



# 電弧爐還原碓安定化

## 技術手冊



## 序

廢棄物回收再利用為打造永續循環經濟之重要課題，然而隨著廢棄物之種類及特性日趨複雜，採取符合經濟效益與環保效益之再利用技術更為其中之關鍵。

鋼鐵工業，為我國極重要之基礎工業，其關聯產業更十分廣泛，然而煉鋼產生的爐碴邇來卻發生因未妥善處理，任意棄置污染農地之情事。另已經回收再利用之爐碴亦有部分因未經適當之安定化處理，而影響建築物或公共工程之品質，令人遺憾。

工業先進國家煉鋼爐碴的資源化起步甚早，技術成熟且用途廣泛，足堪國內業者借鏡。本局負責全國工業發展任務，秉持管理與輔導並重之精神，於 105 年 6 月 20 日公告修正再利用管理辦法附表「編號 14、電弧爐煉鋼爐碴（石）」內容，以控管電弧爐煉鋼爐碴材料本身品質的穩定，確保再利用產品安全無虞。另一方面，提供電弧爐煉鋼業者相關輔導及技術協助，以有效推動爐碴資源化及拓展多元化之用途。

基於興利與防弊兼顧之目的，本手冊以深入淺出之方式探討煉鋼爐碴之特性、處理及有效再利用方式，透過蒐集國內外相關技術及應用實例，將可提供業者採取經濟有效之安定化處理程序，強化使用端信心，期能藉由爐碴之再利用，強化資源循環之動能，創造綠色經濟價值。

本技術手冊編撰過程，承蒙各編審委員及撰稿者竭盡所長提供相關寶貴經驗與國內外案例，並於百忙之中全力參與編輯及審稿工作，使得本手冊更具代表性及實用性，值此手冊付梓之際，謹致上最誠摯之謝忱。

經濟部工業局 吳明機謹識

中華民國 105 年 12 月

# 目錄

摘要.....	6
第一章 前言.....	8
1.1 緣起.....	8
1.2 產業現況.....	11
1.3 製程說明.....	14
1.4 鋼渣製程中 f-CaO 和 f-MgO 的形成原理及測定方法 .....	19
1.5 鋼渣中 f-CaO、f-MgO 和 RO 相對其體積安定性的影響.....	22
第二章 電弧爐還原渣特性與處理現況 .....	24
2.1 電弧爐還原渣組成.....	24
2.2 目前電弧爐還原渣處理現況.....	29
2.3 還原渣之資源化及潛在問題.....	30
第三章 安定化技術評析 .....	41
3.1 安定化技術原理概述.....	41
3.2 國外安定化實例評析.....	43
3.3 鋼渣不同處理技術的比較.....	44
3.4 鋼渣處理技術的選擇.....	51
第四章 國內電弧爐還原渣安定化製程建議 .....	55
4.1 適合國內應用之安定化製程說明.....	55

4.2 安定化製程規劃.....	57
4.3 安定化處理廠規劃評估要件.....	60
第五章 再利用規劃 .....	62
5.1 安定化後之再利用產品說明.....	62
5.2 還原碴安定化後之再利用規劃.....	68
5.3 日本煉鋼爐碴資材化管理.....	73
5.4 爐碴再利用之資源永續與環境相容性說明 .....	84
第六章 結論與建議 .....	87
參考文獻.....	89
附件一 日本煉鋼爐碴產品管理指引 (日本煉鋼爐碴協會 2015 年 1 月 14 日修訂版)	
附錄 1 日本委託事業廢棄物處理業者處理之煉鋼爐碴等管理指針	
附錄 2 日本委託水泥公司處理事業廢棄物之煉鋼爐碴管理指針	
附錄 3 煉鋼爐碴產品適用場所及用途之環境安全品質標準	
附錄 4 與其他材料混合調製後直接使用的煉鋼爐碴產品(原料)適用 之環境安全品質標準	
附錄 5 煉鋼爐碴產品之特性、用途範例與適用規格、注意事項	
附錄 6 面談、場勘項目範例	
附錄 7 可否接訂的研判標準範例	



# 圖目錄

圖 1 「松菸文創」清水混凝土牆面誤用未安定化鋼碴產生爆孔現象	10
圖 2 臺灣電弧爐煉鋼廠分佈圖	11
圖 3 西濱快速道路台江大道	13
圖 4 電弧爐煉鋼流程	14
圖 5 氧化碴及還原碴外觀	15
圖 6 路基材的處理流程(範例)	16
圖 7 爐碴與天然材料路基材使用案例	17
圖 8 煉鋼爐碴之產生流程圖及工程應用	18
圖 9 鋼碴中 f-CaO 和 f-MgO 的形成原理	19
圖 10 EAF 精煉爐碴水泥硬化機制	25
圖 11 水泥抗壓強度發展	27
圖 12 CaO-SiO <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 相圖	28
圖 13 鋼碴再利用狀況	30
圖 14 高壓蒸汽熟成後的鋼碴粗粒料混凝土狀態	36
圖 15 某工程梁、板、柱嚴重開裂圖	36
圖 16 國內外主要的鋼碴處理技術	43
圖 17 路基採用還原碴 4 年後即產生膨脹損壞	46
圖 18 高溫熟成溫度與膨脹率的關係	46
圖 19 蒸汽熟成時間與浸水膨脹比的關係	47

圖 20 蒸汽熟成設備概要 .....	48
圖 21 蒸汽熟成設備 .....	48
圖 22 煉鋼爐渣蒸汽熟成處理流程 .....	48
圖 23 熟成時間與浸水膨脹比的關係 .....	49
圖 24 高壓高溫蒸汽熟成設備概要圖 .....	49
圖 25 加壓蒸汽熟成設備 .....	50
圖 26 鋼渣的熱焔處理技術過程示意圖 .....	52
圖 27 細度對鋼渣膨脹量的影響 .....	56
圖 28 安定化設備及流程示意圖 .....	59

## 表目錄

表 1 電弧爐煉鋼產業 104 年產能及爐渣產量統計 .....	12
表 2 日本電弧爐渣的化學組成(範例).....	25
表 3 電弧爐還原渣之化學組成 .....	26
表 4 2013~2015 年度日本粗鋼產量、煉鋼爐渣產出量及利用量 .....	31
表 5 電弧爐渣的利用統計表 .....	32
表 6 資源化技術之可行性評析 .....	34
表 7 不同鋼渣處理技術特點及優缺點 .....	45
表 8 美國煉鋼爐渣再利用狀況 .....	62
表 9 電弧爐煉鋼還原渣應用 HPC 之模式.....	65
表 10 混凝土粒料再生綠建材評定基準 .....	72
表 11 電弧爐渣產品適用規格及指針 .....	74
表 12 土壤中化學物質的溶出量與含量相關標準 .....	75
表 13 煉鋼爐渣產品適用場所及用途之環境安全品質標準 .....	76
表 14 煉鋼爐渣產品的溶出試驗結果範例(根據環境 JIS 法) .....	82



# 電弧爐還原渣安定化技術手冊

## 摘要

廢棄物為「錯置的資源」，如何將這些錯置隱性的資源有效再利用，是綠色產業鏈重要的工作項目之一。鋼鐵工業為民生工業也是國家戰略性產業，但是伴隨產生之廢棄物—鐵渣或鋼渣，如果不加以合理利用，則必然造成環境污染與衝擊，甚者影響工程品質。本手冊重點在生產、處理及有效再利用，提供鋼渣再利用業者有一簡單之依循，並自行選擇合宜的安定化處理程式，作為綠色產業鏈發展的參考，強化循環經濟的動能，創造綠色經濟價值、保障國內營建工程品質。

鋼爐渣之研究及推廣，國內外多集中在如何有效應用鋼渣於混凝土結構上，而不損混凝土品質，基本結論都是鋼渣都必須先加以適當安定化處理，以消解其中不安定成份(如f-CaO、f-MgO及其他膨脹性物質)，使之成為穩定性的氫氧化鈣、氫氧化鎂及安定產物，如此就不會產生混凝土結構物表面爆開或結構崩裂的健性和安全性困擾。目前國內外常用之鋼爐渣安定化技術包括熱潑法、滾筒法、風淬法、熱燜法及蒸汽法等，不同的安定化技術所適用之鋼爐渣特性及優缺點各不相同，應依鋼渣特性、場地、成本、使用目的選擇適當安定化方法，若有足夠廠區可以處理熱鋼渣，建議能由液態渣產生時即加以處理，可採用「粒化輪加上熱燜技術」、「風淬加上熱燜技術」或「熱燜技術」，但若無法於液態渣即加處理，則固態渣建議以「高溫蒸汽養生技術」較為經濟，但是後續必須加以研磨，使渣性更佳。安定化後之再利用產品，世界各國多使用於道路工程所佔比例最高，國內鋼爐渣安定化後之再利用建議以「去化量大」為重點，因此建議以工程粒料、

混凝土添加料為主要再利用用途，但前提必須完成安定化處理及再利用產品品質符合相關標準或規範。

由各國的研究成果及實證資料顯示，鋼渣經適當安定化處理可成為寶貴之資源，但穩定可靠之技術與妥善之管理為資源化再利用之關鍵，為了保證使用鋼渣的對建築物的安全性，安定化為首要工作，所以f-MgO及f-CaO的測定之國家標準必須優先加以訂定，除政府制訂完善之法規外，業界為了保障煉鋼爐渣的品質、合法鋼渣安定化業者與鋼渣使用者的權益，建議建立雲端資訊，讓鋼渣的利用完全透明化，以展現業界自律負責之態度。

# 第一章 前言

## 1.1 緣起

廢棄物為「錯置的資源」<sup>[1]</sup>，如何將這些錯置隱性的資源有效再利用，是綠色產業鏈重要的工作項目之一。誠如歐盟第七架構計畫中「永續混凝土SUS-CON」的目的，就是將全部廢棄物都能作為有用的物質，成為結構物上的功能性材料，達到節能減碳、資源永續，並追求永續性建築<sup>[2]</sup>。在1983年時，國內廢棄物中以鋼鐵廢渣(高爐爐渣)為重要的錯置資源，特別是鐵渣經過水淬成為高爐石粉，經過十年努力到1994年時，已然成為重要營建資源，並且廣為混凝土產業所樂於吸納採用，甚至成為高性能混凝土、自充填混凝土及綠混凝土必備的次要膠結性材料<sup>[3]</sup>，成為節能減碳的重要材料。鋼鐵工業為民生工業也是國家戰略性產業，但是生產鋼鐵必然伴隨著產生鋼鐵廢棄物—鐵渣或鋼渣，如果這些廢渣不加以合理利用，則必須加以儲置，不僅儲置空間的問題，也會造成環境污染與衝擊，更影響到鋼鐵的正常生產，對國家經濟建設造成嚴重的損害。所以早在1981年起，臺灣中國鋼鐵公司即考慮讓爐渣資源化<sup>[4]</sup>，隨後跟著產官學界通力合作，終於讓鐵渣經過水淬研磨處理，變成如今混凝土重要的次要膠結性材料之一<sup>[3]</sup>，對混凝土的工作性、安全性、耐久性、生態性及經濟性而言功不可沒。

而鋼爐渣(Steel Slag)<sup>[1]</sup> (以下簡稱鋼渣)之研究及推廣，國內外之成果甚多，集中在如何有效應用鋼渣於混凝土結構上，而不損混凝土品質，惟絕大部分結論都指向如何有效安定化鋼渣，或其他適當鋼渣方式，以免鋼渣產生潛在滯後膨脹，造成結構爆開損傷的困擾。在大陸近十年來各鋼鐵廠與學術界都有甚多的研究及積極的開發，但基本



結論都是鋼渣都必須加以適當安定化處理，以消解其中不安定成份，如結晶性物質f-CaO(游離石灰)、f-MgO(方鎂石)及其他膨脹性物質，使之成為穩定性的氫氧化鈣、氫氧化鎂及安定產物，如此就不會產生混凝土結構物表面爆開或結構崩裂的健性和安全性困擾。基本上，完全消解成氫氧化鈣、氫氧化鎂及安定產物，則可以與卜作嵐材料反應，產生有用的膠結料，已經變成有用資源，再利用是沒有任何問題的。

依據公共工程施工綱要規範及國家標準<sup>[5]</sup>，目前僅允許「高爐爐渣」經研磨成水淬高爐石粉才可摻配於水泥成分中，或作為混凝土的次要膠結材料，而「電弧爐煉鋼爐渣」則明文規定不得作為「結構用混凝土材料」。除非電弧爐鋼渣使用前，先加以安定化處理，再利用時才不會產生健性問題，然而2016年發生的「松菸文創」清水混凝土牆面產生爆孔現象<sup>[6]</sup>，見圖1所示，造成社會大眾之恐慌，導致土木營造業不願意使用鋼渣。而鋼鐵生產後產生的鋼渣沒有適當去處，則將堆積如山，不僅影響鋼鐵正常生產，也為綠色產業鏈造成嚴重的打擊，所以經濟部站在產業的角度，希望能有效處理，達到再利用的目的。雖然經濟部工業局曾於2001年委託中興工程顧問有限公司進行「電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊」<sup>[7-8]</sup>，但多年來鋼渣的問題仍然未徹底解決，顯示當初的手冊編撰意旨並未適度讓鋼渣處理業者有所警惕，而回收再利用業者也未確實重視進行安定化處理，所以企業對社會環境責任(CSR)仍有待加強。經濟部工業局於2016年6月20日公告再利用相關規定中，特別納入「產源事業依前目契約書安定化處理執行單位者，須具備安定化處理設備」。有鑑於此，經濟部特別於2016年再委託「財團法人環境發展基金會」進行另一波編撰作業，重點在生產、處理及有效再利用，亦即由蒐集有關國內外相關「電弧

爐還原碴」對研究發展及應用之文獻、特性與處理現況、安定化技術評析、國內電弧爐還原碴安定化製程建議、再利用規劃等項目，逐一檢視，希望手冊能提供鋼碴再利用業者有一簡單之依循，並自行選擇合宜的安定化處理程式，作為綠色產業鏈發展的參考，強化循環經濟的動能，創造綠色經濟價值、保障國內營建工程品質。

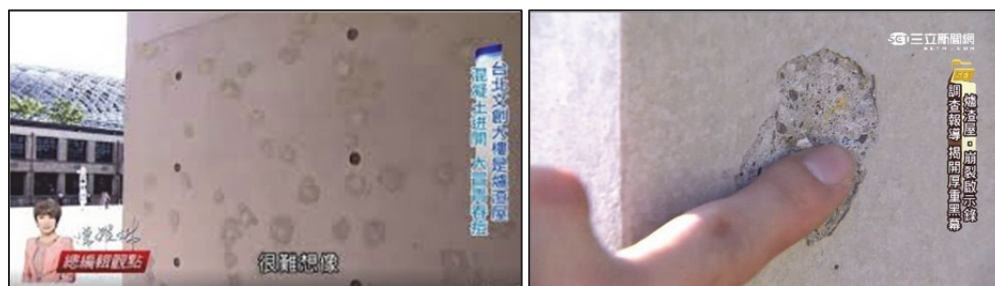


圖 1 「松菸文創」清水混凝土牆面誤用未安定化鋼碴產生爆孔現象<sup>[6]</sup>

## 1.2 產業現況

依據環保署事業廢棄物申報及管理資訊系統查詢資料，臺灣目前電弧爐煉鋼業廠家計有 20 家，其中 3 家為不銹鋼廠，1 家為合金鋼廠，14 家為碳鋼廠，2 家為鑄鋼廠，工廠家數分佈主要集中於中南部地區，分佈如圖 2 所示，其產能及爐渣產生量統計如表 1 所示。其中碳鋼廠之爐渣產生量約為粗鋼產量之 8%，爐渣量約為 97.4 萬噸，而不銹鋼廠之爐渣產生量約為粗鋼之 30.8%，還原渣約為氧化渣之 1/3，爐渣量約為 38.2 萬噸。目前電弧爐煉鋼業廠家在鋼渣生產後，僅唐榮公司完成還原渣安定化設備，其他電弧爐煉鋼業廠家尚無安定化設備。依據工業局 104 年統計資料，臺灣電弧爐爐渣再利用用途以道路級配、非結構性混凝土粒料所佔比例最高，約佔 67.3%；其次為水泥製品，約佔 32.3%。



圖 2 臺灣電弧爐煉鋼廠分佈圖

表 1 電弧爐煉鋼產業 104 年產能及爐渣產量統計

鋼品種類	國內生產家數	產能 <sup>1</sup> (萬公噸/年)	氧化渣產量 (萬公噸/年)	還原渣產量(萬 公噸/年)
粗鋼(碳鋼)	14家	1,207.5	72.0	25.4
粗鋼(不銹鋼)	3家	124.2	28.6	9.6
粗鋼(合金鋼)	1家	4.5	1.8	2.6
鑄鋼	2家	3.1	0.01	0.007
總計	20家	1,339.3	102.4	37.6

資料來源：環保署事業廢棄物申報及管理資訊系統(查詢期間：104 年 1 月~104 年 12 月)。

註 1：粗鋼產量僅統計鋼胚及鋼錠之產量

早在1979年海峽對岸的中國大陸唐明述等人即著手鋼渣安定化的研發工作<sup>[9]</sup>，而近年來大陸配合產業發展、公共工程建設及一帶一路計畫，大量生產鋼鐵，鋼渣的應用更多，因不當使用鋼渣滋生的膨脹問題也逐漸浮現，他山之石可以攻錯，大陸專家學者想出對策的經驗，相當值得臺灣鋼渣處理業者之參考。大陸近十年來生產大量鋼鐵，相應也排放巨量的鋼渣，每年接近約1億噸，為臺灣鋼鐵業的125倍以上，但是利用率普遍仍低，大多處於廢棄和堆積狀態，造成環境污染、土地佔用和資源浪費的問題<sup>[10-11]</sup>。近年來，將鋼渣作為混凝土添加料或粒料，也利用在建築材料上。然而，由於鋼渣存在安定性方面的問題，使得含鋼渣的建築材料性能上，尤其體積穩定性增加很大的隱憂，這些疑惑也顯現在實際工程應用上，例如用鋼渣粒料做的混凝土路面，使用幾年後均產生不同程度膨脹開裂現象，類似問題也發生在臺灣台南的台江大道的波浪路上，見圖3<sup>[12]</sup>。因此，在鋼渣應用上需要格外關注到體積穩定性是否滿足健性的要求，此種應用在水泥健性的觀念也

是適用在鋼碴上的。所以解決或改善鋼碴的體積穩定性問題，也就是安定化鋼碴是達成鋼碴大宗建材資源化利用的先決條件。工業局要求還原碴安定化為再利用的先決要件，其原因亦再此。



圖 3 西濱快速道路台江大道<sup>[12]</sup>

### 1.3 製程說明

鋼鐵產業是由高爐將鐵礦石還原、以轉爐精煉的一貫煉鋼作業，及以廢鐵為原料的電弧爐煉鋼，構成鋼鐵的資源循環體系。電弧爐煉鋼利用電能發熱至  $1,500\sim 1,600^{\circ}\text{C}$ ，將廢鐵原料及所添加的  $\text{CaO}$  熔融，再以吹氧去除熔鋼中的不純成分物質，如  $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  等氧化物，互相反應結合成安定的礦物相，其比重較還原層的鐵水為輕，浮在上層形成「電弧爐氧化渣」(以下簡稱「氧化渣」)，見圖 4 所示<sup>[13]</sup>。然後將熔融的鐵水移至取鍋精煉爐(LF)，添加多量的  $\text{CaO}$ ，在還原氣氛進行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」(以下簡稱「還原渣」)，見圖 4 所示<sup>[13]</sup>，而爐壁上的保溫材料  $\text{MgO}$  會脫落，此時之還原渣內會存在有游離的  $\text{CaO}$  及  $\text{MgO}$ 。

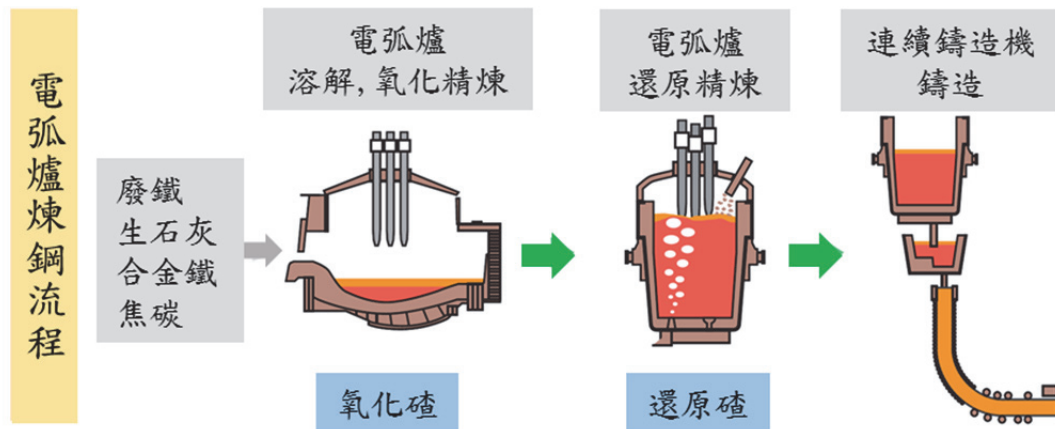
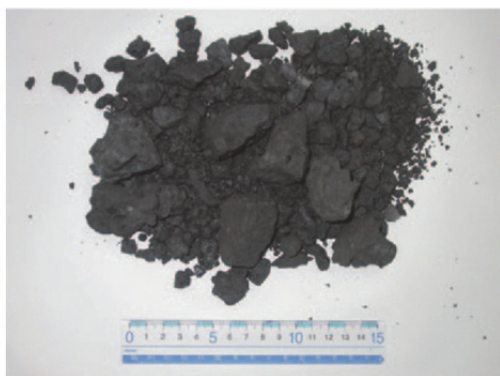


圖 4 電弧爐煉鋼流程<sup>[13]</sup>

氧化渣含鐵量高、質地堅硬比重大，為物理化學性質安定的黑褐色塊狀物，見圖 5(1)。還原渣含鐵量少、含  $\text{CaO}$  及  $\text{MgO}$  量多、呈灰褐色的粉狀或塊狀，見圖 5(2)，而由於含部分的游離石灰，遇水則膨脹易崩解，必須經熟成處理使其安定化。一般放置時，則因晶相轉移



造成體積變化而易粉化，見圖圖 5(3)，不宜作為土木材料。氧化碴經過搬運也會造成部份粉末狀，一般誤以為粉末狀的氧化碴也是還原碴，必須分辯清楚。



(1)氧化碴



(2)還原碴



(3)還原碴粉化情形

圖 5 氧化碴及還原碴外觀<sup>[13]</sup>

電弧爐煉鋼生產 1 噸鋼水約產出 70 kg 的氧化碴、約 40 kg 的還原碴。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/碴則區分為前製程的「氧化碴」以及後製程的「還原碴」，全國一年的總產量氧化碴約 86 萬公噸、還原碴約 24 萬公噸<sup>[14-15]</sup>。依據 2015 年度日本粗鋼產量、煉鋼爐碴產出量及利用量之統計資料<sup>[16]</sup>，顯示日本電弧爐煉鋼產生之氧化碴與轉爐碴類似，現在是以熟成法



(aging)做膨脹安定化處理後用做路基材料等(處理流程範例如圖 6 所示)，利用率達 75%，而佔煉鋼爐碴總量 40%的還原碴，經徐冷後致使結晶相轉移，產出時多呈粉末狀。若經急冷處理或改質，則可避免粉化。而隨鋼碴之水硬特性、膨脹特性等逐漸清楚，利用率也已提昇到 55%<sup>[17]</sup>。

電弧爐碴中的氧化碴因含氧化鐵所以較重、較硬為其特徵。還原碴幾乎不含氧化鐵，含鈣量高所以多半呈微粒狀。日本現在用得最多的是將兩種爐碴混合，可獲得緻密性、壓實性均優的道路及土木工程用材料，比使用一般碎石施作的道路段面更薄、更省料，如圖 7 所示。

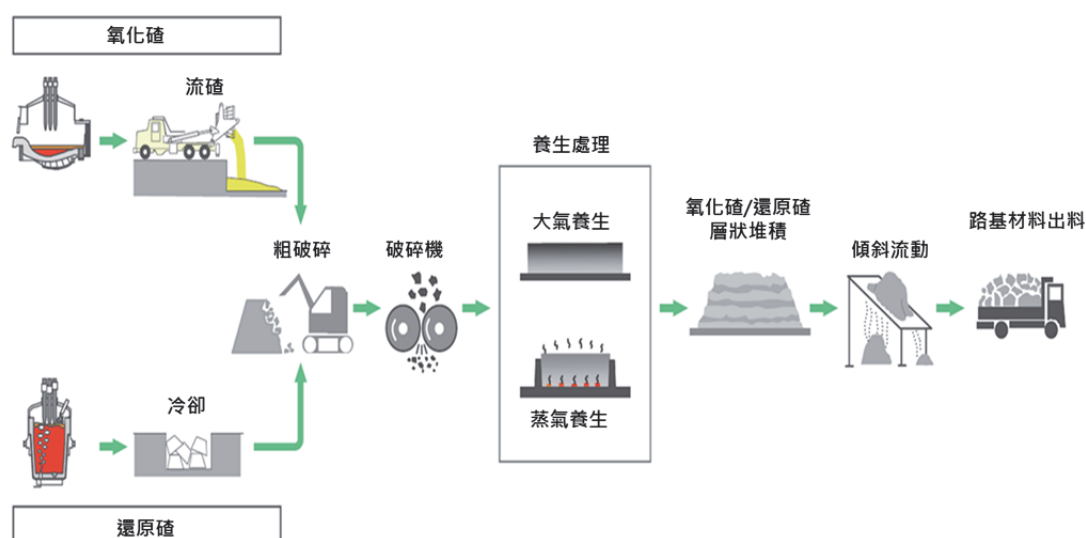


圖 6 路基材的處理流程(範例)<sup>[13]</sup>

爐渣路基材使用案例

表 層	5cm
水硬性粒度調整爐渣	15cm
破碎鋼鐵爐渣	30cm
減少之施工厚度	5cm

天然材料路基材使用案例

表 層	5cm
粒度調整碎石	20cm
破碎粒料	30cm



圖 7 爐渣與天然材料路基材使用案例

基本上臺灣電弧爐煉鋼業也是以廢鋼為原料，經通以電流，藉石墨電極與廢鋼鐵原料間產生電弧，高溫放熱熔煉廢鋼而生產鋼胚。電弧爐煉鋼均為批式作業，通常每一批次時間約1-3小時。冶煉過程與日本相似，分成熔解期、氧化期及還原期等三個階段<sup>[18]</sup>。電弧爐煉鋼廠所產出的副產物，經過加入各種添加劑(如矽鐵、錳鐵、焦炭、生石灰等)以調整鋼液成份，煉鋼爐渣即是由此煉鋼過程所排出的熔渣，分為「氧化渣」及「還原渣」。圖8為臺灣煉鋼爐渣之產生流程圖及工程應用<sup>[18]</sup>，平均生產1噸生鐵約產生300公斤的「高爐石」，而轉爐與電弧爐煉鋼，平均生產1噸粗鋼約產生130公斤之「轉爐渣」，或100~200公斤之「電爐渣」，爐渣在堆置場中經過養生階段、破碎、篩選等程式後，即經過安定化成熟後，可成為資源化之產品，然而傳統的處理方式仍然無法將其中的游離石灰及氧化鎂消化成氫氧化鈣及氫氧化鎂，以致會發生混凝土硬固後的膨脹劣化問題，所以後續的安定化相當重要，也是政府對還原渣再利用目前要求的重點。

