

開発途上国の扇状地河川における取水施設計画のありかた(地元の伝統工法を踏まえて)

PLANNING OF INTAKE STRUCTURES ON FAN PLAIN RIVERS IN DEVELOPING COUNTRIES VALUING MERITS OF TRADITIONAL LOCAL METHODS

横倉順治¹・須賀堯三²

Junji YOKOKURA and Kyoza SUGA

¹ 正会員 M.S. 国際協力事業団 無償資金協力部調査役 (151-8558 東京都渋谷区代々木2丁目1番1号)
東京工業大学客員助教授 大学院理工学研究科国際開発工学専攻

² フェロー 工博 宇都宮大学教授 工学部建設学科 (321-8585 栃木県宇都宮市陽東7丁目1番2号)

Intake structures for irrigation facilities on rivers of fan plains in developing countries are easily damaged by scour or sedimentation due to unstability of river channels, since sabo and flood control are rarely implemented. In such locations, local farmers traditionally build temporary intakes with riverbed materials that are easily damaged but also easily rebuilt after disasters. Due to this situation, use of concrete or gabions alone should not be considered as the only solution; instead structures that are in line with the responsible organization's maintenance capability should be devised.

In this paper, ideas for intake structures practically applicable to local conditions are proposed through evaluation of examples in Central Luzon of the Philippines, the Western hills of Indus River in Pakistan, and the Western slopes of Andes in Peru and Bolivia with due consideration for the merits of traditional local methods.

Key Words: *Intake Structures, Traditional Local Methods, Fan Plains, Unstable Channels, Developing Countries*

1. はじめに

開発途上国の扇状地を流れる河川では、コンクリート或いは蛇籠製取水施設が河床の洗掘や堆積により崩壊や埋没の被害を受ける事例が少なくない。これは、日本の河川と異なってそれらの河川では砂防施設の整備されている事は極めて希であり、土砂の生産・流出が制御されていない不安定な自然河川である事に因る所が大きい。これらの施設は一旦被害を受けると、その財政状況から復旧が難しく放置せざるを得ないという問題が生じている。このような扇状地河川での取水施設は砂防施設と一体で計画する事が望ましいが、砂防施設の建設と維持管理は事業費が高価となる為、これらの国ではほとんど実施できないのが現状である。一方このような河川では、農民が河床の玉石を積み上げたり粗朶を敷き並べたりして造った、簡単な構造の導流堤により取水する伝統的方法が従来より存在している。これらの構造物は容易に被災するが、その復旧も容易である利点を有し、農民等の施設維持管理能力と自然条件がよくバランスした工法であると言える。日本とは違って、治水・砂防施設が整備されていない、

あるいはそうしようとしても技術的・財政的にできない開発途上国の扇状地での取水施設計画では、画一的にコンクリートや蛇籠等による工法を適用するのではなく、例えばこのような地元の伝統的取水方法の価値を見直す等、河道の安定性と管理者の維持管理能力に見合った工法等の選定を行うことが必要であると考えられる。本論文ではこのような取水施設に関し、資料を収集し、問題点や共通点の抽出等を通じて検討を行い、その結果に基づいて伝統工法の効果に関する見直しの意義を評価し、このような河川の場合の計画のあり方について実務上の提言を行った。

2. 事例と考察

事例として、フィリピンの中部ルソン、パキスタンのインダス河西岸、アンデス西側山麓の各扇状地を取り上げた。中部ルソンのビライ川とデイパロ川では、1990年のバギオ地震の際上流山地で生産された土砂が洪水によって流下し、河床が1年間で12~19m上昇した為、灌漑取水堰が埋没した。インダス河西岸の扇状地群の一つカハでは蛇籠製の堰13基がフラッシュ洪水



写真-1 ビライ川、粗朶による導流堤

により損壊し、ミタワンでは、計画された分流堰の移動床水理模型実験の結果、堰上流河道の砂州の移動により分流比が一定しない事と、堰基礎が深刻な洗掘を受ける事が判明し、建設に至らなかった。これらの河川では従来から河床材料や粗朶などを用いた高さ約1m、長さ50m程度の導流堤により取水しており、埋没、洗掘、流失などの被害を受けて容易に壊れるが、復旧もまた容易に出来る伝統的工法を用いていた。一方ペルー、チャンカイ・ワラル谷では50年間以上使用しているコンクリート堰が2基あり、砂礫上の直接基礎であるが、致命的損傷がこれまで無かったのは流出土砂が少なく河床が安定している為と判断された。ボリビア、ケカ河の石積式導流堤群は洪水による流失はあったが、同様であり、これも滲筋と河床高が50年以上ほとんど変わらない為同じ所にある事が判った。

