

鋪面瀝青磚實驗室製程之研究

黃三哲¹ 陳仙州² 許琦³ 劉英偉⁴ 洪明澤⁵

¹高雄應用科技大學土木工程科技研究所博士候選人

²屏東科技大學土木工程研究所博士候選人

³高雄應用科技大學土木工程系教授

⁴屏東科技大學土木工程系教授

⁵公路總局材料試驗所幫工程司兼瀝青試驗室室長

(轉載自第十一屆鋪面工程材料再生及再利用學術研討會暨 2014 世界華人鋪面專家聯合學術研討會)

摘要

目前以常溫瀝青混凝土修補坑洞之作法，因材料溫度及夯實度無法達到目標需求，故而短時間內即重複破壞，再經水侵害後擴大損壞範圍。為徹底解決鋪面坑洞問題，本研究於實驗室以馬歇爾試驗法及抗壓試驗機擠壓法，參考 AI MS-2 有關現地核實配比設計及 SuperPave 能力試驗之試體孔隙率要求(6~8%)；製作 5 cm厚 ϕ 15 cm之圓形瀝青磚，並就磚材抗車轍能力、級配降格、密度及孔隙率等作相對比較。試驗結果顯示，國內目前慣用馬歇爾試驗法正反面各夯打 112 下之 10cm 厚標準試體孔隙率為 3~5%，無法達到 SuperPave 能力試驗要求。以馬歇爾試驗法正反面各夯打 21 下及 200T 抗壓試驗機擠壓試體至 5 cm厚度之孔隙率均能符合目標需求，每顆試體夯製時間約 3~5 分鐘，抗車轍能力均能達 8000 次/12.5mm 以上，且無級配降格問題。又抗壓試驗機壓製之試體大小隨目的需求配合改變承壓板及底板直徑即可，馬歇爾試驗法則需就整組機台重新設計組裝。顯見以抗壓試驗機擠壓法夯製鋪面瀝青磚應用於道路坑洞之補繕為可行方案。

關鍵詞：馬歇爾試驗法、抗壓試驗機擠壓法、鋪面瀝青磚

一、研究動機

近年來國內降雨型態改變，暴雨頻率大幅提高，加上都市開發增加之不透水鋪面，致區域排水規劃無法負擔，造成鋪面浸水機率提升加劇材料老化破壞。現實環境之鋪面坑洞，主要是以破壞性取樣之鑽心孔洞或切割裂縫填補不實及鋪面老化形成之初期裂縫未能及時補禱，再經車流磨損或降水侵害而形成。經調查發現路面上初期因表面破損或鑽心取樣遺留之坑洞，以 ϕ 10~20 cm，深度 3~7cm 居多。對於路面坑洞之處理，工程界多先以常溫瀝青料填補，俟天氣放晴再以小面積方正切割及鑿鋪 AC 方式處理，此作法非但未能及時將坑洞修復完善，處理過程更常因材料溫度及夯實密度無法有效控管，除降低鋪面耐久性外，更常於短時間內加速鋪面損壞擴大(圖 1)。又為確認鋪面 AC 品質，工程主辦機關常於完成面採方正切割或鑽心取樣，進行驗收品質確認(如篩分析、含油量、厚度、壓實度、回收瀝青黏度等)，取樣回鋪處更常形成結構弱面區。為及時處理鋪面坑洞形成之弱面區，降低鋪面損壞擴大機率，據以提高鋪面耐久性，研發高穩定性鋪面坑洞修補材料，確有其必要。



