



本資料は概要版であり、記述の前提や根拠並びに注意書き等について省略している場合があるため、引用等の際は留意されたい。



- 1. 平成28年熊本地震と 直轄河川管理施設の被害の概要
- 1.1 平成28年熊本地震の概要
- 1.2 堤防等河川管理施設における変状の概要
- 1.3 まとめ
- 2. 直轄河川管理施設の概要
- 2.1 緑川・白川水系の流域の地形・地質
- 2.2 緑川・白川水系の河川水位等
- 2.3 緑川・白川水系の河川管理施設等
- 2.4 緑川・白川水系の築堤の変遷
- 2.5 まとめ
- 3. 地震による堤防変状の特徴
- 3.1 地震後の調査概要
- 3.2 堤防変状箇所と地形の関係
- 3.3 堤防変状箇所の実態調査結果
- 3.4 堤防変状箇所の開削調査結果
- 3.5 空洞化調査
- 3.6 既往耐震対策の効果

- 3.7 堤防変状の経時変化
- 3.8 まとめ
- 4. 堤防変状の要因と本復旧工法
- 4.1 地震による堤防変状の主要因と変形過程
- 4.2 堤防の本復旧の基本方針
- 4.3 空洞化に対する復旧の基本方針
- 4.4 まとめ
- 5. 熊本地震後の河川管理
 - 5.1 熊本地震直後の河川に関する対応
 - 5.2 熊本地震後に発生した出水と巡視結果
 - 5.3 堤防の本復旧工事完了後の河川管理
 - 5.4 白川の土砂流入と土砂堆積に 関する検討・対応策
 - 5.5 まとめ
- 6. 今後の大規模地震への対応に向けて
- 6.1 熊本地震対応への課題と対応手法
- 6.2 今後の大規模地震に対する 知見の向上に関する提案

緑川・白川堤防調査委員会構成員



委員長	秋山 壽一郎	九州工業大学	教 授
委員 (委員長代理)	安福 規之	九州大学大学院工学研究院 社会基盤部門	教 授
委員	大本 照憲	熊本大学大学院自然科学研究科	教 授
委員	岡村 未対	愛媛大学大学院理工学研究科	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	諏訪 義雄 【服部 敦】	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	中川 一	京都大学防災研究所	教 授
委員	前田 健一	名古屋工業大学社会工学科	教 授

最終委員会時の委員名及び所属を示し、前委員は【】書きで示す。

【事務局】

国土交通省九州地方整備局 熊本河川国道事務所 一般財団法人 国土技術研究センター

【委員会開催日】-----

第1回 平成28年 5月 6日 第2回 平成28年 6月10日 第3回 平成28年 11月14日 第4回 平成29年 3月 9日

緑川・白川堤防調査委員会報告書の全体概要



- 1. 平成28年熊本地震と直轄河川管理施設の被害の概要(概要版P4~14)
 - 熊本地震では、平成28年4月14日に前震、同年4月16日に本震と、短期間に最大震度7の地震が2回発生した。
 - 熊本地震により、本震後、緑川・白川水系の国管理区間では堤防の変状が171箇所で確認された。
 - 地震後の対応として、最低限の堤防機能を確保するための緊急復旧工事や応急対応を実施し、平成28年5月9日に完了させるとともに、基準水位及び河川巡視頻度の強化等などのソフト対策を実施した。
- 3. 地震による堤防変状の特徴(概要版P18~39)
 - 比較的大きな変状として、緑川水系で大きな沈下・長い縦断クラック・はらみ出しなどが11箇所、白川水系で大きな沈下・護岸・パラペットに大きなクラックなどが3箇所確認された。
 - 堤防変状の調査・分析を行ったところ、変状が比較的大きかった箇所においては、白川・緑川水系ともに、堤体か 基礎地盤かの違いはあるが、地下水位以下の飽和した砂質土を有していることを確認した。
 - 変状調査や開削調査結果より液状化が起因である現象を確認したことから、液状化が発生したものと推測された。
- 4. 堤防変状の要因と本復旧工法(概要版P40~52)
 - 堤防の変状が比較的大きかった箇所は、緑川では堤体下部、白川では基礎地盤の液状化判定を行ったところ、 液状化が生じる結果となったことから、堤防変状の主要因は両河川ともに液状化によるものであった。
 - 堤防の本復旧として、緑川水系の変状が比較的大きく、はらみ出しが確認された堤防においては、推定される堤体内のゆるみを除去するための堤体の切返しを行い、地震前の状態に回復させる。白川水系の変状が比較的大きく護岸・パラペットの復旧が困難となった三面張特殊堤においては、将来熊本地震と同規模の地震発生時においても、護岸の修復を伴わない沈下・変状に留めることを目標とした液状化対策を行うこととした。
 - 抜け上がりが大きいあるいは周辺堤防の変状の大きい樋門・樋管11施設を対象に空洞化調査を実施した結果、 空洞が発生している施設や遮水機能が失われている施設のあることを確認し、空洞部充填を行うこととした。
- 5. 熊本地震後の河川管理(概要版P53~65)
 - 堤防の本復旧工事、樋門・樋管の空洞化対策が完了し、変状等がないことが確認されれば、基準水位及び河川 巡視頻度等を熊本地震前の運用に戻すものの、本復旧後の堤防等の確実な機能回復を確認するために、本復 旧後3年間を基本とし、モニタリングを行う。
 - 白川は、地震後、上流から下流へ供給された土砂が河道内に堆積しているため、河床掘削を実施した。土砂の 状況を確認しながら引き続き河床掘削を実施する。
- 6. 今後の大規模地震への対応に向けて(概要版P66~68)



1.1 平成28年熊本地震の概要

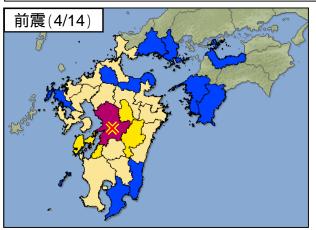
報告書本編P.1

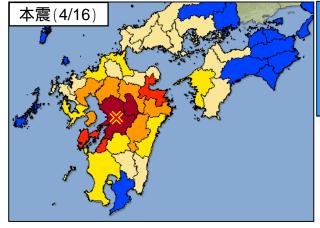
(1)各地の震度

平成28年4月14日21時26分に最大震度7 (M6.5)の前震、4月16日1時25分には最大震度7 (M7.3)の本震が発生した。

一連の2回の震度7の地震とその後の地震活動により、震源地に近い熊本市、益城町、西原

対 対、南阿蘇村を中心に各地で甚大な被害が発生した。







震度分布



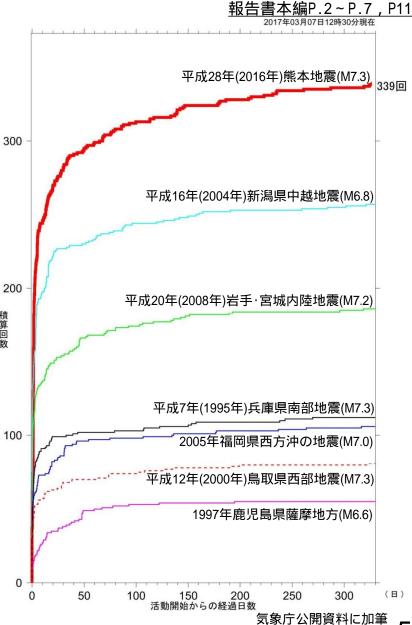




(2) 地震動

- ◆ 本震においては、震央に近いところで震度6弱~ 7を観測したほか、東北地方の一部から九州地方にかけて震度1~6弱を観測した。
- 平成29年3月末までに発生した地震回数は、震度4以上141回、震度1以上4,284回に達している。





本震時の緑川・白川近辺の震度分布

内陸及び沿岸で発生した主な地震の地震回数比較(M3.5以上)



白川

KMM006熊本 KMMH16益城

2016/4/16本震

観測地点

白川(小島) 観測所

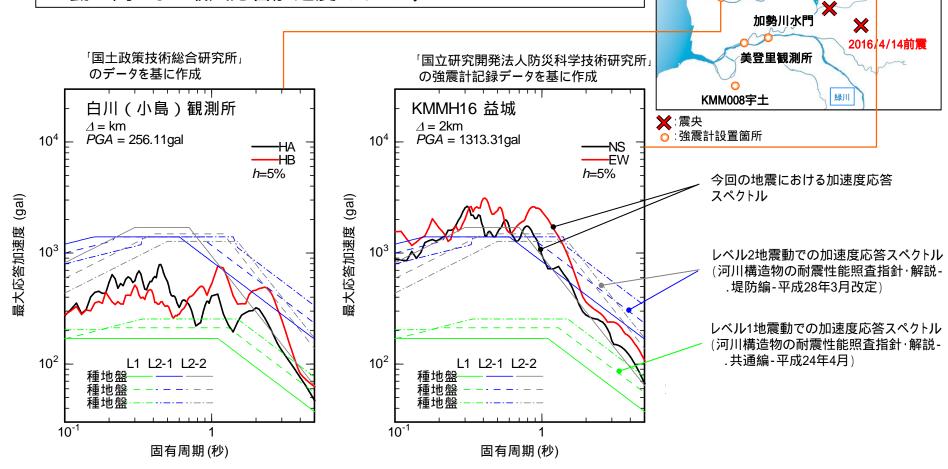
熊本西区春日

(2) 地震動

報告書本編P.8

KMM005大津○

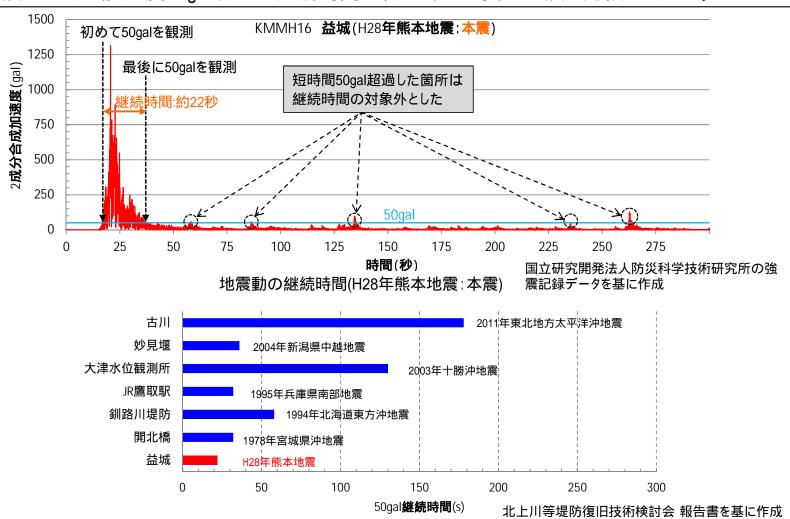
- ◆ 本震における加速度応答スペクトルより、白川・緑川の中流域ではレベル2地震動規模に相当する最大応答加速度であった。
- 白川および緑川の河口付近では、レベル1地震動とレベル2地震動の間となる最大応答加速度であった。





(2) 地震動 <u>報告書本編P.9</u>

- 熊本地震の本震では、液状化に影響を及ぼすと考えられる加速度50gal以上の継続時間は、益城において22秒程度だった。
- 熊本地震における加速度50gal以上の継続時間は、過去の主要な地震と比較して短い。

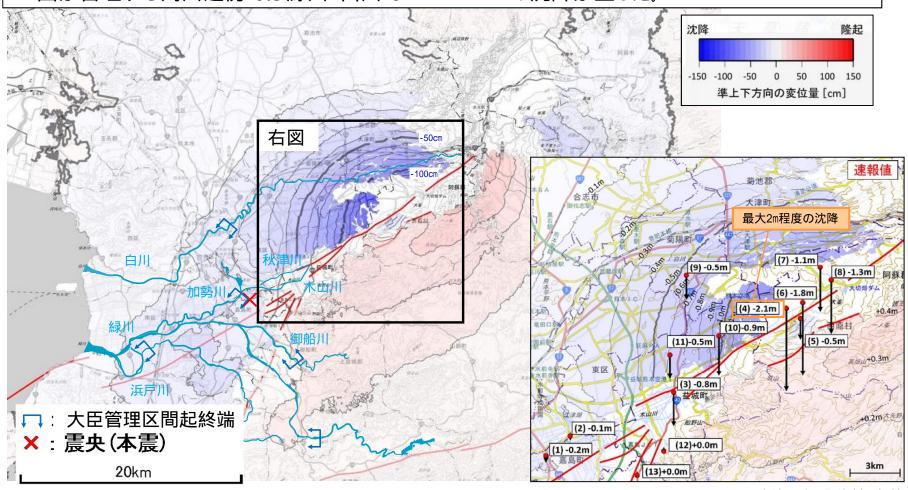


地震動の継続時間(既往事例)



(3) 地殼変動 <u>報告書本編P.15~P.16</u>

- 熊本地震により広範囲に亘り地殻変動が生じており、地盤沈降量については、最大2m程度の 沈降が生じた。
- 国が管理する河川近傍では緑川·白川で10cm~20cmの沈降が生じた。



地殼変動量(上下成分)

国土地理院公開資料に加筆



1.2 堤防等河川管理施設における変状の概要

報告書本編P.17~P.22

- 1.2.1 直轄河川管理施設の変状
- 緑川・白川水系において、本震後に堤防の変状が171箇所で確認された。
- 171箇所のうち11箇所については、復旧の緊急性が高いと判断し、緊急復旧工事の対象箇所とした。





1.2 堤防等河川管理施設における変状の概要

報告書本編P.23~P.25

- 1.2.1 直轄河川管理施設の変状(堤防)
- 緑川・白川水系の堤防の変状を、変状の程度や変状形態から機能評価の観点で、6形態に分類した。
- 変状が確認された堤防171箇所のうち、堤防機能が失われている可能性のある大きな変状(分類 , ,)には10箇所が分類される。残りの161箇所は、堤防としての機能が概ね残っていると考えられる小さな変状(分類 ,)に分類される。

9								【固	門(教)
					緑川	水系		白川 水系	
	被災形態	残存機能	熊本地震における被災形態の考え方				御船川	白川	合計
I	・堤防天端全体に亀裂がある場合を除けば、堤防としての機能は 堤防縦嘶方向にクラックがあり、クラック深 概ね残っていると考えられる						6	7	57
п	#ML ▽ □ □ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■	・	堤防縦断方向にクラックがあり、クラック深 さがH.W.L以下となっている。	1	0	0	0	0	1
	HWL マニー	・堤防天端全体に亀裂がある場合を除けば、堤防としての機能は 概ね残っていると考えられる	堤防横断方向にクラックがあり、クラック深さがH.W.Lに達していない。	15	5	19	8	11	58
IV	#WL □ □ 横断龟裂(HWL 上功器い)	 - 堤防としての機能は残っていない - 盛土(堤体下部/閉封飽和域)、地盤の液状化領域への対策工(地盤改良等)検討が必要となる 	堤防横断方向にクラックがあり、クラック楽 さがH.W.L以下となっている。	0	0	0	0	0	0
v	場所の 場合のすべり削壊または深い維新亀裂、陥役 (所面不足)	 ・堤防としての機能は残っていない ・盛土(堤体下部/閉封飽和域)、地盤の液状化領域への対策工(地盤改良等)検討が必要となる 	堤防の川表もしくは川裏、いずれか片側 の変状が大きく、かつクラック深さがH.W.L 以下となっている。	4	0	1	0	0	5
VI	HWL.	・堤防としての機能は残っていない ・盛土(堤体下部/閉封飽和域)、地盤の液状化領域への対策 工(地盤改良等)検討が必要となる	堤防全体に沈下等の変状が大きく、かつ クラック弾きがH.W.L以下となっている。	4	0	0	0	0	4
その他	堤体の沈下、陥没、はらみ出し(越水の危険) 護岸・ヘブペット等、土堤以外			12	1	4	3	26	46
	2		合計	(3)(80.000	8	35	9/E	44	171
			IA C	or	O	JJ	Tt	44	TIL

:「河川堤防における震後対応の
手引き(案)」に基づく被災形態
: 熊本地震における被災形態の
考え方と該当箇所数

(箇所数)

