

台鋼資源股份有限公司

探討還原渣應用於道路工程成效

研究計畫書

計畫主持人：林登峰 教授

共同主持人：羅煥琳 教授

黃隆昇 教授

委託單位：台鋼資源股份有限公司

執行單位：義守大學

# 總目錄

總目錄.....	I
圖目錄.....	III
表目錄.....	IV
一、前言.....	1
二、文獻回顧.....	3
2.1 電弧爐爐渣的生產過程.....	3
2.2 還原渣與氧化渣的組成.....	4
2.2.1 還原渣的組成.....	4
2.2.2 氧化渣的組成.....	5
2.3 氧化渣與還原渣性質.....	6
2.3.1 還原渣的性質.....	6
2.3.1 氧化渣的性質.....	8
2.4 還原渣與氧化渣再利用法規.....	9
2.5 氧化渣再利用之現況.....	11
2.5.1 氧化渣應用於工業區道路試辦工程成效.....	11
2.5.2 氧化渣瀝青混凝土應用於台 74 號道路之成效.....	12
2.5.3 氧化渣瀝青混凝土鋪設道路研究計畫.....	12
2.5.4 精進瀝青混凝土路面工程防制空氣污染之可行性研究....	13
2.5.5 氧化渣瀝青試辦工程相關試驗與成效監測.....	14
2.5.6 107 年度不銹鋼氧化渣瀝青混凝土與檢測.....	14
2.5.7 臨海工業區及林園工業區氧化渣瀝青混凝土試辦工程....	15
三、研究工作計畫初擬.....	16
3.1 還原渣與氧化渣應用於基底層級配料.....	16
3.2 還原渣作為氧化渣瀝青混凝土填縫料.....	19

3.3 本研究相關試驗.....	22
四、服務團隊介紹.....	30
4.1 團隊組織與分工.....	30
五、經費分析.....	31
七、參考文獻.....	32

## 圖目錄

圖 2.1.1 氧化渣製成圖.....	4
圖 2.2.1 還原渣與各類爐渣及水泥三項圖.....	5
圖 3.1.1 基底層級配料(氧化渣+還原渣)研究流程圖.....	18
圖 3.1.2 基底層級配料(氧化渣+還原渣)試驗道路斷面圖示意圖 .....	19
圖 3.2.1 瀝青混凝土(氧化渣+還原渣)研究流程圖.....	21
圖 3.2.2 瀝青混凝土(氧化渣+還原渣)試驗道路斷面示意圖.....	22

## 表目錄

表 2.2.1 各類爐渣化學成份比較表.....	5
表 2.2.2 重金屬溶出試驗規範.....	10
表 6-1 研究經費概估 .....	31

# 還原渣應用於道路工程成效之研究

## 一、前言

國內現今電弧爐煉鋼廠每年約生產 1,000 萬公噸粗鋼，亦產出約計 120 萬公噸氧化渣及 46 萬公噸還原渣 [1]，還原渣為電弧爐煉鋼之副產物，由於製程之關係，還原渣若無良好之品質控管其性質將十分不穩定。近年來台灣鋼聯股份有限公司成立台鋼資源股份有限公司，主要處理煉鋼廠所產生之還原渣，並進而擴大資源化應用，並以全世界首創 20 大氣壓蒸氣安定化工廠，以穩定還原渣之膨脹問題。

還原渣除了膨脹問題，堆置更對自然環境造成了許多負擔，因其化學成分分析是以無機礦物為主，爐渣可能導致土壤、地下水之 pH 值偏高[2]，因此台鋼資源股份有限公司極力推廣還原渣再利用途徑，秉持環保之經營理念並以保護環境視為重要之社會責任。還原渣一般來說其物理性質與天然粒料接近，但實際再利用納入工程做為替代粒料，面臨工程單位施工成敗與否的壓力與民眾之負面觀感。

還原渣再利用做為替代粒料，如同目前廣泛使用的轉爐石及氧化渣，[3]。還原渣含有大量 CaO，若游離的氧化鈣(f-CaO)與水反應生成氫氧化鈣時，體積可膨脹 100~300% [3][4]，中國鋼鐵與中聯爐石資源公司曾以悶罐法(Steam pyrolysis)安定化熱渣，隨後於 2012 年 6 月完成年處理量 60 萬噸之改質處理站建置，針對還原渣安定化處理方式，進行全方位的評估，並於 2014 年正式公佈其改質成功突破的亮點[5]。由環保署資料顯示，2017~2019 年之還原渣申報總量分別為 126,973 公噸、102,720 公噸、138,440 公噸，而主要再利用之處理方式為原料使用、材料添加物以及其他再利用之用途，原料使用佔整體申報還原渣總量之 46%，材料添加物則為 35%，

其餘皆為其他再利用之用途[6]，申報資料目前仍無還原碴再利用於工程資料，倘若還原碴可有效應用於鋪面工程，亦可拓展還原碴之再利用途徑。

本計畫將還原碴與氧化碴同時應用於基底層級配料，氧化碴作為取代天然石粗粒料，而還原碴則取代天然石細粒料，以各材料之粒徑曲線進行取代量之決定，在藉由夯實試驗、CBR 試驗、膨脹試驗作為配比設計之依據，並實際鋪築於試驗道路，探討還原碴應用於道路工程之可行性研究；另外將還原碴應用於瀝青混凝土，嘗試取代傳統石粉填縫料，拓展其再利用途徑與增加氧化碴去化量，本計畫之目標係為有效去化還原碴與氧化碴並應用於道路工程材料，使還原碴與氧化碴再利用價值最大化，兼具環境保護及提升道路工程材料循環再利用之成效。

## 二、文獻回顧

### 2.1 電弧爐爐渣的生產過程

煉鋼的過程可以分成三個爐槽，依照不同煉鋼過程所得到之結果有所不同，其差別會因為使用的原料及鋼渣的化學成分不同，分述如下。

1. 平爐 (Open Heart Slag)：溶渣，鐵礦石，冷鋼塊與助溶劑 (石灰石) 在反應爐內經長時間煉鋼過程成之後，將多餘的碳成份排除。但因為提煉過程長，導致此種煉鋼過程已經非常少見，是屬於較早期的煉鋼方式。
2. 轉爐：鐵水 (Molten Iron)、冷凝鋼塊 (Scrap Metal) 與石灰石在高爐槽溶解之後把溶渣內的二氧化矽排出。為了降低碳成份含量，在提煉過程會灌入氧化。
3. 電弧爐：冷凝鋼塊或金屬礦與石灰石在耐火爐內使用 AC 或 DC 電流進行溶解[7]。電弧爐煉鋼使用電發熱加熱至 1500~1600°C，將廢鐵原料加入 CaO 熔融，再以吹氧去除熔鋼中的雜質，如 FeO、MnO、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等氧化物，其比重較還原層的鐵水為輕，浮在上層形成「電弧爐氧化渣」。然後將熔融的鐵水移至精煉爐，添加大量的 CaO，在還原去除鐵水中的氧和硫成分，精煉成鋼，此時所產生的爐渣稱為「電弧爐還原渣」[8]。

在礦物組成方面，氧化渣其礦物組成以橄欖石、薔薇輝石為主；而還原渣其礦物組成以 C<sub>3</sub>S(矽酸三鈣)、C<sub>2</sub>S(矽酸二鈣)及 RO(二價金屬氧化物固熔體)為主。電弧爐煉鋼生產 1 噸鋼水約產出 70 kg 的氧化渣、約 40 kg 的還原渣。台灣地區「電弧爐」煉鋼的原料主要為回收的廢鋼、廢鐵，所產生的爐石/渣則區分為前製程的「氧化渣」以及後製程的「還原渣」，全國

一年的總產量氧化渣約 86 萬公噸、還原渣約 24 萬公噸，圖 2.1.1 為氧化渣與還原渣製成圖[9]。

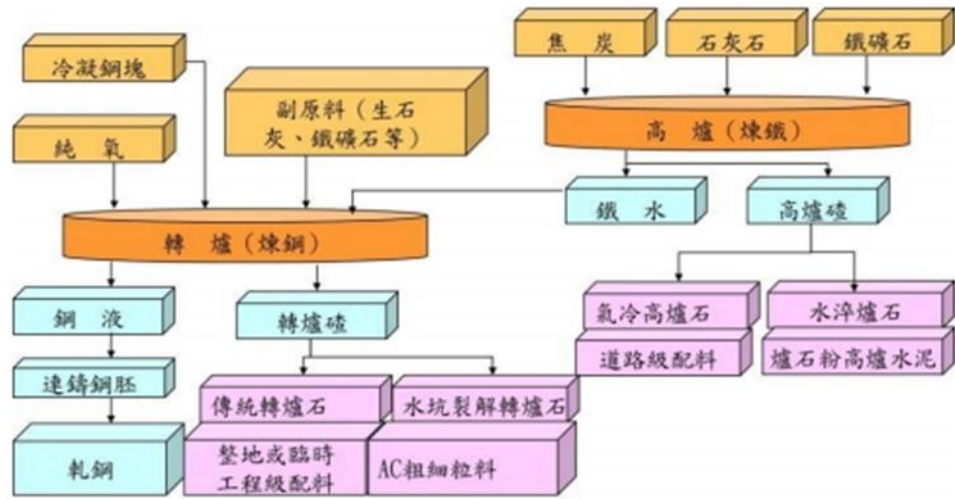


圖 2.1.1 氧化渣製成圖[9]

