

堤防強化に関する 関係業界団体への意見聴取方法等

○「耐越水堤防整備の技術的な実現性の見解について(平成20年10月土木学会)」を参考に、下記のように整理した。

①表面被覆型

—— ブロック、シート、かご、改良土、張芝 等の資材を用いて、天端やのり面を被覆することで越流水による侵食を防ごうとするもの

②断面拡幅型

—— 裏のり側の傾斜を緩やかにし、越流水による侵食の影響を軽減しようとするもの

③一部自立型

—— 堤防の中心部などに連続した改良土や矢板、コンクリート壁 等を設置し、越水しても堤防全体の破壊に至ることを防ごうとするもの

関係業界団体への意見聴取

- 令和2年4月中旬から5月下旬にかけ、15団体より意見聴取を行い、うち14団体より合計81件（重複を除く）の提案がなされた。

○意見聴取対象団体

番号	団体名
1	かごマット工法技術推進協会
2	日本じゃかご協会
3	全国土木コンクリートブロック協会
4	全国コンクリート製品協会
5	消波根固ブロック協会
6	日本鉄鋼連盟
7	鋼管杭・鋼矢板技術協会
8	日本不織布協会
9	日本遮水工協会
10	日本アスファルト乳剤協会
11	建設コンサルタンツ協会
12	日本建設業連合会
13	全国建設業協会
14	日本道路建設業協会
15	日本造園建設業協会（該当技術無し）

○提案された技術

番号	資材・工法による分類	提案数	重複
1	ブロック系	19	1
2	ブロックマット系	5	
3	シート系	15	
4	のり面土質改良系	7	1
5	かご系	6	
6	緑化系	8	2
7	アスファルト系	13	
8	一部自立型	12	
	小計	85	4

関係業界団体からの意見聴取【項目①】

各業界団体(各社)が保有する資材や工法に関する技術に関し、「堤防に求められる基本的な性能」「越水に対する危機管理性能として具備すべき事項」「その他(設計に反映、考慮すべき事項)」の項目について意見を聴取。

項 目		視 点
堤防に求められる基本的な性能	計画高水位(高潮区間においては計画高潮位)以下の水位の流水の通常の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	【侵食】 ①堤防表法面、法尻の直接侵食に対する安全性 ②主流路(低水路)からの側方侵食に対する安全性 ③洗堀に対する安全性 【浸透】 ①すべりに対する安全性 ②パイピングに対する安全性
	常時に自重による沈下及びすべり破壊等に対する安全性	①軟弱地盤における堤防のすべり破壊に対する安全性 ②軟弱地盤における基礎地盤沈下に伴うに周辺地盤
	地震時に流水が河川外に流出することの防止	対象地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さをもった地震動(レベル2地震動という)による沈下後の堤防高が、照査外水位を下回らないこと
	波浪等に対する安全性	①高潮時は計画高潮位、風浪時は計画高水位又は風浪が最も発達する時の河川水位以下の流水による堤体への侵食、津波発生時は計画津波水位以下の津波による堤体への侵食に対する安全性 ②波浪に対しては、堤内地の利用及び堤防の被災等を考慮した越波量等の許容値を設定した上で、堤防の断面形状を考慮した計画高潮位等と設計の対象とする波浪によるうちあげ高及び越波量等を評価し、許容値を上回らないこと。 ③津波による越波に対する安全性の確認は、堤防の高さと計画津波水位との差等を確認
	洪水時及び高潮時等に巡視、応急復旧活動及び水防活動が実施されることへの留意	洪水時、及び高潮時等に巡視、応急復旧活動及び水防活動が実施されることにも留意

項 目			視 点
越水に対する危機管理性能として具備すべき事項	表面被覆型	裏法尻保護工、裏法保護工、天端保護工の越流水に対する安定性	・越流水による抗力・揚力が保護工に作用した場合に、保護工に滑動や転動が生じないこと(ブロックをイメージ) ・越流水によるせん断力が保護工に作用した場合に、保護工の剥離や破れ等が生じないこと(シートをイメージ) ・越流水による負圧が法肩に作用した場合に、ブロックの浮き上がり、シートのめくれが生じないこと
		裏法尻保護工周辺の洗堀に対する安定性	・法尻保護工周辺が保護工の基礎高以上に洗掘されないこと ・法尻保護工周辺が洗掘された場合でも、越流水に対する安定性が保持されること ・沿川に住宅等が存在する場合には、住宅への越流水の影響を増大させないこと
		保護工下の土砂の吸い出しや侵食に対する安定性	・保護工下の土砂が容易に吸い出されないこと ・保護工下の土砂が容易に侵食されないこと
		保護工下に空気が滞留しないこと	・水位上昇時に堤体内の空気を排気できること ・越水時にも堤体内の空気を排気できること
	一部自立型	自立する状態が保持されること	・堤防満杯もしくは越水時の水圧が構造体に作用した場合でも、構造体(コア材、矢板等)に滑動や転動が生じないこと。 ・構造体の川裏側で洗堀が生じた場合でも、構造体(コア材、矢板等)に滑動や転動が生じないこと。

