

第Ⅱ編 河川構造物被害

第Ⅱ編 河川構造物被害

目 次

1. はじめに	Ⅱ- 1
2. 被害状況	Ⅱ- 2
2.1 調査概要	Ⅱ- 2
2.2 千種川・佐用川の被災状況	Ⅱ- 5
2.2.1 上郡町柏野における被災状況	Ⅱ- 5
2.2.2 上郡町河野原における被災状況	Ⅱ- 6
2.2.3 佐用町小赤松における被災状況	Ⅱ- 7
2.2.4 佐用町久崎における被災状況	Ⅱ- 8
2.2.5 佐用町円光寺における被災状況	Ⅱ-10
2.2.6 佐用町早瀬における被災状況	Ⅱ-11
2.2.7 佐用町口長谷における被災状況	Ⅱ-12
2.3 揖保川（宍粟市）における被災状況	Ⅱ-19
2.3.1 宍粟市中安積地区における被災状況	Ⅱ-19
2.3.2 宍粟市一宮町楽里地区（揖保川 48.1km 地点）における被災状況	Ⅱ-23
2.3.3 宍粟市一宮町下西深地区（揖保川 51.0km 付近）における被災状況	Ⅱ-24
2.4 福知川の被災状況	Ⅱ-27
参考文献	Ⅱ-29
3. 河川構造物被災原因の推定	Ⅱ-30
3.1 河川構造物被災の特徴と被災メカニズム	Ⅱ-30
3.1.1 千種川・佐用川	Ⅱ-30
3.1.2 揖保川	Ⅱ-48
3.1.3 福地川	Ⅱ-52
3.2 平成 16 年災害と平成 21 年災害	Ⅱ-55
3.3 地盤形成の履歴による地形地質特性と被害について	Ⅱ-58
3.4 河道の変化と潜在的な災害危険度	Ⅱ-65
3.4.1 はじめに	Ⅱ-65
3.4.2 空中写真	Ⅱ-65
3.4.3 幕山川の河道変化	Ⅱ-65
3.4.4 佐用川千種川の合流域周辺の河道の変化	Ⅱ-65
3.4.5 まとめ	Ⅱ-66
参考文献	Ⅱ-68

第Ⅱ編 河川構造物被害

1. はじめに

平成 21 年の地盤工学会研究発表会のディスカッションセッション（DS）において、「流域地盤災害の減災技術の構築に関する研究委員会報告」を行う 10 日前、8 月 8 日から 9 日にかけて兵庫県北西部（佐用町など）で豪雨災害が発生した。早速地盤工学会では調査委員会が設けられ、速報は先の DS でも報告がなされた。この災害は、日雨量 326.5 mm、総雨量 349.5 mm、時間最大 89 mm/hr という豪雨であり、千種川水系佐用川の流域に死者 18 名、行方不明者 2 名（2009 年 10 月 2 日現在）¹⁾の人的被害が発生するなど、甚大な被害をもたらしました。流域地盤災害の減災技術の構築に関する研究委員会主催のシンポジウムの前ということもあり、本委員会の堤防や護岸に関する事項は本 WG で行うこととなった。本災害は、蛇行する河川流域での想定を越える豪雨による災害である。先の平成 16 年の豪雨災害と同様な局地的豪雨によるものであり、このような災害に対しての対策、強化策を早急に取り組む必要がある。特に、今回は、避難時期などが指摘されたが、物理的な現象の経験理解がなければ、適切な避難が難しい。この点、ソフト対策とともに現象の理解を徹底する必要がある。本報告書は中間報告的なものではあるが、今後の地盤災害の減災技術の構築に役立つものと確信している。最後に、ご多忙のところ時間をさき、本書の執筆、作成にあたりご協力いただいた委員、資料を提供いただいた兵庫県など関係各位、各機関や発刊に際しまして御努力いただきました関係者各位に厚く謝意を表したいと思います。

平成 21 年 12 月 7 日

社団法人地盤工学会関西支部

平成 21 年台風 9 号による地盤災害調査団

河川構造物被害調査グループ班長 岡 二三生

参考文献

1) 兵庫県：平成 21 年台風第 9 号による被害について（第 53 報），

<http://web.pref.hyogo.jp/contents/000137323.pdf>

2. 被害状況

2.1 調査概要

本調査団は、兵庫県北西部（佐用町、宍粟市など）で平成21年8月8日から9日に発生した豪雨災害被害に対し、平成21年8月17日と8月21日の2回にわたって千種川、佐用川、福地川の現地調査を行った。

調査は、主に護岸や河川構造物を対象として、河川構造物の被災状況や洪水痕跡、被災箇所と河川形状や地形との関係等に主眼を置いて実施した。

本章では、今回の調査で特徴的であった被災箇所を河川単位で整理する。なお、円光寺地区の被災状況は、今回、調査に入れなかったため、土木工学会調査団の調査結果を基に取りまとめた。調査範囲の各河川の調査結果整理箇所を位置図に示す（図2.1,2.2,2.3）。

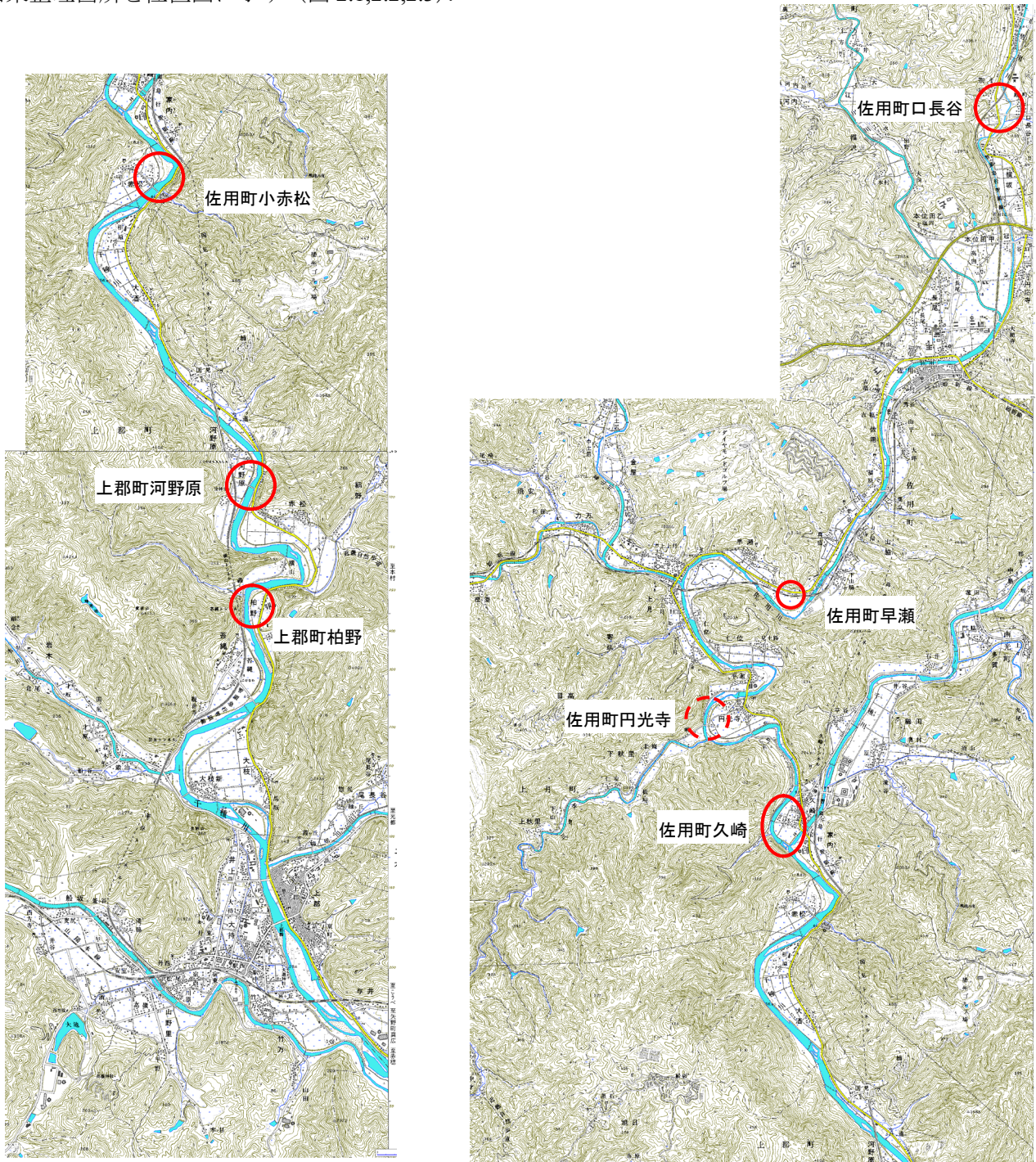


図 2.1 千種川・佐用川調査結果整理箇所位置図¹⁾



図 2.2 揖保川調査結果整理箇所位置図¹⁾

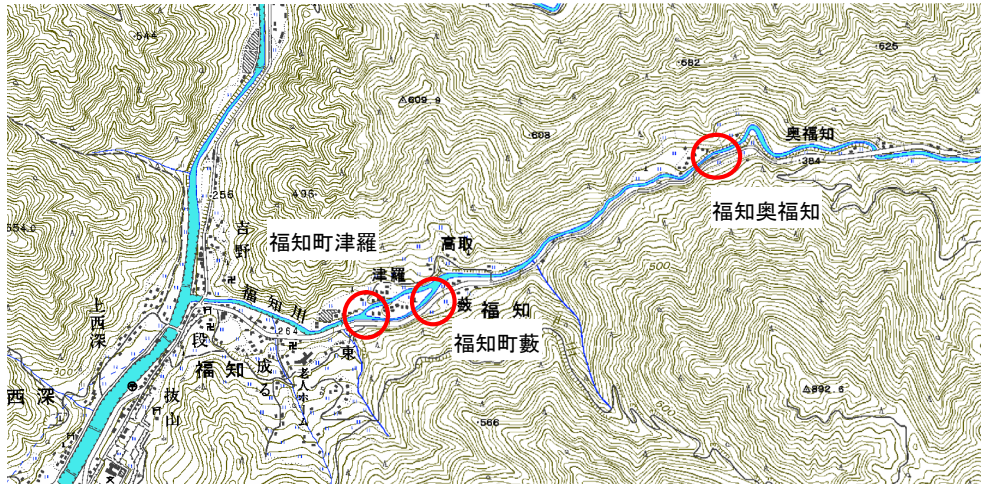


图 2.3 福知川調査結果整理箇所¹⁾

2.2 千種川・佐用川の被災状況

2.2.1 上郡町柏野における被災状況

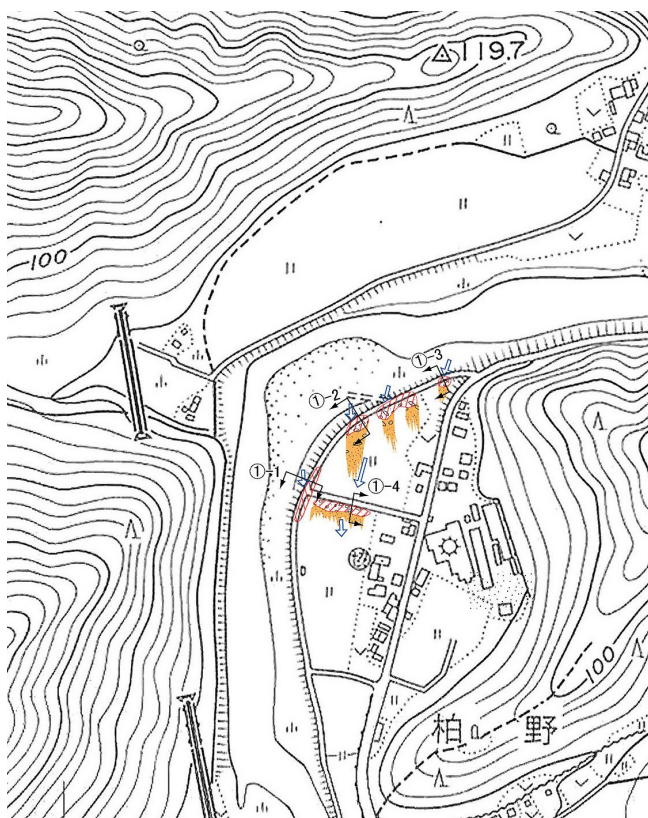


図 2.4 上郡町柏野地区被災状況平面図



図 2.5 越水箇所の状況 (①-3)



図 2.6 越水箇所被災状況 (①-2)



図 2.7 越水箇所被災状況 (①-1)



図 2.8 堤内地道路盛土被災状況 (①-4)

千種川流域の上郡町柏野地域では、台風9号による豪雨によって千種川左岸の堤防が決壊に至った。図2.4に同地域の堤防決壊箇所近辺の被災状況平面を示す。堤防の損壊箇所は同図に示した2箇所(図中①-2, ①-3の場所)となっており、損壊原因は越水である。同図中の写真では堤防は修復されているが、植生の無い部分が被災箇所に対応する。この越水箇所の周辺では天端上のコンクリート構造物周辺のせん掘(図2.4の①-1)や堤防からやや離れた場所においても農道脇の水田において地面の侵食(図2.4の①-4)が認められた(図2.8)。

2.2.2 上郡町河野原における被災状況

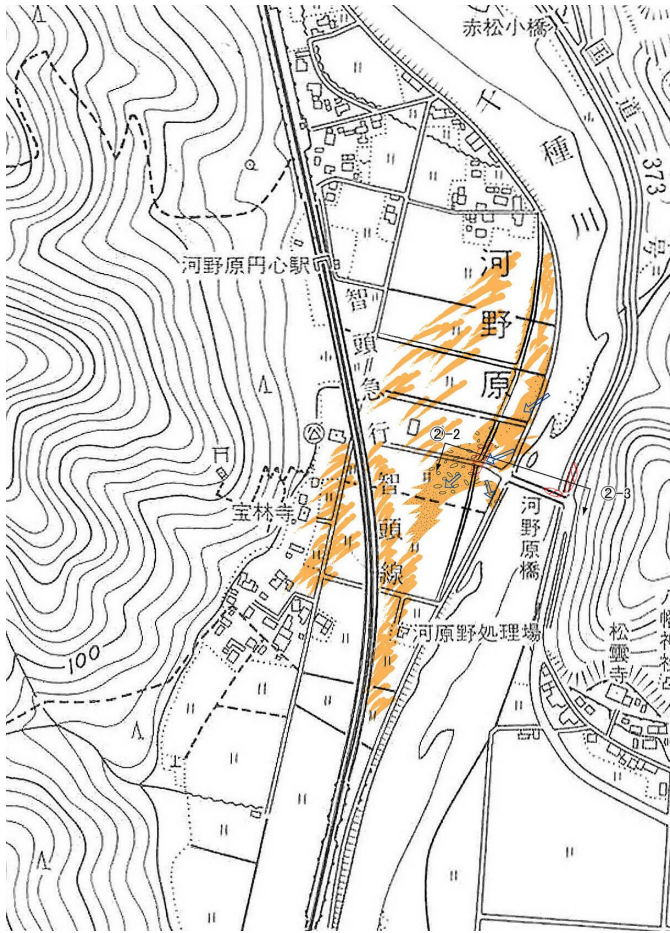


図 2.9 上郡町河野原地区被災状況平面図



図 2.10 被災状況航空写真¹⁾



図 2.11 橋梁の損壊状況



図 2.12 橋梁上流側護岸被災状況



図 2.13 右岸堤内地状況

上郡町河野原地域では千種川の右岸堤防が損壊に至った。同地域は千種川の湾曲部に位置しており、橋梁（＝河野原橋）が設置されている。図 2.9 にこの地域の被災状況の平面図を示す。図 2.11 に示されるように左岸側の橋の欄干が倒壊（図中の被災箇所②-1）しており、右岸側に比べて大きな被害を受けている。左岸側では河野原橋の上流部で護岸の崩壊（図 2.12）が生じている。図 2.10 からは決壊によって堤内地に土砂が流出した様子が見てとれる。

2.2.3 佐用町小赤松における被災状況

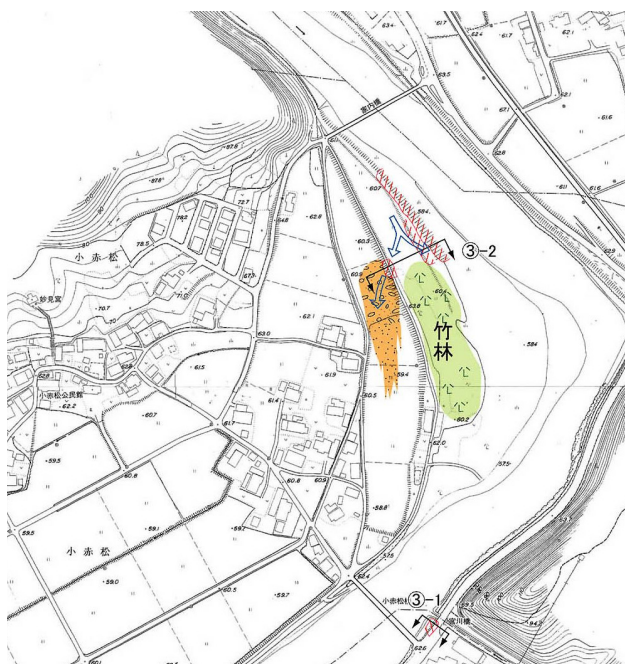


図 2.14 小赤松地区被災状況平面図



図 2.15 越流箇所被災状況



図 2.16 越流箇所被災状況



図 2.17 赤松橋上流側護岸被災状況



図 2.18 赤松橋上流側護岸被災状況（詳細）

図 2.14 に同地域の被災状況を平面図に示す。佐用町小赤松地域では千種川右岸の堤防が越水により決壊し（図 2.15, 2.16），小赤松橋の上流側左岸の護岸が損壊した（図 2.17, 2.18）。

2.2.4 佐用町久崎における被災状況

(1) 越水箇所の状況

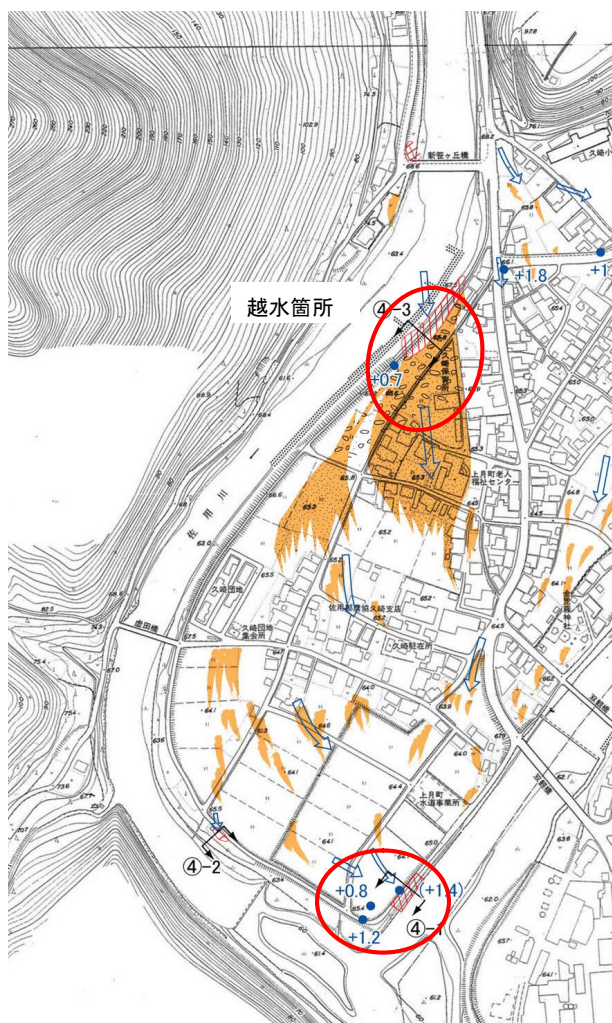


図 2.19 久崎地区被災状況平面図



図 2.20 堤防被災状況 (兵庫県提供)



図 2.21 堤防川表側状況



図 2.22 久崎地区被災状況

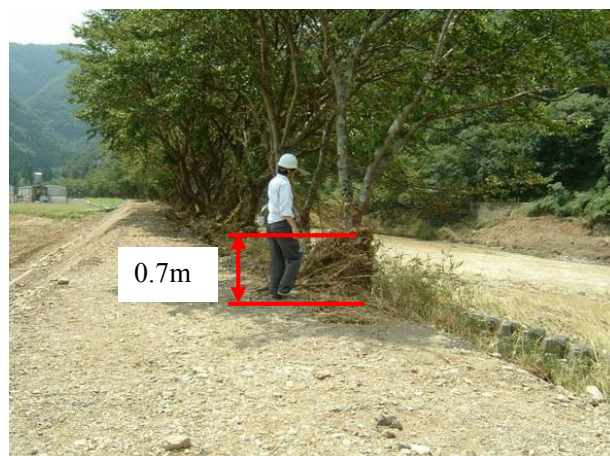


図 2.23 洪水痕跡(水深 約 0.7m)

(2) 堤内から河川への流入箇所



図 2.24 護岸背面からの外力による被災



図 2.25 痕跡水位 $h=1.2\text{m}$

佐用町久崎地域は佐用川と千種川の合流地点にあたる。この地域では台風9号に伴う豪雨によってこれら2つの河川からの氾濫流が地域全体を浸水させた。図2.19に同地域の被災状況を平面図に示している。同図に示す流出土砂の様子をみると、山に挟まれて北方向から流れて河川水は新笹ヶ丘橋付近ですでに越水していたと考えられる。その下流で佐用川（図中左側の河川）が南西方向に湾曲する部分において水衝部にあたる左岸堤防が越水により損壊に至った（図2.20）。被覆された川表側は、護岸の一部が残されているが、土砂は洗掘によって流失している（図2.21）。北方向から押し寄せた河川水は湾曲することなく、越水箇所から直線的に流れ出し佐用川と千種川が合流するデルタ地帯を浸水させる結果となった。図2.19に示した土砂流出の方向がデルタ地帯の氾濫水の流れの方向を示している。越水箇所付近の住宅には相当量の越流水が流れ込み、さらにその基礎部分が侵食を受けるなど甚大な被害を受けた（図2.20）。堤防損壊箇所の下流側の佐用川と千種川の合流地点では土手の侵食および護岸損壊が発生した（図2.24）。これは河川流によるものではなくデルタ地帯の氾濫水が河川へと戻る方向で生じた流れによるものであり、非常に珍しいケースと考える。

