

2025 運輸安全資訊交流研討會

主題：公路運輸安全之挑戰與精進

公路鋪面損壞監測及抗滑能力評估



主講人：蘇育民博士 (yuminsu@nkust.edu.tw)

國立高雄科技大學土木系助理教授

國際道路協會會仕 (International Road Federation Fellow)

中華民國道路協會理事 (Board of Director of CRF)

美國佛羅里達大學博士畢業 (Class of 2012)



高科大
NKUST

2025 運輸安全資訊交流研討會

主題：公路運輸安全之挑戰與精進

公路運輸安全管理之發展與精進		
1330~1335	引言	吳昆峯兼任委員/運安會
1335~1405	汽車客運業安全管理系統之經驗分享	李建文總經理/首都客運公司
1405~1435	強化遊覽車與危險物品車輛之動態監控 與駕駛員疲勞管理	公路局代表/交通部公路局
1435~1455	休息時間	
1455~1525	大客車車身結構與座椅安全審驗與檢 驗之精進	曾鵬庭副處長/財團法人車輛安 全審驗中心
1525~1555	公路鋪面損壞監測及抗滑能力評估	蘇育民助理教授/國立高雄科技 大學土木系
1555~1620	問題與討論	吳昆峯兼任委員/運安會
1620~1630	閉幕式	何慶生副主任委員/運安會



高科大
NKUST



國家運輸安全調查委員會
Taiwan Transportation Safety Board

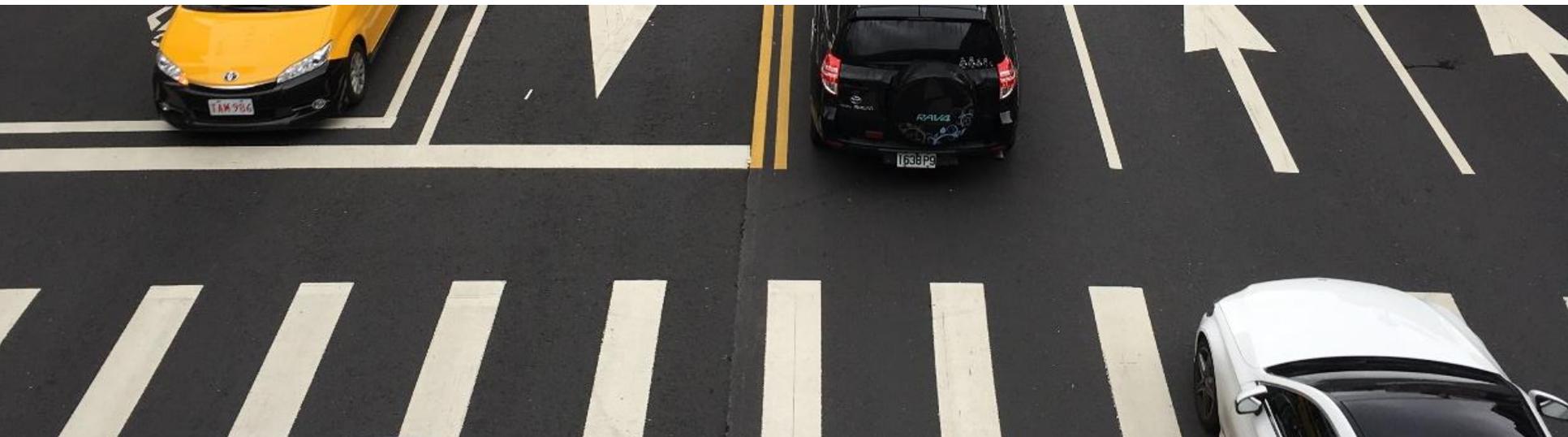
簡報大綱 Outline

- 自我介紹
- 公路鋪面損壞監測
- 抗滑能力評估
- 結論與建議



國立高雄科技大學土木系
智慧道路資產管理及工程
實驗室
Laboratory of
Asset management &
Pavement engineering with
Smart technologies

蘇育民老師拍攝及整理



自我介紹

- 國立高雄科技大學土木工程系助理教授 蘇育民博士：



現職	國立高雄科技大學土木工程系 助理教授
學歷	美國佛羅里達大學土木工程系 博士（2012年畢業）
研究	路面抗滑、瀝青混凝土配比設計、剛性路面設計、3D列印混凝土、智慧監測技術
經歷	<ul style="list-style-type: none"> ● 國際道路協會 會仕 Fellow of International Road Federation, Class of 2008 <ul style="list-style-type: none"> ● 協助高公局申請國際道路協會「世界道路成就獎」（2015年-五楊高架、2024年-金門大橋） ● 協助公路局申請國際道路協會「世界道路成就獎」（2019年-西濱南、2020-蘇花改、2024-南橫） ● 中華民國道路協會 理事 ● 交通部運輸研究所109年研究計畫「探討道路交通標線之防滑特性」成果評估評定「優良」 ● 中國土木水利學會109年度論文獎 ● 社團法人臺灣混凝土學會 2013/2015/2021 年度混凝土工程研討會論文獎 ● 美國瀝青學會 AAPT 2012年度論文獎 AAPT 2012 Walter J. Emmons Annual Award. ● 高科大工學院土木工程系優良導師（112 高科大工字第112001號） ● 美國邁阿密大學訪問學者

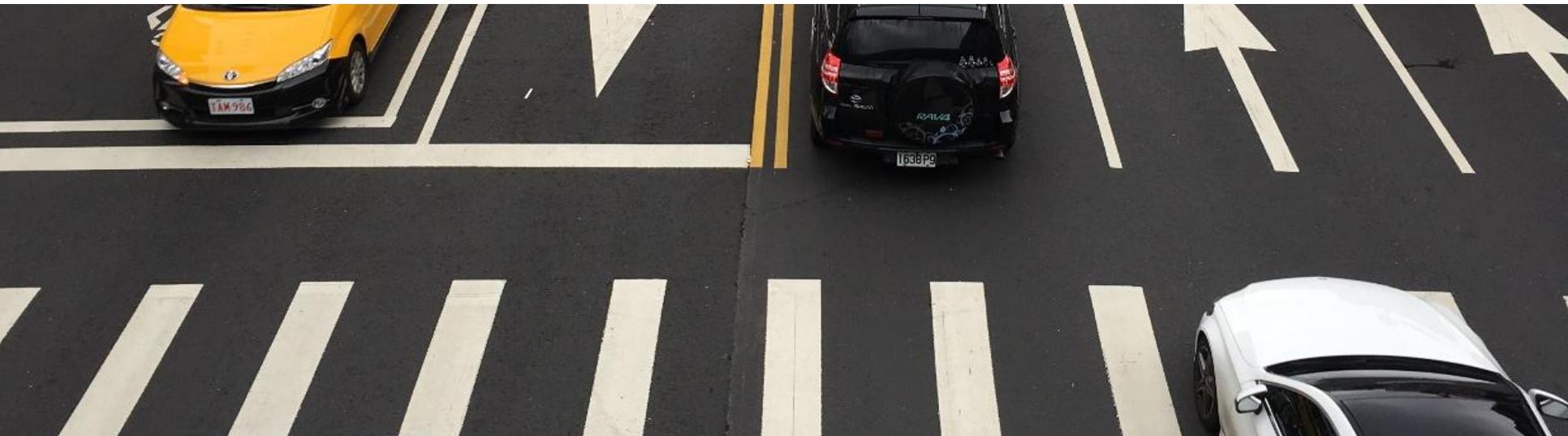
簡報大綱 Outline

- 自我介紹
- 公路鋪面損壞監測
- 抗滑能力評估
- 結論與建議



國立高雄科技大學土木系
智慧道路資產管理及工程
實驗室
Laboratory of
Asset management &
Pavement engineering with
Smart technologies

蘇育民老師拍攝及整理



公路鋪面損壞監測

● 道路的功能：

數據來自交通部統計查詢網

— 在臺灣全島的道路系統，包含

- 「**國道**」（高速公路局）、
- 「**省道與快速道路**」（公路局）、
- 「**市區道路/縣道/鄉道**」（國土署與地方政府）、以及
- 其他農路、林道、以及產業道路等：

— 至2020年

- 臺灣道路的長度大約 **42,138** 公里長
- 英國道路的長度大約 397,039 公里長
- 中國大陸道路的長度 5,012,500 公里長
- 美國道路的長度大約 6,853,024 公里長

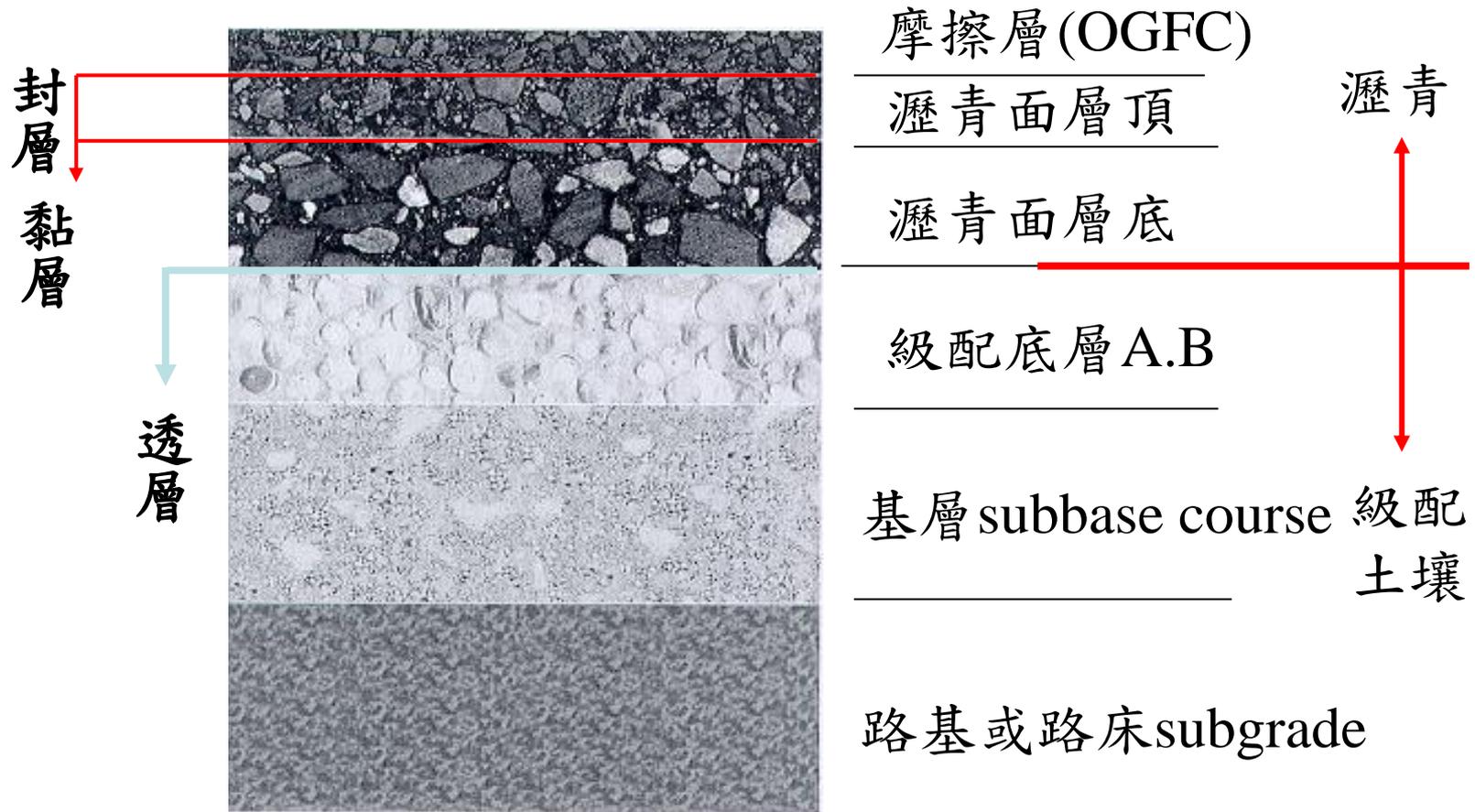
數據來自交通部統計查詢網



公路鋪面損壞監測

蘇育民老師整理

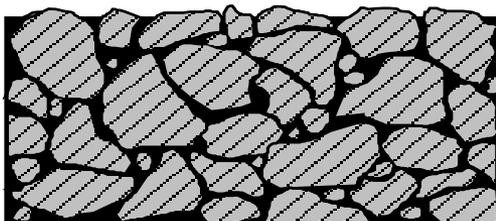
- 道路的功能（續）：



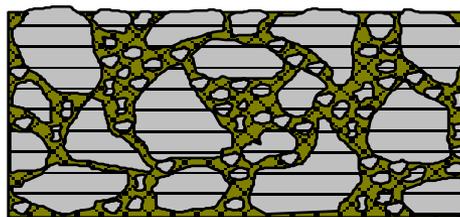
公路鋪面損壞監測

Google

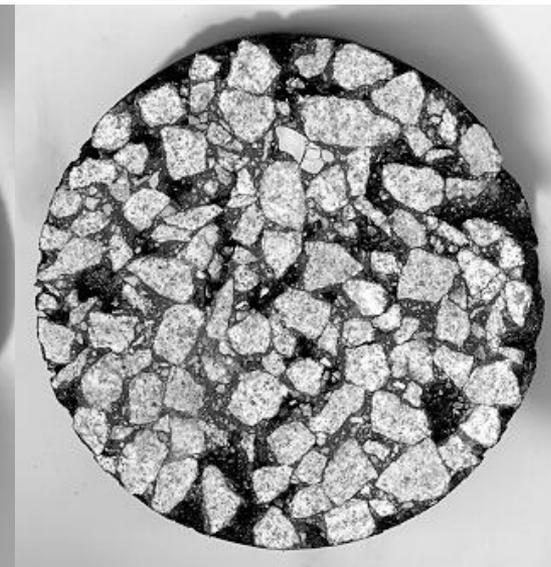
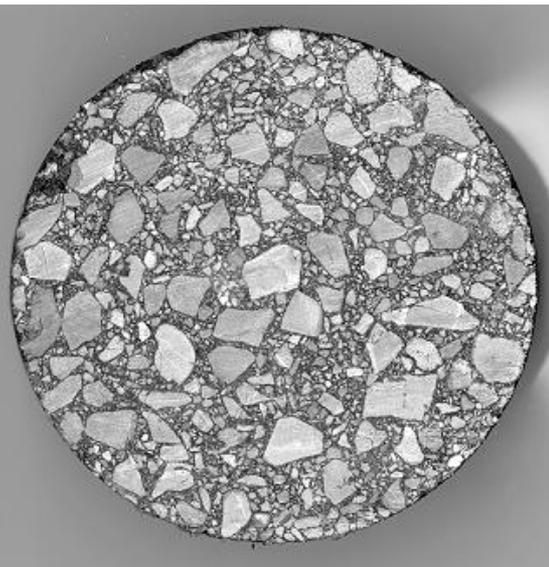
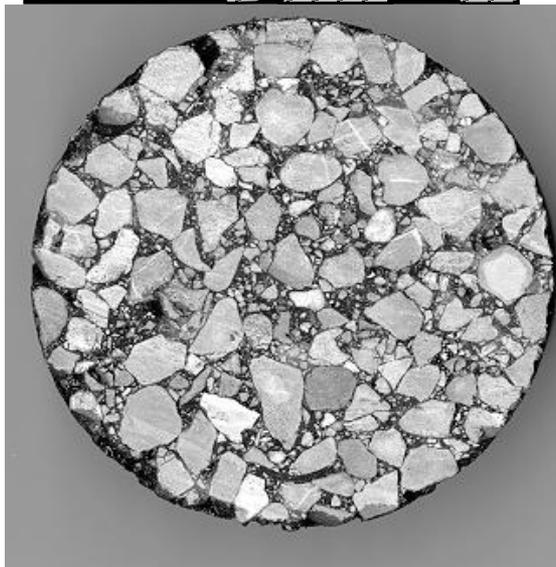
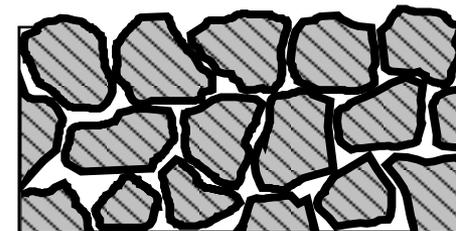
石膠泥瀝青混凝土