(1) フィリピンにおける事例研究

ルソン島中央を南北に走るカラバロ山地がパンガン平原と接する部分には扇状地が発達している。ビライ川とデイパロ川はアグノ川の最上流域にあり、同平原に出たところで扇状地を形成している。これらの扇状地では、従来より地元住民の共同作業により造られた導流堤より取水して灌漑農業が行われて来た。この導流堤は粗朶を高さ約1m、長さ50mに積み上げた簡単なものであるが、その周りに自然に土砂が付着して流れて来る水を水路へと導いている(写真-1)。その取水の効率を改善する為に国家灌漑局はコンクリート取水堰をデイパロ川には1977年に、ビライ川には1988年にそれぞれ建設した。建設時点では河床に堆積物が殆どなく、堰の基礎は露出していた基盤岩上に置かれた。しかし1990年7月に両扇状地の南南東45kmを震源とするマグニチュード7.8のフィリピン地震が起こり、その上流山地で大量の土砂が生産され、この土砂はその後の降雨により下流扇状地に流出・堆積し、両取水堰は埋没した。

a) ビライ川

上流域の面積55km²、最高標高1717m、上流域には住民はおらず、その植生は1996年のヘリコプターによる観察では草地が大部分で樹木は疎らであった。

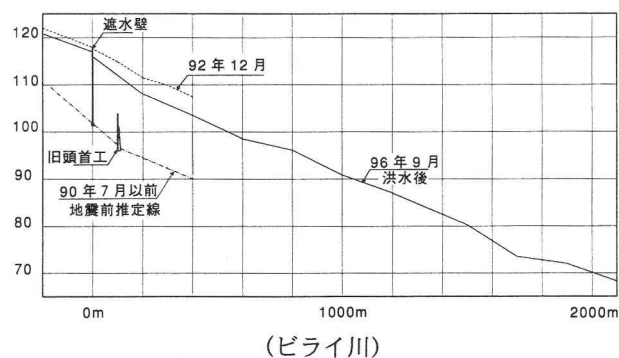
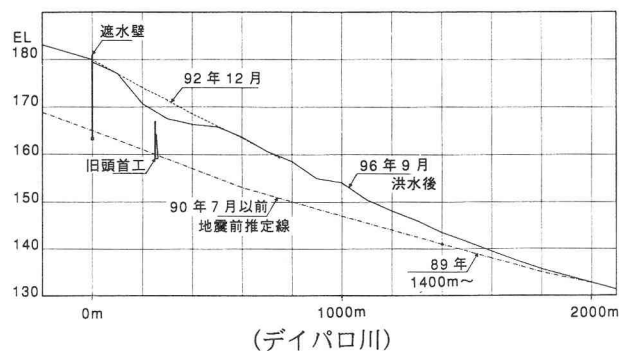


図-1 中部ルソン河川縦断形状の変化

これは長年木材の伐採が行われて来た為である。山腹には地震によると思われる滑落の跡が多数見られたが、それによって生産された土砂は斜面や河床には殆ど見られなかった。ビライ川は半径約5kmの扇状地中央を流れ、河床勾配は1/40~1/80、河床材料は $d_m=10\text{mm}$ の砂礫である。左右岸には各落差2m前後の段丘が2~3段形成され、右岸段丘上に水田が造られている。堰完成後も2段目と3段目の段丘崖が河道と交わる点に農民により粗朶と河床砂礫を用いて高さ約1m、長さ約50mの導流堤が造られていた。

取水堰は地震後の雨期の間に運ばれた土砂により翌1991年5月には完全に埋没し、1993年の測量¹⁾によれば河床は旧頭首工底板高さから19m上昇した。その様子を図-1に示した。このため新たに地下ダム機能を持つコンクリート遮水壁を日本の資金協力で建設し、1996年に竣工した。しかし竣工後その年に3台風8日雨量合計818mmがもたらした洪水により遮水壁下流の河床が洗掘されて5m低下した。この為洗掘が遮水壁に及ばないようにその下流に高さ約6mの砂防ダムを再度日本の協力で3基建設した。

b) デイパロ川

ビライ川の南隣りにあり流域の状況は類似している。地震発生後の河床の上昇は1993年11月では約12mであった。遮水壁は1996年に完成したが、その年の3台風と翌年の合計雨量556mmの3台風による洪水により最大5mの河床低下が遮水壁下流に発生した。この為同様に砂防ダムを3基建設した。

