

# 平成 28 年（2016 年）熊本地震 河川堤防調査について（追補版）

名城大学 小高猛司  
建設技術研究所 李 圭太

## 1. はじめに

本レポートは、平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分の前震および 4 月 16 日 1 時 25 分の本震、ならびにそれに付随する度重なる余震を含む一連の熊本地震によって被災した、河川堤防および河川構造物の状況に関して、平成 28 年 4 月 26 日ならびに 27 日に実施した現地調査についてまとめたものである。4 月 26 日の現地調査は、土木研究所の調査に同行して行ったが、本レポートの内のコメントを含むすべての内容については、本レポートの著者が責任を負うものである。

なお、本追補版は、先に公開した調査レポートに土質試験結果を追加したものである。

図 1.1 に調査地を示す。主に、白川と緑川（支川の加勢川，御船川を含む）の河川堤防について、国土交通省による地震発生直後の初動調査において被災情報の報告がある地点のいくつかについて、その周辺を含めて調査した。それらの現場の一部においては、5 月 1 日の出水期入りまでを目標とした大規模な復旧工事が実施されていた。以下、各調査地点の状況について示す。



図 1.1 現地調査地点の概要（Google Map に追記，活断層と震央については国土地理院平成 28 年熊本地震に関する情報の WEB を参照しているが，本図では目安程度の精度で記載している。）

## 2. 白川右岸河口部

更新版の治水地形分類図によれば、白川右岸の河口部の小島地区の大部分は古い干拓地であるが、一番先端の部分は昭和 20 年代以降の新しい埋立地である。写真 2.1 は海側から堤防を見た際の、埋立地との境界を目安として示している。写真 2.2 は今回被災が目立った埋立地側の堤防であり、今後整備される予定の暫定堤防である。写真 2.3 から特殊堤に何本も縦の亀裂が入っていることがわかる。この写真の奥の階段を撮影したのが写真 2.4 であり、陥没していることがわかる。写真 2.5～7 は、特殊堤の亀裂であり、一部は充填材によって補修されている。



写真 2.1 干拓地と埋立地の境界



写真 2.2 変状した埋立地の堤防



写真 2.3 特殊堤に入った亀裂（白地の縦線）



写真 2.4 陥没した階段付近



写真 2.5 充填材で補修された縦の亀裂



写真 2.6 写真 2.5 の上部拡大

写真 2.8 と写真 2.9 は亀裂発生部の裏側をシートで養生している状況である。堤防天端が新たにアスファルト舗装してあるが、被災前は特殊堤と同様のコンクリートが打っており、今回の地震によって被災したためにアスファルト舗装で応急復旧したものと考えられる。写真 2.10 は、平成 25 年 3 月工期で築堤された完成堤防との境界であり、シートがかかっていることから、端部において被災していることがわかる。写真 2.11～14 に完成堤防端部の被災状況を示す。暫定堤防と同様に天端には新しいアスファルト舗装が施工されていることから、天端に相当量の変状が出ていたことが推察される。また、特殊堤自体にもブロック毎の段差やズレが発生している。なお、この完成堤防の境界は、古い干拓地と新しい埋立地との境界とほぼ同じと思われるが、完成堤防の端部は、一部埋立地側に入っているようにも見え、そのために、変状がより大きく発生しやすかった可能性もある。



写真 2.7 未補修の亀裂



写真 2.8 亀裂発生部の裏側のシート養生の状況



写真 2.9 亀裂発生部の裏側のシート養生の状況



写真 2.10 完成堤防の端部



写真 2.11 完成堤防端部の被災状況



写真 2.12 完成堤防端部の被災状況



写真 2.13 完成堤防端部の被災状況



写真 2.14 完成堤防端部の被災状況



写真 2.15 暫定堤防の河口部の堤内地の状況  
(陸側を望む)



写真 2.16 暫定堤防の河口部の堤内地の状況  
(海側を望む)

写真 2.15 と写真 2.16 は、写真 2.14 までの境界部分から、さらに 400m ほど河口に進んだ埋立地の先端部である。堤内地に堤防と平行に発生している長い亀裂が出ていることがわかる。

### 3. 白川右岸 8.5K 付近 蓮台寺橋上流

蓮台寺橋から上流の白川右岸堤防の様子を示す。国土情報検索サイト KuniJiban に登録されている蓮台寺橋右岸堤外地でのボーリング柱状図によると、深度 5m 以上砂地盤となっている。この地点のボーリングでは N 値は示されていないが、やや上流の左岸堤のボーリング結果では、深度 3.6m まで N 値 3 程度の砂層、うすいシルト層を挟んで、4.3~8.2m までは N 値 7~13 の砂層となっている。また、治水地形分類図では、微高地（自然堤防）と分類されている。

この現場においては、天端に顕著な変状が見られるものの、法面や法尻などに目視でわかるほど明確な変状は見られない。

写真 3.1 は蓮台寺橋方向から上流側をみたところであり、横断亀裂が何本も入っている。写真 3.2 は、やや上流に移動して川裏法面も入れた写真である。写真 3.3 と写真 3.4 は天端の川裏側に発生した段差であり、おそらく裏法の沈下と一体となっていると思われる。また、奥に写った水たまりは、天端にできたやや陥没気味の局所的な沈下部分にできている。写真 3.5 と写真 3.6 は天端の別の部分に発生している沈下を示す。



