



防蝕工程學會

防蝕工程

期刊網址：<http://www.anticorr.org.tw>

防蝕工程



10.6376/JCCE.201609\_30(3).0004

## 新型滾筒渣水泥砂漿耐久性能之研究 Study of Durability Property of Composite Cement Mortar Containing Baosteel Slag Short Flow

何春玲<sup>1</sup>、王和源\*<sup>2</sup>、林志忠<sup>3</sup>、蕭育倫<sup>2</sup>

Ho Chun-Ling<sup>1</sup>, Wang Her-Yung\*<sup>2</sup>, Lin Chih-Chung<sup>3</sup>, Hsiao Yu-Lun<sup>2</sup>

### 摘要

隨著時代的變遷與經濟的發展，我國對鋼鐵的需求日漸增加，而煉鋼之過程伴隨而來的是工業廢棄物，如能有效的處置，以降低二氧化碳的排放量，使之成為再生綠色建材而達到環保的效益已更為重要。本研究係以不同水膠比，配合爐石粉與通過四號篩之滾筒渣，依不同比例取代水泥及天然砂製作複合型水泥砂漿，探討其耐久性質。結果顯示電阻值會因滾筒渣取代量之增加而提高，其它取代量比控制組提高 1.02~1.58 倍，表示取代量增加時試體就越緻密，其電流就越不易通過，因此電阻值越高，表示有較佳之耐久性能。而滾筒渣含有游離氧化鈣，因此新型滾筒渣水泥砂漿之膨脹量則會隨著滾筒渣取代量的提升而增加。

關鍵詞：滾筒渣；複合型水泥砂漿；耐久性；工業廢棄物。

### Abstract

As the development of economy and the changing of times, the steel demand of our country has increased. However, industrial wastes produced during the smelting process have become a problem to the environment. In order to reduce CO<sub>2</sub> emission, it is important to recycle the smelting wastes and reproduce them into green materials. In this study, different water-to-binder ratios, with slag and Baosteel slag short flow passing by No. 4 sieve, have been used to make the composite cement mortars with different replacement ratios of cement and

收到日期：2018 年 3 月 30 日

修訂日期：2018 年 4 月 23 日

接受日期：2018 年 7 月 30 日

<sup>1</sup> 高苑科技大學資訊管理系

<sup>1</sup> Department of Information Management, Kao Yuan University of Applied Sciences

<sup>2</sup> 國立高雄科技大學土木工程系

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

<sup>3</sup> 高雄醫學大學總務處營繕組

<sup>3</sup> Construction and Maintenance Division, Office of General Affairs, Kaohsiung Medical University

\*聯絡作者：wangho@kuas.edu.tw

natural sand. The effect of Baosteel slag short flow on the durability of the composite cement mortar was discussed in this study. The results show that the resistance of the composite cement mortar increased as the amount of the ballast roller substitution increased, which is 1.02 to 1.58 times of the one without ballast roller substitution. The higher resistance implies that the better durability due to the composite cement mortar with ballast roller substitution was more compact. It is also found that baosteel slag short flow contains f-CaO, therefore, the expansion of composite cement mortar increased as the amount of ballast roller substitution increased.

Keywords: Baosteel slag short flow; Composite cement mortar; Durability; Industrial wastes.

## 1. 前言

開發中國家，因資源過度開發造成日益枯竭，而營建業應用於水泥、骨材等資源，都因需求資源日益減少。加上環境汙染影響問題日趨嚴重，除了有效再利用資源外，更新技術或可替代之材料為營建材料永續發展之目的，目前各產業界均紛紛朝向綠化與節能邁進，而降低環境之汙染<sup>[1]</sup>。

