

生態系と調和した河川改修への取り組み

A Method of River Improvement in Harmony with Ecological System

山崎邦夫¹⁾ 宇多高明²⁾ 石尾年光³⁾ 浜口憲一郎⁴⁾ 松田和人⁵⁾

Kunio YAMAZAKI, Takaaki UDA, Toshimitsu ISHIO, Ken-ichiro HAMAGUCHI and Kazuto MATSUDA

1. はじめに

最近の河川改修では、洪水を安全に流下させることだけではなく、河川の持つ自然環境をできる限り保存・保全し、場合によっては新たに良い環境を創り出すことが求められている。琵琶湖に注ぐ犬上川は、その兩岸をタブノキ、エノキ、マダケ等の河辺林に囲まれているために、鳥類や小動物等の餌場や生息地となっており、河道にはアユや危急種として指定されているハリヨ等の魚類が生息している自然豊かな河川である。犬上川の改修計画の立案にあたっては、治水安全度を満足しつつ、河辺林であり特定植物群落に指定されているタブ林をいかに保全するかが最大の課題である。このため、改修計画案では、当初計画での全面伐採案に対し、一部の区間の堤防を引堤し、高水敷上にタブ林の一部（保全率21%）を残置させる案が考えられた。しかし、更なる保全の気運の高まりを受け、現況のタブ林の半分以上の保全を行うことを目指して検討を進め、その結果、タブ林を河道内の中島として残置させる河道計画を立案した。

しかし、同時にこの河道形状では、流れを中島で分流させることから、砂州の発達、局所洗掘など、いくつかの水理的問題点が想定された。このことから、このような水理点を検討するために数値解析と水理模型実験を行い、特に水理模型実験により河岸洗掘、分水路入口部における堆砂等の状況を把握し、その対策を検討するとともに、流況の乱れの少ない中島形状、護岸形状について検討した。この結果、タブ林を最大限に残置させつつ洪水流を安全に流下させることのできる河道計画が立案された。このような事例は、今後全国的に多くなると考えられることから、その先駆的研究として役立つと考えられる。

2. 犬上川の概要

犬上川は、図-1に示すように滋賀県の湖東、愛東町角井峠に源を発し、多賀町を経て彦根市街地の南部で琵琶湖に注ぐ流域面積104.3km²、幹川流路延長27.1kmの一級河川である。

河口から約6.3km区間においては、昭和54年に全体計画が策定されており、この区間の川幅は100～120m、河床勾配が1/450～1/300、河床材料が平均粒径3cm以上となっており、河道特性からはセグメント1、2の中間に分類されるが、河口部は琵琶湖の背水の影響を受けるためセグメント3に属する¹⁾。

現況の流下能力は概ね600～1,000m³/s程度であるが、全体計画区間では下流に向かって川幅が狭くなり、流下能力が小さくなる特徴がある。とくにタブ林が繁茂している河口付近での流下能力は約600m³/s（約1/8年確率）と極めて狭小であり、平成2年台風19号を始め過去に度々洪水の被害にさらされている。したがって、河川

キーワード：河川，環境，流域，植生，多自然

1) 山崎邦夫：滋賀県彦根土木事務所

2) 宇多高明：建設省土木研究所 河川部長

3) 石尾年光：パシフィックコンサルタンツ株式会社 東京本社水工部

4) 浜口憲一：パシフィックコンサルタンツ株式会社 東京本社水工部

5) 松田和人：パシフィックコンサルタンツ株式会社 大阪本社第三技術部

改修を進めるに当たっては、治水と自然環境保全とのバランスのとれた河道を創出することが強く求められた。本報告では、犬上川橋（主要地方道彦根～近江八幡線）から南青柳橋（主要地方道大津～能登川～長浜線）までの1.8km区間を対象とする。

なお、対象区間における計画高水流量は $1,600\text{m}^3/\text{s}$ （1/100年確率）と設定されている。

3. 改修計画の概要（改修計画検討の経緯）

犬上川では、河口から約6.3km区間についての全体計画が昭和54年に策定されている。この計画では、治水安全度の向上を目指すために、引堤、築堤、河床掘削などの手法が用いられており、生態系や景観など環境への配慮は十分になされていなかった。とくに流下断面を確保するため河辺林は全て伐採する計画であった（図-2 参照）。