## 2.2 還原渣與氧化渣的組成

### 2.2.1 還原渣的組成

還原爐渣的組成以矽酸二鈣( $C_2S$ )、矽酸三鈣( $C_3S$ )、鋁鐵酸鈣、鐵酸鈣及二價金屬氧化物固溶體(RO)為主，其中矽酸鈣、鐵鋁酸鈣等是活性成份，具有膠凝性，而二價金屬氧化物固溶體(RO)通常是穩定的。煉鋼爐渣活性與其組成有密切相關，其活性通常用鹼度係數表徵。低鹼度的鋼渣如氧化渣，高鹼度的鋼渣如還原渣，因鹼度係數提高，活性礦物含量隨之增加，其水硬膠凝性能也隨之增大，水化活性亦隨之提高，可做為水泥建材之用[10]。以化學成份分析而言，還原渣之化學成份以氧化鐵、氧化鈣、二氧化矽、三氧化二鋁、氧化鎂及氧化錳等主要成份。將還原渣經過 XRF 螢光分析儀分析後所測得化合物成分組成[11]，如表 2.2.1 所示，圖 2.2.1 為還原渣之三相圖。

表 2.2.1 各類爐渣化學成份比較表[11]

種類成份	高爐渣	轉爐渣	電弧爐渣		山土	安山岩	普通波特蘭水泥
			氧化爐	還原爐			
SiO <sub>2</sub>	33.4	10.9	25.2	28.2	59.6	59.6	22.1
CaO	41	42.9	40.4	49.4	0.4	5.8	64.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.5	1.5	4.8	11.8	22	17.3	5.4
FeO	0.4	20.7	18.5	2.1	-	3.1	3.1
MgO	6	7.2	3.7	7.6	0.8	2.8	1.4
S	1	0.09	0.06	0.26	0.01	-	2.0
MnO	0.7	5.2	6.5	0.2	0.1	0.2	-
TiO <sub>2</sub>	1.5	1.4	0.3	-	-	0.8	-
鹽基度 Ca/SiO <sub>2</sub>	1.0~1.3	2.5~5.0	1.2~3.0	1.5~3.5	-	-	-

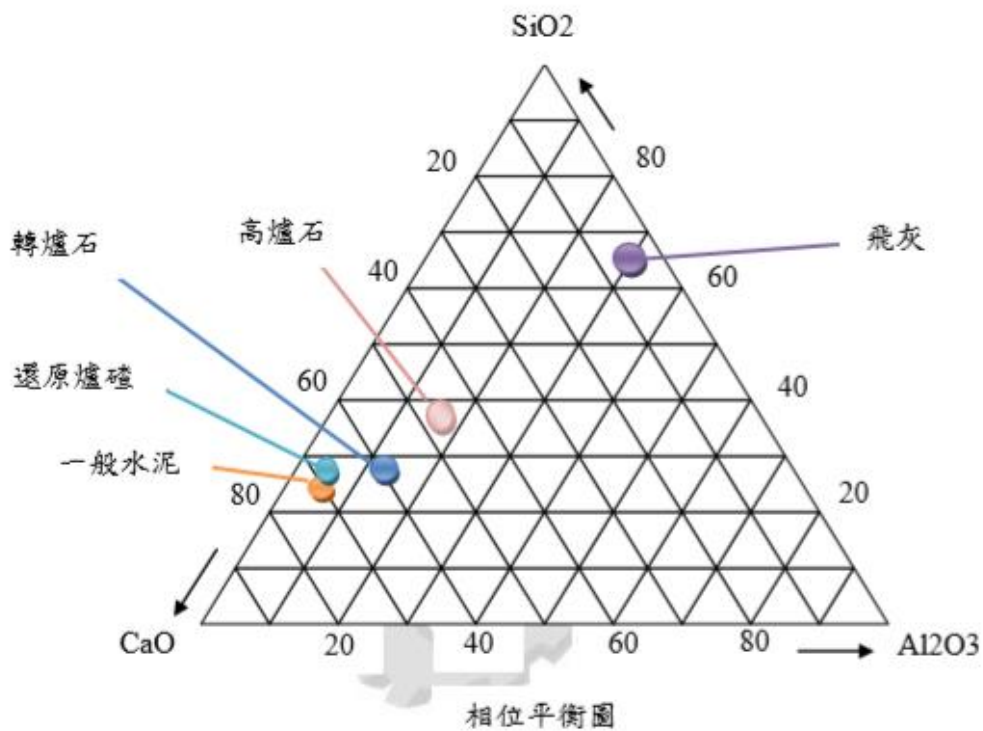


圖 2.2.1 還原渣與各類爐渣及水泥三項圖[13]

### 2.2.2 氧化渣的組成

根據全球各地區之爐渣化性分析,結果發現爐渣主要化學成分包含 CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO 等(Drizzo et al, 2006)[14], 而氧化渣中氧化鈣含量會較高, 氧化鐵含量會較低。爐渣隨製作過程的不同, 因此物理化學成分

會有所變化而不同(Drizzo et al. 2002)[15]。

主要的化學成分之特性如下：

1. 氧化鈣 (CaO): CaO 為氧化渣最主要成分，冶煉過程中需要加入大量石灰，因此氧化渣 CaO 含量中占有一定比例，在製程中加入 CaO 主要目的為提高活性，但過多 CaO 也會造成活性降低，而在緩慢降低溫度的環境底下容易產生粉塵化現象，使煉鋼爐渣活性受到影響。
2. 二氧化矽 (SiO<sub>2</sub>): SiO<sub>2</sub> 在氧化渣占成分次多，二氧化矽在煉鋼爐渣中的含量主要以鹽基度活性作為判斷標準，一般氧化矽在一定量時能生成活性物質 C<sub>3</sub>S、C<sub>2</sub>S 等，但量過多時反而會使活性降低。
3. 三氧化二鋁 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>): Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 亦是決定氧化渣活性之成份之一，在氧化渣中易形成鋁酸鹽和鋁矽酸鹽等礦物，其含量愈多活性愈大。
4. 氧化鎂 (MgO): 在氧化渣內 MgO 與 SiO<sub>2</sub> 及 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 結合成穩定型化合物，當 MgO 增加時會提高氧化渣之活性，因此氧化渣中 MgO 含量多寡與其活性大小有關。
5. 硫 (S): 在氧化渣中通常與 CaO 結合成 CaS，與水作用生成 Ca(OH)<sub>2</sub>，在有 MnO 存在情況下易生成 MnS，與水作用會發生體積膨脹現象。
6. 氧化錳 (MnO): MnO 大約占 1~8%，氧化錳之存在會影響氧化渣之健度。
7. 游離氧化鈣 (f-CaO): f-CaO 吸收大氣中之水分與二氧化碳 (CO<sub>2</sub>) 而發生風化作用，使氧化渣體積膨脹遇水則會產生氫氧化鈣 (Ca(OH)<sub>2</sub>) 會使氧化渣體積膨脹。
8. 其他雜質: 氧化渣內可能仍含有各類物質，由於含量甚低，一般認為只會使氧化渣微觀結構更加開放，進而增加其活性[16、17]。

## 2.3 氧化渣與還原渣性質

### 2.3.1 還原渣的性質

傳統作業之煉鋼爐石粉，及鐵礦原料中所含的黏土雜質與焦炭、石灰石助熔劑在高溫熔爐中反應所產生的熔渣。熔渣的組成主要與鐵礦原料種類、焦炭、助熔劑及造渣添加劑的比例有關；一貫作業煉鋼廠廢爐石粉又因處理方式不同分為高爐爐石粉及轉爐石粉。電弧爐煉鋼所產生之廢爐石粉，其成份組成與添加之助熔劑、造熔劑有關外，與所收集之廢鋼料種類、品質也有密切之關係，本研究將還原渣之基本性質分述如下[11][18]：