隨著經濟的發展，我國對鋼、鐵的需求日益增加，相對煉鋼的過程中所產生的工業副產物亦逐年增加，而轉爐石、改質轉爐石、脫硫渣、電爐石、滾筒爐石皆是煉鋼、煉鐵過程中所產生的副產品。由於轉爐石、脫硫渣遇水時，其中的游離石灰(f-CaO)會因水化作用，而形成  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  及  $\text{CaCO}_3$ ，使體積膨脹，導致工程應用上受到了限制，而長期且不均勻回脹之特性，為爐石材料在工程上最需要克服之問題<sup>[2]</sup>。轉爐石為煉鋼一貫作業之副產品，我國近年來產量每年約 120~130 萬公噸，佔煉鋼副產品 20%，由於轉爐石具有抗壓性高、磨損率低、粒料替代潛能高等特性，隨著近來轉爐石資源化應用漸廣，我國多將轉爐石用於地盤回填、施工便道、地盤改良材料等土木填方工程中。但未改質轉爐石遇水即會進行水化反應而導致體積膨脹，且其回脹行為是一長期且不均勻之行為，若冒然使用會造成諸多工程問題<sup>[3]</sup>。台灣腹地狹小自然資源不足，由於政府擴大內需以及節能減碳政策，近年來相關公共工程推動，所需資源大幅增加，有鑑於歐美等先進國家廢棄物再利用制度完善，國內之研究也漸漸以此為發展方向，近來鐵礦渣之相關負面新聞報導，使得

民眾對於鐵礦渣再利用觀感不佳，但大多數民眾並不了解鐵礦渣之處理方式與再利用特性<sup>[4]</sup>。所以為了增加爐渣資源化利用之可行性，以爐渣取代天然粒料，希望減少天然粒料之開採，但爐渣中具有高度不穩定之物質，未處理前若將其加入水泥砂漿中，易造成體積膨脹，導致水泥砂漿斷裂或龜裂<sup>[5]</sup>。而鋼渣是非常理想的二次資源，可廣泛用於建材、水泥、道路等多領域。如能有效地迴圈利用鋼渣，可帶來巨大的社會與經濟效益，為鋼鐵業綠色發展、迴圈經濟提供有力支撐。因此若能對鋼渣進行深入探討、變廢為寶，有助於鋼鐵業與下游建築、建材行業聯合解決鋼渣堆棄造成的金屬浪費、環境污染和土地佔用等問題，最終達到經濟與社會效益的雙贏<sup>[6]</sup>。

隨著科技日新月異，生活周遭隨處可見金屬製品，全球各國對於鋼鐵的需求也逐年上升。2013 年全球鋼鐵表面消費量約為 15 億餘噸，且每年都會增長 2% 的消費量，可見全世界對於鋼鐵的需求相當可觀<sup>[7-9]</sup>。而由於傳統處理鋼渣的方法有許多技術上的困難或是處理出的鋼渣品質不佳等問題，因此寶鋼集團經過數餘年的努力研發了新型鋼渣處理技術 Baosteel Slag Short Flow 簡稱 BSSF。BSSF 不僅能將煉鋼熔渣快速粒化，更是結合安全、環保及資源化的新型技術<sup>[10]</sup>。BSSF 是將高溫熔態鋼渣在一個轉動中的密閉容器中進行處理，在處理介質和冷卻水的共同作用下，高溫鋼渣被急速冷卻並破碎。其中處理過程污水循環使用，排放的蒸汽也集中處理，非常符合環保的理念<sup>[11]</sup>。

## 2. 實驗方法

### 2.1 試驗材料

本研究採用台灣品牌水泥公司所生產之卜特蘭第 I 型水泥，品質符合 CNS 61 規範要求。天然砂石經篩分析試驗後得之粒徑分佈曲線符合 ASTM C33 規範，並做比重、吸水率之基本性質試驗。滾筒渣(Baosteel's Slag Short Flow, BSSF)由廠商提供，經壓碎機處理後，通過 4 號篩，細度接近天然骨材粒徑。爐石粉為中鋼公司所生產之水淬高爐石，經中聯公司研磨成細粉其性質符合 CNS12549 之規範。拌和用水使用符合 CNS 1237 之規定。材料之基本物性及化性性質如表 1 及表 2 所示。

