

球磨川堤防調査委員会

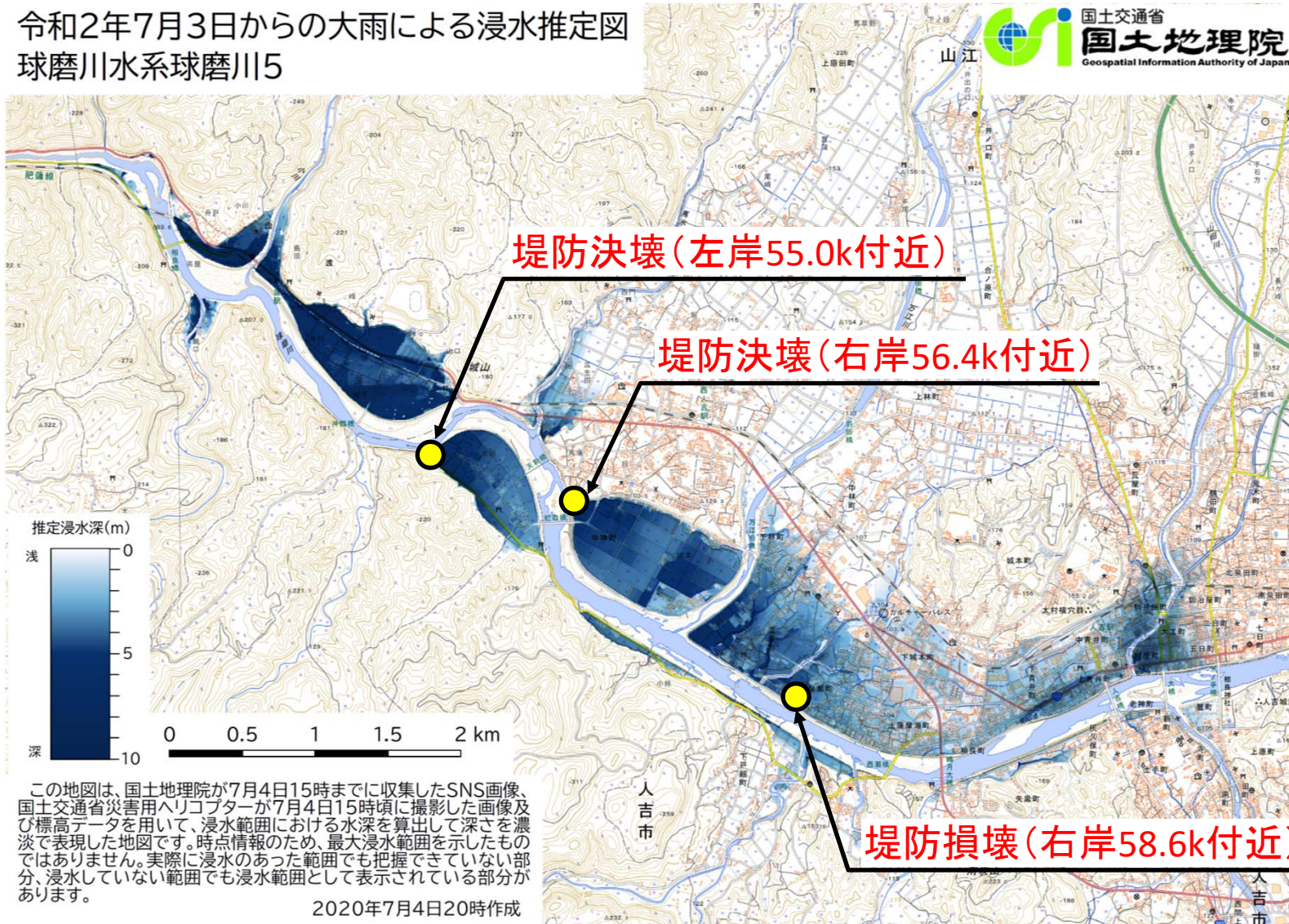
九州地方整備局
令和2年8月7日

I . 堤防の被災箇所

被災状況【球磨川左岸55.0k付近、右岸56.4k付近、右岸58.6k付近】

- 今回、堤防が被災した3箇所（決壊2箇所、損壊1箇所）の位置を下図に示す。
- 決壊した2箇所（左岸55.0k付近、右岸56.4k付近）は、いずれも各氾濫ブロックの下流端に位置する。
- 損壊箇所（右岸58.6k付近）は、人吉市街部の宅地と耕地との境界部に位置する。対岸は山付き。

令和2年7月3日から大雨による浸水推定図
球磨川水系球磨川5



■被災状況

堤防決壊(左岸55.0k付近)



堤防決壊(右岸56.4k付近)



堤防損壊(右岸58.6k付近)



※国土地理院HPより掲載

第1回委員会(現地調査)でのご意見

■第1回球磨川堤防調査委員会(現地調査) 令和2年7月13日(月)

場所 (現地を見た順)	ご意見	対応方針
①決壊 右岸56.4k付近 (八久保排水樋管) ②決壊 左岸55.0k付近 (大柿排水樋管)	○内外水位差の状況、時間的な変化が分かるとよい。 ○法尻に洗掘を受けた形跡は無いのか。 ○流れの状況が解るように面的に痕跡を取る必要がある。 ○流況がどうであったかの解析検討が必要。 ○崩壊に関する他の要素(リスク)がどこまで上がっていたかを把握するとよい。 ○この箇所は地盤が低いのか。堤防天端高は低いのか。水が集まってくる箇所ではないのか。	→痕跡や証言を収集する。 →水理解析を行い確認する。 →地形条件を整理する。
	○基礎地盤の地質構成も分かるとよい。 ○上流と下流で土質が違うが、築堤履歴は分かるのか。 ○上流と下流の土質の違いをボーリングデータをもとに確認する必要がある。 ○樋管工事の際に埋戻しがされているが、埋戻し土自体は良い材料であるが、埋戻し土と堤防の材料の違いが、相対的には弱いことも考えられる。	→地質調査を行い確認する。 →工事履歴を調べる。
③損壊 右岸58.6k付近	○被災時の水位はどのような状況であったのか。 ○流況がどのような状況であったのか。 ○流れの状況が解るように面的に痕跡を取る必要がある。 ※現地被災状況から、被災要因としては河川からの越流水による影響であることが明確であることから、当委員会での要因分析は要しないと判断される。 当該箇所の対策工については別途検討する。	→痕跡や映像を収集する。 →水理解析を行い確認する。

決壊箇所 の 検討について

- 今回の堤防調査委員会については、左岸 5 5 K、右岸 5 6 . 4 K の決壊箇所 2 箇所の決壊メカニズム、復旧工法について検討を行うものとする。
- 検討方針としては以下のとおり。

検討項目	検討内容	実施状況
I .越水	○ 現地状況の調査 ○ 面的な痕跡調査 ○ 流況に関する解析 ※ 上記の他、必要な調査・検討があれば追加	今回提示
II .浸透	○ 地質調査 ○ 浸透流解析 ※ 上記の他、必要な調査・検討があれば追加	地質調査中
III .侵食	○ 現地状況の調査 ※ 上記の他、必要な調査・検討があれば追加	今回提示
IV .構造物・工事の影響	○ 過去の点検結果の確認 ○ 樋管等の工事経緯の確認 ○ 樋管周りの地質調査 ※ 上記の他、必要な調査・検討があれば追加	地質調査中

Ⅱ. 球磨川左岸55.0k付近

(大柿排水樋管付近)

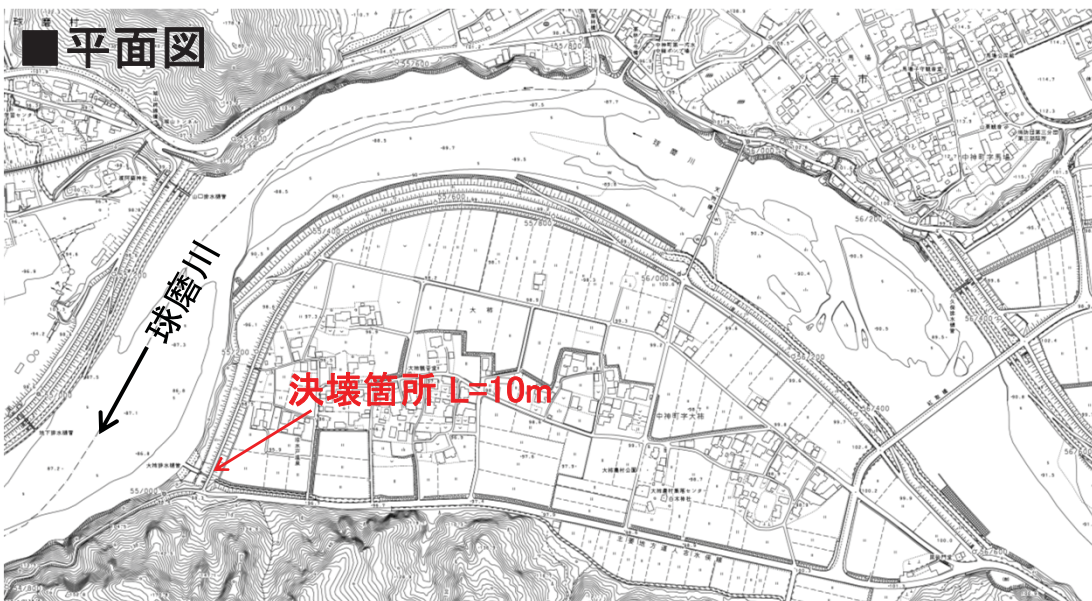
【球磨川左岸55.0k付近】決壊箇所の概要

- 球磨川左岸55k000付近において、延長約10mにわたり堤防が決壊。
- 決壊箇所の応急対策については、7月8日18時に緊急復旧工事に着手し、7月9日9時30分に緊急復旧が完了。

■位置図



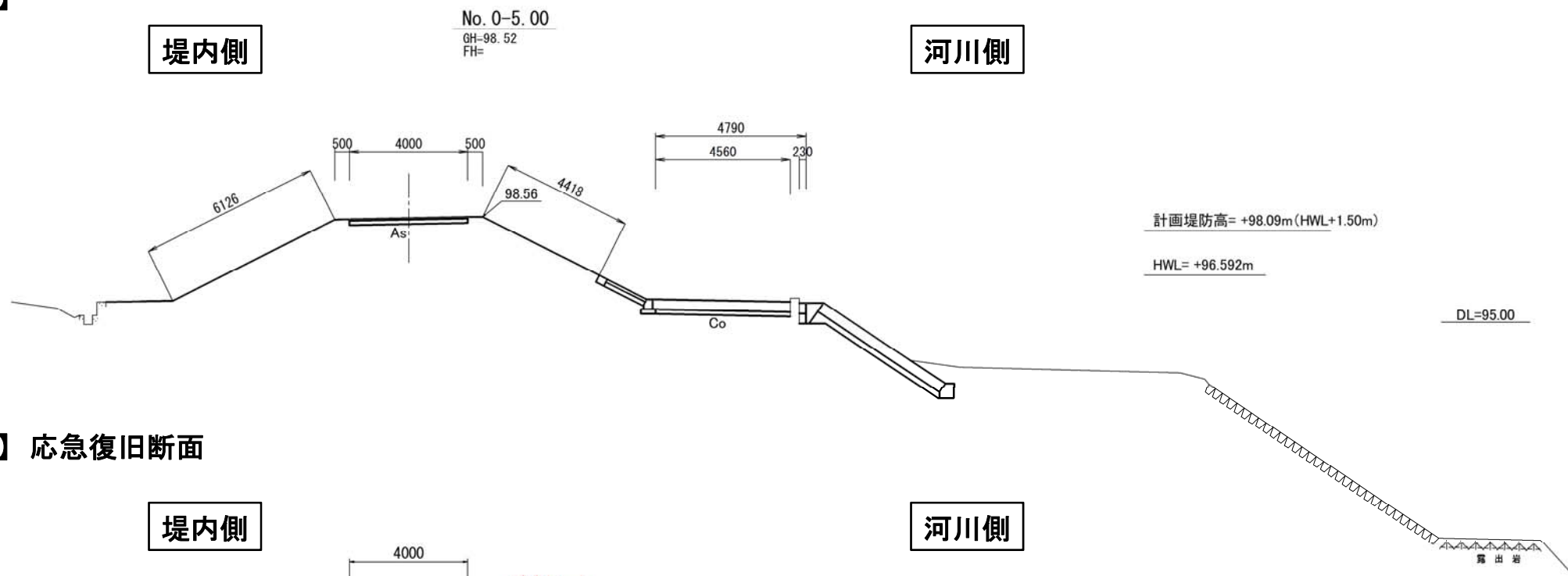
■平面図



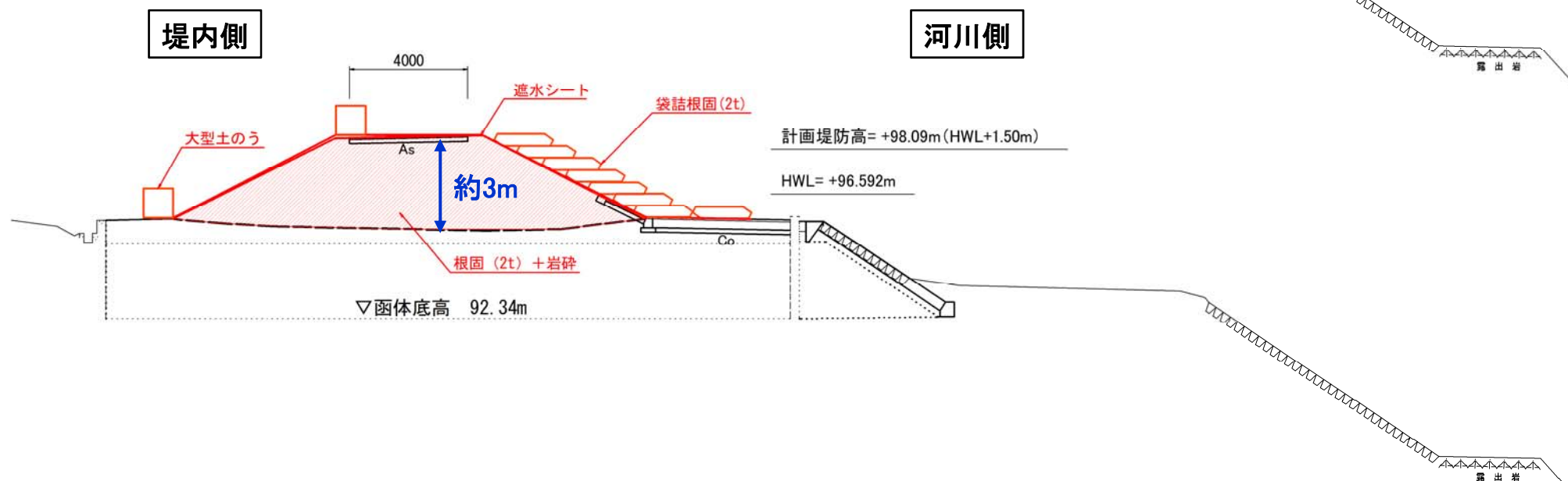
【球磨川左岸55.0k付近】堤防断面

○決壊箇所付近の堤防断面図を以下に示す。決壊した高さは、約3mと想定される。

【被災前】



【被災後】 応急復旧断面



【球磨川左岸55.0k付近】 現地状況①

○大柿排水樋管の上流部で堤防決壊が発生しており、堤防天端のアスファルトや堤体材料と思われる土砂が河川側の高水敷に飛散していることが確認される。

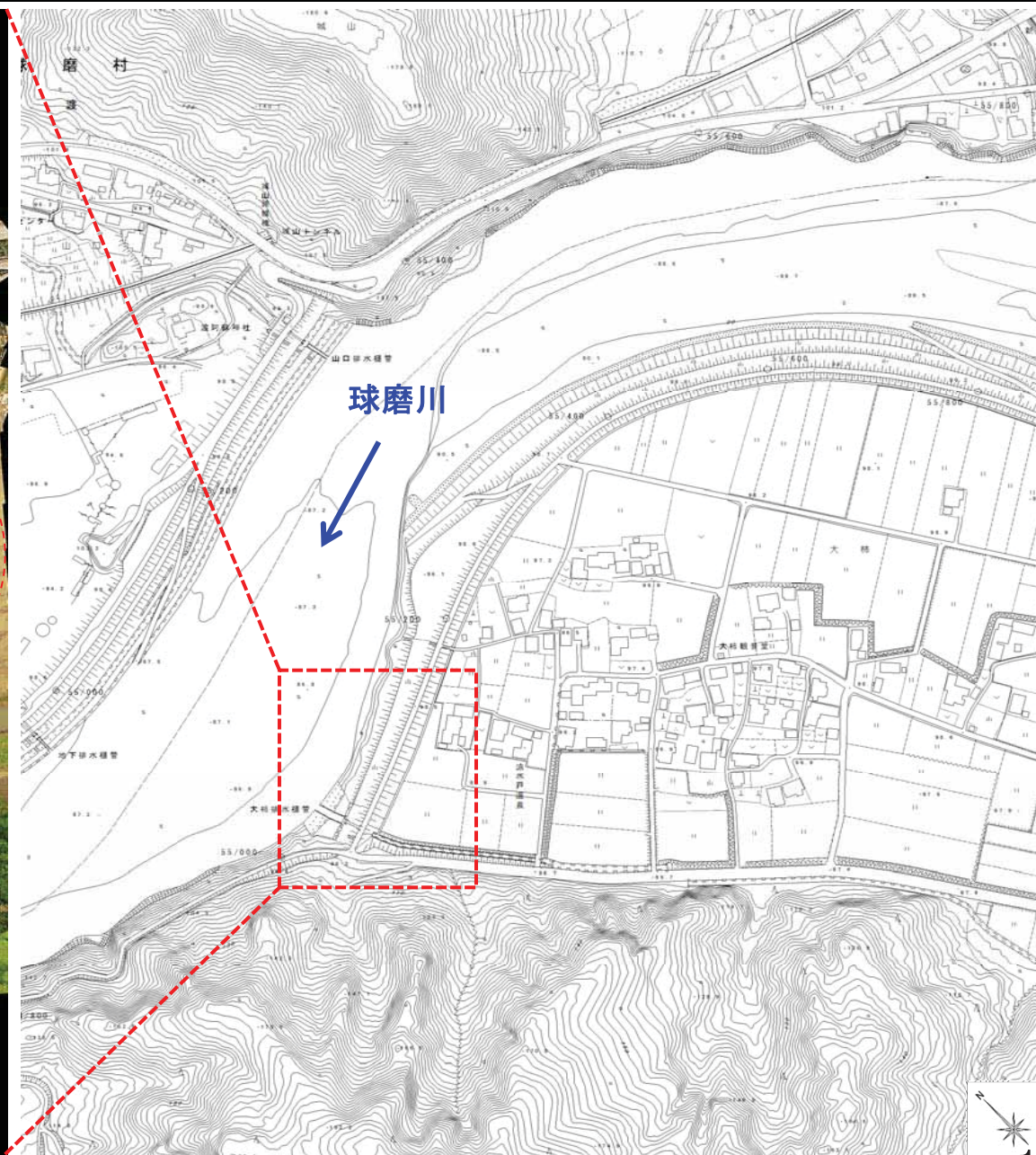
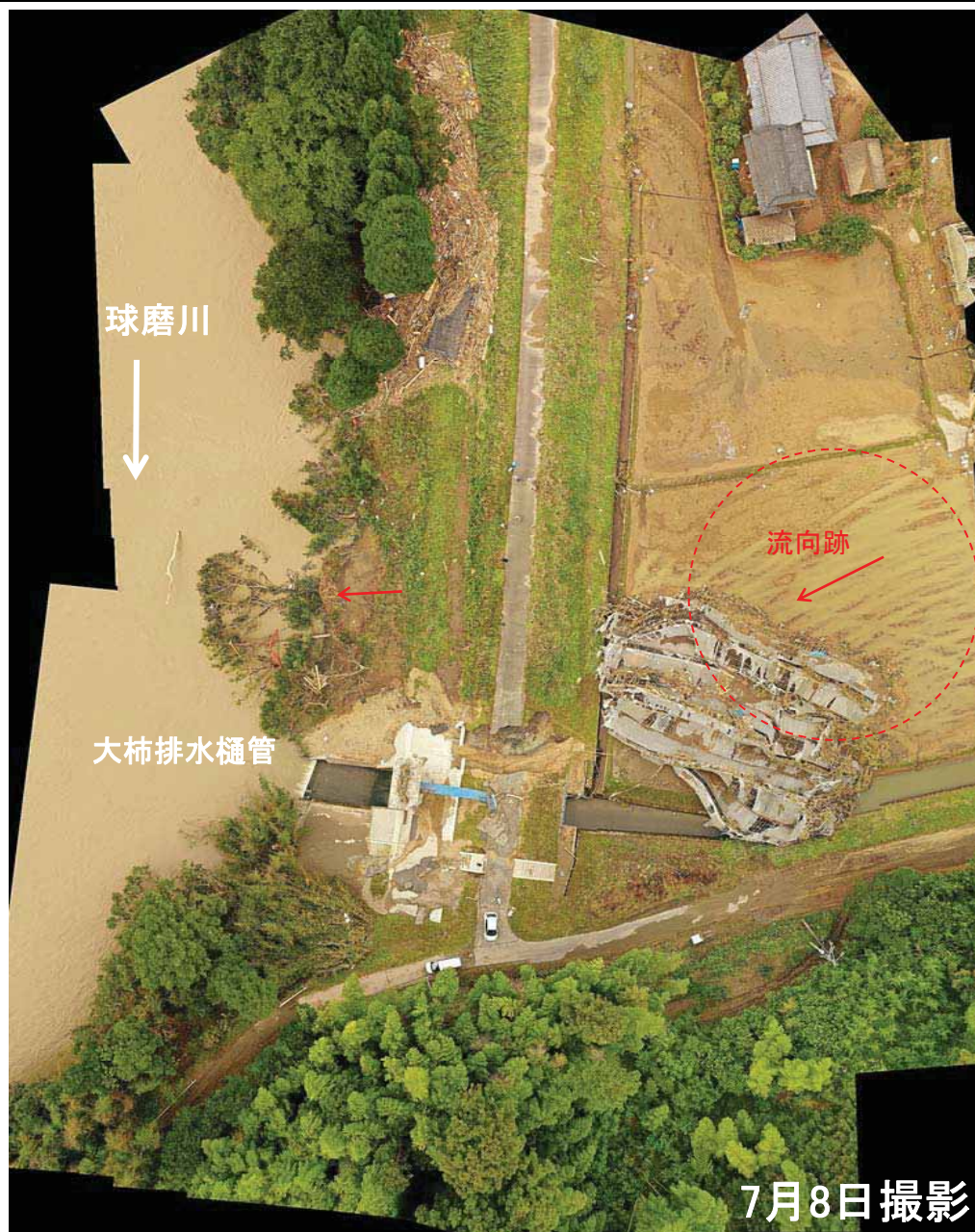


