

高炉水砕スラグの潜在水硬性が液状化強度特性に及ぼす影響

山口大学大学院 正会員 篠崎晴彦 学生会員 橋口大輔、○馬場 翔
山口大学工学部 正会員 松田 博

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及び、静的三軸試験を行い、硬化の程度と液状化強度の関係について検討した。

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	2.695	1.302	0.844
豊浦砂	2.638	0.97	0.608
玄海砂	2.661	0.802	0.493

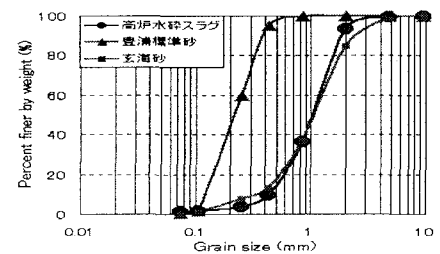


Fig. 1 粒経加積曲線

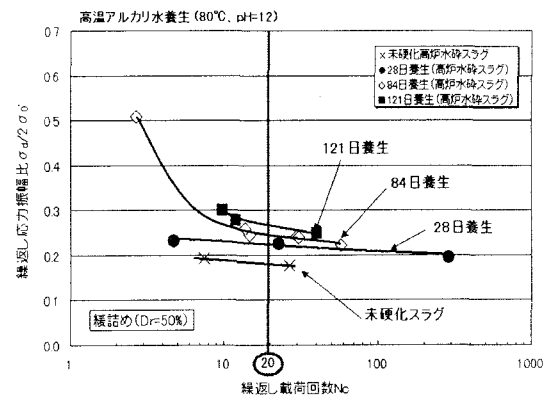
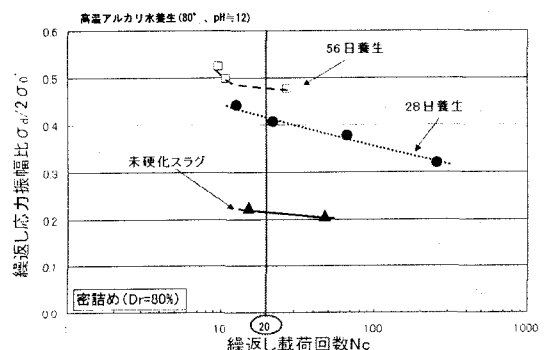
2. 試験方法 試料として、高炉水砕スラグ及び、比較のため、豊浦標準砂を用いた実験を行った。Table.1、Fig.1 に、各試料の土粒子密度、最大・最小間隙比および粒経加積曲線を示す。供試体は、直径 5cm、高さ 10cm で相対密度 $Dr=50\%$ および $Dr=80\%$ となるように作成した。試料の養生は潜在水硬性の発現を促進するため、高温アルカリ水（水酸化カルシウム添加， $\text{pH}=12$ ，水温約 80°C ）で行った。繰返し載荷は三軸圧縮試験装置を用い、100 kPa で圧密後、非排水条件下で正弦波繰返し載荷（周期：10 秒）を行った。また、二酸化炭素（ CO_2 ）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 および Fig.3 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.2 は、相対密度 $Dr=50\%$ 、Fig.3 は相対密度 $Dr=80\%$ 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。

Fig.4 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液状化強度は増加することがわかる。

Fig.5、Fig.6 は水道水にて 189 日間養生した高炉水砕スラグについて行った三軸圧縮試験の結果を示したものであって、Fig.5 は相対密度 50%、Fig.6 は相対密度 80% の結果である。いずれの図においても、包絡線は原点を通ることなく、粘着力を有することがわかる。

Fig.7 は、高温アルカリ水にて養生した高炉水砕スラグについて、一軸圧縮試験および三軸圧縮試験を行って得た一軸

Fig.2 動的強度曲線
(高温アルカリ水養生， $Dr=50\%$)Fig.3 動的強度曲線
(高温アルカリ水養生， $Dr=80\%$)

圧縮強度と粘着力の関係を示したものである。図中には、相対密度を 50%、80%として養生した供試体についての結果を示している。一軸圧縮強度にばらつきは見られるが、一軸圧縮強度の増加とともに粘着力も増加する傾向が見られる。そこで、いま両者の間に線形関係を仮定すると、次式のように表すことができる。

$$C_d = 0.81q_u \quad (1)$$

すでに、硬化過程にある高炉水砕スラグの液状化強度に関して、一軸圧縮強度と $N_c=20$ 回の繰返し応力振幅比の関係が得られている(Fig. 8)。図中の領域は破壊タイプ(液状化、遷移段階、ネッキング破壊)を示したものであり、またセメント混合処理における繰返しせん断強度比 R_{20} と一軸圧縮強度との関係についても示されている²⁾。

