

高炉水砕スラグの硬化途中の強度特性に及ぼす自然砂混合および高炉スラグ微粉末の影響

九州大学 学 CHE KU AISYIFA  
九州大学大学院 正 石藏良平 F 安福規之  
学 永田真也

1. はじめに

高炉水砕スラグは、銑鉄の製造過程に生成される副産物であり、2018年に約1892万トン生成された<sup>1)</sup>。水砕スラグは潜在水硬性があり、時間の経過とともに硬化する。未硬化時の高透水性及び硬化後の高強度<sup>2)</sup>を活かし、低置換サンドコンパクションパイル工法(SCP)改良代替材料として有効利用できる可能性がある。しかし、SCP工法では粒子破碎により、急速に硬化し、透水性が低下するのでスラグ単体での利用は難しい<sup>2)</sup>。そこで硬化速度の制御を目的に、本研究では、自然砂と混合することを想定した。硬化過程における自然砂との混合割合が強度特性に与える影響について考察した。また、水砕スラグの粒子破碎によって生じる微粉末が改良体の硬化促進に及ぼす影響についても明らかにされていない。そこで、締固めエネルギー一定下における、高炉スラグ微粉末の混合割合が改良体の強度増加に及ぼす影響についても検討を行った。

2. 実験条件と方法

表1に示すように2種類の実験を行った。実験1はSCP工法での高炉水砕スラグの粒子破碎を想定して、自然砂とスラグを混合して試料を破碎する。自然砂には豊浦砂を選定した。試料の破碎方法は締固めA-a法に従い繰返し3回行った( $E=1650\text{kJ/m}^3$ )。実験2では未破碎の水砕スラグとスラグ微粉末を所定の質量混合率で混合した。供試体は硬化速度を促進するため、水酸化カルシウム水溶液(pH 12)の中で養生した。供試体は、高さ10cm、直径5cmのモールドに同一締固めエネルギーで試料をつめた。試料を3層に分けて入れ、各層ごとに50回木槌で叩き、供試体を作製した。拘束圧 $\sigma_3$ を50kPaおよび100kPaとして等方圧密後、B値が0.95以上になるようにし、CD三軸試験(ひずみ速度:1.0mm/min)を行った。また、軸差応力 $q$ は軸ひずみが15%またはピーク荷重に到達した時と定義した。得られた $q$ からモールの応力円を描き、内部摩擦角と粘着力を求めた。

表1. 実験条件

	実験1	実験2
混合材料	破碎スラグ+豊浦砂	スラグ+微粉末スラグ
質量混合率(%)	0,10,30,50,70,100(豊浦砂)	0(スラグ), 5,7,10
養生期間(日)	0,14,28	
試験体作製方法	同一締固めエネルギー	
試験方法	CD三軸試験	

