

天井川に関する技術検討会

第1回から第4回とりまとめ

平成 25 年 5 月 29 日

1. はじめに.....	1
2. 平成 24 年 8 月 13 日から 14 日の豪雨の状況.....	2
3. 弥陀次郎川の欠壊・被害の状況.....	4
4. 河川の状況および洪水時の状況の調査・検証.....	8
4.1 護岸・堤防の構造に関する調査結果.....	8
4.2 被災時の状況に関する調査結果.....	17
5. 欠壊メカニズムの検討.....	21
5.1 水文・水理状況に関する調査.....	21
5.2 越水による欠壊の可能性検討.....	31
5.3 浸透による欠壊の可能性検討.....	31
5.4 侵食による欠壊の可能性検討.....	36
6. 欠壊要因とメカニズムの考察.....	39
6.1 調査・解析の考察.....	39
6.2 欠壊のメカニズム.....	41
7. 天井川の安全対策に向けた課題.....	42
8. 天井川の安全対策.....	44
8.1 概要.....	44
8.2 京都府の天井川.....	44
8.3 天井川の分類.....	47
8.4 天井川の危険度と留意点等.....	50
8.5 危険度の評価.....	50
8.6 天井川対策.....	55

1. はじめに

平成 24 年 8 月 14 日の京都府南部地域豪雨により発生した弥陀次郎川の天井川区間での堤防欠壊について、そのメカニズムを解明することと府内天井川の安全向上策を検討することを目的として、天井川に関する技術検討会が発足した。

今回、既存資料の整理、現地調査、住民聞き取り調査及び欠壊に係る解析結果などを踏まえ、平成 24 年 9 月から平成 25 年 1 月まで 4 回開催した検討内容を以下にとりまとめた。

表- 1.1 天井川に関する技術検討会 委員

氏名	役職	備考
佐々木 哲也	独立行政法人土木研究所つくば中央研究所 地質・地盤グループ土質・振動チーム 上席研究員	
立川 康人	京都大学大学院工学研究科 准教授（水文・水資源）	
中川 一	京都大学防災研究所 教授（河川工学）	座長
中村 則之	国土交通省近畿地方整備局河川部 河川情報管理官	
服部 敦	国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部 河川研究室長	

(敬称略・五十音順)

表- 1.2 天井川に関する技術検討会の開催経緯

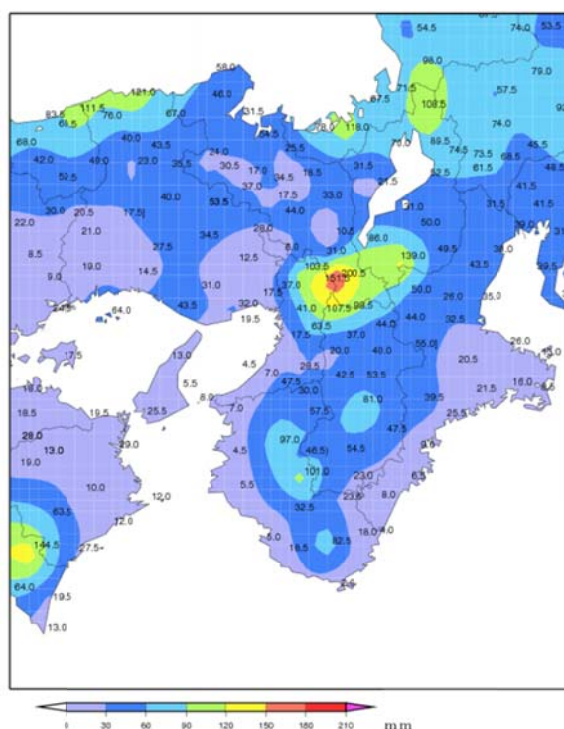
回数	開催日	議 事
1	平成 24 年 9 月 1 日	・弥陀次郎川の欠壊と復旧の状況について ・府域の天井川について
2	平成 24 年 10 月 20 日	・弥陀次郎川の欠壊メカニズムの解明 ・府域の天井川について
3	平成 24 年 11 月 17 日	・弥陀次郎川の欠壊メカニズムの解明 ・府域の天井川について
4	平成 25 年 1 月 31 日	・弥陀次郎川の欠壊メカニズム ・府域の天井川について

2. 平成 24 年 8 月 13 日から 14 日の豪雨の状況

8 月 13 日 12 時～8 月 14 日 12 時のアメダスによる期間降水量を下図(図-2.1)に示す。

前線が日本海から西日本に南下し、この前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだため、大気の状態が非常に不安定となり、14 日明け方から朝にかけて近畿地方の中部を中心に猛烈な雨が襲った。

今回の豪雨に関し、アメダスでは、大阪府枚方で 14 日午前 6 時 20 分までの 1 時間に 91.0 ミリ、京都府田辺で 14 日午前 6 時 25 分までの 1 時間に 78.0 ミリを観測するなど、観測史上 1 位の雨量を記録した。さらに、解析雨量^{※)}によれば、14 日午前 5 時 30 分までの 1 時間に大阪府高槻市付近では約 110 ミリの猛烈な雨であった。



平成 24 年 8 月 15 日 16 時現在気象速報 大阪管区気象台 資料 より

図- 2.1 アメダス期間降水量(8 月 13 日 12 時～8 月 14 日 12 時)

※) 解析雨量: 気象レーダーとアメダス等の雨量計を組み合わせ、雨量分布を 1 km 四方の細かさで解析したもの。

京都府の雨量観測所では、府南部に大被害をもたらした昭和 61 年豪雨以来の集中豪雨を記録した。宇治観測所(京都府所管)での総雨量は 307 mm(昭和 28 年台風 13 号では 202.6 mm、昭和 61 年豪雨では 216.5 mm)、1 時間最大雨量は 74 mm(昭和 28 年台風 13 号では 53mm、昭和 61 年豪雨では 64 mm)となっており、特に 3 時間最大雨量に至っては戦後最大降雨の昭和 28 年台風 13 号豪雨の約 2 倍となる 186 mmを記録している。

弥陀次郎川流域周辺での観測所では、城陽市寺田観測所(京都府所管)で総雨量 332 mm、

1時間最大雨量 79 mm、3時間最大雨量 161 mmを記録し、八幡市八幡観測所（京都府所管）では、総雨量 289 mm、1時間最大雨量 103 mm、3時間最大雨量 187 mmを記録した（八幡観測所での1時間最大雨量 103 mmは200年確率を超える値である）。

