地層処分場　地下施設の換気システムの成立性検討（その３　温熱対策）

清水建設（株）　正会員　○矢萩　良二　戸栗　智仁
原子力発電環境整備機構　正会員　勝又　尚貴　野尻　慶介　窪田　茂

１．はじめに

地層処分事業における，地下施設での作業環境の維持に適合させるための対応のひとつとして，地熱や機械熱，廃棄体の発熱等の原因で熱せられた空気を冷却することが挙げられる．本報告では，前報告[1)]の換気経路を基に実施した通気網解析で得られた風速[2)]を用いることで，地下施設の空間温度を把握するとともに，熱せられた空気を管理温度である 37℃以下（労働安全衛生規則第 611 条）まで冷却するための対策について検討した．

２．検討条件

検討対象は，前報告[1)]において設定した地質環境条件を基に，地下施設の深度は 1,000m，岩盤の地温勾配は 3℃/100m，地表温度は 15℃と設定した。また，検討対象とした事業の段階，および換気経路は，処分坑道の建設時（図-1）と，操業・埋め戻し時（図-2）とした．

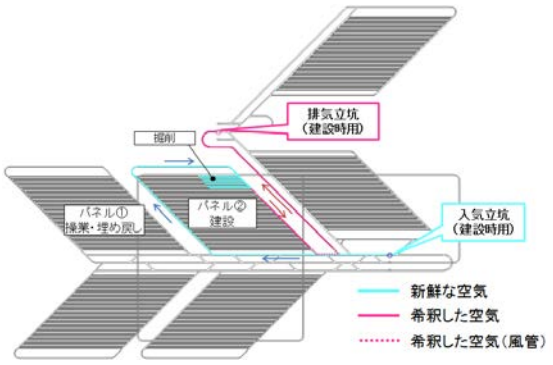

図-1　建設の作業動線と換気経路[1)]

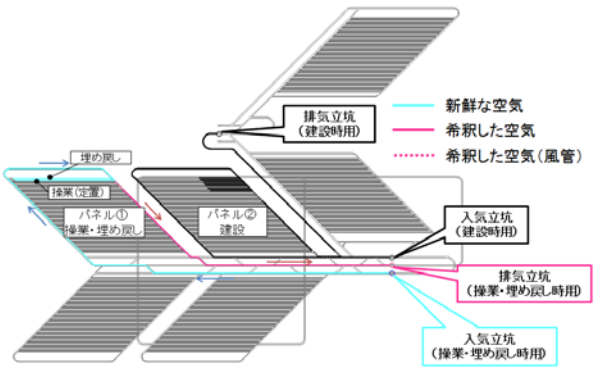

図-2　操業・埋め戻しの作業動線と換気経路[2)]

３．検討手順

はじめに，熱源として考慮すべき項目を整理した上で，温熱計算フローを作成した．次に，処分坑道までの経路（以下，主要換気経路）について温熱計算を実施して，経路上の温度を確認し，処分坑道への送気温度を設定した．最後に，処分坑道内の熱源からの放熱量を計算し，温熱対策の要否を判定，温熱対策が必要な場合には冷房負荷を算出した．この際，坑道内の作業管理温度は 37℃に設定した．

４．主要換気経路の温度

主要換気経路の温度は，入気立坑，連絡坑道，主要坑道を対象に計算を行った．熱源として，トンネル壁面（岩盤温度），湧水，通気網解析で設定した換気ファンを設定した．この際，深度増加による空気の圧縮熱も考慮している．

掘削中の処分坑道を対象に主要換気経路の温熱計算を実施した結果を図-4 に，廃棄体定置中および埋め戻し中の処分坑道を対象に主要換気経路の温熱計算を実施した結果を図-5 に示す．

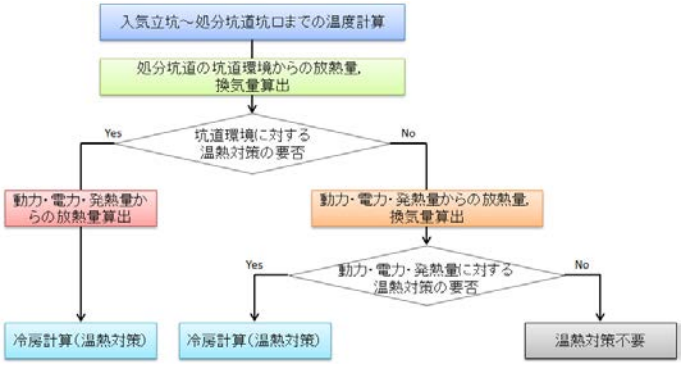

図-3　温熱計算フロー

キーワード　地下施設，温熱対策，地熱，機械熱，廃棄体の発熱
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

両者の主な違いは坑道延長，坑道に設置した換気ファンの台数である．作業場となる処分坑道の，坑口空間温度（図中，主要坑道温度）は深度 1,000m における岩盤温度である 45℃付近まで上昇する結果となった．

