

高炉徐冷スラグを利用した新埋戻し材の溶出特性と配合設計

早稲田大学 正会員

早稲田大学 学生会員

東京地下鉄(株)

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員

赤木 寛一

○神谷 雄三

田中 佑昌

中島 誠三

斉藤 泰久

橋本 健志

1. はじめに

高炉徐冷スラグは製鉄業より大量に発生する副産物であり、再利用が求められている。また、建設発生土に対しては、最終処分場の残余年数問題、環境への影響、依然として低い建設汚泥再利用化率の 3 つの問題が存在する。ここでは高炉徐冷スラグと建設発生土の有効利用を目的として、地下鉄工事開削部の埋戻しに用いられる新埋戻し材の土質材料としての利用を検討した。具体的には、地下鉄建設工事において排出される建設発生土から作成される泥水に高炉徐冷スラグを添加し、新埋戻し材としての適用性を調査した。

2. 試料と実験の概要

実験試料は、地下鉄工事における発生土の調整泥水と、製鉄の過程で副産物として生じる 2 種類の高炉徐冷スラグ、固化材として高炉 B 種セメントおよび石膏分を加えたセメント系固化材を使用した。実験に用いた土質材料の物性値を表 2.1 に示す。

配合は、高炉徐冷スラグまたは山砂を新埋戻し材 1m³ 当たり 440kg の割合に固定し、固化材の配合比率を変化させ、全体比重が 1.5、フロー値 180~300mm、ブリージング率 1(%) 以内となるよう調整泥水を加え、これらをハンドミキサーにより約 1 分程度練混ぜ、新埋戻し材を作成した。表 2.2 に具体的な新埋戻し材の配合を示す。これらの配合で作成された供試体について、一軸圧縮試験および「土壌の汚染に係る環境基準について」に定められている 27 項目のうち、銅を除く 26 項目について溶出試験を行った。

3. 実験結果

3.1 高炉徐冷スラグを用いた新埋戻し材の強度特性

高炉徐冷スラグと山砂を用いた新埋戻し材の一軸圧縮試験結果を以下に示す。固化材に高炉 B 種セメントを用いた場合の結果を図 3.1 に、セメント系固化材を用いた場合の結果を図 3.2 に示す。同じ固化材量であればセメント系固化材の方が高炉 B 種セメントより強度は高く、高炉徐冷スラグ A を用いた供試体は山砂を用いた供試体と同程度の強度を示した。従って、強度面では高炉徐冷スラグは山砂に代わる土質材料として新埋戻し材に適用することが可能である。

長期材齢における一軸圧縮強度については、高炉 B 種セメントを用いた配合について、固化材量が 1m³ あたり 70kg 以上で材齢 6 ヶ月強度が流動化処理土¹⁾ 基準値の上限である 55N/cm² を超過している。セメント系固化材を用いた配合については固化材量 65kg 以上で基準値を超過している。従って、固化材量は新埋戻し材 1m³ あたり 55~60kg とする必要がある。

表 2.1 土質材料の物性値

	高炉徐冷スラグ		山砂	調整泥水
	A	B		
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.93	2.91	2.84	3.01
液性限界 w_L (%)	NP	NP	NP	73.88
塑性限界 w_P (%)	NP	NP	NP	39.87
塑性指数 I_P (%)	—	—	—	34.01
粒度分布	礫 (%)	16.23	29.85	0.00
	粗砂 (%)	9.80	29.95	1.95
	中砂 (%)	49.50	23.76	50.46
	細砂 (%)	22.02	6.47	40.55
	細粒分 (%)	2.45	9.96	7.04
pH		8.15	8.71	7.92
		8.15	8.71	7.92

表 2.2 配合表

固化材種	スラグ (kg)	山砂 (kg)	固化材 (kg)	調整泥水 (kg)
高炉B種	440		60	1003
	440		70	999
	440		80	995
		440	60	998
		440	70	994
		440	80	989
セメント系 固化材 (石膏入り)	440		55	1005
	440		60	1003
	440		65	1001
	440		70	999
	440		80	995
		440	60	998
		440	70	994
		440	80	989

キーワード：建設発生土、高炉徐冷スラグ、一軸圧縮強度、ふっ素溶出量、試験施工

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学術院 TEL 03-5286-3405

3.2 環境影響の防止

高炉徐冷スラグを用いる際の問題点として、高炉徐冷スラグ自体に存在するふっ素の土壌環境中への溶出が挙げられる。ふっ素に関しては打設後固化するまでの弱材齢における期間にとどまらず、長期にわたって溶出を抑制させることが求められる。

図 3.3 に高炉徐冷スラグを用いた新埋戻し材のふっ素溶出量を示す。セメント系固化材を用いた配合ではふっ素溶出量がいずれも土壌環境基準値（0.8mg/L）以下となった。環境影響の防止を念頭に入ると高強度を示すセメント系固化材を用いる方が望ましいと言える。

