

平成28年(2016年)熊本地震 における河川堤防の被害と復旧

—大規模地震時における河川堤防の初動調査のあり方について—



河川政策グループ
主任研究員
柳 焔 亨



河川政策グループ
首席研究員
佐古 俊介

はじめに

平成28年4月14日及び平成28年4月16日に発生した地震によって、熊本県下の直轄河川堤防においては、白川（白川水系）及び緑川・加勢川・御船川・浜戸川（緑川水系）を中心とした171箇所の被害が発生^[1]した。JICE REPORT前号^[2]では、JICEが自主的に実施した緊急現地調査結果の速報を掲載しているところであるが、その後の被災堤防の本格的な復旧に向けた調査・検討に携わる機会を得た中で、明らかとなってきた被害の全容や復旧の基本方針を紹介した後に、大規模地震時における河川堤防の初動調査のあり方について示す。

1 白川・緑川堤防における被害概要

1.1 「平成28年(2016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央とする地震（以下、14日発生地震、という。）が発生した。この地震の震源深さは約11km、気象庁マグニチュード M_j は6.5であり、震央近傍の熊本県益城町で最大震度7が観測されている。この地震では図1.1.1に示すように、熊本県内の多くの箇所（宮崎県の一部を含む）において震度5弱以上を観測し、中部地方の一部から九州地方（熊本県を除く）の広い範囲で震度1から震度4を観測した。

直轄河川の施設においては、熊本河川国道事務所緑川下流出張所（震源からほぼ西方に約11km^[8]）の地表面（標高7mから深度約1m）で地震動が記録されている^[7]。東西方向（EW；但し地震計の北方向は、真北から6度ほど西に回転して設置されている）の加速度記録波形を図1.1.2に示す。図中には、加速度が初めて50galを超えた時点から50galを下回った時点までの地震動継続時間を併せて示しているが、14日発生地震の地震動継続時間は約12秒程度と、過去に発生した内陸直下型の地震動と比較^[10]して短時間であるといえる。

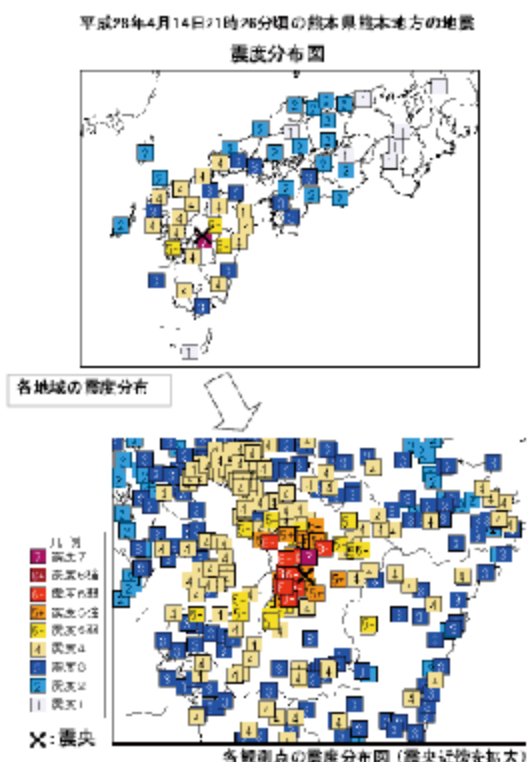


図1.1.1 平成28年4月14日21時26分頃の熊本県熊本地方の地震 震度分布^[3]より転載

平成28年4月16日1時25分頃、熊本県熊本地方を震央とし、最大震度7を観測する地震が再び発生^[4]した（以下、16日発生地震、という。）。16日発生地震の震源深さは約12km、気象庁マグニチュード M_j は7.3で、4月14日21時26分頃に発生した M_j 6.5の地震の震央より西北西にわずかに約4.5km離れているのみである。約28時間前の14日発生地震と比べてマグニチュードが大きいこの地震では、図1.1.3に示すように、熊本県を中心とする九州地方の多くの箇所（愛媛県の一部を含む）において震度5弱以上を観測し、関東地方や北陸地方に及ぶより広い範囲で震度1から震度4を観測した。