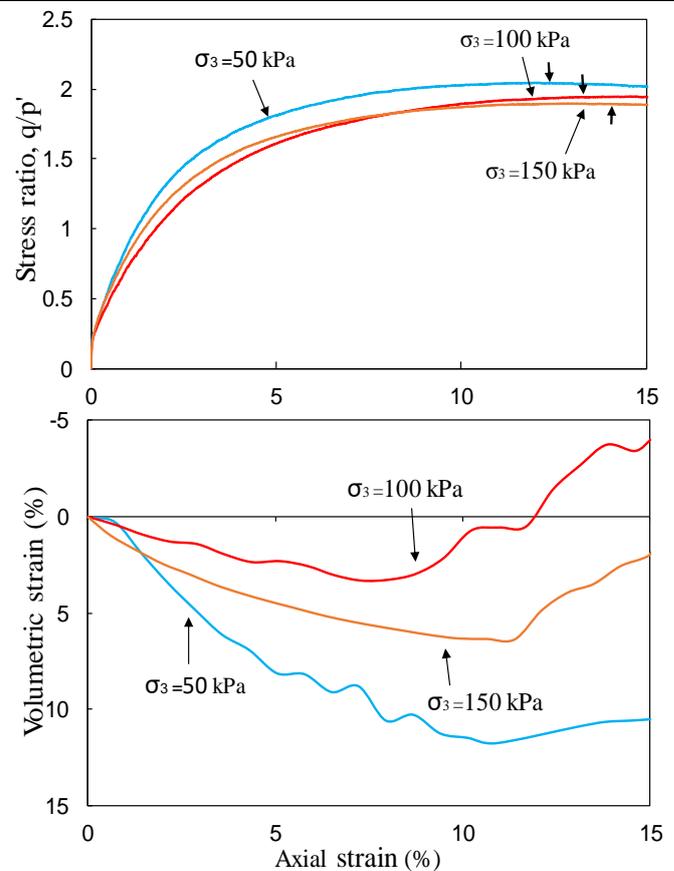


図1. 応力比-軸ひずみ-体積ひずみ関係(養生28日混合率0%)

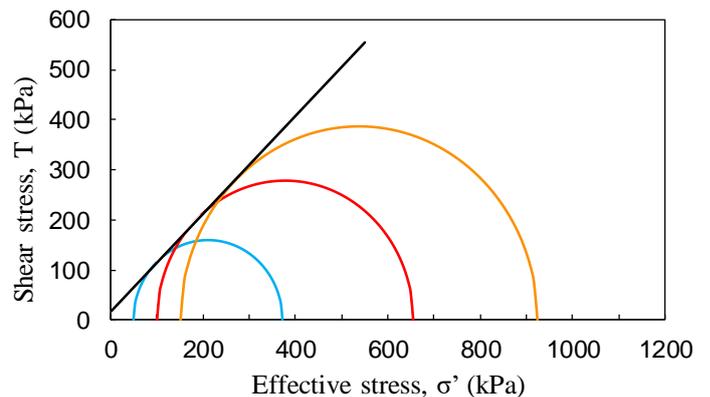


図2. モール応力円(養生28日混合率0%)

### 3. 実験結果と考察

図1に28日間養生の供試体(自然砂混合率0%)の応力比  $q/p'$  ( $q = \sigma'_1 - \sigma'_3$ ,  $p' = (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)/3$ ) と軸ひずみおよび体積ひずみと軸ひずみの関係の一例を示す。拘束圧の増加に伴い、応力比と軸ひずみ関係の傾きが小さくなり、応力比も低下する傾向を示した。これは、せん断中の粒子破碎の影響と考えられる。図2に養生28日の供試体(自然砂混合率0%)についてのモールの応力円を示す。モール円から、内部摩擦角  $\phi_d$  は  $44^\circ$ 、粘着力  $c_d$  は  $19.1\text{kPa}$  を得られた。図3に軸差応力  $q$  と自然砂混合率との関係を示す。図に示すように養生日数が増えると自然砂混合率によらず、全体的に強度が増加した。自然砂混合率が小さいほうが、養生日数によらず、強度が大きくなっている。図4に軸差応力  $q$  とスラグ微粉末質量混合率との関係を示す。全体的な傾向として、養生日数の増加に伴い、各混合率ともに軸差応力  $q$  が増加している。28日養生(スラグ微粉末質量混合率10%)の供試体においては強度が急激に増加している。図5に内部摩擦角と養生日数の関係を示す。自然砂質量混合率によらず、養生日数の増加に伴う、内部摩擦角にあまり変化が見られなかった。一方、スラグ微粉末質量混合した場合は養生日数に伴い、内部摩擦角が少し増加する。図6に粘着力と養生日数の関係を示す。養生日数に伴い、スラグ微粉末を混合した条件では、粘着力が増加する傾向が示された。

### 5. まとめ

高炉水砕スラグに自然砂を混合した供試体においては、養生日数に伴い強度が増加することを確認した。自然砂混合率が小さいほうが、同一養生時期での強度は大きくなる。高炉水砕スラグにスラグ微粉末を混合した条件では、スラグ微粉末の混合率が大きいほど、同一養生時期での強度が大きくなることを確認した。

#### 【謝辞】

本研究の一部は、鉄鋼スラグ協会の支援を得て実施した。技術協力スタッフ中島通夫さんおよびと学術研究員劉國軍には三軸試験の実施にあたり支援いただいた。ここに記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

1. 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報. 2018.
2. 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, pp858-869, 2006.

