

既設堤防の浸透対策としての スクリーパイプドレーン工法の開発

ようせつしょう おぼたこういち はらだなおき なかじまりょうた くさのともしろ
楊雪松¹・小畑耕一²・原田直樹³・中嶋亮太¹・草野友宏³

¹ (株) 建設技術研究所 東京本社 (〒330-0071 埼玉県さいたま市浦和区上木崎1-14-6)

² (株) 建設技術研究所 東北支社 (〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町4-1-25)

³ (株) 建設技術研究所 中部支社 (〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦1-5-13)

本論文は、既設堤防の新たな浸透対策工法として開発したスクリーパイプドレーン (SPドレーン) 工法について報告するものである。

従来のドレーン工法は堤防開削を伴い、ドレーン工の長さによっては施工規模が大きくなることが課題であった。一方、SPドレーン工法は、水平ボーリング工を堤防での施工に応用した工法であり、小規模ヤードで施工が可能である。SPドレーンによる浸潤線低減効果は、模型実験および三次元浸透流解析により検証した。また、この結果を用いて二次元浸透流解析によるSPドレーンの簡便な設計法を提案した。

Key Words : パイプドレーン, 河川堤防, 浸透, 三次元浸透解析, 浸透実験

1. はじめに

堤体の浸透対策工法であるドレーン工は、一般に礫材を中詰としたフトンカゴを用いており、堤体へのなじみの良さや経済性の観点から代表的な堤防質的強化工法といえる。しかし、既設堤防にドレーン工を施工する場合、ドレーンの長さによっては堤防を大きく切り込み、施工時期や開削規模によっては仮締切が必要になるなど、工事規模が大きくなることが課題である。特に都市河川では、用地制約により施工ヤードの確保が難しい場合も多く、狭隘部でも容易に施工可能な浸透対策工法の開発が急務である。

本論文は、上記課題点を解決する工法として新たに開発したスクリーパイプドレーン (SPドレーン) 工法の構造および設計法について報告するものである。なお、鉄道分野では既に盛土のすべり対策としてパイプドレーン工法¹⁾が実用化されているが、本工法は浸透対策工に特化し、水みちの防止や施工性、維持管理性を向上させ、河川堤防への本格運用を目指すものである。

2. SPドレーン工法の概要

(1) SPドレーンの基本構造

SPドレーンは、図-1に示すように従来のドレーン工に代わって、堤防法尻部に集水孔を有するパイプを設置することで堤体内の排水を図る。

SPドレーンは、本体管 (図-2) とガイドロッド (図-3) からなる二重管構造となっている。また本体管は、スクリーが設けられた先端部 (鋼管) と集水孔を有した後続部 (ポリエチレン (PE) 管) に構造分離しており、両者はスラストベアリングにより接続されている。本体管の先端部にはソケット管が挿入されており、ガイドロッドはこのソケットに嵌合される。

SPドレーンの施工時は、回転圧入力をガイドロッドに与えることで本体管の先端部のみが回転し、後続部はスラストベアリングにより回転力が伝達しない仕組みとなっている。SPドレーンの貫入後は、ガイドロッドを引き抜き、本体管のみを堤体内に残置させる。

このように先端部のみが回転する仕様とすることで、パイプの貫入抵抗を低減するとともに、盛土の削り出しを発生させない構造とした。

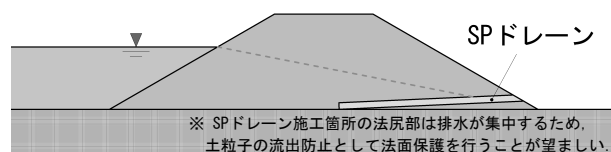


図-1 SPドレーンの設置イメージ

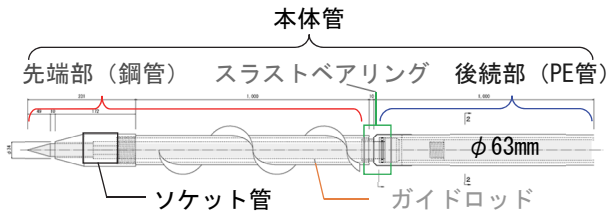


図-2 SPドレーンの概要図 (本体管)