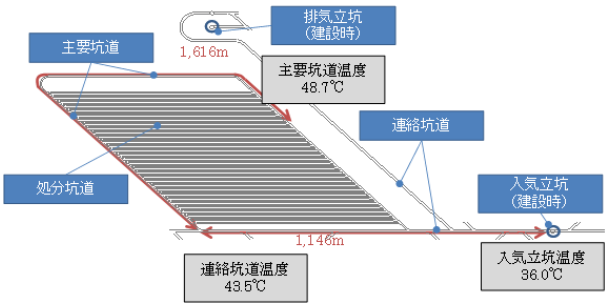

図-4　掘削中処分坑道までの坑道空間温度

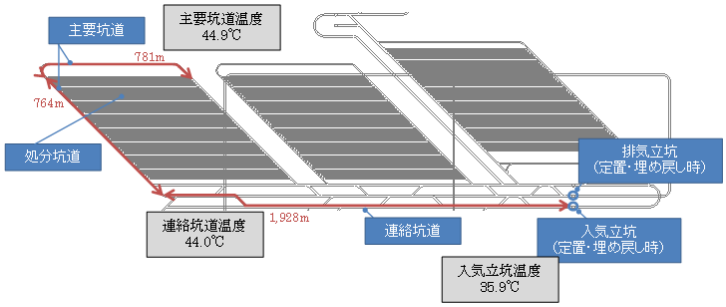

図-5　定置・埋め戻し中処分坑道までの坑道空間温度

５．処分坑道の温熱対策

処分坑道内の岩盤温度は前述のとおり 45℃，このほか掘削中の処分坑道では，熱源として掘削ずり，湧水，吹付けコンクリートの水和熱を考慮したトンネル壁面（岩盤温度），機械（想定される作業のうち動力が最大となる吹付けコンクリート工の施工機械と，換気ファンを設定），照明，作業員からの放熱を設定し，全放熱量に対する冷房負荷を算出した。

定置中の処分坑道では，熱源としてトンネル壁面（岩盤温度），湧水，照明，作業員からの放熱，廃棄体の発熱を，埋め戻し中の処分坑道では，熱源としてトンネル壁面（岩盤温度），湧水，機械（吹付けコンクリート工と同じ施工機械編成と，換気ファンを設定），照明，作業員からの放熱，廃棄体の発熱を考慮して，全放熱量に対する冷房負荷を算出した。なお，処分坑道内の掘削，定置，埋め戻しの各作業スペースを考慮し，冷却設備によって冷却する区間長（以下，冷房区間）は 100m と設定した。熱源毎に冷房負荷を比較した結果を図-6 に示す。

坑道壁面からの放熱に対する冷房負荷は，吹付けコンクリートの水和熱を考慮した掘削中の処分坑道が最も大きくなることが予想されたが，水和熱影響よりも風速による坑道壁面の熱伝達率の変化の影響を受けて結果が逆転した。一方，冷房負荷を増大させている主要因は機械熱であり，冷房負荷を減少させるためには機械熱に対する対策が必要との結果を得た．

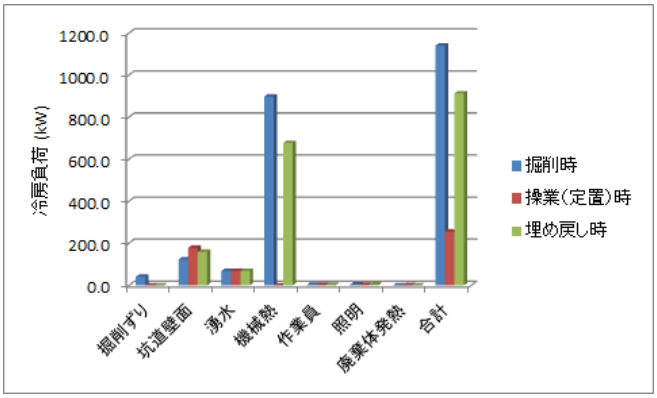

図-6　熱源別の冷房負荷比較

６．まとめ

検討条件として地下施設の深度を 1,000m，岩盤の温度勾配を 3℃/100m と設定した本検討では，地上からの送気温度を 15℃に設定しても主要換気経路の地熱，深度増加による空気の圧縮熱，機械熱（本検討では換気ファン）の影響を受け，作業場である処分坑道に至るまでに空間温度が岩盤温度 45℃付近まで上昇する結果となった．処分坑道では，管理温度 37℃まで冷却するための温熱対策について検討した．冷房負荷に対して冷房能力を有する冷房設備の設定は可能との結果を得たが，熱源のうち機械熱（吹付け工の施工機械編成と換気ファン）の影響が大きいことが課題となった．

冷房負荷を減少させるため，設定した施工機械編成を同時稼働させないなどの対策を講じることは可能であり，温熱対策を含めた施工計画の立案が必要である．

参考文献

1) 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．

2) 勝又ら：地層処分場 地下施設の換気システムの成立性検討（その２ 通気網解析），土木学会第 71 回年次学術講演会，投稿中，2016 年 9 月．

3) 建設業労働災害防止協会：新版 ずい道等建設工事における換気技術指針，2012 年 3 月．