写真 3.1 右岸堤の変状



写真 3.2 天端川裏側の沈下



写真 3.3 やや陥没したところにできた水たまり



写真 3.4 天端の亀裂と沈下



写真 3.5 天端の横断亀裂と発生した段差



写真 3.6 天端川表側の亀裂と沈下

写真 3.7 と写真 3.8 は、地震で発生したパラペットのズレを示す。鉛直、水平ともに 5cm 以上のズレが生じていることがわかる。写真 3.9～3.11 は、堤内地の住宅地で確認できる噴砂の痕跡である。また、写真 3.12 は堤外地で噴砂と思われるものであるが、重機で踏まれているために明確ではない。



写真 3.7 発生した鉛直変位



写真 3.8 発生した水平変位



写真 3.9 堤内地民家敷地の噴砂と思われる痕跡



写真 3.10 堤内地民家敷地の噴砂と思われる痕跡

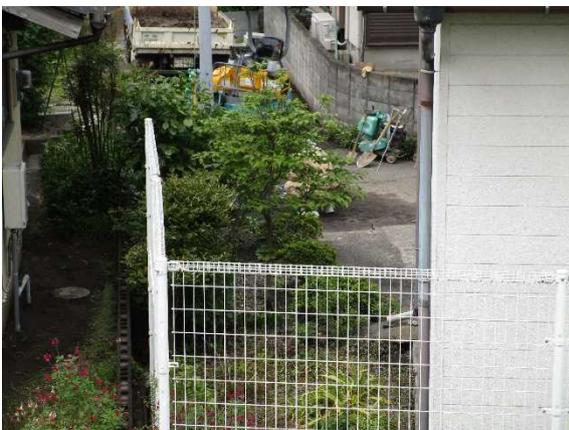


写真 3.11 堤内地住宅地の噴砂と思われる痕跡



写真 3.12 堤外地の噴砂と思われる痕跡

#### 4. 白川左岸 8.5K 付近 蓮台寺橋左岸詰め平田排水樋管

蓮台寺橋の左岸詰めに位置する平田排水樋管（1987年3月竣工）の抜け上がり被害を示す。正確には剛基礎の河川構造物のため、周辺地盤の沈下による被害である。なお、周辺地盤は、3節の冒頭で述べたように、深度8m程度まで比較的ゆる詰めのある砂層があると考えられる。

写真4.1は地中の樋管に沿って堤内地にできた亀裂（段差）である。ブロック積擁壁も完全に破断していることがわかる。特に下流側（写真左側）の破断は段差もできていて顕著である。写真4.2～4.4に示すように下流側の亀裂は暗渠の管理孔と思われる構造物に向かって湾曲しており、上流側は段差のない亀裂のみが発生している。写真4.5および写真4.6に示すように、曲がる前の亀裂は幅、段差ともに20cm程度あり、さらに写真4.7に示すように、曲がったあとでは段差は最大30cmに達する。



写真4.1 堤内地にできた抜け上がりの亀裂



写真4.2 樋管に沿ってできた亀裂



写真4.3 上流側の亀裂（亀裂のみで段差無し）



写真4.4 樋管に沿って湾曲している亀裂



写真4.5 発生した20cm程度の段差



写真4.6 発生した幅20cm程度の亀裂

写真 4.8 および写真 4.9 は背後の住宅地内に残った噴砂の痕跡であり、地震時に液状化したことが推察される。写真 4.10 は現場すぐ横の蓮台寺橋の橋脚付近の様子である。橋脚周辺の相当量の沈下によって、地震前に鉛直であったフェンスが傾いている（Google ストリートビューにより確認）。このことから、写真 4.7 などに示す最大 30 程度の段差は、周辺地盤が広範囲にわたって一律に沈下したことによるものと考えられる。

写真 4.11 および写真 4.12 は、平田排水樋管の川表側の状況である。周辺のブロック積擁壁のブロックに水平に近い亀裂が発生したことが、充填修復された跡から窺い知ることができる。



写真 4.7 発生した 30cm 程度の段差



写真 4.8 背後の住宅地の液状化の痕跡



写真 4.9 背後の住宅地の液状化の痕跡



写真 4.10 橋脚基礎周辺の沈下の痕跡



写真 4.11 川表の樋門の状況



写真 4.12 川表樋門横の損壊したブロック積擁壁

## 5. 緑川左岸 8.2~8.6K 付近 上杉樋周辺の堤防変状

治水地形分類図によると、この地点は氾濫低地を旧河道が囲んでいる。8.2K 付近のボーリング柱状図によると、厚さ 5.2m のゆる詰め砂の下に軟弱粘性土が厚く堆積している。

写真 5.1 は堤外地の畑地であるが、中央付近に噴砂跡が確認できる。8.2K 付近まで写真 5.2 のように堤防天端中央付近に縦断亀裂が入っている。8.2K 付近から堤体の切り返し復旧工事が行われており、変状の程度が大きかったと推察されるが、この付近から旧河道に位置していることと調和的である。写真 5.3~5.6 のように、目視でも明らかに堤体法尻がはらみ出すように変形しており、搬路との間に亀裂が生じているところと、白線が隠れてしまうほど搬路の舗装を覆うように堤体土が押し出されているところがあった。



