

技術報文

# GCL を用いたため池堤体に関するこれまでの研究と

## 設計・施工マニュアル確立に向けた取り組み

兵庫県農地整備課	小田 哲也
神戸大学大学院農学研究科	澤田 豊
兵庫県農村環境室	野村 純数
兵庫県農村環境室	福永 隼也
農研機構農村工学研究部門	泉 明良
農研機構農村工学研究部門	堀 俊和
神戸大学大学院農学研究科	河端 俊典

### 1. はじめに

#### (1) ため池をめぐる近年の情勢

ため池とは耕地かんがい用の用水貯留池である。令和3年4月時点で全国のため池数は約15万か所<sup>1)</sup>、うち兵庫県は約2万2千か所で、本県は都道府県別で全国1位となっている。本県のため池分布は、雨が少ない淡路島や瀬戸内地域を中心に偏在している。ため池は現在もなお水田農業を支える貴重な水源施設であるが、その多くは江戸から明治時代にかけて築造されており、老朽化したものや、現行の設計基準を満足しないものが多く、決壊等のリスクが高まっている。

平成30年7月豪雨災害や管理体制の脆弱化を踏まえ、令和元年7月に「ため池管理保全法」及び本県の改正ため池保全条例が施行され、全てのため池の管理状況等の届出を義務付けるとともに、施設規模にかかわらず、万一決壊した場合に家屋・公共施設・農地・農業用施設等に被害を及ぼすおそれのあるため池約8,500箇所を県が「特定ため池」に指定した。また、令和2年10月には「ため池工事特措法」が施行され、ため池整備を集中的かつ計画的に推進するために、令和12年度までの10箇年の実施計画として「防災工事等推進計画」を市町と共同で策定（R3.3）し、期間中に422箇所のため池改修整備や廃止工事を推進している。

#### (2) ため池改修方法

老朽化したため池の漏水対策としては、図-1(a)に示すような傾斜コア型遮水工法が一般的に採用されている。一方近年、現場条件等により傾斜コア型の採用が困難な場合は、代替として図-1(b)に示すような遮水シート工法の採用が増えつつある。本工法は、廃棄物最終処分場の遮水工として実績のあるジオシンセティッ

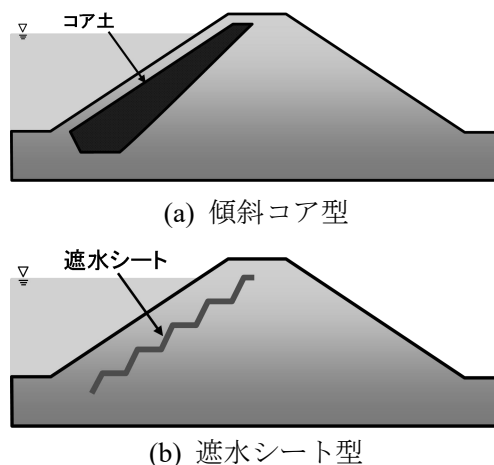


図-1 ため池堤体の標準断面図

ククレイライナー（GCL）を、ため池堤体の遮水材料として応用するものであり、厚さ約4.5～7mmのベントナイト層を織布等で挟んだシートを階段状に設置し、盛土する施工方法であるが、GCLを用いたため池堤体の設計手法は未確立となっている。今後、ため池改修工事が増加する中で、用土不足の対策としてもGCLの利用が増えることが想定され、設計手法や施工管理の確立が望まれている。そこで、本報の第2章と3章ではGCLを用いたため池堤体の設計に関する一連の研究について、第4章では施工に関する検討について紹介する。

## 2. 実大規模加振実験

### (1) 加振実験の概要

兵庫県、神戸大学及び国立研究開発法人防災科学技術研究所は共同でGCLを採用し改修したため池の耐震性能を確認するため、平成27年度からE-ディフェンスにおいて堤高3mの実大規模ため池堤体を対象に加振実験を実施した<sup>2),3)</sup>。その様子を写真-1に、実験ケースを図-2に示す。通常のため池改修で採用される傾斜コア型模型のほか、堤体内部にGCLを階段状に設置した模型、階段状に設置したGCLに継目を設けた模型及び直線状に設置した模型の4ケースで実験を行った。

