

出國報告（出國類別：進修）

參加美國警察科技及管理研究所 「進階公路事故調查」課程報告

服務機關：國家運輸安全調查委員會

姓名職務：蕭牟淵/公路調查組次席調查官

日智揖/公路調查組次席調查官

派赴國家：美國

訓練期間：民國 111 年 12 月 05 日至 12 月 16 日

報告日期：民國 112 年 03 月 01 日

內容摘要：

基於公路事故現場及意外調查基礎訓練課程之理論與技術，此次進階公路事故調查課程深入探討交通事故調查之進階概念，課程說明如何檢視與收集事故現場跡證，如坡度、超高、轉彎半徑、各式道面摩擦係數、煞車距離、煞車痕跡、煞車效能等，並利用牛頓運動定律、動量守恆定律以及能量守恆定律等原理，推估與分析車輛撞擊、車輛側滑、車輛飛行（airborne）等不同型態事故中，事故車輛之行駛時間、距離與速度，課程內容可作為本會未來重大公路事故現場調查與後續分析之運用參考。

目次

| | | |
|----|---------------|----|
| 壹、 | 目的 | 1 |
| 貳、 | 過程 | 1 |
| 參、 | 課程摘要與心得 | 6 |
| 肆、 | 建議 | 45 |

壹、 目的

美國北佛羅里達大學設立之警察科技及管理研究所（Institute of Police Technology and Management, IPTM）為一專業訓練機構，其理念為提供刑事司法（criminal justice）界高品質及平價之訓練課程，成立於 1980 年，目前為全美最大、最多元的執法培訓機構。

為培養本會調查人員於公路事故調查之專長，及研習事故車輛性能分析方法，本會派員參加美國北佛羅里達大學警察科技及管理研究所提供之「進階公路事故調查」訓練，課程內容主要包含 1. 檢視與收集事故現場跡證；2. 牛頓運動定律、能量守恆、動量守恆等分析原理介紹；3. 各型態事故案例分析等，其中又以事故案例分析為整個課程的核心，經過大量的案例實作，使學員可以藉由練習及老師的分析與引導，理解各類型事故分析方式。

貳、 過程

本次訓練課程由北佛羅里達大學設立之警察科技及管理研究所辦理，該所為美國針對公路事故調查之權威訓練機構，提供全美及境外執法機構公路事故調查專業訓練，本次課程為期 12 天，日期為 12 月 5 日至 12 月 16 日，上課地點為美國奧克拉荷馬州大靜水校區，本次行程連同交通轉機時間總計為期 18 天，自 12 月 2 日起至 12 月 19 日止，行程表如表 2-1，課程大綱詳如表 2-2。

表 2-1 行程表

| 日期 | | 起訖地點 | 任務 |
|----|---|------|----|
| 月 | 日 | | |

| | | | |
|----|-------|---------------|----|
| 12 | 2~3 | 台北~美國西雅圖 | 起程 |
| 12 | 4 | 美國西雅圖~美國奧克拉荷馬 | 移動 |
| 12 | 5~16 | 美國奧克拉荷馬 | 訓練 |
| 12 | 17 | 美國奧克拉荷馬~美國西雅圖 | 移動 |
| 12 | 18~19 | 美國西雅圖~台北 | 返程 |

表 2-2 課程大綱

| 日期 | 課程大綱 |
|-------|---|
| 12月5日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 課程及目標介紹 ✓ 初步能力測試 ✓ 數學方程式介紹 ✓ 車輛動力學 ✓ 牛頓定律 |
| 12月6日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 車輛動量與能量 ✓ 等量速度增減推論 ✓ 練習（動量與能量） ✓ 時間、距離和作動 ✓ 運用原理與繪圖 |
| 12月7日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 時間、距離和作動 ✓ 事故等級與因素 ✓ 方程式複習與習作 ✓ 時間、距離案例實作 |

| | |
|--------|--|
| 12月8日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 時間、距離和作動 ✓ 綜合案例分析 ✓ 事故現場證據收集 |
| 12月9日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 車輛損毀評估 ✓ 車輛大燈及輪胎辨識 ✓ 車輛損毀紀錄現場實作（線性周長、比例圖） |
| 12月12日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 檢討上週車輛損毀現場紀錄成果 ✓ 臨界速度、轉彎半徑 ✓ 車輛飛行事故 |
| 12月13日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 車輛飛行事故習作 ✓ 線性動量案例習作 |
| 12月14日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 線性動量守恆定律 ✓ 線性動量處理原則 ✓ 線性動量案例習作 |
| 12月15日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 線性動量守恆定律 ✓ 進階測量與繪圖習作 ✓ 向量分析原理 ✓ 向量計算與習作 |
| 12月16日 | <ul style="list-style-type: none"> ✓ 課程複習 ✓ 課程測驗 |

1. 訓練機構介紹

IPTM 建立於 1980 年，為美國北佛羅里達大學所支持成立之非營利組織，實體上課地點遍及美東、美西與美國中部，每年提供逾 400 次訓練課程，並有超過 8,000

名之全美及境外執法機構人員參加訓練，IPTM 之核心理念為提供刑事司法（criminal justice）界高品質及平價之訓練課程，訓練講師皆有實務上執法經驗及技術，並有多年的警察訓練經驗。

IPTM 主要提供美國市警、縣警及州警等執法人員專業之管理及交通訓練，課程包含等刑事調查、交通事故調查、刑事現場鑑識、人質與危機處理、毒品與幫派執法等類別。

本次上課地點位於奧克拉荷馬州靜水市-奧克拉荷馬州立大學（Oklahoma State University, OSU）靜水分校，IPTM 借用 OSU 之國際貿易發展中心（Wes Watkins Center for International Trade Development）教室作為上課地點，如圖 2-1。



圖 2-1 上課地點

2. 講師介紹

本次課程講師共 2 名，分別為 Larry D. Williams 教師及 Michael Nash 講師，其主要專長在交通事故調查及重建；講師專業背景介紹如下：

(1) Larry Williams 專任教師

Williams 先生擔任警察服務年資已超過 38 年，2015 年從美國田納西州的約翰遜城警察局以副警監職位退休。退休前擔任交通組長長達 15 年，並於 1987 年創立該警局交通事故重建小組。

Williams 先生自 1989 年起即擔任 IPTM 的課程教師，負責教授現場交通事故命案調查、進階交通事故調查和交通事故重建課程。另外也擔任美國司法部聯邦調查局培訓學校的刑事調查、駕駛訓練和執法培訓等課程教師。

(2) Michael Nash 專任教師

Nash 先生擔任警察服務年資已超過 31 年，2013 年從美國維吉尼亞州的切斯特菲爾德郡警察局以警士職位退休。在該警局交通組的交通事故碰撞小組任職超過 25 年，並擔任交通事故碰撞與駕駛訓練首席講師。

Nash 先生自 2022 年開始擔任 IPTM 的課程教師，負責教授現場交通事故命案調查、進階交通事故調查等課程。Nash 先生也是美國維吉尼亞州交通事故重建專家認證委員會的成員。並且擁有刑事司法服務部的駕駛教練及事件數據紀錄器技術指導講師的認證。

3. 參與訓練人員

本次課程共有 20 名學員參加，除 2 名運安會學員外，另包含 8 名奧克拉荷馬州警、3 名奧克拉荷馬州靜水市警、4 名新墨西哥州 Eddy 縣警、1 名加拿大警察、2 名奧克拉荷馬州立大學校警等。向學員詢問後，新墨西哥州縣警表示幾乎每天都會處理交通事故，但較少機會進行事故車輛速度分析，縣警一般為進行事故現場的

處理及測量，課程內提及知車輛性能分析多由州警進行。上課情形如圖 2-2 所示。



圖 2-2 課程上課實況

參、課程摘要與心得

本次訓練依序先由講師及參訓學員自我介紹，接著正式進入課程，第 1 天主要是基礎訓練課程回顧，包含事故分析原理及計算方程式等議題，第 2 天之後開始進入多起交通事故案例分析及分析原理說明，也是此次課程中最寶貴的部分，除透過講師介紹，說明各個案例發生的經過及現場收集跡證，並由學員實際演算，透過大量的案例分析，使學員更易於理解所教授的分析方式。過程中講師不斷提醒學員可以踴躍提問，而參訓學員對不理解的案例也常發言提問，常藉由講師的提示使學員領略分析問題的方式。

在此將課程中重要的內容摘要如下：

1. 車輛性能分析原理介紹

運用牛頓運動定律來解析事故車輛撞擊車輛、行人或障礙物等相關之時間、距

離及加速度問題，為本課程的核心概念，IPTM 已利用力學之物理原理，將常運用之數學算式整理成冊，以方便事故重建人員使用。以下簡要說明 3 個定律於事故調查分析上的運用。

牛頓運動定律

牛頓運動定律又分為牛頓第 1 運動定律、牛頓第 2 運動定律、牛頓第 3 運動定律，其中第 1 運動定律又稱慣性定律，即靜者恆靜、動者恆動，依此原理，可經常在世故現場，查看事故車輛撞擊的方向，以及駕駛或乘客撞擊車內之情形判斷車量受力方向，除非受到外力影響，否則車輛不會停止；第 2 運動定律又稱等加速度定律，指物體之加速度與其受到的力成正比，與其質量成反比，即質量一樣，受力越大加速度越大；受力一樣，物體質量越大加速度越小。

由於車輛在煞停的過程中，於地面產生摩擦力，故若假設車輛煞停過程中為等加速度運動，在事故現場收集到事故車輛於地面留下之煞車痕長度，以及行經道面之摩擦係數（可轉換為加速度），則可推估車輛之速度，以此原理可由牛頓第 2 運動定律衍生出等加速狀態下的時間計算公式、距離計算公式、速度計算公式。

牛頓第 3 運動定律說明作用力等於反作用力，即 2 車相撞，撞擊瞬間受力相同，方向相反，第 2 運動定律之加速度為單位時間內速度的改變，故 $F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta V$ ，公式左側為衝量，右側為動量的改變量，可推得 2 車碰撞事故時，衝量相同，方向相反。

動量守恆定律

動量守恆指的是當封閉系統不受外力影響，則系統中的總動量保持定值，即兩車發生碰撞時，碰撞前總動量（ $m_1 \cdot V_1 + m_2 \cdot V_2$ ）等於碰撞後總動量

($m_1 \cdot V_1' + m_2 \cdot V_2'$)。本次課程中，所教授的案例皆為直線動量問題 (In-Line Momentum)，包含其中一輛車輛靜止時被撞、一輛車輛行進時被撞、兩車對撞後一車持續前進以及兩車對撞後一車向後移動等事故狀況之解析。

能量守恆定律

能量守恆指自然界中能量不會消失，而會以不同的形態呈現。在交通事故調查中，車輛因帶有速度而具有動能，在不考慮空氣阻力的情況下，若事故現場留有煞車痕，則表示車輛的動能將部分或全部轉換為地面磨擦而損耗的功。故可利用動量計算公式及煞車作功計算公式 ($W_k = W \cdot f \cdot d$)，求得事故車輛之速度，其中煞車作功計算公式中之 W 為車重、 f 為道面摩擦係數、 d 為煞車距離。