#### 1. 外觀

電弧爐還原渣外觀較為緻密，表面孔洞比氧化渣少，還原渣顏色有呈黑褐色，也有如高爐石粉呈灰白色粉末狀，有些還原渣表面還具金屬光澤，與氧化渣不同，有良好的凝聚力，遇水會凝結成塊狀。

#### 2. 粒徑分佈

還原渣一般呈粉狀，其粒徑主要分布於 0.075mm 以下，約占總量之 32%，其次為 0.0075~0.3mm 約占 40%，較大粒徑之還原渣含量較少。

#### 3. 物理性質

還原渣其組成通常與還原期時所添加之矽鐵、錳鐵、焦炭與生石灰等還原劑之添加比例相關，其比重於 2.2~3.5 之間，還原渣中含有之殘留金屬粉末，會使得比重上升；PH 值為 9.3~12.3；由於還原渣在外觀上微粉末狀，其接觸面積大，化學反應快，若其成分中含有大量 f-CaO 與水反應後產生膨脹反應。

#### 4. 化學性質

依照水泥材料的要求，分析電弧爐煉鋼還原渣，則可將主要構成物分為三部分，其中有效成份為氧化矽與氧化鈣，還原渣之氧化矽的含量大都在 22%~29% 不等，氧化鈣則在 48% 左右，其次還原渣中氧化金屬含量約在 15%~19% 不等，其中大部分為氧化鐵及氧化鈣，其他物質如氧化錳及氧化鈦的含量極少，這一類成份基本上對混凝土的性質影響不大。

### 2.3.1 氧化渣的性質

氧化渣粒料為多種礦物組成之固熔體，其物理性質將隨化學性質改變而有所不同。氧化渣可分為不鏽鋼渣及碳鋼渣，氧化渣物理特性說明如下 [19、20]：

- 一、外觀：氧化渣呈現黑色，以塊狀顆粒為主，次為粗顆粒，粉末狀之顆粒僅占少數，其粒型凹凸有菱角且表面粗糙多孔，孔隙結構複雜。
- 二、比重：氧化渣金屬成分含量較高，比重介於 2.5~3.7 之間，平均值為 3.1，較一般天然砂石粒料之比重 2.5~2.7 高，主要原因為爐渣中含有相當高比例之金屬氧化物所致。
- 三、吸水率：氧化渣吸水率大約介於 1.5~6.8%之間，平均值為 3.6，較天然砂石粒料之吸水率 1.5~3.5%高，為氧化渣多孔隙所造成。此外有文獻將不同氧化渣研磨壓磨後，以不同之粒徑分別進行試驗，結果顯示，氧化渣顆粒之比重及吸水率，並無明顯之差異，顯示氧化渣顆粒之質地與孔隙含量均勻。
- 四、耐磨性：氧化渣堅硬表面，其耐磨性高於天然粒料。由文獻資料顯示，天然砂、高爐爐渣、煉鋼爐渣(包含氧化渣)三者之耐磨指數分別為 1、0.96、0.7，其中耐磨指數越低代表耐磨度越高，可見氧化渣耐磨度優異，適用於鋪面材料。
- 五、吸油率：氧化渣吸油率較天然粒料高，會增加瀝青混凝土之含油量此為氧化渣具有多孔結構特性。
- 六、膨脹性：氧化渣含游離氧化鈣(f-CaO)、MgO 等成分，這些化合物在一定條件下都具有不穩定性。當吸水時，f-CaO 會消解為氫氧化鈣

(Ca(OH)<sub>2</sub>)，體積將會膨脹 100-300%，MgO 會消解為氫氧化鎂 (Mg(OH)<sub>2</sub>)，體積膨脹約 77%。因此，若氧化渣有膨脹疑慮時，可預先經過安定化處理，再使用於工程中，以避免膨脹情況發生。

## 2.4 還原渣與氧化渣再利用法規

一、事業廢棄物來源：基本金屬製造業在電弧爐煉鋼製程所產生之氧化渣（石）或還原渣（石）。但氧化渣（石）與還原渣（石）無法分離或依相關法規認定為有害事業廢棄物者，不適用之[21]。

二、運作管理：

(一) 再利用機構應符合下列規定：

1、機構設置應符合下列規定：

- (1) 廠房之建築應堅固，地面應採用水泥混凝土或其他易清理之材料。
- (2) 工廠廠區周圍應設置 2.4 公尺高結構體圍牆或其他適當阻隔之設施，廠內及廠外連接主要交通道路，應鋪設瀝青混凝土或水泥混凝土路面。
- (3) 廠內各作業場所應明確區隔，製造作業區與行政作業區應明確劃分。
- (4) 原料、物料、半製品及成品之儲存場所，應適當隔離。

2、再利用應符合下列規定：

- (5) 再利用於水泥生料用途以外者，應經破碎、磁選及篩分等處理。但於產源事業出廠前已經前述處理程序者，不在此限。
- (6) 再利用機構依前目契約書屬安定化處理執行單位者，須具備安定化處理設備。
- (7) 再利用於瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、鋪面工程之基層或底層級配粒料原料用途者，氧化渣（石）經破碎、磁選及篩分之

產出物及經安定化處理後之還原渣(石)，應至少每月委託檢測機構依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次未超過 0.5% 外，其他再利用用途未超過 0.5% 者，始得進行再利用。氧化渣(石)經破碎、磁選及篩分之產出物連續三個月之膨脹量檢測結果符合規定者，得每半年至少檢測一次。

(8) 電弧爐煉鋼爐渣(石)經高壓蒸氣處理須維持爐內壓力至少在 20.1 kgf/cm<sup>2</sup> 且持續三小時，其產出物應至少每月委託檢測機構依附件熱壓膨脹試驗法檢測一次，經檢測之試體外觀無爆裂、局部爆孔、崩解及破裂情形者，始得進行再利用。

3、電弧爐煉鋼爐渣(石)經再利用程序之產出物，於出廠前，每年度至少檢測一次戴奧辛及依毒性特性溶出程序檢測有毒重金屬項目。但再利用用途產品為水泥者，不在此限。經檢測未超過 2.2.2 表規範值，始得作為再利用用途之產品使用：

表 2.2.2 重金屬溶出試驗規範

元素	As	Pb	Cu	Cr	Hg	Cr <sup>6+</sup>	Se	Cd	Ba
規範值	≤0.4	≤4	≤12	≤0.8	≤0.016	≤0.2	≤0.8	≤4	≤10

4、再利用用途之產品應符合下列規定：

- (1) 瀝青混凝土產品應依公共工程施工綱要規範之品質項目檢驗，並符合工程採購契約書規範。
- (2) 鋪面工程之基層或底層級配粒料產品品質應符合該項產品之國家標準或公共工程施工綱要規範。
- (3) 再利用產品除水泥外，至少每月應由經簽署國際實驗室認證聯盟相互承認協議之認證機構所認證之實驗室檢測一次產品品質。但品質規範項目屬現地試驗者，不受本文檢測實驗室資格之限制。

5、再利用用途之產品屬鋪面工程之基層或底層級配粒料者，其使用應符合下列規定：

- (1) 不得使用於依都市計畫法劃定為農業區、農牧用地、林業用地、養殖用地。
- (2) 不得使用於依國家公園法劃定為國家公園區內
- (3) 不得使用於飲用水水源水質保護區、水庫集水區及自來水保護區。
- (4) 不得使用於國家重要濕地、自然保留區、野生動物保護區。
- (5) 使用於陸地時，應高於使用時現場地下水位一公尺以上。
- (6) 鋪面工程之面層應採用瀝青混凝土面層、水泥混凝土面層或磚材面層，且底層施工完成後六個月內，應完成面層施作。

6、貯存地點應符合下列規定：

- (1) 氧化碴（石）及還原碴（石）不得混合貯存。
- (2) 氧化碴（石）及其經安定化處理後之產出物應於獨立區域分別貯存，並得採用露天貯存方式，其貯存場所應設排水收集設施。但貯存於廠房內者，不在此限。

## 2.5 氧化碴再利用之現況

### 2.5.1 氧化碴應用於工業區道路試辦工程成效[22]

工業區道路試辦氧化碴工程成效試驗顯示，氧化碴之比重約為 3.61，吸水率約為 2.48%。氧化碴碎石砂較天然粒料碎石砂之整體粒徑細，而小於 0.075mm 之百分比亦大於天然粒料碎石砂。由馬歇爾配比設計得知，氧化碴瀝青混凝土含油量之範圍為 4.5~4.8%，而最佳含油量則定為 4.7%。粒徑較粗之氧化碴，可使瀝青膠泥使用量減少，其原因除氧化碴本身具有親油性質外，亦因粗粒料之比表面積較細粒料小，比表面積越小意味著粒料間之接觸面越少，進而導致氧化碴之粒徑越粗，所需之瀝青膠泥使用量越少。氧化碴瀝青混凝土所使用之氧化碴粒徑越小時，其流度值則會隨之