今回の豪雨は図-2.2に示すように、弥陀次郎川流域の南側に雨が多かった雨量観測所が分布している。気象庁レーダーや国土交通省レーダー雨量データからも、弥陀次郎川流域の南側のエリア周辺において、西から東へ帯状の雨雲の移動に伴い、局地的に豪雨が発生していた状況が確認されている。



図- 2.2 弥陀次郎川流域と雨量観測箇所

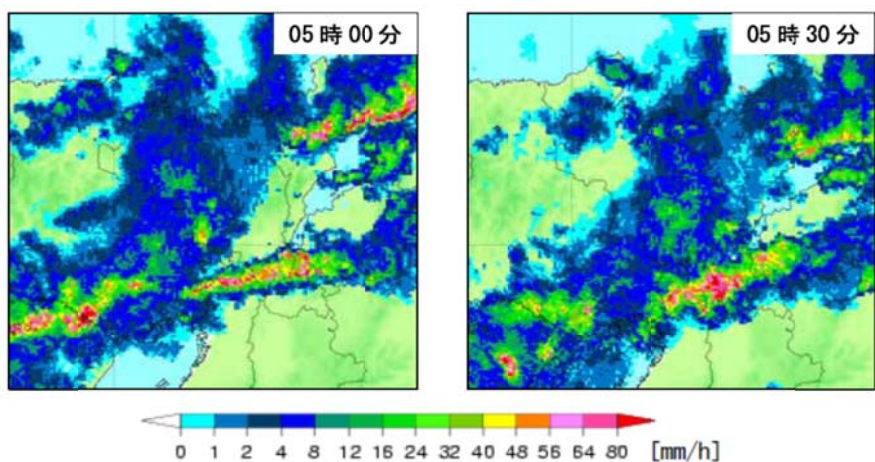


図- 2.3 気象庁レーダー記録による雨量分布

3. 弥陀次郎川の欠壊・被害の状況

3.1 弥陀次郎川の上流域等の状況

弥陀次郎川は流域面積が 1.4 平方キロ程度の小規模な河川であるが、その集水域となる上流域では「山林・荒地等」、「一般低層住宅地」等の土地利用が占めている。今回の豪雨では、上流域から流下した流木が、橋梁部分で河道を閉塞させていたこと、天井川区間より上流の市道では越水によって周辺に乗り上げていたこと、土石が堆積していたことなどから、今回の豪雨に伴う大量の出水により、相当量の流木の発生とともに、土砂等が流下したものと考えられる。

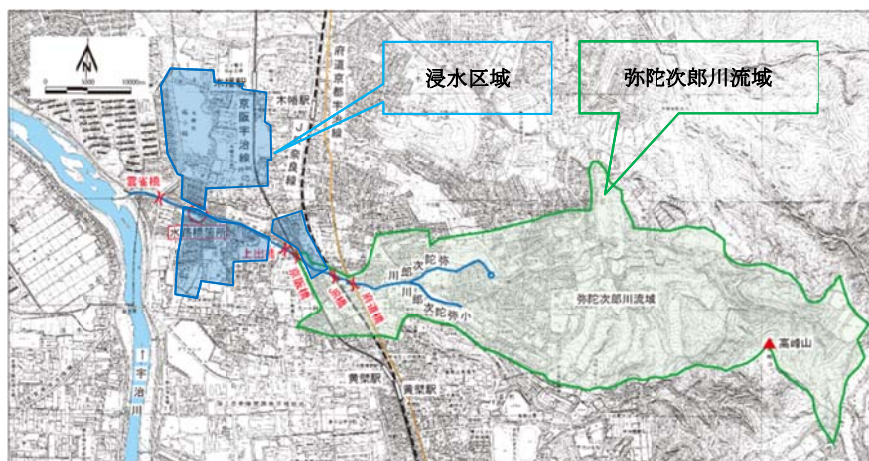


図- 3.1 弥陀次郎川流域と浸水区域



図- 3.2 弥陀次郎川流域の現状の土地利用



左：平成 24 年 8 月 15 日

右：平成 24 年 8 月 14 日

図- 3.3 弥陀次郎川上流域での流木等の状況



図-3.4 弥陀次郎川破堤箇所での流木等の状況(8月14日)

3.2 弥陀次郎川の欠壊状況

今回の豪雨により、弥陀次郎川左岸 0.54k~0.56k 付近の堤防が欠壊した。この欠壊による宅地側への洪水流の流出により、家屋8戸が全壊したほか周辺地域で浸水被害が発生した。欠壊した時刻は、後述の周辺住民への聞き取り調査により、8月14日午前4時頃と推察されている。