○電柱部の洪水痕跡から少なくとも堤防天端より4.0m程度は水位が高い状態となっていたことが確認できる。



【球磨川左岸55.0k付近】 現地状況③

- 堤内地から堤外地へ帯状に流向跡が残っている。また、堤外地の樹木が川側へ倒伏している。
- 堤内側に落堀が見られない。



○詳細な土質区分は不明であるが、決壊箇所の堤防断面の下流面と上流面で土質が異なる。

下流面



上流面



【球磨川左岸55.0k付近】 現地状況⑤

○宅地側の植生は上向きや決壊箇所に向けて倒伏し、河川側の植生は下向きに倒伏していることが確認できる。



【球磨川左岸55.0k付近】 洪水時の状況

○ 洪水痕跡の状況では、堤防を越水した水が下流方向に流下し、下流側の堤防箇所付近に流れが集中している。

【聞き取りによる証言】

7月4日（土）5時か6時頃 ○初めは球磨川から越水してきた。
9:30頃 ○自宅屋根の上に避難（水位は屋根より30cm下ぐらい）
15時過ぎ ○近隣の住民と一緒にボートで救助される

○堤防が決壊した時点は不明。水が引いた後、気付いたら決壊していた。

①: 竹が倒伏



②: 草が倒伏



③: 塵芥・土砂が堆積



⑦: 塵芥・土砂が堆積



⑧: ガードレールが流失



④: 草が倒伏、塵芥が堆積



⑤: 塵芥が堆積



⑥: 塵芥が堆積



【球磨川左岸55.0k付近】 痕跡水位

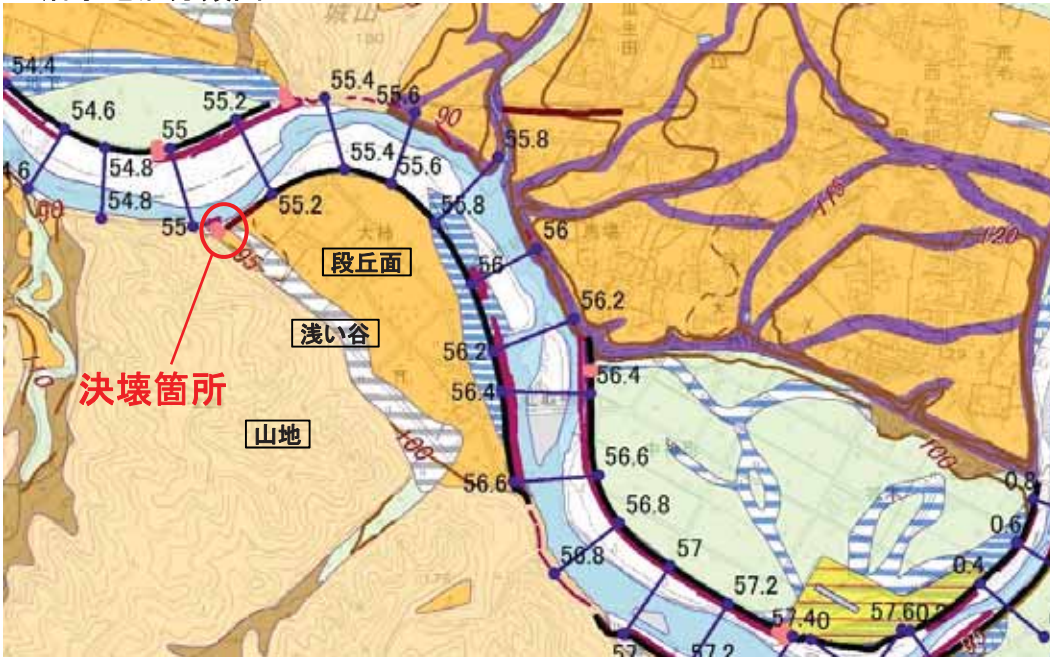
○痕跡結果からピーク時には堤内地側と堤外地側の水位は、ほぼ同じ高さとなり、堤防天端から約4.0mの水深が発生。



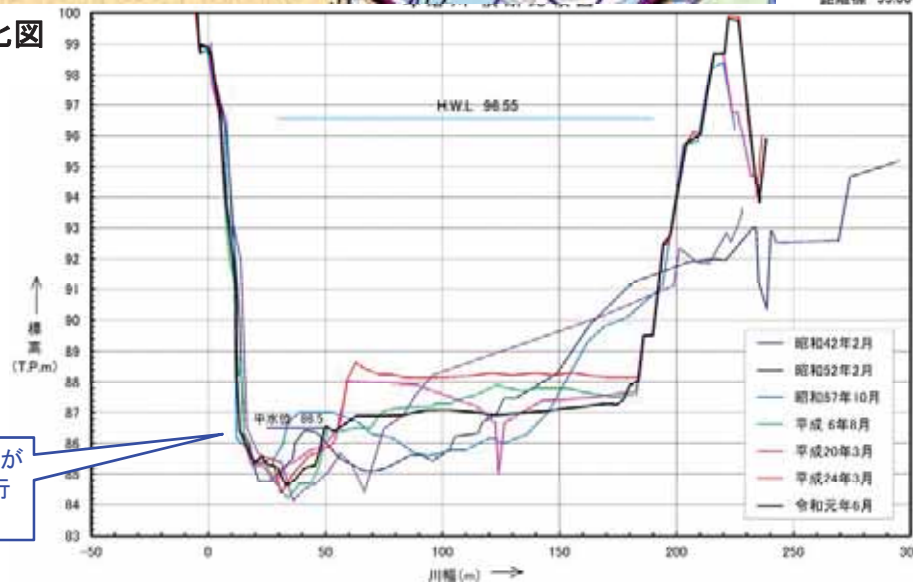
【球磨川左岸55.0km付近】決壊箇所周辺の地形、堤防高

- 治水地形分類図では、決壊箇所付近は、山地の山裾にできた浅い谷の出口付近に位置する。
- 堤内地の地盤高は、下流へ向かい徐々に低くなり、堤内地側の水は、決壊箇所付近へ集まる地形となっている。
- 河床は、岩盤であるため河床洗掘は進行していない。

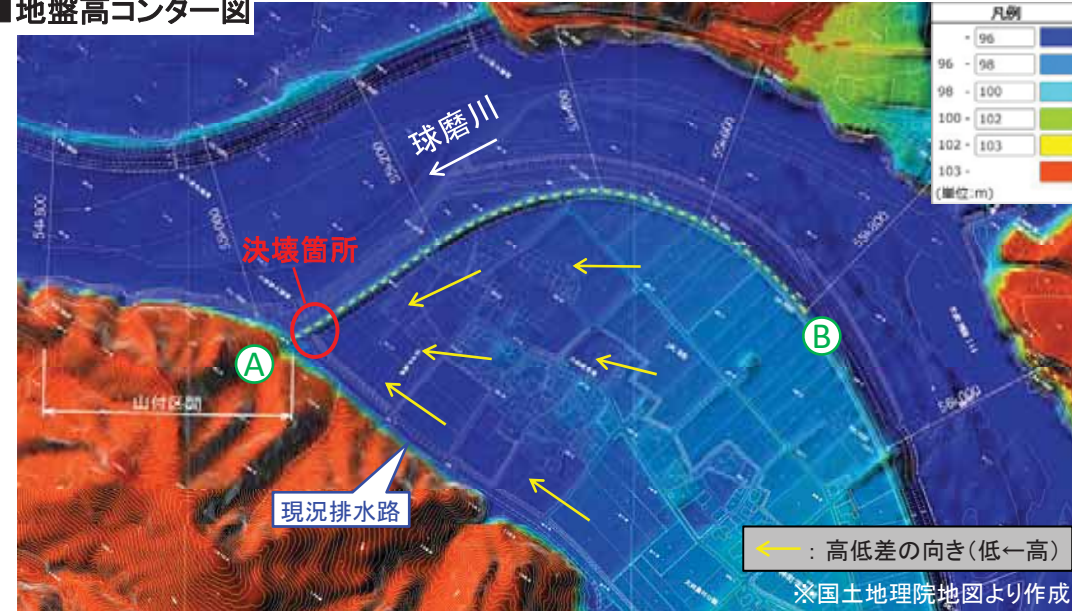
■治水地形分類図



■河道横断経年変化図

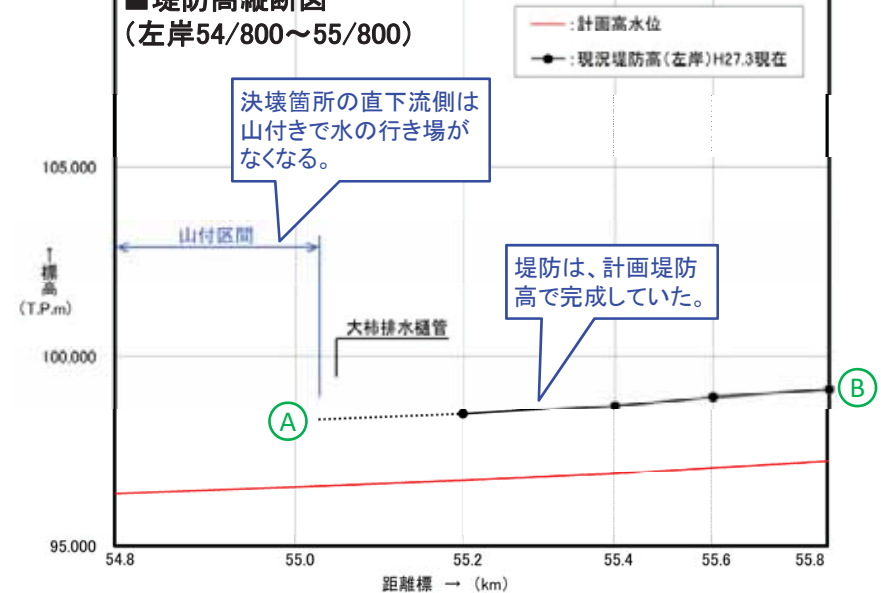


■地盤高コンター図



■堤防高縦断図

(左岸54/800~55/800)

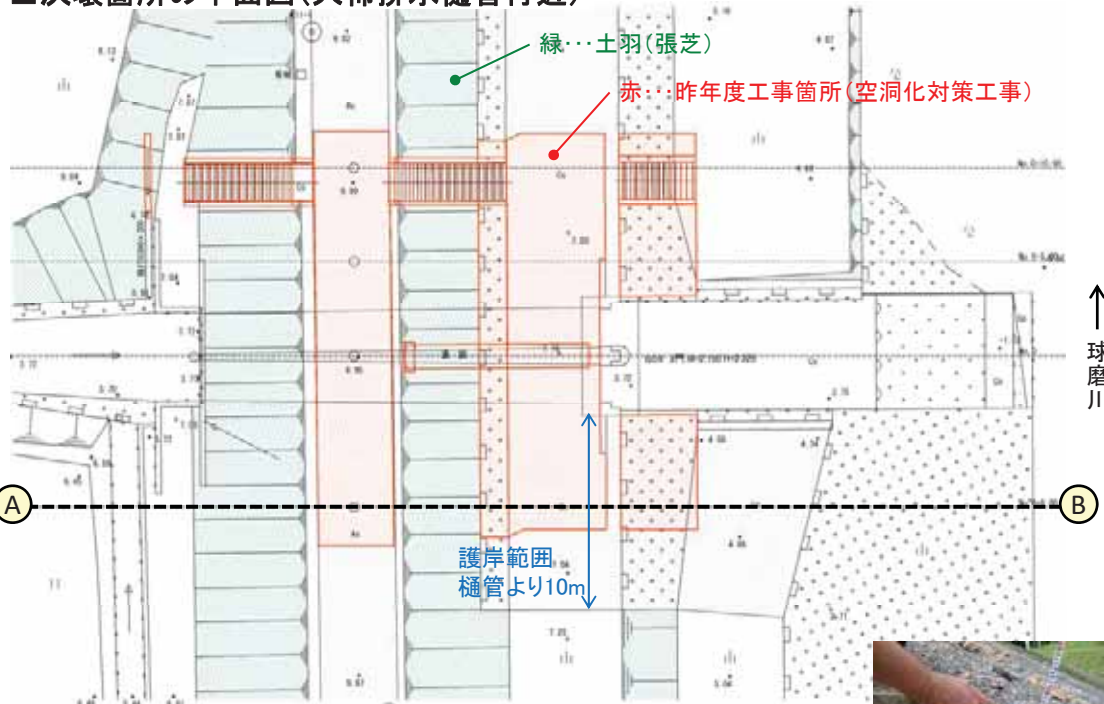


【球磨川左岸55.0k付近】 決壊箇所への堤防構造

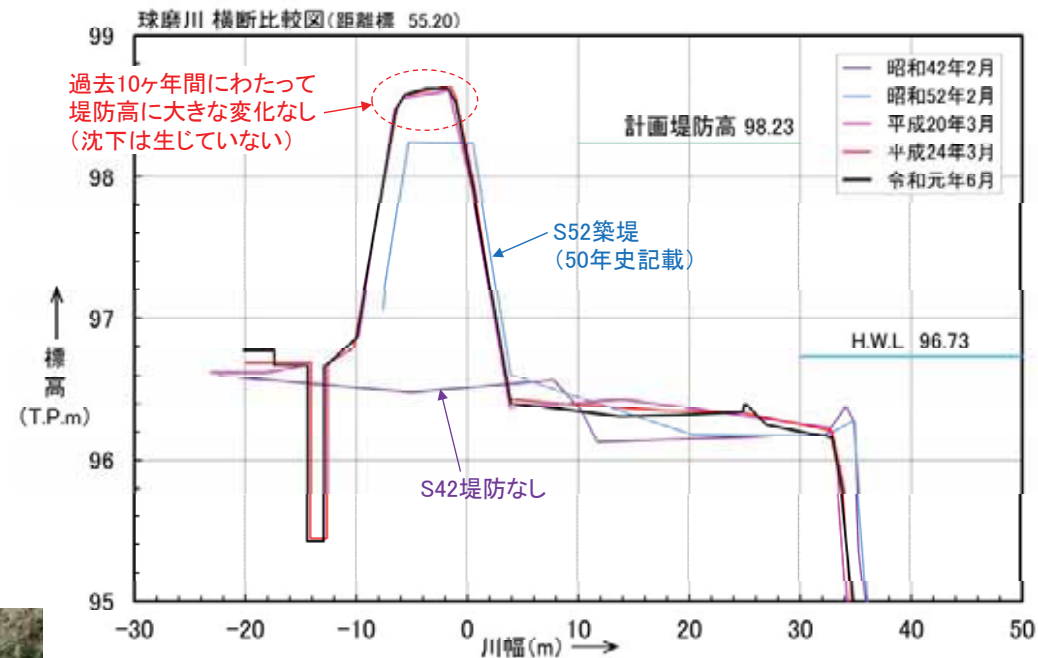
○決壊箇所の堤防は、計画堤防高で完成。

○堤防は、昭和52年に整備されている。また、過去10年間で堤防の沈下は生じていない。大柿排水樋管は昭和55年完成。

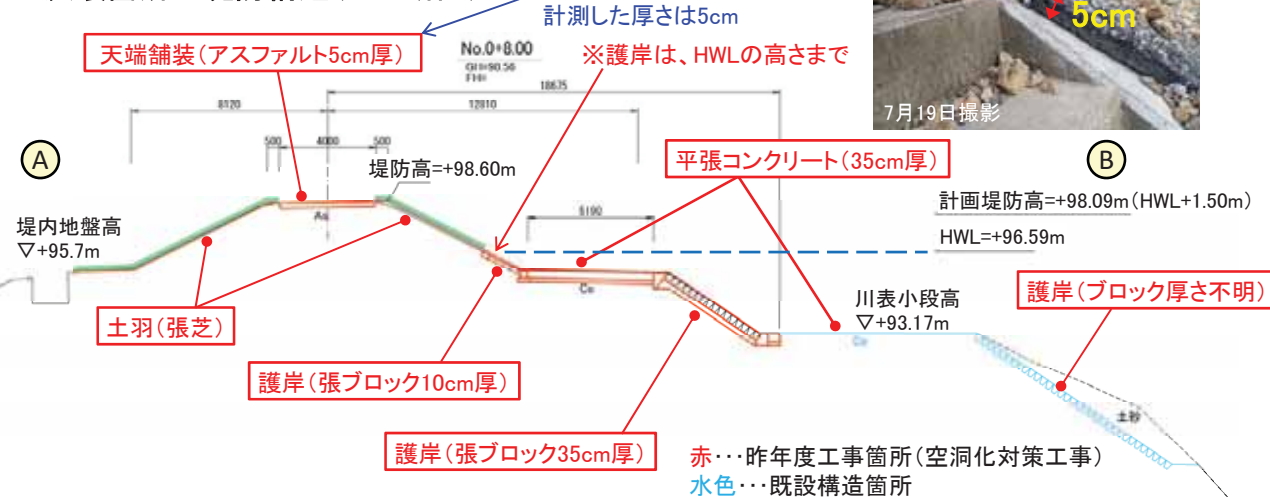
■決壊箇所の平面図(大柿排水樋管付近)



■築堤履歴(定期横断面図による推定)



■決壊箇所の堤防構造(A-B断面)

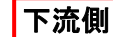


■川表護岸 被災状況



九州地方整備局
Kyushu Regional Development Bureau

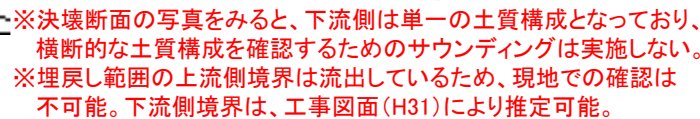
■調査計画位置平面図



上流側



■調査計画位置横断図



【既往調査資料】(kunijibanより)

