

河川堤防の浸透に対する長期安全性確保に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 28～平 30

担当チーム：地質・地盤研究グループ（土質・振動チーム）

研究担当者：佐々木哲也、石原 雅規、佐々木 亨

【要旨】

河川堤防の主要材料である土質材料は一般的に劣化しにくい材料と考えられていることから、長期安全性に関する知見は非常に少ない。しかし、長期圧密沈下や河川水位の変動等の繰返し作用に伴う河川堤防の変状が度々報告されており、今後の維持管理を効率的に実施していく上では、長期安全性に係る知見の充実が不可欠である。

本研究では、河川堤防の法すべり対策として広く実施されてきたドレーン工や樋門等構造物周辺堤防の長期安全性に着目した。堤防の中でもドレーン工周辺には、雨水浸透や河川水の浸透により、比較的大きな浸透力が繰返し作用し、堤体材料の粒度構成の変化が生じることが懸念される。樋門等構造物周辺も同様である。粒度構成の変化は目詰まりとして、ドレーン工の機能低下による堤防の長期安全性の低下に繋がるおそれがある。

そこでまず、粒度構成の変化を生じる条件や粒度構成の変化過程を明らかにするために、要素試験を実施した。次に、水管理国土保全局治水課及び地方整備局と協力し、既設ドレーン工の開削調査を実施した。その結果、これまでの要素実験及び開削調査においては、明確な目詰まりの発生は確認されておらず、ドレーン工の長期安全性の低下のおそれは低いものと考えられる。

キーワード：ドレーン工、目詰まり、要素試験、開削調査

1. はじめに

河川堤防を含む河川管理施設では、洪水や地震に対して一定の治水安全度を確保するため、各種点検・巡視による定期的な維持管理が実施されている。近年、施設の充実にもなって、維持管理・更新の費用が増加していることから、河川管理施設の計画的・効率的なマネジメントが求められている。

一方、河川堤防については、土質材料は一般的に劣化しにくい材料と考えられていることから、時間の概念を盛り込んだ安全性評価や長寿命化技術に対する知見はほとんど無いのが実情であるが、長期圧密沈下や河川水位の変動等の繰返し作用に伴う河川堤防の変状が度々報告されている。

本研究では、河川堤防の法すべり対策として広く実施されてきたドレーン工の長期安全性に着目した。堤防の中でもドレーン工周辺には、雨水浸透や河川水の浸透により、繰返し比較的大きな浸透力が作用し、堤体材料の粒度構成の変化が生じることが懸念される。粒度構成の変化は目詰まりとして、ドレーン工の機能低下による堤防の長期安全性の低下に繋がるおそれがある。

そこでまず、浸透力の繰返し作用により粒度構成の

変化を生じやすい条件や粒度構成の変化過程を明らかにするために、要素試験を実施した。次に、水管理国土保全局治水課及び地方整備局と協力し、既設ドレーン工の開削調査を実施した結果を報告する。

2. 要素実験

2. 1 繰返し浸透による粒度構成の変化

ドレーン工や樋門構造物周辺の水の流れは、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、実際の向きとは異なることとなるが、下向きの繰返し浸透を与えることとした。

2. 1. 1 実験装置と材料

繰返し浸透実験の装置を図-1 に示す。底部に有孔板を有する高さ 40cm、直径 15.5cm の塩化ビニル管の底部にフィルタ材（不織布、厚さ 3mm）を敷き、その上に含水比 10%の地盤材料を高さ 5cm で 8 層に分けて、突固めにより供試体を作製した。供試体上部にはフィルタ材（不織布、厚さ 3mm）及び有孔板を介して給水層を設置し、ポンプによる給水と排水を繰返し行う

