

堤防被災事例からの知見と水防災技術

－近年の河川災害に関する資料整理結果および
水防災新技術・堤防調査新技術－

2022.11. 9

一般社団法人 リバーテクノ研究会
技術開発委員会 地盤WG

1. 近年の河川災害に関する資料整理結果

■ 近年の河川災害に関する資料の収集・整理

近年の25年間（1995年～2019年）の河川災害を対象に、代表的な堤防被災事例を30件抽出し、堤防調査委員会報告書等の公表資料をもとに以下の項目について整理した。

- 被災状況
- 被災時の外力（降雨量、最高水位、越流水深、高水位継続時間）
- 被災箇所の特徴（堤防形状・土質、河道状況、地形・地質、場の特異性等）
- 被災原因
- 復旧対策
- 得られた知見・教訓 他

以下では、代表的な堤防被災事例の整理結果を示すとともに、これらから得られた知見等をもとに堤防被災が懸念される場所の例を提示した。

■ 対象とした堤防被災事例

発生年	名称	河川名	左右岸	被災箇所	被災原因	被災形態	被災規模	漏水の有無	事例No.
1995	平成7年7月豪雨災害	関川	左岸	16.5k (新井市月岡)	越水	破堤	L=150m	不明	1-1
1998	平成10年8月豪雨災害	阿武隈川	左岸	61.0k	氾濫流の越水	破堤	本川1箇所 (L=20m) 支川1箇所	有り	2-1
1998	平成10年8月豪雨災害	余笹川	左右岸	延長16km (那須町)	侵食	河岸崩壊		無し	3-1
2000	平成12年9月東海豪雨災害	新川	左岸	8.2k (名古屋市西区あし原町)	浸透	破堤	L=100m	無し	4-1
2001	平成13年10月台風第15号災害	利根川	右岸	139k (加須市大越地先)	浸透	噴砂	噴砂 2箇所	有り	5-1
2004	平成16年10月台風第23号災害	円山川	右岸	13.2k (立野地区)	越水と浸透の複合	破堤	L=100m	不明	6-1
		出石川	左岸	5.4k (鳥居地区)	越水	破堤	L=100m	不明	6-2
2004	平成16年7.13新潟県豪雨洪水災害	五十嵐川	左岸	3.4k (諏訪地区)	越水と浸透の複合	破堤	L=117m	有り	7-1
		刈谷田川	左岸	中之島地区	越水	破堤	L=50m	有り (堤体)	7-2
2004	平成16年7月福井豪雨災害	九頭竜川水系足羽川	左右岸	4.6k	越水と浸透の複合	破堤	破堤区間：L=60m 越水区間：L=900m	無し	8-1
2006	平成18年7月豪雨災害	天竜川	右岸	204.8k(箕輪町松島北島)	侵食	破堤	破堤区間：L=120m	無し	9-1
2006	平成18年7月豪雨災害	斐伊川	右岸	7.5 k (今在家地先)	浸透	噴砂・陥没	L=5m	有り	10-1
2007	平成19年9月豪雨災害	米代川	左岸	15.5k	浸透	噴砂	直径3m程度	有り	11-1
2012	平成24年7月九州北部豪雨災害	矢部川	右岸	7.3k	浸透	破堤	決壊幅 約50m	不明	12-1
2013	平成25年7月豪雨災害	子吉川	右岸	10.8k	浸透	噴砂・裏のりすべり	L=60m	有り	13-1
2013	平成25年7月大雨災害	梯川	右岸	8.4k (古府地区)	浸透	噴砂・裏のりすべり	L=450m	有り (基盤)	14-1
2015	平成27年9月関東・東北豪雨災害	鬼怒川	右岸	21.0k (三坂地区)	越水	破堤	L=200m	不明	15-1
2016	平成28年8月北海道大雨激甚災害	常呂川	左岸	22.6k	越水	裏のり崩れ	L=16m	無し	16-1
		常呂川	左岸	26.4k, 26.8k	浸透	噴砂	噴砂	有り (基盤)	16-2
2017	平成29年7月九州北部豪雨災害	桂川	右岸	福岡県朝倉市	越水	破堤	決壊1箇所	不明	17-1
		赤谷川	左右岸	福岡県朝倉市	河道埋塞	溢水氾濫	0k~8k区間で河道埋塞 7箇所	不明	17-2
2017	平成29年10月台風第21号災害	木津川	右岸	6.0k (久御山地区)	浸透	噴砂	漏水、噴砂 9箇所	有り	18-1
2018	平成30年7月豪雨災害	小田川	左岸	3k400 (倉敷市真備町)	越水	破堤	L=100m	不明	19-1
2019	令和元年台風第19号 (東日本台風) 災害	阿武隈川	左岸	98.6k	氾濫流の越水	破堤	L=50m	無し	20-1
		鳴瀬川水系吉田川	左岸	20.9k付近 (大郷町粕川地先)	越水	破堤	L=100m	無し	20-2
		那珂川	左岸	40.0k (常陸大宮市野口地先)	越水	破堤	L=200m	無し	20-3
		久慈川	左岸	27.0k (常陸大宮市塩原地先)	越水	破堤	L=200m	無し	20-4
		荒川水系越辺川	右岸	0.0k付近 (川越市平塚新田地先)	越水	破堤	L=70m	無し	20-5
		荒川水系都幾川	右岸	0.4k付近 (東松山市早俣地先)	越水	破堤	L=90m	無し	20-6
		千曲川	左岸	57.5k	越水	破堤	L=70m	無し	20-7

■ 堤防被災事例の整理結果（被災時の外力・被災箇所状況）

被災原因	被災形態	事例数	被災時の外力				被災箇所状況						
			降雨量 (mm)	最高水位－ HWL (m)	越流水深 (m)	高水位継 続時間 (hr)	堤防比高 (天端－ 堤内地) (m)	のり勾配 (川裏)	小段の有 無	堤体土質 G:砂礫 S:砂質土 C:粘性土	治水地形 分類	河道状況	場の特異性
越水	破堤	12	200～ 610	-0.6～2.4	0.2～0.9	2～60	2.0～7.5	1:1.3～ 1:3	有り 3 無し 8 不明 1	G 1 S 3 C 4 S/C 2 不明 2	微高地 6 氾濫平野 5 不明 1	ほぼ直線 4 湾曲部外側 3 湾曲部内側 3 支川合流部 2	狭窄部上流 3 堤防高不足 2
	裏のり崩れ	1	340	1.7	0.3	35	3.0	1:2	無し	S	旧河道 1	湾曲部外側	堤防高不足 1
氾濫流の 越水	破堤	2	250～ 1270	0.3～0.6	0.6	16～96	2.9	1:2	無し 1 不明 1	S	氾濫平野 ～旧河道	支川合流部 1 屈曲部 1	遊水地下流 1
越水と浸透 の複合	破堤	3	280～ 480	不明	0.3～0.5	1.5～6	3.1～6.9	1:1.8～ 1:2.7	有り 2 無し 1	S 2 S/C 1	氾濫平野 ～微高地	ほぼ直線 1 湾曲部外側 1 湾曲部内側 1	堤防高不足 1 行き止まり 1
浸透	破堤	2	370～ 570	1.1	－	5～8	6.0	1:2～ 1:2.5	無し	S/G 1 C 1	旧河道 1 氾濫平野 1	ほぼ直線 1 湾曲部内側 1	HWL超過 1 行き止まり 1
	噴砂	4	250～ 490	-2.8～1.9	－	9～43	4.0～11.9	1:2～ 1:3	有り 2 無し 2	S 3 S/C 1	氾濫平野	ほぼ直線 4	行き止まり 3
	噴砂・のり すべり	2	200	-0.2～0	－	10～56	3.9～4.4	1:1.5～ 1:2.2	無し	S 1 S/C 1	旧川微高地 1 旧河道 1	ほぼ直線 1 湾曲部外側 1	
	噴砂・陥没	1	380	0	－	65	8.0	1:1.8	有り	S	氾濫平野	ほぼ直線	行き止まり
侵食	破堤	1	390	0.1	－	7	1.4	－	－	－	氾濫平野	湾曲部外側	
	河岸崩壊	1	1250	不明	－	6	－	－	－	－	旧河道	湾曲部外側	
河道閉塞	溢水氾濫	1	610	不明	－	不明	－	－	－	－	谷底平野	湾曲部	大量の土砂・ 流木の流下

