

# 鬼怒川上山川地区堤防と地下水動態に関する調査検討

道津 友弘

下館河川事務所 計画課 (〒308-0841 茨城県筑西市二木成1753 ) .

2015年関東・東北豪雨時に、鬼怒川堤防において基盤漏水が発生したことから、漏水対策工事を実施した。工事期間中に堤防川裏地盤から顕著な湧水が確認されたため、堤防基盤とその周辺の地下水位を観測し、降雨量や河川水位を含め総合的に分析を行った。その結果、堤防基盤に帯水層の存在が明らかとなった。堤防の安全性確保のための対策を検討する必要があることから、新たに地下水の流向流速測定を実施した結果、地下水の挙動に季節変動が見られ、川裏側の旧河道からの地下水供給の可能性が推定された。詳細な地下水供給メカニズムを解明し、具体的な対策を検討するために、今後検討すべき課題を整理する。

キーワード 堤防、基盤、地下水移動、地下水流向・流速測定

## 1. 背景と目的

2015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堤防において基盤漏水が発生したことから、河川水に対する漏水対策工事（堤防断面拡幅、川表遮水矢板、川裏ドレーン工）を実施した。ところが、工事期間中に堤防川裏側地盤から顕著な湧水が確認されたため、河川水だけでなく、堤防裏側台地等からの地下水供給による基盤漏水被害の危険性が懸念された。一連の現象に対する堤体の安全性確認のため、これまでに地下水位観測及び分析を行ってきた。これにより、堤防裏側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礫を主成分とした高圧力帯水層の存在を明らかにし、地下水供給に対する堤防の安全性確保のための対策検討に資するため、追加の現地調査計画を作成した<sup>1)</sup>。

本報告では、継続的に実施している地下水位観測とともに、地下水の流向流速計測を新たに実施し、高圧力帯水層を形成する要因となり得る地下水供給源を推定している。更に、より詳細な地下水供給メカニズムの解明と、地下水供給に対する具体的な対策を判断するために必要な今後の調査検討課題を提示している。

## 2. 上山川地区のこれまでの調査概要

図-1、図-2 に漏水対策工と圧力式水位計の位置図と地質想定図を示す。堤防川裏側地盤からの湧水範囲と地下水位を把握するため、堤防基盤部の Bg1 層及び As1 層を対象とした A-A' 断面 5 箇所と、堤防裏側台地からの地

下水供給を想定した B-B' 断面 2 箇所の計 7 箇所（図-1 の青色四角）に圧力式水位計を設置し、平成 29 年 3 月から地下水位観測を実施してきた。その後、地質構造を補足及び解明するため、図-1 の緑色丸、赤色三角の点で新たなボーリング調査と圧力式水位計の設置を行い、面的な地下水位分布の観測体制を整え、地下水位観測を継続実施した。

## 3. 2019年台風第19号出水の概要

これまでの地下水位観測における圧力水頭の観測値から、30mm/日を超える降雨時に Bg1 層の圧力水頭が反応していることに着目し観測をしているさなか、台風第 19 号が関東地方に上陸した。台風の影響により、関東地方は広域的に大雨に見舞われ、当該地区に最も近い川島雨量観測所で総降雨量 180mm を記録した（図-3）。また、当該地区の鬼怒川水位は、最高水位が YP+30.971m（計画高水位 YP+32.839m）で高水敷が約 13 時間湛水し、2015 年 9 月関東・東北豪雨時と比較すると、約 1.4m 低い水位であった。さらに、堤内地では樋管操作に伴う内水氾濫が発生し、最高水位は痕跡から YP+30.0m 程度で内水深約 2.2m と推定され、2015 年 9 月関東・東北豪雨時と同程度であった。

