

河床変動特性を考慮した氾濫水の排水対策

Drainage Methods of Inundated Water Considering Bed Deformation Characteristics

竹林洋史・Sornthep Vannarat⁽¹⁾・Saifhon Tomkratoke⁽¹⁾

Hiroshi TAKEBAYASHI, Sornthep VANNARAT⁽¹⁾ and Saifhon TOMKRATOKE⁽¹⁾

(1) タイ科学技術省国立科学技術開発庁電子コンピューター技術研究センター大規模数値解析研究室

(1) LSSR Lab., NECTEC, NSTDA, Ministry of Science and Technology, Thailand

Synopsis

Drainage problem of inundated water on the lower Chao Phraya River in Thailand is introduced. Furthermore, drainage methods of inundated water on low flat land areas have been discussed by use of horizontal two dimensional bed deformation analysis. Construction of shortcut channel in the fully developed meandering channel can decrease the water surface elevation in the upstream area of the shortcut channel. Furthermore, drainage of inundated water from the irrigation channel to main channel will increase, if the connection points between the main flow and irrigation channels are located along the inner bank. Furthermore, a groin at the upstream of the connection points between the main channel and irrigation channels can decrease the water surface level at the connection points between the main and irrigation channels. As a result, drainage discharge of inundated water from the irrigation channel to the main channel increases.

キーワード: 氾濫, 排水方法, 低平地, 蛇行流路, 河床変動解析

Keywords: inundation, drainage method, low flat land area, meandering channel, bed deformation analysis

1. はじめに

タイ北部を中心に降り続いた雨により, 2011年9月頃からチャオプラヤ川の流域を中心に, 河川氾濫が発生した。また, 多くの日系企業が浸水被害を被った。チャオプラヤ川下流域は, チャオプラヤ川が迂曲流路であるため, 氾濫水の排水速度が非常に遅い。また, 低平地であるため, チャオプラヤ川の水位が低下しても氾濫原からチャオプラヤ川への排水が遅く, 浸水期間が長期におよぶこととなった。そのため, 洪水を氾濫させないための検討とともに, 氾濫した水を速やかに排水するため方法の確立も重要な課題となっている。そこで, 本研究では, 低平

地における氾濫水の速やかな排水方法について, 平面二次元河床変動解析により検討を行った。

2. チャオプラヤ川の概要と排水における問題点

2.1 チャオプラヤ川の概要

チャオプラヤ川の流域面積は約 160000km² であり, タイ全国土のおよそ 1/3 に相当する。流域には, タイの人口の約 40%が集中し, GNP の 60%が流域から生み出されている。流路長は約 1100km である。上流域は山岳部に位置しているが, 下流域はデルタ地形となっている。河口から 200km~400 km の地域の

河床勾配は、1/4000～1/5000 程度であるが、河口から 200km ぐらいまでの最下流域の河床勾配は、1/10000～1/60000 となっており、河道縦断勾配は非常に緩やかである。バンコク付近におけるチャオプラヤ川の通水可能最大流量は約 3600m³/s である。

2.2 氾濫流排水における問題点

チャオプラヤ川流域は稲作が盛んであり、氾濫原には多くの農業用水路がある。氾濫した水を海やチャオプラヤ川まで運ぶには、これらの農業用水路を利用することが考えられる。そこで、氾濫流排水に対する農業用水路の問題点について、まず紹介する。

Fig. 1 にバンコク北部に位置するランジット地区の地図を示す。図に示すように、多くの農業用水路がチャオプラヤ川に接続されている。これらの接続地点は、湾曲外岸側が多いことが分かる。これは、水位が高い湾曲外岸側の方が、農業用水路の主目的である取水のために有効であるためと考えられる。しかし、後述するように、取水を主に行う平水時は、湾曲内岸側と外岸側の水位差は非常に小さく、一方洪水中は、湾曲部の内岸と外岸で水位差が大きくなり、水位が低くなる湾曲内岸側に農業用水路とチャオプラヤ川のとの接続地点が存在する方が、本川水位低下時における氾濫流の本川への排水流量を大きくすることができる。

