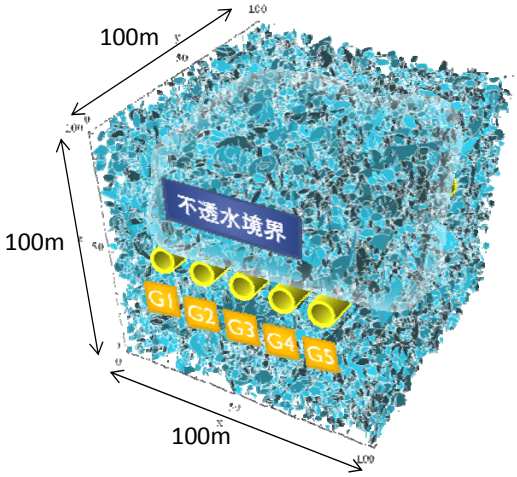
割れ目ネットワークモデルによる処分パネルを考慮した湧水量の評価

鹿島建設(株)　正会員　○升元一彦　中嶌誠門　野中隼人
(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター　石井智子　今井政孝　正会員　城まゆみ　渥美博行

1．はじめに

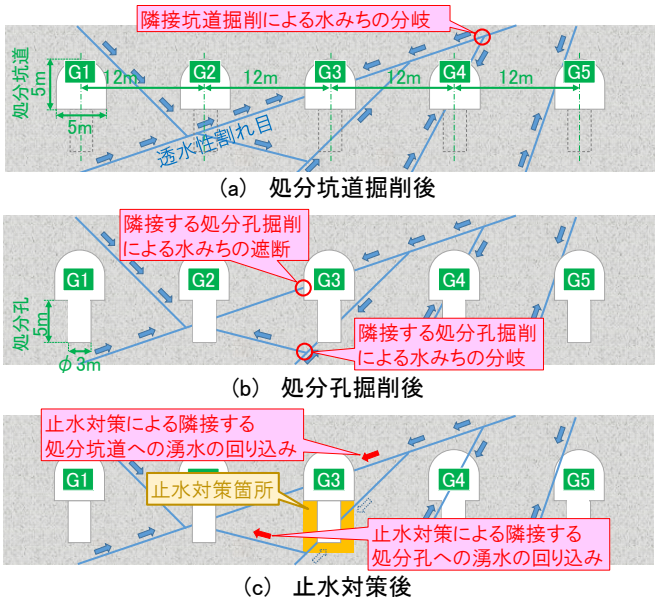
高レベル放射性廃棄物の地層処分において，処分孔への地下水の流入は，緩衝材を流出させる恐れがある．そこで，原環センターでは，「緩衝材流出の抑制」に係る研究計画を立案し[1]，その中で，数値解析による湧水量の評価を行っている．平成 27 年度の検討[2]において，既存の水理地質調査データに基づき，割れ目ネットワーク（Discrete Fracture Network：DFN）による三次元水理地質構造モデルを構築した．また，モデル中央に単一の坑道を配し，浸透流解析を行って，湧水量と工学的止水対策の効果を定量的に評価した．本稿では，さらにこの評価手法を発展させ，実際の処分パネルを考慮して，並列する複数の処分坑道をモデル化した（**図－1**）．以下では，新たに作成した複数坑道モデルの概要と，このモデルを用いて実施した浸透流解析結果に基づき処分坑道や処分孔の湧水量を評価した結果について報告する．



図－1　DFN と複数坑道のモデル化

2．解析条件の設定および評価のポイント

複数坑道をモデル化した場合に，各施工段階で想定される地下水流入の模式図を**図－2** に示す．本検討では，平成 27 年度までに作成した水理地質構造モデル（同一の統計量に基づき作成した 10 個のモデル：HR01～HR10）[2]に，直径 5m の処分坑道を 12m 間隔で平行に 5 本並べ，それぞれの処分坑道の下部に直径 3m×高さ 5m の処分孔を 10 孔ずつ配置した．坑道軸直交面を不透水境界，その他のモデル境界面を全水頭 350m に固定し，掘削面からの湧水量を算定した．なお，隣接する処分坑道の影響を評価するため，5 本の処分坑道のうち中央部 3 本（**図－2** の G2～4）のデータを用いて湧水量を評価した．



図－2　施工段階ごとの地下水流入イメージ

解析ステップは，(a)処分坑道掘削後，(b)処分孔掘削後，(c)止水対策後の 3 ステップとした．各ステップでの浸透流解析結果から，施工の進展に伴う湧水量の変化や，単一坑道モデルと複数坑道モデルの湧水量の差を確認し，隣接する処分坑道や処分孔の存在による水みちの分岐や回り込みが湧水量に与える影響の程度を評価した．

3．処分坑道掘削後の湧水量の解析結果

複数坑道モデルを用いて処分坑道掘削後の浸透流解析を実施し，単一坑道モデルの解析結果[2]と比較して，隣接する処分坑道が坑道湧水量に与える影響の程度を定量的に評価した．浸透流解析結果を**表－1** に示す．リアライゼーション毎にばらつきが見られるが，全体的な傾向としては，隣接する処分坑道の存在で湧水箇所が分散し，複数坑道モデルにおける処分坑道 1 本あたりの平均的な湧水量が単一坑道モデルの約半分（49%）に減少した．

キーワード　割れ目ネットワークモデル，浸透流解析，処分孔湧水，緩衝材流出，止水対策
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　TEL042-489-6574

