

## 5. 効率的な対策工法

### 5.1 伝統的な水防工法

#### (1) 水防とは

広義の水防とは、洪水という自然現象から受ける人命、財産への被害を最小にするために個人あるいは地域が行う自衛の取組み全般をいい、その内容は住居・生活の工夫、生活習慣、土地の利用方法、水害防備林の整備・管理、水制の設置・管理、橋の管理等、個人レベルから地域レベルまで広範囲にわたり、古くより様々な取組みが行われてきた。水防活動を例示すれば以下のようなものが挙げられる。

- ・洪水水位が一定以上になったら近くの寺の畳を堤防に運んで備える。
- ・水防活動の資材提供の場として河川沿いに水害防備林を整備する。
- ・氾濫の急所である堤防が溢流する状況になると畳を持ち出して堤防の上に畳を横に立て並べて裏に土俵を積んだり、場合によっては人がスクラムを組んで畳の堤防を築く。しかも洪水の状況に応じて畳と畳の間隔など開け方を変える。
- ・橋の沿岸・周辺の石材屋、材木屋、旅籠屋、船持ちなどが洪水時の流木取りを行い、橋の破壊やせき止めによる上流の堰上げを防ぐ。
- ・取水堰を洪水時に一時的に分解し、洪水後再度組み立てる板羽目堰構造として、堰の破壊や堰上げによる上流への悪影響を防ぐ。

このように、「水防」は地域や個人が水害に対してどのように安全でありたいか、ということから発想されるものである。一方、これに対して水防が河川沿岸に連続していることを前提に、どのようにしたら全体の被害を最小にできるかを考えるのが「治水」である。

#### (2) 水防材料

水防は特に緊急を要する対策工法であるため、資材については入手が容易で、大量にあり、加工が簡単で、洪水に対しての抵抗力が強く、運搬や施工が容易、などの条件を備えている必要がある。水防材料は大別して水防そのものに用いる水防資材と、水防資材をつくる・加工する・流下物を除去するために必要な水防工具に分類することができ、これらが水防倉庫に保管、備蓄されている。

##### ①水防資材

水防資材は入手が容易であり、かつ大量にあることなどの条件を備えている必要があり、従来は‘わら’を利用することが多く、‘むしろ’や‘なわ’などの利用が大部分を占めていた。しかし、現在はわらに変わる材料が開発され、水防活動の合理化が図られるようになった。

- ・俵、かます→麻袋，合成繊維製土のう袋
- ・むしろ→たたみ，ビニールシート，布シート
- ・なわ→ロープ，鉄線

- ・木ぐい→既製木ぐい，鉄筋
- ・竹樋，木樋→ビニールパイプ
- ・足場板→軽量綱矢板

## ②水防工具

水防資材をつくるための道具類であり、土のうをつくるとき、竹とげ、くいごしらえ、照明、運搬、救命用具、通信用具などに分けられる。

- ・土のうづくり：くわ、スコップ，つるはし，じょれん，かま
- ・竹とげ，くいごしらえ：竹とげがま，おの，のこぎり，細ひも，台木
- ・くい打込み：かけや，たこつち，ハンマー
- ・運搬用具：担棒，皿かご，もっこ，一輪車，二輪車，荷車，あゆみ板，手かぎ
- ・照明：懐中電灯，大型懐中電灯，大型照明灯，作業灯，携帯用発電機，予備電源，かがり台
- ・雨具：長靴，雨ガッパ，ウェットスーツ
- ・救命，救急用具：救命衣，救命浮綱，救急箱，消化器，鉄船，ゴムボート，安全靴，ヘルメット，担架，命綱
- ・通信用具：トランジスタラジオ，拡声器，振鈴，無線機，手動サイレン
- ・資材加工用具：むしろ針，ペンチ
- ・食料：たきだし弁当，おにぎりなど
- ・その他：とび口，バケツ，はしご，仮設水位測定版，タオル，ポンプ

## (3) 水防工法の分類

河川堤防の被災には様々な原因があるが、次の 5 種類が主なものである。水防活動はこれらの被災要因に最も適した工法を選定し、迅速に対応することが重要である。

### ①洗掘（深掘れ）

**河川の流勢や波浪により、川表のり面が削り取られた状態を洗掘という。**

洗掘の原因としては、河川が湾曲している水衝部、護岸の損傷箇所、橋や合流点下流部で断面積が変化し流速が早くなる部分では横断方向の洗掘が生じ、さらに河川を横断する床止めなどが設けられた場合は、直下流が縦断方向に深掘れする現象が生じる。

洗掘により堤防は川表のり面から洗掘が進行し、ついには決壊する。

### ②漏水

**河川水位が上昇し、水圧により川裏のり面のり先に堤防または基礎地盤を通った浸透水が漏れ出した状態を漏水という。**

漏水の原因としては、堤体漏水では堤防材料に砂分の多い材料が使用されていること、堤防肉厚が薄く、いわゆるやせた堤防（カミソリ堤）であること、樋門・樋管・水門・橋梁アバット部などに堤防材料と異なったコンクリートなどが使用されている箇所の土と土以外の材料の接合面からの浸透などがある。

漏水が進行すると堤体内の土砂が排出され、堤防が決壊する。

③越水

河川水位が上昇し、堤防の上面を超えてあふれ出した状態を越水という。

越水の原因としては、単に堤防が低い、高さが不足しているだけでなく、流水が流れる断面積、すなわち河積が不足し水位を上昇させることや、橋梁や堰のピア、桁に流木が引っかかり断面を阻害したり、あるいは急流河川では流れてきた巨石が水位を上昇させるなどの原因により、その上流では越水の危険が生じる。

越水により堤防上面や川裏のり面が削られて堤防が決壊する。

④亀裂

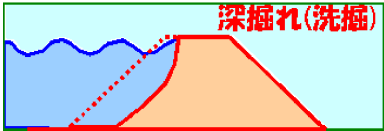
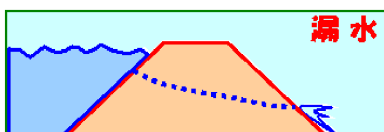
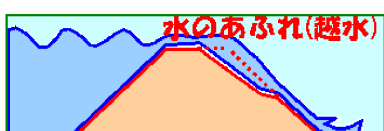
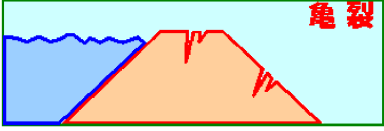
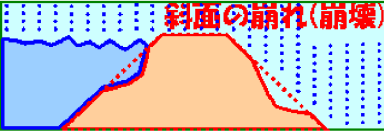
河川水の水圧や堤防内の浸透水などの影響で堤防が変形し、ひび割れが発生した状態を亀裂という。

⑤崩壊

激しい川の流れや降雨の影響で堤防の一部が崩れた状態をいう。

表-5.1 には、水防工法の被災要因と対策の基本方針を整理した。

表-5.1 水防工法の被災要因と対策の基本方針資料 1)から引用

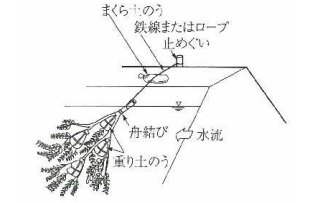
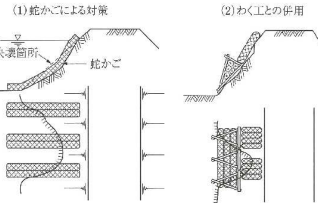

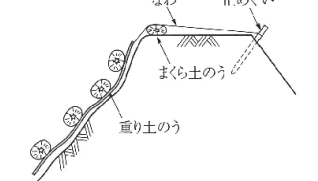
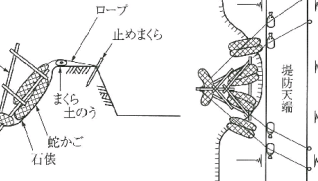
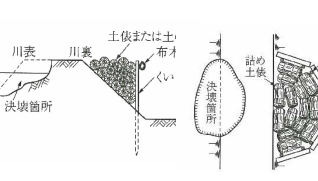
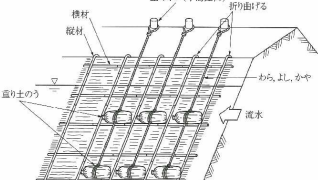
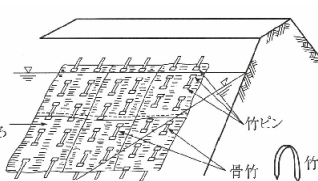
堤防の被災要因		対策の方針
洗掘	 <p>深掘れ(洗掘)</p> <p>河川の流勢や波浪により、川表のり面が削り取られた状態を洗掘という。堤防は川表のり面から洗掘が進行し決壊する。</p>	洗掘が進行しないように、堤防斜面を保護する。
漏水	 <p>漏水</p> <p>河川水位が上昇し、水圧により川裏のり面のり先に堤防または基礎地盤を通った浸透水が漏れ出した状態を漏水という。漏水が進行すると堤体内の土砂が排出され、堤防が決壊する。</p>	浸透水が増加しないように、川表側と川裏側の水位差を小さくする。
越水	 <p>水があふれ(越水)</p> <p>河川水位が上昇し、堤防の上面を超えてあふれ出した状態を越水という。越水により堤防上面や川裏のり面が削られて堤防が決壊する。</p>	堤防を嵩上げする。
亀裂	 <p>亀裂</p> <p>河川水の水圧や堤防内の浸透水などの影響で堤防が変形し、ひび割れが発生した状態を亀裂という。</p>	亀裂が広がらないように被災箇所を縫い合わせる。
崩壊	 <p>斜面の崩れ(崩壊)</p> <p>激しい川の流れや降雨の影響で堤防の一部が崩れた状態をいう。</p>	崩壊箇所の補充をする。

#### (4) 水防工法の種類

歴史的に使用されていた、または現在も使用されている伝統的な水防工法を表-5.2 に整理した。なお、表中の「普及状況」の凡例は以下のとおりである。

- ：普及している
- △：時々用いられる
- ×：普及していない

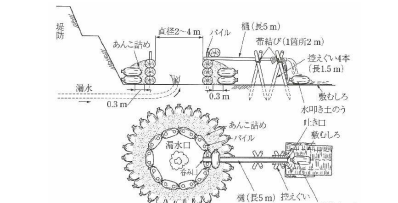
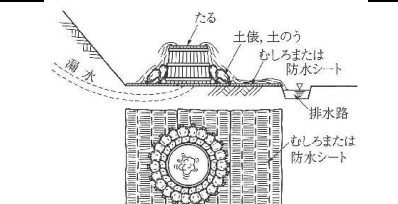
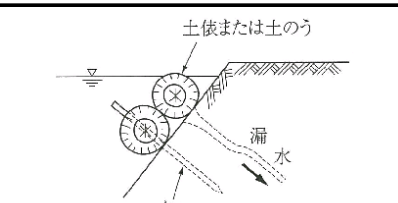
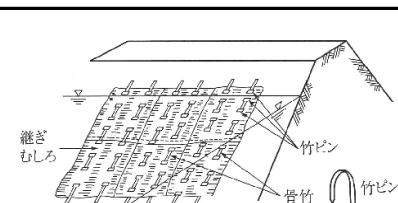
表-5.2(1) 伝統的な水防工法一覧表(その1) 資料2)より一部引用

