

著しく硬化した高炉水砕スラグの再硬化特性に関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○新舎良典 非会員 和田正寛
 学生会員 正木理久 正会員 松田博
 正会員 石蔵良平

1. はじめに

高炉水砕スラグは潜在水硬性を有するため有用な非液状化材料として考えられることから、すでに硬化に伴うせん断強度特性の変化について検討を行っている¹⁾。高炉水砕スラグを粒状材として適用する場合、初期硬化後にせん断を受け破断面等が生じた場合においても、再硬化する可能性がある。再硬化することが明らかとなれば、スラグ構造物の維持管理・補修において非常に有益となる。そこで、本研究では、一度硬化した高炉水砕スラグのせん断後の水硬性について明確にすることを目的に、施工後10年経過したスラグ試験盛土から採取した試料を粉砕し養生した供試体に対して非排水繰返し三軸試験を行い高炉水砕スラグの再硬化特性について検討を行った。

2. 試験盛土スラグのせん断特性

図1に施工前の試験盛土スラグの粒度分布を示す。試験盛土スラグの粒度分布は玄海砂と非常に類似していることがわかる。試験盛土スラグは0.3m/層の撒き出しと1.0m/層の撒き出しで施工されている。試験盛土に用いた高炉水砕スラグのCD試験による応力比、体積ひずみと軸ひずみの関係を図2に示す。応力比と軸ひずみの関係では、拘束圧の増加に伴い応力比が低下していることがわかる。体積ひずみと軸ひずみの関係では、拘束圧の増加に伴い体積膨張から収縮に移行している。このような拘束圧の増加に伴う応力比の低下や収縮は、せん断による粒子破碎の影響が考えられる。

図3は施工前の試験盛土スラグについてのストレス・ダイレイタンシー関係を示す。拘束圧の変化によらず同一直線上に位置している。限界状態のストレス・ダイレイタンシー関係は以下の式(1)が成り立つ。また、Mと内部摩擦角 ϕ の関係としては以下の式(2)が成り立つ。

$$\frac{q}{p'} = M - \frac{d\varepsilon_v}{d\varepsilon_s} \dots (1) \quad \sin \phi = \frac{3M}{(6+M)} \dots (2)$$

図3よりMは1.67程度であって、式(2)から求まる内部摩擦角 ϕ_d は41.0°となっている。高炉水砕スラグは拘束圧の増加に伴い内部摩擦角が減少する傾向にある²⁾が、図3においては同一直線上に位置する傾向を示した。

