

主辦單位:內政部營建署



承辦單位:臺大嚴慶齡工業研究中心



協辦單位:臺灣大學土木工程學系

道路與自行車道平坦度量測品質提升教育訓練

你為何而來?

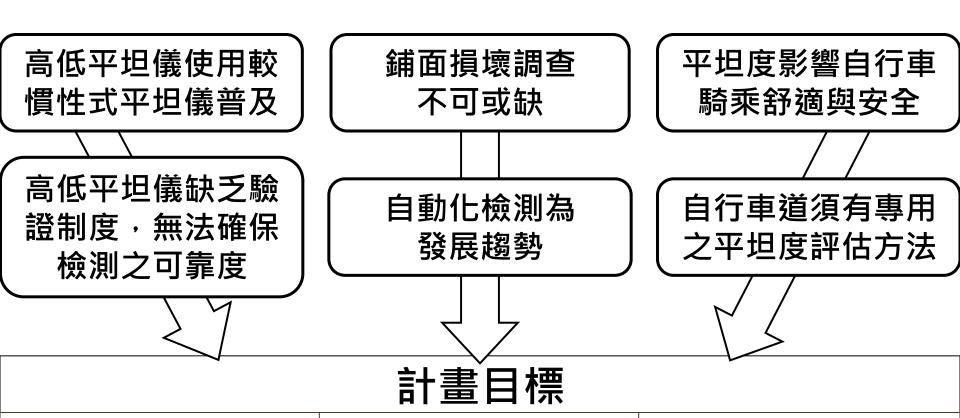
計畫緣起



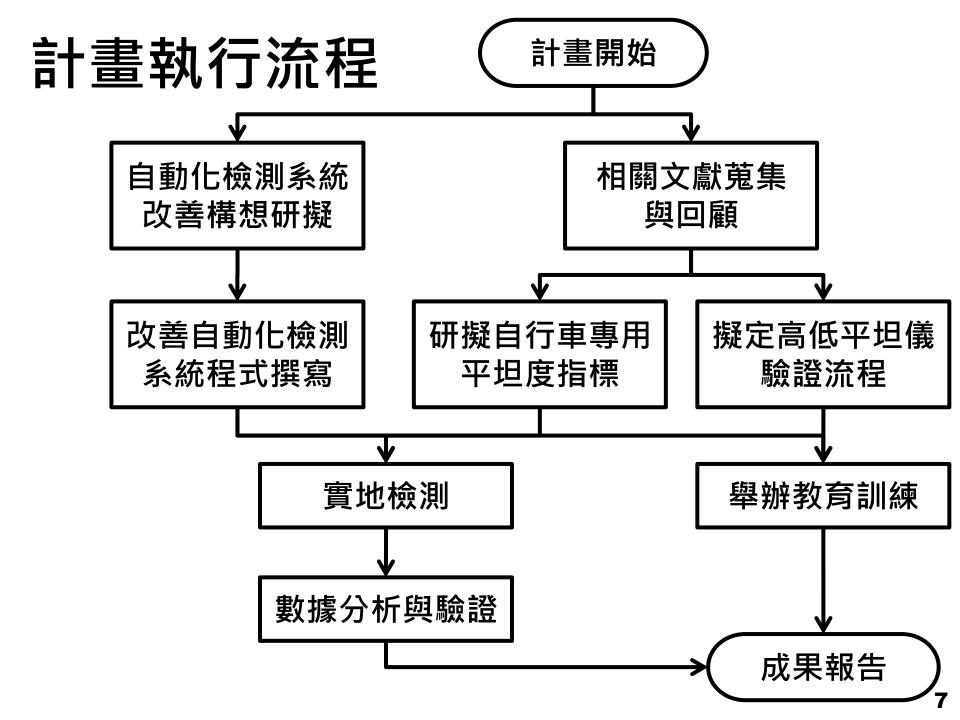
計畫緣起

- ■為提升道路與自行車道平坦度量測品質,加強檢測能量與可靠度
- ■內政部營建署於民國100年度委託台大嚴慶齡工業研究中心團隊,執行研究計畫「鋪面損壞自動化辨識功能擴展與自行車道鋪面績效門檻之開發建置」

本計畫目標



一、研擬高低平坦 儀驗證流程與方法 二、擴展鋪面損壞 自動檢測系統之評 估與分析功能 三、研發自行車道 鋪面平坦度檢測設 備及評估指標



為何要辦教育訓練?

教育訓練是政策推廣和

是 美國國家公路機構(National Highway Institute, NHI)每年均定期開授運輸工程、 十木工程相關課程,以提供工程人員培

研究團隊近十年於承辦內政部營建署計畫期間,於各計畫中普遍規劃有教育訓練課程,希望由教育著手喚起產、官界對於鋪面相關課題之重視

執行方式與目的

- ■雙向溝通
 - □就研究單位所提出之想法進行討論, 以確定研究方向於未來執行時之可行 性與實用性
 - □就課程進行方式與內容給予回饋,以 利改進
- ■鋪面相關概念之強化與統一

本次課程內容規劃

- ■認識平坦度之意義、常用儀器與指標
- ■認知高低平坦儀之儀器構造、特性、可能之誤差來源和其影響
- ■學習高低平坦儀驗證之重要性、驗證 程序及評估標準
- ■掌握平坦度標準對自行車道平坦度驗 收與使用之重要性,並了解其平坦度 指標概念及驗證方式

課程時間表

9:30-9:40	課程背景說明
9:40-10:25	道路平坦度指標與量測儀器
10:25-10:40	休息
10:40-11:25	高低平坦儀驗證方法(I)
11:25-11:40	休息
11:40-12:25	高低平坦儀驗證方法(II)
12:25-13:40	午餐
13:40-14:30	自行車道平坦度評估方法
14:30-14:50	休息
14:50-15:50	儀器展示及示範
15:50-16:30	綜合討論 11

高低平坦儀驗證方法 (I)

高低平坦儀驗證之必要性

國內路面平坦度驗收儀器

- 慣性剖面儀
 - 量測迅速,但價格昂貴,在我國普及性仍較低
 - 有CNS驗證標準
- 直規式
 - 一三米直規-歷史久、價格較低,但笨重需人工搬動、 檢測速率低
 - 高低平坦儀-傳統三米直規之改良型,有滾輪可推動,檢測速率較快,為目前我國主要之路面平坦度 驗收儀器

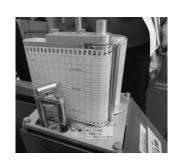
高低平坦儀驗證之必要性

平整度標準差只要有很小的差距,就會造成很大的影響,有必要提升儀器之可靠度

交通部公路總局瀝青混凝土路面平整度付款百分率

平整度標		
一般公路 設計速率<80km/hr	快速公路 設計速率≧80km/hr	付款百分率(%)
2.8mm以下	2.4mm以下	100
2.9mm		99
3.0mm	2.5mm	98
3.1mm	2.6mm	96
3.2mm	2.7mm	94
3.3mm		92
3.4mm	2.8mm	90
大於3.4mm	大於2.8mm	不接受

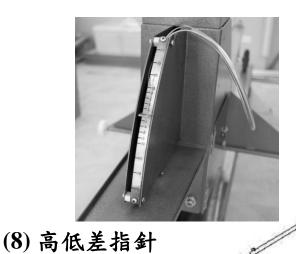
機械式高低平坦儀之構造



(9) 自動紀錄器

(9)

(7)



(6) 推動把手



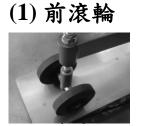
(7) 齒輪系統

長度 3m

(5)後滾輪(方向輪)



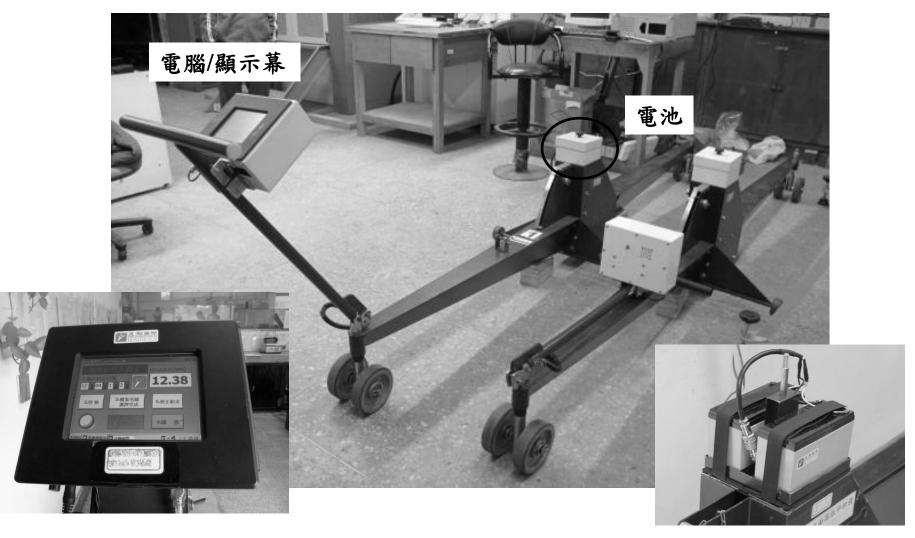
(3) 輔助輪



(4) 檢測輪



電子式高低平坦儀之構造



2012/4/27

量測原理與操作方式

- 屬於剖面式(斷面式)平坦儀
- 量測沿測線之單點高低差,並非真實剖面
- 檢測人員控制推進把手推動儀器
- 過程中儀器上的畫筆會同步劃記 沿測線之單點高低差

ION	- 12	DE	PRESS	ION	20			DE	PRESS	ION		2		
	15				10						0	10		
	- En-	115			€n-					44		- ton-		
S	o and Dayman	Vinc.	METRI	ES	 710 ·	-	an from	 -	METR	S	Some	W SPC	_	
	- G1-				-cn-							-cn-		
	10				5						- 50	5		
ON	20	EI	EVAT	ON	20			EI	EVAT	ON		20		



