

河道堰上げ区間の深掘れ部における流れ特性の観測調査

岐阜大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 野田 有佑

岐阜大学フェロー フェロー会員 藤田 裕一郎 同工学部 正会員 水上 精榮

サワコンサルタント 正会員 澤田 謙二

1. はじめに

表-1 各調査の概要

一般に、河川水は全断面で下流に向かって流動している場合が多いが、河道形状や構造物の築造によって滞流域を形成することも稀ではない。河口堰堰上げ区間の滞流域は、通常ダムほど高く堰上げられる訳ではないため、水深も大きくなく、一定の流れも確保されている。しかしながら、このような区間であっても、何らかの原因による河床深掘れ部では水塊が流れから取り残されやすく、物質の交換が滞るといわれている。とくに、夏季には、しばしば上下層間に密度成層が形成されて、水塊の混合が著しく抑制されるために底層への酸素供給が停止する一方、河床近傍では、底質中や溶存態の有機物分解が盛んになって溶存酸素 (DO) の消費が促進されるため、深掘れ部は貧酸素状態になって水質悪化が一段と進むことが知られている。

調査	日付	観測時間	観測調査の内容
1	2013/8/02	15:00~17:00	計測手法の確立を目的とした予備調査
2	2013/8/23	18:20~19:30	
3	2013/8/28	18:00~18:55	
4	2013/8/29	16:20~16:55	中小規模の出水後の観測調査
5	2013/9/07	17:35~19:20	
6	2013/9/13	15:15~17:10	フラッシュ操作の時間帯に合わせた行なった観測調査
7	2013/9/19	18:00~20:30	
8-1	2013/9/20	08:35~12:30	
8-2	2013/9/20	16:45~22:00	
9	2013/9/21	08:45~14:20	

本調査の対象とした長良川河口堰の堰上げ区間でも、夏季には底層において DO の低下が確認されているため、これまでフラッシュ操作等によって水質の改善が図られてきたが、最近、その効果をより高める方法として、堰の下段ゲートを引き上げて下から一気に湛水を流下させるアンダーフラッシュ操作が注目されている。この効果を検証する目的で、水資源機構長良川河口堰管理所では、堰近傍、あるいはその上流域において現地調査を実施しているが、延長 20 数 km の堰上げ区間に 10 数箇所も存在する水深 10m に及ぶ大小の深掘れ部については、水質悪化が懸念されているにも関わらず、十分な調査が行われていない。以上から、ここでは、河道堰上げ区間の深掘れ部においてフラッシュ操作時とその前後において実施した、流速、水温、DO 等の観測調査について述べ、深掘れ部における流れの水理特性を明らかにして、それが水質に与える影響について考察を加える。

2. 観測地点および観測内容

観測は河口から 9.8km (河口堰から約 4.3km) 付近の右岸側にある深掘れ部に着目し、移動と固定の 2 方法を並行して行った。この地点を選定した主な理由は、河床高が T.P.-9.7m と最も深く掘れている箇所の一つであって、流下方向に 600m 程度もある延長の中央になり、また水辺へのアクセスが容易であったためである。観測調査は表-1 の通り、滞流域に温度成層が発生しやすい 2013 年 8 月から 9 月にかけて計 10 回行ったが、4 回までは予備的なものであり、9 月に入ると出水のため顕著な成層は認められなかった。固定観測では、9.8km 地点における特に水深の深い最深部において、音響ドップラー流速プロファイラ ADCP を取り付けたリバーボート (ADCP 用小型浮体) を用いて、フラッシュ操作中とその前後を通じて連続観測を行い、全層に亘る流向・流速の時系列変化を把握した。移動観測は、フラッシュ操作前・操作中・操作後について、9.8km 地点の深掘れ部を含む河川横断面における流向・流速分布を ADCP によって、また、表層付近の水温と DO をそれぞれ Cast Away CTD, 光学式 DO 計で計測し、それらの変化をできるだけ広い範囲に亘って把握するようにした。途中で、適宜固定観測箇所にボートを停止させて水温と DO の鉛直分布観測を行った。これは、移動観測用のボートに装備したウインチで先端に錘と CTD, DO 計, 水圧計を取り付けたワイヤーを昇降させて行った。

キーワード：河口堰、湛水区間、深掘れ部、水理観測、長良川下流部

連絡先：〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1番1 岐阜大学大学院工学研究科 TEL 058-293-2476