※各項目や視点については、今後も調査・検討や関係業界団体等との意見交換を通じ、追加や修正が行われるべきものである。

関係業界団体からの意見聴取【項目②】

項 目			視 点
その他	設計に反映すべき性能	不同沈下に対する修復の容易性	堤防は、不同沈下が生じた場合の確認や修復の容易性を、設計に反映することが求められる。
		堤体及び基礎地盤との一体性及びなじみ	堤防は、堤体材料や基礎地盤と異なる材料や工作物が含まれると、その境界に水ミチが発生しやすくなり、堤防の弱部となる可能性があるので、堤体と基礎地盤、拡幅等行った場合の旧堤と新堤、堤体内に設置する工作物と基礎地盤や堤体との一体性、、なじみを設計に反映することが求められる。
		嵩上げ及び拡幅等の機能増強の容易性	堤防は必要に応じて機能増強をする場合があるため、嵩上げや拡幅等の機能増強の容易性を、設計に反映することが求められる。
		損傷した場合の復旧の容易性	堤防は、洪水や地震に遭遇して損傷した場合に、緊急復旧が容易であり所要工期が短いことを、設計に反映することが求められる。
	考慮すべき事項	環境及び景観との調和	堤防は、環境及び景観との調和を考慮することが求められる。
		構造物の耐久性	堤防は、材料や構造物そのものの劣化がしにくく、耐久性が必要であることが求められる。
		維持管理の容易性	堤防は、限られた人員と費用で長大な延長を持つ堤防の安全性を確保することから、沈下や損傷に対する維持管理が容易であるよう考慮することが求められる。
		施工性	堤防は、材料確保や施工のし易さを考慮することが求められる。
		事業実施による地域への影響	堤防は、事業実施による地域への影響を考慮することが求められる。
		経済性	堤防は、イニシャルコストや維持管理費を含めて経済性を考慮することが求められる。
		公衆の利用	堤防は、車両や歩行者等の交通利用の場、健康づくりやふれあい及び交流の場として、公衆の利用を考慮することができる。

※各項目や視点については、今後も調査・検討や関係業界団体等との意見交換を通じ、追加や修正が行われるべきものである。

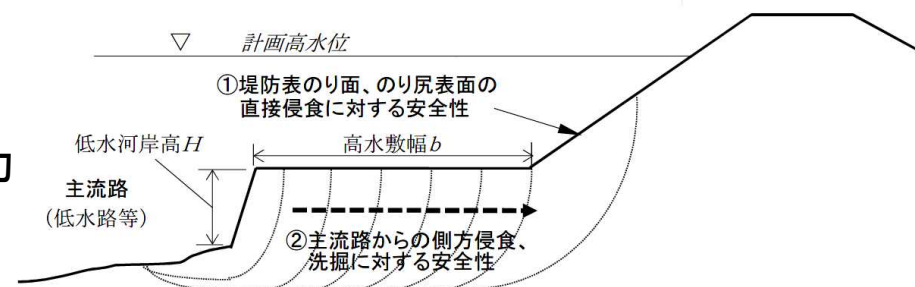
「堤防に求められる基本的な性能」

計画高水位（高潮区間においては計画高潮位）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して安全

- 「河川管理施設等構造令」により設定した基本断面形状（堤防高、天端幅、法勾配）を満たした形状を設定した後、「河川砂防技術基準（設計編）」に従って照査を行い、安全性を確保する。
- 堤防強化に伴い従前の性能を下回るおそれがないようにする。

安全性の照査（侵食の例）

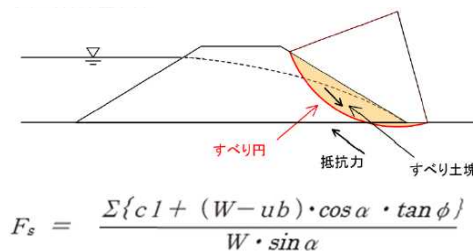
- ①堤防表法面、法尻の直接侵食について
堤防表面の侵食耐力 > 堤防前面の流速から
評価される侵食外力
- ②主流路（低水路等）からの側方侵食について
現況の高水敷幅 > 洪水によって侵食される高水敷幅
- ③洗掘について
堤防前面の基礎工の根入れ高 > 洪水で洗掘される河床高