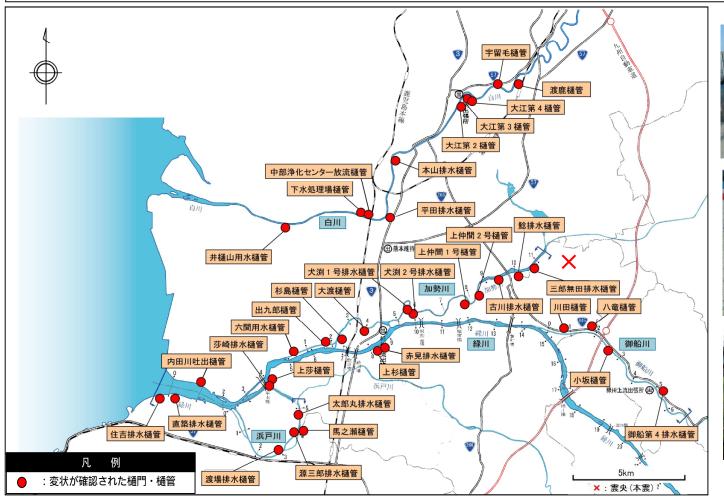


1.2 堤防等河川管理施設における変状の概要

報告書本編P.26~P.28

1.2.1 直轄河川管理施設の変状(樋門・樋管)

| 緑川・白川水系の樋門・樋管は、緑川水系で122施設の内26施設、白川水系で32施設の内10 |施設、合計154施設の内36施設で変状が確認され、変状の形態は、堤防部のクラック・段差 | (抜け上がり)、樋管本体のクラック等であった。









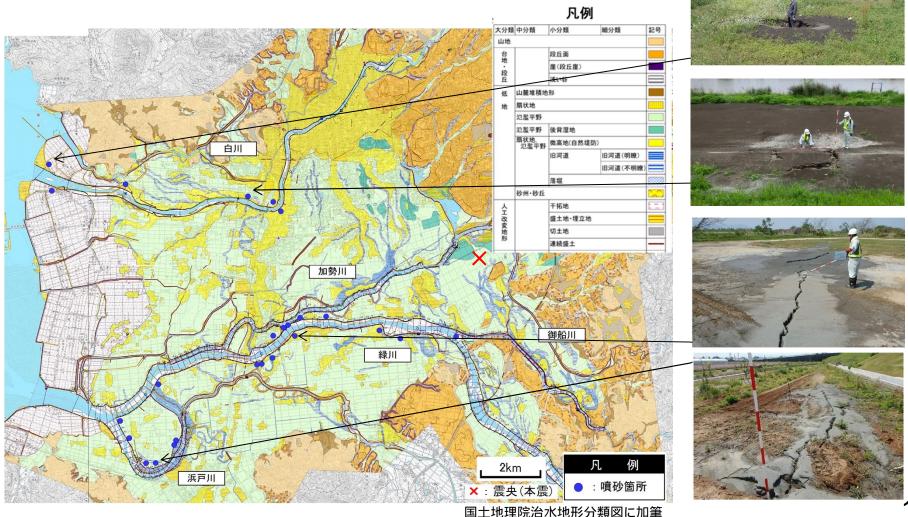


1.2 堤防等河川管理施設における変状の概要

報告書本編P.29

1.2.1 直轄河川管理施設の変状(噴砂)

本震後の堤防点検で、堤防沿いに確認された噴砂箇所は緑川水系で19箇所、白川水系で6箇所であった。



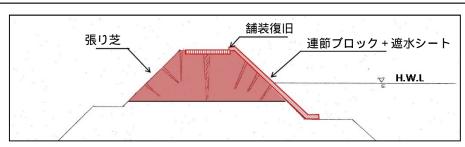
12



1.2 堤防等河川管理施設における変状の概要

報告書本編P.31~P.40

- 1.2.2 変状した堤防の応急対策・緊急復旧工事
 - 堤防の機能が概ね残っていると考えられる変状の小さな箇所においては、クラック補修などの応急 対策を実施した。
- 堤防機能が失われている可能性のある大きな変状の , , 型 に分類した10箇所と川裏側(ブロック積擁壁構造)の法崩れが確認された1箇所に対しては、復旧の緊急性が高いと判断し、緊急復旧工事を実施した。(平成28年5月9日までに完了)



緊急復旧工事の標準図



最川左岸 18K400付近(甲佐町 田口地区) 緊急復旧工事の状況

型(H.W.L以下の縦断亀裂), 型(すべり), 型(沈下・はらみ出し) じゅうぜんじ 白川左岸 8k700付近(熊本市南区十禅寺地区)





白川右岸 9k400付近(熊本市西区蓮台寺地区)





応急対策の状況



1.3 まとめ <u>報告書本編P.42</u>

平成28年(2016年)熊本地震における地震の特徴、緑川水系・白川水系の直轄区間における堤防及び樋門・樋管の変状の確認状況、並びに地震後の対応について、以下に挙げる。

(1) 熊本地震の特徴

- 地震規模が大きく、平成28年4月14日に前震(M6.5)、同年4月16日に本震(M7.3)と、短期間に同じ地域で最大 震度7の地震が2回発生した。
- 地震動の継続時間は、加速度50gal以上で前震・本震共に20秒程度と、過去の主要な地震と比べて短い。
- 地殻変動に起因する地盤沈降が発生し、最大2m程度の沈降を確認した。なお、緑川・白川水系の国が管理する区間においては、本震後の調査で10cm~20cmの沈降を確認した。
- 余震活動は活発で、マグニチュード3.5以上の地震発生回数は339回(2017年3月7日12時30分現在)であり、 1995年以降で国内最多である。

(2) 堤防及び樋門・樋管の変状の確認状況

- 緑川·白川水系の国管理区間において、堤防の変状が171箇所で確認された。
- 「河川堤防における震後対応の手引き(案)」に示されている変状形態分類を参考に、熊本地震による堤防の変状を分類すると、堤防機能が失われている可能性のある大きな変状が10箇所で確認された。
- 緑川·白川水系の樋門·樋管154施設の内、36施設において変状が確認された。水門、堰、排水機場、陸閘、床止め、落差工等については、変状は確認されなかった。

(3) 地震後の対応

- 堤防機能が失われている可能性のある大きな変状に分類した緑川・加勢川の10箇所と川裏側の法崩れが確認された緑川の1箇所に対して、最低限の堤防機能を確保するため緊急復旧工事を実施し、平成28年5月9日に完了した。それ以外の比較的小規模な変状箇所においても、土砂充填等による応急対応を行った。
- 緊急復旧工事などの応急処置に加え、ソフト対策として、水防警報及び洪水予報の基準水位の暫定的な引き 下げや、緑川ダムの暫定操作、河川監視体制の強化を実施した(第5章に詳述)。

2. 直轄河川管理施設の概要



2.1 緑川・白川水系の流域の地形・地質

報告書本編P.45~P.47

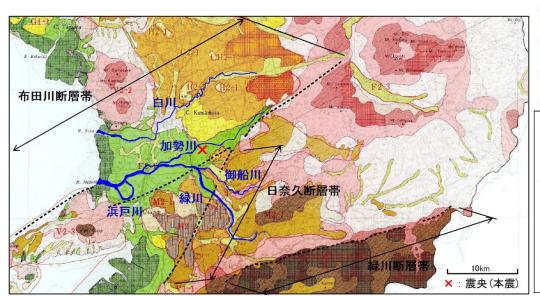
地形

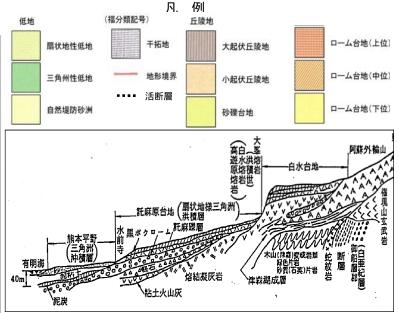
緑川は、上流部を標高 1,500m 前後の急峻な九州山地に囲まれ、中流部は山地部から段丘が発達した細長い平地となっており、下流部には広大な熊本平野が広がる。また、近傍の活断層帯として布田川断層帯・日奈久断層帯、緑川断層帯が確認されている。

白川は、上流部は外輪山と火口原及び中央火口丘群からなり、中流部は河岸段丘及び洪積台 地、下流部は扇状地及び沖積平野が発達している。

地質

熊本平野は山麓から市街地にかけては表層部に厚い礫層が分布し、市街地より海側の沖積平野には30~40mの軟弱な沖積層(有明粘土層)が分布している。





地形図:土地分類図に加筆

断層位置:布田川断層帯 日奈久断層帯の評価、緑川断層帯の長期評価を元に作成

熊本市周辺の地質縦断図 増強改訂 熊本地質図

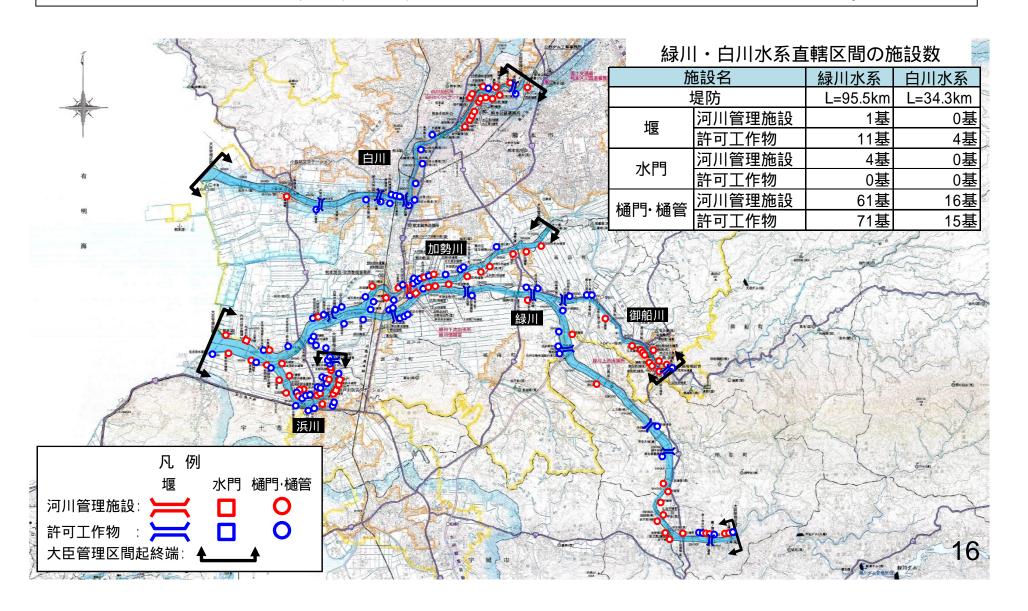
2. 直轄河川管理施設の概要



2.3 緑川・白川の河川管理施設等

報告書本編P.50~P.53

河川管理施設等としては、堤防、護岸、堰、水門、樋門・樋管、排水機場等が存在する。 緑川・白川水系における、堰、水門、樋門・樋管の施設数とその位置を以下に示す。



2. 直轄河川管理施設の概要

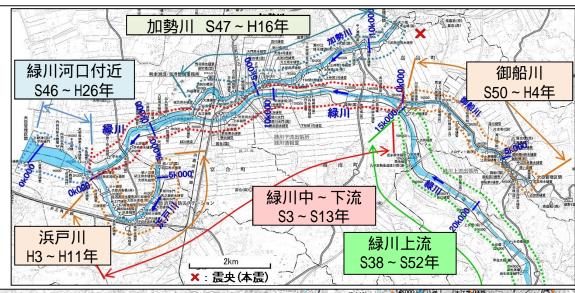


2.3 緑川・白川水系の築堤の変遷

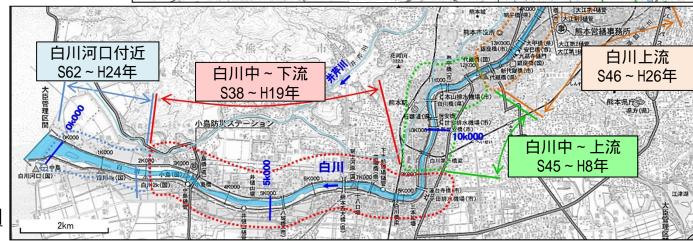
報告書本編P.54~P.55

- 緑川水系では、大正14年から直轄工事に着手し、築堤の第一期改修工事が昭和17年に完了、 昭和37年から再び第二期改修工事に着手した。現在も築堤整備が進められている。
- 白川水系では、昭和31年から「白川改修基本計画」に基づき実施され、白川激甚災害特別緊急事業(昭和55年~60年)等も実施され、現在も築堤整備が進められている。

ここに示した期間は平成27年時点の 堤防形状を形成した主な工事期間を示 すもので、上記期間以降にも部分的な腹 付、嵩上げ等を実施している。



<u>緑川水系の直轄改修による</u> 主な築堤の期間



<u>白川水系の直轄改修</u> による主な築堤の期間



3.1 地震後の調査概要

報告書本編P.58~P.59

- 緑川・白川水系における地震後の河川管理施設の変状の実態や発生原因を確認するため、以下に示す測量・空洞・地質調査を実施した。
- ボーリング調査や堤防開削調査の対象となる"変状が比較的大きかった箇所"とは緑川および加勢川の緊急復旧工事箇所(11箇所)に、白川の特殊堤において大きな沈下、護岸・パラペットに大きなクラックが発生した3箇所(新地地区、蓮台寺地区、十禅寺地区)を加えた14箇所を指す。

熊本地震後に実施した調査とその概要

堤防天端高の測量調査・・堤防沈下量の把握、堤防の変形等を確認するために測量調査

を実施した。

を把握するために、標準貫入試験、土質試験等実施した。

や土質特性の検証のために、堤防開削調査を実施した。

樋門・樋管の空洞化調査 :抜け上がり5cm以上を確認した10施設と、周辺堤防の変状が大

きい1施設を加えた計11施設を対象に、空洞化調査を実施した。

三面張堤防の空洞化調査:三面張堤防において、外観変状はないものの内部に空洞が生

じていないか確認するために、空洞化調査を実施した。



3.2 堤防変状箇所と地形の関係

報告書本編P.60~P.61.P.64~P.66

- 局所的には、白川蓮台寺地区・十禅寺付近から緑川野田地区付近にかけて液状化集中地帯があり、堤防の変状が比較的大きかった箇所が液状化集中地帯付近に集中している。また白川の河口部では、比較的新しい干拓地で堤防の変状が比較的大きかった。



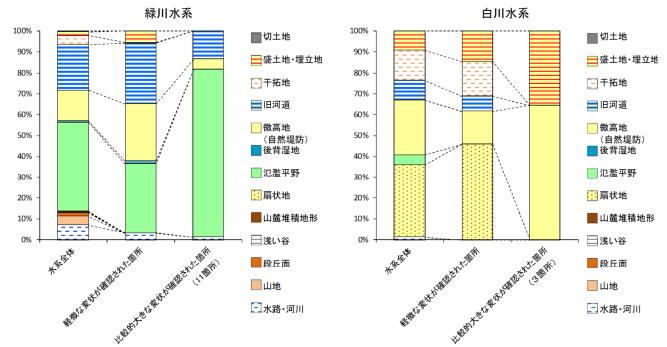


3.2 堤防変状箇所と地形の関係

報告書本編P.62~P.63

- 緑川水系全体の地形区分の割合に比べて、軽微な変状が確認された箇所は、一般的に要注意地 形と言われる盛土地・埋立地、干拓地、旧河道に該当する箇所の割合が多かった。
- 緑川水系において、比較的大きな変状が確認された緊急復旧工事箇所の11箇所は、ほとんどが氾濫平野に該当しており、要注意地形に該当する割合が多いという傾向ではなかった。
- 白川水系において、比較的大きな変状が確認された新地地区、蓮台寺地区、十禅寺地区の 3箇所は、自然堤防に該当する箇所の割合が多く、要注意地形に該当する割合が多いとい う傾向ではなかった。

