

廃砂たい積場跡措置後の地下水変動調査

(2016.3.22 第17回鈷山跡措置技術委員会 資料)

(国)日本原子力研究開発機構
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．目的、調査概要
- 2．地下水解析
- 3．廃砂たい積場覆土後の地下水調査
- 4．ふとん籠下流側での構造確認(H27年12月実施)
- 5．ふとん籠湧水と暗渠湧水の水量考察
- 6．考察
- 7．今後への反映

1. 目的、調査概要

H23、24年度に実施した廃砂たい積場の覆土措置による地下水の水量・水質変化状況を調査することを目的とし、H26年度から廃砂たい積場下流部でみられる湧水の水量・水質及び鉞さいたい積場周辺の観測孔の水位を測定している。

なお、地下水量については、覆土措置前のデータがないため、H24年度に実施した覆土措置前と措置後の“3次元地下水流動解析及び物質移行解析”の結果と比較して評価する。



廃砂たい積場上流部から下流部方向を撮影



廃砂たい積場下流部から上流部方向を撮影

2. 地下水解析 (H24年度実施)

廃泥たい積場や廃砂たい積場に係る調査で用いた既往解析モデルに追加ボーリング調査結果を反映し、措置後の廃砂たい積場から廃泥たい積場にかかる水量及び水質の経時変化を条件設定のうえ解析した(解析モデル:G-TRAN/3D (株)地層科学研究所)。

2-1 ボーリング位置図及び柱状図等

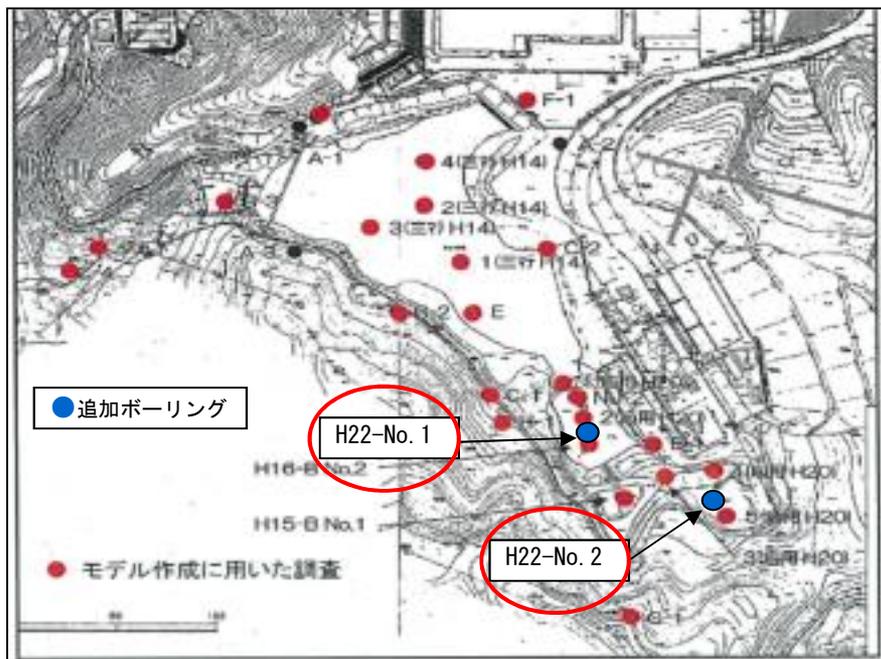


図 2.1.1 既往解析モデル更新のためのデータを取得したボーリングの位置

表2.1.1 解析モデルとボーリング柱状図 (H22-No.2) データの比較

| 解析モデル図/ボーリング柱状図比較図 (重合せ図) | 地層名等 | ボーリング柱状図 | 解析モデル (修正後) |
|--|----------|-------------|----------------|
| 【モデル図凡例】 ■ 廃砂 ■ 表土_場内 ■ 強風化花崗岩 ■ 弱風化花崗岩 ■ 新鮮花崗岩 【柱状図凡例】 ■ 廃砂 ■ 表土_場内 ■ 強風化花崗岩 | 孔口 | 730.12 | 730.12 |
| | 廃砂下面 | 726.82 | 726.82 |
| | 表土_場内下面 | 719.62 | 719.62 |
| | 強風化花崗岩下面 | 717.67 (孔底) | 714.94 |
| | 弱風化花崗岩下面 | - | 701.49 |
| | 新鮮花崗岩下面 | - | 645.00 (モデル底面) |