【既往調査資料】(kunijibanより)

調 査 名 薩摩瀬地区

事 業 ・ 工 事 名

ボーリング名	No.1(渡地区)	調査位置
発注機関	国土交通省九州地方整備局 八代河川国連事務所 河川	
調査者名	株式会社 バスコ 九井事業部 熊本支店	主任技師 橋 寛 一
孔口標高	89.37 m	角 度 130° 上 下 30° 方 向 70°E 130°W 30°E
総掘進長	4.00 m	地盤配分

記 事

標準層深 尺 高 厚 度 (m) (n) (m) (m)	柱状 図 分	土質区 調 度	相対密 度	地層・岩体区分	備 考
0.0 - 0.5	[砂]	実質良			0.6~1.0m 緑砂主主体。硬砂ほとんどなく、中〜粗粒の砂が散在する。 含水少なく、サラサラしている。
0.5 - 1.0	[シルト質シルト]	重シルト質			1.0~1.5m シラカシ質シルト質および電機流砂層。 洪水や干涸し、しまり強い。
1.0 - 1.5	[シルト質シルト]	重シルト質			1.3~1.55m 中〜粗粒性のあるシルト層。電機流シルトが露出する。
1.5 - 2.0	[シルト質シルト]	重シルト質			1.55~1.8m 緑砂系重粘土の中〜粗粒砂層。 泥状で容易に崩れる。
2.0 - 2.5	[シルト質シルト]	重シルト質			1.8~2.25m 2~5mm程度の角礫多量する。 凝結した中硬質。コアは5~15cm程度脆状。
2.5 - 3.0	[シルト質シルト]	重シルト質			2.25~2.8m 中〜粗粒砂とシルト質が約1:1程度交互する。 窪田川(110~20°)
3.0 - 3.5	[シルト質シルト]	重シルト質			2.8~3.5m シラカシ質の中〜粗粒砂層。 中〜粗粒砂が多量に含まれている。
3.5 - 4.0	[シルト質シルト]	重シルト質			3.5~4.0m 中〜粗粒砂主主体の砂層。 中〜粗粒砂が多量に含まれている。

ボーリングID B4K201801009-1221

旧ボーリングID QS2009B9515202000A0009

事業工事名

調査名 薩摩瀬地区外れ地調査業務

ボーリング名 No.1(渡地区)

発注機関 国土交通省九州地方整備局八代河川国連事務所

北緯 32度13'54.2" 96秒

東経 130度42'53.3" 84秒

孔口標高 89.37 m

総掘進長 4 m

孔内水位 0.0 m

ボーリングデータ ☒ 2次元 ☒ 3次元

土質試験結果

検定番号

基盤岩は堆積岩

【調査内容】

- ・被災箇所の上・下流直近にて各1箇所、計2箇所のボーリング調査(●)を実施。
- ・掘進深度は、難透水基盤である堆積岩を3m確認する深度とする。
- ・堤体で1m毎、基礎地盤で各層1試料の物理試験を行う。
- ・堤体で1試料のサンプリングを行い、湿潤密度試験、三軸圧縮試験、室内透水試験を行う。
- ・上流側断面で、横断的な地質構成を把握するため、サウンディング(▲)による補足調査を行う。
- ・堤内側法尻付近の覆土厚を確認するため、サウンディング(▲)を実施する。

【球磨川左岸55.0k付近】 出水時の再現解析①

【外水位が堤防を越える高さまで上がり、越水が始めたときの状況】

○越水初期の段階で、すでに堤内地側に水が溜まっている。流れの向きは全体的に下流側へ向かう。

■ 計算条件

外水位を大橋(危機管理水位計)観測所の波形から当該地区の痕跡に合うようにスライドさせ内水位を解析

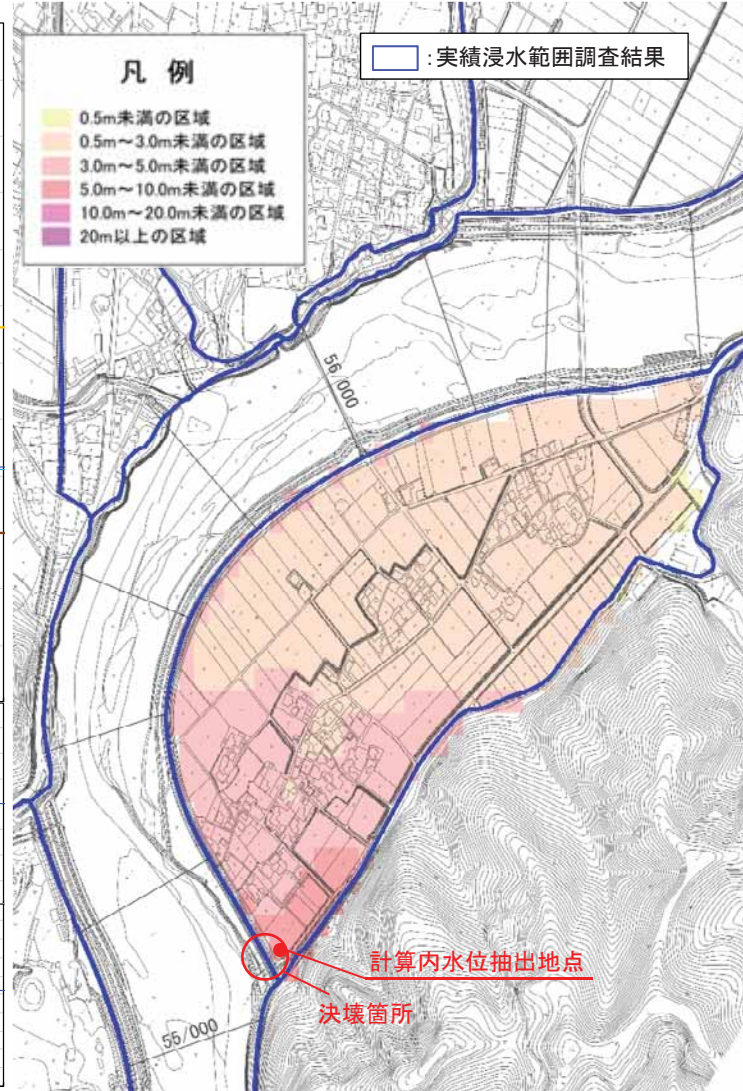
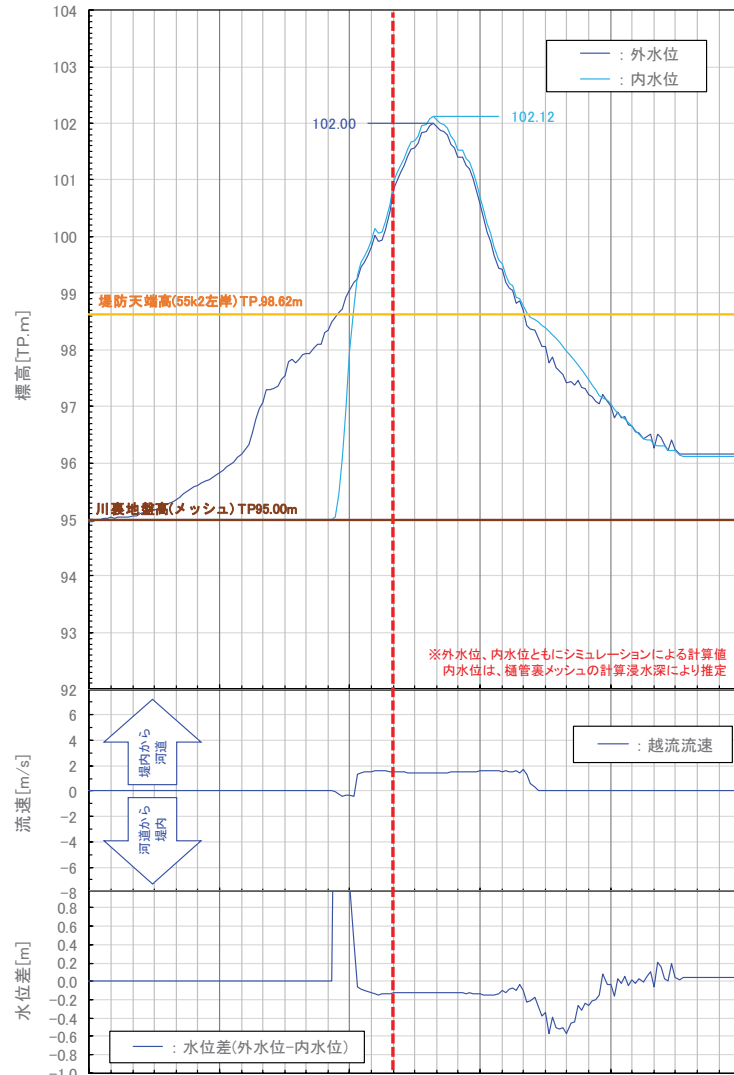


図 想定内外水位波形 再現シミュレーション結果図
(R02.07.04洪水(55k1左岸付近)(越水のみ、破堤なし))

浸水深図

流速ベクトル図

【球磨川左岸55.0k付近】 出水時の再現解析②

【洪水ピーク付近の状況】

○堤防越水後、すぐに堤内地側の水位が河川水位を上回り、地形的な条件から決壊箇所へ流れが集中する。

■ 計算条件

外水位を大橋(危機管理水位計)観測所の波形から当該地区の痕跡に合うようにスライドさせ内水位を解析

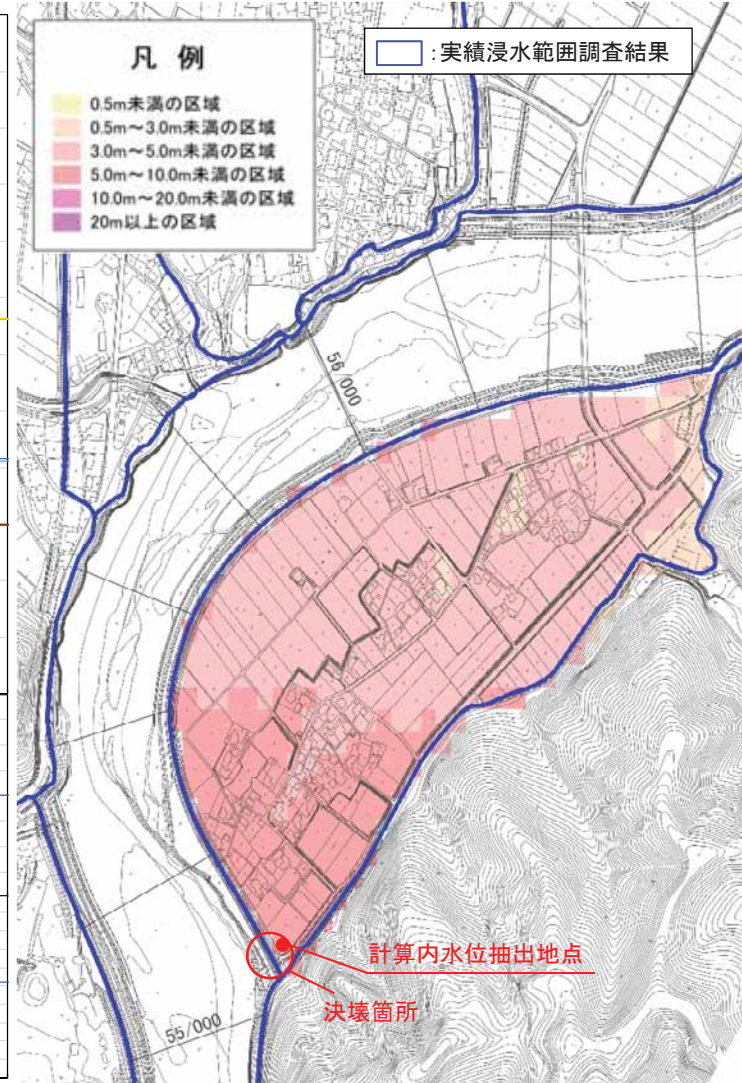
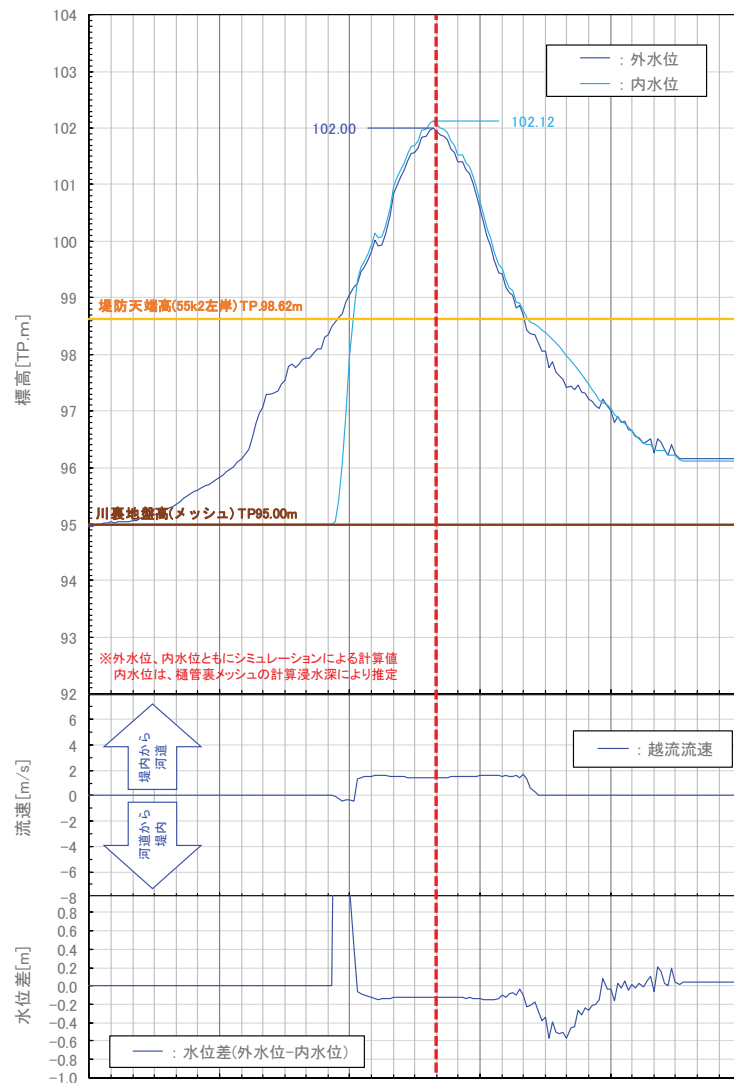


図 想定内外水位波形 再現シミュレーション結果図
(R02.07.04洪水(55k1左岸付近)(越水のみ、破壊なし))

浸水深図

流速ベクトル図

決壊メカニズム (1)越水(堤体の侵食)

○河川水位が堤防高を越え宅地側への越水が発生、河川水位の上昇と合わせて宅地側の水位が堤防高を約4.0m越える高さまで上昇し、その後、河川水位の低下に伴い宅地側から河川側への越水が発生。

○被災後の現場状況として、川表の堤防浸食や天端舗装が川表に流失していることから減水時に損傷を受けているものと推察される。

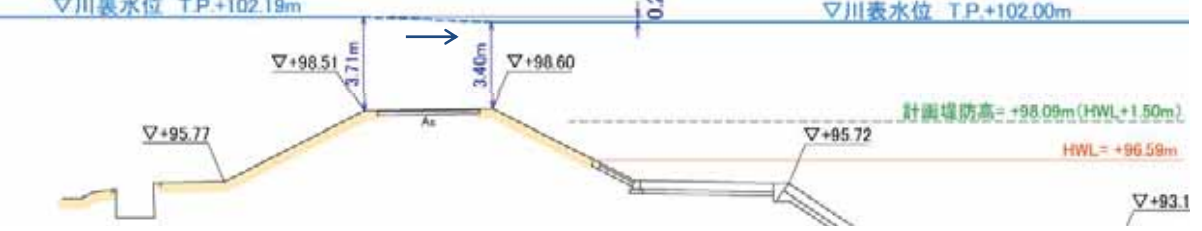
■堤防越水の流れ

川裏(堤内地側)

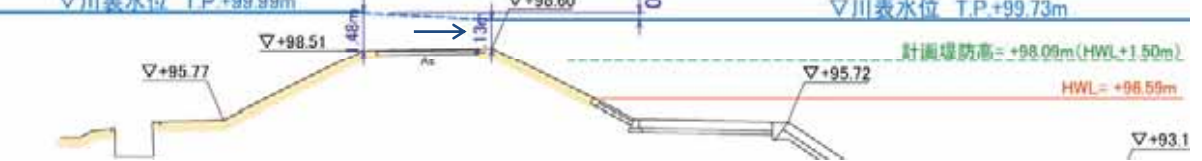
(1)堤防越水時



(2)洪水のピーク時



(3)減水期 堤内地側から河川への流れ



■現地に残された堤体侵食の痕跡

※それぞれ撮影した場所は異なる

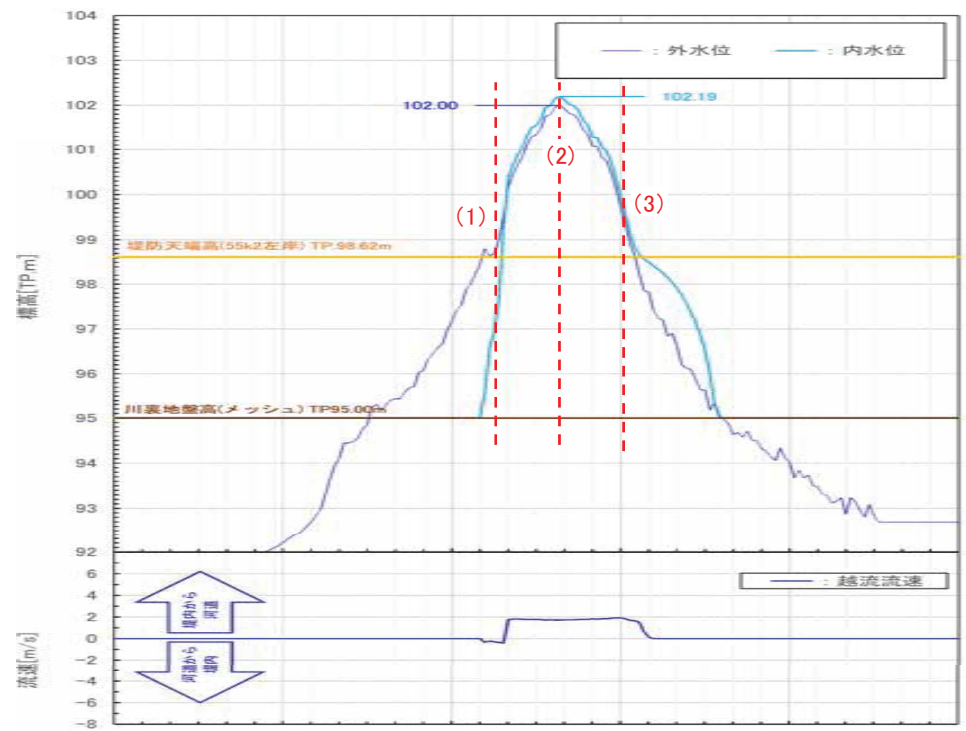


図 想定内外水位波形 再現シミュレーション結果図
(R02.07.04洪水(55k1左岸付近)(越水のみ、破堤なし))

○堤防の浸透破壊は、浸透流解析を行い、パイピング及び法面の円弧すべり安全率により照査する。
○現在、決壊箇所地質調査を実施中であり、その結果をもとに、浸透流解析に反映させる予定。

浸透流解析によるパイピングの照査

地盤内に水がしみ込み、パイプ状の水みちができる

放置すると水みちが広がり、堤防がすべり始める

堤防が掘られ、崩壊しやすくなる

・高い河川水位により地盤内に水がしみ込み、川裏側まで水の圧力がかかることにより、川裏側の地盤から土砂が流失し、水みちができる。
・土砂の流失が続き、水みちが拡大して、堤防が落ち込み、最終的に崩壊に至る。

●難透水性の被覆土層がある場合(揚圧力による照査)

・難透水性の被覆土層を水圧によって持ち上げる力を揚圧力という。
・水圧より被覆土層の重量が重ければ、被覆土層が持ち上がることはないため、パイピングは発生しない。
 $G > W$
※ G: 被覆土層の重量 W: 被覆土層基底面に作用する揚圧力

