扇状地の無堤河川の築堤後の河道平面の変化に 関する考察

CHANGE OF CHANNEL PATTERN OF ALLUVIAL FAN RIVERS NEWLY CONFINED BY DIKE

井上 和則¹ Kazunori INOUE

1正会員 工修 ㈱オリエンタルコンサルタンツGC事業本部 (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)

This paper presents the morphological change of newly improved alluvial fan rivers by earth dike during the flood events in 2008 in the Philippines. Using satellite images before and after the construction works, the river conditions such as thalweg and channel width were illustrated to discuss the effect of man-made impacts such as dike confinement and sediment control dam in the upstream. So-called conversion and diversion in terms of thalweg positions were recognized to be reproductive even after the confinement by dike. Some sections of those rivers showed the tendency to enlarge the channel width due to large boulder bar. These phenomenons should be accumulated to guide us to design new dike alignment in natural braided rivers.

Key Words : alluvial fan river, earth dike, regime equation, mid-scale riverbed pattern, open dike

1. はじめに

扇状地の無堤状態に対して、治水利水および環境目的 で河道改修を行う場合、適切な堤間幅と堤防線形を設定 し、水衝部をできるだけ限定的にして、洪水時の堤内地 の安全や将来の堤防・護岸の維持管理の容易さに留意す ることが大切である.無堤状態からの計画は、大河川の 堤防が概成している日本では少ないが¹⁰、海外の自然河 川の改修計画段階では将来の維持管理をしやすくするた めにも、極めて重要である.

筆者は既報²でフィリピン国ルソン島北部のラオアグ 川上流の扇状地の無堤河川クラ・ラブガオン川が扇頂部 から本川合流部まで13km両岸築堤された後の2008年7-8 月に計画規模相当の洪水を受けた際の河道の変化につい て考察をした.本論文は継続研究³⁴⁾として同流域で新規 築堤を行った3支川ソルソナ川、マドンガン川およびパ パ川について2008年洪水前後の河道変化を考察する.

2. 既往の研究と本研究の接点

(1) 扇状地の河道計画

日本では北陸や東海地方その他の扇状地河川に対して 大正以降は高水工事が実施され、昭和初期には主要区間 の堤防は概成した状況にあった⁵⁰.山本⁶⁰は、「堤防の配 置は扇状地全体を1つの計画論として意図的に行ったも のではなく、新田開発の進行に伴い堤防が築かれ、徐々 に霞堤状の配置となったものが多かった」と述べた.木 下⁷⁰は、「日本の河川改修史では既往の流路を適当な幅 で囲って堤防が築かれたが水路の中の水流蛇行の波長は 改修以前の蛇行流路の波長と常にほとんど変わらないと いう事実がある.沖積面上の旧流路は長大な年月をかけ た実物モデルによる総合的な実験の結果として判読利用 することが可能」、「扇状地河道の法線には洪水時の水 衝部を固定するために緩やかな蛇行の導入が必要」と述 べている.山本⁸は扇状地の河道特性の整理に基づき、

「平面計画の堤防法線は、現状の堤防間隔が十分でも遊 水効果等の保持により、極力その幅を確保することが望 ましい」と提案している.

(2)沖積地の川幅についての研究

沖積地の河道の幾何学的諸量と流速や流量などとの関係⁹⁰¹⁰について経験的に調べたレジーム式は、側岸侵食の流路において多くが提案されている. 芦田ら¹¹¹は側方 浸食が容易に生じないような流路工の最大幅として以下 の式を提案している. ここでB:川幅(m)、Q:流量 (m³/s)である.

$$B = (3.5 \sim 7) \times \sqrt{Q} \tag{1}$$

大同¹²は、河道の断面形を動的平衡状態に保つために は縦断方向の流砂量の平衡、横断方向の平衡、断面に生 じる河床波ができるだけ小さい条件を考慮しながらフィ リピンの匿名の河川の河道計画を行った.(なお、その 河川は同文献の内容から1990年代のラオアグ川上流域と 推察される)

