

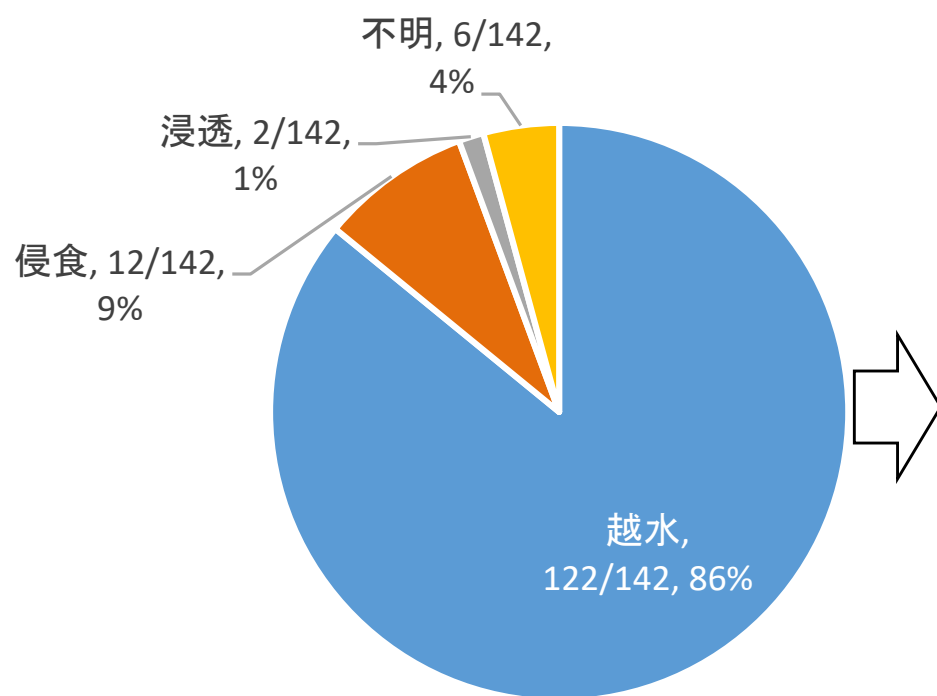
越水に対して「粘り強い河川堤防」 に関する技術公募

越水に対して「粘り強い河川堤防」の
検討体制、技術公募

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】

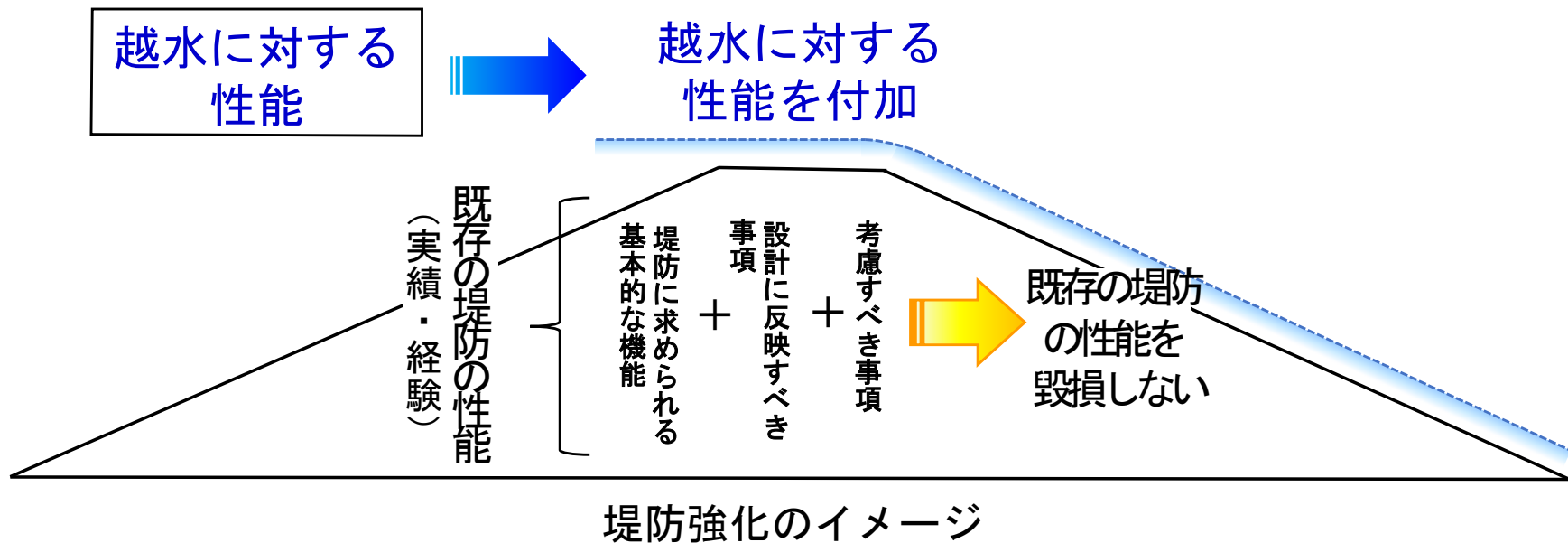
- 洪水の被害の防止・軽減には、洪水時の河川水位を少しでも下げる対策が基本。
- 気候変動により洪水による被害の激甚化・頻発化が想定され、今後治水施設的能力を超える洪水の発生が懸念されている。令和元年東日本台風では142箇所で堤防決壊が発生し、このうち122箇所は「越水」が決壊の主要因と推定された。
- このため、治水施設的能力を超える洪水に対しても、避難のための時間を確保する、浸水面積を減少させるなどにより、被害をできるだけ軽減することを目的に、決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果を発揮する粘り強い構造の河川堤防（「粘り強い河川堤防」）の整備を進める必要があ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



