

六角川高水敷に設置された湛水池群による洪水 水位低減効果の評価

REDUCTION IN FLOOD WATER LEVEL BY PONDS INSTALLED ON THE FLOOD CHANNEL OF THE ROKKAKU RIVER

後藤勝洋¹・今村正史²・片渕公淑²・福岡捷二³

Katsuhiro GOTOH, Masafumi IMAMURA, Hirotochi KATAFUCHI and Shoji FUKUOKA

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

²非会員 国土交通省 九州地方整備局 武雄河川事務所 (〒843-0023 佐賀県武雄市武雄町大字昭和745)

³フェロー 中央大学研究開発機構 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

六角川中下流部は感潮河川であり、高水敷に繁茂したヨシが洪水流の大きな抵抗となるため、河道の流下能力が不足し水位上昇に伴う内水氾濫が課題となっている。高水敷に湛水池を設置することで、ヨシの繁茂を抑制し洪水水位を下げる対策が検討されている。本研究は、令和3年8月六角川洪水を対象に洪水流解析を行い、湛水池群による洪水水位低減効果を評価した。湛水池の機能は、高水敷の流量を増加させヨシの倒伏を促すことにより、低水路と高水敷の流量配分を変え、河道全体で洪水流を流れ易くすることにある。六角川中流部の湛水池の水位低減効果は、水面幅全体で受け持つため、令和3年8月洪水に対して-5～-15cm程度であるが、その効果は湛水池の設置されていない区間を含む広範囲に及ぶ。これらの効果は高水敷が冠水する流量で機能し始め、湛水池の流れが発達する増水期に卓越すること、これにより計画高水位を超過する時間を0.5～2時間程度短縮させることになる。さらに、湛水池は維持管理に優れ、新たなワンド環境の創出効果と合わせて、ヨシが繁茂する低平地河川の治水と環境の調和にも寄与している。

Key Words : flood control, reed field, flooding ponds, harmonization with flood control and river environment

1. 序論

六角川(図-1)は佐賀県を流れ、河口付近で支川の牛津川と合流し有明海に注ぐ、流路延長47km、流域面積341km²(六角川流域173km²、牛津川流域168km²)の一级河川である。六角川中下流部は、低平地を緩流する感潮河川であることから、豪雨時の内水の排水が困難であり、排水ポンプによる内水排除が不可欠である。しかし、排水先の六角川は大きく蛇行した河道の高水敷上にヨシが繁茂し、河道の流下能力不足が課題となっている。近年も令和元年8月洪水、令和3年8月洪水により、洪水水位が計画高水位を超え、甚大な内水氾濫被害が生じた。

このため、六角川中下流部では、高水敷に群生するヨシ原の一部を掘削し湛水池(図-2)を設置することで、ヨシの繁茂を抑制し洪水水位を下げる対策が検討されている。湛水池は、牛津川で試験的に施工され実洪水でその効果が認められたことを受けて、六角川本川でも整備が進められて来た。ヨシ原帯を湛水池に変えたことによる高水敷の抵抗特性の変化やこれによる洪水の流れ方の改善等を定量的に明らかにする必要がある。また、ヨシ原

は生物のハビタットや、洪水時の生物の避難場所にもなっているが、湛水池の設置がこれらの機能にどのような影響を及ぼすかについても明らかにする必要がある。

本稿では、六角川中下流部におけるヨシの抵抗特性と湛水池の形状・構造を考慮した準三次元洪水流解析法を令和3年8月六角川洪水に適用し、湛水池群による洪水水位低減効果を評価する。さらに、新たに創出されたワンド環境を踏まえ、六角川河道の治水と環境の調和に向けた考え方について論じる。



