

平成27年9月関東・東北豪雨における鬼怒川 上山川地区堤防と地下水動態について

LEVEE DAMAGE AT THE KINUGAWA KAMIYAMAKAWA DISTRICT AND
GROUNDWATER MOVEMENT IN THE KANTO-TOHOKU HEAVY RAINFALL IN
SEPTEMBER 2015

青木裕¹・青山貞雄²・内堀寿美男³・石田和也⁴・椎木貴敏⁵・
田端幸輔⁶・福岡捷二⁷

Yutaka AOKI, Sadao AOYAMA, Sumio UCHIBORI, Kazuya ISHIDA, Takatoshi SHIIKI,
Kousuke TABATA and Shoji FUKUOKA

¹国土交通省関東地方整備局 (元) 下館河川事務所 計画課 (〒308-0841 茨城県筑西市二木成1753)

²国土交通省関東地方整備局 下館河川事務所 事務所長 (同上)

³国土交通省関東地方整備局 (元) 下館河川事務所 副所長 (同上)

⁴国土交通省関東地方整備局 (元) 下館河川事務所 副所長 (同上)

⁵国土交通省関東地方整備局 (元) 下館河川事務所 伊讚出張所長 (〒308-0854 茨城県筑西市女方173)

⁶正会員 工博 中央大学研究開発機構 准教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

⁷フェロー Ph.D. 工博 中央大学研究開発機構 教授 (同上)

Based on the Kanto-Tohoku heavy rainfall, the foundation leakage occurred in the Kinugawa levee. Since the groundwater supply from the landside of the levee was presumed to be one factor of the leakage, we attempted to investigate causes of the leakage. We measured pore pressures of the levee foundation and comprehensively analyzed data such as rainfall, river water level, construction history and so on. The observed water levels within the levee suggested the effects of groundwater supply from the landside and existence of waters was recognized. A future survey plan was proposed for understanding of the three-dimensional geological structures and making countermeasures.

Key Words : levee, heavy rainfall, foundation leakage, groundwater supply,

1. 背景と目的

平成27年9月関東・東北豪雨時に、茨城県結城市上山川地区の鬼怒川右岸堤防において基盤漏水が発生し、河川水に対する漏水対策工事を実施した。

ところが、遮水矢板打設後の無降雨期間中にも関わらず、被災箇所付近の川裏側地盤から顕著な漏水が確認された。このことから、出水時の基盤漏水は河川水だけでなく堤防裏側台地等からも地下水が供給され、危険性を高めていた可能性がある事が推察された。

そこで、河川水に対する漏水対策工の効果検証を行うとともに、被災メカニズムを明らかにして、堤防裏側台地等からの地下水供給に対する対策工の必要性を確認するために、今後の調査課題をとりまとめた。

2. 上山川地区の被災状況と対策の概要

(1) 上山川地区の被災状況

平成27年9月関東・東北豪雨では、線状降水帯が図-1、図-2に示す鬼怒川流域に覆い被さるよう発生し、栃木県、茨城県に大雨特別警報が発令され、栃木県日光市五十里観測所では24時間雨量で551mmを観測し、基準点石井地点上流域の流域平均3日雨量は501mmを記録した。鬼怒川では、図-3に示すように鬼怒川水海道水位観測所において約5時間にわたって計画高水位を上回る水位が継続するなど、流下能力を超過する洪水となり、茨城県常総市三坂町地区での堤防決壊をはじめ、溢水7箇所、漏水23箇所、堤防・河岸洗掘31箇所など、合計97箇所におよぶ甚大な被害が発生した。^{1) 2)}