### (2) 実験結果

レベル2地震動を想定した加振実験の結果GCL改修堤体の模型の3ケースはいずれも天端でクラックが堤体軸方向に発生したが、決壊や漏水には至らなかった。実験後の堤体断面の掘削調査と堤体内の加速度計測結果から、GCLは堤体の地震時挙動に影響を与えることがわかった<sup>4)</sup>。さらに、堤体の加速度応答の結果から、GCLを境界として上流側堤体と下流側堤体の振動特性が異なることが明らかとなり、直線状よりも階段状にGCLを設置する方が堤体は安定することが確認された<sup>5)</sup>。なお、継目の有り無しでは特に優位な差がないことも明らかになった<sup>6)</sup>。

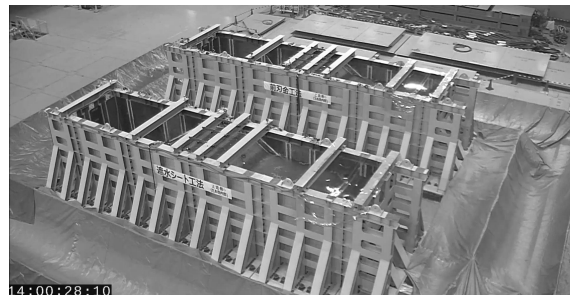
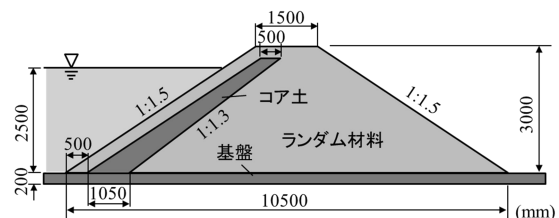
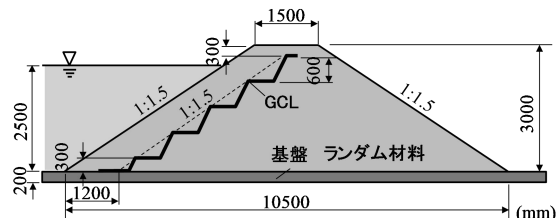


