

ISSN:1812-2868

臺灣公路工程

第 41 卷 第 4 期

〈每月 15 日出刊〉



TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

Vol. 41 No.4 April. 2015

交通部公路總局

中華民國 104 年 4 月 15 日

聖嚴法師 自在語

～ 慈悲行願～

慈悲必春風化雨，智慧當日光普照。

悲善拔苦慈予樂，智火滅罪慧斷惑。

有大智慧有大願，無量福德無量壽。

若見心中如來藏，三界火宅化紅蓮。

應無所住而生其心，是入慈悲門。



封 面 說 明

台26線 49k+200 風吹砂景觀

林文貴攝

臺灣公路工程

TAIWAN HIGHWAY ENGINEERING

中華民國 41 年 11 月 11 日創刊

第 41 卷 第 4 期 目錄

本刊為中華民國 41 年 11 月 11 日創刊，至 63 年 3 月 1 日發行第 22 卷第 5 期，經合併本局發行之臺灣公路工程、養路及公路機料等三種月刊，仍以臺灣公路工程為名，於 63 年 7 月 15 日起重訂為第 1 卷第 1 期繼續發行

臺灣公路工程

發行人

趙興華

社長

夏明勝

總編輯

李忠璋

總幹事

張宇博

編輯

吳進興 黃開平

賴常雄 陳進發

張運鴻 蔡宗成

鄧文廣 薛讚添

陳敬明 林清洲

廖吳章 翁有來

邵厚潔 陳松堂

賴明煌 黃三哲

專題研究

預力梁橋碳足跡計算網頁

.....楊宗岳、蘇文崎、蔡瑞榮、卜君平、陳雋仁、林家宏...(2)

瀝青添加湖瀝青之成效特性研究

.....劉文宗、彭俊翔、陳偉全、張偉哲、沈建良...(24)

本刊內容不代表本局意見

發表之文字如需轉載請先徵得本刊之同意

出版者：交通部公路總局

社址：10863 臺北市萬華區東園街 65 號

Address: No.65, Dongyuan St., Wanhua Dist.,

Taipei City 10863, Taiwan(R. O. C.)

電話：(02) 2307-0123 轉 8108

網址：<http://www.thb.gov.tw/>出版薈萃

預力梁橋碳足跡計算網頁

楊宗岳*、蘇文崎**、蔡瑞榮***、卜君平****、陳雋仁*****、林家宏*****

摘要

預力梁橋為目前應用最多的橋梁，常因客觀條件採用不同工法，因而會有不同的碳足跡。如能建立量化的評估系統，使工程師能快速得知各不同規劃或設計方案的排碳量，將有助於從節能減碳的觀點作各項方案的比較與選擇。

本研究以全生命週期觀點，彙整相關設計資料並經修正、統計、分析及迴歸後，推估預力梁橋在材料使用、材料運輸、施工機具、日常使用及維護、拆除及廢棄等階段的排碳量，建立預力梁橋碳足跡計算網頁，並建立後台管理頁面，便於持續更新。使用者僅須勾選相關選項或填入相關數值，系統可直接計得各不同階段的排碳量。雖然因個案應用可能有部分誤差，但本系統應足以提供規劃階段排碳量概估所需的準確性。

關鍵詞：碳足跡、網頁、預力梁橋

一、前言

行政院公共工程委員會 97 年 11 月公佈「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」[1]，其推動策略在技術面以工程全生命週期的落實為核心，將永續發展及節能減碳的考量納入可行性評估、規劃、設計、施工、維護管理等每一個環節。於 98 年 4 月 14 日邀集各公共工程主管（辦）機關研商公共建設綠色永續管考機制，在內政部、教育部、交通部及農委會分別成立專案小組，在工程設計階段就強化綠色審查機制，並加強節能減碳作法之查核。

行政院 98 年通過 4 年 5,000 億的振興經濟擴大公共建設投資計畫方案，工程會於 98 年 5 月 5 日「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」[2]中規定於

* 交通部公路總局第三區養護工程處 前處長

** 交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處 副處長

*** 交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處 品管中心主任、第二工務段 前段長

**** 逢甲大學土木系 教授

***** 逢甲大學土木系 博士生

***** 宜蘭土木技師事務所 執業技師

執行 4 年 5,000 億投資計畫時，應採用符合環保、節能減碳概念之綠色工法、綠色材料及綠色設計，並融入節能減碳及再生能源觀念，且相關「綠色內涵」經費，應不低於預算百分之十，以符合永續公共工程，落實節能減碳政策。

為達到碳足跡量化的目的，行政院環境保護署於 2010 年 2 月 12 日發布「產品與服務碳足跡計算指引」[3]，規範應用生命週期評估方法（LCA），評估產品與服務在整個生命週期中的溫室氣體排放。同時針對前述的目標，交通部 99 年 5 月公布「交通部節能減碳規劃設計參考原則」[4]，作為相關節能減碳規劃設計原則與措施，其中橋梁工程應視狀況考量採用支撐先進及懸臂工法等工法施作，使橋梁上構施工自動化。

目前橋梁在可行性評估階段中，會依客觀條件建議路線、橋型與工法、概估工程經費、提送水土保持計劃及環境影響評估，其中尚未包括碳足跡的評估。由於工程於規劃設計階段具有最大的減碳機會[5]，而預力梁橋依其設計條件，常採用不同工法及不同跨度，造成的碳足跡必然不同，如能建立量化的評估系統，使工程師能快速得知各不同設計方案的排碳量，將有助於從節能減碳的觀點作各項方案的比較與選擇。

二、相關網頁

目前國內外有關工程碳足跡計算的網頁並不多，臚列如下。

2.1 英國

英國環保署建立適用於工程之碳足跡計算網頁[6]，主要適用於河海工程，但亦適用於其他工程。輸入的數據包括各式建材使用數量、運輸方式及運輸距離，另以工程規模估算施工人員的旅運排碳量。

英國水工業研究（UK Water Industry Research（UKWIR））發表水工業的碳含量計算指引[7]，可供英國的水公司對其主要投資評估排碳量，評估範圍包括整體施工供應鏈及運轉全生命週期的排碳量。

英國鋼構施工協會（The British Constructional Steelwork Association Ltd., 簡稱 BCSA）針對典型的鋼橋建立碳足跡計算網站[8]，為目前針對橋梁碳足跡計算最完整者，但亦有項目繁複使用不便的缺點。該網站將鋼構造物分為三種 - 建築物、橋梁、軟硬體產品。合格的建設或軟體公司經過一定的程序後可以登錄在他們的網站中供人查詢。

開啟該網站所提供的 Excel 檔案，首先是使用介紹與使用流程，輸入橋梁工程的基本設定後，點選橋梁類型，如公路橋梁、鐵路橋梁或人行橋等，並輸入橋梁總長及寬度。結構體部分分為上部結構、下部結構及基礎，分別輸入鋼材及混凝土的體積，另外亦輸入支承數後，即可得到設計或施工及維護的排碳量，並以圓餅圖顯示各排碳量所佔比例。

有些參數可依實際狀況修正其原設定的數據，例如運輸距離原設定為 50km，可依

實際運輸距離加以修正數據後，整體排碳量計算結果可自動作對應的修正。

此網頁於施工階段考慮的排碳量包括橋梁本體的建材使用量、支承、橋台、路緣石、以及施工時產生的廢棄物等，於維護階段考慮定期及不定期的維修，另外考慮施工及維修時可能造成的行車延遲。但並未考慮拆除及運棄或回收的碳排放量。

網頁中指出，將實際數值代入此計算工具計算得的排碳量，預期其誤差為±25%，若將預設值帶入，則會更不準確。

2.2 法國

法國開發署 (AFD) 對公共工程案件建立碳足跡計算工具[9]，使用內建資料庫以對將進行的案件估算溫室氣體排放量，並可直接顯示計算結果。首先估算工程施工及營運時最可能產生的排碳量，繼而將其與基準參考值比較。此基準參考值為若不執行此工程案件的可能排碳量，從兩者的差異可得知執行此工程案件對環境的影響。

此工具採用排碳係數計算法，將工程活動量，如用電量、油量、水泥用量、鋼筋用量、廢棄物量及人員運輸等，乘以對應的排碳係數，可換算出排碳當量 CO_{2e}。此工具著重在使用性而非正確性，以便於工程規劃之初供決策參考。

在施工階段主要考慮的排碳源包括：建材生產及施工過程中的能源及電力消耗；在營運階段主要考慮的排碳源包括：能源消耗（如電力、燃油）、其他過程的排放（如水泥生產、採礦釋放的甲烷、有機廢物及廢水、肥料灑佈釋放的一氧化二氮、工業氣體像冷卻劑等）、產品及服務的購買（包括因本案活動生產的產品，如金屬、塑膠、玻璃、紙張及化學製品或農產品等）、運費（包括公路、鐵路、航空及海運）、旅運、廢棄物及廢水、土地用途改變造成生物及土壤的排碳、公共工程及其附屬設施的使用、建物或製品的最終處理等。

使用此工具的步驟如下：

- 1.填寫”一般資料”工作表
- 2.填寫”案件”工作表以評估排碳量

工作表依不同案件的特性，以顏色區分該項目對排碳量的相對重要性（橘色為最重要排碳源，必須計入；黃色為次要排碳源，若無法得知相關數據，可不予計入；藍色為可忽略者）。

以道路工程為例，參考狀態為未興建該道路。排碳量計算基於道路興建前及興建後使用者的排碳量。假設不使用新建道路者其交通方式不變，而使用新建道路者則影響排碳量。考慮興建及不興建該道路的年交通量變化，並假設該道路使用 30 年。

工作表分為”簡單”與”進階”兩類。如果該案件各項活動尚無詳細數值或擬進行快速評估，則選擇簡單版；如果該案件各項活動已有詳細數值，則可選擇進階版。

填入各項輸入值，工具可求出各項活動的排碳量及加總值。

3.填寫”參考狀況”工作表

填表方式與 2.相同。

4.在”能源與營運開支”工作表分析能源價格風險

5.從”結果”工作表讀取排碳量計算結果

2.3 美國

美國「綠道路」網站建立鋪面工程的排碳量計算網頁 PaLATE v2.2[10]係由美國加州大學柏克萊分校及華盛頓大學協助開發及修改，可作為鋪面設計時選擇方案的參考。不考慮使用階段的車輛耗能，考慮施工階段建材使用及運輸、施工機具的耗能、維護時採用的材料、以及廢棄物處理。需要輸入的數據包括：

- 1.建材的種類及總重，包括骨材、基層材料及結構物
- 2.再生材料的種類及總重
- 3.所有建材預計的運輸距離，包括廢棄物
- 4.預定使用的施工機具
- 5.預定使用年限
- 6.預定維護的期程及方式

即可計得施工階段及維護階段的排碳量。

美國密西根科技大學 (MTU) 執行的排碳量估算計畫，針對瀝青混凝土鋪面工程及混凝土鋪面工程計算其碳足跡[11]，計畫內容包括：

- 1.收集 14 條公路的施工及重鋪紀錄
- 2.針對建材及機具估計其排碳係數
- 3.針對公路使用估計排碳係數
- 4.提供業主施工案件的計算例
- 5.提供密西根交通部排碳量評估計算工具：PE-2 (Project Emission Estimator)

關於排放量評估部分，分為材料製造、施工與使用階段 (包括使用與維修) 的評估。

材料的編號係依照密西根交通部施工標準規範的材料編號，其排碳量考慮從製造至廢棄 (搖籃至墳墓)，需先計算出該鋪面工程各材料的使用數量並輸入，系統自動乘以排碳係數後計算排碳量。

施工機具部分需由使用者輸入工地現場使用機具的型式 (共 33 種)、數量及使用時間，該工具可計得施工機具的排碳量。

關於全生命週期排碳量評估方面，需由使用者輸入的數據包括：

- 1.基本資料
 - (1)行車速率 (55 mph 或 70 mph)
 - (2)平均每日交通量 (ADT)

- (3)道路長度
- (4)車道數
- 2.新建鋪面工程的使用年限
 - (1)目前僅針對密西根科技大學分析過的案例
 - (2)使用期限用以估算交通的排碳量
- 3.重鋪的時間及使用年限

結果將顯示鋪面工程全生命週期每年平均的排碳量及總平均值。

明尼蘇達大學設計學院永續建築研究中心建立 CSBR 工址與建物排碳量計算工具 [12]，提供土地開發者及建築師於規劃設計之初可針對不同方案計算溫室氣體效應，亦可針對現有建物評估碳足跡。包括工址及建物的設計、施工、使用、拆除或回收再利用各階段，採用排碳係數，使用者需輸入各項量化的數值，如燃料及電的用量、每年的用水量、每年產生的廢水及固體廢棄物、各項建材的使用量及其對應排碳量、土地開發面積、移除植被及新栽種的植被量等，該計算工具再分別針對：使用、水、廢水、固體廢棄物、建材、運輸、土壤及植被等進行評估。

2.4 其他

國際道路聯邦（International Road Federation, IRF）正在建立道路工程排碳量計算工具- CHANGER[13]。CHANGER 包括施工前及鋪面兩個主要模組。

施工前模組考慮：

1.整地與打樁

依據每單位道路面積所需的整地面積，估算施工機具及燃料的排碳量。不考慮植被變化的影響，但考慮樹木運離工地的運輸耗能。

2.由使用者輸入運輸距離及方式，以估算開挖及回填土的運輸耗能。

鋪面模組考慮：

- (1)工地使用的能源及電力
- (2)鋪面施工使用的建材
- (3)建材運輸
- (4)施工機具

依據施工機具的功率與鋪面型式估算。

其他一些網頁宣稱可針對施工活動估算排碳量，如 CapIT Carbon and Cost Estimator（南非） [14]、FORE（芬蘭） [15]，但需付費才能使用。

三、本網頁後端分析內容

本網頁（暫定網址：<http://140.134.160.78/ap/index.html>）碳足跡計算範圍包括材料使用、材料運輸、施工機具及自動化設備、日常使用與維護、拆除及廢棄物處理等全生命週期，但不計入以下項目的環境負荷：

- 1.能源與礦產類之原料生產與開採階段的環境負荷；
- 2.橋梁規劃、設計、監造等階段的環境負荷；
- 3.土石方挖填；
- 4.施工階段造成的植被移除以及施工完成後之復育；
- 5.施工人員的運輸及活動量；
- 6.因施工造成車輛壅塞或繞道而增加的環境負荷。

為提供規畫階段進行排碳量估算，本網頁的後端分析概述如下。

1.材料使用

在材料使用方面，本研究收集相關案例，且資料來自不同設計公司的設計成果為原則，以使得所獲致之分析評估成果較為客觀；另外採用依照設計圖面詳實計算之建材數量作為本研究統計分析之依據，以提高評估準確性。

彙整分析的案例包括 C383B 標、E708-2 標、C606 標、C905 標、C908 標及高美大橋改建工程，設計公司包括台灣世曦工程顧問股份有限公司、中興工程顧問股份有限公司、萬鼎工程服務股份有限公司等；橋梁工法包括：逐跨架設工法 30 單元計 160 跨、支撐先進工法 15 單元計 80 跨、場鑄懸臂工法 25 單元計 113 跨、預鑄懸臂工法 36 單元計 205 跨等；橋梁跨度介於 32m~100m 之間。

一般預力梁橋磨耗層設計厚度介於 5cm 至 7cm 之間，故估算排碳量時，瀝青混凝土量以鋪設 6cm 厚估計。

關於下部結構的材料數量部分，首先針對混凝土強度修正各標墩柱材料使用量。其次以 89 年耐震設計規範的第一類地盤種類作為分析的基準，參考 89 年耐震設計規範地盤種類放大係數，將位於第二類地盤的墩柱修正為第一類地盤的材料用量。繼而比較 89 年及 98 年耐震設計規範中第一類地盤種類的水平地震力係數，將各標依據 89 年耐震設計規範中第一類地盤的材料用量修正為 98 年耐震設計規範的材料用量，再進行迴歸分析。

基礎設計參考前述各標的設計成果，第一類地盤可採直接基礎或樁基礎，第二類地盤及第三類地盤採用樁基礎。直接基礎及樁帽之厚度皆設為 3m。樁基礎除樁帽外，選擇直徑 1.5m 的全套管基樁。

