

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 7 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420514

研究課題名(和文) 扁平な破碎貝殻の水理学的特性の解明と貝殻を再利用したキャピラリーバリア地盤の開発

研究課題名(英文) ESTIMATION OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS AND EXPERIMENTAL STUDY ON DIVERSION LENGTH OF CAPILLARY BARRIER USING FISHERY BYPRODUCTS(CRUSHED SHELL PARTICLES)

研究代表者

小林 薫 (KOBAYASHI, KAORU)

茨城大学・工学部・教授

研究者番号：80443638

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：CBに適用する破碎貝殻について、異方透水性や不飽和浸透特性(空気・水侵入値を含む)を透水試験や加圧膜法による保水性試験で詳細に把握した。次に、破碎貝殻を用いた大型土槽実験で、降雨強度、斜面勾配、使用材料、層厚、層数をパラメータとし、構造設計に必要となる限界長等を把握した。また、前記試験や土槽実験結果を検証用データに用いて、CBの限界長等を精度良く再現できるHYDRUSによる適用性を検証した。その上で、水分特性曲線の吸水・排水過程のヒステリシス等を考慮することの必要性を明らかにした。

以上より、貝殻の再資源化と共に、廃棄物処分場や極低レベル放射性廃棄物、更には放射能汚染土壌等への展開に繋がった。

研究成果の概要(英文)：A simple soil layer system which is composed of a finer soil layer underlain by a coarser soil layer provides an excellent property of capillary barrier. The functional deterioration of capillary barriers in service for dozens of years is of concern because of the transport of sand particles to the lower gravel layer due to an earthquake et al. The authors found that using crushed shells instead of gravel in the lower layer greatly helps reduce the infiltration of sand particles into the lower layer as well as provides the function of capillary barriers.

In this study, the diversion lengths are measured in the laboratory soil box tests and the field experiments using crushed shells instead of gravel in the lower layer, and compared well with the estimations calculated by the theoretical equation proposed by Steenhuis, et al. As the result, the authors make clear the applicability of the theoretical equation proposed by Steenhuis, et al.

研究分野：地盤工学

 キーワード：不飽和土 キャピラリーバリア 限界長 廃棄物最終処分場 覆土(表面保護層) 極低レベル放射性
 廃棄物処理施設 中間貯蔵施設 副産物(貝殻)

1. 研究開始当初の背景

キャピラリーバリア (以下、CB) は、古くは貴重品を納めた石室への降雨等の長期間にわたる浸透を防ぐため、数多くの古墳で活かされている。また、近年では、スウェーデンをはじめとする海外において、放射性廃棄物の地層処分に關する研究開発の中で、CBに關する研究も盛んに行われている。

一方、国内では「最終処分場跡地形質変更に係る施行ガイドラインについて」(環境省、2005)の雨水浸透抑制型覆土の中で、土質系キャッピング工法の1つとしてCB工法が示されている。また、「H24年度除染技術実証事業」(環境省、2012)の中では、除染技術と共に除去物の保管等の関連技術が求められている他、平成25年度科学技術重要施策アクションプランでは、「復興・再生並びに災害からの安全性向上」の中で、復興・再生過程に必要な技術として、①大量の災害廃棄物の円滑な処理と有効利用や②放射性物質の効果的・効率的な除染だけではなく、処分・保管技術についても、緊急性が高く、今後更なる研究開発が必要とされている(総合科学技術会議、2012.7)。

この様な状況の中で、CB工法は自然材料を用いた耐久性・安全性の高い有効な保管・処分技術の1つとして活用が期待される。ここで、斜面全長にわたって降水が供給され、集積流の水分量は流下するにつれ増えていき、砂層がそれ以上の水分量を保持できなくなると、下部の礫層へ水分が降下浸透し始め、ブレイクスルーが生じる。この集積流の始まり(上流端)からブレイクスルーが最初に生じる位置までの水平距離を限界長と呼ぶ。構造設計に重要な限界長に關する研究は、1990年代以降にRoss(1990)、Steenhuis et al.(1991)や国内では宮崎(1995)、清原ら(2008)により行われているが、実用的な規模の実験では検証されていない。また、この限界長を伸ばすためには、構成する砂層と礫層の保水性に大きな差をつけることが効果的であり、その場合、砂と礫の粒径差を大きくすることが必要になる。しかし、地震多発国である我が国では、乾燥、地震力の作用や降雨浸透水などにより、均等係数の小さな砂が下部の礫層の間に混入してしまうことで、CB性能(限界長等)が大きく低下、喪失する懸念がある。