欠壊箇所では、両岸護岸が破壊した上、左岸側の堤体が欠壊したことにより、周辺の住宅地に洪水が流出した。



図- 3.5 欠壊箇所位置図

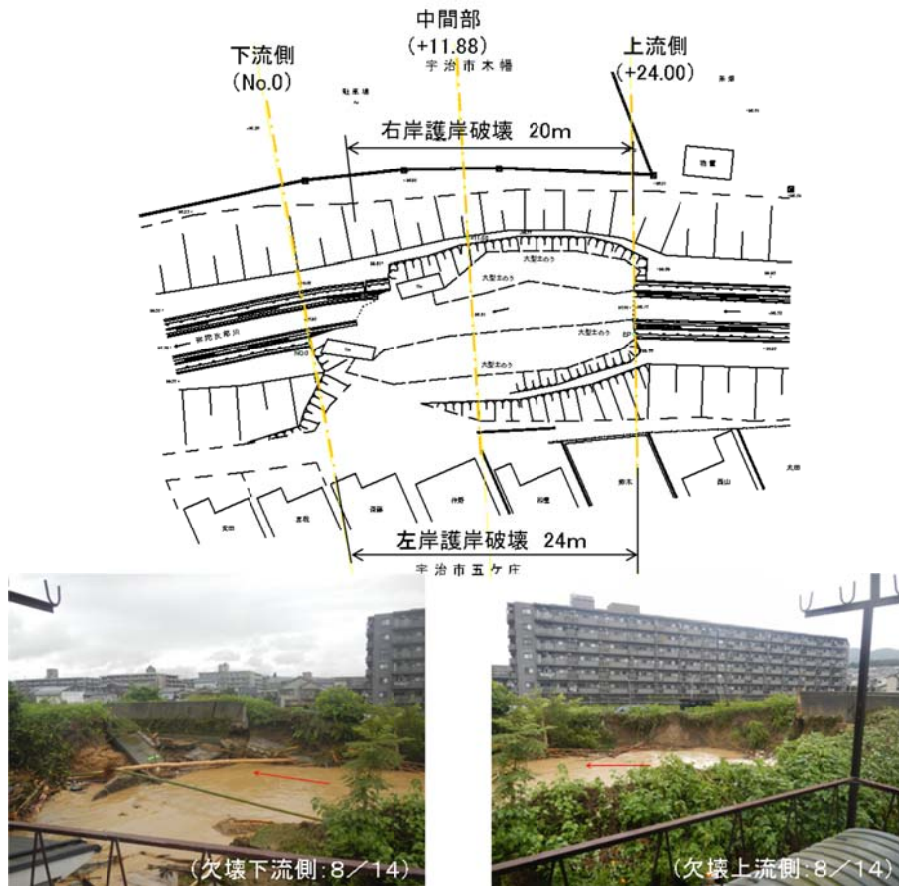


図- 3.6 (a) 欠壊箇所図(平面図)および被災直後写真

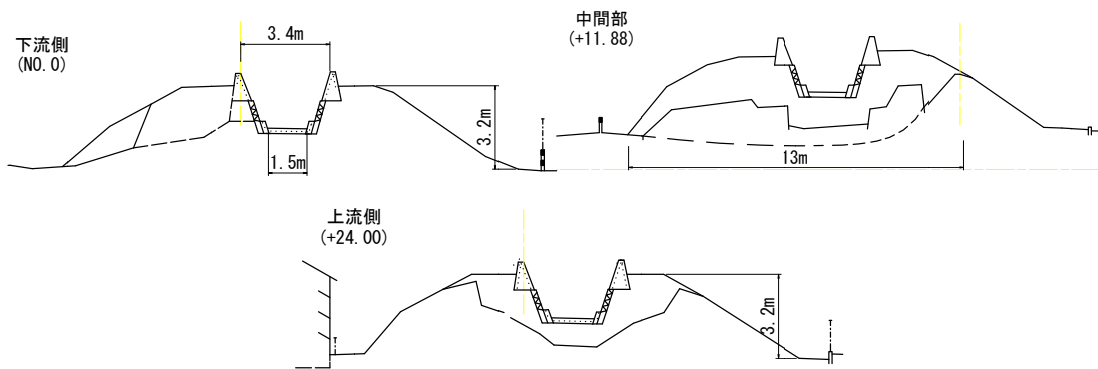


図- 3.6 (b) 欠壊箇所図(横断面図)