●難透水性の被覆土層がない場合(局所動水勾配による検討)

法尻部の水圧の勾配を局所動水勾配という。
局所動水勾配が0.5を下回る場合、砂が噴出する可能性がないため、パイピングが発生しない。
 $i < 0.5$
i: 裏のり尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値

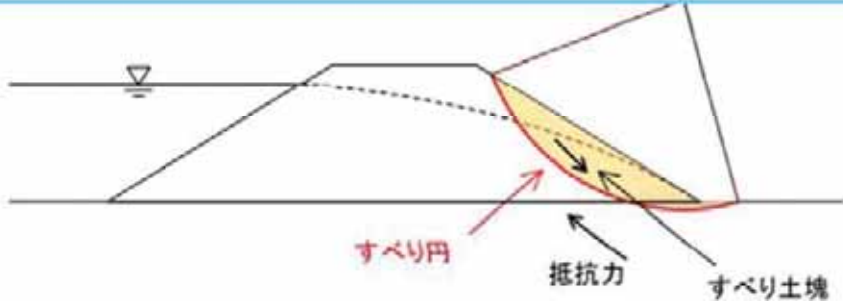
円弧すべり安全率による法面すべりの照査

降雨により、堤防内の水位が上昇

河川の水が、堤防内に浸透

堤防の中の水位がさらにあがり、堤防が弱くなって崩壊しやすくなる

・降雨や高い河川水位により水が浸透し、堤防内の水位が上昇する。
・堤防内の高い水位により、土の強さ(せん断強度)が低下し、川裏側の法面がすべり、最終的に崩壊に至る。



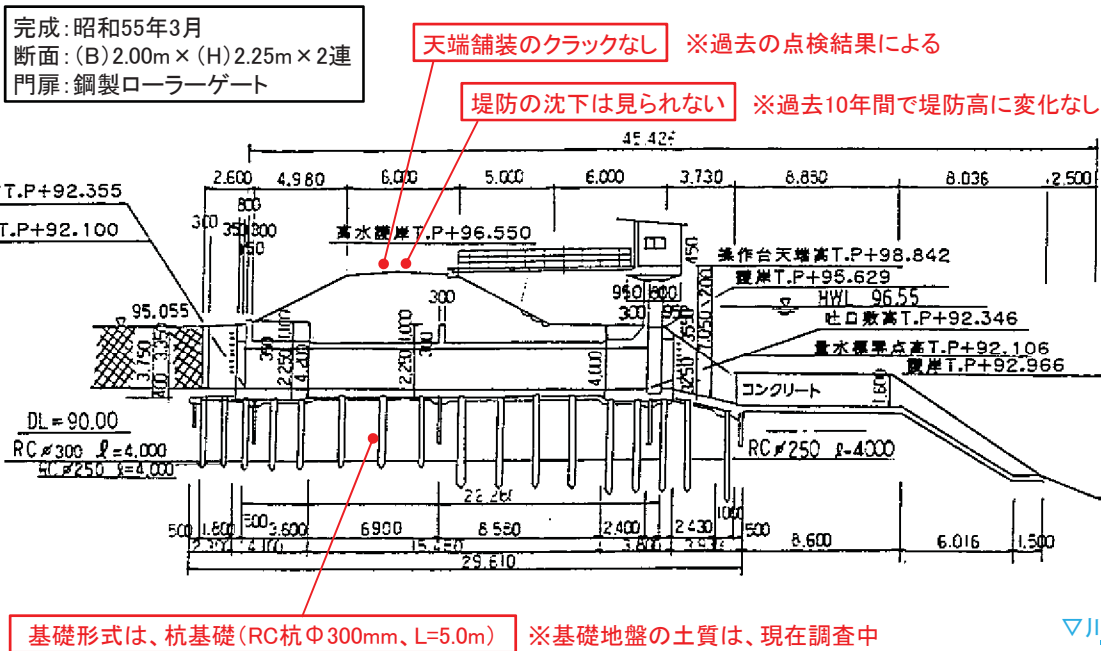
円弧すべり安全率 F_s は、すべり土塊がその重量ですべろうとする力と、すべり円上で土がその強さにより抵抗する力の比のこと。
不確定要素を考慮した値(鬼怒川の場合は1.32)より、円弧すべり安全率 F_s が大きい場合には、法面がすべることはない。
$$F_s = \frac{\text{抵抗力}}{\text{すべろうとする力}} \geq 1.32$$

- ## ■決壊後の状況



- 堤防点検の結果から堤体の沈下や函渠の大きなクラック等は、確認されていない。
- 被災時に想定される条件においても浸透路長を満足しており、函体周辺から漏水が生じた形跡は確認されない。
- 平成30年度に空洞化対策工事を実施。

■大柿排水樋管の縦断面図(構造物台帳より)



■過去の点検結果(堤防点検H29)(構造物点検R1)

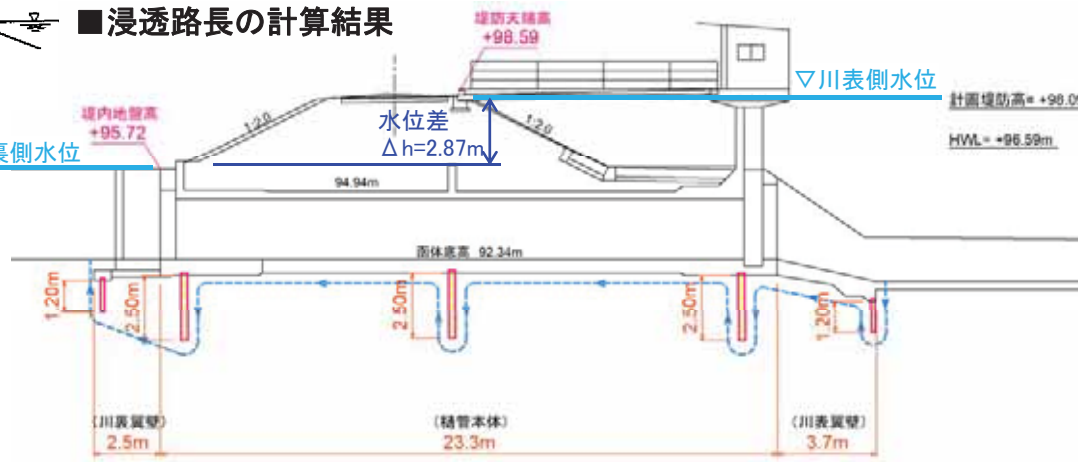
決壊箇所周辺では、過去の堤防点検において変状は認められていない。
大柿排水樋管は、若干変状(クラック、漏水)が見られるものの、その程度は非常に軽微である。



■樋管・堤防の影響評価 ※樋管および堤防が、決壊要因となった可能性は低いものと考えられる。

決壊要因	評価
①基礎地盤の沈下に伴う空洞化(水みち、漏水)	対策工事済み(H30)
②不等沈下による堤防のクラックやゆるみ	過去の点検結果でクラック等は確認されていない
③函渠クラックや継手開きからの吸出し、漏水	過去の点検結果で有害な異常は確認されていない
④浸透路長の不足による吸出し、漏水(水みち)	今回想定される条件において浸透路長は不足しない

■浸透路長の計算結果



○Laneの式…樋門の設計で一般的に使用されている簡易的な手法を用いる。

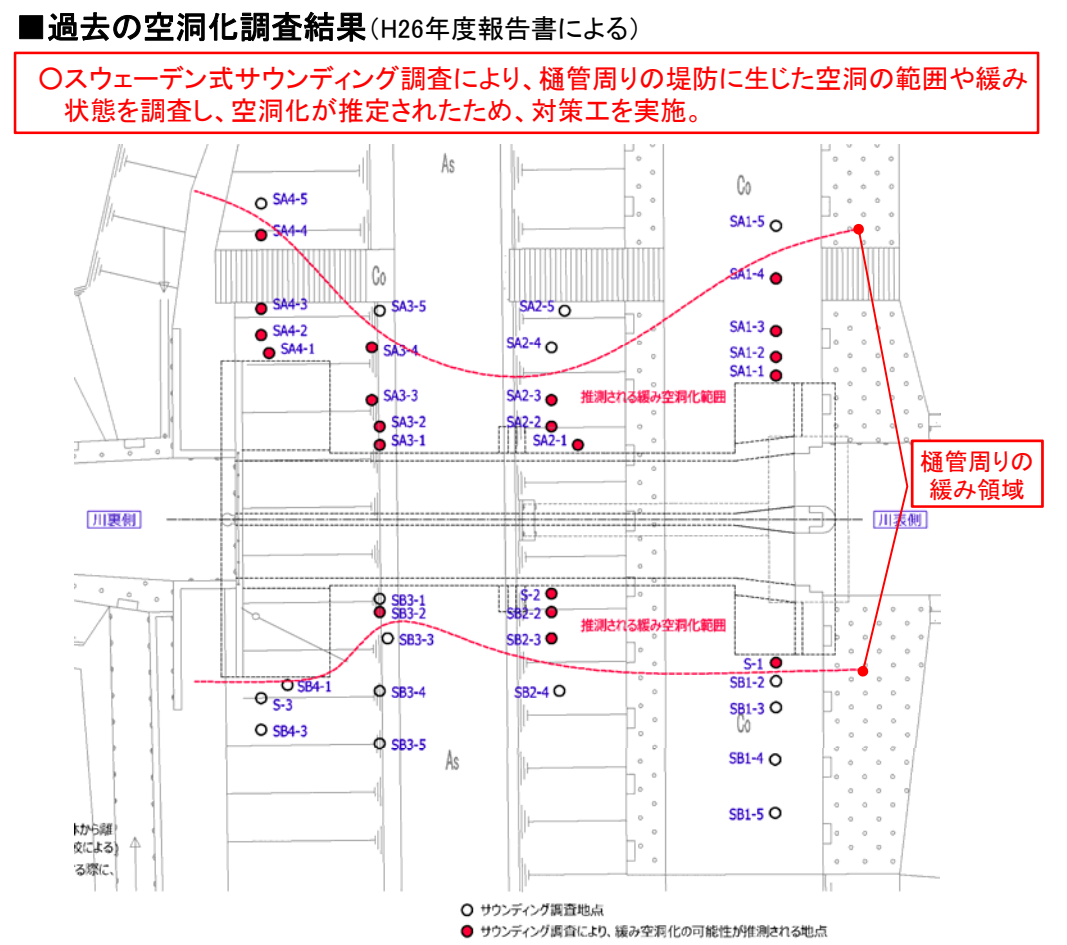
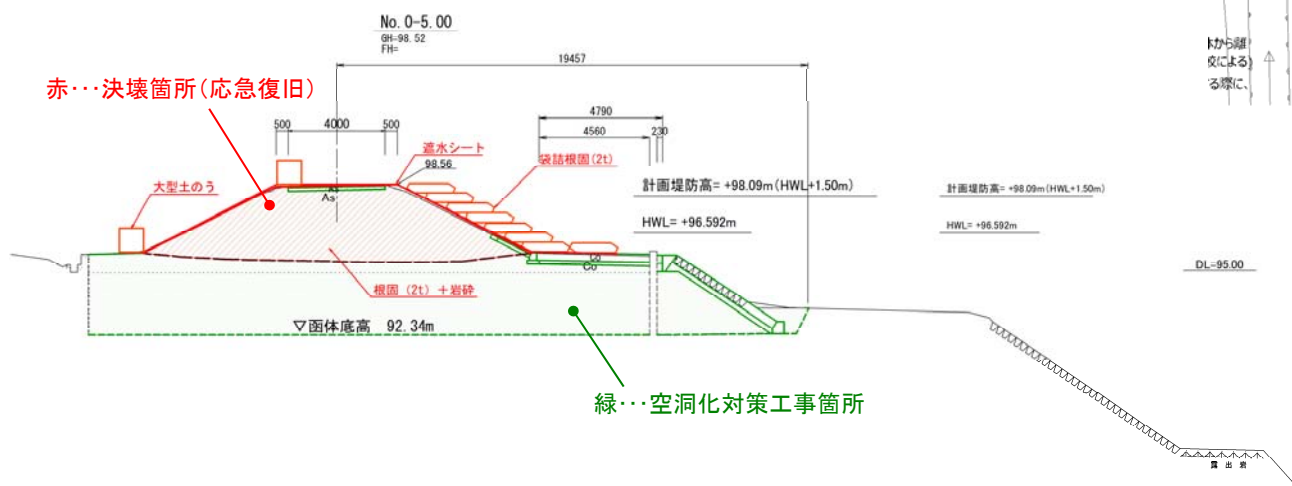
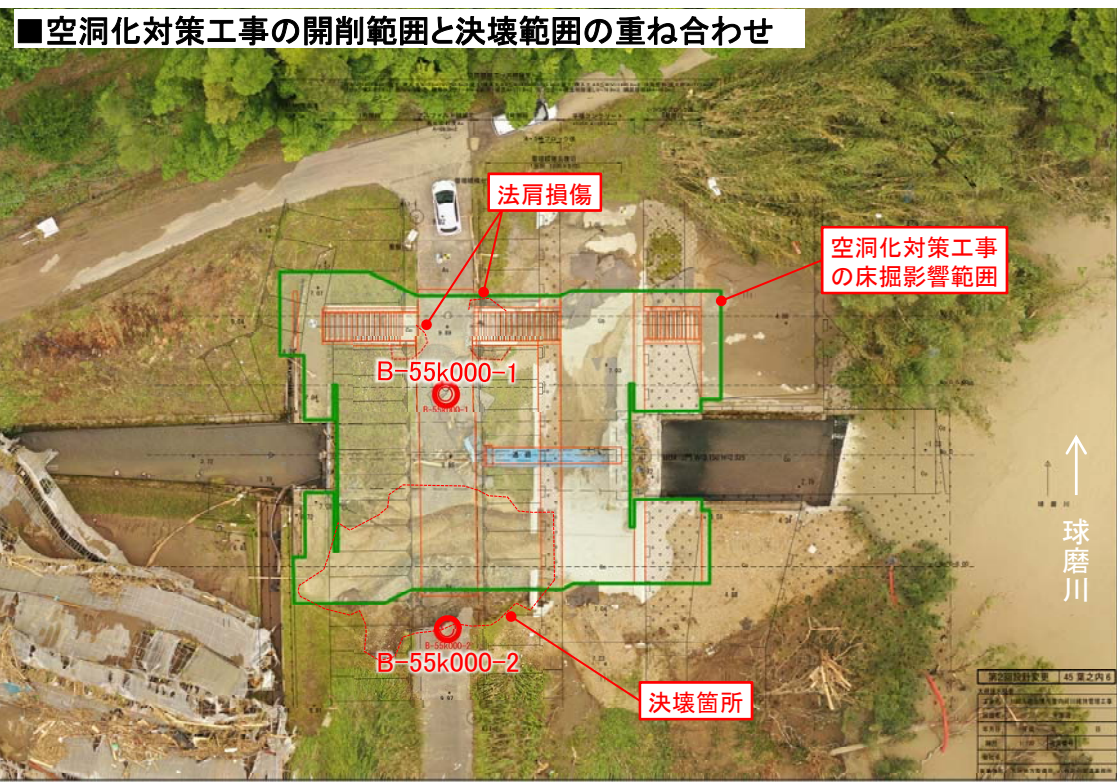
$$C \leq \frac{L/3 + \sum \ell}{\Delta h}$$

$C = 8.5 \leq 9.0 \dots OK$

$$\frac{29.5}{3} + \frac{16.1}{2.87} = 9.0$$

C : 加重クリープ比 8.5(極めて細かい砂またはシルト) …地質調査結果による
L : 樋管本体および翼壁の延長 2.5m+23.3m+3.7m=29.5m
Σℓ : 鉛直方向浸透路長(遮水矢板による延長) 2.5m×5+1.2m×3=16.1m
Δh : 水位差 2.87m

- 決壊箇所では、平成30年度に樋管周りの空洞化対策工事を実施。
- 空洞化対策工事は、既設樋管周辺を開削し、良質土で置き換え。あわせて、舗装や護岸、階段工等の整備を行っている。

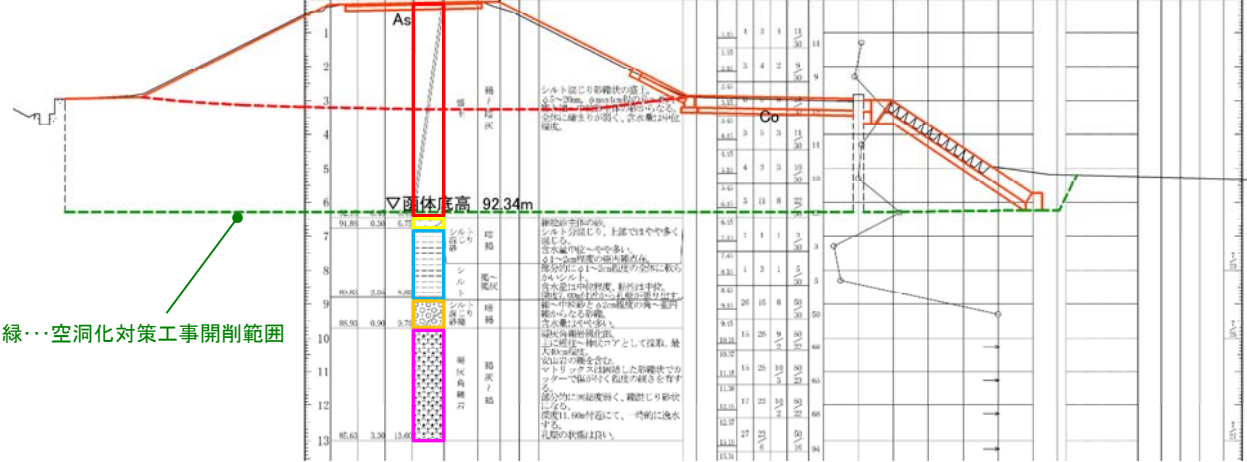


決壊メカニズム (4)構造物および補修履歴等の影響

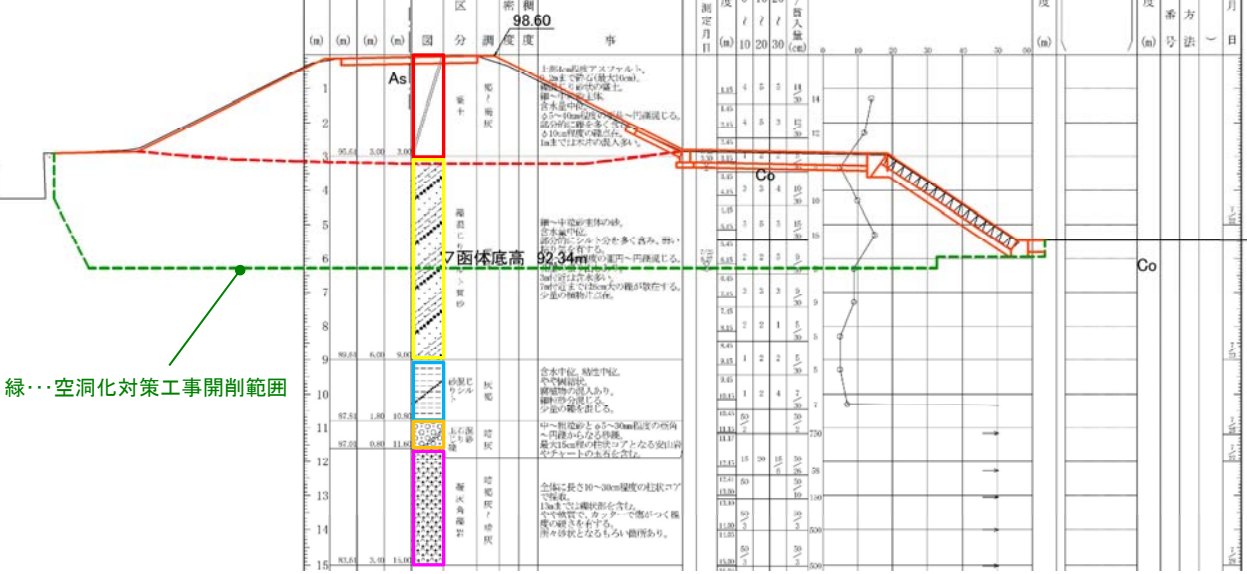
○上流側は既設堤防箇所、下流側は、空洞化対策工事にて良質土で置き換えた箇所の調査を実施。
○ボーリングコアの状況から、置き換え箇所の土質が異なり下流側は「置換土(シルト混じり砂礫状)」、上流側は「既設堤防堤体土(礫混じり砂状)」、「基礎地盤(礫混じりシルト質砂)」であることを確認。