図-1 六角川流域図、検討対象範囲

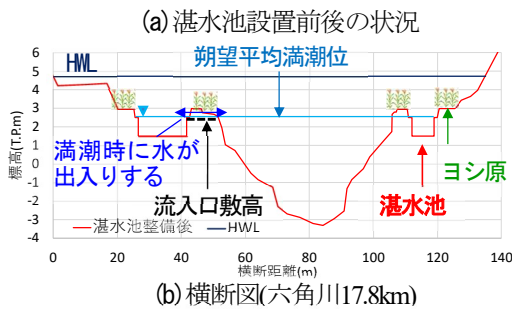


図-2 六角川高水敷に設置された湛水池

2. 六角川流域の特徴、湛水池設置の経緯

六角川流域の特徴は、河床勾配が非常に緩やかであること、河口の有明海の干満差が最大6mと大きく、感潮区間(六角川で約29km, 牛津川で約12km)が非常に長いことから、流域の6割が内水氾濫域に含まれる低平地河川である。内水排除のため、流域内に全60基の排水機場が整備されており、総排水量は $360\text{m}^3/\text{s}$ に及ぶ。一方、六角川の高水敷には草丈が2m以上にも成長するヨシが繁茂しており、洪水流の大きな流下阻害となるため、河道の流下能力不足が課題となっている。洪水水位が計画高水位(HWL)を越えた場合、排水ポンプの運転調整を行うことになるため、内水氾濫は解消されない。さらに、有明海の潮汐によって運ばれるガタ土(微細粘土)が下げ潮時に堆積することから、河積確保のために高水敷を掘削してもガタ土の再堆積により元の河道に戻ってしまうことが河道管理を難しくしている。このため、長年にわたり高水敷のヨシ原管理の検討が行われてきた。平成14年に実施された六角川現地高水敷でのヨシ原通水実験¹⁾は、ヨシがどの程度洪水流の流下阻害となり得るか、ヨシの倒伏により抵抗特性がどの程度変わるかを実証したものである。その結果、ヨシが水深2.0m程度以上、流速 0.4m/s 程度以上で倒伏し得ること、ヨシ倒伏前後で粗度係数が変化すること(倒伏前 $n=0.12\text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$, 倒伏後 $n=0.05\text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$)、倒伏後のヨシは高さ0.7m程度の死水域となることなどヨシの洪水に与える影響が明らかとなった。

洪水水位を低下させ排水ポンプの効果的な運用を図る一つの対策として、ヨシ原の繁茂を抑制するために高水敷に湛水池(図-2)を設置する検討が平成21年より開始された。高水敷のヨシ原の一部を掘削し、朔望平均満潮

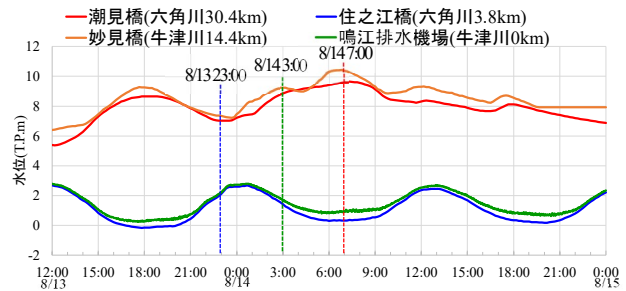


図-3 令和3年8月洪水観測水位ハイドログラフ(上下流域境界端条件)

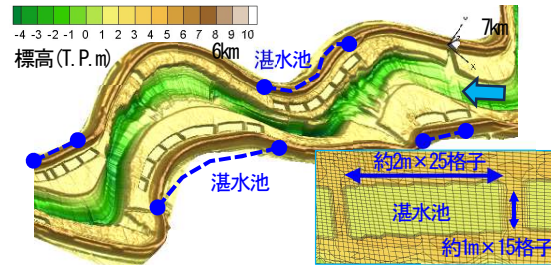


図-4 作成した解析格子(牛津川下流部)

位程度の敷高の流入口を設けた常時湛水する池を設置することで、ヨシの生育を抑制できること、高水敷掘削やヨシの定期的な伐採に比べて維持管理が容易であることに加え、新たなワンド環境を創出する効果も期待できる。この湛水池による対策は、平成25年から牛津川で試験的に施工され、ヨシの繁茂抑制効果や土砂堆積状況が調査された後、令和4年以降、六角川本川での設置が進められてきた。現在、六角川(16.0~26.2km区間)で76箇所、牛津川(0~9.4km区間)で94箇所の湛水池が設置されている。

3. 六角川・牛津川に適用した洪水流解析法

六角川・牛津川を対象とした洪水流解析にあたっては、干満差の大きい潮汐やヨシの倒伏に伴う抵抗特性の変化、湛水池周辺で生じる三次元流れ場、ポンプ排水の流入を考慮する必要がある。これらの影響は洪水水面形の変化に顕われることから、六角川の観測水面形時系列データを用いて、洪水流解析を行うことが湛水池の効果を含む前述の問題の解明に有効である²⁾。本研究では、観測水面形時系列データを解として、水深積分した連続式と運動方程式に加え、水面と底面のそれぞれの運動方程式を同時に解くことで三次元流れ場を求める竹村ら³⁾による準三次元洪水流解析法(Q3D-FEBS)を用いた。加えて、六角川現地での水路実験¹⁾より導出されたヨシの倒伏判定指標及びヨシ倒伏前後の粗度係数に基づくヨシの抵抗特性の変化を考慮した。