■ 堤防被災が懸念される場所の例

対象区分	堤防被災が懸念される場所	場の特徴	想定される被災形態	適用可能な水防災技術
河道	狭窄部上流側	出水時に河川水位が上昇しやすい	越水	モバイルレバー・水防シート
	橋梁上流側	出水時に河川水位が上昇しやすい(とくに流木が多い場合には注意が必要)	越水	モバイルレバー・水防シート
	樹木が繁茂している箇所	出水時に河川水位が上昇しやすい	越水	モバイルレバー・水防シート
	土砂の堆積が著しい箇所	出水時に河川水位が上昇しやすい	越水	モバイルレバー・水防シート
	湾曲部外側等の水衝部	出水時に河川水位が上昇しやすく流速が大きい	越水・侵食	モバイルレバー・水防シート
	支川合流部上流側	出水時に河川水位が上昇しやすい	越水	モバイルレバー・水防シート
	上流からの氾濫流が集中する箇所	氾濫時に堤内地側からの越水が生じる可能性がある	越水	水防シート
	支川合流部等において本川と支川に挟まれた箇所、または曲率の大きい湾曲部の内側	出水時に浸透流が堤内地に集中する可能性がある	浸透(噴砂・パイピング)	堤防浸潤監視・リリーフウェル
堤体	堤防天端高が局所的に低い箇所	出水時に越水が始まる箇所になりやすい	越水	モバイルレバー・水防シート
	堤体漏水の履歴がある箇所	堤体内に水ミチや緩みが存在する可能性がある	浸透(噴砂・パイピング)	堤防浸潤監視・堤脚安定工
	堤体の締固めが不十分で浸透性が高い箇所	豪雨時や出水時に堤体内水位が上昇しやすい	浸透(漏水・のりすべり)	堤防浸潤監視・堤脚安定工
	裏のり勾配が局所的に急な箇所	豪雨時や出水時に裏のりの不安定化が生じやすい	浸透(のりすべり)	堤防浸潤監視・堤脚安定工
地盤	軟弱地盤が分布する区域	堤防天端の沈下が発生しやすい	越水	モバイルレバー・水防シート
		樋門等構造物周辺堤防に空洞や緩みが存在する可能性がある	浸透(噴砂・パイピング)	堤防浸潤監視・リリーフウェル
	基盤漏水の履歴がある箇所	基礎地盤内に水ミチや緩みが存在する可能性がある	浸透(噴砂・パイピング)	堤防浸潤監視・リリーフウェル
	行き止まり型の土質構造となっている箇所	出水時に裏のり尻付近で透水層内の水圧が高くなりやすい	浸透(噴砂・パイピング)	堤防浸潤監視・リリーフウェル
	被覆土層の厚さが局所的に薄い箇所	出水時に裏のり尻付近で漏水や噴砂が生じやすい	浸透(噴砂・パイピング)	堤防浸潤監視・リリーフウェル
	山付部で斜面の安定性が懸念される箇所	豪雨時に斜面が崩壊し河道を閉塞する可能性がある	越水	モバイルレバー・水防シート

注1) 浸透被災については、堤防高(堤防天端と堤内地との比高)が大きいほど注意が必要。

注2) 行き止まり型の土質構造は、堤防下の透水層の厚さが堤内地に向かって薄くなる箇所、旧河道や落堀などの要注意地形が分布する箇所、山地や丘陵地が堤防に迫っている箇所、法尻付近に大型の水路等の構造物が設置されている箇所等に存在すると考えられる。

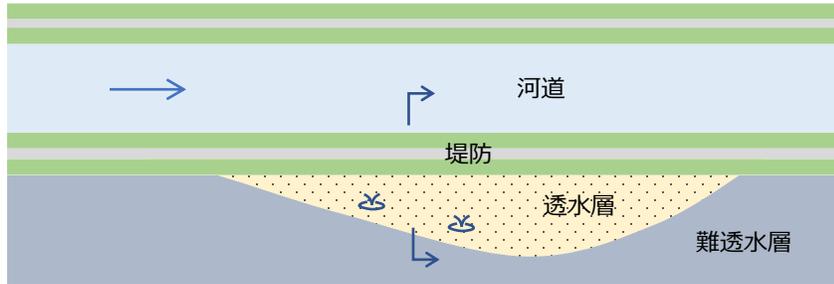
注3) 既に適切な対策工が施工されている箇所については対象外とする。

■ 浸透による被災が懸念される堤防周辺地盤の土質構造等の例 (1)

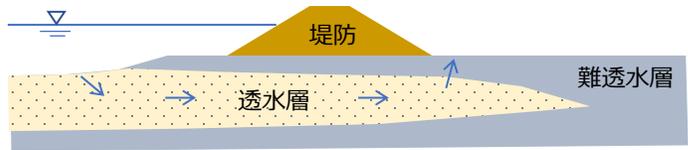
透水層が堤内地で消滅または薄くなる箇所 (行き止まり型)

※難透水層が透水層、透水層が高透水層の場合でも同様

平面図



横断面図

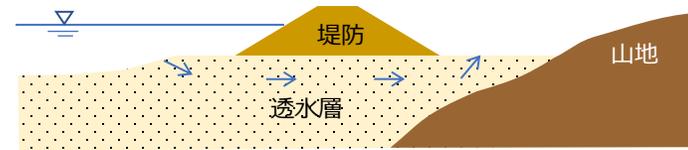


山付き部の上流側 (行き止まり型)

平面図

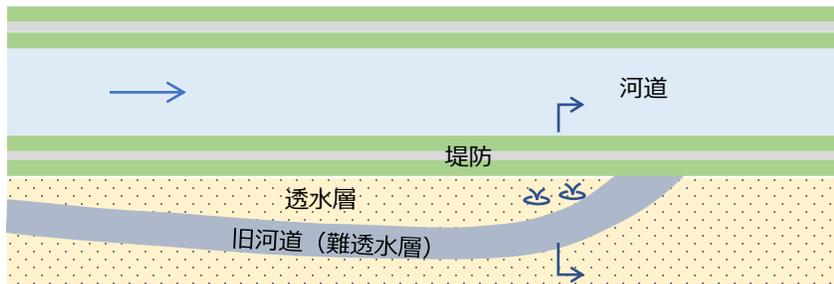


横断面図

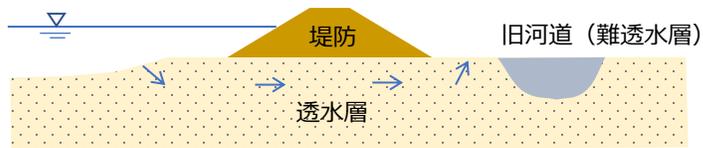


難透水層からなる旧河道が近接する箇所 (行き止まり型)

平面図

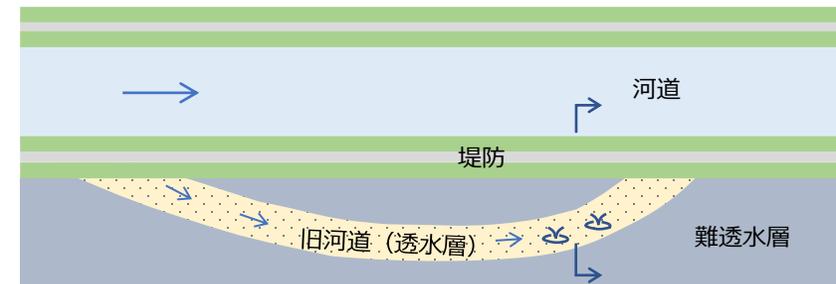


横断面図

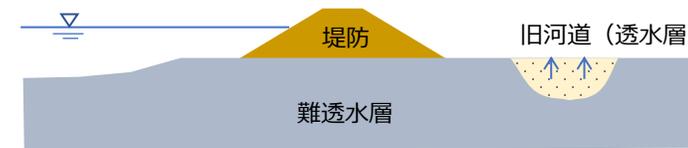


透水層からなる旧河道が近接する箇所

平面図



横断面図



■ 浸透による被災が懸念される堤防周辺地盤の土質構造等の例 (2)