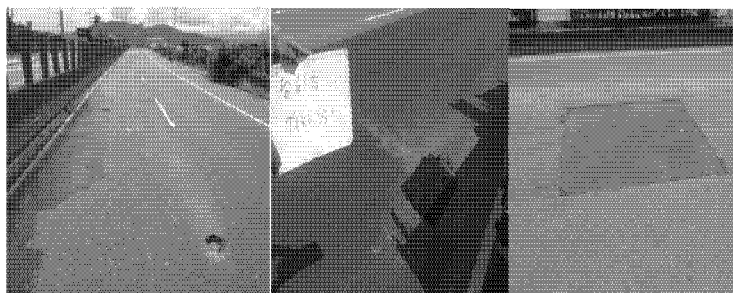


圖1 路面坑洞及傳統修補情形

二、鋪面瀝青磚之配比設計

本研究使用標稱最大粒徑 $\phi 19\text{mm}$ 規格料，依據 CNS 15073 原始黏度等級 AC-20 瀝青膠泥，並參照 AIMS-2 瀝青混凝土馬歇爾配合設計法^[1]，辦理瀝青混凝土配合設計，其作業流程如圖 2，配合設計規格如表 1。

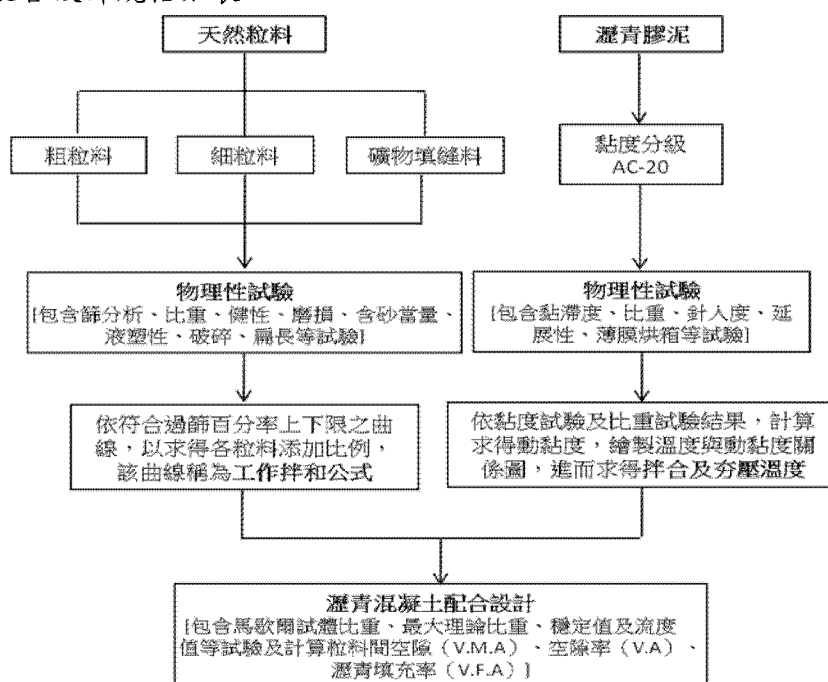
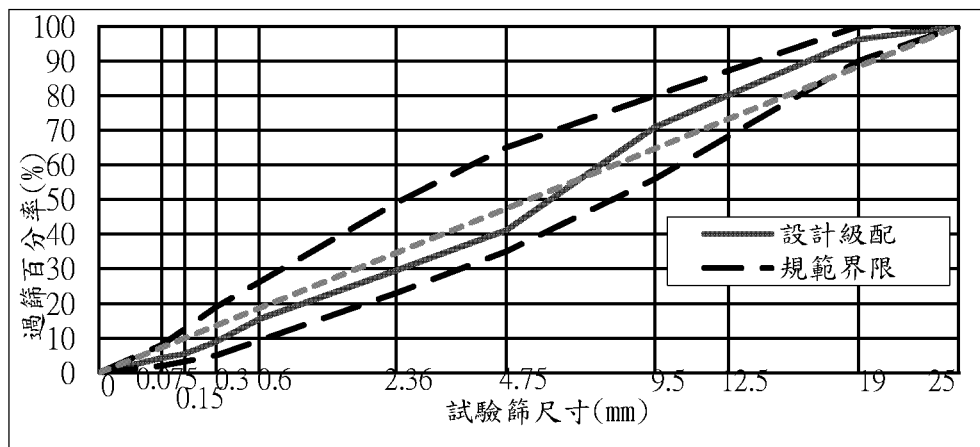