2-2 現況再現解析

(1) 解析条件

① 各岩相等の透水係数

表2.2.1 従前に実測した透水係数データ

| 材料 | 透水係数 | | |
|--------|--------------|--------------|-------------------|
| | 最小値 (m/s) | 最大値 (m/s) | 実測平均(※1) (m/s) |
| 新鮮花崗岩 | 1.80E-10 | 1.02E-06 | 3.74E-08 |
| 弱風化花崗岩 | 6.80E-09 | 5.00E-06 | 1.49E-07 |
| 強風化花崗岩 | 7.20E-09 | 7.30E-06 | 6.12E-07 |
| 表土_場外 | 5.71E-07 | 7.58E-05 | 3.60E-06 |
| 表土_場内 | 7.37E-09 | 7.64E-06 | 4.05E-08 |
| 堆積岩 | 1.08E-07 | 5.44E-05 | 1.16E-06 |
| 廃砂 | 4.15E-05 | 6.63E-04 | 2.90E-04 |
| 廃泥上流部 | 2.37E-07 | 5.84E-04 | 5.01E-06 |
| 廃泥下流部 | 1.14E-08 | 9.90E-07 | 4.98E-08 |
| かん止堤 | - | - | 1.16E-10 |

※1 「平均」は幾何平均

表2.2 観測孔でのH20実測水位とH24解析結果の比較表と採用した透水係数

| 観測孔 | H20実測水位(m) (a) | H24解析結果(m) (b) | 差(m) (a-b) | 地層 | 透水係数 (m/s) | 実測平均(P3参照)との比 |
|-------|-------------------|-------------------|---------------|--------|---------------|---------------|
| C-4 | 685.05 | 687.24 | -2.19 | 新鮮花崗岩 | 3.74E-09 | 0.1 |
| ダム下 | 689.05 | 691.94 | -2.89 | 弱風化花崗岩 | 1.49E-08 | 0.1 |
| B-3 | 704.73 | 704.80 | -0.07 | 強風化花崗岩 | 6.12E-08 | 0.1 |
| I | 715.80 | 715.93 | -0.13 | 表土_場外 | 1.08E-05 | 3.0 |
| F-1 | 717.54 | 718.56 | -1.02 | 表土_場内 | 4.05E-08 | 1.0 |
| C-2 | 717.00 | 718.48 | -1.48 | 堆積岩 | 2.37E-07 | 0.2 |
| B-2 | 717.10 | 717.12 | -0.02 | 廃砂 | 5.34E-05 | 0.2 |
| C-1 | 717.63 | 718.32 | -0.69 | 廃泥上流部 | 5.34E-05 | 10.7 |
| NU-2 | 719.11 | 719.67 | -0.56 | 廃泥下流部 | 2.49E-07 | 5.0 |
| B-1 | 722.72 | 723.21 | -0.49 | かん止堤 | 1.16E-10 | 1.0 |
| G-1 | 737.13 | 736.91 | 0.22 | | | |
| 残差二乗和 | | | 17.5 | | | |