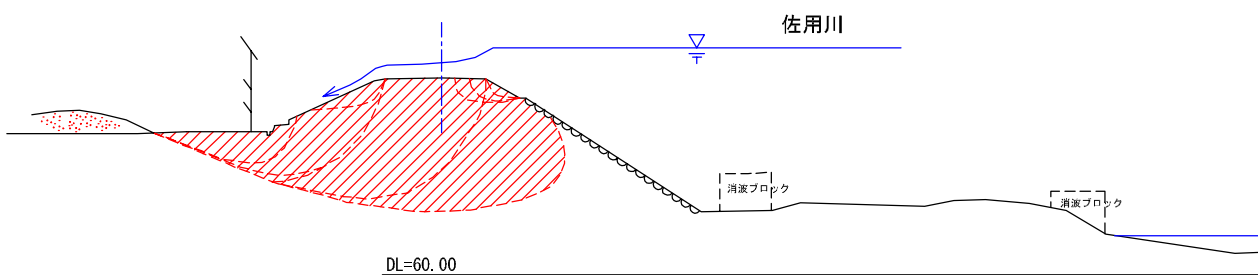


図 2.26 堤防洗掘状況

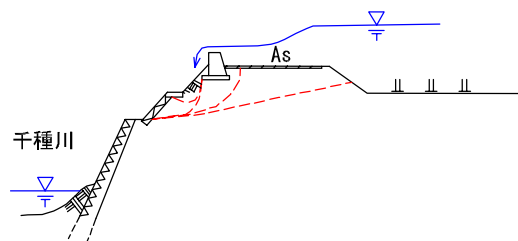


図 2.27 背面からの外力による護岸損壊

2.2.5 佐用町円光寺における被災状況²⁾

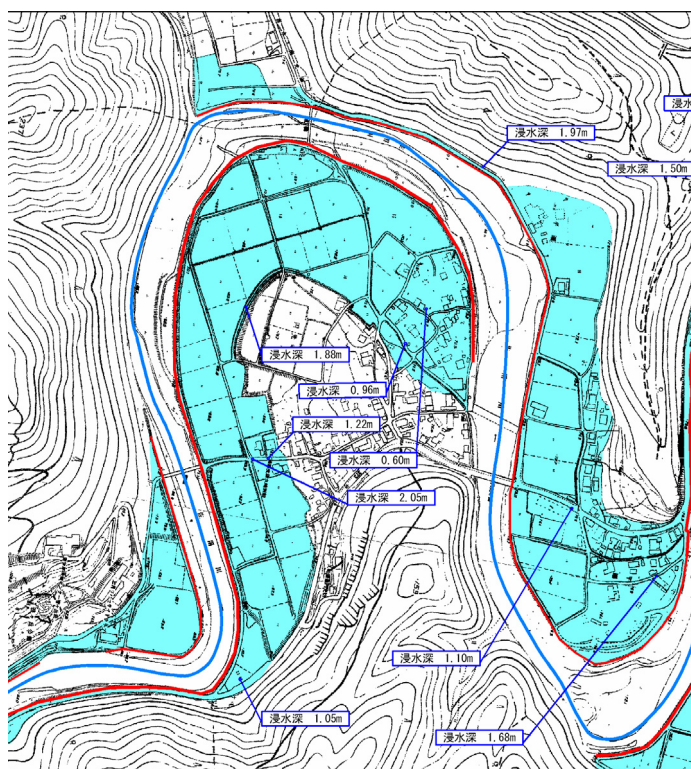


図 2.28 円光寺浸水エリア（兵庫県資料）



図 2.29 越流による被害状況



図 2.30 痕跡水位



図 2.31 堤内→堤外流下箇所（下流側）



図 2.32 堤内→堤外流下箇所（下流側）

円光寺地区では平成 16 年の災害で 1 m かさ上げした堤防を越えて水位が上昇し、上流側で越流による堤防の堤内側法面洗掘（図 2.29, 2.30），下流側で堤防背面からの外力による堤外側の法面洗掘が発生している（図 2.31）。一方、堤防道路の舗装を行いパラペットで改修された部分については被害発生が見られなかった（図 2.32）。

2.2.6 佐用町早瀬における被災状況



図 2.33 早瀬地区被災状況平面図



図 2.34 線路の被害状況



図 2.35 線路の被害状況



図 2.36 痕跡水位 $h=1.4\text{m}$

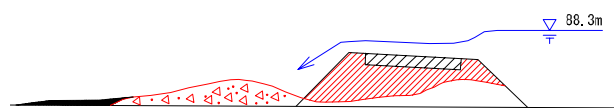


図 2.37 損壊箇所断面

図 2.33 に佐用町上月地域における被災状況の平面図を示す。佐用川にはすでに流下能力を上回る流量が流れていたものと考えられる。図 2.33 からわかるように、東から流れてきた佐用川は同地域の平野部に溢れ出し、氾濫した。同図に青字で示す氾濫水の水深は 1.4m となっており、相当な水量が平野部にも流れていたことを物語っている。その結果、線路盛り土を流体力によって運ぶことで、盛り土の損失と線路の変形が生じたと考えられる。図 2.37 には線路盛り土と線路の損壊箇所の断面図を示す。

2.2.7 佐用町口長谷における被災状況

口長谷エリアにおいて本調査団が現地調査を行った箇所は、佐用川 15.2k~15.560k 付近の区間である。当該地は、堤内地盤高が比較的高い（左岸堤内地盤>H.W.L., 右岸堤内地盤 \geq H.W.L.）区間となっている。

変状原因の一覧表を表 2.1 に、口長谷エリアの平面位置図を図 2.38 に、口長谷エリアの横断図を図 2.39 に、現地調査結果の平面図を図 2.40 に示す。

表 2.1 変状原因の一覧表

河川	場所	対象		現象	素因	誘因
佐用川	佐用町 口長谷	道路盛土	洗掘被害	氾濫水がショートカットした流れによる道路盛土の洗掘	河道の流下能力の不足	約 200m 上流での護岸の崩壊
	佐用町 宗行	右岸堤防 護岸	護岸損壊	護岸構造の変化部で越流水により護岸背面が洗掘	河道の流下能力の不足	越流水による護岸背面の洗掘
	佐用町 宗行	右岸堤防	越流堤体 損壊	越流水により護岸裏の堤体が流出	河道の流下能力の不足	越流水による洗掘

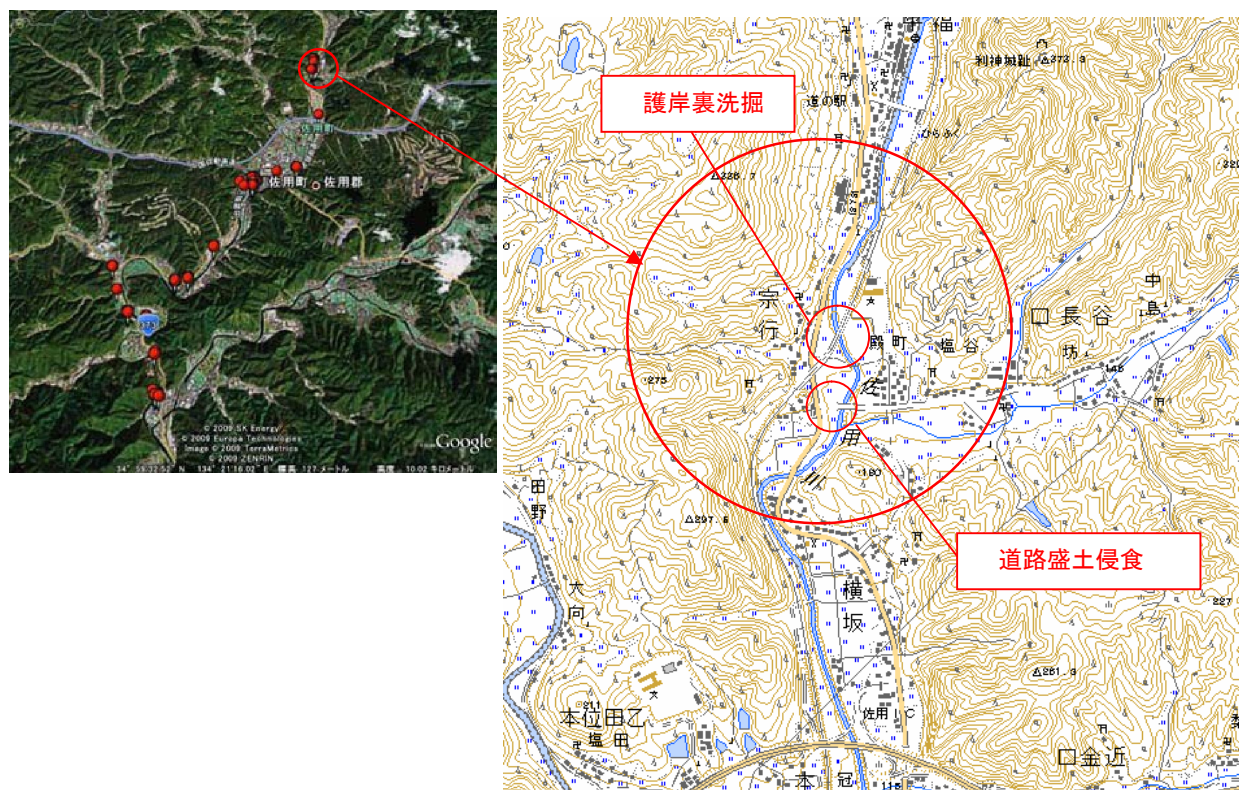


図 2.38 口長谷エリアの平面位置図

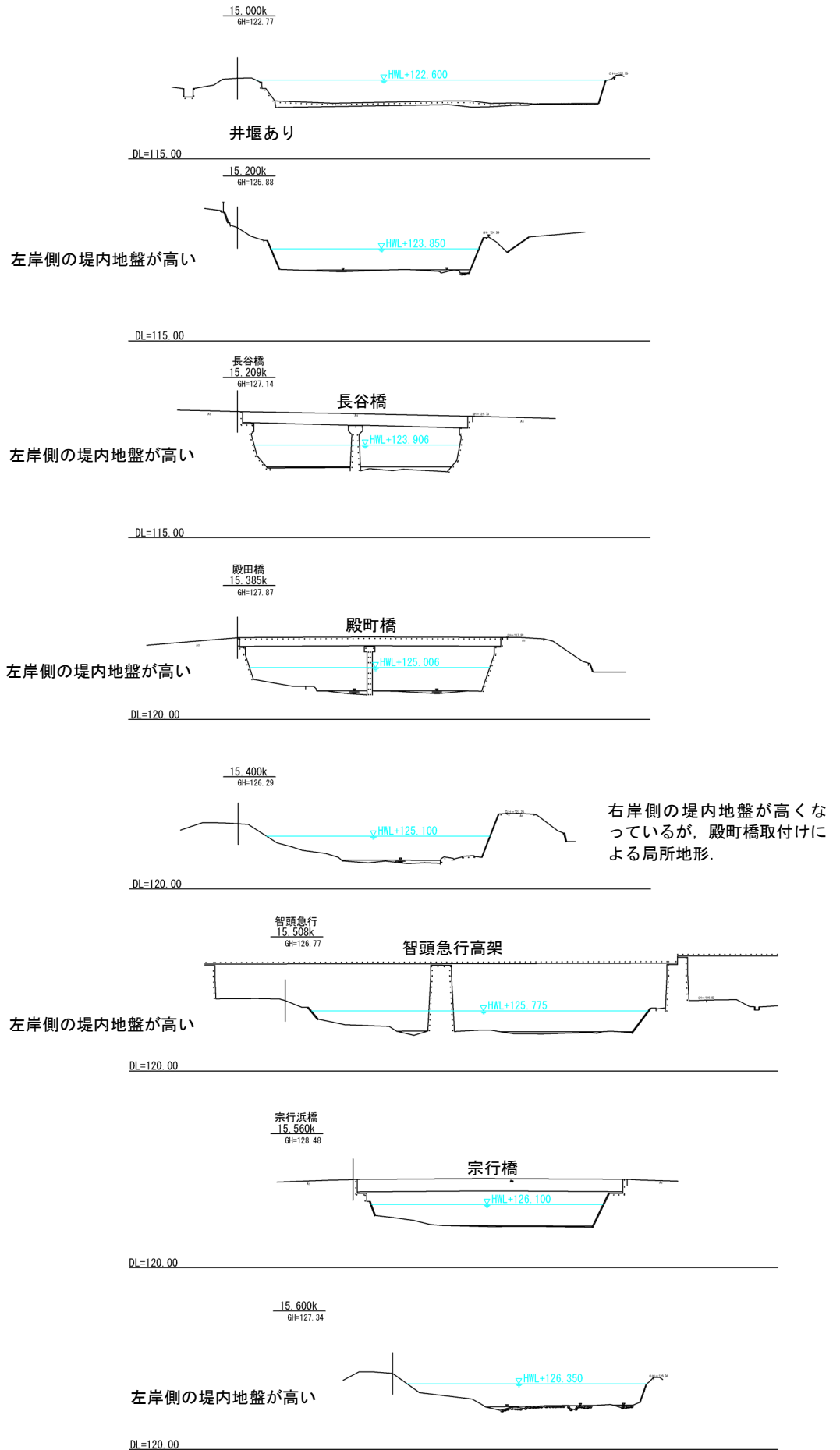
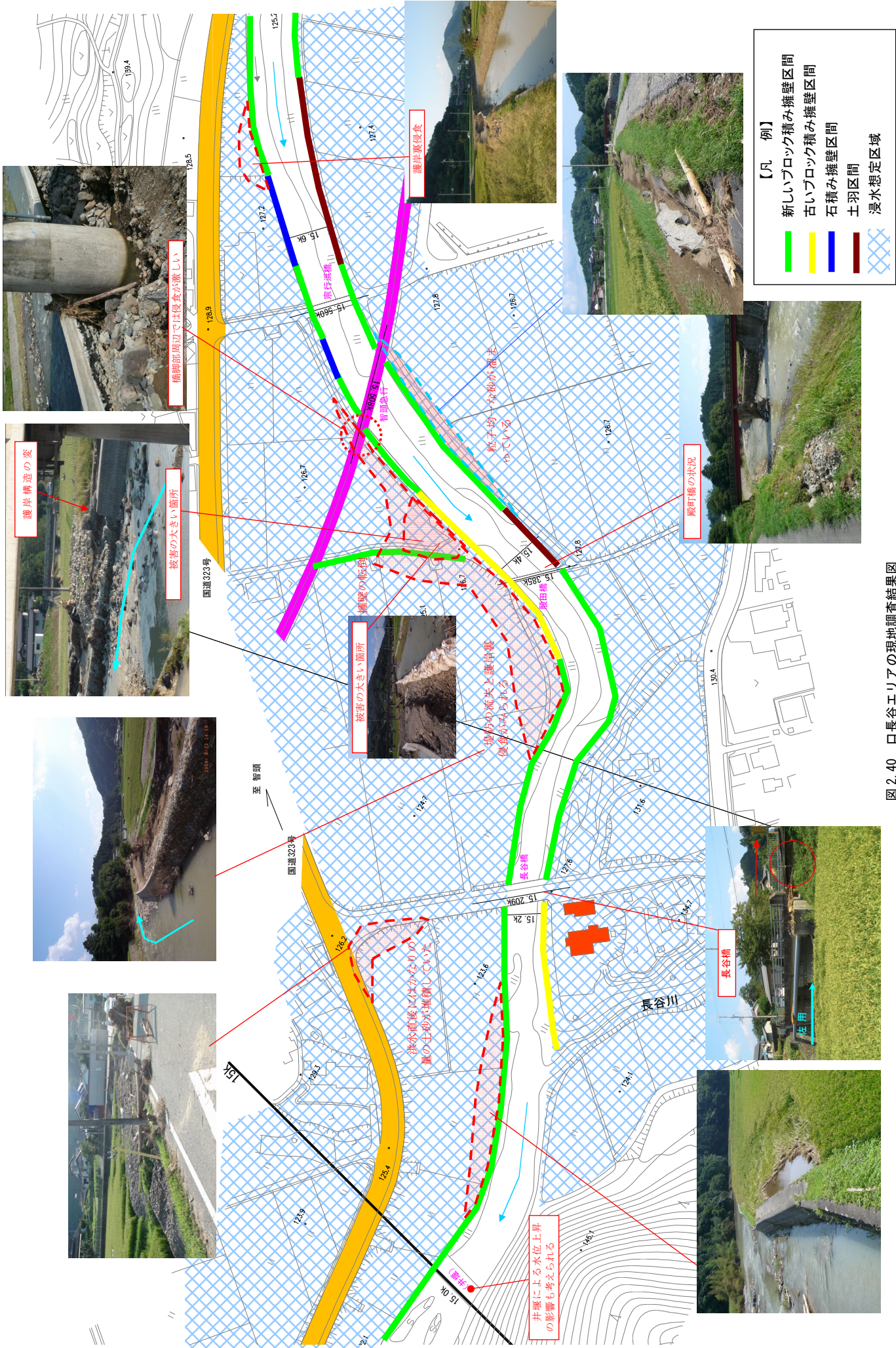


図 2.39 口長谷エリアの横断図



- 【凡 例】
- 新しいブロック積み擁壁区間
 - 古いブロック積み擁壁区間
 - 石積み擁壁区間
 - 土羽区間
 - 浸水想定区域

図 2.40 口長谷エリアの現地調査結果図

1) 洪水痕跡

長谷橋における痕跡より、長谷橋の道路面が 0.5m 程度冠水していたものと想定される。国道 323 号線の交差点近傍の倉庫の外壁には GL+20cm 程度の浸水痕跡を確認している。

周辺の状況より、洪水時には上流において越水した河川水により、付近一帯が浸水（図 2.40 参照）したものと推定される。



長谷橋の洪水痕跡(右岸堤内地より望む)

長谷橋近傍の痕跡水位(右岸)

図 2.41 痕跡水位の現場写真

2) 河川護岸の被災状況

当該区間の河川護岸構造は、横断図および現地写真より、比較的新しいブロック積み擁壁、古いブロック積み擁壁（ブロックの色調より判断）、古い石積み擁壁に大分される。

当該区間における河川護岸の被災は主に護岸裏侵食であり、その発生箇所は、現地調査結果の平面図に示すように、護岸構造の形式によらず右岸の河道湾曲部（内岸側）に集中しているものと推測される。特に、河道湾曲部の内岸側では侵食の度合いが激しい。このことから、今回の被災の原因は護岸形状ではなく、河道形状に起因するものと想定される。

もうひとつの傾向として、R15.4k 直上流部に代表されるように、新しいブロック積み擁壁部と古いブロック積み擁壁部の境界部において激しい護岸裏侵食がみられる。このことから、護岸構造の変化点では、洪水時において弱部になっている可能性があるものと考えられる。



R15.4k 付近における護岸の被災状況を対岸より望む

R15.4k 付近における護岸の被災状況を堤内地より望む

図 2.42 L15.4k 直上流部の護岸裏侵食の状況

3) 堤体の被災状況

当該区間における堤体の被災状況は、護岸裏侵食と同様に越流水により侵食され、被災の度合いの激しい箇所では堤体がほとんど流失している。被害の発生箇所は、主に右岸に集中している。この誘因は、以下に示す現地の地形的な特徴によるものと推定される。

- ① 当該地の地形的特徴が概ね左岸から右岸側へ傾斜しており、左岸側の堤内地盤高が計画高水位（H.W.L.）より高く、右岸側の堤内地盤高はH.W.L.より低くなっていること
- ② 当該区間内で大きく湾曲しており右岸側が内岸側であること

次に、殿町橋（15.385k）～宗行浜橋（15.560k）における天端アスファルト舗装の剥離状況に着目すると、右岸側では剥離状況が激しくほぼ全区間でアスファルト舗装の剥離がみられるのに対し、左岸側のアスファルト舗装には剥離がほとんど見られない（橋脚部周辺で一部剥離あり）傾向を示す。このことから、右岸側の方がより越流水深が深く、アスファルト舗装に作用する天端上のせん断力が大きかったものと推測される。さらに、右岸側で剥離したアスファルト舗装が、ほぼそのままの状態の下流側の右岸堤内地側に移動していることから、下流方向へ直線的な流れが発生していたものと推測される。



L15.3k 付近の河道湾曲部（内岸側）における堤体の被災状況（上流側より望む）

図 2.43 L15.3k 付近の堤体の被害状況



上流側より殿町橋を望む（兩岸へ越流していたことが推測される）



上流側より左岸堤防を望む

図 2.44 L15.4k 直上流部の堤体の被害状況（左岸側）



下流側より堤内地側を望む



上流側より堤防を望む



智頭急行高架橋の橋脚周辺部では侵食が激しい



天端アスファルトが下流へ移動(下流側より望む)



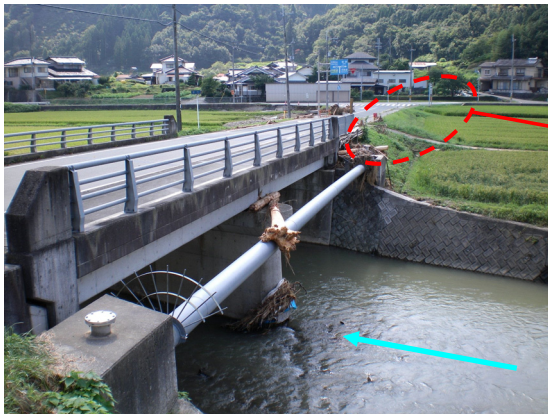
右岸堤内地一帯の被災状況(下流側より望む)

図 2.45 L15.4k 直上流部の堤体の被害状況 (右岸)

4) その他（道路盛土の侵食）

国道 323 号線との交差点部において、道路盛土が侵食の被害を受けている。侵食の深さは GL-1.8m と非常に深い。この箇所において、大きな侵食破壊が発生していることから、洪水時には付近一帯が浸水していたものと想定される。

当該地における道路盛土の侵食の特徴的な点として、盛土の越流する流れの上流側では被害は見られず、下流側で大きく洗掘され盛土材料が流出していることが挙げられる。これは流速分布や圧力分布が影響していると考えられる。