治水地形分類図における地形区分の構成割合

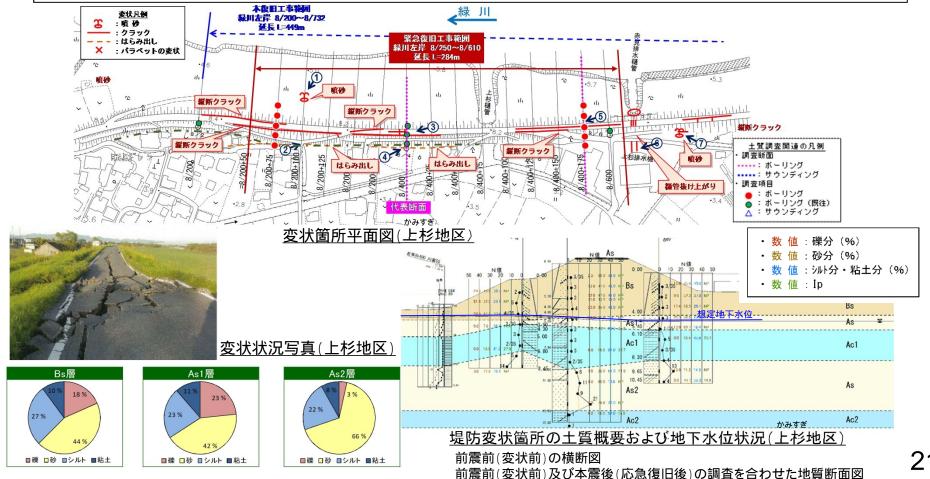




堤防変状箇所の実態調査結果 3.3

報告書本編P.68~P.95

- 堤防変状箇所毎の実態調査結果(緑川 上杉地区の例) (1)
 - 変状が比較的大きかった14箇所を対象に、堤防変状実態およびボーリング調査結果に基 づく堤防土質構成について整理・分析を行った。
 - 例えば上杉地区では、150cm程度の天端の沈下、天端・裏法肩の縦断クラック(段差1m 程度)、川表・川裏法尻のはらみ出し、高水敷の噴砂が確認された。





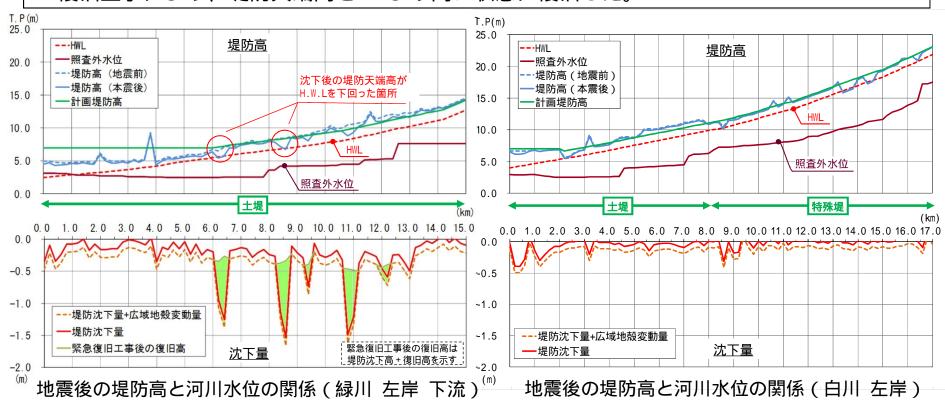
3.3 堤防変状箇所の実態調査結果

報告書本編P.96~P.102

(2) 堤防の沈下量の整理

堤防天端の縦断測量調査に基づき、以下の点を整理した。

- 緑川・白川水系において確認された広域地殻変動量を除いた堤防沈下量は、0cm~20cm程度の区間が多かったが、局所的に沈下量が50cmを超える箇所が複数確認された。
- |● 地震後の堤防天端高は、全区間において照査外水位以上となっていた。
- 地震後に堤防天端高がHWLを下回るなど大きく沈下した箇所が緑川で2箇所あったが、緊急 復旧工事により、堤防天端高をHWLより高い状態に復旧した。





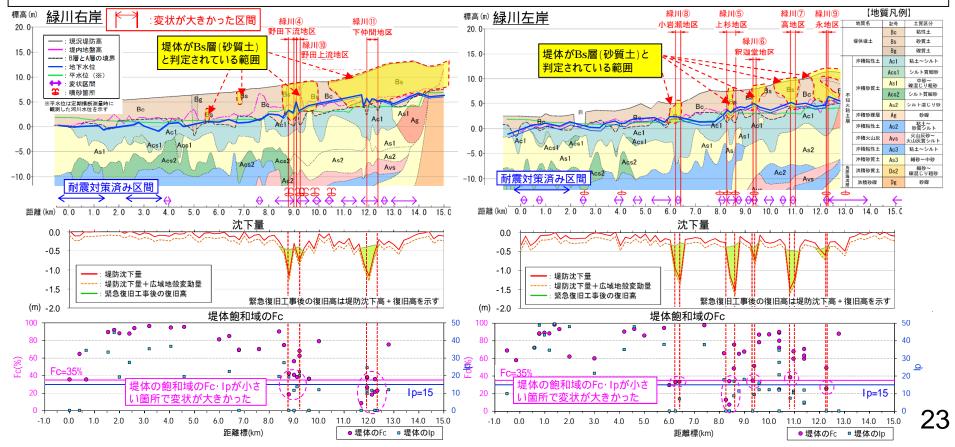
3.3 堤防変状箇所の実態調査結果

報告書本編P.110~P.121

(3) 土質構造の特徴(緑川本川中下流の例)

緑川水系について、変状と土質構造との関係について分析を行った結果、以下の傾向を確認した。

- ●変状の大小の違いは、耐震対策の有無や堤体土質と地下水位によるものと考えられる。
- ●堤体が砂質土である箇所(Fc(細粒分含有率)またはIp(塑性指数)が低い箇所)で変状が比較 的大きくなっており、堤体(Bs層)下部の飽和砂質土が地震時に液状化したものと推測される。
- ●基礎地盤の砂質土(As2)層は粘性土(Ac1)層に被覆されており、変状への影響は小さかったものと推測される。





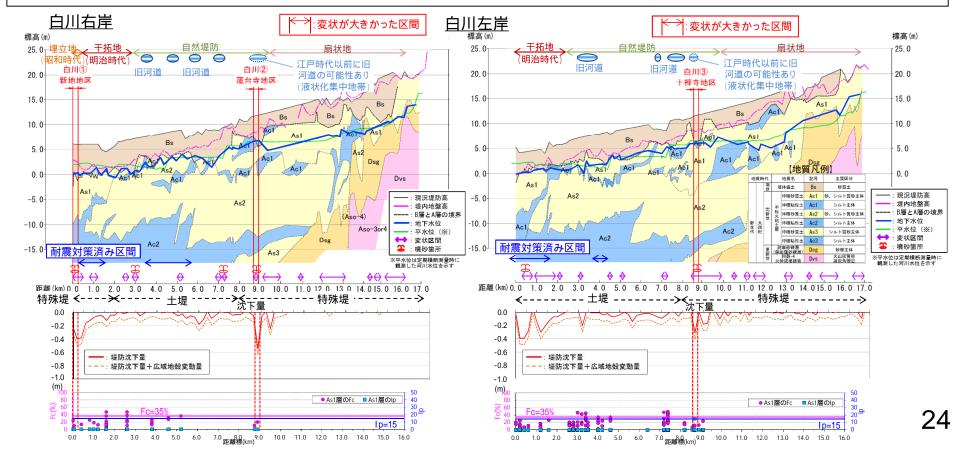
3.3 堤防変状箇所の実態調査結果

報告書本編P.122~P.123

(3) 土質構造の特徴 (白川)

白川水系について、変状と土質構造との関係について分析を行った結果、以下の傾向を確認した。

- 全川にわたり堤体直下に砂質土 (As1)層が分布している。
- 変状の比較的大きかった区間は、地下水位が高く、液状化集中地帯付近や比較的新しい干拓地に位置する。
- 9k付近より上流の変状の小さかった特殊堤区間では、地下水位が低く砂質土(As1)層天端から3m程度以上の不飽和層を形成しているため、変状への影響は小さかったものと推測される。

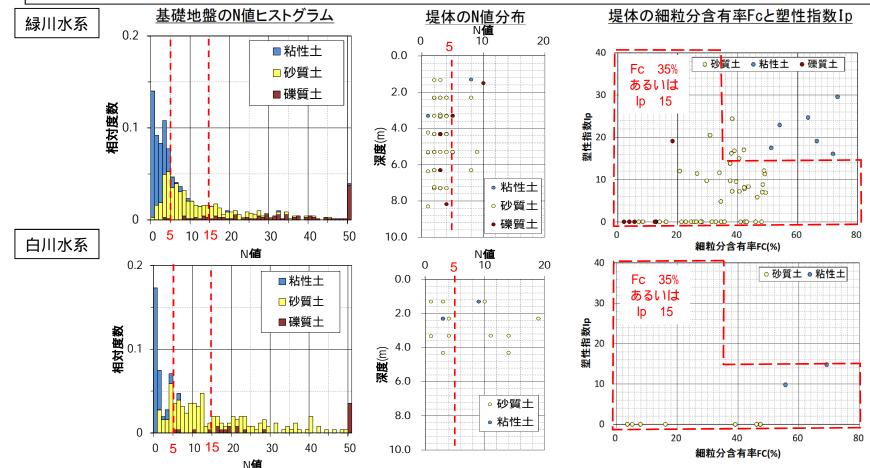




3.3 堤防変状箇所の実態調査結果

報告書本編P.124~P.127

- (4) 堤防および基礎地盤の土質特性(変状が比較的大きかった箇所)
 - 変状の比較的大きかった堤防において、
 - 基礎地盤のN値は、粘性土は概ね5以下、砂質土は概ね15以下が多い。
 - 堤体のN値は、緑川水系では概ね5以下と低い値であり白川水系ではばらつきが大きい。
 - 堤体の細粒分含有率Fcは、緑川水系・白川水系ともに、Fc 35%、またはFc > 35%であってもIp 15の範囲に多く分布している。





3.3 堤防変状箇所の実態調査結果

報告書本編P.128~P.131

- (4) 堤防および基礎地盤の土質特性(変状の大・小の箇所の対比)
 - 緑川水系において、変状が比較的大きかった箇所の堤体は砂質土の割合が多くFc 35%あるいはIp 15の材料が多いのに対し、そうでない箇所の堤体は粘性土の割合が多くFc> 35%かつIp>15の材料が多い。
 - 白川水系において、変状が比較的大きかった箇所の基礎地盤(As1層)のFcは、そうでない箇所より小さい傾向にある。

緑川水系における堤体のFcとIpの関係

●砂質土 ● 粘性土 ● 礫質土

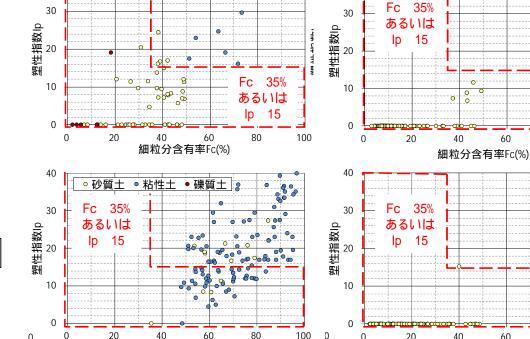
細粒分含有率Fc(%)

白川水系における基礎地盤As1層のFcとIpの関係とFcヒストグラム

細粒分含有率Fc(%)

100

変状が比較的 大きかった箇所



0.5 0.4 5~25%に多〈分布 図0.3 型型0.2 0.1 0 25 35 50 75

Fc(%)

26

それ以外の箇所

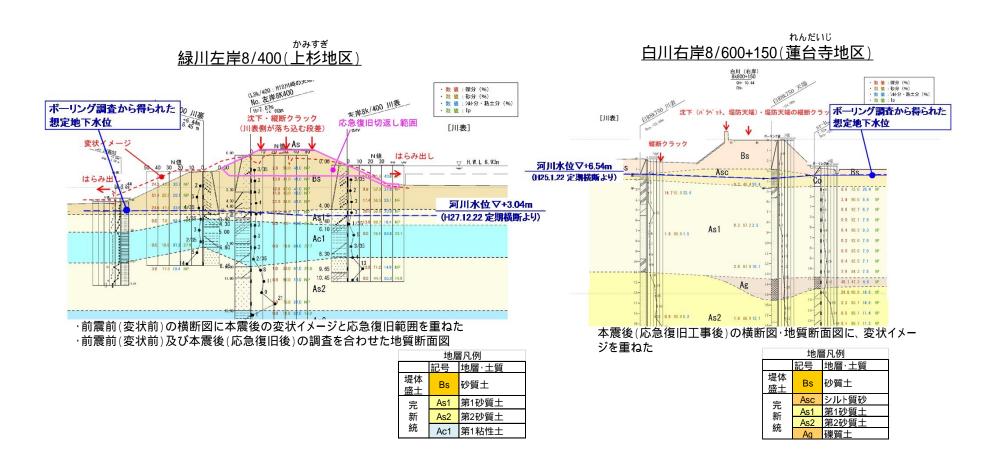


3.3 堤防変状箇所の実態調査結果

報告書本編P.132~P.133

(5) 地下水位の特徴

変状の比較的大きかった箇所において、ボーリング調査時の地下水位は河川水位とほぼ同じ高さであったことから、地下水位と河川水位は連動していると考えられる。

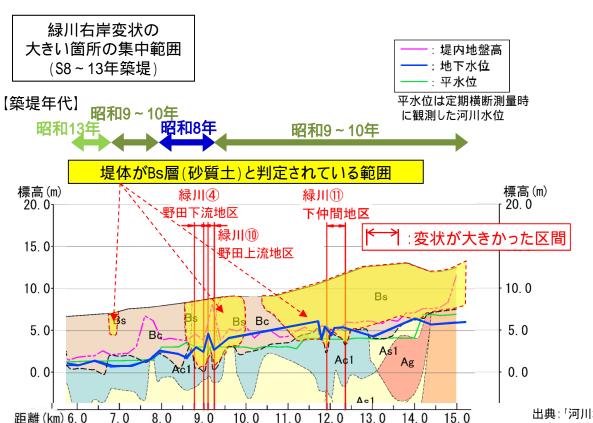




3.3 堤防変状箇所の実態調査結果

報告書本編P.134~P.135

- (6) 築堤の歴史と変状の特徴(緑川)
 - 緑川において、比較的変状が大きかった区間では、昭和8~13年にほぼ現在の堤防形状に近い形で築堤されている。
 - 当時は河床材料を築堤材料として用いており、また人力による締固めが行われていたことから、不 十分な締固めによる強度不足があったことが推測される。







大正~昭和30年代に行われた 撒き出しと人力による締固め

出典:「河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント土木研究所」より引用 写真は、「中島秀雄:国土技術研究センター 第1回堤防委員会資料」より引用



3.4 堤防変状箇所の開削調査結果(緑川)

報告書本編P.136,P.147~P.151

|緑川では、7地区で開削調査を実施した結果、以下の事項を確認した。

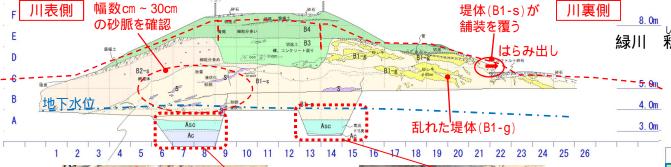
- 堤体下部の砂脈、堤体内の層の乱れやクラック等を確認した。
- 基礎地盤粘性土(または細粒分含有率が大きい砂質土)上に位置する堤体下部(砂質土)が地下水 位以下となっていることを確認した。

緑川釈迦堂地区における開削調査結果

- │● 堤体の下部~川表側では堤体(B1-s)中に砂脈が分布する。砂 │ 脈は川表側に向かって緩〈傾斜している。
- 堤体(B1-s)中には礫の濃集部分(B1-g)を伴う。礫質土(B1-g)は 乱れた構造を示して川裏側へ緩く傾斜している。
- 川裏側法尻付近の堤体のはらみ出し箇所では、砂脈は確認できなかったが、堤体中の礫質部(B1-g)で層の乱れが顕著である。



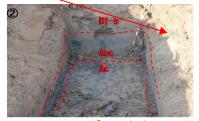
開削面の写真(上流面)



20



堤体(B1-s)と沖積層(Asc)の境界は明瞭である。AscとAc層は目視では区分不可能である。トレンチでのAsc上面は概ね水平である。



沖積層(AcとAsc)はいずれも灰色を呈する。沖 積層(Ac)は上位に向かって粗粒となり、上位の 砂分が多い箇所をAscとし、Acと区分した。

いっかどう 釈迦堂地区(緑川左岸9/300~9/420) 開削面のスケッチ(上流面)

