

地層処分場 地下施設の換気システムの成立性検討（その2 通気網解析）

原子力発電環境整備機構
清水建設（株）

正会員 ○勝又 尚貴 野尻 慶介 窪田 茂
正会員 矢萩 良二 戸栗 智仁

1. はじめに

地層処分場における事業期間中の安全性を確保するためには、地下施設の長く複雑となる坑道群における換気経路、および作業環境の維持に必要な所要換気量を満足する換気設備の成立性を確認する必要がある。そこで、建設パネル、および操業・埋戻しパネルにおける換気経路をモデル化し、通気網解析を実施することで、各パネル毎の換気経路の成立性、および作業環境の維持に必要な風量と制限風速（鉱山保安規則 第223 条）を満足しているか確認を行い、さらに検討ケースごとの必要なファンの容量の比較、および設備の効率化に向けた課題の抽出を行った。

2. 通気網解析の概要と入力値の設定

(1)通気網解析の概要

地下施設の特徴（複雑かつ長大な坑道群）を踏まえた通気網解析を実施するには、大量の計算が必要になるが、解析プログラム「KAZEMARU Basic」は、一次元の管路計算を行うという特長を持ち、計算時間の短縮や計算品質を確保することができる。炭鉱などの鉱山における通気状況について、本計算を用いた再現が行われ、解析プログラムの実用性について確認されている¹⁾。解析プログラム「KAZEMARU Basic」は、坑内各点の圧力を未知数とする節点解法とベルヌーイの定理を基に圧力計算を行い、坑内各点の風量を出力する。

(2)入力値の設定

各検討ケース²⁾において設定した換気経路の坑道仕様として、坑道断面積、坑道長、摩擦係数（坑道壁面の粗度に関するパラメータ³⁾）、付加長（坑道の曲がり、分岐および合流における衝突損失を考慮した等価坑道長⁴⁾）などを入力し、解析モデル上に坑道の状態を表現した。

また、建設中パネルでは局所換気経路が多いため、主要換気経路を主な対象とした全体モデルと、局所換気経路を主な対象とした処分坑道モデルの2つのモデルを作成した。

換気ファンについては、後述する風速、風量を満足するようなファン特性曲線（圧力-風量の関係）を入力値として与えた。

3. 所要換気量の設定

次に、発破掘削における後ガス処理、粉塵の希釈拡散、作業員の呼気に必要な所要換気量を算定した。建設中パネルにおける評価指標と基準（表-1 参照）、および操業・埋戻しパネルにおける評価指標と基準（表-2）を示す。表-1 に示すとおり、メタンガスが発生する場合には、逆流防止の観点から、最低風速を0.5 m/s 以上³⁾確保する必要があるため、所要換気量は増加する。また、操業・埋戻しパネルは、建設中パネルと比較して同時に作業する坑道が少ないため、所要換気量を軽減できると考える（表-2 参照）。

表-1 建設中パネルにおける評価指標と基準

評価指標	場所	基準	
		メタンガス無	メタンガス有
風速	全坑道	0.3～7.5m/s	0.5～7.5m/s
風量	a) 主要坑道(a)とb)の入気側	83m ³ /s	131m ³ /s
	b) 掘削中の処分坑道(11坑道)	7m ³ /s	11m ³ /s
	c) 主要坑道(1坑道)	6m ³ /s	10m ³ /s
	d) 貫通した処分坑道(37坑道)	7m ³ /s	11m ³ /s

表-2 操業・埋戻しパネルにおける評価指標と基準

評価指標	場所	基準	
		メタンガス無	メタンガス有
風速	全坑道	0.3～7.5m/s	0.5～7.5m/s
風量	e) 主要坑道(f)～h)の入気側	21m ³ /s	36m ³ /s
	f) 埋戻し中の処分坑道(1坑道)	7m ³ /s	12m ³ /s
	g) 定置中の処分坑道(1坑道)	7m ³ /s	12m ³ /s
	h) 主要坑道(1坑道)	7m ³ /s	12m ³ /s
	i) 定置前の処分坑道(23坑道, 2系統)	7m ³ /s	12m ³ /s

4. 通気網解析の結果

解析結果の一例として、深成岩類における建設中パネル (CASE-1) の全体モデル (図-1) と処分坑道モデル (図-2) を示す。

図-1 に示す①主要坑道は、掘削中の処分坑道の風上に位置しており、 $113.8 \text{ m}^3/\text{s}$ の風量を送気しているため、表-1 の基準の風量 ($83 \text{ m}^3/\text{s}$) を満足していることが確認できる。

