

地層処分場 地下施設の換気システムの設計方法の検討 (その2 火災時の検討)

清水建設 (株)
原子力発電環境整備機構

正会員 ○黒崎ひろみ 沖原 光信 戸栗 智仁
正会員 勝又 尚貴 山品 和久 窪田 茂

1. 目的

地層処分場の地下施設において、万一の火災を想定した場合に、作業員の安全確保に必要な避難設備などの対応策を整備しておくことは重要である。本検討では、地下施設内における火災のリスクを整理し、火災による有害ガスの拡散状況を把握するとともに、作業員の避難の可否および一時退避所の配置方法についてまとめた。

2. 検討対象の設定

地下施設における坑道の掘削作業、および廃棄体の定置作業を想定し (図-1)、リスクマッピング技術¹⁾に基づき、火災発生確率および損失量を考慮することで、リスクの高い場所を抽出した (図-2)。リスク評価には坑内車両 (燃料の有無含む) および作業員 (人数・位置含む) を数値化し整理したものをを用いた。リスク評価方法は重みづけリスク評価を用い、各坑道の火災時のリスク評価として、発生確率として車両数を、損失量として人的被害の量を選定した。車両数は、地下施設における発火源と成り得るものの数量を定量化するため、過去の車両火災の主な出火原因²⁾を調査し、軽油を搭載した車両が発火源となった事例数 (649 件) と、バッテリーを搭載した車両が発火源となった事例数 (425 件) から、軽油: バッテリー=1.5: 1.0 であるため、これをリスク評価値として設定した。また、人的被害量は坑内の作業員数を概算で設定し、その人数をリスク評価値として設定した。なお、人的被害量は火災時の気流により変化するため、リスク評価対象区間を過去の火災を伴う災害からの一時退避距離および時間から、1km・10分を目途とし距離補正を行った。検討の結果、Case1: 処分坑道と連絡坑道・主要坑道の交差部、Case2: 立坑直下、Case3: 切羽付近、の3カ所がリスクの高い場所であることがわかり、これを検討対象として設定した (図-3)。

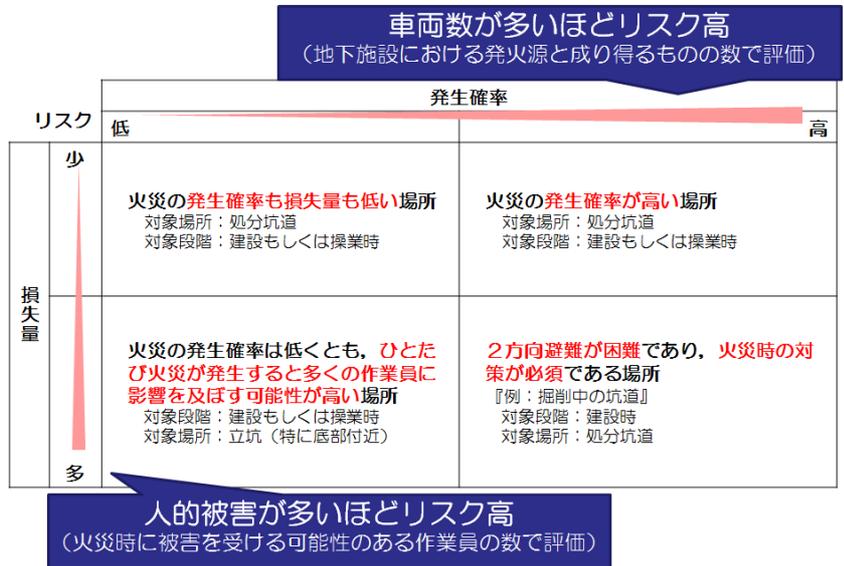


図-2 発生確率及び損失量の定義

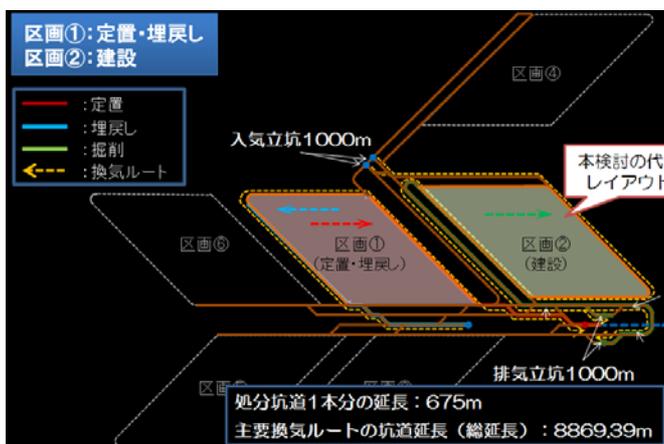


図-1 検討対象レイアウト (HLW 深成岩類)

