

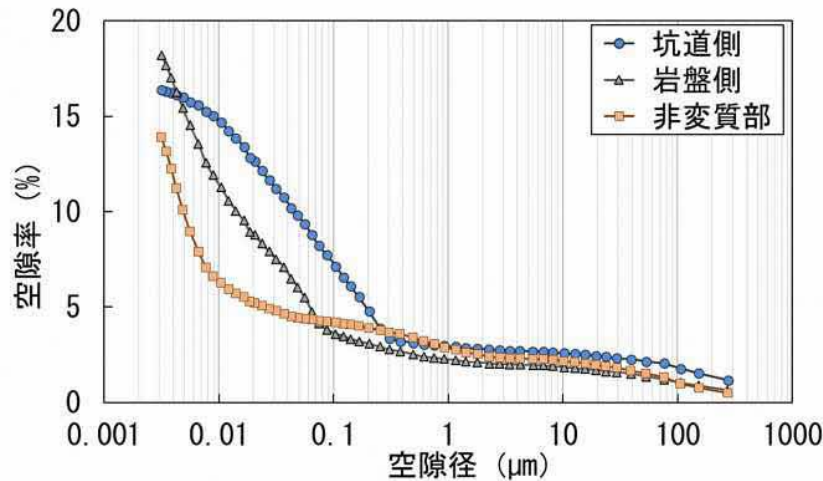


図 27 坑道壁面から採取した吹付けコンクリート試料の空隙率分布

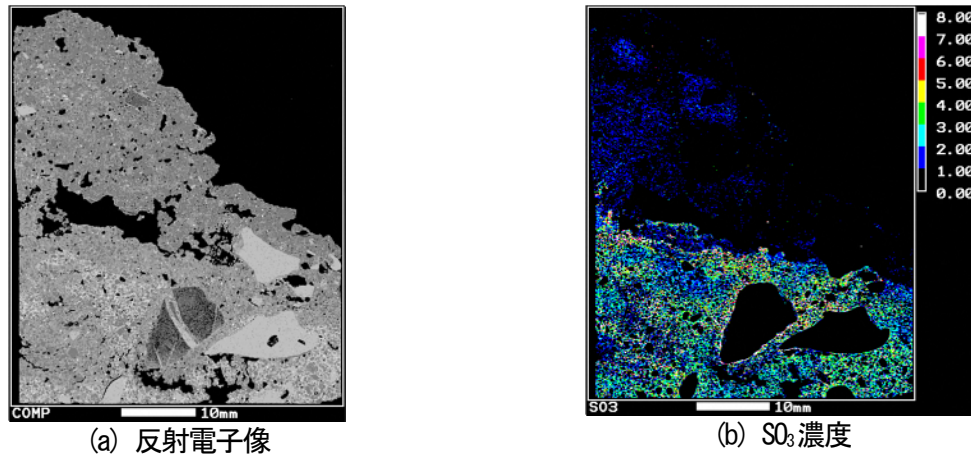


図 28 坑道壁面から採取した吹付けコンクリート試料における坑道側の SO_3 濃度分布（坑道壁面：上側）

一方、坑道壁面から採取した吹付けコンクリート試料では、岩盤接触面から約 6 mm の厚さにおいてもフェノールフタレインの呈色が認められませんでした（図 25）。この領域では $0.003 \mu\text{m} \sim 0.07 \mu\text{m}$ の空隙の割合が増加しており（図 27）、また $\text{CaO} \cdot \text{SO}_3$ 濃度の減少ならびに $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{MgO}$ 濃度の増加が確認されました（図 29）。以上の結果は、岩盤から供給された地下水によりセメント水和物（ C-S-H^* 、エトリンガイトなど）が溶解して空隙径が増加するとともに、地下水中に高濃度で含まれる一部のイオンの濃度が増加していると解釈されます。なお、岩盤接触面においてこのようなセメント成分の溶脱が生じている領域は、施工後の経過年数の違いを考慮しても、湿潤条件下で坑道に定置した暴露試験の試験体（試料表面から 1 mm 未満^(8, 9)）よりも広いことが分かりました。湿潤条件下で定置した暴露試験の試験体の表面には炭酸カル

