

異なる飽和度で養生した高炉水砕スラグの硬化挙動

山口大学大学院 学生会員 ○那須 英斗
山口大学大学院 正会員 原 弘行

1. はじめに

高炉水砕スラグ（以下、水砕スラグ）は、形状・粒度分布が天然砂に類似しているが、軽量かつ透水性に優れ、天然砂よりも優れた土質定数を有している。さらに、アルカリ刺激剤と反応して自身から化学物質を溶出し、C-S-H等の水和物を生成して強度発現する潜在水硬性を有する。そのため、大きな付加価値を持つ地盤材料と考えられており、港湾工事への適用事例は数多く報告されているが、陸上構造物への適用事例は少ないのが現状である。現在まで陸上構造物への適用性を検討するために、山口県宇部市に造成した高炉水砕スラグの試験盛土のモニタリングが実施されている¹⁾。このとき、水砕スラグは数カ月で大きな強度発現が確認された。それに対し、硬化挙動を確認した室内試験では1年以上経過しても自立すらしめないことも認められ、現場で発揮される硬化挙動とは大きく異なる場合がある。両者を比較したところ、試験盛土の飽和度は養生初期で30%程度であったのに対し、室内試験の殆どは飽和状態で検討されている。よって、両者の結果の乖離には飽和度が影響していると考えた。本研究では、昨年度の研究報告¹⁾から密度を変化させた水砕スラグに対して力学試験やpH試験などを実施し、飽和度が異なる高炉水砕スラグの硬化挙動を検討した。

2. 実験概要

本実験で用いた水砕スラグの物理特性を表-1に示す。本実験では、水砕スラグを相対密度90%で締め固め、直径5cm、高さ10cmの供試体を作製した。このとき、高炉スラグ微粉末を質量比10%で添加し、硬化促進を図った。設定飽和度は、10, 20, 30, 50, 80, 100%に加え、固液比1:1.2で浸漬させるケースも実施した。養生期間は14~112日とし、所定の期間養生後、一軸圧縮試験、含水比試験、pH試験を行った。

表-1 水砕スラグの物理特性

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	2.72
最大間隙比 e_{max}	1.222
最小間隙比 e_{min}	0.828

3. 実験結果と考察

図-1に一軸圧縮強さの経時変化を示す。一軸圧縮強さがゼロを示しているプロットは、自立しなかったことを示している。同図より、各飽和度で一軸圧縮強さは経時的に増加しているが、飽和度が低いものが高い強度を発揮する傾向がみられた。浸漬供試体は、養生112日経過後も自立しなかった。また、 $S_r=10\%$ は、養生56日以降に強度増加はなくなった。図-2にpHと一軸圧縮強さの関係を示す。pHが11.5以上で強度発現し、各飽和度でpHは11.7~12.0に収束する傾向がみられた。飽和度が異なる高炉水砕スラグの硬化挙動を評価するために、既往の研究²⁾を参考に、式(1)で一軸圧縮強さの経時変化を近似した。

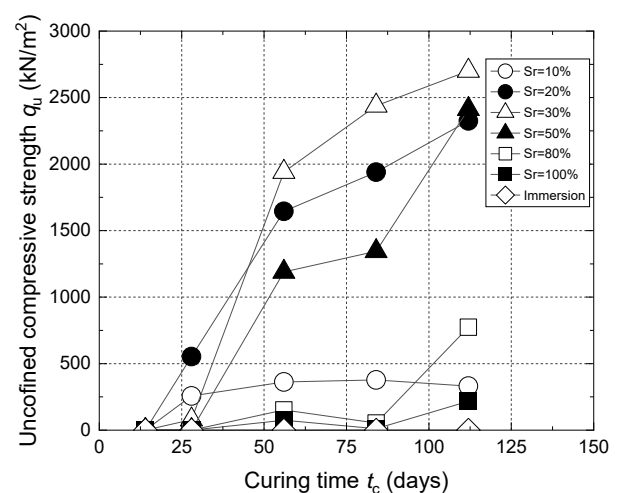


図-1 一軸圧縮強さの経時変化

$$q_u = \alpha \sqrt{t_c - t_0} \quad (1)$$

ここで、 α : 硬化速度係数、 t_c : 養生日数 (日)、 t_0 : 硬化するまでに要した時間 (日) を表す。一軸圧縮強さと養生時間の平方根の関係を図-3に示す。いずれの飽和度