16日発生地震においても、14日発生地震と同様に、熊本河川国道事務所緑川下流出張所（震源からほぼ西南西に

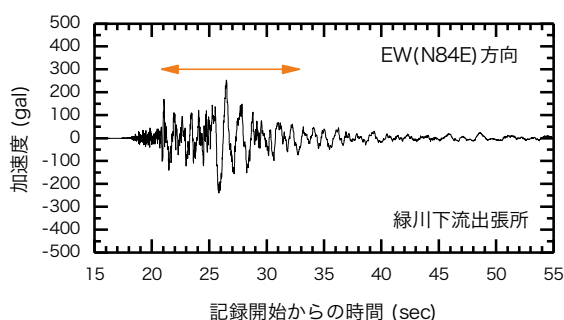


図1.1.2 緑川下流出張所における平成28年4月14日21時26分頃に発生した地震の加速度記録（東西方向）^[7]をもとにJICEで作成

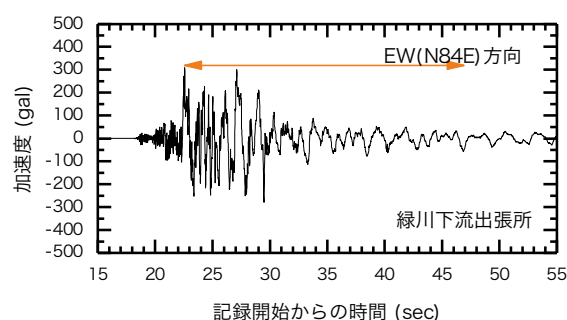


図1.1.4 緑川下流出張所における平成28年4月16日01時25分頃に発生した地震の加速度記録（東西方向）^[7]をもとにJICEで作成

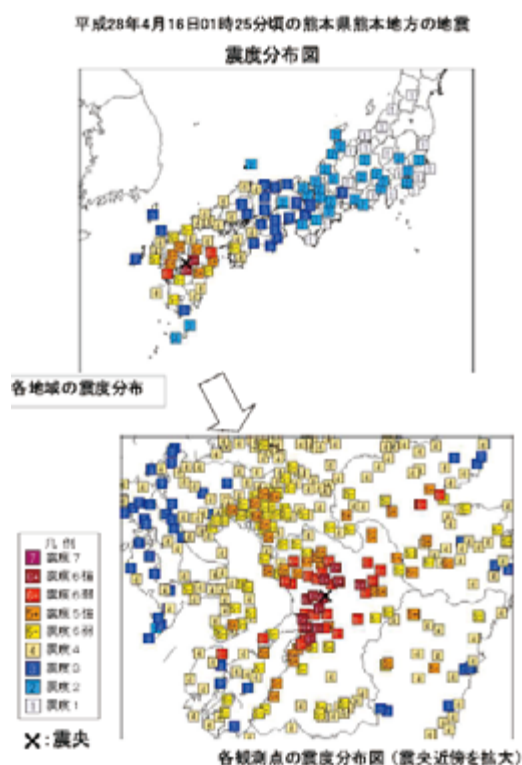


図-1.1.3 平成28年4月16日01時25分頃の熊本県熊本地方の地震 震度分布^[14]より転載

約7km^[9]の地表面で地震動が記録されている^[7]。東西方向の加速度記録波形を図1.1.4に示す。図中には、図1.1.2と同様に地震動継続時間を併せて示しており、16日発生地震の地震動継続時間は約25秒程度と、こちらも、過去に発生した内陸直下型の地震動と比較^[10]して短時間であるといえる。

なお、気象庁の定義（平成28年4月21日）^[6]によると、「平成28年（2016年）熊本地震」とは4月14日21時26分以降に発生した熊本県を中心とする一連の地震活動を指すこととされている。

熊本県においては、明治22年（1889年）7月28日に発生した地震^[11]（震源：熊本地方、マグニチュード6.3、最大震度：強震^[12]）によって、死者20人、負傷者52人、家屋の全壊228戸等の被害がもたらされて以来の大きな被害となっている。

1.2 河川堤防の地震時変状

(1) 堤防変状の概要

前述したように、14日発生地震および16日発生地震によって、国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所管内の白川（白川水系）及び緑川・加勢川・御船川・浜戸川（緑川水系）において171箇所の河川堤防の変状が認められている^[1]。

緑川水系での盛土による堤防区間での特徴的な堤防変状^[13]を以下に示す。

◆緑川水系の河川堤防における特徴的な変状

- ・堤防天端の亀裂（縦断方向、横断方向）
- ・横断方向の堤防天端の沈下（段差）
- ・堤防天端およびのり肩の陥没
- ・縦断方向の堤体の沈下（段差）（構造物との接続箇所等）
- ・のり面下部のはらみだし
- ・高水敷での亀裂および噴砂

また、白川での特殊堤区間での特徴的な堤防変状^[13]を以下に示す。

◆白川の河川堤防における特徴的な変状

- ・堤防天端の亀裂（横断方向）
- ・特殊堤（パラベット）の亀裂
- ・特殊堤（パラベット）のコンクリート剥離
- ・石積みブロックの崩落
- ・高水敷での亀裂
- ・堤内地での噴砂

図1.2.1^[14]は、熊本河川国道事務所管内図に河川堤防の変状が認められた区間を示したものである。今回の地震によって、白川および緑川水系の広い範囲にわたって河川堤防の変状が発生しており、特に震源近傍である緑川の中流域および上流域（加勢川・御船川を含む）に集中していることがわかる。

