

堤防の浸透破壊を防止するパイプドレーンの効果

浸透、堤防、ドレーン工

太田ジオリサーチ 太田英将 (正会員)
 千代田器材 柏熊誠治
 岐阜大学 名誉教授 宇野尚雄 (正会員)

1. はじめに

河川堤防は、直接的に人々の生活する地域を守る施設であり、計画的な堤防強化が必要である。堤防の豪雨照査の結果、全国約 1 万 km 中の約 4 割弱が基準の安全性を満たさないとされている。その中でも、浸透破壊の対策が必要な区間が多い。要対策区間をできるだけ早急に、しかも安価に対策をする必要があり、新たな技術開発が期待されている。パイプドレーン工は、JR 東海道新幹線はじめ重要鉄道路線や、道路法面、造成地の盛土法面等で数多く使われ、安定した効果が得られてきた実績があり、本工法の河川堤防への適用を検討したものである。ここでは、このパイプドレーン工を河川堤防に適用する試みについて報告する。

2. パイプドレーンの概要

パイプドレーン材量は、 $\phi 60.5\text{mm}$ 、 $t=2.3\text{mm}$ で、 $5\text{mm} \times 50\text{mm}$ のスリット型ストレーナーが四方に開けられ、先端部は閉塞されている。材質は STK400 で高耐食性メッキが施されており、メッキ寿命は約 100 年である。施工時には、このパイプをブレーカー等の打撃で打ち込んでいく。鉄道や道路の盛土法面では、やや上向きに打設し重力排水とするが、河川堤防の場合には高水時に浸潤線が裏法尻に近づいてくるときにのみ機能するように、若干下向きの打設とするところが従来の施工法と異なる。

3. 実験の概要

3.1 第一次実験

第一次実験は、図 1 に示す幅 3m × 奥行き 3m × 高さ 1.5m の装置で行った。実験の目的は、パイプドレーン工により浸潤線が低下するかどうか、その低下量に相当する排水量がパイプ孔から排出されているかどうか、および実験を再現するための FEM 解析を行った。実験に用いた堤体は川砂 (礫混じり砂; S-G)、20% 粒径径 $D_{20}=0.28\text{mm}$ 、単位体積重量 $\gamma=16\text{kN/m}^3$ 、透水係数 $K=1.9 \times 10^{-2}\text{cm/sec}$ である。パイプドレーン工は法尻に 50cm 間隔で配置した。第一次実験で用いたパイプは、 $\phi 48.6\text{mm}$ 、 $L=1150\text{mm}$ である。

パイプドレーン工の有無によって、図 2 に示すような浸潤線の違いがあり、その浸潤線低下量に相当する地下水が排水されたことを確認した。引き続きパイプドレーン工の間隔を 1.0m とした際には、浸潤線低下量の変化は小さく、パイプドレーン工からの排水量がおおよそ 2 倍となった。この実験では、パイプドレーンの中に堤体土砂の砂の吸い出しは観察されなかった。一方、パイプドレーン工を設置しない堤体では、浸透破壊が実際に発生・進行して破堤したが、パイプドレーン工を設置した堤体では浸透破壊や破堤は発生しなかった。

2次元 FEM 解析により、パイプドレーン工を奥行き方向に連続したスリットと仮定した場合、 $K=1 \times 10^0\text{cm/sec}$ として設定することにより実験結果を再現することができた。

3.2 第二次実験

第二次実験では、堤防材料の種別の違い (透水係数の違い) による浸潤線低下効果の確認を目的とした。堤体に使用する土砂は、締固め度ごとに室内透水試験で透水係数をあらかじめ把握し、作成した堤体の現場密度結果と対応させ実験時の透水係数を推定した。

