

2015年関東・東北豪雨における鬼怒川の 洪水氾濫・家屋被害・堤防被災状況

FIELD INVESTIGATION ON FLOOD DISASTER
IN KINUGAWA RIVER BASIN: KANTO-TOHOKU FLOOD HAZARD, 2015

二瓶泰雄¹・大槻順朗²・永野博之³・服部泰士⁴・

桜庭拓也⁵・倉上由貴⁶・田中昌宏⁷・富田邦裕⁸

Yasuo NIHEI, Kazuaki OHTSUKI, Hiroyuki NAGANO, Taito HATTORI

Takuya SAKURABA, Yuki KURAKAMI, Masahiro TANAKA and Kunihiro TOMITA

¹正会員 博（工） 東京理科大学教授 理工学部土木工学科（〒278-8510 千葉県野田市山崎2641）

²正会員 博（工） 国立研究開発法人土木研究所 自然共生研究センター
（〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地）

³正会員 博（工） 群馬工業高等専門学校助教 環境都市工学科
（〒371-8530 群馬県前橋市鳥羽町580）

⁴正会員 修（工） 清水建設㈱（〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1）

⁵学生会員 学（工） 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻修士課程（同上）

⁶学生会員 修（工） 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻博士課程（同上）

⁷フェロー 工博 鹿島建設㈱技術研究所（〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1）

⁸正会員 修（工） ㈱建設環境研究所（〒170-0013 東京都豊島区東池袋2-23-2）

A significantly severe flood disaster in the Kinugawa basin, Kanto region, Japan was occurred due to a linear precipitation band on Sep. 10, 2015, in which 2 days total rainfall was over 600mm on the upstream basin. Breach and overflow on the river levee happened and they submerged around 40km² area of the flood plain in the Joso city, Ibaraki Pref. This report is to inform a summary of the flood and damage based on field investigation. As a result of our field survey, house wash-out or serious damage were distributed locally on the band of overtopping flow on the bank failure. Inundation depth reached up to 3.01 m especially in the southern region of the flood. The depth of overtopping flow on the levee crown was estimated to be 20 cm at the levee breach spot.

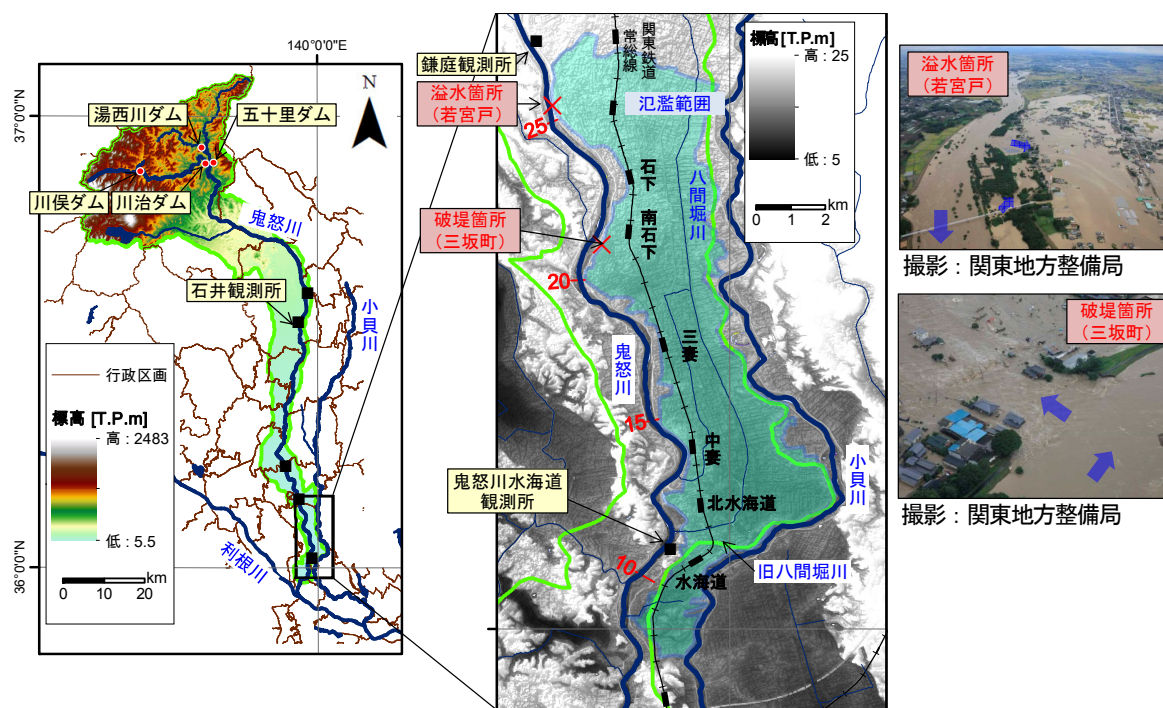
Key Words : flood disaster, levee breach, housing damage, Kinugawa River, heavy rain

