



# 坑水発生源対策に向けた取組み

(2022.3.14 第23回 鉍山跡措置技術委員会 資料)

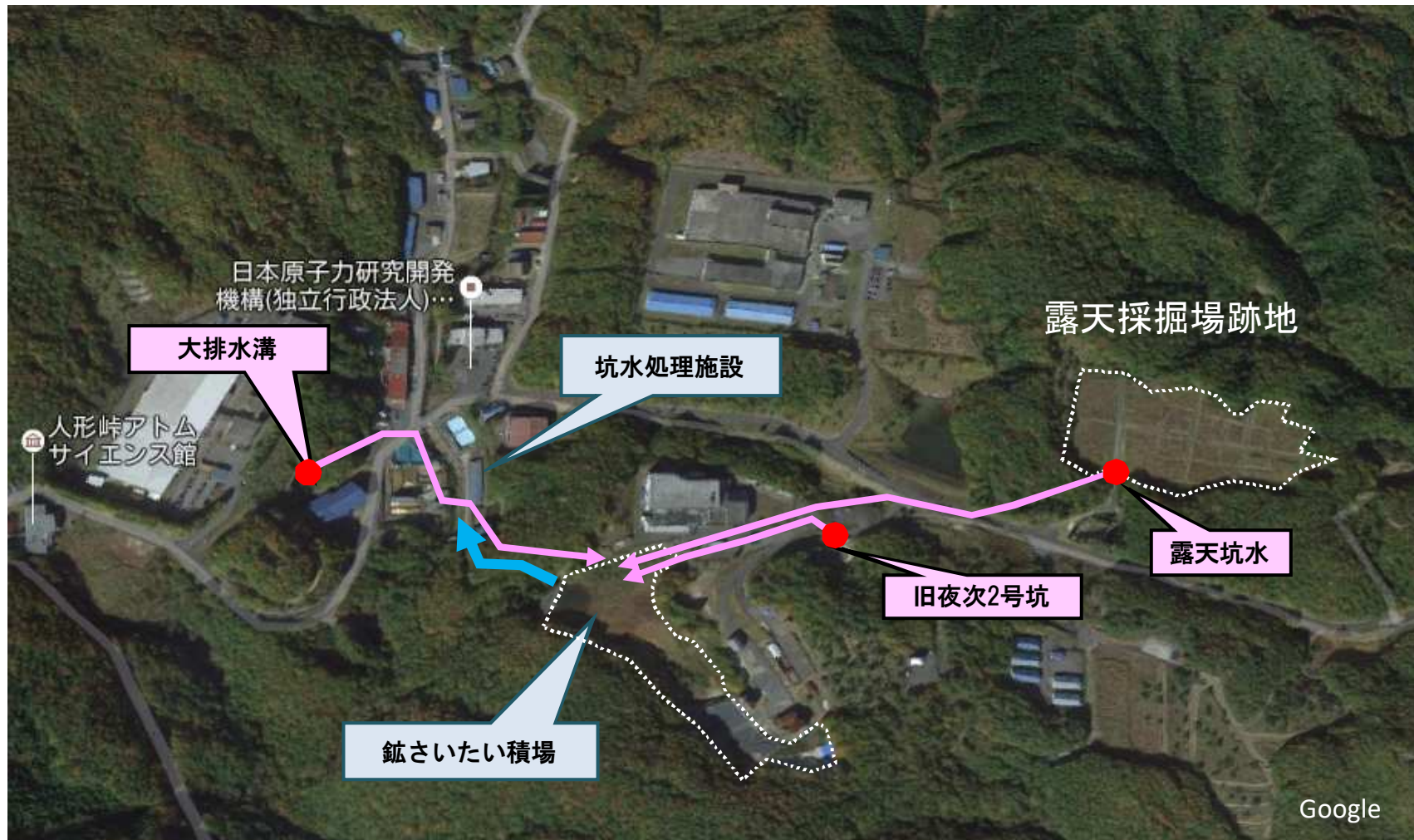
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
核燃料・バックエンド研究開発部門  
人形峠環境技術センター



# 目次

1. 坑水発生源対策にむけた取組み
  - ① 露天坑水の発生源対策
  - ② 旧夜次2号坑の発生源対策
  - ③ 大排水溝の発生源対策

# 坑水発生源対策



坑水処理の負荷となっている大排水溝、露天坑水、旧夜次2号坑の坑水の水量・水質（負荷量）を低減化して、将来の坑水処理の維持管理の負荷を減らすこと。



# 露天坑水の発生源対策

年度	審議事項(今までの取り組み)	調査で分かったこと
H21(第11回) H22(第12回)	<b>露天採掘場跡地の水収支の推定</b> ・ホーリング孔掘削、調査(北西部) ・地下水流入量、雨水浸透量を推定	・露天西側、北側から場内への暗渠からの水量がないことを確認。 ・ <b>「坑水量+地下水流出量」のうち地下水流入量、雨水浸透量の割合を推定し、雨水浸透量低減化が必要と判断した。</b>
H23(第13回) H24(第14回) H25(第15回)	<b>溶解性鉄の起源の調査</b> ・モニタリング孔の新設と水位、水質の測定 ・鉄鉱物の含有量調査 ・鉄の溶出しやすい成分の多寡(抽出実験) ・鉄の溶出試験(カラム試験)	・ <b>地下水面以浅を浸透する雨水が坑水中の高い鉄濃度に寄与しているとは考えにくい。</b> ・ <b>鉄の溶出には還元雰囲気が必要であり、鉱床ではなく捨石が起源と考えられる。</b> 露天採掘後期(ヒープリーチング)場所で鉄濃度が高い。
H26(第16回) H27(第17回)	<b>地下水の流動解析(Dtransu-3D・EL)</b> ・対策工(遮水壁)の効果予測 ・対策工(覆土)の効果予測 ・Ra濃度の同定解析 <b>化学反応解析(PHREEQC)</b> ・露天地下水と捨石の反応解析 ・ヒープリーチング処理水と鉄鉱物の反応解析	・ <b>遮水壁では水量低減の効果は望めない。</b> ・ <b>覆土工では現状の浸透率を26%として、20%で2割の水量低減、0%で7割の水量低減と予測。</b> ・覆土を施工した場合の予測解析を行い、水量は低減できると予測した。ただし、捨石以深までの地下水低減化は望めない。 ・露天坑水中の現状のRa濃度を再現できたが、露天周辺から流入するRaのバックグラウンドの問題が残る。 ・Fe濃度が発生する主要な反応系を把握した。
H28(第18回) H29(第19回) H30(第20回) R1(第21回)	<b>ラジウムの挙動調査</b> ・採掘場内外の地下水中の主成分濃度測定 ・採掘場内外の地下水中のRa濃度測定 ・コア試料分析  <b>ラジウム、ウラン、溶解性鉄、ヒ素の挙動と移行解析</b> ・対策工(覆土)の効果予測(Dtransu-3D・EL)	・地下水の主成分濃度は捨石分布範囲で高く、場外で低い。 ・地下水のRa濃度は捨石分布範囲の深部花崗岩で低く、堆積岩と花崗岩の不整合部付近でのRa吸着を示唆する結果を得た。 ・ <b>Raは砂岩と風化花崗岩の境界などの粘土鉱物に捕捉される。</b> ・ラジウムの移行は数十年の時間スケールの現象と推定。 ・覆土の効果予測では、ウランと溶解性鉄の濃度が現状より高くなる場合があるが、負荷量ではウラン、ラジウム、溶解性鉄、ヒ素のすべてについて現状より低減する予測となった。