- 「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。

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。



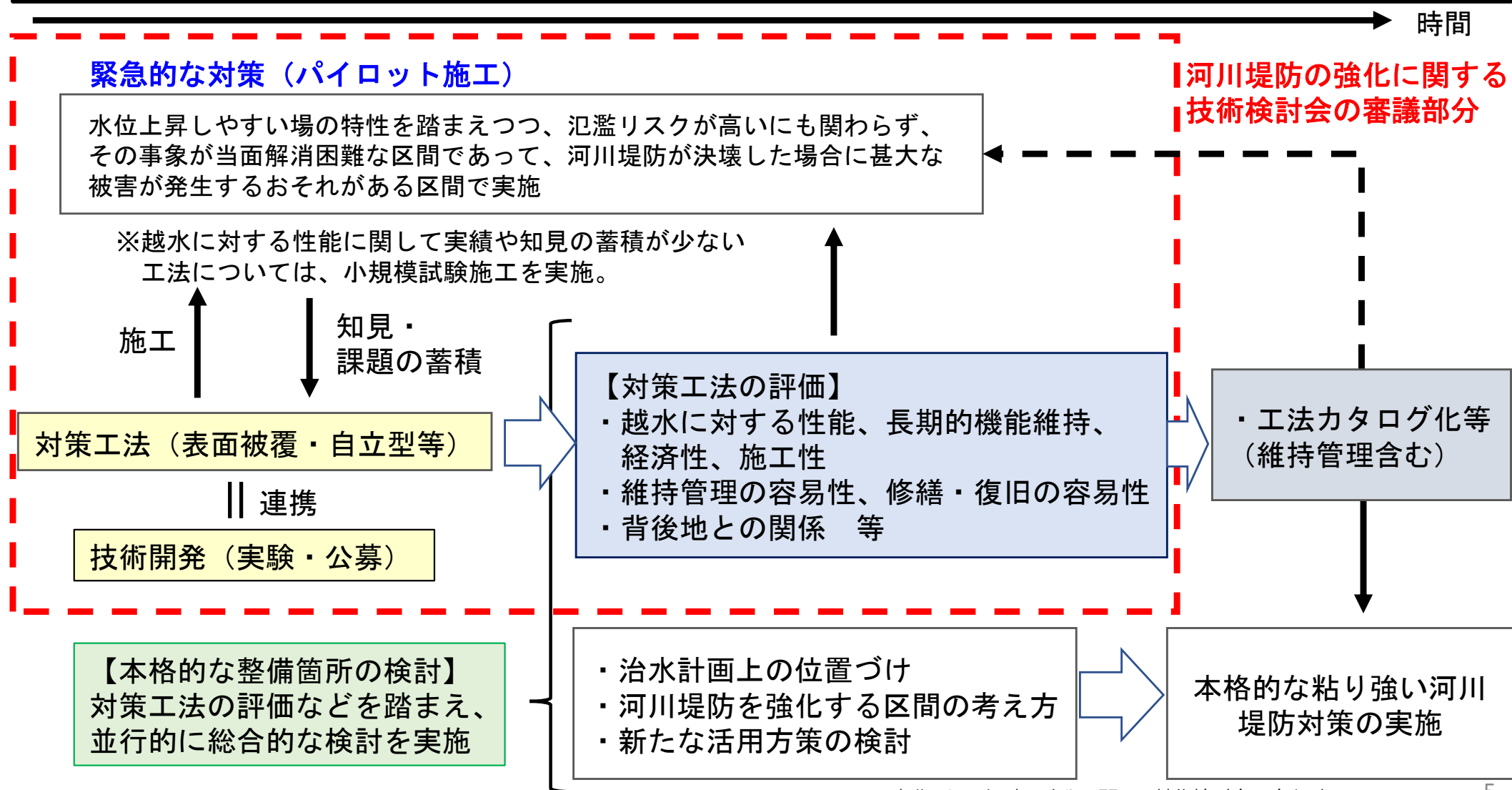
(実線：既存の堤防の性能、破線：越水に対する粘り強さを付加した場合の性能)

