

潜在水硬性が高炉水砕スラグの動的強度特性に及ぼす影響

山口大学 正会員 松田 博、山口大学 学生員 篠崎晴彦

山口大学 学生員〇橋口大輔、玉野総合コンサルタント㈱ 正会員 大平尚美

復建調査設計㈱ 正会員 高宮晃一

1. まえがき

銑鉄の製造過程で生成される高炉水砕スラグは、水和反応によって固結する性質（潜在水硬性）を有することから、固結に至った場合は、液状化に対する検討を行う必要性はないとされている。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動的強度特性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および、一軸圧縮試験を行い、硬化の程度と動的強度の関係について調べた。

2. 試験方法

試料として、2種類の高炉水砕スラグを用いた。2002年に製造されたものを高炉水砕スラグ①、2003年に製造されたものを高炉水砕スラグ②とする。また、比較のため、玄海砂を用いた実験も行った。Table.1、Fig.1に、各試料の土粒子の密度、最大・最小間隙比および粒経加積曲線を示す。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。試料の養生は潜在水硬性の発現を促進するため、高温アルカリ水（水酸化カルシウム添加， $pH \approx 12$ ，水温約 $80^\circ C$ ）で行った。繰返し载荷は三軸圧縮試験装置を用い、100 kPa で圧密後、非排水条件下で正弦波繰返し载荷（周期：10 秒）を行った。また、二酸化炭素（ CO_2 ）を用いた二重負圧法によって供試体のB値は0.95以上を確保した。

3. 試験結果

Fig. 2に、未硬化の高炉水砕スラグと玄海砂の $DA=5\%$ ひずみを生じる繰返し载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動的強度は玄海砂より大きいことがわかる。粒度分布が類似しているにも関わらず高炉水砕スラグの方が動的強度が大きい理由として、インターロッキング効果を挙げることができる。

Fig. 3および Fig. 4は、高温アルカリ養生した供試体について繰返し三軸試験で得られた動的強度曲線で、Fig. 3は、相対密度 $Dr=80\%$ 、Fig. 4は相対密度 $Dr=50\%$ の結果である。同図より、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ている。

Table 1 土粒子密度，最大・最小間隙比

	$\rho_s (g/cm^3)$	e_{max}	e_{min}
高炉水砕スラグ①	2.689	1.867	1.237
高炉水砕スラグ②	2.702	1.413	0.904
玄海砂	2.678	0.827	0.516

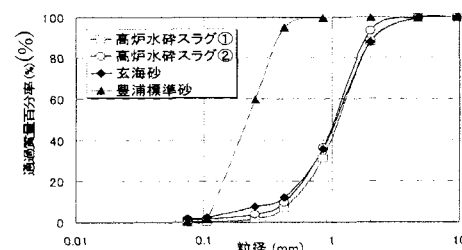


Fig. 1 粒経加積曲線

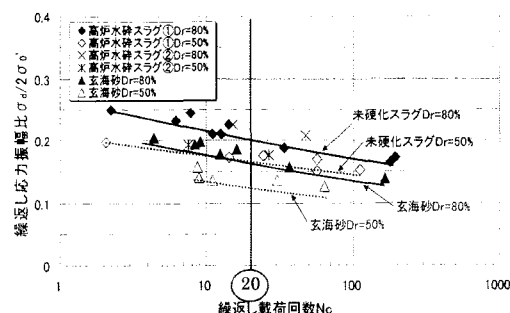
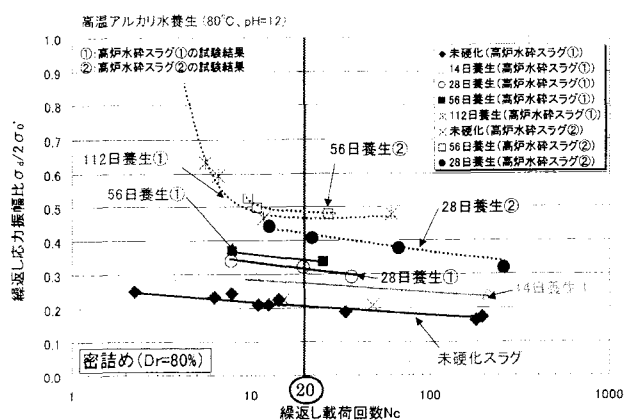
Fig. 2 動的強度曲線
(高炉水砕スラグ (未硬化) および玄海砂)Fig. 3 動的強度曲線
(高温アルカリ水養生, $Dr=80\%$)

Fig. 5 は、高温アルカリ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動的強度は増加し、その増加量は高炉水砕スラグ①より高炉水砕スラグ②の方が大きい。後述する一軸圧縮強度においても同様の傾向を示し、高炉水砕スラグ①より高炉水砕スラグ②の方が潜在水硬性の発現が顕著である。これは、高炉水砕スラグ②の方が細粒分が多いことが一因と考えられる。

Fig. 6 は、高温アルカリ養生した供試体の一軸圧縮強度と養生日数との関係である。同図より、養生日数の増加とともに潜在水硬性の発現に起因した一軸圧縮強度の増加が見られ、また $Dr=50\%$ より $Dr=80\%$ の方が強度増加量が大きい。