図-1に六角川、牛津川の解析対象範囲を示す。六角川は、潮見橋(30.3km)から住之江橋(3.8km)までの区間を対象とし、上流端と下流端の境界条件にそれぞれの令和3年8月洪水の観測水位ハイドログラフ(図-3)を与えた。支川の武雄川、牛津川ではそれぞれの実測流量(H-Q流量)と解析流量を、直轄排水機場では実績排水量を本川への

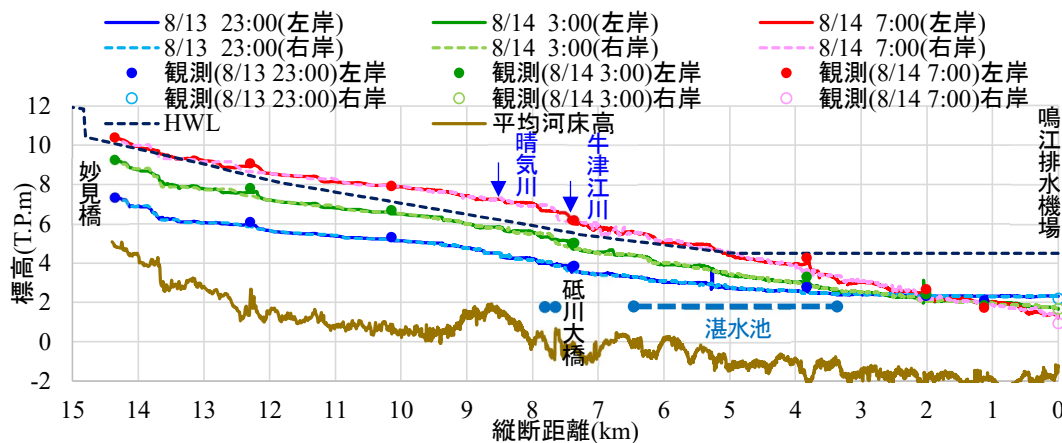


図-5 令和3年8月牛津川洪水の観測水位と解析水面形の比較

横流入量として与えた。牛津川は、妙見橋(14.4km)、鳴江排水機場(0km)の観測水位ハイドログラフをそれぞれ上流端、下流端に与え、支川の晴気川(解析流量)、牛津江川(水門閉鎖時の牛津江排水機場排水量)の流量、直轄排水機場の実績排水量を与えた。六角川と牛津川で別々に解析を行うが、牛津川の下流端境界条件で与える鳴江排水機場の観測水位データには六角川の影響が含まれていること、六角川の解析では牛津川合流点に解析流量を与えることで、河川間の影響を考慮している。

解析格子は、六角川の特徴である大きく蛇行した河道形状や、堤内地側に突き出た江湖と呼ばれる入江状の水域形状を適切に再現できるようにLP測量データ(令和2年観測)を基本に平面的な河道形状を作成し、LP測量では捉えられていない水面下の河床形状を横断測量データで補間することで3次元解析河道(図-4)を作成した。湛水池の構造・形状を詳細に再現するため、湛水池周辺の空間解像度は0.5~2m程度で解析格子を作成し、湛水池の粗度係数は、常時水面があることから低水路の粗度係数と同値($n=0.02\text{m}^{-1/3}\cdot\text{s}$)を設定した。また、ヨシ原の分布は、令和2年の植生図で与え、ヨシの粗度係数⁹⁾を設定した。なお、令和3年8月六角川洪水による顕著な河床変動は生じていないことから、固定床で解析を実施した。

4. 湛水池群による洪水水位低減効果の評価

本章では、令和3年8月六角川・牛津川洪水を対象に洪水解析を行い、湛水池群による洪水水位低減効果を評価する。同洪水は六角川の計画高水規模相当流量が流れ、六角川、牛津川の両河川で計画高水位を超過した。同洪水時点で、牛津川の湛水池はほぼ完成しているが、六角川では未設置である。そのため、先ず牛津川の洪水再現解析を行い、牛津川の洪水水面形を再現できるヨシや湛水池の粗度係数を確定した上で、それらの粗度係数を六角川に適用する。そして、令和3年8月六角川洪水の再現解析結果と湛水池を設置した河道での解析結果を比較することで湛水池群による洪水水位低減効果を評価した。