複数ケースを設定のうえ、実測値とG-TRAN/3Dによる解析値の差が少なくなる透水係数を採用した。

覆土側面の一部も地下水の流入口となっており、従前の表流水が地下水として覆土内に入っている点留意要である。

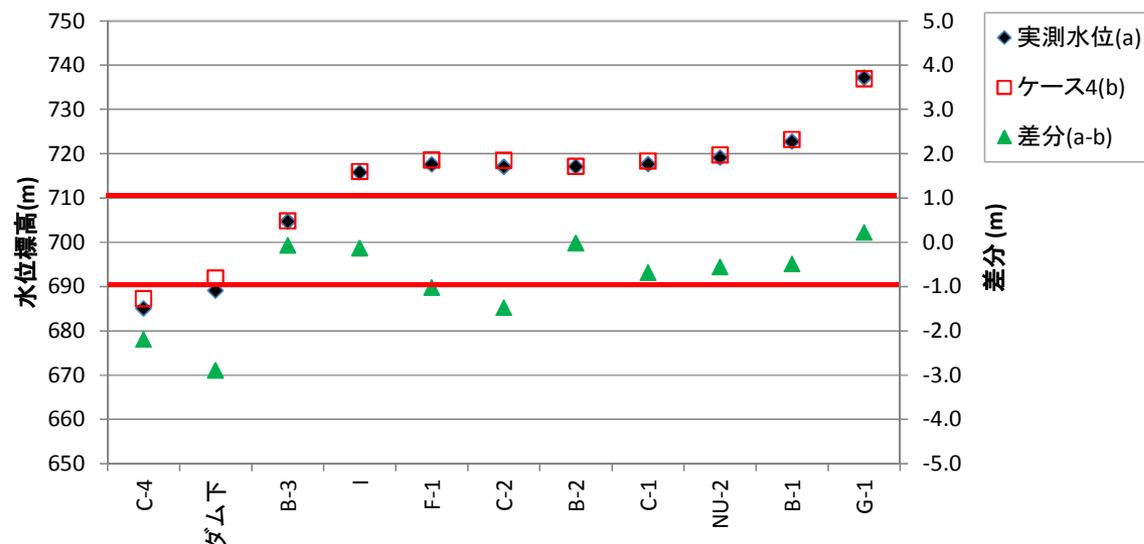


図 2.3 実測水位と解析結果の比較
(図中の赤線は差分±1.0mのレンジを示す。)

2-4 地下水浸透流解析結果

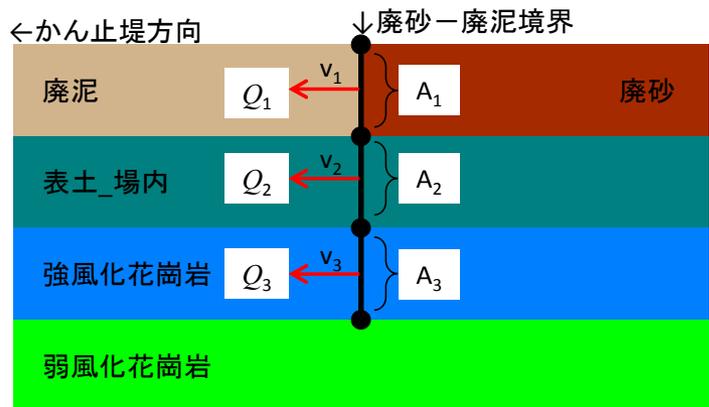


図2.4.1 廃砂廃泥境界の横断概念図(A;面積、V;速度、Q;量)