1. 序論

2015年9月に台風17, 18号から遠く離れた関東地方・東北地方に幅100-200kmに及ぶ線状降水帯が形成され大雨がもたらされた。この線状降水帯と重なるように南北に細長い流域を有する鬼怒川では、堤防決壊や溢水、漏水が生じ、結果として、常総市を始めとする広域の浸水被害が発生した。著者らのグループは、災害発生当日（2015年9月10日）から頻繁に現地入りし、調査を行った。主な項目は、①氾濫域の痕跡水深・水位、②家屋被害、③堤防被災、④河道痕跡水位、である。①では、家屋や塀に残された洪水痕跡を見つけ、地面からの高さ

（痕跡水深）をスタッフで測った。一部の地点では現場標高も計測し、痕跡水位を求めた。②では、地図上に記された建物の被害状況を現地で確認し、「全壊」、「半壊大」、「半壊小」、「その他」の4つに分類した。③では、堤防の決壊・溢水・漏水箇所における堤体断面形等を計測し、堤体の土質データを収集した。④では、被害が集中した下流域（3k～46k）を対象として、堤防のり面や河道内樹木に付着する洪水痕跡を探し、RTK-GPSにより痕跡水位を計測した。本研究では、今後の治水対策への基礎データや水害調査データベースとなるべく、上記を取りまとめた調査結果を報告する。

2. 氾濫域の痕跡水深



(1) 調査方法

本災害では、鬼怒川の下流25.35k左岸および24.75k左岸付近の若宮戸地区における溢水、および21.0k左岸の三坂町付近における破堤により、大量の洪水が堤内地を襲い、鬼怒川と小貝川に挟まれた約40km²の範囲で大規模な浸水が生じた¹⁾ (図-1)。洪水の概況把握と浸水被害調査のため、2015/9/15、9/16、10/14に浸水深・浸水位調査を実施した。調査では、家屋や樹木等に泥や枯れ葉などとして残存する洪水痕跡（痕跡水深）を探索し、スタッフを用いて地面からの高さを計測した。一部の箇所ではVRS方式RTK-GNSS（Trimble社 R4 および R6、TOPCON社 HiPerV GGDM型）を用いて現場標高を求め、痕跡水位を求めた。これらの測器により、受信機単独で水平・垂直方向ともにおよそ数cmの精度で計測が可能となる。計測点は307点（うち標高計測133点）となった。

(2) 調査結果

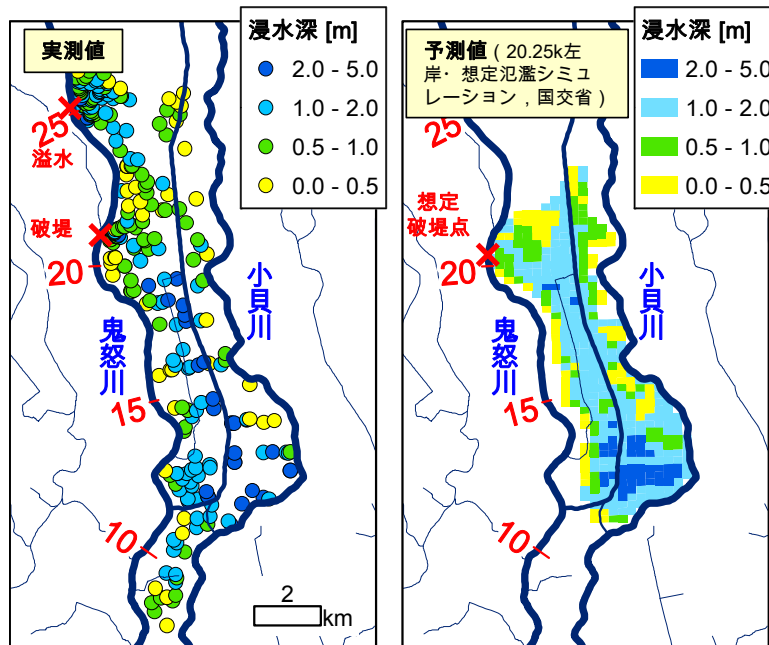
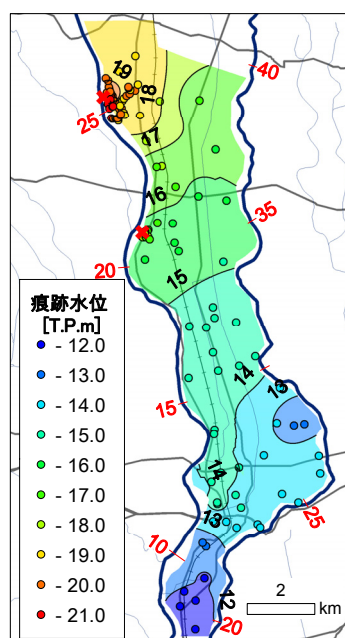
図-2は、痕跡浸水深の調査結果をランク別に分類して表示したものである。痕跡浸水深の分布は、破堤地点の東である関東鉄道南石下駅付近を境として南北に傾向が異なる。南石下駅から北側では、溢水地点（若宮戸地区）からの氾濫流により浸水し、痕跡浸水深は溢水地点の若宮戸地区で1.0-2.0m程度（図-2写真①）、石下市街が位置する自然堤防上では更に小さくなっている。

