty Analysis)。缺乏落實事前危害預測。

3. 衝擊力分析：

動量 (衡量，momentum)  $p = mv$

安全繩斷裂處為玻璃上沿往下約 0.45m 處

其中， $g = 9.8 \text{ m/sec}^2$

假設技術員重量為 70kg，則動量為

$$p = mv = 70 * 2.97 = 207.9 \text{ kg} * \text{m/sec}$$

玻璃破裂後，繩索會以動量 207.9 kg\*m/sec，迅速下滑至下方破裂的玻璃，如同壓在一把刀子上，導致繩索瞬間斷裂。

4. 墜落係數分析<sup>1</sup>

墜落係數：「墜落係數」是表示墜落嚴重性的比例。這是下墜距離和繩索可以吸收的衝擊力之間的關係。計算方式，如下：

$$f = \frac{h}{L}$$

$f$ ：墜落係數

<sup>1</sup>Goldstone, Richard (December 27, 2006). "The Standard Equation for Impact Force"

$h$ ：墜落距離

$L$ ：繩索或挽索在系統內的長度

本案例中，技術員的 ASAP 防墜器，是位於腰間下方，其墜落係數接近 1.5。一旦墜落，風險較高。

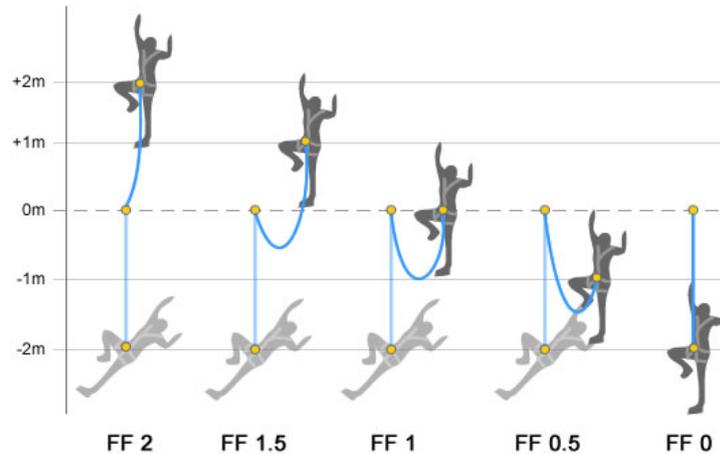


圖 5: FF 墜落係數 [www.ropebook.com](http://www.ropebook.com)