しかし、河川の持つ自然環境の維持を図るために、平成6年度において、改修が最も急がれている河口から1.8km区間の改修計画の策定を行った。また、この検討に先立って生態系に関する情報を集めるため、平成4、5年に生態系調査を行った。この結果、貴重種として、タブ林（特定植物群落）、タコノアシ（危急種）、ハリヨ（危急種）、ビワマス（希少種）、チュウサギ（希少種）が確認された。この改修計画では、ハリヨやビワマスなどの魚類に対しては人工的な淵の形成や、みお筋の確保などの対策を行い、種々の多自然型工法により生態系との調和を図ることとした。また、河道内に繁茂する特定植物群落のタブ林については、図-3に示すように一部引堤を行った上で左右岸の高水敷上に残置させる案を立案した。この結果、タブ林は現況の21%を保全することが可能となった。

しかし、地球環境問題に対する関心の高まりや、自然環境保全のニーズの高まりという背景を受け、更なるタブ林の保全に向け、平成8年度に計画の一部見直しを行った。計画検討にあたっては、まず現計画の堤防法線内での対応を原則として種々の検討を行った。その結果、現況のタブ林を河道内の中島として残置させる河道計画が立案された（図-4 参照）。この計画によれば、現況のタブ林に対し半分以上（タブ林保全率54%）を残置させることが可能となった。