密級配



排水性



公路鋪面損壞監測

蘇育民老師拍攝及整理

- 道路的功能（續）：

- 一般道路的設計原則，係提供良好的騎乘舒適性、安全、抗滑、安靜、排水以及足夠的結構強度，做為各型車輛行駛時使用。



公路鋪面損壞監測

蘇育民老師拍攝及整理

- 在美國各州交通廳依據州內的道路長度、經費預算、州交通廳的人員與實驗室能力，在道路成效監測上可以分以下幾項(FHWA, 2015)：
 - 鋪面狀況監測（大多數在每年內完成）
 - 平整程度監測（1-2年內完成）
 - 抗滑能力監測（2-3年內完成）
 - 結構強度監測（3-5年內完成）



公路鋪面損壞監測

Pavement Interactive

● 柔性路面破壞形式：根據 ASTM D6433

1. 鱷魚狀龜裂 Alligator (Fatigue) Cracking
2. 路面冒油 Bleeding
3. 塊狀裂縫 Block Cracking
4. 區域突起 Bumps and Sags
5. 路面波浪變形 Corrugation
6. 路面沈陷 Depression
7. 邊緣裂縫 Edge Cracking
8. 反射裂縫 Joint Reflection Cracking
9. 車道/路肩斷差 Lane/Shoulder Drop-Off
10. 縱橫向裂縫 Longitudinal and Transverse (Thermal) Cracking
11. 路面修補與方正切割 Patching and Utility Cut Patching
12. 路面磨耗露出粒料 Polished Aggregate
13. 路面坑洞 Potholes
14. 鐵路平交道跨越 Railroad Crossing
15. 車轍 Rutting
16. 路面變形推擠 Shoving
17. 表層滑動裂縫 Slippage Cracking
18. 路面隆起 Swell
19. 路面剝脫 Raveling
20. 路面風化 Weathering-DGAC

(橘色字為公路局鋪面損壞調查手冊中標定的鋪面損壞模式，另有薄層剝離以及人孔高差兩種破壞)



公路鋪面損壞監測

Pavement Interactive

● 剛性路面破壞形式：根據 ASTM D6433

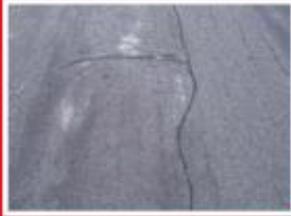
21. 混凝土版接縫爆裂 Blowup
22. 角隅裂縫 Corner Break
23. 耐久性裂縫 Durability D-Cracking
24. 混凝土版開裂 Divided Slab
25. 接縫不平整 Faulting
26. 接縫填縫材料破壞 Joint Seal Damage
27. 車道/路肩不平整 Lane/Shoulder Drop-Off
28. 線狀開裂 Linear Cracking
29. 路面方正切割與修補 Large Patching
30. 路面修補 Small Patching
31. 路面磨耗露出粒料 Polished Aggregate
32. 路面跳料 Popouts
33. 基底層汲水現象 Pumping
34. 混凝土版折斷 Punchout
35. 鐵路平交道跨越 Railroad Crossing
36. 網狀裂縫 Scaling, Map Cracking, Crazeing
37. 乾縮裂縫 Shrinkage Cracking
38. 角隅爆裂 Corner Spalling



公路鋪面損壞監測

AZDOT

- 鋪面狀況指數 Pavement Condition Index, PCI

	PCI	REPRESENTATIVE PAVEMENT SURFACE	REPAIR ALTERNATIVE
ROUTINE MAINTENANCE	86 - 100	90 	Pavements with PCIs above 85 will benefit from routine maintenance actions, such as periodic crack sealing, periodic joint resealing, or patching.
PAVEMENT PRESERVATION	56-85	65 	Pavements with a PCI of 56 (65 for PCC pavements) to 85 may require pavement preservation, such as a surface treatment, thin overlay, or PCC joint resealing.
MAJOR REHABILITATION	0 - 55	25 	Pavement allowed to deteriorate below a PCI of 55 (65 for PCC) will require costly reconstruction to restore it to operational condition.

公路鋪面損壞監測

● 鋪面狀況監測

- 道路單位目前在臺灣進行道路巡察的困境與難處
 - 幅員廣大，人力、經費、與巡察設備均不足
 - 肉眼調查需要具備道路巡察經驗豐富的人員來進行
 - 缺乏部頒法令要求公路單位必須完成年度的路網及調查
- 自動化巡察近年來已經成為國內外在研究上以及實務上的發展重點
 - 使用自動化精準度高的數據蒐集設備
 - 使用人工智慧技術學習並辨識鋪面破壞形式

公路鋪面損壞監測

IRF

- 鋪面狀況監測（續）
 - 2019 GRAA: Asset Preservation—[Roadbotics](#)



公路鋪面損壞監測

RoadBotics

- 鋪面狀況監測（續）
 - 2019 GRAA: Asset Preservation—[RoadBotics](#)

What Our Technology Automatically Detects:



Transverse &
Longitudinal
Cracking



Patches &
Sealant



Surface
Deterioration



Potholes



Surface
Distortions



Fatigue Cracking

公路鋪面損壞監測

蘇育民老師拍攝及整理

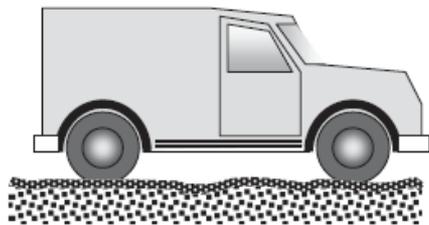
- 因此，在美國各州交通廳依據州內的道路長度、經費預算、州交通廳的人員與實驗室能力，在道路成效監測上可以分以下幾項(FHWA, 2015)：
 - 鋪面狀況監測（大多數在每年內完成）
 - 平整程度監測（1-2年內完成）
 - 抗滑能力監測（2-3年內完成）
 - 結構強度監測（3-5年內完成）



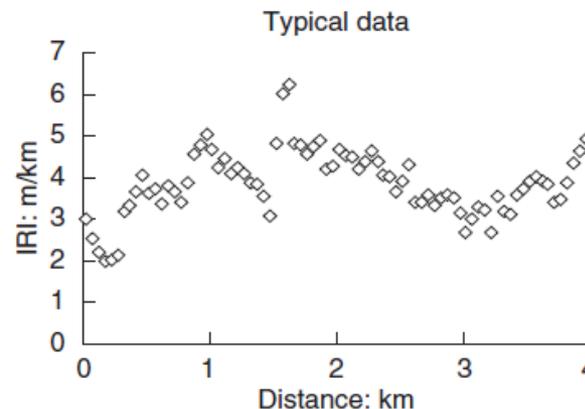
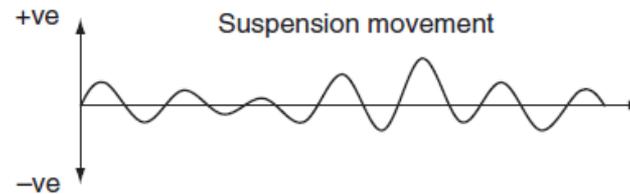
公路鋪面損壞監測

● 平整程度監測（續）

- 對於鋪面平整度之評估，國際間存在許多評估指標，目前以國際糙度指標（International Roughness Index, IRI）最廣為使用。IRI 發展源於世界銀行1982年在巴西進行國際糙度試驗所發展出的指標。



IRI	
<2 m/km	excellent
2-3 m/km	satisfactory
3-4 m/km	moderately bumpy
4-5 m/km	bumpy
>5 m/km	very bumpy



公路鋪面損壞監測

THB

● 平整程度監測（續）

- 國內目前多以高低平坦儀、滾動平坦儀、以及車載慣性平坦儀來進行相關平整度試驗的監測。



公路鋪面損壞監測

ARRB/ICC

● 平整程度監測（續）

- 國內目前多以高低平坦儀、滾動平坦儀、以及車載慣性平坦儀來進行相關平整度試驗的監測（續）。



公路鋪面損壞監測

國土署/臺灣大學

● 平整程度監測（續）

- 國土署與臺灣大學發展簡易型平坦度設備，利用車載是加速度規設備，以車輛震動的幅度與國際糙度指標IRI進行迴歸，推導出AARI，可供地方縣（市）政府用於進行道路之平坦度狀況資料蒐集，以及施工中道路之自主平坦度檢查作業。



公路鋪面損壞監測

● 平整程度監測（續）

－ 道路單位目前在臺灣進行平整度監測的困境與難處

- 平整度檢測車設備價格高，要進行路網級（Network Level）的監測，經費不足。目前平整度多僅做為驗收時的要求。
- 市區道路由於路段破碎，僅能以高低平坦儀或是滾動平坦儀來進行IRI的檢測，然而進行試驗時往往有安全性的問題。
- 市區道路的人手孔以及挖掘道路往往對於平整度監測是一大考驗。
- 公路主管單位即使有多年期的路網級平整度數據，然而若沒有進行更進一步分析以及納入決策用的參考資料，殊為可惜。
- 自動化巡察近年來已經成為國內外在平整度研究以及實務上標準，國內需要建立以國際糙度指標IRI為基準的驗收以及養護標準。

公路鋪面損壞監測

● 平整程度監測（續）

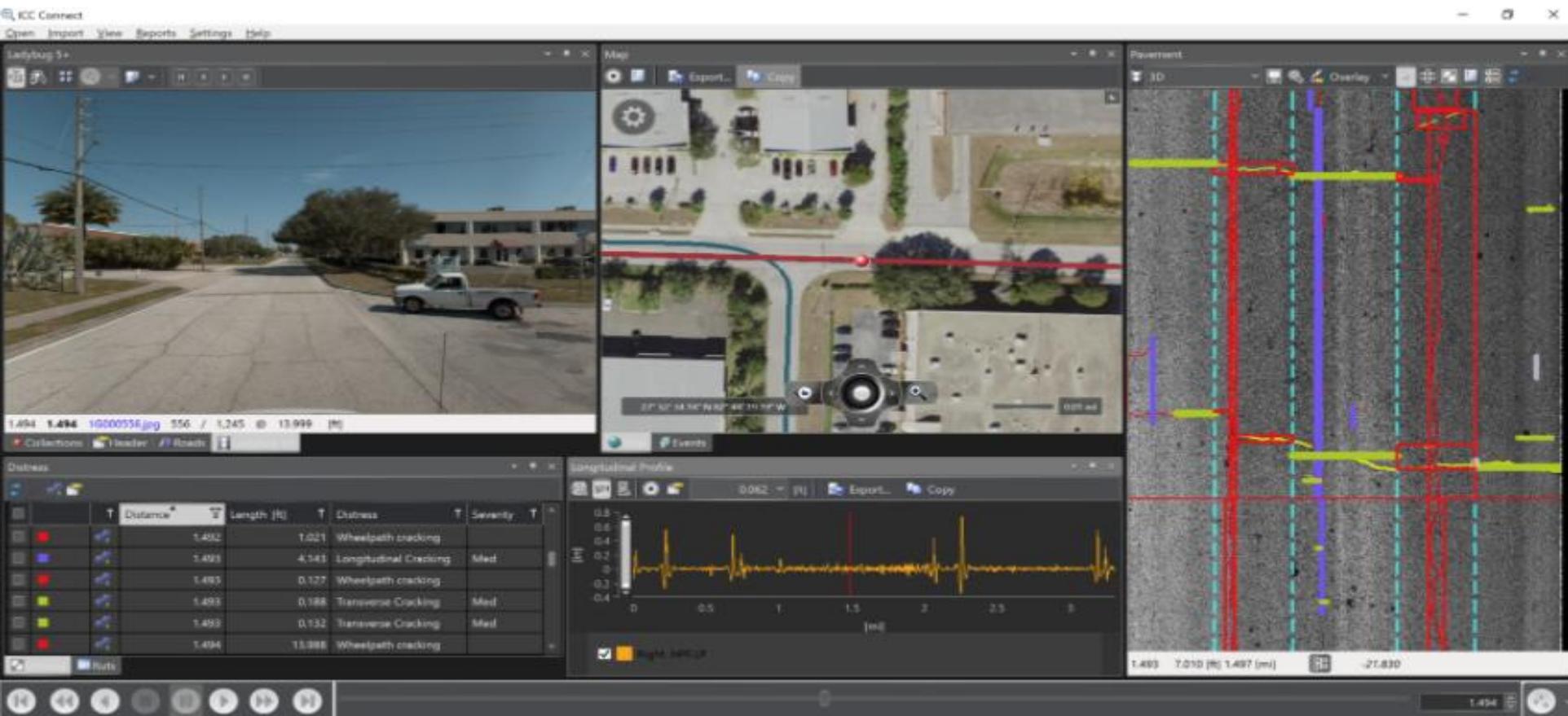
- 自動化巡察在國外已經更進一步到整合道路巡察、路面破壞形式、平整度監測在同一個檢測車上，以車載3D雷射、2D雷射、GPS、加速度規、以及路景攝影機，可以一次完成所有的道路巡察工作。