(1) 令和3年8月牛津川洪水解析

図-5は令和3年8月牛津川洪水の観測水位と解析水位の比較を示す。解析結果は、実測の洪水水面形の時間変化を概ね説明できていることから、ヨシ(倒伏前後)や湛水池に設定した粗度係数は妥当であったと言える。

図-6、図-7は、それぞれ牛津川下流部の水深平均流速コンターの時間変化と牛津川6.7km断面の横断面内流速分布の時間変化の解析結果を示す。牛津川下流部は蛇行を繰り返しており、蛇行部内岸の比較的広い高水敷上に湛水池群が連続的に設置されている。このため、洪水流量の増加とともに主流が蛇行部内岸に寄ることで洪水流量が水当たり位置する湛水池に流入しやすい配置となっている(図-6(b)、図-7(b))。抵抗の大きいヨシ原帯を湛水池に変えたことで、湛水池のある高水敷上では流速が増加するとともに、湛水池によって河積が増加した分、高水敷の流量が増加する(図-7(c))。また、ヨシの倒伏状況(図-6の白点線)に着目すると、水当たりの河岸付近のヨシ原から倒伏し始め、倒伏範囲が上流から下流へ、河岸から堤防付近へ順に広がっていく(図-6(b)、(c))。このように河岸から離れたヨシの倒伏しづらい場所に湛水池が設置されたことによって、河岸側と湛水池側の両方からヨシの倒伏が促されている(図-7(c))。これらのことから、湛水池の機能として、洪水流に対する抵抗の低下と河積の増加に加え、湛水池周辺のヨシの倒伏が促されることで、図-7(d)に示すように、低水路と湛水池、倒伏したヨシ原が横断的に一体となって洪水流が流下している。これにより、低水路と高水敷の流量配分を変化させ、河道全体で洪水流を流れ易くしているものと考えられる。

(2) 令和3年8月六角川洪水解析

牛津川洪水解析で用いたヨシ原の粗度係数を六角川に適用し洪水解析を行った。図-8に示す令和3年8月六角川洪水の観測水位と解析水面形の比較より、解析結果は実測の洪水水面形の時間変化を概ね説明できている。次に、令和3年8月六角川洪水の再現解析で算定した洪水流量を六角川高水敷に湛水池を設置した河道(湛水池完成後の令和5年時点の河道)に与えて洪水解析を行った。