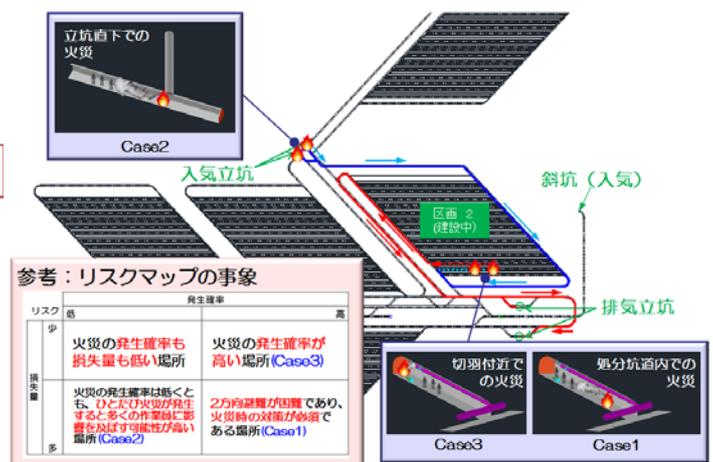


図-3 高リスクな場所の選定結果

キーワード 地下施設, 火災対策, 作業員の避難, 避難シミュレーション

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目16-1 清水建設株式会社土木技術本部バックエンド技術部 TEL03-3561-3919

3. 火災解析の実施

図-3の3カ所を対象とし、3次元の火災解析を実施した。解析に用いたパラメータ・境界条件を表-1に示す。解析には類次施設等における実用実績から VENTMINE を利用した。なお、坑内の風速は既往の知見³⁾から、処分坑道内 (Case1, Case3) は 0.3m/s 程度、立坑直下 (Case3) は 4.0m/s 程度の風況場とし、火災の大きさを示す火災曲線は、CETu の標準火災曲線を設定した⁴⁾。

4. 避難シミュレーションによる避難の可否の検討

3. の火災解析の結果 (図-4) を用いて、避難シミュレーションを実施し、両者の重ね合わせにより、作業員の避難の可否について検討を行った (図-5)。作業員の避難速度は、過去の災害時の避難速度をもとに、1.0m/s と設定した⁵⁾。また、作業員の避難の可否の判断は、一酸化炭素濃度が 34% を閾値として設定した⁶⁾。

結果、Case1 は風上側に発火源があり、かつ 1 本坑道内での避難であることから、約 460 秒後に一酸化炭素に巻き込まれ、地上への避難が不可能となった。

Case2 は坑内風速が作業員の避難速度の 4 倍程度であることから、約 2 秒で一酸化炭素に巻き込まれ、地上避難は不可能となった。

Case3 は切羽付近での発火であること、発火点よりも風上側に作業員がいること、坑内風速は避難速度 (1.0m/s) より遅い (0.3m/s) ことから、全員が避難完了した。

5. 作業員の避難対策の検討 およびまとめ

Case1 は、火災によって作業員の避難経路が塞がれており、処分坑道に閉じ込められている状態である。ガスの拡散状況に基づけば、30 分程度は生存できるため、作業箇所付近に一時退避所を設置し、作業員に酸素を供給することで作業員の安全は確保できると考えられる。

Case2 は発火からわずか 2 秒で煙にまかれることから、発火してから作業員が避難することは困難と考えられる。そこで、前述の Case1 の考え方を Case2 に応用すると、一時退避所を作業区域の近隣に設置するほか、隣接する坑道との間に避難坑道を設置し、火災時には迅速に退避所もしくは避難坑道を使用することで避難することが重要である。また、地上のオペレーションセンター、地下の離れた場所にいる作業員への連絡など、相互連携により被害を最小限に食い止め、同時に近隣の作業員にはいち早く火災発生を知らせることが極めて重要である。

参考文献

- 1) 経済産業省経済産業政策局資金課:事業リスクマネジメント実践テキスト, 経済産業調査会, ISBN4-8065-2728-9, 2005年7月.
- 2) 総務省統計局平成27年度調査結果「車両火災の主な出火原因と経過」
- 3) 勝又尚貴, 野尻慶介, 窪田茂, 矢萩良二, 戸栗智仁: 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), 土木学会第71回年次学術講演会, 2016年9月.
- 4) ANDRA : Dossier 2005 Argile, Tome Safety evaluation of a geological repository, Agence nationale pour la gestion des dechets radioactifs, December 2005.
- 5) 国土交通省鉄道局: 鉄道に関する技術基準 (別冊) 地下駅等の火災対策基準・同解説 (土木編), 2007年11月.
- 6) Killick Em, Marchant Jv : The study of the dog resuscitation from sever carbon monoxide poisoning. J Physiol. Vol.2, December 1959.

