

クローズド型処分場建設工事における遮水工構築の課題とその対策

鹿島建設(株) 正会員

加藤 政彦 ○小澤 一喜

鹿島建設(株) 正会員

若林 秀樹

公益財団法人 熊本県環境整備事業団

中富 恭男

吉川 宗志

1. はじめに

熊本県公共関与管理型産業廃棄物最終処分場「エコアくまもと」(写真-1)は、採石跡地の窪地を利用した埋立容量約42万 m^3 の「クローズド・無放流型」の屋根付き産業廃棄物処分場である。当該施設周辺は地下水が豊富であり、井戸水を生活用水として利用していることから、浸出水の漏えいによる地下水汚染を防止することが極めて重要であり、高い遮水性を備えた施設の建設・運営が求められた。実施設計および施工計画時に、遮水工構築について詳細に検討したところ、以下のような課題が抽出された。



写真-1 エコアくまもと（内観）

(1)底盤に盛土を行い、盛土上に遮水工を構築するが、処分場供用時の盛土の沈下による遮水工の破損が懸念される、(2)底盤は、二重遮水シートとベントナイト混合土による三重遮水構造となっており、遮水シートの破損時には、ベントナイト混合土と浸出水が接触するため、ベントナイト混合土には、浸出水の接触により性能が変化しないという化学的耐久性が要求される、(3)漏水リスクの低減のため、覆蓋の中柱は底盤でなく法面を斜めに貫通させることとしたので接続部の遮水構造が複雑になる、というものである。

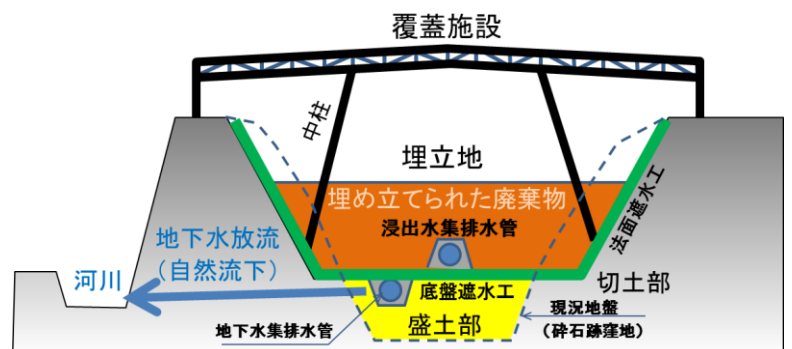


図-1 処分場断面と周辺の地形

本報は、これらの課題を解決するために検討した対策とその結果およびその他、遮水工の性能担保のために実施した施工上の工夫について報告するものである。

2. 変形係数 30MPa の盛土の構築

(1) 許容沈下量と変形係数

処分場供用時には、処分場底盤で発生する湧水を集排水し、水質検査で異常が無いことを確認した後に河川に自然流下させる計画である(図-1)。しかし、当初、窪地の底盤は放流位置の河川標高よりも低く、底盤に盛土を造成する必要がある(現地発生まき土、盛土高約6m)、その上に、遮水工を配置する構造となるため(図-2)、処分場供用時の盛土の沈下による遮水工の破損が懸念された。遮水工設計時の検討の結果、供用時、廃棄物の荷重に

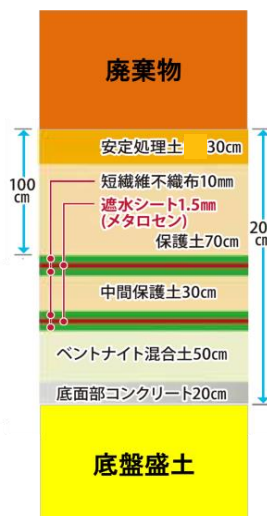


図-2 底盤遮水工断面

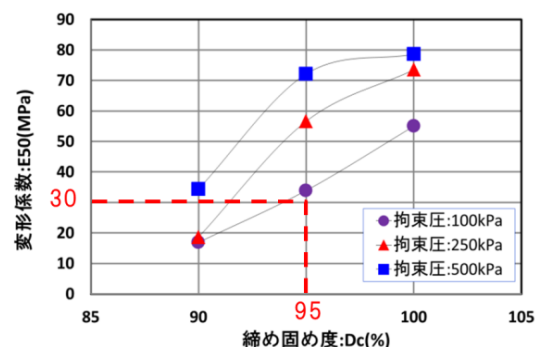


図-3 変形係数と締固め度の関係 (三軸試験)