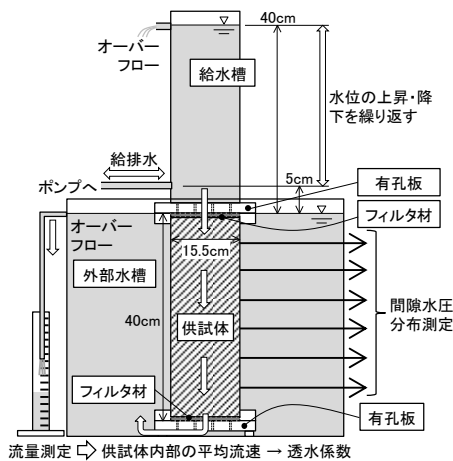


図-1 実験装置の概要

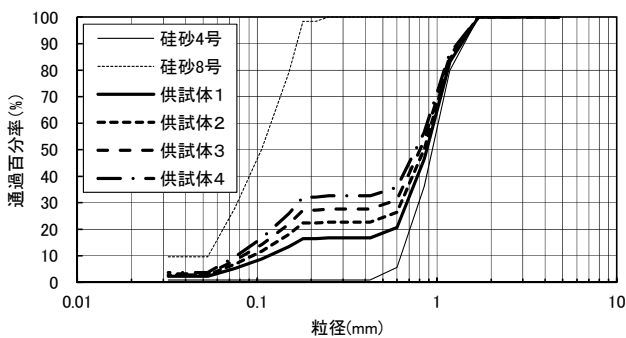


図-2 供試体に使用した地盤材料の粒径加積曲線

ことで、所定の動水勾配で供試体上部から水を繰り返して浸透させる構造とした。また、供試体側面の6深度で間隙水圧を計測できるものとした。

供試体は、全体が水没するように外部水槽内に設置し、供試体内部を浸透し底部の有孔板から排出された水が外部水槽からオーバーフローする構造とし、このオーバーフローした流量を測定することで、供試体内部の平均的な透水係数を求めることとした。

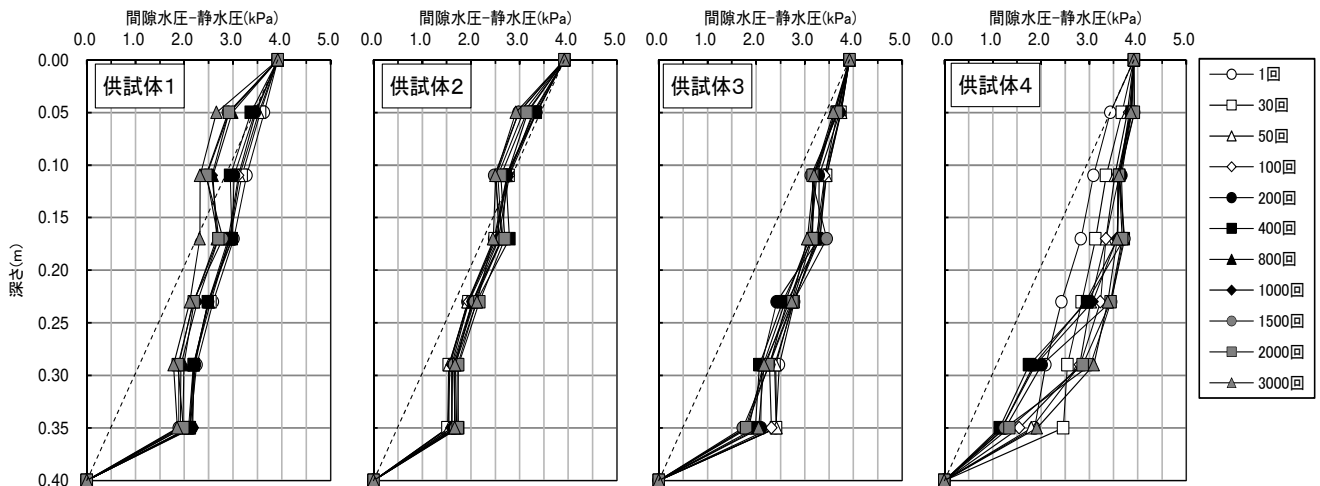


図-3 供試体の間隙水圧から静水圧を減じた圧力の深度分布

表-1 供試体諸元

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
硅砂4号の乾燥質量(g)	11,891	11,254	10,687	10,190
硅砂8号の乾燥質量(g)	1,867	2,650	3,355	3,839
合計乾燥質量(g)	13,758	13,904	14,042	14,029
供試体体積(cm ³)	7,548			
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%
細粒分含有率(%)	8.1	23.5	27.3	33.9

