

令和元年台風19号洪水 による堤防決壊調査報告書

あらかわ

ときがわ

一級河川荒川水系都幾川

令和2年3月27日



埼玉県河川砂防課

資料目次

- 都幾川の破堤地点における堤防調査

1. 流域、気象、整備状況

- 1-1. 流域概要
- 1-2. 気象状況
- 1-3. (1) 降雨状況(平面分布)
- 1-3. (2) 降雨状況(時間分布)
- 1-4. 水位状況
- 1-5. 堤防整備状況
- 1-6. 流域概要のまとめ

2. 堤防決壊状況

- 2-1. (1) 決壊状況(堤防状況及び浸水範囲)
- 2-1. (2) 決壊状況(地形の特徴)
- 2-1. (2) 決壊状況(他流域からの影響)
- 2-1. (4) 決壊状況(痕跡水位)
- 2-2. 越水・堤防決壊に伴う影響

3. 堤防決壊要因の分析

- 3-1. 堤防決壊要因分析の検証方針
- 3-2. (1) 越水に対する分析(現地調査)
- 3-2. (2) 越水に対する分析(痕跡水位)
- 3-3. (1) 浸透に対する分析(噴砂等、漏水の有無)
- 3-3. (2) 浸透に対する分析(基礎地盤の土質)
- 3-3. (3) 浸透に対する分析(堤体の土質:下流)
- 3-3. (4) 浸透に対する分析(堤体の土質:上流)
- 3-3. (5) 浸透に対する分析(安全性照査手法)
- 3-3. (6) 浸透に対する分析(照査条件:下流)
- 3-3. (7) 浸透に対する分析(照査結果:下流)
- 3-3. (8) 浸透に対する分析(照査条件:上流)
- 3-3. (9) 浸透に対する分析(照査結果:上流)
- 3-4. (1) 侵食に対する分析(現地調査)
- 3-4. (2) 侵食に対する分析(流速)

4. 堤防決壊要因の総合評価

5. 堤防決壊のプロセス

1-1. 流域概要

- ◆河川名：荒川水系一級河川都幾川
- ◆市町村名：埼玉県比企郡ときがわ町、秩父郡東秩父村、嵐山町、東松山市
- ◆流域面積：153.5km²
- ◆県管理区間河川延長：16.7km
- ◆河床勾配：1/100～1/530程度

※平成18年2月荒川中流右岸ブロック河川整備計画より

関係市町村の人口および土地利用について

	比企郡 ときがわ町	東秩父村	嵐山町	東松山市
人口（人） （H27国勢調査より）	11,492	2,941	18,341	91,437
主な土地利用 （H30埼玉統計年鑑）	土地総面積： 55.9km ² 山林：3割程度 宅地：1割未満	土地総面積： 34.67km ² 山林：8割程度 宅地：1割未満	土地総面積： 29.92km ² 山林：3割程度 宅地：1割程度	土地総面積： 65.35km ² 山林：1割程度 宅地：2割程度

流域図



流域の概要

- ◆ときがわ町の山地を源とし、山間部を流れ、都幾川とほぼ同規模の流域をもつ支川の槻川と合流している。下流には東松山市や嵐山町などの市街地となっている。東松山市の低平地を流れ、坂戸市との境界で越辺川に合流する。都幾川は蛇行した河川の姿を今も残し、瀬と淵や河畔林が連続した自然豊かな河川である。

治水計画

- ◆昭和57年9月や、平成11年8月の洪水の際に、東松山市の区間で流下能力不足による浸水被害が生じている。
- ◆このため、流下能力が足りない区間において、河道拡幅及び築堤を行う。 ※平成18年2月荒川中流右岸ブロック河川整備計画より

河川沿いの状況



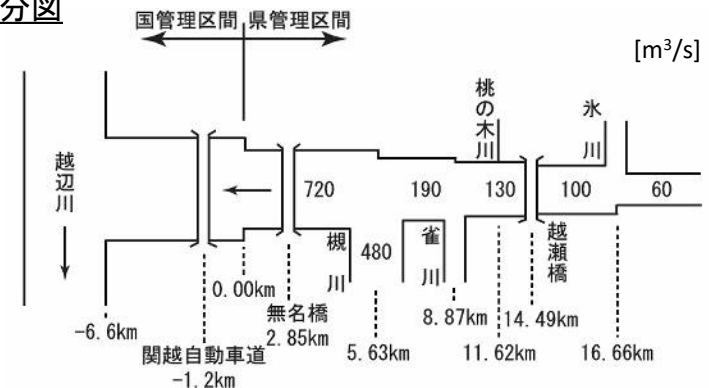
▲都幾川 NO.6：7.0km付近



▲都幾川 NO.14：17.0km付近

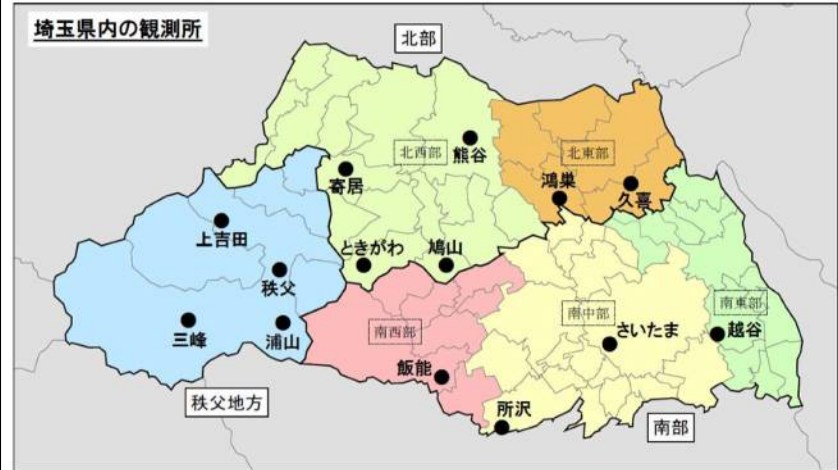
□：流域界

流量配分図



1-2. 気象状況

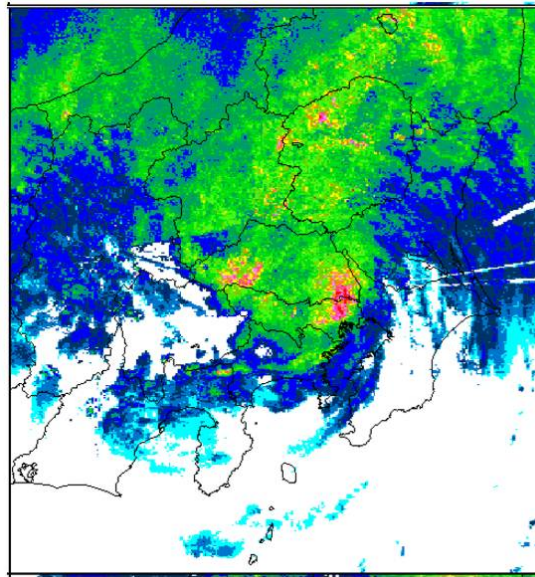
- ◆ <台風> 10月6日に南鳥島近海で発生した台風第19号は、マリアナ諸島を発達しながら西へ進み、7日には大型で猛烈な台風となった。その後、県内では10月12日から13日にかけて大雨や強風となった。
- ◆ <大雨> 10月10日19時から12日24時までの総降水量は、秩父市浦山で687.0ミリ、ときがわで604.5ミリ、秩父市三峰で593.5ミリと記録的な大雨となった。この期間の最大1時間降水量は、寄居で62.0ミリ（12日16時22分まで）、秩父市浦山で59.0ミリ（12日15時01分まで）、所沢で51.0ミリ（12日20時58分）など非常に激しい雨となった所があった。



台風経路図



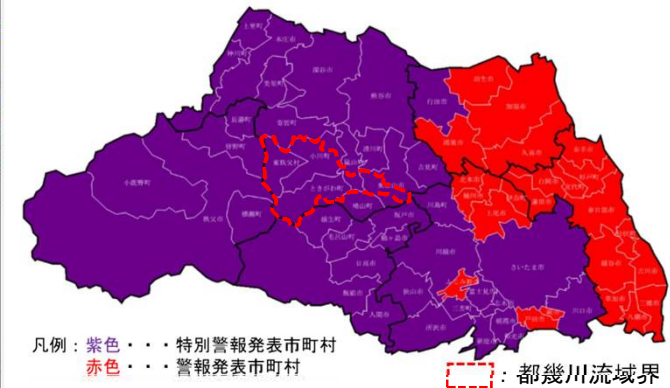
気象レーダー（上陸時）



10月12日21時

大雨特別警報の発表時間・解除時間

市町村	特別警報発表時刻	特別警報解除時刻
ときがわ町	12日 15時30分	12日 22時45分
東秩父村	12日 15時30分	12日 22時45分
嵐山町	12日 15時30分	12日 22時45分
東松山市	12日 17時10分	12日 22時45分



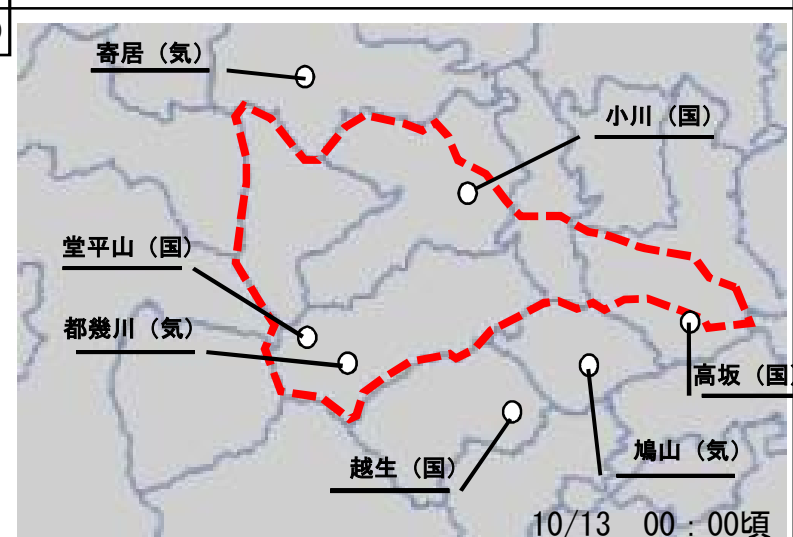
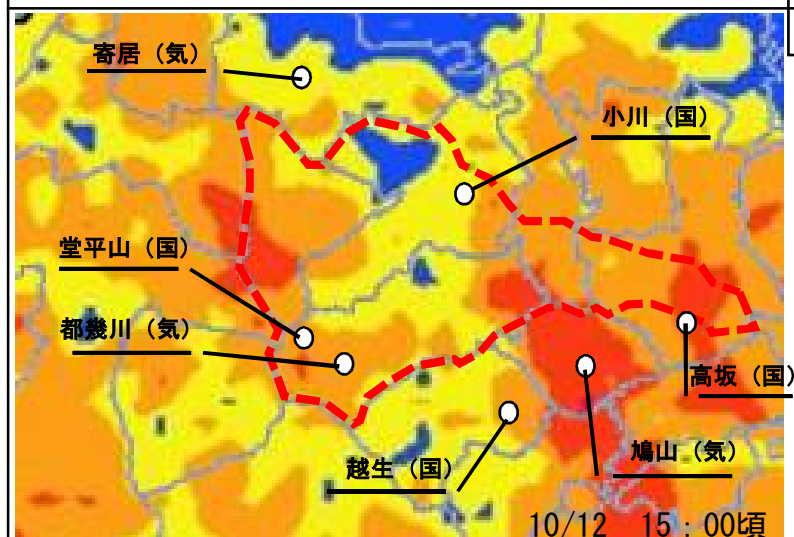
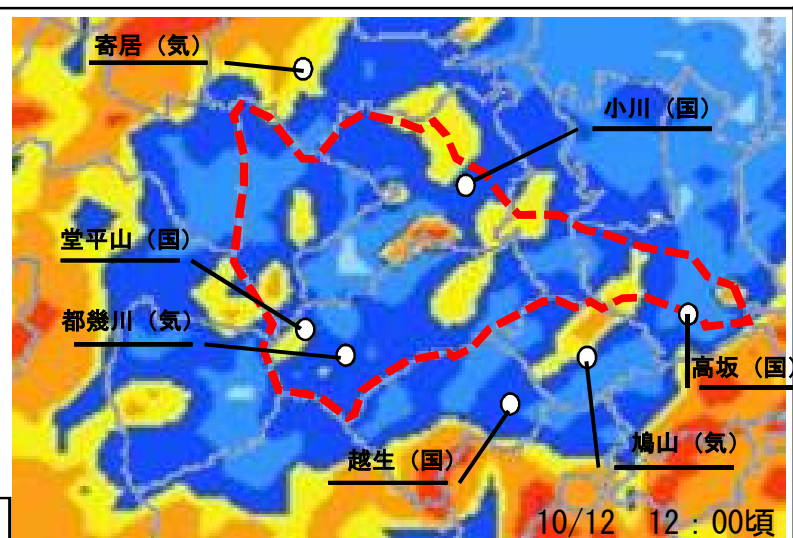
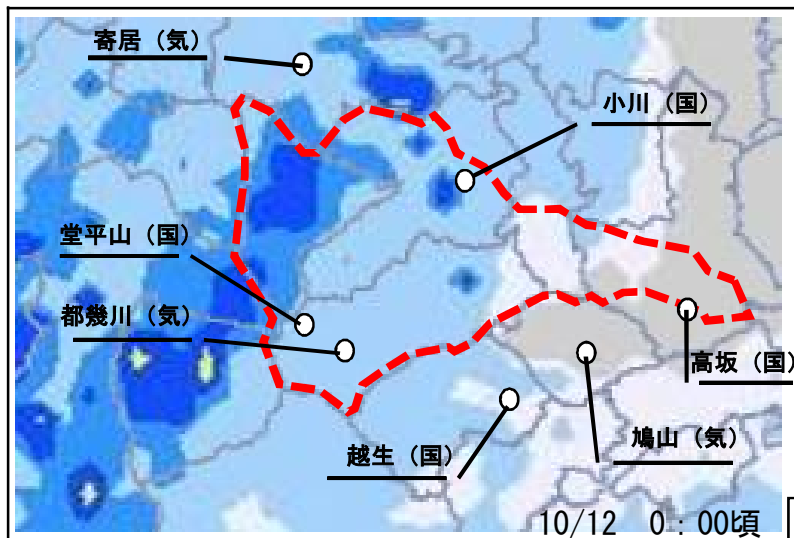
凡例：紫色・・・特別警報発表市町村
 赤色・・・警報発表市町村
 〃：都幾川流域界

特別警報・・・台風や集中豪雨により数十年に一度の降雨量となる大雨が予想される場合に発表される。大雨特別警報が発表された場合、重大な土砂災害や浸水害が発生するおそれ著しく大きい状況が予想される。
 警報・・・雨による重大な土砂災害や浸水害が発生するおそれがあると予想したときに発表される。

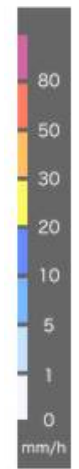
※熊谷地方气象台「令和元年台風第19号に関する埼玉県気象速報（令和元年10月15日）」より

1-3. (1) 降雨状況(平面分布)