長谷橋の左岸側より右岸堤内地を望む



越流する流れの上流側の道路盛土



越流する流れの下流側における道路盛土の被災状況



道路盛土の洗掘状況

図 2.46 国道 323 号線交差点部の道路盛土の侵食

2.3 揖保川（宍粟市）における被害状況

2.3.1 宍粟市中安積地区における被災状況

揖保川の直轄区間（国交省管理）は河口から 46.0km 地点（図 2.47）である。中安積地区は直轄区間の最上流部であり、これより上流区間は県管理となる。当該地は昭和 47 年の洪水で浸水被害を受けており、管理者（国交省）の河川整備計画の対策地区も選定されている（図 2.48）。左岸側の嵯峨山地区は背後地盤が高く、氾濫解析において、氾濫が拡大しない結果となったため、重要対策地区には選定されていない。



図 2.47 揖保川（45～46km 地点）中安積地区の空中写真³⁾



図 2.48 中安積・嵯峨山地区周辺の氾濫浸水予想図³⁾

中安積地区付近の揖保川流下能力を図 2.49 に示す。川岸に丘陵が迫っていない区間に関しては 500～1000m³/s 程度である。右岸（中安積地区）側の区間では、計画対象規模である昭和 47 年の洪水流量 830m³/s 以下の流下能力でしかない。従って現在、河道改修（築堤あるいは河道掘削等）が計画されている。1990 年 9 月 17 日の安積橋（45.0km）付近の出水状況を図 2.50 に示す。上流側の写真（右図）では浸水状況が確認できないが、下流側の写真（左図）では堤内地の田面（黄色）が確認でき、外水氾濫は生じていないことが推察される。

本調査団が調査した木坂橋（45.6～45.8km）周辺の 2009 年台風 9 号による氾濫被害状況を図 2.51 に示す。図 2.51(a)では木坂橋の高欄が越流により流出したことが、流木により流水が阻害されたことがうかがえる。図 2.51(b) (c)は木坂橋上流で観察された浸水深を示す痕跡である。右岸側では 1.7m 以上の浸水痕跡が認められたが、左岸側では約 0.7m であった。これは、本川の越流は河川の湾曲に沿って主に右岸側で生じており、左岸側の浸水は後述するように旧河道に沿った浸水であったために浸水深に違いが生じたと考えられる。図 2.51(d)に木坂橋右岸側の下流方向に侵食痕を示す。下流側においても越流が生じ、その水流が堤防脚部（堤内地側）を侵食したことが推察される。

以上より、今回の台風 9 号による出水量は、この地点（中安積地区）における流下能力（500～1000m³/s）をはるかに超えた出水であったことがうかがえる。

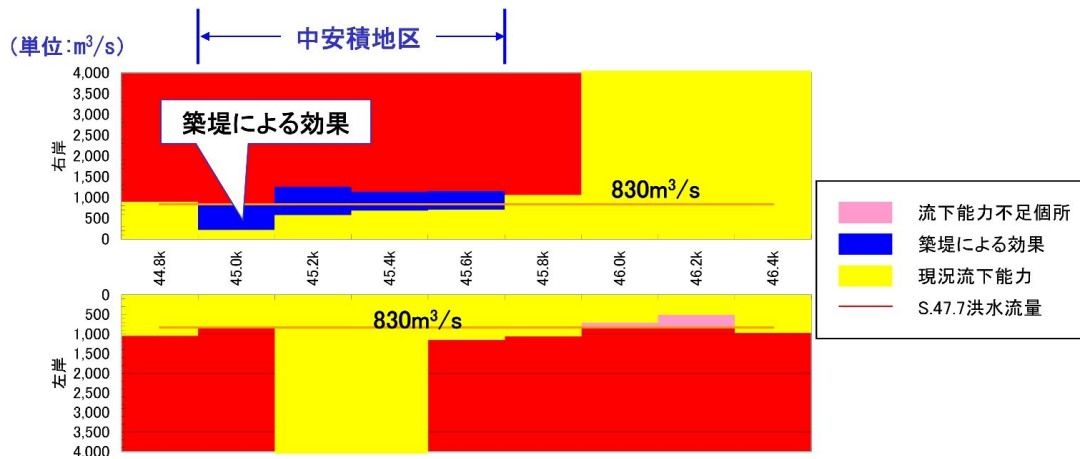


図 2.49 揖保川 45～46km 地点付近の流下能力³⁾
(1968 年 7 月の洪水流量 830m³/s を併示)



安積橋下流より

安積橋上流より

図 2.50 1990 年 9 月 17 日台風 19 号出水時の安積橋付近の状況³⁾

中安積，嵯峨山地区周辺の基盤地図情報 10m 標高にもとづく標高コンター図を図 2.52 に，治水地形分類図（国土地理院）を図 2.53 に示す．木坂橋右岸下流側のエリアは周辺の土地と比べて標高が低く，浸水リスクが非常に高いことがわかる（図 2.52）．これは図 2.48 の浸水予測範囲と概ね一致する．木坂橋の上流左岸側に旧河道の地形が存在し（図 2.53），図 2.51(c)はおおよそ旧河道上に残された氾濫流の痕跡と考えられ，本川の流下能力を上回った氾濫流が旧河道を流れた可能性が示唆される．図 2.51(d)の越流侵食痕は上記旧河道の延長線上にあることは興味深い．



(a) 木坂橋高欄被害および流木による流水阻害の形跡



(b) 木坂橋右岸上流側の浸水痕跡（約 1.7m）

(c) 木坂橋左岸上流側の浸水痕跡（約 0.7m）



(d) 木坂橋右岸下流側

図 2.51 中安積地区木坂橋付近の氾濫被害状況

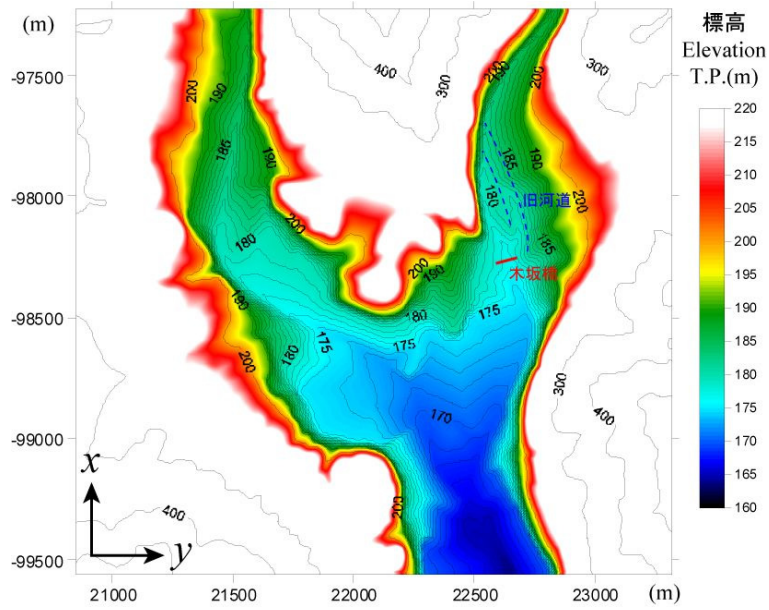


図 2.52 基盤地図情報¹⁾にもとづく中安積地区の標高コンター
 (木坂橋の位置および旧河道位置を併示, 世界測地系 平面直角座標第 5 系)

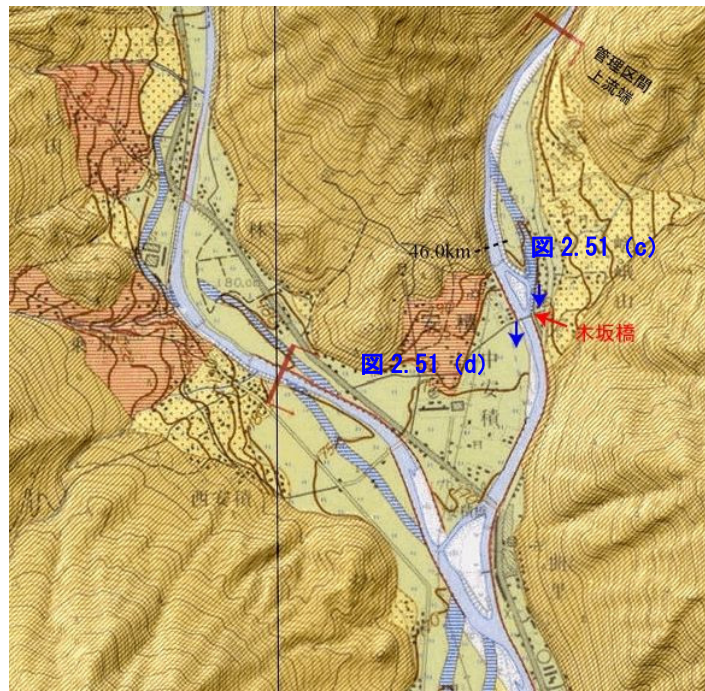


図 2.53 中安積地区周辺の治水地形分類図
 (基盤地図情報 10m 標高を地形データとしてカシミール 3D により地形の起伏を表現)

2.3.2 宍粟市一宮町楽里地区（揖保川 48.1km 地点）における被災状況

当該区間（楽里地区，揖保川 48.1km 付近（兵庫県管理区間））においては，河道がほぼ 90° 湾曲しており，また，下流は狭窄部となっている（図 2.54）．河岸および道路の侵食被災状況を図 2.55(a),(b)に示す．このような河道状況（下流部の閉塞，湾曲）から，水位の上昇を招き（浸水痕跡約 0.7m），また，河道に数多く観察された巨礫等の堆積物による攻撃斜面となり，河岸（道路脚部）の侵食を生じさせたと推察される．このような箇所では河岸天端の法肩の取り扱いが重要であると考えられる．具体的には，コンクリート護岸（河岸）とアスファルト舗装（道路）のつなぎ目（図 2.55 (a)）において，地表土層の侵食あるいは基礎地盤への水の浸透を生じさせ，大規模な侵食被害を引き起こす可能性が考えられる．

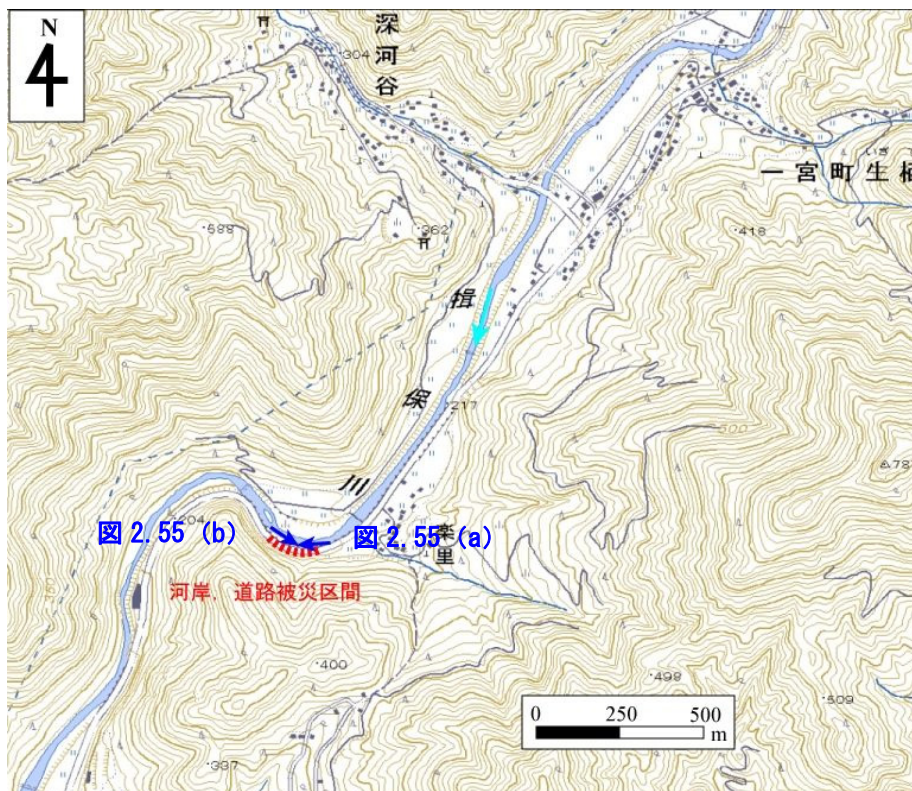


図 2.54 2009 年台風 9 号により河岸および道路が侵食を受けた区間（一宮町楽里地区）
（25,000 分の 1 地形図（国土地理院）¹⁾より）



(a) 被災区間上流側

(b) 被災区間下流側

図 2.55 楽里地区（揖保川 48.1km 付近）の河岸，道路の被災状況

2.3.3 宍粟市一宮町下西深地区（揖保川 51.0km 付近）における被災状況

揖保川 51.0km 付近（下西深地区）の区間（図 2.56）では、右岸側のコンクリート護岸が幅約 200m にわたって損壊していた。護岸が欠損した区間の上流端は河道が狭くなる，すなわち，縮流する区間になっていることがわかる（図 2.56）。左岸側は山地斜面が河岸まで迫っており，一方で，右岸側には低平地（田畑）が存在している（図 2.57）。

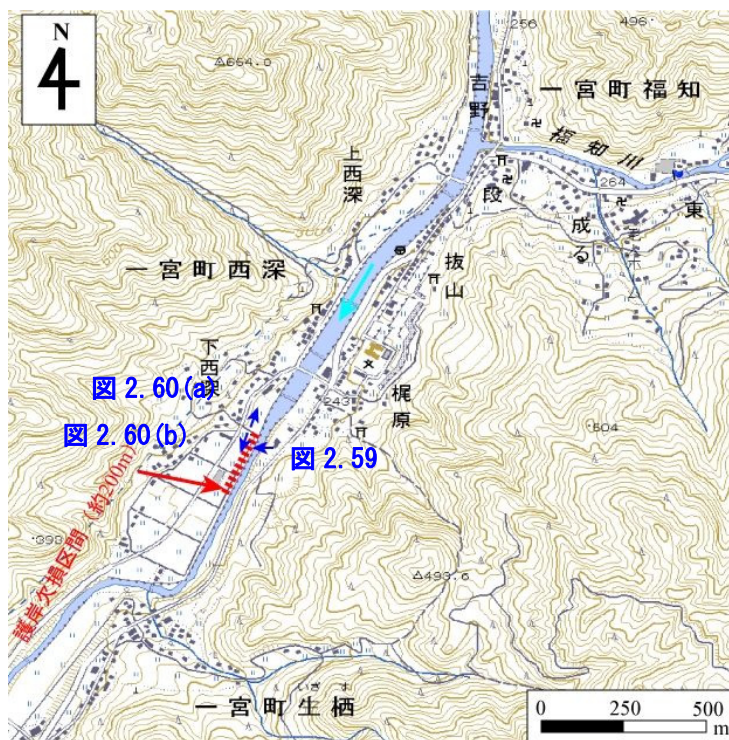


図 2.56 一宮町下西深地区，揖保川 51.0km 付近被災区間（25,000 分の 1 地形図（国土地理院）¹⁾より）

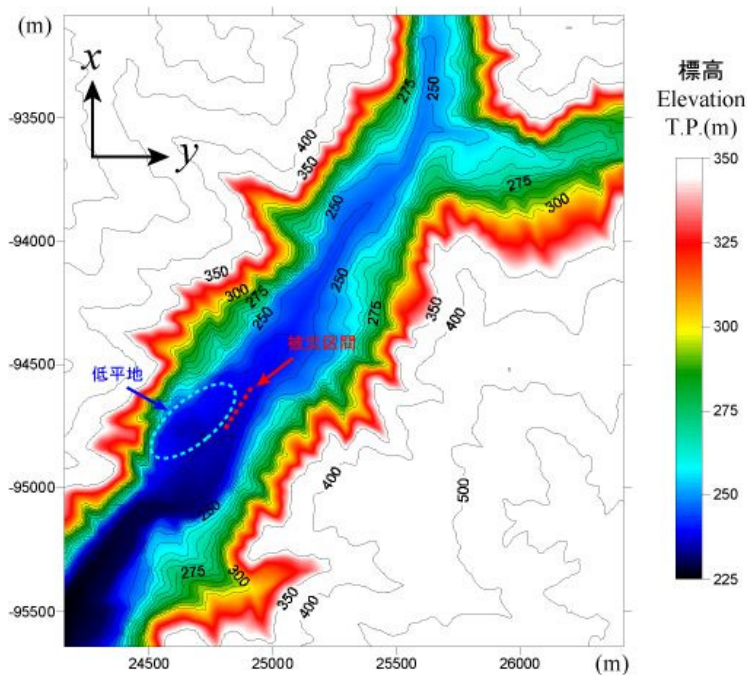


図 2.57 基盤地図情報¹⁾にもとづく下西深地区の標高コンター（被災区間を併示，世界測地系 平面直角座標第 5 系）

図 2.58～図 2.61 に護岸の被災状況を示す。図 2.58 に示すように、旧改修区間では護岸は損壊しておらず、新規改修区間から損壊している。これは新規改修区間より河道狭窄が顕著になっていること、また、旧改修区間と新規改修区間の間にある揖保川に直行方向に流入する水路の影響も考えられる。図 2.59 では、改修区間における護岸の損壊が、上流側と下流側で異なる形式となっていることが観察できる。この被災形式の違いについては、被災原因の推定の項目にて後述する。図 2.60 に護岸天端の被災状況を示す。天端裏が未舗装であるために洗掘・侵食されている様子が分かる。また、図 2.61 に示すように、本区間での冠水水深は約 1.5m であった。



図 2.58 下西深地区（揖保川 51.0km 付近）のコンクリート護岸の被災状況

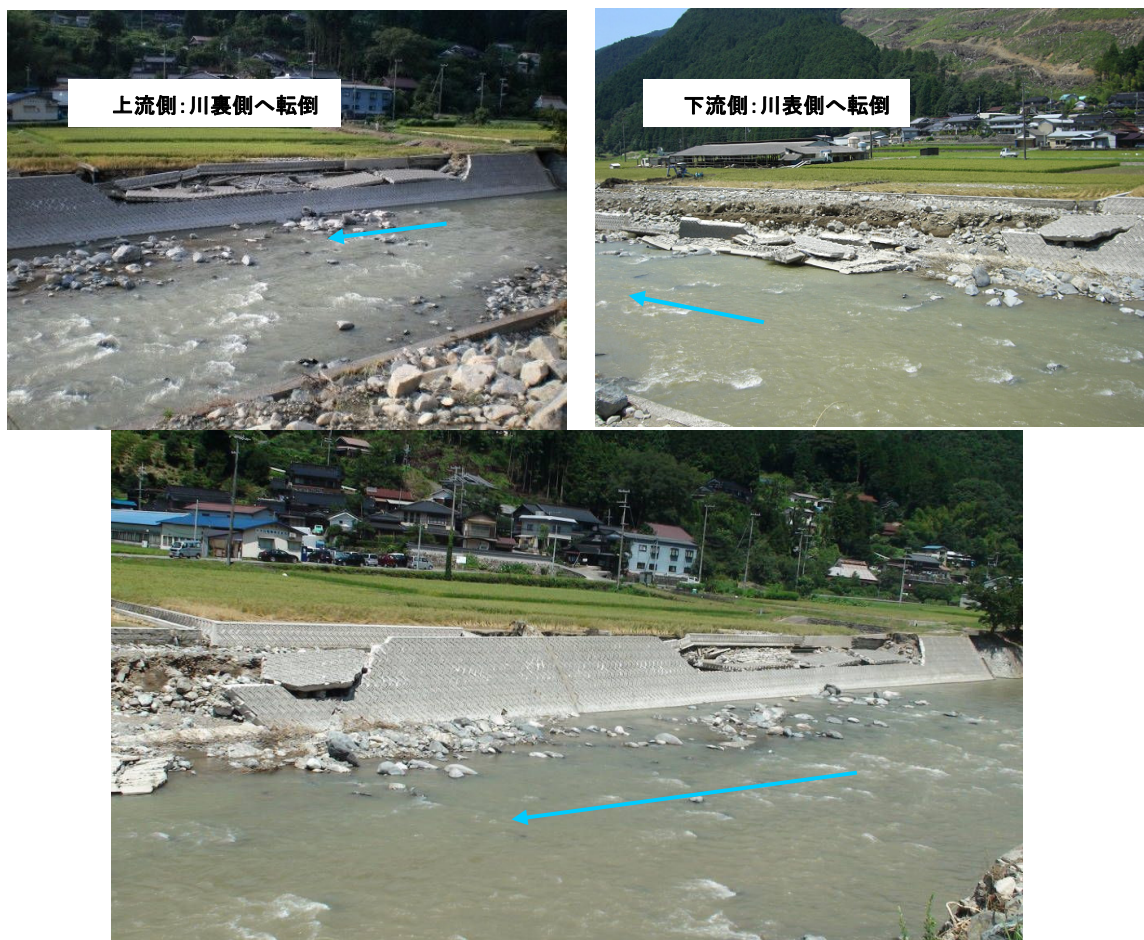


図 2.59 上流と下流の被災形態の違い



(a) 上流側から望む



(b) 下流側から望む

図 2.60 護岸天端の被災状況



図 2.61 被災区間直上流での浸水痕跡（約 1.5m）

2.4 福知川の被災状況

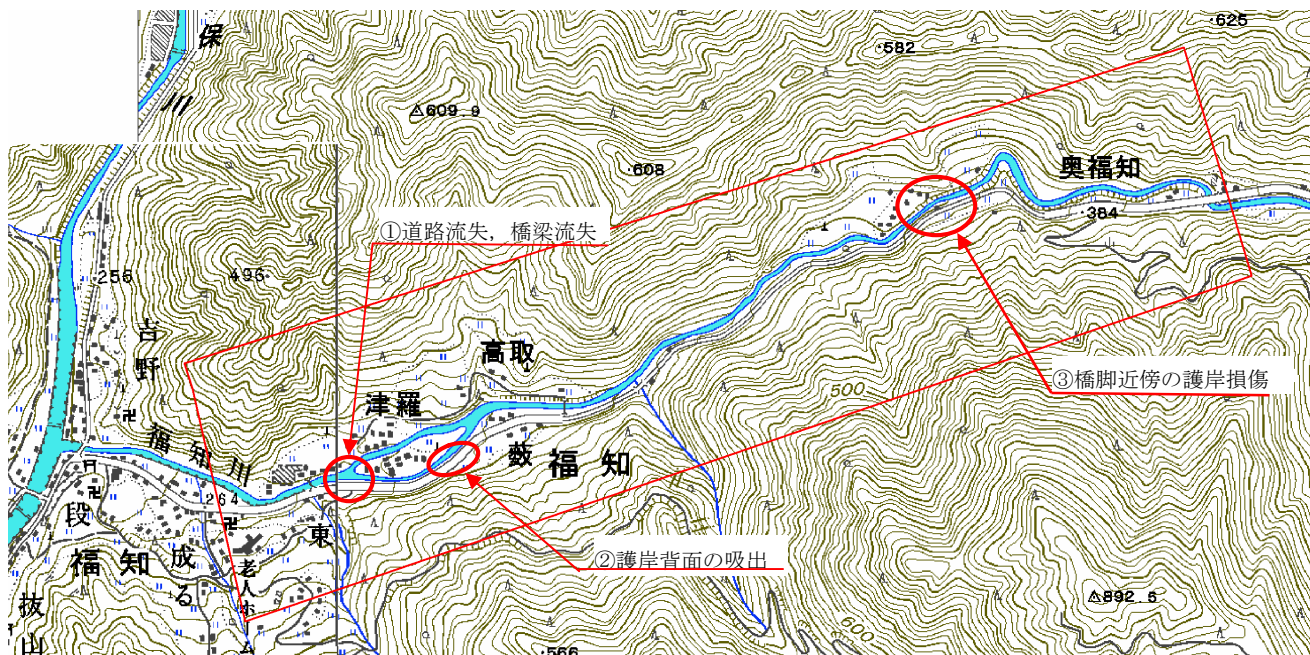


図 2.62 調査範囲¹⁾

(1) 道路および橋梁の流失 (津羅地区)



図 2.63 橋梁流失 (兵庫県提供)



図 2.64 道路, 橋梁の流失 (兵庫県提供)



図 2.65 橋梁下流側河川状況



図 2.66 洪水痕跡 (15 cm)

護岸兼用道路と共に橋台が流失し、上部工 1 スパンが落橋している。道路面での洪水痕跡は 15~20 cm で冠水深は小さいが河床が大きく洗掘された跡が見える。

(2) 護岸損傷 (藪地区)



図 2.67 護岸背面の吸出し



図 2.68 洪水痕跡 (80 cm)

河川の湾曲部で護岸基礎部分の洗掘によって基礎以深の土砂が流失し、護岸背面の吸出しが発生している。洪水痕跡としては冠水深で 80 cm 程度である。

(3) 橋梁近傍の護岸損傷 (奥福知)



図 2.69 橋梁下流部護岸の損傷



図 2.70 護岸損傷状況

護岸下流側で兩岸の護岸に損傷が発生している。左岸側の護岸は損傷を受けた部分と健全部で構造が異なっていたと思われる。構造が異なるのは、橋梁の取付護岸が未改修となっていたためと推測される。

参考文献

- 1) 国土地理院：基盤地図情報サイト, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>, 2009.
- 2) 土木学会：土木学会災害調査団速報, 2009
- 3) 国土交通省近畿地方整備局姫路河川国道事務所：第14回揖保川流域委員会資料「揖保川河川整備計画（治水）の基本的な考え方, http://www.iboriver.jp/03/14_iinkai/14shiryol.pdf, 2005.

