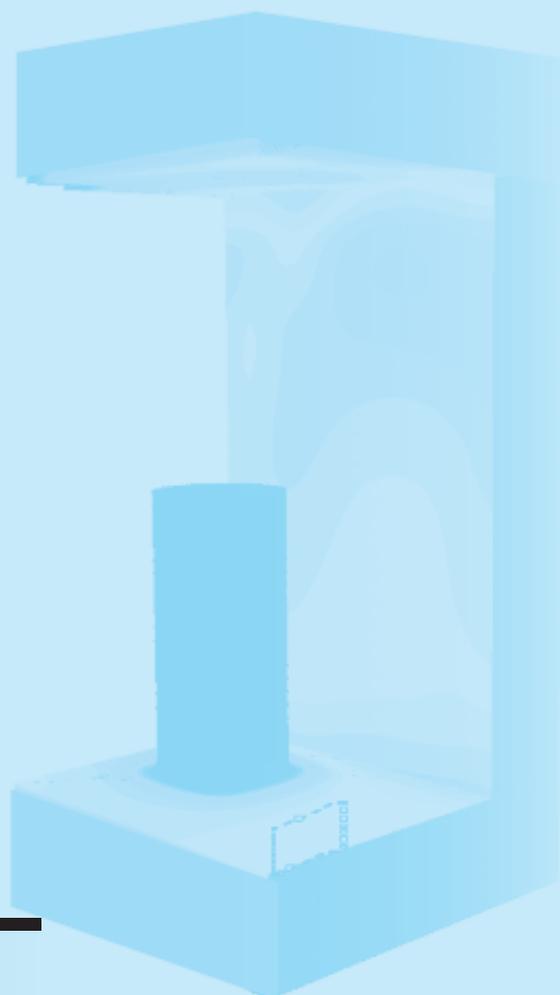


## 第8章

# ボールド貯蔵および トンネル貯蔵技術



8-1 浅地下ボールド貯蔵 .....	120
8-2 トンネル貯蔵施設の熱流動解析 .....	121

## 8-1 浅地下ボルト貯蔵

我が国では、使用済燃料の中間貯蔵施設の建設が急務である。中間貯蔵施設は、現在のところ、輸送用金属キャスクの地上建屋での貯蔵のみが許認可されている。一方、海外ですでに実施されているキャニスタの大容量貯蔵（ボルト貯蔵）を実用化すれば、貯蔵コストを下げることができる。また、その貯蔵を地下で行えば（浅地下ボルト貯蔵）、放射線遮へいの一部を地盤に期待できるとともに、斜面の多い敷地にも容易に立地できると期待される。

そこでまず、浅地下ボルト貯蔵の技術的、経済的、および許認可に関するフィージビリティについて検討した。

### (1) 技術的・経済的な基本的フィージビリティ

浅地下ボルト貯蔵の概念を構築し、貯蔵容量2000tUの貯蔵施設計画を設定して、基本的成立性について技術的および経済的に検討した。図8-1-1に急斜面地形の場合の施設配置例を示す。

#### (a) 放射線遮へい性能と除熱性能

中間貯蔵施設に必要な基本的安全機能のうち、浅地下ボルト貯蔵に特徴的な放射線遮へい性能と除熱性能について確認した。地盤は、厚さ1m以上で放射線の透過を十分に遮断できた。また、通気路のストリーミングを地上施設と同様に屈曲構造などで十分に低減できた。除熱については、キャニスタの発熱量、高温空気の浮力、通気の圧力損失を考慮した検討から、自然対流除熱設計

の成立性を明らかにした。

#### (b) 経済性

経済性の検討のために、急斜面地形となだらかな地形条件を設定し、中間貯蔵施設を地上式とするケースと浅地下式とするケースのコスト比較を行った。急斜面地形では、トンネル掘削方式、なだらかな地形では開削方式とした。比較の結果、急斜面地形でもなだらかな地形でも、地上式と浅地下方式はほぼ同等の経済性であった。