この砂混入に対しては、砂層と礫層の層境界面に不織布などを設置して混入を防ぐ対応が考えられるが、CBの排水性能等に及ぼす影響や人工物である不織布自体の(数十年以上の)長期耐久性等検証すべき点が残されている。これに対し、申請者は、扁平な破碎貝殻の保水特性に着目し、かつ、貝塚の実績より長期耐久性が確認されている貝殻を礫代替材として下層に用いることで、CBの機能を保持しつつ、上層の砂が下部の破碎貝殻層へ混入することも長期間防止できる可能性をいち早く見出した。砂混入の懸念(課題)を解決できる礫代替材としての「破碎貝殻」

であるが、公表データが少なくCBへ活用するには未解明である水理学的特性等について解明しておく必要がある。加えて、貝殻を再利用したCBの性能評価と早期展開に向けて最適なCB構造と構造設計法の確立も不可欠と言える。

2. 研究の目的

キャピラリーバリア(CB)は、上層に砂、下層に礫を敷設した層状地盤をいう。降雨浸透水が両層の境界面で遮断されることから、廃棄物処分場閉鎖時などの表面被覆工に展開できる。しかし、数十年に及ぶ長期供用では、地震等に伴う土粒子の混合によりCB機能が低下する危惧があった。申請者は、破碎した貝殻を礫代替材として下層に用いることで、CB機能を保持したまま、土粒子混入も防止できることを世界で初めて見出した。

本研究は、砂混入のない破碎貝殻の適性を、粒度特性に基づき定量化すると共に、破碎貝殻の異方透水性や不飽和浸透特性(空気・水分侵入値を含む)を透水試験や加圧膜法による保水性試験で詳細に把握する。次に、破碎貝殻を用いた大型土槽実験で、降雨強度、勾配、使用材料、層厚、層数をパラメータとし、構造設計に必要な限界長等を把握する。加えて、前記試験や土槽実験結果を検証用データに用いて、CBの限界長等を精度良く再現できる解析コードを開発する。その上で、水分特性曲線の吸水・排水過程のヒステリシスを考慮可能な解析コードに高度化する。さらに、実用化に向けた最適なCB構造と構造設計法を確立する。

以上より、貝殻の再資源化と共に、廃棄物処分場や極低レベル(L3)放射性廃棄物、更には放射能汚染土壌等の長期保管への早期展開を図る。

3. 研究の方法

研究目的を達成させるための研究計画・方法について、詳細かつ具体的に各年度(平成25年度～平成27年度まで)に分けて示す。

■平成25年度■

(1) 扁平な破碎貝殻の粒径・粒度分布に基づく礫代替材としての適性の定量化と水分特性曲線の解明

適切な破碎貝殻を確定するために、まずは貝殻の破碎方法について検討する。破碎方法は、①粉砕機、②突固め破碎および③重機転圧破碎を選定し、各破碎貝殻の粒子形状の把握(細粒分は、保有する電子顕微鏡で比較分析)を行う。その上で、破碎方法の異なる貝殻の粒径・粒度分布毎の水分特性曲線(SWCC)について、連携研究者(西村)が保有する加圧膜法(又は、低サクション域は土柱法)による保水性試験装置で詳細に検討し、CB層の礫代替材としての扁平な破碎貝殻の適性を定量的に評価する。

(2) 大型土槽実験で降雨強度、土層勾配、層厚・層数をパラメータにした限界長の検証と

CBの性能評価

研究協力者（飛島建設）保有の大型斜面土槽に限界長を詳細に測定できる様に改造すると共に、予備タンクの水位制御で降雨強度を調整可能な降雨装置を製作した上で、降雨強度(1~50mm/h)、土層勾配(2.5~10%)、CB層厚(5~50cm/層)、層数(2、3層)をパラメータにして限界長を系統的に把握する。