#### 5. 繩索保護套未產生保護作用

繩索保護套只有使用一條壓在玻璃上，同時保護黑色工作繩與藍色安全繩，

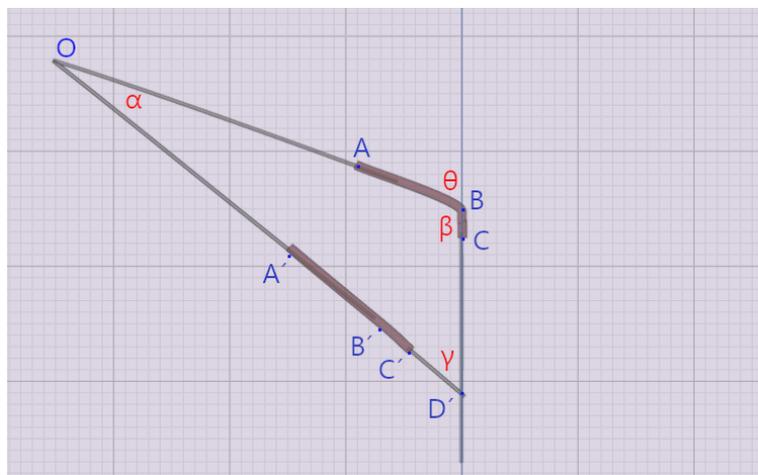


圖 6: 繩索斷裂處位於保護套下方約 17cm 處

當玻璃破裂時。由於繩索往正向下移位約 45 公分，此時繩索會向下位移，繩索斷裂處位於保護套下方約 17 公分處。導致繩索保護套未發生保護作用。

其中， $\alpha, \beta, \gamma$  為內角， $\theta \approx 45^\circ$  為外角

$A, B, C$  為繩索未斷裂前之位置。

$A', B', C', D'$  為繩索斷裂時之位置

試算方式，如下：

已知， $BD' =$  玻璃破裂處往下約 45cm 處

$$OB \approx 9.899m$$

$$BC = B'C' \approx 15cm = 0.15m$$

依正弦定理

$$\frac{OB}{\sin \gamma} = \frac{BD'}{\sin \alpha} = \frac{OD'}{\sin \beta}$$

可求得， $OD' \approx 10.223m$

$$C'D' = OD' - OB' - B'C' = 10.223 - 9.899 - 0.15 = 0.174m$$

### 三、基本原因 (Basic reasons)：

技術員雖然取得高級技術員資格，工業繩索操作能力佳，惟風險評估不足 (Inadequate Risk Assessment)，未依勞動部繩索作業安全指引<sup>2</sup>、勞動部風險評估技術指引<sup>3</sup>、ISO 22846<sup>4</sup>標準，執行完整作業前危害辨識，特別是：建築附屬物結構特性評估、繩索-接觸面力學分析、防墜系統失效模式分析。茲分述如下：

(一)繩索作業安全指引規定，繩索作業安全指引「使用繩索技術作業前，應至少評估下列事項」，共有八項，如下：

1. 工作者懸吊半空中從事繩索作業時，是否能使用手工具或設備，其重量是否合適重覆性使用。
2. 使用之工具、設備或材料是否有鬆脫飛落致砸傷下方人員之情形。
3. 是否能快速救援繩索技術員。
4. 耳片之尺寸、形狀、載重是否妥適，其邊角或形狀是否易造成切割危害。
5. 工作現場是否具熱表面或高熱工作，可能造成繩索受損或繩索技術員受傷。
6. 工作現場之其他工作者作業型態、位置分佈等資訊。
7. 工作現場周遭是否具電纜線、無線電波、石棉、鳥類盤旋等。
8. 工作現場潛在危害，如毒氣、瓦斯、熱或冷、腐蝕、酸雨等。

(二)風險評估技術指引規定，風險評估之作業流程及基本考量：

1. 辨識出所有的作業或工程
2. 辨識危害及後果
3. 確認現有防護設施
4. 評估危害的風險
5. 決定降低風險的控制措施
6. 確認採取控制措施後的殘餘風險

<sup>2</sup>勞動部職業安全衛生署 108 年 7 月 19 日勞職安 1 字第 1081025875 號函訂定

<sup>3</sup>勞動部職業安全衛生署 104 年 12 月 4 日勞職綜 1 字第 1041041628 號函修

<sup>4</sup>ISO22846，<https://www.iso.org/standard/35155.html>，為英文版，具有版權，需購置

(三)ISO22846 part1(2003-11-15) 規定：

3.1 繩索操作的主要目標是確保始終保持安全的工作系統。本節中描述的原則是這種安全工作系統的一些關鍵要素。根據工作情況和正在執行的工作任務，可能還有其他要求。安全工作系統的關鍵要素包括但不限於以下內容：

- 妥善管理和規劃;
- 使用經過適當監督的訓練有素的人員;
- 選擇、維護和保養適當的設備;
- 適當控制工作方法，包括以下內容：
  - 安排使用工作設備，
  - 提供緊急程序，
  - 保護第三方。

3.2 所有繩索作業工作應由負責維護安全工作系統的指定人員規劃。

3.3 在開始進行繩索作業工作之前，應進行危險識別和風險評估，以確定使用繩索作業技術的適當性並解決任何危險問題。

(四)ISO22846 part2(2012-03-01) 規定：

4.4.4 應執行以下步驟：

- a) 識別一般危害；
- b) 識別特定的危害；
- c) 評估發生危害的可能性和後果；
- d) 尋求消除危害；
- e) 減輕無法消除的危害；
- f) 確定所需人員的經驗；
- g) 描述確保安全工作系統所必需的其他要素。

