

短期養生時の高炉水砕スラグの強度・透水性の経時変化に関する基礎的考察

九州大学大学院 学生会員 ○坂田智美 九州大学大学院 正会員 石蔵良平
九州大学大学院 正会員 安福規之 九州大学大学院 正会員 ハザリカ・ヘマンタ

1.はじめに 高炉水砕スラグは、未硬化時は透水性に優れており、時間の経過とともに水と反応し硬化する性質を有している。本研究では、これらの特性を活かし、多機能で高機能な地盤材料として用いるための革新的な地盤改良技術の開発を目指している。図-1 に本研究で提案する高炉水砕スラグを用いた粘性土地盤の圧密促進概念図を示す。たとえば、粘性土地盤などの地盤改良材として高炉水砕スラグを適用すると、未硬化時の優れた透水性によるドレーン機能と、潜在水硬性よりスラグ自体が時間とともに高強度化し改良杭に変化する二重機能を持つ新しい地盤改良技術として期待できる。そのためには、周辺地盤の圧密促進に必要な水砕スラグの十分な透水性能を有する期間の確保と強度増加を適切に制御する必要がある。また、施工時には、粒子破碎や定常浸透状態が硬化促進や遅延要因となるため、その影響を適切に評価する必要がある。本研究では実施工時の影響を評価するため、粒子破碎の程度を変えた条件で供試体を養生し、粒子破碎の度合いが強度や透水性の時間変化に与える影響を明らかにすることを目的としている。本文では、その基礎的段階として、初期硬化過程における強度と透水性に着目し、検討を行った。

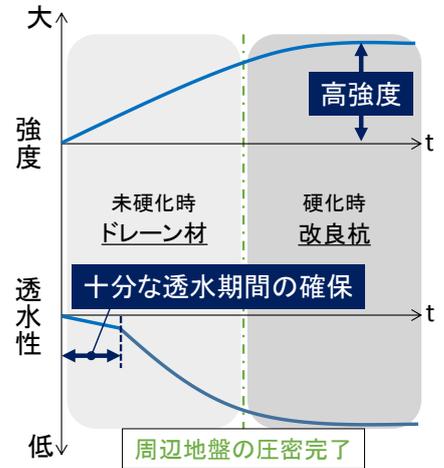


図-1 粘性土地盤の圧密促進概念図

2. 実験概要

2.1 高炉水砕スラグ 試料は、大分県の製鉄所で生成された高炉水砕スラグを用いた。高炉水砕スラグの主な化学成分には、珪素、酸化カルシウム、酸化アルミニウム等があり、セメントの化学組成に類似している²⁾。

高炉水砕スラグの粒径加積曲線を図-2 に、物理特性を表-1 に示す。比較対象として既往の研究による高炉水砕スラグと豊浦砂の値を併記する。実験方法 JIS A 1202 に基づいた高炉水砕スラグの土粒子密度は $\rho_s = 2.709 \text{ g/cm}^3$ であるのに対し、真空脱気法に基づいた土粒子密度は $\rho_s = 2.747 \text{ g/cm}^3$ であった。既往の水砕スラグと豊浦砂と比較して、同程度の値を示した。

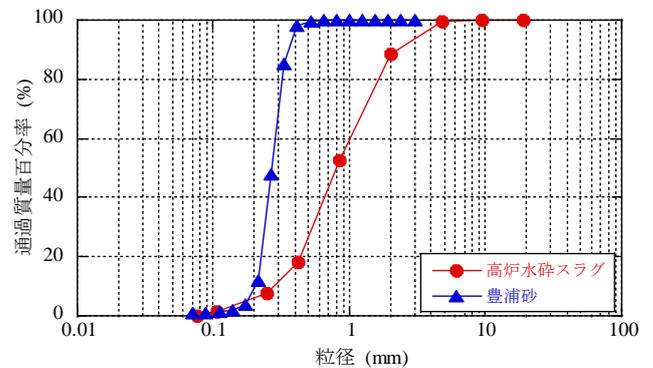


図-2 粒径加積曲線

表-1 物理特性³⁾

	土粒子密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$		e_{\max}	e_{\min}	U_c
		真空脱気法			
高炉水砕スラグ(本研究)	2.709	2.747	1.513	0.993	1.41
高炉水砕スラグ①	2.694	-	1.396	1.014	3.53
高炉水砕スラグ②	2.697	-	1.447	0.974	2.89
豊浦砂	2.646	-	0.608	0.982	2.1

2.2 実験条件 高炉水砕スラグの硬化を制御する要因は、遅延要因として、排水に伴う浸透流、促進要因として、施工時の粒子破碎が挙げられる。これらの要因が硬化に及ぼす影響を明らかにするため、供試体の養生を行う。

2.2-1 定水位透水試験 高炉水砕スラグの短期的な透水性の経時変化を

明らかにするため、飽和試料で実験方法 JIS A 1218 に基づいた定水位透水試験を行う。定常状態のまま 30 日間放置して測定する。相対密度 (D_r) は 100 % とし、15 °C の水道水で注水する。

表-2 試験ケース

相対密度	養生温度	アルカリ刺激剤	養生日数	試料粒度	試験方法
50, 80	80°C	水酸化ナトリウム	0, 10, 20, 30	原粒度	一軸, 針貫入, 三軸
				破碎大	
				破碎小	

