

流動化処理土の固化材コスト低減に関する一考察

前田建設工業（株） 正 鶴田慎之介 正 勝又正治 正 菅井正澄 正 清水英樹

1. はじめに

流動化処理土は発生土、水、固化材を所定の配合で練り混ぜて作製され、一般にその配合はフロー値、ブリーディング率、一軸圧縮強度の各品質を満足するように設定される。この中で、固化材の配合量は主に一軸圧縮強度に応じて設定されるため、これが材料コストを左右することになる。一方、筆者らは、流動化処理土の添加材料として高炉スラグを添加することで強度増加を見込める場合があることを報告している¹⁾。したがって、高炉セメントのようにセメントの一部をそれよりも安価なスラグで置換した材料を用いることで、流動化処理土の品質を低下させることなく、固化材コストの低減を図れる可能性がある。本論文では、セメントを一定量スラグで置換した固化材を用いた流動化処理土の品質を比較することで、コスト低減の可能性について言及するものである。

2. 試験概要

(1) 使用材料：試験に使用した土質材料は掘削工事現場の発生土であり、その土質特性を表-1に示す。固化材は、普通ポルトランドセメントを高炉スラグ（密度 2.88g/cm³、比表面積 4080cm²/g）で一定量置換した固化材を用いた。

(2) 試験ケースおよび品質確認項目：試験ケースを表-2に示す。

表-1 発生土の土質特性

土粒子密度		Gs	[g/cm ³]	2.613	
粒度特性	礫分	(2~19mm)	[%]	53.2	
	砂分	(75μm~2mm)	[%]	36.8	
	シルト分	(5~75μm)	[%]	3.5	
	粘土分	(5μm以下)	[%]	6.5	
	最大粒径		[mm]	19	
自然含水比				[%]	15.1

4段階のスラグ置換率の固化材を使用し、それぞれにおいて固化材全体の添加量を2~4水準設定して試験を行った。また、泥水の密度は各固化材添加量について1.60~1.75の間で2水準設定した。品質確認項目としては、練り混ぜ直後にフロー値を、1日後にブリーディング率を、7日、28日後に一軸圧縮強度を、それぞれ測定した。

表-2 試験ケース

スラグ置換率 (%)	固化材添加量 (kg/m ³)	泥水の密度	備考
0	50,100,150	2水準	普通ポルトランドセメントを用いたケース
40	50,70,100,150	2水準	高炉セメントB種相当を用いたケース
60	70,100	2水準	高炉セメントC種相当を用いたケース
90	70,100	2水準	極端に高炉スラグを多くしたケース

3. 試験結果および考察

(1) フロー値：図-1にフロー値と固化材添加後のスラリー密度の関係を示す。当初、固化材の一部をスラグで置換した場合、フライアッシュと同様にスラグ表面に生成されるゲル被膜²⁾がベアリング効果を発揮してフローが増大し、これにより管理フロー値を満たすための泥水密度を大きく設定できるため、管理強度を満たすための固化材添加量が縮減できるのでは…と考えていた。しかし、図-1をみると、スラグ置換率60、90%のケースになると多少フロー値は増加するものの、スラグ置換率で層別できるほどの相違はみられなかった。

(2) ブリーディング率：図-2にブリーディング率とスラリー密度の関係を示す。同等のスラリー密度で比較すると、スラグ置換率が大きなケースほどブリーディング率が大きくなる結果となった。これは、セメントと比較するとスラグの水和反応は遅く、セメントとスラグにおける1日後の水和量の差が現れたものと考えられる。

(3) 一軸圧縮強度：本試験では固化材添加量と泥水密度をパラメータとしたが、固化材のセメンテーションによる強さと密度という構造による強さを同時に表現する指標として、久野らが示唆したc/e（固化材添加量と泥水の空隙比の比）という指標^{3),4)}を準用した。図-3に材齢28日における一軸圧縮強度とc/eの関係を示す。c/eと強度の関係はスラグ置換率ごとに層別され、固化材添加量、泥水密度に関わらず強度と直線的な相関を示す。置換率90%は強度が小さく、明らかなセメンテーション不足が認められるが、置換率40%では置換率0%と同等以上の強度が得られている場合がある。図中には、スラグ置換率0%と40%のケースの近似線を併記している。置換率0%と40%

キーワード：流動化処理土／固化材／コスト低減／高炉スラグ

連絡先：〒179-8914 東京都練馬区旭町 1-39-16／TEL：03-3977-2590／FAX：03-3977-2251

の近似線の傾きは異なり、固化材添加量が 50kg/m^3 程度と少ない範囲では置換率 40%の強度は置換率 0%を下回るが、固化材添加量が 70kg/m^3 を越える範囲になると上回る傾向にある。図-4 に同一の泥水密度についてスラグ置換率 0%と 40%の一軸圧縮強度と材齢の関係と比較している。材齢 7 日では固化材添加量に関わらずスラグ置換率 0%のケースが強度は大きい、材齢 28 日になると添加量 $100, 150\text{kg/m}^3$ において強度が逆転する傾向がみられた。一般的に、高炉スラグの水和はセメントクリンカーの水和によって生成される水酸化カルシウムと反応するものであるためセメントの水和反応と比較すると遅く、例えば高炉セメントの強度は長期的（材齢 3 ヶ月以降）には普通ポルトランドセメントを上回るが、初期的にはセメントクリンカーの強度に依存するためやや低いとされている²⁾。しかし、流動化処理土のように水の構成比が大きく、さらにセメントが多量に添加される場合はセメントの水和反応の活発化に伴ってスラグの水和反応が比較的早く始まり、材齢 28 日において強度が逆転したものと推測する。