(3) CBの限界長を精度良く再現できる解析コードを開発・高度化(保有解析コードのUNSAFと比較検証)

大型土槽実験の測定データを基に、限界長や流出水量および土中の土壌水分量(埋設した土壌水分計により測定)を精度よく再現するため、例えば、Galerkin有限要素法や物質輸送を解析する特性曲線型有限要素法等を連成させる適切な理論構築を実施する。理論構築には、井上光弘(連携研究者)のこれまでの研究業績や実績等を基に、オブジェクト指向の開発言語(C++, Javaなど)で実施する。また、HYDRUSの適用性について検討を行う。

■平成26年度■

(1) 扁平な破砕貝殻の粒径・粒度分布に基づく礫代替材としての適性の定量化と水分特性曲線の解明

礫代替材として破砕貝殻を用いる場合、上部に砂層や覆土などの荷重が作用するため、鉛直荷重載荷型保水性試験装置(西村保有)で、想定される鉛直荷重下での水分特性曲線を把握する。

(2) 大型土槽実験によるCBの限界長検証とその性能評価

土壌水分計等を用いた大型土槽実験の結果を基に、土層内の水分移動とブレイクスルー現象のメカニズムについて明らかにする。また、既存推定式による限界長と比較検討し、複数の推定式(Ross(1990)、Steenhuis et al.(1991)等)の適合性を評価する。加えて、破砕貝殻特有の異方透水性、砂の水分特性曲線のヒステリシスおよび3層構造を加味した限界長を精度良く推定できる新たな提案式を提示する。

(3) CBの限界長を精度良く再現できる解析コードの開発・高度化

砂の水分特性曲線は、排水過程と吸水過程でヒステリシスが生じる。CBの厳密な限界長を再現するためには、砂の水分特性曲線のヒステリシスを考慮することが必要である。H25年度に開発した解析コードに水分特性曲線のヒステリシスを考慮できる浸透特性モデルを組み込み解析コードの高度化を図る。

(4) 最適CB構造の解明と構造設計法の確立

大型土槽実験で得られた結果を整理し、CBの構造と性能(特に、限界長に着目)について分析を行い、想定される降雨強度を基に、層勾配・層厚・層数と共に経済性を加味した最適なCB構造を確立する。

■平成27年度■

(1) 大型土槽実験によるCBの限界長検証と

その性能評価

大型土槽で、短時間降雨、長時間降雨(10日間以上)や乾湿繰り返し等の降雨(吸水)・乾燥(排水)パターンの繰り返し実験を行い、各パターン毎のCBの性能評価を基に、短期・長期安定性を明らかにする。

(2) CBの限界長を精度良く再現できる解析コードの開発・高度化

前述した大型土槽実験の結果を基に、短時間(ゲリラ)豪雨等の極端な降雨・乾燥パターンについて、高度化した解析コードを用いてシミュレーションによる検証を行う。加えて、実験では困難な超短時間豪雨(例えば、100mm/h等)の極端な降雨強度に対する表面流、CB性能(限界長)の評価を実施する。

(3) 最適CB構造の解明と構造設計法の確立

成果を基に、適切な限界長の推定式(定常状態)や解析コード(非定常状態)を組合せた構造設計法を確立させる。また、構造設計に必要な調査・試験並びに破砕貝殻の飽和・不飽和水理学特性のデータベースも提供した上で、設計手順を提示する。さらに、最適なCB構造で大型土槽実験を行い、その実験結果を基に構造設計法の妥当性を検証する。これにより、廃棄物処分場だけではなく、緊急性の高い放射能汚染土壌等の長期保管への利用も視野に入れながら、破砕貝殻を用いたCBの早期展開に繋げる。

4. 研究成果

(1) CB限界長に及ぼす不織布の影響

室内土槽実験により得られた限界長に関する主な成果は以下に示すとおりである。

① 定常時における土槽底面部からの流出水量およびその分布は、層境界面への不織布敷設の有無による影響がほとんどないことを実験により確認した。

② CBの限界長は、散水強度、土槽(層境界面)の傾斜角度の影響を大きく受け、散水強度が弱く、また土槽(層境界面)の傾斜角度が大きくなるほど長くなる。この傾向は、不織布の設置の有無に関係なく同様であった。

