# 本支川合流部における基礎地盤浸透を対象とした 安全性照査の留意点

## 1. はじめに

東日本台風(2019年)による出水後に、利根 川水系福川右岸の堤防裏法尻周辺で多数の噴砂を 確認した(図・1)。当該箇所は福川右岸堤防と中条 堤(慶長年間に行田の忍藩領や熊谷陣屋を利根川 の洪水から守るために作られたと言われる堤防) に囲まれ、水田として利用されている。この時、 福川合流点近傍の利根川158k地点の水位は計画 高水位を超過し、福川でも計画高水位相当に達し ていた。写真・1~2の状況等から、基礎地盤浸透 による噴砂が疑われたが、噴砂箇所は利根川との 合流部近傍に位置しており、福川からの基礎地盤 浸透のみならず利根川水位の影響も想定された。

近年、本支川合流部近傍において漏水・噴砂が 多数発生している。例えば2019年の阿武隈川(支 川佐久間川合流部)<sup>1)</sup>等において確認され、河川水 による基礎地盤浸透を原因として本川と支川に挟 まれた堤内地の本川及び支川堤防周辺で噴砂が発 生している。このような本川と支川に挟まれた堤 内地においては、双方向から外力が作用するため、 基礎地盤の圧力が高まりやすい傾向があると考え られる。しかし、今回福川において発生した噴砂 は利根川堤防から340m~600m離れ、本川と支 川に挟まれた堤内地の支川を挟んだ対岸で発生し たことが特徴的な事象である。そのため、発生要 因に利根川水位の影響がどの程度関係しているか を見極めることが重要である。

本稿では、支川である福川右岸堤防法尻におい て発生した被害事例を対象に、本支川合流部周辺 において実施した各種調査結果と浸透流解析を用 いた安全性照査により、発生メカニズムを推定す るとともに、本支川合流部近傍における基礎地盤 浸透の安全性照査における留意点を整理する。

#### 2. 被害状況

噴砂が確認された箇所は、福川右岸における福

笹岡信吾・今 勝章・福島雅紀



図-1 噴砂発生位置図(治水地形分類図を基に作成)





写真-1 噴砂状況

写真-2 水防工法内状況



川水門から上流約400m~800mにかけての間で あり、埼玉県の管理区間である。堤防法尻及び堤 内地に計6箇所確認され、福川堤防法尻からの離 隔は約3m~25mであった。規模や噴砂量が最も 多かった箇所は図-1に示す発生箇所①である(写 真-1、写真-2)。

福川合流点近傍における観測水位波形を図-2に 示す。利根川の水位波形(河川水位(158.0k補

Key Points of Levee Safety Inspection for Foundation Ground Infiltration around Confluences of Rivers

完))は、古戸観測所(165.0k地点)と福川水門 内水位(福川水門は開放されていたため福川水門 外水位と同じ水位を示していた)の水位波形から 内挿して作成した。なお、利根川158.0k地点に は危機管理型水位計が設置されていたが、ピーク 水位付近のみ観測されていた。そのため、作成し た水位波形を危機管理型水位計で観測されたピー ク水位と合うように追加調整した。

## 3. 噴砂発生要因調查

当該地点周辺は図-1に示した治水地形分類図に よると、旧河道が複雑に入り組んでおり、このよ うな複雑な地形条件が噴砂発生に影響しているこ とが想定されたため、下記の手順で調査を行った。

# 3.1 既往調査整理による想定地質縦断図の作成

各種地質調査データベース及び埼玉県が噴砂発 生後に実施した土質調査結果等、周辺の土質に関 する資料を収集・整理し、利根川右岸堤防法尻及 び福川右岸堤防法尻の想定地層縦断図を作成し、 基礎地盤において盛土層(Bc)、沖積粘性土層 (Ac)、沖積砂質土層(As)、沖積砂礫層(Ag) 洪積粘性土層(Dc)、洪積砂質土層(Ds)、洪積 砂礫層(Dg)が分布するとともに、利根川縦断、 福川縦断ともに下流に向かうにつれてAc層が 縦断的に途切れていることを確認した。