量測原理與操作方式

- 以電壓值反映檢測輪之高低起伏,再轉換為單點 高低差讀值
- 每次開始檢測前均需提供儀器電壓轉換之參數值
- 每秒固定頻率擷取電壓資料(記錄的數字可能不 是正好1.5m處之讀值)
- 檢測速度愈慢,資料間隔愈密

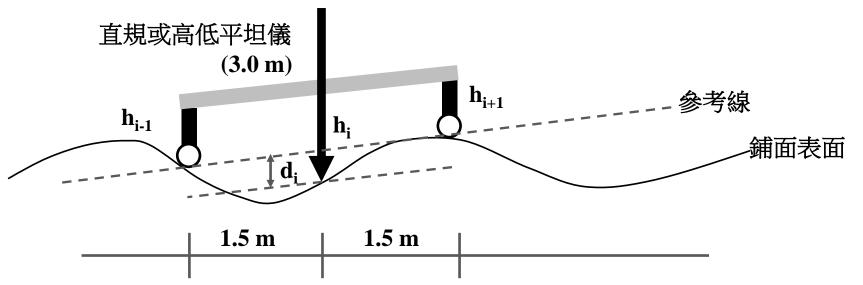




單點高低差(d)之意義

- 以三米直規或高低平坦儀量測而得
- · 沿起點開始每1.5m讀取中點路面與兩接觸 點連線間之高度差
- 反映路面高低起伏之程度

$$d_i = h_i - \frac{1}{2}(h_{i-1} + h_{i+1})$$



指標計算-標準差(σ)計算方法

- 由量得之單點高低差(d)算出高程標準差(σ)
- 用途:檢視受測路段各處之高程差異是否一致
- 計算方法:統計法、全距法

統計法:統計學上計算標準差之方式

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d^2 - \frac{\left(\sum d\right)^2}{n}}{n-1}}$$

σ為平整度標準差(mm)

d為量測讀值,即測得之單點高低差(mm)

n為該次量測之資料筆數

全距法:可由簡單計算獲得標準差而開發出之近似估算式

$$\sigma = \frac{\overline{R}}{\overline{d}_2}$$
 R為全距,即各組數據中最大值與最小值之差 將各組之 R 計算平均,即為平均全距 \overline{R} d_2 為統計係數,和各組之樣本大小 (n) 有關

樣本大小(n)	6	7	8	9	10
\mathbf{d}_2	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078

平坦度檢測時之誤差來源

外在環境影響

隨機 誤差 系統 誤差

人為 誤差

誤差

因操作和計算 程序而引起

高低平坦儀之誤差來源

高低平坦儀之 誤差來源

系統誤差 (儀器本體引起)

人為誤差 (操作過程造成) 不能正確歸零

膠輪變形或磨損

無法正確顯示或記錄

推動儀器時偏離測線

數據判讀或計算有誤







- 未能正確歸零的原因:
- 1. 輪上有異物或髒汙
 - 使用前應先擦拭清潔檢測輪,確認轉動順暢
- 2. 內部彈簧卡住,運作不順暢
 - 重複提起、放下檢測輪2~3次,檢查問題是否可排除
- 3. 儀器本體未保持水平
 - 調整前滾輪,直到指針歸零
 - -鎖緊前滾輪後,需確認指針仍然歸零



使用前,應將檢測輪擦拭乾淨並確認轉動順暢

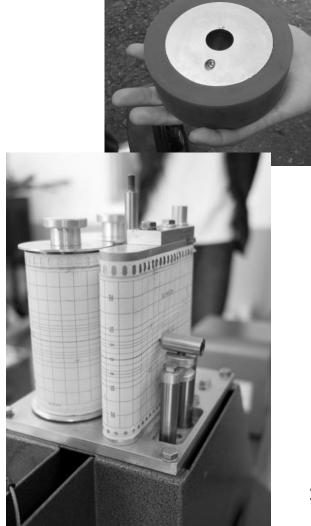


調整前滾輪處高度, 使儀器本體保持水平



搬動儀器後, 應重複提起、放下檢測輪, 確認內部彈簧未卡住

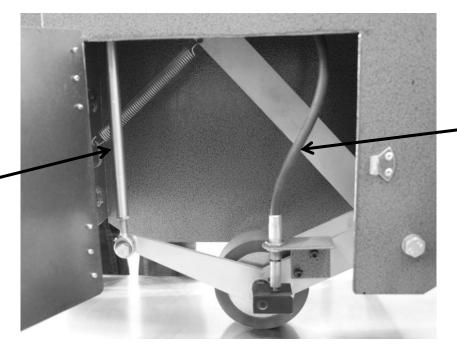
- 指針顯示位置不正確
 - 膠輪變形或磨損
 - 一檢查檢測輪是否保持圓形(量 測兩不同方向直徑)
- 畫筆劃記位置不正確
 - 畫筆是否已正確安裝?
 - -畫筆應垂直於紙面並調整至特定之起始格位



- 檢查指針和畫筆的對應性:
 - 一儀器水平狀態下,拉動檢測輪使指針提升 到特定的刻度,檢查畫筆是否也提高到相 對應的刻度
 - -若畫筆無法移動到與指針相對應之刻度, 表示儀器內部出現問題,可能有零件鬆脫、 斷裂,或需要更換,建議請原廠做進一步 之檢修

系統誤差可能原因—機械式與電子式 高低平坦儀之差異

檢測輪與指針、畫筆間 之連動桿



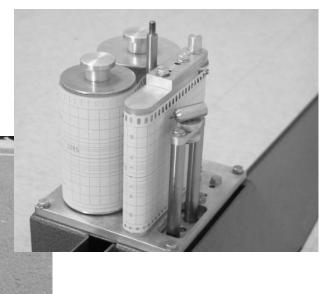
控制紙捲 轉動之傳 輸線

- 機械式高低平坦儀係由檢測輪同時帶動指針、畫 筆和紙捲記錄器
- 電子式高低平坦儀的數據精準度以電腦螢幕上之 讀值為準,若顯示不正確,應送回原廠檢修

- 檢測時無法順暢記錄(指針不會動、畫筆不 會動等狀況)
 - 畫筆是否卡住?
 - 內部是否有零件鬆脫或斷裂?

螺絲不可鎖太緊,以免 畫筆無法順暢移動





• 紙捲上劃記之水平距離與實際不符合

-水平距離與實際不符為 人為誤差+系統誤差綜

合引起

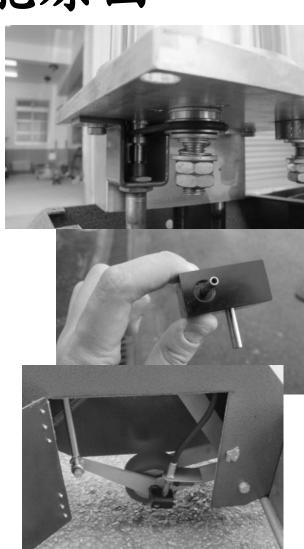
• 在人為誤差部份:

高低平坦儀以人力推動, 且僅由方向輪控制推進方 向,很難保證檢測輪可保 持完全筆直地前進

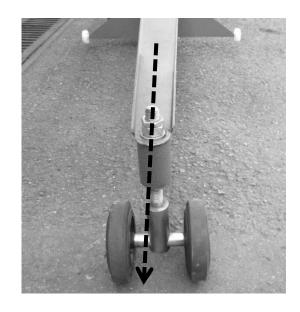


- 推動時紙捲之轉動不順暢(忽快 忽慢、斷斷續續)
 - 紙捲是否有裝妥?
 - 可能是橡皮圈斷裂或彈性疲乏
 - 齒輪比不正確(需更換零件)
- · 若畫筆和紙捲轉動均順暢,則可能是檢測輪有變形磨損,輪周長變小





- 高低平坦儀可拆成2或3截,以便於搬運
- 建議每次重新組裝後,至少應檢查是否可正 確歸零
- 開始檢測前,需將前輪方向調整為筆直向前







- 存放時,可將高低平坦儀架 高降低膠輪受壓變形程度
- 搬運時務必以卡榫固定檢測 輪,避免檢測輪晃動





- 高低平坦儀之搬運
 - 應盡量避免拆卸搬運
 - 在車上需妥善固定,並以帆布覆蓋
 - 電子式儀器搬動時要特別注意平衡



- 推動儀器時之注意事項:
 - -電子式高低平坦儀有速度接收上限,約 5km/hr
 - 一無論電子或機械式,推動時之速度以三個輪都能維持與地面接觸為原則
 - -理想時速約2~3km/hr
 - 一坡度和彎道會對儀器造成影響,但各單位 均有詳細規定可免測平坦度路段之條件

- 造成電子式高低平坦儀當機的可能原因:
 - 曝曬於陽光下溫度過高造成熱當
 - 濕氣太重造成短路
 - 一檢測中途發生程式無法處理之狀況,例如:通 過路口時長時間等待號誌變換、檢測中途檢測 輪跳起、數據接收期間忽然將檢測輪提起
- 機械式高低平坦儀檢測過程中之數據紀錄:
 - 須特別注意數據劃記速度是否連續、規律
 - 紙捲捲動和畫筆上下移動之動作應順暢,不會 停頓或卡住

電子式和機械式儀器之比較

機械式

電子式

優

點

天候限制小,不當機

檢測時可直接看到結果

重量較輕

優

點

數據解析度較高

數據電子化處理

可連續檢測較長距離

缺

點

判讀數據費時費力

讀取時有人為差異

需更換紙捲

缺

天候限制較大(可能當機)