### (2) 許認可に関するフィージビリティ

我が国でまだ指針化されていないキャニスタ貯蔵や、その浅地下貯蔵の許認可を実現するために必要な検討課題のうち、キャニスタのSCCによる密封機能の喪失回避、ならびに地下空洞構造物の耐震性評価法を検討し、フィージビリティを明らかにした。

#### (a) キャニスタのSCC問題への対応オプション

- ・コンクリートキャスクにおけるキャニスタのSCC検討において、付着塩分量が限界値以下で腐食が発生・進行しないことなどが解明されている。この具体的なデータを採取して評価するなどにより、許認可が実現される可能性が高い。
- ・密封機能喪失の懸念を除くために、SCCを避ける構造の二重キャニスタについて、除熱性を解析評価した。二重化により除熱性能が低下するが、伝熱フィンを取り付けた場合には、一重キャニスタと同等であり、技術的に成立した。

#### (b) 地下空洞構造物の耐震性評価法

日本で浅地下ボルト貯蔵を実現するためには、許認

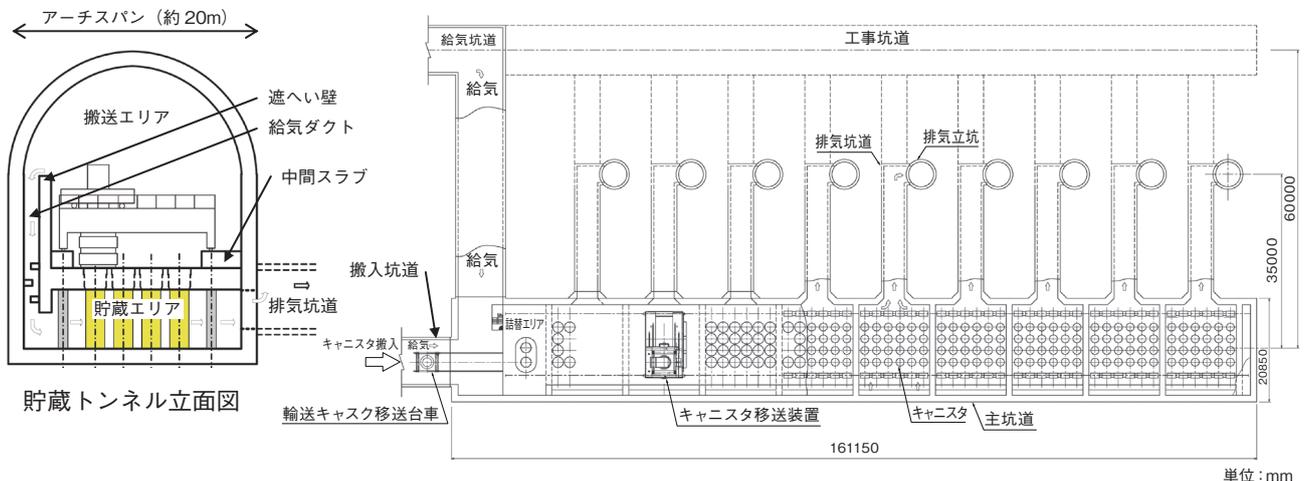


図8-1-1 急斜面地形の場合の施設配置例（平面図と立面図）排気立坑高さ65m以上

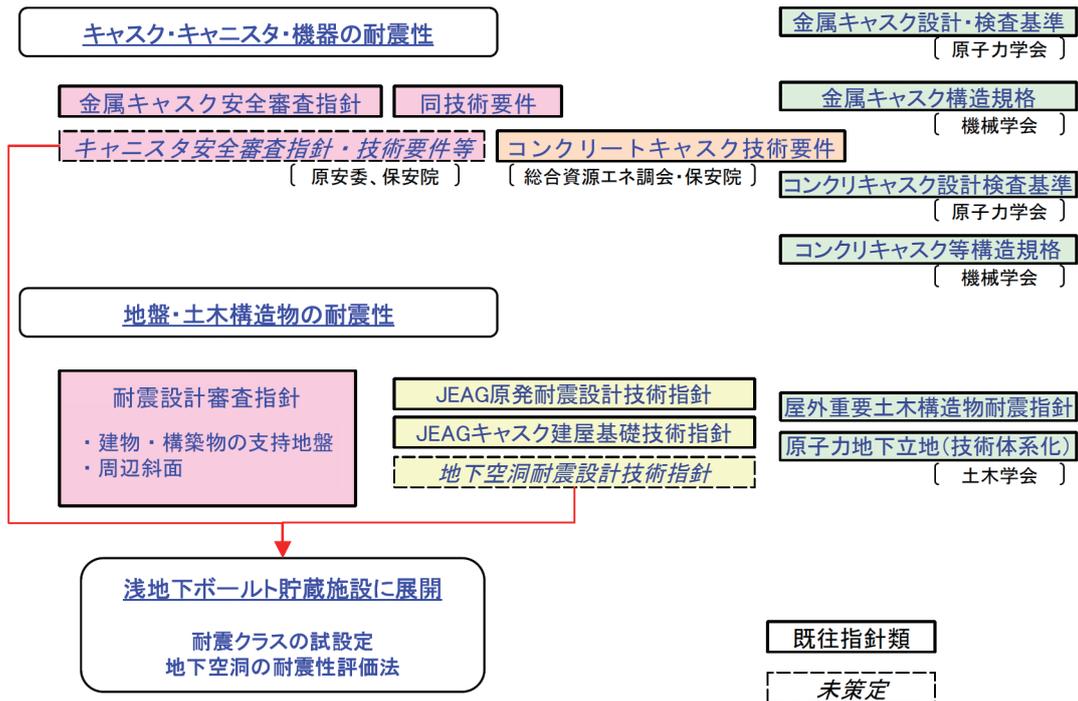


図 8-1-2 浅地下ボルト貯蔵の耐震設計に関する国や関係機関・学会の指針類

可に先立ち、キャニスタ貯蔵の安全審査指針と浅地下ボルト貯蔵の耐震設計技術指針が必要と考えられる。図 8-1-2 に浅地下ボルト貯蔵の耐震設計に関する国や関係機関・学会の指針類を示す。これらについて耐震性評価法を中心に検討した結果、既往指針類との整合性を保って新たに必要な指針の素案例を構築することができた<sup>1)</sup>。