露天坑水は、これまでの成果(水収支やシミュレーション)により雨水浸透抑制する覆土が効果が高いと推定されている。

# 露天坑水の発生源対策 (露天採掘場跡地の概要)

## ○経緯

- S32～35 坑道掘削によるウラン採鉱
- S52～62 露天採掘によるウラン採鉱  
→ 採掘深度は場所により異なる
- S54～63 露天採掘した鉱石からのヒープリングによるウラン回収  
→ 鉱石55,650tから39.5tU回収  
中和処理ののち残渣(以降、捨石と称す)を埋設、覆土、植栽

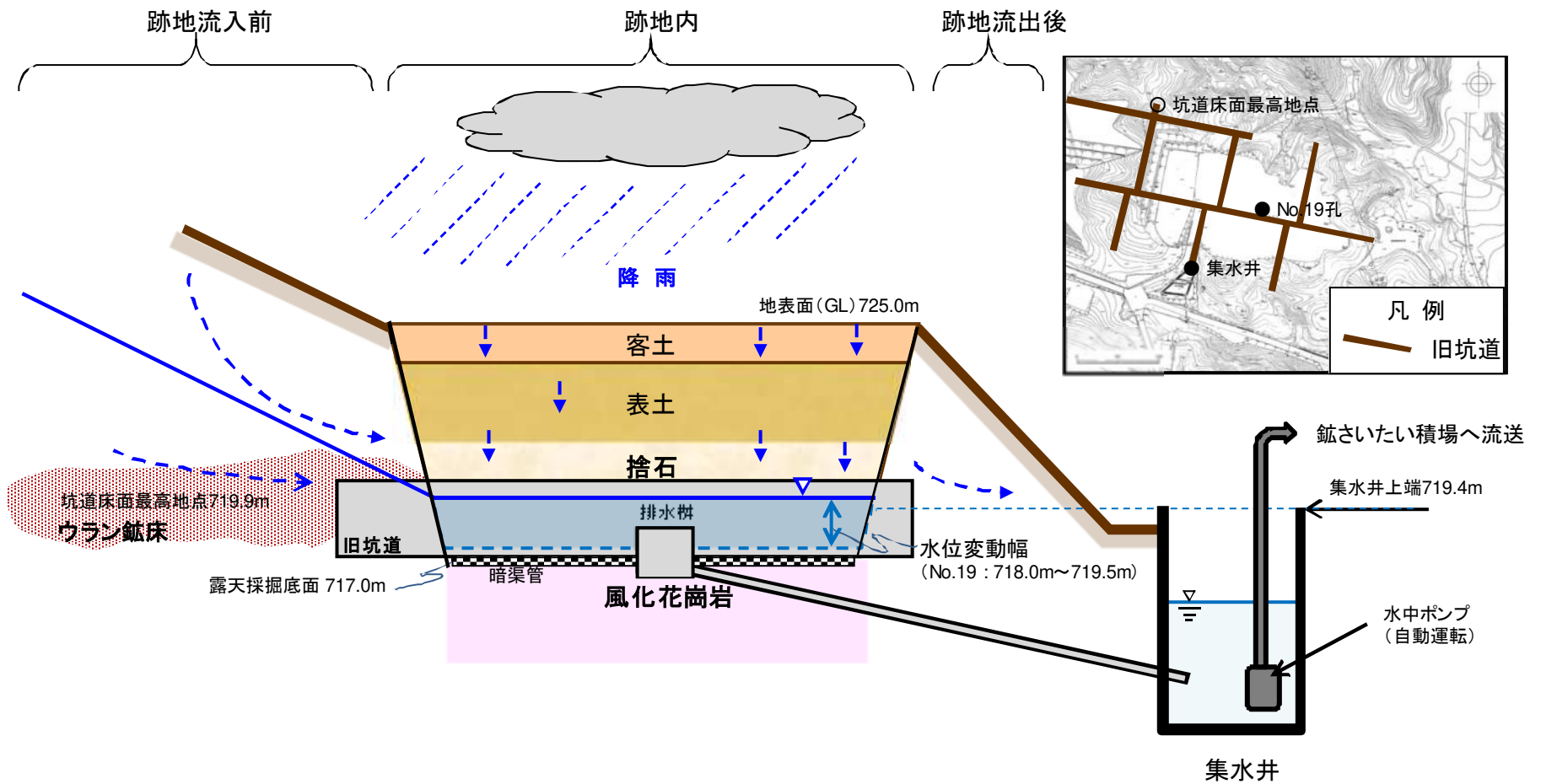
## ○現状

- ・ 規模 約29,600m<sup>2</sup>(E-W 約200m, N-S 約150m)
- ・ 旧坑道 排水用暗渠を設置し埋め戻し
- ・ たい積物 下位から捨石、表土(露天採掘前の地山。主に堆積岩)、客土(センター外から搬入したマサ土)
- ・ 坑水 暗渠により跡地南部の集水井へ集水し、のち鉱さいたい積場へ流送  
水量: 約2万m<sup>3</sup>/年  
水質: 鉄濃度(19.7mg/L)が法令値(10mg/L)及びセンターの定める排出基準値(1.0mg/L)を超過  
⇒ **将来における坑水処理の負荷低減化のため、水量低減化・水質改善が必要**