基樁的設計依照建築物基礎構造設計規範中的樁基礎設計，採用容許應力設計法。

2.材料運輸

在材料運輸方面，根據我國交通部統計處頒布之「100年汽車貨運調查報告」[16]中所統計全國貨運各類商品之貨運量與貨運距離，假設所有貨運車輛使用的燃料皆為柴油且平均之燃油效率為 4.0 km/L [17]，將各建材的平均運輸距離（公里數）除上柴油的燃油效率值即可得單位運輸的耗油量，再將各建材單位運輸的柴油耗油量，轉換計算排碳量。

3.施工機具及自動化設備

在施工機具及自動化設備方面，施工階段排碳量可分為兩大類，一為施工機具及用電的排碳量，另一為臨時設施及施工自動化相關之假設工程。

根據經濟部能源局 2008~2011 年台灣能源平衡表[18]中關於全國營造業使用的能源數量分別換算成排碳量後顯示，液態燃料包括燃料油及柴油等施工機具、發電機設備所用的燃料，約佔 46%，而施工臨時用電則占了約 54%的排碳量。

施工中之臨時設施包括擋土支撐、施工架或施工構台及相關之勞工安全衛生防護設施等，雖然應就其使用次數攤提該設施的製造、運輸與廢棄的排碳量，然而由於可重複使用次數甚多，承包商多以租用的方式處理，完工後即運離工地，所攤提的 CO₂ 排放量相較於其他項目甚小，故暫時不計其生產排碳量，但以固定數量或固定比例的方式考慮該項臨時設施運輸產生的排碳量。

逐跨架設工法須使用的機具設備主要為支撐架及鋼模，其中支撐架因反覆使用次數高，承包商多為租用，故不計其生產之 CO₂ 排放量，但考慮支撐架運輸所攤提的排碳量。支撐架考慮目前橋梁工程大多採用的重型支撐架型式估算其排碳量。鋼模因每一標案上部結構型式不同，多需訂製，故將計入其攤提的 CO₂ 排放量。

支撐先進工法之支撐鋼架及模板係針對使用較多的支撐型式計算，主要設備包括主梁、鼻梁、支撐橫梁系統、推進工作車、支撐托架、內外模板、懸吊錨碇橫梁架、工作平台及爬梯等。推移過程中需使用的油壓千斤頂，因其耗能量不大，暫不予計入。

場鑄懸臂工法主要機具設備為工作車，擬針對使用較多的錨碇式計算，經攤提後評估其 CO₂ 排放量。

預鑄吊裝工法主要機具設備為預鑄場預鑄設備，包括鋼模、節塊支撐基床及門型吊架等，以及工址設置的吊裝桁架等設備等，針對鋼材部分估算排碳量。但內外模移設調整定位及蒸氣養護等，其 CO₂ 排放量相對甚小，暫不計入。此外，節塊運輸時使用之板車及吊裝時使用之吊車，其 CO₂ 排放量皆擬併入考慮。

各工法施工設備考慮的排碳項目綜整如表 1。

表 1 各工法施工設備考慮的排碳項目

		機具設備	考慮的項目
預力 I 型梁		鋼模	製造及運輸
預力箱型梁	逐跨架設工法	鋼模	製造及運輸
		支撐架	運輸
	支撐先進工法	鋼模	製造及運輸
		工作車	製造及運輸
	場鑄懸臂工法	鋼模	製造及運輸
		工作車	製造及運輸
	預鑄吊裝工法	鋼模	製造及運輸
		預鑄場設備	運輸
		預鑄節塊	運輸

4.日常使用及維護

在日常使用及維護方面，橋梁日常使用的 CO₂ 排放量包括完工後的夜間照明及車輛行駛所換算的 CO₂ 排放量，由於夜間照明使用電力相較甚小，故予忽略不計。

車輛行駛耗能部分，係依據經濟部能源局 2008~2011 年台灣能源平衡表中關於全國公路使用的能源數量分別換算成 CO₂ 排放量，並配合交通部統計處 2008 年至 2010 年道路長度及橋梁座數概況整理。

橋梁之維護僅考慮每隔若干年的定期瀝青重鋪。

5.拆除及廢棄

在拆除及廢棄方面，由於預力混凝土橋梁拆除時，鋼筋混凝土中之鋼筋多利用怪手及破碎機等拉扯、夾碎以及敲擊混凝土塊等方式取出集中回收，混凝土碎塊與其他廢棄物則由車輛清運，因此其能源使用以液態能源（柴油、燃料油）為主。橋梁拆除後的廢棄物假設僅作為回填掩埋使用以估算其排碳量。

四、本網頁使用說明

本互動式網站使用 Microsoft ASP.NET 技術，建置軟體為 Microsoft Visual Studio VB.NET。本網站設計目的為降低使用者使用門檻，所以在內容與架構編排以簡易為主。網頁包括電腦版、手機版以及英文版，以方便國內外人士使用。

本網站主要為預力梁橋的排碳量計算，可供規劃者或設計者使用。規劃者在可行性評估過程中，僅須輸入與橋梁有關的數個參數，系統便可透過內建的公式，估算其排碳量，可作為規劃階段各項方案選擇的參考。設計者經由鍵入設計後的主要材料數量及一

些參數，系統亦可算出該標案的排碳量，可據以選擇減碳策略。

分析頁面只有簡單的幾項步驟方便使用者快速上手並求得不同工法中的碳足跡，分述如下。

4.1 首頁

首頁為簡介及邊界條件，如圖 1。進入網頁後，系統可自動判斷使用者使用電腦或手機後，顯示電腦版或手機版。外國人士則可按網頁右上角的「English」按鈕使用英文版。



圖 1 系統首頁

4.2 系統介紹

系統介紹包括適用範圍及限制的說明（如圖 2）以及操作說明（如圖 3）。



圖 2 適用範圍及限制

操作說明

本系統可供規劃者或設計者計算預力混凝土橋梁全生命週期的碳排放量，其中材料部分目前僅針對主要材料包括混凝土、鋼筋、鋼鐵及瀝青混凝土等進行計算，施工臨時設施、施工機具及自動化施工設備則依工法不同代入。

「設計者」可於設計完成後，在Step2~Step5將相關數量填入，系統可算出各階段的碳排放量，如尚無相關的數量，則可選擇「規劃者」，由系統自動估算各階段的碳排放量。

系統中所指的「攤提」，係指各單元分攤的數量，例如預力箱型梁橋採用預鑄吊裝工法時，預鑄場設施及吊裝桁架合計重量為600 Ton，但可應用於15個單元的施工，則每一單元攤提的重量為600/15=40 Ton。

1.Step1為輸入橋梁基本條件，包含梁型式與平均跨度、跨數、平均橋寬、平均柱高(下圖左)，當選擇預力箱型橋則需要再選擇施工工法及輸入柱頂為固定端或活動端的墩柱數量(下圖右)。

Step 1. 選擇型式

預力 I 型梁
 預力箱型梁

平均跨度(m):
跨數:
平均橋寬(m):
平均柱高(m):

Step 1. 選擇型式

預力 I 型梁
 預力箱型梁

柱頂為固定端(R)的墩柱數量:
柱頂為活動端(M)的墩柱數量:

選擇工法:

逐跨架設工法 支撐先進工法 場邊懸臂工法 預鑄吊裝工法

平均跨度(m):
跨數:
平均橋寬(m):
平均柱高(m):

2.Step2~Step5皆分為規劃者或設計者，使用者可依需求選擇並填入相關必要值(如下圖)。

Step 2. 上部結構材料數量

規劃者 設計者

鋼筋(Ton):
鋼鐵(Ton):
鋼板(Ton):

混凝土(m3)-
預拌混凝土210 kg/cm2:
預拌混凝土280 kg/cm2:
預拌混凝土350 kg/cm2:
預拌混凝土420 kg/cm2:
瀝青混凝土(Ton):

3.Step1~Step6輸入完成後直接點選開始分析即可。

Outcome. 執行分析

4.分析完成後會輸出本次分析時間、使用者所有的設定值及分析結果，分析結果分為上部結構材料、下部結構材料、運輸過程、施工機具與日常使用、維護、拆除及運棄個別碳排放量，並可以選擇 下載分析結果(如下圖)，當網頁重新載入後，所有的設定值與分析結果將不會保留。

本次分析時間為: 0.063秒

表 1. 輸入參數與分析結果

項目	輸入值
Step1. 選擇型式	<>
梁型式	預力 I 型梁
平均跨度	40
跨數	5
平均橋寬	22.2
平均柱高	14.2
Step2. 上部結構材料數量	<>
分析型式	規劃者
Step3. 下部結構	<>
分析型式	規劃者
土質狀況	第一類地盤
基礎型式	樁基礎
Step4. 運輸距離	<>
分析型式	規劃者
Step5. 施工機具使用量	<>
分析型式	規劃者
Step6. 日常使用、維護、拆除及運棄	<>
使用年限(Y)	50
AC維護標準(Y)	5
使用	使用再生瀝青混凝土
分析結果 (單位: kg)	<>
上部結構材料 碳排放量	1,070,019
下部結構材料 碳排放量	1,152,776
運輸過程 碳排放量	318,640
施工機具 碳排放量	222,740
日常使用、維護、拆除及運棄 碳排放量	1,553,961



圖 3 操作說明

4.3 開始分析

1.Step 1 選擇型式：

先選擇預力 I 型梁或預力箱型梁，使用者需填入橋梁平均跨度、跨數、平均橋寬、平均柱高的數值，以及柱頂為固定端或活動端的墩柱數量，如圖 4。當選擇預力箱型梁畫面會自動跳出再選擇哪一種施工方式。如圖 5。

預力箱型梁橋單一標案常分為許多單元設計及施作，後續步驟若擬點選「規劃者」並由內建公式估算排碳量時，填入橋梁基本資料有 2 種方式：

(1)將此標案全部單元一起計算

其優點為可直接計得本標案之總排碳量，但若同一標案採用 2 種以上的工法，或各單元間條件（如土質狀況、柱高、橋寬等）差異過大時，則估算結果可能較不準確。

(2)以「單元」為計算基準，再將各單元計得的排碳量加總

其優點為各單元本身的條件差異較小，估算結果較為準確，但在填寫柱頂為固定端或活動端的墩柱數量時，需注意兩單元間可能有共用的墩柱，避免重複計算。以圖 6（修改自 C383 標設計圖）為例，擬計算第三單元的排碳量時，柱頂為固定端的墩柱數量為 3（P14、P15、P16），柱頂為活動端的墩柱數量為 4（P12、P13、P17、P18），但因 P12 與第二單元共用，P18 與第四單元共用，故鍵入柱頂為活動端的墩柱數量應為 3（包括 P13、P14、P12 的一半以及 P18 的一半）。

請開始分析步驟

Step 1. 選擇型式

預力 I 型梁
 預力箱型梁

平均跨度(m):
 跨數:
 平均橋寬(m):
 平均柱高(m):

圖 4 選擇預力 I 型梁的畫面 (例)

請開始分析步驟

Step 1. 選擇型式

預力 I 型梁
 預力箱型梁

柱頂為固定端(R)的墩柱數量:
 柱頂為活動端(M)的墩柱數量:

選擇工法:

逐跨架設工法 支撐先進工法 場鑄懸臂工法 預鑄吊裝工法

平均跨度(m):
 跨數:
 平均橋寬(m):
 平均柱高(m):

圖 5 (a) 選擇預力箱型梁逐跨架設工法的頁面 (例)

請開始分析步驟

Step 1. 選擇型式

預力 I 型梁
 預力箱型梁

柱頂為固定端(R)的墩柱數量:
 柱頂為活動端(M)的墩柱數量:

選擇工法:

逐跨架設工法 支撐先進工法 場鑄懸臂工法 預鑄吊裝工法

平均跨度(m):
 跨數:
 平均橋寬(m):
 平均柱高(m):

圖 5 (b) 選擇預力箱型梁場鑄懸臂工法的頁面 (例)

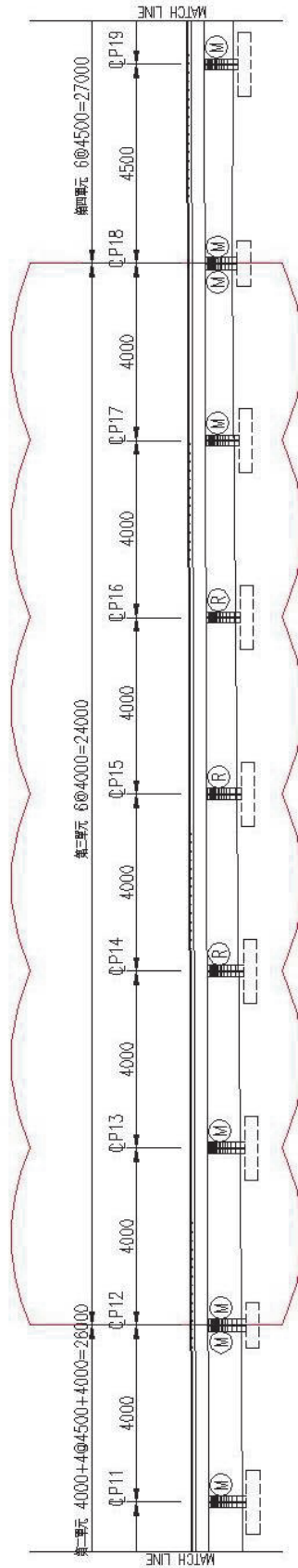


圖 6 墩柱數量計算例

2.Step 2 上部結構材料數量、Step 3 下部結構材料數量、Step 4 運輸距離、及 Step 5 施工機具數量

Step 2 上部結構材料數量及 Step 3 下部結構材料數量未知時，此二者可點選「規劃者」。其中 Step 3 會要求使用者點選土質狀況，如為第一類地盤，則須點選為直接基礎或樁基礎後，系統便可自行估算其數量。此時由於仍在規劃階段，故 Step 4 會自動選定為「規劃者」。如圖 7。

Step 2 上部結構材料數量或 Step 3 下部結構材料數量已知時，該二步驟可點選「設計者」，此時需填入各項材料數量，再由系統計算其排碳量，如圖 8 及圖 9。須注意的是，只要 Step 2 上部結構材料數量或 Step 3 下部結構材料數量其中之一若點選「規劃者」，系統會判定此時仍在規劃階段，Step 4 仍會自動選定為「規劃者」。

當 Step 2 及 Step 3 同時點選「設計者」時，如果尚不知道各種材料的運輸距離，可點選 Step 4 運輸距離中的「規劃者」，由系統內建的運輸距離自動代入計算。如果已經知道各種材料的運輸距離，則可點選「設計者」，並鍵入各種材料的運輸距離，如圖 10。

Figure 7 shows three sequential steps in a software interface:

- Step 2. 上部結構材料數量**: The 'Plan' button is selected.
- Step 3. 下部結構材料數量**: The 'Plan' button is selected. Under '土質狀況' (Soil Conditions), '第一類地盤(堅硬地盤)' and '直接基礎' are selected.
- Step 4. 運輸距離**: The 'Plan' button is selected.

