

円山川自然再生における中郷遊水地の環境創出について

Environmental Creation of Nakanogo Recreational Area regarding Nature Regeneration of the Maruyama River

自然環境グループ 研 究 員 工藤 雄大
自然環境グループ 次 長 都築 隆禎
自然環境グループ 研 究 員 小林 慶浩

我が国は明治期から現在にかけて多くの河川改修工事や圃場整備等が行われ、人間の生活環境が豊かになる一方、河道の直線化や堤防整備等により、氾濫原湿地の減少や河川環境の単純化が進んでいる。国の特別天然記念物であるコウノトリは、これらの影響に加えて、営巣木の伐採や農薬使用等による生息環境の悪化により減少し、日本最後の生息地であった円山川流域から一時姿を消すこととなった。現在、円山川ではコウノトリが生息していた頃の自然環境が、人にとっても安全で安心できる豊かな環境であるとの認識のもと、多様な生物が生息・生育できる河川環境の保全・再生に取り組んでおり、治水事業の実施にあたっては、環境への配慮が必須となっている。一般的に治水安全度の向上を目的として整備される遊水地は、洪水時に水害を防ぐ治水としての機能のみならず、野生動植物に生息・生育環境を、平常時には地域住民にレクリエーションや環境学習の場を提供し得る。円山川中下流域に整備予定の中郷遊水地では、かつて失われた大規模湿地の再生・創出を行い、治水と環境を両立するグリーンインフラとしての取り組みが進められつつある。中郷遊水地は上池と下池の2つの遊水地が計画されているが、本稿では、円山川水系自然再生推進委員会技術部会で昨年度までに議論された下池の内容を中心に、中郷遊水地に大規模湿地を創出するための一連のプロセスについて解説する。

キーワード：自然再生計画、多自然川づくり、遊水地、湿地創出、グリーンインフラ、生態系ネットワーク、維持管理計画、地域連携

In Japan, many river improvement works and field improvements have been carried out from the Meiji period to the present, and while human living environments have become richer, the number of floodplain wetlands has decreased and river environments have become simpler due to the straightening of river channels and the construction of levees. In addition to these effects, the stork, a special natural treasure of Japan, has decreased in number due to the deterioration of its habitat caused by the felling of nesting trees and the use of agricultural chemicals, and has temporarily disappeared from the Maruyama River basin, which was its last habitat in Japan. Based on the recognition that the natural environment of the Maruyama River when it was inhabited by storks is now a safe, secure, and rich environment for people as well, efforts are being made to conserve and restore the river environment where diverse organisms can live and grow, making environmental considerations essential in the implementation of flood control projects. In general, flood control areas are developed for the purpose of improving flood control safety. They not only function as flood control to prevent flood damage, but also provide habitat and nurturing environments for wild animals and plants, as well as recreation and environmental learning opportunities for local residents during times of normalcy. The Nakago Recreational Area, which is scheduled to be developed in the middle and lower reaches of the Maruyama River, will restore and create large wetlands that were once lost, and is being promoted as a green infrastructure that will provide both flood control and environment. Two recreational areas, Upper Pond and Lower Pond, are planned for the Nakago Recreational Area. This paper describes the series of processes for creating a large-scale wetland in the Nakago Recreational Area, focusing on the Lower Pond, which was discussed by the Maruyama River System Nature Restoration Promotion Committee's Technical Subcommittee last year.

Keywords: nature restoration plan, multi-natural river creation, recreational area, wetland creation, green infrastructure, ecosystem network, maintenance and management plan, regional cooperation

1. はじめに

円山川は兵庫県朝来市生野町円山を水源とし、山間部を流れた後、豊岡盆地を緩やかに蛇行しながら流れ、豊岡市の津居山で日本海に注ぐ一級河川である。下流域となる盆地内には田園地帯および市街地が広がり、中・上流域では谷底平野の河川となり、河川沿いには集落と水田がみられる。このような地形・地域特性の中、流域内にはナマズやタモロコなど水田で子孫を残す魚類等が今も再生産されている。

円山川では、これまで多くの河川改修工事や圃場整備等によって人間の生活環境を豊かにさせてきた。しかし、河川整備の進捗(河道の直線化、堤防の概成等)によって氾濫原湿地が減少するとともに、流域の都市化、営農形態の変化(水田の減少)によって河川～水路～水田の連続性が損なわれ、下流域を中心に生物の生息・生育環境、再生産の場が減少した。河川改修工事によって治水安全度は以前より向上したものの、近年においても平成16年台風23号洪水によって豊岡盆地に未曾有の被害が発生し、治水対策の重要性和河川改修の必要性が改めて浮き彫りになった。この洪水被害を契機に、円山川は河川激甚災害対策特別緊急事業(激特事業)の対象となり、河道掘削、築堤等の多くの河川改修工事が行われ、激特事業後も河川整備計画¹⁾(近畿地方整備局, 2013)において、引き続きこれらの河川改修工事が行われる他、洪水時の水位を低減させるための遊水地が整備されることとなった。

こうした災害防止のための治水事業が進められる中で、治水対策と合わせて河川環境の整備を行い、過去に損なわれた湿地の再生、連続性確保、礫河原の再生など良好な河川環境の再生を目指す円山川水系自然再生計画(以下「自然再生計画」という)²⁾(近畿地方整備局ほか, 2006)が策定された。この計画は、現在では全国的に取り込まれるようになった流域治水・グリーンインフラの先駆けとなっており、流域全体で自然環境に関する先進的な取り組みが行われている。



写真-1 ヨシ原再生(下鶴井地区)



写真-2 湿地再生[質的改良](本川中流右岸地区)



写真-3 湿地再生[大規模湿地](加陽地区)

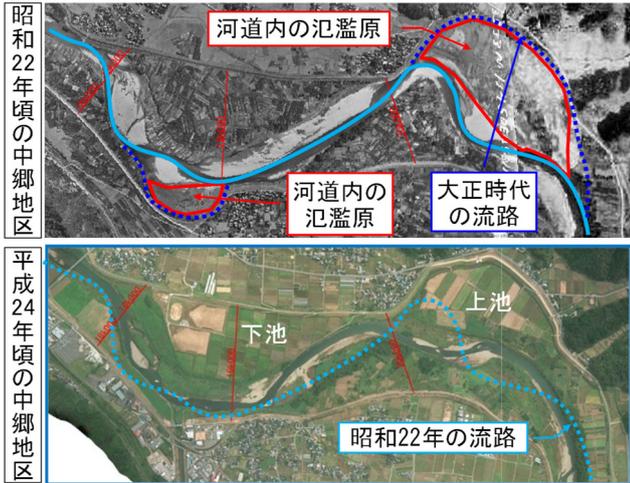


写真-4 連続性確保(八代水門)



図-1 円山川流域における自然再生の主な取り組み

円山川中下流域付近に計画されている中郷遊水地(上池と下池の2つの遊水地を整備予定)周辺は、かつて河道内氾濫原が形成されていた。しかし、昭和39年頃から圃場整備が進み、平成6年から下池の一部が「円山川運動公園」としてランド利用されていた。その後、平成16年台風23号洪水を契機に遊水地として整備されることになり、流域内において大幅に湿地環境が減少している状況を踏まえ、遊水地に大規模な湿地環境を創出し、かつ河川との連続性を確保することで、生態系ネットワークを形成するグリーンインフラとしての機能を確保することとした。

