

河床変動の影響を考慮した氾濫水の排水対策

DRAINAGE METHODS OF INUNDATED WATER IN LOW FLAT LAND AREAS CONSIDERING BED DEFORMATION

竹林 洋史¹・Sornthep Vannarat²・Saifhon Tomkratoke³
Hiroshi TAKEBAYASHI, Sornthep VANNARAT and Saifhon TOMKRATOKE

¹正会員 博士(工学) 京都大学准教授 防災研究所
(〒612-8235 京都府京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

²非会員 Ph.D. Director, LSSR Lab., NECTEC, NSTDA, Ministry of Science and Technology, Thailand
(〒12120 112 Phahon Yothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani, Thailand)

³非会員 Assistant Researcher, LSSR Lab., NECTEC, NSTDA, Ministry of Science and Technology, Thailand
(〒12120 112 Phahon Yothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani, Thailand)

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. However, water surface level increases in the downstream area and risk of inundation increases in the downstream area of the shortcut channel. Most of the connection points between the Chao Phraya River and irrigation channels are located along the outer bank. However, water surface level along the outer bank is higher than that along the inner bank during floods. As a result, 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.

Key Words : *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

(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) 氾濫流排水における問題点

チャオプラヤ川流域は非常に稲作が盛んであり、氾濫原には多くの農業用水路が設置されている。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。

図-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いくつか問題点がある、図-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なると本末転倒である。そこで、チャオプラヤ川の水の海への排水についても同時に考える必要がある。図-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、図-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、図-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ューを回して、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

(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



図-1 チャオプラヤ川に接続する農業用水路（ランジット地区周辺、Google Mapより）



図-2 農業用水路に設置されたゲート



図-3 海岸付近に設置された高架型農業用水路

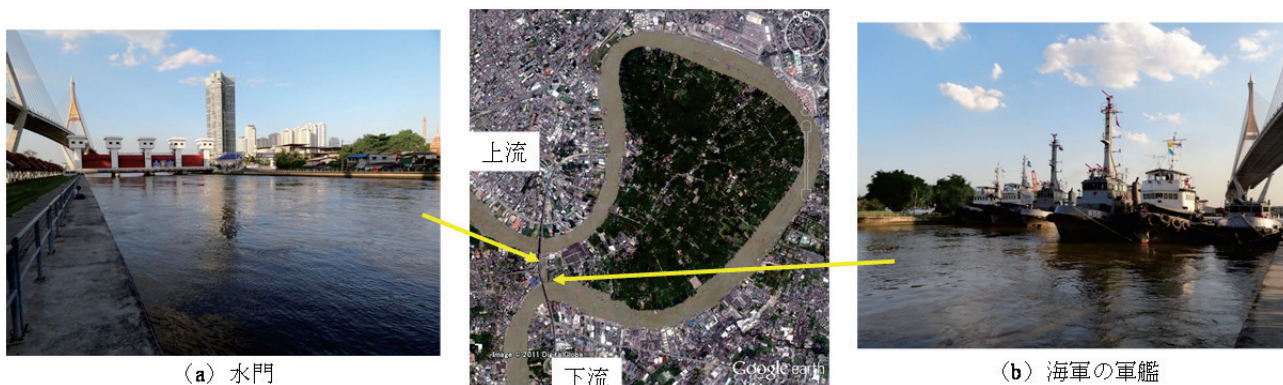


図-4 バンコク周辺の迂曲流路とショートカット水路

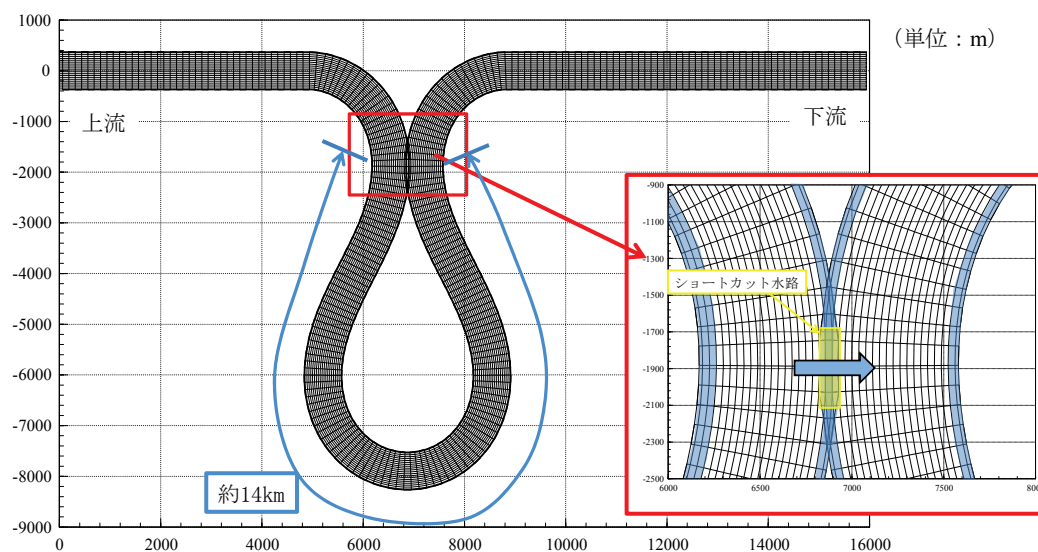


図-5 迂曲流路に設置されるショートカット水路の影響に関する検討の解析格子 (Case 1)

