

# 30. 堤防の浸透破壊防止用パイプドレーン工の設計手法

Design of pipe-drained prevention against seepage failure at levee toe

○太田英将・林義隆（太田ジオリサーチ）・宇野尚雄（岐阜大学名誉教授）・柏熊誠治（千代田器材）

Hidemasa Ohta, Yoshitaka Hayashi, Takao Uno, Seiji Kashikuma

## 1. はじめに

河川堤防は、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。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。

本報告では、パイプドレーン工の効果を小規模な堤防模型実験で確認した結果を示すとともに、河川堤防に適用する場合に設計上必要となるドレーンパイプの長さ・打設間隔決定のための設計手法の考察結果を述べる。

## 2. 第一次小規模模型実験結果

第一次実験として、パイプドレーン工の浸潤線低下効果を観察するための模型実験を行った。実験規模は、幅3m×奥行き3m×天端高さ1.1mである。パイプドレーンは50cmピッチに設置した。堤体模型に使用した山砂は $K=1.9 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ である。パイプドレーン工の有無によって、浸潤線は図1のように低下することが確認された。低下した水量はパイプ孔口からほぼ全量が排水された。また、パイプを間引いて1.0mピッチとしたところ、浸潤線低下高はほぼ同様（1本当たり排水量は約2倍）となった。

2次元浸透流解析で実験結果を再現したところ、パイプの透水係数を $K=10^0 \text{ cm/s}$ （土の透水係数の2桁高い値）とすると実験結果が概ね再現できた。

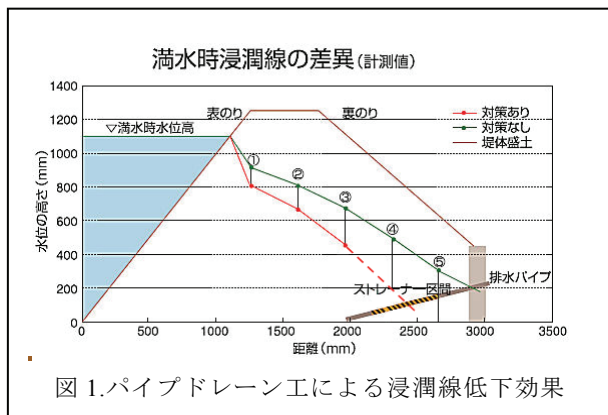


図1.パイプドレーン工による浸潤線低下効果

## 3. 第二次小規模模型実験結果

第二次実験では、土の透水係数・堤体の土質構造・

パイプドレーンの打設間隔を変化させて実験を行った（図2）。

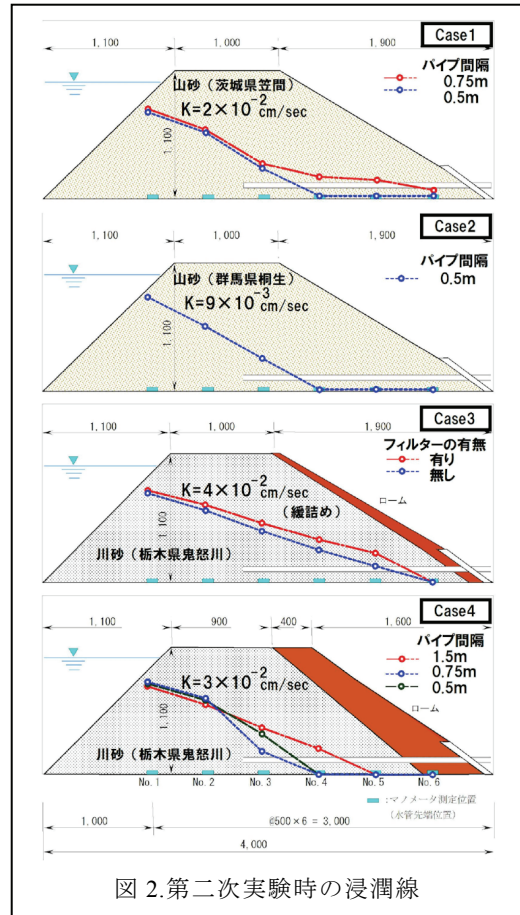


図2.第二次実験時の浸潤線

## 4. 2次元非定常浸透流解析による設計手法

浸透破壊に対する堤防強化工法は、「河川堤防の構造検討の手引き」の手法で行われる（図3）。すなわち2次元非定常浸透流計算で現況の評価をし、安全性不足と判定された場合、強化工法を設置したモデルで非定常浸透流解析および安全性照査が行われる。