## 4. 上山川地区の地下水動態観測

### (1) 地下水動態観測結果

2019年台風第19号降雨時を含む圧力式水位計による

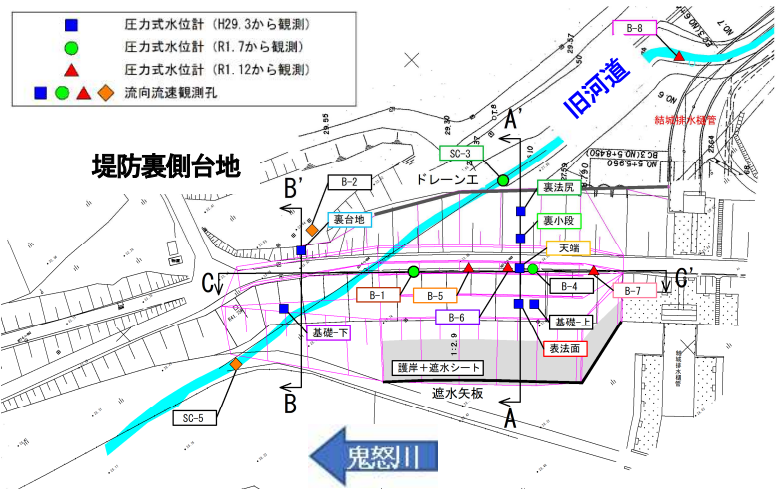


図-1 上山川地区堤防における漏水対策工と圧力式水位計の位置図

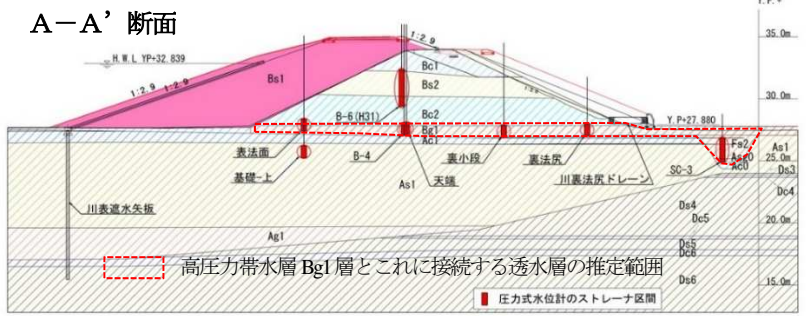
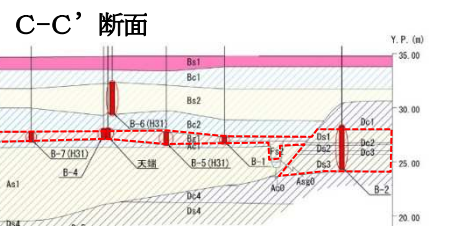
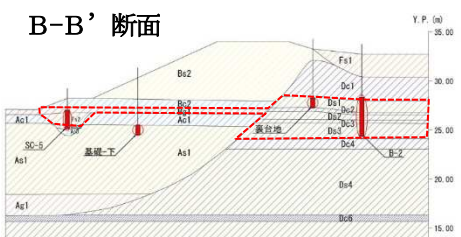


図-2 地質想定図と圧力式水位計の設置箇所 (断面図)

