

第 1 回公募を踏まえた課題への対応

越水に対して「粘り強い河川堤防に関する技術」の公募要領における用語の定義

○第2回公募にあたり、応募者に公募要領等の記載内容を適切に理解してもらうため、以下の通り用語の定義を行なった。

1 パッケージ

・堤防に越水に対して粘り強い性能を付加させるために設置される構造全体のことをいう。

2 構成部材（パーツ）

・越水時に堤防の各部位に生じる作用に対応するための部材（パッケージを構成する部材）のことをいう。

3 設計思想

・パッケージが越水に対する性能を発揮する原理（越水に対して粘り強くなる仕組み）、パッケージにおける構成部材の採用理由と役割、構成部材（パーツ）の構造検討手法（設計方法）のことをいう。

4 変状連鎖図

・越水等の作用による決壊を最終事象とし、最終事象につながる変状（設計思想に照らして、構成部材の役割を損なう望ましくない変状）及び変状を生じさせる現象・要因をプロセスごとに並べて連鎖させた図のことをいう。

※変状として、越水時に生じる変状、越水前に生じる変状の両方を想定する。また、実験等で確認されていないが、生じることが想定される変状を含む。

5 主要なプロセス

・越水等の作用により生じる変状から決壊に至るまでの過程のことをいう。

6 信頼性

・応募技術の信頼性は以下に示す2つのことをいう

（1）応募技術が「越水に対する性能」を発揮する原理、手段や「越水に対する性能」を有していることの確認方法が妥当であることをいう。

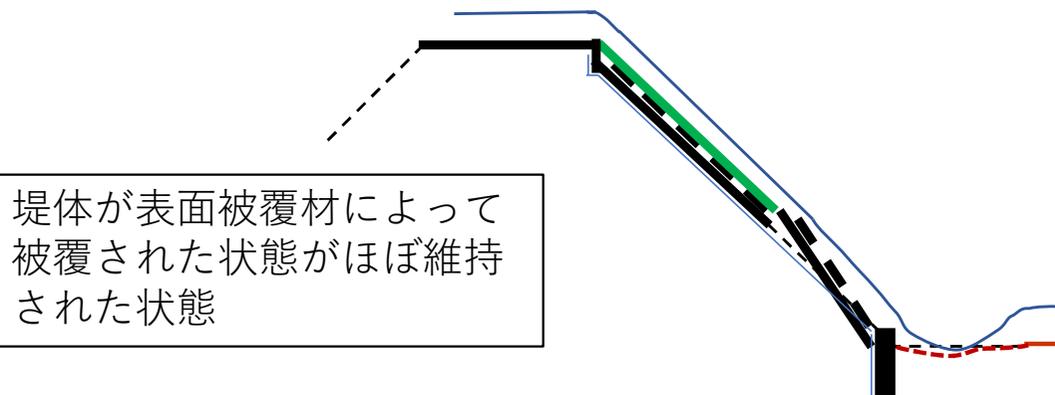
（2）応募技術を様々な現場で使用する場合においても、確認された「越水に対する性能」を発揮することをいう。

7 適用範囲

・実験や解析等の科学的根拠に基づき確認された「越水に対する性能」を発揮する範囲をいう。

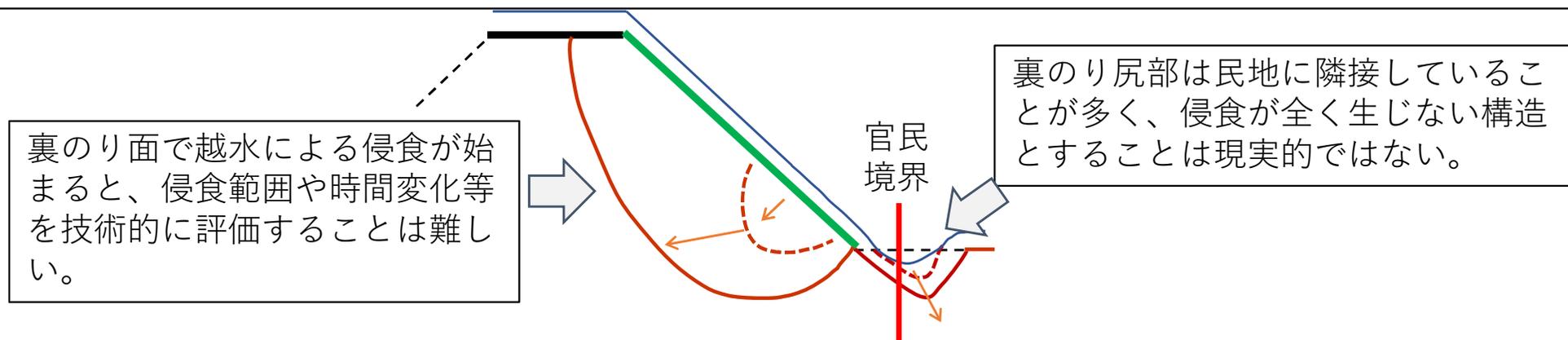
【越水に対する性能を維持している状態（案）】

- 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



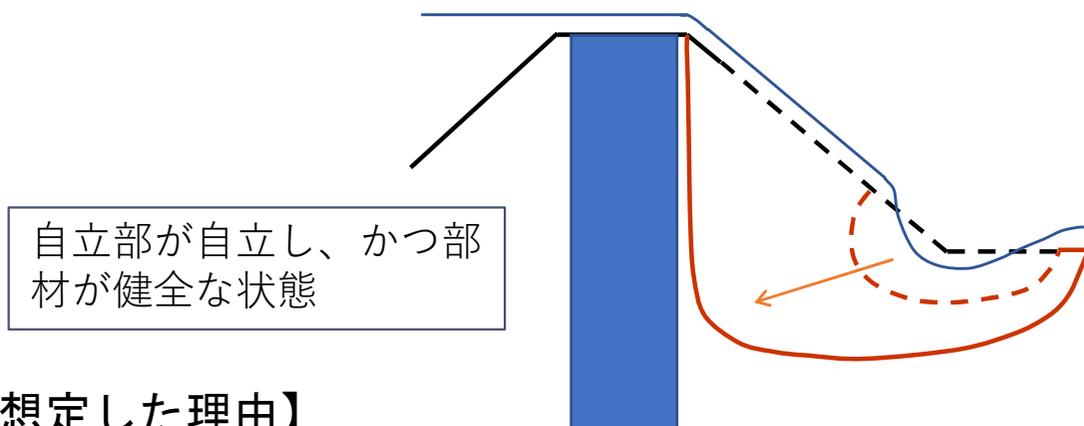
【この状態を想定した理由】

- 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である。そのため計画堤防断面に食い込むほどの堤防土羽の侵食が生じるおそれがある状態は、越水に対する性能を維持している状態ではないとみなす。
- なお、裏のり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を検討することは現実的ではない。



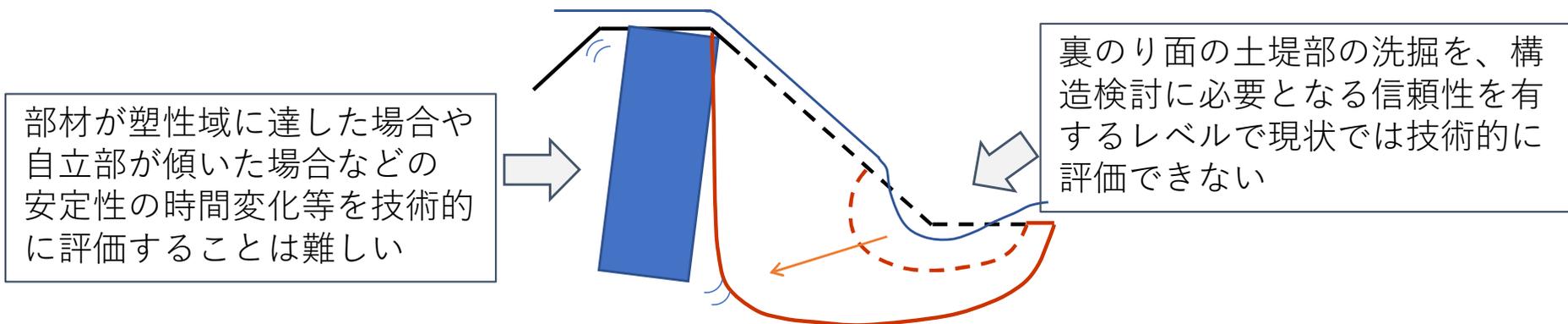
【越水に対する性能を維持している状態（案）】

- 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である。そのため、自立部を構成する部材の健全性が損なわれた状態、自立部が傾くなど、安全性が担保されると技術的に評価できない状態は、越水に対する性能を維持している状態ではないとみなす。
- 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。