図-1 鬼怒川流域の位置図

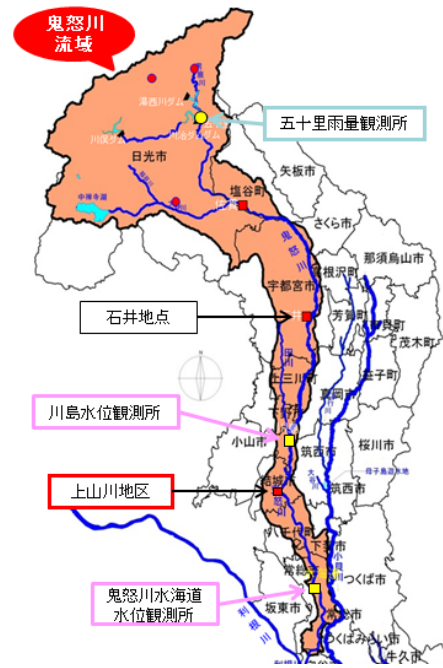


図-2 鬼怒川流域図

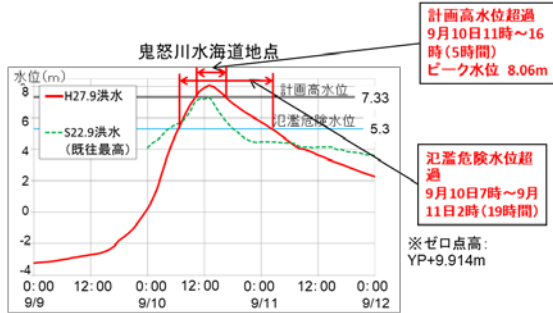


図-3 鬼怒川水海道地点の水位状況

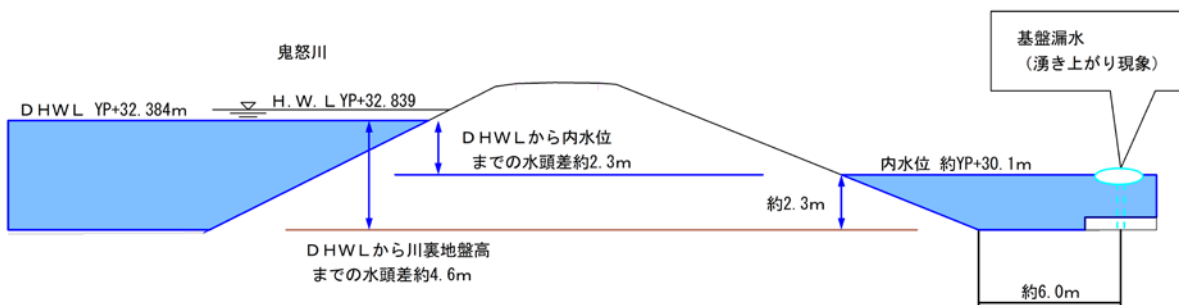


図-4 漏水発生時の水位状況



写真-1 被災時の上山川地区の状況



写真-2 漏水状況 (湧きあがり)

本出水により、鬼怒川右岸41.75k付近（茨城県結城市上山川地区）の堤防でも漏水が発生した。

被災時の現地状況は、写真-1および図-4に示すように、鬼怒川本川水位が計画高水位 YP+32.839m に対し YP+32.384m、背後地（堤内側）は内水による氾濫が発生しており、内水氾濫水位はYP+30.1m程度で内水深約2.3mであった。

漏水は、写真-2に示すように、内水氾濫の水面に複数の大きな湧きあがりに伴う渦を形成する程の鉛直流速を伴う基礎漏水で、堤防裏法面の変形に関する情報も未確認ながら寄せられた。幸い致命的な被災には至らなかったが、内水湛水がなければ、パイピング破壊を生じた可能性も否定できないものであった。