3. 河川構造物被災原因の推定

3.1 河川構造物被災の特徴と被災メカニズム

3.1.1 千種川, 佐用川

(1) 上郡町柏野における被災メカニズム

上郡町柏野地域では、千種川左岸の堤防が河川水位の上昇により越水によって損壊した。土堤防の部分では、堤体の川裏側の法面が洗掘を受け堤体の土砂が、堤内側に越流水と共に流出した。

一方、堤防天端にパラペットが整備されている区間ではコンクリート構造と土砂部の境界で洗掘が生じているが、堤防損壊箇所の下流のため損壊箇所相比于越流量が少なかったことが破堤に至らなかったと推測される。

図 3.2, 図 3.4 に被災箇所の断面図を示す。法下のせん掘は水流が地面に衝突することで形成された渦によって土が侵食を受けるものであり、ヘッドカット型の侵食として知られている。また破堤に至るような堤防の侵食においては、より大規模なヘッドカット型の侵食が生じることが多い。



図 3.1 堤防被災箇所（土堤部）



図 3.3 堤防被災箇所（パラペット部）

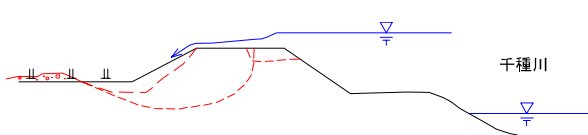


図 3.2 被災箇所断面図（土堤部）

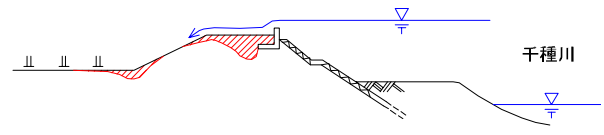


図 3.4 被災箇所断面図（パラペット部）

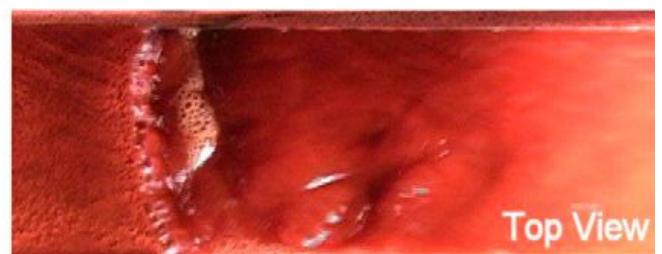
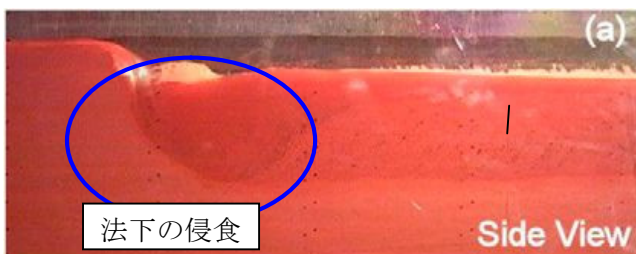


図 3.5 ヘッドカット型の侵食の例 (Wells et al. (2009)¹⁾ から引用)

(2) 上郡町河野原における被災メカニズム

右岸の農道は引き堤として整備途上の暫定堤防であった。このため、洪水が集中して流入し、暫定堤防を兼ねる農道を侵食したと推定される。左岸側では河野原橋の上流部で護岸の崩壊（図 3.6）が生じている。河野原橋のさらに上流では橋の直上流の護岸に比べて新しい護岸が整備されている。護岸の高さを越える河川の水が作用したことと護岸の老朽化あるいは新設護岸比べ護岸が十分な強度を有していなかったこと等が重なって河野原橋のすぐ上流側の護岸が被害を受けたものと推測する。



図 3.6 河野原地区被災状況空中写真（国際航業提供）



図 3.7 暫定堤防の被災状況



図 3.8 取付護岸の被災

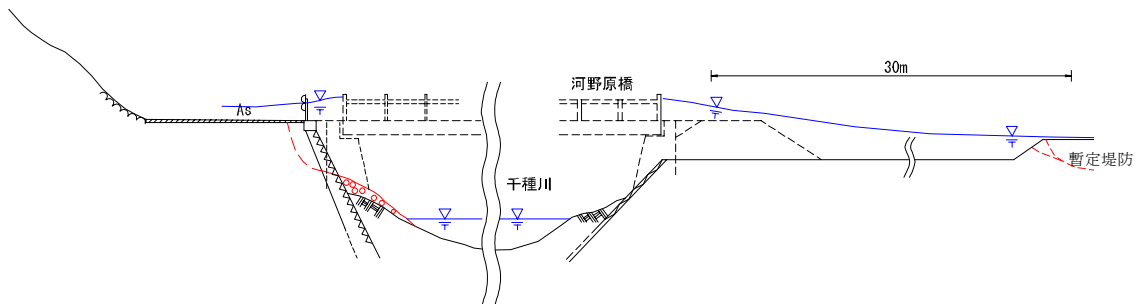


図 3.9 被災箇所断面図

(3) 佐用町小赤松における被災メカニズム

佐用町小赤松地域では千種川右岸の堤防が越水により損壊し、小赤松橋の上流側左岸の護岸が損壊した。洪水時には竹林が河川流の抵抗となって河川水位を堰上げたために右岸の竹林の上流部において越水が生じたものと考えられる。図 3.12 に示すように右岸側堤防の川裏側斜面の下部は擁壁が設置されている。越流水は天端から川裏側斜面を流れ落ちる時に斜面法肩を侵食することで法面下部構造物を崩壊し、さらに侵食が進行することで堤防損壊に至ったものと考えられる。

損傷を受けた小赤松橋左岸護岸の上流側に千種川へと流れ込む小河川が確認できる。洪水時には増水した小河川から溢水し道路面を通過して千種川へと流入したと考えられる。護岸の損壊は図 3.14 に示すように、護岸道路面から千種川への流入水の洗掘作用によって護岸上端から崩壊に至ったと考えられる。



図 3.10 堤防被災状況（堤内地側）



図 3.11 堤防被災状況（堤防天端）

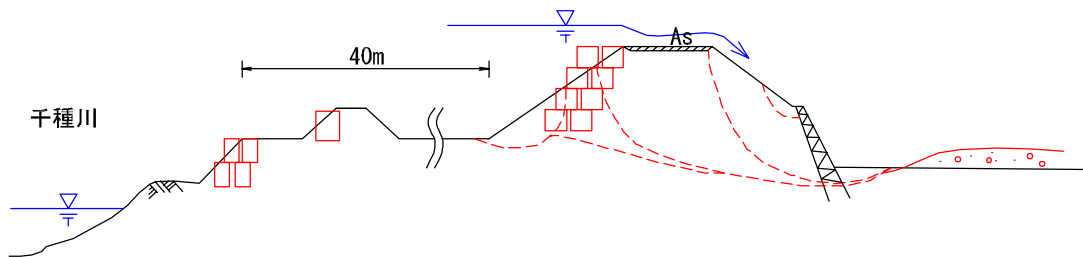


図 3.12 被災箇所断面図（土堤）



図 3.13 石積護岸被災箇所

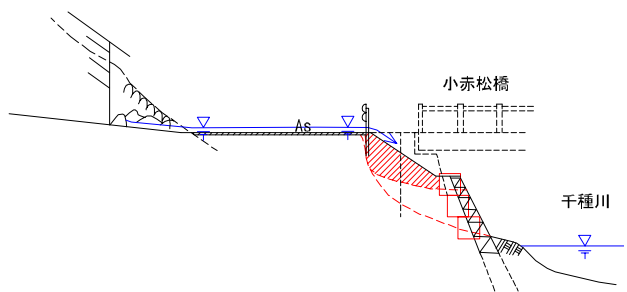


図 3.14 石積護岸被災箇所

(4) 佐用町久崎における被災メカニズム

久崎地区上流部の佐用川左岸越流箇所での堤防被害では図 3.5 で示したようなヘッドカット型の侵食が生じていたものと考えられる。図 3.15 及び図 3.16 に示したように堤防を乗り越えた越流水は川裏側斜面ののり尻に衝突し、洗掘を始める。洗掘によって落ち込み（図 3.16(a)）ができると、その落ち込み部分で発生する渦によって侵食は川表側へと発展し破堤に至るものである（図 3.16(b)～(d)）。本箇所は川表側に貼りブロックが設置されており、貼りブロックが残ったことで越流量が軽減された可能性もあると考える。

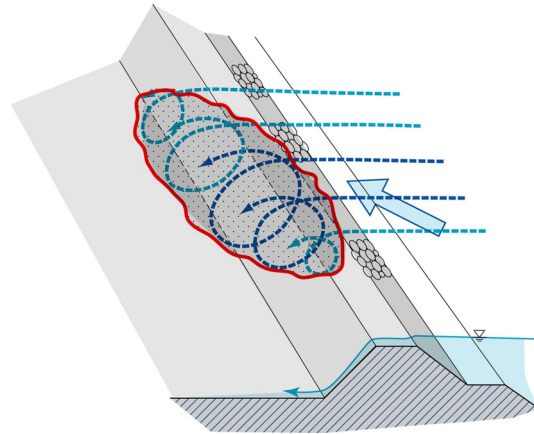


図 3.15 越流水による侵食の様子

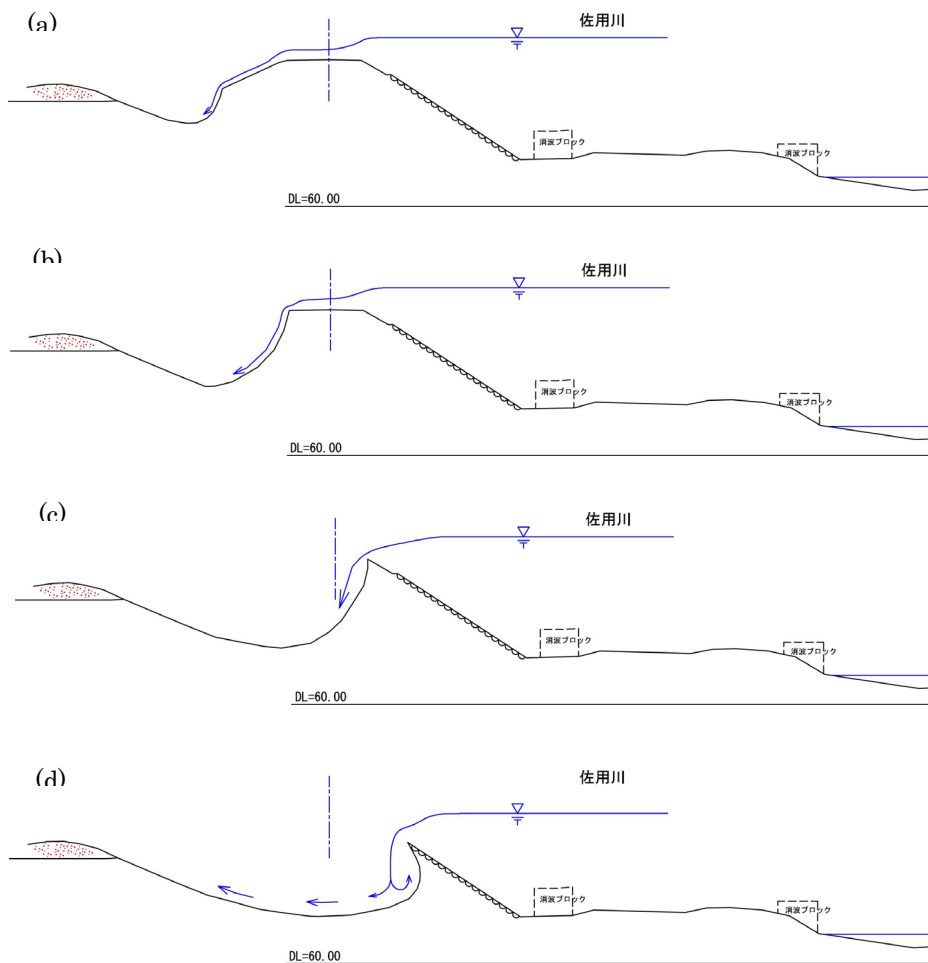


図 3.16 越流による堤体侵食の進行状況模式図

久崎地区下流部の千種川, 佐用川合流点では護岸構造物が河川側に崩壊する被災形態が確認されている(図 3.17) . これは, 上流部で堤内地に浸入した越流水が再び河川に戻る際に護岸外面側から川表側への外力として作用したことによる.



図 3.17 パラペットの川側への崩落

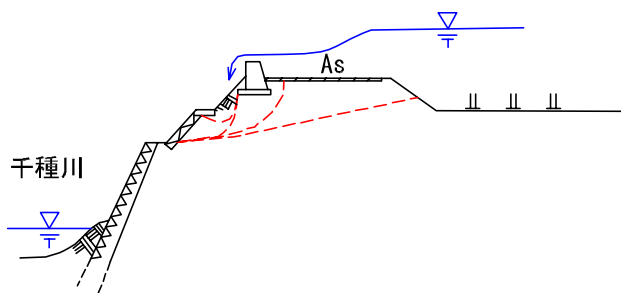


図 3.18 護岸被災状況模式図

(5) 佐用町早瀬地区における被災メカニズム

東から佐用川の氾濫源を流下する洪水が線路盛土上を通過し, 流体力盛土土砂を洗掘し, 流失に至ったと推定する.



図 3.19 線路盛土流失状況

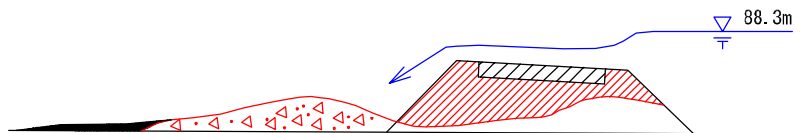


図 3.20 被災箇所断面図

表3.1 変状原因一覧表

番号	河川	場所	対象	現象	素因	誘因		
①		上郡町柏野	左岸堤防	越流堤体損壊	越流水によるパラベット背面の洗堀	暫定堤防	旧河道(新しい)	過大な洪水外力
			左岸堤防	越流破堤	越流水による堤体侵食、洗堀	暫定堤防	旧河道(新しい)	過大な洪水外力
			左岸堤防	越流破堤	越流水による堤体侵食、洗堀	暫定堤防	旧河道(新しい)	過大な洪水外力
			農道	越流破堤	氾濫水による法尻洗堀		旧河道(新しい)	外水氾濫
②	千種川	河野原橋	欄干損壊	流田による欄干損壊	橋高不足	風倒木	過大な洪水外力	浮遊物堰止め
		右岸旧堤防/農道	越流による農道、田畑損壊	越流水による農道、田畑の侵食・洗堀	堤防未整備	交差部の高さが相対的に低い	浮遊物堰止めによる堰あげ	迂回流
		左岸堤防/護岸	護岸損壊	越流水による堤体・護岸の洗堀？	石積護岸の老朽化？	護岸天端土羽の存在？	浮遊物堰止めによる堰あげ	迂回流
③	佐用町小赤松	左岸堤防/護岸	護岸損壊	宮川の越流水による堤体・護岸の洗堀？	宮川橋の橋高不足？		土砂、流木による河道の埋塞	宮川の越流水
		右岸堤防	越流破堤	越流水による堤体侵食、洗堀	河道内竹林の存在		過大な洪水外力	竹林による堰あげ迂回流
④	佐用川	佐用町久崎	右岸堤防	越流破堤	氾濫水によるパラベット前面護岸の洗堀	氾濫水の集中しやすい地形	護岸天端土羽の存在？	外水氾濫
			左岸堤防	越流堤体損壊	氾濫水によるパラベット及び前面堤防斜面の洗堀	氾濫水の集中しやすい地形	廃材パラベット？	外水氾濫
			左岸堤防	越流破堤	越流水による堤体侵食、洗堀	過大な外力	水衝部(急変曲)	過大な洪水外力

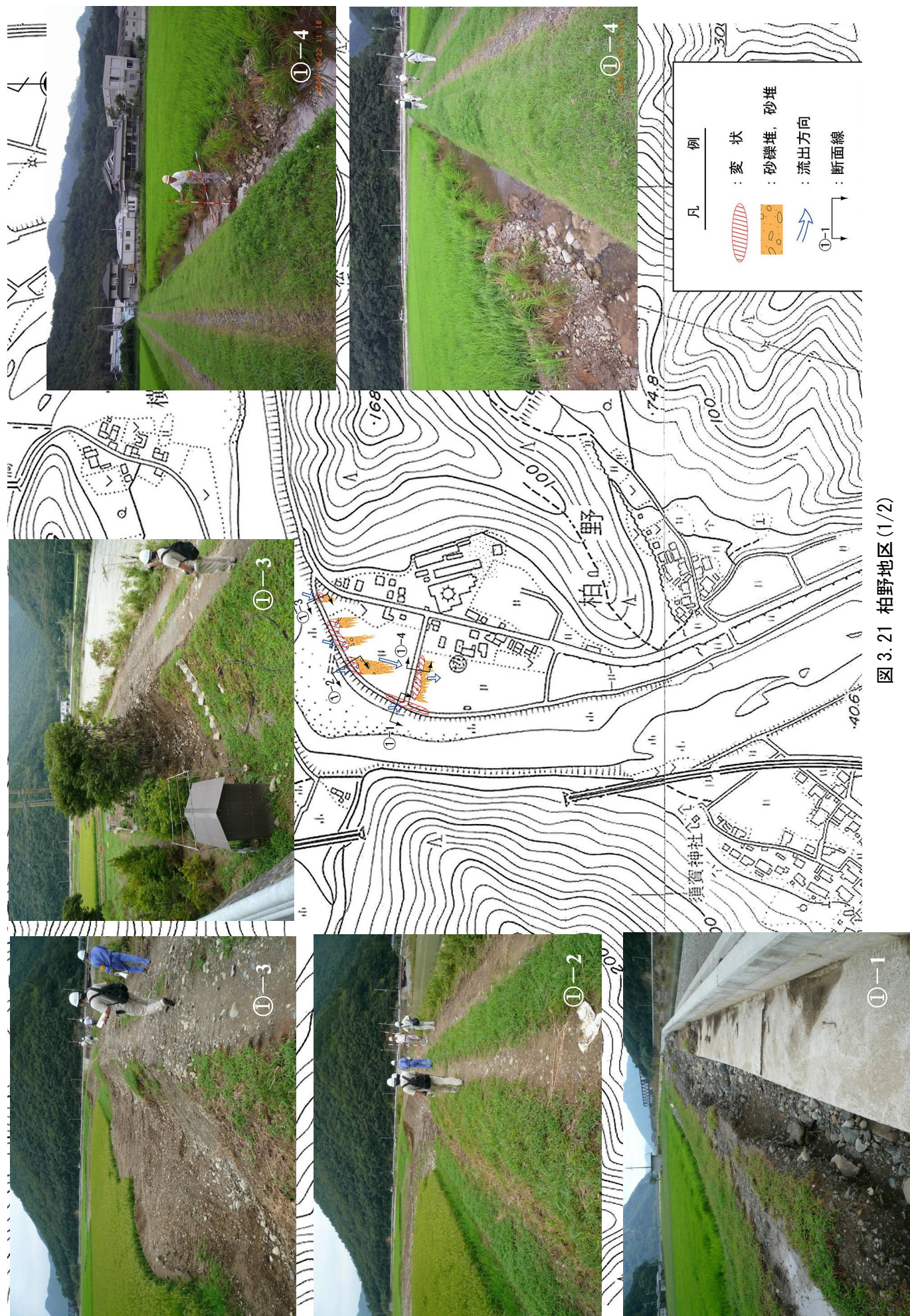
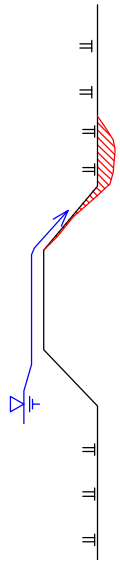
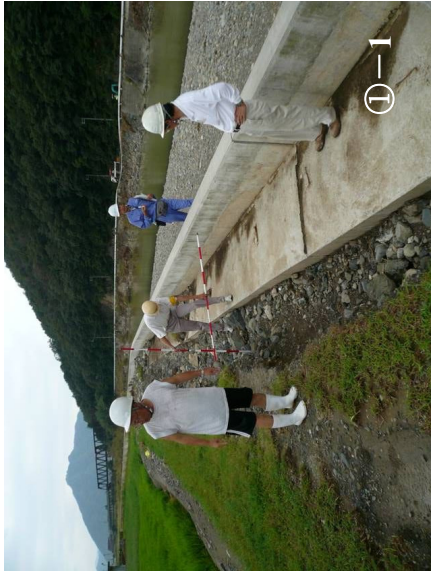
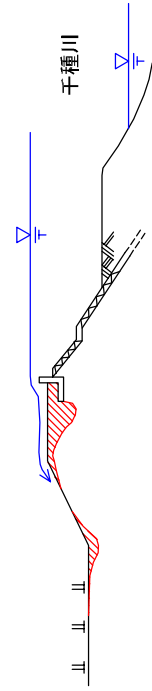