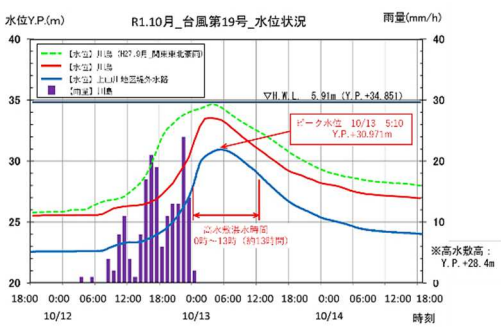


図-3 R1.10月 台風第19号水位状況

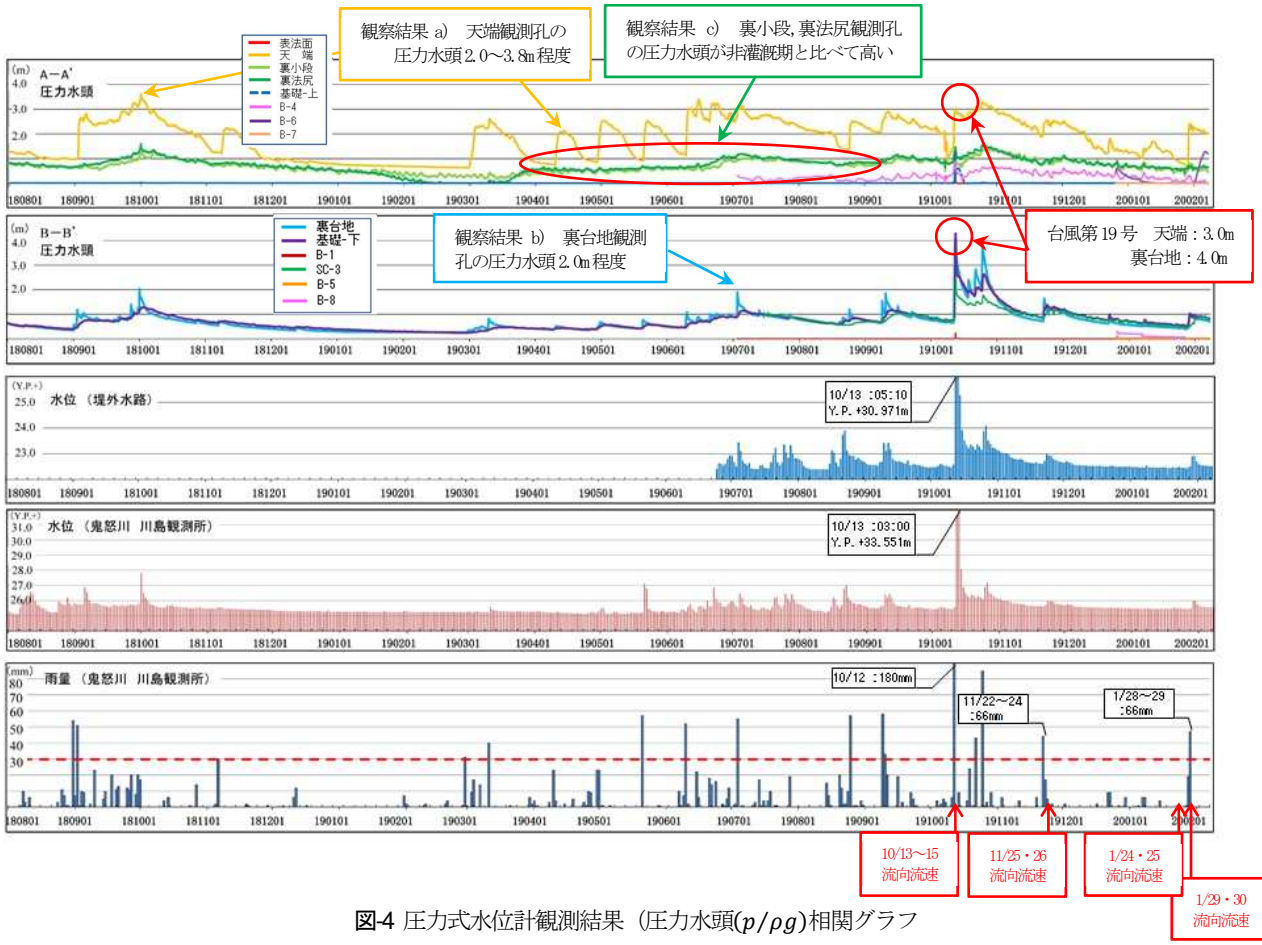


図-4 圧力式水位計観測結果 (圧力水頭(p/ρg)相関グラフ

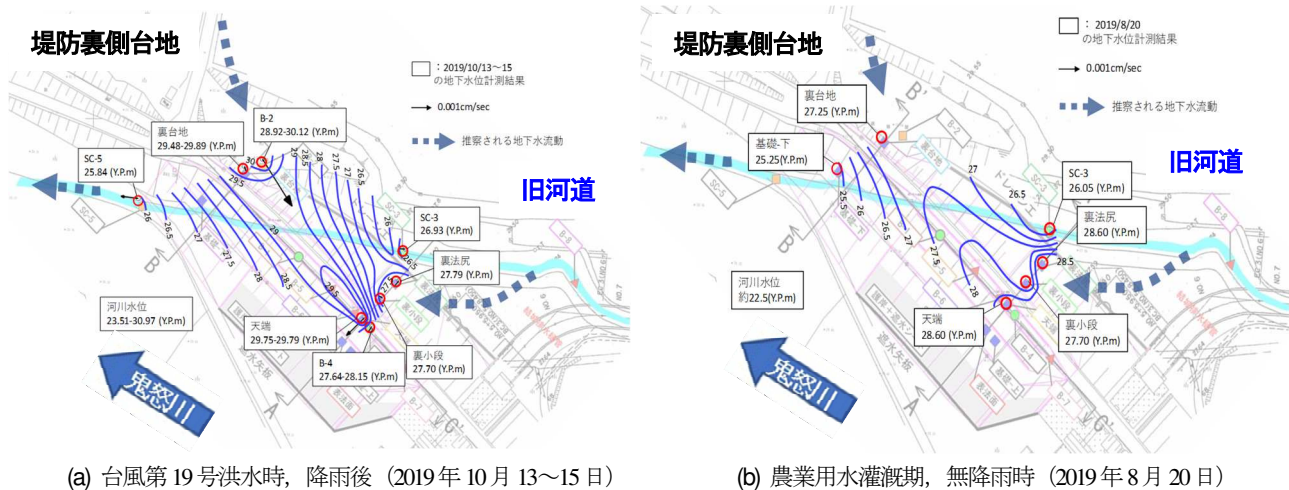


図-5 地下水位等高線と流速ベクトル図

圧力水頭観測結果を図-4 に示す。特徴的な観測結果 (図-4 の a)~c) と対応) を以下に整理した。

a) 高圧力帯水層の Bg1 層を有する天端観測孔では 30mm/日を超える降雨時の圧力水頭最大値が 2.0m~3.8m 程度で、台風第 19 号時は最大値 3.0m を観測し、これまでと同程度の圧力水頭上昇を観測した。

b) 地下水供給源となり得る裏台地観測孔では、30mm/日を超える降雨時の圧力水頭最大値が 2.0m 程度であったが、台風第 19 号時は最大値 4.0m を観測し、天端観測孔を超える圧力水頭を観測した。

c) 4~9 月では、裏小段、裏法尻観測孔において圧力水頭の高い状態が維持されている。この時期は農業用水灌漑期に相当しており、地下水挙動に季節性的の変動がある可能性を示唆している。

## (2) 流向流速測定結果

堤防裏側台地を含む周辺からの地下水供給源を解明するため、図-1 の地下水観測孔において流向流速測定を行った。測定は、一般的に用いられている熱量式の地下水流向流速計により、台風第 19 号時を含む降雨後 3 回と、無降雨時 1 回の計 4 回実施した。ただし、台風第 19 号以外のイベントで計測された流速は、台風第 19 号降雨時のものに比べて 1 オーダー小さく、測定値のばらつきが大きかった。

## 5. 考察

### (1) 地下水位と流向流速観測結果に基づいた地下水流動

ここでは河川水位と地下水位がともに高まり、地下水の流動が比較的顕著であった台風 19 号降雨時に観測した地下水位と流向流速を用いて、地下水の挙動を考察した。また、比較のために、農業用水灌漑期で無降雨時 (2019 年 8 月 20 日) の地下水位データについても考察した。

