

河川堤防の浸透対策としてのドレーン工の耐久性に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令1～令3
担当チーム：土質・振動チーム
研究担当者：佐々木哲也、石原雅規、
梶取真一

【要旨】

河川堤防の浸透対策として裏法尻にドレーン工が設置される区間も多い。浸透が繰返し作用することにより目詰まりが生じ、経年的にドレーン工の機能低下が低下することが懸念されている。本研究では、要素試験、実際の堤防に設置されたドレーン工の開削調査、大規模模型実験により、目詰まりの兆候や機能低下に関する事象を調べた。その結果、調査した範囲においては、目詰まりの兆候や機能低下に関する事象は確認できなかった。この結果を踏まえ、安価でより質の高いドレーン工の設計法及び構造を提案した。

キーワード：河川堤防、ドレーン工、目詰まり、吸出し防止シート、開削調査

1. はじめに

河川堤防は、原則的に、劣化しにくい材料と考えられている土で作られていること等を背景に、河川堤防においては長期安全性に係る調査・研究は少ない。

しかし、大きな出水がなくても、はらみ出しのような堤防の変状が見られることは少なくない。また、軟弱地盤上に作った堤防では、圧密沈下により堤防の沈下や不陸、亀裂などの変状が長期間にわたり生じ続けることもある。このような事象も、長期安全性の低下と捉えることができる。このように長期安全性は、河川堤防にとって身近な問題であり、維持管理を効率的に実施していく上では、長期安全性に係るメカニズムや実態の把握が不可欠であると考えられる。

これ以外にも、様々な長期安全性や耐久性に係る課題が考えられるが、本研究では、現場からも多くの懸念が寄せられている課題であるドレーン工の耐久性を対象とした。河川堤防には、浸透対策（主に法すべり対策）の一環としてドレーン工が設置されてきている。このドレーン工周辺には、雨水や河川水の浸透により、図-1に示すようにドレーン工近傍において比較的大きな動水勾配が繰返し作用する。この大きな動水勾配により、堤体材料の中の小さな粒子が徐々に移動することが考えられる。このように移動した粒子はフィルター近傍に集まることがあると言われている¹⁾。いわゆる、目詰まりである。目詰まりは、ドレーン工の機能低下の原因となり、河川堤防の長期安全性の低下に繋がる恐れがある。

そこで、本研究では、ドレーン工と堤体土の境界付近を模擬した要素試験と、実際の河川堤防に設置され降雨や出水を経験したドレーン工の開削調査、浸透流によって土粒子が比較的移動しやすいとされる粒度の土質材料を用いた大型模型実験を実施し、目詰まりの兆候や機能低下に関する事象を調べた。

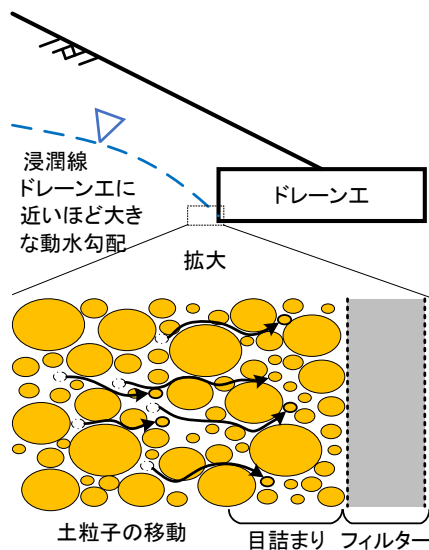


図-1 ドレーン工周辺の動水勾配と粒子移動

2. 要素実験

2.1 実験装置と材料

ドレーン工周辺の水の流れは、どちらかと言えば、横向き浸透が卓越していると考えられる。要素実験で横向き浸透を行おうとした場合には、重力の影響を受け、要素上側境界部分が緩くなり、局所的に流速が大きくなり、要素実験として成立しづらい。そこで、実

表-1 提体土の諸元

項目	供試体1	供試体2	供試体3	供試体4
土粒子の密度(g/cm ³)	2.640	2.642	2.644	2.645
最大密度(g/cm ³)	1.930	1.946	1.959	1.958
最小密度(g/cm ³)	1.523	1.549	1.579	1.576
乾燥密度(g/cm ³)	1.823	1.842	1.860	1.859
相対密度(%)	78.0	78.0	78.0	78.0
細粒含有率(%)	8.1	23.5	27.3	33.9

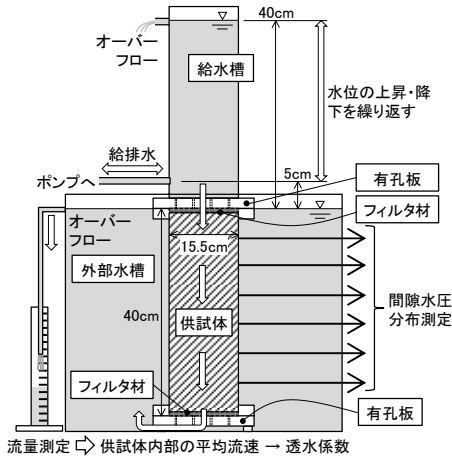


図-2 実験装置の概要

際の向きとは異なるが、下向きの繰返し浸透を与えることとした。

繰返し浸透実験の装置を図-2に示す。供試体の高さは40cmであり、その端部の構造は上下で同じである。供試体に厚さ3mmの不織布(フィルタ材)が接し、その外側に有孔板がある。給水槽の水位を上下することによって、供試体に繰返し浸透を与えることができる。また、供試体を詰めたモールドの側面6深度に設けた孔と水圧計とをチューブで接続した。これにより、供試体内6深度の間隙水圧を計測可能とした。ただし、計測した間隙水圧は各深度の平均値ではなく、孔近傍の供試体の状態の影響を強く受けていることが推測される。

供試体は、全体が水没するように外部水槽内に設置されている。供試体を通じた水は外部水槽に流入するようになっているため、外部水槽から流れ出る流量を測定することで、供試体の平均的な透水係数を求めた。