圖 2 瀝青混凝土配合設計流程【1,2,3】

表 1 瀝青混凝土配合設計

項目	建議配比及相應各值 如附圖	規範值 如附圖
1. 粒料配合比		
2. 瀝青含量		
a. 瀝青種類	黏度分級 AC-20	黏度分級 AC-20
b. 對乾粒料(%)	5.3	-
c. 對混合料(%)	5.0	4~10
3. 試體密度(kg/m ³)	2329	-
4. 穩定值(kg f)	1165	≥ 817
5. 流度值(0.25mm)	10.3	8~14
6. 粒料間空隙率(V.M.A., %)	13.7	≥ 13.2
7. 瀝青填充率(V.F.A., %)	70	65~75
8. 空隙率(V _a , %)	4.2	3~5
9. 粒料平均比重	2.572	-
10. 瀝青比重	1.041	-
11. 混合料最大理論密度(kg/m ³)	2430	-
12. 滯留強度指數(%)	96	≥ 75





附圖 瀝青混凝土配合設計曲線

三、研究方法

本研究流程如圖 3，首先於實驗室按混凝土配合設計拌製瀝青混凝土混合料後，直接計算所得之試驗需求量分別取同批瀝青混凝土混合料，再以馬歇爾標準夯實法及抗壓試驗機擠壓夯實法，夯製 $\phi 15\text{mm}$ 高 5 cm 試體及為進行漢堡輪跡車轍試驗之 $\phi 15\text{mm}$ 高 6 cm 瀝青磚試體各 3 組(9 顆/組)進行相關試驗分析。

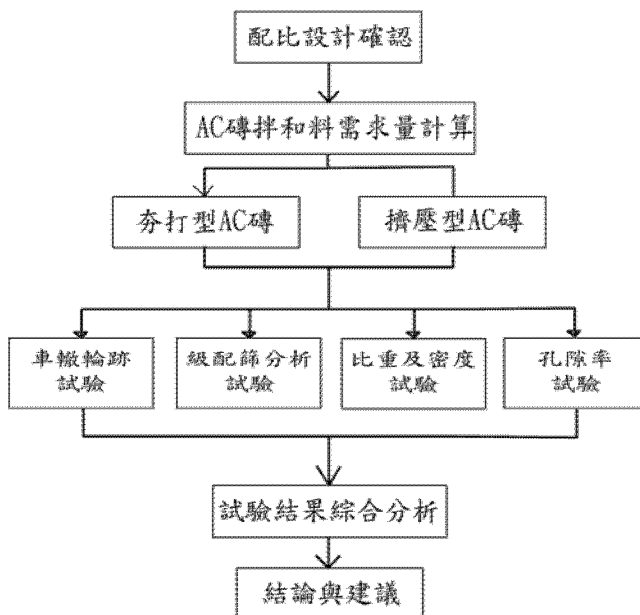


圖 3 瀝青磚製程之研究

3.1 試體混合料需求量計算

1. 由試體體積及目標空隙率求出拌製需求量

$$V.A (\%) = \left(1 - \frac{d}{d_{\max}} \right) * 100 \quad (1)$$

其中 V.A 為空隙率，d 為試體比重， d_{\max} 為最大理論比重。

將 V.A=6% 及 $d_{\max}=2.438$ 代入(1)式，可得試體比重 d 為 2.292。

將 V.A=8% 及 $d_{\max}=2.438$ 代入(1)式，可得試體比重 d 為 2.243。



$$d = \frac{D}{D_{\text{water}}} \quad (2)$$

其中 d 為試體比重， D 為試體密度(g/cm^3)， D_{water} 為與試體同溫度之水密度。試體試驗比重溫度為 25°C ，在 25°C 時，水密度為 $0.997 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，所以， $D=d*0.997(\text{g}/\text{cm}^3)$ 。