又因事故現場車輛 4 輪之煞車痕通常長度都不一致，並考量煞車效能及車輛可能行經不同道面 (不同摩擦係數)，故 IPTM 設計了一動能計算工作表格，幫助事故重建人員利用此表格進行相關問題研析及計算。

2. 撞擊速度分析原理介紹

於公路事故調查中，調查單位均會第一時間至事故現場檢視及收集相關跡證，藉由現場測量之相關數據，計算出事故路面之真實摩擦係數，以不同之事故發生型態輔以分析原理計算，可重建並還原事故現場之發生情形，並估算出事故發生當時之車速。以下簡要說明車速估算、摩擦係數取得與調整修正方法。

車速估算

以基本的速度公式來計算出減速到定點或從定點開始加速的變化，此公式需取得事故車輛減速與加速時的距離與事故地點的道路摩擦係數。其中 254 和 15.94

均為數學常數，D 為量測後之事故車輛煞車胎痕長度，f 為調整後的道路摩擦係數，所計算出之速率為最小速率，車速估算公式如下：

$$S = \sqrt{(254)(D)(f)} \text{ 或 } S = 15.94 \sqrt{(D)(f)}$$

S- 時速 (km/hr)

254- 數學常數

15.94- 數學常數

D- 距離 (m)

f- 調整後的摩擦係數

摩擦係數

摩擦係數係指水平表面上兩個物體之間產生的摩擦力，在公路事故調查上，當車輛在所有車輪都制動煞車並行進於水平的道路時，車輛輪胎與地面產生的摩擦力即為水平摩擦係數，並以希臘字母 (μ) “mu” 來表示。且當路面有坡度或超高時，要調整數值後才能應用在事故調查中。

摩擦係數之計算公式有四種，事故調查時可利用阻力板或加速度儀來取得需要的參數，經過計算後可取得事故地點之摩擦係數，以下簡要說明計算方式：

(1) 阻力板 (Drag Sled)

阻力板通常由彈簧拉力計加上填充混凝土或其他固體材料的輪胎組成，或是以一定重量的物體其底部帶有輪胎胎面也可以替代。量測時將阻力板放在事故路面上，伸直手臂保持固定速度拉動彈簧拉力計，藉由已知阻力板重量 W 及固定的拉力 F，進行同向 10 次的拉力值量測，平均後可計算出道路的摩擦係數，量測過程如下圖 3-1。

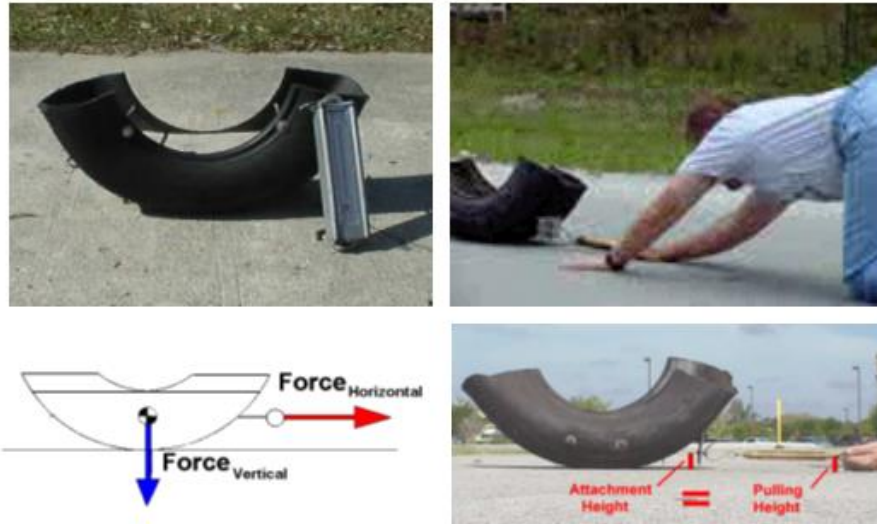


圖 3-1 阻力板量測過程

公式 1 計算如下：

$$f = \frac{F}{W}$$

f - 阻力板測試的摩擦係數

F - 拉動阻力板的力量

W - 阻力板的重量

(2) 加速度儀

使用加速度檢測儀器（如下圖 3-2），測試車輛由固定的速度到停止，或由停止再加速，取得加速度、時速及時間等量測數據，另取得事故現場測試車輛煞車距離，利用以下三種公式計算取得事故地點之摩擦係數（加速度/減速度因子）。



圖 3-2 加速度檢測儀器

當使用儀器取得速度，量測煞車距離時，使用公式 2 計算如下：

$$f = \frac{S^2}{(254)(D)}$$

f - 摩擦係數

S - 時速 (km/hr)

254- 數學常數

D - 距離 (m)

當使用儀器取得速度、重力與測試時間（煞車減速）時，使用公式 3 計算如下：

$$f = \frac{V}{(g)(t)}$$

f - 摩擦係數

V - 每秒行駛的公尺速度 (mps)

g - 重力加速度，9.81公尺/每秒/每秒 (m/sec/sec)

t - 時間 (sec)

當使用儀器取得測試時間（煞車減速），並量測煞車距離，使用公式 4 計算如下：

$$f = \frac{D}{(4.9)(t^2)}$$

f- 摩擦係數

D- 距離 (m)

4.9- 數學常數

t- 時間 (sec)

摩擦係數調整

當事故地點道路非水平時，應考量道路坡度、超高、煞車失效等環境及車輛因素，進而調整並修正符合事故地點之道路摩擦係數，避免錯估車速，以下就相關摩擦係數調整應考量之因素簡要說明。

(1) 坡度及超高

坡度為量測沿道路單位長度上升 (+) 或下降 (-) 的百分比。因坡度與超高具有相通的概念，坡度以 m 描述，超高則以 e 描述。公式如下：

$$m = \frac{\text{垂直距離 (m)}}{\text{水平距離 (m)}}$$

m- 坡度 (%)

超高為量測道路橫斷面上升 (+) 或下降 (-) 的程度。公式如下：

$$e = \frac{\text{昇高量}}{\text{橫移量}}$$

e - 超高 (百分位, .xx)

昇高量 - 垂直距離 (m)

橫移量 - 水平距離 (m)

(2) 車輛 (煞車失效) 調整

一般而言，煞車為失效狀況下，煞車效能為 100%；前輪驅動車輛其前兩輪煞車效能各為 35%，後兩輪煞車效能各為 15%，如左前輪煞車失效，則其總煞車效能降為 65%，煞車係數即為 0.65。後輪驅動車輛其前兩輪煞車效能各為 30%，後兩輪煞車效能各為 20%，如左後輪煞車失效，則其總煞車效能降為 80%，煞車係數即為 0.80。

為符合實際之事故發生情形，應考量道路 (坡度、超高) 及車輛 (煞車失效) 等因素，並利用下列公式計算出調整後的摩擦係數。

當事故車輛在水平表面且 100% 完全煞車時，用來推算車速的摩擦係數就是現地測試時的水平摩擦係數，即 $f = \mu$ 。計算公式如下：

$$f = \mu$$

f - 摩擦係數

μ - μ 水平道路之摩擦係數，100% 完全煞車

當事故車輛之煞車力無法完全制動時 (例如煞車失效導致效能 n 降低)，且道路非水平時，上坡 m 用 (+) 或下坡 m 用 (-)。並用以下公式進行調整修正摩擦係數。

$$f = ((\mu)(n) \pm m)$$

f - 調整後之摩擦係數

μ - 水平摩擦係數

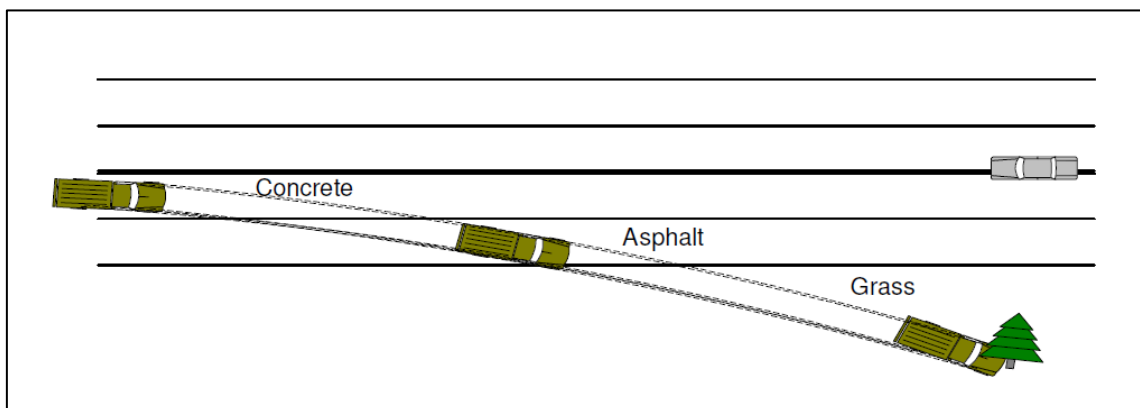
n - 煞車百分比 (%) (0.XX)

m - 坡度百分比 (%) (0.XX)

3. 不同型態事故案例分析

3.1 車輛直行衝出路側

案例說明：



一輛福特 F150 皮卡駕駛員行駛中發現對向車輛跨越車道分隔線，並朝所行駛的方向而來，皮卡駕駛員操作方向盤向右，並踩踏煞車，車道為水泥路面，磨擦係數為 0.81，接著皮卡離開車道進入材質為瀝青混泥土的道肩，道肩磨擦係數為 0.74，皮卡持續打滑離開道肩進入草地，草地磨擦係數為 0.47，最後撞擊路樹而停止。由車輛損壞分析判斷車輛撞擊路樹時之車速為 29mph。

根據車輛規格，前軸之重量分布為 62%，後軸之重量分布為 38%，車輛、人員及貨物之總重為 4840 磅，另檢視車輛後發現車輛左後輪煞車為失效之狀況。

車輛跨越各道面之煞車痕紀錄如下：

| | 水泥 | 瀝青混泥土 | 草地 |
|----|---------|---------|---------|
| LF | 46 feet | 48 feet | 76 feet |
| RF | 42 feet | 54 feet | 83 feet |
| LR | N/A | N/A | N/A |
| RR | 51 feet | 61 feet | 92 feet |

