

コンクリーション形成技術を応用した止水技術開発

鹿島建設(株) 正会員 ○石橋正祐紀 山下 慧 野中隼人 升元一彦 前島俊雄
名古屋大学 吉田英一

1. 目的

堆積岩中に普遍的に形成される炭酸カルシウム (CaCO_3 : カルサイト) の球状岩塊 (図-1; 以下, コンクリーション) は, 形成までに数十万～数百万年程度かかると考えられていた. しかし, Yoshida ら^{1,2)}によると, コンクリーションは, 数ヶ月～数年程度の期間で形成されることが明らかとなった. コンクリーションは, 核となる生物遺骸 (化石) 周辺の地層・岩盤中空隙を, カルサイトが充填・シーリングすることにより強固かつ緻密 (低透水) に変化させる特徴を有する. このプロセスにより, 空隙率及び透水係数が周辺母岩よりも2～3 オーダー低下することで, 内包される化石が半永久のかつ良好に保存されることが確認されている^{1,2)}.



図-1 天然の炭酸塩球状コンクリーション

このプロセスを応用し, 人為的に長期的な岩盤の強化や止水を可能とする「コンクリーション形成材 (以下, コンシード)」(レジン系材料) を名古屋大学らが開発し, その止水性能が実証されている³⁾. しかし, このレジン系材料は $700\text{mPa} \cdot \text{s}$ 以上と粘性が高く, 地盤への注入性に課題がある. そこで, 本報ではコンクリーション形成機能を有しつつ, 既存の施工方法で地盤注入が可能な程度の低粘性を達成できる材料形態を検討した結果を報告する.

2. 実施内容

コンクリーション形成に必要な要素と施工方法との親和性を鑑みて, 材料形態を検討した. その後, 検討した材料形態におけるコンクリーション形成の確認としてコンクリーション形成試験と供試体の XRD 分析を実施し, 低粘性化の実現性確認のための粘性試験を実施した.

3. 材料形態の検討

材料形態は, コンクリーション形成機能の保持と既存のグラウト技術が活用可能な粘性の達成を目的に検討した. コンクリーション形成に際しては, 生成場の水質がアルカリ性であること, 材料中に Ca 成分と炭酸成分が含まれること, Ca 成分と炭酸成分が少しずつ反応することが必要となる. 既存のグラウト技術の活用にあたっては, 数十 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 程度以下の粘性を達成する必要がある. そこで, アルカリ化の機能と Ca 含有の観点でセメント系材料に着目し, そこに炭酸成分を付加することとした. この際, 炭酸成分をレジン系材料で包含し, 溶出速度を遅延させることで, Ca 成分との反応時間を確保した. また, 付加する炭酸成分については, セメント系材料による止水性能の低下を防止しつつ混合して注入できる形態として, セメント系材料と同等程度の粒径の粉体を採用することとした. なお, この炭酸成分とレジン系材料で構築した粉体を, コンシードパウダ (CSP), セメントと混合した材料を CSP 混合材と示す.

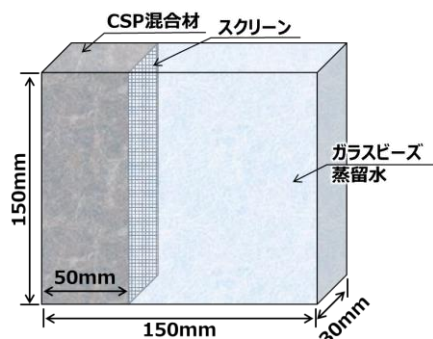


図-2 CSP 混合材を用いたコンクリーション形成試験外観イメージ

4. コンクリーション形成試験結果

試験外観イメージを図-2 に示す. アクリル容器内にスクリーンを設置後にガラスビーズを静置し, そこに CSP 混合材をミルク状態で流し込み,

キーワード 炭酸塩球状コンクリーション, カルサイト, 基礎試験

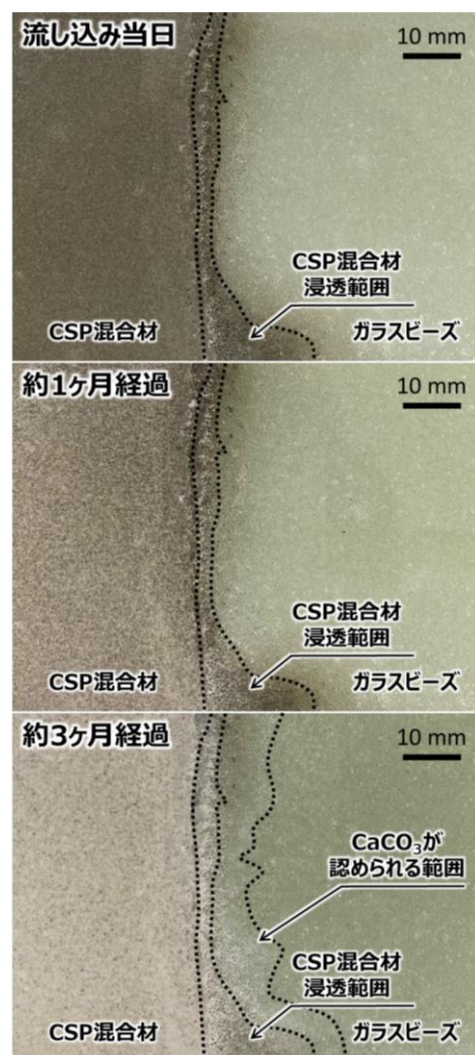
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-485-1111