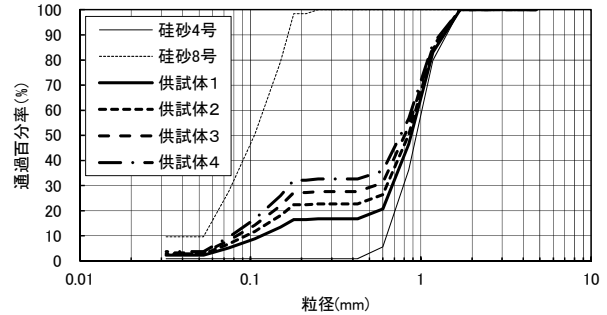


図-3 供試体に使用した材料の粒径加積曲線

供試体の諸元を表-1に、粒径加積曲線を図-3に示す。供試体は、珪砂4号の間隙中を珪砂8号の細粒分がすり抜けるように移動する現象を想定し、珪砂4号の間隙の体積を占める珪砂8号の割合を、供試体1は50%、供試体2は75%、供試体3は100%、供試体4は120%となるよう配合し、目標相対密度80%となるよう作成した。

2.2 実験方法

給水層の水位を外部水槽の水面上5cmから40cmまでの間で繰返し上昇・降下させた。動水勾配では、0.125~1の範囲に相当する。給水層の水位が外部水槽の水面から40cmのときに供試体側面の間隙水圧及び供試体を浸透してきた水の流量を測定した。これらの実験操作を4供試体同時に自動的に3,000回繰返し、間隙水圧、透水係数等の供試体の物性の変化を調べた。

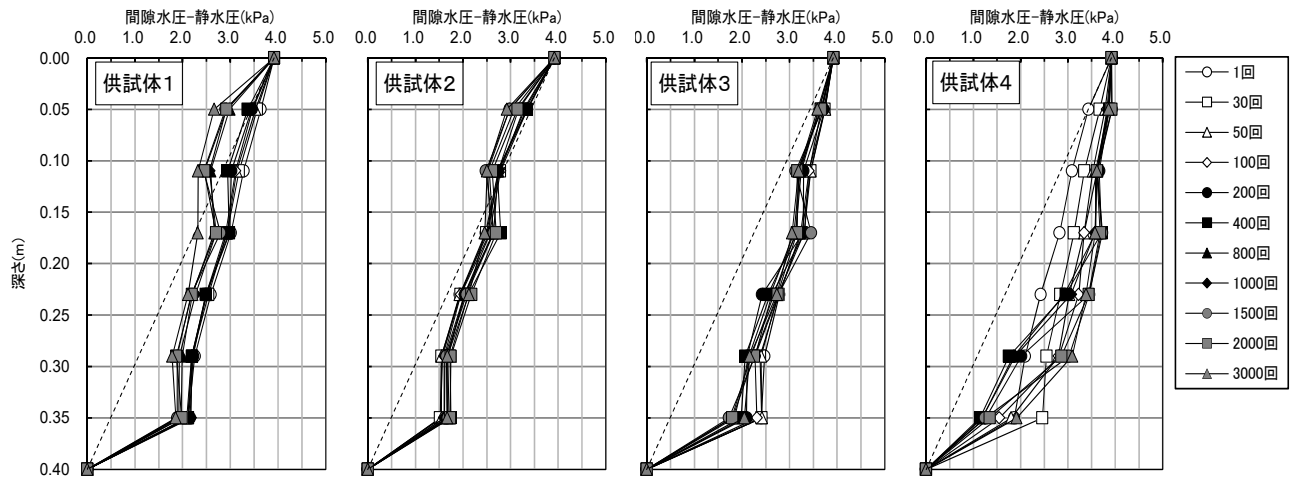


図-4 供試体の間隙水圧から静水圧を減じた圧力の深度分布

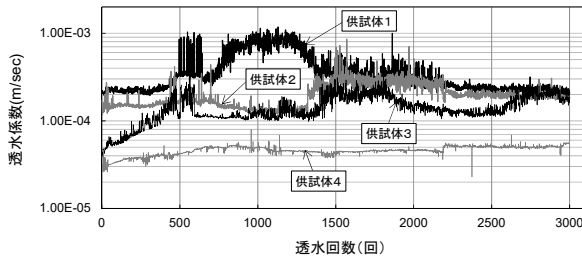


図-5 供試体の平均的な透水係数の変化

供試体の透水性によっても異なるが、1 回の上昇・降下に概ね数分かかるため、3000 回で1 週間～2 週間かかった。なお、3000 回という回数は、透水係数の変化を確認しながら設定したものであるが、実際の堤防で経験する外力としてはかなり長い期間に相当するものと考えられる。

2.3 間隙水圧分布の変化

給水槽の水位が 40cm の時の、供試体の間隙水圧の深度分布を図-4 に示す。外部水槽の水位による静水圧を引いているため、供試体上端の水圧は給水槽の最高水位 0.4m に相当する水圧、下端の圧力は 0 となり、供試体が均質であれば初期の圧力はこの 2 点を結ぶ直線上に分布することになる。本実験では全体的に、下に凸の形を示している。傾きが急なほど透水係数が相対的に高く、緩いほど相対的に低いことを表わすため、供試体下端の 1 区間の透水性がそれより上部よりも低いことを意味している。これは局所的で、繰返し初期からその傾向が表れているため、供試体下端に設置したフィルター材が影響していることが考えられる。次に繰返し回数の増加による変化を見ていきたい。供試体 2 は繰返し回数が増加しても、水圧分布が変化していない。粒子移動が移動していないことを表わしているものと考えられる。供試体 1 と 3 は、繰返し回数の増加とともに、下に凸の形状が解消するような変化を示している。供試体 4 では、他の供試体に比べると変化が大きいが、供試体下部の透水性が低下する目詰まりのような挙動は、繰返し回数 30 回までで見られたが、その後は、逆に目詰まりが解消されるような方向に水圧分が変化した。

2.4 透水係数の変化

図-5 に供試体全体の平均的な透水係数の変化を示す。透水性が低下するような傾向は見られず、俯瞰的に見れば、初期に比べ透水係数が大きくなる傾向が見られる。透水係数が上下動しているのは、土粒子の移動により、流れやすい部分と流れにくい部分が生じ、これが遷移することに伴って発生しているのではない