被災要因	水防工法の種類	概要	留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
洗掘	木流し工法	 川表のり面に投入した樹木の抵抗力により、堤防表面の河川流速を低減させ、深掘れの進行を抑える工法である。シート張り工法に比べ、あおりに対する抵抗力が高く、比較的流速の速い河川にも適用可能である。	現地調達できる樹木を使用するが、流水に対する抵抗力を得るためには、枝葉の茂った木を用いる方が効果的である。また、木流しがあおられないよう、重し土のうを確実に取り付けることが重要である。	流速が早い箇所でも対応可能	立木、土俵、なわ、鉄線、くい、(土のう)、(ロープ)	○
	立てかご工法	 主として急流部で洗掘、崩壊箇所の拡大防止に効果的な工法で、決壊した箇所に蛇かごを立てかけるものである。決壊の状況に応じて、蛇かごを前面に並べるか、2~3本ずつ並列に並べる。	立てかご工法を施工する河川はきわめて急流な場合が多く、堤防がどどんえぐり取られるような危険な状態になることが多い。	流速が早い箇所でも対応可能	竹蛇かご、詰め石、くい、鉄線、(鉄線蛇かご)	×
	捨土のう(人力)工法	 深掘れされた部分に土のう等を投入し、斜面を保護する工法である。被災箇所が、土のうを人力で投げ入れることができるような水際に近い箇所、比較的緩やかな流速の場合にのみ適用可能である。	石や土のうを単体で投入するため流水に流されやすく、特に被災箇所が広範囲に及ぶ場合には適用が困難である。緊急時の応急処置として位置付けて他の有効な工法と併せて準備するべきである。	流速が遅い箇所でも対応可能	土俵、石俵、石、(土のう)、(異形コンクリートブロック)	○
	竹編流し工法	 川表のり面の決壊防止を目的として太目の竹を格子状に結び、その格子を骨に竹格子の中を鉄線やなわで格子をつくり、大きい網状にし決壊したのり面に押し当て、網の上に土のうや石のうを投入し、のり面の洗掘を防止する工法である。	土のうや石のうが流水に流されないようにする必要がある。	堤防天端から川表のり面付近で適用	竹、くい、なわ、土俵、(ロープ)、(土のう)、(石のう)	×
	わく入れ工法	 急流河川において、流水を緩和し堤脚洗掘面の拡大を防止するときに用いられる工法で、洗掘箇所に丸太を使用した川倉、牛わく、鳥脚などの合掌木を投入する工法である。	わく工には、様々な種類があるので、あらかじめその川の水防に適したわく工が何であるかを知っておき必要がある。また、2基以上のわく工を投入する場合には、上端部から施工することが被害を最小限に止めることになる。	流速が早い箇所でも対応可能	わく組み(丸太、鉄線、かすがい)、石俵、蛇かご	×
	築きまわし工法	 川表のり面の崩壊は、洪水の程度によってあるところまで洗掘が進むと、それ以上の決壊が止まることある。この場合、堤防の肉厚が減少したために、漏水によって破堤することがあるので、堤防断面の不足を補うために、裏のり側に土のうなどを積み上げ、堤防を補強する工法である。	裏のり補強にばかり気を取られるのではなく、表のり決壊にも注意することが必要である。	川裏のり尻付近で適用	くい、割竹、板、土俵、くぎ、(土のう)	×
	びょうぶ返し工法	 波浪や流水により川表側欠け込んだ場合、その拡大を防止し、かつ漏水防止工法としても採用される。竹を骨組みとして使用し、わら、あし、よし、かやなどをあて「びょうぶ」のようなものを作り、これを竹材の根本から折り曲げて川表のり面に倒し、洗掘面を覆う工法である。	竹、あし、よし、わらなどが容易に入手できる地方に適した工法である。最近の使用例が少なくなっている。	川表のり尻付近で適用	竹、なわ、わら、かや、あし、よし、くい、土俵、(土のう)	×
	むしろ張り工法	 この方法は詰め土俵工法を採用したときの条件と異なって、吸込み口が判然としていない、または吸込み口が隣接して数箇所にわたるような場合、あるいは詰め土俵工法では閉鎖が困難な場合に堤防表のり面にむしろを何枚か縫い継ぎし、骨竹を通して、これを竹ピンでのり面にさし、場合によっては重い土俵を乗せる方法である。	むしろ、竹などの入手が困難になってきているため、防水シート、鉄パイプ、鉄筋のピンなどが多く用いられることが多くなってきている。また、この工法は直接洪水の中で作業をしなければならないので水防団員などには命綱、救命胴衣をつけさせるなどの安全対策が必要である。	川裏のり面で適用	むしろ、竹ピン、骨竹、土俵、土のう	×

「普及状況」の凡例 ○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない



表-5.2(2) 伝統的な水防工法一覧表(その2) 資料2より一部引用

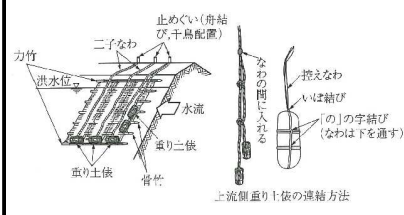
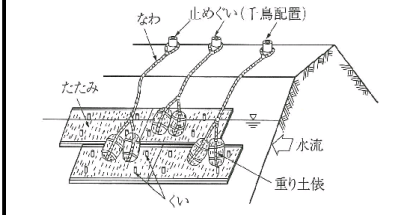
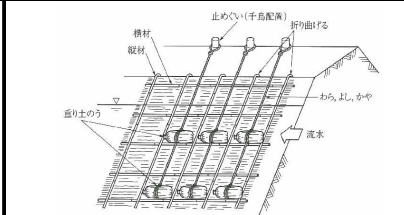
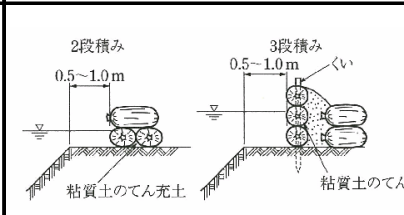
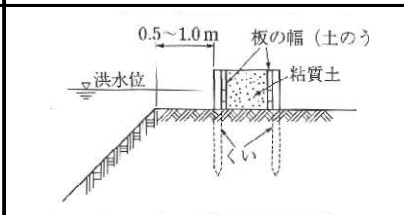
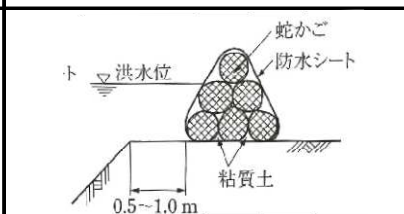
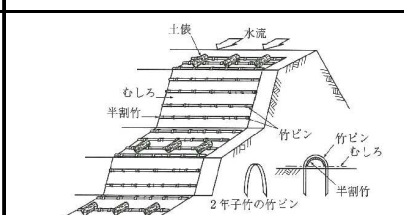
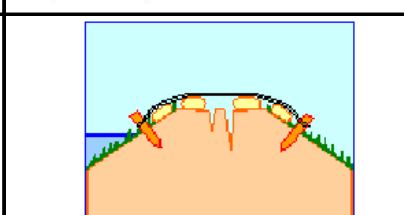
被災要因	水防工法の種類	概要	留意点	利用箇所	使用資材	普及状況	
洗掘	おもてむしろ張り工法		漏水吸込み口の表のり面にむしろを羽重ねし、これをなわで縫い合わせ、さらに骨竹を0.5~0.9mピッチに粗く縫い、最も下段のむしろ1枚に1個の割合で土俵や土のうを取り付け、これを裏のり面に打った止めぐいに固定する。	吸込み口が水中深くにあり、漏水口が特定できない場合に用いられる。継ぎむしろをすのこ巻きにするまでは、陸上の作業になるので、かなり広い面積が必要であり、作業できる場所の確保および迅速な作業ができる体制を確保しておく必要がある。	川裏のり面で適用	むしろ、なわ、くい、ロープ、土俵、土のう	×
	たたみ張り工法		たたみを川表のり面の漏水吸込み口またはのり面決壊部分に直接押し当て、漏水や洗掘を防止する工法であり、対策必要箇所の水深が比較的浅い場合に適している工法である。	水防の範囲は長手方向の約1.8mから2倍の3.6m程度のため、深い位置での対策には適していない。また、むしろ張り工のむしろより厚さがあり、防水効果が大いなので、古だたみが多く入手できる場所では有効な対策である。また、直接洪水に面して、または中に入って施工しなければならないので、水防団員などの安全対策には十分な配慮が必要である。	川表付近で適用	たたみ、なわ、竹ぐい、土のう、鉄線	×
漏水	月の輪工法		漏水箇所周辺に、土のうを月の輪状に積み上げ水深を保つことにより、川表側との水位差を小さくし漏水量の増加を抑え、堤防内部の土砂流出による決壊を防止する工法である。住宅地側斜面に用いられる。	月の輪部分の水密性を確保し、漏水箇所(川裏側)の水位を上げることが重要である。なお、漏水量を増加させないことが目的であり、漏水を完全に止めることを期待する工法ではない。	川裏のり尻付近で適用	土俵、むしろ、くい、樋、竹ぐい、(土のう)、(防水シート)、(パイプ)、(鉄筋棒)	○
	釜段工法		形が円形となる他は、機能・目的とも月の輪工法と同じである。住居地側の平地に適用される。	月の輪工法と同様で、円形部分の水密性を確保することが重要である。	川裏のり尻から堤内地付近で適用	土俵、むしろ、くいまたは竹ぐい、樋、(土のう)、(防水シート)、(パイプ)、(鉄筋棒)、(ビニール)	○
	たる伏せ工法		漏水が比較的小規模な場合には、地盤状況を十分考慮し、底を抜いたたるや桶を漏水口にかぶせ、これにより漏水の噴出力を弱める工法である。	身近にある土管、コンクリート管を使用する場合には、その管長が河川水位より高いときには堤体内の水位を高め漏水口を塞ぐことになり、かえって堤体の弱体化・堤体の土砂流出を助長することにもなるので、管長の長い土管やコンクリート管の使用には注意が必要である。	川裏のり尻から堤内地付近で適用	たる、桶、むしろ、土俵、(防水シート)、(土のう)	×
	導水むしろ張り工法		漏水量が少ない場合に用いられる工法で、その漏水の流路にむしろや防水シートを張り、堤体土の流出を防ぐ工法である。	漏水量が少ない場合に用いる工法であるため、それ以上漏水量が多くなるとかの判断が必要である。	川表のり面で適用	むしろ、丸太、竹、(防水シート)	×
	詰め土俵工		洪水中に堤防川表のり面にはっきりとした吸込み口が発見できた場合、この吸込み口に土俵や土のうを詰め、止水を図る工法である。土俵が転倒し、水中に落下しそうな場合には、くいや竹ぐいを突き刺して安定を図ることもある。	吸込み口の発見に当たっては、堤内地側の漏水箇所とペアになっている場合が多いので、堤内地漏水を参考に発見することになるが、その作業は濁流の中で人間が潜り、堤体に手を当てて探すことになるので、作業する場合には命綱をつけるなど安全対策には十分な配慮が必要である。	川表のり面で適用	土俵、むしろ、くい、竹ぐい、(土のう)	×
	むしろ張り工法		この方法は詰め土俵工法を採用したときの条件と異なって、吸込み口が判然としていない、または吸込み口が隣接して数箇所にわたるような場合、あるいは詰め土俵工法では閉鎖が困難な場合に堤防表のり面にむしろを何枚か縫い継ぎし、骨竹を通して、これを竹ピンでのり面にさし、場合によっては重い土俵を乗せる方法である。	むしろ、竹などの入手が困難になってきているため、防水シート、鉄パイプ、鉄筋のピンなどが多く用いられることが多くなってきている。また、この工法は直接洪水の中で作業をしなければならないので水防団員などには命綱、救命胴衣をつけさせるなどの安全対策が必要である。	川裏のり面で適用	むしろ、竹ピン、骨竹、土俵、土のう	×