安全性の照査（浸透の例）

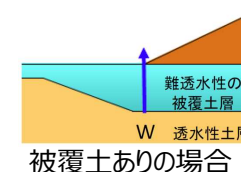
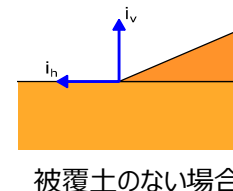
すべり破壊

- 表法すべり : $F_s \geq 1.0$
- 裏法すべり : $F_s \geq 1.2 \times a_1 \times a_2$
 - a_1 : 築堤履歴の複雑さに対する割増係数
 - ・ 築堤履歴が複雑な場合 → $a_1 = 1.2$
 - ・ 築堤履歴が単純な場合 → $a_1 = 1.1$
 - ・ 新設堤防の場合 → $a_1 = 1.0$
 - a_2 : 基礎地盤の複雑さに対する割増係数
 - ・ 被災履歴または要注意地形がある場合 → $a_2 = 1.1$
 - ・ 被災履歴または要注意地形がない場合 → $a_2 = 1.0$



パイピング破壊

- 被覆土なし : $i < 0.5$
- i : 裏法尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値
- 被覆土あり : $G/W > 1.0$
- G : 被覆土層の重量
- W : 被覆土層基底面に作用する揚圧力



「堤防に求められる基本的な性能」

常時に自重による沈下及びすべり破壊等に対して安全

- 「河川管理施設等構造令」により設定した基本断面形状(堤防高、天端幅、法勾配)を満たした形状を設定した後、「河川砂防技術基準(設計編)」に従って照査を行い、安全性を確保する。
- 堤防強化に伴い従前の性能を下回るおそれがないようにする。

常時のすべり破壊に対する安定の照査

常時のすべり破壊に対する安定の照査は、すべり安全率等の許容値を設定した上で、基礎地盤及び堤体の土質等を考慮し、自重によるすべり破壊に対する安全率等を評価し、許容値を満足することを照査する。

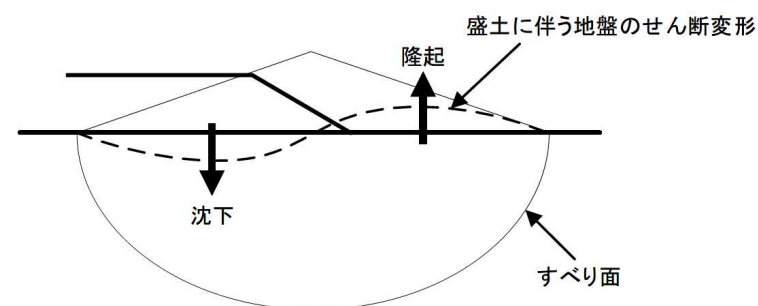


図1 常時のすべり破壊

沈下の照査

沈下の照査は、余盛り高を考慮した沈下量等の許容値を設定した上で、基礎地盤の圧密及び盛土の圧縮を考慮した沈下等の変形を評価し、許容値を満足することを照査する。

※基礎地盤の圧密沈下が大きくなると、周辺の地盤も一緒に沈下する現象を生じるが、これを“引き込み沈下”という。

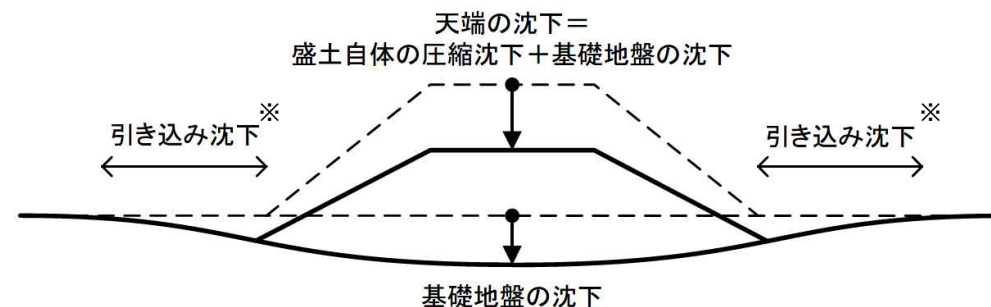


図2 堤防の自重による沈下

「堤防に求められる基本的な性能」

地震時・津波来襲時に流水が河川外に流出することを防止

- 「河川管理施設等構造令」により設定した基本断面形状（堤防高、天端幅、法勾配）を満たした形状を設定した後、「耐震性能照査指針」に従って照査を行い、安全性を確保する。
- 堤防強化に伴い従前の性能を下回るおそれがないようにする。

