緑川・白川堤防調査委員会 報告書

本編

平成 29 年 3 月

緑川・白川堤防調査委員会 国土交通省九州地方整備局 目

まえがき

委員会構成員

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
1.1 平成 28 年熊本地震の概要	• 1
1.1.1 地震諸元(前震・本震)と各地の震度	· 1
1.1.2 地震動	• 4
1.1.3 余震	10
1.1.4 地殻変動	15
1.2 堤防等河川管理施設における変状の概要	17
1.2.1 直轄河川管理施設の変状	17
1.2.2 変状した堤防の応急対策・緊急復旧工事	30
1.2.3 地震後のソフト対応	41
1.3 まとめ	42
2. 直轄河川管理施設の概要	45
2.1 緑川・白川水系の流域の地形・地質	45
2.2 緑川·白川水系の河川水位等	48
2.3 緑川・白川水系の河川管理施設等	50
2.4 緑川・白川水系の築堤の変遷	54
2.5 まとめ	56
3. 地震による堤防変状の特徴 ····································	58
3.1 地震後の調査概要	58
3.2 堤防変状箇所と地形の関係	60
3.3 堤防変状箇所の実態調査結果	67
3.3.1 堤防変状箇所毎の実態調査結果	67
3.3.2 堤防沈下量の整理	96
3.3.3 土質構造の特徴	103
3.3.4 堤体および基礎地盤の土質特性	124
3.3.5 地下水位の特徴	132
3.3.6 築堤の歴史と変状の関係(緑川)	134
3.4 堤防変状箇所の開削調査結果	136
3.4.1 開削調査結果の概要	136
3.4.2 緑川の開削調査結果	137
3.4.3 白川の開削調査結果	172

3.5 空洞化調査	188
3.5.1 樋門・樋管の空洞化調査	188
3.5.2 三面張堤防の空洞化調査	196
3.6 既往耐震対策の効果	199
3.7 堤防変状の経時変化	203
3.8 まとめ	207
4 - 坦防恋状の亜田と木須口工注	200
	209
4.1 地震による堤防反仏の工安凶と反形過程	209
	209
4.1.2 堤防交が過程	221
4.2 堤内の平復旧の季本力到	229
4.2.1 奉平力』 4.2.2 本復旧工社の選定の考えてと図音車項	229
4.2.2 平復山工仏の選定の与えりと宙急事項	257
4.5 王尚化に対象る後山の奉本力が	254
4.3.1 二面飛堤的の主利化の対策	254
4.5.2 個门 個首の王利化の対策	256
	200
5. 熊本地震後の河川管理	258
5.1 熊本地震直後の河川に関する対応	258
5.1.1 水防資機材の確保	258
5.1.2 河川堤防の復旧状況に応じた洪水予報および水防警報の見直し	259
5.1.3 緑川ダムの洪水対策	260
5.1.4 河川監視体制の強化	261
5.2 熊本地震後に発生した出水と巡視結果	263
5.2.1 出水規模と巡視結果	262
5.2.2 緑川ダムにおける水位低減効果	265
5.2.3 応急復旧工事箇所以外における出水後及び余震による堤防の変状確認 …	266
5.3 堤防の本復旧工事完了後の河川管理	269
5.3.1 本復旧工事後の河川管理について	269
5.3.2 本復旧工事後のモニタリング	270
5.4 白川の土砂流入と土砂堆積に関する検討・対応策	281
5.4.1 地震後の対応(平成 28 年度における対応)	281
5.4.2 白川の土砂管理に関する今後の対応について	281
5.5 まとめ	282
 6. 今後の大規模地震への対応に向けて	283
6.1 熊本地震対応への課題と対応手法	283
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	287
何録収録資料一覧	290

まえがき

「緑川・白川堤防調査委員会」は、「平成 28 年熊本地震」により被害を受け た堤防等の河川管理施設の変状原因の究明を行い、変状状況に応じた堤防復旧 工法等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熊本河川国道 事務所に設置されました。同委員会は平成 28 年 5 月 6 日の第 1 回委員会(状況 把握等)に始まり、最終回の平成 29 年 3 月 9 日(変状要因分析・対策工法・今後 のモニタリングと河川管理等)まで計 4 回開催され、6 月 10 日の第 2 回(本復旧 工法の考え方等)、11 月 14 日の第 3 回(対策の進捗確認・取りまとめの方針等) では緊急復旧、堤防開削の現場視察も実施されました。

本報告書は、同委員会の設置目的を踏まえ、主に地震に伴う変状原因や復旧 工法等について取りまとめたものです。今次の熊本地震では8月31日にも震度 5弱の比較的大きな余震も発生するなど、余震の発生回数が非常に多く、堤防 等の河川管理施設に外部からは確認することが出来ない亀裂や緩みが発生して いる可能性も強ち否定できないことから、委員会では、大規模な切返しを実施 した箇所や無被災であっても変状が大きかった箇所と類似した堤体・基礎地盤 特性を有する箇所等の重点監視のあり方、本復旧工事完了後の河川管理のあり 方等についても取りまとめを行いました。

最後に、委員会発足時から今日までご指導とご助言を賜りました委員の先生 方、被災メカニズムの調査・分析に取り組まれた国土技術研究センター(JICE) の方々に心より御礼申し上げます。また、全力を挙げて復旧に取り組まれた国 土交通省九州地方整備局河川部および熊本河川国道事務所の皆様に深く感謝申 し上げます。こうして無事に平成28年出水期を乗り越えることができましたの も産官学が一体となった取り組みの賜だと感じます。皆様、本当にありがとう ございました。なお、6月10日に熊本で開催された第2回委員会については、 健康上の理由から同地まで赴くことができず、安福規之委員に委員長代理とし てご尽力頂きました。この場をお借りして深甚なる感謝の意を表します。 以下、熊本地震の特徴から本復旧までを概観し、「まえがき」に代えさせて頂 きます。

今次の熊本地震には次のような特徴がありました。

- ・4 月 14 日 21 時 26 分に北緯 32.7 度 東経 130.8 度 を震源とする M6.5 の地 震(震度 7 の前震)、16 日 1 時 25 分に北緯 32.8 度 東経 130.8 度 を震源と する M7.3 の地震(震度 7 の本震)が発生した。前震と本震の震源地はわずか 4 ~5km しか離れていなかった。
- ・地震動の継続時間は前震が16秒(50gal以上)程度、本震が22秒(50gal 以上)程度で本震がやや長かったが、いずれも「平成23年東北地方太平洋 沖地震」(東日本大震災)の約180秒や「平成7年兵庫県南部地震」(阪神淡 路大震災)の約30秒と比べて短時間であった。
- ・M3.5 以上の余震が 339 回(H29.3.31 時点)発生しており、東日本大震災(約 250 回)と比べても非常に多い。

緑川と白川の両水系に挟まれた地域(益城町、西原村)を震源とする大きな地 震が約28時間の短い間に2度発生したことから、両川の中流域から河口にかけ ての広い範囲で地盤沈下が生じ、堤防等の河川管理施設も大きな被害を受けま した。本震直後の緊急点検の結果、堤防については緑川と白川の171箇所に加 え菊池川1箇所において沈下や亀裂等の変状が、樋管については緑川と白川の 36箇所において抜け上がりや亀裂等の変状が確認されました。

堤防等の河川管理施設の被害は広範囲に及びましたが、幸いにも地震動の継 続時間が短かったためか、東日本大震災で見られたような堤防機能を完全に喪 失するような大規模な被災は発生しませんでした。しかしその一方では、地震 の発生が出水期直前であったことから、洪水氾濫による2次災害が強く懸念さ れました。わが国の出水期は降雪地帯を除けば通常6月からですが,緑川支川 御船川でH.W.Lを上回る大出水が昭和63年5月3日に発生したことから、緑川 と白川の出水期は5月1日からとなっており、極めて迅速な対応が求められま した。 余震が続く厳しい現場環境の中、直ちに土堤や特殊堤に発生した亀裂の補修 等の応急対応が実施され4月24日までに全ての応急対応を完了しました。また、 亀裂が深い個所、沈下やはらみ出し等の変状が大きかった11箇所については緊 急復旧工事が24時間体制で実施され、5月9日までに全11箇所の応急復旧が完 了しました。実に見事な対応でした。応急復旧にあたっては、地震後の堤防天 端高が河川堤防に求められる耐震性能である照査外水位より全ての区間にわた って高い状態であったことも幸いしました。

以上の応急対応と応急復旧に加え、水防警報等の基準水位の暫定引き下げ、 河川巡視の拡充、緑川ダムの運用の工夫等、出水期に向けてハード・ソフト両 面からでき得る最大限の対応がなされました。6月20日から21日にかけて、緑 川の城南水位観測所では過去10年間で2位、白川の代継橋水位観測所において 過去10年間で3番目に大きなピーク水位を記録する出水が発生しましたが、堤 防に漏水等の異常は確認されず、その後の出水でも異常は認められませんでし た。こうして平成28年出水期を無事乗り越えることができ、被災地にとって何 よりの結果となりました。

河川堤防の被災メカニズムについては、調査分析の結果、緑川では東日本大 震でも多数確認された堤体下部の飽和域の液状化、白川では基礎地盤砂質土の 液状化が主因と判断されました。被災メカニズムを踏まえ、併せて経済性等に も配慮して本復旧工法が決定され、緑川では応急復旧を実施した11箇所のうち の9箇所、白川では堤防天端の沈下等が確認されたもののうち最も変状の大き い3箇所の計12箇所について本復旧工事が実施されました。なお、本復旧工事 実施箇所、無被災であっても変状が大きかった箇所と類似した堤体・基礎地盤 特性を有する箇所については、沈下の確認や重点監視等のモニタリングが今後 3年間継続される予定です。

平成29年3月

緑川・白川堤防調査委員会

委員長 秋山 壽一郎

緑川・白川堤防調査委員会

構成員

委員長	^{あきやま じゅいちろう} 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	ままもと てるのリ 大本 照憲	熊本大学大学院自然科学研究科	教授
委員	蘭村 未対	愛媛大学大学院理工学研究科	教授
委員	* * * ₹ ^つ * 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	す。 諏訪 義雄 【服部 教】	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		京都大学防災研究所	教授
委員		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

委員会の議事内容

回数	開催日	議事内容
		1. 平成 28 年熊本地震の概要と河川の変状概要等について
		2. 堤防等の変状形態等について
		3. 耐震性能照査の考え方と今回地震での変状について
1	平成 28 年 5 月 6 日	4. 対策の考え方について
		5. 地質等調査計画について
		6. ソフト対策の取り組みについて
		7. まとめ
		1. 第1回委員会の主な意見に対する対応
2	平成 28 年 6 月 10 日	2. 地震外力の分布と変状の関係
2		3. 本復旧の考え方
		4. まとめ
3	平成 28 年 11 月 14 日	堤防開削現地視察 (1)白川左岸8.4k+139~8.6k+170(十禅寺地先) (2)白川左岸8.6k+80~8.8k+124(蓮台寺地先) (3)緑川左岸8.25k~8.31k(上杉地先) 委員会 1. 堤防開削調査について 2. 緑川・白川の復旧について 3. 今後のソフト対策について
4	平成 29 年 3 月 9 日	 過去の委員会等での主な意見とその対応 委員会報告書(案)について

- 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

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分頃、熊本県熊本地方を震源とする M6.5(最大震度 7)の地震 (前震)が発生した。その後、最大で震度 6 強の大きな余震が頻発し、4 月 16 日 1 時 25 分頃に は、熊本県熊本地方を震源とする M7.3(最大震度 7)を観測する地震(本震)が発生した。



写真 1.1.1 本震後の被害状況

- 1.1.1 地震諸元(前震・本震)と各地の震度
 - (1) 地震諸元

...

太震

H28年熊本地震における前震および本震の諸元を以下に示す。

内陸型(活断層型)地震でマグニチュード 6.5 以上の地震の後にさらに大きな地震が発生 したこと、一連の地震活動において震度7を2回観測したことは、1949年に「震度7」の階 級ができて以降、初めてとなる非常に大きな地震であった。

<u> </u>		
・地震名	:「平成 28 年(2016 年)熊本地震」	
・発震日時	: 平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分	
・震源	:北緯 32 度 44.5 分 東経 130 度 48.5 分	
・地震規模	: M6.5	
・場所および深さ	:熊本県熊本地方 深さ 11km	
・発震機構等	:南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型(速報)	
・震度	:最大震度7(熊本県益城町)	気象庁報道発表資料[1]

・地震名	:「平成 28 年(2016 年) 熊本地震」
・発震日時	: 平成 28 年 4 月 16 日 1 時 25 分
・震源	:北緯 32 度 45.2 分 東経 130 度 45.7 分
・地震規模	: M7.3
・場所および深さ	:熊本県熊本地方 深さ 12km
・発震機構等	:北西-南東方向に張力軸を持つ横ずれ断層型(速報)
・震度	:最大震度7(熊本県益城町、西原村)
	(速報値は震度 6 強、その後第 22 報で震度 7 に修正) 気象庁報道発表資料 ^{[2],[3]}

(2) 各地の震度

1) 前震

前震においては、 益城町で震度7、 玉名市、 西原村、 子城市、熊本市で震度6弱を観測 したほか、 中部地方の一部から九州地方にかけて震度1~5強を観測した。



図 1.1.1 震度分布図(前震)



2) 本震

本震においては、益城前および西原料で震度7、常常阿蘇村、菊池市、字土市、梵津前、 嘉島前、宇城市、含志市、熊本市で震度6強を観測したほか、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。



1.1.2 地震動

(1) 地震動波形と最大加速度

前震(M6.5)および本震(M7.3)に伴い、各観測地点で観測された最大加速度を表 1.1.1 ~表 1.1.2 に、前震と本震の強震計記録(1回の地震における最大加速度)の経時変化を図 1.1.5 に示す。

前震時、本震時ともに、KMMH16(KiK-net 益城)観測点において観測された最大加速度が 最も大きく、前震時 1,580gal で、本震時で 1,362gal (ともに三成分合成値)である。

また、益城観測点を除いて、本震時の最大加速度は前震時よりも大きかった。

		427 (5			•)		
観測点	記録開始時刻	観測点北緯	観測点東経	最大加速度	計測震度	震央距離	観測地点名
KMMH16	2016/04/14-21:26:36	32.80N	130.82E	1,580gal	6.4	6km	益城
KMM006	2016/04/14-21:26:36	32.79N	130.78E	604gal	5.9	6km	熊本
KMMH14	2016/04/14-21:26:37	32.63N	130.75E	357gal	5.4	13km	豊野
KMM008	2016/04/14-21:26:38	32.69N	130.66E	339gal	5.5	15km	宇土
KMM005	2016/04/14-21:26:38	32.88N	130.88E	236gal	4.8	16km	大津
				<pre><!--< 1 \ 24 ++ /#= TT</pre--></pre>	うちょう	÷743 – 6	

表 1.1.1 最大加速度(前震: 4/14 M6.5)

国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震記録データ^[5]を基に作成

表 1.1.2 最大加速度(本震: 4/16 M7.3)

観測点	記録開始時刻	観測点北緯	観測点東経	最大加速度	計測震度	震央距離	観測地点名
KMMH16	2016/04/16-01:25:08	32.80N	130.82E	1,362gal	6.5	7km	益城
KMM008	2016/04/16-01:25:08	32.69N	130.66E	882gal	6.2	12km	宇土
KMM006	2016/04/16-01:25:08	32.79N	130.78E	843gal	6	5km	熊本
KMM005	2016/04/16-01:25:09	32.88N	130.88E	669gal	5.7	17km	大津
KMMH14	2016/04/16-01:24:20	32.63N	130.75E	612gal	5.7	13km	豊野

国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震記録データ^[6]を基に作成

<参考>

参考として、国立研究開発法人防災科学技術研究所にて公開されている内陸および沿岸で 発生した主な地震の最大加速度を表 1.1.3 に示す。

観測点	記録開始時刻	観測点北緯	観測点東経	最大加速度	計測震度	震央距離	観測地点名	名称
KGS002	1997/3/26-17:31:51	32.09N	130.35E	903.1gal	5.2	12km	出水	1997年鹿児島県北西部地震
TTEH02	2000/10/6-13:30:21	35.23N	133.39E	1,142.4gal	6.6	7km	日野	平成12年(2000年)鳥取県西部地震
NIG021	2004/10/23-17:56:00	37.13N	138.75E	1,750.2gal	6.2	21 km	十日町	平成16年(2004年)新潟県中越地震
NGS001	2005/3/20-10:53:54	33.36N	129.54E	360.4gal	5	72km	平戸	2005年福岡県西方沖の地震
IWTH25	2008/6/14-08:43:46	39.01N	140.86E	4,022.1gal	6.3	3km	一関西	平成20年(2008年)岩手·宮城内陸地震

表 1.1.3 最大加速度(内陸および沿岸で発生した主な地震)

国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震記録データ「フを基に作成











国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震記録データ^[8]を基に作成

図 1.1.5 強震計記録(2016年4月14日~2016年4月21日)

前震・本震における地震動の時刻歴波形を図 1.1.6、図 1.1.7 に示す。 本震時の各成分の時刻歴波形は、益城観測点を除いて前震時よりも大きかった。



本震 2016/04/16 01:25 [地表面加速度]



(2) 加速度応答スペクトル

白川(小島)観測所および登城観測地点における本震時の加速度応答スペクトルを図 1.1.8 に示す。

益城観測地点における最大応答加速度は、「河川構造物の耐震性能照査指針・解説- .堤防 編-(平成 28 年 3 月改定)」^[19]で想定しているレベル 2 地震動に相当する規模であり、一部 の周期ではレベル 2 地震動を超えている。また、白川(小島)観測所における最大応答加速 度は、レベル 1 地震動とレベル 2 地震動の間となる規模であった。



(3) 地震動の継続時間

KMMH16(KiK-net 益城)観測点における地震動の継続時間を図 1.1.9 に、既往地震との比較結果を図 1.1.10 に示す。

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、本震においても KMMH16(KiK-net益城)観測点にて 22 秒程度と短く、過去の主要な地震と比較しても短い。



継続時間は、通常ベクトル合成した加速度記録が初めて 50gal 以上となる時刻と最後に 50gal 以下となる時刻との差を継続時間とするが、ここでは短時間 50gal 超過した箇所は継続時間の対象外としている 国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震記録データ^{[10][15]}を基に作成







1.1.3 余震

熊本地震の一連の地震活動は減衰しつつも全体として引き続き、活動は継続している。(H29 年3月時点)

平成 29 年 3 月末までに発生した震度別地震回数を表 1.1.4 に、最大震度 5 弱以上の震度分布 を図 1.1.12 ~ 図 1.1.14 に示す。

<u>震度4以上が141回、震度1以上が4,284回発生</u>(震度7:2回、震度6強:2回、震度6弱: 3回、震度5強:5回、震度5弱:12回、震度4:117回、震度3:409回、震度2:1,164回、 震度1:2,570回発生)している。

E	旧世				最大	震度別	回数				震度1以上を	観測した回数
时间带		1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7	回数	累計
	4/14-4/30	1,722	859	323	98	10	5	3	2	2	3,024	3,024
	5/1-5/31	344	134	43	8	0	0	0	0	0	529	3,553
	6/1-6/30	147	51	14	4	1	0	0	0	0	217	3,770
	7/1-7/31	85	19	8	1	0	0	0	0	0	113	3,883
平成28年	8/1-8/31	77	28	3	2	1	0	0	0	0	111	3,994
	9/1-9/30	49	16	7	2	0	0	0	0	0	74	4,068
	10/1-10/31	41	10	4	0	0	0	0	0	0	55	4,123
	11/1-11/30	24	16	1	1	0	0	0	0	0	42	4,165
	12/1-12/31	31	10	3	0	0	0	0	0	0	44	4,209
	1/1-1/31	22	8	1	1	0	0	0	0	0	32	4,241
平成29年	2/1-2/28	13	4	1	0	0	0	0	0	0	18	4,259
	3/1-3/31	15	9	1	0	0	0	0	0	0	25	4,284
計		2,570	1,164	409	117	12	5	3	2	2	4,284	

表 1.1.4 震度1以上の最大震度別地震回数表(H28年熊本地震)

気象庁公開資料[22]を基に作成

また、国内の内陸および沿岸で発生した主な地震の地震回数(マグニチュード 3.5 以上)を図 1.1.11 に示す。<u>熊本地震の地震回数(マグニチュード 3.5 以上)は 339 回</u>であり、1995 年以降 で国内最多である。









図 1.1.14 前震・本震・余震の震度分布(3)

1.1.4 地殻変動

熊本地震により広範囲にわたり地殻変動 図 1.1.15)が生じており、地盤沈降量については、 最大2m程度の沈降(図 1.1.16)が生じた。

なお、東北地方太平洋沖地震による地殻変動量(図 1.1.17)は、最大で 1.2m 程度の沈降で あり、熊本地震による地殻変動量は比較的大きかったといえる。

一方、国が管理する一級河川近傍では、東北地方太平洋沖地震による地殻変動量は、一級河 川近傍の電子基準点において 20~60cm 程度の沈降であり、熊本地震による緑川・白川では、 10cm~20cm 程度の沈降であった。



図 1.1.15 地震による地殻変動



国土地理院公開資料^[25]に加筆

図 1.1.16 地震による地殻変動 (上下成分 拡大)



【参考】東北地方太平洋沖地震による地殻変動量

国土地理院:平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震に伴う三角点及び水準点の測量成 果の改定値(H23.10.31公表資料より)

北上川等堤防復旧技術検討会報告書[26]に加筆

地殼変動量

4.25

3.98

3.08

2.72

上下(m)

-0.60

-0.51

-0.28

-0.23



1.2 堤防等河川管理施設における変状の概要

1.2.1 直轄河川管理施設の変状

前震および本震の発生直後より緊急点検を実施した結果、緑川・白川水系、菊池川において、 堤防や樋門・樋管などに多くの変状が確認された。以下に、直轄河川管理施設に確認された変状 の概要を示す。

- (1) 堤防の変状
 - 1) 堤防の変状箇所

前震後(平成 28 年 4 月 15 日)と本震後(同年 4 月 20 日)の堤防の変状範囲の変化を 図 1.2.1、図 1.2.2 に示す。その範囲は、前震後から本震後にかけて大きく広がっている。



図 1.2.1 前震後(平成 28 年 4 月 15 日)に堤防の変状が確認された範囲



図 1.2.2 本震後(平成 28 年 4 月 20 日)に堤防の変状が確認された範囲

前震後に確認された堤防の変状箇所

前震では、図 1.2.1 に示す範囲で変状が確認されたが、比較的大きな変状が確認されたのは、図 1.2.3 に示す緑川水系の 3 箇所である。



図 1.2.3 前震後に確認された堤防の比較的大きな変状箇所

本震後に確認された堤防の変状箇所

本震後において、緑川・白川水系で171箇所、菊池川で1箇所の合計172箇所の堤防の変状が確認された。図 1.2.4 に本震後に確認された堤防の変状箇所を示す。

変状はクラック・沈下など混在する場合もあるが、混在するもののうち、堤体沈下が 顕著である箇所が22箇所、クラックが顕著である箇所が121箇所、護岸損傷が顕著で ある箇所が18箇所、その他が10箇所であった。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。緑川・白川水系におけ る変状箇所の一覧を表 1.2.1(1)~(3)に示す。一覧表中、着色箇所が緊急復旧工事箇所で ある。

なお、確認された171箇所の変状は、本震直後の目視による堤防点検の結果から得られたものであり、目視で明確に確認できなかった沈下は含まれていない。



図 1.2.4 本震後に確認された堤防の変状箇所(上図:菊池川、下図:緑川・白川水系)

No	고노포	रत्त ।।।		地点	変 状 状 況	供老	緊急復旧	亦中形能乙類	1
N0.	水系	河川	左右岸	距離表	状 態	悀亐	工事	安状形態分類	
1	緑川	緑川	左岸	0k-0k200	堤体の沈下(段差)	-		その他	
2	緑川	緑川	左岸	0k750	堤体沈下	人家連担			
3	緑川	緑川	左岸	2k600 ~ 2k800	堤防天端の縦断クラック	-			
4	緑川	緑川	左岸	3k800 ~ 4k300	堤防天端のクラック	人家連担			
5	緑川	緑川	左岸	4k800	堤防天端のクラック	-		その他	-
6	緑川	緑川	左岸	5k400 ~ 6k000	堤防天端のクラック	人家連担			
7	緑川	緑川	<u> 左岸</u>	6k200 ~ 6k405	堤体の沈下(段差)	人家連担			
8	緑川	緑川	左岸	8k000 ~ 8k250	堤防大端のクラック	人家連担			
9		緑川 43 III	左 厈	8k250 ~ 8k610	堤体の沈ト(段差) 担体の地工(段差)	人家連担		ての供	-
10	練川 4∃Ⅲ	練川 43 Ⅲ	左 庄	8K600 ~ 8K810		-		その他	
11	線川 4311	(秋川) (43111	ケート	9K000 ~ 9K200	堤(加)大嶋の(取美)	人家連担			-
12	緑川	緑川	左岸	9K300 ~ 9K420	堤体の陥没	人家連担			-
13	₩x/1	#2K/1	<u>工</u> 件	38300 108000	~				
14	緑川	緑川	左厈	10k200 ~ 10k320	堤防本体以外の変状(護岸落下)	人家運担			
15	緑川	緑川	左岸	10k250	坂路下地割れ	人家連担			
16	緑川	緑川	左岸	10k250	堤防天端の縦断クラック	人家連担			
17	緑川	緑川	左岸	10k500	堤防天端のクラック	人家連担			
18	緑川	緑川	左岸 土山	10k550 ~ 10k650		人家連担			
19	緑川	緑川	左岸	10k600	堤防大端の縦断クラック	人家連担			
20	緑川	緑川	左 厈 - 上 山	10k800 ~ 11k000		人家連担			-
21	(家川)	(家川)	ケート	11KUSU ~ 11K/UU		人家連担			
22	家川	ぶが川 43111	左戸	12K233 ~ 12K300	ッモットス Mill の 観光 リファック 提防 王端の 縦断 クラック	人家連担			•
23	線川	線川	- 左戸 - 左岸	12K34U ~ 13KUUU	堤防天端のクラック	人家運担			4
24	緑川	緑川	エド	15k000 ~ 15k920	~…へ~==~~ 、 、	八歌運担			4
20	緑川	緑川	左岸	16k250 ~ 17k175	2005 5mm 0 mm 0 mm 0 mm 0 mm 0 mm 0 mm 0			ፖጣዙ	1
20	緑川	緑川	左岸	17k400 ~ 17k600	堤防天端の縦断クラック	-			1
28	緑川	緑川	左岸	17k860 ~ 18k110	堤防天端の縦断クラック	-			-
29	緑川	緑川	左岸	18k130 ~ 18k156	堤防天端の縦断クラック				
30	緑川	緑川	左岸	18k403 ~ 18k645	堤防天端の縦断クラック	人家連担			1
31	緑川	緑川	左岸	18k960 ~ 20k140	堤防天端のクラック	人家連担		その他	
32	緑川	緑川	左岸	20k340 ~ 20k740	堤防天端の縦断クラック	-			
33	緑川	緑川	左岸	20k652 ~ 20k765	堤体のすべり崩壊	人家連担		その他	1
34	緑川	緑川	左岸	21k440 ~ 21k950	堤防天端の縦断クラック	人家連担		その他	1
35	緑川	緑川	左岸	22k000	堤体の沈下(段差)	-		その他	1
36	緑川	緑川	左岸	22k000 ~ 22k400	堤防天端の縦断クラック	-		その他	
37	緑川	緑川	右岸	3k800 ~ 3k850	堤防天端のクラック	-			1
38	緑川	緑川	右岸	5k250	堤防天端の沈下	人家連担			
39	緑川	緑川	右岸	6k600	堤防天端の横断クラック	-			
40	緑川	緑川	右岸	7k500 ~ 7k800	堤防天端のクラック 堤防木体以外の恋状(護崇)	人家連担			
41	绿川	绿川	右岸	8k400 ~ 8k710	堤防天端の縦断クラック	人家連担			-
42	緑川	緑川	右岸	8k775 ~ 9k012	堤防天端の横断クラック	人家連担			•
43	緑川	緑川	右岸	9k100 ~ 9k250	堤防天端の縦断クラック	人家連担			•
44	緑川	緑川	右岸	9k400	堤防天端の横断クラック	-			1
45	緑川	緑川	右岸	9k600 ~ 9k700	堤防天端のクラック	-			1
46	緑川	緑川	右岸	9k800 ~ 10k200	堤防天端のクラック	人家連担			1
47	緑川	緑川	右岸	10k250 ~ 10k330	堤防天端の横断クラック	-			1
48	緑川	緑川	右岸	10k400 ~ 10k500	堤防天端の縦断クラック	-]
49	緑川	緑川	右岸	10k600	堤防天端のクラック	-]
50	緑川	緑川	右岸	10k800	堤防天端のクラック	-			
51	緑川	緑川	右岸	11k000 ~ 11k270	堤防天端のクラック	人家連担			
52	緑川	緑川	右岸	11k400	堤防天端の縦断クラック	-			
53	緑川	緑川	右岸	11k600	堤防天端の横断クラック	人家連担			l
54	緑川	緑川	右岸	11k600 ~ 11k650	堤体の沈下(段差)	人家連担			
55	緑川	緑川	右岸	11k920 ~ 12k360	堤防天端のクラック	人家連担			l
56	緑川	緑川	右岸	12k400	堤防天端の横断クラック	人家連担			l
57	緑川	緑川	右岸	12k600	堤防天端の横断クラック	人家連担			
58	緑川	緑川	右岸	13k000 ~ 13k550	堤防天端の横断クラック	人家連担			
59	緑川	緑川	右岸	13k600 ~ 14k100	堤防天端の横断クラック	人家連担			
60	緑川	緑川	右岸	15k600 ~ 15k800	_{堤防大靖のクラック} 法肩の沈下	人家連担		その他	
61	緑川	緑川	右岸	18k200 ~ 18k400	堤防天端のクラック	-			1
62	緑川	緑川	右岸	18k600	堤防天端の横断クラック	-			11
63	緑川	緑川	右岸	19k200 ~ 19k400	堤防天端の縦断クラック	人家連担		その他	緊急
64	緑川	緑川	右岸	19k800 ~ 20k400	堤防天端の横断クラック	人家連担]
65	緑川	緑川	右岸	21k600 ~ 22k600	堤防天端の横断クラック	人家連担			the state of
66	緑川	緑川	右岸	23k000	堤防天端の縦断クラック	-			受状机
67	緑川	緑川	右岸	27k100 ~ 29k000	堤防天端のクラック	人家連担		その他	J

表 1.2.1(1) 本震後に確認された堤防の変状箇所一覧(1/3)

凡例 緊急復旧工事箇所 その他 変状形態分類に該当しない

「変状形態分類」の説明については、表 1.2.2 に示す。

			地点	変 状 状 況	備老 緊	緊急復旧			
No.	水系	河川	左右岸	距離表	状態	備考	工事	変状形態分類	
68	緑川	加勢川	左岸	2k200 ~ 2k400	堤防天端の横断クラック	-			
69	緑川	加勢川	左岸	3k800(新町橋)	堤防天端の横断クラック	人家連担			
70	緑川	加勢川	左岸	3k828(大渡樋管)	堤防本体以外の変状(側溝)	人家連担		その他	
71	43111	市田 表礼 111	—————————————————————————————————————	4k400 - Ek000	堤防天端の横断クラック	一字連切			
/ 1	<i>船</i> 水/11	加劣川	生庄	4K400 ~ 5K000	堤防本体以外の変状(護岸)	人家進担			
72	緑川	加勢川	左岸	5k400 ~ 5k600	堤防天端のクラック	人家連担			
73	緑川	加勢川	左岸	5k700(新川橋)	堤防天端の横断クラック	人家連担			
74	緑川	加勢川	左岸	5k755	堤防天端の横断クラック	人家連担			
75	緑川	加勢川	左岸	5k787	堤防天端の横断クラック	人家連担			
76	緑川	加勢川	左岸	5k800 ~ 6k000	堤防天端のクラック	人家連担			
77	绿川	加熱川	左岸	6k200 ~ 6k400	堤防天端のクラック	-		その他	
70	43111		·±/+ + =	01.400	堤体の沈ト(隙間) 増防工業の紛ᄠなまった				
78	旅川	加勢川	左厈 	6K4UU		-		7.04	
79	緑川	加勢川	五戸 1.11	6k800 ~ 7k000	堤防本体以外の変状(護岸)	-		その他	
80	緑川	加勢川	左岸	7k400	堤体の沈下(隙間)	-			
81	緑川	加勢川	左岸	7k400 ~ 7k600	堤防天端の横断クラック	-			
82	緑川	加勢川	左岸	7k600 ~ 7k800	堤防天端の横断クラック	-			
83	緑川	加勢川	左岸	7k800 ~ 8k000	堤防天端のクラック	-			
84	緑川	加勢川	左岸	8k100 ~ 8k600	堤防天端のクラック	-			
85	緑川	加勢川	左岸	8k800 ~ 9k600	堤防天端の横断クラック	-			
86	緑川	加勢川	左岸	9k500	堤防天端の横断クラック	-			
87	緑川	加勢川	左岸	9k800	堤体の沈下(隙間)	人家連担	ľ	その他	
88	緑川	加勢川	左岸	10k150 ~ 10k400	堤防天端の横断クラック	人家連担			
89	緑川	加勢川	左岸	10k533~10k800	堤防天端の横断クラック	-	1		
00	4月11	加西加	 	104800	堤防天端の縦断クラック		1		
30	#冰/1	加劣川	生用	IUNUUU	堤防天端の横断クラック	-			
91	緑川	加勢川	左岸	10k900	堤防天端の縦断クラック	-	I		
92	緑川	加勢川	左岸	11k000 ~ 11k200	堤体の沈下(段差)	-			
93	緑川	加勢川	左岸	11k200~11k400	堤防天端の縦断クラック	-			
94	緑川	加勢川	左岸	11k500	堤体の沈下(段差)	-		その他	
95	緑川	加勢川	右岸	0k450 ~ 0k860	堤防天端の横断クラック	人家連担			
96	緑川	加勢川	右岸	1k800	堤防天端の横断クラック	人家連担			
97	緑川	加勢川	右岸	2k500	堤防天端の縦断クラック	人家連担			
98	緑川	加勢川	右岸	4k000 ~ 5k800	堤防天端のクラック	人家連担			
99	緑川	加勢川	右岸	5k600	堤防天端の縦断クラック	-			
100	緑川	加熱川	右岸	6k000 ~ 9k775	堤防天端のクラック	人家連担			
101	緑川	加熱川	右岸	9k775 ~ 9k855	堤防天端のクラック	人家連担			
102	緑川	加強川	右岸	10k150~11k600	堤防天端のクラック	人家連相			
102	紀川	近日川	た岸	11/150	堤防天端のクラック	人家連担			
103	(11)	浜市川	生用	44000 - 44200		八咏油三			
104	(1) (1)	浜戸川	生用	4K000 ~ 4K200		-			
105	(家川)	洪尸川	白圧	2K2UU ~ 2K8UU		-			
106	緑川	浜尸川	石戸	2k800	堤防大端のクラック	-			
107	緑川	浜尸川	石岸	3k000 ~ 3k200	堤防大埔の横断7ラック ほんボデナにに開き	人家連担	I		
108	緑川	<u> 决户</u> 川	石岸	3k700	協台育面付近に開き	人家連担			
109	緑川	浜戸川	右岸	3k600 ~ 4k000	堤防天端の横断クラック	人家連担	ļ		
110	緑川	浜戸川	右岸	4k800 ~ 5k200	堤防天端の横断クラック	人家連担	ļ	その他	
111	緑川	御船川	左岸	0k000 ~ 0k650	堤防天端のクラック	-			
112	緑川	御船川	左岸	2k000	堤体の沈下(段差)	人家連担		その他	
113	緑川	御船川	左岸	2k100 ~ 2k800	堤防天端の横断クラック	人家連担			
114	緑川	御船川	左岸	2k900	堤防天端の横断クラック	人家連担			
115	緑川	御船川	左岸	3k000 ~ 4k150	堤防天端のクラック	-			
116	緑川	御船川	左岸	5k200	堤防天端のクラック	人家連担			
117	緑川	御船川	左岸	5k400 ~ 5k420	堤防本体以外の変状(護岸)	人家連担		その他	
118	緑川	御船川	右岸	0k200	堤体の沈下(段差)	人家連担			
119	緑川	御船川	右岸	0k320 ~ 0k450	堤防天端の縦断クラック	人家連担	İ		
120	緑川	御船川	右岸	0k600 ~ 2k000	堤防法面のクラック	人家連却			
104	4311	(年116月111	н л +ш	21,000 21,000	堤内本14以外の変状(護岸) 堤防天端のクラック				
121	緑川	御船川	石戸	2K000 ~ 3K000	堤防本体以外の変状(護岸)	人家連担			凡例
122	緑川	御船川	石岸	3k000	堤防大端のクラック	人家連担			
123	緑川	御船川	右岸	3k800 ~ 4k200	堤防天端のクラック	人家連担	I	その他	
124	緑川	御船川	右岸	3k800	堤防法面はらみ出し	人家連担			緊急復旧工事箇
125	緑川	御船川	右岸	4k000	堤体の沈下(段差)	人家連担			マの供
126	緑川	御船川	右岸	5k150	堤防天端のクラック	人家連担			
127	緑川	御船川	右岸	6k100	堤防天端の横断クラック	人家連担			変状形態分類に該当