「普及状況」の凡例 ○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない





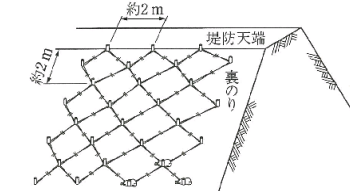
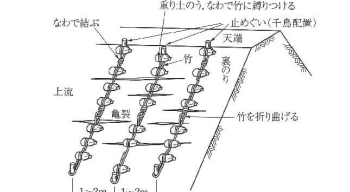
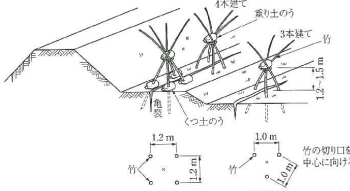
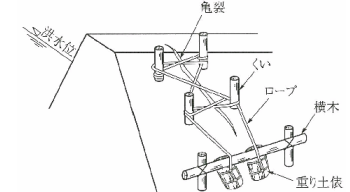
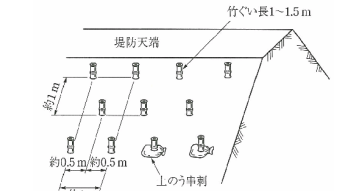
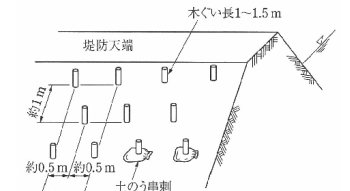
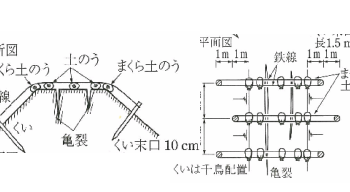
表-5.2(3) 伝統的な水防工法一覧表(その3) 資料1)、2)より一部引用

被災要因	水防工法の種類	概要	留意点	利用箇所	使用資材	普及状況	
漏水	おもてむしろ張り工法		漏水吸込み口の表のり面にむしろを羽重ねし、これをなわで縫い合わせ、さらに骨竹を0.5~0.9mピッチに粗く縫い、最も下段のむしろ1枚に1個の割合で土俵や土のうを取り付け、これを裏のり面に打った止めぐいに固定する。	吸込み口が水中深くにあり、漏水口が特定できない場合に用いられる。継ぎむしろをすのこ巻きにするまでは、陸上の作業になるので、かなり広い面積が必要であり、作業できる場所の確保および迅速な作業ができる体制を確保しておく必要がある。	川裏のり面で適用	むしろ、なわ、くい、ロープ、土俵、(土のう)	×
	たたみ張り工法		たたみを川表のり面の漏水吸込み口またはのり面決壊部分に直接押し当て、漏水や洗掘を防止する工法であり、対策必要箇所の水深が比較的浅い場合に適している工法である。	水防の範囲は長手方向の約1.8mから2倍の3.6m程度のため、深い位置での対策には適していない。また、むしろ張り工のむしろより厚さがあり、防水効果が大きいので、古たたみが多く入手できる場所では有効な対策である。また、直接洪水に面して、または中に入って施工しなければならないので、水防団員などの安全対策には十分な配慮が必要である。	川表付近で適用	古たたみ、なわ、竹ぐい、土俵、鉄線、(土のう)	×
	びょうぶ返し工法		波浪や流水により川表側欠け込んだ場合、その拡大を防止し、かつ漏水防止工法としても採用される。竹を骨組みとして使用し、わら、あし、よし、かやなどをあて「びょうぶ」のようなものを作り、これを竹材の根本から折り曲げて川表のり面に倒し、洗掘面を覆う工法である。	竹、あし、よし、わらなどが容易に入手できる地方に適した工法である。最近の使用例が少なくなっている。	川表のり尻付近で適用	竹、なわ、わら、かや、あし、よし、くい、土俵、(土のう)	×
越水	積土のう工法		堤防上面に土のうを積上げ、水のあふれを防止する工法である。構造が簡単で汎用材料で製作できる。広く一般的に用いられている。	止水の役割は主に中詰め材が受け持つため、しっかりと踏み固め、止水性を確保することが重要である。	堤防天端	土俵、くい、竹ぐい、(土のう)、(防水シート)、(鉄筋棒)	○
	せき板工法		計量鋼板製のせき板を杭で固定し、中詰め材で安定させる構造である。何らかの理由で大量土のうを作製できない場合に有効である。	中詰め材を重機で投入できる場合は作業性が飛躍的に向上するが、越水範囲が広範囲に及ぶ場合は、せき板の確保が課題となる。	堤防天端	くい、板、くぎ、(鋼製支柱)、(軽量鋼板)	×
	蛇かご積み工		堤防の欠け込みを考慮して堤防天端の表のり肩から0.5~1.0m程度後退して蛇かごを積み越水を防止する工法である。玉石類が豊富で入手が容易な地方で、かつ洪水継続時間の比較的短い急流河川に用いられる工法である。	玉石を蛇かご内に詰める場合、人海戦術1個づつ詰めていくため非常に時間がかかるため、水防訓練などにより必要時間の短縮に努めなければならない。また、あらかじめ玉石を詰め終えた蛇かごを用いる場合には、重量が大きいため重機の使用などにより搬出方法を決めておかなければならない。	堤防天端	竹網蛇かご、玉石、むしろ、鉄線、(鉄線蛇かご)、(防水シート)	○
	裏むしろ張り工(補強策)		堤防川裏側に、むしろを法尻の下端部から堤防に長手が平行になるように下草を刈り取り、敷き並べる工法である。洪水が堤防を越流し、天端、裏のり、裏小段、犬走りなどが洗掘、崩壊するのを防ぐ場合や積み土俵などからの漏水が多いとき、あるいはこれが予想されるときなどに、積み土俵工と併せて使用される。	堤防天端に十分むしろをかぶせ、のり尻、平場にもむしろを張って堤体を保護するほか、越流する場合でも、十分落ちて対処し、一連の作業が粗雑な施工にならないよう最善の努力をしなければならない。	堤防天端から川裏のり面	むしろ、半割竹、竹ピン、土俵	×
亀裂	打ち継ぎ(鉄線)工法		堤防に発生した亀裂を鉄線で挟み込み、亀裂が広がることをくい止める工法である。主に堤防上面に発生した亀裂に対して用いられる。	亀裂が広がる際、鉄線に直ちに引張力が発生する状態が理想的であるため、鉄線に緩みがないように固定することが重要である。	堤防天端付近	杭、鉄線、土俵、(土のう)	○

「普及状況」の凡例 ○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない




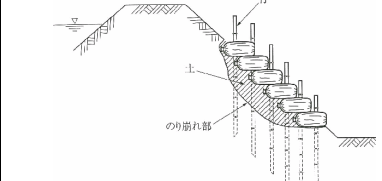
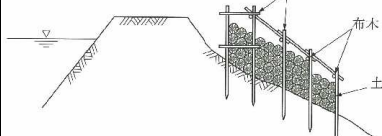
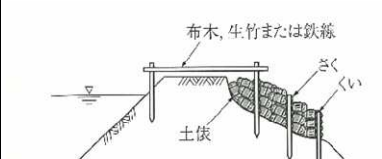
表-5.2(4) 伝統的な水防工法一覧表(その4) 資料2より一部引用

被災要因	水防工法の種類	概要	留意点	利用箇所	使用資材	普及状況	
亀裂	籠止め(鉄線)工法		堤防に発生した亀裂を鉄線で縫い合わせるにより、亀裂が広がることをくい止める工法である。堤防斜面に広範囲に発生した亀裂に対して有効である。	亀裂が広がろうとする際に、鉄線に直ちに引張力が発生する状態が理想的であるため、鉄線に緩みがないように固定することが重要である。	川裏のり面	杭、竹、鉄線、土俵	×
	繋ぎ縫い(鉄線)工法		堤防に発生した亀裂を鉄線で挟み込み、亀裂が広がることをくい止める工法である。堤防上面から居住地側斜面にかけて発生した亀裂に対して用いられる。	亀裂が広がろうとする際に、鉄線に直ちに引張力が発生する状態が理想的であるため、鉄線に緩みがないように固定することが重要である。	堤防天端から川裏のり面	杭、竹、鉄線、土俵、(土のう)	×
	五徳縫い工法(竹利用)		裏のりまたは裏小段における亀裂の拡大を防止する工法で、亀裂を挟んでこれを縛るように、竹3~4本を地中に深く一辺が1mくらいの正三角形または正方形になるようにさし、地上1.2~1.5mくらいの所で1本ずつなわ、鉄線での字結びに結束し、その交点上に重り土俵または重り土のうを乗せる工法である。	竹を堤体内の地盤に十分な深さまで突きさし結束しなければ、亀裂拡大とともにのり面が崩壊し、五徳が流されてしまうことがあるので、竹の突きさし深さは十分に取る必要がある。また、重り土俵の大きさは70cm以上なければ亀裂が拡大し、竹を引き合ったときに土のうから竹がずれるので注意を要する。	川裏のり面または裏小段	竹、なわ、鉄線、土俵、(土のう)	×
	五徳縫い工法(くい打ち)		竹の入手が困難で、くいが比較的入手しやすい地域で、のり面の亀裂拡大を防止するために取られる工法である。	亀裂部は土で埋戻しを行い、雨水の流入を防止する必要がある。	川裏のり面または裏小段	くい、なわ、土俵、丸太、(ロープ)、(土のう)	×
	竹さし工法		五徳縫いを簡単にしたもので、目通り12~18cmの竹を堤体深くに突きさし、深い土と浅い土を一体化させて、のり面を滑らないようにする方法である。	この工法は五徳縫い工法と併用すると効果的である。	川裏のり面	竹、土俵または土のう	×
	かぐい打ち工法		竹さし工法の竹に代えて木杭を使用するもので、末口9cmくらいの杭を堤体深くに突きさし、深い土と浅い土を一体化させて、のり面を滑らないようにする工法である。	のり面が軟弱な場合は、土俵または土のうを置いてその上から杭を打ち込む。	川裏のり面	くい、土俵、(土のう)	×
	折り返し工法		表のり、裏のりの適当な場所に土俵または土のうを置き、その土俵、土のうの下側に竹を突きさし、土俵をまくらに竹を折り曲げ、堤防天端で双方の竹を折り返し、なわで結束する工法である。	この工法は複雑な組合せで実施されることが多いので、竹の立て込み位置を必ず千鳥配置とし、竹の立て込みによってのり面に亀裂が生じないようにしなければならない。	堤防天端付近	青竹、なわ、土俵、棧俵、(土のう)	×