一方、それより南側では、破堤地点からの氾濫流の影響で浸水深が増大する。破堤地点の三坂町では、破堤部直下では地盤侵食を伴って2.0-3.0m程度、その脇では0.5-1.0mとなっている(図-2写真②)。氾濫原の中央付近、国道294号線と八間堀川に挟まれた地区では、浸水深が2.0mを超えており(図-2写真③)、国道294号と354号

(新道)の結節点付近(常総市平町)には氾濫流が滞留し、浸水深が3.0mを超える箇所も存在した(図-2写真④)．氾濫流は常総市水海道地区に達し、2.0m以上の浸水深が確認されている(図-2、写真⑤)．このように氾濫原部において、甚大な浸水被害が生じている一方、鬼怒川、小貝川の自然堤防上に位置する集落や家屋では、浸水深1.0m以下の浸水被害にとどまっていた．

図-3に痕跡浸水位の調査結果を示す。ここでは、浸水位をランク別に塗り分けて分布を示すとともに、GISを用いて空間補間した結果²⁾も合わせて示した。溢水地点から破堤地点近傍までは、概ね地形と対応した浸水位分布となっている。一方、それより下流では、水面勾配が緩くなり、特に八間堀川右岸側では、市街地付近まで約14[T.P.m]でほぼ一様である。八間堀川左岸側では、右岸側よりも大きな浸水深であったにも関わらず、浸水位では右岸側よりも低く、八間堀川の堤防高より低い14[T.P.m]以下の地点が見られる。これらのことから、八間堀川の堤防により左岸側への洪水の侵入が抑制されたことが伺える。また、小貝川の自然堤防上では地形効果により氾濫水が阻まれさらに浸水位が低くなっている。

図-4に、痕跡浸水深の調査結果と、20.25k左岸における破堤を想定して行われた氾濫シミュレーション結果³⁾を示す。この想定氾濫シミュレーションは、計画規模の降雨により発生する洪水を対象に、破堤時の河道水位が計画高水位であるとして、非定常平面二次元解析モデル⁴⁾の結果である。ただし、想定した1地点からの氾濫であり、支川の氾濫や内水氾濫は考慮していない。実際には、複数地点からの氾濫が生じているため、両者の条件は厳密には一致しない。この図より、観測結果と想定氾濫シミュレーション結果の概況は類似しており、ともに



破堤点から氾濫水が南下し水海道市街に達している。一方、八間堀川右岸側で浸水深が過小に評価されている点在实际とは異なる。鬼怒川では、事前に多数の地点における想定氾濫シミュレーションが実施されていたため、発災ときに迅速に洪水予測情報を提供・公開できたこと

は、防災対策向上を図る上で重要である。一方、詳細に見ると実現象と異なる点もあり、実測との差を含む想定氾濫シミュレーション結果の有効な活用方法について、その見せ方や精度の議論も含めて今後検討を重ねていく必要がある。