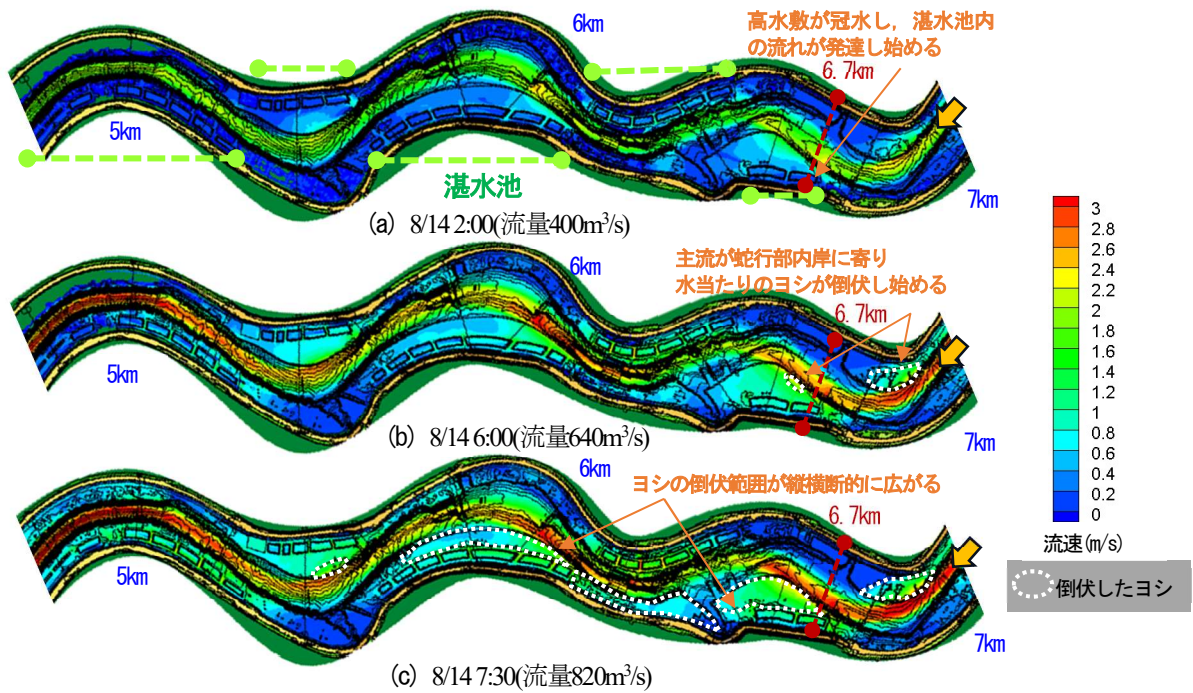


図-6 牛津川下流部における水深平均流速コンターの時間変化(R3.8牛津川洪水解析結果)

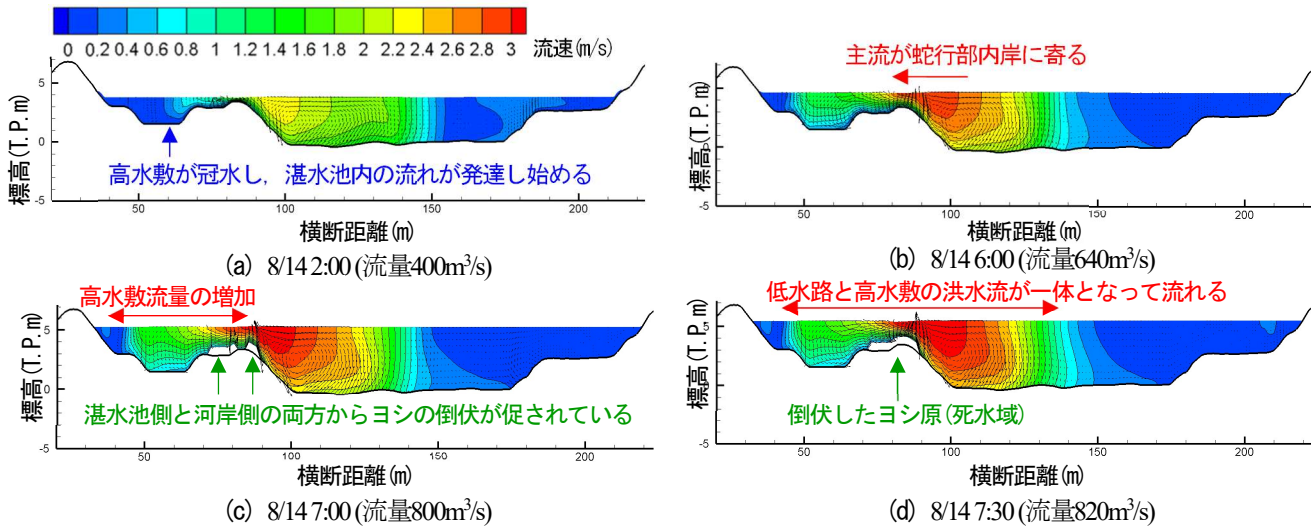


図-7 牛津川6.7km断面における横断面内流速分布の時間変化(R3.8牛津川洪水解析結果)

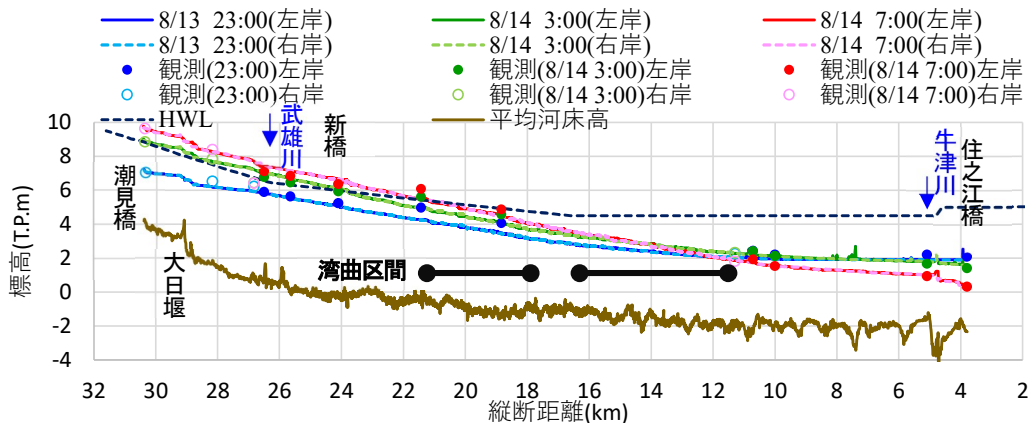
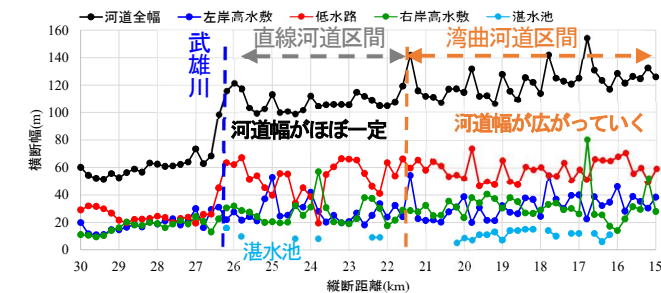