3.3 弥陀次郎川下流域の土地利用の変遷と浸水被害

今回の豪雨により弥陀次郎川の下流域を中心に浸水被害が発生しており（図-3.1）、床上浸水 132 戸、床下浸水 188 戸等の被害が確認されている。

天井川区間が位置する当該弥陀次郎川下流域の土地利用に関し、昭和 21 年、昭和 50 年、平成 20 年の航空写真を示すと図-3.7 のとおりとなる。

今回の浸水被害を受けた地域については、かつての池や耕地であったところを宅地化したエリアで顕著であった。

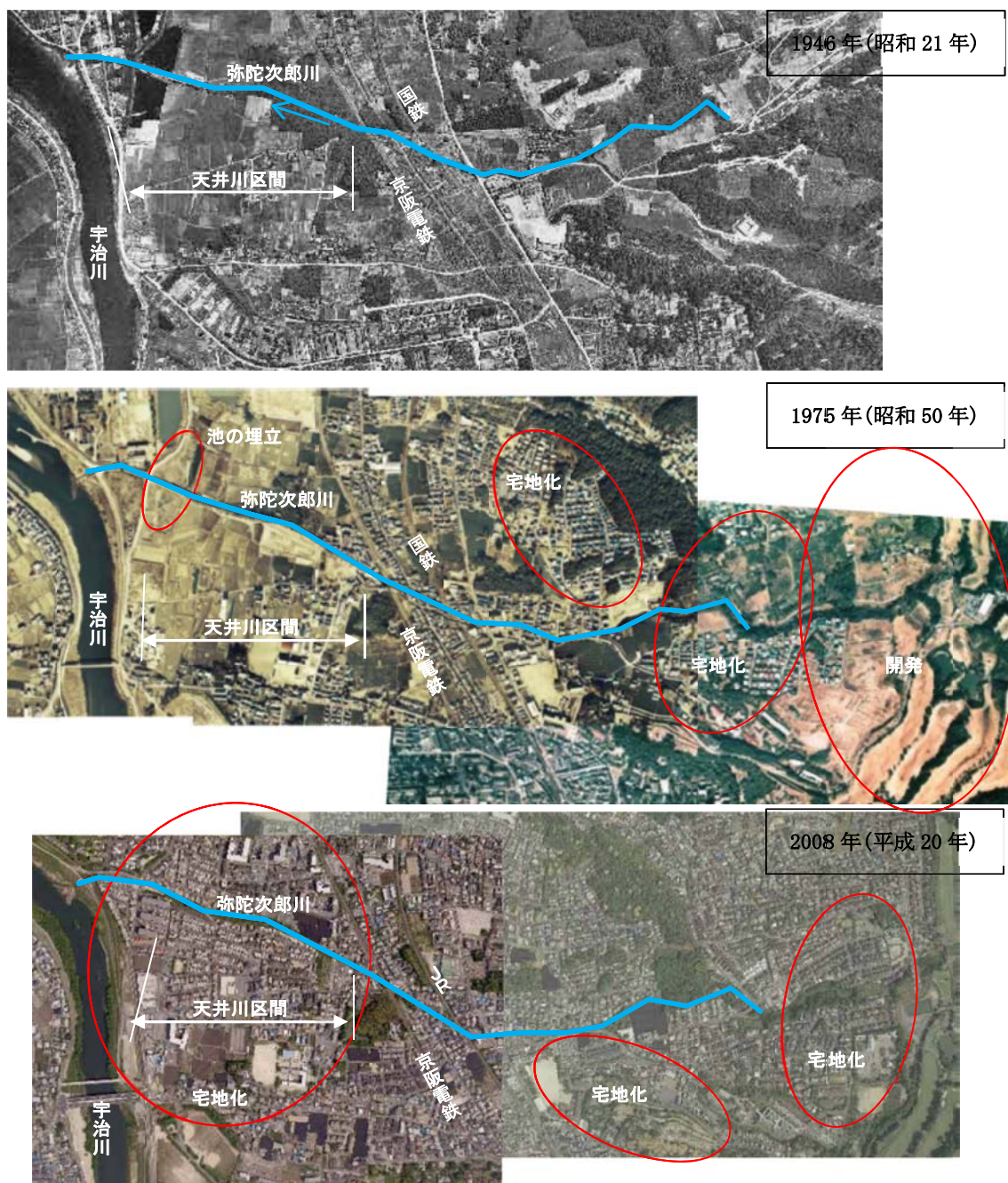


図-3.7 弥陀次郎川流域（下流側）の土地利用の変遷

4. 河川の状況および洪水時の状況の調査・検証

4.1 護岸・堤防の構造に関する調査結果

4.1.1 護岸の構造

弥陀次郎川の天井川区間での護岸構造は、下流側の「三面張りコンクリート区間」と上流側の「石積み区間」の大きく2タイプに区分できる。このうち、破堤地点は「石積み区間」に位置している。



図- 4.1 護岸構造の概要

下流側の三面張りコンクリート区間は、過去の竣工図書等を調査したものの、当初の三面張りコンクリートの設置時期を確認することが出来なかった。この区間では、昭和42年7月の洪水により河床コンクリートに穴があき堤体土が流失するという災害が発生しており、当該災害の発生を受け、昭和42年度に、被災箇所が水路橋として復旧され、前後区間は河床コンクリートの増し打ちと擁壁による護岸嵩上げが行われた。



図- 4.2 昭和42年7月洪水における災害状況

一方、上流側の石積み区間については、過去の竣工図書から、昭和 24 年度と 25 年度の工事で練り石積みの設置が確認された。当該区間においても、下流側での昭和 42 年の被災の発生を受け、流下能力の向上を図るため、昭和 45 年から 46 年にかけて護岸擁壁が設置された。根継ぎと河床コンクリートの設置年度が不明であるが、護岸擁壁が設置された昭和 46 年度の工事図面に、現況形状として根継ぎの形状が入っていることから、昭和 26 年から 45 年までの間に設置されたものと考えられる。

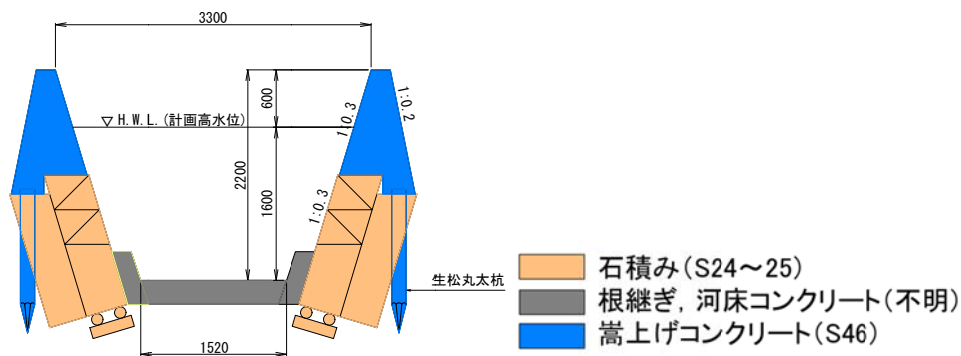


図- 4.3 施工履歴の概要

下流の三面張りコンクリート区間と同様、護岸擁壁設置による流下能力向上によって、計画高水位が擁壁天端から 60 cm 下がりの高さとなった。

また、石積み区間の護岸構造は、桐木基礎（丸太）の上に練り石積みが設置されており、胴込めコンクリートは 1:3:6（セメント:細骨材:粗骨材）の配合割合で、背面を砂利、栗石で埋め戻す形状となっている。護岸擁壁は下流区間と同様の構造で、堤体内に基礎杭（松丸太）を設置する形状となっている。

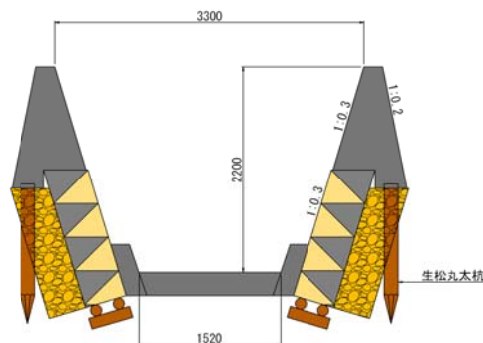


図- 4.4 石積み区間の護岸構造

なお、両区間とも、護岸擁壁が順次設置されていった昭和 42 年以降、約 45 年間にわたり堤防欠壊や浸水被害が生じるような大きな災害は発生していない。

4.1.2 堤防の土質状況

弥陀次郎川の堤防の土質状況を把握するため、欠壊地点下流 (No.21)、欠壊地点直近 (No.29)、欠壊地点上流 (No.36) の3断面で合計8本のボーリング調査を行った。

