

硬化途中の高炉水砕スラグの動的強度について

山口大学大学院 学生会員 ○村岡賢二

山口大学 正会員 松田博 白元珍

若築建設(株) 正会員 橋口大輔 山口大学大学院 学生会員 馬場翔

1. まえがき

高炉水砕スラグは、セメント等の添加剤を加えることなく、水和反応により硬化・強度発現する性質「潜在水硬性」を有しており、新しい土木材料としての性能照査設計等において有効利用が期待されている。高炉水砕スラグの基本的性質として、高炉水砕スラグは固結に至った場合には、液状化に対する検討の必要性はない¹⁾とされているが、未固結の高炉水砕スラグは粒状体であるため、液状化に対する検討の必要性は硬化の程度に依存している。そこで、硬化の程度～動的強度の関係を明確にすることを目的として、硬化の程度の異なる高炉水砕スラグ供試体について繰返し三軸試験、静的三軸試験および、一軸圧縮試験を行い、静的強度～動的強度の関係について調べた。

2. 試験方法

試料として、2004年に製造された高炉水砕スラグ(高炉水砕スラグA)、また比較のため玄海砂、2003年製造の高炉水砕スラグ(高炉水砕スラグB)を用いた。Table.1、Fig.1に、各試料の土粒子密度、最大・最小間隙比および粒径加積曲線を示す。供試体は、直径50mm、高さ100mmで相対密度 $Dr=50\%$ (Loose)および $Dr=80\%$ (Dense)となるように作成した。試料は、供試体の硬化を促進するために、高温アルカリ水中にて養生(水酸化カルシウム添加、 $pH=12$ 、水温約 $80^{\circ}C$)し養生期間を変化させることによって硬化の程度を調整した。繰返し荷重は三軸圧縮試験装置を用い、拘束圧100kPaで圧密後、非排水条件下で正弦波繰返し荷重(周期10秒)を行った。一軸圧縮試験はひずみ速度を $1.0\%/min$ とした。また、二酸化炭素(CO_2)を用いた二重負圧法により供試体のB値は0.95以上とした。

3. 試験結果

Fig.2に、未硬化の高炉水砕スラグAと玄海砂のDA(両振幅ひずみ) $=5\%$ を生じる繰返し荷重回数と繰返し応力振幅比の関係(動的強度曲線)を示す。未硬化の高炉水砕スラグAについて $N_c=20$ における繰返し応力振幅比 R_{20} (繰返しせん断強度比)は、いずれの相対密度においても玄海砂より大きく、未硬化の高炉水砕スラグの動的強度は玄海砂より高いことがわかる。その理由として、透水性が高いこと、インターロッキング効果によりせん断強度が高いことが挙げられる。

Fig.3は、高温アルカリ水で28日養生したDenseの供試体を用いて繰返し三軸試験を行った記録波形であり、上から順に繰返しせん断応力、軸ひずみおよび過剰間隙水圧を示している。過剰間隙水圧は荷重直後に急増し、安定するものの、液状化には至っておらず、伸張側では、負の間隙水圧が発生している。また、ひずみは、繰返し回数の増加に伴い伸張側に累積し、最終的には供試体の端部が破壊する現象が見られた。このような破壊形態はネッキング破壊と呼ばれる。この

Table.1 土粒子密度、最大・最小間隙比

	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}
高炉水砕スラグA	2.643	1.510	1.033
高炉水砕スラグB	2.689	1.867	1.237
玄海砂	2.678	0.827	0.516

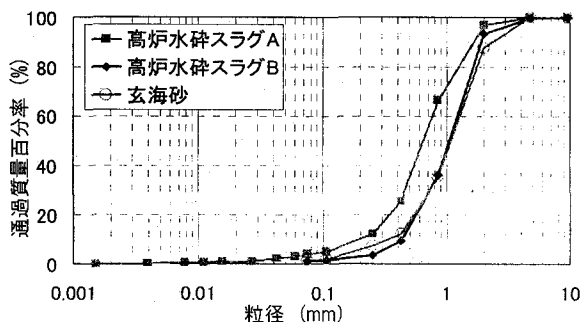


Fig.1 粒径加積曲線

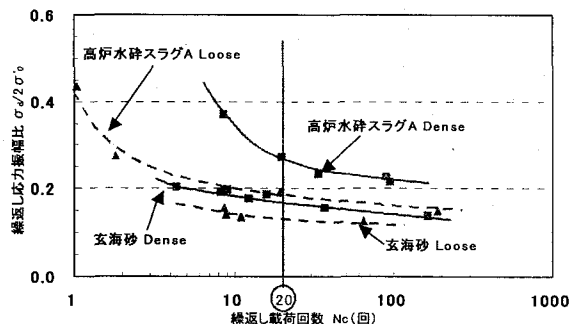


Fig.2 動的強度曲線

(未硬化高炉水砕スラグ、玄海砂)

供試体は試験後も自立しており、いわゆる土粒子がバラバラになる液状化の現象はみられなかった。高炉水砕スラグは潜在水硬性に起因して粘着力が増加すると土粒子の骨格構造が安定し液状化が生じないと考えられる。

