

越水に対して「粘り強い河川堤防」の  
検討について

# 令和元年台風第19号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会 とりまとめ

令和2年8月  
報告書概要

## (1)背景・経緯

- ✓ 令和元年台風第19号による洪水では、全国で142箇所の堤防決壊が発生。今後も、気候変動により洪水による被害がさらに頻発化・激甚化することが考えられ、それに対し被害を防止・軽減することが求められている。
- ✓ 洪水時の河川水位を少しでも下げることが、今後とも治水の大原則である中、浸水被害を減らすために越水に対して河川堤防を強化する方策の検討が必要との国土交通省の方針を受け、越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」に必要となる性能について技術検討を実施。

## (2)河川堤防の現状とこれまでに実施されてきた堤防強化

- ✓ 河川堤防は多くが土で造られ、大洪水を経験すると嵩上げ・拡幅等の強化を図ってきた長大構造物であるが、基礎地盤等が複雑で強度に不確実性を有していることから、被災経験と実績をもとに断面形状の基準を設定することで、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造としてきた。
- ✓ 一方、堤防の耐浸透性能、耐侵食性能及び耐震性能に関しては、断面形状の基準を踏襲しつつ、水理学的あるいは土質力学的な知見に基づく安全性能の照査法を導入。
- ✓ 越水に対しては、過去に堤防強化対策を試験的に施工したが、維持管理上の課題・コスト等から、全国的には展開されなかった。
- ✓ 平成27年9月の鬼怒川堤防決壊を契機に、決壊を少しでも遅らせることによる被害軽減を目的に危機管理型ハード対策を実施しているが、今次出水において、同対策では効果に限界があり、より高い効果を追求する際には、さらに「粘り強い河川堤防」を目指す必要があることを改めて認識。

## (3)令和元年東日本台風による河川堤防の被災

- ✓ 堤防決壊の主要因は、国管理河川の決壊14箇所すべてが「越水」と推定され、県管理河川も含めると142箇所のうち122箇所が「越水」と推定された。一方、国管理河川で越水した72箇所のうち58箇所、県管理河川で越水した236箇所のうち128箇所は決壊しなかった。
- ✓ 越水した箇所の分析から、堤防法尻付近の越流水の流速、越流時間、堤防天端幅、堤防の裏法勾配、堤防裏法面の透水係数等が、決壊、非決壊に影響している可能性があるが、これ以外にも様々な要因が相互に関連していることが考えられ、総合的な分析が必要。
- ✓ 決壊箇所の多くは、合流点上流部、橋梁上流部、狭窄部上流部、湾曲部外岸側など局所的に水位上昇が起こる可能性が高い箇所。

## (4)越水に対する河川堤防の強化工法の現状

- ✓ 越水に対する河川堤防の強化対策の既往研究は、主に堤防被覆型を対象に行われており、ある条件下では一定の効果が確認されているが、効果の発揮に幅や不確実性がある。
- ✓ 過去の実験結果からは、粘り強い構造とするための留意点は整理されるが、越水した場合に「粘り強い河川堤防」を設計できる段階ではない。また、堤防強化に用いる資材・工法の長期的な機能の継続性や維持管理の容易性についての知見は十分に蓄積されていない。
- ✓ 関係業界団体への意見聴取で提案された資材・工法には、ある条件下では効果を有するものもあるが、既存堤防が有する機能を毀損しないという点や越水時の効果に幅や不確実性を有しているなど、現段階で設計できる段階には至っていない。また、堤防強化に用いる資材・工法の長期的な機能の継続性や維持管理の容易性についての知見は十分とはいえない。

## (5)緊急的・短期的な取組

- ✓ 洪水時の河川水位を下げる対策を今後とも治水対策の大原則としつつ、氾濫リスクが高いにも関わらず、その事象が当面解消困難な区間であって、河川堤防が決壊した場合に甚大な被害が発生するおそれがある区間において、計画的な治水対策に加え、被害をできるだけ軽減することを目的に、越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」の整備を、危機管理対応として実施すべき。
- ✓ 整備に当たっては、「越水した場合であっても堤防が決壊するまでの時間を少しでも引き延ばす」とした危機管理型ハード対策の概念を発展的に踏襲し、越水に対し危機管理型ハード対策を上回る効果を有する「粘り強い河川堤防」を目指すべき。
- ✓ 「粘り強い河川堤防」の整備は、越水しても決壊しない堤防ではないこと、また、越水した場合の効果や幅に不確実性があることを十分理解した上で実施するとともに、対岸や下流側に負荷をかけることとなることを考慮する必要がある。
- ✓ 現場での適用に際しては、現場条件等も考慮しつつ、「堤防に求められる基本的な性能」、「越水した場合であっても「粘り強い河川堤防」に必要となる性能」等や過去の研究成果から得られる留意点等について、資材・工法の比較検討を行い、総合的に優位なものを選択すべき。

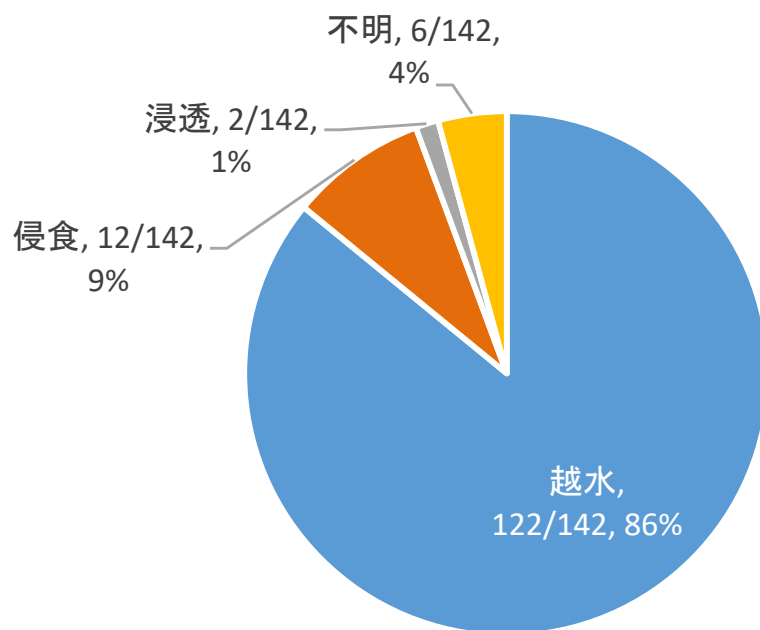
## (6)今後の取組

- ✓ 将来的には一定の設計が可能な工法となるよう越水に対する堤防強化技術の開発が必要。このためには、「粘り強い河川堤防」に必要となる性能の具体化や、構造物の安定性を長期的に維持するための維持管理の検討が重要。
- ✓ 堤防決壊メカニズムの一層の解明や、越流した際に決壊・非決壊を分ける要因の分析などを行うため、必要な調査・分析やデータの蓄積等が必要。
- ✓ 課題の解決に向け本技術検討会での議論の継続、関係業界団体等との意見交換の継続、対策実施箇所のフォローアップの実施など技術的検討の継続が必要。
- ✓ 関係業界団体、大学の研究者や学会等との連携を図るとともに、共同で研究・開発を行う体制の構築等が必要。

## 越水に対して「粘り強い河川堤防」の検討の必要性

### 【河川堤防の強化の必要性】

- 洪水の被害の防止・軽減には、洪水時の河川水位を少しでも下げる対策が基本。
- 気候変動により洪水による被害の激甚化・頻発化が想定され、今後治水施設の能力を超える洪水の発生が懸念されている。令和元年東日本台風では142箇所が堤防決壊が発生し、このうち122箇所は「越水」が決壊の主要な要因と推定された。
- このため、治水施設の能力を超える洪水に対しても、避難のための時間を確保する、浸水面積を減少させるなどにより、被害をできるだけ軽減することを目的に、決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果を発揮する粘り強い構造の河川堤防（「粘り強い河川堤防」）の整備を進める必要がある。

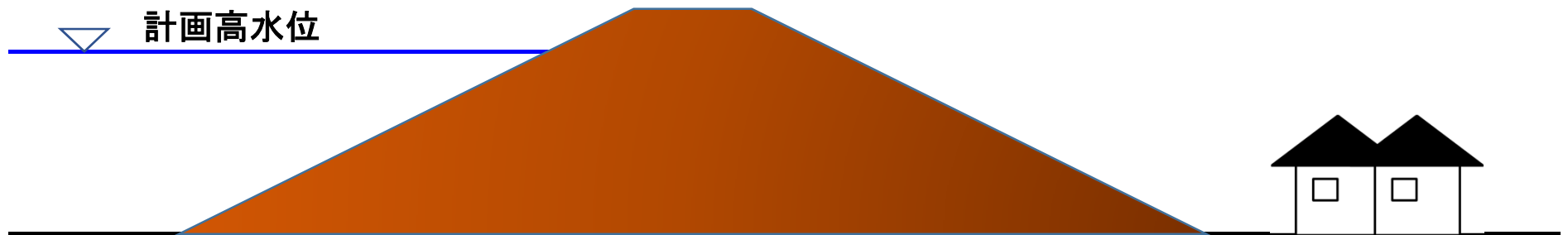


- 「粘り強い河川堤防」の検討にあたっては、越水・浸透・侵食に対する検討が必要。
- 近年の決壊事例は、越水が原因による決壊がほとんどであることから、まずは越水に対して脆弱な堤防の被災特性の改善を目指す。

## 河川堤防に求められる機能

- 河川管理施設等構造令に基づけば、堤防とは、流水が河川外に流出することを防止するために設ける施設であり、護岸、水制その他これらに類する施設と一体として、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して安全な構造とする必要がある。

(河川管理施設等構造令第17条、18条を基に記載)



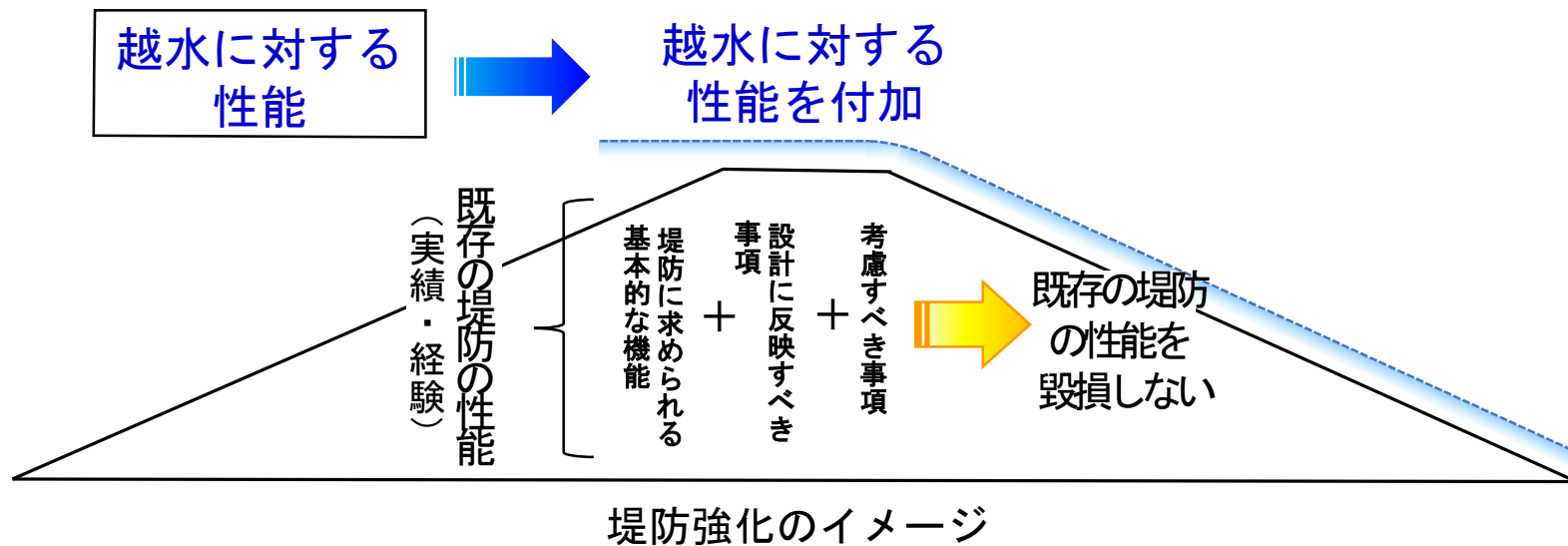
※安全性能については以下の性能を照査することを基本としている。

- ①常時の健全性 ②耐侵食性能 ③耐浸透性能
- ④耐震性能 ⑤波浪等に対する安全性



## 越水に対して「粘り強い性能」の付加の基本的考え方

- 越水に対して「粘り強い河川堤防」は、越水が生じた場合でも、避難のための時間を確保する、浸水面積を減少させるなどにより、被害をできるだけ軽減することが目的である。
- 越水に対して「粘り強い河川堤防」の実現にあたっては、
  - ①既存の堤防の性能を毀損しないこと
  - ②越水した場合でも決壊までの時間を少しでも長くする粘り強い性能（以下「越水に対する性能」）を付加すること
- この双方の性能を実現するため、対策工法の構造検討・施工及び維持管理等の観点から技術開発を進める。

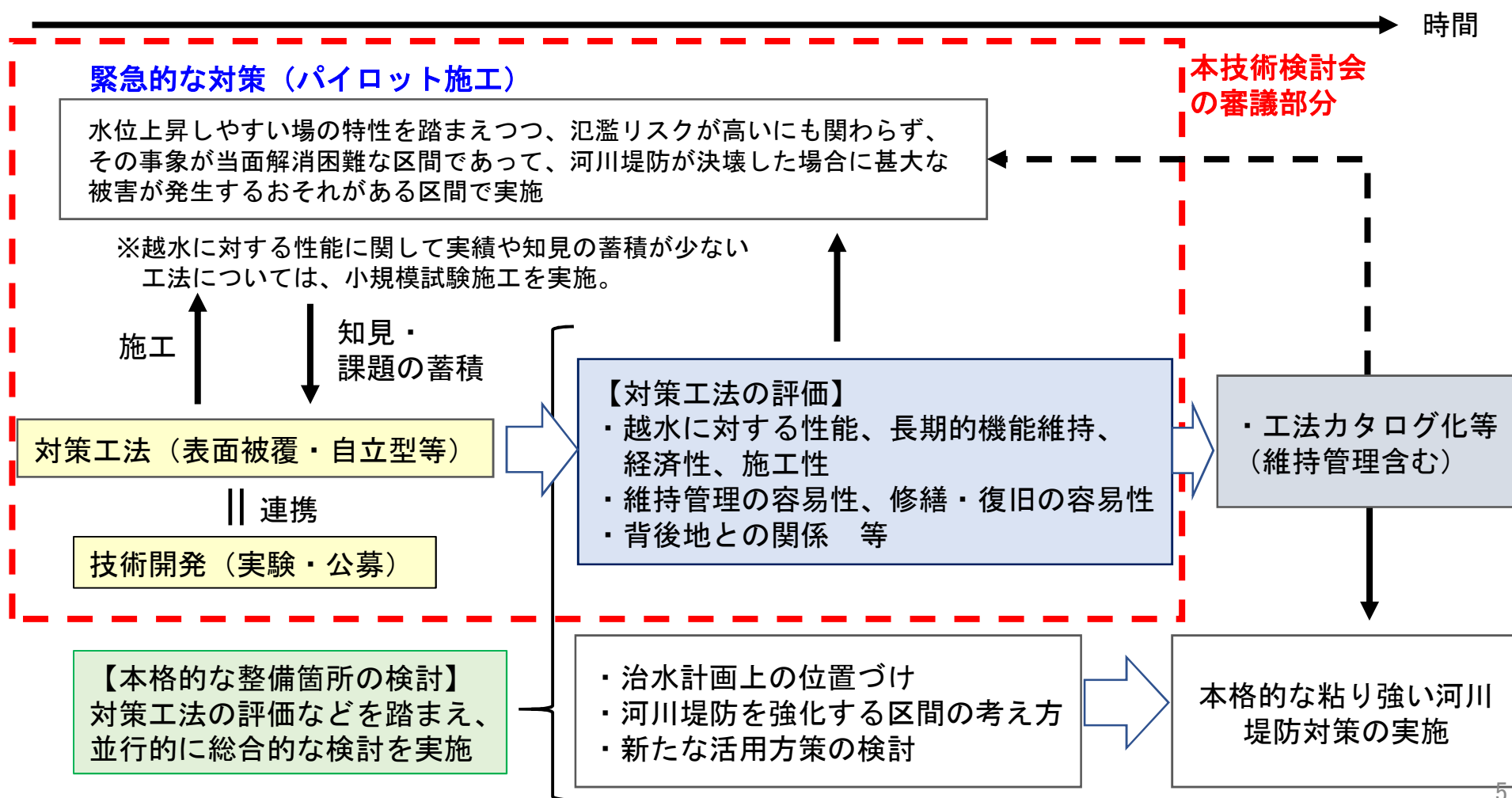


(実線：既存の堤防の性能、破線：越水に対する粘り強さを付加した場合の性能)

※維持管理における人的・技術的な状況等を踏まえた検討を実施

# 越水に対して「粘り強い河川堤防」の検討の全体像

- 現時点では越水に対する「粘り強い河川堤防」の技術は、強化対策の効果に幅や不確実性があることから、現段階で必要となる性能を評価し、設計できる段階には至っていない。
- このため、「粘り強い河川堤防」工法の公募、パイロット施工や大型の水理模型実験等による確認も行いながら、対策工法の検証を行い、技術開発を進める。
- また、対策工法の評価を踏まえ、本格的な河川堤防の強化対策の実施に向けた検討につなげる。