- ◆ 令和元年10月12日0:00頃、埼玉県の西側で20mm以下の雨が降りはじめ、同日12:00ころには50mm程度の強い雨となり、東側へと雨雲が移動した。さらに、勢力を維持したまま15:00頃には都幾川流域で降雨量のピークとなった。
- ◆ 都幾川流域では、西側の山地地帯で、特に強い雨であった。



① ②
③ ④

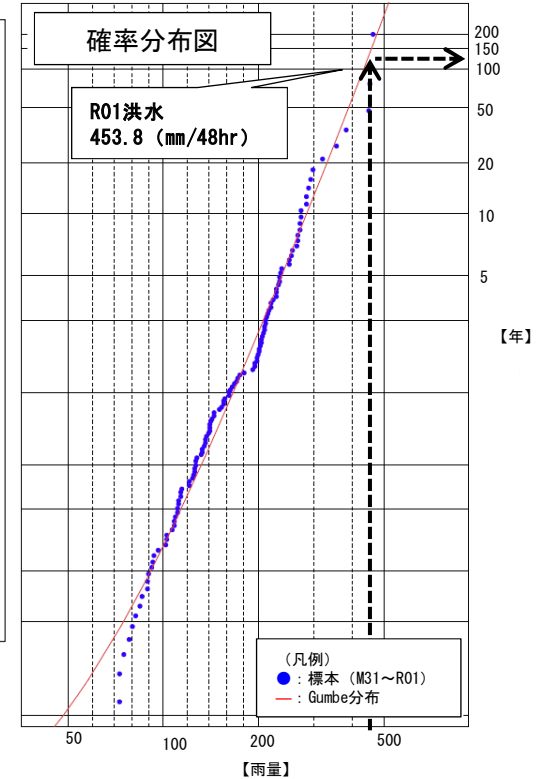
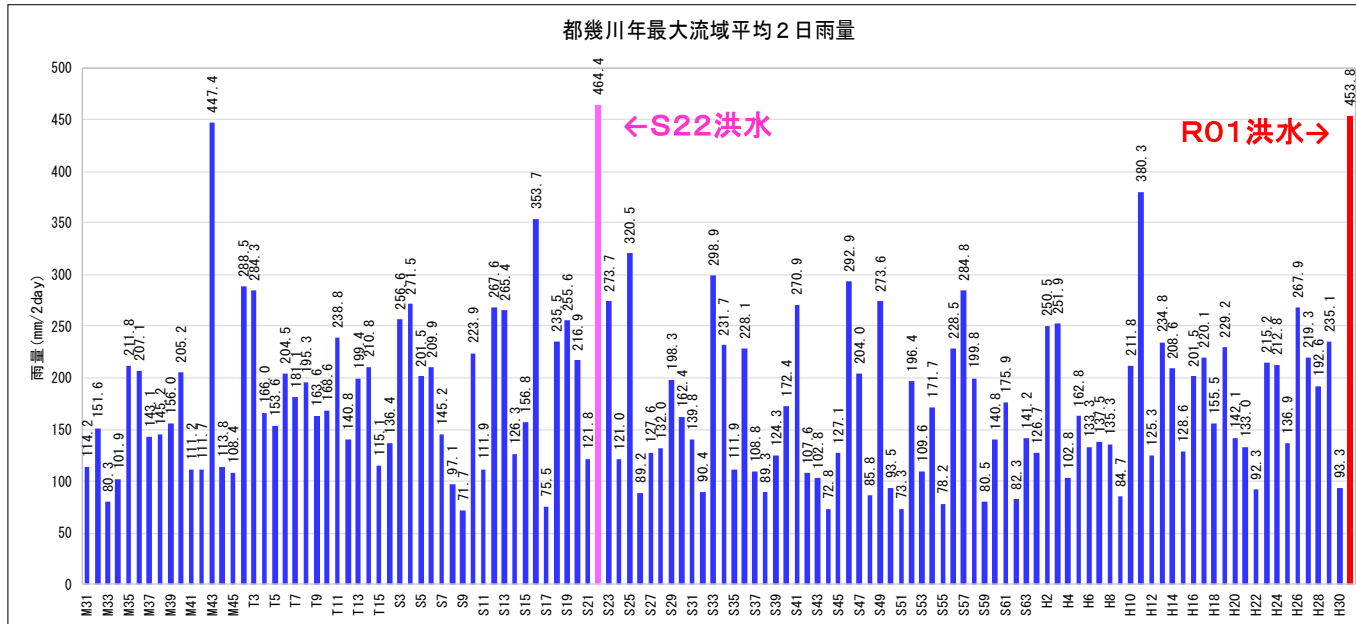


---: 都幾川流域界

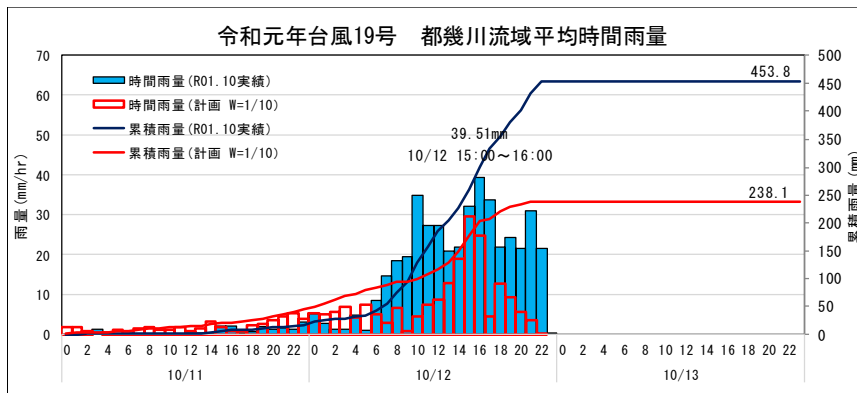
出典: bioweahter 雨雲レーダー

1-3. (2) 降雨状況(時間分布)

- ◆ 都幾川流域では、流域平均2日雨量（都幾川の河川計画における降雨継続時間）が昭和22年の次に大きい雨量を観測。
- ◆ 今次出水と計画降雨量を比較した際、24時間雨量、48時間雨量ともに整備計画を上回った。
- ◆ 今次出水の2日雨量の確率規模は1/100~1/150年確率相当と推算。



※流域平均雨量は、ティーセン法によって算定。R01洪水では、流域内に位置する「堂平山観測所（国）」「小川観測所（国）」「高坂観測所（国）」「都幾川観測所（気）」、近傍に位置する「越生観測所（国）」「寄居観測所（気）」「鳩山観測所（気）」を用いて算定した。



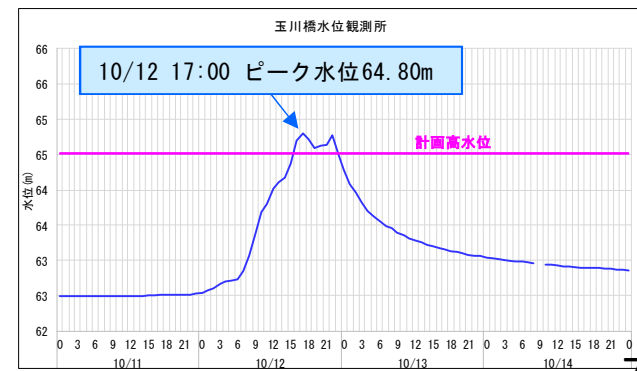
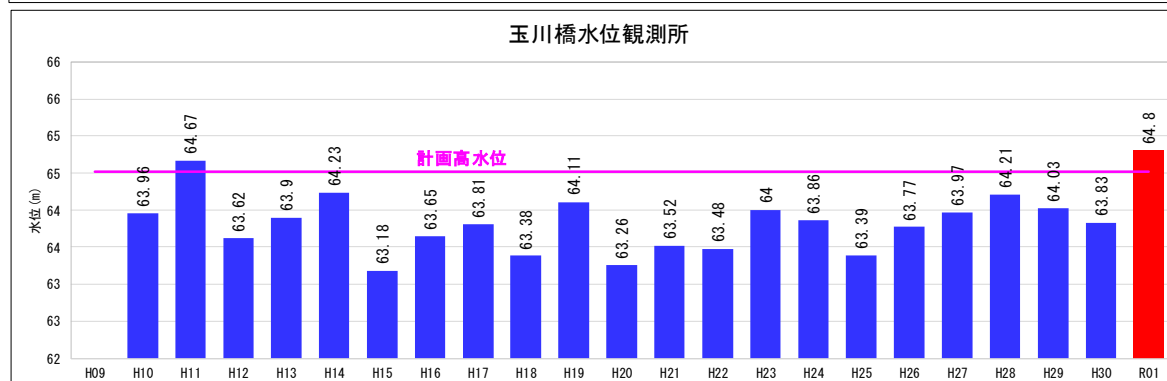
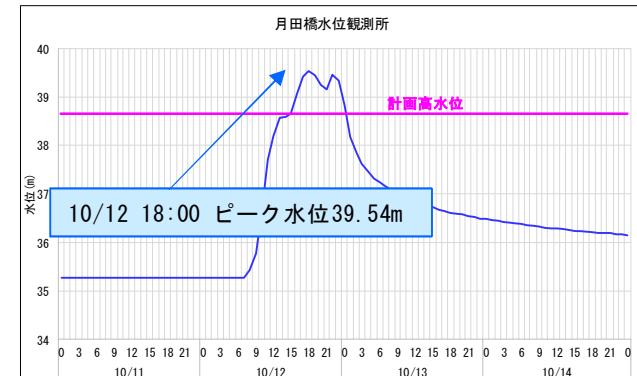
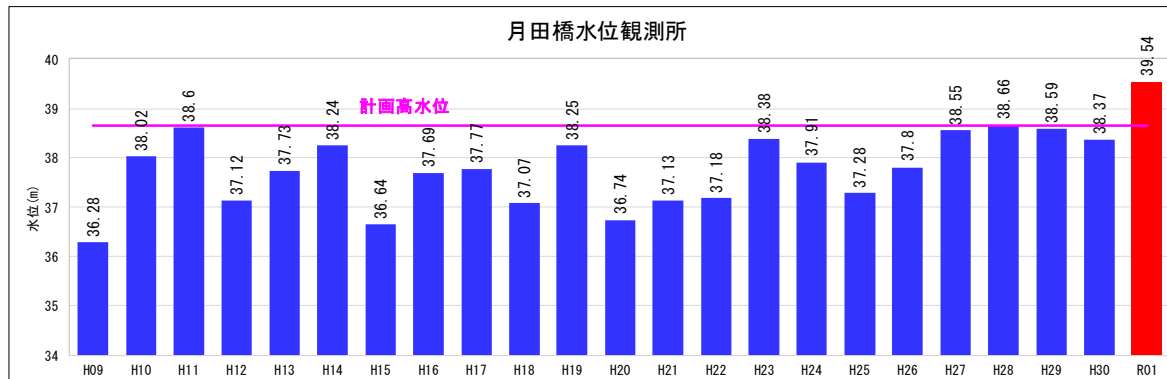
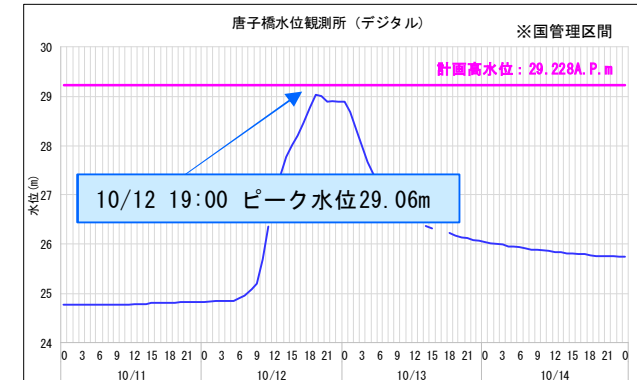
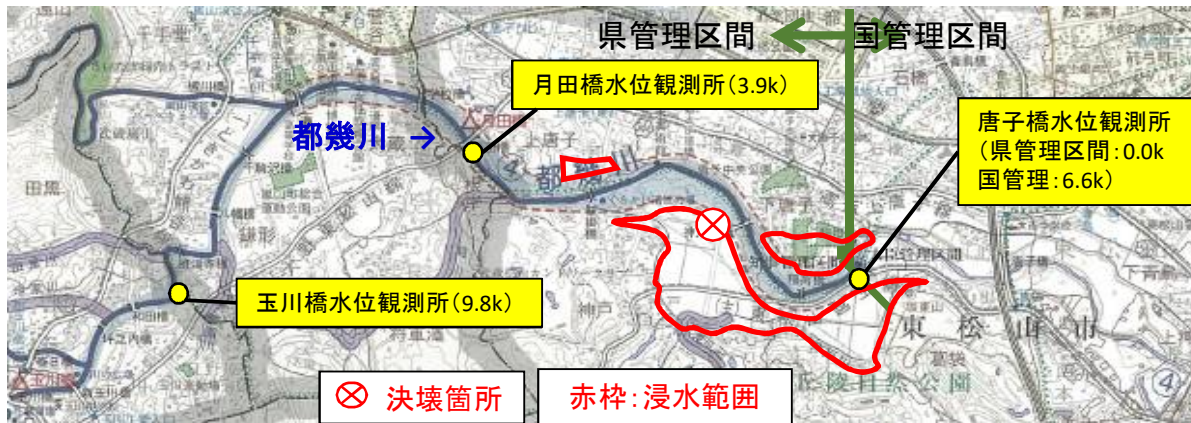
※計画降雨：昭和57年9月洪水波形

計画降雨量との比較

	整備計画 (W=1/10)	台風19号
24時間雨量 (mm/24hr)	179.0	439.3 ※計画を超過
48時間雨量 (mm/48hr)	238.1	453.8 ※計画を超過

1-4. 水位状況

- ◆ 本出水では堤防決壊箇所よりも上流の月田橋観測所、玉川橋観測所において計画高水位以上を記録
- ◆ 月田橋水位観測所と玉川橋観測所では、観測史上最高水位を記録



1-5. 堤防整備状況

- ◆ 決壊箇所周辺は、有堤区間（土堤）であり、対岸は山付区間。
- ◆ 現況堤防高は計画堤防高以下であり整備は完了していない状況である。
- ◆ 右岸1.4km決壊地点では、現況堤防高と現況堤内地盤高の比高差が2.9mである。