「普及状況」の凡例 ○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない



表-5.2(5) 伝統的な水防工法一覧表(その5) 資料2より一部引用

被災要因	水防工法の種類	概要	留意点	利用箇所	使用資材	普及状況	
崩壊	控え取り工法		堤防天端から裏のりにかけて生じた亀裂の拡大を同時に防止する工法である。	表のり面の竹の立て込みは一直線にならないように、千鳥配置と土、竹の立て込みのために、のり面に亀裂が生じないようにしなければならない。	堤防天端から川裏のり面	竹、土俵、小竹、割竹、くい、なわ、鉄線、(土のう)	×
	築きまわし工法		川表側の深掘れ(洗掘)・斜面の崩れ(崩壊)で不足した堤防断面を居住地側に確保することにより決壊を防止する工法である。	川表の洗掘や斜面崩壊の反対側(川裏側)の同じ位置に同程度以上の土のうを積むことが基本である。なお、併せて川表側の洗掘防止対策を実施すると効果的である。	川表のり面の崩壊防止として川裏側で実施	杭、さく材、布木、土俵、(土のう)	×
	かぐい工法		竹さし工法の竹に代えて木杭を使用するもので、末口9cmくらいの杭を堤体深くに突きさし、深い土と浅い土とを一体化させて、のり面を滑らないようにする工法である。	のり面が軟弱な場合は、土俵または土のうを置いてその上から杭を打ち込む。	川裏のり面	くい、土俵、(土のう)	×
	立てかご工法		急流河川の堤防は、一般に砂利分の多い透水性の高い堤体材料が用いられることが多い。このため、浸透水によって裏のり面が崩れやすいので、裏のり下部に蛇かごを立て込んでこれを防止する。	軟弱なり面を保護する場合には、補強するのり面にそだを敷き、その上に蛇かごを敷設することがある。	川裏のり面	蛇かご、くい、そだ	○
	土のう羽口工法		川裏、川表のり面が崩壊したとき、堤防断面の補強またはのり崩れの拡大を防止するため、崩壊した部分の下部のほうから土のうまたは土俵を小口に並べ、積み上げる工法である。	—	川表、川裏のり面	土俵、竹杭、割竹、土砂、(土のう)	△
	継ぎくい打ち工法		裏のりの崩壊した部分に木ぐいを数列並べて打ち、これを連結して、その中に土俵または土のうを詰め込み、堤防断面の補強を図るものである。	くい間に土俵や土のうを詰める際、くいや布木丸太に損傷を与えないように注意して作業する必要がある。なお、詰め土俵は芋継ぎにならないように詰め込む。	川裏のり面	くい、布木、鉄線、丸鋼、土俵、(土のう)	×
	さくかき詰め土俵工法		崩壊の程度によって、その最下部から天端と平行に数列の杭を打ち、その各列に竹やそだで柵を作って、詰め土俵を行い堤防を補強する工法である。	土俵詰めを行うとき、各くい、さくを損傷しないように施工することが必要である。	川裏のり面	くい、竹、そだ、鉄線、丸太、土俵	×

「普及状況」の凡例 ○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない



## 5.2 新材料を活用した効率的な水防工法（モバイルレビー）

水防材料は入手が容易であり、かつ大量であることなどの条件を備えている必要があり、従来は‘わら’を利用することが多く、‘むしろ’や‘なわ’などの利用が大部分を占めていた。しかし、現在はわらに代わる材料が以下に示すように次々と開発され、水防活動の合理化が図られるようになった。

- ・ 俵，かます→麻袋，合成繊維製土のう袋
- ・ むしろ→たたみ，ビニールシート，布シート
- ・ なわ→ロープ，鉄線
- ・ 木ぐい→既製木ぐい，鉄筋
- ・ 竹樋，木樋→ビニールパイプ
- ・ 足場板→軽量綱矢板

表-5.3には、従来の材料ではなく、近年開発された材料を使った水防工法をまとめた。これらの工法は従来の工法に対して、効率化や大型化が進み水防活動に大きく寄与している。なお、表中の「普及状況」の凡例は以下のとおりである。

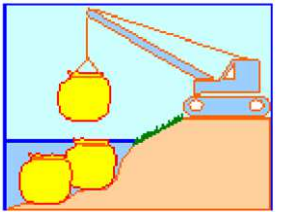
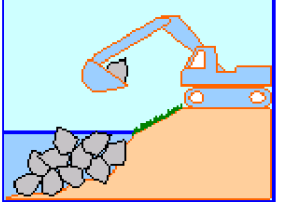
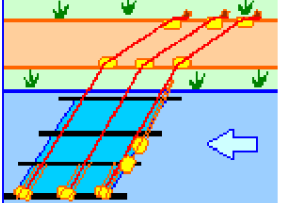
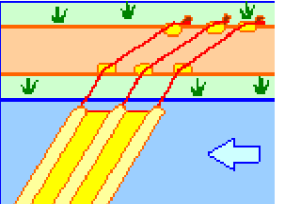
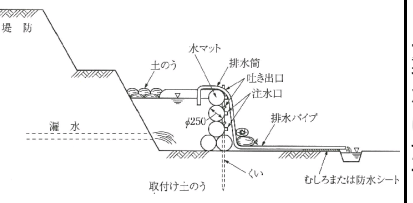
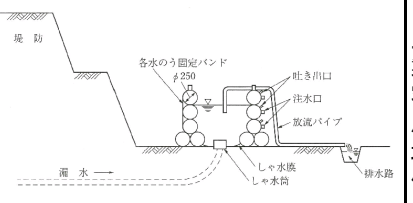
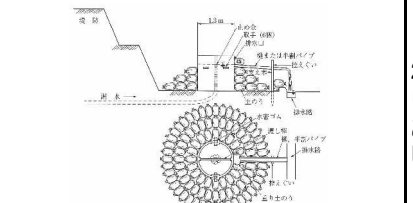
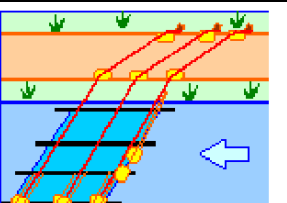
- ：普及している
- △：時々用いられる
- ×：普及していない

一方、リバーテクノ研究会では、新材料を活用した越水防止対策として「モバイルレビー」（可搬式の特殊堤防）に関する研究開発を進めているところである。表-5.4に現在提案されているモバイルレビーの例を示す。なお、モバイルレビーの適用性については、検討途上であり、実河川への適用に当たっては、河道特性や堤体および基礎地盤の土質特性等を踏まえて事前に十分な検討を行う必要がある。たとえば、モバイルレビーを設置した場合には、計画高水位よりも水位が高い状態となるため、一時的に浸透に対する安全性が損なわれる可能性がある。特に、堤内地の地盤高が低い箇所では、堤防横断方向の動水勾配が大きくなるため、すべり破壊やパイピングの発生について注意が必要となる。





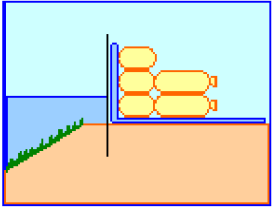
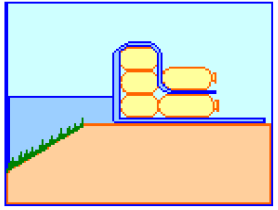
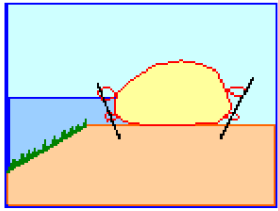
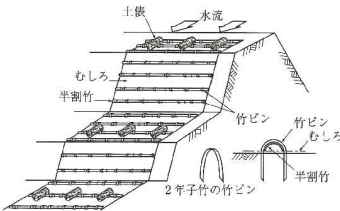
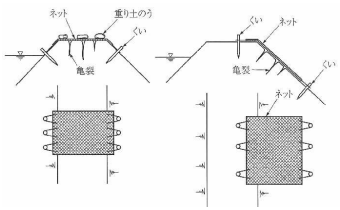
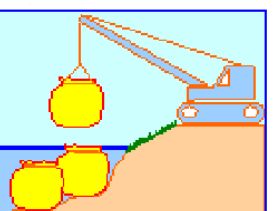
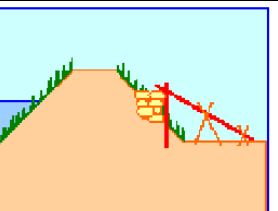
表-5.3(1) 新材料を活用した効率的な水防工法一覧表(その1) 資料1、2より一部引用