本震後(応急復旧工事後)の横断図に開削スケッチ、地震後の横断イメージを重ねた

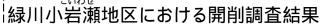
記号	土質	層相
B4	四次盛土 (切返し土)	砂質土、粘性土
B3	三次盛土 (切返し土)	礫混り土
B2-s	二次盛土	砂質土、粘性土
B1-g	一次盛土	礫質土
B1-s	一次盛土	砂質土
Asc	沖積層	砂質シルト
Ac	沖積層	粘性土
S	充填砂	砂

緊急復旧工事範囲 切返し土には沈下分の高さ(周辺堤防 との差)の復旧盛土を含む



3.4 堤防変状箇所の開削調査結果(緑川)

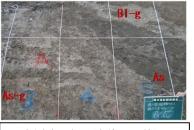
報告書本編P.152~P.156



111 = /81

- B1-gは流動化に伴う変形が見られ、乱れた状 態で川表側に傾斜する。堤体中央付近では、堤 体の沈下に伴う高角度クラックあるいは低角度 のクラックを確認した。
- ボーリングおよびトレンチ調査で確認した沖積 砂質土層(Acs)の上面は、標高1.2m~1.5mで ほぼ水平である。

開削面の写真(上流面) 川表側 川裏側



川裏側へ傾斜する高角度クラッ クの密集状況 (赤線部)

7. Om	「川衣側」 高角度クラック密集部	711 20 17.3
		川表側法尻部の沖積層の状況
6. Om	B1-gの変形、	充境砂
5. Om	E 川表側へ傾斜 RB シルト シルト同砂 教育しま	プリーグル 健胃粘性土 B2-c
4. Om	D ØL+ Ø20mm Øppen Zon	低角度クラック
	C Depart	B1-s
3. Om	BI-8	os はby出し
2. Om	B 褐灰 秋質 以午留士 As-g 編集士 珍貴 As B1-s	○8 地下水位 ▼*@# 1
1 0	A 風化岩片よりなる シルト	
1. Om	Acs / But	Acs
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	13 14 15 16 17 18 19 20 21
	1 2 0 1 0 0 7 0 0 10 11 12	10 10 10 10 20 21

本震後(応急復旧工事後)の横断図に開削スケッチを重ねた

緑川 小岩瀬地区(緑川左岸 6/200~6/450) 開削面のスケッチ(上流面)

> 川裏側のトレンチ。色 および粒径でAcsと B1-sは区分できる



	記号	土質	層相
	B2-c	二次盛土 (切返し土)	粘性土
	В2-д	二次盛土 (切返し土)	礫質土
1.	B1-g	一次盛土	砂礫
	B1-s	一次盛土	砂質土
	As	沖積層	腐植土、砂
	As-g	沖積層	礫混り砂質土
	Acs	沖積層	粘性土(砂質シルト)
	F	充填砂	砂

緊急復旧工事範囲 切返し土には沈下分の高さ(周辺堤防 との差)の復旧盛土を含む



堤防変状箇所の開削調査結果(白川)

報告書本編P.136,P.177~P.182

白川では、3地区で開削調査を実施した結果、以下の事項を確認した。

- 基礎地盤の砂質土と同色の砂脈を堤体下部で確認した。また、砂脈、噴砂の粒度分布と基礎 地盤粒度分布がほぼ一致した。
- 基礎地盤の砂質土のほぼ全体が地下水位以下となっていることを確認した。





3.5 空洞化調査 <u>報告書本編P.188~P.189</u>

- (1) 樋門・樋管の変状箇所における空洞化調査
 - 本震後に樋門・樋管及び周辺の緊急点検等を実施し、直轄区間内の合計154施設の内、 36施設で変状を確認した。
 - 5cm以上の抜け上がり を確認した10施設と、周辺堤防の変状が大きい上杉樋管を加えた11施設を対象に、空洞化調査を実施した。

柔構造樋門設計の手引き に "既往の変状調査等から、地盤条件にもよるが函体と周辺地盤との相対沈下が10cmを超えると空洞化が発生することが多い" と記載されていることを参考に、安全側の5cmと設定した。

:空洞化調查対象施設

変状を確認した樋門・樋管の対応結果

				構造上の水み	ち形成の要因	緊急点検結果	空洞化調査	対応結果					構造上の水み	ち形成の要因	緊急点検結果	空洞化調査	対応結果
河川名	ï	可川位置	施設名	遮水矢板	基礎	5cm以上の 抜け上がりの有無 (段差量)	(:対象) (-:不要)	(:要対策) (- :要監視)	河川名	,	可川位置	施設名	遮水矢板	基礎	5cm以上の 抜け上がりの有無 (段差量)	(:対象) (-:不要)	(:要対策) (-:要監視)
白川	左岸	4/475	井樋山用水樋管	あり	杭	あり (5cm)		-	加勢川	左岸	2/395	杉島樋管	あり	杭	なし	-	-
白川	左岸	8/545	平田排水樋管	あり	杭	あり (35cm)		-	加勢川	左岸	3/820	大渡樋管	なし	杭	なし	-	-
白川	左岸	10/600	本山排水樋管	なし	杭	なし	-	-	加勢川	左岸	5/677	犬渕1号排水樋管	あり	杭	あり (10cm)		
白川	左岸	14/290	大江第2樋管	なし	杭	なし	-	-	加勢川	左岸	5/849	犬渕2号排水樋管	なし	杭	なし	-	-
白川	左岸	14/870	大江第3樋管	なし	-	なし	-	-	加勢川	左岸	8/000	上仲間1号樋管	あり	-	なし	-	-
白川	左岸	15/090	大江第4樋管	なし	-	なし	-	-	加勢川	左岸	8/300	上仲間2号樋管	なし	-	なし	-	-
白川	左岸	17/100	渡鹿樋管	あり	-	なし	-	-	加勢川	左岸	9/500	古川排水樋管	なし	杭	あり (25cm)		-
白川	右岸	7/405	下水処理場樋管	なし	杭	なし	-	-	加勢川	左岸	10/165	鯰排水樋管	なし	杭	あり (20cm)		-
白川	右岸	7/609	中部浄化センター 放流樋管	あり	-	なし	-	-	加勢川	左岸	10/800	三郎無田排水樋管	なし	杭	あり (35cm)		-
白川	右岸	16/347	宇留毛樋管	あり	-	なし	-	-	加勢川	右岸	0/500	六間用水樋管	あり	杭	なし	-	-
緑川	左岸	-0/230	住吉排水樋管	あり	杭	あり (25cm)			加勢川	右岸	1/750	出九郎樋管	あり	杭	なし	-	-
緑川	左岸	0/220	直築排水樋管	なし	杭	(25cm) なし	-	-	御船川	左岸	2/575	小坂樋管	なし	杭	あり (25cm)		-
緑川	左岸	4/085	莎崎排水樋管	なし	杭	あり (25cm)			御船川	右岸	0/645	川田樋管	あり	-	なし	-	-
緑川	左岸	4/205	上莎樋管	なし	-	なし	-	-	御船川	右岸	1/676	八竜樋管	あり	杭	なし	-	-
緑川	左岸	8/470	上杉樋管	なし	杭	なし		-	御船川	右岸	5/150	御船第4排水樋管	なし	-	なし	-	-
緑川	左岸	8/650	赤見排水樋管	あり	杭	あり (25cm)			浜戸川	左岸	4/150	馬之瀬樋管	なし	杭	なし	_	
緑川	右岸	0/900	内田川吐出樋管	あり	杭	なし	-	-	浜戸川	右岸	3/100	渡場排水樋管	あり	杭	なし	-	-
恋状を	変状を確認した樋門・樋管の数 3.0 3.0 3.0 3.0 3.0 3.0 3.0 3.0 3.0 3.0				36		,	浜戸川	右岸	3/943	源三郎排水樋管	なし	杭	なし	-	-	
				1. 桶管の数		10										-	-
5cm以上の抜け上がりを確認した 樋門・樋管の数						10			浜戸川	右岸	4/780	太郎丸排水樋管	なし	杭	なし	-	-



3.5 空洞化調査 <u>報告書本編P.190</u>

(1) 樋門・樋管の変状箇所における空洞化調査

対象となる11施設に対する空洞化調査の結果は以下に示す通りであり、4施設において 空洞が5cmを超え、かつ遮水機能が失われていることが確認された。

空洞化調査対象樋門・樋管の調査結果

	抜上り量	空洞化調査(底盤部)							
		空	遮水機能確認						
施設名	最大 抜上り量	: 空洞なし(0cm) 最大空洞量 : 軽微な空洞(0~5cm) ×: 空洞あり(5cm以上)		∷遮水機能あり ×∶遮水機能なし - ∶調査不要					
いびやまょうすいひかん 井樋山用水樋管	5cm	11cm	×	0					
ひらたはいすいひかん 平田排水樋管	35cm	0cm	0	-					
すみょしはいすいひかん 住吉排水樋管	25cm	30cm	×	×					
こうざきはいすいひかん 莎崎排水樋管	25cm	33cm	×	×					
_{かみすぎひかん} 上杉樋管	なし	1cm		-					
ぁかみはいすいひかん 赤見排水樋管	25cm	8cm	×	×					
いぬふち ごうはいすいひかん 犬渕1号排水樋管	10cm	10.5cm	×	×					
ふるかわはいすいひかん 古川排水樋管	25cm	3cm		-					
なまずはいすいひかん 鯰排水樋管	:まずはいすいひかん			-					
さぶろうむたはいすいひかん 三郎無田排水樋管	35cm	3cm		-					
^{ぉざかひかん} 小坂樋管	25cm	0cm	0	-					

空洞なし+軽微な空洞については、ほぼ健全な状態であるため、遮水機能確認は調査不要としている。

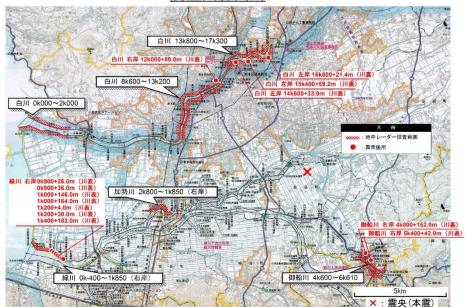


3.5 空洞化調査 <u>報告書本編P.196~P.198</u>

(2) 三面張堤防の空洞化調査

- 三面張堤防を対象に地中レーダー探査を実施し、空隙・空洞の可能性があると判定された箇所について、削孔の上ファイバースコープによる目視調査を行った。
- 調査の結果、全箇所において空洞が無いことを確認した。

調査実施箇所





地中レーダー探査状況



ファイバースコープ調査状況

三面張堤防における空洞調査の結果

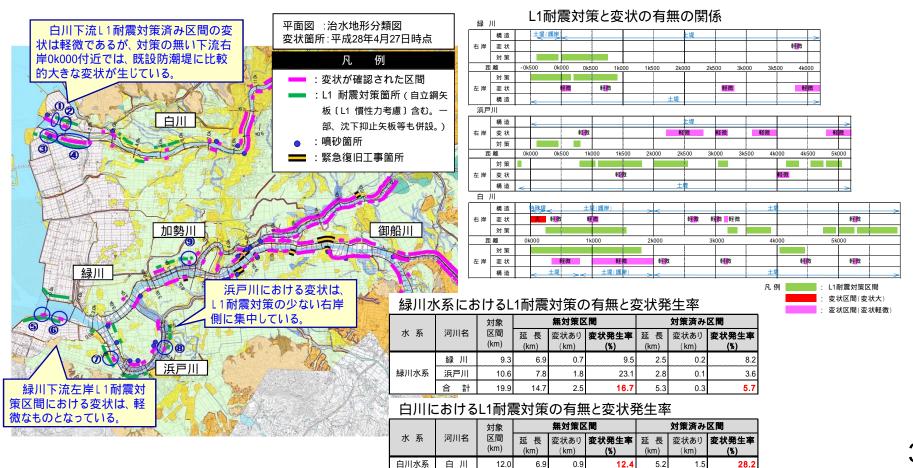
河川名	位置	測線位置	距離(m)	深度 (m)	地中レーダ探査結果	ドリル削孔および ファイバースコー プによる確認
	右岸	川表	12k000+89.0m	0.3 ~ 0.5	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし
白		川表	14k600+33.0m	0.5	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし (混入物を確認)
Ш	左岸	川裏	15k400+59.2m	0.6	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし
		川裏	16k800+21.4m	0.6	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし
		川表	0k900+26.0m	0.2	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし
		川表	0k900+36.0m	0.2	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし
		川表	1k000+146.0m	0.2	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし
緑川	右岸	川表	1k000+164.0m	0.2	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし
		川表	1k200+4.0m	0.2	舗装直下に空隙の可能性あり	空洞なし
		川表	1k200+30.0m	0.5	舗装直下に空隙もしくは緩みの可能性あり	空洞なし
		川表	1k400+182.0m	0.5	舗装直下に空隙もしくは緩みの可能性あり	空洞なし
御船	右岸	川裏	4k800+152.0m	0.3	舗装直下に空隙もしくは緩みの可能性あり	空洞なし
川	口圧	川表	5k400+42.0m	0.2	舗装直下に空隙もしくは緩みの可能性あり	空洞なし



3.6 既往耐震対策の効果

報告書本編P.199~P.200

- (1) L1対策済み箇所とその周辺における堤防変状
 - 緑川・白川水系の下流側一部区間においてL1耐震対策が行われている。以下の理由より、耐震対策の効果は発現されたと考えられる。
 - 緑川のL1耐震対策済み区間については、無対策区間に比べて変状は少なく軽微であった。
 - 白川のL1耐震対策済み区間については、変状発生率は小さくなかったが、軽微な変状に留まった。



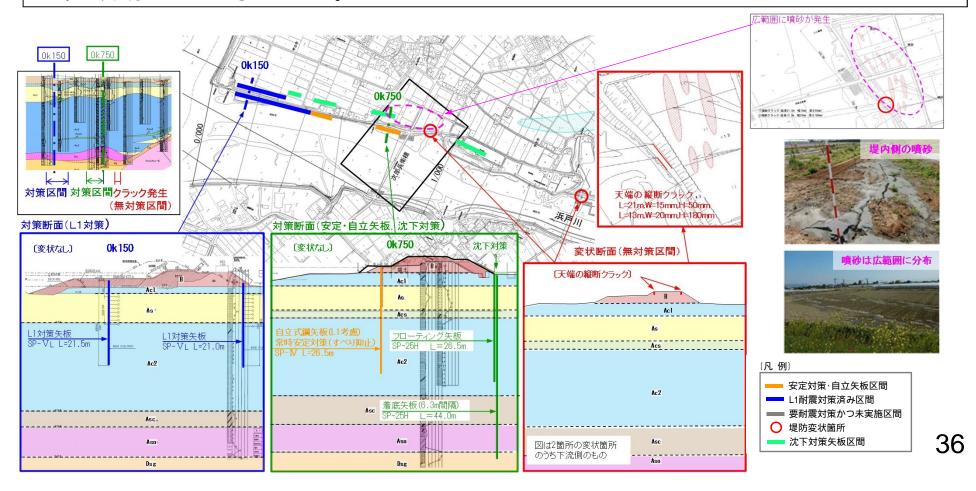
3.地震による堤防変状の特徴



3.6 既往耐震対策の効果

報告書本編P.201

- (2) L1耐震対策(耐震矢板)を施工した箇所の事例(浜戸川右岸0k100~0k810付近)
- 該当区間堤内側では噴砂が広範囲で確認され、As層が液状化したと考えられる。
- L1耐震対策済み区間やL1耐震対策に近い矢板が設置されている区間においては、変状がほとんど確認されておらず、無対策区間において一部変状を確認した。
- 以上のことから、当該区間においては、L1耐震対策、その他対策矢板によって変状を抑える効果が発現されたと考えられる。



