

多連設坑道の設計の考え方に関する検討

日本原子力研究開発機構 正会員 ○青柳茂男 藤田朝雄
 電力中央研究所 正会員 新孝一
 東京大学 正会員 大久保誠介
 首都大学東京 正会員 西村和夫

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、**図1**に示すように、地下深部に数十本の坑道を並列に連続して配置することが予想される。このような地下深部の坑道群（多連設坑道）の仕様や離間距離は、「空洞安定性からの制限」、「廃棄体・緩衝材の温度からの制限」の2つの観点から決定される。「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ」（以下“第2次取りまとめ”という）¹⁾では、仮想の地質条件を用いた処分施設の概略設計が行われている。第2次取りまとめにおける、連設坑道の空洞安定性に関する設計手法を見ると、従来の双設トンネルなどの設計例にならい、坑道周辺の局所的な破壊現象に着目し、坑道間の相互影響がない離間距離を確保することを基本としている。また、従来の単一・双設のトンネルは、過去の実績や類似事例に基づき設計されている。一方で、多連設坑道は、数十本の坑道を並列に連続して配置するという過去に例の少ない構造上の特殊性を持ち、従来の単一・双設トンネルでは通常、重要でない坑道群全体の構造安定に関わる破壊モード（空洞群崩壊・地表沈下）が存在する。破壊モードが存在すれば、それに対する安全裕度を適切に設定することが設計の原則である。

以下、処分施設と構造的に類似している鉱山などの設計例を参考に、処分施設の実施設を念頭においた多連設坑道の設計の考え方について検討する。

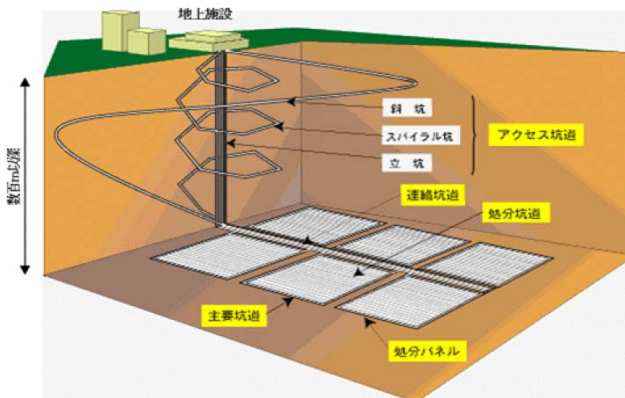


図1 処分施設の基本概念¹⁾

2. 多連設坑道の設計概念に関する検討

処分施設と構造的に類似している鉱山や採石場などでは、坑道間のピラー（鉱柱）や天端の連鎖的な破壊に伴う、地盤沈下や陥没といった施設全体の構造安定性を考慮した設計が行われている。また、現実として、大谷石採石場跡地では、それらに起因すると思われる地盤沈下や陥没が生じている²⁾。そういった地下深部の坑道群全体の構造安定性を評価する方法の一つに、採掘法の一つであるルーム・アンド・ピラー法で用いられてきた設計法がある。この方法では、坑道間のピラーの破壊に対する安全照査を、ピラーの強度とそれに作用する上載荷重を勘案して求めた安全率で評価している³⁾。構造安定に関する破壊モードに対して安全率を適切に設定するこの設計の考え方は、建物の柱や梁、斜面の安定評価などと同様である。新・大久保（2004）⁴⁾は、多連設坑道間のピラーの構造安定性に関する簡易的な評価を行っている。その中で、第2次取りまとめで示されている代表的な地質条件と処分坑道離間距離の設定値の組み合わせについて、坑道群全体の構造安定性に関する安全性検証という観点から試算を実施しており、その結果、地質環境や支保工等の仕様に関する条件次第では、ピラーの安全率が1.0を下回る場合があることを指摘している。

次に、道路トンネルなどでよく見られる近接の双設（めがね）トンネルの設計手法について検討する。2本の坑道が近接となる際には、坑道間にセンターピラーと呼ばれるコンクリート構造物を構築するなど適切な対策を講じ、一体の構造物として設計する場合がある。この場合、センターピラーは、ルーム・アンド・ピラー法

キーワード 多連設坑道 地層処分 ピラー 安全率

連絡先 〒319-1193 茨城県那珂郡東海村村松 4-33 日本原子力研究開発機構 地層処分研究開発部門 TEL029-287-0928

におけるピラーの設計と同様、ピラーの強度とそれに作用する上載荷重を安全率で評価して設計される⁵⁾。センターピラーに作用する荷重(P)は、数値解析と現場の計測事例に基づき、**図2**のように設定されるようになってきた。なお、上限が近接坑道全幅（1 Da）相当分の土かぶり荷重になるメカニズムについてはまだ解明されていないものの、その妥当性はいくつかの計測事例により確認されている⁵⁾。また、地盤条件と離隔にもよるが、多連設トンネルの場合、掘削順序の及ぼす影響が大きいことも明らかになっている⁶⁾。よって、処分施設において**図2**の考え方を適用すると、坑道群の中央付近に複合的な荷重が作用し坑道群の全幅分の土被り荷重が作用する可能性を否定することはできなくなる。仮にこれが正しいとすると、深度500mにて坑道中心間距離が13mで50本の坑道を並列に配置する（坑道群全幅650m程度）場合、坑道群中央部では500m分の全土被り圧が作用する可能性がある。