图 3.21 柏野地区 (1/2)

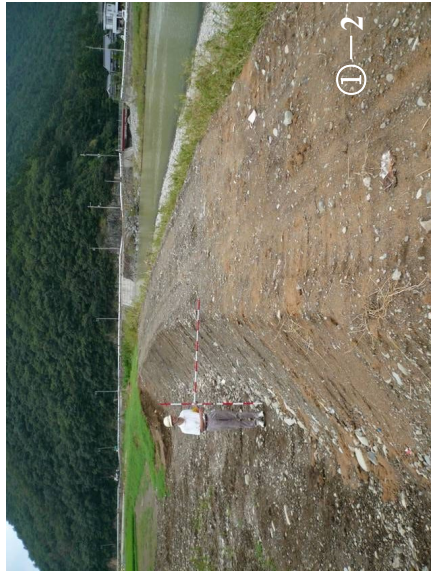
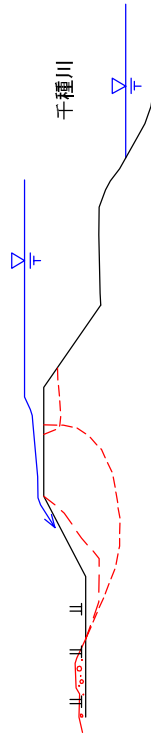
① - 4



① - 1



① - 2



① - 3

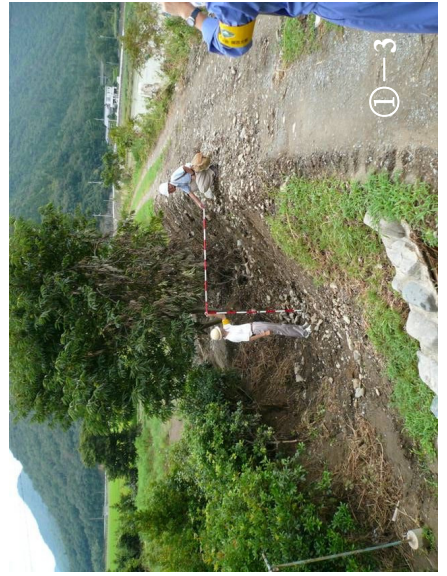
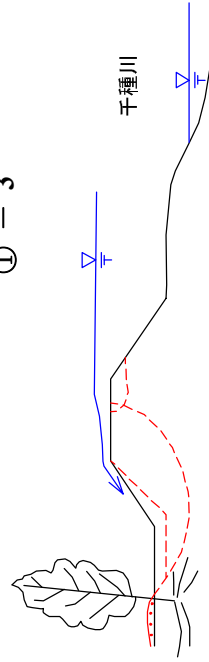
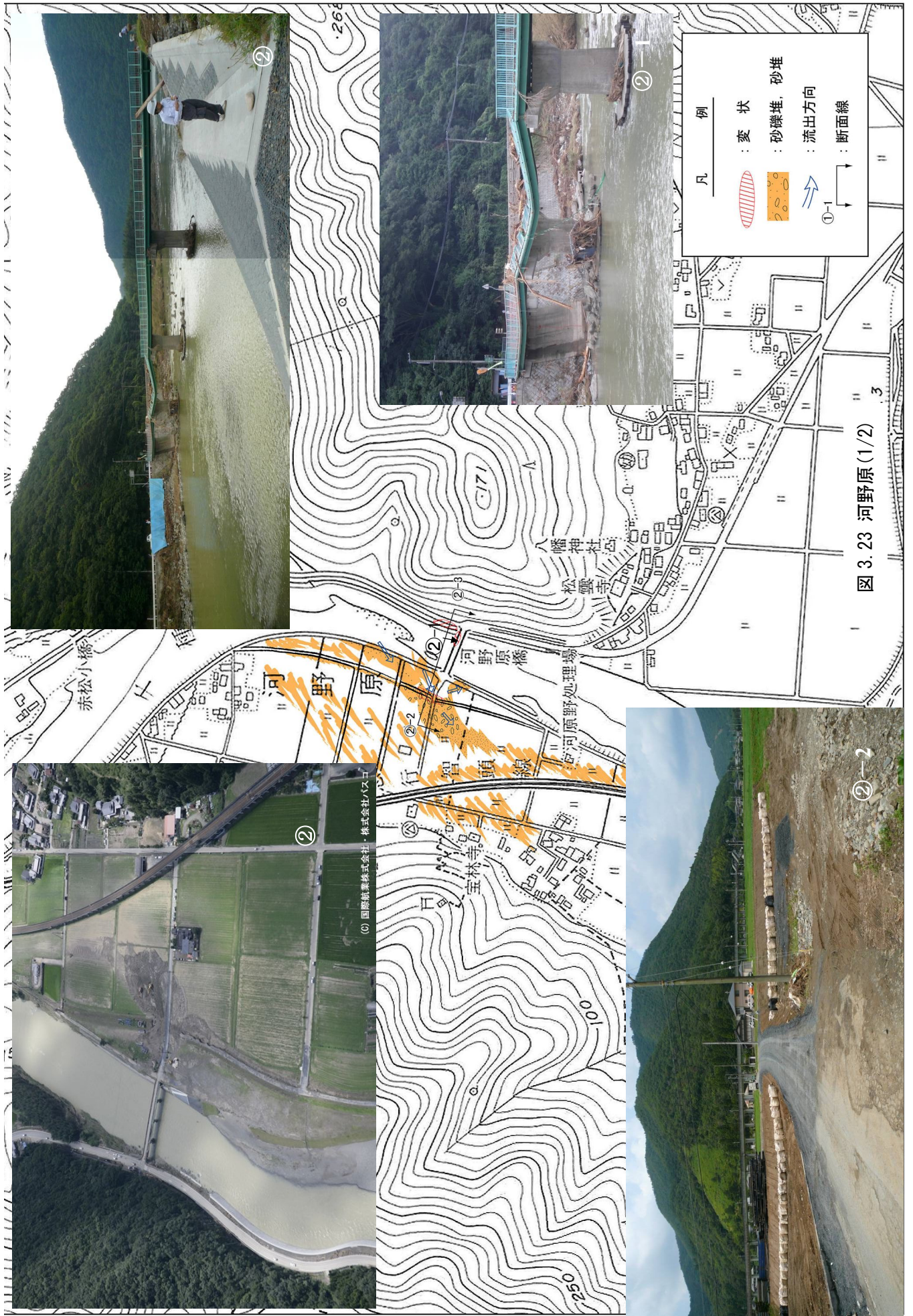


图 3.22 柏野地区 (2/2)



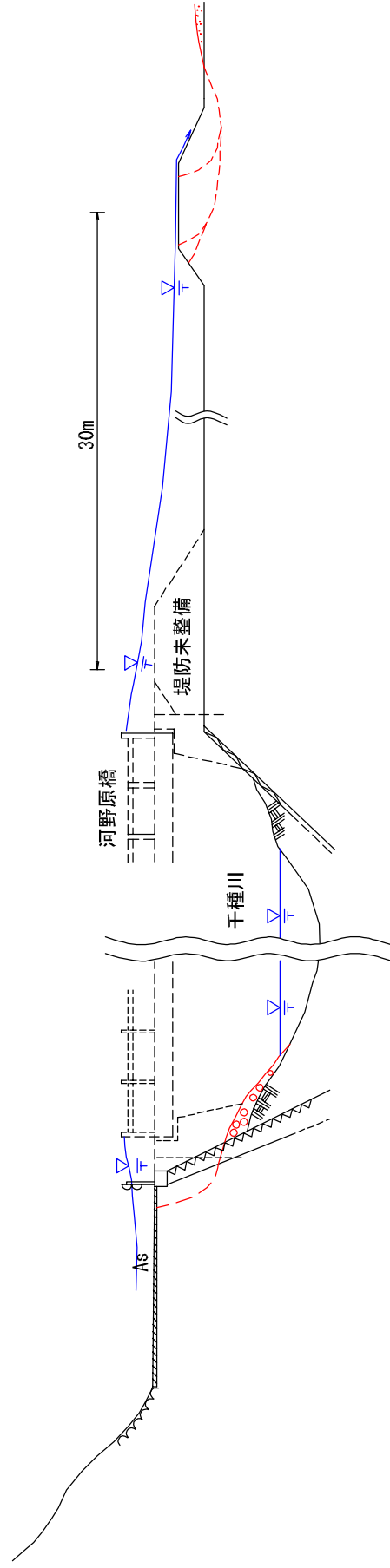
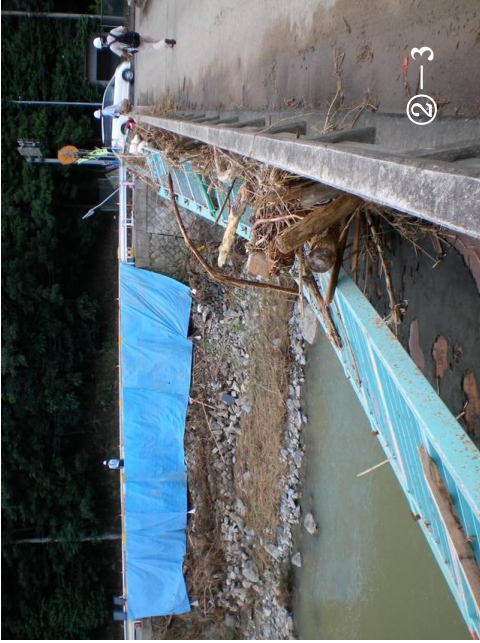


图 3.24 河野橋 (2/2)

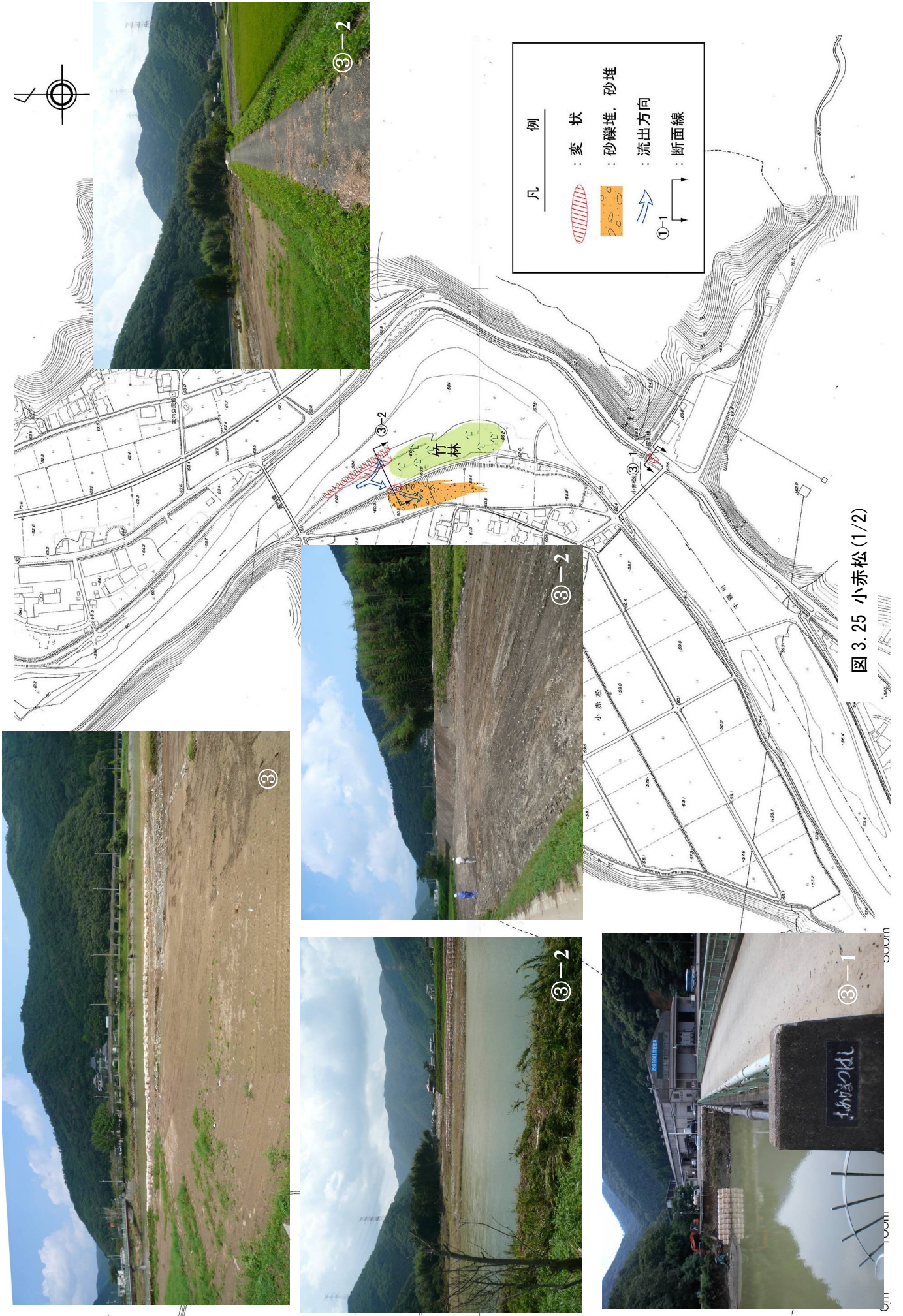


图 3.25 小赤松 (1/2)

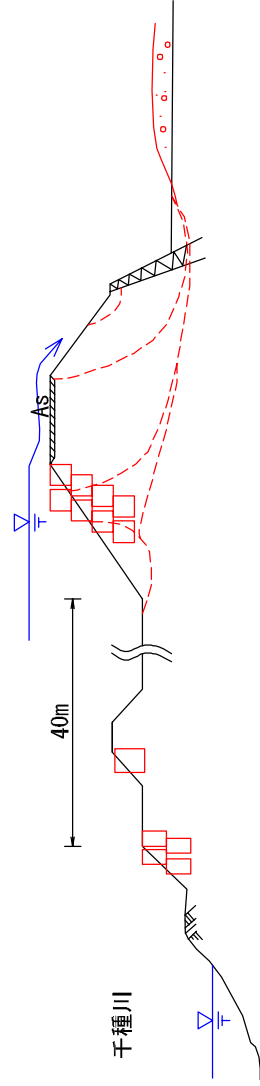
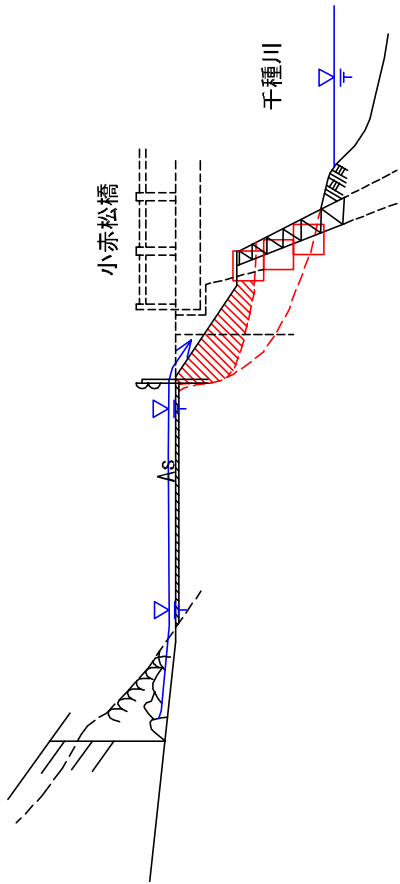


图 3.26 小赤松 (2/2)



凡 例




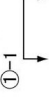
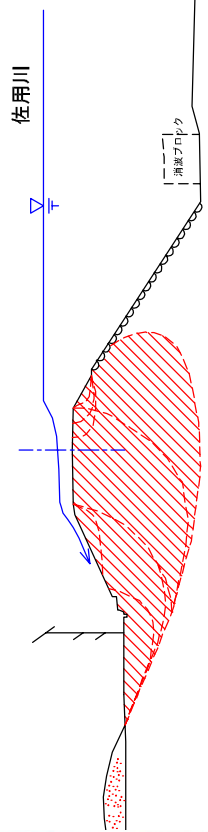
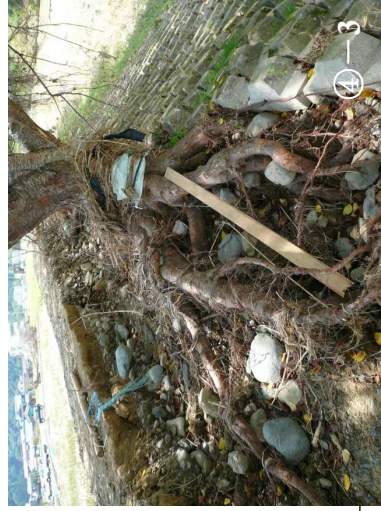
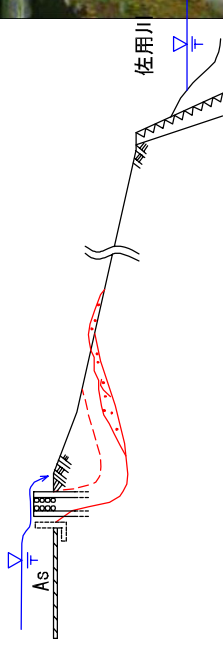
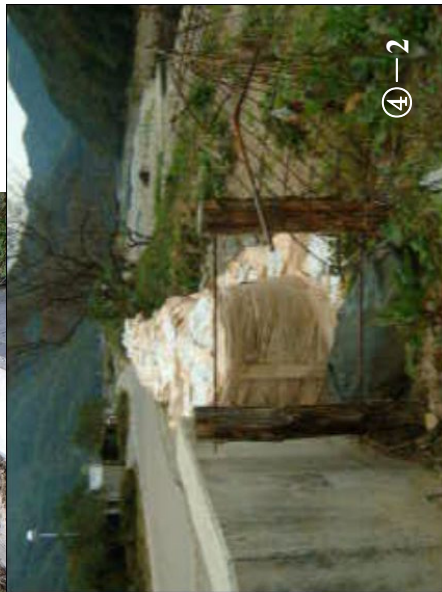
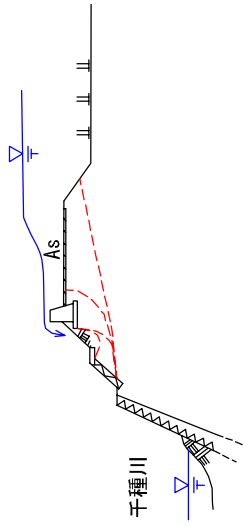
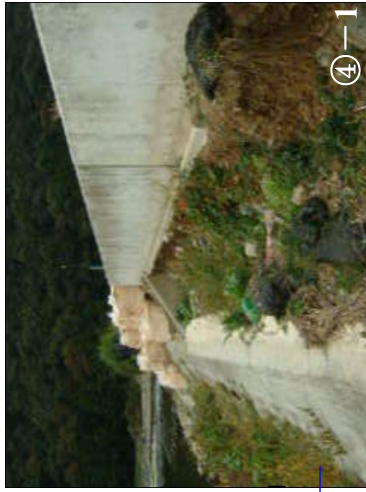
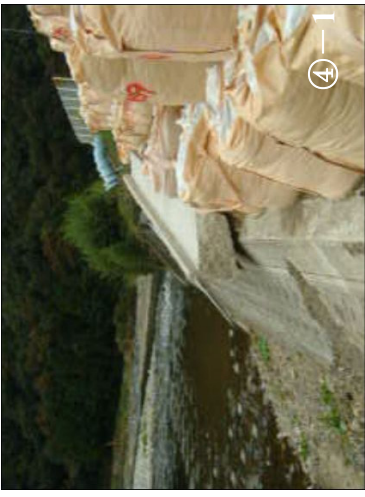
-  : 変 状
-  : 砂礫堆, 砂堆
-  : 流出方向
-  : 断面線

图 3.27 久崎 (1/2)

500m



DL=60.00

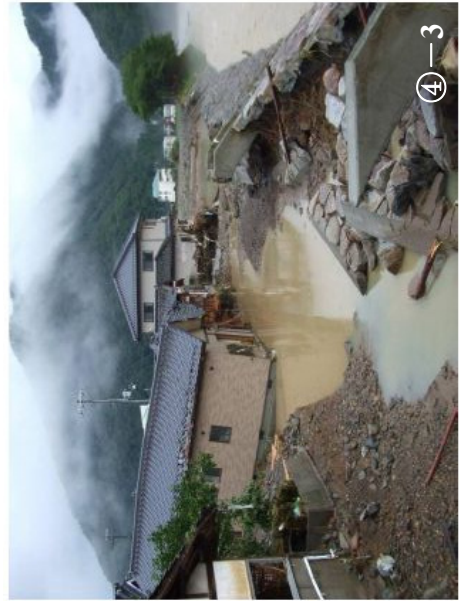
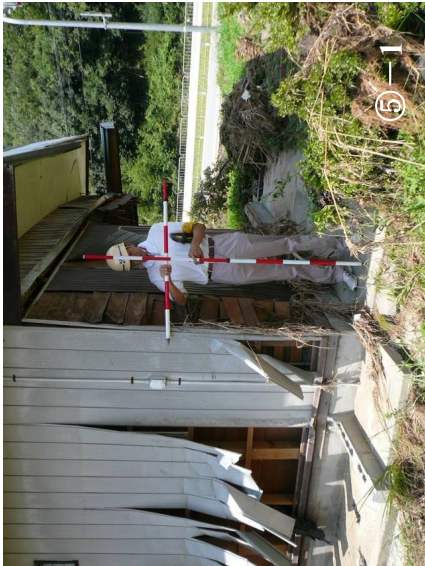