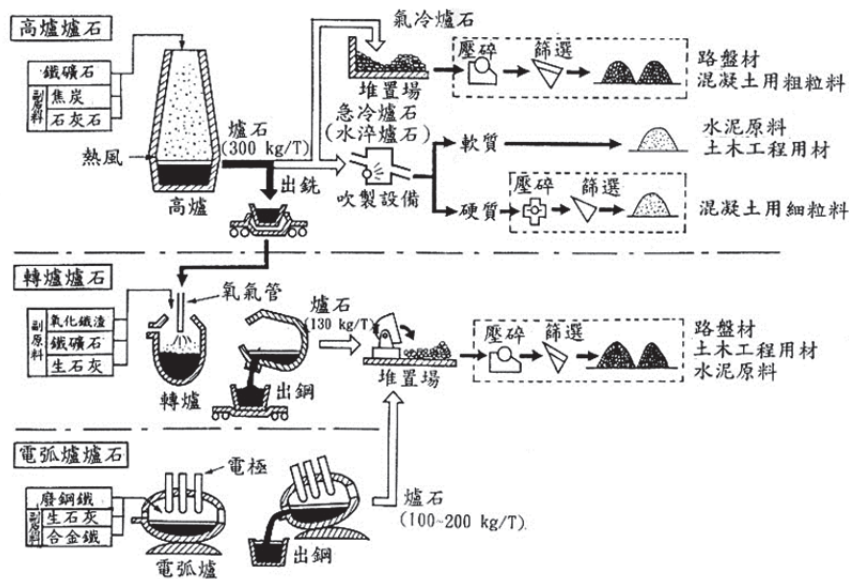


圖8 煉鋼爐渣之產生流程圖及工程應用<sup>[18]</sup>

熔渣的組成成分，隨生產鋼鐵的特性而不同，不同原料、不同煉鋼方法、不同生產階段、不同鋼種及不同爐次等而不同，但是各國的鋼渣特性基上相似，組成與產生量會有些微差異。產出之氧化渣或還原渣皆是以殘鐵或氧化鐵、氧化鈣、二氧化矽、三氧化二鋁、氧化鎂及氧化錳為主要成份<sup>[18]</sup>。

## 1.4 鋼渣製程中 f-CaO 和 f-MgO 的形成原理及測定方法

鋼渣安定化處理必須了解其產生膨脹的原因，才能有效且經濟的掌握安定化後鋼渣的再利用範圍，並且也必須精確量測安定化膨脹源頭是否已消除，如此才能保障最終產品的耐久性及永續性被保障。

鋼渣中產生膨脹的 f-CaO 和 f-MgO 係源自於煉鋼過程中的物理化學反應，如圖 9 所示為 f-CaO 和 f-MgO 生成原理<sup>[19]</sup>。f-CaO 有三種生成方式：造渣中過剩的未反應或吸收的 CaO、部分吸收卻彌散於固溶體中的 CaO 和矽酸三鈣(C<sub>3</sub>S)分解形成的次生 CaO；而 f-MgO 主要來自爐壁耐溫鎂質材料的脫落。在煉鋼過程中，由於 f-CaO、f-MgO 經歷了 1,600℃ 以上的溫度，以致其礦物結晶良好、晶粒粗大、結構緻密，所以水化速率相當緩慢，導致在水泥膠結料硬化後，持續緩慢產生水化，自身體積的膨脹，引起硬化水泥膠結材料的膨脹開裂，導致混凝土結構體產生局部爆裂現象<sup>[20]</sup>。

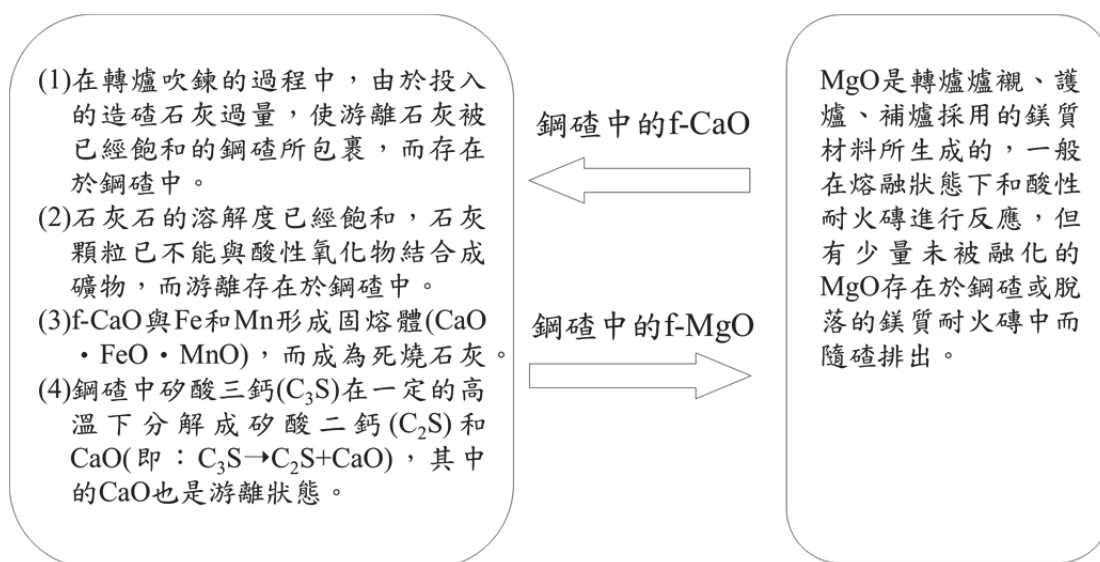


圖 9 鋼渣中 f-CaO 和 f-MgO 的形成原理<sup>[19]</sup>

由於 f-CaO 和 f-MgO 是引起鋼渣體積安定性不良的主要因素，因此鋼渣中 f-CaO 和 f-MgO 含量是衡量鋼渣體積安定性的一個重要指標，所以對 f-CaO 和 f-MgO 含量的準確測定就顯得格外重要。在臺灣並無針對 f-CaO 和 f-MgO 含量的標準試驗方法，而在大陸則有各種量測方法，並且也經過各種評估，可資參考作為未來臺灣製訂規範之用。一般鋼渣中 f-CaO 的測定方法都為化學分析方法，而不同化學分析法測定 f-CaO 的差異之處主要在於選取不同的浸取游離氧化鈣萃取劑，主要萃取劑有乙二醇-乙醇溶液、甘油-乙醇溶液、乙烯乙酸乙酯等<sup>[21]</sup>，其中乙二醇法是最常用<sup>[22-23]</sup>，但該方法無法將 f-CaO 和  $\text{Ca(OH)}_2$  區分開來，測得的結果是二者的總量，這對於傳統處理的鋼渣(不提前消解 f-CaO，沒有  $\text{Ca(OH)}_2$  存在)是比較適宜的，由於大陸鋼鐵企業會對鋼渣進行熱焗法及淺盤潑法(又稱淺盤水淬法)等處理，鋼渣內部會產生一定量的  $\text{Ca(OH)}_2$ ，該種方法即不適宜。杜君等<sup>[24]</sup>在乙二醇-EDTA 絡合滴定法測定鋼渣中總鈣量的基礎上，採用熱重-差熱分析法測定鋼渣中  $\text{Ca(OH)}_2$ ，由二者的差值得到較準確的 f-CaO 含量，並提出加入適量矽膠以克服乙二醇法測游離總鈣過程中產生水的干擾，進一步提高該方法的準確度，最新的 YB/T 4328-2012 標準就採用此方法<sup>[25]</sup>。此外，樂秀虎等<sup>[26]</sup>依據 X 射線物相定量分析法(QXRD)，採用 J 值法測定了鋼渣中的 f-CaO，結果表明該方法準確度、重現性均高於化學分析法。

對於鋼渣中的 f-MgO 的準確測定方法，大陸展開許多研究工作。張傑等<sup>[27]</sup>提出以硝酸銨-乙醇作為提取劑提取 f-MgO 的分析方法，結果顯示平行測定的相對標準差在 0.51%~2.13%之間，回收率實驗結果為 98.2%~99.0%，表明該實驗的精密度和準確度均較好。鄭振葉等<sup>[28]</sup>

以乙二醇-乙醇溶液為溶劑，氯化銨為催化劑，研究了氯化銨-乙二醇-乙醇法對鋼渣中游離氧化鎂含量的測定。結果指出採用該方法對不同鋼廠鋼渣平行測定的相對標準差小於 3%，加標回收率為 95.98%~98.05%，準確度較高。夏春等<sup>[29]</sup>採用壓蒸法使事先磨細的鋼渣粉中的 f-MgO 充分水化，然後通過熱重分析來測定壓蒸處理後鋼渣中的  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  含量，然後通過換算得到鋼渣中 f-MgO 含量。夏春等<sup>[29]</sup>研究碳酸鹽法測定鋼渣中活性氧化鎂反應的可行性和測定的準確性。顯示二氧化碳在水中可以將氧化鎂和氫氧化鎂轉化成可溶性鎂離子，然後用 EDTA 標準溶液滴定其含量。王博等<sup>[30]</sup>用碘-乙醇溶液作為催化劑，使乙二醇在沸騰時與鋼渣中 f-MgO 反應的速率提高，反應生成乙二醇鎂，在經過酸化、除去多餘催化劑後經 EDTA 滴定，測得鋼渣中 f-MgO 含量。目前，大陸對鋼渣中 f-MgO 的快速準確的測定方法，尚未形成統一的標準或共識，還需要不斷探索與論證。由於高溫下形成的 f-MgO 的反應比 f-CaO 更緩慢，化學分析法中沒有 f-MgO 在短時間可以完全反應的評判依據，故採用 X 射線物相定量分析法(QXRD)來測定鋼渣中 f-MgO 為目前較快速且方便的方法。在台灣目前尚無 f-CaO 及 f-MgO 的含量的測定方法，只有針對還原渣的熱壓膨脹進行測試，其結果不足以保證膨脹量小於 0.5%的還原渣再利用在水泥、水泥砂漿或混凝土上面沒有問題，首要工作是必須能精確測定 f-CaO 及 f-MgO 的含量才能有效控制生產端的生產品質。未來鋼廠或鋼渣再利處理廠進行安定化處理後，均建議現階段採用定量 X 射線繞射分析法(QXRD)<sup>[26]</sup>來迅速測定鋼渣中 f-CaO 及 f-MgO 的含量，做為安定化鋼渣品質控制的基準，這也是還原渣再利用的自主品質管制的必要手段。

## 1.5 鋼渣中 f-CaO、f-MgO 和 RO 相對其體積安定性的影響

除了 f-CaO、f-MgO 含量外，鋼渣中的 f-CaO、f-MgO 的分佈及生成  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  自身的變化對其體積安定性也有重要影響<sup>[31]</sup>。由於 f-CaO、f-MgO 在鋼渣中基本呈局部集中或聚集分佈，使得生成的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  也呈局部集中分佈，且最初形成的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  多是無定形或小晶體形態，隨著水化進行，初期形成的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$  晶體逐漸增大，不斷擠壓周圍的水化產物，引起硬固水泥漿體內部產生局部膨脹壓力和結構不均勻，最終導致結構材料膨脹開裂的嚴重後果<sup>[32-33]</sup>。目前，f-CaO、f-MgO 對鋼渣體積安定性的影響規則已基本清楚或形成共識，但鋼渣中有一定量的 CaO、MgO 與其它二價金屬氧化物如 MnO、FeO 固溶形成的 RO 相，則比較複雜，所以大陸許多研究者也展開一些研究來揭開 RO 相對鋼渣體積安定性影響的神秘面紗。

唐明述院士<sup>[9]</sup>在大陸早就研究轉爐渣、平爐渣和電爐渣 RO 相中的 MgO、FeO 和 MnO 的存在形式對水泥漿安定性的影響，結果顯示以固溶狀態存在的 RO 相相對比較穩定，高溫壓蒸也不會加速其水化，即固溶態的 RO 相不是造成鋼渣水泥安定性不良的因素，而 f-CaO 和 f-MgO(方鎂石)會造成水泥安定性不良。錢光人、徐光亮等<sup>[34]</sup>研究證實低鹼度鋼渣中 RO 相固溶體在水熱壓力下是穩定的。Suito 認為含 MgO 的 RO 相中，若還固溶有 FeO 或 MnO 就是穩定的，而 Geiseler 和 Schlosser 的研究<sup>[35]</sup>指出當 RO 相中 MgO 的含量超過 70%時，即引起鋼渣的安定性不良情況<sup>[31]</sup>。羅壽蓀<sup>[36]</sup>研究鋼渣中 MgO 的含量及存在形態對鋼渣水泥安定性的影響，結果指出 MgO 若以化合態形式存在於鈣鎂橄欖石中，一般不會影響水泥安定性，但是 f-MgO(即方鎂



石)，則易引起水泥安定性不良。固體中的 MgO 對水泥安定性的影響與  $\text{MgO}/(\text{FeO}+\text{MnO})$  之比有關，若比值小於 1 時，水泥安定性不受其影響，比值若大於或等於 1 時，則會影響水泥安定性。侯新凱、徐德龍等<sup>[37]</sup>的研究結果指出當鋼渣 RO 相中  $\text{MnO}/\text{MgO}$  莫爾比和  $\text{FeO}/\text{MgO}$  莫爾比分別為 1:2 和 1:1 時，則 RO 相是穩定相，鋼渣中 f-CaO 的水化反應是引起水泥安定性的不良因素。另有研究指出<sup>[38]</sup>，RO 相並不是絕對穩定的，其與鋼渣中 MgO 含量有關，當含量在某一臨界值內，不會引起體積不良，而當含量超過臨界值時會產生膨脹，引起材料安定性不良。除了 f-MgO、f-CaO 及 RO 相外，鋼渣中的 FeS 或 MnS 含量較高時，也會水化生成  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  和  $\text{Mn}(\text{OH})_2$ ，體積分別增大 1.4 和 1.3 倍，也會引起安定性不良<sup>[39]</sup>。

總歸言之，f-MgO 及 f-CaO 是造成水泥、水泥砂漿及混凝土硬固後膨脹劣化的主要因素，有效安定化控制 f-MgO 及 f-CaO，讓其轉化為  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  及  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  是鋼渣資源化的首要工作，至於 RO 相尚無定論。所以為了保證使用鋼渣的對建築物的絕對安全性，安定化為再利用的首要工作，因此 f-MgO 及 f-CaO 的測定必須準確，目前尚無快速且易於執行的標準，訂定 f-MgO 及 f-CaO 檢測標準是必須優先的，接著對後端產品應用品質的保障，則有賴訂定產品膨脹量的限定國家標準，建議應比照 CNS 1258「卜特蘭水泥熱壓膨脹試驗法」進行測定水泥、水泥砂漿及混凝土試體的膨脹率外，並且輔以目測熱壓膨脹試驗後的試體外觀狀態，作為品質認定的標準。

## 第二章 電弧爐還原渣特性與處理現況

### 2.1 電弧爐還原渣組成

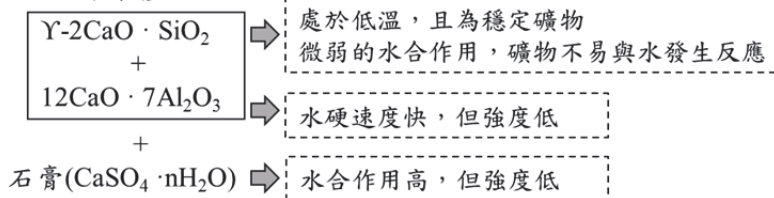
由於還原渣是生產鋼鐵的副產物，所以其化學成分因生產鋼種如結構用鋼、軸承鋼、工具鋼等，以及精煉條件不同，其粒徑分佈、化學成分、結晶構造、水硬性等均有顯著差異，很難以單一材料處理，其品質不易保持穩定也是還原渣副產物再利用的宿命，所幸資訊科技突飛猛進，可以利用大數據快速分析出最佳策略，供即時修正配方之用。表 2 所示為電弧爐渣成分範例，基本上相近於水泥成分。而還原渣在徐冷放置時，主要礦物的  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  會從  $\beta$  型轉移成  $\gamma$  型，此時因體積變化會變成粉體狀<sup>[40]</sup>，見圖 5(3)所示。表 3 所示為日本 A 公司廠內 3 天之間所產出的爐渣化學成分，生產類似的特殊鋼，爐渣也會有近 10% 的化學成分差異。各公司的助熔劑材料與使用量均不相同，即使生產同樣的鋼種所產出還原渣的化學成分也不盡相同；化學成分有差異時比重也會不同，範圍在 2.80~3.42 之間<sup>[40]</sup>。還原渣的主要構成礦物  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2(\beta, \gamma \text{ 型})$ 、 $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ 、 $2\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ 、 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  等都存在，只是各種礦物含量的多寡有差異，其中  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2(\gamma \text{ 型})$  為水合反應性高的礦物，使其具有水硬性，見表 3 所示<sup>[40]</sup>。台灣鋼聯分階段所收的各廠冷渣所測得的還原渣品質顯示品質差異甚大，未來臺灣還原渣生產業者及再利用業者統一處理不同廠的鋼渣時，必須面臨到均勻性的問題，但幸好目前可以利用 ICT 大數據的新科技有效的管理生產配方，對未來還原渣的再利用有正面的功能。

表 2 日本電弧爐渣的化學組成(範例)<sup>[13]</sup>

化學成分	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
氧化渣	22.8	12.1	6.8	37.9	4.8	7.9	0.2	0.3
還原渣	55.1	18.8	16.5	0.4	7.3	1.0	0.4	0.1

還原渣中含有反應性高的礦物成分  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  等與二水石膏 ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 反應，生成大量的「鈣鉚石(Ettringite)」，構成初期水硬強度(早強性)，而後形成的鋁酸鹽膠體(aluminate gel)更提高後期的水硬強度<sup>[40-41]</sup>，反應過程如圖 10 所示。其水硬特性與快乾水泥(Jet cement)類似，如圖 11 所示。並且另外還具有硬化後無收縮的特性、溶出水的 pH 值在 10.5 左右、鹼性成分少，可以作為玻璃纖維補強水泥混凝土之材料。而推估同一爐還原精煉時，將氧化渣回爐 20~30%，這樣混入產出的還原渣，有抑制還原渣水硬性的作用<sup>[40]</sup>。

#### EAF 精煉爐渣



#### 水硬反應

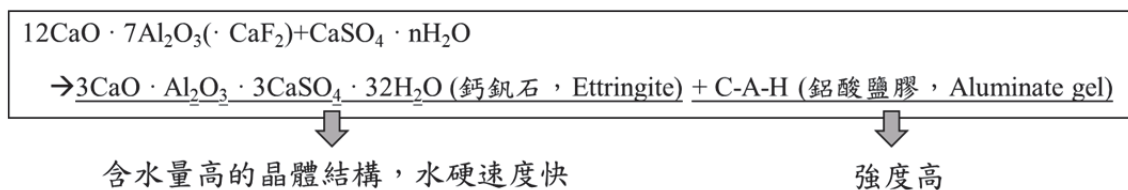


圖 10 EAF 精煉爐渣水泥硬化機制<sup>[41]</sup>

表 3 電弧爐還原渣之化學組成<sup>[40]</sup>

公司 代表	比重	化學組成物(%)										備註
		SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	T-S	TiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
A	—	27.33	48.37	4.10	12.62	0.230	2.231	0.017	0.130	0.077	0.023	1. S.S.,PW
	—	25.20	47.42	7.09	12.22	0.152	1.163	0.072	0.198	0.047	0.030	2. S.S.,PW
	—	20.37	54.54	7.22	11.76	0.000	1.700	0.125	0.116	0.050	0.023	3. S.S.,PW
	—	22.08	47.19	8.66	13.09	0.525	1.638	0.397	0.250	0.026	0.032	4. S.S.,PW
	3.18	26.63	48.14	6.73	11.30	0.203	1.580	0.007	0.178	0.085	0.023	5. S.S.,PW
	—	18.84	64.01	18.97	9.34	0.320	0.621	0.290	0.097	0.031	0.112	6. S.S.,PW
	—	25.67	49.90	5.08	11.87	0.240	2.310	0.000	0.200	0.063	0.023	7. S.S.,PW
	—	22.36	48.07	9.03	12.40	0.296	1.454	0.117	0.179	0.086	0.025	8. S.S.,PW
	—	25.33	49.22	5.78	11.59	0.113	2.485	0.000	0.132	0.098	0.023	9. S.S.,PW
	3.14	18.05	48.25	8.66	15.01	0.383	1.777	0.200	0.178	0.032	0.039	10. S.S.,PW
	—	20.68	48.24	8.71	13.60	0.385	1.642	0.150	0.195	0.102	0.027	11. S.S.,PW
	3.12	25.74	48.31	7.06	11.84	0.377	1.600	0.000	0.208	0.088	0.025	12. S.S.,PW
	—	26.95	48.40	7.15	11.09	0.311	1.471	0.000	0.179	0.099	0.025	13. S.S.,PW
	3.16	30.34	41.21	5.41	13.60	0.198	0.530	0.357	0.362	0.061	0.023	14. S.S.,PW
	3.16	27.82	48.80	3.97	12.50	0.295	2.102	0.000	0.138	0.094	0.023	15. S.S.,PW
	3.06	19.13	46.96	13.93	12.68	0.047	1.171	0.174	0.155	0.063	0.018	16. S.S.,PW
B	3.24	19.60	35.47	14.30	15.30	0.988	1.129	0.480	4.338	0.075	0.039	R.S.,PW
C	3.18	31.66	39.04	8.29	11.40	0.449	0.150	0.382	1.617	0.069	0.021	R.S.,PW
D	3.12	29.68	35.52	11.65	12.27	1.233	0.000	0.417	4.781	0.072	0.023	R.S.,BK
E	3.15	41.97	30.90	4.57	10.77	1.385	0.000	0.113	7.153	1.008	0.018	R.S.,S.S.,PW
F	3.08	25.02	48.30	1.04	15.35	0.020	4.331	0.000	0.147	0.006	0.032	R.S.,S.S.,PW
G	3.13	39.07	40.46	4.66	8.95	1.093	0.000	0.072	1.743	0.047	0.023	R.S.,BK
H	2.98	18.78	51.15	11.08	9.39	0.890	0.960	0.060	0.110	0.010	1.080	S.S.,PW
I	3.18	32.26	28.82	5.09	16.57	0.066	0.000	1.924	4.775	0.037	0.023	S.S.,BK
	2.92	23.60	37.33	6.35	17.94	0.000	1.534	0.000	1.150	0.032	0.023	R.S.,BK
J	3.42	8.20	41.16	19.99	5.90	1.030	1.870	1.010	0.390	0.210	0.017	S.S.,PW
K	2.94	31.00	42.71	5.50	10.63	0.071	0.783	0.120	0.387	0.006	0.041	R.S.,PW
L	2.99	34.44	34.17	5.88	9.57	0.637	0.000	0.152	5.888	0.117	0.046	R.S.,PW
M	2.80	34.72	41.95	3.70	9.80	0.966	0.117	0.175	1.187	0.056	0.018	R.S.,PW

註：1. 備註中數字 1~16 代表樣品編號。

2. S.S.：特殊鋼(Special steel)；R.S.：普通鋼(Regular steel)；P.W.：粉末(Powdered)；B.K.：鋼錠(Blocked)

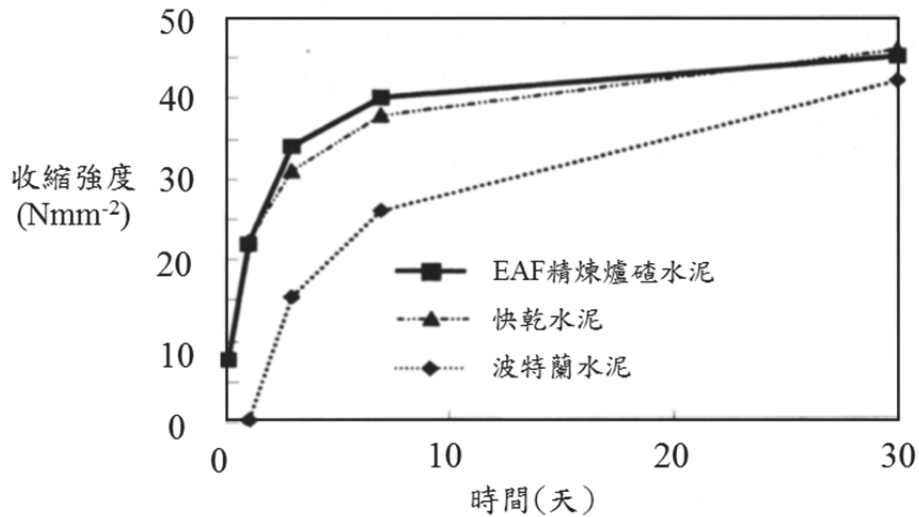


圖 11 水泥抗壓強度發展<sup>[41]</sup>

過去國內還原渣研究之組成成份中，顯示各煉鋼廠氧化物中以 CaO 及 SiO<sub>2</sub> 佔有之比例最多，分別佔有 35.3~54.9%與 16.57~34.83%，介於卜特蘭水泥第 I 型(分別為 62%及 22%)與高爐石粉(分別為 42%及 34%)的化學成份含量之間，見圖 12 所示<sup>[42]</sup>，MgO 含量高於卜特蘭水泥，主要因煉鋼廠於冷卻高溫還原廢渣時間過速，造成 MgO 包裹於爐渣顆粒中，無法經由常溫緩慢冷卻消解。若混合不同廠還原渣之各化學成份含量是介於參與混合煉鋼廠還原渣之間或相近，因此整體推估，煉鋼還原渣具有類似水泥及卜作嵐材料的膠結材料的效應<sup>[42]</sup>。但是若還原渣未充分安定化，則結晶完美的 f-MgO 及 f-CaO 將是造成水泥、水泥砂漿及混凝土膨脹劣化的主要因素，不得不慎!所以工業局為了打通還原渣的再利用途徑，特別要求還原渣必須先加以安定化，俾能保障使用端的安全品質及耐久性。

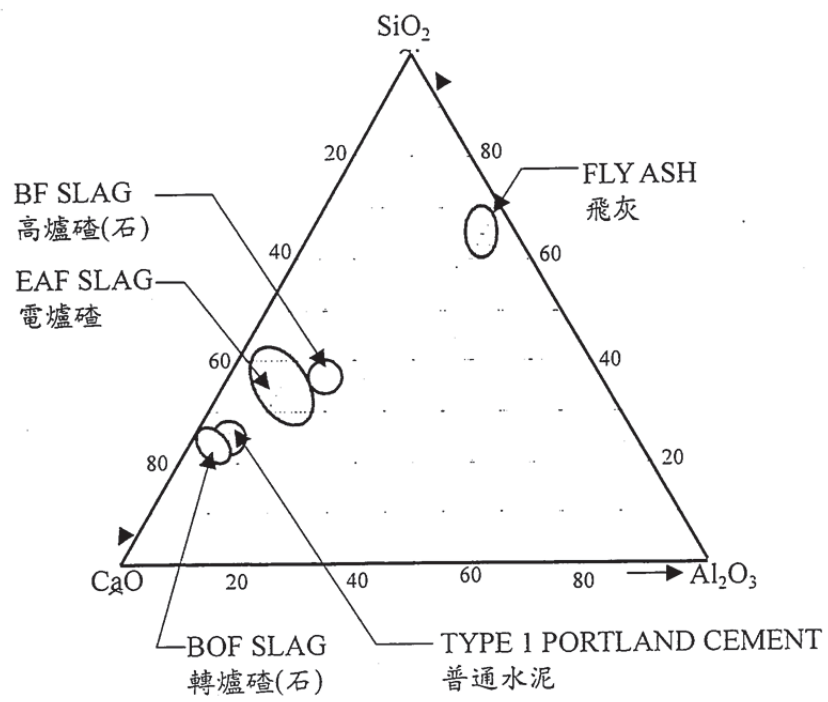


圖 12  $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$  相圖

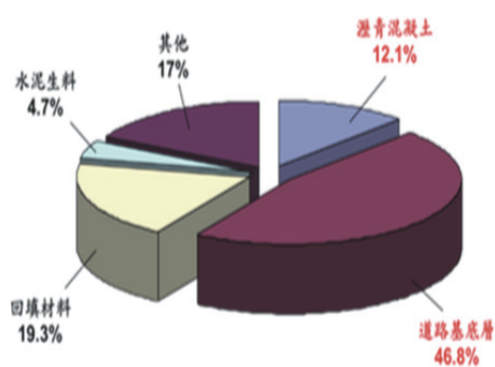
## 2.2 目前電弧爐還原渣處理現況

全球鋼渣產量約有 50 Mt/y 且歐洲的產量即占 12 Mt/y，約有 65% 應用於主要建設中，其餘則用於貯存或其他用途<sup>[43]</sup>。依環保署廢棄物管制中心網路申報資料顯示，國內煉鋼廠於 100 年 7 月至 9 月合計產出約 38.4 萬公噸之爐渣，其中以碳鋼製程之廠家為最多，約 28.3 萬公噸。而廠內貯存量則超過 23.7 萬噸，其中碳鋼製程約 58.49%。國內目前以燐聯公司之貯存及產出量最多，分別約 6.6 萬噸及 5.9 萬噸。