【現況堤防の整備状況】

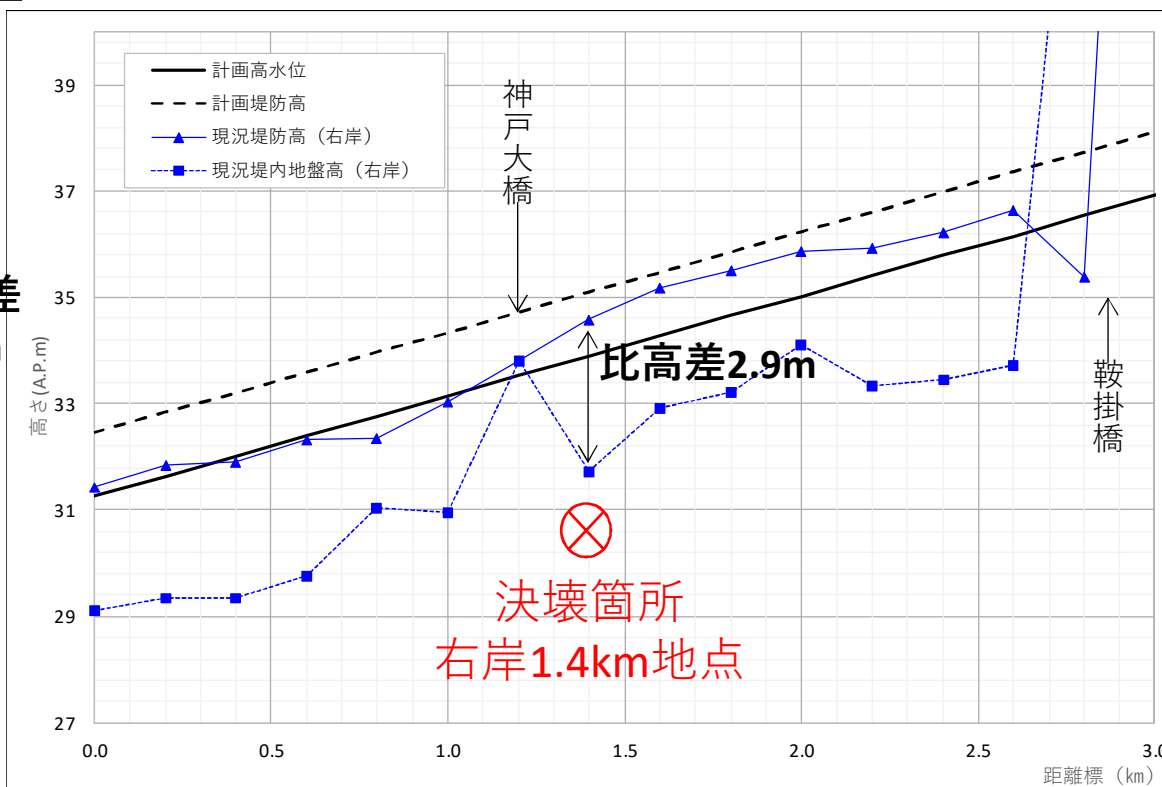
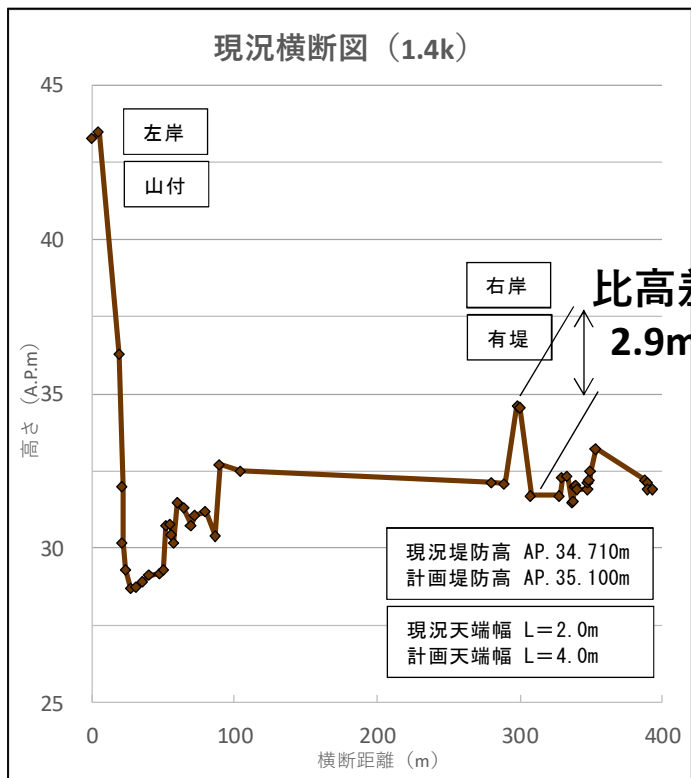
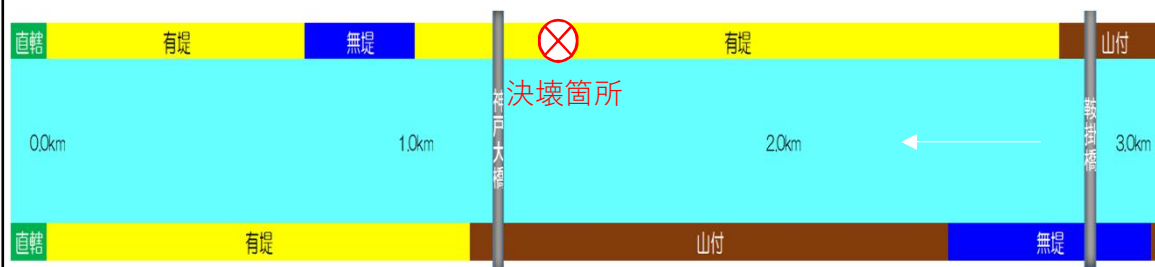
改修状況：未改修

整備年次：不明（明治17年より前（迅速図より））

天端舗装：アスファルト舗装（右岸）H27～H29、
砂利舗装（左岸）

護岸整備：低水路及び本堤に護岸なし（土堤）

法尻補強：なし



※H24測量成果

1-6. 流域概要のまとめ

大項目	小項目	内容
流域概要	河川名	一級河川荒川水系都幾川
	関係市町村名	埼玉県比企郡ときがわ町、秩父群東秩父村、嵐山町、東松山市
	流域面積	153.5km ²
	県管理区間河川延長	16.7km
	河床勾配	1/100～1/530程度
気象状況	台風	台風第19号は10月12日19時前伊豆半島に上陸。 関東地方を通過し、10月13日未明に東北地方の東海上に抜けた。
	大雨	台風本体の発達した雨雲や台風周辺の湿った空気の影響で、流域市町村では大雨特別警報が発令された。
降雨状況	流域内の平面分布	西側の山地地帯で、10/12 15:00頃には50mm程度の強い雨となった。
	流域内の時間分布 (流域平均2日雨量)	昭和22年の次に大きい雨量を観測し、計画を上回った
水位状況	水位観測所	月田橋観測所、玉川橋観測所ともに計画高水位以上を記録
堤防整備状況	縦断諸元 (現況堤防高・HWL)	現況堤防高は計画を下回っており、整備は完了していない。
	有堤or無堤or山付	決壊箇所は有堤区間
	築堤整備年次	不明(明治17年より前(迅速図より))
	天端舗装の有無	アスファルト舗装(右岸)
	護岸整備	なし(土堤)

2-1. (1) 決壊状況(堤防状況及び浸水範囲)

- ◆ 右岸1.4kmで堤防決壊が生じた。そのほか5箇所で堤防破損が確認されている。
- ◆ 0.0~3.0km区間において越水が生じ、決壊・越水に伴う浸水範囲は約140ha（堤防決壊に伴う浸水範囲は約70ha）となった。
- ◆ 外水被害が発生する前に、内水による被害があったかは不明。

【堤防決壊情報】

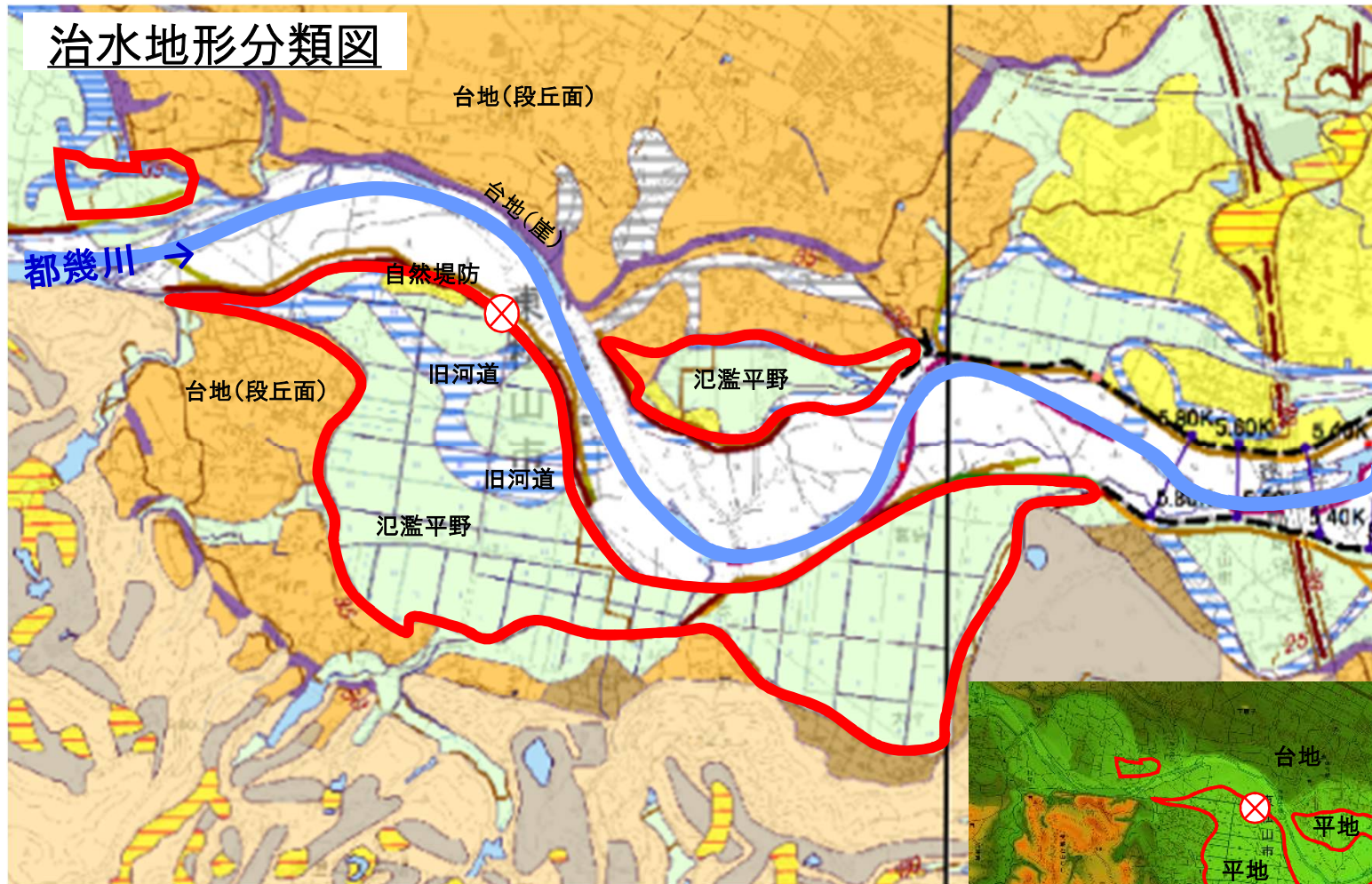
決壊地点：都幾川右岸1.4km地点（東松山市神戸地区内）
 決壊幅：約28.4m
 決壊時間：不明（10/12 16:00 ~ 10/13 6:30までの間と思われる）
 浸水面積：約70ha



※ 浸水面積は航空写真による埼玉県調べ

2-1. (2) 決壊状況(地形の特徴)

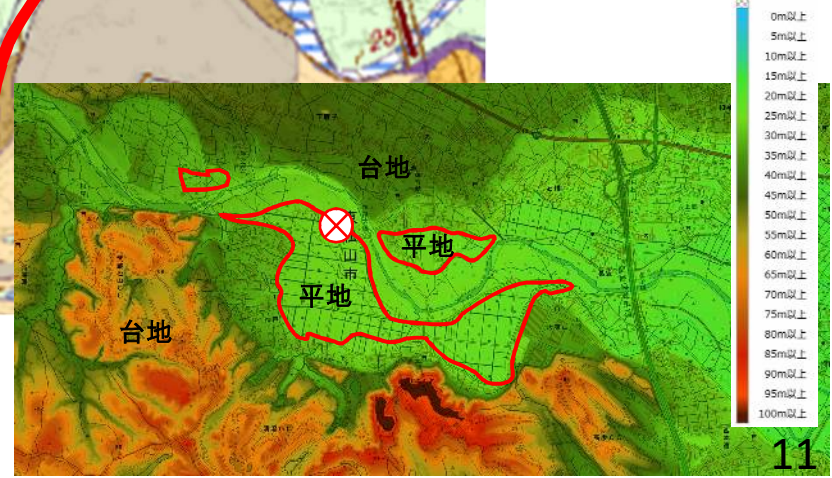
- ◆ 決壊箇所の治水地形分類は氾濫平野と接しており、旧河道との交差点ではない。
- ◆ 浸水は台地に囲まれた氾濫平野で発生した



凡例

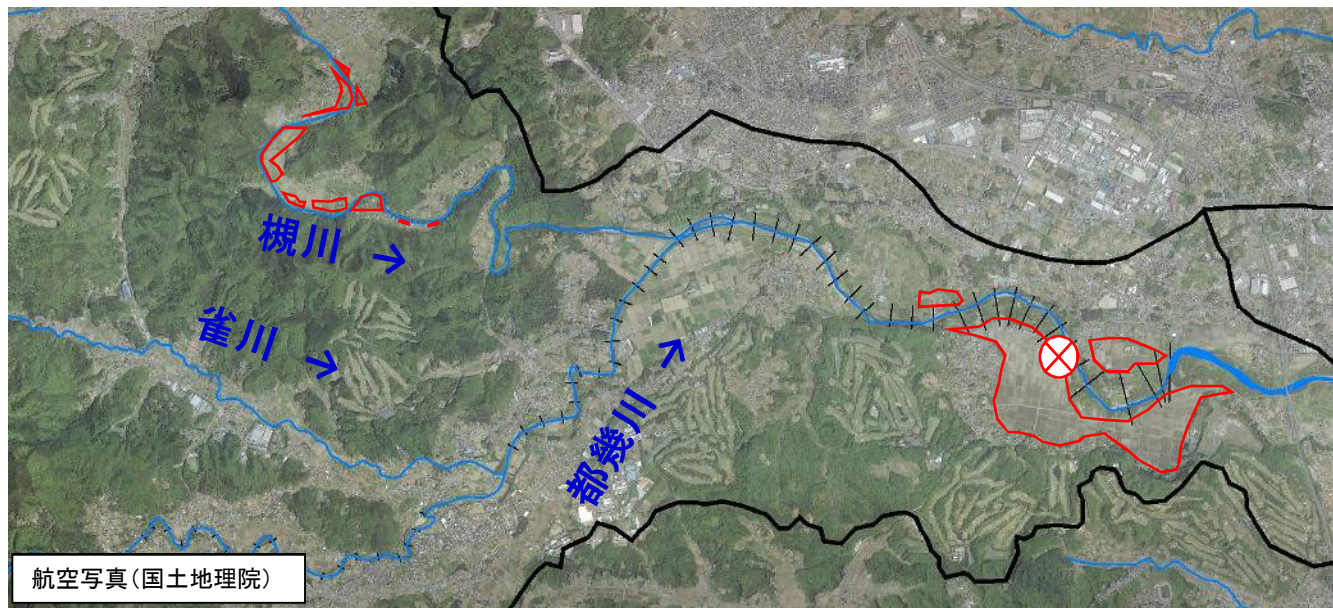
大分類	中分類	小分類	細分類	記号
山地	台地	段丘面		
		崖(段丘崖)		
		洗い谷		
低地	山麓堆積地形			
	氾濫平野	後背湿地		
		微高地(自然堤防)		
	旧河道	旧河道(明確)		
		旧河道(不明瞭)		
	砂州・砂丘			
	人工造成地形	干拓地		
		埋立地・埋立地		
埋立地				
埋立地				
その他	天井川の区間			
	旧河道	5.20年代築造— 5.20年代以前		
		5.20年代		
	地盤高線	主高線		
		補助高線		
	河川管理施設等	旧堤防	5.20年代築造— 5.20年代以前	
		5.20年代		
	河川管理施設 (許可工作物 も含む)	堤防	完成堤防	
			暫定堤防	
堤防		暫々定堤防		
堤防	水位観測所	▲		
	流量観測所	□		
堤防	雨量観測所	○		
	雨量観測所	○		
堤防	橋門・橋門	■		
	橋門・橋門	■		
堤防	橋門・橋門	■		
	橋門・橋門	■		
堤防	事務所・出張所	●		
	出張所	●		
堤防	距離線	—		
	距離線	—		