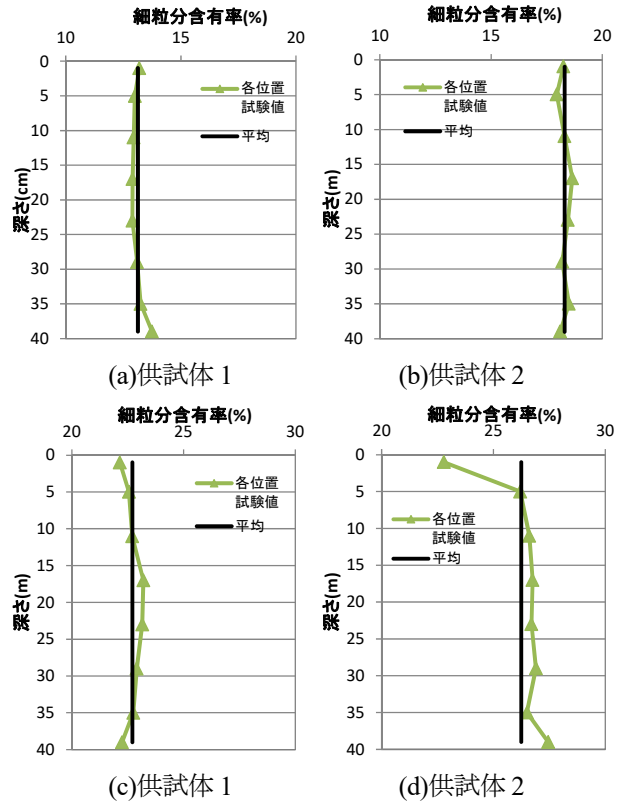


図-6 供試体の細粒分含有率の変化

かと推測しているが、詳細は不明である。

2.5 粒度試験

次節で述べる CT 撮影後の供試体を上下方向に 8 分割し、粒度試験を行った。細粒分の含有率の分布を図-6 に示す。供試体 1 では下部で細粒分含有率が増加し、他の深度は少し減少している。供試体 2 では深度毎に増減がバラついているものの、概ね変化がない。供試体 3 では供試体中部で細粒分含有率が上昇し、上面と下面で減少している。供試体 4 では上部で細粒分含有率が大きく減少し、他の深度では上昇している。

これらの変化の傾向は、図-4 に示した間隙水圧分布の変化と整合している所が多く見られる。例えば、供試体 2 の変化少ない点は、間隙水圧と細粒分で共通している。また、供試体 3 では下端や供試体 4 の上端では細粒分が減少しており、間隙水圧分布は急勾配に変化（透水性が大きく変化）している。

2.6 X 線 CT

実際にどのように細粒分が移動したかを見るために、実験前後の供試体を X 線 CT 撮影した。その断面画像と対応する深度の写真を図-7 に示す。紙面の都合上、供試体 3 と供試体 4 のみとした。

CT 画像は、濃い色の部分ほど低密度（間隙が多い）の状態にあることを表わしている。供試体 3 の中間部

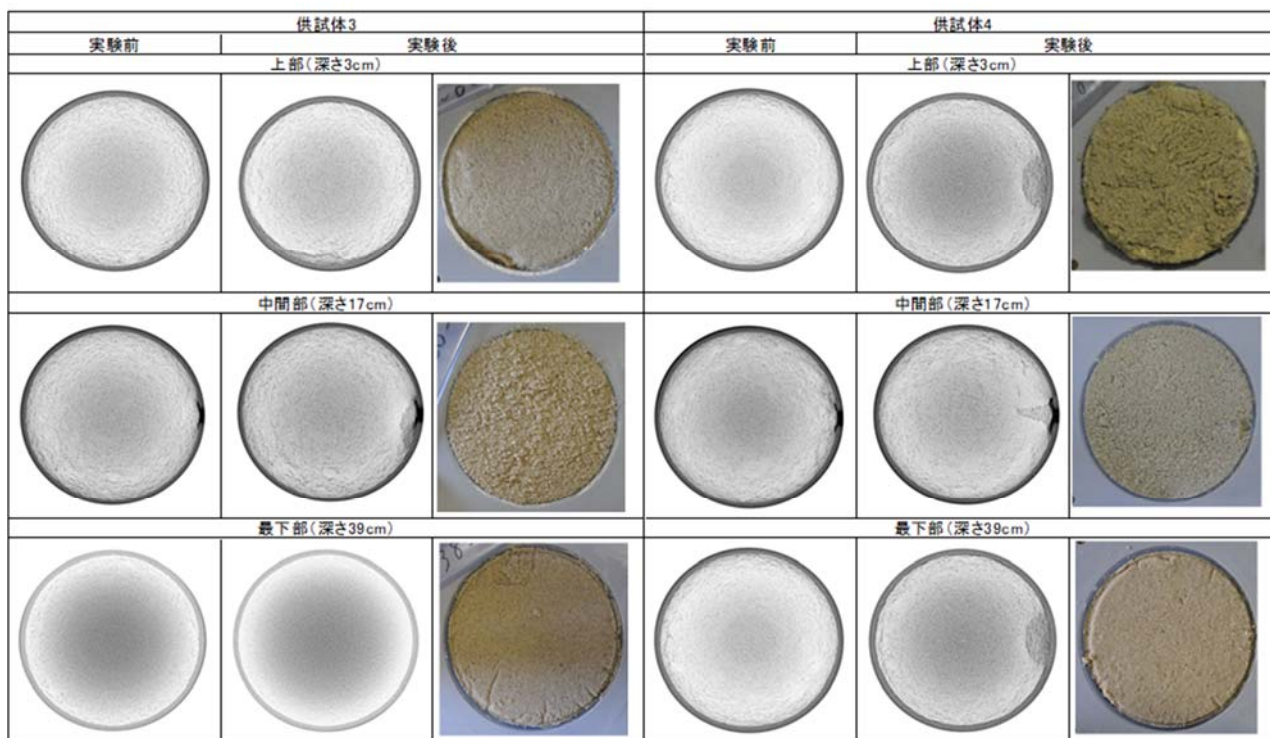


図-7 CT画像と切り出し写真

と供試体4の実験後のCT画像には、右側に色の濃い部分が見られる。ちょうど間隙水圧の測定位置に当たっており、水圧計測の際に微量ではあるが水が入りしたことにより、供試体を乱したと考えられる。