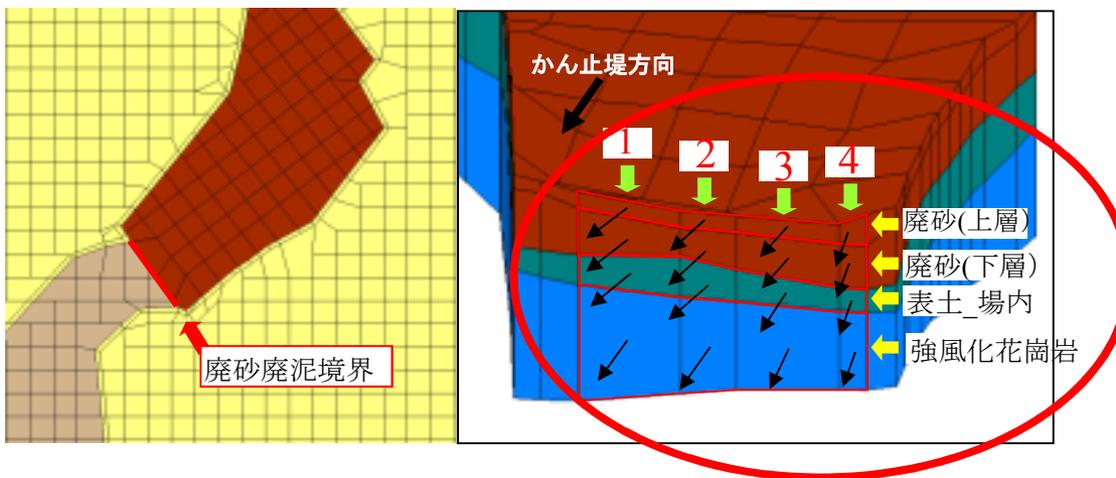


図2.4.2 廃砂廃泥境界面の要素概念図

表2.4.1 廃砂廃泥境界を通過する総水量

| ケース | 岩相等 | 要素番号※1 | | | | | | | | | | | | 総水量 ※2 (m ³ /day) |
|------------|----------|-----------------------|------|------|-----|-------------|--------|--------|--------|-----------------------------|--------|--------|--------|------------------------------------|
| | | A:面積(m ²) | | | | v:流速(m/day) | | | | Q:通過水量(m ³ /day) | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 跡措置を行わない場合 | 廃砂(上層)※3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.038 | 0.042 | 0.05 | 0.021 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.1 |
| | 廃砂(下層)※3 | 7.1 | 2.7 | 9.7 | 3.6 | 0.61 | 0.73 | 0.7 | 0.53 | 4.3 | 1.9 | 6.8 | 1.9 | |
| | 表土_場内 | 13.0 | 7.5 | 10.0 | 2.4 | 4.5E-4 | 4.8E-4 | 5.2E-4 | 4.6E-4 | 6.1E-3 | 3.6E-3 | 5.4E-3 | 1.1E-3 | |
| | 強風化花崗岩 | 41.0 | 19.0 | 32.0 | 8.3 | 5.5E-4 | 6.3E-4 | 6.4E-4 | 6.4E-4 | 0.023 | 0.012 | 0.021 | 5.3E-3 | |
| 採用した跡措置 | 廃砂(上層)※3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.052 | 0.059 | 0.076 | 0.098 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 23.3 |
| | 廃砂(下層)※3 | 8.3 | 2.8 | 9.5 | 3.5 | 0.87 | 1.1 | 1.1 | 0.83 | 7.2 | 3.1 | 10.0 | 2.9 | |
| | 表土_場内 | 13.0 | 7.5 | 10.0 | 2.4 | 6.0E-4 | 6.8E-4 | 7.0E-4 | 6.2E-4 | 8.0E-3 | 5.1E-3 | 7.2E-3 | 1.5E-3 | |
| | 強風化花崗岩 | 41.0 | 19.0 | 32.0 | 8.3 | 6.6E-4 | 7.5E-4 | 7.7E-4 | 7.6E-4 | 0.027 | 0.014 | 0.025 | 6.3E-3 | |