圖 7 Step2 ~ Step3 點選「規劃者」時之頁面(例)

Figure 8 shows Step 2 with 'Design' selected. The material quantities are as follows:

鋼筋(Ton):	279
鋼鍵(Ton):	97
鋼樑(Ton):	394
混凝土(m3)-	
預拌混凝土210 kg/cm2:	1165
預拌混凝土280 kg/cm2:	0
預拌混凝土350 kg/cm2:	1670
預拌混凝土420 kg/cm2:	0
瀝青混凝土(Ton):	626

圖 8 Step2 點選「設計者」時之頁面(例)

Step 3. 下部結構材料數量

墩柱及基礎之建材數量-

鋼筋(Ton):
 混凝土(m3)-
 混凝土210 kg/cm2:
 混凝土280 kg/cm2:
 混凝土350 kg/cm2:
 混凝土420 kg/cm2:
 擋土支撐攤提重量(Ton):

圖 9 Step3 點選「設計者」時之頁面 (例)

Step 4. 運輸距離

材料運輸距離(km)-

混凝土:
 鋼筋:
 鋼鍵:
 鋼樑:
 瀝青混凝土(Ton):
 擋土支撐運輸距離:

圖 10 Step 4 點選「設計者」時之頁面 (例)

3.Step 5 施工機具數量：

本系統 Step 5 的施工機具數量考慮施工時使用的機具及其他臨時設施如擋土支撐及施工自動化所需的設備。使用者若不知道各項機具使用的時間或數量，可點選「規劃者」，如圖 11，由後端內建的公式計算。使用者如果已經知道各項機具使用的時間及數量；則可點選「設計者」，頁面上端會出現各項施工機具名稱，並由設計者鍵入施工時各種使用機具的工時；頁面下端會出現需要鍵入的施工設備的重量與運輸距離，如圖 12。

各工法施工設備考慮的項目參見表 1，須注意的是，此處各工法施工設備（如支撐架、工作車、預鑄場設備等）的重量，為「攤提」後的重量。例如預力箱型梁橋採用支撐先進工法時，工作車的重量為 500 T，但可使用於 10 個單元的施作，當在 Step 1 選定以標案全部單元一起計算時，則工作車攤提重量可填入 500 T；但在 Step 1 選定以「單元」為計算基準時，則工作車攤提重量應填入 $500/10=50$ T。

此外，預力箱型梁橋採用逐跨架設工法時，承包廠商實際租用支撐架的數量必然較預算書編列的數量少，施工時再依進度移設，故須注意支撐架的數量不能以預算書的數量代入計算，而應以施工廠商實際租用的數量代入，以免高估其排碳量。

Step 5. 施工機具使用量

規劃者 設計者

請繼續 Step 6. 日常使用、維護、拆除及運棄

Step 6. 日常使用、維護、拆除及運棄

使用年限(Y):

AC重鋪頻率(Y):

使用再生瀝青混凝土 使用新拌瀝青混凝土

Outcome. 執行分析

圖 11 Step 5 點選「規劃者」時之頁面（例）

Step 5. 施工機具使用量

規劃者 設計者

施工機具種類及預定使用時數-

項目	類別	使用時數(hr)	項目	類別	使用時數(hr)
1	推土機	0	17	混凝土振動器	40
2	刮運機	0	18	混凝土泵	0
3	裝載機	0	19	空氣壓縮機	0
4	平土機	0	20	掃掃機	0
5	傾卸貨車	160	21	瀝青灑佈機	24
6	壓路機	0	22	鋪築機	24
7	掘面機	0	23	刨除機	0
8	撒水車	0	24	動力鏟	0
9	抽水機	0	25	挖土機	0
10	吊車	40	26	羊腳滾	0
11	打樁機	0	27	夯實機	0
12	鑽挖機	80	28	AC拌合機	0
13	AC鋪築機	16	29	混凝土滑動模板鋪築機	0
14	水泥砂漿鑽孔機及拌合機	0	30	混凝土散佈機	0
15	混凝土攪拌運送車	80	31	監面機	0
16	混凝土拌合機	0			

圖 12(a)「預力 I 型梁橋」於 Step 5 點選「設計者」時之頁面（例）

Step 5. 施工機具使用量

規劃者 設計者

施工機具種類及預定使用時數-

項目	類別	使用時數(hr)	項目	類別	使用時數(hr)
1	推土機	0	17	混凝土振動器	40
2	刮土機	0	18	混凝土泵	0
3	裝載機	0	19	空氣壓縮機	0
4	平土機	0	20	海掃機	0
5	傾卸貨車	160	21	瀝青灑佈機	24
6	壓路機	0	22	鋪築機	24
7	掘溝機	0	23	剷除機	0
8	灑水車	0	24	動力鏟	0
9	抽水機	0	25	挖土機	0
10	吊車	40	26	羊腳滾	0
11	打樁機	0	27	夯實機	0
12	鑽挖機	80	28	AC拌合機	0
13	AC鋪築機	16	29	混凝土滑動模板鋪築機	0
14	水泥砂漿精鑽孔機及拌合機	0	30	混凝土敷佈機	0
15	混凝土攪拌運送車	80	31	整面機	0
16	混凝土拌合機	0			

支撐架總提重量(Ton) : 55

支撐架運輸距離(km) : 20

圖 12(b) 「預力箱型梁橋採逐跨架設工法」於 Step 5 點選「設計者」時之頁面 (例)

Step 5. 施工機具使用量

規劃者 設計者

施工機具種類及預定使用時數-

項目	類別	使用時數(hr)	項目	類別	使用時數(hr)
1	推土機	0	17	混凝土振動器	40
2	刮土機	0	18	混凝土泵	0
3	裝載機	0	19	空氣壓縮機	0
4	平土機	0	20	海掃機	0
5	傾卸貨車	160	21	瀝青灑佈機	24
6	壓路機	0	22	鋪築機	24
7	掘溝機	0	23	剷除機	0
8	灑水車	0	24	動力鏟	0
9	抽水機	0	25	挖土機	0
10	吊車	40	26	羊腳滾	0
11	打樁機	0	27	夯實機	0
12	鑽挖機	80	28	AC拌合機	0
13	AC鋪築機	16	29	混凝土滑動模板鋪築機	0
14	水泥砂漿精鑽孔機及拌合機	0	30	混凝土敷佈機	0
15	混凝土攪拌運送車	80	31	整面機	0
16	混凝土拌合機	0			

工作車總提重量(Ton) : 40

工作車運輸距離(km) : 35

圖 12(c) 「預力箱型梁橋採支撐先進工法」於 Step 5 點選「設計者」時之頁面 (例)

Step 5 施工機具使用量

規劃者 設計者

施工機具種類及預定使用時數-

項目	類別	使用時數(hr)	項目	類別	使用時數(hr)
1	推土機	0	17	混凝土振動器	40
2	刮土機	0	18	混凝土泵	0
3	裝載機	0	19	空氣壓縮機	0
4	平土機	0	20	掃掃機	0
5	傾卸貨車	160	21	瀝青灑佈機	24
6	壓路機	0	22	鋪築機	24
7	掘風機	0	23	剷除機	0
8	灑水車	0	24	動力鏟	0
9	抽水機	0	25	挖土機	0
10	吊車	40	26	羊腳滾	0
11	打樁機	0	27	夯實機	0
12	鑽探機	80	28	AC拌合機	0
13	AC鋪築機	16	29	混凝土滑動模板鋪築機	0
14	水泥砂漿精鑽孔機及拌合機	0	30	混凝土散佈機	0
15	混凝土攪拌運送車	80	31	整面機	0
16	混凝土拌合機	0			

工作車機架重量(Ton) : 40

工作車編組距離(km) : 35

圖 12(d) 「預力箱型梁橋採場鑄懸臂工法」於 Step 5 點選「設計者」時之頁面（例）

Step 5 施工機具使用量

規劃者 設計者

施工機具種類及預定使用時數-

項目	類別	使用時數(hr)	項目	類別	使用時數(hr)
1	推土機	0	17	混凝土振動器	40
2	刮土機	0	18	混凝土泵	0
3	裝載機	0	19	空氣壓縮機	0
4	平土機	0	20	掃掃機	0
5	傾卸貨車	160	21	瀝青灑佈機	24
6	壓路機	0	22	鋪築機	24
7	掘風機	0	23	剷除機	0
8	灑水車	0	24	動力鏟	0
9	抽水機	0	25	挖土機	0
10	吊車	40	26	羊腳滾	0
11	打樁機	0	27	夯實機	0
12	鑽探機	80	28	AC拌合機	0
13	AC鋪築機	16	29	混凝土滑動模板鋪築機	0
14	水泥砂漿精鑽孔機及拌合機	0	30	混凝土散佈機	0
15	混凝土攪拌運送車	80	31	整面機	0
16	混凝土拌合機	0			

預鑄場設施及吊裝桁架機架重量(Ton) : 120

預鑄場設施及吊裝桁架運輸距離(km) : 80

預鑄場運輸距離(km) : 10

圖 12(e) 「預力箱型梁橋採預鑄吊裝工法」於 Step 5 點選「設計者」時之頁面（例）

4. Step 6 日常使用、維護、拆除及運棄

需填入使用年限及 AC 重鋪頻率，並點選 AC 重鋪為使用再生瀝青混凝土或新拌瀝青混凝土後，由系統內建的公式計算排碳量。如圖 13。

The image shows a software interface for Step 6. It has a green header 'Step 6. 日常使用、維護、拆除及運棄'. Below the header are two input fields: '使用年限(Y):' with the value '50' and 'AC重鋪頻率(Y):' with the value '8'. Underneath these are two radio button options: '● 使用再生瀝青混凝土' (selected) and '○ 使用新拌瀝青混凝土'. A red circle highlights the entire Step 6 section. Below this section is another green header 'Outcome. 執行分析' with a '開始分析' button.

圖 13 Step 6 日常使用、維護、拆除及運棄頁面 (例)

5.開始分析

Step 1 ~ Step 6 填妥後，便可按「開始分析」鈕，開始進行分析，如圖 14。如果在 Step 1 ~ Step 6 中有部分項目未勾選，則系統會提醒使用者勾選。

The image shows the same software interface as Figure 13, but with a red circle highlighting the '開始分析' button in the 'Outcome. 執行分析' section.

圖 14 「開始分析」頁面 (例)

4.4 分析結果

分析結果包括材料生產、材料運輸、施工機具、日常使用、維護、拆除及廢棄等分別及合計的排碳量，且分析結果的 EXCEL 檔可以下載，如圖 15。

另外分析結果會以圓餅圖表示相關排碳量所佔比例，如圖 16，可按圓餅圖右上方的符號下載圓餅圖。

當使用者認為 Step 1 ~ Step 6 間有部分數值須修正時，可按電腦的「前一頁」按鈕後進行修正。

若分析完成後要進行下一項工程的數據分析，可以點選「重新分析」按鈕回到起始畫面。

分析結果

本次分析時間為：0.082秒

表1. 輸入參數與分析結果

項目	輸入值
Step1. 選擇型式	<>
梁型式	預力 I 型梁
平均跨度	40
跨數	5
平均橋寬	20
平均坡度	14
Step2. 上部結構材料數量	<>
分析模式	規劃者
Step3. 下部結構	<>
分析模式	規劃者
土質狀況	第一種地盤
基礎型式	樁基礎
Step4. 運輸距離	<>
分析模式	規劃者
Step5. 施工機具使用量	<>
分析模式	規劃者
Step6. 日常使用、維護、拆除及運棄	<>
使用年限(Y)	50
AC重鋪頻率(Y)	5
使用	使用再生瀝青混凝土
分析結果 (單位: kgCO2e)	<>
上部結構材料 排放量	992,267
下部結構材料 排放量	1,050,378
運輸過程 排放量	290,065
施工機具 排放量	204,581
日常使用、維護、拆除及運棄 排放量	1,436,473

下載分析結果

圖 15 「分析結果」頁面 (例)

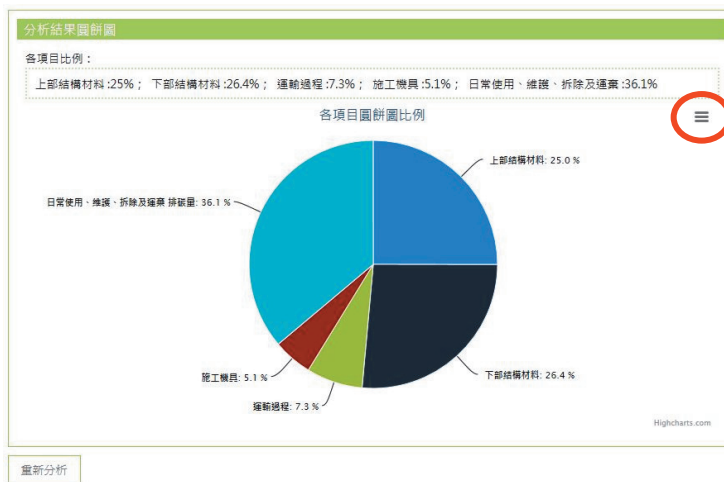


圖 16 「分析結果圓餅圖」頁面 (例)

五、使用限制及誤差來源

本系統目前提供的排碳量計算係針對預力梁橋，其他型式橋梁如鋼橋、吊橋、脊背橋、斜張橋或臨時性橋梁皆尚未納入。

「規劃者」於規劃階段使用本系統估算排碳量時，可能的誤差來源如下：

- 1.本系統在材料數量的估算中，預力 I 型梁橋的部分主要參考標準圖，預力箱型梁橋的部分主要係依據 6 個預力箱型梁橋的工程標案，這些標案各單元的平均橋寬、平均跨度及平均柱高的範圍綜整如表 2。估算材料用量時，在表 2 範圍內的估算數量較為準確。
- 2.本系統內建的計算公式主要基於相關資料經修正、統計、分析及迴歸而得，必然會因工址土質、地震力係數、設計公司的設計習慣等，隨個案不同而有誤差。

表 2 不同工法迴歸分析的橋樑基本資料範圍

		平均橋寬 (M)	平均跨距 (M)	平均柱高 (M)
預力 I 型梁		9~25	20~45	8~31
預力箱型梁	逐跨架設工法	6.5~36	33~52	8~31
	支撐先進工法	6.5~36	33~52	8~31
	場鑄懸臂工法	12~18	67~90	11~59
	預鑄吊裝工法	22~24	33~45	7~12

雖然有上述可能誤差，但本系統應足以提供規劃階段排碳量概估所需的準確性。

六、結論

本網頁為目前國內外唯一以最簡便的方式、又可相當準確的計算預力箱型梁橋全生命週期碳足跡的系統，故特設立英文網站供國外人士亦可使用。使用者於規劃階段或設計階段，僅需勾選相關選項或填入相關數值，系統可直接計得各不同階段的排碳量。使用者能快速得知各不同規劃或設計方案的排碳量，有助於從節能減碳的觀點作各項方案的比較與選擇。計算結果雖然可能有誤差，但不失所需要的準確性。

本網站備有後台管理系統，後續可依據更多設計案例、工程碳足跡盤查結果或排碳係數的修正等，透過後台管理系統進行更新。

致謝

本網站的建立為交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處「橋梁工程不同跨度及工法之碳足跡評估方法與 e 化系統建置」委託服務工作之部分成果，特此致謝。

參考資料

1. 「永續公共工程－節能減碳政策白皮書」，行政院公共工程委員會，97年11月。
2. 「振興經濟擴大公共建設投資計畫落實節能減碳執行方案」，行政院公共工程委員會，98年5月5日。
3. 「產品與服務碳足跡計算指引」，行政院環境保護署。
4. 「交通部節能減碳規劃設計參考原則」，交通部，99年5月。
5. P. Jowitt, A. Johnson, S. Moir, and R. Grenfell, “A protocol for carbon emissions accounting in infrastructure decisions”, Proceedings of the institution of Civil Engineers, Civil Engineering 165, May 2012, Issue CE2, P. 89-95.
<http://dx.doi.org/10.1680/cien.2012.165.2.89>, Paper 1100043.
6. <http://www.environment-agency.gov.uk/business/sectors/136252.aspx>
7. Carbon Accounting in the UK Water Industry: Guidelines for Dealing with Embodied Carbon and Whole Life Costing'. UKWIR Report Ref No. 08/CL/01/6.
<http://www.ukwir.org/site/web/news/carbon-accounting>
8. <http://www.steelconstruction.org/resources/sustainability/bridges-carbon-calculator.html>
9. The AFD Carbon Footprint Tool for projects – User’s Guide and Methodology.
<http://www.afd.fr/webdav/site/afd/shared/PORTAILS/SECTEURS/CLIMAT/pdf/Carbon%20footprint%20user%20guide%20-%2007.05.2011.pdf>
10. <http://www.greenroads.org/1429/10/lifecycle-inventory.html>
11. http://www.construction.mtu.edu:8000/cass_reports/webpage/index.html
12. <http://www.csbr.umn.edu/research/carboncalc.html>
13. <http://www.irfnet.org/activities.php?id=32&title=CHANGER - IRF Greenhouse gas Calculator>
14. <https://www.mottmac.com/article/540/mott-macdonald-launches-capit-worlds-first-su>
15. <http://www.fore.fi/en/products-and-services/services/environmental-calculation.html>
16. 「100年汽車貨運調查報告」，交通部統計處。
17. 張又升，「建築物生命週期二氧化碳減量評估」，國立成功大學建築研究所博士論文。
18. 經濟部能源局，
http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/web_book/WebReports.aspx?book=B_CH&menu_id=145

瀝青添加湖瀝青之成效特性研究

劉文宗*、彭俊翔**、陳偉全***、張偉哲****、沈建良*****

摘要

(Trinidad Lake Asphalt, 簡稱 TLA) 我國稱為千里達湖瀝青, 在其他國家則稱為特立尼達湖瀝青。湖瀝青屬於天然瀝青之一, 亦可作為天然改質劑, 若添加至石油瀝青中, 則兩者具有良好的相容性。TLA 較一般基質瀝青具有抗高溫的特性, 可以提高道路鋪面各種重載的使用性能且能達到舒適耐久的功效。