実験前のCT画像には、深度によらず痘痕状の模様が見られる。大きな間隙の部分と小さい部分が比較的均質に分布していたと考えられる。実験後のCT画像では、痘痕状の模様ははっきりしたり、消えたりし、変化している様子が確認できた。供試体によらず上部～中間部で模様ははっきりした。逆に下部では、供試体3のように模様が消えている場合があった。供試体4のCT画像では分かりにくいですが、下部と中間部の写真を比較すると、中間部でより多くの間隙が確認できる。上部～中間部ではこのような微細な水みちが形成され、透水性が大きくなっていると考えられる。

必ずしも細粒分含有率の深度分布と整合しないが、粒子が移動し、下部では間隙が埋まり、上部～中間部では水みちが形成され、局所的には目詰まりのような現象が生じるものの供試体全体ではむしろ透水性が高くなったものと考えられる。供試体1や2でも同様であった。

2.7 要素試験のまとめ

本実験の結果、細粒分の移動は、目詰まりのみを引き起こすものではなく、微細な水みちを形成する要因にもなりうるものであることが明らかとなった。また、

表-2 調査箇所一覧

調査河川名	箇所	ドレーン施工からの年数	外力経験の程度
佐保川 (奈良県)	左岸 0.8k	概ね 5年	はん濫危険水位以上
	左岸 3.0k-80m	概ね 10年	はん濫危険水位以上
斐伊川 (島根県)	右岸 7.5k	概ね 10年	はん濫危険水位未満
紀の川 (和歌山県)	右岸 11.2k+40m	概ね 5年	はん濫危険水位未満
	右岸 16.0k	概ね 10年	はん濫危険水位未満
木曾川 (愛知県)	左岸 8.8k	概ね 10年	はん濫危険水位未満
嘉瀬川 (佐賀県)	右岸 7.55km	概ね 5年	はん濫危険水位未満
	左岸 12.0k	概ね 10年	はん濫危険水位以上
那珂川 (茨城県)	左岸 16.0k	概ね 20年	はん濫危険水位以上

今回の実験条件では、全体的な透水係数が下がることはなく、むしろ上昇する傾向が見られた。ここでは紹介しないが、細粒分がさらに移動しやすいとされる粒度分布でも同様の試験を実施し、よく似た結果が得られている²⁾。土粒子の移動とドレーン工等の機能の関係の全てが明らかになったわけではないが、実際の構造物よりもかなり厳しい外力条件でも機能消失に繋がるような実験結果が得られなかった。要素試験に関して詳しくは参考文献²⁾を参照されたい。

3. 開削調査³⁾

3.1 調査方法・試験方法

河川堤防の川裏法尻の既設ドレーン工の背後地盤の開削調査及び土質試料の採取を行い、その粒度試験等を行うことで、ドレーン工周辺の土粒子の移動について



写真-1 土質試料採取状況

て検討した。

調査は表-2 に示す 6 河川 9 箇所で行った。ドレーン工の施工から概ね 5 年、10 年、20 年経過した箇所から外力経験の違いにも着目して箇所選定が行われた。

写真-1 に土質試料採取状況を示す。ドレーン工背後の堤体を掘削し、表面を削りとって均した後、採取位置を決定した。試料採取には、できる限りコアカッターを用い、ドレーンにできる限り近い位置とドレーンから 20~30cm 離れた位置の元々の土質の差異が少ないとみられる位置において、土質のばらつきの影響を排除するため、それぞれ複数箇所で行った。

3.2 調査・試験結果

図-8 に粒度試験の一例として、佐保川右岸 3.0k-80m のドレーン工上端-50cm と上端-80cm の深度の粒径加積曲線を示す。

ドレーン工上端-50cm では、ドレーン工に近い位置

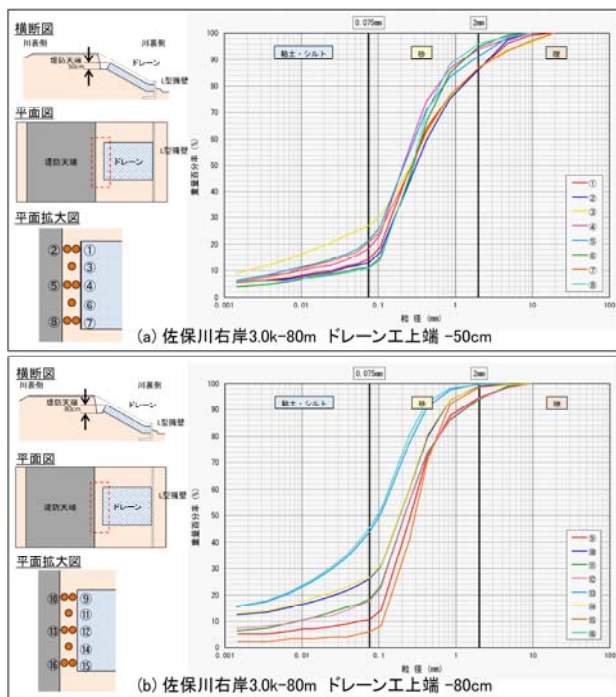


図-8 土質試料採取状況

と遠い位置で粒度分布に大きな差が見られない。

一方、ドレーン工上端-80cm については、ドレーン工に近い位置での粒径加積曲線が全体的に下方に位置しており、細粒分の流出が疑われる。一般的には、ドレーン工の背後の上端付近よりも下端(底面)付近で、降雨や出水による浸透流が多く発生することが推測されることから、ドレーン工の下側で粒径加積曲線の違いが大きくなったことが考えられる。