※1: 「要素番号」は図2.4.2を参照

※2: 総水量はケース毎の通過水量の合計

※3: 廃砂(下層)の面積は、地下水面以下の飽和領域のみの面積を示している。
また、廃砂(上層)は全て不飽和領域であることから、面積を「0」としている。

本解析結果は、跡措置後、動水勾配が高くなると推察できるが、通過水量を担保する透水性が廃砂(下層)にあるため廃砂(上層)までは水位は上がらないことを示した。

3. 廃砂たい積場覆土後の地下水調査

廃砂たい積場覆土後の地下水量等を把握するため、廃砂たい積場ふとん籠下・横からの浸出水量、及び鉋さいたい積場周囲に設けている観測孔の水位を測定した。

3-1 廃砂たい積場ふとん籠下・横からの浸出水量測定

(1) 覆土前後の湧水発生場所

覆土後、湧水の発生場所が以下の通り下流側に移動した。





3-2 鉦さいたい積場周辺のモニタリング孔等水位

表3.2.1 水位解析結果とH26実測水位

| 観測孔 | H20年度 実測水位(m) (P4参照) | (a)の値に近似するよう各岩相 等の透水係数を設定した時の 解析結果(m)(P4参照) | 差-1(m) (P4参照) | (b)で設定した透水係 数を用いた跡措置後 の予測水位 (m) | H26年度実測水位 (平均)(m) | 差-2(m) | 差-3(m) |
|------|----------------------------|---|------------------|---------------------------------------|----------------------|--------|--------|
| | (a) | (b) | (a-b) | (c) | (d) | (d-a) | (d-c) |
| C-4 | 685.05 | 687.24 | -2.19 | 687.29 | 685.005 | -0.045 | -2.28 |
| ダム下 | 689.05 | 691.94 | -2.89 | 692.09 | 689.178 | 0.128 | -2.91 |
| B-3 | 704.73 | 704.80 | -0.07 | 705.03 | 704.998 | 0.268 | -0.03 |
| I | 715.80 | 715.93 | -0.13 | 715.89 | 715.916 | 0.116 | 0.03 |
| F-1 | 717.54 | 718.56 | -1.02 | 718.62 | 717.940 | 0.4 | -0.68 |
| C-2 | 717.00 | 718.48 | -1.48 | 719.51 | 717.335 | 0.335 | -2.17 |
| B-2 | 717.10 | 717.12 | -0.02 | 717.05 | 717.273 | 0.173 | 0.22 |
| C-1 | 717.63 | 718.32 | -0.69 | 718.39 | 718.493 | 0.863 | 0.10 |
| NU-2 | 719.11 | 719.67 | -0.56 | 720.08 | 計測なし | - | - |
| B-1 | 722.72 | 723.21 | -0.49 | 723.42 | 計測なし | - | - |
| G-1 | 737.13 | 736.91 | 0.22 | 736.93 | 738.624 | 1.494 | 1.69 |

実測水位; H20年10月30日に測定した値(C-2は同9月9日)

H20年度の実測水位に近い値を得ることができた「各層の透水係数」を用いて今回の跡措置後の水位を計算した。

平成26年度水位測定は積雪期以外週1回以上を目途とした。

廃砂・廃泥境界上流
で上昇がみられる

3-3 廃砂たい積場から流出する水量

(1) 廃砂廃泥境界を通過する予測水量

- ① 跡措置前; 15.1 m³/日
- ② 跡措置後; 23.3 m³/日

(2) 措置後の (H26.5~H27.5月に測定)
湧水量レンジ(表3.3.1参照)

- ① ふとん籠下; 1.9~174.4 m³/日
- ② ふとん籠横; 12.8~144.4 m³/日

データ範囲が広いがモードは黄色丸囲いがあり、平均30 m³/日の湧出量が推定できる。

表3.3.1 湧水量(m³/日)とデータ数

| データ区間 (m ³ /日) | ①ふとん籠下 【平均18.1m ³ /日】の データ数 | ②ふとん籠横 【平均36.9m ³ /日】の データ数 |
|------------------------------|--|--|
| 0<5 | 2 | |
| 5<10 | 21 | |
| 10<15 | 8 | 1 |
| 15<20 | 2 | 5 |
| 20<25 | 2 | 9 |
| 25<30 | | 8 |
| 30<35 | 1 | 4 |
| 35<40 | | 1 |
| 40<45 | | 1 |
| 45<50 | | 2 |
| 50<55 | | 1 |
| 55<60 | | 2 |
| 65<70 | 1 | |
| 70<75 | 1 | 3 |
| 80<85 | | 1 |
| 105<110 | | 1 |
| 125< | 1 | |