表－1 処分坑道の湧水解析結果

モデル名	単一坑道 (L/min)	複数坑道(P) (L/min)				増減比
		G2	G3	G4	平均	
HR01(P)	7.10	2.49	3.43	4.49	3.47	0.49
HR02(P)	10.35	1.38	4.52	8.14	4.68	0.45
HR03(P)	2.84	0.56	1.05	4.11	1.91	0.67
HR04(P)	3.76	1.63	1.06	1.11	1.27	0.34
HR05(P)	3.20	6.04	1.74	0.09	2.62	0.81
HR06(P)	8.15	3.60	4.63	0.61	2.95	0.36
HR07(P)	10.78	1.95	7.37	4.08	4.47	0.41
HR08(P)	48.25	4.91	30.77	20.51	18.73	0.39
HR09(P)	2.06	24.44	1.01	0.77	8.74	4.24
HR10(P)	10.77	2.50	6.83	1.69	3.67	0.34
平均	10.73	4.95	6.24	4.56	5.25	0.49

表－2 湧水量が 0.5L/min を超える処分孔の割合

モデル名	単一坑道*	複数坑道(P)*				増減比
		G2	G3	G4	平均	
HR01(P)	2/10	0/10	0/10	1/10	1/30	
HR02(P)	0/10	0/10	0/10	1/10	1/30	
HR03(P)	0/10	0/10	0/10	1/10	1/30	
HR04(P)	0/10	0/10	0/10	0/10	0/30	
HR05(P)	2/10	1/10	1/10	1/10	3/30	
HR06(P)	1/10	0/10	0/10	0/10	0/30	
HR07(P)	3/10	0/10	3/10	2/10	5/30	
HR08(P)	5/10	0/10	6/10	7/10	13/30	
HR09(P)	0/10	1/10	0/10	0/10	1/30	
HR10(P)	1/10	0/10	0/10	0/10	0/30	
合計	14/100	25/300				0.59

*:超過割合(=湧水量が毎分 0.5L を超える処分孔数/全処分孔数)

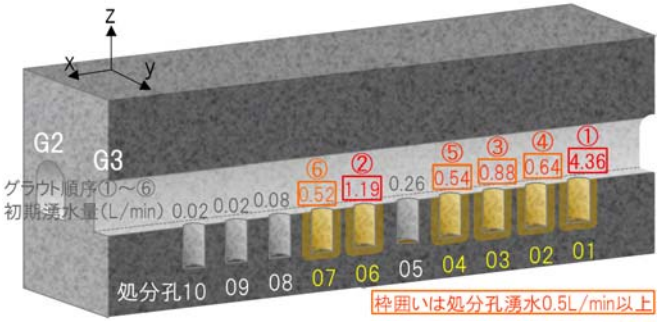
4．処分孔掘削後の湧水量の解析結果

処分孔掘削後の浸透流解析結果に基づき，一定の処分孔湧水量(ここでは仮に0.5L/minを基準とした)を超える処分孔の割合(超過割合)を**表－2** に整理した．この超過割合を単一坑道モデルと複数坑道モデルで比較すると，複数坑道モデルの超過割合は単一坑道モデルの 6 割程度(59%)となった．以上の結果から，隣接する処分坑道と処分孔をモデル化することで，処分坑道と同様に処分孔の湧水量が大幅に減少することが確認された．

5．止水対策後の処分孔湧水量の評価

処分孔掘削後の湧水量が最大であった解析モデル(HR08(P))を用いて，止水対策後の湧水解析を行った．止水対策箇所は 0.5L/min を超過する**図－3** に示す 6 つの処分孔とし，湧水量の多い順(同図①～⑥)にグラウトによる止水対策を施した．次に，浸透流解析を行い，割れ目の存在が湧水量に与える影響を評価した．なお，グラウトによる止水対策のモデル化は，処分孔壁面から 1.5m の領域内の割れ目の透水性を，その領域の透水係数が 1Lu 相当になるよう低下させることで表現した．

解析結果に基づいて，上記①～⑥の順序での止水対策による湧水減少量と，その周りの処分孔で確認された湧水増加量を**図－4** に整理した．いずれの止水対策箇所でも湧水量が減少する一方で，その周辺部では地下水の回り込みによって湧水量が若干増加した．ただし，全体としては，止水対策部の湧水減少量 6.45L/min に対し，周辺部の湧水増加量は 1.23L/min にとどまっており，止水対策による湧水量低減効果が示された．



図－3 止水対策位置と順序[HR08(P)モデル]

図－4 止水対策箇所とその周辺部における湧水増減量

6．まとめ

複数の処分坑道をモデル化した DFN モデルを構築し，各施工段階の湧水量の変化を解析的に示した．この結果，湧水箇所の分散による湧水量減少や，地下水の回り込みによる湧水量の増減を定量的に評価できた．

なお，本報告は，経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業である「地層処分技術調査等事業　処分システム工学確証技術開発」のうち「人工バリア品質／健全性評価手法の構築―緩衝材」の成果[3)]の一部である．

参考文献

1) 岩谷ほか:処分孔竪置き方式における緩衝材流出に関する検討(その 1;研究計画)，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，CS13-033，2016.9.
2) 渥美ほか:処分孔竪置き方式における緩衝材流出に関する検討(その 4;地下水流入に関する解析的検討)，土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集，CS13-036，2016.9.
3) 原環センター:地層処分技術調査等事業 処分システム工学確証技術開発報告書(第2分冊)－人工バリア品質／健全性評価手法の構築―緩衝材,2017.