(2) 緊急復旧工事箇所

「河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II. 堤防編」（国

国土交通省水管理・国土保全局治水課)^[15]によれば、現行の河川堤防に求められる耐震性能は、地震によって堤防に変形、沈下等が生じた場合においても、堤防天端標高が照査外水位を下回らないことである。

14日発生の地震および16日発生の地震による緑川水系および白川の堤防変状の程度は、全区間で堤防天端が照査外水位より低くなるような沈下は発生しておらず、直ちに河川の流水の河川外への越流を防止する機能を喪失するものではなかったが、過去の地震で見られた被災事例をもとに、堤防の被災の程度や被災形態から機能評価の観点で整理された「被災形態分類」(表1.2.1)に照らし合わせると、被災形態分類Ⅱ、Ⅳ、Ⅴに該当するような変状の程度が比較的大きい大規模変状箇所については、変状発生箇所への応急対応の他に、緊急復旧工事が実施されている。

なお、図1.2.1中に、緊急復旧工事箇所を示しているが、緊急復旧工事箇所は、変状発生と同様に、緑川の中流域および上流域(加勢川・御船川を含む)に集中している。

表1.2.2に緊急復旧工事箇所一覧^[17]を示す。なお、表1.2.2中の箇所番号は、図1.2.2^[17]に示す箇所番号に対応している。

1.3 地震直後の対応

(1) 堤防機能回復のための応急対応および緊急復旧工事^[17]

熊本河川国道事務所をはじめとする国土交通省九州地方整備局では、14日発生の地震および16日発生の地震いずれにおいても地震発生直後から河川堤防等の施設点検を概ね16時間で完了している。

また、上記点検で確認された変状発生箇所のうち、比較的小さい箇所については、図1.3.1に示すように亀裂の補修等の応急対応が実施されている。

発生した変状が比較的大きな緊急復旧工事箇所については、出水期(白川水系・緑川水系ともに5月から10月の期間)を迎えるまでに、低下した堤防機能を回復させるために、熊本河川国道事務所と熊本県内企業との『災害協定』に基づき、地震発生の翌日(4月15日)から緑川において緊急復旧工事に着手し、着手後は24時間体制で昼夜施工が実施^[17]されている。また、緊急復旧工事に使用する資材の一部への水防用備蓄資材の活用や、緊急車両のみが通行可能であった高速道路を利用するために資材運搬車両の「緊急車両」指定による迅速な資材調達などの、迅速な施工が可能とするような種々の施策が実施されている。このような処置により、緑川にお



図1.2.1 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所管内において河川堤防の変状が認められた区間^[14]より転載

表1.2.1 被災形態と被災要因・残存機能 [16]をもとにJICEで作成

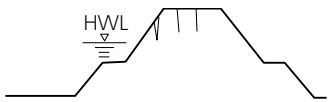
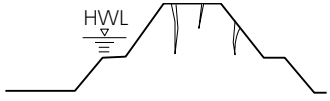
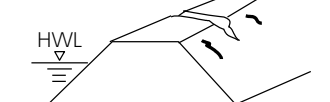
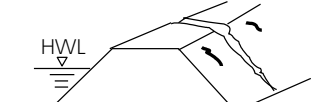
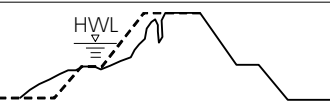
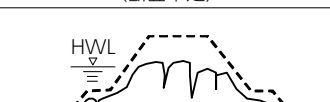
被災形態	考えられる被災要因	残存機能
I  縦断亀裂 (HWLより浅い)	盛土の強度不足、強度低下	堤防天端全体に亀裂がある場合を除けば、堤防としての機能は概ね残っていると考えられる
II  縦断亀裂 (HWLより深い)	盛土の強度不足、強度低下	- 亀裂の幅や深さの規模、位置を勘案して残存機能を判断する - 亀裂が著しく、堤防の機能が失われていると判断できる場合は、仮締切などの対応が考えられる - 亀裂一部箇所のみに限定される場合などは、堤防機能はある程度あると考え、裏腹付等の対応が考えられる
III  横断亀裂 (HWLより浅い)	- 盛土の強度不足、強度低下 - 横断構造物沿いの緩み	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
IV  横断亀裂 (HWLより深い)	- 盛土の強度不足、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
V  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 - 盛土 (堤体下部／閉封飽和域)、地盤の液状化
VI  堤体の沈下、陥没、はらみ出し (越水の危険)	- 盛土の強度不足、強度低下 - 盛土の液状化 - 地盤の強度不足、強度低下 - 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