## 8-2 トンネル貯蔵施設の熱流動解析

自然対流冷却を活用する使用済燃料トンネル貯蔵施設における熱流動評価では、従来の地上施設に対して適用されてきた熱流動解析手法を改良して、新たな解析システムを構築する必要がある。この解析では、2種類の熱流動解析コードを組み合わせて評価を行う。まず、施設内の風量や温度の概略分布をフローネットワーク解析コードにより計算し、これに基づいて空気温度が高くなると予想される貯蔵室（エリア）に対して、さらに3次元熱流動解析コードを用いて詳細解析を行い、その結果からキャニスタ（キャスク）や壁の最高温度を評価する。本研究では、既存の複数解析コードに独自の解析モデルを導入して改良することにより、新たな解析システムを

開発した<sup>1)</sup>。

### (1) フローネットワーク解析コードの開発

全体の熱流動で使用するフローネットワーク解析では、まず、施設全体の流路を風道と節点により網目で表わし、網目全体における熱、力学さらに質量のバランスに基づいて、各風道の風量や温度などを求める。各節点では、流体の出入り合計が零になるように各網目（流れの起こる単一閉回路）の風量を設定する。この風量に基づき、各風道で出口空気の温度、湿度を算定する。次に、各風道の圧損や浮力などを考慮し、各網目で圧力がバランスするように網目風量を修正する。各網目の風量が収束されるまで、以上の計算を繰り返す。この解析では、湿分輸送式が組み込まれ、さらに空気流と岩盤との間の伝熱および水分の蒸発・結露による熱授受などが考慮されている。