$$D = \frac{M}{V} \Rightarrow M = D \times V \quad (3)$$

其中 D 為試體密度(g/cm^3)， M 為試體重量(g)， V 為試體體積(cm^3)。而

$$V = \frac{\pi \times t^2 \times h}{4} \quad (4)$$

其中 t 為試體直徑(cm)， h 為試體高度(cm)，本研究試體直徑為 15cm ，將其代入，可得 $V=176.71*h(\text{cm}^3)$ 。將(2)及(4)式計算結果，代入(3)式，可得下式(5)式。

$$M=d*0.997*176.71*h=176.18*d*h \quad (5)$$

2. 依試體高度變化調整拌製需求量

將利用(1)式求得之空隙率 6%及 8%的比重 2.292 及 2.243 與高度 5cm，代入(5)式，可得空隙率 6%時，重量為 2019g；空隙率 8%時，重量為 1976g。故拌製之混合料需求量為 1976~2019g，取整數 2000g，夯製馬歇爾試體。由(5)式亦可得直徑 15cm，高度 6cm 的漢堡輪跡車轍試體，且空隙率 6~8%時^[4]。拌製之混合料需求為 2371~2423g，取 2400g，夯製馬歇爾試體。

3.2 試驗儀器簡介

本研究之鋪面瀝青磚製程主要之儀器設備包括 1.馬歇爾標準試驗儀 2.抗壓試驗機 3.漢堡輪跡車轍試驗儀。

1. 馬歇爾標準試驗儀：美國 HUMBOLDT/H-1364；夯錘直徑 149.4mm,重量 10.21kg,落高 457mm(圖 4)；供作試體容積比重或密度試驗、馬歇爾穩定值與流度值試驗之用。本研究用來夯製瀝青磚比對用之試體。
2. 抗壓試驗機：日本 TOKYO KOKI MODEL CM 200/TK 10B；最大荷重 200T，行程 60cm 以上(圖 4)；供作試體測定抗壓強度試驗值之用。本研究用來壓製瀝青磚試體。
3. 漢堡輪跡車轍試驗儀：義大利 CONTROLS 77-PV33A06，鋼輪(直徑 $203.2\pm 3\text{mm}$ 、寬度 $47\pm 1\text{mm}$)、荷重 $705\pm 4.5\text{N}$ 、車輪滾壓速度 52 ± 2 次/分鐘、恆溫設備(水溫可設定常溫至 $70^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$ 內)本研究設定 $50^\circ\text{C}\pm 1^\circ\text{C}$ 。試驗以車輪對浸泡水下之夯實瀝青混合料試體進行反覆滾壓之方式進行測試，並提供記錄車轍深度及對應滾壓次數。



圖4 瀝青磚製程之儀器設備

3.3 試體夯製法

研究用之試體依夯製方式之不同分為夯打型試體及擠壓型試體兩種，並依實際應用方向夯製高 5 cm 及 6 cm 兩種規格。

1. 夯打型瀝青磚試體

研究用試體以直徑 15cm 為主，並參考 ASTM D5581 試體製作方式^[5]，首先取總重量約 4050g 拌和料，分兩次搗實(2025g/次)，內外圍各搗實 10 下及 15 下，並以馬歇爾標準夯錘就試體正、反面各夯打 112 次，試體高度在 9~10 cm 及空隙率 3~5% 為參考基準。因一般鋪面單層厚度以 5 cm 為主，製作高 5 公分之試體夯打次數約為馬歇爾標準夯打法之半數，故依 3.1-1 求得之拌和料重量 2000g，調整夯打次數為 56 次，作為高度 5 cm 及空隙率 3~5% 之夯製原則，且經由試驗確認其可滿足目標需求。再以減少夯打次數方式，試求同時滿足 5 cm±10% 試體高度及空隙率 6~8% 之夯打次數(表 2 及圖 5)。經反覆試驗結果發現，欲滿足上述要求值時，以夯打 19 次為最適。再依上述方法夯製 6cm 高車轍試體後發現，欲維持空隙率 3~5%，試體夯打次數則為 70 次為適；當空隙率 6~8% 時，則以 21 次最佳。