※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

※出典：河川堤防の強化に関する技術検討会 令和4年5月20日

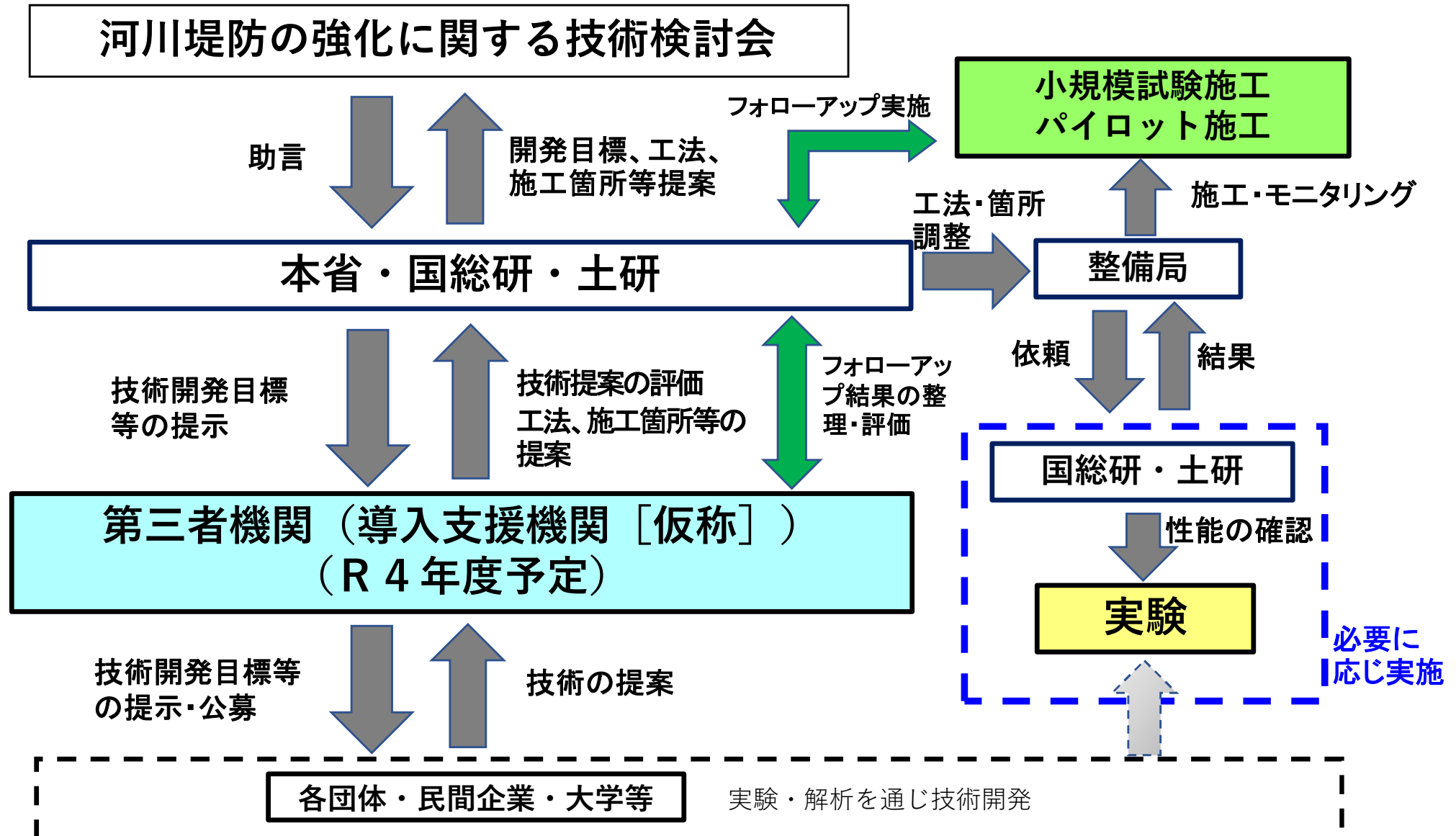
越水に対して「粘り強い河川堤防」の検討の全体像

- ・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。



関係業界団体等との研究・開発を行う体制の構築

- 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。
- 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。
- 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。



関係業界団体等との研究・開発を行う体制の構築

- 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。
- 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。
- 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

技術公募の目的

- 提出された応募資料に基づき、越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術の評価を行うとともに、評価した技術について、個々の技術の特徴を明らかにした「**技術比較表**」を作成し公表する。
- 技術比較表は、**工事発注に際して発注者が各技術の比較検討に活用**できるようにするものであり、**パイロット施工**への活用を想定している。

①技術提案で求める性能

[公募条件]
公募要領(案)を提示
(本技術検討会)

