

低置換 SCP 工法への適用に向けた 海砂・スラグ微粉末混合高炉水砕スラグの透水特性に関する研究

九州大学工学部 学 石川優揮人
九州大学大学院 学 中山修一朗
九州大学大学院 正 石藏良平 F 安福規之

1. はじめに

近年、人口増加や都市化に伴い住宅や都市インフラ構築に砂が大量に消費されることで、砂の需要が増加しているが、自然環境保全のための砂採取の規制が強化されていることで、高炉水砕スラグの地盤工学の分野での有効利用が期待されている。高炉水砕スラグは鉄鋼製造時に副産物として生成され、2020

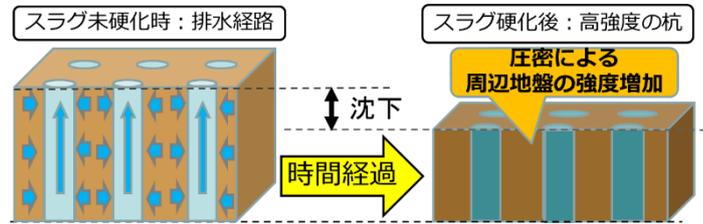


図1 水砕スラグを利用した地盤改良システムの概念図

年には約 1700 万トン生産されている¹⁾。また、水和反応によって経時的に固結する潜在水硬性を有している。本研究では水砕スラグを低置換 SCP 工法に適用し、未硬化時の高い透水性と水硬性を活かした地盤改良システムの実現を目指している。図1に示すように、低置換 SCP 工法において砂杭の代替材としてスラグ杭を打設することで、粘性土地盤における複合地盤として改良効果に加え、スラグ未硬化時には高い透水性でスラグ杭がドレーン機能を発揮し、周辺地盤の圧密を促進する。そして、その後時間が経過することで、スラグの水硬性によりスラグ杭自体も硬化し、地盤全体の高強度化が期待できる。しかし、杭の打設によってスラグ粒子が細粒化することで水和反応が促進され、透水性が急激に低下する点が課題となっている²⁾。そこで「打設によるスラグ粒子の細粒化」とスラグ杭内の「水の移流」がスラグ杭の急激な透水性低下に与える影響を調べるため、実環境を再現した室内連続透水試験を実施し、通水条件下で養生した供試体の透水性の経時変化を調査した。供試体には粒子破碎を想定してスラグに高炉スラグ微粉末を混合した供試体と、硬化遅延を目的とした海砂混合供試体を用いた。また、同一混合条件の供試体に対して、滞留状態で養生した供試体に対しても透水試験を行った。

2. 実験条件と方法

作製した各試料の水砕スラグへの混合率を表1に示す。また各試料の粒度分布は図2に示す。本試験では破碎したスラグを用いており、海砂と類似した粒度分布となっている。また、スラグ微粉末は粒径が小さく、他の試料に比べ、粒径幅は広がっている。本試験では混合した試料に対して実施工での杭打設時の粒子破碎を想定して A-a 法による締固めを3回行う。その後直径 5cm、高さ 10cm のプラスチックモールドに試料を3層に分けて入れ、各層 50 回ずつ木槌で叩くことにより締固めエネルギーを統一した。そして、作製した供試体に対して透水試験を行った。通水条件下での養生方法については図3のように実環境を想定して供試体への通水を上向流で養生し

表1 実験条件

| 混合材料 | 質量混合率(%) |
|-------------|-------------------|
| 高炉水砕スラグ微粉末 | 0, 5, 10 |
| 海砂 | 0, 10, 30 |
| 高炉スラグ微粉末+海砂 | (10, 10) (10, 30) |