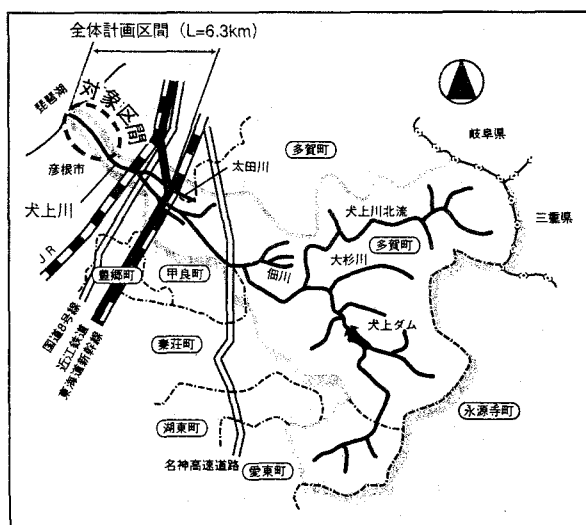


図-1 流域模式図

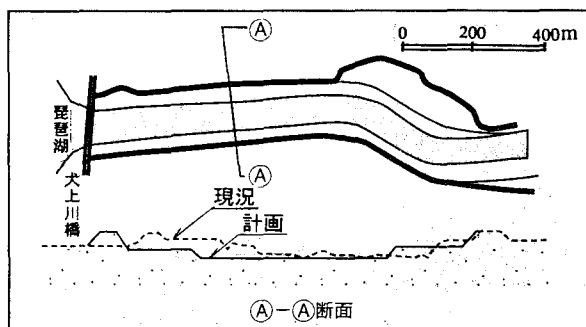


図-2 昭和54年 全体計画

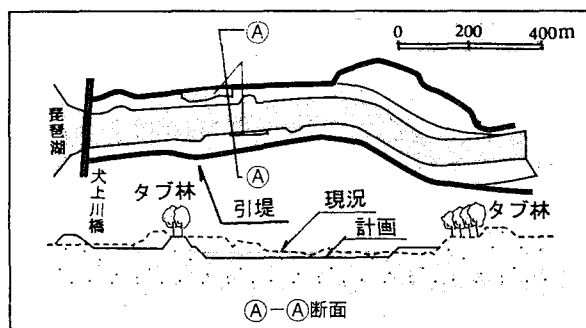


図-3 平成6年 犬上川改修計画（全体計画の再検討）

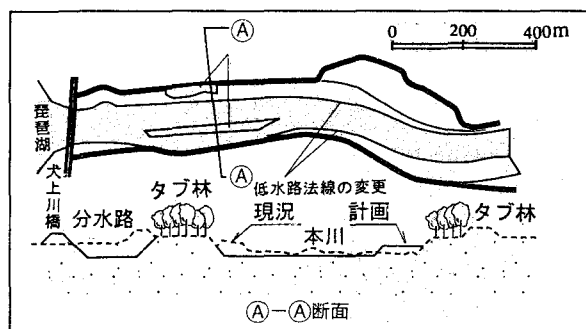


図-4 平成8年 犬上川改修計画の一部見直し

4. 改修計画における水理的問題点

平成8年度に立案した河道計画では、タブ林は河道内の中島として残置させることとしたが、このような河道形状では以下に示す水理的問題点が想定された（図-5 参照）。

①中島築造による分水路流況への影響

分流地点が湾曲部内岸側に位置するため、分水路入口に固定砂州が発達することが想定される。このため本川流量および分水路流量がその断面形状に応じた流量配分を満足するとは限らず、流量分布が偏った場合、流況の不安定、河道水位の上昇を生じることとなる。そのため、中島の形状については安定した分流流況となる法線形を検討することが必要である。

②河道法線形が河岸洗掘に及ぼす影響

河道計画においては現在緩く湾曲している下流区間を直線的な河道に改修する計画であるが、直線河道内に形成された砂州による低水路流れの蛇行により河岸部の洗掘が予測される。このことから、河道計画においては砂州形状を調べ、河岸洗掘量を考慮して低水路護岸を検討することが必要である。

これらの水理的問題については、数値解析と水理模型実験による検討が考えられたが、犬上川の計画検討では両者による検討を進めた。

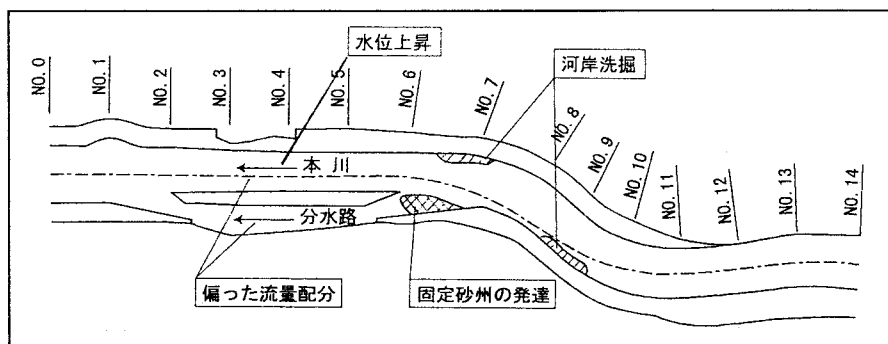


図-5 水理的問題点の概念図

4. 1 数値解析

数値解析においては、河道内に保全される河辺林が洪水時の流況に与える影響を平面二次元水理計算²⁾により把握し、河辺林および周辺河道形状と、分水路における計画流量配分の関係について検討した。計算条件は表-1に示すとおりである。

表-1 計算条件

項目	条件
メッシュ分割	5m×5m
流量条件	1,600m ³ /s(計画高水流量)
タイムステップ	0.02 秒
粗度係数	0.035

この数値解析によると、現計画では主流が中島の本川側となり本川側での水位上昇を招く結果となった。この対策として中島上流側S字蛇行部における低水路法線を図-6に示すように直線化したところ、流向が左岸側分水路入口方向にシフトし、流況改善効果が見られた。