写真 5.1 高水敷の畑地の噴砂跡



写真 5.2 堤防天端の縦断亀裂



写真 5.3 搬路に沿った法先の縦断亀裂



写真 5.4 深さ 50cm 以上の亀裂



写真 5.5 はらんだ法面 (下流から上流方向を見る)



写真 5.6 はらんだ法面 (上流から下流方向を見る)

写真 5.7 および写真 5.8 は搬路の舗装の損傷である。写真 5.9～12 は搬路の土塊に押し出されて損壊したブロック積み擁壁の状況である。オーバーハングするほど押し出されており、堤体変状が著しいことが見て取れる。なお、8.2K 付近のボーリング柱状図によると堤体盛土はシルト質粘土であり、基礎地盤の液状化の影響は少なからずあると思われるが、擁壁の脚部の基礎を固定したままで上部を押し出すように変状していることから、堤体粘性土自身が相当程度大きく変形していることが推察される。



写真 5.7 マンホールの周辺に浮き上がった舗装



写真 5.8 搬路に入った横断亀裂



写真 5.9 搬路裾のブロック積擁壁の損壊



写真 5.10 搬路の土塊に押し出される擁壁



写真 5.11 ブロック積擁壁下流端の状況



写真 5.12 ブロック積擁壁上流端の状況

写真 5.13～19 は、8.4K 付近の左岸堤法尻に敷設されたプレキャスト製のブロック式ドレーン工が堤防変状により押し出されて損壊している状況である。この付近のボーリング柱状図によると、堤体盛土は礫混じり砂と判定されており、そのためにドレーン工が敷設されたものと考えられる。柱状図によれば、基礎地盤は 1m 弱の砂層の下に 4m 以上のシルト層が堆積していることになっている。ボーリング時点の地下水が基礎地盤より下にあることから、ドレーン工を敷設した後の今回の地震の変状の原因が、堤体の液状化によるものとは考えにくく、慣性力による堤体自身の変状と考えるのが自然である。プレキャスト構造物と背面土の間に相当程度の隙間が生じていることから、プレキャスト構造物に慣性力が作用して変状した可能性も考えられるが、その構造物が堤体法尻の変形部に押し上げられていたり、構造物よりも外の堤体土が隆起していたりすることなども勘案して、この変状のメカニズムを土質も含めてもう一度慎重に検討する必要がある。



写真 5.13 堤体に押し出されて損壊したドレーン工



写真 5.14 損壊したドレーン工の近景



写真 5.15 堤体法尻に押し上げられるドレーン工



写真 5.16 ドレーン工の下から隆起した法尻



写真 5.17 前面押し出しによる隙間



写真 5.18 傾斜したドレーン工の中の採石

写真 5.19～25 は、上杉排水機場の水門の損壊の状況である。上下流のいずれの水門の脚部が、周辺の構造物から完全に引きはがされるように脚部の下部まで繋がる亀裂が生じている。また、大きな隙間も生じている。この水門の損壊に関しては、水門とその周辺構造物が、どの程度一体として設計・施工がなされていたかを確認する必要がある。



写真 5.19 天端から見た排水機場水門



写真 5.20 堤外地から見た排水機場水門



写真 5.21 下流側脚部の損壊



写真 5.22 下流側脚部の損壊



写真 5.23 上流側脚部の損壊



写真 5.24 上流側脚部の損壊

写真 5.25 と写真 5.26 は、水門前の堤防天端に発生している横断亀裂である。周辺地盤の沈下に伴い、相対的に排水機場に繋がる函渠構造物の抜け上がりが発生し、天端に亀裂が生じている。また、その亀裂は、写真 5.27 に示すように排水機場前の堤内地盤まで続いている。写真 5.28 および写真 5.29 が排水機場前の亀裂に伴う段差である。写真 5.29 に示すように、亀裂の延長は堤防天端の向こうに見える水門に続いている。



写真 5.25 水門前の天端の亀裂



写真 5.26 水門前の天端の亀裂



写真 5.27 排水機場前まで続く堤内地の亀裂



写真 5.28 排水機場前まで続く堤内地の亀裂と段差



写真 5.29 亀裂の延長上にある水門

写真 5.30 は、8.6K 付近から上流の左岸堤防の変状である。堤防が目視でもわかる程度に沈下しており、また、ほぼ等間隔で横断亀裂が何本も発生している。この現場のみならず横断亀裂が多数発生する形態が多く現場で確認されており、その中には堤体変状がそれほど見られない所もある。堤体と舗装面の剛性の違いによって、震動中に舗装が引張破壊されると推察されるが、この複数列をなす横断亀裂の発生メカニズムは、地震後の堤体の健全性をはかる上でも明確にしておく必要がある。写真 5.31 は堤外地側の法尻付近の様子である。1m 以上の検土棒がほとんど抵抗なく簡単に突き刺さり、極めて軟弱な地盤であった。ただし、川表法面や法尻に亀裂などの明確な変状は確認できていない。写真 5.32 および写真 5.33 は堤内地側の法尻付近の様子である。亀裂や噴砂の痕跡が見られた。この近辺のボーリング調査によると、砂質シルト堤体の下には 3m 弱の緩い砂質土が堆積しており、かつ地下水位は盛土堤体内と非常に高いことから、液状化による変状と考えられる。

