

土のキャピラリーバリアを用いた盛土式廃棄物貯蔵施設の遮水機能

Water diversion capacity of shallow land waste repository covered by capillary barrier of soil

○花田義徳¹・宇津野真人²・戸谷 翼³・森井俊廣⁴Yoshinori HANADA¹, Masato UTSUNO², Tubasa TOYA³ and Toshihiro MORII⁴

1. はじめに

砂層とその下部に礫層を重ねた層状地盤では、両層の土の相対的な保水性の違いにより、境界面の上部の砂層内で降下浸潤水が捕捉され、集積する。砂層と礫層との境界面が、上部からの水の浸入を防いでいる障壁のようにみえることから、この現象あるいは機能を土のキャピラリーバリア (Capillary barrier; CB) という。境界面に傾斜があると、境界面の上部に捕捉された間隙水は、上部の砂層内を集積流として傾斜方向に流下し、境界面以深の領域は一定の範囲にわたって水の浸入から保護されることになる。筆者らは、これまで、降雨浸潤を抑制し危険な廃棄物あるいは低レベルの放射性廃棄物を水理学的に安全に隔離するため、低盛土式廃棄物貯蔵施設 (図 1) への利用を提案してきた¹⁾。廃棄物埋立て層の変形に対する追随性が良いこと、透気性をもつため廃棄物の自然還元効果的であり、さらには維持管理が容易で、自然材料のみを用いていることから長期間にわたって CB 機能が持続するという優れた点をもつ。一方、図 1 の青矢印で示すように、境界面上を流下する集積流は、しだいに質量を増すため、境界面上のある位置で下方への鉛直浸潤 (ブレイクスルー) が起き遮水機能が失われる。ブレイクスルーが起きる位置までの境界面の水平長さを限界長 (diversion length) といい、CB 盛土の構造規模や貯蔵量を決定するうえで重要な設計パラメータとなる。本文では、CB 機能が発揮される限界長の発現特性を室内大型土槽試験により検証する。限界長を、使用する土材料の飽和・不飽和水分特性から実務的な精度で推定できるようになれば、これまで経験的あるいは試行試験を通してしか具体化できなかった CB 構造物を、合理的な構造・材料設計を通して実現できることになる。

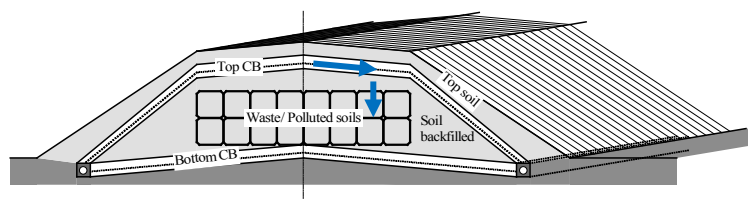


図 1 CB を利用した低盛土式廃棄物貯蔵施設の提案

2. キャピラリーバリア地盤の限界長の推定

限界長の大きさには、構造因子として境界面の傾斜角、材料因子として砂と礫の飽和・不飽和水分特性、ならびに外的因子として浸潤強度が関与する。これらの因子を取り込んだ理論的な限界長の推定式がいくつか提案されており、その中で、Steenhuis らの提案する推定式²⁾が比較的精度が良いとされている。この推定式の精度あるいは実務性を調べるため、図 2 に示す土槽試験装置により CB 地盤の限界長を測定し対比した。試験装置は、下段の緑色の鋼枠アクリル製土槽 (長さ 10m, 幅 0.3m, 高さ 0.4m, 傾斜 5°) と上段の同じく緑色の降水槽からなる。土槽内に粗粒材 (珪砂 1 号) を厚さ 5cm, 続いてその上に細粒材 (珪砂 6 号) を厚さ 10cm で締固めたのち、降水槽底面に 5cm × 5cm あたり 1 本の割合で取り付けられた工業用注射針を通して、締固めた CB 地盤に雨滴給水した。ブレイクスルーの位置つまり限界長は、土層の底面に 30cm 間隔で取り付けられた高さ 3cm の仕切り板によって礫層に浸潤した水を集め、これを土層外に導きピーカーで計量した。一連の試験では、地表面を厚さ 5cm のシルト (飽和透水係数 3×10^{-6} m/s) で被覆したケースについても測定を行った。図 3 に両者の比較を示す。同図には、上記の土槽試験の結果に加えて、公表されている室内試験結

¹ 新潟市役所 Niigata City Government, ² 愛知県庁 Aichi Prefectural Government, ³ 群馬県庁 Gunma Prefectural Government, ⁴ 新潟大学農学部 Faculty of Agriculture, Niigata University