柱状図速報値

[下流側] B-55k000-1



[上流側] B-55k000-2



昨年度工事で開削埋戻しを行った盛土材料

計画堤防高= +98.09m (HWL)
HWL= +96.592m
DL=95.00

開削埋戻しを行っていない元の盛土材料

計画堤防高= +98.09m (HWL)
HWL= +96.592m
DL=95.00

件名 球磨川流域地質調査(その1)業務
孔番 大塚川堤防B-55k000-1 深度 0.0 m ~ 13.0 m
社名 八洲開発株式会社

盛土 (シルト混じり砂礫状)
シルト混じり砂
シルト
シルト混じり砂礫
凝灰角礫岩

件名 球磨川流域地質調査(その1)業務
孔番 大塚川堤防B-55k000-2 深度 0.0 m ~ 15.0 m
社名 八洲開発株式会社

盛土 (礫混じり砂状)
礫混じりシルト質砂
砂混じりシルト
玉石混じり砂礫
凝灰角礫岩

【球磨川左岸55.0k付近】 決壊要因の可能性整理

○ 主な決壊要因の可能性は、現時点で下表に示すとおり推察される。

要因の種類	決壊要因の可能性	影響度
I.越水	○河川水位が上昇し堤防を越水。 ○堤防を大きく越える水位に達し、堤防全体が水没。 ○減水時に堤内側から本川への越流。 ○地形や痕跡から決壊箇所へ堤内側からの流れが集中していたものと考えられる。 ○今後、痕跡調査や解析を更に進め、内外水位差の時間変化などを検討し、越水による影響を把握する。	要検討
II.浸透	○地質調査の結果から浸透解析を実施予定。	要検討
III.侵食	○決壊箇所の川表小段の平張コンクリートや小段よりも下の低水護岸は、ほぼ損傷していない。また、決壊箇所付近の堤防法面に河川の流れによる侵食跡は確認されないことから、本川の流れによる侵食が決壊の主要因となった可能性は低いものと推察される。	—
IV.構造物・工事の影響	○過去の点検結果において、被災前に、函体のクラックからの漏水や堤体・護岸の変状等は確認されていない。 ○被災時に想定される条件においても浸透路長を満足しており、函体周囲から漏水が生じた形跡は確認されない。 ○樋管周りの空洞化対策として、樋管周辺を良質土で置き換えており、既存堤防と土質が異なることを確認。 ○土質が異なることの影響について、地質調査結果から検討。	要検討

Ⅲ. 球磨川右岸56.4k付近

(八久保排水樋管付近)

【球磨川右岸56.4k付近】決壊箇所状況

○球磨川右岸56k400付近において、延長約30mにわたり堤防が決壊。

○決壊箇所の応急対策については、7月4日23時から緊急復旧工事に着手し、7月6日24時に緊急復旧が完了。

■平面図



堤防決壊状況



7月4日15時撮影

堤防決壊状況



7月4日16時撮影



7月4日撮影 16:30

【球磨川右岸56.4k付近】堤防断面

○決壊箇所における応急復旧時の堤防断面図を以下に示す。
○決壊した高さは、約6mとなっている。

【被災前】

河川側

56K400-69.2

GH: 99.73
FH: 99.73

堤内側

DHWL= +102.4m

計画堤防高= +99.23m (HWL+1.50m)

HWL= +97.73m

DL=95.00

DL=95.00

【被災後】 応急復旧断面

河川側

56K400-69.2

GH: 99.73
FH: 99.73

堤内側

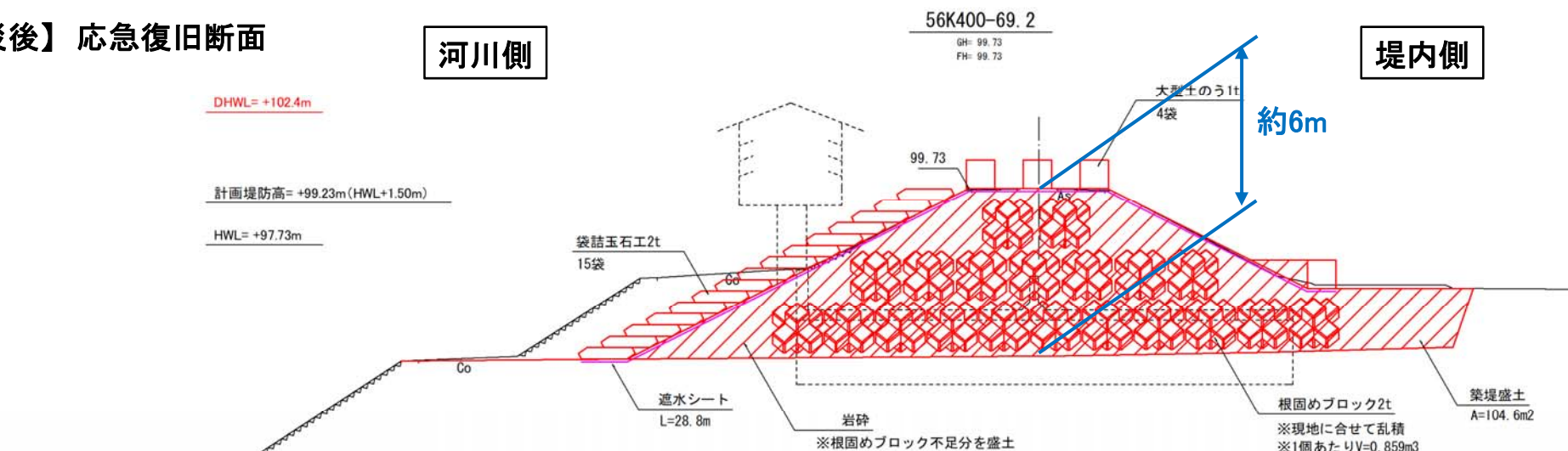
DHWL= +102.4m

計画堤防高= +99.23m (HWL+1.50m)

HWL= +97.73m

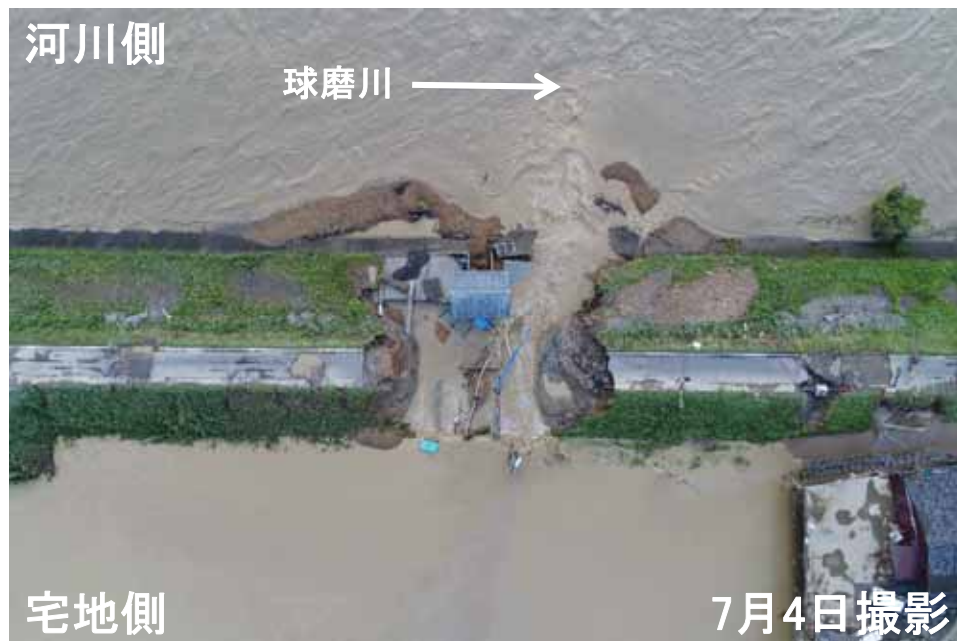
DL=95.00

DL=95.0



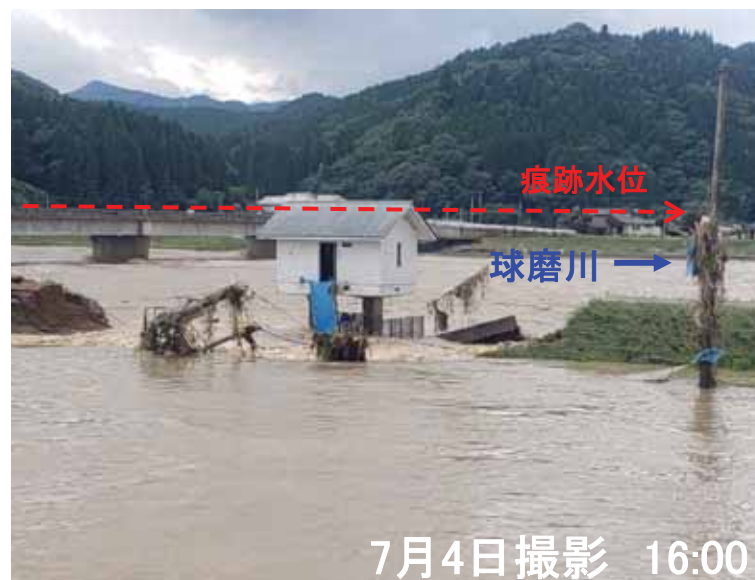
【球磨川右岸56.4k付近】 現地状況①

- 堤防天端のアスファルトや堤体材料と思われる土砂が川表側に飛散していることが確認される。
- ポンプ配管や発電機が見られる。



【球磨川右岸56.4k付近】 現地状況②

○周辺の洪水痕跡より、少なくとも堤防天端から約2.5m以上の水位であったことが確認できる。



【球磨川右岸56.4k付近】 現地状況③

- 詳細な土質区分は不明であるが、堤防断面の上流側断面と下流側断面で土の色調が異なる。
- 下流側の方が礫を多く含む。

上流側断面



下流側断面



【球磨川右岸56.4k付近】 現地状況④

- 宅地側の植生は上向きや決壊箇所に向けて倒伏し、河川側の植生は下向きに倒伏していることが確認できる。
- 決壊箇所周辺では、宅地側の堤防法面にも侵食が確認できる。



【球磨川右岸56.4k付近】洪水時の状況

○ 洪水痕跡の状況では、堤防を越水した水が下流方向に流下し、下流側の堤防箇所付近に流れが集中している。

【聞き取りによる証言】

7月4日（土）時間不明

7時前頃

7:30頃

8:30～9:30頃

9:30頃

14:30頃

○万江川より越水が始まり、八久保樋管方向へ流下

○球磨川の水位が堤防ぎりぎりまで水位上昇。そのとき田んぼは水に浸かっていた。

○八久保樋管付近で堤防越水。

（下流側の低くなっている箇所（ア）から越水、その後全体から越水が始まった。）

○水位上昇は早く1～2時間で家屋敷高より2m程度高くなった。

○辺り一帯は湖のようであった。

○水が引くのも早く、市内に行けるようになる。

○越水した際には、堤防は問題なかった。

○決壊の状況は、避難していたため、確認していない。

⑥：電柱・フェンスに塵芥が堆積



⑦：決壊箇所方向へ倒伏



⑧：決壊箇所方向へ舗装流出



⑨：法面洗掘、電柱倒壊



← … 水の流れの向き（現地痕跡から推定）

①：草が倒伏



②：ガードパイプに塵芥が堆積



③：ガードパイプに塵芥が堆積



④：ガードパイプに塵芥が堆積

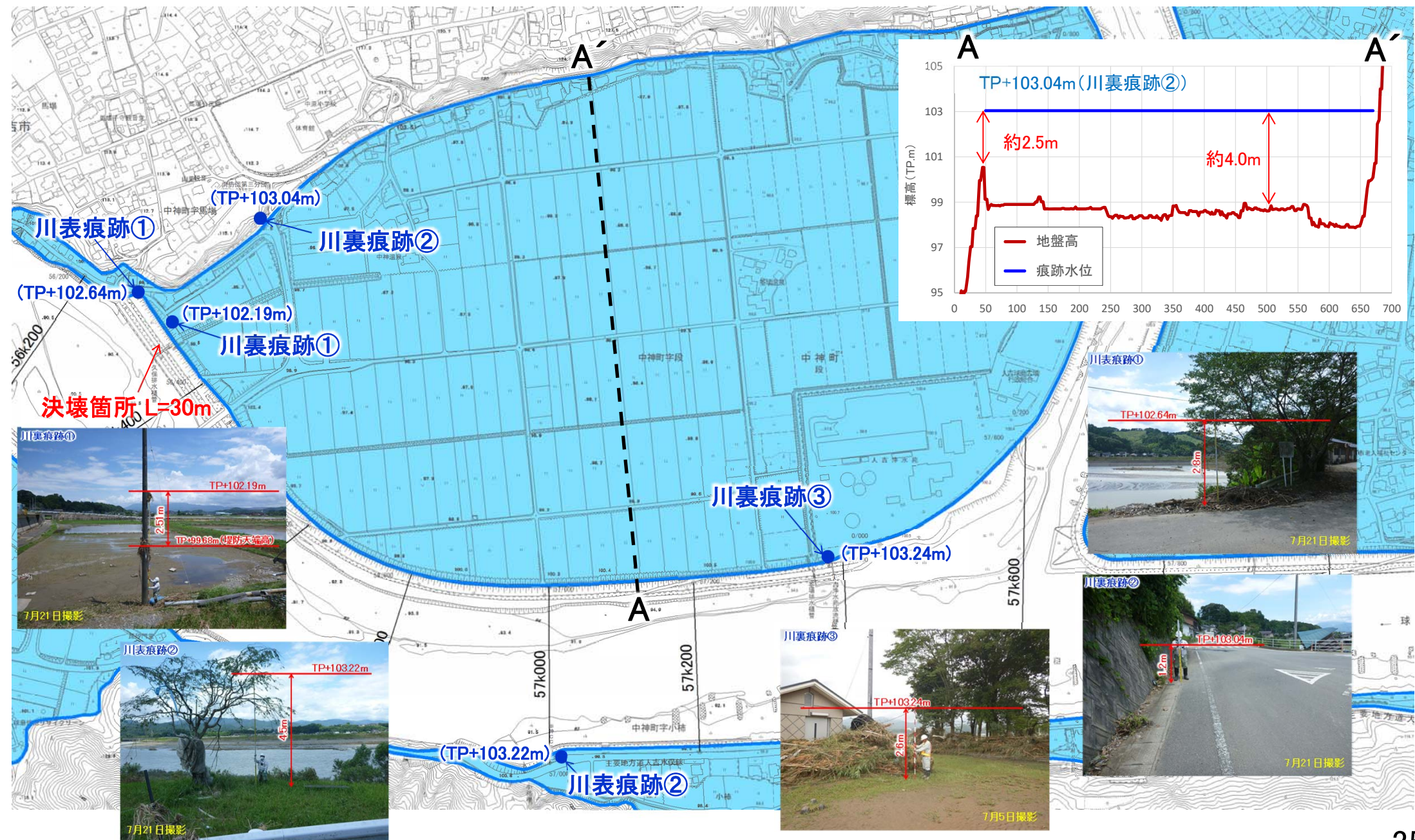


⑤：フェンスに塵芥が堆積



【球磨川右岸56.4k付近】 痕跡水位

○痕跡結果からピーク時には堤内地側と堤外地側の水位は、ほぼ同じ高さとなり、堤防天端から約2.5mの水深が発生。



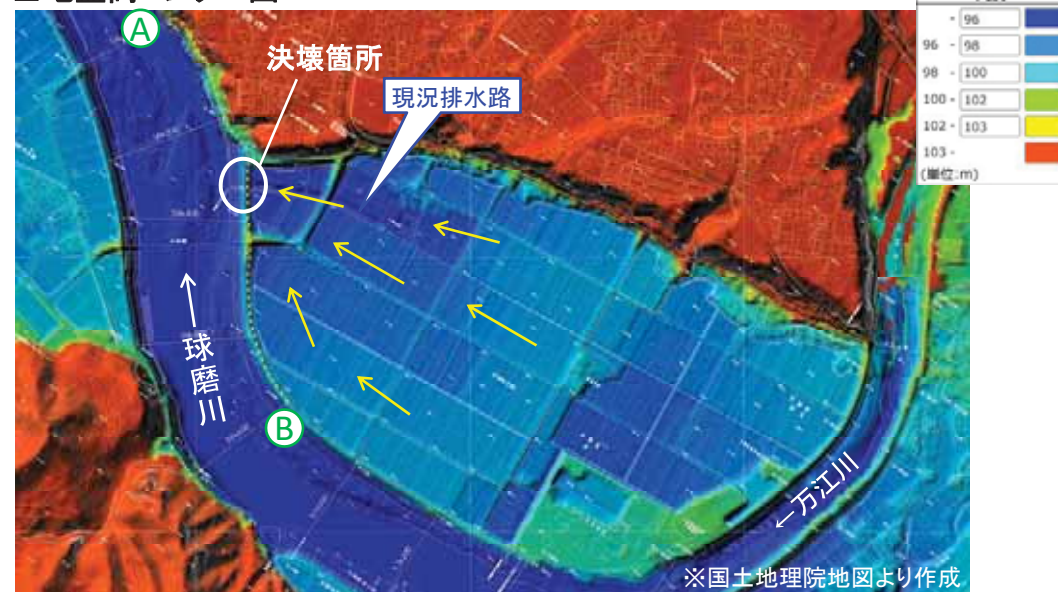
【球磨川右岸56.4km付近】 決壊箇所周辺の地形、堤防高

- 治水地形分類図では、決壊箇所付近は、段丘面と氾濫平野の境界付近で、氾濫平野には旧河道が見られる。
- 堤内地の地盤高は、下流へ向かい徐々に低くなり、堤内地側の水は、決壊箇所付近へ集まる地形となっている。
- ミオ筋は右岸側によっている。近年は河床高は堆積傾向にある。

■治水地形分類図

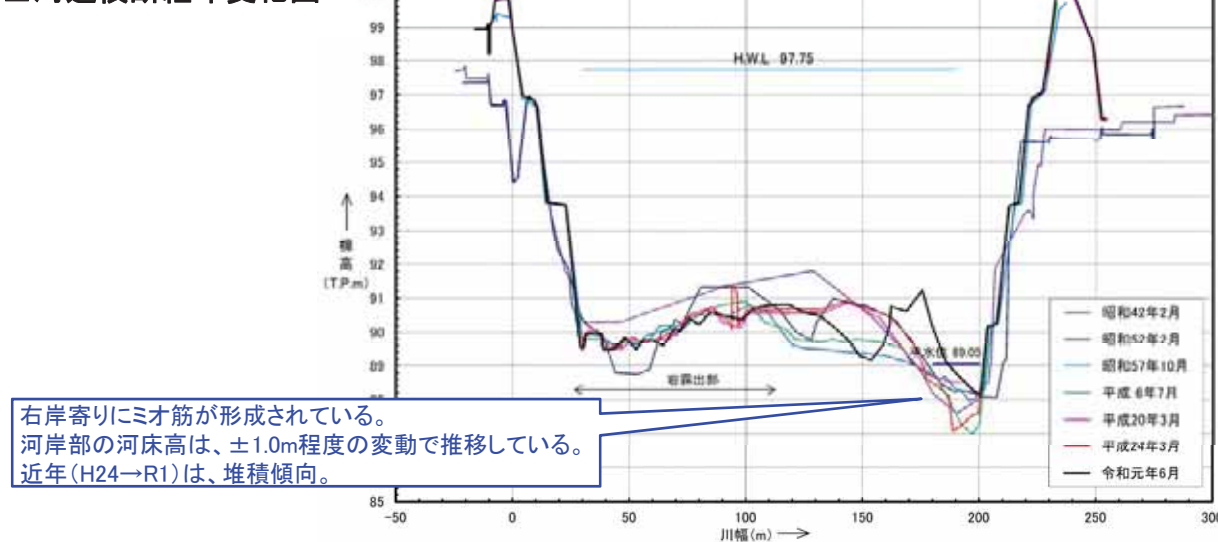


■地盤高コンター図



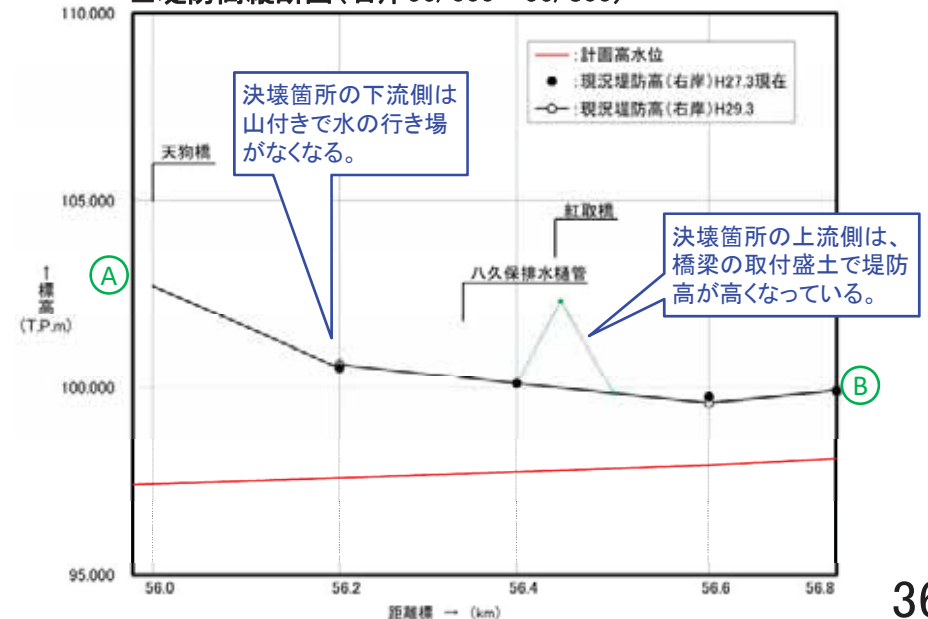
※国土地理院地図より作成

■河道横断経年変化図



右岸寄りにミオ筋が形成されている。
河岸部の河床高は、±1.0m程度の変動で推移している。
近年(H24→R1)は、堆積傾向。

■堤防高縦断図(右岸56/000~56/800)