本研究使用 AC-20 為基質瀝青, 探討從 10% 至 60% 不同比例混合湖瀝青 (TLA) 的基本物性包含黏度、針入度、延展性、軟化點、閃火點、比重等, 之後再進一步使用流變儀 (Dynamic Shear Rheometer, 簡稱 DSR) 進行頻率掃描試驗、振幅掃描試驗、溫度掃描試驗和潛變頻率試驗等試驗來探討其複合模數與溫度對車轍之影響。實驗結果呈現, 隨著 TLA 添加比例越高, 其針入度和延展性逐漸降低, 而黏滯度逐漸升高, 軟化點也逐漸升高, 閃火點會漸漸下降, 比重也隨著 TLA 增加而越大。而隨著 TLA 添加比例越高馬歇爾試驗的穩定值越高、間接張力越大, 回彈模數也增大, 靜態水平及垂直應變趨小, 動態垂直應變趨小, 輪跡車轍下陷量趨小, 車轍動穩定值增大, 力學性質整體而言隨摻入比例越多而愈佳。

一、前言

近年來由於原油的過度需求及部分開採油源枯竭, 石油的價錢一直往上飆漲, 導致石油瀝青的單價節節上升, 使得鋪面工程在單價上的不穩定性, 間接影響市場上的鋪面品質。有志於路工的廠商開始尋找替代石油瀝青的配方, 千里達湖瀝青在歐美已使用了百年之久, 中國大陸自 2008 年來在北京、河北、浙江、江蘇、廣東等地方都已大量鋪

* 高苑科技大學土木工程系 副教授

** 正修科技大學土木與資訊系 副教授

*** 高苑科技大學土木工程系 副教授

**** 高苑科技大學土木工程系 教授

***** 高苑科技大學土木工程系 研究生

築過，大部分在高速公路，機場滑行道等高級路面，中華鋪面工程學會於 2012 年 8 月在榮譽理事長蔡攀鰲教授帶領下產官學一行人前往北京、武漢及重慶進行交流觀摩，藉機考察湖瀝青混凝土的生產、運送及鋪設，及既有湖瀝青路面，千里達湖瀝青確具有良好的性能。

二、文獻回顧

2.1 工程應用與進展概況

TLA (Trinidad Lake Asphalt) 是千里達湖瀝青的簡稱，其較一般基質瀝青具有抗高溫的特性，可以提高道路鋪面各種重載的使用性能且能達到舒適耐久的功效[1]，是世界上最有名的天然瀝青，產自南美洲西印度群島的千里達和多巴哥境內的千里達湖。TLA 提煉方式很簡單，先用輕軌牽引機械從湖面將瀝青刮起來，然後通過鐵路輸送到分解蒸餾器，在相對低溫下進行水合作用，除去雜質和水分即可裝箱運輸[2]，以 TLA 作為改質劑，在一定的溫度下直接以外摻法加入拌合桶攪拌即可，大大簡化了設備和工序，降低了投資成本，成品 TLA 改質瀝青性能穩定，在生產、存儲、運輸和使用等方面也很簡便，在工程應用上，前景十分廣闊。

國外主要是把 TLA 作為改質劑使用。通常情況下，在瀝青混凝土中使用時，摻加 25%~40% (分母為 TLA 加瀝青重量，和本研究添加算法不同)，橋面鋪裝使用時，摻加 50%~70%[3]。TLA 具有特性為含有 35%~39% 的灰份，其針入度、延展性非常小，軟化點高達 95°C~99°C，混合溫度高達 170°C~180°C，而成分中瀝青質和芳香芬含量較高，這正是石油瀝青所缺乏的。同時它常年與環境共存，性質很穩定，因而 TLA 改質瀝青混凝土具有良好的高溫穩定性、低溫抗裂性、耐久性、抗老化性能及抗剝脫性能，且比石油瀝青的溶膠結構，具有更多的凝膠體，膠體不穩定指數為 0.68。由於其特有的微觀尺寸和瀝青質的性質，提高了改質後瀝青的結構性能和改善了結合料的感溫性。TLA 的密度大 ($1.39\text{g}/\text{cm}^3 \sim 1.44\text{g}/\text{cm}^3$)，液化後儲存時，TLA 瀝青中的礦物質易沉澱而影響混合瀝青的品質。同時稠度大，使得混合時從管子流入拌和鍋的速度慢，而混合料拌和時間則比正常的時間增加 10s 左右。

TLA 改質瀝青在 1880 年，已應用在美國華盛頓特區在幾個城市街道的路面工程中。後來尤其是應用在重交通路段，包括飛機場、橋面鋪裝、高速公路等。紐約和新澤西的交通廳在承受大面積極繁重負荷的區域，如橋面鋪裝、斜坡匝道、公共汽車樞紐站及其他類似的地方應用了 TLA。英國 Humber 大橋在 1981 年鋪設後，一直運作良好，大多數情況下不需要維護。日本的本州四國聯絡橋使用了 TLA 改質瀝青，在高溫及特別繁重的交通條件下，動穩定度明顯提高了，至今使用良好。在香港，過海隧道於 1972 年使用 TLA 改質瀝青鋪設了熱壓式瀝青混合料路面，至 1984 年，經過 3 億多次車輛使用，

由於不適當的表層清掃導致表層瀝青產生磨損，用同一種混合料重新鋪設表層，至今還沒有收到關於表層瀝青損壞的報告。喬治華盛頓大橋、林肯隧道、甘迺迪機場、拉瓜機場和 Newark 機場的跑道超過 12 年的使用證明，由於沒有出現明顯的變形、開裂和泛油推擠，粘結劑的粘韌性抵擋了寒冬及酷暑不同氣候的變化，反而削減了維修養護的費用[4]。

2002 年北京在對二環路進行大規模翻修的時候，上面層採用了 SMA 213 混合料，結合料採用“TLA+SBS”複合改質瀝青，進一步提高了 TLA 改質瀝青混合料的性能指標，發揮了 TLA 和 SBS 各自的優勢，從而滿足了對瀝青路面所提出的既耐高溫又耐低溫的要求。在 2003 年對三環進行大修的時候，全長 48 km 的路段全部採用 TLA 改質瀝青，至今使用性能良好，得到了業內人士的普遍讚賞。之後號稱“中國都市第一環”的武漢繞城高速公路東北段 94 km 的中面層採用 6 cm 厚的 TLA 改質瀝青混凝土，其中 TLA 與普通重交瀝青的比例為 1：3。湖瀝青在市政工程上的成功應用主要歸功於其行車雜訊小、舒適有彈性和剎車不打滑等[2]機場建設方面，為滿足機場跑道抗高溫、抗低溫、抗疲勞開裂、高強度、凝結性能好、冷卻快等要求，香港啟德機場、北京的首都國際機場、赤臘角國際機場，還有上海的虹橋機場也都採用了 TLA 改質瀝青作為其加鋪罩面的主要材料。瀝青路面結構在我國（大陸）高速公路路面使用結構中將近 90%，如何預防和減少瀝青路面較常見的早期破壞，保持瀝青路面的路用性能，延長路面的使用壽命，降低後期的養護成本，是瀝青路面設計、施工的主要控制原則，這也是長壽命瀝青路面的關鍵所在。

近年來，TLA 改質瀝青以其良好的路用性能在工程上得到了廣泛應用。然而，TLA 在我國（台灣）使用時間較短，僅只用於鋼床板鋪面，其就是使用 GUSS 瀝青混凝土為鋼床板之防銹且具有較佳的變形迎合性、高疲勞強度、高穩定性、耐久性及鋪面與鋼板之間有良好水密性[5]，以高流動性及零孔隙為設計目標，於高溫拌合後的施工過程中，如同自充填水泥混凝土一樣為流質性材料，富有流動性，無需滾壓，因此又稱為熱鑄性瀝青混凝土。GUSS 施工時對於鋼床板噴砂處理過的凹凸處、鋼床板焊接處的不平整、角落隙縫能夠完全的充填，並充分與鋼床板結構完整結合，同時能夠完全阻隔水對鋼床板的侵蝕，以達防水效果，可兼作防水層之用[6]。目前則尚缺乏對不同基質瀝青、不同 TLA 摻量的改性瀝青的性能資料以及其在工程中的施工經驗。此外，雖然 TLA 在國外具有較長的使用歷史，但是由於原始材料的選用以及各地氣候條件的不同，國外的經驗並不完全適用於我國。因此，展開 TLA 改質瀝青的試驗研究，對於擴大瀝青路面結構的多元性和適用性具有重要意義。

2.2 TLA 材料規範

國外對 TLA 性質方面已做了不少的研究，總結出了一套 TLA 改質瀝青技術要求和

TLA 品質標準。對於純 TLA 的有英國 BS-3690 及中國 (JTG F40-2004) 分別如表 1 和表 2。對於 TLA 改質瀝青的有美國 ASTM D5710 · 05，英國的 TLA 改質瀝青品質標準 (BS-3690) 分別如表 3 和表 4。

表 1 千里達湖瀝青品質標準 (英國, BS-3690)

指標	規格
針入度 (25°C, 5s) (0.1mm)	2±2
軟化點 (°C)	93~99
加熱損失 (163°C, 5h) (%)	2.0
溶解度 (%)	52~55
灰份 (%)	35~39
25°C 密度 (g/cm ³)	1.39~1.44

表 2 中國大陸制定的關於 TLA 的主要技術性質 (JTG F40-2004)

技術指標	單位	技術要求	試驗方法
針入度 (25°C, 100g, 5s)	0.1mm	0~5	T0604
軟化點	°C	≥90	T0606
灰份	%	33~38	T0614
密度 (25°C)	g/cm ³	1.3~1.5	T0603
薄膜烘箱試驗後殘留針入度比	%	≥50	T0609 T0604

表 3 TLA 改質瀝青技術要求（美國，ASTM D5710-05）

指標		TMA1	TMA2	TMA3	TMA4
針入度（25°C，0.1mm）		40~55	60~75	80~100	120~150
黏度（135°C，mm ² /s）		≥385	≥275	≥215	≥175
延展性（25°C，5cm/min，cm）		≥100	≥100	≥100	≥100
閃火點（°C）		>232	>232	>232	>232
溶解度（%）		77~90	77~90	77~90	77~90
密度（25°C，g/cm ³ ）		實測紀錄			
軟化點（°C）					
薄膜旋轉老化試驗 （163°C，75min）	無機質（灰份，%）	7.5~19.5			
	針入度比（25°C，%）	>55	>52	>47	>42
	延展性（25°C，cm）	≥50	≥50	≥75	≥100

表 4 千里達湖改質瀝青品質標準（英國，BS-3690）

指標	單位	規格		
		針入度等級		
		35	50	70
針入度（25°C,100g,5s）	0.1mm	35±7	50±10	70±10
溶解度	%	75~79	75~79	75~79
無機質（灰份）	%	16~19	16~19	16~19
TFOT 後殘留物				
質量損失	%	0.5	0.5	0.5
針入度降低（25°C,100g,5s）	%	20	20	20

中國大陸為適應實際需要，制定的《公路改性瀝青路面施工技術規範》（JTG F40—2004）中規定了 TLA 及 TLA 改質瀝青的品質指標，分別見表 2 和表 5。

表 5 中國大陸制定的 TLA 改質瀝青質量技術要求（JTG F40-2004）

指標	針入度等級			
	TMA-30	TMA-50	TMA-70	TMA-90
針入度（25℃，0.1mm）	20~40	40~60	60~80	80~100
135℃黏度（pa.s）	<4.0	<3.8	<2.7	<2.1
閃火點（℃），不小於	240			
溶解度（%）	77~99			
灰份（%）	7.9~19.5			
TFOT 後殘留物針入度比（25℃，%），不小於	58	55	52	47

三、研究計畫

3.1 研究流程

首先進行粒料與瀝青的基本物性試驗，根據瀝青的黏度決定混凝土拌合及夯壓溫度，再經由馬歇爾試驗決定最佳含油量。再依最佳含油量製作馬歇爾試體和車轍試體，其中馬歇爾試體進行間接張力試驗、滯留強度試驗及回彈模數試驗；將製作之車轍試體置於輪跡試驗儀中執行車轍試驗。取添加不同比例的湖瀝青膠泥，利用流變儀進行頻率掃描試驗、振幅掃描試驗、溫度掃描試驗和潛變頻率試驗。根據以上的試驗進行分析與討論，其實驗流程如圖 1 所示。

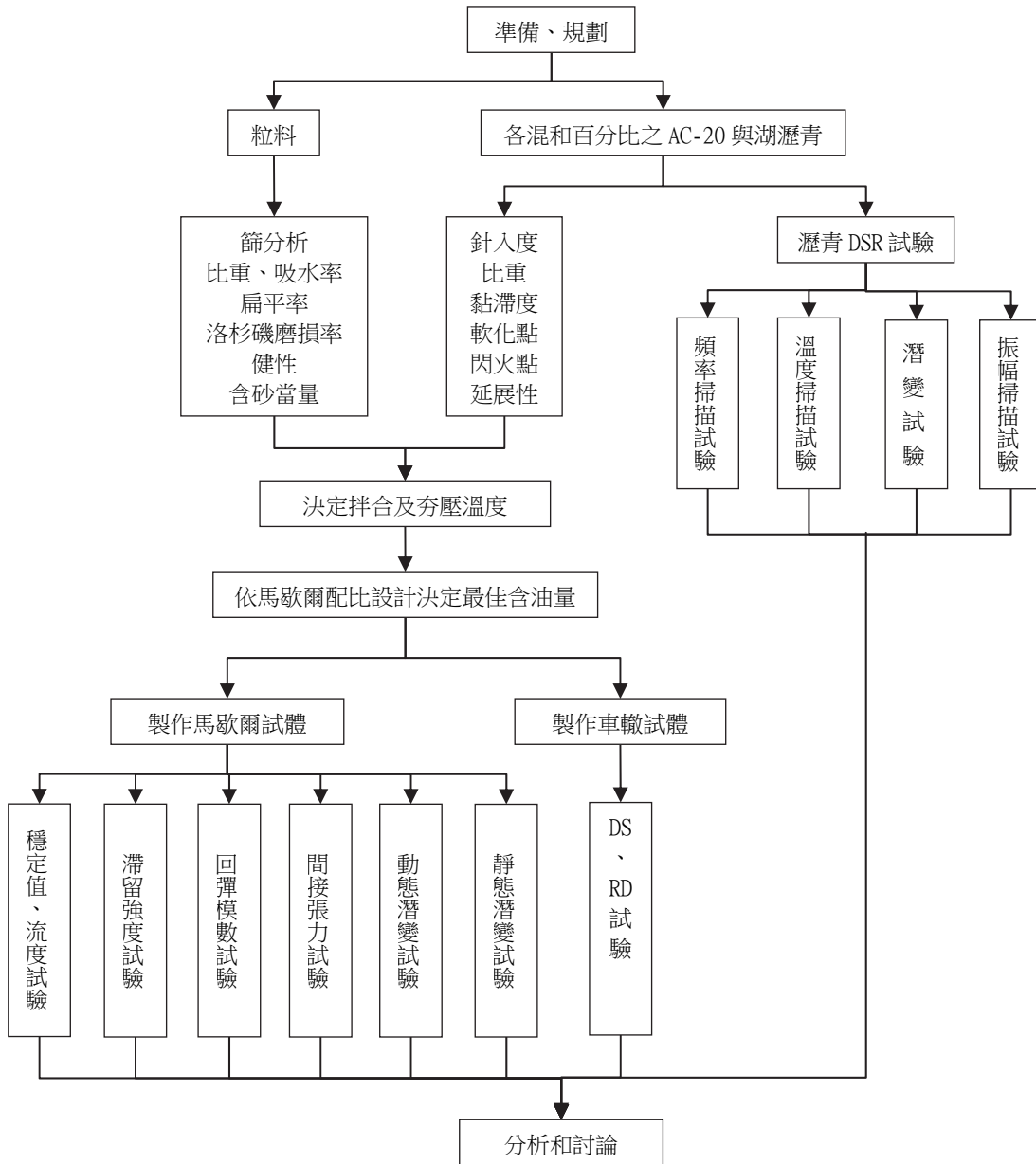


圖 1 研究流程圖

3.2 試驗材料

3.2.1 粒料

研究中粒料有 6 分料、3 分料、2 分料及砂等四種粒料，取自屏東里港，由建中瀝青混凝土廠所提供，進行篩分析、扁平率、洛杉磯磨損試驗、比重、吸水率、健全性及含砂當量等物性試驗並進行粒料配比。