【地震外力】

地震外力は、対象地点において現在から将来にわたって考えられる最大級の強さを持つ以下の2種類の地震動（レベル2地震動）を考慮する。

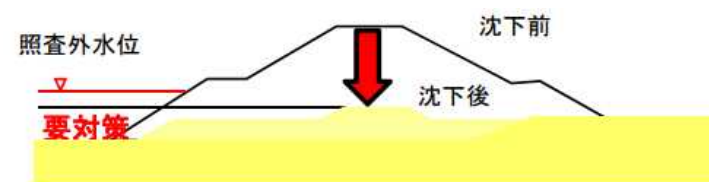
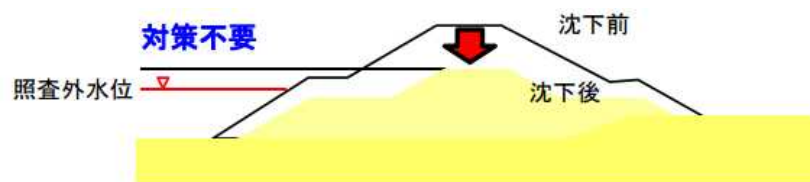
- プレート境界型の大きな振幅が長時間繰返して作用する大規模な地震を想定したレベル2-1地震動
- 内陸直下型地震を想定した、継続時間は短いが構造物の地震応答に対して支配的な影響を及ぼす周期帯域において極めて大きな振幅を有するレベル2-2地震動

【照査方法】

- 静的照査法により堤防の地震動による変形（沈下量）を解析する
- 地震動による沈下後の堤防高と照査外水位を比較する。沈下後の堤防高が照査外水位を下回った場合、耐震性能は満足しておらず、耐震対策が必要となる。

※照査外水位：14 日間に発生する確率が 1/10 の河川流量に対応する水位、もしくは朔望平均満潮位に 14 日間に発生する確率が 1/10 の波高を用いて算出したうちあげ高を考慮して求める水位のいずれか高い方

津波の遡上が予想される場合は計画津波水位



- 静的照査法による耐震性能の照査方法

➤有限要素法を用いた自重変形解析法

液状化の発生による土層の剛性低下を仮定するとともに、土構造物としての自重を作用させ、その変形を有限要素法により算定する方法

➤流体力学に基づく永久変形解析法

液状化した土層をせん断抵抗を有しない粘性流体と仮定し、地盤の流体的な変形を算定する方法

「堤防に求められる基本的な性能」

波浪等に対して安全

- 「河川管理施設等構造令」により設定した基本断面形状（堤防高、天端幅、法勾配）を満たした形状を設定した後、「河川砂防技術基準（設計編）」に従って照査を行い、安全性を確保する。
- 堤防強化に伴い従前の性能を下回るおそれがないようにする。

【照査方法】

- 高潮時は計画高潮位、風浪時は計画高水位又は風浪が最も発達する時の河川水位以下の流水による堤体への侵食、津波発生時は計画津波水位以下の津波による堤体への侵食に対して、過去の被災実績等を考慮し安全が確保されることを確認する。
- 波浪の影響を著しく受ける堤防についての波浪による越波に対する安全性の照査は、堤内地の利用及び堤防の被災等を考慮した越波量等の許容値を設定した上で、堤防の断面形状を考慮した計画高潮位等と設計の対象とする波浪によるうちあげ高及び越波量等を評価し、許容値を満足することを照査する。
 - 波浪等に対する安全性の照査は、高潮時又は風浪時に、堤防が越波による損傷を生じないこと（計画高潮位等＋波浪による有義波のうちあげ高 $\leq$ 堤防の高さ、越波量 $\leq$ 許容越波量）等により許容値を設定し、設計の対象とする波浪によるうちあげ高又は越波量等がこれを超えないことを照査する等の手法がある。
- 津波の影響を著しく受ける堤防についての津波による越波に対する安全性の確認は、堤防の高さと計画津波水位との差等を確認する。

「堤防に求められる基本的な性能」

洪水時及び高潮時等に巡視、応急復旧活動及び水防活動が実施されることにも留意

○洪水等による被害を軽減するために水防活動等の緊急措置が実施されることも多いことから、洪水時、及び高潮時等に巡視、応急復旧活動及び水防活動が実施されることにも留意が必要。



- 平成25年～28年の間で、氾濫危険水位を超えた河川で水防活動を実施した水防団員にアンケート調査を行った結果、回答者数の大多数(29名中23名)は、天端幅が5mあれば安心して水防活動を行うことができると回答。