シウムが沈殿していることが確認され（図 30）、定置した試験体ではこのような沈殿の形成が地下水の侵入を抑制している可能性が考えられます。

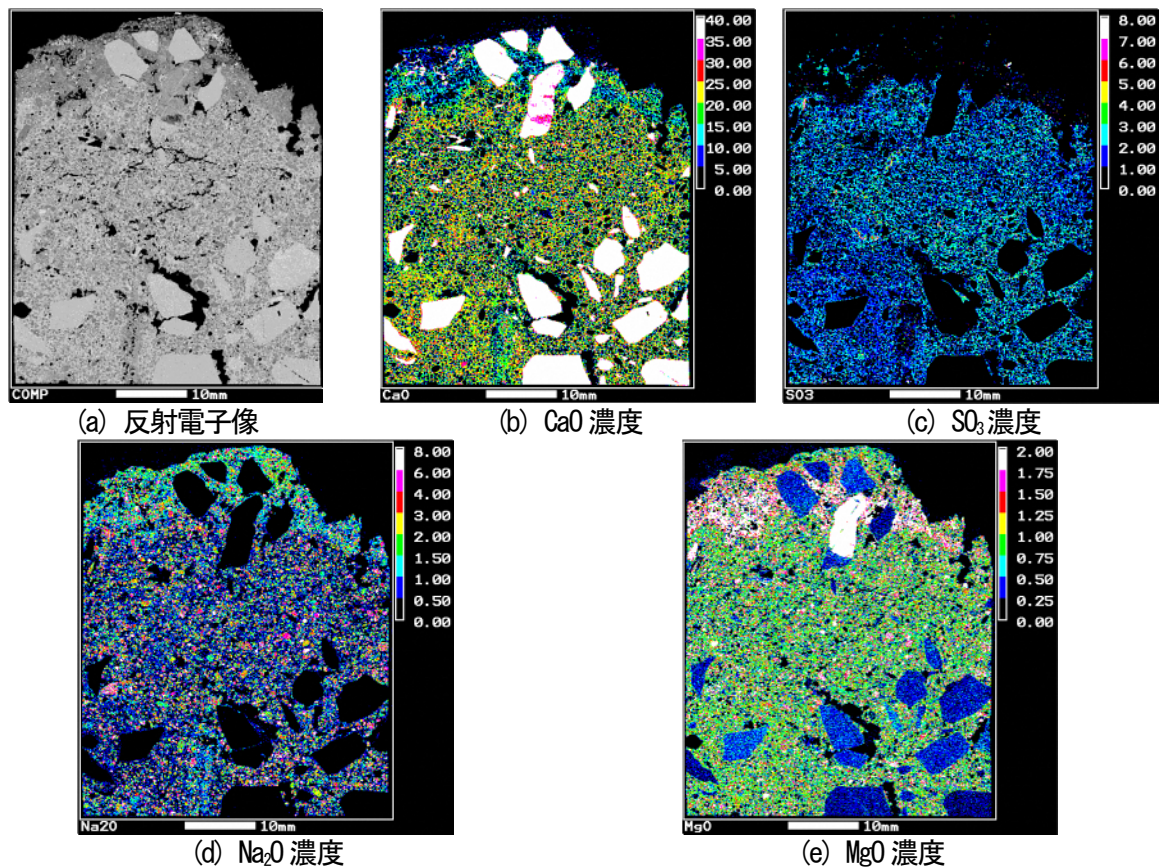


図 29 坑道壁面から採取した吹付けコンクリート試料の岩盤側の元素濃度分布（坑道壁面：上側）

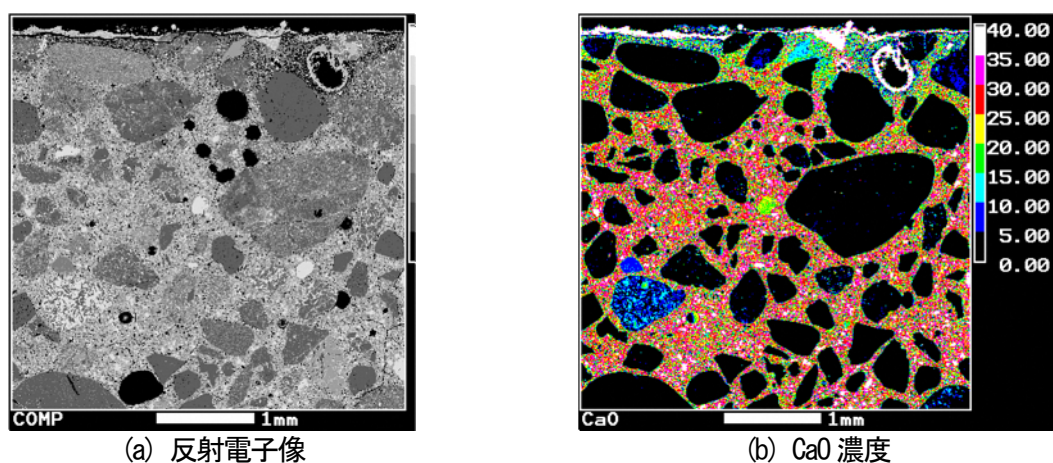


図 30 浸潤条件下で定置したコンクリート試験体の CaO 濃度
試料表面（上側：地下水と接触していた面）に CaO 濃度の高い領域が認められ、炭酸カルシウムの沈殿が形成していると考えられます。

また、暴露試験の試験体および坑道壁面から採取したコンクリート試料の透水性を測定しました。大気条件下で坑道に定置した暴露試験の試験体および坑道壁面から採取した試料の坑道側では、アウトプット法※および令和4年度にも適用した地盤工学会の基準にしたがった変水位法⁽¹⁹⁾のいずれの方法でも 10^{-13} m/s $\sim$ 10^{-11} m/s オーダーの透水係数が得られました。一方、湿潤条件下で坑道に定置した試験体および坑道壁面から採取した試料の岩盤側では、地盤工学会の基準にしたがった方法で 10^{-13} m/s $\sim$ 10^{-12} m/s オーダーの透水係数が得られたものの、アウトプット法では圧入した水の通過が確認されませんでした。以上の結果から、大気との接触による変質が生じていた試料では、相対的に透水性が高い傾向にあるものの、全体的には低透水性が維持されていることが分かりました。