3.3 高炉徐冷スラグを利用した新埋戻し材の配合設計

配合を決定する際には、以下の条件を満足させることが求められる。

a) 流動化処理土に準じた品質基準の達成に関して、一軸圧縮強度の値が $13\text{N/cm}^2 \sim 55\text{N/cm}^2$ の範囲内である。

b) 環境影響の防止に関して、全ての材齢においてふっ素溶出量が土壌環境基準値（0.8mg/L）以下である。

a) の条件を満足する配合として、固化材量を 1m^3 あたり 55～60kg にする必要がある。b) の条件を満足する配合として、固化材にセメント系固化材を用いる必要である。以上 2 点を勘案すると、高炉徐冷スラグを用いる際の配合は、固化材にセメント系固化材を用い、固化材量を 1m^3 あたり 55～60kg とすることが妥当であると言える。

3.4 現場における適用について

これらの成果を実用化につなげるため、実際に地下鉄開削部の埋戻し箇所に新埋戻し材を打設する試験施工を実施予定である。これに合わせて、試験施工で使用する高炉徐冷スラグ（以下高炉徐冷スラグ C とする）を添加した新埋戻し材のふっ素溶出試験を行った。図 3.4 に結果を示す。材齢 28 日時点まではわずかに増加するが、その後材齢 2 ヶ月時点ではふっ素溶出量は大きく低下し、環境基準値（0.8mg/L）を十分満足する結果となった。

4. まとめ

高炉徐冷スラグを用いた新埋戻し材の配合は、流動化処理土に準じた品質基準の達成および環境影響の防止を考慮すると、固化材に石膏を加えたセメント系固化材を用い、固化材量を 1m^3 あたり 55～60kg 以下とすることが妥当であると言える。

謝辞：本研究は、(社)トンネル技術協会「新埋戻し材の調査・研究特別委員会」において実施された調査・研究成果の一部を取りまとめたものであり、記して関係各位に謝意を表する。

参考文献：1) 東京都建設局：流動化処理土取扱い基準、平成 10 年 4 月、9 建道管監第 206 号 2) 嘉門雅史、乾徹ら：鉄鋼スラグの地盤材料としての有効利用に伴うフッ素の溶出挙動とその環境影響の評価、京都大学防災研究所年報 第 47 号 3) 水渡英昭、製鋼スラグからのふっ素溶出抑制に関する研究、日本鉄鋼協会社会鉄鋼工学部会シンポジウム論文集、Vol.2001 春季、pp.4-5

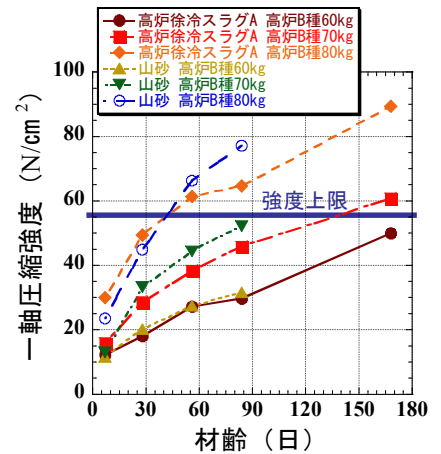


図 3.1 材齢と一軸圧縮強度の関係

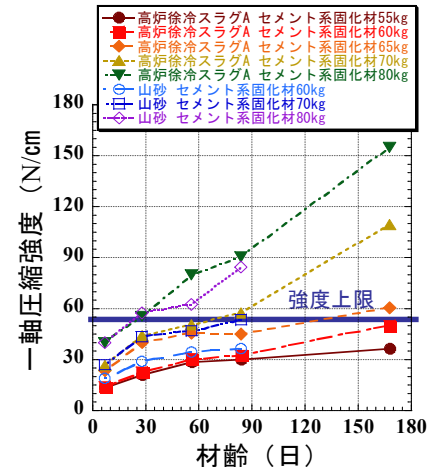


図 3.2 材齢と一軸圧縮強度の関係

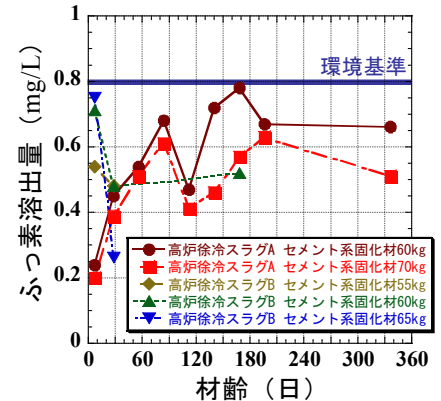


図 3.3 材齢とふっ素溶出量の関係

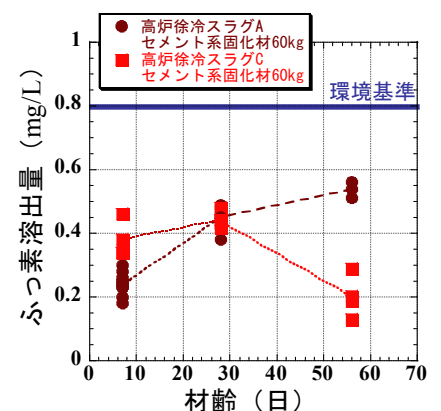


図 3.4 材齢とふっ素溶出量の関係