表-1 火災解析のパラメータ・境界条件一覧

条件	項目名	項目 No.	値	経時変化の有無	
				風況場の計算	火災の計算
初期条件	坑口温度	(1)	14.42℃	一定	一定
	坑口気圧	(2)	1atm (1013.25hPa)	一定	一定
	坑内温度 (-1000m)	(3)	44.42℃ (+3℃/-100m)	時刻歴応答	時刻歴応答
	坑内気圧 (-1000m)	(4)	1.1277atm	時刻歴応答	時刻歴応答
	坑内風速	(5)	0.3~0.5m/s (処分坑道) 0.4~0.6m/s (主要坑道) 3.0~5.0m/s (立坑直下)	時刻歴応答	時刻歴応答
	坑口の空気密度	(6)	2.441kg/m ³	一定	一定
	坑内の空気密度	(7)	変動 (※計算による)	時刻歴応答	時刻歴応答
	比熱比	(9)	1.4	一定	一定
	管摩擦係数	(10)	0.05	一定	一定
	平均モル質量	(11)	0.02893kg/mol	時刻歴応答	時刻歴応答
	煙の密度	(12)	0.92kg/m ³	—	時刻歴応答
	火災温度	(13)	1100℃ (火災曲線)	—	時刻歴応答
	煙の風量	(14)	53.33m ³ /sec (火災曲線)	—	一定
	フランドル数	(15)	0.708	—	一定
	境界条件	入気坑温度	(16)	【処分坑道 (Case1, Case3)】 14.42℃ ⇒(1)と同じ 【立坑直下 (Case2)】 35.42℃ ⇒700m 分の深度を考慮した温度を設定	固定
排気坑温度		(17)	変動 (※計算による)	自由	自由
入気坑口圧力		(18)	【処分坑道 (Case1, Case3)】 1atm ⇒(2)と同じ 【立坑直下 (Case2)】 1.081atm	固定	固定
排気坑口圧力		(19)	変動 (※3次元風況場解析から自動的に設定による)	自由	自由
壁面温度		(20)	線形温度分布 (※風の流れによる壁の温度変化を考慮)	自由	自由
平均分子量		(21)	28.966	一定	一定 ※組成割合のみ変動

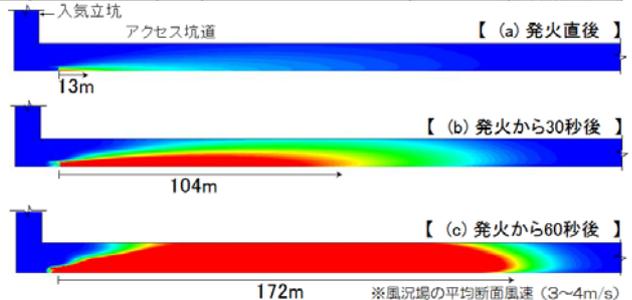


図-4 火災解析結果 (例: 立坑直下)

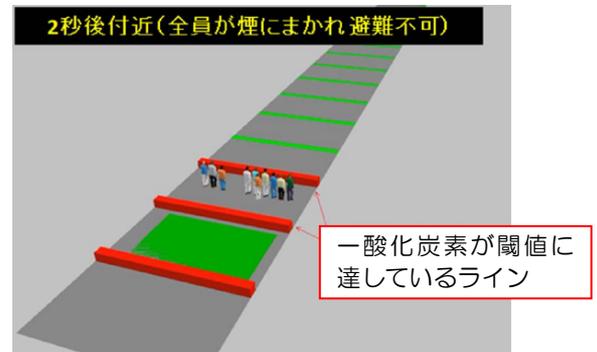


図-5 避難シミュレーションの結果 (例: 立坑直下)

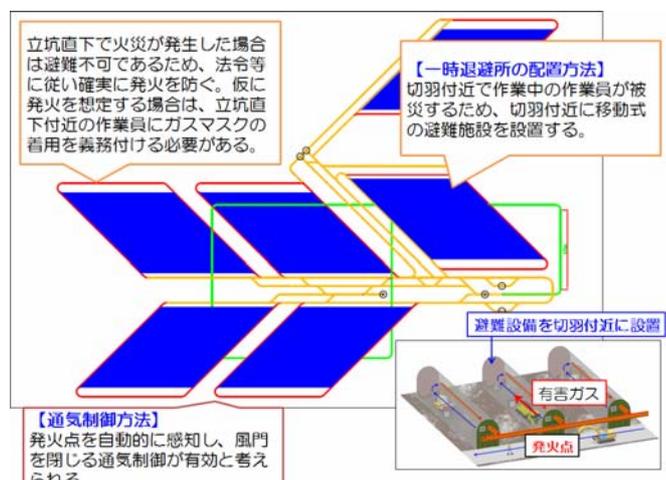


図-6 作業員の避難対策 (一時退避) の検討