写真 3.33 に示す噴砂の粒度などの物理特性については 29 頁の 14 章でまとめて示す。



写真 5.30 堤防天端の沈下とほぼ等間隔で何本も続く横断亀裂



写真 5.31 1m 以上検土棒が簡単に刺さる堤外地法尻付近の軟弱な土質



写真 5.32 堤内地の法尻付近の亀裂



写真 5.33 堤内地の法尻付近の噴砂跡

## 6. 加勢川右岸 4.7K 付近 野田堰近傍の変状

野田堰近傍の右岸のボーリング調査結果によると、基礎地盤は比較的厚い軟弱シルト層である。写真 6.1 のように加勢川左岸から右岸にわたると、写真 6.2 のように右岸堤の護岸の変状が見られる。また、変状した護岸前面に土砂の堆積が見られるが、噴砂の可能性も考えられる。写真 6.3～6 は、野田堰の右岸側堤防の沈下や変状の様子である。橋脚と堤防天端の間に 30cm 程度の段差が生じていた。また、橋脚と堤防との間に大きな隙間も生じている。



写真 6.1 野田堰左岸から右岸方向を望む



写真 6.2 野田堰近傍右岸側の護岸の変状と噴砂?



写真 6.3 野田堰右岸側の沈下



写真 6.4 野田堰右岸側の堤防天端の亀裂



写真 6.5 野田堰右岸側の堤防天端亀裂



写真 6.6 野田堰右岸側の橋脚と堤防との隙間

写真 6.7～12 は野田堰の延長線上の堤内地にある諏訪神社の境内の様子である。写真 6.7 のように本殿が倒壊し、境内の地面に亀裂が発生している。ただし、噴砂痕などは見られなかった。また、写真 6.8 のように堤防法尻の石積み擁壁には変状は見られなかった。一方、写真 6.9～11 に示すように、ブロック積み擁壁は目視でもわかるようにはらみだしが見られるとともに、所々で目地が開いており一見して危険な状態にあることがわかった。この地点は、野田堰接続箇所裏法にあたり、地震時に他の箇所とは異なる荷重の作用を、野田堰を介して受ける可能性がある。これと類似した境界条件である橋梁背面の堤防擁壁の崩壊事例を後の 13 節でも紹介する。



写真 6.7 野田堰横の諏訪神社境内の亀裂



写真 6.8 諏訪神社境内の無被害の石積み擁壁



写真 6.9 はらみだしたブロック積み擁壁



写真 6.10 はらみだしたブロック積み擁壁



写真 6.11 はらみだしたブロック積み擁壁



写真 6.12 諏訪神社北側の塀の崩壊と道路の亀裂

## 7. 加勢川左岸 4.8K 付近 緑川下流出張所近傍の変状

緑川下流出張所の地盤は埋立地であり、ボーリング柱状図によると、盛土の下には 3.6m のシルト層があり、その下に砂層が堆積している。写真 7.1～4 は出張所内外の変状の様子であり、亀裂、噴砂、沈下など典型的な埋立地盤の被害が確認できた。写真 7.2 に示す噴砂の粒度などの物理特性を 14 章にて他地点も含めて示す。写真 7.5～7 は、野田堰横の加勢川左岸側にある野田用水樋管の損傷の様子である。脚部が前面に傾斜していることがわかる。



写真 7.1 出張所敷地内に発生した深い亀裂



写真 7.2 出張所敷地内の噴砂跡



写真 7.3 出張所敷地内の建物周辺の沈下



写真 7.4 出張所前の堤防天端の噴砂跡



写真 7.5 野田用水樋管の損傷



写真 7.6 野田用水樋管の脚部の傾斜

写真 7.8 および写真 7.9 は出張所前の加勢川に向かう堤外地搬路の損傷であり、コンクリート版に亀裂が発生するとともに、鉄製の線路も破断したり、曲がったりしている。写真 7.10～12 は、加勢川水門の緑川側の様子である。大きな被害はないものの、床面に 10cm 程度の段差などが生じている。



写真 7.7 野田用水樋管の損傷



写真 7.8 出張所前の堤外地搬路の損傷



写真 7.9 出張所前の堤外地搬路の亀裂



写真 7.10 加勢川水門



写真 7.11 加勢川水門の亀裂



写真 7.12 加勢川水門の段差

## 8. 加勢川右岸 5.2K 付近 南部浄化センター放流樋管近傍の変状

南部浄化センター前の放流樋管の川表側構造物に写真 8.1~3 のように隙間や段差が発生する損壊が見られた。また、写真 8.4 に示すように、構造物の位置する法面のブロックに目視で確認できるはらみだしと目地の緩みが見られた。また、構造物直上の堤防天端には、写真 8.5 と写真 8.6 に示すように幅 5cm、深さ 30cm 程度の亀裂が発生するとともに、構造物の周辺は大きく沈下している。ボーリング柱状図によると、盛土の下は、それぞれ 2m あまりの粘性土と礫質土が順に堆積していることから、本現場の被災要因としては、堤体土自身の変状が考えられる。