供試体の諸元を表-1 に、粒径加積曲線を図-2 に示す。供試体は、硅砂4号の間隙中を硅砂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、硅砂4号の間隙の体積を占める硅砂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. 1. 2 実験方法

ポンプにより給水層の水位を外部水槽の水面上5cmから40cmまで繰り返して上昇・降下させることで供試体に繰り返して透水を行い、給水層の水位が外部水槽の水面上から40cm(動水勾配が約1.0)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回繰り返して、間隙水圧、透水係数等の供試体の物性の変化を調べた。

2. 1. 3 間隙水圧分布の変化

供試体の間隙水圧から静水圧を減じた圧力の深度分布を図-3に示す。供試体上端の圧力は給水槽の最高水位 0.4mに相当する水圧 (=3.92kPa)、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が、本実験では供試体内の圧力分布の傾きが小さく、下端部の勾配が不自然となっている。これは、最下端に設置したフィルタ材の透水性が原因の一つであると推測され、今後実験装置の見直し等が必要である。フィルタ近傍のみで目詰まりが発生したとすれば、繰返し回数とともに深さ 35cm の圧力が上昇していくはずであるが、いずれの供試体でもそのような傾向は顕著には見られなかった。

圧力分布をみると、供試体 1, 2, 3 については大きな変化はみられなかったが、珪砂 8 号の混合率が最も高い供試体 4 については、繰返し回数 50 回程度まで全深度において圧力が上昇し、その後繰返し回数 400 回程度までの間に深さ 29cm 及び 35cm の圧力が降下した。さらに、繰返し回数 1,500 回を超えると深さ 29cm の圧力が再び上昇している。これらの変化は、繰返し透水により供試体底部付近の細粒分の移動により、供試体底部及び底部に近い圧力測定孔周辺の透水性が変化したことが原因と推定される。

なお、供試体 1 については、透水回数 1,000 回以降で上部の圧力が降下しているが、その原因については不明であり、今後原因を把握する必要がある。

2. 1. 4 透水係数の変化

図-4に繰返し透水による透水係数の変化を示す。ここでの透水係数は、供試体内の平均動水勾配 (=1) と排水流量から求めた平均的な値である。初期の透水係数は珪砂 8 号の比率によって供試体ごとに異なるが、繰返し透水により透水係数が初期よりも低下した供試体は今回の実験では見られず、すべての供試体で透水係数が上昇している。供試体 1 については、500 回以降、透水係数が最大で 10^{-3} m/sec 程度まで上昇し、1,200 回以降再び降下し概ね初期と同程度の透水係数に戻っている。供試体 2 についても透水係数が変化する回数や透水係数の最大値は供試体 1 と異なるものの、概ね同様の傾向を示した。供試体 3 と 4 については、初期から透水係数が上昇し始め、途中降下上昇を繰り返しながら 3,000 回繰返し後は初期よりも透水係数が高くなった。