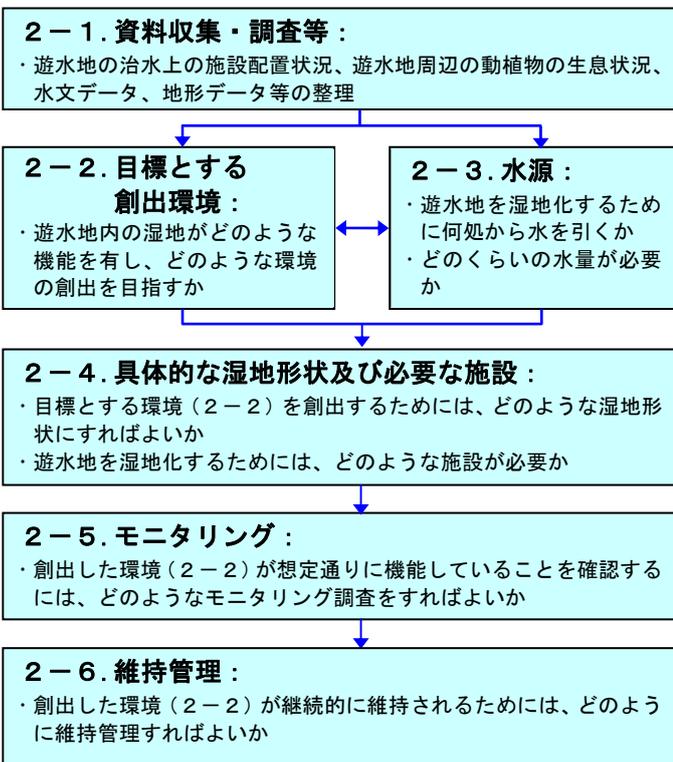


写真－5 中郷地区の土地利用変遷

本稿では、円山川水系自然再生推進委員会技術部会（以下「技術部会」という）で昨年度までに議論された下池の内容を中心に、中郷遊水地に大規模湿地を創出するための一連のプロセスについて解説する。

2. 遊水地を湿地化する上での検討項目

中郷遊水地を湿地化するにあたり、大きく6つの項目について整理・検討する必要がある。以下に具体的な検討の流れを示すとともに、各項目における中郷遊水地の検討事例を示す。



図－2 遊水地を湿地化する上での検討フロー

2-1 資料収集・調査等

(1) 治水上の施設配置状況

遊水地は、洪水で河川水位が上昇したときに、その水を一時的に貯め込み、河川水位を低下させる治水上の役割がある。遊水地を湿地化するにあたり、この機能に支障をきたすことがあってはならないため、遊水地に計画されている治水上の施設配置について把握することが重要である。中郷遊水地下池の施設を例に、遊水地に設けられる一般的な施設について解説する。

越流堤：洪水調節の目的で、堤防の一部を低くした堤防。越流堤から洪水の一部を調節池に流し込む構造になっている。

減勢工：越流水の流速を落とすための施設。

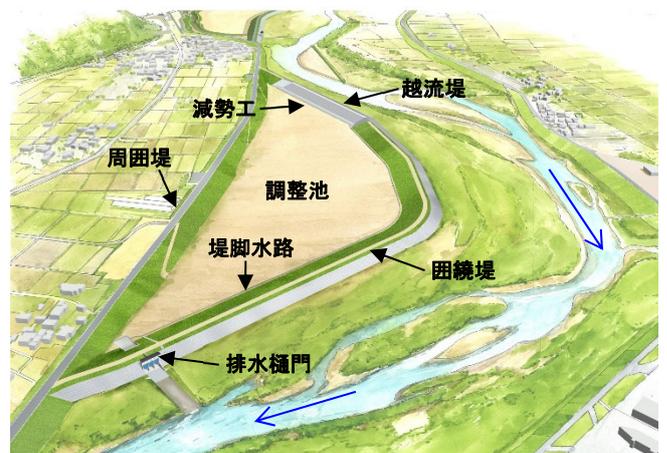
調節池：越流してきた洪水を一時的に貯留する場所。

周囲堤：遊水地と堤内地を仕切るための堤防。

囲繞堤：遊水地と河道を仕切るための堤防。

堤脚水路：堤防法尻付近に設置される雨水を排水するための水路。

排水樋門：遊水地に貯留された水を排水するための施設。洪水時は閉門して越流してきた洪水を貯留する。



図－3 治水上の遊水地施設（中郷遊水地下池）

(2) 動植物の生息状況

遊水地を湿地化したときに、どのような動植物が遊水地内に生息・生育する可能性があるか把握するため、周辺の動植物の生息状況を整理することが重要である。整理には河川水辺の国勢調査や、河川環境情報図等のデータを活用することが考えられるが、不足する情報があれば、個別に調査することが望ましい。

中郷遊水地下池では、上記データの他、円山川流域内の他の自然再生箇所でもモニタリングしている調査結果も含めて動植物の生息状況を整理した。

(3) 水文データ

遊水地を湿地化するためには水を引く必要がある。遊水地に隣接する本川・支川、地下水等の水源として活用できそうな水文のデータ（水位、流量、湧水量等）を整理することが重要である。一般的に河川水位は、水文水質データベースの観測所地点のみしか連続観測されていない。そのため、水位等を把握したい地点ピンポイント（遊水地の上下流等）で別途調査地点を設け、連続観測することが望ましい。地下水についても遊水地内に既設の観測井がない場合は、試験掘削等を行い、水位計を新たに設置の上、地下水位や湧水量を調査することが望ましい。

(4) 地形データ

遊水地内の具体的な湿地形状を設定するにあたり、地形データ（遊水地地盤高や縦断勾配等）を整理する必要がある。さらに、地形データと治水上の施設配置状況（1）や水文データ（3）との高さ関係を組み合わせて整理することで、水域間（河川～遊水地）の不連続性など湿地環境を創出する上での課題が見えてくる（図-4）。地形データは、治水計画上の設計図（縦断面図、平面図等）や定期測量横断データを活用して整理することが考えられるが、近年はLPやALBなど、高精度な3次元地形データが整備されつつあることから、これらのデータも活用の上、地形データを整理することが望ましい。