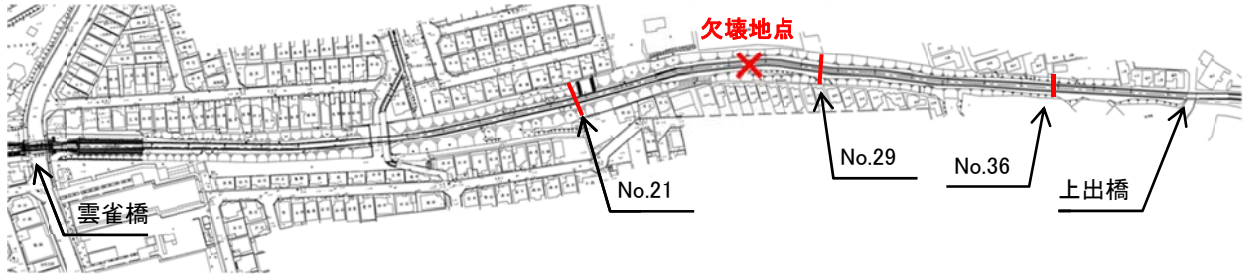
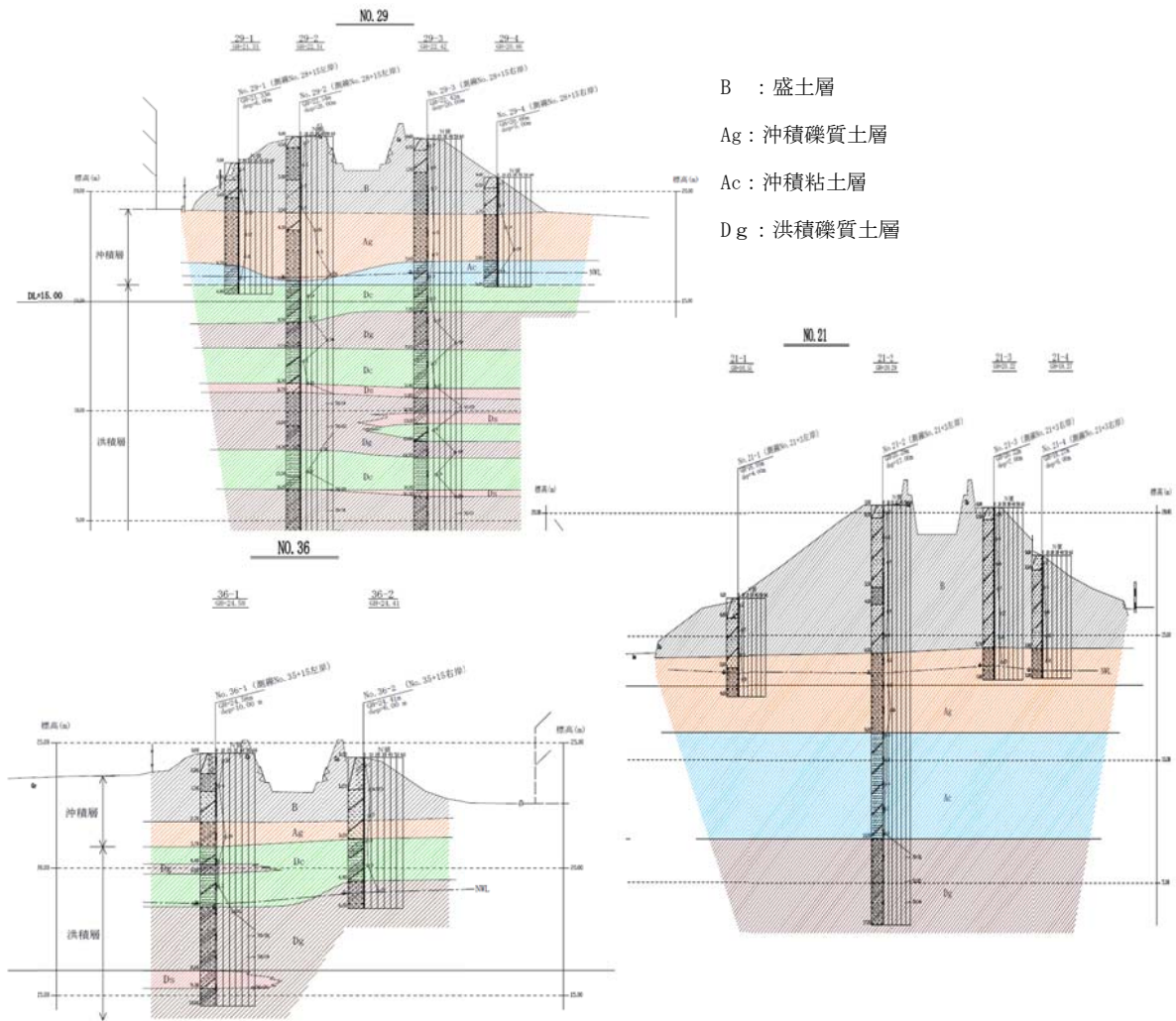


図-4.5 ボーリング調査位置(測点番号 No.21、No.29、No.36)

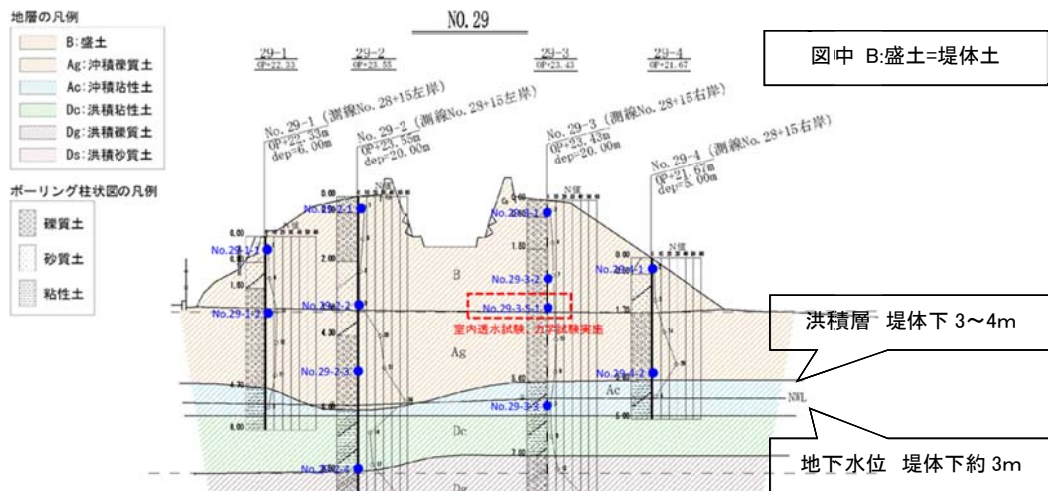


左上：欠壊地点直近 (No. 29) 左下：欠壊地点上流 (No. 36) 右：欠壊地点下流 (No. 21)