表 1.2.1(2) 本震後に確認された堤防の変状箇所一覧(2/3)

「変状形態分類」については、表 1.2.2 に示す。

				· 世 · 占	查 状 壮 识		取刍省口		
No.	水系	河川	左右岸	いたのである。	又小小儿	備考	系忌(G)口 丁事	变状形態分類	
1	白川	白川	五日月		レビロルイン レクロン レビロルイン レクロン レクロン レクロン レクロン レクロン レクロン レクロン レクロ			ፖ ወ∰	
-		느끼	10/ +		堤防天端の横断クラック	1		C 0718	
2	日川	日川	左岸	0k300 ~ 0/800	堤防本体以外の変状(護岸沈下)	人家連担			
3	白川	白川	左岸	1k000 ~ 2k000	堤防本体以外の変状(張りブロック)	人家連担		その他	
4	白川	白川	左岸	2k140	堤防本体以外の変状(管理用通路路肩)	-		その他	
5	白川	白川	左岸	3k200	堤防本体以外の変状(張りブロック)	人家連担		その他	
6	白川	白川	左岸	4k500	堤防天端のクラック	-			
7	白川	白川	左岸	5k300	堤防天端の段差	人家連担			
8	白川	白川	左岸	7k200	堤防天端のクラック 張りプロック沈下	人家連担		その他	
9	白川	白川	左岸	7k300	堤防本体以外の変状(護岸)	人家連担		その他	
10	白川	白川	左岸	8k400 ~ 8k800	堤防天端のクラック 堤防木体以外の空球(パラベット)	人家連担			
11	白川	白川	左岸	8k700	高水敷のクラック	人家連担		その他	
12	白川	白川	左岸	8k800 ~ 9k800	堤防天端のクラック 堤防太体以外の空状(パラベット)	人家連担			
13	白川	白川	左岸	10k550 ~ 10k650	堤防天端のクラック	人家連担			
14	自川	白川	左岸	11k000	堤防本体以外の変状(高水敷)	人家連担	1	その他	
15	白川	白川	左岸	11k200	堤防本体以外の変状(パラベット)	人家連担	1	その他	
16	白川	白川	左岸	11k500 ~ 12k200	堤防本体以外の変状(パラペット)	人家連担	1		
17	白川	白川	左岸	12k800	堤防天端の縦断クラック	人家連担			
18	白川	白川	左岸	13k000	堤防本体以外の変状(護岸・階段工)	人家連担	1	その他	
19	白川	白川	左岸	13k200	堤防本体以外の変状(護岸)	人家連担		その他	
20	白川	白川	左岸	14k300	堤防天端のクラック	人家連担		その他	
21	白川	白川	左岸	14k400	堤防本体以外の変状(高水敷)	人家連担		その他	
22	白川	白川	左岸	14k800 ~ 15k800	堤防天端の横断クラック 堤防本体以外の変状(護岸・パラペット)	人家連担			
23	白川	白川	左岸	16k600 ~ 17k300	堤防本体以外の変状(パラペット)	人家連担		その他	
24	白川	白川	右岸	0k050 ~ 0k330	堤防本体(特殊堤)	人家連担		その他	
25	白川	白川	右岸	0k400	堤防本体以外の変状(護岸)	人家連担		その他	
26	白川	白川	右岸	0k900 ~ 1k100	堤防天端の横断クラック 堤防本体いめの恋状(鎌岸)	人家連担			
27	白川	白川	大岸	24600 ~ 24700	堤防天端の横断クラック	人家連相			
28				31000 21700	堤防天端の縦断クラック	-			
20	白川	白川	右岸	3k000 ~ 3k200	堤防天端の横断クラック	人家連相			
30	白川	白川	右岸	5k300	堤防本体以外の変状(天端ずれ)	人家連担		その他	
31	白川	白川	右岸	7k130 ~ 7k200	堤防天端のクラック	人家連担			
32	白川	白川	二二	7k400	堀的平14以かの変状(張リノロック) 場防天端のクラック	人家連坦			
33	白川	白川	右岸	8k600 ~ 8k900	堤防本体以外の変状(パラペット)	人家連邦			
34	白川	白川	右岸	8k600	堤防本体以外の変状(高水敷)	人家連邦		その他	
35	白川	白川	右岸	8k700	場防本体以外の変状(護岸)	人家連起		その他	
36	白川	白川	右岸	9k200 ~ 10k000	堤防天端の縦断クラック	人家連起			
37	白川	白川	右岸	10k800	堤防本体以外の変状(天端ずれ)	人家連邦		その他	
38	白川	白川	「二月」	11k400~13k000	場防本体以外の変状(パラペット)	人家連起		その他	
30	白川	白川	右岸	12k600	堤体のすべり崩壊	人家連担		その他	
40		白川	右岸	14k250	堤防天端のクラック	人家連担		COLE	
40		白川	右岸	$14k400 \sim 14k700$	場防本体以外の変状(パラペット)	人家連担		その他	
42	白川	白川	右岸	15k200 ~ 17k400	堤防天端のクラック	人家連邦		その他	
40			та <i>н</i> - <u>-</u>	401-400	バラペット舗装のクラック 場時工業の芽期なまック				
43	日川	日川	石戸 ナ 出	16K400	を約べ物の機制フラック 提覧本体以及の亦体(端半)	人家連担		ての他	
44	日川	日川	白厈	17K200	2019/14/14/以710/24((護圧)	人家連担	I	ての他	

表 1.2.1(3) 本震後に確認された堤防の変状箇所一覧(3/3)

「変状形態分類」については、表 1.2.2 に示す。

2) 堤防の変状形態分類

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震を経験し、堤防被災機構及び堤防 復旧工法を検討する中で得られた教訓を踏まえ、「河川堤防における震後対応の手引き (案)」が作成されている。

「河川堤防における震後対応の手引き(案)」^[27]を参考として、熊本地震により緑川・ 白川水系において発生した変状を6形態に分類した。分類された各河川での変状箇所数を 表 1.2.2 に示す。なお、表 1.2.2 の「被災形態」・「考えられる被災要因」・「残存機能」に ついては、東北地方太平洋沖地震と熊本地震における変状と傾向・規模が異なるため、熊 本地震における被災形態の考え方を補足した。

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 箇所の変状は、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。

]:「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

+ 7 沖巛形能の キョナレ 対 半 谷 氏 粉

被災形態	考えられる被災要因	緑川水系				白川水系	合計			
			一般災形態の考え方	緑川	浜戸川	加勢川	御船川	白川		
	・盛土の強度不足、 強度低下	・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	堤防縦断方向にク ラックがあり、クラック 深さがH.W.Lに達し ていない。	31	2	11	6	7	57	
	・盛土の強度不足、 強度低下	・亀裂の幅や深さの規 模(位置を勘案して残存 機能を判断する・・ 亀裂が著しく、堤防の機 能が失われていると判断 できる場合は、仮焼切な どの対応が考えられる ・ 亀裂一部箇所のみに限 定される場合などは、堤 防機能はある程度あると 考え、裏腹付等の対応が 考えられる	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	
Fire マー 横断亀裂(HWL より浅い)	・盛土の強度不足、 強度低下 ・横断構造物沿いの緩み	・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	
HYLL 横断亀裂(HWL より深い)	・盛士の強度不足、 強度低下 ・横断構造物沿いの緩み ・水みちの拡大	・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 深さがH.W.L以下と なっている。	0	0	0	0	0	0	
堤体のすべり崩壊または深い縦断亀裂、陥没 (断面不足)	・盛土の強度不足、 強度低下 ・盛土の部分的な液状化 ・盛土の湿潤化 ・地盤の強度不足、 強度低下 ・地盤の部分的な液状化	・堤防としての機能は 残っていない ・盛士(堤体下部/閉封 鮑和域)、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	
¹¹⁰	 ・盛土の強度不足、 ・強度低下 ・協士の液状化 ・地盤の強度不足、 ・地盤の強度不足、 ・地盤の液状化 	 ・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 つクラック深さが H.W.L以下となって いる。	4	0	0	0	0	4	
そ の 護岸・バラベット等、土堤以外 他				12	1	4	3	26	46	
ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー										

表 1.2.2 变状形態分類表

堤防機能が失われている可能性のある大きな変状の , , 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。緊急復旧工事 11箇所を図 1.2.5 に、緊急復旧工事箇所の変状形 態分類を表 1.2.3 に示す。



図 1.2.5 緊急復旧工事箇所

No	河川	左右岸	区間	地区名	変状形態の分類
1	緑川	左岸	18k403 ~ 18k645	たぐち 田口	
2	緑川	左岸	20k652 ~ 20k765	っしだ 津志田	堤体に達していない擁壁の崩壊であり、6 つの被 - 災形態に該当しない。
3	加勢川	右岸	9k775 ~ 9k855	しもむた下無田	堤体のすべり崩壊または深い縦断亀裂、陥没 (断面不足)
4	緑川	右岸	8k775 ~ 9k012	のだ 野田 下流	堤体のすべり崩壊または深い縦断亀裂、陥没 (断面不足)
5	緑川	左岸	8k250 ~ 8k610	^{かみすぎ} 上杉	地域 堤体の沈下、陥没、はらみ出し (譲水の危険)
6	緑川	左岸	9k300 ~ 9k420	しゃかどう 釈迦堂	+wu
7	緑川	左岸	10k800 ~ 11k000	^{たか} 高	<u> 地</u> 連 堤体のすべり崩壊または深い縦断亀裂、陥没 (断面不足)
8	緑川	左岸	6k200 ~ 6k405	^{こいわせ} 小岩瀬	+WL
9	緑川	左岸	12k233 ~ 12k303	^{なが} 永	提体のすべり崩壊または深い縦断亀裂、
10	緑川	右岸	9k100 ~ 9k250	。 野田 上流	地 三 堤体のすべり崩壊または深い縦断亀裂、陥没 (断面不足)
11	緑川	右岸	11k920 ~ 12k360	_{しもなかま} 下仲間	単一 堤体の沈下、陥没、はらみ出し (越水の危険)

表 1.2.3 緊急復旧工事箇所の変状形態分類

(2) 樋門・樋管の変状

緑川・白川水系の樋門・樋管の本震後の点検結果、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 施設において変状が確認された。 変状が確認された樋門・樋管の位置を図 1.2.6、変状の内容を表 1.2.4 及び表 1.2.5 に示す。 また、樋門・樋管の変状例を写真 1.2.1、写真 1.2.2 に示す。



図 1.2.6 変状が確認された樋門・樋管の位置

										-			
No.	河川名	右岸/左岸	河川位置	施設名	断面 (B*H)	連数	基礎	段差 (抜け上がり) 天端 法面等	堤防天端 クラック	樋管本体 の変状	噴砂	その他の 主な変状	
1	緑川	左岸	-0/230	住吉排水樋管	1.50*1.75	1	杭	25cm	W80mm H-mm	なし	なし	パレペット目地開き 全体的に抜け上り顕著	
2	緑川	左岸	0/220	直築排水樋管	2.50*2.25	2	杭	なし	あり	なし	なし	-	
3	緑川	左岸	4/085	莎崎排水樋管	2.00*2.00	1	杭	25cm	W30mm H80mm	なし	なし	裏法にクラック 全体的に抜け上り顕著	
4	緑川	左岸	4/205	上莎樋管	1.80*1.80	1	-	なし	あり	なし	(堤内側)	天端に微小な横断クラック	
5	緑川	左岸	8/470	上杉樋管	1.70*1.70	4	杭	なし	H1000mm (近傍)	門柱:クラック 胸壁:クラック	なし	-	
6	緑川	左岸	8/650	赤見排水樋管	2.50*2.00	2	杭	25cm	なし	門柱:クラック	なし	全体的に抜け上り顕著	
7	緑川	右岸	0/900	内田川吐出樋管	2.75*2.75	1	杭	なし	なし	なし	なし	連節プロックの段差45cm 抜け上り傾向あり	
	НП24. 111	+=	2/205	长白绿等	4 75*4 75	1	#=	t>1	W25mm	t>1	t>1		
	71495711	<u></u> πμ	27555	1201/26	1.75 1.75		171	140	H200mm	120	14.0	_	
9	加勢川	左岸	3/820	大渡樋管	1.25*1.00	1	杭	なし	W30mm H200mm	なし	なし	-	
10	加勢川	左岸	5/677	犬渕1号排水樋管	1.50*1.50	1	杭	10cm	W15mm H140mm	なし	なし	全体的に抜け上り顕著	
11	加勢川	左岸	5/849	犬渕2号排水樋管	1.50*1.50	1	杭	なし	W15mm H100mm	なし	なし	-	
12	加勢川	左岸	8/000	上仲間1号樋管	2.75*2.75	1	-	なし	W15mm H-mm	翼壁:目地開き	なし	-	
13	加勢川	左岸	8/300	上仲間2号樋管	1.00*1.00	1	-	なし	なし	門柱: クラック	なし	-	
14	加勢川	左岸	9/500	古川排水樋管	2.50*2.25	2	杭	25cm	W20mm H-mm	翼壁: 剥離 止水板破損	なし	全体的に抜け上り顕著	
15	加勢川	左岸	10/165	鯰排水樋管	2.25*2.25	2	杭	20cm	W30mm H330mm	翼壁:目地開き	なし	全体的に抜け上り顕著	
16	加勢川	左岸	10/800	三郎無田排水樋管	4.40*2.70	3	杭	35cm	W10mm H - mm	胸壁:クラック 翼壁:目地開き	なし	全体的に抜け上り顕著	
17	加勢川	右岸	0/500	六間用水樋管	2.00*2.75	1	杭	なし	なし	なし	なし	表法護岸に段差10cm 抜け上り傾向あり	
18	加勢川	右岸	1/750	出九郎樋管	1.50*1.75	1	杭	なし	W50mm H180mm	なし	なし	-	
10	(年11月11日)	+=	2/575	小长海箭	1 50*1 75	-	#	25.0m	W20mm	留時,日地間主	t>1	はない山口昭英	
19	1417月ロノ11	生庄	2/5/5	小收储官	1.50 1.75	1	机	25011	wsomm	異堂:日地用さ	140	はらめ山し顕者	
20	御船川	右岸	0/645	川田樋管	2.00*2.00	1	-	なし	W30mm	なし	なし	-	
21	御船川	右岸	1/676	八竜樋管	1.00*2.50 1.00*2.27	1 1	杭	なし	あり	門柱: クラック	なし	抜け上り傾向あり	
22	御船川	右岸	5/150	御船第4排水樋管	1.25*1.25	1	-	なし	W20mm H - mm	なし	なし	操作台と堤防の 開き50mm	
23	浜戸川	左岸	4/150	馬之瀬樋管	1.25*1.50	1	杭	なし	W30mm	なし	なし	_	
24	···· ···		3/100	· 使得排水场等	1.00*1.00	1		<i>t</i> tl.	H330mm W20mm	t>1.	tt.		
	/ // //	口戶	3/100	/皮·物排小酒官	1.00 1.00		171	/4.U	H100mm	/4 U	140	-	
25	浜戸川	右岸	3/943	源三郎排水樋管	2.00*1.75	1	杭	なし	W40mm H510mm	なし	なし	-	
26	浜戸川	右岸	4/780	太郎丸排水樋管	1.25*1.25	1	杭	なし	W15mm H70mm	なし	なし	-	

表 1.2.4 変状が確認された樋門・樋管とその主な変状(緑川水系)





写真 1.2.1 樋門・樋管の変状例(住吉排水樋管)

No.	河川名	右岸/左岸	河川位置	施設名	断面 (B*H)	連数	基礎	段差 (抜け上がり) 天端、法面等	堤防天端 クラック	樋管本体 の変状	噴砂	その他の 主な変状	
1	白川	左岸	4/475	井樋山用水樋管	2.20*1.70	3	杭	5cm	W15mm H100mm	なし	なし	-	
2	白川	左岸	8/545	平田排水樋管	3.00*3.00	1	杭	35cm	(パラペット) W7mm H -mm	門柱:クラック	なし	全体的に抜け上り顕著	
3	白川	左岸	10/600	本山排水樋管	2.00	1	杭	なし	W30mm H300mm	なし	なし	パラペットクラック	
4	白川	左岸	14/290	大江第2 樋管	0.90	1	杭	なし	なし	翼壁:クラック	なし	-	
5	白川	左岸	14/870	大江第3樋管	0.90	1	-	なし	W2mm H-mm	なし	なし	-	
6	白川	左岸	15/090	大江第4樋管	0.60	1	-	なし	W15mm H60mm	なし	なし	-	
7	白川	左岸	17/100	渡鹿樋管	1.25*1.00	1	-	なし	(パラペット) W30mm H -mm	なし	なし	-	
8	白川	右岸	7/405	下水処理場樋管	1.00	1	杭	なし	(肩コン部) W15mm H200mm	なし	なし	-	
9	白川	右岸	7/609	中部浄化センター 放流樋管	2.00*2.00	1	-	なし	あり	なし	なし	天端に微小な横断クラック	
10	白川	右岸	16/347	宇留毛樋管	2.00*1.50	1	-	なし	W15mm H300mm	なし	なし	パラペットクラック 堤内地のクラック	

表 1.2.5 変状が確認された樋門・樋管とその主な変状(白川)





写真 1.2.2 樋門・樋管の変状例(平田排水樋管)
- (3) その他の変状
 - 1) その他の河川管理施設

緑川・白川水系内には、水門、堰、排水機場、陸閘、床止め、落差工等、多くの施設が あるが、これらについては、巡視等により変状は確認されなかった。

2) 堤防沿いの変状

本震後の堤防点検で、堤防沿いに確認された噴砂箇所は、図 1.2.7 に示すように、緑川 水系で 19 箇所、白川水系で 6 箇所であった。



図 1.2.7 堤防沿いの噴砂が確認された箇所

1.2.2 変状した堤防の応急対策・緊急復旧工事

(1) 比較的変状の小さな箇所に実施した応急対応

堤防の比較的小さな変状としては、高水敷や堤防天端へのクラック、石積ブロックの変状、 コンクリートの剥離等があり、クラックへの間詰めやセメントミルク注入等のクラック補修、 ブロックの積直し等を実施した。

応急対応の状況の一例を写真 1.2.3 に示す。

(白川:熊本市中央区九品寺) 応急対策完 被災状況 精み南」, (石積みフロ nt a (緑川:熊本市南区城南町) 応急対策完了 (堤防天端の亀裂) 被災状況 (セメントミルク注入) (緑川:上益城郡甲佐町) 応急対策完了 (セメントミルク注入 被災状況 (堤防天端の亀裂)

写真 1.2.3 応急対策の状況

(2) 変状の大きな箇所に実施した緊急復旧工事

図 1.2.5 に示した緊急復旧工事箇所の 11 箇所では、堤防の大きな沈下や、クラックが計 画高水位以下までおよんでいた。よって、出水に対して最低限の堤防機能を確保するため、 応急処置として、クラックの切返し工と堤防の嵩上げを行うとともに、川表側を連節ブロッ クと遮水シートで覆う等の処置を行った。

工事は本震以降 24 時間体制で実施し、平成 28 年 5 月 9 日までに全ての工事を完了した。 緊急復旧工事の状況を写真 1.2.4~写真 1.2.5、変状形態および実施した緊急復旧工事の概 要を図 1.2.8~図 1.2.18、工事の完了状況を写真 1.2.6~写真 1.2.16 に示す。



写真 1.2.4 緊急復旧工事の状況(緑川左岸 10k800: 🗟地区)



写真 1.2.5 緊急復旧工事の状況(緑川右岸 12k000: 下仲間地区)



図 1.2.8 変状形態と復旧工法概要 (緑川左岸 18k500)



図 1.2.9 変状形態と復旧工法概要 (緑川左岸 20k700)



図 1.2.11 変状形態と復旧工法概要 (緑川右岸 8k800)



図 1.2.13 変状形態と復旧工法概要 (緑川左岸 9k400)



図 1.2.14 変状形態と復旧工法概要 (緑川左岸 10k800)



図 1.2.15 変状形態と復旧工法概要 (緑川左岸 6k400)



図 1.2.16 変状形態と復旧工法概要 (緑川左岸 12k250)



図 1.2.17 変状形態と復旧工法概要 (緑川右岸 9k200)



図 1.2.18 変状形態と復旧工法概要 (緑川右岸 12k200)



写真 1.2.6 緊急復旧工事 緑川左岸 1 8 k 4 0 0 付近 (甲佐町 田口地区)



写真 1.2.7 緊急復旧工事 緑川左岸 2 0 k 7 0 0 付近 (甲佐町 津志田地区)

完了

工事完了状況

4/27 完了



写真 1.2.8 緊急復旧工事 加勢川右岸9 k 8 0 0 付近(熊本市東区 下無田地区)



写真 1.2.9 緊急復旧工事 緑川右岸 8 k 9 0 0 付近 (熊本市南区 野苗下流地区)



写真 1.2.10 緊急復旧工事



緑川左岸8k400付近(熊本市南区 上杉地区)



写真 1.2.11 緊急復旧工事



緑川左岸9k300付近(熊本市南区 釈迦堂地区)



写真 1.2.12 緊急復旧工事



写真 1.2.13 緊急復旧工事



緑川左岸10k900付近(熊本市南区 篙地区)



緑川左岸6k300付近(熊本市南区 小岩瀨地区)



写真 1.2.14 緊急復旧工事 緑川左岸 1 2 k 4 0 0 付近 (熊本市南区 ^家 地区)



写真 1.2.15 緊急復旧工事 緑川右岸 9 k 2 0 0 付近 (熊本市南区 野田上流地区)



写真 1.2.16 緊急復旧工事 緑川右岸11k800付近 (嘉島町 下仲間地区)

1.2.3 地震後のソフト対応

熊本地震後の緊急復旧工事で実施した応急処置に加え、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。 これらのソフト対策は、「5.3 堤防の本復旧工事完了後の河川管理」にて詳述する。 1.3 まとめ

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。
 - ・地震動の最大加速度は、前震・本震共に、熊本地震における震央から離れるに従い小さく なる傾向であった。
 - ・地震動の継続時間は、液状化に影響を及ぼすと考えられる加速度 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
 - ・熊本地震の本震後、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)」^[27]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である 型(H.W.L 以下の縦断亀裂), 型(すべり), 型(沈下・はらみ出し)に該当する変状が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(ブロック積擁壁構造)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)。

【参考(引用)文献等一覧】

[1]国土交通省気象庁「平成 28 年報道発表資料」:「平成 28 年(2016 年)熊本地震」について(第3報), <http://www.jma.go.jp/jma/press/index.html?t=1&y=28>,(入手 2016.4.16).

[2]国土交通省気象庁「平成 28 年報道発表資料」:「平成 28 年(2016 年)熊本地震」について(第7報), http://www.jma.go.jp/jma/press/index.html?t=1&y=28,(入手 2016.4.16).

[3]国土交通省気象庁「平成 28 年報道発表資料」:「平成 28 年(2016 年)熊本地震」について(第 22 報), ">,(入手 2016.4.20)).

[4]国土交通省気象庁:震度データベースの検索(検索結果)震度分布図,

<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php>,(入手 2016.4.20).

[5]国立研究開発法人防災科学技術研究所:益城観測点(KMMH16),熊本観測点(KMM006),豊野観測点 (KMMH14),宇土観測点(KMM008),大津観測点(KMM005)における 2016/04/14-21:26 発生地震の強震記 録データ,

<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/data/>,(入手 2016.4.20).

[6]同上, 2016/04/16-01:25 発生地震の強震記録データ,(入手 2016.4.20).

[7]同上, 出水観測点(KGS002),日野観測点(TTEH02),十日町観測点(NIG021),平戸観測点(NGS001),一 関西観測点(IWTH25)における内陸および沿岸で発生した主な地震の強震記録データ,(入手 2016.4.20). [8]国立研究開発法人防災科学技術研究所:益城観測点(KMMH16),熊本観測点(KMM006),豊野観測点 (KMMH14),宇土観測点(KMM008),大津観測点(KMM005)における2016/04/14~2016/04/21 発生地震の 強震記録データ, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/data/>,(入手 2016.4.28).

[9]国立研究開発法人防災科学技術研究所:熊本観測点(KMM006)における 2016/04/14-21:26 発生地 震の強震記録データ,<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/data/>,(入手 2016.4.20).

[10]同上: 益城観測点(KMMH16)における 2016/04/14-21:26 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[11]同上: 大津観測点(KMM005)における 2016/04/14-21:26 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[12]同上:宇土観測点(KMM008)における 2016/04/14-21:26 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[13]同上:豊野観測点(KMMH14)における 2016/04/14-21:26 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[14]同上: 熊本観測点(KMM006)における 2016/04/16-01:25 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[15]同上: 益城観測点(KMMH16)における 2016/04/16-01:25 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[16]同上: 大津観測点(KMM005)における 2016/04/16-01:25 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[17]同上:宇土観測点(KMM008)における 2016/04/16-01:25 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[18]同上: 豊野観測点(KMMH14)における 2016/04/16-01:25 発生地震の強震記録データ, (入手 2016.4.20).

[19]河川構造物の耐震性能照査指針·解説- 堤防編-,国土交通省水管理·国土保全局治水課,平成 28 年 3 月, p.8.

[20]河川構造物の耐震性能照査指針·解説- 共通編-,国土交通省水管理·国土保全局治水課,平成 24 年 4 月, p.8.

[21]北上川等堤防復旧技術検討会報告書,国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会,平成23年12月, p.8

[22]国土交通省気象庁「平成 28 年(2016 年)熊本地震の関連情報」:最大震度別地震回数表,

<http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jishin_menu.html>,(入手 2017.3.31).

[23]国土交通省気象庁「平成 28 年(2016 年)熊本地震の関連情報」:内陸及び沿岸で発生した主な地震の地震回数比較,

<http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jishin_menu.html>,(入手 2017.3.31).

[24]国土交通省国土地理院「平成 28 年熊本地震に関する情報」: だいち2 号干渉 SAR による変動の検 出(5 月 11 日 16 時 50 分更新),

<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>, (入手 2016.5.20).

[25]国土交通省国土地理院「平成 28 年熊本地震に関する情報」: 緊急 GNSS 観測の結果(5 月 11 日 16 時 50 分更新),

<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>, (入手 2016.7.25).

[26]北上川等堤防復旧技術検討会報告書,国土交通省東北地方整備局北上川等堤防復旧技術検討会,平成23年12月, p.15

[27] 河川堤防における震後対応の手引き(案)【改定版】.東北地方整備局 河川部,平成 27 年 5 月, p.20-22

[28]国土交通省国土地理院「治水地形分類図」,

< http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html>, (入手 2016.4.20).

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

(1) 地形

緑川・白川水系の流域の地形図を図 2.1.1 に示す。両水系の流域の地形の概要は以下の通 りである。

緑川水系

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。支川加 勢川の上流部は阿蘇外輪山へつながる台地が広がる。また、近傍の活断層帯として希笛 削断層帯・肖奈久断層帯、緑川断層帯が確認されている。

白川水系

白川の地形は、上流部は流域全体の約80%を占める扁円形の巨大な阿蘇カルデラで、 外輪山と火口原及び中央火口丘群からなり、山腹はいずれも急傾斜をなし多数の小谷を 刻んでいる。また、火口原である南蘇答、衛薌答はいずれも盆地を形成している。これ に対して中、下流部は極端に細長い特異な地形となり、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。



(2) 地質

熊本平野は阿蘇山の西端にあり、洪積層(砂礫層)中に阿蘇火山の噴火岩類(火山角礫 岩、一部で熔岩)が分布している。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(智期粘土層)が分布している。 地下水(被圧)は、熊本市内の地下では火山噴出岩瀬(磁削熔岩)中に大量に賦存してい る。

緑川・白川水系の直轄区間は沖積平野で最終氷期(最盛期は約 20,000 年前)以降の海 進に伴って堆積した粘土、砂、砂礫を主体とする軟弱層からなる。

図 2.1.1 に地質縦断位置として示した破線に沿った熊本市周辺の地質縦断図を、図 2.1.2 に示す。また、図 2.1.3 に熊本平野周辺の地質図を示す。



増強改訂 熊本地質図[4]

図 2.1.2 熊本市周辺の地質縦断図



熊本市周辺地盤図じに加筆

図 2.1.3 熊本平野周辺の地質図

2.2 緑川・白川水系の河川水位等

「河川構造物の耐震性能照査指針 堤防編(平成28年3月改定)」⁶において、耐震性能照査 上の堤防としての機能とは、河川の流水の河川外への越流を防止する機能とされている。また、 堤防の限界状態は、地震により堤防に変形、沈下等が生じた場合においても、その変形が耐震性 能の照査において考慮する外水位に対して耐震性能照査上の堤防としての機能を保持できる範 囲内になるよう定めている。

耐震性能の照査において考慮する外水位(照査外水位)は、原則として、平常時の最高水位で あり、河口部付近では、平常時の最高水位として朔望平均満潮位及び波浪の影響を考慮するもの とし、また、地震の発生に伴い津波の遡上が予想される場合には、施設計画上の津波高について も考慮したものである。

この考え方に基づき設定した、緑川・白川水系における照査外水位を図 2.2.1~図 2.2.4 に示す。

緑川では、14km 付近より下流側では堤内地盤高が照査外水位より低い範囲が多いが、14km 付近より上流では堤内地盤高が照査外水位より高い。白川では、河口部(3km 付近より下流) を除き、概ね堤内地盤高が照査外水位より高い。



図 2.2.2 緑川左岸(0.0km~20.0km)の照査外水位



2.3 緑川・白川水系の河川管理施設等

緑川・白川水系における、堰、水門、樋門・樋管の各施設とその位置を図 2.3.1~図 2.3.4 に 示す。

(1) 緑川水系

緑川水系直轄区間における各施設数を以下に示す。

- 堤防 : L=95.5km
- 堰 : 河川管理施設 1基、許可工作物 11基
- 水門 :河川管理施設 4基、許可工作物 0基

樋門·樋管:河川管理施設 61 基、許可工作物 71 基



図 2.3.1 緑川水系(直轄区間)の河川管理施設(堰、水門、樋門・樋管)(1/3)



図 2.3.2 緑川水系(直轄区間)の河川管理施設(堰、水門、樋門・樋管)(2/3)



図 2.3.3 緑川水系(直轄区間)の河川管理施設(堰、水門、樋門・樋管)(3/3)

- (2) 白川水系
- 白川水系直轄区間における各施設数を以下に示す。
 - 堤防 : L=34.3km
 - 堰 :河川管理施設 0基、許可工作物 4基
 - 水門 :河川管理施設 0基、許可工作物 0基

樋門·樋管:河川管理施設 16 基、許可工作物 15 基



図 2.3.4 白川水系(直轄区間)の河川管理施設(堰、水門、樋門・樋管)

2.4 緑川・白川水系の築堤の変遷

(1) 緑川水系

緑川水系における治水の歴史は古く、加藤清正が天正 16 年(1588 年)に肥後北半国の領 主として入国以降、本格的に始められたとされ、熊本城下を洪水等から守るため、加勢川右 岸に清証堤、緑川右岸に大名塘と呼ばれる堤防の構築や、御船川の流路の付け替え等が行わ れてきた。

現在の築堤形状に近い状況となったのは、近年に入り大正14年に緑川の直轄改修工事に着 手してからである。最初の事業では、御船川合流点から河口までの区間について、堤防の新 設等が実施され昭和17年に竣工している。

昭和 17年の第一期改修工事完了後、昭和 18年9月洪水等に鑑み、昭和 37年から再び直 轄事業として、緑川上流区間及び御船川を事業区域に加え、第二期改修工事が着手された。 当計画は、昭和 39年の新河川法施行に伴い、昭和 41年に策定された工事実施基本計画に引 き継がれ、この計画に基づいて、堤防整備等が実施されている。

また、御船川激甚災害対策特別緊急事業(昭和63年~平成5年)加勢川特別緊急対策事業(平成元年~平成10年)緑川・浜戸川高潮対策事業(平成22年~)等においても、築堤を行っており、現在も築堤整備が進められている。



図 2.4.1 緑川水系における主な築堤の期間

(2) 白川水系

白川水系においては、加藤清正が肥後を領有した後は多くの土木工事の記録が残されており、白川の支川であった弾井川や井芹川などを白川から締切る大工事が行われてきた。

近年に入ると、昭和28年6月洪水を契機に白川水系の直轄事業として、昭和29年(1954) に「白川改修基本計画」が国により策定され、小道橋より下流市街部区間については国が直 轄管理することとなった。昭和31年(1956)からこの計画に基づき、堤防整備等が実施さ れている。

また、白川激甚災害特別緊急事業(昭和55年~60年)等においても、築堤を行っており、 現在も築堤整備が進められている。



図 2.4.2 白川水系の直轄改修による主な築堤の期間

2.5 まとめ

緑川・白川水系の地形・地質、照査外水位、河川管理施設、築堤の変遷の主な特徴を、以下に 挙げる。

- ・緑川・白川水系の地形・地質について、直轄区間はほぼ沖積平野に位置し、特に下流側で は、30~40mの軟弱な粘土層(有明粘土層)が堆積している。
- ・緑川水系近傍の活断層帯として、希笛削断層帯、日奈久断層帯、緑川断層帯が確認されて いる。
- ・地震により堤防に変形・沈下等が生じた場合においても機能を保持すべき照査外水位に対し、緑川では14km付近、白川では3km付近より下流において、照査外水位より堤内地盤 高が低い箇所が存在する。
- ・緑川水系の直轄区間における堤防延長は約95.5km、主な施設として、堰12基、水門4基、 樋門135基(許可工作物を含む)が存在する。白川水系の直轄区間における堤防延長は約 34.3km、主な施設として堰4基、水門0基、樋門31基が存在する。
- ・緑川水系の現在の堤防の主たる部分は、緑川中~下流では昭和3年~13年、緑川上流では昭和38年~昭和52年、緑川河口部および支川では昭和46年以降において、直轄事業の築 堤工事により形成され、現在も築堤整備を進めている。
- ・白川水系の直轄事業としての堤防整備は、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)等においても、築堤を行っており、現在も築堤整備を進めている。

【参考(引用)文献等一覧】

[1]国土交通省国土政策局国土情報課「20万分の1土地分類基本調査及び土地保全基本調査(熊本県)」:20万分の1土地分類図,

<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/20-1/43.html>,(入手 2016.4.20) [2]布田川断層帯・日奈久断層帯の評価(一部改訂),地震調査研究推進本部地震調査委員会,平成 25 年 2月,p12

[3]緑川断層帯の長期評価,地震調査研究推進本部地震調査委員会,平成25年2月,p5

[4] 增強改訂 熊本地質図,日本建築学会九州支部熊本支社,昭和 46 年 12 月

[5]熊本市周辺地盤図,社団法人熊本県地質調査業協会,地盤図編集委員会編,平成 15 年

[6]河川構造物の耐震性能照査指針·解説- 堤防編-,国土交通省水管理·国土保全局治水課,平成 28 年 3 月,p2

3. 地震による堤防変状の特徴

3.1 地震後の調査概要

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、表 3.1.1 および表 3.1.2 に示す測量・空洞・地質調査を実施した。なお、" 変状が比較的大きかった 箇所 "は、「1.2.1 直轄河川管理施設の変状」で示した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と護岸・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、 道谷寺地区、 中草地区)を加えた 14 箇所を指す。

調査 種別	調査内容	調査目的	調査位置	調査時期	
測量調査	天端縦断測量	堤防天端の標高確認 (測点 200m ピッチ)	緑川,浜戸川,加勢川,御船川, 白川の直轄区間	H28 年 5 月 (加勢川の一部は H28.6)	
	3 次元測量 (MMS 測量)	堤防天端の標高確認 (200m ピッチ間の標 高確認)	同上	H28年7月	
空洞調査	レーダー探査および ファイバースコープ による空洞目視確認	三面張り区間におけ る天端コンクリート 下の空洞確認	緑川,加勢川,御船川,白川の直 轄区間のうち三面張り区間 (浜戸川は対象外)	H28年5月	
地質	ボーリング調査	変状が比較的大きか った堤防の土質確認	表 3.1.2 参照	H28年5月 ~H28年8月	
調査	開削調査	同上	表 3.1.2 参照	H28年10月 ~H29年1月	

表 3.1.1(1) 地震後の河川管理施設の変状状況調査内容一覧(堤防)

表 3.1.1(2) 地震後の河川管理施設の変状状況調査内容一覧(樋門・樋管)

調査 種別	調査内容	調査目的	調査位置	調査時期
空洞調査	樋門・樋管の空洞調査	地震後の樋門・樋管周 辺の空洞化確認	(緑 川)住吉排水樋管 "莎崎排水樋管 "龙杉植管 "赤見排水樋管 (加勢川) 光渕 1 号樋管 "古们排水樋管 "奇子们排水樋管 "香子们排水樋管 "香菜香那無苗排水樋管 (御船川) 小坂樋管 (白 川) 平田排水樋管 (白 川) 平田排水樋管	H28年4月 ~H29年3月