⊗ 決壊箇所
赤枠: 浸水範囲



2-1. (3) 決壊状況(他流域からの影響)

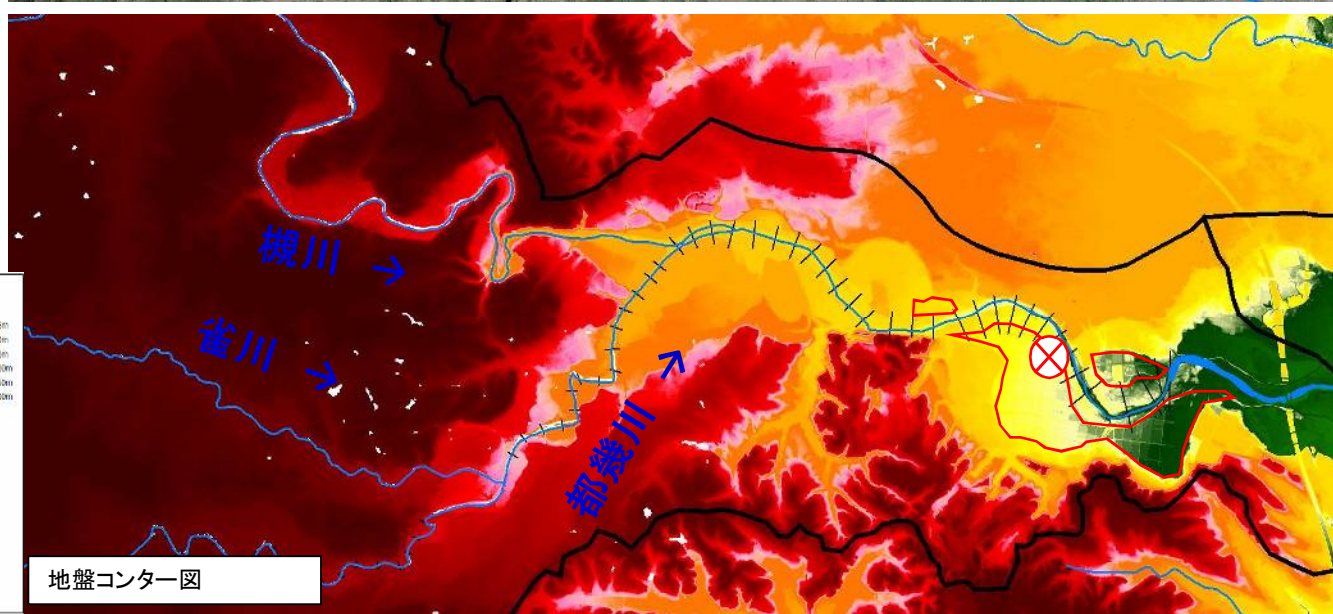
- ◆ 決壊箇所より上流で、溢水・越水が発生したのは槻川3.4k~15.2kである。
- ◆ 地形図と都幾川の流域界の設定から、他流域からの氾濫水が都幾川の決壊箇所に流入した可能性は低いと考えられる。



⊗ 決壊箇所

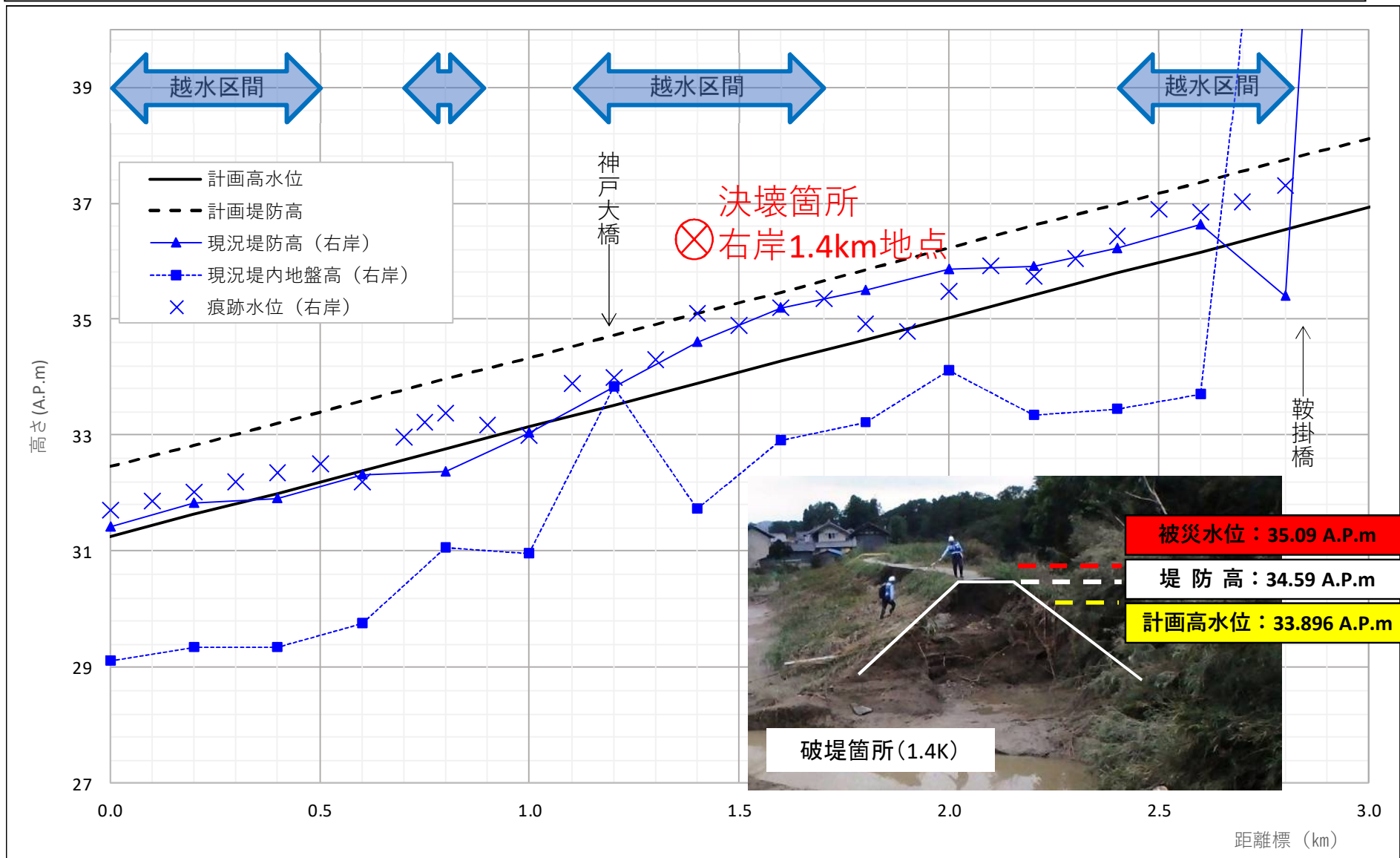
赤枠: 浸水範囲

黒枠: 流域界



2-1. (4) 決壊状況(痕跡水位)

◆ 決壊箇所右岸1.4K地点では、現況堤防高より約50cm高い痕跡水位AP. 35.09mを記録した。



2-2. 越水・堤防決壊に伴う影響

- ◆ 左岸の下唐子地区では床上浸水15戸・床下浸水7戸が発生した。堤防決壊のあった右岸の神戸地区では床上浸水2戸が発生した。
- ◆ 主要地方道東松山越生線では道路冠水により2.7km区間で通行止めとなった。そのうち0.8km区間では堆砂土砂の撤去や路面清掃などにより、最長14日間の通行止めとなった。
- ◆ 越水・堤防決壊により約140haが浸水し、その被害額はおよそ約63億円（治水経済調査マニュアルによる算出）であった。



【防災行政無線による避難情報】※東松山市ホームページより

- 10/12 13:00 市内全域に警戒レベル3「避難準備・高齢者等避難開始」発令
- 10/12 14:45 都幾川の付近にお住まいの方に警戒レベル4「避難勧告」発令
- 10/12 17:55 都幾川の付近にお住まいの方に警戒レベル4「避難指示(緊急)」発令
- 10/12 18:55 警戒レベル5「災害発生情報」発令(都幾川左岸の堤防より越水)
- 10/13 18:46 警戒レベル4「避難指示(緊急)」解除

3-1. 堤防決壊要因分析の検証方針

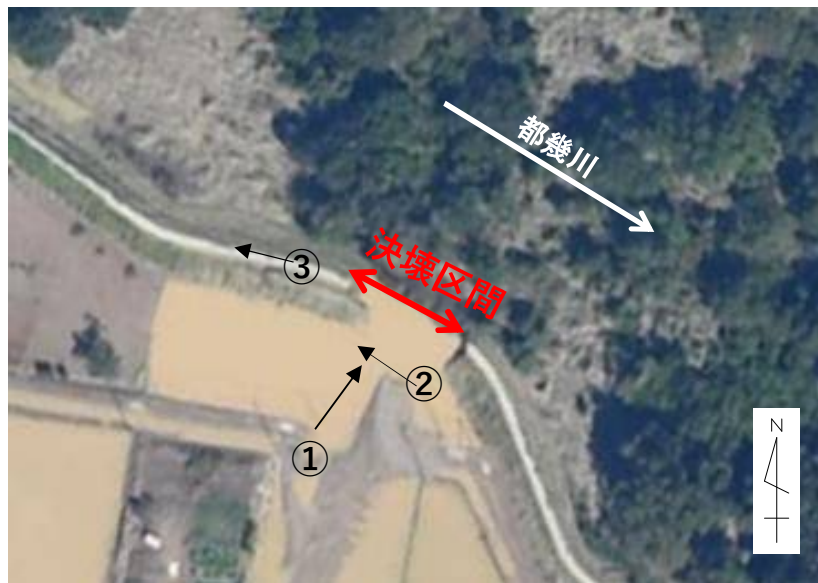
- ◆ 堤防決壊の要因としては「越水」「浸透」「侵食」に大別される（河川堤防の構造検討の手引き等）。
- ◆ それぞれの項目について、検証・分析の方針を以下の通り定める。

被災要因の分析方針

検証項目	被災要因の検証方針	
越水による堤防決壊	現地調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現況堤防高と痕跡水位を比較し、堤防高が低い箇所からの越水の可能性の有無を検証する。 ・ 裏法尻に深掘れが発生していないかを確認する。
	解析	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法尻部流速を推定し、流速が2m/s以下となっていたかを検証する。
浸透による堤防決壊	現地調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 被災後に現地調査を実施し、法尻部で噴砂や漏水が発生していないかを確認する。
	解析	<ul style="list-style-type: none"> ・ ボーリング結果や台風19号の実績ハイドロを用いて浸透に対する安全性照査を実施し、最低限必要な安全率を有しているかを検証する。
侵食による堤防決壊	現地調査	<ul style="list-style-type: none"> ・ 決壊箇所の上下流における川表側の法面や高水敷の侵食の痕跡の有無を確認する。
	解析	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法面付近の流速が2m/s以下となっていたかを検証する。

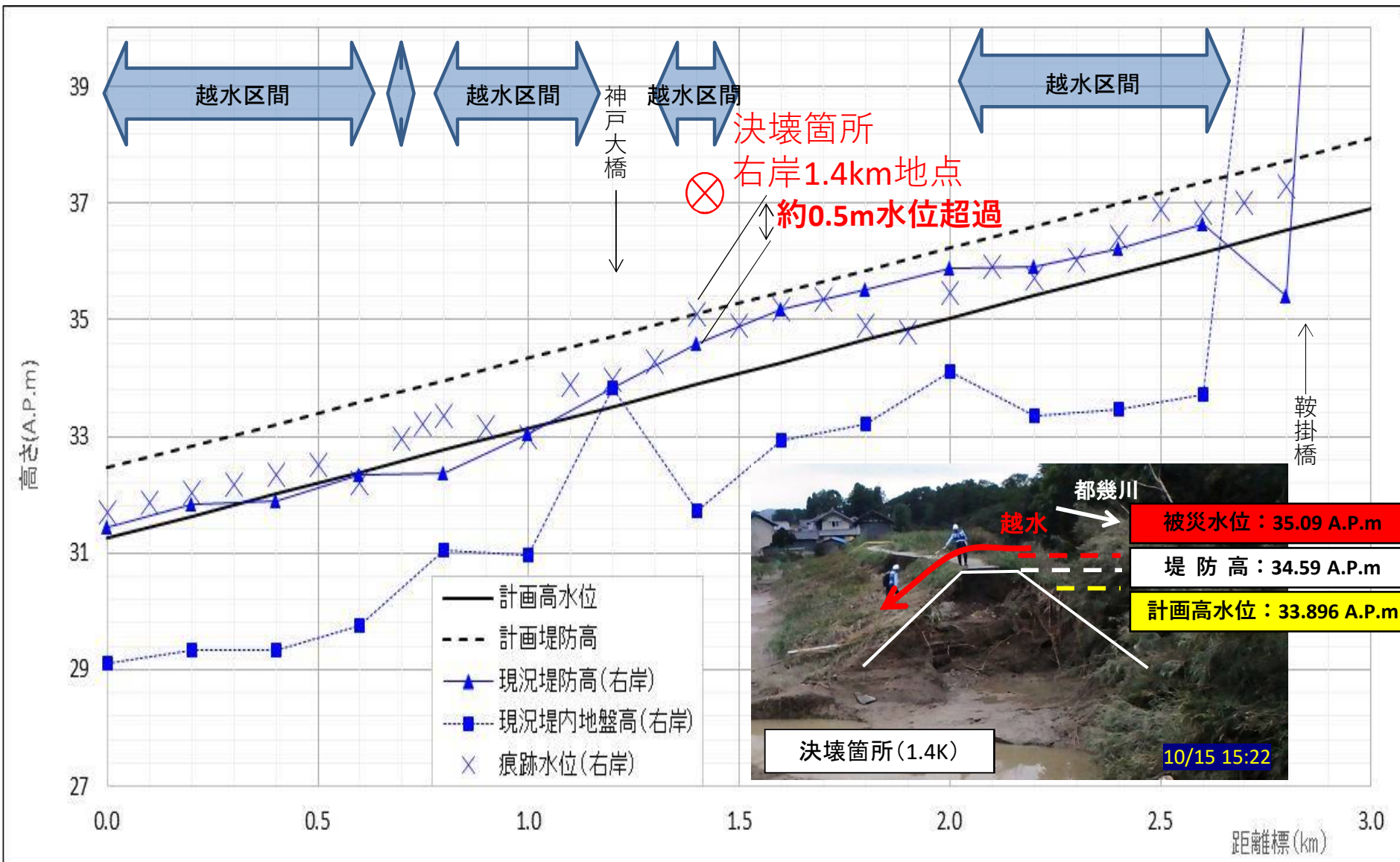
3-2. (1) 越水に対する分析(現地調査)