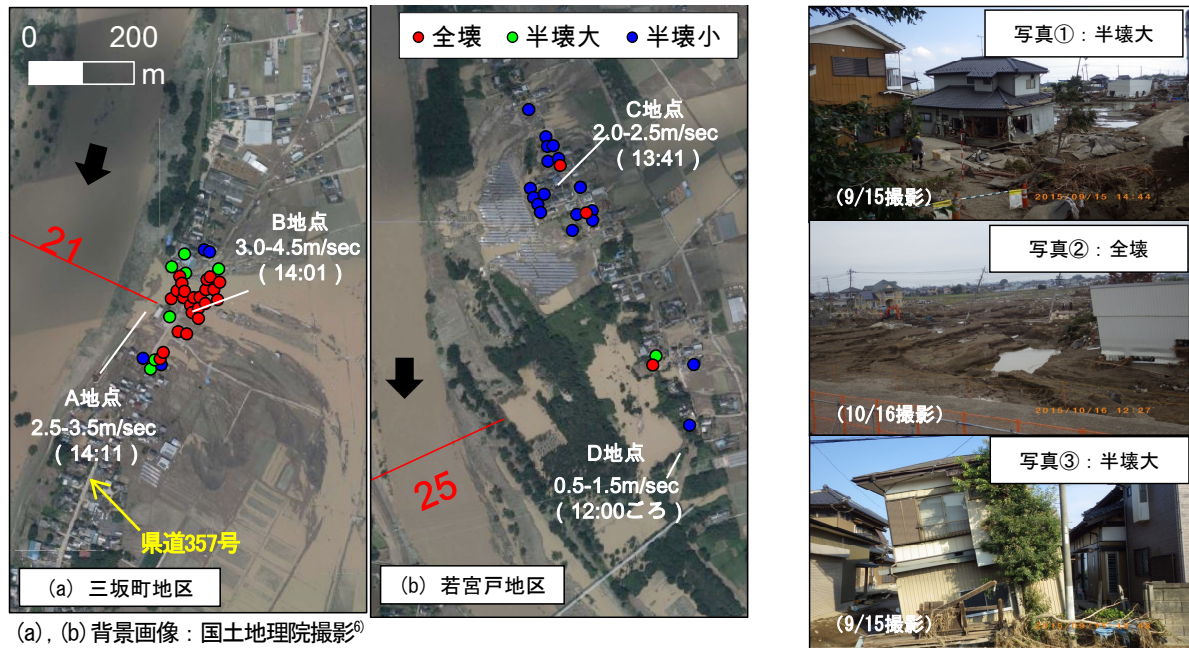


図-5 三坂町地区および若宮戸地区における家屋被害マップと被害状況

3. 家屋被害

(1) 調査方法

家屋被害調査では、特に家屋被災程度の著しかった溢水地点の若宮戸地区周辺および破堤地点の三坂町地区周辺を対象に、調査範囲の住宅地図を参照し家屋位置を確認しながら被災レベルを判定した。本調査では、家屋被災状況の区分として、家屋の損傷程度に応じて「全壊」「半壊大」「半壊小」の3つに分類し、浸水のみで損壊がない場合は評価していない。被災状況の定義としては、津波被災調査⁵⁾を参考に分類した。調査家屋件数は溢水地点近傍で339棟、決壊地点近傍で41棟であった。

(2) 調査結果

図-5は、本調査における破堤地点、溢水地点の家屋被害の分布状況を示したものである。図中の背景画像は、国土地理院により9/11午後において撮影された正射画像である⁶⁾。図-5 (a)の三坂町地区については、破堤地点を中心に、基礎の流失した全壊が集中的に存在し、破堤地点の中心から離れるにつれて家屋被害の度合いが低下する。これらの全壊家屋は、背景画像から推察できる氾濫流の流向に沿って分布している。また、全壊家屋が集中する範囲を県道357線沿いに図上計測したところ約190mであり、破堤地点の最終的な破堤幅 (= 約200m) と概ね一致した。

災害当日のTVニュース動画⁷⁾をコマ送りしたキャプチャ画像を距離計測が可能となるようGIS上に展開し、画像中の水面の泡等の移動距離 (1-2m) と時間から、図中の破堤地点近傍のA地点およびその下流のB地点における流向・流速を推定した。その結果、A地点では南東

向きに2.5-3.5m/sec (14:11)であり、B地点では、南東向きに3.0-4.5m/sec (14:01)であった。図中に示した全壊のほとんどが9月10日の14:30時点の動画において確認できないため、破堤から1時間半程度の間で、多くの家屋が流失したと推測される。