越水に対して「粘り強い河川堤防」の  
技術開発の進め方

# 越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発を行う上での論点

## 今回ご意見をいただきたい事項

### [技術開発する構造]

- 1) 粘り強い河川堤防として技術開発の対象とする構造

### [技術提案関係]

- 2) 技術開発目標（評価の目安）
- 3) 越水に対する性能を維持している状態
- 4) 粘り強い河川堤防の技術開発で、技術提案で求める性能
  - ①既存の堤防の性能を毀損しないこと
  - ②越水に対する性能の確認に関する事項

### [モニタリング]

- 5) 構造物の安定性を長期的に維持するためのモニタリング

## 論点1：粘り強い河川堤防として技術開発の対象とする構造

### ◎河川管理施設等構造令第19条

堤防は盛土により築造するものとする。(＝いわゆる「土堤原則」)

ただし、高規格堤防以外の堤防にあつては、土地利用の状況その他の特別の事情によりやむを得ないと認められる場合においては、その全部又は主要な部分がコンクリート、鋼矢板若しくはこれに準ずるものによる構造のものとし、又はコンクリート構造若しくはこれに準ずる構造の胸壁を有するものとするができる。

○河川管理施設等構造令及び同令施行規則の運用について（昭和52年2月1日 治水課長通達）

「その全部又は主要な部分がコンクリート、鋼矢板若しくはこれに準ずるものによる構造のもの」とは、盛土の部分がなくとも自立する構造（押さえ盛土によって自立するものを含む。以下「自立式構造」という。）のものをいうものとする。

### ◎河川管理施設等構造令第73条

この政令の規定は、次に掲げる河川管理施設又は許可工作物（以下「河川管理施設等」という。）については、適用しない。

四 特殊な構造の河川管理施設等で、建設大臣がその構造が第2章から第9章までの規定によるものと同等以上の効力があると認めるもの（＝いわゆる「大臣特認」）

## 論点1：対応の方向性（案）

### 【堤防に求められる基本的な機能の確認の考え方】

#### 【表面被覆型（断面拡幅型を含む）】

- 既存の堤防の性能を毀損しないことに対しては、土堤を被覆する構造のため、河川砂防技術基準の土堤の照査基準に基づき照査を行うことが可能。

#### 【自立型（自立式特殊堤を含む）】

- 既存の堤防の性能を毀損しないことに対しては、道路土工一擁壁工指針や、道路橋示方書Ⅳ下部構造編等を参考とすることで、洪水時の水位を対象に水圧や土圧に対する壁体の安定性や浸透（パイピング）に対する安全性等について、土堤と同等以上の効力の確認が可能。

#### 【その他構造】

- その他構造は、表面被覆型、自立型以外の構造で、基本的には、個々の構造の知見が存在しないことから、既存の堤防の性能を毀損しないことなどの照査方法が確立しておらず、各構造毎に照査方法を検討する必要があり、より慎重な評価が必要である。

### 【対応の方向性（案）】

- 現行の構造令は土堤原則・形状規定が規定されているが、これに該当しない構造を全く排除しているものではない。
- このため、越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発に向けた技術提案は、表面被覆型（断面拡幅型を含む）、自立型（自立式特殊堤を含む）のみに構造を絞り込むのではなく、その他構造を含め、「粘り強い河川堤防」の様々な工法の技術提案を求める。
- なお、技術提案の公募時期も同時を想定しているが、その他構造の技術提案の評価は、照査方法が確立していない等の理由から、照査方法から検討する必要があり、評価の進捗に差が出る可能性がある。



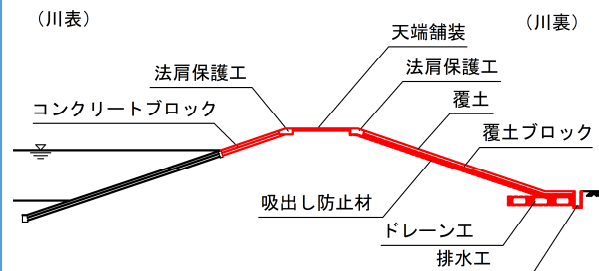
# 論点1：粘り強い河川堤防の技術開発の対象とする構造

越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発の対象とする構造は以下を想定している

## ○表面被覆型

(断面拡幅型も含む)

- 計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対する堤防機能は、土堤により確保する。
- 土堤表面にシートやコンクリートブロックを設置することにより越水に対する性能を発揮するもの。

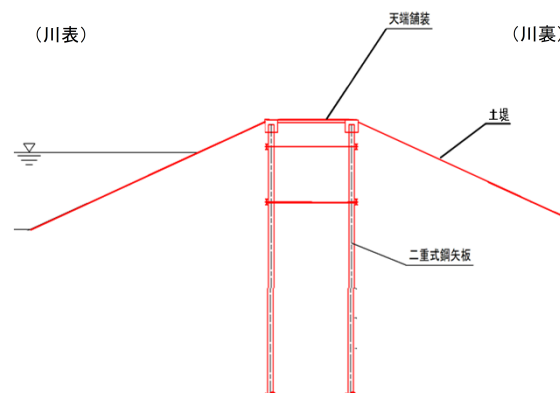


【表面被覆型の例】

## ○自立型

(自立式特殊堤を含む)

- 盛土の部分なくとも自立部が自立する構造で、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対する堤防機能及び越水に対する性能を発揮するもの。
- 堤防に求められる基本的な機能や設計に反映すべき事項、考慮すべき事項への対応は自立式特殊堤の確認方法と同じと考えられるもの。



【自立型の例】

## ○その他構造

- コア部分のみで自立はしないが、周辺の盛土（堤防）との複合体として計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対する堤防機能及び越水に対する性能を発揮するものなどが想定される。
- 現状では基本的な機能や設計に反映すべき事項、考慮すべき事項への照査方法の規定がない。

# 河川堤防の各種外力に対する設計の考え方（参考）

- 河川堤防の各種外力に対する安全性や機能を保持をするための設計上の考え方は以下の通り。
- 洪水については、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して、安全であるよう技術基準が整備されているが、計画高水位を超える洪水に対する規定はない。
- 地震については、将来にわたって考えられる最大規模の地震動に対して、耐震設計上の堤防としての機能（越水を防止する機能）が保持されることを照査するものとされており、土堤はこの照査にレベル1地震動も含まれる。
- 津波については、施設設計上の津波に対して堤体の侵食等への措置を講じることとされている。

	常時	洪水時※1	地震時※2		津波時※1※3		
		計画高水位以下の洪水	計画高水位以上の洪水	レベル1地震動 (供用期間中に発生する確率が高い地震動)	レベル2地震動 (将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ地震動)	施設計画上の津波	最大クラスの津波
土堤	健全性 (すべり破壊に対する安定、沈下)	計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対して、耐侵食性能、耐浸透性能(すべり、パイピング)を有すること	規定なし	レベル2に含まれる(レベル1地震動とレベル2地震動を受けた場合の堤防の変形、沈下等の損傷状態は異なるものの、修復性には顕著な差異が認められないため)	耐震性能の照査において考慮する外水位に対して耐震性能照査上の堤防としての機能を保持できる範囲内に、変形、沈下等を抑えること	津波による堤体の侵食及び越波に対して必要とされる措置を講じること。	規定なし
自立型	健全性 (土圧、水圧に対する安定、沈下)	土堤と同様に流水の通常的作用に対する、耐侵食性能、耐浸透性能、水圧作用時の安定性。	規定なし	健全性 (自立式構造の特殊堤としての健全性を損なわない)	同上	同上	規定なし

地震と洪水、津波と洪水の同時生起は考えない

河川堤防が有すべき安全性能の統一された照査手法の規定がない

越水に対して粘り強い性能の付加

※1 河川砂防技術基準 設計編 (技術資料)

※2 河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II 堤防編 平成28年3月

※3 河川津波対策について (治水課長通知) 平成23年9月

# 越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発を行う上での論点

## 今回ご意見をいただきたい事項

### [技術開発する構造]

- 1) 粘り強い河川堤防として技術開発の対象とする構造

### [技術提案関係]

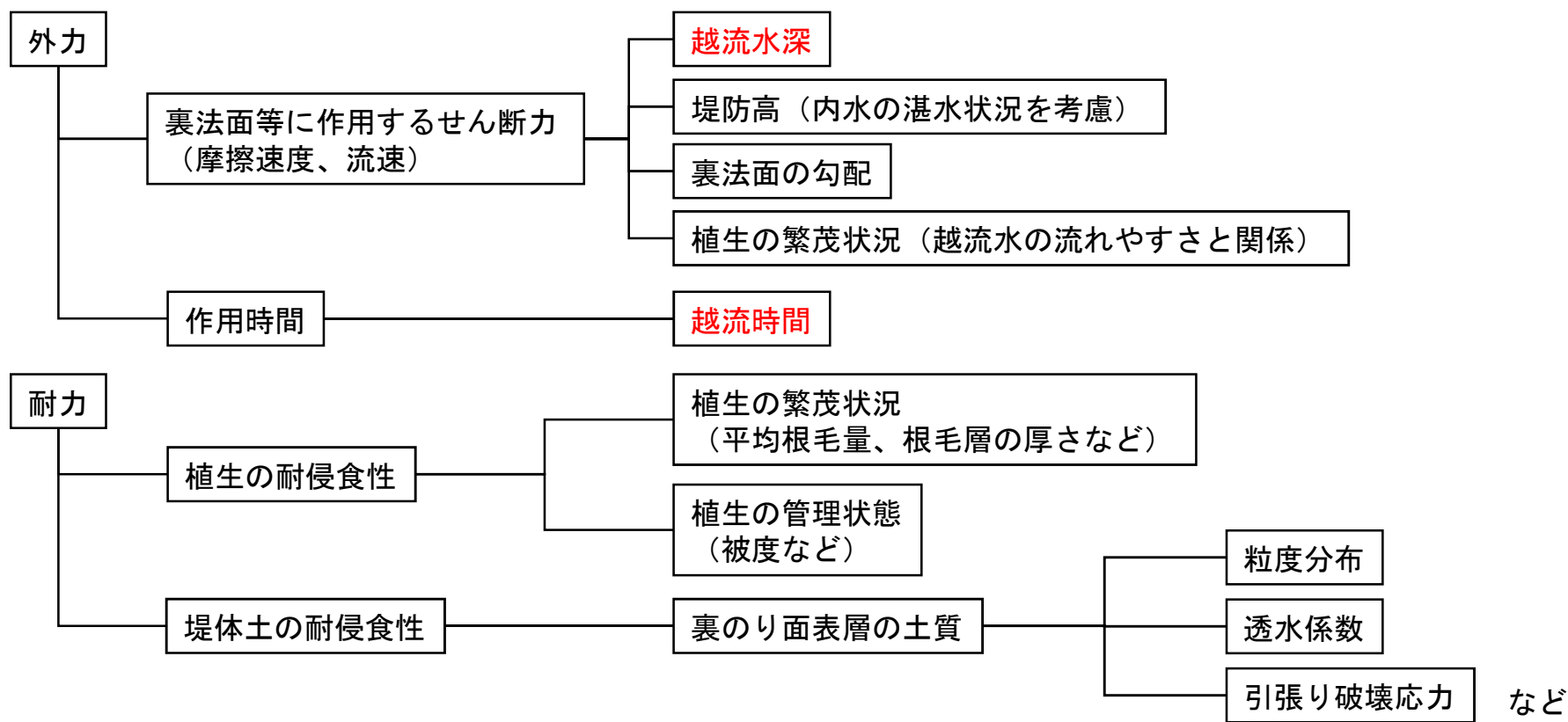
- 2) 技術開発目標（評価の目安）
- 3) 越水に対する性能を維持している状態
- 4) 粘り強い河川堤防の技術開発で、技術提案で求める性能
  - ①既存の堤防の性能を毀損しないこと
  - ②越水に対する性能の確認に関する事項

### [モニタリング]

- 5) 構造物の安定性を長期的に維持するためのモニタリング

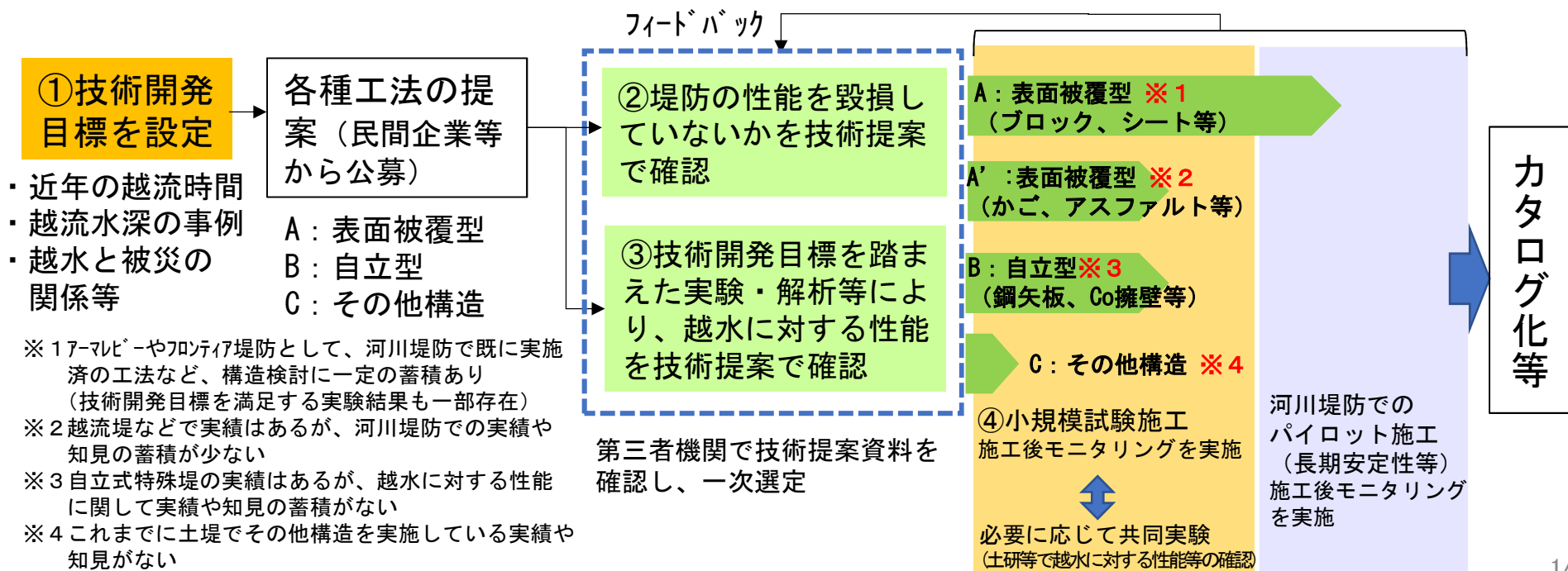
# 技術開発目標の基本的考え方

- 越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発を行うため、技術開発目標が必要。
- 技術開発目標は、全国各地の堤防に生じやすい越水の状態を想定するとともに、過去の越水による被災状況や、その外力による堤防裏法面等へのせん断力等の力学的特性などを元に設定を検討する。
- 技術開発目標として設定する外力の種類は、越水に対する性能を評価する上で“越水時に堤体に働く外力”という観点から特に重要な「越流水深」と「越流時間」とする。
- 令和元年東日本台風でも越流水深や越流時間が増えると決壊に至る可能性が高まるという傾向が確認されている。



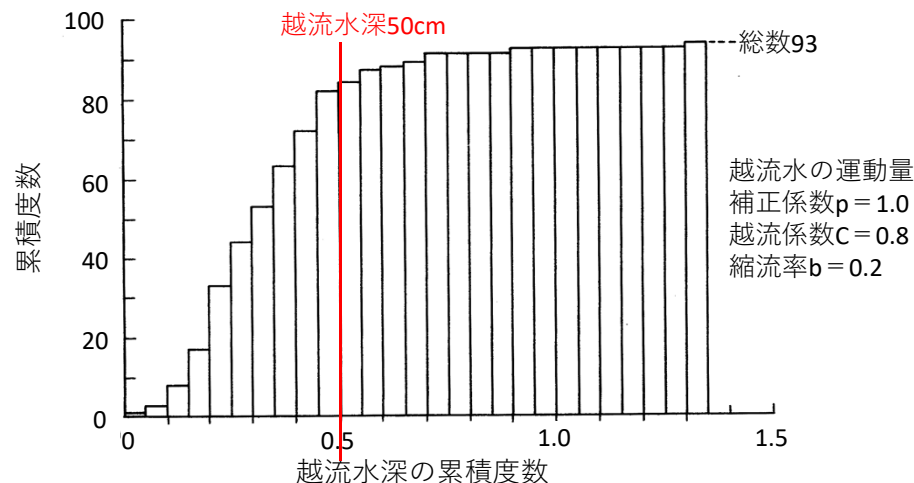
# 技術開発目標の基本的考え方

- 治水施設の能力を超える洪水に対しても、避難のための時間を確保する、浸水面積を減少させるなどにより、被害をできるだけ軽減することを目的に、決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなど、減災効果を発揮する「粘り強い河川堤防」の技術開発である。
- 越水に対する性能等の技術開発の流れは以下の通り
  - ①各工法の越水に対する性能の評価を行うため、「評価の目安」として技術開発目標を設定
  - ②既存の堤防の性能を毀損していないことの確認
  - ③技術開発目標を踏まえた、水理模型実験や解析等による越水に対する性能の確認
  - ④越水に対する性能等が一定程度確認された工法について、小規模試験施工・パイロット施工等を実施し、堤防の基本的な機能や施工性、維持管理などを確認
- なお、現時点では越水に対する性能等を試験等で確認した工法を現地で施工した場合でも、現地の様々な不確実性(沈下、不陸、土質、施工、維持管理、越水や降雨の状況等)によって、評価の目安とした越流時間・越流水深よりも小さい外力で決壊する可能性があることに留意が必要である。