3. 深掘れ部における観測調査の結果とその検討

(1) 深掘れ部における固定観測の結果 図-1は夜間のフラッシュ操作に合わせて、2013年9月20日に行った調査8-2における流速と水質の鉛直分布の観測結果である。流速の鉛直分布より、フラッシュ操作中の最大流速は上層で35cm/s、深掘れ部である下層で25cm/sとなっていて、上下層とも操作前から20cm/s近く上昇しており水塊の移動が促進されている。底層水塊がこのフラッシュ操作期間(30分間)中に移動する距離は約450mであるため、約600m続く深掘れ部の水はすっかりは入れ替わらないが、上流からはかなりの流入のあることを意味しており、底層水質が上流水質の影響を強く受けることを示唆している。一方、フラッシュ操作前に発生していた約0.5°C、密度差にして0.00010g/cm³程度の密度躍層はフラッシュ操作後も解消されておらず、分布形状は鉛直全域に亘って約0.00004g/cm³横ずれした形になっている。また、DOの鉛直分布は操作前に最大0.382ppm程度ばらついていたのに対して操作後にはほぼ一様となっている。以上の結果より、フラッシュ操作が水質分布に与える影響は、鉛直方向の乱流混合による輸送よりも縦断方向への移流効果が卓越していることと推察される。同時に、図-1では測定値にばらつきが見られ、水深によっては、その変化幅は躍層の密度差にも匹敵している。その変動幅は水温にして約0.25°CであってCTDのセンサー精度±0.05°Cに比して十分大きいと、単なるノイズではなく有意な変動を暗示しているものと判断し、以下で検討する。

(2) 内部波の観測 鉛直分布に認められたバラツキの原因を知るため、観測値の時系列変化を検討した。ここでは、最も特徴的・典型的な変化の測定された調査6の水温と水深3.0m付近での流速の時系列変化を図-2に示す。なお、この日にはフラッシュ操作は行われていない。図-2では錘の深さが水温の測定水深を示しており、ある時間内における同一水深での水温変化を知ることができるが、16時35分過ぎから38分過ぎまでの3分弱の間、水深3.0mにおいて水温は急激に低下した後、1分程度上昇に転じその後では短い周期で変動しながら高い温度となり、再び低下している。このとき、鉛直方向流速は、水温低下時に上方向き、上昇時にほぼ下方向きになっており、下方から低温水塊が上がってきたため水温が低下し、上方から高温水塊が下がってきたときに上昇したと判断され、内部波が観測されたと思なされる。また、水平方向流速は水温の低下期間のほぼ中央で最大値を示し、上昇期間の中央では最小値となっていて、これは、進行波の特性と一致する。ここに示すことができなかつたが、水温と鉛直流速とは水深9.05m付近まで同一相で連動して変動している様子が確認され、また、調査3では界面がより下層にある場合には、水温は河床近傍でもバースト現象に類似の波状変化をすることが観察されている。以上より、上下層間の密度差が大きい場合には少なくとも中層から水塊が底層付近まで到達する場合のあることが確かめられた。

4. おわりに

今回の観測結果から水質改善効果を目的に運用されているフラッシュ操作によって河床の深く掘れた部分でも流速が増加し、河川縦断方向の移流効果が増大することによって水質を多少とも改善させるような変化の生じることが判った。さらに、密度界面周辺に流下方向へ進行する内部波が存在することを確認し、かつ、河床近傍の底層において組織乱流に類似の水塊混合が発生していた可能性を見出した。しかしながら、この密度差では内部波の復元力がそれに起因するとは考え難いので、今後この点についてさらに考察を進めたい。また、今回観測できなかつた、より発達した密度躍層が生じている場合についても今後は対象としたい。

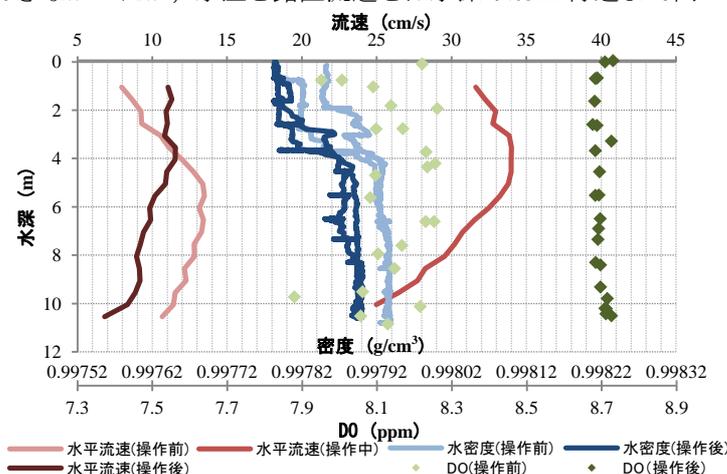


図-1 フラッシュ操作前後の流速と水質の鉛直分布

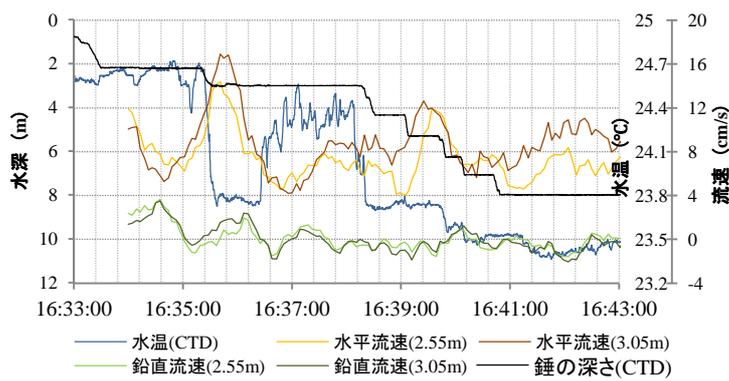


図-2 密度界面における水温と流速の時系列変化