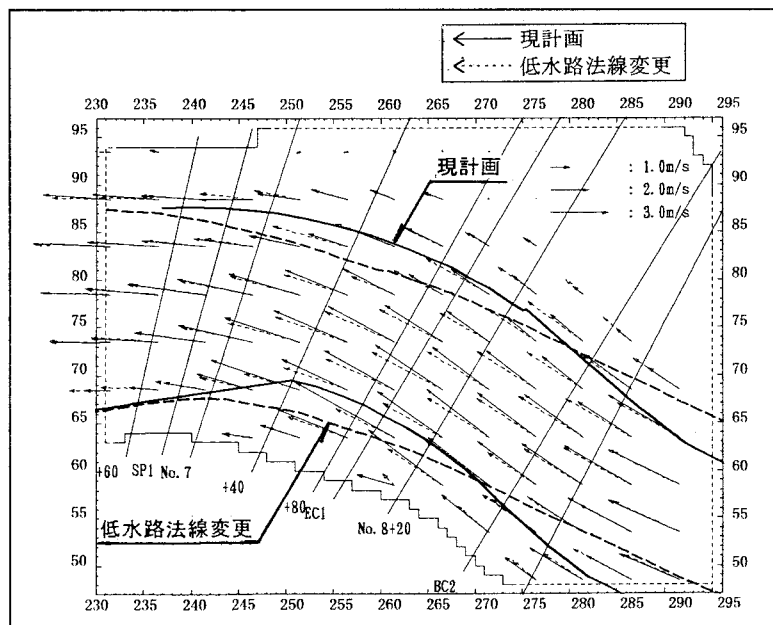


図-6 流速ベクトル図

4. 2 水理模型実験

上記問題点のうち、砂州の移動・形成を考慮すると、数値解析による方法では現象の定量的把握は困難と判断される。このため、数値解析を補う意味も含めて水理模型実験を行い、犬上川の湾曲外岸における河岸洗掘・分水路入口部における堆砂等の砂州形状の把握、および対策の検討を行った。

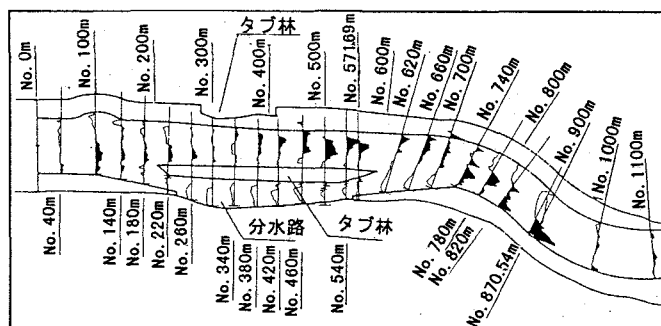


図-8 移動床実験通水後河床状況及び洗掘・堆積図
(実験Ⅰ) 700m³/s

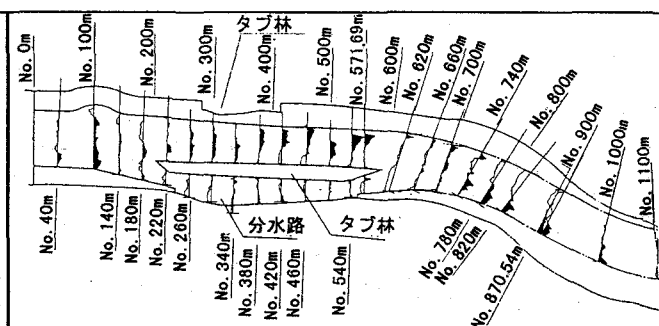


図-9 移動床実験通水後河床状況及び洗掘・堆積図
(実験Ⅴ) 700m³/s

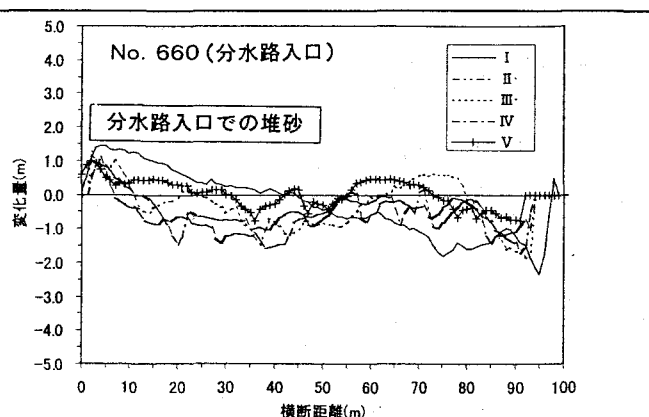
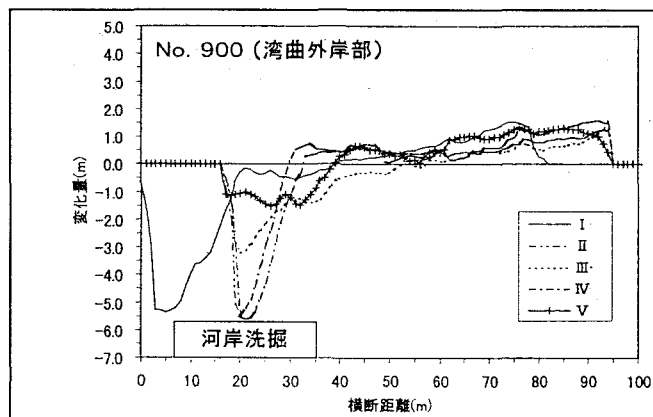