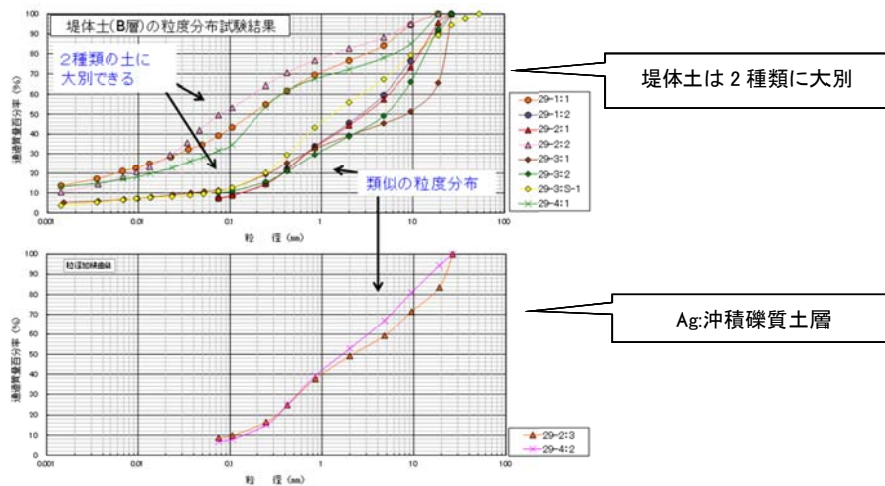
図-4.6 ボーリング調査結果(柱状図)

このうち、欠壊箇所にもっと近い No.29 断面では、試料を採取し粒度分布試験や室内透水試験・力学試験を行った。これらの調査結果をまとめると以下のとおりである。

- ・堤体の土層は、砂礫質の土層と細粒分を含む砂質土層の2種類に大別される。
- ・堤体土の砂礫質土層を対象に実施した室内透水試験では、 $k=2.69 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ の透水係数が得られた。
- ・平常時の地下水位は堤体下面以下 3m 程度と深い。
- ・堤体下 3~4m 程度で洪積層が確認される。



(a)土層想定断面図 No.29 断面



(b)粒度分布試験結果

図- 4.7 地質調査結果の概要

さらに、後述する浸透流解析のモデル化に向けて、堤体の土層構成等をより詳細に把握するための調査として、サウンディング試験（スウェーデン式サウンディング試験および簡易動的コーン貫入試験）を No.29 断面において実施した。

サウンディング試験の調査結果から得られた No.29 の地質断面は図- 4.8 に示すとおりであり、以下のような特徴が見られる。

- ・スウェーデン式サウンディング試験（SWS 試験）によって確認される堤体の土層は、貫入抵抗が比較的小さい層（図- 4.8 の Bs1 層）と貫入抵抗が比較的大きい層（図- 4.8 の Bs2 層および Bs3 層）に大別される。
- ・ボーリング調査によって得られた土層想定断面図（図- 4.7(a)）との対比から、図- 4.8 の Bs2 層および Bs3 層は砂礫質を主体とした層を、図- 4.8 の Bs1 層は細粒分を含む砂質土層に対応すると考えられる。
- ・図- 4.8 によれば、堤体の大まかな土層構成は、堤体下面より「粗粒土層－細粒土層－粗粒土層－細粒土層」という層序となっている。

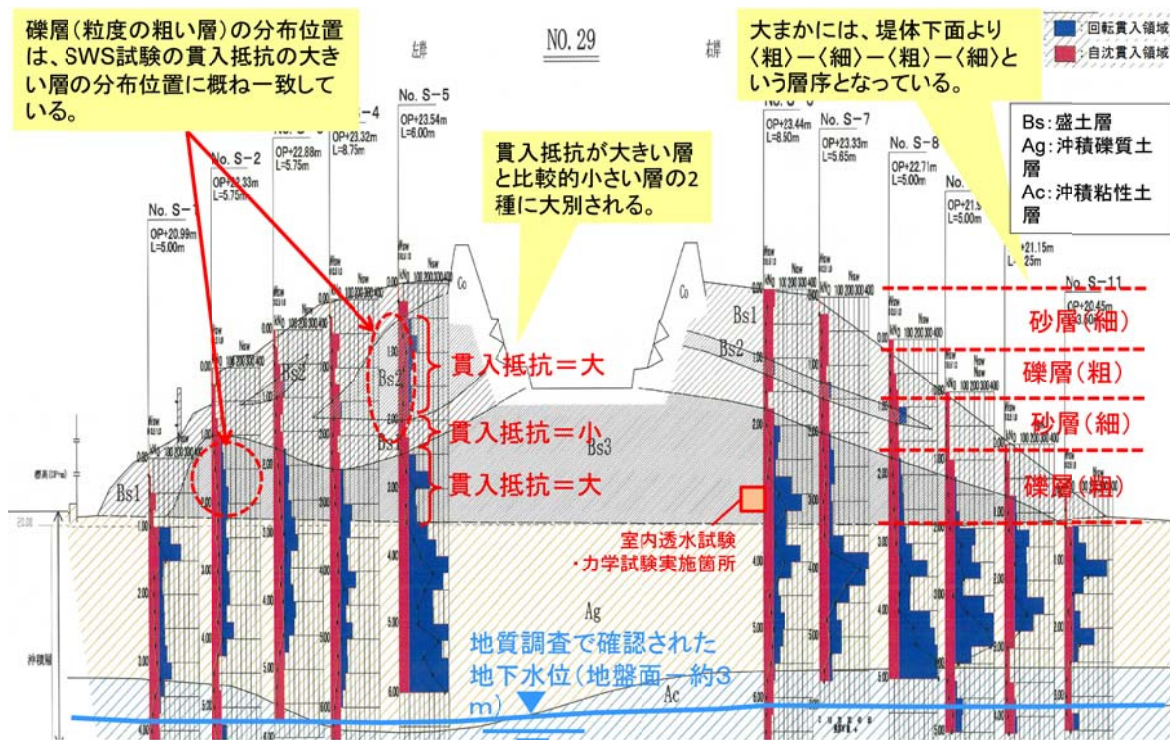


図- 4.8 サウンディング試験に基づく想定地質断面図[No.29(0.58k)断面]

4.1.3 護岸・河床コンクリート背面の状況

(1) 護岸背面の状況

石積み護岸の透水性を推定するための基礎調査として、護岸の積み石を抜き取り、護岸背面コンクリートの有無・広がり、背面土の状況等を確認した（図-4.11）。

まず、欠壊箇所から離れた上流側（No.31）で抜石したところ、胴込めコンクリートの充填が確認された。

さらに、被災直後の現地踏査で、欠壊箇所の石積み背面の状態はかなり粗いと確認されていたことから、欠壊箇所の上下流側（No.29、No.26）での抜石調査を追加で実施した結果、胴込めコンクリートが確認された。