被災要因	水防工法の種類	概要	留意点	利用箇所	使用資材	普及状況
洗掘	大型土のう・大型ブロック工法	 土木工事などで使用される大型土のうや大型ブロック(消波ブロック等)を被災箇所に投入し、川表のり面を直接保護する工法である。流速が速い河川にも適用でき、深掘れ防止効果が高い工法である。	クレーン等の重機を使用する必要がある。被災箇所の水際まで重機が近づける進入路を確保しなければならない。また、専用の資機材を使用するため、建設業者の協力を求める必要がある。	流速が早い箇所でも対応可能	大型土のう・大型ブロック、クレーン	○
	捨石(バックホウ)工法	 比較的大きな石をバックホウ等の重機で被災箇所に投入し、川表のり面を直接保護する工法である。流速が速い河川にも適用でき、深掘れ防止効果が高い工法である。	バックホウ等の重機を使用する必要がある。被災箇所の水際まで重機が近づける進入路を確保しなければならない。また、碎石等が大量に得られる場所が必要である。	流速が早い箇所でも対応可能	土のう、石・異形コンクリートブロック、バックホウ	○
	シート張り工法	 合成繊維シート(ブルーシート等)に骨組み材や重し土のうを取り付けた状態で投入し、川表のり面を直接保護する工法である。汎用材を用いて人力で作製することができる。シートを被災箇所に密着できないと効果が得られないため流速の速い河川での適用は困難である。	シートがあおられないように重し土のうを確実に取り付ける必要がある。	大型土のう・大型ブロック工法や捨石工法に比べて、流速が早い箇所では対応できない場合がある。	防水シート、鉄パイプ、杭、ロープ、土のう	○
	水防マット工法	 シート張り工法と同じ効果を持つ、水防活動専用開発された工法である。緊急時に迅速に効果を発現することができる。袋体に碎石等を大量に投入できるため、シート張り工法に比べ、あおりに対する抵抗力が高く、比較的流速の速い河川にも適用可能である。	被災が広範囲に及ぶ場合には多量の専用資材(水防マット)を短時間に確保できるかが課題となる。	大型土のう・大型ブロック工法や捨石工法に比べて、流速が早い箇所では対応できない場合がある。	水防マット、鉄パイプ、杭、ロープ、土のう	△
漏水	水マット月の輪工法	 土俵や土のうが入手困難な都市地域などに適しており、既製のビニロン帆布製水のうを利用する月の輪工法で、施工が簡単であるため水防工法の近代化の一つである。作業はほとんどが機械施工のため、土のう、土砂などの不足した都市地域などに有効であり、水マットは折りたたむことが可能で、備蓄、運搬が容易である。	漏水が貯留する水深が適正かどうかを判断することの他に、水マットと土のうとの接合部は特に入念に施工し、良質土などで十分踏み固め、漏水のないよう施工しなければならない。	川裏のり尻付近で適用	水マット、土のう、くい、防水シート、パイプ	○
	水マット式釜段工法	 土俵や土のうが入手困難な都市地域などに適しており、既製のビニロン帆布製水のうを利用する釜段工法で、施工が容易なため、水防工法の近代化の一つである。作業はほとんどが機械施工のため、水防団員の確保が難しい都市地域などに有効であり、水マットは折りたたむことが可能で、備蓄、運搬が容易である。	従来の土俵、土のうを全く用いない工法であり、水防担当者は十分にその作業になれておかなければならないので、特に日頃の訓練が重要である。	川裏のり尻から堤内地付近で適用	水マット、くい、土砂、鉄パイプ	○
	鉄板式釜段工法	 2枚の半円板鉄板を堤防裏のり先平場の漏水噴出箇所を中心に、それを囲むように円形に組み合わせ、漏水をせきあげ、その水を上部の排水口より放出し、漏水の流速を減じ、堤体土砂などの流出を防止する工法である。	釜段の高さを土のうや水マットのように任意に選ぶことができないので、漏水噴出箇所の水深が適正かどうか判断して円筒形鉄板を選ぶ必要がある。	川裏のり尻から堤内地付近で適用	既製半円形鉄板、水密ゴム、土のう、パイプ、渡し棒、止め金	○
	シート張り工法	 合成繊維シート(ブルーシート等)に骨組み材や重し土のうを取り付けた状態で投入し、川表のり面に発生した漏水箇所(入口)を直接遮断する工法である。汎用材を用いて人力で作製することができる。シートを被災箇所に密着できないと効果が得られないため流速の速い河川での適用は困難である。	シートがあおられないように重し土のうを確実に取り付けることが重要である。	川表のり面付近で適用	防水シート、鉄パイプ、杭、ロープ、土のう	○

「普及状況」の凡例 ○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない



表-5.3(2) 新材料を活用した効率的な水防工法一覧表(その2) 資料1、2より一部引用

被災要因	水防工法の種類	概要	留意点	利用箇所	使用資材	普及状況	
越水	改良積土のう工法		積土のう工法の改良型で、中詰め材を省略する代わりにブルーシート等で止水の役割を受け持たせる工法である。中詰め材を省略した分、施工性が向上している。	積み土のうと同様に、土のう重量と杭で水圧に抵抗する構造であるため、舗装された堤防上面等杭が打ち込めない場所では抵抗力が減少する。	堤防天端	土のう、防水シート、鉄筋棒、杭	△
	改良積土のう工法(2)		改良積土のう工法から、さらに杭を省略している。舗装された堤防上面など、くいが打ち込めない場所でも有効である。	土のう重量のみで水圧に抵抗する構造であるため、杭を打ち込む必要がない分作業が容易である。止水性は改良積土のう工法と同様にシートで確保する。	堤防天端	土のう、防水シート、鉄筋棒	△
	水のう工法		ビニロン帆布製の水のうにポンプで水を注入し水があふれることを防止する構造である。都市部で多量の土が得られない場合に有効である。	水のうがあふれる箇所が広範囲に及ぶ場合は、水のうの確保が課題となる。また、河川水位が予想以上に上昇した場合に対処することができない。	堤防天端	既製水のう、ポンプ、鉄パイプ	×
	裏シート張り工(補強策)		裏むしろ張り工の主要材料のうち、むしろを防水シートに、半割竹を軽量鉄パイプに、竹ピンを鉄筋ピンに、土俵を土のうに置き換えた工法である。この工法はむしろ張り工に使う材料の入手が困難なときに採用される。	使用材料は緊急水防時に利用できるなら何でも構わないので、常に裏シート張りに使えそうな材料を用意しておく。	堤防天端から川裏のり面	防水シート、軽量鉄パイプ、鉄筋ピン、土のう	×
亀裂	ネット張り亀裂防止工法		青竹の入手困難な地域で、堤防天端及び裏のり面の亀裂拡大を防止するために、亀裂の両側に杭を打ち込み、亀裂箇所をネットで覆う工法である。	亀裂発生範囲に応じて、ネットを切断して用いる場合には、鉄線との接合部がほぐれないように十分な対策を講じて使用する必要がある。	堤防天端から川裏のり面	くい、ネット、鉄線、土のう	○
崩壊	大型土のう工法		主に居住地側斜面の斜面崩れ箇所に、土木工事(仮締切り工)等で使用される大型土のう(1m×1m×1m)を充填し、決壊を防止する工法である。比較的規模の大きな崩れに対して有効である。なお、堤防高が低い箇所では、川表のり面崩壊への対策としても適用可能である。	被災箇所近くまでクレーンが近づける進入路を確保しなければならない。また、建設業者の協力を求める必要がある。	川裏のり面の崩壊防止として川裏側で実施	大型土のう、クレーン	○
	杭打積土のう工法		居住地側斜面で崩れの恐れがある場合、または比較的小規模な崩れが発生した場合に、対象箇所下面に打ち込んだ杭と崩れ面との間に土のうを充填し、崩れの進行を防止する工法である。	斜面崩れ箇所下部のすべりを杭と押え木でくい止め、上部の崩れを充填した土のうで押さえる構造である。杭を十分に打ち込むことと押え木で適切に支えることが重要である。	川裏のり面の崩壊防止として川裏側で実施	杭、布木、鉄線、土のう	△

「普及状況」の凡例 ○:よく用いられる、△:時々用いられる、×:あまり用いられない



表-5.4 モバイルレバー一覧表

	特徴	模式図
可搬式	<p>近代型伝統的水防工法（土のう積み） ⇒水で水を制する</p> <p>三角水のうち方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・遮水性の高いシートを用いて製作した三角形の長い袋体を堤体の上に伸ばして設置し、その後袋体の中に水を注入し、越水を防止するための構造体とする。</li> </ul>	<p>必要に応じてアンカーピンで固定</p>
	<p>組み立てパネルによる止水壁</p> <p>折りたたみ方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・パネルを組み合わせた壁体を現地に設置して越水を防止するための構造体とする。</li> <li>・下部の三角形の空間には袋が付けられており水位の上昇とともにその中に水が入り、ウェイトとしての役割を果たす。</li> </ul>	
	<p>近代型たみ堤</p> <p>親杭横矢板方式（防水板立て込み）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・堤防天端に一定間隔で親杭を立て込める孔を予め設置しておき、緊急時は親杭を立て込む。親杭の間は板またはシートにより越水を防止する方法である。</li> </ul>	
可動式	<p>近代型たみ堤（洪水時） サイクリングロード（常時）</p> <p>防水板立て込み方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・天端に深さ1~1.5mの溝を設置しておき、緊急時にその中に板を立て込み、越水を防止する。</li> <li>・平常時には、板を天端に敷設しておく。</li> </ul>	<p>緊急時の堤防状態</p>
	<p>浮体起動・洪水水圧利用による回転型止水壁（洪水時） 親水遊歩道（常時）</p> <p>壁体起伏方式（自立式）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・フロートの浮力で止水壁が初期起動（回転が始動）する。</li> <li>・洪水で水位上昇するにつれ、止水壁に作用する水圧が、回転力になる（回転を加速）。</li> <li>・常時に遊歩道として親水空間を演出、地震時は緊急避難路として活用。</li> </ul>	
	<p>回転パネル起動による回転型止水壁</p> <p>水圧（浮力）回転方式</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ボックス形状のユニットのうち、前面及び上面のパネルが水圧または浮力によって一体が回転し、越水防止の機能を果たす。</li> <li>・ボックスは、越水の危険がある箇所に必要な個数を連続して設置する。</li> </ul>	
	<p>浮体起動による上昇止水壁</p> <p>壁体起伏方式（堤体内埋込み式）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平常時には堤体の天端内に浮体および膜体を格納しておき、増水時には浮力体による浮力作用を利用して膜体を持ち上げ、仮堤防とし越水を防止する構造である。</li> </ul>	<p>河川増水時の起伏状態 断面図</p>
<p>注水チューブ起動による起立止水壁</p> <p>壁体起伏方式（ラバー起立壁方式）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平常時には堤体の天端内にラバーチューブを格納しておき、増水時にはチューブ内にコンプレッサーによって空気袋注水してチューブを膨張させ、堰本体を持ち上げることで仮堤防とし、越水を防止する構造である。</li> </ul>		