③ CBの限界長は、層境界面への不織布敷設の有無により顕著な違いがないことを実験で確認した。(図4-1参照)

(2) CB限界長に及ぼす砂層の乾燥密度の影響

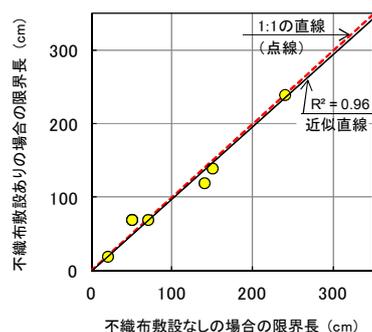


図4-1 不織布敷設の有無によるCB限界長の

- ①土の透水試験結果から得られた飽和透水係数比 (=1.45) と大型土槽実験による CB 限界長の比率 (平均値≒1.37、ばらつきは 1.30~1.49) がほぼ同値になった (表 4-1 参照)。また、砂層の乾燥密度 ρ_d (締固め度 D_c) の変動に伴う CB 限界長の変動は、SWCCから求まる空気侵入値 h_a の変動による影響は相対的に小さく、ほぼ飽和透水係数 k_s の変動に伴うものであることが明らかになった。
- ②CB 限界長の測定値と推定値は、乾燥密度 ρ_d (締固め度 D_c) に関わらず比較的良く一致しており、Steenhuis et al.の式において、CB 限界長が式の分子にある飽和透水係数 k_s に比例するという推定式の妥当性を実験的に確認した (図 4-2 参照)。

表 4-1 乾燥密度 ρ_d (締固め度 D_c)ごとの CB 限界長 (単位: cm)

傾斜角度	締固め度	設定散水強度 (mm/h)					
		5	比率 ^{*1)}	10	比率 ^{*1)}	20	比率 ^{*1)}
5.0°	85%	219	1.30	100	1.43	40	1.33
	90%	169		70		30	
10.0°	85%	290超	-	217	1.30	118	1.49
	90%	276		167		79	

*1) 比率=締固め度 D_c が 85% 時の限界長 / 締固め度 D_c が 90% 時の限界長

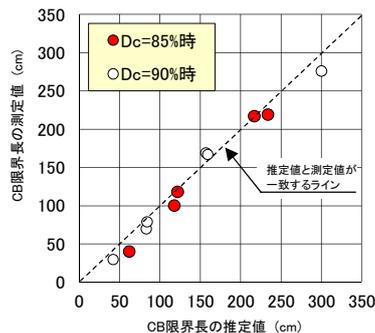


図 4-2 CB 限界長の実測値と推定値の比較

- (3)CB 限界長に及ぼす表面保護層厚さの影響
- ①Steenhuis et al.の推定式は、CB を構成する細粒土層厚が一定以上の場合に適合性が良いものと推察される。細粒土層厚が薄い場合は、限界長を危険側に評価する可能性があり、推定式の適用にあたっては細粒土層厚に十分留意する必要があることが明らかになった (図 4-3 参照)。
- ②Steenhuis et al. の推定式を適用できる細粒土層厚の目安は、本実験の試料では安全側サイドであるが細粒土の水分特性曲線 (SWCC) から得られる毛管水帯の高さ (≒ 40 cm) 程度以上と推察される。

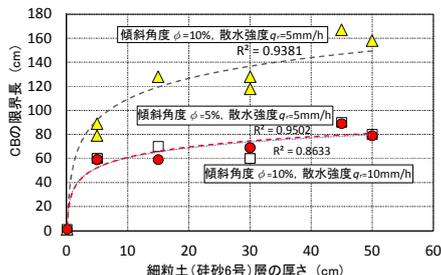


図 4-3 細粒土層厚さと CB の限界長との関係

- (4)CB 限界長に及ぼす層境界面の凹凸の影響
- ①定常時における流出水が認められる流出口の箇所数は、土槽の傾斜角度が小さく、また散水強度が強くなるほど多くなる。この傾向は、層境界が平坦な場合でも不陸がある場合ともに同様の傾向であった。
- ②CB 限界長は、散水強度、土槽 (層境界面) の傾斜角度の影響を大きく受け、散水強度が弱く、また土槽 (層境界面) の傾斜角度が大きくなるほど長くなる。この傾向は、層境界が平坦な場合でも不陸がある場合ともに同様であった。
- ③不陸がある場合の CB 限界長は、不陸がない場合の CB 限界長と比べても概ね一致した傾向を示しており、規則的な正弦波形状の不陸の存在は、限界長に影響を及ぼさない可能性が高いことがわかった。
- ④CB 限界長は、測定値と推定値の間に高い相関が見られ、限界長推定式は不陸の有無にかかわらず適用できる可能性が高いことを実験で確認した。