キーワード: 土構造, 保水性, 水分移動; キャピラリーバリア, 低盛土式廃棄物貯蔵施設



図2 限界長を測定するための室内土槽試験装置

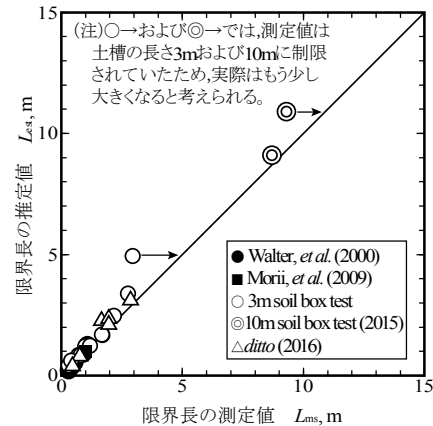


図3 限界長の測定値と推定値との比較

果³⁾と野外での測定結果も比較している。おおむね、Steenhuis らの推定式の実務性を確認することができる。10m 程度の限界長がえられれば、実際的な規模の盛土の施工が可能となる。

3. 野外条件下でのキャピラリーバリア地盤の遮水機能

砂地の圃場斜面（傾斜約 18°）に、木枠で囲った 4 つの区画（長辺 4m×短辺 1m）を造成し、それぞれの区画を裸地、植生被覆、CB 地盤、およびシルト層で被覆した CB 地盤の状態にして、野外条件のもと、区画内の土中水分変化を継続的に計測してきた。CB 地盤区では、地表面下 20cm に厚さ 3cm の礫層を敷設したのち、現地の砂（代表粒径 0.3mm）で埋め戻し締め付けた。土中水分（体積含水率）は土壌水分センサー EC-5（METER Group 社）を用いて、砂層内の深さ 10cm 位置、砂と礫の境界面直上の深さ 20cm 位置、礫層内の深さ 23cm 位置、そして原地盤内の深さ 30cm 位置で計測した。図 4 に 2015 年 8 月から 2017 年 2 月までの約 550 日間にわたる計測結果を示す。当斜面では、現地の砂をそのまま用いたため、限界長は 1.7m 程度と小さく、比較的大きな降雨があるとブレイクスルーが起きているが、それ以外では、境界面上部で浸潤水を効果的に遮断していることがわかる。

4. まとめ

危険な廃棄物や極低レベル放射性廃棄物あるいは放射能汚染物質（土壌等）を水理学的に安全に隔離保管するための低盛土式廃棄物貯蔵施設を提案し、その構造設計に必要な限界長（遮水範囲）の推定式の実務性を確認した。合わせて野外条件下での CB 機能の持続性を確認できた。本研究を進めるにあたり、科学研究費補助金基盤研究(A)（課題番号 25252043）より支援をいただいた。ここに記して深く感謝する。

参考文献：1) 森井俊広・小林薫・松元和伸・中房悟，第 2 回環境放射能除染研究発表会要旨集，p.63，2013. 2) Steenhuis, T. S., Parlange, J.-Y. and Kung, K.-J. S., *Water Resources Research*, 27(8), pp. 2155-2156, 1991. 3) 鈴木友康・森井俊廣，平成 28 年農業農村工学会大会講演会講演要旨集，PDF 3-3，2016.

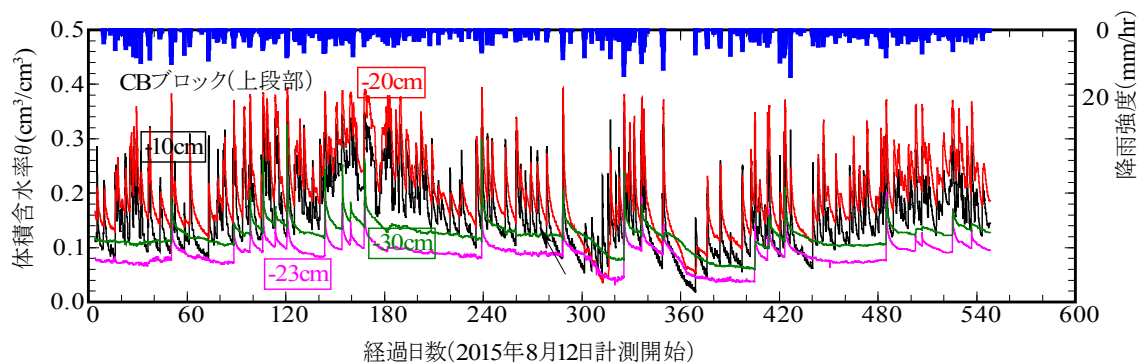


図4 野外条件下でのキャピラリーバリア斜面における土中水分量の変化