図-8 令和3年8月六角川洪水の観測水位と解析水面形の比較

図-9 は六角川中流部の河道幅の縦断分布(令和5年測量結果), 湛水池位置図を示す。湛水池設置区間(16.0～26.2km)のうち, 上流側の直線河道区間(21.4～26.2km)では

河道幅がほぼ一定で, 湛水池は縦断的に不連続に設置されている。一方, 下流側の湾曲河道区間(16.0～21.4km)では, 下流に行くにつれて河道幅が広がっており, 湛水池

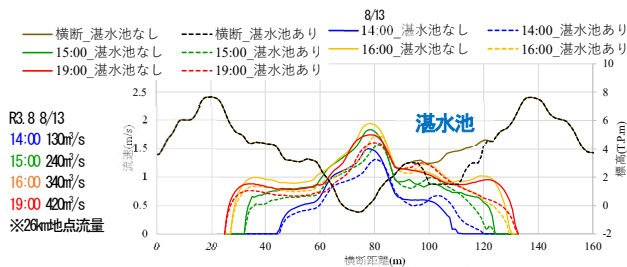


(a) 河道幅縦断分布

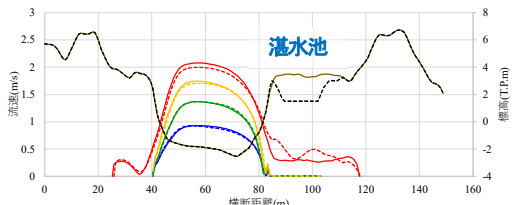


(b) 湛水池位置図

図-9 六角川中流部の河道幅・湛水池縦断分布

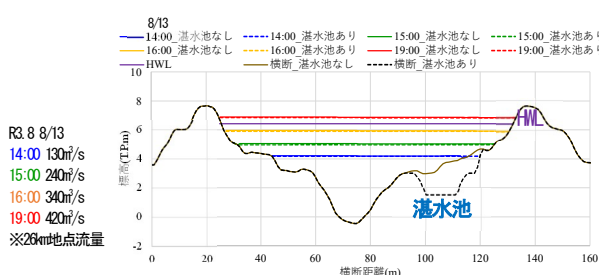


(a) 26.2km断面(直線河道区間)

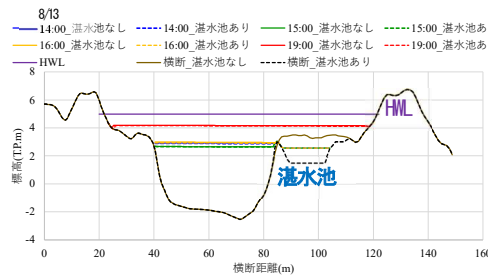


(b) 19.2km断面(湾曲河道区間)

図-10 湛水池の有無による水深平均流速横断分布の時間変化の比較(R3.8六角川洪水解析結果)

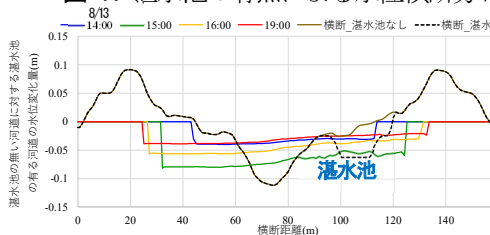


(a) 26.2km断面(直線河道区間)

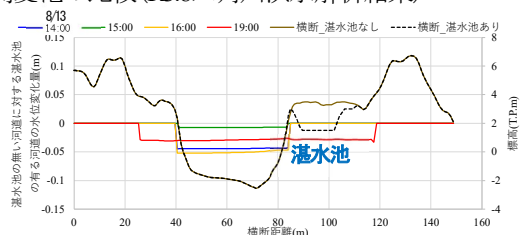


(b) 19.2km断面(湾曲河道区間)