第1回公募を踏まえた課題とその対応

【課題1】 変状連鎖図の重要性

- 変状連鎖図や信頼性の意義が応募者に伝わっていなかったため、設計思想や求める性能が確認できないものがあった。
- 変状連鎖図を作成することは、技術開発や施工管理、維持管理に活用する一連の流れを定着させる上で重要であり、経験の早回しにも繋がるため公募要領で**変状連鎖図の重要性**が伝わるようにする必要がある。

【課題2】 適用範囲の明確化

- 適用条件（高さや天端幅、のり勾配等）について、根拠のない、あるいは根拠が曖昧な応募技術が見られた。実験や解析結果等の**科学的根拠に基づき適用範囲を記述**するよう促す必要がある。

【課題3】 実験条件の分かりやすさ

- 越水に対する性能を確認する実験において、堤体土の締固め度、力学的相似等の点で、公募要領に示す条件が守られていないものが多く見られた。
- 提案者の実験が適切に行えるよう、公募要領に実験条件を分かりやすく記載した方が良い。

【課題4】 自立型における要求性能の明確化

- 自立型**の「堤防に求められる基本的な機能」や「耐久性」、「維持管理の容易性」等の評価について、**要求性能を明確**にする必要がある。

【課題5】 審査の効率化

- 応募技術の中には、「公募要領等で示している技術審査に必要な資料」が不足していたり、実験中に侵食が進み、途中で中断したにも関わらず応募した技術が存在した。それらの応募技術の評価に多くのリソースを要した。評価委員の労力を考えると、**審査を効率化**する必要がある。

●上記課題を踏まえた第2回公募の要領改訂を実施

※第1回公募との整合を図るため、**技術提案に求める性能及び評価の枠組みは変えない。**

※第2回公募の評価作業の効率化や、評価結果を説明する上での透明性を向上させる。

課題 1 変状連鎖図の重要性

○実験や解析との関係性や、信頼性との関係性を整理することで、変状連鎖図の重要性を示す。

課題	対応方針（案）	資料
<ul style="list-style-type: none"> 変状連鎖図や信頼性の意義が応募者に伝わっていなかったため、設計思想や求める性能が確認できないものがあった。 変状連鎖図を作成することは、技術開発や施工管理、維持管理に活用する一連の流れを定着させる上で重要であり、経験の早回しにも繋がるため公募要領で変状連鎖図の重要性が伝わるようにする必要があります。 	<ul style="list-style-type: none"> 実験や解析との関係性や、信頼性との関係性を整理することで、変状連鎖図の重要性を示す。 	<ul style="list-style-type: none"> 技術資料 公募要領 応募資料作成要領

○第1回公募における応募作成要領および越水に対する性能に関する情報（様式4）の例示

2. 各資料の作成要領

(5) 越水に対する性能を有すること（様式4）

- 越水に対する性能に関する情報の検討項目ごとに確認方法を記載する。
(参考：「確認方法の記入例（別紙-2）」)
- 確認結果は、「モデル堤防（別紙-1）」を基本に、実験、実験により検証された手法による解析のどちらかの手段により求める。
- 決壊に至るまでのプロセス・破壊の変状連鎖図、信頼性（技術の熟度等）、越水に対する性能を有する構造とす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については、その根拠を提出する。

様式4 【越水に対する性能に関する情報】		
検討項目	評価項目	確認方法の提出(例) ※応募者が記入・提出
検討項目9: 越水に対する粘り強い性能 を有する構造であること		
⑳	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	<ul style="list-style-type: none"> ・30cmの越流水深に対し、3時間後に天端および表面被覆材の状態が維持されていることを実験により確認する。 詳細は以下のとおり (1)実験条件:堤防高5m、天端幅5m、法勾配1:2、ブロック重量500kg/m²、法尻境界0.3m、土質材料の粒度分布・締固め度 (2)越水に対して裏法尻保護工、裏法保護工、天端保護工が維持されていることを確認する。 (3)裏法尻保護工を設置(L=0.3m)するが、裏法尻付近に洗掘は生じていないかを確認する。 (4)実験後の開削により保護工下の土砂の吸い出しや侵食が生じていないかを確認する。
検討項目10: 決壊に至るまでのプロセス・破壊の変状連鎖図		
㉑	決壊に至るまでのプロセス・破壊の変状連鎖図	<ul style="list-style-type: none"> ・実験により変状連鎖図を作成し、その妥当性を確認する。
検討項目11: 信頼性 （技術の熟度等）		
㉒	信頼性（技術の熟度等）	<ul style="list-style-type: none"> ・同一条件での実験または条件を変えた実験を複数回実施し、技術の信頼性を確認する。
検討項目12: 越水に対する性能を有する構造とするための 施工上の留意点		
㉓	越水に対する性能を有する構造とするための施工上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・越水性能を有する構造とするための施工上の留意点(施工端部の処理方法等)を確認する。
検討項目13: 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		
㉔	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	<ul style="list-style-type: none"> ・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について記入する。

課題 1 変状連鎖図の重要性（前回公募における様式4の課題）

- 前回公募において**検討項目 1 1**の信頼性の意図が応募者に伝わっていなかった。
- また、**検討項目 1 2, 1 3**についても、**変状連鎖図**や**信頼性**に相互に関連する内容であり、評価側においても評価に苦慮した。
- 第2回公募にあたっては、変状連鎖図の作成を含む検討手順の例を示したうえで、**変状連鎖図を起点**とし、実験と信頼性の関係性が適切に検討出来るよう様式4の構成を見直す。

検討項目	第1回公募における確認方法の例	検討手順の例
検討項目 9 越水に対する粘り強い性能を有する構造であること	・ 30cmの越流水深に対し、3時間後に天端および表面被覆材の状態が維持されていることを実験により確認する。	【STEP 2】：実験や解析等 ・ 公募要領に示された「越水に対する性能を有していること」を単一または、複数の実験や解析等で確認する。
検討項目 1 0 決壊に至るまでのプロセス・破壊の変状連鎖図	・ 実験により変状連鎖図を作成し、その妥当性を確認する。	【STEP 1】：変状連鎖図の作成 ・ パッケージを作成し、主要なプロセスに対し、設計での対応を検討する。（様式2：応募するパッケージ全体、及び主要部材の構造計算法等）
検討項目 1 1 信頼性（技術の熟度等）	・ 同一条件での実験または条件を変えた実験を複数回実施し、技術の信頼性を確認する。	【STEP 2】 に含まれる部分 信頼性（1） ・ 応募技術が「越水に対する性能」を発揮する原理、手段や「越水に対する性能」を有していることの確認方法が妥当であること。
検討項目 1 2 越水に対する性能を有する構造とするための施工上の留意点	・ 越水性能を有する構造とするための施工上の留意点（施工端部の処理方法等）を確認する。	【STEP 3】 信頼性向上のための検討 信頼性（2） 応募技術を様々な現場で使用する場合においても、確認された「越水に対する性能」を発揮すること。
検討項目 1 3 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	・ 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について記入する。	【STEP 3】 に含まれる部分 ・ 変状連鎖図に示された主要なプロセス対し、設計以外での対応を検討する。



