

廃棄物溶融スラグのコンクリート構造物への適用性に関する研究

Application of Municipal and Industrial Wastes Molten Slag to Concrete Structures

松家武樹 Takeju MATSUKA*

要 旨

近年、あらゆる分野において環境問題に対する取り組みが積極的に行われている。コンクリート分野においても環境問題は、配慮すべき重要な問題であると共に、優先的に取り組むべき課題として認識され始めている。コンクリートに関連する環境問題には、材料、製造、施工等による環境負荷に加えて、フライアッシュや高炉スラグ等の各種副産物の有効利用のようなプラスの側面もある。最近では一般廃棄物および産業廃棄物処理物である溶融スラグの適切な利用が求められるようになってきた。

一般廃棄物の処理は、従来焼却による残渣の埋立処分がなされてきた。しかし、この処理方法は、ダイオキシン類の生成や焼却灰へのダイオキシン類の残留といった安全上の問題、更には埋立最終処分場の逼迫等が問題となっていた。これらの問題を解決するために、一般廃棄物を高温で溶融する処理が行われるようになってきた。この処理は、残渣として溶融スラグを発生させる。

一方、香川県豊島では、20年近くに亘って産業廃棄物が不法に投棄されてきた。その総量は土壌も含めて約67万トンに上る。これらを実害化処理するために、平成16年度から高温溶融による処理が開始されているが、処理には今後約10年の歳月を要する。このようにして生産された溶融スラグは、コンクリートへ利用することが求められている。

2006年には「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」に関するJIS A 5031が制定された。しかし、溶融スラグは処理対象物、溶融方式および溶融炉等によってその特性が異なること、およびJISに記される溶融スラグのコンクリートへの利用範囲は限定されていることから、より広範なデータの蓄積が強く望まれている。なお、産業廃棄物溶融スラグに関しては、データが十分でないことからJISの適用範囲から除外された。従って、産業廃棄物溶融スラグの標準化に向けての基本的な情報を蓄積することが重要となる。

以上のことを背景に、本研究では、廃棄物溶融スラグのコンクリート構造物への適用性について明らかにすることとした。本研究では、大きく分けて三つのことについて検討した。第一に、溶融スラグを用いたコンクリートの材料学的特性についてである。第二に、溶融スラグを用いたRC部材の力学的特性についてである。そして第三に、溶融スラグの実構造物への適用性についてである。第一の材料学的検討では、コンクリート用細骨材として溶融スラグを用いたコンクリートの強度や耐久性等を含む基本的特性についての検討を行った。また、溶融スラグは、一般的に単位水量の増加や強度低下等の問題があるが、これらの課題を克服するために、溶融炉より排出された溶融スラグに磨砕加工を施し、磨砕の効果についても検討した。第二のRC部材の検討では、RC部材の耐荷挙動、およびコンクリートと鉄筋の付着特性に及ぼす溶融スラグの影響について検討した。第三の実構造物への適用の検討では、実環境下において溶融スラグを用いたRC床版を製作し、車両通過による載荷実験を行い、RC床版の耐荷挙動に及ぼす溶融スラグの影響について検討した。

本研究の成果をまとめると以下の通りである。

- (1) 溶融スラグのコンクリートへの利用は、溶融スラグの種類および置換率によってその影響は異なるが、一般にブリーディングの増加および強度低下を招く。しかし、耐久性に関しては溶融スラグを用いない場合と同等程度以上の性能が得られる。
- (2) 本研究で用いた溶融スラグの範囲においては、置換率を40%程度に抑えることにより一般的な利用が可能となる。
- (3) 溶融スラグに磨砕を施すことにより、コンクリートの単位水量を著しく低減させ、そのことがブリーディングの増大や強度低下を抑制する。その結果、溶融スラグの置換率を増加させることが可能である。
- (4) 溶融スラグを用いたRC梁の終局耐力は一般的な方法で算定できる。
- (5) 土木学会のひび割れ幅算定式は、溶融スラグを用いたRC梁のひび割れ幅を安全側に評価する。
- (6) RC梁における鉄筋の平均付着応力は、ブリーディング率と相関関係がある。
- (7) 溶融スラグの利用は、水セメント比が大きい場合、ブリーディングによる鉄筋の付着の低下によりRC梁のたわみを若干増加させる。