このような状況を総括的に分析するため、ドレーン工の遠近の位置で採取した試料の細粒分含有率及び粘

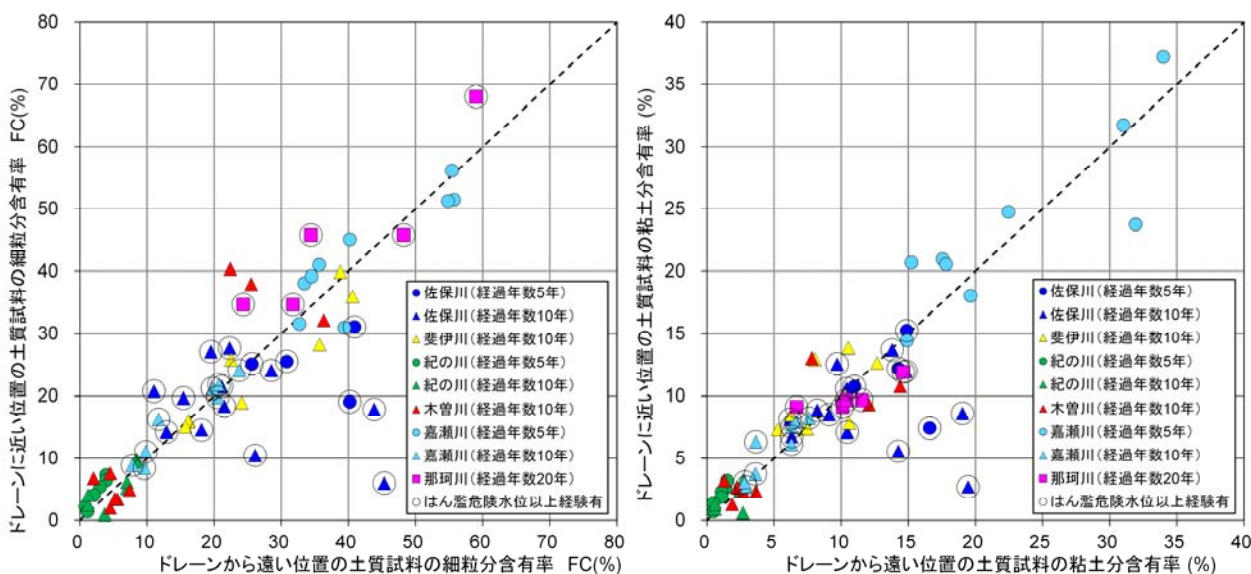


図-9 ドレーン工からの距離による細粒土・粘土含有率の比較

土分含有率を比較した。図-9 にその結果を示す。細粒分含有率は、概ね 20~50% の範囲で細粒分含有率が低下または増加するデータが多くみられ、浸透流により土粒子が移動した可能性を示唆するものと考えられる。しかし、細粒分含有率が 20% 以下と 50% 以上の範囲では、遠近ではほぼ同じ値であった。粘土分含有率についても、概ね同様の結果となっており、粘土分含有率が小さい 10~20% の範囲で遠近の差が大きくなっている。細粒分を多く含む土は、透水係数が小さく、浸透量が少なく、場合によっては粘着力も効くために、土粒子の移動が少ないことが考えられる。また、細粒分含有率が小さい場合にも、流出しやすい土粒子自体が少ないので、粒度分布が変化しにくいことが考えられる。このようなことから、ある範囲の細粒分を有する土で、土粒子の移動が顕著に生じることが考えられる。ただし、粒度の変化は一般的な目詰まりとは逆向き（ドレーンに近い方が、細粒分が少ない）であった。

顕著な土粒子の移動が疑われる箇所が含まれる佐保川においては、経過年数が 5 年の箇所（左岸 0.8k）に比べ、10 年の箇所（左岸 3.0k-80m）の細粒分含有率がドレーン工に近い位置でより低くなる傾向が見られた。細粒分がドレーン工に流出した可能性があり、そうであれば、過去には氾濫危険水位の経験していることで、遠近の差が大きくなったことも考えられる。

土粒子の移動が疑われる箇所は、佐保川と紀の川の一部の箇所のみであり、それ以外の多くの箇所では、遠近の粒度分布に優位な差が見られなかった。

3.3 開削調査のまとめ

既設のドレーン工の背後地盤の開削調査及び土質試料の採取を行い、その粒度試験等を行うことで、ドレーン工周辺の土粒子の移動について検討した。細粒分含有率が概ね 20~50%（粘土分含有率では 10~20%）の範囲では、ドレーン工から近い箇所と遠い箇所の細粒分含有率の差が大きい箇所があり、土粒子の移動が発生した可能性を示唆している。施工からの経過年数や、

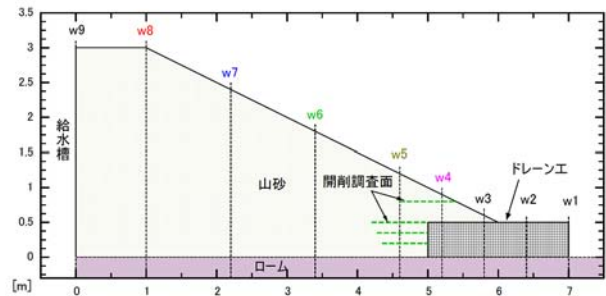


図-10 ドレーン工を有する大型浸透模型

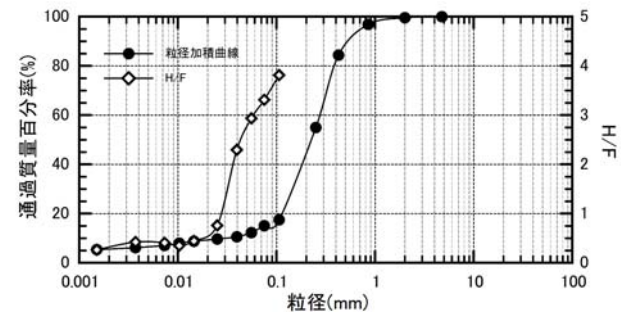


図-11 山砂の粒径加積曲線

外力経験（過去の高い水位の経験）の有無の影響を受けている可能性もある。一方で、土粒子の移動が疑われる箇所は限られており、多くの箇所では、粒度分布に有意な差が確認できなかった。また、粒度の変化は一般的な目詰まりとは逆向き（ドレーンに近い方が、細粒分が少ない）であった。開削調査に関して詳しくは参考文献 3) を参照されたい。