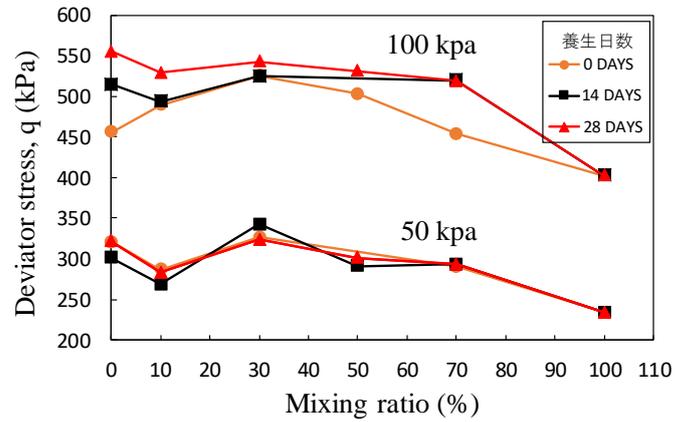


図3. 軸差応力(q)と豊浦砂質量混合率(%)の関係

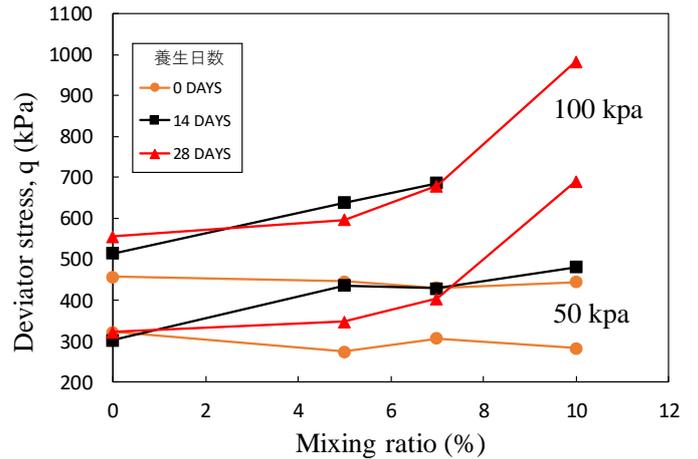


図4. 軸差応力(q)とスラグ微粉末質量混合率(%)の関係

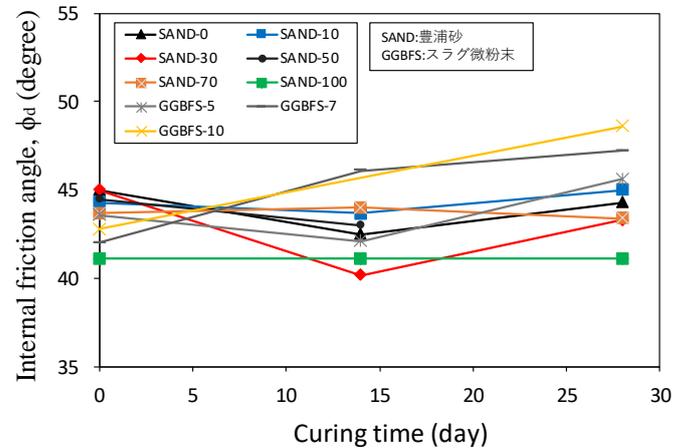


図5. 内部摩擦角( $\phi_d$ )と養生日数の関係

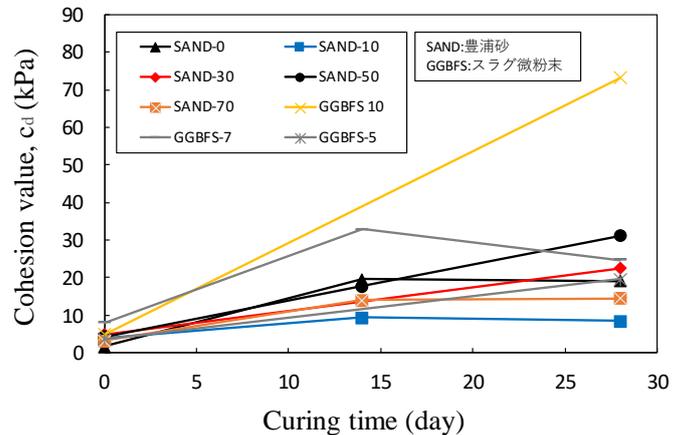


図6. 粘着力( $c_d$ )と養生日数の関係