露天採掘場跡地

# 露天坑水の発生源対策 (露天採掘場跡地の概要)

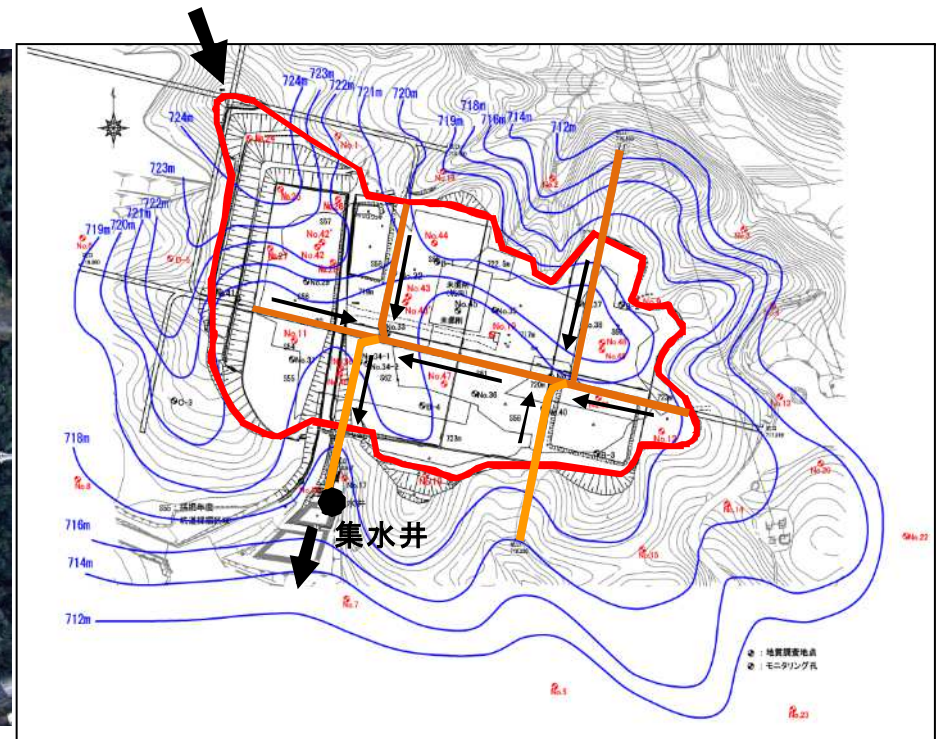


# 露天坑水の発生源対策

## 露天採掘場跡地内の水の流れ



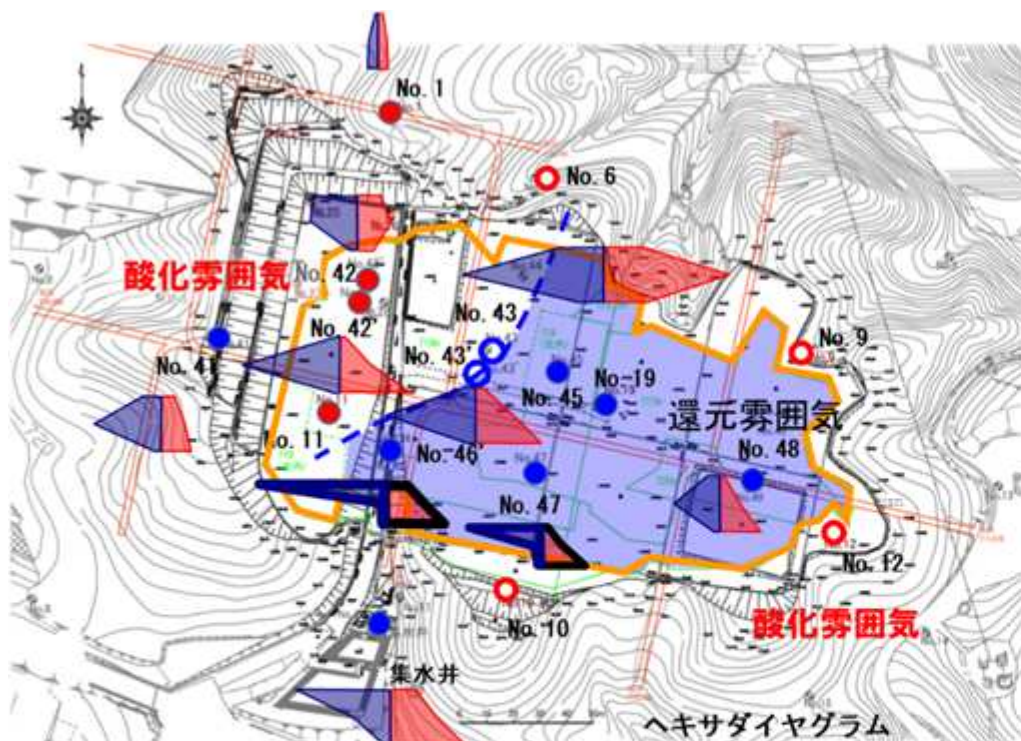
露天採掘場跡地空中写真



地下水面図(平成26年10月27日測定)

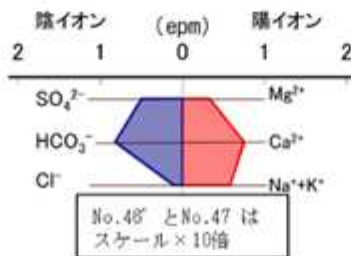
# 露天坑水の発生源対策

( 露天採掘場跡地内の水質分布 )

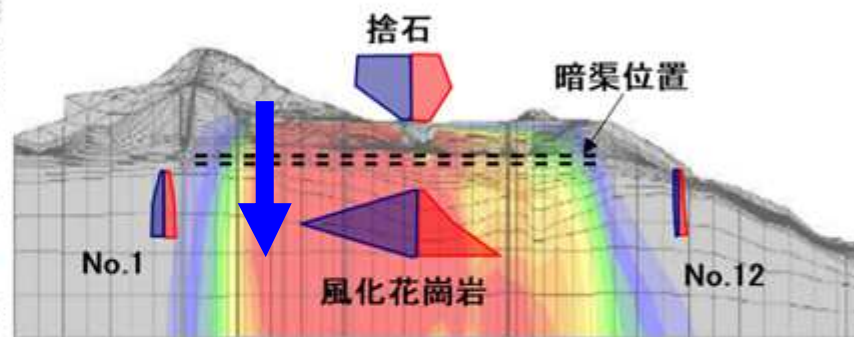


- 酸化雰囲気 (S-Fe 1mg/L未満)
  - 還元雰囲気 (S-Fe 10mg/L以上)
  - 酸化/還元両雰囲気
  - H24年度酸化確認
- (H25.12.20 採水結果)

