

高炉水砕スラグを用いた新しい耐震構造物の設計法の開発

山口大学 正会員 ○松田博 山口県 立石典広

全南大学 白元珍 山口大学 学生会員 村岡賢二 馬場翔 芦田拓也

鉄鋼スラグ協会 正会員 篠崎晴彦

1. まえがき

鉄鉄の製造過程で生成される高炉水砕スラグは、水和反応によって硬化・強度発現する性質(潜在水硬性)を有することから、固結に至った高炉水砕スラグは液状化に対する検討を行う必要性はない¹⁾とされている。しかし、未固結の高炉水砕スラグは粒状体であることから、施工後固結に至るまでの間は液状化に対する検討を行う必要がある。すなわち、高炉水砕スラグの液状化に対する検討の必要性は固結の程度に依存するため、高炉水砕スラグの硬化の程度と液状化強度の関係を明確にする必要がある。そこで、本研究では養生した高炉水砕スラグ供試体を用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、硬化の程度と液状化強度の関係について検討した。

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Aおよび玄海砂を用いた。Table. 1、Fig. 1に、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。なお、比較のために豊浦砂の値も示した。供試体は、直径5cm、高さ10cmで相対密度 $Dr=50\%$ および $Dr=80\%$ となるように作成した。供試体の養生は固液比1:2(試料:水)とし、密封したケースで養生を行った。

繰返し載荷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載荷(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 $DA=5\%$ ひずみを生じる繰返し載荷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液状化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を挙げることができる。

Fig. 3は、水養生した供試体についての繰返し三軸

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
玄海砂	2.678	0.827	0.516
豊浦砂	2.645	0.973	0.619

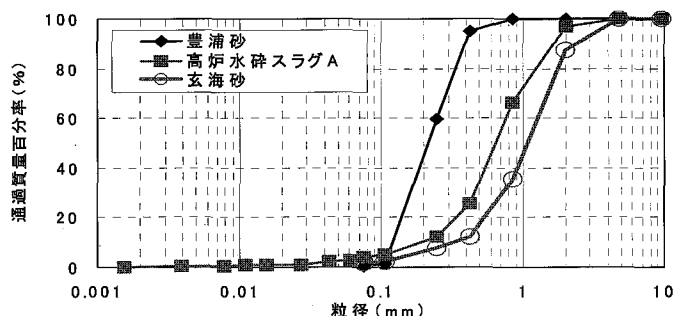
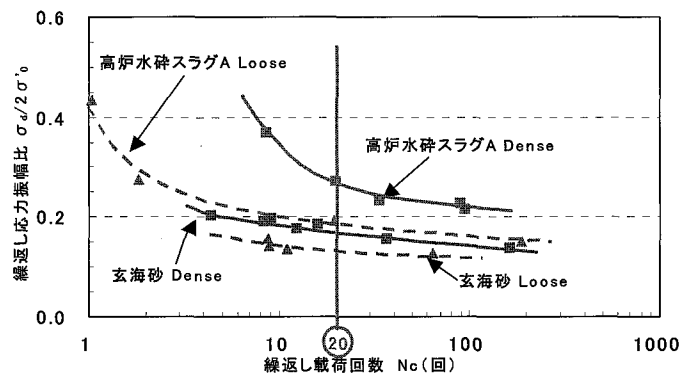
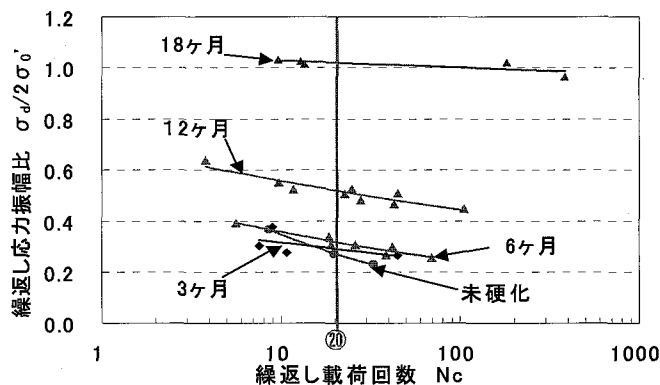


Fig. 1 粒径加積曲線

Fig. 2 動的強度曲線
(未硬化高炉水砕スラグ・玄海砂)Fig. 3 動的強度曲線
(水養生高炉水砕スラグ $Dr=80\%$)

試験で得られた動的強度曲線で、相対密度 $Dr=80\%$ 、の結果である。同図より、養生日数の増加に伴い、動的強度は増加し、養生日数が6ヶ月を過ぎると、硬化の進行が顕著になっている。また、相対密度 $Dr=50\%$ においても同様な結果が得られた。