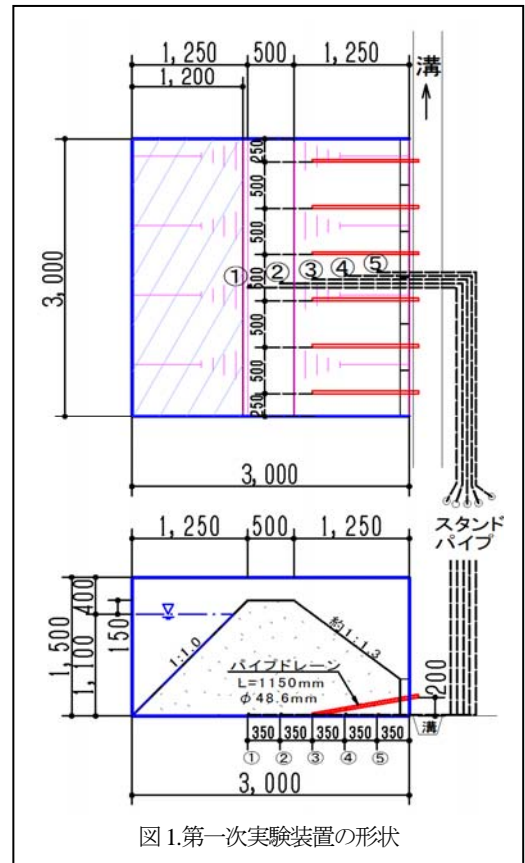


図 1. 第一次実験装置の形状

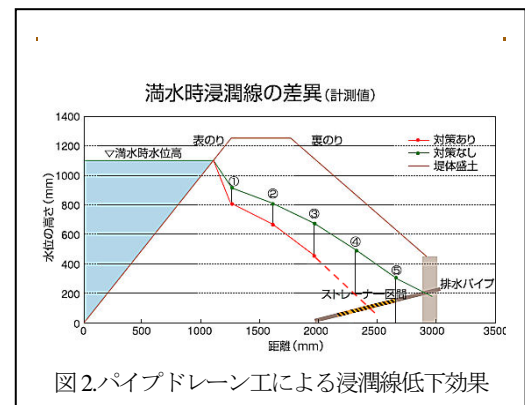


図 2. パイプドレーン工による浸潤線低下効果

第二次実験装置は、幅 1.5m×奥行き 4m×高さ 1.5mとし、使用したパイプはφ60.5mm、L=2200mmを用いた。堤体は、4ケースを作成し、パイプドレーン工の間隔等を変更することにより延べ8ケースでの実験を行った。定常状態となった時点で計測された浸潤線と堤体構造を図3に示す。

いずれのケースでも、パイプドレーン工によって浸潤線が低下し、裏法尻から遠ざかることが確認された。実験された土質条件 ($K=1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 前後) の範囲内では、設置間隔 1.5m (1本設置) と 0.75m (2本設置) では浸潤線低下高に違いがあるが、0.75m と 0.5m (3本設置) では大きな差が無いことが確認された。また、裏法尻付近に難透水性地盤があるいわゆる「行き止まり型」堤体 (ケース3、4) の場合でも、低水位時から事前にパイプドレーン工が設置されていれば浸潤線低下効果は問題なく発揮されることが確認された。

パイプ内へ堤体土砂の吸い出し現象は、ケース3 (緩詰めした川砂、パイプ間隔 1.5m) で確認された。パイプ内フィルターを設置すると吸い出しは無くなり、浸潤線低下量が若干減少するが、大きな違いは生じないことが確認された。

4. 設計指針

今回実施した一連の実験では、透水係数 $K=1 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ 前後の砂質地盤でパイプドレーン工の有効性が確認された。実験結果に基づいて、設計指針における基本事項を考察する。

パイプドレーン工に用いるパイプは、鉄道・道路・造成地等で多くの実績があり、第二次実験で用いたφ60.5mmのストレーナー鋼管とする。

パイプドレーン工の施工時期は、高水位時には打込みによる液状化が懸念されるため出水以前に行うものとする。

パイプドレーン工の設置間隔は、第一次実験で 0.5m と 1.0m 間隔で浸潤線低下効果に大きな違いはなく、第二次実験で 0.75m と 1.5m 間隔で効果に差が生じたことから、1.0m 間隔程度が適切な間隔と考えられる。

また、このパイプドレーン工法は、プレボーリングを伴わない打撃挿入方式であるため、パイプ周辺の盛土を締め固める効果により堤体の砂の吸い出しが多くの場合発生しないが、緩詰めした川砂の場合には吸い出しが確認された。このため、パイプ内側へのフィルターの設置を行うことを標準とするのが適切と判断される。