公路鋪面損壞監測

ICC

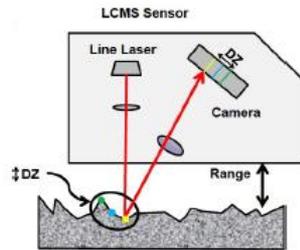
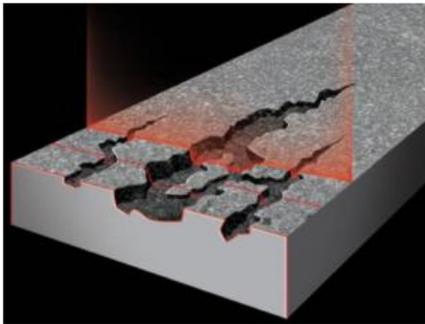
- 平整程度監測 (續)
 - ICC IrisPRO Pave



公路鋪面損壞監測

陳怡先博士整理

- 公路鋪面損壞檢測
 - 國內已經有同規格商用解決方案



不受光線影響



高速大數據檢測
(每秒1億筆以上)



AI自動辨識破壞



毫米等級檢測能力



多樣化高精度輸出

公路鋪面損壞監測

陳怡先博士整理

- 公路鋪面損壞檢測（續）
 - 國內已經同規格商用解決方案

鋪面管理

- ✓ 鋪面影像
- ✓ 表面破壞
- ✓ 紋理深度
- ✓ 平坦度

基本資料

- ✓ GPS座標
- ✓ 鋪面型式
 - ✓ 長度
 - ✓ 寬度



設計

- ✓ 數位地形模型

安全

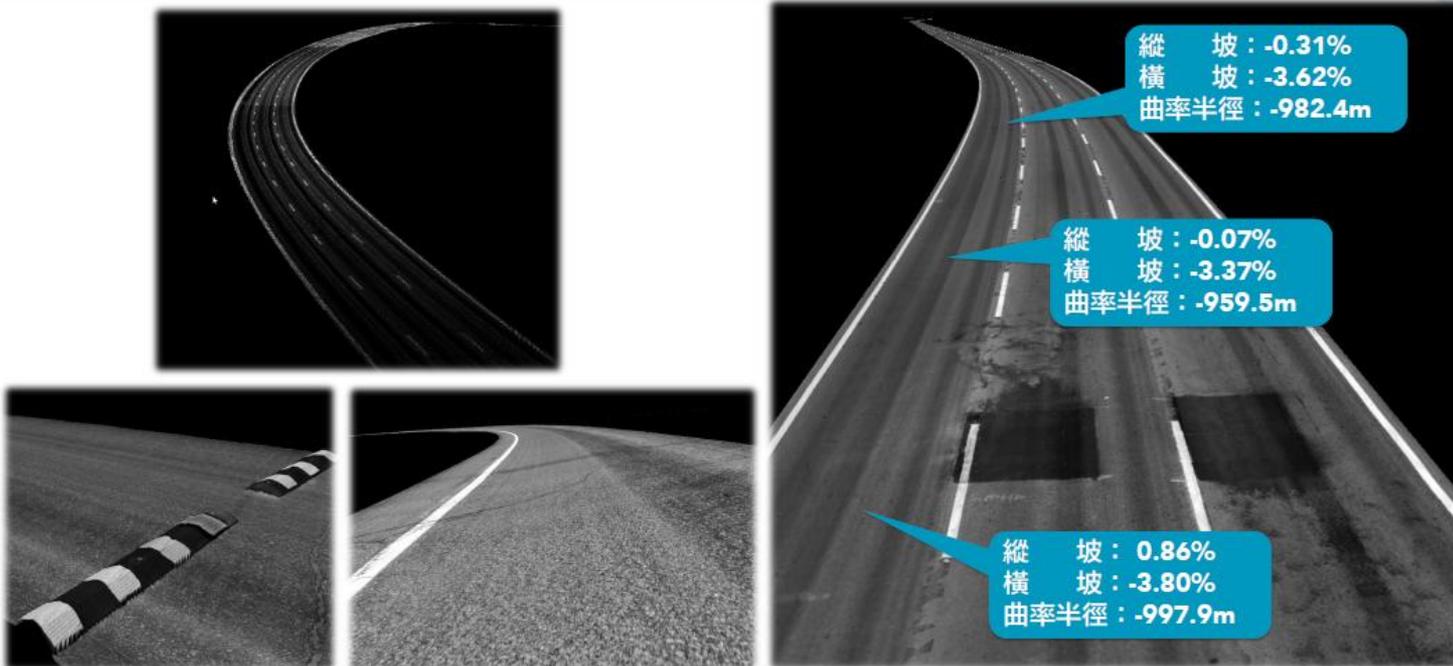
- ✓ 縱坡/橫坡
- ✓ 曲率半徑
- ✓ 標記
- ✓ 標線

公路鋪面損壞監測

陳怡先博士整理

- 公路鋪面損壞檢測（續）
 - 國內已經同規格商用解決方案

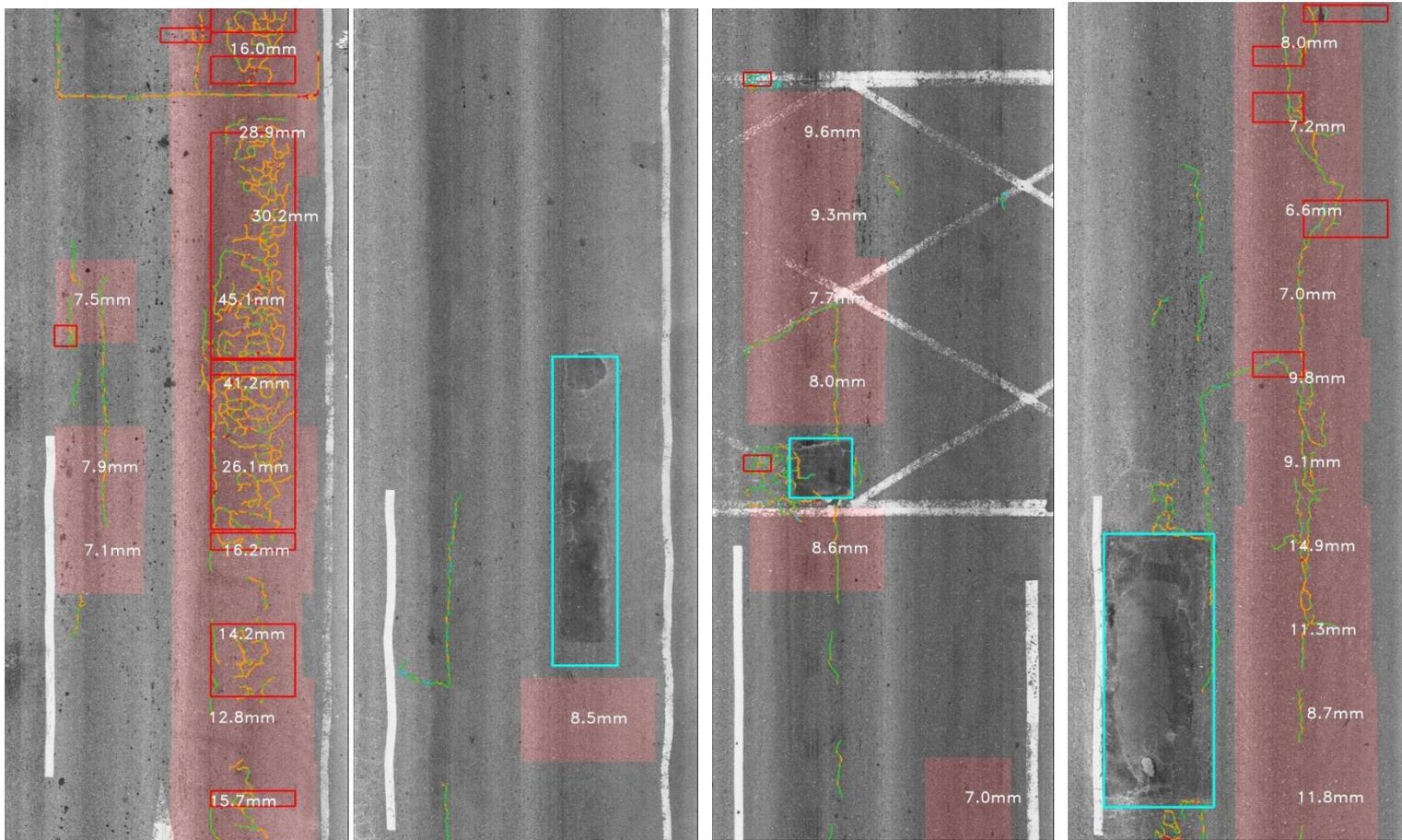
巡查軌跡與道路線型



公路鋪面損壞監測

蘇育民老師拍攝及整理

- 公路鋪面損壞檢測 (續)
 - 國內已經有類似同規格解決方案



公路鋪面損壞監測

RoCloud

● 公路鋪面損壞檢測（續）

- 新加坡路政交通局（Land Transport Authority, LTA）與新加坡國立大學NUS以及新加坡 RoCloud公司攜手合作，運用AI技術改善路面破壞問題。

LTA seeks ideas to measure and predict road maintenance needs

It is also calling for proposals to improve the way roads are designed and built

Lee Nian Tjoe
Senior Transport
Correspondent

To upgrade the way it manages the 9,500 lane-kilometres of road under its charge, the Land Transport Authority (LTA) is calling for ideas to measure and predict road maintenance needs.

Separately, it is also calling for proposals to improve the way roads are designed and constructed.

At present, it uses a mix of video analytics and artificial intelligence to spot defects on road surfaces. The use of such technologies has improved productivity and detection accuracy, LTA said in a document posted to its website calling for solutions.

LTA uses three types of specialised equipment to assess road performance today. A laser crack measurement system evaluates surface roughness, ruts (or tracks left by wheels), surface texture and cracks; a grip tester assesses skid resistance; and a falling weight deflectometer looks at the structural integrity of the roads.

The authority said in mid-December that its current approach has adequately guided maintenance work and planning, but recent advancements such as in technology, ways to assess road performance, and automated data-collection techniques may enable it to expand the use of data to improve the management of road pavements.

LTA wants to index the data



The Land Transport Authority wants to index the data gathered during inspections to create a Singapore Road Pavement Performance System. The system should be able to assess the conditions of roads and recommend maintenance levels and actions needed to achieve minimum road performance levels. PHOTO SHIN MIN DAILY NEWS

gathered during inspections to create a Singapore Road Pavement Performance System, which will be hosted on a digital platform.

The system should be able to assess the conditions of roads and recommend maintenance levels and actions needed to achieve minimum road performance levels, and set out the actions needed to deal with road defects.

It is also seeking the deployment of cost-effective and reliable

equipment as alternatives to those now in use. The expectation is for the proposed equipment and methods to measure the health of the roads to yield cost and productivity savings of at least 20 per cent.

To derive the index, data such as the extent of road conditions, and the size and severity of defects, is to be taken into account. The proposals LTA is seeking may also entail mooring road per-

formance attributes such as riding quality and road safety, the approach to deriving weightings for each attribute, and the factors that contribute to the weightings based on their severity and impact on parties such as road users.

The data collected should allow LTA to predict, prioritise, plan and project how to maintain the roads through a road deterioration model, and allow it to determine the costs involved over the next three

to five years.

Straits Times on the potential benefits of such a solution to motorists, LTA said: "A viable solution will enable a data-driven approach to maintenance, improving the ability to efficiently prioritise and plan road repairs for a safer and more reliable road network."

When asked about the current inspection regime, LTA said expressways are inspected weekly, major roads every two weeks, and minor roads every eight weeks to spot surface defects.

The cost of checking road conditions depends on factors such as the type of road, total length of the road and the technologies used. At present, the cost of collecting data on skid resistance, rut depth and roughness of the roads comes to about \$500,000 a year, said LTA.

Separately, the authority is seeking proposals for alternatives to current construction designs and methods for roads and bus bays.

It wants solutions that can meet challenges such as more extreme weather conditions and the different kinds of stress placed on road surfaces by different traffic loads in the future, including electric vehicles, which tend to be heavier.

Instead of coasting or free-wheeling, many electric vehicles have a feature that applies braking force when the driver takes his foot off the accelerator to recover electric energy. This contributes towards degrading the road surface.

For roads and expressways, LTA wants to save at least 20 per cent of costs during the lifespan of the roads built with the new alternatives, which can be during construction or maintenance.

For road junctions and bus bays, the challenge is the disruption to road users during construction, which takes between five and seven days to complete.

LTA wants to be able to reduce the time needed to pave a road junction or bus bay by at least half without changing the structural properties of the current junctions and bus bays.

LTA told ST that expressways are typically resurfaced every seven to 10 years, major roads every 10 to 15 years, and minor roads every 15 to 25 years. In addition, localised repair works are done whenever necessary.