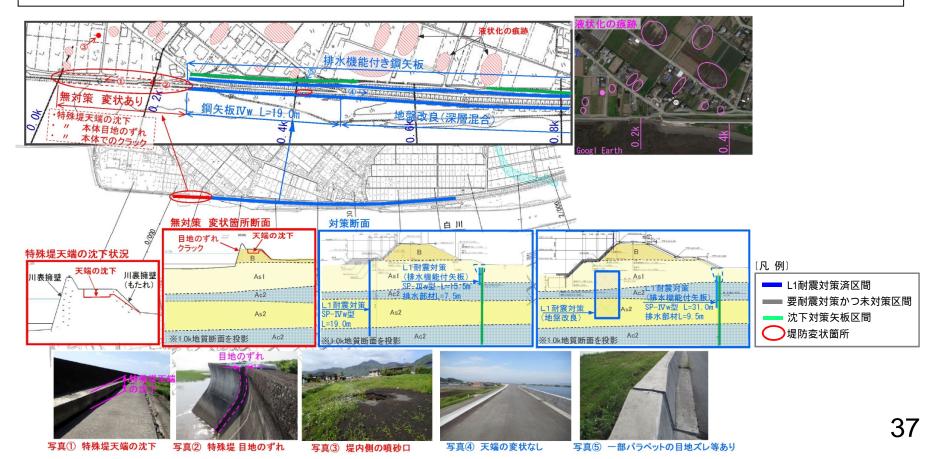
3. 地震による堤防変状の特徴



3.6 既往耐震対策の効果

報告書本編P.202

- (3) L1耐震対策(耐震矢板)を施工した箇所の事例(白川右岸0.00k~1.50k 付近)
 - 当該区間堤内側では噴砂と液状化が確認され、As1層が液状化したと考えられる。
 - 耐震対策無しの0k000~0k250付近では特殊堤天端の沈下、目地ズレなど、変状規模は比較的大きかった。一方、0k250~1k500のL1耐震対策区間では、変状箇所は少なく軽微であった。
 - 以上のことから、当該区間においては、L1耐震対策によって変状を抑える効果が発現されたと考えられる。



3. 地震による堤防変状の特徴



3.7 堤防変状の経時変化

報告書本編P.204~P.206

- 緑川・白川水系共に、前震後に確認された堤防の変状が本震後に拡大した箇所が確認された。
- パラペットおよび盛土天端に比較的大きな沈下が確認された白川右岸8k800付近(蓮台寺地区)において、堤防沈下の経時変化を確認したところ、本震後から7月上旬までの約2ヶ月間に沈下の進行は認められなかった。



前震後と本震後の堤防の変状の拡大事例

緑川左岸16k380付近



緑川右岸12k300付近



本震後の堤防天端の沈下量の変化(白川右岸8k800付近、蓮台寺地区)





3.地震による堤防変状の特徴



3.8 まとめ <u>報告書本編P.207</u>

平成28年(2016年)熊本地震による緑川水系・白川水系の直轄区間における堤防及び樋門・樋管の変状の特徴を、以下に挙げる。

(1) 堤防の変状

- 緑川および加勢川の緊急復旧工事箇所(11箇所)と、白川の特殊堤において大きな沈下と護岸・パラペットに大きなクラックの発生した3箇所(新地、蓮台寺、十禅寺地区)の14箇所は、堤防の変状が比較的大きかった。
- 緑川水系・白川水系の堤防天端標高と河川水位との関係では、地震(前震・本震)発生後においても全区間にわたって堤防天端標高が照査外水位より高い状態を保持していたものの、HWLよりも堤防天端標高が低くなった区間が緑川本川で2箇所確認された。
- 変状規模と堤体土質構造の関係については、緑川中流域で堤防の変状が比較的大きかった箇所は、 堤体が砂質土により構成されており、かつ下部が飽和状態となっていた。このことから、堤体下 部の飽和砂質土が地震時に液状化したものと推測される。
- 白川で堤防の変状が比較的大きかった箇所は、浅部基礎地盤が砂質土により構成されており、かつ地下水位が地表面にかった。また、比較的若齢な干拓地や液状化集中地帯に位置していた。このことから、基礎地盤の浅部砂質土が地震時に液状化したものと推測される。
- 比較的変状の大きかった箇所で実施した緑川・白川の堤防開削調査では、クラックや土層の乱れ、 液状化によるものと考えられる砂脈を堤体内に確認している。
- 緑川水系・白川水系で耐震対策が実施されている区間においては、変状がないあるいは軽微であり耐震対策の効果が発現された。

(2) 樋門・樋管の変状

• 変状が確認された樋門・樋管36施設の内、抜け上がりが大きいあるいは周辺堤防の変状の大きい 11施設を対象として空洞化調査を実施した結果、4施設において空洞が発生しておりかつ遮水機 能が失われていることが確認された。



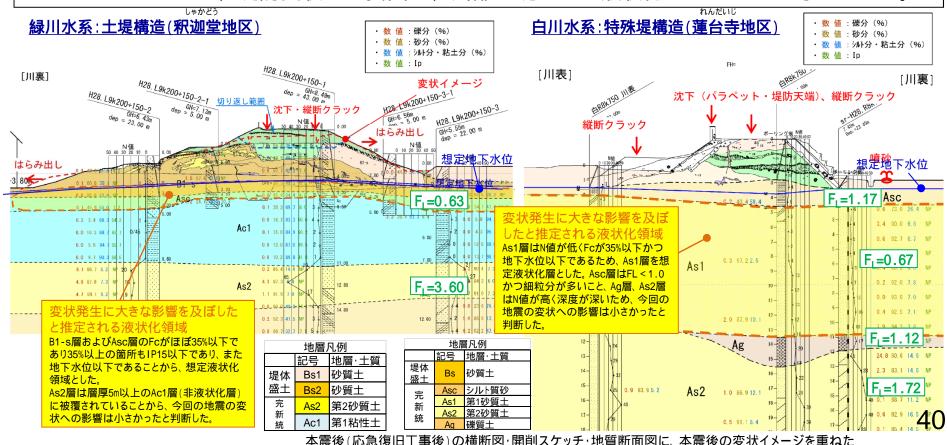
4.1 地震による堤防変状の主要因と変形過程

報告書本編P.210~P.223

(1) 堤防変状の主要因の推定(全体)

熊本地震による堤防の変状が比較的大きかった箇所について、前章までに述べた各種調査結果 に加え、堤体や基礎地盤の液状化判定などを実施し、変状が生じたメカニズムの推定を行った。

- 緑川水系では、堤体下部の飽和した砂質土層が存在し、そのFcがほぼ35%以下であり、F_Lが 1.0以下であることから、堤防変状の主要因は、堤体下部の液状化によるものと考えられる。
- 白川水系では、浅部基礎地盤の飽和した砂質土層の Fcがほぼ35%以下であり、F_Lが1.0以下であることから、堤防変状の主要因は、浅部基礎地盤の液状化によるものと考えられる。





地震による堤防変状の主要因と変形過程

報告書本編P.224~P.226

H28. L9K200+150-3-1

堤防変状の主要因の推定(F₁値の評価)

地下水位

地層名

堤防の変状が大きかった箇所において液状化判定を行った結果、緑川 水系では堤体下部の飽和域、白川水系では浅部基礎地盤において液状化 に対する抵抗率F_Lは1.0以下となり、液状化が発生する判定となった。 728. 1.9k200+150-2-1 切り返し範囲

地域区分

観測加速度

B2

426gal (加勢川水門)

T.P.+3.80m

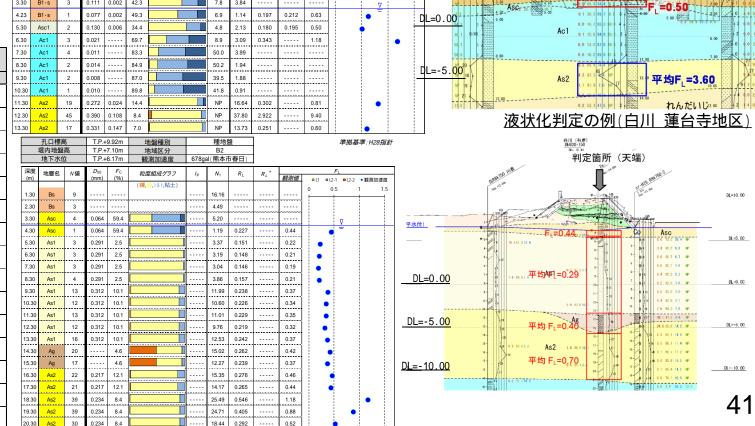
TP±4.40m

0.008 0.089 0.003 46.5 液状化判定の例(緑川 釈迦堂地区)

判定箇所

変状に影響を及ぼしたと 推測される地層のFi値

水系名	河川名	地区名				
			堤防の変状に寄与した 地層の平均F.値 地層名 平均F.値 As 0.26 			
	緑川	田口	As	0.26		
	緑川	津志田	-	-		
	加勢川	下無田	Asc1	0.34		
	緑川	野田下流	Bs	0.46		
	緑川	上杉	As1	0.47		
緑川	緑川	经油品	B1-s	0.63		
水系	無利用	釈迦堂	Asc	0.50		
	緑川	高	Bsc	0.56		
	緑川	小岩瀬	Bs	0.52		
	緑川	永	Bsc	0.48		
	緑川	野田上流	Bsc	0.44		
	緑川	下仲間	Bs	0.93		
	白川	新地	As1	1.00		
白川 水系	白川	蓮台寺	As1	0.29		
	白川	十禅寺	As1	0.29		



0.5



4.1 地震による堤防変状の主要因と変形過程

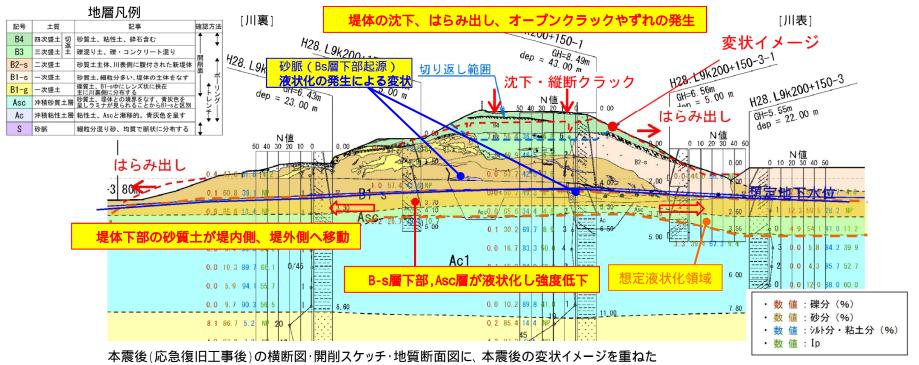
<u>報告書本編P.215</u>

(2) 堤防変状の主要因の推定(緑川釈迦堂地区を例に)

場川釈迦堂地区では、堤体下部の地下水位直上部付近で砂脈が確認された。この砂脈は褐灰色であることより、堤体下部及び基礎地盤の砂質土層(B1-s,Asc)が起源と考えられるため、地下水位以下の堤体下部層、砂質土層(B1-s,Asc)が液状化したと推定される。

これより堤防の変形過程は、 堤体下部及び基礎地盤の地下水位以下の層(B1-s,Asc)で液状化による強度低下を生じ、 堤体上部の重量を支えきれず上載荷重の少ない堤内側、堤外側に移動、 堤体の沈下、はらみ出し、オープンクラックなど堤防に変状が発生したと考えられる。

緑川 緑川左岸 9/200+150~9/400【釈迦堂地区】





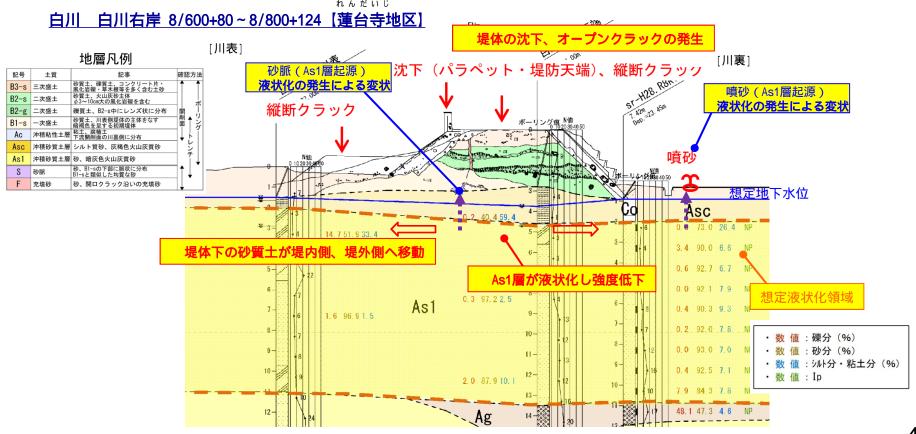
4.1 地震による堤防変状の主要因と変形過程

<u>報告書本編P.222</u>

(2) 堤防変状の主要因の推定(白川蓮台寺地区を例に)

| 白川蓮台寺地区では、堤防下部では砂脈が確認された。この砂脈や堤内地の噴砂の粒度試験の結果、As1層 |起源の砂であることが判明したため、As1層が液状化したと推定される。

これより堤防の変形過程は、 As1層で液状化による強度低下を生じ、 堤体の重量を支えきれず堤体下の As1層の砂質土が上載荷重の少ない川表側、川裏側に移動、 それに伴い、堤体の沈下、オープンクラックの 発生など堤防に変状が発生したと考えられる。





4.1 地震による堤防変状の主要因と変形過程

報告書本編P.227~P.228

(3) 堤防の変形過程

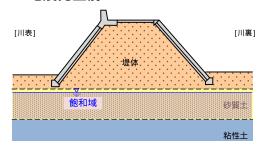
堤防の変状が比較的大きかった箇所について、調査結果や液状化判定などから、地震による堤防の変形は以下の過程で発生したと考えられる。

緑川水系(土堤構造)

地下水位は河川水位等と連動しており、堤 体下部の地下水位以下の領域に飽和域が 形成されている。

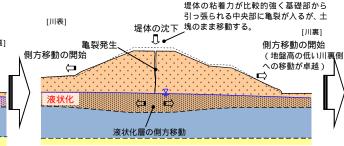
白川水系(特殊堤構造)

地震発生前



地下水位は河川水位等と連動しており、基礎地盤砂層が飽和状態となっている。

飽和域の液状化発生に伴う亀裂発生



堤体下部の地下水位以下の領域が地震動により間隙水圧が上昇し強度が低下(液状化発生)すると、堤体は自重により沈下するとともに、中央部から、川表・川裏側に分かれて法尻方向に側方移動し始め、天端中央付近に亀裂が発生する。

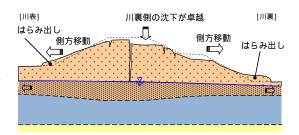
地震発生~液状化発生



地震動により飽和砂質土の間隙水圧が上昇し、 その剛性・強度が徐々に低下することで、堤体自 重により基礎地盤が鉛直方向に圧縮、水平方向 に流動するように変形する。

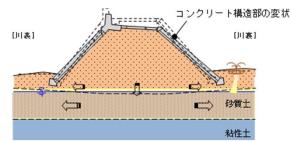
それに伴う堤体も変形し、それに追随するコンク リート構造部に変状が見られる。

堤体変形・亀裂・はらみ出しの拡大



液状化の程度が大きいと変形はさらに拡大し、 法面部の側方移動増加と法尻部のはらみ出し が発生する。また側方移動に伴う副次的な亀 裂が複数発生する。

堤体変形・コンクリート構造部の変状拡大



液状化の程度が大きい場合、基礎地盤及び堤体がさらに変形し、パラペットや天端コンクリート、護岸に大きな変状が生じる。



4.2 堤防の本復旧の基本方針

報告書本編P.229

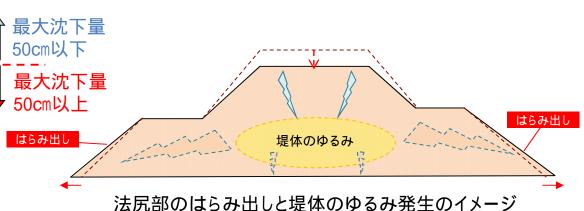
4.2.1 基本方針

- 緑川水系の土堤において、堤防にはらみ出しが生じた箇所では、堤防天端の沈下量は多くが 50cm以上であった。
- はらみ出しが生じた堤防では堤体内にゆるみが存在していると考えられる。従って、法尻部にはらみ出しが生じた箇所において、堤防機能を地震前の状態に回復させるために、堤体を切り返すことで直接ゆるみを除去することとした。
- 上記以外の変状箇所については、クラック部分の切返し、補修等を行うこととした。

はらみ出しの有無と天端沈下量の関係(箇所数)

