

締固めエネルギー一定下における自然砂混合した 高炉水砕スラグの液状化特性

九州大学 学 永田 真也

九州大学院 F 安福規之 正 石蔵良平

1. はじめに

高炉水砕スラグは銑鉄の製造過程で生成される副産物である。年間約2000万トン生産されており、鉄鋼スラグ（徐冷スラグ、スラグ、転炉系スラグ、電気炉系スラグ）のうち、51.3%を占める¹⁾。セメント材料として利用されることがほとんどであり、地盤改良材としての利用が少ないのが現状である。高炉水砕スラグは水和反応により硬化する潜在水硬性を有する。

本研究では未硬化時の高透水性と硬化後の高強度に期待して、低置換サンドコンパクションパイル工法（以下、低置換SCP工法）への適用を目指している。図-1に示すように未硬化時には透水性を活かして排水経路となり圧密を促進し、硬化後には杭自体の強度を期待できる。しかし、実際に試験施工したところ打設後6ヶ月で急激な透水性の低下が確認され、高炉水砕スラグ単体での施工が難しいことが明らかになっている²⁾。また、高炉水砕スラグは粒状体であることから硬化に至る過程で液状化の可能性がある。そこで排水機能の確保と硬化の遅延を期待して自然砂と混合することを想定した。自然砂と混合したときに混合割合が液状化強度に与える影響について考察する必要がある。本研究では、締固めエネルギー一定下において、未硬化時の自然砂と高炉水砕スラグの混合割合が液状化特性に与える影響について検討を行った。

2. 実験

2.1 試料の物理特性

試料は高炉水砕スラグと自然砂（豊浦砂）を用意し、任意の質量混合割合で混合し実験を行った。以下に示す割合ではすべて質量比で混合したものとする。試料の混合割合は高炉水砕スラグに対して、豊浦砂を0%（高炉水砕スラグのみ）、10%、30%、50%、70%、100%（豊浦砂のみ）とした。実際に現場で打設される際に、高炉水砕スラグに粒子破碎が生じることを想定して試料を破碎し、その破碎試料についても検討した。したがって用意する試料は各混合割合の試料6種類を破碎したものと、未破碎のもの計12種類用意した。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（ $E \approx 1650 \text{ kJ/m}^3$ ）。図2、3には破碎試料と未破碎試料の粒度分布を示す。粒度分布が豊浦砂の混合割合が増加するにつれて左に移動することがわかる。図4、5には最大最小密度試験により求めた自然砂混合割合による最大間隙比および最小間隙比

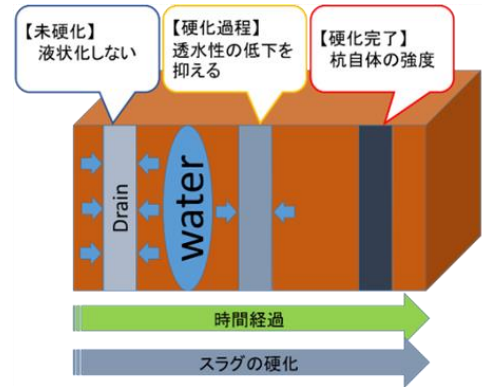


図-1 低置換 SCP 工法への適用簡略図

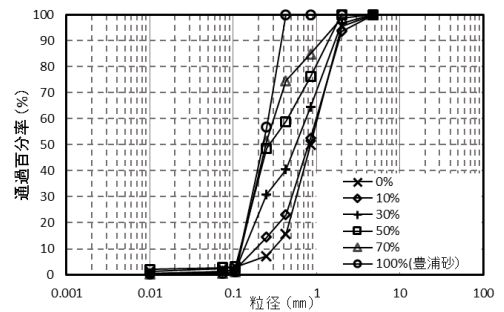


図-2 未破碎試料の粒度分布

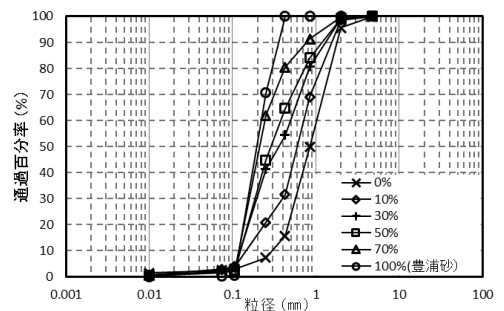


図-3 破碎試料の粒度分布

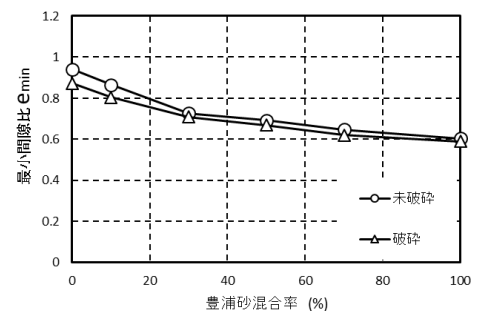


図-4 試料の最小間隙比

を示す。これらの図から、豊浦砂の混合割合が増加するにつれて破砕試料と未破砕試料の間隙比が近づいていることがわかる。これは豊浦砂が破砕しにくい試料であることに起因すると考えられる。