## 柒、災害防止或改善對策

### 一、工程控制 (Engineering Controls)

- (一) 繩索與玻璃延伸的夾角過大，導致應力集中玻璃破裂，應改由屋頂樑柱下來，減小繩索與玻璃延伸的夾角。(如圖7)

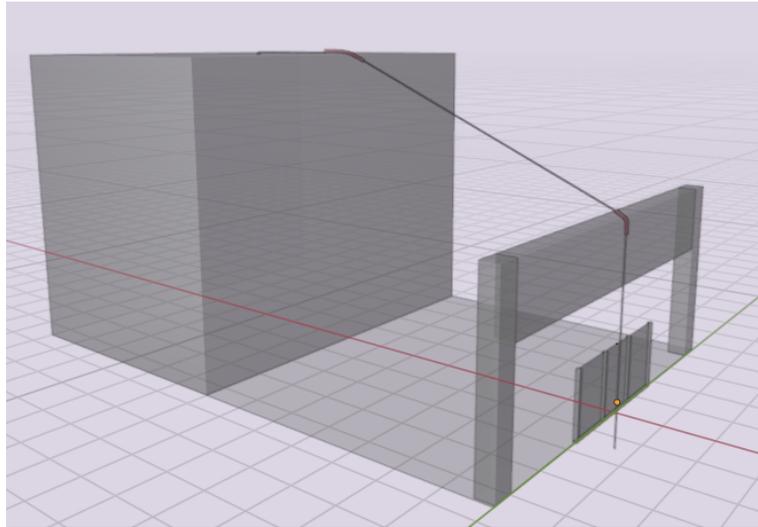


圖 7: 正確架繩方式

- (二) 最大接觸角控制在  $15^\circ$  以內

### 二、管理控制 (Administrative Controls)

- (一) 強化教育訓練：

1. 納入材料力學基礎知識
2. 增加案例研討時數 (含 Near-miss 事件分析)

- (二) 修訂作業標準：

1. 強制執行風險評估流程
2. 繩索作業安全指引，附件 2 設備檢點表範例

現場風險評估主題，原訂項目如下：

高處墜落 Falls from heights、鋒利邊緣 Sharp Edges、切割 Cutting、有害物質 Hazardous Substances、高熱症 Hyperthermia、電風暴 Electrical storm、物體飛落 Falling Objects、蛇咬 Snake Bite

**建議新增一項：易碎接觸物 Fragile contacts**

## 捌、建議修法事項

雖然，目前繩索作業安全指引、風險評估技術指引、ISO22846，對於風險評估事宜，已有諸多規定，惟技術員多半僅熟悉繩索作業安全指引。建議針對「使用繩索技術作業前，應至少評估下列事項」的規定，進行修訂。

繩索作業安全指引「使用繩索技術作業前，應至少評估下列事項」，原本規定八項，如下：

- (1) 工作者懸吊半空中從事繩索作業時，是否能使用手工具或設備，其重量是否合適重覆性使用。
- (2) 使用之工具、設備或材料是否有鬆脫飛落致砸傷下方人員之情形。
- (3) 是否能快速救援繩索技術員。
- (4) 耳片之尺寸、形狀、載重是否妥適，其邊角或形狀是否易造成切割危害。
- (5) 工作現場是否具熱表面或高熱工作，可能造成繩索受損或繩索技術員受傷。
- (6) 工作現場之其他工作者作業型態、位置分佈等資訊。
- (7) 工作現場周遭是否具電纜線、無線電波、石棉、鳥類盤旋等。
- (8) 工作現場潛在危害，如毒氣、瓦斯、熱或冷、腐蝕、酸雨等。