表1.2.2 被災形態と被災要因・残存機能 [16]をもとにJICEで作成

箇所番号	河川名	左右岸	位置	延長 (m)
①	緑川	左岸	18k400付近	232
②	緑川	左岸	20k700付近	113
③	加勢川	右岸	9k800付近	80
④	緑川	右岸	8k900付近	225
⑤	緑川	左岸	8k400付近	284
⑥	緑川	左岸	9k400付近	122
⑦	緑川	左岸	10k900付近	200
⑧	緑川	左岸	6k300付近	159
⑨	緑川	左岸	12k300付近	70
⑩	緑川	右岸	9k200付近	150
⑪	緑川	右岸	12k000付近	440



図1.2.2 緊急復旧工事箇所 [17]より転載

ける11箇所の緊急復旧工事は全箇所において5月9日までに完成させている。図1.3.2には、熊本市南区野田地先（表1.2.1 箇所番号⑩）における緊急復旧工事状況^[18]を一例として示す。

(2) 基準水位の引き下げと監視体制の強化^[17]

上述のとおり地震によって変状が発生した堤防の機能回復をはかる一方で、早期の警戒体制を確立することによって、早めの水防活動や避難に資するために、図1.3.3に示すように水防警報及び洪水予報の基準水位が暫定的に引き下げられている。

また、堤防等の河川管理施設の変状を迅速に察知するため、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も早い段階で開始するなど、図1.3.4に示すように出水期間中の監視体制が強化されている。

なお、このような基準水位の暫定的な引き下げや河川の監視体制の強化については、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震などの堤防復旧期間においても同様の措置が採用されている^[19]。

2 復旧の基本的な考え方と代表事例

2.1 本格的な復旧の基本的な考え方

国土交通省九州地方整備局および熊本河川国道事務所では、14日発生の地震および16日発生の地震で変状が発生した堤防等の河川管理施設の地震による変状原因を究明し、変状に応じた本格的な復旧工法等を検討することにより、堤防等の安全性を高め、再度の災害防止に資することを目的として本格的な復旧を検討するために、「緑川・白川堤防調査委員会」を設置している^{[20][21][22][23][24]}。

「緑川・白川堤防調査委員会」における本格的な復旧の基本的な考え方を以下に示す。

①本格的な復旧の完成時期

本格的な復旧は、平成29年梅雨期前までに復旧工事の完了を目指す。

②本格的な復旧の目標水準の考え方

対象とする施設が地震前に保持していた機能と同じ水準まで復旧することを目標とする。

③変状の規模に応じた復旧方法の考え方

◆土堤区間（主に緑川堤防）

○変状箇所について、切返し（変状部分を撤去し盛土）による復旧を基本とする。

○変状の程度が大きい箇所は、堤体の切返しに加え土質

や地下水位等確認のうえ必要に応じて地盤改良、ドレーン工を実施。

○堤体の沈下が生じている箇所は、堤防のかさ上げを実施。
※実施にあたっては、地質調査等により地盤の状態を確認のうえで詳細設計を行う。

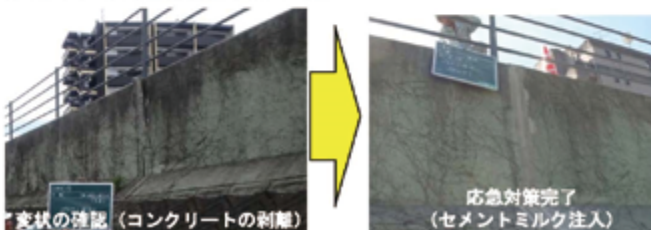
（白川 左岸8k700m：熊本市）



（白川 右岸9k400m：熊本市）



（白川 左岸11k500m：熊本市）



（白川 左岸13k000m：熊本市）



（緑川 左岸16k400m：熊本市）



（緑川 右岸23k000m：甲佐町）



図1.3.1 変状発生箇所における応急対応^{[17]より引用}



図1.3.2 熊本市南区野田地先（表1.2.1 箇所番号⑩）における緊急復旧工事の状況^[18]より引用

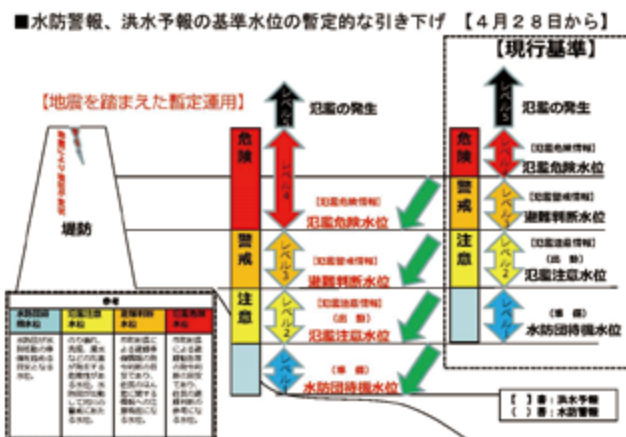


図1.3.3 水防警報、洪水予報の基準水位の暫定的な引き下げ^[17]より引用

河川の巡視体制強化

項目	これまで	当面	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	
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	高頻度で巡視を実施