番号	变状箇所			調査項目			
	河川名	左右岸	地区名	区間	 ・ボーリング ・標準貫入試験 ・コアサンプリング 	土質 試験	開削 調査
	緑川	左岸	^t t t t t t t t t t t t t t t t t t t	18k403 ~18k645			-
	緑川	左岸	っしだ田	20k652 ~ 20k765			-
	加勢川	右岸	しもむた	9k775 ~ 9k855			-
	緑川	右岸	。 野田下流	8k775 ~ 9k012			
	緑川	左岸	かみすぎ 上杉	8k250 ~8k610			
	緑川	左岸	いないです。	9k300 ~ 9k420			
	緑川	左岸	局	10k800 ~11k000			
	緑川	左岸	こいやせ	6k200 ~ 6k405			
	緑川	左岸	が永	12k233 ~ 12k303			
	緑川	右岸	。 野田上流	9k100 ~ 9k250			-
	緑川	右岸	^{しもなかま} 下仲間	11k920 ~ 12k360			
白	白川	右岸	しんち	0k000 ~ 0k200+55			
白	白川	右岸	^{れんだいじ} 蓮台寺	8k600+80 ~ 8k800+124			
白	白川	左岸	じゅうぜんじ	8k400+139 ~ 8k600+170			

表 3.1.2	変状が比較的大きかった箇所で実施した調査項目概要(1	14 箇所)
---------	----------------------------	--------

開削調査を実施しない4箇所は、応急復旧にて復旧を完了した箇所である。

3.2 堤防変状箇所と地形の関係

(1) 地形分類と堤防変状の分布

河道が干拓地、三角州性低地、丘陵地(ローム台地)を貫流しているが、どの地形においても変状(沈下、クラック等)が確認された。

変状が比較的大きかった箇所は、緑川および加勢川の緊急復旧工事箇所と白川の新述・ 進台等・十禅寺地区であったが、その他の変状が比較的小さかった箇所との地形の違いは明 確に確認されなかった。地形分類と堤防で確認された変状の位置関係を図 3.2.1 に示す。



地形分類図:土地分類図凹に加筆

断層位置:都市圏活断層図^[2]を元に作成



- (2) 変状と治水地形分類との関係
 - 1) 変状の平面分布と治水地形分類

治水地形分類図⁽³⁾に示される地形分類と堤防変状の位置関係を図 3.2.2 に示す。 熊本地震により発生した変状は、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でも確認されているが、それ以外の地形に該当する箇所にお いても変状が確認されている。変状が比較的大きかった箇所(緑川および加勢川の緊急復 旧工事箇所、白川の新地・蓮谷寺・千禅寺地区)についても同様であり、要注意地形だ けでなく、それ以外の地形(氾濫平野、自然堤防など)にも該当していた。



治水地形分類図^[3]に加筆

図 3.2.2 治水地形分類と堤防変状の分布

2) 変状が確認された堤防の地形区分と延長

変状が確認された堤防の地形区分とその延長を整理したグラフを図 3.2.3 に示す。

緑川水系において、熊本地震により変状が確認された堤防は、氾濫平野に該当する延長 が最も長く、次いで旧河道、自然堤防に該当する延長が長かった。白川水系において変状 が確認された堤防は、緑川水系と異なり、扇状地に該当する延長が最も長く、次いで自然 堤防、盛土・埋立地、干拓地、旧河道に該当する延長が長かった。

また、緑川・白川水系全体の河川延長、および変状が確認された堤防の全延長における 地形区分の構成割合を整理したグラフを図 3.2.4 に示す。このグラフにおいて、水系全体 の河川延長に占める割合より、変状が確認された堤防の全延長に占める割合が大きくなっ ている地形区分は、堤防の変状が集中している地形区分であることを示す。

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。 ただし、比較的大きな変状が確認された箇所は、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、要注意地形 に該当する箇所の割合が多かった。ただし、比較的大きな変状が確認された箇所は、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。



図 3.2.3 治水地形分類図における地形区分と変状が確認された堤防の延長の関係



図 3.2.4 治水地形分類図における地形区分の構成割合

(3) 液状化集中地帯と変状箇所の関係

地盤工学会の調査⁽⁴⁾により、液状化痕が帯状に集中する箇所(以降、"液状化集中地帯"を 呼ぶ)の存在が確認されている。この"液状化集中地帯"と、白川において堤防の変状が比 較的大きかった箇所(蓮台寺地区、¹⁰⁰⁻¹¹/4⁽¹⁾

白川の2地区と緑川の緊急復旧工事箇所4地区が、この"液状化集中地帯"付近に位置している。

なお、この液状化集中地帯は、大本らの研究^[5]によると白川の旧河道である可能性があるが、本報告書内では、治水地形分類図(図 3.2.2)に従い自然堤防として扱っている。



地盤工学会平成28年熊本地震地盤災害調査団液状化班報告44に加筆

図 3.2.5 液状化確認地点と変状が比較的大きかった箇所の位置関係


地盤工学会平成 28 年熊本地震地盤災害調査団 液状化班報告(4)に加筆

図 3.2.6 液状化痕の位置と状況(一一禅寺地区付近、野苗上流地区付近)

(4) 白川河口部(新地地区を含む)の土地造成変遷

白川河口部において、変状が比較的大きかった箇所(新地地区)は昭和 20 年代~30 年代 の比較的新しい埋立地であるのに対し、その直上流の変状が小さかった箇所は明治時代に干 拓された箇所である。図 3.2.7 に新地地区の土地造成の変遷を示す。



国土地理院 HP^[6]に加筆



3.3 堤防変状箇所の実態調査結果

3.3.1 堤防変状箇所毎の実態調査結果

熊本地震による堤防の変状が比較的大きかった14箇所(緑川および加勢川の緊急復旧工事箇所と白川の新地・蓮台寺・十禅寺地区)について、堤防変状および土質調査結果を示す。

- (1) 緑川左岸 18k403~18k645 【五二地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.1 に示す。堤 防変状の概要は以下の通りである。なお、本項に示す堤防変状のうち、堤防天端の沈下量 は、前震前と本震後の測量高さから広域地殻変動量を除した値であり、それ以外のクラッ クや噴砂痕等は本震直後の目視による堤防点検の結果から得られたものである(以降、同 様)。

・天端、表法肩、裏法肩に縦断クラックを確認した(幅 20~30cm、段差無し、深さ最 大 2.3m 程度)。

・堤防天端の沈下量は 30cm 程度であった。

・川表側と川裏側の両方に、はらみ出しは確認されなかった。

・噴砂痕等の液状化の痕跡は確認されなかった。



図 3.3.1 堤防変状の概要(五道地区)

ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.1 に、 地質横断図を図 3.3.2 に示す。

たぐち

表 3.3.1 土質特性および地下水位状況(田口地	1区)
---------------------------	-----

地層名	地質·地下水位状況
B1	・緊急復旧工事時の切返し土である。
B2	 ・堤体土である。 <u>堤防中央付近</u> ・Fcは30%前後、lpは13~28程度である。 ・礫分を多く含む。 <u>川裏側</u> ・Fc=17%、lp=NPである。 ・礫分を多く含む。 <u>地下水位</u> ・河川の平水位と堤内側の水路高より地下水位はDg層中(川裏側ではAs層中)にあると想定される。ただし、天端・川裏ボーリング調査時に確認された地下水位は河川水位より3~4m高い位置にあり、堤体内地下水位が上昇しやすい環境にある可能性がある。
As	・沖積砂質土層である。 ・細粒分と礫を多く含む。 ・Fc=19~33%程度、lp=16である。
Dg	・洪積砂礫層である。

本震後(応急復旧後)の横断図・地質断面図





ふるい試験のみ実施

図 3.3.2 堤防変状区間の土質概要および地下水位状況(田口地区)

- (2) 緑川左岸 20k652~20k765 【津志苗地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.3 に示す。堤 防変状の概要は以下の通りである。

- ・川裏側に水路が並走し、川裏法面のブロック積擁壁が崩壊していた。
- ・橋梁取付け部に向かって天端高が上がるのに伴い擁壁高さが高くなっている箇所で、 特に大きく崩壊していた。
- ・水路脇の堤内地側の地盤にクラックを確認した(幅3cm)。
- ・堤防天端の沈下量は、確認されなかった。
- ・川表側と川裏側の両方に、はらみ出しは確認されなかった。
- ・周辺に噴砂痕は確認されなかった。



ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.2 に、 地質横断図を図 3.3.4 に示す。

表 3.3.2 土質特性および地下水位状況(津志田地区)

地層名	地質·地下水位状況
Bg	·礫分を主体とする堤体土である。 ·礫分を40%以上含む。Fcは11~18%程度である。
Dg	 ・洪積砂礫層である。 <u>地下水位</u> ・地質調査時は孔内水位が確認されていない。河川水位はT.P.+15.0m程度でありDg層内 に位置する。



図 3.3.4 堤防変状箇所の土質概要および地下水位状況(津志田地区)

- (3) 加勢川右岸 9k775~9k855 【下無田地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.5 に示す。堤 防変状の概要は以下の通りである。

- ・天端道路センターラインに川表側が落ち込む段差を伴う縦断クラックを確認した(幅 30cm 程度、段差 20cm 程度、深さ不明)。
- ・上下流端付近に横断クラックを確認した。
- ・その他、堤防の側帯や表法にもいくつかのクラックを確認した。
- ・堤防天端の沈下量は120cm程度であった。
- ・川表側と川裏側の両方に、はらみ出しは確認されなかった。
- ・周辺に噴砂痕は確認されなかった。



図 3.3.5 堤防変状の概要(下無苗地区)

ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.3 に、 地質横断図を図 3.3.6 に示す。

表 3.3.3 土質特性および地下水位状況(下無田地区)

地層名	地質·地下水位状況
B1	・緊急復旧工事時の切返し土である。
B2	・堤体土である。 →Fc=55~65%、lp=13~26であり、細粒分が多い。
Asc1	 ・細粒分を多く含む沖積砂質土層である。 ・Fc=19~50%程度とばらつきが大きい。lp=NPである。 ・川表法面下まで分布する。 地下水位 ・PS層とAcc1層の培用は近に位置する。
	・82層CASCI層の境界19近に12直9る。 ・堤防天端下では河川水位より2m程度高いが、川表側に向かって低くなり、河川水位と同 等となる。
Ac1	 ・沖積粘土層である。 ・Fcが90%以上の粘性土層である。 ・川表側にのみ分布する。
Ag	・N値30程度の沖積砂礫層である。



本震後(応急復旧後)の横断図・地質断面図

図 3.3.6 堤防変状箇所の土質概要および地下水位状況(下無田地区)

- (4) 緑川右岸 8k775~9k012 【野田下流地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.7 に示す。堤 防変状の概要は以下の通りである。

- ・堤防天端に川裏側が落ち込む段差を伴う縦断クラックを確認した(幅 30~50cm 程度、 深さ 1.5m 程度、段差不明)。
- ・堤防天端の沈下量は110cm 程度であった。
- ・川裏側にはらみ出しを確認したが、川表側には はらみ出しは確認されなかった。
- ・全体的に川裏側に落ち込んだような傾向であった。
- ・下流部の高水敷および川裏法尻付近に噴砂を確認した。



ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.4 に、 地質横断図を図 3.3.8 に示す。

表 3.3.4 土質特性および 地下水位状況(野田下流地区)



- (5) 緑川左岸 8k250~8k610 【上杉地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.9 に示す。堤 防変状の概要は以下の通りである。

・天端、裏法肩に縦断クラックを確認した(段差1m程度、幅・深さ不明)。

- ・上流の排水機場付近では、堤防天端や堤内地で函渠の抜け上がりと思われるクラック を確認した。
- ・堤防天端の沈下量は上流部にて大きく、150cm 程度であった。
- ・裏法尻のドレーン工が水平方向に移動しており、法尻部が盛り上がっていた。
- ・川表側と川裏側の両方に、はらみ出しを確認した。
- ・川表の高水敷に噴砂を確認した。



図 3.3.9 堤防変状の概要(上杉地区)

ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.5 に、 地質横断図を図 3.3.10 に示す。

表 3.3.5 土質特性および 地下水位状況(上杉地区)

地層名	地質·地下水位状況
Bs	・砂質土を主体とする堤体土である。 ・Fc=26%、38%とばらつきがある。lplはNPである。
As1	・沖積砂質土層である。 <u>川表側</u> ・Fc=20%程度と低くlpはNPである。 <u>川裏法面下</u> ・Fc=30%程度、lpはNPである。 <u>地下水位</u> ・堤防中央の孔内水位はT.P+2.00m程度であり、As1層内に位置している。
Ac1	・沖積粘性土層である。 ・堤体中央部で層厚4m程度、川裏側で2.5m程度、川表側で3m程度である。
As2	・沖積砂質土層である。 ・川表~川裏にかけて、FCは15~20%、Ipは概ねNPである。 ・層厚は川表~川裏で概ね4m程度である。

前震前(変状前)及び本震後(応急復旧後)の調査を合わせた地質断面図 (L8K/400:H18)III龋の天端) No. 左岸8K400 H=7. 67m dep=15.00m 数値:礫分(%) 左岸8k/400 川裏 dep = #6.44m dep = 8.45 m ・数値:砂分(%) 左岸8k/400 川表 数値:シルト分・粘土分(%) •数值:lp +7.01m dep = 10.45 m As Nhh 0.0 HWL ▽+6.92 (8/400) 10 40, 6 NP Bs DL=5.00 \$113, 854 2. Bs 4 3 4.0 (河川の平水位) 息定地下水位 As As1 96 1/351 3 00 ר<u>ר</u>ר מ Ac1 Ac1 2/35 8.3 13 71.2 14.9 NP 9.65 10.45 As As2 OL −5, 00 Ac2 Ac2 15 Bs層 As1層 As2層 18 % 23 % 27 % 44 % 42 9

図 3.3.10 堤防変状箇所の土質概要および地下水位状況(上杉地区)

■礫 □砂 □シルト ■粘土

■礫 □砂 □シルト ■粘土

前震前(変状前)の横断図 前震前(変状前)及び木震後(応急復旧後)の調査を合わせた地質断面図

■礫 □砂 ■シルト ■粘土

- (6) 緑川左岸 9k300~9k420【釈迦堂地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.11 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

- ・表法肩に法面が落ち込む段差を伴う縦断クラックを確認した(幅 20cm 程度、段差 20cm 程度、深さ 1m 程度)。
- ・裏法尻付近にて舗装のクラックが生じていた。また、民家のブロック塀が堤体のはら み出しにより堤内側に傾斜していた。
- ・堤防天端の沈下量は 70cm 程度であった。
- ・川表側と川裏側の両方に、はらみ出しを確認した。
- ・高水敷に噴砂を確認した。その発生箇所は堤防の変状が小さくなっている下流端 (9/200+100)付近であった。



ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.6 に、 地質横断図を図 3.3.12 に示す。



- (7) 緑川左岸 10k800~11k000 【 營地区 】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.13 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

・両法肩に天端が落ち込む段差を伴う縦断クラックを確認した(幅 20cm 程度、段差 15cm 程度、深さ不明)。

・段差を伴う横断クラックを確認した(幅15cm程度、段差10cm程度、深さ不明)。

- ・堤防天端の沈下量は150cm程度であった。
- ・川裏側にはらみ出しを確認したが、川表側には はらみ出しは確認されなかった。
- ・周辺に噴砂痕は確認されなかった。



図 3.3.13 堤防変状の概要(篙地区)

2) 変状区間代表断面の土質概要

ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.7 に、 地質横断図を図 3.3.14 に示す。



- (8) 緑川左岸 6k200~6k405 【小岩瀬地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.15 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

- ・天端中央に川表側が落ち込む段差を伴う縦断クラックを確認した(幅 40cm 程度、段 差 30cm 程度、深さ不明)。
- ・川裏法肩に天端が落ち込む段差を伴う縦断クラックを確認した(段差 20cm 程度、幅・ 深さ不明)。
- ・堤防天端の沈下量は130cm 程度であった。
- ・川表側と川裏側の両方に、はらみ出しを確認した。
- ・周辺に噴砂痕は確認されなかった。



図 3.3.15 堤防変状の概要(小岩瀬地区)

ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.8 に、 地質横断図を図 3.3.16 に示す。

表 3.3.8 土質特性および 地下水位状況(小岩瀬地区)

地層名	地質·地下水位状況
Bs	 ・砂質土を主体とする堤体土である。 <u>川裏法尻部~川表法尻部</u> ・Fc=16~40%とばらつきがあるが概ね35%以下である。lpは概ねNP、川裏法面部でのみlp=9.6である。 ・コアの色調は褐色である。 ・川裏法尻部は粒度試験がないが、コアの色調より同一層とみなせる。 <u>川表高水敷部</u> ・Fc=48~64%と高く、lpも13~32と高い。 ・コアの色調は暗灰であり堤防付近と異なる。 <u>地下水位</u> ・河川水位T.P1.0m程度に対して、1.5m程度高くなっている。 ・堤防中央付近において、調査時孔内水位はT.P.+4.20m程度と局所的に高くなっている。
Acs	・細粒分を多く含む沖積砂質土層である。 ・Fc=45~67%と高く、Ipは川裏側を除いてIp=14~20、川裏側のみNP。 ・コアの色調は暗灰である。



- (9) 緑川左岸 12k233~12k303 【 ^黎地区 】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.17 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

- ・両法肩に縦断クラックが生じており、裏法肩では天端が落ち込む段差を確認した(段 差 20cm 程度、幅・深さ不明)。
- ・堤防天端の沈下量は 40cm 程度であった。
- ・川裏側にはらみ出しを確認したが、川表側には はらみ出しは確認されなかった。
- ・変状箇所より上流の堤内側に噴砂を確認した。



現地写真





ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.9 に、 地質横断図を図 3.3.18 に示す。

表 3.3.9 土質特性および 地下水位状況 (🕺 地区)

地層名	地質 · 地下水位状況
	・砂質土を主体とした堤体土である。 細粒分を多く混入する。 <u>堤防中央付近 ~ 川裏側</u> ・Fc=20 ~ 49%とばらつきがあるが、 概ねFc=30%前後である。
Bsc	· Ip=NP ~ 14程度である。 <u>川表法面下 ~ 川表側</u> · Fc=16 ~ 60%程度、Ip=12 ~ 20である。
	<u>地下水位</u> ・河川水位はT.P.+4.0m程度であるのに対し、孔内水位はT.P.+5.4 ~ 5.8m 程度と1.4m ~ 1.8m程度高くなっており、地下水面はBsc層中央付近に位置 する。
Ac1	・沖積粘土層である。 ・川表側~川裏側にかけて4~7m層厚となっている。
As1	・沖積砂質土層である。 · Fc=7 ~ 36%程度、lplはNPである。 · 層厚5 ~ 7m程度である。



- (10) 緑川右岸 9k100~9k250 【野田上流地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.19 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

- ・天端道路に川表側が落ち込む段差を伴う縦断クラックを確認した(幅 30cm 程度、段 差 20cm 程度、深さ不明)。
- ・堤防天端の沈下量は80cm 程度であった。
- ・川表側と川裏側の両方に、はらみ出しは確認されなかった。
- ・水門より上流の高水敷に噴砂を確認した。



ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.10 に、 地質横断図を図 3.3.20 に示す。

表 3.3.10 土質特性および 地下水位状況(野田上流地区)

地層名	地質·地下水位状況
	・砂質土を主体とした堤体土である。細粒分を多く混入する。 ・Fc=23 ~ 68%とばらつきが多い。lp=8 ~ 19である。
Bsc	<u>地下水位</u> ・堤防天端下では河川水位より1.5m程度高いが、川表側に向かって低くなり、河川水位と 同等となる。
Ac1	・沖積粘性土層である。 ・堤防天端下で層厚3m程度、川表側で層厚1m程度である。
As1	・沖積砂質土層である。 ・Fc=2~40%とばらつきが大きい。Ipは一部を除きNPである。
Asc	・細粒分を多〈含む沖積砂質土層である。 ・Fcは40%以上、lplはNP~20程度である。

本震後(応急復旧後)の横断図・地質断面図



図 3.3.20 堤防変状箇所の土質概要および地下水位状況(野苗上流地区)

- (11) 緑川右岸 11k920~12k360 【下仲間地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.21 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

- ・堤防天端に川裏側が落ち込む段差を伴う縦断クラックを確認した(幅 60cm 程度、段 差 70cm 程度、深さ最大 2.0m 程度)。
- ・裏法肩付近にも大きく開口した縦断亀裂を確認した。
- ・堤防天端の沈下量は110cm 程度であった。
- ・川表側と川裏側の両方に、はらみ出しを確認した。
- ・周辺に噴砂痕は確認されなかった。





2) 変状区間代表断面の土質概要

ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.11 に、 地質横断図を図 3.3.22 に示す。

表 3.3.11 土質特性および 地下水位状況(下仲間地区)

地層名	地質·地下水位状況
Bs	 ・砂質土を主体とした堤体土である。 ・堤防中央付近では、Fc=20~40%、部分的に細粒分多くFcは60%を超える。川表側および 川裏側では50%を越える。 ・Ipは概ね15以上である。 ・20~45%程度の礫分を含む。 ・地下水位以下の層厚は、天端中央で1.0m程度である。 <u>地下水位</u> ・河川水位はT.P.+4.0m程度であるのに対し、孔内水位はT.P.+4.2m~6.8m程度と0.2m~ 2.8m程度高くなっており、地下水面はBs層下部に位置する。
Ac1	・沖積粘土層である。 ・堤体中央部で層厚4.0m程度、川裏側で2.5m程度、川表側で7.0m程度である。
As2	 ・沖積砂質土層である。 ・FC=5 ~ 30%程度であり、概ねlp=NPである。 ・部分的に礫を多く含む。 ・層厚5.5m ~ 9.0m程度である。





図 3.3.22 堤防変状箇所の土質概要および地下水位状況(下仲間地区)

- (12) 白 白川右岸 0k000~0k200 【新地区】
 - 1) 堤防変状の概要

白川右岸 パラベットのクラック

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.23 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

- ・コンクリート擁壁式特殊堤のセグメント端部に目地ずれを確認した。ごく一部の区間 に軽微な沈下を確認した。なお、基礎形式は不明である。
- ・河口側の区間では、パラペット背後の平場が沈下し、パラペットの背後に大きな空洞 を確認した。周辺地盤の沈下や、平場部の堤内地側のもたれ式擁壁の水平移動を確認 した。
- ・川裏法尻付近に縦断クラックを確認した(幅 30cm 程度、段差 30cm 程度、深さ不明)。
- ・パラペット天端の沈下量は 40cm 程度であった。
- ・背後地に大規模な黒褐色の噴砂を確認した。





ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.12 に、 地質横断図を図 3.3.24 に示す。

表 3.3.12 土質特性および 地下水位状況(新地地区)

	地層名	地質・地下水位状況	
	Bs	・砂質土を主体とした堤体土である。 ・Fcは10%以下となっている。lpはNPである。	
	As1	 ・沖積砂質土層である。 ・N値3~17であり、下部のN値が相対的に高い。 ・Fcは概ね20%以下、Ip=NPである。 ・層厚6~7m程度である。 <u>地下水位</u> ・地下水位はT.P.+1.0m程度であり、河川水位より1m程度低い。 ・河川水位は潮位と連動している。 	
	Ac2	・N値0の軟弱な沖積粘土層であり、20m以上の層厚となっている。	
		^自 (1000+50) 本震後(応急復旧工事後)の横断	i図·地質断面図
	L 5 00	N0.1 GH = 4.49 - 数值 Str-H28.R0k000+50-3 Str-H28.R0k000+50-1 GH = 4.49m - 数值 GH = 50.00 m - 数值 U28.R0k000+50-2 - 2	: 礫分(%) : 砂分(%) : 沙ト分・粘土分(%) : lp
HŴ	L=5.00 IL ▽+4.13 (0	$\begin{array}{c} (H^{A} = 14.00 \text{ m} \\ dep = 14.00 \text{ m} \\ c_{0} = 100 \text{ m} \\ g_{1} = 2.53 \text{m} \\ GH = 2.53 \text{m} \\ GH = 2.6.00 \text{ m} \end{array}$	
	(河川の平水位) 6/6 an 2 ¹ 6/6 an 2 ¹ 7/6 an 2 ¹ 7	
D	L=0. 00	現在地下水位 5/26-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1-1	
D	L=-10.00	10- 10- 10- 10- 10- 10- 12- <td></td>	
		0 19.9 80.1 22.5 0 5.0 95.0 38.5 0 5.0 95.0 38.5 0 5.0 97.3 34.2 0 46.46 0.0 2.5 97.5 35.8	
D	L=-15.00	1 ⁹⁻ 一首(本 0 0 1.3 98.7 46.8 B層	
		AS I/E 6% 4% 90% 85% 回碟 00 回碟 00 回碳 00	み実施

図 3.3.24 堤防変状箇所の土質概要および地下水位状況(新地地区)

- (13) 白 白川右岸 8k680~8k924 【 蓮台寺地区 】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.25 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

・区間全体に横断クラックを確認した(幅数 cm 程度、段差なし、深さ不明)。

- ・パラペット天端の沈下量は 60cm 程度であった。
- ・川表側の坂路に目地開きが生じ、高水敷に堤防縦断方向の開口亀裂を確認した。
- ・背後地に黒褐色の噴砂を確認した。



図 3.3.25 堤防変状の概要(進合寺地区)

ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.13 に、 地質横断図を図 3.3.26 に示す。

表 3.3.13 土質特性および 地下水位状況 (蓮台寺地区)

地層名	地質·地下水位状況
Bs	·砂質土を主体とした堤体土である。 ·N値が7~10程度の盛土である。
Asc	・細粒分を多く含む沖積砂質土層である。 ・盛土直下にレンズ状に介在する。 ・Fc=60%程度である。
	<u>地下水位</u> ・河川水位と同等であり、Asc層内に位置する。
As1	·沖積砂質土層である。 ·N値は概ね10以下、Fcは概ね10%以下である。 ·下部では相対的にN値が高い。
Ag	 ・沖積砂礫層である。 ・D₅₀は概ね20mm以上と比較的粒径が大きく、N値は概ね20程度である。 ・堤体中央から川裏にかけてレンズ状に介在する。
As2	・沖積砂質土層である。 ・FC=15%程度であるが、N値が20以上と大きい。 ・層厚8m程度である。
Ac	·沖積粘土層である。 ·層厚3m以上である。



- (14) 白 白川左岸 8k539~8k770 【十禅寺地区】
 - 1) 堤防変状の概要

地震後に確認された変状の位置、治水地形分類図、変状状況写真を図 3.3.27 に示す。 堤防変状の概要は以下の通りである。

- ・樋管箇所で函渠の抜け上がりを確認した。
- ・堤内地の地表に段差(20~40cm 程度)や、樋管上下流のパラペットにクラックや目 地ずれを確認した。
- ・上流部の高水敷に縦断クラックを確認した(幅 12cm 程度、深さ 1.4m 程度、段差不明)。
- ・パラペット天端の沈下量は 40cm 程度であった。



現地写真



図 3.3.27 堤防変状の概要(十禅寺地区)

ボーリング調査結果から得られた地層別の土質特性および地下水位状況を表 3.3.14 に、 地質横断図を図 3.3.28 に示す。



地層名	地質·地下水位状況
Bs	・砂質土を主体とする堤体土である。
Bc	・細粒分を主体とする堤体土である。 ・Fc=58%~70%、Ip=NP~35である。
As1	 ・沖積砂質土層である。 <u>川表側 ~ 川裏側</u> ・Fc=6 ~ 34%となっており、lplはNPである。 ・As1層の層厚は川表側で約10m、川裏側で約7mである。 ・N値は8 ~ 13程度である。 <u>地下水位</u> ・地下水位はBc層 ~ As1層に位置し、河川水位と同等である。
Ag	・礫分を65%程度含む沖積砂礫層である。 ・川表側にのみ分布する。
As2	 ・沖積砂質土層である。 ・FC=7~19%程度、lpはNPとなっている。 ・N値10~48と、As1層に比べて高くなっている。



3.3.2 堤防沈下量の整理

前震以前の定期横断測量結果および本震以降(緊急復旧工事後)に実施した堤防天端高の測量 結果より、緑川・白川水系の堤防高(沈下量・沈下後堤防高)と河川水位(HWL・照査外水位) との関係を整理した。

- ・緑川・白川水系において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 を超える箇所が緑川で2箇所確認された。
- ・地震後の堤防天端高は、照査外水位を記した図 3.3.29~図 3.3.34の縦断図に示す通り、 全区間において照査外水位以上となっていた。
- ・堤防未整備箇所を除き、地震後に堤防天端高が HWL を下回った箇所が緑川で 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。
- なお、測量方法および測量時期は表 3.3.15 に示す通りである。

河川名		地震前			地震後		
		測量時期	測量方法	測量範囲	測量時期	測量方法	測量範囲
緑川水系	緑川	H28年2月	定期横断	0K0-20K0	H28年5月	GNSS水準	直轄区間全体
		H22年12月	定期横断	20K2-30K0	H28年7月	三次元成果	直轄区間全体
	浜戸川	H21年12月	定期横断	直轄区間全体	H28年5月	GNSS水準	直轄区間全体
					H28年7月	三次元成果	直轄区間全体
	御船川	H22年12月	定期横断	直轄区間全体	H28年5月	GNSS水準	直轄区間全体
					H28年7月	三次元成果	直轄区間全体
	加勢川	H21年12月	定期横断	直轄区間全体	H28年6月	GNSS水準	直轄区間全体
					H28年7月	三次元成果	直轄区間全体
白川水系	白川	H25年2月	定期横断	直轄区間全体	H28年5月	GNSS水準	直轄区間全体
					H28年7月	三次元成果	直轄区間全体

表 3.3.15 堤防天端高測量の方法および時期

緑川の 15k より下流側では、右岸は 8k、左岸は 6k より上流側で沈下量が比較的大きく、 50cm を超える沈下が数カ所で発生していた。なお、沈下量が小さい下流の区域は、耐震対 策を実施している区域と重なっていた。左岸 6.4k、8.4k 付近の 2 箇所で、沈下後の堤防天 端高が H.W.L を下回った。



図 3.3.29 本震後の堤防高と河川水位の関係(緑川下流)

緑川の 15k より上流側では、最大 20cm ~ 30cm 程度の沈下が発生していたが、22k より上 流側では沈下量はより小さく、沈下が発生していないところもあった。



図 3.3.30 本震後の堤防高と河川水位の関係(緑川上流)

浜戸川では、全区間で 10cm 以下の比較的小さな沈下が発生していた。また、耐震対策の 施工済区間の長い左岸の方が、右岸と比べて沈下量は小さかった。





加勢川では、全区間で概ね 20cm 程度の沈下が発生していたが、局所的に 1 箇所で 120cm 程度の沈下が発生していた。





図 3.3.32 本震後の堤防高と河川水位の関係(加勢川)

(m)


御船川は、ほとんどの区間が山間部を通っており、沈下量は山側にあたる左岸側の方が右岸側に比べ全体的に小さかった。

図 3.3.33 本震後の堤防高と河川水位の関係(御船川)

(m)

白川では、10k より下流で概ね 10cm 以下の沈下が発生していたが、0k 付近および 9k 付近で局所的に 20cm を超える沈下が発生していた。



3.3.3 土質構造の特徴

堤体および基礎地盤の土質特性と、堤防の変状分布状況(変状の有無・大小)との関係について整理した。

(1) 土質特性整理に用いた地質調査資料

地質縦断図および土質特性は、熊本地震以前に実施した既往ボーリング調査結果、熊本地 震により比較的大きな変状が確認された箇所において実施したボーリング調査結果、更に追 加したボーリング調査結果を基に整理した。

また、追加ボーリング調査は、地層構成(特に堤体と基礎地盤の境界)が不明確な箇所に おいて縦断的に地層情報を補足する目的で行ったものと、熊本地震前後の地層構成の変化を 確認するために行ったものがある。

それぞれのボーリング調査本数を表 3.3.16 に、ボーリング柱状図および地質縦断図を図 3.3.36~図 3.3.40 に、地質凡例を図 3.3.35 に示す。

調査種別	調査時期	調査目的	ボーリング数(箇所)										
			緑川水系								白川水系		
			緑川		浜戸川		加勢川		御船川		白川		合計
			右岸	左岸	右岸	左岸	右岸	左岸	右岸	左岸	右岸	左岸	
既往ボーリング	平成28年4月以前	浸透照查、耐震性能照查等	68	76	30	35	32	24	19	11	90	92	477
本復旧工法検討用 ボーリング	平成28年5月 ~平成28年7月	大きな変状が発生した堤防の地層構 成・土質特性の把握、および本復旧 工法の検討	10	9	0	0	1	0	5	0	4	2	31
分析用 追加ボーリング	平成28年11月 ~平成28年12月	地質縦断図の補完、 地層境界の変化 確認	4	4	0	0	2	3	0	0	0	0	13
合計			82	89	30	35	35	27	24	11	94	94	521

表 3.3.16 ボーリング調査箇所数





図 3.3.35 地質凡例













(2) 土質構造と堤防変状分布状況の関係

地質調査結果を用いて整理した、緑川・白川水系の土質構造と堤防変状分布状況(有無・ 大小)の関係の概要は以下の通りである。河川ごとの整理結果の詳細は次頁以降に示す。

- ・緑川本川では、堤防の変状が比較的大きかった箇所が、中流域に集中している。
- ・緑川中流域の変状が比較的大きかった箇所は、堤体が砂質土かつ下部が飽和状態となっ ており、地震時に液状化が発生した可能性がある。
- ・変状が比較的大きかった箇所のうち、野笛下流地区、野笛上流地区、釈迦堂地区、ビ杉地 区は、家屋や地盤(液状化)の被害が甚大であった白川と緑川を結ぶ液状化の集中地帯 に位置していた。
- ・変状が比較的少なかった緑川下流では、堤体が粘性土であり、堤体内に飽和域が形成さ れにくい状態であるため、液状化の発生しにくい地質構成であった。
- ・緑川中下流の基礎地盤には、10m程度の比較的厚い砂質土層を有しているが、粘性土に 被覆され、液状化の生じにくい地層構成であった。
- ・緑川上流域の堤体は、中流域と同様に砂質土より構成されているが、一部を除き、地下 水位が低く堤体内に飽和域が形成されにくい状況であるため、液状化は発生しにくい箇 所が多かった。変状の確認された箇所については、震源及び断層に近いことによる影響 もあったと推測される。
- ・浜戸川は、堤体の土質構成が緑川下流域と類似していることに加えて、耐震対策等が広い範囲で実施されており、液状化に伴う変状を抑止したものと考えられる。
- ・加勢川の堤体は粘性土である箇所が多く、また堤体が砂質土の箇所においても地下水位 が低く堤体内に飽和域が形成されにくい状況であるため、液状化が発生した可能性が低 いと考えられる。
- ・御船川における堤体および基礎地盤の土質構成、地下水位の状況は、一部を除き、緑川
 上流域と類似しており、液状化が発生した可能性が低いと考えられる。
 白川水系(白川)
- ・特殊堤区間が多く、堤防の変状は護岸のクラック等が多かったが、その中で、3箇所(白 川右岸:新地地区、鐘谷寺地区、白川左岸:十禅寺地区)では、特に護岸等のクラック 及び沈下量が大きかった。
- ・白川左右岸0~9k においては、ほぼ一連で、地下水位が堤体下面付近までの高さであり、 基礎地盤の砂質土が飽和状態となっている。液状化した可能性があるが、変状が比較的 大きかったのは3箇所のみである。
- ・白川左右岸0~9kにおいて、変状が比較的大きかった箇所の特徴は、白川右岸0k200付近の新地地区が他の干拓地より近年干拓された箇所であること、白川9k000付近の謹谷 寺地区(右岸) 一章 禅寺地区(左岸)については、家屋や地盤(液状化)の被害が甚大 であった白川と緑川を結ぶ液状化集中地帯に位置していることが言える。
- ・白川左右岸 9k より上流においては、地下水位が堤体下面より 3m 程度以上低くなっていた。

1) 緑川(右岸)

緑川右岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況を図 3.3.41 に示す。

14kより下流側の基礎地盤は、比較的緩い沖積粘性土層・砂質土で形成され、上流側は 主に洪積層である強固な砂礫層で形成されている。変状・沈下が相対的に大きい箇所は基 礎地盤が沖積層である区間に多く、特に中流域の7~14k付近に集中し、変状が比較的大 きかった箇所もこの区間に位置する。

緑川右岸 14k 付近より下流では、地下水位が堤体下面より 0~2m 程度高い区間が多く、 14k 付近より上流では、地下水位が堤体下面より低い区間が多い。

なお、上流域の変状は震央・断層に近いことによる影響があったと推測される。上流域 の沈下についても、断層に比較的近いところに集中しており、断層の影響があったものと 推測される。



図 3.3.41 地質縦断図と堤防沈下量(緑川右岸)

緑川右岸 0k~14k 付近

緑川右岸 0k~14k 付近の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量、堤体飽和域の細粒分 含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.42 に示す。

変状が比較的大きかった 9k 周辺および 12k 周辺では、堤体が砂質土で堤体下部の飽和 域の Fc が 10% ~ 40%程度、Ip が NP ~ 10 程度である。その他の箇所(主に 8k より下流) の堤体については、粘性土である箇所が多く、Fc が高い、または Ip が高い傾向にある。 このことから、変状が比較的大きかった箇所では、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。