3.2.2 瀝青膠泥

瀝青膠泥則採用台灣中油股份有限公司所生產瀝青膠泥 AC-20，並針對此種瀝青膠泥進行其基本物理性質試驗。本文新鮮瀝青與混拌瀝青之代號瀝青為 AC-20，添加湖瀝青 10% 為 TLA20-10%，依此類推至 TLA20-60%。

3.2.3 千里達湖瀝青

天然瀝青所選用的千里達湖瀝青為紅石工業股份有限公司所提供。此瀝青來自加勒比島國一千里達和多巴哥境內的瀝青湖。自百多年前開始首次質量測試，至今測試結果都顯示瀝青的質量成分歷久不變。瀝青自湖中採出後，須經加熱處理，以除去一些非瀝青成分物質，完成淨化手續後，瀝青便會裝桶儲存以備使用。

3.2.4 TLA 瀝青混拌方式

TLA 其原始料源為硬固體，必須擊碎成小個體才易於溶解，若太大摻入基底瀝青中須增加拌和時間才可溶解，才能有均勻性。使用混拌方式如下：將塊狀湖瀝青搗碎備用，把 AC-20 加溫至 170℃，溫度維持在 168℃~170℃。用電熱攪拌機，攪拌棒置於桶底 5cm~10cm 處，轉速調到 10 rpm。將搗碎的湖瀝青，以外摻法慢慢加到 AC-20 裡，把湖瀝青溶解後並均勻攪拌，攪拌時間三十分鐘。

3.2.5 填充料

使用之填充料為石粉，石粉為壓碎石灰石粉末，但因其顆粒極小，表面積甚大，對壓實之瀝青混合料之強度、塑性、空隙率、抵抗水之侵害、抵抗風化作用等等都有甚大的影響。本試驗石粉添加量為 3.5%。其篩分析結果應符合第 02742 章礦物填充料級配規定。

四、實驗結果與分析

4.1 瀝青物性實驗

本研究選用 AC-20 和千里達湖瀝青 (TLA) 兩種瀝青，依照以上兩種瀝青添加不同比例為 TLA20 改質瀝青，共有 7 種瀝青黏結料，添加比例如表 6。

表 6 各比例瀝青說明

瀝青種類	基質瀝青 (g)	外加 TLA(g)	TLA 瀝青比例 (%)	TLA 對總重比例 (%)	總重 (g)
TLA20-10%	1000	100	10	9.1	1100
TLA20-20%	1000	200	20	16.7	1200
TLA20-30%	1000	300	30	23.1	1300
TLA20-40%	1000	400	40	26.6	1400
TLA20-50%	1000	500	50	33.3	1500
TLA20-60%	1000	600	60	37.5	1600

基本物性試驗結果顯示黏滯度隨比例逐漸升高；針入度也是隨著湖瀝青的增加而逐漸下降，尤其在加了 10%後，與 AC-20 相較之下成大幅度的下降，之後再漸緩的降低；延展性從 20%開始有變化，成固定比例下降；軟化點則是隨著 TLA 比例增加，軟化的溫度也為之增加；閃火點從 20%大幅下降，之後才再以緩和比例下降，其結果如下表 7 所示。

表 7 瀝青物性試驗結果

試驗項目 瀝青種類	黏滯度 (60°C-Poise)	針入度 (1/10mm)	延展性 (cm)	比重	軟化點 (°C)	閃火點 (°C)
AC-20	1957	51.0	≥ 150	1.028	44	327
TLA20-10%	2917	37.4	≥ 150	1.059	48	312
TLA20-20%	3796	32.2	126.8	1.077	48	278
TLA20-30%	4192	28.6	95	1.105	49	264
TLA20-40%	4872	24.6	69.8	1.114	51	258
TLA20-50%	5981	22.0	64.3	1.126	52	248
TLA20-60%	8172	19.8	55	1.144	57	234

4.2 粒料基本物性

本研究瀝青混凝土所使用之粒料取自屏東里港，其粗粒料扁平率 3/4"、1/2"、3/8" 分別為 3.12%、8.54%及 15.47%，細粒料含砂當量為 84，試驗後結果如下表 8 所示。級配曲線如下表 9 所示。

表 8 粒料基本物性試驗結果

試驗項目	粗粒料	細粒料
比重	2.609	2.525
吸水率 (%)	1.114	2.239
洛杉磯磨損率 (%)	24.3	—
健性耗損率 (%)	0.5	2.1
含砂當量 (%)	—	84

表 9 級配曲線之累積通過百分比

篩網稱號		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.						底盤	
						4	8	16	30	50	100		200
通過 質量 百分 比 (%)	級配 規範值	100	100 - 90	- -	80 - 56	65 - 35	49 - 23	- -	- -	19 - 5	- -	8 - 2	-
	工作拌 合公式	100	95	82	68	50	36	26	18	12	8	5	0

4.3 瀝青膠泥流變儀試驗

在不同溫度與荷載頻率的作用下，瀝青膠泥會有彈性、黏性或黏彈性等行為之表現。在低溫及高頻率狀態下，瀝青膠泥會有彈性之行為；隨溫度上升或荷載頻率降低，瀝青膠泥會呈現黏彈性行為。

流變儀試驗參考 AASHTO 分別作溫度掃描、頻率掃描、振幅掃描及潛變分析。溫度掃描，溫度控制於 25°C 至 90°C 間，頻率為 1.6Hz 之掃描試驗；頻率掃描，分析溫度固定為 30°C 及 60°C，其頻率為 0.2~2Hz 間之掃描試驗；振幅掃描，分析溫度為 30°C 及 60°C 之試驗；潛變，分析溫度為 30°C 及 60°C 之抗永久變形之試驗。

4.3.1 頻率對複合模數 (G^*) 與損失正切 ($\tan \delta$)

圖 2 和圖 3 分別為瀝青膠泥在固定溫度 30°C 及 60°C 之頻率對複合模數 (G^*) 與損失正切 ($\tan \delta$) 之關係圖，頻率為 0.2~2 Hz 之間。由圖知每種黏結料其頻率越高複合模數 (G^*) 越大，其損失正切角 ($\tan \delta$) 則會越小。

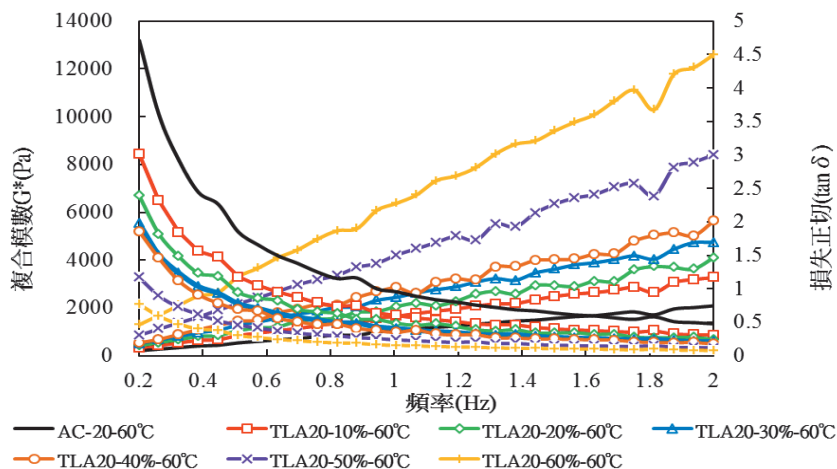


圖 2 頻率掃描複合模數 60°C

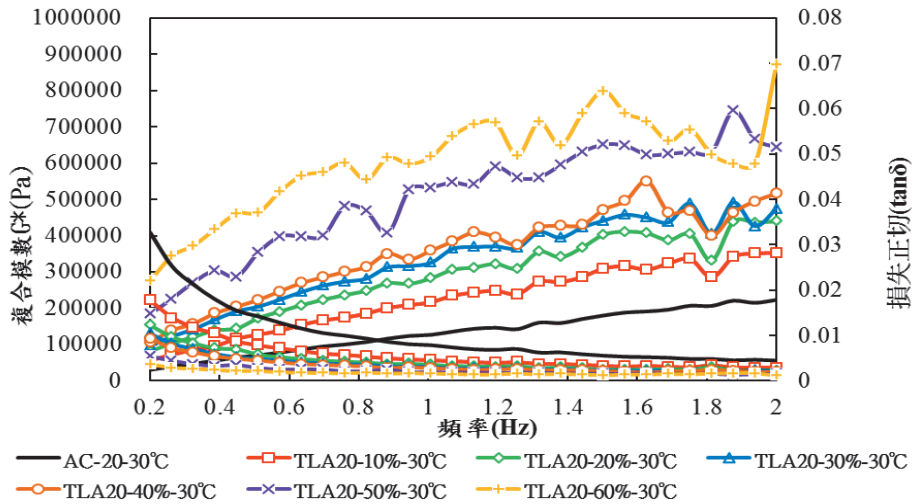


圖 3 頻率掃描複合模數 30°C

4.3.2 溫度對複合模數 (G*) 與損失正切 (tan δ)

瀝青膠泥頻率固定在 1.6Hz 之溫度對複合模數 (G*) 與損失正切 (tan δ) 之關係圖，溫度控制在 25°C 至 90°C 之間。在低溫時之複合模數 (G*) 偏大，表示瀝青膠泥有較高的黏彈力。當溫度漸漸升高時，損失正切角度 (tan δ) 越大，表示瀝青膠泥對溫度越敏感。其試驗結果如圖 4 所示。

瀝青膠泥隨著溫度越來越高，損失正切越大者，代表黏度越低，由圖 4 表示，損失正切最大為 AC-20，依序排列至 TLA20-60%，表示 AC-20 添加 TLA 比例越多，其黏度亦越高。

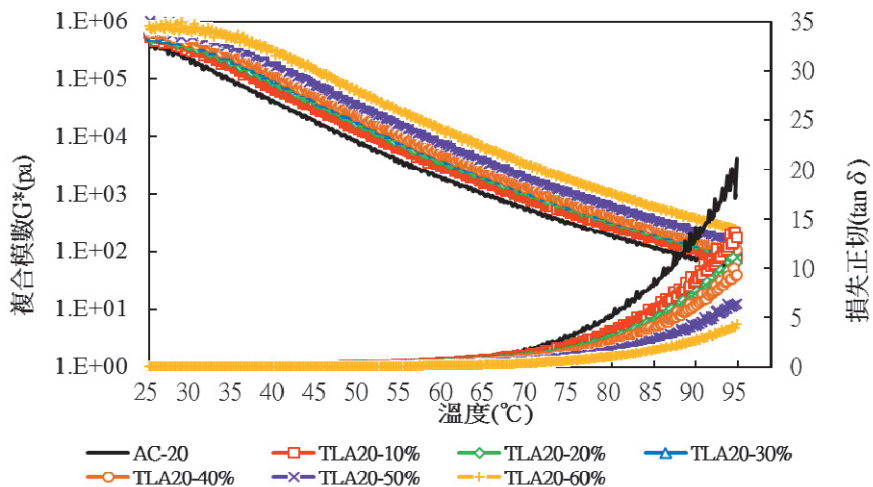


圖 4 溫度掃描複合模數

4.3.3 溫度對車轍之影響

依據美國 SHRP (Strategic Highway Research Program) 瀝青規範，頻率設定在臺灣公路工程第 41 卷第 4 期-161

1.592Hz 時做溫度掃描，可模擬車輛以 80km/hr 之速度行駛在道路上及分析台灣高溫曝曬下之鋪面溫度近似 60°C，做為抗車轍能力的評估指標。若以路面之最高溫度分析，台灣路面最高溫度為 64°C，瀝青膠泥在規定的溫度下 $G^*/\sin \delta$ 須大於 1000Pa，因此瀝青膠泥複合模數 (G^*) 越大及相位角 (δ) 越小時，其抗車轍能力越好。其試驗結果如圖 5 所示。

由實驗結果得知，在 64°C 溫度下 $G^*/\sin \delta$ ，AC-20 剛好在 1000Pa 左右，處於及格邊緣，其他添加了 TLA 的試樣，皆符合 SHRP 瀝青規範大於 1000Pa。其中以 TLA20-60% 最高，TLA20-50% 次之，依序排列至 TLA20-10%，表示添加 TLA 比例越高者，其抗車轍能力也越佳。

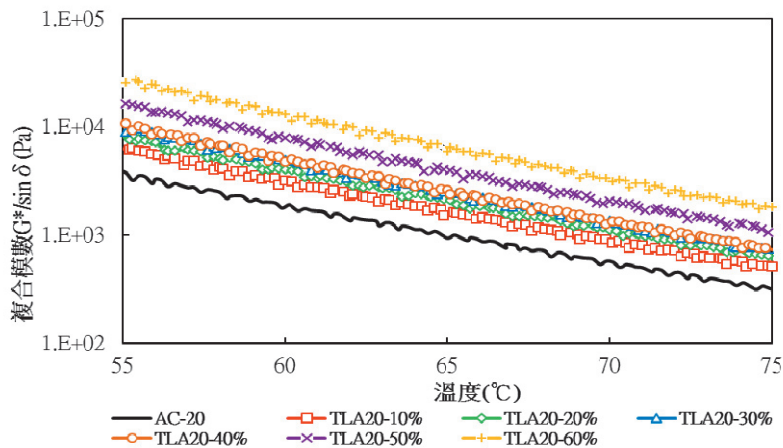


圖 5 瀝青混凝土溫度對車轍之影響

4.3.4 頻率

對瀝青膠泥做 30°C 及 60°C 之頻率掃描，頻率設定為 0.2~2 Hz 之間。在頻率增加時，其 $G^*/\sin \delta$ 值會隨之增加，且溫度越高，其 $G^*/\sin \delta$ 值會越低， $G^*/\sin \delta$ 值越大其瀝青材料會越硬，如圖 6、圖 7 所示。

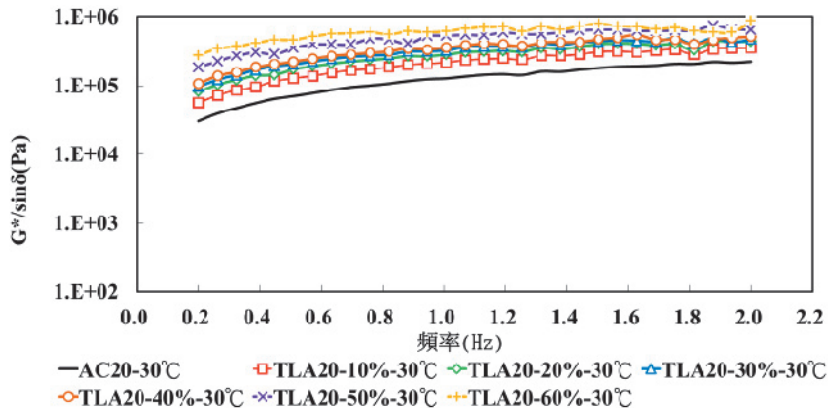


圖 6 30°C 瀝青膠泥頻率圖

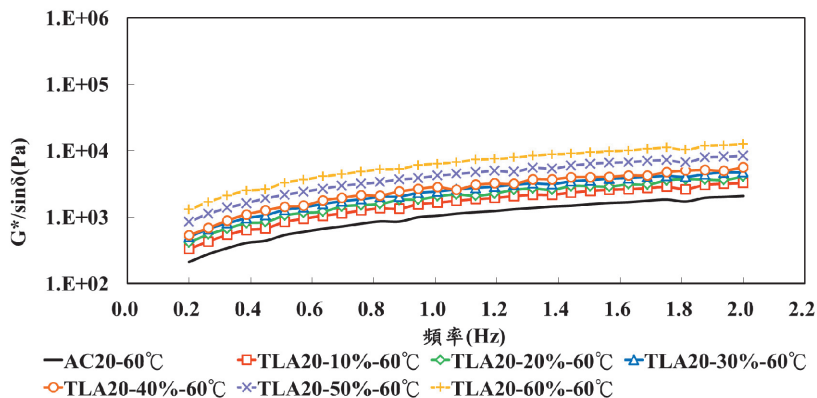


圖 7 60°C 瀝青膠泥頻率圖

4.3.5 時間對潛變-回復之曲線

時間對潛變-回復之曲線圖主要在探討瀝青膠泥抵抗永久變形的試驗，時間於 0~180 秒間是將 X 軸之扭矩軸增加與 Y 軸之時間 (T) 軸記錄了潛變的應變量，當時間於 180~300 秒間 Y 軸之時間軸記錄除去 X 軸之扭矩時的瀝青膠泥之彈性回復的變化。