4. まとめ

今回、高炉スラグが流動化処理土の品質に与える影響を把握するためスラグ置換率を変化させて試験を行った。その結果、一般に入手しやすい高炉セメント B 種相当のスラグ置換率 40%のケースでは、固化材添加量が多くなると普通ポルトランドセメントよりも大きな強度が得られた。よって、トンネルの裏込め材等の比較的高い強度が要求される箇所へ流動化処理土を適用する場合には、高炉セメント B 種等の高炉スラグを併用した固化材を用いることで固化材コストを削減できると考えられる。例えば、管理強度 1.5MPa と仮定した場合、本試験結果を用いると固化材添加量は 20%削減でき、高炉セメント B 種は普通ポルトランドセメントよりも 6%程度安価であることから、固化材コストは 25%程度低減できる試算となる。ただし、この場合、ブリーディングの増大や初期強度の不足が問題となる可能性があるため、留意が必要となる。また、本試験で得られた傾向はスラグの品質や土質材料の鉱物特性によって左右されると考えられるので、さらなる検討課題としたい。

【参考文献】 1) 林原他, 高炉スラグを添加した流動化処理土の品質特性について, 第 35 回地盤工学研究発表会, pp.1119-1120, 2000 2) わかりやすいセメントとコンクリートの知識, 鹿島出版会, 1996 3) 久野他, 流動化処理土の一軸圧縮強さに関する 2,3 の考察, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp.2281-2282, 1998 4) 菅井他, 流動化処理土の強度発現要因と配合設計に関する一考察, 第 36 回地盤工学研究発表会 (投稿中), 2001

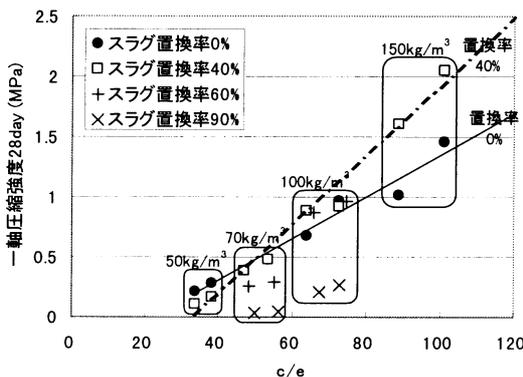


図-3 一軸圧縮強度と c/e の関係

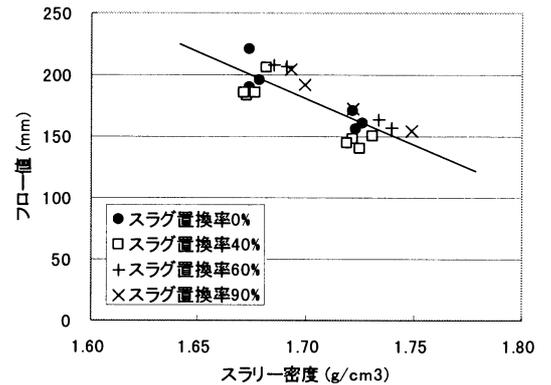


図-1 フロー値とスラリー密度の関係

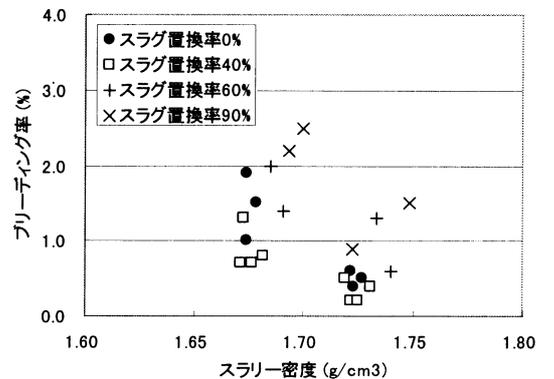


図-2 ブリーディング率とスラリー密度の関係

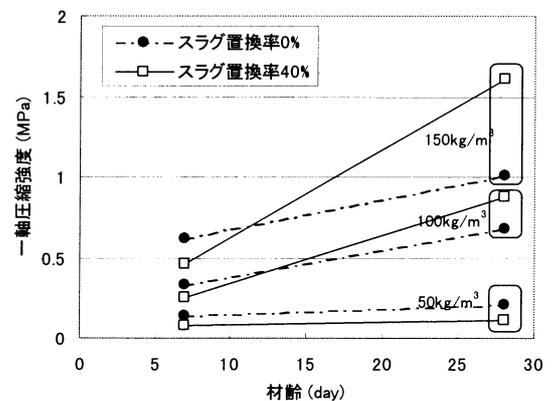


図-4 一軸圧縮強度と材齢の関係