キーワード クローズド型処分場 盛土 遮水シート ベントナイト混合土 漏水検知システム

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株) 技術研究所 岩盤地下水グループ TEL 042-485-1111

より盛土へ作用する上載圧は 330kPa 程度と算出された。この上載圧による盛土の沈下量を底盤遮水工に影響を与えない範囲(5cm 以下)に抑えるためには、盛土の変形係数を 30MPa 以上で管理することが求められた。そこで、施工時の管理基準を決定するため、事前に盛土材の変形係数と締固め度の関係を三軸試験により評価したところ(図-3)、締固め度を 95%以上で管理することにより変形係数 $\geq 30\text{MPa}$ が確保可能であると判断された。

(2) 現場試験施工

室内試験の結果を基に、重機の転圧回数と盛土の締固め度の関係を求めるために現場試験施工を行った。試験施工では、締固め度に加えて、平板載荷試験による変形係数の測定を実施したが、室内試験と異なり、締固め度が 95%を超過していても変形係数は 30MPa を満足しないという結果になった。この原因について検討したところ、三軸試験では拘束圧を付与し、圧縮する過程で変形係数を求めていることに対して、平板載荷試験では地盤表層で載荷を行い、上載圧及び拘束圧が作用していない状態で変形係数を求めているということが原因として挙げられた。現場試験では、この拘束圧の差が測定される変形係数の差として表れているが、締固め状況については現場の重機による転圧でも三軸試験の供試体と同等であり、同拘束圧の下では、変形係数も同等になっていることが推定された。

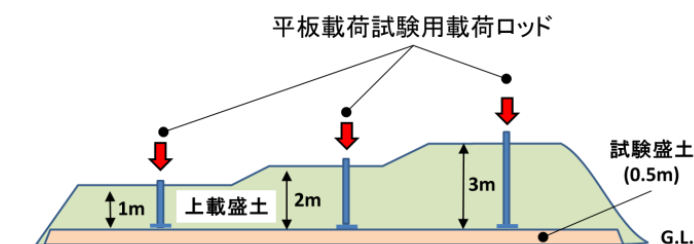


図-4 上載圧付与下の平板載荷試験

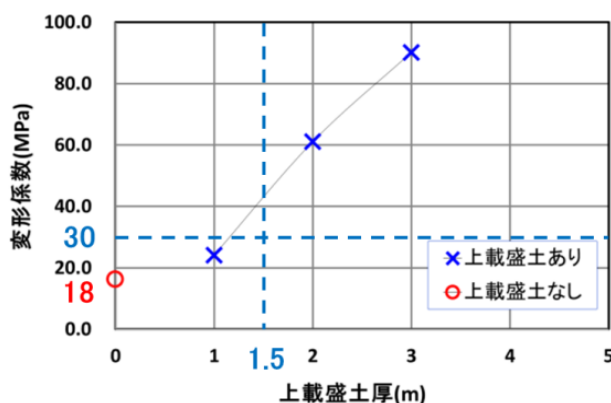


図-5 上載盛土の有無による変形係数の変化

そこで、上載圧及び拘束圧の差が測定される変形係数の差となることを実証するために、追加試験施工を実施した。追加試験施工では、まず、試験盛土を造成し、転圧した後、地盤表層で変形係数を測定する。その後、試験盛土上に図-4に示すように、1～3mの上載盛土を行い、拘束圧(上載圧)を付与した状態で変形係数を測定した。上載盛土の造成時には、図-4のように平板載荷試験用の載荷ロッドを埋め込んだ²⁾。