水質分布図



雨水浸透はほぼ垂直方向






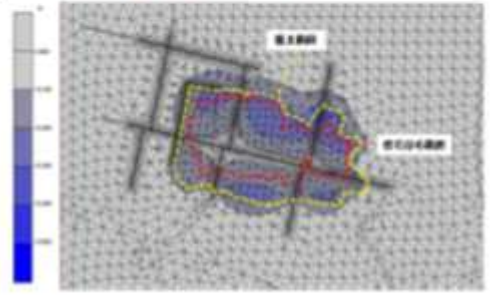
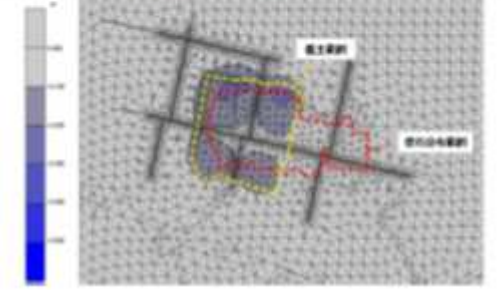
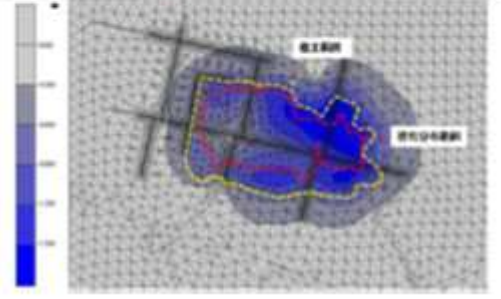
主成分濃度分布のイメージ図  
(Raが遅延しない場合の濃度分布図)

物質移行解析結果



# 露天坑水の発生源対策 露天覆土の効果予測

対策エシナリオ

<p style="writing-mode: vertical-rl;">対策図</p>	<p style="text-align: center;">Case1</p> 	<p style="text-align: center;">Case2</p> 	<p style="text-align: center;">Case3</p> 
<p style="writing-mode: vertical-rl;">対策による水位低下</p>			
<p>対策エシナリオ</p>	<p style="text-align: center;"><b>露天全体覆土対策 (浸透率=20%)</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>露天西側のみ覆土対策 (浸透率=20%)</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>露天全体覆土対策 (浸透率= 0%)</b></p>
<p>予測坑水量 (m<sup>3</sup>/日)</p>	<p style="text-align: center;">54.0 → 44.4</p>	<p style="text-align: center;">54.0 → 48.5</p>	<p style="text-align: center;">54.0 → 17.2</p>
<p>効果</p>	<p style="text-align: center;">約 82 %</p>	<p style="text-align: center;">約 90 %</p>	<p style="text-align: center;">約 32 %</p>



# 露天坑水の発生源対策

## 【取組み】

- ・ 雨水浸透抑制型の覆土の効果を事前検証する。

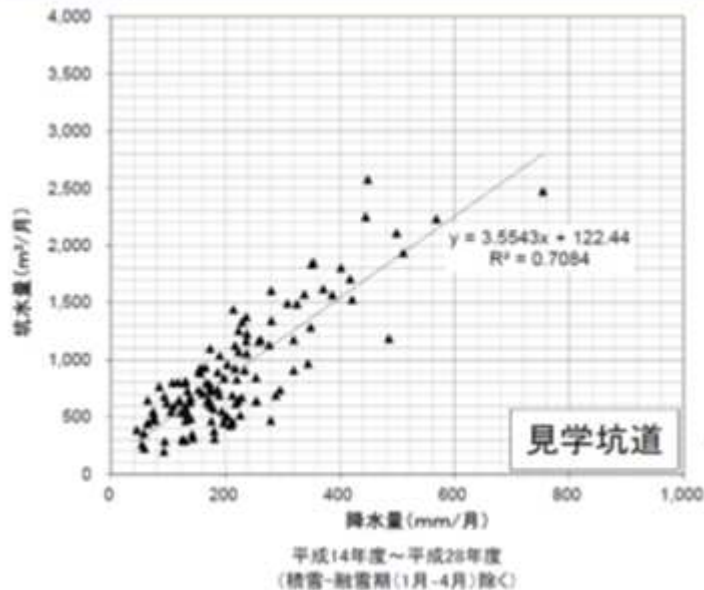
## 【方法】

- ・ 地下水位低下効果の高い露天堆積場西側半分をブルーシート等で覆い雨水が浸透しないように工夫して、地下水位変動と坑水発生量・水質変化を観測する。
- ・ 露天採掘場内の地下水位の変動は、15～30日の雨量との相関が認められる結果ことから、覆土効果は約1カ月後から現れると予測される（長期観測が必要）。
- ・ 「効果あり」と判断できれば、覆土の設計に着手。