従来の布団カゴを裏法尻に連続的に設置する工法の場合、2次元断面で代表させることが容易であるが、パイプドレーン工の

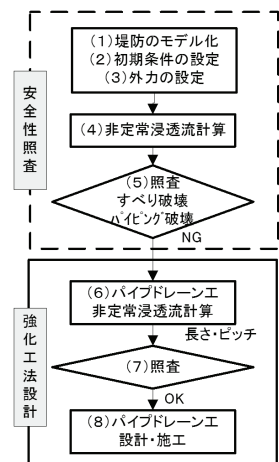


図3.安全性照査から強化工法設計の流れ<sup>1)</sup>

場合には、3次元構造を等価の2次元モデルに変換するか、3次元解析を行うことになる。安全性照査が2次元非定常浸透流解析で行われることから、設計を簡素化する目的で、等価2次元モデルで検討を行う手法を検討した。その場合、パイプドレーンの設置ピッチに応じたパイプの等価透水係数を定める必要がある。

第一次実験、第二次実験の結果を2次元浸透流解析で再現したところ、ドレーンパイプを表1.に示すような等価透水係数で設定することができることがわかった。

この手法は、小型模型実験結果を数値解析で再現して導いたものである。実際の堤防は複雑な土質構造となっているため、2次元断面で数値シミュレーションできるこの手法は、簡便かつ実用的である。

表1. パイプの打設間隔dと2次元浸透流解析に用いるパイプの等価透水係数の設定方法

パイプの打設間隔 d (m)	パイプの等価透水係数 k <sub>p</sub> と 堤体地盤の透水係数 k の比
0.50	500
0.75	250
1.00	100
1.50	50

## 5. 近似的な数式解法による設計手法

数値計算法でなく概略的な設計見通しを得るため、前述の簡易手法だけでなく、均質堤防に対する近似的な数式解法<sup>2)</sup>を考案した。それはパイプのストレーナー長や打設ピッチを浸潤水位の低下と関連付けるためである。

近似的な定常浸透流の場として、図4に示すように、幅Bの矩形堤防（堤体土質の透水係数k）を表し、定常浸透流の場を設定する。図中には(a)流量配分と(b)浸潤面水位とを対比して示す。

(a)流量配分図では、パイプ挿入しない区間 ( $l$

$\leq x \leq L$ )の浸透流  $q_1$ が、パイプ挿入区間 ( $0 \leq x \leq l$ )の漸減する流量  $q_2$ とパイプ排水が漸増する流量  $q_3$ の和に転化する流れになると近似する。図(b)の浸潤面図では、パイプ挿入前の浸透水位は放物線型の破線P-Qで表され、パイプ挿入後に1点鎖線P-R-Qに低下することをそれぞれ表現する。

数式の詳細は省略するが、パイプドレーンの設計量は、すべり破壊に対する安全率とパイピング破壊に対する安全率が満足される水位低下量  $h_2$ を設定することにより、以下の諸条件を与えて計算する。パイプのストレーナー長  $l$ 、1本当たりの幅B（打設ピッチに相当）、堤体敷幅L、上流水位  $h_L$ 、下流水位  $h_0$ 、浸潤面高さ  $h_1$ 、 $x=l$ における無対策時の水位  $h_2'$ 、等である。従ってドレーンによる水位低下量  $\Delta h = h_2' - h_2$  が関係づけられる。

## 6. まとめ

堤防の浸透破壊防止用パイプドレーン工の設計手法について、(1)小規模実験結果から2次元浸透流解析を用いて複雑な堤防土質であっても対応できる簡便な手法、および(2)均質な矩形堤防モデルを用いて近似的な数値解法で設計する手法の2つを示した。

実際の設計においては、(2)の手法により対象堤防の概略的な対策仕様（計画浸潤線低下高、パイプドレーン工の打設ピッチ、長さ）を得、その後解析断面における土層条件を用いて(1)の手法により「河川堤防の構造検討の手引き」に示される流れにしたがって、安全性の検討を行うのが合理的である。

## 文献

- (財)国土技術研究センター (2002) : 河川堤防の構造検討の手引き
- 宇野尚雄・太田英将(2010) : “堤防の浸透破壊を防止するパイプドレーンの設計指針”, 地下水地盤環境に関するシンポジウム 2010 (投稿中)