チャオプラヤ川下流域の農業用水路には他にも問題点がある、Fig. 2 に示すように、農業用水路には多くのゲートが設置されている。これらのゲートは、各断面に 1 つずつ設置されており、ゲートの開口幅は 4m 程度である。つまり、用水路の幅が数 10m あるにもかかわらず、ゲート断面での水路幅がわずか 4m であるため、大流量を流すことができない。これは、これらの用水路が農業用水の確保のために設置されているためであり、氾濫流を速やかに排水することは想定されていないためである。また、図-3 に海岸付近に設置された高架型水路を示す。この水路は、上流からの水を海に排水するために、ポンプで 14m 揚水し、道路の上を高架させているものである。このような施設は、農地への塩水の進入を抑制するための対策の一つのことである。しかし、氾濫流排水の視点で見ると、排水能力がポンプによって規定されており、上流域の水位が上昇しても排水流量は増加せず、滞留することとなる。また、ポンプに不具合が発生すると全く排水できない状態となる。

農業用水路からチャオプラヤ川に排水するには、チャオプラヤ川の水位が低くなくてはならない。農業用水路からチャオプラヤ川への排水がスムーズに進み、チャオプラヤ川の流量が増え、チャオプラヤ川の水位が上昇して氾濫原から排水出来ない状況と



Fig. 1 Irrigation canals connecting to Chao Phraya River (Rnagsit area Thailand, Google Map)