### 2.2 試驗變數及項目

採用三種水膠比(0.45、0.5、0.55)，滾筒渣依不同比例(0、25、50、75 and 100%)取代砂，並固定以 20%爐石粉取代水泥，拌製成複合型水泥砂漿，配比單位重如表 3 所示。

流度根據 ASTM C230-97 規範規定。抗壓強度根據 ASTM C39 規範規定。超音波波速根據 ASTM C597 之方法。熱壓膨脹試驗根據 ASTM C151 規範，以高壓蒸煮鍋進行熱壓膨脹試驗。四極式電阻所用混凝土電阻係數量測儀為瑞士 PROCEQ 所生產四極式電阻量測儀評估水泥砂漿耐久性。微波催化與高溫催化皆參考文獻<sup>[12]</sup>進行試驗。

表 1 配比單位重。  
Table 1 Ratio unit weight.

						unit:kg/m <sup>3</sup>
Substitution (%)	W/B	Cement	Slag	Sand	Slag of BSSF	Water
B0	0.45	450	103.2	1521.3	-	248.9
B25				1140.9	465.6	
B50				760.6	931.3	
B75				380.3	1396.9	
B100				-	1862.6	
B0	0.5	435	99.7	1470.4	-	267.4
B25				1102.5	450	
B50				734.6	900	
B75				366.6	1350	
B100				-	1800	
B0	0.55	425	97.48	1436.8	-	287.4
B25				1077.6	439.8	
B50				718.4	879.6	
B75				359.2	1319.3	
B100				-	1759.1	

表 2 材料之基本性質。  
Table 2 The basic properties of the material.

項目	比重(SSD)	單位重(kg/m <sup>3</sup> )	吸水率(%)	含水率(%)	細度模數
滾筒渣	3.22	2092	2.94	1.2	3.7
天然砂	2.63	1872	2.65	1.2	3.1

表 3 材料之化學性質分析。  
Table 3 Analysis of the chemical properties of the material.

Item	Chemical contents (%)		
	Slag of BSSF		Slag of BSSF
SiO <sub>2</sub>	8.76	SiO <sub>2</sub>	8.76
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.77	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.77
CaO	41.67	CaO	41.67
MgO	5.67	MgO	5.67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.52	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.52
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.63	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.63
MnO	2.53	MnO	2.53
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.21
f-CaO	1.84	f-CaO	1.84

### 3. 結果與討論

#### 3.1 流度

圖 1 所示，流度會隨著取代量之增加而上升，與控制組相比流度約增加 1.01~1.09 倍，流度亦會隨著水膠比之增加而上升，與水膠比 0.45 相比約增加 1.03~1.04 倍。由於滾筒碓之粒徑與天然砂比起來較不規則，粒徑間之孔隙也較小，填充完孔隙還有些許水份，導致流度增加。

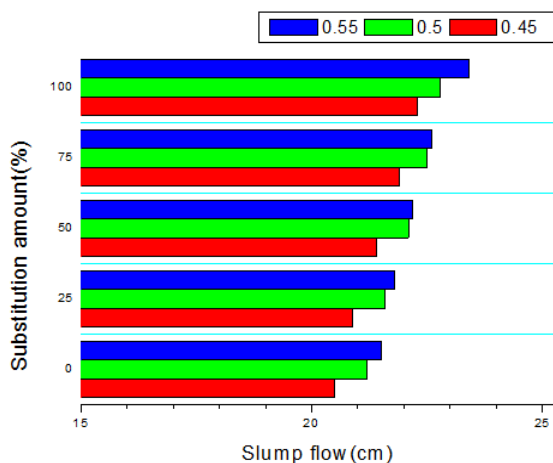


圖 1 新型滾筒碓水泥砂漿流度與取代量關係圖。  
Figure 1 Relationship between slump flow and substitution amount of composite cement mortar containing baosteel slag short flow.