図-3 SPドレーンの概要図 (ガイドロッド)

(2) SPドレーン工法の特徴

SPドレーン工法は、既存工法のパイプドレーンと同様に、盛土内の浸透水および地震時の過剰間隙水圧を迅速に排出・消散することができる。これに加えて、SPドレーンの主要な特徴として、以下の3点が挙げられる。

a) 小規模施工が可能

SPドレーン工法は回転圧入により施工するため、堤防や周辺地盤の開削を伴わない。よって、大規模な施工ヤードを必要とすることなく、交通規制等も最小限に抑えられ、小規模な施工が可能となる。また堤体土を排出することがなく、施工時の騒音・振動も低レベルに抑えられるため、都市河川の堤防工事に適した環境配慮型の工法であると言える。

b) 水みち発生を防止する先端のスクリー形状

非開削による土中水の排水工法としては、水平ボーリング工による排水パイプの設置が挙げられる。排水パイプ設置の効果は、砂防や鉄道盛土への適応実績より明らかである。しかし河川堤防の場合は、排水パイプが堤体内異物となり、パイプ周囲の水みち発生が懸念され、適用性は低いと考えられていた。

一方、SPドレーン工法は先端部のパイプ周囲にスクリーを設けることで、浸透路長を延長し、水みちの発生・土粒子の洗い出しを抑制した。また、本体管(後続部)に可撓性を有するPE管を採用することで地盤への追従性を高め、パイプ周囲の空隙発生を防止した。

c) 維持管理性に配慮した構造

従来のドレーン工は、碎石を取り囲むフィルター材が目詰まりを起こす可能性があった²⁾。一方、SPドレーン工法では、パイプの内側に取り出し洗浄が可能である内挿フィルターを挿入し、目詰まりによる機能低下を防止した。

3. SPドレーンの貫入実験による施工性の確認

SPドレーン工法の施工性や施工に伴って生じる地盤への影響を確認するため、堤防を模擬した盛土を用いて貫入実験を実施した。SPドレーンの回転圧入には、図-4に示される様な水平ボーリングマシンを

用いた。

実験の結果、図-5に示すように最大推進圧力1.3t、最大回転圧力93.3kg・mで地山を乱すことなく堤体内部8mまでSPドレーンを貫入させることが可能であることを確認した。

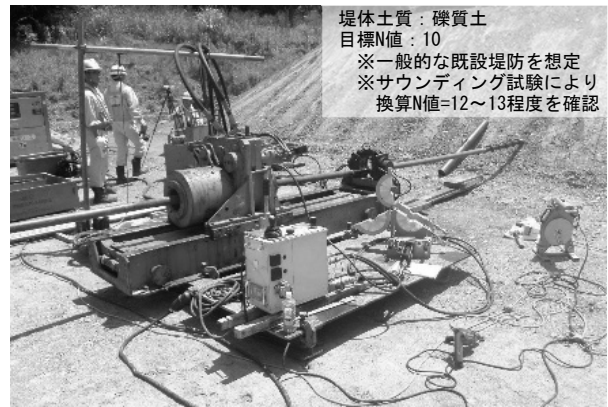


図-4 水平ボーリングマシンを用いた貫入実験

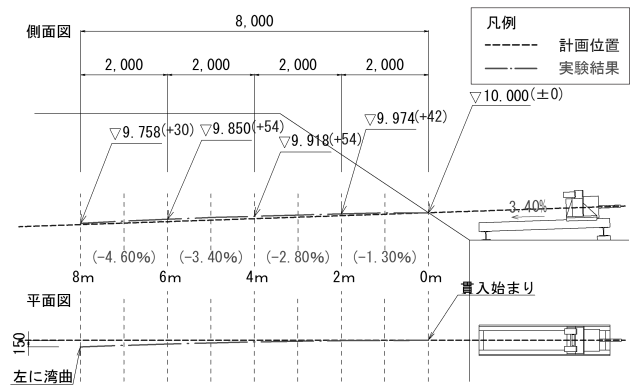


図-5 SPドレーンの貫入量と貫入線形 (実験結果)