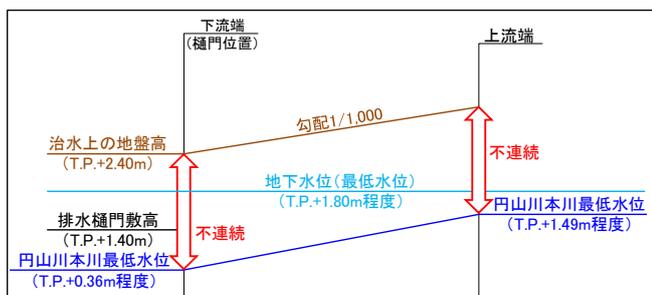


図-4 中郷遊水地下池の高さ関係

2-2 目標とする創出環境

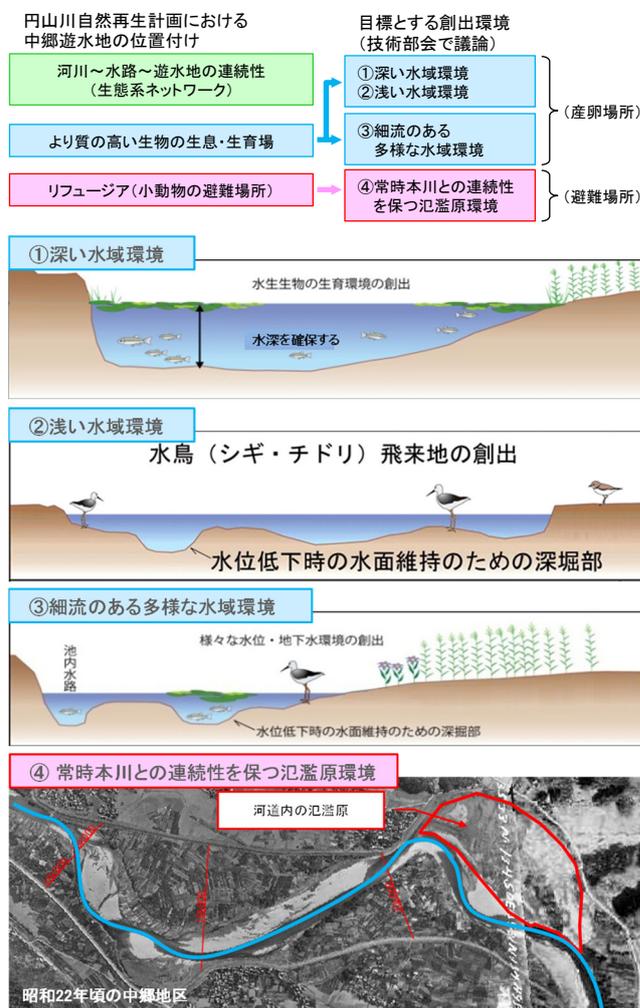
(1) 技術部会での意見を踏まえた目標の設定

中郷遊水地に創出する大規模湿地は自然再生計画の中で、「河川～水路～遊水地の連続性（生態系ネットワーク）」、「より質の高い生物の生息・生育場」、「リフュージア（小動物の避難場所）」を再生・創出することが期待されている。学識者や漁協、地元委員等で構成される技術部会において、これらの創出環境を具体化するための目標が議論され、魚類が遊水地を産卵場所や避難場所として利用することを期待して以下4つの環境（図-6）を中郷遊水地下池に創出することとした。

中郷遊水地に限らず、自然再生地として創出する環境の目標は、地元意見を尊重し、学識者等から幅広く意見を聴取した上で設定することが望ましい。

- ・ 水深の浅い場所と深い場所をつくり、多様性を持たせることが望ましい。
- ・ 浅い水域とする場合、底面に凹凸がある多様な環境とすることが重要である。
- ・ 固有の氾濫に対応してきた種が、自然に生息できる環境を創出すべきである。
- ・ 氾濫原環境（本川と常時連続性を保つ環境）を創出するのが、下池の自然地形にも即している。

図-5 目標とする創出環境に関する主な委員意見



※上記①～③の図は、リバーフロント研究所報告³⁾(佐藤ら, 2010)から引用

図-6 目標とする創出環境

(2) 代表種の選定及び配慮すべき条件の整理

中郷遊水地下池に魚類の産卵場所と避難場所を創出するため、代表種を選定し、湿地形状を検討する上での配慮すべき条件を既往文献¹¹⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾(野村, 1966; 傳

田ら, 2006; 小崎ら, 2011; 傳田ら, 2009; 佐川ら, 2005) から整理した。代表種は、円山川でこれまで生息が確認されたことがある在来魚種を対象に、遊水地を産卵・避難に利用する可能性のある魚種に絞り込み、選定した。

表一 産卵場所の代表種として選定した魚類

| 代表種 | 形態 | | 産卵場所を創出する上で配慮する条件 | | | |
|-----------|---------|---------|-------------------|---------------|-----------|-------------|
| | 全長 (cm) | 体高 (cm) | 水深 (cm) | 流速 (cm/s) | 産卵床 | 水位上昇 |
| ギンブナ | 25 | 10 | 最深30※1 | 流速はほとんど必要としない | 水草等 | 出水時に産卵行動を誘発 |
| モツゴ | 8 | 2.5 | 最深30※1 | 流速はほとんど必要としない | 石や流木・抽水植物 | - |
| スジマドジョウ種群 | 7 | 1 | 20※2 | 流速はほとんど必要としない | 細流・水田等 | 出水時に産卵行動を誘発 |
| カネヒラ | 15 | 4.5 | 20~50※3 | 流速はほとんど必要としない | 二枚貝 | - |

※1: 産卵基質となる植物等の生育可能な水深を設定
 ※2: 水田の概ねの湛水深を設定
 ※3: 産卵母員の生育に望ましいと考えられる水深を設定

表二 避難場所の代表種として選定した魚類

| 代表種 | 形態 | | 避難場所を創出する上で配慮する条件 | |
|---------|---------|---------|-------------------|---------------------|
| | 全長 (cm) | 体高 (cm) | 水深 (cm) | 流速 (cm/s) |
| コウライニゴイ | 50 | 12 | 25 | 遊泳能力(巡航速度100~200)以下 |
| オオキンブナ | 30 | 10 | 20 | 遊泳能力(巡航速度60~120)以下 |
| ギンブナ | 25 | 10 | 20 | 遊泳能力(巡航速度50~100)以下 |
| ナマズ | 60 | 10 | 20 | 遊泳能力(巡航速度120~240)以下 |

また、連続性確保の観点から、各代表種の形態¹⁶⁾¹⁷⁾ (財団法人リバーフロント整備センター, 1996; 細谷ら, 2019) を整理の上、移動に必要な水深・遊泳能力についても整理した。

表三 代表種の移動に必要な水深・遊泳能力

| 環境 | 代表種 | 形態 (cm) | | 必要水深 ②×2 (cm) | 遊泳能力 (cm/s) | |
|------|-----------|---------|-----|---------------------|----------------|-------------------|
| | | 全長① | 体高② | | 突進速度※1 ①×10 | 巡航速度※2 ①×(2~4) |
| 産卵場所 | ギンブナ | 25 | 10 | 20 | 250 | 50~100 |
| | モツゴ | 8 | 2.5 | 10 | 80 | 16~32 |
| | スジマドジョウ種群 | 7 | 1 | 10 | 70 | 14~28 |
| | カネヒラ | 15 | 4.5 | 10 | 150 | 30~60 |
| 避難場所 | コウライニゴイ | 50 | 12 | 25 | 500 | 100~200 |
| | オオキンブナ | 30 | 10 | 20 | 300 | 60~120 |
| | ギンブナ | 25 | 10 | 20 | 250 | 50~100 |
| | ナマズ | 60 | 10 | 20 | 600 | 120~240 |

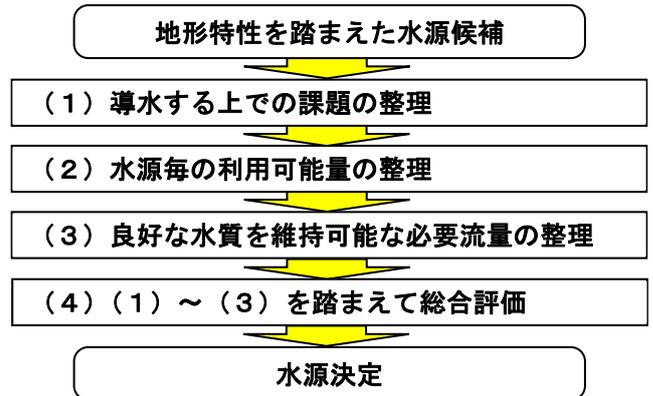
※1: 瞬間的な遊泳が可能である速度
 ※2: 長時間の遊泳が可能である速度

2-3 水源

大規模湿地を創出するためには、湿地化のための水量を確保する必要があり、何処から水を引くか遊水地周辺の地形特性を踏まえて水源を設定する必要がある。また、目標とする創出環境は、水源の種類・位置によって変わり得るため、2-2と同時並行で検討することが望ましい。