2.2-2 養生と粒子破碎の影響 表-2 に試験ケースを示す。硬化に至るまでの硬化程度の検討を行うため、供試体を養生し、養生期間ごとに一軸圧縮試験を行う。内径 $D=50\text{ mm}$ 、高さ $H=100\text{ mm}$ のプラスチックモールドに 2 種類の相対密度で試料を詰め、供試体を作製した。養生方法を図-3 に示す。養生水は、硬化促進のために、 $\text{pH}=12$ 、 $80\text{ }^\circ\text{C}$ の水酸化カルシウム水溶液を用いた。供試体内に養生水が浸透するようにモールドの底面に直径 15 mm の浸透穴を開けた。供試体内は飽和・滞留状態としている。また、粒子破碎が硬化に及ぼす影響を明らかにするため、粒子破碎の程度を突固め方法により変化させて、供試体の養生を行う。

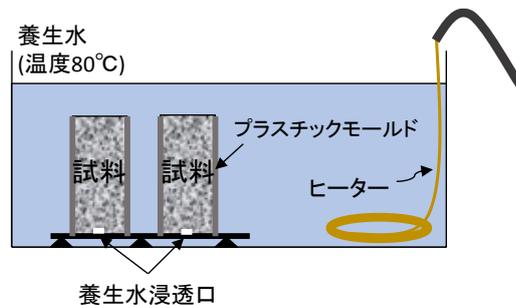


図-3 供試体の養生

3. 実験結果および考察

3.1 透水性の経時変化 図-4 に $15\text{ }^\circ\text{C}$ で注水した 7 日間の透水係数の経時変化を示す。比較対象として豊浦砂の透水係数を示す。高炉水砕スラグの初期の透水係数 k は 10^{-3} m/s 以上であった。高炉水砕スラグは、未硬化時には、豊浦砂の透水係数と比較しても高い透水性を示す。7 日間の定常状態期間での透水係数は 10^{-3} m/s 以上を確保し、透水性の低下は見られなかった。引き続き測定を行い、透水係数の経時変化を検討する。

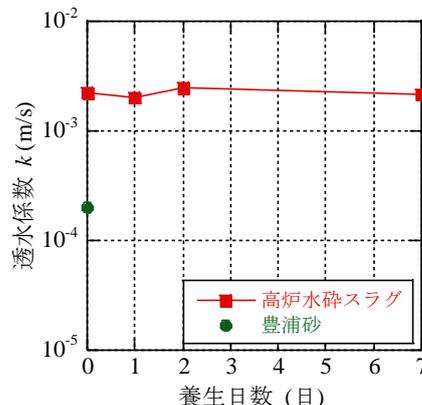


図-4 透水係数の経時変化⁴⁾

3.2 養生の影響 図-5 に養生 30 日の一軸圧縮試験結果を示す。相対密度 $Dr=50\%$ と $Dr=80\%$ の供試体を比較すると、経時的にみて相対密度が高い方が 3 倍以上の強度になっている。これは、密度が高いほど粒子同士の接触面積が増加し、硬化が促進したためと考えられる。図-6 に相対密度の異なる供試体の一軸圧縮強度の経時変化を示す。養生 20 日までは、両者の供試体ともに完全には硬化しておらず自立しなかったため、一軸圧縮強度は $q_u=0\text{ kN/m}^2$ とした。また、養生 30 日の供試体では両者ともに硬化が進行し自立した。

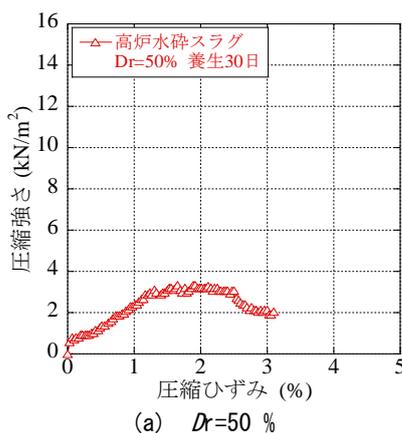


図-5 一軸圧縮試験(養生 30 日)

なお、養生 20 日までの供試体の強度増加の傾向については、針貫入試験や三軸圧縮試験により、検討する必要がある。また、粒子破碎の程度の異なる供試体の強度増加の傾向についても、検討する必要がある。

4. まとめ 1) 高炉水砕スラグは未硬化時には、豊浦砂と比較して、高い透水係数を有し、7 日間の定常状態期間を経ても透水係数に変化は見られなかった。2) 高炉水砕スラグを高温水酸化ナトリウム水溶液で養生させた結果、養生 30 日目で自立し、相対密度が高い供試体ほど硬化が進行していること。今後は、短期養生期間中の高炉水砕スラグの強度変化を検討するために、針貫入試験や三軸圧縮試験を予定である。

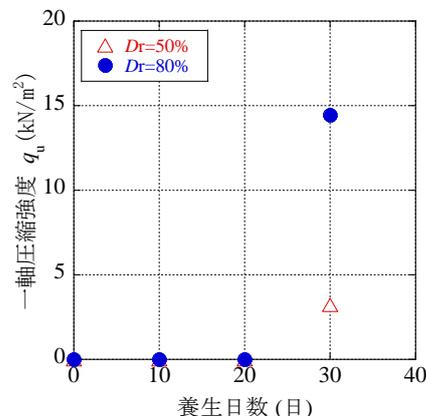


図-6 圧縮応力の経時変化

【参考文献】1) 鉄鋼スラグ協会：水砕スラグ「土木用材料としての技術資料」, pp.9-19, 2009. 2) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの化学的特性, <http://www.slg.jp/slag/character.html>(2015.1 確認). 3) 松田ら：高炉水砕スラグの地盤改良材としての適用性に関する基礎的研究, 土木学会論文集 No.764, pp.85-98, 2004.6. 4) 社会法人地盤工学会：土質試験基本手引き, p.100, 2011.