課題 1 変状連鎖図の重要性（信頼性および信頼性向上のための検討）

○本公募における信頼性の確認方法を示す。

(1)応募技術が「越水に対する性能」を発揮する原理、手段や「越水に対する性能」を有していることの確認方法が妥当であること。

【確認方法】

・変状連鎖図に示されている主要なプロセスを確認する上で、適切な構造、条件、確認方法を採用しているか。等

※更に同一条件で実験した場合に同じ結果が確認されることで信頼性が向上する。

(2)応募技術を様々な現場で使用する場合においても、確認された「越水に対する性能」を発揮すること。

【確認方法】

・「越水に対する粘り強い性能」を発揮するため、様々な現場で想定される不確実性を変状連鎖図に記載し、その対応が机上で検討されているか。等

※更に不確実性への対応が科学的根拠に基づき整理・検証されることで信頼性が向上する。

想定される不確実性の例

①現場条件（設計条件の設定）の不確実性

⇒堤防の縦横断形状、土質・基礎地盤の不均質性、凍上等

②施工の不確実性

⇒施工による損傷、施工誤差による隙間等

③部材の品質の不確実性

⇒不良品の存在、部材内部・部材毎の品質のバラツキ等

④越水時の不確実性

⇒漂流物の流下等

⑤経年変化による不確実性

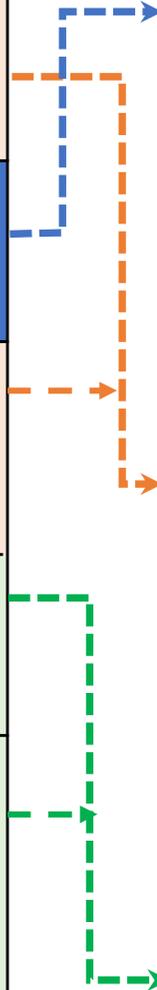
⇒部材の劣化による性能の低下、不同沈下、植生の繁茂等

課題 1 変状連鎖図の重要性（様式 4 の変更）

- 評価者側の意図を伝えるため、**様式 4 の記載方法は、検討の手順通りに記載出来るように変更**する。
- 5つの検討項目は、3つの検討項目とするが、**評価の枠組みは変えない**。
- 様式 4 の検討ステップの例を「資料 1 - 2（別冊）様式の記入例」に示す。

○第1回公募の様式 4 の項目

検討項目	検討の手順
検討 9 越水に対する粘り強い性能を有する構造であること	【STEP 2】：実験や解析等 ・公募要領に示された「越水に対する性能を有していること」を、単一または、複数の実験や解析等で確認する。
検討項目 1 0 決壊に至るまでのプロセス・破壊の変状連鎖図	【STEP 1】：変状連鎖図の作成 ・パッケージを作成し、主要なプロセスに対し設計での対応を検討する。（様式 2：応募するパッケージ全体、及び主要部材の構造計算法等）
検討項目 1 1 信頼性（技術の熟度等）	【STEP 2】 に含まれる部分 信頼性（1） ・応募技術が「越水に対する性能」を発揮する原理、手段や「越水に対する性能」を有していることの確認方法が妥当であること
	【STEP 3】 信頼性向上のための検討 信頼性（2） 応募技術を様々な現場で使用する場合においても、確認された「越水に対する性能」を発揮すること
検討項目 1 2 越水に対する性能を有する構造とするための施工上の留意点	【STEP 3】 に含まれる部分 ・変状連鎖図に示された決壊に至る主要なプロセスにおいて、設計以外での対応を検討する。
検討項目 1 3 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	



検討項目	第2回公募における様式 4（案）		
9	【STEP 1】 決壊に至るまでの主要なプロセス、破壊の変状連鎖図		
	決壊に至る主要なプロセスへの対応（様式 2 の詳細を記載）		
	プロセス	対応	
	様式 2	様式 2	
1 0	【STEP 2】 越水に対する粘り強い性能を有する構造であること		
	プロセスの確認方法 <input type="checkbox"/> 単一実験や解析 <input type="checkbox"/> 複数実験や解析		
	上記プロセスの確認方法を用いる場合の公募要領上の留意点等		
	実験等の条件		
	越水に対して粘り強い性能を有していることを判断するための確認項目および確認方法		
		(確認項目)	(確認方法)
1 1	【STEP 3】 信頼性向上のための検討		
	プロセス	対応	

課題 2 適用範囲の明確化

○適用範囲について、以下を公募要領等に追記する。

- ・実験や解析等の科学的根拠に基づき確認された「越水に対する性能」を発揮する範囲をいう。
- ・適用範囲の妥当性を確認するため、材料特性や工法の特徴に応じた実験や解析等の科学的根拠の提出を求める。

課題	対応方針（案）	資料
<p>・適用条件（高さや天端幅、のり勾配等）について、根拠のない、あるいは根拠が曖昧な技術提案が見られた。実験や解析結果等の科学的根拠に基づき適用範囲を記述するよう促す必要がある。</p>	<p>○適用範囲について、以下を公募要領等に追記する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実験や解析等の科学的根拠に基づき確認された「越水に対する性能」を発揮する範囲をいう。 ・適用範囲の妥当性を確認するため、材料特性や工法の特徴に応じた実験や解析等の科学的根拠の提出を求める。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術資料 ・公募要領 ・応募資料作成要領

○前回公募における様式1の記載例

写真等



・当該構造の適用範囲（堤体高、勾配、天端幅、土質条件・法尻用地等）

堤高	制限なし	天端幅	制限なし	法勾配	1:2.0~
適用土質	砂質土	官民境界の位置	法尻から	0.3~	m

※官民境界の位置は、法尻補強工を設置できる0.3mを最低幅とする。

※この様式が1枚に収まらない場合は、複数枚に分割して作成しても構いません。

※この様式は、今回の審査の参考として用いるものであり、無断で他の目的に使用することはありません。

課題3 実験条件の分かりやすさ

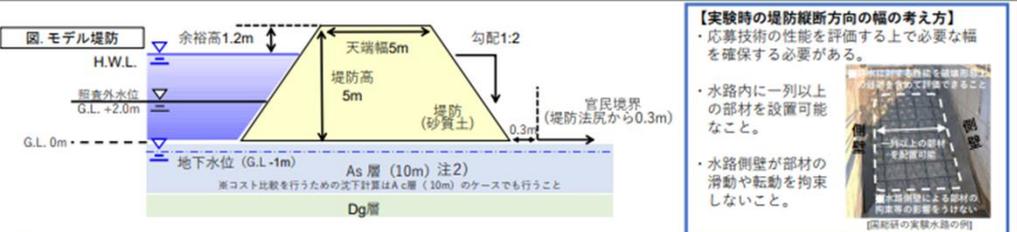
- 応募技術が有する性能を確認するための実験等は、モデル堤防を基本に、**応募者自らが確認したい事象に基づき実験条件を設定する**必要がある。そのため、応募者には実験条件等についてより理解を深めて頂く必要がある。
- 実験条件をより分かりやすく伝えるために、「**相似則関連の参考資料や越水実験の条件等**」について補足する。

課題	対応方針（案）	資料
<ul style="list-style-type: none"> ・越水に対する性能を確認する実験において、堤体土の締め固め度、力学的相似等の点で、公募要領に示す条件が守られていないものが見られた。 ・提案者の実験が適切に行えるよう、公募要領の条件を分かりやすく記載した方が良い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・実験条件をより分かりやすく伝えるために、「相似則関連の参考資料や越水実験の条件等」について補足する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・技術資料 ・公募要領 ・応募資料作成要領

○第1回公募における実験条件等の記載例（別紙-1）

技術提案を求める上での与条件（モデル堤防） 別紙-1

- モデル堤防の形状については、下図を基本形状とする。
- 堤防に求める基本的な機能や越水に対する性能の確認にあたっては、モデル堤防を用いることを原則とする。ただし、この形状での適用が困難な場合には、適宜条件を変更することが可能であるが、構造令の形状規定の基準は満たすこととする。
- 越水に対する性能の評価にあたっては実験又は実験により検証された手法による解析で確認することとし、以下に留意する。**
 - (1) 縮尺した形状のモデル堤防（裏法部を抽出したモデル堤防を含む）を用いて越水実験を行う場合、越水に対する**裏法部の侵食や洗掘の現象について、力学的相似則を満足するものとする。**注1)
 - (2) 力学的相似則を満足しない場合については、越水に対する**性能評価上、問題がないことを示すものとする。**
 なお、表面被覆型に関して実験により越水に対する性能検証を行う場合、**堤防高さ2m以上を確保したうえで「越流水深は縮尺せずに越流水深30cmを作用させる」とともに、「ブロック形状や吸出し防止材等の被覆材は縮尺しないこと」**により、性能評価上、問題がないとみなすことができる。
 また、越水に対する性能の評価を、実験により検証された手法による解析で確認する場合、「**堤防高さ2m以上を確保した実験により検証された解析手法を検証すること**」により、性能評価上、問題がないとみなすことができる。