- ◆ 決壊した箇所は堤防法線は都幾川の流向に対して水衝部となり、越水しやすい形状となっていた可能性がある
- ◆ 現地調査より、堤防決壊箇所での樹木の倒伏及び落掘れが確認された
- ◆ 堤防決壊箇所近傍において、植生の倒伏による洪水痕跡及び天端下の川裏法面での洗掘が確認された。



3-2. (2) 越水に対する分析(洪水痕跡)

◆ 決壊箇所右岸1.4Kで、痕跡水位が現況堤防高を約0.5m超過している。



3-2. (3)越水に対する分析(法尻流速)

- ◆ 決壊箇所右岸1.4Kで、法尻部の流速を試算すると水深0.5mの場合で5~8m/s程度であったものと推測される。
- ◆ 越流水の法尻流速が2m/sを超えていることから、川裏法面や法尻部が越流水によって削られた可能性がある。

- ・ 越流水深 最大0.5m (痕跡水位より推測)
- ・ 法面：高さ2.85≒3m 幅7.4m 勾配1:2.6

流速の推定式

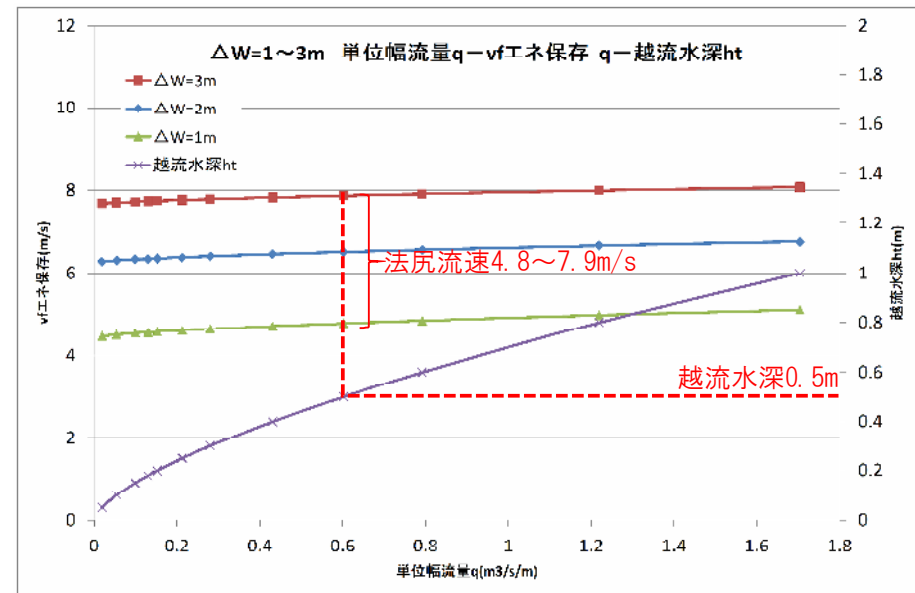
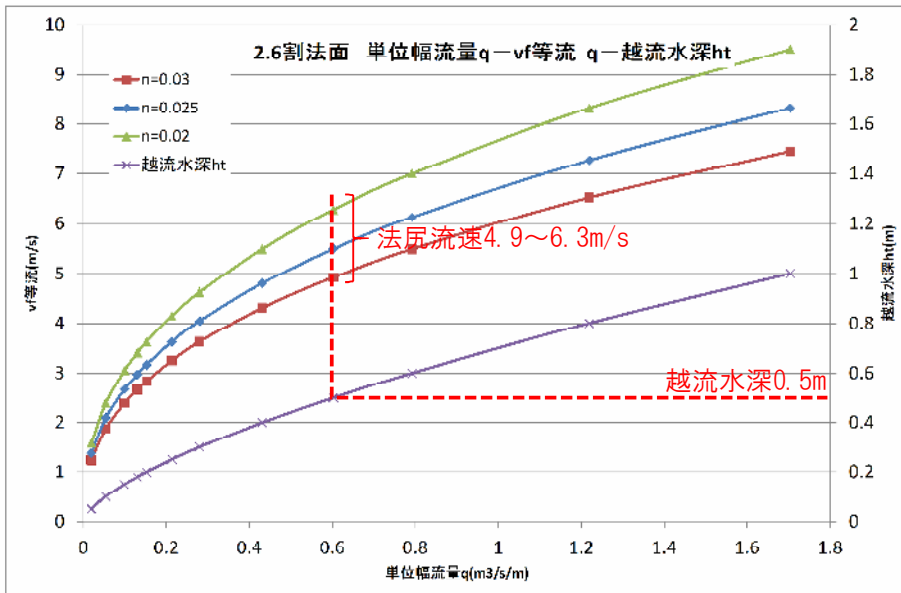
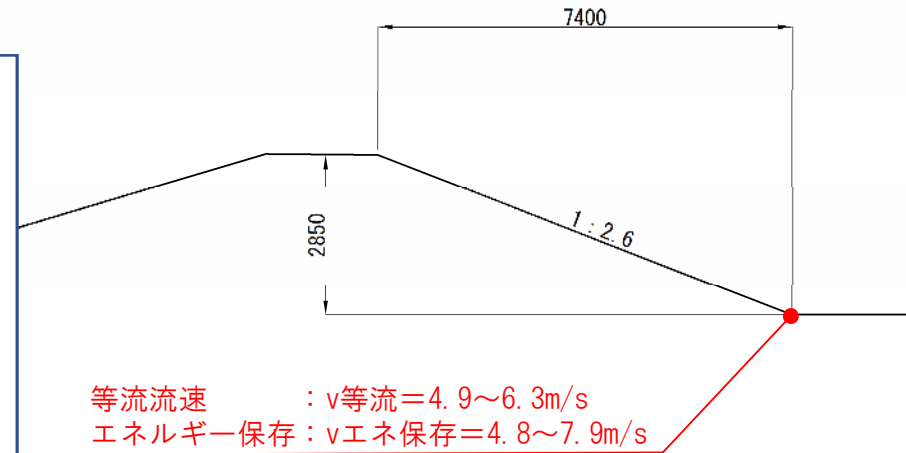
$$h_c = \frac{1}{3(h_t + W)^2} h_c^3 + \frac{2}{3} h_t \quad q = \sqrt{gh_c^3}$$

$$h_{f \text{等流}} = \left[\frac{n^2 g}{s_i \theta} \right]^{3/10} h_c^{9/10} \quad v_{f \text{等流}} = \frac{q}{h_f}$$

$$h_{f \text{エネ保存}} = \frac{3}{2} h_c + W - \frac{q^2}{2gh_f^2} \quad v_{f \text{エネ保存}} = \frac{q}{h_f}$$

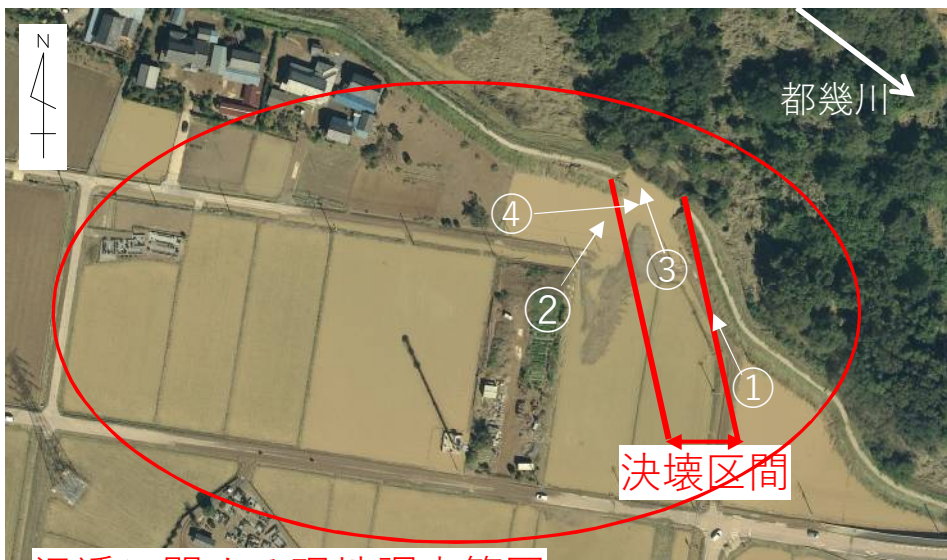
出典：加藤ら (2014), 津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討, 土木学会論文集B2 (海岸工学), vol70, NO.1, 31-49

決壊地点断面図 (決壊前測量)



3-3. (1) 浸透に対する分析(噴砂跡、漏水の有無)

- ◆ 決壊後の現地調査結果より、法尻部周辺には泥が堆積しているものの噴砂や漏水は見られなかった。(①、②)
- ◆ 越水破堤であれば、堤防法尻から落掘れが発生するが、決壊地点では堤体直下から落掘れが広がっている。これは、堤体直下の土層が流水と一緒に移動して空洞ができたためと推測できる(③)。
- ◆ また、堤防基部からは川表側から水が差し、湧水ができていることを確認した(③、④)。
- ◆ これにより、浸透破堤で見られる噴砂や漏水はないものの、浸透現象が発生していた可能性がある。



浸透に関する現地調査範囲



④ 堤防直下の遊水状況
10/17 13:20

③ 堤体下付近 (10/15) 17:20
⇒ 落掘れは堤防法尻からではなく、堤体直下から広がっている。また、堤防基部では川表側からの湧水が確認できる。そのため、現場条件からは浸透現象が発生していた可能性がある。

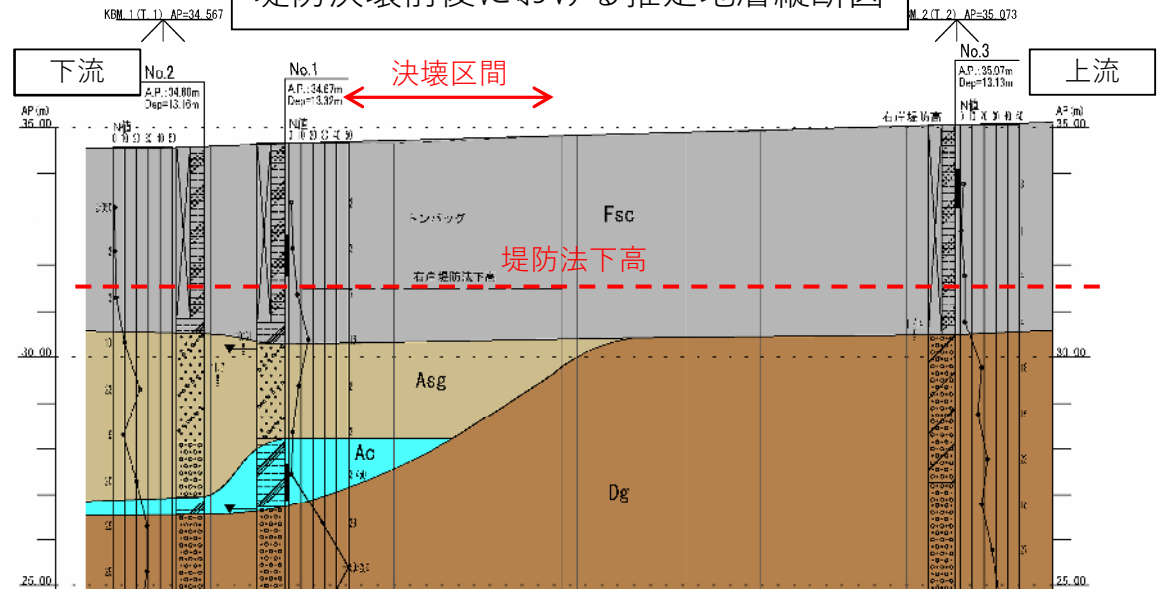


3-3. (2) 浸透に対する分析(基礎地盤の土質)

- ◆ 浸透流解析を実施するにあたり、堤防決壊前後において、ボーリング試験を実施した。
- ◆ ボーリング試験の結果、基礎地盤の表層は、堤体から連続した砂質シルト (Fsc層) となっており、浸透性が低いことを確認した。
- ◆ しかし、下流側の堤防直下 (深度：落掘れ形成付近) には、透水性の高い礫層 (Asg層) が確認できた。



堤防決壊前後における推定地層縦断図



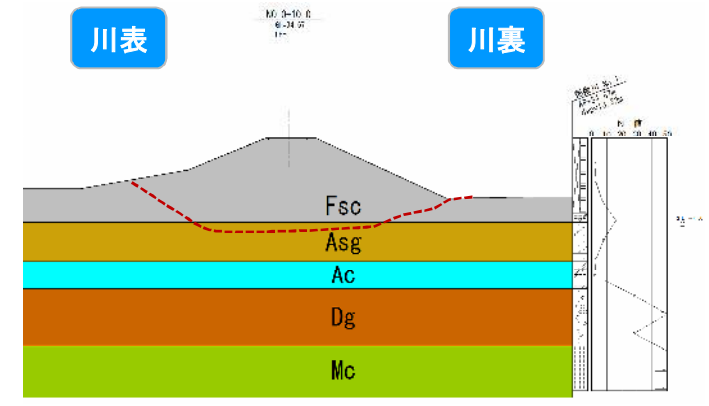
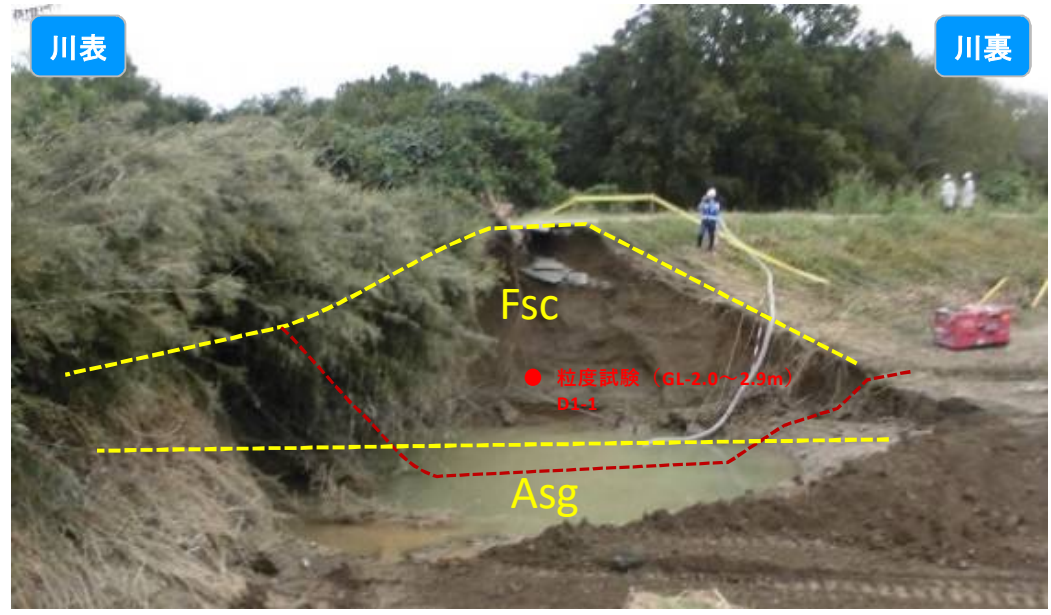
地質層序表