被覆土層の厚さが局所的に薄い箇所
平面図



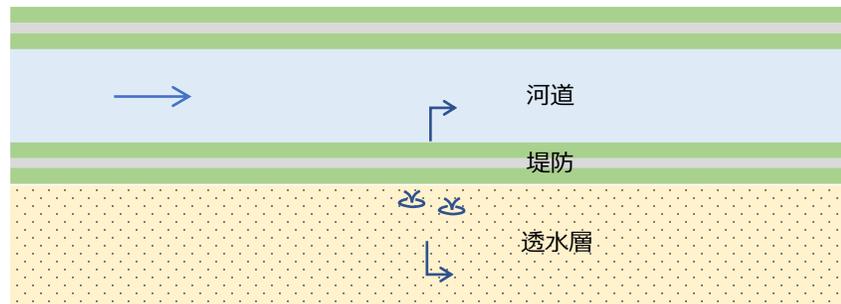
縦断面図



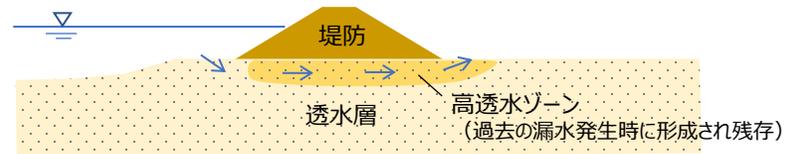
支川合流部付近
平面図



漏水の履歴がある箇所
平面図

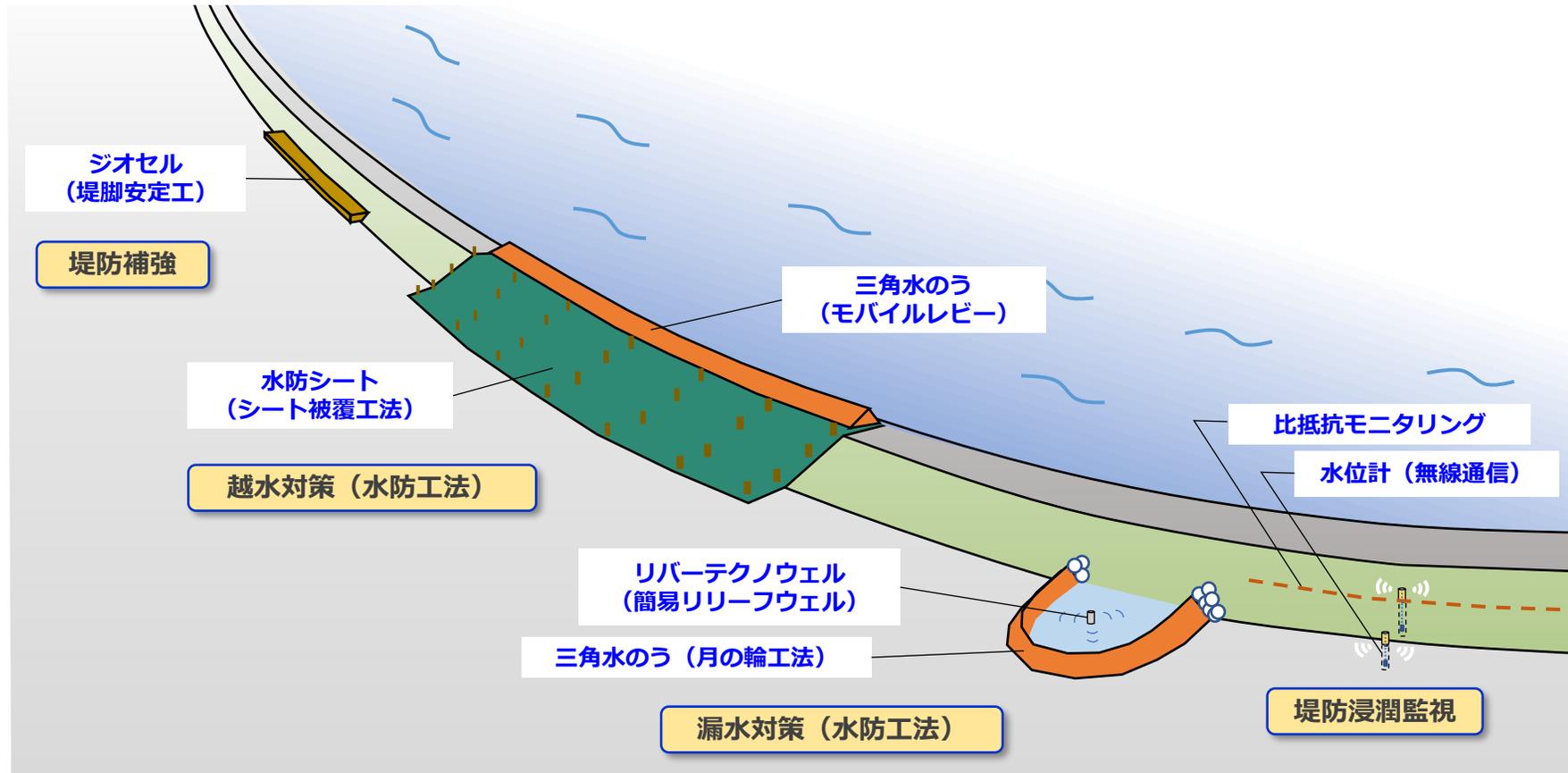


横断面図



2. 水防災新技術

水防災新技術の適用イメージ



ハイブリッドパネル堤
(モバイルレビー)

溢水対策 (水防工法)

三角水のうを用いた越水防止工法

目的

本工法は、堤防上に三角水のうを設置し、堤防を三角水のうの高さだけ一時的に嵩上げすることにより、越水や溢水を防止する工法

概要

1. 工法の特徴

本工法は、越水防止工法としてこれまで行われてきた土のうの積み上げに変わる工法である。三角水のうは、三角形の断面を持つチューブ状の水のうである。三角水のうは延長方向にジョイントすることが可能で、堤防上に連続的に設置することで設置区間の堤防を一時的に嵩上げすることができ、堤防を越水・溢水する水を防ぐことができる。

三角水のうに給水ポンプを用いて注水することで設置することができ、土のうの積み上げに比較して少人数で設置することが可能である。

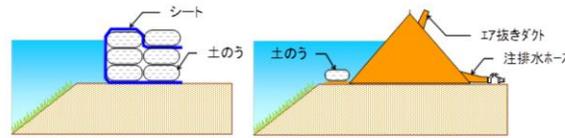


図1-1 改良土のう工法(左)と『三角水のう』(右)の設置イメージ

2. 三角水のうの諸元

三角水のうは、高さと本体を構成する膜材の強度により、三種類のタイプがある。

表 III-1 三角水のうの標準仕様

品番	型式	A-80		A-50		B-50		備考
		大型		標準型		標準タイプ		
種類	膜材	高強度タイプ		標準タイプ				
仕様	高さ(cm)	110		70				
	(注水時)	(100)		(60)				
	幅(cm)	200		120				
	全長(cm)	400		600				
	容量(m ³)	約4.4		約2.5				
	質量(kg)	29		26		16		本体のみ
材質		基布：ポリエステル100% コーティング樹脂：ポリ塩化ビニル(PVC)						
物理特性	厚さ(mm)	0.85		0.47				JIS K 6404
	引張強さ(N/3cm)	テ	1962以上		1368以上			JIS L 1096A
		ココ	1962以上		1230以上			
	伸び率(%)	テ	35以下		30以下			
ココ		35以下		40以下				

※仕様変更に伴い、断りなく変更する場合があります。

効果

三角水のうの効果、実物を用いた性能確認試験を行い確認している

1. 止水性: 適用水深に対し、設置底面および連結部分からの漏水が無い、あるいはわずかであること
2. 強度特性: 流木など落下物の衝撃および使用時の引きずりなどの摩擦に耐えられる強度を有していること
3. 耐久性: 袋体として十分な耐候性、耐薬品性を有していること
4. 施工性: 人力での運搬・設置が容易にできる軽量は袋体であり、ユニット同士の連結が容易にできること。また袋体に注水ホースなどを使い、水を容易に充填できること。
5. 表示(視認)性: 製造者、型式記号および製造年などの表示が容易に消えないように表示されていること

施工手順

1. 運搬: 設置場所に運搬する。
2. 設置と連結: 三角水のうの向きを間違えないように設置場所に設置し、延長方向に連結する。
3. 注水: 注水ホースを差し込み、給水ポンプを使い、注水する。