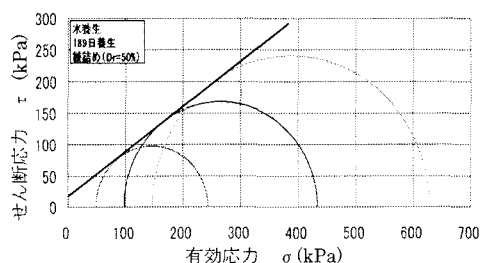


Fig.5 モール円(189日水養生 Dr=50%)

Fig. 8において、高炉水砕スラグに関して R_{20} と一軸圧縮強度の関係としては次式であらわすことができる。

$$R_{20} = 0.135 + 0.0057q_u \quad (2)$$

また、Fig. 8において、式(1)を用いて、一軸圧縮強度を C_d に変換して、改めて C_d と R_{20} の関係について示したものが、Fig. 9であって、Fig. 8と同様な関係が得られる。Fig. 9において、 R_{20} と粘着力の関係として、次式のようにあらわすことができる。

$$R_{20} = 0.189 + 0.005C_d \quad (3)$$

したがって、式(2)、(3)より、粘着力、一軸圧縮強度いずれによっても繰返しせん断強度比 R_{20} の推定が可能である。

4. まとめ

高炉水砕スラグの液状化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) 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) $N_c=20$ 回の繰返し応力振幅比 R_{20} と粘着力 C_d の間には、一義的な関係がみられ、粘着力、一軸圧縮強度いずれからも液状化強度の推定が可能である。

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) 大平尚美、松田博、篠崎晴彦、高宮晃一、橋口大輔：
高炉水砕スラグの動的強度と静的強度、第39回地盤工学
研究発表会、307、pp. 613-614、2004. 7。

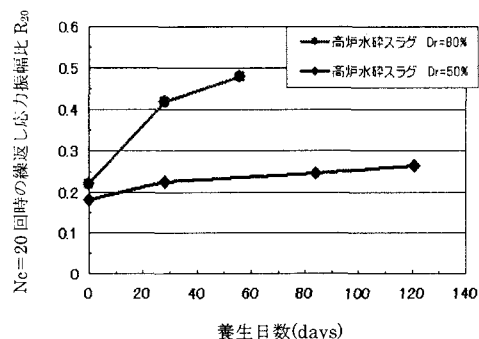


Fig.4 繰返しせん断強度比 R_{20} ~ 養生日数

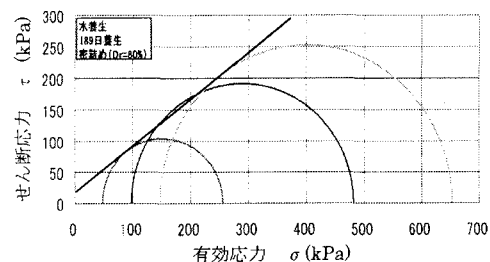


Fig.6 モール円(189日水養生 Dr=80%)

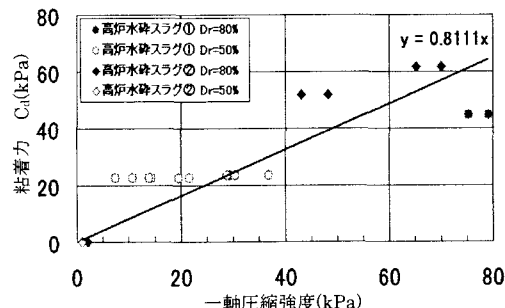


Fig.7 一軸圧縮強度～粘着力 C_d の関係

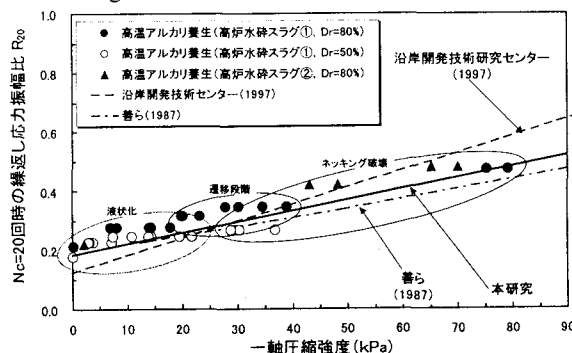


Fig.8 繰返しせん断強度 R_{20} と一軸圧縮強度の関係

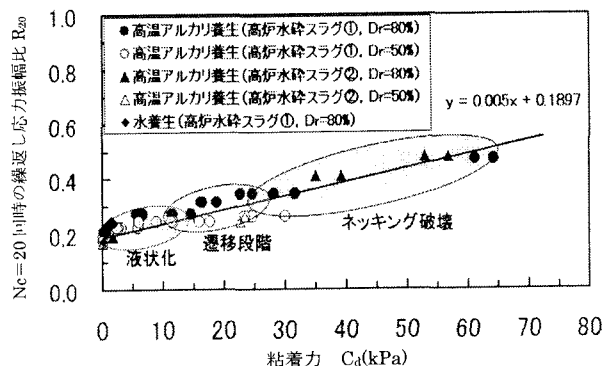


Fig.9 繰返しせん断強度 R_{20} と一軸圧縮強度の関係