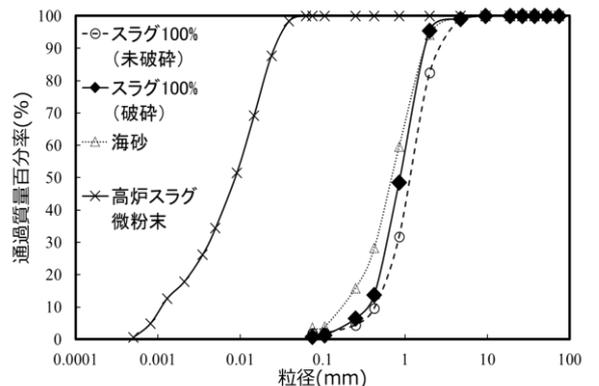


図2 各試料の粒度分布

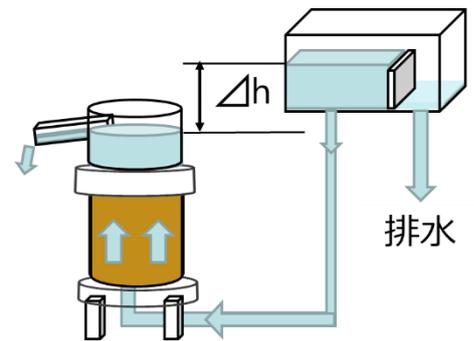


図3 室内連続透水試験の簡略図

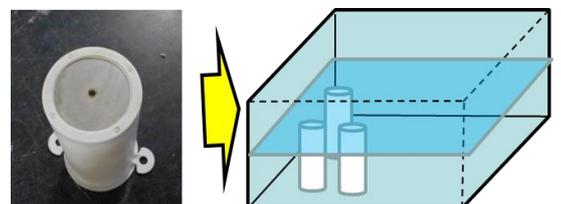


図4 滞留条件下での養生方法

た。このとき、越流水槽の水面と供試体上部の排水口との高低差 Δh は動水勾配 i が 1.5 と 3.0 になるように設置した。滞留条件での養生においては図 4 のように供試体の底面部に穴をあけ、同様に下面から通水できるようにし、モールドごと水道水に浸漬して養生し、所定期間経過後に取り出した供試体に対して透水試験を行った。

3. 実験結果と考察

通水条件下で養生した供試体の初期間隙比と初期の透水係数の関係を図 5 に示す。全体としてスラグ単体の供試体に比べ、混合供試体の初期間隙比の方が小さくなっている。これは粒度の異なる試料を同一エネルギーで締め固めたことによる。図 6 に動水勾配 $i=1.5$ の通水条件下で養生した供試体の透水係数の経時変化を示す。実施工現場では施工から 6 か月以内に透水係数 k が $10^{-6} \sim 10^{-7}$ (cm/s) 程度まで急激に低下している ²⁾ のに対し、本試験では若干の透水係数の低下は見られるものの急激な低下は見られていない。これは、硬化の促進要因である細粒分が水の移流によって流されたことが一因と考えられる。この結果を受け、水の移流のない滞留条件下で養生した供試体についても透水試験を開始した。滞留条件下での養生日数 0 日(未養生)の供試体の試験結果を図 7 に示す。初期間隙比については通水条件下と同様に混合供試体の方がスラグ単体と比較して小さくなっている。また、図 8 に滞留条件下での透水係数の経時変化を示す。通水条件下での経時変化に比べ、養生 28 日までの透水性が低下していることが確認できる。

4. まとめ

低置換 SCP 工法への適用に向け、水砕スラグに海砂、高炉スラグ微粉末を混合した供試体の透水特性について調べた。動水勾配が 1 を超える通水養生下の供試体場合には、経時的に若干の透水性の低下は見られるが、実施工現場で見られる急激な透水性の低下の再現には至らなかった。今後は、通水条件下での透水性の経時変化を継続して調査するとともに、滞留条件下で養生した供試体に対する透水試験の結果と比較することで、供試体の透水性に及ぼす水の移流の影響について検討していく予定である。

【謝辞】本研究の一部は鉄鋼スラグ協会の支援を得て実施した。技術協力スタッフの中島通夫氏には透水試験の実施にあたり、技術指導、支援をいただきました。心から感謝申し上げます。

【参考文献】1)鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグ統計年報,2019, 2)篠崎晴彦・松田博・坂井悦郎・小野幸一郎・鈴木操・中川雅夫：高炉水砕スラグの硬化特性と地盤改良工法への適用,土木学会論文集 CVol.62 No.4, 858-869, 2006. 12