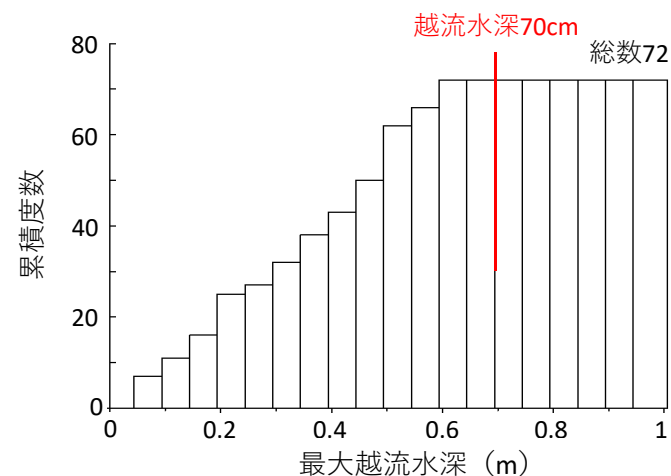


# 超過洪水流下時に生じる越流水深について

- 越水区間を予測することの難しさがある中で、越流水深を推算した事例として、石川、北田らの検討がある。
- 石川は、パターンⅠ、Ⅱ※のどちらにも当てはまらない状況下においては局所的な区間での越水が生じないことから、流量の増加に伴って越水区間が長くなり、超過流量生起時でも越流水深はせいぜい50cmと試算している。
- 北田らは、狭窄部を対象として、水理模型実験結果を再現可能な平面二次元洪水流計算モデルを用いて、川幅100~200m、河床勾配1/1000~1/5000程度の河川では、川幅が半減するような狭窄部でも、越流水深はせいぜい70cmであることを示している。
- 一方で、これらの越流水深は、ある状態での試算結果であり、整備段階や維持管理状況（土砂堆積や樹木繁茂状況等）によって変わり得る。



出典) 石川忠晴: 堤防越水をとまなう直線矩形断面河道の水面形, 第26回水理講演会論文集, 1982



出典) 北田悟, 一木慎太郎, 呉修一, 山田正: 河川狭窄部における越流の水理学的特性に関する研究, 第35回土木学会関東支部技術研究発表会, 2008

※超過洪水流下時に越水が生じやすい区間

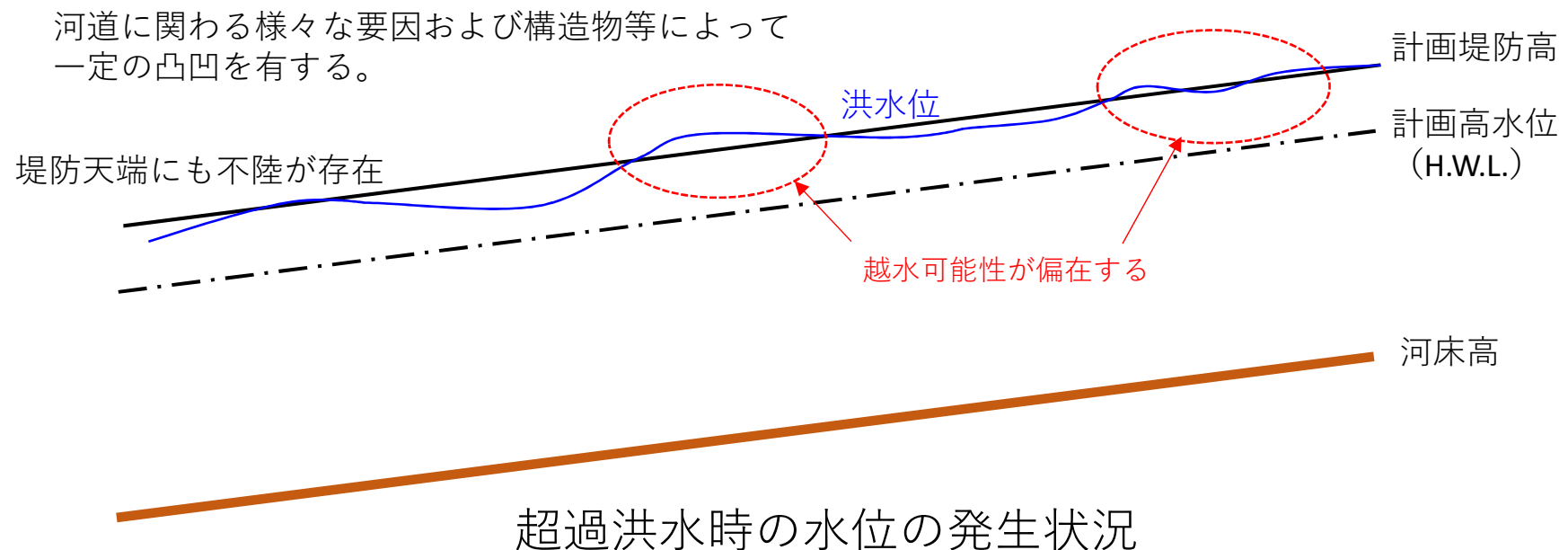
パターンⅠ: 洪水位が全体として堤防満杯にシフトする中で、元々有していた縦断水面形の凸凹の特徴が維持されて、凸の区間で越水が起こる。

パターンⅡ: 河川の地形的特徴などから、流量が超過することに伴う洪水位の上昇が、他の区間に比べて明らかに大きくなりやすい。



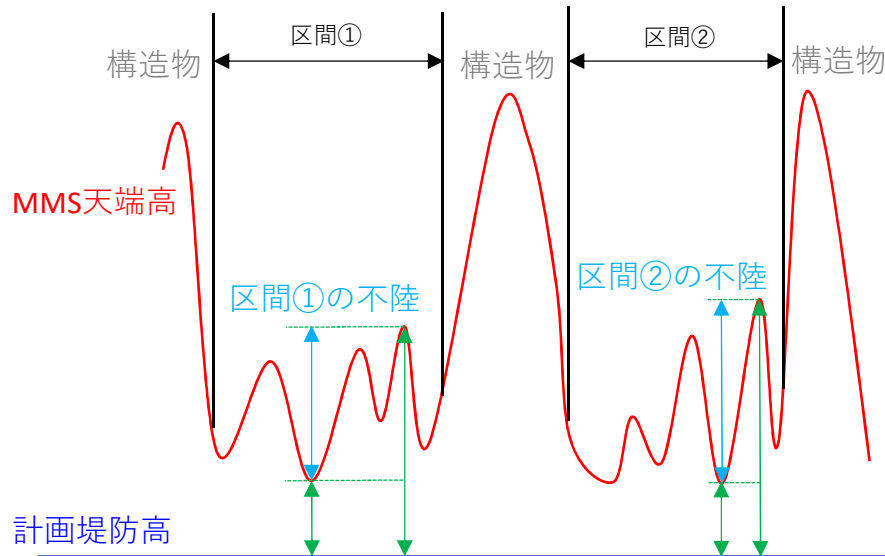
## 越水可能性の偏在

- 洪水時の水面形(縦断方向)は河道に関わる様々な要因及び構造物等によって、一定の凸凹を有しており、越水可能性が偏在する。
- また、堤防天端の不陸により、堤防自体も縦断方向に凸凹を有している。
- このため、堤防からの越水可能性は偏在しており、これを避けることは実際には困難であり、越水の設計条件として、箇所ごとに越流水深などの諸量を一つの値に定めることは現状では難しい。
- そこで、過去の越水実績等から技術開発目標(評価の目安)を検討する。



# アーマレビ-とフロンティア堤防の天端の不陸状況（参考）

- 土堤の余盛は、堤防高と基礎地盤及び堤体土質により通常10cm～50cmを標準としている。
- アーマレビ-やフロンティア堤防整備区間の、LP・MMSを用いた天端高測量結果によると、概ね30cm程度の不陸が存在している。



不陸の最大値：対象河川の全細分区間の中で最大の不陸（上図の場合、区間②の不陸 > 区間①の不陸より、区間②の不陸の値となる。）

○アーマレビ-

河川名		所在市町村	施工時期	施工延長	不陸の最大値
水系名	河川名				
石狩川	美瑛川	北海道上川郡美瑛町	平成元年度～平成11年度	4.6km	31cm
留萌川	留萌川	北海道留萌市	平成2年度～平成3年度	2.9km	28cm
加古川	加古川	兵庫県加古川市	昭和63年度～平成7年度	3.4km	33cm

○フロンティア堤防

河川名		所在市町村	施工時期	施工延長	不陸の最大値
水系名	河川名				
那珂川	那珂川	茨城県水戸市、ひたちなか市、那珂市	平成10年度～平成15年度	9.0km	30cm
信濃川	信濃川	新潟県長岡市	平成2年度～平成11年度	1.5km	26cm
雲出川	雲出川	三重県津市	平成8年度～平成11年度	1.1km	15cm
筑後川	筑後川	福岡県久留米市	平成8年度～平成13年度	1.1km	23cm

### ※不陸の最大値について

アーマレビ-・フロンティア堤防整備区間のLP・MMSを用いた天端高測量結果を参考に、越水時に連続して水位が堤防を越えそうな区間を1区間として細分化。細分区間毎に「現況堤防高－計画堤防高」の最大値と最小値を求め、それぞれの差分を不陸とした。表中の不陸の最大値は対象河川の全細分区間で最大の値を示す。また、現況堤防高が計画堤防高より50cm以上、あるいは計画堤防高を下回る箇所がある細分区間は除外している。

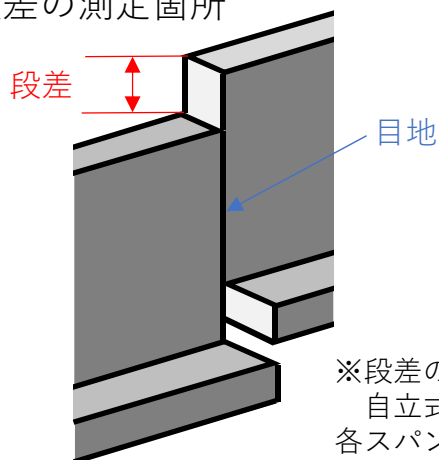
### (単位 cm) 余盛高さについて

堤体の土質	普通土				
	普通土	砂・砂利	普通土	砂・砂利	
地盤の地質	普通土	砂・砂利	普通土	砂・砂利	
堤高	3m以下	20	15	15	10
	3m～5mまで	30	25	25	20
	5m～7mまで	40	35	35	30
	7m以上	50	45	45	40

# 自立式特殊堤の天端の不陸状況（参考）

- 自立式特殊堤は一連区間内は一つの構造体として整備されており、不陸は目地の段差として現れる。
- 直轄河川の自立式特殊堤として把握している箇所のうち、目地部分に比較的大きな段差の生じている箇所は4箇所、最大10cm程度。
- 土堤と比較して、自立式特殊堤の不陸は小さいと考えられる。

※段差の測定箇所



※段差の考え方について  
自立式特殊堤の整備区間において、各スパン割の目地部分の高さ方向のずれを段差とし、その最大値について計測した結果をしめしている。

## ○自立式特殊堤

地整名	水系名	河川名	左右岸	延長	段差※
中部地整	木曽川水系	木曽川	左岸	1.9km	2.0cm
中部地整	木曽川水系	長良川	左岸	1.8km	6.5cm
四国地整	仁淀川水系	仁淀川	左岸	0.3km	6.5cm
四国地整	肱川水系	肱川	右岸	0.1km	11.3cm



木曽川



長良川



仁淀川

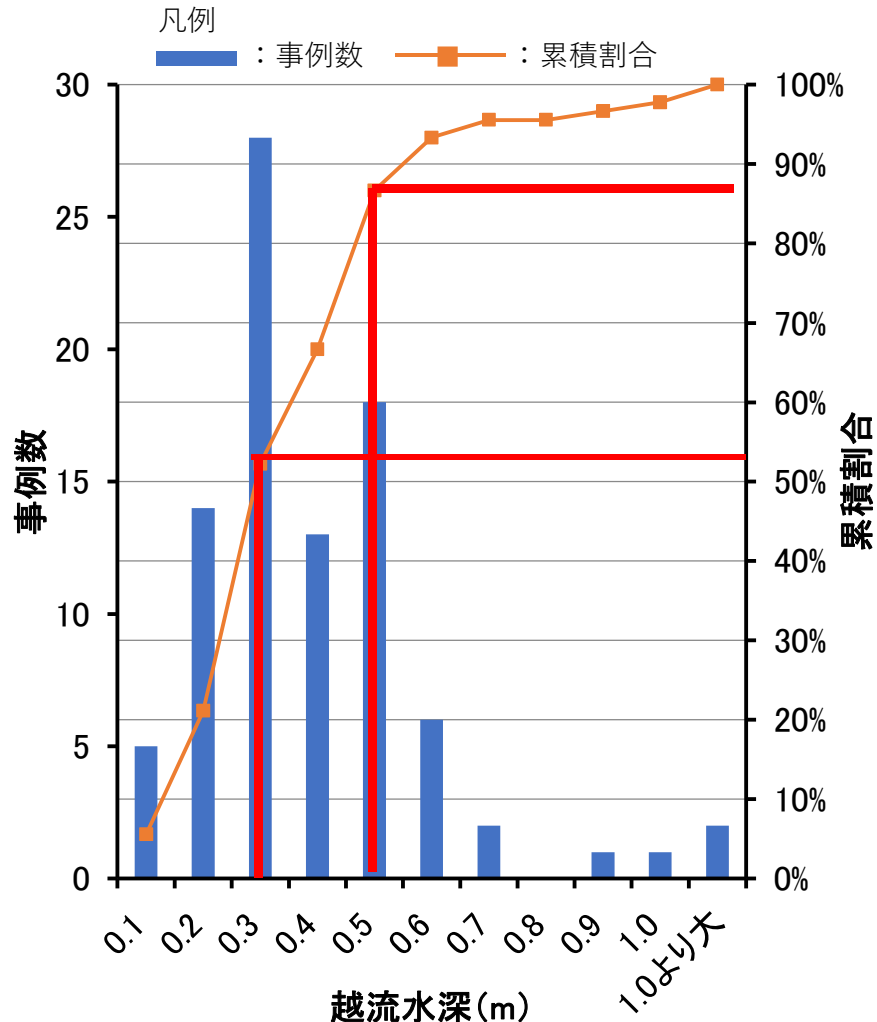


肱川

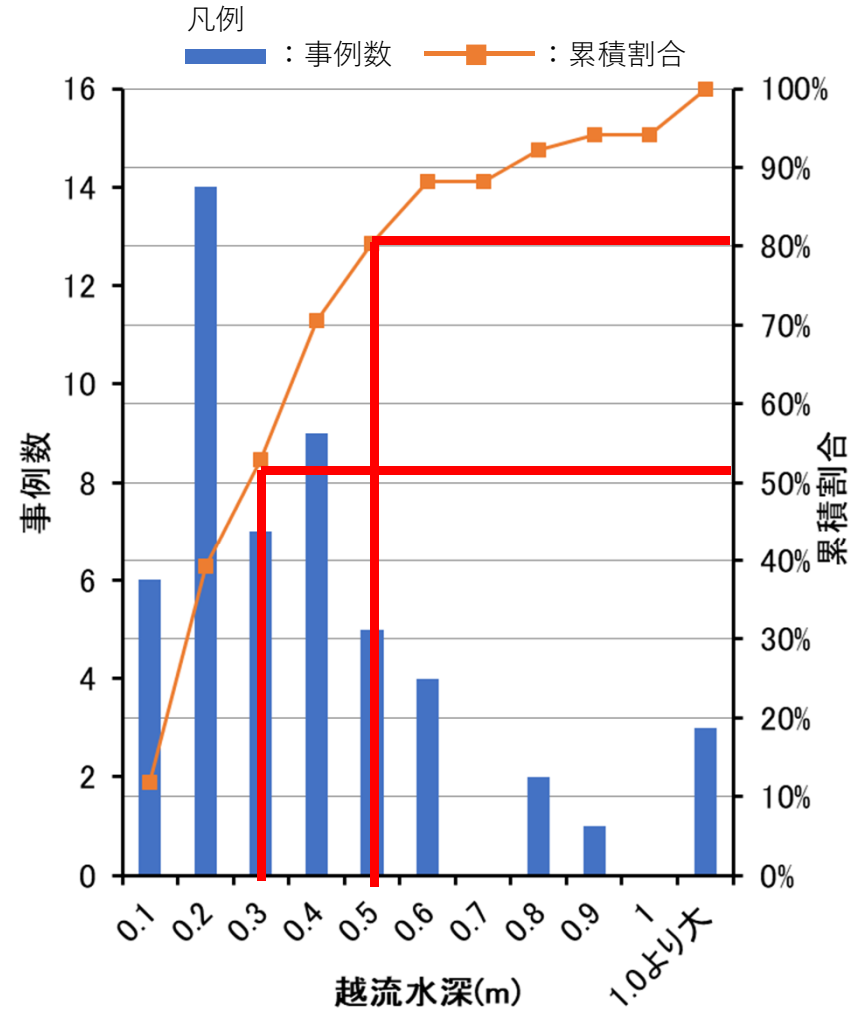
# 近年の主な越流水深の事例

## 【越流水深の事例】

- 近年の主な越水を生じた事例における越流水深の分布によれば、多くの事例は20～50cmの越流水深に集中しており、**30cm以下で50%以上、50cm以下で80%以上を占める。**



S42～S51の主な越水事例 (N=90)



H27以降の主な越水事例 (N=51)