### 5.3 従来の堤防強化工法

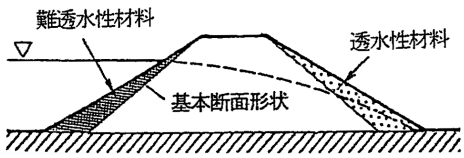
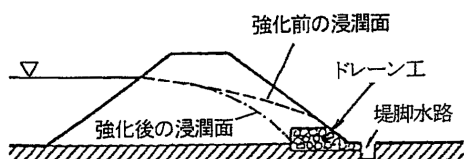
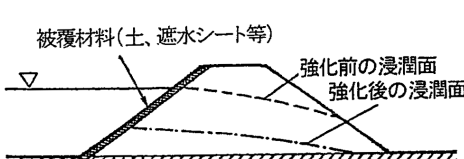
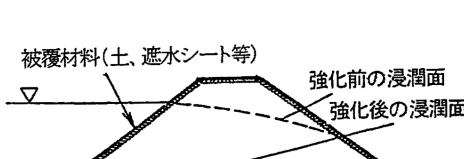
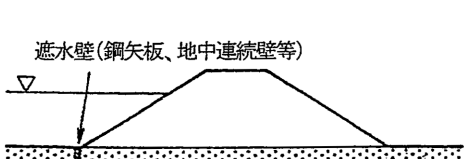
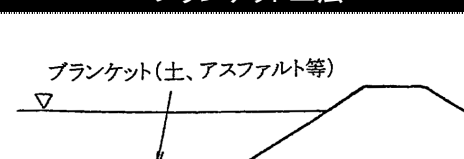
河川堤防の浸透に対する従来の強化工法は表-5.5のように整理することができる。すなわち、浸透に対する強化工法は大きく、堤体に対するものと基礎地盤に対するものに分けられるが、前者には、堤体の動水勾配を低減するとともに、すべり破壊に対する安全性を増すための断面拡大工法、降雨や河川水の堤体への浸透を防止、抑制するための被覆工法（表のり被覆工法と全面被覆工法）、および堤体への浸透水を速やかに排水することを目的としたドレーン工法がある。ドレーン工法は堤体の裏のり部のせん断強さを増すことにもなる。

一方、後者は主として河川水の基礎地盤への浸透を抑制あるいは防止することに期待したもので、川表のり尻に鋼矢板等を打設する川表遮水工法、高水敷等の表面の透水性の低下を図るブランケット工法のほか、裏のり尻近傍の浸透圧を低下させるウェル工法等がある。また、堤体の強化が主目的のドレーン工法も、地盤条件や設置高によっては基礎地盤対策としても有効な場合がある。

以上のように、浸透に対する強化工法は対象や原理とするところが異なるので、強化工法の選定にあたっては、浸透に対する問題点を明確にした上で、基礎地盤や堤体の土質条件や外力条件、あるいは被災の履歴等を十分に勘案し、適用性を総合的に検討することが重要である。また、浸透に対する堤防強化工法には、単独では効果を十分に発揮することが難しい場合もあるので、工法の選定にあたってはこの点にも配慮することが重要である。堤防が浸透に対して極端に脆弱で強化に多大の費用を要するような場合には、全面的な改築も視野に入れた堤防強化も考えられる。

表 5.3.-1 からもわかるように、強化工法は高いもので、350万～400万円/10mで、安価なドレーン工法でも70万円/10m程度の工事費を必要としており、より安価で軽微な対策工法が望まれる。

表-5.5 従来の堤防強化工法の一覧表資料 3)に一部加筆・修正

	代表的な工法	強化の原理・効果	簡易性・適用性・経済性	概算費用（10m当たり）	問題点（改善点）	その他
堤体を対象とした強化工法	<b>断面拡大工法</b>  <p>難透水性材料、透水性材料、基本断面形状</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤防断面を拡大することにより浸透路長の延長を図り、均動水勾配を減じて堤体の安全性を増加させる。</li> <li>のり勾配を緩くすることによりすべり破壊に対する安全性を増加させる。</li> <li>川裏のり尻近傍の基礎地盤のパイピングを防止する押し盛土としての機能も兼ねる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>川表側、川裏側ともに用地を確保する必要があり、また、大規模な工事を伴うため簡易性には欠ける。</li> <li>他の強化工法と併用しやすい。</li> <li>有効上載圧が増加するためある程度の液状化防止効果が期待でき、また緩傾斜化により地震時の安定性は向上する。</li> </ul>	360万	<ul style="list-style-type: none"> <li>浸透路長の延長、のり勾配の緩傾斜化や押し盛土効果等確実に機能は向上する。</li> <li>築堤材料の透水性の違いにより効果が異なる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>軟弱地盤での対策費用の付加</li> </ul>
	<b>ドレーン工法</b>  <p>強化前の浸潤面、ドレーン工、堤脚水路、強化後の浸潤面</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤体の川裏のり尻を透水性の大きい材料で置き換え、堤体に浸透した水を速やかに排水する。</li> <li>堤体内浸潤面上昇を抑制し、堤体のせん断抵抗力の低下を抑制する。</li> <li>のり尻部をせん断強度の大きいドレーン材料で置き換えるため安定性が增加する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤脚水路（用地）の確保や堤防掘削の工事を伴うため、簡易性にはやや欠ける。</li> <li>緑化のために覆土する場合には、ドレーン内への土砂の流入防止に注意する。</li> <li>間隙水圧を消散するため液状化の防止にもある程度有効である。</li> </ul>	70万	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドレーン材の目詰まり等により機能が低下する可能性がある。</li> <li>のり尻部はせん断強度が向上するため、安定性は向上する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドレーン材料に新材料摘要</li> </ul>
	<b>表のり面被覆工法</b>  <p>被覆材料(土、遮水シート等)、強化前の浸潤面、強化後の浸潤面</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>表のり面を難透水性材料（土質材料あるいは人工材料）で被覆することにより、高水位時の河川水の表のりからの浸透を抑制する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>用地確保の必要がなく、施工は比較的簡易に、安価に実施できる。</li> <li>遮水シートを用いた場合は地震後に変形や損傷の有無を確認する必要がある。</li> </ul>	150万	<ul style="list-style-type: none"> <li>土を用いる場合には乾燥によるクラックから浸透水が浸入する可能性がある。</li> <li>遮水シートを用いる場合にはシートの継ぎ目、端部から浸透水が浸入する可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ブロック張り護岸等の浸食対策工の遮水効果検討</li> </ul>
	<b>全面被覆工法</b>  <p>被覆材料(土、遮水シート等)、強化前の浸潤面、強化後の浸潤面</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤体全体を難透水性材料（土質材料あるいは人工材料）で被覆することにより、降雨および高水位時の河川水の堤体への浸透を抑制する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>用地確保の必要がないが、天端の利用状況により施工が難しい場合がある。</li> <li>天端や小段を被覆するだけでも降雨浸透を抑制する効果が期待できる。</li> <li>遮水シートを用いた場合は地震後に変形や損傷の有無を確認する必要がある。</li> </ul>	380万	<ul style="list-style-type: none"> <li>被覆材料に土を用いる場合には、乾燥によるクラックから浸透水が浸入する可能性がある。</li> <li>被覆材料に遮水シートを用いる場合には、シートの継ぎ目、端部から浸透水が浸入する可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>舗装の耐降雨浸透効果の検討</li> </ul>
基礎地盤を対象とした強化工法	<b>川表遮水工法</b>  <p>遮水壁(鋼矢板、地中連続壁等)、(透水層)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>川表のり尻に止水矢板等により遮水壁を設置することにより、基礎地盤への浸透水量を低減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>用地確保の必要がなく、施工は比較的簡易に、安価に実施できる。</li> <li>地下水流を遮断するので、周辺への影響を検討する必要がある。</li> <li>側方を拘束するため、川表側の液状化による変形に対してはある程度の効果が期待できる。</li> </ul>	390万	<ul style="list-style-type: none"> <li>難透水層まで貫入した場合には効果が得られる。</li> <li>鋼矢板等を玉石混じり礫地盤に打設する場合には、貫入できない場合もあり、確実性に欠ける。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>三次元的な矢板効果の検証</li> </ul>
	<b>ブランケット工法</b>  <p>ブランケット(土、アスファルト等)、(透水層)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高水敷を難透水性材料（主として土質材料）で被覆することにより、浸透路長を延伸させ、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>川表側に用地の確保が必要であり、すでに利用が進んでいる場合には施工が難しい。</li> <li>耐震性の向上にはつながらない。ただし、高水敷が新設される場合には川表側の上載圧が増加し、液状化に対するある程度の効果が期待できる。</li> </ul>	75万	<ul style="list-style-type: none"> <li>ブランケット内部や既存堤体とブランケットの接合部にクラックが生じ、浸透水が浸入する可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐久性等施工実績の収集と分析</li> </ul>





## 5.4 効率的な対策工法

簡易で安価な河川堤防の浸透に対する対策工法として、補強工法を提案したものが表-5.5である。これらの補強工法は、河川堤防における実績等はほとんどないが、今後は幅広く、利活用されることが期待される工法である。

以下には、各工法について概説する。なお、リリーフウェル工法の具体的な設計計算例については、参考資料を参照されたい。

### (1) リリーフウェル工法

#### ①工法の概要

リリーフウェル工法の基本的な考え方は以下のとおりであり、概要を表-5.6に示す。

- ・堤体内に浸透した水（降雨および河川水）を速やかに排水する。
- ・堤体および基礎地盤の動水勾配を小さくする（特に裏のり尻近傍）。
- ・基礎地盤表層に被覆土がある場合、被覆土底面の水圧を低減させる（特に裏のり尻近傍）。

表-5.6 リリーフウェル工法の概要

リリーフウェル工法	
概略図	
強化の原理・効果	・川裏のり尻部に一定間隔の浅い井戸を設置し、河川水位の上昇とともに高まる堤内地側の水圧を開放することにより、基盤漏水およびパイピングを防止する。
計画・設計上の留意点	・井戸および堤脚水路を設置する必要がある、そのための用地が必要である。 ・縦断方向に適切な間隔で設置する必要がある。 ・軽微な補強工法として、他工法との併用による複合的対策工として検討する。
施工上の留意点	・井戸から地下水の自噴に伴い周辺の細粒土砂が吸い出されないように、有孔管周辺のフィルター構造や材料選定、地表付近の遮水処理等に十分に留意する。
維持管理上の留意点	・土砂の流出やフィルター材の馬頭まり等による機能低下が生じないように、適切な維持管理が必要である。
その他	・周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。 ・他の強化工法と併用しやすい。 ・平常時の周辺地下水に与える影響が少なく、経済的にも優れている。