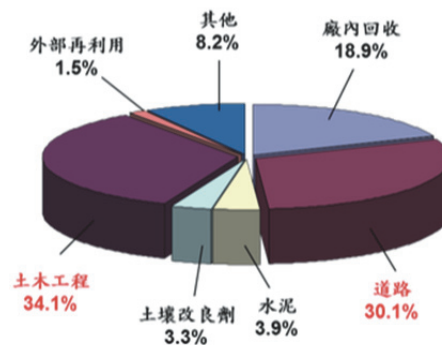
中鋼轉爐石年產出量約 110 萬噸，每噸鋼約產出 105 公斤轉爐渣，資源化再利用現況為：(1) 殘鋼:3.6%，轉爐回收 1.2%(煉製高硫鋼用)，外售 2.4%;(2) 著磁料:9.0%，外售為主，目前推動廠內回收做為燒結原料中;(3) 燒結礦原料用細粉料(<8mm):6.3%(目前約提升至 12.5%);(4) AC 骨材:3.0%(目前約提升至 6%以上)，廣泛鋪設使用中;(5) 水泥摻料:0.2%，實驗研究為主;(6) 工程填方:77.9%。由於大型工程填方場址尋覓不易，因此，中鋼轉爐石面臨去化難題，必須即時解決。中國鋼鐵與中聯爐石資源公司則曾以悶罐法(Steam pyrolysis)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，針對還原渣的五種商業化運行的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<sup>[44]</sup>。而 2016 年唐榮公司已進行鋼渣熱渣處理，其他鋼渣處理業成立臺灣鋼聯擬進行嚴謹的冷渣高壓熱處理方式，預定 2017 年能建立處理廠，並進行各項測試工作，保證以還原渣完全穩定，以安定化鋼渣尋求還原渣利用最大化，並消除還原渣使用者的虞慮。

## 2.3 還原碴之資源化及潛在問題

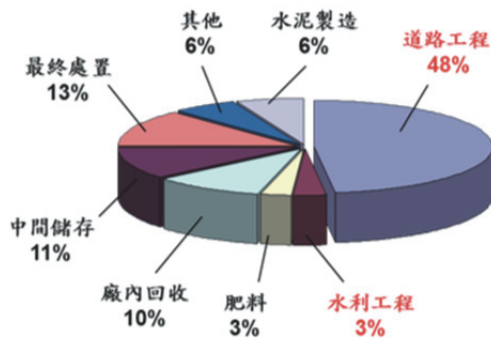
還原碴資源化的基本趨勢，也是必要的方段，目前是以非結構之道路材料及瀝青混凝土為主，日本則在土木工程上有甚高的應用比率，見圖 13<sup>[7,12, 46-47]</sup>、表 4 及表 5 所示<sup>[16]</sup>，可推估日本鋼碴均有適當的安定化處理，可供鋼鐵公司及臺灣鋼碴再利用處理業者的參考。



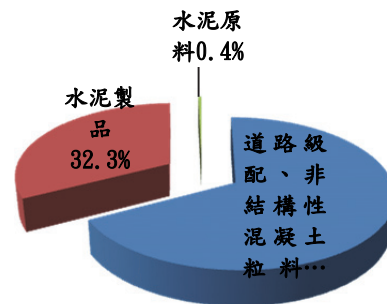
(1)美國鋼碴



(2)日本鋼碴



(3) 歐盟國家鋼碴



(4)台灣鋼碴

圖 13 鋼碴再利用狀況<sup>[7,12, 46-47]</sup>



表 4 2013～2015 年度日本粗鋼產量、煉鋼爐渣產出量及利用量<sup>[16]</sup>

單位：千公噸

爐渣產量及用途			2013 年度 數量	2014 年度 數量	2015 年度			構成比 (%)
					數量	與前年度比增減		
						數量	率 (%)	
粗 鋼	轉爐鋼		86,102	84,585	80,647	▲ 3,938	▲ 4.7	77.4
	電弧爐鋼		25,422	25,259	23,582	▲ 1,677	▲ 6.6	22.6
	小 計		111,524	109,844	104,229	▲ 5,615	▲ 5.1	100.0
生 產 量	轉爐渣		11,620	12,247	11,614	▲ 633	▲ 5.2	81.6
	電弧爐渣		2,777	2,831	2,624	▲ 208	▲ 7.3	18.4
	小 計		14,397	15,079	14,238	▲ 841	▲ 5.6	100.0
利 用 量	外 售 量	再利用	-	-	-	-	-	0.0
		道路用	4,958	4,902	4,477	▲ 426	▲ 8.7	43.8
		地盤改良材	869	608	462	▲ 146	▲ 24.0	4.5
		土木用	4,614	4,116	4,096	▲ 20	▲ 0.5	40.1
		水泥用	565	525	505	▲ 20	▲ 3.7	4.9
		加工用原料	145	141	105	▲ 36	▲ 25.6	1.0
		其他	292	741	576	▲ 165	▲ 22.3	5.6
		小 計	11,444	11,033	10,220	▲ 813	▲ 7.4	100.0
	自 家 公 司 使 用 量	再利用	2,459	3,261	3,053	▲ 208	▲ 6.4	82.4
		道路用	225	163	193	30	18.3	5.2
		地盤改良材	10	0	1	0	9.6	0.0
		土木用	832	709	159	▲ 551	▲ 77.7	4.3
		水泥用	1	-	-	-	-	0.0
		加工用原料	2	2	3	1	78.3	0.1
		其他	585	265	296	32	12.0	8.0
		小 計	4,113	4,400	3,704	▲ 696	▲ 15.8	100.0
合 計			15,556	15,434	13,925	▲ 1,509	▲ 9.8	
掩 埋 等	轉爐渣		34	55	52	▲ 3	▲ 5.3	
	電弧爐渣		107	138	166	28	20.5	
	小 計		141	194	219	25	13.1	
合 計（總出貨量）			15,697	15,627	14,143	▲ 1,484	▲ 9.5	

註：1. 道路用含鐵路用。其他為肥料、土壤改良用材、混凝土用、建築用、其他利用的合計。

2. 粗鋼生產量依據日本經濟產業省「鐵鋼・非鐵金屬・金屬製品統計月報」。

表 5 電弧爐碴的利用統計表<sup>[16]</sup>

單位:千公噸

爐碴用途		2013 年度			2014 年度			2015 年度		
		外售	內用	小計	外售	內用	小計	外售	內用	小計
利 用	再使用		25	25		33	33		47	47
	道 路 基 材 用	901	27	928	1,002	15	1,016	1,069	23	1,092
	路 Asconoid type 材	25	0	25	25		25	21		21
	用 其 他	39	14	54	14	7	21	31	11	42
	小 計	965	42	1,007	1,040	22	1,062	1,121	34	1,155
	地盤改良材	63	10	72	57	0	58	20		20
	土 港灣・海域工程	71		71	74		74	103		103
	木 土 木・陸路工程	1,013	123	1,135	915	99	1,014	714	52	766
	用 小 計	1,084	123	1,206	988	99	1,087	817	52	869
	水泥用	35		35	20		20	26		26
	混凝土用	45	4	49	58	5	63	57	7	64
	肥料・土壤改良材	22		22	26		26	25		25
	建築用	0		0						
	加工用原料	122	2	124	121	2	123	80	3	83
	其他利用	71	121	191	65	136	201	37	129	166
合 計		2,407	326	2,733	2,375	298	2,673	2,184	273	2,456
掩 埋		104	2	107	120	18	138	166	0	166
總 計		2,511	328	2,840	2,495	316	2,811	2,350	273	2,623

日本於 1991 年 10 月實施「再生資源利用相關法律(資源再生法)」，法律中指定煉鋼製程產出的爐渣為副產物之一，有義務開發其用途並提高品質<sup>[45]</sup>。規定電弧爐排出的熔融爐渣，經冷卻凝固、破碎、除鐵、安定化熟成、篩分等處理製程成為再生用料。由此可見日本希望煉鋼爐渣都是有用的資源，政府要求企業對社會及環境付出更多的責任。

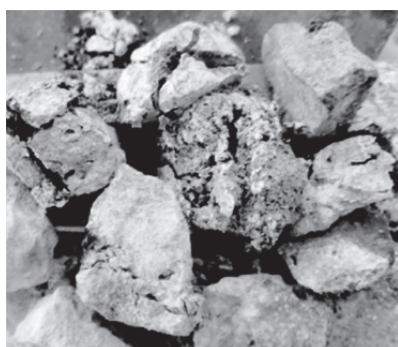
過去臺灣電弧爐煉鋼爐還原渣(石)以掩埋處置為主，因粉粒狀還原渣經日曝曬及雨水的淋洗，其活性大幅衰減，且鑒於「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」自 100 年 2 月 9 日公告修正「編號十四、電弧爐煉鋼爐渣(石)」之再利用運作管理規定(100 年 2 月 9 日實施)，已針對爐渣貯存加嚴規定「還原渣(石)不得採用露天貯存方式」<sup>[46]</sup>。2001 年中興工程顧問曾建議再利用方式，如表 6 所示<sup>[7]</sup>，充分顯示還原渣再利用的原理、流程、特點及技術成熟度，然而 2016 年社會產生嚴重混凝土摻用未安定化的還原渣，造成混凝土結構物嚴重膨脹劣化情形，引起社會各界大為撻伐，因此經濟部工業局要求還原渣必須經過安定化，使其膨脹量小於 0.5%，才可以以個案申請再利用。當然此舉造成鋼鐵廠無法順利生產鋼鐵，為此唐榮公司、燁聯公司都積極引進還原渣安定化技術，而且台灣鋼聯成立鋼渣處理公司，預定 2017 年建立還原渣共同處理中心，展現企業對社會責任的用心，目前台灣鋼聯積極進行高壓蒸壓(Autoclave)熟成安定化方式，預期將有豐碩的成果。

表 6 資源化技術之可行性評析<sup>[7]</sup>

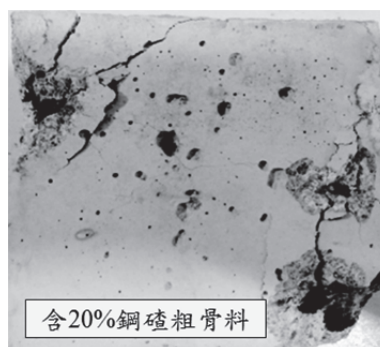
資源化技術	原理、流程	特點	技術成熟度與實績
工程填地材料	將爐渣進行破碎、磁選、篩分等程式	抗剪力較大，提高土層之承載力 施工較不會塵土飛揚	技術廣泛、成熟、取得容易，並有實廠運作經驗
道路工程級配料	將爐渣進行破碎、磁選、篩分等程式	具有膠結性，可提高路基穩定性 抗剪力較大，提高土層之承載力 施工較不會塵土飛揚	技術廣泛、成熟、取得容易，並有實廠運作經驗
混凝土用粒料原料	將爐渣進行破碎、磁選、篩分等程式	表面粗糙，提高土層混凝土握裹強度	技術廣泛、成熟、取得容易，並有實廠運作經驗
水泥原料	爐渣與其他水泥原料等混合鍛燒 將鍛燒料研磨成細粉	製成簡單、投資少 節省部份原料，降低水泥成本	技術廣泛、成熟、取得容易，並有實廠運作經驗
燒結熔劑	將爐渣進行破碎、磁選、篩分等程式，直接做燒結配料用	廢爐渣含 40~50% 的 CaO，直接取代結礦物時所需添加之石灰石 廢爐渣中的 Ca、Mg、Mn、Fe 等有價元素，提高燒結礦的質量	非公告用途、國內無實廠經驗

在大陸原狀鋼渣通常以塊狀為主，比較堅硬，密度大，被認為具有代替石灰石作為混凝土粒料的潛力<sup>[47]</sup>。與石灰石粒料相比，鋼渣中由於含有大量的矽酸礦物，鋼渣作為粒料用於混凝土中會有少量參與水化反應，眾多研究也表明，鋼渣粒料代替石灰石粒料後的混凝土力學性能和比重都會有所提高<sup>[48-50]</sup>。然而，鋼渣由於在體積安定性方面仍存在極大的隱憂，工程應用人員一直對鋼渣作為混凝土粒料呈謹慎保留態度。米貴東等<sup>[54]</sup>研究蒸養條件下鋼渣粗粒料含量對不同強

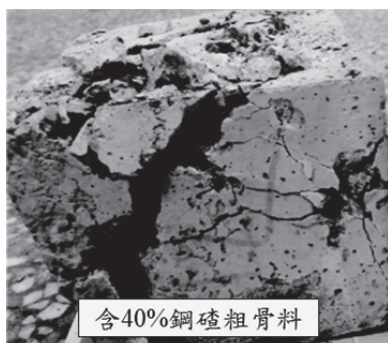
度混凝土的破壞規律，結果指出鋼渣中 f-CaO、f-MgO 在高壓蒸汽養護下會加速反應使粗粒料產生膨脹應力，引起混凝土損傷和破壞(如圖 14 所示)，也就是處理不當的還原渣是會產生不穩定的問題，且鋼渣粗粒料對強度等級越高的混凝土造成的損傷越大。梁建軍<sup>[52]</sup>用鋼渣等體積替代普通石灰石粗粒料配製鋼渣混凝土，結果鋼渣混凝土試塊在水中養護 7 天後，試塊有爆裂、缺棱掉角的現象。楊永民<sup>[53]</sup>採用比表面積為  $200 \text{ m}^2/\text{kg}$  的粗磨鋼渣分別代替 10%、20%、30%、40% 的細粒料用於產製混凝土時，結果顯示使用粗磨鋼渣後不會產生體積安定性不良，但是鋼渣摻量大時，則表現出安定性不良的趨勢，亦即磨細還原渣可以因早期反應成氫氧化物，而有效控制鋼渣滯後膨脹的問題。張亞梅等<sup>[54]</sup>結合兩個用鋼渣作粒料引起混凝土開裂問題的工程案例(如圖 15 所示)，這些症狀與臺北松山文創園區及許多混凝土表面爆裂案例類似，也進一步指出還原渣未經完全安定化處理，則對混凝土絕對有嚴重危害，後果不堪設想。分析認為鋼渣中 f-CaO、f-MgO 等的水化反應速率與程度受到粒料周圍水分含量、粒料尺寸及所處位置、周圍約束大小及環境溫度等多重複雜因素的影響，導致膨脹開裂時間、嚴重程度等具有很大的不確定性，難以預測，且這種分散的粒料引起的破壞最終會導致結構的整體破壞。王強<sup>[55]</sup>指出磨細鋼渣粉的安定性合格，並不意味著鋼渣粒料的安定性合格，與相對勻質的鋼渣粉相比，鋼渣粒料的安定性離散性非常大，由此呼籲將鋼渣用作混凝土粒料要非常慎重，使用前需經過不同方面嚴格的安定性檢測。



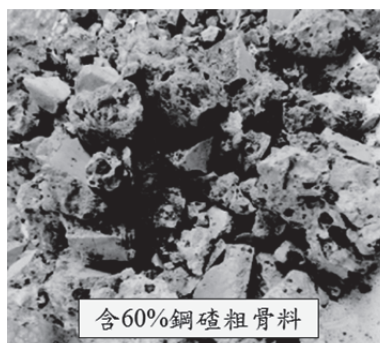
(1)壓蒸後的鋼渣粗粒料



(2)混凝土輕微開裂

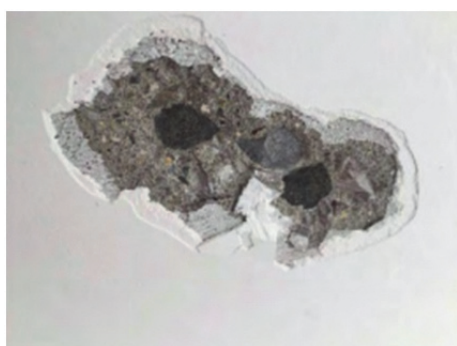


(3)混凝土嚴重開裂



(4)混凝土粉碎

圖 14 高壓蒸汽熟成後的鋼渣粗粒料混凝土狀態<sup>[51]</sup>



(1)樓板剝落、爆開



(2)樑開裂



(3)柱爆裂

圖 15 某工程梁、板、柱嚴重開裂圖<sup>[54]</sup>

由此可見，鋼渣粒料用於混凝土中普遍會引起安定性不良的問題，在工程應用中應嚴禁使用安定性不合格的鋼渣粒料。同時，研究者也展開一些改善鋼渣粒料混凝土體積穩定性的探索工作。楊質子等<sup>[56]</sup>在全鋼渣混凝土中，採用廢棄輪胎膠粒部分替代細粒料，對鋼渣混凝土的自身體積膨脹有良好的抑制效果，表現出良好的體積變形，且10%廢棄輪胎膠粒對鋼渣混凝土體積變形的整體改善效果最理想。查坤鵬等<sup>[57]</sup>研究鋼渣與廢舊輪胎顆粒混凝土的強度與收縮變形性能，結果指出鋼渣粒料廢舊輪胎膠粉顆粒的使用可明顯改善混凝土的塑性開裂性能。這也說明利用廢舊輪胎膠吸收鋼渣可能膨脹能量的方式可以有效控制爆裂問題。

磨細鋼渣微粉可作為水泥混合材和混凝土礦物摻料使用，從近些年的研究文獻與應用報導來看，鋼渣微粉作為輔助膠結性材料的利用潛力較大，且呈現出積極的應用趨勢和效果。然而，由於鋼渣中的f-CaO、f-MgO等礦物經歷高溫過燒，其在水泥混凝土中的水化反應很緩慢，幾年甚至更長時間後反應仍緩慢進行，因而鋼渣微粉在水泥混凝土中的應用時，體積穩定性問題仍需特別警覺，即鋼渣對水泥混凝土材料體積變形的影響也是其作為水泥混合材或礦物摻料時需要考慮的首要因素。趙三銀<sup>[58]</sup>等探討高鋼渣含量的混合水泥的體積穩定性，結果顯示鋼渣在卜特蘭混合水泥中的摻量不宜超過50%，否則將會造成混合水泥的安定性不合格，這跟水泥中含總CaO及MgO含量對健性有關是一致的，所以必須查核總量符合水泥規範。孫家瑛<sup>[59]</sup>摻用不同量磨細武鋼鋼渣等量替代部分水泥後，其混凝土的體積安定性均能滿足要求，且含30%寶鋼鋼渣粉的水泥漿體通過高壓蒸汽養護法測試其安定性也合格<sup>[60]</sup>。張暉等<sup>[61]</sup>的研究結果顯示，摻加寶鋼鋼渣微粉的水泥混凝土具有良好的後期安定性，且高壓蒸汽養護

後膠結材料強度也無惡化現象。趙旭光<sup>[62]</sup>探討轉爐鋼渣粉對高爐石粉水泥砂漿體積變形的影響，結果顯示鋼渣粉替代部分高爐石粉的比例越高，其對高爐石粉水泥砂漿的收縮補償效果越好，與高爐石粉混合水泥相比，20%和 40%的鋼渣粉分別使混合水泥砂漿 4 天和 80 天的乾縮值下降 18.9%、12.8%和 36.5%、33.4%。李永鑫<sup>[63]</sup>研究鋼渣粉對混凝土收縮性能的影響，結果表明鋼渣粉使混凝土的早期收縮得到改善，但長期收縮反而增加，而「鋼渣-飛灰」二元或「鋼渣-高爐石粉-飛灰」三元的混合水泥粉對混凝土各齡期的收縮均有改善作用。李紅豔<sup>[64]</sup>將 20~40%的磨細鋼渣在砂漿中代替砂子使用時，砂漿的 28 天乾縮率值明顯降低，但當鋼渣使用量增至 60%時砂漿的乾縮加大。胡曙光等<sup>[65]</sup>指出在標準養護、空氣養護和滾水養護三種不同條件下，摻鋼渣粉「活性粉末混凝土(RPC)」的體積變形性能，結果顯示，摻鋼渣的 RPC 在三種養護條件下均出現收縮態勢，其收縮率：空氣養護>滾水養護>標準養護。丁慶軍等<sup>[66]</sup>的研究表明，摻入鋼纖維可使含鋼渣粉的四元 RPC 的體積收縮率明顯減小。高成明<sup>[67]</sup>對含鋼渣混凝土早期開裂敏感性進行研究，結果表明，在鋼渣粉摻量小於 30%範圍內，混凝土的早期開裂敏感性，隨鋼渣含量的提高而降低，而鋼渣-高爐石粉複合粉卻提高混凝土早期開裂敏感性，必須特別小心。楊建偉<sup>[106]</sup>指出鋼渣和含鋼渣的複合礦物摻合料對混凝土性能的影響，結果發現當鋼渣與高爐石粉的比例為 3:7 時，鋼鐵渣粉混凝土的流動性、強度、彈性模量與高爐石粉混凝土相近，鋼鐵渣粉混凝土比高爐石粉混凝土的絕熱溫升低、自生收縮和乾燥收縮小、抗凍性好。由此可見，基於體積穩定性的考慮，鋼渣微粉在水泥混凝土中要有一個摻量限制，且鋼渣-高爐石粉複合粉用於混凝土中的體積穩定性更好。

通常還原渣都含有 45~55%的 CaO，故 1 噸爐渣相當於 700-750



公斤的石灰石。若把爐渣加工到小於 10  $\mu\text{m}$  的爐渣粉，便可代替部份石灰石直接作燒結配料用，不僅可回收再利用爐渣中的鈣、鎂、錳及鐵等有價元素，並可提高燒結機械之利用係數和燒結礦的質量，降低燃料消耗<sup>[7]</sup>。

還原渣混合廢棄物完全替代水泥原料來生產環保水泥，還原渣中  $\text{MgO}$  會導致水泥於早期時水化速率增加，使得凝結時間減少進而縮短工作時間，添加 1% 之還原渣有助於提升漿體之早期強度<sup>[68]</sup>。Murgier 等人研究指出<sup>[69]</sup>，爐渣水泥於養護 7 天後的抗壓強度達到 10 MPa，且於養護 90 天後之抗壓強度最大可達 30 Mpa， $Q^0$  的減少與爐渣/活性劑組合的機械性質有關。Kourounis 等人研究指出<sup>[70]</sup>，水泥含有 15% 或 30% 鋼渣符合 EN 197-1 中等級 42.5 的強度要求，而含有 45% 鋼渣符合 EN 197-1 中等級 32.5 的強度要求，且鋼渣減慢水泥的水化，主要是因為鋼渣中  $\text{C}_2\text{S}$  的晶體尺寸和結構。Tsakiridis 等人研究指出<sup>[71]</sup>，添加 10.5% 鋼渣燒製卜特蘭水泥形成較小晶相的  $\text{C}_3\text{S}$ ，凝結時間、需水量及膨脹性皆相似於卜特蘭水泥，且在水化過程中抗壓強度趨近於卜特蘭水泥。Wang 等人研究指出<sup>[72]</sup>，鋼渣在早期時可藉由增加顆粒細度、養護溫度或鹼性溶液來加速水化速率，在 90 天後鋼渣一部分之  $\text{C}_3\text{S}$  及  $\text{C}_2\text{S}$  結晶具有較低活性及未水化。Li 等人研究指出<sup>[73]</sup>，在高溫下添加的電弧爐鋼渣可以獲得改良，改善其膠凝活性，添加 30% 取代量的  $\text{S}_{20-1250}$  及  $\text{S}_{15-1350}$  砂漿抗壓強度在 28 天達到 49.2MPa 及 48.7MPa，比 BOFS 樣品和在實驗中所使用的普通矽酸鹽水泥高於 21% 及 20%。Chen 等人研究指出<sup>[74]</sup>，將爐渣混合廢棄物完全替代水泥原料來生產  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  熟料，透過與 OPC 適當的混和所產生的砂漿抗壓強度可以達到標準要求，並且於晚期時可趨近於 OPC 砂漿，漿體在晚時期 C-S-H 具有較長的聚矽陰離子長度<sup>[75]</sup>。

總結來說，還原碴若未完全安定化，則建議僅能當做水泥生料使用，絕對不可以直接添加入水泥中當作混合水泥用，同時必須透過高溫高壓蒸煮驗證其健性是否符合規定。如果還原碴適當安定化處理，則用途較廣，然而仍然必須限制其添加量，建議以飛灰、高爐石粉、橡膠粉進行多組分複摻的調整方法。但在使用前針對可能應用之產品進行高壓蒸汽養護，以測定膨脹狀況，作為耐久性質之保障，這點若臺灣水泥行業接受還原碴當作添加料時必須深入加以了解的，不可以冒然使用當為水泥添加料。當然未來應用品質的保障仍有賴訂定產品膨脹量的限定國家標準，此標準規範宜比照 CNS 1258「卜特蘭水泥熱壓膨脹試驗法」進行測定水泥、水泥砂漿及混凝土試體的膨脹率，並且輔以目測熱壓膨脹試驗後的試體外觀狀態，作為品質認定的標準。

## 第三章 安定化技術評析

### 3.1 安定化技術原理概述

煉鋼爐渣含游離氧化鈣(f-CaO)、游離 f-MgO、C<sub>3</sub>S、C<sub>2</sub>S 等，這些組成在一定條件下都具有不穩定性。鹼度高的熔渣在緩緩冷卻時，C<sub>3</sub>S 會在 1,250°C 到 1,100°C 時緩緩分解為 C<sub>2</sub>S 和 f-CaO，C<sub>2</sub>S 在 675°C 時 β-C<sub>2</sub>S 會相變為 γ-C<sub>2</sub>S，並且發生體積膨脹。而煉鋼爐渣吸水後，f-CaO 會消解為氫氧化鈣，體積將會大幅膨脹；MgO 會消解為氫氧化鎂，產生體積膨脹，因此含有 f-CaO、f-MgO 的常溫煉鋼爐渣是處於不穩定狀態，只有當 f-CaO、f-MgO 消解完成或含量很少時或磨得非常細的狀況下，才會穩定不膨脹<sup>[4]</sup>。所以基本上安定化就是御除體積不穩定因素，換言之即加速以下三種反應：

#### 1. C<sub>2</sub>S 晶相轉變(Phase Transfer)

當純 C<sub>2</sub>S (矽酸二鈣)由β項轉變為γ項時，體積會膨脹 10%，這是煉鋼爐渣產生體積膨脹粉末的原因之一。

#### 2. MgO 之水化

MgO 之水化亦會使爐渣體積膨脹，這亦即為何 CNS 61 卜特蘭水泥規範規定水泥內 MgO 含量不超過 6%之原因。但是煉鋼爐渣內所含 MgO 並不以單獨相存在，而是與 FeO 形成固熔體，甚至 MgO 存在於 FeO 相內，因此當 MgO/(FeO+MnO)<1 時，煉鋼爐渣內 MgO 並不行水化反應。

#### 3. Free Lime(f-CaO)之水化

f-CaO 與水反應生成 Ca(OH)<sub>2</sub>，使體積膨脹約 100%~300%，同時使煉鋼爐渣疏鬆，這亦是煉鋼爐渣造成砂漿及混凝土試體

體積膨脹原因之一。同時  $f\text{-CaO}$  常固溶於  $\text{FeO}$  內，使水化反應減緩但不停止，這使得煉鋼爐渣應用增加困難，因此煉鋼爐渣在應用前應先以高壓蒸汽養生測定安定化是否完全，是否已停止膨脹。

### 3.2 國外安定化實例評析

經過冶煉技術的不斷提高，鋼渣的(預)處理方法也在不斷發展，形成多種鋼渣處理技術(如圖 16 所示)，包括熱潑法、滾筒法(Short Slag Flow)、風淬法(wind-quenching)、熱燜法(Steam pyrolysis)及蒸汽法(Steam aging)。合適的處理技術得到的鋼渣均勻性和細微性較好，可達到鋼和渣的有效分離，並能降低鋼渣中的  $f\text{-CaO}$ 、 $f\text{-MgO}$  含量，使其  $\text{C}_2\text{S}$ 、 $\text{C}_3\text{S}$  礦物的化學活性不降低，從而為鋼渣後續加工和高效利用奠定良好的基礎。