Fig. 7 は高温アルカリ養生および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）の領域も示した。同図には、セメント混合処理における繰返しせん断強度比 R_{20} と一軸圧縮強度の関係²⁾³⁾も併せて示す。同図より、セメント混合処理の結果と同様に、高炉水砕スラグにおいても繰返しせん断強度比 R_{20} と一軸圧縮強度の間には、比例関係がみられる。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から繰返しせん断強度比 R_{20} を予測することが可能で、港湾工事等で高炉水砕スラグを用いた場合に、一軸圧縮試験を行うことで、簡易に液状化の予測・判定が可能になる。

4. まとめ

高炉水砕スラグの動的強度特性について調べた結果、以下のことがわかった。

- 1) 潜在水硬性の発現に伴い、動的強度は増加する。
- 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) 繰返しせん断強度と一軸圧縮強度の間には比例関係が見られ、一軸圧縮強度により高炉水砕スラグの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：港湾工事に用いる水砕スラグ利用手引書、1989。 2) 善功企他：セメント混合した砂質土の埋立て工法に関する研究—改良土の基本的特性と混合・埋立て実験—：港湾技術資料、No.579, pp.1~41, 1987。 3) (財)沿岸開発技術センター：埋立地の液状化対策ハンドブック、1997。

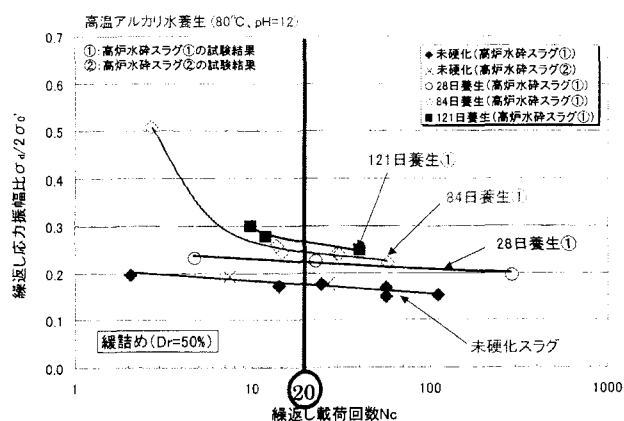


Fig. 4 動的強度曲線
(高温アルカリ水養生, $Dr=50\%$)

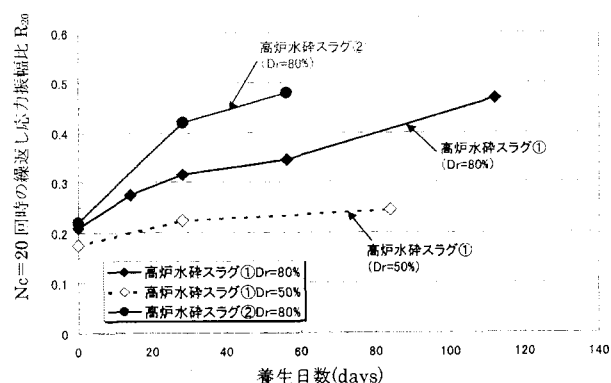


Fig. 5 繰返しせん断強度比 R_{20} ~ 養生日数
(高温アルカリ養生)

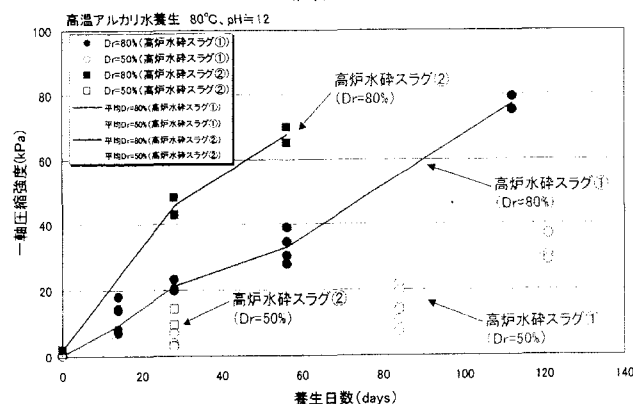


Fig. 6 一軸圧縮強度 ~ 養生日数
(高温アルカリ養生)

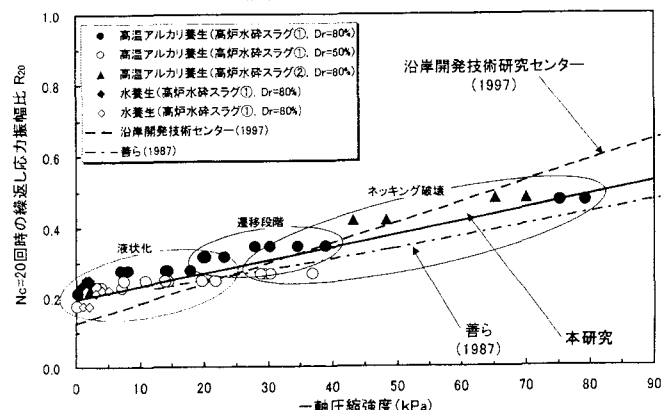


Fig. 7 繰返しせん断強度比 R_{20} ~ 一軸圧縮強度