図1.3.4 河川の監視体制の強化^[17]より引用

◆特殊堤・高潮堤区間（主に白川堤防）

- 変状が小規模で空洞化もなく、護岸等のクラックのみの箇所は、護岸等の補修を実施。
 - 変状の程度が大きい箇所は、特殊堤及び護岸の復旧及び、切返し、地盤改良を実施。
 - 堤体の沈下が生じている箇所は、堤防のかさ上げを実施。
- ※実施にあたっては、地質調査等により地盤の状態を確認のうえで詳細設計を行う。

土堤区間および特殊堤区間における本格的な復旧方法の概念図を、図2.1.1および図2.1.2にそれぞれ示す。

2.2 代表事例

前節で示した本格的な復旧方法の基本的な考え方に従って、土堤区間および特殊堤区間における復旧工法が検討されている。本節では、それぞれの堤防区間の代表事例を紹介する。

(1) 土堤区間の復旧方法の代表事例（緑川堤防A地先）

緑川A地先における堤防変状の概念図を図2.2.1に示す。当該箇所の変状の特徴は、以下の通りである。

- ・堤防天端において川表と川裏の両側に大きく沈下（川表では段差が生じている箇所が存在）し、川裏のり尻部でははらみ出しが生じていた。
- ・川表側のり肩部の変状状態から、川表のり尻部においてもはらみ出しが生じていたものと推測される。

上記の変状の特徴と震後に実施された詳細地質調査結果から、堤体の変状発生メカニズムは、堤体下部層の液状化に起因するものであると推定されている。

推定された変状発生メカニズムをもとに、復旧方法の基本

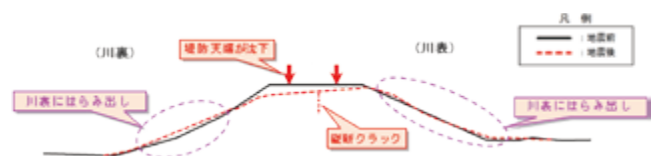


図2.2.1 地震時における堤防変状の概念図（緑川堤防A地先）

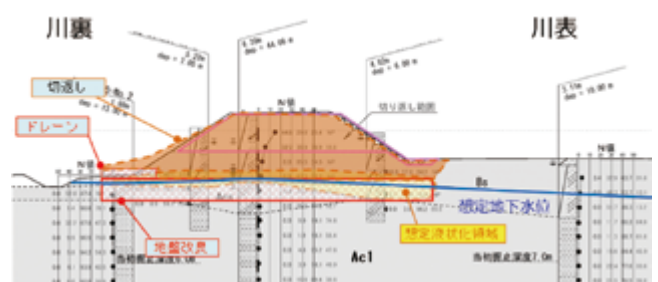


図2.2.2 本格的な復旧方法の概念図（緑川堤防A地先）

■ 軽微な亀裂のみが発生している場合	
変状状況	
復旧方法	
■ 堤体全体にわたって大きな変状(亀裂・沈下・はらみ出し)が発生している場合	
変状状況	
復旧方法	
■ 堤体の沈下のみが生じている場合	
変状状況	
復旧方法	

図2.1.1 土堤区間における本格的な復旧方法
の概念図 ^[24]をもとにJICEで体裁を変更

■ 護岸に軽微なクラックが発生している場合	
変状状況／復旧方法	
■ 大きな変状(沈下・空洞発生・コンクリート構造部の変形)が発生している場合	
変状状況	
復旧方法	
■ 堤体の沈下のみが生じている場合	
変状状況	
復旧方法	

図2.1.2 特殊堤区間における本格的な復旧方法
の概念図 ^[24]をもとにJICEで体裁を変更

的な考え方に基づいて、当該箇所は下記の復旧方法が採択されている（図2.2.2参照）。

- ・川表・川裏の両側において変状（沈下およびはらみ出し）が発生していることから、堤体の全範囲切返しを行う。
- ・切返し深さは、原則として堤体下部液状化層下端までを対象とするが、液状化層下端が地下水位下に存在すること、液状化層直下に沖積粘性土層が堆積しているために施工重機の支持力不足が懸念されることから、切返しは地下水位上方を対象とし、堤体下部液状化層下端までの浅層地盤改良を行う。また、地盤改良を実施することによって堤体内への滞水が助長される可能性が増すことから、堤体内から速やかに排水を促すために、川裏のり尻部ヘドレーン工を併設する。