図-10 河床変化量横断面図

5. 3 固定床模型実験

固定床実験では、移動床実験により得られた最終形状において、詳細な流速分布、水位測定を行い水理特性を把握するとともに、安定した流況が得られる中島形状について検討した。実験ケースは表-3 に示すとおりである。

各実験ケースにおける中島両護岸の水
位および流速の特徴は以下のとおりであ
る。なお、各実験ケースにおける水位、流
速の測定結果を図-12,13 に示す。

表-3 実験ケース (固定床実験)

実験ケース	対 策	概 要
実験Ⅰ	基本計画形状	・移動床実験最終形状
実験Ⅱ	中島先端変更	・中島先端の向きを変更
実験Ⅲ	中島右岸緩勾配	・中島右岸(本川側)を2割から3割勾配とする。
実験Ⅳ	中島左岸緩勾配	・中島左岸(分水路側)を2割から3割勾配とする。
実験Ⅴ	中島左岸拡大	・中島左岸(分水路側)を拡大する。
実験Ⅵ	中島後端延長	・中島後端部を現況改善を図るため延長する。

①実験Ⅰ (移動床実験最終形状)

一区間においてH.W.L.を10cm 強上回る。

また、中島本川側は、上流側からの流れが先端部に衝突するため、流速は4m/s 程度と大きい。それより下流側では一旦流速は低下するが、下流側では増加し、4m/s を超える。

中島分水路側は上流側で断面漸縮のため流速が大きく、中島中央付近では断面の広がりとともに流速は低下するが、下流側で流速はまた増加する。

②実験Ⅱ (中島の本川側護岸傾斜を3割勾配とした案)

中島の周囲および上流において、水位上昇が見られる。また、実験Ⅰに比べ流速が増加する。

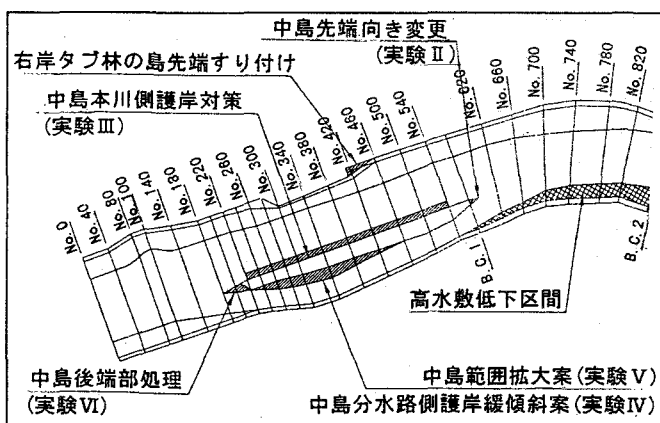


図-11 固定床実験中島・護岸形状案

5. 水理模型実験の概要

犬上川分水路の構造検討においては、中島形状・低水路法線形が河道の流れに与える影響を検討することが必要であるとともに、湾曲部による洗掘・堆砂が分水路に与える影響についても検討する必要がある。そこで、移動床模型と固定床模型を併用して検討を行った。

移動床模型実験では、河岸洗掘や砂州の形状・発達を把握するとともにその対策についての検討を行った。一方、固定床模型実験では分水路や中島形状が河道流況に与える影響を把握するとともに、最適な中島形状および護岸形状について検討した。

5. 1 水理模型実験諸元

移動床模型実験では、軽量河床材料としてスラッジライトを用い、砂州の移動および河岸洗掘を再現するための指標である無次元掃流力 τ_* を考慮して、模型縮尺を $S=1/50$ とした。

固定床模型実験においても模型縮尺を $S=1/50$ とし、移動床実験終了後河床をモルタルで敷き均して固定床を造った。

実験対象流量は、河道内の河岸洗掘・砂州等の河道形状を規定する流量として低水路満杯流量（2～3年に一度発生する洪水流量） $700\text{m}^3/\text{s}$ と、計画高水流量（100年に1回程度生じる流量） $1,600\text{m}^3/\text{s}$ の2ケースとした。

