

氏名	科野 健三		
授与した学位	博士		
専攻分野の名称	環境学		
学位授与番号	博甲第	7288	号
学位授与の日付	2025年 3月 25日		
学位授与の要件	環境生命科学研究科 環境科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	マイクロ・ナノバブルを用いた集水井横ボーリング等閉塞物除去システムの研究		
論文審査委員	准教授 木本 和志	准教授 吉田 圭介	教授 西山 哲
学位論文内容の要旨			
<p>地すべり地では、地すべりの原因となる地下水を排除するため集水井（φ3.7m 程度）が設置されている。この集水井からは、地すべり土塊の地下水位を面的に低下させるため、横方向に複数の集水管（仰角 5° 以上、VP40 有孔管：延長 10～50m）が扇状に敷設されており、集水井に地下水を自然流下させて貯留した地下水を地すべり地外へ排除する構造になっている。集水管は、横ボーリング（φ90～110）の内空側に止水材で固定された状態で挿入されており、集水井の建設間もないうちは問題なく機能するが、10 年以上経過すると集水管外壁と横ボーリングの内壁の間隙部に形成されるスライム（微生物由来の閉塞物）が高粘度となり、集水管の水抜き穴を閉塞する様になり集水機能が低下する様になる。長期間経過すると、スライムはこの様な難洗浄箇所の壁面に接着し、流動性の無い固結したスケールになり、集水管内側からのジェッティングでは除去できなくなる。本研究ではまず、スライムの形成要因が微生物とこれが生産する高粘度で接着性の EPS（<u>Extra-cellular Polymeric Substances</u>：微生物が分泌する細胞外ポリマー；多糖類、タンパク質、核酸および両親媒性高分子物質を含む）から構成されるバイオフィームにある、との仮説を立てた。次に、このバイオフィームは、マイクロ・ナノバブル(ファインバブル)の持つ物理・化学作用を利用したシステムを使って除去できる事を 3 つの集水井で適用実験を行う事により検証すると共に、自主管理指標を確立することによって新しい修繕技術になると予測した。</p> <p>マイクロ・ナノバブルは高速道路サービスエリアのトイレ床表面の洗浄に広く利用されており、本研究で採用したマイクロ・ナノバブルの発生装置は、スケラビリティに優れたコラム（微細孔式）を用いている。そして、マイクロ・ナノバブルを実際に現地生成し、横ボーリングの最奥部から注水できるシステムを用い、マイクロ・ナノバブルの移動集合体(以後、MNB 水という)が集水管を流下途中で、まずバイオフィームとの濃度分布の違いによる界面張力の空間勾配（溶質マランゴニ効果）によってこれを剥離できることを予測し、離脱した EPS を視認できたことで検証できた。次に、3～4 カ月間の長期滞留効果により拡散し、界面活性物質の作用で高濃度になりミセルを形成して可溶化が進むことを予測し、水質・水温測定や流量測定結果から検証できた。また、高濃度の MNB 水はスケールが固結した閉塞管等を有する集水井であっても、注水可能な集水管から流下途中にこれに隣接する閉塞管まで拡散することで洗浄できることを流量測定等により検証でき、このシステムの優位性も確認できた。一方、洗浄による効果は短期管理指標としての注水後の水質測定結果により、バイオフィームが殆ど無い状態になっている事と、中期管理指標としての注水前後 1 年間の流量から設定される注水後の健全度(レベル)が注水前よりもレベルアップしている事で、マイクロ・ナノバブルを用いた洗浄システムが集水井横ボーリングの新しい修繕技術になるとの予測を支持する結果を得た。</p>			

論文審査結果の要旨

本論文は斜面災害である地すべり災害の対策として用いられる集水井の集水性能を維持するための洗浄方法を考案した結果を取りまとめたもので、集水性能を低下させる要因としての微生物の作用を明らかにしたこと、およびそれに対してマイクロ・ナノバブルを用いた洗浄方法の効果を現地への適用事例に基づいて考察し、実用化を図ったことに新規性あるいは独創性が認められる。具体的な論文の内容は次の通りである。地すべり地では、地すべりの原因となる地下水を排除するため集水井が設置されている。この集水井からは、地すべり土塊の地下水位を面的に低下させるため、横方向に複数の集水管が扇状に敷設されており、集水井に地下水を自然流下させて貯留した地下水を地すべり地外へ排除する構造になっている。集水管は、横ボーリングの内空側に止水材で固定された状態で挿入されており、集水井の建設間もないうちは問題なく機能するが、10年以上経過すると集水管外壁と横ボーリングの内壁の間隙部に形成される微生物由来の閉塞物が高粘度となり、集水管の水抜き穴を閉塞する様になり集水機能が低下することを見出した。これにより長期間経過すると、スライムはこの様な難洗浄箇所の壁面に接着し、流動性の無い固結したスケールになり、集水管内側からのジェットングでは除去できなくなる。本研究ではまず、スライムの形成要因が微生物とこれが生産する高粘度で接着性のEPS (Extra-cellular Polymeric Substances : 微生物が分泌する細胞外ポリマー;多糖類、タンパク質、核酸および両親媒性高分子物質を含む) から構成されるバイオフィームにあることを見出し、このバイオフィームは、マイクロ・ナノバブルの持つ物理・化学作用を利用したシステムを使って除去できることを実験により検証した。そして、マイクロ・ナノバブルを実際に現地生成し、横ボーリングの最奥部から注水できるシステムを用いて、バイオフィームとの濃度分布の違いによる界面張力の空間勾配によって剥離できること、および離脱したEPSを視認できたことで実際の効果を検証した。さらに高濃度のマイクロ・ナノバブルはスケールが固結した閉塞管等を有する集水井であっても、注水可能な集水管から隣接する閉塞管まで拡散することで洗浄できることを流量測定等により検証した。このように本論文は、学術的および工学的に多大な貢献を有するものと評価でき、学位授与にふさわしいと認める。