#### 3.2 抗壓強度

圖 2 所示，滾筒碓之抗壓強度會因取代量的上升而增加，當取代量逐漸上升強度亦會跟著增加，取代量 100%時會有最高強度，與控制組相比強度約成長 1.12~1.6 倍，但隨著水膠比之增加強度反而降低，與水膠比 0.45 相比強度約降低了 0.92~0.98 倍，且隨著齡期之增長抗壓強度也相對地增加，各取代量 1 天齡期到 91 天齡期之抗壓強度約成長 1.79~2.89 倍。而水膠比 0.45 滾筒碓取代量 100%之抗壓強度在各齡期下皆為最高。

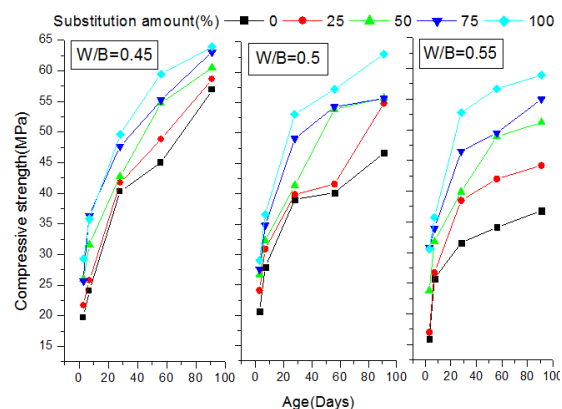


圖 2 新型滾筒碓水泥砂漿抗壓強度與齡期關係圖。  
Figure 2 Relationship of compressive strength and age of composite cement mortar containing baosteel slag short flow.

### 3.3 四極式電阻

圖 3 所示，與控制組相比約上升 1.02~1.58 倍，但隨著水膠比之增加電阻值反而降低，與水膠比 0.45 相比電阻值約降低了 0.91~0.94 倍，且隨著齡期之增長電阻值也相對地上升，各取代量 1 天齡期到 91 天齡期之電阻值約成長 2.13~3.36 倍。表示水膠比 0.45 時取代量上升試體就越緻密，其電流通過就會越不易，因此電阻值也就會越高，顯示較低水膠比有較高緻密性。

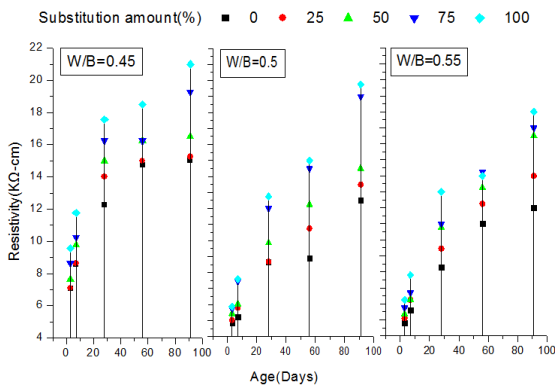


圖 3 新型滾筒渣水泥砂漿電阻值與齡期關係圖。

Figure 3 Relationship of resistance value and age of composite cement mortar containing baosteel slag short flow.

### 3.4 熱壓膨脹試驗

圖 4 所示，膨脹量會隨著滾筒渣取代量之增加而上升，因滾筒渣裡含有游離氧化鈣(f-CaO)，在與水反應後會有膨脹之疑慮，當取代量達到 50% 時膨脹量平均高於控制組 1.5 倍之多，而滾筒渣取代量 100% 因膨脹產生斷裂，導致無法量測，圖 5 為 100% 取代量砂漿棒斷裂示意圖。

### 3.5 微波催化

圖 6 所示，因滾筒渣裡含有游離氧化鈣(f-CaO)，滾筒渣的取代量越高，試體膨脹的幅度也會越大。取代量 0%~100% 膨脹量分別為 0.0129%、0.0155%、0.0225%、0.0289% 及 0.0366%，其中取代量達 50% 時，膨脹量為控制組的 1.75 倍；取代