* 技術研究所

「香川大学学位論文 2007.3」の要旨を掲載

- (8) RC 梁のひび割れ区間をモデル化する, コンクリート断面の中央に鉄筋を配置する両引き試験は, 必ずしも RC 梁における鉄筋の付着挙動を示さない。これに対して, 本研究で考案した偏心両引き試験は RC 梁における鉄筋の付着挙動を把握することが可能である。
- (9) 熔融スラグ置換率 40%の RC 床版によるフィールド試験及びそれらを切り出した RC 梁としての試験の結果から, 熔融スラグを実際の鉄筋コンクリートに用いることが可能である。

キーワード : 熔融スラグ, 一般廃棄物, 産業廃棄物, コンクリート構造物, 材料特性, 力学特性

Summary

In recent years, the importance of the consideration to environment is increasing more and more in every field. The field of concrete is also unexceptional. There are problems of the environmental impacts by the material, manufacturing, and construction in environmental problem concerning concrete. On the other hand, effective use of various by-products such as fly ash and the blast-furnace slag has the positive aspect. The effective use of the municipal waste and industrial waste molten slag in which the high-temperature smelting treatment is performed is requested recently.

The municipal waste has been incinerated so far and the produced residues have been reclaimed. However, in light of less space of reclaimed land and the need to detoxify harmful substances, the incineration of waste became a problem. In order to make it harmless, high-temperature smelting treatment is being performed. Through this treatment, however, molten slag is produced as the residue.

Industrial waste has been illegally dumped for more than 20 years in Teshima Island, Kagawa, Japan. The amount of waste that has been dumped there reached 670,000 tons including the contaminated soil. In order to make it harmless, high-temperature smelting treatment is being performed since 2007. In addition, it takes about ten years to process all waste. Application of the molten slag to concrete structures are also expected because of the amount produced in the treatment.

JIS A 5031 concerning「Melt-solidified slag aggregate for concrete derived from municipal solid waste and sewage sludge」was enacted in 2006. However, the range of the use of molten slag to concrete provided in JIS is limited. Therefore, the accumulation of wider data is strongly expected. For the industrial waste molten slag, the quantity of basic data of concrete using industrial waste molten slag is not enough. As a result, it was excluded from the applicable criterion of JIS. Therefore, accumulation of basic information for the standardization of the industrial waste molten slag becomes important.

Based on the above-mentioned background, in this study, application of municipal and industrial wastes molten slag to concrete structures was examined. This study consists of three parts. Firstly, the material properties of concrete using molten slag were examined. Secondly, the mechanical behavior of reinforced concrete members using molten slag was examined. Thirdly, the application of molten slag to concrete structures was examined. In the first part, the basic properties including strength and durability of concrete using molten slag as a fine aggregate in concrete were examined. This study was also conducted to examine the effect of mutual-rubbing reformation of molten slag on the properties of concrete. In the second part, the influence of the molten slag on the load carrying capacity, deflection, crack behavior, and the bond characteristic of the reinforcing bar in reinforced concrete beam was examined. In the third part, the influence of the molten slag on the mechanical behavior of the RC slab was examined.

The findings of this study are summarized as follows:

- (1) In general, the use of the molten slag to concrete causes an increase in strength and decrease in bleeding. However, the concrete using molten slag has almost the same durability as the concrete in which molten slag is not used.
- (2) For general use of the molten slag the replacement ratio is about 40% as fine aggregate in concrete.
- (3) The shape improvement of the molten slag by rubbing-reformation decreases the unit quantities of water, and the decrease of the unit quantities of water restrains the decrease in strength and increase in bleeding. As a result, the molten slag replacement ratio can be increased.

- (4) The flexural and shear capacities of a reinforced concrete beam using the molten slag can be evaluated with ordinary methods.
- (5) The crack width calculation formula in the Japan Society of Civil Engineers Standard Specifications for Concrete Structures evaluates the crack widths of reinforced concrete beams using the molten slag on the safety side.
- (6) There is a correlation between average bond stress and the bleeding ratio.
- (7) The deflection of reinforced concrete beams using molten slag tends to increase with an increase in the water cement ratio of concrete.
- (8) The axial tension test to arrange a reinforcing bar at the center of the concrete section does not necessarily show the bond behavior of the reinforcing bar in the reinforced concrete beam. On the other hand, the eccentric axial tension test designed in this research can represent the bond behavior of the reinforcing bar in the reinforced concrete beam.
- (9) From the result of the field examination by the reinforced concrete slab and the examination of the reinforced concrete beam both using the molten slag replacement ratio of 40%, the molten slag can be applied to actual reinforced concrete structures.