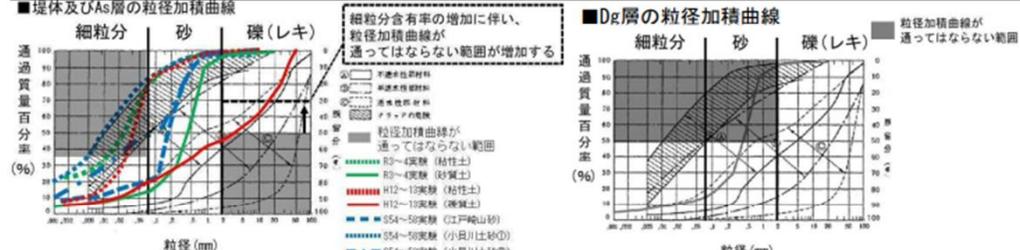


【補足事項】
 注1) 堤防の形状は縮尺に応じて相似性を保つことができるが、地盤の侵食に関する相似則が確立されていないため、裏法部の侵食（洗掘）耐力については縮小できない。そのため、越流水深を模型縮尺に合わせて小さくすると、越流水深30cmに対する越水実験による性能確認を行ったことにならない。また、過去の越水実験を参考にすると、モデル堤防の高さを低くし過ぎると、裏法面の流下する際の越流水の加速度が十分に伝わらず、越流水深30cmに応じた越水外力を裏法面に作用させることができない。
 注2) コスト算出のための沈下計算はAs、Ac層で実施し、必要に応じて沈下対策費用を計上する。なお、基礎地盤（As、Ac層）は上記堤防形状で安定しているものとし、沈下計算は強化対策後の状態でも実施するものとする。

【実験時の堤防横断方向の幅の考え方】
 ・応募技術の性能を評価する上で必要な幅を確保する必要がある。
 ・水路内に一列以上の部材を設置可能なこと。
 ・水路側壁が部材の滑动や転動を拘束しないこと。
 図：水路内の一列以上の部材を設置可能な様子（図は縮尺した実験水路の例）

技術提案を求める上での与条件（土質条件） 別紙-1

- 実験における土質の与条件として、粒徑加積曲線及び締固め度を定める。**
- 堤体及びAs層の土質は**細粒分含有率 $F_c=35\%$ 以下の砂質土**、Dg層の土質は**礫質土**とし、**実験に用いた材料の粒度分布を示すこと**。なお、**締固め度は90%程度**とし、越水実験前に堤体の引張破壊応力を確認する。



※**実際の堤防には、さまざまな粒度分布の土質材料が築堤に使用されている。**
 ・一般的に、**不透水性の土質材料は越水に対して強く**、**透水性の土質材料では、越水に対して弱くなる**と考えられ、越水に対する性能も土質材料によって大きく変わらう。
 ・**越水に対して強い土質材料を用いると、応募技術の性能を適正に評価できないおそれがあるため、細粒分含有率 F_c が35%以下の砂質土を設定するものとする。**

○解析における土質の与条件として、土質定数及び圧密特性を定める。

■土質定数一覧

土質記号	土質	単位体積重量 [kN/m³]	内部摩擦角 [°]	粘着力 [kN/m²]	透水係数 [cm/s]	平均値 [回]	液状化強度比
堤体	砂質土	20	35	0 (※1)	1.00E-04	10	- (※2)
As	砂質土 (※3)	20	35	0	1.00E-03	10	0.225
Ac	中ぐらいの粘土	17	0	30	1.00E-05	5	- (※2)
Dg	礫質土	21	40	0	1.00E-02	50	- (※2)

※1: すべり計算時には、1kN/m²としてよい。 ※2: As層以外は、液状化しないものとする。
 ※3: 解析では中砂相当とする。 ※4: Acの圧密特性は、深さに関わらず一定とする。

■Acの圧密特性 (※4)

圧密応力 [kN/m²]	間隙比	平均圧密応力 [kN/m²]	圧密係数 [cm²/d]
0	1.797	5.0	5330
10	1.782	14.1	5150
20	1.766	28.3	4330
40	1.743	56.6	2980
80	1.656	113.1	789
160	1.458	226.3	193
320	1.247	452.6	91
640	1.055	905.1	54
1280	0.890		

課題3 実験条件の分かりやすさ（与条件：モデル堤防）

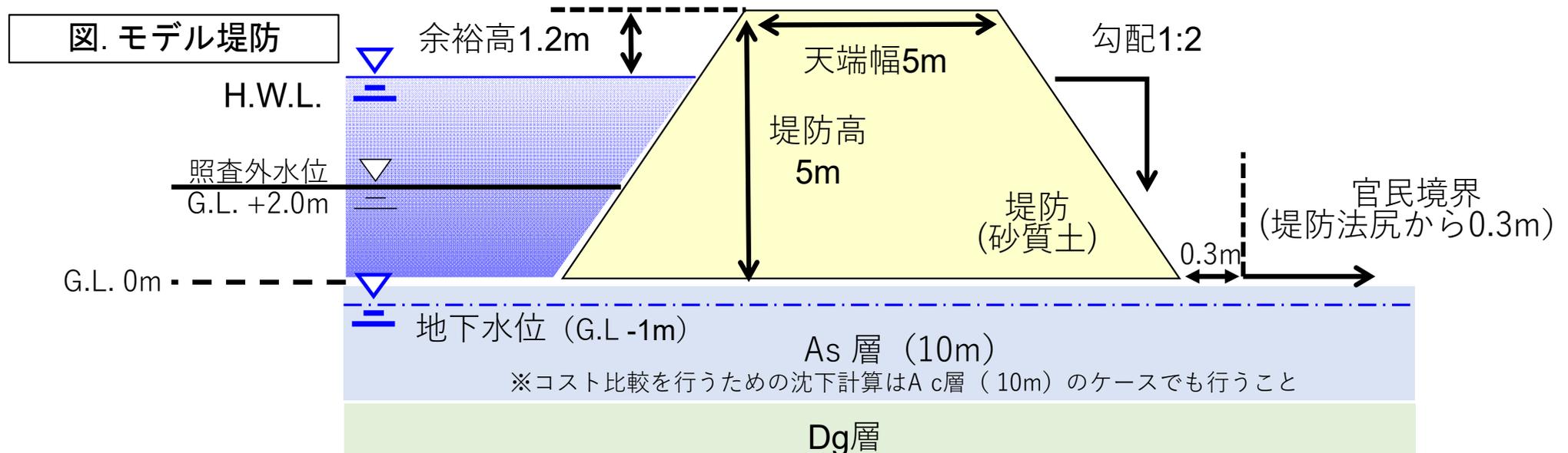
- 堤防に求める基本的な機能や越水に対する性能の確認にあたっては、モデル堤防を基本とする。
- モデル堤防の形状は下図とする。
- 提案技術の構造を適切にモデル化する。
- 越水に対する性能の確認は、「実験」又は「実験により検証された解析手法」で行う。
- 「実験」又は「実験により検証された解析手法」を行う場合の留意点を次頁に整理に整理。

【実験時の堤防縦断方向の幅の考え方】

- ・応募技術の性能を評価する上で必要な幅を確保する必要がある。
- ・水路内に一列以上の部材を設置可能なこと。
- ・水路側壁が部材の滑動や転動を拘束しないこと。



[国総研の実験水路の例]



【補足事項】

注) コスト算出のための沈下計算はAs、Ac層で実施し、必要に応じて沈下対策費用を計上する。なお、基礎地盤（As、Ac層）は上記堤防形状で安定しているものとし、沈下計算は強化対策後の状態で行うものとする。