中郷遊水地下池では、2-1の整理結果より、湿地化に活用する水源候補は、遊水地地盤高を掘り下げることで導水可能となる「円山川本川」および「地下水」の2つに絞られた。その上で以下のフローに従い、水源及び取水施設の位置・敷高等を設定した。以降に各

項目における中郷遊水地下池の整理事例を示す。



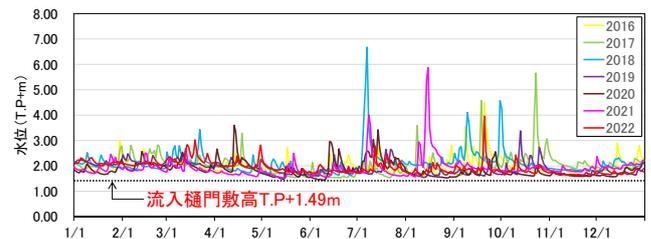
図一 湿地化に活用する水源検討フロー

(1) 導水する上での課題の整理

遊水地は、最も効果的に洪水調節が行われるように、水理模型実験等を経て治水上の施設配置（越流堤の位置等）が決められている。中郷遊水地の整備は治水機能の確保が大前提となるため、治水機能への支障がないことを条件に、導水する上での課題を整理した。

1) 円山川本川

遊水地内を広範囲に湿地化するためには、なるべく上流側に取水施設（樋門）を設置する必要がある。しかし、越流堤から周囲堤までの距離が短いことから、越流堤の上流側に樋門を設置可能かどうか確認した。なお、連続性確保の観点から、常時の導水が可能となるよう円山川本川の水位観測結果（図一8）から、最低水位程度を樋門の敷高に設定した。



図一 中郷遊水地下池上流部の円山川本川水位

堤防の安定性を考慮すると、構造令¹⁸⁾ (財団法人国土技術研究センター, 2008) 上は堤防の法尻より2割勾配で延長したラインの内側には構造物が設置できないことになっている（堤防2Hルール）。また、堤防に樋門を設置する場合は、樋門の上下流10mに護岸を設置する必要がある。

中郷遊水地下池において越流堤の上流側に樋門を設置する場合は、護岸の設置は可能であるが、導水路が周囲堤の2割勾配の内側に入り込んでしまい、かつ、

越流堤直下の減勢工を巻き込んでしまうため、樋門の設置が困難であることを確認した(図-9)。そのため、円山川本川を水源とする場合は、越流堤の下流側に樋門(以下「流入樋門」という)を設置することとした。

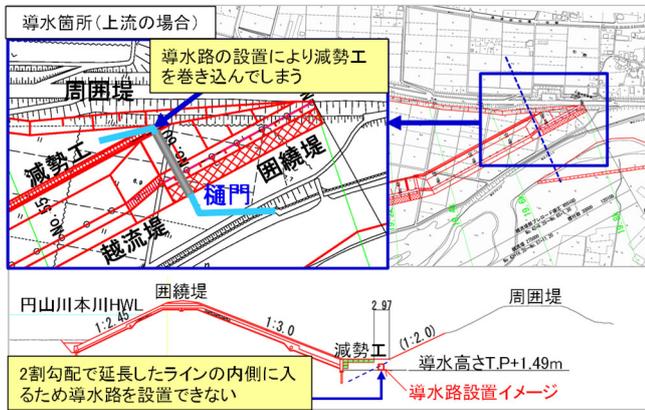


図-9 越流堤の上流側に樋門を設置する場合の課題

2) 地下水

中郷遊水地下池において地下水を活用するためには、遊水地地盤高を掘り下げる必要がある(図-10)。

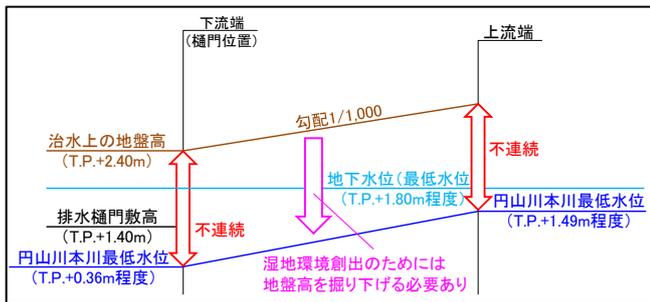


図-10 中郷遊水地下池の地盤高

しかし、堤防の安定性を考慮すると、堤防法尻付近の掘り下げはすべり破壊等の危険性が高まる恐れがある。そのため、治水計画で定められている堤防防護ライン程度の離隔幅(中郷遊水地下池では40m)を堤防法尻から確保した上で、遊水地地盤高を掘り下げることにした。

なお、他の遊水地において、堤防防護ラインの離隔幅を確保したときに、掘り下げ可能な範囲が小さくなってしまう場合は、周辺の地質状況、堤防の安定性等を評価の上、適切な掘り下げ可能範囲を別途設定することが望ましい。場合によっては掘り下げ困難という結果が得られる可能性も考えられる。

(2) 水源毎の利用可能量の整理

1) 円山川本川

中郷遊水地下池上流部の円山川本川水位観測結果(図-8)より、円山川本川からは概ね 0.5m³/s の流

量が利用可能であることが推計された(表-4)。

表-4 円山川本川の利用可能量

| 計算数量 | 代表種(産卵場所)の産卵期 | | | | 連年 | 備考 |
|----------------------------|---------------|-----------|-----------------|-------------|-------|-------------------|
| | 4~6月(ギンナ) | 4~7月(モツゴ) | 8~7月(スジシマドジョウ類) | 7~11月(カネヒラ) | | |
| ①平水位(T.P+m) | 1.78 | 1.81 | 1.84 | 1.87 | 1.89 | 流入樋門地点の水位観測結果より |
| ②流入樋門敷高(T.P+m) | 1.49 | | | | | 最低水位より設定 |
| ③H水深(m) | 0.29 | 0.32 | 0.35 | 0.38 | 0.40 | 平水位-樋門敷高 |
| ④N粗度係数 | 0.020 | | | | | コンクリート人工水路 |
| ⑤B水路幅 | 2.00 | | | | | 円山川本川への影響を踏まえて仮設定 |
| ⑥I勾配 | 1000 | | | | | 導水勾配 |
| ⑦V流速(m/s) | 0.58 | 0.61 | 0.64 | 0.67 | 0.69 | マンニング公式より算定 |
| ⑧Q利用可能量(m ³ /s) | 0.339 | 0.393 | 0.450 | 0.509 | 0.549 | A=B*H Q=A*V |

なお、円山川本川の湧水流量は約 6m³/s(中郷遊水地上流部に位置する府市場観測所地点)であり、遊水地への利用可能量は本川湧水流量の10%以下であることから、遊水地を湿地化するための導水が円山川本川にほとんど影響しないことを確認した。

2) 地下水

地下水は試験掘削による湧水量調査の結果(図-11)から、湧水量は多くとも約 0.001m³/s と非常に少ない流量であることが確認された。そのため、湿地化のための必要流量を地下水で全て賄うのは困難であることがわかった。