はらみ出し 最大沈下量 0cm 0cm~10cm 10cm~20cm 20cm~30cm 24 17 18 30cm~40cm 40cm~50cm 50cm~60cm $60 \text{cm} \sim 70 \text{cm}$ 70cm~80cm 80cm~90cm 90cm~100cm 100cm~110cm 110cm~120cm 120cm~130cm 130cm~140cm 140cm~150cm 150cm~ 99 106

/・沈下50cm未満の変状箇 所のうち1箇所において はらみ出しが生じていた。 災害復旧事業申請時には、堤防(土堤)の沈下量が概ね50cmを目安として対策区間と対策工法の選定を行ったが、工事実施にあたっては、はらみ出しの有無の確認や開削調査等の詳細調査を実施した上で決定した。



、沈下50cm以上の変状箇所のうち2箇所にお 、いてはらみ出しが生じていなかった。



4.2 堤防の本復旧の基本方針

報告書本編P.230

4.2.1 基本方針

- 白川水系の特殊堤において、護岸やパラペット、天端コンクリート等に比較的大きな変状が生じた箇所では、堤防天端の沈下量は20cm以上であった。
- 護岸等に比較的大きな変状が発生した箇所では短期間での復旧が困難であった。従って、護岸等に比較的大きな変状が発生した箇所において、堤防の切返し、護岸の復旧と併せて、将来熊本地震と同規模の地震発生時においても、護岸の修復を伴わない程度の沈下・変状に留めることを目標とした液状化対策を行うこととした。
- 上記以外の変状箇所については、護岸の補修等を行うこととした。

護岸やパラペット、天端コンクリート等に比較的大きな変状が生じた箇所





パラペット基部まで至るクラック(右岸 8k600 付近) 護岸に生じたクラック(左岸 8k400 付近)

護岸やパラペット、天端コンクリート等に軽微な変状が生じた箇所





パラペット天端のクラック(右岸 9k500 付近)

護岸に生じたクラック(右岸 9k400 付近)

災害復旧事業申請にあたっては、堤防(三面張特殊堤)の 沈下量が20cmを目安として対策区間と対策工法の選定を 行ったが、工事実施にあたっては、パラペットや護岸の変状 の規模により決定した。

			•
	パラペット		
最大沈下量	クラック	ク規模	
	大	小	
0cm		3	$\langle \cdot \rangle$
0cm∼10cm		4	量 最大沈下量 20cm 以下
10cm~20cm		2	以
20cm~30cm			
30cm∼40cm	2		最大沈下量 20cm 以上
40cm~50cm			
50cm~60cm			\
60cm~70cm	1		
70cm~80cm			
80cm~90cm			
90cm~100cm			
100cm~			
	3	9	

熊本地震による天端沈下量が20cm以上の箇所では、パラペットや護岸に大きな変状が発生していた。

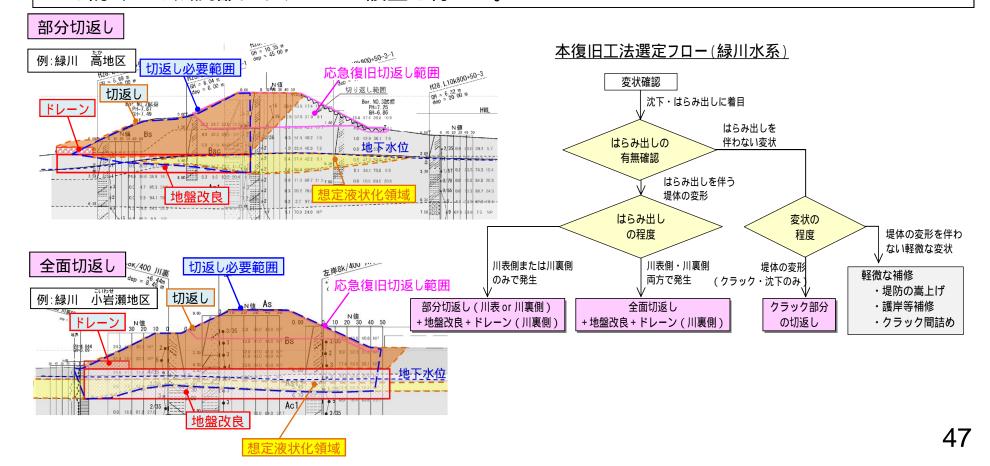


4.2 堤防の本復旧の基本方針

報告書本編P.231~P.234

4.2.2 本復旧工法選定の考え方と留意事項(緑川)

- 緑川水系の本復旧対象箇所は土堤のため、はらみ出しの有無を判断基準とし、復旧工法を選定した。
- 堤体の中でゆるみが存在する部分を除去するために、堤体の切返し範囲を全切返しか部分切返しとした。
- 地下水位以下の切返しとなる場合は地盤改良を行うこととし、併せて、堤体の耐浸透性能低下を防ぐため法尻部にドレーンの設置を行った。





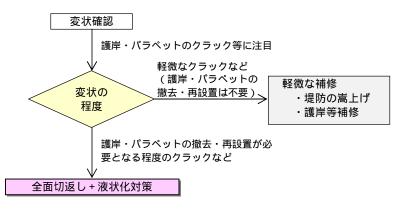
4.2 堤防の本復旧の基本方針

報告書本編P.231~P.234

4.2.2 本復旧工法選定の考え方と留意事項(白川)

- 白川水系の復旧対象箇所は特殊堤のため、護岸・パラペットに発生するクラックの規模を判断基準とし、復旧工法を選定した。
- 熊本地震と同規模の地震発生時においても護岸の大規模な修復を伴わない程度の沈下・変状に留めるため、基礎地盤の液状化対策を実施した上で、切返し、および特殊堤・護岸の復旧を行うこととした。

本復旧工法選定フロー(白川水系)

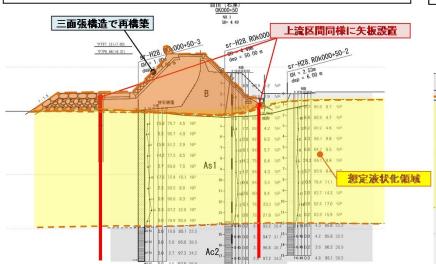


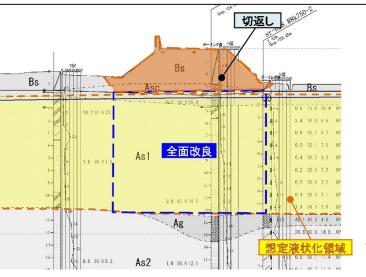
白川 新地地区

護岸の修復を伴わない沈下・変状に留める効果を発揮した、直上流区間にある既往のL1耐震対策の鋼矢板工法を採用することとした。

れんだいじ 白川 蓮台寺地区

近傍で効果を発揮した参考となる既往のL1耐震対策がないことから、液状化層を全て改良する対策を実施することとした。





48



4.2 堤防の本復旧の基本方針

報告書本編P.235~P.249

4.2.2 本復旧工法選定の考え方と留意事項(変状が比較的大きかった14箇所の本復旧)

緑川水系及び白川水系において実施する本復旧工法を示す。なお、全14箇所の内、緑川 1 箇所(田口地区)と加勢川 1 箇所(下無田地区)については、緊急復旧工事(応急復旧)で 地震前の堤防機能を確保できているため、12箇所において本復旧を行った。

					復旧箇所			液状化の		応急対応			本復旧方針						
番号		本復旧	を実施	しない箇所	は緊急復	日工事の	範囲を()で示す	懸念	箇所		(参考)		本復旧						
д	水系	河川名	左右 岸	起点	終点	延長 (m)	地区名	堤体	基礎 地盤	工法	切返し 深さ	堤防高	対象	本復旧の考え方	本復旧工法				
	緑川	緑川	左岸	(18k403)	18k645	(232)	たぐち 田口		×	切返し	3m	6m		変形がほとんどなく、クラックは応急復旧時に除去済なため、応 急復旧で完了	応急復旧による対応で完了				
	緑川	緑川	左岸	20k652	20k765	113	っしだ 津志田	×	×	法面処理	-	-	0	地震動の影響により倒れにくい形状とする。	法面緩勾配 + 水路再構築				
	緑川	加勢川	右岸	(9k775)	(9k855)	(80)	しもむた 下無田	×	0	切返し	2m	3m		応急復旧時に変状部分をほぼ除去済なため、応急復旧で完了	応急復旧による対応で完了				
	緑川	緑川	右岸	8k411	9k805	1353	の だ 野田下流	0		切返し	2m	4m	0	・川裏側のみ液状化によりは5み見出すような変形 川裏切返し 川裏側切返し + 地盤改良 + ド					
	緑川	緑川	左岸	8k200	8k732	449	^{かみすぎ} 上杉	0		切返し	3m	5m	0	・堤体下部全体が変形する傾向 全切返し	全切返し + 地盤改良 + ドレーン				
	緑川	緑川	左岸	9k300	9k420	120	_{しゃかどう} 釈迦堂	0		切返し	4m	5m	0	・堤体下部全体が変形する傾向 全切返し	全切返し + 地盤改良 + ドレーン				
	緑川	緑川	左岸	10k800	11k150	350	^{たか} 高	0		切返し	4m	5m	0	川裏側方向のみはらみ出す傾向 川裏切返し	川裏切返し + 地盤改良 + ドレーン				
	緑川	緑川	左岸	6k200	6k405	159	こいわせ 小岩瀬	0	×	切返し	4m	5m	0	・堤体下部全体が変形する傾向 全切返し	全切返し + 地盤改良 + ドレーン				
	緑川	緑川	左岸	12k233	13k000	872	^{なが} 永	0		切返し	4m	5m	0	川裏側方向のみはらみ出す傾向 川裏切返し	川裏切返し + 地盤改良 + ドレーン				
	緑川	緑川	右岸	8k411	9k805	1353	の だ 野田上流	0		切返し	4m	4m	0	応急復旧時に除去できなかった変状部分を除去する	部分切返し				
	緑川	緑川	右岸	11k692	12k511	1094	^{しもなかま} 下仲間	0		切返し	3m	6m	0	・堤体下部全体が変形する傾向 全切返し	全切返し + 地盤改良 + ドレーン				
白	白川	白川	右岸	0 k 0 0 0	0k200+55	255	_{しんち} 新地	×	0				0	耐震効果が確認された直上流の耐震対策部の踏襲	全切返し + 川表矢板 + 川裏矢板				
白	白川	白川	右岸	8k600+80	8k800+113	244	れんだいじ 蓮台寺	×	0				0	液状化層除去による沈下抑止	全切返 し + 全面地盤改良				
白	白川	白川	左岸	8k400+170	8k600+148	231	じゅうぜんじ 十 禅寺	×	0				0	II	全切返 し + 全面地盤改良				

^{○:}今回の変状を引き起こしたと推測される液状化領域

[:] 今回の変状に影響は少なかったが液状化懸念層が存在する。



4.2 堤防の本復旧の基本方針

報告書本編P.250~P.253

- 4.2.2 本復旧工法選定の考え方と留意事項(部分切返し箇所の妥当性確認)
 - 堤体の川裏部のみを切返す、緑川 野田地区、緑川 嵩地区、緑川 菜地区において、ALI D(静的地盤変形解析)による効果・安全性の確認を行った。
- 解析の結果、本復旧後の沈下量は無対策時に比べて大幅に減少し、また川裏側の側方変形を抑制する傾向となっており、本復旧の有効性を確認した。

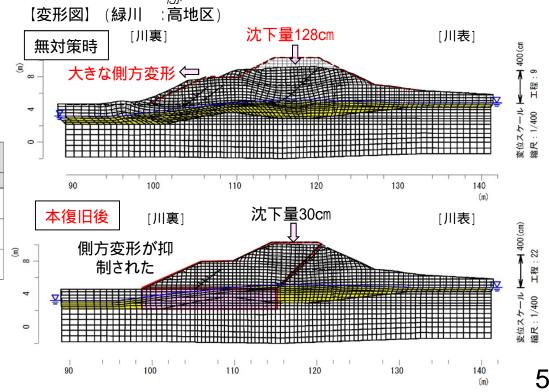
【解析条件】

- ・地震動は、近傍の地震計(加勢川水門)で熊本地震の本震時に観測された地表面加速度426galより設計水平震度kh=0.43とした。
- ・その他は「液状化対策検討の手引き」に従った。

【解析結果一覧】

箇所名	現地で確認された沈下量	解析による沈下量 (側方変形)						
	(はらみ出し)	本復旧前	本復旧後					
緑川④:野田下流地区	79cm	84cm	7cm					
	(川裏:▲、川表:○)	(川裏:▲、川表:○)	(川裏:○、川表:○)					
	151cm	128cm	30cm					
緑川⑦:高地区	(川裏:▲、川表:○)	(川裏:▲、川表:○)	(川裏:○、川表:○)					
緑川⑨:永地区	37cm	60cm	24cm					
秋川②:水坦区	(川裏:▲、川表:○)	(川裏:▲、川表:○)	(川裏:○、川表:○)					

- ▲:現地では、はらみ出しが生じていた。解析では、大きな側方変形が発生した。
- ○: 現地では、はらみ出しがなかった。解析では、側方変形が微妙または無かった。





4.3 空洞化に対する復旧の基本方針

報告書本編P.254~P.255

- 三面張堤防について実施した空洞化調査の結果、全区間において空洞化が無いことを確認した。
- 樋門・樋管について実施した空洞化調査の結果、空洞があり、かつ遮水機能が失われていること を確認したため、空洞化対策として空洞部の充填を実施した。

樋門・樋管の空洞化調査結果の評価と対策

	抜上り量		空洞化調査(底盤部)				
			空洞確認	遮水機能確認			
施設名	最大 抜上り量	: 空洞なし(0cm) 最大空洞量 : 軽微な空洞(0~5cm) x:空洞あり(5cm以上)		: 遮水機能あり ×: 遮水機能なし - : 調査不要	評価	対策	
いびやまょうすいひかん 井樋山用水樋管	5cm	11cm	×	0	・連通試験を実施し、底面が健全なことを確認	要監視	
ひらたはいすいひかん 平田排水樋管	35cm	0cm	0	-	・底部に空洞はな〈健全	要監視	
tastlitilionh 住吉排水樋管	25cm	30cm	×	×	・堤防開削(災害復旧)により底部の遮水機能に問題があることを確認・対策が必要	空洞部の充填	
こうざきはいすいひかん 莎崎排水樋管	25cm	33cm	×	×	・連通試験により底部の遮水機能に問題があることを確認・対策が必要	空洞部の充填	
かみすぎひかん 上杉樋管	なし	1cm		-	・軽微な空洞であり、経過監視が必要	要監視	
あかみはいすいひかん 赤見排水樋管	25cm	8cm	×	×	・連通試験により底部の遮水機能に問題があることを確認・対策が必要	空洞部の充填	
いぬふち ごうはいすいひかん 犬渕1号排水樋管	10cm	10.5cm	×	×	・連通試験により底部の遮水機能に問題があることを確認 ・対策が必要	空洞部の充填	
ふるかわはいすいひかん 古川排水樋管	25cm	3cm		-	・軽微な空洞であり、経過監視が必要	要監視	
なまずはいすいひかん 鯰排水樋管	20cm	2cm		-	・軽微な空洞であり、経過監視が必要	要監視	
さぶろうむたはいすいひかん 三郎無田排水樋管	35cm	3cm		-	・軽微な空洞であり、経過監視が必要	要監視	
^{あざかひかん} 小坂樋管	25cm	0cm	0	-	・底部に空洞はな〈健全	要監視	

空洞なし+軽微な空洞については、ほぼ健全な状態であるため、遮水機能確認は調査不要としている。



4.4 まとめ <u>報告書本編P.256</u>

平成28年(2016年)熊本地震により堤防の変状が比較的大きかった14箇所(緑川·加勢川の緊急復旧工事 箇所11箇所と白川の新地·蓮台寺・十禅寺地区3箇所)及び樋門・樋管の本復旧工法の基本方針を、以下に 挙げる。

(1) 変状が比較的大きかった堤防の変状発生要因と本復旧工法

緑川水系

- 堤防の変状が比較的大きかった11箇所のうち8箇所では、堤体下部の砂質土層が飽和域を形成していた。飽和域の液状化判定の結果は、液状化が生じるとされるFL < 1.0であることから、堤防変状の主要因は、堤体下部の液状化によるものと考えられる。
- はらみ出しが生じた堤防には堤体内にゆるみが存在しているため、堤体を切り返すことで直接的にゆるみを除去することとした。
- 地下水位以下の土層を切り返す必要がある場合は地盤改良を併用し、かつ地盤改良上面にドレーン 工を敷設することとした。