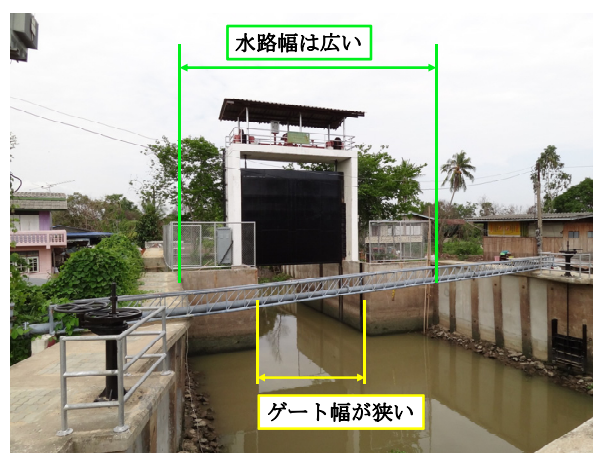


Fig. 2 Gate in the irrigation canal



Fig. 3 Elevated canals near coastal area

なると本末転倒である。そこで、チャオプラヤ川の

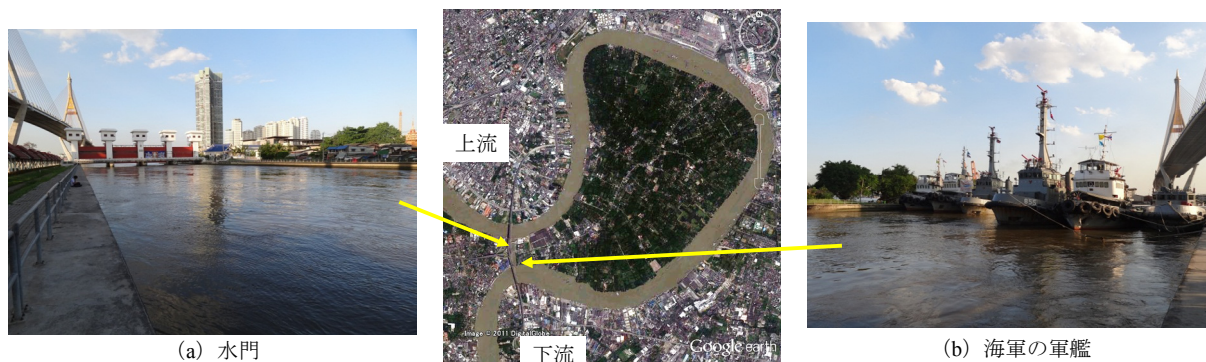


Fig. 4 Fully developed meandering channel and shortcut channel

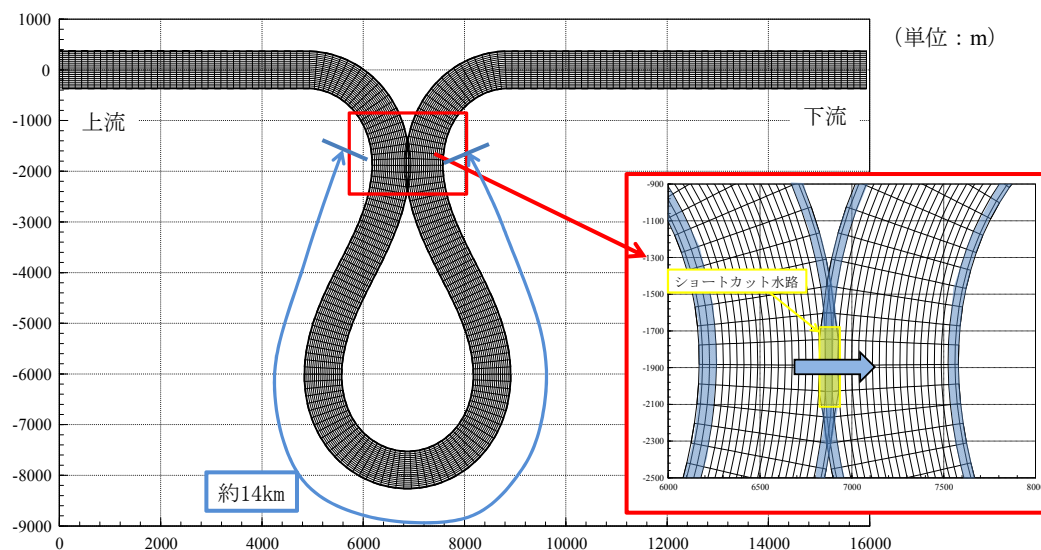


Fig. 5 Numerical grids for Case 1

水の海への排水についても同時に考える必要がある。Fig. 4 にバンコク周辺のチャオプラヤ川の衛星写真を示す。図に示すように、チャオプラヤ川は迂曲した河川であり、洪水時の河道内滞留時間が非常に長い特性がある。なお、Fig. 4 に示した迂曲流路には、ショートカット水路が存在する。開削されているショートカット水路は、わずかな水位差を利用した発電用水路であり、幅が約 70m と洪水流を排水するには不十分である。そのため、2011 年の洪水中は、Fig. 4 (b) に示すように、海軍の軍艦がショートカット水路に横に複数並び、軍艦同士を固定し、下流に向かってスクリーンを回して、少しでも洪水流を速やかに海に流そうとする試みが行われていた。

3. 解析方法と解析条件

3.1 解析の目的

2 章で紹介したように、チャオプラヤ川下流域は、ショートカット水路や多くの農業用水路が存在するが、氾濫水を速やかに排水できるような構造とはなっていない。そこで、排水問題として以下の二つの

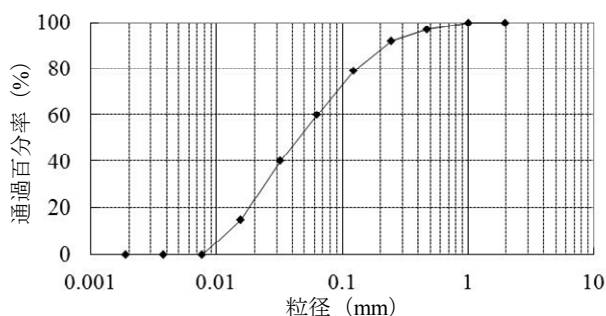


Fig. 6 Size distribution of bed material

課題を想定して検討した。一つは、氾濫原から蛇行流路であるチャオプラヤ川への速やかな排水である。もう一つは、迂曲流路における下流への速やかな排水である。氾濫原から蛇行流路への排水については、農業用水路と蛇行流路の接続地点の違いが排水流量に与える影響を検討するとともに、接続地点に水制を設置することによって排水能力がどの程度向上するかを検討した。迂曲流路における速やかな排水方法については、ショートカット水路による排水能力の向上がショートカット水路周辺の河床変動によってどのような影響を受けるかを検討した。

Table 1 Hydraulic conditions and calculated water discharge in irrigations

	Shortcut channel	Irrigation canal	Groin	Water discharge of main channel (m^3/s)	Water discharge of canal (m^3/s)
Case 1-1	Yes	—	—	3500	—
Case 1-2	No	—	—	3500	—
Case 2-1	—	No	No	3500	—
Case 2-2	—	No	No	500	—
Case 2-3	—	Upstream inner bank	No	3500	119
Case 2-4	—	Upstream outer bank	No	3500	-49
Case 2-5	—	Downstream inner bank	No	3500	84
Case 2-6	—	Downstream outer bank	No	3500	-122
Case 2-7	—	Upstream inner bank	No	3500	159