②公募技術や応募資格

[応募資格]
民間企業等が応募
・各業界団体、民間企業、大学等を想定

③応募技術の評価

- ・**第三者機関が設置した評価委員会**で応募技術の評価
- ・評価委員会で応募技術の評価し、評価階層(案)を作成し技術検討会に報告
- ・第三者機関で技術比較表(案)を作成

- 1) **既存の堤防の性能**を毀損していないか
- 2) **越水に対する性能**を有しているか

④評価階層の決定・通知

- ・技術検討会からの助言を踏まえて、評価委員会が**評価階層**を決定し、第三者機関で**通知・公表**
- ・**技術比較表**は第三者機関及び本省で**公表**
- ・技術比較表をもとに**パイロット施工、小規模試験施工**へ活用

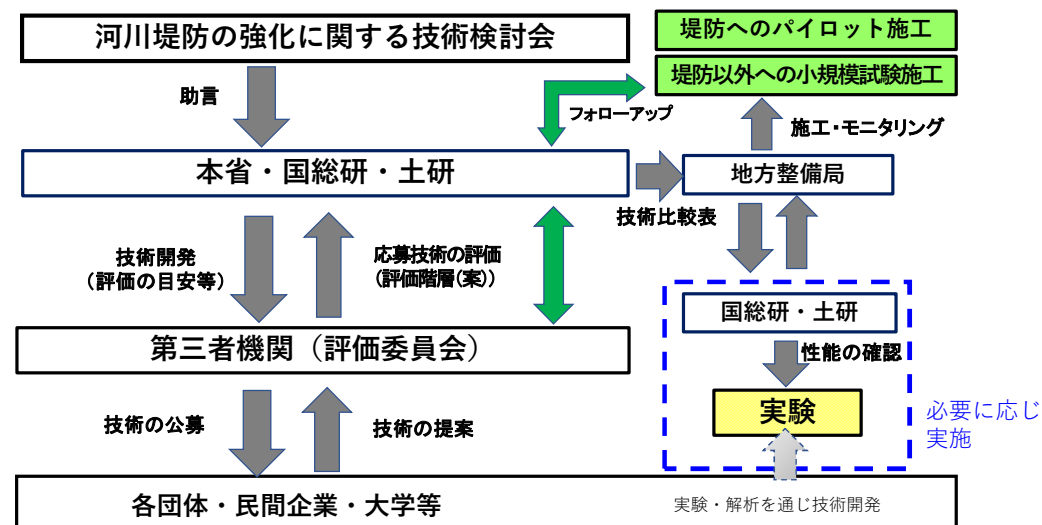
技術検討会の指摘事項に対する確認など、必要に応じ、試験施工前に**共同実験**(土研・国総研等で性能等の確認)

【河川堤防の強化に関する技術検討会】



技術検討会の様子(令和4年5月20日)

■研究・開発を行う体制



※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

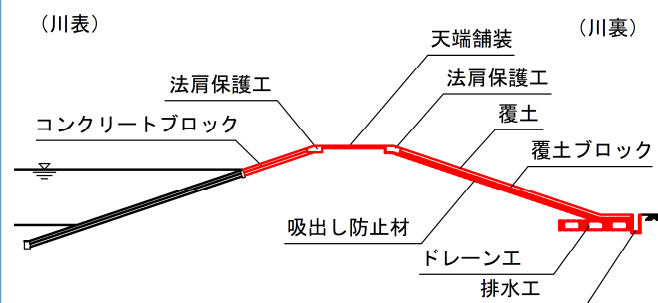
技術開発公募の対象とする構造

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。

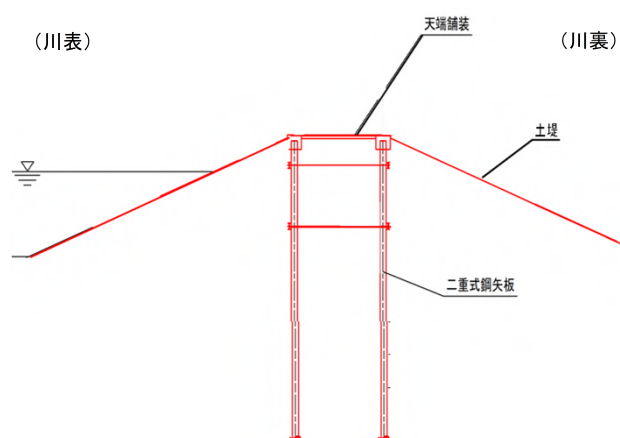


【表面被覆型の例】

○自立型

(自立式特殊堤を含む)