Fig.4 は繰返しせん断強度比 R_{20} と養生日数の関係である。また、Fig.5 は一軸圧縮強度 q_u と養生日数の関係である。いずれの図においても、Dense と Loose いずれも、養生日数の増加に伴い、繰返しせん断強度比 R_{20} 、一軸圧縮強度 q_u は増加しており、潜在水硬性により高炉水砕スラグの動的強度、一軸圧縮強度 q_u が増加することがわかる。また、Dense のほうが Loose よりも繰返しせん断強度比 R_{20} 、一軸圧縮強度 q_u の増加率が大きい。この要因としては、単に密度が大きいということ以外に、密詰め供試体の方が固結の起点となる接触点が多いことが一因と考えられる。また、高炉水砕スラグ B と比較すると、高炉水砕スラグ A のほうが、繰返しせん断強度比 R_{20} 、一軸圧縮強度 q_u は増加率が大きい。これは、Fig.1 に示すように高炉水砕スラグ A のほうが、細粒分が多く含まれているため、土粒子が水溶液に触れる面積が大きく、そのため潜在水硬性の発現率が高く、また固結の起点となる土粒子間の接触点数が多くなって土粒子の骨格構造が安定しやすくなるためと考えられる。

Fig.6 は高温アルカリ水養生した高炉水砕スラグの繰返しせん断強度比 R_{20} と一軸圧縮強度 q_u の関係である。図中には繰返しせん断試験における破壊タイプ（液状化、遷移段階、ネッキング破壊）の領域、また、高炉水砕スラグ B での結果も併せて示している。同図より、繰返しせん断強度比 R_{20} と一軸圧縮強度 q_u の間には、比例関係がみられ、この関係を利用することで、高炉水砕スラグの一軸圧縮強度 q_u から繰返しせん断強度比 R_{20} を予測することが可能である。

4. まとめ

高炉水砕スラグの動的強度特性について検討した結果、以下のことが分かった。

- ① 硬化した高炉水砕スラグは玄海砂以上の動的強度を有する。
- ② 潜在水硬性の発現に伴い、液状化強度は増加する。
- ③ 相対密度が高い方が潜在水硬性の発現が早期に生じる。
- ④ 繰返しせん断強度比 R_{20} と一軸圧縮強度 q_u の間には、一義的な関係がみられる。従って、一軸圧縮試験により、動的強度の評価が可能である。

参考文献 1) (財)沿岸開発技術センター, 鉄鋼スラグ協会: 港湾工事用水砕スラグ里誂手引書; 1989.

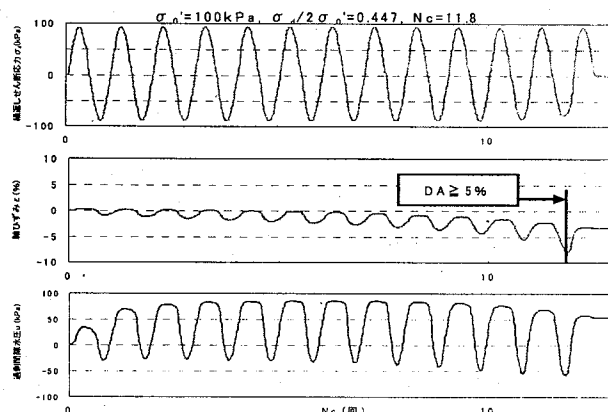


Fig.3 繰返し三軸試験結果 記録波形
(28日養生 Dense)

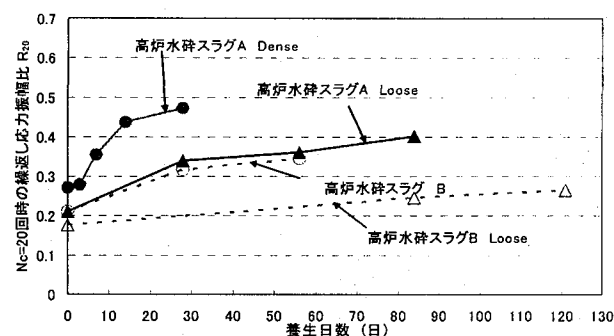


Fig.4 繰返しせん断強度 R_{20} と養生日数

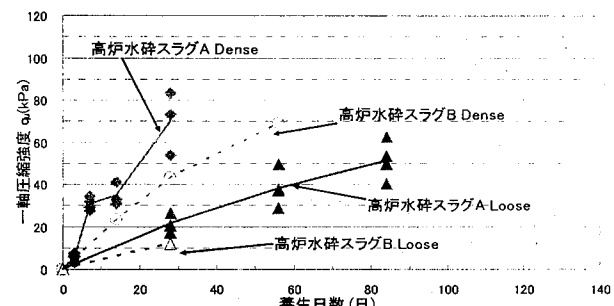


Fig.5 一軸圧縮強度 q_u と養生日数

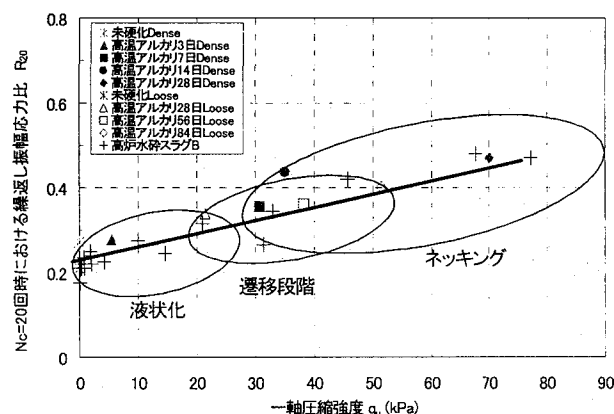


Fig.6 繰返しせん断強度 R_{20} と一軸圧縮強度 q_u