(3) 急勾配河道の安定な河道システム論

須賀¹³は、扇状地河道の網状化とそれに内在する発散 収束現象は、井口¹⁴と木下⁷⁾¹⁵に代表される砂礫堆を中 心とする交互砂州に伴う流れの収束発散と異なり、大径





0 1 2 3 4 5 km

図-2 上流域4支川のLandsat衛星画像(1989年)と計画堤防法 線および10m等高線の状況



図-3 上流域4支川のSPOT衛星画像(2001年10月)



礫・巨石を含む混合粒径河川において多く見られる自然 状態で流路と水流の発散収束である、と述べた.混合粒 径の流砂の分級作用で、河床材料の場所的分布に不均衡 が生じ、大径礫堆・巨石堆が形成され、安定するという. 筆者は、収束発散が繰り返される河道システムは、堤 防法線に蛇行を持たせるか否か、新規霞堤の位置、予想 される水衝部位置の計画に重要と考える.本論の内容は、 このような技術を今後深めていくための現場、特に海外 の自然河川の事例の蓄積として重要である.

3. ラオアグ川上流の支川改修と洪水

(1) 支川流域の状況

ラオアグ川流域の地質は**図-1**のように扇頂部から上 流の山脈を構成している第三紀貫入岩と白亜紀-古第三 紀火山岩である(基盤岩).いずれも風化、破砕が著し い.また、水源山地の山林は17世紀以降の伐採で荒廃し ている¹⁶⁾.山地の西側からは、断層が並行しており、こ の断層間に第四紀堆積物である扇状地が形成されている. 下流側(西側)の断層は鮮新世のラオアグ層から成り、 ラオアグ川本川の狭窄部、大湾曲部を与えている.

図-2は、1989年の無堤時の扇状地の衛星画像である. 当時ソルソナ川は扇頂から出た後、Vの字型に蛇行をし ていたが、衛星画像では首振りの跡が見られる.マドン ガン川は、扇頂から出た後、約45°もの開きで首振りの 跡が見られる.パパ川は、扇頂を出た後は比較的直線的 に流下している.

また同図の白色の線は、SRTM3から作成した10m間隔の 等高線である。各河川の首振りと、扇状の等高線はよく 対応している。その中で、マドンガン川の堤防法線(黒 線)は、等高線から外れて、北北西へと計画され、ソル ソナ川に合流させている。これは1980年代に用水、集落 の位置等から決定されたものである。90年代半ばまでに、 ソルソナ、マドンガン、パパ川は暫定的な築堤がなされ た.しかし**図-3**のように、その後の台風で各所で破堤 が生じ、2001年の段階では河道は網状化していた。

図ー4に扇頂部を下流端として、標高と流域の累加面 積の関係を示した.マドンガン川は流域面積、比高(流 域最高点と扇頂部との高度差)共に最大であり、パパ川 が流域面積、比高が共に最も小さいことが分かる.

3支川の河床材料粒度分布は、3オーダーの広範囲の 混合粒径である(例:マドンガン川D₅₀は20~30mm).

表-1 2007年までに完成した扇頂部の貯砂ダム(出典:DPWH)

貯砂ダム	流域面積(km²)	堰堤高(m)	堰堤長(m)
ソルソナ	72.2	11.0	139
マドンガン	153.8	10.5	140
13/19	51.4	9.5	210
クラ	68.2	10.5	179
ラブガオン	100.5	14.8	139

表-2 2007年までに完成した支川の築堤と水制工(出典:DPWH)

支川名	計画流量(m³/s)	堤間幅(m)	霞堤カ所数	水制工数
ソルソナ	1120	230	2	225
マドンガン	1970	300	4	281
パパ	690	223	6	213
クラ	2360	340	4	914
ラブガオン	850	200	0	314