表 2 高度 5cm 試體夯打次數與空隙率之關係

夯打數 (次)	112	84	56	42	28	21	14	7
空隙率(%)	2.7	3.1	4.3	5.4	6.7	7.3	8.2	8.7

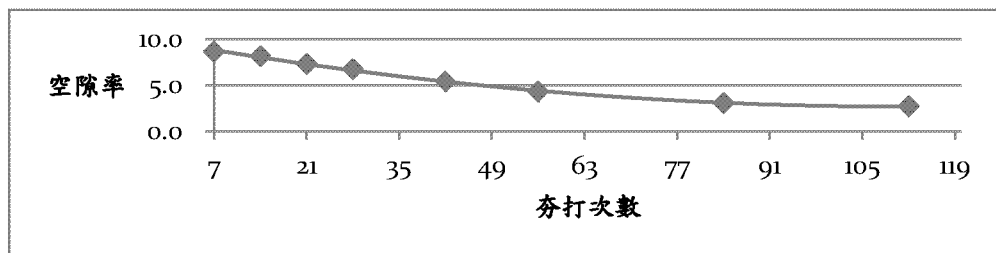


圖 5 夯打次數與空隙率關係

2. 擠壓型瀝青磚試體

擠壓型瀝青磚為本文研究主軸，為考量磚體產製之便捷性、夯實能量足夠性及不致因過度夯打造成級配粒料產生降格行為。研究初期計夯製三組試體(2 顆/組)，試體夯製步驟為先將 2000g 足量熱拌料倒進試模內，加以搗實後量測高度約 8 cm，再直接以抗壓試驗機正面壓縮控制試體高度約 5 cm，採此單面擠壓處理之試體，未擠壓面外觀密實度較低。為使瀝青磚空隙率更貼近初期完成鋪面狀態，再以正反面擠壓方式控制試體高度。由 3.1 節計算式(5)試體高度在 5 cm±10%，空隙率 6~8% 時，瀝青磚試體拌和料重量為以 1976~2019g，故 5 cm 高擠壓型試體仍以 2000g 為控制量。當試體厚度變動時，試體體積將隨之變化，故需依體積變化量彈性調整拌和料使用量。後續研究乃依據此作法夯製高度 6 cm 之車轍試驗試體，即先將經計算後之足量熱拌料倒進試模內搗實，此時量測高度約 8 cm。再直接以抗壓試驗機正面壓縮約 1.5 cm；將試模翻轉再進行另面擠壓，並控制試體至所需高度(6 cm±10%)。俟完成試體冷卻後再分別測定試體密度、車轍輪跡試驗，並取數個試體烘乾篩分進行級配降格與否之比較。



