

高炉水砕スラグの再液状化抵抗に及ぼす粒子破碎の影響

山口大学大学院 学○小林俊介 学 和田正寛
山口大学大学院 正 石蔵良平 正 松田 博

1. まえがき

自然砂を対象とした再液状化に関する研究は数多く行われ、密度や初回液状化に生じるひずみなど、様々な因子に着目した研究が行われている。しかしながら、リサイクル材料等の再液状化特性についての研究例は少ない、高炉水砕スラグは銑鉄の製造過程において生成される副産物であり、自然砂と比較して軽量性、強度および透水性に優れ、潜在水硬性を有する。そのため、自然砂の代替材料としての有効利用が期待されている¹⁾。未硬化時の高炉水砕スラグはせん断時の粒子破碎によって液状化抵抗が低下することが懸念される。そのため、破碎性砂であるシラスやマサ土と同様に地震による再液状抵抗の検討が重要となる²⁾。本報告では、高炉水砕スラグの粒子破碎が再液状化抵抗に及ぼす影響について調べた。

2. 試験方法

高炉水砕スラグの土粒子の密度、最大・最小間隙比および粒径加積曲線を表1および図1に示す。比較のため豊浦砂についても併記する。試料は事前に真空脱気を行い、供試体は直径5cm高さ10cmで相対密度 $D_r=50\%$ (緩詰)および $D_r=80\%$ (密詰)となるように水中落下法で作製した。繰返し三軸試験機を用い、圧密応力 $\sigma'_0=100\text{kPa}$, 150kPa で等方圧密後、B値が0.95以上であることを確認した。非排水条件下で正弦波繰返し载荷(周波数:0.1Hz)を行った。初回液状化終了後に再度圧密を30分間行った。再圧密終了後は初回液状化と同様のせん断応力を負荷して再液状化試験を行った。再液状化②ではこの作業を更にもう一度行うこととした。なお、初回および再液状化時の破壊の定義は両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ とした。本研究ではまず、未硬化時を想定し、高炉水砕スラグの液状化および再液状化抵抗について検討した。液状化試験時の粒子破碎の傾向を調べるため、同一の粒度分布を有する供試体を作製し、各液状化試験後の粒度分布を調べ、粒子破碎が液状化抵抗の及ぼす影響を検討した。

3. 試験結果

図2は有効拘束圧 $\sigma'_0=100\text{kPa}$ 時の初回液状化と再液状化強度曲線を示したものである。供試体の初期相対密度の大きさに関係なく、再液状化強度曲線①、②ともに初回液状化よりも上方に位置している。これは液状化後に再度圧密排水を行うことによって、供試体の密度が増加したためと考える。図3は有効拘束圧 $\sigma'_0=150\text{kPa}$ 時の液状化強度曲線を示しているが、図2同様の傾向が得られた。

表1. 土粒子密度および最大・最小間隙比

	$\rho_s (\text{g/cm}^3)$	$e_{\max}$	$e_{\min}$
豊浦砂	2.645	0.973	0.619
高炉水砕スラグ	2.643	1.510	1.033

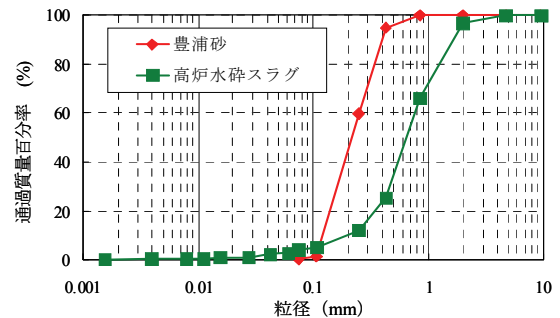


図1. 粒径加積曲線

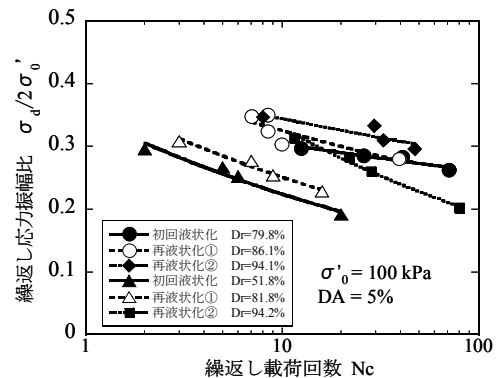


図2. 液状化強度試験結果 ($\sigma'_0=100\text{kPa}$)

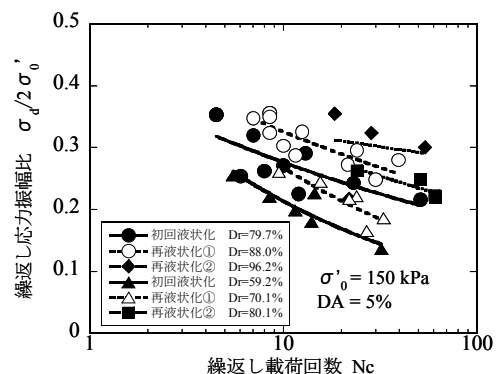


図3. 液状化強度試験結果 ($\sigma'_0=150\text{kPa}$)