以上の結果から、繰返し透水による土粒子の移動により、局所的に透水しやすい領域が発生し(繰返し 500

~700 回程度まで)、その領域が徐々に拡大されることで透水係数がさらに上昇し(繰返し 700~2,000 回程度まで)、その領域が再び細粒分により閉塞され

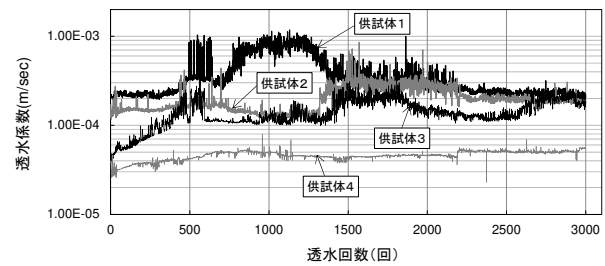


図-4 繰返し透水による供試体内の平均的な透水係数の変化

表-2 繰返し浸透実験後の供試体の状況

	供試体1	供試体2	供試体3	供試体4
全体の透水係数	ほぼ変化なし	ほぼ変化なし	上昇	ほぼ変化なし
各深度の動水勾配	上部で低下	ほぼ変化なし	ほぼ変化なし	下部で低下

るような状態となり透水係数が低下する(繰返し 2,000 回以降)といった変化をしているものと推定される。

2. 2 X線CT画像

2. 2. 1 実験装置と使用材料

繰返し浸透実験を行った前後の供試体で X 線 CT 撮影を行った。各供試体の実験前後の変化を表-2に示す。

2. 2. 2 X線CT画像と断面観察

実験前後の供試体を CT 撮影した画像と実験後の供試体を切り出した断面写真を図-5に示す。供試体 1 の断面で実験後の最下部に細粒分が多く含まれていることが観察できた。CT 画像の実験前後で比較すると中間部では実験の外周側に疎な部分が生じている。最上部は変化が見られない。供試体 2 では実験前後で大きな変化は見られない。供試体 3 では実験後の上部に陥没が見られた。CT 画像の中間部の実験前後では密になった部分と疎になった部分が見られ、下部では外周側に密になった部分が見られた。供試体 4 では実験後の上部に陥没が見られた。CT 画像の中間部および下部の実験前後では密になった部分が見られた。

2. 2. 3 粒度試験

CT 撮影後の供試体を 8 分割し、それぞれ粒度試験を行った。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

