

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

楊 雪松 亀山 千佳 中嶋 亮太 小畑 耕一 原田 直樹 草野 友宏

YANG Xuesong 株式会社建設技術研究所 東京本社 水工部 技師長
KAMEYAMA Chika 同社 東京本社 水工部 主幹
NAKAJIMA Ryota 同社 東京本社 水工部 技師
OBATA Koichi 同社 東北支社 支社次長
HARADA Naoki 同社 中部支社 河川部水工室 グループリーダー
KUSANO Tomohiro 同社 中部支社 河川部水工室 技師

はじめに

河川堤防は地域住民およびその資産を護る重要な河川構造物であり、その構造は長期にわたる維持管理を容易にすることなどから土堤が原則とされています。しかし近年、豪雨災害が多発傾向にあり、表1に示す河川水の浸透による堤防の被災リスクも増大しています。

この「堤体のりすべり」を防止する代表的な浸透対策としては、土堤が崩れる原因となる浸透水を速やかに排水するドレーン工法が挙げら

れます。本工法には、堤体へのなじみの良さや経済性の観点から、一般に礫材を中詰としたフトンカゴと呼ばれるものが用いられています。既設堤防に施工する場合、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流れを阻害する仮締切が必要になるなど、工事規模が大きくなるのが課題となります。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

工法の開発が急務となっています。

本稿では、この課題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紹介します。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が実用化されていますが、本工法は浸透対策に特化し、水みちの防止や施工性、維持管理性を向上させ、河川堤防への本格適用を目指すものです。

SPドレーンの基本構造

SPドレーンは、図1に示すように堤防のり尻部に集水孔を有するパイプを設置することで、堤体内に浸透した河川水を排水し、堤体のりすべりを防ぎます。

SPドレーンは、図2に示す本体管（先端部と後続部）とガイドロッド（誘導管）からなる二重管構造となっています。本体管は、スクリーが設けられた先端部（鋼管）と集水孔を有する後続部（ポリエチレン（PE）管）に構造が分離しており、両者は回転力が伝達しないスラストベアリングにより接続されています。先端部にはソケットがあり、ガイドロッドはこのソケットに接続されます。

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ます。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ます。

このように先端部のみが回転する構造とすることで、パイプの貫入抵抗を低減するとともに、盛土材の削り出しを発生させない仕組みとしました。

ン工法は、堤防や周辺地盤の開削を伴わないため、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ります。

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ことから、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ます。

② 水みち発生を防止する形状

非開削による土中水の排水工法は、水平ボーリング工による排水パイプの設置が挙げられます。その効果は、砂防や鉄道盛土への適応実績より明らかになっています。しかし河川堤防の場合は、排水パイプが堤体内の異物となり、パイプ周囲の水みちの発生が懸念され、適用性は低いと考えられていました。

一方SPドレーンは、先端部のパイプ周囲にスクリーを設けることで、浸透路長を確保し、水みちの発

生・土粒子の洗い出しを抑制する構造としました。また、本体管（後続部）に柔軟性を有する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ました。

③ 維持管理性に配慮した構造

従来のドレーンは、碎石を取り囲む吸出し防止材が目詰まりを起こす可能性がありました²⁾。一方、SPドレーンでは、パイプの内側に取出し洗浄が可能なフィルターを挿入し、目詰まりによる機能低下を防止しています。

SPドレーン貫入実験による施工性

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ました。SPドレーンの回転圧入には、図3に示すような水平ボーリングマシンを用いました。

実験の結果、図4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ました。

表1 浸透による堤防の被災形態（出典「河川堤防の浸透に対する調査・設計のポイント」）

被災形態	のりすべり	パイピング(上図) 盤ぶくれ(下図)
要因	降雨、河川水の堤体への浸透	降雨、河川水の基礎地盤への浸透
イメージ図		
	対象とする被災形態	