Fig. 4 は水養生した供試体の繰返しせん断強度比 R_{20} と養生日数の関係である。同図より、 $Dr=50\%$ より $Dr=80\%$ の方が、繰返しせん断強度比 R_{20} の増加率が大きくなっている。この要因としては、単に密度が大きいということ以外に、接触点の増加に伴う、固結の進行が考えられる。また、潜在水硬性によって高炉水砕スラグの液状化強度は増加することがわかる。

Fig. 5 は水養生後のケース開封時の養生水の pH である。養生水の pH は養生日数6ヶ月(168日)で $pH \approx 12$ でほぼ一定となっている。

Fig. 6 は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。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、一義的な関係がみられる。ここで、セメント安定処理土は、一軸圧縮強度 q_u が、50kPa 程度あれば、液状化しないという報告²⁾がある。高炉水砕スラグは一軸圧縮強度が 35kPa 以上のすべての供試体でネッキング破壊し液状化現象が見られなかった。このことから、一軸圧縮強度から、液状化の予測・判定が簡易に行え、港湾工事等に高炉水砕スラグを用いた場合において有用である。

4. まとめ

- 1) 高炉水砕スラグは潜在水硬性の発現に伴い、液状化強度は増加する。
- 2) 相対密度が高い方が潜在水硬性の発現が早期に生じる。
- 3) 水養生した高炉水砕スラグは、いずれの相対密度においても、養生日数の増加に伴い動的強度は増加し、養生期間が6ヶ月を過ぎると養生水 $pH \approx 12$ で安定し、硬化が急激に進行する。
- 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ため、一軸圧縮試験により、簡易に液状化の予測・判定ができ、液状化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利用手引書；1989。
- 2) 善功企，山崎浩之，渡辺篤，芳沢秀明，玉井章友；セメント混合した砂質土の埋立工法に関する研究—改良土の基本的特性と混合・埋立実験—，港湾技研資料，No. 579，pp. 1～41，1987。

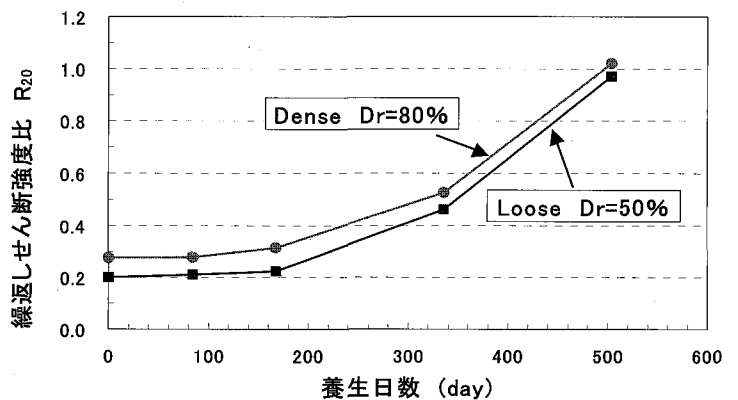


Fig. 4 繰返しせん断強度比～養生日数

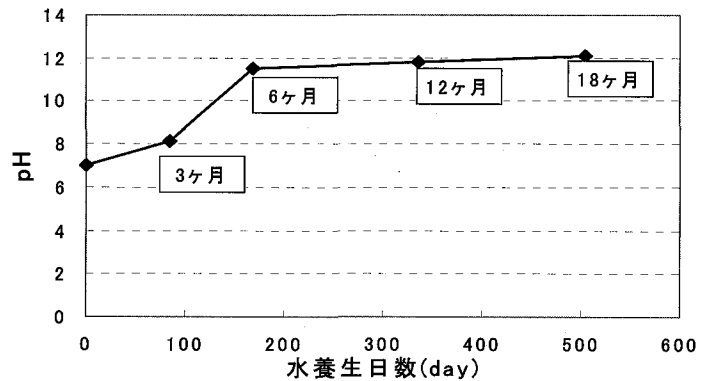


Fig. 5 養生水の pH の変化

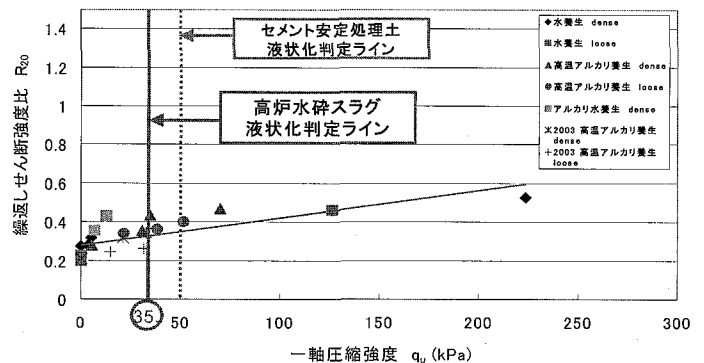


Fig. 6 繰返しせん断強度比～一軸圧縮強度