In response to queries from The



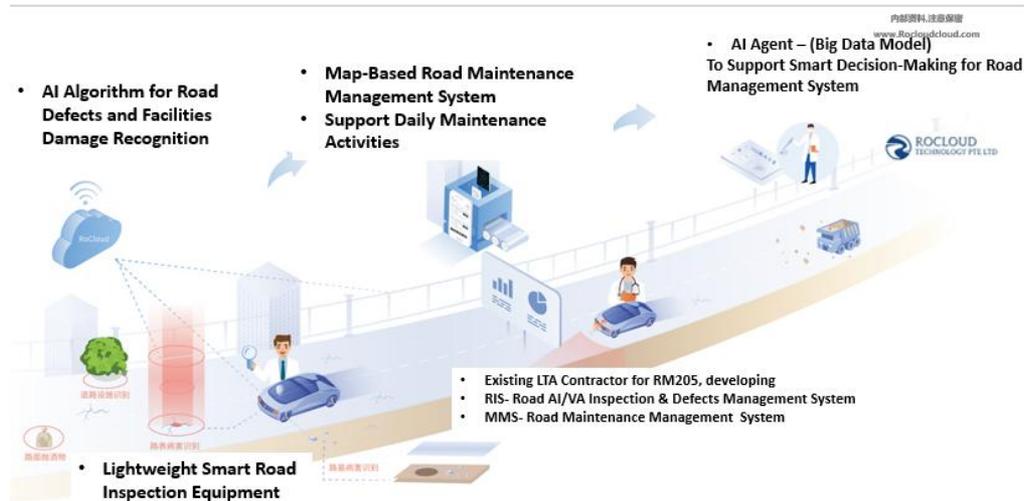
公路鋪面損壞監測

RoadBotics

● 公路鋪面損壞檢測（續）

－ 新加坡 LTA 鋪面巡察與檢測策略，分為三級：

- Class 1：與USDOT同等高精度，進行全路網的鋪面狀況、抗滑能力、平整度、以及結構強度等鋪面狀況進行定期檢測。
- Class 2：運用AI影像辨識，裝載在委託廠商的車輛，以及新加坡Bus上，進行大數據包含GPS位置資訊的收集，可更頻繁地進行監測。
- Class 3：由民眾以及負責單位目視調查，以及日常通報。

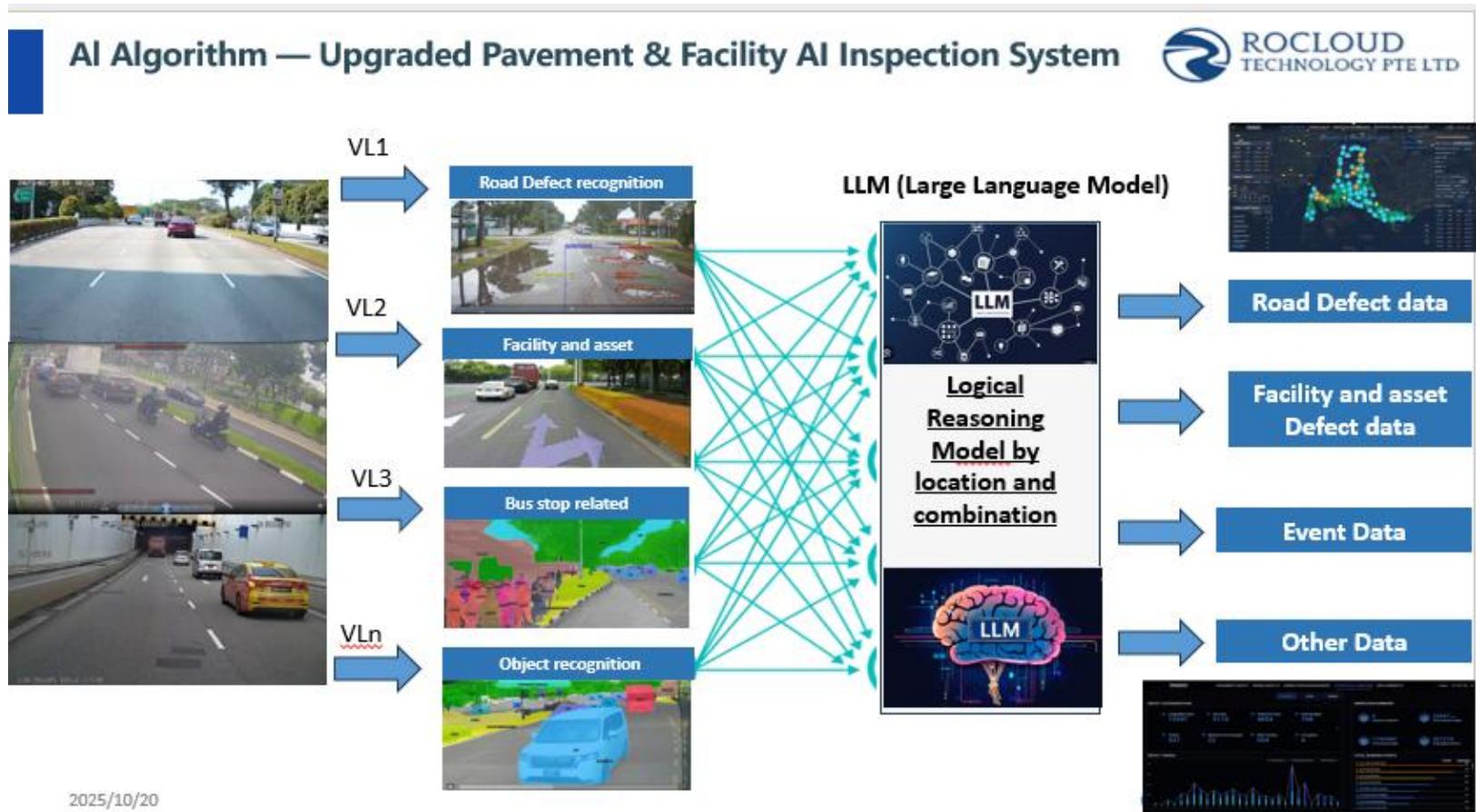


公路鋪面損壞監測

RoCloud

● 公路鋪面損壞檢測（續）

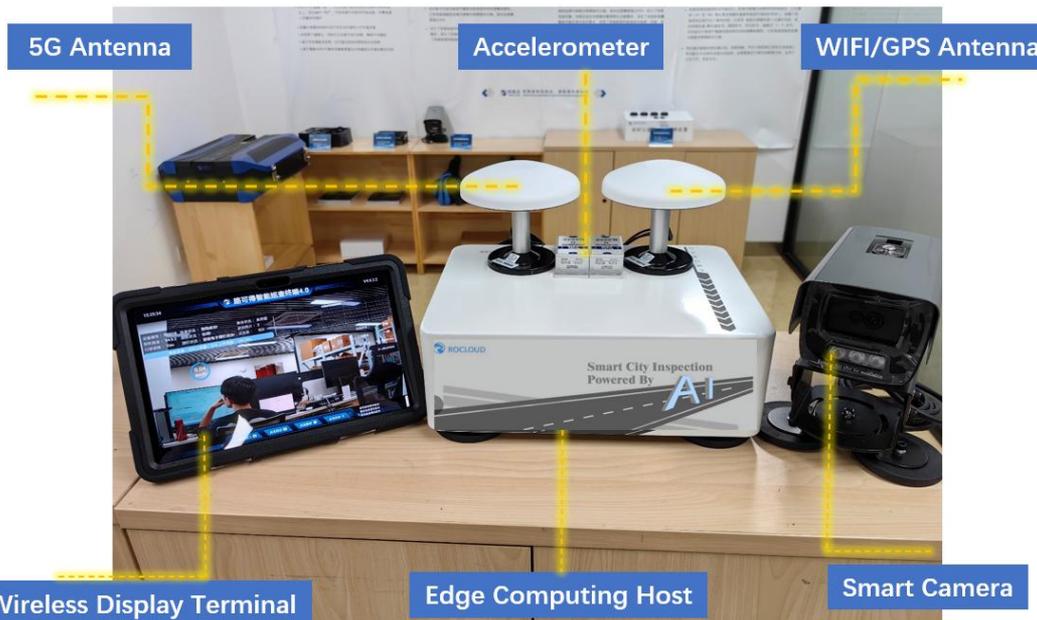
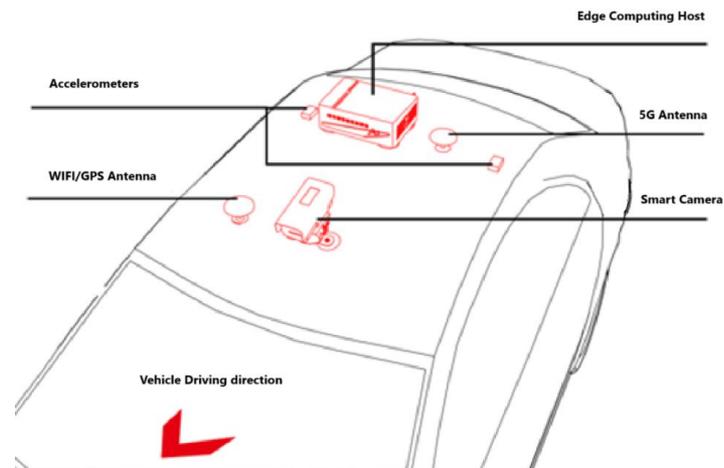
- 新加坡 LTA 將收集來的相關資訊載入大語言模型進行彙整。



公路鋪面損壞監測

RoCloud

- 公路鋪面損壞檢測 (續)
 - RoCloud 4.0



公路鋪面損壞監測

RoCloud

● 公路鋪面損壞檢測（續）

- AI影像辨識技術已經達成辨識至少16種鋪面狀況，辨識率達九成。



公路鋪面損壞監測

RoCloud

- 公路鋪面損壞檢測（續）

- AI影像辨識技術已經達成辨識至少16種鋪面狀況，辨識率達九成。

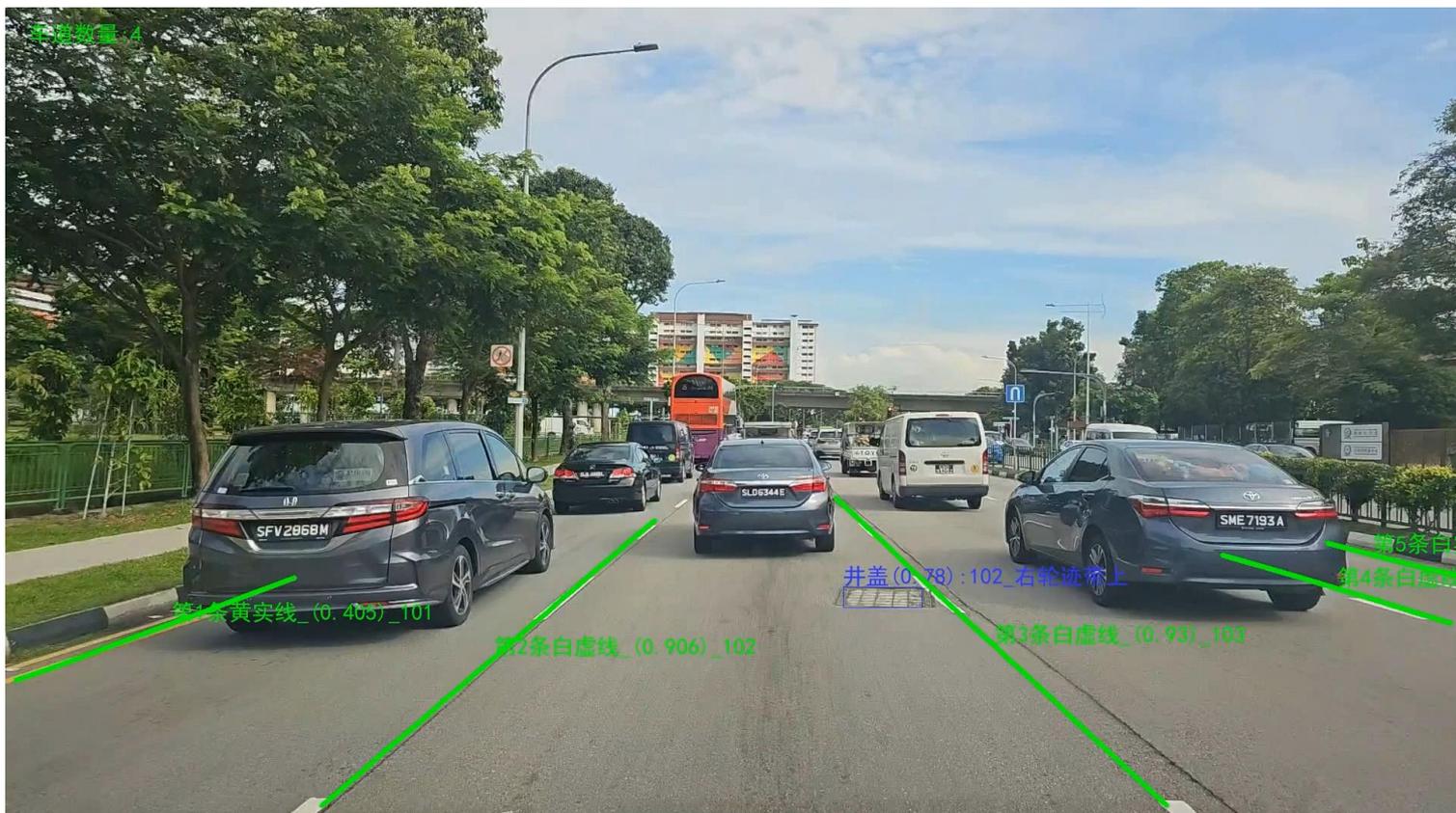


公路鋪面損壞監測

RoCloud

- 公路鋪面損壞檢測（續）

- AI影像辨識技術已經達成辨識至少16種鋪面狀況，辨識率達九成。



公路鋪面損壞監測

RoCloud

- 公路鋪面損壞檢測（續）
 - 新加坡LTA管轄道路的 PCI結果視覺化展示



公路鋪面損壞監測

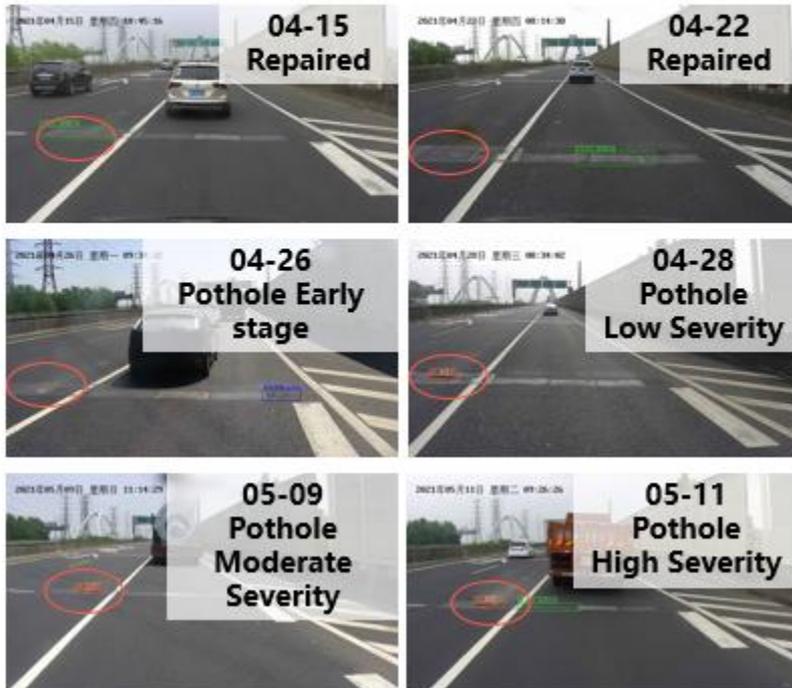
RoCloud

● 公路鋪面損壞檢測 (續)

