

高炉水砕スラグの液状化後の再硬化特性に関する基礎的研究

山口大学大学院 学生会員 ○新舎良典
正会員 松田博

和田正寛
正会員 石蔵良平
石橋利倫

1. はじめに

銑鉄の製造過程で生産される高炉水砕スラグは、粒度分布は自然砂に類似し、自然砂と比較して軽量性、高強度、透水性に優れている。さらに、水和反応して硬化する「潜在水硬性」を有している。また、工場で生産されるため、均一かつ安定して供給される。そのため、高炉水砕スラグは単なるリサイクル材料ではなく土木材料としての有効利用が期待されている。高炉水砕スラグを硬化により有用な非液状化材料として注目し、すでに硬化に伴うせん断特性について明らかにしている¹⁾。しかしながら、一度せん断を受けた高炉水砕スラグの再硬化特性については明らかにされていない。そこで、本研究では液状化後の高炉水砕スラグが硬化するかどうかを明らかにするため、一度せん断を受けた供試体の再硬化特性に注目し、静的および動的三軸圧縮試験を実施した。

2. 試験方法

供試体を使用した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。供試体は、直径 5cm、高さ 10cm のプラスチックモールドに相対密度が 80% となるように詰めて作製した。供試体の養生中、養生温度は 80℃ とし海水中にて密閉したケースで行った。繰返し三軸圧縮試験は、100kPa の圧密後、非排水条件下で正弦波繰返し载荷（周期：10 秒）を行った。なお、液状化の定義は両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ とした。静的三軸圧縮試験（CD）は、拘束圧 50kPa, 100kPa, 150kPa, ひずみ速度 0.3%/min で行った。また、供試体の飽和作業は二酸化炭素（ CO_2 ）を用いた二重負圧法を用い供試体の飽和を確保した。再硬化特性について検討するため、初回養生した供試体をせん断後、ふるいにかけて粒度分布を確認し、上記と同様の手順で再養生およびせん断を行った。図 2 に試料の粒度分布を示す。

3. 試験結果

図 3 は、約 1 ヶ月（28 日）養生した供試体を用いて行った非排水繰返し三軸試験結果およびその後 1 ヶ月（28 日）再養生した供試体に対する繰返し三軸圧縮試験結果を示したものである。初回養生では、繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_0'=0.415$ のもと $N_c=20.9$ 回で破壊に至り、再養生では、繰返し応力振幅比 $\sigma_d/2\sigma_0'=0.371$ のもと

表 1 土粒子密度と最大・最小間隙比

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

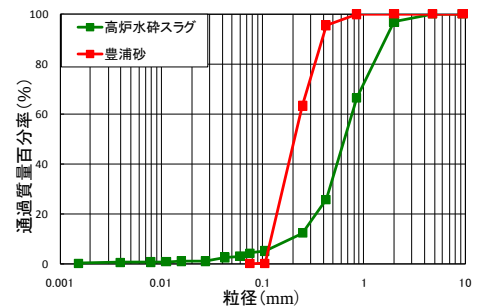


図 1 粒径加積曲線

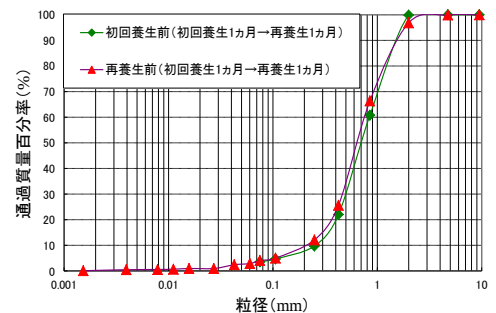
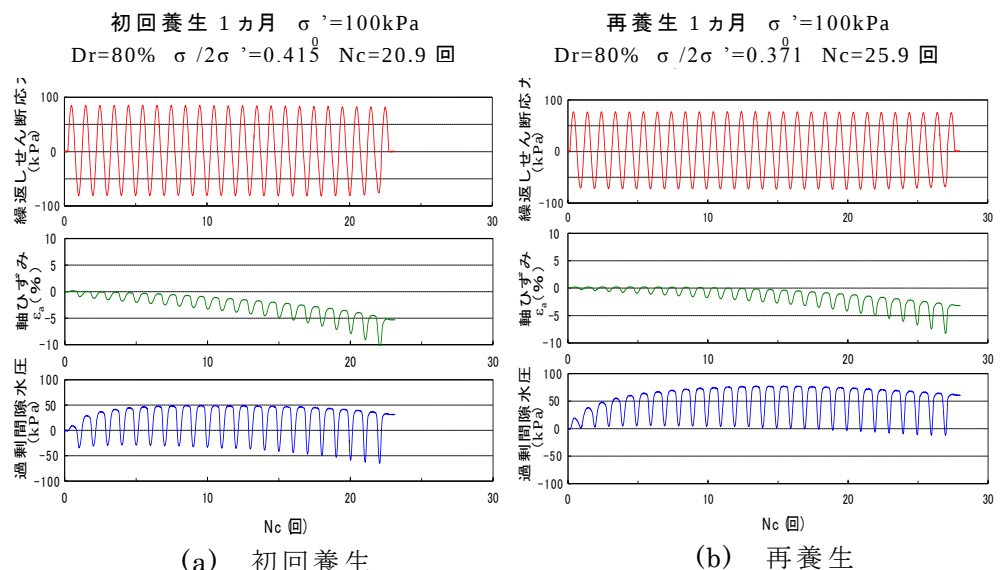


図 2 初回養生時および再養生時の高炉水砕スラグの粒度分布



(a) 初回養生

(b) 再養生

図 3 初回および再養生供試体の記録波形

とで繰返し載荷回数 $N_c=25.9$ 回で破壊に至っている。また、両ケースとも過剰間隙水圧は載荷直後に急激に増加後安定し、その後徐々に減少していることがわかる。

