

# 豊浦砂を混合した高炉水砕スラグの強度・透水性の経時変化

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、安福規之

**1.はじめに** 高炉水砕スラグは、鉄鉄を製造する過程で発生する産業副産物である。平成26年度の年間製造量は、高炉スラグの生産量の約2,500万tに対し高炉水砕スラグは約2,000万tであり、約8割を占める<sup>1)</sup>。鉄鋼スラグの一つである高炉水砕スラグは、鉄鋼スラグの中でも特に多種多様な性能を持っており、古くから有効利用されてきた。特徴として、高炉水砕スラグは粒度分布が自然砂に類似し、軽量であり透水性に優れ、水と接触すると自硬性を発揮する材料である<sup>2)</sup>。利用方法として、主に高炉セメント等のセメント材料であるが、近年の建設業低下などによりスラグの有効利用率が低下することが予想される。今後、さらに利用方法を拡大すること、すなわちパラダイム転換が必要になる。そこで本研究では、高炉水砕スラグの付加価値に期待し、軟弱地盤改良のための低置換サンドコンパクションパイル(SCP)工法に適用することを想定し、有効利用促進を目指す。SCP工法に高炉水砕スラグを用いると、施工時の粒子破碎により早期に透水性の低下が生じることが報告されている<sup>3)</sup>。他の材料を混合することにより、透水性の変化を制御できると考えられることから、本文では、豊浦砂を混合した高炉水砕スラグの強度・透水性の経時変化について検討した結果を報告する。

## 2. 実験概要および実験条件

**2.1 実験概要** 本実験では、2012年に大分県の製鐵所で製造された高炉水砕スラグと、スラグの硬化抑制を期待した混合試料として豊浦砂を用いた。また、施工時の粒子破碎を想定し、粒子を破碎させた試料を原粒度試料と比較した。破碎方法は、締めめ方法A-a法に従い繰り返し3回行い破碎させた。高炉水砕スラグの原粒度試料と破碎試料、豊浦砂の粒径加積曲線を図-1に、物理特性を表-1に示す。ここで得られる破碎試料の粒度は、既往の研究によるSCP杭打設前後の水砕スラグの粒度分布を参考に、破碎の程度が小さい場合を再現している<sup>3)</sup>。原粒度試料と比較し、破碎試料の最大・最小間隙比と均等係数は小さくなっている。

**2.2 実験条件** 硬化に至るまでの高炉水砕スラグの経時的な強度特性の検討を行うため、養生した供試体で一軸圧縮試験を行った。実験条件を表-2に示す。内径φ=5cm、高さh=10cmのモールドに試料を詰めた供試体に間隙水を滞留させた状態で養生を行った。相対密度は $D_r=80\%$ で統一し、豊浦砂の混合比は0%、10%、30%、50%とした。モールドの底面には、約1.5mmの浸透穴を開けている。養生水は、硬化促進のため水温80℃の水酸化ナトリウム水溶液(pH≒12)を用いた。

高炉水砕スラグの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。水を通水させたままの定常状態で静置して測定を行った。相対密度( $D_r$ )は80%とし、15℃の水道水で注水する。

表-1 高炉水砕スラグ(原粒度試料と破碎試料)と豊浦砂の物理特性

	土粒子密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$	$U_c$
高炉水砕スラグ(原粒度)	2.747	1.513	0.993	3.6
高炉水砕スラグ(破碎)	2.747	1.356	0.830	3.1
豊浦砂	2.646	0.982	0.608	2.1

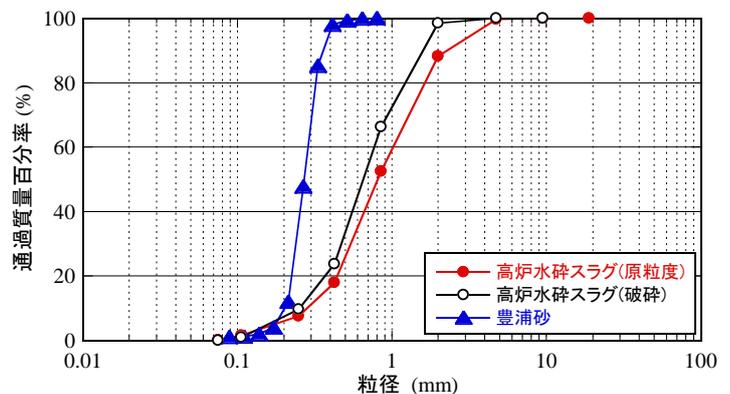


図-1 高炉水砕スラグ(原粒度試料と破碎試料)と豊浦砂の粒径加積曲線

表-2 供試体の実験条件

試料粒度	相対密度 (%)	自然砂混合(豊浦砂)(%)	養生水	養生温度 ℃	試験方法
原粒度	80	0, 10, 30, 50	水酸化ナトリウム水溶液	80℃	一軸圧縮試験
破碎			(pH≒12)		

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 強度特性の経時変化

図-2(a), (b)に原粒度試料と破碎試料とそれぞれに豊浦砂を混合させた供試体の一軸圧縮強度の経時変化を示す。図-2(a), (b)より、いずれの自然砂混合率においても破碎試料の一軸圧縮強度は原粒度試料に比べて大きく、破碎による硬化促進の影響が見られる。また、豊浦砂混合率 50%の供試体はいずれの試料においても養生 20 日程度までは明らかに強度の発現が遅く、圧縮強度は最も小さいが、養生 56 日後においては急速に圧縮強度が増加している。これは初期間隙比が小さいことから、硬化の開始に伴って、粒子間の結合力が急激に増加したことなどが要因として考えられる。