表-1 解析条件と農業用水路の流量

	ショートカット水路	農業用水路	水制	本川流量 (m ³ /s)	農業用水路流量 (m ³ /s)
Case 1-1	無し	—	—	3500	—
Case 1-2	有り	—	—	3500	—
Case 2-1	—	無し	無し	3500	—
Case 2-2	—	無し	無し	500	—
Case 2-3	—	湾曲内岸上流域	無し	3500	119
Case 2-4	—	湾曲外岸上流域	無し	3500	-49
Case 2-5	—	湾曲内岸下流域	無し	3500	84
Case 2-6	—	湾曲外岸下流域	無し	3500	-122
Case 2-7	—	湾曲内岸上流域	有り	3500	159

い。そこで本研究では、排水問題として以下の二つの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。

(2) 解析方法

解析は、竹林¹⁾による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。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²⁾、二次流強度の係数は7を用いた³⁾。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^{4)~6)}を用いた。浮遊砂の河床からの浮上量はLane&Kalinskeの式⁷⁾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) 解析条件

解析は2種類の河道形状に対して実施した。表-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。図-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。解析格子の兩岸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3500m³/s、下流端の水深は7mとした。図-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。図-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プ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。図-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兩岸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3500m³/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3500m³/s及び500m³/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と同一である。

図-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兩岸（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

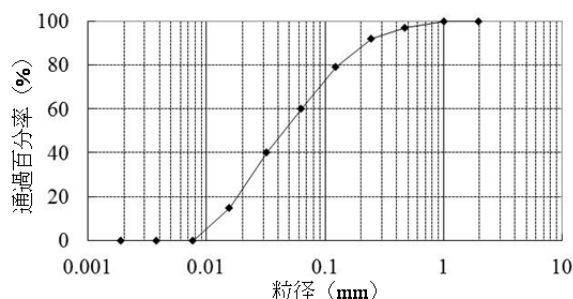


図-6 河床材料の粒度分布

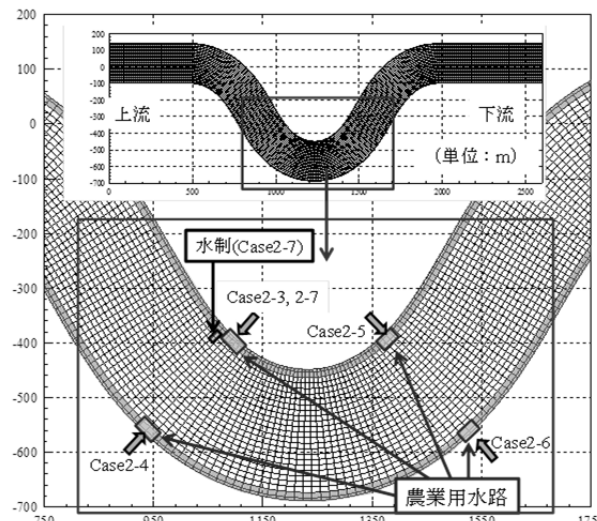


図-7 農業用水路と蛇行流路の接続地点の違いが排水流量に与える影響 (Case2)

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、図-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