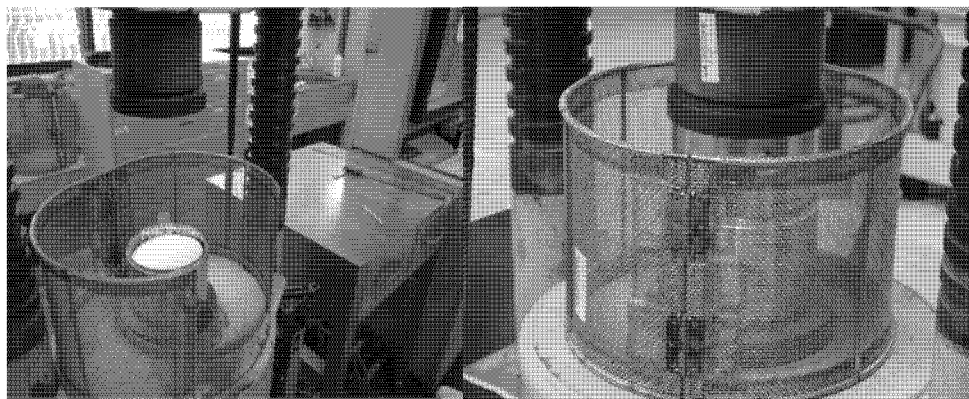
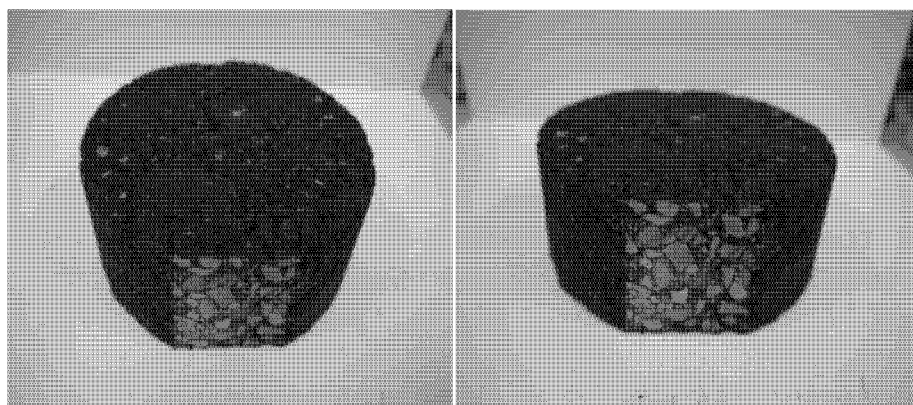


圖5 抗壓試驗機擠壓型試體



夯打型試體

擠壓型試體

圖6 空隙率 6~8%之夯打型及擠壓型試體

四、試驗結果及討論

研究針對不同試體，依所需夯製能量、試體外觀、虛比重試驗、空隙率及試體分解後之混合料是否有級配降格情形、輪跡車轍試驗等作相對比較如表 4~6 並分析探討如后。

1. 由表 4 之平均空隙率可見，降低馬歇爾夯打次數 70%，約可提高試體空隙率 63%；以抗壓試驗機雙面擠壓法更易控制試體空隙率。
2. 由表 4 之試體高度而論，所有夯製法均能控制精度在 $\pm 1\%$ 以內。
3. 由圖 6 試體表觀及表 4 之平均虛比重顯示，採正反面夯打 21 次及雙面擠壓夯製法，試體均勻度相當。
4. 抗壓試驗機雙面與單面擠壓相較，雙面之夯實能量差異較單面擠壓為低；4.75mm 以下之粒料破碎率亦較單面擠壓夯製者為低。
5. 就試體之夯製時間而言，所有夯製法需用時間均相當且被接受度高。
6. 由表 5 顯示，不論採行馬歇爾夯打法或抗壓試驗機擠壓法，試體級配規格皆無級配降格現象。
7. 由表 6 顯示，試體空隙率 3~5%者較 6~8%之抗車轍能力為佳。空隙率 6~8%者，馬歇爾夯打法與抗壓試驗機雙面擠壓法夯製之試體抗車轍能力相當。
8. 空隙率 6~8%之馬歇爾夯打法與抗壓試驗機雙面擠壓法，夯製之試體均能符合美國加州

DOT^[7]對剝脫點之規範要求(5000 輪次以上)要求。

9. 空隙率 6~8%之馬歇爾夯打法與抗壓試驗機雙面擠壓法，夯製之試體比美國加州 DOT 對車轍深度 12.5mm(輪次)之規範要求(10000 輪次以上)略低約 10%。

表 4 瀝青磚 6cm 高試體夯製結果

試體夯製型式 比較項目	馬歇爾夯打法		抗壓試驗機擠壓法	
	夯打 70 次	夯打 21 次	單面	雙面
規範空隙率(%)	3~5	6~8	6~8	6~8
平均擠壓能量(T)	-	-	25~52	26~30
試體平均虛比重	2.320	2.250	2.270	2.260
試體平均高度(cm)	6.04	6.10	5.99	5.94
平均空隙率(%)	4.53	7.40	6.80	6.45
夯製時間(min)	5~8	3~5	3~5	3~5