図 3.28 久崎 (2/2)







凡 例	
	: 変 状
	: 砂礫堆, 砂堆
	: 流出方向
	: 断面線

図 3.29 早瀬 (1/2)

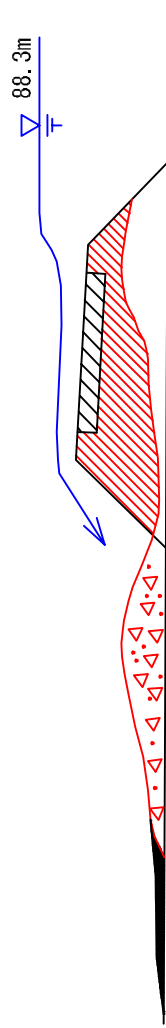


图 3.30 早瀬 (2/2)

(6) 佐用町口長谷地区における被災メカニズム

当該地における地盤構造物の被害は、越流による侵食破壊が主要因であるものと考えられる。

越流の発生は、当該地の上流域において左右岸両側で発生し、洪水時には付近一帯が浸水していたものと想定される。さらに、長谷橋近傍の水位が急激に上昇したという証言より、越流による護岸裏の侵食が進行し、右岸側の護岸が崩壊した後に、河道をショートカットする直線的な流れが勢いを増したものと想定される。このショートカットの流下方向は、周辺の地形や被災地点の位置関係より、下図に示すようにほぼ直線的であったものと想定される。

以上の破壊のメカニズムを以下にまとめる。

ステップ 1 越流が発生(現地状況より当該区域の上流側で発生。左右岸両岸で発生し、付近一帯が浸水したものと想定)

ステップ 2 越流した河川水により、堤防天端および護岸裏の侵食が発生(特に右岸側で発生。この時点で、洪水の流下方向は河道をショートカットする方向となっていたと想定)

ステップ 3 護岸構造の弱部(L15.4k 直上流部の護岸崩壊の激しい箇所)の護岸が崩壊

ステップ 4 河道をショートカットする直線的な流れの勢いが増加(下流域(長谷橋など)での水位が急激に上昇)

このメカニズムの想定根拠としては、下記項目が挙げられる。

- ・ L15.4k 直上流部では新旧の護岸形状継ぎ目が見受けられること
- ・ 長谷橋近傍の水位が急上昇したとの証言があること
- ・ 右岸側の天端アスファルト舗装がほぼ原形をとどめたまま下流側の堤内地に流されていること
- ・ 智頭急行の高架橋交差部では、堤体部に設置された橋脚部周辺で特に深く侵食されている。橋脚が障害物となり水流が乱され、その結果として交差部周辺から下流側に特に大きな侵食が発生したと考えられること
- ・ 湾曲部の内岸側にて、裏込め侵食が激しいこと。洪水が河道を越水して直線的に流下する際、内岸側は水衝部(堤内地側より洪水が当たる)となるため、裏込め侵食が激しくなると考えられること

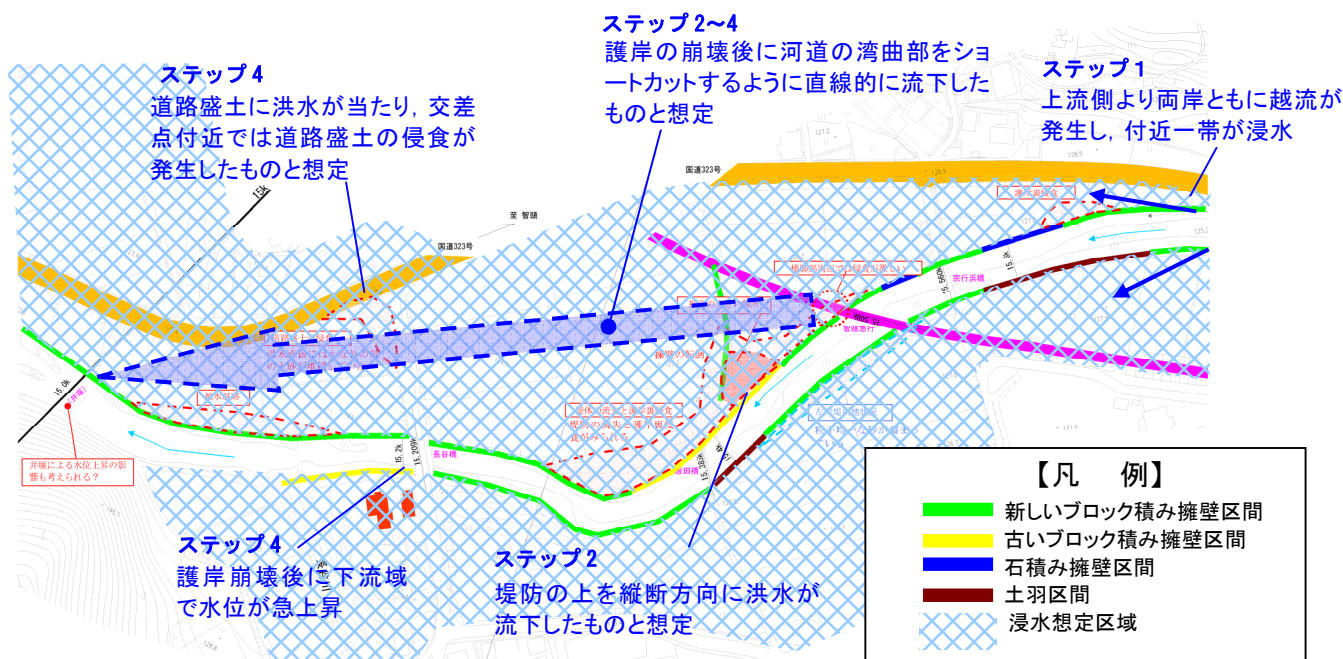


図 3.31 洪水時の水の流れの想定図

先述したように河川構造物の被災形態は護岸裏侵食である。その被災のメカニズムは上述の堤防の被災に連動して発生したものであり、越流によって天端アスファルト舗装および護岸裏の侵食が発生したものと考えられる。さらに、侵食が進行するうちに、護岸形式の変化点では裏込め流失により弱部に変状が発生し、その地点より大規模な護岸の崩壊が進行したものと想定している。

以上の護岸の被災メカニズムを以下にまとめる。

ステップ1 越流が発生

ステップ2 越流した河川水により、堤防天端および護岸裏の侵食が発生(裏込めの流失)

ステップ3 護岸構造の弱部(L15.4k直上流部の護岸崩壊の激しい箇所や河道湾曲部などの水衝部)の護岸が崩壊に至る

3.1.2 揖保川

(1) 中安積地区



図 3.32 被災箇所概略平面図²⁾

表 3.2 被災状況と原因

番号	被災位置	被災状況	推定される被災原因
①	木坂橋	高欄の流出	越流水および流下物の衝突
②	木坂橋下流右岸	堤防裏法の侵食	越流水による侵食

本被災区間の被災メカニズムは以下のように考えられる。

本川の流下能力を大幅に上回る出水が生じたために水衝部にて越流が生じ、また、旧河道においても越流水が流れた。さらに流木等の橋脚に堆積した流下物により流水が阻害され、いわゆるビーバーダム現象が生じたことにより、越流水および流木の衝突部となった木坂橋の高欄が流出した。また、上流部からの越流水および旧河道からの流水により木坂橋下流右岸において堤防裏法が侵食された。

ステップ1 流下能力を越えた出水により越流が発生

ステップ2 ビーバーダム現象により越流が増幅

ステップ3 越流水および流下物により高欄が流出

ステップ4 越流水により堤防裏法が侵食

(2) 楽里地区 (揖保川 48.1km 地点, 宍粟市一宮町)

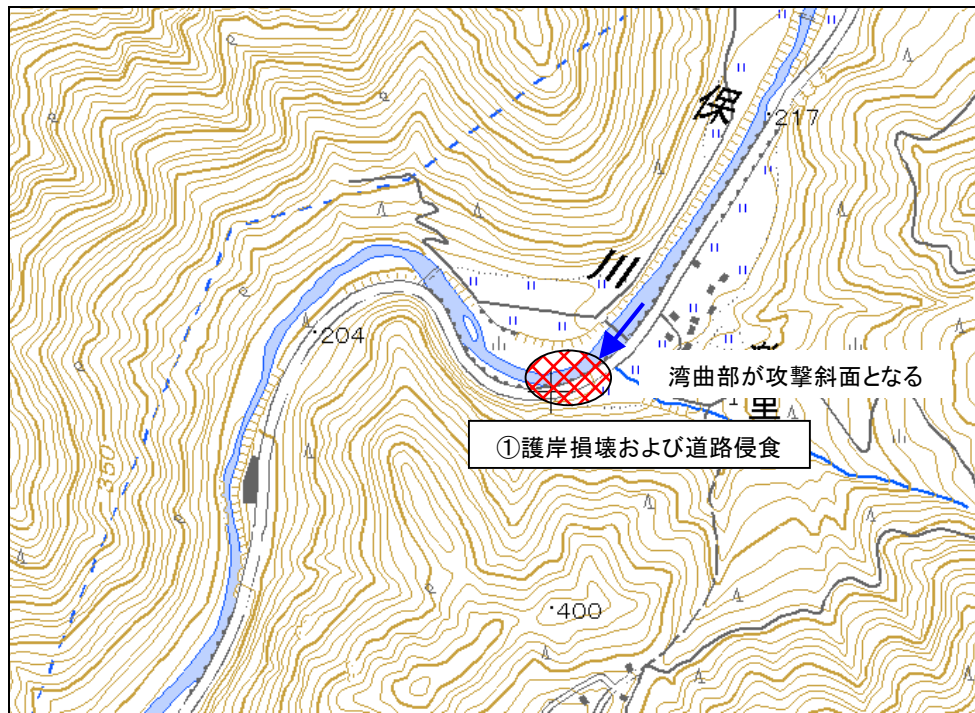


図 3.33 被災箇所概略平面図²⁾

表 3.3 被災状況と原因

番号	被災位置	被災状況	推定される被災原因
①	揖保川 48.1km 地点左岸	護岸損壊および道路侵食	河床洗掘 巨礫等の流下物の護岸への衝突 越流水の護岸背面の侵食

本被災区間の被災メカニズムは以下のように考えられる。

河道の急激な湾曲部であり、かつ、下流が狭窄部となっているために、想定外の外力によって護岸基礎部が洗掘を受け、被災箇所が巨礫等の堆積物による攻撃斜面となり河岸の損壊が生じた。また、越流水がコンクリート護岸（河岸）とアスファルト舗装（道路）の境界より浸透し、護岸裏の侵食を進行させた。

ステップ1 河道湾曲部の水衝部で湾曲部外側に外力が働き河床河岸が侵食される

ステップ2 護岸基礎下部が洗掘され、背面の土砂が吸い出しを受ける。

ステップ3 越流水により護岸背面の侵食が進行

(3) 下西深地区 (揖保川 51.0km 付近, 宍粟市一宮町)

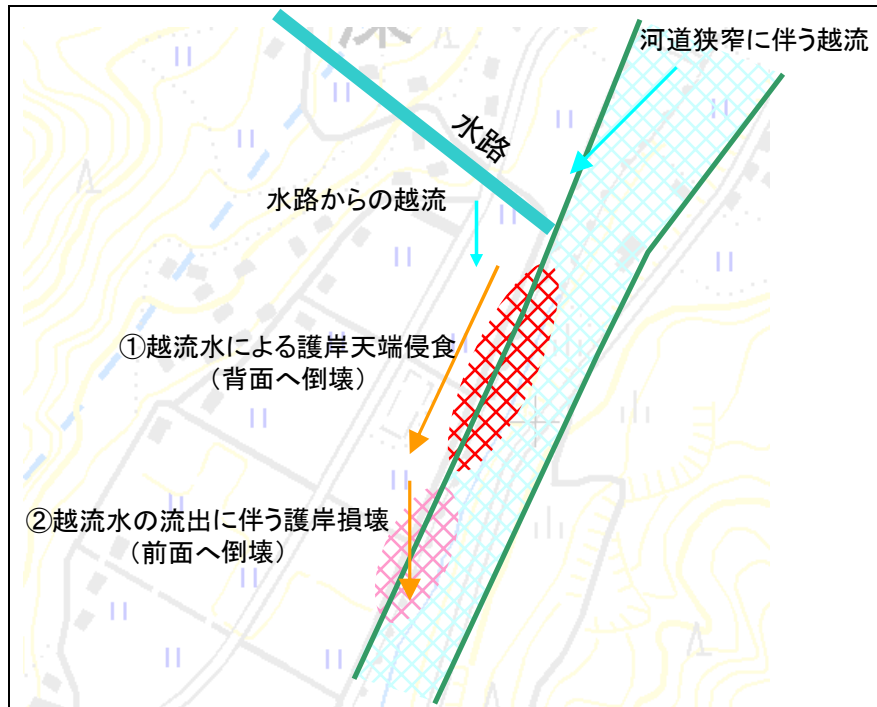


図 3.34 被災箇所概略平面図²⁾

表 3.4 被災状況と原因

番号	被災位置	被災状況	推定される被災原因
①	揖保川 51.0km 上流部	護岸が背面へ倒壊	越流水による護岸裏の侵食
②	揖保川 51.0km 下流部	護岸が前面へ倒壊	越流水の流出に伴う背面水圧の増加 河床洗掘

本被災区間の被災メカニズムは以下のように考えられる。

河道狭窄に伴った上流部での越流および農業用水路からの越流水が、上流部においては護岸背面を直線的に流下し、未舗装であった護岸天端を侵食し護岸が背面へと倒壊した。下流部においては、河床低下により基礎の支持力を失ったところに、越流水の河道へと流出に伴い、護岸背面の水圧が増加し護岸が前面へと倒壊した。

ステップ 1 河道狭窄に伴い越流が発生

ステップ 2 越流水が護岸背面を直線的に流下

ステップ 3 越流水による護岸背面に侵食が生じ護岸が背面へと倒壊

ステップ 4 越流水の河道への流出に伴い護岸が前面へと倒壊

表3.5 変状原因一覽表

番号	河川	場所	対象	現象	要因	誘引	
1		兵粟市一宮町 中安積地区 (45.7km付近)	木坂(きさか)橋	欄干損壊(上流右岸側)	部分的河積不足	超過洪水流量	ピーバーダム現象
2			左岸上流側浸水	宅地冠水(70cm程度)	部分的河積不足	超過洪水流量	
3			右岸下流側堤内地	越流侵食	部分的河積不足	越流	
1	揖保川	兵粟市一宮町 栗里地区 (48.1km付近)	左岸護岸	護岸損壊および道路侵食	部分的河積不足	護岸とアスファルトの継ぎ目	護岸裏面の浸透 & 侵食
1			右岸堤防護岸 上流部	護岸損壊	部分的河積不足		支川から氾濫流による侵食
2		兵粟市一宮町 下西深地区 (48.1km付近)	右岸堤防護岸 上流部	護岸損壊	部分的河積不足		越流水が河道へ戻 る際に侵食が生 じ、護岸が河表が わに倒壊

3.1.3. 福知川

3.1.3.1 地盤構造物被災の特徴

福知川は一宮町福知地先の渓谷部を流下しており、河床勾配が急峻な山地河川である。福知川での被災の特徴として、福知川に沿うように通っている(主)一宮生野線の道路流失が各所で見られる点が挙げられる。これらの道路流出被災箇所については、以下のような特徴が見られる。

- ・ 河川の水衝部になる箇所での流出が多い
- ・ 被災箇所は擁壁（護岸）が設けられていたが、出水により破壊されている
- ・ 出水時には道路部はほとんど冠水していたと想定されるが、被災箇所の上下流でアスファルトが残っている箇所が見られるなど流出が局所的である
- ・ 河道内に大量の土砂堆積がみられ大規模な河床変動（土砂移動）があったと推測される

これらより、福知川で見られる道路流出被災は、出水時の流水のせん断作用や河床洗掘による基礎支持力の脆弱化および水衝作用等により護岸が破壊され道路盛土が侵食されたものであると想定される。



図 3.35 道路兼用護岸流失(兵庫県提供)

3.1.3.2 河川構造物の被災メカニズムの推定

1)被災発生要因

福知川沿いで発生した道路兼用護岸流出被災のメカニズムを推測すると以下のようなものである。

- ①道路盛土の護岸（擁壁）が流体力や前面の河床洗掘により破壊
- ②護岸の機能が損失した道路盛土の側方侵食，盛土の流出

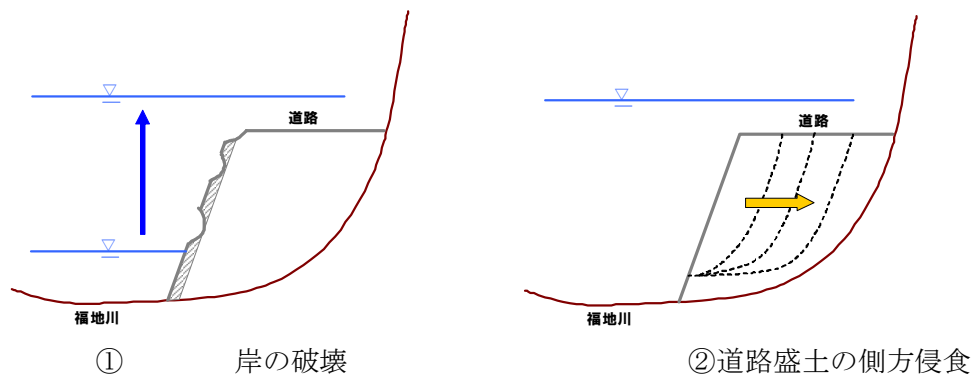


図 3.36 道路流出被災メカニズム

このようなメカニズムの被災では、護岸の安定性は洪水時の侵食作用に対して護岸の保護機能が不足する場合に発生する。今回の豪雨で発生した被災は、福知川護岸に対する外力が護岸の力学的安定性上回っている

たことにより発生したものと考えられる。福知川を流下した洪水は、河床の土砂を巻き込みながら設計外力を大きく上回る外力が護岸に作用した。特に曲線部では護岸背面の吸出が確認されていることから、設計外力を上回る洪水流が大規模な洗掘を発生させ、基礎部分の安定性を大きく損なったことが護岸損壊の引き金となったと推定する。

3.1.3.3 護岸の安定性不足の要因について

一般に、河川護岸の以下の状況で安定性が損なわれる。

- ①河道計画以上の洪水（流体力）が発生した場合
- ②想定される洪水に対して必要な安定性が確保されていなかった場合

上記①については、近年の気象変動に伴う豪雨災害の多発に相関する事象であり、今後の河道計画への課題であり、今回の福知川の護岸は①の要因によって発生したものと推定される。

一方、上記②に関連して、河川沿いの道路盛土に対する設計基準の違いがある。道路施設としての護岸（擁壁）と河川護岸の設計標準の一例を示すと表 3.6 のようである。河川沿いの道路盛土の護岸は、河川管理者との協議の上、河川護岸の設計を実施するものとされているが、施工時期が古い護岸では道路擁壁の設計を採用されている箇所が見られ弱点となる可能性もあるため注意が必要である。

なお、参考までに河川護岸の設計手順を図 3.37 に示す。河川護岸の力学的安定性の照査については、大きく「設計条件の設定」と「設計外力の算定、護岸諸元の照査」に分けることができる。「設計条件の設定」については、代表流速と護岸前面の最深河床高を算定する。代表流速の算定では、河道の湾曲部や断面形状なども考慮される。「設計外力の算定、護岸諸元の照査」では、法覆工および付属工、基礎工、根固め工などの安定性検討を行う。ここでは、設計で考慮すべき安定条件（滑動、転動など）、作用する外力（流体力、土圧など）と耐力との力学的なつりあい関係を「構造モデル」の導入により、各モデルごとに示し、設計者がモデルを選択して護岸諸元を算定できる方法が採用されている。

また、各流速に対して、適用可能な護岸種別が表 3.7 のように整理されており、景観や現場要件等も考慮しながら、最適な工法を選定するものとなる。

表 3.6 道路擁壁と河川護岸の設計条件（ブロック積みの場合）³⁾

設計標準	考慮する設計外力	参考図書
道路擁壁	土圧	設計便覧（各地方整備局）
河川護岸	洪水時の流速 護岸前面の最深河床高 土圧	護岸の力学設計法

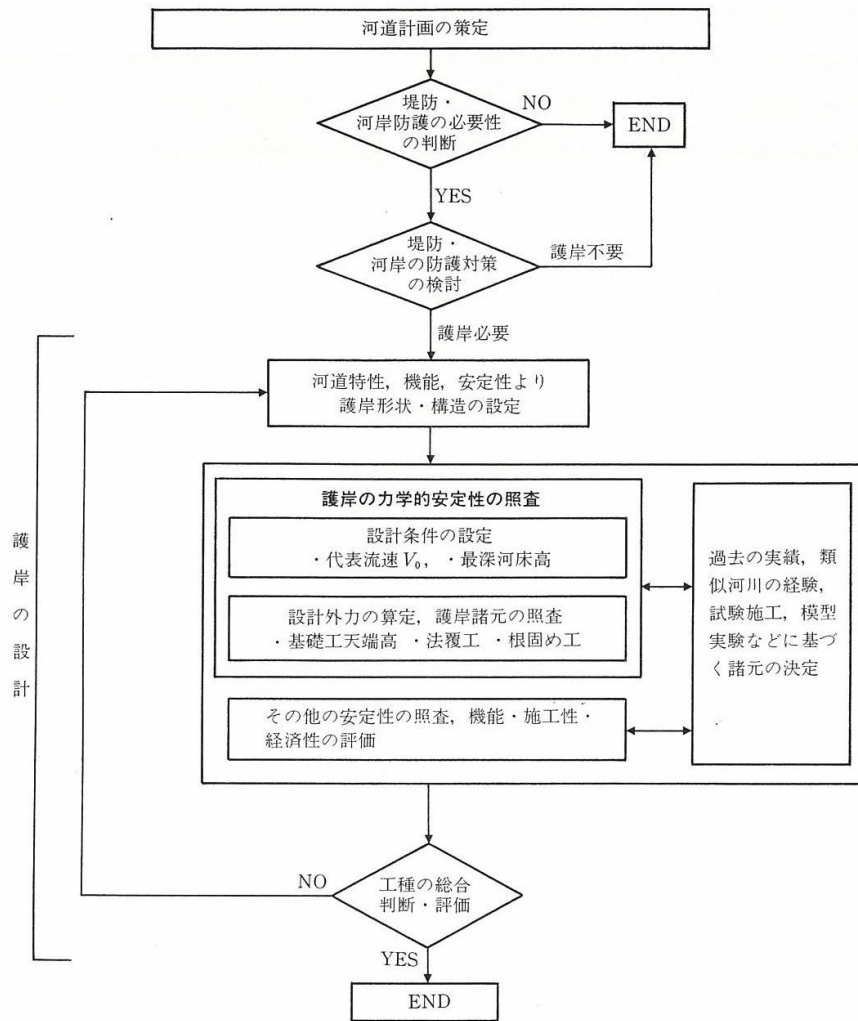


図 3.37 河川護岸の設計手順³⁾

表 3.7 設計流速と河川護岸への適用可能工法事例⁴⁾

工法		設計流速
植生系	張芝	2m/s
シート系	ジオテキスタイル	3m/s
	ブロックマット	4m/s
木系	粗朶法枠	4m/s
	丸太格子	4m/s
	杭柵	4m/s
石系	自然石 (空)	5m/s
	自然石 (練)	4~8m/s
かご系	蛇籠	5m/s
	かご (平張, 多段)	4.5~6.5m/s
コンクリート系	連節ブロック	5m/s
	コンクリートブロック張	4~8m/s
	コンクリートブロック (空張)	5~8m/s
	コンクリートブロック (練積)	4~8m/s

