

堆積軟岩における大深度立坑掘削時の崩落対策工の検討

大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体 正会員 ○萩原 健司, 南出 賢司, 名合 牧人
小川 弘之, 宇山 幹紀, 傳馬 啓輔, 木須 芳男, 森本 勤
(独) 日本原子力研究開発機構 工藤 元, 正会員 津坂 仁和

1. 概要

(独) 日本原子力研究開発機構は、北海道天塩郡幌延町において、堆積岩を対象とした高レベル放射性廃棄物の地層処分技術の研究開発を進めるため、深地層の研究施設を平成17年10月から建設している。図-1に示すように、本研究施設は深度500m程度の3本の立坑ならびに複数深度での水平坑道からなる。本工事は、平成26年3月まで、換気立坑(φ4.5m)および東立坑(φ6.5m)は深度250mから380mまで、西立坑(φ6.5m)については新規に掘削を開始し深度365mまで施工する計画である。平成24年3月末現在、換気立坑と東立坑を約350m、西立坑約50mまでの掘削を完了した。

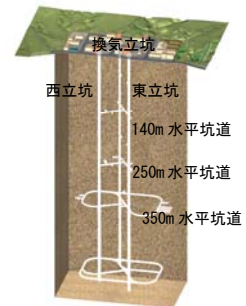


図-1 地下施設研究施設イメージ

筆者らは、先行して施工する換気立坑において、立坑掘削時に発生する崩落形態について調査し、報告した¹⁾。また、これらの崩落は断層破碎帯やブレイクアウトに起因し「高抜け」と呼ばれる、既設覆工コンクリート(以下、覆工)の背面地山の崩落を誘発する可能性があり、覆工の健全性に影響を与える可能性があることを報告した²⁾。本稿では、これらの崩落に対する、効果的で、安全性、施工性、経済性を踏まえた、合理的な対策工の検討結果を報告する。

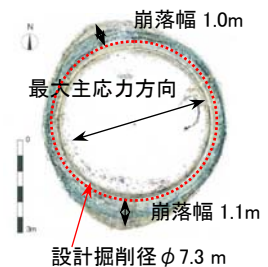


図-2 崩落状況断面投影図¹⁾

2. 施工状況

2.1 地山状況および湧水抑制対策工

研究施設近傍の地質は新第三紀～第四紀の地層で構成される。地質年代の

新しい順に更別層、勇知層、声間層、稚内層と続き、第Ⅱ期工事において、現在までに掘削した箇所は稚内層に相当する。稚内層は珪質泥岩からなり、一軸圧縮強度は5～25MPa程度、地山強度比は2～5程度となっている。本立坑近傍の地山は、側圧係数が東西方向1.3、南北方向0.9と異方性がある。また、事前に行った調査ボーリング結果により、複数の断層破碎帯の存在が確認されており、これらの断層からメタンガスを含む多量の湧水が予想されたため、超微粒子セメントを使用した湧水抑制対策工(以下、プレグラウト)を深度250mの坑底より実施し¹⁾、改良目標値(0.1Lu以下)を達成している。

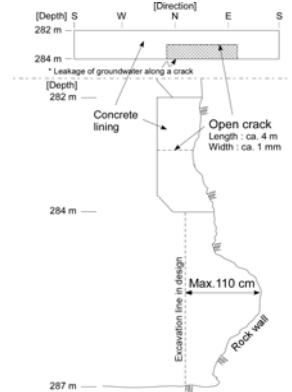


図-3 崩落状況縦断面図²⁾

2.2 施工手順

本立坑では、掘削1mを2回繰り返し、2mの覆工($t=40\text{cm}$, $f'_{ck}=60\text{N/mm}^2$)を打設するツーステップシンキングのショートステップ工法を採用している。本工事では、この覆工の下端部のコンクリート打設用の型枠設置、掘削機械と覆工用鋼製型枠の離隔等の必要最低限のスペースの確保として、覆工下端より1m先行して掘削しているため、最大3mがほぼ無支保の状態として掘削していることとなる。

3. 地山の崩落

3.1 崩落発生の原因

予想された断層破碎帯が、掘削中に出現した¹⁾。この断層破碎帯にはグラウト材も確認されており、湧水

キーワード 堆積軟岩, 大深度, 立坑, 地層処分, 断層破碎帯, ブレイクアウト, 高抜け

連絡先 〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進432-2 (独) 日本原子力研究開発機構 TEL01632-5-2022