上載圧の有無による変形係数の比較を図-5に示す。この結果から上載圧がない状態で測定された変形係数が 18MPa 程度であっても上載盛土が 1.5m 以上であれば、変形係数は 30MPa を満足することが分かった。当該処分場では、底盤盛土上に保護土等として約 2m の上載盛土が造成されることから、盛土構築後に 18MPa の変形係数を発現していれば、保護盛土等の上載荷重により底盤盛土は供用前に 30MPa 以上の変形係数が担保され、沈下による遮水シート等への悪影響はないと結論付けた。

3. ベントナイト混合土の科学的耐久性の確保

当該処分場では、二重遮水シート+ベントナイト混合土の多重遮水構造を採用している。ベントナイト混合土については、施工に先立ち、配合試験・透水試験を行い、透水係数($k \leq 1 \times 10^{-6} \text{cm/s}$)の要求性能を満たす管理含水比、締固め度を決定した。このような透水試験では、通常、蒸留水を用いて透水性を評価するが、処分場の土質遮水工は、透水試験で用いる蒸留水だけではなく、多様な物質を含む浸出水に対しても難透水性を発揮し、また、浸出水への暴露により長期的に物性が変化しないという化学的耐久性の担保が求められ、当該処分場工事でもこの点が課題とされていた¹⁾。

そこで、ベントナイト混合土の化学的耐久性を評価するため、1)蒸留水で供試体を作成、2)蒸留水を透水、3)透水させる水を蒸留水から模擬浸出水(CaCl_2 水溶液、 NaCl 水溶液、両者混合の3パターン)に変更というステップで浸出水に対する透水試験を行った。模擬浸出水の濃度は要求水準書で規定される浸出水質(Ca^{2+} 濃度(1000mg/L)、 Cl^- 濃度(5000mg/L))を基に CaCl_2 、 NaCl ともに 0.14mol/L としている。また、供試体は配合試験の結果に基づき、ベントナイト添加量:8%(乾燥重量比)、締固め度 93%、含水比を最適含水比+2%、+4%とし

て作成した³⁾。

図-6 に試験結果(最適含水比+4%に調整したケース)を示す。試験では、約4週間蒸留水を透水させた後(凡例:塗りつぶし)、約4週間模擬浸出水を透水させているが(凡例:白抜き)、透水させる水を蒸留水から模擬浸出水に置き換えても透水係数に大きな変化はなく、土質遮水工としての要求性能を満たしていることが分かった。また、最適含水比+2%に調整した供試体についても同様な結果であり、現場で施工するベントナイト混合土(現場発生土+ベントナイト)について一定の化学的耐久性を確認した。

4. 覆蓋中柱の法面部への配置と接合部の遮水性確保

(1) 中柱の法面配置

覆蓋を支える中柱の基礎は、遮水シートを貫通する(遮水工に穴を開けた)形で支持層に接面する必要がある。そのため、中柱と遮水工の接続部では遮水シートに切込みを入れて、複雑な形状で溶着・接合する必要がある、遮水工の弱部となりやすい。一方で、処分場の供用中、散水により発生した浸出水は、法面から底盤に流下した後、集水管に導かれる。そのため、法面上で浸出水が滞留することはない、中柱の基礎を法面に配置することで、中柱と遮水工の接続部からの漏水リスクを大幅に低減することができる。そこで、当該処分場では、覆蓋基礎の中柱を法面に配置することとした。しかし、中柱の基礎を法面に配置し、柱を鉛直に建て込むとトラス桁(覆蓋部材)の中央部のスパンが長くなり、中央部のトラス高が過大となることが設計段階で判明した。そこで、中柱全8本中4本を**図-7**に示すように斜め柱にすることで、トラス高とスパン長の均等化を図った。

斜めに配置する中柱はPHC杭φ1200mmの2本継ぎで構成されており、長さ30m、重量40tである。嵌合継手はお互いのプレートを完全に密着させる必要があり、一旦下柱を鉛直に立てて上柱と接合後、斜めに据付けることとした。斜めの中柱を据え付けた後、トラス桁を架設するが、覆蓋の閉合前の状態で斜め柱を固定するため、**写真-2**に示す支保工を仮設し、中柱を所定の高さ、角度に保持した。