写真 8.1 放流樋管の構造物に発生した隙間



写真 8.2 放流樋管の構造物に発生した隙間



写真 8.3 放流樋管の構造物に発生した隙間



写真 8.4 法面のはらみだし



写真 8.5 樋管直上の堤防天端の亀裂と沈下



写真 8.6 樋管直上の堤防天端の亀裂

## 9. 加勢川左岸 5.8K 付近 犬渕近傍の変状

写真 9.1 および写真 9.2 に示すように、堤内地の住宅前畑地で噴砂痕が確認できた。写真 9.3 は堤防に発生したほぼ等間隔で現れた横断亀裂である。搬路にも同じ位置で横断亀裂が発生している。写真 9.4 は犬渕 2 号排水樋管の前の堤防天端の横断亀裂であり、若干の浮き上がり（実際には周辺地盤の沈下）が確認できる。写真 9.5 は樋管にできた鉛直の隙間であり、写真 9.6 は川表法面の法尻付近にできた水平亀裂である。この写真ではわかりづらいが、堤体の法尻のはらみだしとともに、ポールの部分に沿って水平な亀裂が発生している。



写真 9.1 堤内地の畑地の噴砂痕



写真 9.2 写真 9.1 の噴砂痕の拡大



写真 9.3 堤体天端と堤外地搬路にできた横断亀裂



写真 9.4 犬渕 2 号排水樋管前の天端の亀裂



写真 9.5 犬渕 2 号排水樋管にできた鉛直の隙間



写真 9.6 犬渕 2 号排水樋管の川表法面の水平亀裂

## 10. 加勢川左岸 8.2K 付近 水神橋付近の変状

写真 10.1 は左岸堤防を上流側にある水神橋を下流側から見たものである。ここでもほぼ等間隔の横断亀裂が堤防天端に発生している。この近傍のボーリング柱状図によると盛土下の基礎地盤は緩い砂層である。写真 10.2～6 は水神橋の損傷の様子である。橋桁が水平 2 次元的に移動している。



写真 10.1 堤防天端に発生したほぼ等間隔の横断亀裂



写真 10.2 水神橋の損傷



写真 10.3 水神橋の橋桁のズレ



写真 10.3 ゴム支承のズレ



写真 10.5 水神橋の橋桁の水平方向のズレ



写真 10.6 水神橋の橋桁の水平方向のズレ

## 11. 緑川右岸 11.7K～12.1K 付近 城南橋上流付近の変状

写真 11.1 は県道 50 号線である堤防天端道路の変状の様子である。写真 11.2 は天端中央付近に発生している縦断亀裂の状況であり、20cm 程度の段差が生じている。ただし、写真 11.3 および写真 11.4 に示すように川表法面には明確なすべり面などは確認できない。写真 11.4 および写真 11.5 からもわかるように、法尻付近にはらみだしの変状が見られた。ボーリング柱状図によると、この付近の堤体盛土の下には、厚い粘性土層が堆積している。そのため、堤体変状の主たる要因は、堤体土自体の慣性力による変形と考えられる。写真 11.6 は路盤を剥いだ後の天端の状況であるが、深い亀裂などは見られない。



写真 11.1 堤防天端の中央付近から発生した縦断亀裂



写真 11.2 縦断亀裂の段差



写真 11.3 城南橋から見た川表法面の様子



写真 11.4 川表法面の法尻付近のはらみだし



写真 11.5 川表法面の法尻付近のはらみだし



写真 11.6 路盤を剥いだ後の天端

本現場では調査当日に切り返し工事が急ピッチで進められており，被災堤防の横断面ならびに縦断面の開削断面を見ることができた。写真 11.7 および写真 11.8 に開削により露出した堤防の横断面である。ほぼ均質に粘性土を主体とした堤体材料であった。写真 11.9 および写真 11.10 は同じく開削により露出した堤防の縦断面である。上部に礫質土が見えるが，下の土は横断面で露出していた粘性土と同様である。今後粘性土地盤上の粘性土堤体の変状形態について，数値解析などを用いて検討する予定である。写真 11.11 および写真 11.12 は近傍の被災状況であり，地震動の大きさを物語っている。

写真 11.8 および 11.10 で採取した堤体土の粒度などの物理試験結果は 14 章にて示す。



写真 11.7 切り返し工事時に露出した堤体横断面



写真 11.8 堤体横断面の様子



写真 11.9 切り返し工事時に露出した堤体縦断面



写真 11.10 堤体縦断面の様子



写真 11.11 堤内地に発生した道路の段差



写真 11.12 鳥居が倒壊した下仲間神社

## 12. 御船川右岸 3.4K~4K 付近 メロディー橋下流付近の変状

近傍の基礎地盤はボーリング柱状図によれば礫地盤であるが、盛土は軟質な砂質シルトあるいはシルト質砂である。そのため、堤体変状は慣性力による堤体自身の变形であると考えられる。写真 12.1 はメロディー橋からやや下流の右岸堤防天端の変状である。その位置での堤内地の家屋の被害状況を写真 12.2 に示す。この位置からさらに下流に移動すると、写真 12.3 に示すように、堤内側法面が、民家に向かってせり出すような変状を起こしている。また、その地点からさらに下流に移動すると、堤防天端の波打ち状況はさらに進む。



写真 12.1 堤防天端の縦断亀裂などの変状



写真 12.2 堤内値の家屋の被災状況



写真 12.3 堤内地の住宅側への法面変状



写真 12.4 撤去した石積み擁壁の一部?