議題探討：

利用上述資訊，以動能守恆原理計算事故車輛開始煞車時之車速。

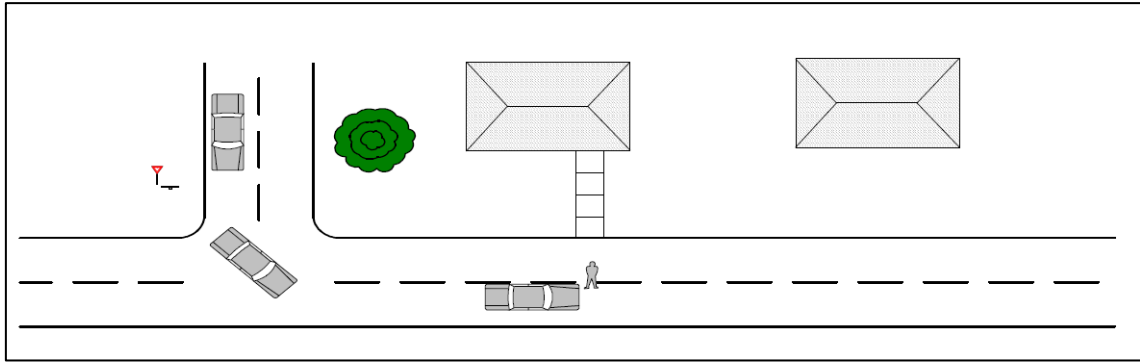
分析結果：

此類議題可利用牛頓運動定律或是動能守恆探討，在解題之前，需要先求得煞車效能，以求得車輛行經各道面之摩擦係數。因左後輪煞車失效，利用車輛前後軸重量分布，可得煞車效能 n 為 81%。進一步可得車輛行經各道面之摩擦係數分別為 $0.81*81\%$ 、 $0.74*81\%$ 、 $0.47*81\%$ 。

以回推的方式，首先算出將各輪胎跨越各道面之平均煞車痕，再依序計算車輛撞擊路樹時的動能、車輛行經草地所損耗的功、車輛行經瀝青混泥土所損耗的功、車輛行經水泥所損耗的功，再將上述動能及功加總，最後利用速度計算公式，帶入總動能及車輛總重，即可求得事故車輛開始煞車時之車速。經計算後，車速約為 88.95 fps (60.92 mph)。

3.2 轉彎及直行車輛撞擊行人

案例說明：



事故車輛在車道上從停止告示牌面處加速行駛 75 呎後撞到行人。行人正試圖從道路北向南穿越馬路。行人的平均步行速度被確定為 3.5mph（依據行人年齡之統計數據）。在被左轉而來的車輛撞到之前，行人已經從道路北側往南走 15 呎。

在事故現場以相同 75 呎的距離內對碰撞車輛進行了加速測試，測試後之平均時間為 4.0 秒。

議題探討：

問題 1：車輛與行人相撞時的速度？（假設加速度恆定）

問題 2：當車輛開始從車道上加速時，行人距離碰撞前有多遠？（假設行人的步行速度恆定）

問題 3：當行人踏入道路時，車輛距離撞擊前有多遠？

問題 4：行人進入車道時車輛的速度是多少？

問題 5：行人從被撞擊位置再走 7 呎（2.13 米）可到達道路的南側。行人需要走多快可避免被車撞到？

分析結果：

由案例說明可知事故車輛從靜止開始加速左轉行駛 75 呎，且於現場道路加速測試後可得知行駛時間為 4 秒，依上述距離及時間即可計算得知道路之加速度（假設現場為水平路面）。

問題 1 假設事故車輛加速度恆定行駛 75 呎，並經過 4 秒後與行人相撞，依據上述得到之加速度，代入速度計算公式，可得出當時速度為 25.54mph (37.42fps)。

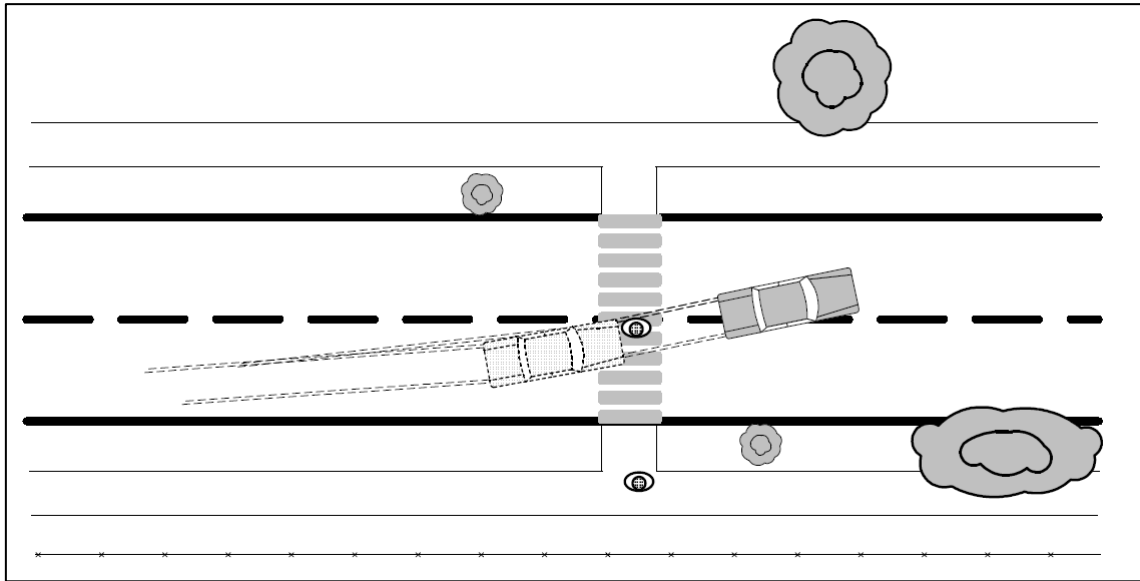
問題 2 假設行人的步行速度恆定為 3.5mph (5.13fps)，當事故車輛從靜止開始加速經過 4 秒後，依據速度及時間，代入距離計算公式，可得知行人當時正在行走穿越道路，並距離事故碰撞點為 20.52 呎。

問題 3 同樣假設行人的步行速度恆定為 3.5mph (5.13fps)，當行人踏入道路往南行走了 15 呎，可依時間計算公式得知行走時間為 2.92 秒，另外，當車輛加速行駛到撞擊前，可依上述的時間、加速度及摩擦係數，經代入距離計算公式，得知車輛距離行人還有 69.52 呎。

問題 4 在時間相對的條件下，當事故車輛距離撞擊前行駛 4 秒，而行人進入道路後行走 2.92 秒時，行人還剩下 1.08 秒會發生碰撞，這時可依速度計算公式，利用上述得知的加速度及時間，可得知行人當時的速度為 6.87mph。

問題 5 依據上述的計算，可得知當事故車輛從靜止開始加速左轉時，行人由道路北邊走至事故碰撞點距離為 20.52 呎，且根據現場道路資料，碰撞點距離道路南邊還有 7 呎，假設事故車輛已知行駛 4 秒，行人由道路北邊走至南邊距離共為 27.52 呎，經帶入速度計算公式，可得知行人速度為 4.69mph 時，則可避開事故。

案例說明：



一名行人在被迎面駛來的車輛撞倒之前，走了 4.75 呎進入車道。行人平均步行速度為 5.0 fps（依據行人年齡之統計數據）。

事故發生後，對事故車輛進行檢查，發現右前煞車失效。道路上有 3 條煞車痕，且車輛行駛路徑是彎曲的。事故車輛為後輪驅動，煞車效能前後配置為 60/40。（假設 perception/reaction time 時間為 1.6 秒）

車輛撞倒行人後持續滑行 115 呎。事故車輛的地面煞車痕跡測量記錄如下：

| | | | |
|-----|--------|-----|--------|
| L/F | 175 ft | L/R | 200 ft |
| R/F | 0 ft | R/R | 195 ft |

用事故車輛在事故現場道路進行測試後之速度為 30mph。測試三次之各別最長煞車痕跡記錄如下：

| | |
|--------|-------|
| TEST 1 | 53 ft |
| TEST 2 | 43 ft |
| TEST 3 | 41 ft |

議題探討：

問題 1：事故車輛撞到行人時，車輛的速度？

問題 2：第一次踩剎車時車速是多少？

問題 3：車輛打滑到撞擊需要多長時間？

問題 4：當行人進入道路後，車輛距離碰撞點還有多遠？

問題 5：當駕駛第一次踩剎車時，行人離撞擊有多遠？

問題 6：當駕駛發現行人並視為危險時，他距離碰撞還有多遠？

分析結果：

由案例說明可知事故車輛在行駛中撞到行人，且於現場道路進行測試速度為 30 mph，三條測試煞車距離最長為 53 呎，但因超過第二長之距離 10%範圍而失去準確性，故採用 43 呎為測試之最長煞車距離，依上述煞車距離及速度即可計算得知道路之摩擦係數為 0.69（假設現場為水平路面）。

問題 1 為求出事故車輛撞到行人時之車速，此時應先計算地面三條煞車痕距離平均值為 190 呎，在扣除事故車輛撞到行人前滑行 110 呎，故可求得事故車輛在撞擊行人後仍滑行 75 呎，配合上述取得之摩擦係數，代入速度計算公式，可計算出撞到行人當時車速為 39.4 mph。

問題 2 為得知事故車輛踩煞車當時之車速，可依上述之總煞車距離平均值為 190 呎，及上述之摩擦係數，代入速度計算公式，可計算踩下煞車當時之車速為 62.7 mph。

問題 3 要求出車輛踩煞車打滑到撞擊到行人需要多長之時間，因之前已取得煞車打滑及撞擊時之分別車輛速度，再以摩擦係數換算加速度值為 22.21 fps/s，代入時間計算公式，可得知車輛踩煞車打滑到撞擊到行人之時間為 1.53 秒。

問題 4 假設當行人走了 4.75 呎進入道路時，且步行速度為 5.0 fps，依時間計

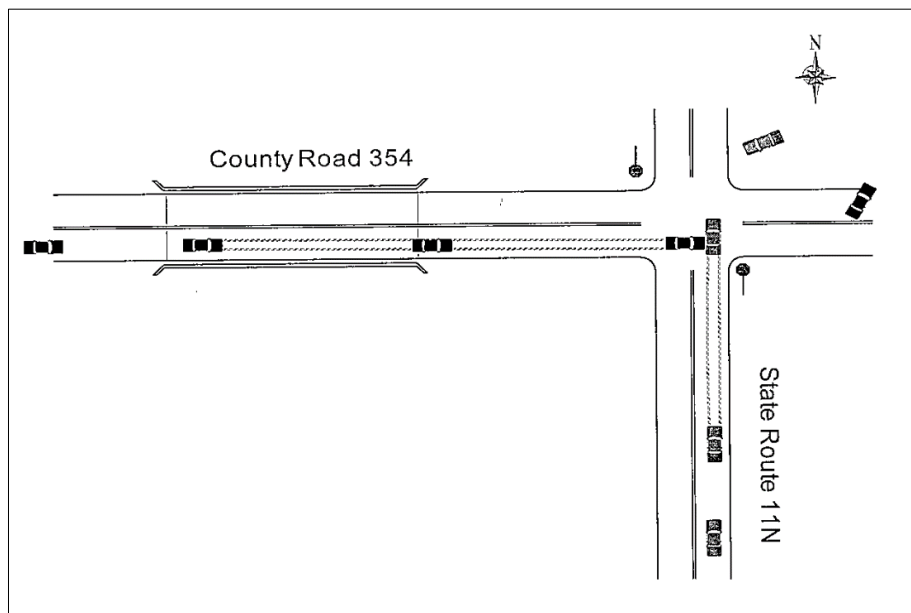
算公式，可求出行人行走時間為 0.95 秒，再依上述碰撞前之速度為 57.71 fps、加速度為 22.21 fps/s，帶入距離計算公式，可以計算得知事故車輛距離碰撞點還有 64.81 呎。