課題3 実験条件の分かりやすさ（与条件：実験等を行う場合の留意点）

①「実験」により確認を行う場合の留意点

表面被覆型	自立型
【非縮尺模型実験】 <ul style="list-style-type: none"> ・堤防高2m以上とすること （堤防高5mのモデル堤防に相当） ・天端幅、法面勾配について、構造令の基準を満たすこと 	【非縮尺模型実験】 <ul style="list-style-type: none"> ・堤防高5m以上とすること ・天端幅について、構造令の基準を満たすこと
【縮尺模型実験】 <ul style="list-style-type: none"> ・縮尺模型実験において、複数の事象の相似則を同時に考慮することは難しく、複数の事象の相互作用を確認することは難しいと想定される。そのため、実験で確認したい事象を明確にした上で、当該事象において、適切な力学的相似則を満足すること ・確認したい事象に影響を与える事象に対して、力学的相似則※を満足すること若しくは、安全側の条件とすること。※力学的相似則については次頁に整理 	

②「実験により検証された解析手法」により確認を行う場合の検証実験に関する留意点

表面被覆型	自立型
【非縮尺模型実験】 ①と同様	【非縮尺模型実験】 <ul style="list-style-type: none"> ・堤防高2m以上とすること ・天端幅について、構造令の基準を満たすこと
【縮尺模型実験】 ①と同様	

解析手法の検証について

解析手法の検証材料は、過去に実施された類似の実験や、被災事例等もありうる。その場合、類似の実験や被災事例等が検証材料として適切であることが整理、確認されていることが必要となる。

課題3 実験条件の分かりやすさ（与条件：縮尺実験を行う場合の留意点）

- 確認したい事象に影響を与える事象に対して、力学的相似則を満足すること若しくは、安全側の条件とすること。
- 実験で確認したい事象と、検討すべき相似条件の代表的な関係例を以下に示す。
- 対象とする構造の特性や確認したい事象をよく検討し、相似条件を吟味すること。

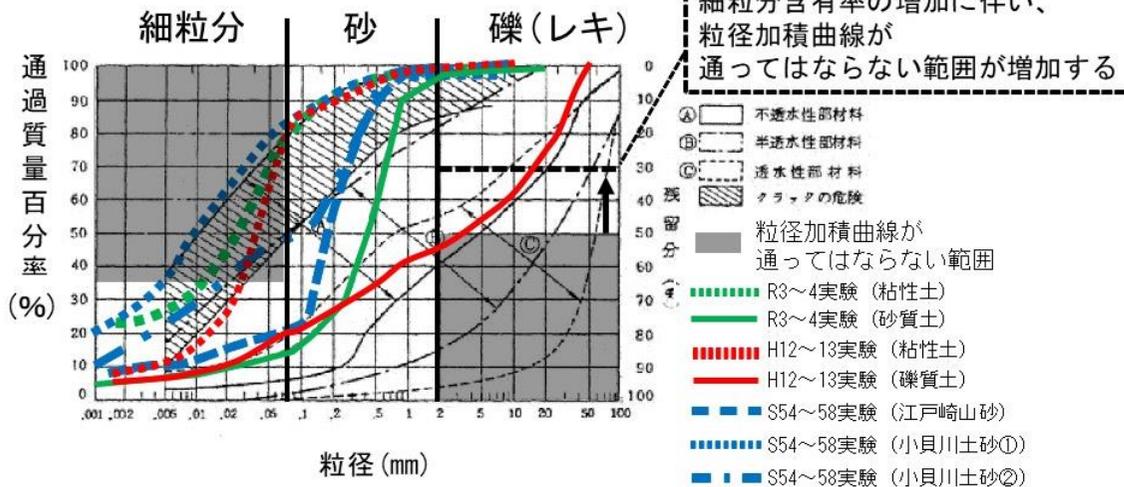
注) 堤防の形状は縮尺に応じて相似性を保つことができるが、地盤の侵食に関する相似則が確立されていないため、裏法部の侵食（洗掘）耐力については縮小できない。そのため、越流水深を模型縮尺に合わせて小さくすると、越流水深30cmに対する越水実験による性能確認を行ったことにならない。また、過去の越水実験を参考にすると、モデル堤防の高さを低くし過ぎると、裏法面の流下する際の越流水の加速が十分に行われず、越流水深30cmに応じた越水外力を裏のり面に作用させることができない。

実験で確認したい事象	検討すべき相似条件 (1G場)	検討すべき相似条件 (遠心場_縮尺1/N倍、重力N倍)
構造物の安定性	<ul style="list-style-type: none"> ・部材の特性（強度、透水性等） ・作用する外力（水圧、土圧等）等 	同左 ※実物と同様の材料を用いることで相似となる。
流体の動的挙動（流速、流量等）	<ul style="list-style-type: none"> ・フルード数（重力が影響する流体） ・レイノルズ数、ウェーバー数 (粘性が影響する流体、表面張力が影響する流体) 	同左 ※遠心場では、フルード数は、相似となる。
流体の浸透挙動	<ul style="list-style-type: none"> ・透水係数（土粒子の粒径、間隙等） ・レイノルズ数（液状化等粘性が影響する浸透挙動） 	同左
非粘着性土の侵食、洗掘	<ul style="list-style-type: none"> ・流体の動的挙動 ・シールズ数（流体のせん断力による土粒子の移動） 	同左 ※実物と同様の材料を用いるとシールズ数が相似とならない。
粘着性土の侵食、洗掘	<ul style="list-style-type: none"> ・流体の動的挙動 ・シールズ数（流体のせん断力による土粒子の移動） ・粘着力 ※粘着力の相似条件は確立されていない	同左 ※実物と同様の材料を用いるとシールズ数が相似とならない。

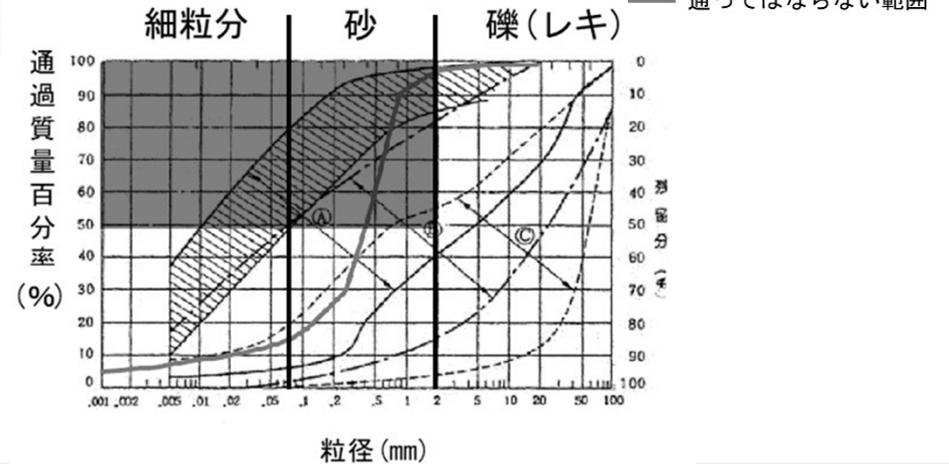
課題3 実験条件の分かりやすさ (与条件：土質条件)

- 実験**における土質の与条件は、**粒径加積曲線**及び**締固め度**を提示する。
- 堤体及びAs層の土質は**細粒分含有率 $F_c=35\%$ 以下の砂質土**、Dg層の土質は**礫質土**とし、実験に用いた材料の粒度分布を示すこと。なお、**締固め度は90%程度**とし、越水実験前に堤体の引張破壊応力を確認する。

■堤体及びAs層の粒径加積曲線



■Dg層の粒径加積曲線



※**実際の堤防には、さまざまな粒度分布の土質材料が築堤に使用**されている。
 ・一般的に、**細粒分を多く含み透水性が低く粘着力が大きな土質材料は越水に対して強く**、細粒分が少なく**透水性が高く粘着力が小さな土質材料では、越水に対して弱くなる**と考えられ、越水に対する性能等も土質材料によって大きく変わりうる。また、**堤体の締固め度が高い場合についても越水に対して強くなる**と考えられる。
 ・**越水に対して強い土質材料を用いた場合や、締固め度が高い場合では、応募技術の越水に対する性能を適正に評価できないおそれがあるため、細粒分含有率 F_c が35%以下の砂質土、および締固め度90%を設定。**

