

氏名（本籍）	富山 眞吾（千葉県）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第39号
学位授与日付	平成22年9月30日
専攻	システム工学専攻
学位論文題目	鉱山採掘領域を対象とした地下水流動のモデル化に関する研究
学位論文審査委員	(主査) 教授 井伊 博行 (副査) 教授 平田 健正 准教授 江種 伸之

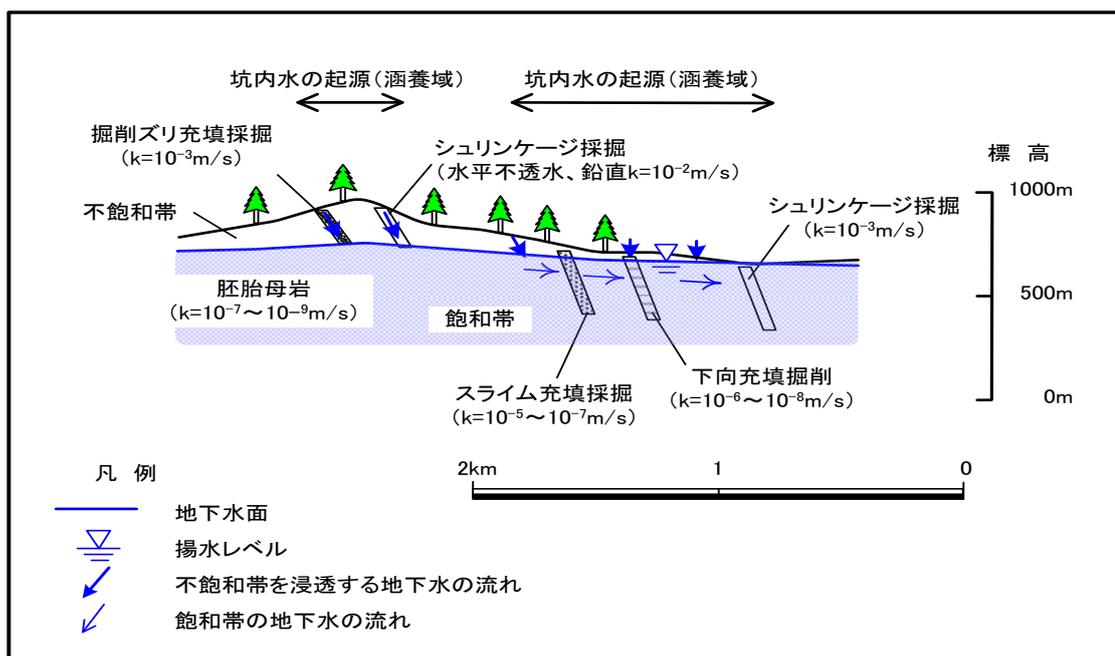
論文内容の要旨

わが国には約5千の休廃止非鉄金属鉱山が存在し、その多くで銅・鉛・亜鉛や砒素等の重金属を含む地下水が坑内において湧出している（以下、坑内水という）。主な80箇所の鉱山については鉱業権者や国、地方自治体により坑内水の処理が行われ、河川など周辺環境が保全されているが、処理に伴い年間約30億円にも上る費用が発生している。このような状況下、坑道閉塞や採掘空間の充填、地表水浸透の防止による坑内水量低減などの発生源対策が求められている。

発生源対策の施工方法の検討に当たっては、事前に対策の効果を定量的に予測する必要がある。演繹的に地下水流れを再現する数値解析は有効な予測手法として期待される。休廃止鉱山の特殊性という観点からみると、鉱山の採掘跡（以下、採掘領域という）や鉱山の運搬に用いられた坑道など多くの地下空間が存在し、数値解析ではこれら地下空間の複雑な分布をどのようにモデル化するかが課題となる。休廃止鉱山の坑内水管理は坑道口から溢流する坑内水を処理する手法が採られており、坑道および採掘領域の大部分は坑道口へと至る坑内水の流動経路として機能している。さらに、休廃止鉱山の採掘領域や坑道中には掘削ズリやサンドスライム、中和殿物が充填される、または坑内水の湧出に伴って発生した濁物が存在するなど完全な空間とは異なる場がある。

本研究では上記背景を踏まえ、休廃止鉱山の採掘領域をダルシー則および質量保存則の適用範囲内とみなした数値解析の適用性評価を行った。対象鉱山の選定に当たっては採掘方法の違いや採掘領域と坑内水位の位置関係について考慮し、解析に際しては多様な採掘方法を想定したケーススタディにより、最も妥当な透水係数を検討した（図1、図2）。

各鉱山の数値解析では、既存情報や現地状況に基づく採掘方法を想定したケースの解析値が実測の坑内水流量や地下水位と最も近似する結果となった。想定される採掘領域の透水係数はシュリンケージ採掘（飽和帯）および掘削ズリ充填採掘>スライム充填採掘≧下向充填採掘>シュリンケージ採掘（不飽和帯）という傾向があり、下川鉱山と細倉鉱山では同様なスライム充填採掘法であっても2~3桁の開きがある。これは母岩の透水係数の違いを反映しているものと推