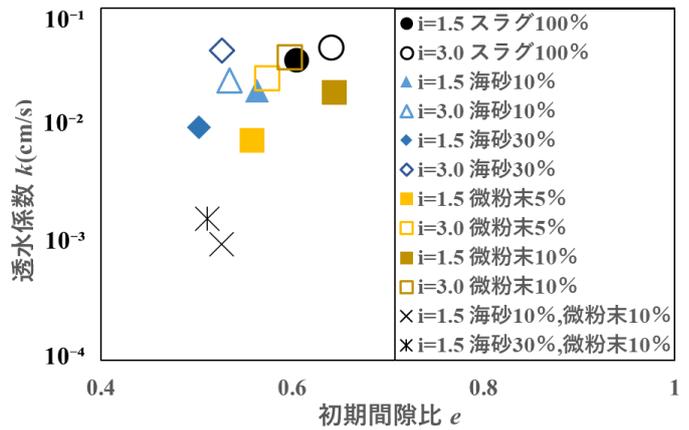


図 5 通水養生供試体の初期間隙比と透水係数の関係

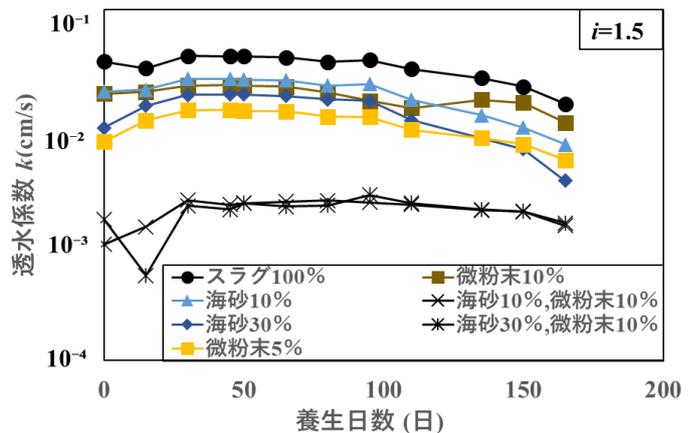


図 6 通水条件下での養生供試体の透水係数の経時変化

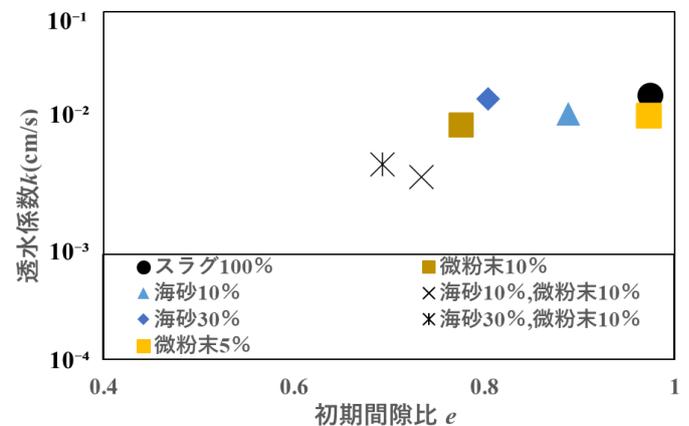


図 7 滞留養生供試体の初期間隙比と透水係数の関係

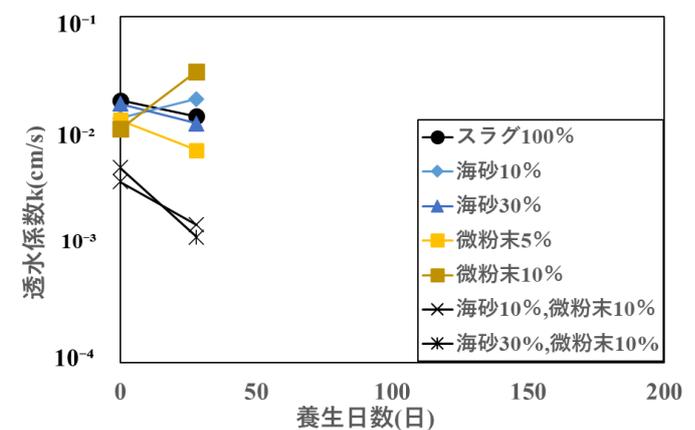


図 8 滞留条件下での養生供試体の透水係数の経時変化