図 4 は、初回養生および再養生した供試体の繰返し応力振幅比と繰返し載荷回数の関係を示したものである。また、未硬化の供試体の結果も併せて示す。同図より、未硬化および初回養生供試体の液状化強度比は $R_{20}=0.290$ および $R_{20}=0.415$ 程度となり大幅に強度増加を示している。また、再養生供試体の液状化強度比も $R_{20}=0.399$ を示し、未硬化供試体と比較して大幅に強度増加していることから、再硬化しているものと推察される。

図 5 は、養生した高炉水砕スラグ供試体の静的三軸圧縮試験による軸差応力と軸ひずみの関係でまとめたものである。同図より、初回養生供試体、再養生供試体ともに軸ひずみ 5~10%程度で軸差応力が最大となっており、その後軟化挙動を示した。

図 6 は、静的三軸圧縮試験から求めたせん断抵抗角および粘着力と養生日数の関係を示したものである。同図より、時間が経過しても高炉水砕スラグのせん断抵抗角は大きな変化は見られず高炉水砕スラグの基準値である 35° 以上²⁾の値を示した。また、粘着力は養生日数の経過に伴い増加していることがわかる。

図 7 は、養生日数と養生水の pH の関係を示している。同図より、養生日数の経過に伴い、再養生中の養生水の pH も上昇している。高炉水砕スラグはアルカリ成分を溶出することにより強度増加するので、再養生中にも水和反応による硬化が進行しているものと推察される。

4. まとめ

本研究では、硬化した高炉水砕スラグのせん断後における再硬化特性について検討を行った。その結果、初回養生供試体、再養生供試体ともに未硬化時の高炉水砕スラグと比較をして強度増加することが明らかとなった。また、養生水の pH を測定したところ、初回および再養生中の養生水に pH の増加がみられた。再養生中においても養生水中にアルカリ成分が溶出しているものと考えられることから、再養生中も硬化が進行したものと推察される。

【参考文献】

- 1) 篠崎晴彦, 松田博, 白元珍: 高炉水砕スラグの硬化に伴う繰返しせん断強度特性の変化, 土木学会論文集 C, Vol.64, No.1, pp.175-180, 2008.
- 2) (財)沿岸開発技術センター, 鐵鋼スラグ協会: 港湾工事用水砕スラグ利用手引書, 1990.

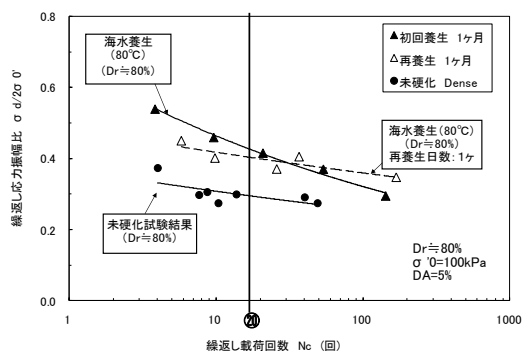


図 4 初回および再養生した供試体の液状化強度

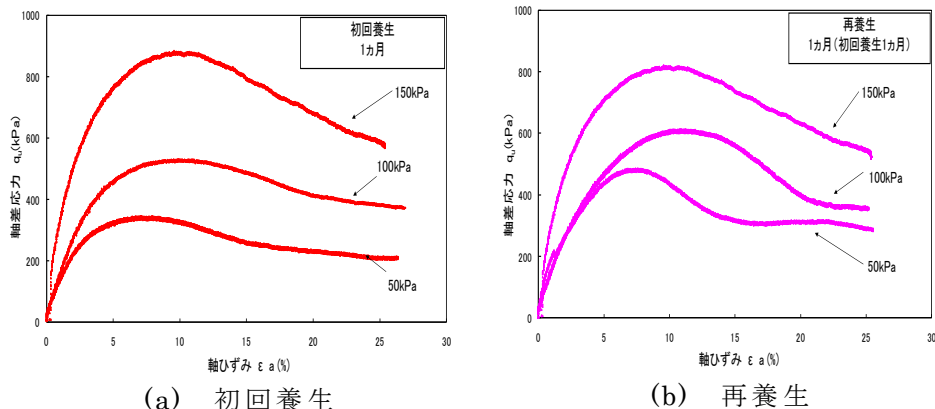


図 5 軸差応力と軸ひずみの関係

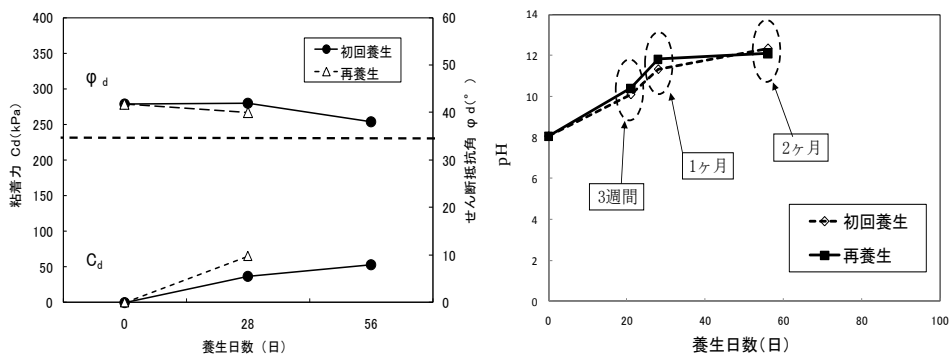


図 6 せん断強度定数の経時変化

図 7 養生日数と pH の関係