問題 5 依據上述行人步行速度為 5.0 fps，事故車輛在問題 3 時從踩下煞車打滑到撞擊共花費 1.53 秒，代入距離計算公式，即可計算得知事故車輛踩下煞車打滑時，行人距撞擊點還有 7.65 呎。

問題 6 依據一般行人感知反應時間 1.6 秒，踩下煞車當時之速度為 91.86 fps，代入距離計算公式，可以得知踩煞車前之感知反應距離為 146.97 呎，再加上撞擊前滑行距離 115 呎，故可得知駕駛感受到危險踩下煞車之總距離為 261.97 呎。

3.3 直行車輛撞擊直行車輛（側撞、對撞）

案例說明：



車輛 1 自西向東行駛於 County Road 354 上，朝 State Route 11N 路口接近，車輛 1 駕駛員看見車輛 2 由南向北行駛於 State Route 11N 上，朝 County Road 354 路口接

近，察覺車輛 2 駕駛員沒有因路口停止標誌而停車，隨即緊急煞車並開始滑行，車輛 1 進入水泥橋面後開始滑行，水泥橋面摩擦係數為 0.80，滑行 75 呎後進入瀝青混泥土道面，瀝青混泥土道面摩擦係數為 0.72，在滑行 55 呎後撞擊車輛 2，經計算後車輛 1 的撞擊速度為 21 mph。

車輛 2 由南向北行駛於 State Route 11N 上，朝 County Road 354 路口接近，路口設置有停止標誌 (STOP)，車輛 2 駕駛員因分心，未注意停止標誌而及時煞車，當看見停止標誌時，車輛 2 駕駛員緊急煞車，開始於瀝青混泥土道面滑行，瀝青混泥土道面摩擦係數為 0.72，滑行 65 呎後撞擊車輛 1，經計算後車輛 2 的撞擊速度為 17 mph。兩條道路的速限為 45 mph。

議題探討：

問題 1：車輛 1 與車輛 2 的初始速度各為何？

問題 2：車輛 1 與車輛 2 自滑行至撞擊之時間各為何？

問題 3：車輛 1 與車輛 2 自接受到訊息至撞擊的距離各為何？假使自接收訊息至反應時間 (perception/reaction time) 為 1.6 秒。

問題 4：車輛 2 駕駛員開始制動煞車時，車輛 1 位置為何？

問題 5：若車輛 1 依速限行駛，碰撞是否會發生？

分析結果：

由案例說明可知 2 車撞擊時各別之車速，以及所行經道面之摩擦係數及滑行距離，即可使用速度計算公式，求得車輛 1 進入瀝青道面時之車速以及 2 車之初始速度，經計算後 2 車初始速度分別為 58.55 mph 及 41.14 mph。

由上述所得車輛 1 進入瀝青道面時之車速以及 2 車之初始速度，以及 2 車撞

擊時各別之車速，利用時間計算公式，求得 2 車行經各道面之時間，加總即可得 2 車自滑行至撞擊之時間，分別為 1.541 秒及 1.527 秒。

題目給定駕駛員自接收危險訊息至反應時間為 1.6 秒，假設此期間內為等速運動，利用上述所求 2 車之初始速度，帶入等速運動之距離計算公式，即可得自接收危險訊息至反應時間所行經之距離，再加總行經各道面之距離，即可得 2 車自接受到訊息至撞擊的距離，分別為 267.34 呎及 161.51 呎。

題目詢問車輛 2 駕駛員開始制動煞車時，車輛 1 位置為何?此類問題須先判斷 2 車共同的條件為何，在事故發生的時空間中，時間為共同的條件，即以車輛 2 開始制動煞車至撞擊之時間(1.527 秒)，作為計算車輛 1 位置之參考。經由上述計算，車輛 1 經過橋面行經瀝青混泥土之時間為 1.224 秒，故題目所求之車輛 1 位於橋面上，時間為進入瀝青道面前 0.303 秒 (1.527-1.224)，再利用等加速度之距離計算公式，求得 0.303 秒行經瀝青道面之距離，再加總行經瀝青之距離，即可得車輛 2 駕駛員開始制動煞車時，車輛 1 位置為距離撞擊前 74.1 呎。

題目詢問若車輛 1 依速限行駛，則是否會發生事故?此類問題先假設車輛 1 自接收危險訊息時之車速 (亦即初始速度) 為 45mph，依上述計算另可知此時距離進入水泥橋面距離為 137.34 呎，以車速 45 mph 行駛 1.6 秒，求得距進入水泥橋面 31.71 呎 ($137.34 - 1.6 * 45 * 1.466$) 開始煞車。再利用速度遞減之狀態，解析車輛 1 停止之位置，以等加速度公式計算行經瀝青混泥土道面進入水泥橋面之車速 (36.61 mph)，再計算離開橋面進入瀝青混泥土道面之車速，發現速度為車速餘平方根計算式中為負值，即車輛已於水泥橋面上煞停，可利用距離計公式求得於水泥橋面上行駛約 55.83 呎，故若車輛 1 依速限行駛則不會發生碰撞。

案例說明：

一輛車重為 3331 磅之福特 Mercury Sable 向東行駛時，撞擊一輛車重為 2661 磅向西行駛之現代 Elantra，事故現場重建人員估算撞擊車速分別為 28 mph 與 35 mph，撞擊前 Mercury 滑行 126 呎，現代滑行 89 呎，向東的坡度為+0.03，摩擦係數經計算為 0.67。

議題探討：

分別計算 2 車開始滑行時之車速、等加速度，以及假設接收危險訊息至反應時間（perception reaction time）為 1.6 秒，則接收危險訊息時距撞擊之距離為何？

分析結果：

由於 2 車計算方式相似，差別在於計算加速度時，Mercury 為向上坡行駛，阻力係數（drag factor）應以加法修正，現代為向下坡行駛，阻力係數應以減法修正，以下就福特 Mercury 探討。

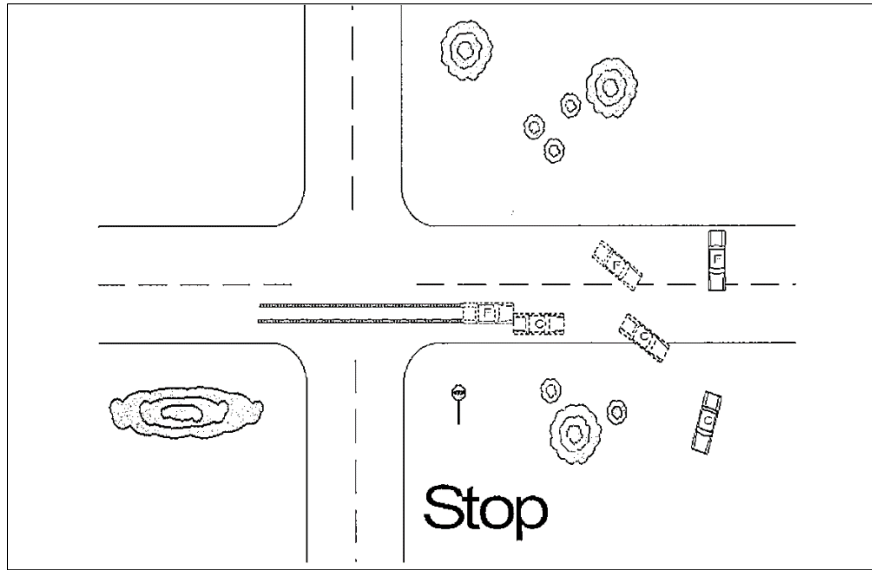
此類問題可用牛頓運動定律或是動能守恆原理解析，此處以動能守恆原理計行分析。首先利用撞擊時的車速計算撞擊時的動能，再利用煞車痕跡長度計算滑行時所消耗的功，兩者相加後，以能量守恆公式求得開始滑行時之初速（85.80 fps），進一步利用時間計算公式求得滑行之時間（1.98 秒）。

福特 Mercury 為上坡，阻力係數應修正為 0.70（0.67+0.03），故加速度為 -22.54 fps^2 。

題目假設接收危險訊息至反應時間為 1.6 秒，則接收危險訊息時距撞擊之距離即為以等速度 85.80 fps 行駛 1.6 秒後，與滑行距離加總，可得距離為 263.28 呎。

3.4 直行車輛撞擊轉彎（側撞）車輛

案例說明：



雪弗蘭駕駛由小巷駛出右轉進入主要街道，小巷巷口設置一停止標誌，雪弗蘭自停止加速至車尾被一輛福特撞擊共行駛 56 呎，福特駕駛宣稱雪弗蘭駕駛突然進入車道而沒停止，只能緊急踩煞車並向左操作方向盤，雪弗蘭駕駛說明要進入主要街道前，察覺福特位置還很遠，當下右轉不覺得有危險。

為求得雪弗蘭之加速度係數，使用一輛測試車輛模擬事故時雪弗蘭之行徑情形，相同 56 呎距離共花費 4.41 秒。

福特在撞擊前共滑行 38 呎，道路減速度係數經計算為 0.73，檢測後未發現福特車輛有煞車異常情形，經計算後福特撞擊時車速為 43 mph，雪弗蘭車速為 22 mph。此路段速限為 45 mph。

議題探討：

問題 1：測試車輛之加速度係數為何？雪弗蘭加速 56 呎後之速度為何？雪弗蘭在小巷駛出時是否有停止？

問題 2：福特開始煞車時之車速？至撞擊時歷時多久？

問題 3：福特開始煞車時，雪弗蘭距離被撞擊處多遠？

問題 4：當福特開始接受危險訊息而欲作反應（perception and reaction）時，雪弗蘭距離撞擊處多遠？

分析結果：

首先利用測試車輛所行駛的時間以及行經的距離，求得加速度係數為 0.17，在使用等加速度之速度計算公式求得雪弗蘭自停止至行駛 56 呎之速度為 16.89 mph，比對雪弗蘭被撞擊之車速為 22 mph，可知雪弗蘭在小巷口並未停止。

利用等加速度之速度計算公式，將煞車距離及撞擊時車路帶入，可求得福特開始煞車之車速為 51.78 mph，再利用時間計算公式求得自煞車至撞擊共歷時 0.547 秒。

問題 3 詢問福特開始煞車時，雪弗蘭距離被撞擊處多遠？可利用福特上述所求的歷時時間，等同雪弗蘭被撞前之剩餘時間，回推雪弗蘭之位置，使用等加速度之距離計算公式，帶入雪弗蘭被撞擊時車速、加速度係數，求得雪弗蘭距被撞擊位置，此處須注意由於是由被撞擊處回推，故在等加速度距離計算公式中，加速度係數因為負數。

