

処分孔竖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）

鹿島建設(株) 正会員 ○渥美博行 正会員 升元一彦
原環センター 非会員 石井智子 正会員 城まゆみ
日本原子力研究開発機構 正会員 中山 雅 正会員 大野宏和

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物地層処分施設において、処分孔への地下水流入は緩衝材の人工バリアとしての機能に影響を与えると考えられる¹⁾。これに関する検討の全体計画を（その 1）で示した²⁾。本稿では処分孔への地下水流入を低減させるグラウト等の工学的止水対策の効果について、解析的検討を行った結果について報告する。現実的な検討を行うために、地下研究所等の実測調査データに基づき、割れ目をモデル化した水理地質構造モデルを構築することとし、割れ目ネットワークモデルによる解析的検討を行った。

2. 割れ目ネットワークモデルに基づく水理地質構造モデルの構築

本検討を実施する水理地質モデルを構築するに当たり幌延深地層研究センターの地質・水理調査データ³⁾を活用した。割れ目のデータは、幌延 URL の 350m 調査坑道の内、ほぼ同じ長さで互いに直交する西連絡坑道と東連絡坑道で得られた調査結果を用いた。水理関連データは換気立坑近傍の調査ボーリングで実施した水理試験結果を、掘削影響領域については 350m 坑道で実施された試験結果を用いた。これらから割れ目の幾何学的パラメータセット、水理モデル作成のためのパラメータセットを表-1、-2 のように設定した。

これらの割れ目統計量に基づいて、確率論的手法でブロックスケール（100m×100m×100m）の地質構造モデルを構築した⁴⁾。モデルのリアライゼーション数は、瑞浪超深地層研究所での割れ目ネットワーク解析の実績⁴⁾から 10 とした。この際、幌延 URL の母岩は堆積岩であるため、基質を考慮したモデル化を行うこととした。具体的には割れ目の最小半径を設定値の 3.82m より小さい 1.25m として小さい割れ目を発生させ、割れ目半径が 1.25m から 3.82m の割れ目を基質相当として反映させた。作成された全割れ目数は 10 リアライゼーション平均 77,813 枚で、設定した 3 次元割れ目密度と整合していた。水理地質構造モデルは、この地質構造モデルから透水割れ目の割合である 22%の割れ目を抽出し、これらの割れ目に透水量係数を付与して構築した。図-1 にリアライゼーションの一例を示す。本検討の浸透流解析に用いる解析モデルは、割れ目ネットワーク構造を管路網で表現されるパイプネットワークに変換したモデル⁵⁾を用いた。

表-1 割れ目の幾何学的パラメータ

割れ目の セット	割れ目の方向分布			割れ目の長さ分布			割れ目の密度	
	走向傾斜 表示	Fisher定数		べき乗数	最小半径 (m)		P32 (m ² /m ³)	P32adj* (m ² /m ³)
NW	N 68.9 W 52.2 N	16.9		3.5	3.82		0.54	0.94
NE	N 50.9 E 50.5 N	13.6		3.5	3.82		0.25	0.44
Others	N 77.7 E 42.7 S	5.2		3.5	3.82		0.20	0.34
合計							0.98	1.71

*:最小半径1.25mに換算後

表-2 水理パラメータ

水理モデル設定値	
透水割れ目の割合	22.2%
割れ目を含む区間の 透水係数	6.0×10 ⁻⁹ m/s (透水試験区間長 65m)
EDZの透水係数	1.0×10 ⁻⁶ m/s 幅 50cm
基質部の透水係数	1.8×10 ⁻¹¹ m/s