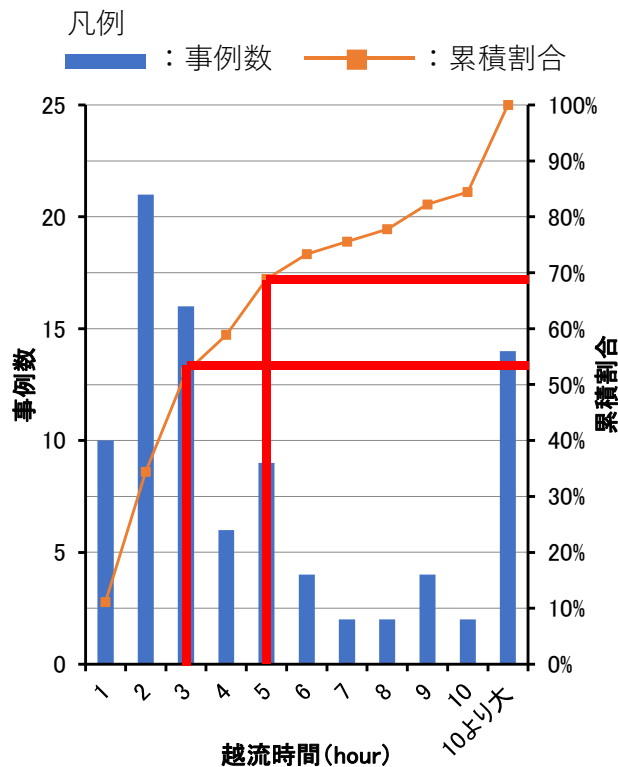
# 近年の主な越流時間の事例等

## 【越流時間の事例等】

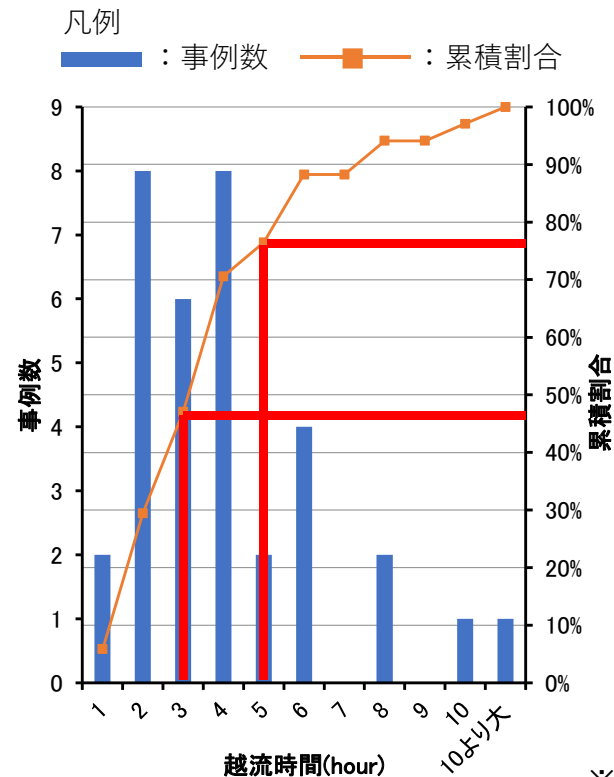
- 近年の主な越水を生じた事例における越流時間の分布をみると多くは2～5時間に範囲にあることが分かる。3時間以下で50%程度、5時間以下で70～80%を占める
- また、内閣府のガイドライン ※1によると「警戒レベル4※2相当情報の発表後2～3時間程度あるいはさらに短時間で災害が発生する又は暴風により避難が困難になる可能性があると考えられ、(中略)避難先に立退き避難する必要がある。」※1とされている。

※1 内閣府「避難情報に関するガイドライン(令和3年5月)」

※2 レベル4は氾濫危険水位到達相当であり、この水位は、天端越流までの間に避難するためのリードタイムを想定して設定されているものである。このリードタイムに加え、さらに越水後も決壊しにくくなるよう越水に対する性能を付加することで、決壊までの時間が伸び、より避難時間の確保に寄与する。



S42～S51の主な越水事例 (N=90)



H27以降の主な越水事例 (N=34※)

※51事例のうち、決壊に至った事例を除外した。

# 近年の主な堤防越水事例と被災の関係

- H27年以降、越水した51事例から7事例を除いた44事例のうち、堤防が決壊したのは18事例、損傷したのは13事例である。
- 越流時間3時間以内、越流水深30cm以下の13事例のうち、7事例(54%)が損傷または決壊している。
- 越流時間5時間以内、越流水深50cm以下の30事例のうち、19事例(63%)が損傷または決壊している。

越流時間5時間以内・越流水深50cm以下の事例のうち、損傷・決壊した事例 (19事例)

---

越流時間5時間以内・越流水深50cm以下の事例 (30事例)

⇒ 損傷・決壊率 63%

越流時間3時間以内・越流水深30cm以下の事例のうち、損傷・決壊した事例 (7事例)

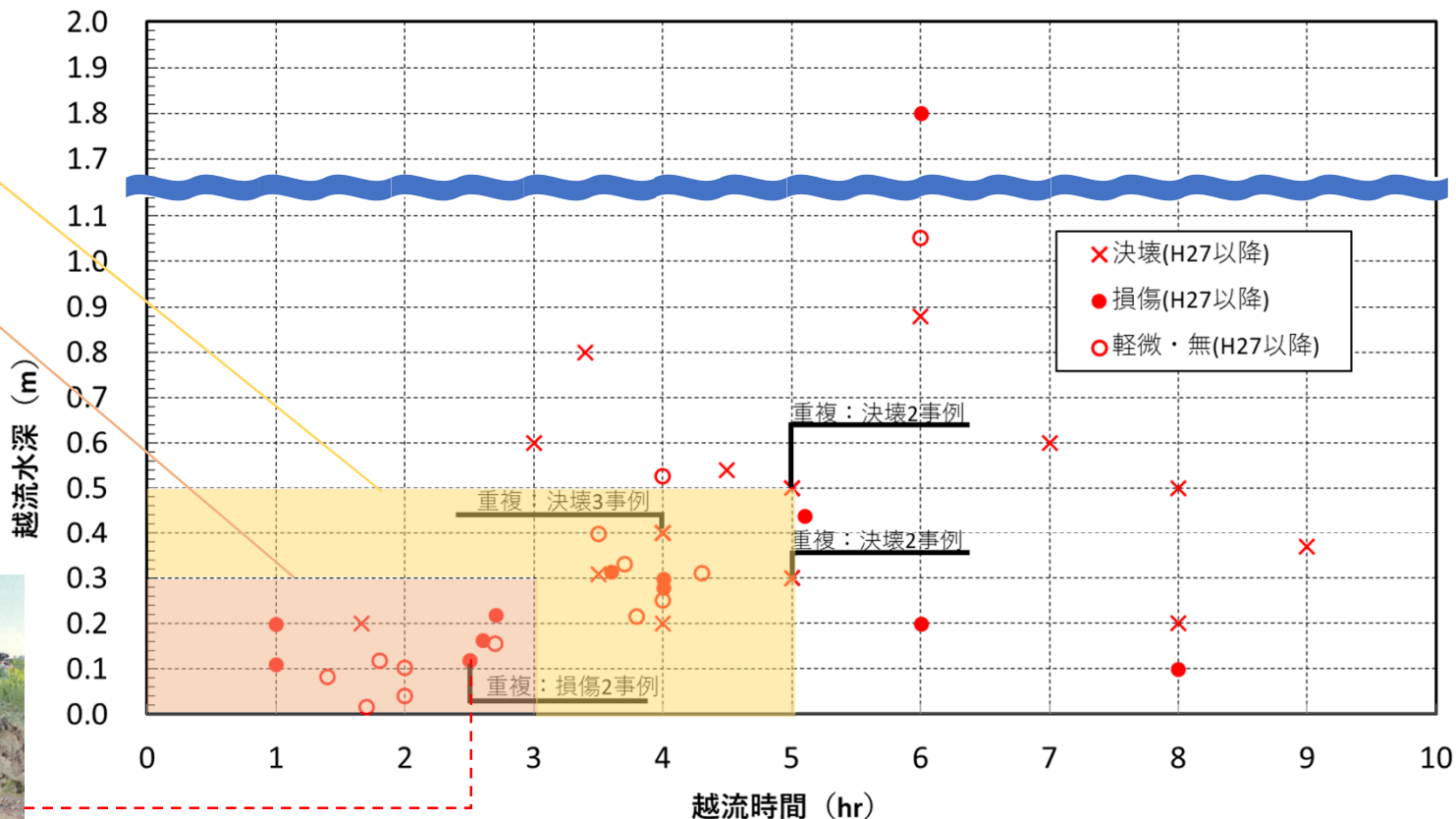
---

越流時間3時間以内・越流水深30cm以下の事例 (13事例)

⇒ 損傷・決壊率 54%



損傷事例 (吉田川L14.8k)



H27以降の主な越水事例(N=44, 損傷状況等が不明な7事例を除外)



## 過去の越水に対する技術検討状況

- 過去のフロンティア堤防やアーマーレビー等の技術検討において、想定する越流水深、越流時間が検討されており、その越流水深は15cm～60cm程度、越流時間は3時間程度である。

技術検討	年代	越流水深	越流時間 (hour)	根拠等	備考
超過外力による越水状態の検討	S56年	60cm	3	須賀らは、越水事例について収集し、「越水したが破堤しなかった事例」90事例について、その75%が当てはまる越流水深と越流時間の分析を行った。その結果、越流水深60cm、越流時間3時間を設計の目安とした。	過去に生じた越水事例の事後調査結果より越流時間と最大越流水深を整理して検討 <sup>1)</sup>
アーマー・レビーの検討	S61年	約15cm～60cm程度 越水流量 q より	—	福岡らは、越水に対して十分な強度をもつ裏法尻が必要であり、裏法面に影響を及ぼさないような裏法尻工の水理設計法の検討を行った。越水流量 q は実際に現地で生じうるような規模を想定し、 $0.1\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}\sim 0.8\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ の範囲で検討を行った。越流時間は3時間程度（総越流量 $6,000\text{m}^3/\text{m}$ ）で行い、3時間以上の越水を受けた後でも、また $q = 0.8\text{m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$ の越水を受けた場合にも堤体土が吸い出されるまでには至らない結果となった。	法尻工の水理設計法について大型堤体模型（堤高2m、幅2.3m裏法勾配2割）で洗掘状況を調べて検討 <sup>2)</sup>
フロンティア堤防の検討	H10年	—	2.33～3	栗城らは、1995年に発生した関川水害を対象に、避難者の時空間的行動を調査・分析し、避難所用時間を推計する手法を提案する。既存の避難アンケート調査及び氾濫解析結果などから推計し、越水が始まってから2時間20分あれば500m離れた避難先まで安全に避難できるとされた。避難の安全性から見たフロンティア堤防の越水に対する耐久時間は、余裕を見て3時間考えておけば十分とされた。 <sup>3)</sup>	土木研究所資料第3536号「関川水害時の避難行動分析」 <sup>3)</sup> による。

1) 須賀堯三・石川忠晴・葛西敏彦：大規模な越流破堤実験，土木技術資料，Vo.23，No.3，1981.

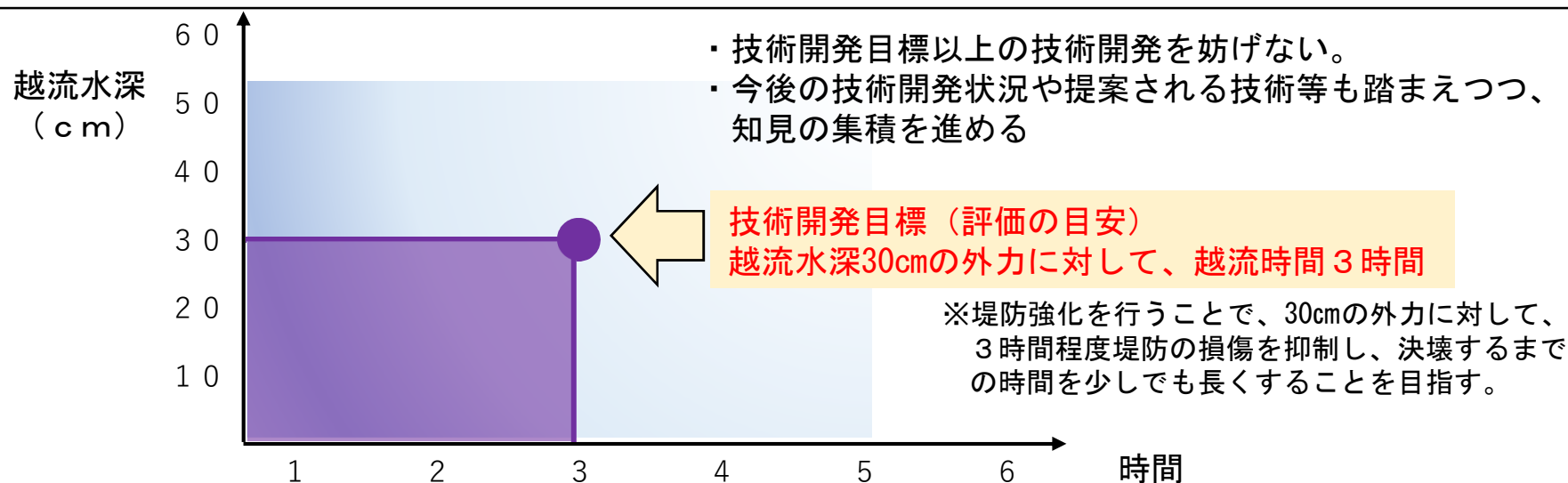
2) 福岡捷二・藤田光一・加賀谷均：アーマ・レビー法尻工の水理設計，水理講演会論文集，土木学会，第31回，1987.

3) 栗城稔・末次忠司・海野仁・小林裕明・田中義人：関川水害時の避難行動の分析，土木研究所資料，第3536号，1998.

## 論点2：技術開発目標（評価の目安）の設定（案）

- 洪水時の水面形は、河道に関わる様々な要因及び構造物等によって一定の凸凹を有し、越水の可能性が偏在する。
- また、アーマーレビーやフロンティア堤防整備区間のMMS等を用いた天端高測量結果によると、土堤の天端には概ね30cm程度の不陸が存在している。
- このようなことから、越水の設計条件として、箇所ごとに越流水深などの諸量を一つの値に定めることは現状では難しい。

- このため、近年の越水事例における越流水深や越流時間、近年の越水事例の堤防の被災状況、避難にかかる時間の研究、過去の越水に対する堤防強化の検討における越流水深・越流時間の研究などを踏まえ、技術開発目標（評価の目安）は、『越流水深30cmの外力に対して、越流時間3時間』とし、その間は越水に対する性能を維持する構造とすることと設定する。
- なお、技術開発目標以上の越水に対する性能の技術開発を妨げるものではなく、今回の技術開発目標（評価の目安）に基づく技術開発の状況や、技術開発目標以上の越流水深や越流時間等の技術の提案等も踏まえつつ、引き続き知見の集積を進める。



# 越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発を行う上での論点

## 今回ご意見をいただきたい事項

### [技術開発する構造]

- 1) 粘り強い河川堤防として技術開発の対象とする構造

### [技術提案関係]

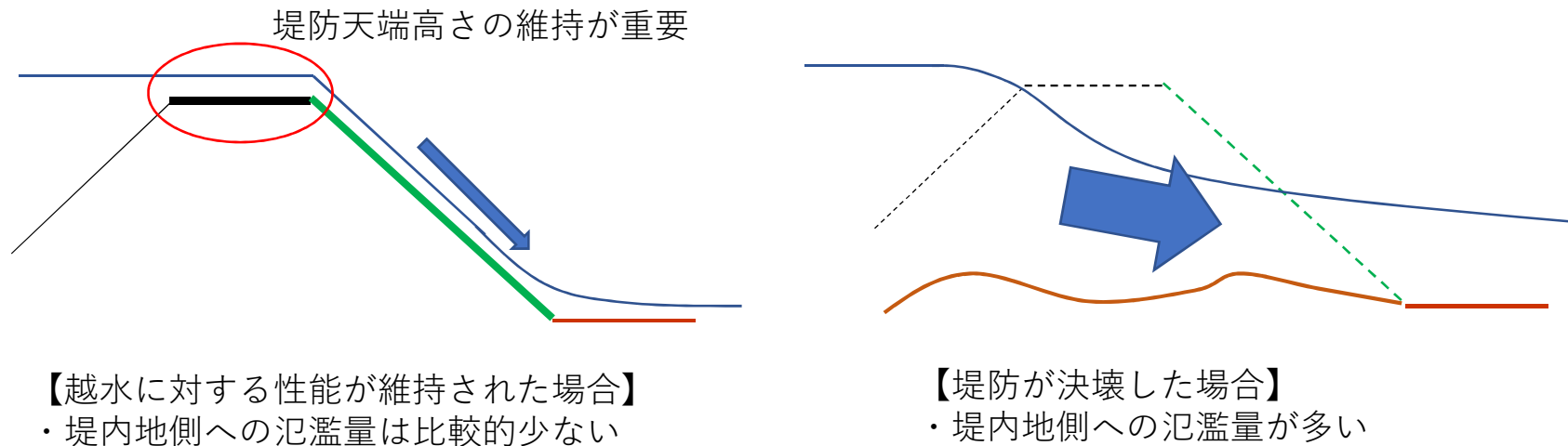
- 2) 技術開発目標（評価の目安）
- 3) 越水に対する性能を維持している状態
- 4) 粘り強い河川堤防の技術開発で、技術提案で求める性能
  - ①既存の堤防の性能を毀損しないこと
  - ②越水に対する性能の確認に関する事項