図-11 湛水池の有無による水位横断分布の時間変化の比較 (R3.8六角川洪水解析結果)



(a) 26.2km断面(直線河道区間)



(b) 19.2km断面(湾曲河道区間)

図-12 湛水池の無い河道に対する湛水池の有る河道の水位変化量の横断分布 (R3.8六角川洪水解析結果)

は湾曲部内岸を中心に連続的に設置されている。湛水池幅は5～15mで河道幅の1割程度である。特徴の異なる直線河道区間と湾曲河道区間に着目し、湛水池の有無による解析結果の比較を行った。

図-10、図-11、図-12は、それぞれ六角川26.2km断面(直線河道区間)、19.2km断面(湾曲河道区間)における湛水池の有無による水深平均流速の横断分布と水位横断分布の時間変化の比較、水位変化量の横断分布を示す。上流側の直線河道区間では、図-10(a)より、比較的小さい流量(26km地点で130m³/s程度)で高水敷が冠水し始め、湛水池がない河道に比べて湛水池が設置された河道の方が湛水池周辺の高水敷で流速が増加している。湛水池周辺の流速の増加、湛水池の設置による河積の増加に伴って、その近辺の低水路や高水敷(堤防側)の流速がやや低下しており、低水路と高水敷間で流量配分の変化が生じている。これにより、河道断面全体の水位(図-11(a)、図-12(a))が低下している。この水位低減効果は、高水敷が

冠水し低水路と湛水池の水面が連続すると顕われ始め(8/13 14:00)、洪水水位のピーク時(8/13 19:00)よりも湛水池の流れが発達する増水期(8/13 14:00～16:00)に卓越している。これは、水位低下量は水面幅全体で受け持つためであり、洪水水位のピーク付近に達すると水面幅の拡大とともに水位低下量は小さくなる。一方、図-10(b)、図-11(b)、図-12(b)に示す下流側の湾曲河道区間では、直線河道区間に比べて河道幅(図-9(a))が広いので、350m³/s程度を超える流量でないと高水敷が冠水せず、湛水池による水位低減効果が顕れる流量の範囲は限られている。

図-13は湛水池の有無による水位変化量の縦断分布を示す。24km付近で水位変化量の縦断的な変化が大きいのは、当該箇所が低水路幅(図-9(a))が急縮しているため、流れの変化が大きくなっており、ある瞬間の水位を比較するとそれらの差が大きく出るためである。湛水池群による水位低下量は、令和3年8月洪水外力に対して5～15cm程度であるものの、その効果は湛水池が設置されて

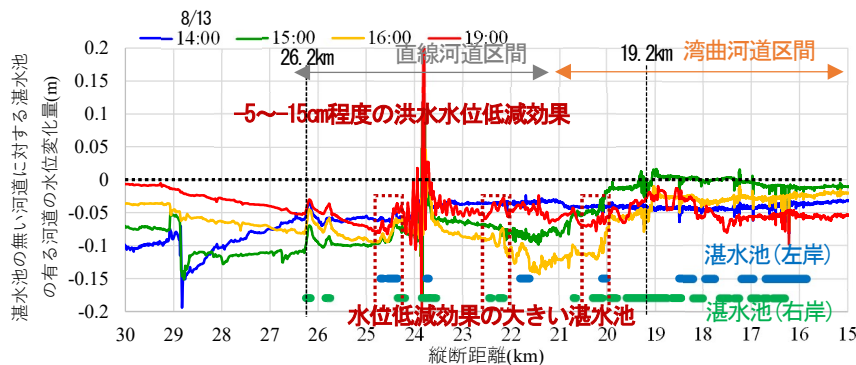


図-13 湛水池の無い河道に対する湛水池の有る河道の水位変化量の縦断分布 (R3.8六角川洪水解析結果)

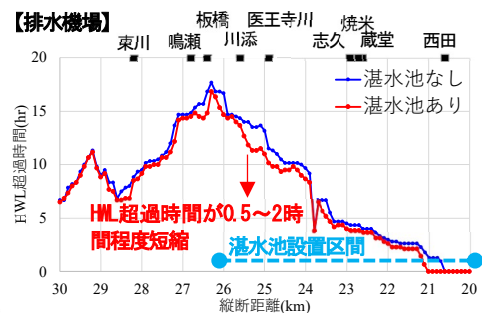


図-14 湛水池の有無による計画高水位を超えている時間の比較 (R3.8六角川洪水解析結果)