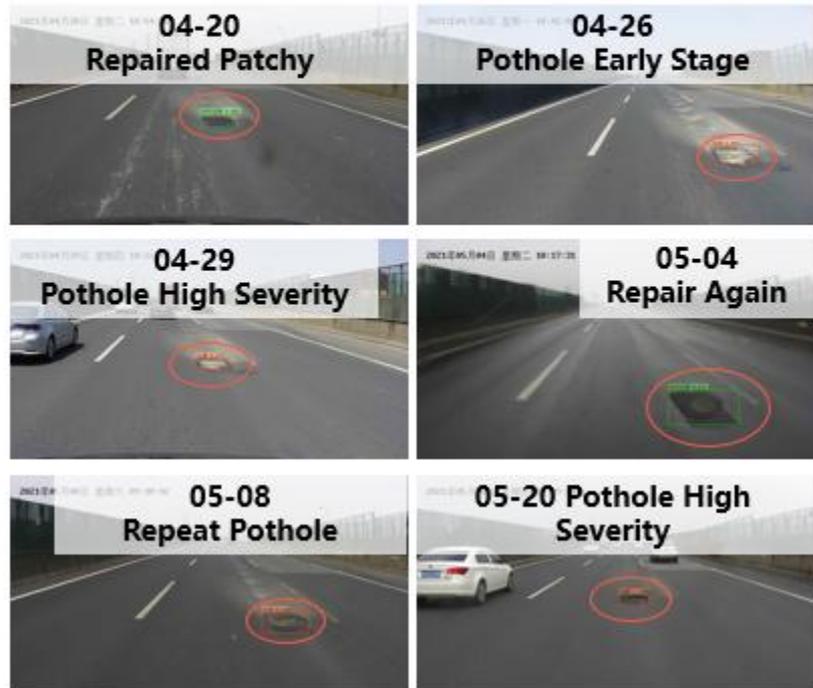
- 裂縫成因時光機：透過經常性巡察來確認坑洞成因，並可建立預測模式

Platform Product – GIS Based UI SYSTEM: Time Machine Function

□ Pothole developed less 20days



□ Pothole repeated twice within 30days



公路鋪面損壞監測

蘇育民老師拍攝及整理

- 柔性路面養護方法(MR&R)一般分為三種：
 - 維修 Maintenance
 - 裂縫填補 Crack Sealing
 - 接縫填補 Joint Sealing
 - 方正切割與修補 Patching
 - 磨耗層刨除加鋪 Wearing course removing and replacing
 - 表面功能性調整 Surface Treatment
 - 養護 Rehabilitation
 - 部分或全斷面養護 Full-Depth Reclamation (FDR)
 - 表面結構加鋪 HMA/Concrete Overlay
 - 重建 Reconstruction
 - 全斷面重建 Full-Depth Reclamation (FDR)

公路鋪面損壞監測

THB

- 公路局瀝青磚修補工法：



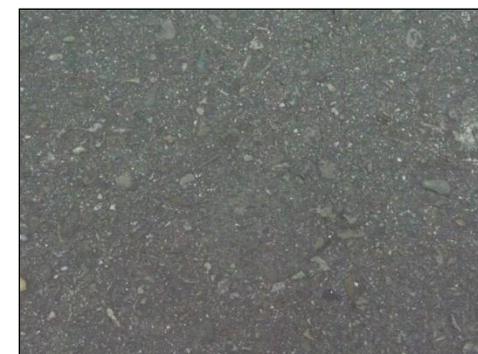
Regular patching materials
(After four months)



ACB
(After one year)



ACB
(After four months)



ACB
(After three years)

公路鋪面損壞監測

高巨 Golden Giant

- 公路局瀝青磚修補工法：



公路鋪面損壞監測

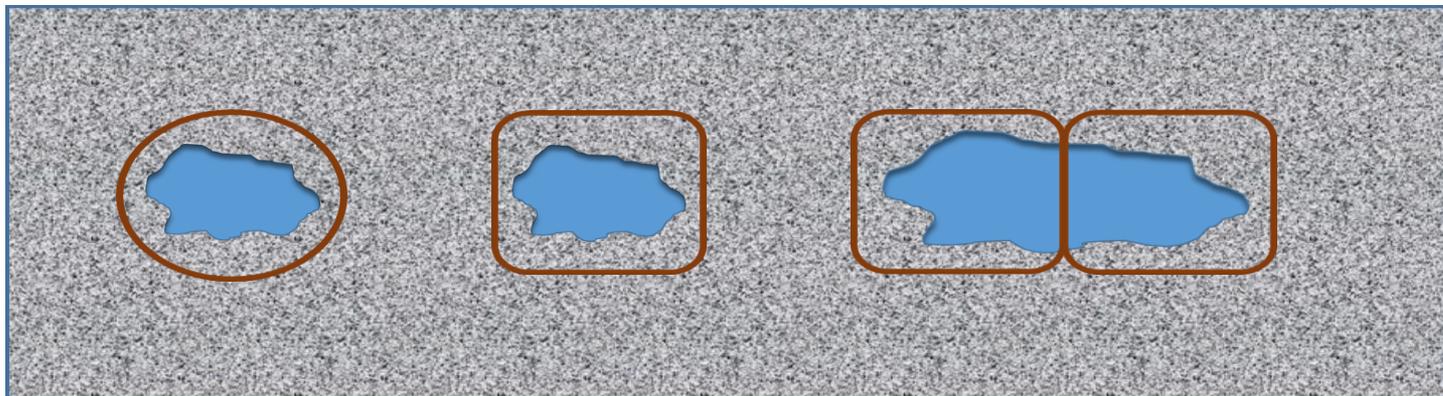
THB

- 公路局瀝青磚修補工法：



1. In Total **8 min**

2. Maximum **2 persons**



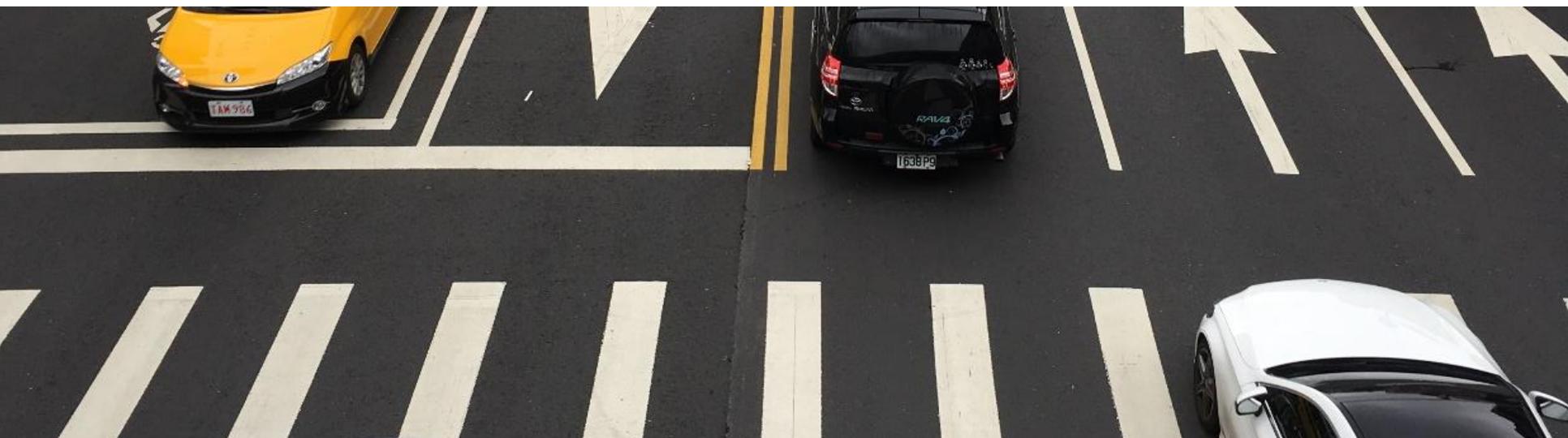
簡報大綱 Outline

- 自我介紹
- 公路鋪面損壞監測
- 抗滑能力評估
- 結論與建議



國立高雄科技大學土木系
智慧道路資產管理及工程
實驗室
Laboratory of
Asset management &
Pavement engineering with
Smart technologies

蘇育民老師拍攝及整理



抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

- 美國佛羅里達州的材料研究中心 State Materials Office, SMO :

- 為佛羅里達州交通廳所轄技術規範認證、實驗室檢測、先進材料與工法研究，
- 為國際上在先進技術工法、橋梁工程、工程材料、鋪面工程知名的研究機構。



抗滑能力評估

- 參訪佛羅里達州交通廳材料研究中心(2019/11)
- 簡報交流

高科大蘇育民老師拍攝



公路總局黃三哲副總工程司簡報交流



中興顧問代表簡報交流

抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

- 在重載加速荷載設備（Heavy Vehicle Simulator, HVS）旁合影(2019/11)

● :



抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

- 參訪佛羅里達州交通廳材料研究中心(2024/12)



抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

- 參訪佛羅里達州交通廳材料研究中心(2024/12)



抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

- 參訪佛羅里達州交通廳材料研究中心(2024/12)



抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

- 在重載加速荷載設備（Heavy Vehicle Simulator, HVS）旁合影(2024/12)



抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

- 因此，在美國各州交通廳依據州內的道路長度、經費預算、州交通廳的人員與實驗室能力，在道路成效監測上可以分以下幾項(FHWA, 2015)：
 - － 鋪面狀況監測（大多數在每年內完成）
 - － 平整程度監測（1-2年內完成）
 - － **抗滑能力監測**（2-3年內完成）
 - － 結構強度監測（3-5年內完成）



抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

- 從1930年代的的英國運輸部（Ministry of Transport）的抗滑研究開始（Bird and Scott 1936; Bird and Miller 1937）以來，即十分明確地指出抗滑能力與交通安全與公路經濟息息相關，此問題的根本來自於兩個方面，公路狀況（road aspect）以及車輛狀況（vehicle aspect）；現代公路交通意外事故成因更加複雜，大致上可以分為三個層面來討論，包含
 - 駕駛人方面（driver-related）、
 - 車輛方面（vehicle-related）、以及
 - 公路現況層面（highway conditions-related）。

抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

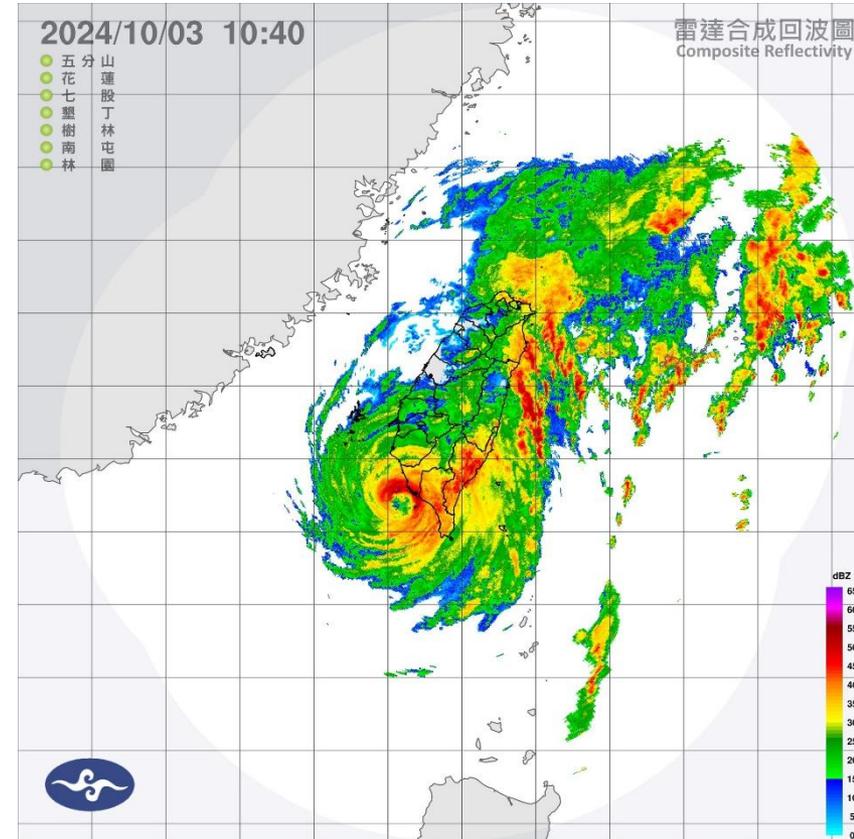
- 現實上大多數的公路主管機關能夠掌握的，是主導公路有效的設計、施工、維護、管養、以及政策上維持公路表面保持一定程度的抗滑能力，作為維持在濕滑路面下車輛能夠安全行駛的參考依據（AASHTO, 2008）。
- 目前，多數的公路主管機關會以相關抗滑能力的「**最低養護門檻值**」（Minimum Maintenance Threshold），也就是說低於此門檻值必須要考量進行道路養護以確保在濕滑路面駕駛的安全，如此的門檻值可以再整體路網中依據不同等級的公路來制訂（AASHTO, 2008）。

抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

- 天候因素造成濕滑路面而導致
的交通意外事故，一直以來為
交通安全與管理的重要課題，
特別臺灣處於亞洲亞熱帶氣候
帶，
 - 在春夏之際有可能有滯留鋒面形
成梅雨，讓全臺灣可以在五至六
月之際陣雨不斷；
 - 夏天的颱風季節從七月至十一月
期間，常伴隨有強烈的豪雨侵襲
，此外午後雷陣雨也往往造成強
降雨，使得雨水宣洩不及而造成
路面部分淹水；
 - 進入秋冬季節之後，則可能有氣
候南北不同的型態：北部在冬天
因為地形以及東北季風影響，冬
季陰雨綿綿，而南部在冬天則進
入乾季，降雨機率不高，直到隔
年春天。

山陀兒颱風



抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

- 因此濕滑路面的交通意外事故往往與車輪水漂打滑現象息息相關，車速約高、被磨損失去抗滑能力的鋪面越廣、雨量越高等等現象可能均會提高車輛打滑的機會。雖然水漂打滑現象成因複雜，基本上與公路、環境、駕駛、以及車輛因素相關，包含以下幾點因素（Glennon, 2006）：
 - 公路因素（直接影響水膜厚度）：（1）車道輪跡位置車轍深度（2）鋪面表面巨觀紋理（3）鋪面表面微觀紋理（4）鋪面橫剖面洩水坡度（5）道路等級（6）公路寬度（7）公路線型曲線設計（8）縱向沈陷
 - 環境因素（直接影響水膜厚度）：（1）雨量強度（2）降雨時間
 - 駕駛因素（與水膜厚度相關）：（1）車速（2）加速度（3）煞車（4）轉向
 - 車輛因素（與水膜厚度相關）：（1）胎紋磨耗（2）車輛荷載以及胎壓（3）車輛種類

抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

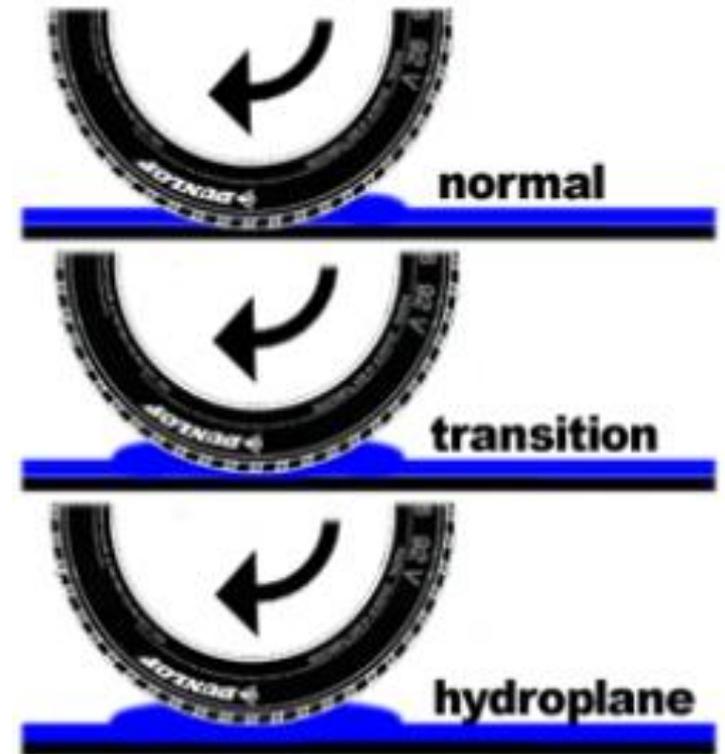
● 抗滑能力監測

- 臺灣不論在冬季或是夏季的降雨，均可能提高用路人車輛的車輪在濕滑路面上產生水飄打滑（Hydroplaning）的現象。產生水飄打滑現象大概有三個過程（Glennon, 2006; Ekram, 2018a&b）：
 - 車輪水飄打滑的現象來自於濕滑路面上的水膜，當一定速度下的車輛經過濕滑路面為正常的狀況（Normal），
 - 因為車輪滾動具備一定的速度讓水膜逐漸累積在車輪前（Transition）
 - 而這些逐漸累積起來的水膜厚度會抬升輪胎使其失去與鋪面的接觸，造成失去車輪與鋪面之間的摩擦力（Hydroplaning），也使得駕駛人失去控制車輛方向的能力。

抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

- 一個基本的經驗法則（rule of thumb）指出，一般車輛速度：
 - 超過每小時72.4公里（每小時45英里）
 - 經過一個厚度高於2.6公釐的水膜（0.1英吋）
 - 長度超過9.2公尺（30英尺）的路段
- 很有可能會產生車輪水漂打滑的現象。



Glennon, 2006; Ekram, 2018a&b

抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

● 抗滑能力監測

- 一般來說，公路單位關心「潮濕路面」下的抗滑能力與交通安全之間的關連性，現實中也是下雨天路滑，而造成各級公路的車禍意外發生率上升。



抗滑能力評估

蘇育民老師整理

● 抗滑能力監測

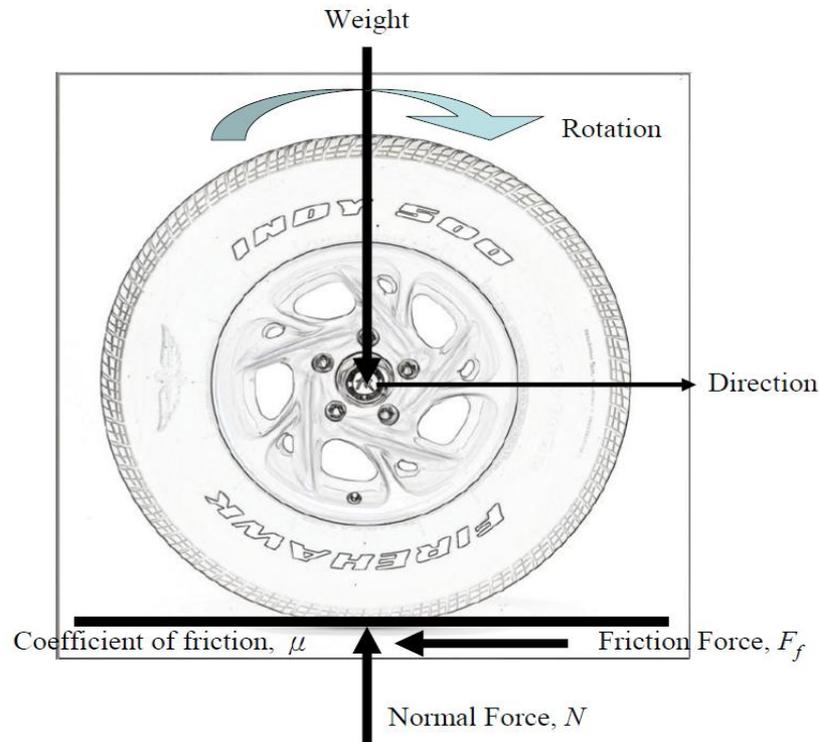
- 摩擦力的經典定律為庫倫摩擦定律（Laws of Coulomb Friction），又稱為庫倫摩擦（Coulomb friction），而其表示方程式如式（Tipler, 1998; Su et al., 2018）。

$$F_f = \mu \times N$$

其中， μ =摩擦係數;

N =垂直作用力

F_f =摩擦力



抗滑能力評估

蘇育民老師整理

● 抗滑能力監測

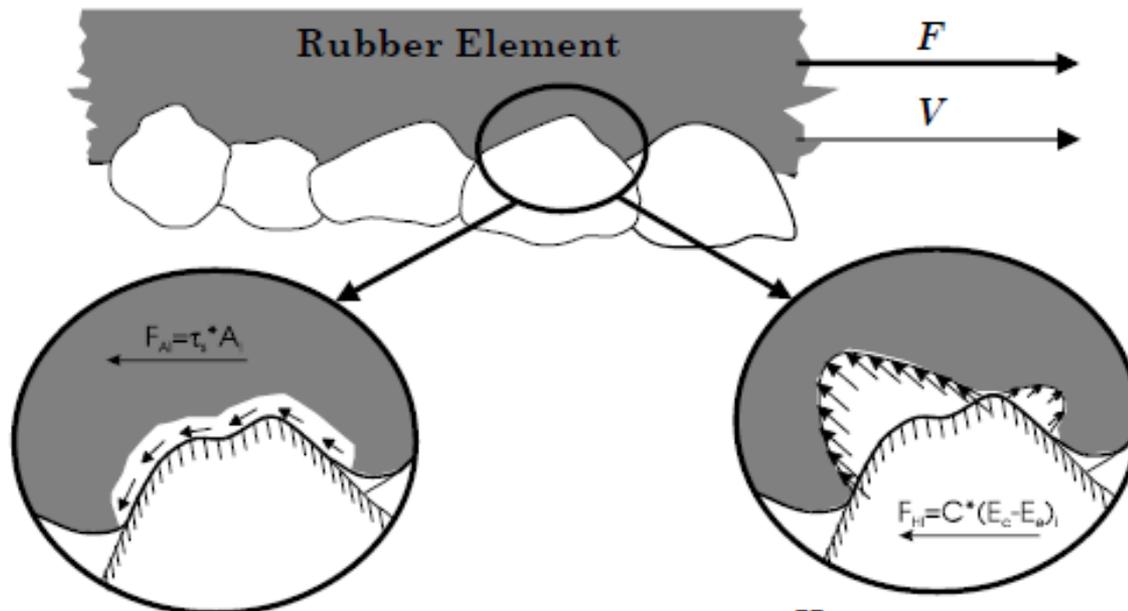
- 現代對於輪胎和鋪面之間摩擦力的瞭解，從 Kummer (1966) 認為橡膠材料亦或是輪胎主控著摩擦力，道路鋪面在分子動力學發生熱的過程時分子鏈被產生抵抗接觸，認為是鋪面有兩個獨立的機制，分別黏滯摩擦力和遲滯摩擦力：
 - 黏滯摩擦力 (Adhesion Force) 是由車輛輪胎與鋪面之間因局部壓力使得分子結合而產生黏著力，而在車輪滑動時這種黏著力擴展、斷裂並且衰退直至新分子黏著力產生，因此可能造成能量損失而產出黏著摩擦力；
 - 由於鋪面粒料不規則之尺寸、間距與排列方式使得輪胎紋理產生變形，當車輪壓過粗糙粒料時，輪胎接觸面係處於壓力狀態，而在離開粒料則處於解壓狀態，但是當解壓時並不是所有的能量都被恢復，將會有部份能量轉化為熱能消散，因而產生出遲滯摩擦力 (Hysteresis Force)。

抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

$$F = F_a + F_h$$

其中， F_a =黏著力 (Adhesion Force) ; F_h =延滯力 (Hysteresis Force) ;

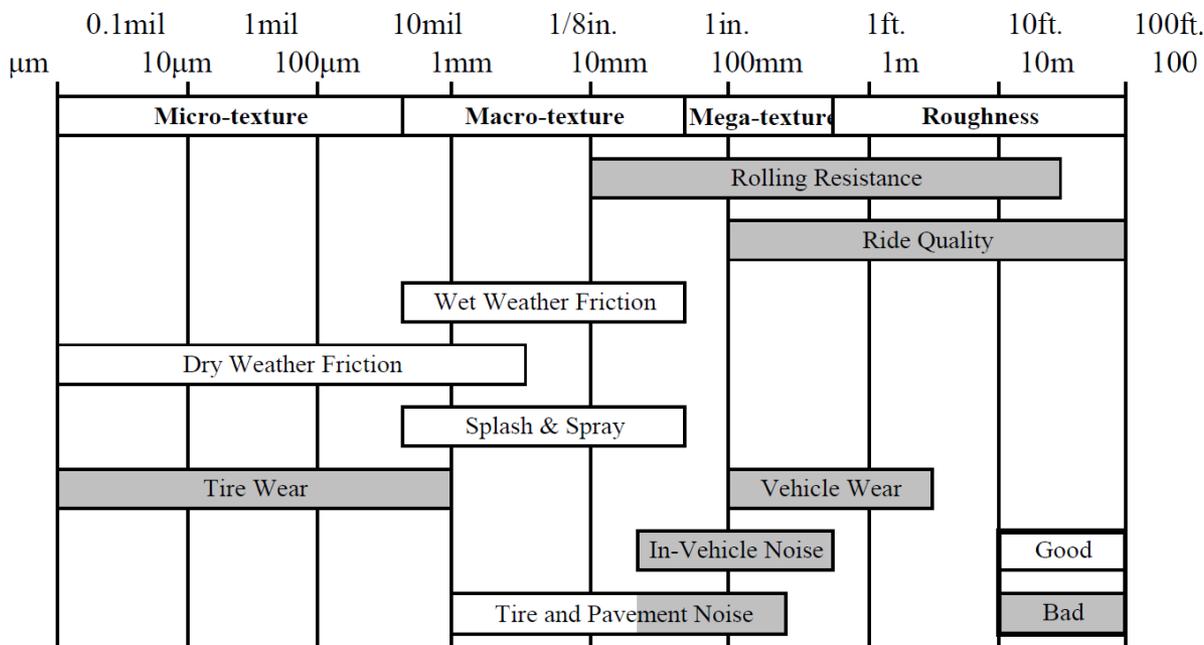


AASHTO, 2008

抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

- Plotkin等人（1980）指出，不同波長之鋪面紋理對於行車安全性、舒適性及噪音量皆有不同的影響，因此世界道路聯盟PIARC（Permanent International Association of Road Congresses）的鋪面特性技術委員會將鋪面紋理以鋪面紋理波長區分為四種類別。

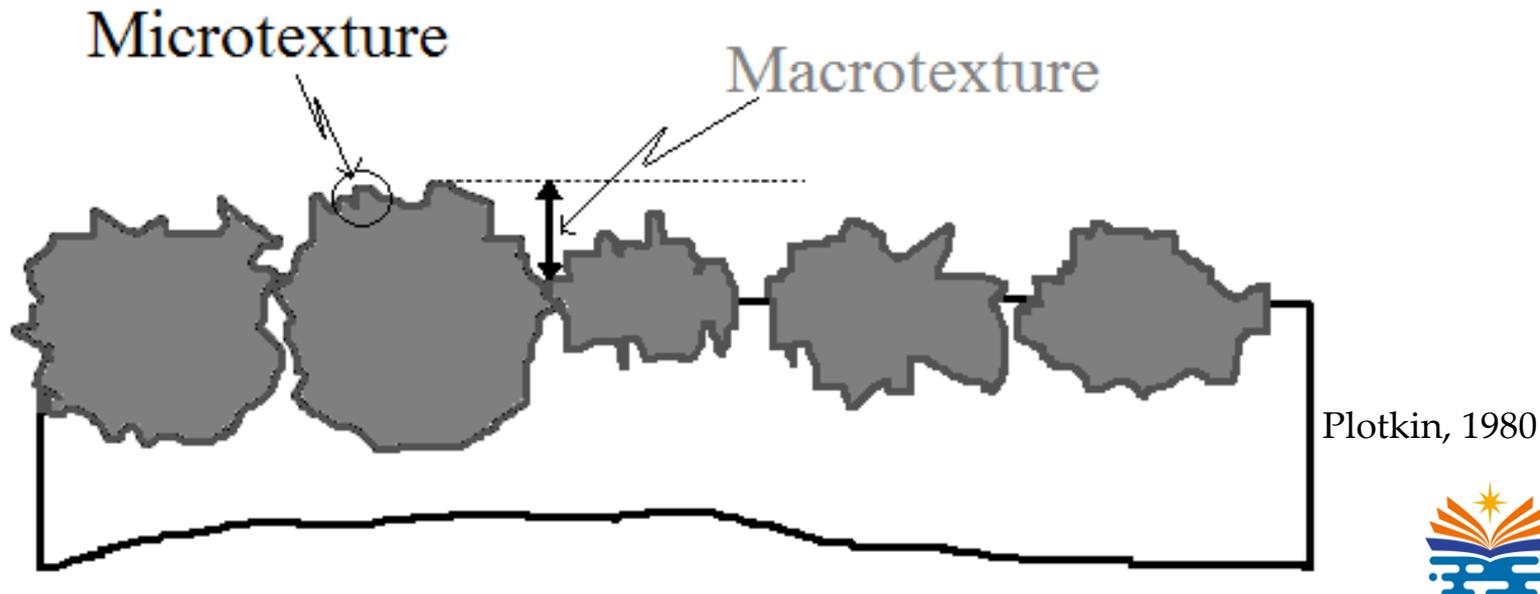


Plotkin, 1980

抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

- Shuo等人(2004)指出，世界道路聯盟(PIARC)進一步針對於紋理波長與車輛輪胎以及鋪面接觸面之間提出關係性，如摩擦力、水霧、噪音、車胎磨損以及車胎滾動阻力。由此可知道路表面之抗滑力係取決於微觀紋理與巨觀紋理。因其鋪面面層之黏滯力構成主要係依賴微觀紋理，而延滯力是係依賴巨觀紋理。



抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

● 抗滑能力監測

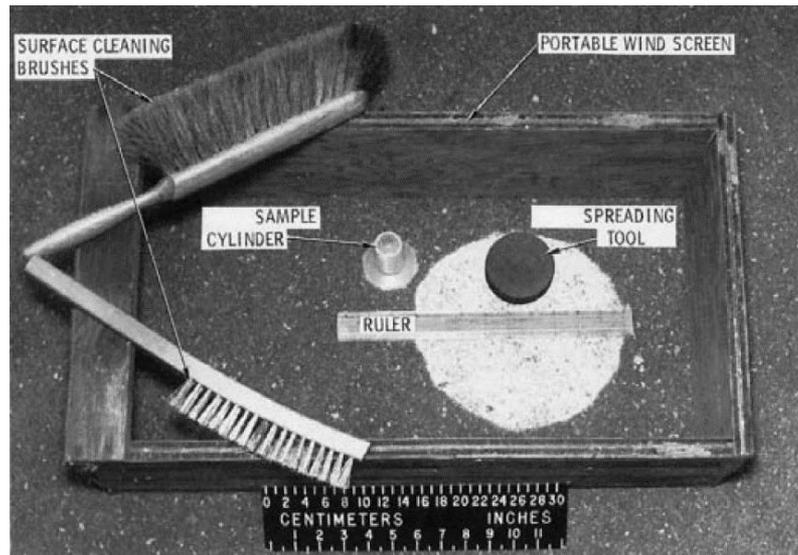
- 全球的科技日益發達，包括鋪面抗滑量測儀器亦也不斷地在進步，朝向操作簡便、連續長距離量測、快速準確等方向發展，而各項儀器原理不同，所用目的及適用範圍亦有所不同，以下列舉幾項代表性儀器與試驗方法敘述：
 - 鋪砂法 (Sand Patch Method)
 - 旋轉式雷射表面紋理量測儀 (Circular Texture-Track Meter, CTM)
 - 英式擺錘儀 (British Pendulum Tester, BPT)
 - 動態摩擦係數儀 (Dynamic Friction Tester, DFT)
 - ASTM現地鎖輪式檢測車 (Locked-Wheel Towed Trailer)

抗滑能力評估

● 抗滑能力監測

– 鋪砂法 (Sand Patch Method)

- 鋪面之巨觀紋理量測已經實施許多年，最古老、最常見及設備準備上極為簡單的方法為鋪砂法。其試驗設備如圖，該法係以規範ASTM E965-15 (2024) 進行。其原理係利用已知體積的標準沙記為 V (mm^3)，將其鋪設至受測鋪面上，記錄其鋪抹出之圓形面積的直徑 D (mm)，再與已知體積進行計算，即可算得鋪面之平均紋理深度 (Mean Texture Depth, MTD)



ASTM E965

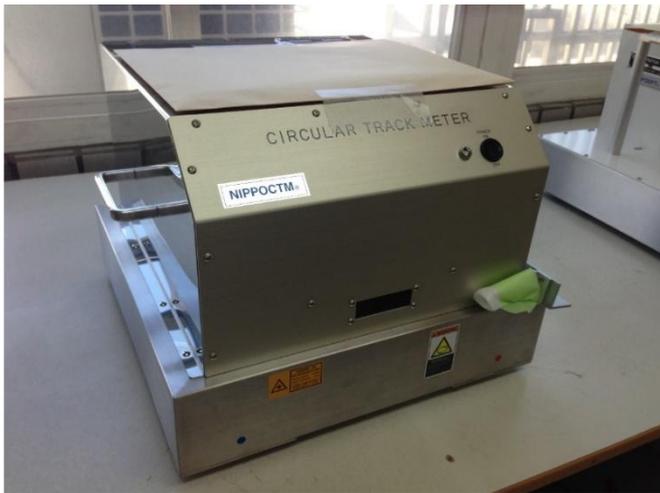
抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

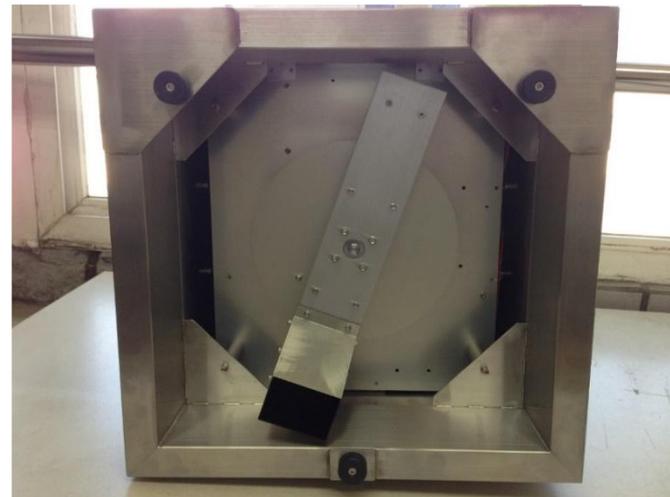
旋轉式雷射表面紋理量測儀 (Circular Texture/Track Meter, CTM)

CTM內部裝設一個電荷耦合元件(CCD)雷射位移感應器，而位移感應器裝設於懸壁直徑284-mm圓形軌道旋轉，每次鋪面之掃射大約40秒。儀器所掃射出剖面可傳輸於電腦並由軟體計算紋理量。

- 依據規範ASTM E2157-15(2024) 來測量鋪面的平均剖面紋理深度(MPD)。



旋轉式雷射表面紋理量測儀

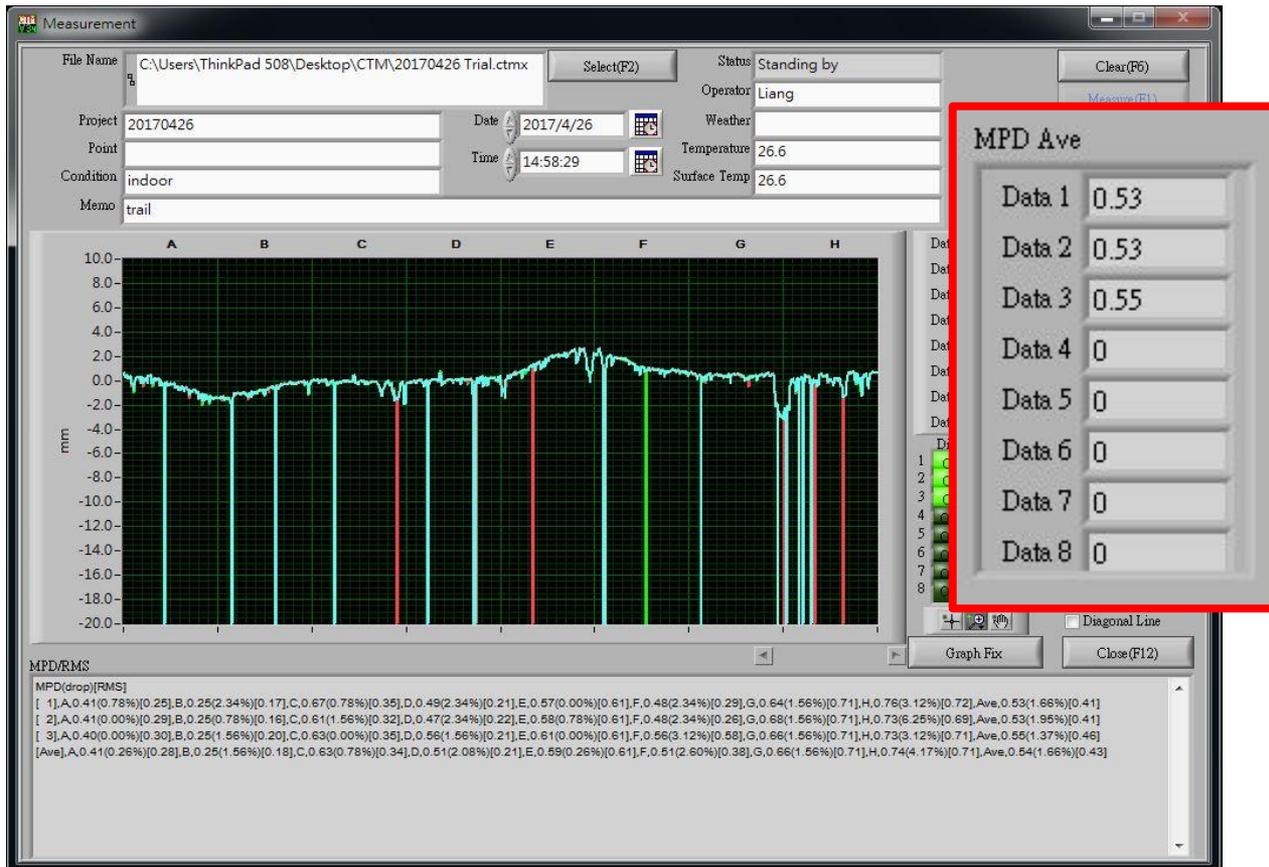


CTM之雷射位移感應器(CCD)

抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

旋轉式雷射表面紋理量測儀 (Circular Texture/Track Meter, CTM)



讀取CTM試驗數據時之程式畫面

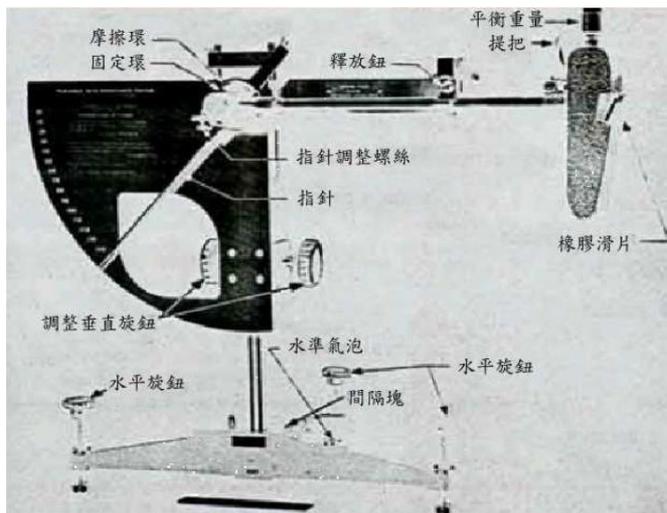
抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

● 抗滑能力監測

– 英式擺錘儀（BPT）最早自1960年代開始使用，係依據ASTM E303 (2022)標準規範進行測試，其利用能量不減原理將位能轉換為動能，藉由橡膠滑塊與鋪面之摩擦耗損所耗損能量，即可得英式擺錘值（British Pendulum Number, BPN）。

- 依據交通部「交通工程規範」規定，採ASTM E303-93規範之試驗方法。



(交通工程規範附錄，民 103)



(梁憲豪，2018)

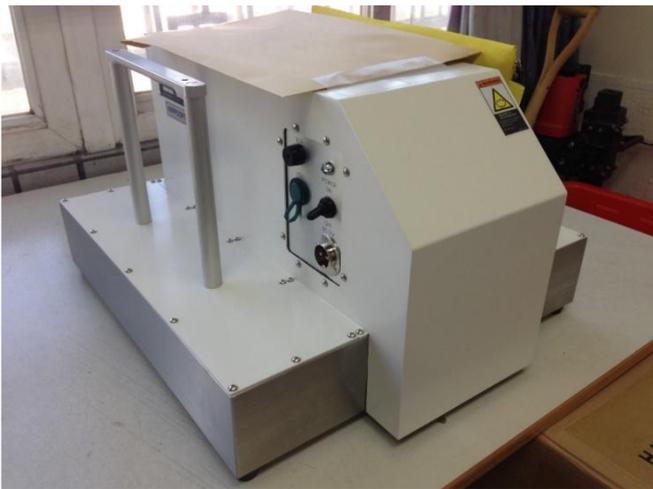
抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

動態摩擦係數儀 (Dynamic Friction Tester, DFT)

DFT為手提簡易式抗滑檢測儀，於水準轉盤之轉輪上裝置三塊橡膠墊以模擬輪胎，檢測原理係採用定點轉動方式加速，經由摩擦阻力耗損動能，以量測出鋪面之動態摩擦係數。

- 依據規範ASTM E1911-19(2024)，來測量鋪面的表面動摩擦係數(DFT₂₀)。



動摩擦係數儀

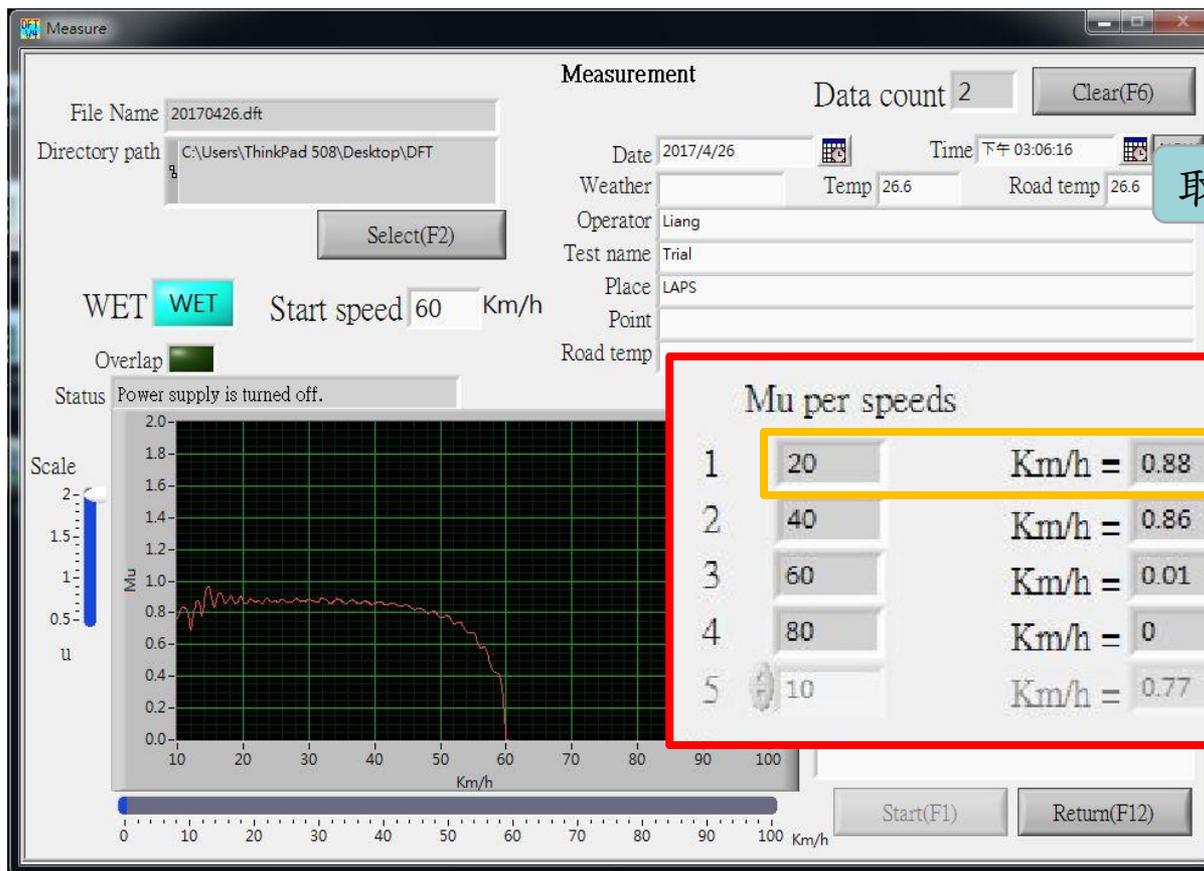


DFT之水準轉盤

抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

動態摩擦係數儀 (Dynamic Friction Tester, DFT)