3.2 解析方法

解析は、一般座標系による平面二次元の河床変動解析により行った(竹林, 2005). 河床近傍の流速は、水深平均流速の流線の曲率を用いて算定し(Shimizu and Itakura, 1991), 二次流強度の係数は7を用いた(Engelund, 1974). 河床材料は混合砂として扱った. 流砂形態は、掃流砂と浮遊砂を考慮した. 掃流砂量は修正された芦田・道上式(芦田・道上, 1972, Liu, 1991, Kovacs. and Parker, 1994) ^{4)~6)}を用いた. 浮遊砂の河床からの浮上量は Lane&Kalinske の式(Lane and Kalinske, 1941)で算定し、水深平均浮遊砂濃度の輸送方程式を解き、浮遊砂の非平衡性を考慮した.

3.3 解析条件

解析は2種類の河道形状に対して実施した. Table 1に解析条件と解析結果の一部を示す.

Case1 は迂曲流路に設置したショートカット水路の影響を検討したものである. Fig. 5に解析格子を示す. 河道平面線形は Sine-generated curve の1波長を有しており、最大蛇行角 117 度である. 解析格子の両岸3メッシュは氾濫原を想定しており、流路幅は約 600m である. 蛇行域の流路長は約 14km であり、短絡によって約 0.5km 程度となる. 本川の河道縦断勾配は 1/10000 とした. 初期の流路内の横断形状は矩形としている. 上流からの給水流量は $3500\text{m}^3/\text{s}$, 下流端の水深は 7m とした. Fig. 6に河床材料の粒度分布を示す. 河床材料は、現地調査をもとに決定しており、平均粒径は 0.1mm である. 河床材料の粒径階は7粒径階とした. Fig. 5に示すように、ショートカット水路の領域は、迂曲上流域の氾濫原と迂曲下流域の氾濫原の格子を重ねており、本川に対して縦断方向3メッシュ(ショートカット水路の横断方向3メッシュ)がショートカット水路となっている. Case1-1 は、ショートカット水路無しの解析であり、Case1-2 は、ショートカット水路を考慮した解析であ

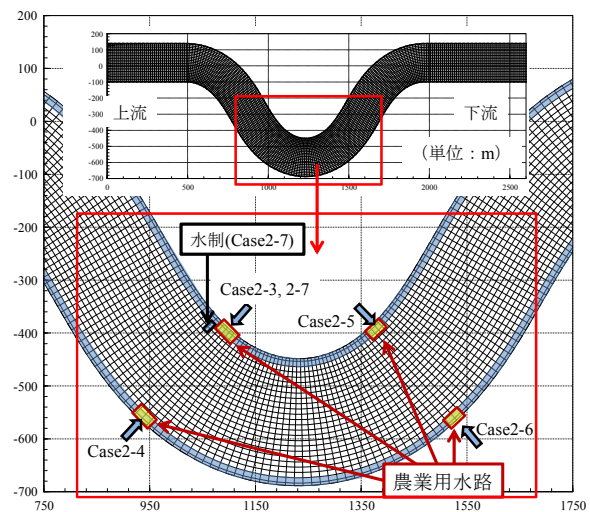


Fig. 7 Numerical grids for Case 2

る.

Case2 は Case1 よりも蛇行度の小さい蛇行流路を想定したものであり、バンコク北部のランジット地区周辺のチャオブラヤ川の河道諸量を参考に河道形状等を決定している. Case2 は、農業用水路と蛇行流路の接続地点の違いが排水流量に与える影響を検討するとともに、接続地点に水制を設置することによって排水能力がどの程度向上するかを検討する. Fig. 7に解析格子を示す. 河道平面線形は Sine-generated curve の1波長を有しており、最大蛇行角 60 度である. Case2 も Case1 と同様に、横断方向に解析格子の両岸3メッシュは氾濫原を想定しており、流路幅は約 200m である. 氾濫原と解析区間外との水の流入・流出量は認めているが、本解析では実質的にゼロであった. 本川の河道縦断勾配も Case1 と同様に 1/10000 とした. 初期の流路内の横断形状は矩形とし、本川及び農業用水路の河床面からの氾濫原の高さは、本川において $3500\text{m}^3/\text{s}$ 通水時の等流条件で氾濫しないように 15m としている. 上流からの給水流量は $3500\text{m}^3/\text{s}$ 及び $500\text{m}^3/\text{s}$ とし、下流端の水深は等流水深とした. 河床材料の粒度分布は Case1 と同一であ