写真 12.5 天端道路の沈下やねじれによる波打ち



写真 12.6 天端道路の沈下やねじれによる波打ち

写真 12.7 および写真 12.8 は堤内地の畑地に現れた亀裂である。国土地理院の都市活断層図によると、この地点は今回の前震ならびにその余震の震源となった日奈久断層帯の一断層の延長線上に位置しており、断層運動の痕跡が地表面に亀裂として発生したものと考えられる。写真 12.9 は写真 12.7 に示す亀裂の位置に対応する堤防天端の様子であるが、軽微な横断亀裂が見られる程度で、堤体の顕著な変状などの大きな影響は認められない。また、写真 12.10 は写真 12.7 の右側に写っているが、同じ畑地に現れた噴砂跡である。基礎地盤は礫地盤とされていたが、この畑地の地点は旧河川跡が入り込んでいる箇所であり、砂層が堆積している可能性もある。この噴砂の粒度などの物理試験結果は 14 章にて示す。



写真 12.7 畑地に現れた断層による地表面の亀裂？



写真 12.8 断層による地表面の亀裂？（近影）



写真 12.9 断層による亀裂の位置の天端の状況



写真 12.10 畑地に現れた噴砂痕跡



写真 12.11 天端に発生したほぼ等間隔の横断亀裂



写真 12.12 平行する道路にも現れた横断亀裂

写真 12.11 および写真 12.12 は、堤体に発生した横断亀裂である。この現場でも、ほぼ等間隔の亀裂が多数あるのが確認できた。ただし、この現場においては、写真 12.13 および写真 12.14 に示すように、横断方向の亀裂が、横方向にズレている箇所もあり、単なる横断亀裂が多数発生する堤防よりも、複雑な変状をしている可能性がある。通常の横断亀裂は、道路軸方向に伸張されることによって生じると思われるが、写真 12.15 は逆に道路軸方向に圧縮された際に、舗装面が圧壊してできたものと想像している。

写真 12.16～18 は、対岸の左岸側の段丘に腹付け盛土していた斜面の崩壊事例である。携帯電話用と思われる鉄塔のひとつが傾いてしまっている。



写真 12.13 横断亀裂の横ずれ



写真 12.14 横断亀裂の横ずれ



写真 12.15 天端の損傷



写真 12.16 左岸側の法面の崩壊



写真 12.17 左岸側の法面の崩壊



写真 12.18 左岸側の鉄塔の傾斜

### 13. 緑川左岸 20.8K 付近 乙女橋付近の変状

近傍のボーリング柱状図によると、この付近の基礎地盤は砂礫地盤であるが、写真 13.1 の中央に見える水路は旧河川であり、この崩壊地点の地盤については不明瞭である。写真 13.2 に示すように堤防天端は広く、崩壊したとしても本来の河川堤防として必要な断面は満たしていたと考えられる。写真 13.3 は法肩から上流側を見たものであり、水路が整備されているが、倒壊した擁壁はこの水路の整備に伴って築造されたものと推察される。写真 13.4 および写真 13.5 は、崩壊部分の両端であるが、被災前は写真 13.5 の右側に見えるような、かなり急勾配の石積み擁壁が全面にあったものと思われる。



写真 13.1 石積み擁壁が崩壊した法面の応急復旧状況



写真 13.2 崩壊地点の乙女橋に交差する天端道路



写真 13.3 法肩から見た応急復旧状況



写真 13.4 法面の応急復旧の左端部



写真 13.5 法面の応急復旧の右端部



写真 13.6 乙女橋の状況

写真 13.6～11 は、乙女橋の損傷状況である。橋桁が上下左右にずれており、橋脚の軸方向に圧縮や引っ張りを大きく受けて損壊したことが推察される。写真 13.12 は右岸側の丘陵の地山の斜面崩壊である。この崩壊を見ても、この地区に相当の地震動が作用したと思われる。

今回崩壊した石積み擁壁は、乙女橋取り付け部の裏法にあたり、橋梁の延長線上であることから、地震時に乙女橋から作用する荷重によって何らかの影響を受けた可能性が考えられる。これは、6 節で前述した野田堰の裏法のブロック積み擁壁の変状とも類似している。



写真 13.7 乙女橋の橋桁の横ずれ



写真 13.8 乙女橋の橋桁の隙間



写真 13.9 乙女橋の橋桁の段差



写真 13.10 乙女橋の橋桁の段差



写真 13.11 乙女橋の右岸側の沈下



写真 13.12 右岸側の斜面崩壊

#### 14. 噴砂ならびに堤体土の土質試験結果

本調査では、5章で示した緑川左岸 8.6K 付近の堤防変状箇所内の堤内外の 2 箇所、7章で示した加勢川左岸 4.8K 付近の緑川下流出張所敷地内および 1 2章で示した御船川右岸 3.5K 付近の堤内地の畑地でそれぞれ採取した噴砂について、粒度試験と土粒子密度試験を実施した。