図-5 (b)の若宮戸地区では、溢水地点近傍の河道側に「半壊小」の家屋が多く分布し、その背後では浸水のみで留まった家屋が多かった。これは、川側の家屋が流れを遮断して、背後の家屋を氾濫流から防御したためと考えられる。また、被災家屋の多くが「半壊小」レベルであった一方、局所的に「全壊」や宅盤の侵食により家屋が傾き「半壊大」となった家屋もある。前述の三坂町地区と同様に、流向流速を推定したところ、図-5 (b)中のC地点では、主に東向きに2.0-2.5m/sec (9/10 13:41)の流れが道路に沿って発生しており、D地点では、東向きに川側から0.5-1.5m/sec (9/10 12時前後と思われるが不明)の流れが林間を縫うように発生していた。これらから、若宮戸地区における全壊家屋被害は、家屋や地形の配置条件によってスポット的に発生した速い流れにより生じたと考えられる。

4. 堤防被災状況調査

(1) 漏水状況

本災害での鬼怒川における堤防被災の特徴として、漏水が集中的に発生したことが挙げられる。図-6に堤体土質の縦断分布と漏水発生位置¹⁾を示す。図中の堤体土質は、「堤体土質の土質試験結果情報⁸⁾」における堤防の表のり面・天端・裏のり面のボーリング調査結果のうちから天端下のボーリングデータを用いて、粘土・シル

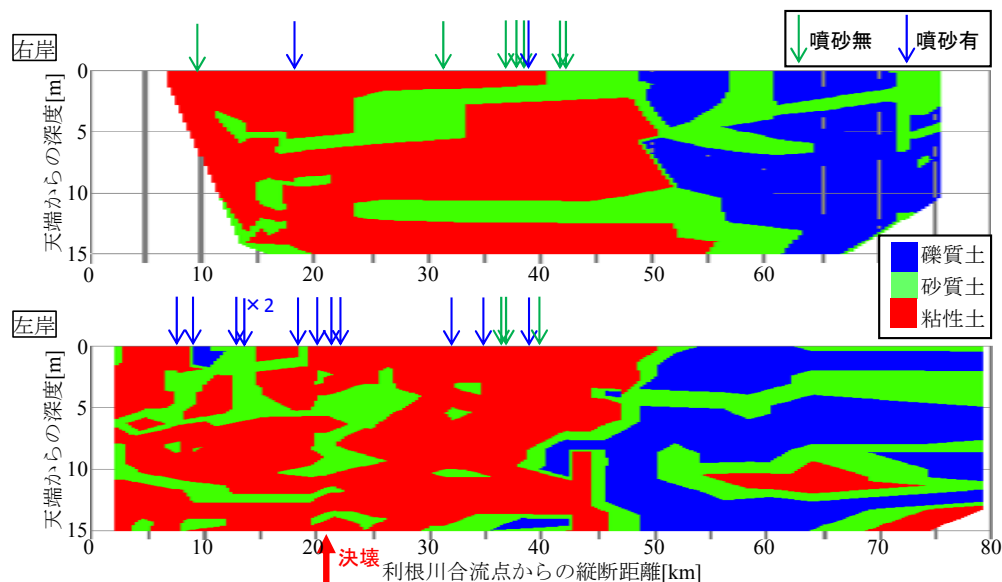


図-6 鬼怒川における堤体土質と漏水発生位置の比較

ト・砂・礫分の割合から土質を粘性土・砂質土・礫質土に分けて作成した。漏水が集中的に発生した45kより下流では、粘性土と砂質土で構成されている。一方、45kよりも上流では、礫質土と砂質土から構成され、特に、礫質土の割合が高いことが分かる。

また、月の輪などが設置された漏水地点にて現地観測を行った。観測日は発災から2～3ヶ月経過した2015年11、12月とし、月の輪や釜段の数やサイズ、位置を測ると共に、堤防断面形状や堤防表のり面・裏のり面の痕跡水位を前述のVRS方式RTK-GNSSを用いて計測した。