白川水系

- 堤防の変状が比較的大きかった3箇所では、浅部基礎地盤の砂質土層が飽和状態になっていた。飽和域の液状化判定の結果は、液状化が生じるとされるFL < 1.0であることから、堤防変状の主要因は、浅部基礎地盤の液状化によるものと考えられる。
- 堤防天端の沈下、護岸やパラペット、天端コンクリート等に大きな変状が生じた三面張特殊堤に対して、 堤防の切返し、護岸の復旧と合わせて、将来熊本地震と同規模の地震発生時においても、護岸の修 復を伴わない沈下・変状に留めることを目標に液状化対策(新地地区:矢板工法、蓮台寺・十禅寺地 区:地盤改良工法)を行うこととした。

(2) 樋門・樋管の空洞化の対策

空洞発生が確認された樋門・樋管や遮水機能が失われている樋門・樋管4施設を対象として、空洞部 充填を行うこととした。



5.1 熊本地震直後の河川に関する対応

報告書本編P.258~P.261

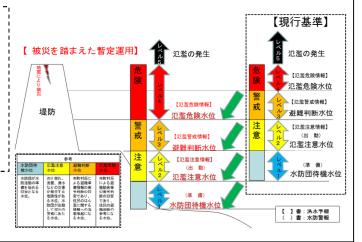
熊本地震により変状が発生した区間に対して、応急復旧工事(ハード対策)の実施に加え、応急復旧工事後の出水期(平成28年5月~10月)から、ソフト対策として「河川の監視体制の強化」及び「水防警報・洪水予報の基準水位の引き下げ」を実施した。

(1)水防資機材の確保



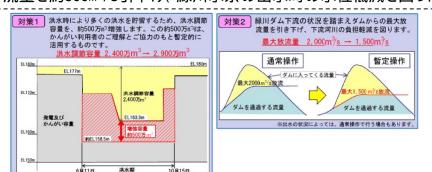
(2)河川堤防の復旧に応じた洪水予報及び水防警報の見直し

応急復旧工事後の出水期 (平成28年5月~10月)から、 早期の警戒体制を確立し、早 めの水防活動・避難に資する ため、水防警報及び洪水予 報の基準水位を暫定的に引 き下げて運用した(平成28年4 月28日より実施中)。



(3)緑川ダムの洪水対策

¦緑川ダムでは、下流域の安全性確保の観点から、関係者の協力に ¦より洪水調節容量を約500万m³の増強、さらに、ダムからの最大放 ¦流量を約500m³/s引下げ、緑川水系の出水時の水位低減を図った。



(4)河川監視体制の強化

堤防等河川管理施設の変状を迅速に把握するため、平常時の河川巡視頻度を増やすとともに、出水時の河川巡視を通常より早い段階で開始するなど、出水期間中の監視体制を強化した。

項目	項目 地震前		備考
洪水時巡視の出動基準	氾濫注意水位 に達したとき	水防団待機水位 に達したとき	体制頻度が通常の 2 倍に 増加
一定規模以上の降雨時	_	大雨警報発令時	降雨による影響を考慮
平常時巡視の巡視頻度	週2回	隔日	



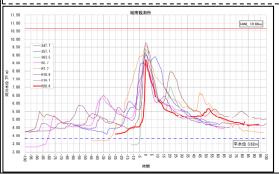
5.2 熊本地震に発生した出水と巡視結果

報告書本編P.262~P.268

熊本地震後の出水期間中(平成28年5月~10月)に、城南橋観測所及び代継橋観測所で水防団待機水位を超える出水が7回発生したが、巡視・点検の結果、漏水などの堤防の異常は確認されなかった。

(1)出水規模と巡視結果

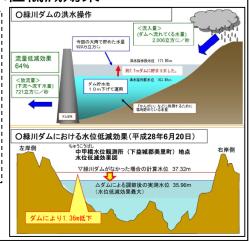
- 緑川(城南橋観測所)を代表として観測所データを基にしたハイドログラフを示すが、熊本地震後の平成28年の出水規模が比較的大きかったことが分かる。
- 熊本地震後の出水期間中(平成28年5月~10月)、洪水時巡視を、白川で16回、緑川で27回全川で行ったが(例年1~3回程度)、漏水などの堤防の異常は確認されなかった。





(2)緑川ダムにおける水位低減効果

過去10年で第2位の平成28年6 月20日出水において、緑川ダムの 暫定運用による洪水調節を実施した。この洪水調整により、ダムから の放流量を最大64%低減させ、中 甲橋水位観測所の河川水位を最大 1.36m低下させるなど、広範囲に わたり堤防の変状があった緑川中 下流域の水位低減を図ることがで きた。



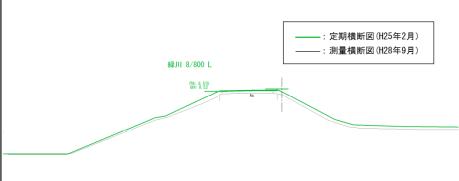
(3)応急復旧工事箇所以外における出水や余震 による堤防の変状確認

熊本地震後の出水や余震による変状の有無について確認することを目的とし、平成28年9月に応急復旧工事範囲外の区間において横断測量を実施し、 はらみ出し等の堤防の変状有無の確認を行った。

その結果、各箇所とも広域沈下の影響はあるものの、堤防の変状は確認されなかった。以下に、緑川・白川の代表断面を示す。

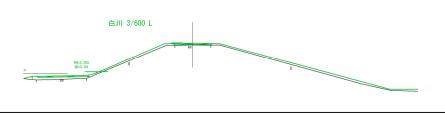
緑川左岸8k800

広域沈下の影響はあるが、はらみ等の堤防の変状はない。



白川左岸3k600

広域沈下の影響はあるが、はらみ等の堤防の変状はない。





5.3 堤防の本復旧工事完了後の河川管理

報告書本編P.269

- 5.3.1 本復旧工事後の河川管理について
 - (1)基準水位及び河川巡視頻度の熊本地震前の運用への回復本復旧工事完了後から、緑川·白川における基準水位及び河川巡視頻度について、熊本地震前の運用へ戻すための考え方を以下に示す。
 - (2)緑川ダム 河川基準水位を熊本地震前に戻すことに合わせ、緑川ダムの洪水調節容量の増強及び最大放 流量の引き下げについても熊本地震前の運用に戻す。

【基準水位等を回復するために必要な取り組み事項と対応状況】

変状箇所の本復旧が終了しているか。

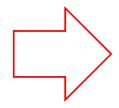
平成29年5月末までに完了予定。

出水による堤防の亀裂・法崩れ・漏水被害等が発生していないか。

熊本地震後の平常時及び洪水時巡視により,変状や異常がないことを確認した。

- 新たなはらみ出しや、堤防形状に異常が発生していないか。 熊本地震後に実施した横断測量と既往の横断図を比較し、 堤防形状に異常がないことを確認した。
- 特殊堤区間において、空洞等が発生していないか。 レーダー探査及びスコープ調査により、空洞等の異常がないことを確認した。
- 樋門・樋管等の構造物周辺で空洞等が発生していないか。 順次調査及び対策を実施中。平成29年5月末までに全箇所 の対応を完了予定。

左記取り組みを全て完了したことを確認し、基準水位及び河川巡視頻度等を熊本地震前の運用に戻す。



【基準水位及び巡視の考え方】

- ・水防警報及び洪水予報の基準水位を、熊本 地震前の通常の水位に戻す。
- ・平常時巡視の頻度は、週2回とする
- ・洪水時巡視の出動基準は、氾濫注意水位に 達したときとする。

項目	地震前	本復旧工事中の出水期	本復旧工事完了後
洪水時巡視の出動基準	氾濫注意水位 に達したとき	水防団待機水位 に達したとき	氾濫注意水位に 達したとき
一定規模以上の降雨時	-	大雨警報発令時	-
平常時巡視の巡視頻度	週2回	隔日	週2回



5.3 堤防の本復旧工事完了後の河川管理

報告書本編P.270

- 5.3.2 今後のモニタリング
 - ◆ 本復旧工事完了後の緑川・白川水系全体における堤防機能を確認するために、堤防、樋門・樋管、水門、堰についてモニタリングを行う。
 - モニタリング期間については、3年を基本とする。なお、モニタリングにおいて進行性の変状等が 確認された場合は、状況に応じて、期間を延長する。

【今後のモニタリング】

本復旧後において、本復旧箇所及びそれ以外の箇所において引き続きモニタリングを実施。

(1)堤防

- 1)本復旧工事区間(堤体の大規模切返し箇所) 本復旧後の沈下及びドレーン機能確保に着目しモニタリングを行う。
- 2)本復旧工事区間以外の重点監視区間 出水時の堤防の変形・クラック・漏水等の目視点検を基本とし、加えて定量的にはらみや沈下を測量により確認する。
- 3)堤防全区間

管理区間の堤防全体を監視するために、移動計測車両システム(MMS)及びドローン(UAV)の新技術を活用したモニタリングを行う。

(2)樋門·樋管

- 1)変状が確認された樋門·樋管(36施設) 樋管及びその周りの外観目視(抜け上がりや漏水の確認)を実施する。
- (3)その他施設(水門・堰)

管理区間のすべての水門と堤防に貫入している固定堰を対象に、モニタリングを実施する。



5.3 堤防の本復旧工事完了後の河川管理

報告書本編P.280

5.3.2 今後のモニタリング

今後のモニタリングの概要を示す。

モニタリング対象、頻度、項目の整理

<u> </u>	ソノノ対象、娯反、場口し	<u>クェ注</u>		4	
				頻 度	
			洪水時巡視	点検	平常時巡視
	対 象		(氾濫注意水位以上	(出水期前 年1回)	(週2回)
	×1 ×		が発生した場合毎に)	(11月~1月)	V. – V. V,
				モニタリング項目	1
	本復旧工事区間(堤体の大規模切返)箇 所)	~		
堤防	本復旧工事区間以外の	類似土質(堤体·基礎地盤)	~		
定例	重点監視区間	堤体砂質土	~		
	堤防全区間				通常巡視項目
樋門	変状を確認した樋門・樋管	空洞化対策実施樋管(4施設)	~		迪市巡抚项 目
ר ופטני	文/八で唯物 ひた地口 1地目	上記以外の樋管(32施設)	~		
水門	全ての水門4施設	•	~		
堰	一部堤防貫入している3施設		~		

モニタリング項目

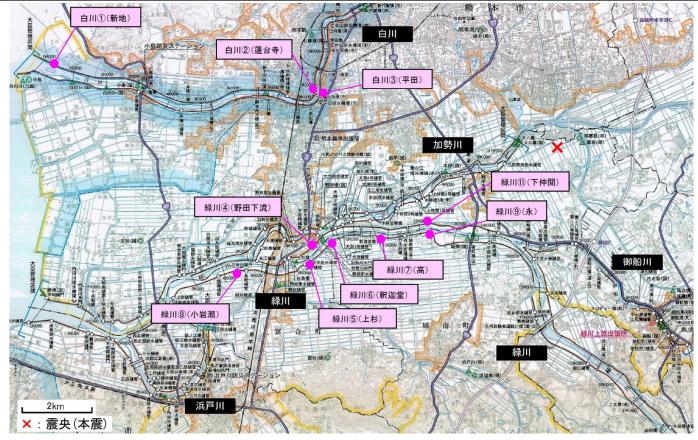
	7.7.19日									
対 象	項目	確認すべきポイント								
	堤防	堤防天端に亀裂、陥没等の変状はないか。								
	裏法面、裏小段	法面の変形、亀裂はないか。								
		法尻周辺が泥濘化していないか。								
	裏法尻、裏法尻近傍の堤内地	法尻、法尻近傍の堤内地に漏水、噴砂はないか。								
		明らかに吹き上がる噴砂はないか。								
	樋管等横断構造物接合部	堤体と構造物との境界から漏水、噴砂は生じていないか。								
堤防	ドレーン	ドレーンに排水不良が発生していないか。あるいは濁水の排水がないか。								
	擁壁	擁壁に変状が生じていないか。								
	復旧工上下流部	地盤改良と土砂の境界部(擁壁の上下流端部)に吸出しや漏水が発生していないか。								
	定点観測									
	横断測量	 堤防天端の沈下や法面の孕み出しが発生していないか。								
	移動計測車両システム(MMS)、	提例入頭のが下で広園の子が <u>出りが光土していないが。</u>								
	UAV(ドローン) 計測									
	構造物上部の天端及び法面	構造物上部の天端及び法面の抜け上がりや亀裂の状態に変化はないか。幅、段差が拡大していないか。								
樋門樋管	川裏側の漏水	構造物周辺で漏水は発生していないか。川裏側で土砂の流出はないか。								
	函体基礎の空洞化	空洞化対策を実施した4施設については、空洞化が発生していないか。								
	周辺堤防及び護岸	周辺堤防や護岸にクラック等の変状が発生していないか。								
水門·堰	堤防天端(水門)	堤防天端に段差・緩み・陥没等は発生していないか。								
小川、塚	堤防天端(堰)	堰貫入部の堤防天端に抜け上がりや表面の緩み・陥没等は発生していないか。								
	川裏側の噴砂等	川裏側に噴砂や漏水等が確認されないか。								



5.3 堤防の本復旧工事完了後の河川管理

報告書本編P.271~P.273

- 5.3.2 今後のモニタリング
 - (1)堤防:本復旧工事区間(堤体の大規模切返し箇所)
 - 本復旧工事後の堤防機能の持続性を確認するために、施工後の沈下及び堤体内の水位上昇 やドレーンの排水不良等が発生していないかモニタリングを行う。
 - モニタリング区間は、本復旧工事を実施した緑川堤防の7区間、白川特殊堤の3区間の下図に 示す計10区間とする。



本復旧工事区間のモニタリング実施位置

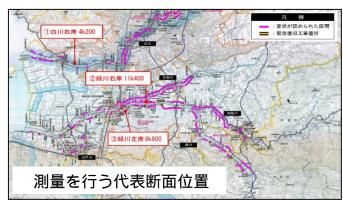


5.3.2 今後のモニタリング

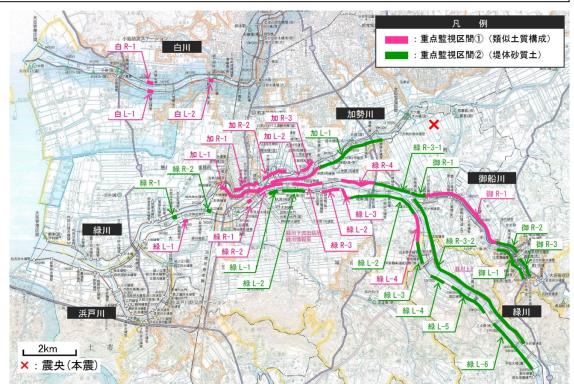
報告書本編P.274~P.275

(2)堤防:本復旧工事区間以外の重点監視区間

- ・本復旧工事区間以外で外観上の変状が見られない区間においては、内在的に堤体機能の低下も考えられるため、重点監視区間と設定する。
- ・重点監視区間は、本復旧工事区間と類似の基礎地盤の土質構成である区間と堤体が砂質土である区間とする。
- ・出水期前1回/年に、代表断面の測量により、堤 体の沈下計測を行う。
- ●洪水時巡視(氾濫注意水位以上)により、堤防本体及び周辺を目視により確認する。