(2) 遮水工の接合部

遮水シートは、現場溶着部を極力減らすため、ロール状の長尺もの(7m×140m)を調達し、現場で接

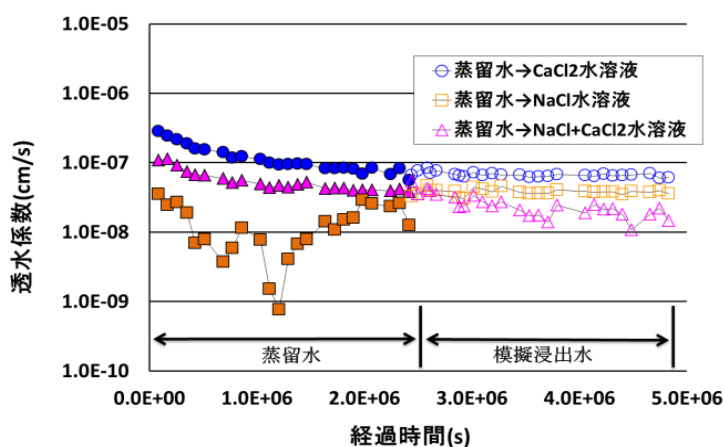


図-6 模擬浸出水による透水試験結果

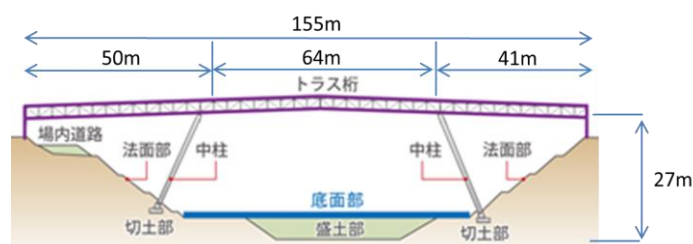


図-7 覆蓋施設標準断面図



写真-2 中柱支保工

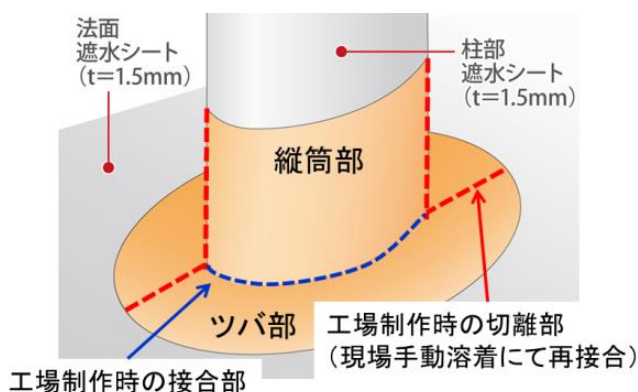


図-8 遮水シート成形品(接続部)

合して施工することとした。一方で、中柱が貫通する箇所は鉛直方向に遮水シートを立ち上げる必要がある。そのため、一般的には、法面部での遮水シートの接続に際して、遮水シートに多数の切込みを入れて立体的に溶着している。しかし、このような施工では、形状が三次元的に複雑な構造となり、施工不良が生じる可能性が高くなる。そこで、**図-8**に示すような2分割したシルクハット状の遮水シートの成形品(工場製作)を準備し、接続部には、この成形品をはめて、柱部と法面部のシートをこの成形品に溶着するという施工法をとった。また、現場溶着は極力半自動溶着とし、現場での手動溶着箇所を低減させた。

写真-3に遮水シートの成形品を、**写真-4**に中柱接続部の遮水シートの設置状況を示す。工場製作の加工品を用いることで、現地での遮水シートの切込み箇所と切込み長を大幅に低減するとともに、法面沿いの溶着部を信頼性の高い半自動溶着で実施することにより、信頼性の高い遮水工の施工を実現した。