### [モニタリング]

- 5) 構造物の安定性を長期的に維持するためのモニタリング

## 論点3：越水に対する性能を維持している状態の想定

- 越水に対して「粘り強い河川堤防」の目的は、越水が生じた場合でも、避難のための時間を確保する、浸水面積を減少させるなどにより、被害をできるだけ軽減することである。
- 堤内地側への洪水の氾濫量は、堤防天端からの越水と堤防決壊の各事象では大きく異なることから、堤防天端高さを維持し氾濫量を可能な限り抑制することが、粘り強い河川堤防の目的にかなうこととなる。
- このため、技術開発目標の外力に対して、堤防天端高さが維持されることを目標に、その状態を技術的に一定程度評価できる堤防の状態を想定する必要がある。

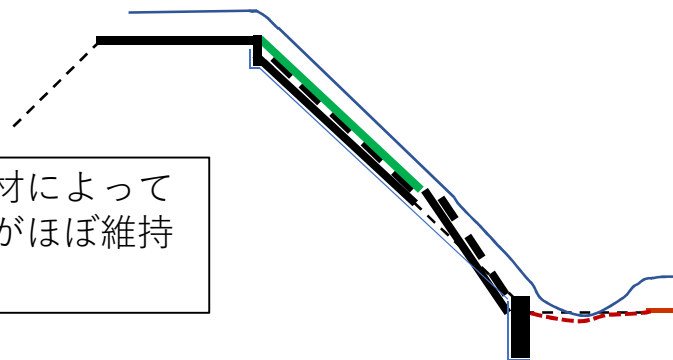


## 論点3：越水に対する性能を維持している状態

### 【越水に対する性能を維持している状態（案）】

- 表面被覆材の飛散等により越流水が堤体土に直接作用する状態を避けることが重要。
- つまり、堤体が表面被覆材によって被覆された状態がほぼ維持され、その結果堤防天端高さが維持されている状態

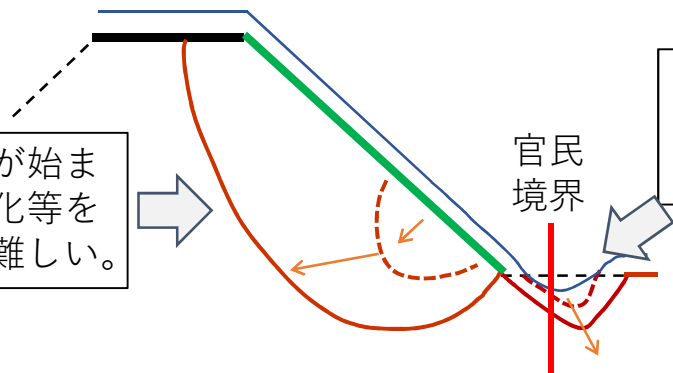
堤体が表面被覆材によって被覆された状態がほぼ維持された状態



### 【この状態を想定した理由】

- 土堤が越水に対して脆弱である特性を有するため、土堤の裏法面で越水による侵食が始まると、その侵食範囲や時間変化等を技術的に評価することは難しく、堤防天端高さを時間的・形状的に、どの程度維持可能か評価することも困難。
- なお、法尻部は民地に隣接していることが多く、法尻部からの侵食が全く生じない構造を検討することは現実的ではない。

裏法面で越水による侵食が始まると、侵食範囲や時間変化等を技術的に評価することは難しい。

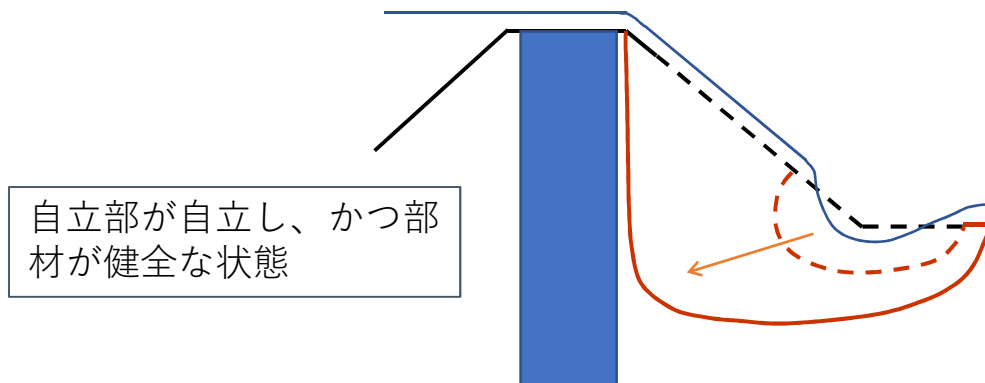


法尻部は民地に隣接していることが多く、侵食が全く生じない構造とすることは現実的ではない。

## 論点3：越水に対する性能を維持している状態

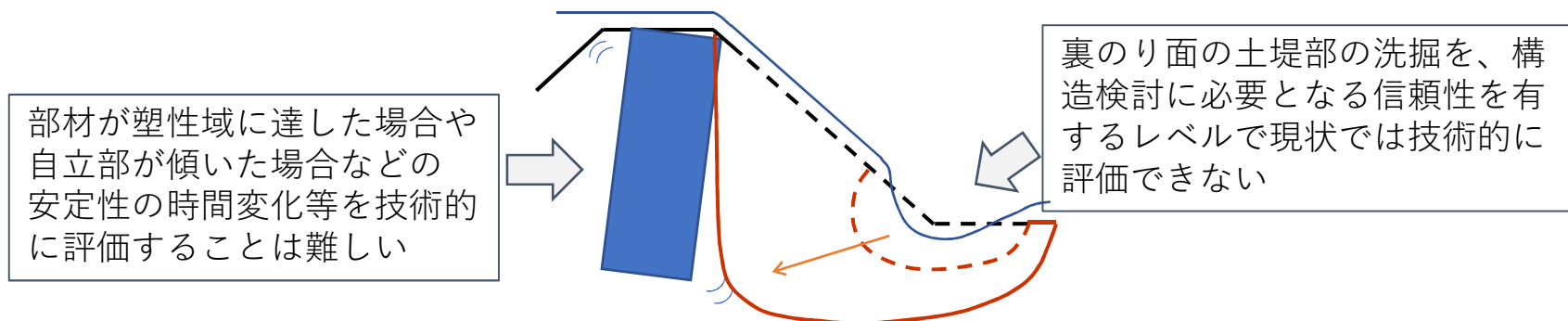
### 【越水に対する性能を維持している状態（案）】

- 越水が生じて裏のり尻部が洗掘されても、自立部が自立し、かつ自立部を構成する部材が健全で、その結果堤防天端高さが維持されている状態



### 【この状態を想定した理由】

- 越水中に自立部を構成する部材が塑性域に達した場合や、自立部が傾いた場合など、その後も越水による水圧が作用する状態で、自立部の安定性の時間変化等を技術的に評価することは難しく、堤防天端高さを時間的・形状的に、どの程度維持可能か評価することも困難。
- 越水による裏のり面の土堤部の洗掘について、構造検討に必要な信頼性を有するレベルで現状では技術的に評価できない。





# 越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発を行う上での論点

## 今回ご意見をいただきたい事項

### [技術開発する構造]

- 1) 粘り強い河川堤防として技術開発の対象とする構造

### [技術提案関係]

- 2) 技術開発目標（評価の目安）
- 3) 越水に対する性能を維持している状態
- 4) 粘り強い河川堤防の技術開発で、技術提案で求める性能
  - ①既存の堤防の性能を毀損しないこと
  - ②越水に対する性能の確認に関する事項

### [モニタリング]

- 5) 構造物の安定性を長期的に維持するためのモニタリング

## 越水に対して「粘り強い河川堤防」の実現のために技術提案で求める性能

- 越水に対して「粘り強い河川堤防」を実現するため、表面被覆型、自立型、その他構造いづれについても、構造の検討上、以下を性能として求める。
- これらの項目について、各性能を満たすことの証明の具体的な方法としては、土堤における照査手法や各種指針やマニュアルに基づく構造物の設計方法の援用、模型実験や解析による性能の確認等が考えられる。

### ①既存の堤防の性能(安定性等)を毀損しないこと

#### 【堤防に求められる基本的な機能】

- ・常時の自重による沈下及びすべり破壊等に対する安全性(常時の健全性)
- ・計画高水位(計画高潮位)以下の水位の流水の通常的作用による  
侵食及び浸透並びに降雨による浸透に対する安全性(耐侵食性能及び対浸透性能)
- ・地震時に対する安全性(耐震性能)
- ・波浪等に対する安全性(波浪等に対する安全性)

#### 【設計に反映すべき事項】

- ・不同沈下に対する修復の容易性
- ・堤体と基礎地盤との一体性及びなじみ
- ・嵩上げ及び拡幅等の機能増強の容易性
- ・損傷した場合の復旧の容易性
- ・基礎地盤及び堤体の構造及び性状にかかる調査精度に起因する不確実性
- ・基礎地盤及び堤体の不均質性に起因する不確実性
- ・環境及び景観との調和
- ・構造物の耐久性
- ・維持管理の容易性
- ・施工性
- ・事業実施による地域への影響
- ・経済性
- ・公衆の利用

#### 【設計にあたって考慮すべき事項】

### ②越水に対する性能を有すること

越水した場合であっても、決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くする

## 論点4：開発技術に求める事項(案) (①堤防に求められる基本的な機能)

求める事項	表面被覆型	自立型
常時の健全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>すべりに対する安全性</li> <li>周辺地盤の引き込み沈下に対する安全性</li> <li>堤防の高さの確保</li> <li>雨水排水の集中を避ける天端及び法面形状の維持</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>部材の安全性（応力度照査等）</li> <li>自立部の安定性（基礎地盤を含む）（滑動・転倒・支持力・全体安定の照査等）</li> <li>周辺地盤の引き込み沈下に対する安全性</li> <li>堤防の高さの確保</li> </ul>
耐侵食性能 (洪水時)	<ul style="list-style-type: none"> <li>直接侵食に対する安全性</li> <li>側方侵食に対する安全性</li> <li>洗掘に対する安全性</li> </ul>	<p>(盛土部が侵食・浸透の影響を受けた場合でも)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>部材の安全性（応力度照査等）</li> <li>自立部の安定性（基礎地盤を含む）（滑動・転倒・支持力・全体安定の照査等）</li> <li>自立部等の砂礫等による摩耗に対する安全性</li> </ul>
耐浸透性能 (洪水時)	<ul style="list-style-type: none"> <li>すべりに対する安全性</li> <li>パイピングに対する安全性</li> </ul>	<p>(盛土部が侵食・浸透の影響を受けた場合でも)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>部材の安全性（応力度照査等）</li> <li>自立部の安定性（基礎地盤を含む）（滑動・転倒・支持力・全体安定の照査等）</li> <li>パイピングに対する安全性（レインの加重クリーブ比等）</li> </ul>
耐震性能 (地震時)	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル2地震動による沈下後の堤防高さ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル1地震動に対する健全性</li> <li>レベル2地震動に対する機能保持、機能回復</li> </ul>
波浪等に対する安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画高潮位・波浪・津波に関する堤体の侵食に対する安全性</li> <li>波浪による越波に対する安全性</li> </ul>	<p>(盛土部が侵食・越波の影響を受けた場合でも)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>部材の安全性（応力度照査等）</li> <li>自立部の安定性（基礎地盤を含む）（滑動・転倒・支持力・全体安定の照査等）</li> </ul>

## 論点4：開発技術に求める事項(案) (①設計に反映すべき事項)

求める事項	表面被覆型	自立型
不同沈下に対する修復の容易性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 不同沈下が生じた場合にそれを確認でき、速やかな修復が容易な構造であること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 不同沈下を生じさせない構造（例えば、良質な支持層への支持等）、または不同沈下が生じた場合にそれを確認でき、速やかな修復が容易な構造であること</li> </ul>
堤体と基礎地盤との一体性及びなじみ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 土堤の有する堤体と基礎地盤との一体性及びなじみを毀損しないこと</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 自立部と基礎地盤との境界部でパイピングを生じさせない構造であること（例えば、レインの加重クリープ比等）</li> </ul>
嵩上げ及び拡幅等の機能増強の容易性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 機能増強が容易な構造であること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 機能増強に配慮した構造であること（例えば、将来の荷重増加を考慮した設計等）</li> </ul>
損傷した場合の復旧の容易性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 損傷した場合に迅速な修復が可能な構造であること</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 不同沈下に対しては損傷しない構造であること（例えば、十分な支持層への根入れ、目地の設置等）、あるいは損傷した場合に迅速な修復が可能な構造であること（例えば、容易に点検、補修が可能な構造等）</li> <li>• 地震に対しては、耐震性能（機能回復等）を満足する構造であること</li> </ul>
基礎地盤及び堤体の構造及び性状にかかる調査精度に起因する不確実性	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 既存の堤防断面(計画堤防断面)を大きく毀損しない構造であること。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 不確実性を考慮した構造であること（例えば、良質な支持層への支持及びレインの加重クリープ比など実績を踏まえた評価方法の採用）</li> </ul>
基礎地盤及び堤体の不均質性に起因する不確実性		

## 論点4：開発技術に求める事項(案) (①考慮すべき事項)

求める事項	表面被覆型	自立型
環境及び景観との調和	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境及び景観と調和する構造であること (例えば、緑化、意匠等の工夫、環境への影響(欠損した場合含む)等)</li> </ul>	
構造物の耐久性	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐久性を有する構造であること (例えば、材料の十分な耐用年数の確保、部材の補修や更新が容易である構造等)</li> </ul>	
維持管理の容易性	<ul style="list-style-type: none"> <li>必要な点検と補修が容易な構造であること (例えば、目視可能な箇所については点検・補修が容易、不可視箇所については十分な安全性・耐久性を持つ構造等)</li> </ul>	
施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般的に施工可能な構造であること (例えば、特殊な機器、特殊技能の必要性等)</li> </ul>	
事業実施による地域への影響	<ul style="list-style-type: none"> <li>事業実施による地域への影響を考慮した構造であること (例えば、用地取得の必要性、地盤沈下、地下水阻害の可能性等)</li> </ul>	
経済性	<ul style="list-style-type: none"> <li>ライフサイクルコストを含めた経済性を考慮した構造であること (例えば、施工時のコスト(材料費、施工費)に加え、長期間機能を維持するための点検、部材の補修・更新等も含めた維持管理コスト等)</li> </ul>	
公衆の利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>公衆の利用に配慮した構造であること</li> </ul>	

### 【その他構造】

- その他構造の工法については、各作用等に対する損傷の発生形態、損傷した場合の堤防機能への影響や使用材料の特性等を踏まえ、照査項目、限界状態、照査方法等について工法毎に個別に設定し、土堤や自立式特殊堤が本来有している性能と同等以上の効力を有することを技術提案してもらい、確認することを想定している。
- 照査方法についても、技術提案の事項として求めることも検討。

## 論点4：開発技術に求める事項(案) (②越水に対する性能)

- 「越水に対する性能」として、以下の事項を求める

### 【技術開発目標】

- 「越流水深30cmの外力に対して、越流時間3時間」とし、その間は越水に対する性能を維持する構造であること。技術開発目標以上の越水に対する性能の技術開発を妨げるものではない。

「越水に対する性能を維持する」とは、以下を基本とする。

- 表面被覆型：堤体が表面被覆材によって被覆された状態がほぼ維持され、その結果堤防天端高さが維持されている状態
  - 自立型：越水が生じて裏のり尻部が洗掘されても、自立部が自立し、かつ自立部を構成する部材が健全で、その結果堤防天端高さが維持されている状態
- ※その他構造についても、堤防天端高さが維持されている状態を想定

### 【求める事項(案)】

- 実験もしくは解析等によって、技術開発目標を満足する構造であることの根拠に関する情報。(例えば、実験条件・実験結果、解析方法・解析結果、信頼性に関する情報等。)
- 決壊に至るまでのプロセス(変状連鎖図等)や時間などの情報。  
(越水に対する性能を確保できなかった場合の条件やその要因も含む)
- 適用条件に関する情報(理由も含む)。  
(例えば、砂質土の堤体には適用できない、軟弱地盤には適用できないなど)
- 耐久性、施工性、維持管理等の情報は、考慮すべき事項で求める。
- 越水に対する性能をより高めるための施工上の留意点。
- 越水に対する性能を長期間維持するための維持管理上の留意点。



## 論点5：「粘り強い河川堤防」の性能の評価方法について

### 【評価の基本的考え方】

- 技術提案における越水に対して「粘り強い河川堤防」の性能を証明するため、「①既存の堤防の性能を毀損しないこと」（基本的な機能、設計に反映すべき事項、考慮すべき事項）、及び「②越水に対する性能を有すること」にかかる**全ての事項について、技術提案を求める。**
- 技術提案された事項の評価は、**全ての事項を基本に実施することを想定している。**  
なお、評価方法は、土堤における照査手法（河川砂防技術基準）や、各種指針、マニュアルに基づく構造物の設計方法の援用、模型実験や解析による性能の確認等が想定される。  
参考：表面被覆型 — 河川砂防技術基準等  
自立型 — 道路土工指針（擁壁工指針）等  
※技術提案において評価方法を求める場合もある

### 【論点5 表面被覆型の評価の簡素化について】

- 表面被覆型は土堤を被覆し、越水に対する性能を発揮する構造であり、被覆材の下は既存の土堤が存在している。
- このため、技術提案された事項のうち、**明らかに土堤の機能に変化が生じないと考えられる事項については、技術提案の評価を一部簡素化できるのではないか。**  
例：計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対する川表側の耐侵食性  
同作用による波浪に対する安全性 など
- 提案された工法によって、評価を簡素化できる事項が異なると考えられることから、**技術提案された工法ごとに個別に評価を簡素化できる事項を検討することとなる。**  
※自立型及びその他構造については、提案された全ての事項を評価する。