地質時代	地層名	記号	主な土質名	層厚 (m)	N値 (平均)	土性特徴
現世	堤体盛土 (旧表土を含む)	Fsc	砂質シルト 粘土質シルト	4.10~4.60	1~7 (3.1)	砂質シルト主体の堤体盛土。砂分を不規則に混入し、部分的に砂の混入量が多い。φ2~30mm位の円礫・角礫が不規則に混入する。No.1の旧表土は粘土質シルトでN値16と硬質である。
第四紀	砂質土層	Asg	礫混じり砂 砂礫	0~3.55	3~23 (12.2)	砂は細~中砂主体で、不均質。φ5~40mm位の円礫が不規則に少量混入する。下部にしたがって礫量多くなり、砂礫状となる。
	粘性土層	Ac	粘土質シルト	0~1.50	3	粘性が強い。下部はやや有機質で、有機物が点在する。少量の砂分やφ2~10mm位の円礫が混入する。
	砂礫層	Dg	粘土混じり砂礫 砂礫	2.55~3.05	15~50 (28.8)	φ5~30mm位(最大径φ60mm位)の円礫・角礫主体。隙間充填物は粘土混じり細中砂で、上部は粘土分を多く含む。部分的に、φ80mm以上の玉石が点在する。
新第三紀	泥岩層	Mc	泥岩	-	71~115 (91.5)	上部は部分的に風化している。コアは礫状・短柱状に採取される。均質な泥岩であるが、部分的に砂を混入し、時々薄く挟む。

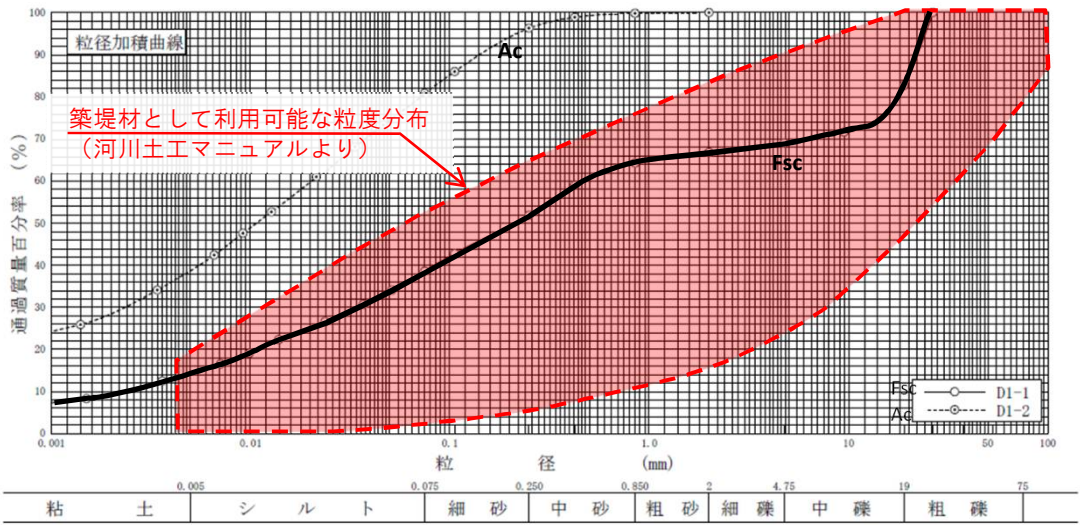
※Mc層のN値はすべて50以上であり、表中の値は換算N値。

3-3. (3) 浸透に対する分析(堤体の土質:下流)

- ◆ 下流側の堤体は粒度試験結果(D1-1)より、細粒分を多く含み浸透性が低い材料(砂質シルト:Fsc層)で構成されていることを確認した。
- ◆ なお、築堤材料としては堤防に適している粒度分布であることを確認した。



掘削後地盤高は、被災後断面写真より想定

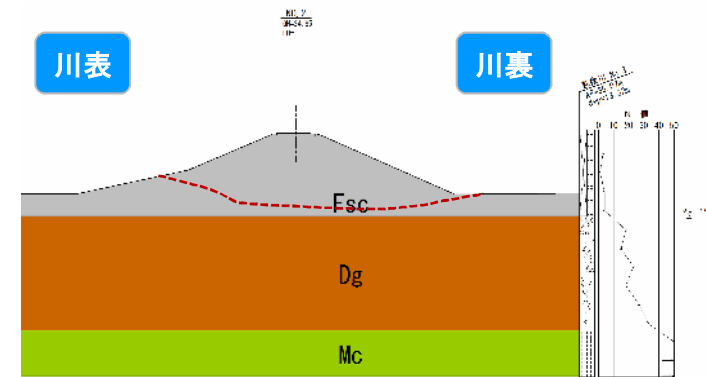


地質層序表						
地質時代	地層名	記号	主な土質名	層厚 (m)	N値 (平均)	土性特徴
現世	堤体盛土 (IC表土を含む)	Fsc	砂質シルト 粘土質シルト	4.10~4.60	1 ~ 7 (3.1)	砂質シルト主体の堤体盛土。 砂分を不規則に混入し、部分的に混入量が多い。 φ2~30mm位の円礫・角礫が不規則に混入する。 No.1のIC表土は粘土質シルトでN値16と硬質である。
第四紀 更新世	砂質土層	Asg	濃混じり砂 砂 礫	0 ~ 3.55	3 ~ 23 (12.2)	砂は細~中砂主体で、不均質。 φ5~40mm位の円礫が不規則に少量混入する。 下部にしたがって礫量多くなり、砂礫状となる。
	粘性土層	Ac	粘土質シルト	0 ~ 1.50	3	粘性が強い。 下部はやや有機質で、有機物が点在する。 少量の砂分やφ2~10mm位の円礫が混入する。
新第三紀 中新世	砂礫層	Dg	粘土混じり砂礫 砂 礫	2.55~5.05	15 ~ 50 (26.8)	φ5~30mm位(最大径φ60mm位)の円礫、角礫主体。 隙間充填物は粘土混じり細中砂で、上部は粘土分を多く含む。部分的に、φ80mm以上の玉石が点在する。
	泥岩層	Mc	泥岩	-	71 ~ 115 (91.5)	上部は部分的に風化している。 コアは層状・短柱状に採取される。 均質な泥岩であるが、部分的に砂が混入し、やや微く挟む。

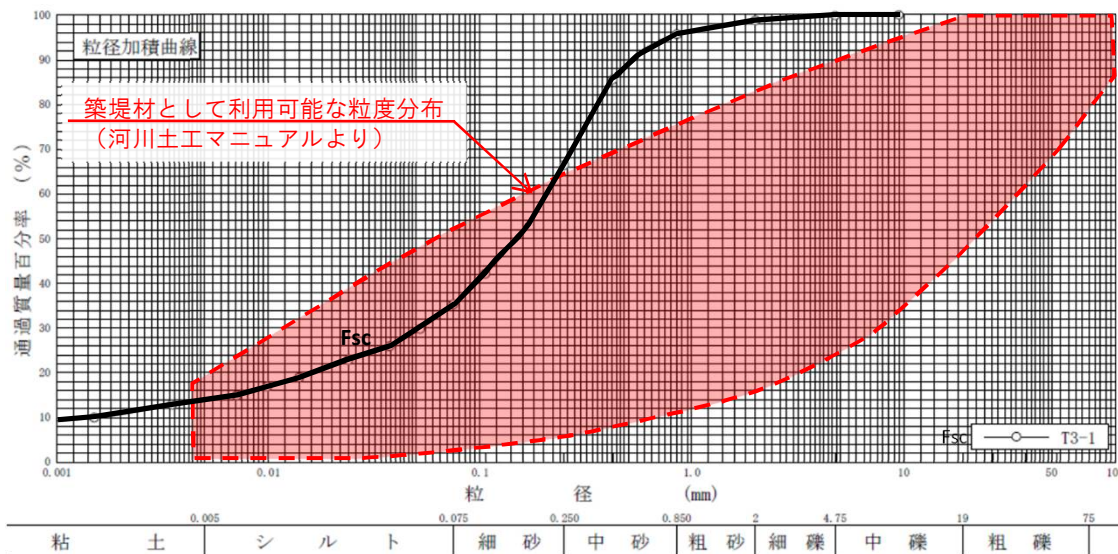
*Mc層のN値はすべて50以上であり、表の値は換算N値。

3-3. (4) 浸透に対する分析(堤体の土質:上流)

- ◆ 上流側の堤体は粒度試験結果(T3-1)より、砂分を不規則に混入した粘性系(浸透性が低い)材料(砂質シルト)で構成されていることを確認した。
- ◆ 粒度分布からは、シルトから細砂が多く含まれており、浸透性が低い土層といえる。



掘削後地盤高は、被災後断面写真より想定

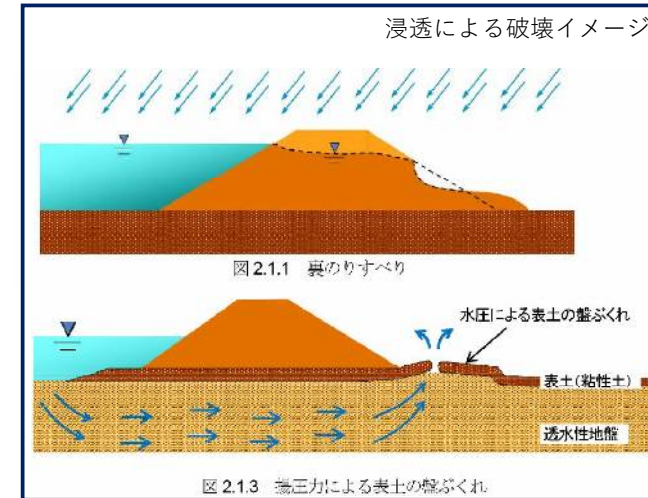
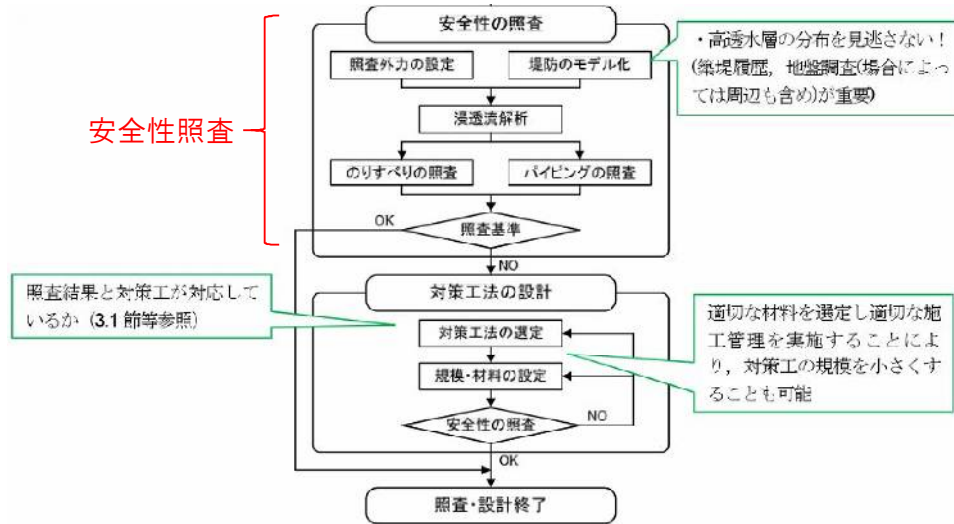


地質時代	地層名	記号	主な土質名	層厚 (m)	N値 (平均)	土性特徴
現世	堤体盛土 (IC表土を含む)	Fsc	砂質シルト 粘土質シルト	4.10~4.60	1~7 (3.1)	砂質シルト主体の堤体盛土。砂分を不規則に混入し、部分的に砂の混入量が多い。φ2~30mm位の円礫・角礫が不規則に混入する。No.1のIC表土は粘土質シルトでN値16と硬質である。
完新世	砂質土層	Asg	礫混じり砂 砂礫	0~3.55	3~23 (12.2)	砂は細~中砂主体で、不純質。φ5~40mm位の円礫が不規則に少量混入する。下部にしたがって礫量多くなり、砂礫状となる。
	粘性土層	Ac	粘土質シルト	0~1.50	3	粘性が強い。下部はやや有機質で、有機物が点在する。少量の砂分やφ2~10mm位の円礫が混入する。
更新世	砂礫層	Dg	粘土混じり砂礫 砂礫	2.55~3.05	15~50 (26.8)	φ5~30mm位(最大径φ80mm位)の円礫、角礫主体。隙間充填物は粘土混じり細中砂で、上部は粘土分を多く含む、部分的に、φ80mm以上の玉石が点在する。
新第三紀	泥岩層	Mc	泥岩	-	71~115 (91.5)	上部は部分的に風化している。コアは塊状・短柱状に採取される。均質な泥岩であるが、部分的に砂を混入し、わずかに鉄心。

※Mc層のN値はすべて50以上であり、表中の値は換算N値。

3-3. (5) 浸透に対する分析(安全性照査手法)

1) 浸透に対する安全性照査の手順



[河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント H25. 6土木研究所]を編集

2) 浸透に対する安全性照査の照査基準

項目	照査箇所	照査基準
すべり破壊	裏のり	$F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$ F_s ; すべり破壊に対する安全率 α_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 (3回以上の築堤) $\alpha_1 = 1.2$ 築堤履歴が単純な場合 (2回以下の築堤) $\alpha_1 = 1.1$ 新設堤防の場合 $\alpha_1 = 1.0$ α_2 ; 基礎地盤の複雑さに対する割増係数 被災履歴あるいは要注意地形※がある場合 $\alpha_2 = 1.1$ 被災履歴あるいは要注意地形※がない場合 $\alpha_2 = 1.0$ ※要注意地形; 旧河道、落掘跡などの堤防の不安定化につながる治水地形
	表のり	$F_s \geq 1.0$ F_s ; すべり破壊に対する安全率
浸透破壊	被覆粘性土なし	$i < 0.5$ i ; 裏のり尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値
	被覆粘性土あり (今回該当)	$G/W > 1.0$ G ; 被覆土層の重量 W ; 被覆土層基底面に作用する揚圧力

今回の川裏すべり照査基準
 $F_s = 1.2 \times 1.1 \times 1.1 = 1.45$

3-3. (6) 浸透に対する分析(照査条件:下流)

- 以下の条件を用いて飽和-不飽和浸透流解析(非定常)を実施し、浸透破壊の可能性を検証する。
 - 検討モデル: 決壊箇所直近の測量断面に、被災後実施の土質調査結果を踏まえて土層構成および土質定数を設定した。
 - 浸透・不飽和特性: 土質調査結果を踏まえた層区分を反映し、各層に透水係数、比貯留係数と不飽和特性を設定した。
 - 検討外力: 今次出水の降雨、水位ハイドロにより設定した(降雨量は流域の平均雨量、水位は不定流による再現計算結果を使用)。