減少，因粒徑較細之氧化矽比表面積較大，且當氧化矽與瀝青膠泥之接觸面積越大時，越能提升氧化矽瀝青混凝土之黏結力。氧化矽瀝青混合料之剝脫面積隨氧化矽之粒徑越細而越少，表示較細之氧化矽提升瀝青混合料抗剝脫能力較粗粒徑氧化矽優異。

### 2.5.2 氧化矽瀝青混凝土應用於台 74 號道路之成效[23]

台 74 號道路鋪設氧化矽瀝青混凝土鋪面檢驗結果顯示，氧化矽比重隨整體粒徑大小變化有所改變，且粒徑較小之氧化矽比重會低於粒徑較粗之氧化矽，且其比重分別為 2.95 與 2.89。氧化矽粗粒料吸水率平均為 2.0%，氧化矽細粒料為 1.9%，天然粒料粗、細粒料分別為 1.24%、2.16%，需特別注意其吸水率的提高，會對瀝青混凝土有所影響，因此於設計階段時，應進行級配粒料吸水率的調整。

氧化矽材料之 TCLP 試驗結果，TCLP 為測定事業廢棄物是否屬於毒性有害廢棄物之方法，本研究所用之氧化矽經毒性溶出試驗結果皆符合管制標準。氧化矽瀝青混凝土具有親油性，與天然粒料瀝青混凝土最佳含油量比較，氧化矽瀝青混凝土為 4.8%，而天然粒料瀝青混凝土最佳含油量為 5.0%。氧化矽瀝青混凝土可降低瀝青需求量。由熱影像儀量測溫度變化結果，氧化矽瀝青混凝土之溫度分布較為均勻，而天然粒料瀝青混凝土則較不均勻，溫度分布不均勻則會導致瀝青混凝土品質與壓實程度不穩定，進而降低鋪面耐久性。經試驗道路開放通車後 12 個月，氧化矽瀝青混凝土較具有良好抗車轍能力。

### 2.5.3 氧化矽瀝青混凝土鋪設道路研究計畫[24]

鋪設氧化矽瀝青混凝土道路研究計畫成果顯示，氧化矽擁有低扁平率與高破碎面比例，表面粗糙多角，對於粒料互鎖作用有提升效果。氧化矽 Ca 與 O 含量佔最多，Ca 與 O 反應成 CaO，使氧化矽能夠有效吸附瀝青膠

泥。氧化矽重金屬含量皆未超標，且未檢測出部分重金屬，總毒性當量濃度與廢棄物氯離子濃度指數 pH 值皆符合法規標準。

氧化矽瀝青混凝土之瀝青含量隨氧化矽取代量增加而下降，由氧化矽化學成分得知，氧化矽本身含有較多的 CaO，能夠有效吸附瀝青膠泥，且本身破碎面多，粒料之間空隙較少，在瀝青膠泥能完全包裹氧化矽情況下，無效瀝青降低，因此最佳瀝青含油量隨之降低。氧化矽瀝青混凝土隨氧化矽取代量增加，穩定值相對增加，在瀝青混凝土中可維持穩定性。使用氧化矽取代天然粒料會增加密級配瀝青混凝土之回彈模數，有效提升瀝青混凝土整體勁度。隨著添加氧化矽量增加會提升間接張力強度殘餘值 TSR 值，且皆高於國內外所採用的 75% 之規範，使用氧化矽會比天然粒料有較佳抗水侵害能力。氧化矽取代 60% 靜態潛變最高，評估氧化矽取代天然粒料能有使瀝青膠泥更有效的包裹粒料，使其抵抗垂直變位能力提高。常溫狀態氧化矽瀝青混凝土潛變低於天然粒料，顯示氧化矽能夠有效提升瀝青混凝土之抗車轍能力，氧化矽取代越多。

#### 2.5.4 精進瀝青混凝土路面工程防制空氣污染之可行性研究[25]

不銹鋼氧化矽與碳鋼氧化矽基本性質皆較天然粒料佳，且本身材料為親油性，適合應用於瀝青混凝土中，有效作為替代粒料，發揮資源再利用效益。經由馬歇爾配比設計得知，不銹鋼氧化矽與碳鋼氧化矽不同取代量下之配比設計，隨著取代量越高，可降低瀝青膠泥的使用量，但當取代量達 40% 時，穩定值皆會下降。由間接張力強度得知，不銹鋼氧化矽與碳鋼氧化矽間接張力強度無太大變化，但取代量 40% 時皆會有下降情況。根據浸水殘餘強度結果，發現不銹鋼氧化矽與碳鋼氧化矽取代天然石製成之氧化矽瀝青混凝土對抵抗剝脫能力優於對照組天然石瀝青混凝土，且隨取代量越高，抵抗能力越佳。不銹鋼氧化矽與碳鋼氧化矽 25°C 靜態模數，隨取代量增加而增加，但取代量 40% 皆會下降，但在 40°C 靜態模數下，氧化矽

下降趨勢會明顯低於天然石。不銹鋼氧化矽與碳鋼氧化矽應用於瀝青混凝土經各項試驗結果得知，其最佳取代量皆為 30%。

#### 2.5.5 氧化矽瀝青試辦工程相關試驗與成效監測[26]

本計畫所用之試驗粒料基本性質得知，氧化矽比重較天然粒料高，因氧化矽本身含有金屬氧化物所導致。氧化矽經受水合作用之潛在膨脹試驗得知，本次取樣之氧化矽之膨脹率介於 0.08%~0.09%之間，試驗結果仍符合規範值 0.5%之要求，因氧化矽內含有使體積不穩定之因子，如游離氧化鈣(f-CaO)、游離氧化鎂(f-MgO)。氧化矽應用於瀝青混凝土，最佳含油量隨氧化矽取代量增加而下降，表示氧化矽取代傳統天然粒料，可減少瀝青膠泥之使用量。

瀝青混凝土穩定值隨氧化矽取代量增加而上升，但取代量過高因與傳統天然粒料接觸相容性問題，會降低瀝青混凝土穩定值強度。氧化矽能夠有效提升氧化矽瀝青混凝土抗剝脫能力，因親油性質可提升粒料與瀝青之黏結力，可使水分不易侵入瀝青與粒料之孔隙，增加抗剝脫能力。

#### 2.5.6 107 年度不銹鋼氧化矽瀝青混凝土與檢測[27]

研究結果得知，氧化矽比重較天然粒料高，而本計畫所使用之氧化矽碎石砂粒徑較天然粒料碎石砂細，適合填充瀝青混合料粒料間之孔隙。本計畫使用之氧化矽碎石砂進行膨脹試驗，齡期 7 天時膨脹量 0.09%，遠低於膨脹量規範值 0.5%。經 TCLP 試驗結果得知，鉛、鉻、六價鉻、鎘、銅、汞、硒、砷、鋇等重金屬含量皆符合經濟部事業廢棄物再利用管理辦法之規定。解析馬歇爾試驗結果，得知氧化矽取代量越高時，其最佳含油量則會隨之下降，可降低瀝青混凝土瀝青需求量。

氧化矽細粒料取代量越高，浸水殘餘強度試驗發現，氧化矽能夠有效提升氧化矽瀝青混凝土抗剝脫能力，因親油性質可提升粒料與瀝青之黏結

力，可使水分不易侵入瀝青與粒料之孔隙。將氧化矽以細粒料方式取代天然粒料應用於瀝青混凝土，可降低氧化矽瀝青混凝土銹蝕之問題。由飛散試驗可知，當氧化矽取代量越高，氧化矽瀝青混凝土之磨損率越低，判斷氧化矽能有效預防瀝青脫落與散失。氧化矽細粒料較容易被瀝青膠泥所包覆不易受到水份侵害，且其鐵含量較氧化矽粗粒料低，故其可避免氧化矽應用於瀝青混凝土之銹蝕問題。

試驗道路開放通車 12 個月時，其試驗道路東向車道平坦度標準差為 3.2mm，而西向車道之平坦度標準差則為 2.5mm，由試驗結果得知，將氧化矽瀝青混凝土應用於重交通量之道路，歷時 12 個月之平坦度標準差仍符合規範值，且車轍深度仍皆小於輕級車轍 12.5mm，顯示目前試驗道路狀況良好。