(5)3 層 CB 限界長の評価 (室内土槽実験)

- ①3 層 (表面保護層+CB 層) の限界長と 2 層の限界長を比較した場合、同じ土槽傾斜角度と散水強度であっても、3 層の限界長が伸びていることが分かる。3 層の限界長は、同一散水強度の 2 層限界長に対して、平均で約 1.7 倍大きくなっている。
- ②3 層の限界長と 2 層の限界長の関係は、相関の強い (相関係数 $R > 0.98$) 結果が得られ、表面保護層を通過し砂層への浸潤フラックス q を適切に評価できれば、定常状態における 3 層の限界長についても推定できる可能性がある (表 4-2、図 4-4 参照)。

表 4-2 表面保護層の有無による CB 限界長

傾斜角度 (°)	種類	測定値または推定値	散水強度 (mm/h)		
			5	10	20
1.25	CB層	-	-	-	-
	覆土+CB層	測定値	-	-	40
2.5	CB層	-	-	-	-
	覆土+CB層	測定値	160	70	30
5.0	CB層	測定値	169	70	30
		推定値	159	84	42
	覆土+CB層	測定値	279超	100	60
		推定値	276	167	79
10.0	CB層	測定値	276	167	79
		推定値	300	157	83
	覆土+CB層	測定値	-	276超	128
		推定値	-	276超	128

注) 表中の超の表記は、装置の測定範囲を超えたため最低限の値を示している。

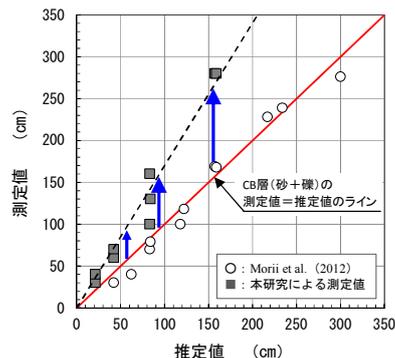


図 4-4 表面保護層の有無による限界長の比較

(6) 3層 CB 限界長の評価 (フィールド実験)

- ①表面保護層+CB 層の限界長は、実験したすべてのケースにおいて、CB 層の限界長より大きな値を示し、表面保護層の設置に伴い限界長が伸びることが明らかになった (表 4-3 参照)。
- ②同一の散水強度に対して、表面保護層+CB 層の限界長は、CB 層のそれと比べ、平均で約 1.5 倍になっている。加えて、両者の関係は良好な直線関係が得られ、表面保護層を通過し砂層への浸潤フラックス q を適切に評価できれば、表面保護層+CB 層の限界長を推定できる可能性がある (図 4-5 参照)。

表 4-3 CB 層と(表面保護層+CB 層)の限界長

		ケース1	ケース2	ケース3
斜面勾配(%) (層境界面勾配)		10.0		
散水強度(mm/h)		5.0	3.0	2.0
覆土+CB層	測定値(cm)	249 (250)	498 (500)	697 (700)
CB層		149 (150)	398 (400)	547 (550)