4.ふとん籠下流側での構造確認(H27年12月実施)

H24年度に行った覆土措置に伴う地下水流動解析結果とH26、27年度に測定したふとん籠下湧水量、ふとん籠横湧水量から、覆土措置後の地下水量増加が示唆された。

この増加が措置した覆土構造に影響を与えるおそれがあることから、ふとん籠下流側を掘削し、地下水排出状況や「ふとん籠下湧水」、「ふとん籠横湧水」の関係の確認を行った。



【写真1】設計図を用いて暗渠出口付近と推定した箇所とふとん籠下湧水付近を掘削した。この後、暗渠出口が計算上の位置(手前穴)に見当たらないため、範囲を広げて掘削した。

構造確認結果

- ・ふとん籠下湧水;ふとん籠付近の覆土を浸透した雨水
- ・ふとん籠横湧水;暗渠からの水



【写真2】柵設置作業を進めた(漏水対策等を後日実施)

5. ふとん籠湧水と暗渠湧水の水質からの推定流路

ふとん籠湧水と暗渠湧水間のEC、pHの違いを考察するため、覆土材料の溶出試験を行った。結果、覆土の上部フィルター層の溶出液から高い値のEC (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上)とpH (8.0以上)が確認できた。ふとん籠湧水は暗渠湧水と比べて高いEC値とpH値を示すが、この覆土材料と下記に示す構造(ベントナイト層の設計)がその一要因と推定できる。