### **建議修改第五項 (5)**

- (5) 工作現場是否具熱表面、高熱工作**建築附掛物結構強度不足等狀況**，可能造成繩索受損或繩索技術員受傷。

玖、附現況照片



圖 8: 技術員清洗玻璃現況圖



圖 9: 屋突固定點現況圖 1



圖 10: 屋突固定點現況圖 2



圖 11: 繩索壓破玻璃處



圖 12: 黑色工作繩斷裂



藍色安全繩割斷處，  
位於繩索保護套下方

圖 13: 藍色安全繩斷裂



圖 14: 繩索壓在玻璃破裂處

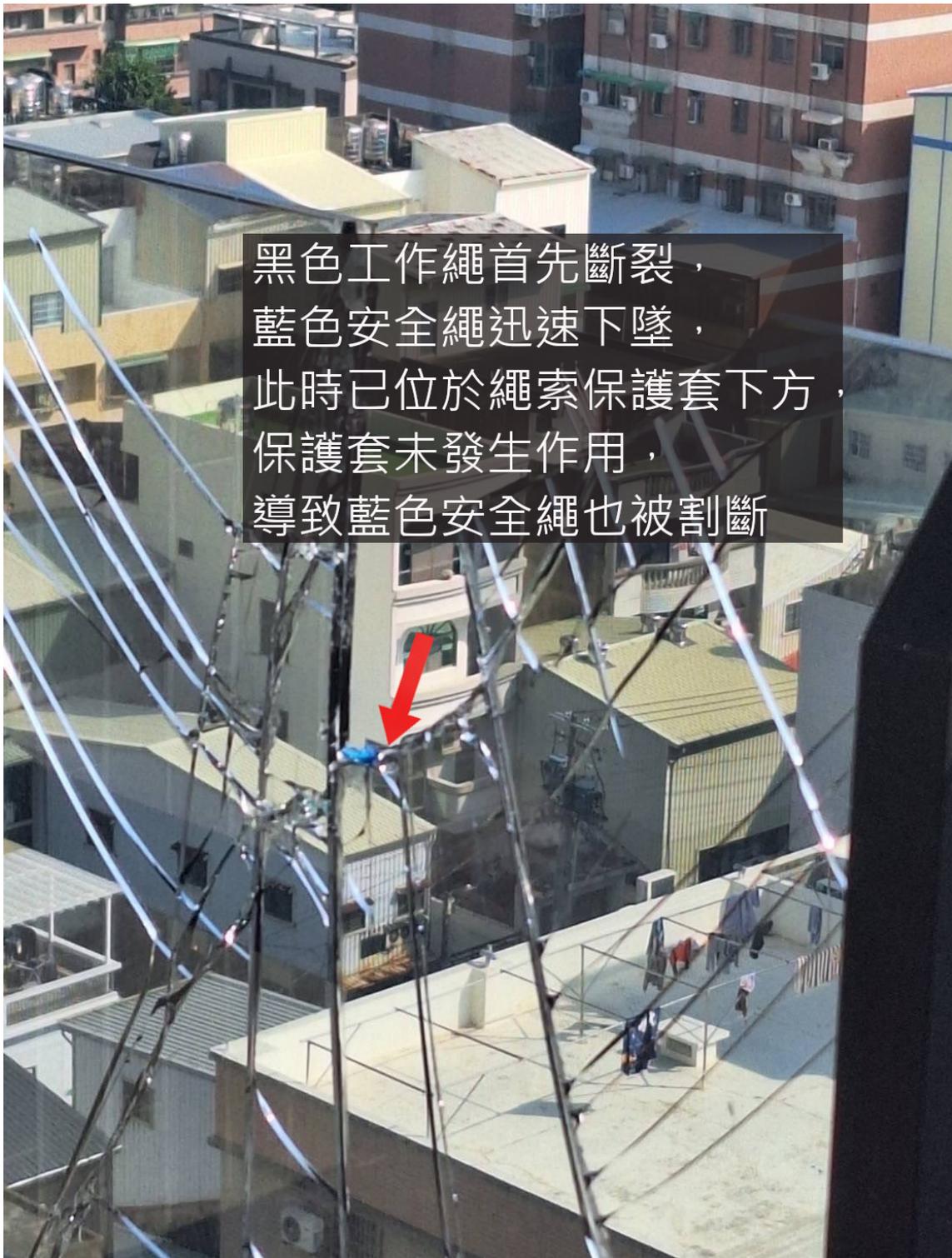


圖 15: 藍色繩索被玻璃割斷處