5. 2 移動床模型実験

移動床模型実験のケースは表-2に示すとおりである。また図-7には模型実験の概況を示す。

計画（基本計画案）による実験（実験Ⅰ）では、NO.500より上流（中島上流側）で水位が計画高水位を大幅に上回り、さらに上流側のS字蛇行部の湾曲外岸部（右岸側）で河岸洗掘が著しく、また、分水路入口部および分水路内での堆砂が生じる結果となった（図-8参照）。そのため分水路内の水位は本川側と比較して低く、分水路の流量配分が少ない結果となった。

この要因は、数値解析結果からも推定されるように、中島上流のS字蛇行にあると考えられた。そこで、S字蛇行を改修し、低水路法線形ができるだけ直線に近くなる案を立てた（実験Ⅱ）。この結果、分水路入口部での堆砂量は大幅に低減されたものの、まだ一部区間において水位が計画高水位を上回り、分水路への流量配分が少ない結果となった。

そこで、実験Ⅱに加え、分水路入口部での堆砂低減効果を図るため、上流左岸の高水敷の一定区間を1.0m低下させる案を考えた。なお、低下形状について

では、表-2に示すように3ケース（実験Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ）を考えた。

これらの対策実験の結果、分水路内への流量が多くなり、水位を計画高水位内に収めることができ、入口部周辺における堆砂および河岸洗掘は低減された（図-9,10参照）。以上より、実験Ⅴを最終形状と設定した。

表-2 実験ケース（移動床実験）

実験ケース	対 策	概 要
実験Ⅰ	現計画	・タブ林を中島で残置させる案（基本計画案）
実験Ⅱ	対策案	・中島上流の低水路法線を変更
実験Ⅲ		・実験Ⅱに加え、上流左岸の高水敷を一律1m低くする。
実験Ⅳ		・実験Ⅱに加え、上流左岸の高水敷を低水路河岸肩のみ低くする。
実験Ⅴ		・実験Ⅲに加え上流側にすり付け区間を設ける。