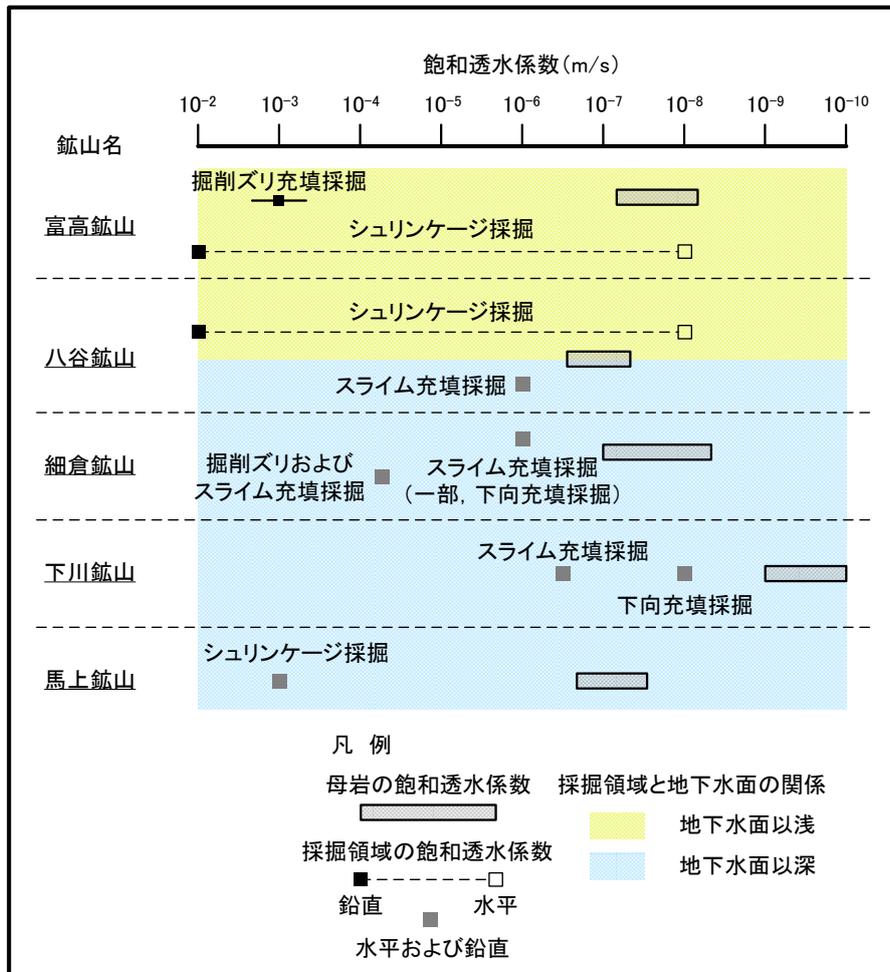
察され、母岩の透水係数が、母岩の透水係数が近似する馬上鉱山と富高鉱山は採掘領域の透水係数も同程度の値となっ

ている。また数値解析からは、坑内水の起源が採掘領域の直上ないし近傍、もしくは周辺 2km 範囲内の地表部にあると予測される。この結果は地化学的手法により導かれる地下水理概念と整合的であり、解析結果の妥当性を示すものと評価される。

以上を総合すると、採掘領域をダルシー則および質量保存則の適用範囲内とみなす数値解析が適用可能であるものと評価できる。

休廃止鉱山の地下空間が地下水流れへ与える影響としては、不飽和帯の拡大に伴う岩盤透水性の相対的な低下と採掘領域への降水浸透による局所的な地下水流れの発生が想定される。富高鉱山では降水量に応答した坑内水流量と坑内水位の変化が観測され、その要因として採掘領域を含む高透水性領域への降水浸透と飽和領域の一時的な拡大による透水性の増加が考えられる。採掘領域の大部分が地下水面以深に存在する細倉鉱山、下川鉱山では融雪期を除き坑内水流量は比較的一定している。両鉱山の坑内水流量を比較すると、採掘領域の透水性が相対的に低い下川鉱山は細倉鉱山の1/10以下であり、採掘領域内には透水性に応じた被圧地下水が存在する状況を示している。坑内水の排水処理がなされていない馬上鉱山では、採掘領域直上に位置する河床から坑内水が湧出しており、採掘領域が被圧地下水の地下タンクとして機能していると考えられる。各鉱山のケーススタディでは、解析により求められる坑内水流量値が採掘空間内の透水係数に依存する結果が得られた。発生源対策として、例えばセメント系材料等を採掘空間内に充填する「坑内充填法」が有効である可能性を示唆している。

本研究により得られた成果は、休廃止鉱山における発生源対策の検討や効果予測解析のほか、放射性廃棄物処分分野における安全性評価や都市の地下構造物建設などの地下水流動の解析、または食品・飲料水分野における地下水起源解析および地下水のモニタリングに適用が可能と考えられる。



論文審査の結果の要旨

8月3日の公聴会にて論文発表を行い、審査を行った。学位論文では、大規模地下構造物を建設した場合の地下水位の変動や地下水の流動に関して、地下構造物がどのような影響を与えるかを調べるために、鉾山の採掘跡地の事例研究が行われた。事例研究では、降水量、河川流量、水の同位体比、地下水位の測定結果を用いて、地下水流動の逆解析を行い、採掘領域のモデル化（透水係数の扱い）が行われた。その結果、採掘領域の透水係数を、1）採掘領域と地下水位の関係（地下水位の上下）や2）採掘領域の充填状態に合わせて、数値を設定することが提案された。その設定された値や考え方は、日本の他の鉾山や他の地下構造物の解析に適用できるもので、学位に値する研究内容と評価された。

また、タイトルを「数値解析と地化学的手法を用いた鉾山地域の地下水起源と流動に関する研究」から「鉾山採掘領域を対象とした地下水流動のモデル化に関する研究」に修正することが了承された。

最終試験の結果の要旨

技術的な地下水流動解析手法やその特徴、同位体比解析の適用例やその特性について、口頭諮問が行われた。複数の異なる条件の鉾山採掘領域の解析には、野外での長期調査と共に、多量のデータの整理、水文学的な水質化学など多面的、かつ論理的な考察が必要で、学位に必要な論理的にまとめる能力があるものと評価された。