點

儀器重量較重

搬運時較不方便

本節課程重點彙整

- 高低平坦儀測得之數據為單點高低差,並 非真實剖面
- 高低平坦儀的量測指標有單點高低差及平 整度標準差兩種
- 我國目前多使用全距法計算平整度標準差, 但統計法可能比全距法更為適用
- 高低平坦儀之準確性影響驗收結果,故儀器驗證相當重要

本節課程重點彙整

- 誤差來源可分為:隨機誤差、人為誤差、 系統誤差
 - 對於檢測環境之選擇可排除隨機誤差
 - 對於人員操作之訓練可排除人為誤差
 - 對於儀器之保養檢修可排除系統誤差
- · 驗證工作進行之目的為檢驗是否已將系統 誤差及人為誤差降低至一定程度
- 儀器經驗證通過後,可避免因不信賴儀器 而引起之爭議

高低平坦儀驗證方法研擬

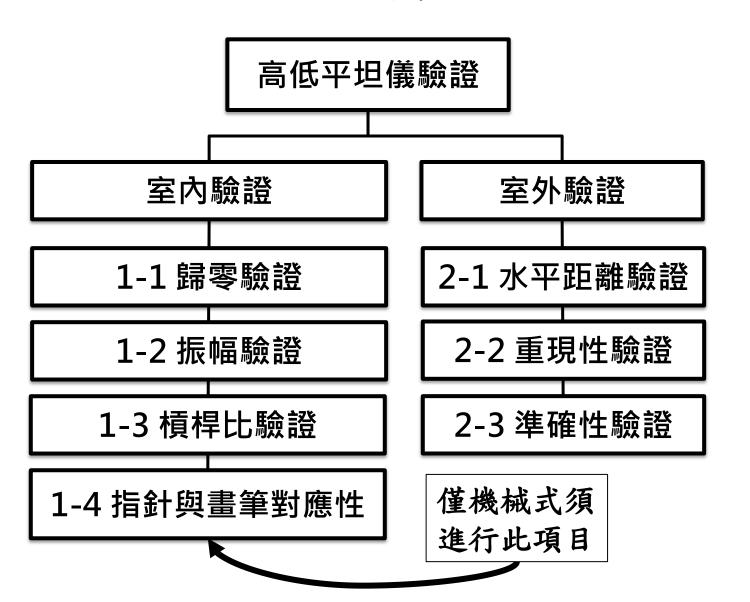
- 100年11月6日提送草案至營建署
- 101年3月份,台大團隊與公路總局共同合作,完成草案各步驟之實做測試,確認各步驟可正確執行
- 測試地點:
 - 室內-公路總局材試所、公路總局一區工程處
 - 室外-台灣大學平坦儀驗證中心
- 後續將針對草案中之門檻值進行更深入之討論,確定其合理可行

高低平坦儀驗證方法 (II)

高低平坦儀驗證方法研擬

- 口研擬基礎:
 - 張孟孔(2008)之研究
 - ■公路總局材料試驗所現行方法
 - CNS 15371 鋪面量測用慣性剖面儀驗證法
- □已完成「鋪面量測用高低平坦儀驗證法 (草案)」於100年11月6日提送營建署。

驗證項目



驗證項目意義

- 1-1 歸零驗證:確認儀器是否可正確歸零
- 1-2振幅驗證:當檢測輪產生位移時,指針(或 螢幕)是否可同步移至(或顯示)正確數值
- 1-3 槓桿比驗證:確認當前後輪間連線斜率改變時,指針(或螢幕)可同步移動(顯示)正確數值
- 1-4 指針與畫筆對應性(電子式免做此項):確認書筆可確實移動至指針所指之對應位置,即可正確記錄檢測輪之上下振幅位移

驗證項目意義

- 2-1 水平距離驗證:行進時,記錄器上之紙捲 必須要能正確配合儀器之行進捲動,電子 式之距離紀錄必須要正確
- 2-2 重現性驗證:儀器對同一標的物重複進行 量測時,每次量測均穩定、集中
- 2-3 準確性驗證:量測出之單點高低差與參考 剖面換算為單點高低差之結果接近,即量 測結果可視為「準確」

高低平坦儀驗證草案內容

- 1. 適用範圍:本標準規定量測鋪面用之機械式高低平坦儀之驗證方法
- 2. 引用標準

CNS 8092 規矩塊

CNS 15371 鋪面量測用慣性剖面儀驗證法 CNS 7794 熱軋成形不銹鋼型鋼

3. 要義與應用:包含高低平坦儀量測功能驗證所需之設備、程序及合格標準

4. 用語釋義

4.1 高低平坦儀

係指以直規原理量測地面之單點高低差之儀器。量測時以人力步行推進,並以機械構造 將測得之數值予以呈現和記錄

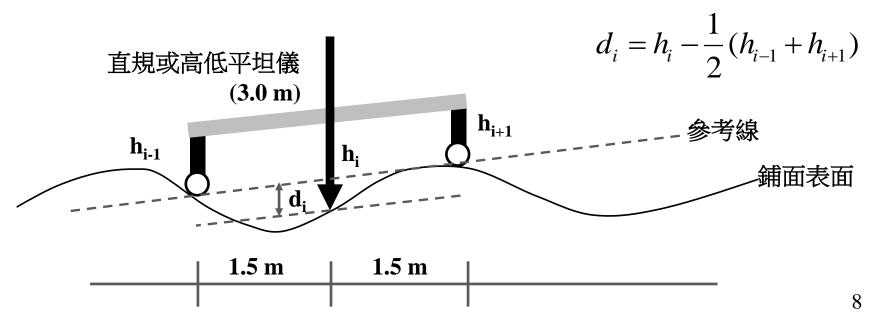




4. 用語釋義

4.2 單點高低差

即以高低平坦儀測得之直規中點處地面與直規前後兩端連線之高度差,其物理意義如圖所示,並可以公式表示



4. 用語釋義

4.3 交叉相關係數

係表示任意二組數據相關程度,須經統計 學之交叉相關分析獲得

交叉相關係數 (Cross-Correlation Functions)

- 範圍介於0~1之間
 - 數值越大代表二組數據相關性越高
 - ①表示兩組數據間完全獨立無關聯性,1則表示完 全相依有絕對之關聯性
- 可使用統計軟體運算而得
- 驗證法(草案)中以交叉相關係數判斷重現性與準確性

- 5.1 高低平坦儀量測設備之組成
 - ■高低平坦儀主體長度為三公尺
 - ■前後各裝有一組剛體膠輪,儀器主體中央有一 檢測輪
 - ■機械式儀器之檢測輪和齒輪系統帶動儀器上之 讀值指針及儀器上之自動記錄器進行量測及記 錄
 - ■電子式儀器則以電壓差反映檢測輪之高低起伏,轉換為數位數據於螢幕上顯示並予以記錄

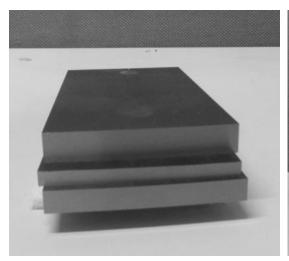
5.2 驗證平台

- ■平台為進行高低平坦儀驗證 時須使用之設備
- 以符合CNS 7794之尺寸25 cm*25 cm H型鋼製成
- ■長度應超過三米,底部可加 裝輪子及高度調整螺桿
- ■上翼版表面之平整度全長應 在±0.1 mm內



公路總局材料試驗所 之校正平台

5.3 規矩塊 (亦稱塊規) 符合CNS 8092規定之0級,標稱厚度8 mm、12 mm、16 mm各一塊







- 厚度設計配合高低平坦儀之指針刻度,與目前公路總局塊規厚度不同
- 大小需可穩固放置高低平坦儀之前後輪與檢測輪

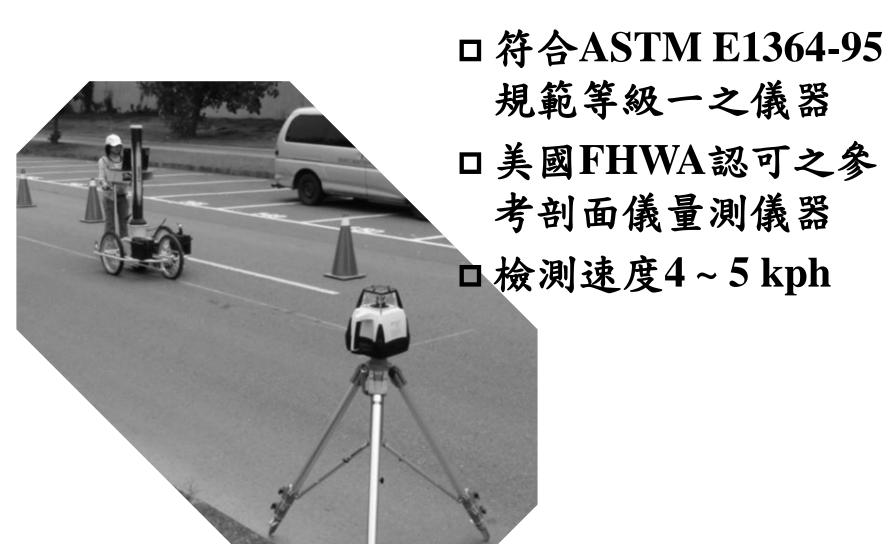
5.4 参考剖面量測設備

包括水準尺及水準儀、步進式平坦儀、或自動式水準尺及水準儀(Auto Rod and Level),須符合CNS 15371中對參考剖面量測設備之要求

5.5 距離量測設備

經由可追溯至國家量測標準之標準件校正之鋼捲尺、皮捲尺或光學測距儀器

自動水準儀(Auto Rod and Level)