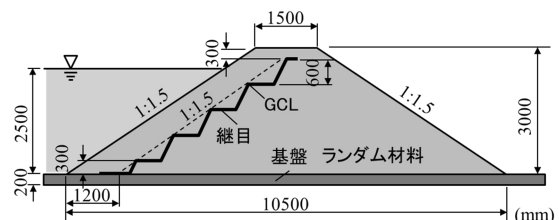
写真-1 実物大規模加振実験の様子



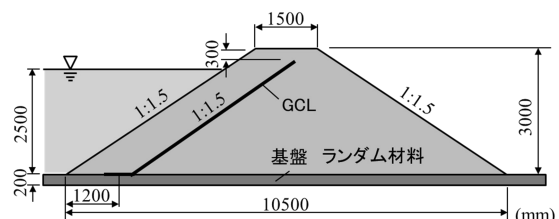
(a) 傾斜コア型改修堤体の模型



(b) GCL改修堤体の模型（階段状配置）



(c) GCL改修堤体の模型（階段状配置+継目有）



(d) GCL改修堤体の模型（直線配置）

図-2 実験ケースの横断面図

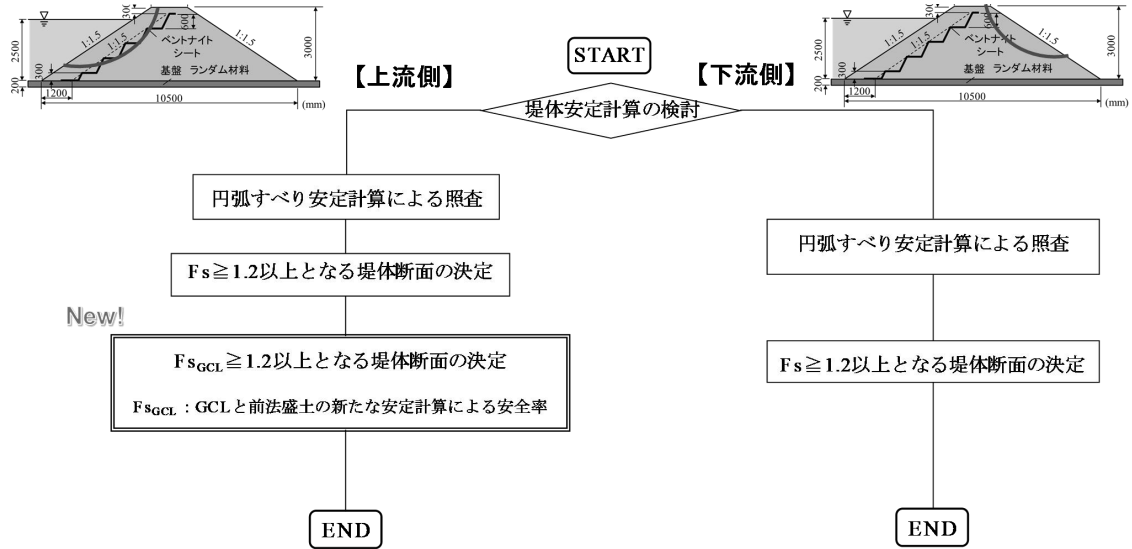


図-3 GCL を考慮した堤体安定計算フロー案（レベル1地震動で液状化しない条件）

### 3. GCL を用いたため池堤体の設計

#### (1) 実験結果から導いた堤体安定計算

図-3 は、堤体安定計算のフロー案である。GCL による既往のため池改修事例では、設計手法が未確立のため堤体の円弧すべりのみで安定性を照査されてきた。今後は、GCL を考慮した堤体安定計算手法を確立するため、その照査を行う必要がある。

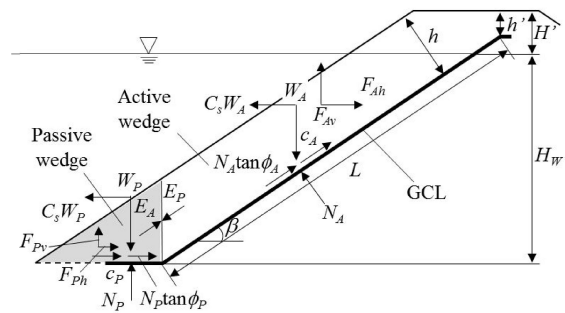


図-4 GCL 上流側の地盤が直線状に滑ること

実大規模実験より、堤体内の GCL を考慮した安定性検討の必要性が示唆された。実験結果から、GCL 上流側で直線状に滑る破壊メカニズムが考えられた。そこで、図-4 に示すような土塊に対して極限つり合い法による安定計算方法が示されている<sup>5)</sup>。

#### (2) 現場での浸潤線計測<sup>7)</sup>

浸潤線の位置は堤体の安定性を検討する上で重要な設計要素である。平成 17 年度に GCL を用いて改修した県内のため池を対象にその遮水機能の保持を検証するとともに浸潤線の位置を検討するため、堤体内（GCL 下流側）および池内の水位を約 1 年間現地計測した。また、当現場を対象に、FEM 浸透流解析を実施し、浸潤線の位置推定に関して解析の適用性を検討した。計測結果より、GCL により浸潤線が低下していることと、池の水位の変化に対する GCL 下流側の水位変化挙動から判断して、GCL の遮水機能は保持されていることが明らかとなった。さらに、FEM 解析と現地計測結果は比較的良好な一致を示し、GCL 無しの解析結果との比較から、GCL による浸潤線低下ならびに漏水量減少が示された。

#### (3) 浸潤線の設定方法<sup>8)</sup>

現行の国ため池整備指針及び県基準では傾斜コア型の浸潤線計算式は以下のとおり福田の式とカサグランデの方法によるものとされており、シート状の構造物には適用不可能である。

$$Y = \sqrt{2Y_0 \cdot X + Y_0^2}, \quad Y_0 = \frac{q}{k_2}$$

$$q = \frac{(H_1 - 0.5h)}{b + CM} \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{H_1}{\sin\theta_1} + \frac{h}{\sin\theta_2} \right) \cdot k$$

ここで、 $H_1$ は上流水位、 $k$ は透水係数、その他はコアの形状により決定されるパラメータである。GCLを用いた場合の浸潤線を上記に示す従来の方法で計算できるようにするため、GCLに外接する平行四辺形を設定し、仮想的に傾斜コアと想定した。図-5に仮想傾斜コアの模式図を示す。

仮想傾斜コア内について、GCLとランダム材の2種類の土質材料が混合することから、図-6のように等価透水係数を設定し、現行のため池設計指針および基準に沿って、浸透流計算が可能としている。なお、等価透水係数は以下の式で算出される。

$$k_{vc} = \frac{D_c}{\frac{D_b}{k_b} + \frac{(D_c - D_b)}{k_c}}$$

ここで、 $k_{vc}$ は仮想傾斜コアの透水係数、 $k_b$ はGCLの透水係数、 $k_c$ はランダム材の透水係数である。

GCLを設置した場合と仮想傾斜コアの場合のFEM浸透流解析を行った結果、両者の浸潤線は一致し、階段状に設置されるGCLを平行四辺形のコアで置き換えることの妥当性を示した。

