

高炉徐冷スラグを利用した 新埋戻し材の長期耐久性と溶出特性

The long-term durability and leaching characteristic of the
backfill material using cooled blast furnace slag

赤木寛一¹・小島尚大²・川野政廣³・橋本健志⁴

Hirokazu Akagi, Naohiro Kojima, Masahiro Kawano and Takeshi Hashimoto

¹フェロー会員 早稲田大学教授 理工学部社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

E-mail:akagi@waseda.jp

²早稲田大学 理工学部社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

³東京地下鉄株式会社 (〒110-0015 東京都台東区東上野3-19-6)

⁴パシフィックコンサルタンツ株式会社 (〒163-0703 東京都新宿区西新宿2-7-1)

In this paper, a trial employment of the cooled blast furnace slag for the backfill material of the subway construction was reported. The long-term durability and leaching characteristics of the backfill material were investigated. The long term unconfined compression tests, fluorine migration tests, tank-leaching tests, and underground water sampling tests were performed. Experimentally, the requirements for the backfill material have been showed to be satisfied.

Key Words : cooled blast furnace slag, backfill material, unconfined compression test,
leaching characteristic

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。その発生量は膨大であり、処分には莫大なコストが必要となる。このような背景から、高炉徐冷スラグ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、泥水シールド工事において排出される余剰泥水に高炉徐冷スラグを添加して地下鉄駅部開削部分の新埋戻し材を作成し、特性・適用性に関する調査を行うというものである。

また、高炉徐冷スラグが山砂に代わる土質材料として新埋戻し材に適用可能な事、環境影響の防止を考慮し高強度を示すセメント系固化材を用いることが望ましい事、固化材量を1m³あたり55~60kg以下にすることが妥当である事が確認できており¹⁾、今回の報告では新埋戻し材の長期材齢における一軸強度と溶出特性が主となっている。

2. 実験概要

実験試料は、泥水シールド工事から発生した調整泥水と、製鉄の過程で副産物として生じる高炉徐冷スラグ、固化材として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-1に示す。

品質目標としては、東京都の流動化処理土の品質基準(表-2)を用いた。これは新埋戻し材が“流動性を有する埋戻し材”という点で流動化処理土と同等であり、東京都内での使用を想定しているためである。

配合は、高炉徐冷スラグを新埋戻し材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以上、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-3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

圧縮試験および環境庁告示46号にもとづきふっ素について溶出試験，およびタンクリーチング試験を行った²⁾³⁾．また，実際に現場に打設した新埋戻し材の周辺環境への影響を調査するため，現場周辺の地下水を採取・分析を行った．

表-1 土質材料の物性値		
	高炉徐冷スラグ	調整泥水
土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.78	3.01
液性限界 w_L (%)	NP	73.88
塑性限界 w_p (%)	NP	39.87
塑性指数 I_p (%)	—	34.01
粒度分布	礫(%)	29.85
	粗砂(%)	29.95
	中砂(%)	23.76
	細砂(%)	6.47
	細粒分(%)	9.96
pH		8.71

表-2 東京都の流動化処理土の品質基準	
試験項目	基準値
原料土の土質区分	火山灰質粘性土，粘性土，砂質土
最大粒径	管回り部……13mm 以下
	その他………40mm 以下
一軸圧縮強度	交通開放時 13(N/cm ²) 以上
	28 日後 55(N/cm ²) 以下
フロー値	180～300mm
ブリージング率	1%未満
処理土の密度	1.5(t/m ³) 以上

表-3 配合表			
材料	泥水	高炉徐冷スラグ	固化材
比重	1.22	2.78	3.04
重量	1003kg	440kg	60kg

3. 実験方法

(1) タンクリーチング試験

タンクリーチング試験は，地下水位以深に打設された新埋戻し材のふっ素溶出特性について確認する

ことを目的として実施した．作成した新埋戻し材を塊状のまま水浸させ，28日後に溶出するふっ素の濃度を測定した．

タンクリーチング試験では，供試体は環境庁告示46号の溶出試験のように，土塊や団粒を2mm以下に粗砕せず，塊状のものをを用い，溶媒水のpHは5.8～6.3に保った．採取試料を容器内に置き，その後，所定量の溶媒水（固液比1：10）を充填，供試体のすべてが水中に没するように水浸させた．試験は環境庁告示46号にもとづいた溶出試験と同様に，材齢7日，28日，2ヶ月，3ヶ月，6ヶ月，9ヶ月の供試体を用いて行った．

(2) 現場地下水の分析

新埋戻し材の打設が周辺地下水に与える影響の把握を目的として，打設現場周辺の地下水を採取・分析を行った．地下水の流向を考慮し，現場周辺に6箇所の観測井を設置して地下水採取を行った．

4. 実験結果

(1) 新埋戻し材の長期一軸強度

高炉徐冷スラグを添加した新埋戻し材の材齢7日から9ヵ月までの一軸圧縮強度の変化を図-1に示す．図からわかる通り，材齢7日から28日，2ヶ月までは強度が大きく伸びているものの，それ以降は横ばい状態で推移しており，全材齢で管理強度を満足する結果を得ることができた．今後も大幅な強度上昇はないと考えられる．