# 越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発を行う上での論点

## 今回ご意見をいただきたい事項

### [技術開発する構造]

- 1) 粘り強い河川堤防として技術開発の対象とする構造

### [技術提案関係]

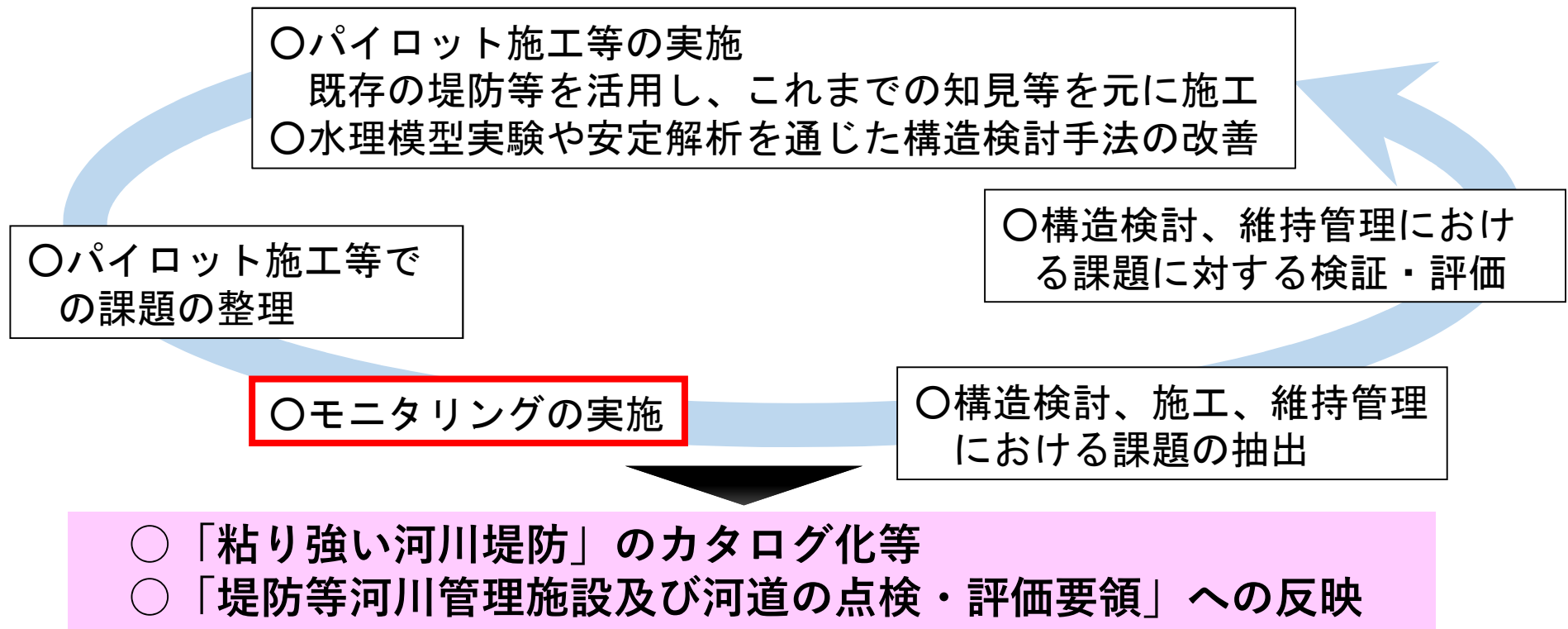
- 2) 技術開発目標（評価の目安）
- 3) 越水に対する性能を維持している状態の想定
- 4) 粘り強い河川堤防の技術開発で、技術提案で求める性能
  - ①既存の堤防の性能を毀損しないこと
  - ②越水に対する性能の確認に関する事項

### [モニタリング]

- 5) 構造物の安定性を長期的に維持するためのモニタリング

## 5) 構造物の安定性を長期的に維持するためのモニタリング

- 越水に対して「粘り強い河川堤防」の性能を維持するため、パイロット施工等を実施した箇所で行う**モニタリング項目を検討**する。
- モニタリング項目は、越水に対する性能の維持のため、**既往の実験結果等から変状連鎖図を整理**し、モニタリングすべき**平時の事象を想定**(モニタリング項目を設定)。
- モニタリングはパイロット施工箇所等において、施工後から当面**3年間程度**を目処に実施する。
- なお今回のモニタリング項目の検討は**表面被覆型**を例に行ったもの。



# モニタリングの考え方（案）

- 「粘り強い河川堤防」の実現にあたっては、①既存の堤防の性能を毀損しないこと、②越水した場合でも決壊までの時間を少しでも長くする粘り強い機能を付加することが必要となる。
- ①は、通常の堤防点検(表1)に基づき、点検を実施する。
- ②は、新たなモニタリング項目を付加してモニタリングを実施する。
- 越水に対する性能の維持のため、**既往の実験結果等から変状連鎖図を整理し、モニタリングすべき平時の事象を想定**。(モニタリング項目の設定)
- 新たな工法の技術提案があった場合などは、技術提案内容から堤防の破壊形態を想定の上、変状連鎖図を作成し、モニタリング項目を設定する。
- なお、通常の堤防点検の評価は一連区間として河川事務所等で行い、「粘り強い河川堤防」としての評価は**国土技術政策総合研究所等**で行い、技術開発の基礎資料とする。

## ①既存の堤防の性能を毀損しないこと

通常の堤防点検項目に基づく堤防点検

## ②越水に対する性能の維持

ア) 変状連鎖図を整理



イ) 越水時に粘り強い河川堤防の性能に影響を及ぼす主な変状



ウ) モニタリングすべき平時の事象を想定。  
(モニタリング項目の設定)



エ) 現地のモニタリング方法の決定

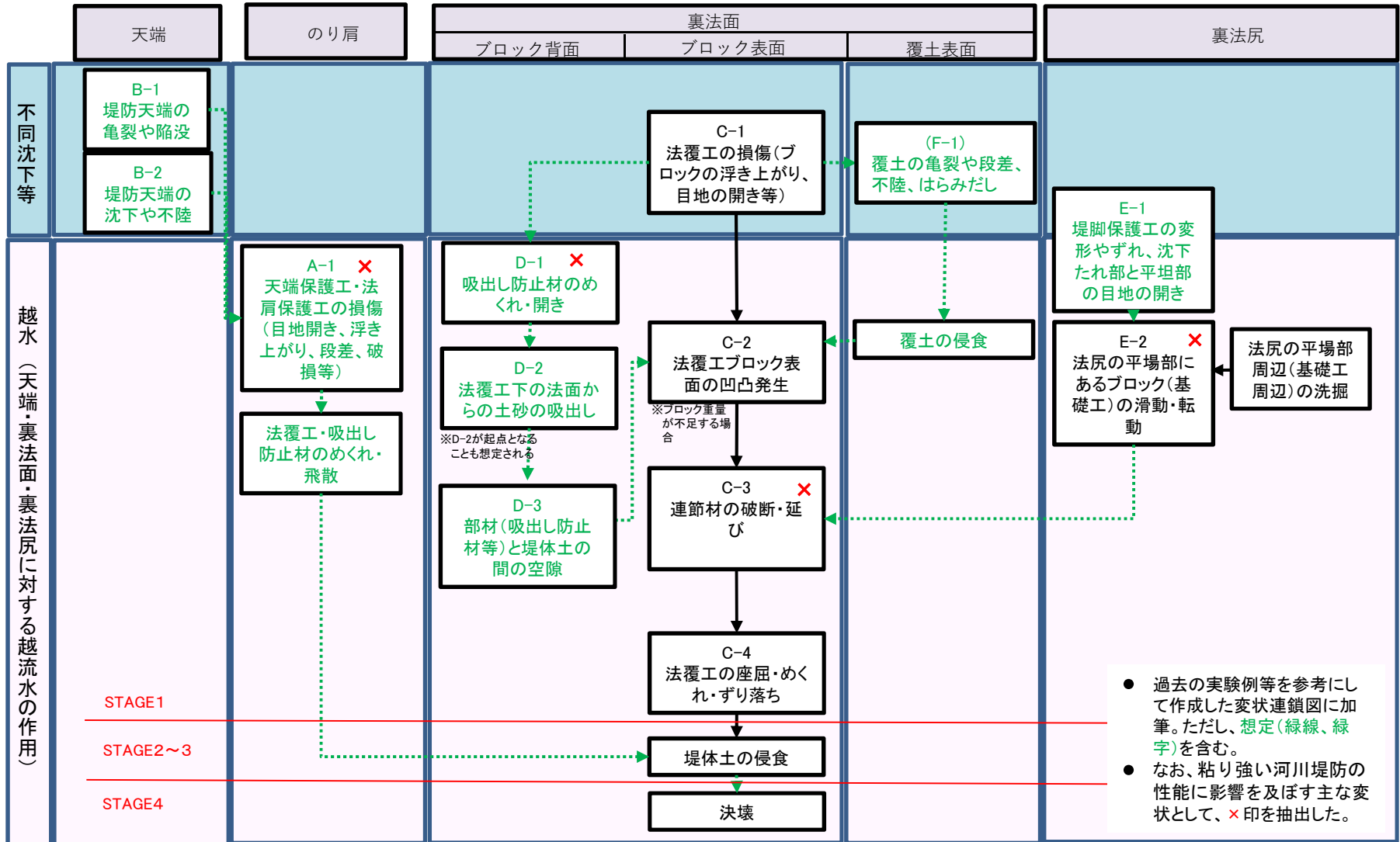
表1 通常の堤防点検項目

(堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領による)

箇所	点検事項
堤防護岸 高水護岸 低水護岸	<ul style="list-style-type: none"> <li>・護岸に目地の開き、亀裂、破損等の変状はないか</li> <li>・堤防護岸・高水護岸に浸透対策として表法面に被覆工が施されている箇所において、遮水シートの露出や破断がないか</li> <li>・護岸及びその端部に洗堀、侵食がないか</li> <li>・コンクリート構造、鋼構造に劣化や腐食が生じていないか</li> <li>・コンクリートブロックや捨て石等の積み構造が、沈下、崩れ等の変形を生じていないか</li> <li>・コンクリートブロック等の積み構造が、はらみ出しを生じていないか</li> <li>・低水護岸に沈下、崩れ、陥没等変状発生が懸念される河床低下や局所洗堀が生じていないか</li> </ul>
	土堤の点検事項
箇所	点検事項
法面・小段	<ul style="list-style-type: none"> <li>・亀裂、陥没、はらみだし、法崩れ、寺勾配化、侵食等はないか</li> <li>・張芝のはがれ等、堤防植生、表土の状態に異常はないか</li> <li>・雨水排水上の問題となっているような、小段の逆勾配箇所や局所的に低い箇所がないか</li> <li>・不陸はないか</li> <li>・泥濘化しているような箇所はないか</li> <li>・モグラ等の小動物の穴が集中することによって、堤体内に空洞を生じていないか</li> <li>・モグラ等の小動物の穴が集中していた箇所に陥没等を生じていないか</li> <li>・樹木の侵入、拡大は生じていないか</li> <li>・坂路・階段取り付け部の路面排水の集中に伴う洗堀、侵食がないか</li> </ul>
天端	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堤防天端及び法肩に亀裂、陥没、不陸、沈下等の変状はないか</li> <li>・天端肩部が侵食されているところはないか</li> </ul>
裏法尻部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堤脚付近の排水不良に伴う浸潤状態はないか</li> <li>・堤脚付近の堤体土が軟弱化し、流動化の恐れはないか</li> <li>・しほり水でいつも浸潤状態のところはないか</li> <li>・法尻付近の漏水、噴砂はないか</li> <li>・堤脚保護工の変形はないか</li> <li>・局部的に湿性を好む植生種が群生していないか</li> <li>・ドレーン工の目詰まり、あるいは濁水の排水が生じていないか</li> </ul>
堤脚水路	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堤脚水路の継目からの漏水・噴砂がないか</li> <li>・堤脚水路の閉塞がないか</li> </ul>

# ア) 変状連鎖図 (表面被覆型 連節ブロック)

○表面被覆型の破壊形態をもとに、変状連鎖図を作成し、粘り強い河川堤防の性能に影響を及ぼす主な変状項目を整理することにより、モニタリング項目を設定する。



通常の堤防点検項目



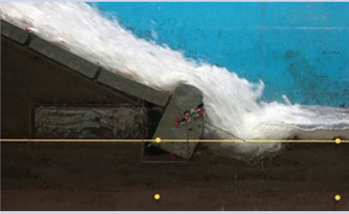

付加(モニタリング)

- 過去の実験例等を参考にし作成した変状連鎖図に加筆。ただし、想定(緑線、緑字)を含む。
- なお、粘り強い河川堤防の性能に影響を及ぼす主な変状として、×印を抽出した。

※法覆工ブロック表面の凹凸発生は変状連鎖の進行を加速する。

# イ) 越水時に粘り強い河川堤防の性能に影響を及ぼす主な変状とその変状につながり易い平時の事象

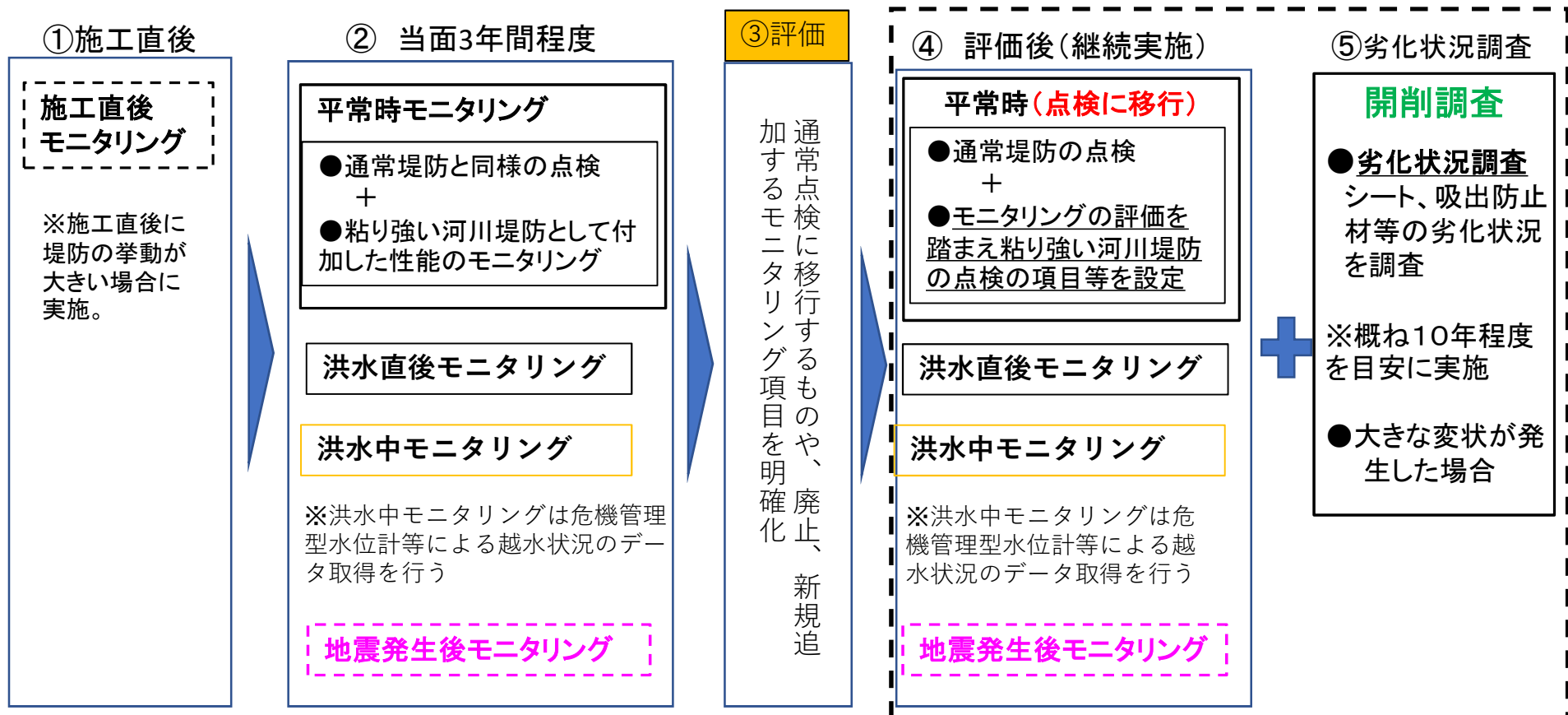
- 越水時に「越水時に粘り強い河川堤防の性能に影響を及ぼす主な変状」につながり易い平時の堤防の各箇所的事象を整理し、そのような事象を把握するモニタリング項目を設定。

写 真	越水時に粘り強い河川堤防の性能に影響を及ぼす主な変状	その変状につながり易い平時の事象
	<p>○裏法面（ブロック背面） 吸出し防止材のめくれ・開き (D-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・覆土の亀裂、陥没、不陸、はらみだし</li> <li>・侵食や植生異常、植生や根の影響</li> <li>・法肩保護工と法面ブロックとの目地の開き、段差</li> </ul>
	<p>○天端 天端保護工・法肩保護工の損傷 (A-1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・法肩保護工と法面ブロックとの目地の開き、段差</li> <li>・堤防天端の亀裂、陥没、沈下、不陸</li> <li>・法肩保護工の亀裂、破損</li> <li>・法肩保護工と覆土の間の亀裂</li> </ul>
	<p>○裏法尻部 法尻の平場部にあるブロック（基礎工）の滑動・転倒 (E-2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・堤脚保護工の変形</li> <li>・ドレーン工の目詰まり</li> <li>・堤脚水路の継ぎ目からの漏水、噴砂</li> <li>・堤脚水路の閉塞</li> </ul>
	<p>○裏法面（ブロック表面） 連節ブロックの破断・延び (C-3)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連節材の変状、延びの有無</li> <li>・法覆工ブロック表面の凹凸、座屈、めくれ、ずり落ち</li> </ul>