※表中の()内の値は、フィールド実験で得られた斜距離を示す。

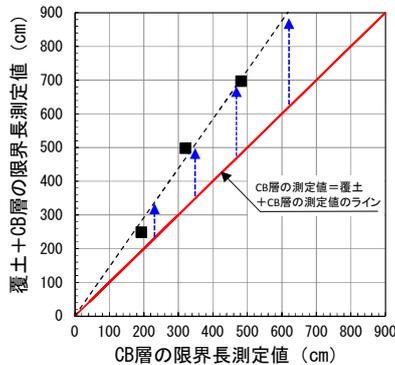


図 4-5 表面保護層の有無による限界長の比較

(7)HYDRUS による CB 限界長の評価

- ①斜面キャピラリーバリア層を有する浸透現象を 2 次元の数値シミュレーション (HYDRUS-2D) で再現できるかどうかを検討した結果、大型土槽の実験データと比較して、かなり正確に水分動態を示すことができた (図 4-6 参照)。
- ②限界長を推定するために、砂、礫の水分移動特性値が必要で、排水過程と吸水過程の土壤水分特性曲線に基づいて、van-Genuchten-Mualem モデルのパラメータを入力値に採用した結果、排水過程の特性値では、限界長は 45cm 程度、吸水過程の特性値では、限界長は圧力・水分分布から 140cm 以上、流速ベクトル分布から 160cm 程度であることを示した。すなわち、実験条件にあった吸水過程のパラメータが大型土槽実験値 160~170cm と一致した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

- ①小林 薫、鈴木ひかり、進藤里歩、村上 哲、松元和伸、森井俊広：廃棄物最終処分場覆

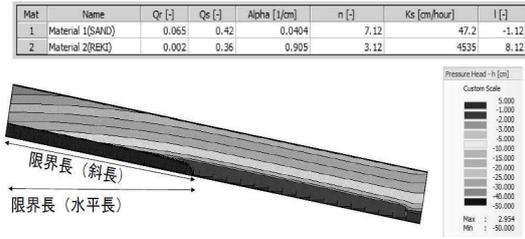


図 4-6 van Genuchten-Mualem モデルの入力パラメータと圧力分布図による限界長の推定

土に用いる水産系副産物 (貝殻) の適用性に関する実験的研究、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、Vol.72、No.2、2016.9

- ②菅 紘毅、辻本剛三、柿木哲哉、宇野宏司、小林 薫：再利用した貝殻のキャピラリーバリアの海浜断面変化に及ぼす影響に関する基礎的研究、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、Vol.72、No.2、2016.9
- ③松元和伸、小林 薫、森井俊広、中房 悟：層境界面に不陸を有するキャピラリーバリア地盤の限界長の評価、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol.11、No.2、2016.6
- ④小林 薫、松元和伸、森井俊広、中房 悟：キャピラリーバリアの性能に及ぼす表面保護層厚さの影響、地盤工学会誌、査読有、Vol.64、No.2、pp.10-13、2016.2
- ⑤小林 薫、松元和伸、森井俊広：貝殻を有効利用したキャピラリーバリアによる塩害防止策に関する基礎的研究、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、Vol.71、No.2、pp.I 874-I 879、2015.9
- ⑥小林 薫、松元和伸、森井俊広、中房 悟：ホタテ貝殻を用いた成層傾斜キャピラリーバリアの限界長に関する研究、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、Vol.70、No.2、pp.I-1092-I-1097、2014。
http://doi.org/10.2208/jscejo.70.I_1092
- ⑦森井俊広、竹下祐二、小林 薫、松元和伸：不飽和地盤における原位置透水試験、地盤工学会誌、査読有、Vol.62、No.5、pp.18-21、2014。
- ⑧小林 薫、松元和伸、森井俊広、中房 悟、川端淳一、小澤一喜：多層傾斜キャピラリーバリアの限界長に関する実験的研究、地盤工学会誌、査読有、Vol.62、No.5、pp.6-9、2014。
- ⑨小林 薫、松元和伸、森井俊広、中房 悟、西村友良：砂層の乾燥密度がキャピラリーバリアの限界長に及ぼす影響、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol.9、No.4、pp.591-602、2014。
<http://doi.org/10.3208/jgs.9.591>
- ⑩阪 絵梨子、森井俊広、小林 薫、松元和伸：土のキャピラリーバリア機能を利用した試験的な盛土式廃棄物貯蔵施設のフィールド条件下での性能、新潟大学農学部研究報告、査読有、Vol.66、No.2、pp.155-161、2014。
- ⑪小林 薫、松元和伸、森井俊広、井上光弘：ホタテ貝殻を再利用したキャピラリーバ

リアのフィールド実験による限界長の評価、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、Vol.69、No.2、pp.I-574-I-579、2013。