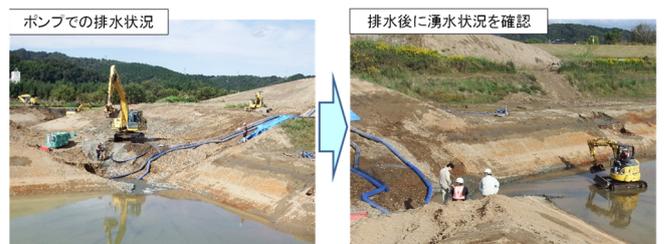


写真-6 試験掘削による湧水量の調査風景

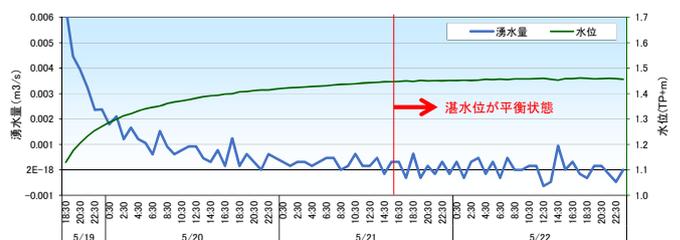


図-11 試験掘削による湧水量調査結果

(3) 良好な水質を維持可能な必要流量の整理

遊水池内に創出する湿地は閉鎖性水域となるため、湿地への導水量が少ないと富栄養化の発生が懸念される。一般的に流れのほとんどない湖沼性の水域は、概

ね 14 日以上水が滞留すると富栄養化が生じる可能性があるとしてされている¹⁹⁾²⁰⁾ (環境省, 2003; 岩佐, 1979)。中郷遊水地下池に創出する湿地の概ねの水量を整理の上、良好な水質を維持可能な必要流量を以下の式から整理した。

$$Q_R = V / (14 \times 24 \times 60 \times 60) \quad \dots (式-1)$$

$$V = A \times h_{ave} \quad \dots (式-2)$$

ここで、 Q_R : 必要流量[m³/s]、 V : 湿地の水量[m³]、 A : 湿地面積[m²]、 h_{ave} : 湿地の平均水深[m]とする。

中郷遊水地下池の場合、堤防からの離隔を確保した湿地可能範囲が約 65,000m²であることから、遊水地の縦断方向に勾配があることを考慮して、下流端付近の最大水深を約 1.0m とする場合(平均水深は 0.5m=1.0/2)は 0.027m³/s、最大水深を約 0.5m とする場合(平均水深は 0.25m=0.5/2)は 0.014m³/s が良好な水質を維持可能な必要流量と整理された。

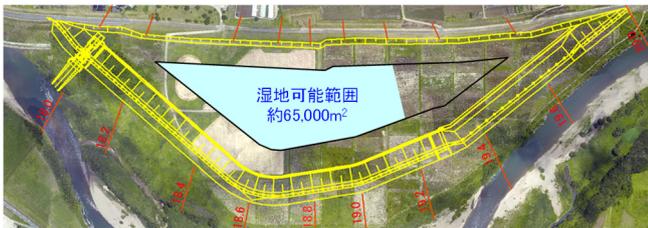


図-12 中郷遊水地下池の湿地可能範囲

(4) 総合評価

上記(1)～(3)の整理結果を踏まえて水源の総合評価を行った(表-5)。

表-5 水源候補の総合評価結果

| 整理項目 | 水源候補 | | |
|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 円山川本川 | | 地下水 |
| (1) 導水する上での課題 | 越流堤の上流側 | 越流堤の下流側 | 堤防との離隔を確保して掘り下げれば可能 |
| | × | ○ | ○ |
| (2) 利用可能量 | 0.500m ³ /s | | 0.001m ³ /s |
| (3) 良好な水質を維持可能な必要流量 | 最大水深約1.0m | 0.027m ³ /s | |
| | 最大水深約0.5m | 0.014m ³ /s | |
| (2) > (3) となるか | ○ | | × |
| 総合評価 | - | ◎ | - |

中郷遊水地下池では、湿地化のために活用する水源は「円山川本川」が最も良く、流入樋門の位置は越流堤の下流側に設置する必要があるとの結論を得た。

2-4 具体的な湿地形状及び必要な施設

目標とする創出環境(2-2)を具体化するための湿地形状及び必要な施設について検討した。

(1) 流入樋門

円山川本川流量の一部を遊水地に導水するための取水施設となる流入樋門の形状を設定した。樋門形状は、以下の点を考慮して幅 2.0m×高さ 2.0m に設定した。

- 函体内部の土砂撤去作業等を考慮し、人が入って作業可能な大きさを設定
- 連続性確保の観点から、常時の取水が可能となるよう樋門敷高を円山川本川の最低水位程度に設定
- 樋門敷高と円山川本川水位の関係から、平水時において代表種の移動が可能となる幅を設定

表-6 代表種の移動可能評価結果(流入樋門)

| 期別 | 評価基準 | | 円山川本川 | 流入樋門 | |
|---------------------|------------------------|---------|------------------------------|---------------------------|----------------|
| | 水深(m) | 流速(m/s) | 平水時の利用可能量(m ³ /s) | 水深H(m)※1 | 流速V(m/s)※2 |
| 通年 | 0.25 | 0.70 | 0.549 | 0.40(○) | 0.69(○) |
| ギンブナの産卵期(4~6月) | 0.20 | 2.50 | 0.339 | 0.29(○) | 0.58(○) |
| モツゴの産卵期(4~7月) | 0.10 | 0.80 | 0.393 | 0.32(○) | 0.61(○) |
| スジマドジョウ種群の産卵期(6~7月) | 0.10 | 0.70 | 0.450 | 0.35(○) | 0.64(○) |
| カネヒラの産卵期(7~11月) | 0.10 | 1.50 | 0.509 | 0.38(○) | 0.67(○) |
| 備考 | 表-3(代表種の移動に必要な水深・遊泳能力) | | 表-4 | H = 平水位 - 敷高 T.P+1.49m | V = 利用可能量 / 面積 |

※1: 水深H ≥ 評価基準水深の場合に移動可能
 ※2: 流速V ≤ 評価基準流速の場合に移動可能

(2) 流出樋門

遊水地上流部の流入樋門から導水した水は、遊水地内部を流れ下流部から排水させる必要がある。地形データと治水上の施設配置状況や水文データとの高さ関係(図-10)を踏まえると、治水施設の排水樋門から排水させてしまうと、円山川本川との連続性が確保されないことがわかった(図-13)。

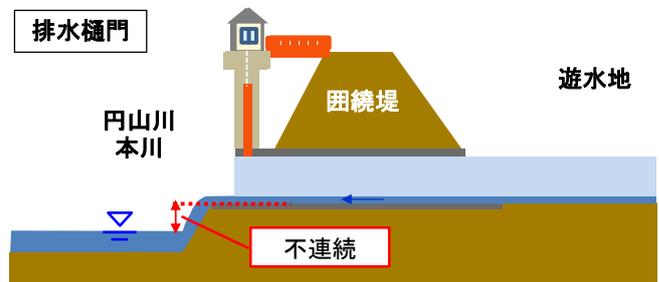


図-13 治水施設の排水樋門から排水させた場合

そのため、排水樋門の敷高を下げる、もしくは敷高の低い樋門(以下「流出樋門」という)を新たに設置して、目標とする創出環境の一つである「円山川本川との連続性を常時確保した氾濫原環境」を遊水地下流部に創出することとした(図-14)。なお、環境用の施