パイプドレーン工は裏法尻の破壊 (パイピング破壊とすべり破壊) を防ぐことが目的なので、設計上の制約事項として、現在用いられている布団籠による手法と同様に、(1)法尻動水勾配、(2)堤体のすべり安全率、により照査するのが適切である。

5. 今後の課題

河川の浸透破壊防止工法は、非常に長期にわたり機能を発揮し続けることが要求される。パイプドレーン工法では、高耐食性メッキ鋼管を用いることにより、約 100 年のメッキ寿命があるが、フィルターの目詰まりはそれよりも短い周期で発生すると考えられる。このため、目詰まりの点検方法、フィルターの交換方法について簡易な仕組みを作る必要がある。

設計上の課題としては、堤体は非常に複雑な土質構造をしていることが多いため、適用できる堤体・基礎条件の整備が不可欠で、特に適用を避けるべき「礫質土砂の堤体」などが指摘される一方、数値解析による安全性の確認手法を確立する必要がある。

また、いくつかの河川において試験施工を行い、施工上、管理上の課題を抽出していくことも必要である。パイプドレーン工法は、非常に安価な工法であるが、さらなるコスト低減のため施工機械等の開発も必要と考えている。

6. おわりに

当初パイプドレーン管への土砂の吸い出しの防止策が懸念されていたが、フィルターを内挿することで制御できる見通しを得た。ドレーン工設計マニュアルと同様にドレーン管先端部で高水位時の動水勾配を過大にならぬよう配慮すべき点も重要である。

実験に際しては、(株)三陽の敷地をお借りし、装置の製作もしていただいた。FEM 解析は(株)地層科学研究所に、第二次実験は(株)テクラボに大変お世話になった。紙面を借りて感謝いたします。

参考文献

- 1) 斎藤迪孝・上沢弘・毛受貞久・安田祐作：有孔パイプによる新幹線盛土砂面の排水効果、鉄道技術研究報告、No.631, pp.1-18, 1968.
- 2) 青山俊行・中山修・佐古俊介：ドレーン工設計マニュアル、JICE 資料第 198009 号、(財)国土技術研究センター、平成 10 年 3 月 31 日。など

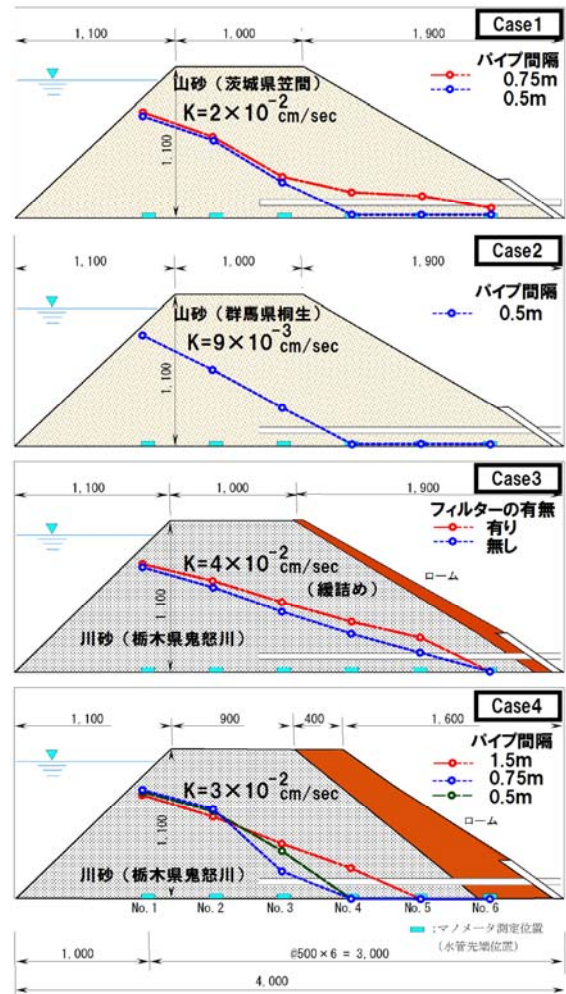


図3.条件を変えた時の浸潤線低下実験結果