なお、変状の多かった 7k 付近~14k 付近では、7k 付近より下流側と比較して基礎地盤 砂質土(As2)層が厚い傾向にあるが、比較的厚い粘性土(Ac1)層に被覆されており、 当該地層で液状化が発生していたとしても、堤防の変状に与える影響は小さかったものと 推測される。



緑川右岸 15k~23k 付近

緑川右岸 15k~23k 付近の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量、堤体飽和域の細粒分 含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.43 に示す。

堤体は砂質土であり、その直下に砂礫(Dg)層が分布している。地下水位は上流端付 近を除き、堤体下面より低い。

堤防の変状は主に18k~20k付近に集中しており、18k~19k付近では上下流に比べ大きな沈下が発生していた。土質構造や地下水位との相関は認められず、想定される断層位置の近傍であることによる影響があったと推測される。



図 3.3.43 地質縦断図、堤防沈下量、堤体飽和域の Fc・lp(緑川右岸 15k~23k)

2) 緑川(左岸)

緑川左岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況を図 3.3.44 に示す。

地層構成や地下水位については右岸と同様の傾向が見られる。6k 付近~14k 付近で堤 防の変状および天端沈下量が相対的に大きく、変状が比較的大きかった箇所(緊急復旧工 事箇所)もこの区間に位置する。

また、上流域の変状は、震央・断層が近いことによる影響もあったと考えられる。上流 域の沈下についても、断層に比較的近いところに集中しており、断層の影響があったもの と推測される。



図 3.3.44 地質縦断図と堤防沈下量(緑川左岸)

緑川左岸 0k~14k 付近

緑川左岸 0k~14k 付近の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量、堤体飽和域の細粒分 含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.45 に示す。

右岸と同様、変状が比較的大きかった箇所では堤体が砂質土で堤体下部の飽和域の Fc が 10%~40%程度、Ip が NP~12 程度であり、その他の箇所(主に 8km より下流)の 堤体については、粘性土である箇所が多く、Fc が高い、または Ip が高い傾向にある。こ のことから、変状が比較的大きかった箇所では、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。

なお、基礎地盤についても右岸と同様の傾向がみられ、変状の多い 8k 付近~14k 付近 では、8k 付近より下流側と比較して基礎地盤砂質土(As2)層が厚い傾向にあるが、比較 的厚い粘性土(Ac1)層に被覆されており、堤防の変状に与える影響は小さかったものと 推測される。



緑川左岸 15k~23k 付近

緑川左岸 15k~23k 付近の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量、堤体飽和域の細粒分 含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.46 に示す。

堤体は砂質土である箇所が多く、基礎地盤は 16k 付近および 18k 付近を除き、砂礫 Dg) 層または粘性土(Dc)層である。16k 付近および 18k 付近では、堤体直下に砂質土(As2) 層が分布する。また、地下水位は一連で堤体下面より低い。

堤防の変状は一様に分布していたが、沈下量は 18~19k 付近で上下流に比べ大きな沈 下が発生していた。

堤防の変状が比較的大きかった田山地区では、「3.3.1 堤防変状箇所ごとの実態調査結果」に示した通り、地下水位が上昇しやすい環境であったと考えられ、As2 層が飽和していた可能性がある。また、沈下量が比較的大きかった範囲と As2 層の分布範囲が概ね一致することから、As2 層が地震時に液状化したことも考えられる。

しかし、沈下量が比較的大きかった範囲が左右岸で同じ位置であること、また、左右岸 で土質構成が異なることから、想定される断層位置の近傍であることによる影響があった ことも考えられる。



図 3.3.46 地質縦断図、堤防沈下量、堤体飽和域の Fc・lp(緑川左岸 15k~23k)

3) 浜戸川(右岸)

浜戸川右岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況、堤体飽和域の細粒分含 有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.47 に示す。

堤体が砂質土である箇所は一部であり、堤体はほぼ粘性土である。一部、堤体の Fc が 小さい箇所においても Ip が大きい。基礎地盤の層序は緑川下流部と同様、堤体直下に粘 性土(Ac1)層、その下位に砂質土(As1)層が分布している。地下水位は概ね堤体下面 より低い。

堤防の変状は全体で確認されているが、沈下量は最大 20cm 程度と緑川本川や加勢川と 比較して小さい(浜戸川右岸における堤防の変状は、ほとんどが杭基礎の樋管周辺の抜け あがりによる横断クラックである)。

堤体および基礎地盤の土質特性と、変状の有無との相関は認められない。また、下流側 で耐震対策が実施されているが、この区間では変状は確認されなかった。



4) 浜戸川(左岸)

浜戸川左岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況、堤体飽和域の細粒分含 有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.48 に示す。

地層構成や堤体、基礎地盤の土質特性は浜戸川右岸と同様である。

耐震対策が広い範囲で実施されており、右岸側と比較して堤防の変状が少なかった。



5) 加勢川(右岸)

加勢川右岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況、堤体飽和域および基礎 地盤砂質土(As1、Acs1)層の細粒分含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.49 に示す。

基礎地盤の層序は緑川下流部と同様、堤体直下に粘性土(Ac1)層、その下位に砂質土 (As1)層が分布している。地下水位は概ね堤体下面付近にある。堤体は粘性土により構 成されている箇所が多く、一部、堤体の Fc が小さい箇所においても Ip が大きい。

変状が比較的大きかった 9.8k 付近では、局所的に、堤体直下に厚い Acs 層が堆積して いる。この層の Fc は 35%を超えるものもあるが、Ip は NP であることから、当該地層の 液状化により堤防に大きな変状が発生したと推測される。

なお、3k 付近および 7k 付近では、9.8k 付近と同様、基礎地盤砂質土(As1)層が粘性 土(Ac1)層に被覆されておらず、その Fc と Ip はともに小さいが、大きな変状は発生し ていなかった。



および基礎地盤砂質土(As1、Acs1)層のFc・lp(加勢川右岸)

6) 加勢川(左岸)

加勢川左岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況、堤体飽和域および堤体 直下の基礎地盤砂質土の細粒分含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.50 に示す。

地層構成は加勢川右岸と同傾向である。基礎地盤砂質土(As1)層が粘性土(Ac1)層 に被覆されていない箇所が一部存在するが、変状の有無や大小との相関は認められない。 また、堤体飽和域の Fc や Ip についても、変状の有無や大小の相関は認められない。



図 3.3.50 地質縦断図、堤防沈下量、堤体飽和域および基礎地盤の Fc・lp(加勢川左岸)

7) 御船川(右岸)

御船川右岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況、堤体飽和域の細粒分含 有率 Fc を図 3.3.51 に示す。なお、堤体飽和域の塑性指数 Ip のデータは無かった。

0.5k 付近~3.5k 付近で堤体の下位に粘性土(Ac1)層が存在し、その他区間の基礎地盤 は砂質土(Ds)層または砂礫(Dg)層である。地下水位は、1.8k 付近および 2.5k 付近 を除いて概ね堤体下面付近にある。

堤防の変状は主に 0k~3k 付近で確認されており、1.8k~2.5k 付近では上下流と比較し て大きな沈下が発生していた。当該箇所では、地下水位が堤体下面より高く、堤体の Fc が小さいことから、堤体下部の飽和域に液状化が発生したものと推測される。

また、4k 付近は想定される断層位置の近傍であることによる影響があったと推測される。



8) 御船川(左岸)

御船川左岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況を図 3.3.52 に示す。なお、堤体飽和域の細粒分含有率 Fc や塑性指数 Ip のデータは無かった。

基礎地盤の地層構成は御船川右岸と同様であるが、全川に渡り堤内地盤高が高く、堀込 河道に近い形状となっている。堤防の変状は確認されているものの、沈下量は小さいこと から、堤体そのものの変状ではなく地震動による護岸等の変状が主であると推測される。



図 3.3.52 地質縦断図、堤防沈下量(御船川左岸)

9) 白川(右岸)

白川右岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況、基礎地盤 As1 層の細粒 分含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.53 に示す。

全川にわたり、堤体直下に砂質土層が分布しており、浅部砂質土層である As1 層の Fc は概ね 35%以下、Ip は全て NP となっている。9k 付近より下流では地下水位が堤体下面 付近までの高さにある。堤防の変状は全川で確認されているが、その中で、特殊堤区間で ある 0k 付近(新地地区)および 8k800 付近(蓮谷寺地区)において沈下量・護岸等の変 状が比較的大きかった。

新地地区は比較的新しい埋立地に、運台等地区は帯状の液状化集中地帯に位置しており (「3.2 堤防変状箇所と地形の関係」参照)基礎地盤の浅部砂質土(As1)層が地震時に 液状化したものと推測される。なお、新地地区の上流区間は干拓地であるが、耐震対策済 区間である。

また、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。



図 3.3.53 地質縦断図、堤防沈下量、As1 層の Fc と lp (白川右岸)

10) 白川(左岸)

白川左岸の地質縦断図と堤防の変状・天端沈下量の分布状況、基礎地盤砂質土(As1) 層の細粒分含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.54 に示す。

地層構成および地下水位の状況は概ね白川右岸と同様である。

白川右岸と同様に、堤防の変状は全川で確認されているが、その中で 8k800 付近(^{じゅう} 禅寺地区)において沈下量・護岸等の変状が比較的大きかった。

+ 禅寺地区は、蓮台寺地区と同様に、帯状の液状化集中地帯に位置しており、基礎地盤の浅部砂質土(As1)層が地震時に液状化したものと推測される。



図 3.3.54 地質縦断図、堤防沈下量、As1 層の Fc と lp (白川左岸)

3.3.4 堤体および基礎地盤の土質特性

(1) 変状が比較的大きかった箇所における堤体および基礎地盤の土質特性

変状が比較的大きかった、緑川水系の緊急復旧工事箇所および白川の新地・蓮台寺・十禅寺 地区で実施した地質調査結果を用いて、堤体および基礎地盤の土質特性を整理した。

1) 基礎地盤の強度(N値分布)

図 3.3.55 に示す範囲のデータを用いて整理した、基礎地盤の強度(N値)のヒストグ ラムを図 3.3.56 に示す。

・粘性土のN値は、緑川・加勢川では5以下が多く、白川では1以下が多い。

・砂質土のN値は、緑川・加勢川・白川で、N値15以下が多い。



図 3.3.55 N値ヒストグラムに用いたデータ範囲の例



図 3.3.56 基礎地盤土質とN値ヒストグラム(変状の比較的大きかった 14箇所の断面対象)

2) 堤体の土質特性

堤体材料の強度(N値)および土粒子の密度と含水比の関係、粒度特性について整理した。なお、堤体上部は応急復旧時に切返しが行われており、地震前の状態を確認することは難しいため、図 3.3.57 に示す通り、応急復旧時の切返し範囲以外を対象とした。



図 3.3.57 堤体材料の特性整理に用いたデータ範囲の例

a) 堤体の N 値分布

変状が比較的大きかった箇所の堤防天端付近で実施した標準貫入試験結果を用いて、深 度別のN値出現数を緑川水系(緑川、加勢川)と白川に分けて、図 3.3.58 に整理した。

- ・深度増による N 値の増加傾向は見られなかった。
- ・緑川、加勢川では N 値は概ね 5 以下と低い数値を示し、堤体下部においても同様で ある。
- ・白川ではN値のばらつきが大きい。



b) 堤体の土粒子の特性

変状が比較的大きかった堤防の堤体中央~下部(図 3.3.57 に示す範囲)を対象に、土 粒子密度 ρs、自然含水比 wn、細粒分含有率 Fc、塑性指数 Ip について図 3.3.59 および 図 3.3.60 に整理した。

・堤体材料は粘性土や礫質土に比べて、砂質土が非常に多い。

- ・緑川、加勢川では、自然含水比 wn、土粒子の密度 ps ともにばらつきが小さく、概ね wn=10~40%、ps=2.65~2.75g/cm³の範囲内の値となっている。白川では緑川・加 勢川より全体的に土粒子の密度 ps が大きい傾向にあり、概ね ps=2.70~2.80g/cm³の 範囲内の値となっている。
- 一般的に土粒子の密度 ps の値は、砂質土で 2.60~2.80g/cm³、粘性土で 2.50~
 2.75g/cm³のものが多く、変状が比較的大きかった堤防の堤体においても同様の値となっている。



図 3.3.59 堤体下部材料の自然含水比 wn と土粒子密度 ps の関係

・液状化判定の一指標である細粒分含有率 Fc と塑性指数 Ip との関係を見ると、液状化しやすいとされる、Fc 35%または Ip 15の材料が多くを占めている。



図 3.3.60 堤体下部材料の細粒分含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係

(2) 変状の大小と土質特性の関係

変状が比較的大きかった箇所と、それ以外の変状が小さかった、または確認されなかった 箇所の土質特性の違いについて整理した。

なお、緑川水系においては堤体下部、白川水系においては基礎地盤の砂質土層が液状化層 と推測されるため、これらの土層のN値、細粒分含有率Fcおよび塑性指数Ipを対象とした。

1) 緑川水系における変状大小と堤体下部の土質特性の関係

緑川水系における堤体下部の N 値のヒストグラムを図 3.3.61 に、自然含水比 wn と土 粒子の密度 ρs の関係を図 3.3.62 に、細粒分含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.63 に示す。

変状の大小に関わらず、N値は5以下が多い。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。これに対し、変状が小さか った、または確認されなかった箇所の堤体は粘性土の割合が多く、Fc>35%かつ Ip>15 の材料が多く、また、wn が高い傾向にある。土粒子の密度については、サンプル数の違 いによるばらつきの違いが見られるものの、2.65~2.75g/cm³が多い傾向は共通している。







図 3.3.62 緑川水系の堤体の自然含水比 wn と土粒子の密度 ps の関係



2) 白川水系における変状の大小と基礎地盤砂質土の土質特性の関係

白川水系における基礎地盤砂質土 (As1 層)のN 値のヒストグラムを図 3.3.64 に、細 粒分含有率 Fc と塑性指数 Ip の関係を図 3.3.65 に、細粒分含有率 Fc のヒストグラムを 図 3.3.66 に示す。

変状の大小に関わらず、N値は15以下が大部分を占め、N値5程度が多くなっている。 変状が比較的大きかった箇所のFcは5~10の値が突出して多いのに対し、変状が小さ かった、または確認されなかった箇所のFcはばらつきがあり、5~25の値が多い。



図 3.3.64 白川水系の基礎地盤砂質土の N 値ヒストグラム



図 3.3.65 白川水系の基礎地盤砂質土の細粒分含有率 Fc と塑性指数 lp の関係



図 3.3.66 白川水系の基礎地盤砂質土の細粒分含有率 Fc ヒストグラム

3.3.5 地下水位の特徴

堤防の変状が比較的大きかった箇所におけるボーリング調査結果を用いて、地下水位と河川水 位の関係を整理した。

一例として緑川の上杉地区、下仲間地区、および白川の蓮台寺地区の地下水位の状況を図 3.3.67~図 3.3.69 に示す。

ボーリング調査時の地下水位は河川水位付近となっており、河川水位と連動した地下水位となっていると考えられる。



図 3.3.67 ボーリング調査時地下水位と河川水位の関係(緑川 上杉地区)



・本震後(応急復旧後)の地質断面図

図 3.3.68 ボーリング調査時地下水位と河川水位の関係(緑川 下仲間地区)



・本震後(応急復旧後)の地質断面図

図 3.3.69 ボーリング調査時地下水位と河川水位の関係(白川 謹台寺地区)

3.3.6 築堤の歴史と変状の関係(緑川)

堤体下部の飽和域で液状化が発生したと推測される緑川の堤防について、変状の分布と築堤年 代の関連性を整理した。

変状が比較的大きかった箇所が集中している緑川の中流部(6k 付近~13k 付近)の築堤工事の実施年代と工事図面を図 3.3.71 に示す。当該区間の堤防は、昭和8年~13年に、ほぼ現在の 堤防形状と近い形で築堤されている。

また、図 3.3.70 に示す通り、明治末期~昭和 30 年代までの築堤工事では、河床材料を築堤材 料として用い、また人力による締固めが行われており、緑川の中流部においても同様の方法によ り築堤工事が実施されていたと考えられる。このような歴史的背景から当該区間において比較的 緩い堤体が形成されたことも、比較的大きな変状が発生した要因の一つであると推測される。



河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント[7]

図 3.3.70 昭和 30 年代までの築堤材料および締固め方法



図 3.3.71 緑川中流部の築堤年代と築堤形状

3.4 堤防変状箇所の開削調査結果

堤防の変状要因の推定及び対策工法の検討の基礎資料とすることを目的として、堤防の開削調 査を実施し、"堤体の構成材料及び築堤履歴"や、"堤体の締固め及び地震による緩み状況"、"液 状化の発生による堤体の変形状況(空洞、クラック、沈み込み等)"等の確認を行った。

なお、調査結果に記載する「縦断クラック」とは、堤防の表面で確認した堤防法線縦断方向の クラックを示し、「高角度クラック」、「低角度クラック」は堤体開削面で確認したクラックの水 平に対する角度の傾向を示したものである。

3.4.1 開削調査結果の概要

開削調査を実施した結果、以下の事項を確認した。

【緑川堤体】

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。

【白川堤体】

堤体下部の砂脈が基礎地盤の砂質土と同色であることを確認した。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。

基礎地盤の砂質土が地下水位以下となっていることを確認した。

堤防開削調査は、以下に示す10地区(緑川7箇所、白川3箇所)で実施した。

- · 緑川 野笛下流地区(緑川右岸 8/775~9/012)
- · 緑川 上杉地区(緑川左岸 8/250~8/610)
- · 緑川 釈迦堂地区(緑川左岸 9/200+150~9/400)
- · 緑川 篙地区(緑川左岸 10/800~11/000)
- · 緑川 小岩瀬地区(緑川左岸 6/200~6/450)
- · 緑川 永地区(緑川左岸 12/233~12/303)
- · 緑川 下仲間地区(緑川左岸 11/920~12/360)
- · 白川 新地地区(白川右岸 0/000~0/200+155)
- · 白川 遊谷 · 白川石岸 8/600+80~8/800+124)
- · 白川 竹禅寺地区 (白川左岸 8/400+139~8/600+170)

次頁以降に堤防開削調査の結果を示す。
- 3.4.2 緑川の開削調査結果
 - (1) 緑川 野田下流地区(緑川右岸 8/775~9/012)
 - 1) 開削調査位置

当該地区では、8/775~9/012 区間において周辺堤防より大きな変状が認められ、特に、 8/850 付近で堤防天端中央部及び川裏側法肩に大きな縦断クラック、川裏側法尻部に大き なはらみ出しを確認したことから、8/850 付近を開削調査位置とした。(図 3.4.1 参照)



図 3.4.1 变状箇所平面図、変状写真、開削調査位置

- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.2 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.1 に 示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体部

盛土部開削面は細粒分に富む砂質土からなり、不規則に乱れた礫質部を伴う。堤体掘 削面の川裏側に2本の高角度クラックが発達し、クラック周辺で土層が沈下し、旧路盤 が川裏法肩部からおおよそ1.5m下がっている。開削面の堤体は、ボーリング調査で確 認したBsに対応するものであり、砂質部をB2-s、礫質部をB2-gと区分した。この上 位には、応急復旧時の切返し土(礫質土)が3層から構成され、下位よりB3-g、B4-g、 B5-gと区分した。

基礎地盤

トレンチ調査により Ac1 層の上面が標高 2.2m 付近であることを確認した。その上位、 川裏側ボーリング(2)で堤体(Bs)と評価されていた土層については、層理を伴う均 質な砂層であり、土層を見直して新たに As 層(細粒分含有率 20.1%)とした。

砂脈

堤体(B2-s)中の高角度クラック周辺に砂脈を確認した。砂脈は、中~粗粒砂からなり、 高角度クラックとおおむね平行に分布する。

記号	土質	記事	確認方法
B6	旧路盤	礫質土、砕石 天端から1.5m下位に出現	1
B5-g	五次盛土 切	礫質土、変成岩礫混り、褐色	11
B4-g	四次盛土 返し	礫質土、マサ起源、黄褐色	開
B3-g	三次盛土土	礫質土、変成岩礫混り、褐色	削面
B2-s	二次盛土	シルト質砂、砂質土 乱雑に細礫を混入	1
B2-g	二次盛土	礫質土、砂礫、円礫、砂 開削面の目視による確認	
B1-s	一次盛土	シルト質砂、法尻でのみ確認	<u>י</u> ג ו
As	沖積砂質土層	砂、シルト質砂 成層していることでB2-sと区分	_`た4
Ag	沖積砂礫層	砂、砂礫、褐灰色	レン
Ac	沖積粘性土層	シルト、青灰色	₹\$
S	砂脈	中~粗粒砂、均質である クラック周辺に脈状に分布する	1

表 3.4.1 野田地区の土質構成一覧







図 3.4.2 緑川 野苗下流地区の堤防開削面全景写真およびスケッチ(下流面)

図 3.4.3~図 3.4.4、表 3.4.2~表 3.4.3 に開削調査により得られた物理特性を示す。トレンチで確認した沖積砂質土(As)、堤体の主要部(B2-s)は似た粒度分布を示すが、細粒分含有率(Fc)は、沖積砂質土(As)が平均 20.1%に対し堤体(B2-s)は平均 41.9%である。



図 3.4.4 緑川 野田下流地区の粒度試験結果による粒径加積曲線

表 3.4.2 土質試験結果まとめ

_ 表 3.4.3 土壌硬度結果まとめ

	土層ごとの	4均							/ኒ 1	<i>9</i> IJ			
	土層(記号)		B5-g (切返し土)	B4-g (切返し土)	B3-g (切返し土)	B2 - g	B2 - s	As	記名	弓	土質	層相	平均強度[kN/m ²]
									B	6	旧路盤	礫質土	558.8
分類	地盤材料の分	類名	粘性土まじり 砂質礫	粘性土質 砂質礫	粘性土質 砂質礫	粒径幅の広い 砂質礫	粘性土質砂	細粒分質砂	B5-	g	五次盛土(切返し土)	礫質土	36.6
								B4-	g	四次盛土(切返し土)	礫質土	134.2	
粒度	細粒分含有率	Fc %	10.4	20.5	20.8	2.1	41.9	20.1	B3.	. a	二次成十(扣返1,十)	禪唇十	103.0
コン システン シー特性	塑性指数lp		38.3	37.8	31.3	NP	38.4	-	0.0	-y	二八五工(切返0工)	味莫工	105.0
締因	最大乾燥密度	g/cm ³	24.00	23.75	22.00	NP	28.23	-	B2-	g	二次盛土	礫質土、砂礫	8.9
भग चित्	最適含水比	%	14.3	14.1	9.3	NP	10.1	-	B2-	. 9	一次盛十	シルト質砂 砂質土	38.7
TR	含水比	%	9.7	13.2	13.1	3.9	28.6	-	DL	0		MIRCORT	00.1
現場	湿潤密度 1	g/cm ³	1.7	1.8	2.1	1.7	1.4	-	B1-	· S	一次盛土	シルト質砂	-
密曲	乾燥密度	d g/cm ³	1.6	1.6	1.9	1.7	1.1	-	S		砂脈	砂(均質)	28.2
反	締め固め度	%	81.6	87.8	98.5	82.7	72.4	-					I

- 3) まとめ
 - ・地震直後に確認した川裏のり肩部の縦断クラックは、開削面の高角度クラックとほぼ同じ箇所に位置しており、高角度クラックがこの縦断クラックに対応すると想定される(図3.4.1の写真 参照)。この2本の高角度クラック周辺で土層が沈下しており(図3.4.2参照)、図3.4.1の写真 における旧路盤の変位から、川裏のり肩部の沈下量はおおよそ1.5m程度と想定され、クラック周辺土層沈下とおおむね一致している。なお、地震直後に確認した天端中央の縦断クラックは応急復旧時の切返しにより状況は不明である。
 - ・高角度クラック周辺で均質な中粒砂主体の砂脈が分布している。砂脈の由来は不明であ る。地震直後に川表で確認した噴砂は、川表で沖積粘性土(Ac1)が欠如すること、上 位の Bs 層の Fc が 53.7%であることから、As1 由来と想定される。
 - ・川裏側で標高 2.2m 以深に Ac1 層を確認した。その上位は、層理を伴う均質な砂層 (As 層: Fc=20.1%) であり、この砂層は堤体中央から川表側では確認できなかった。
 - ・地下水位は標高 3.0m 付近で、堤体中央から川表側は堤体(Bs)中に、川裏側は沖積砂 質土(As)中に位置している(図 3.4.5 の想定地質図参照)。



図 3.4.5 緑川 野笛下流地区の想定地質図と開削調査結果の重ね合わせ図

- (2) 緑川 上杉地区(緑川左岸 8/250~8/610)
- 1) 開削調査位置

当該地区では、8/250~8/610 区間において堤防に大きな変状を確認し、特に8/400 付 近において堤防天端の縦断クラックのほか、川裏法尻部のはらみ出し、堤内地盤の盛り上 がりを確認した。よって、8/400 付近を開削調査位置とした。(図 3.4.6 参照)



緑川左岸川裏法尻 上流より

現地写真出典:平成28年4月27日時点
 (熊本県を震源とする地震について 第24報より)
 図 3.4.6 変状箇所平面図、変状写真、開削調査位置

- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.7 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.4 に 示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体部

開削面は細粒分に富む砂質土からなり、著しく乱れた礫層を伴っている。開削面の堤体は、ボーリング調査で確認した Bs 層に対応するものであり、砂質部を B2-s、礫質部を B2-g とした。この上位は、切返し土(砂質土)2 層より構成され、下位より B3-s(腐植土混じり) B5-s(マサ土)に区分した。

堤体中には高角度クラックが見られるが、堤体の下部では消滅している。高角度クラックによる変位、礫層の変位から堤体中央部が下がり、川表、川裏法尻部が相対的に上昇している(図 3.4.7 のスケッチ参照)。

基礎地盤

As1 と B2-s の境界は標高 3m 付近で不陸が著しい状態で分布していることを掘削底 面のトレンチで確認した。As1 は成層した砂、細礫が主体であり、細粒分はほとんど含 まれない(細粒分含有率 Fc=5.6%)。

砂脈

堤体部、基礎地盤中ともに砂脈は確認されなかった。

記号	土質	記事	確認方法
B6-c	六次盛土 腹	礫質粘性土	Î
B5-s	五次盛土 土	礫質土(マサ土)	_ ⊦ 1
B4-s	四次盛土 切	砂質土 (礫混り)	
B3-s	三次盛土 土	砂質土(腐植土混り)	─開チ▲ボ
B2-s	二次盛土	礫質土(シルト質砂) 細粒分多い、細礫を伴う	<u> </u> ∎↓!
B2-g	二次盛土	砂礫、砂 B2-s中の礫の濃集部	7
B1-s	一次盛土	砂質土、均質なシルト質砂の 高まりを確認	
As-1	沖積砂質土層	砂礫、砂、トレンチで確認 細粒分ほとんどなし	

表 3.4.4 上杉地区の土質構成一覧



図 3.4.7 緑川 上杉地区の堤防開削面全景写真およびスケッチ(上流面)

図 3.4.8~図 3.4.9、表 3.4.5~表 3.4.6 に開削調査により得られた物理特性を示す。堤体の主体をなす B2-s は、細粒分含有率(Fc)が 46.2%と細粒分が卓越している。沖積砂質土(As1)は細粒分含有率(Fc)が 10%以下の礫質砂に区分される。



表 3.4.5 土質試験結果まとめ

表 3.4.6 土壌硬度結果まとめ

潜艇

	土層ごとの平均					
	土層(記号)		B2-s	B3-s (切返し土)	B5-s (切返し土)	As-1
分類	地盤材料の分類名		粘性土質砂	粘性土質 礫質砂	礫まじり 粘性土質砂	細粒分まじり 礫質砂
粒度	細粒分含有率Fc	%	46.2	40.0	16.8	5.6
コンシステン シー特性	塑性指数Ip		10.2	10.6	13.9	—
統因	最大乾燥密度	g/cm^3	1.491	1.695	1.782	—
神中日	最適含水比	%	24.0	18.9	13.6	-
ŦB	含水比	%	35.06	24.13	14.98	-
場	湿潤密度 ρt	g/cm^3	1.523	1.770	1.899	—
密	乾燥密度 ρd	g/cm^3	1.127	1.426	1.651	_
度	締め固め度	%	75.6	84.1	92.6	-

均強度[k	平	凡例	
23	礫質粘性土	六次盛土	B6-c
103	確混じり砂質土	五次盛土	B5-s
26	礫混じり土砂	四次盛土	B4-s
129	腐植土混じり砂質土	三次盛土	B3~s
28	砂質土	二次盛土	B2-s
18	礫質土	二次盛土	B2-g
15	砂質土、粘性土	二次盛土	B1-s
15	砂・礫	沖積層	As-1

- 3) まとめ
 - ・開削面では堤体中の礫層(B2-g)の変形や高角度クラックによる変位から堤体中央部の沈下が想定され、変位量はおおよそ 1m 程度である。川表、川裏法尻では、礫層(B2-g)が高まりをなしている。また、堤内地盤も高さ約 50cm の高まりを確認した(図 3.4.6 の写真、図 3.4.7 のスケッチ参照)。
 - ・砂脈は確認されなかった。
 - ・As1 と B2-s の境界は標高 3m 付近で著しく不陸している(図 3.4.7 のトレンチ写真参照)。
 As1 は成層した砂、細礫が主体であり、細粒分はほとんど含まれない(細粒分含有率 Fc=5.6%)。
 - ・地下水位は標高 2.5~2.8m 付近で堤体 (B2-s) 中に位置し、川表側に緩やかに傾斜して



- (3) 緑川 釈迦堂地区(緑川左岸 9/200+150~9/400)
- 1) 開削調査位置

当該地区では、9/200+150~9/400 区間において堤防天端の縦断クラックと川裏側の沈 下に加え、川表、川裏法尻部のはらみ出しを確認した。変状が最も顕著な 9/200+150 地 点を開削調査位置とした。(図 3.4.11 参照)



図 3.4.11 变状箇所平面図、变状写真、開削調查位置

- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.12 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.7 に示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体部

開削面の堤体は、細粒分の量により B1 と B2 に区分できる。主体をなす堤体(B1-s) は砂質土主体であり、川裏側で乱れた堤体(B1-g)を伴う。開削面は細粒分に富む砂質 土からなり、不規則に著しく乱れた礫層を伴っている。

B1の川表側は、同様の砂質土主体の堤体(B2-s)よりなる。B2-s は砂のはさみ層を ほとんど伴なわない細粒砂主体である。B2-s は昭和9年の川表側築堤に対応する。こ の上位は、切返し土(砂質土)2層より構成され、下位よりB3(礫混じり土) B4(砂 質土、粘性土)に区分した。

堤体法尻付近では、はらみ出した堤体が坂路の舗装部を覆っている。

地下水位は、標高 4.0m 前後の B1-s 中にあり、川裏側で低くなる傾向を示す。

基礎地盤

トレンチ調査により、堤体(B1-s)の下位に沖積層(Asc および Ac1 層)の上面を確認 した。沖積層と堤体の境界はほぼ水平で、既往のボーリングで得られた境界ともほぼ水 平につながり、沖積層の上面に不陸等の変状は確認されなかった。

Asc はシルト~細粒砂主体で細粒分が卓越する地層である。青灰色を呈すること、および層理が見られることで上位の堤体(B1-s)と区別できる。

砂脈

堤体中には褐灰色の細粒分混じり砂からなる砂脈が分布している。

記号	土質		土質 記事		認大	5法
B4	四次盛土	切返	砂質土、粘性土、砕石含む			1
B3	三次盛土	巡土	礫混り土、礫・コンクリート混り		3	
B2-s	二次盛土		砂質土主体、川表側に腹付された新堤体	削		Î
B1-s	一次盛土		砂質土、細粒分多い、堤体の主体をなす] [1	ボ
B1-g	一次盛土		礫質土、B1-s中にレンズ状に挟在 主に川裏側に分布する		, †	リン
Asc	沖積砂質:	土層	砂質土、堤体の直下に分布。青灰色を 呈し層理が見られることからB1-sと区別		レン	グ
Ac	沖積粘性:	土層	粘性土、Ascと漸移的。青灰色を呈す		チ↓	Ļ
S	砂脈		細粒分混り砂、均質で脈状に分布する			

表 3.4.7 釈迦堂地区の土質構成一覧





図 3.4.12 緑川 釈迦堂地区の堤防開削面全景写真およびスケッチ(上流面)

図 3.4.13~図 3.4.14、表 3.4.8~表 3.4.9 に開削調査により得られた物理特性を示す。 堤体(B1-s)の細粒分含有率(Fc)は11~59%とばらつき、平均35.8%を示す。確認し た砂脈の粒度分布は、細粒分の少ない堤体(B1-s)の粒度分布に類似している。



本震後(応急復旧工事後)の横断図に開削面のスケッチを重ねた





図 3.4.14 緑川 釈迦堂地区の粒度試験結果による粒径加積曲線

表 3.4.8 土質試験結果まとめ

尿ーとの立ち

1.0		工/日 0 0 0 1									
		土層(記号	릌)		B1-s	B2-s	B3	B4	Ac	Asc	S
	分類	地盤材料の	分類行	名	粘性土質砂	粘性土質砂	礫まじり 粘性土質砂	礫まじり 粘性土質砂	砂質細粒土	砂質細粒土	細粒分まじり 砂
	粒度	細粒分含有	率Fc	%	35.8	49.0	53.7	20.7	76.6	57.3	14.0
	コンシステ ンシー	塑性指数Ip			7.2	-	NP	6.5	-	-	-
	統田	最大乾燥密	度	g/cm ³	1.543	1.575	1.499	1.803	-	-	-
	管面	最適含水比		%	19.9	18.9	22.8	13.7	-	-	-
	ŦØ	含水比		%	31.7	26.3	21.3	14.0	-	-	-
	場	湿潤密度	t	g/cm ³	1.6	1.5	1.7	1.9	-	-	-
	密	乾燥密度	d	g/cm ³	1.2	1.2	1.4	1.7	-	-	-
	度	締め固め度		%	78.2	79.4	92.4	95.4	-	-	-

表 3.4.9 土壌硬度結果まとめ

	平均强度[KN/m]		
B4	四次盛土(切返し土)	砂質土、粘性土	70.1
B3	三次盛土(切返し土)	礫混り土	729.9
B2-s	二次盛土	砂質土、粘性土	39.6
B1-g	一次盛土	礫質土	31.2
B1-s	一次盛土	砂質土	35.1
Asc	沖積層	砂質土	-
Ac	沖積層	粘性土	-
S	充填砂	砂	-

- 3) まとめ
 - ・堤体は細粒な粘性土質砂主体の砂質土からなり、築堤履歴より2層(B1,B2)に区分され る。堤体(B1-s)中には礫の濃集部分(B1-g)を伴い、乱れた状態で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(図 3.4.11の写真 参照)では、砂脈は 確認されなかったが、堤体中の礫質部(B1-g)で層の乱れが顕著である。(図 3.4.12の スケッチ参照)
 - ・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く傾斜している(図 3.4.12のスケッチ参照)。
 - ・堤体(B1-s)の下位に沖積層(Asc および Ac1 層)の上面を確認した。沖積層と堤体の境 界はほぼ水平で、沖積層の上面に不陸等の変状は確認されなかった。Asc はシルト~細 粒砂主体で細粒分が卓越(Fc=57.3%)する地層である。青灰色を呈すること、および層 理が見られることで上位の堤体(B1-s)と区別できる。
 - ・地下水位は堤体(B1-s)の下面付近(標高4m付近)にあり、沖積砂質土(Asc)から約1m
 上位に位置する(図3.4.15の想定地質図参照)。



図 3.4.15 緑川 釈迦堂地区の想定地質図と開削調査結果の重ね合わせ図

- (4) 緑川 篙地区(緑川左岸 10/800~11/000)
- 1) 開削調查位置

当該地区では、10/800~11/000 区間において堤防に大きな変状が発生し、特に 10/800+100 付近において大きな縦断クラック、天端の沈下、川裏法尻部のはらみ出しを 確認した。よって、10/800+100 付近を開削調査位置とした。(図 3.4.16 参照)



図 3.4.16 变状箇所平面図、变状写真、開削調査位置

- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.17 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.10 に示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体部

堤体は、川裏側に初期の堤体(B1)が小段部の高さまであり、この上位を覆うよう に川表側に堤体(B2)が分布する。さらにこの上位には、切返し土(B3)(B4)を確 認した。堤体(B1)は、細粒分の多い砂質土(B1-s)を主体とし、これを覆う礫が密 集した部分を礫質土(B1-g)と区分した。堤体(B2)は、礫の少ない砂質土(B2-s) を主体とし、堤体中央から川表側に傾斜する砂脈(S)を確認した。開削調査で区分さ れたすべての土層は、ボーリング調査で確認した Bcs に対応するものである。

地下水位は標高 3.4~4.5m 付近で堤体中に位置し、川裏側に向かって低くなっている。 基礎地盤

川表側トレンチによって標高 3.5m 付近から下位に沖積砂層(As) 標高 3.0m から 下位に沖積粘性土層(Ac1)を確認した。川裏側のトレンチでは、標高 3.0m 付近で Ac1 のみ確認した。

沖積砂層(As)は青灰色を呈することで堤体(B1-s)と区分している。なお、砂脈 確認箇所の直下では沖積砂層(As)は欠如し、B1-sの直下に沖積粘性土(Ac1)が分布し ている。

