

球磨川堤防調査委員会 報 告 書

令和 3 年 3 月

球磨川堤防調査委員会

はじめに

西日本から東日本にかけて甚大な被害をもたらした「令和 2 年 7 月豪雨」は、熊本県南部においては、線状降水帯の停滞により 4 日未明から 8 時間にわたって激しい雨が降り続き、球磨川本川の中流部から上流部、そして支川川辺川の雨量観測所において、戦後最大の洪水被害をもたらした昭和 40 年 7 月豪雨を上回る記録的な豪雨となった。

球磨川は、日本三大急流河川のひとつであり、市房ダムから渡地点が上流部、渡地点から遙拝堰が中流部、遙拝堰から河口までの短い区間が下流部となっており、下流部には熊本県第二の都市である八代市、上流部には球磨地方の主要都市である人吉市が位置し、中流部は山間狭窄部となっている。

甚大な人的・住家被害が発生した人吉・球磨盆地は、急峻な山々に囲まれたすり鉢状の地形となっており、そこに川辺川、山田川、万江川などの複数の急流支川が流れ込み、さらに盆地の下流側が山間狭窄部であることから、豪雨時には内外水氾濫が発生しやすく、これまでも度々水害に見舞われてきた。

今次出水では、下流部の「萩原」、上流部の「渡」と「人吉」、川辺川の「柳瀬」の各水位観測所において観測史上最高水位を記録するなど、全川にわたって水位が上昇し、右岸 56.4k 付近（八久保排水樋管付近）と左岸 55.0k 付近（大柿排水樋管付近）の 2 箇所で堤防が決壊したほか、越水などにより、八代市、芦北町、球磨村、人吉市などで甚大な人的・住家被害となった。国管理区間の河川管理施設についても、堤防決壊 2 箇所のほか、堤防損傷 10 箇所、護岸欠損 17 箇所、排水施設 3 箇所、排水機場 1 箇所が、災害復旧対応が必要な施設として確認され、橋梁も 17 橋流出した。

「球磨川堤防調査委員会」は、「令和 2 年 7 月豪雨」により発生した 2 箇所の堤防決壊の被災原因を究明し、再度の災害を防止するための堤防復旧工法などを検討することを目的として、国土交通省九州地方整備局により設置された。本委員会は、河川工学、地盤工学を専門とする 5 名の委員より構成され、委員全員による現地調査と延べ 3 回の委員会を実施・開催し、①令和 2 年 7 月 13 日の現地調査と第 1 回委員会では、被災原因の究明に向けた調査の進め方や検討すべき事項などに関する指摘、②8 月 7 日の第 2 回委員会では、被災原因の推定および調査・分析の進め方などの検討・審議、③11 月 4 日の第 3 回委員会では、被災原因の特定および復旧工法などの検討・審議を行った。なお、復旧工法については、球磨川水系の河川整備計画が未策定であることから、河川整備方針に基づき検討・審議した。

本報告書は、「令和 2 年 7 月豪雨」により発生した球磨川の堤防決壊の被災原因と堤防復旧工法などについて検討・審議した事項を取りまとめたものである。①右岸 56.4k 付近、左岸 55.0k 付近の出水時のピーク水位は、洪水痕跡水位より堤防天端からそれぞれ 2m 以上、4m 以上まで達したと確認され、水没および越流による堤防機能の低下、②本川の水位低下に伴う堤内地から堤外地に向けた氾濫水の逆越流、③決壊箇所のいずれも片側が山付き地形であるための越流水の集中、などが決壊原因と推定された。

豪雨災害が激甚化する中、本報告書が球磨川のみならず、全国における今後の河川行政ならびに河川技術の発展に役立つ資料となれば幸いである。

令和3年3月
球磨川堤防調査委員会委員長
秋山 壽一郎

球磨川堤防調査委員会報告書

目 次

1. 球磨川堤防調査委員会の概要	1-1
1.1 目的	1-1
1.2 委員の構成	1-3
1.3 検討の経緯	1-4
2. 球磨川流域の概要及び令和 2 年 7 月豪雨の概要	2-1
2.1 球磨川流域の概要	2-1
2.1.1 流域および河川の概要	2-1
2.1.2 地形・地質特性、降雨特性	2-2
2.1.3 河道特性	2-10
2.2 令和 2 年 7 月 4 日出水の概要	2-12
2.2.1 降雨の状況	2-12
2.2.2 河川水位の状況	2-16
2.2.3 被害の概要	2-20
3. 55.0k 左岸、56.4k 右岸の堤防決壊原因について	3-1
3.1 一般的な堤防決壊の原因	3-1
3.1.1 河川水の越水による堤防決壊	3-1
3.1.2 河川水の浸透による堤防決壊	3-1
3.1.3 河川水の侵食・洗掘による堤防決壊	3-2
3.2 決壊箇所周辺の被災状況	3-3
3.2.1 球磨川右岸 56.4k 付近(八久保排水樋管)	3-3
3.2.2 球磨川左岸 55.0k 付近(大柿排水樋管)	3-15
3.3 決壊箇所付近の地形・地質、河道の状況	3-27
3.3.1 球磨川右岸 56.4k 付近(八久保排水樋管)	3-27
3.3.2 球磨川左岸 55.0k 付近(大柿排水樋管)	3-30
3.4 決壊箇所付近の堤防特性	3-33
3.4.1 球磨川右岸 56.4k 付近(八久保排水樋管)	3-33
3.4.2 球磨川左岸 55.0k 付近(大柿排水樋管)	3-36
3.5 出水時の再現解析	3-40
3.5.1 再現解析モデル	3-40
3.5.2 令和 2 年 7 月豪雨における決壊地点の状況	3-43

4. 決壊原因と想定される決壊メカニズム	4-1
4.1 検討の考え方	4-1
4.2 越水による決壊の可能性の検討	4-2
4.2.1 舗装の流失	4-2
4.2.2 舗装の浮き上がり	4-6
4.2.3 地形による流れの集中による影響	4-8
4.2.4 堤防表面の侵食	4-9
4.2.5 水没した堤防の土質変化	4-14
4.2.6 越水による決壊の可能性の検討結果	4-17
4.2.7 堤防決壊のプロセス	4-18
4.3 浸透による決壊の可能性の検討	4-20
4.3.1 検討の考え方	4-20
4.3.2 堤防のモデル化	4-21
4.3.3 降雨波形の設定	4-26
4.3.4 河川水位波形の設定	4-27
4.3.5 浸透流解析結果	4-30
4.3.6 堤体内部の飽和進行に伴う土中の空気の影響	4-35
4.3.7 浸透による決壊の可能性の検討結果	4-36
4.4 構造物および工事の影響による決壊の可能性の検討	4-37
4.4.1 過去の点検結果	4-37
4.4.2 橋管周りの浸透路長の検討	4-39
4.4.3 堤体の緩み領域の調査結果	4-41
4.4.4 置き換え工事の概要	4-43
4.4.5 堤体材料の確認	4-45
4.4.6 橋管の影響	4-54
4.4.7 異なる堤体土質や異物の境界面の影響	4-55
4.4.8 構造物による決壊の可能性の検討結果	4-56
4.5 河岸侵食による決壊の可能性の検討	4-57
4.5.1 ハ久保排水樋管の河岸侵食	4-57
4.5.2 大柿排水樋管の河岸侵食	4-59
4.5.3 河岸侵食による決壊の可能性の検討結果	4-61
4.6 今後の課題	4-62
 5. 本復旧の基本方針	5-1
5.1 決壊箇所の本復旧の基本方針	5-1

6. 委員による決壊箇所の現地調査.....	6-1
6.1 現地調査概要	6-1
6.2 現地調査位置図	6-1
6.3 現地調査参加委員	6-2
6.4 意見整理	6-2
6.5 現地調査の状況	6-3

参考文献

1. 球磨川堤防調査委員会の概要

1.1 目的

球磨川堤防調査委員会（以下、本委員会という）は、令和2年7月豪雨により生じた球磨川の堤防決壊等の被災について、被災原因の究明を行い、再度の災害を防止するための堤防復旧工法等を検討することを目的とする。

球磨川堤防調査委員会 規約

（名称）

第1条 本会は「球磨川堤防調査委員会」（以下、「委員会」という。）と称する。

（目的）

第2条 委員会は、令和2年7月豪雨により生じた球磨川の堤防決壊等の被災について、被災原因の究明を行い、再度の災害を防止するための堤防復旧工法等を検討することを目的とする。

（検討内容）

第3条 委員会は、前条の目的のため次の事項を検討する。

- (1) 被災原因
- (2) 再度の災害を防止するための堤防復旧工法
- (3) その他委員会で必要と認めた事項

（委員会）

第4条 委員会は別紙に掲げる委員をもって構成する。

（委員長）

第5条 委員会には委員長を置く。

2 委員長は、委員の互選により選任する。

（委員長代理）

第6条 委員会には委員長代理を置き、委員長の指名によりこれを定める。

2 委員長代理は、委員長に事故があるときは、その職を代行する。

（委員会の開催）

第7条 委員会は、委員長が招集し、開催する。

- 2 委員会は、委員総数の過半数の出席をもって成立する。なお、委員の代理出席は原則として認めない。ただし、委員長が認めたときはこの限りでない。
- 3 委員会の意思決定は、出席委員の過半数をもって行う。
- 4 委員会は、目的を達成するために必要があると認めるときには、委員会に委員以外の者の出席を求めることができる。

(委員会の公開)

- 第8条 委員会は、原則として公開とする。
- 2 議事内容の公開は、議事要旨の形式で、出席した委員の確認を得た後、後日、九州地方整備局ホームページで公表するものとする。
 - 3 委員会資料は、後日、九州地方整備局ホームページで公表する。ただし、今後予定される検討業務や工事の発注における技術提案に影響を及ぼす恐れがある等で公表することが適切でない資料等については、公表しないものとする。

(事務局)

- 第9条 事務局は、国土交通省九州地方整備局河川部河川計画課及び八代河川国道事務所に置く。

(その他)

- 第10条 この規約に定めがない事項は、委員会において定める。

附則

(施行期日)

この規約は、令和2年7月13日から施行する。

1.2 委員の構成

国土交通省では、令和2年7月豪雨による球磨川の堤防決壊後、本委員会を速やかに設置した。本委員会は、大学、高等専門学校の教授等3名に加え、公的機関の専門家2名で構成されている。

本委員会には、委員長を置き、委員長は、委員の互選により選任した。

球磨川堤防調査委員会

委員名簿

委 員 秋山 壽一郎 九州工業大学
(委員長) 名誉教授

委 員 上久保 祐志 熊本高等専門学校建築社会デザイン工学科
准教授

委 員 佐々木 哲也 国立研究開発法人土木研究所
地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム
上席研究員

委 員 福島 雅紀 国土交通省国土技術政策総合研究所
河川研究部河川研究室
室長

委 員 安福 規之 九州大学大学院工学研究院社会基盤部門
(副委員長) 教授

(敬称略 五十音順)

1.3 検討の経緯

本委員会は、令和2年7月13日の第1回から令和2年11月4日の第3回委員会までで堤防決壊原因の特定および本復旧工法を検討した。

検討フローを図1.3.1に、本委員会の開催状況を表1.3.1に示す。

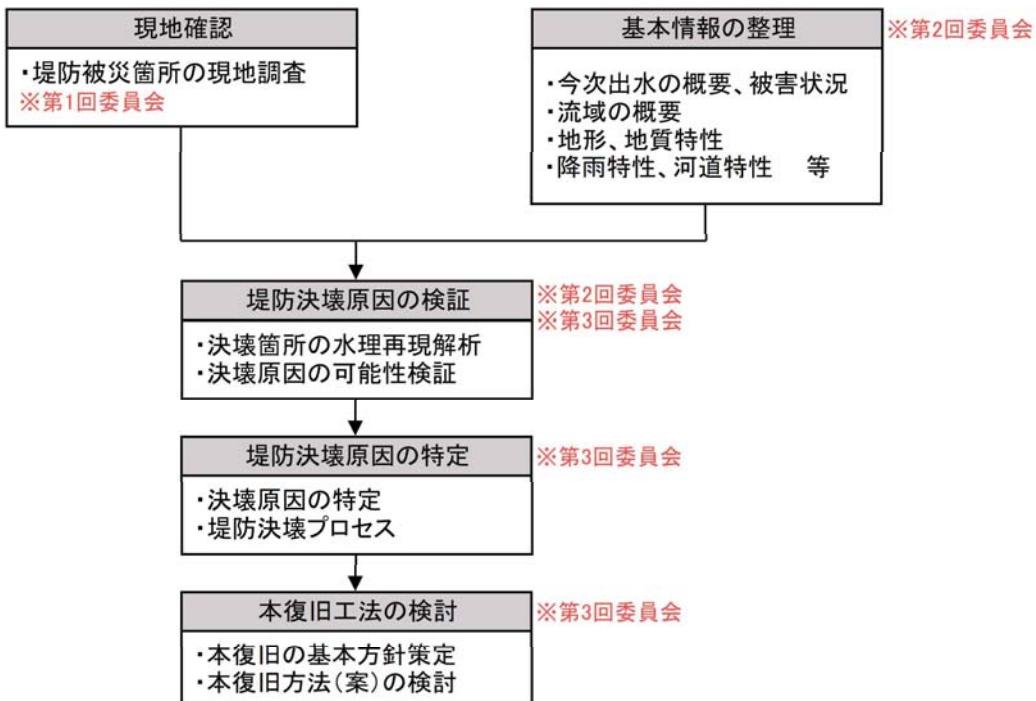


図1.3.1 検討フロー図

表1.3.1 本委員会の開催状況

回数	開催日	議事内容
第1回 (現地)	令和2年7月13日	<ul style="list-style-type: none"> ・球磨川流域の概要 ・令和2年7月4日出水の概要 ・堤防決壊および損壊箇所の概要 ・出水および被災状況の現地調査 ・被災メカニズム解明に資する助言
第2回	令和2年8月7日	<ul style="list-style-type: none"> ・今次出水による堤防被災状況 ・堤防決壊箇所の概要 ・堤防決壊箇所における出水時の再現解析 ・決壊原因の可能性整理
第3回	令和2年11月4日	<ul style="list-style-type: none"> ・決壊原因の可能性の検討結果 ・決壊原因の特定 ・本復旧の基本方針と方法の決定

第1回堤防調査委員会の様子



第2回堤防調査委員会の様子



第3回堤防調査委員会の様子



2. 球磨川流域の概要及び令和2年7月豪雨の概要

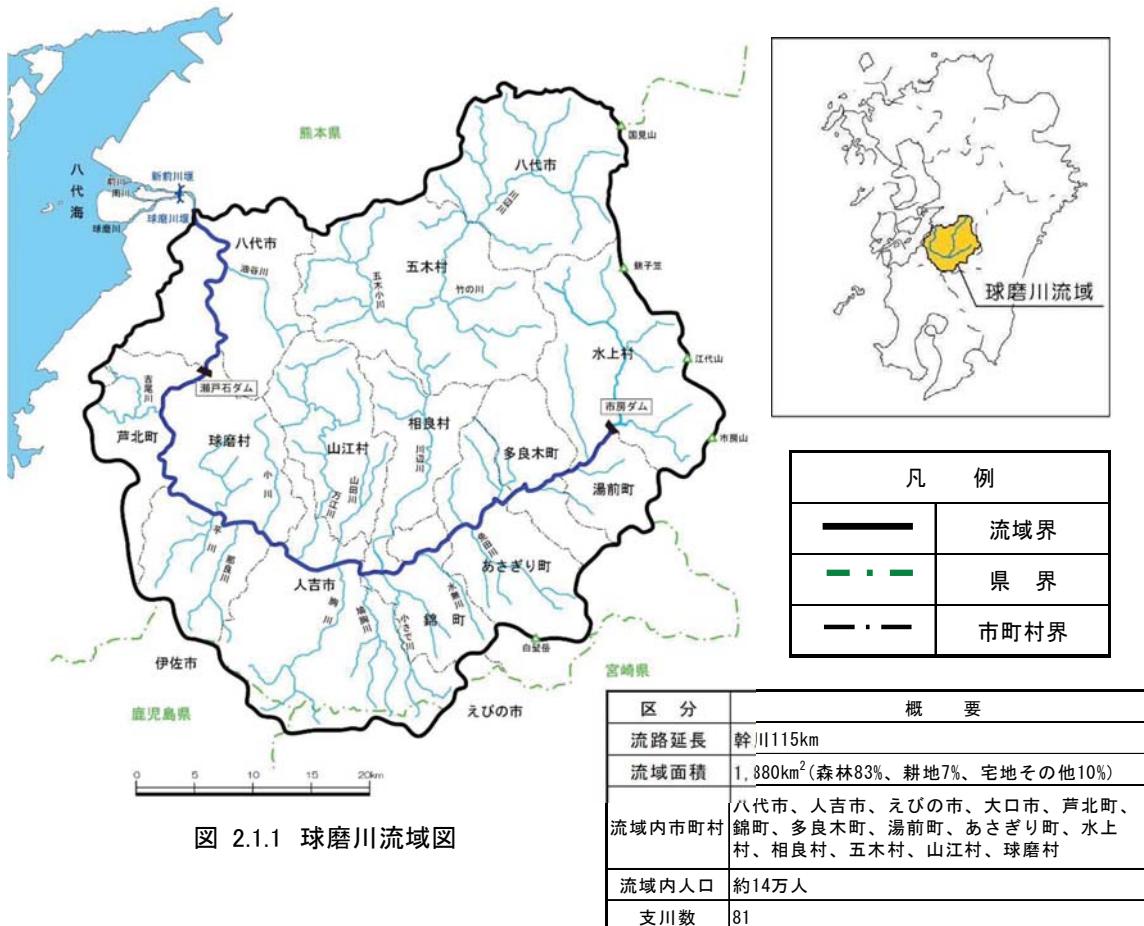
2.1 球磨川流域の概要

2.1.1 流域および河川の概要

球磨川は、その源を熊本県球磨郡錦町(標高 1,489m)に発し、免田川、小纏川、川辺川、山田川、万江川等を合わせつつ人吉盆地をほぼ西に向かって貫流し、さらに流向を北に転じながら山間の狭窄部を流下し、八代平野に出て、前川、南川を分派して不知火海(八代海)に注ぐ、幹川流路延長 115km、流域面積 1,880km² の一級河川である。

その流域は、熊本県南部に位置し、宮崎県および鹿児島県を合わせた九州南部3県にまたがる4市5町5村で県土の約 1/4 を占めている。また、流域の土地利用は森林が 83%、耕地 7%、宅地その他 10% となっている。

流域内には、下流部に熊本県第二の都市である八代市が、上流部に球磨地方の主要都市である人吉市があり、熊本県南部における社会・経済・文化の基盤を成している。また、球磨川の河川水を利用して肥沃な穀倉地帯が形成されていることや球磨川下りが地域観光のシンボルとなっていることなど、古くから人々の生活、文化と深い結びつきを持っている。さらに、アユをはじめとする多様な生物を育むなど、源流部から河口部まで変化に富んだ良好な河川環境を形成している。



2.1.2 地形・地質特性、降雨特性

球磨川や川辺川の源流（山地）部は、地質や地層の傾斜に無関係に湾曲しながら南方に流下しており、河川の流路が決定された後に隆起して生じた山地を横切って流れる先行河川と考えられ、河川のつくる谷が急峻な地形をなしている。

一方、上流（盆地）部は、主に人吉盆地を西方に流下する。人吉盆地は、構造運動により形成された盆地（構造盆地）と考えられており、湖沼堆積物や、火山性堆積物、河川の氾濫による堆積物等が、盆地を埋めて平坦な地形をなしている。なお、現在ではその多くが田園地帯となっている。また、球磨川沿いには、市街地が形成されており、両岸には古くから温泉旅館や家屋等が連続している。

人吉市街地を過ぎて八代平野に至る区間は急峻な地形をなしており、平坦地は川沿いにごくわずかしか存在しない。河川、河床には岩が突出し、自然河川の様相を呈している。川沿いのわずかな平地を利用して集落が形成されているが、洪水により繰り返し被害を受けている。

下流（河口）部は、山間狭窄部の出口で大きく湾曲しており扇頂付近では水衝部となっている。その後、流路を西に変化させた球磨川河口付近に扇状地が広がり、その周辺には干拓により陸地化された地域が広範囲に及んでいる。この扇状地（沖積平野）の上には、市街地が立地しており、特に前川右岸は市街地の中心部として大型商業地や家屋等が密集している。

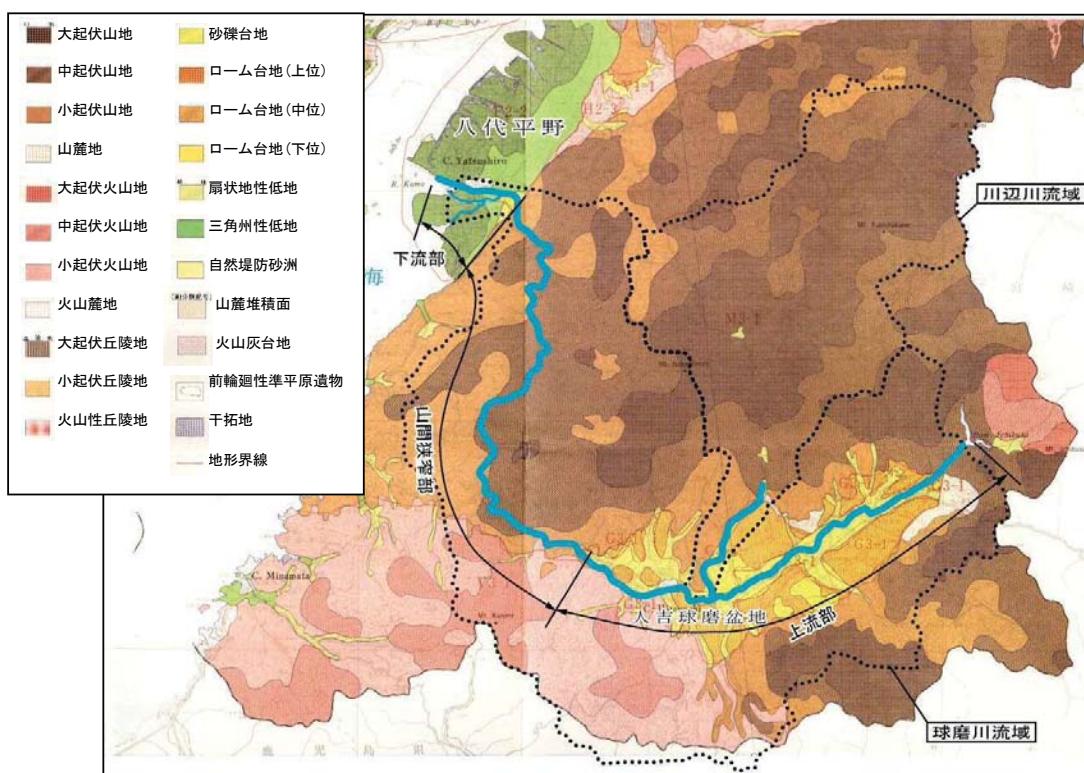


図 2.1.2 球磨川流域地形分類図

出典)地形分類図(熊本県)昭和48年

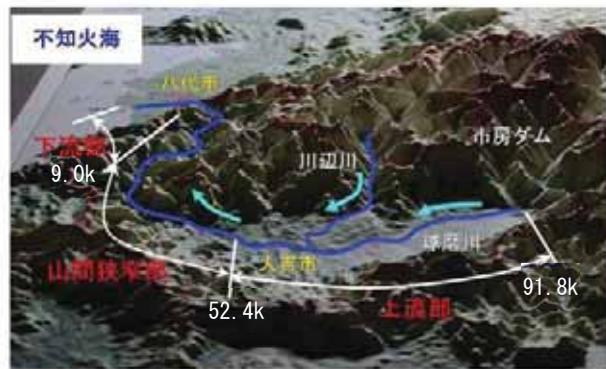


図 2.1.3 球磨川流域の立体地図



図 2.1.4(1) 源流（山地）部



図 2.1.4(2) 上流(盆地)部



図 2.1.4(3) 中流（山間狭窄）部



図 2.1.4(4) 下流（平野）部



図 2.1.4(5) 下流（河口）部

～人吉盆地と球磨川の誕生～

人吉盆地は、新生代第四紀の地殻変動によって、四万十帯山地の一部が陥没してできたものである。その後山々から水が流れ込み大きな湖（人吉湖）となった。

湖（人吉湖）の広さは東西約40km、南北約10kmに及ぶ大湖となり、周囲には広葉樹が繁り、ケイ藻が繁殖する。淡水貝が生息し琵琶湖に似た環境であったという。当時、湖の水は鹿児島県・大口方面にわずかに通じていたといわれる。

この人吉湖は、肥薩火山の活動が活発なため、度々狭い湖水の出口は塞がれた。そのうち、大口への出口は火山噴出物が積み重なって高い山となり、人吉湖の水位は上昇した。

その人吉盆地を取り囲む山々の連なりの中で最も低い所が球磨村の一勝地大坂間の鞍部であり、そこが決壊し、湖に溜まった水が溢れ出した。水は猛烈な勢いでみると大坂間の鞍部を切り崩した。これが、人吉盆地と八代海をつなぐ新しい水路、球磨川の誕生である。