取DFT₂₀值進行分析

讀取DFT試驗數據時之程式畫面

抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

● 抗滑能力監測

– ASTM現地鎖輪式檢測車 (Locked-Wheel Towed Trailer)

- 現地道路的檢測方式可依據ASTM E274 (2015) 標準規範設計，即鎖輪式檢測法。
- 在恆定的速率與荷載下，以165kPa (24psi) 的壓力在潮濕的表面上滑動的鎖住輪胎可以測量抗滑能力，當檢測車達到標準試驗速度的每小時64公里 (每小時40英里) 時，澆水系統提供0.5-mm的水膜後，輪胎即被鎖定，鎖定的車輪應保持在測試表面上滑動至少1.0秒鐘，使其滑動百分比為100%狀況下，即可接收檢測車摩擦係數 (Skid Number)，以每小時四十英里為標準的摩擦係數 (SN₄₀) 作為紀錄



抗滑能力評估

ICC

● 抗滑能力監測

- 現地抗滑能力監測在美國與臺灣均以ASTM E274拖式鎖輪設備進行（多數選用花紋胎，少數使用光滑胎）



抗滑能力評估

[Youtube](#)

- 抗滑能力監測
 - ASTM E274 拖式鎖輪抗滑能力檢測設備

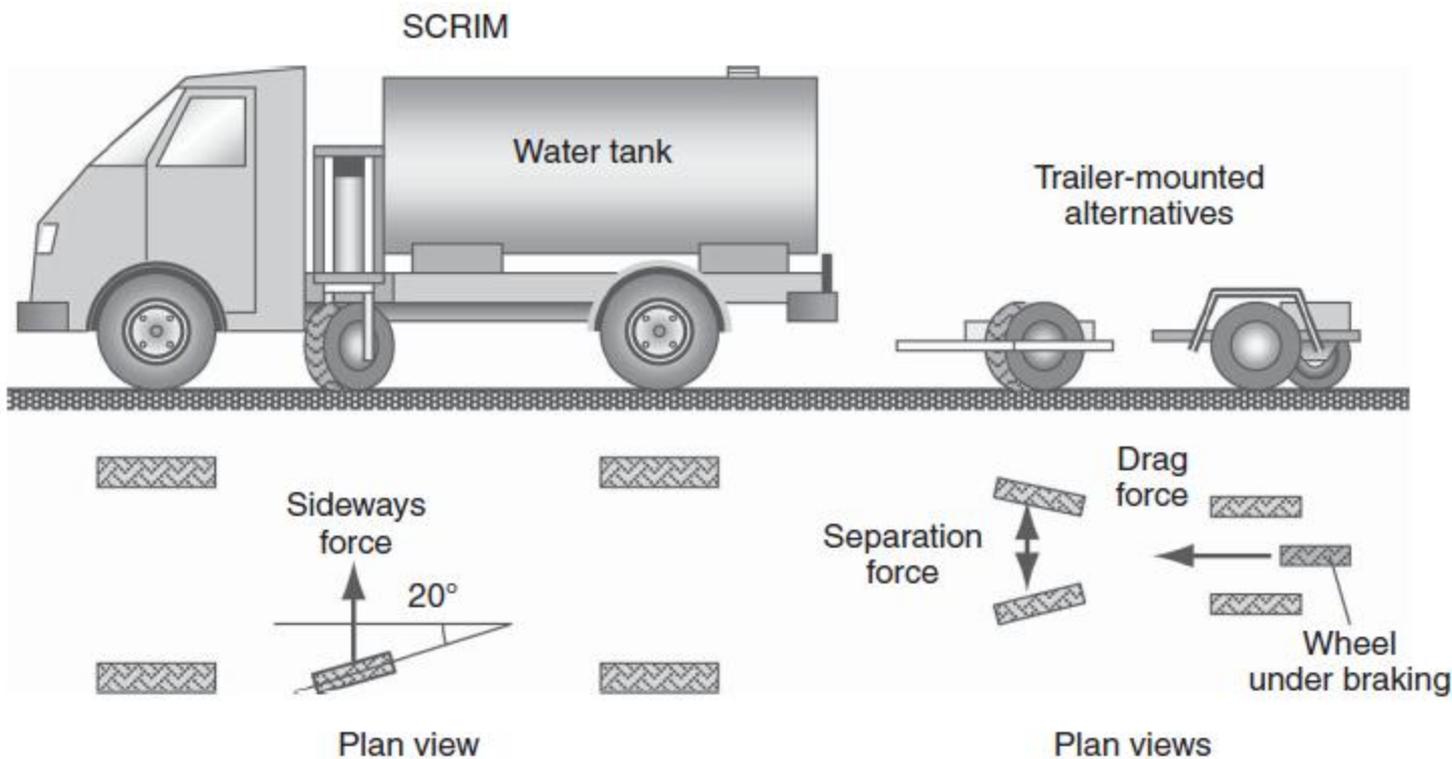


抗滑能力評估

Nick Thom, 2014

● 抗滑能力監測

－ 鎖輪式以及偏輪式抗滑力量測設備說明



抗滑能力評估

[Youtube](#)

- 抗滑能力監測

- Sideway force Coefficient Routine Investigation Machine, SCRIM



抗滑能力評估

Youtube

- 抗滑能力監測
 - Sideway force Coefficient Routine Investigation Machine, SCRIM



抗滑能力評估

蘇育民老師拍攝及整理

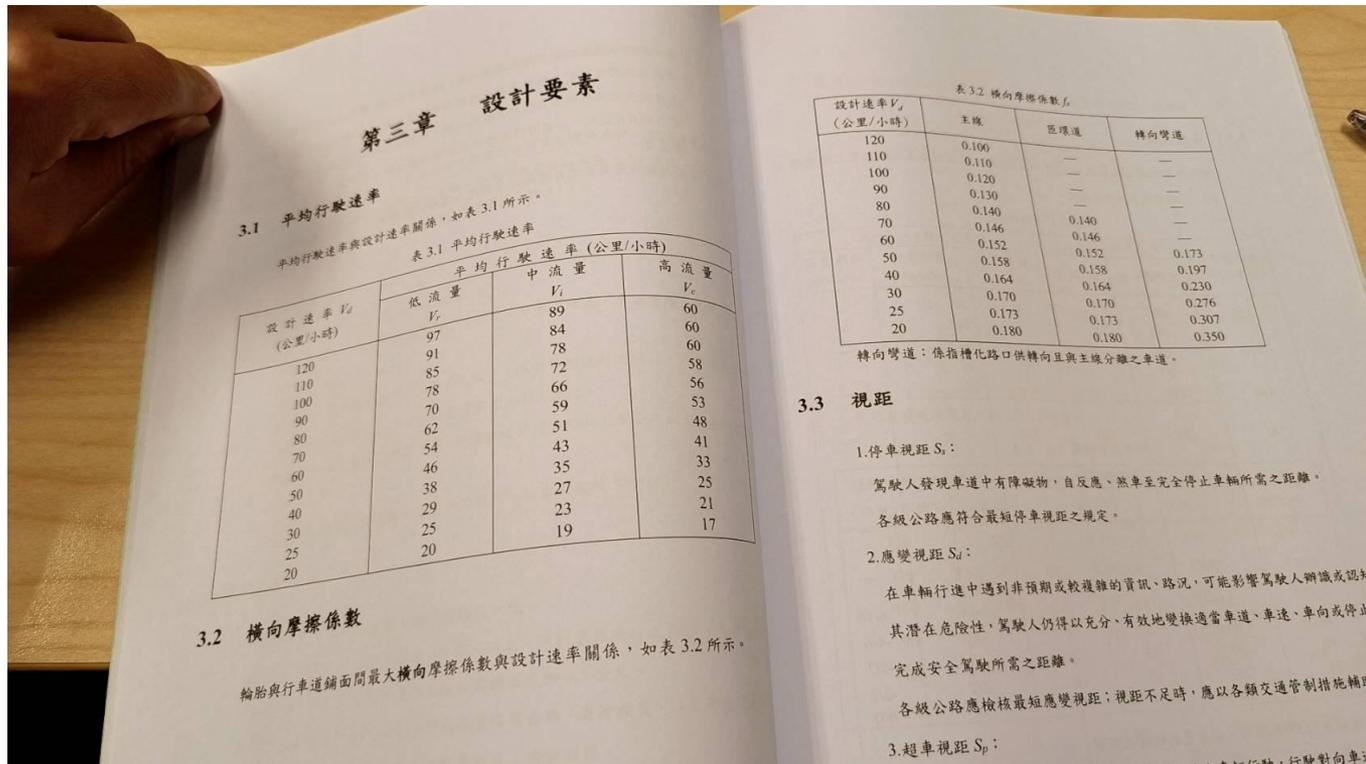
● 抗滑能力監測

- ASTM現地鎖輪式檢測車（Locked-Wheel Towed Trailer）
 - 美國各州多以「最低養護門檻」之Skid Number做為公路主管機關優先養護的門檻。
 - 根據2024/12/10 至State Materials Office of FDOT參訪時口頭詢問SMO同仁獲知，**FDOT內部的最低養護門檻為 $SN < 0.35$** 時，將會由SMO通知FDOT District，做為優先養護考量。
 - SMO已經自1997年連續監測全州抗滑監測數據達25年，目前有五部以上的鎖輪檢測車。
- **SMO 已經引進 SCRIM**，考量比較能夠獲得路網級抗滑連續量測的監測數據，目前進度及試驗結果驗證中。



抗滑能力評估

- 道路表面抗滑研究與實務發展（續）：
 - 建立鋪面與標線的最低養護門檻（續）
 - 公路路線設計規範 第三章



第三章 設計要素

3.1 平均行駛速率

平均行駛速率與設計速率關係，如表 3.1 所示。

表 3.1 平均行駛速率

設計速率 V_d (公里/小時)	平均行駛速率 (公里/小時)		
	低流量 V_l	中流量 V_m	高流量 V_h
120	97	89	60
110	91	84	60
100	85	78	60
90	78	72	58
80	70	66	56
70	62	59	53
60	54	51	48
50	46	43	41
40	38	35	33
30	29	27	25
25	25	23	21
20	20	19	17

3.2 橫向摩擦係數

輪胎與行車道鋪面間最大橫向摩擦係數與設計速率關係，如表 3.2 所示。

表 3.2 橫向摩擦係數 f_t

設計速率 V_d (公里/小時)	主線	圓環道	轉向彎道
120	0.106	—	—
110	0.110	—	—
100	0.120	—	—
90	0.130	—	—
80	0.140	—	—
70	0.146	0.140	—
60	0.152	0.146	—
50	0.158	0.152	0.173
40	0.164	0.158	0.197
30	0.170	0.164	0.230
25	0.173	0.170	0.276
20	0.180	0.173	0.307
		0.180	0.350

轉向彎道：係指槽化路口供轉向且與主線分離之車道。

3.3 視距

1. 停車視距 S_0 ：

駕駛人發現車道中有障礙物，自反應、煞車至完全停止車輛所需之距離。
 各級公路應符合最短停車視距之規定。

2. 應變視距 S_d ：

在車輛行進中遇到非預期或較複雜的資訊、路況，可能影響駕駛人辨識或認知其潛在危險性，駕駛人仍得以充分、有效地變換適當車道、車速、車向或停止，完成安全駕駛所需之距離。

各級公路應檢核最短應變視距；視距不足時，應以各類交通管制措施輔助。

3. 超車視距 S_p ：

... 此處車輛行駛，行駛對向車道

抗滑能力評估

- 道路表面抗滑研究與實務發展（續）：
 - 建立鋪面與標線的最低養護門檻（續）
 - 公路路線設計規範 第三章

表 3.2 橫向摩擦係數 f_s

設計速率 V_d (公里/小時)	主線	匝環道	轉向彎道
120	0.100	—	—
110	0.110	—	—
100	0.120	—	—
90	0.130	—	—
80	0.140	0.140	—
70	0.146	0.146	—
60	0.152	0.152	0.173
50	0.158	0.158	0.197
40	0.164	0.164	0.230
30	0.170	0.170	0.276
25	0.173	0.173	0.307
20	0.180	0.180	0.350

轉向彎道：係指槽化路口供轉向且與主線分離之車道。

結論與建議

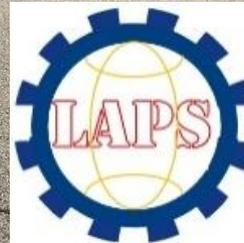
- 建議參考新加坡LTA以及佛羅里達交通廳FDOT策略
 - 建立年度定期檢測計畫 (Class 1) --USDOT, USA
 - 高精度的單年度或是多年期檢測計畫，包含：**路況巡察PCI**、**平整度IRI**、**抗滑能力SN/fs**、以及結構能力等，建議需要詳實擬定並執行。
 - 運用AI檢測車經常性巡檢 (Class 2) --LTA, Singapore
 - 運用AI檢測技術可以更高頻率進行路面狀況，以及路況巡察。
 - 檢測收集的資訊，可透過時光機回溯找出造成破壞的原因跟時間。
 - 保留目視調查以及電話通報 (Class 3)
 - 保留目前人工紀錄路況巡察以及電話通報的機制，進行路況巡察的資料補充與確認。
- 氣候變遷已經不是假設，公路養護單位應該需要考量「**氣候調適**」的策略，提升公路資產在遇到災害時的韌性。

謝謝聆聽，歡迎指教

主講人: 蘇育民博士 (yuminsu@nkust.edu.tw)



高科大
NKUST



國立高雄科技大學土木系
智慧道路資產管理及工程
實驗室
Laboratory of
Asset management &
Pavement engineering with
Smart technologies