# 旧夜次2号坑の発生源対策

## 旧夜次2号坑道(見学坑道)

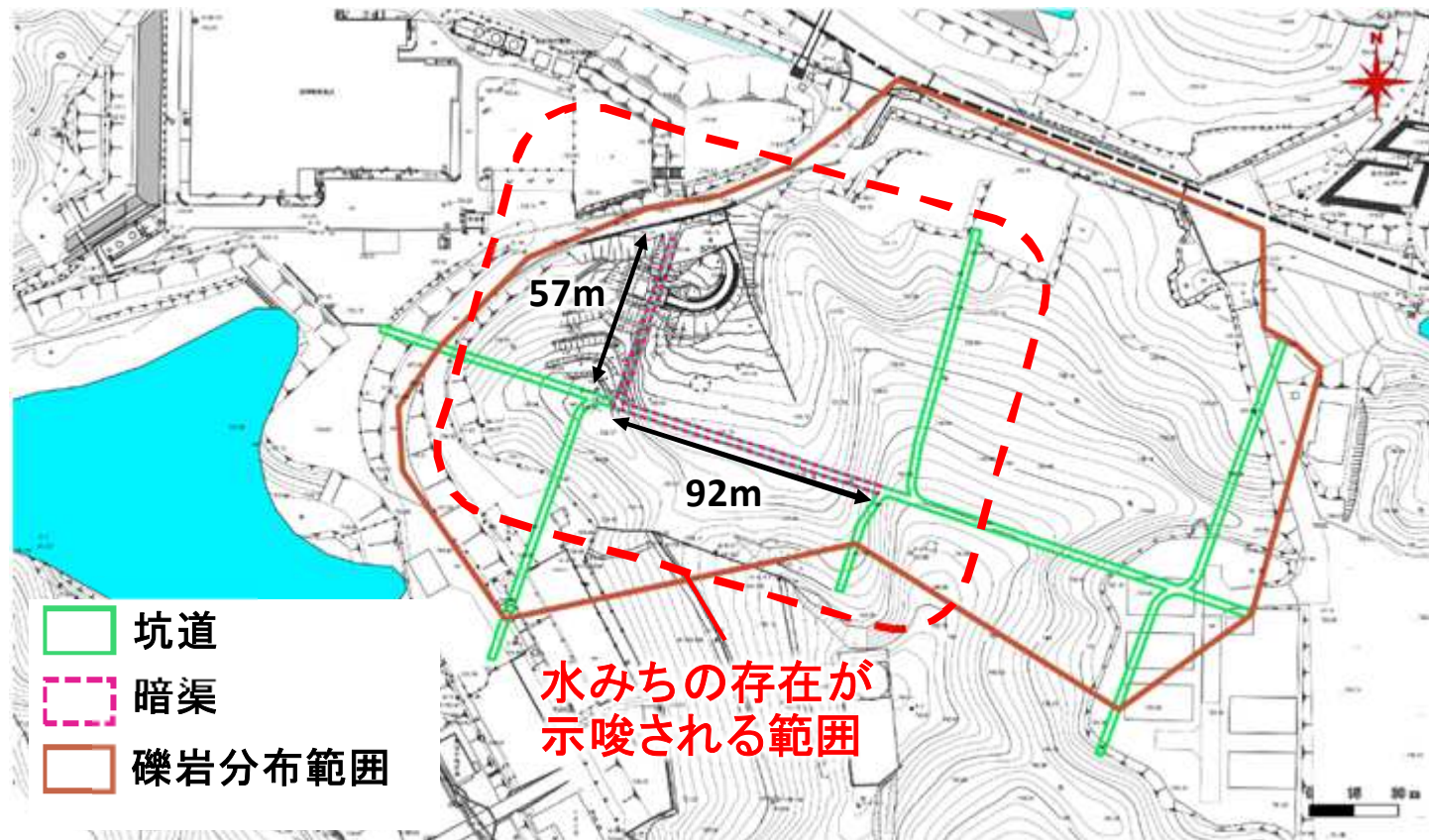
年度	審議事項(今までの取り組み)	調査で分かったこと
H27(第17回)	<b>現状の整理</b> ・直接放流の可能性の検討	・水質はラジウムのみが環境保全協定値を超える値である。 ・見学坑道の坑水は渇水期に河川へ <b>直接放流しても敷地境界における協定の管理目標値を超えないと推定</b> した。
H28(第18回)	<b>過去からの水質変化の整理</b> ・過去の経緯、水質の調査	・ <b>過去からの水質の変化を整理</b> した。昭和40年代の水質と比較し、ウラン・ラジウム濃度の最大値は約1/4に変化。
H29(第19回) H30(第20回) H31(第21回)	<b>夜次2号坑道に関する調査</b> ・涵養域に関する調査、研究 ・ボーリング孔の掘削、現場透水試験 ・浸透流解析、坑水量を対象とした逆解析	・ <b>起源は夜次2号坑周辺の降雨</b> と推定。 ・坑道周辺の地質構造を把握、 <b>坑道の上部に難透水層が存在</b> する。 ・各地層について透水係数を把握。 ・坑道の上部に水みちを仮定した場合の坑水量に整合的な結果となるため、水みちの存在を推定した。



旧夜次2号坑の坑水量は、降雨量と非常に相関が良い。調査結果及び浸透流解析結果から坑水量の供給源は旧坑道直上に分布する「陥没地」及び周辺と考えられている。

## 旧夜次2号坑の発生源対策

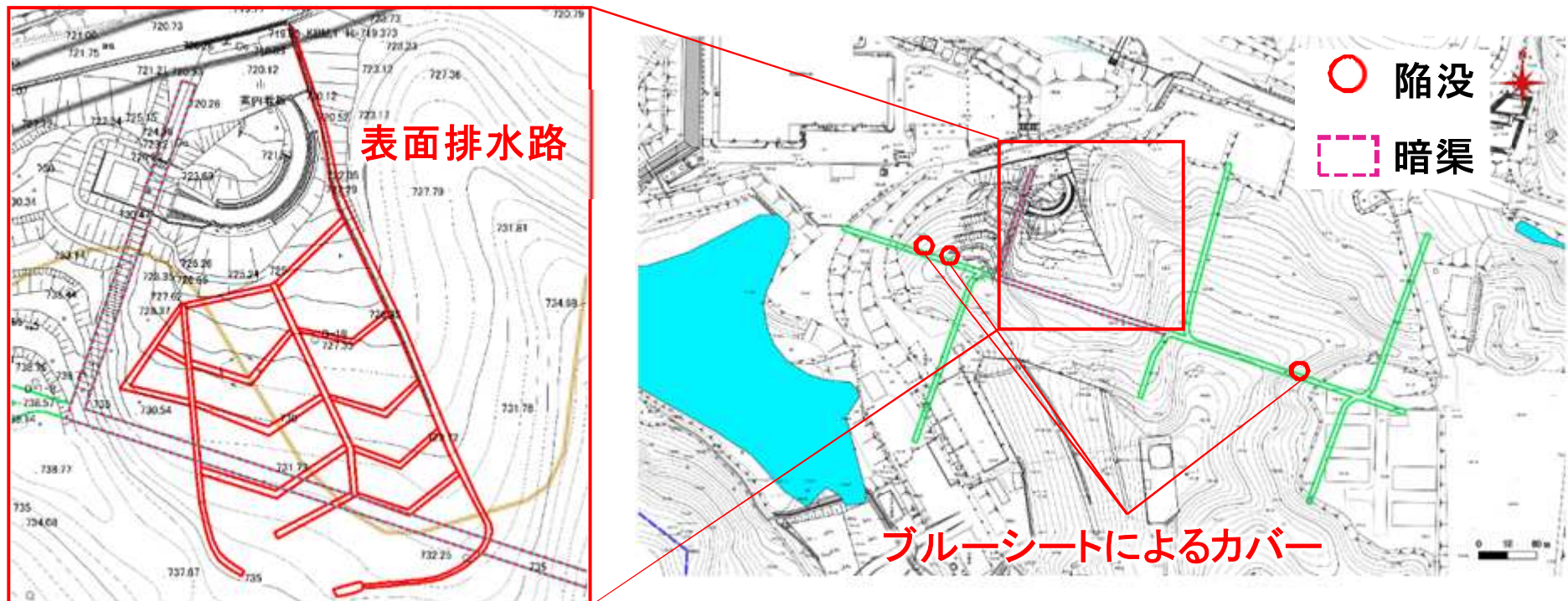
過去に実施した水文調査およびシミュレーション結果から、旧坑道内に  
布設された暗渠設置区間の礫岩層分範囲に**水みち**の存在が示唆された。