図 2.1.5 人吉盆地と球磨川誕生

流域の地質は、銚子笠から本川中流部の大坂間を結ぶ北東から南西に走る仏像（大坂間）構造線が位置しており、これを境に、北側は秩父帶^{ちちぶ}南帶（三宝山帶）と呼ばれ、中・古生代の砂岩、粘板岩、チャート等からなっており、その南縁部に連続した巨大な石灰岩ブロックの密集層が分布している。仏像構造線南側は四万十帶群と称される、中生代の砂岩、粘板岩等が人吉盆地を除いて広く分布しており、人吉盆地には河川の氾濫や火碎流による堆積物が存在している。

また、中流部左岸側付近には火成層が分布し、下流平野部には沖積層が厚く堆積している。

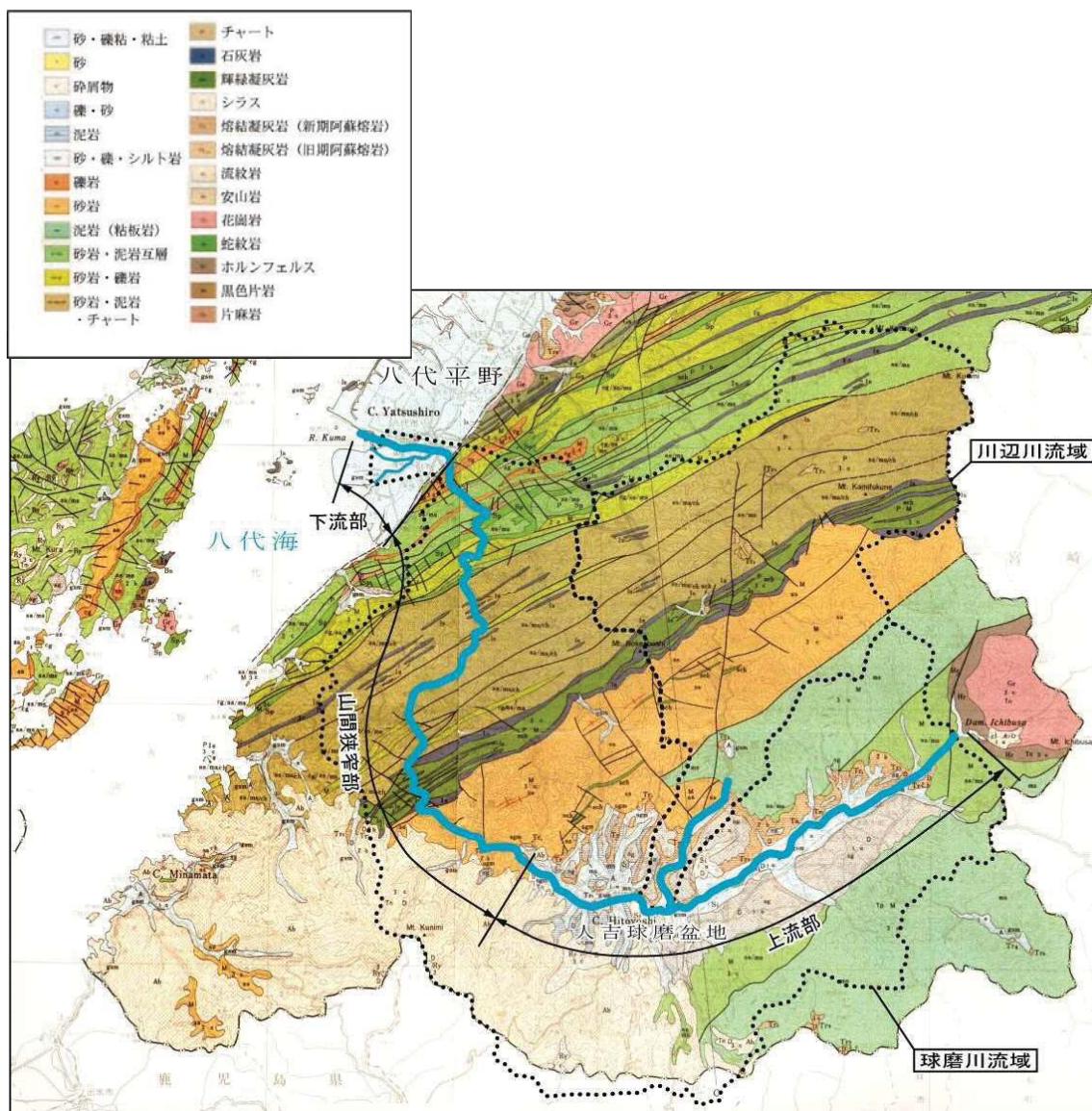


図 2.1.6 球磨川流域地質平面図

出典)土地分類図(熊本県)昭和 48 年

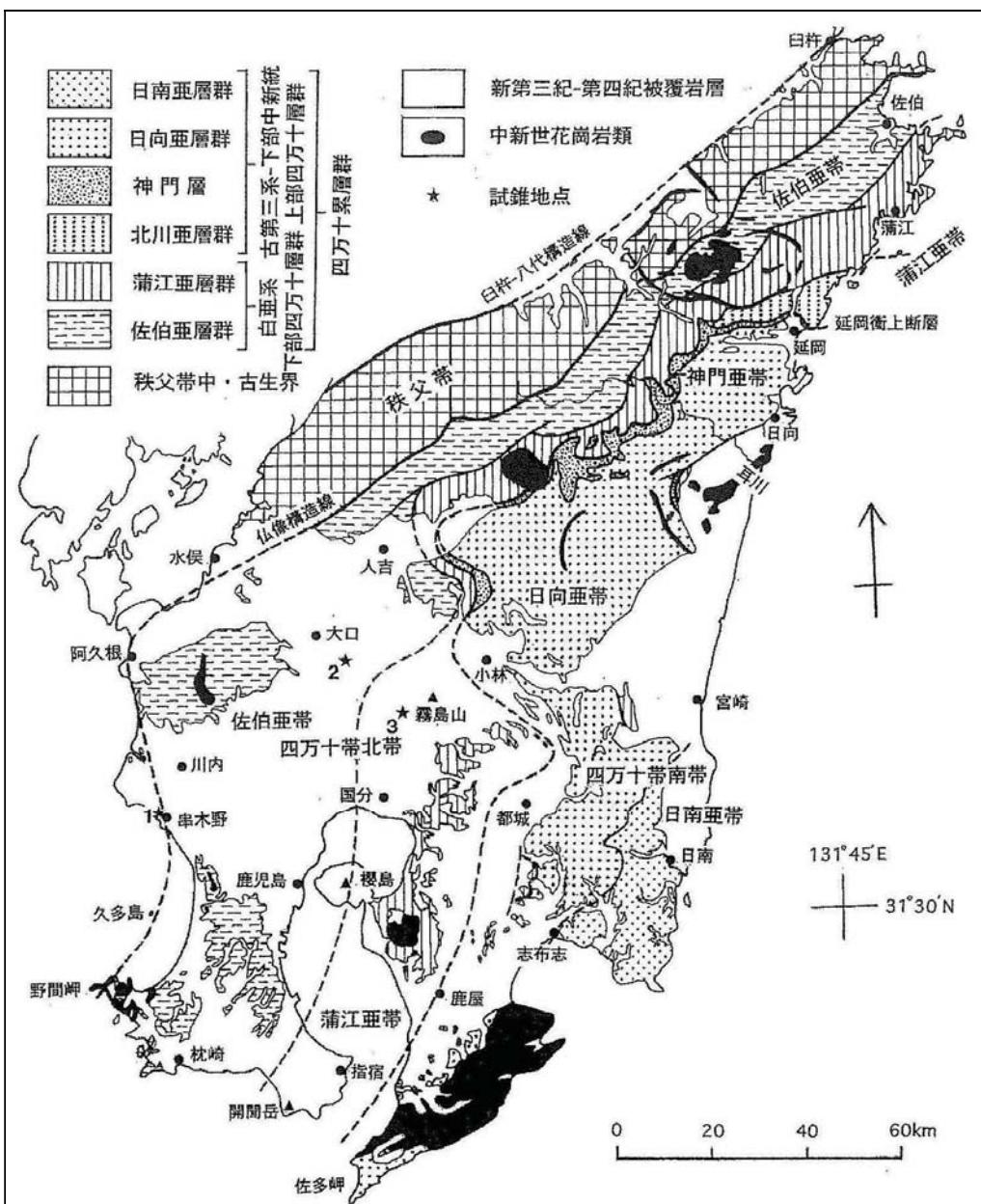


図 2.1.7 九州四万十帯の地質概要図(寺岡, 2004)

出典)千田 昇(2015):1:25,000 都市圏活断層図 人吉盆地
南縁断層とその周辺「人吉盆地」解説書. 国土地理院

「九州の気候（西日本気象協会：1964）」によると、球磨川流域の大部分が、山地型気候区、下流部の一部で内陸型、西海型に属している。年平均気温は15~17°C、年平均降水量は約2,800mmであり、その約4割は6~7月の梅雨期に集中している。また、日本の平均降水量の約1,750mmと比べると約1.6倍となっている。

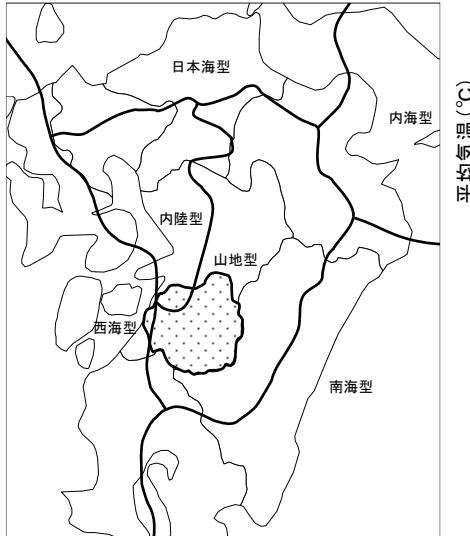


図 2.1.8 球磨川の気候区分

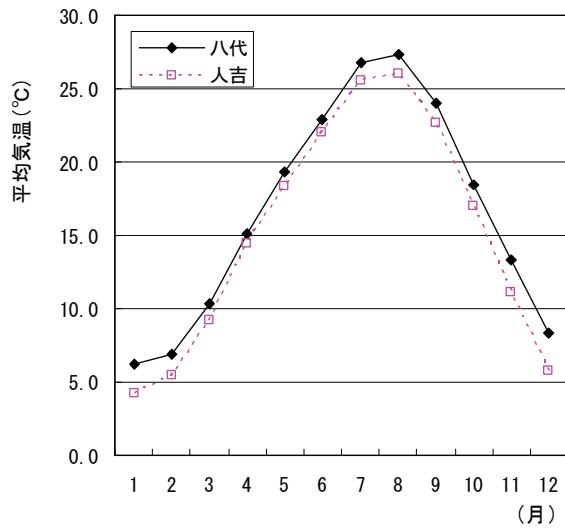


図 2.1.9 代表地点の月別平均気温
※気象庁 HP より S54~H12 の平均値

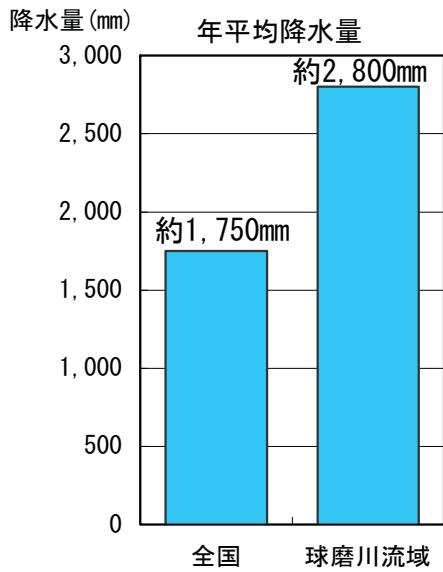


図 2.1.10 年間降水量の比較

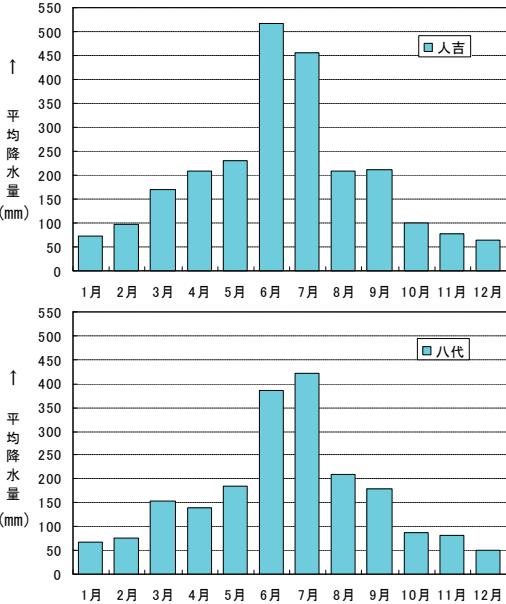


図 2.1.11 流域平均月別降水量
※人吉は気象庁 HP より、S46~H12 の平均値
※八代は気象庁 HP より、S54~H16 の平均値

【梅雨性の降雨状況】

梅雨前線が停滞し、流域全域で長期的に降り続き、短時間降雨・総雨量も多い傾向にある。

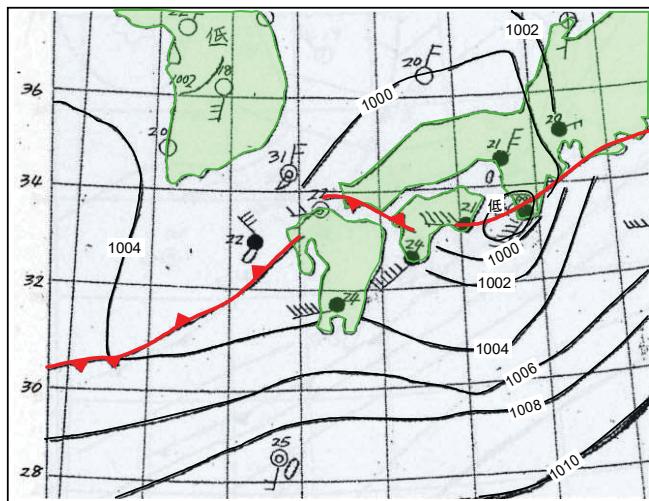


図 2.1.12 昭和 40 年の前線の状況(7月 3 日 6 時)

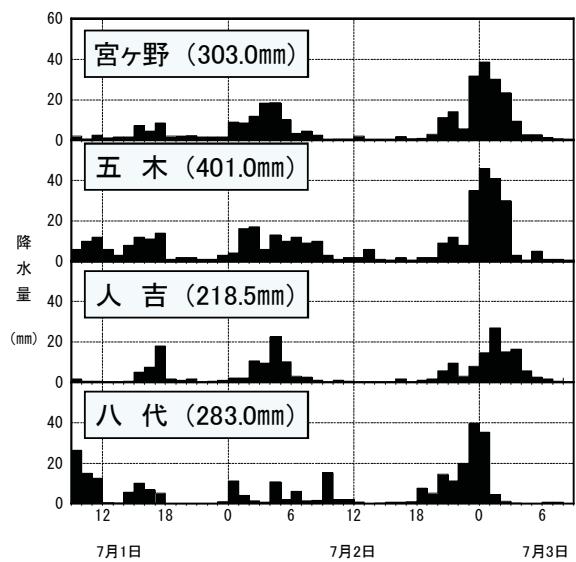


図 2.1.13(1) 降水量の時間分布(昭和 40 年 7 月洪水)
※上記のカッコ内は、2 日雨量を示す。

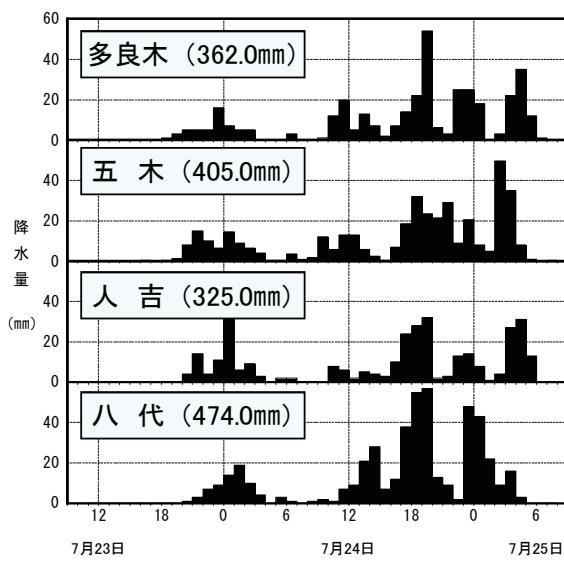


図 2.1.13(2) 降水量の時間分布(昭和 57 年 7 月洪水)
※上記のカッコ内は、2 日雨量を示す。

【台風性の降雨状況】

台風の北上に伴い、九州山地に接する上流域で降雨が多い。特に九州の西岸を北上した場合、短時間降雨・総雨量とも多く、その一方では九州の東岸を北上した場合は比較的少ない傾向にある。

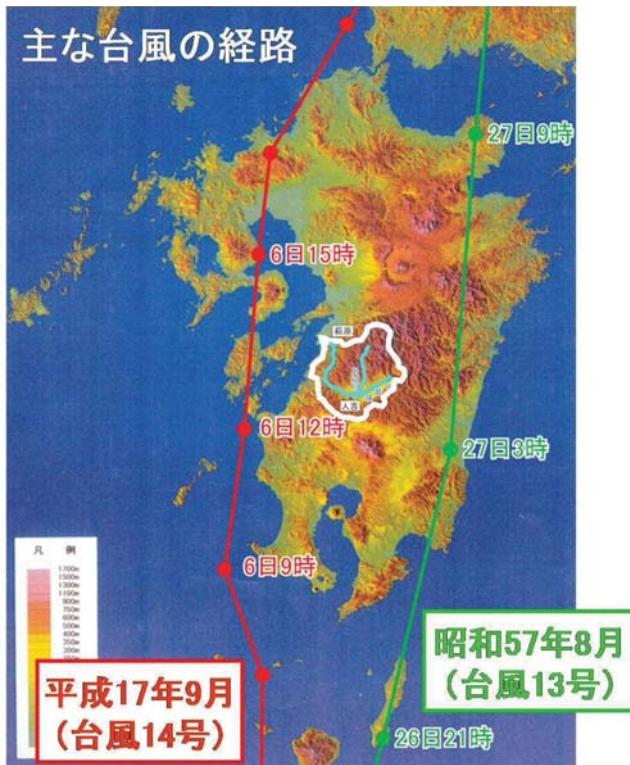


図 2.1.14 主な台風の経路図

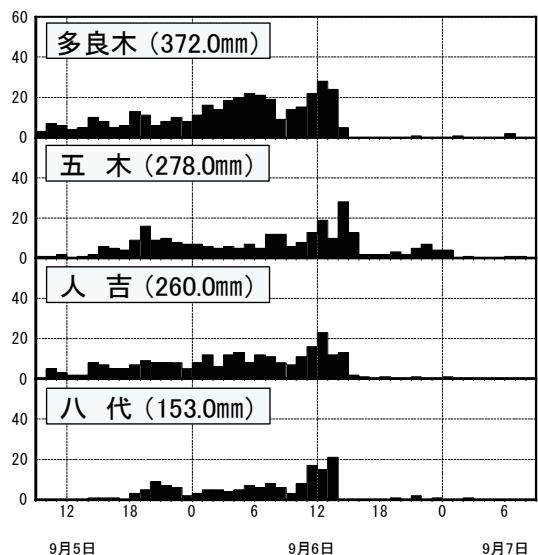


図 2.1.15(1) 降水量の時間分布(平成 17 年 9 月洪水)
(九州西岸を北上した場合)

※上記のカッコ内は、2日雨量を示す。

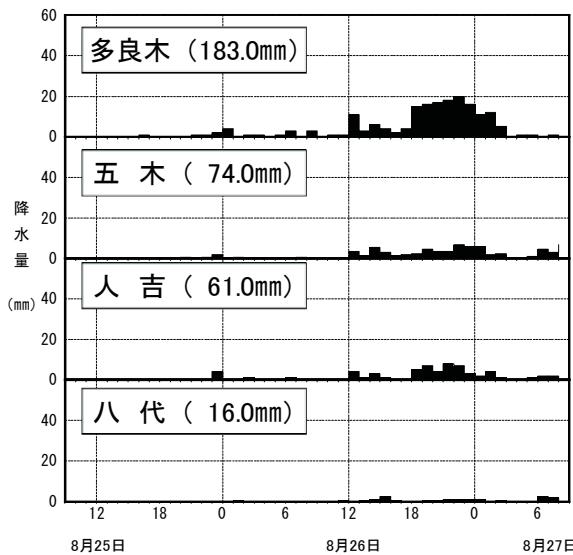


図 2.1.15(2) 降水量の時間分布(昭和 57 年 8 月洪水)
(九州東岸を北上した場合)

※上記のカッコ内は、2日雨量を示す。

2.1.3 河道特性

球磨川は、その源を熊本県球磨郡錫子笠(標高 1,489m)に発し、免田川、小纏川、川辺川、山田川、万江川等を合わせつつ人吉盆地をほぼ西に向かって貫流し、さらに流向を北に転じながら山間の狭窄部を流下し、八代平野に出て、前川、南川を分派して不知火海（八代海）に注ぐ。

球磨川及び最大支川川辺川の上流域は、九州山地に位置しており、周囲を急峻な山々に囲まれている。市房ダムから渡地点に至るまでの上流部における河床勾配は約 1/200～1/600 である。また、渡地点から遙拝堰に至るまでの中流部の山間狭窄部における河床勾配は約 1/300～1/1,000 となり、遙拝堰から河口に至るまでの下流部の八代平野における河床勾配は約 1/1,000～Level となる。

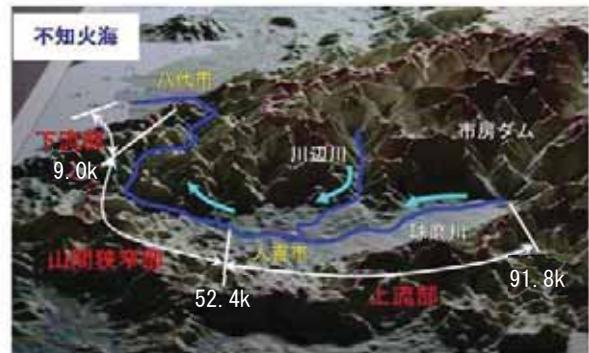


図 2.1.16 球磨川流域の立体地図



図 2.1.17 球磨川水系河道特性図



図 2.1.18(1) 球磨川・川辺川合流付近河道の状況



図 2.1.18(2) 人吉市街地の河道の状況

2.2 令和2年7月4日出水の概要

2.2.1 降雨の状況

令和2年7月3日夜に、梅雨前線が九州北部地方まで北上し、低気圧や前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、九州では大気の状態が非常に不安定となった。八代・芦北～人吉・球磨地方では、7月3日から7月4日にかけて、2日間の雨量が7月の平均雨量に達する大雨となった。

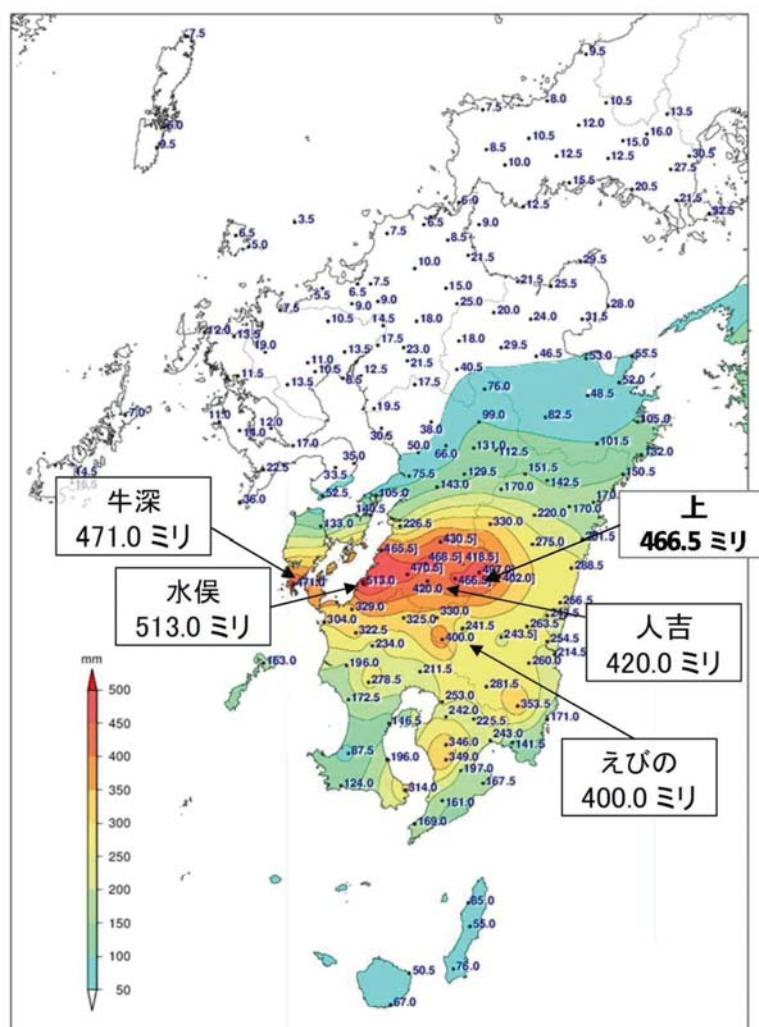


図 2.2.1 令和2年7月豪雨における等雨量線図
※福岡管区気象台HP「災害時気象資料 一令和2年7月3日から4日にかけて
の熊本県・鹿児島県の大気についてー」の資料より抜粋及び一部加筆
出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