- 解析**における土質の与条件は、**土質定数**及び**圧密特性**を提示する。

■土質定数一覧

土質記号	土質	単位体積重量 [kN/m ³]	内部摩擦角 [°]	粘着力 [kN/m ²]	透水係数 [cm/s]	平均N値 [回]	液状化強度比
堤体	砂質土	20	35	0 (※1)	1.00E-04	10	-(※2)
As	砂質土(※3)	20	35	0	1.00E-03	10	0.225
Ac	中ぐらいの粘土	17	0	30	1.00E-05	5	-(※2)
Dg	礫質土	21	40	0	1.00E-02	50	-(※2)

■Acの圧密特性(※4)

圧密応力 [kN/m ²]	間隙比	平均圧密応力 [kN/m ²]	圧密係数 [cm ² /d]
0	1.797	5.0	5330
10	1.782	14.1	5150
20	1.766	28.3	4330
40	1.743	56.6	2980
80	1.656	113.1	789
160	1.458	226.3	193
320	1.247	452.6	91
640	1.055	905.1	54
1280	0.893		

※1:すべり計算時には、1kN/m²としてよい。 ※2:As層以外は、液状化しないものとする。

※3:解析では中砂相当とする。 ※4:Acの圧密特性は、深さに関わらず一定とする。

課題4 自立型における要求性能の明確化

○自立型における要求性能の明確化については、「自立型の堤防に求められる基本的な機能や耐久性、維持管理の容易性等の要求性能について、評価者側の意図が伝わるように**確認方法の提出（例）等**について補足する。

課題	対応方針（案）	資料
<ul style="list-style-type: none"> 自立型の「堤防に求められる基本的な機能」や「耐久性」、「維持管理の容易性」等の評価について、要求性能を明確にする必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 自立型の「堤防に求められる基本的な機能」や「耐久性」、「維持管理の容易性」等の要求性能について、評価者側の意図が伝わるように確認方法の提出（例）等について補足する。 	<ul style="list-style-type: none"> 応募資料作成要領

○第1回公募における自立型の記載例（様式3）

様式3-1 【堤防に求められる基本的な機能】

検討項目	評価項目	確認方法の提出(例) ※応募者が記入・提出
検討項目5: 堤防に求められる基本的な機能を 長期的 に維持できる構造であること		
⑭	基本的な機能の長期的な安定性の確保	・堤防に求められる基本的な機能を維持できる期間について、応募技術の活用実績や構成部材の耐久年数等から確認する。

様式3-2 【設計に反映すべき事項】

検討項目	評価項目	確認方法の提出(例) ※応募者が記入・提出 ※評価者側が提出項目を指定するもの
検討項目7: 基礎地盤と堤体が一体となって なじむ こと		
⑯	堤防機能に影響するほどの水みちが生じない構造であること	・レインの加重クリープ比を用いて確認する(⑧と同様)ことで反映されている。

様式3-3 【設計にあたって考慮すべき事項】

検討項目	評価項目	確認方法の提出(例) ※評価者側が提出項目を指定するもの
検討項目11: 設計にあたって考慮すべき事項		
⑳	・ 維持管理 の容易性	・不可視部を含めた状態を把握するための点検手法(点検項目の提案)を示す。
㉑	・構造物の 耐久性	・使用する材料(主にコンクリート、鉄、シート等)の耐久年数や、材料の品質に影響する項目(熱、紫外線、乾湿、気温、衝撃等)に対する試験結果等を提出。

課題4 自立型における要求性能の明確化（要求性能）

○自立型における要求性能の項目については、「第1回 河川堤防の強化に関する技術検討会」において、以下のように定めている。

第1回技術検討会

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、その他構造いずれについても、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

課題4 自立型における要求性能の明確化（定義および考え方）

○自立型の要求性能の確認方法については、**自立式特殊堤の確認方法と同じ**とされており、考え方については「粘り強い河川堤防の技術開発に当たっての参考資料【自立型】 令和4年12月」に記載されている。

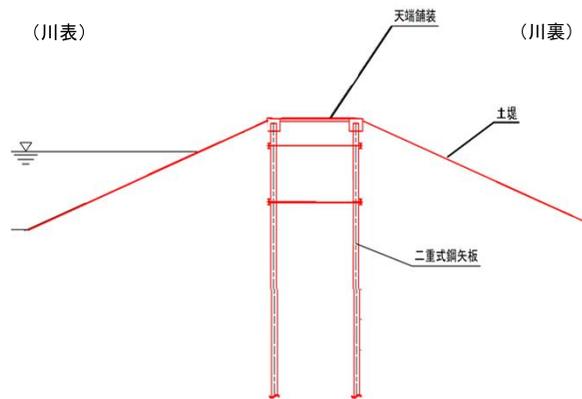
粘り強い河川堤防の技術開発に当たっての参考資料【自立型】 令和4年12月

自立型の定義

○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。



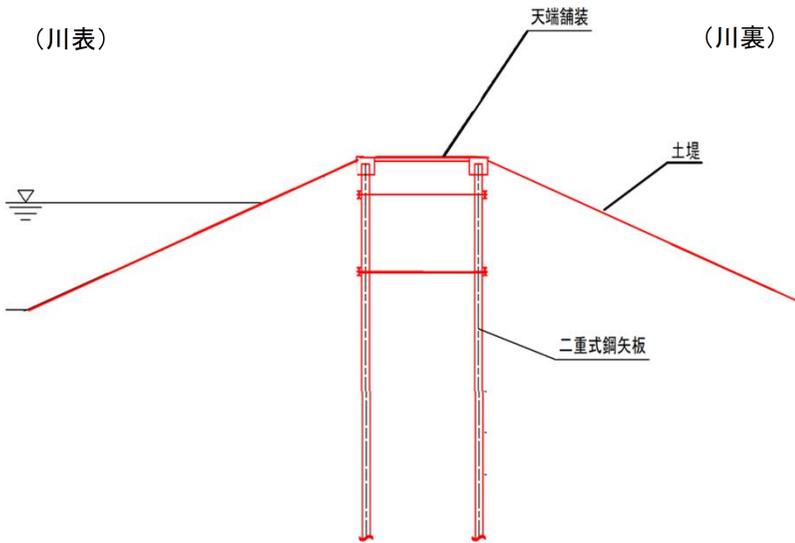
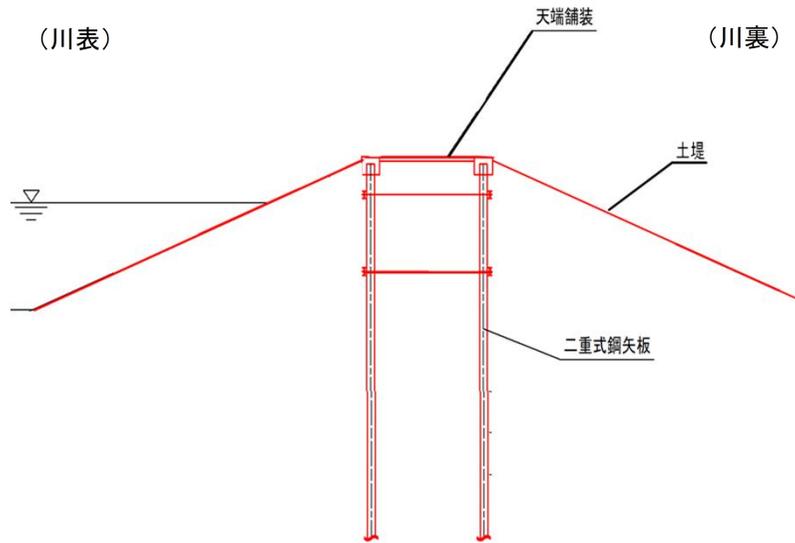
※令和4年5月20日 河川堤防の強化に関する技術検討会 資料2