観測結果をとりまとめた各漏水地点の概況を表-1に示す。漏水箇所は23地点であるが、表中では38.15kと38.17kを分け、計24箇所とした。全地点中樋管・揚水機場の影響を受けているケースは6地点で見られ、漏水箇所の約1/4に相当する。そのうち、3地点（表中の黄色のハッチの箇所）はこれら施設直上での漏水が発生していた。残りの3地点（表中のピンク色のハッチの箇所）では、施設から離れた地点に月の輪や釜段が位置しており、その周囲の裏のり面では明確な洪水痕跡がいずれも確認された。この痕跡は、洪水中に樋管が閉められたため内水氾濫が生じたときのものと考えられる。

(2) 越水・溢水状況

越水・溢水状況を把握するために、堤防における痕跡水位調査を発災直後の2015/10/6、10/15、11/4に行った。調査は、決壊地点の21k左岸と大きな溢水が生じた25k付近の左岸側をカバーするよう、左岸では0k～46k、右岸では17k～27kおよび40.5k～41.9kの区間で概ね1km間隔で実施した。また、21k左岸の決壊地点や25kの溢水地点では、上記よりも細かい間隔で観測を行った。観測は、前述のVRS方式RTK-GNSSを用いた。洪水痕跡としては、痕跡が不明確となる堤防表のり面よりも、河道内の樹木、堤防道路などに泥が付着して出来た洪水痕跡を可能な限

表-1 各漏水地点の概況

No.	左右岸	距離 [km]	噴砂 有無	のり 崩れ	月の輪と 釜段の数	樋管等
1	左岸	7.9	○	—	1	—
2	左岸	9.1	○	—	6	—
3	右岸	9.3	×	—	7	—
4	左岸	13.2	○	—	8	—
5	左岸	13.35	○	大	2	—
6	左岸	13.6	○	大	2	—
7	右岸	18.0	○	大	2	—
8	左岸	18.5	○	大	3	—
9	左岸	20.15	○	小	11	—
10	左岸	21.5	○	—	1	—
11	左岸	22.3	○	—	1	—
12	右岸	31.0	×	—	1	今宮 排水樋管
13	左岸	32.1	○	—	1	—
14	左岸	35.1	○	—	2	—
15	左岸	36.5	×	—	1	—
16	右岸	36.8	×	—	1	—
17	左岸	36.8	×	—	1	平方 排水樋管
18	右岸	37.5	×	—	1	高崎 揚水機場
19a	右岸	38.15	×	—	1	大渡戸 排水樋管
19b	右岸	38.17	○	—	12	大渡戸 排水樋管
20	左岸	39.1	○	小	1	—
21	左岸	40.0	×	—	8	—
22	右岸	41.5	×	大	0	上山川 排水樋管
23	右岸	41.9	×	—	8	結城 排水樋管

り計測対象とし、やむを得ない場合には樹木に引っかかる草やゴミも計測対象とした。また、計測後に全体の痕跡水位の縦断形状を再度検討し、不自然な痕跡水位（周囲と比べて異常に高いもしくは低い）は再度計測するか、データ解析の対象から除外した。