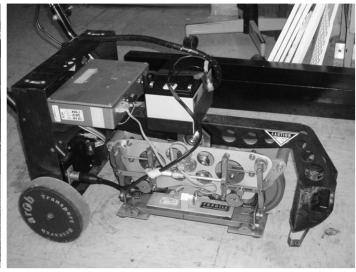
步進式平坦儀(Walking Profiler)

- 口澳洲道路研究委員會ARRB所生產
- □每24.13cm連續量測路面高程
- 口高程誤差小於0.01mm,

口人力推動,檢測速度約0.8kph







6.1 歸零驗證

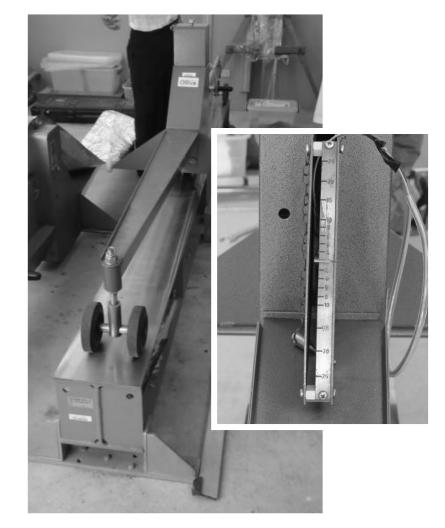
- 以水準尺或水準儀確認驗證平台 表面為水平
- ■將高低平坦儀置於驗證平台上
- ■檢查儀器之指針是否確實歸零

電子式儀器 開機,直接 看螢幕上的 讀值即可





6.1 歸零驗證



電子式儀器四捨五入到小數第一位 後數值正確 (±1mm內)即可通過

图 " 载 上午 10:04

路血高低差(mm)
0.00

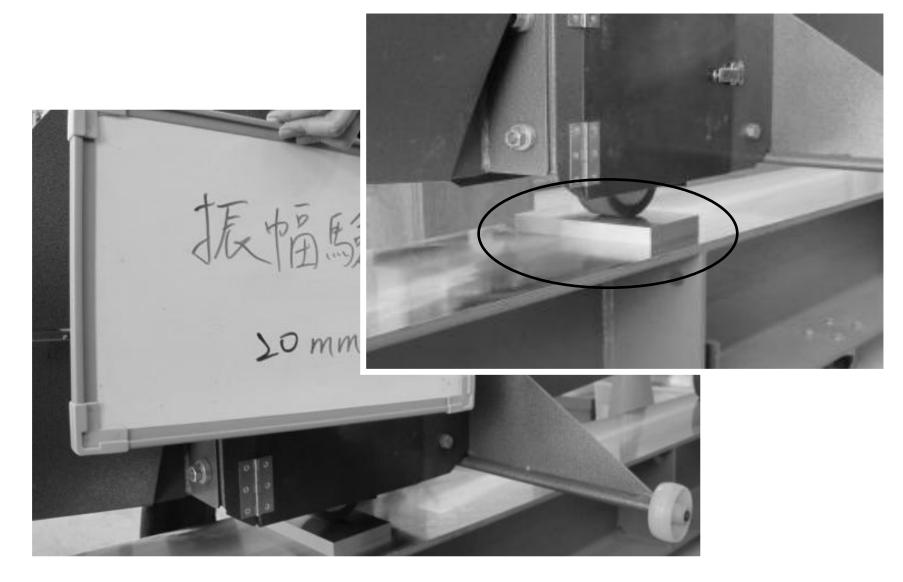
5.校正結束

6.2 振幅驗證

- ■以水準尺或水準儀確認驗證平台 表面為水平
- ■將高低平坦儀置於驗證平台上
- ■確認儀器之指針歸零
- ■於檢測輪下依序放入標稱厚度8 mm及20 mm之塊規, 指針須依序移至對應之8、20刻度位置
- 移除所有塊規,檢查指針是否歸零
 - 口電子式儀器四捨五入到小數第一位後數值正確 (±1mm內)即可通過



6.2 振幅驗證





6.3 槓桿比驗證

- ■以水準尺或水準儀確認驗證平台表面為 水平
- ■將高低平坦儀置於驗證平台上
- ■確認儀器之指針歸零,裝入記錄紙和畫筆,並將畫筆調整至0刻度之格位
- ■於前滾輪下依序放入標稱厚度8 mm、12 mm、16 mm及20 mm之塊規,指針和畫筆均須依序移至對應之-4、-6、-8、-10刻度位置

- 移除所有塊規,檢查指針和畫筆是否均歸零
- 改於後滾輪(方向輪)下依序放入標稱厚度 8 mm、 12 mm、16 mm及20 mm之塊規,指針和畫筆均須依序移至對應之-4、-6、-8、-10刻度位置

■ 再次移除所有塊規,檢查指針和畫筆是否仍保持

歸零

抬起平坦儀可能造 成內部彈簧卡住, 應重複提放檢測輪 數次再確認歸零



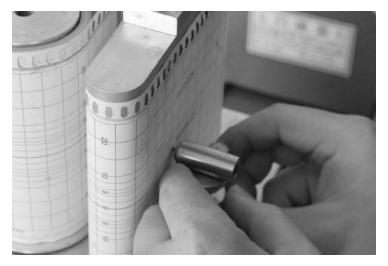


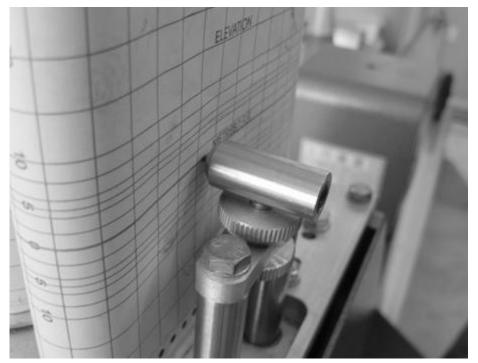
- 6.4 畫筆與指針對應性(僅機械式儀器須執行)
 - ■於檢測輪下依序放入標稱厚度8 mm、20 mm之塊規
 - ■確認指針和顯示器上之數值均依序移至 對應之8、20刻度位置並顯示對應之數值

6.4 指針與畫筆對應性



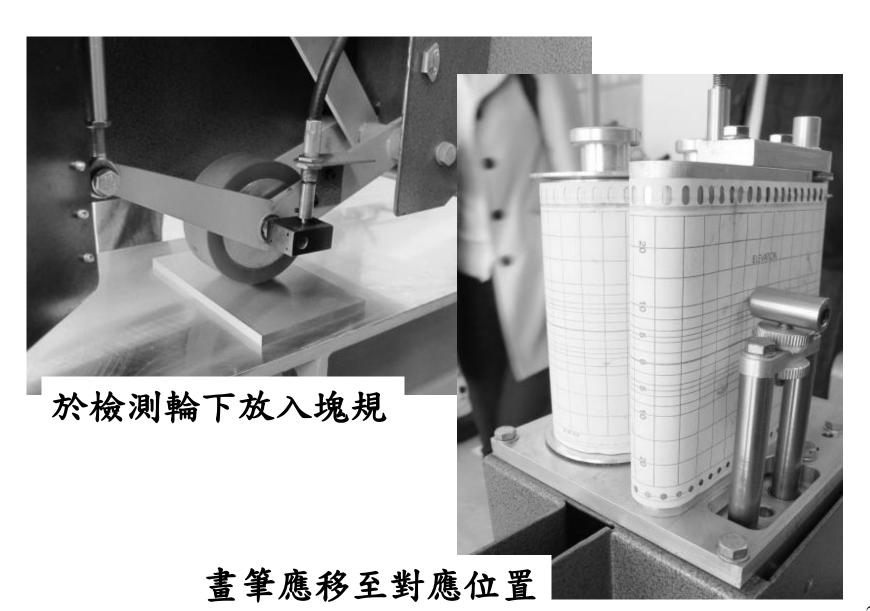
裝上紙捲





調整畫筆位置到特定格位(中央0位置)

6.4 指針與畫筆對應性



7. 室外驗證

- 7.1 驗證區段與單點高低差參考值
- 口驗證區段
 - ■驗證用區段應以5.5節規定之距離量測設備衡定 長度為150 m
 - 須為直線路段,並應避免有明顯之縱向坡度變 化,並應避免有人孔蓋或明顯之鋪面損壞情形
 - 以適當方式於驗證區段上標示出一直線路徑做 為驗證路徑