c) 考察

フィリピン・ルソン島では造山運動が活発で、これ

ら扇状地10km東側にはデイグデイグ断層が南北に走っていて、フィリピン地震はこのずれにより起こったものであり、上流域の地質はもろい。また熱帯モンスーンの影響下にあり、且つ台風の通過経路になっている為年間平均雨量は2300mm/年と大きい上に降雨強度も大で、1000mm/日を超える事が約5年に一度の頻度で起こっている。地震の後河床高が約12~19mも上昇したのはこのような自然条件下で生産された土砂が大量に流下し、扇状地に堆積した為である。またその後河床高が1~2雨期で約5m低下したのは、生産された土砂が山地から全て流下し、主に水だけが流出してそれまで堆積した土砂を洗掘した為である。このような扇状地上の河川でのコンクリートによる取水施設の建設は河床の安定を前提としなければ成立しない。その為には砂防施設が併せて必要となるが、フィリピンのような開発途上国では、砂防施設の建設を自国予算で実施する事は技術的・財政的に極めて難しい。一方農民による導流堤は洪水や河床の変化で容易に壊れるが、農民自身により再度復旧する事ができる。地元で行われてきた方法を単に非効率とか稚拙と否定してしまうのではなく、むしろ農民や政府など管理者の維持管理能力の限界と厳しい自然条件を考えると持続性の有る工法として評価すべきであると思われる。

(2) パキスタンにおける事例研究

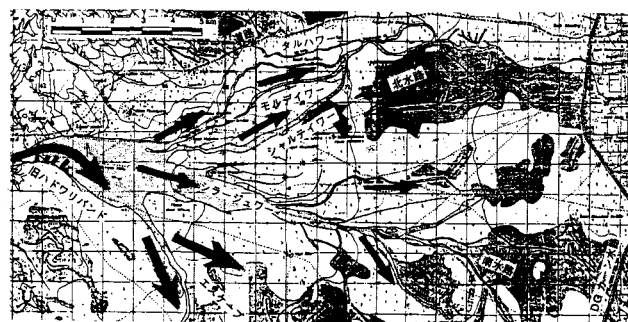
インダス川とその西岸を南北に走るスレイマン山脈の間には、13の大規模扇状地と約200の小規模扇状地が南北300kmに亘ってある。これらの扇状地はパチャドと呼ばれ、古くから部族・支部族単位の農民が住み、組織的な灌漑農業が行われてきた。雨量180mm~390mm/年でその60%は7~9月のモンスーン期に集中する。扇状地上の河川は一時河川であり、普段は流路に水はないが、降雨があれば流出して1,2日間継続する。扇状地河川への流出は2~3回/年程度である。灌漑にはこの流出が利用(flood irrigation)されている。

上流域の標高は約2000mで地質は白亜紀以降の堆積岩で、その地質構造は鮮新世~更新世のヒマラヤ造山活動の最も活発な時期に形成された。植生は極めて少なく地山が露出して風化を受け易い。この為流出のピークが先鋭で同時に大量の土砂が流下する。それらの扇面は現在も形成途中である。

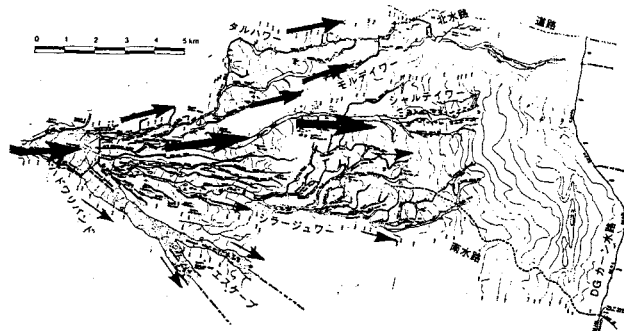
a) ミタワン扇状地

上流集水域741km²、扇状地の半径は20km、地表勾配1/200~1/300、1958~89の間の扇頂での推定最大流量は2070m³/sである²⁾。河床材料は扇頂では微細砂~細砂で $d_m=0.3mm$ 、下流では微細砂、埴土、壤土が支配的である。河床材料に礫が含まれていないのは、上流の各支流に形成された扇状地で礫がすべて堆積する為である。河川主流路は扇頂付近で北、南、エスケープの3本に分かれている(図-2参照)。