設として敷高の低い樋門を設置することは国内で初の試みである。

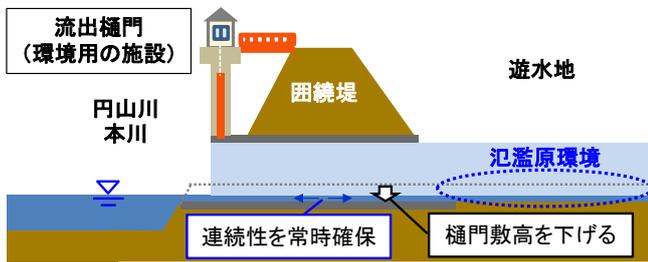


図-14 流出樋門の設置イメージ

流出樋門の形状は、流入樋門と同様に以下の点を考慮して幅 2.0m×高さ 2.0m に設定した。

- 函体内部の土砂撤去作業等を考慮し、人が入って作業可能な大きさを設定
- 連続性確保の観点から、樋門敷高を円山川本川の最低水位程度に設定
- 樋門敷高と円山川本川水位の関係から、平水時において代表種の移動が可能となる幅を設定

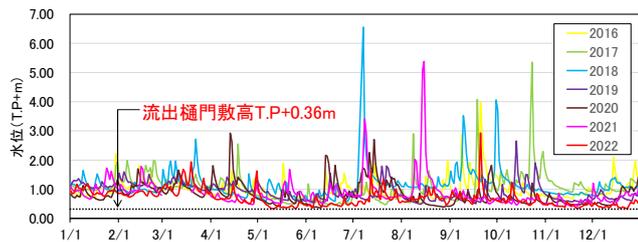


図-15 中郷遊水地下池下流部の円山川本川水位

表-7 代表種の移動可能評価結果 (流出樋門)

| 期別 | 評価基準 | | 円山川本川 | | 流出樋門 | |
|-----------------------|------------------------|----------|-------------------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| | 水深 (m) | 流速 (m/s) | 平水時の利用可能量 (m ³ /s) | 平水位 (T.P.+m) | 水深H (m)※1 | 流速V (m/s)※2 |
| 通年 | 0.25 | 0.70 | 0.549 | 0.89 | 0.53(O) | 0.52(O) |
| ギンブナの産卵期 (4~6月) | 0.20 | 2.50 | 0.339 | 0.77 | 0.41(O) | 0.41(O) |
| モツゴの産卵期 (4~7月) | 0.10 | 0.80 | 0.393 | 0.81 | 0.45(O) | 0.44(O) |
| スジマドジョウ 種群の産卵期 (6~7月) | 0.10 | 0.70 | 0.450 | 0.84 | 0.48(O) | 0.47(O) |
| カネヒラの産卵期 (7~11月) | 0.10 | 1.50 | 0.509 | 0.83 | 0.47(O) | 0.54(O) |
| 備考 | 表-3(代表種の移動に必要な水深・遊泳能力) | | 表-4 | 水文データ整理結果より | H = 平水位 - 敷高 T.P.+0.36m | V = 利用可能量/流積 |

※1: 水深H≥評価基準水深の場合に移動可能○
 ※2: 流速V≤評価基準流速の場合に移動可能○

(3) 各水域の湿地形状および施設配置

遊水地内の湿地環境は、治水機能を損なわないよう治水計画上の遊水地地盤高をさらに掘り下げることで、洪水調節容量よりも低い位置に創出することとした。遊水地地盤高を掘り下げることで、円山川本川との連続性を常時確保することが可能となるが、河川水に含

まれる土砂が流入しやすくなり、湿地内に土砂が堆積する懸念がある。そのため、遊水地上流の流入樋門直下に、土砂溜めを設置することとした。

また、中郷遊水地下池は、湿地可能範囲が広大であることから、目標とする創出環境 (図-6) をエリア毎に分けた配置 (図-16) とし、各水域間の連続性が確保されるよう代表種の移動に配慮 (表-3) した接続水路・移動水路を設置した。さらに、代表種が産卵・避難する上で配慮すべき条件 (表-1~2) を満たすように産卵場所と避難場所の湿地形状を設定した。

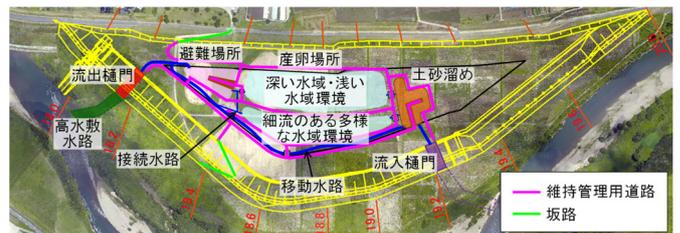


図-16 中郷遊水地下池の施設配置

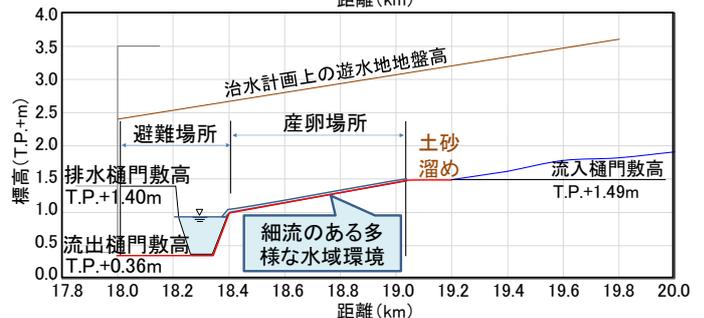
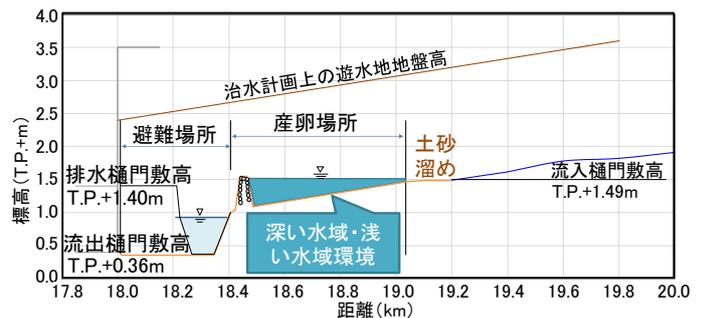


図-17 中郷遊水地下池の縦断イメージ図

上記の他、各水域の湿地形状について、技術部会の委員より多くの意見をいただいた。委員意見の中から湿地形状に反映した主な点を以下に示す。なお、各水域の具体的な湿地形状については、令和3年度リバーフロント研究所報告⁵⁾(工藤ら, 2022)を参照されたい。

1) 全施設・水域共通事項

- ・水域内に堆積した土砂の撤去を想定し、バックホウのアームが水際から水域底部まで届くようにした。
- 2) 高水敷水路
 - ・魚類の遊水地への遡上を考慮して、円山川本川の流

向に対して斜め方向に流入させるようにした。

- ・高水敷水路と円山川本川の接続部は、円山川本川の淵かつ濬筋側に設置した。

3) 避難場所

- ・遊水地下流部に位置する避難場所は、円山川本川と常時連続性を確保した氾濫原環境となっており、常に湛水しているため、維持管理に使用する重機（バックホウ・ダンプトラック等）の進入が困難である。そのため、重機が水域底部に下りずとも堆積した土砂を掘削できるように、水域の中央部に盛土構造の管理用道路を設置して重機の進入を可能にした。