# モニタリングの実施時期と手順（案）

- ・パイロット施工等におけるモニタリングの実施時期と手順は以下の通り
  - ①施工直後モニタリングは、沈下等の堤防の挙動について、安定する状態まで実施。
  - ②当面3年程度、変状連鎖図より設定したモニタリング項目にもとづき、モニタリングを実施。  
(平常時モニタリング(年2回程度定期的)、洪水直後、洪水中、地震発生後)
  - ③3年後を目処にモニタリング結果について評価を行い、モニタリング項目の検討を行う。
  - ④評価後も、粘り強い河川堤防の設計や維持管理に反映させるため、モニタリングを継続実施。
  - ⑤開削調査は、長期的な部材の劣化状況の把握や、大きな変状が確認された場合に実施。



緊急的な河川堤防の強化  
(パイロット施工) の実施状況

# 緊急的な河川堤防の強化（パイロット施工）について

## < 緊急的な河川堤防の強化方策の基本的考え方 >

○洪水時の河川水位を下げる対策が大原則

○当面水位低下対策を図ることが困難な区間※等に減災対策の一つとしてパイロット施工を実施

→越水した場合でも堤防が決壊するまでの時間を少しでも引き延ばすことにより、避難までの時間の確保・浸水面積の減少等の減災効果を期待。

○越水した場合であっても決壊しにくい「粘り強い河川堤防」を目指す

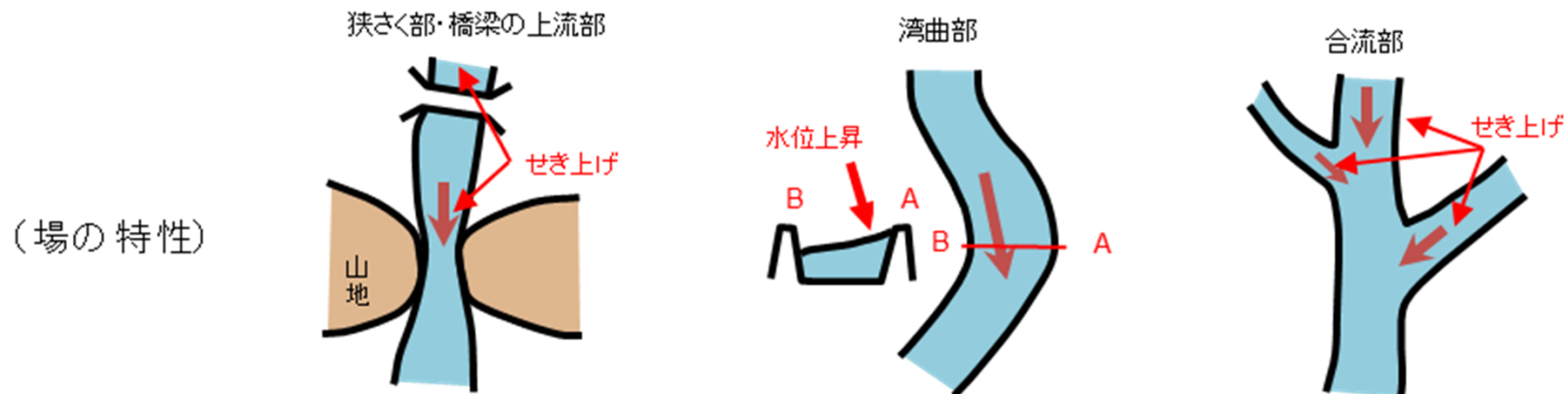
→決壊しない堤防ではなく、越水した場合の効果に幅や不確実性があることについて関係機関や地域・住民等の理解が必要

○維持管理の方法等についても確認

→適切に維持管理するための方法等の確認

※水位低下対策を図ることが困難な区間

氾濫リスクが高いにも関わらず、その事象が当面解消困難な区間であって、河川堤防が決壊した場合に甚大な被害が発生するおそれがある区間。



## パイロット施工の越水に対する構造の工夫の基本的な考え方（表面被覆型）

- 令和3年度以降、現在までに実施したパイロット施工は、既往の検討で越水に対する構造の工夫に一定の知見が得られている表面被覆型を採用している。
- 表面被覆型は、堤防の表面を被覆材で覆うなど、越水に対して粘り強い構造となるよう以下の考え方に基づき施工している。なお、越水しても決壊しない堤防ではないこと、また、越水した場合の効果や幅に不確実性があることを十分理解した上で実施する必要がある。



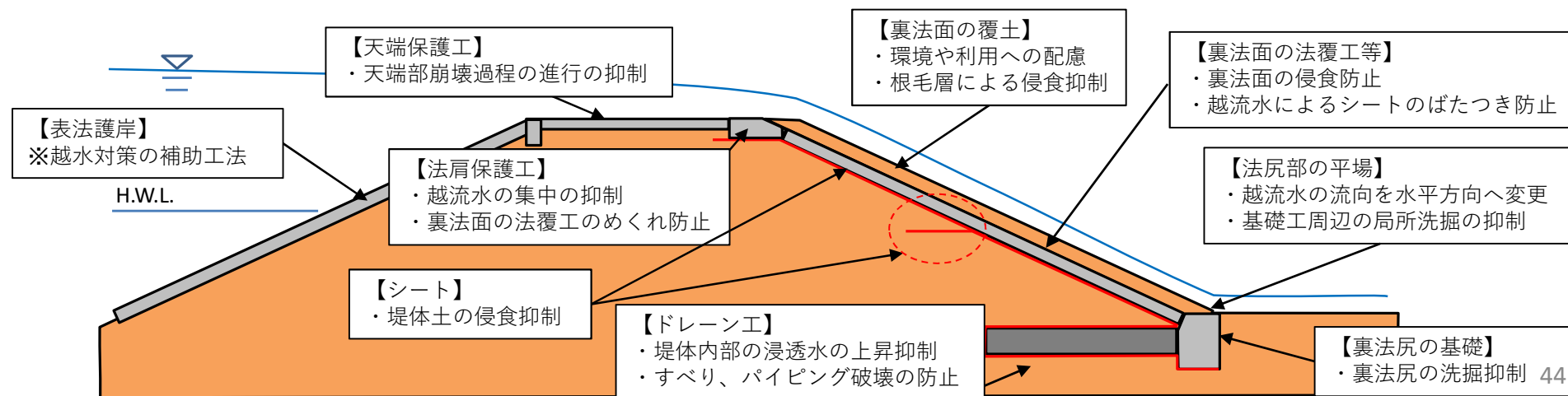
### 【既往の知見を踏まえた、パイロット施工の越水に対する構造の工夫の基本的な考え方】

- 芝等の植生は越水後直ちに侵食されなくても、根毛層内の土砂が徐々に吸出され、越流水が堤体土に直接作用すると急激に裏法面の侵食が進む。このため、裏法面をブロック等で被覆することで、芝等よりも越流水による侵食を確度高く抑制する。
- ブロック等の安定性については護岸の力学設計法を援用し、越流水が作用しても滑動・転動しないように重量を決定する。
- 法尻周辺が洗掘されて基礎工が転倒すると、法尻から法面に向かって侵食されることから、基礎工周辺の洗掘量を50cm以内に収められるよう、基礎工天端に平場を設ける。
- 越流水に対して安定する重量のブロックを用いた場合でも、ブロック下面からの堤体土の吸出しが生じ、徐々にブロック表面に不陸が発生し、護岸の力学設計法で想定した以上の流体力がブロックに作用し、ブロックの崩壊の可能性がある。そのため、ブロック下面からの堤体土の吸出し及びブロック流出後の堤体土の侵食が軽減されるよう吸出し防止シートを設置する。
- さらに、吸出し防止シート下からの堤体土の吸出しを抑制するため、良質土を用いてしっかりと締め固めて築堤する。また、ブロックの安定性を向上させるため連節もしくは連結ブロックを用いる。

## パイロット施工の越水に対する構造の工夫の基本的考え方（コンクリートブロック系）

令和3年度以降、現在までに実施したパイロット施工は、吸出し防止シートをブロックで押さえた構造を基本としている。以下に構造の工夫と期待する効果を示す。

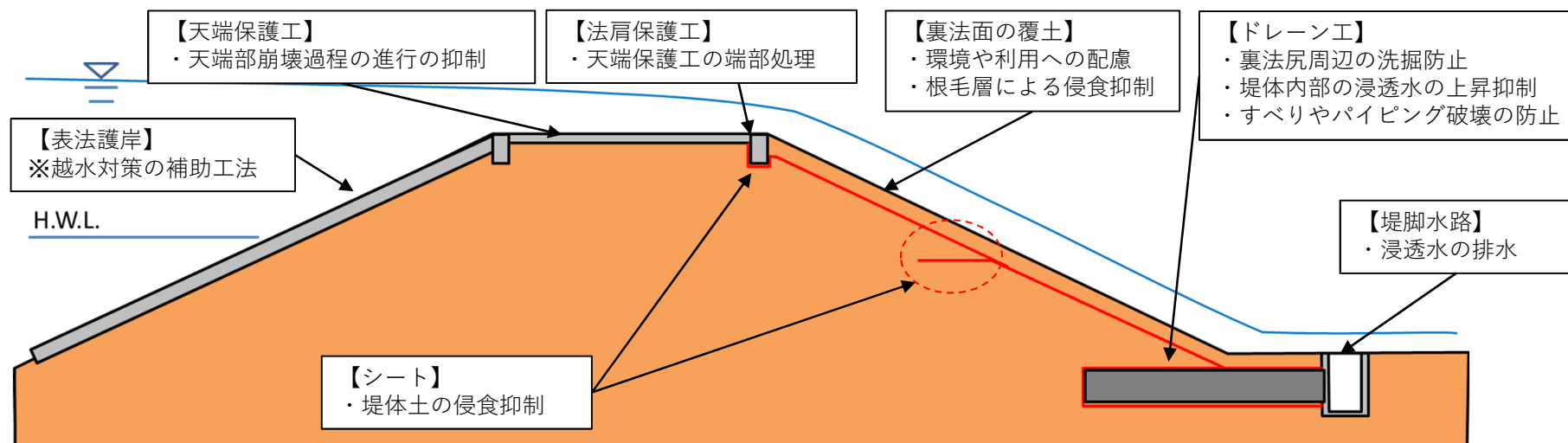
	期待する効果	構造の工夫（現場施工が可能な範囲で検討）
法覆工	裏法面の侵食防止及び越流水に対するシートの固定（ばたつきや剥離の防止）。	越流水によってブロックが滑動・転動しないように、護岸の力学設計法を援用し、ブロックの重量を決定する。法肩からめくれないように法肩保護工を設置する。連節タイプもしくは連結タイプのブロックを用いて滑動に対して強くする。
覆土（芝）	裏法面の侵食抑制。環境や利用への配慮。	環境や利用に配慮して、法覆工上には覆土を行う。また、芝の状態を良好に維持することで、植生根毛層による法面の侵食抑制を図る。
シート（吸出防止）	ブロック下面からの堤体土の侵食抑制。ブロック流出後も堤体土の侵食を抑制。	吸出し防止シートを法肩部は法肩保護工下に、法面部は堤体内に差し込み、抜け落ちを防止する。シートの差し込み部周辺の土は十分に締め固める。シートの継ぎ目は15cm（縦断方向）、30cm（法面方向）重ねる。
基礎工	越流水の法尻部での流向の変更。裏法尻の洗掘抑制。	天端部の平場を30cm以上確保する。基礎工は、堤内地盤高よりも50cm以上深く埋設する。
ドレーン工	堤体内部の浸透水の上昇抑制。すべりやパイピング破壊の防止。	高さは50cm、奥行は堤防高さの0.5倍程度（上限4m）ドレーンを設置する。



## パイロット施工の越水に対する構造の工夫の基本的考え方（シート系）

令和3年度以降、現在までに実施したパイロット施工は、裏法勾配を3割よりも緩くできる場合には、法覆工（ブロック）の設置を省略し、シートのみを採用する場合もある。

	期待する効果	構造の工夫（現場施工が可能な範囲で検討）
覆土（芝）	裏法面の侵食抑制。環境や利用への配慮。	法面勾配をできるだけ緩くすることで裏法面に作用する越流水の流体力を低減する。環境や利用に配慮して、法覆工上には覆土を行う。また、芝の状態を良好に維持することで、植生根毛層による法面の侵食抑制を図る。
シート（吸出防止）	堤体土の侵食を抑制。	吸出し防止シートを法肩部は法肩保護工下に、法面部は堤体内に差し込み、抜け落ちを防止する。シートの差し込み部周辺の土は十分に締め固める。シートの継ぎ目は15cm（縦断方向）、30cm（法面方向）重ねる。
ドレーン工	裏法尻周辺の洗掘防止。 堤体内部の浸透水の上昇抑制。 すべりやパイピング破壊の防止。	天端部の平場を150cm以上確保する。ドレーン工は、堤内地盤高よりも50cm以上深く埋設する。高さは50cm、奥行は堤防高さの0.5倍程度（上限4m）とする。





# パイロット施工箇所一覧

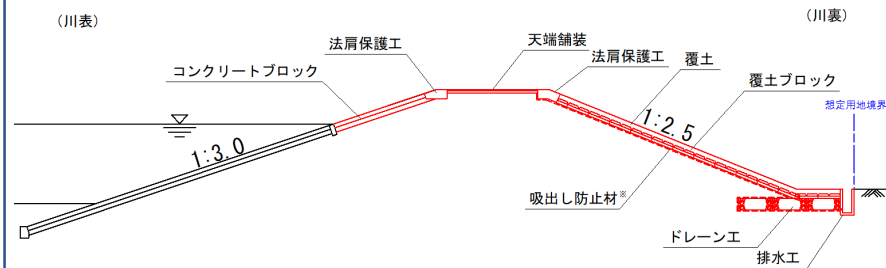
- 令和3年度以降、15河川16箇所でパイロット施工を実施している。 ※施工中の箇所を含む

No.	水系	河川	工法	延長 (km)
1	石狩川水系	美唄川	コンクリートブロック系	約0.7
2	岩木川水系	岩木川	コンクリートブロック系	約1.0
3	那珂川水系	那珂川	シート系（吸出し防止材）	約0.7
4	信濃川水系	信濃川（大河津）	コンクリートブロック系	約0.2
5	信濃川水系	千曲川（篠ノ井）	コンクリートブロック系	約0.7
6	信濃川水系	千曲川（雨宮）	コンクリートブロック系	約0.1
7	雲出川水系	雲出川	コンクリートブロック系	約0.4
8	矢作川水系	矢作川	コンクリートブロック系	約0.1
9	円山川水系	円山川	コンクリートブロック系	約0.6
10	九頭竜川水系	日野川	コンクリートブロック系	約0.3
11	淀川水系	桂川	コンクリートブロック系 （ブロックマット）	約1.0
12	佐波川水系	佐波川	コンクリートブロック系	約0.5
13	渡川水系	四万十川	コンクリートブロック系	約0.8
14	大分川水系	大分川	コンクリートブロック系	約0.7
15	大野川水系	大野川	コンクリートブロック系	約0.3
16	嘉瀬川水系	嘉瀬川	シート系（ジオテキスタイル）	約1.2

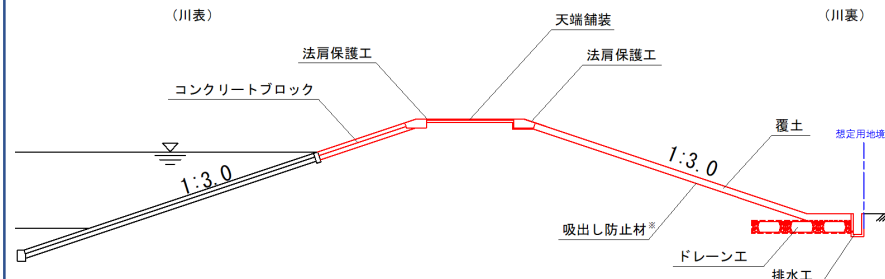
※延長は令和3年度末時点。小数点第二位の四捨五入により、実際の延長と完全には一致しない場合がある  
 ※信濃川水系千曲川長沼地区（令和元年決壊箇所含む）は、災害復旧で粘り強い河川堤防の施工を実施

# パイロット施工箇所での施工例

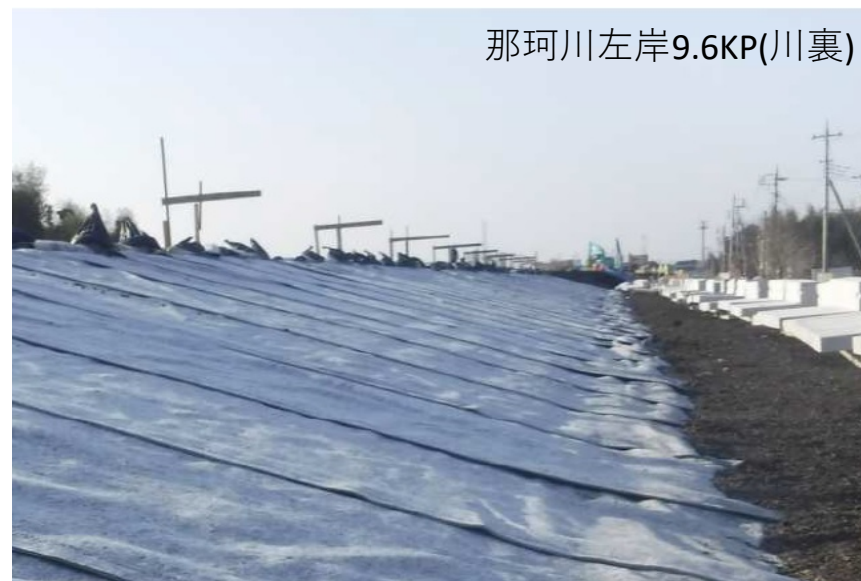
## コンクリートブロック系（断面例）



## シート系（断面例）



コンクリートブロック張り: 13箇所  
※ブロックマット: 1箇所 (桂川)