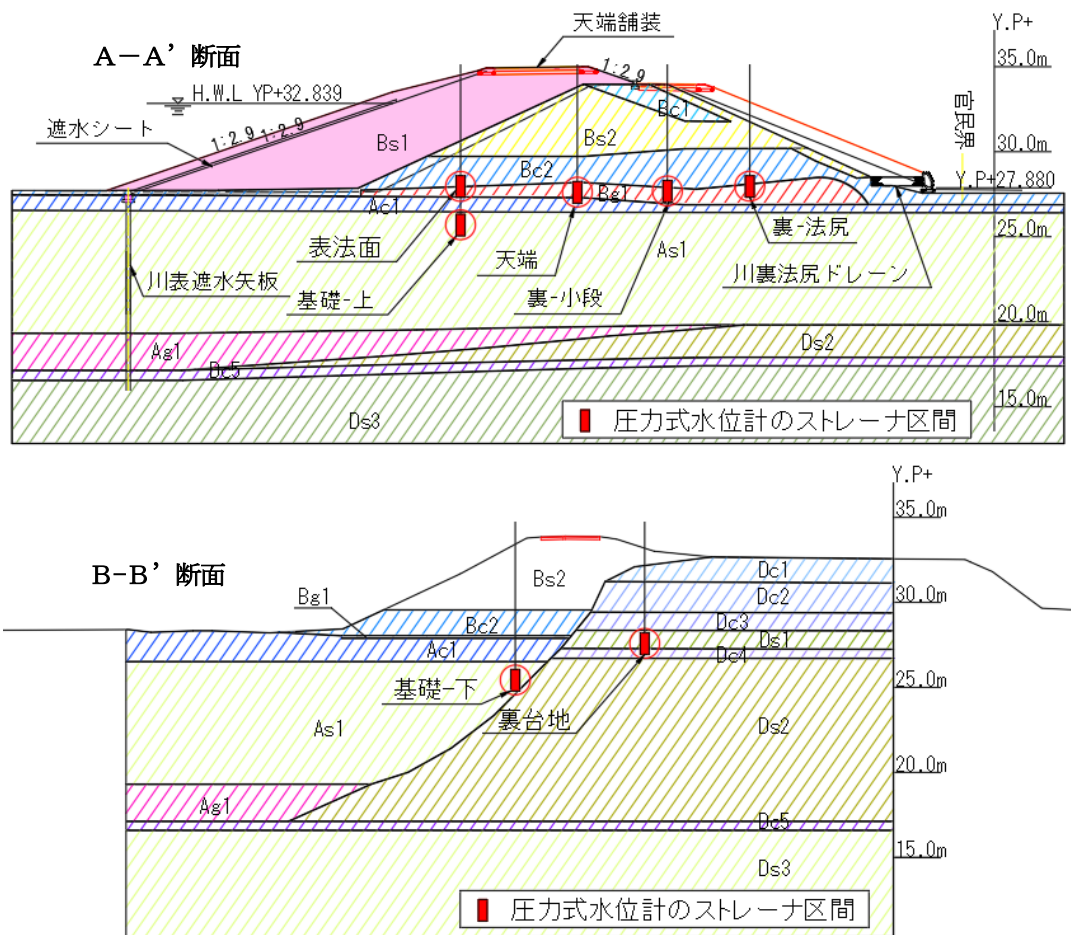


図-5 地質想定図と圧力式水位計の設置箇所

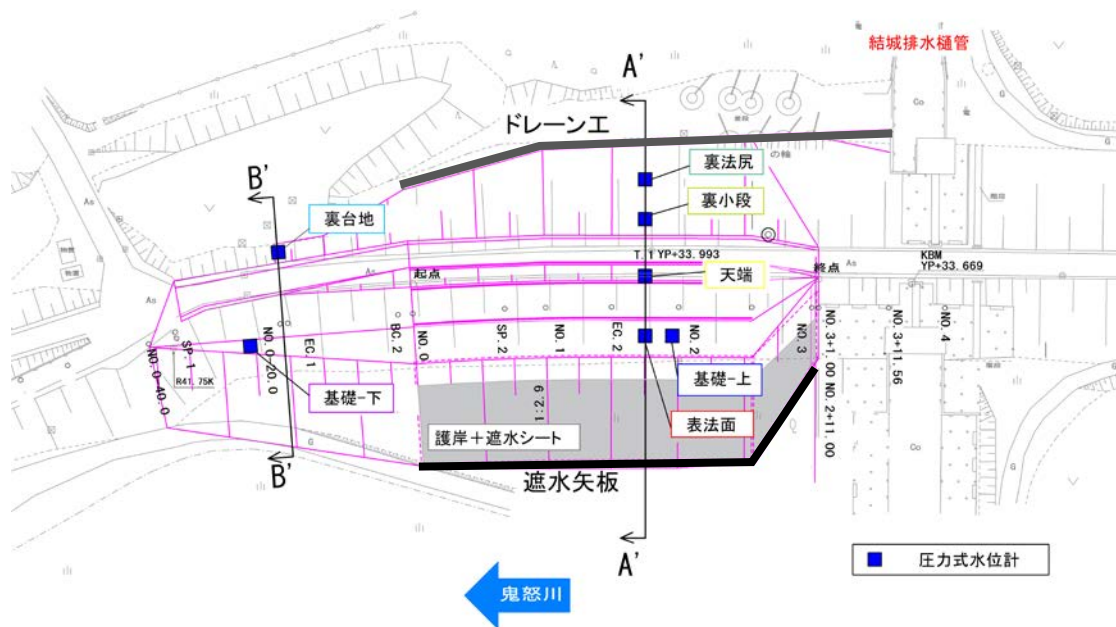


図-6 主な漏水対策工と圧力式水位計の位置図

(2) 対策工の実施状況

こうした状況に対し、当該地区では、浸透路長を延長し動水勾配を低下させる堤防断面拡大、堤防基盤の浸透層を遮断し浸透水量を低減する川表遮水矢板、堤体内へ

の浸透水量を低減する川表面面遮水シートおよび天端舗装、堤体内の浸透水を法尻から排水し、堤体内の水位を低下させる川裏法尻ドレーン工を実施した。

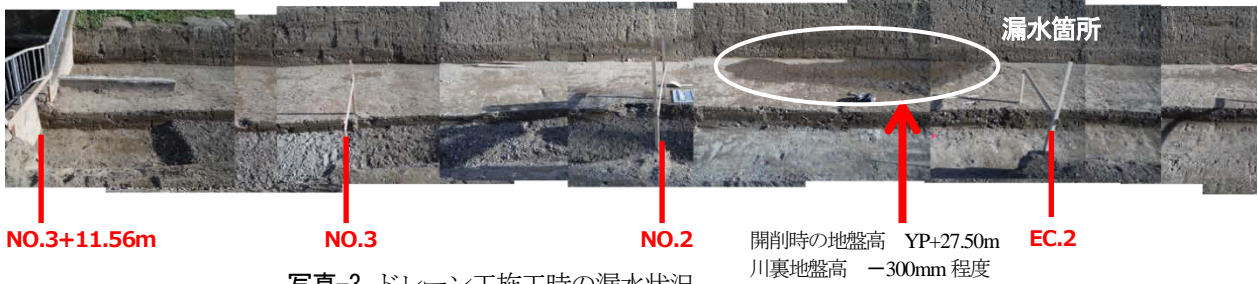


写真-3 ドレーン工施工時の漏水状況

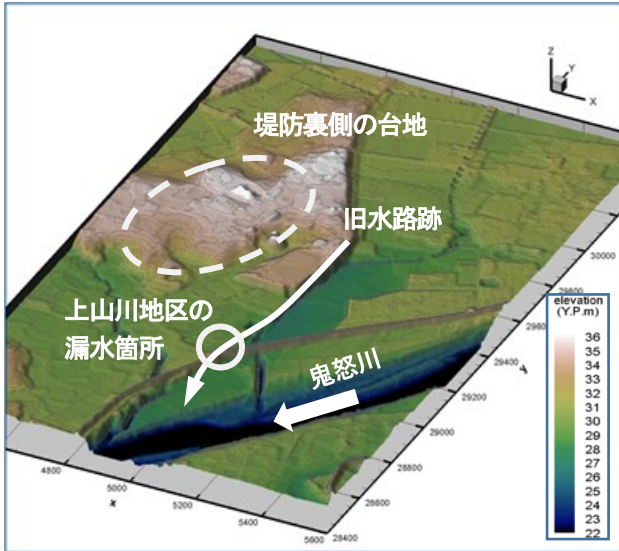