設計に反映すべき事項

(1) 不同沈下に対する修復の容易性

○堤防は不同沈下が生じた場合の確認や修復の容易性を、設計に反映することが求められる。

- 堤防は、複雑な基礎地盤の上に築造された連続した長大構造物であり不同沈下が起きやすいが、土堤は外形から不同沈下が容易に確認できるとともに、不同沈下により損傷が生じた場合でも、掘削し再度締め固めを行う等の手間はあるものの、比較的容易に修復できる。



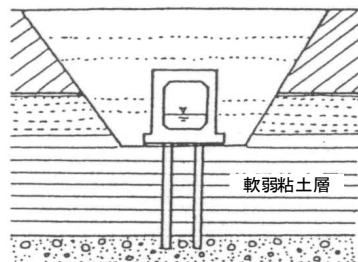
沈下により天端が低くなった箇所の例

設計に反映すべき事項

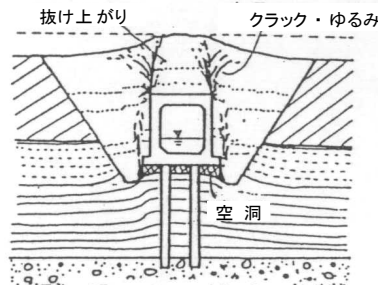
(2) 基礎地盤及び堤体との一体性及びなじみ

○堤防に堤体材料や基礎地盤と異なる材料や工作物が含まれると、その境界に水ミチが発生しやすくなり、堤防の弱部となる可能性がある。堤体と基礎地盤、拡幅等行った場合の旧堤と新堤、堤体内に設置する工作物と基礎地盤や堤体との一体性、なじみを設計に反映することが求められる。

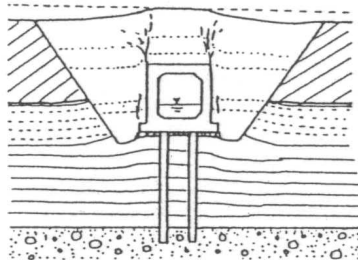
- 土堤では、堤体と基礎地盤や旧堤と新堤は、互いが土であるため、なじみが良く、沈下状況の違いにより隙間ができ、それが水ミチとなって漏水が発生するようなことはない。
- なお、堤防内に堤体材料と異なる材料や工作物が含まれると、その境界に水ミチが発生しやすくなり堤防の弱部となる可能性がある。
- 例えばコンクリートや鋼材で造られる樋門樋管の場合、軟弱地盤上にある場合は、樋門周辺地盤の圧密沈下に伴って底版直下に空洞が、樋門樋管周辺の堤体にはクラックやゆるみが形成されやすく、これらが拡大することで水ミチとなって顕著な漏水が生じたり、天端の段差やクラックが生じ、堤防決壊の要因となりかねない。