(1) 迂曲流路に設置したショートカット水路の影響

図-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

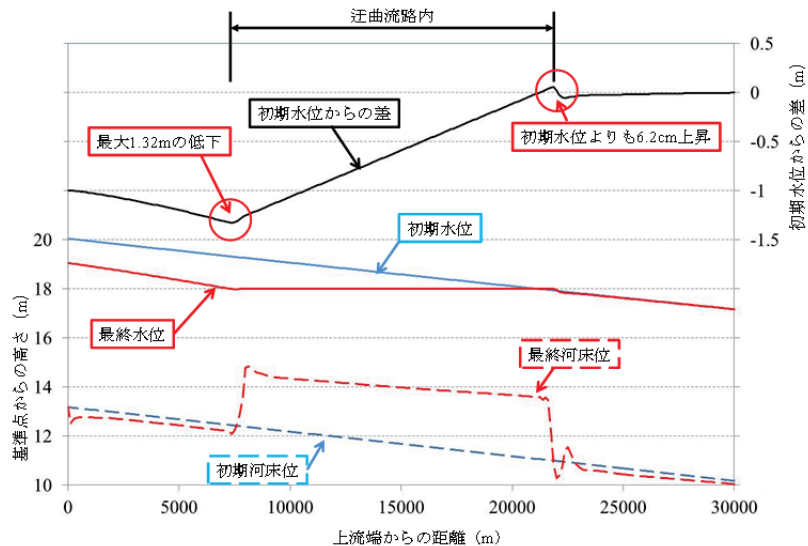


図-8 水位及び河床位の縦断分布と初期水位からの水位差（6時間後）

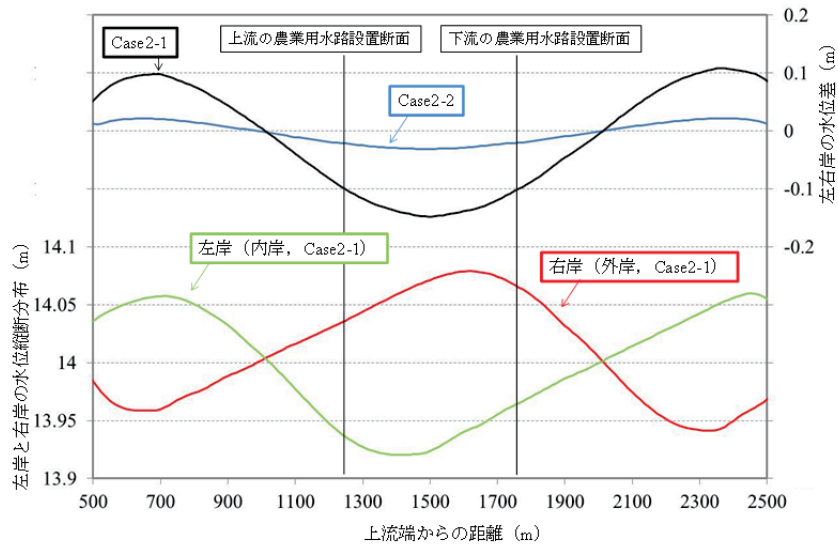


図-9 流路兩岸に沿った水位の縦断分布（水位は初期河床位を差し引いた値）

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。

（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

図-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。

表-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。表-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

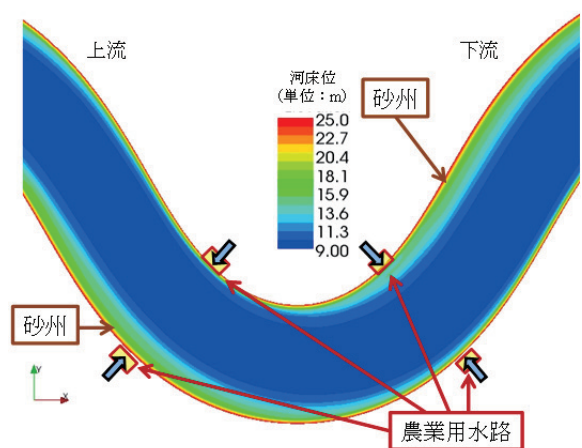


図-10 蛇行スケールの砂州（Case2-1）

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、図-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

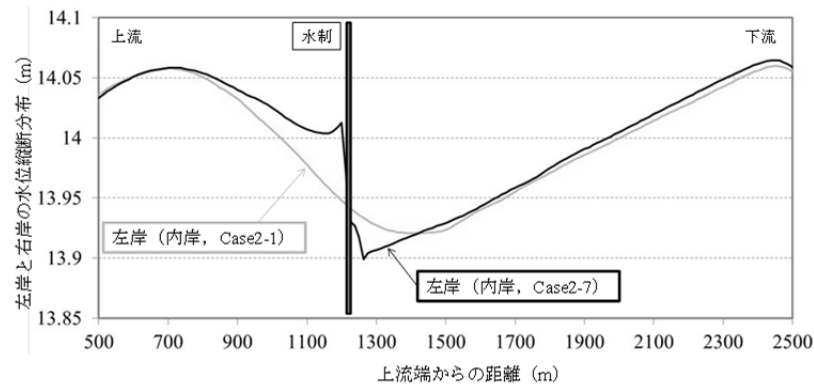


図-11 水制直下流域の水位低下（水位は初期河床位を差し引いた値）

の方が下流域よりも排水流量が大きい。これは、図-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。表-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。図-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. 結論

タイ・チャオプ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) チャオプ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) チャオプ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に高くなり、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

- 1) 竹林洋史：河川中・下流域の河道地形，ながれ，第24巻，第1号，pp.27-36, 2005.
- 2) Shimizu, Y. and Itakura, T. 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, 1991.
- 3) Engelund, F. Flow and bed topography in channel bends. Jour. of Hy. Div. ASCE, Vol. 100, No. HY11, 1974.
- 4) 芦田和男，道上正規：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, 1972.
- 5) Kovacs, A. and Parker, G. A new vectorial bedload formulation and its application to the time evolution of straight river channels. J. Fluid Mech. Vol. 267, pp. 153-183, 1994.
- 6) B. Y. Liu Study on Sediment Transport and Bed Evolution in Compound Channels. Thesis presented to Kyoto University, 1991.
- 7) Lane, E. W. and Kalinske, A. A. Engineering calculation of suspended sediment, Trans. A.G.U., Vol. 22, 1941.

(2013. 4. 4受付)