4. SPドレーン設計法の提案

SPドレーンは三次元的な水位低減効果を有するが、設計においては簡便化を図り、二次元浸透流解析による設計を行えるよう、図-6に示すフローで設計法を検討した。

(1) 実証実験による堤体内水位の確認と再現解析

SPドレーンによる堤体内水位の低減量は、縮小堤防模型による実験で確認した。実験の概要は図-7に示す。実験に用いた材料の土質定数は、表-1のとおりである。実験ケースは、SPドレーンの設置間隔が1.0mピッチの場合と0.5mピッチの場合の2ケースとした。

実証実験後は、観測された堤体内水位を三次元浸透流解析モデルで再現した。SPドレーンの透水係数は、実証実験での観測水位と解析モデル上で得られる堤体内水位が一致するよう、逆解析を行って設定した。再現解析の結果、実証実験での観測水位に最も近い計算水位は、SPドレーンの透水係数が1.0E+00cm/secの場合であった(図-8、図-9)。

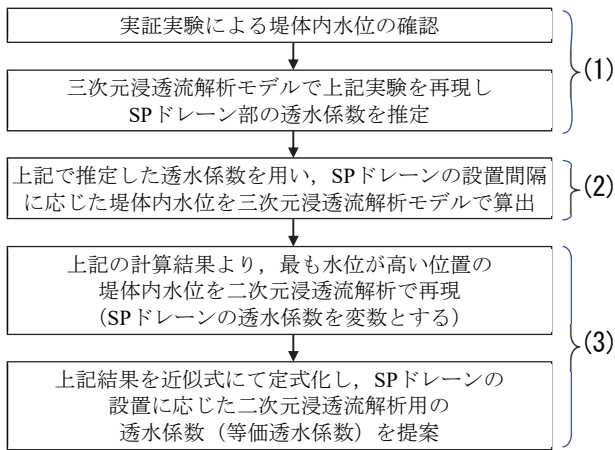


図-6 SPドレーンの設計法確立のための検討フロー

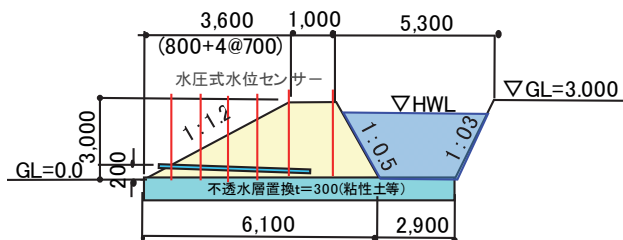


図-7 実証実験のモデル概要

表-1 実証実験に用いた材料の土質定数

地層	飽和透水係数		比貯留係数	不飽和浸透特性
	kx (cm/s)	ky (cm/s)	Ss (1/m)	
堤体(透水層)	6.10E-04	6.10E-04	1.00E-04	砂質土SF
SPドレーン	(任意)	(任意)	1.00E-04	礫質土G
基礎地盤(難透水層)	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-03	粘性土C

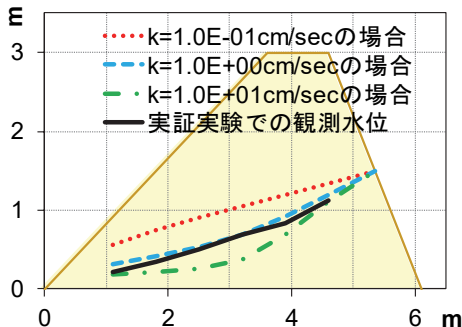


図-8 観測水位と再現水位 (1.0mピッチの場合)

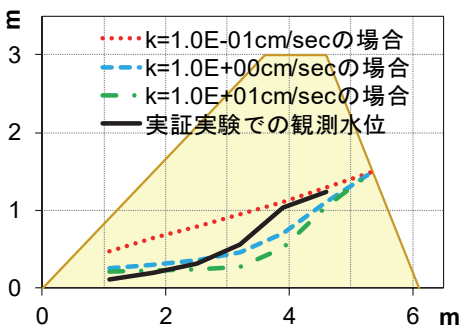


図-9 観測水位と再現水位 (0.5mピッチの場合)

(2) SPドレーンの設置間隔に応じた堤体内水位の算出

前述で作成した三次元浸透流解析モデルを用い、SPドレーンの透水係数を $1.0E+00\text{cm/sec}$ 、設置間隔を $0.5\text{m}\sim 16\text{m}$ ピッチとした場合の堤体内水位をそれぞれ算出した。