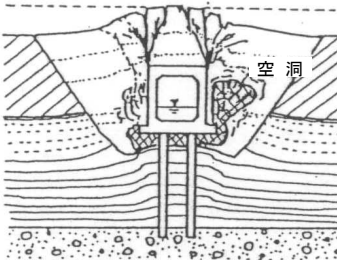
(1) 樋門設置直後



(3) 空洞・クラックの発達



(2) 抜け上がりの始まり



(4) 樋門沿いの漏水に伴う
堤体内の空洞発達

樋門の抜け上がりと空洞・クラックの発生



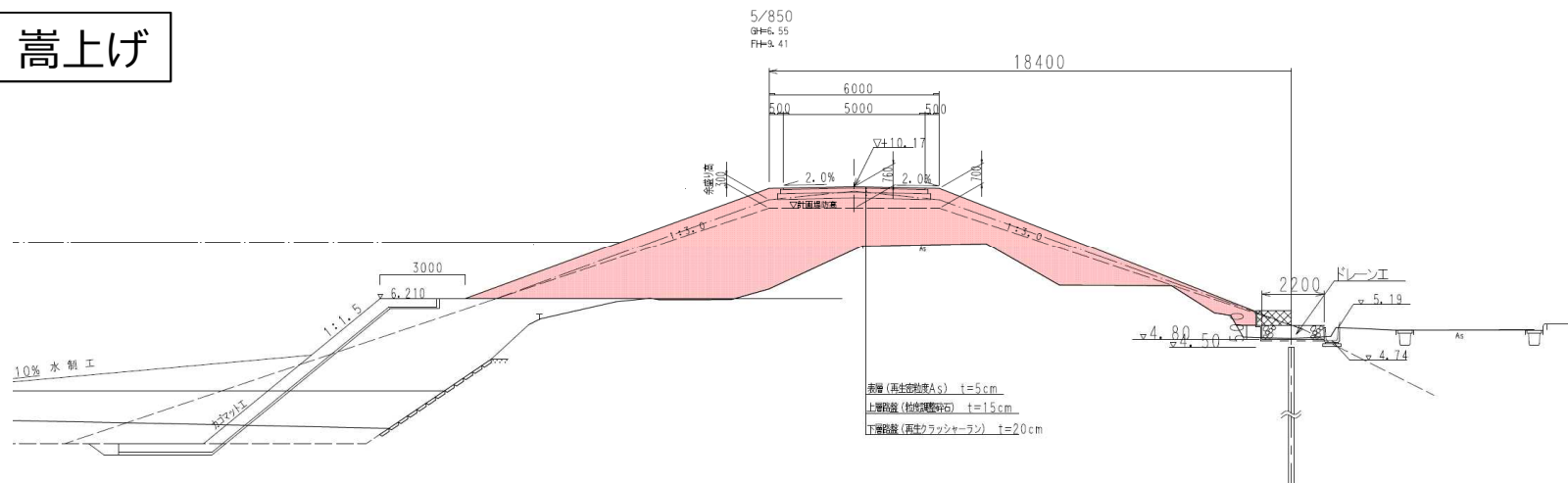
設計に反映すべき事項

(3) 嵩上げ及び拡幅等の機能増強の容易性

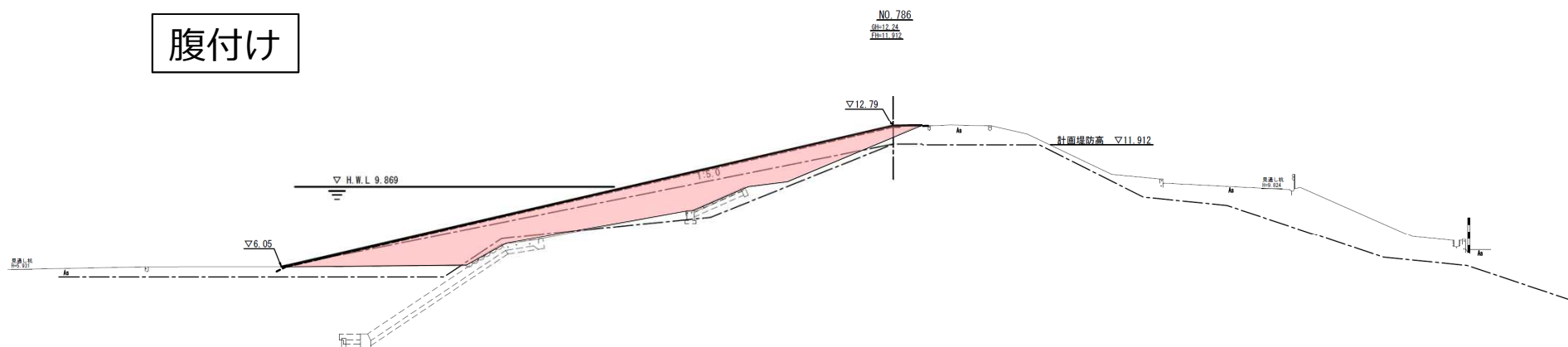
○堤防は必要に応じて機能増強をする場合があるため、嵩上げや拡幅等の機能増強の容易性を、設計に反映することが求められる。

- 土堤では嵩上げや腹付けにより、堤防の機能増強を容易に図ることができる。
- 国管理河川における堤防の高さや断面が不足している堤防は3,500kmあり、国管理堤防の26%を占める。

嵩上げ



腹付け



設計に反映すべき事項

(4) 損傷した場合の復旧の容易性

○堤防は洪水や地震に遭遇して損傷した場合に、緊急復旧が容易であり所要工期が短いことを、設計に反映することが求められる。

- 土堤では洪水による決壊では1週間程度、地震で大きく損傷した場合でも2週間程で緊急復旧を行うことができる。

○過去の洪水における復旧日数

被災原因	対象河川名	被害総延長 (m)	被災日から 復旧までの 概ねの日数 (日)	主な工法
平成27年9月関東・東北豪雨	鬼怒川	約200	5	盛土、遮水シート、 根固めブロック、割り栗石等
平成元年台風第19号	吉田川、阿武隈川	約150	5~6	盛土、ブルーシート 接続ブロック
	千曲川	約70	5	盛土、ブルーシート 袋詰め根固め
	越辺川、都幾川、 那珂川、久慈川	約1100	4~7	盛土、遮水シート 接続ブロック (都幾川は盛土と袋詰め根固め)