4. 大型浸透模型実験⁴⁾

4.1 実験方法

大型浸透模型（盛土高さ 3m）の法尻にドレーン工を設置し、繰返し浸透させた上で、開削調査により透水試験や密度試験を実施した。

模型の横断面を図-10 に示す。最下層には厚さ 30cm のローム層を設けた。山砂やドレーン工に比べると透水係数が十分に小さい。その上に、法尻には高さ 0.5m、幅 2m の鉄筋カゴの周りを不織布で包み、内部に単粒

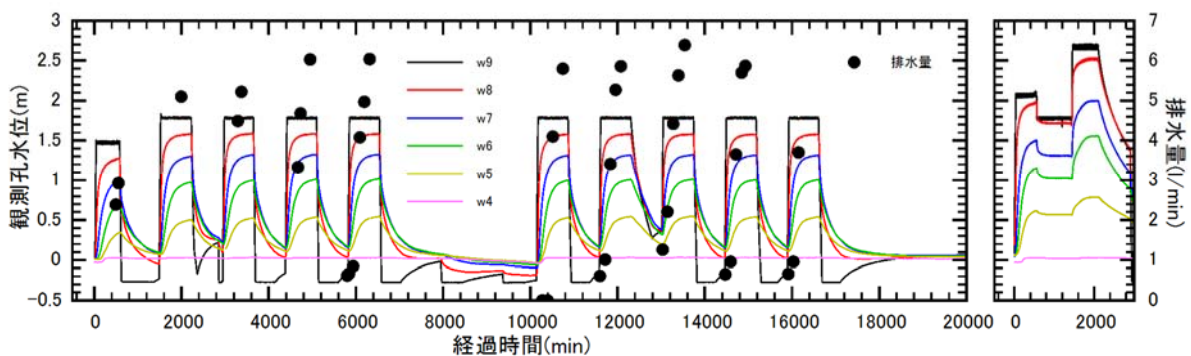


図-12 吸水槽及び観測孔水位の時刻歴

碎石を投入したドレーン工を設置した。堤体土は香取産の山砂を締固め度 86%に締め固めたものであり、その粒径加積曲線を図-11 に示す。下に凸の形状をしており、Kenny らの内部安定指標⁹⁾を示したとおり、0.03mm 以下の粒子で H/F が 1 以下となり不安定と評価される。模型内部には、w1~w8 の観測孔を設けており、模型内部に水位を自記水位計により計測した。w9 では同じく自記水位計により、給水槽内の水位を観測した。なお、奥行きは約 6.5m で端部はコンクリートの壁で仕切られている。

4.2 実験結果

図-12 に観測した水位の時刻歴を示す。まず、給水槽内の水位を 1.5m~1.8m まで上げ一定に保った後、概ね 12 時間後に水を抜くことを 10 回繰返した。その後、2.7m まで水位を上げた。最後の 2.7m まで水位を上げたのは、ドレーン工の浸透対策としての限界（すべり等が発生するか）を把握するためのものである。合計 11 回の給水層の水位の上下の結果、表面から分かる変状は確認できなかった。

堤体内水位の反応を見ると、初回の水位上昇が少し遅い以外に、特段の違いは見られない。また、同図には模型からの排水量を示している。同じタイミングで実施できてはいないが、4 回目の繰返し以降、同程度の排水量がピーク値となっており、目詰まり等の変化が生じていないことが伺える。

模型の水を十分に抜いた上で、図-10 に示す開削面を出し、写真-2 に示すような状況で、密度及び原位置透水試験を実施した。

上から順番に開削面①~④と表記し、開削面①では奥行き方向に 1m 間隔で 6 箇所を試験を行い、開削面②~④では奥行き方向 1m 間隔にドレーンに近い位置（ドレーン端部から 20cm 程度）と離れた位置（端部から 60cm 程度）で試験を行った。100cm³の採土管を用いて試料採取し乾燥密度・締固め度を算出した。原位置透水試験は、地表面から変水位で浸透させる簡易透水試験⁹⁾により算出した。

図-13 に密度試験の結果を示す。開削面①は繰返し浸透の影響が殆どない場所として試験をしたものである。異常値も見られるが、開削面②、③は概ね作製した時の密度前後に分布している。浸透流の影響が最も大きいと考えられる開削面④は、②や③に比べ、ややバラツキが大きく、ドレーンから離れた位置の密度が低い傾向がみられる。ただ、目詰まりとは逆方向の結果である。

図-14 に透水試験の結果を示す。開削面①に比べ、



写真-2 開削面での調査状況

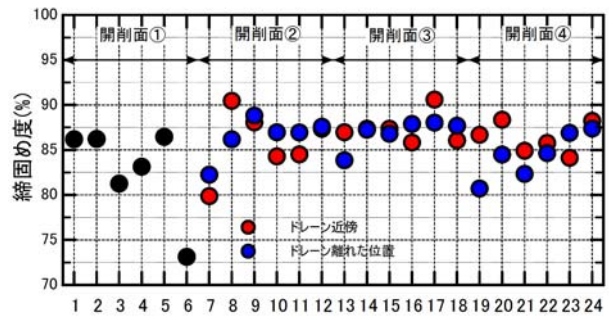


図-13 開削面における密度試験結果

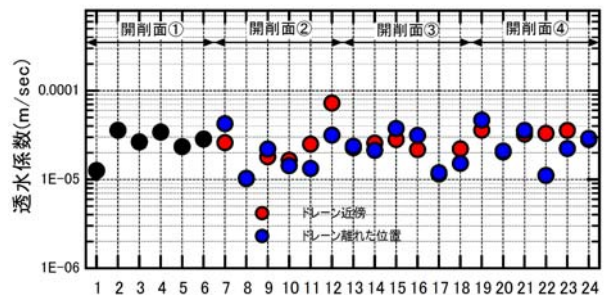


図-14 開削面における原位置透水試験結果

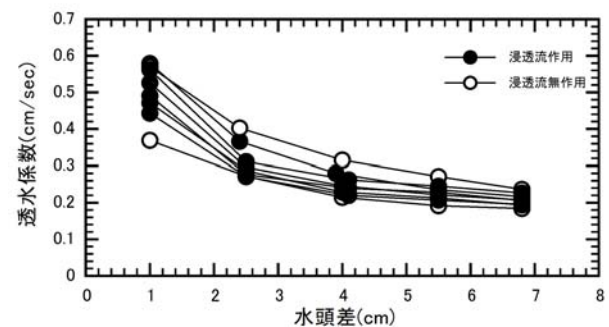


図-15 不織布の透水試験結果

開削面②~④の方が空間的なバラツキが大きいのにも見えるが、ドレーンからの距離による傾向は認められなかった。

図-15 に不織布の透水係数を示す。実験で用いた不織布は、実際のドレーン工で用いられるフィルター材（吸出し防止シート）の半分程度の厚さとなっている。実験後の不織布の堤体土と接していた範囲は、細粒分