實驗結果圖 8 及圖 9 顯示，每種的永久變形量和最大變形量非常接近，其彈性恢復都很小，永久變形量越小其潛變也越小。瀝青在 60°C 的變形量比在 30°C 的變形量大，其 TLA20-60% 的變形量為最小，TLA20-50% 次之。故得知 AC-20 依添加 TLA 比例的增加，其抵抗變形的能力也越好。

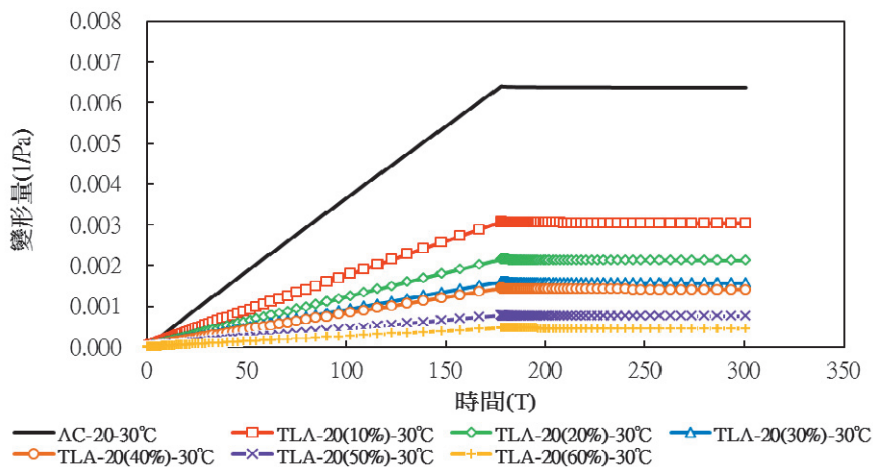


圖 8 30°C 時間對潛變-回復之曲線變化圖

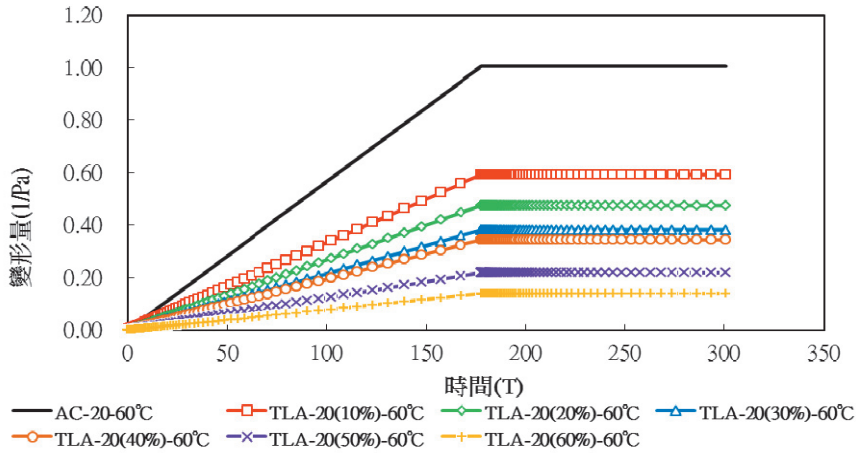


圖 9 60°C時間對潛變-回復之曲線變化圖

4.4 配合設計溫度選定

製作瀝青混凝土試體首先要知道不同等級瀝青之拌合溫度及夯壓溫度，而需要測定黏滯度與溫度關係曲線，如圖 10 為七種瀝青之黏滯度與溫度關係曲線表。

依據瀝青協會（Asphalt Institute）規範：

拌合溫度：黏滯度在 170 ± 20 cSt 時對應之溫度。

夯壓溫度：黏滯度在 280 ± 30 cSt 時對應之溫度。

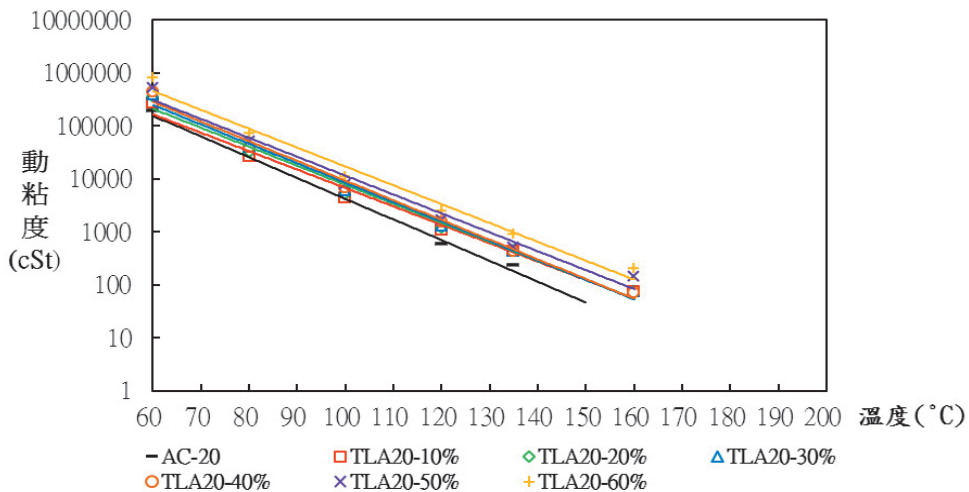


圖 10 TLA20-60%瀝青膠泥黏度與溫度關係曲線

表 5 為由圖 27 黏度溫度曲線試驗所得之施工拌合溫度及夯壓溫度，但由於湖瀝青 TLA 之灰份高達 35~37%，所以進行布魯克黏度試驗時，因直管旋轉無法攪動沉澱之灰份，導致拌合溫度及夯壓溫度偏小，所以依文獻[7]所述基質瀝青與 TLA 拌合時，需將溫度提高 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ ，故本研究將拌合溫度與夯實溫度提高 15°C ，如表 10 所示。

表 10 布魯克黏度試驗所得施工與研究用之拌合溫度及夯壓溫度

瀝青種類	本研究所採用	
	拌合溫度(°C)	夯壓溫度(°C)
AC-20	155±3	145±2
TLA20-10%	160±3	150±2
TLA20-20%	162±3	152±2
TLA20-30%	164±3	154±2
TLA20-40%	166±3	156±2
TLA20-50%	168±3	158±2
TLA20-60%	170±3	160±2

4.5 求得不同瀝青等級之級配最佳含油量

最佳含油量訂定是由馬歇爾試驗以含油量 4.5%~7%做出馬歇爾試體，並以孔隙率 3%~5%及 VFA 65%~75%之交線在其交叉範圍內取孔隙率4%為各個瀝青之最佳含油量各含油量如表 11 及圖 11-16 所示。

表 11 各瀝青之最佳含油量

瀝青種類	對粒料含油量 (%)	對混合料含油量 (%)
AC-20	5.7	5.39
TLA20-10%	5.5	5.21
TLA20-20%	5.75	5.44
TLA20-30%	5.9	5.57
TLA20-40%	6.2	5.84
TLA20-50%	6.2	5.84
TLA20-60%	6.4	6.02

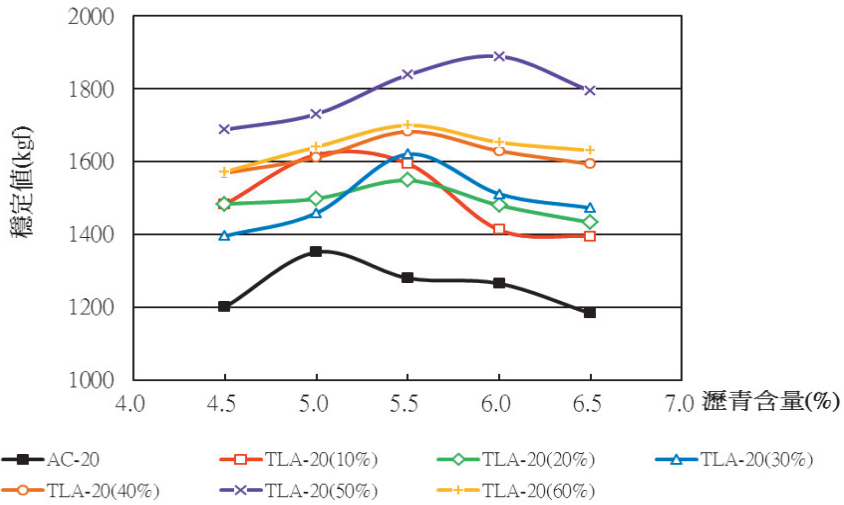


圖 11 穩定值對含油量變化

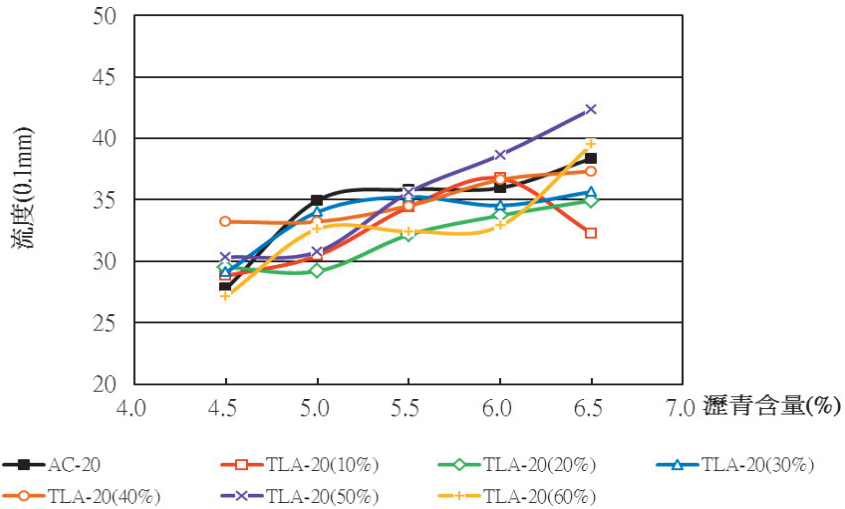


圖 12 流度對含油量變化

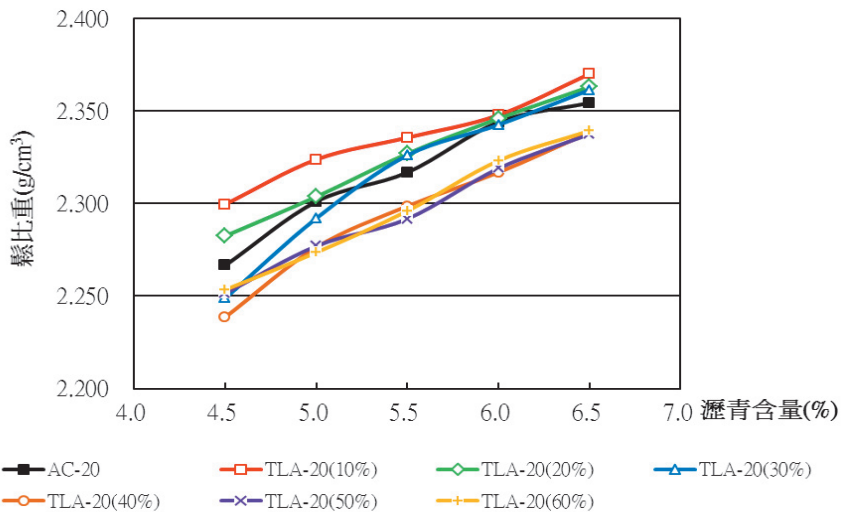


圖 13 鬆比重對含油量變化

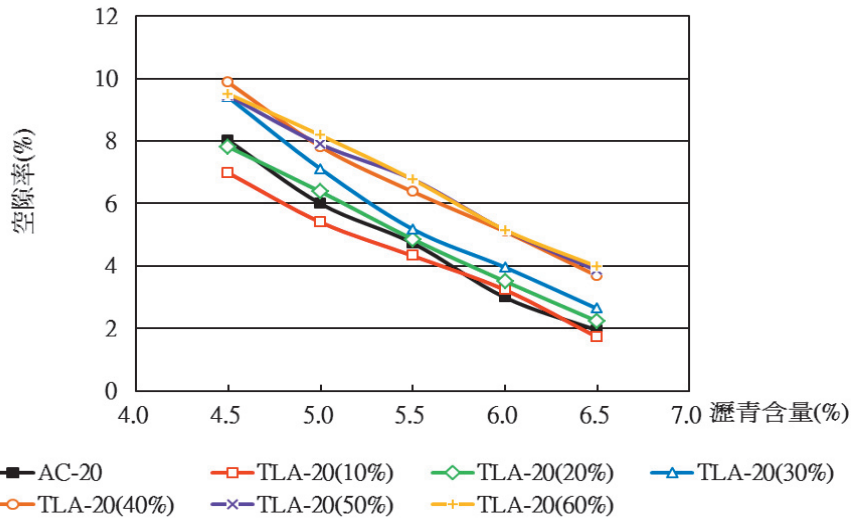


圖 14 空隙率對含油量變化

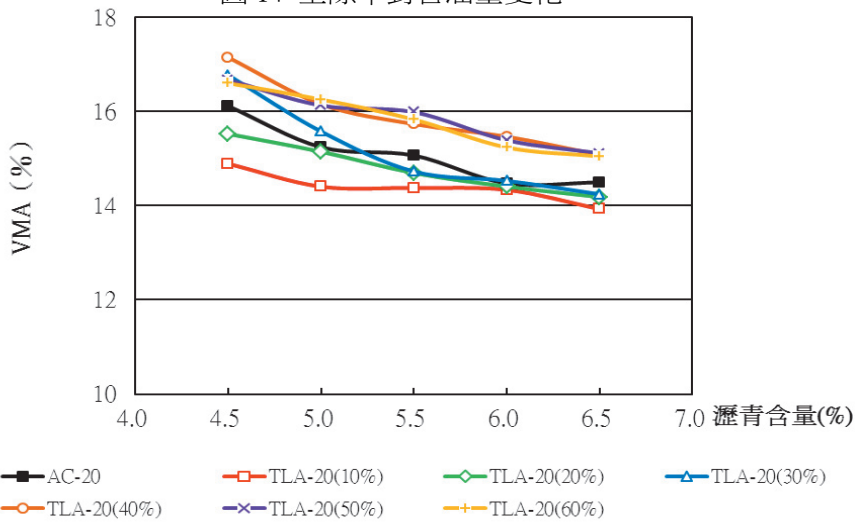


圖 15 VMA 對含油量變化

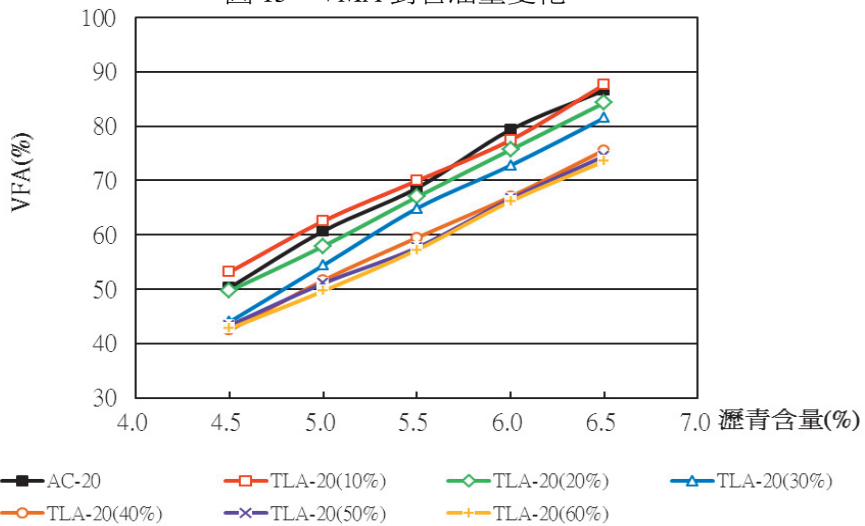


圖 16 VFA 對含油量變化

4.6 成效試驗結果與分析

以最佳粒料級配及最佳含油量配合 ASTM D6926 規範要求進行每面夯打 75 次的馬歇爾試體及車轍試體製作。接著進行馬歇爾穩定值、流度值試驗，間接張力試驗，回彈模數試驗，滯留強度試驗，車轍試驗。