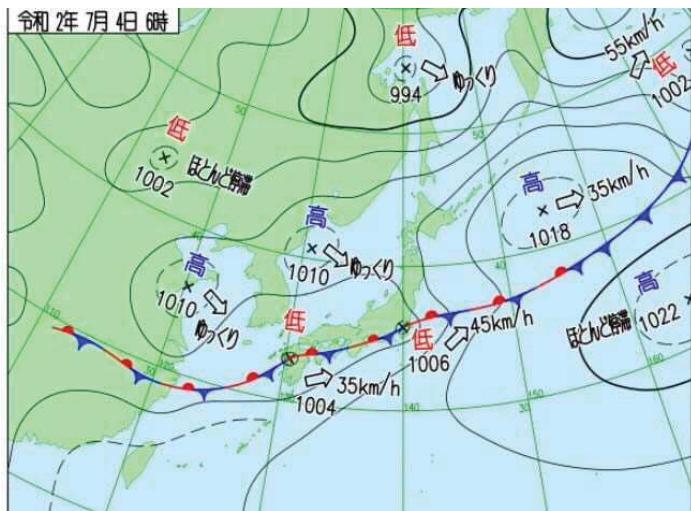


図 2.2.2 令和 2 年 7 月豪雨時の天気図

(7 月 4 日 6 時頃 気象庁HPより)

出典)第 1 回 令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会説明資料

表 2.2.1 令和 2 年 7 月豪雨時の降雨量と平均雨量の比較

雨量観測所	7 月平均値		7/3 0時～7/4 24時
	雨量 (mm)	雨量 (mm)	平年比
人吉 (気)	471.4	420.0	0.89
上 (気)	485.0	466.5	0.96
えびの (気)	798.0	400.0	0.50
水俣 (気)	403.6	513.0	1.27
牛深 (気)	309.7	471.0	1.52

(気象庁 HP 各種データ・資料を参考に作成)

出典)第 1 回 令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

7月4日未明から朝にかけて、球磨川流域では線状降水帯が形成され、時間雨量30mmを超える激しい雨が、8時間にわたって連続して降り続いた。

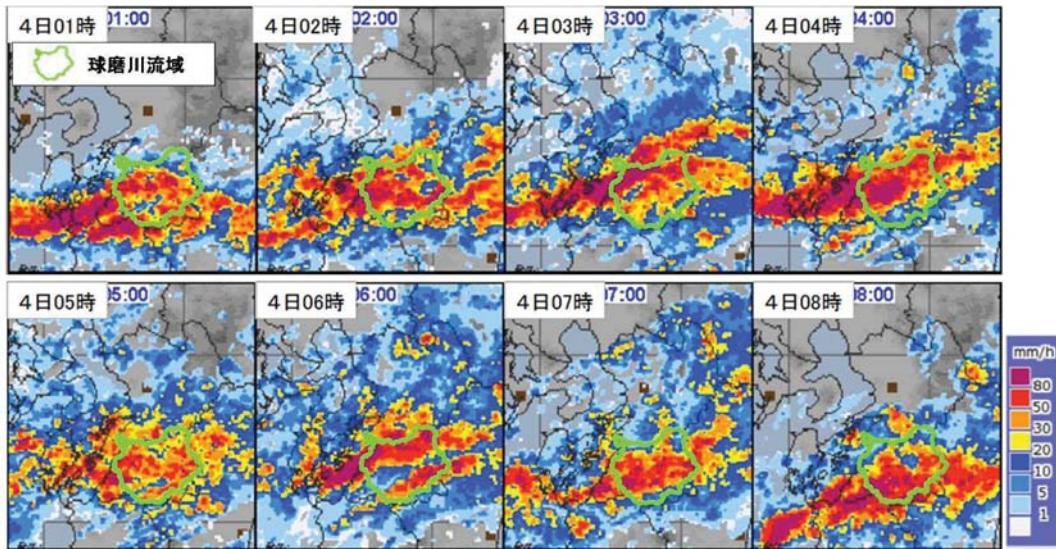


図 2.2.3 雨量レーダ分布図
(「熊本地方気象台 災害時気象資料」より抜粋及び一部加筆)

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

球磨川本川の中流部から上流部及び最大支川の川辺川の各雨量観測所における降雨量は、6時間雨量、12時間雨量及び24時間雨量において、戦後最大の洪水被害をもたらした昭和40年7月洪水や昭和57年7月洪水を上回る記録となった。

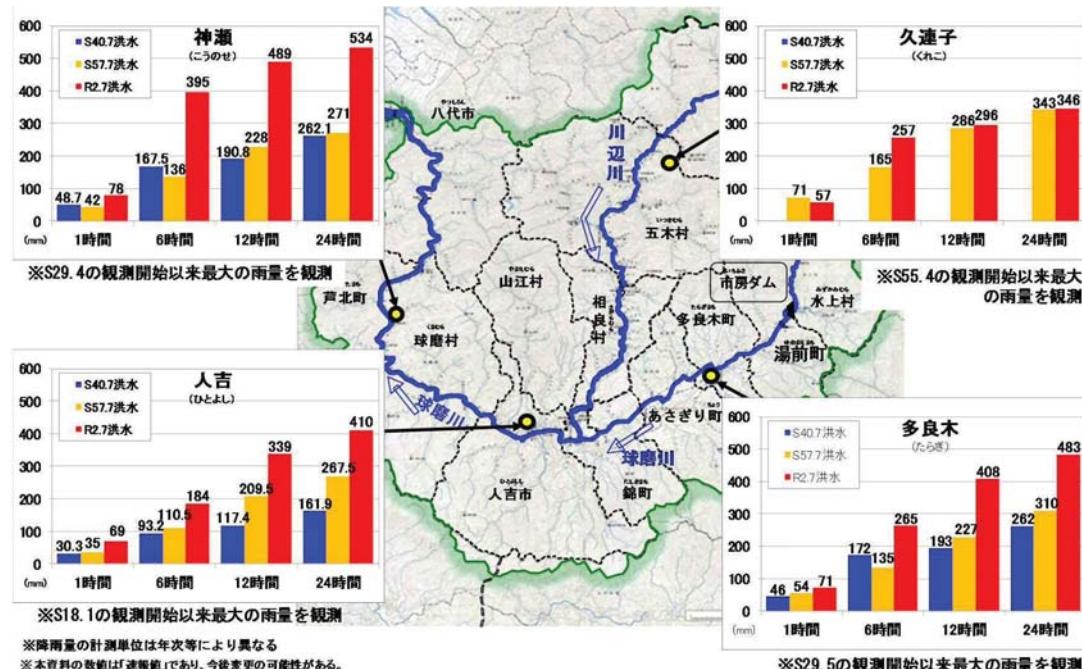


図 2.2.4 観測所雨量

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

24時間等雨量線図においても、球磨川流域の広範囲において、戦後最大の洪水被害をもたらした昭和40年7月洪水や昭和57年7月洪水を上回る降雨であったことが確認できる。12時間雨量でも、人吉上流域及び横石上流域の計画降雨量を超える雨量を記録した。

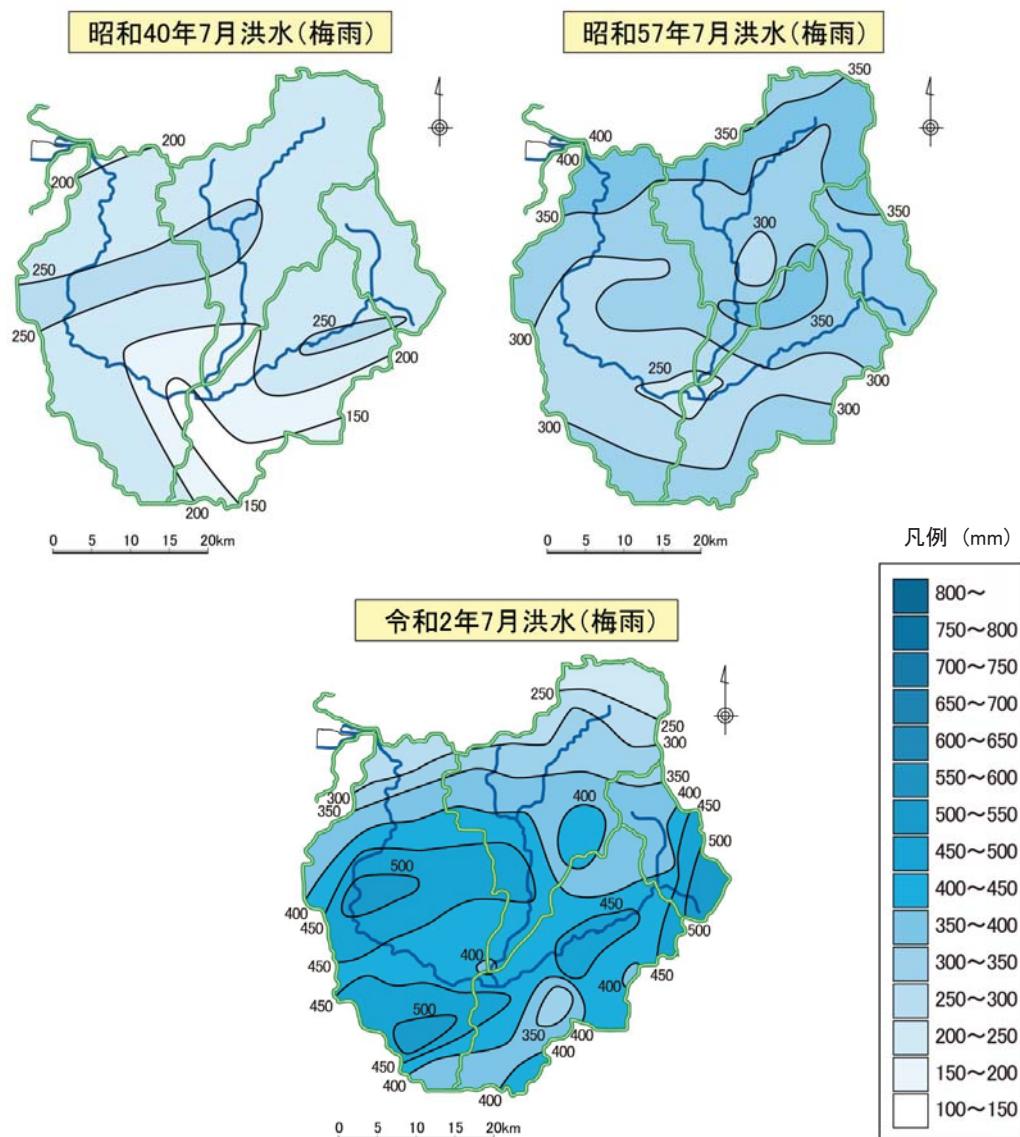


図 2.2.5 令和2年7月豪雨と過去の主要洪水の24時間等雨量線図の比較
出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

表 2.2.2 球磨川水系河川整備基本方針計画雨量と令和2年7月豪雨実績雨量の比較

流域	計画規模	計画降雨量 (mm/12h)	今回の実績雨量 (mm/12h)
人吉上流域	1/80	262	321
横石上流域	1/100	261	347

※雨量については、流域平均雨量。

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

2.2.2 河川水位の状況

今次出水において、球磨川本川では、河口から約13kmに位置する横石観測所（八代市）から、約69kmに位置する一武観測所（錦町）に至る各観測所において計画高水位を超過する水位を記録した。

なお、渡観測所（球磨村）及び人吉観測所（人吉市）では、浸水による故障のために計画高水位超過後に欠測している。



図 2.2.6 国管理区間における水位観測所位置図

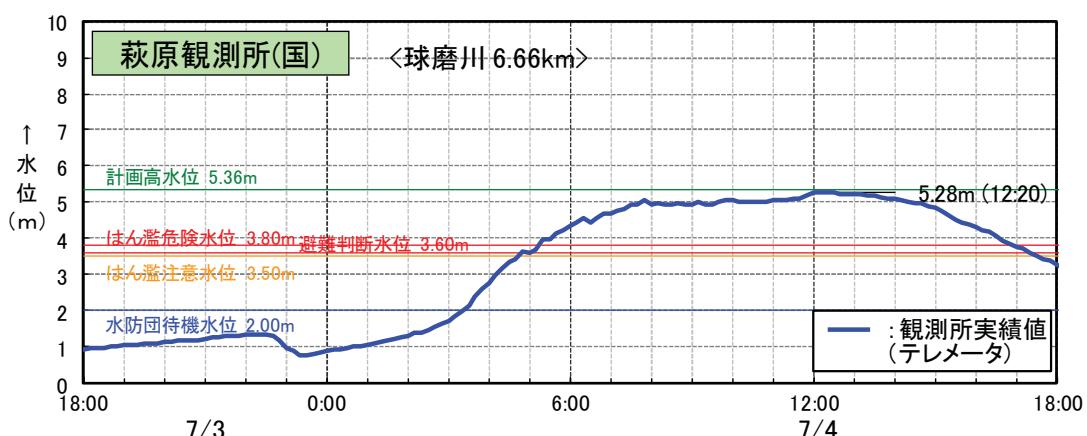


図 2.2.7(1) 国管理区間における水位観測状況

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

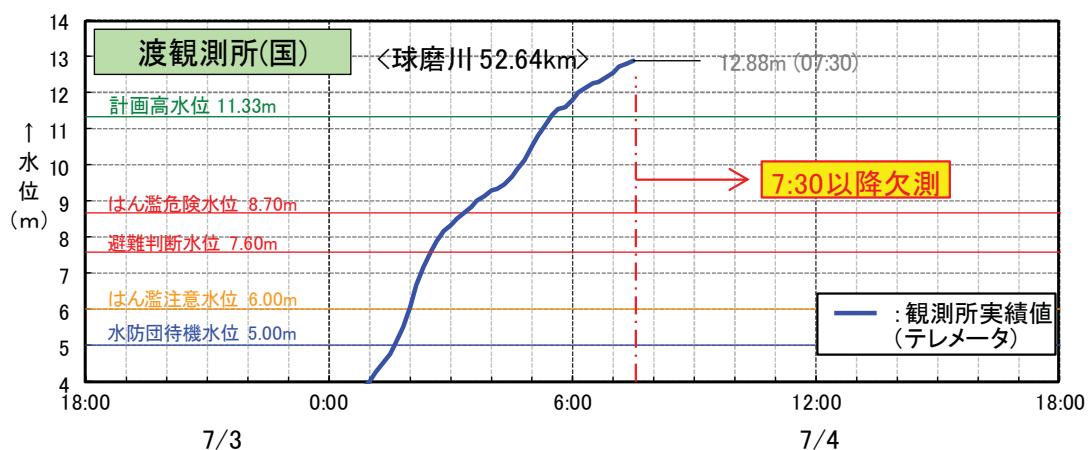
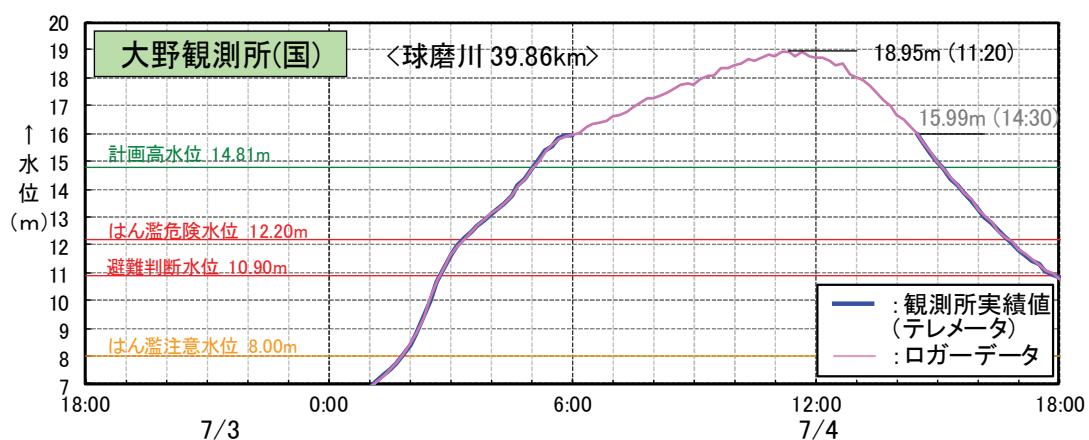
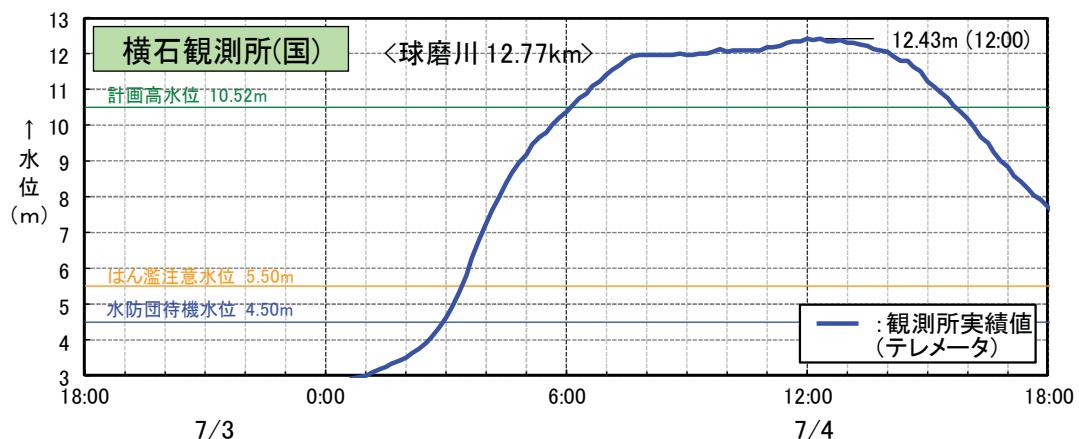


図 2.2.7(2) 国管理区間における水位観測状況

※1 図中のグレー字表記の値はピーク欠測のため参考表示

※2 図中のピンク色波形は、後日ロガーデータで補完したもの
出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

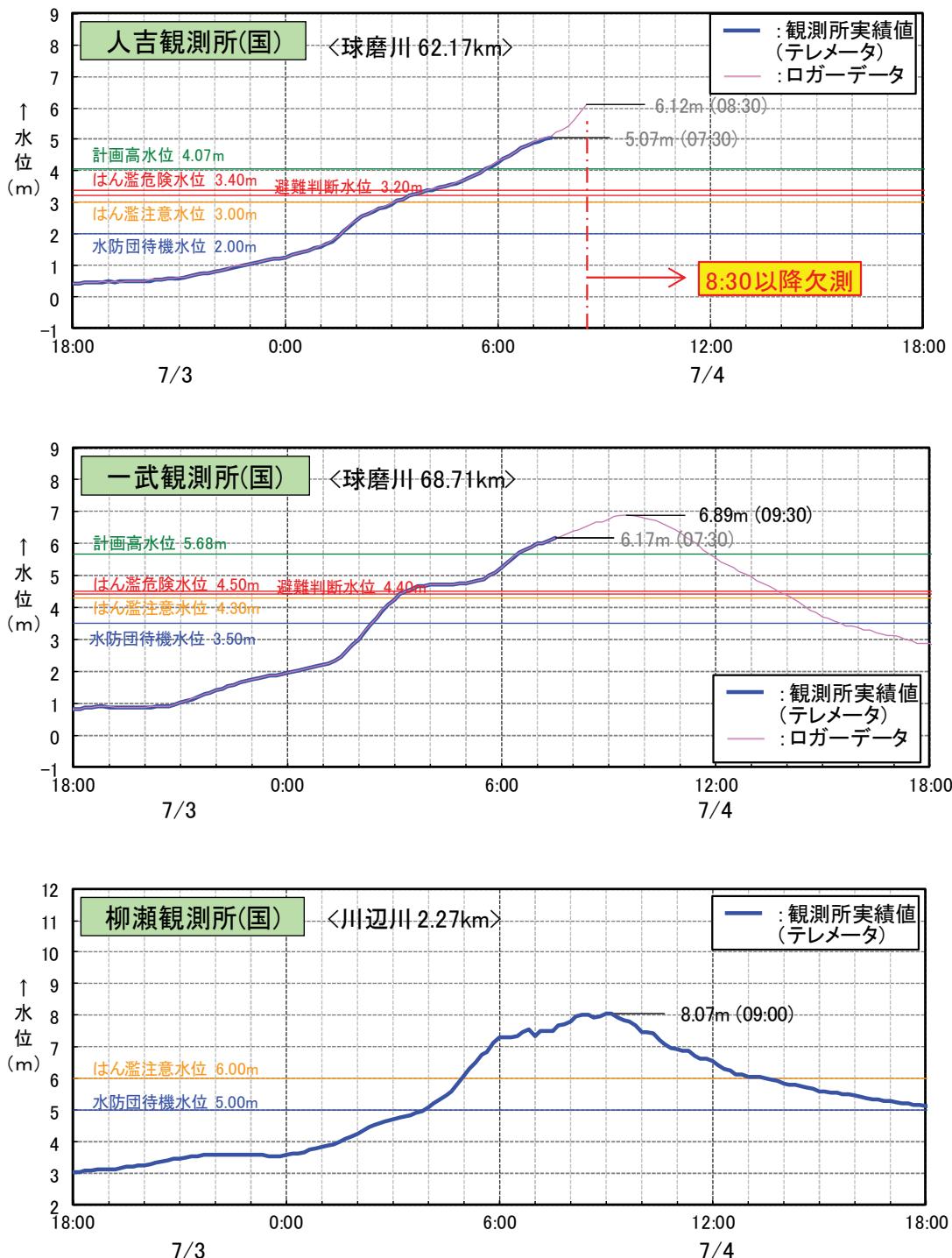


図 2.2.7(3) 国管理区間における水位観測状況

※1 図中のグレー字表記の値はピーク欠測のため参考表示
 ※2 図中のピンク色波形は、後日ロガーデータで補完したもの
 出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

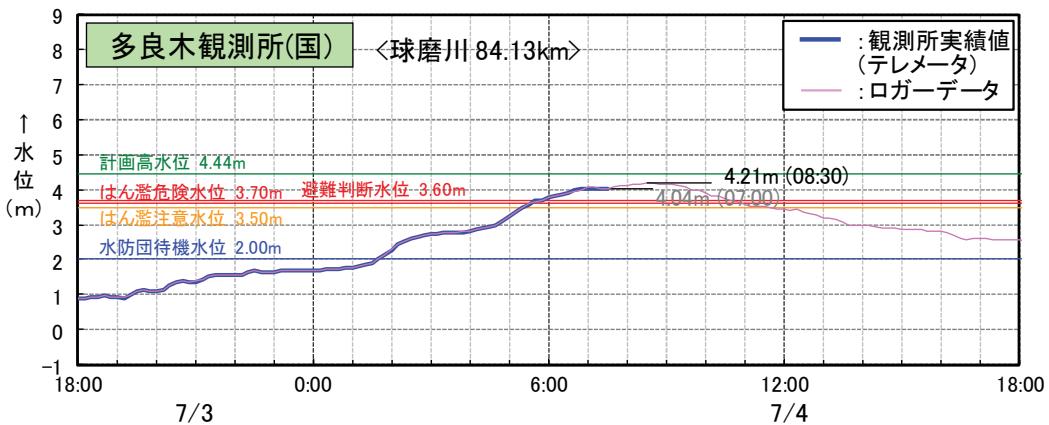


図 2.2.7(4) 国管理区間における水位観測状況

※1 図中のグレー字表記の値はピーク欠測のため参考表示
 ※2 図中のピンク色波形は、後日ロガーデータで補完したもの
 出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

球磨川本川の下流部から中上流部及び支川川辺川（国管理区間）の各水位観測所においては、戦後最大の洪水被害をもたらした昭和40年7月洪水や昭和57年7月洪水を上回る水位を記録し、萩原、渡、人吉、柳瀬では、いずれも観測開始以来最高水位を記録した。