フローネットワーク流動解析コードとしては、既存の鉱山トンネルの評価で実績のある単一トンネルを対象とした1次元熱流動解析コード（TRANCLIM）と、複数トンネルを対象とするフローネットワーク流動解析コード（VENTCLIM）を合体し、さらに収束や精度などを改善して、新たなコードを開発した。このコードにより、

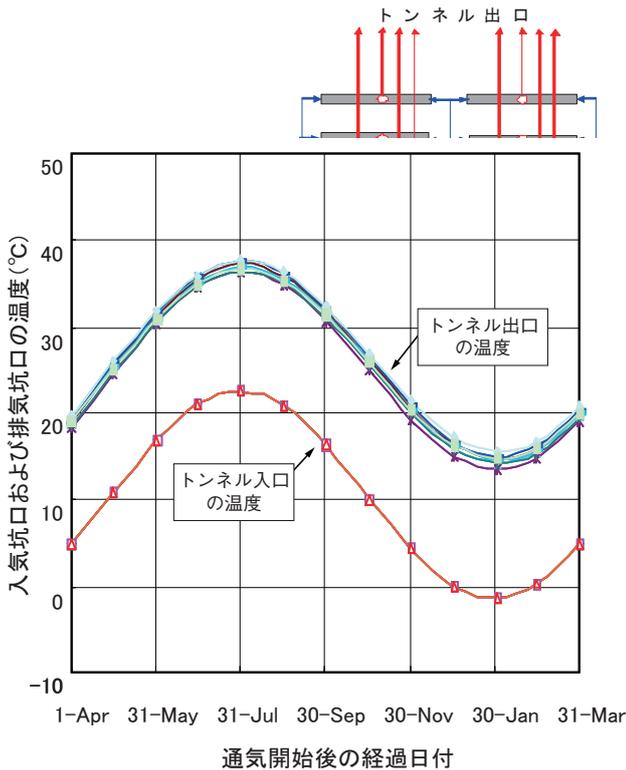


図 8-2-1 トンネル貯蔵施設出口の年間温度変化

トンネル貯蔵施設の複雑な流路における空気の流れと温度の分布が評価できることとなった。地下トンネル貯蔵施設における年間のトンネル出口温度変化を計算した例を、図 8-2-1 に示す。外気温度が冬季に低温、さらに夏季に高温になるに従い、トンネル出口温度が変化の様子が捉えられた。なお、元となる解析コードは、鉱山トンネルなどの評価に適用された実績を有することから<sup>3)</sup>、本コードは貯蔵施設の許認可にも適用可能と考えられる。

### (2) 3次元熱流動解析コードの開発

フローネットワーク解析で得られた空気の流れと温度を入口条件として、貯蔵室におけるキャニスタ周りの詳細な3次元熱流動を解析し、キャニスタ表面と壁面の温度が許容値以下になっていることを確認する。ここでは、既存の汎用3次元熱流動解析コード(Phoenix)を流用し<sup>4)</sup>、新たに湿分の輸送式をカップリングするとともに、空気と周囲岩盤との水分の蒸発・結露による物質移行と熱授受のモデル式を導入している。これらの改良により、3次元空間における湿り空気の伝熱流動が評価可能となり、水分の蒸発量や結露量の分布も算定できることとなった。既存の汎用コードには、湿り空気の伝熱

流動の評価が可能なものはない。図 8-2-2 に単純化された貯蔵室における水分付着の計算例を示す。床の隅の部分で結露が起こりやすいことが示されている。なお、湿った空気により貯蔵室を冷却すると、乾燥空気で冷却する場合に比べて、出口空気の温度が数℃程度上昇することが分かった。このコードでは、水分やエネルギーの出入りのバランスを評価し、計算結果が妥当であることを確認している。図 8-2-3 にキャニスタ伝熱試験<sup>5)</sup>に対する解析結果の比較を示す。キャニスタ表面の温度分布や最高温度がよく模擬できている。図 8-2-4 にはキャニスタ周りの平面における速度分布の解析例を示す。キャ