- ・様々な魚類が避難場所として利用することを考え、多様な流れが生じる環境となるよう、水域周囲と中央部の管理用道路で異なる法面勾配を設定した。

4) 産卵場所（深い水域・浅い水域環境）

- ・様々な魚類が産卵場所として利用することを考え、水域法面を可能な限り緩勾配とし、多様な水深帯が確保されるようにした。

- ・下流端に堰板を設置することで、代表種（魚類）の産卵期に合わせて水域内を湛水させることができる構造とした。

- ・代表種（魚類）の産卵期以外は、下流端の堰板を外し、水域から水を抜くことで、水域底部を乾かせるようにした。

5) 産卵場所（細流のある多様な水域環境）

- ・様々な魚類が産卵場所として利用することを考え、多様な流れが生じるように流路を蛇行させて、両岸で異なる法面勾配を設定した。

6) 接続水路・移動水路

- ・様々な魚類が移動することを考え、多様な流れが生じるよう両岸で異なる法面勾配を設定した。

7) 土砂溜め

- ・少しでも多くの土砂を堆積させるため、流路を上流側に迂回させて、土砂を沈降させる距離を長くした。

(4) 維持管理用道路・坂路

円山川本川水位が越流堤を超えて遊水池内に流入する規模の洪水が発生する確率は概ね 1/10 程度であり、10年に1回程度は重機を使用して、遊水地内に堆積した土砂の掘削や、形状が破損した箇所の補修が必要となることが想定される。そのため、効率的な維持管理を考慮して、遊水地内全域に維持管理用道路を配置し、重機が遊水地内を満遍なく進入できるようにした。また、遊水地や河川の利用等も考慮して、堤防上から遊水地内または円山川本川側に下りられるよう坂路を設置した。

2-5 モニタリング

創出した環境（2-2）が想定通りに機能していることを確認するためのモニタリング項目について検討した。中郷遊水地下池は、魚類が産卵場所や避難場所として利用することに配慮して設計した。そのため、環境創出後において湿地の形状や各種水理諸量（水深・流速等）が、設計条件を満たしているか確認する必要がある。また、創出した環境にどのような生物が入ってくるか確認することも重要であることから、以下に示すとおり、「施設のモニタリング」と「生物のモニタリング」の2項目を設定した。

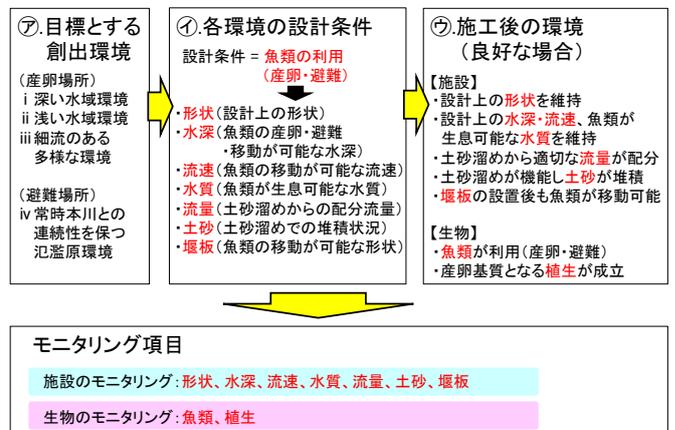


図-18 モニタリング項目

モニタリング調査後に想定通りの機能が確認されなかった場合は、堆積土砂の撤去や形状補修、外来種駆除等を行い、場合によっては形状の変更等も行いながら順応的に管理していく必要がある。以下に各モニタリングの内容を示す。

(1) 施設のモニタリング

施設のモニタリングでは、中郷遊水地下池が産卵場所や避難場所としての機能が継続して確保されるように、設計した湿地形状及び各種水理諸量（水深・流速等）が維持されているか確認することとした。

- ①施設: 形状**
 - 各施設形状の維持状況の確認(目視・測量)
 - ⇒ 各施設の形状変化、土砂の堆積状況の有無を確認
- ②施設: 水深・流速・水質**
 - 各施設における水深・流速・水質を確認(測定)
 - ⇒ 水深: 設計上の各施設が機能するために必要な水深を確認
 - ⇒ 流速: 設計上の代表種が遊水地内へ進入可能な流速を確認
 - ⇒ 水質: 魚類が生息可能な水質の維持状況を確認
- ③施設: 流量・土砂**
 - 土砂溜めにおける流量・土砂を確認(測定・測量)
 - ⇒ 流量: 土砂溜めから各水域及び移動水路に適切な流量が配分されているか確認
 - ⇒ 土砂: 土砂溜めで想定通りに土砂が堆積しているか確認
- ④施設: 堰板**
 - 堰板越流部における水深・流速を確認(測定)
 - ⇒ 堰板: 堰板設置後も越流部において、代表種(魚類)の移動に必要な水深・流速(遊泳能力以下)が確保されているか確認

図-19 施設のモニタリングの内容

(2) 生物のモニタリング

生物のモニタリングでは、技術部会の委員意見等を踏まえ、魚類が中郷遊水地下池を産卵場所や避難場所として利用しているか、産卵基質となる植生が成立しているかを確認することとした。

- ・ 魚類のモニタリングについては、着卵の調査は難しく、専門業者にしかできないため、着卵が確認されなくても、稚魚が確認されたら成功とした方がよい。
- ・ コイとフナ類の稚魚が確認できれば、一定レベルの目標に到達したと言えると思う。
- ・ 植生は数年単位でどんどん遷移していくため、狙った植生がずっと生えている状態にすることは難しいと思う。それよりは、魚類が産卵できる環境にすることの方が重要である。
- ・ 一般に水位が上昇したときは陸上部も冠水し、陸域植生も魚類の産卵基質となる。このため、水域に水草の成立を目標とするのではなく、魚類の産卵できる植生が成立すれば問題ないと思う。

図-20 生物のモニタリングに関する主な委員意見

- ①生物:魚類
- 産卵場所における魚類の産卵状況(稚魚を含む)の確認
 - ⇒ 魚類:産卵場所での利用が期待される種の産卵状況(稚魚を含む)を確認
 - 避難場所における魚類の避難利用の確認
 - ⇒ 魚類:避難場所での利用が期待される種の避難利用状況を確認
 - 魚類の移動状況の確認
 - ⇒ 魚類:施設の入口(流入部)と出口(流出部)で魚類の移動状況も確認
- ②生物:植生
- 植生調査により、産卵基質となる植生の確認
 - ⇒ 植生:魚類が遊水地を産卵場所として利用する機能を維持するため、水際において産卵基質となる沈水・抽水植物等(ホザキノフサモ等)を確認

※調査に合わせて、二枚貝やヤゴ類等の底生動物も補足的に確認

図-21 生物のモニタリングの内容

なお、遊水地の湿地化については、全国的にも事例が少なくまだまだ手探りの状況であることから、中郷遊水地下池は、まず全体の1/3程度を段階的に施工し、モニタリング調査により創出した環境が想定通りに機能していることが確認されてから、残りの施工を実施することが技術部会で議論された。

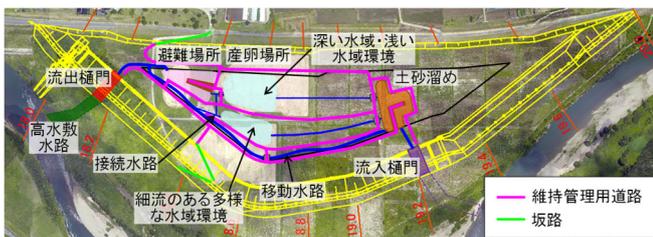


図-22 1/3段階的施工後の施設配置

2-6 維持管理

中郷遊水地下池は、遊水地内全域に満遍なく重機が進入できるように維持管理用道路を配置した他、遊水地流入部に土砂溜めを設置して流入土砂を撤去しやすくする等、設計の段階でなるべく手のかからない効率的な維持管理ができるように配慮した。