4.6.1 間接張力試驗結果與分析

間接張力試驗主要造成壓力區應力未達到極限應力，但材料張應力先達到極限應力而破壞，此破壞張應力為材料極限張力；而瀝青混凝土之間接張力強度受到骨材間結構與瀝青膠泥的附裹力影響。本試驗依據 ASTM D4123 規範，將製作完成試體放入恆溫箱中，設定溫度 25°C 並養治 2 小時後，施加壓力並記錄其載重與變形曲線，由所得之極限載重可求得張應力值，其試驗結果如表 12 所示，AC-20 的間接張力值小於 TLA20，並隨著添加 TLA 比例的增加，間接張力強度有逐漸提高的趨勢。

為了分析試樣間的物理性質及力學性質的變化，本研究採用差異比例來探討其大小間之變化，差異比例的定義採用最小值為分母，其餘數字為分子進行差異比例分析，當值為 1 時代表沒有差異性，當比值大於 1 時，代表差異性較大。如圖 17 所示。

表 12 TLA20 各比例間接張力與差異比例

瀝青種類	間接張力強度 (kgf/cm ²)	差異比例 (%)
AC-20	11.664	1
TLA20-10%	14.957	1.28
TLA20-20%	17.404	1.49
TLA20-30%	17.673	1.52
TLA20-40%	19.535	1.67
TLA20-50%	20.663	1.77
TLA20-60%	22.667	1.94

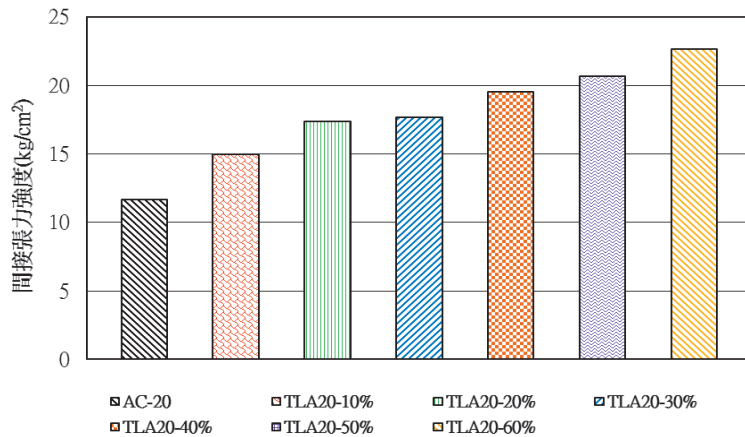


圖 17 間接張力比較圖

4.6.2 回彈模數試驗結果與分析

良好的瀝青混凝土在低溫時應該具備有較高的黏塑性來承受應力，並且還要有柔韌性以防止龜裂產生。所以在低溫時不希望回彈模數太高；而在高溫時需要有足夠彈性來承受擠壓變形，所以高溫時希望有較高的回彈模數。

TLA 添加於瀝青混凝土進行回彈模數試驗，本試驗採用電腦控制瀝青混合物綜合試驗機，是依據 ASTM D4132-82 設計，試驗規範規定，以 0.5 Hz 的試驗頻率執行試驗，打擊軸壓力大於 1.2kgf/cm²。

試體以 25°C、40°C 來進行實驗由表 9、圖 18 可看出 25°C 試驗溫度時，回彈模數值不需要太高，可避免因太硬，而產生龜裂現象；但在 40°C 高溫試驗溫度時，需要有較高回彈模數，才有相當的強度，來承受擠壓變形。實驗結果顯示為 TLA20 在 TLA 比例增加時，於高溫和低溫實驗中，回彈模數均有明顯增加。此外 AC-20 在低溫 25°C 時較不容易產生龜裂；而在高溫時 TLA20 比較能承受擠壓變形。兩者差異比例結果顯示在 40°C 較 25°C 為緩和上升，表 13 所示。

表 13 TLA20 各比例回彈模數

瀝青種類	回彈模數 (kgf/c m ²)			
	25°C		40°C	
	回彈模數	差異比例 (%)	回彈模數	差異比例 (%)
AC-20	9813	1	1566	1
TLA20-10%	18726	1.908	2065	1.319

瀝青種類	回彈模數 (kgf/c m ²)			
	25°C		40°C	
	回彈模數	差異比例 (%)	回彈模數	差異比例 (%)
TLA20-20%	21174	2.158	2426	1.549
TLA20-30%	30946	3.154	3904	2.494
TLA20-40%	37453	3.817	4831	3.086
TLA20-50%	50743	5.171	7303	4.664
TLA20-60%	64267	6.549	16942	10.821

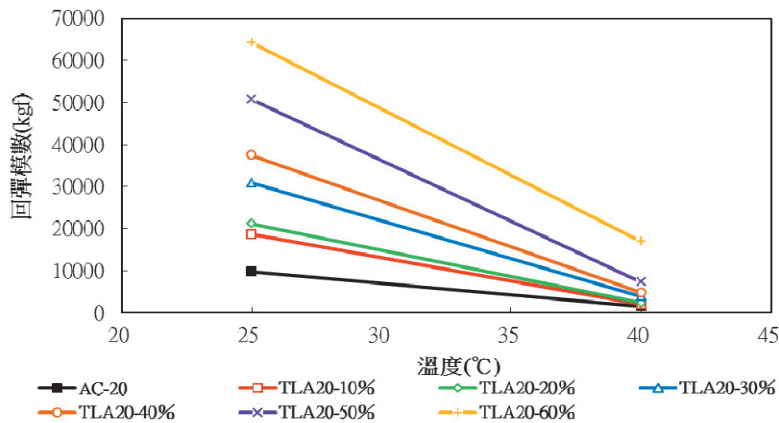


圖 18 TLA20 各比例回彈模數

4.6.3 靜態潛變試驗結果與分析

本實驗依據 ASTM D4123 規範進行靜態潛變試驗，本研究靜態潛變試驗採用施力方式為弧接觸，加壓時間 300 秒及回彈時間 100 秒，利用實驗數據求得其溫度 25 °C 及 40°C 的塑性勁度，從塑性勁度中分析瀝青混凝土受靜止壓力時抗車轍混凝土之能力及時間與變形量之關係。但可能由於基底瀝青 AC-20 感溫性過於敏感，以致於 AC-20 與 TLA20 特別在 40°C 的時候，因試體太軟弱造成水平測針變形量超載而無法量測，所以本研究 40°C 的 AC-20、TLA20-10%、TLA20-20% 和 TLA20-30% 之試樣，無法進行靜態潛變試驗。

表 14、圖 19 和圖 20 為弧面靜態垂直應變，在溫度 25 °C 來看 AC-20 與 TLA20-10% 數值差異變化較大，而從 TLA20-30% 到 TLA20-60% 之垂直應變量，其變化量為緩和比例下降。再從 40°C 溫度來看，由 TLA20-40% 開始有數據，做到 TLA20-60%，其變

形量也是逐漸變小。由實驗數據得知，TLA20 在不同的溫度條件之下，其變形量皆是隨著摻入 TLA 比例的增加，而變形量也漸漸的變小，表示 TLA 能提高 AC-20 承受變形的能力。實驗結果，TLA20-60%能夠承受變形能力為最高。

表 14、圖 19 與圖 20 所示，從 25°C 的溫度來看，AC-20 在添加 10%TLA 之後，水平應變量均有明顯的減少，但 TLA20-30%至 TLA20-50%沒有明顯變化，且數據呈現不規律的跳動。由實驗結果得知，TLA20 在不同的溫度條件之下，其變形量都依摻入 TLA 比例的增加，而變形量也逐漸的變小，表示 TLA 能提高 AC-20 的抗張能力。由表 12 顯示，TLA20-60%的抗張能力為最高。

表 14 TLA20 各比例靜態垂直與水平應變

瀝青種類	靜態垂直應變		靜態水平應變	
	25°C	40°C	25°C	40°C
AC-20	0.907	—	0.308	—
TLA20-10%	0.521	—	0.168	—
TLA20-20%	0.413	—	0.104	—
TLA20-30%	0.357	—	0.053	—
TLA20-40%	0.328	1.163	0.049	0.530
TLA20-50%	0.284	0.763	0.054	0.265
TLA20-60%	0.256	0.259	0.035	0.088

— 為水平測針超載故無數據

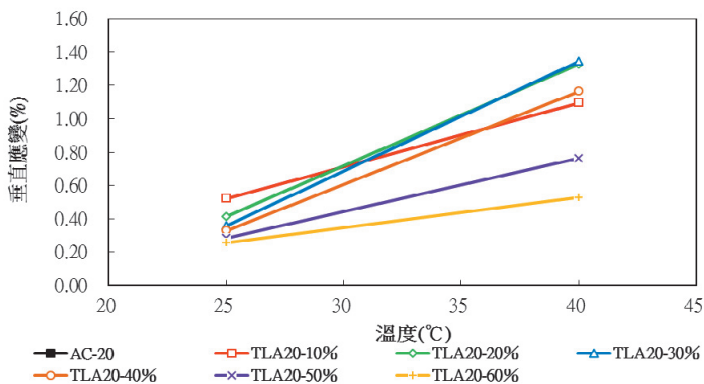


圖 19 TLA20 各比例靜態垂直應變

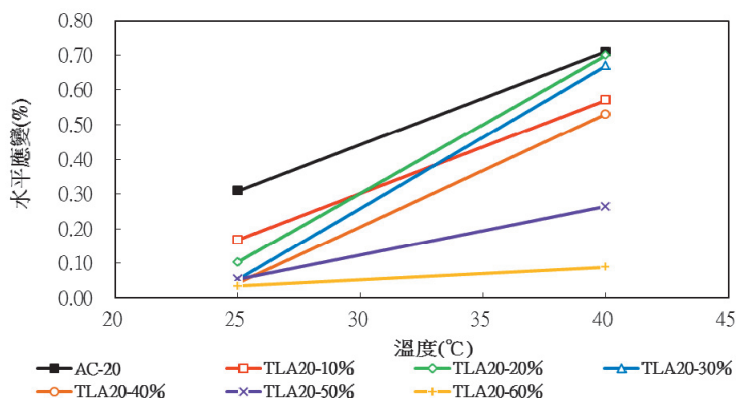


圖 20 TLA20 各比例靜態水平應變

4.6.4 動態試驗結果與分析

依據 ASTM D4123-82 規範進行動態潛變試驗，本研究採用弧面動態潛變試驗，其試驗方法與回彈模數（MR）試驗大致相同，由數值分析來探討其隆起與車轍之能力。此試驗項目對溫度之敏感性極高。

圖 21、圖 22 所示 AC-20 由 25°C 至 40°C 時變化量較大，對於溫度之感溫性較高，其垂直應變量為較高者，其抗壓能力也較差；TLA20 在 25°C 與 40°C 時的變化量，皆依添加比例增加而持續下降，下降至 TLA20-60% 為最低，其垂直應變量亦為最低，故添加 TLA 能有效改善瀝青混凝土之抗變形能力。

圖 21 和圖 22 中顯示 TLA20 比例增高在 25°C 和 40°C 時顯示水平應變量下降，表現出 TLA 有較佳的抗張能力。

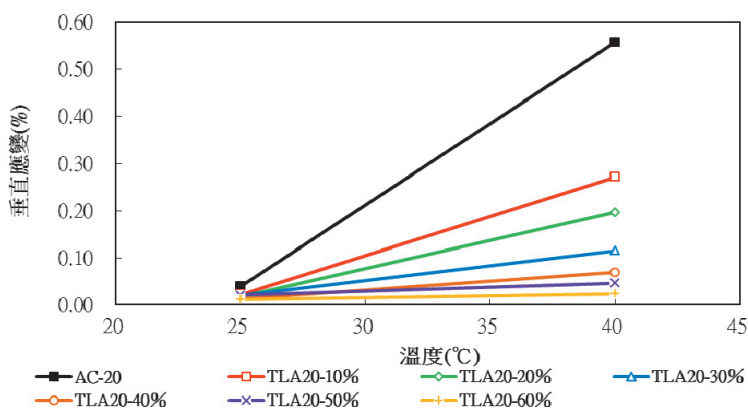


圖 21 TLA20 各比例動態垂直應變

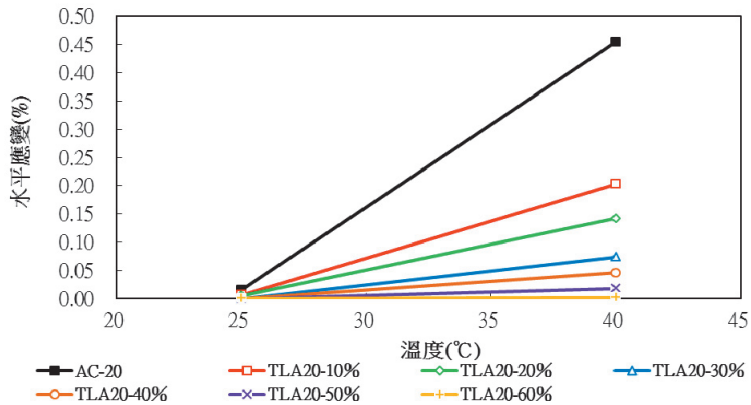


圖 22 TLA20 各比例動態水平應變

4.6.5 滯留強度試驗結果

本試驗測試各比例 TLA 添加量對水侵害的抵抗性，進行滯留強度指數試驗。依照 ASTM D1559 規範製作馬歇爾試體，標準試驗試體將先浸於 60±1°C 恆溫槽中養治 30 分，再將另一組試體浸於 60±1°C 恆溫槽中養治 24 小時，再求出每一試體之穩定值和流度值。其中規定滯留強度指數試驗依照 AASHTO T283 進行其數據計算如表 15、圖 23 及圖 24 顯示添加 TLA 後，滯留強度有明顯的上升，但是 TLA 添加太多至 60% 時，滯留強度指數卻沒有預期的高。依實驗結果顯示，TLA 添加量在 30%~50% 能夠達到最好的效果。

表 15 TLA20 各比例平均穩定值與滯留強度指數

瀝青種類	60°C 浸水 30 分鐘 (kgf)	60°C 浸水 24 小時 (kgf)	滯留強度指數 (%)
AC-20	1161.3	1055.5	90.9
TLA20-10%	1433.3	1386.8	96.8
TLA20-20%	1533.3	1500.3	97.8
TLA20-30%	1546.4	1537.8	99.4
TLA20-40%	1632.4	1609.6	98.6
TLA20-50%	1701.2	1684.0	99.0
TLA20-60%	1997.1	1887.8	94.5

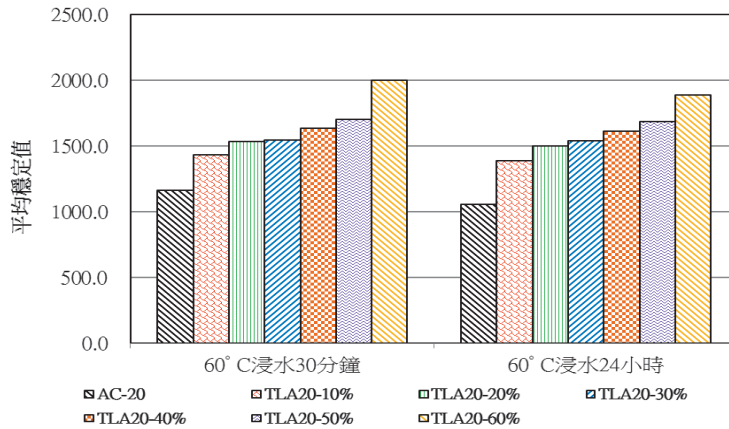


圖 23 TLA20 滯留強度穩定值

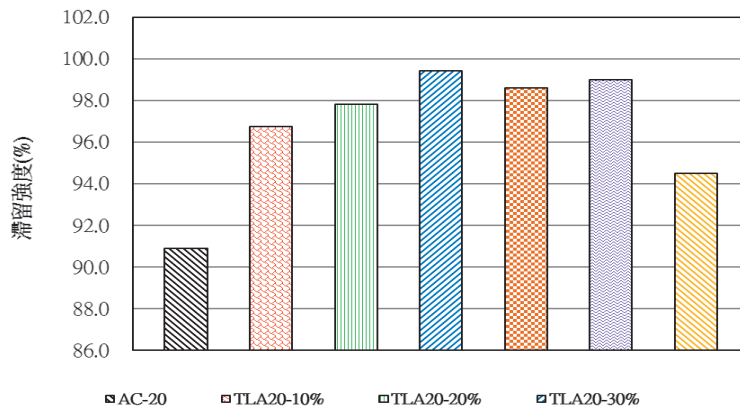


圖 24 TLA20 滯留強度指數

4.6.6 車轍試驗結果分析

試體製作，以模擬工地壓路機對路面的滾壓，可模擬滾壓荷重、速度及所須之壓實度，接近施工實際狀態，分別為第 1 次 4 下，壓力 1bar；第 2 次 10 下，壓力 4bar；第 3 次 8 下，壓力 5bar；第 4 次 10 下，壓力 6bar，共分 4 次滾壓。試驗方法，將製作之試體置於輪跡試驗儀中，溫度控制在 $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 養治 3 小時後。啟動輪跡試驗儀，試驗輪荷重為 70kg，輪寬 5cm，直徑 20cm，在試體中央來回輾壓，速度 42 次/min，設定輾壓次數為 6000 次以 LVDT 擷取左右各 52mm 內的沉陷平均值為車轍量。