図-7 上山川地区の数値標高モデル図



写真-4 国土地理院撮影の空中写真（1974～1978年）
（施設名等を追記）

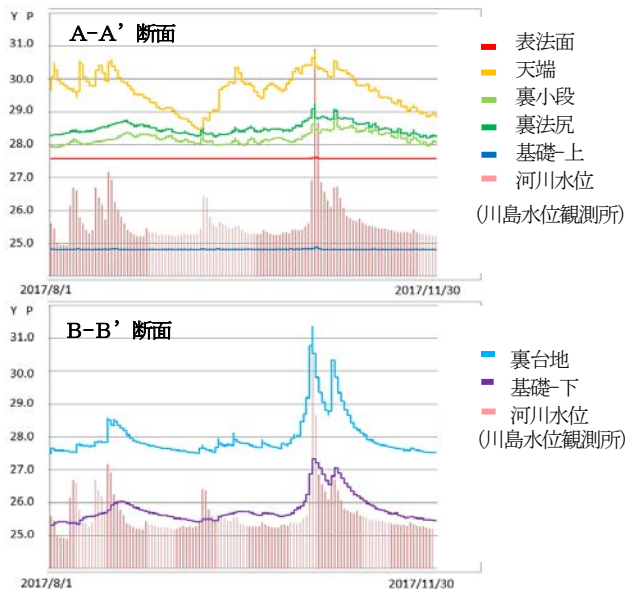


図-8 観測結果を地下水水位($p/\rho g + z$)
とした相関グラフ

3. 上山川地区で実施した地下水動態調査

(1) 漏水箇所の土質調査

漏水の被災メカニズムを明らかにするため、既往の地

質調査結果に加え、平成28年11月に新たに実施した漏水箇所（川裏側法尻）の開削調査および堤防横断上でのボーリング調査結果から、図-5に示す地質想定図を作成した。この地質想定図を基に、上山川地区における堤防漏水の被災メカニズムは、鬼怒川の河川水が既設堤防基盤部のBg1層及びAs1層から漏水したものと想定した。