- 盛土の部分が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。



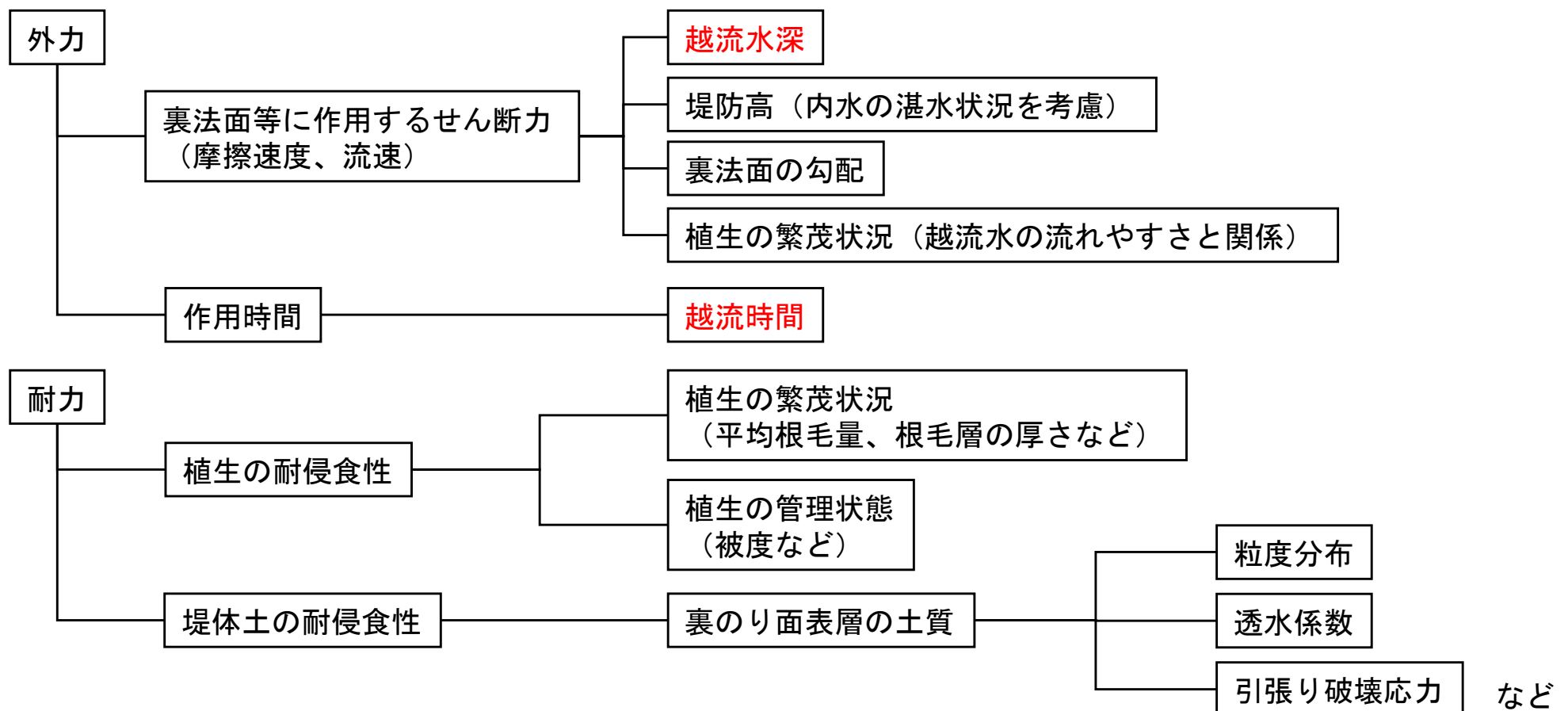
【自立型の例】

○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。

技術開発目標の基本的考え方

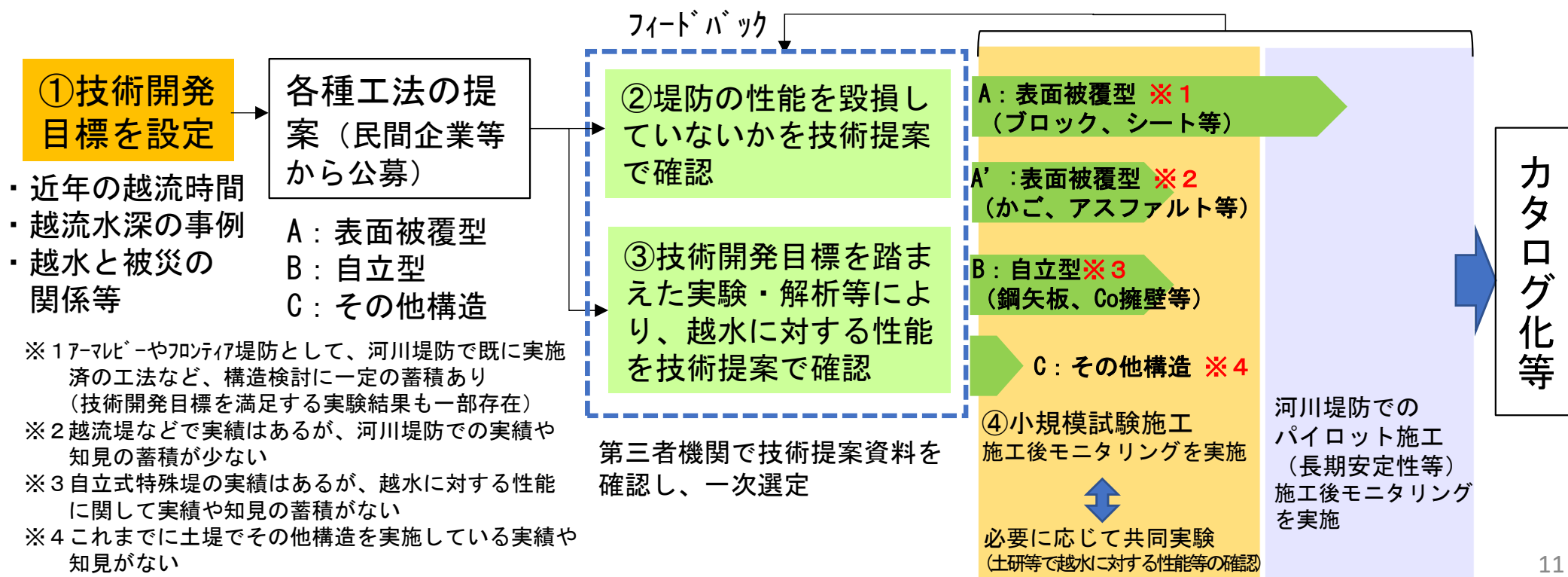
- 越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術開発を行うため、技術開発目標が必要。
- 技術開発目標は、全国各地の堤防に生じやすい越水の状態を想定するとともに、過去の越水による被災状況や、その外力による堤防裏法面等へのせん断力等の力学的特性などを元に設定を検討する。