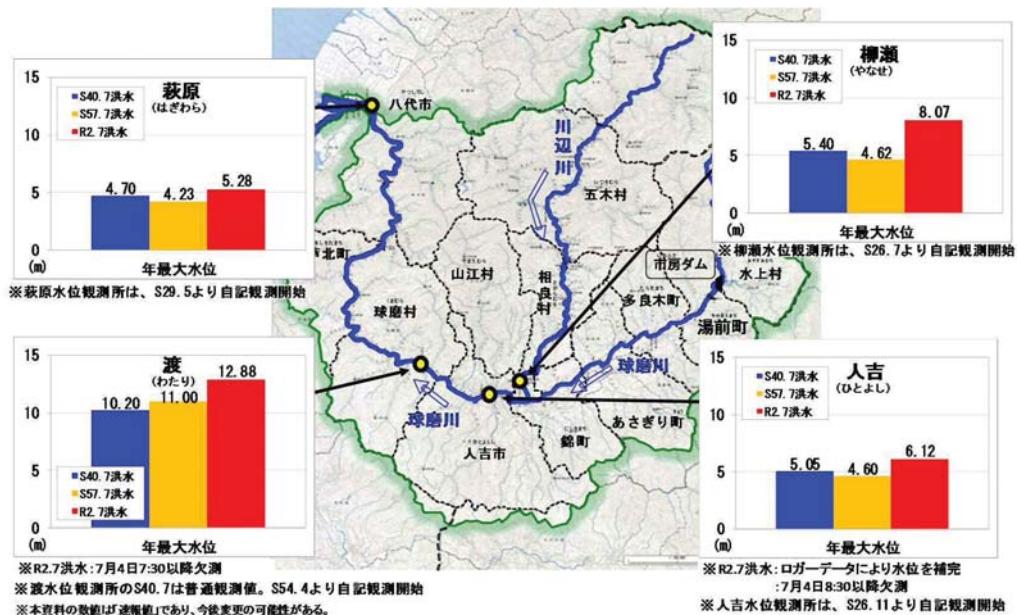


図 2.2.8 主要地点における過去の主要洪水の観測水位との比較

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

2.2.3 被害の概要

球磨川本川上流域の被害は比較的少なかったものの、支川川辺川合流点付近から球磨川中流部では至る所で浸水被害や家屋倒壊が発生し、約1,020ha・約6,110戸^{*1}の浸水被害が確認された。支川川辺川においても、約130ha・約170戸（柳瀬橋上流）^{*2}の浸水被害が発生した。

また、球磨川本川では2箇所の堤防決壊が発生し、橋梁17橋^{*3}の流失など、国道や鉄道などにも甚大な被害が発生した。

*1 人吉市以外の浸水面積、戸数は、ヘリ調査等による浸水範囲に基づき算出した推定値。人吉市の浸水面積については、熊本県調査、浸水戸数については熊本県災害対策本部会議資料に基づき記載。

*2 川辺川（柳瀬橋上流）については、熊本県調査。

*3 橋梁流失の坂本橋と側道橋は1橋として計上。被災橋梁数には支川の橋梁も含む。

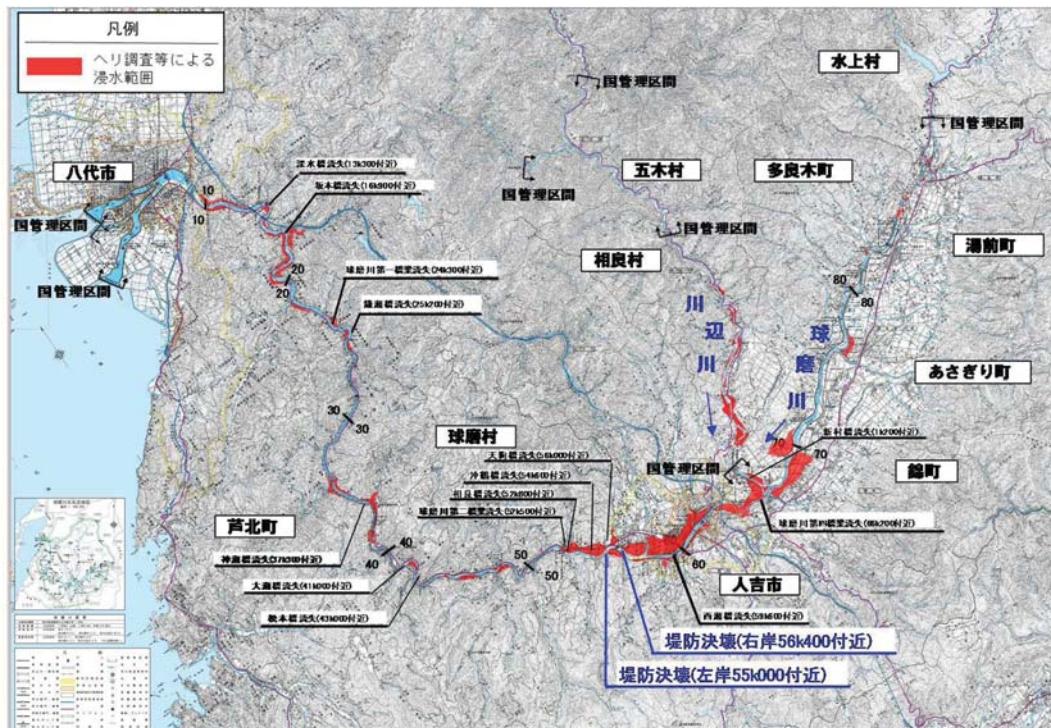


図 2.2.9 令和 2 年 7 月豪雨の被害状況(流域の浸水被害と決壊箇所)

出典)第 1 回 令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

表 2.2.3 令和 2 年 7 月豪雨の浸水被害状況

市町村名	浸水面積 ^{※1} (ha)	浸水戸数 ^{※1} (戸)
人吉市	約518	4,681
錦町	約290	約280
相良村 (柳瀬橋下流) ※2 (柳瀬橋上流)	約90	約260
	約130	約170
球磨村	約70	約290
八代市	約25	約520
あさぎり町	約20	約4
芦北町	約5	約70
合 計 ^{※3}	約1,150	約6,280

※1 人吉市以外の浸水面積、戸数は、ヘリ調査の浸水範囲に基づき算出した推定値。人吉市の浸水面積については、熊本県調査、浸水戸数については熊本県災害対策本部会議資料に基づき記載。

※2 川辺川(柳瀬橋上流)については、熊本県調査。

※3 浸水面積、戸数については、切り上げ等により合計と合わない。

出典)第 1 回 令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会説明資料

球磨村渡地区から人吉市街部にかけて、約 590 ha に及ぶ浸水被害が発生し、4,81 戸の家屋等の浸水が確認された。また、氾濫流の影響により、山間狭窄部入り口付近となる球磨村渡地区から人吉市下薩摩瀬町(約 59km)付近において、家屋倒壊も確認されている。

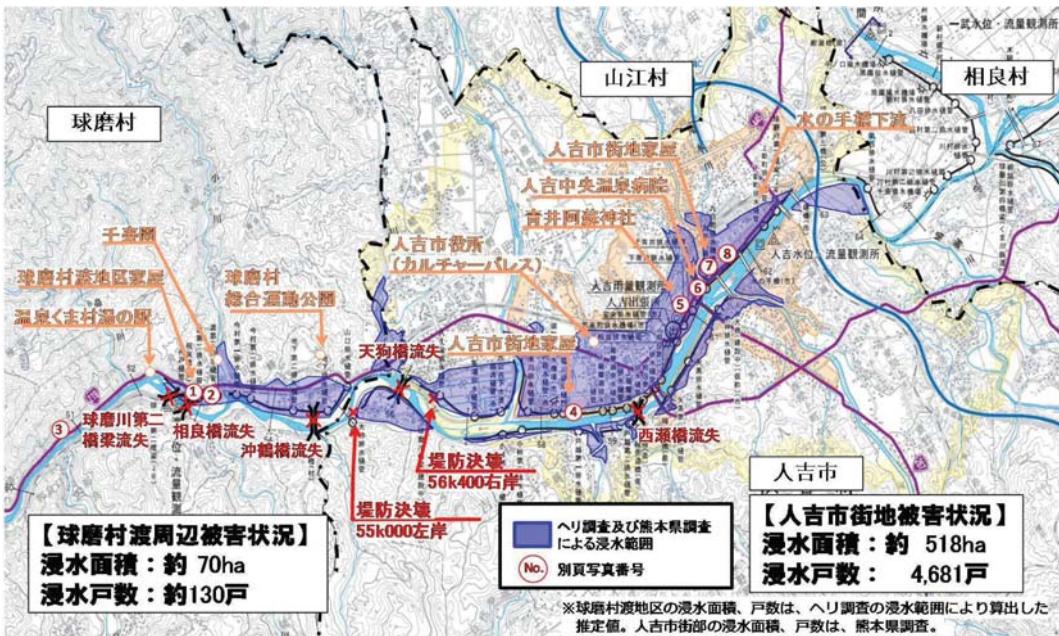


図 2.2.10 令和 2 年 7 月豪雨の被害状況(球磨村渡地区・人吉市街部)

出典)第 1 回 令和 2 年 7 月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。



図 2.2.11(1) 球磨川右岸から約50m離れた場所での家屋倒壊(球磨村渡地区)



図 2.2.11(5) 氷濁流が人吉市街部を流下し
青井阿蘇神社の禊橋の鳥居も水没



図 2.2.11(2) 球磨川右岸から約50m離れた場所での家屋倒壊(球磨村渡地区)



図 2.2.11(6) 建物の一階部分まで浸水
(人吉市紺屋町)



図 2.2.11(3) 土砂流入により国道219号が被災
(球磨村渡地区)



図 2.2.11(7) 高さ3m付近に洪水痕跡を確認
(国道445号通り)



図 2.2.11(4) 堤防の損傷と氾濫流による家屋倒壊が発生(人吉市下薩摩瀬町)



図 2.2.11(8) 堤防を2m程度上回る高さに洪水痕跡を確認(水の手橋下流右岸)

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

人吉市街部にある青井阿蘇神社付近では、S 40.7 洪水時よりも浸水深が約1.5mも大きく、S 40.7 洪水時に浸水が無かった人吉駅や人吉カルチャーパレス、人吉東小学校においても今次洪水時では浸水が確認されており、広範囲の浸水被害となった。

例えば、国宝青井阿蘇神社の洪水痕跡を比較すると、今次洪水は、昭和40年7月洪水を上回り、寛文9年（1669年）洪水と同程度の浸水深であった。

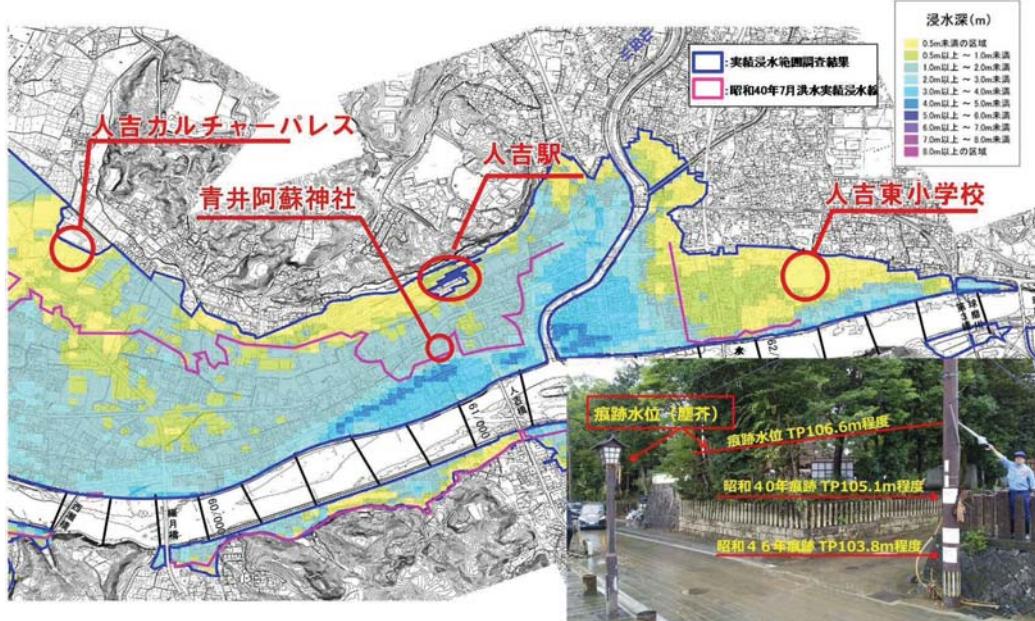


図 2.2.12 令和2年7月豪雨の被害状況(人吉市街部)

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料



図 2.2.13 令和2年7月豪雨の被害状況(国宝青井阿蘇神社)

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

令和2年7月豪雨による県内の犠牲者は65名であり、その内、球磨川流域の犠牲者は50名と推測され、全体の77%を占める。

死因は、49名が溺死（疑いも含む）、1名が多発外傷となっており、市町村別では、球磨村が最も多く25名、人吉市が20名であった。

犠牲者は、65歳以上の高齢者が86%、また、75歳以上の高齢者が70%（35名）であった。

表 2.2.4 令和2年7月豪雨による人的被害者数(市町村別)

	全体	うち 球磨川流域
球磨村	25	25
人吉市	20	20
芦北町	11	1
八代市	4	4
津奈木町	3	0
山鹿市	2	0
合計	65	50

※犠牲者数については、熊本県災害対策本部会議資料（熊本県警察本部提供資料）を基に記載。

※球磨川流域の犠牲者数については、熊本県災害対策本部資料（熊本県警察本部提供資料）の「住所」と「死因」等から推測

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

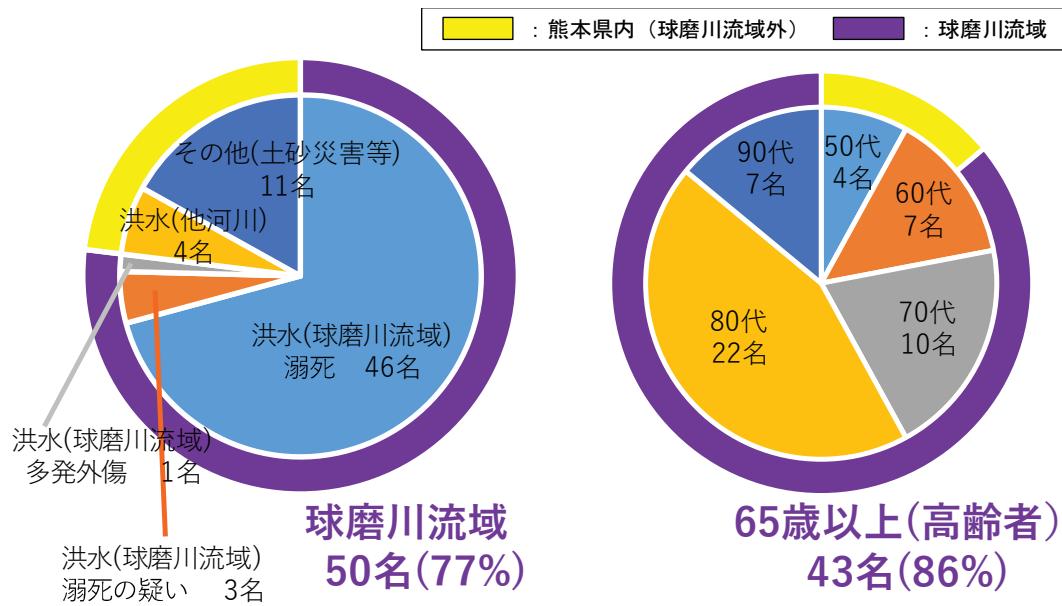


図 2.2.14 令和2年7月豪雨による人的被害の内訳
出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

球磨川本川の被災は、主に川辺川合流点より下流で発生しており、国管理区間で災害復旧事業としての対応が必要な管理施設被災としては、堤防決壊2箇所、堤防損傷10箇所、護岸欠損17箇所、排水施設3箇所、排水機場1箇所などの全36箇所で確認されている。

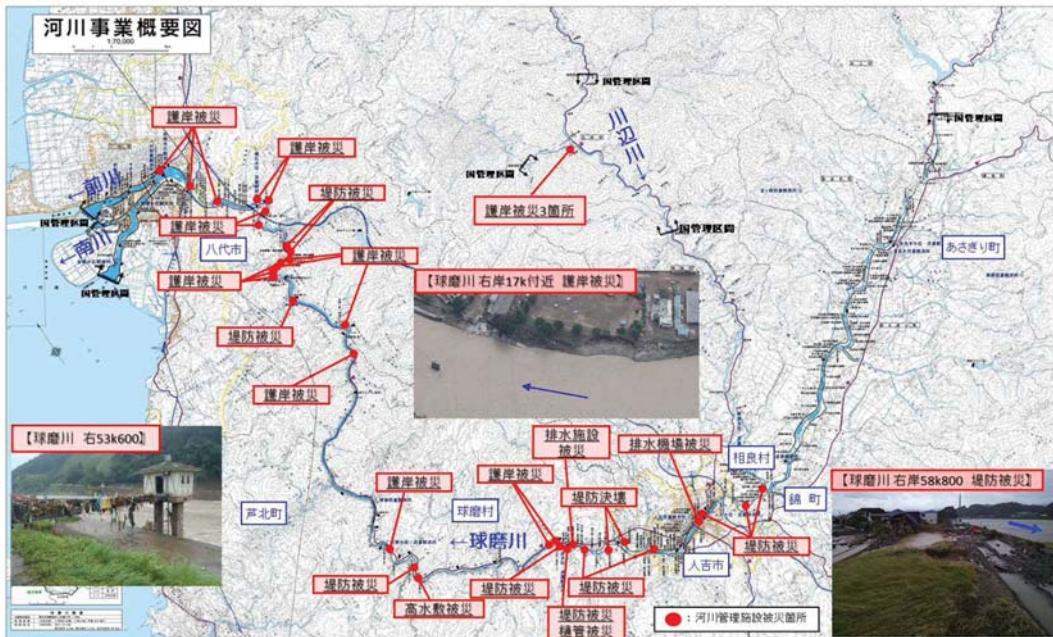


図 2.2.15 球磨川の国管理区間の河川管理施設被災状況

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料



図 2.2.16 大柿排水樋管付近堤防決壊状況(55km 左岸付近)

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料



図 2.2.17 八久保排水樋管付近堤防決壊状況(56km4 右岸付近)

出典)第1回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「速報値」であり、今後変更の可能性がある。

3. 55.0k左岸、56.4k右岸の堤防決壊原因について

堤防決壊 2箇所で発生した事象を現地調査等に基づき整理するとともに、出水時の状況を再現した水理解析結果等をもとに、堤防が決壊に至った原因を特定する。

3.1 一般的な堤防決壊の原因

一般的な堤防決壊の原因は、「河川水の越水による堤防決壊」、「河川水の浸透による堤防決壊」、「河川水の河岸侵食・洗掘による堤防決壊」の3形態に大別される。また、これらの複合的な原因により決壊に至ることもある。

3.1.1 河川水の越水による堤防決壊

河川水の越水による堤防決壊は、以下のようなプロセスで生じる。

- ・河川水が堤防を越流する。
- ・堤防を越流した水の勢いによって堤内側の法尻が洗掘される。
- ・堤防の裏法尻や裏法が洗掘され、最終的に堤防決壊に至る。

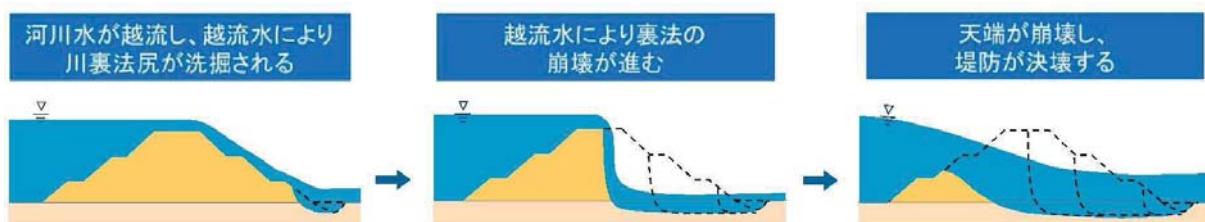


図 3.1.1 越水による堤防決壊のイメージ図

3.1.2 河川水の浸透による堤防決壊

河川水の浸透による堤防決壊は、破壊形態から「パイピング破壊」と「浸透破壊」の二つに分けられる。

1) パイピング破壊

パイピング破壊は、以下のようなプロセスで生じる。

- ・上昇した河川水位により地盤内に水が浸透し、堤防に隔てられた堤外側の水位と堤内側の水位との差によって、堤内側の地盤から土砂が噴出し、水みちができる。
- ・土砂の流出が続き、水みちが拡大し、堤防が落ち込み、最終的に堤防決壊に至る。



図 3.1.2 パイピング破壊による堤防決壊のイメージ図

2) 浸透破壊

浸透破壊は、以下のようなプロセスで生じる。

- ・降雨や上昇した河川水位により水が浸透し、堤防内の水位が上昇する。
- ・堤体内の水位が上昇することで、土の強さ（せん断強度）が低下し、堤内側の法面がすべり、最終的に堤防決壊に至る。



図 3.1.3 浸透破壊による堤防決壊のイメージ図

3.1.3 河川水の侵食・洗掘による堤防決壊

河川水の侵食・洗掘による堤防決壊は、以下のようなプロセスで生じる。

- ・河川流水により堤防の堤外側が侵食・洗掘される。
- ・河川流水による侵食・洗掘が続き、最終的に堤防決壊に至る。

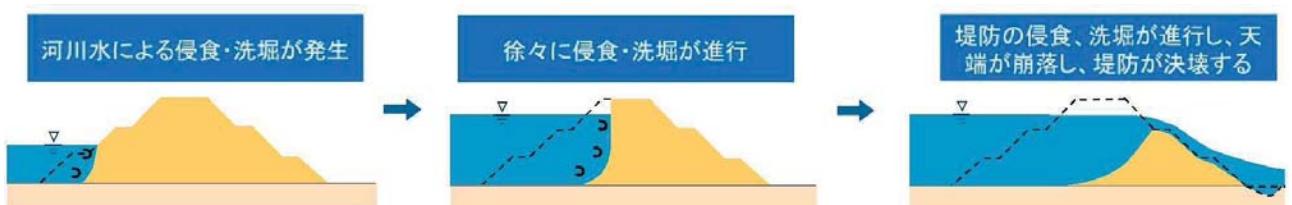


図 3.1.4 侵食・洗掘による堤防決壊のイメージ図

出典) 阿武隈川上流堤防調査委員会報告書 令和 2 年 6 月 阿武隈川上流堤防調査委員会 P3-9～P3-10

3.2 決壊箇所周辺の被災状況

3.2.1 球磨川右岸 56.4k 付近（八久保排水樋管）

1) 決壊箇所の概要

球磨川右岸 56.4k 付近の堤防決壊箇所は紅取橋下流に位置し、決壊箇所下流は山付きの地形であり、決壊地点に比べて上流側と下流側の堤内地盤高が高くなっている。決壊はその山付き地形の直上流に位置する八久保排水樋管周りの堤防で約 30m の範囲で発生した。



図 3.2.1 決壊箇所位置図



図 3.2.2 決壊箇所拡大図

航空写真の撮影時刻から、7月4日15時の時点で堤防は決壊しており、堤内側に溜ま
った氾濫水が堤内側から堤外側へ流出している様子が確認できる。



図 3.2.3 決壊箇所の航空写真

2) 決壊箇所の状況

図 3.2.4 から、本川水位が低下し堤内側の水が排水されている状況が確認できる。決壊箇所には堤防天端のアスファルトや堤体材料と思われる土砂が堤外側に飛散している。また、排水のために設置されたポンプ配管や発電機が見られる。

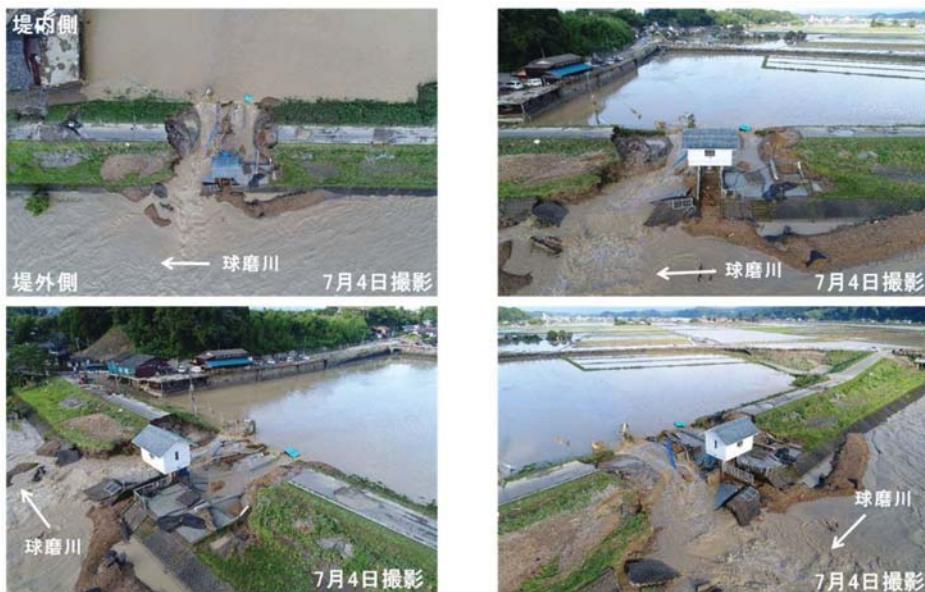


図 3.2.4 上空から見た決壊箇所の状況

出水時点の最大水位は、決壊地点での電柱等の付着物から推定された洪水痕跡より、少なくとも堤防天端から計って 2m 以上であったことが確認できる。



図 3.2.5 決壊箇所の痕跡水位

決壊箇所周辺の植生の状況から、堤内側の植生は上向きや決壊箇所に向けて倒伏し、堤外側の植生は下向きに倒伏していることが確認できる。また、決壊箇所周辺では、堤内側の堤防法面にも侵食の痕跡が確認できる。