另可於測線上每間隔適當距離(例如10m或 50m)劃設一標記,以做為推動儀器時之參考

驗證用區段準備情形



台灣大學鋪面平坦儀驗證中心

7. 室外驗證

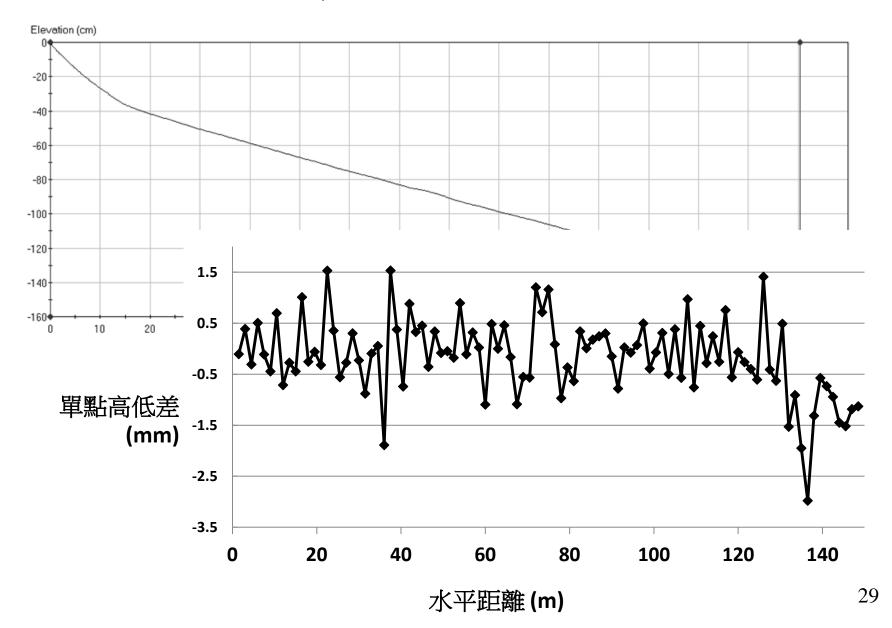
- 口單點高低差參考值建立步驟
 - ■於驗證區段上,按CNS 15371 規定之參考剖面建立方式建立。
 - ■手動或使用軟體計算出沿驗證 區段測得之參考剖面每1.5 m 處之單點高低差,共可獲得 100筆單點高低差數值。
 - ■單點高低差之計算方式如4.2 節與(1)式。



参考剖面建立

- □ CNS 15371慣性式剖面儀精準度驗證試驗
 - ■使用國際公認之高準確性儀器
 - 口水準尺及水準儀、步進式平坦儀、或自動式水準尺及水準儀(Auto Rod and Level)
 - 重複三次量測同一測線高程
 - ■三次量測達到交叉相關係數0.92以上
 - ■可用來當作該測線剖面之真值
- □雖然單點高低差並非剖面,但若能獲得足 夠精準之剖面高程,即可推算出沿線之單 點高低差

参考剖面建立







7. 室外驗證

口數據蒐集:安裝好紙捲和 畫筆(或開啟資料蒐集程 式),由相同操作人員使用 同一台高低平坦儀,於驗 證區段之直線路徑上重複 推動12次

口前輪中心對準起點開始, 前輪中心到達終點時結束

7. 室外驗證

- 口水平距離驗證:
 - ■機械式:讀取每次量測結果之格位數,並計算各次測得距離之長度
 - ■電子式:讀取每次量測結果之測得距離長度
 - ■計算長度誤差百分比
 - ■測得之距離與實際距離(150 m)不可相差超過實際距離之0.5%,即75公分,方為合格

水平距離驗證測試結果

- 口機械式:
 - 畫紙上水平距離一格為0.5m
 - ■各次誤差範圍皆在30cm~40cm間
- 口電子式儀器:
 - 可量到小數點後三位 (單位:m)
 - ■各次誤差範圍皆在25cm~35cm間
- □誤差來源:
 - 人為誤差:推動時不可能完全沿著測線前進
 - ■系統誤差



7. 室外驗證

- □ 重現性驗證:驗證高低平坦儀之量測結果 穩定
 - ■讀取12次量測結果中,每隔1.5公尺處測得之單點高低差;每次量測均應能讀取到100筆單點高低差數值
 - ■計算12次量測結果沿測線單點高低差數據之交 叉相關性
 - ■去除其中交叉相關性最小之兩次量測後,針對保留之10次量測所得之45個交叉相關係數計算其平均值,該值不得小於0.80

重現性驗證(機械式儀器)

單位:%

量測 次數	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	84	77	89	87	74	81	87	84	84	84	86
2		84	84	87	77	84	86	86	87	87	88
3			78	81	76	76	79	79	85	85	77
4				90	78	80	85	89	88	88	88
5					80	82	83	87	89	89	87
6						84	78	81	80	80	77
7							84	84	83	83	83
8								84	80	80	85
9									88	88	87
10										83	88
11											81
平均	84	80.5	83.67	86.25	77	81.17	83.14	84.25	84.89	84.7	84.27

相關係數平均:83.44 ■



重現性驗證(電子式儀器)

單位:%

量測 次數	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	97	95	94	97	98	97	97	97	96	97	95
2		96	94	97	97	97	97	97	96	96	95
3			97	95	95	96	95	96	96	95	98
4				93	94	95	93	94	95	93	97
5					98	98	96	97	95	96	95
6						98	97	97	95	97	95
7							97	98	96	96	96
8								97	96	97	95
9									96	96	95
10										95	96
11											94
平均	97	95.5	95	95.5	96.4	96.83	96	96.63	95.67	95.8	95.55

相關係數平均:95.99% ■■■



96.37%

7. 室外驗證

- □準確性驗證:驗證高低平坦儀可準確 量測出路面之單點高低差
 - ■將重現性驗證中保留之10次量測結果單點高低差,分別與參考剖面之單點高低差等者值進行交叉相關性分析,共可得10個交叉相關係數
 - ■計算10個交叉相關係數之平均值,該值 不得小於

門檻值待訂

準確性驗證試做結果

機械式(平均:0.66)

量測次數 交叉相關係數

	ノヘノヘーロココアスス
1	0.66
2	0.65
3	0.69
4	0.70
5	0.67
6	0.63
7	0.65
8	0.67

10

11

12

0.64

0.63

0.63

0.64

電子式(平均: 0.94)

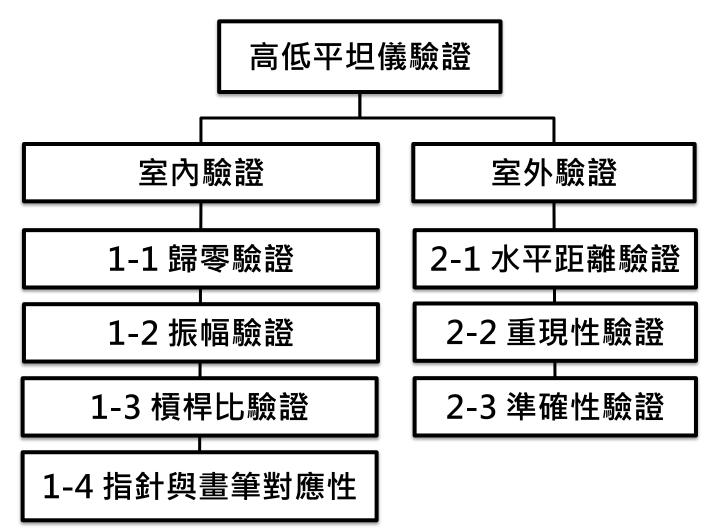
量測次數	交叉相關係數
1	0.95
2	0.95
3	0.92
4	0.95
5	0.94
6	0.94
7	0.94
8	0.91
9	0.94
10	0.91
11	0.93
12	0.94

機械式高低平坦儀準確性驗證誤差較大之原因探討

- 口判讀時的人為差異甚大
 - ■畫紙上的格線並不夠精確
 - ■通常只讀到個位數
 - 口對平時檢測而言可減少人為差異
 - 口對驗證而言精度較差

本節課程重點彙整

口高低平坦儀的驗證項目與每一項的意義



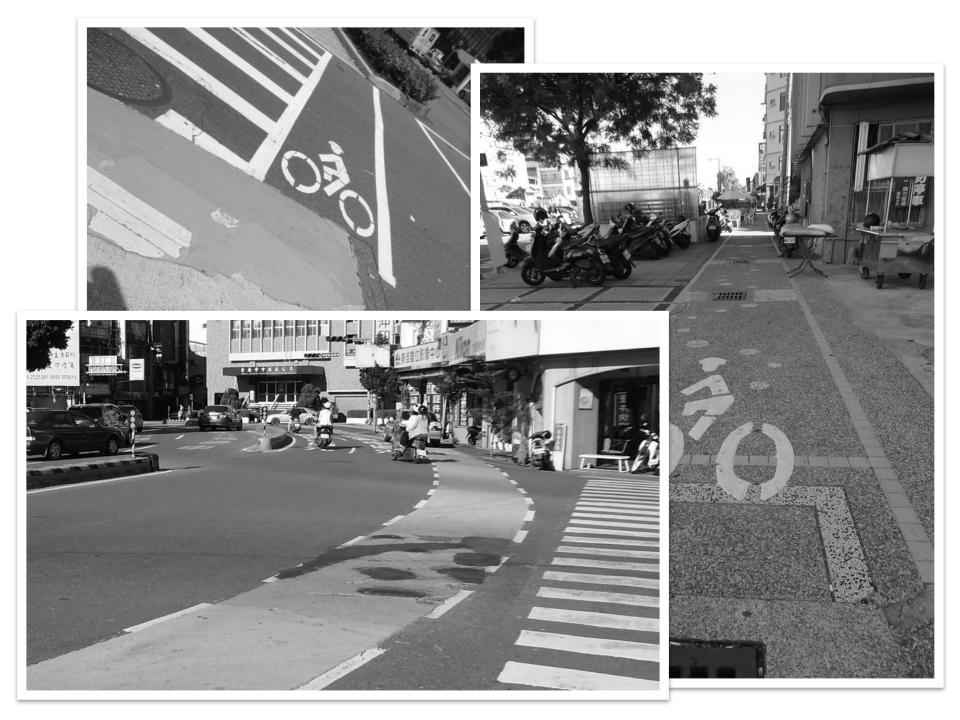
本節課程重點彙整

- 口通過驗證程序表示:
 - ■儀器可正確歸零,且指針及畫筆上的高低讀值與實際情形相符
 - ■量測時水平距離之誤差小於0.5%
 - ■重複量測時具有穩定性
 - ■與真值比對,可測得正確的單點高低差 讀值
 - ■參與驗證步驟之人員可正確操作儀器