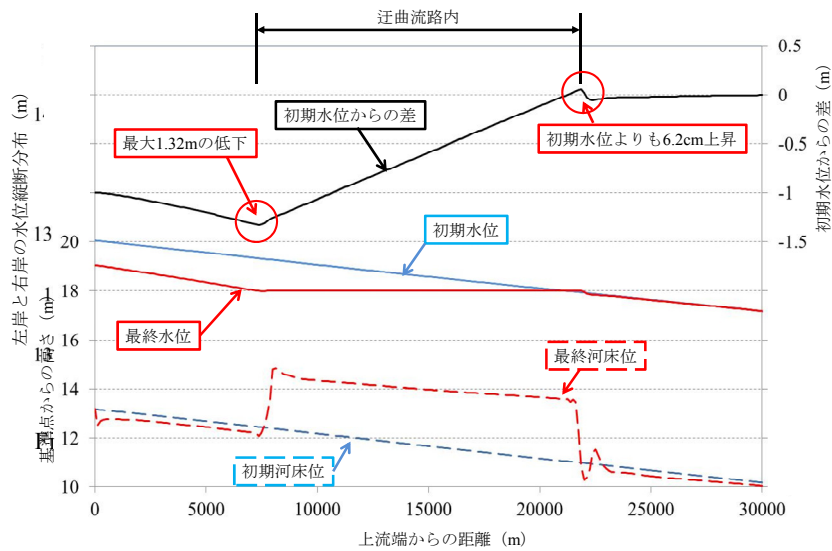


Fig. 8 Longitudinal distribution of water surface level, bed level and difference of water surface level between initial and 6 hr in Case 1.

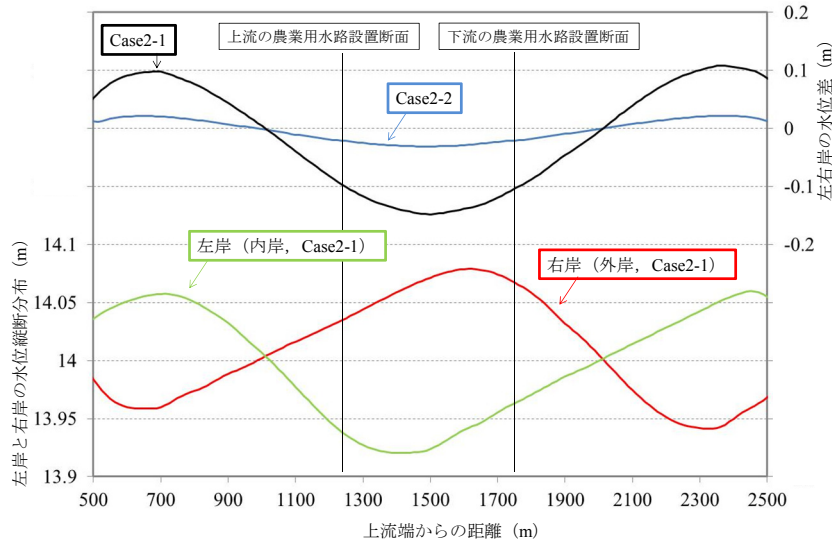


Fig. 9 Longitudinal distribution of water surface level

る。

Fig. 7に示すように、湾曲内岸の上流域と下流域、湾曲外岸の上流域と下流域に農業用水路を設置している。農業用水路の幅は約35mである。農業用水路内設置断面の解析格子の両岸（農業用水路上流端）においては、横断方向（農業用水路から見ると流下方向）の流速を境界付近の水位差より計算している。つまり、本川の水位が農業用水路よりも低いときは、農業用水路から本川に水が流れ、本川の水位が農業用水路よりも高いときは、本川から農業用水路に水が流れる。農業用水路上流端の水位は、氾濫原よりも1m低いとした。なお、氾濫原及び農業用水路内は、初期条件で固定床扱いとしており、土砂は堆積するが、河床は浸食しない条件となっている。Case2-1は農業用水路を無視した解析である。Case2-2は、小流量時の左右岸の水位差を調べたものである。Case2-3