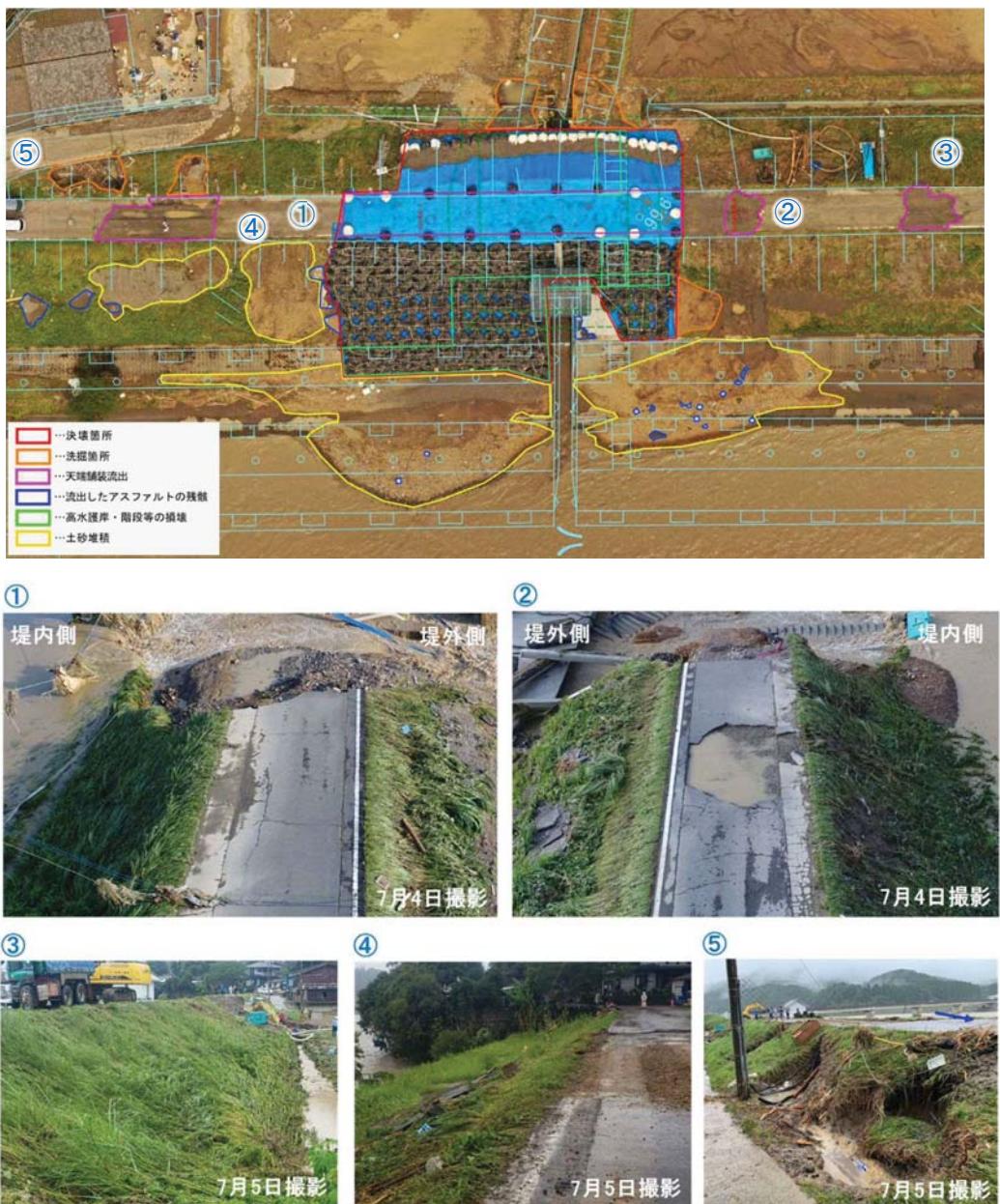


図 3.2.6 決壊箇所の流向痕跡

決壊箇所の上流側と下流側の断面を図 3.2.7 に示す。

今回実施した地質調査の結果、堤体土の土質はどちらも「細粒分質砂質礫」に分類され、上流側断面の方が細粒分含有率は高い。（上流側 $F_c=33.1\%$ 、下流側 $F_c=16.4\%$ ）

上流側断面



7月5日撮影

下流側断面



7月5日撮影

図 3.2.7 決壊箇所横断面の土質状況

3) 応急復旧

決壊後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している。



図 3.2.8 応急復旧工事状況

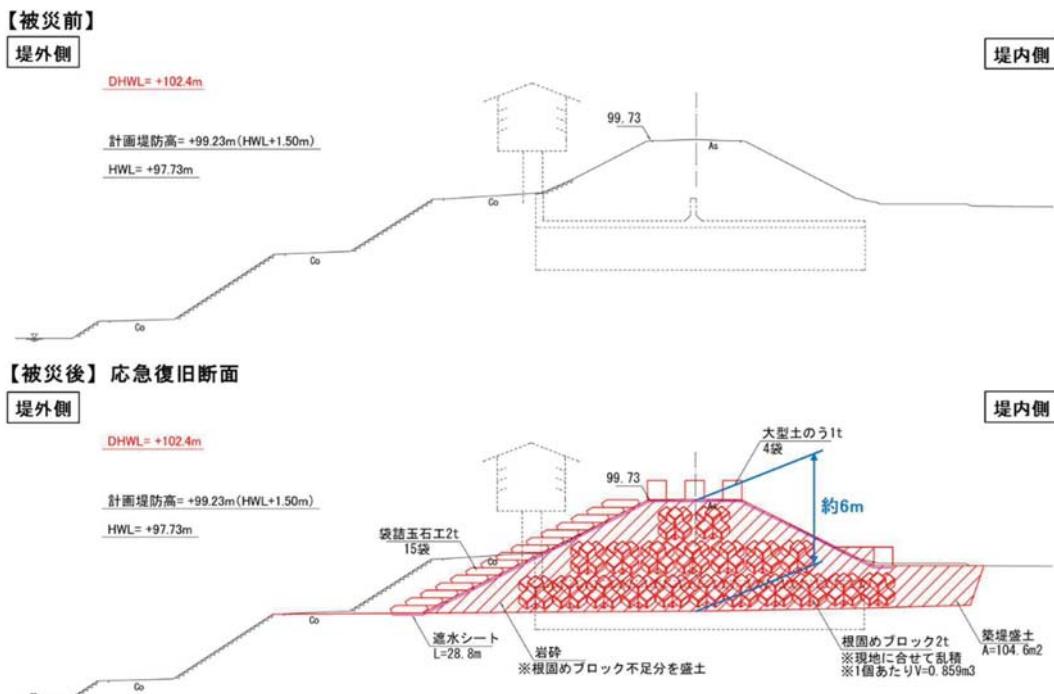


図 3.2.9 応急復旧工事横断図

4) 洪水痕跡調査

(1) 聞き取り調査

洪水痕跡調査の一環として、地域住民の方に聞き取り調査を行った。その結果、得られた証言を以下に整理する。

【聞き取りによる証言】

7月4日（土）時間不明：万江川より越水が始まり、八久保樋管方向へ流下

7時前頃：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。

7:30頃：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。）

8:30～9:30頃：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。

9:30頃：辺り一帯は湖のようであった。

14:30頃：水が引くのも早く、市内に行けるようになる。

・河川から越水した際には、堤防は決壊していなかった。

・決壊の状況は、避難していたため、確認していない。

住民提供映像の写真を下に示す。（図3.2.10(1) 地点（ア）付近にて撮影）

7:30頃に堤外側から堤内側へ越水しているが、この時点では堤防が決壊していないことが確認できる。

7月4日 7:30頃（住民提供映像）



7月4日 7:30頃（住民提供映像）



7月4日 9:30頃（住民提供映像）



(2) 流向痕跡

聞き取り調査に加えて、決壊地点周辺の流向痕跡調査を行い、洪水時の流向を整理した。洪水痕跡の状況から、氾濫域上流（万江川右岸側）の堤防を越水した氾濫流が氾濫ブロックの下流側へ向かって流下し、決壊箇所付近に集中したことが確認できる。

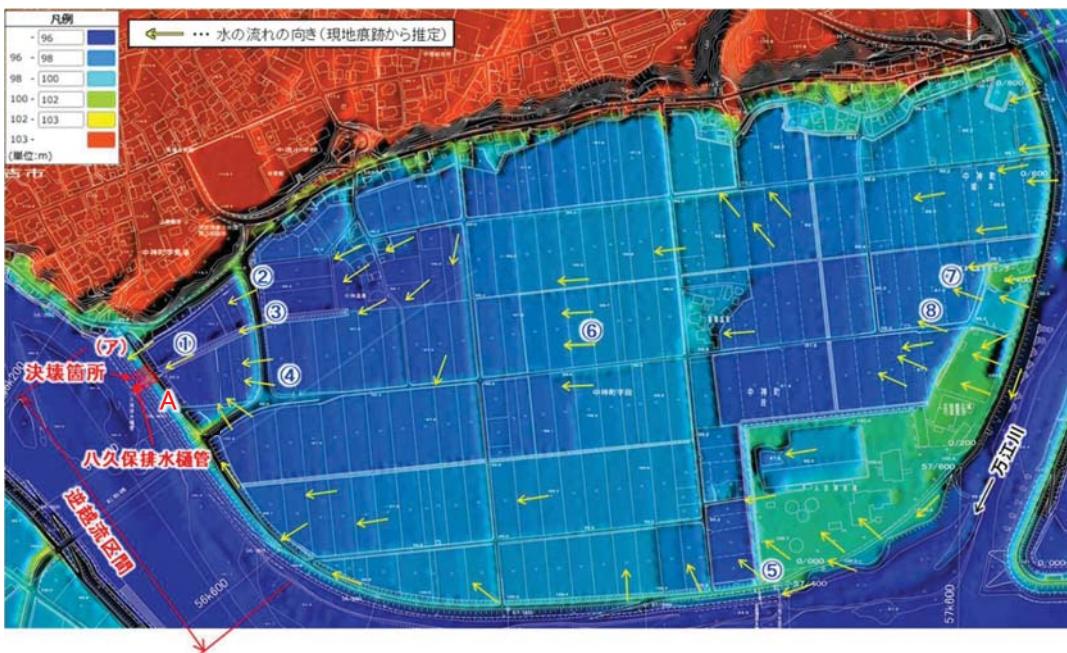


図 3.2.10(1) 決壊箇所周辺の流向



図 3.2.10(2) 決壊箇所の流向痕跡(地点 A)

決壊地点周辺の流向痕跡調査から得られた洪水痕跡の状況を図 3.2.11 に示す。
なお、写真に付す番号は、図 3.2.10(1)の平面図に記載した位置である。



図 3.2.11 決壊箇所周辺の流向痕跡

(3) 痕跡水位

決壊地点周辺の痕跡水位調査を実施した。ピーク時には堤内側と堤外側の水位は、同程度となり、A-A' 断面の位置では堤防天端から約 3m の氾濫水深が発生していたことが確認された。

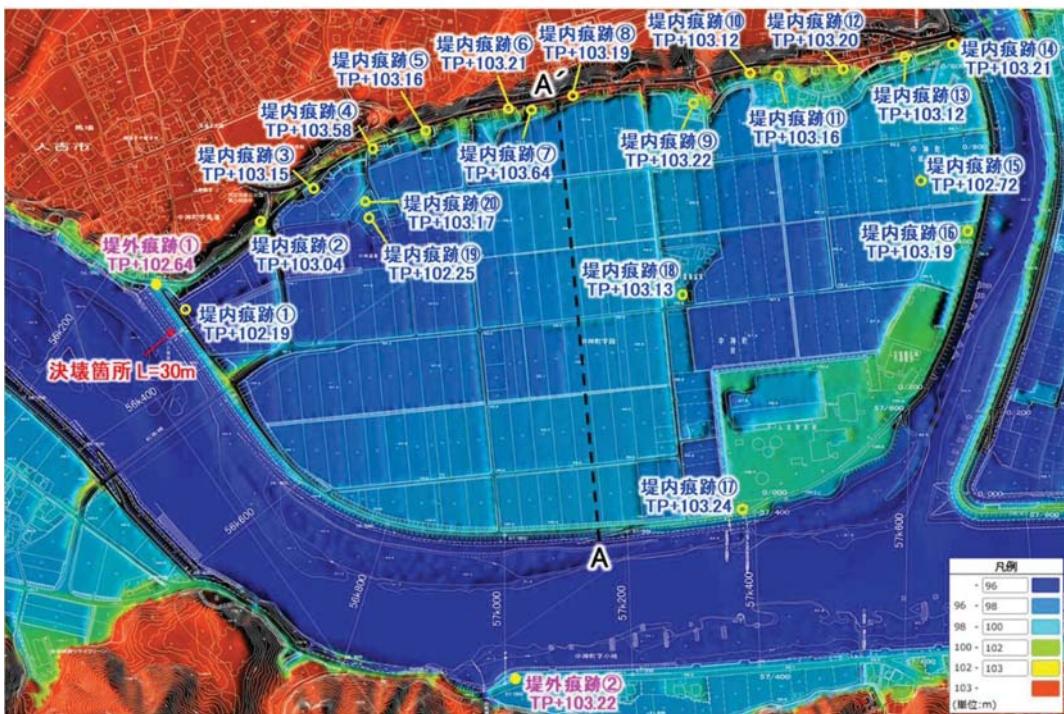


図 3.2.12(1) 決壊箇所周辺の痕跡水位平面図

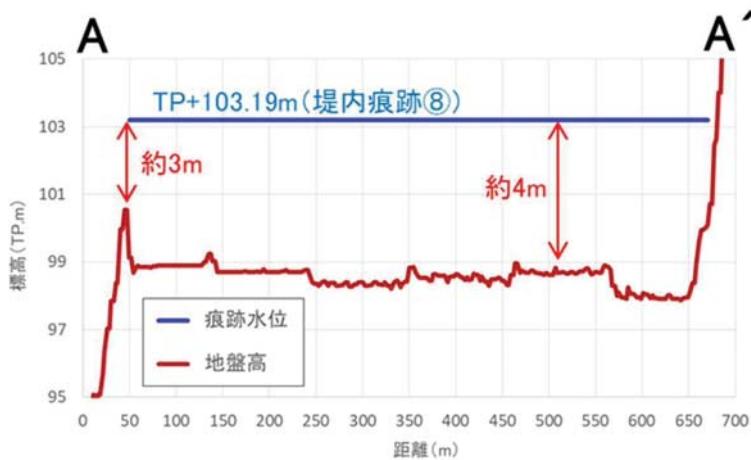


図 3.2.12(2) 決壊箇所周辺の痕跡水位縦断図 (A-A' 断面)

決壊地点周辺の痕跡水位調査から得られた洪水痕跡の状況を図 3.2.13 に示す。
なお、写真に付す痕跡番号は、図 3.2.12(1)の平面図に記載した位置である。

堤外痕跡①



堤内痕跡①



堤外痕跡②



堤内痕跡②



堤内痕跡⑦



図 3.2.13 痕跡水位調査写真

5) 再現解析結果

後述する再現解析より得られた 56.4k 右岸（八久保排水樋管地点）の内外水位波形を図 3.2.14 に示す。これより、外水位が堤防高を越えた直後に内水位が外水位を越えて逆越流が始まり、その状態が長時間継続したものと推定される。

洪水痕跡調査で示したように、流向の痕跡調査や住民が撮影した画像から、氾濫流は堤内側から堤外側へ向けて流れていることが確認されており、この逆越流時に 56.4k 右岸の決壊が生じたと考えられる。

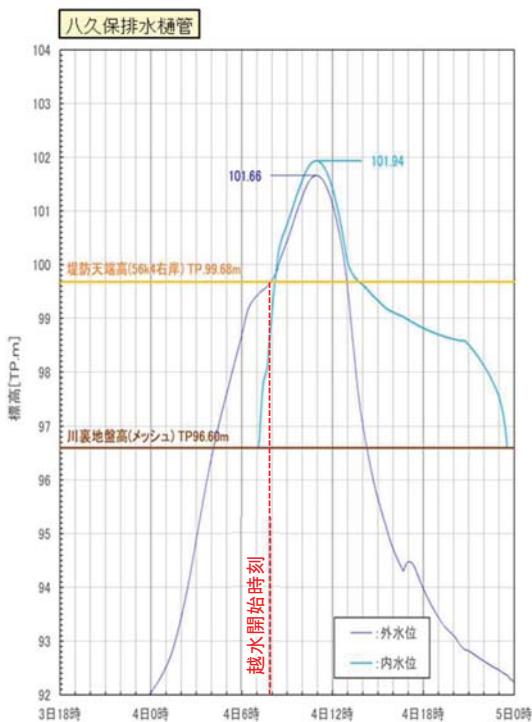


図 3.2.14 再現解析による内外水位波形(八久保排水樋管地点)

※再現解析の概要は、「3.5 出水時の再現解析」にて説明する。

3.2.2 球磨川左岸 55.0k 付近（大柿排水樋管）

1) 決壊箇所の概要

堤防決壊箇所は球磨川左岸 55.0k 付近で、決壊箇所下流は、山付きの地形であり、決壊地点に比べて下流側の堤内地盤高が高くなっている。決壊はその山付き地形の直上流に位置する大柿排水樋管の上流部の堤防で約 10m の範囲で発生した。



図 3.2.15 決壊箇所位置図



図 3.2.16 決壊箇所拡大図

航空写真的撮影時刻から、7月4日15時の時点で堤防は決壊しており、堤内側に溜まった水が堤内側から堤外側へ流出していることが確認できる。



図 3.2.17 決壊箇所の航空写真

出水時のピーク水位は、決壊地点付近の電柱等に付着した洪水痕跡より少なくとも堤防天端から4m程度の水位であったことが確認できる。



図 3.2.18 現地の洪水痕跡の状況

2) 決壊箇所の状況

図 3.2.19 から、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堤外側の高水敷に飛散していることが確認される。



図 3.2.19 上空から見た決壊箇所の状況

図 3.2.20 より、堤内側から堤外側へ帯状に流向跡が残っていること、河川内の樹木が堤外側へ倒伏していること、堤内側の堤防法尻に落堀が見られないこと、などが確認される。

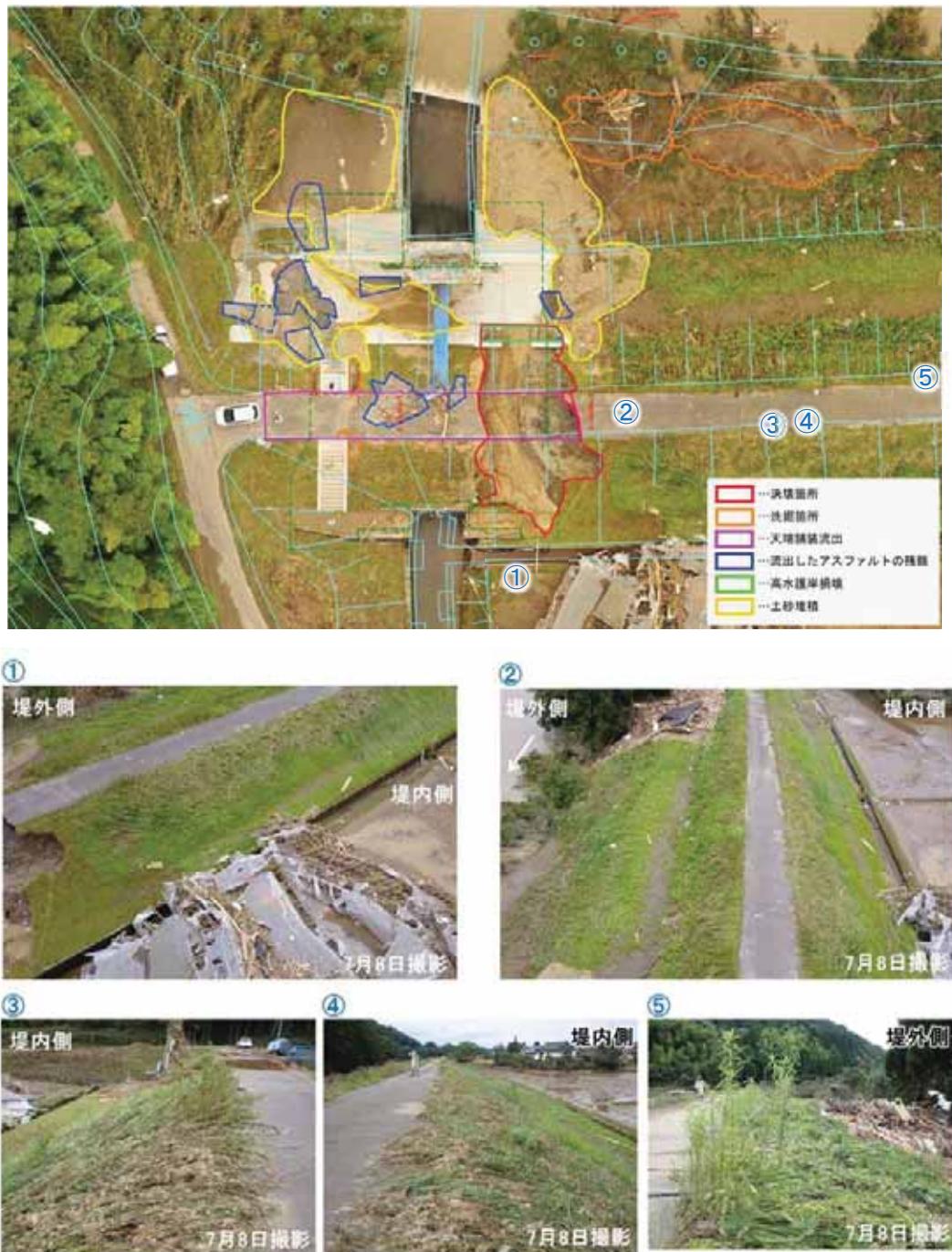


図 3.2.20 決壊箇所の流向痕跡

決壊箇所の下流側と上流側の断面を図 3.2.21 に示す。

下流側の断面は、置き換え工事の堤体土で、上流側の断面は、元々の旧堤体土である。

今回実施した地質調査の結果、下流側の置き換え土は「砂混じり礫」、上流側の旧堤体土は「細粒分質砂質礫」にそれぞれ分類される。



図 3.2.21 決壊箇所横断面の土質状況

3) 応急復旧

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している。



図 3.2.22 応急復旧工事状況

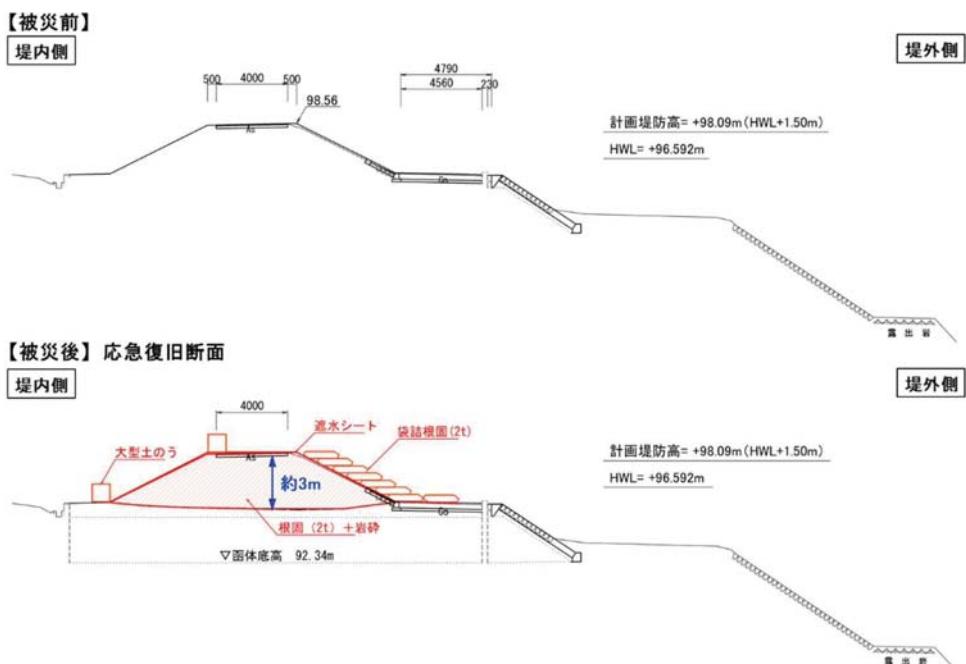


図 3.2.23 応急復旧工事横断図

4) 洪水痕跡調査

(1) 聞き取り調査

洪水痕跡調査の一環として、地域住民の方に聞き取り調査を行った。その結果、得られた証言を以下に整理する。

【聞き取りによる証言】

7月4日（土）5時から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。

55.0k 左岸（大柿排水樋管地点）は、56.4k 右岸のように映像がないため、正確な越水開始時刻は不明であるが、地域住民の証言によると 5 時から 6 時頃であった。