問題 4 的解析方式與問題 3 相同，不同在於時間需考量加入接受危險訊息而欲作反應時間（perception and reaction time），假設福特駕駛之 perception and reaction time 為 1.6 秒，則歷時時間共為 2.147（1.6+0.547）秒，同樣使用等加速度之距離計算公式，帶入雪弗蘭被撞擊時車速、加速度係數，求得雪弗蘭距離撞擊處為 56.62 呎。

3.5 轉彎車道之側滑臨界速度（critical curve speed）

案例說明：



案例為一輛車傷亡的行車事故。事故車輛在 96 號國道上向南行駛，並試圖在濕滑的道路上右轉。

除了在北向車道上發現了兩條疑似橡膠刮痕的痕跡外，現場調查沒有發現輪胎煞車痕跡，但橡膠刮地痕無法完全認定為偏軌拖痕。且拖痕一直延伸至道路北邊路肩的草地邊緣，在那裡發現了通往車輛停止位置的壓痕。車轍壓痕可證明車輛的行駛方向，壓痕終止於車輪處。事故車輛被發現停止在樹中（如上右圖）。

針對南向車道路肩邊線進行弦長和中垂距測量。弦長記錄為 58 呎，中垂距為 11 英吋。96 號國道於此路段限速為時速 55mph，車道寬 12 呎。阻力係數測試是用 42 磅的阻力板進行測試，拉力量測為 25 磅。

議題探討：

計算道路的側滑臨界速度。

分析結果：

於事故道路路面上用 42 磅重的阻力板進行測試，量測得知拉力為 25 磅，代入計算公式後，可得知道路之摩擦係數為 0.59。

為求得道路的側滑臨界速度，需先計算取得道路半徑，依據現場量測路肩邊線之弦長與中垂距可計算出路肩邊線之半徑為 462.535 呎，加上 6 呎即為車道中心線半徑長為 468.535 呎，再代入側滑臨界速度計算公式後，可計算得知此道路之側滑臨界速度為 64.17 mph。

3.6 轉彎車輛側滑速度 (Speed to Sideslip)

案例說明：



案例車禍事故發生雙向單線車道上。以進入事故現場右轉彎方向進行事故現場轉彎半徑測量。

測量後，道路路肩邊線弦長為 100 呎，中垂距為 4.5 呎。每條車道寬度為 12 呎。現場之道路摩擦係數為 0.71。

事故車輛於現場留下煞車痕。經測量後弦長為 80 呎，中垂距為 1.25 呎。事故車輛的輪胎寬度為 6 呎。

當現場調查取得道路側滑臨界速度後，縣交通局期望以 80%之臨界速度重新

修正現有道路限速。

議題探討：

問題 1：外側車道中心側滑臨界速度。

問題 2：內側車道中心側滑臨界速度。

問題 3：車輛的側滑速度。

問題 4：道路側滑臨界速度限制建議。

分析結果：

問題 1 以路肩邊線之弦長 100 呎，中垂距為 4.5 呎，代入半徑計算公式，可計算得知路肩邊線半徑為 280.02 呎，再減 1/2 車道 6 呎後，即為外側車道中心線半徑 274.02 呎，代入速度計算公式後，可計算得知外側道路側滑臨界速度為 53.84 mph。

問題 2 以外側道路中心線之弦長 274.02 呎，再減車道寬 12 呎後，即為內側車道中心線半徑 262.02 呎，代入速度計算公式後，可計算得知內側道路側滑臨界速度為 52.64 mph。

問題 3 依據事故車輛於現場留下之煞車痕弦長為 80 呎，中垂距為 1.25 呎，代入半徑計算公式，可計算出煞車痕半徑為 637.625 呎，代入速度計算公式後，可計算得知車輛側滑速度為 82.12 mph。

依據問題 1 及問題 2，可得知此道路之最大側滑臨界速度為 53.84 mph，經調整 80%之速度為 43.07 mph，故此道路建議速度限制為 40 mph。

3.7 車輛飛行初始速度（上下坡）

案例說明：

計算車輛飛行初始速度。

議題探討：

問題 1：水平距離測量為 60 呎，而垂直高度測量為 8.2 呎。車輛飛行點的坡度為-0.03，距離和高度是車輛初始飛行到落地測量結果。

問題 2：水平距離測得為 28 呎，而從飛行到初次落地的垂直高度測得為 13 呎，車輛飛行點的坡度為-0.09。

問題 3：車輛初始飛行到落地測量結果，飛行坡度為 5 度下坡，水平距離為 48 呎，垂直高度為 12.5 呎。

問題 4：當車輛行駛 70 呎的水平距離時，車輛飛行的垂直距離為 6.0 呎，車輛飛行時的坡度為-2%。

問題 5：車輛飛行角度為-5 度，行進 20 呎的水平距離並降落在比初始飛行位置低 6.0 呎。

問題 6：車輛從坡度為 0.07 的下坡飛行並降落在比初始飛行高度低 30.5 呎的位置。車輛到達初始落地點前共行駛了 68 呎的水平距離。

分析結果：

問題 1 當車輛飛行時之坡度 $\tan \theta$ 為-0.03，代入角度計算公式後，可計算得知 $\cos \theta$ 為 0.9995，在以車輛飛行水平距離 60 呎，垂直高度 8.2 呎，代入速度計算公式，可計算得知車輛初始飛行速度為 65 mph。

問題 2 當車輛飛行時之坡度 $\tan \theta$ 為-0.09，代入角度計算公式後，可計算得知 $\cos \theta$ 為 0.9959，在以車輛飛行水平距離 28 呎，垂直高度 13 呎，代入速度計算公式，可計算得知車輛初始飛行速度為 23.73 mph。

問題 3 當車輛飛行時之坡度為 -5° ，代入角度計算公式後，可計算得知 $\tan \theta$ 為 -0.0874 ， $\cos \theta$ 為 0.9961 ，在以車輛飛行水平距離 48 呎，垂直高度 12.5 呎，代入速度計算公式，可計算得知車輛初始飛行速度為 45.81 mph。

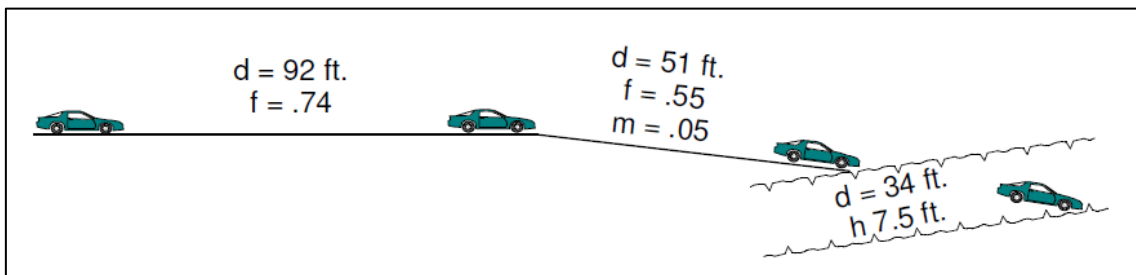
問題 4 已得知車輛飛行時之坡度 $\tan \theta$ 為 -0.02 ，代入角度計算公式後，可計算得知 $\cos \theta$ 為 0.9998 ，在以車輛飛行水平距離 70 呎，垂直高度 6 呎，代入速度計算公式，可計算得知車輛初始飛行速度為 89.29 mph。

問題 5 當車輛飛行角度為 -5° ，代入角度計算公式後，可計算得知 $\tan \theta$ 為 -0.0874 ， $\cos \theta$ 為 0.9961 ，在以車輛飛行水平距離 20 呎，垂直高度 6 呎，代入速度計算公式，可計算得知車輛初始飛行速度為 26.63 mph。

問題 6 當車輛飛行時之坡度 $\tan \theta$ 為 -0.07 ，代入角度計算公式後，可計算得知 $\cos \theta$ 為 0.9975 ，在以車輛飛行水平距離 68 呎，垂直高度 30.5 呎，代入速度計算公式，可計算得知車輛初始飛行速度為 36.68 mph。

3.8 車輛直行衝出路側+車輛飛行初始速度（上下坡）

案例說明：



一輛重為 3000 磅的車輛，先在瀝青混泥土滑行 92 呎，接者進入草地上滑行 51 呎，再衝出路側，亦即車輛進入飛行狀態（airborne），瀝青混泥土及草地之阻力係數分別為 0.74 及 0.55，草地之坡度為 -0.05% ，車輛飛行之水平距離為 34 呎，墜落

之垂直距離為 7.5 呎。

議題探討：

分別計算車輛開始進入飛行階段、開始進入草地與開始滑行時之速度；滑行於瀝青混泥土及草地所經過時間；以及車輛可於進入飛行階段前煞停之最大開始滑行速度。

分析結果：

此類問題可使用牛頓運動定律或動能守恆原理解析，以下利用動能守恆原理計算。

依序先計算車輛進入飛行階段前之車速，接者回推車輛進入草地之速度，再回推車輛開始滑行之速度。利用車輛飛行公式，將坡度換算為飛行之初始角度、車輛飛行之水平距離與墜落之垂直距離帶入公式，以求得開始進入飛行狀態之車速（38.92 mph），再將車種、摩擦係數以及煞車距離帶入動能守恆公式，求得行經瀝青混泥土與草地所消耗之功，進而計算開始進入草地與開始滑行時之速度，分別為 66.30 mph 以及 48.53 mph。

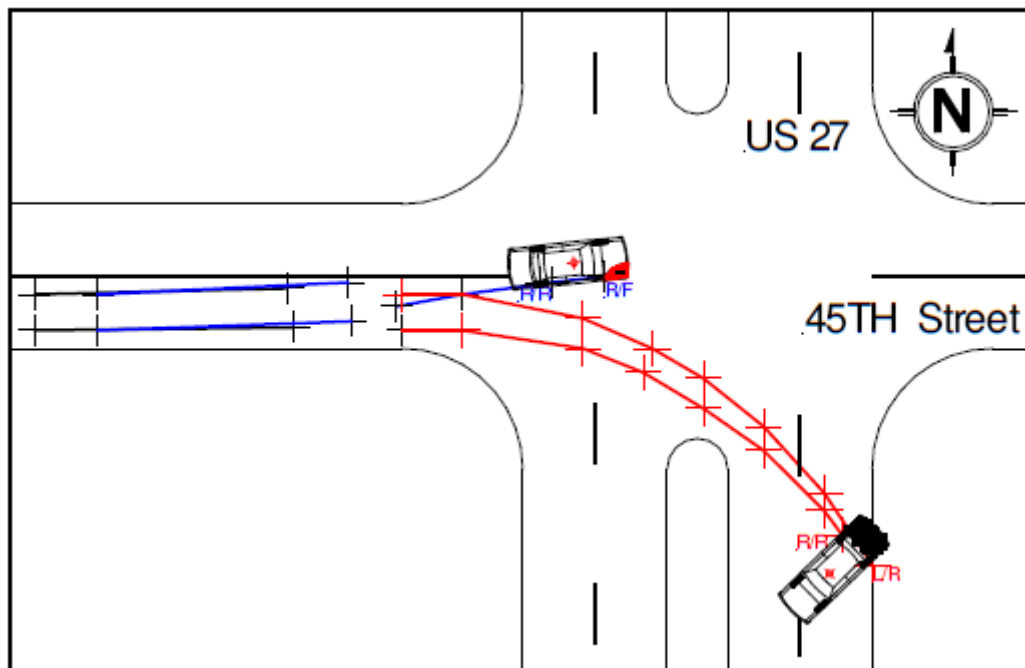
題目詢問滑行於瀝青混泥土及草地所經過時間，由上述所計算之各階段初始速度，以等加速度之時間計算公式，可求得行經瀝青混泥土及草地所經過之時間，分別為 1.092 秒與 0.795 秒。