また、他の坑道においても、基準を満足した風量を送気されていることを確認した。

同様に、各検討ケースの解析結果において、基準 (表-1), (表-2) を満足していること、ならびに制限風速 (7.5 m/s) を超過していないことを確認した。

また、それぞれのケースを比較、分析した結果、以下のことがわかった。

- ・深度が深くなると、気圧差が大きくなり通気抵抗が増大する (表-3)。
- ・同じ深度でもメタンガスの発生を想定すると風速の基準値が約 2 倍となるため (表-1, 表-2), 風量も約 2 倍確保しなければならない (表-4)。このため、必要な換気ファンの容量が増大する。

5. まとめ

通気網解析を実施することで、各検討ケース²⁾ごとに必要な換気ファンの容量や配置の検討を行い、必要な場所で必要な量の空気が送気できていること、ならびに制限風速を超過していないことを確認した。

ただし、いずれのケースにおいても坑内に高圧のファンを設置する必要があり、通気抵抗を軽減するための対策として、坑道断面の拡幅や曲がりの少ないレイアウトへの改善、立坑の高低差を利用した自然通気圧の利用などの設計対応策を検討する必要があると考える。

6. 謝辞

本検討を実施するにあたり、九州大学 井上雅弘氏には通気網解析プログラム KAZEMARU Basic の提供や適切な助言を戴きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) JNC (核燃料サイクル開発機構): 東濃鉱山坑内通気網解析, JNC TJ7420 2000-002, 2000 年 2 月。
- 2) 窪田ら: 地層処分場 地下施設の換気システムの成立性検討 (その 1 全体概要), 土木学会第 71 回年次学術講演会, 投稿中, 2016 年 9 月。
- 3) 建設労働災害防止協議会: 新版 ずい道等建設工事における換気技術指針, 2012 年 3 月。
- 4) Howard L. Hartman, Jan M. Mutmansky, R.V. Ramani and Y.J. Wang: Mine Ventilation and air conditioning third edition, A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, JOHN WILEY & SONS, INC., 730p, 1997.

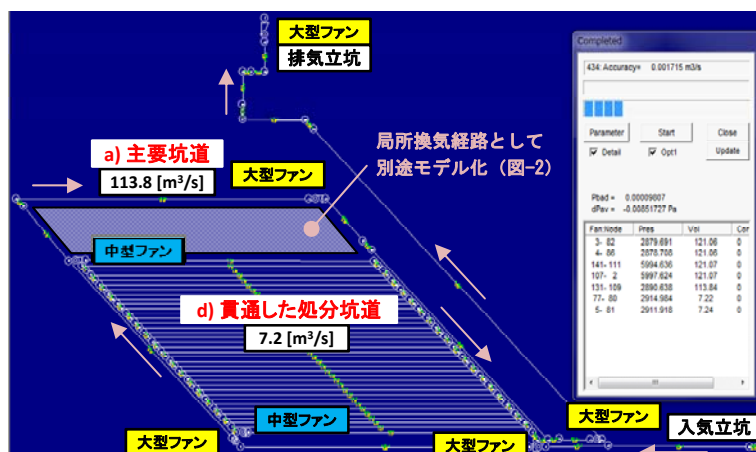


図-1 全体モデルの解析結果 (CASE-1)

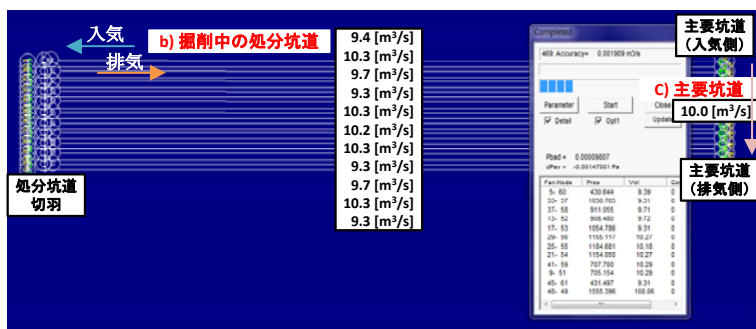


図-2 処分坑道モデルの解析結果例 (CASE-1)

表-3 気圧差による必要な換気ファンの容量の比較

	深度	圧力総計	風量総計
CASE-1	1000m	31,200 Pa	$3,110 \text{ m}^3/\text{s}$
CASE-3	500m	12,000 Pa	$592 \text{ m}^3/\text{s}$

表-4 メタンガスの有無による必要な換気ファン容量の比較

	深度	メタンガス	圧力総計	風量総計
CASE-3	500m	発生なし	12,000 Pa	$592 \text{ m}^3/\text{s}$
CASE-4	500m	発生あり	12,120 Pa	$1,102 \text{ m}^3/\text{s}$