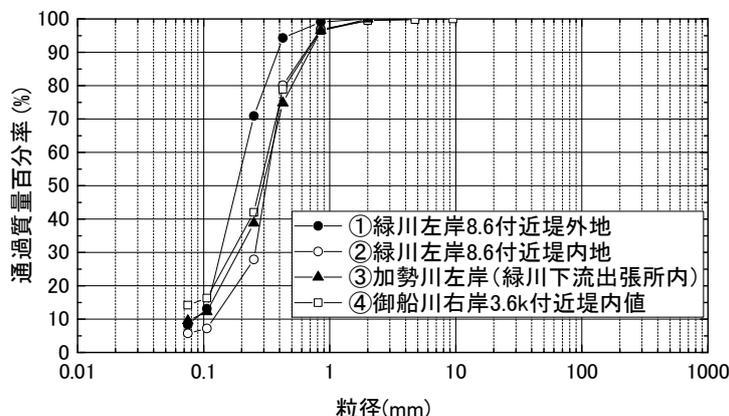


図 15.1 各地点における噴砂の粒度曲線

表 15.1 各地点における噴砂の物理試験結果

	①	②	③	④
土質分類	細粒分混じり砂	細粒分混じり砂	細粒分混じり砂	細粒分混じり砂
礫分 (%)	0	0.5	0	0.5
砂分 (%)	91.7	93.8	90.5	85.3
細粒分 (%)	8.3	5.7	9.5	14.2
最大粒径 (mm)	2	4.75	2	9.5
均等係数	2.43	2.30	4.26	—
土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.705	2.734	2.701	2.778

試料：①緑川左岸 8.6K 付近の堤防変状箇所内の堤内地  
 ②緑川左岸 8.6K 付近の堤防変状箇所内の堤外地  
 ③加勢川左岸 4.8K 付近の緑川下流出張所敷地内  
 ④御船川右岸 3.5K 付近の堤内地の畑地

図 15.1 ならびに表 15.1 に土質試験結果を示す。いずれの地点の噴砂も細粒分混じり砂 (SF) に分類され、極めて均等な砂であり、どの地点もほぼ同じ砂であると推察される。ただし、地上に噴出している砂は、流失しやすい均質な砂だけが出て、実際の地盤内とは若干異なることがあるため注意が必要である。

上記①、②に近い上杉排水機場近くで 1995 年に実施されたボーリング調査ならびに土質試験の結果によると、盛土直下にある深度 5.4~8.1m 付近の砂層の物理特性と上記の試験結果はほぼ同様であり、この砂層からの噴砂であると考えられる。③の緑川下流出張所付近でも 1995 年にボーリング調査と土質試験が実施されているが、この近傍はおよそ 3.6m 沖積粘性土の下に深度 5.3 付近からゆるい砂層が厚く堆積している。その時の土質試験が実施されたのは若干深い深度 9.0m 付近の砂層であり、礫分 15%かつ細粒分 4.6%の細砂とされている。なお、土粒子密度は③とほぼ同じである。一方、それより浅い砂層では、シルト質細砂あるいはシルト雑じり細砂と判定されており、今回の③の粒度に近い可能性がある。いずれにしてもそれらの砂層から噴出したと考えられる。④の噴砂は、粒度、土粒子密度、また色合いからも①~③とほとんど同じ砂と思われる。

1 2章でも述べたように、近傍のボーリング調査では類似の砂層は認められなかったが、治水地

形分類図で④の地点と同様の旧河道とされている右岸 3k 付近のボーリング調査では、盛土直下に N=5 の礫混じりシルト質砂が堆積していることが確認でき、④の地点においても旧河道の砂が堆積し、それが噴出したのではないかと推察される。

次に、11章で示した緑川右岸 12K 付近の切り返し工事中の堤体開削断面から採取した堤体土の土質試験結果を示す。

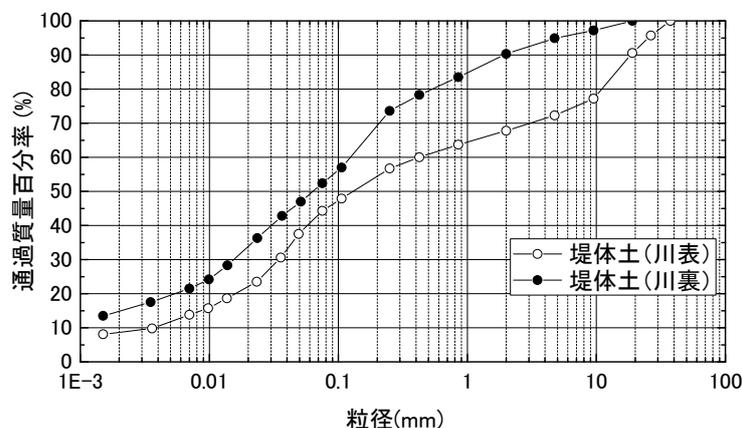


図 15.2 緑川右岸 12k 地点の堤体土の粒度曲線

表 15.2 緑川右岸 12k 地点の堤体土の物理試験結果

	堤体土 (川裏)	堤体土 (川表)
土質分類	礫混じり砂質粘土	細粒分質砂質礫
礫分 (%)	9.7	32.2
砂分 (%)	37.9	23.5
シルト分 (%)	32.9	32.9
粘土分 (%)	19.5	11.4
最大粒径 (mm)	19	37.5
均等係数	—	109
土粒子密度 (g/cm <sup>3</sup> )	2.726	2.722
自然含水比 (%)	29.5	21.3
液性限界 (%)	45.2	35.8
塑性限界 (%)	25.2	23.6
塑性指数	20.0	12.2