#### 2.5.7 臨海工業區及林園工業區氧化矽瀝青混凝土試辦工程[28]

氧化矽之比重則介於 3.00~3.35 之間，因氧化矽屬於煉鋼之副產物，因此其內部含有金屬化合物，故氧化矽本身比重較天然粒料高出許多。氧化矽粗粒料能夠提升氧化矽瀝青混凝土之抗張能力，氧化矽之親油性質使粒料與瀝青之間黏結力提升，顯示氧化矽能夠有效提升氧化矽瀝青混凝土抗剝脫能力。氧化矽粗粒料於取代量 20~60%時，試體表面產生微小銹斑，但仍可在接受範圍。

氧化矽瀝青混凝土浸水殘餘強度試驗結果，取樣之氧化矽瀝青混凝土由試驗結果發現，氧化矽瀝青混凝土抗剝脫能力佳，皆符合規範值。氧化矽瀝青混凝土現地鋪面開放交通後 12 個月，平坦度標準差皆符合規範值，而臨海工業區氧化矽瀝青混凝土之車轍深度亦隨開放交通時間增加而增加，但 9 個月後有逐漸緩和趨勢，顯示長期壓密已趨穩定，而林園工業區氧化矽瀝青混凝土車轍深度有類似趨勢，且均低於車轍規範值 12mm 之規定，顯示可發揮氧化矽瀝青混凝土長期抗車轍能力。

### 三、研究工作計畫初擬

#### 3.1 還原碴與氧化碴應用於基底層級配料

本研究將以還原碴與氧化碴應用於基底層級配料，研究流程圖如圖 3.1.1，在取得還原碴與氧化碴後，進行材料相關試驗，以了解此材料之基本性質，內容包含篩分析、比重、吸水率等。基底層級配材料之氧化碴主要取代天然石粗粒料，根據施工綱要第 02726 章之級配粒料之級配曲線上下限規定，得知粗粒料最大取代量為 75%，而還原碴則取代天然細粒料，進行三組不同還原碴取代細粒料取代量(0%、50%、100%)之基底層配比設計，探討還原碴對其性質之影響。亦根據施工綱要第 02726 章級配曲線上下限規定，細粒料最大取代量則為 60%，但仍需依照實際之還原碴與氧化碴粒徑曲線進行配比設計與取代量選取，得以探，基底層級配料完成配比之比例調整之後，即可進行夯實試驗及 CBR 試驗，並透過浸水回脹試驗評估膨脹行為，並探討此還原碴與氧化碴應用於基底層級配料之力學性質與膨脹性質，評估在不危害工程性質下之最適配比，以上為還原碴與氧化碴應用於基底層級配料之研究規劃。

完成基底層級配料之配比設計後，將最適配比應用於試驗道路上，執行施工前須先行對試驗道路進行鑽心試驗、DCP 試驗以及 PCI 試驗，評估試驗道路之面層與基底層情況，若試驗道路為新建道路，則本計畫之所有試驗道路規劃所需執行試驗(鑽心試驗、DCP 試驗、PCI 試驗)得以省略。並以全長為 200 公尺、寬 12.5 公尺之路段作為試驗道路，基底層級配料之深度約為 40 公分，而面層則為 15 公分使用天然瀝青混凝土鋪設，如圖 3.1.2，預估氧化碴使用量約為 2700 公噸，而還原碴則約為 1500 公噸。

試驗道路回填基底層級配料之過程時，本團隊將進行 DCP 試驗、現地 CBR 試驗以及工地密度試驗，檢測回填後之基底層強度是否充足，並檢測基底層級配料之壓實度是否滿足規範要求，若皆符合規範要求，即可進行

瀝青混凝土鋪設作業，待試驗道路完成鋪設，本研究團隊則會定期於每隔三個月進行乙次道路檢測，分別進行水準高程試驗、平坦度試驗、車轍試驗以及抗滑試驗，為其兩年(24 個月)，長期觀測氧化矽與還原矽應用於基底層級配料之試驗道路是否會有膨脹問題並評估其對道路耐久性之影響。