適用条件・範囲

三角水のうは適用水深が定められており、適用水深を越えないような場所で設置する。また、本体を構成する膜材の強度による主な適用場所に設置する。

表 III-3 類型別の主な適用場所

類型	型式	全高(注水時)	適用水深	主な適用場所
標準	高強度タイプ	100cm	80cm以下	・堤防上に適用可能 ・河川上中流部など流木等の落下物があるような場所や都市河川で投棄物が流れてくるような場所への適用に「高強度タイプ」が推奨される
	標準タイプ	60cm	50cm以下	・堤内地など(堤防上は適用不可) ・落下物が流れてこない場所で内水氾濫対策などに適用

費用

三角水のうは、従来の積み土のう工に比較して少人数、短時間で設置することが可能であり、設置費用と設置時間が短縮できる。

表 I-4 土のうと三角水のうの設置時間比較 (8m当り、作業員2名)

	土のう (PE製 中詰時:長さ40×幅35 ×厚さ15cm、重さ約30kg)	『三角水のう』 (A-80 注水時:長さ4.0×幅 2.0×高さ1.0m、容量4.4m ³ (乾重26 kg))
必要数量	約560個	2体
製作時間	約6時間	—
設置時間	約5時間	連結約5分、注水**約30分
合計	約13時間	約35分

※実作業をもとに由研究会で算出した概算値 *4)吐出量約3m³/分(300L/分の)エンジンポンプ使用時

・大型の『三角水のう』は、土のう積みと比較して約22分の1の時間で設置できる。

ハイブリッドパネル堤を用いた越水防止工法 (マックスレビーパネル)

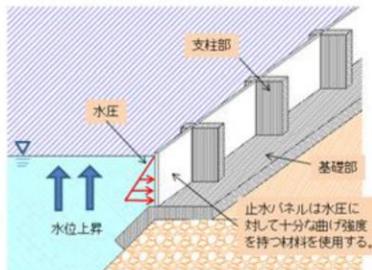
目的

本工法は、土堤やコンクリート特殊堤など恒久的な堤防の嵩上げとは異なり、平常時は、ほぼ現状のままで、洪水時に堤防機能を果たす可搬式特殊堤防(モバイルレビー)に使用する止水パネルに「マックスレビーパネル」を使用した水防工法である。

概要

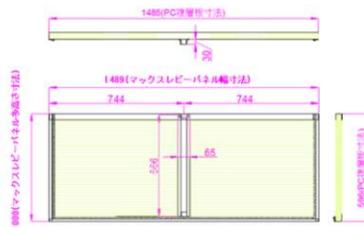
『マックスレビーパネル』は、予めスリット(建込み用溝)を設けてあるコンクリート製の基礎部と支柱部に『マックスレビーパネル』を建込んで止水壁を構築し、洪水時に溢水や堤防からの越水を防いで水害を防止、あるいは減じることを目的としたモバイルレビーに使用する止水パネルである。

平常時は、止水パネルを取り外しておけば、①川の視認性を妨げることなく(河川風景や景観の保全)、②小動物など生き物の水域と陸域の移動の確保(生態環境の保全)、③人の水辺へのアクセスを阻害しない(親水性の維持)など、現状に近い形で河川環境や景観を保全することが可能である。



『マックスレビーパネル』の設置イメージ

品番	マックスレビーパネル	
タイプ	標準	
設計水深(m)	1.0	
構成部材	中空パネル: 標準寸法H996×W1489 SUS枠: H枠外周4辺(t=1加工品)	止水ゴト: H枠左右側3辺+H枠+足 SUS補強機: H枠中央部1本(t=2加工品)
高さ: H (mm)	1000	最大1000~最小300mm
幅: W (mm)	1489	最大1489~最小500mm
厚さ: mm)	40	高さ幅は左記幅の寸法内で
重量 (kg)	10	2段重ねによる使用は不可
中空パネル	材質: S10-G-10	t=32mm
引張強さ (MPa)	縦方向: 63	JIS K-7162
曲げ強さ (MPa)	縦方向: 2300	JIS K-7171
固定金具	材質: SUS	SUS板折り曲げ品(t=2mm) 堤外地側に設置



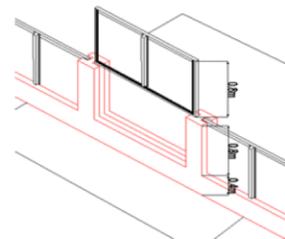
効果

ハイブリッドパネル堤用パネルとしての要求性能を満足することを性能確認試験を実施して確認した。

- 機能性
 - 強度特性: 適用水深における水圧に耐えられる強度を有していること。また、ある程度の衝撃(エネルギー)にも耐えられること。
 - 止水性: 『ハンディレビーパネル』と建込み用溝の間から漏水がない、あるいはわずかであること
 - 景観保全機能: 平常時、基礎部から『ハンディレビーパネル』を取り外し、河岸の景観を保全できること。
- 操作性(施工性): 人力での運搬・設置が容易にできること。
- 耐久性: 止水パネルとして十分な耐候性、耐薬品性を有していること。
- 表示(視認)性: 製造者名、型式記号および製造年などの表示が容易に消えぬよう表示されていること。

施工手順

『マックスレビーパネル』は、1枚当たりの重量が10kgと軽量であるため、人力により持ち運びが可能で、予め設置された支柱部と基礎部の溝にスムーズに施工することが可能である。また、取り外しも容易である。



適用条件・範囲

標準的な『マックスレビーパネル』の適用範囲

- 設計水深 最大1m迄
- 詳細の設計については、モバイルレビーの適用と設計の手引き (一般社団法人リバーテクノ研究会 編) に準ずる。

費用

『マックスレビーパネル』価格: 7.5万円/m2 当たり

- 軽量であり人力で持ち運びが可能。
- 支柱へのはめ込みには専門知識や特殊工具は不要で、はめ込み作業は1枚/分程度である。

ハイブリッドパネル堤を用いた越水防止工法 (ダイヤレビーパネル)

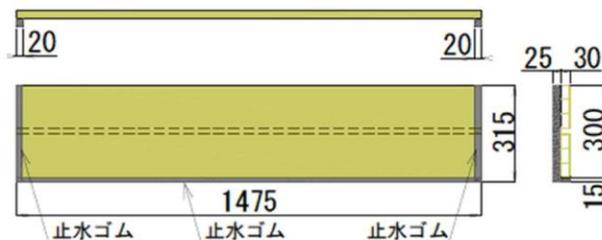
目的

本工法は、土堤やコンクリート特殊堤など恒久的な堤防の嵩上げとは異なり、平常時は、ほぼ現状のまま、洪水時に堤防機能を果たす可搬式特殊堤防(モバイルレビー)に使用する止水パネルに「ダイヤレビーパネル」を使用した水防工法である。

概要

『ダイヤレビーパネル』は、予めスリット(建込み用溝)を設けてあるコンクリート製の基礎部と支柱部に『ダイヤレビーパネル』を建込んで止水壁を構築し、洪水時に溢水や堤防からの越水を防いで水害を防止、あるいは減じることが目的としたモバイルレビーに使用する止水パネルである。

平常時は、止水パネルを取り外しておけば、①川の視認性を妨げることなく(河川風景や景観の保全)、②小動物など生き物の水域と陸域の移動の確保(生態環境の保全)、③人の水辺へのアクセスを阻害しない(親水性の維持)など、現状に近い形で河川環境や景観を保全することが可能である。



効果

ハイブリッドパネル堤用パネルとしての要求性能を満足することを、性能確認試験を実施して確認した。

1. 機能性

- 1) 強度特性: 適用水深における水圧に耐えられる強度を有していること。また、ある程度の衝撃(エネルギー)にも耐えられること。
- 2) 止水性: 『ダイヤレビーパネル』と建込み用溝の間から漏水がない、あるいはわずかであること
- 3) 景観保全機能: 平常時、基礎部から『ダイヤレビーパネル』を取り外し、河岸の景観を保全できること。

2. 操作性(施工性) 人力での運搬・設置が容易にできること。

3. 耐久性 止水パネルとして十分な耐候性、耐薬品性を有していること。

4. 表示 視認性 製造者名、型式記号および製造年などの表示が容易に消えぬよう表示されていること。

施工手順

『ダイヤレビーパネル』は、1枚当たりの重量が 8kg と軽量であるため、人力により持ち運びが可能で、予め設置された基礎部や支柱部の溝にスムーズに施工することが可能である。また、取り外しも容易である