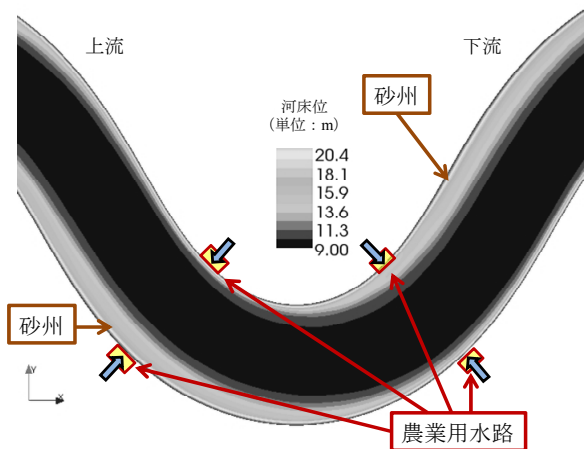


Fig. 10 Bars formed in meandering channel (Case 2)
は湾曲内岸の上流域、Case2-4は湾曲外岸の上流域、Case2-5は湾曲内岸の上流域、Case2-6は湾曲外岸の下

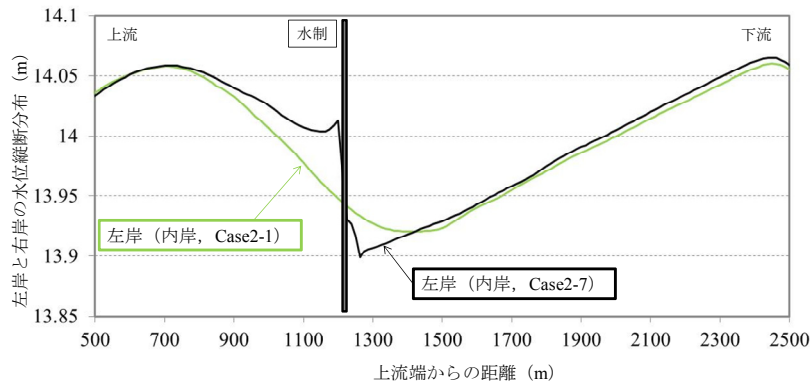


Fig. 11 Decrease in water surface level at downstream of groin (Case 2-7)

流域に、それぞれ、農業用水路を設置したものである。Case2-7は、湾曲内岸の上流域に農業用水路を設置するとともに、Fig. 7に示すように、農業用水路と本川との接続地点上流域に非越流直角水制を設置したものである。

4. 結果と考察

4.1 迂曲流路に設置したショートカット水路の影響

Fig. 8にCase1-1とCase1-2の本川に沿った断面平均の水位及び河床位の縦断分布を示す。図より、ショートカット水路を設置することにより、ショートカット水路上流域の水位が約1.32m下がっており、ショートカット水路上流域の速やかな排水に効果を発揮することが分かる。一方、ショートカット水路下流域は、ショートカット水路設置前よりも水位が6.2cm高くなっており、氾濫の危険度がわずかに上昇する。ショートカット水路については水位低下のみが注目されることが多いが、わずかであっても下流域において水位が上昇することは認識しておく必要があると思われる。また、本川内の河床位も時間とともに上昇し、河積が時間的に減っていく。その結果、上流からの流量のほとんどがショートカット水路内を流れるようになる。

4.2 農業用水路と蛇行流路の接続地点の違いが排水流量に与える影響

Fig. 9にCase2-1とCase2-2の流路内岸及び外岸に沿った水位の縦断分布を示す。図より、洪水時には右岸と左岸の水位差が最大で15cm程度であるが、小流量時は約3cm程度で非常に小さく、平水時の取水には内岸と外岸で大きな違いが無いことが分かる。

Table 1にはCase2-3～Case2-7の農業用水路の流量も併記している。農業用水路から本川に水が排水される時の流量を正、本川から農業用水路に水が流れる流量を負とした。Table 1に示すように、Case2-3～