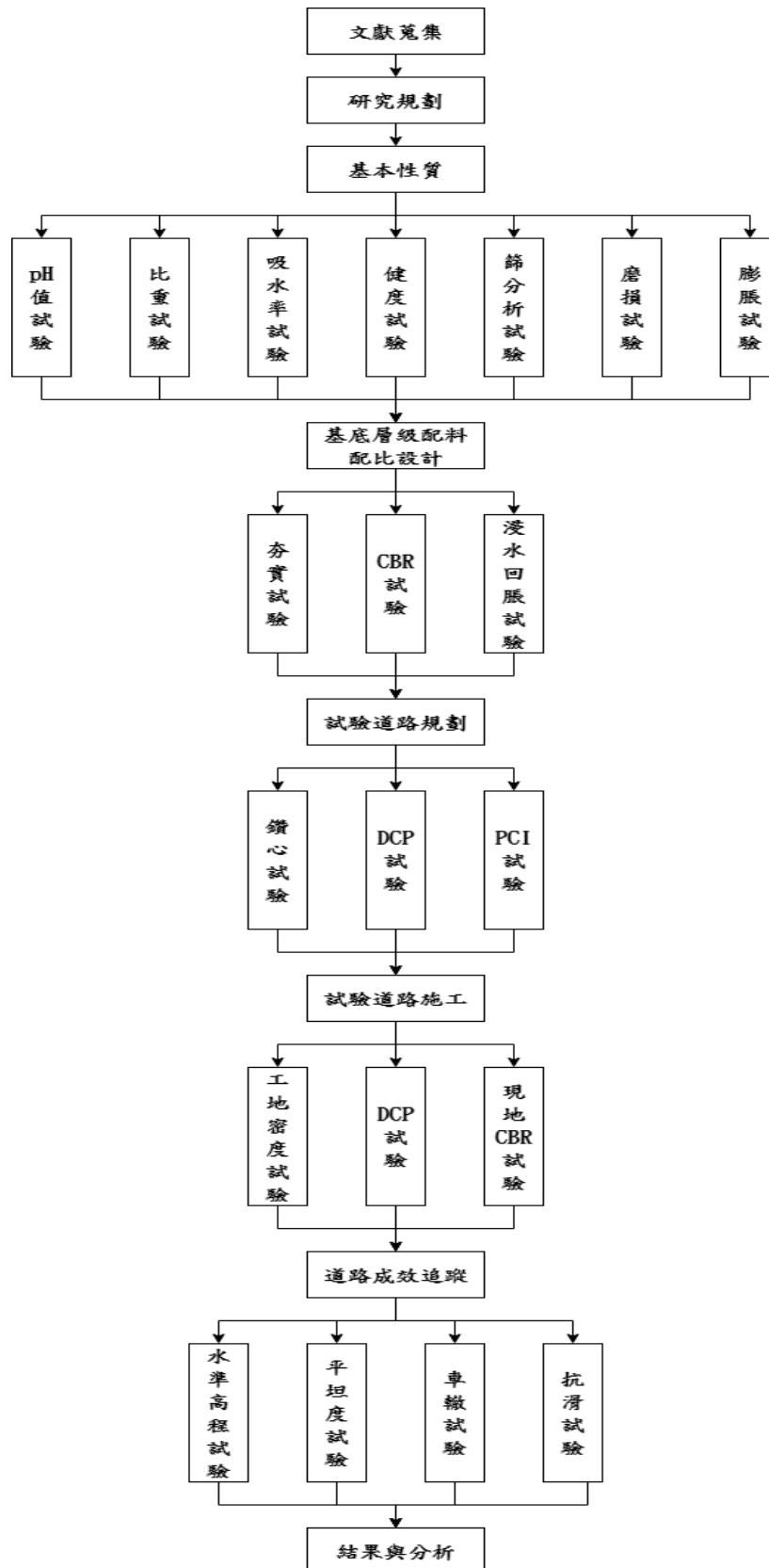


圖 3.1.1 基底層級配料(氧化矽+還原矽)研究流程圖

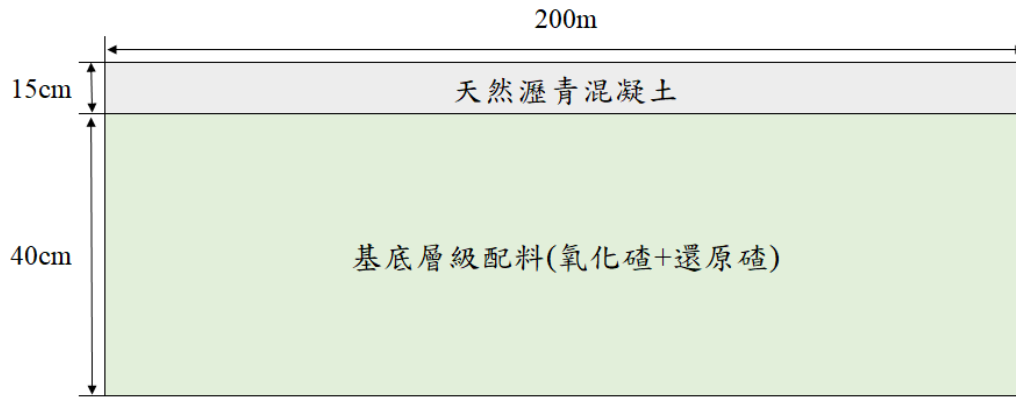


圖 3.1.2 基底層級配料(氧化矽+還原矽)試驗道路斷面圖示意圖

### 3.2 還原矽作為氧化矽瀝青混凝土填縫料

本研究將還原矽作為填縫料取代傳統石粉填縫料，研究首先亦須進行還原矽與氧化矽之基本性質試驗，解析其篩分析粒徑曲線、pH 值、比重、吸水率、健康性質、磨損率、膨脹性質，而該氧化矽瀝青混凝土之配比設計亦須依照各試驗材料粒徑曲線進行調整，本研究將配比分為兩種，其一為粗粒料為天然石、而細粒料為氧化矽之瀝青混凝土，填縫料使用石粉；其二則為與其一大同小異，僅填縫料變更使用還原矽，進行比對，探討石粉與還原矽作為填縫料對瀝青混凝土之影響。根據施工綱要第 02796 章之密級配瀝青混凝土(19.0mm)之粒徑曲線上下限規定，其中 0.075mm 之過篩百分比上限為 8%，因此本研究之還原矽填縫料及石粉取代量設定為 2%、4%、6%、8%。

完成各取代量之配比比例調整後，隨後進行馬歇爾配比設計，確定各取代量之最佳含油量與馬歇爾性質，並利用力學試驗評估其力學性質，探討還原矽填縫料對氧化矽瀝青混凝土之性質影響，研究流程如圖 3.2.1。以配比設計結果選定還原矽可用於之填縫料之最適使用量為原則，為達到還原矽最大去化量，還原矽取代填縫料，使其填充內部結構孔隙與觀察瀝青膠泥包裹成效，並觀察鋪面表面會是否有之銹斑生成，而瀝青膠泥種類選擇使用 AC-20。

還原礫應用於氧化礫瀝青混凝土規劃，試驗道路長度約 200 公尺、寬 12.5 公尺，面層刨除深度為 15 公分，並鋪設還原礫為填縫料之氧化礫瀝青混凝土 15 公分作為新面層，試驗道路過程中以紅外線感溫槍與熱影像分析技術進行材料之溫度監控，並於滾壓後取樣檢測其壓實度是否符合規範要求，以確保該試驗道路品質，試驗道路鋪築完成後，亦以每三個月為一檢測單位時間，進行為期兩年(24 個月)之長期道路檢測，以平坦度試驗、車轍試驗以及抗滑試驗，追蹤該試驗道路之成效優劣，試驗道路斷面示意圖如圖 3.2.2 所示，預估氧化礫使用量約為 450 公噸，而還原礫則約為 40 公噸。

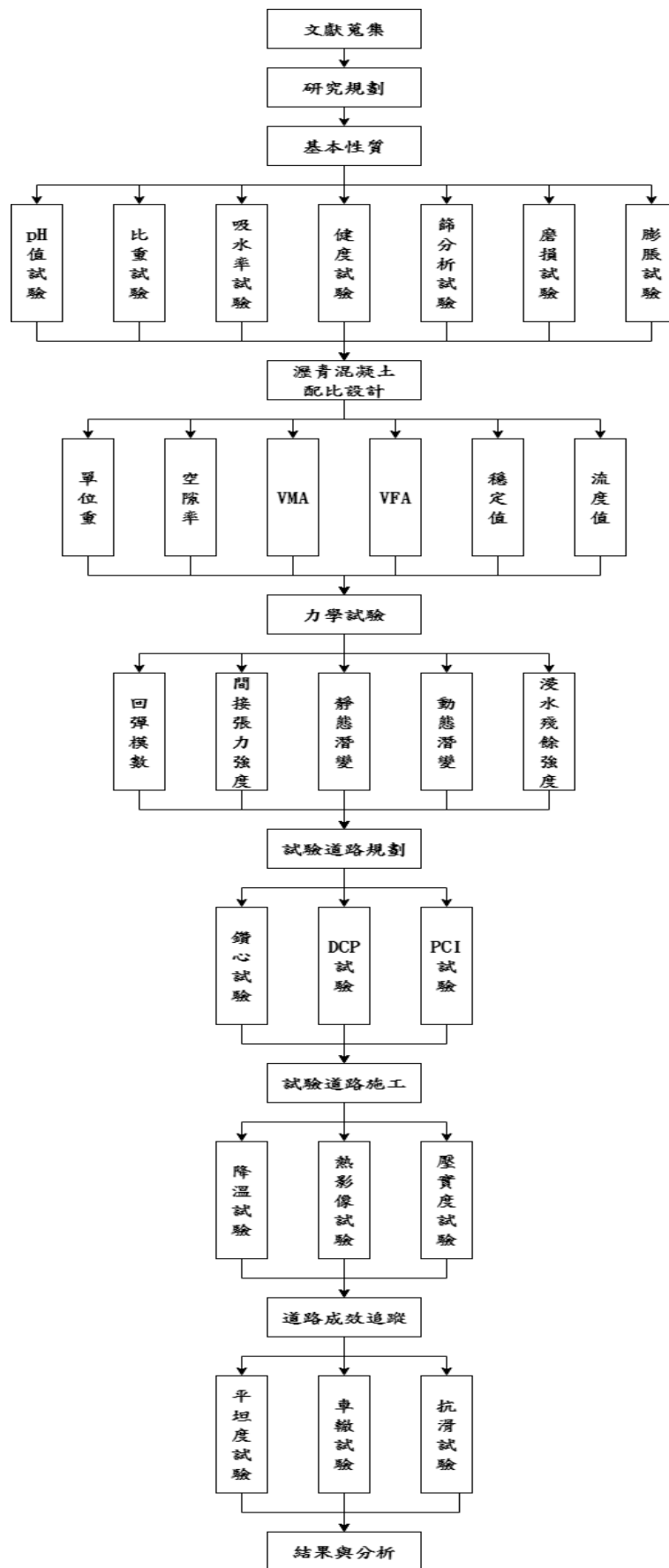


圖 3.2.1 瀝青混凝土(氧化碓+還原碓)研究流程圖

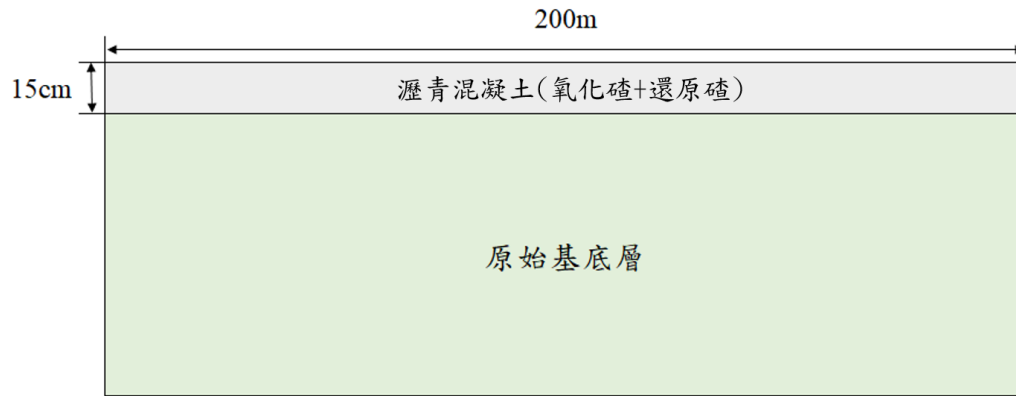


圖 3.2.2 瀝青混凝土(氧化矽+還原矽)試驗道路斷面示意圖

### 3.3 本研究相關試驗

#### 一、基本性質試驗

##### 1. pH值試驗

依環保署 NIEA R208.03C 規範所進行，其試驗值需符合環保署 pH=2~12.5 之規範要求，將還原矽與氧化矽浸於蒸餾水中量測其水溶液 pH 值，試驗儀器採用 HANNA instruments。