※仮堤防完成までの日数



千曲川左岸57.5k地点の洪水による堤防被災箇所の復旧

○過去の地震における復旧日数

地震名	対象河川名	被害総延長 (m)	被災日から 復旧までの 概ねの日数 (日)	主な工法
北海道南西沖地震 (H5.7.12)	後志利別川、尻別川	8,915	9~10	盛土、土のう工
兵庫県南部地震 (H7.1.17)	淀川、猪名川派川藻川	2,900	9~14	盛土、土のう工、シート張り
新潟県中越地震 (H16.10.23)	信濃川	10,936	2~14	盛土、土のう工、シート張り

※緊急復旧までの日数



熊本地震 緑川左岸8.4kの復旧

出典)

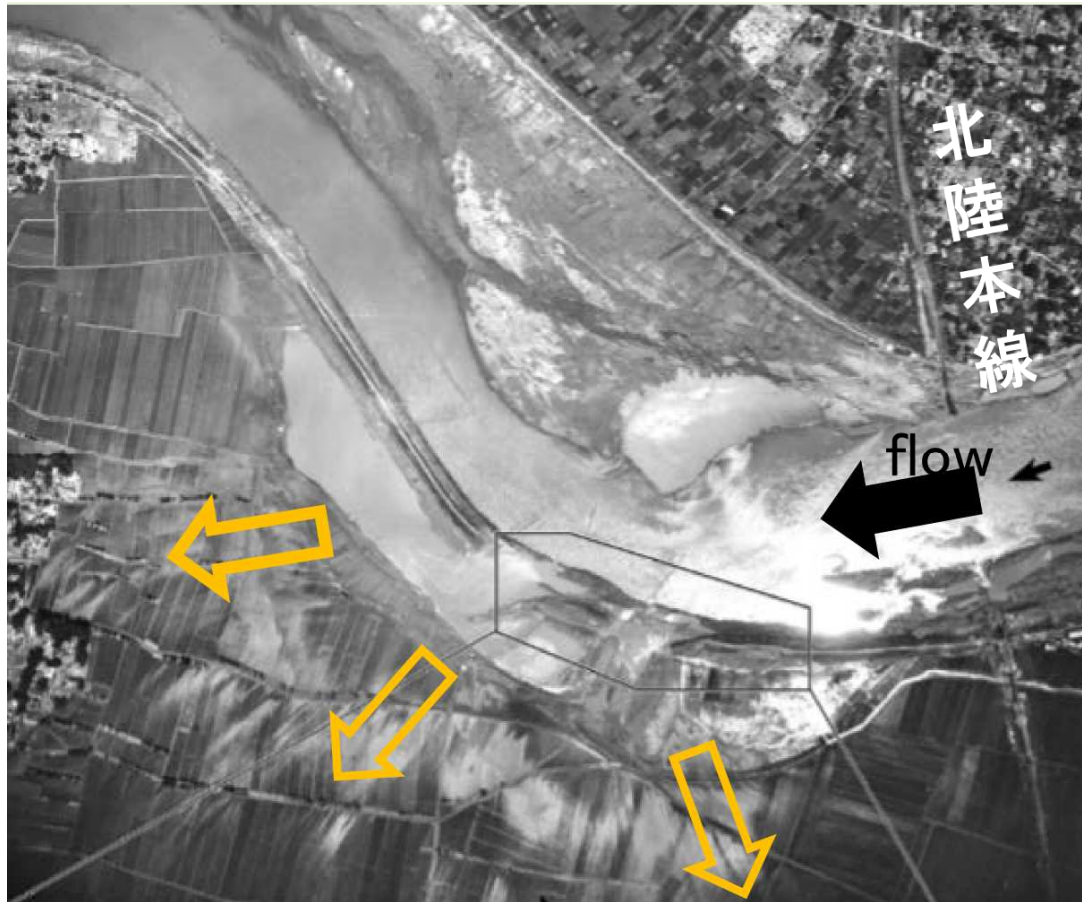
- 平成15年度 河川管理施設等の技術基準に関する検討業務 報告書 H16.3 (財)国土開発技術研究センター
- 平成15年7月26日宮城県北部を震源とする地震記録(概要版) H17.3 国土交通省 東北地方整備局 北上川下流河川事務所
- 地震発生から復旧まで(信濃川河川事務所)H17.10
- 地震被災後の調査結果に基づく信濃川中流域堤防の液状化対策工の効果について 大作 和弘他 H20年度国土交通省国土技術研究会

設計に反映すべき事項

(4) 損傷した場合の復旧の容易性

○堤防が損傷した場合に復旧が容易であり所要工期が短いことが求められる理由としては、損傷直後にも洪水が発生する可能性があることが挙げられる。例えば、地震で損傷直後に出水があり、氾濫を生じた事例としては、福井地震の九頭竜川の事例が挙げられる。