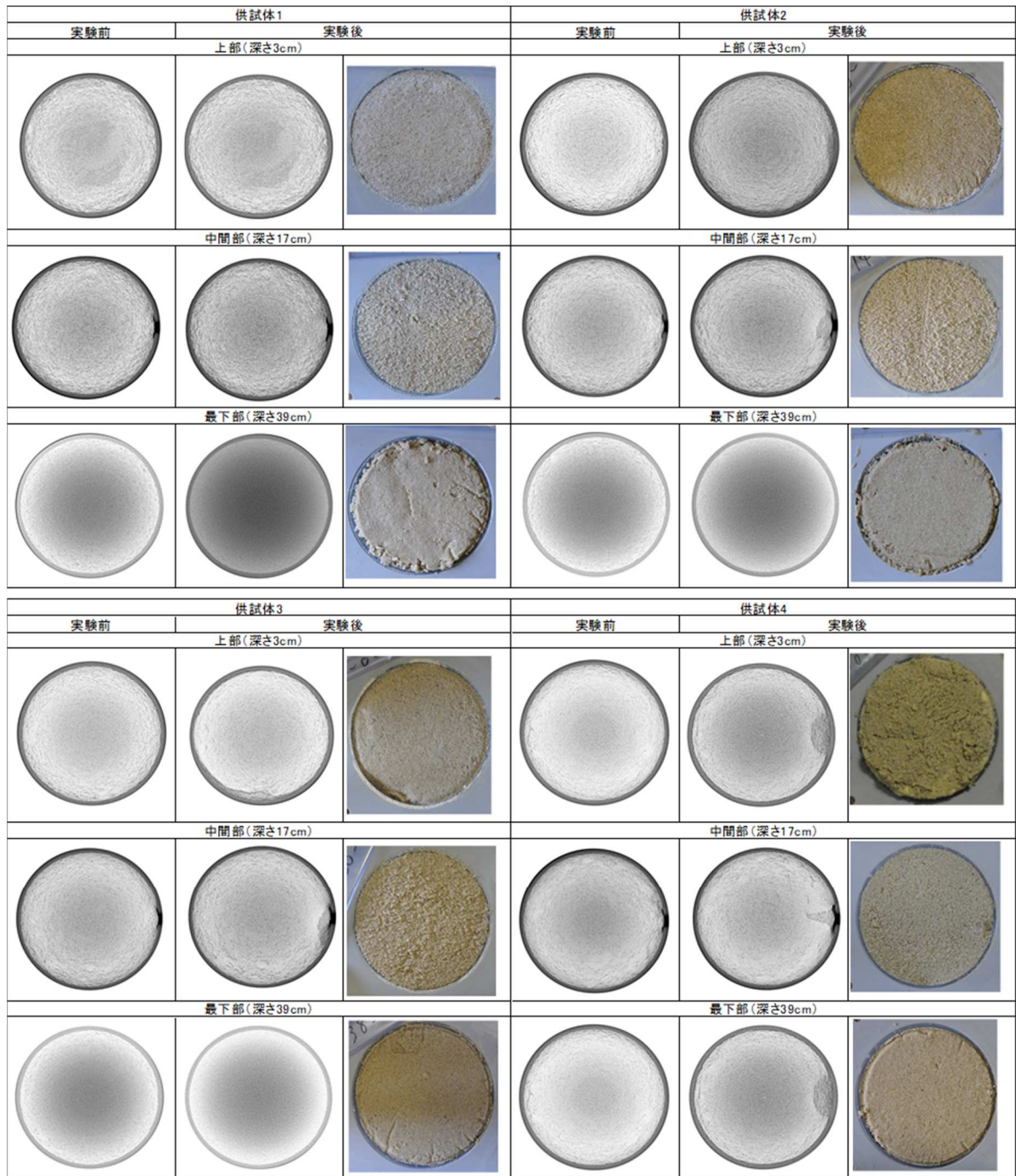


図-5 CT画像と切り出し写真

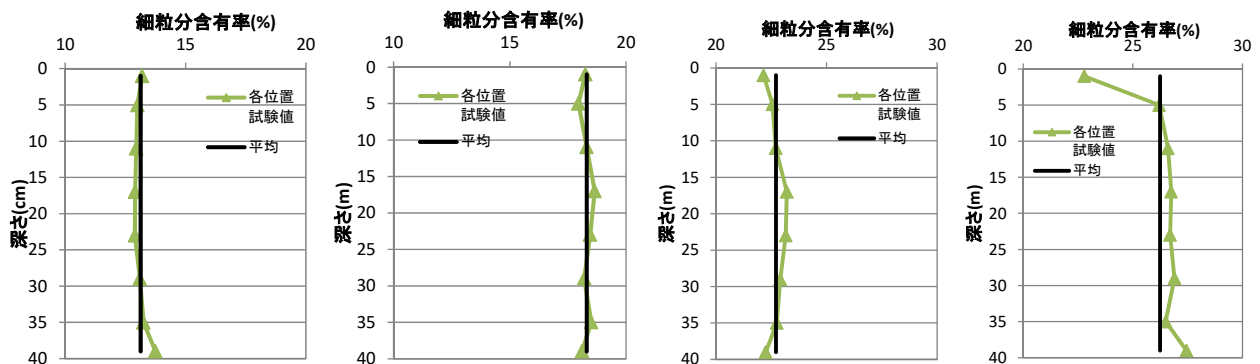


図-6 実験後の供試体の細粒分含有率分布

表-3 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
木曾川 (愛知県)	右岸 16.0k	概ね 10年	はん濫危険水位未満
	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