- 技術開発目標として設定する外力の種類は、越水に対する性能を評価する上で“越水時に堤体に働く外力”という観点から特に重要な「越流水深」と「越流時間」とする。
- 令和元年東日本台風でも越流水深や越流時間が増えると決壊に至る可能性が高まるという傾向が確認されている。



技術開発目標の基本的考え方

※出典：河川堤防の強化に関する技術検討会 令和4年5月20日

- 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場合があることに留意が必要である。



近年の主な堤防越水事例と被災の関係

※出典：河川堤防の強化に関する技術検討会 令和4年5月20日

- 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%

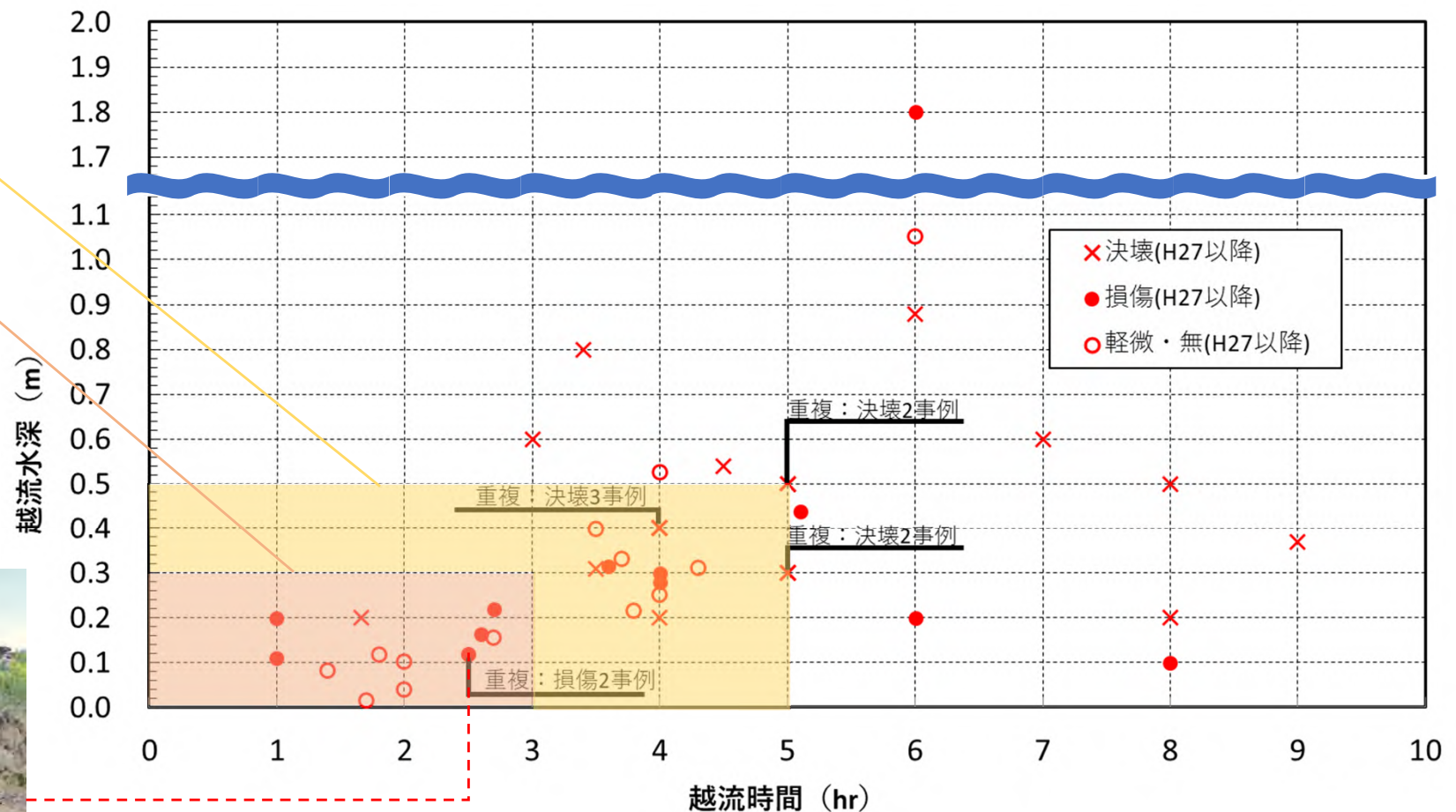
越流時間3時間以内・越流水深30cm以下の事例のうち、
損傷・決壊した事例
(7事例)