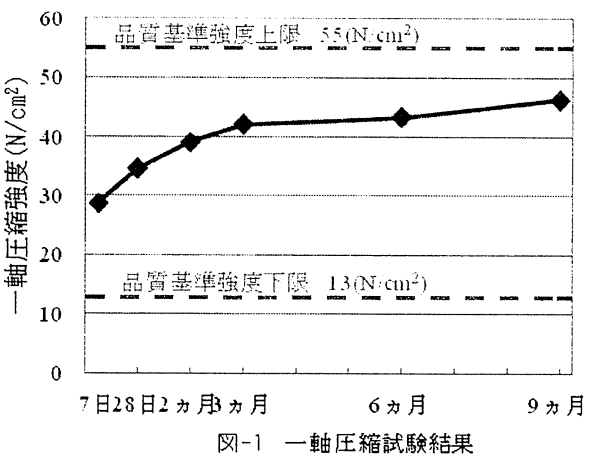


図-1 一軸圧縮試験結果

(2) 長期材齢における新埋戻し材のふっ素溶出特性

環境庁告示 46 号に従い、4-(1)で一軸圧縮試験を行った供試体を粒径 2mm 以下となるよう粗砕、一定量の蒸留水を加えて 6 時間振とうした後、上澄み液をろ過し浮遊物等を取り除いた溶液についてふっ素の濃度を調査した。ふっ素の溶出試験結果を図-2 に示す。

材齢ごとのバラツキはあるものの長期材齢におけるふっ素溶出量はおおむね横ばいとなる結果が得られた。供試体作成後、材齢 7 日から 1 ヶ月にかけてふっ素溶出量はわずかに増加しているが、その後、溶出量は減少しほぼ一定となっている。これはセメントの固化作用による影響が大きく、長期材齢におけるふっ素溶出の抑制にも大きな効果を発揮していると考えられる。

埋め戻し材に用いているスラグは製造後一定期間静置したものであり、供試体の材齢が 9 ヶ月の時点でふっ素溶出量が基準を超過していないことから、今後もふっ素溶出量は基準を超過しないと考えてよい。

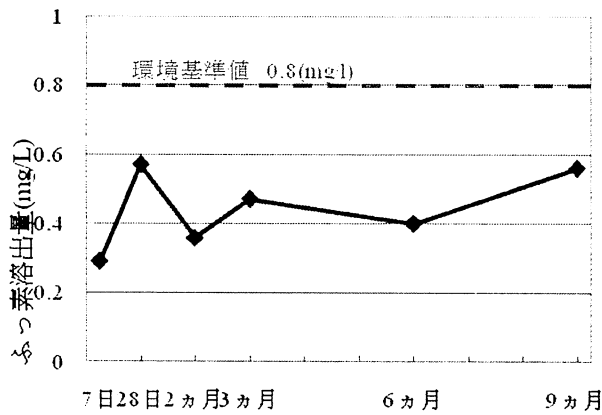


図-2 ふっ素溶出試験結果

(3) タンクリーチング試験

タンクリーチング試験結果を表-4 に示す。表からわかる通り、ふっ素溶出量は 0.14～0.22(mg/L)程度となっている。これはふっ素溶出量の環境基準値と比較しても十分に小さい値であり、一軸圧縮試験後の供試体を用いて実施した環告 46 号によるふっ素溶出試験結果より小さい値となっている。溶媒水の pH は 10.4～11.6 の範囲を推移している。

表-4 タンクリーチング試験結果

材齢	ふっ素 (mg/L)	pH
7 日	0.20	11.3
28 日	0.20	11.6
2 ヶ月	0.14	11.3
3 ヶ月	0.14	11.3
6 ヶ月	0.22	10.4
9 ヶ月	0.22	10.5
環境基準値 (参考)	0.80	-

(4) 地下水の分析結果

埋戻し箇所周辺の 6 箇所の観測井から採取した地下水のふっ素分析結果を表-5 に示す。表からわかる通り、全ての材齢で環境基準値を満足する結果が得られた。これより打設後の新埋戻し材から周辺地下水に影響を与えるほどふっ素が溶出していないことが確認された。

環告 46 号による溶出試験やタンクリーチング試験において、長期材齢における溶出量の増加が見られず、地下水の分析結果も良好なものであったことから、新埋戻し材の打設による周辺地下水への環境基準値を超過するふっ素溶出はないと考えてよい。

表-5 地下水のふっ素水質分析結果

地点 材齢	1	2	3	4	5	6
施工前	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D
1 ヶ月	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D
2 ヶ月	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D
3 ヶ月	N. D	N. D	N. D	N. D	0.3	0.3
6 ヶ月	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D	N. D
9 ヶ月	N. D	N. D	N. D	N. D	0.1	N. D

(mg/L)

5. まとめ

(1) 長期耐久性

適切な配合で高炉徐冷スラグを添加した埋め戻し材を作成すれば、長期材齢においても管理強度13～55(N/cm²), ふっ素溶出の環境基準値0.8(mg/L)を満足することがわかった。

(2) 溶出特性

適切な配合で作成した高炉徐冷スラグを用いた新埋戻し材を現場に打設した結果、周辺の地下水へ基準値を超過するふっ素が溶出する可能性は極めて低いことを確認できた。

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) 赤木寛一, 神谷雄三, 田中佑昌, 中島誠三, 斉藤泰久, 橋本健志：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, 土木学会第62回年次学術講演会論文集, pp553-554
- 2) 嘉門雅史, 乾徹, 宮城大助, 勝見武：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, pp.1-3
- 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