砂脈

開削面法尻部の堤体(B1-s)および川裏側トレンチにおいて B1-s 中を河川縦断方向に 伸びる砂脈を確認した。砂脈は、細粒分をほとんど含まない中砂および細礫からなる。

記号	土質		記事	確認方法
٧	表土		腐植土、川裏側に残る	1
B4	四次盛土	切	礫質土	1
B3	三次盛土	返土	礫混り粘性土	開
B2-s	二次盛土		粘性土質砂、川表側に分布、レンズ~層状 にシルト・砂・礫を挟有	留 [
B1-s	一次盛土		粘性土質砂、川裏側に分布、レンズ~層状 にシルト・砂・礫を挟有	1 シ
B1-g	一次盛土		砂、砂礫、B1-s中にレンズ~層状に分布]↓↑ĭ
As	沖積砂質:	土層	砂質土、青灰色を呈し堤体との境界をなす 川裏側のトレンチでは欠如	
Ac1	沖積粘性:	土層	粘性土、Asと同様に青灰色を呈す	レチ
S	砂脈		砂、B1-s中に脈状に分布 川裏側トレンチで確認]↑↓↓
F	充填砂		砂、埋設物の埋戻土	



本震後(応急復旧工事後)の横断図に開削面のスケッチを重ねた



図 3.4.18~図 3.4.19、表 3.4.11~表 3.4.12 に開削調査により得られた物理特性を示す。 切り返し部を除く堤体(B1,B2)は細粒分が卓越し、粘性土質砂(細粒分含有率 Fc46% 程度)に区分さる。砂脈(S)は細粒分はほとんど含まず細粒分含有率 Fc4.4%を示す。



図 3.4.19 緑川 高地区の粒度試験結果による粒径加積曲線

表 3.4.11 土質試験結果まとめ

表 3.4.12 土壌硬度結果まとめ

											-
	土層(記号)		B4	B3	B2-s	B1-s	B1 - g	As	Ac1	s	I
							-				B3-
分類 地盤材料の分類名		粘性土質 碟質砂、	礫混じり	粘性十質砂	粘性土質砂	分級された	細粒分質砂	砂質細粒十	分級された	B2-	
			粘性工混り 砂質礫	柏性工質妙			味買い			10	B2-
粒度	細粒分含有率F	c %	14.9	39.9	46.2	45.3	2.6	42.5	73.0	4.4	B1-
コンシステン シー特性	塑性指数lp		11.3	6.8	NP	10.9	-	-	-	-	
400 CD	最大乾燥密度	g/cm ³	1.800	1.714	1.564	1.512	-	-	-	-	AC
制可	最適含水比	%	15.2	17.7	20.7	24.8	-	-	-	-	s
ин	含水比	%	11.0	17.3	30.9	31.6	-	-	-	-	-
場	湿潤密度 t	g/cm ³	1.8	1.9	1.6	1.6	-	-	-	-	
密	乾燥密度 d	g/cm ³	1.6	1.6	1.2	1.2	-	-	-	-	ĺ
及	締め固め度	%	88.3	94.9	76.0	78.0	-	-	-	-	

	я. (Я		平均強度[kN/m ²]	I
3−s	三次盛土	砂質土、磯質土	20	
2-s	二次盛土	砂質土、粘性土	98	
2-g	二次盛土	磷黃土	127	
1-s	一次盛土	砂質土	29	
Ac	沖積層	粘土、腐植土	5	
s	砂脈	砂	27	
F	充填砂	R J	20	

- 3) まとめ
 - ・堤体は、川裏側に初期の堤体(B1)が小段部の高さまであり、この上位に川表側に堤体 (B2)が分布する。さらに上位に、切返し土(B3)(B4)を確認した。堤体(B1)は 細粒分の多い砂質土(B1-s)を主体とし、これを覆う礫が密集した部分を礫質土(B1-g) と区分した。堤体(B2)は、礫の少ない砂質土(B2-s)を主体としている。
 - ・開削面の川裏側法尻底盤付近とトレンチ内の2箇所で、B1-s中に発達する砂脈を確認した。開削面中の砂脈はレンズ状をなし川表側に傾斜する。トレンチ内の砂脈は縦方向の伸びを示す。砂脈の由来は不明である。(図 3.4.17の写真 、図 3.4.17のスケッチ参照)
 - ・3箇所のトレンチのうち川表側の2箇所では Ac1 上位に As1 (Fc=42.5%) が分布する が、砂脈を確認した川裏側のトレンチでは As1 が欠如している(図 3.4.17 のスケッチ 参照)。
 - ・地下水位は標高 3.4~4.5m 付近で堤体中に位置し、川裏側に向かって低くなっている。



図 3.4.20 緑川 高地区の想定地質図と開削調査結果の重ね合わせ図

- (5) 緑川 小岩瀬地区(緑川左岸 6/200~6/450)
- 1) 開削調查位置

当該地区では、6/200~6/450 区間において周辺堤防と比べ大きな変状が発生した。特に、6/200+150 付近で堤防天端中央部及び川裏側法肩に大きな縦断クラックを確認したことから、6/200+150 付近を開削調査位置とした。(図 3.4.21 参照)



図 3.4.21 变状箇所平面図、变状写真、開削調查位置

2) 開削調査結果

a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.22 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.13 に示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体部

堤体の開削面は、築堤の履歴が1回の堤体(B1)であり、この上位に切返し土(B2) を確認した。堤体(B1)は、主体をなす砂質土(B1-s)と局所的に礫が密集した部分 を礫質土(B1-sg)に区分した。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。B1-sの細粒分含有率 Fc は、31~68%までの大きなばらつきを示 す。開削調査で区分されたすべての土層は、ボーリング調査で確認した Bs に対応する ものである。

開削後に確認した水位は標高 1.95m 付近であり、堤体 B1-s および沖積層(As-g)中に 位置する。

基礎地盤

開削調査では、川表側の標高 3.5m の高水敷付近から堤体下に傾斜する沖積層(As) を確認した。これは、表層に腐植土を伴い、下位に礫を混じる沖積層(As-g)となる層 で高水敷を構成している堆積物である。

堤体中央部から川裏側にかけては、As 層の下位層準である沖積粘性土層(Acs)をトレンチで確認した。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。

砂脈

開削面、トレンチともに砂脈は確認されなかった。

記号	土質	記事	確認方法
B2-c	二次盛土 切	粘性土、B2-gに混在	
B2-g	二次盛土 土	礫質土、粘性土混り 一部に砕石混入	
B1-s	一次盛土	砂質土、堤体の主体をなす、シルト質~ 砂質を示し礫を伴う、クラックあり	ーン 開 チ ボ
B1-g	一次盛土	砂礫、B1-s中にレンズ~層状に挟在	闘↓
As	沖積砂質土層	腐植土、砂、川表側法尻部に分布 厚さ1mほどで川裏側に傾斜する	「・ング
As-g	沖積礫質土層	礫混り砂質土、Asの下位に分布]↓↑
Acs	沖積粘性土層	粘性土(砂質シルト)青灰色を呈する	
F	充填砂	砂、埋設物の埋戻土	1

表 3.4.13 小岩瀬地区の土質構成一覧



図 3.4.22 緑川 小岩瀬地区の堤防開削面全景写真およびスケッチ(上流面)

図 3.4.23~図 3.4.24、表 3.4.14~表 3.4.15 に開削調査により得られた物理特性を示す。 堤体を構成する B1-s は全体に細粒分に富み、細粒分含有率(Fc)は平均で 47.2%を示す。



本震後(応急復旧工事後)の横断図に開削面のスケッチを重ねた





図 3.4.24 緑川 小岩瀬地区の粒度試験結果による粒径加積曲線

表 3.4.14 土質試験結果まとめ

表 3.4.15 土壌硬度結果まとめ

	土層ごとの平均									
	土層(記号)		B2-c	B1 - g	B1-s	As	As-g	Acs	B2-c	
			砂湿じりシルト	確認に11兆性			粒谷幅の広い		B2-g	
分類	地盤材料の分類名		砂質粘性土	土質砂	粘性土質砂	粘性土質砂	砂質礫	砂混じりシルト	B1-g	
粒度	細粒分含有率Fc	%	67.8	30.1	47.2	57.5	4.4	89.6	B1-s	
コンシステン シー物性	塑性指数Ip		26.5	-	11.7	NP	-	-	A .a	
依田	最大乾燥密度	g/cm ³	1.140	-	1.482	1.584	-	-	AS	
神回	最適含水比	%	35.1	-	23.6	20.1	-	-	As-g	
IB	含水比	%	48.2	-	34.8	18.5	-	-		F
場	湿潤密度 t	g/cm ³	1.4	-	1.5	1.4	-	-	Acs	
密	乾燥密度 d	g/cm ³	0.9	-	1.1	1.2	-	-	F	
度	締め固め度	%	83.0	-	75.9	75.1	-	-	17	

B2-c	二次盛土(切返し土)	粘性土	38.4
B2-g	二次盛土(切返し土)	礫質土	27.1
B1-g	一次盛土	砂礫	14.8
B1-s	一次盛土	砂質土	26.6
As	沖積層	腐植土、砂	18.9
As-g	沖積層	礫混り砂質土	42.6
Acs	沖積層	粘性土	-
F	充填砂	砂	39.6

- 3) まとめ
 - ・開削面では、堤体の主体をなす B1-s 中に人為的とは考えにくい不規則な砂礫層(B1-g) を伴っている。この B1-s 中には、土層の縦方向の変位を伴う高角度クラックが低角度ク ラックに収れんする状況を確認した(図 3.4.22 のスケッチ、写真 参照)。
 - ・砂脈は確認されなかった。
 - ・沖積層(As: Fc=25.3%、As-g: Fc=4.4%)は、川表側から堤体下に約 30°の傾斜で分 布するという不自然な分布を確認した(図 3.4.22 の写真 参照)。一方で、下位の沖積 粘性土層(Acs: Fc=89.6%)の上面は、2 箇所のトレンチでほぼ水平に分布するのを確 認し、層上面の変形はないと想定される(図 3.4.22 の写真 参照)。
 - ・開削後に確認した水位は標高 1.95m 付近であり、堤体 B1-s および沖積層(As-g)中に位 置する。



本震後(応急復旧工事後)の横断図・開削スケッチ・地質断面図を重ねた 断面は上流面スケッチを下流断面に反転させた

図 3.4.25 緑川 小岩瀬地区の想定地質図と開削調査結果の重ね合わせ図

- (6) 緑川 茶地区(緑川左岸 12/233~12/303)
- 1) 開削調査位置

当該地区では、12/233~12/303 区間において周辺堤防より大きな変状が発生した。特に、12/300 付近で川表側、川裏側の法肩に大きな縦断クラック、かつ、川裏側法尻部で 大きなはらみ出しを確認したことから、12/300 付近を開削調査位置とした。(図 3.4.26 参照)



- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.27 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.16 に示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体部

開削面では、川裏側に初期の堤体(B1)があり、その上位の川表側を沖積層(As) が傾斜して覆い、さらにそれら全体を堤体(B2)が覆っている。この上位に切返し土 (B3)と(B4)を確認した。

堤体(B1)は、砂質土(B1-s)が主体で、この中にレンズ状~層状に礫が密集した 部分を伴うことから、これを礫質土(B1-sg)として区分した。同様に堤体(B2)も、 主体となる砂質土(B2-s)とレンズ状~層状に礫が密集した部分を礫質土(B2-g)と 区分した。細粒分含有率 Fcは、B1-sが21~53%、B2-sが13~38%までの大きなばら つきを示す。

開削面に出現したこれらの土層は、ボーリング調査で確認した Bsc に対応するものである。

基礎地盤

開削調査では、沖積層(As)が B1 と B2 に挟まれていることを確認した。これは、 初期の堤体の川表側に 10~30°の傾斜で成層した河川堆積物であると判断した。この As 層は、開削面の底盤下 0.5m付近(標高 6m付近)でほぼ消失する。

これとは別に、トレンチ調査により標高 4.9m 付近に沖積砂質土層(Asc)を確認した。 砂脈

B2 中では、川側に 10~30°で傾斜した数条の平行な砂脈 (S) を確認した。なお、 B2 と同様に、As 中にも傾斜した砂脈 (S) が不規則に挟在している。

記号	土質	記事	確認方法
٧	表土	腐植土、川裏側に残る	1
B4	四次盛土 切	砂質土	
B3	三次盛土 土	粘性土	
B2-s	二次盛土	砂質土、川表側堤体の主体をなす 川表側に傾斜するレンズ~層状の均質砂 (S)や礫(B2-g)を挟有する	▲ ▲ 開↓
B2-g	二次盛土	砂、砂礫、B2-s中にレンズ~層状に分布	置
B1-s	一次盛土	砂質土、川裏側堤体の主体をなす] ↑
B1-sg 一次盛土		砂、砂礫、B1-s上部に層状に分布] []
As	沖積砂層	砂、砂礫、B1-sの上位に分布し、 成層した砂、砂礫からなる	レソ
Asi	沖積粘性土層	As層中のシルトレンズ	
Asc	沖積砂質土層	シルト質砂 青灰色を呈す明瞭な沖積層] ↓
S	砂脈	砂、細粒分混り砂、均質で脈状に分布する	5 🗘 🗼

表 3.4.16 が 秋地区の土質構成一覧







図 3.4.28~図 3.4.29、表 3.4.17~表 3.4.18 に開削調査により得られた物理特性を示す。 B1 と B2 間に挟在する As 層と砂脈はほぼ同様の粒度分布を示す。



表 3.4.17 土質試験結果まとめ

	土層(記号)	B4	B2-s	B2-g	B1-s	As	Asc	S
分類	地盤材料の分類名	粘性土質 礫質砂、 砂質シルト、 粘性土質砂	礫まじり 粘性土質砂	分級された 碟まじり砂	礫まじり 粘性土質砂	分級された 礫質砂、 分級された 礫まじり砂	礫まじり 細粒分質砂	細粒分まじり 砂
粒度	細粒分含有率Fc %	35.6	28.7	3.7	33.6	2.5	44.3	4.1
コン システン シー特性	塑性指数Ip	9.4	8.4	-	6.7	NP	-	-
体田	最大乾燥密度 g/cm ³	1.606	1.668	-	1.751	1.784	-	-
部百	最適含水比 %	20.6	17.2	-	15.0	15.2	-	-
IB	含水比 %	24.97	18.70	-	21.23	6.88	-	-
場	湿潤密度 t g/cm ³	1.686	1.583	-	1.603	1.645	-	-
密曲	乾燥密度 d g/cm ³	1.361	1.338	-	1.324	1.540	-	-
岌	締め固め度 %	79.3	82.5	-	77.4	86.3	-	-

衣 3.4.18 工壌馊及結果よど(表	3.4.18	土壌硬度結果まとめ
----------------------	---	--------	-----------

	凡 1列		平均強度[kN/m ⁴]
V	表土	腐植土	-
B4	四次盛土(切返土)	砂質土	62.6
B3	三次盛土(切返土)	粘性土	31.1
B2-s	二次盛土	砂質土	30.7
B2-g	二次盛土	砂、砂礫	-
B1-s	一次盛土	砂質土	32.5
As	沖積砂層	砂、砂礫	4.4
S	砂脈	砂	3.4

- 3) まとめ
 - ・川裏側に初期の堤体(B1)があり、その上位の川表側を沖積層(As)が傾斜して覆い、 さらにそれら全体を堤体(B2)が覆っている(図 3.4.27のスケッチ参照)。
 - ・初期の堤体である B1 で変状が不明瞭であるのに対し、B2 および As 層では幾条もの砂脈を確認した(図 3.4.27 のスケッチ参照)。砂脈の由来は不明である。
 - ・B1 と B2 に挟まれる形で沖積層(As: Fc=1.8~4.2%)を確認した。これは、初期の堤体の川表側に 10~30°の傾斜で成層した河川堆積物であると判断した。この As 層は、開削面の底盤下 0.5m付近(標高 6m付近)でほぼ消失し、この層とは別に、標高 4.9m 付近に沖積砂質土層(Asc: Fc=44.3%)を確認した。
 - ・地下水位は、標高 5.9~6.0m 付近であり地下水位は堤体の下面から約 1m の高さに位置 する(図 3.4.30の想定地質図参照)。



本震後(応急復旧工事後)の横断図・開削スケッチ・地質断面図を重ねた 図 3.4.30 緑川 永地区の想定地質図と開削調査結果の重ね合わせ図

- (7) 緑川 下仲間地区(緑川左岸 11/920~12/360)
- 1) 開削調査位置

当該地区では、堤防天端で縦断クラック、堤体の沈下が発生しており、特に 12/000+50 ~ 12/130 では川裏側のはらみ出しを確認した。よって、12/000+125 付近を開削調査位置 とした。(図 3.4.31 参照)



図 3.4.31 变状箇所平面図、变状写真、開削調查位置

- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.32 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.19 に示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体部

堤体の開削面は、砂質土(B1-s)を主体とし、細粒分に富む部分から礫質な部分まで 土層の変化が著しい(含有率 Fc=10%台~70%)。このため、礫がレンズ状~層状に密 集した部分を礫質土(B1-g)として区分した。この B1-g は著しい乱れを伴っている。 開削面の堤体は、ボーリング調査で確認した Bs に対応するものである。B1-sの上位は、 切返し土(礫質土)であり、下位より B2、B3 と区分した。なお、切返し土の川裏側の 一部には天端道路のものと思われる舗装跡が残っている。

地下水は、トレンチ掘削時に B1-s 下部からの少量の湧水を確認し、地下水位は Ac1 層上面より数十 cm のところに位置していると推定される。

基礎地盤

2 箇所のトレンチ調査により標高 5m 付近に Ac1 を確認した。堤体と基礎地盤の境界は、標高 4.5~5m の間である。

砂脈

開削面、トレンチともに砂脈は確認されなかった。

記号	土質	記事	確認方法
B3	三次盛土 切	礫混り土、砂質土、砕石含む	Ì↑ ↑
B2	二次盛土 土	礫混り土 上部に石灰による改良跡あり	
As	アスファルト	アスファルト片 川裏側坂路の舗装跡	開ト・
B1-s	一次盛土	砂質~シルト質、粒度にパラツキを 示す、全体に礫を含む	 チ !!
B1-g	一次盛土	礫質土、B1-s中にレンズ~層状に分布 φ50mm円礫主体] ↓ ↑ <i>⋈</i>
Ac	沖積粘性土層	粘性土、青灰色を呈し堤体と明瞭な 境界を成す	

表 3.4.19 下仲間地区の土質構成一覧



写真

: 礫質土の変形状況 写真 : 高角度クラックによる礫質土の変位(左落ち)



図 3.4.32 緑川 下仲間地区の堤防開削面全景写真およびスケッチ(下流面)

図 3.4.33~図 3.4.34、表 3.4.20~表 3.4.21 に開削調査により得られた物理特性を示す。 堤体を構成する B1 層は、図 3.4.34 の粒径加積曲線に示すように粒度構成が多様である。 細粒分の多い箇所(下記 No.5、No.6、トレンチ 5~8)では細粒分含有率(Fc)は 61.5 ~74.8%を示す。



本震後(応急復旧工事後)の横断図に開削面のスケッチを重ねた



図 3.4.34 緑川 下仲間地区の粒度試験結果による粒径加積曲線

表 3.4.20 土質試験結果まとめ

	土層(記号)		В3	B2	B1-s	B1-g	Ac
分類	地盤材料の分類名		粘性土まじり 砂質礫	礫 まじり 砂質シルト (低液性限界)	砂質シルト (低液性限界) 粘性土まじり 砂質礫	粘性土質 砂質礫	砂質細粒土
粒度	細粒分含有率Fc	%	14.3	30.1	54.4	19.1	72.6
コンシステン シー特性	塑性指数Ip		-	11.3	10.4	10.9	_
統国	最大乾燥密度	g/cm^3	1.832	1.561	1.480	1.673	-
和市田	最適含水比	%	13.4	13.4	24.0	18.8	—
琅	含水比	%	13.8	22.3	35.9	20.0	_
場	湿潤密度 ρt	g/cm^3	1.9	1.7	1.6	1.7	—
密	乾燥密度 ρd	g/cm^3	1.6	1.4	1.2	1.4	—
度	締め固め度	%	89.1	91.2	80.3	84.7	_

表 3.4.21 土壌硬度結果まとめ

	凡例		平均強度[kN/m ²]
B3	三次盛土(切返土)	礫混じり土、砂質土	28.2
B2	二次盛土(切返土)	礫混じり土	62.7
As	アスファルト	舗装跡 アスファルト片	-
B1-g	一次盛土	礫質土	11.2
B1-s	一次盛土	砂質土	27.5
Ac	沖積層	粘性土	-

- 3) まとめ
- ・堤体の主体をなす B1-s では、切返しにより堤体には大規模なクラックは残っていないが、 B1-s 中にレンズ状 ~ 層状に挟在する B1-g が著しく変形している(図 3.4.32 のスケッチ 参照)。
- ・砂脈は確認されなかった。
- ・堤体の直下では、層厚 2~4m の Ac1 層 (Fc=63.5~81.7%)を確認し、堤体と基礎地盤の境界は標高 3.65m~4.72m で緩やかな起伏が見られる(図 3.4.35 の想定地質図参照)。 ・地下水位は、Ac1 層の上面数十 cm 付近にあり、川裏側へ緩く傾斜して分布する(図 3.4.35

の想定地質図参照)。



図 3.4.35 緑川 下仲間地区の想定地質図と開削調査結果の重ね合わせ図

- 3.4.3 白川の開削調査結果
 - (1) 白川 新地区(白川右岸 0/000~0/200+155)
 - 1) 開削調查位置

当該地区では、0/000~0/200+55 区間において周辺堤防より大きな変状(特殊堤の沈下、 縦断クラック、天端コンクリートの開き、目地のずれ)を確認した。特に 0/050 付近にお いては変状が顕著で、堤内に噴砂を確認したことから、本調査においては、0/050 付近を 開削調査位置とした。(図 3.4.36 参照)


- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.37 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.22 に示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体部

開削面は、ほぼ全体が細粒分の少ない砂質土(B1-s)よりなる(図 3.4.37 参照)。堤体は火山灰砂に由来し、細粒分が少ない砂質土(B1-s)となっている。

堤体の変状としては、護岸背面と堤体との隙間が確認できたのみであり、堤体(B1-s) にクラックや乱れなどの変状は確認されなかった。これは、砂質土であり、クラックな どの痕跡が残りにくいためと考えられる。開削面の堤体は、ボーリング調査で確認した Bs に対応する。

開削調査位置では、堤体下部を 300mmのヒューム管が横断し、基礎に砕石(Cs)が 敷設されている。

基礎地盤

開削面では、川裏法尻部に沖積層(As)が分布している。また、底盤部のトレンチで は、ほぼ全面にわたり沖積層(As)が分布している。これはボーリング調査で確認した As1 に対応する。As は堤体(B1-s)と同様の色調と粒径を有す細粒分の少ない砂であ るが、明瞭な成層構造が残っており、B1-s と区分できる。

地下水位は、トレンチ調査によって As1 層中の標高 - 1m付近に確認した。

砂脈

砂脈は確認されなかった。

記号	土質	記事	確認方法
B1-s	一次盛土	砂質土、褐灰色、堤体の主体をなす 火山灰砂起源の緩い砂	1 1
As	沖積砂質土層	火山灰砂、暗灰色 ラミナが発達する	│ 開↓↓
Cs	砕石	ヒューム管敷石、堤体を横断し、 Asの上面に分布	前トグ
F	充填土砂	礫混り土 緊急対策工事に伴う盛土	

表 3.4.22 新地地区の土質構成一覧





本震後



図 3.4.37 白川 新地地区の堤防開削面全景写真およびスケッチ(下流面)

b) 土質試験結果

図 3.4.38~図 3.4.39、表 3.4.23~表 3.4.24 に開削調査により得られた物理特性を示す。 堤体(B1-s) 沖積層(As)及び堤内で確認した噴砂はほぼ同様の粒度分布を示す。沖積 層(As)で細粒分が卓越する試料は、成層した As の細粒分に富む部分である。



表	3.4.23	土質試験結果まとめ

	工層 ここの 平均(上	「卜沭囬)		
	土層(記号)		B1-s	As
分類	地盤材料の分類名		分級された 礫まじり砂	分級された砂
粒度	細粒分含有率Fc	%	3.8	1.7
コンシステン シー特性	塑性指数Ip		NP	NP
依田	最大乾燥密度	g/cm ³	1.729	1.634
許回	最適含水比	%	15.3	17.3
ŦB	含水比	%	7.3	13.0
場	湿潤密度 t	g/cm ³	1.7	1.7
密日	乾燥密度 d	g/cm ³	1.6	1.5
侵	締め固め度	%	90.2	93.1

表 3.4.24 土壌硬度結果まとめ

(上下流)	凡例		平均強度[kN/m ²]
B1-s	一次盛土	砂質土	3.5
As	沖積層	砂	7.4
Cs	砕石	ヒューム管敷石	5.5
F	充填土砂	礫混り土	-

- 3) まとめ
 - ・変状は、護岸背面の堤体との間に隙間を確認できたのみで、堤体(B1-s)にはクラック や層の乱れなどの変状は確認されなかった(図 3.4.37のスケッチ参照)。
 - ・開削面の堤体および基礎地盤中に砂脈は確認されなかった。一方、堤内地盤では噴砂を 確認した。噴砂の粒度試験を行った結果、基礎地盤の As1 とほぼ同じであり、火山灰質 砂であることより、As1 に由来することが想定される(図 3.4.39 参照)。
 - ・開削面で沖積層(As:Fc=1.4~46.1%)を川裏法尻部で確認し、底盤部のトレンチで、 ほぼ全面にわたり沖積層(As)を確認した。Asは堤体(B1-s)と同様の色調と粒径を 有す細粒分の少ない砂であるが、明瞭な成層構造が残っており、B1-sと区分できる。
 - ・地下水位は、トレンチ調査によって As1 層中の標高 1m付近に確認した。



堤内の畑地で噴砂を確認したが、開削調査箇所では液状化に伴う砂脈は確認されなかった。 ボーリング調査で把握される地下水位は標高 EL.1.0m 付近にあり、開削面を含め、川表から川 川裏にかけてほぼ水平である。

図 3.4.40 白川 新地地区の想定地質図と開削調査結果の重ね合わせ図

- (2) 白川 蓮台寺地区 (白川右岸 8/600+80~8/800+124)
- 1) 開削調査位置

当該地区では、8/600+80~8/800+124 区間において堤防に大きな変状(川表側法肩の クラック)を確認した。特に8/775 付近の沈下量が最大であったことより、8/775 地点を 開削調査位置とした。(図 3.4.41 参照)



図 3.4.41 変状箇所平面図、変状写真、開削調査位置

- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.42 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.25 に示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体

開削面は、下位より細粒分に富む砂質土から構成される初期の堤体(B1-s)、川裏側に 腹付けされた礫質土(B2-g)と砂質土(B2-s) そして最上位のコンクリート片、風化 岩片を混入する砂質土(B3-s)からなる(図 3.4.42 参照)。上流側開削面では、B2-s 中に深さ2mを超す高角度クラックを確認し、クラックはB1-sの手前で消滅している。 充填砂の状況からクラックの開口幅は13~18cm であることを確認した(図 3.4.43 参 照)。

これら堤体は、火山灰質砂で暗灰色を呈し、現河床材料、沖積砂質土層(Asc)と類 似しているが、外来岩片などの異質物の混入、無層理であることから Asc と区別した。

基礎地盤

開削面では、下流側の川裏下部に沖積粘性土層(Ac)を確認した。これは、当初堤体 (B1-s)の築堤後に堤体の背面、堤内側に堆積した堆積物である。

築堤前の沖積層として、B1-sの下位にAsc層およびAs1層が分布する。これらは暗 灰色を呈する火山灰質砂からなる堆積物である。地下水位は、標高5m付近でAs1中で 確認した。トレンチでは、下位のAs1層上部からの湧水が顕著である。

砂脈

開削法尻付近から掘削底面にかけて広範囲で砂脈を確認した。砂脈は、粒径、色など トレンチで確認した As1 ときわめて似ている。

記号	土質	記事	確認方法
B3-s	三次盛土	砂質土、礫質土、コンクリート片・ 風化岩礫・草木根等を多く含む土砂	1 1
B2-s	二次盛土	砂質土、火山灰砂主体 φ3~10cm大の風化岩礫を含む	
B2-g	二次盛土	礫質土、B2-s中にレンズ状に分布	
B1-s	一次盛土	砂質土、川表側堤体の主体をなす 暗褐色を呈する初期堤体	■■●ジ
Ac	沖積粘性土層	粘土、腐植土 下流開削面の川裏側に分布]↓ŀĺ
Asc	沖積砂質土層	シルト質砂、灰褐色火山灰質砂	
As1	沖積砂質土層	砂、暗灰色火山灰質砂	_ <i>∓</i> ↓
S	砂脈	砂、B1-sの下部に脈状に分布 B1-sと類似した均質な砂]↑↓`
F	充填砂	砂、開ロクラック沿いの充填砂	

表 3.4.25 蓮台寺地区の土質構成一覧

下流面の状況(削勾配1:2.0)





本震後(応急復旧工事後)の横断図に開削面のスケッチを重ねた

図 3.4.42 白川 道台寺地区の堤防開削面スケッチ(下流面)



b) 土質試験結果

図 3.4.44~図 3.4.45、表 3.4.26~表 3.4.27 に開削調査により得られた物理特性を示す。 掘削面で確認した堤体の細粒分含有率(Fc)は40%以上を示す。



蓮台寺地区の開削面における土質試験採取地点 白川 図 3.4.44



表 3.4.26 土質試験結果まとめ

表 3.4.27 土壌硬度結果まとめ

	土層ごとの平均							
	土屢(記号)		B3−s	B2-s	B1-s	Ac	砂脈 S	
分類	地盤材料の分類名	地盤材料の分類名		粘性土質	確定じり 砂質シルト	(廃棄物主じ)腐 結み気がた)	細粒分質砂 あるいは	В
				(安夏 4)/	(低液性限界)		分級された砂	B
粒度	細粒分含有率Fc	%	51.9	43.8	43.5	(50<)	18.8	
コンシステン シー特性	塑性指数Lo		10.0	NP	NP	~~~~		B
4# PP	最大乾燥密度	g∕ cm ³	1.33	1.46	1.34	~~		В
2041 (193	最適含水比	%	30.0	24.7	29.6	-		
7.62	含水比	%	36.5	26.4	38.8	36.5		
場	湿潤密度 ot	g/ cm ³	1.6	1.6	1.5	1.6		
密	乾燥密度 ød	g/ cm ²	1.2	1.3	1.1	1.1	-	
度	縮め囲め度	%	88.5	88,3	79.0	83.5	-	

	凡例		平均強度[kN/mf
3-s	三次盛土	砂質土、礫質土	141
<u>2-</u> s	二次盛土	砂質土、粘性土	89
<u>2-</u> g	二次盛土	礫質土	89
I−s	一次盛土	砂質土	45
\c	沖積層	粘土、腐植土	-

注) Ao試料は廃棄物を含む廃植土質の軟弱な粘性土のため絵画的試験および粒度試験等を実施していない また分類と粒度は目視による判定

- 3) まとめ
 - ・堤体構成は、下位より細粒分に富む砂質土から構成される初期の堤体(B1-s)、川裏側に 腹付けされた礫質土(B2-g)と砂質土(B2-s) そして最上位の砂質土(B3-s)となっ ている。B2-s 中に深さ 2mを超す高角度クラックを確認し、クラックは B1-s の手前で 消滅している(図 3.4.43のスケッチ、写真 参照)。
 - ・開削法尻付近から底面にかけて広範囲に砂脈を確認した(図 3.4.42 の写真 参照)。 砂脈と堤内で確認した噴砂は、色調・粒径から As1 層由来と想定される(図 3.4.46 の 粒度分布参照)。
 - ・築堤前の沖積層として、B1-s の下位に Asc 層および As1 層が分布する。これらは暗灰 色を呈する火山灰質砂からなる堆積物である。
 - ・地下水位は、As1 中の標高 5m 付近で確認した。



図 3.4.46 想定地質図と開削調査結果の重ね合わせ図及び堤内噴砂と Asc、As 層の粒度分布比較

- (3) 白川 十禅寺地区(白川左岸 8/400+139~8/600+170)
- 1) 開削調査位置

当該地区では、8/400+139~8/600+170区間において周辺堤防より大きな変状を確認し、 特に、8/600+100付近で沈下量が大きく、堤内で噴砂を確認したことから、8/600+100付 近を開削調査位置とした。(図 3.4.47参照)



図 3.4.47 变状箇所平面図、变状写真、開削調查位置

- 2) 開削調査結果
 - a) 土層断面観察結果

堤防開削面全景写真およびスケッチを図 3.4.48 に、確認した土質構成一覧を表 3.4.28 に示す。開削調査で確認した土質構成の特徴は以下に示す通りである。

堤体

堤体は、下位より粘性土(B1-c) 礫質土(B1-g) 細粒分に富む砂質土(B2-s)お よび砂質土(B3-s)からなる。

堤体(B2-s)には全面に高角度クラックを確認し、堤体下部には開口幅が最大 2cm に達 する連続性を有する高角度クラックが発達する。

堤体は、B3-s と B2-s がボーリング調査で確認した Bs に対応し、B1-c が Bc に対応 する。開削面の B1-g は、開削により新たに区分されたものである。

基礎地盤

開削面では、川表下部に沖積砂質土層(Asc)が分布している。トレンチ調査ではAsc 層付近からの湧水が著しく、川裏側でのAsc層と堤体の境界部は確認できなかった。

この Asc 層は砂質シルト~シルト質砂(細粒分含有率 Fc=57~65%)の層相を示し、 上位の B2-s 層と比べ細粒分が多くなる。

砂脈

堤体中の高角度クラックに沿って、下端部で幅 5cm 程度の褐灰色の砂脈が分布して いる。砂脈の上端部は堤内地盤から約 0.5m ほど高くなっている。

また、川表側の Asc 層中には、As1 と同様の暗灰色を呈する幅約 40cm の砂脈が低角 度でレンズ状に分布している。

記号	土質	記事	確認方法
B3-s	三次盛土	砂質土、砕石含む	1
B2-s	二次盛土	砂質土~粘性土、火山灰砂主体	
B1-g	一次盛土	礫質土、川裏側堤体下部に分布 築堤前の堤内側盛土	レ▲ 開 チ ボ
B1-c	一次盛土	築堤前の盛土、粘性土、腐植土質で軟弱	闇↑り
Asc	沖積砂質土層	砂質シルト、川表側の堤体下部に分布 淡褐色を呈す、細砂主体	レディ
S	砂脈	細砂主体でAscに似ている、縦クラック沿い と、低角度レンズ状の産状を示す	

表 3.4.28 十 禅寺地区の土質構成一覧



図 3.4.48 白川 十禅寺地区の堤防開削面全景写真およびスケッチ(下流面)

b) 土質試験結果

図 3.4.49~図 3.4.50、表 3.4.29~表 3.4.30 に開削調査により得られた物理特性を示す。 細粒分含有率(Fc)は沖積層(Asc)で 57~65%、堤体は最上位の B3-s を除き 45~61% は程度と細粒分に富んでいる。2 種類の砂脈は、いずれも細粒分含有率(Fc)は 40%程度 である。





_{土層ごとの平均} 表 3.4.29 土質試験結果まとめ

	土層(記号)		B1 - s	B1 - g	B2-s	B3-s	Asc	S
分類	地盤材料の分類名		礫まじり 砂質シルト (高液性限界)	粘性土質 砂質礫	砂質シルト (低液性限界)	粘性土質 礫質砂	砂質シルト 細粒分質砂	細粒分質砂
粒度	細粒分含有率Fc	%	64.6	20.2	50.1	25.9	61.1	40.7
コンシステン シー特性	塑性指数Ip		14.8	NP	9.4	NP	NP	-
依田	最大乾燥密度	g/cm ³	1.093	1.651	1.367	1.634	1.274	-
유하 [모]	最適含水比	%	40.2	17.3	26.3	17.1	31.0	-
τB	含水比	%	65.1	26.3	27.6	16.2	36.6	-
場	湿潤密度 t	g/cm ³	1.4	1.7	1.3	1.8	1.3	-
密曲	乾燥密度 d	g/cm ³	0.8	1.3	1.0	1.5	0.9	-
凒	締め固め度	%	76.0	81.5	72.4	94.6	72.1	-

	凡例	平均	強度[kN/m
B3-s	三次盛土	砂質土	73
B2-s	二次盛土	砂質土~粘性土	136
B1-g	一次醬土	硬質土	4
B1-c	一次盛土	廃棄物〈粘性土〉	10
Asc	沖積層	細粒分質砂~砂質シルト	39
S	砂脈	砂	34