パネルの設置時には、パネルの「接水面」と記載している側を川側に向ける

適用条件・範囲

標準的な『ダイヤレビーパネル』の適用範囲

- 設計水深 最大1m迄
- 詳細の設計については、モバイルレビーの適用と設計の手引き(一般社団法人リバーテクノ研究会編)に準ずる。

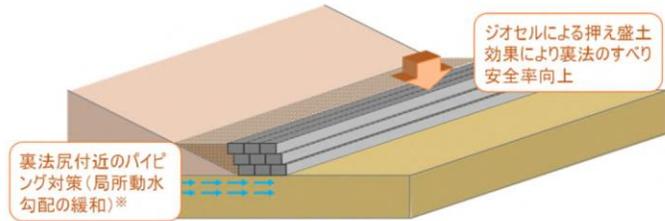
その他

パネルの表面には、別途、木目調や畳調等の意匠性を付与することが可能

ジオセルを用いた堤脚安定工法

目的

本工法は、中小河川において粘り強い堤防を構築するための効率的補強対策として検討したものである。押え盛土の材料にジオセルを用いて、川裏側のすべり安全率の向上を図る。さらに、ジオセルの中詰材に単粒度砕石のような透水性の高い材料を用いて、川裏側法尻部のパイピング対策という効果も期待する。



ジオセルを用いた堤脚安定工法のイメージと効果

概要

1. ジオセル工法

ジオセル工法は、高密度ポリエチレン板やジオグリッドをカゴ状にしたジオセル内部に、土砂や砕石等の充填材を詰めて強度のある構造体を形成するもので、法面保護、擁壁、河川護岸など様々な用途で活用されている。



ジオセルの利用例

2. 工法の特徴

■ 軽量・コンパクト

搬入が容易。折りたんでコンパクトに梱包・保管。

■ 簡単施工

人力による展開が可能(重機不要)。狭小な場所でも施工時の制約が少なく、工費・工期の面で有利。

■ フレキシブルな構造

耐久性、柔軟性に優れた素材で、現場の形状に合わせた施工が可能。設置場所の制約が少ない。

■ 堤脚保護・洗堀対策

堤脚保護に加えて、越水時の洗堀対策の効果も期待。

■ 緑化

前面や上部のセルに良質土を充填することで、表面の緑化も可能。



ジオセルの展開(曲線部)

効果

1. 裏法すべり破壊に対する安全性の向上

押え盛土工によるすべり安全率向上の効果を確認するため、堤体の規模を変えながら、すべり安定解析における最小安全率の変化を確認した。

■ 堤防及びジオセルの形状

堤防天端幅は 3m、堤防高を 2m、3m、4m、5m、8mとした 5 ケースを設定。法面勾配は 1:1.5。

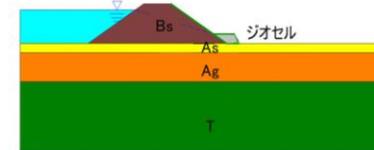
堤防法尻に設置するジオセルは、3 段積み(高さ 0.9m)、堤内側の勾配は 1:0.5 とした。

■ 水位条件

堤体内水位は、川表側の水位から川裏側のジオセル天端に向かう直線状とした。川裏側の水位は、堤防天端から余裕高(0.6m)を差し引いた高さ。

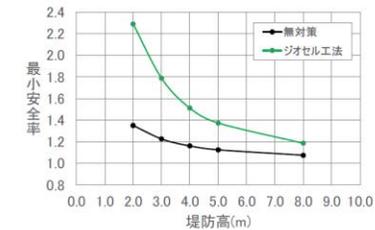
■ 計算結果

堤防高が低いケースで、ジオセル工法の効果が大きい。よって、中小河川の小規模な堤防で効果を発揮する。



区分	記号	γ_s (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (度)
ジオセル					
	Bs	20.0	20.0	0	40
堤体	As	19.9	21.0	1	33
	Ag	18.0	20.0	0	33
基礎地盤	Ag	20.0	22.0	0	35
	T(泥岩)	18.0	20.0	108	22

土質構成・土質定数



最小安全率の変化

2. パイピングに対する安全性の向上

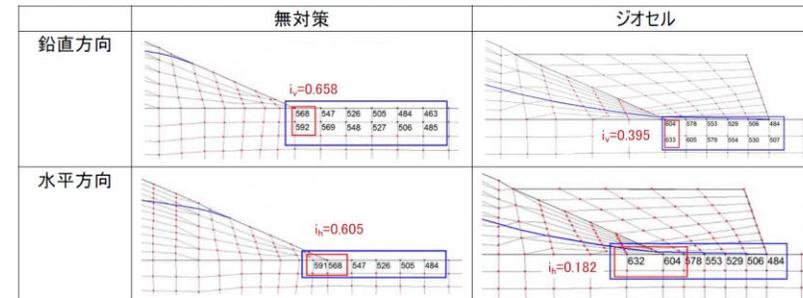
川裏側の法尻部に設置したジオセルの中詰材に、透水性の高い材料($k=1.0 \times 10^{-3}$ m/s 程度)を用いた場合のパイピング抑制に対する効果を浸透流解析により確認した。

■ 洪水外力

「河川堤防の構造検討の手引き」に従い設定した降雨と河川水位波形のうち、河川水位は計画高水位到達後、そのまま 150 時間程度水位を維持した。

■ 計算結果

下表のように、無対策の場合と比べて、ジオセル設置後の局所動水勾配は低下した。



リバーテクノ水防シート「シート被覆工法」

目的

「リバーテクノ水防シート」(以後、水防シート)は、水防工法の一つとして、越水が予測される箇所において応急的に裏のり面及びのり尻部をシート材で被覆して、越水流による侵食や洗掘を抑制し、破堤の回避あるいは破堤までの時間を遅らせることを主な目的として開発したものである。

概要

1. 利用方法

- 水防シートは、堤防川裏側(堤内側)に設置する。これにより、越流水による堤防川裏側法尻の洗掘とのり面の侵食を防ぐ。
- 越水が想定される場合は、従来「積土の工法」、「せき板工法」、「水の工法」等が用いられている。水防シートは、これらの工法との併用を想定している。

2. 水防シート形状

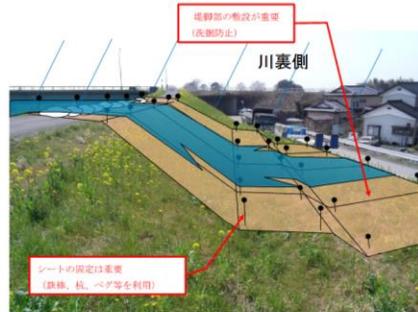
- 水防シートは、対象堤防の形状に合わせて作製される。シート長は、最大 30m 程度。
- シート短辺側の上端と下端に袋閉じ部分を設けており、運搬時に棒を通すことが可能。
- シート長辺側端部は、シートの連結や固定するためのハトメ穴やバックルが設けられている。

3. 敷設と固定

- 水防シートの運搬は、人肩により 2~4 名で行う。
- 敷設時は、堤防天端から展張する。
- 終端側は、越水に伴うのり尻部の洗掘防止のため堤脚部の数メートル先まで敷設する。
- 水防シートの固定は、固定用の単杭(鉄棒・ペグ等)や土のう等の重しを用いて行う。
 - 土のうは水防シートと連結しない(土のうの流出時の影響を避けるため)。
 - 天端部では、積土のうや三角水のう(リバーテクノ研究会開発)の下に水防シートを敷くことを想定。

【水防シートに期待する効果】

- 越水が一時的に生じた場合でも、のり尻の洗掘やのり面の侵食を防ぎ、破堤まで至らないようにする。
- 降雨水や越流水の堤防への浸透を防止する(堤防の弱体化を防ぐ)。