##### 2. 比重試驗

參考 ASTM C188 規範，目的為求得還原矽與氧化矽比重以作土壤改良設計及拌合之參考。

##### 3. 健度試驗

健度不良之粒料所製成之瀝青混凝土會發生膨脹，導致混凝土龜裂及分解，故需詳細檢驗其性質。依據 ASTM D692 規範進行。

##### 4. 篩分析試驗

本試驗目的為利用各試驗篩號分析材料之顆粒大小分佈情形，可以得材料組合的狀況，並可瞭解材料的細度模數(F.M)，以做為配合設計之參考。且由材料的篩分析，可以瞭解材料之最大粒徑、及各粒徑所佔重量百分比，同時篩取適當粒徑及比例之材料，以做為基底層級配料拌合之用。

##### 5. 洛杉磯磨損試驗

測定粗粒料之抵抗磨損性，以判定其堅硬程度。依據 ASTM C131 規範進行。

## 6. 膨脹試驗

本試驗採用 CNS15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法進行，此試驗法適用於道路基層之鋼爐渣，因受水合作用影響導致體積膨脹之測試，此項試驗法可評估粒料之老化，或減低材料潛在膨脹能量處理效率。本試驗依照 CNS12382 規定準備樣品，置放在有調整桿之有孔鋼板於鋼模內壓試樣後，在於鋼板上加足夠之載重板至 4.54kg，鋼模連試體浸於 $(70\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 之水中，使水分能夠自由進出試體頂面與底面，並於測試期間保持水溫於 $(70\pm 3)^{\circ}\text{C}$ 持續 30 分鐘，此實驗相關試驗設備之熱膨脹效應已完成，讀取測微表數值，此數值則為樣品膨脹之基準讀值，之後每日添加熱水以保持樣品完全浸於水中，連續 7 天讀取測微表讀數值，此為每日讀值，當添加熱水後，至少間隔 2 小時可讀取數值。試驗完成後將每日讀值減去基準讀值後，除以試體初始高度在乘上 100，為膨脹百分比。

## 二、基底層級配料相關試驗

### 1. 夯實試驗

土壤最大乾單位重係藉由夯實試驗中所得之土壤濕土單位重及含水率進而求得。試驗方法依據 ASTM D698-78、D1557-78 規範進行。

### 2. 加州承載比試驗

加州承載比 CBR 試驗係依據 ASTM D1883 規範，其係路基土壤承載能力的一種表示，本研究利用還原渣與氧化渣之基底層材料進行試體製作，並依不同配比及齡期求得 CBR 貫入阻力比，經此判斷還原渣與氧化渣基底層材料強度的影響。

### 3. 浸水回脹試驗

依據 ASTM D4792、CNS 12383 規範進行試驗。如研究材料含有還原矽與氧化矽產生浸水膨脹之現象。本試驗規範規定其浸水膨脹比不得大於 0.5%。

### 三、瀝青混凝土相關試驗

#### 1. 馬歇爾試驗

馬歇爾配合設計主要是測定不同瀝青含油量之瀝青混凝土穩定值、流度值、單位重、孔隙率及 VMA 等數值來決定最經濟之粒料級配及瀝青之含油量，其主要之目的為維持足夠瀝青含油量，以確保路面耐久性；維持足夠之穩定性，使其在交通載重下不致產生大變形；具有一定之孔隙，以避開開放交通後增加壓力；具足夠之緊密以避免水分入侵；具有足夠之工作性，鋪築時不會發生析離或冒油現象。

#### 2. 間接張力試驗

本試驗依據 ASTM D4123 之規範進行，為測定材料張力強度的方法之一，亦可稱為圓柱劈張試驗。與一般水泥混凝土之抗張強度試驗類似，可測得瀝青混凝土之抗張強度、抗張應變、柏松比、彈性模數與勁度等參數，對瀝青混凝土路面彈性及黏彈性厚度設計影響極大。

#### 3. 回彈模數試驗

本試驗依據 ASTM D4123 規範進行，為一非破壞性之動態試驗，其目的在於模擬路面受瞬間荷重時引起之彈性變形，根據量測試體水平方向之變形量，再由彈性理論計算每一週期荷重，求得試體中心之水平應力與應變，兩者比值即為回彈模數值。回彈模數數值可用於評估不同材料間相對的品質及作為路面厚度設計與分析資料，並可設定溫度、荷重大小、作用速率、加壓時間（Rest Time）評估對象材料特性之影響。因此試驗進行非破壞性試驗，因此能夠重複使用同一試體。

#### 4. 靜態潛變試驗

瀝青混凝土之潛變行為與車轍有相關的關聯，由於材料過於堅硬，受到外力時，造成面層下的材料疲勞龜裂，而導致車轍發生。靜態潛變試驗法根據 ASTM D4123 之規範進行，試驗項目分為弧接觸與面接觸，利用本試驗數據求得其塑性勁度，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。

#### 5. 動態潛變試驗

動態潛變試驗為利用重複加壓方式，模擬車輛行經路面時，造成反覆荷重之試驗。此試驗根據 ASTM D4123-82 之規範進行。

#### 6. 浸水殘餘強度試驗

為評估其是否能提升密級配瀝青混凝土於水分通過瀝青混合料內部結構後，而殘餘之強度，本試驗利用現場拌合料夯打之試體分別放置在養護槽 24 小時與 30 分鐘後，試驗的穩定值由前者除以後者，可計算得該試體浸水殘餘強度。

### 四、道路鋪面檢測

#### 1. 鋪面破壞指標 PCI

鋪面破壞指標中之鋪面情況指標(Pavement Condition Index,PCI)，本計劃將以目視的方式紀錄鋪面破壞情形(龜裂、縱向及橫向裂縫、塊狀裂縫、坑洞及人孔高差與薄層剝離、車轍、補綻及管線回填、推擠、隆起與凹陷、冒油、波浪狀路面、車道與路肩分離、滑溜裂縫與粒料剝落共計 13 項)、嚴重程度之等級(分為輕級、中級及重級等三級)、出現次數與破壞範圍(長度或面積)並計算密度後，利用查表之方式計算各種破壞對於鋪面所造成的折減點數，再以滿分 100 分減去各路段樣本單位之折減點數後，即可算出每一樣本單位之 PCI 值。因此若道路鋪面情況良好無損壞(如初完工且施工品質良好鋪面情況)，則其 PCI 值即為滿分 100 分。

#### 2. 動態圓錐貫入儀 DCP

動態圓錐貫入試驗(Dynamic Cone Penetrometer, DCP)採用動態圓錐貫入儀量測基底層及路基土壤之現地強度，可作為路基等淺層地質之探查。

DCP 係利用落錘傳遞貫入力量備配合貫入深度了解路基強度，試驗結果與材料之密度有相當之關聯性，其中將試驗資料檢算後所得之 DCPI 值為一項重要參考指標。DCP 試驗簡單，現地可量測貫入深度及累積打擊次數，兩者之比值稱為貫入比率(DCPI)。

美國材料試驗學會(ASTM)在 2003 年已將之列為正式標準試驗，ASTM D6951-03「DCP 在鋪面淺層應用之試驗法」。本研究計畫為確保道路破鋼瀝青混凝土鋪面損壞原因非道路基底層不良所造成，以確保此鋪設品質。將於試驗路段選取點位進行 DCP 貫入試驗，面層 AC 先以鑽心取樣取出，試驗由底層開始，分析道路基底層強度。本計畫團隊將根據不同損壞類型 DCP 案例進行評估。

### 3. 鑽心試體評估

本研究計劃將從原路面鑽心試體判斷過去瀝青混凝土鋪設狀況。通常原路面的瀝青膠泥性質須進行黏滯度試驗。因鑽心試體各層回收瀝青量不足以提共各項瀝青膠泥試驗使用，且現地無法進行大面積開挖及切割，因此本研究計劃採用簡易試驗以判斷鑽心試體，分析原路面各層瀝青混凝土品質之差異性。

本簡易試驗須將鑽心試體表面泥沙清除乾淨後，置放於 90°C 烘箱內部 30 分鐘，在不破壞鑽心試體結構的狀態下，使瀝青膠泥產生軟化現象，藉此觀察鑽心試體表面因溫度上升所產生的變化，以推斷原路面過去鋪設瀝青混凝土的層數、厚度以及透層、黏層膠結分布情形，並觀察其粒料與瀝青膠泥之間的包覆均勻性。

本試驗烘箱溫度控制在 90°C，其原因為烘箱溫度設定太低，瀝青膠泥無法軟化，較為不易研判各層材料之差異性；若溫度設定太高，亦可能造成鑽心試體全部軟化。由於瀝青膠泥黏滯度 10000 poises 內在 90°C 以上時瀝青狀態變化較為明顯，故採用此溫度作為控制點。而烘箱放置時間，則