56.4k 右岸の越水開始時刻については、映像より 7:30 頃であったことが分かっていることから、55.0k 左岸の方が先に越水が始まったものと推定される。

また、再現解析（図 3.2.14、図 3.2.28）からも、55.0k 左岸の方が 56.4k 右岸より早かったことが確認できる。

(2) 流向痕跡

聞き取り調査に加えて、決壊地点周辺の流向痕跡調査を行い、洪水時の流向を整理した。洪水痕跡の調査結果によれば、堤防を越水した氾濫水が氾濫ブロックの下流方向に向かって流下し、堤防決壊箇所付近に集中したことが確認できる。

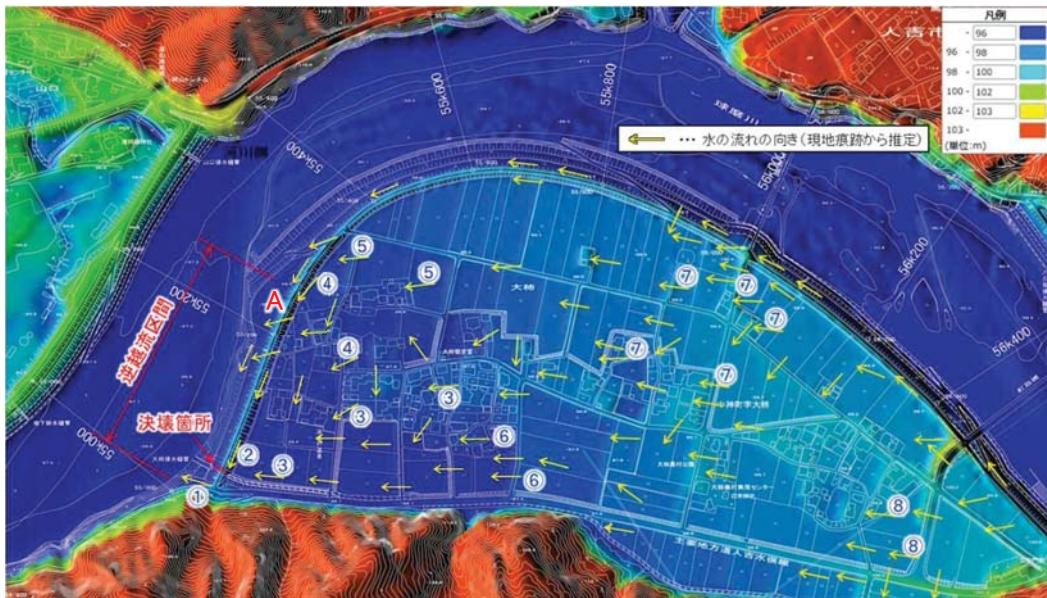


図 3.2.24(1) 決壊箇所周辺の痕跡平面図



図 3.2.24(2) 逆越流区間の流向痕跡(地点 A)

決壊地点周辺の流向痕跡調査から得られた洪水痕の状況を図 3.2.25 に示す。
なお、写真に付す番号は、図 3.2.24(1)の平面図に記載した位置である。



図 3.2.25 決壊箇所周辺の流向痕跡

(3) 痕跡水位

決壊地点周辺の痕跡水位調査を実施した。ピーク時には堤内側と堤外側の水位は、同程度となり、A-A' 断面の位置では堤防天端から約 3m の氾濫水深が発生していたことが確認された。

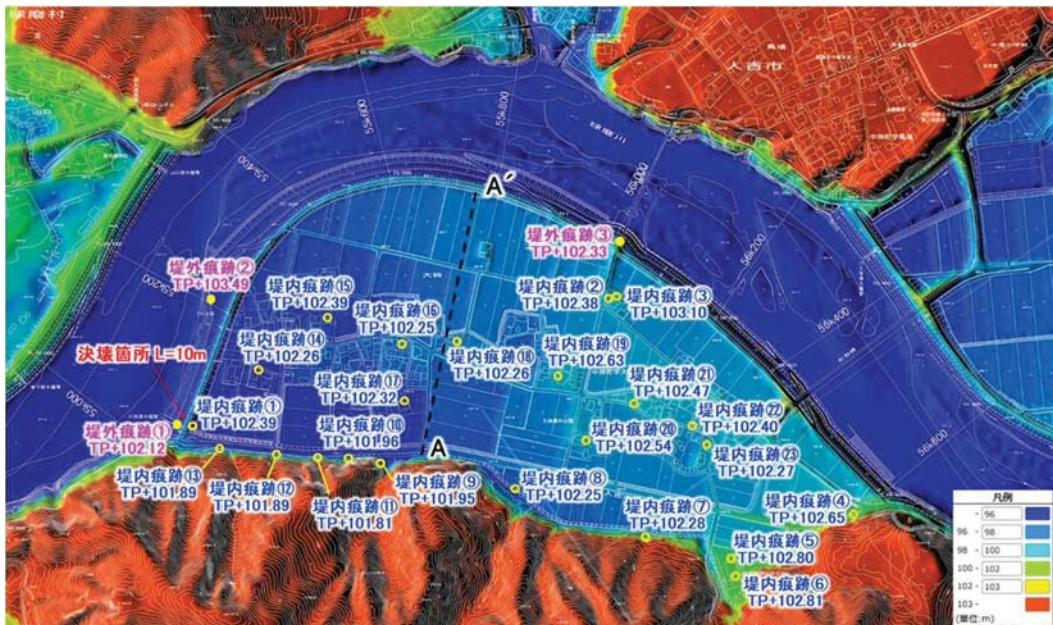


図 3.2.26(1) 決壊箇所周辺の痕跡水位平面図

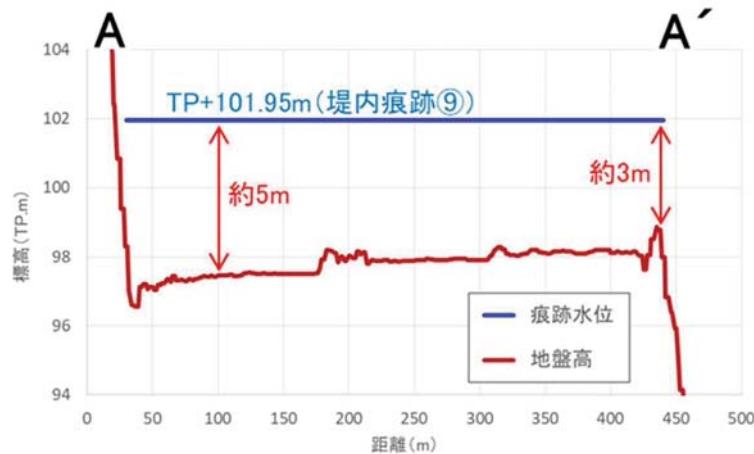


図 3.2.26(2) 決壊箇所周辺の痕跡水位縦断図(A-A' 断面)

決壊地点周辺の痕跡水位調査から得られた洪水痕跡の状況を図 3.2.27 に示す。
なお、写真に付す痕跡番号は、図 3.2.26(1)の平面図に記載した位置である。



図 3.2.27 痕跡水位調査写真

5) 再現解析結果

後述する再現解析より得られた 55.0k 左岸（大柿排水樋管地点）の内外水位波形を図 3.2.28 に示す。

これより、外水位が堤防高を越えた直後に内水位が外水位を越えて逆越流が始まり、その状態が長時間継続したものと推定される。

洪水痕跡調査で示したように、流向の痕跡調査から氾濫流は堤内側から堤外側へ向けて流れていたことが確認されており、この逆越流時に決壊が生じたと推定される。

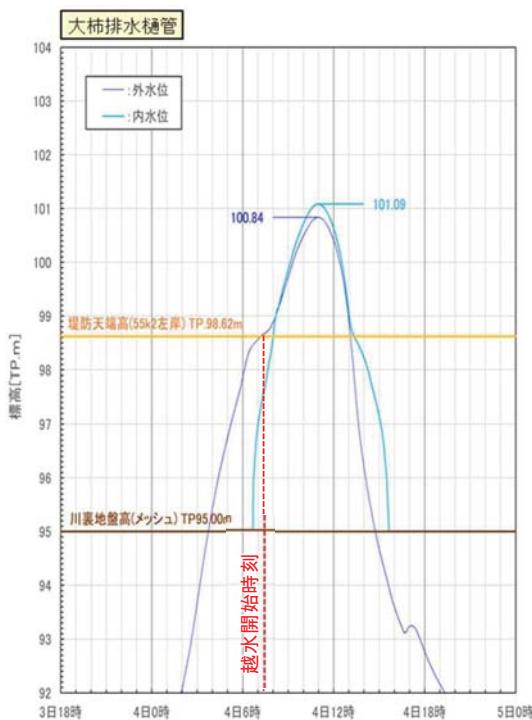


図 3.2.28 再現解析による内外水位波形(大柿排水樋管地点)

※再現解析の概要は、「3.5 出水時の再現解析」にて説明する。

3.3 決壊箇所付近の地形・地質、河道の状況

3.3.1 球磨川右岸 56.4k 付近（八久保排水樋管）

1) 決壊箇所周辺の地形・地質

決壊箇所周辺の地形の成り立ちについて、治水地形分類図で確認した。

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。また、国土地理院地図に基づく地盤高コンター図より、堤内地盤高は、下流へ向かって徐々に低くなり、堤内側の氾濫水は、決壊箇所付近へ集まる地形となっている。



図 3.3.1 治水地形分類図

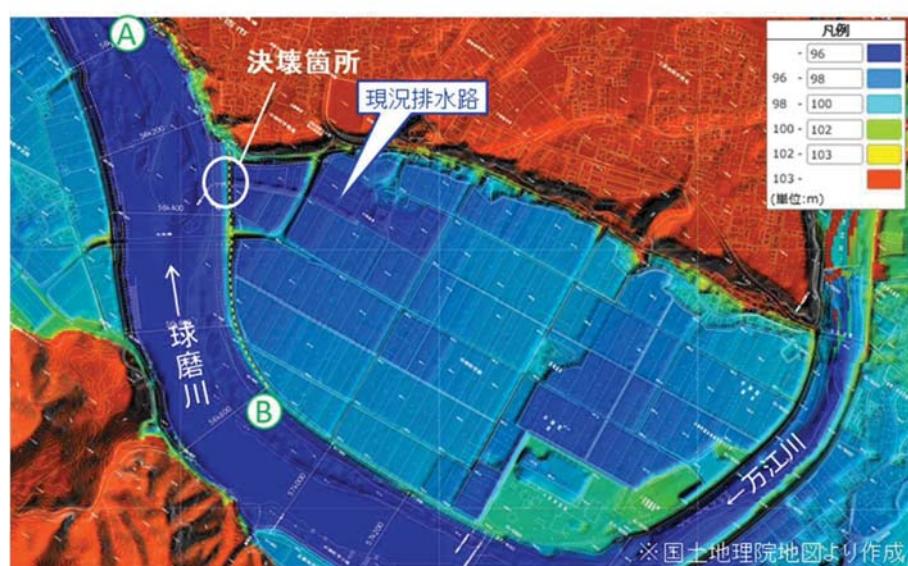


図 3.3.2 地盤高コンター図

決壊箇所付近の堤防は、下流側が山付きであり、上流側も橋梁の取付盛土で堤防高が高くなっている状況である。

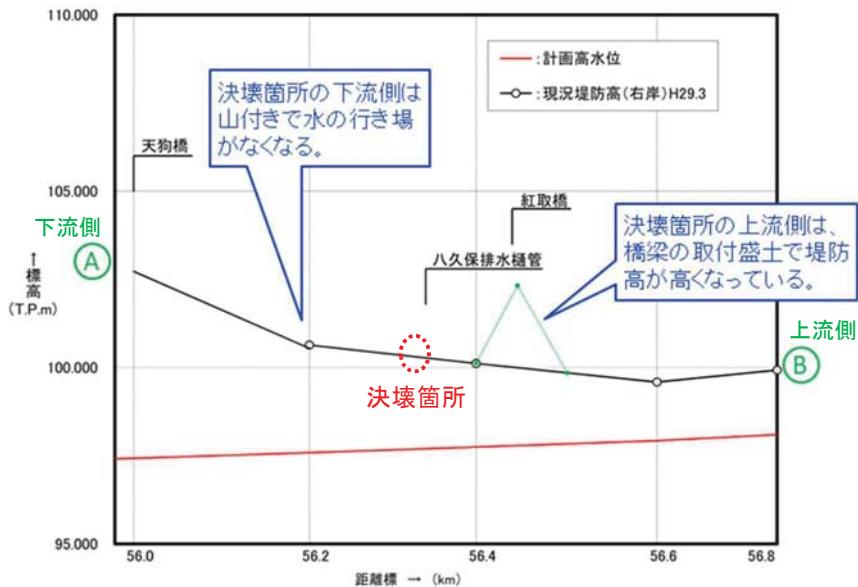
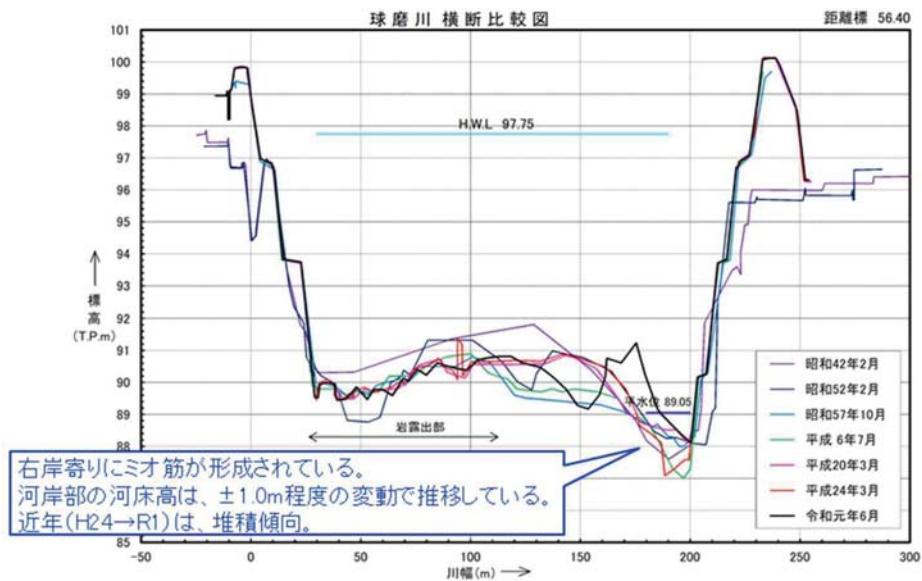


図 3.3.3 堤防高縦断図(右岸 56/000~56/800)

2) 河道の状況

横断重ね合わせ図によると、河道内のミオ筋は右岸側に寄っている。近年の河床高は堆積傾向にある。



3.3.2 球磨川左岸 55.0k 付近（大柿排水樋管）

1) 決壊箇所周辺の地形・地質

決壊箇所周辺の地形の成り立ちについて、治水地形分類図で確認した。

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。また、国土地理院地図に基づく地盤高コンター図より、堤内地盤高は、下流へ向かって徐々に低くなり、堤内側の氾濫水は、決壊箇所付近へ集まる地形となっている。



図 3.3.5 治水地形分類図

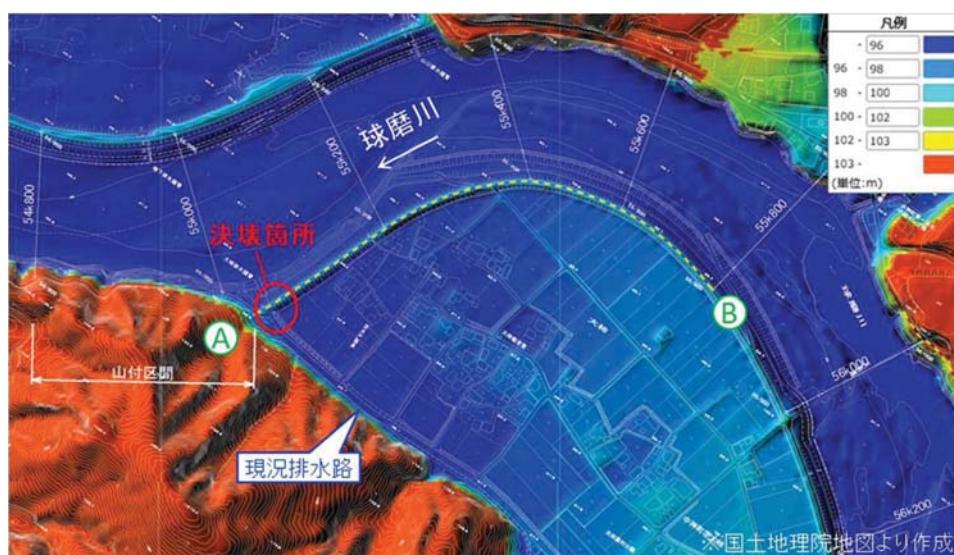


図 3.3.6 地盤高コンター図

決壊箇所付近の堤防は、下流側が山付きであり、上流側は計画堤防高で完成している状況である。

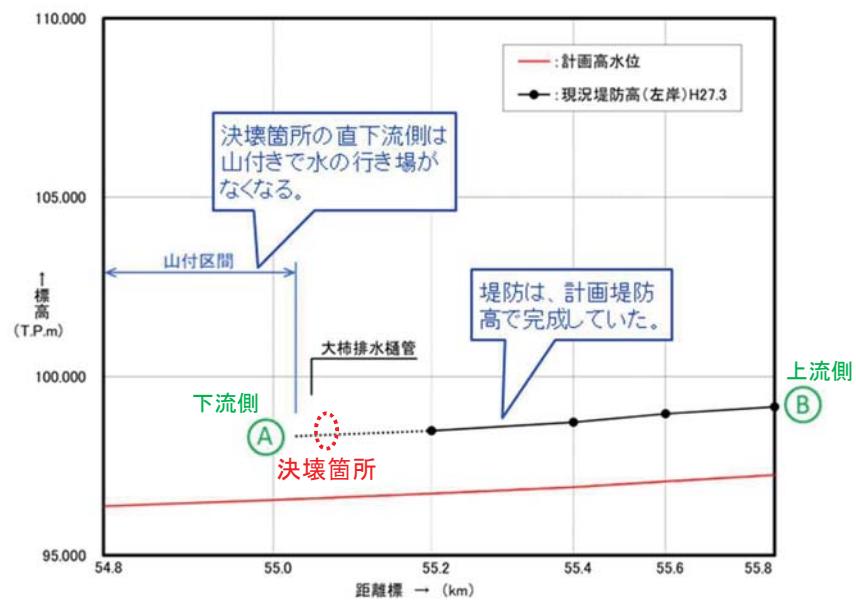


図 3.3.7 堤防高縦断図(左岸 54/800～55/800)

2) 河道の状況

横断重ね合わせ図によると、左岸側河床は、岩盤であるため、近年河床洗掘は進行していない。

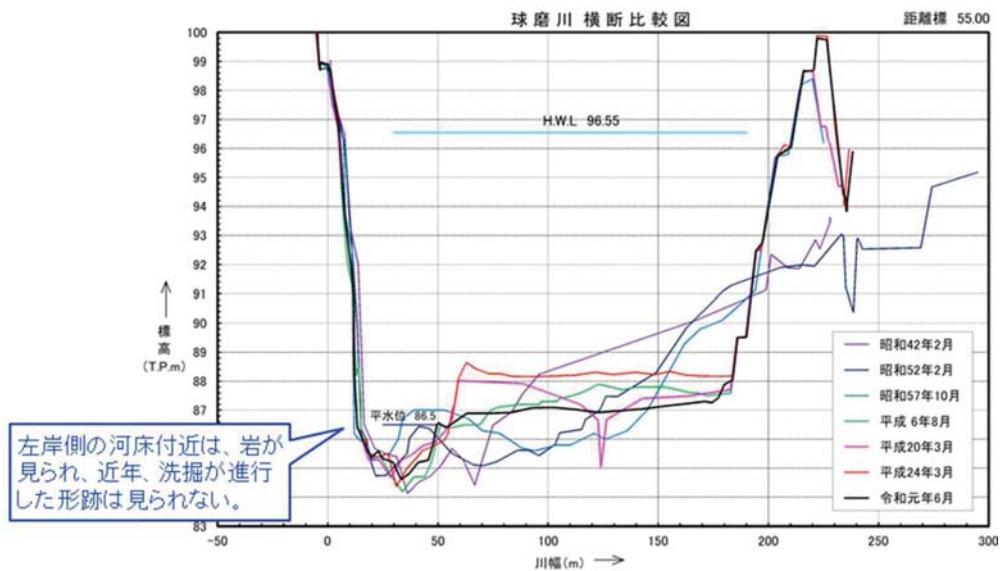


図 3.3.8 横断重ね合わせ図(55/000)

3.4 決壊箇所付近の堤防特性

3.4.1 球磨川右岸 56.4k 付近（八久保排水樋管）

1) 決壊箇所付近の堤防築堤履歴

決壊箇所の堤防は、昭和 52 年以降～昭和 57 年までの間に計画堤防断面で築堤された。八久保排水樋管は、昭和 53 年に完成している。

また、樋管周りの堤体土の置き換え工事が平成 30 年度に実施されており、堤体材料の置き換えと合わせて、舗装や護岸、階段工等の整備を行っている。

定期横断測量の重ね合わせ図で堤防天端高を比較すると、過去 10 年間で変化は見られないことから堤防の沈下は生じていないことが確認できる。

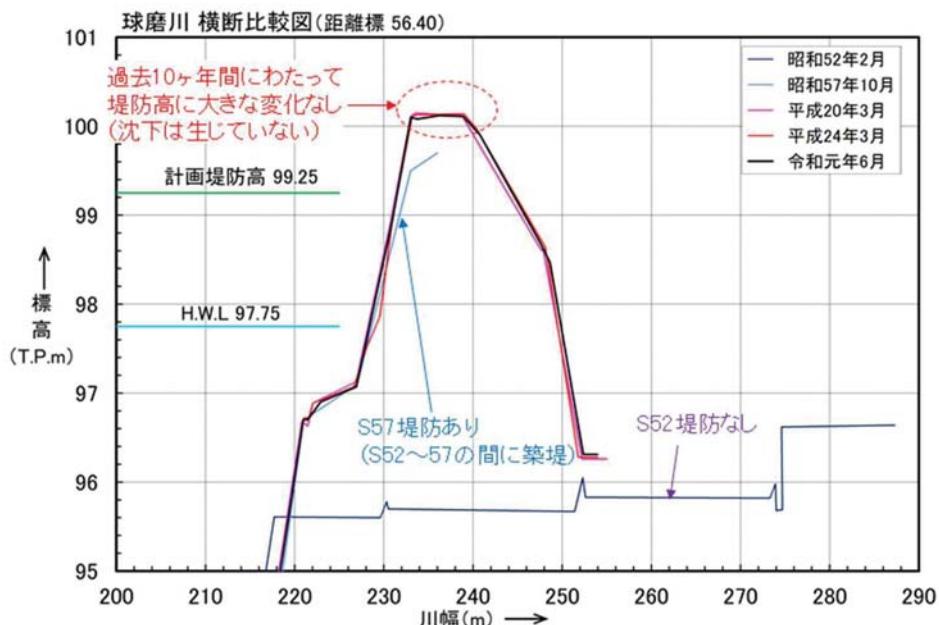


図 3.4.1 築堤履歴(定期横断図による推定)

2) 決壊箇所付近の堤防構造

決壊箇所の堤防は土堤構造で、計画堤防断面で施工された完成堤である。

低水護岸および平張コンクリートは、控え厚は不明であるが、法面はブロック積み、小段は平張コンクリートである。

高水護岸は計画高水位まで控え厚 35cm の張りブロック、堤防天端までの範囲は張芝となっている。堤防天端はアスファルト舗装（設計厚 5cm／現地計測 8cm）が施工され、裏法は張芝で保護された構造である。