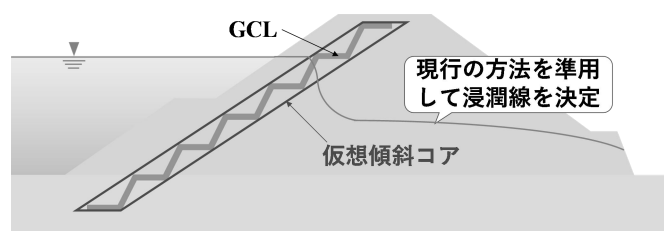


図-5 仮想傾斜コアの模式図

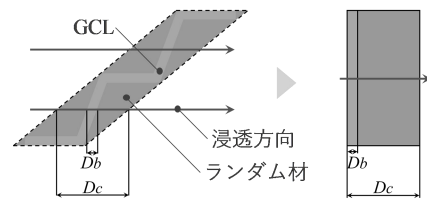


図-6 仮想傾斜コアの簡略化

#### 4. 堤体改修の施工方法案

##### (1) GCL 施工の標準要領案

GCLには各種材料があるが、施工手順等はほぼ共通しているため、代表的な施工手順・方法を述べる。施工の標準フローチャートを図-7に示す。

実規模実験の結果を踏まえ、ため池堤体盛土はあらかじめ階段状になるよう現況堤体または盛土をベンチカットする。

設置基盤の表面はGCLへの局所的な荷重が作用するのを避けるため、凸凹や突起物(レキ・木先・木根等)を除去し、平滑になるように十分な転圧・整地を行う。基

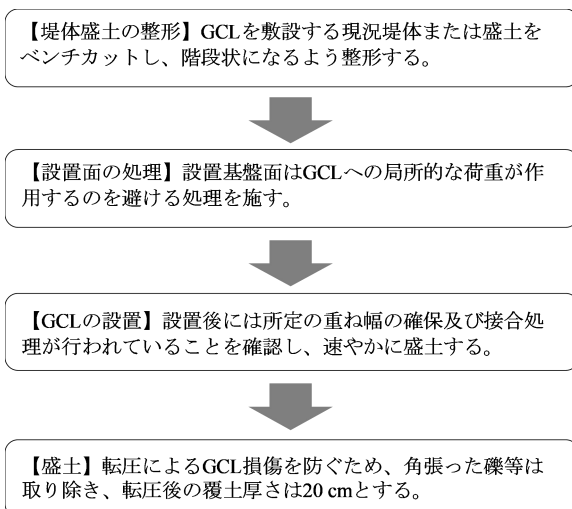


図-7 GCLを用いたため池改修の施工フロー

盤において、不同沈下・圧密沈下が発生する恐れのある場合は、地盤改良や良質土に置換等の処置を行う。また、基盤の湧水状況によっては、適切な対策を講じる。

GCL 設置完了後には GCL に損傷や所定の重ね幅の確保及び接合処理が行われていることを確認する。その際は、GCL 接合部に異物が入っていないこと、接合部に弛み及び捲れがないことを目視で点検する。GCL 設置状況確認後は速やかに盛土する。現場条件により盛土で覆うことができない場合は、ブルーシートなどで速やかに覆い養生する。

盛土材料は、転圧によって GCL が損傷しないよう角張った礫等は取り除くよう留意し、転圧後の厚さが 20cm となるように盛土する。盛土層の上で重機が走行する場合、急ブレーキや急旋回に留意し、以降の盛土はため池の施工管理基準に基づき作業する。

## (2) GCL 重ね合せ部接合部及び構造物周り接合部の処理例

材料の違いに伴って一部異なる場合もあるが、GCL 重ね合せ接合部及び構造物周り接合部は遮水性能上重要な施工工程のため、特に入念な施工が必要である。以下に、重要な施工処理の例を示す。

GCL 接合部の処理例を図-8 に示す。GCL を 20cm 以上重ね合わせ、接合部分の間にベントナイトを散布して重ね合わせる（散布幅、散布量はメーカーによって異なる）。勾配 1 : 1.5~2.0 より急な斜面はベントナイトを水で練ったベントナイトペーストなどを使用する。

取水施設や洪水吐等のコンクリート構造物周りの処理例を図-9 に示す。土と構造物の取合い部にベントナイトを散布し、GCL 本体を取合い部まで設置する。構造物面にもペースト状のベントナイトなどを使用する。幅 40cm 以上の帯状の GCL を切り出し、構造物面、GCL 本体との重ねにそれぞれ 20cm（目安）以上の幅を取って設置する。構造物面の端部は必要に応じて釘、ガムテープなどで固定する。構造物面との重ね幅は覆土厚などの状況により変わることもあり、GCL 端部が露出しないように処理する必要がある。また、小口が剥がれない様に注意しながら盛土を行う。