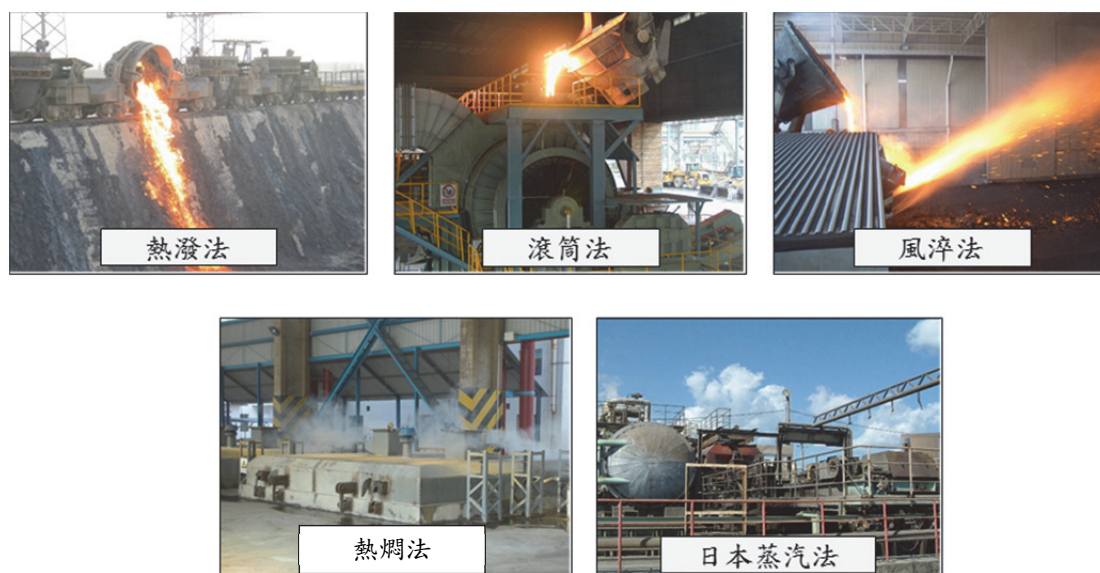


圖 16 國內外主要的鋼渣處理技術

### 3.3 鋼渣不同處理技術的比較

由於大陸鋼渣的數量龐大，經驗也非常豐富，他山之石可以攻錯，值得臺灣借鏡，大陸鋼渣的預處理方法主要有：冷棄法(Natural Weathering)、水淬法(water-quenching)、風淬法(wind-quenching)、熱潑法、淺盤潑法、滾筒法(Short Slag Flow)、粒化輪法和熱燜法(Steam aging)法等<sup>[67,76-78]</sup>，不同處理技術的特點及優缺點經整理如表 7。王濤<sup>[75]</sup>指出鋼爐渣若能預先經過適當加工安定化處理，將可有效減低體積的膨脹率，這也就是經濟部工業局要求鋼渣再利用前必須先行安定化的構想。

由表 7 可以看出，不同處理技術得到的鋼渣的安定性、均勻性、細微性和活性等存在較大的差異。採取自然或蒸汽熟成法安定化處理，必須要有大面積的堆置場、龐大的經費與時間。其處理與再利用不易推廣(普及)，所以煉鋼爐渣整體的利用率降低<sup>[40]</sup>。這在臺灣基本上是不可行的，而且已經造成許多問題。況且轉爐渣的自然風化熟成處理放置期間多半在 12 個月左右，而氧化渣的游離石灰含量比轉爐渣少，所以只要 6 個月左右的熟成期間就趨於安定化。但是還原渣即使放置 12 個月左右熟成處理，仍然會像圖 17 之膨脹變形，所以推估熟成期需要相當長的時間<sup>[40]</sup>。蒸汽熟成之安定方式可以將具延遲性膨脹現象的還原渣的熟成處理時間縮短到 1/10 以下。因此推估利用蒸汽可在 10 天左右達成安定化<sup>[17]</sup>。由於自然風化熟成處理需要 6 個月以上的時間，要有寬廣的堆置場，因此在 1990 年代所開發出加速熟成(蒸汽熟成及加壓蒸汽熟成)，也就是高壓蒸汽(Autoclave)的方法也已經證實可行<sup>[45]</sup>。爐渣所在的氛圍溫度越高安定化的時間越短，尤其是使用蒸汽，只要 48 小時就可以讓膨脹安定化，如圖 18 及圖 19 所示

[45]。蒸汽熟成的膨脹安定化方法，適用於游離石灰含量不同的各種煉鋼爐渣如圖 20~圖 21 所示<sup>[45]</sup>。這說明利用高溫蒸汽可以透過熱處理加速 CaO 及 MgO 反應，成為 Ca(OH)<sub>2</sub> 及 Mg(OH)<sub>2</sub>，且效果良好。

表 7 不同鋼渣處理技術特點及優缺點<sup>[79]</sup>

處理方法	技術流程	優缺點
自然風化法，冷棄法	熔融鋼渣緩冷後，直接倒至渣場，日本及中國早期的鋼渣山基本上是由這種落後技術形成的。	技術落後，不利於鋼渣的綜合利用，須要有大面積的堆置場、龐大的經費與時間，污染環境，基本上已被淘汰。
水淬法	熔融液態鋼渣在流出過程中，採用一定壓力的水將其打碎並冷卻，形成碎小的鋼渣粒。	技術簡單，排渣快，佔地少，但鋼渣粒的均勻性較差，僅適於處理液態渣。
風淬法	熔融液態鋼渣經高壓空氣(即壓縮氣流)吹散，破碎的液渣滴因表面張力收縮凝固成微粒。	排渣快，佔地少，鋼渣細微性較小，穩定性較好，但也僅適於處理液體鋼渣。
熱潑法	將熔融液態鋼渣分層潑到在渣床上(或渣坑內)，然後噴淋適量水冷卻，鋼渣在熱脹冷縮和游離鈣鎂水化作用下破裂成微粒。	技術簡單，排渣快，處理能力大，但佔地多，不利於環保和餘熱利用，且粉化不徹底，渣鐵分離效果較差。
淺盤潑法	將熔融液態渣均勻倒在渣盤上，然後噴淋適量水使其急冷破裂，再將碎渣傾倒在渣車中噴水冷卻，最後倒入水池中進一步冷卻。	佔地少，鋼渣冷卻速度快，處理量大，但技術較複雜，且渣盤易變型，運輸和投資費用較大，鋼渣活性較低。
滾筒法	熔融液態鋼渣經溜槽流入滾筒中，在以水為冷卻介質，鋼渣在高速旋轉的滾筒中急冷、固化和破碎及渣鐵分離。	排渣較快、佔地少，污染小，但鋼渣細微性較大，均勻性也差，活性較低，投資費用較高，且只能處理液態渣。
粒化輪法	熔融液態渣經溜槽流入粒化器中，被高速旋轉的水冷粒化輪擊碎，沿切線方向拋出過程中粒化輪四周向碎渣噴水進一步冷卻。	排渣快，適於流動性好的高爐液態渣，但設備磨損大，壽命短，鋼渣細微性的均勻性較差。
熱燜法	將冷卻至 300-800℃ 的鋼渣倒入熱燜裝置中，噴淋適量水使其產生飽和蒸汽，與渣中游離鈣鎂發生反應，產生膨脹應力使鋼渣破碎粉化。	鋼渣的粉化效率和渣鐵分離率高，安定性好，節能並能處理固態渣，但鋼渣細微性不均勻，後續需破碎加工。

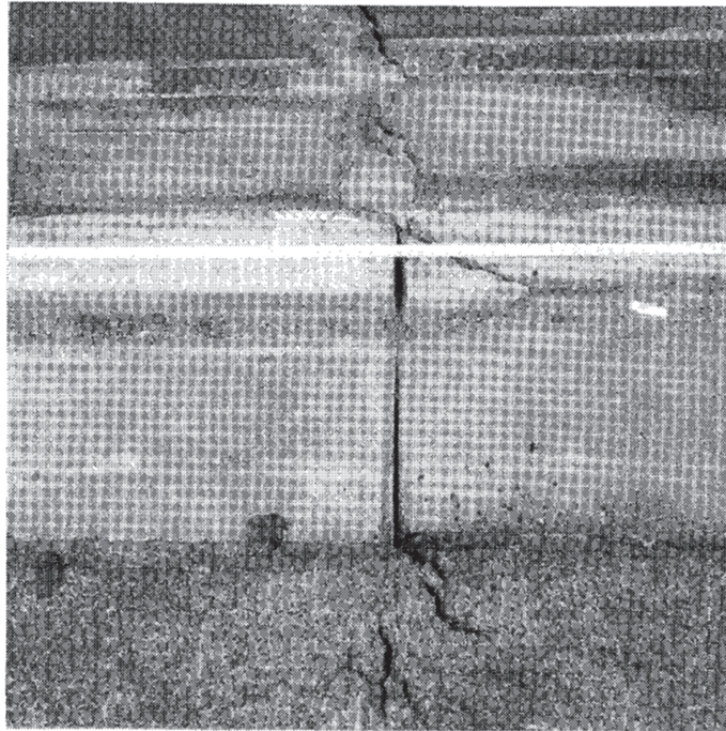


圖 17 路基採用還原碴 4 年後即產生膨脹損壞<sup>[41]</sup>

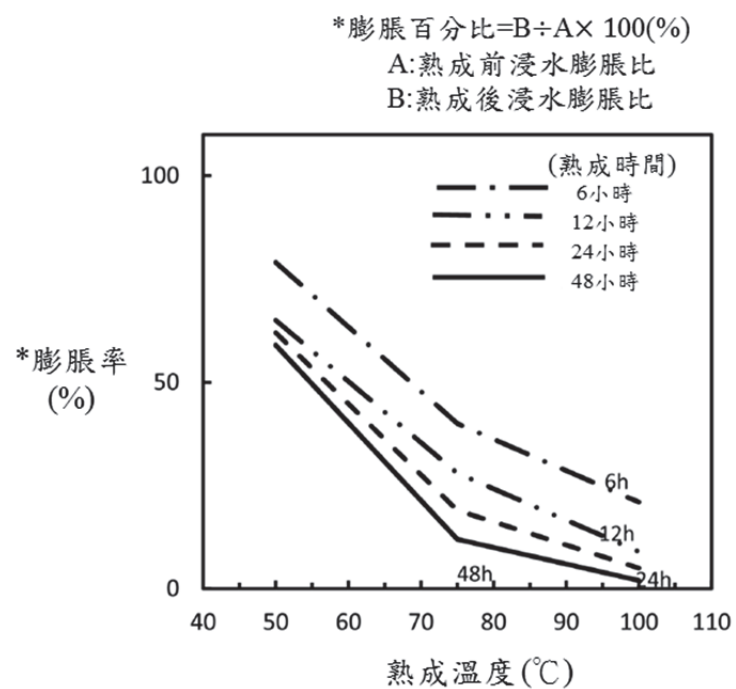


圖 18 高溫熟成溫度與膨脹率的關係<sup>[45]</sup>



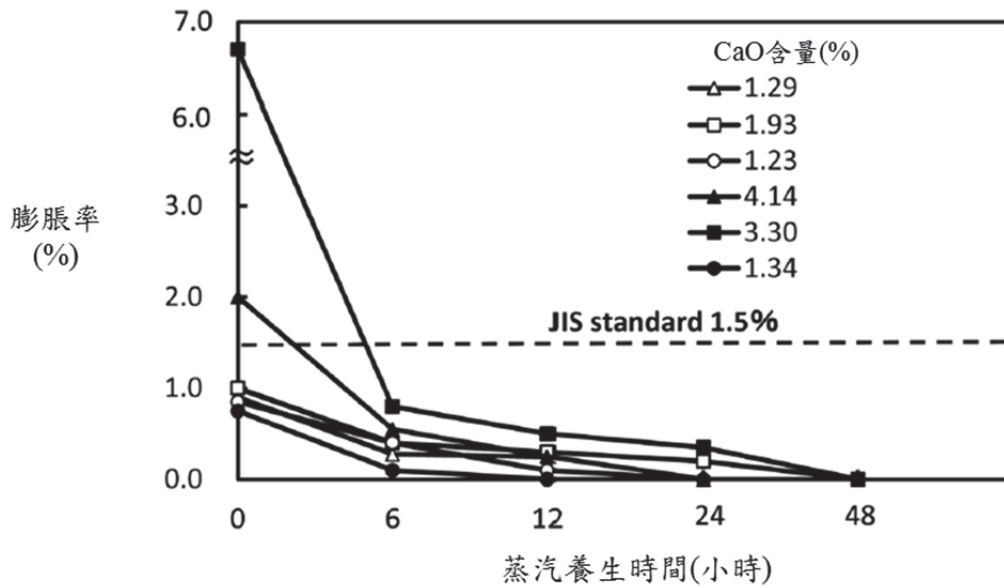


圖 19 蒸汽熟成時間與浸水膨脹比的關係<sup>[45]</sup>

低壓蒸汽熟成設備概要如圖 20 所示，外觀如圖 21 所示。設備的構造為下方配置蒸汽噴氣管、三面以混凝土側壁圍繞、上方覆耐熱蓋布，將蒸汽的散失耗損減至最小限度。為使蒸汽通氣均勻化，配管的結構採多迴路環圈式(loop)，特別設計蒸汽擴散層及噴出孔，而在爐碴層上方設置熱電偶，方便管理爐碴的熟成時間<sup>[45]</sup>。圖 22 顯示蒸汽熟成處理流程。蒸汽熟成處理 48 小時後的煉鋼爐碴膨脹量，如圖 18 所示。JIS A 5015 道路用鋼鐵爐碴的水浸膨脹規格值 1.5% 以下，即符合標準，在日本已被公共事業採用。其熟成流程如圖 22 所示，從進料到出貨一個循環需要 6 天<sup>[45]</sup>。加壓蒸汽熟成可大幅減少熟成時間，圖 23 顯示熟成後的膨脹量縮減現象。設備規模縮小、構造可完全密閉、可自動化控制，設備概要如圖 24 所示，外觀如圖 25 所示。唐榮公司已設置此種處理方式，台灣燁聯公司目前也規劃採用相同處理方式，但是其安定化的均勻性及真正效果仍待進一步確認。

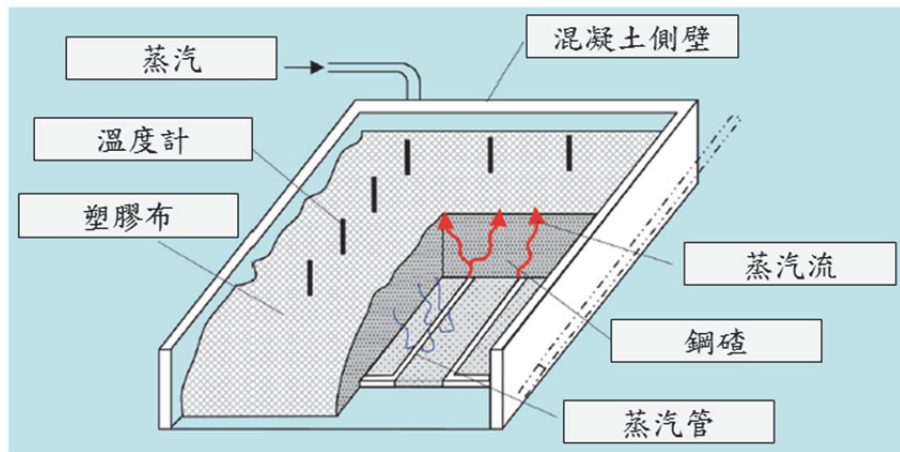


圖 20 蒸汽熟成設備概要<sup>[45]</sup>

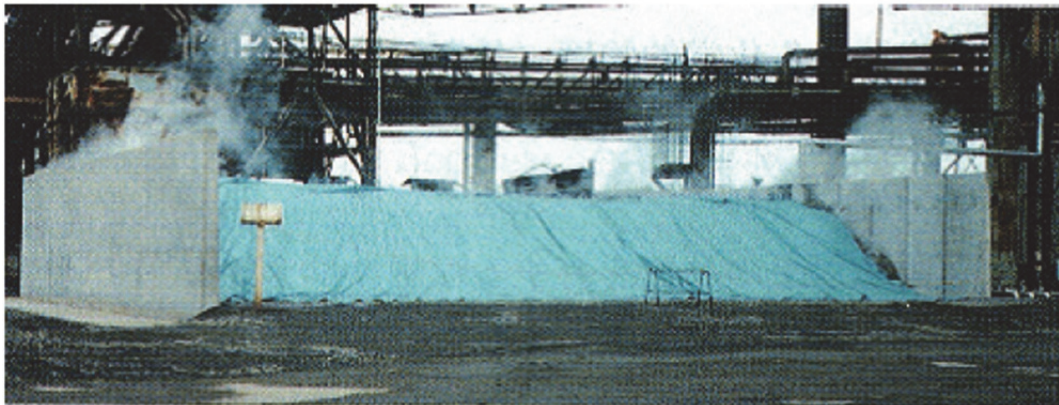


圖 21 蒸汽熟成設備<sup>[45]</sup>

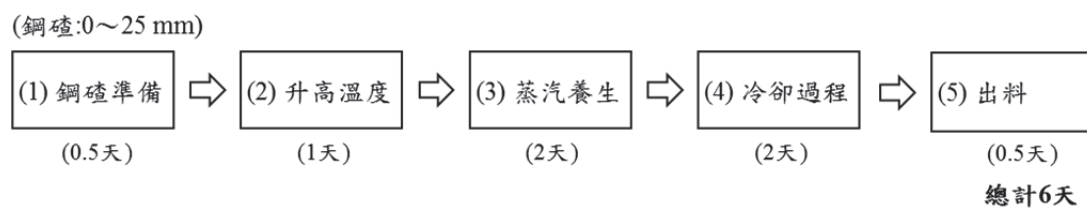


圖 22 煉鋼爐渣蒸汽熟成處理流程<sup>[45]</sup>



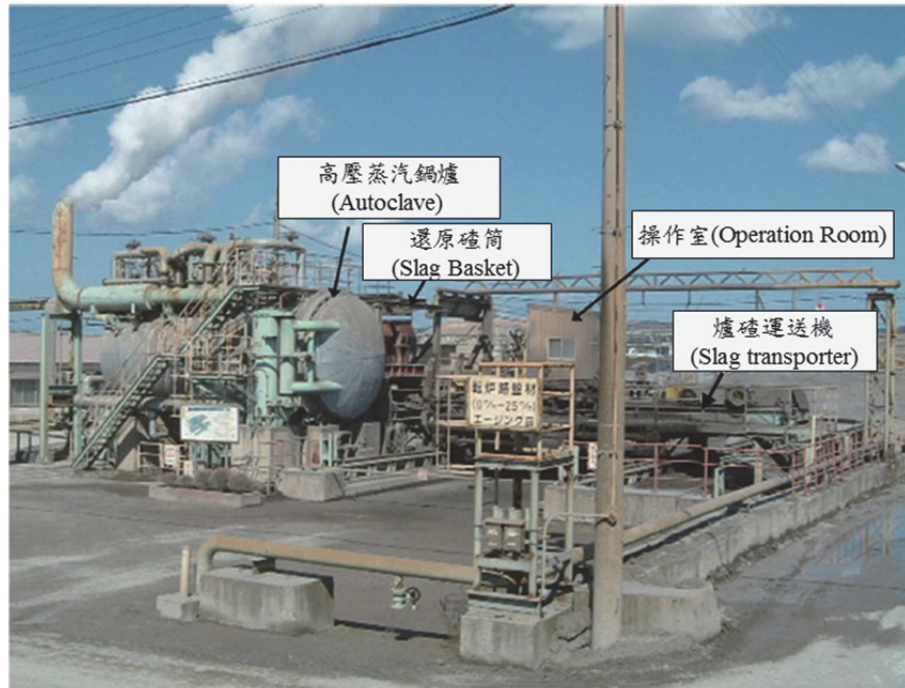


圖 25 加壓蒸汽熟成設備<sup>[45]</sup>

無論如何，由於鋼渣中含有一定量的  $f\text{-CaO}$  和  $f\text{-MgO}$ ，在沒有完全消解的情況下，如果直接使用會引起體積膨脹導致安定性不良，故控制或消解鋼渣中的  $f\text{-CaO}$  和  $f\text{-MgO}$ ，使其含量處於體積穩定性良好的可控範圍內，是鋼渣建材資源化利用的前提，否則結果不堪設想。再者還要考慮鋼渣的活性、細微性和均勻性等重要指標，這就有賴選擇適用、優質和經濟高效的鋼渣安定化預處理技術。基本上，台灣鋼渣再利用及鋼廠，建議建立針對渣性不同之鋼渣進行高壓蒸汽對膨脹率之探討，再選用適宜的安定化設備。



### 3.4 鋼渣處理技術的選擇

在大陸已經有很多產業處理過鋼渣，經驗豐富，這些經歷都可供臺灣鋼渣再利用廠商之參考，茲將大陸鋼鐵企業選擇的高效鋼渣預處理技術說明如下：

#### 1. 粒化輪加上熱焔技術

此技術是將粒化輪法和熱焔法二者進行有效的組合，發揮粒化輪法處理液態渣效率高和熱焔技術能有效處理液態渣、固態渣及較差流動性渣的優勢，從而使鋼渣的處理能力得到有效提高，而且獲得的鋼渣細微性好， $f\text{-CaO}$  和  $f\text{-MgO}$  得到有效消解，能達到道路及水泥混凝土添加料的應用要求。大陸一些鋼廠如沙鋼、柳鋼和水鋼等選擇該組合技術。

#### 2. 風淬加上熱焔技術

此技術也是將風淬法和熱焔法進行有效的組合，在發揮熱焔技術有效處理液、固態渣的基礎上，結合風淬法處理液態渣速度快、鋼渣細微性和體積安定性較好的優點，獲得一個較佳的鋼渣處理成本和效率。此組合技術具有技術簡單、投資較少、鋼渣性能好的優點，但其也存在少許粉塵、蒸汽、噪音等環保方面的不足。目前，大陸的一些鋼廠如重鋼、成鋼和馬鋼等選擇該組合技術。

#### 3. 熱焔技術

熱焔法對鋼渣的適應性很廣，見圖 26 所示，固態渣、液態渣均能得到有效處理，而且其技術簡單、投資成本低，鋼渣中  $f\text{-CaO}$  和  $f\text{-MgO}$  的消解充分，安定性良好，這為鋼渣的建材資

源化利用提供了良好的品質保證。目前，新近投入運行或改造的鋼渣處理技術廣泛選擇此技術，如鞍鋼、首鋼、萊鋼等。

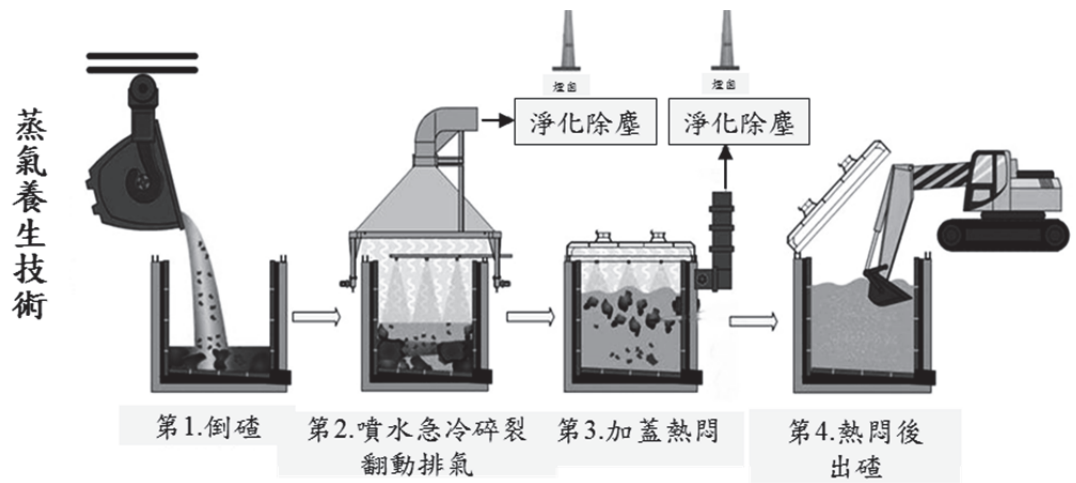


圖 26 鋼渣的熱焗處理技術過程示意圖

### 3.5 高溫重構、碳化處理等對鋼渣安定化的效果

除了鋼渣預處理的傳統方法來改善其安定性外，高溫重構和碳酸化處理是近些年許多研究者探索鋼渣安定化及活性提高的一些新思路與方法。

日本的經驗是還原渣在徐冷後的放置過程中易粉化、不便搬運、易吸收空氣中的水份，使周遭環境惡化，所以過去大多以掩埋方式處置<sup>[80]</sup>。愛知製鋼為有效活用礦物資源並減少副產物，獨自開發出爐渣資源化技術「ANRP(Aichi New Hot Slag Recycling Process)法」<sup>[81]</sup>，這種方法係利用取精煉爐裡殘留的爐渣(也就是「電弧爐還原渣」)中約含 50%的石灰成分、約 20%的螢石，以熔融狀態直接回送熔鐵電弧爐，節省石灰添加量的技術[愛知製鋼株式會社 News Release,<sup>[81]</sup>，這種方法需要設置將取精煉爐鍋搬運至電弧爐上方投入爐渣的吊車，其設備投資金額龐大，一般規模較小的煉鋼廠均無法採用<sup>[80]</sup>。

防止還原渣粉化可添加硼酸鹽，避免  $\beta\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  移相為  $\gamma\text{-}2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ，獲得塊狀還原渣、減少吸水性以提高操作性，一般添加 2.3 wt%量的硼酸鹽可以完全防止粉化。每一個爐次使用 1~2 t 的固化還原渣替代石灰(造渣材)，節省造渣材及事業廢棄物處理費用，且可提升電弧爐生產效率<sup>[80]</sup>。而且從還原渣組成成分推測融點比 CaO 低，所以可提高渣化性<sup>[80]</sup>。還原渣再利用時，對溶鋼中的 B(硼)量、H(氫)量均無影響。S(硫)量隨爐渣的添加量增加而有增加傾向，每一爐次添加 2 t 的量，僅增加 0.001 wt%的 S 量，推估對 LF 操作的影響不大<sup>[80]</sup>，這種方法目前華新麗華公司嘗試的效果良好。

單立福<sup>[82]</sup>研究重構條件對鋼渣中 MgO 存在形式的影響，結果指

出通過 1,300°C 下熱處理並添加適量校正材料，急速冷卻讓結構破壞的最佳重構條件，有利於鋼渣體積安定性的提高。張藝伯等<sup>[83]</sup>採用還原法分離轉爐鋼渣中的鐵元素使其化學組成顯著變化，同時添加的矽鋁質輔料對重構鋼渣的安定性有改善作用。趙海晉等<sup>[84]</sup>在高溫下利用電廠飛灰來對鋼渣進行改性，結果表明電廠飛灰中的矽鋁質玻璃體在高溫下會重新熔融，吸收鋼渣中的 f-CaO，使重構鋼渣體積安定性提高，唯應注粉塵的問題。黃世爍等<sup>[85]</sup>研究酸性氧化物對轉爐鋼渣的改性作用，結果顯示 SiO<sub>2</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 可有效降低鋼渣中 f-CaO 含量，提高其體積安定性。李召峰<sup>[86]</sup>研究認為通過高溫重構可優化鋼渣物相組成，控制鋼渣中 MgO 的分佈，使 Mg 從游離態轉變為以 RO 相存在的化學態或膠結礦物中的固溶態，降低 f-MgO 含量。

張豐等<sup>[87]</sup>研究碳化養護對鋼渣混凝土體積穩定性的影響，結果指出鋼渣中的 f-CaO 在碳化養護中可發生碳化反應生成 CaCO<sub>3</sub> 或 C<sub>x</sub>Mg<sub>1-x</sub>CO<sub>3</sub>，從而使鋼渣混凝土的體積穩定性明顯改善。曹偉達等<sup>[88]</sup>研究發現碳化養護可提高冶鋼渣-熟石灰砂漿的體積安定性。吳昊澤<sup>[89]</sup>、趙華磊<sup>[90]</sup>、張林菊<sup>[91]</sup>等也利用碳化養護鋼渣基膠結材料製造出力學性能優異，體積安定性合格的建材製品。然而目前這種還原渣碳化安定法僅止於試驗室階段證明可行，未來可以利用台灣電力公司排放的 CO<sub>2</sub> 來進行體積安定性的放大試驗，以進行規模化量產前準備。