表-5.5 効率的な対策工法一覧表

	代表的な工法	補強の原理・効果	簡易性・適用性・経済性	問題点（改善点）	その他
基礎地盤を対象とした強化工法	<b>リリースウェル工法</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>基礎地盤からの浸透水を裏のり尻に設置した減圧井戸等で排水することにより、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸及び堤脚水路を設置するために用地を確保する必要があり、また排水路の設置等により工事が大規模になる。</li> <li>状況に応じて井戸の本数や長さを増減させたりできる。</li> <li>周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>井戸は目詰まりの生じない構造とする。</li> <li>井戸からの排水により浸透圧を低減させるため効果は確実に期待できる。</li> <li>周辺の排水路の形状やポンプの稼働により排水量が制御される。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>海外での実績の収集と分析</li> </ul>
	<b>堤脚水路減圧工法(ポーラスタイプ)</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>裏のり尻に設置した堤脚水路の底版をポーラス材料にして、裏のり尻近傍および堤内地盤内の浸透圧を低減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤脚水路を設置するために用地を確保する必要があり、また排水路の設置等により工事が大規模になる。</li> <li>状況に応じて底版の透水性を変化させることができる。</li> <li>周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>底版の目詰まりにより機能が低下する可能性がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>机上における効果確認</li> <li>施工実績の収集と分析</li> </ul>
	<b>堤脚水路減圧工法(スリットタイプ)</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>裏のり尻に設置した堤脚水路の土留め部のスリットにより、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ドレーン工法と併用すれば、水処理を適切に行うことができる。</li> <li>堤脚水路を設置するために用地を確保する必要があり、また排水路の設置等により工事が大規模になる。</li> <li>周辺に排水路があり、適宜排水できることが望ましい。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スリットの幅によっては、水路内に土砂が堆積することがあり、メンテナンス方法を検討しておくことが重要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>机上における効果確認</li> <li>施工実績の収集と分析</li> </ul>
堤体を対	<b>のり尻補強工法</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>川裏のり尻に小型擁壁を設置し、その背面に砕石を設置する方法であり、砕石によるのり尻部の置換え効果と押さえ効果により、すべり破壊に対する安全性を増加させる。</li> <li>擁壁からの排水を適切に施すことによって、排水による浸潤面の低下も多少期待できる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>小～中規模の堤防において、すべり安全率が基準値をわずかに下回るような場合の比較的簡易な強化対策として有効と考えられる。</li> <li>通常の擁壁と同様に、堤脚水路等を設置する必要性はない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>擁壁の排水性を確保するために、水抜きパイプを適切に設置する必要がある。</li> <li>砕石上面の処理方法については、維持管理や利用の面からの検討が必要である。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工実績の収集と分析</li> </ul>



## ②設計手法

設計手法の基本的な考え方は、「河川堤防の構造検討の手引き」（平成14年7月，財団法人国土技術研究センター）資料3)に準拠する。

本工法は、堤体内および基礎地盤に浸透した水を堤防横断方向および縦断方向に排水する三次元的な対策効果が期待できる。この対策効果を評価する方法としては、三次元浸透流解析による手法が望ましいが、簡易的な方法として三次元的な対策効果を擬似的に評価した手法を取り入れ、堤防縦断方向の設置間隔を決定する設計方法とした。

リリーフウェル工法の設計では、以下に示す諸条件を設定する必要がある。なお、図-5.1にリリーフウェル工法の設計の流れを示す。

- ・縦断方向の設置ピッチ
- ・設置深度
- ・横断設置位置
- ・リリーフウェルの構造

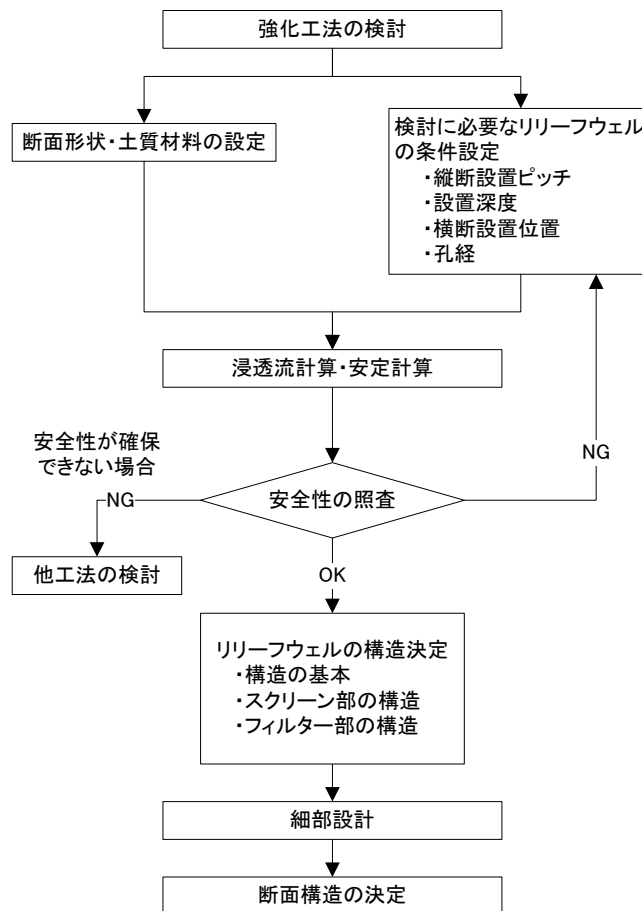


図-5.1 リリーフウェル工法の設計の流れ

### a) 縦断設置ピッチ

リリーフウェルの設置ピッチは、リリーフウェル中心間の距離とする。

b) 設置深さ

施工実施例<sup>資料 4)</sup>では、設置深さが透水層の 25%以下より短くなると、浸透量は急激に減じウェル相互の中間点の水頭を上昇させ効果が減少するといわれている。これより、最低設置深度を透水層の 25%とする（図-5.2 参照）。

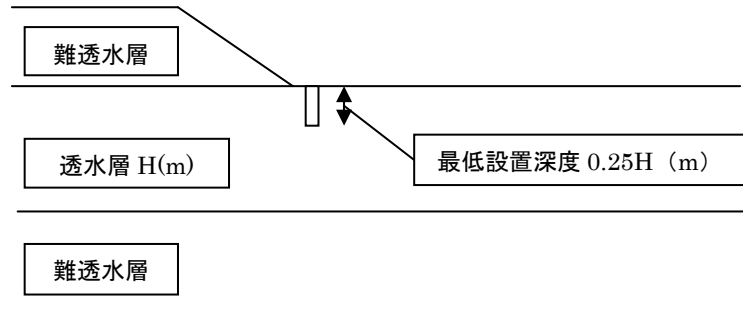


図-5.2 最低設置深度

c) 横断設置位置

横断設置位置は堤内側のり尻付近とし、堤脚水路等の排水経路を考慮して決定する。

d) リリーフウェルの構造

ボーリングにより削孔し、孔内に鋼管製のスクリーンとフィルターを設置するのが一般的な構造であるが、より簡易で低コストのスクリーンが開発されている。このスクリーンは高密度ポリエチレンからなり、孔径は 100 mm程度で、写真-5.1 に示すように遮水部と透水部の 2 重構造からなる。孔内に挿入した後はスクリーンの周囲にフィルター材として硅砂等を投入する。掘削は通常のボーリングマシンで可能であり、大規模な仮設や広い用地を必要としないため、ある程度の用地（3m×5m 程度）があれば施工が可能である。

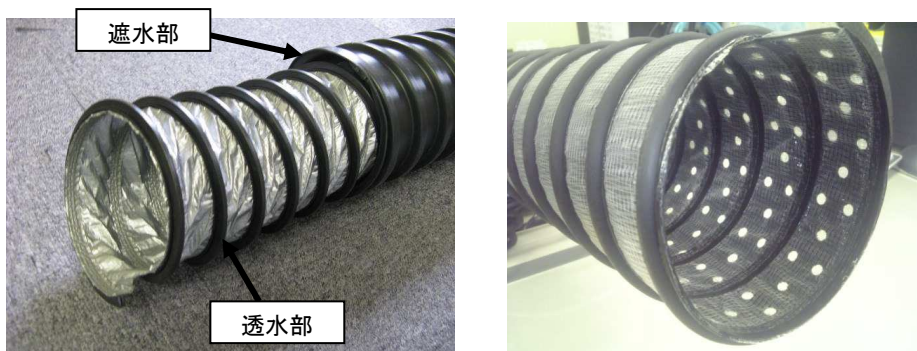


写真-5.1 ポリエチレン製スクリーンの外観

e) 解析手法

対象となる断面形状、土質材料およびリリーフウェルの各種条件設定を行い、浸透流解析および安定計算を実施する。浸透流解析では設定した縦断設置ピッチからリリーフウェルの三次元的な効果を考慮した透水係数（以下、等価透水係数と呼ぶ）を求め、二次元の浸透流解析により所要の安全率を確保できるか安全性の照査を行う。

f) 解析例

- ・地盤定数と地盤モデル（二次元）

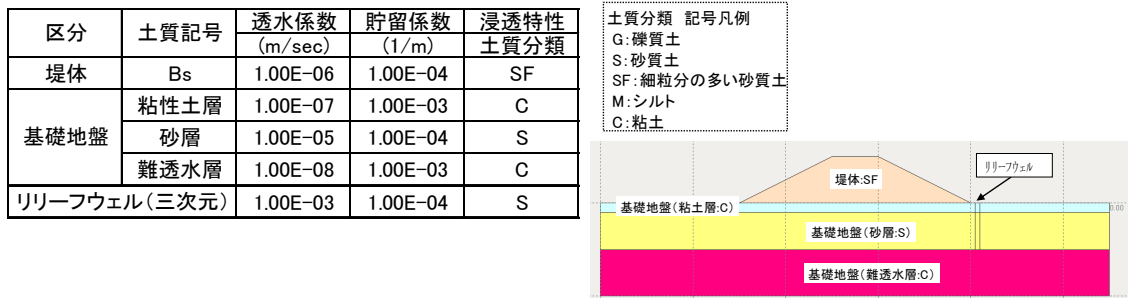


図-5.3 地盤モデル図(二次元)

- ・地盤モデル（三次元）

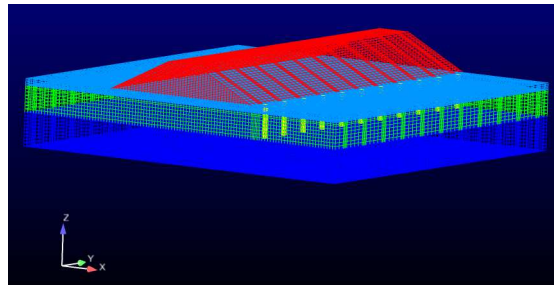


図-5.4 地盤モデル図(三次元)

- ・検討箇所（図-5.5 に示す D 点）

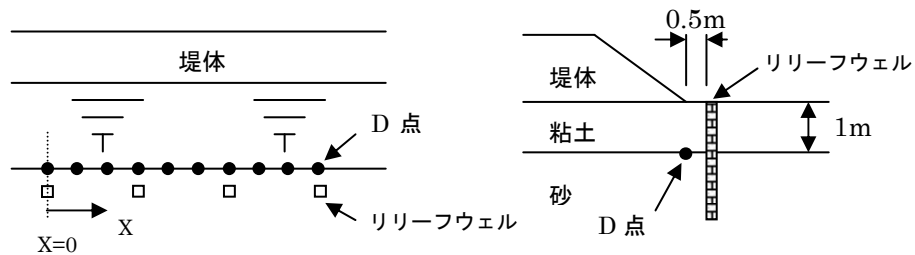


図-5.5 検討箇所位置(D点)