初回液状化時の繰返しせん断が供試体に及ぼす影響を検討するため、一度負荷を受けた再液状化供試体と等しい相対密度で処女供試体を作製し、液状化強度試験を行った。図4は両者の液状化強度曲線を比較したものである。同一相対密度の供試体において、処女供試体の液状化強度曲線の方が上方に位置していることがわかる。これは再液状化供試体では初回液状化試験時の繰返しせん断によって、粒子破碎が発生したため、粒子間の接触点が増加し、更に粒子破碎が発生しやすい状態にあったためと考えられる。図5は緩詰供試体の液状化強度曲線に及ぼす有効拘束圧の影響を示したものである。高炉水砕スラグのような破碎性材料は有効拘束圧が大きい場合は、より粒子破碎が起りやすく、液状化強度曲線は下方に位置する。しかし、有効拘束圧の違いによらず再液状化①と②における液状化強度の減少は小さくなる傾向を示した。再液状化②では、粒子破碎が起りにくい状態であったと考えられる。つまり、液状化強度は密度増加と粒子破碎、双方の影響を受けるものと考えられる。

そこで図6には各試験条件について液状化強度と相対密度の関係を整理した。相対密度が小さいとき、処女供試体の方が液状化強度は高い傾向を示した。しかし、相対密度が大きくなるにつれて、液状化強度変化に及ぼす粒子破碎の影響は小さくなる傾向を示した。

さらに粒子破碎の程度と液状化強度の関係を検討するため、各試験終了後の粒径加積曲線を図7に示す。原材料に比べ初回液状化後の粒径加積曲線は細粒分が増加する傾向を示した。液状化①後においても細粒分が大きく増加していることがわかる。しかし、再液状化①、②後の粒径加積曲線に大きな変化が見られない。このことから、再液状化②では粒子破碎が起りにくい状態であったと考えられる。図6、7より、繰返し負荷を受けた高炉水砕スラグは、粒子同士の噛み合いが強くなり、流動性の高まりを抑制し、粒子破碎が起りにくくなるため、密度の影響が大きくあらわれたものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、高炉水砕スラグの粒子破碎特性が再液状化抵抗に及ぼす影響について検討した。その結果、相対密度が小さい領域では粒子破碎の影響を受けるため、再液状化時の液状化強度の低下し、相対密度が大きな領域では、粒子破碎よりも密度増加の影響を大きく受けた再液状化抵抗を示すことが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 鉄鋼スラグ協会：高炉水砕スラグ「土工用材料としての技術資料」，平成21年。
- 2) 三浦哲彦，山内豊聡：砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響，土木学会論文報告集，第260号，pp.109-118, 1977。

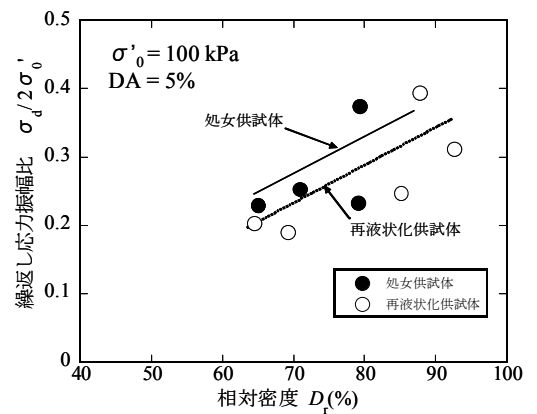


図4. 同一相対密度の液状化強度（未硬化）

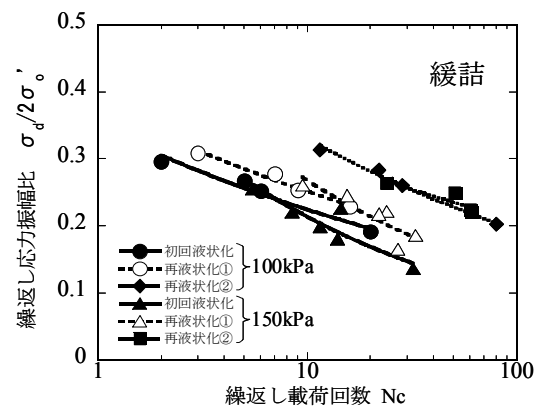


図5. 液状化強度曲線（拘束圧の影響）

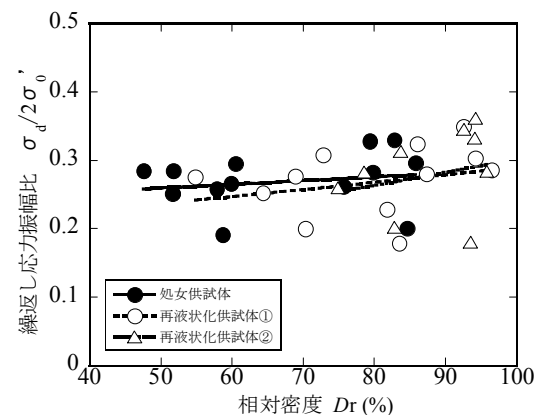


図6. 粒子破碎が液状化強度に及ぼす影響

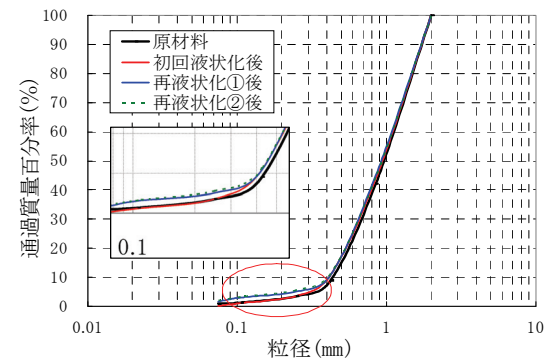


図7. 繰返しせん断後の粒径加積曲線の比較