堤体内水位が最も高くなる位置は、図-10に示されるSPドレーン設置箇所の中間地点であるため、この地点における堤体内水位をピッチごとに整理した(図-11)。

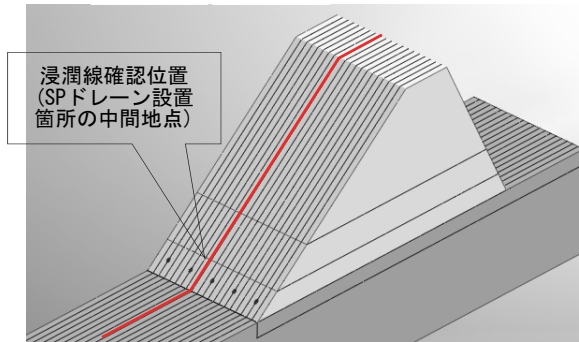


図-10 三次元モデルにおける堤体内水位の算出位置

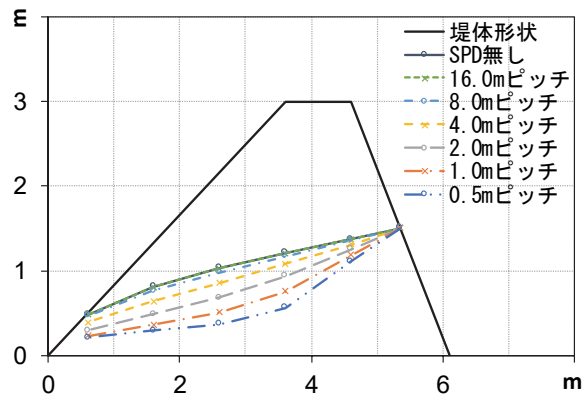


図-11 堤体内水位の算出結果

(3) 二次元浸透流解析による設計法の提案

三次元解析にて再現した堤体内水位を、通常的设计業務で用いられる二次元解析にて再現を可能とする設計法を検討した。

二次元浸透流解析におけるSPドレーン設置箇所の中間地点での堤体内水位は、SPドレーンに与える透水係数を低減することで再現した(図-12)。

低減された透水係数を等価透水係数とし、図-13に示すようにSPドレーンの設置間隔により定式化することで、三次元的な水位低減効果を発揮するSPドレーンを二次元的に評価することを可能にした。なお、定式化で対象としたSPドレーンの設置間隔は、図-11の算出結果より水位低下が明確に確認できた 8m 以下を対象とした。

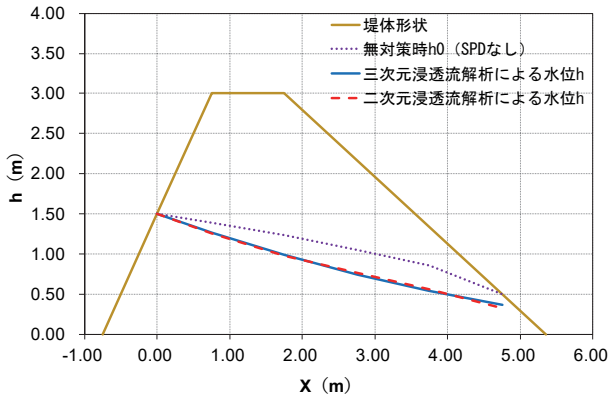


図-12 二次元浸透流解析による三次元浸透流解析モデル堤体内水位の再現 (2mピッチの例)