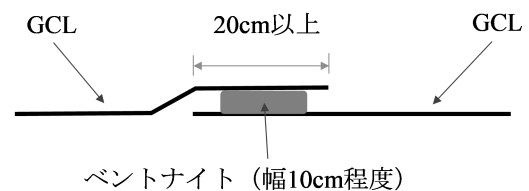


図-8 GCL 接合部処理方法例

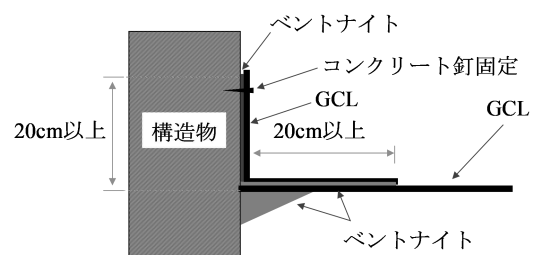


図-9 構造物との接合部処理方法例

## 5. 今後の課題

以上の研究成果や検討を踏まえ、兵庫県ではため池改修工事が増加する中、コア土不足が顕在化してきているため、令和 3 年度より県版の「ため池ベントナイトシート工法設計・施工マニュアル」の策定を進めている。その策定に当たっては、神戸大学、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構、日本遮水工協会 GCL 分科会等が連携し、現場に資するマニュアルとして設計・施工の統一化をめざしている。

これまでに実大規模の加振実験は行ったものの、堤高 3m と規模が小さいこと、堤体横断面から盛土の破壊形状が確認出来ていないこと、またシートの設置パターンが少なかったことから、追加検証を行う必要があり、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構で遠心力载荷模型実験を進めている。

また、GCL を用いた改修工法の確立には、安定計算等の設計手法や適切な GCL 設置位置の検討、施工管理、品質確保、積算、他工法との比較など、現場のニーズをマニュアルに反映していくことが今後の課題である。

## 謝辞

日本遮水工協会 GCL 分科会の関係者の皆様には、「ため池ベントナイトシート工法設計・施工マニュアル」の策定にご協力いただいています。ここに記して感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 農林水産省 HP ([https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai\\_saigai/b\\_tameike/tameike\\_taiou.html](https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/tameike_taiou.html))  
2022.1.21 確認
- 2) 澤田豊, 中澤博志, 片岡沙都紀, 小林成太, 小田哲也, 古林智宏, 澁谷啓, 山下拓巳三, 谷和夫, 梶原浩一, 河端俊典: 前刃金工法および遮水シート工法により改修されたため池堤体の実大規模振動実験, ジオシンセティックス論文集, Vol.31, pp.167-174, 2016.
- 3) Sawada,Y., Nakazawa,H., Oda,T., Kobayashi,S., Shibuya,S., Kawabata,T. (2018) : Seismic performance of small earth dams with sloping core zones and geosynthetic clay liners using full-scale shaking table tests, *Soils and Foundations*, Vol.58, Issue 3, pp.519-533.
- 4) 小田哲也, 澤田豊, 中澤博志, 小林成太, 澁谷啓. 河端俊典: 階段状に設置したベントナイト系遮水シートがため池堤体の地震時挙動におよぼす影響, ジオシンセティックス論文集, Vol.31, pp.175-182, 2016.
- 5) Sawada,Y., Nakazawa,H., Take,W.A., Kawabat,T. (2019) : Effect of installation geometry on dynamic stability of small earth dams retrofitted with a geosynthetic clay liner, *Soils and Foundations*, Vol.59, Issue 6, pp.1830-1844.
- 6) Sawada,Y., Nakazawa,H., Take,W.A., Kawabat,T. (2019) : Full scale investigation of GCL damage mechanisms in small earth dam retrofit applications under earthquake load, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.47, No.4, pp.502-513.
- 7) 澤田豊, 眞木陸, 神信浩一, 谷本幹夫, 中澤博志, 河端俊典: ジオシンセティッククレイライナーを用いて改修されたため池堤体の現地水位計測, 農業農村工学会論文集, No.309, I\_357-363, 2019.
- 8) 澤田 豊, 松本 起, 井上 和徳, 浦部 朋子, 河端 俊典: ジオシンセティッククレイライナーが敷設されたため池堤体の浸潤線設定方法の提案, 農業農村工学会論文集, 第 313 号(第 89 巻第 2 号) I\_363-369, 2021.