水防シートの設置イメージ

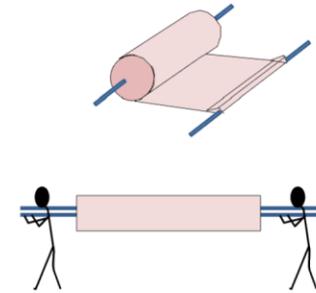


水防シートの展張状況

水防シートの特長

水防シートは以下の特長を有する。

- 難透水性である。
- 有事の際に簡単に水防倉庫から現場に運ぶことができる。
(数人の人力で可搬、車両や特殊な運搬機を必要としない)
- 夜間、強風時、豪雨時でも運搬、敷設が容易である。
- 小人数でも速やかに敷設できる。
- 水にぬれた状態でも、ゴム長靴が滑りにくい。
- 表面せん断強さ(=引張強度)は 0.8033kN/m² 以上
(天端越流水深 0.6mに相当)。
- 他の水防活動の障害にならない。
- 平時は水防倉庫に保管できる。
- 事後の処理が容易で、繰り返し利用が可能である。
- 補修が容易である。
- 費用が安価である。
- 倉庫保管で 10 年以上の耐久性を有する。
- 複数回の有事に使用が可能。
- 寸法は対象地の堤防形状に合わせることが可能。



水防シートの運搬

水防シートの利用方法および類似資材材との比較

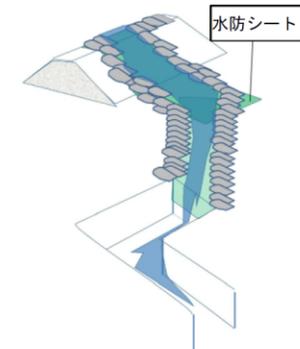
1. 他目的への利用

- 水防シートは、「遮水性のある長いシート」という製品の特徴を利用して、他の水防活動にも利用可能。
- 想定される利用法として以下が考えられる。
 - ① 損傷した堤防に降雨水が浸透するのを防ぐために、天端や堤防のり面を被覆
 - ② 掘り込み河道において、積土のうの上に水防シートをかませ越水防止工の止水性を高める。
 - ③ 越流水の応急導水路として利用。

2. 類似資材との比較

水防シートは、川裏側のり尻とのり面の洗掘を防止し、破堤の回避等を目的としたものであり、緊急時にはブルーシートなどの身近なものの代用も可能である。但し、水防活動は悪条件の中で、短時間のうちに実施できることが重要であり、水防シートは、水防活動の実態を考慮して以下の特性を備えている。

- ① 対象堤防の寸法に合わせて作製するので、短時間で敷設が可能。
- ② 夜間、降雨、強風時も速やかに敷設ができる。
- ③ 耐久性に優れるので、複数回の使用が可能。
- ④ 表面にすべり止め処理をしているので作業時にすべりづらい。



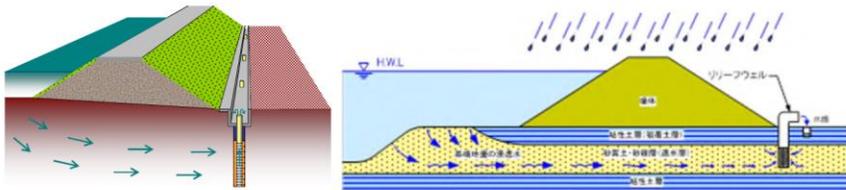
応急導水路としての利用イメージ

リバーテクノウェル工法

(簡易型リーフウェル工法)

目的

本工法は、中小規模の河川堤防を主な対象とし、河川水位の上昇とともに高まった透水層内の揚圧力を、川裏のり尻付近に一定間隔で線状に設置した井戸から自噴させることによって減圧する浸透対策工法である。また、水防工法の一環として応急的に適用するものである。



リバーテクノウェルのイメージ

概要

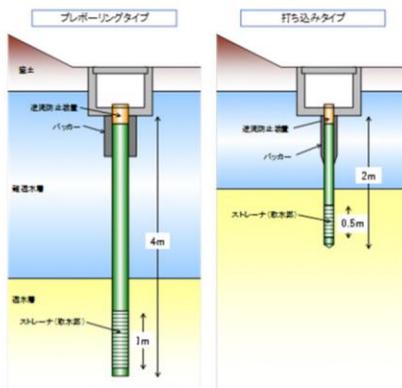
1. リバーテクノウェル工法の特徴

従来のリーフウェル工法は、ボーリングで削削した後には有孔管を設置し、その周りにフィルター材として礫材料を充填するのが一般的である。この場合、フィルター材の厚さを十分確保するために、比較的大型の施工設備とそのための用地が必要となる。

一方、リバーテクノウェル工法(簡易型リーフウェル工法)は、フィルター材をウェルパイプ内部に設置することにより、設置や施工スペースがさほど必要でなく、水防工法のような仮設的でも適用できる利便性を有する小口径ウェル工法として開発した工法である。

2. 標準構造

リバーテクノウェルの構造タイプは、「プレボーリングタイプ(φ100mm)」と「打ち込みタイプ(φ50mm)」の2種類がある。



適用

1. 適用範囲

リバーテクノウェルの適用方法については、水防活動の一環として応急的に適用する場合と、堤防強化対策として恒久的に適用する場合となる。詳細は、「リバーテクノウェル(簡易型リーフウェル)設計・施工に関する技術資料(案)、一般社団法人リバーテクノ研究会(RIRT)」に示す。

2. 水防活動の一環として応急的に適用する場合

(1) 漏水発生時の応急措置としての適用

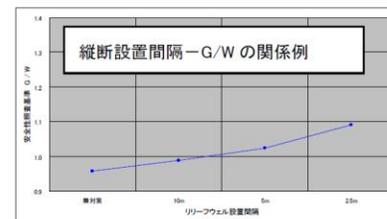
従来の水防工法では、漏水箇所からの土砂の流出は避けられず、基礎地盤内に緩みやパイピングが発生する可能性が高い。そこで、月の輪や釜段の中に応急的にリバーテクノウェルを設置し、土砂を流出させず水だけを安全に排出させることにより、漏水に伴う地盤内の緩みの発生を最小限に抑止する。

(2) 予防措置としての適用

過去に漏水が発生した箇所等について、浸透対策が未実施の箇所では、予防措置として、事前にリバーテクノウェルを設置しておくことも有効である。

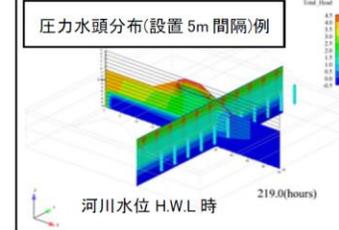
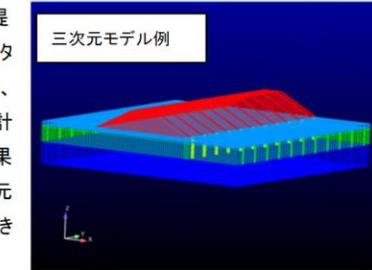
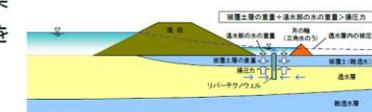
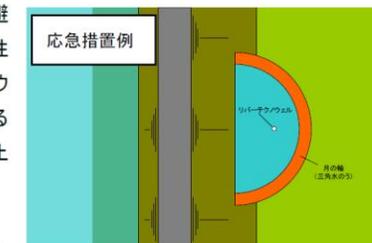
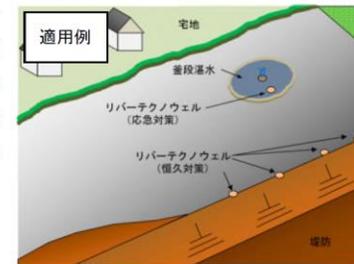
3. 堤防強化対策として恒久的に適用する場合

堤防強化対策として恒久的に計画する場合は、「河川堤防の構造検討の手引き、H24.2、(財)国土技術研究センター」および「堤内基盤排水対策マニュアル(試行版)、H29.1、土木研究所」を基本とする。リバーテクノウェル工法の設計は、上記マニュアルに示される縦断離散配置とし、対策効果は三次元浸透流解析で行うことを基本とする。また、二次元モデルを用いた簡易的な対策効果評価法を用いることもできる。



4. 適用例(試験施工を実施箇所)

- ・宇治川右岸43.2k付近(打ち込みタイプ4箇所、プレボーリングタイプ2箇所)
- ・巴波川左岸3.4k付近(打ち込みタイプ2箇所)



堤防の浸透性診断と浸潤監視

目的

堤防の浸透による被災を未然に防止することを目的とする技術である。浸透被災が生じる可能性が高い箇所を絞り込むための浸透性診断と、絞り込んだ箇所において出水時の安全性を監視する浸潤監視モニタリングからなる。