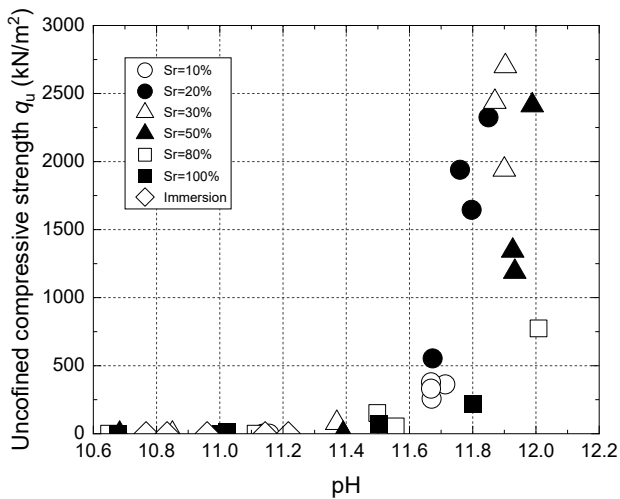


図-2 pHと一軸圧縮強さの関係

も養生日数の平方根に対し、直線的な増加傾向が確認できる。 $S_r=10, 80, 100\%$ で決定係数が低いのは、一軸圧縮強度の経時変化で、強度が下がる点があったためと考える。次に、 α および t_0 と飽和度の関係を図-4 に示す。 α , t_0 は飽和度によって大きく異なることがわかる。 α の値は $S_r=30\%$ が最も大きく、飽和度が大きくなると小さくなる傾向がある。しかし、 $S_r=10\%$ は硬化したケースのなかで最も飽和度が低いが、 α は最も低い値となった。硬化に要する時間 t_0 は、飽和度が低いほど小さく、飽和度が高いほど強度発現に時間を要することが示された。また、昨年度に実験した相対密度 80% の α , t_0 と飽和度の関係の結果とと比較しても同様の傾向がみられる。

本実験で得られた結果より、飽和度が異なる水砕スラグの硬化挙動について説明する。飽和度が極端に低い場合には、水量が少ないため、化学成分が溶出することで pH が上昇し、水和反応が進行する状態にすぐに遷移する。しかし、生成される水和物は粒子表面に限定されるので、飽和度 10% では強度増加が少なかったと考えられる。次に不飽和のなかで、それよりも飽和度が高い場合には、比較的水量が少ないため、早めに水和反応が進行できる状態に遷移する。また、間隙水はメニスカスを形成して粒子間に保持されるため、生成される水和物の多くは、粒子間を架橋することで粒子同士を接着し、飽和度 $20\sim 50\%$ では強度増加が著しかったものとする。最後に飽和している場合には、水量が多いため、pH が上昇して固まる環境が整うまでに長時間を要する。さらに、水和物は間隙中の至るところに生成され、その一部が粒子間を架橋するように生成されるため、不飽和に比べると強度増加が小さかったものと考えられる。

4. まとめ

本実験から得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 各飽和度で一軸圧縮強さは経時的に増加しているが、飽和度が低いものが高い強度を発揮する傾向がみられた。しかし、 $S_r=10\%$ は早期に強度発現するも強度増加はみられなかった。
- 2) 水砕スラグが硬化速度 α と硬化に要する時間 t_0 は、飽和度に大きく左右されることが示された。

【参考文献】1) 原弘行：飽和・不飽和状態における高炉水砕スラグの強度発現挙動，第14回環境地盤工学シンポジウム, pp.257-262, 2021. 2) 和田正寛, 松田博, 原弘行, 中村奨哉, 井川尚之：高炉水砕スラグの強度と自己修復能力の定量的評価，材料, Vol.65, No.1, pp.28-33, 2016.

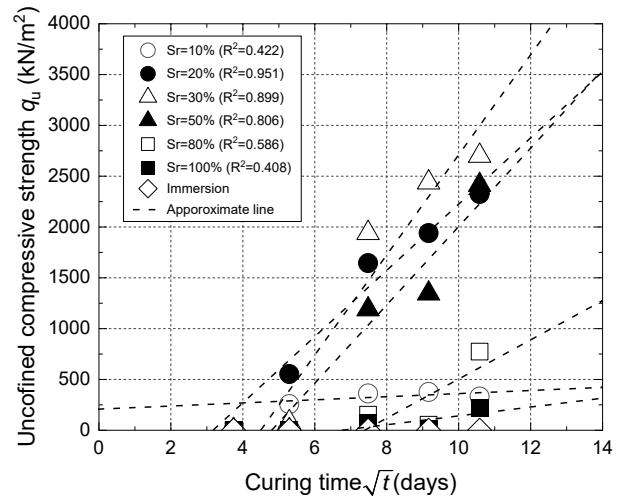


図-3 一軸圧縮強さと養生時間の平方根の関係

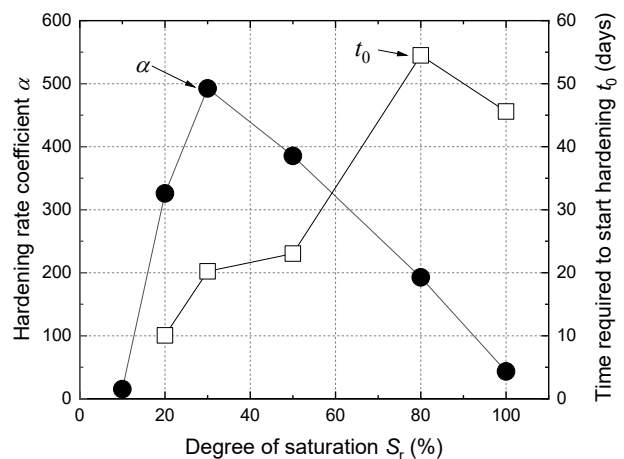


図-4 α , t_0 と飽和度の関係