## 第四章 國內電弧爐還原渣安定化製程建議

### 4.1 適合國內應用之安定化製程說明

目前臺灣鋼渣再利用廠商大都以固態渣為主，若未安定化則一旦添加入水泥混凝土或瀝青混凝土中，易產生混凝土爆裂、表面爆孔、及路面波浪不穩定的現象，見圖 1 及圖 3 所示<sup>[6, 12]</sup>。經由大陸鋼廠的經驗，見表 7 所示各種鋼渣安定化的方法及優劣點，各鋼廠的鋼渣渣性不相同，採取的安定化方法也必然不同，無法一以概之，也就是鋼渣的處理及應用均應有一配套措施，必須作長期的試驗觀察分析，並且未來如果能以大數據的配比方法，加上國內外的大量試驗資料來印證，將可以讓鋼渣的應用更貼合實際，也能保證鋼渣不會產生膨脹爆開現象，保障工程結構品質在安全性及耐久性上的滿足，更能夠資源再利用，節能減碳永續發展。

臺灣鋼渣的處理，由於地狹人稠，環境不容許污染，也沒有空間堆置鋼渣進行自然風化熟成，所以鋼渣的利用必須更有效率及科學化<sup>[12]</sup>。以目前臺灣如果不銹鋼廠有足夠廠區可以處理熱鋼渣，則建議能由液態渣產生時即加以處理，建議可以採用「粒化輪加上熱焗技術」、「風淬加上熱焗技術」或「熱焗技術」，見表 7 所示<sup>[79]</sup>。2016 年唐榮公司已完成常壓蒸汽熱悶安定化設施，並運轉操作。但是如果無足夠廠區可以處理，或統一由鋼渣處理業者共同處理，則以固態渣為主，此時則建議以「高溫蒸汽養生技術」較為經濟，但是後續必須加以研磨，使渣性更佳。目前台灣鋼聯已完成評估工作，曾組團至日本、歐盟義大利及德國、和大陸鋼鐵廠參訪學習，並也收集相當多寶貴的設廠資訊。不過決定使用方法前仍須先參考國外設備廠的技術水準，及使用過的實際績效，必須獲有長期穩定資料及試驗資訊供參考，並且

依據各廠鋼渣的特性量身定做較為適宜。將來臺灣鋼聯成立聯合鋼渣處理公司，宜以材料科學及冶金技術，經過高壓蒸鍋技術及加上磨細方法，因為磨細的工作相當重要，細度宜進行試驗評估，一般以小於  $5\ \mu\text{m}$  為適宜之尺寸，見圖 27<sup>[3]</sup>，理論上應可以大量消解膨脹量，唯研磨細度仍宜先加以測試，找出最佳及最經濟的細度，作為未來研磨的依據。同時須建立標準試驗方法，針對水泥、砂漿及混凝土進行膨脹試驗，透過小型高壓蒸鍋測試不同蒸汽溫度壓力下，不同還原渣源、顆粒粒徑，比較還原渣安定化後 f-CaO、MgO 及 RO 相的改變，以及對還原渣料、水泥漿、水泥砂漿及混凝土的膨脹量及劣化的比較，建立合理的資訊，供作後續產品規劃的知識庫。而且建議添加飛灰、高爐石粉製作三組分的混合料，或添加回收橡膠，有效控制製成平衡膨脹及乾縮之混凝土材料，相信只要有良好的工程品質表現，則鋼渣資源化的應用會成為更大的利基，創造優質的綠色產業鏈。

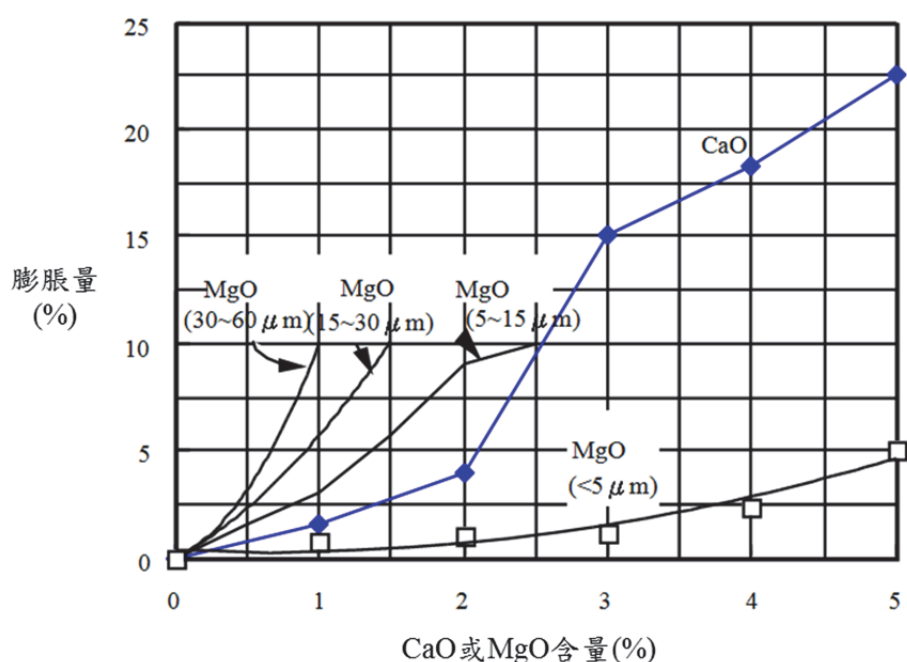


圖 27 細度對鋼渣膨脹量的影響

## 4.2 安定化製程規劃

由文獻中提及目前日本爐碴安定化處理方式可分為兩種，一種為露天式蒸汽安定化處理方式，採用三面封閉之箱型結構，見圖 20 及圖 21，於底部設置蒸汽管道，將空氣冷卻的鋼碴倒入後，通以蒸汽進行安定化處理，處理時間約需 6 天，且每噸爐碴需消耗 140~250 Kg 之蒸汽；另一種為高溫高壓蒸汽安定化處理方式，見圖 23 及圖 24，將慢冷爐碴經破碎後裝入料倉中，以台車移動將料倉移至壓力罐內，密封後通入蒸汽，操作溫度為 158℃ 及壓力為 0.6 MPa，處理時間約需 3 小時，每噸爐碴消耗約 85 Kg 之蒸汽，處理後之爐碴再由料倉卸至堆料廠，兩種處理方式所需的時間皆不長，且處理後之爐碴穩定性佳。所以規劃爐碴安定化所採用之設備及處理流程如圖 28 所示。唐榮公司 2016 年末已完成露天式蒸汽安定化處理方式，而燁聯鋼鐵集團正規劃進行中，台灣鋼聯則已規劃高溫高壓蒸汽安定化處理方式，2017 年即將興建。將經過破碎及篩選過後之爐碴藉由密封容器加熱後產生之壓力及蒸汽，加速水與游離氧化鈣、氧化鎂反應，縮短整體安定化所需之空間及時間，並以利後續各項再利用產品之應用，流程說明如下：

1. 以輸送帶輸送經破碎及篩選程序後之爐碴進入泡水儲坑，以簡易之泡水程序進行預處理，處理周期為 1 天。
2. 泡水儲坑放置 1 天之爐碴利用輸送帶輸送至壓力倉，進料後將上下之倉門關閉，利用外部設置之熱媒油夾套式加熱器進行加溫，最高操作溫度為 200℃，使爐碴自身含水轉化為蒸汽造成蒸汽壓更進一步與氧化鈣及氧化鎂反應而達安定化之作用。處理周期為 3 小時。

3. 經由蒸汽及壓力安定化後之爐碴落入風乾儲坑降低爐碴含水率，處理周期為 1 天。
4. 最後將處理過後的爐碴以輸送帶輸送至料倉儲放或經製砂機破碎至砂質粒徑後再行儲放，等待出貨。

包括以下單元：

#### (1) 泡水儲坑

泡水儲坑作用為將爐碴經初步安定化反應，並吸水後至後端壓力倉加熱產生蒸汽更進一步進行安定化處理，儲坑用水並不需特別要求，可以地下水、雨水及製程循環用水等使用，且僅於揮發後進行補水動作即可。規劃可儲放空間建議至少 2 日，槽體以混凝土土建即可。

#### (2) 高壓蒸鍋養護

高壓蒸鍋壓力倉功用在於可儲放泡水之爐碴，並藉由外部設置之熱媒油夾套式加熱器加熱後產生蒸汽及壓力，對爐碴進行安定化處理，但由於爐碴為鹼性且有壓力產生，壓力倉倉壁材質需以耐腐蝕材料及相當之結構厚度製作。壓力倉設置熱媒油夾套式加熱器及壓力控制閥(壓力過大時進行釋放控制)，處理時溫度為  $200^{\circ}\text{C}$  及壓力  $2\text{ kgf/cm}^2$ 。

#### (3) 蒸汽冷凝器

壓力倉處理後及壓力過大釋放之蒸汽以管線收集並經由蒸汽冷凝器將水回收至泡水儲坑循環利用。

#### (4) 風乾儲坑

風乾儲坑空間規劃同泡水儲坑，槽體以混凝土土建即可，另設置有滲出水溝可將滲出水收集循環至泡水儲坑利用。

### (5)製砂機

利用製砂機製作一部份粒徑相近之產品供有規格需求之廠商利用，提高鋼渣商品化程度。採用直通衝擊式破碎機，利用高轉速及重力加速度使爐渣互相撞擊破碎，藉此達到細碎及粗磨之功能，進料粒徑<50 mm，出料粒徑 1-15 mm。

### (6)料倉

處理過後之爐渣需料倉儲放，規劃時需考量整體廠區運作及去化需求，空間以配合去化端之需求量做規劃，建議至少可儲放時間為 10 日。

### (7)輸送帶(機)

各階段爐渣之運送規劃以輸送帶進行，其主要功用在於使產線工作便利，減少大型運輸機具及人力使用。

### (8)污染防治設備

由於處理廠會應用到許多大型重機械，在運作過程中會產生噪音、揚塵等污染問題，因此必須設置污染防治設備，維護整體環境品質。

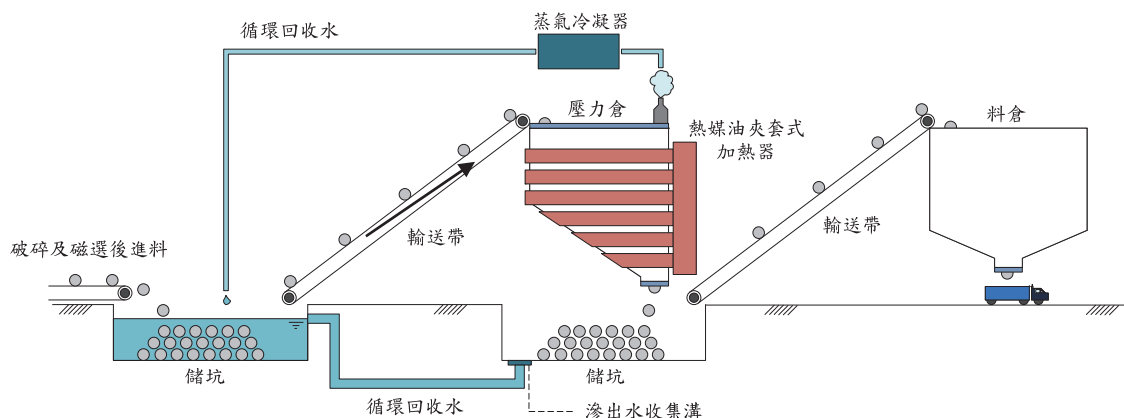


圖 28 安定化設備及流程示意圖

### 4.3 安定化處理廠規劃評估要件

為設置爐碴安定化處理廠，首要考慮的條件有以下五項：

#### 1. 爐碴之來源、數量、品質

設置處理廠時需考量爐碴之來源是否穩定，需配合整體產線進行各項參數之規劃，而量及品質更是影響後端處理後之產品能否供給下游再利用廠商良好之穩定度，將是去化的重要關鍵。未來如欲供給再利用廠商進行各種產品量產，必須定期進行產品品質檢測並做好製程控制，能供應穩定之量及品質才能獲得再利用廠商之青睞。

#### 2. 處理規模

依爐碴之產生量，若處理廠僅以還原碴做為首要處理目標規模可不必太大，未來視市場及整體需要考量進一步擴大處理規模之必要性。

#### 3. 市場需求

目前許多天然材料價格較高，相較之下如爐碴能夠有穩定之品質及供應量，實為許多再利用廠所希望利用之原料，只要價格合理，應能被下游再利用廠商所接受及採用。

#### 4. 場址位置選定

##### (1) 靠近料源

靠近料源可減少運輸成本及方便管理，減少如油價上漲、輸送中斷等風險機率，因此如能設置於現行鋼鐵廠區域內或鄰近地區較佳。

##### (2) 交通便利

主要考量運輸時之成本，選擇設置於交通便利處或主要幹道附近較為妥當。

### (3)水電供應無虞

因屬於重機械作業及大量溢散源之緣故，機械操作的電力耗費及各項清洗所需的用水較大，所以水電供應必須妥善規劃設置。

### (4)場地面積

因爐碴生產量龐大，須考量原料及產品儲存、各項機具設置及污染防治設備等，整體所需空間，用地必須謹慎規劃及選擇。

### (5)鄰避效應

廠區運作時會有許多運輸車輛進出，可能會造成揚塵、噪音及路面破損等問題影響鄰近地區居民生活，因此規劃時需將可能之公害問題釐清及規劃因應辦法，避免衍生諸多不必要的干擾。

## 5. 投資設置方式

可規劃爐碴生產者、爐碴處理者及爐碴再利用者共同投資，使整體去化管道中斷風險降低，且可有效降低整體處理成本。

## 第五章 再利用規劃

### 5.1 安定化後之再利用產品說明

#### 1. 國外還原碴再利用狀況

根據目前相關研究文獻資料指出<sup>[18]</sup>；德國於 1998 年對鋼碴(含還原碴)的利用<sup>[35]</sup>，提供道路工程佔 40.5%，循環再應用佔 17.1%，提供回填材料佔 5.8%，提供肥料應用佔 5.4%，提供建材利用則佔 26.0%。日本對鋼碴的再利用項目與德國相同，但利用率更高達 97% 以上。至於美國煉鋼爐碴的利用，依美國鋼鐵爐碴協會統計 2008~2014 年資料<sup>[92]</sup>，再利用以道路基材的鋪設最多，其次為填築材料及瀝青混凝土粒料，每年總使用量約為 5,700~8,700 仟公噸之間，美國爐碴再利用情形詳如表 8 所示。顯示各國皆能發現鋼爐碴具有相當的經濟價值，積極開發多項再利用的途徑。圖 13 則為美日歐鋼碴再利用的概況，足見鋼碴再利用為資源化之重要途徑。

表 8 美國煉鋼爐碴再利用狀況<sup>[92]</sup>

用途 \ 年分 使用量百分比	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
	% <sup>1</sup>						
瀝青混凝土 Asphaltic concrete	10.9	8.2	3.6	12.1	8.6	16.0	11.9
道路基底及表面層 Road bases & surfaces	60.3	59.9	42.5	46.8	45.8	49.7	49.7
填築料 Fill	10.8	12.7	32.3	19.3	23.6	15.6	12.6
水泥生料 Clinker raw material	5.0	2.2	2.4	4.7	1.8	3.3	2.6
各式用途 <sup>2</sup> Miscellaneous	0.5	0.5	0.3	—	0.5	1.5	1.2
其他 <sup>3</sup>	12.7	16.5	18.9	17.1	19.7	13.9	22.0
鋼爐碴再利用總量	百萬公噸						
	8.7	5.7	8.3	7.3	8.2	7.8	8.2

註 1：表示佔使用總量之百分比

註 2：包含鐵路道碴、屋頂、礦棉及土壤改良劑等用途。

註 3：包含回爐再利用量及其他用途。



## 2. 國內外還原渣再利用途徑

電弧爐爐渣依冶煉鋼鐵程式可區分為氧化渣及還原渣兩大類，此兩種爐渣於中國大陸是歸屬於鋼渣類(Steel Slag)<sup>[93]</sup>，若透過適當安定化處理，則可將此鋼渣資源化而有效利用。通常煉鋼氧化渣可作為道路級配或取代混凝土粒料使用，依據研究文獻指出<sup>[94]</sup>，氧化渣不會對環境造成影響，而且大致符合一般混凝土粗粒料的要求，而若以適當的級配混合氧化渣亦能順利拌製成適宜的混凝土，甚至於強度發展方面比使用天然粒料混凝土佳。至於還原渣因具有粉化的細小顆粒，而且化學成份與煉鐵另一種高爐水淬爐石渣相似，應可朝附加價值較高的水泥材料的應用方向發展<sup>[93]</sup>。目前鋼渣的應用方面大致可作為以下幾種資源化處理<sup>[94]</sup>。

### (1) 水泥砂漿及混凝土之添加料

由於煉鋼爐渣具有水化活性，因此可提供為普通矽酸鹽水泥的添加料。添加 10~15 %煉鋼爐渣可生產普通矽酸鹽水泥，而且對其特性並無不良的影響，只是研磨較其他原料困難。因此有以細度為  $4,500 \text{ cm}^2/\text{g}$  還原渣取代 20%水泥材料之水泥砂漿研究<sup>[93]</sup>，結果顯示抗壓強度超過全部為水泥膠結料之砂漿強度，具有提昇力學強度之效應。此外對於鋼渣混合飛灰(Fly Ash)材料拌製成水泥砂漿之研究結果<sup>[95]</sup>，水泥砂漿之乾燥收縮與抵抗硫酸鹽侵蝕性，皆比沒有添加這兩種材料為佳，對於體積穩定性明顯有幫助。這些先前對鋼渣應用於水泥添加料的研究，多數皆肯定鋼渣是可提供作為部分水泥的膠結材料。另外亦有相似應用還原渣取代水泥應用於水泥砂漿之研究指出<sup>[96]</sup>，基於還

原渣活性不如水泥材料，導致隨著還原渣取代水泥量的增加，終凝時間因而延長，約可長達 2 小時。但經由水泥砂漿的硬固力學試驗結果，顯示抗壓、抗拉強度的最佳添加量在 10~20% 之間。鋼渣亦有作為水泥生產原料及水泥取代材料，效果各有不同，必須事先加以評估確認。

根據還原渣取代水泥材料拌製混凝土之相關研究指出<sup>[97]</sup>，還原渣取代水泥量愈多，相對新拌坍度值有愈大的正面效益。而依據另一電弧爐渣取代粗粒料對混凝土材料之可行性研究顯示<sup>[98]</sup>，混凝土抗壓與抗彎強度亦隨取代還原渣量增多，有增高的趨勢。

然而亦有學者研究指出<sup>[99]</sup>，鋼渣應用於混凝土膠結材料於土木工程中，必須注意游離石灰含量的副作用，特別是使用顆粒較大的鋼渣，因為當它遇水作用時會造成體積的膨脹而產生內部應力，造成結構爆裂。另一可能造成潛在膨脹因素是 f-MgO 的含量，因鋼渣於冷卻過程中，顆粒將氧化鎂包裹於內部，若於混凝土的長期水化反應進行中，亦會出現體積膨脹問題<sup>[100]</sup>。這就是前述提到為何中國大陸學者建議，鋼渣應用於水泥添加料前應作安定化處理的原因，需先消解 f-CaO 及 MgO 成份或降低至規範標準之下，才適合資源化應用。所以臺灣鋼渣處理業者必須將還原渣完全安定化後，則可以搭配飛灰、高爐石粉、廢輪胎粉有效當作水泥添加料。

還原渣可應用於製作高強度高性能混凝土(HPC)<sup>[101]</sup>，具備優良耐久性性質。還原渣應用 HPC 之模式如表 9 所示。

表 9 電弧爐煉鋼還原渣應用 HPC 之模式<sup>[101]</sup>

爐渣種類	f-MgO 含量 (%)	f-CaO 含量 (%)	28 天需求強度 fcr(psi)	2 年需求強度 fcr(psi)	W/B	W/C	取代膠結料量比率 (%)	拌合水量 (kg/m <sup>3</sup> con.)	顆粒細度 (cm <sup>2</sup> /g)
不銹鋼渣	<8	<1.2	7,500	12,000	0.28	0.41~0.42	15±2	160±5	>3,000
			5,500	10,000	0.32	0.51~0.53	20±2	160±5	>3,000
			4,000	8,000	0.40	0.77~0.80	25±2	160±5	>3,000
碳鋼渣	<14	<2.4	7,500	12,000	0.28	0.41~0.42	5±1	160±5	>3,500
			5,500	10,000	0.32	0.51~0.53	5±1	160±5	>3,500
			4,000	8,000	0.40	0.77~0.80	5±1	160±5	>3,500
混合渣	<10	<2.0	7,500	12,000	0.28	0.41~0.42	5±1	160±5	>3,000
			5,500	10,000	0.32	0.51~0.53	5±1	160±5	>3,000
			4,000	8,000	0.40	0.77~0.80	5±1	160±5	>3,000

註：設計強度(f'c)必須依據 CNS 12891 規定；以 fcr 計算獲得。

## (2)煉鋼爐渣白水泥

還原渣除含有大量的 C<sub>3</sub>S、C<sub>2</sub>S 外，並具有很高的白色度，若與鍛燒石膏及少量添加劑混合，並且經過研磨後即可調配出符合#325 標準的白水泥材料。利用還原渣製成白水泥，具有低耗能、高效益及投資低等多項優點<sup>[94]</sup>。

## (3)道路基材與回填工程材料

煉鋼爐渣抗壓强度高，經過適當浸水安定化後性能已趨於穩定。目前已能充分作為工程回填材料或道路面層下之基材，如控制低強度材料(CLSM)等<sup>[102]</sup>，特別是因爐渣具有活性，遇水能結成板塊狀，非常適用於有水池或潮溼區域之築路工程。惟此種用途對於爐渣之粒徑要求不可過細(粒徑>4.76 μm)，最大

粒徑亦不宜超過 300  $\mu\text{m}$ ，而且粉化率以不超過 5%為限<sup>[94]</sup>。

#### (4)軟土土壤改良

用還原碴改良超軟弱質的浚渫土土質<sup>[103]</sup>，其室內及現場實驗的相關結果顯示，還原碴與超軟弱質的浚渫土混合，可以改良土壤的單軸壓縮強度增加。依還原碴的乾濕種類(徐冷後自然粉化之乾粉與灑水防塵之濕粉)，乾粉的改良效果較濕粉佳；養生 91 天之後，乾粉與濕粉的單軸壓縮強度差距會變小；如果將乾粉還原碴的 10~20%替換成石膏的話，單軸壓縮強度會更強。還原碴與超軟弱質的浚渫土混合做現場實驗時，改良的浚渫土成為可以堆疊、轉壓的用土。並且得知這些可堆疊土的強度與添加 5%水泥的一般軟質弱土改良法的用土強度幾乎相同，可以做水泥代替材。這次的實驗中，以混合 20%乾粉的改良土壤最好。如果添加乾粉 30%、乾粉 16%+石膏 4%的話，則會出現乾粉塊和石膏塊；而如果添加 30%濕粉的話，與浚渫土混合後要獲得可堆疊強度的用土約需 50 天左右。還原碴可以增進改良土強度的機制為，還原碴所含尚未與水反應的  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  等鹽基性成分，其礦物相的水和反應可以增進改良土的強度。

#### (5)建材製品

將還原碴與飛灰一定比例混合，再經過研磨至某一程度的細度，加水拌合、成型、蒸汽養生與硬固等製造程式，即可視需求產出不同規格的磚、瓦及預鑄混凝土版等建材，惟使用前仍需控制 f-CaO 及 f-MgO 的含量與鹼性度<sup>[94]</sup>，以防爆開現象的發生。

#### (6)綠色膠結料

按照還原碴的化學成分及特性，因介於水泥及高爐石粉間，可以利用鹼激發方式，製作鹼激發膠結料(AAM)，或凝膠聚合物(GP)<sup>[104]</sup>，提昇還原碴的經濟價值。

#### (7)其他應用

其他有關鋼碴應用方面的知識可以透過 Sakuraya 的文獻回顧<sup>[105]</sup>及國內外研究資料可以獲得相當的觀念。但不論如何，鋼碴完全安定化為鋼碴再利用的先決條件。

## 5.2 還原渣安定化後之再利用規劃

有鑑於以往曾發生爐渣未經完全安定化處理，而工程單位元誤用或因管理不當混用而影響營建或公共工程品質之情事，甚至導致施工單位元或工程發包機關拒絕使用再利用產品，而造成再利用通路受影響。鋼鐵產業為國家重要之產業，協助煉鋼爐渣之妥善處理及再利用為經濟部責無旁貸之務，因此除全力提供技術輔導外，更於法規面加強爐渣之再利用管理，於 105 年 6 月修訂「事業廢棄物再利用管理辦法」第三條附表「編號十四、電弧爐煉鋼爐渣（石）」再利用管理方式。

在再利用用途方面修正如下：

【氧化渣(石)】：水泥原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、控制性低強度回填材料用粒料原料、控制性低強度回填材料原料或鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料。

【還原渣(石)】：水泥原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料或鋪面工程(道路、人行道、貨櫃場或停車場)之基層或底層級配粒料原料。但不銹鋼製程產生之還原渣(石)用途為水泥原料。

對照修訂前後的再利用用途，有以下幾點差異：

1. 在新修訂的再利用用途中，將氧化渣與還原渣區分開來。且增訂氧化渣(石)膨脹性檢測相關規定；及明定還原渣(石)安定化執行單位應具安定化處理設備。
2. 刪除水泥製品、混凝土粒料原料、非結構性混凝土原料等公告再

利用之用途。

3. 增列使用於控制性低強度回填材料用(CLSM)粒料原料、控制性低強度回填材料原料，但僅限於氧化碴，不包含還原碴。

然而，依據前節所述，還原碴經安定化後可有許多廣泛之用途。而各種再利用用途中，不外乎利用其以下三種功能：

1. 替代砂石細粒料：可用於瀝青混凝土粒料、水泥建材製品等，替代比例可達 30%，可視再利用產品所需之抗壓強度、坍度而調整替代比例。
2. 取代水泥：可提高卜作嵐活性發揮與如同水泥之膠結功能，用於水泥砂漿之摻配料用途。若以卜作嵐活性至少 75%為目標，取代水泥之摻配率最高可達 30%，而 20%則為保守建議之摻配率。
3. 製作鹼激發膠結料(AAM)或凝膠聚合物(GP):按照還原碴的化學成分及特性，因介於水泥及高爐石粉間，可以利用鹼激發方式，製作鹼激發膠結料(AAM)，或凝膠聚合物(GP)，提昇還原碴的經濟價值。

但是除公告再利用以外的上述各項再利用用途，皆必須經實證，並依再利用管理辦法第 3 條第 4 項之規定，向經濟部工業局申請再利用許可。其中包括兩大部分：

第一是粒料之安定化(可由煉鋼廠自行進行或由再利用機構進行)。安定化相關技術及製程選擇、操作條件等如本報告所述，可依業者之場地、規模等評估設置，但安定化後之粒料氧化碴必須依 CNS 15311「粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法」檢測一次，經檢測之七天膨脹量未超過 0.5 %者始得進行再利用。還原碴則必須依 CNS 15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法檢測一次，經檢測之七天膨脹量未超過

0.5 %者，始得進行再利用。

第二是再利用產品品質符合相關標準或規範。

考量國內電弧爐煉鋼廠每年產生之爐碴(包括氧化碴與還原碴)約高達 150 萬噸，因此再利用建議以「去化量大」為重點，工程粒料、混凝土添加料為主要用途。

1. 工程粒料包括混凝土粒料、級配料、瀝青混凝土鋪面粒料級配料、控制性低強度回填材料(CLSM)等。工程粒料另可作為各種水泥製品(混凝土地磚、空心磚等)之替代天然砂石之原料，產品之品質性能也應符合相關之國家標準。相關之標準或規範如下：

(1) CNS 1240(混凝土粒料)、CNS 15305(級配粒料基層、底層及面層用材料)、CNS 15358(公路或機場底層、基層用碎石級配粒料)、CNS 15310 (瀝青鋪面混合料用鋼爐碴粒料)。

(2) 粒料若作為水泥製品原料，其產品應分別符合之國家標準包括 CNS 13295(高壓混凝土地磚)、CNS 8905(混凝土空心磚)、CNS 14995(透水性混凝土地磚)、CNS 3803(磨石子地磚)等。