概要

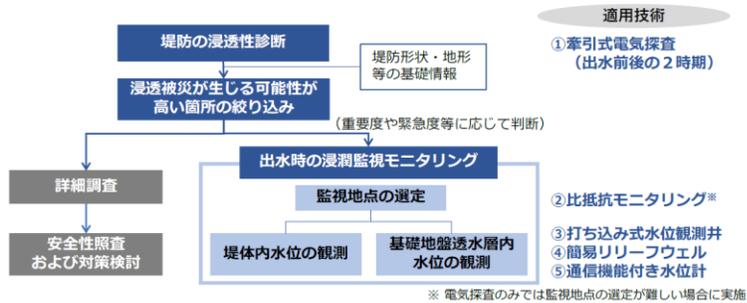
1. 堤防の浸透性診断の特徴

この技術は、効率的かつ低コストで実施できる牽引式電気探査を利用し、対象区間の堤防天端と川裏のり尻部に測線を設けて出水前後の2時期に電気探査を実施、それによって得られる比抵抗変化率をもとに堤体や基礎地盤の浸透性を診断する。浸透性診断の結果と堤防形状・地形等の基礎情報をもとに、浸透被災が生じる可能性が高いと判断された箇所は、重要度や緊急度に応じて、詳細調査を行った後に安全性照査や対策を検討するか、出水時の浸潤監視モニタリングを行った後に対応を検討することを想定している。

2. 浸潤監視モニタリング

出水時の浸潤監視では、裏のりすべりが懸念される場合には堤体内水位の観測を、基盤漏水やパイピングが懸念される場合には基礎地盤内透水層の水位(被圧水頭)の観測を基本とする。堤体内水位は、裏のり部に打ち込み式水位観測井を設置・観測する。基礎地盤透水層内水位(被圧水頭)は、裏のり尻部に打ち込み式水位観測井または簡易リーフウェルを設置・観測する。簡易リーフウェルは、水防等において減圧井戸として利用することも可能である。

観測井は重点監視区間の中から監視地点を選定して設置、監視地点の的確な選定が難しい場合には比抵抗モニタリングを実施する。比抵抗モニタリングは、裏のり部の縦断方向に延長50~100m程度の測線を設け、出水時の浸透に伴う地盤内の比抵抗の変化を連続的に測定する。比抵抗変化が顕著に生じる箇所を浸透性が高い箇所として抽出し、監視地点として選定する。観測井には随時データをWeb上で閲覧できる通信機能付き水位計を設置する。これにより、時々刻々と変化する裏のりすべりやパイピングに対する危険度を監視することが可能である。



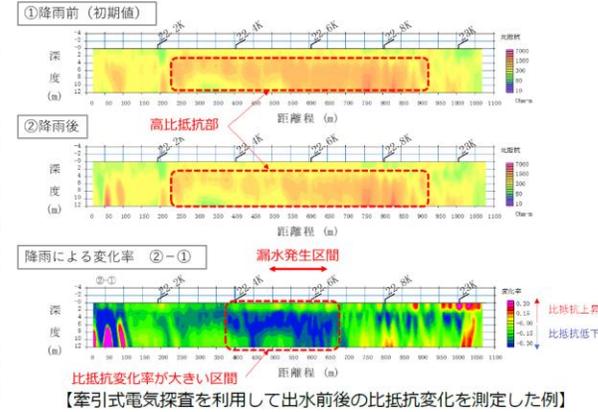
※ 電気探査のみでは監視地点の選定が難しい場合に実施

各界との知的連携により、河川環境及び防災に関する技術の開発と普及

適用技術

① 牽引式電気探査

堤防天端および川裏のり尻部に縦断方向の測線を設けて、出水前後に探査を実施する。探査によって得られた比抵抗分布をもとに2時期の比抵抗変化率図を作成し、変化率の大きさをもとに浸透性の高い箇所を絞り込む。



② 比抵抗モニタリング

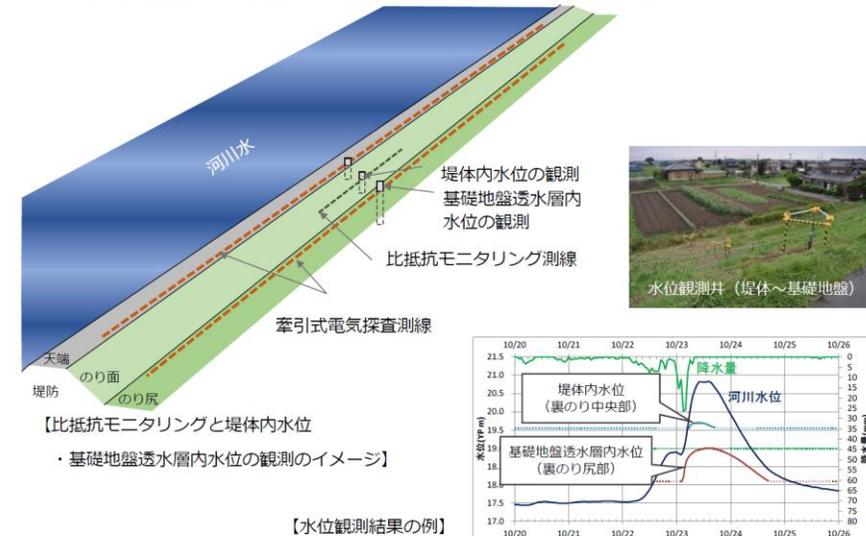
堤防のり面等に縦断方向の測線を配置して固定電極を設置する。比抵抗測定は、出水の前後において1時間程度の間隔で実施し、その結果をもとに、時間とともに変化する比抵抗変化率を求め、比抵抗変化率の大きい箇所を監視地点として選定する。

③ 堤体内水位の観測(打ち込み式水位観測井)

堤体に設置された打ち込み式水位観測井内に通信機能付き水位計や自記水位計等を設置し、堤体内水位を観測する。

④・⑤ 基礎地盤透水層内水位の観測(簡易リーフウェル・通信機能付き水位計)

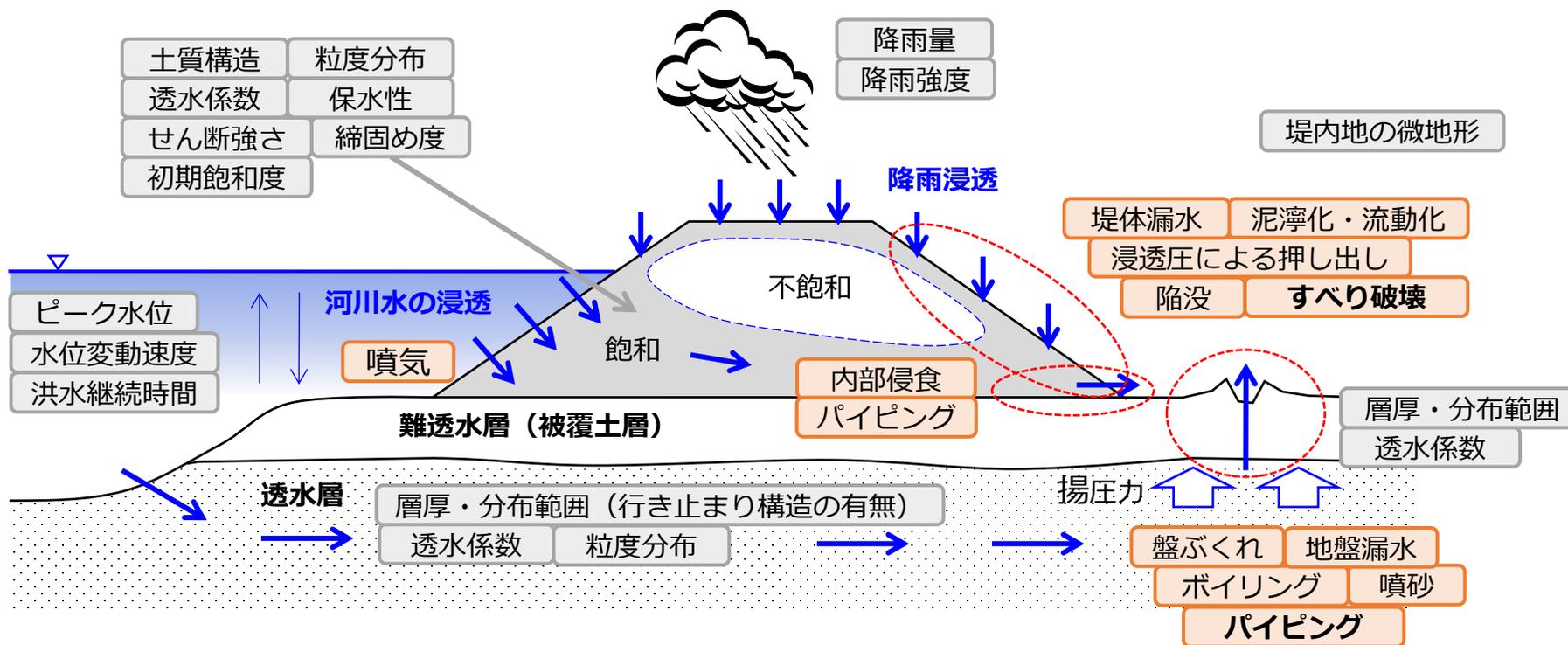
基礎地盤の透水層まで設置された打ち込み式水位観測井または簡易リーフウェルに通信機能付き水位計や自記水位計等を設置し、基礎地盤透水層内の水位(被圧水頭)を観測する。