### a) 洪水時

図-5(a)に洪水時における地下水位の等高線と、流速ベクトル図を示す。なお、ここに示す地下水位及び流速の観測孔は、図-2 の地質想定図に赤色破線で示した高圧力帯水層とこれに接続する透水層の推定範囲に含まれており、堤防基盤部に概ね同じ高さで分布しているものと考えられる。地下水位等高線を見ると、裏台地と天端の間で Y.P.+30m 程度の高い値を示し、裏台地に位置する B-2 観測孔では、天端方向へと向かう  $2.5 \times 10^3 \text{cm/sec}$  程度の流速が確認された。また、天端観測孔、旧河道 (川表側) の SC-5 観測孔では、流速は小さいものの、それぞれ遮水矢板、鬼怒川の低水路へと向かう流れが確認された。このことから、裏台地、旧河道 (川裏側) から供給された地下水が、裏台地と天端の間の地下水位を高めるとともに、旧河道 (川表側) を経て鬼怒川低水路側へと徐々に抜け出しているものと推定される。

### b) 農業用水灌漑期

図-5(b)に灌漑期における 5 日間無降雨時の地下水位の等高線を示す。灌漑期の無降雨時は、洪水時に比べて等高線の間隔が広がっており、地下水の勾配が緩やかになっていることが分かる。裏台地の地下水位は、洪水時のように局所的に高くなっていない。一方、天端や裏法尻では地下水位が高まっている。以上より、農業用水灌漑期では、主として旧河道上流側から地下水が供給され、旧河道 (川表側) を経て鬼怒川低水路側へと徐々に抜け出しているものと推定される。

### (2) 高圧力帯水層の形成要因と裏台地・旧河道 (結城排水路) 周辺の土地利用

図-6 に過去の結城排水樋管新設工事と築堤工事の工事完成図を、図-7 に高圧力帯水層である Bg1 層の粒度分布を示す。これらより、高圧力帯水層は、工事施工時の重機等足場として工事ヤードを整備した際に形成された砂利層である可能性が推察される。過去の工事の際に、現地の地盤状況から碎石で工事ヤードを整備する一般的な工

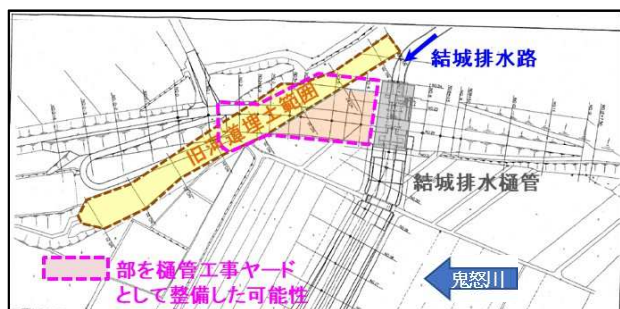


図-6 旧河道の埋土平面範囲(S56 工事完成図より)

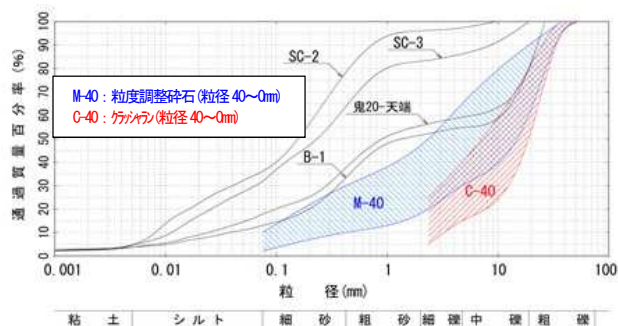


図-7 粒径加積曲線の重ね図

法を採用したものと考えられる。

また、図-8に示す治水地形分類図によると、堤防裏側台地では工場、宅地、農地(畑)が存在している。一方、旧河道は現在の結城排水路と繋がっており、その周囲には水田が広く分布している。よって、農業用水灌漑期は、水田の湛水により地下水位が高まり、旧河道を經由することで地下水が供給されている可能性がある。これは、これまで3年間の圧力水頭の変化に着目した際に、A-A'断面の裏法尻、裏小段観測孔の圧力水頭に季節的な変化が見受けられ、農業用水の供給時期と連動して、灌漑期に川裏旧河道の透水層が保水され、帯水層の圧力水頭が高くなっていることから推察される。