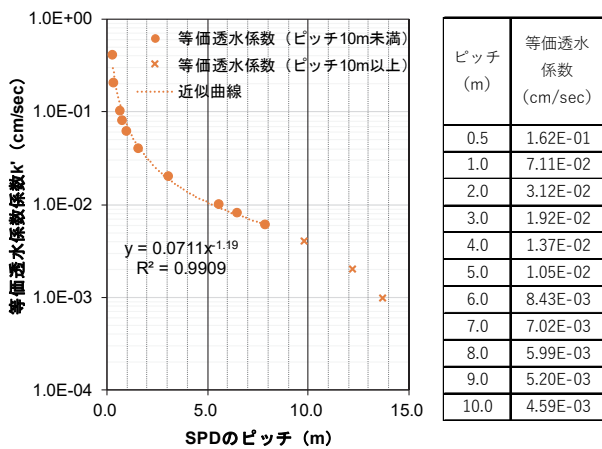


図-13 SPドレーンの設置間隔と等価透水係数の関係

5. 実例を用いたSPドレーンの適用性検討

堤防浸透対策として従来のドレーン工が検討された実例断面を用い、ドレーン工の代わりにSPドレーンをモデル化した場合に所定の安全性を確保できるか計算した。本論文で検討に用いた堤防断面は、計画流量2000m³/sの県河川である。

設定土質定数は表-2のとおりである。SPドレーンの長さは、平均動水勾配 (H/D) が概ね0.3以下であればパイピングを生じる可能性が低いことをふまえて²⁾、H/Dが0.3以上とならない範囲で最大長を設定した。

無対策時とSPドレーン対策時それぞれについて裏のりすべりに対する照査を行った結果を図-14、図-15に示す。

この堤防断面では、幅2.0m×高さ0.5mのドレーン工が計画されていた。一方、SPドレーンに置き換える場合、長さ4mのSPドレーンを2mピッチ以下の間隔で設置することで、堤防の浸透に対する安全率を満たすことが可能であるという結果が得られた。

表-2 SPドレーンの適用性検討に用いる土質定数

地層	湿潤密度	粘着力	内部摩擦角	透水係数	非貯留係数	不飽和浸透特性
	γ_r KN/m ³	c KN/m ²	ϕ °	k cm/s	Ss	
B1	18.2	1	38	1.00E-03	1.0E-04	礫質土G
Ag1	20.0	0	35	4.00E-02	1.0E-04	礫質土G
Ac3	17.0	0	29	1.00E-05	1.0E-04	礫質土G
Ac3	16.0	15	0	1.00E-05	1.0E-03	礫質土C
SPドレーン	18.2	1	38	3.12E-02	1.0E-04	礫質土G

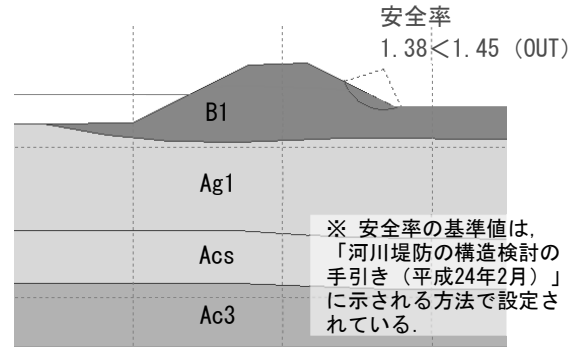


図-14 無対策時の安定計算結果

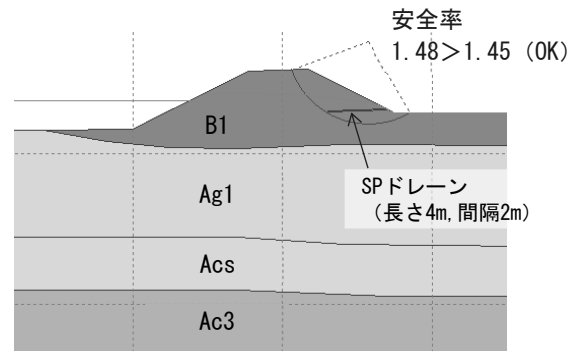


図-15 SPドレーンによる対策後の安定計算結果

6. 結論

既設堤防の浸透対策工法として、水みちの発生を抑制しながらも容易に堤体に貫入が可能であり、かつ維持管理性に優れたSPドレーンを開発することができた。また、二次元浸透流解析によるSPドレーンの簡便な設計法を提案した。さらに、実例堤防断面を用いて堤防質的強化工法としてのSPドレーンの有用性を確かめた。

今後は、異なる土質条件に対する検討や実験・設計実績の積み重ねによって定数設定や設計法の精度を向上していく必要がある。

参考文献

- 1) 太田・宇野・柏熊：堤防の浸透破壊を防止するパイプドレーン工法，土木学会第65回年次学術講演会，pp. 247-248
- 2) 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，平成25年6月，p. 8