3. 堤防調査新技術

■ 河川堤防において浸透に伴って生じる諸現象

- 河川堤防では、豪雨や洪水時に、外力条件、堤体や基礎地盤の土質構造等の地盤条件に応じて様々な現象が生じ、**すべり破壊**や**パイピング**によって破堤に至るような大きな被害が発生する場合があります。
- 長大な延長を有する堤防のどこでどのような現象が起こるかを予測することは困難であるが、堤防の安全性向上を図るためには地盤調査技術の高度化や実装化が課題の一つとなっている。



■ 堤防における地盤調査と安全性照査・対策検討の留意点

- 浸透被災が懸念される箇所では、堤体および周辺地盤の土質構造（透水層・被覆土層の分布状況等）を三次元的に把握することが望ましい。
- 土質構造の把握に当たっては、ボーリング調査、物理探査、サウンディング、簡易サンプリング等を組み合わせて、効率的かつ効果的な調査計画を立案する。
- 物理探査は、測線沿いの深さ方向に得られる物理量（比抵抗・S波速度等）をもとに土質構造や状態の変化を連続的に推定することができる。電気探査、表面波探査、電磁探査などの種類があるが、各々の特徴を踏まえて調査目的に適した方法を選定することが重要である。
- 安全性照査を実施する代表断面は、微地形、堤防形状、堤体および周辺地盤の土質構造、被災履歴、浸透対策実施状況等をもとに適切に選定する。
- 浸透対策が必要と判断された場合の対策工法や対策範囲は、地盤調査結果や安全性照査結果等をもとに適切に決定する。

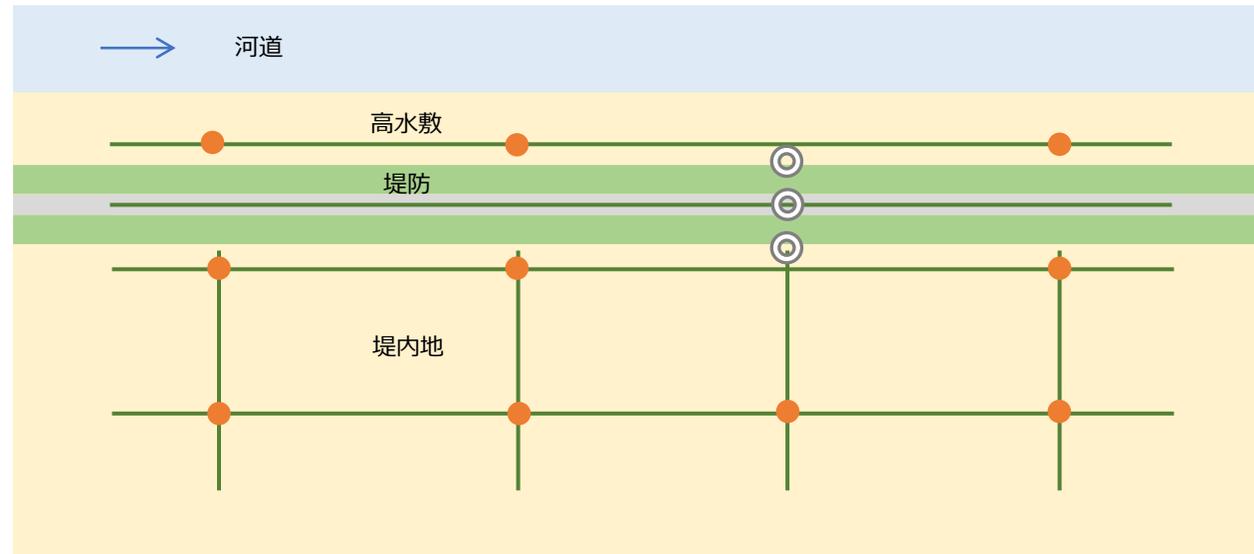
(参考資料)

河川堤防の構造検討の手引き：<https://www.jice.or.jp/tech/material/detail/10>

物理探査学会・統合物理探査調査研究委員会報告書：<http://www.segj.org/publication/pdf/IntegratedReport.pdf>

■ 浸透被災が懸念される箇所における調査計画の例

- 対象箇所周辺の土質構造（透水層・被覆土層の分布状況等）を三次元的に把握するために、ボーリング（できるだけ既往の調査成果を活用）、物理探査、簡易サンプリング等を組み合わせた調査を実施することが有効である。
- 物理探査の測線は、現地状況に応じて測定作業が可能な位置や範囲を設定する。
- 簡易サンプリング（またはサウンディング）は、物理探査結果の解釈に必要な土質状況を確認することを目的として実施し、地点数や位置は物理探査結果等を参考に決定する。



- ◎ 既往ボーリング調査地点
- 物理探査測線
- 簡易サンプリング地点

■ 堤防調査への適用が期待される新技術

名 称	参照サイト
GPサンプリング	https://www.kiso.co.jp/services/ground-survey/sampling.html
接地抵抗を利用した地下水位簡易測定	https://www.kiso.co.jp/services/ground-survey/in-situ-test.html
微細気泡を用いた高品質サンプリング（IFCS工法）	https://www.ckcnet.co.jp/technology/survey/ifcs/
電気式コーン貫入試験(斜め下方貫入)	https://www.zenchiren.or.jp/market/pdf/h28.pdf
地盤3次元化技術を活用した効率的な河川堤防の点検・管理	https://www.oyo.co.jp/services/infrastructure-maintenance/efficient-embankment-inspection-and-management/
比抵抗による堤体内滞水状態モニタリングシステム および物理探査と地下水観測技術を活用した堤防内部状態のモニタリングシステム	SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）インフラ維持管理・更新・マネジメント技術：インフラ技術総覧，pp.88-89 https://www.jst.go.jp/sip/dl/k07/sip_k07_souran.pdf
地中レーダや電磁法を利用した堤防内部構造調査	https://www.kge.co.jp/prevention.html
比抵抗探査	http://www.diaconsult.co.jp/ei_hinmoku/ei_cyousa/c_idx_buttan/c_hit_eikou/c_hiteikou01/

2022.7.29 地盤WG 「物理探査等堤防調査技術に関する意見交換会」 より

■ 堤防調査技術に関する今後の検討に向けて

堤防調査技術の検討により目指すアウトプット	検討の方向性・キーワード
<ul style="list-style-type: none">• 堤防の安全性照査の代表断面や想定外力を適切に設定する技術の向上に資する知見やアイデアの集積• 適用が想定される堤防強化対策の検討・設計を念頭に、必要な物理量と精度を満たす調査技術の体系化• 重要水防箇所の見直し等、流域治水対策のメニューの検討に資する調査技術の提案	<ul style="list-style-type: none">• 気候変動による洪水外力の増加や嵩上げ等の堤防整備に伴い、これまで被災履歴がなかった箇所でも被災が発生する可能性があることにも注視• 被災事例等と、堤防・地盤の構造パターン化などを考慮したケーススタディ的アプローチ• 2次元から3次元への発想の切り替えを伴う各種調査技術の適用性検討 (LP・点群データ・BIM/CIM・各種サウンディング・サンプリング技術・物理探査etc)• 関係機関や研究会の有識者の皆様との広めの議論、意見交換、ご指導を仰ぎながら、他のWGとも協働を図る