表 3.4.30 土壌硬度結果まとめ

- 3) まとめ
 - ・堤体(B2-s)中には、ほぼ全面に高角度クラックが発達し、特に、下部では開口幅が最 大 2cm に達する(図 3.4.48 のスケッチ参照)。
 - ・クラックの下端部では幅 5cm 程度の砂脈を確認した。この砂脈とは異なり、川表下部の 堤体(B2-s)および沖積砂質土層(Asc)で低角度で不規則な砂脈を確認した。また、堤内 で2箇所で噴砂を確認した。砂脈は色調、粒径から As1層由来と想定される。噴砂も同 様に、色調・粒径から As1層由来と想定される(図 3.4.51の砂脈 、砂脈 、粒度分 布参照)。
 - ・開削面では、川表下部に沖積砂質土層(Asc)が分布している。トレンチ調査では Asc 層付近からの湧水が著しく、川裏側での Asc 層と堤体の境界部は確認できなかった。こ の Asc 層は砂質シルト ~ シルト質砂(細粒分含有率 Fc=57~65%)の層相を示し、上位 の B2-s 層と比べ細粒分が多くなる。
 - ・地下水位は、As1 中の標高 7m 付近で確認した。



3.5 空洞化調查

- 3.5.1 樋門・樋管の空洞化調査
 - (1) 実態調査の概要

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 施設で変状が確 認された。

36 施設に対する調査及び対策の流 れを整理したフロー図を図 3.5.1 に 示す。

36 施設の内、5cm 以上の函渠の抜 け上りが確認された 10 施設と、樋管 の外観に変状は確認されなかったも のの周辺堤防の変状が大きい^{かまず} 穏 管を加えた 11 施設を対象に、空洞化 調査を実施した。

空洞化調査対象の11施設の位置を 図 3.5.2、一覧を表 3.5.1 に示す。



図 3.5.1 調査・対策のフロー



図 3.5.2 樋門・樋管の空洞化調査実施箇所と対策実施箇所

なお、空洞化調査を行う判断材料とした函渠の抜け上り量の閾値については、「柔構造樋門 設計の手引き」¹⁸にある"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"を参考に、安全側の 5cm に設定 した。

				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	;	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)	備考	
白川	左岸	4/475	井樋山用水樋管	あり	杭	あり (5cm)		-		
白川	左岸	8/545	平田排水樋管	あり	杭	あり (35cm)		-		
白川	左岸	10/600	本山排水樋管	なし	杭	なし	-	-		
白川	左岸	14/290	大江第2樋管	なし	杭	なし	-	-		
白川	左岸	14/870	大江第3樋管	なし	-	なし	-	-		
白川	左岸	15/090	大江第4樋管	なし	-	なし	-	-		
白川	左岸	17/100	渡鹿樋管	あり	-	なし	-	-		
白川	右岸	7/405	下水処理場樋管	なし	杭	なし	-	-		
白川	右岸	7/609	中部浄化センター 放流樋管	あり	-	なし	-	-		
白川	右岸	16/347	宇留毛樋管	あり	-	なし	-	-		
緑川	左岸	-0/230	住吉排水樋管	あり	杭	あり				
緑川	左岸	0/220	直築排水樋管	なし	杭	(25cm) なし	-	-		
緑川	左岸	4/085	莎崎排水樋管	なし	杭	あり				
緑川	左岸	4/205	上莎樋管	なし	-	(25cm) なし	-	-		
緑川	左岸	8/470	上杉樋管	なし	杭	なし			周辺堤防の変状が大きく、樋管が影響で	を受けている
緑川	左岸	8/650	赤見排水樋管	あり	杭	あり			可能性がめるにめ、調査対象とした。	
緑川	右岸	0/900	内田川吐出樋管	あり	杭	(25cm) なし	-	-		
1 = **			Le da luzzera		14	6.1				
加勢川	左岸	2/395	杉島穂官	あり	杭	なし	-	-		
加勢川	左厈	3/820	大波旭官	7210	机	なし	-	-		
加勢川	左岸	5/677	大渕1号排水樋管	あり	机	(10cm)				
加勢川	左厈	5/849		74 U	机	なし	-	-		
加勢川	左厈	8/000	上仲間1号随官	கர கட	-	なし	-	-		
加勢川	左厈	8/300	上仲間2号槐官	74 U	-	なし あり	-	-		
加勢川	左岸	9/500	古川排水樋官	なし	杭	(25cm) あり		-		
加勢川	左厈	10/165	駆排水槐官	740	机	(20cm) あり		-		
加勢川	左岸	10/800	二即無田排水樋官	なし	杭	(35cm)		-		
加勢川	右岸	0/500	六間用水樋管	あり	杭	なし	-	-		
加勢川	右岸	1/750	出九郎樋管	あり	杭	なし	-	-		
御船川	左岸	2/575	小坂樋管	なし	杭	あり (25cm)		-		
御船川	右岸	0/645	川田樋管	あり	-	なし	-	-		
御船川	右岸	1/676	八竜樋管	あり	杭	なし	-	-		
御船川	右岸	5/150	御船第4排水樋管	なし	-	なし	-	-		
浜戸川	左岸	4/150	馬之瀬樋管	なし	杭	なし		-		
浜戸川	右岸	3/100	渡場排水樋管	あり	杭	なし	-	-		
浜戸川	右岸	3/943	源三郎排水樋管	なし	杭	なし	-	-		
浜戸川	右岸	4/780	太郎丸排水樋管	なし	杭	なし	-	-		
•				-		変状を確認し	した樋門・	通管の数	•	36
						5cm以上の	友け上が)を確認した	き 樋門・樋管の数	10
						空洞化調查	を実施した	·樋門·桶管	宮の数	11
						対策を実施し	た樋門・	通管の数		4

表 3.5.1 変状を確認した樋門・樋管の対応結果

空洞化調査として、図 3.5.1 に示した通り空洞確認を実施し、最大空洞量が 5cm 以上の施設に対して遮水機能確認を行った。

なお、「樋門補強マニュアル(案)」⁹によると、空洞が 5cm 未満であると、"ほぼ健全であ り、補修等によって回復が見込める。"とあることから、5cm 未満の空洞を軽微とし、5cm 以上の空洞を遮水機能確認の調査対象とした。

(2) 空洞化調査結果及び対応の概要

11 施設に対する空洞化調査の結果は表 3.5.2 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を確認した。

11 施設の調査結果は以下の3つに分類でき、ここでは、各分類を代表して、上杉樋管、井 ^{ジャッま} 樋山用水樋管、住吉排水樋管の3施設の調査結果の概要を次頁に示す。

空洞が無いまたは軽微であり、ほぼ健全であることを確認した施設 :6 施設 (平笛排水樋管、上杉樋管、苫川排水樋管、鯰 排水樋管、三郎魚苗排水樋管、小坂排水樋管) 空洞が 5cm を超えるが、遮水機能は確保されている施設 :1 施設 (井樋山用水樋管)

	抜上り量	空洞化調査(底盤部)					
		空洞確認					
施設名	最大 抜上り量	最大空洞量	: 空洞なし(0cm) : 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		-			
^{あ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	20cm	2cm		-			
^{さぶろうむたはいすいひかん} 三郎無田排水樋管	35cm	3cm		-			
^{ჾざかひかん} 小坂樋管	25cm	0cm	0	-			

表 3.5.2 空洞化調査対象樋管の調査結果

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。

1) 上杉樋管

調査方法

川裏側、函体中央の2箇所において、底版を削孔し空洞量を計測した。 空洞化調査の位置

調査孔の位置を図 3.5.3 に示す。



空洞化調査の結果

調査結果は図 3.5.4 に示す通りであり、調査した 2 箇所のうち、川裏側において 1cmの空洞を確認し、函体中央には空洞が無いことを確認した。

各調査孔の調査状況を写真 3.5.1 に示す。

空洞は軽微でありほぼ健全な状態であることから、上杉樋管は要監視の対象とした。



図 3.5.4 空洞化調査の結果



写真 3.5.1 空洞化調査の状況

- 2) 并樋山用水樋管
- a) 空洞調査

調査方法 函体底版の5箇所を削孔し空洞量を計測した。 空洞調査の位置 調査孔の位置を図 3.5.5に示す。



図 3.5.5 空洞化調査位置図

空洞調査の結果

各孔の空洞量は図 3.5.6 に示す通りであり、調査孔1において最大11cmの空洞を 確認した。最大の空洞を確認した調査孔1の調査状況を写真3.5.2 に示す。

空洞量が 5cm を超えており、遮水機能が低下している可能性があるため、連通試 験を実施し、遮水機能の確認を行った。



図 3.5.6 空洞化調査の結果



写真 3.5.2 空洞化調査の状況(調査孔1)

b) 連通試験

```
調査方法
```

空洞調査を実施した調査孔を用い、注水法による連通試験を実施した。

連通試験の結果

鉛直方向遮水矢板を挟む位置にある調査孔2と調査孔3の水位変動を観測した試験 結果を図 3.5.7 に示す。

調査孔2に注水した場合、矢板を挟む位置にある調査孔3に水位変動は見られず、 遮水機能が機能していることを確認した。

遮水機能があり、ほぼ健全な状態であるため、 井樋山用水樋管は要監視の対象とした。



図 3.5.7 連通試験結果(注水孔:調査孔2)

3) 住吉排水樋管

調査方法

函体底面下 30cm まで堤防の開削を行い、空洞化や遮水工の状況を確認した。

空洞化調査の結果

調査結果は図 3.5.8 に示す通りであり、樋管底部に連続的な空洞及び、中央遮水矢板が函体から脱落するなど遮水機能を失っていることを確認した。

調査状況を写真 3.5.3~ 写真 3.5.7 に示す。



図 3.5.8 空洞化調査の結果



写真 3.5.3 開削時の状況(下流側)



写真 3.5.4 川表可とう矢板の破断の状況



鉛直方向遮水矢板は均しコンクリートに取り付けられているため、函体から鉛直方向遮水矢板 が脱落した状態である。

写真 3.5.5 中央鉛直方向遮水矢板の脱落の状況



写真 3.5.6 中央遮水壁と水平方向遮水矢板の離脱の状況



写真 3.5.7 函体底部の空洞化の状況(上流側)

対策工

空洞充填及び遮水機能回復を目的として、空洞部の充填等を実施した。

3.5.2 三面張堤防の空洞化調査

白川及び緑川水系の緑川、加勢川、御船川に整備された三面張堤防を対象に、空洞の有無を確 認するため、堤防天端舗装下部の空洞化調査を実施した。

空洞化調査の流れを図 3.5.9 のフロー図に示す。

フロー図に示すとおり、先ず短期間に広範囲な調査が可能である地中レーダー探査を実施した。 地中レーダー探査は、電気的性質の異なる物質からの反射波を利用して地下構造を間接的に探査 する手法であり、得られた結果は空隙・空洞が存在する可能性を示すものであることから、地中 レーダー探査によって空隙・空洞が存在する可能性が示された箇所に対しては、補足調査として、 ファイバースコープを用いた目視調査を行い、空洞の有無を直接確認した。



なお、これに先立ち、三面張堤防区間の中で、地震による変状が比較的大きかった白川の3箇 所周辺の5箇所において、調査孔を削孔して空洞確認を行ったため、併せて示す。

(1) 調査孔による空洞確認結果

白川の5箇所において実施した調査孔による空洞確認の結果を表3.5.3に示す。調査の結 果、いずれの箇所においても空洞が無いことを確認した。

5 箇所の代表事例として、右岸 0K250 の調査状況を写真 3.5.8 に示す。



表 3.5.3 調査地点および空洞確認結果

写真 3.5.8 三面張堤防の空洞化(右岸 0K250)

(2) 地中レーダー探査およびファイバースコープによる目視調査結果

地中レーダー探査の実施箇所を図 3.5.10 に示す。

地中レーダー探査により空隙・空洞の可能性があると示された箇所とファイバースコープ による目視調査の結果は表 3.5.4 に示す通りであり、全箇所において空洞が無いことを確認 した。



図 3.5.10 地中レーダー探査実施箇所

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
白川	右岸	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
	左岸	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)
		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
	右岸	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		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 川	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

表 3.5.4 地中レーダーおよび目視調査結果

表 3.5.4 に示す調査結果のうち白川左岸川裏側 15k400+59.2m を代表事例として、調査状況と調査結果を図 3.5.11~図 3.5.14 および写真 3.5.9~写真 3.5.10 に示す。

ファイバースコープによる目視調査において、空洞は確認されなかった。



図 3.5.12 白川左岸 15k400+50m~+100m 付近地中レーダー探査結果

c) ファイバースコープによる目視調査結果







図 3.5.14 孔内画像

3.6 既往耐震対策の効果

東北地方太平洋沖地震では、「液状化対策工法設計・施工マニュアル(案) 平成11年3月」^[10] に基づきレベル1地震動を設計外力として設計・施工された対策(以降では「L1 耐震対策」と 称す)箇所において、大規模な変状が確認されなかった。(「東日本大震災を踏まえた今後の河川 堤防の耐震対策の進め方について 報告書 平成23年9月」^[11])。

緑川・白川水系の一部区間においても、L1 耐震対策が実施されているため、対策済み区間と 無対策区間において、熊本地震による変状の発生状況を確認し、耐震対策の効果について整理した。

(1) L1 耐震対策済み箇所とその周辺における堤防変状の発生状況

L1 耐震対策済み区間の位置、および堤防の変状が確認された箇所の分布を図 3.6.1 に、L1 耐震対策済み区間の変状状況を表 3.6.1 に示すが、対策済み区間については、無対策区間に 比べて変状が少なく、変状が確認された箇所においても軽微なものであった。



図 3.6.1 (1) L1 耐震対策済み箇所と堤防変状の分布

表 3.6.1 L1 耐震対策済み区間の変状状況

図 3.6.2 に、緑川水系・白川における L1 耐震対策の有無と変状の発生状況を示す。

整理範囲は、対策工の必要な一連の領域として、各河川の河口から対策設置上流端までとした。対象区間はすべて震度6強の範囲である。



a) 緑川水系における変状

表 3.6.2 に緑川における対策の有無と変状発生率を示す。整理範囲の変状の程度はいず れも軽微であるが、発生率で見ると、無対策区間の約17%に対し対策済み区間では約6% であり、L1 耐震対策による耐震の効果が発現された。

	河川名	対象 区間 (km)	無対策区間			対策済み区間		
水系			延 長 (km)	変状あり (km)	変状発生率 (%)	延 長 (km)	変状あり (km)	変状発生率 (%)
	緑 川	9.3	6.9	0.7	9.5	2.5	0.2	8.2
緑川水系	浜戸川	10.6	7.8	1.8	23.1	2.8	0.1	3.6
	合 計	19.9	14.7	2.5	16.7	5.3	0.3	5.7

表 3.6.2 緑川水系における L1 耐震対策の有無と変状発生率

b) 白川における変状

表 3.6.3 に白川における対策の有無と変状発生率を示す。白川での変状発生率は、無対 策区間の約 12%に対し対策済み区間で約 28%と、対策済み区間の方が無対策区間より変 状発生率が高い。但し、図 3.6.2 に示すように、対策済み区間においては、軽微な変状に 留まったことから、L1 耐震対策による耐震の効果が発現された。

	10.0.0	ципс				-21/7	5- T - 1 -	
	河川名	対象 区間 (km)	無対策区間			対策済み区間		
水系			延長	変状あり	変状発生率	延長	変状あり	変状発生率
			(km)	(km)	(%)	(km)	(km)	(%)
白川水系	白川	12.0	6.9	0.9	12.4	5.2	1.5	28.2

表 3.6.3 白川における L1 耐震対策の有無と変状発生率

(2) 既往 L1 耐震対策の効果

L1 耐震対策済み箇所と無対策箇所が近接する区間である 浜戸川右岸 0k100~0k810 付近、および 白川右岸 0k000~1k500 付近を例に、L1 耐震対策の効果について整理する。

浜戸川右岸 0k100~0k810 付近

浜戸川右岸 0k100~0k810 付近における対策設置範囲と熊本地震による変状の発生 状況を図 3.6.3 に示す。当該区間の堤内側では噴砂の痕跡が広範囲で確認され、As 層 が液状化したと考えられる。

L1 耐震対策も含めて矢板が設置されている区間では全て変状は確認されておらず、 L1 耐震対策なし又は矢板未設置箇所においては一部変状を確認した。

L1 耐震対策区間 0k100~0k300 付近では川表・川裏側ともに鋼矢板(SP- L型 L=21m 程度)が施工されており、L1 耐震対策ではない矢板設置区間においても川表・ 川裏側に矢板長が 20m以上あり、L1 耐震対策と規模が近い。

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。



図 3.6.3 対策設置と変状の発生状況(浜戸川右岸 0k100~0k810 付近)

白川右岸 0k000~1k500 付近

白川右岸 0k000~1k500 付近における対策設置範囲と熊本地震による変状の発生状況を図 3.6.4 に示す。当該区間の堤内側では噴砂の痕跡が1箇所と液状化の痕跡が広範囲で確認され、As1層が液状化したと考えられる。

耐震対策が実施されていない 0k000 ~ 0k250 付近では、特殊堤天端の沈下、目地のズレなど大きな変状が確認された。

一方、上流側 0k250~1k500 は、L1 耐震対策として川裏側に沈下対策を兼ねた排水 機能付き矢板(SP- w型 L=44.0~15.5m)、川表側に鋼矢板(SP- w L=18~19m) あるいは地盤改良(B=5.0m, L=9.5m)が施工されており、熊本地震による変状確認さ れなかった。

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。

〔凡例〕

—— L1耐震対策済区間

要耐震対策かつ未対策区間



図 3.6.4 対策設置と変状の発生状況(白川右岸 0k100~0k810 付近)

3.7 堤防変状の経時変化

熊本地震の大きな特徴のひとつは、レベル2相当の地震が短期間に2度発生したことである。 このため、前震後は変状が確認されなかったまたは軽微であった堤防において、本震後に大きな 変状が発生した箇所が複数確認されたことから、堤防の変状発生の経時変化について整理した。

(1) 前震と本震における堤防の変状範囲の変化

前震後(4月15日)と本震後(4月20日)の堤防の変状範囲の変化を図 3.7.1 および図 3.7.2 に示す。堤防の変状が確認された範囲は、前震後から本震後にかけて広がっている。



図 3.7.1 前震後(4月15日)に堤防の変状が確認された範囲



図 3.7.2 前震後(4月20日)に堤防の変状が確認された範囲

(2) 本震による堤防の変状拡大事例

本震後に堤防の変状が確認された地点における、前震後(4月15日)と本震後(4月20日)の変状状況を写真 3.7.1 に示す。

前震により発生した変状が、本震により拡大(クラック幅・延長の増大、沈下の進行等) した箇所が確認された。

・緑川左岸 16k380 付近



・緑川左岸 18k200 付近



・緑川左岸 10k900



写真 3.7.1 堤防の変状拡大事例(1/2)

・緑川右岸 12k300 付近



・白川右岸 8k700 付近



写真 3.7.1 堤防の変状拡大事例(2/2)

(3) 本震後の堤防沈下量の経時変化

パラペットおよび盛土天端(管理用通路)に大きな沈下が確認された難谷寺地区(白川右 岸 8k800 付近)における、堤防沈下の経時変化を図 3.7.3 に示す。

本区間においては、応急復旧工事としてパラペットの嵩上げが実施された。応急復旧工事 によって高さが変化していない管理用通路の天端高に注目すると、本震後から7月上旬まで の約2ヶ月間に沈下の進行は確認されなかった。

なお、その他の比較的大きな沈下が確認された箇所については、応急復旧で堤防の嵩上げ を実施しているか時系列的に整理できる測量ができなかったため、時系列で堤防の沈下高を 整理できたのは、鐘谷等地区のみである。



与其による経過観察(87700 刊近から上流方向) 図 3.7.3 堤防沈下量の経時変化(白川 遊谷寺地区)

3.8 まとめ

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(新地地区、運営等地区、牛禅等地 区)の14箇所は、堤防の変状が比較的大きかった。
- ・堤防の変状が比較的大きかった 14 箇所では、各箇所の変状の特徴に若干の違いはあるものの、概して大きな沈下や堤防天端に長い縦断クラック等が確認された。
- ・治水地形分類図の地形分類と堤防変状の位置関係を見ると、緑川水系の堤防の変状が比較 的大きかった箇所はほとんどが氾濫平野に該当しており、また、白川水系の堤防の変状が 比較的大きかった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。
- ・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耐震性能の照査において考慮する外水位(照 査外水位)より高い状態を保持していたものの、堤防の変状が比較的大きかった箇所では 50cm 超の沈下が発生したことによって、HWLよりも堤防天端標高が低くなった箇所が緑 川本川で2箇所確認された。この2箇所はどちらも緊急復旧工事箇所に該当する。
- ・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近かった。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堤防開削調査では、堤体内に、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があることを確認した。
- ・緑川水系・白川水系の三面張特殊堤全区間を対象として空洞化調査を実施した結果、全区 間にわたって空洞は確認されなかった。
- ・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。
- ・緑川水系・白川水系の全区間において、変状の範囲や規模は、本震により大きく拡大した。
- (2) 樋門・樋管の変状
 - ・本震後に樋門・樋管及び周辺堤防の緊急点検等を実施し、直轄区間内の合計154施設の内、
 36施設で変状が確認された。
 - ・変状が確認された 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を確認した。

【参考(引用)文献等一覧】

[1] 国土交通省国土政策局国土情報課[「]20万分の1土地分類基本調査及び土地保全基本調査(熊本 県)」:20万分の1土地分類図,

<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/20-1/43.html>,(入手 2016.4.20)

[2] 国土交通省国土地理院「地理院地図(電子国土 Web)」:都市圈活断層図「熊本」,

< http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/11_kyusyu.html>,(入手 2016.4.20)

[3] 国土交通省国土地理院「地理院地図(電子国土 Web)」:治水地形分類図「熊本」「宇土」「御船」「網 津」「甲佐」「肥後船津」「健軍」,

<http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html>,(入手 2016.4.20)

[4] 地盤工学会災害調査報告:平成 28 年度熊本地震 災害調査報告-液状化班(速報)2016.5.11,

<https://www.jiban.or.jp/index.php?option=com_content&view=article&id=1845:2016-4-14-kumamotojishi n-top&catid=52:2008-09-15-02-30-46&Itemid=29>,(入手 2016.5.20)

[5] 大本照憲·富本和也·澤田誠一,加藤清正による流水制御法「白川の石塘」の機能評価」,河川技術論 文集第 16 巻,平成 22 年 6 月

[6] 国土交通省国土地理院「地図・空中写真閲覧サービス」,

< http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>(入手 2016.4.20)

[7] 河川堤防の浸透に対する照査・設計のポイント,独立行政法人土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム,平成 25 年 6 月,p11

[8]柔構造樋門設計の手引き,国土技術研究センター,平成 10 年 11 月,p25

[9] 樋門補強マニュアル(案),国土技術研究センター,平成 13 年 10 月,p78

[10]液状化対策工法設計・施工マニュアル(案),建設省土木研究所耐震技術研究センターほか,平成 11 年 3 月

[11] 東日本大震災を踏まえた今後の河川堤防の耐震対策の進め方について 報告書,平成 23 年 9 月, 河川堤防耐震対策緊急検討委員会, p25

[12] 国土交通省国土地理院「地理院地図(電子国土 Web)」:治水地形分類図「熊本」「宇土」「御船」「網 津」「甲佐」「肥後船津」「健軍」,

<http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html>,(入手 2016.4.20)
4. 堤防変状の要因と本復旧工法

熊本地震による堤防の変状が比較的大きかった 14 箇所(緑川および加勢川の緊急復旧工事箇所と白川の新地・鐘台等・半禅寺地区)において、地震後に確認された堤防変状、ボーリング調査等から得られた土質特性、地下水位の状況、さらには開削調査から得られた土層断面観察結果や砂脈等の液状化の痕跡の有無等を確認した。

その結果、緑川水系における堤防変状の主要因は、堤防下部の飽和域の液状化であること、また白川水系における堤防変状の主要因は、浅部基礎地盤の砂質土の液状化であることが推測された。

本章では、これらの調査結果と分析結果に加えて、堤体や基礎地盤の FL 値を用いた液状化判定 を実施し、堤防変状メカニズムの推定を行うとともに、堤防の本復旧の基本方針と工法について 示す。

4.1 地震による堤防変状の主要因と変形過程

- 4.1.1 堤防変状の主要因
 - (1) 堤防変状箇所の変状メカニズムの推定

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。 1) 田口地区(緑川左岸 18k403~18k645)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.1 の地質 横断図に示す。

変状の特徴

・堤防天端、表法肩、裏法肩に縦断クラックが生じていた。

・局所的な沈下及び川裏・川表のはらみ出しは生じていなかった。

ボーリング調査結果

- ・堤体直下に薄い砂質土層(As層)が分布し、その下は洪積の砂礫層である。
- ・堤体(B2層)およびAs層は礫分を比較的多く含む。
- ・河川の平水位等から想定される地下水位は As 層の下位に位置するが、ボーリング孔内水位は堤体 内の高い位置で確認された。
- ・B2 層は、Fc が 17%、Ip が NP である。
- 液状化に対する抵抗率 FL 値は、As 層で 0.26 である (「(2) 液状化判定」参照)。

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

・ボーリング調査時に高い地下水位が確認されており、地下水位が上がりやすい可能性がある。想定する平時の地下水位より上位の地層であるが、As1層を液状化層と推定した。 推定される変状発生のメカニズム

・堤防の変状に大きな影響を及ぼしたのは「As 層の液状化」であると考えられる。

液状化の影響により天端に縦断クラックが発生したものと考えられる。



結果を基に作成したものである。



2) 津志田地区(緑川左岸 20k652~20k765) 堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。地質横断図および堤防の変状の特徴を図 4.1.2 に示す。

変状の特徴

・川裏法面のブロック積擁壁が崩壊していた。

ボーリング調査結果

・堤体内に飽和域がなく、堤体直下は洪積の砂礫層である。

・ボーリング調査時に孔内水位は確認されておらず、地下水位は掘進下端高より下位にある。 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

・Bg 層内に地下水面がなく、Bg 層下部は洪積砂礫層であるため想定される液状化領域はない。 変状のメカニズム

・地震動の影響が支配的となり、ブロック積擁壁が崩壊したものと考えられる。



上記想定地質横断図はホーリンク調査 結果を基に作成したものである。

図 4.1.2 堤防の変状の特徴(津志苗地区)

3) 下無苗地区(加勢川右岸 9k775~9k855)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.3 の地質 横断図に示す。

変状の特徴

・堤防天端に川表側が落ち込む段差を伴う縦断クラックが生じていた。

ボーリング調査結果

・堤体直下、特に堤防中央から川裏に向かい緩い砂質土層(Asc1層)が厚く分布している。

- ・地下水位は堤体と基礎地盤の境界付近にある。
- ・Asc1 層は Fc=19~50%程度とばらつきが大きい。Ip=NP である。

・液状化に対する抵抗率 F_L値は、Asc 層で 0.34 である (「(2) 液状化判定」参照)。 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

・Asc1 層は Fc が 35%以上であるものの、Ip=NP であることやN 値が 2~10 と比較的低く、かつ地下水位以下である。このことと、実際に沈下が発生していることから、他に想定される液状化層がないため、Asc1 層を想定液状化領域とした。 変状のメカニズム

- ・堤防の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.3 に示す「Asc1 層の液状化」と考えられる。
- ・堤内地盤高が高いため、液状化に伴い、地盤高の低い川表側へ変形したものと考えらえる。



結果を基に作成したものである。

図 4.1.3 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(下離曲地区)

4) 野笛下流地区(緑川右岸 8k775~9k012)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.4 の地質 横断図に示す。

変状の特徴

・堤防天端で川裏側に大きく沈下しており、法尻部にはらみ出しが生じていた。

ボーリング調査結果

- ・堤体直下には、堤防中央から川表側には粘性土層(Ac1層)、堤防中央から川裏側には砂質土層(As1層)が分布している。
- ・地下水位は Bs 層内にあり、Bs 層下部、砂質土層(As1 層)に飽和域が形成されている。
- ・堤体下部~直下の地下水位以深はN値が小さく、細粒分も比較的少ない。
- ・Bs 層の下部は Fc=18~40%とばらつきが大きい。Ip=6~23 である。
- ・液状化に対する抵抗率 FL値は、Bs 層下部で 0.46、As1 層で 0.72 である (「(2) 液状化判定」参照)。 堤防開削調査結果
- ・Bs 層川裏側(法肩縦断クラックとほぼ同じ位置)において高角度のクラックが確認され、クラック 周辺に砂脈が分布していた。
- 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
- ・Bs 層の地下水位以下のうち堤防天端から川裏法面途中までは Fc が 35%以下であることから、想定 液状化領域とした。
- ·As1 層は3m以上の非液状化層に被覆されていることから、今回の地震の変状への影響は小さかった と判断した。

変状のメカニズム

- ・堤体の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.4 に示す「川裏側 Bs 層下部の局所的な液状化」と 考えられる。
- ・川裏側の局所的な液状化により、堤防が川裏側に変形したものと考えられる。



図 4.1.4 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(野白下流地区)

5) 上杉地区(緑川左岸 8k250~8k610)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.5 の地質 横断図に示す。

変状の特徴

- ・堤防天端で川表・川裏側共に大きく沈下していた。特に川表側への沈下が大きく、また川裏側 ではらみ出しが生じていた。
- ・川表側への落ち込みから、川表側へのはらみ出しも生じていた。
- ・当該箇所においては川裏法尻部にドレーンが設置されていたが、地下水位はドレーン下方に位 置する As1 層の上面程度の高さとなっていた。

ボーリング調査結果

- ・堤体直下には、1m 程度と薄い砂質土層(As1 層)が分布している。川裏側ではこの砂質土層(As1 層)が2~3mの厚さとなっている。更に下には比較的厚い Ac1 層、As2 層が分布している。
- ・当該箇所においては川裏法尻部にドレーンが設置されていたが、地下水位はドレーン下方に位 置する As1 層の上面程度の高さとなっていた。
- ・Bs 層下部の As1 層は、Fc が 20~30%、Ip が NP である。

・液状化に対する抵抗率 FL値は、As1 層で 0.47、As2 層で 0.85 である (「(2) 液状化判定」参照)。 堤防開削調査結果

・As1 層とBs層の境界に著しい不陸が確認され、Bs層下部では礫層のずれや乱れが生じていた。

・川裏側法尻付近で堤体の盛り上がりが確認された。

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

- ・As1 層が、Fc が 35%以下であり地下水位以下であることから、想定液状化領域とした。
- ・Ac1 層下部 As2 層は層厚 3m以上の Ac 層(非液状化層)に被覆されていることから、今回の地震の変状への影響は小さかったと判断した。
- 変状のメカニズム
- ・堤体の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.5 に示す「As1 層の液状化」と考えられる。
- ・液状化の影響により、堤体の川表・川裏側両方に変形(沈下・はらみ出し)が生じたと考えられる。



図 4.1.5 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(上杉地区)

6) 釈迦堂地区(緑川左岸 9k300~9k420)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.6の地質 横断図に示す。

変状の特徴

- ・堤防天端で川表・川裏側共に大きく沈下していた。特に川表側への沈下が大きく、また川裏側 ではらみ出しが生じていた。
- ・川表側への落ち込みから、川表側へのはらみ出しも生じていた。
- ボーリング調査結果
- ・堤体直下には1m程度と薄い砂質土層(Asc層)が分布している。川表・川裏側ではこの砂質土層(Asc層)が堤体直下に比べると厚い。更に下には比較的厚いAc1層、As2層が分布している。
- ・地下水位は B1-s 層内にあり、B1-s 層下部、Asc 層に飽和域が形成されている。
- ・堤体下部の地下水位以深は N 値が小さく、Fc=13~54%である。p=NP~11 である。
 ・液状化に対する抵抗率 F_L値は、B1-s 層で 0.63、Asc 層で 0.50、As2 層で 3.60 である (「(2) 液 状化判定」参照)。

堤防開削調査結果

- ・堤体の川表側で幅数cm~30cm 程度の砂脈が確認された。
- ・堤体の川裏側に分布する礫層の乱れ、および川裏側への緩い傾斜が確認された。
- 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
- ・B1-s 層および Asc 層の Fc がほぼ 35%以下であり 35%以上の箇所も IP15 以下であり、また地下水位以下であることから、想定液状化領域とした。
- ・As2 層は層厚 5m以上の Ac1 層(非液状化層)に被覆されていることから、今回の地震の変状 への影響は小さかったと判断した。
- 変状のメカニズム
- ・堤体の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.6 に示す「B1-s 層下部および Asc 層の液状化」 と考えられる。
- ・液状化の影響により、堤体の川表・川裏側両方に変形(沈下・はらみ出し)が生じたと考えられる。



図 4.1.6 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(新迦堂地区)

7) 高地区(緑川左岸 10k800~11k000)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.7 の地質 横断図に示す。





高が低く、川裏側に偏って、大きくはらみ出したものと考えられる。

上記想定地質横断図はボーリング調査結果を基に、堤体部は堤防開削調査結果を重ねたものである。 図 4.1.7 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(高地区)

8) 小岩瀬地区(緑川左岸 6k200~6k405)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.8 の地質 横断図に示す。

変状の特徴

- ・堤防天端で川表・川裏側共に大きく沈下していた。特に川表側に段差が生じるように沈下し、また川裏側でははらみ出しが生じていた。
- ・川表側への落ち込みから、川表側へのはらみ出しも生じていた。
- ボーリング調査結果
- ・堤体直下には、1~2mの厚さで変化するAcs層が分布している。
- ・地下水位は Bs 層内にあり、Bs 層下部、Acs 層に飽和域が形成されている。更に下には Ac1 層が 厚く分布している。
- ・堤体下部の地下水位以深は N 値が小さく、Bs 層は Fc=16~40%とばらつきがある。Ip は概ね NP である。Acs 層は Fc=45~67%と高く、Ip=14~20 である。
- ・液状化に対する抵抗率 FL 値は、Bs 層で 0.50 である (「(2) 液状化判定」参照)。

堤防開削調査結果

- ・堤体中央付近で礫層の乱れが確認された。
- 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
- ・堤防周辺の Bs 層の地下水位以下は、ほぼ Fc は 35%以下で一部 35%を上回る箇所も IP が 15 以 下であることから、想定液状化領域とした。
- Acs 層は Fc が 35%以上で、IP がほぼ 15 以上であることから、液状化の可能性は低いと判断した。
- 変状のメカニズム
- ・堤体の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.8 に示す「Bs 層の液状化」と考えられる。
- ・液状化の影響により、堤体の川表・川裏側両方に変形(沈下・はらみ出し)が生じたと考えられる。



図 4.1.8 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(小岩瀬地区)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.9 の地質 横断図に示す。

変状の特徴

・堤防天端幅全体で大きく沈下、川裏側ではらみ出しが生じていた。

ボーリング調査結果

- ・堤体直下には、非常に薄い Asc 層が分布している。
- ・地下水位は Bsc 層内にあり、Bsc 層下部、Asc 層に飽和域が形成されている。更に下には比較 的厚いAc1層、As2層が分布している。
- ・Bsc 層の地下水位以深、堤防中央から川裏付近は、N 値が小さく、Fc=20~49%である。Ip=NP ~14 程度である。堤防中央から川表付近は、Fc=16~60%、Ip=12~20 である。
- ・Asc 層は Fc が 40%以上、Ip が 12 以上である。
- 液状化に対する抵抗率 F₁値は、Bsc 層で 0.48、As1 層で 0.49 である(「(2) 液状化判定」参照)。 堤防開削調査結果
- ・堤体中央から川裏側にかけて、砂脈が多数確認された。

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

- ・Bsc 層の地下水位以下は、堤防下部では Fc が 35%以下であることから、想定液状化領域とし た。
- ・Asc 層は Fc が 35%以上で、IP がほぼ 15 以上であることから、液状化の可能性は低いと判断 した。
- ・As1 層は 3m以上の Ac1 層(非液状化層)に被覆されていることから、今回の地震の変状への 影響は小さかったと判断した。

変状のメカニズム

- ・堤体の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.9 に示す「Bsc 層の液状化」と考えられる。
- ・液状化の影響により、堤体の川表・川裏側両方に沈下が生じたと考えられるが、堤内側の地盤 が低く、川裏側に偏って、大きくはらみ出したものと考えられる。



図 4.1.9 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(永地区)

10) 野笛上流地区(緑川右岸 9k100~9k250)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.10 の地 質横断図に示す。



- 変状のメカニズム
- ・堤防の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.10に示す、「Bsc層の液状化」と考えられる。
- ・堤内地盤高が高いため、液状化に伴い、地盤高の低い川表側へ変形したものと考えらえる。



図 4.1.10 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(野白上流地区)

11) 下仲間地区(緑川右岸 11k920~12k360)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.11 の地 質横断図に示す。

変状の特徴

- ・堤防天端で川表・川裏側共に大きく沈下していた。特に川裏側に段差が生じるように沈下し、 また川表側、川裏側共にはらみ出しが生じていた。
- ボーリング調査結果
- ・堤体直下には、比較的厚いAc1層、As2層が分布している。
- ・地下水位はBs層内にあり、Bs層下部に飽和域が形成されている。
- ・堤体下部の地下水位以深はN値が小さく、Fc=15~20%程度である。Ip=NP~15程度である。
- ・液状化に対する抵抗率 F_L値は、Bs 層で 0.93、As2 層で 0.67 である(「(2) 液状化判定」参照)。 堤防開削調査結果
- ・堤体中に介在する礫層に著しい乱れが確認された。
- 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
- ・Bs 層の地下水位以下は、堤防下部では Fc が 35%以下であることから、想定液状化領域とした。
- ・As2 層は 3m以上の Ac1 層(非液状化層)に被覆されていることから、今回の地震の変状への影響は小さかったと判断した。
- 変状のメカニズム
- ・堤体の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.11 に示す「Bs 層の液状化」と考えられる。 ・液状化の影響により、堤体の川表・川裏側両方に沈下およびはらみ出しが生じたと考えられる。