海外の地層処分関連の研究では、スウェーデンのSKBにて、花崗岩を対象としたピラーの安定性に関する検討を行っている⁷⁾。つまり、日本に分布する堆積岩より強度の大きい岩盤であるにもかかわらず、ピラーの安全裕度に着目した検討が進められている。

以上のように、処分施設の類似構造物に関する設計事例や海外の地層処分研究では、地下施設の設計に際して、坑道群全体の構造安定性に注意を払っている。よって、地下深部の坑道群周辺岩盤に関する実挙動が明確に判明していない現状を踏まえると、重要構造物である処分施設の実施設計に向けて、従来の局所破壊の検討に基づいた離間距離の設計結果が、坑道群全体の構造安定性に関してどれだけの安全裕度を持つかを評価し、必要に応じて適切な安全裕度を持つように、設計結果を見直すことができるよう、**図3**に示す設計の考え方に基づき設計体系を整備する必要がある。併せて、処分施設の供用期間は約100年にも及ぶことから、**図3**の設計の考え方に沿いつつ、坑道周辺岩盤の時間依存性挙動も考慮して、多連設坑道の離間距離や支保工の仕様を設計することが求められる。

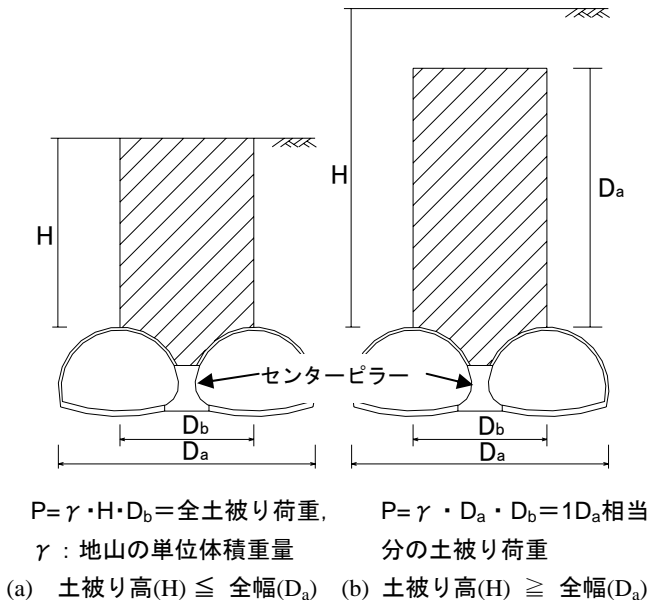


図2 センターピラーに作用する土被り荷重

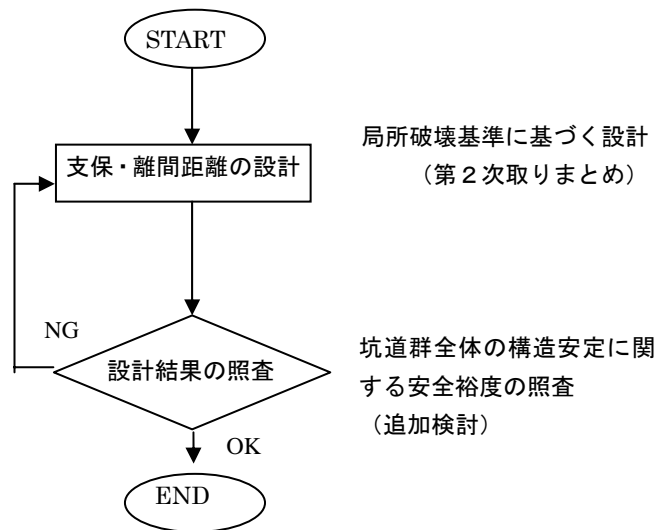


図3 多連設坑道の設計の考え方

3. 今後の課題

今後は、**図3**に示す設計の考え方に基づき、空洞周辺岩盤の時間依存性挙動を考慮した具体的な設計体系を構築するとともに、それらをベースとして、適切な安全率の設定、ピラーに作用する応力、ピラーの耐力といった実現現象に対する現象解明を進め、より合理的な設計手法へ更新していくことが求められる。

参考文献

- 1)核燃料サイクル開発機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 -地層処分研究開発第2次取りまとめ-、分冊2地層処分の工学技術、（1999）
- 2)中田文雄：大谷石採取場跡地の陥没に伴う野外AE現象、川崎逸郎教授退官記念論文集—応用地学の視点—、（1993）
- 3)E.Hook, E.T.Brown：岩盤の地下空洞の設計と施工、土木工学社、（1985）
- 4)新孝一・大久保誠介：水平に広がる空洞群の安全率について、資源素材2004(盛岡)講演論文集, A3-17, （2004）
- 5)酒井照夫ほか：めがねトンネルにおけるセンターピラーの補強設計、土木学会論文集III-68, （2004）
- 6)土門剛ほか：多連接小断面トンネル掘削を模擬した3連降下床実験、土木学会第53回年次学術講演会, III-B194, （1998）
- 7) C.D.Martin etc.: Rock stability considerations for siting and constructing a KBS-3 repository, SKB TR01-38, （2001）