(3) 瀝青混凝土及控制性低強度回填材料產品應符合公共工程施工綱要規範第 03377 章 v7.0「控制性低強度回填材料」之品質(性質)項目檢驗。

2. 混凝土添加料：應符合 CNS 3036 (混凝土用飛灰及天然或煅燒卜作嵐攪和物)之規定。若具有卜作嵐活性 75%以上，最高可替代 30%之水泥生產綠混凝土。

但是目前為了能開發未來還原碴的創意使用，僅以 CNS 15311 規範量測膨脹量小於 0.5%，這僅是瀝青混凝土粒料的規定，是否適用



於在水泥混凝土材料上，是值得懷疑的。所以建議仍然須進行最終標的物的檢測，利用水泥健性試驗、水泥砂漿及混凝土柱狀試體，在高壓蒸汽(Autoclave)下熱壓膨脹，量測其膨脹量及觀測劣化裂縫狀況。這些規範仍待相關單位與標檢局進一步訂定。

為加強資源再生產品之通路，經濟部工業局正推動資源再生綠色產品認定制度，並正研擬再生粒料、再生級配料兩項資源再生綠色產品認定之規格標準草案，並已召開產學界之諮詢會議。

包括氧化碴與還原碴在內之煉鋼爐碴，若經安定化後符合經濟部事業廢棄物再利用管理辦法之規定，所生產之混凝土粒料與級配料兩項資源再生產品，若使用回收料高於一定比率，且能源使用量及用水量低於公告限值，未來將可申請成為資源再生綠色產品。

此外，內政部所制定之綠建材標章中，亦對於混凝土粒之再生綠建材標章有如表 10 所示之相關規定，故爐碴安定化後也可以申請再生綠建材標章。

環發會與台科大研究團隊曾以國內某不鏽鋼廠之氧化碴與還原碴進行安定化處理，並取安定化後之氧化碴、還原碴分別進行製備水泥製品(高壓磚)、混凝土及 CLSM 等再利用用途，皆可符合國家標準及相關之規範。

表 10 混凝土粒料再生綠建材評定基準

建材項目	可使用之回收材料	再生材料 使用比率	品質試驗項目及方法	特殊要求或分級規定	參照之標準或規範及備註
7. 混凝土粒料 Concrete aggregates	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等。	回收材料之比率如下： 細粒料應佔 80 % 以上。 粗粒料應佔 50 % 以上。	應符合 CNS 1240 所有品質試驗項目之規定，但其中細粒料級配之篩分析若為 CNS 1240 第 2.2.2 與第 2.2.3 節之情形者，應說明篩分析結果。	粗、細粒料依 CNS 14891 之定義，粗粒料為停留於標稱孔寬 m 之試驗篩者；細粒料為通過標稱孔寬 m 試驗篩，而主要部份停留於標稱孔寬 75 $\mu$ m 試驗篩者。	CNS 1240

資料來源：內政部建築研究所，綠建材解說與評估手冊，2015 年版。

## 5.3 日本煉鋼爐渣資材化管理

### 一、日本煉鋼爐渣產品的資材化歷程

日本是從 1901 年在九州的八幡製鐵所開始煉鋼，所產的爐渣多半在煉鋼廠內當石材消耗掉。1926 年制訂高爐水泥的日本標準規格 JES 第 29 號。60 年代的高度經濟成長期，鋼鐵需求大增，都在沿海地區擴廠增產，大量採用爐渣作填海造地等土木工程資材，因此累積了有效活用爐渣資材的技術與知識 (know-how)。

石油危機之後，社會逐漸開始重視節能、省資源，於是組織「日本鐵鋼爐渣協會」推動爐渣資材 JIS 規格化。經過 100 年來的努力，所獲得的技術與社會大眾的信賴，爐渣得以廣泛運用在水泥、路基、土木工程、港灣工程、混凝土骨材等資材。現在日本煉鋼爐渣產出量的 99% 均已資材化(電弧爐渣產品適用規格及指針等如表 11 所示)，不僅充實社會基礎建設，同時隨著社會環境的進步，新的利用技術也不斷在研發中。例如瀨戶內海禁採海砂，天然砂石資材減少，期以煉鋼爐渣替代海砂。海岸、港灣地區的大規模護岸、碼頭工程等所需大量資材，可由沿海地區的煉鋼廠利用船舶，大量、迅速且方便地運送到遠處工地，而且爐渣可改善海洋環境，也是魚場的養份。

表 11 電弧爐渣產品適用規格及指針

JIS A 5015	道路用鉄鋼スラグ
JIS A 5011-4	コンクリート用スラグ骨材-第4部：電気炉酸化スラグ骨材
JIS A 5308	レディーミクストコンクリート
JIS Z 0312	ブラスト処理用非金属系研削材
JSTM H 8001	土工用製鋼スラグ碎石
(公社)日本道路協会	舗装施工便覧
鉄鋼スラグ協会	製鋼スラグ路盤設計施工指針
鉄鋼スラグ協会	製鋼スラグを用いたアスファルト舗装設計施工指針
(公社)土木学会	電気炉酸化スラグ骨材を用いたコンクリートの設計・施工指針(案)
(一社)日本建築学会	電気炉酸化スラグ細骨材を用いるコンクリートの設計施工指針(案)・同解説
(一財)沿岸技術研究センター 鉄鋼スラグ協会	港湾工事用製鋼スラグ利用手引き書

## 二、環境友善性的管理

日本的煉鋼爐渣產品的品質管理，雖然已有 JIS 等規格規範，但並沒有環境安全面的品質管理檢測標準。而日本政府在 1991 年公布「日本土壤環境基準」、2002 年訂定「土壤污染對策法」，所以日本鐵鋼爐渣協會在 2005 年制訂煉鋼爐渣產品管理指引，其目的在於訂定爐渣製造、銷售者應遵守事項，是為該會會員順利銷售煉鋼爐渣產品，同時也為買家(需要者)發揮產品特性適當正確使用。為掌握爐渣產品的安全品質，訂定有「爐渣的化學物質試驗方法(溶出量：JIS K 0058-1、含量：JIS K 0058-2)」(環境 JIS 法)，其項目均按照前述日本政府公布之法令基準做檢測分析。

電弧爐渣是在熔鋼溫度達 1,500~1,600°C 的高溫下生成的，有機物及戴奧辛類均已被分解，爐渣中並不含有機物及戴奧辛類。因此，在環境保護上必須顧慮的化學物質，就是「日本土壤環境基準」中所訂定的 27 種物質中的鎘、鉛、六價鉻、砷、

總水銀、硒、氟、硼這 8 種物質，因此這 8 種物質的溶出量與含量均列為管制項目，其標準如表 12 所示。煉鋼爐渣產品適用場所及用途之環境安全品質的管理標準如表 13 所示，其中(1)所示為溶出量(JIS K 0058-1)，(2)所示為含量(JIS K 0058-2)。針對不同用途與種類，所取檢驗試料、研判標準、檢測方法、分析項目以及檢測頻率，均有嚴格的規範。一般的碳鋼爐渣大多可通過這個基準如表 14 所示。但有一部分特殊合金鋼的爐渣，不符合該適用場所及用途之環境安全品質的煉鋼爐渣，不得以煉鋼爐渣產品銷售，且必須遵照「日本廢棄物處理及清掃相關法律」規定，交由事業廢棄物處理業者處理。

表 12 土壤中化學物質的溶出量與含量相關標準

化學物質	溶出量(mg/L)	含量(mg/kg)
鎘 (Cd)	0.01 以下	150 以下
鉛 (Pb)	0.01 以下	150 以下
六價鉻 (Cr <sup>6+</sup> )	0.05 以下	250 以下
砷 (As)	0.01 以下	150 以下
總水銀 (T-Hg)	0.0005 以下	15 以下
硒 (Se)	0.01 以下	150 以下
氟 (F)	0.8 以下	4,000 以下
硼 (B)	1 以下	4,000 以下

表 13 煉鋼爐碓產品適用場所及用途之環境安全品質標準

## (1)溶出量

## ①煉鋼爐碓產品適用場所及用途之環境安全品質標準

\*環告 46 號：1991 年 8 月 23 日 日本環境廳告示第 46 號的簡稱

「土壤污染相關環境標準」

\*環告 14 號：1973 年 2 月 17 日 日本環境廳告示第 14 號的簡稱 「防  
止海洋污染等及海上災害相關法律施行令第 5 條第 1 項所規定  
要送至掩埋場所等的廢棄物中所含金屬等的檢定方法」

用途	種類	試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
道路・ 鐵路用	路基材	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5015:2013)	＜環境安全品質檢查＞ 道路用煉鋼爐碓試料	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿*)	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5015:2013
			＜環境安全收交檢查＞ 道路用煉鋼爐碓試料	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿)	5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5015:2013
		上述之外 (其他)	出貨產品	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	瀝青 混合物	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5015:2013)	＜環境安全品質檢查＞ 道路用煉鋼爐碓試料 或 利用模擬試料	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿)	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5015:2013
		上述之外 (其他)	＜環境安全收交檢查＞ 道路用煉鋼爐碓試料	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿)	5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5015:2013
混凝土 用骨材	一般 用途	其他	出貨產品	土壤環境標準值	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
		JIS 品 及 JIS 同級品	＜環境安全品質檢查＞ 高爐碓、電弧爐氧化碓	JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	土壤環境標準 JIS A5011-1,4:2013

	(JIS A5011-1,4:2013)	骨材試料 或 利用模擬 試料		(利用有姿)			
		<環境安全收交檢查> 高爐礫、電弧爐氧化礫 骨材試料	環境安全收交檢查研 判值	JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C (利用有姿)	高爐礫：3 項 (Se,F,B) 電弧爐氧化礫：5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5011-1,4:2013
			土壤環境標準值	JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5011-1,4:2013
		上述之外 (其他)	環境安全品質標準 (港灣用途溶出量標 準)	JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C (利用有姿)	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5011-1,4:2013
	香港 用途	<環境安全收交檢查> 高爐礫、電弧爐氧化礫 骨材試料 或 利用模擬 試料	環境安全收交檢查研 判值	JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C (利用有姿)	高爐礫：3 項 (Se,F,B) 電弧爐氧化礫：5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5011-1,4:2013
			環境安全品質標準 (港灣用途溶出量標 準)	JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C (利用有姿) 及 環告 14 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5011-1,4:2013
地盤 改良材	適用水底土砂標準之用途	出貨產品	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準
	適用水底土砂標準之用途	出貨產品	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準
香港 • 海域 工程	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上	1 次/生產批次	土壤環境標準

土木 ・陸路 工程	可與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	(Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B) 8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B) 8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B) 8 項以上	(1 次/月以上) (1 次/月以上) (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	(Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B) 8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B) 8 項以上	(1 次/月以上) (1 次/月以上) (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	(Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B) 8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B) 8 項以上	(1 次/月以上) (1 次/月以上) (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準 土壤環境標準

\*利用有姿：不打碎試料，直接做溶出檢測。

## ②水和固化體(替代磚塊、碎石)產品適用場所之環境安全品質標準

用途	種類	試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
全部的 用途	適用水底土砂標準之用途	出貨產品	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準

- 註 1) 管轄煉鋼爐產品使用場所的地方政府所訂標準(條令、綱要等)以及指導內容與本表不同時，要遵照地方政府的。
- 註 2) 用途不在表列分類中時，要確認管轄煉鋼爐產品使用場所的地方政府所適用之標準。
- 註 3) 此處所謂水和固化體，必須符合「煉鋼爐渣水和固化體技術手冊 1945 年 2 月(一般財團法人 沿岸技術研究中心)」所訂規格者。
- 註 4) 檢測頻率要依據 JIS A5015:2013。此處所謂生產批次，視每家工廠製造、品質管理等實際情形，製造業者所規定者為準。
- 註 5) 水泥原料/混材・石綿(rock wool)・肥料等，是製造工廠在進貨，要遵照與製造工廠的協議。



## (2)含量

## ①煉鋼爐礫產品適用場所及用途之環境安全品質標準

\*環告 19 號：2003 年 3 月 6 日 日本環境省告示第 19 號的簡稱「土壤含量調查相關測定方法」

\*土對法：土壤污染對策法(2002 年 5 月 29 日法律第 53 號)的簡稱

用途	種類	試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
道路・ 鐵路用	路基材	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5015:2013)	環境安全品質標準 (土壤法含量標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5015:2013
		<環境安全收交檢查> 道路用煉鋼爐礫試料	環境安全收交檢查研 判值 (土壤法含量標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D	5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5015:2013
		出貨產品	土對法含量標準值	JIS A5015:2013 附錄 D 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	瀝青 混合物	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5015:2013)	環境安全品質標準 (土壤法含量標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5015:2013
		<環境安全收交檢查> 道路用煉鋼爐礫試料或 利用模擬試料	環境安全收交檢查研 判值	JIS A5015:2013 附錄 D	5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5015:2013
		出貨產品	土對法含量標準值	JIS A5015:2013 附錄 D 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
混凝土 用骨材	其他	出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法
		<環境安全品質檢查> 高爐礫、電弧爐氧化礫 骨材試料 或 利用模擬 試料	環境安全品質標準 (土壤法含量標準值)	JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5011-1,4:2013
		<環境安全收交檢查>	環境安全收交檢查研	JIS A5011-1,4:2013 附	高爐礫：3 項 (Se,F,B)	1 次/生產批次	JIS A5011-1,4:2013

	高爐礫、電弧爐氧化礫 骨材試料	判 值	錄 C JIS A5011-1,4:2013 附 錄 C 及 環 告 19 號	電弧爐氧化礫：5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	(1 次/月 以上)	
地盤 改良材	上述之外 (其他)	出貨產品	土對法含量標準值	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月 以上)	援用 JIS A5011-1,4:2013
	港灣用 途	<環境安全品質檢查> 高爐礫、電弧爐氧化礫 骨材試料 或 利用模擬 試料	—	—	—	JIS A5011-1,4:2013
			—	—	—	JIS A5011-1,4:2013
		出貨產品	—	—	—	援用 JIS A5011-1,4:2013
港灣 ・ 海域 工程	適用水底土砂標準之用途	出貨產品	—	—	—	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月 以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月 以上)	土對法
	適用水底土砂標準之用途	出貨產品	—	—	—	水底土砂標準
土木 ・ 陸路 工程	可與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月 以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月 以上)	土對法
	可與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月 以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月 以上)	土對法

## ②水和固化體(替代磚塊、碎石)產品適用場所之環境安全品質標準

用途	種類	試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
全部的用途	適用水底土砂標準之用途	出貨產品	—	—	—	—	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法

- 註 1) 管轄煉鋼爐產品使用場所的地方政府所訂標準 (條令、綱要等) 以及指導內容與本表不同時, 要遵照地方政府的。
- 註 2) 用途不在表列分類中時, 要確認管轄煉鋼爐產品使用場所的地方政府所適用之標準。
- 註 3) 此處所謂水和固化體, 必須符合「煉鋼爐渣水和固化體技術手冊 1945 年 2 月 (一般財團法人 沿岸技術研究中心)」所訂規格者。
- 註 4) 檢測頻率要依據 JIS A5015:2013。此處所謂生產批次, 視每家工廠製造、品質管理等實際情形, 製造業者所規定者為準。
- 註 5) 水泥原料/混合法・石綿 (rock wool)・肥料等, 是製造工廠在進貨, 要遵照與製造工廠的協議。

表 14 煉鋼爐碴產品的溶出試驗結果範例(根據環境 JIS 法)

項目	土壤溶出標準 (參考標準)	高爐碴產品		煉鋼爐碴產品	
		氣冷爐石	水淬爐石粉	轉爐碴	電弧爐碴
Cd	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Pb	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr <sup>6+</sup>	0.05 以下	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
As	0.01 以下	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
T-Hg	0.0005 以下	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Se	0.01 以下	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
F	0.8 以下	0.2	0.1	<0.1	<0.1
B	1.0 以下	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

註：<所示為分析定量下限，意為不檢出。

資料來源：「平成 16 年度エネルギー使用合理化システム標準化調査成果報告書」(再生材料・製品化中の化学物質試験方式に関する標準化調査研究)

### 三、爐碴資材化品質管理

日本鋼鐵產業的粗鋼年產量約有 1 億 1 仟萬噸，其中 4 家(新日鐵住金、JFE、神戶製鋼所、日新製鋼)大規模的一貫煉鋼廠的粗鋼年產量約 9 仟萬噸，其餘為 10 家特殊鋼煉鋼廠及 32 家電弧爐煉鋼廠所產。日本的煉鋼產業已有百年歷史，並由大廠主導，對爐碴的資材化處理已累積相當豐富的經驗及技術，並以廠內處理為主。所以爐碴協會指引(如附件一、日本煉鋼爐碴產品管理指引)的內容是以會員自律的立場訂定。

日本與台灣最大的不同是日本由煉鋼廠自行處理，訂定產品規格，若有委託事業廢棄物業者處理，也要負起監督的責任(詳附件一之附錄)。而台灣主要是委託處理業者處理。

會員的責任與義務必須訂定自家公司的煉鋼爐碴產

品管理手冊，並遵守該指引及自家公司的管理手冊製造並銷售煉鋼爐渣產品。

電弧爐渣產品的品質管理分為對環境的友善性及產品品質兩方面，均須遵守法令等、JIS、中央、地方政府的各種規格，以及學會、協會等的最新綱要、指引等中訂定之認定標準及品質規格。在出貨前要就與買家共同議決之品質規格，每個月做 1 次檢驗，其紀錄要保存 10 年。

電弧爐渣產品的銷售管理，在接洽時就要對買家以書面說明煉鋼爐渣產品品質特性與使用上的注意事項(pH 特性、膨脹特性等)(詳附件一之附錄)。接訂前必須研判之事項包括使用場所(包括運送、施工中的暫時保管場所)、使用狀況、施工內容、施工方法等(詳附件一之附錄)。可否接受訂購的判斷標準請參照詳(詳附件一之附錄)。

在日本煉鋼爐渣產品的管理體制已經確立。2007 年 3 月，為提升社會對產品的可信度，引進由第三者機關審查的審查及認證制度，來監督各營業所按照手冊所做的品質管理。

## 5.4 爐碴再利用之資源永續與環境相容性說明

煉鋼業產生的爐碴不論是氧化碴或還原碴，在國際間都視為珍貴的資源，不善加利用十分可惜。然而不論是任何的資源皆應依循正確的使用方法與用途，邇來因曾發生爐碴誤用而造成建築物外牆產生爆孔之情事，媒體過度渲染，社會大眾對爐碴之性質又欠缺了解，全面性排斥爐碴之使用，導致鋼鐵廠因再利用通路受阻被迫將爐碴堆置於廠內，影響鋼鐵業之正常營運。本報告之研究，已詳述爐碴再利用所必須採取的安定化措施，將可供業者參考採行，為免社會大眾或使用單位之疑慮，特再另作說明。

### 1. 環境污染問題

爐碴是煉鋼業經高溫產生之熔融物，有機物質已於高溫分解殆盡，而重金屬皆可符合 TCLP 之試驗標準，依爐碴之化學成分分析是以無機礦物為主，爐碴對土壤、地下水可能之影響為 pH 偏高之情事，故貯存場所依規定做好防護措施，將不致對環境造成污染。

### 2. 健康影響問題

爐碴無揮發性物質，亦無粉塵微粒，對人畜之呼吸道攝入或皮膚接觸之影響也極輕微，故對人體健康無危害之虞。

### 3. 資源永續問題

國內公共工程以及營建業每年對礦砂、土石之需求量十分龐大，而台灣的天然資源又十分有限，因此使用再生資源來替代天然資源為確保國土安全資源永續的唯一途徑。而各鋼鐵廠每年產生之煉鋼爐碴高達一百多萬噸，為天然砂石礦產之最佳替代資材，基於資源永續、節能減碳之考量，爐碴再利用為打造循環經濟極重

要之措施。

#### 4. 工程安全性問題

落實資源再生物質的品質管制，確保以爐碴為替代材料所產製之再利用產品之品質、性能完全符合國家標準及公共工程施工網要規範之要求，讓工程單位可放心使用。

#### 5. 嚴密監督與追蹤查核，包括：

##### (1) 加強源頭管理

- a.確實要求產出氧化碴與還原碴分類，並分別置放。
- b.廢棄物定期申報，主管機關確實查核。
- c.爐碴再利用前必須進行安定化處理，並確保安定化後之膨脹率符合規定。

##### (2) 落實再利用業之檢驗與追蹤查核

- a.定期抽驗，確認再利用產品品質。
- b.加強再利用機構查核。
- c.追蹤再利用產品流向。

廢棄物是擺錯地方的資源，但誤用的資源卻也可能造成危害，為確保煉鋼爐碴之永續利用，必須興利與防弊並重，因此國家標準的把關，以及正確的用途及使用方法十分重要。主管機關嚴密監督管制，學研機構之技術輔導協助，以及業者(包括煉鋼廠及再利用機構)之自律建立良好的自主管理機制，產官學緊密合作將是讓國內之爐碴資源化再利用走向正途，並讓社會大眾可接受。同時為了保障煉鋼爐碴的品質及合法鋼碴安定化業者與鋼碴使用者的權益，有必要建立雲端資

訊並利用 ICT 技術，有效管控鋼渣的生產及應用流程，讓鋼渣的利用完全透明化。



## 第六章 結論與建議

本手冊由各國的研究成果及實證資料顯示鋼渣經適當安定化處理可成為寶貴之資源，但穩定可靠之技術與妥善之管理為資源化再利用之關鍵，除政府制訂完善之法規外，業界之自律更重要。

1. 還原渣特性各廠不同，其處理方式亦不同，其中還原渣為粉化狀，含有游離石灰及游離氧化鎂，會造成滯後膨脹，目前國內尚未加以安定化，不當使會造成結構爆劣的安全問題。未來必須訂定游離石灰及游離氧化鎂的檢測標準，作為安定化成效的指標，並且可以保障還原渣安定化處理業者的品質。
2. 鋼渣安定化原理均為使游離石灰及游離氧化鎂事先消解，有甚多方式可行，應依鋼渣特性、場地、成本、使用目的選擇適當安定化方法。
3. 不銹鋼廠如有足夠廠區可以處理熱鋼渣，則建議能由液態渣產生時即加以處理，建議可以採用「粒化輪加上熱焔技術」、「風淬加上熱焔技術」或「熱焔技術」。如果統一由鋼渣處理業者處理，則以固態渣為主，此時則建議以「蒸汽養生技術」較為經濟，並且加以研磨至以小於 5  $\mu\text{m}$  為適宜之尺寸。唯研磨細度仍宜先加以測試，找出最佳及最經濟的細度，做為未來研磨的依據。
4. 為避免爐渣之誤用或管理不當混用因此加強管理十分重要。經濟部於 105 年 6 月修訂之「事業廢棄物再利用管理辦法」中，對於煉鋼爐渣之限定公告再利用用途，而對於公告再利用以外的各項再利用用途必須依規定申請許可。此項規定將可落實產源管理、再利用機構查核以及再利用產品用途管制等，其目的乃在兼顧煉

鋼廠產生爐渣之妥善處理及確保再利用產品之品質，暢通國內之資源化再利用管道。然而最重要的是，各公民營機構之營建或公共工程，對於經合法申請許可之再利用廠所產製之綠色產品應善加使用，落實政府綠色採購精神，共同推動綠色循環經濟。

5. 為了保證使用鋼渣的對建築物的安全性，安定化為首要工作，所以  $f\text{-MgO}$  及  $f\text{-CaO}$  的測定之國家標準必須優先加以訂定。尤其利用 QXRD 技術精確分析之技術，可以深入探討納入 CNS 規範中。接著對後端應用品質的保障則有賴訂定膨脹量的限定國家標準，建議應比照 CNS 1258「卜特蘭水泥熱壓膨脹試驗法」進行測定水泥、水泥砂漿及混凝土試體的膨脹率，並且輔以目測熱壓膨脹試驗後的試體外觀狀態，作為品質認定的標準。
6. 為了保障煉鋼爐渣的品質、合法鋼渣安定化業者與鋼渣使用者的權益，有必要建立雲端資訊，並利用 ICT 技術有效管控鋼渣的生產及應用流程，讓鋼渣的利用完全透明化。
7. 本手冊主要架構以安定化技術為主，未來建議延續手冊內容，編定鋼渣安定化使用技術手冊。

## 參考文獻

1. 張祖恩，「環境科技-廢棄物與資源循環」，102年環境科技論壇，June 2013。
2. 黃兆龍，「歐盟大型整合全廢棄物計畫－永續、創新及節能的混凝土(SUS-CON)」，行政院國家科學委員會專題計畫期末報告，Feb. 2016。
3. 黃兆龍，「高性能混凝土理論與實務」，詹氏書局，2013。
4. 江慶陞，「爐石的資源化」，技術與訓練，6卷 9 期，Sep.，1981。
5. 公共工程綱要規範，「第03050章混凝土基本材料及施工一般要求」，2015。
6. 自由時報，「臺北文創爐碴屋效應-經部禁用還原碴3個月」，Mar. 2016。
7. 余騰耀、林平全、施延熙、黃兆龍、蔡敏行，「電弧爐煉鋼還原碴資源化應用技術手冊」，中興工程顧問股份有限公司，2001。
8. 余騰耀，「電弧爐煉鋼業廢棄物減量及資源回收」，環保特刊，第193-221頁，1996。
9. 唐明述、袁美棲、韓蘇芬，鋼渣中MgO, FeO, MnO的結晶狀態與鋼渣的體積安定性[J]. 矽酸鹽學報, 1979, 7(1): 35-46.
10. 王強、鮑立楠、閻培渝，轉爐鋼渣粉在水泥混凝土中應用的研究進展[J]. 混凝土, 2009(2):53-56.
11. 趙計輝，鋼渣的粉磨/水化特徵及其複合膠凝材料的組成與性能[D]. 北京:中國礦業大學(北京), 2015.
12. 張復盛、許伯良，他山之石-國外爐石/碴之利用，中國礦冶工程學會互動式網站，2014。
13. 電氣炉スラグ~地域に根ざしたリサイクル資材，鐵鋼スラグ協會，2014.10。
14. 徐敏晃，「廢棄資源物導入土木工程應用思維及管理策略」，廢棄資源物於土木工程應用思維專家座談會，2013.10。

- 15.何長慶、徐敏晃，「電爐石再利用自主管理」，2013年煉鋼爐石道路工程再利用論壇專輯,第 25 頁，2013。
- 16.鉄鋼スラグ統計年報，鐵鋼スラグ協会， 2016.07。
- 17.等，「電氣炉還元スラグの吸水膨脹と安定化处理」，材料，第40卷，第459号，1991.12。
- 18.蘇茂豐、陳立，「電弧爐煉鋼爐渣之資源化現況及未來展望」，工業污染防治，第 93 期，27-51頁, Jan.2005。
- 19.曠渝訓，鋼渣的生成及熱悶處理淺析[J].科技資訊, 2013 (24): 384-386.
- 20.張同生、劉福田、王建偉等，鋼渣安定性與活性激發的研究進展 [J]. 矽酸鹽通報, 2007, 26(5):980-984.
- 21.畢文彥、管學茂、邢鋒等，水泥礦物游離氧化鈣含量測定方法的評價及探討[J]. 混凝土, 2008(12):21-23.
- 22.中華人民共和國黑色冶金行業標準YB/T 140-2009，鋼渣化學分析方法，2009.
- 23.龍躍、雷雲波、張玉柱等，EDTA絡合滴定法測定鋼渣中游離氧化鈣[J]. 冶金分析, 2010, 30(7):65-68.
- 24.杜君、劉家祥、李敏，乙二醇-EDTA滴定法與熱解重量-示差熱分析法相結合測定鋼渣中游離氧化鈣含量[J]. 理化檢驗:化學分冊, 2013(08):961-964.
- 25.中華人民共和國黑色冶金行業標準YB/T 4328-2012，鋼渣中游離氧化鈣含量測定方法，2012.
- 26.樂秀虎、朱偉新、張友生，用J值法測定鋼渣中游離氧化鈣[J]. 鋼鐵研究, 1989(2):77-82.
- 27.張傑、田秀梅、戚淑芳等，鋼渣中游離氧化鎂含量的測定[J]. 中國無機分析化學, 2011, 01(2):54-57.
- 28.鄭振葉、劉家祥、柳倩，新提取混合溶劑氯化銨-乙二醇-乙醇用於鋼渣中游離氧化鎂含量的測定 [J]. 理化檢驗:化學分冊, 2014(8):999-1003.