題目詢問車輛可於進入飛行階段前煞停之最大開始滑行速度，即車輛進入飛行階段前速度為零，以能量的原理分析，車輛此時已無動能，故僅考慮行經瀝青混泥土及草地所消耗之功，加總後為 288390 ft.lb，利用動能守恆之速度計算公式，求得此對大速度為 53.7 mph。

3.9 動量守恆+現場測量繪圖

案例說明：

事故為美國境內 27 號國道高速公路和 45 街的交叉路口發生 2 車碰撞事件。



車輛 1 廠牌是 Mercury，車輛 2 廠牌是 Nissan。Mercury 停止於 45 街西行車道之東行方向路面上，而 Nissan 停止於 27 號國道高速公路的北行車道之西南方向路面上。

27 號國道高速公路是一條南北向各 2 車道的瀝青路面。測量後車道寬 12 呎。道路坡度為水平，摩擦減速係數平均值為 0.73。南北向車道中間有一 10 呎寬的草地隔離區。隔離區位置為交叉路口向後偏移 15 呎。車道內分隔線以白色虛線。美國 27 號國道高速公路上之限速為 50 mph。

45 街是一條東西向各單車道的瀝青路面。道路坡度為水平，摩擦減速係數平均為 0.73。測量後車道寬 12 呎。對向車道分隔線為雙實黃線。一個三時向雙面行

車管制號誌控制從西面進入交叉路口之交通。第 45 街之限速為 40 mph。

交叉路口路緣半徑為 20 呎。分隔區草地中線半徑為 5 呎。

Nissan 車輛駕駛表示，她是向東行駛，在交叉路口行車管制號誌為紅燈時停車。當時沒有發現 Mercury 車輛在車後方。

Mercury 車輛駕駛說他在第 45 街依規定限速向東行駛，當他駛近交叉路口時，他看到行車管制號誌出現綠燈。該駕駛進一步表示，他沒有意識到 Nissan 車輛沒有移動，直到踩煞車為時已晚。事故當時用力轉動方向盤將車輛向左轉彎，並踩下剎車，然後撞進 Nissan 車輛後方。

Mercury 車輛前方與 Nissan 車輛後方相撞。Mercury 車輛前方遭受之損壞造成該車右前輪從撞擊到停車時都鎖死。Nissan 車輛遭受之損壞造成後軸車輪從撞擊到停車時都鎖死。

兩輛車都是前輪驅動。兩輛車從碰撞後到停止時，駕駛皆為沒有轉向或踩煞車的情況。Mercury 車輛重 3000 磅，Nissan 車輛重 2000 磅。

Location : US Highway 27 and 45th Street
RP : Intangible at SW corner of US 27 and 45th Street
Base Line : S edge of 45th Street

現場各跡證位置紀錄如下表：

| Spot | Item | N | S | E | W |
|------|----------------------------------|-----|----|----|------|
| | | Ft | Ft | Ft | Ft |
| A | Begin Pre-Impact Skid, RR, Veh 1 | 3 | | | 81 |
| B | End Pre-Impact Skid, RR, Veh 1 | 4 | | | 38 |
| C | Begin Pre-Impact Skid, LR, Veh 1 | 8.5 | | | 81 |
| D | End Pre-Impact Skid, LR, Veh 1 | 10 | | | 38.5 |
| E | Begin Pre-Impact Skid, RF, Veh 1 | 3 | | | 71.5 |
| F | End Pre-Impact Skid, RF, Veh 1 | 4.5 | | | 28 |

| Spot | Item | N | S | E | W |
|------|-----------------------------------|-----|----|------|------|
| | | Ft | Ft | Ft | Ft |
| G | Begin Pre-Impact Skid, LF, Veh 1 | 9 | | | 72 |
| H | End Pre-Impact Skid, LF, Veh 1 | 10 | | | 28.5 |
| I | Begin Post-Impact Skid, RF, V-1 | 4.5 | | | 28 |
| J | Post-Impact Skid, RF, Veh 1 | 9 | | | 10 |
| K | Post-Impact Skid, RF, Veh 1 | 11 | | 5 | |
| L | Final Rest, RF, Veh 1-End of Skid | 10 | | 13.5 | |
| M | Final Rest, RR, Veh 1 | 10 | | 4 | |
| N | Begin Post-Impact Skid, RR, V-2 | 3 | | | 20.5 |
| O | Post-Impact Skid, RR, Veh 2 | 3 | | | 10 |
| P | Post-Impact Skid, RR, Veh 2 | 0 | | 10 | |
| Q | Post-Impact Skid, RR, Veh 2 | | 4 | 20 | |
| R | Post-Impact Skid, RR, Veh 2 | | 10 | 30 | |
| S | Post-Impact Skid, RR, Veh 2 | | 17 | 40 | |
| T | Post-Impact Skid, RR, Veh 2 | | 27 | 50 | |
| U | Final Rest, RR, Veh 2-End of Skid | | 31 | 53 | |
| V | Begin Post-Impact Skid, LR, V-2 | 9.5 | | | 20 |
| W | Post-Impact Skid, LR, Veh 2 | 9 | | | 10 |
| X | Post-Impact Skid, LR, Veh 2 | 5 | | 10 | |
| Y | Post-Impact Skid, LR, Veh 2 | 1 | | 21.5 | |
| Z | Post-Impact Skid, LR, Veh 2 | | 5 | 30 | |
| AA | Post-Impact Skid, LR, Veh 2 | | 13 | 40 | |
| BB | Post-Impact Skid, LR, Veh 2 | | 24 | 50 | |
| CC | Final Rest, LR - End of Skid | | 36 | 56 | |
| DD | Position of RF at Impact, Veh 2 | 3 | | | 10.5 |
| EE | Final Rest, RF, Veh 2 | | 36 | 45 | |

議題探討：

問題 1：Nissan 車輛碰撞後的速度？

問題 2：Mercury 車輛碰撞後的速度？

問題 3：Nissan 車輛撞擊當時速度？

問題 4：Mercury 車輛撞擊當時速度？

問題 5：Nissan 車輛速度變化 (Delta V) ？

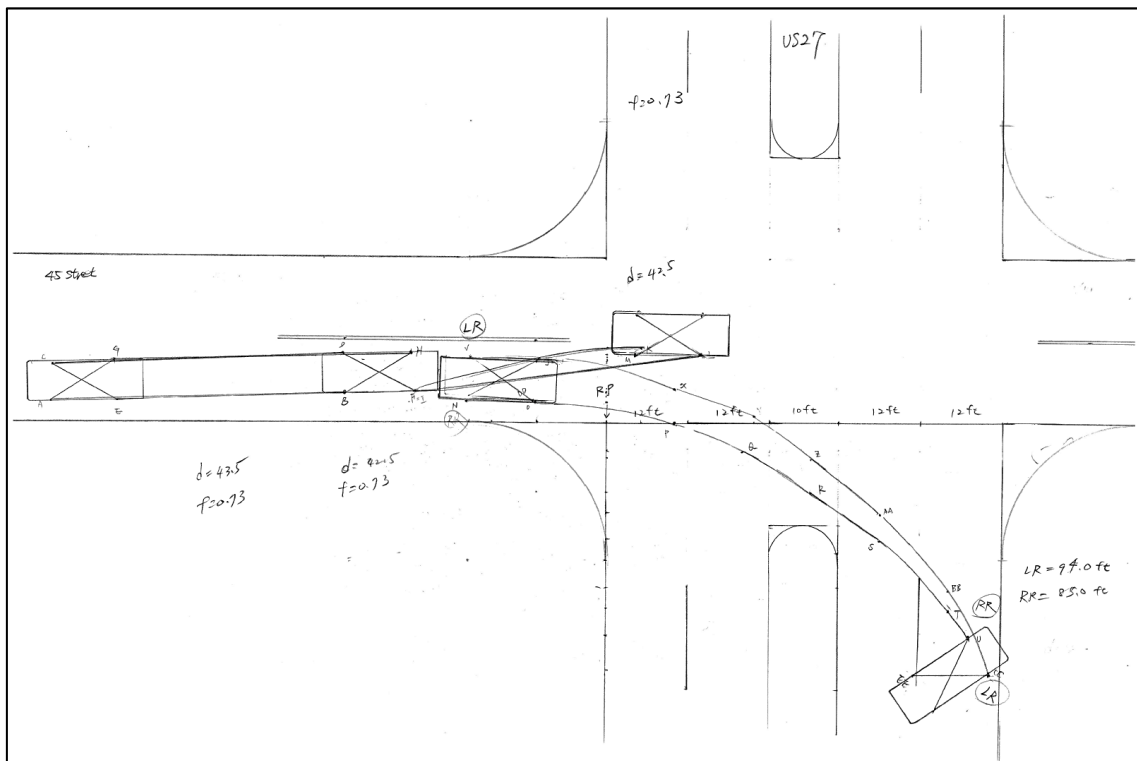
問題 6：Mercury 車輛速度變化 (Delta V) ？

問題 7：Mercury 車輛滑行到撞擊之時間？

問題 8：如果駕駛員的感知反應（perception/reaction）時間為 1.6 秒，當 Mercury 車輛駕駛對停止的 Nissan 車輛做出反應時，距碰撞點還有多少距離？

分析結果：

依據上述現場跡證紀錄，基準參照點（Reference Point）為事故地點之兩條道路在西南角的交叉點，完成等比例之事故現場圖如下：



首先建立兩輛車之基本計算條件，如車輛煞車損壞程度（N 值）、修正後之摩擦係數（f 值），再使用動能守恆公式，計算失效的煞車動能，相關計算後之數據如下：

Mercury 車輛為前輪驅動，重 3,000 磅，路面摩擦係數為 0.73，且右前輪因失效（N 值為 0.35）造成地面磨痕為 43.12 呎（量測上圖 F 點至 L 點距離），代入動能守恆公式，計算得知左前輪總動能量 W_k 為 32,384.62 ft.lb。

Nissan 車輛為前輪驅動，重 2,000 磅，路面摩擦係數為 0.73，右後輪因失效（N 值為 0.15）造成地面磨痕為 84.8 呎（量測上圖 N 點至 U 點距離），代入動能守恆公式，計算得知右後輪總動能量為 18,571.20 ft.lb；另左後輪也失效（N 值為 0.15）造成地面磨痕為 93.7 呎（量測上圖 V 點至 CC 點距離），代入動能守恆公式，計算得知左後輪總動能量為 20,520.30 ft.lb。故可求得 Nissan 車輛煞車總動能量 K_e 為 39,091.50 ft.lb（ $W_k R/R+W_k L/R$ ）。