の抑制は達成されていたものの、設計掘削仕上り面より 0.4m～1.2m 程度の奥行の崩落が発生した。また、換気立坑深度 274m～276m では南北方向（初期地圧の水平面内最小主応力方向）においても地山の崩落を確認した（図-2）。岩盤観察の結果、この南北方向の地山の崩落は、引張性割れ目が多く確認されることから、立坑掘削に起因する応力再配分に伴う応力集中（ブレイクアウト）によって発生した崩落であると考えた¹⁾。また、換気立坑の深度 284m～287m で発生した崩落（図-3）は、掘削切羽直上の既設覆工下端から地山を抉るように発生しており、既設覆工背面の地山が崩落する、高拔けを誘発する可能性があった。

3.2 水平クラックの発生

地山の崩落が設計掘削面より奥行 1.1m と、大きく崩落した地山の直上の覆工に、長さ 4m、幅 1mm 程度の水平クラックが発生した。これは、図-1 に示すような高拔けに覆工が耐えた結果、発生したと考えられた。

そこで、このような覆工の健全性に大きな影響を与える地山の崩落を抑制する対策工の検討を行った。

4. 崩落対策工の検討

表-1 に示す通り、対策工の比較検討を行った。ロックボルト案は、半径方向外向きの拘束力を地山に与え、地山を三軸状態にして地山の応力状態を改善させる案である。ブレイクアウトには効果的であると考えたが、ブレイクアウトを実施した断層破碎帯区間においては、穿孔した孔が水みちとなり、坑内に多量の湧水を流入させてしまう可能性や被圧した地下水やメタンガスが噴発し、作業の安全性が著しく低下する可能性がある。但し、断層破碎帯以外の区間においては有効であると考えたため、一部区間において試験的に施工している。また、吹付コンクリート案は、他の対策工と比較して、経済性、工程への影響が大きい。

覆工長の短縮案は、通常 2m（無支保区間最大 3m）の掘削長を 1m（無支保区間最大 2m）として、1m の掘削と 1m の覆工打設を繰り返す方法である。この対策工は、地山の裸坑状態での解放時間を短縮するとともに、掘削影響範囲を小さくする効果を期待したものである。但し、1m 覆工に変更することで岩盤の安定性は改善される一方、原設計より早期に覆工コンクリートを打設するため、覆工に発生する応力の最大値および発生モードの変化を確認、予測する必要がある。そこで、3次元 FEM 解析を行って、覆工の健全性を評価し、2m 覆工と比較して覆工内に生じる応力が小さいことを確認し、実施することとした。施工段階では、予め A 計測や B 計測（覆工応力計）の変更計画を立案し立坑の健全性を確認しながら施工を行っており、現状、1m 覆工では変状は認められておらず、覆工応力も許容値（ $0.4 \times f'_{ck} = 24 \text{N/mm}^2$ ）以下となっている。

表-1 崩落対策工の比較

対策案	ロックボルト案	吹付コンクリート案	覆工長の短縮案（2m→1m）
概要	・深度1m毎に14本のロックボルトを等間隔で打設 ・1ブーム削岩機を毎回地上から搬入	・厚さ10cmの吹付コンクリートを追加 ・吹付機械を毎回地上から搬入	・1掘削長を1mとして、1m掘削と1m覆工を繰り返す ・新たな設備は不要
品質・確実性	・ブレイクアウト現象には効果的であると考えられるが、その定量評価が困難 ・破碎帯中に施工したロックボルトは湧水に伴い破碎部が土砂状に流出し効果が発現されない	・岩盤の安定性に効果的である	・岩盤の安定性に効果的である
工程	通常サイクル+9%	通常サイクル+24%	通常サイクル+14%
経済性	+10%	+28%	+13%
施工性 安全性 その他	・長さ3mまでは施工可能だが、穿孔した孔から被圧した地下水が噴出する可能性がある ・破碎帯の流出対策が別途必要（吹付併用の検討が必要）	・施工可能であるが、研究項目である岩盤観察範囲に吹付が付着してしまう ・初期強度不足が懸念される（吹付厚の解析的検討が必要）	・覆工用移動式鋼製型枠は1m覆工にも対応済みであり、新規設備等は不要である ・覆工応力の算出、計測が必要
総合評価	×	△	○
	安全性が確保できない	工程、経済性で覆工長案より劣る	岩盤の安定性、工程、経済性で有効

5. 今後の課題

1m 覆工案は、健全な立坑を構築する対策工として有効であるが、工程が通常サイクル+14%、経済性が+13%であり、改善の余地が残されている。今後も、より効果的で、施工性、経済性が高い、支保パターン、補助工法等を検討し、堆積軟岩における大深度立坑の設計・情報化施工手法を構築していく。

参考文献 1) 津坂ほか (2012)：堆積軟岩における大深度立坑掘削に伴う壁面崩落現象，地下空間シンポジウム論文・報告集，第17回，pp.155-162 2) Tsusaka,K., et al. (2012)：An observational construction management in the Horonobe Underground Research Laboratory Project , Proceedings of the WTC 2012