図1 SPドレーンの設置イメージ

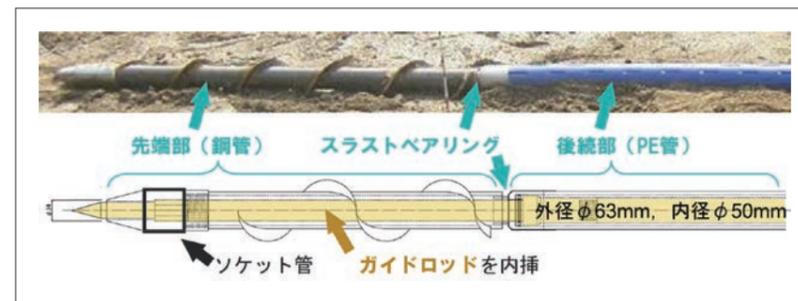


図2 SPドレーンの概略図



図3 水平ボーリングマシンを用いた貫入実験

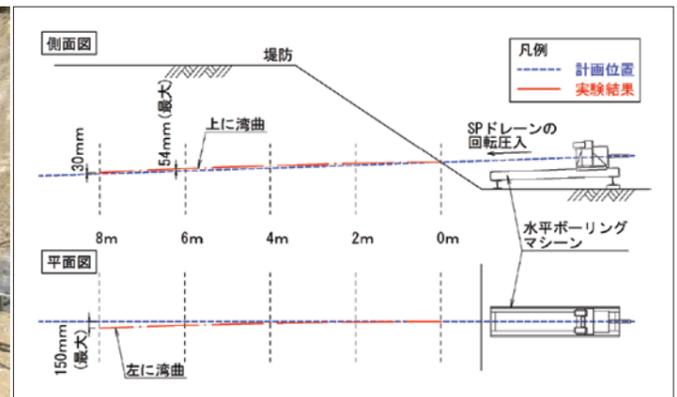


図4 SPドレーンの貫入量と貫入線形（実験結果）

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しますが、設計においては簡便化を図るため、堤防の浸透に対する安定性照査で用いる二次元浸透流解析の適用を検討しました。検討フローを図5に示します。

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下量は、縮小堤防模型による実験で確認しました。実験の概要を図6、実験に用いた材料の土質定数を表2に示します。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ケースとしました。

次に、実証実験結果を踏まえて、三次元浸透流解析モデルを作成し、観測された堤体内水位を再現解析しました。

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/sの場合となりました(図7)。

② SPドレーンの設置間隔に応じた堤体内水位の算出

前述した三次元浸透流解析モデル

を用い、SPドレーンの設置間隔を変えた複数ケースの堤体内水位を算出しました(図8)。堤体内水位は、SPドレーン設置箇所の中間地点の最も高くなる水位を対象に整理しています。

③ 二次元浸透流解析による設計法の提案

二次元浸透流解析では、SPドレーンの設置間隔ごとの堤体内水位を、SPドレーンに与える透水係数(1.0E+00cm/s)の低減により再現しました(図9)。

SPドレーンの設置間隔ごとに低減する透水係数を等価透水係数として定式化(図10)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ました。なお、定式化で対象としたSPドレーンの設置