写真-1 土質試料採取状況

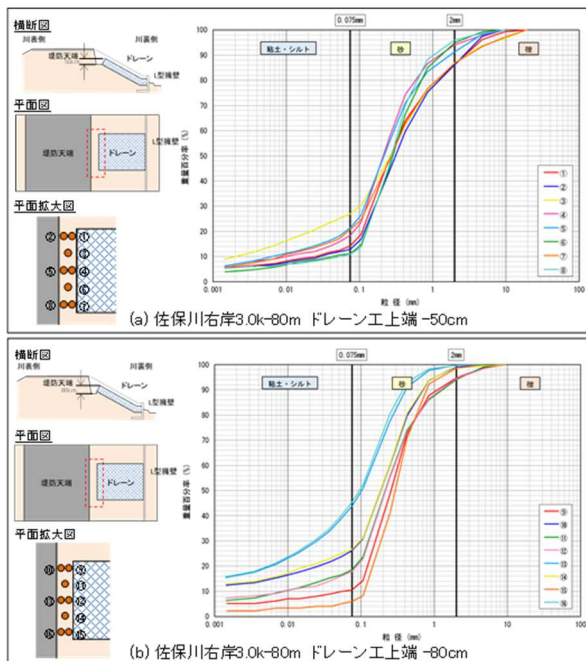


図-7 粒度試験結果の一例

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。

2. 2. 4 実験結果の考察

供試体1では、上部・中間部から下部へ細粒分の移動が確認された。一方で、その量が少ないために最終的な供試体の物性変化に影響は少なかったと考えられる。供試体2では、実験前後の比較で変化はほとんど見られなかった。供試体3では上部が陥没し中間部から下部への細粒分の移動が確認された。断面的な同位置に疎な領域が見られたことから供試体内に水みちが発生し、透水係数が上昇したのと考えられる。供試体4では上部から細粒分が中間部・下部へと細粒分の移動が確認された。その量は供試体3よりも多く、その移動による土粒子骨格形成の過程が繰返し浸透実験中の間隙水圧の変化に影響を与えていると考え

られる。

2. 3 まとめ

堤体材料の土粒子の移動に伴う土の物性変化を把握するための繰返し浸透実験を行った。その結果以下のことがわかった。

細粒分(硅砂8号)の含有率の高い供試体で、土粒子の移動が見られた。しかし、供試体全体の平均的な透水係数は、変動しつつも、顕著に低下した供試体はなかった。X線CTの画像によると、供試体下部へは土砂の移動が、供試体上部には水みちが形成されている様子が確認されている。結果的に、土砂移動による透水性の低下と水みちの形成による透水性の上昇がバランスした結果だと推測される。透水係数の変動を繰り返す理由としては、水みちができ、これが閉塞されることによるものと推定される。

3. 開削調査

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。

3. 1. 調査方法・試験方法

調査は表-3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離れた位置の土質の差異が少ないとみられる位置において、それぞれ複数箇所で行った。複数箇所で行ったのは、同じ土質と考えられる場合にも粒度分布にばらつきがあり、ばらつきと土粒子の移動による変化の区別を付けようとしたものである。こうして採取した土質試料について、重量測定(密度測定)、土粒子の密度試験(JISA 1202)、含水比試験(JISA 1203)、粒度試験(JISA 1204)を行った。本文では、これらの

うち粒度試験の結果について報告する。

3. 2. 調査結果

図-7に粒度試験結果の一例として、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土分含有率を比較した。図-8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%未満または50%以上の範囲では、遠近で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、浸透量が少なく、場合によっては粘着力も効いて、土粒子の移動が少ないことが考えられる。また、細粒分含有率が低い場合にも、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。

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。また、過去にははん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. 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、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、粒度分布に優位な差が確認できなかった。