從表 16 及圖 25~圖 27 所示，其動穩定值均大於 1500 (回/mm)，符合目前國道高速公路局所定的規範值，在添加 TLA 湖瀝青後進行 6000 次輪跡車轍試驗試驗結果動穩定值均相對提高，而下陷量也逐漸下降。再從變形率來看，AC-20 在摻入 TLA10% 之後，變形率有著大幅下降，從 TLA20-10% 開始隨著摻入比例增高，而變形率趨於緩和幅度下降。

由此可以瞭解 TLA 能夠明顯提高瀝青的抗車轍能力，主要原因是由於分散於瀝

青中的 TLA 能夠明顯提高瀝青的複合模數 (G^*) 和降低瀝青的相位角 (δ)，從而增強了它的抗車轍能力。所以摻入比例越多，抗車轍能力會越佳，車轍試驗結果證實，TLA20-60%的抗車轍能力為最好。

表 16 輪跡車轍試驗結果

瀝青種類	動穩定值 (回/mm)	變形率(mm/min)	下陷量 (mm)
AC-20	1878	0.01334	3.70
TLA20-10%	3333	0.00630	2.36
TLA20-20%	5000	0.00420	1.83
TLA20-30%	5556	0.00378	2.33
TLA20-40%	6250	0.00336	1.91
TLA20-50%	7692	0.00273	1.47
TLA20-60%	11111	0.00189	1.26

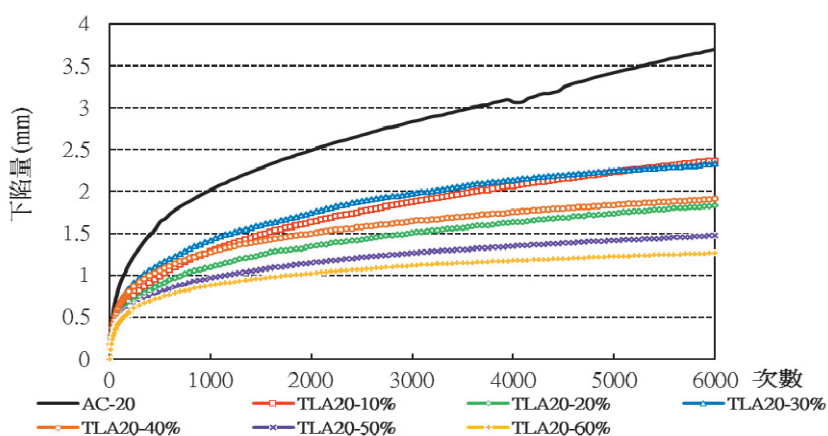


圖 25 各 TLA 含量輪跡車轍下陷量

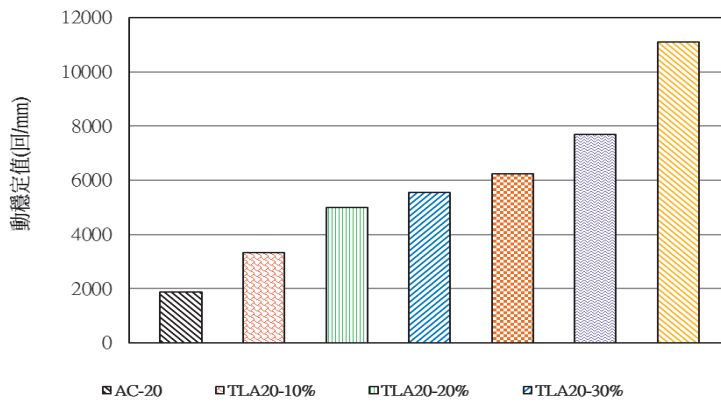


圖 26 各 TLA 含量輪跡車轍動穩定值

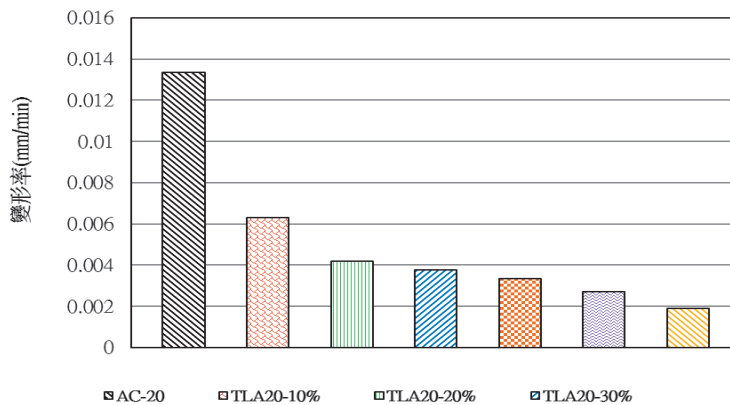


圖 27 各 TLA 含量輪跡車轍變形量

五、結論與建議

5.1 結論

本研究將 AC-20 基質瀝青混合 TLA 依比例 10%~60%，因為摻入太多 TLA 不符合經濟價值，且難度逐漸增大，要使 TLA 均勻溶解，必須提高拌合溫度，或者增加拌合時間，增加了工序及成本，所以本研究只做到 60%，共 7 組樣本，進行基本物理試驗及力學試驗，經分析相關結論如下：

- 1.基本物性試驗結果顯示隨著湖瀝青摻量的增加，黏滯度有明顯的提高；針入度逐漸下降；延展性從 20%開始成固定比例下降；而比重也隨著 TLA 增加而增加；軟化點也為之增加；閃火點則是呈緩和比例下降。
- 2.由流變儀 DSR 中得知複合模數以 TLA20-60%為最優，TLA20-50%次之再來是 TLA20-40%等依序排列，所以添加比例越高其複合模數越佳。
- 3.從間接張力實驗中得知，AC-20的間接張力值小於 TLA20 並隨著比例增加間接張力有逐漸提高之趨勢，由此實驗證明添加 TLA 能有效的提高材料之張力強度。

- 4.在回彈模數試驗結果顯示，在 TLA20 添加比例升高時回彈模數明顯增加，其試驗結果表示 AC-20 在低溫時比較不易產生龜裂；但在 40°C 試驗溫度時，要有較高回彈模數，可承受擠壓變形，並有適當強度，結果顯示 TLA20 一樣有增加之趨勢，表示 TLA20 在高溫時比較能承受擠壓變形。
- 5.靜態弧面潛變在 40°C 下，因水平測微超載以致於 AC-20、TLA20-10、TLA20-20、TLA20-30 無法量測，可能是其基質瀝青 AC-20 對溫度之感溫性較高所造成，在 25°C 之下依其抗壓能力 AC-20 與 TLA20-10%之間有大幅下降，從 TLA20-10%開始皆以緩和比例下降。
- 6.由弧面靜態潛變試驗在 25°C 與 40°C 下結果顯示，AC-20 在添加 TLA 之後，垂直與水平應變皆有大幅度之下降，表示 TLA 明顯能夠改善 AC-20 之抗壓與抗張能力。
- 7.在弧面動態潛變試驗中，TLA20 在 25°C 和 40°C 時變化量，皆依添加比例持續下降，降至 TLA20-60%為最低其垂直應變量為最低，故添加 TLA 能有有效改善瀝青混凝土之抗變形強度。
- 8.AC-20 添加 TLA 後，滯留強度有明顯的上升，但是 TLA 添加太多至 60%時，滯留強度指數卻沒有預期的高。依實驗結果顯示，TLA 添加量在 30%~50%能夠達到最好的效果。
- 9.從輪跡車轍試驗中，添加 TLA 湖瀝青後 6000 次輪跡滾壓試驗結果顯示，動穩定值較高，下陷量也較低。再從變形率來看，AC-20 在摻入 TLA10%之後，變形率有著大幅下降，從 TLA20-10%開始隨著摻入比例增高，而變形率趨於緩和幅度下降。由此可以瞭解 TLA 能夠明顯改善 AC-20，增強了它的抗車轍能力。
- 10 綜合以上實驗結果，各種 TLA 改質瀝青的各項性能皆隨著 TLA 添加量的增加，而呈現有規律變化。添加 TLA 比例 30%~50%皆合乎規範，且對各基質瀝青的改質效果顯著。另外考慮經濟成本及拌合的工作度，故得知 TLA 在 30%~50%為最佳比例。

5.2 建議

台灣對於 TLA 的研究尚處於起步階段，本研究對 TLA 改質瀝青及混合料進行了部分的試驗研究和分析，由於時間和試驗條件有限，以下幾個方面的問題有待進一步研究：

- 1.由於 TLA 瀝青本身含有 36%左右的灰份，其實際瀝青含量減小，以至於摻加 TLA 後混合料空隙率偏大。建議以後將灰份納為密級配的填充料使用，製作馬歇爾試體，再討論試驗成效結果與分析。
- 2.進一步研究 TLA 改質瀝青混合料性能之評價與檢測試驗方法，讓提出的評價指標更合理並合乎規範，總結出一套完整的技術標準和施工指南。

參考文獻

1. 王琪，TLA 改性瀝青的研究和應用，石油瀝青，2006 年 10 月。
2. 張恒龍，「TLA 改性瀝青的製備與性能研究」，武漢理工大學材料學研究所，（2010.5）。
3. 童戀，「TLA 改性瀝青配伍性研究」，長沙理工大學道路與鐵道工程研究所，（2008.5）。
4. 季文廣，「TLA 材料性質及技術性能研究」，長沙理工大學道路與鐵道工程研究所，（2008.10）。
5. 夏明勝，鋼床鈹鋪面—GUSS 瀝青混凝土，土木水利，第二十八卷，第三期，民國九十年十一月，第 5 - 12 頁。
6. 陳建旭、黃建中，「流動性瀝青混凝土(Guss)之配比設計與鋪築」，臺灣公路工程，第 35 卷，第 4 期，民國 98 年 4 月，第 2-21 頁。
7. 陳煒，TLA 改性瀝青混合料應用技術研究，長沙理工大學道路與鐵道工程研究所，（2007，4 月 10 日）。
8. 沈建良，「AC-20 瀝青添加湖瀝青之工程特性」，高苑科技大學土木工程研究所，民國 101 年 7 月。
9. 柯岱言，「AC-10 瀝青添加湖瀝青之工程特性」，高苑科技大學土木工程研究所，民國 101 年 7 月。
10. Department of transportation in Washington state, Evaluation of Trinidad lake asphalt overlay performance, Post Construction Report in-House Experimental Feature, (Sep. 2008).
11. Hao,Menghui & Hao,Peiwen & Cui ,Wenbo & Li,Shaohui (Nov. 2011) Modification of SMA in Airport Runway Using SBS and TLA, the 2nd International Conference on Electrical and Control (IEEE).

臺灣公路工程徵稿簡則

- 一、本刊為交通部公路總局工程同仁業餘進修刊物，歡迎本局同仁及國內外有關公路之工程、經濟、規劃、管理、資訊等未經刊登於其他刊物之研究論著均接受投稿；論文如屬接受公私機關團體委託研究出版之報告書之全部或一部份或經重新編稿者，作者應提附該委託單位之同意書，並於論文中加註說明。凡由本刊主動邀稿者，不受上述限制。
- 二、本刊為一綜合性公路工程刊物，下列各類稿件均表歡迎：
 1. 論著：以公路工程之理論著述，創作發明，具有學術價值者為主。
 2. 專題研究：以實際經驗及創見，促進技術之改進者為主。
 3. 譯述：以譯述國外書刊雜誌或工程報導，具有參考或實用價值者為主，長稿予以節譯，如涉及著作權問題，由譯者自行負法律責任。
 4. 實務報導：以報導工程設計、施工、試驗之實際經驗為主。
 5. 法令釋義：以介紹或解釋公路交通法規為主。
 6. 新書介紹：以介紹國內外有關公路工程交通新書為主。
 7. 工程文摘：以介紹國內外有關公路交通工程新知識為主。
 8. 讀者通訊：以反應或解答有關公路交通工程問題為主。
 9. 工程報導：以報導國內公路交通工程動態為主。
 10. 業餘隨筆：以有關工程方面之輕鬆雋永之散文記述為主。
- 三、為便於一次刊出，來稿以一萬五千字為限，其中應包括三百字以內之摘要及三至五個關鍵詞，並請註明姓名、身份證字號、戶籍地址、服務單位、職稱、聯絡地址及電話。
- 四、文稿中需註釋處，請標明上標無括號序碼，按順序往下連續編號，再於引註當頁下方加橫線排印註釋。文稿中之數學式，函數請排正體字、變數請排斜體字。圖及表中之中文字請排細明體，英文字請排 Times New Roman 體，圖原則上不加框，表之框線均採細線。參考文獻請按出現序排列，文中提及時請標明上標加括號序碼，參考文獻資料必須完整無缺，請依序書寫作者姓名、論文篇名、期刊（書名）名稱、卷期、出版社、出版日期、起迄頁碼。
- 五、來稿請打印清楚，照片、圖片請附寄原版，凡無法清晰辨認及製版者，恕不接受；並請提供 Microsoft Word 版本可讀檔案格式之電子檔。
- 六、本刊編輯委員對來稿在不變更其論點之原則下有刪改權，來稿一經發表，依本社規定致稿酬，版權歸本局所有，其他刊物如需轉載，應同時徵得作者及本刊同意，並註明出處。
- 七、如欲退還稿件請附足郵資。
- 八、稿件請寄臺北市萬華區東園街 65 號 8 樓臺灣公路工程月刊社收。

臺灣公路工程

編者：臺灣公路工程編輯委員會
地址：10863 臺北市萬華區東園街65號
電話：(02) 2307-0123 轉 8108
網址：<http://www.thb.gov.tw/> 出版薈萃
編者：臺灣公路工程編輯委員會
出版年月日：中華民國104年4月15日
創刊年月日：中華民國41年11月11日
刊期頻率：每月15日出刊
本期定價：新臺幣30元
展售處：

五南文化廣場

地址：40042 臺中市中山路6號
電話：(04)2226-0330

國家書店松江門市

地址：10485 臺北市中山區松江路209號1樓
電話：(02)2518-0207 (代表號)
國家網路書店：<http://www.govbook.com.tw>

三民書局

地址：10045 臺北市重慶南路一段61號
電話：(02)2361-7511

印刷者：彩之坊科技股份有限公司

地址：23558 新北市中和區中山路2段323號

中華民國104年4月初版一刷

GPN:2004100003

ISSN:1812-2868

著作財產權：交通部公路總局

欲利用本刊全部或部分內容者，須徵求本局同意或

書面授權。請洽臺灣公路工程月刊社

(電話：(02)2307-0123轉8108)

行政院新聞局出版事業登記證局版北市誌字第1360號
臺灣郵政北臺字第○七三八號執照登記為新聞紙類(雜誌)交寄
臺灣郵政劃撥儲金帳戶10286620號
中華民國雜誌事業協會會員

ISSN 1812-2868



9 771812 286005

GPN:2004100003

本期定價新臺幣 30元
半年新臺幣150元
全年新臺幣300元
軍人及學生訂閱半價優待