3. 再硬化特性

本研究で用いた試料は試験盛土からブロックサンプリングした硬化した水砕スラグを粉砕後、ふるい分けを行ったものであ

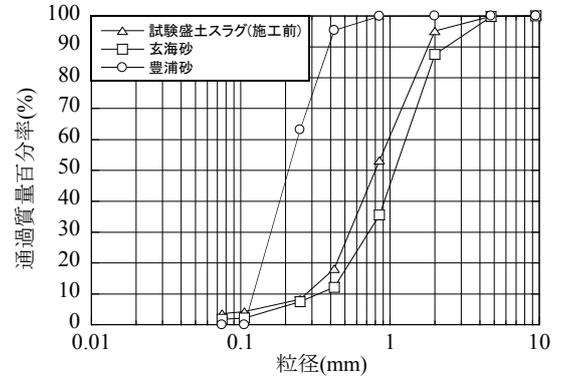


図1 施工前の試験盛土スラグの粒度分布

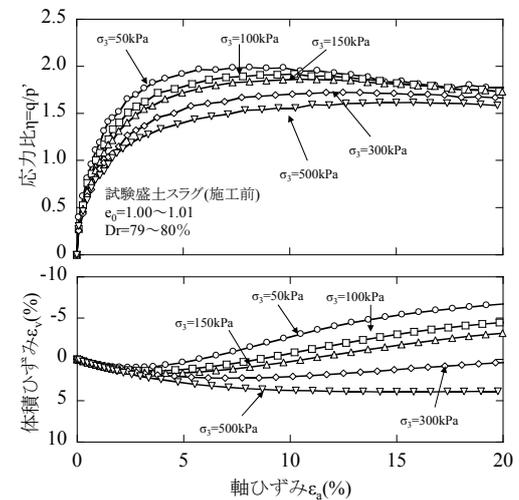


図2 施工前の試験盛土スラグの応力比および体積ひずみと軸ひずみの関係

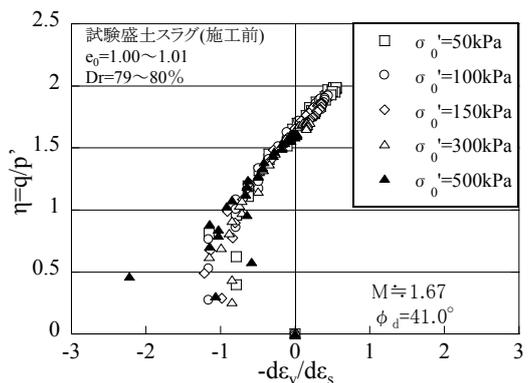


図3 施工前の試験盛土スラグのストレス・ダイレイタンシー関係

表1 土粒子密度と最大・最小間隙比

	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
豊浦砂	2.646	0.999	0.623
玄海砂	2.678	0.827	0.516
試験盛土スラグ (撒き出し0.3m/層)	2.779	1.808	1.177
試験盛土スラグ (撒き出し1.0m/層)	2.691	1.663	1.064

る。試験盛土スラグは施工時に 0.3m/層と 1.0m/層で転圧されていることから、サンプリングは撒き出し層ごとに行った。土粒子の密度、最大・最小間隙比および粒度分布を表 1 および図 4 に示す。供試体は、まず直径 5cm、高さ 10cmのプラスチックモールドに $Dr=80\%$ となるように試料を詰めて、 80°C の海水中にて密閉したケースで所定の期間養生した。各供試体について $\sigma_0'=50, 100, 150\text{kPa}$ で圧密後、非排水条件下で正弦波繰返し載荷(周期:10秒)を行った。液状化によって生じる破壊の定義は両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ とした。なお、供試体の飽和は未硬化時の供試体においては水中落下法を用い、硬化後の供試体においては二重負圧法で行った。

4. 試験結果

図 5 は、未硬化供試体に対して非排水繰返し三軸試験を行った結果であり、各拘束圧における繰返し応力振幅比と繰返し載荷回数との関係でまとめたものである。拘束圧が大きい方が、液状化強度比 R_{20} は小さくなるのが分かる。これは、前述したように、高炉水砕スラグは粒子破碎が起こりやすく、そのため強度が下がると考えられる。本研究では、近似曲線において繰返し載荷回数が 20 回のときの繰返し応力振幅比を液状化強度比 R_{20} と定義した。

図 6 は、再養生 1 ヶ月の供試体について、非排水繰返し三軸試験を行った結果である。応力比 $\sigma_d/2\sigma_0'=0.343$ のもとで繰返し載荷回数 $N_c=19.7$ 回で破壊に至っている。

図 7 は、再養生した試験盛土スラグ供試体の液状化強度曲線である。図中には未硬化試験盛土スラグ供試体の結果も併せて示している。未硬化の液状化強度比は $R_{20}=0.252$ 、養生 1 ヶ月は $R_{20}=0.312$ 、養生 2 ヶ月は $R_{20}=0.430$ と、養生日数の経過に伴い、強度増加していることが分かる。

5. まとめ

本研究では、硬化した高炉水砕スラグのせん断後の再硬化特性を明確にするため、非排水繰返し三軸試験を行った。その結果、著しく硬化した高炉水砕スラグにおいても、潜在水硬性は保持されており、せん断しても再硬化することが確認できた。

【謝辞】

本研究の一部は科研費(23560993)の助成を受けたものである。

【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)松田博, 石蔵良平, 和田正寛, 來山尚義, 白元珍, 谷信幸: 軽量盛土材として用いた高炉水砕スラグの特性の経年変化, 地盤工学ジャーナル, vol.7, No.1, 2012.