(2) 特殊堤区間の復旧方法の代表事例（白川堤防B地先）

白川B地先における堤防変状の概念図を図2.2.3に示す。当該箇所の変状の特徴は、以下の通りである。

- ・堤防天端幅全体で沈下（最大0.6m程度）が生じ、パラペットは川表側に傾倒していた。この傾倒によるものかパラペットと天端コンクリートの目地が開いており、天端コンクリートにも縦断クラックが生じていた。
- ・川表高水敷にクラックが発生していた。
- ・川表側に比べて川裏のり尻部の変状は小さい。

上記の変状の特徴と震後に実施された詳細地質調査結果から、堤体の変状発生メカニズムは、基礎地盤浅部に堆積している薄いシルト質砂層およびその直下の砂層の液状化に起因するものであると推定されている。

推定された変状発生メカニズムをもとに、復旧方法の基本

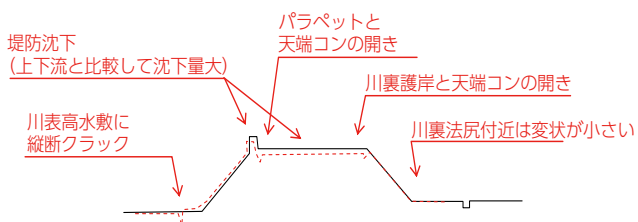


図2.2.3 地震時における堤防変状の概念図
（白川堤防B地先）

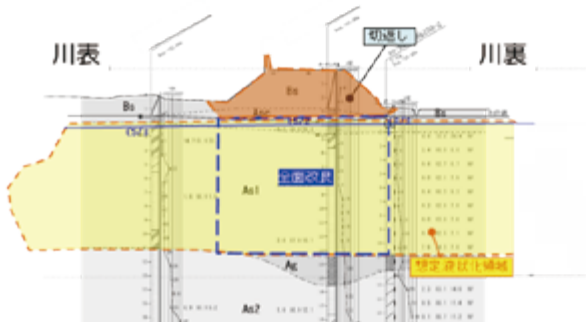


図2.2.4 本格的な復旧方法の概念図（白川堤防B地先）

的な考え方に基づいて、当該箇所は下記の復旧方法が採択されている（図2.2.4参照）。

- ・川表・川裏の両側において変状（沈下やはらみ出し）が発生していることから、堤体の全範囲切返しを行う。
- ・再度災害防止の観点から、特殊堤の地震時変状を軽微なものに留めるために、液状化対策として液状化層（薄いシルト質砂層およびその直下の砂層）の地盤改良を行う。

3 大規模地震時における河川堤防の初動調査のあり方

3.1 大規模地震における河川堤防の初動調査の重要性

平成7年（1995年）兵庫県南部地震や平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震などの大規模地震が発生した場合、広範囲にわたって大きく揺れることとなるため、揺れが強い地域の河川堤防は、ほぼ同時に多くの箇所で大規模な被災が発生するおそれが多い。実際に第1章で紹介したように、平成28年（2016年）熊本地震においても被害は広範囲に及んでいる。

このような大規模地震によって堤防が被災し、その機能が失われた場合には、その後発生するかもしれない洪水により被害を拡大することが無いように、地震被災直後できるだけ速やかに「緊急復旧」を行わなければならない。

しかしながら、「本復旧」における工法選定の検討にあたっては、当該被災箇所ごとの具体的な被災メカニズムの推定が必要となるため、被災直後に実施する初動調査が重要となる。

河川堤防はその築堤履歴が古く複雑であり、そのために土質構成やその材料物性が明確になっていない場合が多い。一般的には縦断方向に約500m～1km間隔につき、横断方向に3本程度のボーリング調査により堤防構造を推定しているため、地震動に対して脆弱な部位を的確に把握することは困難である。

これに対して、大規模地震により大きく揺らされた河川堤防は実物大の破壊試験（ストレスチェック）を実施した状態に等しいと考えられ、堤体およびその基礎地盤において外力（地震動）に見合う耐力を保持していない脆弱部位に起因して、堤防及びその周辺部に変状が発生していると考えられる。

したがって、被災メカニズムを推定する上では、被災直後の段階において、堤防の沈下の程度、亀裂の深さ、のり面等のはらみだし、のり尻の側方変位などの変状をできるだけ詳細に把握することが重要となってくる。これらの変状に関する情報と、既設ボーリングやその後に新たに実施するボーリング等の情報とを総合的に勘案することにより被災メカニズムの推定が可能となる。

3.2 大規模地震時における河川堤防の初動調査における課題

3.1で述べたように地震直後に実施する初動調査は「本復

旧」の工法を検討する上で重要なものであるが、調査範囲が広範囲に及ぶものであり、被災後速やかに実施する「緊急復旧」に支障を生じることがないように円滑かつ効率的に行わなければならない。