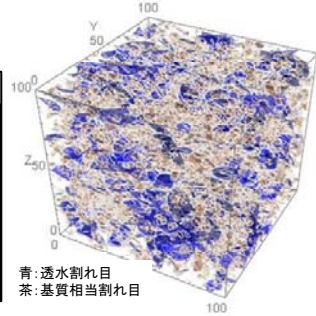


図-1 水理地質構造モデル

3. 処分坑道、処分孔湧水量の算定結果

2. で構築したモデルに処分坑道 1 本、竖置き処分孔 10 孔をモデル化し、浸透流解析を行った。処分坑道は、モデル領域の中央に長さ 100m、直径 5m の円形空洞とし、周囲 0.5m の厚さで掘削影響領域を設定した。坑道境界面は大気圧境界とした。処分孔は、孔間隔 6.6m で半径 1.5m、底盤から 5.0m 範囲を大気圧境界に設定することでモデル化した。モデル境界条件は、坑道軸直交面を不透水境界、その他は全水頭 350m とした。

この条件に基づき湧水量の計算を行った結果を表-3 に示す。坑道湧水量は 10 リアライゼーション平均で 8.41L/min を示し、幌延 URL の 350m 調査坑道からの湧水の実測値 100m 当たり 10.73L/min とほぼ合致し
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, 止水対策

ている。各処分孔の湧水量は平均で 0.27L/min であるが、リアライゼーションや処分孔によりばらついている。これは割れ目の不均質性を反映した結果であるといえる。例として一つのリアライゼーション(HR1_R10)について、処分孔湧水箇所分布を図-2に、処分孔と交差する 0.01L/min 以上の流量を持つ割れ目の分布を図-3に示す。坑道近傍の掘削影響領域からの湧水箇所が見られるのに加え、割れ目が処分孔と交差する箇所でも湧水が見られることが分かる。1孔当たりの湧水量が 0.1L/min 以下の処分孔の数は、一リアライゼーション当たり2~8箇所/10ピットで、全100孔の処分孔の内、51孔で 0.1L/min 以下を示した。

表-3 割れ目ネットワークモデルによる湧水量算定結果 (10 リアライゼーション)

リアライゼーション	坑道湧水量 (L/min)	処分孔湧水量 (L/min) (斜体は 0.1L/min 以上)										総湧水量 (L/min)	湧水量 0.1L/min 以下の処分孔数
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10		
HR1_R01	4.65	<i>0.12</i>	<i>0.35</i>	<i>0.17</i>	0.04	<i>0.46</i>	0.04	<i>0.74</i>	<i>0.45</i>	<i>0.53</i>	0.00	7.55	3
HR1_R02	8.82	<i>0.12</i>	<i>0.19</i>	0.04	0.02	<i>0.16</i>	<i>0.25</i>	<i>0.28</i>	0.09	<i>0.23</i>	<i>0.27</i>	10.48	3
HR1_R03	2.04	0.05	0.07	0.08	<i>0.20</i>	0.01	0.00	<i>0.32</i>	<i>0.29</i>	0.00	0.00	3.05	7
HR1_R04	3.21	<i>0.21</i>	0.02	0.05	0.00	0.01	<i>0.12</i>	0.04	0.09	0.02	0.02	3.79	8
HR1_R05	2.13	0.06	<i>0.11</i>	0.02	<i>0.20</i>	<i>0.82</i>	0.00	0.00	<i>0.56</i>	0.00	0.00	3.90	6
HR1_R06	6.55	0.09	<i>0.23</i>	<i>0.11</i>	<i>0.42</i>	<i>0.16</i>	<i>0.64</i>	0.01	<i>0.14</i>	0.02	0.06	8.43	4
HR1_R07	7.70	0.01	0.01	0.04	<i>0.95</i>	<i>0.11</i>	<i>0.35</i>	<i>0.32</i>	<i>1.15</i>	<i>0.88</i>	<i>0.17</i>	11.69	3
HR1_R08	38.19	<i>5.54</i>	<i>0.48</i>	<i>1.04</i>	<i>0.71</i>	<i>0.40</i>	<i>1.47</i>	<i>0.78</i>	<i>0.34</i>	0.05	0.01	49.01	2
HR1_R09	1.57	0.02	0.00	0.06	0.09	0.00	0.00	<i>0.17</i>	0.10	0.09	<i>0.47</i>	2.57	8
HR1_R10	9.22	0.07	<i>0.19</i>	<i>0.97</i>	0.03	<i>0.14</i>	0.07	0.05	0.04	0.01	0.04	10.83	7
平均	8.41	0.27										11.13	合計51孔