- ・リリーフウェルの設置条件

設置間隔は 2.5m、5.0m、10.0m とし、リリーフウェルの形状は□0.1m×0.1m

- ・水位、外力条件については参考資料に示す。

- ・圧力水頭の変化

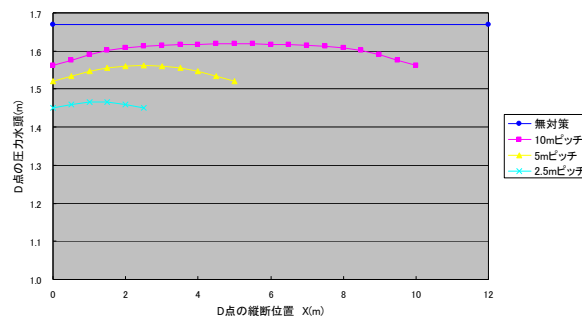


図-5.6 D 点の圧力水頭  
(三次元, T=220hours)

・ 圧力低減効果

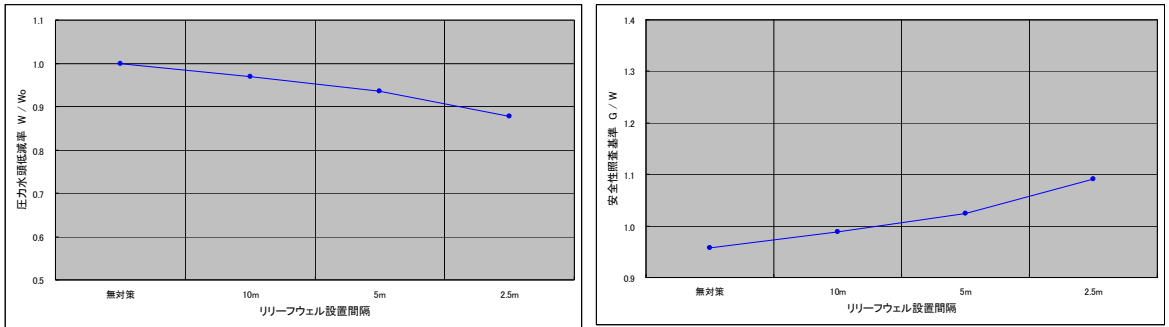
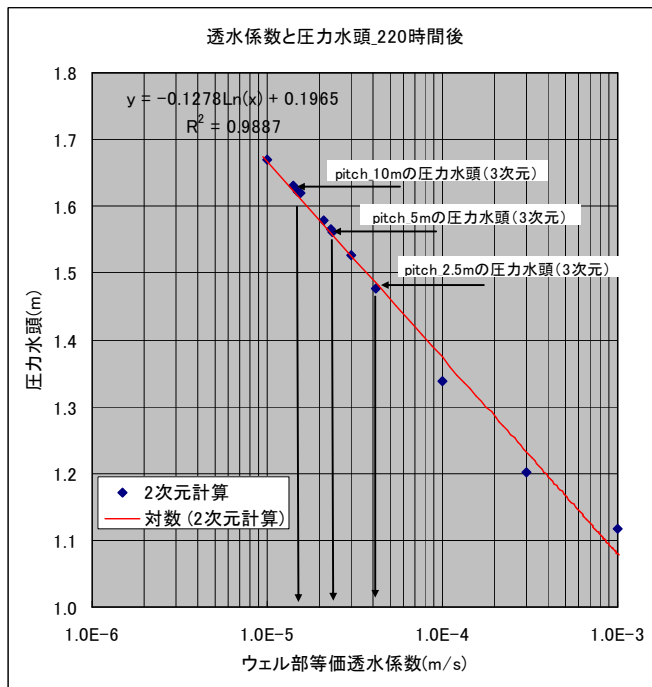


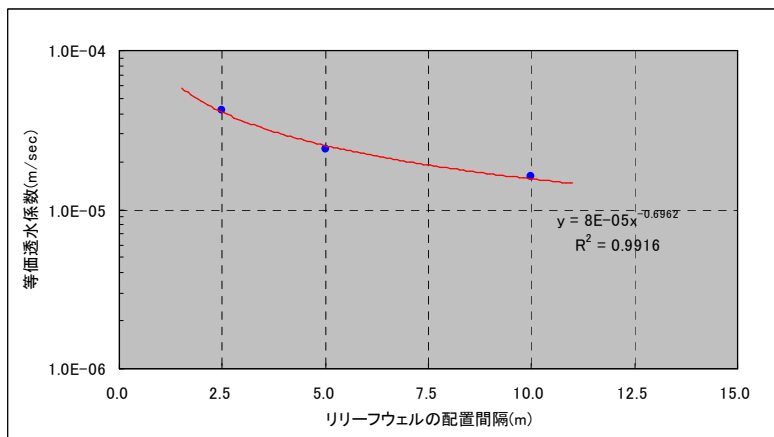
図-5.7 対策工の効果

・ 三次元解析結果との同定条件



ウェル部透水係数 (m/s)	圧力水頭 (m)
1.00E-05	1.669
1.40E-05	1.631
1.50E-05	1.623
1.55E-05	1.619
2.10E-05	1.578
2.30E-05	1.566
2.35E-05	1.562
3.00E-05	1.526
4.15E-05	1.476
1.00E-04	1.339
3.00E-04	1.202
1.00E-03	1.118

図-5.8 リリーフウェルの透水係数と圧力水頭の関係



被覆土あり	
縦断方向配置間隔(m)	等価透水係数 k1 (m/sec)
2.5	4.2E-05
5.0	2.4E-05
10.0	1.6E-05

図-5.9 リリーフウェルの間隔と等価透水係数の関係



## (2) 堤脚水路減圧工法(ポーラスタイプ)

裏のり尻に設置した堤脚水路の土留め部や底盤をポーラス材料にして、裏のり尻近傍および堤内地盤内の浸透圧を低減する工法である(図-5.10 参照)。

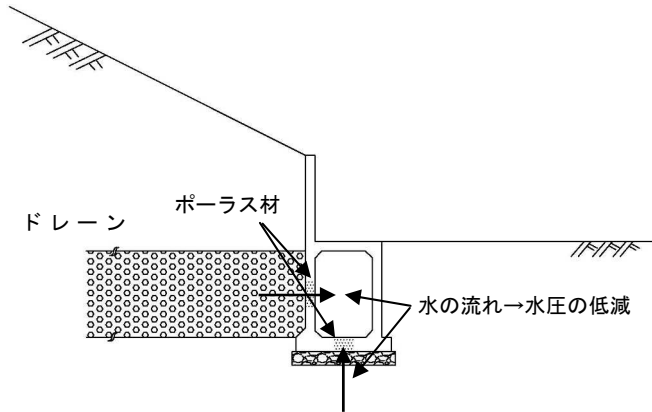


図-5.10 堤脚水路減圧工法(ポーラスタイプ)

## (3) 堤脚水路減圧工法(スリットタイプ)

裏のり尻に設置した堤脚水路の土留め部のスリットにより、裏のり尻近傍の浸透圧を低減する工法である(図-5.11 参照)。ドレーン工法と併用すれば、水処理を最適に行うことができる。

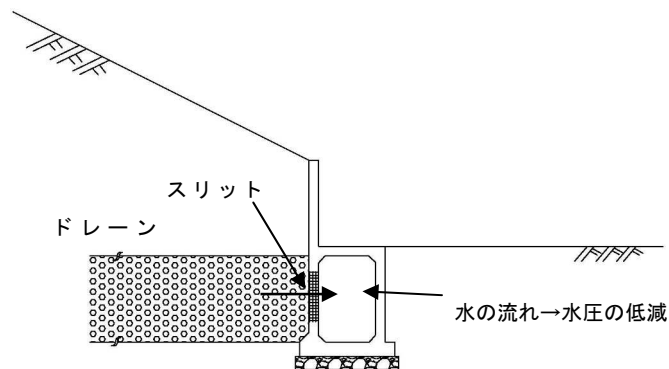


図-5.11 堤脚水路減圧工法(スリットタイプ)

## (4) のり尻補強工法

裏のり尻に小型擁壁を設置し、その背面に碎石を設置する方法であり、碎石によるのり尻部の置換え効果と押さえ効果により、すべり破壊に対する安全性を増加させる。

擁壁からの排水を適切に施すことによって、排水による浸潤面の低下も多少期待できる。通常の擁壁工と同様に、堤脚水路等を設置する必要性はない。

## 5.5 対策工法選定における留意点

### (1) リリーフウェル工法

- ①本工法は、井戸からの排水により浸透圧を低減するため、パイピングよりも表層部が粘土で覆われる盤ぶくれへの適用が有効である。
- ②ウェルからの排水を伴うため、用地も含め排水設備（堤脚水路とその流末施設）を検討する必要がある。
- ③ウェルは目詰まりが生じないような構造となっているが、定期的に井戸内洗浄を行い、目詰まりを防止する必要がある。
- ④ウェルの設置には、通常のボーリングマシンで施工が可能であるが、ウェルの効果を向上させるために、ウェルの径を大きくする場合には大型のボーリングマシンを必要とし、その場合には、用地を確保する必要がある。
- ⑥設計手法として、便宜的に等価透水係数をリリーフウェル部分に与えて二次元の浸透流解析を行うため、堤体や基礎地盤の地盤状況が複雑な場合には、三次元の浸透流解析を実施し、その効果を確認することが望ましい。

### (2) 堤脚水路減圧工法（ポーラスタイプ、スリットタイプ）

- ①本工法は、堤体内部の浸透圧を低減するため、パイピングへの適用が有効である。
- ②ポーラスタイプを盤ぶくれにて適用する場合には、表層の粘土層が薄い場合に限られる。
- ③堤脚水路を設置するため、用地を必要とする。
- ④底版やスリットの見詰まりを確認する必要がある。特に、スリットタイプは土砂が入りやすいため、定期的に排土を必要とする。

### (3) のり尻補強工法

- ①本工法は、小～中規模の堤防において、すべり安全率が基準値をわずかに下回るような場合の比較的簡易な強化対策として有効と考えられる。
- ②擁壁の排水性を確保するために、水抜きパイプを適切に設置する必要がある。
- ③砕石上面の処理方法については、維持管理や利用の面からの検討が必要である。

## 参考文献

- 1)時代に即した水防工法 工法選定と作製の手引き：平成 18 年度，国土交通省中国地方整備局
- 2)実務者のための水防ハンドブック：平成 20 年 10 月，国土交通省国土技術政策総合研究所
- 3)河川堤防の構造検の手引き：H14.7，財団法人国土技術研究センター
- 4)河川堤防の地盤漏水とその対策について：昭和 41 年，土と基礎 14-7、北野・杉本・池上ら