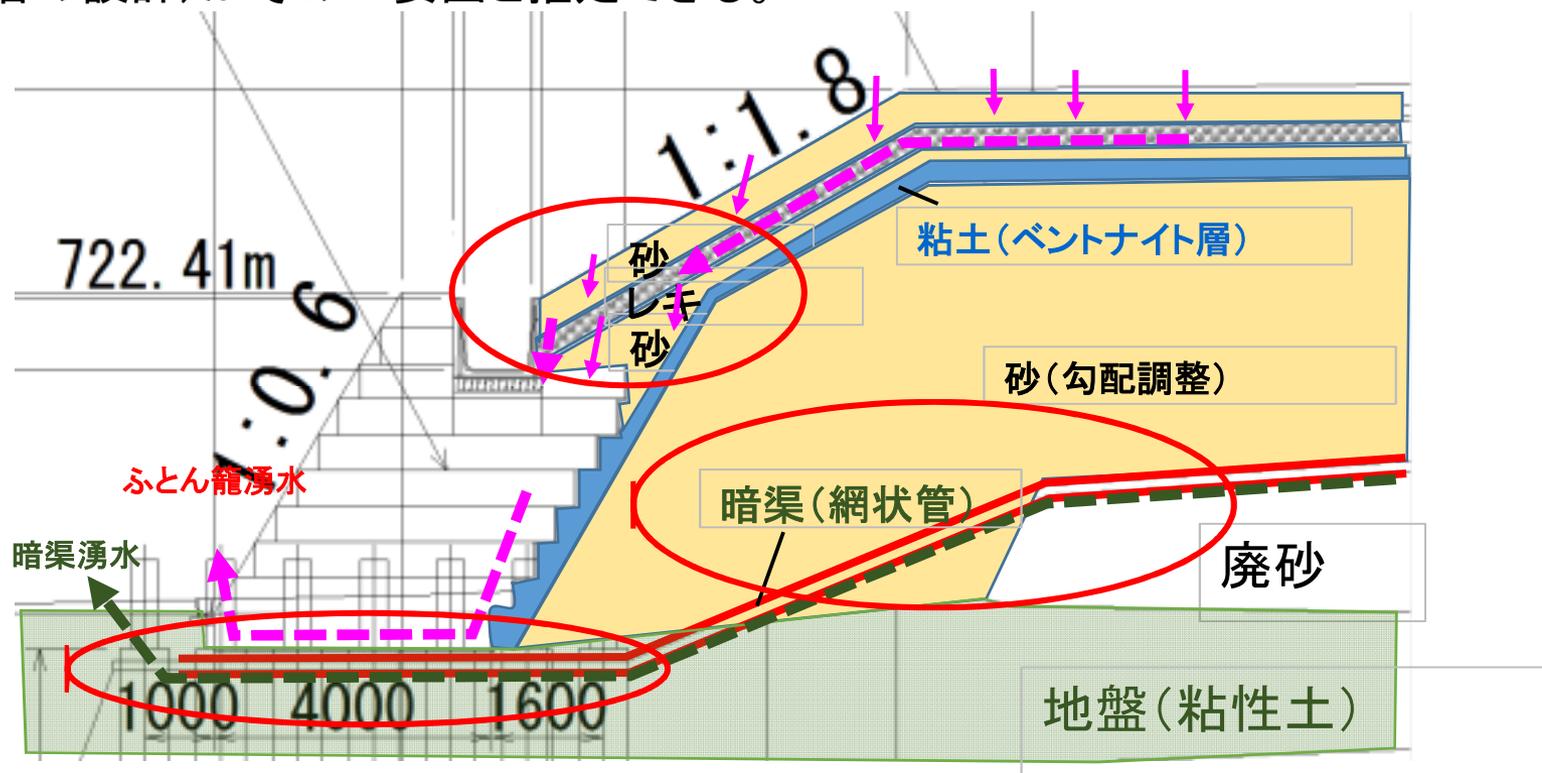


図5-1 ふとん籠付近覆土構造(断面)

【参考】

ふとん籠(旧ふとん籠下)の湧水平均EC; 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 平均pH7.4

暗渠(旧ふとん籠横)の湧水平均EC; 149 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 平均pH6.2

6. 考察

- (1) 地下水流動解析では廃砂たい積場の覆土によって、廃砂と勾配調整層内の水位が上昇する結果となった。加えて暗渠を流れる水は出口付近には土砂があり、排水抵抗が大きい状態にあった。しかし、出口付近に柵を設けたことで排水抵抗が下がり、廃砂たい積場内の地下水は流れやすくなったと推察する。
- (2) 覆土構造、暗渠構造から「暗渠湧水」、「ふとん籠湧水」の起源は下記①②となる。
- ただしその比率が異なり、異なった水質を形成していると推察する。
- ①廃砂たい積場周囲から同堆積場に流入した地下水
 - ②ふとん籠付近の覆土を浸透した雨水
- 「暗渠湧水」では①の比率が高く、「ふとん籠湧水」では②の比率が高くなると推察する。

8. 今後への反映

- ①ふとん籠湧水、暗渠湧水の水量・水位確認を行うとともに、H24年度に行った覆土後の水位解析結果と比較する。また、両湧水の水質を確認する。
- ②ふとん籠付近の覆土（ベントナイト層）の構造変更を検討するとともに、構造変更する場合は地下水流動解析を行い、変更後の構造が適切であるかを判断する。
- ③覆土構造に影響を与えるような廃砂・勾配調整層の水位上昇を示唆する地下水位上昇の有無を廃砂たい積場上流のG-1孔やたい積場に並行するC-1孔を用いて確認する。必要に応じて廃砂たい積場にモニタリング用ボーリング孔を設ける。
- ④廃砂たい積場内で覆土構造に影響を与えるリスクを伴う水位上昇が認められた場合、廃砂たい積場に流入する地下水を迂回させる、などの方策を検討する。