が混入し汚れた状態であった。このような不織布のうち、できるだけ汚れた範囲（浸透流作用）から6片、ドレーン工上面の汚れていない範囲（浸透流無作用）から2片の試験片を採取し、透水試験を実施したものである。浸透流無作用の試験結果がすべての試験結果の両端付近に位置し、浸透流が作用した範囲がその間に挟まれていた。これより、繰り返し浸透が不織布の透水係数に与える影響は、不織布の不均質性よりも大きいとは言えないことが明らかとなった。

4.3 大型浸透模型実験のまとめ

ドレーン工周辺の目詰まりに係る大型模型を用いて繰り返し浸透実験を実施した。その結果、ドレーン工周りの繰り返し浸透の影響を受けたと考えられる範囲と繰り返し浸透の影響が殆どないと考えられる範囲で、密度試験、原位置透水試験、不織布の透水試験を実施したが、目詰まりに係る兆候は確認できなかった。

5. ドレーン工の耐久性を考慮した設計法

河川堤防の浸透対策として設置されるドレーン工は、「ドレーン工設計マニュアル（以下、マニュアル）」⁷⁾に従い、設計・施工・維持管理が実施されている。マニュアルでは、ドレーン工に目詰まりが生じることを想定し、実際よりも小さい $1.0 \times 10^{-4} \text{m/sec}$ の透水係数をドレーン工設置範囲に与え、浸透流解析により必要なドレーン工の大きさを設定する。ドレーン工の中詰め材として利用されている栗石や単粒砕石は、透水試験ができないほど透水性が大きく、中詰め材の周囲を包み中詰め材への堤体土の混入を防止するフィルター材（吸出し防止材）が $1.0 \times 10^{-3} \text{m/sec}$ 以上の透水係数となるように作られ、10mm の厚さしかないことから、極めて大きな目詰まりの影響を想定した設定となっていると考えられる。

要素試験、開削調査、大型浸透模型実験の結果、目詰まりの兆候が確認できなかったことを踏まえると、ドレーン工の透水係数の設定に対し目詰まりの影響を緩和する方向が妥当であると考えられる。

5.1 提案する設計法とドレーン工の構造

目詰まりの影響を緩和した設定方法として、2017年マニュアル改定前の設計で利用されていた透水係数 $1.0 \times 10^{-3} \text{m/sec}$ をドレーン工設定範囲に用いることが考えられる。この透水係数でも、ドレーン工を構成する中詰め材やフィルター材の透水係数に対して十分に小さな透水係数であり、目詰まりの影響を一定程度考慮した設定となっている。

ドレーン工の構造の例を図-16 に示す。ドレーン工

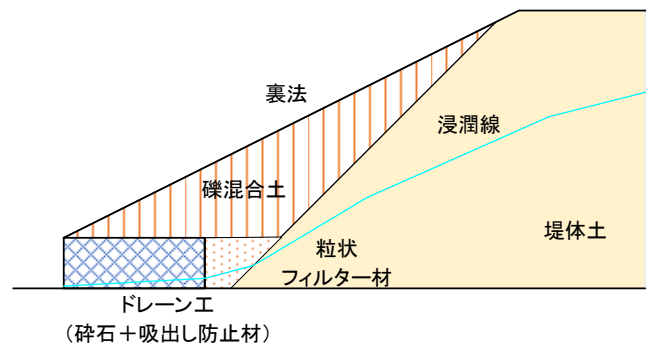


図-16 ドレーン工の構造

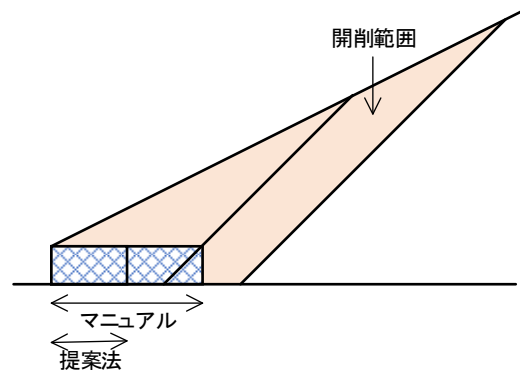


図-17 試算の結果

を設置するためには、裏法面の部分開削が必要となる。ドレーン工を設置した後、元の形状に戻す際に、工夫することによって、より高い性能を有する構造にすることが可能と考えられる。

本研究では目詰まりの兆候は確認できなかったが、目詰まりが発生しないことが証明された訳ではないため、目詰まりを抑制する工夫として、最も動水勾配が大きくなるドレーン工背面の堤体土と接する部分に粒状フィルター材を用いることが考えられる。堤体土の粒度によってフィルター材の粒度を変える必要があり、堤体土が砂質土であれば粗砂や細礫が粒状フィルター材の目安となる。

また、ドレーン工の上部に、礫混合土あるいは礫質土を用いることが考えられる。礫質土の堤防で法すべりの事例が少なく、大型模型実験でも崩壊しにくい⁸⁾こと、砂質土に砕石を混合した礫混合土は低拘束圧下において高いせん断強度を有している^{9), 10)}ことから、礫混合土あるいは礫質土を利用することで更なる法面補強が可能となる。

5.2 試算

砂質土 ($c=1\text{kN/m}^2$, $\phi=35$ 度, $k=3.0 \times 10^{-5} \text{m/sec}$) で作られた高さ 5m、法勾配 2 割の堤防にドレーン工を設置することを想定する。ドレーン工の高さは 0.5m と