# 旧夜次2号坑の発生源対策

## 【取組み】

- ・陥没箇所および水みちと推定される場所への**ブルーシート**設置。
- ・暗渠への雨水浸透が多いと考えられる見学坑道周辺の谷部に**表面排水路**を配備。  
(表面排水路は、詳細設計前に土木シート等で事前の効果を確認する予定)
- ・より詳細な調査(簡易貫入試験、地質の再確認、シミュレーション等)の実施。



※「地すべり防止技術指針及び同解説」を参考



# 大排水溝の発生源対策

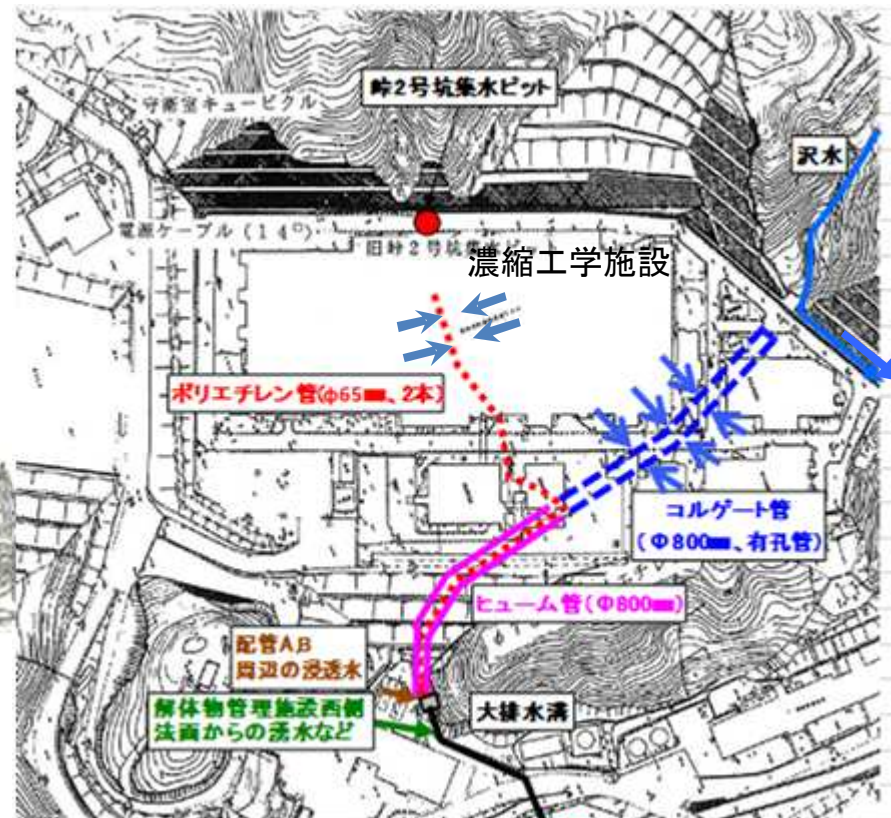
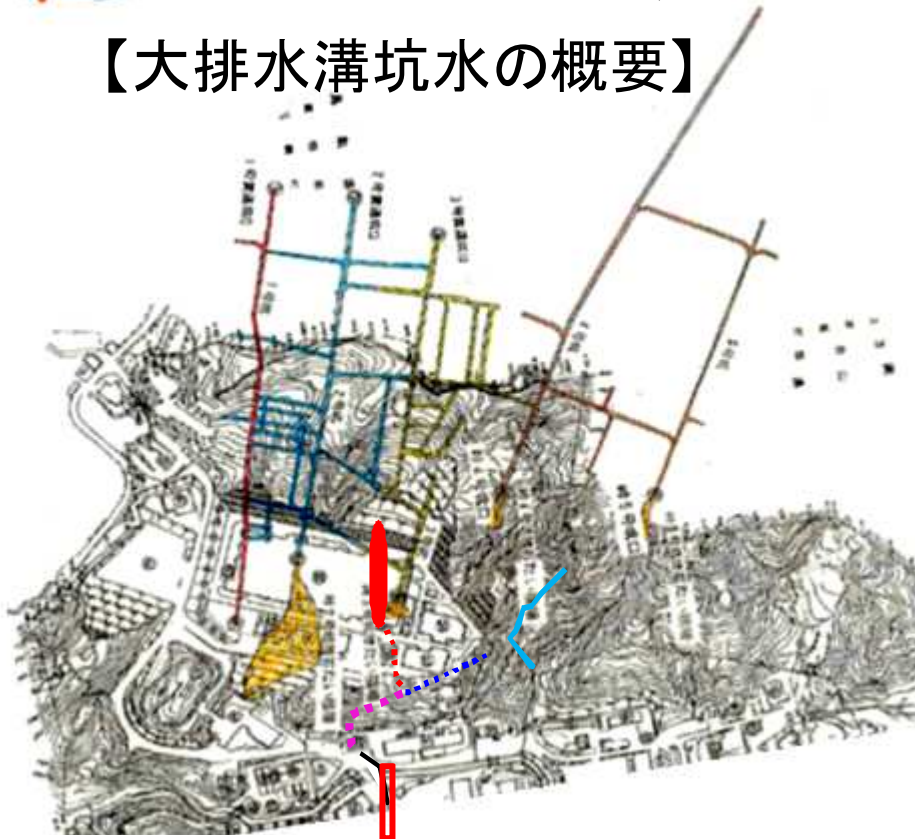
## 大排水溝