# 3.2 被覆土層厚を調べるための土層強度検査棒を用

いたサウンディング調査及び堤内地盤高の整理 利根川及び福川の高水敷及び堤内地を対象に土 層強度検査棒<sup>2)</sup>を用いて基礎地盤の貫入強度を調 査し、被覆土層厚を推定した。その結果、福川右 岸側が左岸側に比べ被覆土層厚が約1m程度薄い ことがわかった(図・3)。また、LPデータより、標 高コンターを作成したところ、福川右岸側が左岸 側に比べ約1m低いことがわかった(図・4)。

#### 3.3 ボーリング調査、現場透水試験

ボーリング調査を図・3に示す5箇所(R3・1~R3・ 5)で実施した。このうち3箇所(R3・1~R3・3)では、 現場透水試験を実施した。調査結果を基に、図・3 に示すa1-a1'における想定地質断面図を作成し た(図・5)。地下水位は概ね被覆土層のBc層内に あることをボーリング調査より確認している。こ のことからもAs層以深は連続した被圧帯水層を 形成していると考えられる。土質試験によって得



図-3 被覆土層厚コンター



図-4 地盤高標高コンター

表-1 各層の透水係数

地層		記号	透水係数(m/s)
盛土層	粘性土層	Вс	4.28 × 10 <sup>-7</sup>
沖積層	粘性土層	Ac	1.00 × 10 <sup>-7</sup>
	砂質土層	As	6.75 × 10 <sup>-4</sup>
	礫質土層	Ag	6.66 × 10 <sup>-3</sup>
洪積層	砂質土層	Ds	3.35 × 10 <sup>-3</sup>
	礫質土層	Dg	3.35 × 10 <sup>-3</sup>

られた透水係数を表-1に示す。

#### 3.4 福川における表層河床材料の調査

福川水門上流約300m地点、1.5km地点、 2.7km地点において河床材料調査を行い、河床に は粘性土が1m以上堆積していることを確認した。 3.5 地下水位観測

今回の被害を受け、埼玉県では噴砂箇所①の近 傍に地下水位観測井を設置し、2020年からAs層、 Ag層、Dg層の地下水位観測を実施している。こ の観測結果(図-6)から、10月8日~10月12日付近





#### 4. 安全性照査の試行

3.2に示した調査によって、噴砂の発生要因は 被圧帯水層(As~Dg層)の水頭値の上昇によるも ので、福川河川水位による被圧水頭に加えて、利 根川の河川水位上昇に伴う被圧水頭の上昇が加わ ることで発生したものと推測される。しかし、河 川堤防の構造検討の手引き(改訂版)<sup>3)</sup>によると、 浸透流解析のモデル化に関して、「堤内側の解析 領域は、堤防高の10 倍を目安に設定し」とある が、当該箇所の噴砂箇所から利根川右岸堤防まで の離隔は最大600m程度あり、利根川右岸の堤防 高は6.7m程度のため、噴砂筒所の離隔は堤防高 の10倍を大きく超えるものである。そのため、 被圧帯水層における水頭変動の影響圏を正しく把 握した浸透流解析のモデル化が解析精度向上につ ながると考えた。まずは被圧条件での掘削面への 地下水位低下量を求める式4)より単一被圧帯水層 モデルから得られる簡易式を誘導し影響範囲を把 数ケース設定し、水頭変動を与え、t時間経過後 のx軸方向の水頭変動比の分布を求め、水頭変動



図-6 地下水頭值等観測結果(2020年9月18日~10月31日)

(H-h) (H-h <sub>0</sub> )	-=erfc(y <sub>1</sub> )	(1)
$y_1 =$	$\frac{x}{2((k/S_s)t)^{1/2}}$	(2)