ところが、平成29年2月、漏水対策工のドレーン工を施工するため川裏法尻部を掘削したところ、漏水箇所に近い掘削面から写真-3に示す漏水が確認された。平成28年6月に川裏側遮水矢板を打設済みであり、かつ漏水確認日より前15日間は無降雨であったことから、河川側からの伏流水や、降雨による堤体内に残留した雨水の影響であるとは考えづらいため、当該地には何らかの地下水供給源が存在し、それが基盤漏水被害の危険性を高めていた可能性があると考えられた。

(2) 周辺地形と過去の改変履歴

地下水供給源を解明するにあたり、地下水観測と併せて現地の地形情報が重要な判断材料になると考え、図-7に示す堤防裏側の台地や排水路を含めた周辺地形の数値標高モデルを作成するとともに、過去の堤防改変履歴を調べた。その結果、写真-4に示すように、漏水箇所は1970年代まで無堤部であり、漏水箇所付近には結城排水路があり、水が流れていたことが判明した。1980年3月に結城

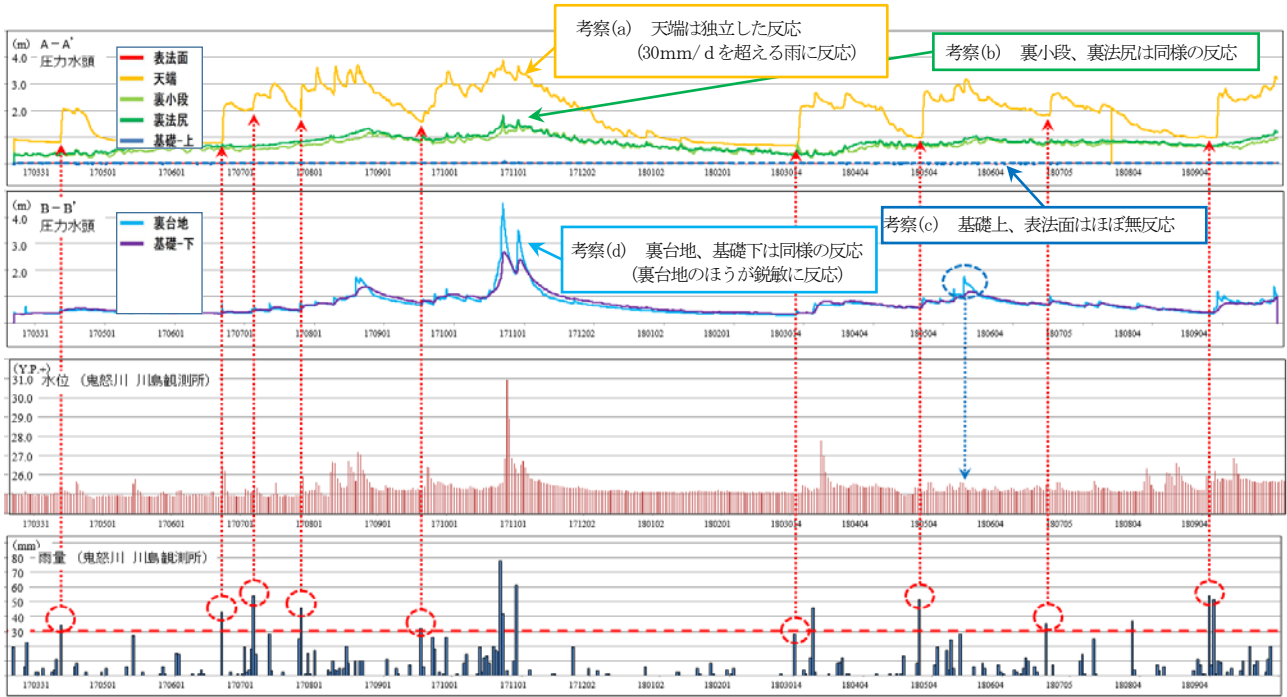


図-9 観測結果を圧力水頭($p/\rho g$)とした相関グラフ

排水樋管が完成した際に旧水路を埋め戻して堤防が整備されたが、数値標高モデルでは漏水箇所地盤標高と堤防裏側の台地標高では約3m程度の高低差が確認できることから、堤防裏側の台地から堤防に向かい旧水路跡を通じて地下水が供給されている可能性が考えられた。