- 29.夏春、盧忠飛、閻文等，一種鋼渣中游離態氧化鎂含量的測定方法；, CN104062200A[P]. 2014.
- 30.王博、劉家祥、羅珣等，EDTA滴定法測定鋼渣中游離氧化鎂[J]. 理化檢驗:化學分冊, 2011(8):942-943.
- 31.張同生、劉福田、王建偉等，鋼渣安定性與活性激發的研究進展[J]. 矽酸鹽通報, 2007, 26(5): 980-984.
- 32.張光明、連芳、張作順等，鋼渣中的f-CaO及穩定化處理的研究進展[J]. 礦物學報, 2012(s1):203-204.
- 33.牟善彬、孫振亞、蘇小萍，高游離氧化鈣水泥的顯微結構與膨脹機理研究[J]. 武漢理工大學學報, 2001, 23(11):27-29.
- 34.錢光人、徐光亮，低鹼度鋼渣的礦物組成、岩相特徵與膨脹研究[J]. 西南工學院學報, 1997, 12(1): 35-39.
- 35.Geiseler, J., 「冶金渣—創造美好未來的材料」，冶金渣處理與利用國際研討會，中國北京，第1-8頁，1999。
- 36.羅壽蓀，鋼渣中的氧化鎂對水泥安定性的影響[J]. 矽酸鹽通報, 1980, 4(1): 7-11.
- 37.侯新凱、徐德龍、薛博等，鋼渣引起水泥體積安定性問題的探討[J]. 建築材料學報, 2012, 15(5): 588-595.
- 38.Qian G R, Sun D D, Tay J H, et al. Hydrothermal reaction and autoclave stability of Mg bearing RO phase in steel slag[J]. British ceramic transactions, 2002, 101(4): 159-164.
- 39.杜憲文，鋼渣應用於道路工程的研究[J]. 東北公路, 2003, 26(2): 73-74.
- 40.桑山忠等，「電氣炉還元スラグの水硬性とその利用」，廃棄物学会論文誌，Vol. 1, No. 1，1990。
- 41.笹本博彦等，「電氣炉還元期スラグを利用した漁礁ブロックの開発」，鉄と鋼Tetsu-to-Habane，Vol. 89，No.4, 2003。
- 42.江奇成，電弧爐煉鋼還原渣與鑄件廢料摻用於混凝土再生材之模式研究，博士論文，國立台灣科技大學營建工程系，2005。

43. Li J, Yu Q, Wei J, Zhang T., “Structural characteristics and hydration kinetics of modified steel slag”, *Cement and Concrete Research*, 41: 324-329, 2011.
44. 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。
45. 佐々木剛等，「製鋼スラグの蒸気エージングショリの開発」，*新日鉄住金技報*，第399号，2014。
46. 經濟部，經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式，2011。
47. Yi H, Xu G, Cheng H, et al. An Overview of Utilization of Steel Slag[C] *International Conference on Waste Management & Technology*, 2012:791-801.
48. 尚建麗、邢琳琳，鋼渣粗骨料混凝土介面過渡區的研究[J]. *建築材料學報*, 2013, 16(2):217-220.
49. Maslehuddin M, Sharif A M, Shameem M, et al. Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes[J]. *Construction & Building Materials*, 2003, 17(2):105-112.
50. Netinger I, Bjegović D, Vrhovac G. Utilisation of steel slag as an aggregate in concrete[J]. *Materials & Structures*, 2011, 44(9):1565-1575.
51. 米貴東、王強、王衛倫，蒸養條件下鋼渣粗骨料對混凝土的破壞作用[J]. *清華大學學報(自然科學版)*, 2015(9):940-944.
52. 梁建軍，鋼渣替代粗骨料配製混凝土的試驗研究[J]. *山西建築*, 2010, 36(27):166-167.
53. 楊永民，粗磨鋼渣代替細骨料對道路混凝土耐磨性能的影響[J]. *粉煤灰綜合利用*, 2009(1):38-40.
54. 張亞梅、李保亮，用鋼渣作骨料引起的混凝土工程開裂問題案例分析[J]. *混凝土世界*, 2016(6): 22-25.
55. 王強，將鋼渣用作混凝土骨料要非常慎重[J]. *混凝土世界*, 2016(2):90-91.

- 56.楊質子、趙亮、劉純林等，廢棄輪胎膠粒改性鋼渣混凝土體積變形研究[J]. 施工技術, 2015(15):59-62.
- 57.查坤鵬、劉純林、陳德鵬，鋼渣與廢舊輪胎顆粒混凝土的強度與收縮變形性能[J]. 安徽工業大學學報:自然科學版, 2013, 30(3):275-279.
- 58.趙三銀、趙旭光，高鋼渣摻量鋼礦水泥體積安定性的研究[J]. 水泥工程, 2002 (2): 7-9.
- 59.孫家瑛，磨細鋼渣對混凝土力學性能及安定性影響研究[J].粉煤灰, 2003, 15(5):7-9.
- 60.孫家瑛、張健、金強等，寶鋼鋼渣微粉用於水泥混凝土的安定性和與水泥外加劑相容性試驗研究[J].粉煤灰, 2006, 18(3): 20-21.
- 61.張暉、高衛波、張鍵等，寶鋼鋼渣微粉及其膠凝材安定性和相容性研究[J].寶鋼技術, 2010(3): 26-29.
- 62.趙旭光、趙三銀、吳國林等，轉爐鋼渣對礦渣-矽酸鹽水泥混合膠砂的收縮補償效應[J].西安建築科技大學學報(自然科學版), 2006, 38(2): 290-293.
- 63.李永鑫，含鋼渣粉摻合料的水泥混凝土組成、結構與性能的研究[D]. 北京: 中國建築材料科學研究院, 2003.
- 64.李紅燕、張亞梅、陳春等，鋼渣對砂漿性能的影響[J]. 混凝土與水泥製品, 2004(1): 21-23.
- 65.胡曙光、彭豔周、陳凱等，摻鋼渣活性粉末混凝土的製備及其變形性能[J]. 武漢理工大學學報, 2009, 31(1): 26-29.
- 66.丁慶軍、陳凱、徐敏等，摻鋼渣粉四元複合體系 RPC 的製備及其體積變形[C]. 中國矽酸鹽學會水泥分會首屆學術年會論文集, 2009:427-431.
- 67.高成明，摻鋼渣混凝土早齡期開裂敏感性研究[D]. 青島:山東科技大學, 2009.
- 68.羅康維，還原渣、水洗灰與泥渣類廢棄物共同燒製水泥之水化特性研究，國立宜蘭大學環境工程系碩士論文，(2014)。

69. Murgier S, Zanni H, Gouvenot D., “Blast furnace slag cement: a  $^{29}\text{Si}$  and  $^{27}\text{Al}$  NMR study”, *Comptes Rendus Chimie*, 7: 389-394, 2004.
70. Kourounis S, Tsivilis S, Tsakiridis PE, Papadimitriou GD, Tsibouki Z., “Properties and hydration of blended cements with steelmaking slag”, *Cement and Concrete Research*; 37: 815-822, 2007.
71. P.E. Tsakiridis, G.D. Papadimitriou, S. Tsivilis, C. Koroneos, “Utilization of steel slag for Portland cement clinker production”, *Journal of Hazardous Materials*, 2008.
72. Wang Q, Yan P., “Hydration properties of basic oxygen furnace steel slag”, *Construction and Building Materials*, 24: 1134-1140, 2010.
73. Li J, Yu Q, Wei J, Zhang T., “Structural characteristics and hydration kinetics of modified steel slag”, *Cement and Concrete Research*, 41: 324-329, 2011.
74. Chen YL, Lin CJ, Ko MS, Lai YC, Chang JE., “Characterization of mortars from belite-rich clinkers produced from inorganic wastes”, *Cement & Concrete Composites*, 33: 261-266, 2011.
75. 王濤，「電爐鋼渣應用技術研究」，冶金渣處理與利用國際研討會，中國北京，第242-255頁，1999。
76. 曾建民、崔紅岩、向華，鋼渣處理技術進展[J]. 江蘇冶金, 2008, 36(6): 12-14.
77. 任奇、王穎傑、李雙林，鋼渣處理與綜合利用技術[J]. 鋼鐵研究, 2012, 40(1): 57-57.
78. 謝光薦、趙亮、石擁軍，重鋼鋼渣處理工藝研發及綜合利用[J]. 重慶科技學院學報(自然科學版), 2009, 11(4): 63-65.
79. 張雲鵬、張旭、李瑞麗等，國內外鋼鐵企業鋼渣資源利用及技術新進展[J]. 江蘇冶金, 2007, 35(6): 4-6.
80. 山根佑介等，「還元スラグの再利用技術確立」，日本製鋼所技報，No. 64，2013.10。
81. 独自のスラグリサイクル技術，「ANRP法」の開発～鉍物資源の有効活用と副産物の低減～，愛知製鋼株式会社 News Release，2007.03.13。



- 82.單立福，重構條件對鋼渣中MgO存在形式的影響[D].濟南大學, 2009.
- 83.張藝伯、朱榮、吳鐵等，轉爐鋼渣重熔還原的尾渣安定性研究[J].環境工程, 2015, 33(12):163-166.
- 84.趙海晉、餘其俊、韋江雄等，利用粉煤灰高溫重構及穩定鋼渣品質的研究[J].矽酸鹽通報, 2010, 29(3):572-576.
- 85.黃世爍、郭敏、張梅，酸性氧化物對轉爐鋼渣的改性作用[J].鋼鐵研究學報, 2015, 27(11):38-42.
- 86.李召峰，優化鋼渣物相組成、控制MgO分佈及其機理研究[D].濟南大學, 2011.
- 87.張豐、莫立武、鄧敏，碳化養護對鋼渣混凝土強度和體積穩定性的影響[J].矽酸鹽學報, 2016, 44(5):640-646.
- 88.曹偉達、楊全兵，碳化養護對冶金渣-熟石灰砂漿性質的影響[J].土木建築與環境工程, 2014, 36(4):92-97.
- 89.吳昊澤、譚文傑、丁亮等，利用CO<sub>2</sub>氣體碳酸化鋼渣製備建材製品[J].混凝土與水泥製品, 2010(2):24-26.
- 90.趙華磊、常鈞、程新，碳酸化養護鋼渣混合水泥製備建材製品[J].濟南大學學報:自然科學版, 2010, 24(2):111-114.
- 91.張林菊，碳化養護鋼渣製備建築材料[D]. 濟南大學, 2009.
- 92.USGS(<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron&steelslag/>), 美國鋼鐵爐渣協會, 1997年12月。
- 93.蕭遠智、陳立、黃偉慶、蘇茂豐，「利用電弧爐還原渣製成還原渣水泥之可行性研究」，工業減廢暨永續發展研討會，臺北市，A4，2002。
- 94.鄭清元，電弧爐煉鋼渣特性及取代混凝土粗骨材之研究，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，第3-10頁，2000。
- 95.Wu, X., Zhu, H., Hou, X., Li, H., "Study on steel slag and fly ash composite Portland cement", Cement and Concrete Research, Vol. 29, pp.1103-1106, 1999.

- 96.林柏彰，還原爐渣取代水泥性質之研究，碩士論文，國立臺北科技大學土木與防災研究所，2012。
- 97.傅國柱，「還原渣取代部份水泥之研究」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，2002。
- 98.陳立、黃偉慶、閻嘉義，「電弧爐爐渣應用於混凝土工程之可行性研究」，冶金渣處理與利用國際研討會，中國北京，第231-241頁，1999。
- 99.Ahmad, M., and Masoud, K.A., “Producing Portland cement iron and steel slags and limestone”, Cement and Concrete Research , Vol.29,pp.1373-1377, 1999.
100. M.P. Luxan, R. Sotolongo , F. Dorrego, E. Herrero, “Characteristics of the slags produced in the fusion of scrap steel by electric arc furnace”, Cement and Concrete Research, Vol.30,pp.517-519, 2000.
101. 江奇成、湛淵源、林庭亦、黃兆龍，「電弧爐煉鋼還原渣應用於高性能混凝土之特性研究」，中國土木水利工程學刊，第十六卷，第一期，第167-178頁，2004。
102. 曾仕文，電弧爐還原渣應用於控制性低強度材料及其安定化成效評估研究，國立中央大學碩士論文，2012。
103. 金川淳等，「電氣炉還元スラグによる軟弱土の改良」，電氣製鋼，第68卷4号，P.261~267，1997.11。
104. 李宜桃，鹼活化還原渣漿體收縮及抑制方法之研究，碩士論文，國立中央大學，2013。
105. Sakuraya, T.,「日本煉鋼工業高爐渣與鋼渣利用現狀」，冶金渣處理與利用國際研討會，中國北京，第15-20頁，1999。
106. 楊建偉，鋼渣和含鋼渣的複合礦物摻合料對混凝土性能的影響[D]. 清華大學, 2013。

## 附件一

### 日本煉鋼爐渣產品管理指引

(日本煉鋼爐渣協會 2015 年 1 月 14 日修訂版)

## 日本煉鋼爐渣產品管理指引

### 1. 目的

為日本煉鋼爐渣協會會員（以下簡稱「會員」）順利銷售煉鋼爐渣產品，同時也為買家（需要者）<sup>\*1</sup>發揮產品特性適當確切使用，因此本指引訂定製造及銷售者應遵守事項。

<sup>\*1</sup> 買家（需要者）：此處所謂「買家（需要者）」包括會員的銷售對象（客戶）、以及煉鋼爐渣產品使用與施工方法的實質決定者（例如業主、施工業者、設計顧問等）。

<sup>\*2</sup> 銷售對象（客戶）：此處所謂「銷售對象（客戶）」意指依據買賣合約購入煉鋼爐渣產品者。

### 2. 適用範圍

#### 2-1. 煉鋼爐渣產品

本指引適用於會員銷售的所有煉鋼爐渣產品。

- (1) 會員自行只用煉鋼爐渣製造產品時，其產品為本指引所謂之煉鋼爐渣產品。
- (2) 會員自行將煉鋼爐渣（包括從其他會員購入的）與其他材料混合調製（將煉鋼爐渣破碎・造粒後與其他材料混合，加工・製造成產品）後直接使用時，其混合調製之產品為本指引所謂之煉鋼爐渣產品。
- (3) 會員將煉鋼爐渣（包括從其他會員購入的）銷售予第三者，第三者將煉鋼爐渣與其他材料混合調製後直接使用時，會員以原料銷售予第三者的煉鋼爐渣為本指引所謂之煉鋼爐渣產品。而本指引適用範圍並不包括第三者跟會員購入煉鋼爐渣為原料再與其他材料混合調製品的品質管理。

#### 2-2. 當作廢棄物處理的煉鋼爐渣

不符合適用場所及用途之環境安全品質的煉鋼爐渣，不得以煉鋼爐渣產品銷售，且必須遵照「日本廢棄物處理及清掃相關法律」適當正確處理。

委託事業廢棄物處理業者再生的煉鋼爐渣產品，以及無法再生須掩埋處置的煉鋼爐渣，不適用本指引，適用於 2015 年 1 月 14 日的日本鐵鋼聯盟「委託事業廢棄物處理業者處理煉鋼爐渣等管理指針」（請參照 附錄 1）。但該當事業廢棄物處理業者為水泥公司時，則適用於 2012 年 4 月 1 日的日本鐵鋼聯盟

「委託水泥公司處理事業廢棄物煉鋼爐碴的管理指針」(請參照 附錄 2)

另外，如有其他公司遵照「廢棄物處理及清掃相關法律」委託會員處理「礦碴」(此處所謂之「礦碴」為受託處理之煉鋼爐碴及廢鑄砂。)，會員自行處理之後再生為煉鋼爐碴產品時，再生後的產品為本指引所謂之煉鋼爐碴產品。

### 3.會員之責任與義務

會員必須遵照本指引訂定事項，備置自家公司的煉鋼爐碴產品管理手冊，並必須遵守本指引及自家公司的管理手冊製造・銷售煉鋼爐碴產品。

會員透過遵守本指引等，意即從遵守法令做起，進而對煉鋼爐碴產品品質的疑慮(對膨脹等的疑慮)、煉鋼爐碴產品可能造成生活環境安全的問題(高 pH 值水的流放等)等防範於未然，同時必須努力維持・提升對煉鋼爐碴產品的信賴。

### 4.煉鋼爐碴產品的品質管理

#### (1)應具備的環境安全品質

- ①煉鋼爐碴產品應具備之環境安全品質，如法律、延申法律的命令、條例、規則及其延申出的通知(以下簡稱「法令等」、JIS、中央・地方政府的各種規範或學會・協會等的最新綱要・指針中有所規定時，會員也必須遵守。
- ②管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府單獨訂定之資源再生認定制度，會員在銷售煉鋼爐碴產品時，也必須遵照地方政府所訂定之環境安全品質標準。
- ③法令等、JIS、中央・地方政府的各種規範或學會・協會等的最新綱要・指針中沒有訂定明確的環境安全品質時，會員必須遵守適用場所等或用途的標準(請參照 附錄 3-煉鋼爐碴產品適用場所及用途之環境安全品質標準)。

另外，附錄 3 中所舉煉鋼爐碴產品中，與其他材料混合調製後直接使用的產品(包括會員及第三者所混合調製的)，在還沒有混合調製的公家規格等空窗期間，採取的預防措施為，混合調製前的煉鋼爐碴以及混合調製後的煉鋼爐碴產品，適用於附錄 4 中所訂定的環境安全品質(請參照 附錄 4-與其他材料混合調製後直接使用的煉鋼爐碴產品(原料)適用之環境安全品質標準)。

## (2)前項環境安全品質以外的品質規格等

- ①煉鋼爐碴產品應具備之品質規格等，會員必須遵守法令等、JIS、中央・地方政府的各種規範或學會・協會等的最新綱要・指針等中訂定之品質規格。
- ②管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府單獨訂定之資源再生認定制度，會員在銷售煉鋼爐碴產品時，必須遵照地方政府訂定之品質規格等。
- ③法令等、JIS、中央・地方政府的各種規範或學會・協會等的最新綱要・指針中沒有訂定明確的品質規格等時，會員與買家共同議決品質規格等，並且必須遵守。

但是，會員於銷售使用煉鋼爐碴的混合路基材時，必須採用通過出貨檢查（道路用煉鋼爐碴（JIS A 5015:2013）所規定之浸水膨脹比）的合格產品。

## (3)出貨檢查

煉鋼爐碴產品的出貨檢查，原則上由製造・銷售者遵照 JIS 與買家共同議決並遵行之。

煉鋼爐碴產品的環境安全品質相關分析檢查，則需委託製造・銷售者以外的法人；符合 JIS Q 17025 或 JIS Q 17050-1 及 JIS Q 17050-2 之檢測業者，以及登錄為環境計量證明業者的分析機構。每個產製批次（lot）最少 1 個月必須檢測 1 次以上。此處所謂的產製批次，視各工廠的實際產製、品質管理情形，由製造業者規定。而冶煉特殊鋼的會員，因為煉製特殊鋼種需要大量且多次投入螢石（氟石，fluorite）及鉻（Cr）合金，所以堆置場中每一堆煉鋼爐碴產品就必須算作一個產製批次納入管理，而每堆的上限為 1 個月的產製量。

相關紀錄必須保存 10 年以上。本指引中所謂環境計量證明業者為，根據計量法計量證明登錄為「水及土壤中物質濃度相關事業」類別的業者。

買家提出要求時，各會員要提供環境安全品質相關紀錄。

## 5.煉鋼爐碴產品的銷售管理

### 5-1.接訂前

#### (1)向買家說明品質特性

買家必須遵守法令，同時為了讓買家深入瞭解不當使用

會造成的環境負荷，會員必須提供符合用途的手冊與技術資料，等同對買家以書面說明煉鋼爐渣產品品質特性與使用上注意事項（pH 特性、膨脹特性等）（請參照 附錄 5）。

## (2)接訂前必須研判之事項

買家必須向會員說明使用場所（包括運送、施工中的暫時保管場所。以下同）、使用狀況、施工內容、施工方法等（請參照 附錄 6-面談、場勘項目範例），會員要研判是否需要場勘，如有必要就必須做。做過場勘，事前並與相關者之間協議後，即使交涉過從施工中（包括暫時保管場所。）到施工後的必要對策之後，仍有引起違反法令疑慮者，以及有可能會造成生活環境安全問題時，會員必須停止銷售。還有，經研判可銷售的東西，會員仍須研判是否需要做施工中・施工後調查，如有必要則必須做。

使用場所的場勘項目，以附錄調查項目範例為基準，由會員事先訂定。

接訂前經場勘研判可銷售時，會員仍需向買家說明施工中及施工後的注意事項，並且必要時要與行政部門・隣近居民辦理事前協議。

## (3)接訂前的實施標準

①接訂前使用場所的場勘實施標準、②接訂前根據場勘結果研判可否接訂的標準（請參照 附錄 7-可否接訂判斷標準範例）、③施工中・施工後的場勘實施標準，由會員事前訂定。但是，至少 3,000t 以上的案件，會員必須實施接訂前場勘。

## (4)銷售時注意事項

①會員在銷售煉鋼爐渣產品時，不得以任何名目支付超過銷售價格的金錢與物品給買家。

假設會員支付的運送費或業務委託費等有可能會超過銷售價格時，會員必須選定買家以外的第三者為運送業者或業務委託業者等。

另外，會員必須認知・掌握超過銷售價格的金錢與物品回流買家，對買家以外的業者（包括運送業者），不得支付超過銷售價格的金錢與物品。

②從出貨場所到使用場所，運送費如果可能超過銷售價格時，會員必須找多家運送業者估價，檢討運送費的妥當性。

③會員銷售的煉鋼爐渣產品原則上禁止轉賣・轉用，轉賣・轉用時必須取得銷售者同意，並且必須對買家以書面徹底

周知。

#### (5)接訂前場勘、面談等紀錄

接訂前場勘、與買家面談、向買家說明煉鋼爐碴產品品質特性及使用注意事項等事實，會員事前自訂格式(請參照 附錄 6-面談、場勘項目範例)留存紀錄，自進貨後起算至少必須保管 10 年以上。還有，與買家議決之品質規格等，會員必須以書面提供給買家。

### 5-2.接訂・進貨

- (1)決定接訂進貨時，會員必須遵照合約條件提供買家煉鋼爐碴產品的測試檢驗表。
- (2)煉鋼爐碴產品適用場所之環境安全品質及其適合性，會員必須以合約書或其他方法提供給買家。
- (3)進貨時會員必須根據法令提供化學物質等材料安全資料表(Material Safety Data Sheet, 簡稱 MSDS)或安全資料表(Safety Data Sheet, 簡稱 SDS) 給買家。

### 5-3.運送

運送時，會員必須以收款單、送貨單等書面單據確認煉鋼爐碴產品已確實送達買家手上。並且必須讓買家可以確認製造者及銷售者，收款單、送貨單等上面要記載製造者及銷售者的會員名稱。

### 5-4 施工中調查

- (1)施工中，會員必須確認施工場所(包括運送、暫時保管)的調查進度及情形。尤其必須查核・檢測高 pH 值水流放對策<sup>\*3</sup>、粉塵對策的實施情形。但最少 3,000t 以上的案件，會員必須每 3 個月就要做 1 次施工中調查。而且必須保留調查結果紀錄，保管至少 10 年以上。

<sup>\*3</sup> 高 pH 值：所謂高 pH 值是指超過 8.6(海水為 9.0)時，因煉鋼爐碴產品所含物質溶出高 pH 值的流放水，有可能會影響公用水域時必須採取預防對策。

- (2)在確認施工情形、運送、保管、施工時，一但認定在使用上等有問題時，會員一定要提醒買家用正確的使用方法，並必須留存紀錄，至少保管 10 年以上。還必須視必要與行政部門協議，並留存紀錄至少保管 10 年以上。

尤其是會員及買家在製造廠外暫時保管時，會員必須實施定期巡視調查，查核・檢測高 pH 值水溶出對策、粉塵對策的



實施情形，並紀錄之。同時暫時保管量的庫存上限為 3 個月的使用量，以避免過多庫存堆置戶外。如果 3 個月以上長期堆置卻未使用時，會員應指導買家迅速消化，如不從指導，則必須與行政部門商議，採取包括撤除等即時且迅速的解決對策。

(3)就算在(2)接訂前研判不用做施工中及施工後調查，針對有可能發生問題的東西，會員仍必須實施調查。

## 6.施工後調查

- (1)會員必須視施工場所及利用用途等特徵，訂定施工後的調查期程、調查頻率的研判基準。並且會員必須視施工後施工場所情形，修正調查期程及頻率。但至少 3,000t 以上的案件，會員必須實施施工後調查。
- (2)在事前場勘中研判有必要做施工後調查時，會員必須與買家協商施工後辦理調查必要的期程、頻率，保留調查結果紀錄，並保管至少 10 年以上。
- (3)施工後調查的結果，確認使用場所有高 pH 值水溶出等狀況，可能會對環境造成影響時，會員必須即時迅速與買家協議，如果是煉鋼爐渣產品的品質問題，必須採取必要措施。如果是買家使用上的問題，會員必須提醒買家注意。此刻會員必須視必要與否和行政部門協議，並留存紀錄，保管至少 10 年以上。
- (4)研判有必要做施工後調查的案件，確認使用場所異常時，以前項規定為準。

## 7.與行政部門・居民間的應對

煉鋼爐渣產品在運送・暫時保管・施工中・施工後的一連串過程中，如果有行政部門・居民等的指責或抱怨時，或有可能發生的疑慮時，無論原因是否為煉鋼爐渣產品，會員必須與買家合作即時迅速究明原因，同時如果問題是出在煉鋼爐渣產品時，會員要與買家視必要情況與行政部門・居民協議，採取適當確切的對策。如果問題是出在買家或其他相關者的行為時，要視必要提醒該當相關者注意，並與行政部門協議。

還有，不論是否起因於煉鋼爐渣產品，會員要無損於對煉鋼爐渣產品的信賴・評價，適切且即時迅速地採取因應對策。這些對策由鋼鐵公司會員主導，與銷售公司互相合作辦理。本項措施必須留存紀錄，且至少保管 10 年以上。

## 8.使用手冊與運用遵守情況的檢驗與修正措施

會員必須根據本指引所定事項，整理準備自家公司煉鋼爐渣產品的相關管理手冊。

會員必須定期辦理指引及手冊的公司內部教育，定期檢驗是否遵從自家公司手冊規定運作、是否保管該保管的紀錄等，如有不當運作情事必須採取修正措施。另外，教育・檢測及其修正措施，必須留存紀錄，並至少保管 10 年以上。

還有，會員須視必要針對銷售公司及銷售代理店，辦理指引及手冊的教育訓練，讓業者徹底周知煉鋼爐渣產品製造・銷售上相關遵守事項。

## 9.向煉鋼爐渣協會提出報告

會員根據指引整理準備自家公司手冊的情形，每 6 個月必須向煉鋼爐渣協會報告一次。

## 10.本指引的定期檢驗・整理準備

本指引至少每年檢驗一次，並視必要修正之。

（本指引訂定・修正日期）

2005 年 7 月 14 日訂定

2006 年 2 月 17 日修訂

2006 年 7 月 28 日修訂

2007 年 10 月 1 日修訂

2008 年 6 月 3 日修訂

2012 年 6 月 15 日修訂

2013 年 6 月 1 日修訂

2015 年 1 月 14 日修訂

本指引相關留意事項

本指引為協會針對會員提示的指針，並不是會員之間及會員與第三者之間具體合約內容的一部分所構成的。

另外，本協會並不保證遵從本指引使用、契約等就不會發生環境影響其他事項等問題。

## 附錄 1

# 日本委託事業廢棄物處理業者處理之 煉鋼爐渣等管理指針

## 日本委託事業廢棄物處理業者處理之煉鋼爐碴等管理指針

以「礦碴」委託事業廢棄物處理業者處理的煉鋼爐碴及廢鑄砂，要依據「廢棄物處理及清掃相關法律」委託處理。處理中資源再生產品化時的管理方式如下（因廢棄物處理法中規定排出業者須負適當正確處理之責務，所以必須注意如未盡其責務就會遭受命令處置）。