いない区間を含む広範囲に及んでいる。緩流河川である六角川中流部では下流の水面形の変化が上流へ伝わり易いため²⁾、湛水池設置区間の上流河道(26.2~29km)においても、洪水水面形の低下が及んでいる。特に低水路幅(図-9(a))が狭い区間に密に設置されている湛水池群(24.4km, 22.2km, 20.2km)の水位低減効果(図-13)が大きく、1.0km程度設置間隔が離れていても上流河道へ水位低下が伝搬していることから、このような湛水池の配置が区間全体の水位低下に適切に機能していると考えられる。

図-14は湛水池の有無の解析結果を比較した計画高水位を超えている時間の変化を示す。湛水池を設置した河道では、令和3年8月洪水外力に対して計画高水位を超過する時間が0.5~2時間程度短くなる。これは、計画高水位を超過する区間に設置されている排水機場の運転調整時間の短縮に寄与すると考えられる。また、湛水池による水位低下やポンプ排水による水位上昇が上流河道の水面形に影響すること²⁾を考慮した効果的な排水ポンプの運転方法の検討も重要となる。上流河道への影響を踏まえると、より下流側の排水ポンプを効率的に稼働させることが有効と考えられるが、そのためには、湛水池群による水位低減効果を最大限に活かせる構造・配置とポンプ排水による水位上昇の影響を最小限に抑えられる運転方法をセットで検討する必要がある。

5. 六角川の治水と環境の調和に向けた考え方

令和3年8月六角川洪水の洪水流解析の結果、湛水池の治水機能として、高水敷の流量を増加させヨシの倒伏を促すことにより、低水路と高水敷の流量配分の変化が生じ、河道全体で洪水流を流れ易くすること、六角川中流部で-5~-15cm程度の水位低減効果があり、それらの効果は湛水池の設置されていない区間を含む広範囲に及ぶこと、これにより計画高水位を超えている時間を0.5~2時間程度短縮し得ることなどが明らかとなった。

さらに、湛水池は新たなワンド環境の創出をもたらしている。六角川・牛津川湛水池で実施されている環境調査では、近辺の河川水辺の国勢調査結果と同様の魚種、

底生生物種が確認されている。既往調査で確認されていない重要種等が新たに湛水池へ生息域を広げており、本川と湛水池間を生物が行き来する貴重なワンド環境が形成されつつある。また、湛水池内の土砂堆積状況は、事前の試験施工調査で明らかとなった10年に1回程度の土砂除去が必要な土砂堆積速度内に概ね収まっており、現時点で湛水池の維持管理の問題は生じていない。

このように六角川高水敷の湛水池群の治水上の効果は明確であり、河川環境上も湛水池に新たな生物のハビタットが形成されつつある。今後、六角川ではヨシと湛水池をどのような配置、面積で維持管理すべきか、「河川環境目標の定量化」⁴⁾が重要になってくる。六角川河道の治水・環境機能をより高めるための湛水池の構造、湛水池とヨシの適切な配置を検討することで、六角川の治水と環境の調和に向けた定量的な目標として、ヨシ・湛水池の保全・整備面積を明らかにしていく。

謝辞：本研究は、2024年度の国土交通省河川砂防技術研究開発制度河川技術・流域管理分野の助成を受けた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 福岡捷二, 島谷幸宏, 田村浩敏, 泊耕一, 中山雅文, 高瀬智, 井内拓馬: 水流による高水敷上のヨシ原の倒伏変形と粗度係数に関する現地実験, 河川技術論文集, 第9巻, pp.49-54, 2003.
- 2) 内田龍彦, 濱邊竜一, 福岡捷二: 低平地河川におけるポンプ排水が洪水流に与える影響評価: 水面形時系列観測データを用いた非定常二次元流解析の活用, 水文・水資源学会誌, 25巻4号, pp.201-213, 2012.
- 3) 竹村吉晴, 福岡捷二: 波状跳水・完全跳水及びその減勢区間における境界面(水面・底面)上の流れの方程式を用いた非静水圧準三次元解析(Q3D-FEBS), 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.1, pp.61-80, 2019.
- 4) 生物の生息・生育・繁殖の場としてもふさわしい河川整備及び流域全体としての生態系ネットワークのあり方検討会: 提言「生物の生息・生育・繁殖の場としてもふさわしい河川整備及び流域全体としての生態系ネットワークのあり方」, 2024.

(2025.4.3受付)