(3) 圧力式水位計による地下水観測

堤体の地下水状況を観測するため、図-5および図-6に示すように、漏水が確認されたA-A'断面に、既設堤防基礎部のBg1層およびAs1層を対象とした部分ストレーナによる圧力式水位計を5箇所設置した。さらに、堤防裏台地からの地下水供給を想定し、A-A'断面から下流約50mをB-B'断面として、部分ストレーナによる圧力式水位計を2箇所設置した。観測結果について地下水位($p/\rho g + z$)を標高(Y.P.+m)で評価して図-8に示すようにグラフ化し、鬼怒川水位および雨量との相関関係を考察した。

A-A'断面における堤体内の地下水位は、漏水対策工を実施し、河川側からの水の供給が遮断されているにもかかわらず、基礎-上を除き、ほぼ一貫して約4km上流にある川島水位観測所のY.P.換算水位より高い値を観測している。また、B-B'断面では、基礎-下と裏台地の観測結果は、水位差を2m程度保ちながら、ほぼ同様の傾向で推移している。このことから同一の帯水層の観測データであると考え、観測点間の水平距離は約7mであることから、動水勾配は $2m/7m \approx 285\%$ となる。これらの地下水動態に対し、水理的には説明が困難な結果となった。

そこで、圧力式水位計の測定結果を、各観測孔が観測

している帯水層毎の圧力水頭($p/\rho g$)としてグラフ化することで、それぞれの帯水層の状態や観測孔同士の測定値の相関性を確認し、考察を加えることにした。

(4) 圧力式水位計による観測結果の再考察

平成29年3月から平成30年9月までの期間における観測結果を圧力水頭($p/\rho g$)として、図-9に示すようにグラフ化し、鬼怒川水位および雨量との相関関係を再考察すると、様々な関係性が確認出来た。以下に考察結果を述べる。

(a) A-A'断面の天端観測孔は基礎-上観測孔を除いて、同じBg1層の観測を想定していたが、独立した挙動を示している。30mm/日を超えるような、比較的規模の大きな降雨に対して天端観測孔は大きく反応し、他の観測孔と比較して水頭で1.5m~2.0m程度高い間隙水圧が観測された。間隙水圧の上昇と低下の反応速度が異なり、上昇速度が急激なのに対して低下速度は緩やかである。これらの結果から、天端観測孔は地質想定図を基に推定したBg1層とは異なった帯水層の間隙水圧を観測している可能性が高く、また観測している帯水層は供給された地下水が不透水層等で逃げ場を失い高い圧力を有していると考察した。

(b) A-A'断面の裏小段、裏法尻の両観測孔は、類似した挙動を示している。降雨との相関は単発の降雨には反応が鈍く、長雨に反応しており、平成29年10月の台風22号による70mm/日を超える降雨においても間隙水圧は比較的安定している。これらの結果から、裏小段、裏法尻の両観測孔は地質想定図どおりの同じBg1層を観測しており、間隙水圧の急激な上昇が見られないのは川裏側ドレ