堤体部は堤防開削調査結果を重ねたものである。

図 4.1.11 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(下仲間地区)

12) 新地地区(白川右岸 0k000~0k255)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.12 の地 質横断図に示す。

変状の特徴

・パラペット部や川表護岸の変状、及び天端コンクリートの大きな沈下が生じていた。

ボーリング調査結果

- ・堤体直下には、As1層は平均N値10程度の砂質土層(As1層)が10m程度分布している。
- ・地下水位は堤体と基礎地盤の境界付近にある。
- ・As1 層の Fc は概ね 20%以下、Ip=NP である。

・液状化に対する抵抗率 FL値は、As1 層の上部で小さく下部で高い傾向にあり、平均 FL値は 1.00 (上部では 0.70)である。(「(2)液状化判定」参照)。

堤防開削調査結果

・堤体内に砂脈等の液状化痕は確認されなかった。

・噴砂試料の粒度試験より、堤内側の噴砂とAs1層がほぼ同じ粒度特性を有していた。 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

・As1 層は Fc が 35%以下であり、地下水位以下であることから、想定液状化領域とした。 変状のメカニズム

・堤防の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.12 に示す「As1 層の液状化」と考えられる。



図 4.1.12 堤防の変状の特徴と想定液状化領域(新地地区)

13) 董台寺地区(白川右岸 8k6080~8k924)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.13 の地 質横断図に示す。

変状の特徴

- ・パラペット及び堤防天端に大きな沈下とクラックが見られ、堤内側には噴砂が多数確認されている。
 ボーリング調査結果
- ・堤体直下は緩い砂質土層(Asc 層、As1 層)が8m程度と厚く、その以深はAg 層、As2 層となっている。 ・地下水位は堤体と基礎地盤の境界付近(Asc 層中)にある。
- ・Asc 層の地下水位以下は Fc=60%であるが Ip は NP である。
- ・As1 層は、Fc が概ね 10%以下である。Ip が NP である。
- ・Ag層およびAs2層は比較的N値が大きく深度も深い。
- ·液状化に対する抵抗率 FL値は、Asc 層で 0.44、As1 層で 0.29、Ag 層で 0.40、As2 層で 0.70 である(「(2) 液状化判定」参照)。

堤防開削調査結果

・開削面の法尻部から底面にかけて広範囲で砂脈が確認され、砂脈位置から採取した試料の粒度特性や色調が As1 層と類似していた。

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

- ・As1 層は N 値が低く Fc が 35%以下かつ地下水位以下であるため、As1 層を想定液状化層とした。
- ・Asc 層は FL > 1.0 かつ細粒分が多いこと、Ag 層、As2 層は N 値が高く深度が深いため、今回の地震の 変状への影響は小さかったと判断した。

変状のメカニズム

- ・堤防の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.13 に示す「As1 層の液状化」と考えられる。
- ・Asc 層は細粒分が多いため、堤防変状への影響が小さかったと考えられる。
- ・Ag 層、As2 層はN値が高いこと、深度が深いことから堤防変状への影響は小さかったと考えられる。



14) ¹ 禅寺地区(白川左岸 8k539~8k770)

堤防の変状の特徴、各種調査結果から推定される変状発生のメカニズムは以下の通りで ある。また、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を図 4.1.14 の地 質横断図に示す。

変状の特徴

- ・パラペット及び堤防天端に大きな沈下とクラックが見られ、堤内側には噴砂が多数確認されている。 ボーリング調査結果
- ・堤体直下は緩い砂質土層(Asc層、As1層)が8m程度と厚く、その以深はAg層、As2層となっている。
- ・地下水位は堤体と基礎地盤の境界付近(Asc 層中)にある。
- ・Asc 層の地下水位以下は Fc=60% であるが Ip は NP である。As1 層は、Fc=6~34% となっており、Ip は NP である。
- ・As2 層は比較的 N 値が大きく深度も深い。
- 液状化に対する抵抗率 FL値は、Asc 層で 1.35、As1 層で 0.29、Ag 層で 0.86、As2 層で 2.23 である (「(2) 液状化判定」参照)。
- 堤防開削調査結果
- ・堤体内に広範囲に高角度クラックが分布しており、堤体中央付近のクラックの下端部では砂脈が確認 された。
- ・堤体川表側において上記砂脈とは異なる、低角度で不規則な砂脈が確認された。当該砂脈の粒度特性 や色調は As1 層と類似していた。
- 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
- ・As1 層は N 値が低く Fc が 35%以下又は Ip は NP であり、地下水位以下であるため、As1 層を想定 液状化層とした。
- ・Asc 層は FL > 1.0 かつ細粒分が多いこと、Ag 層、As2 層は N 値が高く深度が深いため、今回の地震の 変状への影響は小さかったと判断した。
- 変状のメカニズム
- ・堤防の変状に大きな影響を及ぼしたのは、図 4.1.14 に示す「Asc 層および As1 層の液状化」と考えられる。
- ・Ag 層、As2 層はN値が高いこと、深度が深いことから堤防変状への影響は小さかったと考えられる。



(2) 液状化判定

堤防の変状が大きかった各地区の代表断面において、「河川構造物の耐震性能照査指針・解 説(平成28年3月)」^[1] および「河川堤防の耐震点検マニュアル(平成28年3月)」^[2] に従 って液状化に対する抵抗率 FLを算出し、液状化判定を行った。なお、FL 値の算出に用いる 地表面の加速度については、熊本地震(本震)の際に判定箇所近傍の観測所において観測さ れた地表面の最大加速度を用いた。

「(2) 堤防変状箇所の変状メカニズムの推定」に示した、各地区の堤防の変状に大きく寄与したと推定される地層の平均 FL値を表 4.1.1 に示す。また、緑川水系の代表として報道堂地区、白川水系の代表として運営等地区の、判定に用いた地質横断図および判定結果を図 4.1.15~図 4.1.16、表 4.1.2~表 4.1.3 に示す。

 F_L 値は、ほとんどの箇所の堤体下部・基礎地盤付近の地層(堤防の変状に寄与した地層) で $F_L < 1$ となっており、液状化が発生すると判定される。

水系名	河川名	地区名	堤防の変状 地層の	代に寄与した 平均F∟値	備考		
			地層名	平均F∟值			
	緑川	田口	As	0.26	地下水位=ボーリング孔内水 位として判定		
	緑川	津志田	-	-	液状化層なし		
	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	纪川	名言作	B1-s	0.63			
水系	#¥ /11	<u> きょうちょう しょうちょう ひょうちょう ひょうちょう ひょうちょう ひょうちょう しょうちょう ひょう ひょうちょう ひょうちょう ひょうちょう ひょうちょう ひょうちょう ひょうちょう ひょうちょう ひょうちょう しょうちょう ひょうちょう ひょう ひょうちょう ひょう ひょうちょう ひょう ひょうちょう ひょう ひょうちょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひょう ひ</u>	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	No1(天端)では粒度試験がな いためNo2(川裏)で判定		

表 4.1.1 堤防の変状に寄与した地層の平均 F₁値

緑川水系の判定結果例(釈迦堂地区)

B1-s 層下部、Asc 層において FL 値が 1.0 となり、液状化する結果となった。As2 層は平均 FL値が1.0以上となり、液状化しない結果となった。



図 4.1.15 判定に用いた地質横断図(釈迦堂地区)

							表 4	1.1.2	泌	刻状 (化判	定結果(釈迦	」堂 [」]	也区)							
t	5 X	緑	:緑川左	E岸9k300~9k	420(釈迦堂	創地区)	孔口	標高	Т	.P.+8.49	m	地盤種別	地盤種別 種地盤							準拠	基準:H2	28指針	
判	定断面			L9k200+1	50		堤内均	也盤高	Т	Г.Р.+3.80m		地域区分	B2										
判	定位置			NO1(天)	耑)		地下	水位	Т	T.P.+4.49m		観測加速度	426ga	426gal(加勢川水門)									
深度	地層名		Nfi	直	礫分	砂分	シル分	粘土分	D ₅₀	D ₁₀	Fc	粒度組成グラフ	/P	N ₁	Ri	R, *				F	L	- 12.1	
(m)				_	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)						L1	L2-1	L2-2	観測値	• L1 • L2-2	● L2-I ● 観測	加速度
1.30	B1-s	6	0 10 2	20 30 40 50	7.3	56.4	28.8	7.5	0.149	0.008	36.3	(10本,12,7771,7日上)	6.8	10.77							0 0.5	1	1.5
2.30	B1-s	2	6		3.6	49.9	34.3	12.2	0.089	0.003	46.5		5.8	2.99									
3.30	B1-s	3	0		0.0	57.7	28.7	13.6	0.111	0.002	42.3		7.8	3.84									
4.23	B1-s	1	6		0.0	50.7	33.9	15.4	0.077	0.002	49.3		6.9	1.14	0.197	0.212	1.38	0.52	0.54	0.63	- ••		0
5.30	Asc1	2	þ		0.0	65.6	25.4	9.0	0.130	0.006	34.4		4.8	2.13	0.180	0.195	1.15	0.43	0.43	0.50	•	0	
6.30	Ac1	3	¢		0.1	30.2	40.0	29.7	0.021		69.7		8.9	3.09	0.343		1.90	0.71	1.01	1.18	0	• •	
7.30	Ac1	4	 		0.0	16.7	47.0	36.3	0.011		83.3		50.0	3.99									
8.30	Ac1	2	6		0.1	15.0	53.0	31.9	0.014		84.9		50.2	1.94									
9.30	Ac1	2	φ		0.0	13.0	46.3	40.7	0.008		87.0		39.5	1.88									
10.30	Ac1	1	d		0.0	10.2	50.0	39.8	0.010		89.8		41.8	0.91									
11.30	As2	19		d l	0.2	85.4	9.9	4.5	0.272	0.024	14.4		NP	16.64	0.302		1.42	0.53	0.69	0.81	0 0)	0
12.30	As2	45		>	4.3	87.3	8.4		0.390	0.108	8.4		NP	37.80	2.922		13.62	5.11	8.01	9.40			
13.30	As2	17	ļ		1.1	91.9	7.0		0.331	0.147	7.0		NP	13.73	0.251		1.17	0.44	0.51	0.60	060	0	

しゃかどう

白川水系の判定結果例(謹台寺地区)

Asc 層、As1 層、Ag 層、As2 層において FL 値が 1.0 以下となり、液状化する結果となった。





表 413	液状化判定結果	
18 4.1.0		(建口寸地位)

t	1 🛛	白:白	川右岸8k680~8k9:	24(蓮台	寺地区	孔口	1標高	T.	.P.+9.92	m	地盤種別		種地類	盤		<i>準</i> 換					準拠基	[準:H28指	鉜
判	定断面		R8k600+150)		堤内	地盤高	T.	.P.+7.10	m	地域区分		B2										
判	定位置		NO1(天端)			地下	水位	T.	P.+6.17	m	観測加速度	678ga	al(熊本ī	市春日)		観測加速度におけるP_値: 44.33							
涩度				雄公	政会	기타슈	粘土分	Dee	D., E.							5						—	
(m)	地層名	N値		(%)	(%)	(%)	(%)	(mm)	(mm)	(%)	粒度組成グラフ	/p	N1	RL	R_L^*	11	12-1	12-2	, 観測値		21 0122	. ##:Bihn;##	÷
					1.27				((礫,砂,シルト,粘土)								400702 0=	0.1 0.		• 87.00004.623	~
1.30	Bs	9	0 10 20 30 40 50										16.16							0 1	J.5		.5
2.30	BS	3	6										4.49										i
3.30	Asc	4		0.2	40.4	51.5	7.9	0.064		59.4			5.20							÷			
4.30	Asc	1	1/1 1 1 1	0.2	40.4	51.5	7.9	0.064		59.4			1.19	0.227		1.44	0.54	0.60	0.44	÷			
			ф і																				
5.30	As1	3		0.3	97.2	2.5		0.291		2.5			3.37	0.151		0.88	0.33	0.30	0.22	0	•		
6.30	As1	3		0.3	97.2	2.5		0.291		2.5			3.19	0.148		0.82	0.31	0.28	0.21	90	•		
7 30	Ac1	3	•	0.3	07.2	25		0.201		25		1	3.04	0.146		0.77	0.20	0.26	0.10		1		
7.50			φ			2.5		0.231					0.04	0.140			0.23	0.20			0		
8.30	As1	4		0.3	97.2	2.5		0.291		2.5			3.86	0.157		0.80	0.30	0.28	0.21	0	0		
9.30	As1	13		2.0	87.9	10.1		0.312		10.1			11.99	0.238		1.19	0.45	0.51	0.37	•	b	0	
10.30	Δe1	12	P	2.0	87.0	10.1		0.312		10.1		1	10.60	0.226		1 11	0.42	0.46	0.34		_		
10.00	7.51	12	- p	2.0	07.5	10.1		0.312					10.00	0.220			0.42	0.40	0.34			· ·	1
11.30	As1	13		2.0	87.9	10.1		0.312		10.1			11.01	0.229		1.12	0.42	0.47	0.35	00	•	•	
12.30	As1	12		2.0	87.9	10.1		0.312		10.1			9.76	0.219		1.06	0.40	0.43	0.32	a		0	
12.20	Ac.1	16	19	2.0	97.0	10.1		0.212	• • • • • • • • • •	10.1			12.52	0.242		1 17	0.44	0.51	0.27	_			
13.30	AST	10	ϕ	2.0	67.9	10.1		0.312		10.1			12.53	0.242		1.17	0.44	0.51	0.37	•	•	•	
14.30	Ag	20		48.1	47.3	4.6				4.6			15.02	0.262		1.27	0.48	0.57	0.42	•	0	0	
15.30	Ag	17	T T	48.1	47.3	4.6				4.6			12.27	0.239		1.17	0.44	0.50	0.37	•		•	
			¢.			40.4		0.047		40.4			45.05	0.070		4.05					1		
16.30	ASZ	22	 	1.0	86.9	12.1		0.217		12.1			15.35	0.276		1.35	0.51	0.63	0.46	•		•	i.
17.30	As2	21		1.0	86.9	12.1		0.217		12.1			14.17	0.265		1.30	0.49	0.59	0.44	•	•	•	i.
18.30	As2	39		0.5	91.1	8.4		0.234		8.4			25.49	0.546		2.71	1.02	1.59	1.18				i.
40.00								0.004				1				0.00	0.70						i .
19.30	AS2	39		0.5	91.1	8.4		0.234		8.4			24./1	0.405		2.03	0.76	1.19	0.88		00	•	i
20.30	As2	30		0.5	91.1	8.4		0.234		8.4			18.44	0.292		1.48	0.55	0.71	0.52		🖕 🖕	9	1
21.30	Ac	q	1 / 🏹								1		5.43										

4.1.2 堤防変形過程

(1) 緑川水系における堤防変形過程

緑川水系(土堤構造、堤体下に粘性土層がある地層構成)における堤防変形過程を図 4.1.17 に示す。



堤体変形・亀裂・はらみ出しの拡大



図 4.1.17 緑川水系における堤防変形過程

(2) 白川水系における堤防変形過程

白川水系(特殊堤構造、堤体下に砂質土層がある地層構成)における堤防変形過程を図 4.1.18 に示す。

地震発生前



地震発生~液状化発生



堤体変形・コンクリート構造部の変状の拡大



図 4.1.18 白川水系における堤防変形過程

4.2 堤防の本復旧の基本方針

- 4.2.1 基本方針
 - (1) 緑川水系

緑川水系において、熊本地震により生じた堤防天端の沈下量とはらみ出しの有無の関係を 表 4.2.1 に示す。

堤防にはらみ出しが生じた箇所においては、堤防天端の沈下量は、多くが 50cm 以上であった。図 4.2.1 に示すように、はらみ出しが生じていた堤防においては、はらみ出しが生じていた範囲で堤体内にゆるみが存在していると考えられる。

従って、緑川水系の堤防(土堤)で熊本地震により比較的大きな変状が発生した箇所のう ち、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的に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。



図 4.2.1 法尻部のはらみ出しと堤体のゆるみ発生のイメージ

	日十油丁旦	はらる	り出し	÷⊥	
	取入沉下重	有	無	āT	
沈下 50cm 未満の変 📐	0cm		1	1	
状箇所のうち 1 箇所	0cm∼10cm		23	23	
においてはらみ出し	10cm~20cm		23	23	
が生じていた	20cm~30cm		24	24	\bigtriangleup
	30cm~40cm	(1	17	18	
	40cm~50cm		9	9	取入沉下重 50Cm 以下
	50cm \sim 60cm		(1	1	
	60cm~70cm				最大沉卜量 50cm 以上
	70cm~80cm	2	٦ آ	3	-
	80cm~90cm	1		<u>, </u>	•
	90cm~100cm				
	100cm~110cm				☆ ☆下 50cm N Fの恋
	110cm~120cm				
	120cm~130cm				(1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1) (1)
	130cm~140cm	1		1	にのいてはらの山し
	140cm~150cm	1		1	か生していなかった。
	150cm~	1		1	
		7	99	106	

表 4.2.1 はらみ出しの有無と天端沈下量の関係(箇所数)

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。 (2) 白川水系

白川水系の特殊堤区間において、熊本地震によりパラペットや護岸等に生じたクラックの 規模と堤防天端の沈下量との関係を表 4.2.2 に示す。また、沈下量による変状の程度の違い を図 4.2.2 に示す。

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においては、堤防天端の沈下量は 20cm 以上であった。これらの箇所は短期間での復旧が困難であった。

従って、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におい ては、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。



表 4.2.2 パラペット・護岸のクラックの規模と天端沈下量の関係(箇所数)

図 4.2.2 堤防天端の沈下量による変状の程度の違い

災害復旧事業申請時には、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。

- 4.2.2 本復旧工法選定の考え方と留意事項
 - (1) 本復旧工法選定の考え方

【緑川水系の本復旧工法の選定】

緑川水系における本復旧工法選定のフローを図 4.2.3 に示す。 はらみ出しの有無を判断基準とし、本復旧工法を選定した。



図 4.2.3 復旧工法選定フロー(緑川水系)

【白川水系の本復旧工法の選定】

白川水系における本復旧工法選定のフローを図 4.2.4 に示す。 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。



図 4.2.4 復旧工法選定フロー(白川水系)

- (2) 変状の程度が大きい箇所の本復旧工法に関する留意事項堤防変状の主要因に応じた本復旧工法と、その実施にあたっての留意事項を以下に示す。
 - 1) 緑川水系(土堤)
 - a) 切返し範囲

ご杉地区、釈迦堂地区、小岩瀬地区、下仲簡地区では、図 4.2.5 に示す通り、川表と川 裏の両方にはらみ出しが生じており、全体の変状が著しかったため、堤体の全切返しを行 った。

野笛下流地区、篙地区、荻地区では、図 4.2.6 に示す通り、川裏もしくは川裏のどちらか一方向のみのはらみ出しが生じていたため、はらみ出しが生じていた側に対して堤体の部分切返しを行った。切返し幅は、緊急復旧で除去できなかったはらみ出し部分とした。



232

b) 必要に応じて行う対策

切返し下端高が地下水位以下となり盛土、締固めが困難な場合、または切返し下端高が 粘性土層内となりトラフィカビリティの確保が困難な場合は、図 4.2.7 に示すように、地 盤改良を併せて行った。また、地盤改良による堤体の浸透性能低下を防ぐため、改良体上 面に川表から川裏へ排水勾配を設け、法尻部にドレーンの設置を行った。ドレーンの設置 高さは、排水性を考慮して堤内地盤高程度とした。



図 4.2.7 トラフィカビリティ確保のために行う対策

2) 白川水系(特殊堤)

白川水系の特殊堤では、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。

本復旧箇所で実施する液状化対策は、河川堤防における本来の耐震対策の目的である "照査外水位を下回る沈下量を、照査外水位を上回る沈下量に留めること"とは異なるた め、本来の耐震対策を目的とした手引きである「河川堤防液状化対策の手引き」⁴⁴に基づ いた対策工の採用がなじまない。

そこで、白川水系における既往の L1 耐震対策箇所では、軽微な変状に留まっており、 後者の目的を達成しているため、本復旧工法として、白川水系における既往の L1 耐震対 策を採用することとする。ただし、本復旧対象箇所と同規模の地震動を受けた対策(近傍 にある対策)かつ基礎地盤の液状化による変形を抑止することから、本復旧箇所と類似の 基礎地盤を有する場所に設置された対策を採用する。 白川 (新地地区)については、直上流で実施されている耐震対策工(川表・川裏に鋼 矢板を設置)の有効性を踏まえ、直上流と同様に川表及び川裏に鋼矢板を敷設する対策を 行うこととした。矢板による液状化対策の模式図を図 4.2.8 に示す。

対策効果のメカニズムは、非液状化層である粘性土層に鋼矢板を根入れし自立構造とす ることで、砂質土の液状化に伴う側方移動を抑止するものである。



図 4.2.8 矢板による液状化対策

よって、参考になる耐震対策の実績がないことから、堤体直下の液状化層である As1 層を置き換える、すなわち地盤改良を実施することとした。地盤改良による液状化対策の 模式図を図 4.2.9 に示す。



図 4.2.9 地盤改良による液状化対策

3) 本復旧の実施範囲(緑川・白川水系共通) 本復旧を行う範囲は、変状が大きかった箇所の上下流端を含む、変状が一連で確認できる範囲とした。 (3) 変状の程度が大きい各本復旧箇所における工法

堤防の変状が比較的大きかった緑川水系 11 箇所(緊急復旧箇所)と白川 3 箇所の本復旧の考 え方および本復旧工法を図 4.2.10~図 4.2.34 および表 4.2.3 に示す。

緑川水系において、川表および川裏の両方にはらみ出しが生じていた、上杉地区、新迦望地 区、小岩瀬地区、下仲間地区については「全切返し+地盤改良+ドレーン」、川裏側にはらみ 出しが生じていた野笛下流地区、篙地区、荻地区については「川裏切返し+地盤改良+ドレー ン」による本復旧を行うこととし、津志笛地区については「法面緩勾配化+水路再構築」によ る本復旧を行うこととした。また、笛笛地区および下熱笛地区については緊急復旧工事で地 震前の堤防機能を確保できていると考えられるため、本復旧は行わないこととした。

白川水系の3箇所については、「全切返し+液状化対策」による本復旧を行うこととした。

				本	復旧箇所	ŕ		液状	化の	Г	忘急対応		本復旧方針				
풍문		本復旧	を実施	しない箇所	は緊急復	旧工事の	範囲を()で示す	懸念	箇所		(参考)		十伤口				
	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	本復旧 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)	litett 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	。だ 野田下流	0		切返し	2m	4m	0	・川裏側のみ液状化によりはらみ見 出すような変形 川裏側切返し	川裏切返し + 地盤改良 + ドレーン		
	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	动高	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 000	0k200+55	255	UA 5 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	n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		
Ė	白川	白川	左岸	8k400+170	8k600+148	231	^{じゅうぜんじ} 十禅寺	×	0				0	"	<mark>全切返し</mark> + 全面地盤改良		

表 4.2.3 本復旧箇所一覧表

○: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。

緑川左岸 18/403~18/645 【田口地区】

本復旧の考え方

・堤防の変状は縦断クラックのみであり、応急復旧で変状部分を切返し済であることから、応急復旧にて 復旧を完了とする。



図 4.2.10 本復旧の考え方(田口地区)

。 緑川左岸 20/652~20/765 【津志田地区】

本復旧の考え方

・法面を緩勾配化し、水路を堤内側に移動、再構築する。





加勢川右岸 9/775~9/855 【下無田地区】

本復旧の考え方

・応急復旧によりクラック部分と高水敷以上の堤体土が切り返され、背後地盤も高いことから、応急復旧にて復旧を完了とする。



図 4.2.12 本復旧の考え方(下無田地区)

本復旧の考え方

- ・川裏側にはらみ出しが生じていたため、堤体の部分返し(川裏側切返し)を行う。
- ・切返し幅は、応急復旧で切返ししきれなかった、縦断クラック下部から川裏側へ動き出したと推測される範囲とする。縦断クラックから動き出していない部分(川表側)1m程度を巻き込んだ範囲とする。
 ・切返し深さは、川裏堤防下部で液状化したと想定される範囲までとする。



図 4.2.13 本復旧の考え方(野笛下流地区)

- ・地下水位以下、Ac1 層直上部を無処理で盛土・締固めすることが困難であるため、地盤改良を併用した切 返しを行う。
- ・開削勾配は1:1.0とする(現場は段切りを行う)。
- ・改良範囲は、切り返しの範囲内の想定液状化層を置き換える範囲とする。
- ・地盤改良による堤防の浸透性能低下の懸念配慮として、ドレーンを設置する。



図 4.2.14 本復旧工法 (野笛下流地区)

縁川左岸 8/250~8/610 【上杉地区】

本復旧の考え方

- ・川表・川裏側両方に変形(沈下・はらみ出し)が生じているため、堤体の全切返しを行う。
- ・切返し深さは、堤体下部で液状化したと想定される範囲までとする。



- ・地下水位以下、Ac1 層直上部を無処理で盛土・締固めすることが困難であるため、地盤改良を併用した 切返しを行う。
- ・地盤改良による堤防の浸透性能低下の懸念配慮として、ドレーンを設置する。



図 4.2.16 本復旧工法(上杉地区)

緑川左岸 9/300~9/420 【釈迦堂地区】

本復旧の考え方

・川表・川裏側両方に変形(沈下・はらみ出し)が生じているため、堤体の全切返しを行う。

・切返し深さは、堤体下部で液状化したと想定される範囲までとする。



図 4.2.17 本復旧の考え方(釈迦堂地区)

- ・地下水位以下、Ac1 層直上部を無処理で盛土・締固めすることが困難であるため、地盤改良を併用した 切返しを行う。
- ・地盤改良による堤防の浸透性能低下の懸念配慮として、ドレーンを設置する。





参川左岸 10/800~11/000 【高地区】

本復旧の考え方

- ・川裏側にはらみ出しが生じていたため、堤体の部分返し(川裏側切返し)を行う。
- ・切返し幅は、応急復旧で切返ししきれなかった、縦断クラック下部から川裏側へ動き出したと推測され る範囲とする。縦断クラックから動き出していない部分(川表側)1m程度を巻き込んだ範囲とする。
- ・切返し深さは、川裏堤防下部で液状化したと想定される範囲までとする。



図 4.2.19 本復旧の考え方(鶯地区)

- ・地下水位以下、Ac1 層直上部を無処理で盛土・締固めすることが困難であるため、地盤改良を併用した 切返しを行う。
- ・開削勾配は1:1.0とする(現場は段切りを行う)。
- ・改良範囲は、想定される液状化層を全て置換える範囲とする。
- ・地盤改良による堤防の浸透性能低下の懸念配慮として、ドレーンを設置する。



図 4.2.20 本復旧工法(篙地区)

禄川左岸 6/200~6/405 【小岩瀬地区】

本復旧の考え方

- ・川表・川裏側両方に変形(沈下・はらみ出し)が生じているため、堤体の全切返しを行う。
- ・切返し深さは、堤体下部で液状化したと想定される範囲までとする。





&川左岸 12/233~12/303 【永地区】

本復旧の考え方

- ・川裏側にはらみ出しが生じていたため、堤体の部分返し(川裏側切返し)を行う。
- ・切返し幅は、応急復旧で切返ししきれなかった、縦断クラック下部から川裏側へ動き出したと推測され る範囲とする。縦断クラックから動き出していない部分(川表側)1m程度を巻き込んだ範囲とする。
- ・切返し深さは、川裏堤防下部で液状化したと想定される範囲までとする。



- ・地下水位以下、Ac1 層直上部を無処理で盛土・締固めすることが困難であるため、地盤改良を併用した 切返しを行う。
- ・開削勾配は 1:1.0 とする (現場は段切りを行う)。
- ・改良範囲は、想定される液状化層を全て置換える範囲とする。
- ・地盤改良による堤防の浸透性能低下の懸念配慮として、ドレーンを設置する。



図 4.2.24 本復旧工法(影地区)

本復旧の考え方

- ・応急復旧によりクラック部分と堤体土が切り返されている箇所は、背後地盤が H.W.L 以上であり、応急復 旧にて復旧を完了とする。
- ・一部、応急復旧にて切返しを行っていない箇所があるので、その部分は応急復旧と同等の切返しを行う。









縁川右岸 11/920~12/360 【下仲間地区】

本復旧の考え方

- ・川表・川裏側両方に変形(沈下・はらみ出し)が生じているため、全体切返しを行う。
- ・切返し深さは、堤体下部で液状化したと想定される範囲までとする。





- 本復旧工法 ・地下水位以下、Ac1 層直上部を無処理で盛土・締固めすることが困難であるため、地盤改良を併用した 切返しを行う。
- ・地盤改良による堤防の浸透性能低下の懸念配慮として、ドレーンを設置する。



図 4.2.28 本復旧工法(下仲間地区)

白川右岸 0/000~0/200+55 【新地地区】

本復旧の考え方

本復旧範囲は、液状化範囲より上部の土が液状化の影響を受け、緩み・変形したと想定される、堤体 全体とする。液状化対策範囲としては、堤体の変状に大きな影響を及ぼしたと考えられる As1 層とする。



本復旧の考え方

- ・三面張りの特殊堤として再構築する。
- ・直上流において、耐震対策として川裏および川表法尻に鋼矢板が設置されている。熊本地震による護 岸の変状がなく、液状化対策の目的を果たしていることが確認できたため、実績耐震対策を本区間に 採用する。
- ・実績耐震対策の構造を踏襲し、非液状化層である Ac 層に矢板自立構造となるよう根入れを確保した矢板を、川表・川裏に設置した形状とする。



白川右岸 8/600+80~8/800+124 【蓮台寺地区】

本復旧の考え方

本復旧範囲は、液状化範囲より上部の土が液状化の影響を受け、緩み・変形したと想定される、堤体全体とする。液状化対策範囲としては、堤体の変状に大きな影響を及ぼしたと考えられる As1 層とする。



本復旧工法

- ・本復旧において、堤体は切り返しを行うこととする。
- ・白川における耐震対策の実績は、新地地区(白川右岸0/300~)における想定液状化層下部の粘性土層に矢板自立構造となるよう根入れする構造のみである。当該地(白川右岸8/600付近)は想定液状化層より下部も砂質土層であることから、新地地区と類似の地盤構成ではないため、矢板による対策が効果を発現するとはいえない。当区間においては、近傍に実績がないため、確実な効果が期待できる、物理的に堤体直下の液状化層であるAs1層を置き換える、地盤改良(固結工法)を実施する。
 ・再度地震時に確実にやり替えを行わない護岸の変状に留めるため、液状化層を全面改良(As2層へ着)



白川左岸 8/400+139~8/600+170 【十禅寺地区】

本復旧の考え方

本復旧範囲は、液状化範囲より上部の土が液状化の影響を受け、緩み・変形したと想定される、堤体全体 とする。液状化対策範囲としては、堤体の変状に大きな影響を及ぼしたと考えられる Asc 層、As1 層とする。



図 4.2.33 本復旧の考え方(十禅寺地区)

本復旧工法

- ・本復旧において、堤体は切り返しを行うこととする。
- ・白川における耐震対策の実績は、新地地区(白川右岸 0/300~)における想定液状化層下部の粘性土層 に矢板自立構造となるよう根入れする構造のみである。当該地(白川左岸 8/600 付近)は想定液状化層 より下部も砂質土層であることから、新地地区と類似の地盤構成ではないため、矢板による対策が効果 を発現するとはいえない。当区間においては、近傍に実績がないため、確実な効果が期待できる、物理 的に堤体直下の液状化層である As1 層を置き換える、地盤改良(固結工法)を実施する。
- ・再度地震時に確実にやり替えを行わない護岸の変状に留めるため、液状化層を全面改良(As2層へ着底) とする。



(4) 部分切返し箇所の本復旧後の地震時変形解析

静的地盤変形解析により、本復旧として部分切返しを行う箇所の堤防が、再度大きな地震 を受けたときに堤防機能を損なわない程度の変状に留まることを確認した。

なお、解析手法は、「河川堤防の液状化対策の手引き(平成28年3月)」「5に示される、有限要素法による自重変形解析法を用いた。

【検討手順】

本復旧前のモデルにより解析を行い、解析結果と熊本地震後に確認された実際の沈下 量を比較することでモデルの妥当性を確認する。

で得られたモデルをベースに、本復旧工法(部分切返し+浅層改良)をモデル化し、 熊本地震と同規模の地震が発生した場合の堤防変形量を推定する。

本復旧後の解析結果における沈下量や側方変位に注目し、本復旧の有効性を確認する。

解析で得られた堤防天端の沈下量を表 4.2.4 に、解析を実施した 3 箇所の設定定数を表 4.2.5 ~ 表 4.2.7 に、解析モデル図および解析で得られた変形図を図 4.2.35 ~ 図 4.2.40 に示 す。

3 箇所すべてにおいて、本復旧後の沈下量は現況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。

箇所名			解析による沈下量 (側方変形)				
		(ほらみ出し)	本復旧前	本復旧後			
	79cm	84cm	7cm				
微水川	. 野田下流地区	(川裏: 、川表:)	(川裏: 、川表:)	(川裏: 、川表:)			
<u> </u>	,卓幸万	151cm	128cm	30cm			
	,同地区	(川裏: 、川表:)	(川裏: 、川表:)	(川裏: 、川表:)			
緑川	・シます	37cm	60cm	24cm			
	:水坦区	(川裏: 、川表:)	(川裏: 、川表:)	(川裏: 、川表:)			

表 4.2.4 部分切返し部の解析結果一覧

: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。



図 4.2.35 解析モデル(緑川 :野苗下流地区)

			表 4.2	2.5 設	定定数(〔緑川	:野苗下	流地区	()		
地層	土質	N値	単体重量 γt (kN/m3)	粘着力 c (kN/m2)	せん断 抵抗角 φ(°)	変形係数 E (MN/m2)	細粒分 含有率 Fc (%)	液状化 対象層	繰返三軸 強度比 R _L	相対密度 Dr (%)	物 性 モデル
F(切返し)	砂質土	5	20	0	39	14.0					MC/DP
Bs1	砂質土	3	19	0	30	8.4					MC/DP
Bs2	砂質土	3	17	10	30	8.4					MC/DP
Bs3	砂質土	3	18	0	30	8.4	42 (32)	0	0. 22 (0. 18)	59 (56)	MC/DP
Bs4	砂質土	3	17	10	30	8.4	18	0	0.16	52	MC/DP
Ac1	粘性土	2	17	40	0	8.0					MC/DP
As1	砂質土	12	18	0	38	33.6					MC/DP
Asc	砂質土	4	18	0	33	11.2					MC/DP
Avs	砂質土	5	16	0	39	14.0					MC/DP
Ac2	粘性土	1	15	70	0	14.0					線形弾性
浅層改良			18.5	100	0	20.0		qu=200ki	N/m2, ap=100%		MC/DP







地層	土質	N値	単体重量 γt (kN/m3)	粘着力 c (kN/m2)	せん断 抵抗角 φ (°)	変形係数 E (MN/m2)	細粒分 含有率 Fc (%)	液状化 対象層	繰返三軸 強度比 RL	相対密度 Dr (%)	物 性 モデル
F(切返し)	砂質土	5	20	0	39	14.0					MC/DP
Bs	砂質土	5	19	0	35	14.0					MC/DP
Bsc1(堤内)	砂質土	2	18.5	0	35	5.6	(平均 45)	(O)	(0.18, 0.19)	(57)	MC/DP
Bsc2(堤体)	砂質土	2	18.5	0	35	5.6	平均 45	0	0.18, 0.19	57	MC/DP
Bsc3(堤外)	砂質土	2	18.5	0	35	5.6	平均 50	0	0. 22, 0. 26	60, 62	MC/DP
Ac1	粘性土	2	17.5	40	0	8.0					MC/DP
As2	砂質土	12	20	0	38	33.6					MC/DP
Asc	砂質土	3	17	0	32	8.4					MC/DP
Avs	砂質土	5	16.5	0	40	14.0					MC/DP
Ac2	粘性土	1	16	80	0	16.0					線形弾性
浅層改良			18.5	100	0	20.0		qu=200k	N/m2, ap=100%		MC/DP





			1	ς π.Ζ.Ι							
地層	土質	N値	単体重量 γt (kN/m3)	粘着力 c (kN/m2)	せん断 抵抗角 φ(°)	変形係数 E (MN/m2)	細粒分 含有率 Fc(%)	液状化 対象層	繰返三軸 強度比 RL	相対密度 Dr (%)	物 性 モデル
F(切返し)	砂質土	5	20	0	39	14.0					MC/DP
Bsc1(堤内)	砂質土	3	18	0	34	8.4					MC/DP
Bsc2(堤体)	砂質土	3	18	0	34	8.4	37	0	0. 18, 0. 21	58	MC/DP
Bsc3(堤外)	砂質土	3	18	0	34	8.4	50	0	0. 27	63	MC/DP
Ac1	粘性土	2	18.5	40	0	8.0					MC/DP
As1	砂質土	12	18.5	0	37	33.6					MC/DP
Avs	砂質土	20	15.5	0	38	5.6					MC/DP
Ac2	粘性土	1	17	70	0	14.0					線形弾性
浅層改良			18	100	0	20.0		qu=200kN	/m2, ap=100%		MC/DP



4.3 空洞化に対する復旧の基本方針

4.3.1 三面張堤防の空洞化の対策

三面張堤防について実施した空洞化調査の結果、堤防の全区間において空洞化が無いことを確認したため、対策は実施しない。

4.3.2 樋門・樋管の空洞化の対策

樋門・樋管について実施した空洞化調査の結果、図 4.3.1 に示す4施設において、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、空洞部の充填を行うこととした。



図 4.3.1 空洞化対策を実施した樋門・樋管

空洞化調査および遮水機能確認の結果と、その評価および対策を表 4.3.1 に示す。 空洞化対策を実施した樋門・樋管は今後、重点監視施設としてモニタリングを行う。

	抜上り量		空洞化調査(底盤部)			
16-10.0			空洞確認	遮水機能確認	÷	11 mm
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	計 1四	对 束
^{பびやまようすいひかん} 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1すいひかん} 平田排水樋管	35cm	0cm	ο	-	・底部に空洞はなく健全	要監視
すみよしはいすいひかん 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
^{こうざきはいけいひかん} 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		-	・ 軽微な空洞で有り、経過監視が必要	要監視
^{ぁ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 こうはいすいひかん 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		-	・軽微な空洞で有り、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		-	・軽微な空洞で有り、経過監視が必要	要監視
さぶるうせたはいすいひかん 三郎無田排水樋管	35cm	3cm		-	・軽微な空洞で有り、経過監視が必要	要監視
^{ჾѯかႮかん} 小坂樋管	25cm	0cm	О	-	・底部に空洞はなく健全	要監視

表 4.3.1 樋門・樋管の空洞化調査結果の評価と対策

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。

「樋門補強マニュアル(案)H13.10 国土技術研究センター」によると、空洞が5cm未満であると、「ほぼ健全であり、補修等によって回復が見込める。」とあるため、 空洞5cm未満を軽微とした。

4.4 まとめ

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(緑川および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

- ・緑川水系の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箇所は、堤防天端の沈下量が概ね 50cm 以上であった。
- ・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。
- ・堤体の中の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、いずれも、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
- ・緑川水系の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は、短期間 での復旧が困難であった。このような箇所の天端沈下量は、20cm 以上であった。
- ・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 を行うこととした。
- ・新地地区の対策工法は、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。
- ・輩台寺・半禅等地区の対策工法は、近傍で効果を発揮した既往の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。
- (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。

【参考(引用)文献等一覧】

[1]河川構造物の耐震性能照査指針·解説- 堤防編-,国土交通省水管理·国土保全局治水課,平成 28 年 3 月,p.14.