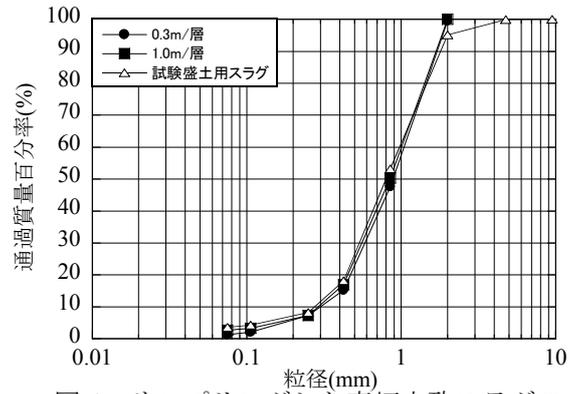


図 4 サンプリングした高炉水砕スラグの粒度分布

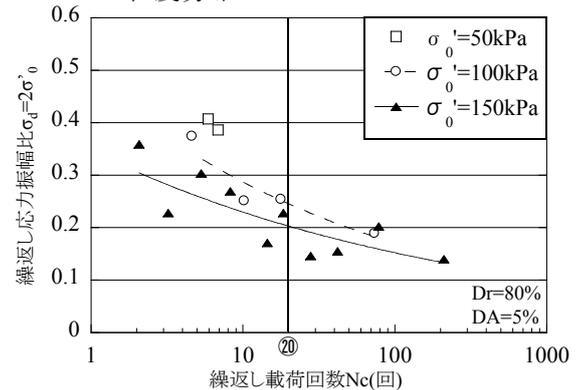


図 5 未硬化時供試体の液状化強度曲線

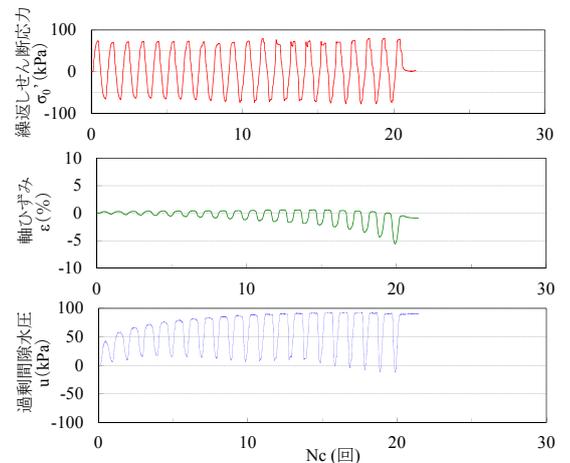


図 6 再養生した供試体の記録波形 ($\sigma_0'=100\text{kPa}$ $Dr=80\%$ $\sigma_d=2\sigma_0'=0.343$)

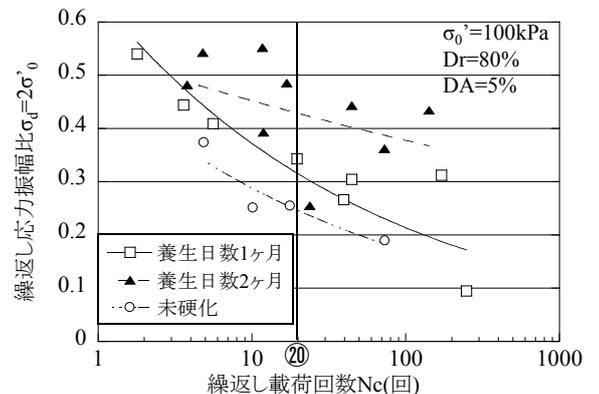


図 7 再養生した供試体の液状化強度曲線