地盤の土質定数(今回試験値)

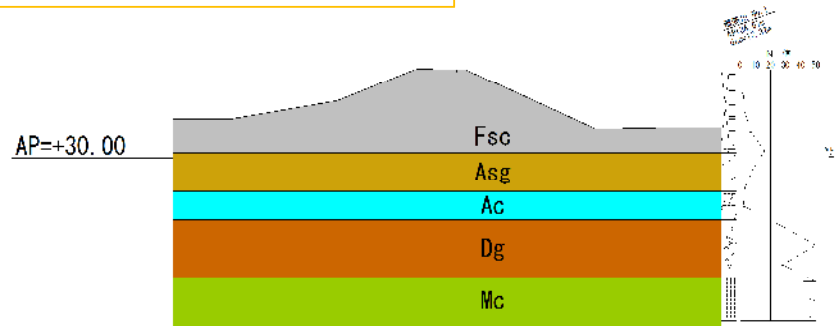
【都幾川R1.2k下流】

土質	湿潤密度 (kN/m ³)	透水係数 (cm/s)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	備考
Fsc	19.9	1.0E-05	17.4	0	
Asg	20.0	2.0E-03	0.0	30	
Ac	18.9	1.0E-05	24.7	0	
Dg	21.0	1.4E-02	0.0	38	
Mc	19.2	1.0E-05	252.0	0	

【透水係数】

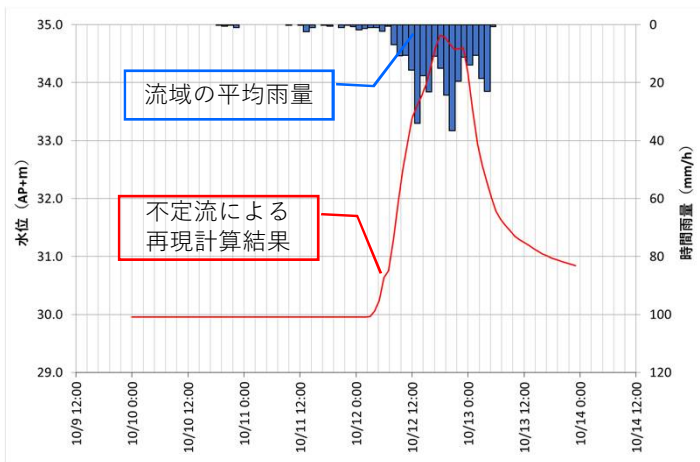
砂質土: 今次出水後の試験値
粘性土: シルトの一般値

検討断面(決壊箇所 都幾川R1.4k 下流)

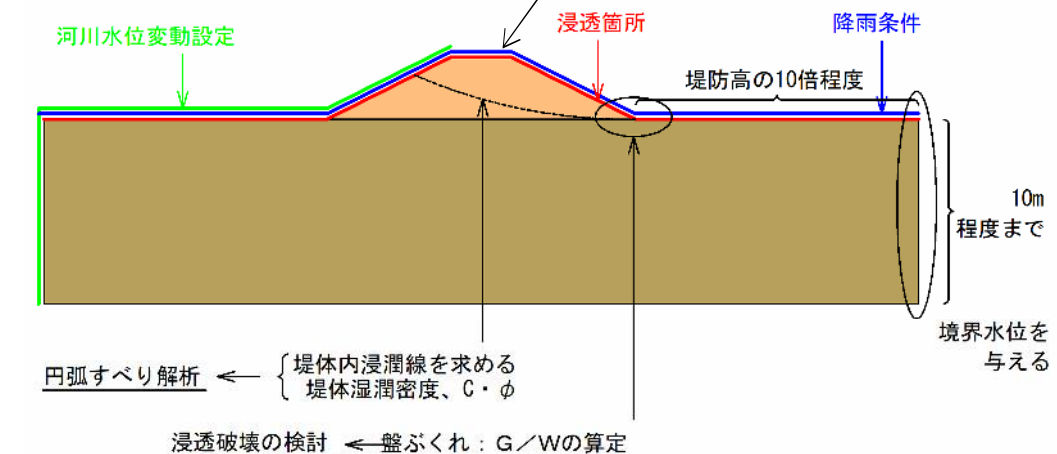


決壊箇所の堤体及び基礎地盤表層は粘性土主体のFsc層が分布しており、浸透性が低いため、パイピング破壊が起きやすい地質構成にはなっていない。

外力条件(台風第19号の実績)



検討断面(境界条件の設定)



出典: 河川堤防の構造検討の手引きを図化

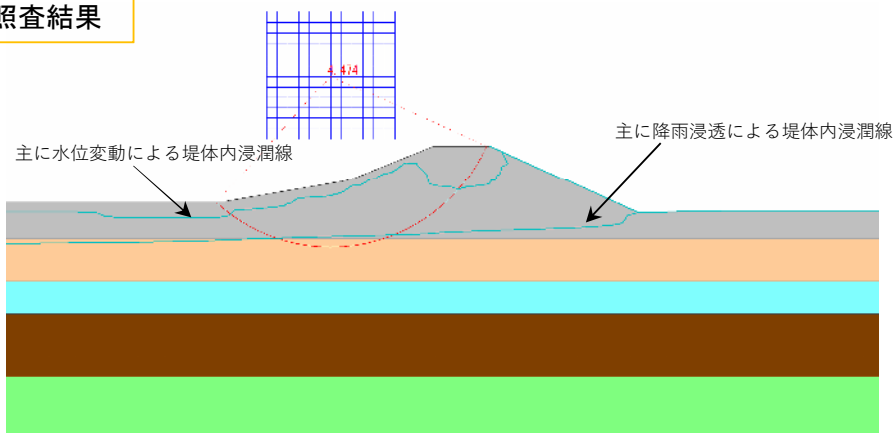
3-3. (7) 浸透に対する分析(照査結果:下流)

- 裏法尻の土質が粘性土となっていることから、浸透破壊のうちパイピング破壊の照査は対象外となる。
- 浸透解析に対する照査の結果、決壊した堤防はすべり(表のり・裏のり)、浸透破壊(盤ぶくれ)ともに基準値を満たしている。
⇒浸透に対する安全性を有していることを確認できた。

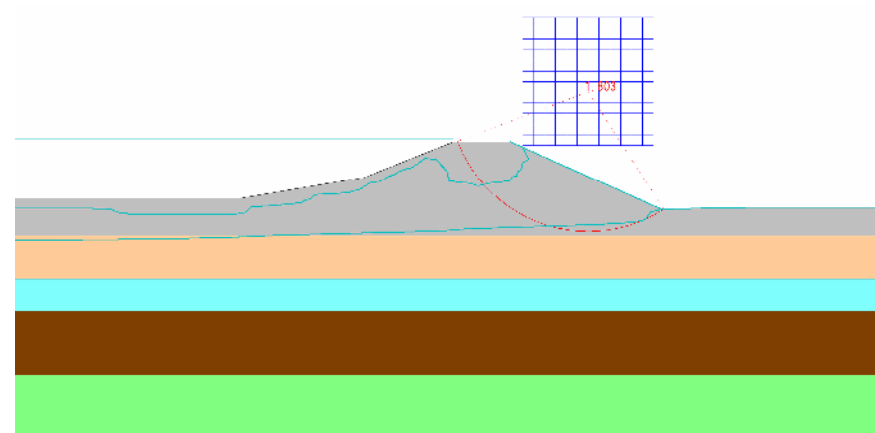
【都幾川R1.4k下流】

時刻	表のり		裏のり		パイピング破壊		盤ぶくれ	
	基準値	解析結果	基準値	解析結果	基準値	解析結果	基準値	解析結果
洪水ピーク時 10/12 18:00	$F_s \geq 1.00$	$F_s = 4.474$	$F_s \geq 1.45$	$F_s = 1.803$	$i < 0.5$	—	$G/W > 1.0$	$G/W = 4.29$
洪水終了時 10/14 4:00	$F_s \geq 1.00$	$F_s = 2.487$	$F_s \geq 1.45$	$F_s = 1.879$		—		$G/W = 5.15$

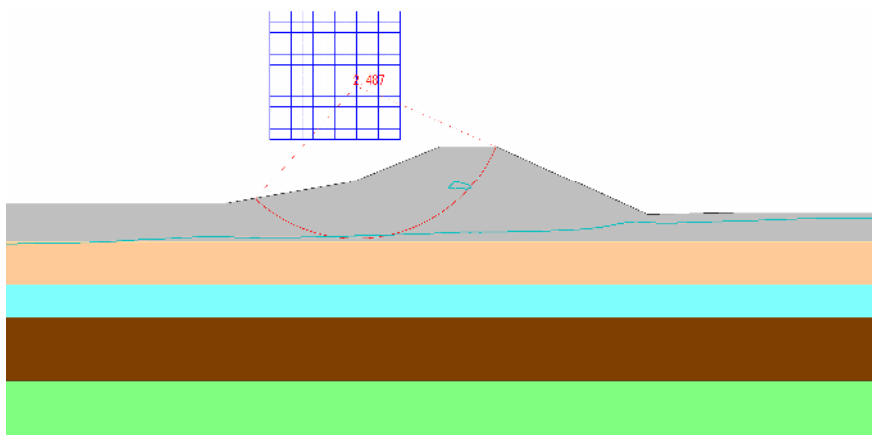
照査結果



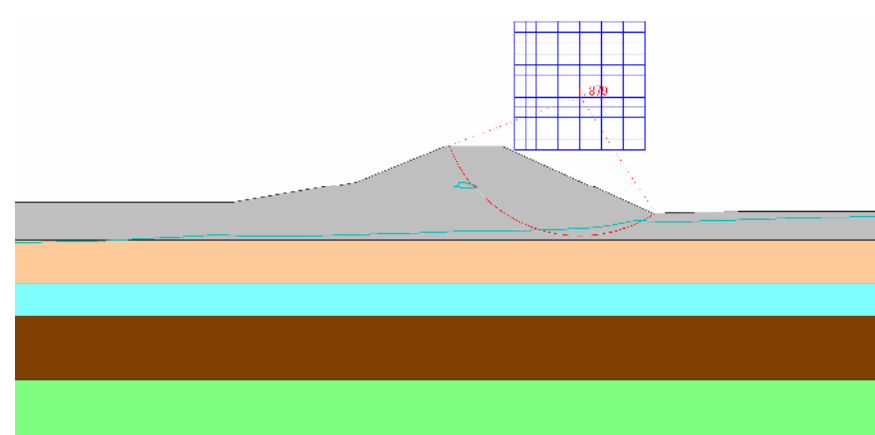
川表側のり面すべり(洪水ピーク…最高水位時) 10/12 18:00



川裏側のり面すべり(洪水ピーク…最高水位時) 10/12 18:00



川表側のり面すべり(洪水終了時…水位低下時) 10/14 4:00



川裏側のり面すべり(洪水終了時…水位低下時) 10/14 4:00

3-3. (8) 浸透に対する分析(照査条件: 上流)

- 以下の条件を用いて飽和-不飽和浸透流解析(非定常)を実施し、浸透破壊の可能性を検証する。
 - 検討モデル: 決壊箇所直近の測量断面に、被災後実施の土質調査結果を踏まえて土層構成および土質定数を設定した。
 - 浸透・不飽和特性: 土質調査結果を踏まえた層区分を反映し、各層に透水係数、比貯留係数と不飽和特性を設定した。
 - 検討外力: 今次出水の降雨、水位ハイドロにより設定した(降雨量は流域の平均雨量、水位は不定流による再現計算結果を使用)。

地盤の土質定数(今回試験値)

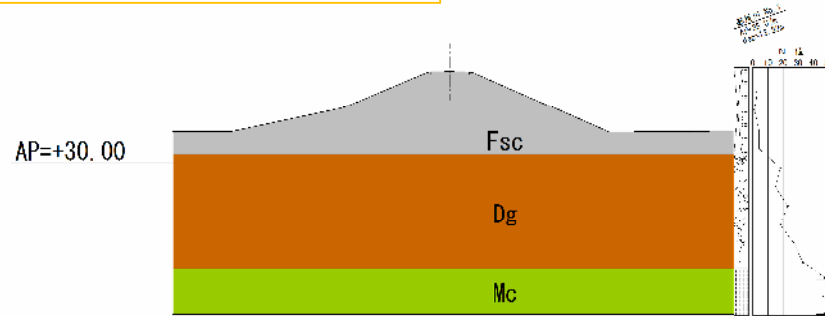
【都幾川R1.2k上流】

土質	湿潤密度 (kN/m ³)	透水係数 (cm/s)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	備考
Fsc	19.9	1.0E-05	17.4	0	
Asg	20.0	2.0E-03	0.0	30	
Ac	18.9	1.0E-05	24.7	0	
Dg	21.0	1.4E-02	0.0	38	
Mc	19.2	1.0E-05	252.0	0	

【透水係数】

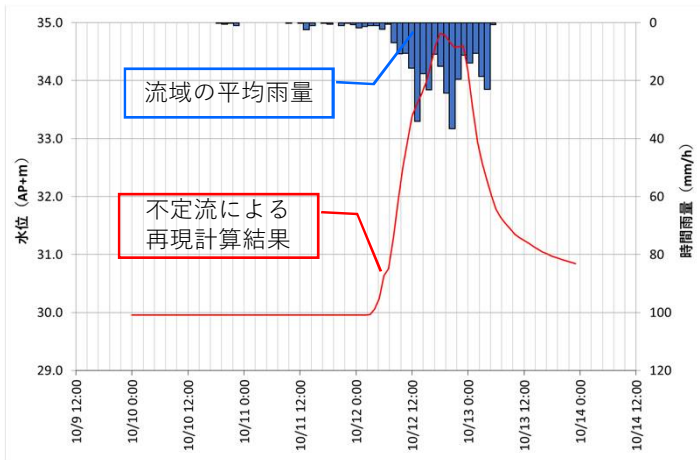
砂質土: 今次出水後の試験値
粘性土: シルトの一般値

検討断面(決壊箇所 都幾川R1.4k 上流)

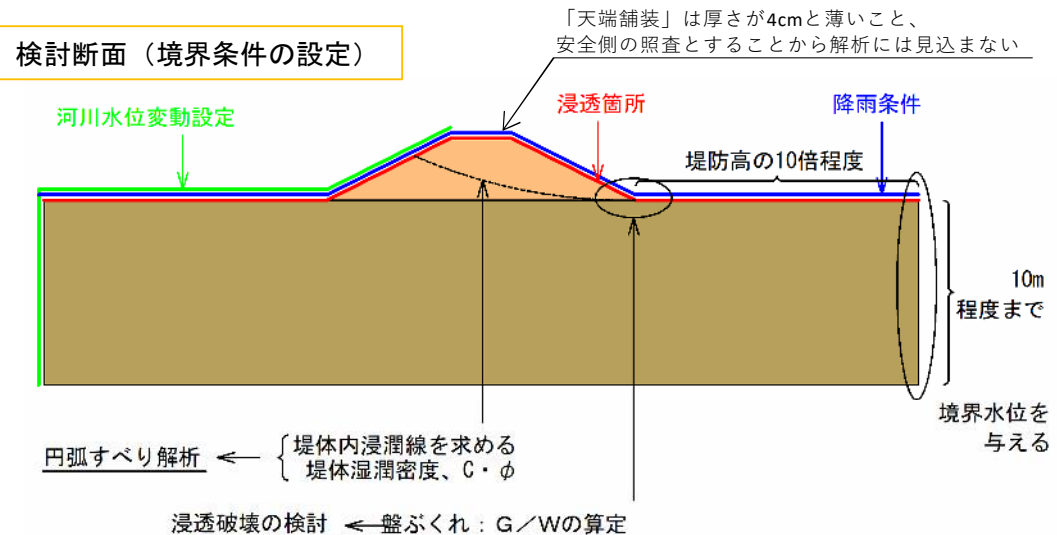


決壊箇所の堤体及び基礎地盤表層は粘性土主体のFsc層が分布しており、浸透性が低いため、パイピング破壊が起きやすい地質構成にはなっていない。

外力条件(台風第19号の実績)