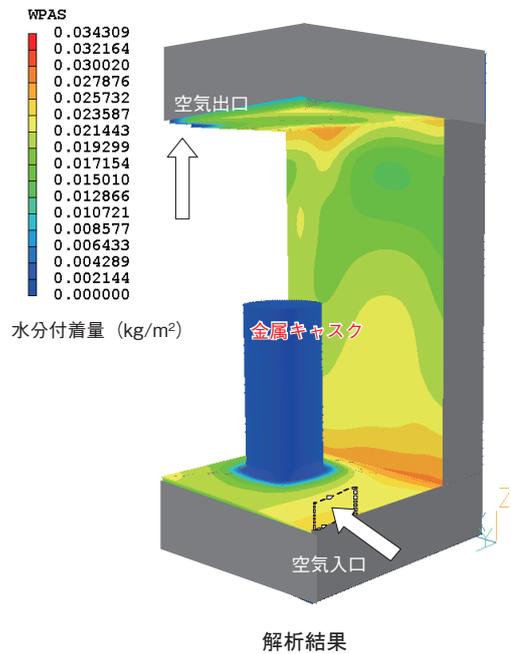


図 8-2-2 貯蔵室内水分付着量 (kg/m<sup>2</sup>) の計算

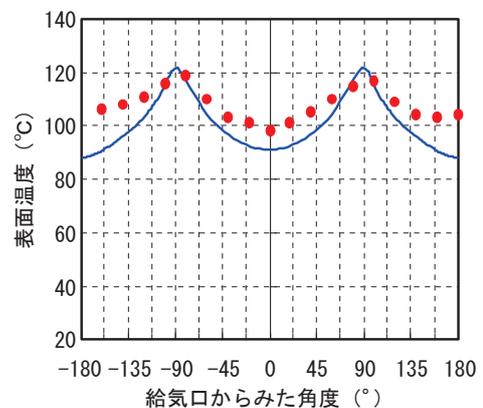


図 8-2-3 キャニスタ円周表面温度の比較 (赤点：試験結果、青線：解析結果)

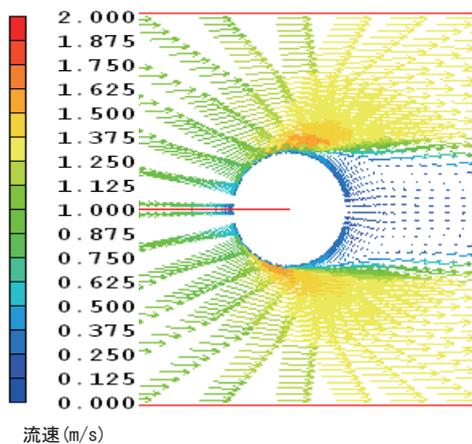


図 8-2-4 キャニスタ周りの流速 (m/s) 分布

ニスタの後背部では流れが淀み、また、両側部では流速が早くなっている。これらは、円柱周りに発達する流れをよく再現している。

## 参考文献

### 8-1

- 1) 新 孝一他：使用済燃料の浅地下ボールド貯蔵方式のフイージビリティに関する研究、電力中央研究所研究報告 N07015、2007 年 12 月。

### 8-2

- 1) 古賀智成、田村英寿：使用済燃料トンネル貯蔵施設を対象とする熱流動解析コードの開発、電力中央研究所研究報告 N07014、2007 年 12 月。
- 2) 平松良雄：通気学、内田老鶴園新社、昭和 49 年発行。
- 3) 天野勲三、水田義明：トンネル内気象の予測計算、土木学会論文集 387/II-8、pp.219-228、1987。
- 4) PHOENICS Over View, CHAM Report, TR001.
- 5) Benhamadouche, S. et al. : Large eddy simulation of mixed convection around a vertical heated cylinder cooled by a cross-flow air circulation., Conference on Modeling Fluid Flow (CMFF' 06), The 13th Int. Conf. on Fluid Flow Tech., 2006.