- ⑫ 小林 薫、松元和伸、中房 悟、森井俊広：キャピラリーバリアの限界長に及ぼす不織布敷設の影響、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol.8、No.4、pp.611-620、2013。
- ⑬ 中房 悟、小林 薫、松元和伸、森井俊広：貝殻を再利用したキャピラリーバリア地盤の大型土槽実験による限界長の評価、土木学会論文集 C(地圏工学)、査読有、Vol.69、No.1、pp.126-139、2013。
- ⑭ 中房 悟、小林 薫、松元和伸、森井俊広：キャピラリーバリアを利用した盛土式廃棄物処分施設における底部集排水砂層の垂直応力下での排水に関する性能評価、地盤工学ジャーナル、査読有、Vol.8、No.2、pp.197-207、2013。
- ⑮ T. MORII, T. SUZUKI, T. KAWAI, K. KOBAYASHI and K. MATSUMOTO: Performance of Capillary Barrier System Included in Test Shallow Land Waste Repository、新潟大学農学部研究報告、査読有、Vol.65、No.2、pp.179-186、2013。

[学会発表] (計 26 件)

- ① 小林 薫、傾斜キャピラリーバリアを構成する細粒土層の厚さが降雨浸透制御機能に及ぼす影響、日本地下水学会、2015 年 10 月 23 日、多田記念大野有終会館 (福井県・大野市)
- ② 井上光弘、HYDRUS-2D によるキャピラリーバリア地盤の限界長の評価、日本砂丘学会(JSSDR)、日本砂丘学会、2015 年 8 月 21 日、弘前大学農学生命科学部 (青森県・弘前市)
- ③ 小林 薫、表面保護層が傾斜キャピラリーバリアの性能に及ぼす影響、地盤工学会、2015 年 7 月 7 日、日本大学工学部 (福島県・郡山市)
- ④ Toshihiro Morii, Estimation and Observation of Water Diversion in Capillary Barrier of Soil, UNSAT, 2014 年 7 月 3 日、(豪、シドニー)
- ⑤ 小林 薫、フィールド実験による覆土を有する 3 層構造の傾斜キャピラリーバリアの性能評価、日本地下水学会、くまもと県民交流館パレア、2014 年 11 月 7 日、(熊本県・熊本市)
- ⑥ 阪 絵梨子、土のキャピラリーバリア機能を用いた盛土形式の廃棄物貯蔵施設の提案、農業農村工学会、2014 年 8 月 27 日、朱鷺メッセ、(新潟県・新潟市)
- ⑦ 小林 薫、ホタテ貝殻の地盤工学的有効利用による環境調和型キャピラリーバリア地盤の開発、地盤工学会、2013 年 9 月 17 日、日本大学文理学部百周年記念館、(東京都・世田谷区)
- ⑧ Kazunobu Matsumoto, Estimation and experimental study on diversion length of capillary barrier using crushed shell particles,

GEOMATE, 2013 年 11 月 14 日、(日本、名古屋市)

- ⑨ 小林 薫、貝殻を有効利用したキャピラリーバリアの限界長に関する実験的研究—斜面長 10m のフィールド実験—、日本地下水学会、2013 年 10 月 11 日、秋田県民会館、(秋田県・秋田市)
- ⑩ 小林 薫、扁平な破碎貝殻を用いたキャピラリーバリアに関する限界長の評価、地盤工学会、2013 年 7 月 14 日、富山国際会議場、(富山県・富山市)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<https://info-e.ibaraki.ac.jp/scripts/update/kkmain.htm>

6. 研究組織

(1)研究代表者

小林 薫 (KOBAYASHI KAORU)
茨城大学・工学部・教授
研究者番号：80443638

(2)連携研究者

森井 俊広 (MORII TOSHIHIRO)
新潟大学・農学部・教授
研究者番号：30231640

(3)連携研究者

西村 友良 (NISHIMURS TOMOYOSHI)
足利工業大学・工学部・教授
研究者番号：00237736

(4)連携研究者

井上 光弘 (INOUE MITSUHIRO)
鳥取大学・農学部・名誉教授
研究者番号：90032309

(5)研究協力者

松元 和伸 (MATSUMOTO KAZUNOBU)

(6)研究協力者

中房 悟 (NAKAFUSA SATORU)