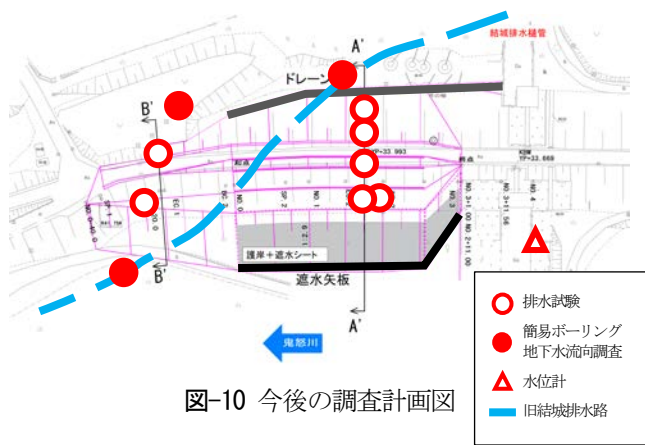


図-10 今後の調査計画図

工が効果を発揮しているためと考察した。

(c) A-A'断面の基礎-上、表法面の両観測孔はB_g1層とAs1層の異なる帯水層の観測を想定しているが、両観測孔とも観測期間中ほぼ反応を示していない。平成29年10月の台風22号の降雨のみ僅かな間隙水圧を観測していることから、反応が無いのは観測機器の故障ではないことを確認した。これらの結果から、漏水対策工が効果を発揮しており、河川側からの水の供給がほぼ遮断され、さらに不透層あるいは不透水層によって遮断された箇所を観測値であると考察した。また、両観測孔と天端観測孔は隣接しているが、観測結果があまりに異なっており、異なる帯水層を観測しているものと考察した。

(d) 裏台地、基礎-下の両観測孔は、河川堤防に台地が接しているB-B'断面の観測孔である。B-B'断面は漏水対策工区間より下流に位置し、河川水を遮断する矢板や堤防法面の遮水シートが施工されていないため、A-A'断面と比較して降雨や河川水位との相関が高い。As1層とDs1層の異なる帯水層を想定して観測しているが、類似した挙動を示していることから、地質想定図と異なり、同一の帯水層の観測結果である事も考えられる。また、それぞれの観測結果を詳細に見ると、台地に接している裏台地観測孔のほうが早く、鋭敏に反応していることから、川裏側台地側からの地下水供給に、より高い影響を受けているものと考察した。

4. 考察

(1) 得られた成果

観測結果の考察(a)および(b)で触れたように、漏水対策工が河川水及び降雨に対して効果を発揮している事が確認できた。しかし、堤防天端観測孔において、他の観測孔と比較して水頭で2m程度高い間隙水圧が観測されるなど、これまでの地質調査で作成した地質想定図から仮定した地下水動態では整合がとれない観測結果となった。作成した地質想定図にとらわれないこと、河川堤防に接する台地からの地下水供給や、堤体内で地下水の出口を失っている帯水層の存在も視野に入れ、得られた

考察を検証するために必要な調査課題をとりまとめた。

(2) 要因解明のための調査計画

堤防裏側台地等からの地下水供給および、堤体内の高圧力帯水層を把握するには、最終的に三次元的な地質構造を明らかにする必要があると考え、以下を調査課題とした。

(a) 地下水供給源の解明

今回の考察に使用した河川水位データは、当該地区より約4km上流の川島観測所でのデータであることから、現地地下水位との関係性をより適確に把握するために、当該地区直近に河川水位計を設置する。また、川裏台地側からの地下水供給を確認するため、川裏側透水層において流向計測器を設置し地下水の流向を調査する。

(b) 堤体内の高圧力帯水層の要因解明

既設観測孔の排水試験を実施し、孔内地下水の回復状況や隣接観測孔との関連性を計測することにより、観測帯水層の透水性および分布を明確にする。また、地形情報を用いて指摘した、結城排水路の旧水路跡を通じて地下水が供給されている可能性を確認するために、簡易ボーリング調査を行う。

これらの調査結果をとりまとめることにより、上山地区の三次元的な地質構造を把握し、川裏台地側からの地下水に対する対策工および高圧力帯水層の対策工の検討に資することが出来ると考えている。

5. 今後の調査計画

今回の各種調査と考察により、当該箇所における河川側からの漏水対策工が効果を発揮していることが確認出来た。

しかし、当該箇所のように堤防裏側からの地下水供給の可能性のある地形においては、河川側からの漏水対策に加えて、堤防裏側からの地下水供給に対する堤防の安全性確保のための対策を検討する必要がある。

よって、今後の川裏側からの地下水供給を視野に入れた漏水対策検討に資するため、図-10に示すように調査計画を作成し、これに基づき調査を実施し、得られた知見を整理することで、堤防裏側からの地下水供給源の究明と、三次元的な地質構造の把握が重要と考える。

参考文献

- 1) 関東地方整備局 下館河川事務所:「平成27年9月 関東・東北豪雨について」 p. 31
- 2) 福岡, 田端, 出口:平成27年9月洪水における鬼怒川下流区間の流下能力, 河道貯留及び河道安定性の検討, 河川技術論文集, 第22巻, pp. 373-378, 2016.

(2019. 4. 2受付)