しかし、自然再生地は自然の営力だけでは維持・更新されないため、管理が十分に行き届いていない状態になると、ゴミの漂着や不法投棄、外来種の侵入や植生遷移、土砂堆積等による問題が顕在化し、本来の目的が達成されない可能性がある。そのため、創出した環境(2-2)が継続的に維持されるために必要な維持管理項目についてきちんと検討しておくことが重要である。

モニタリング調査(2-5)によって、創出した環境が想定通りに機能していないことが確認された場合の管理項目として「施設管理(形状の維持)」と「生物管理(生物環境の質の維持)」の2項目が必要となる。また、環境創出後のモニタリング調査や遊水地内を利用する場合のアクセス性を考慮すると、維持管理用道路と坂路を定期的に除草し、必要に応じてゴミ撤去等の清掃活動が必要になると考えられる。そのため、「除草」を含めた以下に示す3項目を中郷遊水地下池の維持管理項目に設定した。

このうち、「施設管理(形状の維持)」と「生物管理(生物環境の質の維持)」の2項目については、ある程度の専門知識が必要であることから、河川管理者が主体となって維持管理を実施する必要がある。一方、比較的簡易に実施可能な「除草」については、地域と連携して維持管理できる可能性がある。

- 施設管理(形状の維持)
 - 施設形状管理 : 各施設の形状を目視・測量
 - 水環境管理 : 各施設の水深・流速・水質の測定
: 堰板越流部の水深・流速を測定
 - 土砂溜め管理 : 流量・土砂の測定
 ⇒ 補修、堆積土砂撤去等を順応的・段階的に管理
- 生物管理(生物環境の質の維持)
 - 生物モニタリング: 魚類、植生等の調査・確認 ⇒ 外来魚・外来植生の駆除等を順応的・段階的に管理
- 除草
 - 維持管理用道路・坂路: 巡視 ⇒ 維持管理用道路・坂路の除草(人力・機械併用)
 - 清掃 : 巡視 ⇒ 施設の維持や環境調査に利用できるようにするためのゴミ撤去

図-23 維持管理項目

表-8 維持管理活動の協力団体候補

| |
|------------------|
| 協力団体候補 |
| 地域団体、NPO法人 |
| 学校(小学校・中学校・高等学校) |
| 研究機関(大学) |
| 周辺企業 |

そのため、中郷遊水地下池に創出する大規模湿地を環境学習や湿地保全活動の場として地域団体に活用してもらいつつ、活動の際に合わせて除草・ゴミ拾いに協力していただく方針とした。

さらに、地域と連携して「除草」の維持管理活動を実施するにあたり、参加者が意欲を持って取り組めるように、参加者の分類に応じたインセンティブを整理した。今後、参加者募集の際に働きかけていく予定である。



写真-8 小学生を対象とした環境学習のイメージ



写真-9 高校生のクラブ活動のイメージ

表-9 参加者の分類に応じたインセンティブ

| 参加者 | 内容 |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 地域団体、NPO法人 | ○環境保全活動・環境学習の場 ⇒環境保全活動・環境学習等の各種活動を実施する場として活用していただく。 |
| 学校(小学校・中学校・高等学校) | ○学校教育の身近な生きた教材、環境学習等の場 ⇒子供が自然環境に触れ合う場として活用していただく。 ○クラブ活動、人脈形成 ⇒自然環境保全やゴミ拾い等のボランティア活動を行うクラブの方々に、中郷遊水地をクラブ活動の場として活用していただく。 |
| 研究機関(大学) | ○現場目線での研究 ⇒河川管理者と連携した研究フィールドの場として活用していただく。 |
| 周辺企業 | ○企業イメージの向上 ⇒企業のCSR活動の場として活用していただく。 |
| 協力団体全般 | ○活動支援 ⇒維持管理活動場所に協力団体名、活動期間、活動内容等を表示した看板を設置し、社会貢献をアピールするとともに、維持管理活動に貢献していただいた協力団体を表彰する。 ⇒維持管理活動に必要なゴミ袋・用具等の提供を行う他、参加者を対象に安全衛生講習会を実施する。 |



写真-10 研究フィールドでの調査のイメージ



写真-11 企業CSR活動のイメージ

※写真-7はNPO法人コウノトリ湿地ネットHPより引用

※写真-8、9、11は豊岡市立ハチゴロウの戸島湿地HPより引用

※写真-10は国立研究開発法人土木研究所自然共生センターHPより引用



写真-7 地域団体による湿地保全活動のイメージ

3. おわりに

本稿では、中郷遊水地下池に大規模湿地を創出するために検討した一連のプロセスについて紹介した。近年、全国的にグリーンインフラの取組みが進められており、他の治水機能を有する施設において自然再生を実施する場合の参考となれば幸いである。

最後に、本稿の作成にあたり、国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所各位にはご指導、ご助言を、復建調査設計株式会社各位にはモニタリング調査結果

のデータ提供等の御協力をいただきました。ここに厚く御礼を申し上げます。

＜参考文献＞

- 1) 近畿地方整備局：円山川水系河川整備計画，2013
- 2) 近畿地方整備局，兵庫県：円山川水系自然再生計画書，2006
- 3) 佐藤ら：渡良瀬遊水地における湿地環境再生手法の検討，リバーフロント研究所報告，第21号，2010
- 4) 菊池ら：円山川中郷遊水地における環境創出の検討，リバーフロント研究所報告，第32号，2021
- 5) 工藤ら：円山川自然再生における中郷遊水地の環境創出検討(第2報)，リバーフロント研究所報告，第33号，2022
- 6) 河川における魚類生態検討会：正常流量検討における魚類からみた必要流量について，1999
- 7) 国土交通省河川局河川環境課：正常流量検討の手引き(案)，2007
- 8) ダム水源地環境整備センター：最新魚道の設計－魚道と関連施設，1998
- 9) 永山ら：水田・水路における魚類研究の重要性と現状から見た課題「応用生態工学，15」，2012
- 10) 斉藤ら：淡水魚の水田周辺における一時的水域への侵入と産卵「日生態会誌，38」，1988
- 11) 野村稔：外部環境要因による魚類の成熟・産卵の制御「生物環境調節，Vol13，No. 2」，1966
- 12) 傳田ら：千曲川におけるギンブナの産卵行動と一時的水域の物理特性との関連性評価「水工学論文集，第50巻」，2006
- 13) 小崎ら：コイ科魚類産卵場としての自然再生事業の評価～松浦川・アザメの瀬を事例として～「土木学会西部支部研究発表会」，2011
- 14) 傳田ら：河川中流域における一時的水域の生態的機能評価に関する考察「土木技術資料，51-8」，2009
- 15) 佐川ら：出水時におけるオイカワ稚仔魚の避難場所「多自然研究，No. 114」，2005
- 16) 財団法人リバーフロント整備センター：川の生物図典，1996
- 17) 細谷ら：増補改訂日本の淡水魚(山溪ハンディ図鑑15)，2019
- 18) 財団法人国土技術研究センター：改定解説・河川管理施設等構造令，2008
- 19) 環境省：中央環境審議会水環境部会陸域環境基準専門委員会(第5回)，資料4-1人工湖沼の湖沼類型指定について，2003
- 20) 岩佐義郎：最新河川工学，1979
- 21) 財団法人国土技術研究センター：河川土工マニュアル，2009
- 22) 日本河川協会：建設省河川砂防技術基準(案)同解説設計編Ⅱ，1997
- 23) 吉川秀夫：流砂の水理学，1985
- 24) 国土交通省河川局：魚がのぼりやすい川づくりの手引き，2005
- 25) 土木学会：水理公式集，2018
- 26) 財団法人国土開発技術研究センター：魚道の設計，1982