問題 1 可依據 Nissan 車輛車重 2,000 磅，車輛煞車總動能量 K_e 為 39,091.50 呎/磅，代入動能守恆公式，計算得知 Nissan 車輛碰撞後之速度 S_4 為 24.21 mph。

問題 2 可依據 Mercury 車輛車重 3,000 磅，車輛煞車總動能量 K_e 為 32,384.62 呎/磅，代入動能守恆公式，計算得知 Mercury 車輛碰撞後之速度 S_3 為 17.99 mph。

問題 3 因 Nissan 車輛撞擊當時停止在交通管制號誌前，故速度 S_2 為 0。

問題 4 可依據 Mercury 車輛車重 3,000 磅，Nissan 車輛撞擊當時速度 S_2 為 0，Mercury 車輛碰撞後之速度 S_3 為 17.99 mph，Nissan 車輛碰撞後之速度 S_4 為 24.21 mph，代入線性動能守恆之追撞公式，計算得知 Mercury 車輛碰撞當時之速度 S_1 為 34.13 mph。

問題 5 可依據上述計算得知之 S_2 為 0、 S_4 為 24.21 mph，且 $\cos \beta = 1$ ，代入速度計算公式，可計算得知 Nissan 車輛速度變化（ ΔV ）為 24.21 mph。

問題 6 可依據上述計算得知之 S_1 為 34.13 mph、 S_3 為 17.99 mph，且 $\cos \theta = 1$ ，代入速度計算公式，可計算得知 Mercury 車輛速度變化（ ΔV ）為 16.16 mph。

問題 7 因已取得 Mercury 車輛撞擊之當時速度為 34.13 mph、路面摩擦係數為 0.73，且滑行距離為 43.12 呎，代入速度計算公式，計算後可得踩煞車當時之速度為 45.9 mph，再帶入時間計算公式，可計算得知 Mercury 車輛從煞車開始滑行到撞

擊時共花了 0.734 秒。

問題 8 當已知 Mercury 車輛於撞擊前之速度為 45.9 mph，而假設該車駕駛的感知反應時間為 1.6 秒，代入距離計算公式，可得知 Mercury 車輛駕駛距踩下煞車前還有 107.68 呎的距離，再加上煞車後滑行 43.12 呎，故可得知當 Mercury 車輛駕駛看到停止中的 Nissan 車輛並做出反應時，距碰撞點還有 150.80 呎。

4. 其他

4.1 燈泡檢查

本次課程除了車輛性能分析相關案例探討外，課堂中亦安排了燈泡損壞情形之特性介紹，可以藉由燈泡損壞的情形可以協助調查人員判斷事故發生過程中，事故車輛的燈具使用情形（開啟或關閉）。課堂中講師亦說明由於近年來 LED 及 HID 燈具已經逐漸取代傳統燈泡，故可能會越來越少機會可以用此課程所教授的方式，判斷事故車輛燈具使用情形，故簡單扼要地說明傳統燈泡的特性以及檢視的方式。

常用的鎢絲燈泡有以下 4 種破壞情形：熱衝擊（hot shock）、熱破裂（hot bulb break）、冷衝擊（cold shock）以及冷破裂（cold bulb break）。一般燈泡的燈絲材質為鎢，亦稱為鎢絲燈泡，透過通電提高鎢絲的溫度，同時使玻璃內抽真空的鎢絲發光，此時溫度可達華氏 3600 至 4000 度，此時若車輛發生撞擊，則在高溫的情形下鎢絲便發生變形，如圖 3-2（左）所示，稱為熱衝擊現象；若鎢絲燈泡在通電開啟的情況下受撞擊而造成燈泡破裂，此時如熱衝擊一般會造成鎢絲變形，同時因為鎢絲接觸空氣而發生氧化反應，如圖 3-2（右）所示，此稱為熱破裂現象；一般而言冷衝擊僅會發生在受力很接近（約 1 呎內）未發光燈泡的情況下，此時燈泡外觀玻璃未破裂而燈絲脫離燈絲支架，如圖 3-3（左）所示，此稱為冷衝擊現象；若受撞擊後之燈泡外觀玻璃發生破裂，則鎢絲與空氣接觸，在未通電的情況下鎢絲應該呈現光

亮而未氧化，如圖 3-3（右）所示，稱為冷破裂現象，此時要注意不可通電，一旦通電則會發生鎢絲燒毀的情形，應在燈泡受損後立即記錄其原始狀態。

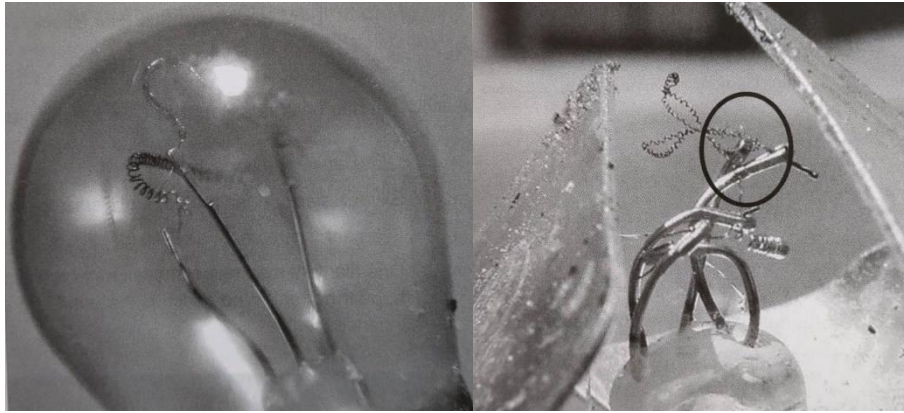


圖 3-2 熱衝擊（左）及熱破裂（右）現象

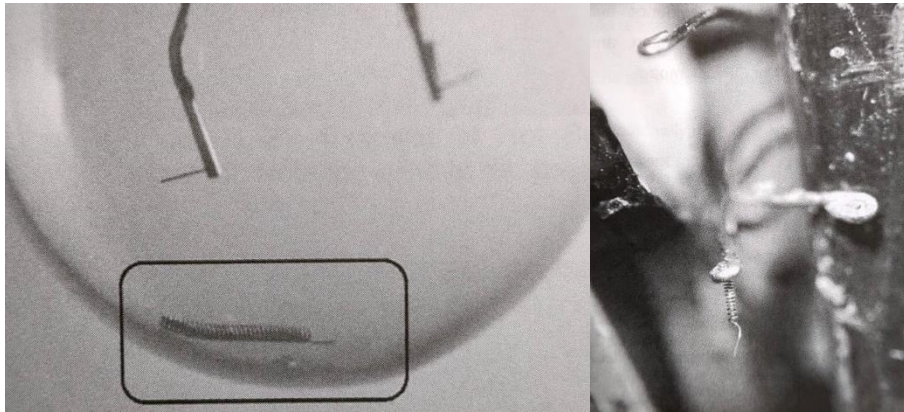


圖 3-3 冷衝擊（左）及冷破裂（右）現象

4.2 線性周長測量系統（Linear Perimeter Measurement System）

美國 80 年代初期，紐約州的事務重建專家開發了一套用於記錄車輛損壞及變形的測量系統，一般稱為線性周長測量系統。

此系統是利用能量損失原理結合角度空間來量化並計算車輛損壞過程與程度，測量系統會產出車輛損壞俯視比例圖，對車輛損壞分析和動力學評估非常有幫助。

以下為進行線性周長測量程序：

1. 在測量車輛周圍以皮尺建立一個方框或矩形，確保四個角均為直角。
2. 利用坐標式測量系統，由左上方開始以順時針方向進行車輛測量。建議每次都以相同的方向完成，以確保一致性。紀錄時應紀錄車輛四周、車輛輪胎及損壞區域之數字。損壞區域以 6 英吋為間距進行測量，未損壞區域則以 1 呎為間距進行測量。（測量成果如下圖 3-4）
3. 測量時之每個點，應與周邊的皮尺成直角，並由外向內測量車輛四周、輪胎及損壞區域，雖然不需進行高度測量，但原則應在一致的高度進行測量。

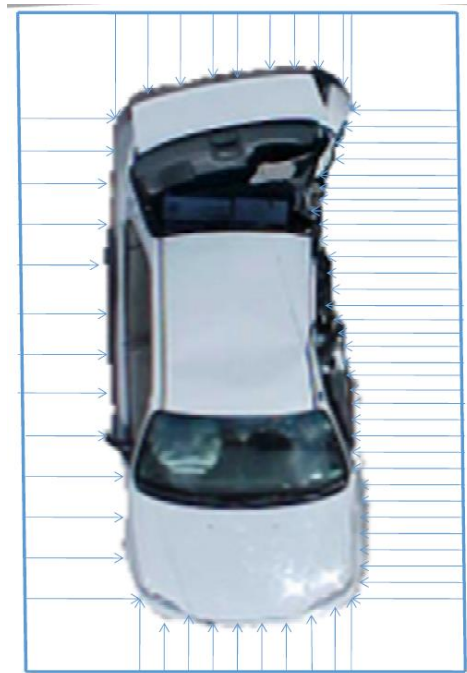


圖 3-4 測量成果示意圖

完成測量後可藉由車輛的原始尺寸資料（總長度、寬度、軸距及底盤系統）建構等比例的二維車輛圖，並將受損的車輛輪廓覆蓋疊加後，即可了解車輛的受損及變形量（如下圖 3-5）。