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 ¹⁾
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 ²⁾
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。 ³⁾	土木研究所資料第3536号「関川水害時の避難行動分析」 ³⁾ 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.

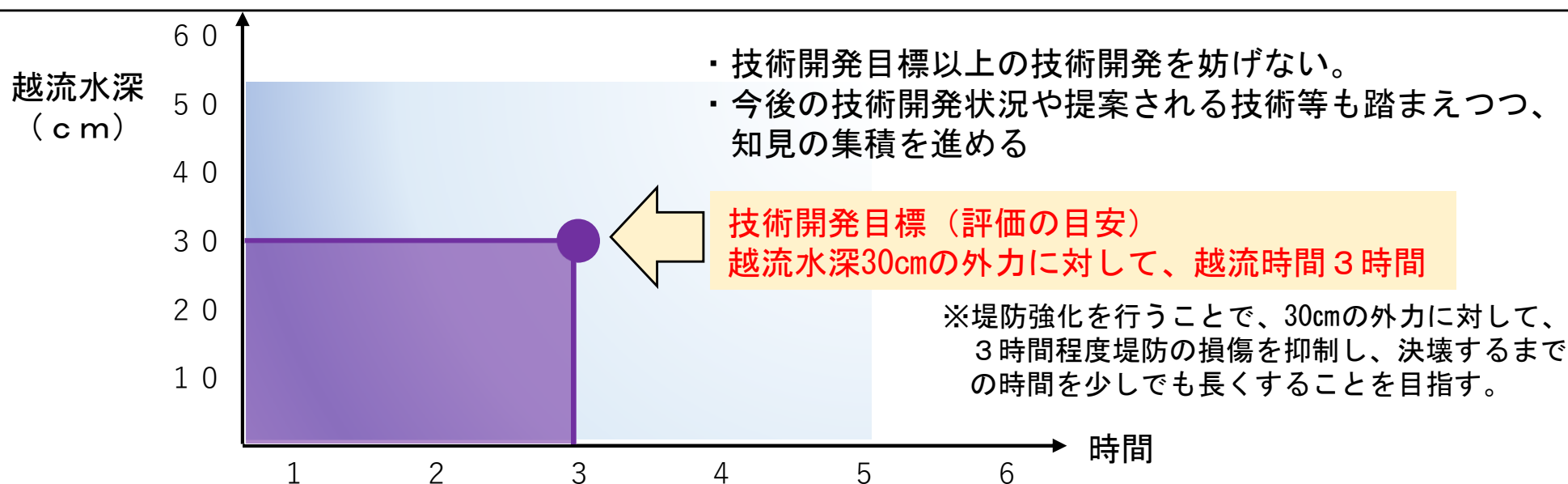
2) 福岡捷二・藤田光一・加賀谷均：アーマ・レビー法尻工の水理設計，水理講演会論文集，土木学会，第31回，1987.

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.