2.2 実験方法

供試体は、混合割合を変えた未硬化試料を空中落下法にて作製した。高さ 10cm、直径 5cm のプラスチックモールドに同一締固めエネルギーで試料をつめた。同一締固めエネルギー下での供試体作製方法としては、試料を 3 層に分けていれ、各層ごとに 50 回木槌で叩いた。ここで相対密度をそろえるのではなく、締固めエネルギーを一定としたのは実際の打設現場を想定するためである。実験方法としては、三軸試験装置を用いて 100kPa の等方圧密のあと、周波数 0.1Hz、正弦波で繰返し載荷をかけていく。両振幅ひずみ DA が 5% に達した時を液状化と定義し、液状化するまで繰返し載荷をかけた。また B 値が 0.95 以上になるようにした。

3. 実験結果と考察

本研究では両振幅ひずみ DA が 5% に達したときを破壊と定義した。また、繰返し載荷回数 20 回の時の繰返し応力振幅比を R_{20} と定義した。図-6 に豊浦砂混合率 100% と 30% の試料についての液状化強度曲線を示す。スラグ 70% の試料において R_{20} より液状化強度曲線は破砕試料が未破砕試料より下方に位置している。破砕試料は粒子接点の増加により繰返し載荷時にさらに破砕が発生し液状化強度が低下したことが一因と考える。豊浦砂とスラグ 70% (豊浦砂混合率 30%) の試料を比較すると R_{20} より液状化強度曲線において混合試料の方が液状化強度が大きいという結果になった。図 7 には供試体の繰返し載荷前の初期間隙比を示す。間隙比は破砕試料の方が各混合割合で小さくなっている。高炉水砕スラグ混合試料の液状化強度に対する間隙比の影響については、他の各混合割合の供試体についても試験を実施し考察する必要がある。その上で液状化強度が大きくなる最適な混合割合について検討していく予定である。

4. まとめ

繰返し応力振幅比 R_{20} を比較すると混合試料の方が豊浦砂のみに比べ液状化強度が大きくなる結果になった。また今回の試験結果では、混合試料については初期間隙比が小さな破砕試料の供試体の方が液状化強度は小さくなる結果を示した。今後は他の各混合割合の試料についても試験を実施し、高炉水砕スラグと自然砂の液状化強度に対する最適な混合割合を検討していく。

【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，2015.7.

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, 2006.12

【謝辞】

中島通夫技術協カスタッフには、実験装置の改良などの支援をしていただきました。D3 の劉さんには液状化試験の方法について丁寧に教えていただき、大変感謝しております。

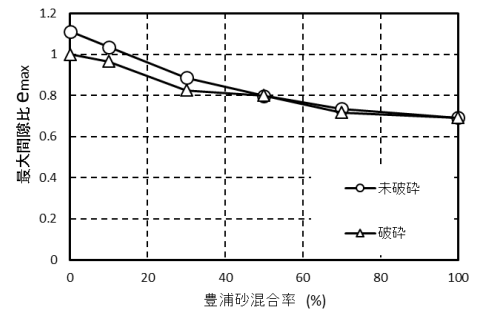


図-5 試料の最大間隙比

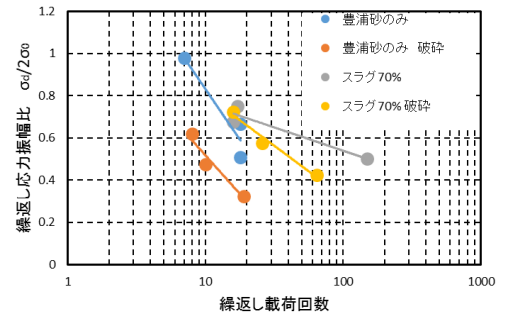


図-6 液状化強度曲線

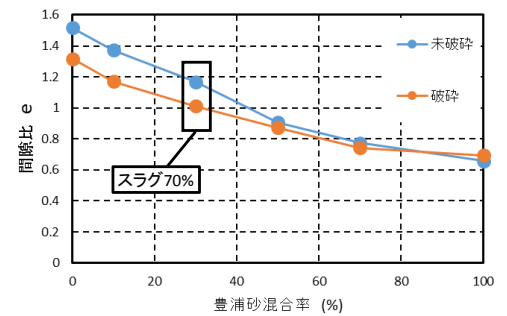


図-7 圧密前の間隙比