しかしながら、地震による堤防の被災事例は、洪水による被災事例に比較して格段に少なく、堤防を管理する職員にとっても、震災直後、被災状況の確認は別にして、「本復旧」の採用工法検討の視点からどのような調査を行うかという点については必ずしも十分な知識を有しているとは限らない。

このことは、今回の熊本地震に限らず他の大規模地震時にも見られることであり、そのためにも初動調査に関する手引き等の充実が必要であると思われる。

このような手引きの代表例が平成7年（1995年）兵庫県南部地震発生の前年の平成6年5月に建設省河川局治水課が監修した「震後対応の手引き」^[27]のほか、東北地方整備局によって平成15年7月の宮城県北部を震源とする連続地震を契機に改定された「河川関係地震災害緊急調査マニュアル（案）」^[29]や、これをもとに東北地方整備局が平成20年4月にまとめた「震後対応の手引き（案）」^[30]（東北地方太平洋沖地震を期に平成27年5月に改定）などがあるが、今回の熊本地震のような地震発生頻度が相対的に低い地域での地震時においても、速やかな初動調査が行えるよう兵庫県南部地震以降に得られた様々な知見や経験を整理するとともに、地震被災に備え日頃から整備しておくべき文献・情報等を明らかにするなど全国の堤防管理者の「震後対応」を示す新たな「手引書」の策定が必要であると考えらる。

最後に、著者は平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震で被災した国土交通省東北地方整備局管内河川堤防の復旧に係る技術検討会に携わったが、その報告書の一部抜粋を表3.2.1に掲げ紹介する。ここに記述されているように、東北地方整備局管内の地震による堤防の被災頻度は他の地方整備局に比較して多いものの、大規模地震のたびに新たな課題が

表3.2.1 北上川等堤防復旧技術検討会 報告書
「あとがき」抜粋^{[28]より引用}

「東日本大震災」をもたらした「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」は、わが国の直轄河川堤防にとっては新潟地震以降15回目の被害地震であった。全国で起こったこの期間の15回の被害地震のうち40%にあたる6回の被害地震は東北地方で発生している。東北地方では新潟地震以前にも昭和37年宮城県北部地震（M6.5）が発生しているので、49年間に被害地震は今次地震を含めて7回発生していることになる。

災害は起こる度に新しい側面を顕在化させる。津波や地殻変動に伴う地盤沈降が堤防被災や堤防の残存機能に直接的な影響を与えた事例は今次地震以前には経験されていない。人知には限りがあり、真摯で謙虚な態度を忘れずに自然災害に対処しなければならない。

顕在化してくることと、これに真摯で謙虚な態度で臨むことの重要性が述べられていることから、東北地方整備局版「河川堤防における震後対応の手引き（案）【改定版】」^[16]が作成され、管内の多くの職員に教訓を含め周知が図られている。

【参考文献等】

- [1] 国土交通省九州地方整備局：報道発表資料 平成28年熊本地震 緑川・白川等の被災・復旧状況（第2報）をまとめました。、平成28年4月29日9時00分、
http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1461920161.pdf
- [2] 前田 庫利・西 一彦・岡部 真人・石川 直樹：＜緊急報告1＞平成28年熊本地震の被災状況を踏まえた今後の課題、JICE REPORT 第29号、p.35-p.43、2016、
http://www.jice.or.jp/cms/kokudo/pdf/tech/reports/29/jice_rpt29_05.pdf
- [3] 気象庁：平成28年4月14日21時26分頃の熊本県熊本地方の地震について、報道発表資料 平成28年4月14日23時30分、
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/14a/kaisetsu201604142330.pdf>
- [4] 気象庁：「平成28年（2016年）熊本地震」について（第7報）、報道発表資料 平成28年4月16日03時30分、
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/16a/kaisetsu201604160330.pdf>
- [5] 気象庁：「平成28年（2016年）熊本地震」について（第22報）、報道発表資料 平成28年4月20日18時00分、
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/20c/kaisetsu201604201800.pdf>
この地震の最大震度は当初、震度6強とされていた。しかしながら、14日の地震によって施設に不具合が生じ、データが気象庁に送信されていなかった熊本県益城町と熊本県西原村の震度計で震度7を観測していたことが4月20日に公表された。
- [6] 気象庁：「平成28年（2016年）熊本地震」について（第23報）、報道発表資料 平成28年4月21日10時30分、
<http://www.jma.go.jp/jma/press/1604/21a/kaisetsu201604211030.pdf>
- [7] 国土技術総合政策研究所 道路構造物研究部 道路地震防災研究室：緑川下流出張所地盤上の強震記録、
<http://www.nilim.go.jp/lab/rdg/eq/16km/16km.htm>
- [8] 国立研究開発法人防災科学技術研究所：2016年04月14日 熊本県熊本地方の地震による強震動、
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20160414212621/main_20160414212621.html
- [9] 国立研究開発法人防災科学技術研究所：2016年04月16日 熊本県熊本地方の地震による強震動、
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html20160416012405/main_20160416012405.html