図-7に、両岸における痕跡水位と堤防天端高（左岸のみ）の縦断変化を示す。図中には、鬼怒川における計画

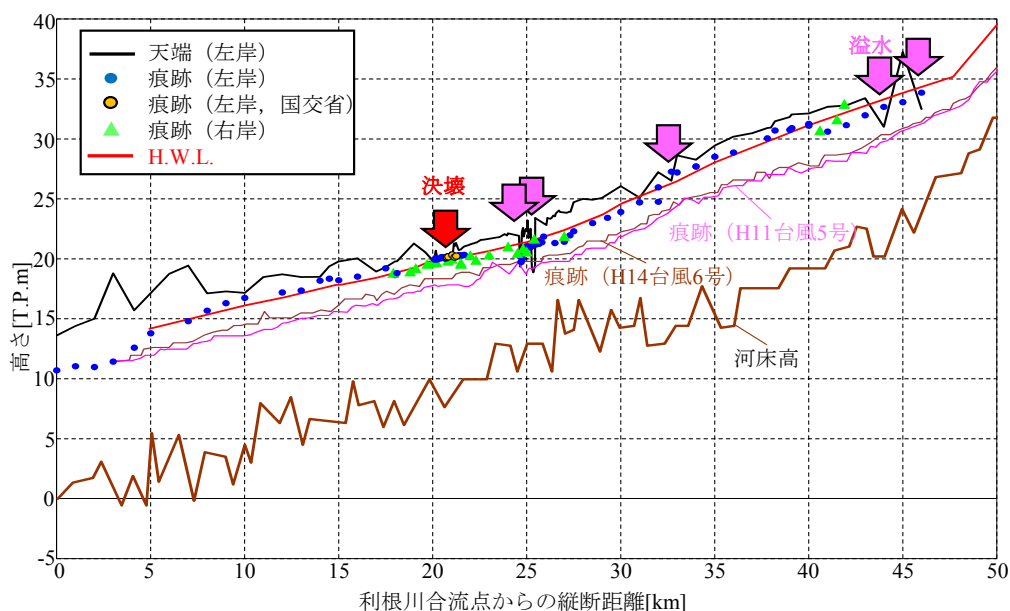


図-7 鬼怒川における痕跡水位の縦断分布 (一部、国交省のデータ⁹⁾、¹⁰⁾ も使用)

高水位 (H.W.L.) と過去の洪水痕跡 (H11年台風5号, H14年台風6号) も示した⁹⁾。また、決壊地点付近において国交省が計測した痕跡水位観測結果¹⁰⁾も示した。これより、今次災害における痕跡水位は、8k~18k, 20~21k, 32k~40kといった約20kmに及ぶ長い区間にてピーク水位が計画高水位を上回り、広範囲にわたり超過洪水が発生していたこと、過去の洪水の水位よりも3、4mも高いことが明らかとなった。図-7をクローズアップして確認すると、決壊地点やその近傍では、堤防天端高が計画高水位に近い箇所があり、そこでは痕跡水位が堤防高を上回っている。すなわち、決壊地点やその周辺では越水しており、越流水深は約20cmであった。国交省資料¹¹⁾によれば、決壊が始まったのが12:50ごろであり、当日の11:11には越水が確認されていることから、決壊までの越水時間は約2時間程度であったと推測される。

5. 結論

本調査で得られた主な結果は以下の通りである。

- (1) 決壊・溢水地点よりも南側で痕跡水深は大きく、その最大値は常総市平町にて3.01mを記録した。また実績痕跡水深の平面分布は国交省公表の想定氾濫シミュレーション結果と概ね類似した結果となった。
- (2) 決壊地点背後では全壊家屋が集中し、大部分は基礎からの流失が生じていた。溢水地点 (25k左岸) 付近では、広域にわたり半壊小の家屋が見られた。
- (3) 堤防決壊地点では痕跡水深約20cmの越水が生じ、越水開始から約2時間で決壊したと推測された。漏水箇所約1/4は樋管周囲で生じた。河道内の痕跡水位は広範囲にわたりH.W.L.を超えていた。

境研究所、東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室の皆様には現地調査において多大なるご協力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：『平成27年9月関東・東北豪雨』に係る鬼怒川の洪水被害及び復旧状況等について (平成28年1月29日18:00時点)，http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000639863.pdf, (2016/3/4 閲覧)。
- 2) 京都大学防災研究所：平成27年関東・東北水害 鬼怒川氾濫による常総市周辺の浸水深分布調査 (第二報)，<http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/news/6105/>, 2015 (2016/3/4 閲覧)。
- 3) 国土交通省関東地方整備局：鬼怒川・小貝川氾濫シミュレーション平成27年9月10日記者発表資料，http://www.ktr.mlit.go.jp/shimodate/simulation_pdf/index.html, (2016/3/4 閲覧)。
- 4) 国土交通省：洪水浸水想定区域図作成マニュアル (第4版)，2015。
- 5) 前川俊明，二瓶泰雄，中田遥香：海岸砂丘・盛土による津波減災効果の検討，土木学会論文集B1 (水工学)，Vol.69, No.4, pp.1453-1458, 2013。
- 6) 電子国土Web 災害対応 風水害 平成27年9月関東・東北豪雨 茨城県常総・坂東地区 正射画像 <http://maps.gsi.go.jp> (2016/3/3 閲覧)。
- 7) NHKニュース：栃木 茨城 大雨特別警報 鬼怒川 堤防決壊 (2015年9月10日放送・配信)
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所：観測データ等の公開，<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/database.html> (2016/3/25 閲覧)。
- 9) 国土交通省関東地方整備局：第二回鬼怒川・小貝川有識者会議資料，2006。
- 10) 国土交通省関東地方整備局：第1回鬼怒川堤防調査委員会資料，2015。
- 11) 国土交通省関東地方整備局：第2回鬼怒川堤防調査委員会資料，2015。

(2016. 4. 4受付)

謝辞：本調査に際し、鹿島建設(株)技術研究所、(株)建設環