年度	審議事項(今までの取り組み)	調査で分かったこと
H27(第17回)	現状の整理 ・直接放流の可能性の検討	・水質はラジウムが環境保全協定値を超過し、溶解性鉄が瀬戸法の届出値を超過する。 ・大排水溝の坑水のうち、流量の少ない塩ビ配管A・B、法面湧水配管の坑水は渇水期に河川へ直接放流可能だが、流量の多い <b>ポリエチレン管・ヒューム管の坑水は直接放流できない</b> と推定した。
H28(第18回)	過去からの水質変化の整理 ・過去の経緯、水質の調査	・ <b>過去からの水質の変化を整理</b> した。昭和40年代の水質と比較し、ウラン・ラジウム濃度の最大値は約1/2に変化。

大排水溝の水量は、旧峠1～5号坑の坑道排水が影響していると考えている。

# 大排水溝の発生源対策

## 【大排水溝坑水の概要】



旧跡2号坑に係る坑水、浸透水であり、  
下記5か所からの集水している。

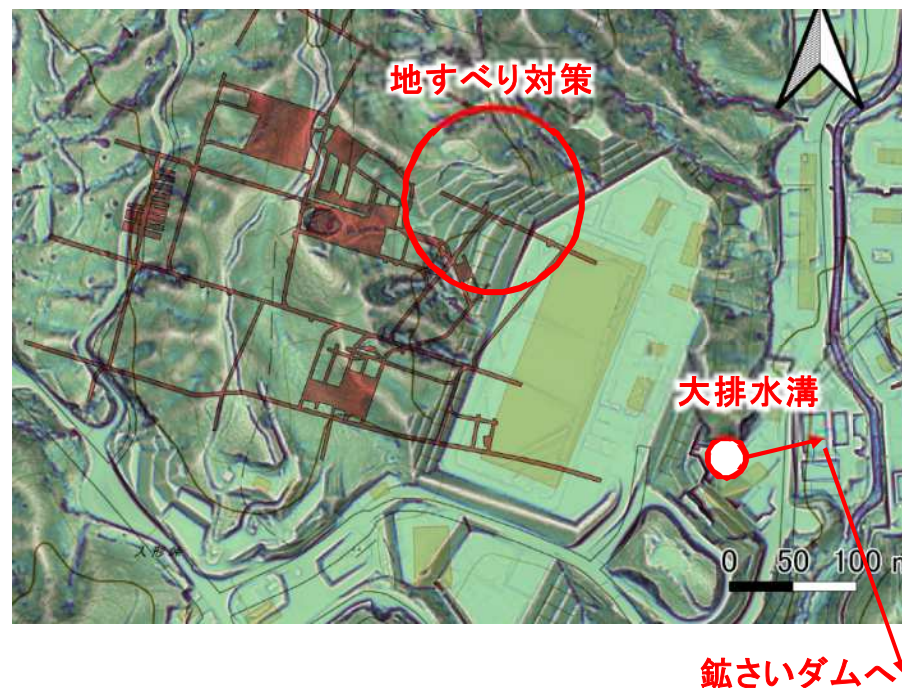
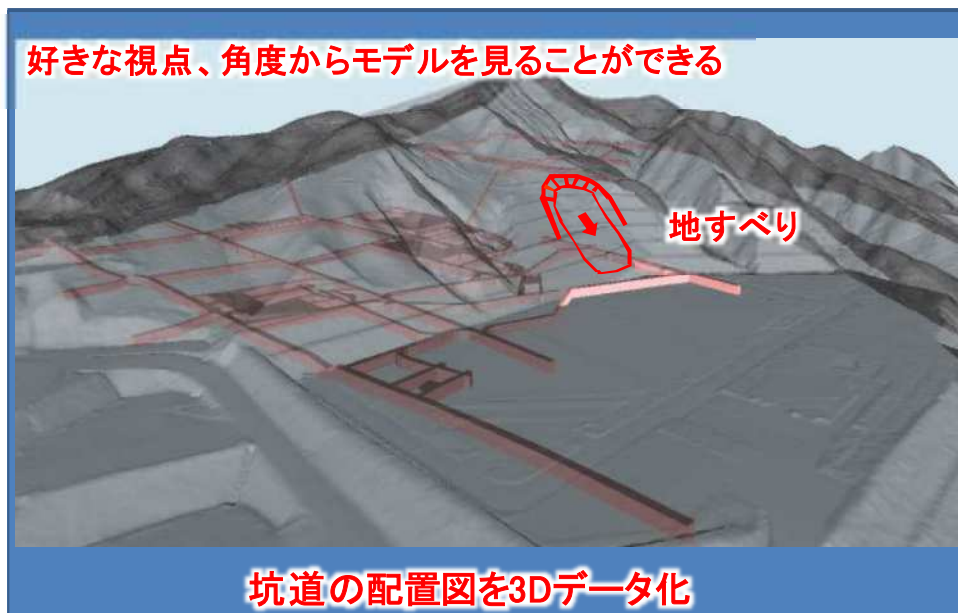
- ・ヒューム管
- ・ポリエチレン管
- ・配管A
- ・配管B
- ・法面湧水配管



ピットより鉋さ  
いたい積場へ  
ポンプ流送

# 大排水溝の発生源対策

## 1. 峠坑道のモデル化



### 【 峠坑道の3Dモデル作成の効果 】

- 大排水溝の発生源流域の地質構造や流域に分布する旧峠坑道のモデル化は、今後の対策工の効果予測や環境影響評価の実施を可能とする。
- 作成したモデルは世界測地系の座標管理ができていたため、今後、新たに取得するモデル情報に座標を与えることで、容易に一元化できるようになった。
- モデルスケールを容易に変えることができるため、全体を俯瞰したり、ある部分に着目する など、目的に沿った解析・評価が可能となった。