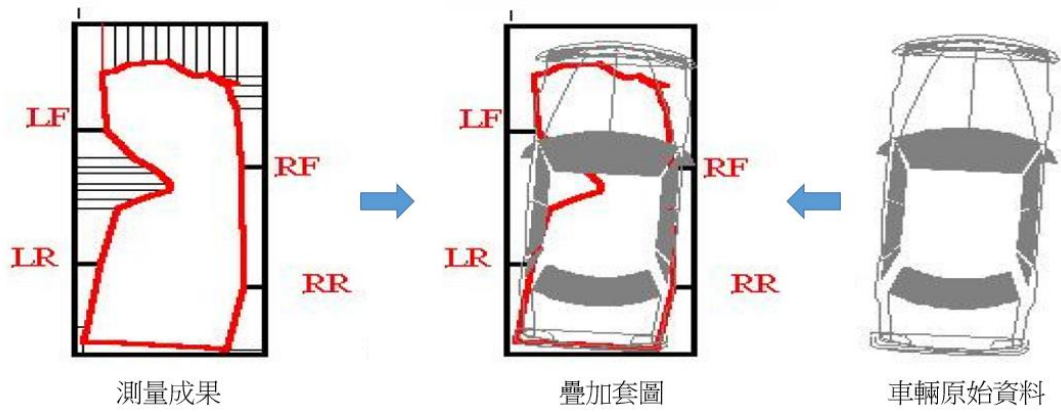


圖 3-5 套疊成果示意圖

4.3 測量實作課程

實作課程安排於郡內之汽車報廢廠，進行分組測量實作，各組測量完成後，依據量測結果自行繪製車輛損害圖。現場作業情形如下：



圖 3-6 測量實作現場情形

車輛損害測量實作紀錄如表 3-1，繪製成果如下圖 3-7。

表 3-1 車輛損害測量實作紀錄

| Vehicle Damage Report | | |
|------------------------------|---------------------------------------|---|
| Spot / Memo | Where Along the Baseline is the spot? | Measure in to the spot From the Bseline |
| START FRONT LEFT CORNER | 1' | 17.25" |
| | 2' | 13.25" |
| | 3' | 11.75" |
| | 4' | 11.0" |
| | 5' | 13.0" |
| | 6' | 16.50" |
| PASSENGER | 9' | 10.50" |
| | 10' | 10.50" |
| CENTER OF PASS. (FRONT) TIRE | 10.8' | N |
| PASS. SIDE A PILLER | 13' | 13.78" |
| | 13.5' | 19.50" |
| | 14' | 22" |
| | 14.5' | 23.75" |
| | 15' | 24" |
| | 15.5' | 24.5" |
| | 16' | 24.25" |
| PASS. SIDE B PILLER | 16.5' | 25.75" |
| | 16.8' | 24.50" |
| | 17.5' | 27" |
| | 18' | 24.25" |
| | 18.5' | 24.25" |
| | 19' | 22" |
| | 19.5' | 16" |
| | 20' | 11" |
| | 20.5' | 11.75" |
| BACK PASS. TIRE (AXLE) | 20.7' | N |
| | 21' | 13" |
| | 21.5' | 12" |
| | 22' | 10.75" |
| | 22.5' | 11.25" |
| END OF REAR BUMBER | 23' | 12" |
| BACK SIDE | 26' | 20.50" |
| | 27' | 20.25" |
| | 28' | 18" |
| | 29' | 18.25" |
| | 30' | 19.25" |
| BACK SIDE | 31' | 20" |
| END OF REAR BUMBER | 34' | 9" |
| | 35' | 7" |
| | 36' | 6.25" |
| | 37' | 5" |

| Vehicle Damage Report | | |
|-----------------------|---------------------------------------|--|
| Spot / Memo | Where Along the Baseline is the spot? | Measure in to the spot From the Bslene |
| REAR PASS. AXLE | 37.4' | N |
| | 38' | 5.75" |
| | 39' | 6.50" |
| | 40' | 6" |
| DRIVER B PILLER | 40.5' | 1.25" |
| | 41' | 1.25" |
| | 42' | 2" |
| | 43' | 2.25" |
| | 44' | 3" |
| DRIVER A PILLER | 44.5' | 5.50" |
| | 45' | 3.25" |
| | 46' | 4" |
| DRIVER FRONT AXLE | 46.6' | N |
| | 47' | 4.75" |
| | 48' | 9" |

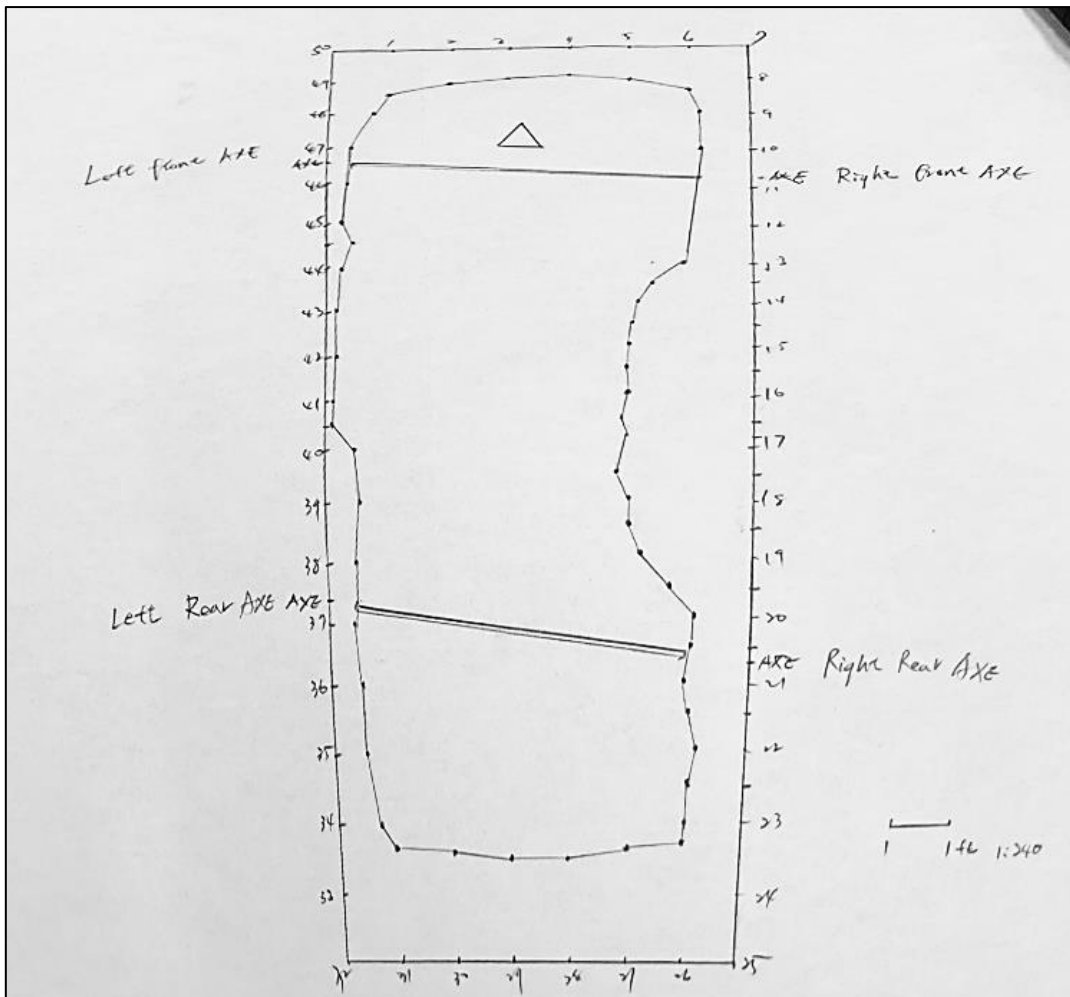


圖 3-7 車輛損壞繪製圖

5. 課程心得

本次出國進修完成後，除學習車輛性能分析於交通事故調查上的運用外，亦了解了美國與我國公路事故處理上的差異，美國警察分工較細膩，原則上縣市政府警察負責轄管範圍的交通事故，處理交通事故現場及基本現場資料收集，當交通事故發生於非縣市政府警察轄管範圍或是發生於洲際公路上時，事故則由州警處理，州警也是進行車輛性能分析的主要執法單位，於現場收集坡度、超高、轉彎半徑、煞車痕跡測量等作業後，再進行行駛速度或撞擊速度之分析。

而我國交通事故通常由縣市政府警察局轄下分局或派出所員警處理，基本上是處理交通事故現場及基本資料收集，填寫道路交通事故調查報告表（一般稱表一、表二），視情況將所收集資料提供給檢方進行後續肇責判定程序，但近年來負責處理交通事故的員警多已不判定肇責，而是當有爭議時，後續由肇事雙方交由鑑定會或覆議會處理。而本次上課過程中講師曾詢問學員是否有上法院見證（testimony）的經驗，大約有 3 至 4 名州警表示曾有出庭作證的經驗。

目前我國不分車種多數車輛皆有安裝行車紀錄器，交通事故發生後處理的員警經常可由車載行車紀錄器或路口監視影像了解事故過程，而在美國，絕大多數車輛皆未安裝行車紀錄器，且公路幅員廣大，公路上亦鮮少有監視器，為了重建事故現場發生事故的序列，了解事故發生時車輛之行駛速度或撞擊速度，故美國警察常需要以本課程中所教授的分析方式進行分析。

運安會過往的公路事故調查案中，大多數事故車輛亦皆有安裝行車紀錄器，在事故調查過程中可提供調查小組關鍵的影像資訊，例如事故發生過程、車輛行駛速度及撞擊速度等，但仍有事故是未有任何影像之情形，此時事故車輛於現場遺留的跡證，如車輛煞車狀態、煞車痕及車輛損壞情形等，就成為唯一且關鍵的資訊。即使事故車輛有安裝行車紀錄器，仍可利用本次所學習的車輛性能分析方法，計算事

故車輛行駛速度及撞擊速度，藉以比對行車紀錄器所推估之速度。

為進行事故車輛性能分析，透過本次課程，了解事故現場應收集及保留的資訊，經由課堂上的案例探討與計算練習，了解還原事故發生序列之分析方式，往後可實際運用在公路事故調查作業中。

肆、 建議

- 依據 IPTM 課程區分，本次課程所教授的事故車型皆為 4 輪之小客車，考量本會事故調查範圍多屬汽車運輸業大型商用車輛，將研析如何運用課程原理分析大型商用車輛事故之方法。
- 藉由不同面向之公路事故調查方式，可增進本會公路調查能量。建議可針對有關公路事故調查、事件數據紀錄器解讀及大型商務車輛事故調查等課程，持續派員參與訓練。
- 為了研析重大事故現場事故車輛之行駛與撞擊速度，建議購置加速度儀，規劃進行不同車種之煞車試驗，並考量不同環境條件(如坡度、超高、轉彎半徑等)，進行車輛性能分析。

參加美國北佛羅里達大學附設警察科技及管理研究所「進階公路事故
調查」課程報告

服 務 機 關：國家運輸安全調查委員會

出 國 人 職 稱：公路調查組次席調查官

姓 名：蕭牟淵

出 國 人 職 稱：公路調查組次席調查官

姓 名：日智揖

出 國 地 區：美國

出 國 期 間：民國 111 年 12 月 05 日至 12 月 16 日

報 告 日 期：民國 112 年 03 月 01 日

建議事項：

| | 建議項目 | 處理 |
|---|---|---|
| 1 | 依據 IPTM 課程區分，本次課程所教授的事故車型皆為 4 輪之小客車，考量本會事故調查範圍多屬汽車運輸業大型商用車輛，將研析如何運用課程原理分析大型商用車輛事故之方法。 | <input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行 |
| 2 | 藉由不同面向之公路事故調查方式，可增進本會公路調查能量。建議可針對有關公路事故調查、事件數據紀錄器解讀及大型商務車輛事故調查等課程，持續派員參與訓練。 | <input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行 |

| | | |
|---|--|---|
| 3 | <p>為了研析重大事故現場事故車輛之行駛與撞擊速度，建議購置加速度儀，規劃進行不同車種之煞車試驗，並考量不同環境條件（如坡度、超高、轉彎半徑等），進行車輛性能分析。</p> | <input type="checkbox"/> 已採行 <input checked="" type="checkbox"/> 研議中 <input type="checkbox"/> 未採行 |
|---|--|---|