- [10] 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所：「第1回 緑川・白川堤防調査委員会」資料 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) 地震動の特徴, 平成28年5月6日,
<http://www.qsr.mlit.go.jp/n-topics/h28/160512/data/siryo3.pdf>
- [11] 熊本県防災会議：熊本県地域防災計画（地震・津波災害対策編），平成27年5月20日 修正,
http://cyber.pref.kumamoto.jp/bousai/content/upload/p6_2_1102地域防災計画（地震災害・津波対策編）.pdf
- [12] 表 俊一郎・久保寺 章：都市直下地震－熊本地震から兵庫県南部地震まで，株式会社古今書院，1998.
（以下、引用）“当時の震度の呼び方は、1995年まで気象庁が用いていたものとは若干異なっており、微震・弱震・強震・烈震・強烈震の5区分であった。微震は震度1、弱震は震度2および3、強震は震度4、烈震は震度5に相当するが、強烈震についてはとくに定義はなく、現在の震度6に相当するものと考えられる。”
- [13] 国土交通省九州地方整備局：報道発表資料 平成28年熊本地震 緑川・白川等の被災・復旧状況をまとめました。、平成28年4月24日15時00分,
http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1461988842.pdf
- [14] 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所：「第1回 緑川・白川堤防調査委員会」資料 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 (3) 変状箇所の特徴, 平成28年5月6日,
<http://www.qsr.mlit.go.jp/n-topics/h28/160512/data/siryo3.pdf>
- [15] 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説 II. 堤防編, 平成28年3月,
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/wf_environment/structure/pdf/ref02-2.pdf
- [16] 国土交通省東北地方整備局河川部：河川堤防における震後対応の手引き（案）【改定版】，平成27年5月。
- [17] 国土交通省九州地方整備局：報道発表資料 緑川・白川等の復旧状況について【第3報】＜今後の本格的な復旧に向けて始動＞，平成28年5月18日14時00分,
http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1463547818.pdf
- [18] 九州地方整備局：緑川水系における堤防損傷箇所の緊急復旧工事の進捗状況について，平成28年4月30日19時00分,
http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1462011206.pdf
- [19] 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：北上川等堤防復旧技術検討会 報告書 本編 4.3.3 河川堤防の復旧状況に応じた、洪水予報、水防警報の見直し，平成23年12月,
<http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/K00360/taiheiyokijishinn/kenntoukai/houkokusho.pdf>
- [20] 国土交通省九州地方整備局：報道発表資料 平成28年熊本地震関連 緑川・白川堤防調査委員会（第1回）の開催について，平成28年4月28日15時00分,
http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1461822580.pdf
- [21] 国土交通省九州地方整備局河川部河川計画課：平成28年熊本地震関連 第1回 緑川・白川堤防調査委員会を開催しました，平成28年5月12日,
<http://www.qsr.mlit.go.jp/n-topics/h28/160512/160512iinkai.pdf>
- [22] 国土交通省九州地方整備局：報道発表資料 緑川・白川堤防調査委員会（第2回）の開催について，平成28年6月7日14時00分,
http://www.qsr.mlit.go.jp/n-kisyahappyou/h28/data_file/1465275434.pdf
- [23] 国土交通省九州地方整備局：緑川・白川堤防調査委員会（第2回）を開催しました，平成28年6月23日,
<http://www.qsr.mlit.go.jp/n-topics/h28/160623/index.pdf>
- [24] 国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所：「第2回 緑川・白川堤防調査委員会」資料，平成28年6月10日,
<http://www.qsr.mlit.go.jp/n-topics/h28/160623/siryo.pdf>
- [25] 国土交通省河川局治水課：河川堤防設計指針，平成19年3月23日最終改正,
http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/bousai/gijyutukaihatu/pdf/teibou_sekkei.pdf
- [26] 財団法人国土開発技術研究センター 編，社団法人日本河川協会：改定 解説・河川管理施設等構造令，株式会社山海堂，p.110，平成12年2月。
- [27] 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、社団法人全日本建設技術協会
- [28] 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：北上川等堤防復旧技術検討会 報告書 本編 あとがき，平成23年12月,
<http://www.thr.mlit.go.jp/Bumon/B00097/K00360/taiheiyokijishinn/kenntoukai/houkokusho.pdf>
- [29] 国土交通省東北地方整備局河川部：河川関係地震災害緊急調査マニュアル（案）、平成16年5月
- [30] 国土交通省東北地方整備局河川部：震後対応の手引き（案）、平成20年4月