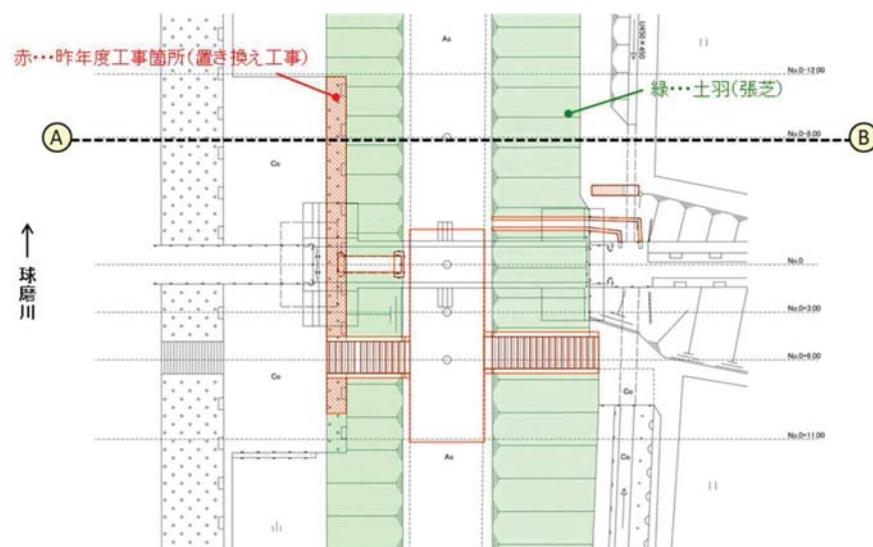


図 3.4.2 決壊箇所の平面図

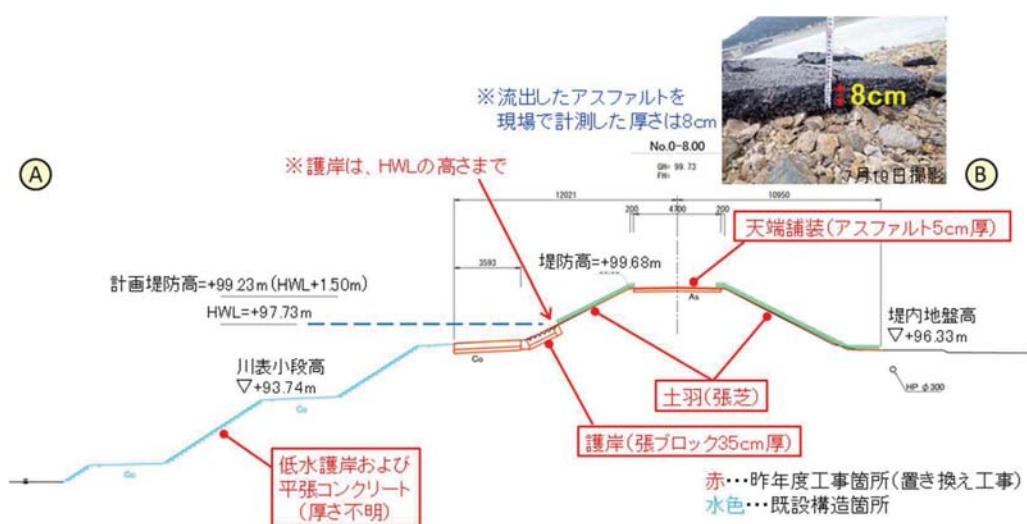


図 3.4.3 決壊箇所の堤防構造(A-B 断面)

3) 決壊箇所付近の堤防土質状況

決壊箇所の堤防断面と土質構成をそれぞれ図 3.4.4 と図 3.4.5 に示す。

八久保排水樋管付近は、堤防決壊により置き換え土が全て流失してしまっており、置き換え土の状況は確認できない。

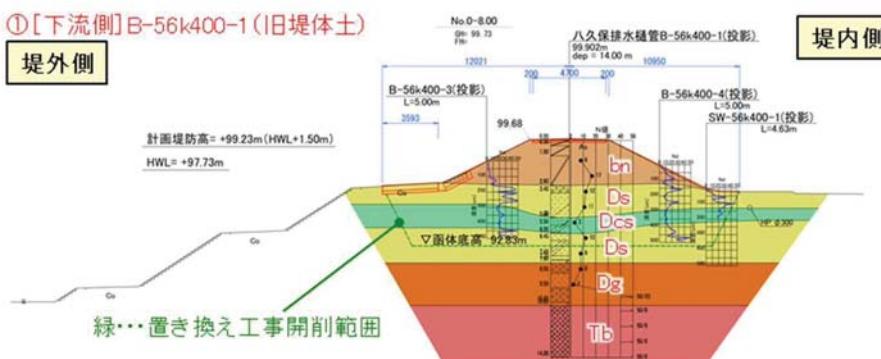
上下流面に残る元の堤体土はどちらも「細粒分質砂質礫」に分類され、同じような性質の土である。



図 3.4.4 堤防決壊箇所の被災断面写真

① [下流側] B-56k400-1(旧堤体土)

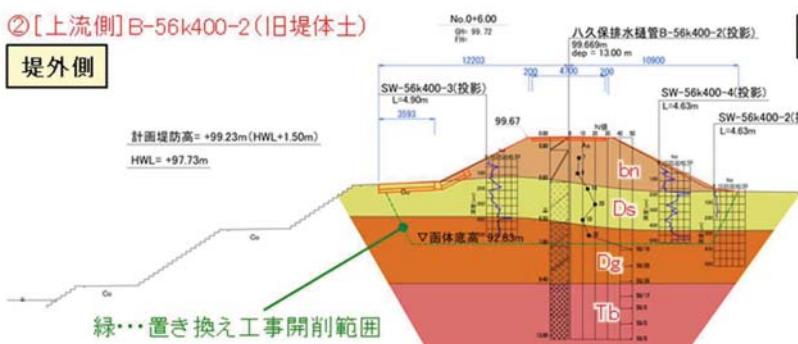
堤外側



堤内側

② [上流側] B-56k400-2(旧堤体土)

堤外側



堤内側

記号	地層名
bn	堤体盛土(旧堤体土)
Nbn	新規堤体盛土(置き換え土)
Ds	洪積砂質土層

記号	地層名
Dcs	洪積砂質粘性土層
Dg	洪積砂礫層
Tb	凝灰角礫岩

図 3.4.5 検討断面と土質構成

3.4.2 球磨川左岸 55.0k 付近（大柿排水樋管）

1) 決壊箇所付近の堤防築堤履歴

決壊箇所の堤防は、昭和 52 年に計画堤防断面で築堤された。大柿排水樋管は、昭和 55 年に完成している。

また、樋管周りの堤体土の置き換え工事が平成 30 年度に実施されており、堤体材料の置き換えと合わせて、舗装や護岸、階段工等の整備を行っている。

定期横断測量の重ね合わせ図で堤防天端高を比較すると、過去 10 年間で変化はみられないことから堤防の沈下は生じていないことが確認できる。

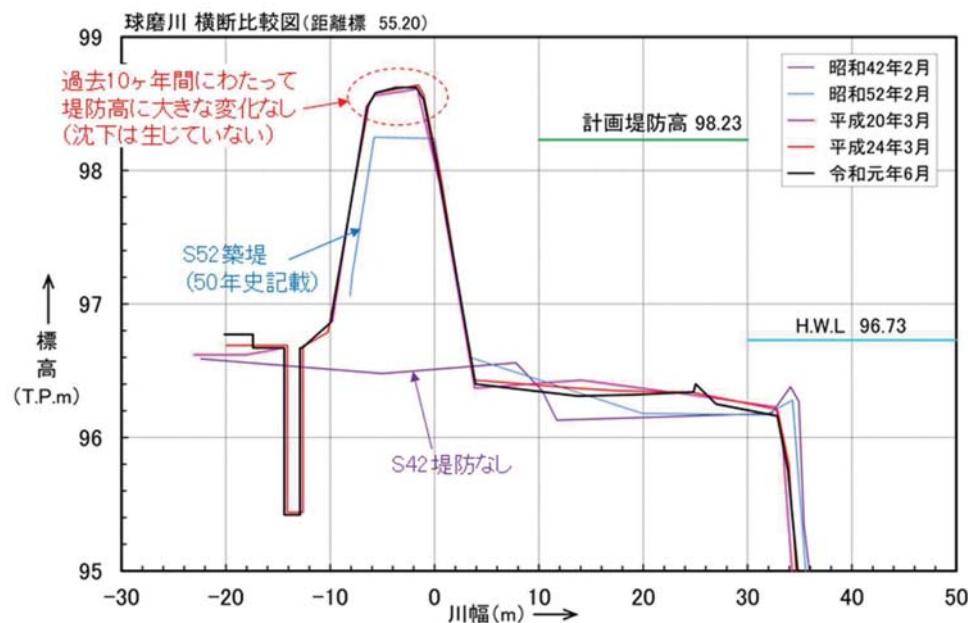


図 3.4.6 築堤履歴(定期横断図による推定)

2) 決壊箇所付近の堤防構造

決壊箇所の堤防は土堤構造で、計画堤防断面で施工された完成堤である。

低水護岸に関しては、控え厚は不明であるが、法覆工としてブロックであり、中水護岸は控え厚 35cm の張りブロック、高水護岸は計画高水位まで控え厚 10cm の張りブロック、堤防天端までの範囲は張芝となっている。堤防天端はアスファルト舗装（設計厚 5cm /現地計測厚 5cm）が施工され、裏法は張芝で保護された構造である。

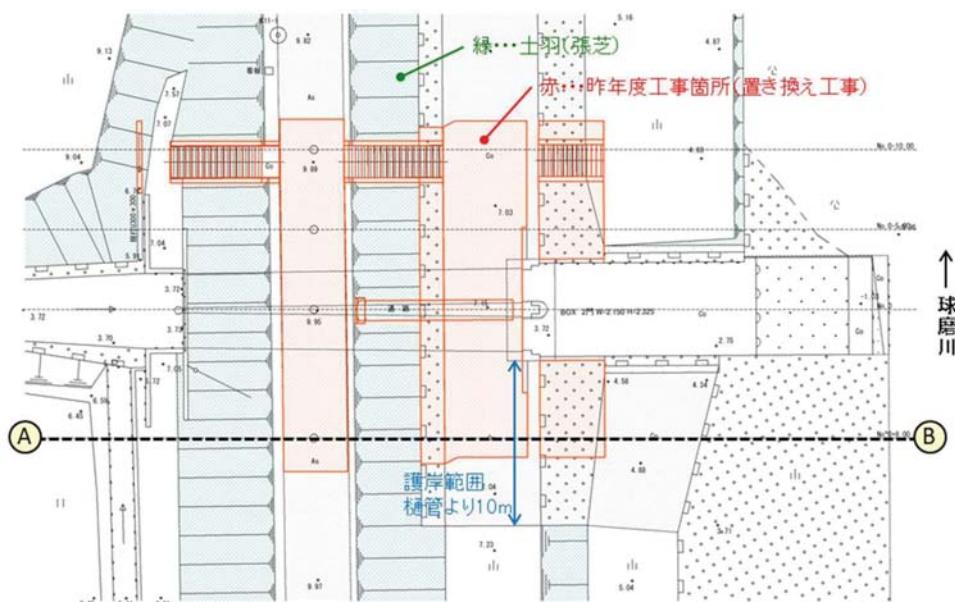


図 3.4.7 決壊箇所の平面図

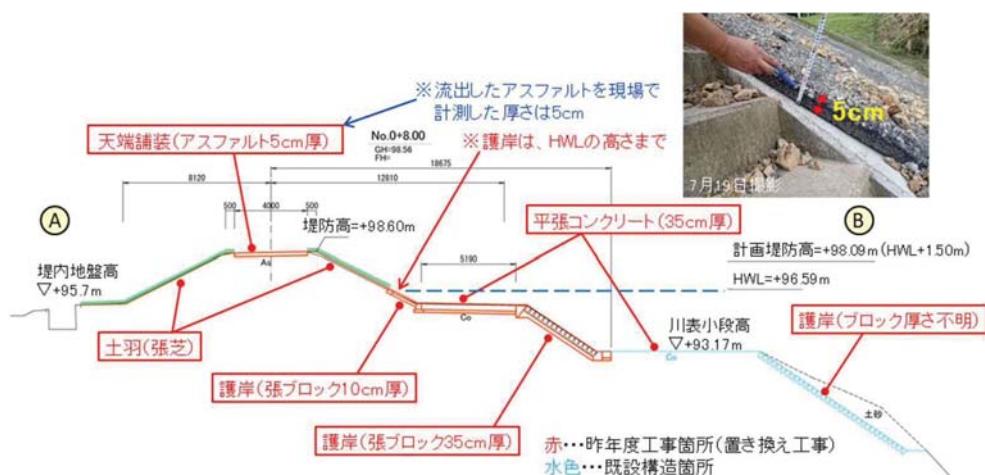


図 3.4.8 決壊箇所の堤防構造(A-B 断面)

決壊箇所の被災状況から、置き換え工事で実施された空張ブロックと平張コンクリートの構造が確認できる。



図 3.4.9 川表護岸 被災状況

3) 決壊箇所付近の堤防土質状況

決壊箇所の堤防断面と土質構成をそれぞれ図 3.4.10 と図 3.4.11 に示す。

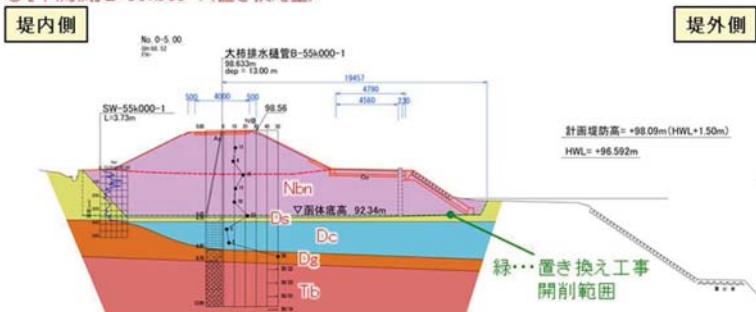
決壊箇所の堤防断面の状況から、下流側と上流側で色調が異なり、土質の違いがみられる。

堤防整備の履歴から、下流側は置き換え土（平成 30 年度の工事により置き換えられたもの）で、上流側は元の堤体土（置き換え工事以前に完成堤として整備されたもの）であることが確認できる。

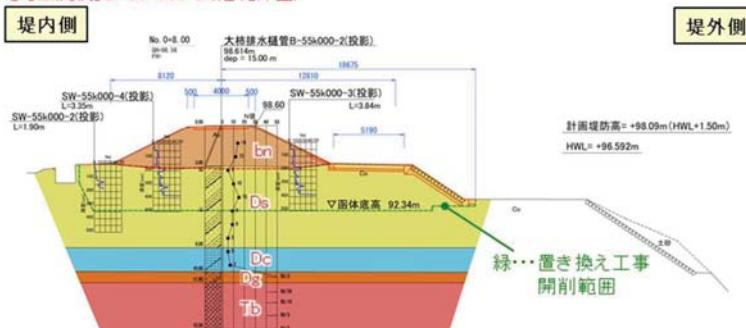


図 3.4.10 堤防決壊箇所の被災断面写真

①【下流側】B-55k000-1(置き換え土)



②【上流側】B-55k000-2(旧堤体土)



記号	地層名
bn	堤体盛土(旧堤体土)
Nbn	新規堤体盛土(置き換え土)
Ds	洪積砂質土層

記号	地層名
Dc	洪積粘性土層
Dg	洪積砂礫層
Tb	凝灰角砾岩

図 3.4.11 検討断面と土質構成

3.5 出水時の再現解析

3.5.1 再現解析モデル

堤防の被災原因分析には、「浸水想定区域図作成時に作成したモデル（第2回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会で用いたモデルと同じ解析モデル）」を用いた。再現解析モデルの概要は表 3.5.1 に示すとおりである。図 3.5.1 に示すように、再現解析結果は今次洪水氾濫の状況（球磨村渡～人吉区間上流部）を良好に再現していることがわかる。

表 3.5.1 出水時の再現解析モデル概要

項目		令和2年7月4日洪水 再現解析モデル
マニュアル		浸水想定区域図作成マニュアル（第4版） 平成27年7月
境界条件	規模	令和2年7月4日洪水 実績
	本川上流端	市房ダム 実績放流量
	川辺川上流端	柳瀬地点 実績流量
	支川流入量	貯留関数法による推算流量
河道解析	計算手法	一次元不定流計算
	河道条件	現況河道（平成28年度～令和元年度測量河道ベース）
氾濫解析	計算手法	平面二次元不定流計算
	メッシュ分割	約25m メッシュ（基準地域メッシュを縦横40等分）
	地盤高	現時点最新のLPデータ(5mDEM)を用いた メッシュ内の平均値を設定 ※LPデータは平成22年測量
	粗度係数	小谷らの土地利用分類別の粗度係数及び標準的な道路の粗度係数にて 設定（表3.5.2）
	空隙率・透過率	メッシュ内の建物占有率（国土地理院DMデータを使用）を用いて設定
	連続盛土	平均地盤高より0.5m以上を目安に、道路、県道、支川堤防等をモデル化
	排水施設	既設の水門・樋門及び樋管をモデル化
	越水条件	直轄区間、および直轄区間外（県区間）で河道水位が堤防天端高等を上回った箇所での越水・溢水を考慮して河道流量の低減を表現

※再現解析モデルの詳細、および再現結果の詳細については、「令和2年7月球磨川豪雨検証委員会 第2回委員会資料」、および「令和2年7月球磨川豪雨検証委員会 参考資料 流量の推定について」を参照。

表 3.5.2 土地利用条件に応じた粗度係数

土地利用	粗度係数 $m^{-1/3} \cdot s$
農地	0.02~0.060
林地	0.03~0.060
水域	0.025
空地・緑地	0.025~0.05
道路	0.015~0.047

出展)洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版) 平成27年7月 国土交通省

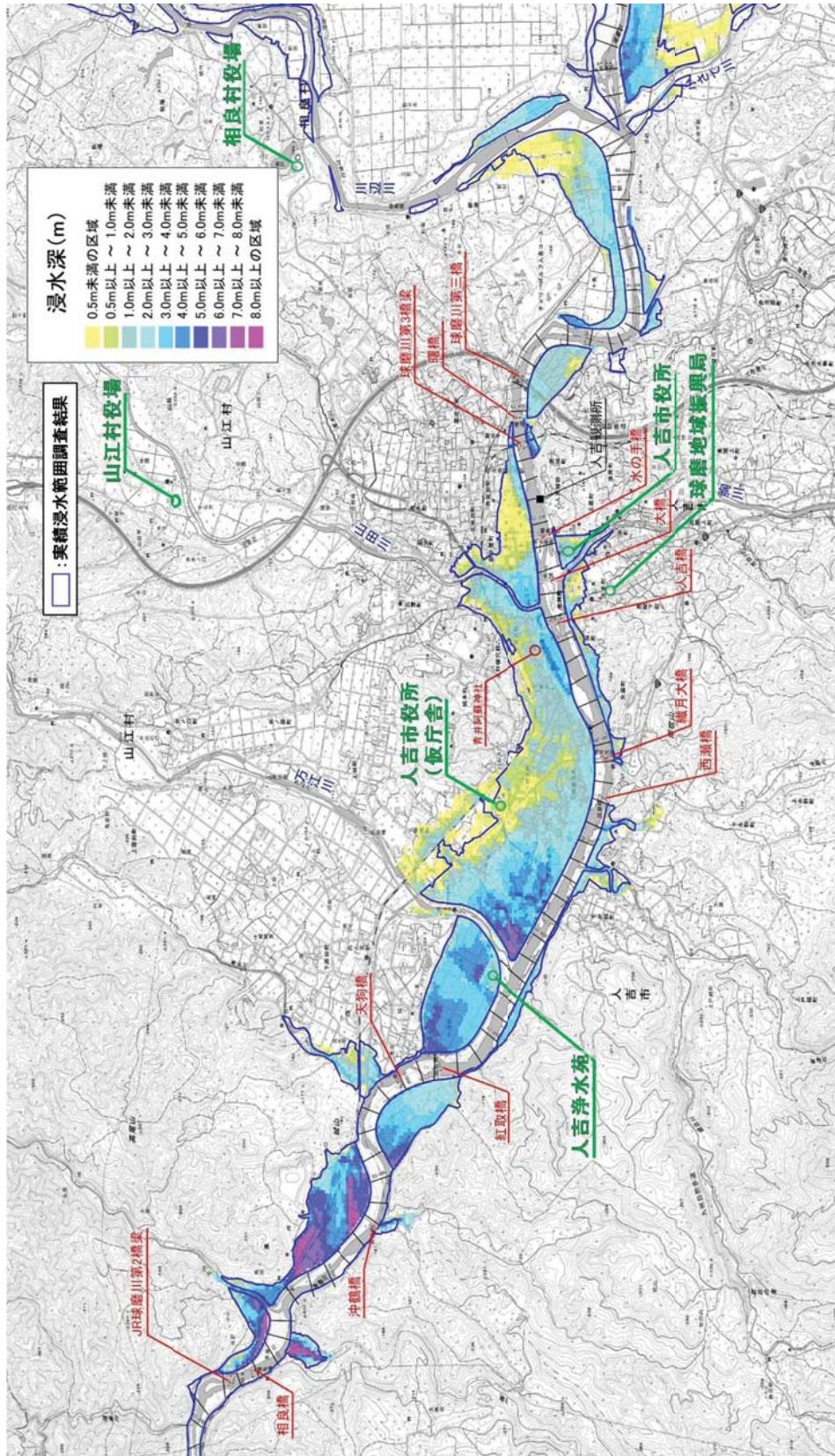


図 3.5.1 令和2年7月豪雨 汛濫解析結果(球磨村渡～人吉区間上流部)

出典)第2回 令和2年7月球磨川豪雨検証委員会説明資料

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。

3.5.2 令和2年7月豪雨における決壊地点の状況

1) 球磨川右岸 56.4k付近(八久保排水樋管付近)

再現解析によれば、八久保排水樋管地点においては、支川万江川から越水が始まり、越水開始約1時間後には本川56.4k付近からも越水が生じることで堤内地水位が上昇し、越水開始約2時間後には堤内地から堤外地への逆越流に転じたと推定される。この時の越流区間や逆越流区間および堤内地の流向は、痕跡調査に基づく推定結果と概ね一致している。この逆越流状態は約6時間以上継続していたと推定され、河道と堤内地の水位差は0.3m程度であり、堤防天端では2m/s程度の流速が発生していたと推定される。

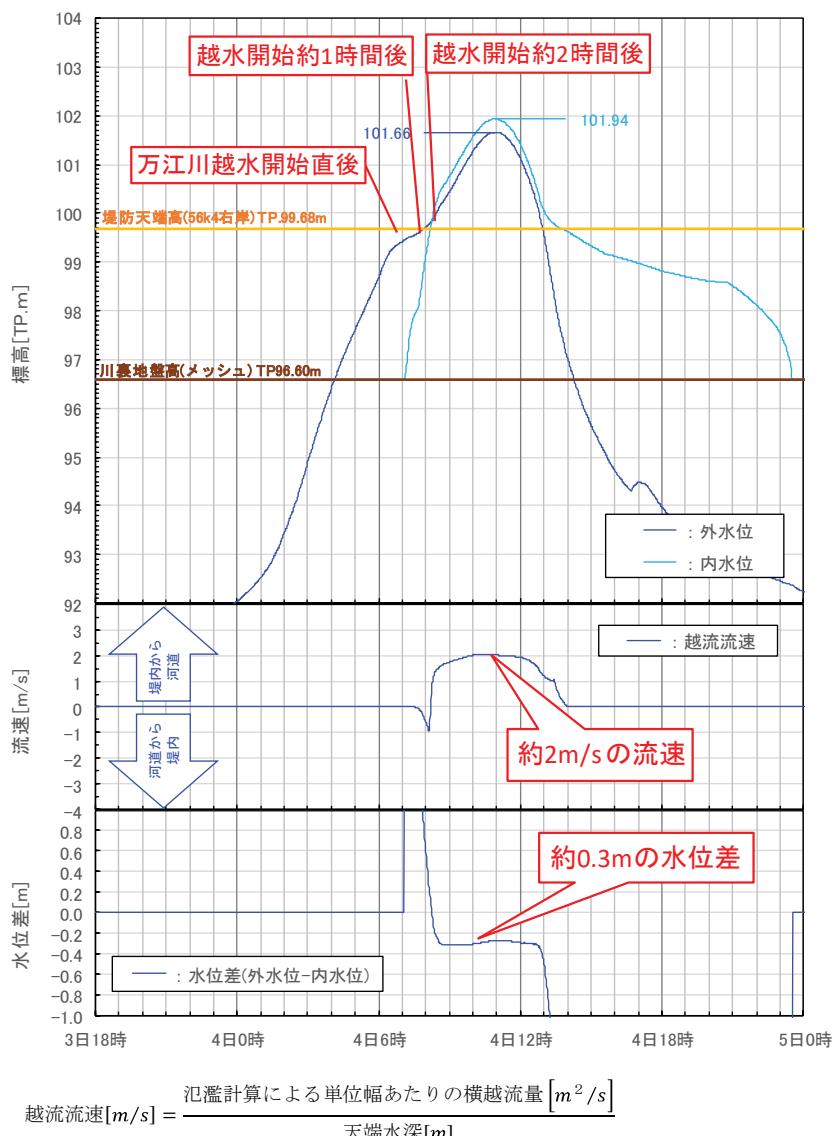


図 3.5.2 内外水位波形再現シミュレーション結果図

※越流流速は氾濫計算において横越流公式による越流量を水深で除して算定

※令和2年7月豪雨 八久保排水樋管地点、越水のみ、決壊は考慮していない

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。

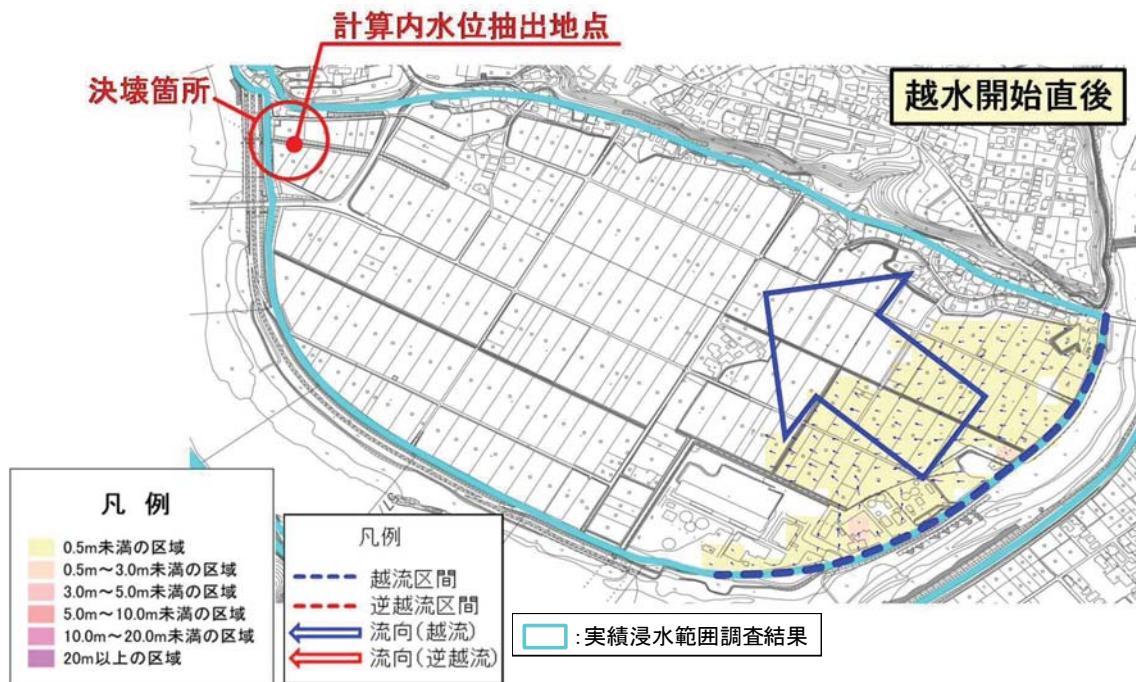


図 3.5.3(1) 気象解析結果による八久保排水樋管地点の氾濫状況(越水開始直後)