さらに、コンクリート試料の強度に関する指標として、過年度の結果^(18, 20)ならびに施工時の測定結果^(21, 22, 23)も含めた一軸圧縮強度の時間変化を整理しました（図 31）。坑道壁面から採取した試料では、ばらつきが大きいものの、施工後約 10 年が経過しても一軸圧縮強度に顕著な変化は認められませんでした（図 31(a)）。一方、坑道に定置した暴露試験の試験体では、定置後約 2 年後から、湿潤条件下に定置した試験体で一軸圧縮強度が有意に高くなることが分かりました（図 31(b)）。この理由として、湿潤条件下での定置によりセメントの水和反応がより早く進行し、構造が緻密化したことが考えられ、過年度の結果⁽⁹⁾とも整合しています。

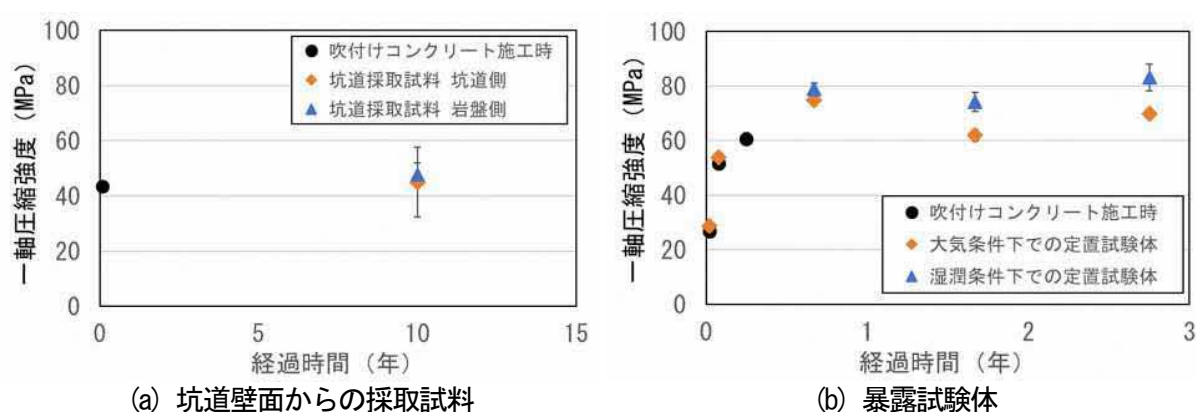


図 31 コンクリート試料の一軸圧縮強度の時間変化

以上のことから、コンクリート支保工が置かれる環境条件、特に水分量の違いに起因するコンクリートの化学状態や空隙構造の変化、およびそれらに

伴うコンクリートの物理・力学・水理特性への影響、ならびに低アルカリ性コンクリート支保工の長期的な物性変化の評価に必要な知見ならびに調査手法を整備することができました。

② 実際の地下深部の坑道で生じる事象の整理に関する試験・分析、数値解析

回収可能性を考慮した場合、長期間にわたり坑道が大気開放条件下に置かれることが想定されます。処分坑道内の空間の長期間の安全性を地質環境の観点から評価することや、長期にわたって坑道が大気に開放されることが坑道周辺の地質環境へ及ぼす影響、また、坑道の大気への開放期間が坑道閉鎖後の坑道周辺の地質環境回復過程に及ぼす影響を評価することを目的として、数値解析を実施しました。具体的には、力学的な長期地質環境の変化の観点では、クリープ変形挙動を伴う長期変形挙動の予測解析を、水理学的な観点では、地下水中に含まれる二酸化炭素やメタンおよび坑道内の大気中に存在する酸素や窒素の影響を考慮した地下水やガスの流動解析である多相流解析※を実施しました。令和4年度までの研究により計算精度の向上を目的とした境界条件や初期条件の設定手法を確立するとともに、実際の坑道周辺環境に則したモデルを作成し、解析を実施してきました^⑨。

令和5年度は、短期・長期的な環境変化に及ぼす解析条件の違いを検討する中で、これまで不足していた岩盤の長期的な変形挙動の飽和度依存性に関する検討を行いました。具体的には、飽和度が異なる岩石試料を用いて、異なる载荷速度で一軸圧縮試験を実施し、その結果からクリープ変形挙動に関するパラメータを取得しました(図32)。得られた結果では、飽和度が70%の場合、岩石試料の含水状態の違いに起因すると考えられるばらつきが認められるものの、得られたデータを基に、飽和度が100%の場合と70%の場合のクリープ寿命の違いを既存の研究結果による計算式に基づいて算出したところ、飽和度が70%の場合には飽和度が100%の場合と比較してクリープ変形による岩石の破壊までの時間が130倍程度長くなることが推察され、令和4年度までに実施してきた坑道周辺岩盤の飽和度が掘削直後の高い状態から変化をしてない条件での長期変形解析は、処分場の安全評価上は、安全側の結果であることを示すことができました。