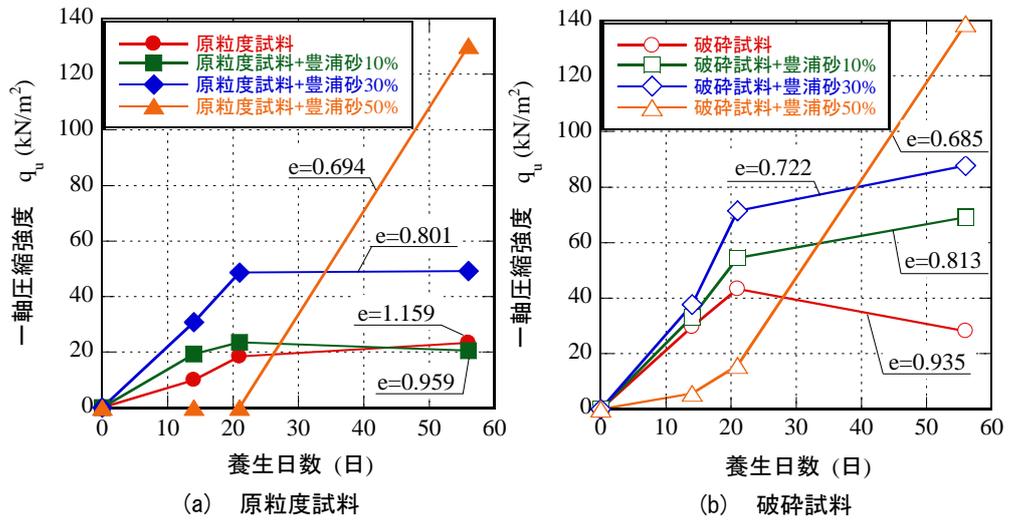


図-2 一軸圧縮強度の経時変化

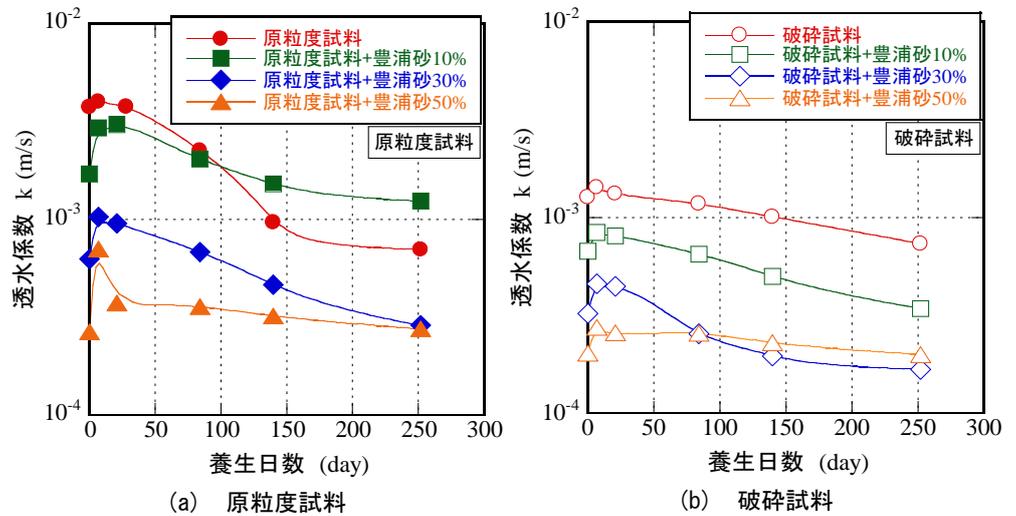


図-3 透水係数の経時変化

#### 3.2 透水性の経時変化

図-3(a), (b)に原粒度試料と破碎試料、またそれぞれに豊浦砂を混合させた供試体の透水係数の経時変化を示す。図-3(a)より原粒度試料の透水係数は養生期間の増加に伴い低下している。透水係数の低下の原因として、水和反応による水和物の生成により間隙が減少することによるものであると報告がある<sup>4)</sup>が、同様の原因であると考えられる。一方、図-3(b)より破碎試料の透水係数は養生期間の増加に伴い透水係数は低下しているが、低下率は原粒度試料よりも小さいことがわかる。この原因については明確ではないが、定常状態による浸透流が粒子表面の水和物の生成を抑制したことが原因の一つであると考えられる。また、豊浦砂を混合させた場合、豊浦砂混合率 50%の供試体は、透水係数の経時変化はあまりみられない。これは、豊浦砂を混合させることで高炉水砕スラグの粒子の接触面積が減少し、水和反応が遅延したためであると考えられる。

### 4. まとめ

- 1) 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、破碎試料の供試体の一軸圧縮強度が大きくなった。また、相対密度が 80% の場合は、養生期間経過後は豊浦砂を混合するほど強度が増加した。
- 2) 通水状態で 250 日間の透水係数の経時変化を検討した結果、透水係数は時間とともに低下する傾向を示した。豊浦砂を混合させると初期の透水係数は小さくなるが、時間の経過に伴う低下率は低い傾向を示した。

### 謝辞

本文の作成にあたり、研究内容においてご指導頂きましたハザリカ・ヘマンタ教授、実験においてご指導頂きました中島通夫技術協力スタッフに感謝の意を表します。

### 【参考文献】

- 1) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報，鉄鋼スラグ協会，2015. 2) (社)地盤工学会：高炉水砕スラグの地盤工学的利用促進に関する研究委員会報告書，2010. 3) 篠崎晴彦 他：高炉水砕スラグの硬化特性と地盤改良工法への適用，土木学会論文集 C, Vol.62 No.4, pp.858-869, 2006. 4) 松田博 他：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/III-67, pp.85-99, 2004.