川表ならびに川裏側の 2 箇所で堤体土を採取したが、粒度曲線に若干の違いはあるものの、いずれの堤体土も細粒分を 50%程度含む材料であった。ただし、これは比較的礫のサンプルへの混入具合で簡単に変わりうるものでもあり、ほとんど同じ試料と考えてよいと思われる。この緑川右岸 12k の現場は、今回の地震によって大きな亀裂が多数発生し、堤体の上部の切り返し工事を余儀なくされたところであるが、それらの堤体がこのような粘性土を多く含む堤体土で築堤された堤防であったことは興味深い。11章の写真でも示したように、切り返しに際して開削断面が露出していた堤体は、見た目の印象からも、また実際の土質試験の結果からも粘性土を含むしつかりしたものであった。地震によって深い亀裂が入ってしまった場合には、その部分の切り返しはやむを得ないことであるが、元の堤体は透水性も低く、耐浸透性に関してもおそらく十分な安定性を有していたのではないかと考えられる。そのため、築堤に良質土を用いるとは言え、切り返しによって再構築される堤体を、被災前の堤体を上回る高品質なものとするのは容易ではないと思われた。

## 15. おわりに

地震直後に各機関が実施された初動調査の写真等を見ると、縦断亀裂や沈下などの変形が発生している箇所が多く見られる。ただし、その一方で、レベル2地震に対する要求性能をクリアできなかった堤防は少数ではないかと思われる。また、東日本大震災で見られた被災形態である、縦断方向の短冊状に不連続に堤体が損壊する大変状は今回の地震では著者は確認していない。堤防の変状の形態と度合は、その地点の地震動と堤防（基礎地盤から堤体まで）の地盤条件（地下水・湿潤状態を含む）によって異なるため、今回被災した地点におけるそれぞれの地震動と地盤条件を今後詳細に検証する必要があるが、東日本大震災との相違を挙げるならば、地震動の継続時間の差は大きいと思われる。熊本地震で被災した堤防のいくつかでは、その近傍で噴砂などの液状化の痕跡が見られることから、おそらく基礎地盤の液状化が変状の主要な原因のひとつであると推察されるが、東日本大震災で完全に基礎地盤が液状化した堤防の変状と比べると、今回の変状は相対的に大きくはない。東日本大震災で多くの変状が見られたのは、やはり継続時間の長い地震動の影響を見過ごすことはできない。もちろん、阪神大震災のように短い地震動でも、条件が揃えば液状化によって堤防が完全に陥没してしまうことはあると考えられるが、今回の地震ではそこまでの悪条件は揃ってなかったのかもしれない。今回の地震で被害が大きかった堤防では、地震直後のアスファルトの亀裂や段差を見ると大変状を起こしているように見えるが、今回の調査時に丁度切り返し工事を行っている現場の堤防の状態を見る限りでは、堤体深部にまで至る大きな損傷がなかった場合もあったのではないかと思われる。堤体と表面の舗装の力学特性は大きく異なるため、剛性は高いが脆性的な舗装などは損壊しやすいものの、中身の堤体土は柔軟に変形していた可能性もある。今回の堤防の変状では、堤体のはらみだし変形などによる被災形態が多いと予想されるが、堤体内部にまでにすべり面や亀裂などが入っていなければ、堤体の浸透に対する健全性は一定程度保たれていると考えて良いが、現時点ではその判断は容易ではない。

今回の地震による堤防の破壊形態は、不連続体や流体的な手法を用いなければシミュレートできないものではなく、むしろ連続体解析の事例解析で示される変形と類似している。今後、従来の連続体の手法による数値解析でも地震動の継続時間の影響も考慮しながら、地震時堤体変形の予測精度の向上を進めていくべきであろう。

また、今回の地震では、樋門・水門などの河川構造物の被害もやはり目についた。水門の門柱や函体などのコンクリート構造物自体の損壊を見ても、今回の地震外力の大きさを改めて確認することができるが、顕著な浮き上がりの被災形態も深刻と思われる。いくつかの現場では、樋門などの浮き上がりの痕跡が無ければ、その周辺地盤が大きく沈下していることも見過ごしてしまうところであったが、現実には液状化などによって広い範囲で地盤沈下している。剛基礎を有する河川構造物は、地震前の高さを保っており、液状化などの影響で周辺地盤が大きく沈下していることを勘案すると、高い確率で樋門など河川構造物の下に空洞やゆるみが形成されている可能性は否定できない。早急な確認と必要に応じた補修が必要であろう。今回、剛構造の河川構造物の被災のみがその基礎構造の特性故に目につきやすかったと思われるが、一見沈下などに追随するはずの柔構造の河川構造物には被害が無かったのかどうかの検証が必要と思われる。

本文の内容に誤解などがあれば、ご指摘いただければ幸いです。

## 謝 辞：

本調査にあたり，国立研究開発法人土木研究所の石原雅規主任研究員，谷本俊介研究員，秋場俊一交流研究員，地蔵智樹交流研究員の皆さんに多大なご協力を賜りました。期して謝意を表します。

## 参考文献：

- 1) 国土地理院 平成 28 年熊本地震に関する情報，  
<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html#dd>，2016.5 確認.
- 2) 国土地理院 治水地形分類図更新版（2007～2014 年），  
[http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc\\_index.html](http://www.gsi.go.jp/bousaichiri/fc_index.html)，2016.5 確認.
- 3) 国土交通省 国土地盤情報検索サイト KuniJiban，  
<http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/GSImap/GSImap.html>，2016.5 確認.