表 1-1 自立式特殊堤の評価項目と評価の考え方

評価項目	評価の考え方	
堤防に求められる基本的な機能	常時における健全性	・部材の安全性（応力度照査等） ・コア部の安定性（滑動・転倒・支持・全体安定の照査等） ・堤防の高さの確保
	耐侵食性能（洪水時）	・部材の安全性（応力度照査等） ・コア部の安定性（滑動・転倒・支持・全体安定の照査等） ・コア部等の砂礫等による摩耗に対する安全性
	耐浸透性能（洪水時）	・部材の安全性（応力度照査等） ・コア部の安定性（滑動・転倒・支持・全体安定の照査等） ・パイピングに対する安全性（レインの荷重クリープ比等）
	耐震性能（地震時）	・レベル1地震動に対する健全性 ・レベル2地震動に対する機能保持、機能回復
	波浪等に対する安全性	・部材の安全性（応力度照査等） ・コア部の安定性（滑動・転倒・支持・全体安定の照査等）
設計に反映すべき事項	不同沈下に対する修復の容易性	・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、速やかな修復が可能な構造であること
	堤体及び基礎地盤との一体性及びなじみ	・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、レインの荷重クリープ比等）
	嵩上げ及び拡張等の機能増強の容易性	・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）
	損傷した場合の復旧の容易性	・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）、あるいは損傷した場合に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） ・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
	基礎地盤及び堤体の構造及び性状に係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	・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荷重クリープ比等の実績を踏まえた評価方法の採用）
考慮すべき事項	環境及び景観との調和	・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、環境への影響等）
	構造物の耐久性	・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）
	維持管理の容易性	・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）
	施工性	・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）
	事業実施による地域への影響	・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）
	経済性	・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・更新等を含めた維持管理コスト等）
公衆の利用	・公衆の利用に配慮した構造であること	

課題 4 自立型における要求性能の明確化（定義の補足）

○自立型の自立部については、河川管理施設等構造令で求められている材質及び構造であることを追記する。

旧	新
<p>○自立型 （自立式特殊堤を含む）</p> <ul style="list-style-type: none"> 盛土の部分がなくて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。 <p>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<u>自立式特殊堤の確認方法と同じ</u>と考えられるもの。</p>  <p style="text-align: right;">第 1 回技術検討会</p>	<p>○自立型 （自立式特殊堤を含む）</p> <ul style="list-style-type: none"> 盛土の部分がなくても自立部が自立し、その全部若しくは主要な部分がコンクリート、鋼矢板若しくはこれらに準ずるものによる構造で、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<u>自立式特殊堤の確認方法と同じ</u>と考えられるもの。 

課題4 自立型における要求性能の明確化 新旧対照表の例

- 第1回公募における確認の提出（例）は、**設計の考え方と確認方法が混在**していた。
- 各評価項目において評価者側の意図が伝わるよう、**設計の考え方と確認方法を整理**した。
- 他の検討項目および評価項目の確認方法の提出（例）は「資料1-2（別冊）様式の記入例」に示す。

様式3-1：堤防に求める基本的な機能（自立式特殊堤の例）

	検討項目 評価項目	第1回公募	第2回公募
様式 3 - 1	検討項目1：常時の健全性を有する構造であること		検討項目1：常時の健全性を有する構造であること
	①部材の安全性	<ul style="list-style-type: none"> 道路土工擁壁工指針を準用し、平水位を対象に、自重・水圧・土圧に対する自立式堤体の部材が安全であることを応力度照査により確認する。 	<p><設計の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 平水位を対象に、自重・水圧・土圧に対し自立式特殊堤を構成する部材が安全であること。 <p><確認方法></p> <ul style="list-style-type: none"> 道路土工擁壁工指針を準用し、応力度照査により確認する。
	②堤体自体の安定性	<ul style="list-style-type: none"> （直接基礎の場合）道路土工擁壁工指針を準用し、平水位を対象に、自重・水圧・土圧・上載荷重（交通荷重）に対する、自立式堤体の滑動・転倒・支持に対する安定性を確認する。 （杭基礎の場合）道路橋示方書・同解説を準用し、平水位を対象に、自重・水圧・土圧・上載荷重（交通荷重）に対する杭の安定性、部材の安全性を確認する。 	<p>直接基礎の場合</p> <p><設計の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 平水位を対象に、自重・水圧・土圧・上載荷重（交通荷重）に対し自立式特殊堤が安定していること。 <p><確認方法></p> <ul style="list-style-type: none"> 道路土工擁壁工指針を準用し、自立式堤体の滑動・転倒・支持に対する安定性を確認する。 <p>杭基礎の場合</p> <p><設計の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 平水位を対象に、自重・水圧・土圧・上載荷重（交通荷重）に対し、自立式特殊堤自体の安定性、部材が安全であること。 <p><確認方法></p> <ul style="list-style-type: none"> 道路橋示方書・同解説を準用し、応力度照査により杭の安定性、部材の安全性を確認する。
	③基礎地盤を含む全体の安定性	<ul style="list-style-type: none"> 道路土工擁壁工指針を準用し、平水位を対象に基礎地盤を含む滑りに対する全体の安定性を円弧すべり法により確認する。 	<p><設計の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 平水位を対象に、自重・上載の荷重（交通荷重）に対し、基礎地盤を含む自立式特殊堤全体が安全であること。 <p><確認方法></p> <ul style="list-style-type: none"> 道路土工擁壁工指針を準用し、円弧すべり法により、基礎地盤を含む自立式特殊堤の安定性を確認する。
	④沈下に対する安定性	<ul style="list-style-type: none"> 沈下を抑制する基礎形式（良質な地盤への直接基礎または杭基礎による支持）とするため省略する（なお、良質な地盤への支持が困難な場合には、道路土工擁壁工指針を準用し、圧密沈下に対しての安定性を確認する）。 	<p><設計の考え方></p> <ul style="list-style-type: none"> 平水位を対象に、自重・上載の荷重（交通荷重）に対し、自立式特殊堤が沈下に対して安定していること。なお、沈下を抑制する基礎形式（良質な地盤への直接基礎または杭基礎による支持）とする場合は自立式特殊堤の沈下に対する検討を省略する。 <p><確認方法></p> <ul style="list-style-type: none"> 良質な地盤への支持が困難な場合には、道路土工擁壁工指針を準用し、自立式特殊堤の圧密沈下に対する安定性を確認する。

課題4 自立型における要求性能の明確化（一体性及びなじみ）

○現状のなじみの定義の考え方と、なじみを評価する上で留意すべき事項を以下に示す。

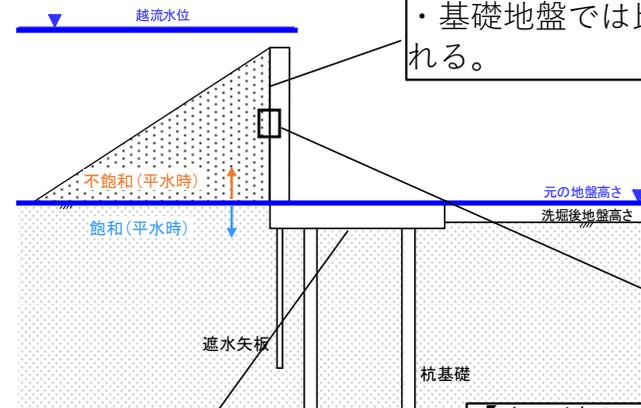
・なじみの定義

定義	考え方
土圧の作用状態	<ul style="list-style-type: none"> ・土圧が一様に作用しなくなると、なじみが悪い。 ・隙間が生じていない場合でも、不飽和で拘束圧が作用しない領域があると、なじみが悪い。
水の流れやすさ	<ul style="list-style-type: none"> ・土と構造物の境界面等では、構造物が無い場合と比べて、水が流れやすく、なじみが悪い。

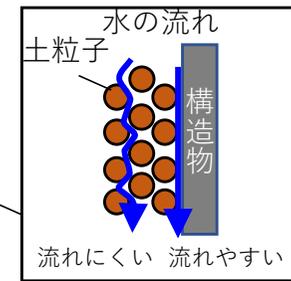
・留意すべき事項

■隙間が生じた(土圧が一様でない)場合に・・・
 ⇒土圧が小さい、不飽和領域だと隙間は埋まりづらい。
 (土圧が一様に作用しない)
 ⇒土圧が大きい、飽和領域であれば隙間は埋まりやすい
 (土圧の絶対値が大きければ、一定以上の土圧が一様に作用)