(2) 改修事業

本工事前は暫定堤防があったが、大部分破損した自然 状態の扇状地に、比国公共事業道路省により新規の築 堤・護岸と貯砂ダムが建設された. なお、工事中は築堤 と護岸材料のために近傍河床から玉砂利が採取された.

a) 貯砂ダムによる土砂流出抑制

表-1は、2004年から2007年に支川扇頂部に初めて建設された貯砂ダム(砂防ダム)の基本諸元を示す.計画として自然状態では扇状地区間で年間5cmの河床上昇をこれらのダム建設により、その約半分の上昇(20年間の平均)までに低減する効果がある¹⁶⁾.計画の総貯砂量は約4.7百万m³である.

b)築堤と水制工

表-2は、支川の改修諸元である.改修断面は扇状地のため単断面とし、その堤間幅は式(1)を参考に(係数約7)により決められた.堤防の川側法面は空石積の護岸に加え、根固工としてコンクリート製の短い水制を予想される水衝部に連続的に配置した(図-8参照).

(3)2008年洪水

3. (2) で述べた改修事業は2008年初頭に概ね完成した. 同年の雨期の初めである7月と8月に図一5に示す4つの台 風が来襲した.ここに示す日雨量はラオアグ川河口の空 港観測所のもので、支川のある上流域の雨量は不明であ るが、計画規模25年確率の3日雨量643mmを越える雨量が 観測された.上流支川の建設現場では、8月下旬の台風 Karen時にHWLまで増水した.記録的な2ヶ月間の増水の 連続で堤防と護岸・水制工は想定外の被害に見舞われた.

4. 河道で見られた現象の考察

(1)河道の表現方法

本論では2008年の築堤前後の河道の平面状況をSP0T衛 星画像と現地踏査による観察により表現する.各支川で 改修前の2001年10月は解像度20m、改修後の2008年11月 は解像度2.5mの画像の判読を行った.画像からは、扇状 地河道(石礫の堆積)、水流のある澪筋、植生の多い島が 区別できる.

この両画像の撮影年月の2-3ヶ月前に計画規模相当の 洪水が生じている.一般に、大洪水時に砂州の統合が起 きて、その後の低水流で更に澪筋が形成されると考えら れるため、この場合の画像から判読される澪筋は、大洪 水と低水時の影響を受けている.

(2) ソルソナ川

ソルソナ川(図ー6)は、扇頂部の直下流で彎曲した後、 勾配1/100より緩くなったところから蛇行を繰り返し、 区間⑤でマドンガン川を左岸から受け入れている.

改修前の2001年では区間①と②の左岸側で洪水の度に 河道が旧河道へ分岐していた.区間①では澪筋の状況か ら複列砂州が卓越しており、河床勾配が大きく変化する 区間②からは比較的明瞭な単列の澪筋を呈するようにな る.マドンガン川が合流している区間④は勾配が1/500 以下となり、澪筋の位置もマドンガンの合流の影響を受 け、右岸側に寄っている.

改修(築堤)されて洪水を受けた2008年では、区間① の破堤(分岐)は生じず、流水は堤防間に集中した.区間 ①では比較的単列蛇行の澪筋となった一方で、区間②~ ④は、両岸築堤のため、澪筋の蛇行傾向は薄れ、堤防法 線に沿った直線的な澪筋となった.区間①では上流の砂 防ダムの完成で流出土砂量が減り、河床低下した影響も 考えられる.区間②~④の澪筋の乱れは、ここが工事期 間中最も活発に砂利採取が行われたためとも思われる. 区間⑤では、砂礫堆が大きくなり、単列の澪筋が卓越し ているが、築堤によりB/hが小さくなったこと以外に、 2008年の洪水直後という点で、洪水による砂州の統合が 生じた可能性もある.

(3) パパパル

パパ川(**図-7**)は、扇頂部の直下流で彎曲した後、勾 配が1/61より緩くなったところから蛇行を繰り返し、ボ ンゴ川に合流している.