し、最小の円弧すべり安全率が $1.32=1.2 \times 1.1$ (築堤履歴が単純) 以上となるドレーン工の幅を、マニュアル ($k=1.0 \times 10^4 \text{m/sec}$) と提案法 ($k=1.0 \times 10^3 \text{m/sec}$) によって算出した。なお、ドレーン工には共通し $c=1 \text{kN/m}^2$ 、 $\phi=40$ 度を与え、提案法では粒状フィルター材や礫混合土の効果は見込んでいない。

必要なドレーン工の幅は、図-17 に示すようにマニュアルが 2m、提案法が 1m となり、開削が必要な断面積も、提案法が約半分となった。提案法はドレーン工設置時の初期コストを下げる効果大きいことが分かる。また、ドレーン工の幅が小さいほど、洪水時の平均動水勾配は小さく、目詰まりが相対的に起きにくいと考えられる。さらに、実際に目詰まりが生じた場合にも、ドレーン工の幅が小さいほど、ドレーン工の再設置が容易となり、提案法は維持管理上の利点も有している。

5.3 ドレーン工の耐久性を考慮した設計法のまとめ

要素試験、開削調査、大型浸透模型実験の結果を踏まえ、目詰まりの影響を緩和し、ドレーン工設定範囲に用いる透水係数をからに変更した設計法を提案した。また、粒状フィルター材や礫混合土を併用することで、目詰まりや法面崩壊に対してよりよい性能を有する構造にすることが可能である。

6. まとめ

本研究では、要素試験、実際の堤防に設置されたドレーン工の開削調査、大規模模型実験により、ドレーン工の目詰まりの兆候や機能低下に関する事象を調べた。また、調査結果を踏まえ、安価でより質の高いドレーン工の設計法及び構造を提案した。

- 1) 要素試験の結果、大きな動水勾配が作用すると、土に含まれる細粒分が移動したが、目詰まりのみを引き起こすものではなく、微細な水みちを形成する要因にもなりうるものであることが明らかとなった。また、全体的な透水係数が下がることはなく、むしろ上昇する傾向が見られた。
- 2) 既設のドレーン工の背後地盤の開削調査及び土質試料の採取を行い、その粒度試験等を行うことで、ドレーン工周辺の土粒子の移動について検討した。ドレーン工に近い箇所と遠い箇所では粒度が変化している箇所があり、土粒子の移動が発生した可能性を示唆している。しかし、その変化は一般的な目詰まりとは逆向き（ドレーンに近い方が、細粒分が少ない）であった。土粒子の移動が疑われる箇所は限られており、多くの箇所では、粒度

分布に有意な差が確認できなかった。

- 3) ドレーン工周辺を目詰まりに係る大型模型を用いて繰返し浸透実験を実施した。その結果、ドレーン工周りの繰返し浸透の影響を受けたと考えられる範囲と繰返し浸透の影響が殆どないと考えられる範囲で、密度試験、原位置透水試験、不織布の透水試験を実施したが、目詰まりに係る兆候は確認できなかった。
- 4) 要素試験、開削調査、大型浸透模型実験の結果を踏まえ、目詰まりの影響を緩和し、ドレーン工設定範囲に用いる透水係数をからに変更した設計法を提案した。また、粒状フィルター材や礫混合土を併用することで、目詰まりや法面崩壊に対してより高い性能を有する構造にすることが可能である。

参考文献

- 1) 山岡一三, 西形達明, 坪井康之: ジオテキスタイルのろ過機能と目詰まり現象, 第 30 回土質工学シンポジウム発表論文集, 1985.
- 2) 富澤彰仁, 佐々木亨, 石原雅規, 佐々木哲也: 土粒子の移動に着目した繰返し浸透実験, 第74回土木学会年次学術講演会, 2019.
- 3) 佐々木哲也, 石原雅規, 東拓生, 佐々木亨, 富澤彰仁, 石村陽介: 河川堤防の浸透対策工の長期安全性に係る開削調査, 土木研究所資料第4389号, 2019.
- 4) 石原雅規, 杉山詠一, 田川央, 佐々木哲也: ドレーン工周辺を目詰まりに係る繰返し浸透模型実験, 第76回土木学会年次学術講演会, 2021.
- 5) Kenny T.C. and Lau D.: Internal stability of granular filters, Canadian Geotechnical Journal, Vol.22, pp.215-225, 1985.
- 6) 杉山詠一, 富澤彰仁, 石原雅規, 佐々木哲也: 地下水面より上の地盤を対象とした現場透水試験方法の違いによる結果の比較, 第 75 回年次学術講演会, 2020.9.
- 7) 国土交通省水管理・国土保全局治水課: ドレーン工設計マニュアル, 2017.
- 8) 佐々木哲也, 石原雅規, 齋藤由紀子, 吉田直人, 秋場俊一, 川井正彦: 浸透に起因する河川堤防のり尻からの進行性破壊現象に関する実験, 土木研究所資料第 4300 号, 2015.
- 9) 杉山詠一, 佐々木亨, 石原雅規, 佐々木哲也: 円弧すべり計算を用いた強度定数の推定による礫混合土の対策効果の検討, 第 54 回地盤工学研究発表会, 2019.
- 10) 西村圭右, 石原雅規, 佐々木哲也: 河川堤防の進行性破壊に対する礫混合土置換工法の安定計算方法に関する

検討, 第77回土木学会年次学術講演会, 2022 (投稿中) .

RESEARCH ABOUT DURABILITY OF DRAIN AS PERMEATION MEASURE OF RIVER EMBANKMENT

Research Period: FY2019-2021

Research Team: Soil Mechanics and Dynamics
research Team, Geology and
Geotechnical Engineering
Research Group

Author: SASAKI Tetsuya
ISHIHARA Masanori
KAJITORI Shinichi

Abstract: There are many sections of river embankments where drain works are installed at the land side toe as a measure to prevent the collapse due to permeation. It is a matter of concern that the cyclic action of seepage causes clogging of the drain works. The clogging is likely to reduce the functional deterioration of the drain works over time. In this research, elementary tests, open cut surveys at drain works installed in river embankment and large-scale model test are performed to investigate symptom of the clogging and phenomena of the functional deterioration. Based on the survey results, we proposed a cheaper and higher quality drain work design method and structure.

Keywords: river embankment, drain, clogging, non-woven fabric, open cut survey