以 TAF 認證之試驗方法即試體加熱 90°C 至全熱需烘烤 30 分鐘為參考。

#### 4. 平坦度試驗

瀝青混凝土鋪面之平坦性，可增進行車舒適感，及減輕車輛耗損。平坦度之測試，在檢驗及控制路面之平坦性，作為路面是否須進行維修之依據或施工品質之判定。本研究採用高低平坦儀進行檢測。

#### 5. 抗滑試驗

摩擦係數試驗儀係利用鐘擺原理，將一塊橡皮抗滑片附於擺錘下方，以一定之擺長、錘重，在擺臂呈水平狀態時，令擺自由落下，當橡皮抗滑片底面滑過試驗路面時，測定能量之損耗，以決定摩擦係數。

#### 6. 車轍試驗

公路施工及管理系統一般最常用之三公尺直規，主要以量測路面的高低起伏為主，著重在路面橫向之高差變化。其量測程序為沿著車道線以內 80~100 公分左右，與車道垂直線為測線，垂直放置車道兩旁線，在 0.75 公尺、1.5 公尺、2.25 公尺進行量測，紀錄至 1 公釐。

#### 7. 水準高程試驗

此方法可分為直接高程測量與間接高程測量，而本研究以直接高程測量進行，其為使用水準儀(level)及水準尺(leveling rod)，直接測定水平視準線在二水準尺上讀數，求得該二水準尺地面高程差之測量。水準測量之原理在求兩點間之高程差，即為過該二點水準面間之垂直距離，當 A、B 二點距離較短時，可視水準面為水平面。水準儀配合水準尺測量高程差的原理，即以一水平線截取兩點垂直豎立之標尺上之分劃，求此二分割之差數，即兩點間之高差。

### 3.4 預期研究成果

本研究成果預期可供工業局及鋼鐵工會相關單位推展氧化矽瀝青混凝土鋪面之依據，因為本計畫考量台灣氣候、交通、材料及產製、施工等特性，經由試驗道路之鋪築結果呈現氧化矽、還原矽之級配料以及氧化矽、還原矽之瀝青混凝土鋪面成效，以提升各工程單位使用爐矽之信心及經驗。

本研究預期服務成果如下：

1. 檢驗還原矽與氧化矽之基本性質，探討其對基底層級配料之最佳含水量與 CBR 值之影響。
2. 評估還原矽與氧化矽同時應用於基底層級配料時，其膨脹性質是否能夠符合規範之膨脹量要求
3. 探討還原矽取代瀝青填縫料後，對氧化矽瀝青混凝土之馬歇爾性質與力學性質之影響。
4. 評估還原矽填縫料對氧化矽瀝青混凝土之感溫性影響，並以統計學之角度尋找其相關性。
5. 定期對試驗道路進行長期評估與追蹤道路成效。

## 四、服務團隊介紹

### 4.1 團隊組織與分工

<p>(一)人力分配： (填寫說明：(1)類別欄內請分別填寫「主持人」、「協同主持人」、「協同研究人員」等，(2)主持人、協同主持人及專任研究人員請另附詳細學歷、近五年著作及研究報告名稱。)</p>				
類別	姓名	職位	最高學歷	在本計畫中擔任之工作
計畫主持人	林登峰	教授	博士	擔任本研究監督及指導之工作。
協同主持人	羅煥琳 黃隆昇	教授	博士	負責研究內容、調查項目、使用方法之研擬、經費、研究人員之控制、最終研究報告之撰寫。
專兼任助理 數名	代聘	研究 助理	碩士或 學士	資料整理分類、實驗操作。

## 五、經費分析

本計畫研究經費分項概估如表 6-1 所示。

表 6-1 研究經費概估

項次	項目	單位	數量	單價	複價	備註
1	人事費用				960,000	
	計畫主持人	月/人次	7	10,000	70,000	林登峰教授
	計畫協同主持人	式	17	10,000	170,000	羅煥琳 教授 黃隆昇 教授
	專任研究助理及臨時工	式	1	670,000	720,000	
2	雜支費	式	1		400,000	設備模具製作、設備維修、試驗材料、資料檢索、郵資、影印、電話費、傳真、文具、紙張、電腦週邊設備、影像處理軟體、卡車租賃、油資、誤餐費、國內外研討會報名費、國內外差旅車資、期刊投稿相關費用差旅費、保險費、住宿及其他等。
3	管理費用(15%)				240,000	
	總計(元)				1,600,000	

## 七、參考文獻

- [1] 台灣鋼鐵工業同業公會，「煉鋼爐石種類」， (<http://steelslag.tsiia.org.tw>)，2018。
- [2] 經濟部工業局，「電弧爐還原渣安定化技術手冊」，2016。
- [3] 林志棟、林凱悅、陳厚邑，「電弧爐還原渣再利用於控制性低強度回填材料之探討」，鋪面工程，第9卷4期，P51-56，2011。
- [4] Shi Caijun and Robert L. Day, "Some factors affecting early hydration of alkali-slag cements", Cement and Concrete Research, Vol. 26, Issue: 3 pp. 439~447, 1996.
- [5] 李育成、楊金成、蔡立文、俞明塗，「轉爐渣改質技術在中鋼之應用與突破」，鑛冶，Vol. 58，No. 4，2014。
- [6] 行政院環境保護署，環境資源資料庫，其他，生活環境與其他，廢棄物回收，重點事業廢棄物-爐渣之處理方式，2020/7/20，取自：  
[https://erdb.epa.gov.tw/DataRepository/Other/LITTER\\_FURNACE\\_SLAG.aspx](https://erdb.epa.gov.tw/DataRepository/Other/LITTER_FURNACE_SLAG.aspx).
- [7] 經濟部工業局，「電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊」，2001。
- [8] 林子揚，「轉爐石瀝青混凝土刨除料應用於道路基底層之研究」，義守大學，碩士論文，高雄2016年。
- [9] 鄭清元，「電弧爐煉鋼爐渣特性及取代混凝土粗粒料之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，桃園，2000。
- [10] 顏寶儀，「PCB 摻料應用於一般營建混凝土工程之研究」，碩士論文，國立台北科技大學土木與防災研究所，台北，2011。
- [11] 余騰耀、林全平、施廷熙、黃兆龍、蔡敏行、黃孝信和潘建成，「電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊」，經濟部，2006。

- [12] 江慶陞，「爐石的資源化」，技術與訓練 6 卷 9 期，1981。
- [13] 林柏彰，「還原爐渣取代水泥性質之研究」，碩士論文。台北科技大學，2012。
- [14] Drizo, A, Forget, C, Chapuis, R. P, & Comeau, Y. “ Phosphorus removal by electric arc furnace steel slag and serpentinite. ” *Water Research*, 40(8), 1547-1554, 2006.
- [15] Drizo, A, Forget, C, Chapuis, R.P. Comeau, Y., “Phosphorus removal by EAF steelslag—A parameter for the estimation of the longevity of constructed wetland systems. ” *Environmental Science and Technology* 36, 4642–4648, 2002.
- [16] 邱鳳嬌，「廠拌電弧爐氧化渣瀝青混凝土品質控制技術之研究」，高苑科技大學土木工程研究所碩士論文，2017。
- [17] 台灣鋼鐵工業公會，「電弧爐煉鋼氧化渣瀝青混凝土鋪面使用手冊」，2018。
- [18] 楊佳穎，「脫硫渣與電弧爐氧化渣去磷之比較」，碩士論文，淡江大學資源及環境工程學系，2014。
- [19] 刑金池，「電弧爐氧化渣資源化利用研究」，碩士論文，台北科技大學材料與資源工程系，2004。
- [20] 陳立，「電弧爐氧化渣為混凝土古材之可行性研究」，博士論文，國立中央大學土木工程研究所，2002。
- [21] 經濟部工業局，「經濟部事業廢棄物再利用管理辦法」，2020。
- [22] 財團法人台灣綠色生產力基金會，「氧化渣應用於道路試辦工程」，期

末報告，2019。

[23] 華新麗華股份有限公司，「氧化矽瀝青混凝土應用於 74 號道路之研究」，  
期末報告，2019。

[24] 華新麗華股份有限公司，「氧化矽瀝青混凝土鋪設道路研究計畫」，  
期末報告，2019。

[25] 高雄市政府工務局養護工程處，「精進瀝青混凝土路面工程防制空氣污  
染之可行性研究」，期末報告，2019。

[26] 財團法人台灣綠色生產力基金會，「氧化矽瀝青試辦工程相關試驗與成  
效監測」，期末報告，2019。

[27] 唐榮鐵工廠股份有限公司，「107 年度不銹鋼氧化矽瀝青混凝土與檢  
測」，期末報告，2019。

[28] 華新麗華股份有限公司，「臨海工業區及林園工業區氧化矽瀝青混凝土  
試辦工程」，期末報告，2019。