4. 止水対策による湧水量の変化

処分孔への止水対策は、グラウトを想定して 0.1L/min 以上の湧水量を示す処分孔周辺 1.5m 範囲の透水性を低減することでモデル化した。モデル化においては、図-4に示すようにグラウト改良範囲を通過するパイプの透水係数を、プレグラウトの改良目標値に基づき初期に対し13%に低減させることとした。この計算の結果、止水対策を行った処分孔湧水量は平均で33%低減し、湧水量 0.1L/min 以下の処分孔の数は51孔から76孔に増加した。図-5に解析結果の一例を示す。止水対策を行ったNo.2, No.3, No.5孔は湧水量が大きく低減している一方、それに挟まれたNo.4孔は、地下水の流れが変化し微増していることが分かった。

5. おわりに

割れ目が透水性を支配している地山における処分孔湧水や対応策が処分坑道周辺の水理場に与える影響を、割れ目ネットワークモデルによる解析により、原位置の湧水量と工学的対策の効果を定量的に評価することができた。

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」の成果の一部である。

参考文献

- 1) Börjesson, L. and Sandén, T. : Piping and erosion in buffer and backfill materials Current knowledge, SKB Report R-06-80, 2006.
- 2) 岩谷ほか: 処分孔堅置き方式における緩衝材流出に関する検討(その1), 土木学会第71回年次学術講演会, 2016. (投稿中)
- 3) 例えば, 青柳・川手: 幌延超深地層研究計画: 平成 25 年度地下施設計測データ集, JAEA-Data/Code2015-017, 2015.
- 4) 石橋ほか: 地下坑道での調査データに基づく坑道周辺領域における水理地質構造モデルの構築, 第42回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.101-106, 2014.
- 5) 埼玉大学地圏科学研究センター: 割れ目系岩盤を対象とした地質構造のモデル化に関する研究, 核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書, JNC TJ7400 2002-004, 2002.

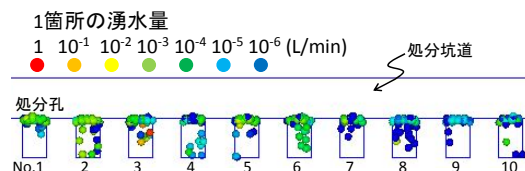


図-2 処分孔毎の湧水箇所分布

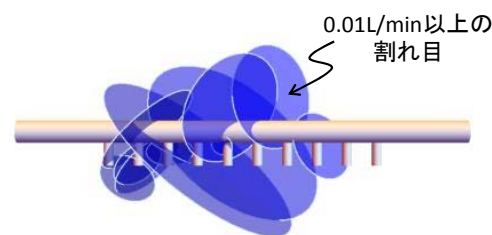


図-3 処分孔と交差する割れ目分布

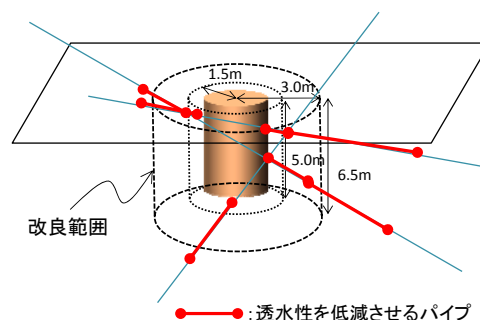


図-4 グラウトによる止水対策の概念図

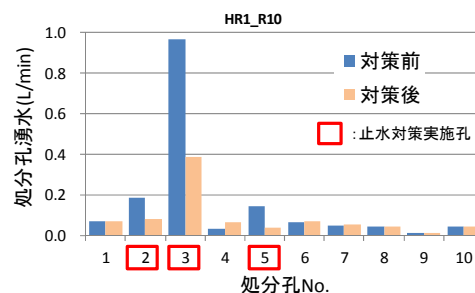


図-5 止水対策前後の処分孔湧水変化