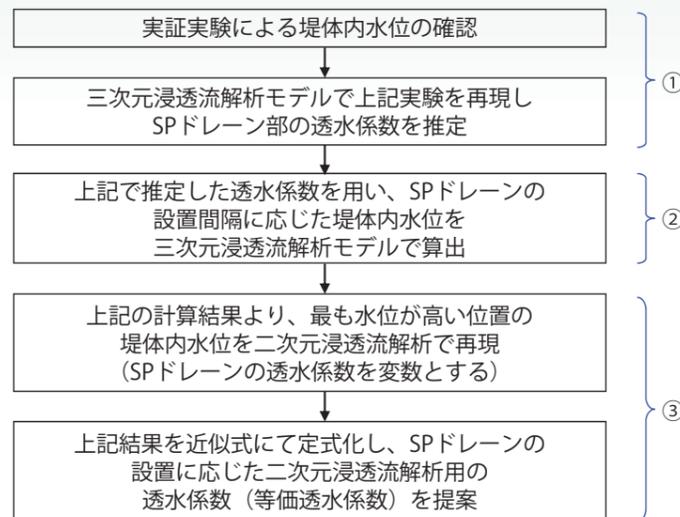


図5 SPドレーンの設計法確立のための検討フロー

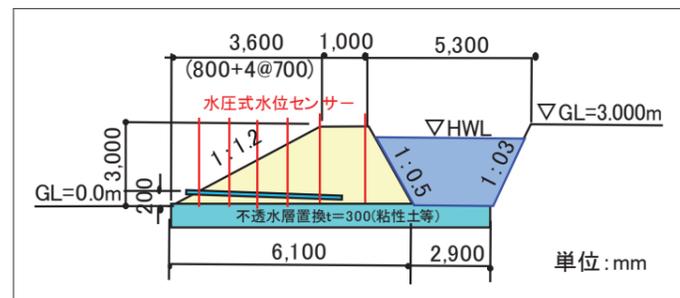


図6 実証実験のモデル概要

表2 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)		
堤体(透水層)	6.10E-04	6.10E-04	1.00E-04	砂質土
SPドレーン	(任意)	(任意)	1.00E-04	礫質土
基礎地盤(難透層)	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-03	粘性土

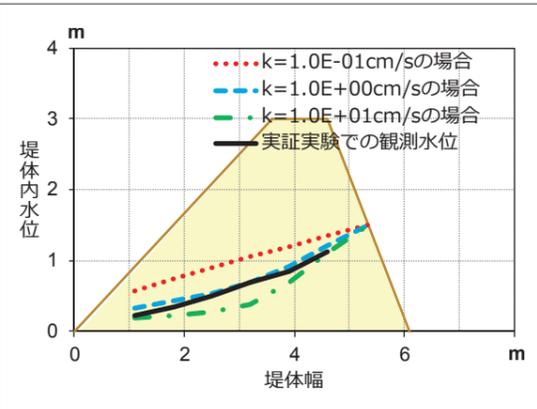


図7 観測水位と再現水位 (1.0mピッチの場合)

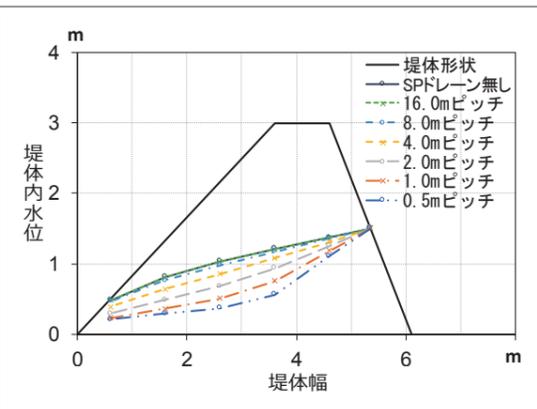


図8 堤体内水位の算出結果

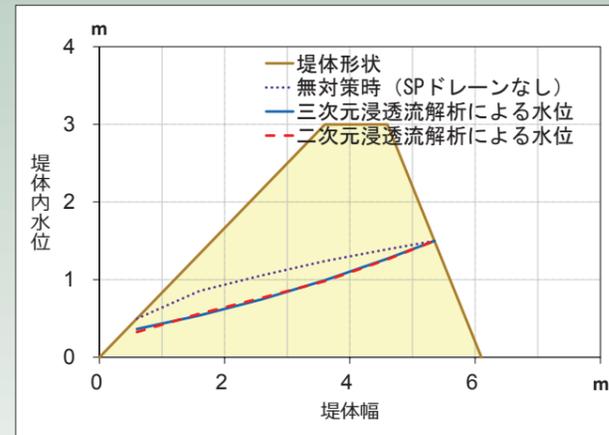


図9 堤体内水位の再現解析結果 (SPドレーン3mピッチの例)