図- 4.9 抜石調査の実施状況 (No.26-2)



図- 4.10 護岸背面の状況 (No.26-2)

※図- 4.9・図- 4.10 は、緊急対策後に実施した抜石調査状況であるため、石積み表面の目地が詰まった状態（モルタル充填）となっている。

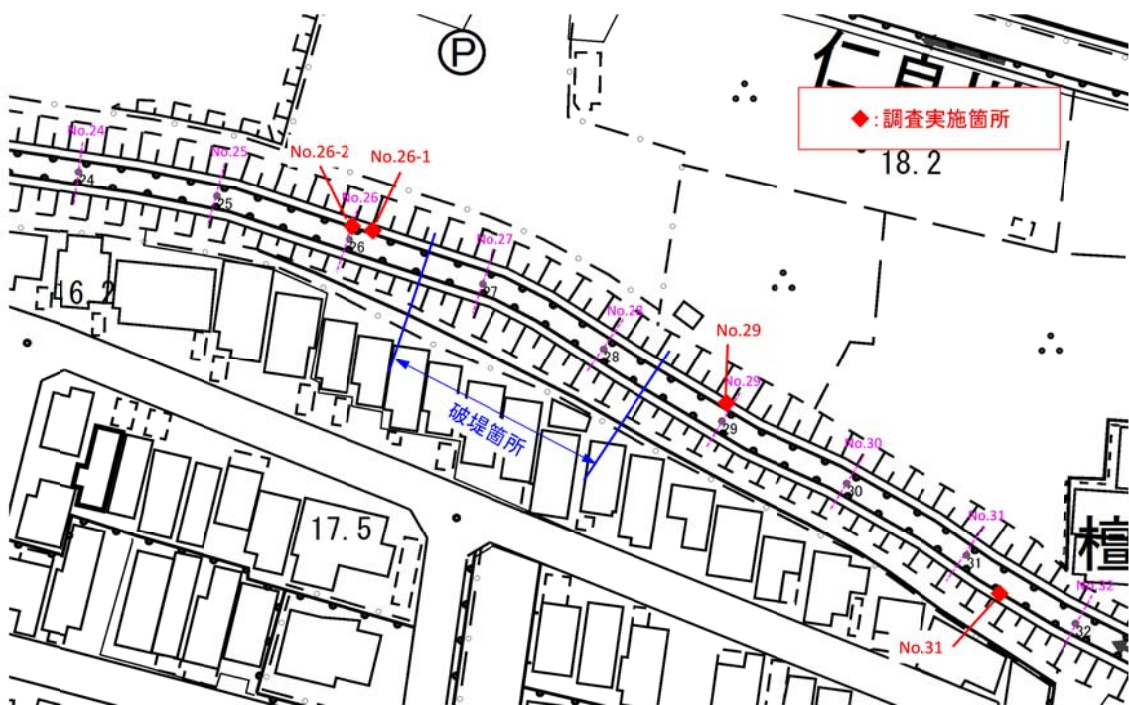


図- 4.11 抜石調査実施箇所位置図

(2) 河床コンクリート背面の状況

堤防の欠壊は、堤体土にゆるみや空洞があるような場合、これが弱点となって引き起こされることが考えられる。

そのような弱点部分が今回の欠壊箇所に存在した可能性を検証するため、被災を免れた天井川区間の河床コンクリートおよび護岸擁壁を対象に、レーダー探査を実施した。

レーダー探査による調査の結果、河床コンクリート背面に空洞や緩みなどの異常な状態である可能性が考えられる箇所がいくつか確認され（図- 4.13）ため、これらの箇所について河床コンクリートのコア抜きを行い、背面空洞の有無等について直接確認を行った。



No.29付近
 ・砂利が分布
 ・空洞やゆるみは見られない



No.30付近
 ・栗石が分布
 ・空洞やゆるみは見られない

図- 4.12 コア抜き調査結果の例

コア抜き調査の結果、河床コンクリートの背面には空洞や土のゆるみは生じておらず、代わりに栗石や砂利の分布が確認された。この栗石や砂利の分布が、レーダー探査のノイズとして確認されたものと考えられる。

これらの栗石や砂利の発生原因としては、土と接している河床コンクリートの下面部分にジャンカと呼ばれるコンクリートの劣化症状が生じていることが考えられる。これは、コンクリートの施工不良や劣化によりセメントと砂利が分離し、セメント成分が流出したことにより、砂利や骨材が残された状況が確認されたものと推定される。

なお、コア抜きにより確認された河床コンクリートの部材厚については、140～480 mmの幅があり、天井川区間下流側の3面張りコンクリート区間が360 mm～480 mmの厚さであったのに比べ、No.29付近では140 mm～155 mmの厚さであった。