写真-3 遮水シート成形品

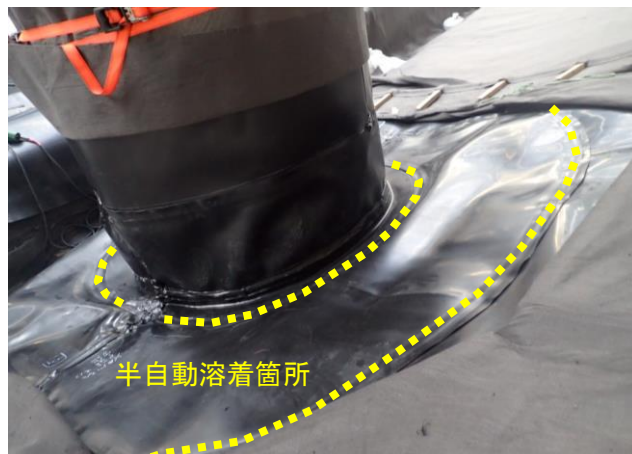


写真-4 中柱接続部遮水シート

5. 遮水性向上のための工夫

(1) 斜樋形状の浸出水集排水ピット

廃棄物処分場では、遮水工上に設置した浸出水集排水管により浸出水を集排水ピットに集めて、そこから浸出水を浸出水処理施設へ送水している。集水ピットは、通常、**図-9**のように井戸状の縦樋形状であり、処分場の底盤から遮水工を貫通した導水管により浸出水を送水することが一般的である。この場合、導水管が地山内に配置されているため、導水管や

導水管とシート貫通部で破損等が発生した場合、環境中への浸出水の漏洩に直結してしまう、また、この部分は漏水検知システムの範囲外であり、漏水を検知することもできない。

そこで、本処分場では**図-10**に示すように浸出水集排水ピットを法面に沿った斜樋構造と

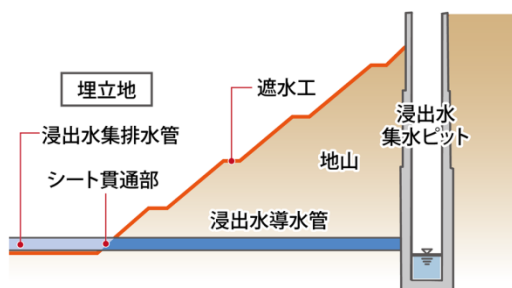


図-9 一般的な集水ピット形状

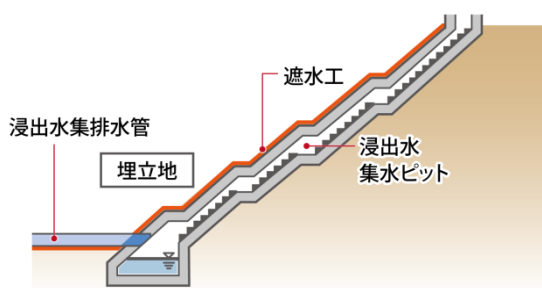


図-10 斜樋形状の集水ピット



写真-5 斜樋形状集水ピット全景

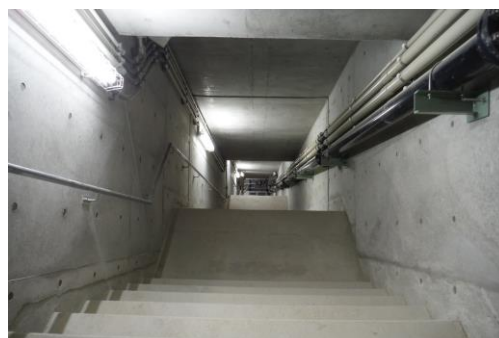


写真-6 集水ピット内

し、地山内に配置する導水管の撤廃を図った。また、斜樋形状の集水ピット内に設置した浸出水送水管に可撓性のジョイントを設けることで、地震時に配管の損傷による浸出水の漏洩を防止する構造とした（写真-5、写真-6）。