■不飽和土の特性
 ・不飽和土の特性は不明な点が多く、計算で表現しづらいことが多い。
 ・振動に係わる照査方法については示されている例もある。
 (次々頁：ピアアバットに関するガイドライン(案))



【土圧の作用状態（鉛直方向）】
 ・変形・振動特性の違いによって隙間ができることがある。特に突出部で顕著（なじみが悪い）であると考えられる。
 ・基礎地盤では比較的隙間ができにくいと考えられる。



【水の流れやすさ】
 ・土と構造物の境界面は、土のみの状態と比較して、水が流れやすい(なじみが悪い)

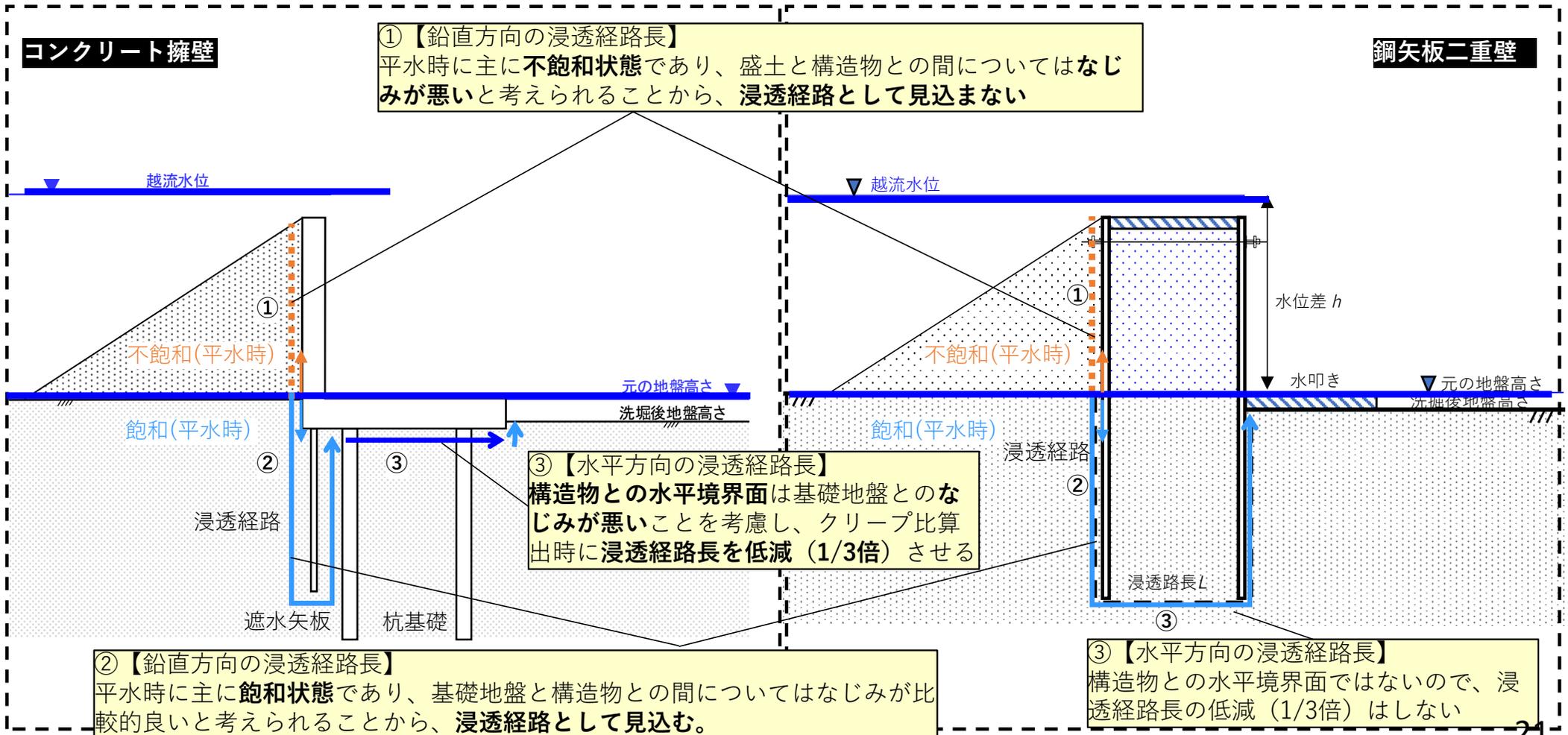
【土圧の作用状態（水平方向）】
 ・剛体底面（水平方向）には土圧が一様に作用しづらい（なじみが悪い）。
 ⇒水平面に荷重が一様に作用しているかどうかは計算で表現しづらい。
 ・杭等による剛支持の場合、基礎地盤に体積圧縮（圧密、液状化）が生じると隙間が発生する。
 ⇒これらの隙間については計算で表現可能な場合もある。

課題4 自立型における要求性能の明確化（一体性及びなじみ）

○照査時の構造物と地盤のなじみの悪さの考慮の仕方としては、レインの荷重クリープ比による浸透経路長にて考慮することとしており、主な考え方を以下に示す。

■なじみの悪さを考慮した浸透経路長の設定

- ・鉛直方向の浸透経路長 ⇒ 構造物の形状（突出部）、平水時の飽和状態を考慮して設定
- ・水平方向の浸透経路長 ⇒ 土と構造物の境界面は浸透経路長を低減(1/3倍)して設定



※本資料の内容は現時点での知見を踏まえた内容であり、今後の議論・実験等を踏まえて随時更新していくものである。

課題 5 審査の効率化

- 審査の効率化に向けて、必要な資料を明示するとともに、欠格基準を明らかにする。
- 書類が未提出の場合や記載内容に不備があるなど、欠格を判定するためのチェックリストを作成し対応する。

課題	対応方針（案）	資料
<ul style="list-style-type: none"> ・応募された技術の中には、「公募要領等で示している技術審査に必要な資料」が不足している応募者や、実験中に侵食が進み、途中で中断したにも関わらず応募した者が存在した。それらの応募者の評価に多くのリソースを要した。それらの応募者の評価に多くのリソースを要した。評価委員の労力を考えると、<u>審査を効率化</u>する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・必要な資料を明示するとともに、<u>欠格基準を明らかにする。</u> ・例えば、書類不足、実験不備などについて<u>チェックリストを作成</u>し、提出させ不足している場合は、欠格とする。 	<ul style="list-style-type: none"> ・公募要領 ・応募資料作成要領

7. 応募技術の評価

応募技術の評価は、応募資料やヒアリング等で実施するものとし、次の条件を全て満たしているものを評価するものとする。条件を満たさないものは評価を行わない。

- 1) 2. 公募技術（1）対象技術に適合していること。
- 2) 2. 公募技術（2）応募技術の条件等に適合していること。
- 3) 3. 応募資格に適合していること。
- 4) 応募資料に不備※が無いこと。

※応募資料の不備については応募資料作成要領に記載されているチェックリストを参照

○応募資料作成要領

1. 応募に必要な資料

- ①「粘り強い河川堤防に関する技術」申請書
- ②構造の全体図等（様式1）
- ③設計（構造）の考え方（設計思想）等（様式2）
- ④既存の堤防の性能（安定性等）を毀損しないこと（様式3）
- ⑤越水に対する性能を有すること（様式4）
- ⑥変状連鎖図
- ⑦様式3～4の根拠資料
- ⑧添付資料（任意）

なお、以下のチェックリストに該当する場合は欠格とする。

○欠格基準

欠格を判定するためのチェックリスト（案）

判定項目	例
<input type="checkbox"/> 応募に必要な書類が未提出	上記①～⑦が未提出の場合（根拠資料が論文名だけの記載も該当）
<input type="checkbox"/> 応募に必要な書類の記載内容に不備	<ul style="list-style-type: none"> ・記入が必要な項目が空欄の場合 ・各様式が不整合（応募時の断面と実験断面が異なる等）