- (1)依據「排放業者的廢棄物・資源再生管理指引」（2004 年 9 月產業結構審議會環境部會策定）製作「查核表」等，至少每半年 1 次要訪問所委託的業者，紀錄其結果並保管之。
- (2)事業廢棄物處理業者保管加工的資源再生產品時，要查核高 pH 值水溶出對策、粉塵對策的實施情形等對環境是否造成影響，同時也要查核資源再生產品是否庫存過多。
- (3)事業廢棄物處理委託合約書中要明確記載，資源再生產品的用途與品質標準，以及廢棄物處理業者變更資源再生產品用途時，要事先聯絡排放業者。排放業者委託處理「礦碴」時要確認其用途是否適當。
- (4)在委託事業廢棄物處理業者處理時，按照資源再生產品的用途與品質標準，至少每年要實施 1 次以上「礦碴」的成分、溶出分析，並將其結果提供給事業廢棄物處理業者。
- (5)前項雖已規定，委託事業廢棄物處理業者處理的礦碴，由事業廢處理業者破碎・混合後資源再生產品化的，會員仍要依以下方法管理所委託礦碴的環境安全品質標準（溶出量・含量標準值）及資源再生產品的浸水膨脹比。
  - ①針對所委託的礦碴，要按照資源再生產品適用用途之環境安全品質標準實施相關檢查，並保存其結果 5 年。
  - ②委託合約書中要明確記載資源再生產品適用用途之環境安全品質標準值。
  - ③在(1)項中所示實地確認時，要提供環境安全品質標準相關查核結果給事業廢棄物處理業者。
  - ④不符合環境安全品質標準值的，要以事業廢棄物做水泥固化等無害化處理之後再產品化或掩埋處置。

- ⑤委託之礦碴，以煉鋼爐碴路基材用途資源再生時，要在委託合約書中載明資源再生產品的規格要小於道路用煉鋼爐碴（JIS A 5015:2013）中規定的浸水膨脹比。
- (6)委託事業廢棄物處理業者處理礦碴的會員，其管理順序要整理訂定在自家公司的管理手冊中，並且要跟日本鐵鋼連盟每年報告 1 次整理修訂及運用情形。

## 附錄 2

# 日本委託水泥公司處理事業廢棄物之 煉鋼爐渣管理指針

2012 年 4 月 1 日  
一般社團法人日本鐵鋼聯盟

## 日本委託水泥公司處理事業廢棄物之煉鋼爐碴管理指針

以「礦碴」委託水泥公司處理事業廢棄物的煉鋼爐碴，除了要遵照「日本廢棄物處理及清掃相關法律」委託處理之外，還要實施以下管理。(所謂委託水泥公司，意指用煉鋼爐碴做水泥產品原料，表示處理之後煉鋼爐碴成為水泥產品。不屬於此項處理時，要遵照原有的管理指針)

- (1)煉鋼爐碴以事業廢棄物委託水泥公司處理時，要遵照「廢棄物處理及清掃相關法律」及相關條例或綱要，要盡排放業者責務，適當正確實施委託。
- (2)要根據「為排放業者訂定之廢棄物・資源再生管理指針」(2004 年 9 月日本產業結構審議會環境部會策定)製作「查核表」等，定期到受委託業者處實地確認，並紀錄結果且保管 5 年。
- (3)事業廢棄物委託處理合約書中要載明，受委託的水泥公司在變更煉鋼爐碴的處理方法或用途時，必須事先聯絡排放業者。做過變更之後，排放業者要確認其處理方法或用途是否適當正確。
- (4)會員在委託水泥公司以事業廢棄物處理煉鋼爐碴時，要製作自家公司的管理手冊，要跟日本鐵鋼聯盟每年報告 1 次整理修訂情形。

以上

### 附錄 3

## 煉鋼爐渣產品適用場所及用途之 環境安全品質標準



# 附錄 3

## 煉鋼爐碴產品適用場所及用途之環境安全品質標準

### (1)溶出量

#### ①煉鋼爐碴產品適用場所及用途之環境安全品質標準

\*環告 46 號：1991 年 8 月 23 日 日本環境廳告示第 46 號的簡稱

「土壤污染相關環境標準」

\*環告 14 號：1973 年 2 月 17 日 日本環境廳告示第 14 號的簡稱

「防止海洋污染等及海上災害相關法律施行令第 5 條第 1 項所規定要送至掩埋場所等的廢棄物中所含金屬等的檢定方法」

用途	種類		試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
道路・鐵路用	路基材	JIS 品及 JIS 同級品 (JIS A5015:2013)	<環境安全品質檢查> 道路用煉鋼爐碴試料	環境安全品質標準 (土壤環境標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿*)	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5015:2013
			<環境安全收料檢查> 道路用煉鋼爐碴試料	環境安全收料檢查研判值 (土壤環境標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿)	5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5015:2013
		上述之外 (其他)	出貨產品	(土壤環境標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	瀝青混合物	JIS 品及 JIS 同級品 (JIS A5015:2013)	<環境安全品質檢查> 道路用煉鋼爐碴試料 或 利用模擬試料	環境安全品質標準 (土壤環境標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿)	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5015:2013
			<環境安全收料檢查> 道路用煉鋼爐碴試料	環境安全收料檢查研判值	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿)	5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5015:2013
		上述之外 (其他)	出貨產品	土壤環境標準值	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	其他		出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準
混凝土用骨材	一般用途	JIS 品及 JIS 同級品 (JIS A5011-1,4:2013)	<環境安全品質檢查> 高爐碴、電弧爐氧化碴骨 材試料 或 利用模擬試料	環境安全品質標準 (土壤環境標準值)	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C (利用有姿)	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5011-1,4:2013
			<環境安全收料檢查> 高爐碴、電弧爐氧化碴骨	環境安全收料檢查研判值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C	高爐碴：3 項 (Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5011-1,4:2013

			材試料		(利用有姿)	電弧爐氧化碴：5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)		
		上述之外 (其他)	出貨產品	土壤環境標準值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5011-1,4:2013
	港灣 用途	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5011-1,4:2013)	<環境安全品質檢查> 高爐碴、電弧爐氧化碴骨 材試料 或 利用模擬試料	環境安全品質標準 (港灣用途溶出量標準)	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C (利用有姿)	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5011-1,4:2013
			<環境安全收料檢查> 高爐碴、電弧爐氧化碴骨 材試料	環境安全收料檢查研判值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C (利用有姿)	高爐碴：3 項 (Se,F,B) 電弧爐氧化碴：5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5011-1,4:2013
		上述之外 (其他)	出貨產品	環境安全品質標準 (港灣用途溶出量標準)	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C (利用有姿) 及 環告 14 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5011-1,4:2013
地盤 改良 材	適用水底土砂標準之用途		出貨產品	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途		出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途		出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準
港灣 ・ 海 域 工 程	適用水底土砂標準之用途		出貨產品	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途		出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途		出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準
土木 ・ 陸 路 工 程	可與土壤區別之用途		出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途		出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準

\*利用有姿：不打碎試料，直接做溶出檢測。

## ②水合固化體(替代磚塊、碎石)產品適用場所之環境安全品質標準

用途	種類	試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
全部的用途	適用水底土砂標準之用途	出貨產品	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準

註 1) 管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府所訂標準(條令、綱要等)以及指導內容與本表不同時,要遵照地方政府的。

註 2) 用途不在表列分類中時,要確認管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府所適用之標準。

註 3) 此處所謂水合固化體,必須符合「煉鋼爐碴水合固化體技術手冊 1945 年 2 月(一般財團法人 沿岸技術研究中心)」所訂規格者。

註 4) 檢測頻率要依據 JIS A5015:2013。此處所謂生產批次,視每家工廠製造、品質管理等實際情形,製造業者所規定者為準。

註 5) 水泥原料/混合材・石綿 (rock wool)・肥料等,是製造工廠在進貨,要遵照與製造工廠的協議。

## (2)含量

### ①煉鋼爐碴產品適用場所及用途之環境安全品質標準

\*環告 19 號：2003 年 3 月 6 日 日本環境省告示第 19 號的簡稱

「土壤含量調查相關測定方法」

\*土對法：土壤污染對策法(2002 年 5 月 29 日法律第 53 號)的簡稱

用途	種類		試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
道路 ・鐵路 用	路基 材	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5015:2013)	<環境安全品質檢查> 道路用煉鋼爐碴試料	環境安全品質標準 (土對法含量標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5015:2013
			<環境安全收料檢查> 道路用煉鋼爐碴試料	環境安全收料檢查研判值 (土對法含量標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D	5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5015:2013
		上述之外 (其他)	出貨產品	土對法含量標準值	JIS A5015:2013 附錄 D 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	瀝青 混合 物	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5015:2013)	<環境安全品質檢查> 道路用煉鋼爐碴試料 或 利用模擬試料	環境安全品質標準 (土對法含量標準值)	JIS A5015:2013 附錄 D	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5015:2013
			<環境安全收料檢查> 道路用煉鋼爐碴試料	環境安全收料檢查研判值	JIS A5015:2013 附錄 D	5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5015:2013
		上述之外 (其他)	出貨產品	土對法含量標準值	JIS A5015:2013 附錄 D 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	其他		出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法
混凝土 用骨材	一般 用途	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5011- 1,4:2013)	<環境安全品質檢查> 高爐碴、電弧爐氧化碴骨 材試料 或 利用模擬試料	環境安全品質標準 (土對法含量標準值)	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C	8 項 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/3 年以上	JIS A5011-1,4:2013
			<環境安全收料檢查> 高爐碴、電弧爐氧化碴骨 材試料	環境安全收料檢查研判值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C	高爐碴：3 項 (Se,F,B) 電弧爐氧化碴：5 項 (Pb,Cr(VI),Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	JIS A5011-1,4:2013
		上述之外 (其他)	出貨產品	土對法含量標準值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5011-1,4:2013

					及 環告 19 號			
港灣 用途	JIS 品 及 JIS 同級品 (JIS A5011- 1,4:2013)	<環境安全品質檢查> 高爐碴、電弧爐氧化碴骨 材試料 或 利用模擬試料	—	—	—	—	—	JIS A5011-1,4:2013
		<環境安全收料檢查> 高爐碴、電弧爐氧化碴骨 材試料	—	—	—	—	—	JIS A5011-1,4:2013
		上述之外（其他）	出貨產品	—	—	—	—	援用 JIS A5011-1,4:2013
地盤改良材	適用水底土砂標準之用途		出貨產品	—	—	—	—	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途		出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途		出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法
港灣 ・ 海域工程	適用水底土砂標準之用途		出貨產品	—	—	—	—	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途		出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途		出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法
土木 ・ 陸 路工程	可與土壤區別之用途		出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途		出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法

## ②水合固化體(替代磚塊、碎石)產品適用場所之環境安全品質標準

用途	種類	試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
全部的用途	適用水底土砂標準之用途	出貨產品	—	—	—	—	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS
	無法與土壤區別之用途	出貨產品	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法

註 1) 管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府所訂標準(條令、綱要等)以及指導內容與本表不同時,要遵照地方政府的。

註 2) 用途不在表列分類中時,要確認管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府所適用之標準。

註 3) 此處所謂水合固化體,必須符合「煉鋼爐碴水合固化體技術手冊 1945 年 2 月(一般財團法人 沿岸技術研究中心)」所訂規格者。

註 4) 檢測頻率要依據 JIS A5015:2013。此處所謂生產批次,視每家工廠製造、品質管理等實際情形,製造業者所規定者為準。

註 5) 水泥原料/混合材・石綿(rock wool)・肥料等,是製造工廠在進貨,要遵照與製造工廠的協議。

## 附錄 4

與其他材料混合調製後直接使用的  
煉鋼爐渣產品（原料）適用之  
環境安全品質標準

# 附錄 4

## 與其他材料混合調製後直接使用的煉鋼爐渣產品（原料）適用之環境安全品質標準

### (1)溶出量

#### ①與其他材料混合調製後直接使用的煉鋼爐渣產品適用場所及用途之環境安全品質標準

\*環告 46 號：1991 年 8 月 23 日 日本環境廳告示第 46 號的簡稱

「土壤污染相關環境標準」

\*環告 14 號：1973 年 2 月 17 日 日本環境廳告示第 14 號的簡稱

「防止海洋污染等及海上災害相關法律施行令第 5 條第 1 項所規定要送至掩埋場所等的廢棄物中所含金屬等的檢定方法」

用途	種類		試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
道路・ 鐵路用	路基材	JIS 品 及 JIS 同級品以外	混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿*) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	瀝青 混合物	JIS 品 及 JIS 同級品以外	混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	JIS A5015:2013 附錄 D (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	其他		混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準
地盤 改良材	適用水底土砂標準之用途		混合前的煉鋼爐渣	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準
港灣 ・ 海域 工程	適用水底土砂標準之用途		混合前的煉鋼爐渣	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準



土木 • 陸路 工程	可與土壤區別之用途	混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土壤環境標準
	無法與土壤區別之用途	混合前的煉鋼爐渣	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準

\*利用有姿：不打碎試料，直接做溶出檢測。

## ②與其他材料混合後直接使用的水合固化體(原料)適用場所之環境安全品質標準

用途	種類	試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
全部的用途	適用水底土砂標準之用途	混合前的水合固化體	水底土砂標準值	環告 14 號	7 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	混合前的水合固化體	土壤環境標準值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C (利用有姿) 及 環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS
	無法與土壤區別之用途	混合前的水合固化體	土壤環境標準值	環告 46 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土壤環境標準

\*上表中用煉鋼爐碴與其他材料混合調製後直接使用之產品，混合前的煉鋼爐碴必須符合上表所列環境安全品質標準。

另外，本標準之規定為公家尚未有混合調製相關規格等空窗期間的預防措施。

註 1) 管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府所訂標準（條令、綱要等）以及指導內容與本表不同時，要遵照地方政府的。

註 2) 用途不在表列分類中時，要確認管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府所適用之標準。

註 3) 此處所謂水合固化體，必須符合「煉鋼爐碴水合固化體技術手冊 1945 年 2 月（一般財團法人 沿岸技術研究中心）」所訂規格者。

註 4) 檢測頻率要依據 JIS A5015:2013。此處所謂生產批次，視每家工廠製造、品質管理等實際情形，製造業者所規定者為準。

註 5) 水泥原料/混合材・石綿（rock wool）・肥料等，是製造工廠在進貨，要遵照與製造工廠的協議。

## (2)含量

### ①與其他材料混合調製後直接使用的煉鋼爐碴產品（原料）適用場所及用途之環境安全品質標準

\*環告 19 號：2003 年 3 月 6 日 日本環境省告示第 19 號的簡稱

「土壤含量調查相關測定方法」

\*土對法：土壤污染對策法(2002 年 5 月 29 日法律第 53 號)的簡稱

用途	種類		試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
道路・ 鐵路用	路基材	JIS 品 及 JIS 同級品以外	混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	JIS A5015:2013 附錄 D 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	瀝青混合物	JIS 品 及 JIS 同級品以外	混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	JIS A5015:2013 附錄 D 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS A5015:2013
	其他		混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法
地盤 改良材	適用水底土砂標準之用途		混合前的煉鋼爐碴	—	—	—	—	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法
港灣 ・ 海域 工程	適用水底土砂標準之用途		混合前的煉鋼爐碴	—	—	—	—	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法
土木 ・ 陸路 工程	可與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 土對法
	無法與土壤區別之用途		混合前的煉鋼爐碴	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法

## ②與其他材料混合後直接使用的水合固化體(替代磚塊、碎石)產品適用場所之環境安全品質標準

用途	種類	試料種類	研判標準值	檢測方法	(分析項目)	檢測頻率	規格根據
全部的用途	適用水底土砂標準之用途	混合前的水合固化體	—	—	—	—	水底土砂標準
	可與土壤區別之用途	混合前的水合固化體	土對法含量標準值	JIS A5011-1,4:2013 附錄 C 及 環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	援用 JIS
	無法與土壤區別之用途	混合前的水合固化體	土對法含量標準值	環告 19 號	8 項以上 (Cd,Pb,Cr(VI),As,Hg,Se,F,B)	1 次/生產批次 (1 次/月以上)	土對法

\*上表中用煉鋼爐碴與其他材料混合調製後直接使用之產品，混合前的煉鋼爐碴必須符合上表所列環境安全品質標準。

另外，本標準之規定為公家尚未有混合調製相關規格等空窗期間的預防措施。

註 1) 管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府所訂標準（條令、綱要等）以及指導內容與本表不同時，要遵照地方政府的。

註 2) 用途不在表列分類中時，要確認管轄煉鋼爐碴產品使用場所的地方政府所適用之標準。

註 3) 此處所謂水合固化體，必須符合「煉鋼爐碴水合固化體技術手冊 1945 年 2 月（一般財團法人 沿岸技術研究中心）」所訂規格者。

註 4) 檢測頻率要依據 JIS A5015:2013。此處所謂生產批次，視每家工廠製造、品質管理等實際情形，製造業者所規定者為準。

註 5) 水泥原料/混合材・石綿（rock wool）・肥料等，是製造工廠在進貨，要遵照與製造工廠的協議。

## 附錄 5

# 煉鋼爐渣產品之特性、用途範例與 適用規格、注意事項

附錄 5

煉鋼爐渣產品之特性、用途範例與適用規格、注意事項

		特性	用途範例	適用規格
高爐渣	徐冷爐渣	水硬性 非鹼性骨材反應 低 Na <sub>2</sub> O、低 K <sub>2</sub> O 纖維化後具隔熱・保溫・吸音性能	路基材 混凝土用粗骨材 水泥渣塊(cement clinker)原料(替代黏土) 石綿 (rock wool) 原料	JIS A 5015 JIS A 5011-1 JIS A 5308 JIS A 9504 人造礦物纖維保溫材 (保溫・隔熱材等) JIS A 9521 住宅用人造礦物纖維隔熱材 (住宅用隔熱材) JIS A 9523 噴塗用纖維質隔熱材 (住宅用 blowing 石綿隔熱材) JIS A 6301 吸音材料 (石綿吸音材、石綿美裝吸音板)
		肥料成分(CaO、SiO <sub>2</sub> )	矽酸石灰肥料 (silicate-calcium fertilizer)	肥料取締法
高爐渣	水淬爐渣	微粉碎後潛在水硬性強 低 Na <sub>2</sub> O、低 K <sub>2</sub> O 潛在水硬性 量輕、內磨擦角大、透水性高 不含氯化物非鹼性骨材反應 肥料成分(CaO、SiO <sub>2</sub> )	高爐水泥原料 波特蘭水泥混合材 混凝土用混合材 水泥渣塊(cement clinker)原料(替代黏土) 土木工程用材・地盤改良用材 (內墊材・覆土材・堆土材・路基改良材・操場排水層等) 混凝土用細骨材 矽酸石灰肥料 (silicate-calcium fertilizer) 土壤改良材	JIS R 5211 JIS R 5210 JIS A 6206 港灣工程用水淬爐渣利用手冊 JIS A 5308 肥料取締法
煉鋼爐渣	轉爐・電弧爐渣	質硬、耐磨耗 水硬性 內磨擦角大 FeO・CaO・SiO <sub>2</sub> 成分 不含氯化物非鹼性骨材反應 肥料成分(CaO、SiO <sub>2</sub> 、MgO、FeO)	瀝青混凝土用骨材 路基材 土木工程用材・地盤改良用材 水泥渣塊(cement clinker)原料 混凝土用細骨材・粗骨材 (電弧爐氧化渣骨材) 肥料用及土壤改良材	JIS A 5011-4 JIS A 5015 港灣工程用煉鋼爐渣利用手冊 JIS A 5011-4 肥料取締法
高爐渣與煉鋼爐渣混合	徐冷爐渣	水硬性	路基材	JIS A 5015

## <用做土木用材、地盤改良材、路基材等時的注意事項>

### 1.pH 特性

#### (1)注意點

##### ◎【陸路上的使用】

- 和煉鋼爐碴產品接觸的水有可能不經過土壤外流時，與使用混凝土再生路基材或水泥安定化處理土時一樣，必須實施以鹼性吸附力高的土壤覆蓋、或用二氧化碳等中和處理之後再排放等對策。

##### ◎【海域中的利用】

- 將煉鋼爐碴產品直接投入海水，因所含氫氧化鎂（ $\text{H}_2\text{MgO}_2$ 、Magnesium hydroxide）分離出時可能造成海水白濁，請事前檢討並確認不會影響環境之後再使用。

#### (2)技術資訊

- 煉鋼爐碴產品因含石灰，與水反應後 pH 值上昇至 10~12.5，顯示所具鹼性等同混凝土再生路基材、水泥安定處理土。
- 日本的土壤一般為酸性，正好吸收並中和從煉鋼爐碴產品溶出的鹼性成分。

### 2.膨脹特性

#### (1)注意點

- 用未熟成處理的煉鋼爐碴製成的產品具膨脹特性，請依照檢測表等確認對建築物沒有影響之後再使用。
- 用熟成處理過的煉鋼爐碴做成的路基材，請用根據 JIS 等所定檢測方法的檢測表，確認熟成處理後的膨脹特性之後再使用。

#### (2)技術資訊

- 煉鋼爐碴含游離石灰，具與水反應會膨脹的特性。
- 膨脹特性安定化的方法有：長時間放置戶外經自然降雨等養生的「自然熟成」以及利用高溫蒸氣的「蒸氣熟成」。
- 高爐徐冷爐碴，在粒度調整成容易化合的水硬性煉鋼爐中添加工高爐水淬爐碴的話，有時會生成水和物鈣矾石(ettringite)。而鈣矾石大量生成的話，有時路基會膨脹造成路面隆起。

### 3.粉塵特性

#### (1)注意點

- 煉鋼爐碴產品中，沒有用封罐卡車(bulk tank lorry 車)運送或筒倉保管的產

品，因乾燥狀態及風速可能造成粉塵四散，請實施從輸送～保管～到施工之間的環境保護對策。

產品名稱	應注意之特性			備註
	pH	膨脹	粉塵	
路基材	○	△	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>路基材的上層請加做鋪裝</li> <li>施工中請注意流出的水以免造成不便</li> <li>請確認膨脹特性的測試檢驗表等</li> </ul>
混凝土用骨材	—	—	△	筒倉之外的庫存，請實施與使用天然骨材等時同樣的粉塵對策。
土木工程用材	○	○※1	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工表面請壓實或覆土</li> <li>*1)只有煉鋼爐碴產品</li> </ul>

\*1 水泥原料/混合材・石綿・肥料為製造工廠的進貨，使用時並沒有生活環境上應注意要點。



## 附錄 6

### 面談、場勘項目範例

## 附錄 6

### 面談、場勘項目範例

#### (1)面談資料

- ①面談年月日
- ②說明者
- ③面談者
- ④說明內容
  - 爐碴的種類
  - 爐碴的性質・特性
    - pH 特性、白濁、膨脹性、水硬性、粉塵等
  - 使用上的注意事項
    - 禁止轉用、轉賣
- ⑤說明資料
  - MSDS 或 SDS、目錄、測試檢驗表

#### (2)買家、利用場所、利用方法等資料

- ①調查年月日
- ②工程名稱
- ③施工場所
- ④業主姓名
- ⑤施工業者名稱
- ⑥用途：道路路基（上層、下層）、路床（路堤或路塹）用、停車場用、工程道路用、地盤改良用等具體用途
- ⑦規格、煉鋼爐碴產品的種類
- ⑧進貨時期・工期
- ⑨數量
- ⑩有無與其他資源再生材或其他公司的煉鋼爐碴產品共同使用
- ⑪施工場所的用地分類：工業用地、農業用地、市街地、山間地 等
- ⑫施工場所的地形：平地、傾斜地、窪地、沼澤 等
- ⑬施工場所的履歷：掩埋場、沼澤地 等

- ⑭施工後的情形：有路面鋪裝、無路面鋪裝等
- ⑮適用之環境標準：土壤環境標準、水底土砂標準
- ⑯施工方法
  - ・有無轉壓、有無堆土工法、有無排水孔
  - ・其他特別的工法（三明治工法等）
- ⑰施工中的保管場所
- ⑱運送方法、運送中的暫時保管場所

### **(3)場勘（現場調查）**

- ①調查者
- ②混入異物的風險
- ③膨脹特性影響周邊環境的可能性
  - （應確認項目範例）
  - ・有無因膨脹受影響的建築物
- ④pH 特性影響周邊環境的可能性
  - （應確認項目範例）
  - ・對水井、邊溝、農業用水、農業用灌溉地、魚塭、水田、菜園、河川、湖沼、海洋、植栽地等有無影響
- ⑤粉塵影響周邊環境的可能性

### **(4)調查結果的研判**

- 研判可否進貨、可以進貨的條件
- 指示・指導內容

以上

## 附錄 7

### 可否接訂的研判標準範例

## 可否接訂的研判標準範例

### <因高 pH 值流出水必須從環保面研判可否接訂的標準>

河川、湖沼、下水道等的公共用水區域接觸到煉鋼爐碴產品，但並沒有直接規範流出水的法律。因為高 pH 值流出水可能影響到環境安全時，必須採取必要對策，根據水質污濁防止法規定的排放水標準，pH 容許限度為 5.8~8.6(海域為 5.0~9.0)。從施工中到施工後無法採取必要對策時，就要終止銷售。

#### (必要的對策範例)

##### (1)永久性對策範例：施工後流出水對策

- ①如同表層鋪裝柏油或混凝土非透水性的道路一樣，煉鋼爐碴產品（路基材）沒有直接和雨水等接觸時，不需特別實施流出水對策。
- ②因煉鋼爐碴產品所含物質溶出，高 pH 值流出水有可能直接流入公共水域時，要實施以鹼性吸附力高的土壤覆蓋等對策。
- ③煉鋼爐碴產品周邊地盤的鹼性吸附力高時，流出水會被吸附，不致影響地下水，所以不需特別實施流出水對策。
- ④煉鋼爐碴產品周邊地盤的鹼性吸附力低時，則必須調查周邊地下水的水位・流向・流速以及水利狀況等，與地下水接觸部分周圍要實施用樁板將地下水隔離，或用鹼性吸附能力高的土壤覆蓋等對策。
- ⑤和擋土牆內墊材使用煉鋼爐碴產品時一樣，透過擋土牆排水孔部分流出水可能會排放到擋土牆外側邊溝等時，排水孔周邊要用鹼性吸附力高的土壤覆蓋。
- ⑥上述對策中的覆土・墊土材的土質與厚度是否適恰，要衡量煉鋼爐碴的 pH 值特性及土質的鹼性吸附能力，並視施工條件・狀況決定之。

##### (2)施工中的對策範例

施工中，實施永久對策前，高 pH 值流出水可能直接排放到公共水域時：

- ・要設置暫時貯留設施，實施用二氧化碳中和之後再排放等措施，防止高 pH 值水流出。

- 還有，用蓋布等覆蓋煉鋼爐渣產品施工場所，防止雨水接觸煉鋼爐渣產品。

以上

國家圖書館出版品預行(CIP)編目資料

電弧爐還原渣安定化技術手冊 / 凌韻生總編輯. -- 初版. -- 臺北市：工業局；新竹縣竹東鎮：財團法人環境與發展基金會，民 106.01

面；公分

ISBN 978-986-05-1785-9(平裝附光碟片)

1.鋼鐵工業 2.工業廢棄物處理

486.2

106000969

電弧爐還原渣安定化技術手冊

出版日期：中華民國106年1月

發行人：吳明機

總編輯：凌韻生

編輯企劃：陳良棟、曾志雄、顏鳳旗、黃群真

執行編輯：蔡敏行、黃兆龍、陳文卿

審查委員：林志棟、柯明賢、黃偉慶、楊仲家(依姓氏筆劃排序)

發行所：經濟部工業局

出版所：經濟部工業局

106台北市信義路三段41-3號

TEL：(02)2754-1255 FAX：(02)2703-0160

<http://www.moeaidb.gov.tw>



財團法人環境與發展基金會

310新竹縣竹東鎮中興路四段195號52館512室

TEL：(03)591-0008 FAX：(03)582-0231

<http://www.edf.org.tw/>

美工排版：英仲彩色圖文有限公司

印刷承製：英仲彩色圖文有限公司

GPN：1010600147

ISBN：978-986-05-1785-9

版次：初版

定價：新台幣參佰元整

著作權利管理資訊：

經濟部工業局保留所有權利。欲利用本書或部分內容者，需徵求經濟部工業局同意或書面授權。

聯絡資訊：圖書室(02)2754-1255轉3916



INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,  
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS  
經濟部工業局



INDUSTRIAL DEVELOPMENT BUREAU,  
MINISTRY OF ECONOMIC AFFAIRS  
經濟部工業局

106台北市信義路三段41-3號

電話：(02)2754-1255

傳真：(02)2703-0160

網址：<http://www.moeaidb.gov.tw>

ISBN 978-986-05-1785-9



GPN 1010600147

定價：新台幣300元整 (平裝附光碟片)