(2) 電気式漏水検知システムの施工

廃棄物処分場では、遮水工が正常に機能していることを診断するとともに、遮水シートが損傷した場合に損傷箇所を特定するために漏水検知システムを配置することが多い。本処分場でも、施工実績が多く信頼性の高い、線電極・電流方式の漏水検知システム（図-11）を採用した。本システムは、遮水シートを挟んで線状の印加電極と格子状の測定電極を配置し、電極間に交流電圧を加え、測定電極各々に流れる電流値から破損箇所を特定するものである。仮に、遮水シートが損傷し浸出水が漏えいした場合、環境影響を最小化するためには早期にかつ正確に損傷位置を把握し、遮水シートを復旧させなければならない。そのため格子状の測定電極のピッチを2m間隔と通常より小さくすることで、損傷位置の検知精度を±1.0mまで向上させた。さらに、上下遮水シートそれぞれに印加電極を配置することで、上シートと下シートの損傷状況を個別に診断できるようにした。

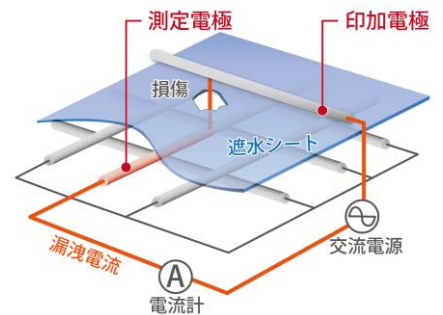


図-11 モニタリング原理

なお、漏水検知システムは、浸出水が滞留する可能性がある底面部だけでなく、法面部全面にも配置し、処分場全域の遮水工の健全性を確認できるようにしている（写真-7、写真-8）。

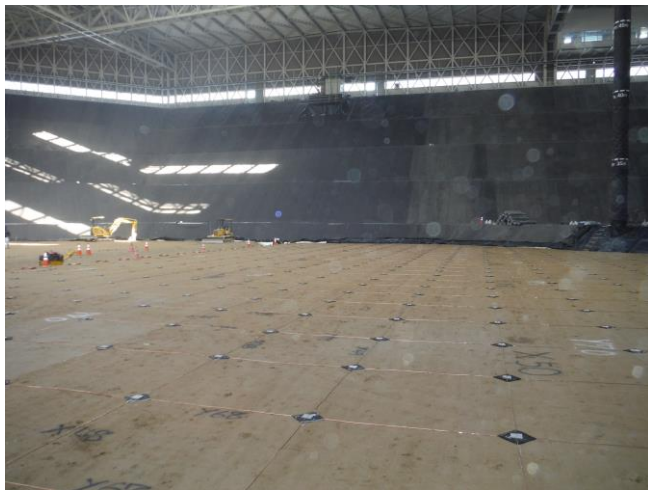


写真-7 底面部 測定電極配置状況



写真-8 法面部 測定電極配置状況

(3) 漏水検知システムの健全性確認

本処分場では、施工不良による遮水工の機能不全を防止するため、4. や 5. (1) に示した対策を実施し、また、遮水シートの現場溶着部については全数検査を行ったが、これらに加えて、遮水工全体の機能確認として底盤遮水工の施工完了後の水張試験を提案していた。水張試験は、遮水工の施工完了後に底盤を冠水させ、漏水検知システムを稼働することにより漏水の有無、つまり、遮水工の健全性を確認するものである。

当初、水張試験は、底盤遮水工の施工完了後、底盤全体を冠水させることで実施する予定であった。しかし、水張試験実施時期が施工期間の後期であり、工程が極めて逼迫していたことから注水・排水等の所用期間を大幅に短縮する必要があった。そこで、遮水シートの溶着形状が複雑であり、底盤で唯一手動溶着部が存在する浸出水集排水管貫通部付近（処分場下流側）に水張範囲を限定することとした（写真-9）。試験では、浸出水に近い



写真-9 水張試験状況

電気伝導率(1S/m)を再現するため、試験水として CaCl₂ 水溶液を用いた。また、底面部全面の遮水性を確認するために、上部保護土の施工が完了した段階で改めて、全域(水張試験の対象となっていない部分も含めて)に散水を行い、漏水検知システムによる漏水の有無を確認した(水張試験の補助試験)。