検討断面(境界条件の設定)



出典: 河川堤防の構造検討の手引きを図化

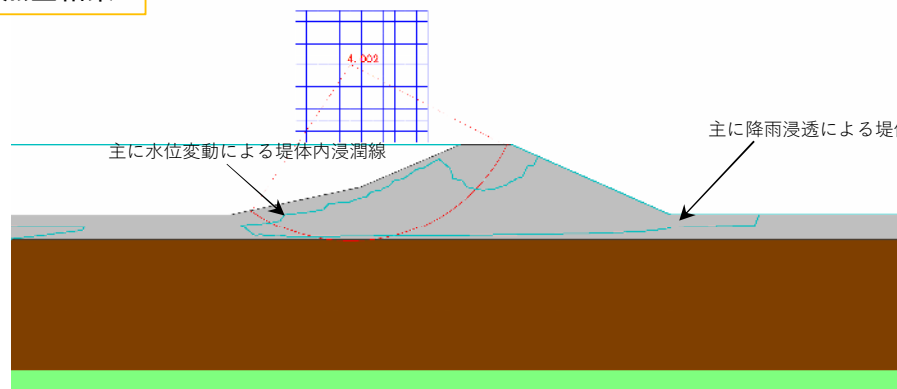
3-3. (9) 浸透に対する分析(照査結果:上流)

- 裏法尻の土質が粘性土となっていることから、浸透破壊のうちパイピング破壊の照査は対象外となる。
- 浸透解析に対する照査の結果、決壊した堤防はすべり(表のり・裏のり)、浸透破壊(盤ぶくれ)ともに基準値を満たしている。
⇒浸透に対する安全性を有していることを確認できた。

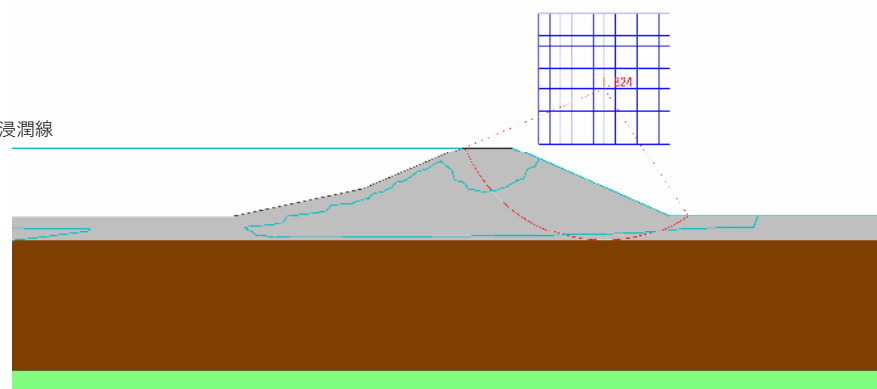
【都幾川R1.4k上流】

時刻	表のり		裏のり		パイピング破壊		盤ぶくれ	
	基準値	解析結果	基準値	解析結果	基準値	解析結果	基準値	解析結果
洪水ピーク時 10/12 18:00	$F_s \geq 1.00$	$F_s = 4.002$	$F_s \geq 1.45$	$F_s = 1.824$	$i < 0.5$	—	$G/W > 1.0$	$G/W = 1.47$
洪水終了時 10/14 4:00	$F_s \geq 1.00$	$F_s = 2.24$	$F_s \geq 1.45$	$F_s = 1.892$		—		$G/W = 3.70$

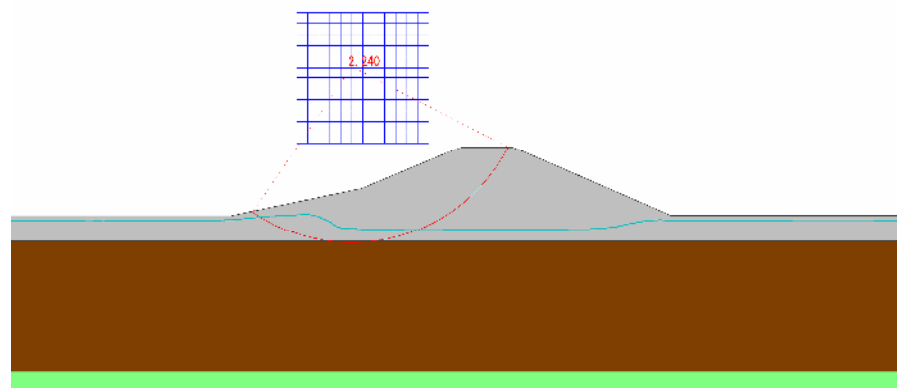
照査結果



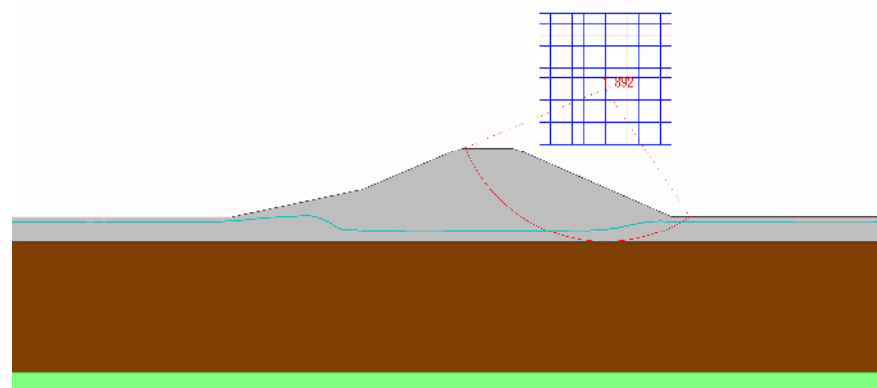
川表側のり面すべり(洪水ピーク…最高水位時) 10/12 18:00



川裏側のり面すべり(洪水ピーク…最高水位時) 10/12 18:00



川表側のり面すべり(洪水終了時…水位低下時) 10/14 4:00



川裏側のり面すべり(洪水終了時…水位低下時) 10/14 4:00

3-4. (1) 侵食に対する分析(現地調査)

- ◆ 決壊区間の上下流とも植生により法面が保護されていたことによって、川表法面の侵食は生じなかったものと推測される。
- ◆ 決壊区間の高水敷上は樹木帯となっており、侵食は確認できない(①、③、④)。
- ◆ 高水敷上の植生は倒伏しているが、流失していない(②、③、④)。



3-4. (2) 侵食に対する分析(流速)

- ◆ 不定流計算を実施し、「護岸の力学設計法」にしたがい、侵食の恐れのある流速を上回るかどうかを確認する。
- ◆ その結果、侵食に至る流速（2m/s）に達していないため、侵食が決壊の原因となった可能性は低いものとする。

1) 侵食に対する安全性照査の手法

不定流計算において、法尻近傍の流速が2.0m/sを上回っていれば、侵食の可能性のあるものと判定する。

(2) 堤防防護の必要性の区分

堤防の防護の必要性は出水による侵食発生の可能性を基にして区分する。

堤防防護の必要性の区分

区分1：出水による侵食の恐れのある堤防。

区分2：出水による侵食の可能性がほとんどないと判断される堤防。

1) 区分1の堤防

流水の作用によって、堤防部分に侵食が生じる恐れのある箇所を区分1とする。通常は堤防が植生に覆われた状態に対応した流速値で評価する。

その値は、既往の被災事例や研究成果などを参考に定めるものとするが、一般には安全側をみて、堤防法尻部の鉛直平均流速が2.0 m/s程度よりも大きくなる箇所を目安とする。

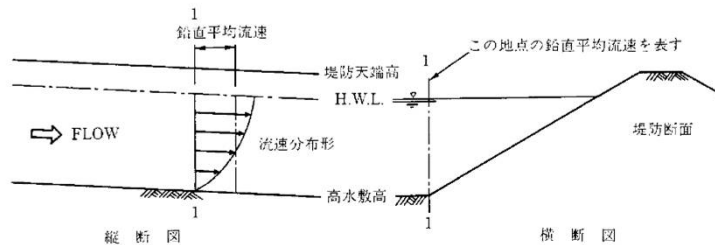


図2-6 堤防法尻位置の鉛直平均流速

2) 区分2の堤防

1)に該当しない区間を区分2とする。

出典：護岸の力学設計法

2) 侵食に対する照査結果

距離標	河道内流速 [m/s]	高水敷(川側) [m/s]	高水敷(法尻側) [m/s]
0	0	1.241	0.611
0.2	1.645	3.011	0
0.4	1.705	3.182	0
0.6	1.48	2.732	0
0.8	0	4.355	6.06
1	1.249	1.853	1.129
1.2	3.063	4.255	0
1.4	1.94	0	1.377
1.6	2.091	0	1.438
1.8	3.163	1.858	0
2	5.076	0	0
2.2	1.571	2.125	0
2.4	1.396	2.241	0
2.6	2.388	0	0
2.8	1.7	2.82	0

⇒法尻近傍の流速は2m/s以下の1.4m/sであるため、侵食が決壊原因である可能性は低い。

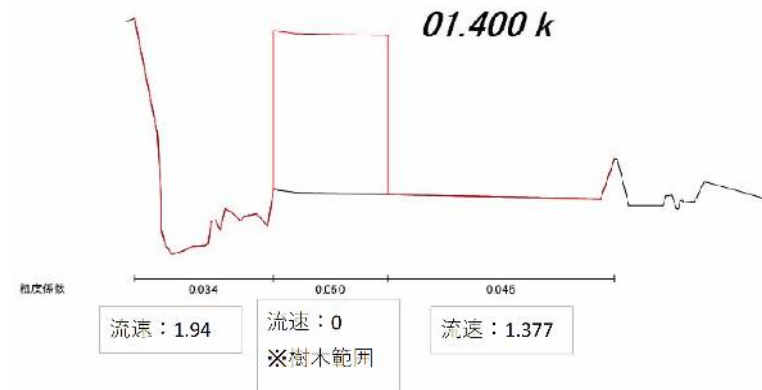


図. 不等流速結果

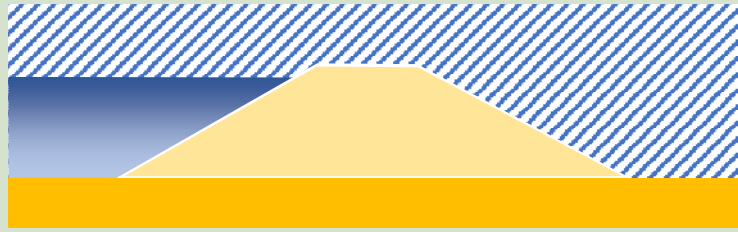
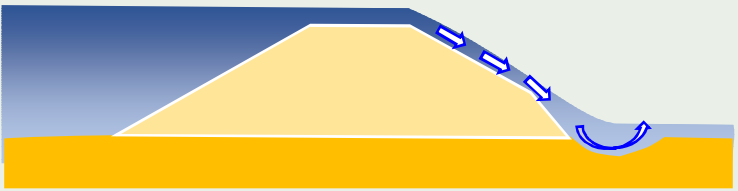
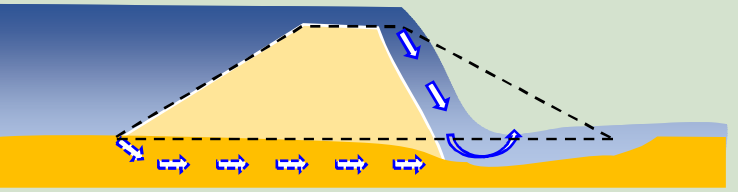
4. 堤防決壊要因の総合評価

要素	分析結果	影響の程度
越水	<ul style="list-style-type: none"> ● 堤防法線は都幾川の流向に対して水衝部となり、越水しやすい形状であった可能性がある。 ● 植生の倒伏による痕跡水位より被災水位が現況堤防高を超えていたことを確認した。 ● 堤防決壊箇所の堤体直下から裏法尻にかけて落掘れがあり、法尻部の洗掘があったことを確認した。 ● 越流水の法尻流速は2m/sを超えており、川裏法面や法尻部が削られた可能性がある。 ● これらより越水が決壊の要因になったと推定される。 	○
浸透	<ul style="list-style-type: none"> ● 堤防決壊箇所及び近傍も含めて法尻部には噴砂は確認できない。 ● 決壊地点では堤体直下から落掘れが広がっており、堤防基部からの湧水を確認した。 ● 土質調査の結果、堤体は粘性土やシルト、基礎地盤表層部には粘性土と粘性系材料が分布しており、浸透性は低い。 ● 浸透流解析の結果、すべり（表のり・裏のり）、浸透破壊（盤ぶくれ）ともに基準値を満足していることから、堤防は浸透に対する安全性が確保できている。 ● 解析では堤防の安全性を確認できたが、現地状況からは浸透現象が発生したと思われる痕跡があり、<u>浸透破壊が決壊のひとつの要因になった可能性は否定できない。</u> 	△
侵食	<ul style="list-style-type: none"> ● 決壊箇所の上下流とも川表法面の侵食は確認できない。 ● 植生によって法面が保護されていたため、川表法面の侵食が生じなかったものと推測される。 ● 護岸は整備されていないが、不等流による流速算定結果は2m/s未満であり侵食の恐れは低い。 ● これらにより、<u>侵食が決壊の要因になった可能性は低いと推定される。</u> 	×

上記を分析の結果、都幾川1.4k右岸の堤防決壊の主要因は、越水によるものと推定できるが、基礎地盤の浸透も副要因として考えられる。

5. 堤防決壊のプロセス

◆ 都幾川右岸1.4kmの堤防決壊のプロセスは以下の通りであると推定される。

段階	プロセス	概要図
Step 1 激しい降雨 河川水の上昇	<ul style="list-style-type: none"> 多量の降雨により河川水位が上昇する。 	
Step 2 越水の開始	<ul style="list-style-type: none"> さらに河川水位が上昇するとともに、越水が発生したと推定される。 	
Step 3 堤防断面の減少	<ul style="list-style-type: none"> 時間の経過とともに、越流水の作用により川裏法尻洗掘や法面が削られたり天端侵食の進行によって法面や法尻が削られ堤防断面が徐々に減少し、もしくは地盤からの浸透により堤防下面の基礎地盤も徐々にえぐられる。 	
Step 4 決壊	<ul style="list-style-type: none"> さらに法面や法尻部の洗掘が進み、又は基礎地盤からの漏水、もしくは途中で川表側からの水圧に耐えきれず堤防が決壊したと推定される。 	