					重点監	視区間						
河川名	左右岸	重点監	視区間①(類	似土質	(構成)	重点監視区間②(堤体砂質土)						
		No.		区間		No.		区間				
		緑R-1	8k700	~	8k775	緑R-1	5k500	~	5k550			
	右岸	緑R-2	9k250	~	10k000	緑R-2	6k800	~	6k850			
	10年	緑R-3	10k400	~	11k700	緑R-3	13k500	~	23k000			
		緑R-4	12k350	~	13k500							
		緑L-1	6k000	~	6k200	緑L-1	9k500	~	9k800			
緑川		緑L-2	11k500	~	12k250	緑L-2	10k000	~	10k800			
		緑L-3	12k300	~	12k600	緑L-3	12k600	~	15k400			
	左岸	緑L-4	15k400	~	16k300	緑L-4	16k300	~	17k400			
						緑L-5	17k800	~	18k400			
						緑L-6	18k645	~	20k250			
						緑L-7	20k765	~	23k000			
		加R-1	4k000	~	4k800							
	右岸	加R-2	5k000	~	6k200							
加勢川		加R-3	6k800	~	7k400							
	左岸	加L-1	3k200	~	4k800	加L-1	7k500	~	10k100			
	在 序	カロL-2	5k200	~	7k500							
		御R-1	0k500	~	4k100	御R-1	0k000	~	0k500			
御船川	右岸					御R-2	4k100	~	5k000			
11 (12 17 11 11						御R-3	5k200	~	6k200			
	左岸					御L-1	4k400	~	6k000			
	右岸	白R-1	4k200	~	4k400							
白川		白L-1	4k300	~	4k500							
	左岸	白 L−2	6k600	~	6k700							



堤防の重点監視区間(本復旧工事区間以外)の位置



5.3.2 今後のモニタリング

報告書本編P.276

- (3)堤防全区間
 - 緑川・白川水系の堤防全区間に対して、地震後の出水や余震による変状の発生を確認するため、 移動計測車両システム(MMS)やUAV(ドローン)を活用してモニタリングを行う。
 - 実施時期は、出水期前(1回/年(11月~1月))とする。



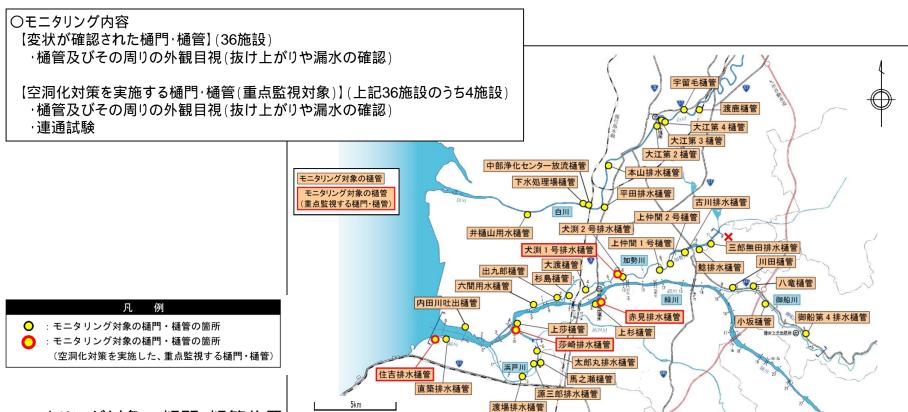


5.3.2 今後のモニタリング

報告書本編P.277~P.278

(4) 樋門・樋管

- 樋門・樋管のモニタリングは、熊本地震によって変状が確認された36施設(対策済を含む)に対して、 変状の進行の有無や対策後の変状の有無等を確認する。
- ●実施時期は、洪水時巡視時とする。なお、空洞化対策を実施した樋門・樋管については、重点監視 対象とし、復旧対策直後に連通試験を実施し、遮水性の確認を行う。



1/v 10

×:震央(本震)

モニタリング対象の樋門・樋管位置



5.3.2 今後のモニタリング

報告書本編P.279

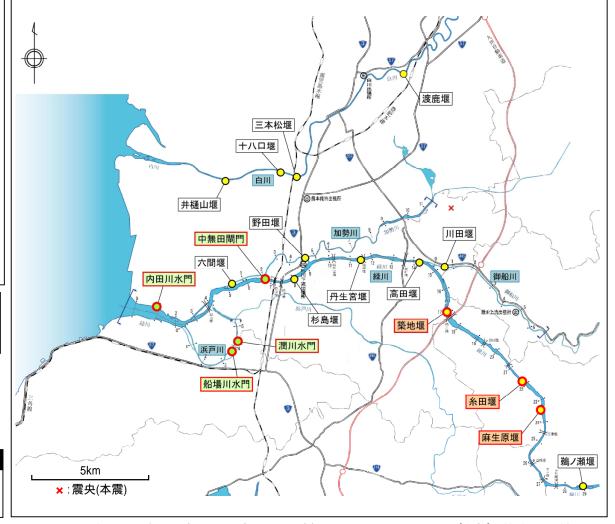
(5) その他の施設(水門・堰等)のモニタリング

樋門・樋管以外に、水門(4施設) ・堰(3施設)についてもモニタリン グを行う。

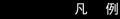
これらの施設は、熊本地震後の 巡視により外観上の変状は確認さ れていないが、堤防と一体として設 置されている全ての水門・閘門、及 び堤防に一部貫入する部分を有す る堰を対象施設として、外観調査 を行う。実施時期は、洪水巡視時と する。

○モニタリング内容

水門、堰及びその周辺の外観目視(抜け上がり や漏水の確認)



緑川・白川水系の水門・堰等のうちモニタリング対象施設の位置



○:堰

◯モニタリング対象の堰

○:水門・閘門 ○モニタリング対象の水門・閘門



5.3.2 今後のモニタリング

報告書本編P.280

(6)モニタリングの流れ

出水期から翌年の出水期までのモニタリングの流れを示す。モニタリングは3年間実施するため、このモニタリングの流れを繰り返し実施し、平成31年度まで行うものとする。

				H 2 9年度												H 3 0 年度						
			実施頻度·時期	4月	5月	6月	7月	8月 水期	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月 出水期	8月	9月	
盗	除草		2回/年(5月~11月)		台風期	点検のた	めの除	草	出水其	前点検	こ備えた ▶	除草			台風期	点検のため	めの除草 ◆ -	出力	期前点	検に備え	た除草	
通常点	点検		2回/年(8月、12月)				台	風期点核	in .		出力	×期前点 ◆	検						台	■期点材	矣	
点検	補 修	通常点検により対策が必要な施設					損	傷等発見	の場合	の補修 →			損傷等	等発見の5	易合の補	修						
通常点検		堤防(本復旧工事箇所)	1回/年·(11月~1月)								堤体	*の沈下	計測									
	点検	堤防(本復旧工事以外)	1回/年·(11月~1月)								代表断面の横断測量											
加加	検	堤防全区間	1回/年·(11月~1月)								MMS	則量(UA\	/補完)									
え る		樋門·樋管	復旧対策直後,空洞化調査 (1回/年·(11月~1月))		連通試馬	(4施設)					— —	空洞化部	画査 一 →									
点 検	補修	点検により対策が必要な施設			— —			損傷等	発見の	場合の補	修 — —											
		堤防(本復旧工事区間)	氾濫注意水位に達した時		←	堤体及び	が提体周	辺、ドレー	ンの目視	-							▼ 堤体	及び堤位	本周辺、	ドレーンの	目視	
		堤防(本復旧工事以外)	氾濫注意水位に達した時		•	堤体	及び堤(体周辺の	目視								→	是体及び	堤体周	辺の目視	ļ	
洪水	巡視	樋門·樋管	氾濫注意水位に達した時		•			の周りの や漏水の)の目視 水の確認		
時巡視		水門·閘門	氾濫注意水位に達した時		•			門の目初									◆ (:		· 閘門の がりや漏	目視 水の確認)	
化		堰	氾濫注意水位に達した時		•	(抜け)目視 や漏水の	確認)	-							◆ (:		堰の目視 (1) や漏:	見 水の確認)	
	補修	 洪水時巡視により対策が必要な施設 			— —			損傷等	発見の	場合の補	修 — —											

復旧対策を実施した樋管は、復旧工事直後のみ連通試験を行う。

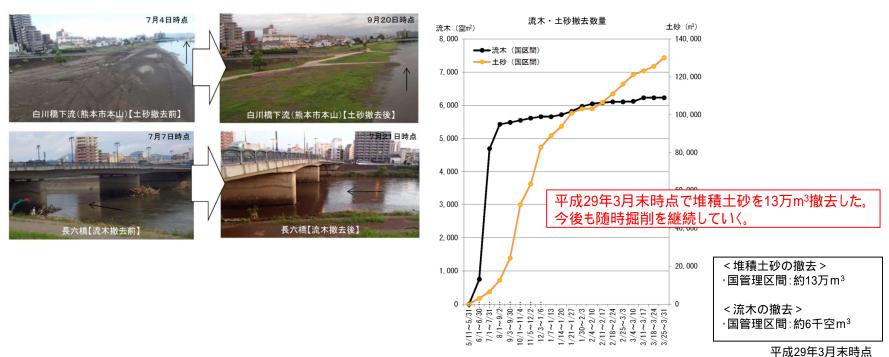


5.4 白川水系の土砂流入と土砂堆積に関する検討・対応策

報告書本編P.281

【地震後の対応(平成28年度)】

熊本地震により、白川上流部に位置する阿蘇大橋地区等、カルデラ内を中心に河道内に大量の土砂が堆積しており、 出水により下流へ流下し、中下流へ再堆積することで河床高の上昇とそれに伴う治水安全度の低下が発生している。 そこで、白川水系において平成28年度から土砂・流木撤去を開始しており、今後も随時掘削を継続していく。



白川水系の土砂・流木撤去

【白川の土砂管理に関する今後の対応について】

【当面の対応】

- ·現況河道において土砂堆積により流下能力に問題が認められる区間については、早急に河床掘削を実施する。 【モニタリングの実施】
- ・全川で土砂堆積が確認されるため、土砂堆積のモニタリングを実施し、必要に応じて河床掘削を実施する。



5.5 まとめ <u>報告書本編P.282</u>

平成28年(2016年)熊本地震後における河川管理の取組み・方針を、以下に挙げる。

(1) 応急復旧工事後の河川管理

- 熊本地震後の出水期である平成28年5月からは、緑川水系・白川水系の堤防は応急復旧工事直後の状態にあり、クラック部分の切返しなど最低限の対応であったことから、「洪水予報及び水防警報の見直し」、「水防資機材の確保」、「緑川ダムの洪水調節容量の増強」、「河川監視体制の強化」のソフト対策を実施した。
- 過去10年間で、2ないし3位の出水が平成28年6月にあったが、漏水などの堤防の異常は確認されなかった。また、度重なる余震やその他の出水が発生しても、変状は確認されなかった。

(2) 本復旧工事後の河川管理

- 堤防の本復旧工事、樋門・樋管の空洞化対策が完了し、変状等がないことが確認した上で、平成 29年6月から、基準水位及び河川巡視頻度等を熊本地震前の運用に戻す。
- 本復旧工事実施箇所が確実に地震前に保持していた堤防機能を確保できているか、また変状が 比較的大きかった箇所を除〈区間においても堤防機能が低下していないかを確認するために、モニタリングを行う。なお、モニタリング期間は基本3年間と設定し、モニタリング結果を分析しなが ら、適切に対応を行う。
- モニタリング対象箇所は、堤防の本復旧工事区間・重点監視区間(本復旧工事区間と類似の基礎地盤の土質構成である区間と堤体が砂質土である区間)、熊本地震によって変状を確認した 樋門・樋管36施設、堤防と一体又は堤防に貫入している水門・堰等7施設をとした。
- 白川では、熊本地震後、上流から下流へ供給された土砂が河道内に堆積しているため、平成28年5月より土砂掘削を実施し、平成29年3月末時点で約13万m3の土砂を撤去した。今後も土砂の 状況を確認しながら引続き河床掘削を実施する。

6. 今後の大規模地震への対応に向けて



報告書本編P.283~P.286

- 熊本地震への対応について本委員会における取組みを通じて明らかとなった主な技術的課題について、その対応手法等の提案を行う。
- 中長期的視点で解明していく必要がある技術的課題として、今後の大規模地震に対する知見の向上に関する提案を行う。

6.1 熊本地震対応の課題を踏まえた対応の提案(抜粋)

本節の提案の実施は、河川管理者がその必要性や重要性、費用に対する効果等を鑑み、適切に取り組まれることを期待するものである。

(1)堤防外形の正確な把握

- a) 平常時(地震発生前)の対応
- 平常時の堤防の外形を面的に把握するため、定期縦横断測量に加えて、MMSやUAV等の移動式計測を 定期的に実施する。
- b) 震後の対応
- 上述した平常時と同様の移動式計測を地震直後(応急復旧前)にも実施し、地震前の計測結果と対 比し変状の詳細を確認する。併せて、堤体や護岸等のクラックについて、その規模(幅・延長・深 さ)を現地計測する。
- これらの調査は、余震等による変状の進行を確認するために、繰返し実施する。

6. 今後の大規模地震への対応に向けて



報告書本編P.283~P.286

(2)地形、地質・堤体土質特性の正確な把握

- a) 平常時(地震発生前)の対応
- 既存の治水地形分類図や地質調査資料を用いて、堤防の基礎地盤や堤体について、その土質構成や地下水位に基づき、液状化発生の有無の視点で再整理することにより、液状化が発生すると推定される区間(4.1で示す"変状発生に大きな影響を及ぼしたと推定される液状化領域"に該当する区間等がこれに当たる。以下、「推定液状化区間」という)を予め把握しておく。
- b) 震後の対応
- 上記で推定液状化区間に含まれているにもかかわらず、変状発生が認められなかった(または軽微な)区間については、詳細な土質等調査を検討・実施し、要因分析を行う。
- 飽和土層の開削調査は、ジオスライサーを用いた調査等、地下水位以深の土質構成が把握可能な 調査手法を採用した調査を実施する。

(3) 対策区間や対策工法の決定プロセス

- a) 平常時(地震発生前)の対応
 - 発災直後の短い期間で対策工法や要対策区間を設定するために、予め移動式計測(MMSやUAV)等を 用いた平常時堤防外形を把握しておく。
 - 災害復旧事業申請にあたり、早期に対策区間及び対策工法を選定するための閾値の考え方について 整理を行うために、堤体の沈下やはらみだし等の外形の変化量についてデータを蓄積し、ゆるみと の関係について分析を行う。
- b) 震後の対応
 - 堤体のはらみ出しやクラック等を含めた外形の変化や、発災後に実施する詳細地質調査結果を踏まえて、対策区間や対策工法を決定すべきである。 67

6. 今後の大規模地震への対応に向けて



6.2 今後の大規模地震に対する知見の向上に関する提案(抜粋)

報告書本編P.287~P.288

本節の提案実施は、中長期的に解明すべきものであり、今後の学術的発展を期待するものである。

- (1) 地震時変形予測手法の高度化と対策技術の発展
 - 1) 地震による変状(クラック、変形等)が堤防の治水機能へ及ぼす影響の評価 現行の液状化による堤防の変形予測では、堤体の分断や液状化後の砂層の透水性・止水性の変化を評価することは不可能である。地震後に出水を受けた場合の堤防の治水機能の把握は治水上極めて重要であることから、堤体の分断や液状化した砂層の流動変形等の変状に伴う堤体・基礎地盤の透水性・止水性の変化を定量的に評価するための検討が期待される。
 - 2) 迅速な堤防機能の回復を可能にするための対策手法の検討 堤防の治水機能が損なわれている範囲の最適な復旧工法の選定手法や、地震による亀裂等の変状抑制 効果を考慮した対策の設計手法の検討が期待される。
- (2) 堤体の地震時挙動の把握

熊本地震における堤防の変状については、堤体・基礎地盤に作用した大きな地震動による液状化が、主な要因と推測したが、各変状箇所における地表面の地震動(加速度)を厳密に把握することができなかった。現状では、近傍にある強震計の情報を代用せざるを得ない状況であった。今後より精度良く堤体の地震時挙動を把握し、変状との関係を分析するために、基礎地盤表面及び堤体天端に強震計を広範囲に設置し、今後起こりうる大規模地震に備えることが期待される。

<u>(3) 液状化層における地下水位と地震時挙動の把握</u>

地震発生時の地下水位が地震後に実施した調査時点のものとは異なる可能性もあることから、地震時の地下水位を正確に計測し、液状化層の地震時挙動を把握するために、液状化の発生が推定される土層に間隙水圧計を設置し、今後起こりうる大規模地震に備えることが期待される。

(4) 治水地形分類図(国土交通省国土地理院)における地形分類適用範囲の精査

熊本地震における被災や被災原因等を踏まえ、地形的要因の分析を行ったうえで、「氾濫平野」分類内の「旧河道」分類や「扇状地」分類内の「微高地(自然堤防)」分類等の再整理に係る検討が期待される68