[2]河川堤防の耐震点検マニュアル,国土交通省水管理・国土保全局治水課,平成28年3月,p.19.

[3]岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進, 地震時地盤液状化程度の予測について, 土と基礎, Vol28,No4,1980

[4]土木研究所資料 河川堤防の液状化対策の手引き, (国研)土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム,平成 28 年 3 月,p19

[5]同上,p8

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

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、平 成28年5月からの出水期の間、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。図5.1.1に熊本地震後の対応スケジュールを示す。



5.1.1 水防資機材の確保

応急復旧工事後の出水期に入る平成28年4月末までに、写真5.1.1の加勢川や白川の例に示 すように、変状が確認された箇所の近傍に水防資機材を確保・配備した。熊本地震後の出水期中 及び出水期後も引き続き、大型土のう等の水防資機材等について堤防の復旧状況等に応じて備蓄 し、緊急時の即座な復旧処置ができるようにした。



写真 5.1.1 水防資機材の確保状況例

5.1.2 河川堤防の復旧状況に応じた洪水予報および水防警報の見直し

応急復旧工事後の出水期(平成28年5~10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、図 5.1.2 及び表 5.1.1 に示すとおり、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)。

なお、基準水位の引き下げ幅については、堤防のクラック深を概括的に確認し、レベルを1ラ ンクずつ引き下げて運用することとした。但し、水防団待機水位は、水防団の準備時間を考慮し 新たに設定した。



図 5.1.2 基準水位の暫定運用

水系名	水系名 予報区域名 河川名 洪水予報 基準地点		量水標設置場所	水防団 待機水 位	氾濫注 意水位	避難判 断水位	氾濫危 険水位	
					レベル1	レベル 2	レベル3	レベル4
緑川	緑川水系	緑川	中甲橋	下益城郡美 里町岩下	2.00	3.00	4.10	4.60
					1.70	2.00	3.00	4.10
緑川 緑川水系 緑川 浜戸川	緑川 浜戸川	城南	城南 熊本市南区 城南町大字	3.30	4.30	5.80	6.20	
				-μ)	2.90	3.30	4.30	5.80
緑川	緑川水系	御船川	御船	上益城郡御 船町大字御	2.00	3.00	3.60	4.30
				船	1.60	2.00	3.00	3.60
緑川	緑川水系	加勢川	大六橋	上益城郡嘉 島町三郎無	2.50	3.20	3.90	4.40
			田	2.20	2.50	3.20	3.90	
自川	代継橋	代継橋	熊本市中央 区紺屋今町	2.50	3.70	4.70	5.00	
						2.50	3.70	4.70

表 5.1.1 各河川における基準水位 上段:現行の基準水位

下段:暫定運用の基準水位

5.1.3 緑川ダムの洪水対策

緑川ダムでは、図 5.1.3 に示すとおり、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 増強した。併せて、ダムからの最大放流量を約 500m³/s 引 下げ、出水時の緑川水系の水位低減を図った。



図 5.1.3 緑川ダムの洪水対策

5.1.4 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。 表 5.1.2 に出水期の河川巡視体制を示す。

項目	地震前 復旧期間中の出水期		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		

表 5.1.2 地震前と復旧期間中の出水期の河川巡視体制

平常時、出水時の河川巡視



写真 5.1.1 巡視・点検の状況

5.2 熊本地震後に発生した出水と巡視結果

5.2.1 出水規模と巡視結果

熊本地震後の出水期間中(平成28年5~10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。そのうち最大の出水となった平成28年6月20~21日 出水について、両観測所の位置を図5.2.1に、ハイドログラフを図5.2.2及び図5.2.3に示す。 この出水は過去の主要洪水と比較しても比較的大きい規模であった。

熊本地震後の出水期間中(平成 28 年 5 月~9 月)に、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。



図 5.2.1 水位観測所位置

城南橋観測所(緑川 13k500 付近)





図 5.2.2 ハイドログラフと過去 10年の年最高水位(城南橋観測所)

代継橋観測所(白川 12k150 付近)





図 5.2.3 ハイドログラフと過去 10年の年最高水位(代継橋観測所)

5.2.2 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、5.1.3 で示した緑川ダムの暫定運 用による洪水調節を実施した。この洪水調整により、図5.2.4 に示すとおり、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。



図 5.2.4 平成28年6月出水における緑川ダムの洪水調節と水位低減効果

5.2.3 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、熊本地震前の定期横断測量と重ねるこ とで、はらみ出し等の堤防の変状有無の確認を行った。

図 5.2.5 に代表横断図の位置を、図 5.2.6~図 5.2.7 にその位置における横断の重ね合わせ図 を示す。その結果、各箇所とも広域沈下の影響はあるものの、出水や余震による堤防の変状は確 認されなかった。



図 5.2.5 応急復旧工事範囲外で出水や余震による堤防の変状有無を確認した代表断面の位置



図 5.2.6 代表位置の横断図の重ね合わせ(1/2)



図 5.2.7 代表位置の横断図の重ね合わせ(2/2)

- 5.3 堤防の本復旧工事完了後の河川管理
- 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 堤防の本復旧工事、樋門・樋管の空洞化対策工事後に、緑川・白川における基準水位及び 河川巡視頻度を、熊本地震前の運用へ戻す考え方を、以下に示す。

また、地震前、本復旧工事中および本復旧工事完了後の河川巡視体制を表 5.3.1 に示す。 【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完了しているか。 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。



【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。 最新の横断測量をもとに「5.1.2河川堤防の復旧状況に応じた洪水予報及び水防警報の見直し」に示す水防 警報及び洪水予報の基準水位の見直しが必要であるか検討中である。

表	5.3.1	地震前、	本復旧工事中および本復旧工事完了後の河川巡視体制	l
~	••••			

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

(2) 緑川ダム

前述の水防警報及び洪水予報の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を熊本地震前の運用に戻す。 5.3.2 本復旧工事後のモニタリング

本復旧工事完了後の緑川・白川水系では、変状が無いまたは軽微な箇所と、大きな変状が 発生し本復旧を実施した箇所等が縦断的に混在することとなる。

このような状況を受け、本復旧工事完了後の堤防機能を確認することを目的として、堤防 及び堤防と一体又は堤防に一部貫入する施設に対して、モニタリングを行う。

なお、モニタリング期間については、復旧工のなじみやこれまでの実績で一度は大きな出 水を受ける期間であると想定される、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で引き続きモニタリングを実施する。 │(1)堤防

1)本復旧工事区間(堤体の大規模切返し箇所)(図 5.3.1参照)

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)本復旧工事箇所以外の重点監視区間(図 5.3.5 参照) 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(図 5.3.9、表 5.3.4 参照)
 - 空洞化対策を実施する樋門・樋管(4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)に加え、連通試験(遮水性の確認)を実施する。
 - 2) 軽微な変状が確認された樋管(32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)(図 5.3.10参照)
 - 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。

- (1) 堤防のモニタリング
 - 本復旧工事区間(堤体の大規模切返し箇所)のモニタリング
 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。

なお、モニタリング箇所は、本復旧工事を実施した緑川の堤防7区間、白川の特殊堤 3区間の計10区間とする。



図 5.3.1 本復旧工事区間のモニタリング実施位置

本復旧工事区間における堤体の沈下計測・外観確認

図 5.3.2 に示した代表断面の天端及び法面に設置した観測点において定点測量を実施し、標高計測を行い不同沈下等の確認を行う。また、堤防本体及び周辺の亀裂や漏水等、堤防の耐浸透機能を損なうような変状が生じていないかを目視により確認する。目 視点検のポイントを表 5.3.2 に示す。また、洪水時巡視時には、熊本地震で噴砂が発生 した区間の近隣に噴砂がないかも併せて確認する。

標高計測と目視確認の頻度及び時期は、標高計測は出水期前(1回/年(11月~1月)) 目視確認は洪水時巡視時に行う。



図 5.3.2 観測点設置位置

本復旧工事区間において洪水時巡視で実施する目視による確認のポイント 外観目視点検は、表 5.3.2 に示す状態把握のポイントを注視する。

表 5.3.2 目視点検のポイント

部位	状態把握のポイント
审社面	法面に変形はないか。
表/云回	法面に亀裂はないか。
南小印 南计日	法尻周辺が泥濘化していないか。
表小校・表広仇・	小段、法尻、法尻周辺の堤内地に漏水、噴砂はないか。
表広仇同辺の坂内地	明らかに噴き上がる漏水はないか。
樋門等構造物接合部	堤体と構造物との境界から漏水、噴砂は生じていないか。
天端	堤防天端に亀裂、陥没等の変状はないか。
ドレーン	排水不良や擁壁及び周辺の変状はないか。

本復旧工事区間におけるドレーンとその周辺の外観目視

本復旧工事では、堤体下部に地盤改良を実施している。そのため、堤体内浸潤面の上 昇の恐れがあることから、堤体内の速やかな排水を目的に川裏側にドレーンを設置して いるが、ドレーンが、目詰まり等により機能しなくなること等が懸念される。

そこで、ドレーン機能の確認のため、ドレーン工から円滑に排水が行われているか排 水状況を洪水時巡視において目視により確認する。ドレーンの目視確認の際のポイント を図 5.3.3 に示す。



図 5.3.3 ドレーンの外観目視ポイント

本復旧工事区間の上下流端部の外観目視

洪水時巡視時に本復旧工の上下流端部(既存堤防との接合部)において、漏水・陥没 等が発生していないかを目視により確認する。本復旧工事区間上下流端部の外観目視の 際のポイントを図 5.3.4 に示す。



図 5.3.4 本復旧区間上下流端部の外観目視ポイント

2) 重点監視区間(本復旧工事区間以外)のモニタリング

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も、内在的な堤体機能の 低下も考えられるため、図 5.3.5 および表 5.3.3 に示す範囲を重点監視区間として設定す る。

重点監視区間は、本復旧工事区間の基礎地盤と類似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。重点監視区間については、代表断面の測量を出水期前1回/年(11 月~1月)に行う。

I重点監視区間(類似土質構成)のモニタリング延長 L 16.0km) 国点監視区間(堤体砂質土)のモニタリング延長 L 25.6km)

 ・ 一度点監視区間(堤体砂質土)のモニタリング延長 L 25.6km)

図 5.3.5 に示す範囲をモニタリング区間と設定した。

	左右岸	重点監視区間									
河川名		重点監	視区間 (類	頁似土質	構成)	重点重	監視区間 (堤体砂蟹	質土)		
		No.		区間		No.		区間			
		緑R-1	8k700	~	8k775	緑R-1	5k500	~	5k550		
	大臣	緑R-2	9k250	2	10k000	緑R-2	6k800	~	6k850		
	口戶	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						
	七世	加L-1	3k200	~	4k800	加L-1	7k500	~	10k100		
	生件	加L-2	5k200	~	7k500						
		御R-1	0k500	~	4k100	御R-1	0k000	~	0k500		
谷田南八 111	右岸					御R-2	4k100	~	5k000		
1 · / 티아이파						御R-3	5k200	~	6k200		
	左岸					御L-1	4k400	~	6k000		
	右岸	白R-1	4k200	~	4k400						
白川	十 世	白L-1	4k300	~	4k500						
	生用	白L-2	6k600	~	6k700						

図 5.3.5 重点監視区間(本復旧区間以外)の位置 表 5.3.3 堤防の重点監視区間(本復旧区間以外)の一覧表

重点監視区間(本復旧工事区間以外)における目視(巡視)

重点監視区間については、各区間の氾濫注意水位に達した場合の目視点検を基本とし、前述の表 5.3.2 に示す点検のポイントを踏まえ本復旧工事箇所と同様に実施する。

重点監視区間(本復旧工事区間以外)における測量調査

図 5.3.6 に示す、代表断面位置(変状の大きかった箇所と類似土質の位置)におけ る横断測量を定期的に実施し、図 5.3.7 に示すように新旧の横断図を重ね合わせるこ とによって、堤防の変状、特に外観目視では把握が難しい、はらみ出し等の有無を確 認する。

測量の頻度及び時期は、出水期前(1回/年(11月~1月))とする。



図 5.3.6 測量を行う代表断面位置



図 5.3.7 横断図重ね合わせ例

3) 堤防全区間のモニタリング

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。

移動計測車両システム(MMS)による沈下有無の把握

緑川・白川水系において、熊本地震後に堤防変状確認を目的として MMS による調 査が実施されている。MMS の概要を図 5.3.8 に示す。堤防天端沈下等の継時変状を 把握するために、本復旧後も同様の継続調査を実施する。なお、MMS による調査は、

)車両通行が可能な区間に限定されること、)草や芝等の繁茂状況により、のり 面はらみ量の正確な把握が困難であることから、堤防天端の沈下把握が主目的となる。 測量の頻度及び時期は、出水期前(1回/年(11月~1月))とする。



図 5.3.8 移動計測車両システム(MMS)の概要

UAV(ドローン)による測量の補完

UAV(ドローン)を用いた写真測量は、これまで航空・地上レーザー測量では計測 困難であった場所及び人の立ち入れない場所等において、詳細な3次元データを短時 間に計測する方法である。ただし、横断測量と比較した場合に、植生等の影響もあり、 のり面におけるはらみ出し等の計量精度が劣る。このため、堤防天端の沈下把握を目 的とした MMS 測量ができなかった範囲(車両通行ができない範囲等)の補完調査手 法とする。白川河口部において熊本地震後に UAV により撮影された画像を写真 5.3.1





地震後の白川河口部における UAV による撮影画像

写真 5.3.1 白川河口部における UAV による撮影画像

(2) 樋門・樋管のモニタリング

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)を対象とし、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、 復旧対策直後に連通試験を実施し、遮水性の確認を行う。

モニタリング対象の樋門・樋管位置を図 5.3.9、重点監視対象等の一覧を表 5.3.4 に示す。

【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)

【空洞化対策を実施する樋門・樋管(重点監視対象)】(上記 36 施設のうち4 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)
- ・連通試験



図 5.3.9 モニタリング対象の樋門・樋管位置

に見る	河川位署		*****	5cm以上の 抜け上がり	調査・対応の結果	モニタリング	グ対象施設
河川名		믜川1⊻直	加設名	: あり - :なし	∷対策実施 - ∶要監視		重点監視 対象
		4/475	井樋山用水樋管		-		
		8/545	平田排水樋管		-		
		10/600	本山排水樋管	-	-		
	左岸	14/290	大江第2樋管	-	-		
сыц		14/870	大江第3樋管	-	-		
日川		15/090	大江第4樋管	-	-		
		17/100	渡鹿樋管	-	-		
		7/405	下水処理場樋管	-	-		
	右岸	7/609	中部浄化センター放流樋管	-	-		
		16/347	宇留毛樋管	-	-		
		-0/230	住吉排水樋管				
	左岸	0/220	直築排水樋管	-	-		
		4/085	莎崎排水樋管				
緑川		4/205	上莎樋管	-	-		
		8/470	上杉樋管	-	-		
		8/650	赤見排水樋管				
	右岸	0/900	内田川吐出樋管	-	-		
		2/395	杉島樋管	-	-		
		3/820	大渡樋管	-	-		
	左岸	5/677	犬渕1号排水樋管				
		5/849	犬渕2号排水樋管	-	-		
		8/000	上仲間1号樋管	-	-		
加勢川		8/300	上仲間2号樋管	-	-		
		9/500	古川排水樋管		-		
		10/165	鯰排水樋管		-		
		10/800	三郎無田排水樋管		-		
	<u>+</u> ш	0/500	六間用水樋管	-	-		
	石厈	1/750	出九郎樋管	-	-		
	左岸	2/575	小坂樋管		-		
2月10月11日		0/645	川田樋管	-	-		
11 / 1001	右岸	1/676	八竜樋管	-	-		
		5/150	御船第4排水樋管	-	-		
	左岸	4/150	馬之瀬樋管	-	-		
浙百川		3/100	渡場排水樋管	-	-		
洪广川	右岸	3/943	源三郎排水樋管	-	-		
		4/780	太郎丸排水樋管	-	-		
	施設数		36	10	4	36	4

表 5.3.4 モニタリング対象の樋門・樋管一覧

モニタリング対象の樋門・樋管の数 (変状を確認した樋門・樋管)	36
空洞化対策を実施した、重点監視を 行う樋門・樋管の数	4

(3) 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・閘門(4施設) 堰(3施設)について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。

モニタリング対象とした水門・閘門、堰の位置図を図 5.3.10 に示す。

【堤防と一体又は堤防に貫入している施設】

・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)。



(4) 各施設に対するモニタリング手法等のまとめ

本復旧後の平成 29 年 5 月から実施する各施設のモニタリング手法及び頻度・時期、モニタ リング項目の一覧を表 5.3.5 に示す。また、本復旧後のモニタリングの流れを表 5.3.6 に示 す。

表 5.3.5 各施設に対するモニタリング手法、頻度・時期の一覧

モニタリング対象、頻度、項目の整理

			一										
	対 象		洪水時巡視 (氾濫注意水位以上 が発生した場合毎に)	点検 (出水期前 年1回) (11月~1月)	平常時巡視 (週2回)								
			モニタリング項目										
堤防	本復旧工事区間(堤体の大規模切返))箇所)	~										
	本復旧工事区間以外の	類似土質(堤体·基礎地盤)	~										
	重点監視区間	堤体砂質土	~										
	堤防全区間				通常测知语句								
樋門	亦壮た確認した通問・通答	空洞化対策実施樋管(4施設)	~		迪吊 巡祝項日								
	反仈で唯祕 ∪ に1世 」1世 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

対 象	項目	確認すべきポイント							
堤防	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	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。							
	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)、								
	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。							
	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。							

表 5.3.6 本復旧後のモニタリングの流れ

				H29年度							H30年度										
			実施頻度·時期	4月	5月	6月	7月出	<u>8月</u> K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
通常点検	除草		2回/年(5月~11月)		台風期	東検のた	めの除れ	<u>11</u>	出水期 ◀	前点検	こ備えた ━━━━►	除草			台風期	点検のため	の除草	出力	期前点	検に備え	★日本
	点検		2回/年(8月、12月)				台	風 期点核			出力	k期前点 ◆→	検						台	風期点	灾
	補修	通常点検により対策が必要な施設					損	傷等発月 ◀── -	の場合	の補修			損傷	等発見の対	易合の補	修					
通常点検に加える点検		堤防(本復旧工事箇所)	1回/年·(11月~1月)								堤似	の沈下	計測								
	点	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										
	検	堤防全区間	1回/年·(11月~1月)								MMS	則量 (UA)	V補完)								
		樋門·樋管	復旧対策直後		達通試驗	¢(4施設)					┫ –	空洞化詞	■査								
	補修	点検により対策が必要な施設			- -			損傷等	発見の	易合の補	修										
		堤防(本復旧工事区間)	氾濫注意水位に達した時		•	堤体及て	堤体周	辺、ドレ-	ンの目視								堤体	及び堤体	は周辺、	·ν-νσ	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								+ ¹	星体及び	堤体周	辺の目視	•
洪水	巡視	樋門·樋管	氾濫注意水位に達した時		•	- 樋管 (抜け	及びそ(上がり1) 周りの 洞水の	目視 確認)								•	通管 <u>及</u> て 友け上か	その周	〕の目視 Kの確認	
時巡視		水門·閘門	氾濫注意水位に達した時		•	(抜け	水門・開 上がり1	門の目礼 洞水の	し 確認)								▲ (1	水門 抜け上か	·開門の りや漏z	目視 Kの確認)
		堰	氾濫注意水位に達した時		•	(抜け	<u>堰の</u> 上がりや	目視 ■漏水の	確認)								↓ (1	± 抜け上か	<u>寝の目</u> 初 いや漏;	K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	易合の補	修		L								
5.4 白川の土砂流入と土砂堆積に関する検討・対応策

5.4.1 地震後の対応(平成28年度における対応)

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、地震によって河道内に堆積した 大量の土砂が、出水により下流へ土砂が流送され、中流に再堆積することで河床が上昇し、治水 安全度の低下が発生している。

この対応として、現在白川においては、図 5.4.1 に示す通り、河道内に堆積した土砂について 随時河床掘削を実施しており、平成 29 年 3 月末時点で堆積土砂を約 13 万 m³、流木を約 6 千空 m³撤去した。

流木・土砂撤去数量 流木 (空m²) 土砂 (m³) 8,000 140,000 流木(国区間) 9月20日時点 7月4日時点 7,000 120,000 6,000 100,000 5,000 80,000 白川橋下流(雁本市本山)【土砂撇去前】 白川橋下流(熊本市本山)【土砂撤去後】 4,000 7月7日時点 60,000 3,000 40, 000 2.000 20,000 1,000 **長六橋【流木撒去** 六措(流木撤去前) < 堆積土砂の撤去 > 0 0 5/11~5/314 6/1~6/3014 9/3~9/30 9/3~9/30 10/1~11/4 11/5~1/3 11/7~1/33 11/3~1/6 11/3~1/3 11/3~1/6 11/3~1/3 11/3~1/2 11/3~1/2 2/4~2/10 2/12~2/3 2/4~2/10 2/12~2/3 3/4~3/10 3/11~3/17 2/12~3/10 2/12~3/2 3/11~3/17 3/11~3/17 2/2~3/2 3/11~3/17 2/2~3/2 3/11~3/17 2/2~3/2 3/11~3/17 2/2~3/2 3/12~3/17 3/12~3/ ·国管理区間:約13万m³ <流木の撤去> ·国管理区間:約6千空m³ (平成 29 年 3 月末時点)

【土砂掘削状況(平成29年3月末時点)】

図 5.4.1 白川における流木・土砂の撤去状況

5.4.2 白川の土砂管理に関する今後の対応について

当面の対応とモニタリングを以下のとおり実施する。

【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

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位ないし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・樋管の空洞化対策工事が完了し、それまでの点検・調査で堤 防の変状がないこと、特殊堤、樋門・樋管周辺等で空洞がないことを確認した上で、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く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 状が確認された樋門・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

6.1 熊本地震対応での課題と対応手法

本報告書は、堤防変状等の早期復旧の観点から、限られた時間の中で実施された調査結果に基づき、変状要因の分析やその復旧方針をとりまとめたものである。

本節では、本委員会を通じて明らかとなった主な技術的課題を整理し、その対応手法等の提案を行うものである。

なお、本節の提案事項の実施については、河川管理者としてその必要性や重要性、費用に対す る効果等に鑑み、適切に取り組まれることを期待するものである。

(1) 堤防変状の確認に関する課題と対応(外形の把握)

地震により変状した堤防の機能や性能を評価・推定するための迅速な情報把握のため、 下記の課題解決が望まれる。

- 1) 堤防の外形を正確かつ詳細に把握することが必要(地震前・地震後)
- 2) 前震・本震・余震における変状拡大過程を詳細に把握することが必要(地震後)

これら課題への対応について以下のとおり提案する。

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。

(2) 地形、地質・堤体土質特性の確認に関する課題と対応(地盤及び堤体内部の把握)地震により変状した堤防の変形メカニズムや復旧方法を検討するための迅速な情報把

握のため、下記の課題解決が望まれる。

- 1) 堤防位置の治水地形分類を治水地形分類図から正確に把握しておくことが必要(地震前)
- 2) 堤防縦横断方向の基礎地盤や堤体材料の土質特性・地下水位を詳細に把握し、液状化 発生が予測される区間を予め推定しておくことが必要(地震前)
- 3) 上記 2)の推定と実際の変状が異なる箇所において、その要因分析が必要(地震後)
- 4) 開削調査実施時における地下水位以深の土質構成の把握が必要(地震後)

これら課題への対応について以下のとおり提案する。

a) 平常時(地震発生前)の対応

上記 1)、2)の課題については、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章で示す"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)を予め把握するための資料収集整理を行う。

具体には、本委員会で活用した地質情報等の資料は、日常的に保管すべき資料(治水地 形分類図、縦横断測量データ、地質縦断図、地質柱状図(ボーリング、サウンディング) 堤防開削調査結果、土質試験結果、築堤履歴)、堤防被災時に活用する基礎資料(目視点 検結果、浸透や地震による被災履歴、既設対策工)堤防復旧後に更新すべき基礎資料(被 災区間と被災状況(形態・規模・主要因等)浸透や地震による被災後の調査結果、復旧 工法)に分類し整理することで今後の地震対応時に有益な資料となる。なお、これらの資料整理の際には、情報更新が効率的に実施できるよう、GISデータベースを基本とするシ ステムの活用も有効であり、東北地方整備局で運用している「堤防情報図」¹¹が参考とな る。

b) 震後の対応

上記 3)の課題については、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)区間について詳細土質等調査を検討・実施し、要因分 析を行う。

上記 4)の課題については、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検討にあたっての課題と対応

熊本地震の災害復旧事業申請にあたっては、事前に詳細地質調査を実施する期間が確保 できなかったことから、堤防の沈下量が概ね50cm(土堤)、20cm(三面張特殊堤)を目安 として、対策区間及び対策工法を選定した。

緑川(土堤)においては、堤防の比高差や推定される液状化機構などから、概ね 50cm の 沈下を目安としたが、堤体の沈下とゆるみの関係は、堤防の形態や被災機構により異なる。 また、白川(三面張特殊堤)においては、短期間での復旧が困難な比較的大きな変状とし て、概ね 20cm の沈下を目安としたが、復旧に要する期間は堤防の構造により異なるため、 他河川において適応性があるわけではない。

災害復旧工事の実施にあたっては、詳細な調査を行い復旧工法を決定すること、との本 委員会からの指摘により、はらみ出しの有無確認や開削調査等を実施した上で復旧工法を 決定した。

以上の点を踏まえ、要対策区間や対策工法を短期間に効率的に設定するため、下記の課 題解決が望まれる。

- 1) 堤体全体を切り返す区間を定める閾値の考え方について整理が必要(地震後)
- 大きな変状の発生区間と類似地質構成を有しながら変状発生が認められなかった(または軽微な)区間への対応のあり方について整理が必要(地震後)

これら課題への対応について以下のとおり提案する。

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。

また、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。

また、短期間で実施可能な詳細地質調査手法や、詳細地質調査を代替できるような所要 期間の短い地質調査手法の検討(技術開発)が必要である。

b) 震後の対応

上記 1)の課題については、堤体や基礎地盤の詳細調査(開削調査を含む)を実施した結果、堤体のはらみ出しや液状化によるクラック及び砂脈が確認され、堤体全体を切り返した箇所についてその妥当性が認められる結果であった。

但し、堤防の沈下が上記閾値より大きい場合でも堤体にはらみ出しが見られない箇所 (御船川右岸 2.5k 付近他)や、沈下量が小さくてもはらみ出しが生じている箇所(緑川 左岸 12.5k 付近(永地区))もあったことから、堤防の沈下量のみで安易に閾値を設定す るのではなく、堤体のはらみ出しやクラック等を含めた外形の変化や、上記a)における堤 体の沈下やはらみ出し等の外形の変化量とゆるみの関係、発災後に実施する詳細地質調査 (開削調査を含む)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。

上記 2)の課題については、平成 2 9 年度に拡充された、大規模災害関連事業の活用など、 適用可能な事業を確認し、必要な調査により要対策箇所を選定し実施する。

(4) 樋門の健全性確認における課題と対応

樋門の変状に伴う二次被害を回避するため、下記の課題解決が望まれる。

1) 樋門の空洞化調査所要期間(時間)の短縮が必要

この課題への対応について以下のとおり提案する。

a) 平常時(地震発生前)の対応

樋門の点検・調査時に使用した調査孔を可能な限り残置し、その位置を台帳に整理する などして把握し地震後の速やかな調査に備える。

また、樋門函内が湛水状態においても函内及び函体周辺堤防の変状や空洞化調査が可能 となる調査手法の検討(技術開発)が必要である。 b) 震後の対応

上述した調査孔を活用して CCD カメラの挿入や連通管試験の実施、または、物理探査 技術等を応用した新たに開発される調査手法を用いて空洞化調査を速やかに実施する。

- (5) 本復旧後のモニタリングにおける課題と対応 本復旧後のモニタリングについては、第5章に示すとおり広範囲の河川堤防を対象とし ており、本復旧工の機能確認やその他の監視区間の堤防健全性確認が必要となる。この ためには、下記の課題解決が望まれる。
 - 1) 堤体のモニタリングの合理的な対応方法について研究開発が必要
 - 2) ドレーン敷設個所の排水機能及び効果の合理的な確認手法について技術開発が必要

これらの課題への対応について、以下のとおり提案する。

a) 平常時(地震発生前)の対応

上記 1)の課題については、熊本地震を経験した本復旧後の堤防において、区間毎に、「目 視」、「定点観測」、「MMS や UAV」等によりモニタリングを実施予定であるが、その頻度 と精度の関係を踏まえ、効率的かつ経済的なモニタリング手法の研究開発が必要である。 例えば、GNSS 測量を活用した無線データ収集システムの活用などが考えられる。

上記 2)の課題についてはドレーン工の排水機能を簡易に確認・把握できる計測手法の技 術開発が必要である。

なお、モニタリングの要否を峻別するための技術の蓄積と開発も必要である。

(6) その他

震後における初動時調査、被災形態に応じた調査内容、被災原因の推定、被災原因に応じた復旧工法、等の項目を整理した「震後対応の手引き」¹²¹について、今回の熊本地震で 得られた知見を踏まえた改定を提案する。

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

本節では、委員会で収集した資料のみでは、場所により異なる堤防変状の程度の違いを明確に 説明することができないことや、地震後の堤防の浸透機能の変化を評価する手法が確立されてい ないなど、中長期的視点で解明していくべき技術的課題を整理し、今後起こりうる大規模地震に 対する知見の向上に資する項目について提案を行うものである。

なお、これらの提案項目については、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

熊本地震では、堤防天端中央のクラック(亀裂)発生による堤体の分断が目立った。また、天端の沈下のみに留まらず、のり面のはらみ出しやのり尻の側方移動等の変形が多くの箇所で認められた。これらの箇所では変形に伴い堤体内部にゆるみが生じ堤体の健全性が損なわれたため、本復旧にあたってはこの範囲を確実に除去し切り返すこととした。

現行の液状化による堤防の変形予測は、土(堤体や基礎地盤)が液状化した後の性質や、 土の応力ひずみ関係と過剰間隙水圧の発生特性に着目し、変形量として静的解析あるいは 動的解析で計算した値を用いて被害の度合を推定している。しかし、いずれの手法も連続 体としての解析であるため、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。

大きな変形が発生した箇所は、緑川水系・白川水系に点在しており、各変状箇所の液状 化の程度や静的地盤変形解析による挙動再現・復旧工法の検討にあたって、地質調査を実 施し各変状箇所の土質特性は把握できたものの、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ることから、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。 (3) 液状化層における地下水位と地震時挙動の把握

緑川水系では、地震後の調査により計測した地下水位や連動していると考えられる河川 水位から分析を行った結果、地下水位以下の液状化層が比較的薄いにも係わらず沈下量が 大きい傾向が確認された。

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。

液状化が発生したと推定される土層が堤体下部に存在している場合には、当該土層に間 隙水圧計を設置することによって、地下水位面の季節変動の把握及び洪水(河川水位上昇) 時の堤体への浸透状況(堤体内水位の上昇)の把握も可能となる。

(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

熊本地震において、白川水系では、治水地形分類図において比較的液状化の発生しやす い、氾濫平野、干拓地、旧河道とは異なる箇所で液状化が発生(謹台寺地区、牛禅寺地区) し、また、被災箇所近傍には液状化が帯状に発生し家屋が被災を受けた地域が存在した。 その箇所は昔の河道ではないかとされる研究論文もあることから、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。 【参考(引用)文献等一覧】

- [1] 国土交通省東北地方整備局東北技術事務所,「堤防地震被災要因分析検討業務」報告書,平成 27 年 3 月
- [2] 社団法人全日本建設技術協会発行,建設省河川局治水課 監修,「震後対応の手引き」,平成6年5月発行

付録収録資料一覧

報告書 対応目次	付 録 収 録 資 料
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	付録 1-1.他の地震における地震動と地殻変動量との関係
1.2 堤防等河川管理施設における変状	
の概要	
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	付録 2-1 . 緑川水糸、日川水糸直轄全区間における照査外水位の資料
2.3 緑川・日川水糸の河川管埋施設等	
2.4 緑川・日川水糸の築堤の安遣	付録 2-2. 染堤復歴の詳細整理
3. 地震による堤防変状の特徴 	
3.1 地震後の調査概要	19 球 3-1. 球川水系、日川水系且粘于区间堤防高測重情報(地震制~ 地震後に完施した測具体)
	地辰夜に夫爬した周里順)
	11球 3-2.線川小糸、口川小糸直轄区间にの17 る平辰後の堤防県快記 録
	☆☆ 付録 3-3 録川水系 白川水系百醇区間におけろ前震後 太震後の写
	うない。 「」は、この、「線川小水、口川小水豆和匹同にのいる別度及、本度及のう 直
	ス 付録 3-4 録川水系 白川水系直轄区間における能本地震前の地質調
	古法果
	調査の結果を反映させたもの)
	付録 3-6.変状の大きかった箇所の地質調査資料(調査位置、地質横
	断図、柱状図、土質試験結果)
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	付録 3-7.各緊急復旧工事箇所の変状連続横断イメージ
	付録 3-8.築堤年代別の堤体の N 値の整理資料
3.4 堤防変状箇所の開削調査結果	付録 3-9.堤防開削調査結果の詳細
	付録 3-10.緑川における盛土層と沖積層との区分整理資料
3.5 空洞化調査	
3.5.1 樋門・樋管の空洞化調査	付録 3-11.各樋管位置における空洞化調査結果
3.5.2 三面張堤防の空洞化調査	付録 3-12. 緑川水糸、日川水糸直轄全区間における三面張堤防のレ ーダー探査結果
3.6 既往耐震対策の効果	付録 3-13 . 耐震対策、沈下対策、浸透対策位置と変状位置との関係 整理資料
3.7 堤防変状の経時変化	
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	19球 4-1.各固所にのける液状化判定結果
4.2 堤防の本復旧の基本方針	付録 4-2.部分切返し箇所における地震時変形計算(ALID)結果
	付録 4-3.本復旧工事図面
4.3 空洞化に対する復旧の基本方針	
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	付録 5-1.本復旧工事完了後のモニタリングマニュアル
5.4 日川の工砂流入と土砂堆積に関す る検討・対応等	
シ1次1) 入川心沢 この仙	
	ᆙᇔᇛᆡᆞᇨᄢᇴᇊᅎᇦᅆᄮᆥᄾᄫᆝᅖᆞᅓᄮᄨᅴ