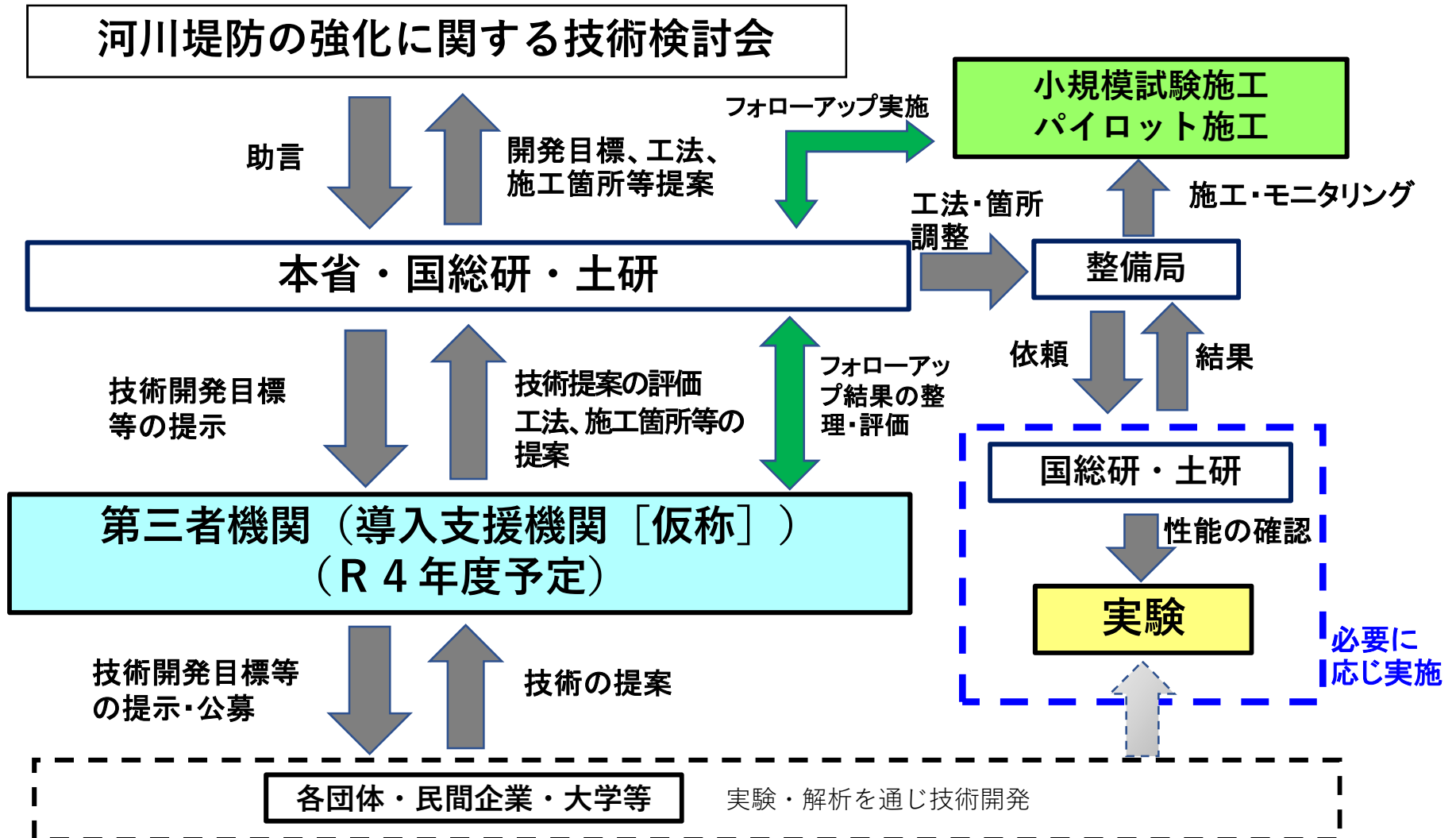


吸出し防止シート: 1箇所  
※野芝付きジオテキスタイル: 1箇所 (嘉瀬川)

関係業界団体等との研究・開発を行う体制の構築

# 関係業界団体等との研究・開発を行う体制の構築（案）

- 粘り強い河川堤防の技術開発を行うために民間企業等の技術を公募する予定。
- 公募にあたっては、求める越水に対する性能や公募条件などを提示予定。
- 民間企業等の技術提案の評価を第三者機関で実施し、小規模試験施工等を実施予定。



※今後の技術開発状況等を踏まえ、将来変更されることがある

## 関係業界団体等との研究・開発を行う体制の構築（案）

- 粘り強い河川堤防の技術開発を行うために民間企業等の技術を公募する予定。
- 公募にあたっては、求める越水に対する性能や公募条件などを提示予定。
- 民間企業等の技術提案の評価を第三者機関で実施し、小規模試験施工等を実施予定。

### ○民間企業等に対して技術の公募（導入支援機関〔仮称〕）

#### <粘り強い河川堤防の技術開発公募の条件>

- ①既存の堤防の性能を毀損しないこと
- ②技術開発目標を満たす越水に対する性能があること

### ○応募者（民間企業等）

#### <技術の応募>

- ・ 技術提案資料を導入支援機関〔仮称〕へ提出
- ・ 技術指針、実験や解析等により「公募の条件」を満たすことを証明

### ○導入支援機関（一次選定）

- ・ 技術提案資料を元に、導入支援機関〔仮称〕の評価委員会で技術の一次選定（堤防の基本的な機能、越水に対する性能及びその信頼性、コスト、耐久性、維持管理（安定性含む）、復旧の容易性など）

### ○国への報告・技術検討会の助言

- ・ 一次選定した技術を国へ報告
- ・ 一次選定した技術に対する「河川堤防の強化に関する技術検討会」からの助言 等

# 技術開発の枠組みにおける役割分担（案）

項目	導入支援機関 [仮称]	地方整備局	国・国総研・土研	河川堤防の 強化に関する 技術検討会
技術開発目標・求める事項	<ul style="list-style-type: none"> <li>国から提案された技術開発目標・求める事項等を開発者へ提示</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>技術開発目標・求める事項等を作成し、技術検討会へ提案。技術検討会の助言を踏まえ、導入支援機関[仮称]へ提示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国から提案された技術開発目標・求める事項に関する助言</li> </ul>
小規模試験施工、パイロット施工における工法の選定	<ul style="list-style-type: none"> <li>小規模試験施工等の施工箇所における工法を一次選定し、国へ提案</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>工法、施工箇所、小規模試験施工の優先順位、共同実験の必要性について技術検討会へ提案</li> <li>助言を踏まえ地方整備局へ連絡</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>国からの提案された工法、施工箇所、優先順位、共同実験の必要性について助言</li> </ul>
共同実験、小規模試験施工、パイロット施工の実施		<ul style="list-style-type: none"> <li>必要に応じ国総研・土研へ民間企業等との共同実験を依頼</li> <li>検討・実験結果を踏まえ、小規模試験施工、パイロット施工を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地方整備局からの依頼により、民間企業と国総研・土研で共同実験を実施</li> <li>共同実験結果を地方整備局へ報告 ※共同実験を実施した場合。</li> </ul>	
小規模試験施工、パイロット施工のモニタリング等	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工結果のフォローアップや、モニタリング結果を整理・評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>施工結果のフォローアップ、施工箇所のモニタリングの実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フォローアップ等の整理結果を踏まえ、必要に応じて工法、技術開発目標・求める事項等の修正案を作成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工法、技術開発目標・求める事項等の修正案に関する助言</li> </ul>

※今後の検討の進捗状況に応じて変更の可能性がある



## 第三者機関（導入支援機関〔仮称〕）について（案）

### 【第三者機関（導入支援機関〔仮称〕）】

- 役割：
- ・越水に対する粘り強い河川堤防に関する技術の公募
  - ・技術開発目標（評価の目安）・求める事項等の提示
  - ・技術開発状況の集約・整理
  - ・応募された技術の評価、一次選定、現場への適用技術の抽出
  - ・評価委員会の設置・運営
  - ・性能カタログ等を見据えた技術レポートの作成 など

### 【評価委員会（導入支援機関内）】

役割： 導入支援機関〔仮称〕の技術的判断への助言・指導

構成： 学識者、国土交通省、国土技術政策総合研究所、土木研究所 等

### 【公募する構造】

- ・表面被覆型：コンクリートブロック系、シート系、ブロックマット系、かご系 等
- ・自立型：矢板型、コンクリート構造型、改良土 等
- ・その他構造

### 【予定】

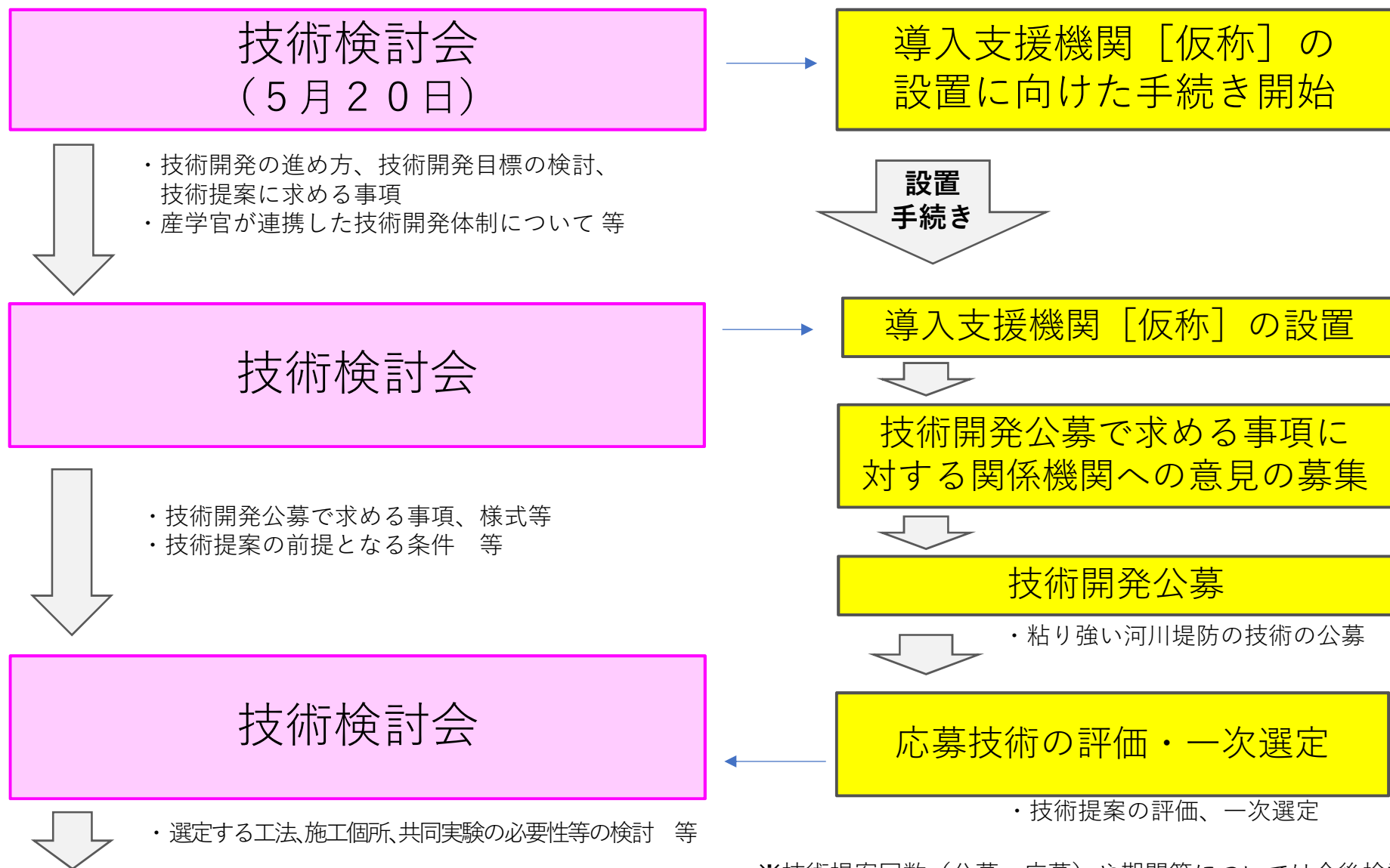
- ・令和4年度：導入支援機関〔仮称〕の公募・設置、粘り強い河川堤防の技術の公募、応募された工法の選定
- ・令和5年度以降：複数の提案工法について小規模試験施工等の実施を目指す。技術提案回数（公募・応募）や期間等については今後検討

### 【越水に対する性能等の確認方法】

提出される技術提案資料（実験・解析結果等を含む）をもとに、計画高水位以下の水位の流水の通常的作用に対する安全性や、越水に対する性能を確認する。

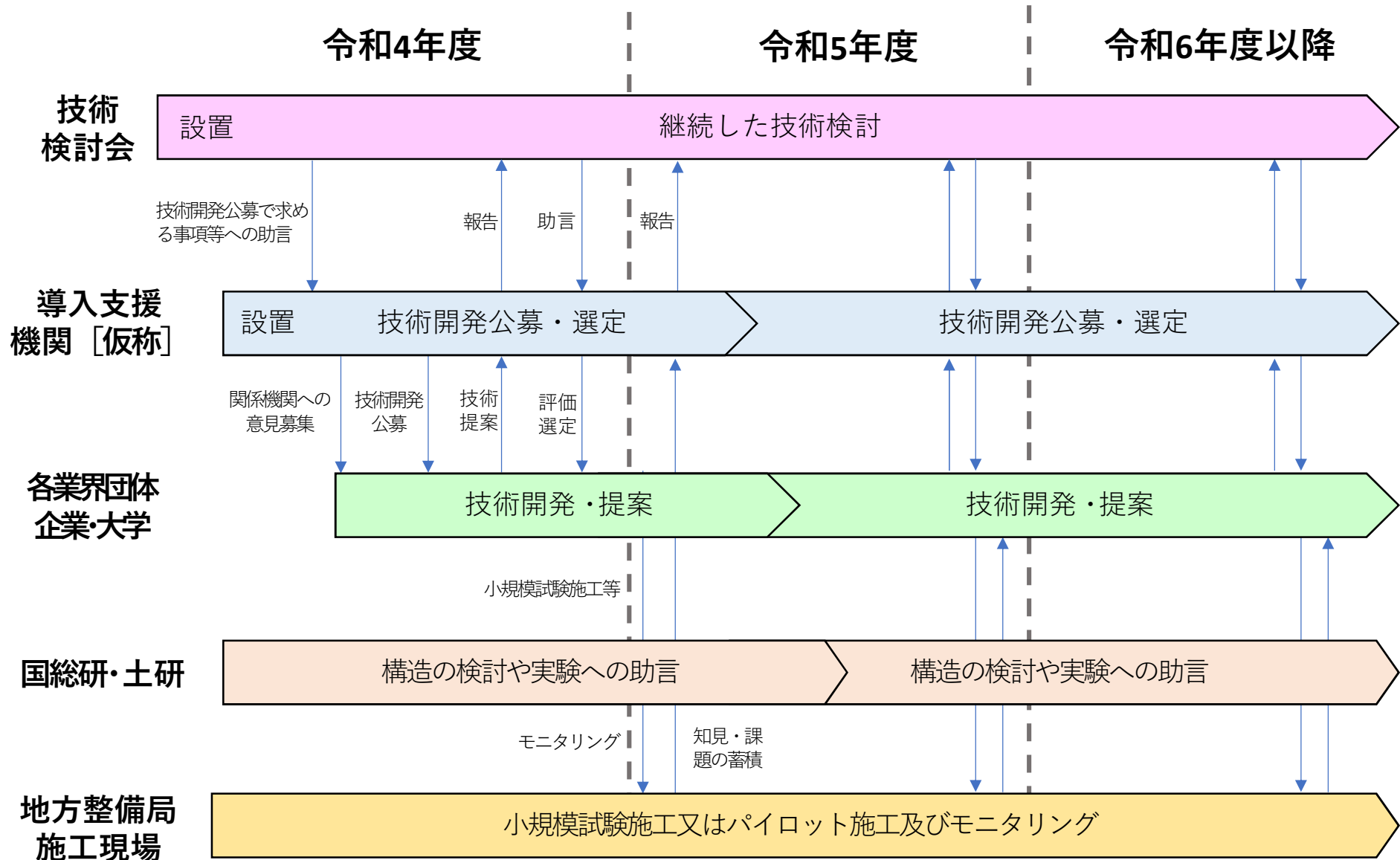
## 技術開発のスケジュール（案）

# 技術検討会の当面のスケジュール（案）



※技術提案回数（公募・応募）や期間等については今後検討  
※今後の検討の進捗状況に応じて変更の可能性がある

# 各機関における「今後の取組」イメージ（案）



※技術提案回数（公募・応募）や期間等については今後検討  
 ※今後の検討の進捗状況に応じて変更の可能性がある