表 5 空隙率 6~8%試體級配篩分析結果

試驗篩	過篩百分率(%)					
	JMF	鬆散料	單面擠	雙面擠	夯打	規範帶
25mm	100.0	100	100	100	100	100
19mm	96.2	96	96	96	95	90~100
12.5mm	80.1	81	85	84	81	-
9.5mm	70.9	71	77	75	72	56~80
4.75mm	41.1	42	54	50	45	35~65
2.36mm	29.5	30	39	35	33	23~49
1.18mm	21.3	23	30	26	25	-
0.60mm	15.5	17	23	19	19	-
0.30mm	9.0	10	15	13	11	5~19
0.15mm	5.5	7	10	9	8	-
0.075mm	4.3	5.3	7.1	6.8	5.8	2~8
含油量(%)	5.0	4.8	4.9	4.9	4.9	

表 6 瀝青磚試體車轍試驗結果

試體夯製型式 比較項目	馬歇爾夯打法		抗壓試驗機擠壓法	
	70 次	21 次	單面	雙面
車轍深度 20mm(輪次)	21595	12704	7110	14204
車轍深度 12.5mm(輪次)	16320	8867	5000	8775
剝脫點-SIP(輪次)	10939	7738	3920	6972
註 1.美國加州 DOT 對剝脫點之規範要求為 5000 輪次以上				
註 2.美國加州 DOT 對車轍深度 12.5mm(輪次)之規範要求為 10000 輪次以上				

五、結論與建議

1. 路面上形成之坑洞以 10~20cm 居多，故鋪面瀝青磚應考慮以能同時包覆坑洞損壞範圍之尺寸，俾更符合實務環境需求。
2. 目前路面切割線形成之弱面無法有效處理問題，以鑽心方式取代即可解決；由本研究顯示倘能加大磚體直徑至 25 cm，應可解決大部問題。
3. 由研究結果顯示，以抗壓試驗機擠壓法夯製之鋪面瀝青磚，備料計算方法簡便精準，磚體抗車轍能力及表觀均勻性佳，極具參考價值。



4. 就試體之夯製過程而言，抗壓試驗機擠壓法並無振動及噪音問題，而夯打法振幅及噪音均大，對環境則有負面影響。
5. 抗壓試驗機擠壓之試體型式及大小，得隨目的需求配合改變承壓板及底板，拌和料使用量亦可經由體積法計算並以目標高度控制，有助於市場之大量產製。
6. 馬歇爾試驗法夯製之試體，只要體積、型式或空隙率有所變化，拌和料使用量及夯打次數皆需重新試求，且可能需重組機台，耗時且不符市場需求。
7. 研究過程發現，以管徑 10 cm、15 cm、20 cm，現地鑽心之實際孔洞因壁厚關係高出鑽心管內徑約 1 cm，為加強試體安裝後之穩定性，建議爾後夯製試體之試模使用 10.7 cm、15.7 cm、20.7 cm 及 25.7 cm 等規格為之。

六、參考文獻

1. Asphalt Institute Manual Series No.2(AIMS-2) Sixth Edition, “Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types”,1995.
2. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA), “Superpave Asphalt Mixture Design Workshop Workbook”, Version 6.2,1999.
3. AASHTO T283, “Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage”,2007.
4. AASHTO T324, “Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA)”,2011.
5. ASTM D5581, “Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus (6 inch-Diameter Specimen)”,2007.
6. ASTM D4867, “Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures”,2009.
7. State of California Business Transportation and Housing Agency Department of Transportation, “Construction on State Highway in Kern County near Taft from 0.2 mile West of Airport Road to 0.3 mile West of Lakeview Wash Bridge” Special Provisions Section 5-1,10-1,2011.