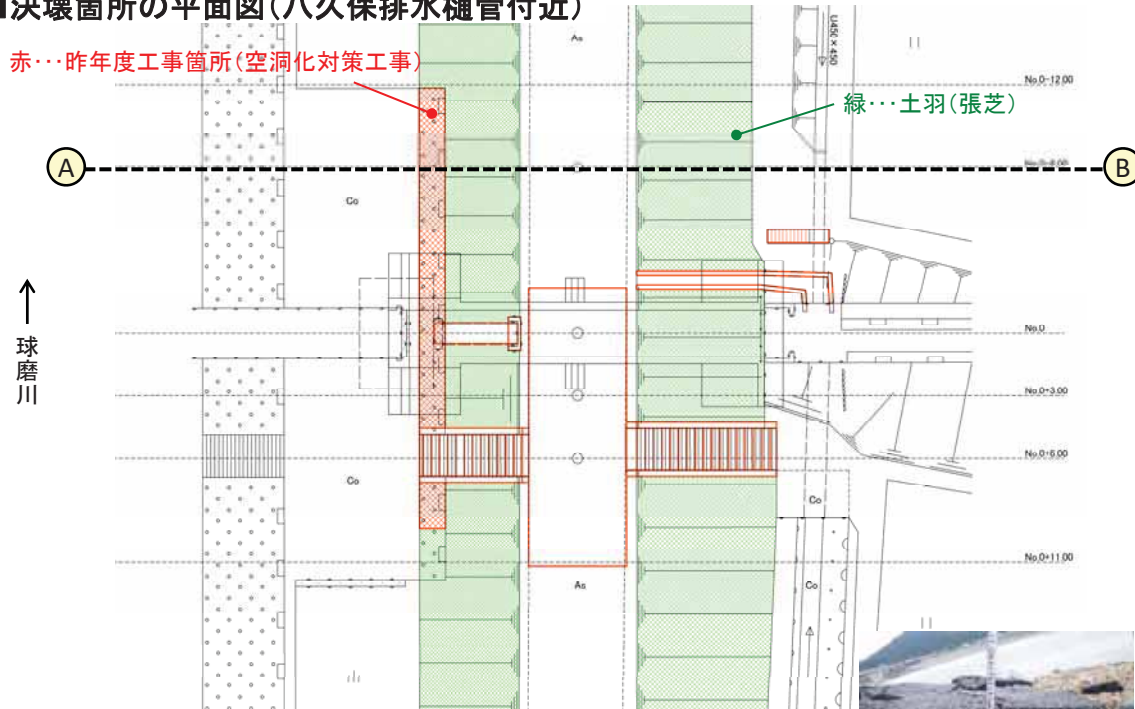
【球磨川右岸56.4k付近】 決壊箇所への堤防構造

- 決壊箇所の堤防は、計画堤防で完成。
- 堤防は、昭和52年以降～昭和57年までの間に築堤されている。また、過去10年間で堤防の沈下は生じていない。
- 八久保排水樋管は、昭和53年に完成。

■決壊箇所の平面図(八久保排水樋管付近)

赤・・・昨年度工事箇所(空洞化対策工事)

緑・・・土羽(張芝)

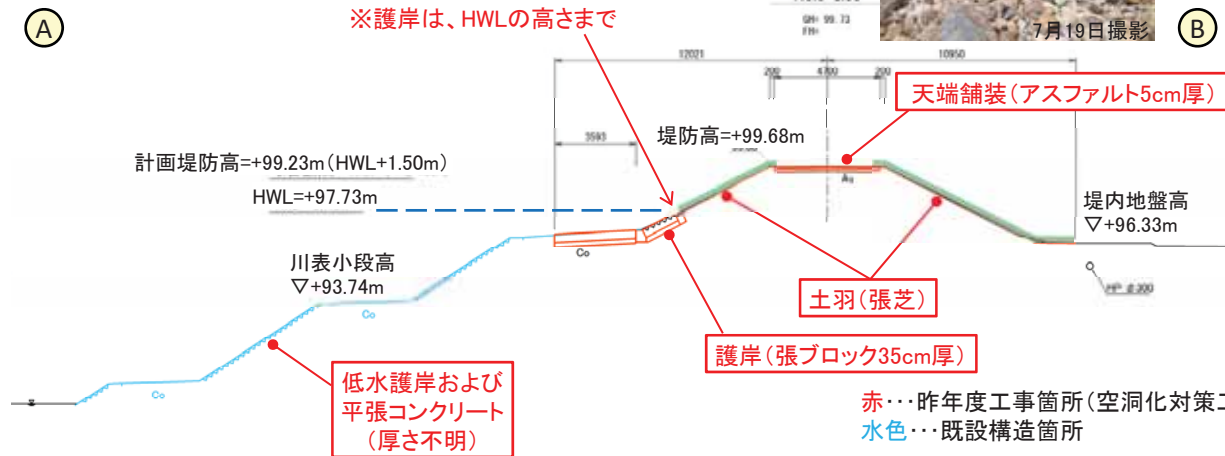


■決壊箇所の堤防構造(A-B断面)

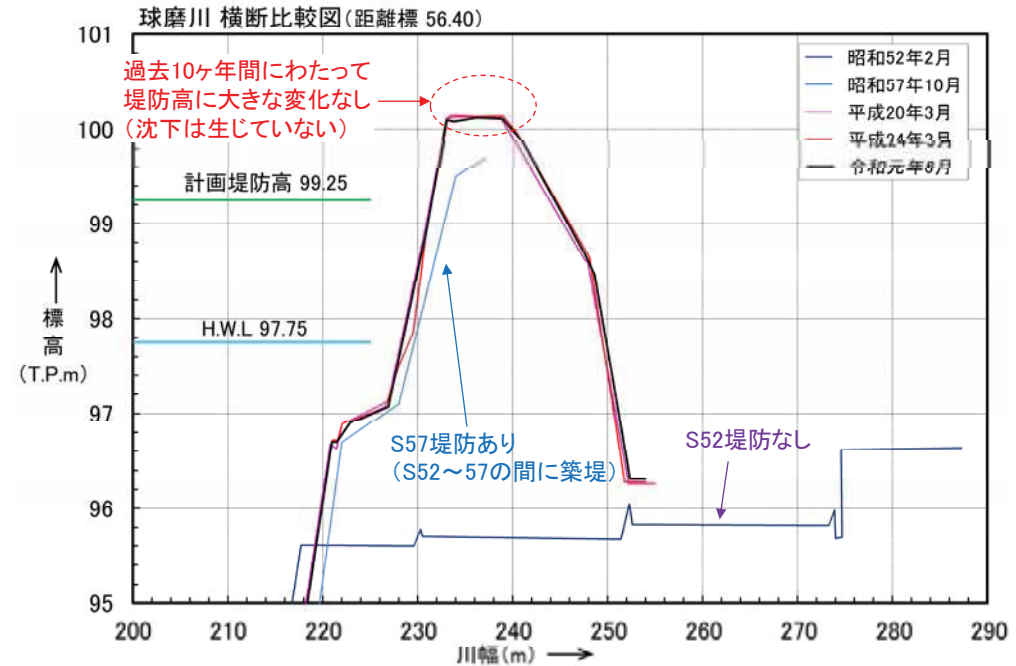
※流出したアスファルトを
現場で計測した厚さは8cm



※護岸は、HWLの高さまで



■築堤履歴(定期横断面図による推定)



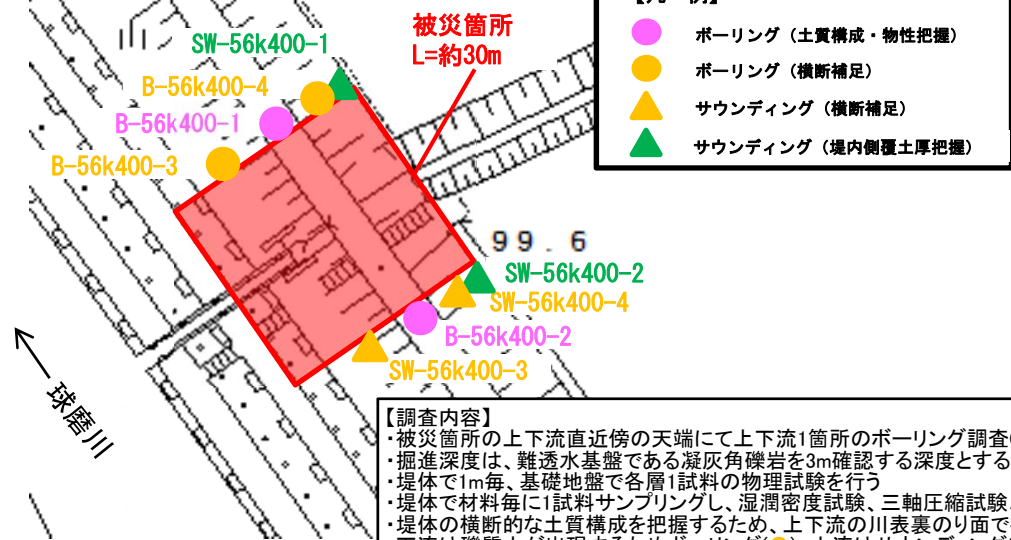
■川表護岸 被災状況



【球磨川右岸56.4k付近】 決壊箇所への地質調査計画

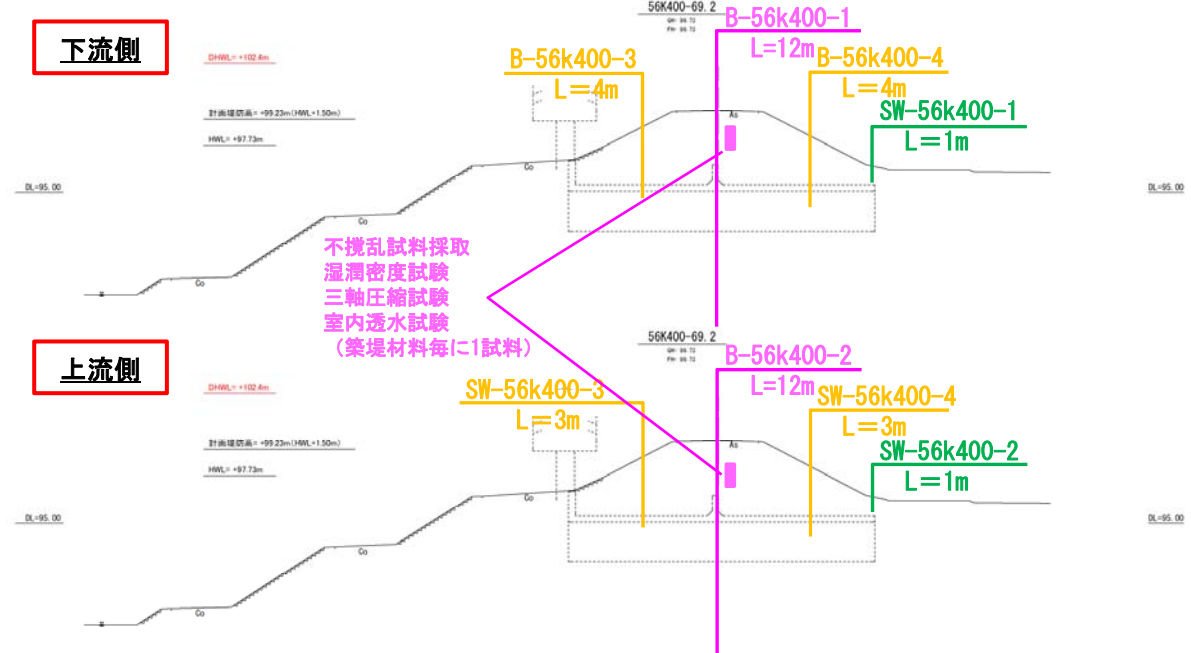
○今回実施中の地質調査は、被災要因を解明するため、一般的な堤防決壊のメカニズムのうち、「浸透」、「構造物・工事の影響」の検討を行うための地盤情報の収集と、被災箇所上下流の堤体土質の把握を目的とする。

■調査計画位置平面図



- 【凡 例】
- ボーリング（土質構成・物性把握）
 - ボーリング（横断補足）
 - ▲ サウンディング（横断補足）
 - ▲ サウンディング（堤内側覆土厚把握）

■調査計画位置横断面図



下流側



上流側



【既往調査資料】（kunjibanより）



【球磨川右岸56.4k付近】 出水時の再現解析①

【外水位が堤防を越える高さまで上がり、越水が始めたときの状況】

○越水初期の段階で、すでに堤内地側に水が溜まっている。流れの向きは全体的に下流側へ向かう。

■ 計算条件

外水位を大橋(危機管理水位計)観測所の波形から当該地区の痕跡に合うようにスライドさせ内水位を解析

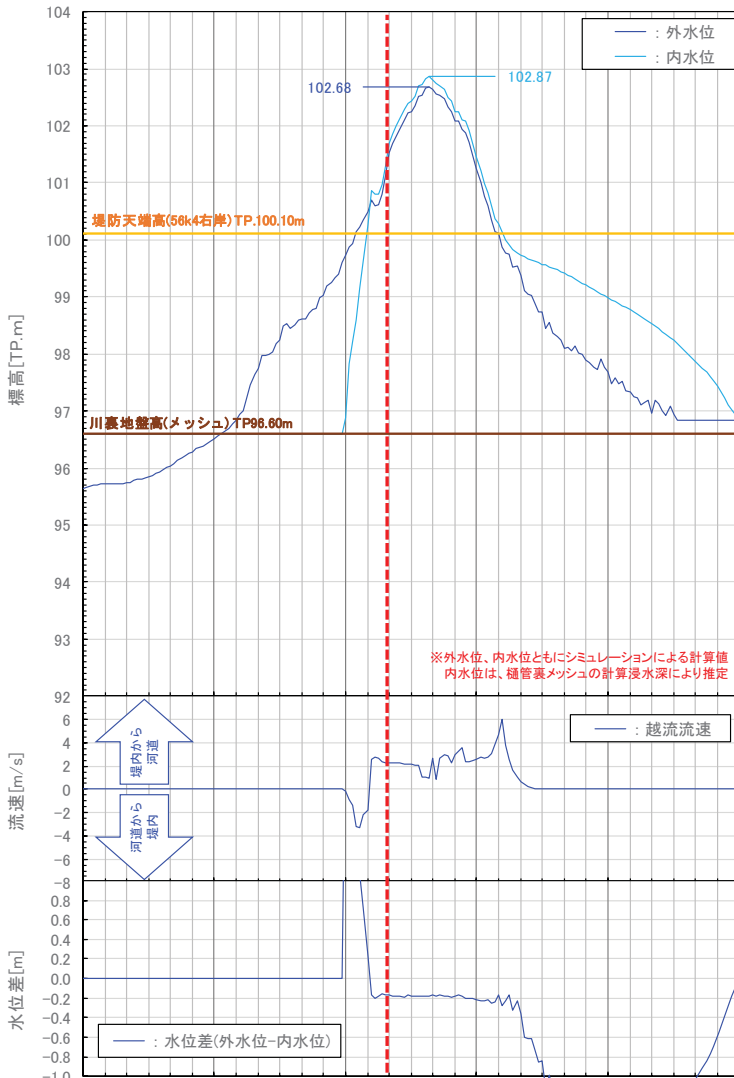
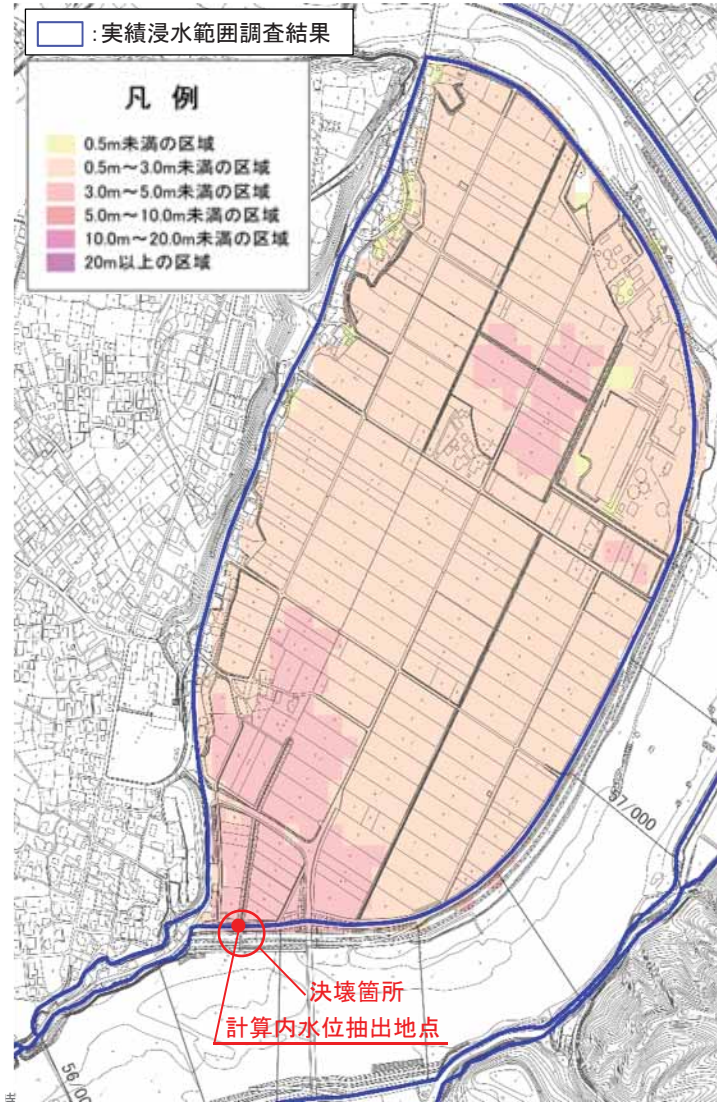


図 想定内外水位波形 再現シミュレーション結果図
(R02.07.04洪水(56k3右岸付近)(越水のみ、破堤なし))