### (3) 堤防漏水対策工の効果

台風第19号降雨では、川表遮水矢板背後の表法面、基礎-上観測孔の圧力水頭反応が、高水敷湛水時の一時的なものであり、内水氾濫の水面における気泡の発生が微少であった。また、台風通過直後の10月13日には、堤防に浸透した雨水がドレーンを通じて排水されている状況も確認されている。よって、2015年9月関東・東北豪雨後に整備した漏水対策工が、河川水から受ける影響に対して、一定の効果を発現したと考えられる。また、流向流速測定の結果から、堤体基盤Bgl層における最大流速は $1 \times 10^3 \text{ cm/sec}$ 程度で極めて低く、地下水による築堤土の流動変化は無いものと推定されることと、堤体基盤Bgl層の最大圧力水頭3.8mと同程度の圧力水頭が裏側台地観測孔Ds層で観測されているが、周辺堤防への変状は見受けられないことから、地下水による堤体への影響は小さいと考えられる。

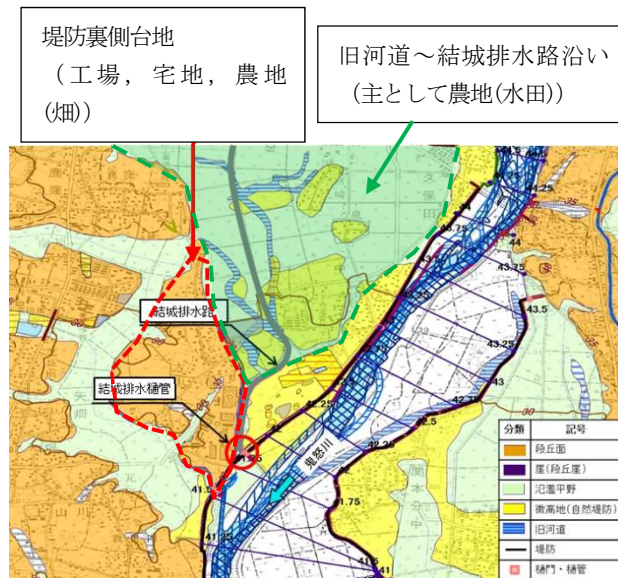


図-8 治水地形分類図と現況結城排水路の重ね図

## 6. まとめ

今回の調査検討の結果、高圧力帯水層を形成する要因となる地下水供給源として、堤防裏側台地に加えて、埋め戻された旧河道から帯水層への地下水供給が新たに把握でき、外水による堤防への影響は無かった。しかしながら、高圧力帯水層が堤防に与える影響を払拭できていないことから、面的な基盤土質構造と地下水動態に関する調査検討課題を整理した。

- 川裏側の旧河道に地下水観測孔を新たに設置するとともに、その近傍にあるコンクリート三面張りの結城排水路にも水位計を設置して、旧河道と結城排水路との地下水の関連性を把握する。
- 洪水時と灌漑期無降雨時における地下水挙動の違いや、堤防裏側台地だけでなく川裏旧河道からの地下水供給にも着目し、高圧力帯水層を形成する要因となり得る地下水供給メカニズムの解明と、地下水供給に対する具体的な対策を判断するための地下水動態観測と流向流速調査を継続して行っていく。あわせて、地下水観測孔での注水試験により、地下水位と流向流速の応答を確認するための基礎調査も行う。

### 参考文献

- 青木, 青山, 内堀, 石田, 椎木, 田端, 福岡: 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, 河川技術論文集, 第25巻, pp.559-564, 2019.