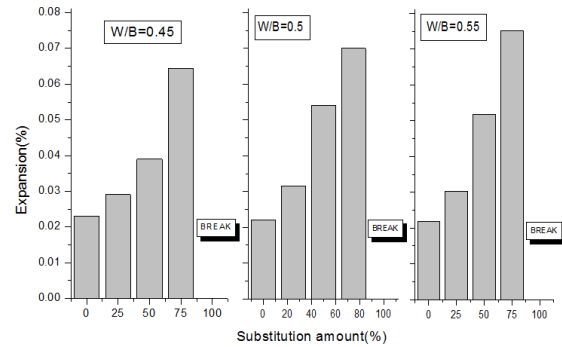


圖 4 新型滾筒渣水泥砂漿熱壓膨脹量與取代量關係圖。

Figure 4 Relationship between autoclave expansion and substitution amount of composite cement mortar containing baosteel slag short flow.



圖 5 滾筒渣 100% 取代量砂漿棒斷裂示意圖。  
Figure 5 Schematic diagram showing cement mortar stick rupture by replaced 100% baosteel slag short flow.

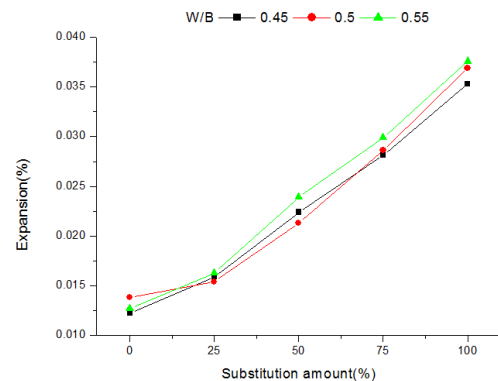


圖 6 新型滾筒渣水泥砂漿微波催化膨脹量與取代量關係圖。

Figure 6 Relationship between expansion amount of microwave catalyzed and substitution amount of composite cement mortar containing baosteel slag short flow.

量達 100%時有最高之膨脹量，較控制組高出 0.0237%。而水膠比與膨脹量無明顯關係，僅與取代量有明顯之關聯性。

### 3.6 高溫催化

圖 7 所示，隨著高溫催化天數之增加，膨脹量也跟著增加，至第四天時試體表面已出現些許爆裂點與微裂縫，但還不至於使試體斷裂。如圖 8 所示，由於滾筒渣取代量越多，試體內所含的游離氧化鈣(f-CaO)就會越多，造成之膨脹也會越明顯。控制組第 4 天之膨脹量平均為 0.0441%，而取代量 100%膨脹量平均為 0.0646%，為控制組的 1.46 倍。各取代量膨脹量皆明顯高於控制組。

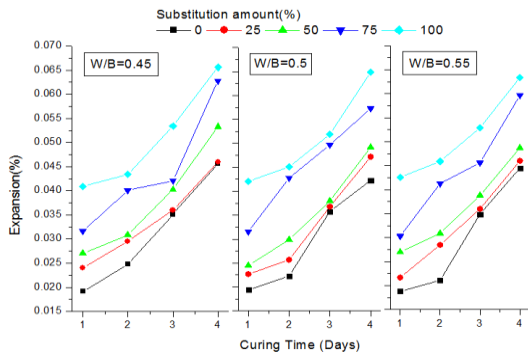


圖 7 新型滾筒渣水泥砂漿高溫催化四天膨脹量。

Figure 7 Amount of expansion of high temperature catalysis for four days with composite cement mortar containing baosteel slag short flow.

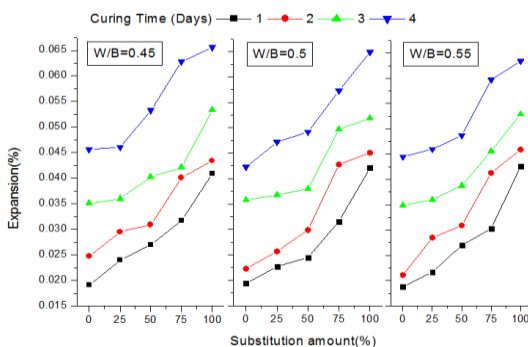


圖 8 新型滾筒渣水泥砂漿高溫催化與取代量關係圖。

Figure 8 Relationship between high temperature catalysis and substitution amount of composite cement mortar containing baosteel slag short flow.

