



コンクリーション化による岩盤亀裂シーリング実証試験に成功！ ～地下水透水性亀裂長期閉塞技術の実用化に目処～

国立大学法人東海国立大学機構 名古屋大学博物館の吉田 英一 教授、山本 鋼志 特任教授、同大学大学院環境学研究科の丸山 一平 教授、浅原 良浩 准教授と大成建設株式会社の研究グループは、炭酸カルシウムを主成分とする球状コンクリーション^{注1)}の形成プロセスを応用し、コンクリーション化剤を用いた地下環境での岩盤亀裂シーリング実証試験を行い、数ヶ月～1年弱でトンネル周辺岩盤中の亀裂をシーリングし、地下水の湧水抑制に成功しました。

今回、開発したコンクリーション化剤（コンクリーションシード）を用いて、幌延深地層研究センター（北海道幌延町）の地下環境で、亀裂シーリング実証試験を1年かけて行いました。実験は、地下350mのトンネル掘削によって生じたトンネル周辺岩盤中の地下水の流れが多い亀裂を、コンクリーション化剤でシーリングし、地下水の湧出を抑制する目的で行ったものです。今回開発したコンクリーション化剤を用いて、幌延深地層研究センター（北海道幌延町）の地下環境で、コンクリーション化による亀裂シーリング実証試験を1年間かけて行いました。

この結果、コンクリーション化による炭酸カルシウムの亀裂シーリングが持続的に進行し、透水性が約1年で実験開始直前の1/100～1/1000に減少し、地下水の抑制効果が持続的に進行することを確認でき、実用化の目処が付きました。

開発した技術は、コンクリーション化を促進する元素が、岩盤中の亀裂や空隙に濃度勾配で広がり、地下水と反応して炭酸カルシウムとして沈殿・シーリングし閉塞するというものです。岩盤中の高い地下水圧に影響されることなく、元素レベルの微細な空隙までシーリングさせることが可能であり、また、シーリングする炭酸カルシウムの結晶（方解石）は、環境中に豊富に存在する「自然の素材」であり、環境変化にも強く非常に安定した鉱物です。

この手法は、放射性廃棄物の地下隔離・処分、二酸化炭素の地下貯留、石油の廃孔シーリングのほか、道路・鉄道トンネル周辺岩盤の地下水抑制などといった地下環境を活用する様々なニーズに応用可能であり、今後の幅広い技術への展開が期待されます。

【ポイント】

- ・自然の岩盤（地層）中で形成される、炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）を主成分とする球状コンクリーション（写真1）の形成メカニズムを応用した長期止水技術「コンクリーション化剤」（コンクリーションシード：民間化学メーカーとの共同開発）を開発した。
- ・開発した「コンクリーション化剤」（写真2）に関する特許を取得し、実際の地下岩盤・トンネル（坑道）で、地下水を湧出する地下坑道（トンネル）周辺岩盤中の亀裂・空隙を対象にシーリング効果の実証試験を行い、止水効果を確認した。

写真1



【研究背景と内容】

現在、直面しているエネルギー確保及び地球環境問題への対策として、石油・LPG等資源地下備蓄や、放射性廃棄物の地下隔離・処分、さらには二酸化炭素地下貯留などが挙げられ、地下環境を活用した事業を長期的かつ安全に実施するためには、地下での湧出・流動地下水を数十年以上もの長期（場合によっては数百年以上）に渡って確実に止水（シーリング）する技術が必須です。

資源の地下備蓄、放射性廃棄物の地下隔離・処分等のみならず、福島第一原子力発電所付近での汚染地下水の長期流出などに関わる汚染水抑制分野でも、長期止水技術の高度化は不可欠です。この背景のもと、保存良好な化石を内包し、自然環境中で、実際に数万年～数十万年以上に渡って風化等に耐えることのできる球状コンクリーション（ CaCO_3 濃度約50%；空隙率数%以下）に着目し、その形成速度・メカニズムを明らかにしました。球状コンクリーションには、直径がメートルを超えるものも存在し（写真1）、形成速度が非常に速く、直径がメートルサイズでも数年程度であることを世界で初めて明らかにし、論文誌上で発表しました（Yoshida et al., 2018 など）。

このコンクリーションが球状形態を特徴的に有することと、内部の化石が良好な状態に保たれる理由は、元素の等方拡散と、炭酸カルシウムの微小結晶によるコンクリーション中の空隙や亀裂の充填・閉塞（写真3）により、外部からの地下

写真2



写真3



写真4



水の浸透が遮断され、風化反応が抑制（写真4）されることによります。今回の実証試験は、その理論をもとに民間の化学工業メーカーと開発した長期止水技術「コンクリーション化剤」を用いた、世界で初の実証試験であり、実際の地下350mという地下環境で、約1年間で、トンネル周辺の地下水を湧出する亀裂を段階的かつ持続的にシーリングし、透水性（透水係数）を当初の1/100～1/1000に低下させることに成功したものです。

【研究成果及び技術の意義】

自然の岩盤（地層）中で形成される、炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）を主成分とする、球状コンクリーションの詳細な形成メカニズムを応用した長期止水技術「コンクリーション化剤」を開発しました。このような球状コンクリーションの形成・岩盤内空隙シーリングプロセスを解明し、その急速な形成プロセスの応用化技術の開発は世界初です。

開発した「コンクリーション化剤」を用いて、実際の地下岩盤・トンネル（坑道）で、地下水を湧出する亀裂・空隙を対象にシーリング効果の実証試験を行い、止水効果を確認することのできた技術は他にはありません。

開発した技術は、従来のセメントミルク等を用いる物理的な微粒子の圧入法に対し、元素の拡散・沈殿によるシーリング法であり、ミクロンサイズ以下の極微細な岩盤空隙までシーリングが可能です。

元素の濃度拡散による空隙シーリングのため、地下岩盤中での高圧の間隙水圧による影響を考慮する必要はなく、また従来のような高注圧入による岩盤の物理的な破壊・ダメージの問題を克服することができます。

「コンクリーション化剤」による炭酸カルシウム結晶形成後も、地下水中の自然由来重炭酸イオンやカルシウムイオンとの反応により結晶が持続的に成長し、シーリング効果が長期的（理論的には半永久的）に維持されます。

このコンクリーション化の手法は、放射性廃棄物の地下隔離・処分、二酸化炭素の地下貯留、石油の廃孔シーリングのほか、トンネル周辺岩盤の地下水抑制などといった地下環境を活用する様々な技術のほか、地上付近の様々なインフラの亀裂補修（地下水との反応抑制）にも応用可能であり、今後の幅広い技術への展開が期待されます。

【用語説明】

注1) 球状コンクリーション：

炭酸カルシウムや鉄酸化物などを主成分とする地層中（堆積岩のみ）で見出すことのできる球状の岩塊（写真1参照）。

【論文情報：コンクリーション化プロセスに関する代表論文】

雑誌名：Scientific Reports (2018)

論文名：Generalized conditions of spherical carbonate concretions formation around decaying organic matter in early diagenesis.

著者：H. Yoshida, K. Yamamoto, M. Minami, N. Katsuta, S. Sirono, & R. Metcalfe

DOI：10.1038/s41598-018-24205-5

URL：<https://www.nature.com/articles/s41598-018-24205-5>