浸水深図



流速ベクトル図

【洪水ピーク付近の状況】

○堤防越水後、すぐに堤内地側の水位が河川水位を上回り、地形的な条件から決壊箇所へ流れが集中する。

■ 計算条件

外水位を大橋(危機管理水位計)観測所の波形から当該地区の痕跡に合うようにスライドさせ内水位を解析

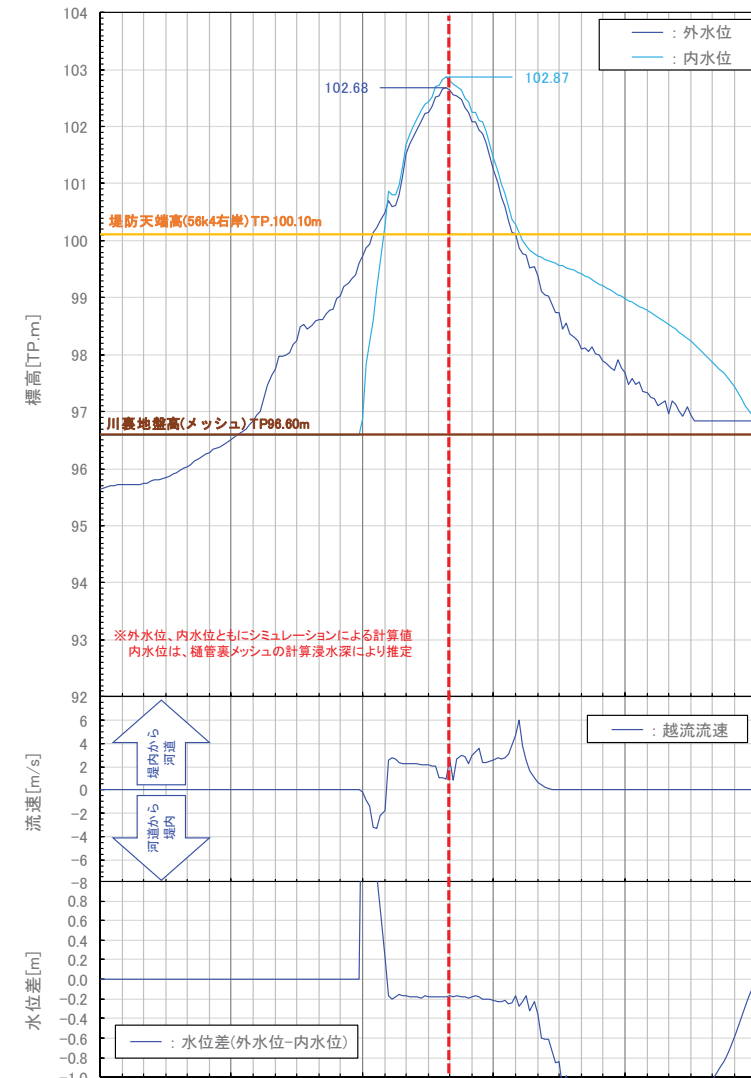
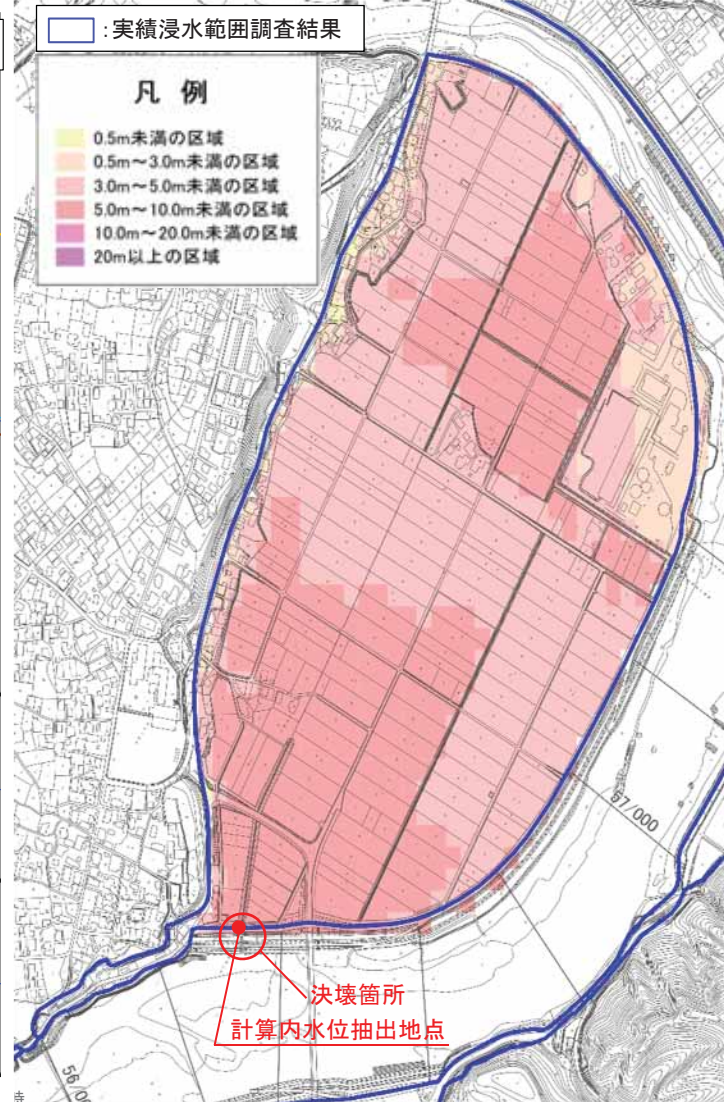


図 想定内外水位波形 再現シミュレーション結果図
(R02.07.04洪水(56k3右岸付近)(越水のみ、破堤なし))



浸水深図

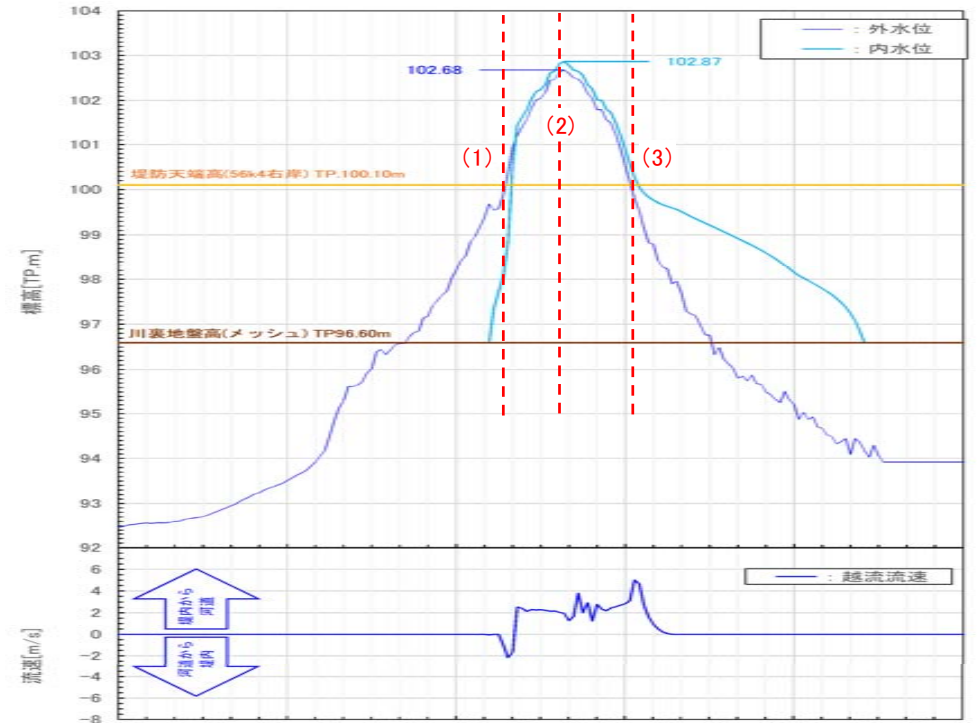
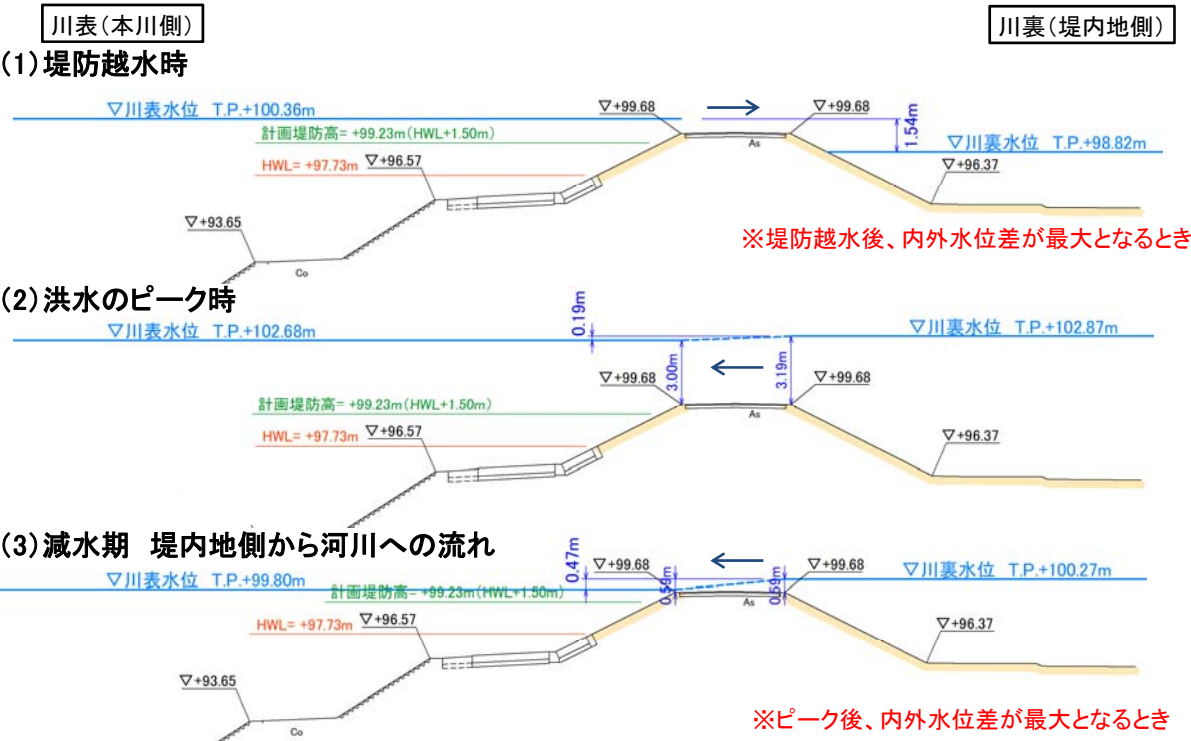


流速ベクトル図

決壊メカニズム (1)越水(堤体の侵食)

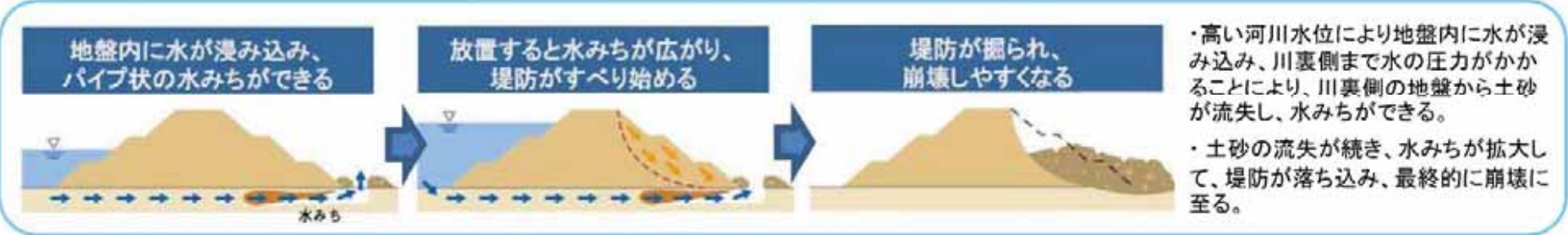
○河川水位が堤防高を越え宅地側への越水が発生、河川水位の上昇と合わせて宅地側の水位が堤防高を約2.5m越える高さまで上昇し、その後、河川水位の低下に伴い宅地側から河川側への越水が発生。
○被災後の現場状況として、川裏の堤防侵食や天端舗装が川表に流失していることから増水時と減水時に損傷を受けているものと推察される。

■堤防越水の流れ

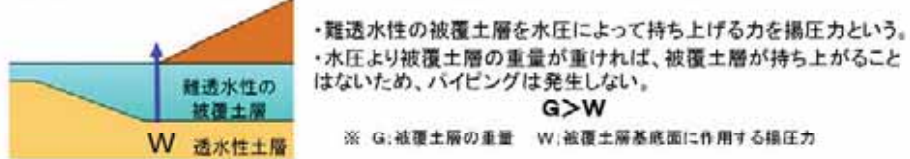


○堤防の浸透破壊は、浸透流解析を行い、パイピング及び法面の円弧すべり安全率により照査する。
○現在、決壊箇所地質調査を実施中であり、その結果をもとに、浸透流解析に反映させる予定。

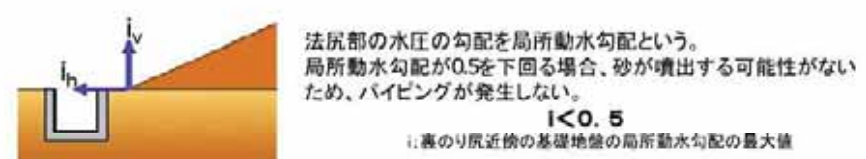
浸透流解析によるパイピングの照査



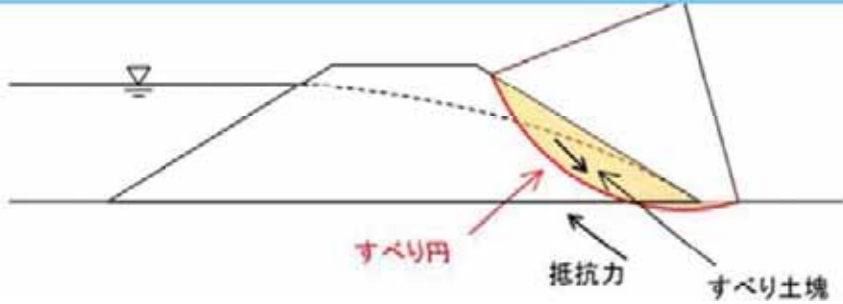
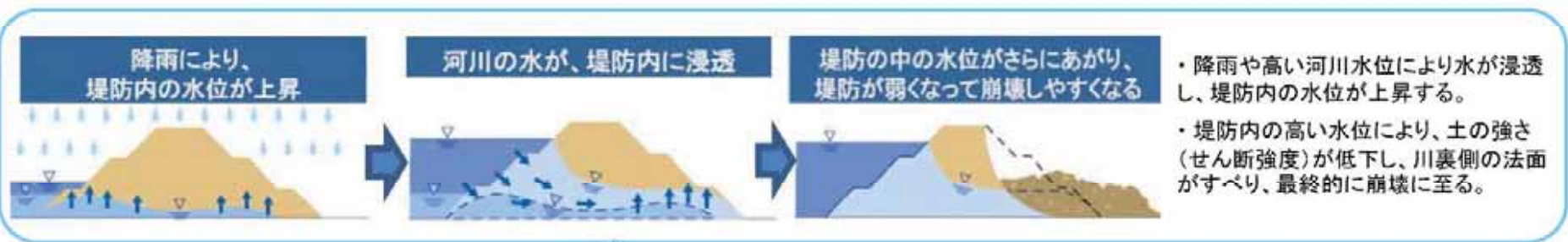
●難透水性の被覆土層がある場合(揚圧力による照査)



●難透水性の被覆土層がない場合(局所動水勾配による検討)



円弧すべり安全率による法面すべりの照査



円弧すべり安全率 F_s は、すべり土塊がその重量ですべろうとする力と、すべり円上で土がその強さにより抵抗する力の比のこと。
不確定要素を考慮した値(鬼怒川の場合は1.32)より、円弧すべり安全率 F_s が大きい場合には、法面がすべることはない。
$$F_s = \text{抵抗力} / \text{すべろうとする力} \geq 1.32$$

- 決壊箇所は、河床からHWLまで、護岸や張りコンクリートが設置されていた。
- 堤防が決壊した高さと同じ範囲で低水護岸が一部損壊しているが、それより下部の低水護岸に損傷は確認されていない。また、決壊箇所付近の堤防法面に河川の流れによる侵食跡は確認されていない。

■決壊後の状況

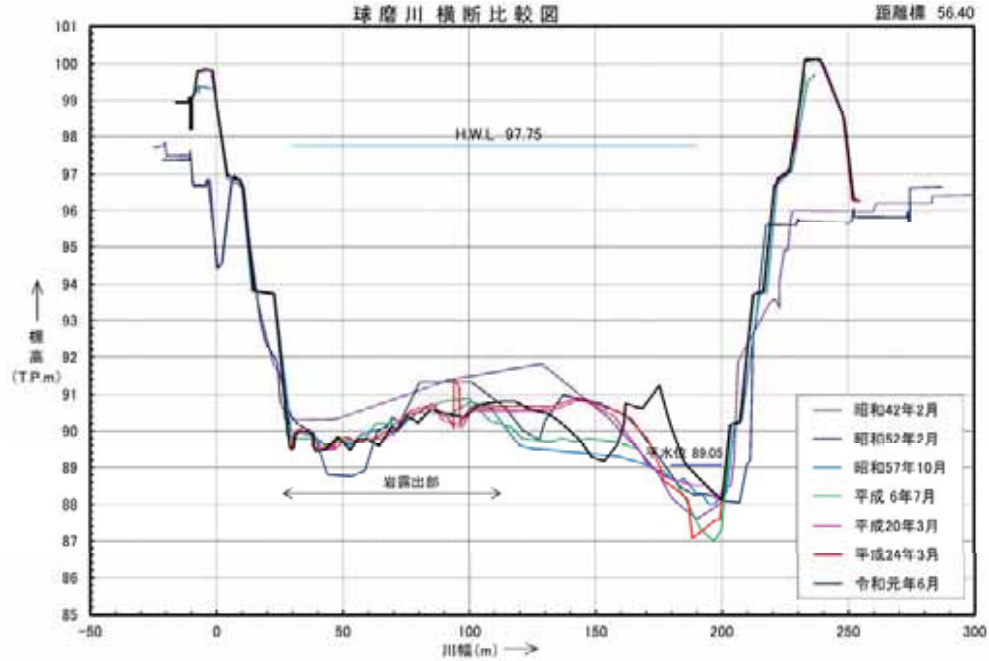


■天端舗装および護岸の損壊箇所



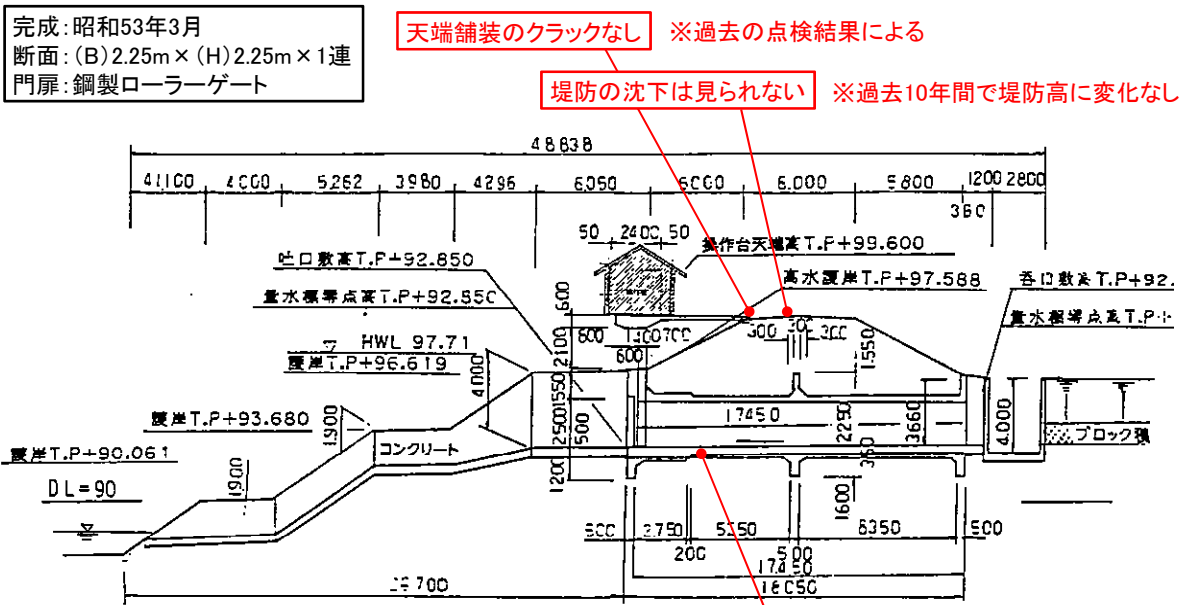
■河道横断経年変化図

※ミオ筋は右岸側に寄っているものの、堤防に影響のあるような洗掘が進行した形跡は見られない。



- 過去の堤防点検において、堤体の沈下や大きな函渠のクラック等は確認されていない。
- 被災時に想定される条件においても浸透路長を満足している。
- 平成30年度に空洞化対策工事を実施。