自行車道鋪面平坦度評估方法

自行車道專用指標之必要性

- ■綠色運輸之推廣為當前之重要課題
- ■油電價格未來漲勢可期,通勤型自行車使用者可能增加
- 民眾對自行車道品質要求提高
- 通勤型自行車道之鋪面績效要求更高於休 閒型自行車道
- ■需要合理的自行車道平坦度評估指標,以 量化自行車道之騎乘舒適程度



自行車道專用指標之必要性

- 自行車與小客車車體結構大不相同□長度、結構、避震系統
- 自行車與小客車之騎乘特性不相同 □車速、軌跡
- 三米直規(或高低平坦儀)為模擬小客車長度, IRI指標以四輪車輛構建四分車模型而得
- ■不宜直接使用IRI或三米直規相關指標評估 自行車道的平坦度

舒適度評估指標介紹

- ■平坦度指標
 - □單點高低差、國際糙度指標(IRI)、行駛 指數(RN)等
- ■舒適度指標-直接量測用路人感受到的振動感受
 - 口鋪面行駛品質指標(Pavement Riding Quality Index, PRQI)
 - 口ISO 2631-1 人體全身振動測量法

鋪面行駛品質指標 (Pavement Riding Quality Index, PRQI)

■交通部運研所委託台大研究團隊開發

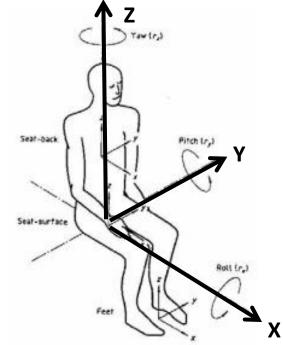
鋪面行駛品質指標(PRQI)建議範圍表

垂直加速度 a_z (m/s²)	舒適度描述	對應之IRI (m/km)	等級
小於0.2	相當舒適	小於1.5	Α
0.2~0.6	舒適	1.5~3.5	В
0.6~1	有些不舒適	3.5~6.5	С
1~1.6	相當不舒適	6.5~10	D
大於1.6	極不舒適	10	E

ISO 2631-1 人體全身振動測量法

■評估人體全身振動量之方法,用來評估人 體的舒適度,亦可反應為路面之品質

- □ 全身振動方向座標原點位於人體的心臟,向人體正前方延伸為 X 軸,左側為 Y軸,頭頂正上方為 Z 軸
- □ 當受測者坐在移動的物體上時,座標 原點往下移至臀部
- □ 以三方向的加速度a(單位m/s²)來表示

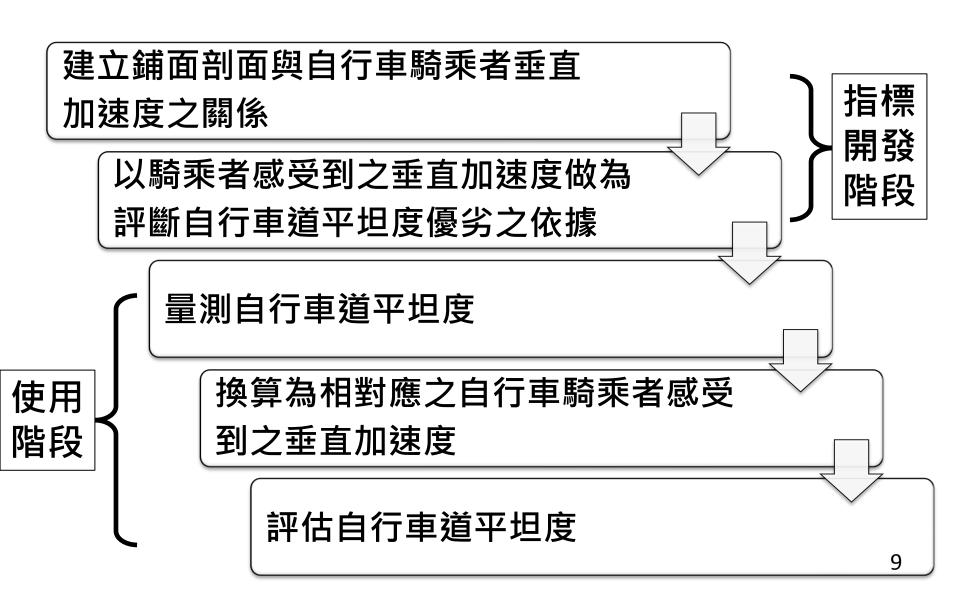


ISO 2631-1 人體全身振動測量法

■ ISO 2631-1 總振動值a_v之分級標準

等級	範圍(m/s²)	舒適度
A	小於0.315	不會不舒適 (not uncomfortable)
В	0.315到0.63	略為不舒適 (a little uncomfortable)
C	0.5到1	一般不舒適 (fairly uncomfortable)
D	0.8到1.6	不舒適(uncomfortable)
E	1.25到2.5	非常不舒適 (very uncomfortable)
F	大於2	極不舒適 (extremely uncomfortable)

自行車平坦度指標構建概念



自行車平坦度指標之原理

- ■量測以固定標準條件騎乘於一路段上時, 騎乘者感受到的垂直加速度
- 以ISO 2631-1規範之分級方法為基礎
- ■輸出各等級所佔之百分比

等級	百分比%
 A	12
\supset B	37
\mathbf{C}	30
D	16
E	5

等級	百分比%	
A	0	
В	12	
C	20	
D	32	較差8
E	36	10

量測時的固定標準條件

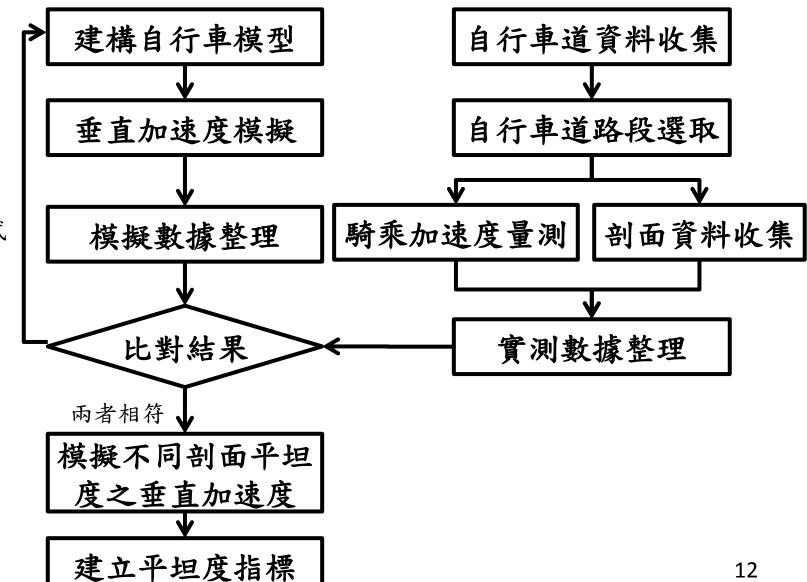
■ 垂直加速度之影響因素:

自行車道 騎乘者 體型、體重、 材質、鋪設品質、 騎乘技術等 剖面起伏 量測 車輛 天候環境 時應 風速、降雨等 車體結構、避震器、 固定 輪胎狀況等 避免於特殊天候 時進行量測

要量測之對象

11

指標開發流程



兩者不符: 修正模擬模式

自行車道騎乘舒適度量測

■ 使用儀器:本研究開發之檢測自行車





台北市微笑單車示意圖

選用與台北市公共自行車類似之車型

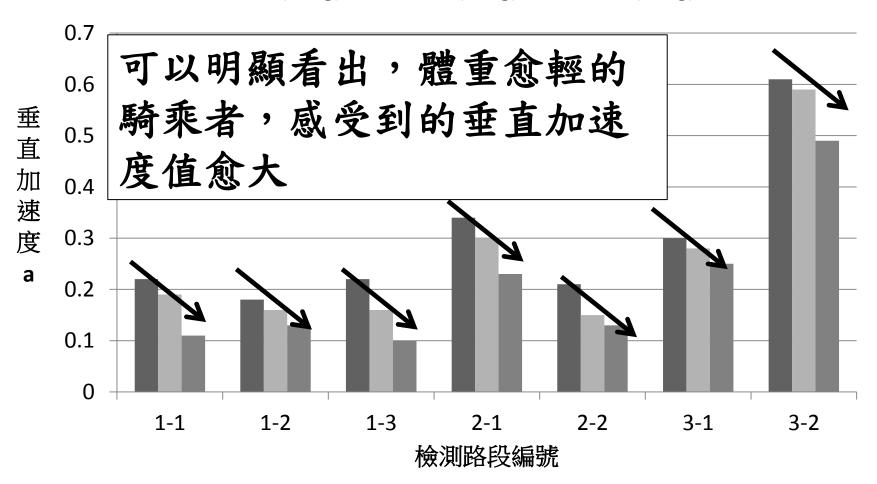


自行車道騎乘舒適度量測

- ■實際測試自行車道量測垂直加速度結果
- ■控制因素:
 - 口天候:挑選晴朗無雨、地面完全乾燥之天氣
 - 口車輛:固定以同一儀器進行,每次胎壓相同
 - 口剖面:三種常見自行車道材質
 - ■瀝青混凝土鋪面、彩色鋪面、磚面
 - 口騎乘者:探討體重之影響性
 - ■三位不同體重檢測者之比較
 - □進行濾波去除騎乘行為差異造成之雜訊

不同體重騎乘者之影響

■ 人員A (45kg) ■ 人員B (52kg) ■ 人員C (70kg)