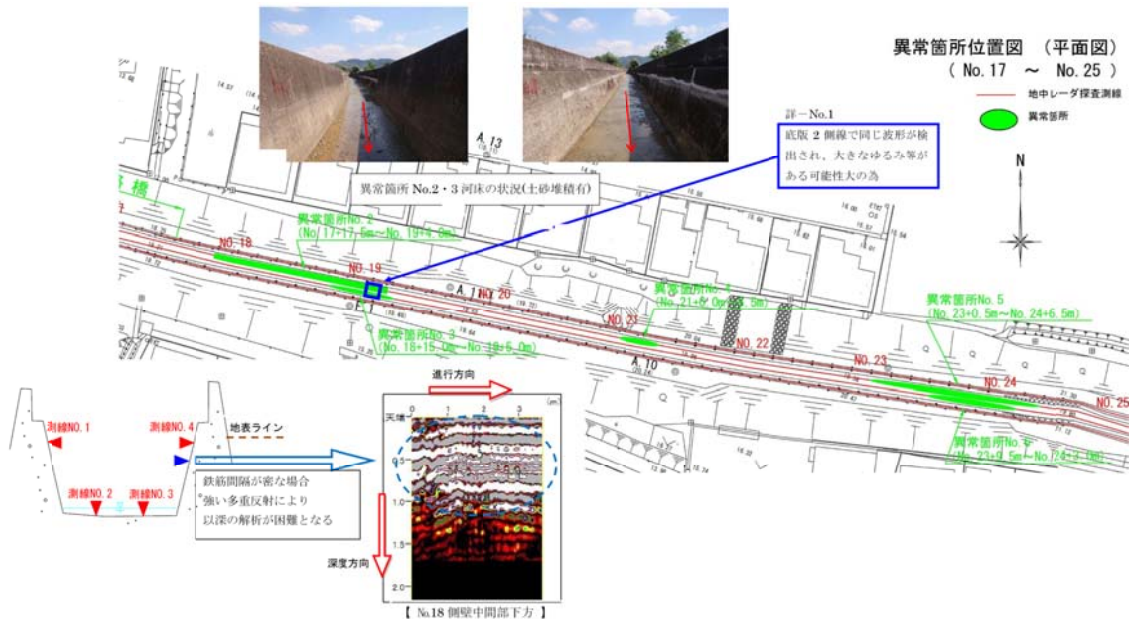


図- 4.13 レーダー探査結果の概要

4.1.4 過去の弥陀次郎川で見られた護岸等の損傷状況

弥陀次郎川では、過去の点検の実施に際し、必要と判明した場合に、補修工事を行っている。平成8年以降で補修工事が行われた概要について整理すると次のとおりである。

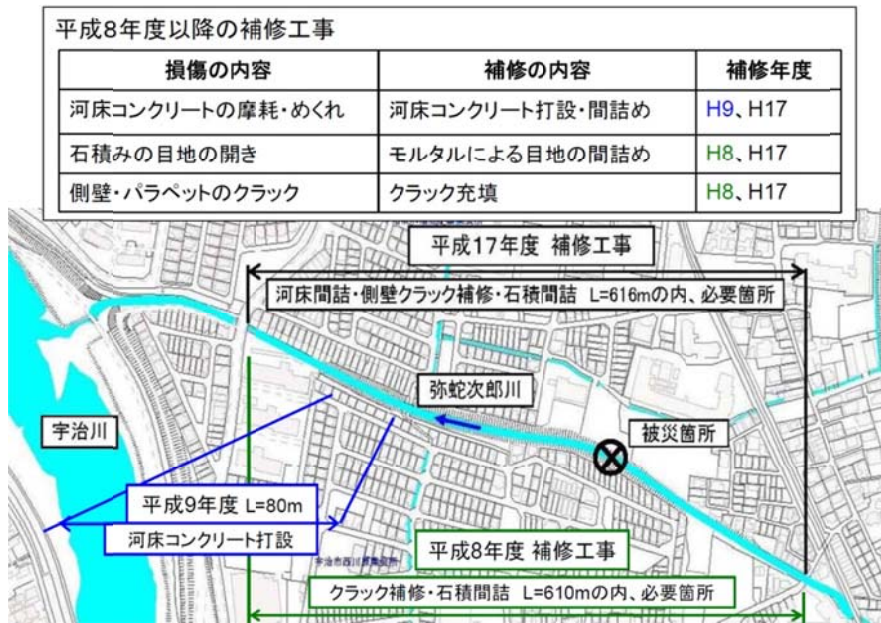


図- 4.14 平成 8 年度以降の補修工事の概要

図-4.14 における「河床コンクリートの打設」とは、河床コンクリートの増し打ちを行っているものであり、平成 17 年度の補修においては、欠壊箇所の下流側では全面的な摩耗に対する補修として厚さ 5 cm での連続した増し打ちが行われ、欠壊箇所及びその上流側では部分的な摩耗や破損に対するものとして厚さ 7 cm から 20 cm で部分増し打ちが行われた。



図- 4.15 平成 17 年度補修工事時の施工前河床(左)、平成 24 年 11 月現地調査での破損河床(右)

また、河床コンクリートの補修工事の際の写真(図-4.15 左)に栗石大の石が見えていたため、河床コンクリートがめくれ、被災以前に河床が露出していた箇所の存在が懸念されたが、河床コンクリートが破損し、栗石大の石が見えた同様の箇所において、平成 24 年 11 月の現地調査により、コンクリートが充填されていることが確認された。そのため、平成 24 年の災害発生当時に河床コンクリートが完全に失われていた箇所

があったかどうかについては、どちらとも断定することが出来なかった。

4.2 被災時の状況に関する調査結果

4.2.1 近隣住民への聞き取り調査

近隣住民への聞き取り調査は、下表に示す内容で2回実施した。

1回目は、洪水時の状況や以前の状況についての情報を収集するため、8月30日及び31日に被災箇所の住民を対象に実施した。

その後、1回目の聞き取り調査での証言にあった、堤防の裏面中腹部からの水の流出について、その高さを再確認することともに、上流の上出橋付近での洪水時の越水状況の情報を収集するため、10月12日及び13日に2回目を行った。

なお、1回目の聞き取り調査を実施した際に、住民から左岸側欠壊直後から右岸護岸崩落までのビデオ映像の提供も受けた。

表- 4.1 聞き取り調査の実施状況

回数	日付	主な内容
第1回	8月30日及び31日	・洪水時および洪水以前の状況に関する情報収集
第2回	10月12日及び13日	・法面中腹部からの水の流出について詳細確認 ・上出橋付近における越水状況

聞き取り調査の結果、欠壊は8月14日午前4時頃に発生したこと、大量の流木、転石等の流下物があったということ、欠壊前に堤体の法面中腹からの水の噴出があったこと、欠壊箇所付近での越水は見られていないことなどが、得られた証言等から判明した。聞き取り調査で得られた主な内容を以下に示す。

■洪水以前の様子

- ・堤防から漏水を確認したことはない。
- ・河道内に小さな木や草が生えていた。
- ・堤防に生えていた木のうち、一部の木は伐採されたが根は残っていた。
- ・かつては竹林があったが、伐採された。
- ・堤防にはモグラ、狸、イタチ、ヘビが生息していた。

■洪水時の様子

- ①8月14日午前3時半頃、2階からの目撃では河道内の水位は満水状態であった。
- ②8月14日午前4時頃、堤防の中腹からホースから溢れ出すように漏水しており、10分ほどの間にそれが1m幅ほどに拡がり漏水が激しくなり、盛り土が崩れてゆき、上部のコンクリートが下へ沈み込み欠壊し始めた。