改修前の2001年10月では、区間①②は伏流のため衛星 画像では澪筋が不明確であった.改修後の2008年では、 破堤は限定的で、改修前に比べ、区間①②は澪筋の複列 化が明確となった.区間④⑤では、築堤による堤間幅に 応じたミオ筋の単列蛇行がより明確になり、全川に収 束・発散区間を繰り返す河道システムが認められた.

図-8は、2008年12月に筆者が河床面を踏査して作成 した河床面スケッチである.同図には堤防法線と連続水 制の位置を示した.そのミオから、基本的に霞堤位置を 節とした収束、発散が見られる.踏査時は乾季でミオに も水がない状態で、現場で砂州の高低を観察した.



図-8 パパ川の2008年12月における河道状況を堤防上と河床から目視して作成したスケッチ

パパ川の河道区間において、土堰堤のみの暫定工事が 行われていた最中の1992年の洪水時の河道内の主要な流 向と溢水の状況が大同¹²⁾によって報告されていた(図-9). 収束と発散を繰り返すミオの様子は、図-8の2008 年と類似していることが分かる. 図-9は、工事中の暫 定堤防はあったが、そのミオの蛇行に対する拘束はゆる い条件である. 図-8は、両岸が空石護岸と連続水制で 拘束された条件での、河道内ミオである.自然の網状に 近い状態における収束部の位置は、築堤後に大洪水を受 けてもさほど変化しないということを示している.これ は2.(1)で紹介した木下の指摘に通じるものである. 収束部と収束部の間は発散部となり、両岸の堤防に負担 をかける.自然状態の網状河道を見た時に、収束部を動 きにくいポイントとしてみなし、発散部になる区間の護





岸を強固、かつ収束部を両岸の水制工で固定することが 可能になる.



図-12 マドンガン川 8+900地点の横断面変化

(4)マドンガン川

マドンガン川(**図ー10**)は、扇頂部の直下流の左岸側で 河道の分岐が著しく、網状化が著しい.3支川中、扇頂部 からの流送土砂量が最も多く、河道はその幅を発散・収 束させながら流下し、ソルソナ川に合流している.



改修前の2001年では区間①の上流(扇頂部の直下流)で 澪筋が左岸に集中し、河道が分岐をしていた.設計では 基本計画¹⁶⁾を遵守しつつ、収束・発散区間および支川流 入部を考慮して4カ所の霞堤を導入し、区間①②で引堤 をし、全体として蛇行を持たせた堤防法線を設定し、水 衝部の固定を図った.また区間①の左岸に対しては連続 水制と鉄筋カゴの根固めを他区間より密に配置した.

しかし2008年洪水直前には水制の根固めの鉄筋の一部 が盗難にあっており、3.(2)で述べた想定外の連続的な台 風もあり、左岸側堤防との間が水衝部となり左岸で破堤 が生じた(図-12). 改修後の2008年11月の観察では、

2001年に認められた区間①の大礫堆は下流へ移動しており、図-10、図-11に示すように右岸の霞堤付近に大礫 堆が発達していた.

これら区間①の下流側と区間②の2008年11月の河道幅 は、2001年時点ですでに認められた横浸食幅に近いもの があり、将来の横浸食を軽減するためには考慮すべき幅 と示唆される.

【下流の霞堤効果】区間②と③の境界の左岸側では、 上流で破堤氾濫した流れが、下流の霞堤区間で河道内に 導流される現象が確認された.

(5)3支川の中規模河床形態区分図における位置

図-13は村本・藤田¹⁸による中規模河床形態の分類図 に3支川の位置を重ねたものである。河床材料は築堤前の 2001年当時、その他は計画規模に相当する値を用いた。 ソルソナ川とマドンガン川の最下流は単列砂州になるが、 その他は複列砂州の領域となっている。

5. おわりに

網状化した自然状態から短期間に支川単位で築堤と流 出土砂抑制の工事がなされた扇状地河道が洪水を経験し た。衛星画像判読と現場踏査により、3支川の築堤前後の ミオを中心とする河道変化を考察した.3支川は5年の極 めて短期間に築堤されたが、その中規模河床形態は、堤 防が概成して洪水を繰り返し受けている日本の河道を含 む既往研究の傾向に従っている.