4. まとめ

繰返し浸透による粒度構成の変化を調べるため、要素試験及び開削調査を実施した。

限られた条件及び限られた箇所ではあるが、これまでのところ、粒度構成の変化が一部で見られた（開削調査の場合には、疑われる箇所が存在した）ものの、

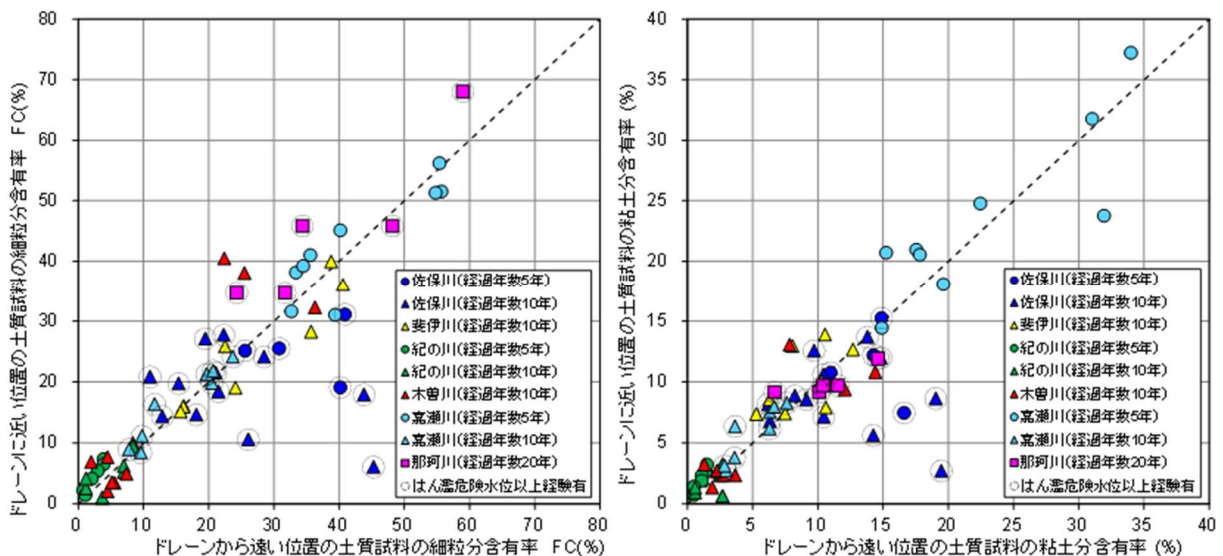


図-8 粒度試験結果の一例

明確な目詰まりの発生は確認されておらず、ドレーン工の長期安全性の低下のおそれは低いものと考えられる。

要素試験も開削調査も、必ずしも十分な数とは言えず、今後とも試験条件や、調査箇所の追加が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 秋場ほか: 河川堤防の浸透流による土粒子の移動に関する繰り返し浸透実験(その2) , 第52回地盤工学研究発表会, 2017.9
- 2) 東ほか: 河川堤防の浸透流による土粒子の移動に関する繰り返し浸透実験(その2) , 第52回地盤工学研究発表会, 2017.9

A STUDY ON LONG TERM SAFETY PRESERVATION FOR SEEPAGE OF RIVER EMBANKMENT

Research Period : FY2016-2018
Research Team : Soil Mechanics and Dynamics
Research Team
Author : SASAKI Tetsuya
ISHIHARA Masanori
SASAKI Toru

Abstract : There are a few knowledges and researches concerning long term safety of river embankment, because soil, a main material of river embankment, is believed to be less degradation material generally. But, damage due to long term consolidation settlement and cyclic interaction of flooding has been often reported. Substantial of knowledge concerning long term safety is necessary in order to keep maintenance of river embankment efficiently.

In the study, long term safety of seepage drainage for slope failure and embankment around sluice are the points. Change of particle size distribution of embankment soil material is concerned around drainage measure and sluice, because of relatively large cyclic seepage force applying from rain and river water. Change of particle size distribution and clogging are liable to result in deterioration of the safety.

At first, elemental model tests were performed in order to clear conditions and process to change particle size distribution. Then, cooperating with the Water Management Land Conservation Bureau and the Regional Development Bureaus, open cut surveys at existing seepage drainages were conducted. The results of the elementary tests and field surveys didn't indicate clogging clearly, the safety deterioration of seepage drainage is unlikely.

Key words : seepage drainage, clogging, elementary tests, open cut survey