(H-h)/(H-h<sub>0</sub>):被圧水頭変動比、erfc(y<sub>1</sub>):余誤差関数、 k:透水係数、S<sub>s</sub>:比貯留係数、x:水頭変動地点からの 水平距離、t:経過時間、H:河川水位、h:距離に応じた水 頭値、ho:地下初期水位

比がゼロに近似するxを影響圏とみなした。これ により、今回の解析領域を2kmとした浸透流解析 を実施した。なお、式(1)は一次元浸透問題の基 礎方程式を展開して得られたものであり、被圧同 一条件で行った浸透流解析の結果と一致する。解 析には図-5で示したal-al'断面をモデル化した。 今回検討においては、地下水位観測において利根 川水位との相関が見られたことや福川河床に粘性 土が堆積していたことを参考に、試行計算的に利 根川のみに再現水位を与えた計算を行った。解析 結果を図・7、図・8に示す。この結果では、福川右 岸堤防法尻のG/W(被覆土層を有する場合の安全 性照査に用いられ、被覆土重量(G)と被覆土下端 に作用する揚圧力(W)の比で1を下回るかで安全 福川左岸堤防法尻より早くG/Wが1を切る結果と なった。しかし、福川右岸のみならず福川左岸で もG/Wが1を下回る結果となっていることや、 G/Wがかなり小さい値となっていることについて は、被圧帯水層のパラメータである透水係数や比 貯留係数の不整合、被圧水頭に与える外力評価の 不整合等が考えられる。これらの不整合について は、今後の継続的な観測等によって検証する必要 がある。

### 5. まとめ

本支川合流部等で被圧帯水層が広く分布する箇 所において、河川水位の水頭変動の影響圏を設定 する手法として、地下水低下量が被圧帯水層の水 頭変動に与える簡易式を適用して、その有効性を 示した。

また、本支川合流部近傍での噴砂発生事例を対 象に現地調査と簡易な浸透流解析を行い、安全性 照査の留意点を以下に記す。本支川合流部におい ては、被圧帯水層が広く分布する場合があり、本 川堤防より遠く離れた支川対岸堤内地に本川の影 響が見られる場合があることに留意が必要である。 また、被圧の程度を地下水観測により把握するこ とで、噴砂の発生メカニズム解明や適切な対策工 法の検討等に有効であると考えられる。

ここで得られた結果については、今後手引き等 の技術基準に反映していくことを検討しているが、 現時点では検証事例が少ないため、当面は本支川 合流部での浸透対策を検討する上での留意点とし て活用頂きたい。

#### 謝 辞

本稿をまとめるにあたり、埼玉県及び関東地方 整備局利根川上流河川事務所には水位観測や土質 に関するデータの提供や現地調査において多大な るご協力を頂いた。この場を借りて謝意を表する。



図-7 利根川右岸堤防法線からの離隔に応じたG/W



図-8 G/Wの経時変化

#### 参考文献

- 田川央、石原雅規、佐々木哲也:令和元年台風19 号による阿武隈川の漏水箇所における詳細調査及 び被災要因分析、河川技術論文集、第27巻、 pp.193~198、2021.
- 2) 佐々木靖人:土層強度検査棒による斜面土層調査 マニュアル(案)、土木研究所資料、第4176号、 2010.7.
- 財団法人国土技術研究センター:河川堤防の構造 検討の手引き(改訂版)、2012.
- 4) 地盤工学会:根切り工事と地下水ー調査・設計から施工まで(訂正第2刷)、pp.112~113、1994.5
- 5) 今勝章、笹岡信吾、福島雅紀:本支川合流部にお ける基礎地盤浸透の安全性照査についての留意点、 第9回河川堤防技術シンポジウム論文集、pp.71~ 74、2021.



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 研究官 SASAOKA Shingo



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 研究官 KON Katsuaki 福島雅紀



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 室長、博士(工学) Dr. FUKUSHIMA Masaki