これらの試験の結果、水張試験およびその後実施した補助試験ともに漏水は検知されず、施工不良による遮水工の性能不全がないことを底盤全面に渡って確認した。

（4）地下水のモニタリングと漏洩対策

本処分場では、遮水工の破損により仮に浸出水の漏洩が発生しても、地下水汚染の拡散を防止するため、モニタリング井戸と揚水井戸を組み合わせた常時監視及び対策を行い、周辺地域に地下水汚染が拡散をすることを防止している。モニタリング井戸は、処分場を挟んで地下水流向の上流側に 3 ヵ所、下流側 3 ヵ所の計 6 本設置されており、また、揚水井戸（φ350 mm、深さ 40～50m、6 ヵ所）が地下水流向の下流側の処分場敷地境界付近に 40m 間隔で設置されている。これらの井戸による汚染拡散防止の手順は以下のとおりである。

- ①モニタリング井戸（6 ヵ所）で地下水質（pH、電気伝導率）を常時監視
- ②①の結果、地下水質に異常があった場合は、a) 処分場の日常散水を停止、b) 地下水集水ピットに集水される処分場底部の地下水を浸出水処理施設に送水し、処理(常時は、近隣河川に放流)、c) 揚水井戸による揚水を実施し、処分場底部を流下した地下水を回収(図-12)

②の対策は、地下水質の異常の発生原因(例えば、遮水シートの破損)を究明し、恒久的な対策を実施した後、地下水質の異常が改善されるまで継続することとしている。なお、平成 28 年 3 月の廃棄物の受け入れ開始から平成 29 年 7 月現在、地下水の異常は検知されておらず、現段階で揚水井戸の稼働実績はない。

6. おわりに

本処分場は、平成 27 年 10 月に竣工し、平成 28 年 3 月より廃棄物の受入れを開始した。供用開始後直後の平成 28 年 4 月に熊本地震が発生したが、施設に直接的な被害がなかったことから、発災 2 週間後に災害廃棄物の受入れを開始した。表-1 に平成 29 年 6 月現在での廃棄物埋立数量を示す。稼働後 1 年半で埋立容量 42 万 m³ に対し 10 万 t の廃棄物を受入れており、当初の想定より早い速度で埋立てが進んでいる。しかしながら、底盤盛土の沈下量は 5mm 程度で収まっており、漏水検知システムや各種モニタリングの数値にも異常は見られず、遮水工の健全性が確認できている。

表-1 廃棄物受入実績（平成 29 年 6 月まで）

種別	搬入重量	搬入台数
瓦・ブロック・がれき類	29,408t	4,153台
混合廃棄物	47,033t	4,821台
サイディング・石膏ボード	31,058t	5,936台
断熱材・発泡スチロール	428t	329台
その他	75t	18台
合計	108,002t	15,257台

参考文献

1) (公) 熊本県環境整備事業団：熊本県公共関与管理型最終処分場建設事業環境影響評価書，要約書，pp. 4-1, 2012.

2) 齋藤，小澤，富樫，北本，加藤，古田，甲斐：処分場施設の埋立地底部盛土におけるまさ土の締固め特性と変形特性，197，D-09，第 49 回地盤工学研究発表会，pp. 393-394，2014.

（その 2）－試験施工による施工仕様の選定－

3) 小澤，石田，松本，加藤，辻本，西岡：最終処分場建設工事における造成工の課題とその対策，Ⅲ-100，土木学会第 70 回年次学術講演会，pp. 199-200，2015.

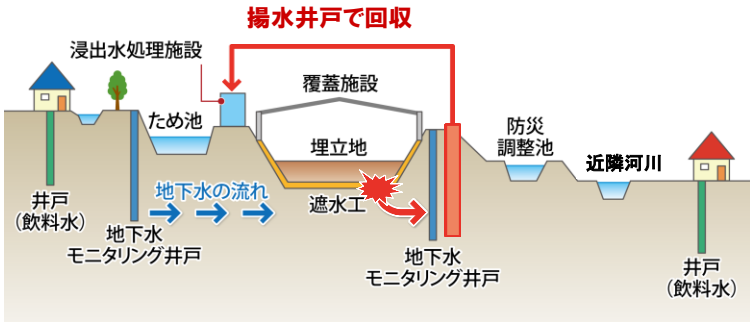


図-12 地下水汚染拡散防止対策 概念図