※令和2年7月豪雨 八久保排水樋管地点、越水のみ、決壊は考慮していない

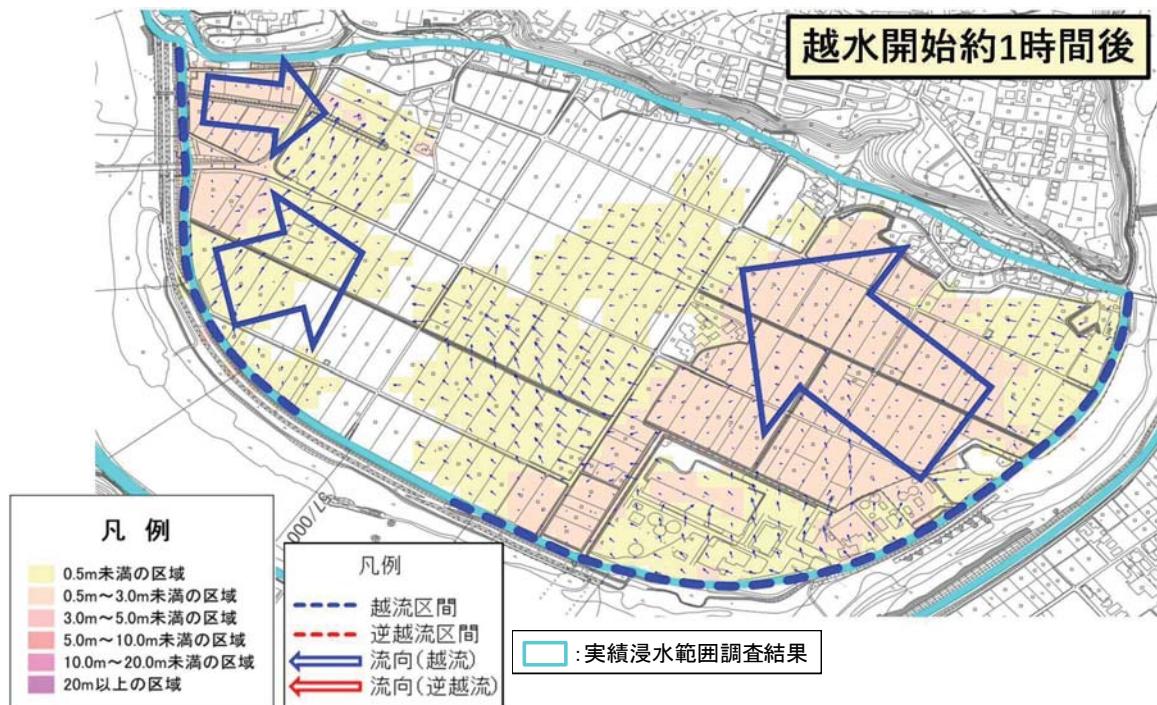


図 3.5.3(2) 気象解析結果による八久保排水樋管地点の氾濫状況(越水開始約1時間後)

※令和2年7月豪雨 八久保排水樋管地点、越水のみ、決壊は考慮していない

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。

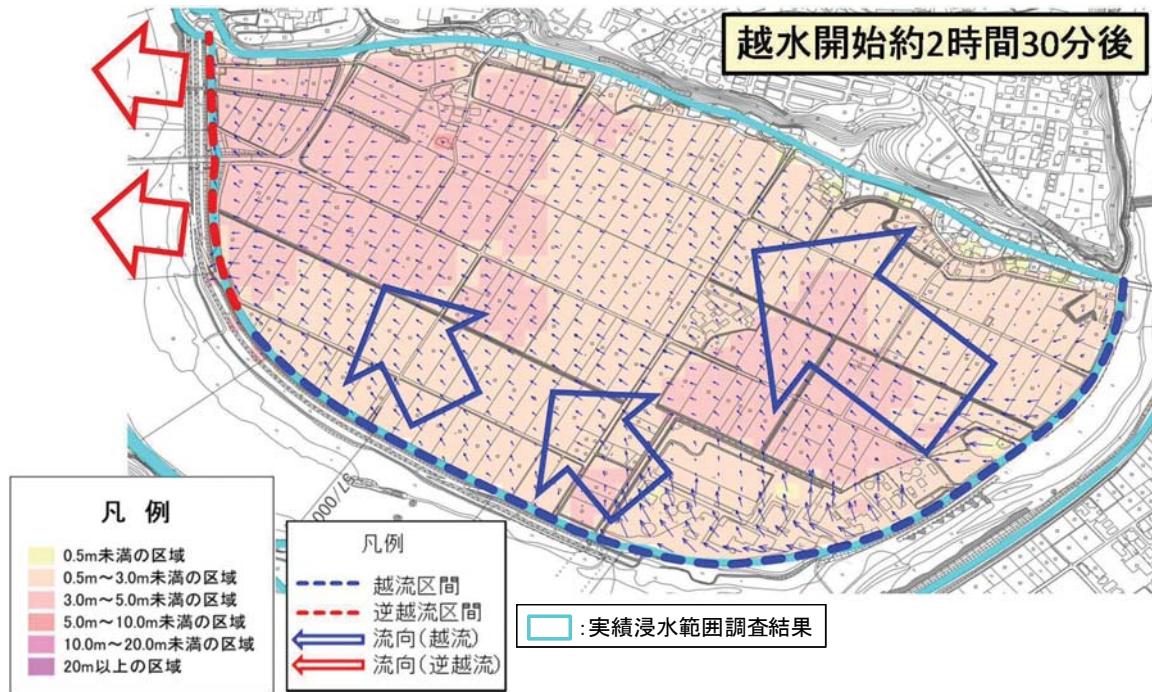


図 3.5.3(3) 汚濫解析結果による八久保排水樋管地点の氾濫状況(越水開始約 2 時間 30 分後)
※令和 2 年 7 月豪雨 八久保排水樋管地点、越水のみ、決壊は考慮していない

再現解析結果から、球磨川 56.4k 付近（八久保排水樋管付近）堤内地の氾濫状況は次のように推定される。

- 支川万江川右岸側から越水が生じ始めた。
- 支川万江川からの越水開始 1 時間後に、56.4k 付近からも越水が生じ、氾濫が氾濫ブロックの広範囲に及んだ。
- 越水開始の約 2 時間 30 分後には、56.4k 付近の堤内地水位が堤外地水位よりも高くなり、堤内地側から堤外地側（球磨川）への逆越流が生じている。

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。

再現解析による内外水位波形から推定される増水期における堤防越流時、洪水のピーク時、減水期における逆越流時の流れのフローを図 3.5.4 に示す。また、決壊箇所周辺に残された堤体侵食の痕跡を図 3.5.5 に示す。

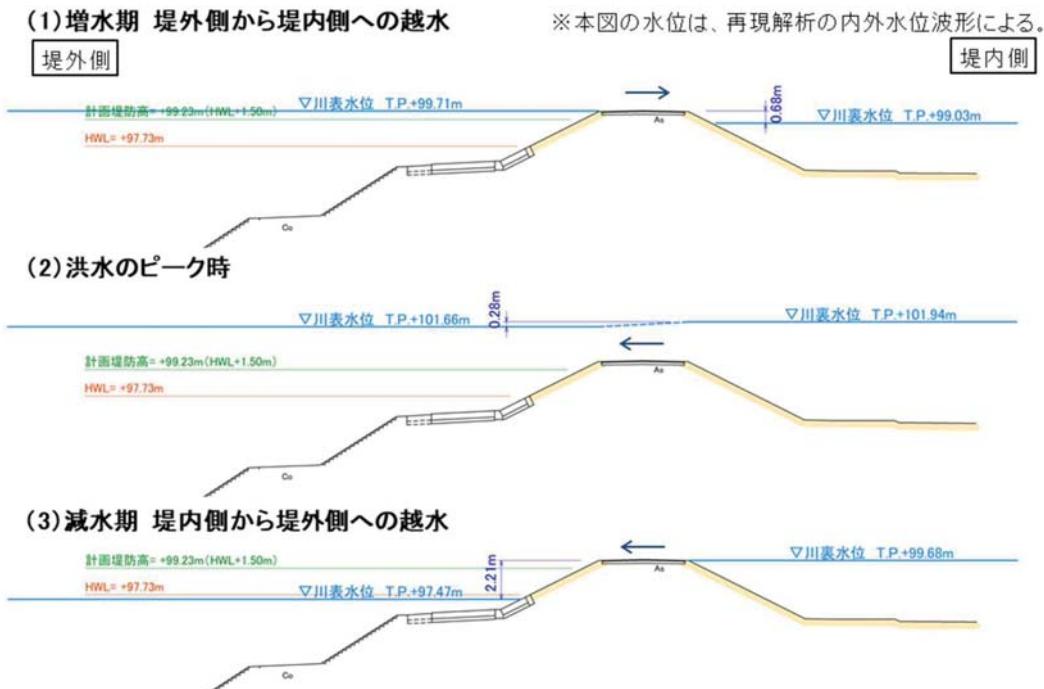


図 3.5.4 堤防越水時の流れ



図 3.5.5 堤体侵食の痕跡

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。

2) 球磨川左岸 55.0k 付近(大柿排水樋管付近)

再現解析によれば、大柿排水樋管地点においては、本川 55.0k 付近から越水が始まり、越水開始約 1 時間後には越水範囲が上流へ拡大するとともに、上流からの越水により堤内地水位が上昇することで 55.0k 付近の水位は河道の洪水水位と同程度まで上昇し、約 1 時間 30 分後には堤内地から堤外地への逆越流に転じたと推定される。この時の越流区間や逆越流区間および堤内地の流向は、痕跡調査に基づく推定結果と概ね一致している。この逆越流状態は約 5 時間以上継続していたと推定され、河道と堤内地の水位差は 0.3m 程度であり、堤防天端では 2m/s 程度の流速が発生していたと推定される。

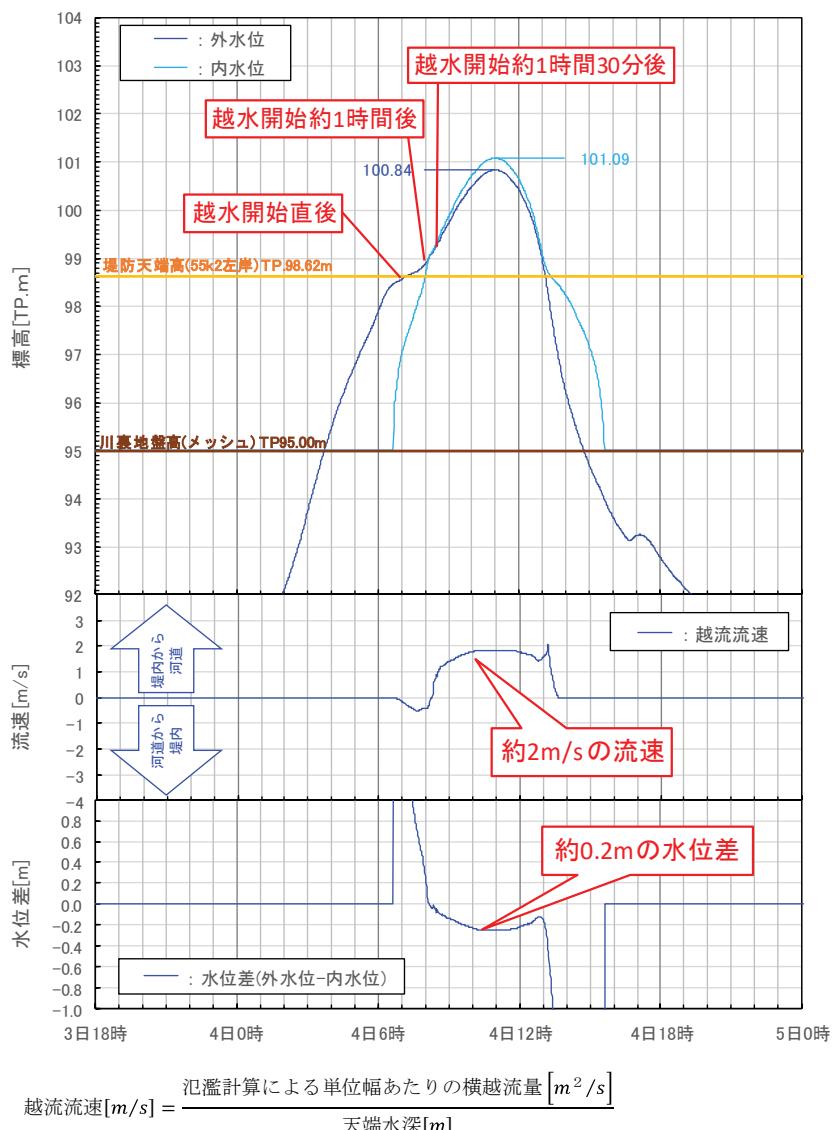


図 3.5.6 内外水位波形再現シミュレーション結果図

※越流流速は氾濫計算において横越流公式による越流量を水深で除して算定
※令和 2 年 7 月豪雨 大柿排水樋管地点、越水のみ、決壊は考慮していない

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。



図 3.5.7(1) 汚濫解析結果による大柿排水樋管地点の氾濫状況(越水開始直後)
※令和2年7月豪雨 大柿排水樋管地点、越水のみ、決壊は考慮していない

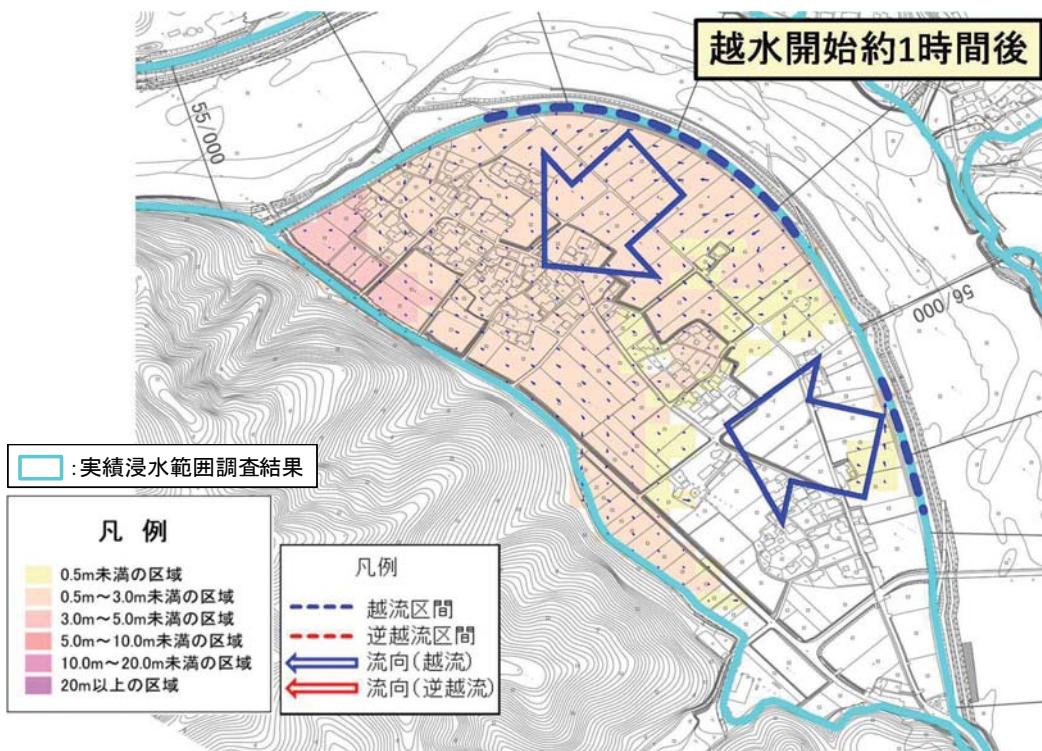


図 3.5.7(2) 汚濫解析結果による大柿排水樋管地点の氾濫状況(越水開始 1 時間後)
※令和2年7月豪雨 大柿排水樋管地点、越水のみ、決壊は考慮していない

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。

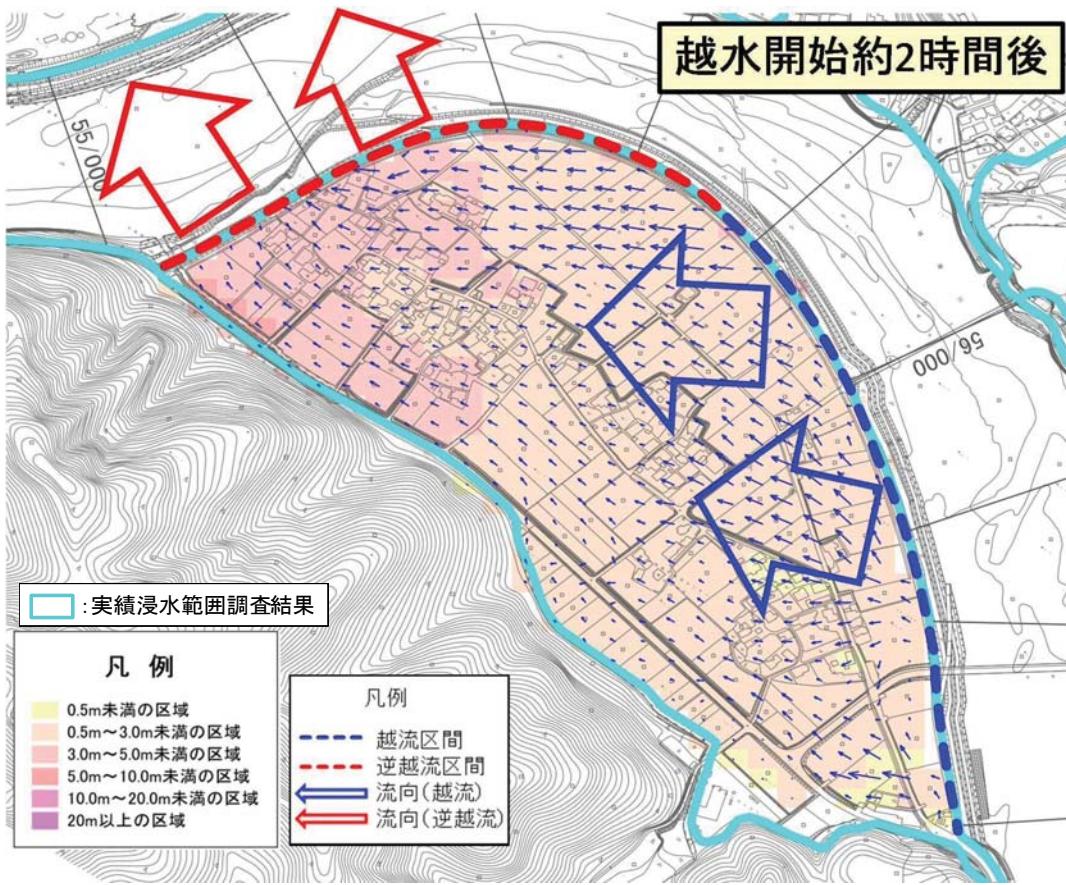


図 3.5.7(3) 水没解析結果による大柿排水樋管地点の水没状況(越水開始 2 時間後)
※令和 2 年 7 月豪雨 大柿排水樋管地点、越水のみ、決壊は考慮していない

再現解析結果から、球磨川 55.0k 付近（大柿排水樋管付近）堤内地の水没状況は次のように推定される。

- ・ 大柿排水樋管付近から越水が生じ始めた。
- ・ その後、越水範囲が上流へ拡大し、水没が水没ブロックの広範囲に及んだ。
- ・ 越水開始の約 2 時間後には、55.0k 付近の堤内地水位が堤外地水位よりも高くなり、堤内地側から堤外地側（球磨川）への逆越流が生じている。

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。

再現解析による内外水位波形から推定される増水期における堤防越流時、洪水のピーク時、減水期における逆越流時の流れのフローを図 3.5.8 に示す。また、決壊箇所周辺に残された堤体侵食の痕跡を図 3.5.9 に示す。

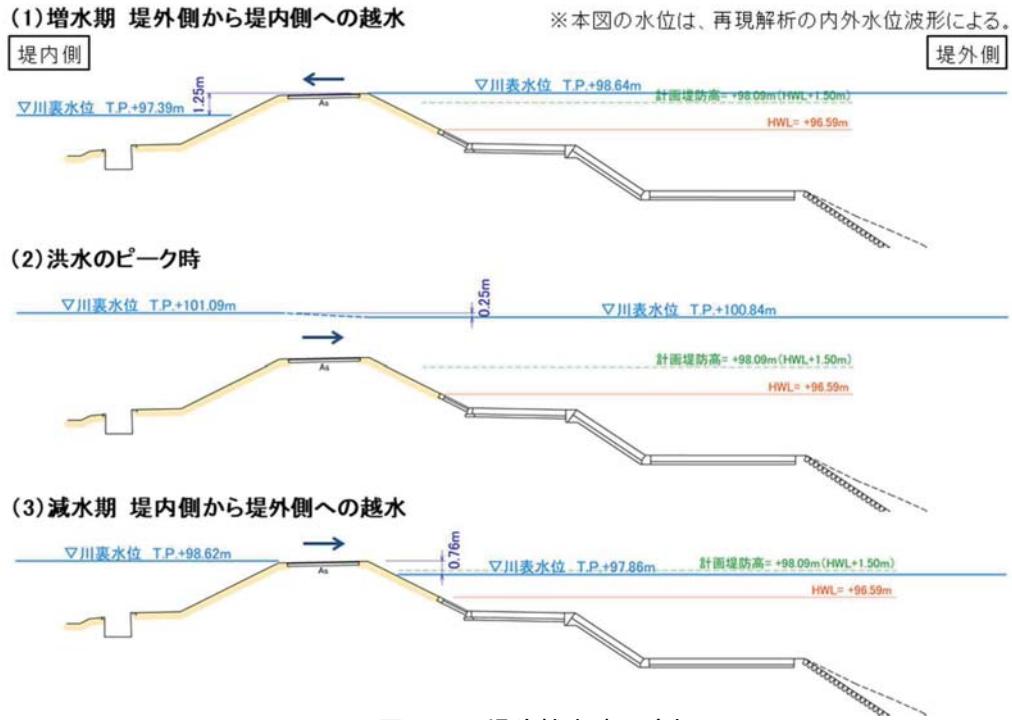


図 3.5.8 堤防越水時の流れ



図 3.5.9 堤体侵食の痕跡

※本資料の数値は「暫定値」であり、今後変更の可能性がある。