■大柿排水樋管の縦断図 (構造物台帳より)



■過去の点検結果 (堤防点検H29) (構造物点検R1)

決壊箇所周辺では、過去の堤防点検において変状は認められていない。
八久保排水樋管は、若干変状(クラック、漏水)が見られるものの、その程度は非常に軽微である。

函渠内のクラック



(構造物点検R1)

函渠内のクラック拡大写真

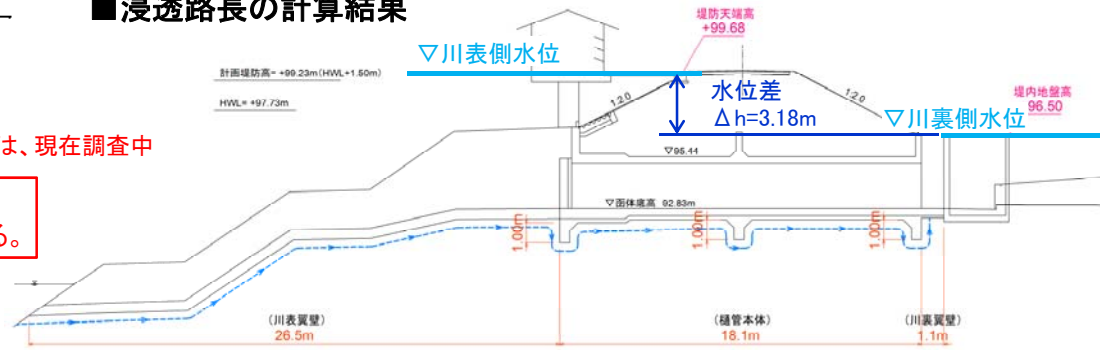


(構造物点検R1)

■樋管・堤防の影響評価 ※樋管および堤防が、決壊要因となった可能性は低いものと考えられる。

決壊要因	評価
①基礎地盤の沈下に伴う空洞化(水みち、漏水)	対策工事済み(H30)
②不等沈下による堤防のクラックやゆるみ	過去の点検結果でクラック等は確認されていない
③函渠クラックや継手開きからの吸出し、漏水	過去の点検結果で有害な異常は確認されていない
④浸透路長の不足による吸出し、漏水(水みち)	今回想定される条件において浸透路長は不足しない

■浸透路長の計算結果

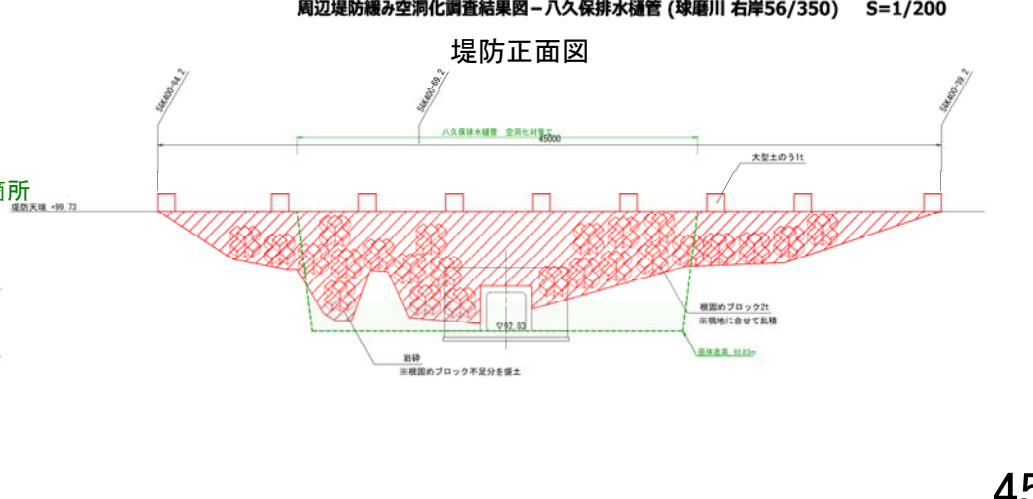
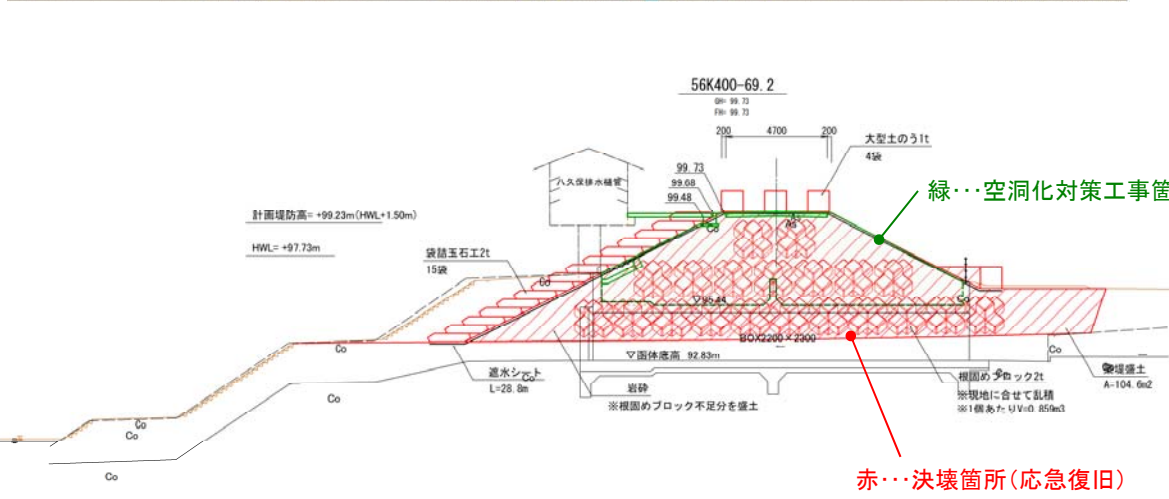
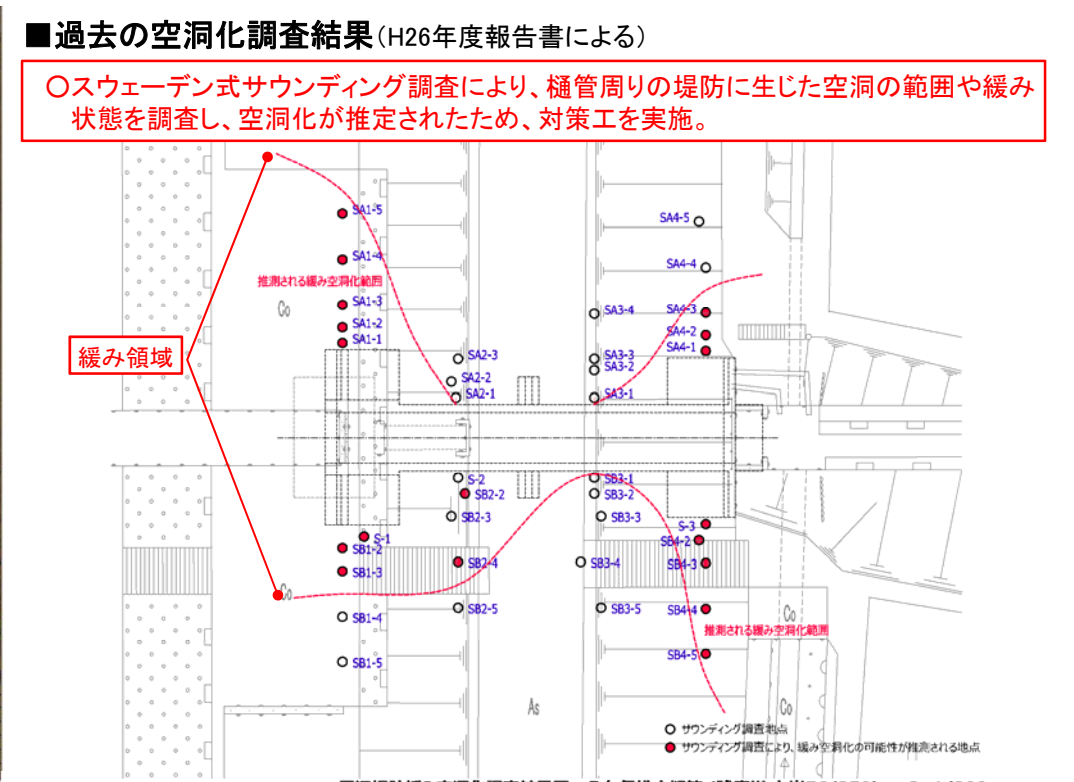
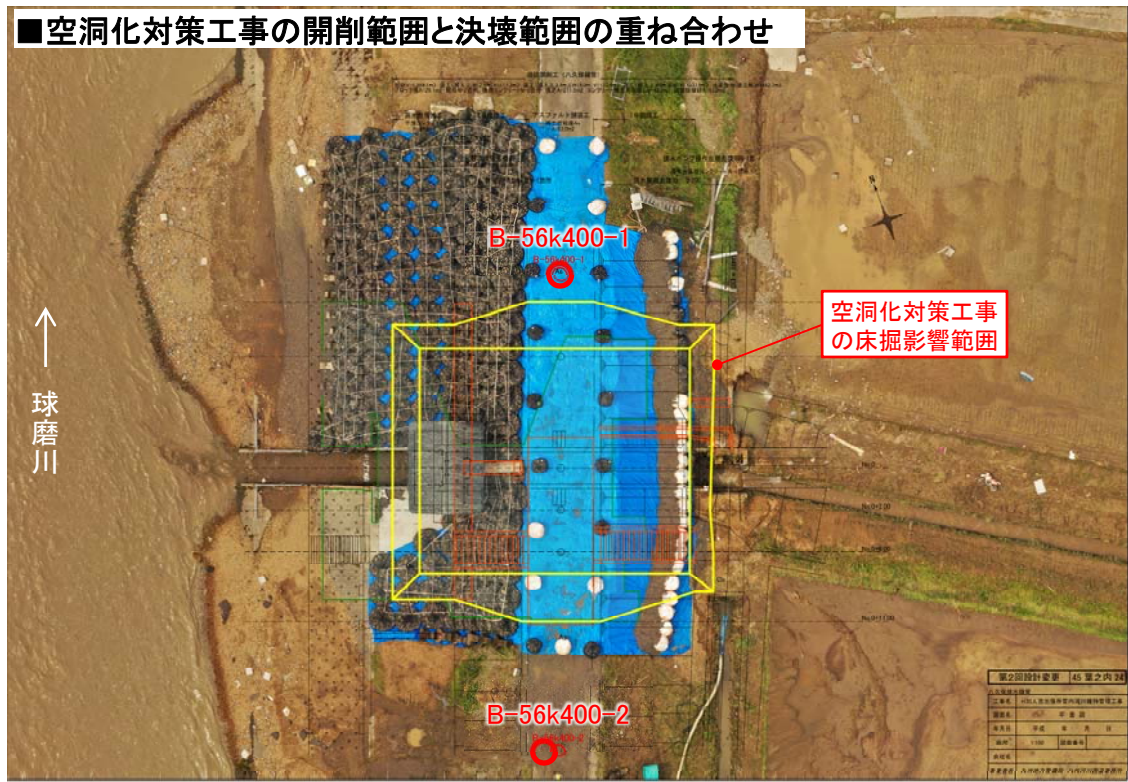


○Laneの式…樋門の設計で一般的に使用されている簡易的な手法を用いる。

$$C \leq \frac{L/3 + \Sigma \ell}{\Delta h}$$
$$C = 6.0 \leq 6.7 \quad \dots \text{OK}$$
$$\frac{45.7}{3} + \frac{6.0}{3.18} = 6.7$$

- C : 加重クリープ比 6.0(中砂)
…地質調査結果による(次頁参照)
- L : 樋管本体および翼壁の延長
26.5m + 18.1m + 1.1m = 45.7m
- $\Sigma \ell$: 鉛直方向浸透路長(遮水矢板による延長)
1.0m × 6 = 6.0m
- Δh : 水位差 3.18m

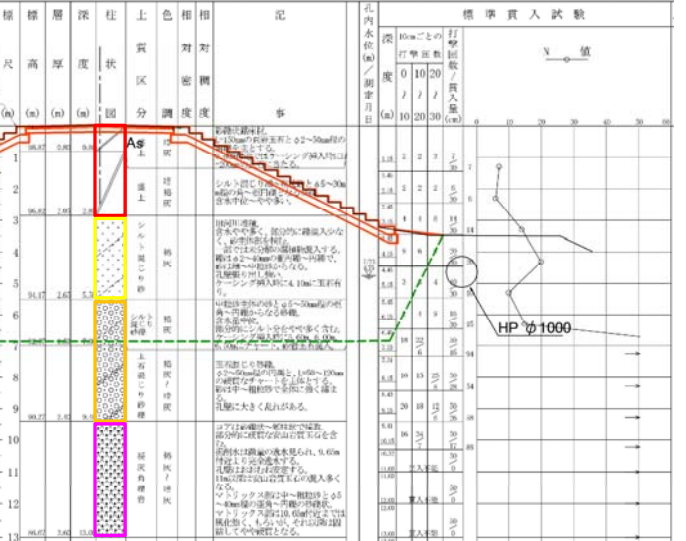
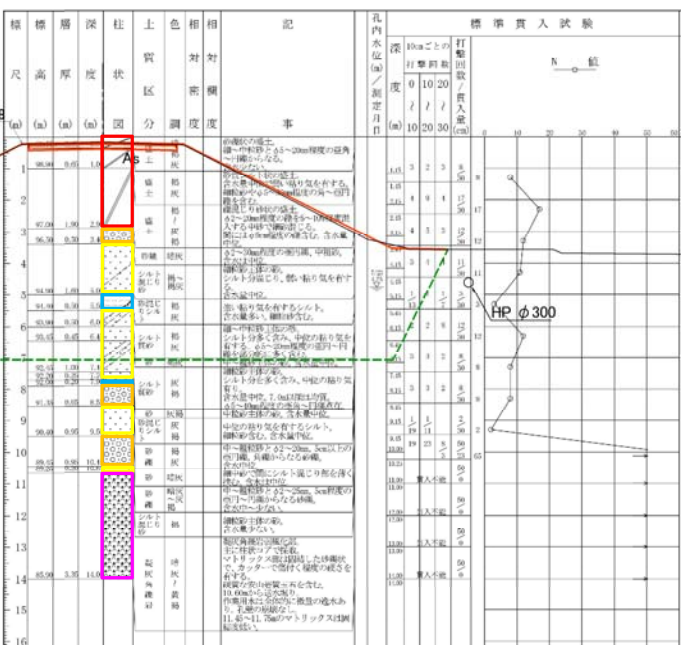
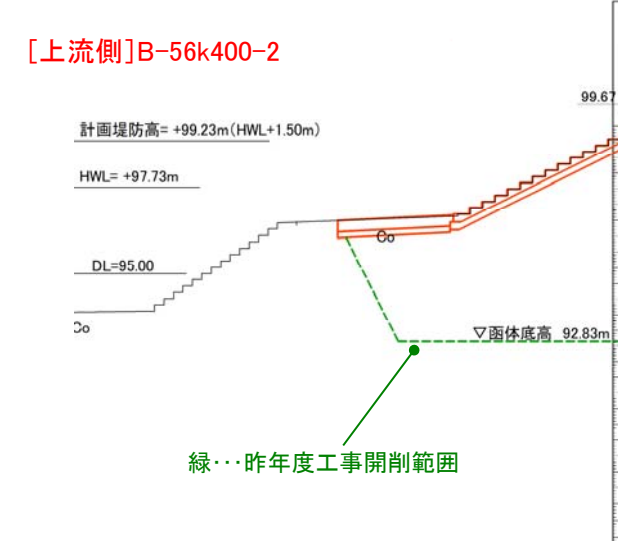
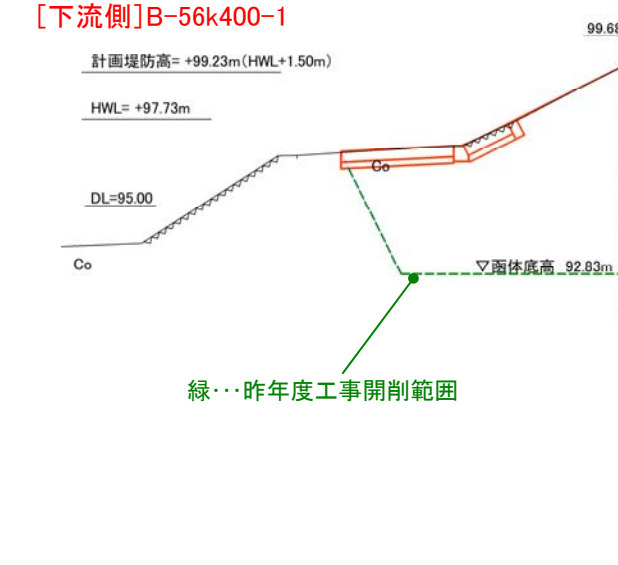
- 決壊箇所では、平成30年度に樋管周りの空洞化対策工事を実施。
- 空洞化対策工事は、既設樋管周辺を開削し、良質土で置き換え。あわせて、舗装や護岸等の整備を行っている。



決壊メカニズム (4)構造物および補修履歴等の影響

- 調査箇所は上下流とも既設堤防箇所、空洞化対策工事にて良質土で置き換えた箇所は、決壊時に流失しているが、大柿樋管と同じ材料を使用しているため大柿樋管地点のデータから推定が可能と考えられる。
- ボーリングコアの状況から、盛土部分の土質は、上下流で違いがないことを確認。(いずれも礫混じりシルト質砂を主体とする。詳細には、現在、物理試験中。)
- なお、大柿で確認された置換土の土質はシルト混じり砂礫状であり、当箇所の既存堤防の土質と異なることを確認。

柱状図速報値



- 開削埋戻しを行っていない元の盛土材料
- 盛土
礫混じりシルト質砂を主体
 - 砂礫
 - シルト混じり砂
 - 砂混じりシルト
 - 砂混じりシルト
 - 砂礫
 - 砂
 - 砂礫
 - シルト混じり砂
 - 凝灰角礫岩
- ①シルト質砂
②砂
③シルト質砂
④砂



- 開削埋戻しを行っていない元の盛土材料
- 盛土
礫混じりシルト質砂を主体
(但し、①は砂礫状路床材)
 - シルト混じり砂
 - 砂礫
 - ①シルト混じり砂礫
 - ②玉石混じり砂礫
 - 凝灰角礫岩

【球磨川右岸56.4k付近】 決壊要因の可能性整理

○ 主な決壊要因の可能性は、現時点で下表に示すとおり推察される。

要因の種類	決壊要因の可能性	影響度
I.越水	○河川水位が上昇し堤防を越水。 ○堤防を大きく越える水位に達し、堤防全体が水没。 ○減水時に堤内側から本川への越流。 ○地形や痕跡から決壊箇所へ堤内側からの流れが集中していたものと考えられる。 ○今後、痕跡調査や解析を更に進め、内外水位差の時間変化などを検討し、越水による影響を把握する。	要検討
II.浸透	○地質調査の結果から解析を実施予定。	要検討
III.侵食	○堤防が決壊した高さと同じ範囲で低水護岸が一部損壊しているが、それより下部の低水護岸に損傷は確認されていない。また、決壊箇所付近の堤防法面に河川の流れによる侵食跡は確認されないことから、本川の流れによる侵食が決壊の主要因となった可能性は低いものと推察される。	—
IV.構造物・工事の影響	○過去の点検結果において、被災前に、函体のクラックからの漏水や堤体・護岸の変状等は確認されていない。 ○被災時に想定される条件においても浸透路長を満足している。 ○樋管周りの空洞化対策として、樋管周辺を良質土で置き換えており、既存堤防と土質が異なることを確認。 ○土質が異なることの影響について、地質調査結果から検討。	要検討