3.2 平成 16 年災害と平成 21 年災害

平成 21 年 8 月 8 日から 11 日にかけて襲来した台風 9 号による被害区域は、5 年前の平成 16 年 9 月に発生した台風 21 号により被害を受けた区域と重複する。本節では両台風によって被害を受けた区域を中心に比較する。

3.2.1 平成 16 年災害の被害状況と復旧状況

図 3.38 は平成 16 年台風 21 号による久崎地区および円光寺地区の浸水被害の状況である。河川湾曲部および河川合流部において流下能力不足により堤防からの越水が生じている。この被害を受けて第 15 回千種川委員会にて各地区の整備計画案が検討されているが、平成 21 年段階では河川堤防高さ等は、平成 16 年の被災時とほぼ同じであり、流木による閉塞で河川の堰上げを発生させた戦橋の撤去が行われている。

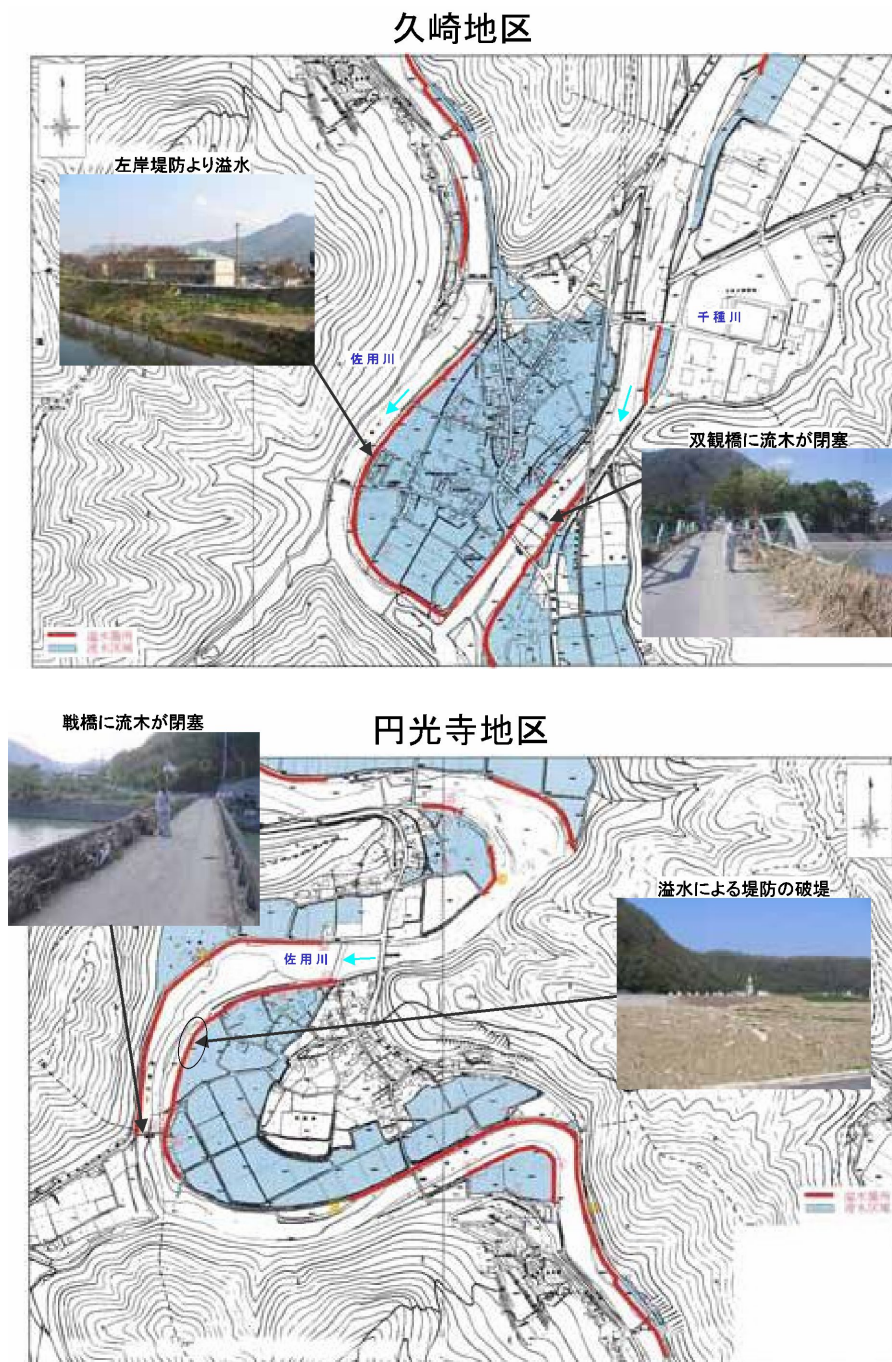


図 3.38 平成 16 年台風 21 号による久崎・円光寺地区の浸水状況⁵⁾

3.2.2 平成16年と平成21年の降雨状況比較

表3.8に平成16年台風21号による降雨状況と平成21年台風9号による降雨状況を示す。また、佐用雨量観測所における降雨観測状況を図3.39に示す。最大時間雨量、最大24時間雨量ともに平成21年台風9号時が平成16年台風21号時を上回っている。特に佐用雨量観測所においては既往最大24時間雨量であった平成16年台風時の187mmに対し327mmと、平成21年台風による降雨量が大幅に上回っている。また、地域防災計画対象降雨が確率年1/100に対し265mm/日であることから、平成21年台風9号による降雨は、佐用地区、円光寺地区において想定を越える降雨であったことが分かる。

表 3.8 主な地点の降雨状況

平成21年台風9号時					
佐用 (佐用川)	円光寺 (佐用川)	上石井 (佐用川)	三河 (千種川)	千種 (千種川)	上野 (引原川)
(82) 327	(70) 273	(62) 270	(54) 262	(71) 251	(48) 235
平成16年台風21号時			上段 () : 最大時間雨量		
(37) 187	(36) 200			下段 : 最大24時間雨量	

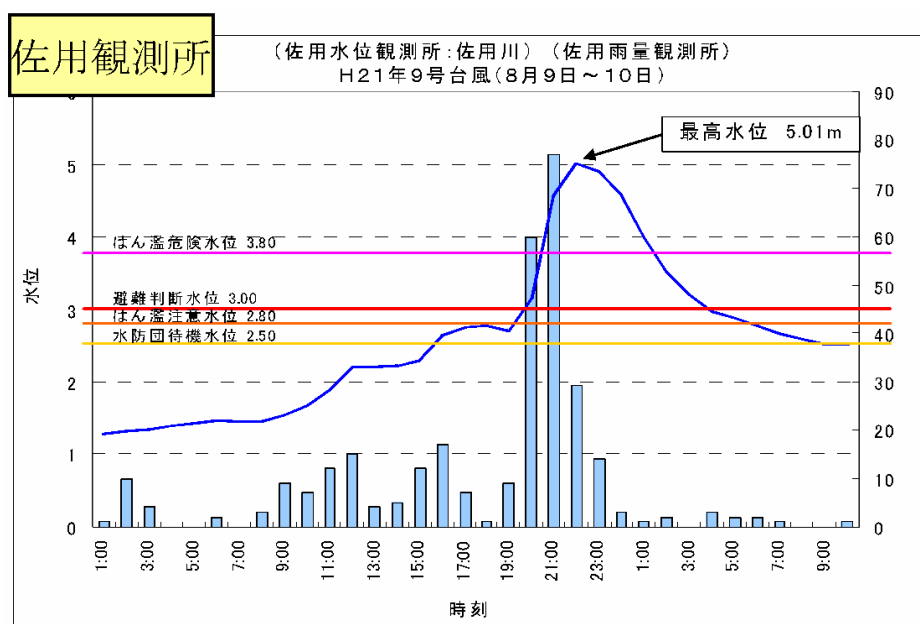
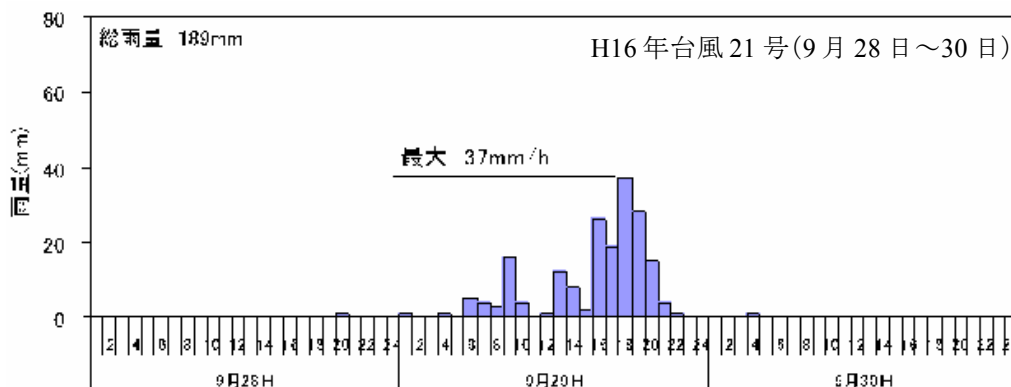


図 3.39 佐用雨量観測所における平成16年および平成21年の降雨状況^{5),6)}

3.2.3 平成 21 年の被害状況

3.2.2 節にて示したように平成 16 年台風 21 号時に比べて大幅に降雨量が上回ったため、佐用地区、円光寺地区において台風 21 号での災害を上回る浸水被害が生じた。平成 21 年台風 9 号時の浸水状況を図 3.40 に示す。図 3.38 の平成 16 年台風 21 号時浸水状況よりもさらに広範囲のエリアで浸水が生じている。この結果、佐用町における床上浸水は平成 16 年が 70 棟に対し、平成 21 年では 160 棟に増加した^{5),7)}。

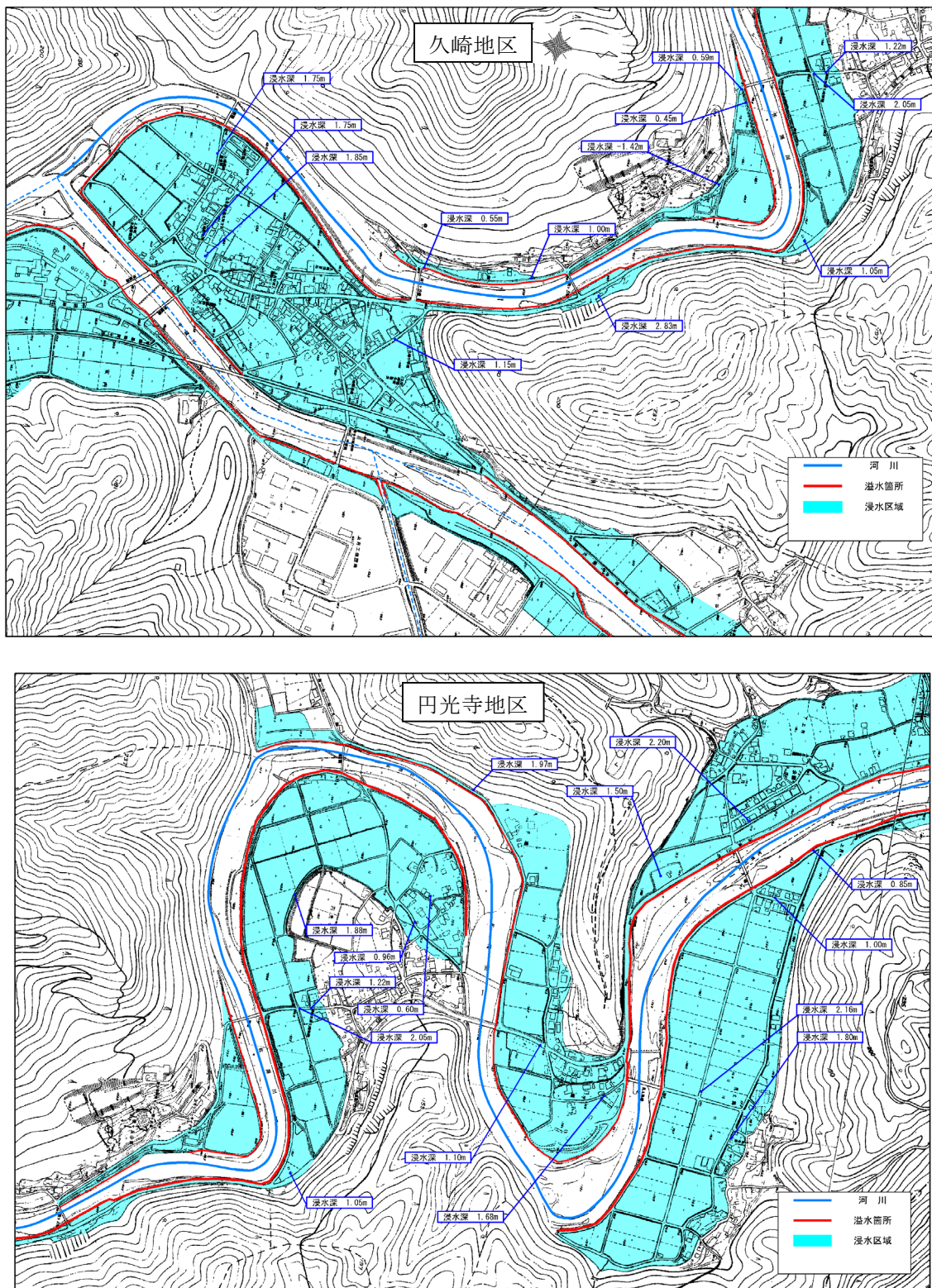


図 3.40 平成 21 年台風 9 号による久崎・円光寺地区の浸水状況(兵庫県提供)

3.3 地盤形成の履歴による地形地質特性と被害について

3.3.1 千種川上流域および佐用川流域の地形の特徴

当該流域は主として500m以下の高度の山地からなる西播山地⁸⁾に属する。千種川の上郡地区付近では高度が低下し、300~400mの山地・丘陵で構成される。川沿いでは局部的起伏が大きく、30°以上の急傾斜が形成される地区が広く見られる。これら山地・丘陵の頂部には緩傾斜かつ起伏が小さい高原状の平坦地が存在する。辻村⁹⁾はこの平坦地（準平原）については、断層活動により分離、隆起したものであるとし、開析を受けて、急傾斜部分が形成されているとした。

千種川上流域および佐用川流域では流路に沿って、階段状の河岸段丘が形成されている。この河岸段丘は気候変動（超長期スケール（数万年オーダー））に伴い、山間地における土砂生産量ならびに河川の運搬量（流水力）の変化すること、および、地殻変動などに関係して形成される¹⁰⁾。寒冷期には、山間地において土砂が活発に生産され、山麓および河床に堆積し、温暖期には、その堆積物が河川流により移動すると推察される。段丘の表面はそれぞれの時期に河川が流れていた部分であり、その後の隆起や、気候変動の結果として河床が段丘面に切りこんで形成される。このため、より高位に位置する段丘がより古い時代に形成されたものと考えられる¹⁰⁾。当該地域では段丘の発達は悪い。千種川上流域および佐用川流域では、一般的に河床上3~5m程度の高さのところ谷底平野が形成されており、それより上位に河岸段丘がある。千種川は河岸段丘が比較的発達しており、断続しながら、高位~低位の段丘が、ほぼ現河床断面と平行するような形で分布している。佐用川では段丘は全般に河床からの比高が小さい、すなわち、浸水深が大きい洪水の場合、段丘面（低位）にも被害が及ぶ可能性がある。

現河川による沖積作用が及ぶ谷底にある平坦面は谷底平野と呼ばれる。谷底平野は、一般的には河川に沿って流下方向に1~3°の傾きがあり、当該地域のように急傾斜地が多く占める地域では、この緩勾配エリアに降雨等の水が集中することが容易に推察される。自然堤防、旧河道などは小規模なものがみられるのみで



図 3.41 千種川上流域および佐用川流域における地形区分図^{10), 4)} (土地分類基本調査：図幅「佐用・坂根」および「上郡」の地形区分図を統合し、当該地域部分を抜粋)

表 3.9 千種川上流域および佐用川流域における地形区分^{10), 4)}

大区分	小区分	細区分
播但山地	西播山地	土万山地
		新宮山地
		船岩高原
		富満高原
		船坂高原
		三濃・大蔵山山地
西播丘陵		佐用丘陵
低地	千種川低地	佐用低地
		千種川上流低地
	揖保川低地	上郡低地
		揖保川上流低地
		栗栖川低地

ある¹⁰⁾。傾斜区分の割合については後述する。

この地域を構造線、河川および地形的性格における顕著な差異を指標として地形区を設定し^{10), 11)}、図3.41及び表3.9に示す。

3.3.2 地形分類図

土地分類基本調査：図幅「佐用・坂根」¹⁰⁾および「上郡」¹¹⁾の地形分類図を統合し、当該地域部分を抜粋した分類図を図3.42に示す。以下に地形区分（表3.9）により設定されたそれぞれの地形区について特徴を以下にまとめる。

山地

○四万山地・新宮山地

山崎断層および北南に区分される山地地域である。標高は400～500m前後であり、山麓の一部には開析され、形成された扇状地が存在する。

○岩船高原・富満高原・船坂高原・三濃・大蔵山山地

千種川などの川沿いの急斜面に囲まれ、高度は300～500mで、局部起伏100m（比高）の波状の起伏を有する山地である。中国隆起準平原面の一部で、吉備高原面に続くものと思われる¹⁰⁾。高原上に分布する小起伏地およびその間の浅い谷間を利用して水田耕作が行われ、古くから集落も形成されている。南部地域の山地・高原ほど、より開析作用を受け、侵食されている傾向が見られる。

丘陵

○佐用丘陵

山崎断層以南、千種川以西の400～500m程度の山頂高度の丘陵である。山頂部に定高性のある平坦面が形成されており、小規模な谷が発達している。

低地

○佐用低地

久崎から上月地区にかけての峡谷部分より北に位置する、幅700～800m程度の低地である。谷底の高度は650～100m程度である。河岸段丘（高位～低位段丘：高い段丘ほど形成された年代が古い）が断片的に分布している。

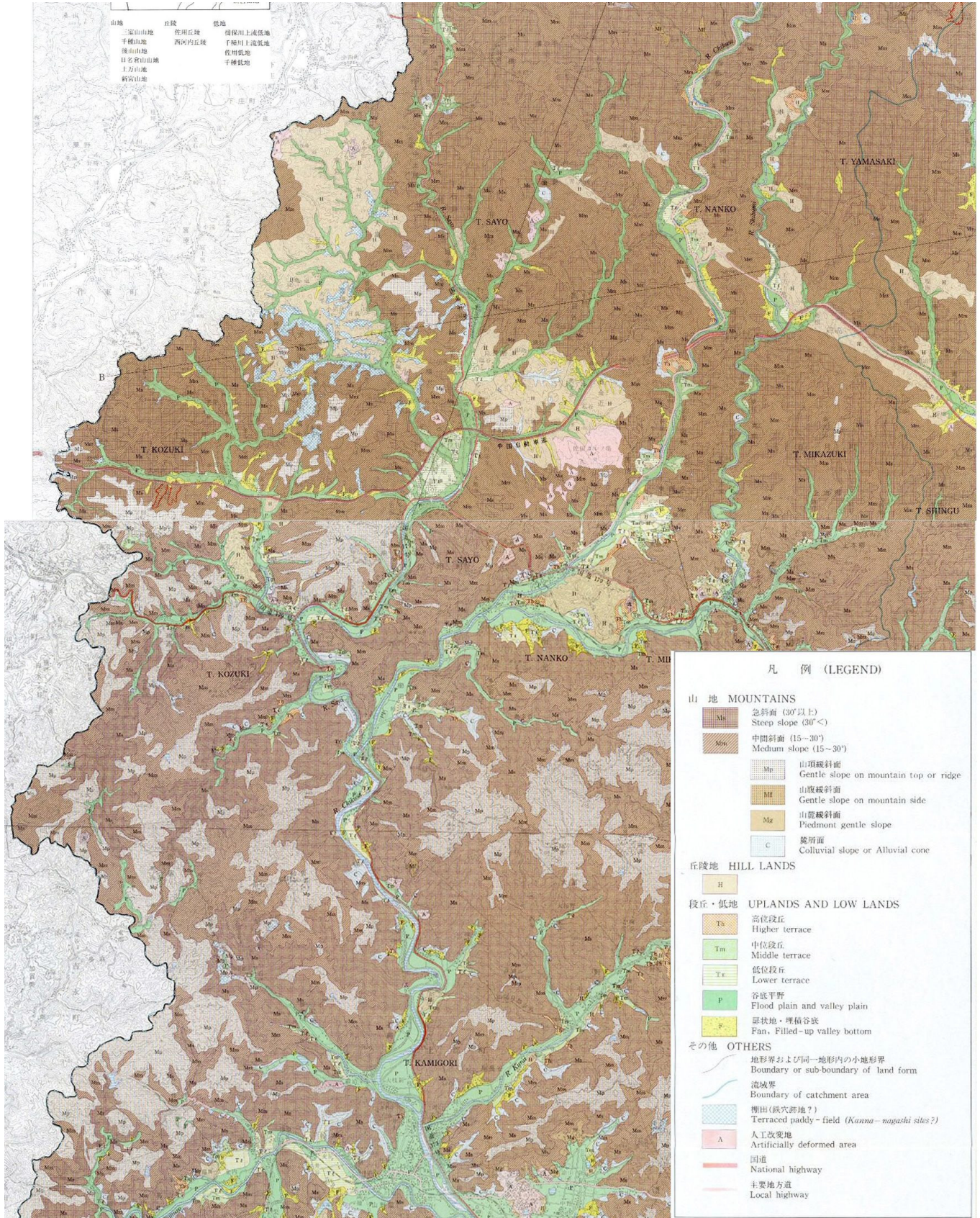


図 3.42 千種川上流域および佐用川流域の地形分類図^{10), 11)}

○千種川上流低地

千種川流域は下流部のデルタ地区，中流部の有年～上郡地区，そして久崎以北の上流部に区分でき，千種川上流低地はその上流部に当たる．低地の高度は100～150mである．谷底平野と段丘をふくめた幅は500m程度と狭い．河岸段丘は比高1～2mの小崖によって2段に区分される^{10), 11)}．