# 大排水溝の発生源対策

## 濃縮工学施設（EEF）西側法面の安全対策工事

### 工事目的

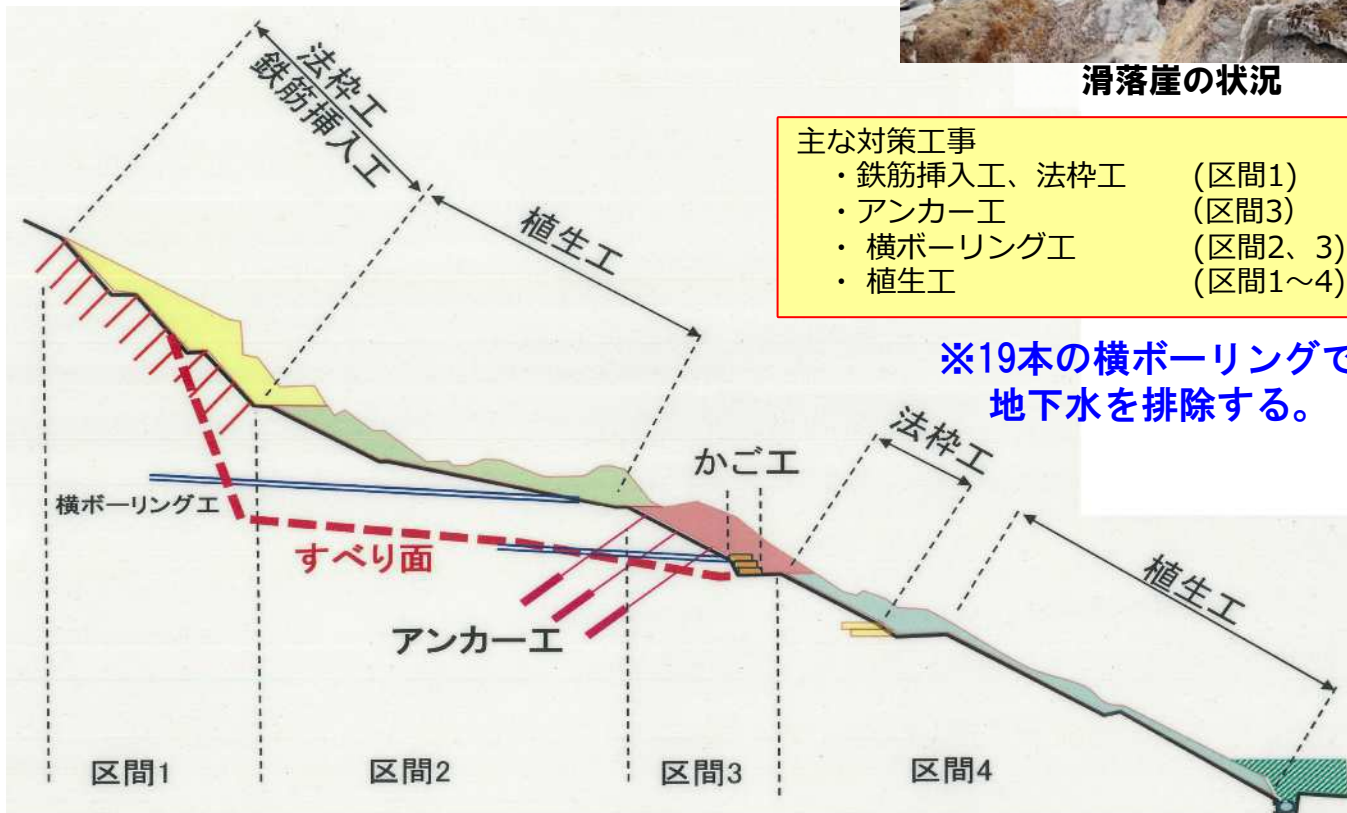
EEF(濃縮工学施設)西側の法面は、平成28年9月の台風18号により、約2,800m<sup>2</sup>の範囲で地滑りが発生した。現在、H形鋼や鋼矢板等を用いた仮設防護柵工で応急措置を施しているが、そのまま放置した場合は、EEF施設建屋や建屋で作業する人命に被害を与える可能性があることから、本業務において安全対策工事を行う。



滑落崖の状況



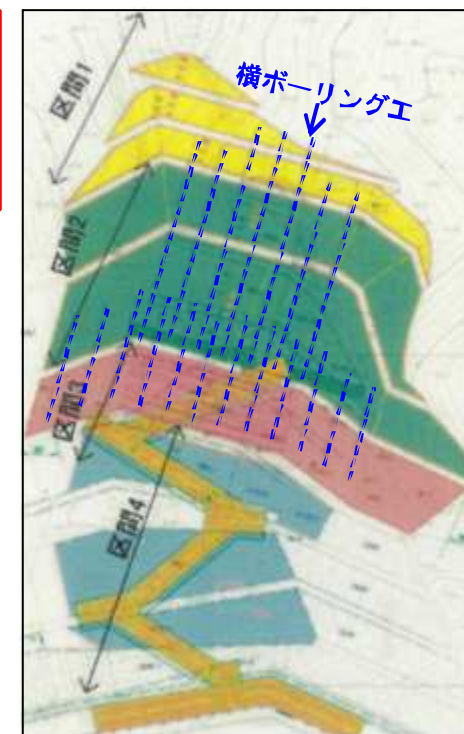
防護壁の現状



EEF法面復旧工事範囲断面図

- 主な対策工事
- ・鉄筋挿入工、法枠工 (区間1)
  - ・アンカー工 (区間3)
  - ・横ボーリング工 (区間2、3)
  - ・植生工 (区間1~4)

※19本の横ボーリングで地下水を排除する。



EEF法面復旧工事範囲平面図

# 大排水溝の発生源対策

## 【取組み】

- ・濃縮工学施設（EEF）西側法面の安全対策工事で実施する横ボーリング工及び雨水浸透を抑制する法面工（植生工）の効果を検証する。

## 【方法】

- ・工事前後の大排水溝の水量と水質を比較する。
- ・観測値（実測）とシミュレーションで効果を検証する。
- ・「効果あり」と判断できれば、大排水溝の流域に認められる地すべり地形に対して、横ボーリング工等の地すべり抑制工を実施して、地すべり滑動を抑制するとともに大排水溝の坑水量を低減化を図る。