數據處理程序

實測加速度值處理 濾波處理 以間隔每25公分輸出加速度值歷 程資料 加速度值取絕對值 計算加速度值之百分比分佈 輸出各路段之代表值

去除接近路口處資料

去除每次騎乘行為略有不同而造成之雜訊

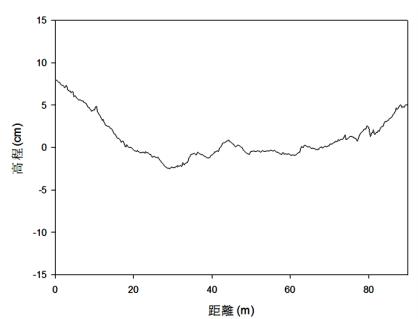
配合ISO規定之 "roughness" 波長範圍, 50cm~500cm

暫定參考分級門檻

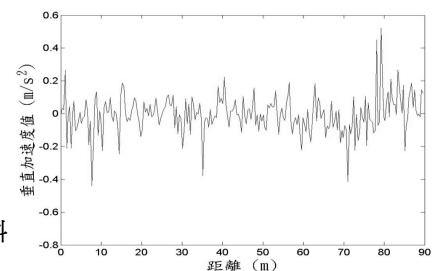
等級	範圍(m/s²)
佳	小於0.05
中等	0.05~0.25
較差	0.25以上

不同材質之影響-瀝青鋪面



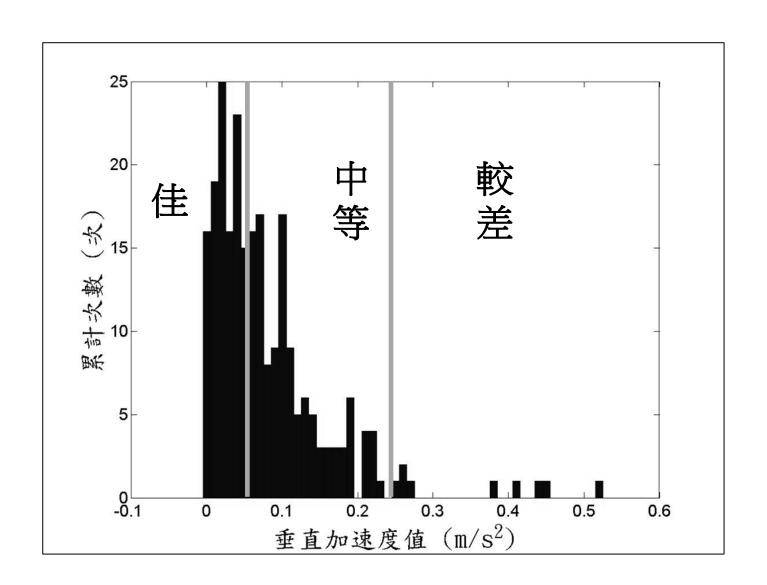


高程資料

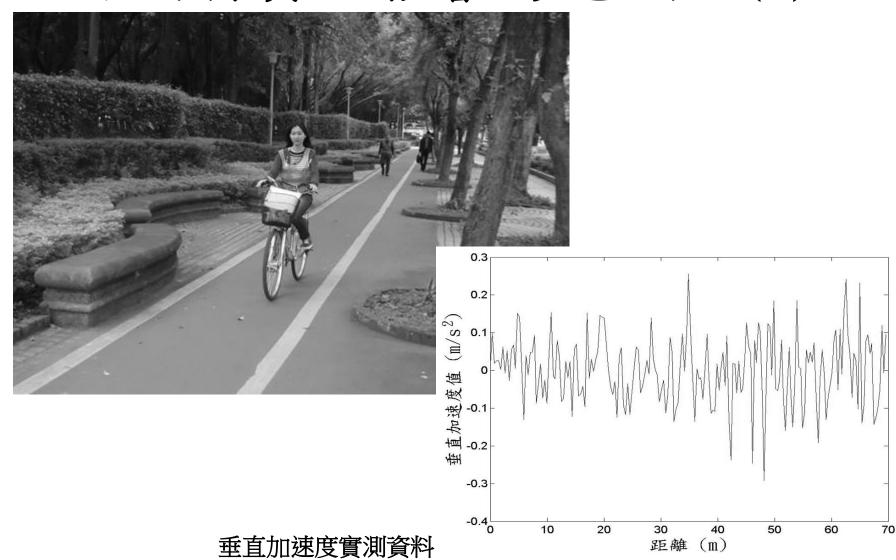


垂直加速度實測資料

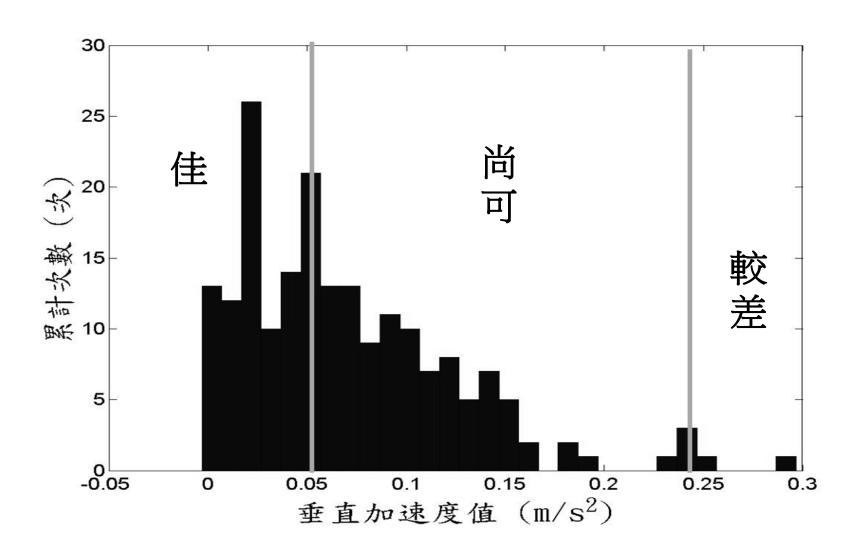
不同材質之影響-瀝青鋪面



不同材質之影響-彩色鋪面(1)

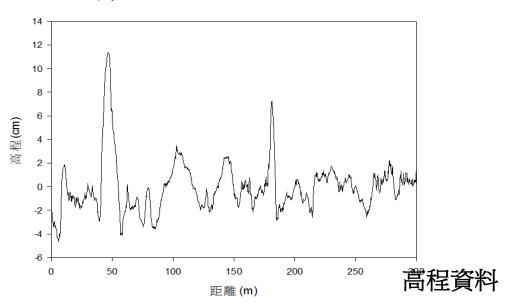


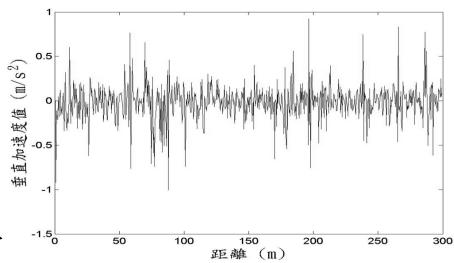
不同材質之影響-彩色鋪面(1)



不同材質之影響-彩色鋪面(2)

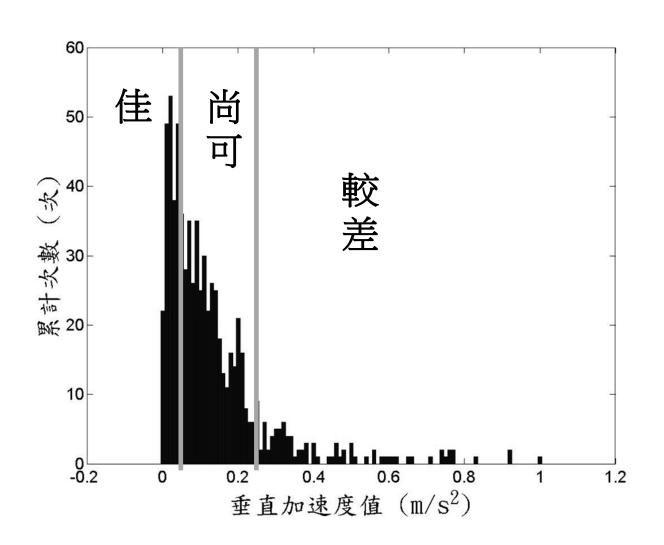






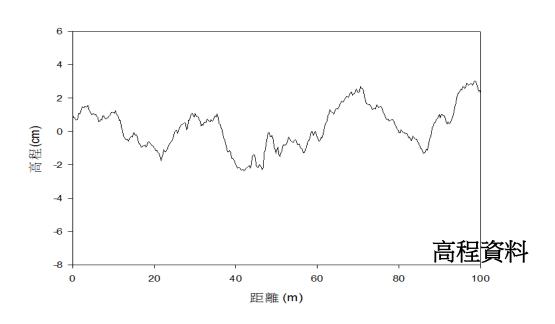
垂直加速度實測資料

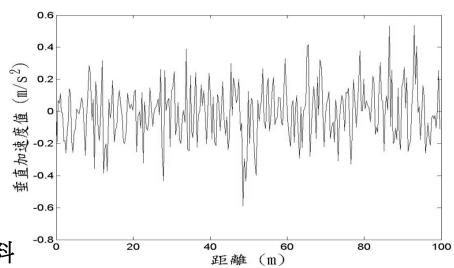
不同材質之影響-彩色鋪面(2)



不同材質之影響-磚面(1)