技術開発目標（評価の目安）の設定

- 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。



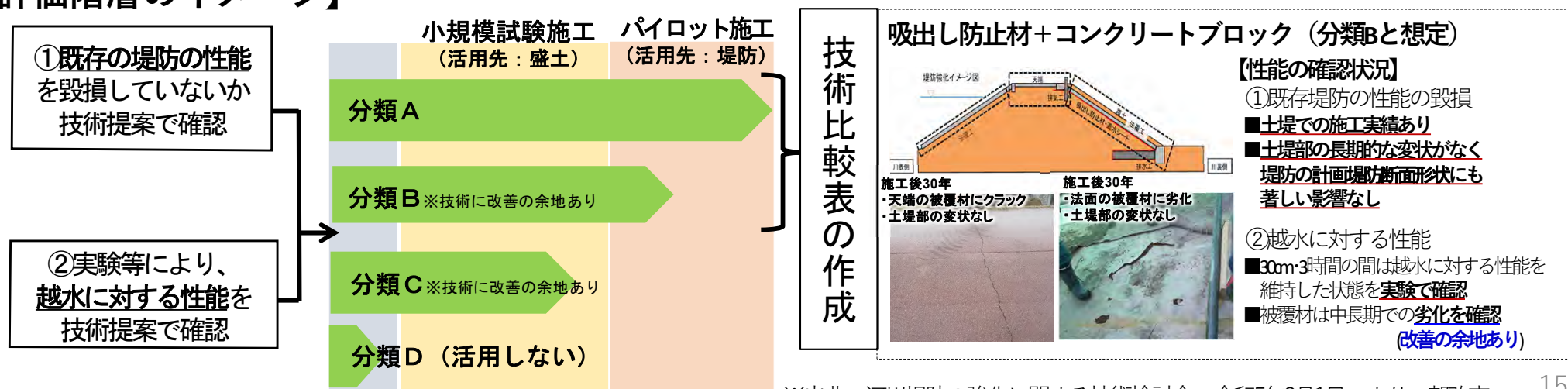
評価階層

○**応募技術**は、評価の基本的な考え方にに基づき、①既存の堤防の性能を毀損しないこと、②越水に対する性能を有することについて**評価し、A～Dの「評価階層」で評価の分類を行う。**

評価階層	①既存の堤防の性能を毀損しないこと		②越水に対する性能を有していること	技術の活用先
	計画高水位以下の安全性	設計に反映・考慮すべき事項		
分類A	土堤と同等以上	土堤と同等以上	有している	堤防 (全国展開)
分類B	土堤と同等以上	技術に 改善の余地あり 技術開発の継続が望まれる	実験結果等※で確認しており、 現地での不確実性等が残る	堤防 (優先的に施工すべき区間に活用)
分類C	技術に 改善の余地あり 技術開発の継続が望まれる	技術に 改善の余地あり 技術開発の継続が望まれる	実験結果等※で確認しており、 現地での不確実性等が残る	盛土 (構造令適用外の区間で試験)
分類D	技術に 課題あり	技術に 課題あり	技術に 課題あり	なし (活用しない)

※実験又は実験により検証された手法による解析

【評価階層のイメージ】



越水に対して「粘り強い河川堤防」の
の技術提案で求める性能

越水に対して「粘り強い河川堤防」の技術提案で求める性能

○粘り強い河川堤防の技術提案で求める性能は以下のとおりであり、これらの性能を満足していること。

- ①既存の堤防の性能を毀損しないこと
- ②越水に対する性能を有すること

○越水に対する性能の考え方

- ・越水に対する性能を評価するため、技術開発上の「評価の目安」として「越流水深30cmの外力に対して、越流時間3時間の間は越水に対する性能を維持する構造であること」と設定。
- ・越水に対する性能は一つの条件下で行われた実験結果に基づき評価するものである。この評価は、洪水時の降雨、河川水位・波形、堤防の沈下・不陸・土質・施工・維持管理などの現地の様々な不確実性の影響を取り込んだ評価となっていないことから、実験等で性能を確認した工法を現地で施工した場合でも、評価の目安よりも小さい外力で決壊する場合がある。
- ・仮に評価の目安の外力未満で堤防が決壊した場合でも、対策実施以前よりは、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くする、という定性的な越水に対する性能を有しているものである。

①既存の堤防の性能を毀損しないこと

【堤防に求められる基本的な機能】

- ・常時の健全性
- ・耐侵食性能及び耐浸透性能
- ・耐震性能、
- ・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 等

【設計にあたって考慮すべき事項】

- ・環境及び景観との調和
- ・構造物の耐久性
- ・施工性・経済性
- ・維持管理の容易性
- ・事業実施による地域への影響 等

②越水に対する性能を有すること

【技術提案で求める性能】

- ・粘り強い河川堤防は、越水しても決壊しない堤防ではなく、避難のための時間を確保するなど、被害をできるだけ軽減するため、越水した場合でも決壊しにくく、堤防が決壊するまでの時間を少しでも長くするなどの減災効果の発揮を目的。
- ・技術開発上の評価の目安として「越流水深30cmの外力に対して、越流時間3時間」の間は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を維持する構造（評価の目安）