○上郡低地

千種川流域の中流域に当たる．沿川低地の標高は25～55mであり，上郡町大持付近にまとまった低地が見られ，ここでは本川に鞍居川，安室川の二支川が合流し，幅1.5km程度の谷底平野を形成されている．千種川沿いでは河岸段丘は顕著ではない¹¹⁾．

○揖保川上流低地

揖保川の上流域に当たり，谷底の高度は下流側で150m，上流側で250mである．段丘の発達する地域もある．また，この低地に張り出す麓斜面や扇状地には段丘化したものもある．低地中にみられる地形には，段丘化した扇状地（開析扇状地），緩扇状地，谷底平野，自然堤防，旧河床などが見られる¹¹⁾．

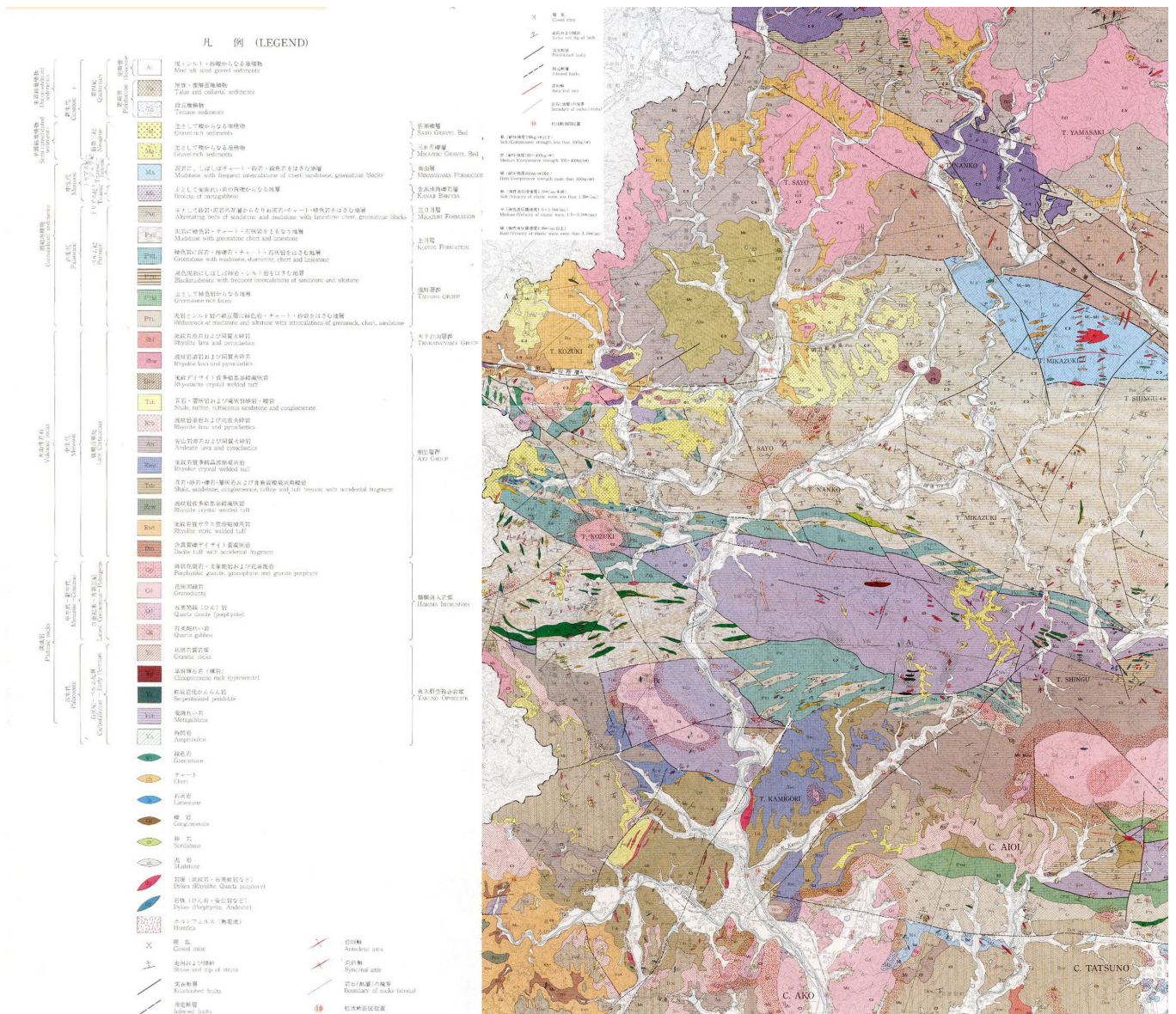


図 3.43 千種川上流および佐用川流域の表層地質図^{10), 11)}

○栗栖川低地

揖保川の支流栗栖川の沿川に形成される狭く平らな低地である。谷底の幅は300m以下程度で、両側の急傾斜な山地斜面との対照（峡谷底）が顕著である¹⁰⁾。

3.3.3 表層地質

土地分類基本調査：図幅「佐用・坂根」¹⁰⁾および「上郡」¹¹⁾の表層地質図を統合し、当該地域部分を抜粋した分類図を図3.43に示す。ここでは、現河道における堆積物輸送に重点を置くため、表層近くの現世層（沖積層）の地質に関する記載だけにとどめる。

沖積層は砂礫・シルトおよび泥から構成され、当該地域では主として谷底平野に分布する。千種川上流域、佐用川流域では、沖積層は概ね薄く、2～3m程度の厚さである。千種川上流の西河内付近では、泥まじりの砂礫層が層厚1～1.5mで花崗岩体上に堆積している。佐用町平福の佐用川沿いでは約4mの厚さをもち、礫混じり砂、砂礫、泥まじりの砂などから構成される。上月町久崎付近では約3.5～6mの厚さで堆積し、それらの層は礫まじりの砂にシルトを挟む。下流の上郡町域では沖積層厚が増加し、約10mあるいは、それ以上の堆積層が見られる。

沖積層以外の礫・砂・シルトからなる未固結堆積物は段丘、崖錐などを形成している。段丘については、発達した段丘が佐用川流域・千種川流域に存在することは前述のとおりである。層を構成する堆積物は後背地の地質によって異なる。火山岩質の地域では角礫が卓越し、深成岩質の地域では砂やシルト粘土が多い傾向がある。佐用町長尾では基盤岩の上に、約7mの層厚を持ち、砂礫まじりの粘土、シルトが卓越した層が存在する。千種町西河内付近にみられるなだらかな地形は砂鉄採集による人工改変地と考えられる¹⁰⁾。

3.3.3 谷底平野における土地利用のあり方

千種川上流域および佐用川流域における各町の傾斜区分別面積を表3.10に示す。千種川中流域の上郡町を除く他の町では80%以上が15°を越える急傾斜地で占められており、宅地等の人間活動に適した平坦地は当該地域においては非常に限られていることがわかる。

一方で、千種川上流域および佐用川流域の各町の地形区分別面積を表3.11に示す。山地および丘陵地が大部分を占め（60～90%）、山地を縫うように存在する谷底平野に形成される低地や台地は10数%程度にとどまっており、このことから、人間活動に適した平坦地が10数%程度しか存在せず、狭い谷底平野に宅地等の開発が集中することは想像に易い。また、山地（急傾斜地）における降雨は地下への浸透効果が期待され

表 3.10 傾斜区分別面積の市町別内訳（土地分類図付属資料¹²⁾より当該地域部分を抜粋、
上段の値：面積（km²），下段の値：割合（%））

	S ₁ 0～3°	S ₂ 3～8°	S ₃ 8～15°	S ₄ 15～20°	S ₅ 20～30°	S ₆ 30～40°	合計
千種町	3 (3)	7 (7)	5 (5)	58 (54)	28 (26)	5 (5)	106
南光町	7 (14)	2 (4)	1 (2)	24 (48)	12 (24)	4 (8)	50
佐用町	5 (4)	—	2 (2)	82 (71)	24 (21)	2 (2)	115
上月町	7 (8)	—	22 (24)	46 (51)	12 (13)	4 (4)	91
三日月町	4 (8)	—	11 (22)	25 (50)	10 (20)	—	50
上郡町	23 (15%)	—	42 (28%)	44 (29%)	33 (22%)	8 (5%)	150

るが、今回生じた集中豪雨のような降雨イベントであれば、地盤への地下浸透の許容量には限界があり、浸透しない雨水は谷底平野を流れる河川に集中する。上述のような谷底平野の面積が狭く、そこに人口・資産が低地に集中する地形条件、および、想定雨量よりも大きい超過洪水の発生が相まったことが、今回の台風9号による浸水被害の甚大にした一つの要因として考えられる。

表 3.11 地形区分別面積の市町別内訳（土地分類図付属資料¹²⁾より当該地域部分を抜粋、
上段の値：面積 (km²)，下段の値：割合 (%))

	山地				丘陵地		台地			低地			合計
	大起伏	中起伏	小起伏	山麓地	大起伏	小起伏	上位	中位	下位	扇状地性	三角州性	自然堤防	
千種町	33 (31)	41 (39)	18 (17)	6 (6)	1 (1)	1 (1)	—	—	—	5 (5)	—	—	105
南光町	—	4 (8)	29 (58)	—	5 (10)	—	—	1 (2)	2 (4)	9 (18)	—	—	50
佐用町	—	9 (8)	60 (51)	—	34 (30)	—	—	1 (1)	1 (1)	10 (9)	0	—	115
上月町	—	—	60 (66)	—	21 (22)	—	—	—	—	6 (7)	5 (5)	—	91
三日月町	—	—	40 (80)	—	3 (6)	—	—	1 (2)	1 (2)	6 (12)	—	—	50
上郡町	—	—	122 (81)	—	5 (3)	1 (1)	—	—	—	4 (3)	19 (13)	—	150

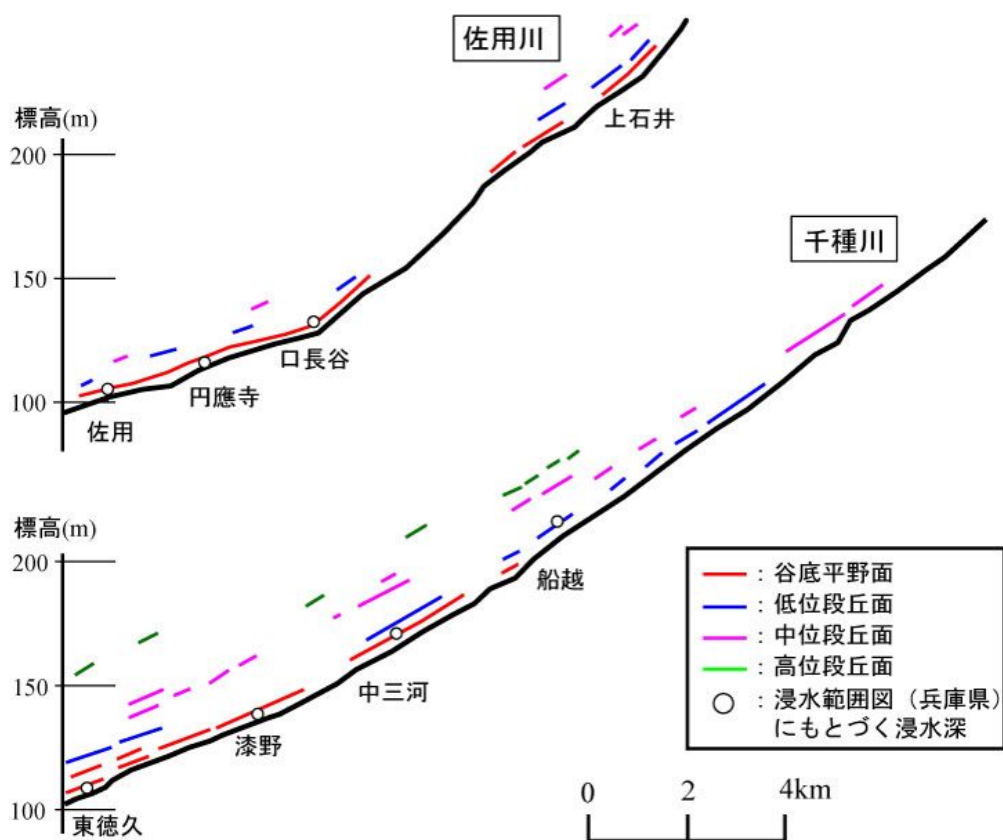


図 3.44 千種川上流域および佐用川流域の河川縦断面と河岸段丘位置¹⁰⁾
(台風9号による浸水深¹²⁾を併示)

千種川上流域および佐用川流域の河床縦断面および河岸段丘面の位置¹⁰⁾を図3.44に示す。また、台風9号による浸水深¹²⁾を併示した。どちらの流域においても、谷底平野面（現河川の氾濫原面）は浸水しているが、河岸段丘面（低位面）までは至っていない（比高は1～2m程度）。土地基本分類調査^{10),11)}が実施される80年代は高度経済成長が盛んな時期であったが、千種川の氾濫に対しては比較的安全な位置に商業地や集落が形成されていたようである¹¹⁾。その後、現在に至るまでの間に、洪水に対して比較的安全な緩斜面に形成されていた集落が、低平地を通る国道や鉄道沿線に拡大した。特に国道に沿った水田は街村化され、住宅地が開発されてきた。その結果、谷底平野面での浸水被害ポテンシャルが増大したと考えられる。集中豪雨の発生時に周囲の山地から雨水が一気に集中する谷底平野においては、堤防の設置・かさ上げ、河道の浚渫（計画高水流量の増加）等のハード面（構造物）による治水対応には限界があり、抜本的な解決策にはならないと考えられる。

地球温暖化による気象イベントの極端化が叫ばれる昨今、超過洪水に対する被害を軽減するためには、狭隘部に形成された谷底平野面における宅地化の制限や平屋家屋の建設の制限（生活空間を地階に設けさせない）等、土地利用の在り方を考え直す必要がある。

3.4 河道の変化と潜在的な災害危険度

3.4.1 はじめに

洪水や地震などによる災害の繰り返し周期は、私たち人間の寿命と比較すると、非常に長く、数百年、数千年のオーダーである。そのため、地域の自然災害の危険性を正しく評価するためには、その地域に住む個人の経験だけではなく、その地域の自然災害の歴史や流域地盤の成り立ちを理解することが肝要である。そこで本章では、航空写真を用いて戦後の河道の変化を明らかにし、その観点から本災害の流域の潜在的な災害危険度がどうであったのか分析する。対象とする河川は、人的被害が最大となった本郷地区の幕山川と家屋の浸水被害が大きかった久崎地区の佐用川千種川の合流域周辺の河川とする。

3.4.2 空中写真

検討に用いるデータは、国土地理院がウェブ上で公開している空中写真であり、全国土を対象に戦後から繰り返し撮影された空中写真を国土変遷アーカイブ事業でデジタル化したデータである。本章の検討に用いたデータは本郷地区と久崎地区が写っている空中写真で、表 3.11 の通りである。戦後米軍が撮影したものが最も古く、最近のものとしては5年程度前に国土地理院が撮影した写真を用いた。空中写真は、コントラストや明るさの補正を行い、河道を抽出しやすくする処理を行って利用した。

表 3.12 使用する幕山川、佐用川流域の空中写真の一覧

幕山川（本郷地区）		佐用川千種川（久崎地区）	
撮影年月日	撮影実施機関	撮影年月日	撮影実施機関
1948/01/21	米軍	1948/01/21	米軍
1971/04/27	国土地理院	1964/05/07	国土地理院
2005/04/19	国土地理院	1971/04/27	国土地理院
		2004/04/15	国土地理院

3.4.3 幕山川の河道の変化

本郷地区の空中写真（補正済み）に幕山川の河道を白色ラインでトレースした画像を図 3.45 に示す。撮影範囲が一枚一枚異なるため、本郷地区全域を表示できていない写真も存在するが、戦後、中国自動車道が開通するようになった様子や水田が市街地化している様子を読み取ることができる。

次に、トレースした幕山川の河道を回転や拡大縮小をして、国土地理院 2 万 5 千分 1 地図（平成 13 年度調査）に重ねた（図 3.45）。赤丸をした場所が町営住宅の位置であり、バツ印は町営住宅の住民が避難中に流された場所である。避難所となっていた図中の「文」の記号のある学校へ向かっていたと思われる。1948 年とそれ以降で、河道に大きな変化を読み取ることができる。すなわち、1948 年時点では町営住宅周辺で蛇行していた河川が、その後直線化していることが分かる。このことだけから判断することは難しいが、町営住宅周辺は幕山川が氾濫した場合、潜在的に浸水する危険性があると考えられる判断材料にはなる。なぜ、河道が変化したのかについては、さらに調査が必要である。

3.4.4 佐用川千種川の合流域周辺の河道の変化

一方、久崎地区を含む佐用川千種川合流域の空中写真を図 3.46 に示す。越流地点は図中の赤丸の位置である。戦後、両川に囲まれた久崎地区で水田が市街地化している様子が見える。ただし、戦後に限って言えば、幕山川のように河道に大きな変化は見られない。

3.4.5 まとめ

戦後撮影された空中写真を用いて、河道の変化を明らかにした。その結果、佐用川千種川の合流域周辺では大きな変化は見られなかったが、幕山川では町営住宅周辺で大きく変化していることが分かった。これは、河川が氾濫した場合、浸水の危険性があると判断する材料として使える。今回は、容易に入手できる空中写真のみを用いたため、戦後に限定した調査となったが、地域の災害危険性をより正確に評価するためには、古地形図などを活用し、さらに歴史を遡り検討しなければならない。



(a) 1948年撮影



(b) 1971年撮影



(c) 2004年撮影

図 3.45 幕山川流域の空中写真

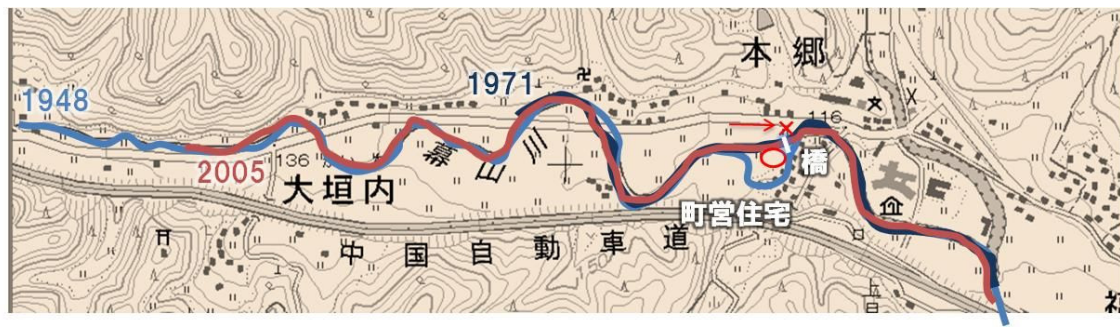
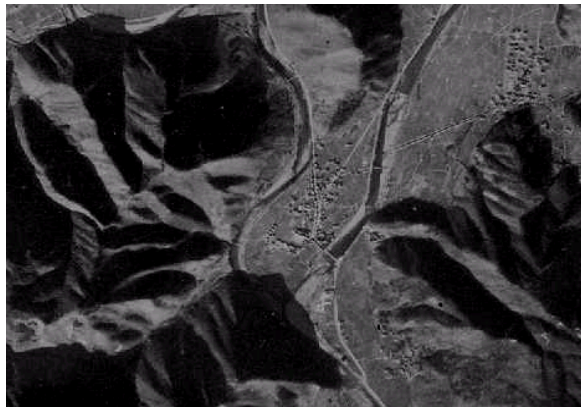


図 3.46 幕山川の河道の変化



(a) 1946 年撮影



(b) 1964 年撮影



(c) 1971 年撮影



(d) 2004 年撮影

図 3.47 佐用川と千種川合流域の空中写真

参考文献

- 1) Wells R. R., Alonso C. V. and Benett S. J.: Morphodynamics of Headcut Development and Soil Erosion in Upland Concentrated Flows, SSSAJ, Vol.73, No.2, 2009.
- 2) 国土地理院：基盤地図情報サイト, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>, 2009.
- 3) 財団法人国土開発技術研究センター編：護岸の力学設計法, 山海堂, 1999.
- 4) 社団法人全国防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針における実施工法事例集, 2007.
- 5) 兵庫県千種川委員会：第13回委員会資料-3 台風21号による出水と被害の状況,
<http://web.pref.hyogo.lg.jp/contents/000027454.pdf>, 2004.
- 6) 兵庫県：平成21年台風第9号災害の被害状況等について, p4, 2009.
- 7) 兵庫県：平成21年台風第9号による被害について(第53報),
<http://web.pref.hyogo.jp/contents/000137323.pdf>, 2009.
- 8) 田中眞吾：兵庫県土地分類図(20万分の1)地形分類図, ならびに同付属資料. 経済企画庁, 1~5, 1974.
- 9) 辻村太郎：『日本地形誌』古今書院, 455p, 1929.
- 10) 兵庫県：土地分類基本調査 佐用・坂根 5万分の1 国土調査：地形分類図, 表層地質図および簿冊, 1987.
- 11) 兵庫県：土地分類基本調査 上郡 5万分の1 国土調査：地形分類図, 表層地質図および簿冊, 1988.
- 12) 兵庫県：台風9号による浸水区域図, 2009.