○九頭竜川8kの被災

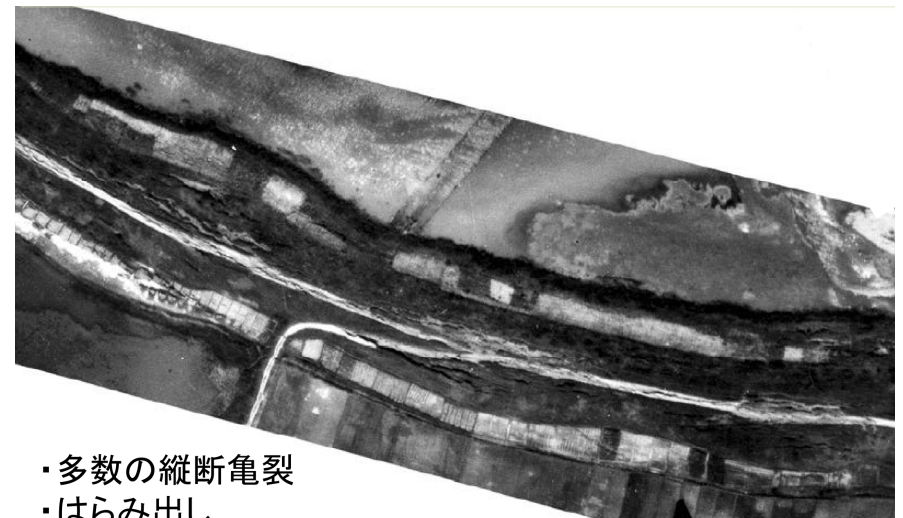


堤防が地震によって沈下やはらみだし等の被災した区間で決壊を生じた

福井地震: 1948年6月28日 (M7.1)

豪雨災害: 1948年7月25日 (総降雨量350mm)

○地震直後の堤防の状況



- ・多数の縦断亀裂
- ・はらみ出し

※地震後の堤防の復旧状況

九頭竜川流域誌によると、「地震によって被害を受けて九頭竜川本川の堤防は、土俵のみの水防活動では対策の施しようもなく、(中略)決壊した。」とあることから、今で言うところの亀裂に対する土砂充填やむしろ張り等の応急措置のみだった可能性が高い。

考慮すべき事項

(1) 環境及び景観との調和

○河川は多様性に富んだ自然環境を有しており、堤防自体が自然環境の一部を形成するとともに、地域の中においても良好な生活環境の形成に重要な役割を担うことから、堤防は、環境及び景観との調和を考慮することが求められる。

- 土堤は、法面の勾配を緩くすることや、土で被覆することにより植生が繁茂し、自然環境及び景観との調和を図ることができる。



緩勾配化や芝張りによって環境や景観に配慮した事例

考慮すべき事項

(2) 構造物の耐久性

○堤防は、材料や構造物そのものの劣化がしにくく、耐久性が必要であることが求められる。

- ・ 土堤の場合は劣化は生じにくい。

(3) 維持管理の容易性

○限られた人員と費用で長大な延長を持つ堤防の安全性を確保することから、沈下や損傷に対する維持管理が容易であるよう考慮することが求められる。

- ・ 土堤は堤体の内部や基礎地盤で亀裂や空洞等の変状が生じた場合でも、表層に陥没や沈下等の形で表れやすく、目視等で発見し易いことから維持管理が容易である。

考慮すべき事項

(4) 施工性

○堤防は、材料確保や施工のし易さを考慮することが求められる。

- 土堤であれば、建設発生土等を用いる等、材料の確保が容易であり、振動ローラやバックホウ等の汎用的な土木機材で施工できるため施工がし易い。



振動ローラによる締固め



土羽バケットによる法面整形



バックホウによる段切

考慮すべき事項

(5) 事業実施による地域への影響

○堤防は、事業実施による地域への影響を考慮することが求められる。

- 土堤は、築堤等により沿線地域の社会基盤を大きく改変すること、地盤沈下や地下水阻害を誘発すること等、事業実施による地域への影響を考える必要がある。
 - 用地取得
 - 地盤沈下や地下水阻害等
 - 騒音、振動等
 - 景観
 - 利用や河川へのアクセスのしやすさ

(6) 経済性

○堤防は、イニシャルコストや維持管理費を含めて経済性を考慮することが求められる。

- 土堤は、構造物としての劣化が生じにくく、補修が容易なため、維持管理も含めた経済性は良い。

(7) 公衆の利用等

○堤防は、車両や歩行者等の交通利用の場、「川の365日」を意識した健康づくりやふれあい及び交流の場として、公衆の利用を考慮することが求められる。

- 土堤は、緩傾斜化等によって、ふれあい及び交流の場としての公衆の利用が可能である。