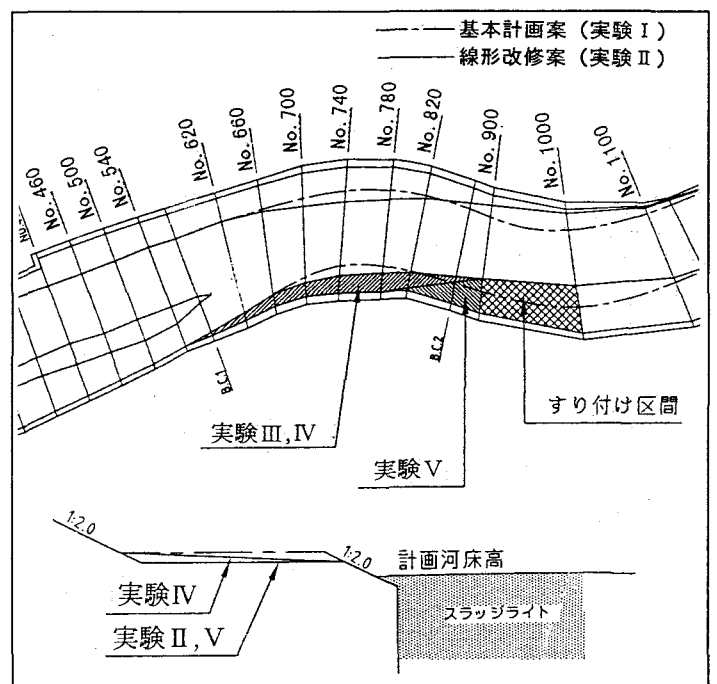


図-7 移動床模型実験概況図

③実験Ⅲ（中島の分水路側護岸傾斜を3割勾配とした案）

水位的には、実験Ⅰとほとんど差はないが、分水路中央付近において流速が増加する。

④実験Ⅳ（中島の分水路側を範囲拡大した案）

水位的には、実験Ⅰとほとんど差はないが、分水路中央付近において流速が増加する。

⑤実験Ⅴ（中島後端を延長した案）

中島の後端を延長することによる水位および流速の影響は見られない。

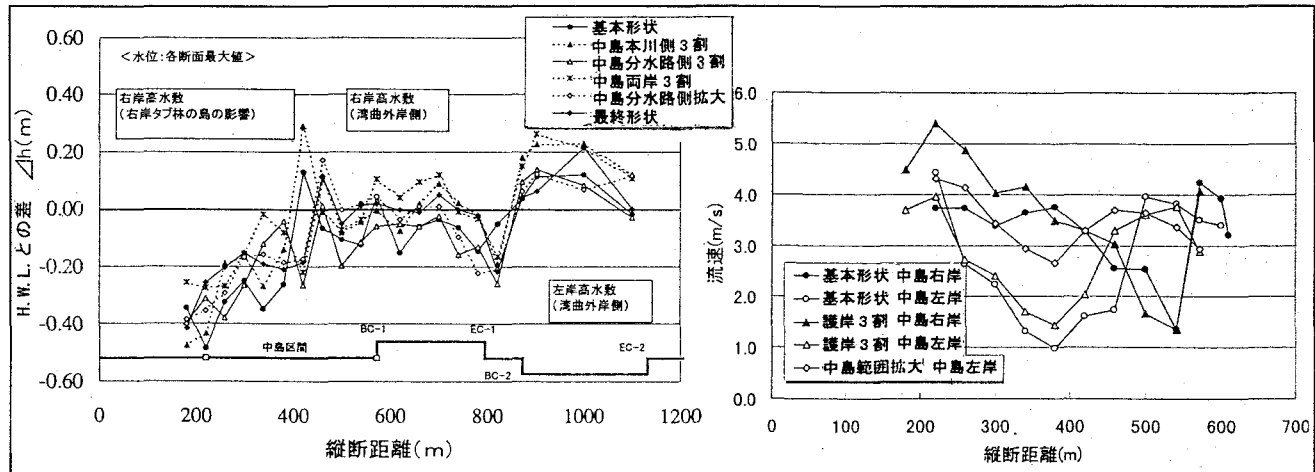


図-12 各実験ケースの水位とH.W.L.との差

図-13 各実験ケースにおける中島護岸流速

以上の検討結果から、中島形状としては先端の向きの変更（実験Ⅱ）および後端の延長（実験Ⅵ）を行うものとし、中島の本川側は水位への影響から1:2とし、分水路幅は3割もしくは拡幅すること（実験Ⅲ、Ⅴ）が可能であることが分かった。なお、最終形状においては一部の区間で水位がH.W.L.を約10cm上回るが、計画堤防高まで護岸工を行うことで対応が可能であると考えられる。

6. おわりに

犬上川では生態系との調和を目指し、治水安全度も確保しつつ河辺林であるタブ林を最大限に保全する取り組みを行った。タブ林の保全対策としては、河道内に中島として残置させる計画として、いくつかの水理の問題点が懸念されたことから数値解析および水理模型実験を行い、水理特性の把握およびその対策について検討を行い、洪水を安定して流下させることのできる河道計画を立案することができた。

従来、河道内の洪水流下上のネック地点に繁茂する河辺林は、治水安全度の向上、および維持管理の面から伐採されることが多く、河川における貴重な自然環境の喪失の一因となってきた。とくに都市域における河辺林は自然環境の面からだけではなく、グリーンベルトや防災帯林としての働きも大きく、多面的な機能を有していることから、伐採の影響は非常に大きいと考えられる。このことから、犬上川で行った今回の検討は、生態系との調和に向けた河辺林の保全手法としては、今後の他の中小河川改修にも役立つと考えられる。

なお、犬上川では今後、この実験結果を十分に踏まえ、以下の項目について検討を進める予定である。

- ・設計流速に見合った護岸形式を選定すること。
- ・護岸の選定にあたっては、タブ林に与える影響や生態系および景観、親水などの要因について十分考慮すること。
- ・維持管理面について十分な検討を行い、施工後は生態系および河川管理施設についての追跡調査を行うこと。

参考文献

- 1) 山本晃一（1994）：沖積河川学，山海堂，第4章，pp.59-75.
- 2) 福岡捷二・藤田光一・新井田浩（1992）：樹木を有する河道の洪水水位予測，土木学会論文集，NO.447/II-19.