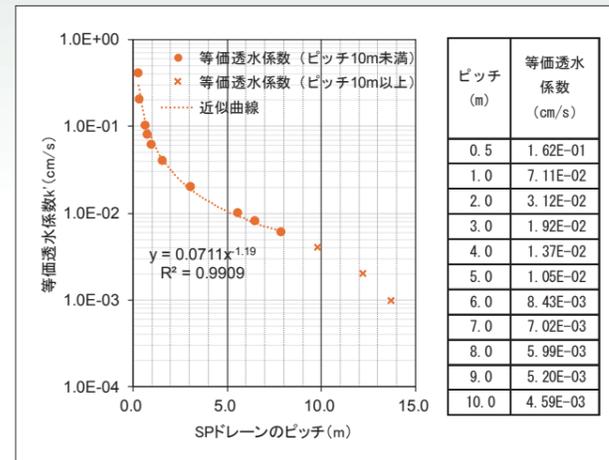


図10 SPドレーンの設置間隔と等価透水係数の関係

表3 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	比貯留係数	不飽和浸透特性	
	γt(KN/m³)	c(KN/m²)	φ(°)	k(cm/s)	Ss(1/m)		
堤体盛土	18.2	1	38	1.00E-03	1.0E-04	礫質土	
沖積層	礫質土	20.0	0	35	4.00E-02	1.0E-04	礫質土
	シルト混じり細砂	17.0	0	29	1.00E-05	1.0E-04	礫質土
	粘性土	16.0	15	0	1.00E-05	1.0E-03	粘性土
SPドレーン	18.2	1	38	3.12E-02	1.0E-04	礫質土	

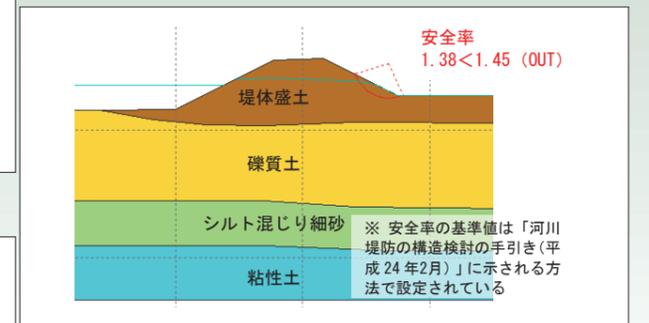


図11 無対策時の安定計算結果

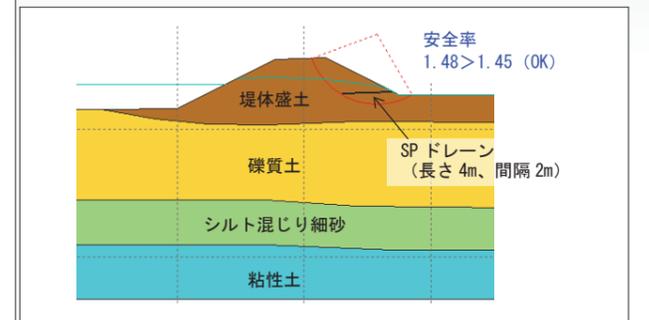


図12 SPドレーンによる対策後の安定計算結果

間隔は、三次元浸透流解析で水位低下が明確に確認できた8m以下を対象としました(図10)。

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に対して、ドレーン工の代わりにSPドレーンを配置した場合に所定の安全性を確保できるか計算しました。なお、検討に用いた堤防断面は、計画流量2,000m³/sクラスの河川を想定しています。

設定土質定数を表3に示します。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、水

みちができて周囲の土砂を交えて噴出するパイピングを生じる可能性が低いことを踏まえ²⁾、H/Dが0.3以上とならない範囲で最大長を設定しました。

図11と図12には、無対策時とSPドレーン対策時の裏のりすべりに対する照査結果を示します。

この堤防断面では、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により、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ました。

結論

河川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ました。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ました。さらに、実例堤防断面を用いて浸透対策工法としてのSPドレーンの有用性を確かめました。

今後は、様々な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、本格適用を目指します。

<参考資料>

- 1) 太田・宇野・柏熊: 堤防の浸透破壊を防止するパイピング工法, 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