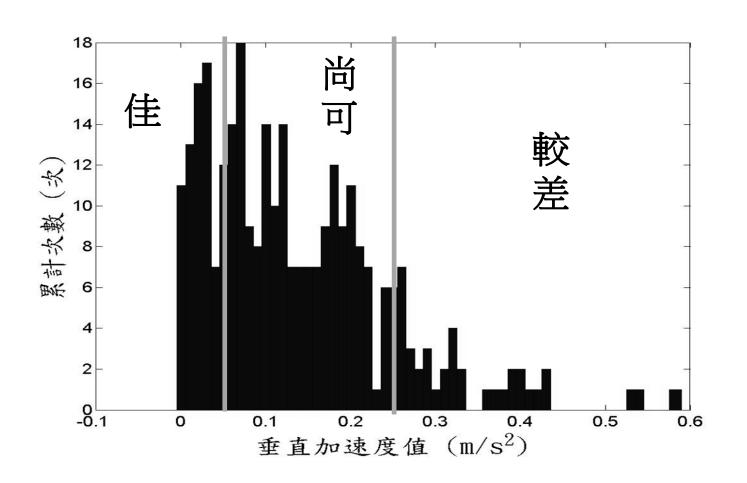






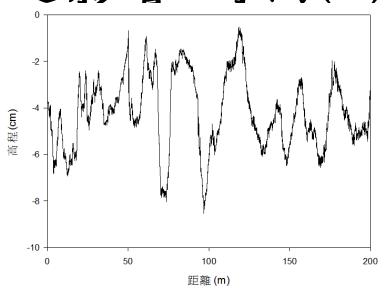
垂直加速度實測資料

不同材質之影響-磚面(1)

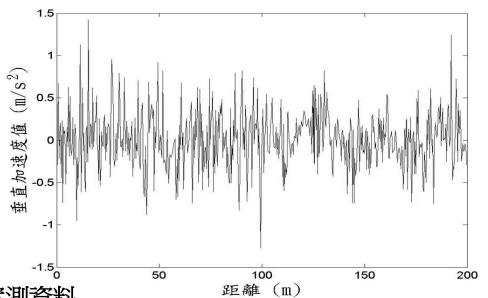


不同材質之影響-磚面(2)



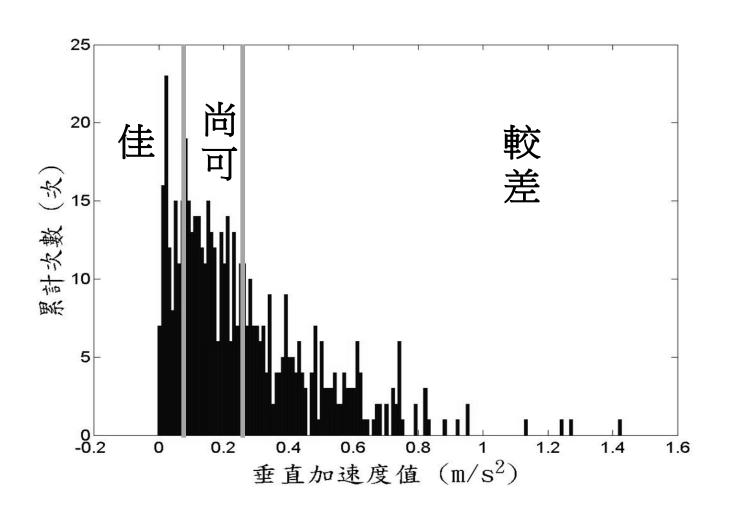


高程資料



垂直加速度實測資料

不同材質之影響-磚面(2)

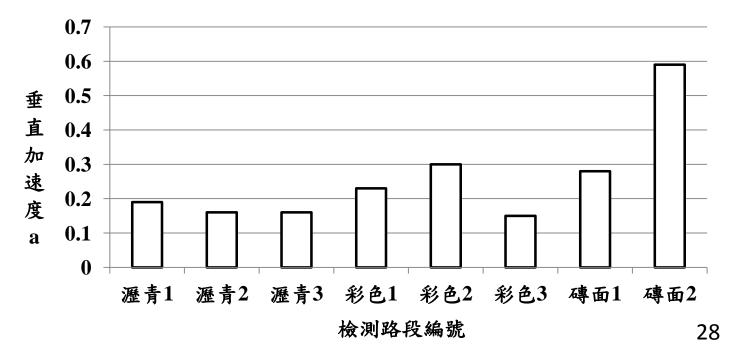






材質影響

- 磚面:磚塊大小、磚塊底部是否掏空、種類統一性對於舒適度有極大的影響
- 彩色鋪面:鋪設於一般車道旁之自行車與公園 內之綠色鋪面材質不同,舒適度也有差異
- 瀝青鋪面:因少有凹陷與突起,最為舒適



材質影響

人行道、一般車道上之綠色鋪面、瀝青鋪面皆會因經過孔蓋影響舒適性

• 綠色鋪面與瀝青鋪面則會因經過標字而造成跳

動







自行車垂直加速度模型建構

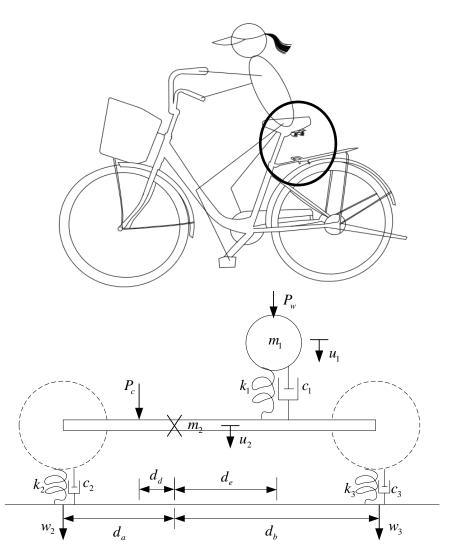
- 模擬程式開發之必要性:
- 1. 量測指標時各項影響因素必須具有一致性
- 2. 剖面與施工相關性高,較易進行施工控制 與改善
- 3. 剖面量測儀器已有國家標準可依循



自行車垂直加速度模型建構

- 僅考慮座墊避震器
- 車體結構之各項參數固定
 - 口文獻
 - □實驗

參數名稱	數值
前輪軸距(公尺)	0.66
後輪軸距(公尺)	0.44
座墊質量m ₁ (公斤)	0.5
簧下質量m ₂ (公斤)	15



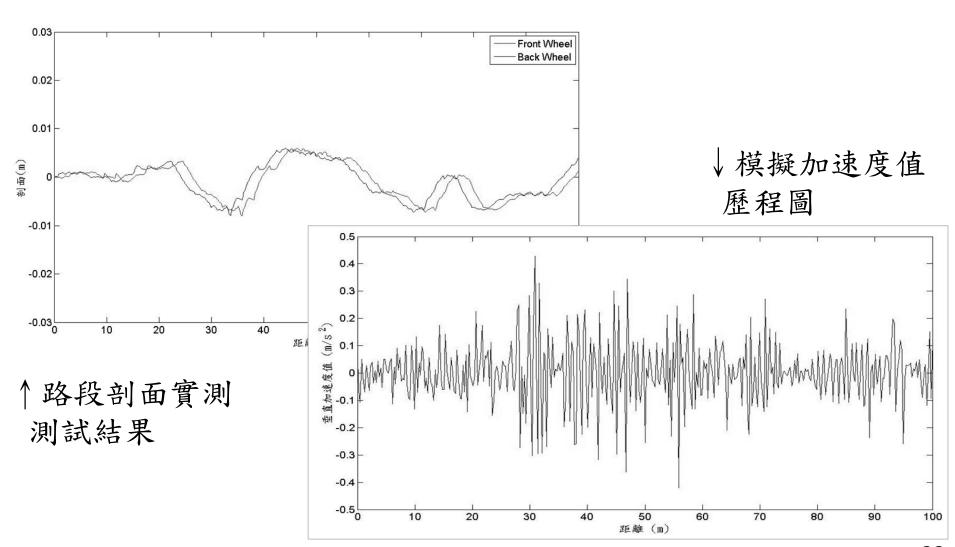
自行車道鋪面平坦度評估步驟

- 1. 以剖面儀量出自行車道之剖面
- 2. 位置:自行車道之中心線
- 3. 使用儀器:
 - 口輕量型慣性式剖面儀或
 - **□** Walking Profiler

選擇通過CNS 15371 驗證之儀器,可準確 量出剖面高程

- 4. 將剖面數值輸入垂直加速度模擬程式
- 5. 輸出該路段之平坦度分級

自行車道鋪面平坦度評估



數據處理程序

實測加速度值處理 濾波處理 以間隔每25公分輸出加速度值歷 程資料 加速度值取絕對值 計算加速度值之百分比分佈 輸出各路段之代表值

去除接近路口處資料

去除每次騎乘行為略有不同而造成之雜訊

配合ISO規定之 "roughness" 波長範圍, 50cm~500cm

暫定參考分級門檻

等級	範圍(m/s²)
佳	小於0.05
中等	0.05~0.25
較差	0.25以上

本節課程重點彙整

- 自行車的車體結構和騎乘特性與一般車輛不同,故平坦度指標也應不同
- 以騎乘者感受到的垂直加速度反映自行車 道的平坦度
- ■影響自行車騎乘舒適度的因素有:騎乘者 本身、車輛、剖面高程以及天候環境
- ■不同材質的自行車道會有明顯的舒適度差異,磚面比瀝青混凝土和彩色鋪面略差

本節課程重點彙整

- ■建構自行車垂直加速度模擬模式,可以使量測 自行車道平坦度指標變得更為簡便
 - 口用平坦儀測得剖面高程數據做為輸入資料
 - 口消除騎乘者本身和行為差異引起之誤差
 - 口剖面與施工相關性高,較易進行施工控制與改善
 - 口儀器容易取得且已有規範可依循
- ■後續仍須進行更多的測試,以確認適當的分級 門檻
 - 口不同材質鋪面應訂定不同的驗收標準