築堤前後のミオの観察から、網状河道の収束発散の収 束(節)の位置は、霞堤とすることにより、改修によっ ても変化が少ない.そして発散区間は築堤後の洪水後も その傾向を維持し、結果として堤防河岸の水衝部になっ た.この事実は木下の指摘⁷を実際に具現していることで あり、網状化した自然河道に対して堤防法線を計画する 際の有意な参考となる.

一方、マドンガン川扇頂部では、大礫堆の移動と存在 で水衝部が発生し堤防河岸に負担が及ぶことが示された. 3支川の設計の堤間幅はレジーム式に依ったが、土砂流出 の多いマドンガン川では工事後の洪水による堤防浸食、 河道幅の広がりを目の当たりにし、望ましい堤間幅の検 討の重要性を認識した.堤防護岸の効果との関係を明ら かにするために、今後も現地河道の考察を継続する.

謝辞:事業実施者である比国公共事業道路省(DPWH)は現 在もラオアグ川の維持管理、堤防強化を行なっている. 本研究の継続的な考察に対するご理解に感謝いたします.

参考文献

- 1) 国土技術研究センター: 河道計画検討の手引き,山海堂, pp. 2, 2002
- 2)井上和則:扇状無堤河川に築堤する場合の洪水による河道特性の変化,水工学論文集第54巻,pp. 787-792,2010
- 3) 井上和則, 御園功, 浜口憲一郎, 須賀如川: 扇状無堤河川に築 堤する場合の堤防法線と河岸侵食防御工の実験とその考察, 河川技術論文集第9巻, pp. 25-30, 2003
- 4)井上和則,浜口憲一郎,御園功,須賀如川:未改修扇状地築堤 河道の河岸侵食防護工としての水制工水理模型実験と考察, 河川技術論文集第10巻,pp.143-148,2004
- 5) 橋本規明:新河川工法,森北出版, 1951
- 6)山本晃一:河道計画の技術史,山海堂,1999
- 7)木下良作:河道平面計画試論,水工学夏期研修会,1972
- 8)山本晃一:扇状地河川の河道特性と河道処理,土研資料3159号, 1993
- 9)井上和則:安定な河道断面・断面形の既往研究の概観と実河川の流量・川幅・水深関係の一考察,土木学会論文集B1(水工学), Vol. 67, No. 4, pp. I_787-I_792, 2011
- 井上和則:沖積地の安定な流路幅に関する既往研究の総説の 試み、河川技術論文集第17巻、pp. 113-118, 2011
- 11) 芦田和男,高橋保,水山高久:流路工計画に関する水理学的 研究,新砂防,第97巻,1975-11
- 12)大同淳之:動的安定河道の設計,河道の水理と河川環境シンポジウム論文集第1巻,pp.11-18,1993.
- 13) 須賀如川: 大礫を含む混合粒径河川における河道システムの 本質に関する考察,河川技術論文集第10巻, pp. 95-100, 2004
- 14) 井口昌平:川を見る-河床の動態と規則性,東大出版会,1979
- 15) 木下良作: 河床における砂礫堆の形成について, 土木学会論 文集No. 42, pp. 1-21, 1957
- 16) JICA: The Study on Sabo and Flood Control in the Laoag River Basin, Final Report, 1997
- 17)山本晃一:沖積河川構造と動態,技報堂出版,2010
- 18) 村本嘉雄,藤田裕一郎:中規模河床形態の分類と形成条件,第 22回水理講演会, pp. 329-337, 1978

(2012.4.5受付)