## 4. 結論

1. 由於滾筒渣之粒徑與天然砂比起來較不規則，粒徑間之孔隙也較小，填充完孔隙還有些許水分，導致流度增加，流度會隨著取代量之增加而上升，與控制組相比流度約增加 1.01~1.09 倍，流度亦會隨著水膠比之增加而上升，與水膠比 0.45 相比約增加 1.03~1.04 倍。
2. 取代量 100%時會有最高強度，與控制組相比強度約成長 1.12~1.6 倍，但隨著水膠比之增加強度反而降低，與水膠比 0.45 相比強度約降低了 0.92~0.98 倍，且隨著齡期之增長抗壓強度也相對地增加，各取代量 1 天齡期到 91 天齡期之抗壓強度約成長 1.79~2.89 倍。
3. 水膠比 0.45 取代量 100%時電阻值為最高，表示取代量上升試體就越緻密，其電流通過就會越不易，亦顯示低水膠比有較高緻密性。
4. 膨脹量會隨著滾筒渣取代量之增加而上升，因滾筒渣裡含有游離氧化鈣(f-CaO)，在與水反應後會有膨脹之疑慮，當取代量達到 50%時膨脹量平均高於控制組 1.5 倍之多；而滾筒渣取代量 100%因膨脹產生斷裂，導致無法量測。
5. 微波催化及高溫催化之膨脹量皆會隨著滾筒渣取代量之增加而上升，因滾筒渣裡含有游離氧化鈣(f-CaO)，在與水反應後會有膨脹行為。
6. 如果工業副產品-滾筒渣能夠有效的利用，將能減少廢棄物及開發的能源消耗，達到環保、節能的功效，是個很好的再生綠建材。

## 致謝

本研究之完成感謝科技部 (MOST 106-2221-E-151-012 及 107-2221-E-992-040) 補助部份經費。

## 參考文獻

- [1] 張榮宸，「稻殼助劑及卜作嵐材料對水泥砂漿性質之影響」，國立雲林科技大學營建工程系碩士論文，2014。

- [2] 沈詩軒，「爐石材料回脹行為與其改善方法之研究」，國立成功大學土木工程學系碩士論文，2014。
- [3] 陳立昂，「轉爐石路基回脹行為與改善方法探討」，國立成功大學土木工程學系碩士論文，2014。
- [4] 林凱悅，「鐵礦渣再利用於鋪面工程之研究」，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，2011。
- [5] 黃偉倫，「爐渣在水泥基質材料中的膨脹行為及安定化方法初探」，中原大學土木工程研究所碩士論文，2014。
- [6] 羅欽源，「中國鋼鐵產能過剩之評估與影響」，國立中山大學財務管理學系研究所碩士論文，2013。
- [7] 潘文炎，「台灣鋼鐵業的挑戰與機會」，財團法人中技社專題報告2013-08，2013。
- [8] 陳建任，「2014全球鋼鐵現況與2015展望」，產業報導，2014，第80頁。
- [9] 陳建任，「台灣鋼鐵產業發展趨勢與鋼價展望」，金屬工業研究發展中心，2011。
- [10] 肖永力、李永謙、劉茵，「渣處理技術的發展」，世界鋼鐵，第9卷，第6期，2009，第49頁。
- [11] 李遼沙、曾晶、蘇世懷，「鋼渣預處理工藝對其礦物組成與資源化特性的影響」，金屬礦山，第12卷，2006，第71~74頁。
- [12] 許博語，「利用高溫催化技術探討含鋼渣砂漿之膨脹行為」，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技系碩士論文，2013。
- [13] "Corrosion Behavior of Model Zirconium Alloys in Deaerated Supercritical Water at 500°C", Q., Gartner, E., Busby, J. T., Motta, A. T., & Was, G. S., Corrosion, 63 (2007), pp.577-590.