その後の状態変化について目視観察を実施した（図－3）。本試験では、CSP 混合材は、重量比で「セメント：CSP：蒸留水＝1：0.4：1」とした。

CSP 混合材は、流し込み当初はセメント材料の色調が強いが、時間経過と共に白色化する。これは、XRD 分析と既存検討の結果から CaCO_3 の形成（コンクリーション形成）によるものである⁴⁾。CSP 混合材がガラスビーズへ浸透した範囲では、約 1 ヶ月以降から CaCO_3 形成が進み、3 ヶ月程度経過段階ではほぼ全体が CaCO_3 化している。ガラスビーズの範囲について見ると、約 1 ヶ月経過段階では変化は認められないが、約 3 ヶ月経過すると CaCO_3 の形成（白色化）が目視確認できる。以上を鑑みると、目視観察と XRD 分析の結果から、CSP 混合材によるコンクリーション形成については、以下のプロセスで進むと推察される。

- ①CSP 混合材中の Ca 成分と炭酸成分が反応し CSP 混合材中で CaCO_3 が進行する（当該ケースでは 2～3 ヶ月程度まで）。
- ②セメント固化の余剰分の Ca 成分と炭酸成分がガラスビーズ（模擬地盤）側に拡散し、CSP 混合材のガラスビーズへの浸透範囲の CaCO_3 化が促進する（当該ケースでは 1 ヶ月程度～）。
- ③Ca 成分と炭酸成分が CSP 混合材から更に拡散し、ガラスビーズ内で CaCO_3 に対し過飽和な水質となり CaCO_3 が形成される（当該ケースで 3 ヶ月程度～）。

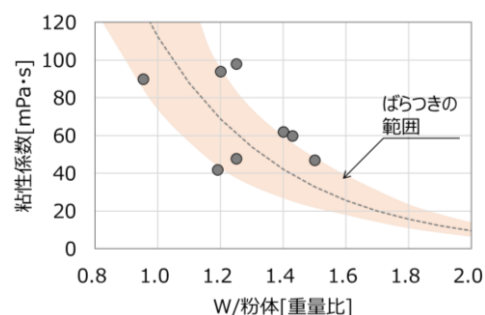
このプロセスは CSP 混合材からの Ca・炭酸成分の両者が供給されるという点では、天然現象と異なるが、核からの元素拡散に伴い CaCO_3 化範囲が拡大するという観点では、天然のプロセスを CSP 混合材で、模擬できていると考えられる。



図－3 コンクリーション形成試験結果

5. 粘性試験結果

図－4 に粘性試験結果を示す。粘性試験では、重量比でセメント成分を 1.0 とし、水と CSP の比率を変更して、複数の水／粉体比で数十 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 程度以下の粘性が達成できる可能性を確認した。その結果、水／粉体比が約 1.2 以下であれば、数十 $\text{mPa} \cdot \text{s}$ 以下の粘性を満足できることが確認できた。加えて、粘性と水／粉体比は指数関数的な関係性があり、水の追加や粉体の削減により粘性が調整できることが示唆された。



図－4 粘性試験結果

5. まとめ

コンクリーション形成技術の応用に向けて、既存技術を活用できる材料形態を検討し、その材料形態でもコンクリーション形成が進むこと、および一定の水／粉体比で目的とする低い粘性を達成できることを確認した。今後は、当該材料形態を用いた原位置への適用性試験を実施し、当該技術の実証を進める予定である。

参考文献

- 1) H.Yoshida et al., Early post-mortem formation of carbonate concretions around tusk-shells over week-month timescales. Scientific Reports 5: 14123, 2015.
- 2) H.Yoshida et al., Generalized conditions of spherical carbonate concretion formation around decaying organic matter in early diagenesis. Scientific Reports 8:6308, 2018.
- 3) コンクリーション化による EDZ および水みち割れ目の自己シーリング実証試験研究，日本応用地質学会 令和 4 年度研究発表会，pp.165-166，2022.
- 4) 炭酸塩球状コンクリーション化の原位置実証試験に向けた室内基礎試験，令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会，III-139，2022.