Case2-6の流量を比較すると、湾曲内岸の上流域の流量が最も大きく、次に湾曲内岸の下流域となっていることが分かる。湾曲外岸の2つの農業用水路は、排水ができておらず、本川から農業用水路に水が流れ込んでいる。本川から農業用水路への流量は、水衝部に位置する湾曲外岸の下流域で大きくなっていることが分かる。これらの結果は、Fig. 9に示すように、本川の湾曲外岸では水位が高く、湾曲内岸では水位が低いためである。また、同じ湾曲内岸でも上流域の方が下流域よりも排水流量が大きい。これは、Fig. 10に示すように、下流域は蛇行スケールでの砂州が形成されているためであり、農業用水路内に土砂が堆積したためである。

次に、湾曲内の上流域に設置された農業用水路からの排水流量をさらに多くする方法を考える。Table 1に示すように、非越流直角水制を設置すると、農業用水路の排水流量が増えることが分かる。Fig. 11にCase2-1とCase2-7の流路内岸に沿った水位の縦断分布を示す。図に示すように、Case2-7では、水制下流域で水位が大きく低下しており、水制は農業用水路の排水流量の増加に大きく寄与していることが分かる。また、水制下流域は、本川から見ると窪地であるにもかかわらず、浮遊砂等が堆積しない。これは、農業用水路上流域から本川へ向かって水が流れており、農業用水路と本川との接続点付近において、土砂の堆積を抑制するためである。このように、農業用水路と本川との接続地点上流に水制を設置するという非常に簡易な方法で、農業用水路の排水能力を向上させることができる。

5. 結果と考察

タイ・チャオブラヤ川下流域における洪水氾濫水の排水問題について紹介するとともに、低平地における氾濫水の速やかな排水方法について、平面二次元河床変動解析により検討を行った。得られた成果をまとめると、以下のようである。

- 1) チャオブラヤ川の下流域の低平地の氾濫原には多くの農業用水路が設置されている。これらの農業用水路は灌漑目的であり、洪水で氾濫した水を排水するための機能は十分ではない。
- 2) チャオブラヤ川下流域には多くの迂曲流路があり、これらの流路にショートカット水路を建設することにより、ショートカット水路上流域の排水能力は向上する。しかし、ショートカット水路の設置により、ショートカット水路下流域は、ショートカット水路設置前よりも水位がわずかであるが高くなり、注意が必要である。
- 3) 農業用水路と本川との接続地点は、本川の水位が低く、砂州が形成されない湾曲内岸の上流域に設置すると、農業用水路の排水流量が大きくなる。
- 4) 農業用水路と本川との接続地点上流に水制を設置すると、農業用水路と本川との接続地点の水位がさらに下がり、農業用水路の排水流量が多くなる。また、農業用水路から本川への流れのため、水制下流域には土砂があまり堆積しない。

謝 辞

本研究はJST・戦略的国際科学技術協力推進事業・タイ水害関連研究を対象とした「国際緊急共同研究・調査支援プログラム (J-RAPID)」(研究代表者：竹林洋史) の助成を受けて行われた。記して謝意を表します。

参考文献

- 芦田和男・道上正規 (1972) : 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第 206 号, pp.59-69.
- 竹林洋史 (2005) : 河川中・下流域の河道地形, ながれ, 第 24 巻, 第 1 号, pp. 27-36.
- B. Y. Liu (1991) : Study on Sediment Transport and Bed Evolution in Compound Channels. Thesis presented to Kyoto University.
- Engelund, F. (1974) : Flow and bed topography in channel bends. Jour. of Hy. Div. ASCE, Vol. 100, No. HY11.
- Kovacs, A. and Parker, G. (1994) : A new vectorial bedload formulation and its application to the time evolution of straight river channels. J. Fluid Mech. Vol. 267, pp. 153-183.
- Lane, E. W. and Kalinske, A. A. (1941) : Engineering calculation of suspended sediment, Trans. A.G.U., Vol. 22.
- Shimizu, Y. and Itakura, T. (1991) : Calculation of flow and bed deformation with a general non-orthogonal coordinate system, Proc. of 26th IAHR Congress, Madrid, Spain, C-2, pp.41-48.

(論文受理日 : 2013 年 6 月 11 日)