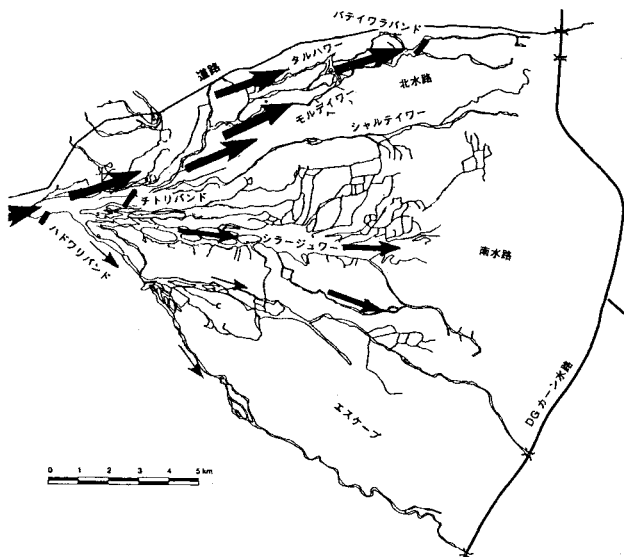
扇面にはほぼ全域に灌漑農地が分布している。取水は河床の砂を用いて、流路(ワー)に平行するサライ



(1968~77年頃の地形と、76年洪水)



(1984年頃の地形と、80、84年洪水)



(1992年の地形と、86、94年洪水)

図-2 ミタワン扇状地、流路と洪水の流れの変遷

と呼ばれる導流堤や、流れに直行するガンダまたはワクラと呼ばれる堰上げ堤を造って行われている。その芯に木の根が使用される場合もある。築堤作業には個人所有のトラクターが使用されている。このような強度の低い砂を材料とする伝統的技術は、小洪水は取水できるが大洪水の際には洪水で壊されて取水できなくなり、また下流での洪水被害が回避できない。このような強度があまりない構造物は自分の農地に十分取水後ただちに下流に放流する為には壊し易く、さらに自分の農地に洪水が過度に流入する事を防ぐ為のヒューズとなっている。一度壊れてもすぐに且つ低コストで

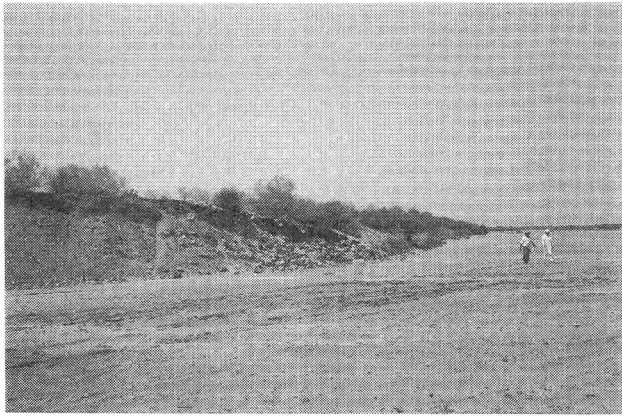


写真-2 ハドワリバンド、先端から付根を見る

造ることが出来る。水路の補修は水利組合（カマラ）が単位となって行っている。河床が洗掘されて低下した場合は、上流と下流に水路を横断する盛土を造ってその間を締め切り、上流側盛土の両端の小さな導流路からこの中に土砂を含んだ洪水を取り入れて貯留する。洪水によって流入する土砂によって河床は周辺農地に取水出来るまでに高くなる。流路巾が拡大した場合は兩岸から水制を数本ずつ出して、この水制の間に土砂の堆積を促進する。

流路とその流量は図-2に示す様に変化している³⁾。1968年発行の地図には3主流路分岐の手前右岸に4列の水制からなる旧ハドワリバンドが示されている。これは当時は洪水が農耕地が少ないエスケープに流れていたのを北・南水路に導く為であり、部族領主の元で農民が建設し維持していた。住民からの聞き取りによればこれらの水制は川床の砂を用いて造られていた為、洪水の規模が大きい場合には制御できなかった。扇端に沿って南北に流れるD.G. カーン水路は1960年代に完成したが、これが南水路の扇端を通過する部分には扇状地からの洪水通過の為の水路橋がないので、当時南水路には大きな流量は流れ込んでいなかったと考えられる。南水路の扇端は外側にはらみ出ており、過去に南水路に洪水流が集中した結果大きな二次扇状地が形成され、その扇面高が上昇して流れが北水路とエスケープに移動したと想定される。この為水利権のある北・南水路により多くの洪水を導く為に、石張り盛土構造、高さ4～5m、長さ400mの新ハドワリバンドが灌漑電力省により1979年に建設され、その後洪水は主に北水路に流れる様になった（写真-2）。

北水路では1960～80年代前半にはシャルティワーに洪水が集中していた。住民によれば1976年の洪水でシャルティワーの河床は河岸から3～5m低下した。ハドワリバンド建設後はこの傾向が更に進んだ。この為土壌保全局によって1984年シャルティワー上流端に同様な構造のチトリバンドが建設された。同時にさらにその北にあるモルデイワーとタルハワーに集中する洪水による河道浸食の進行の防止と、タルハワー北側水路の農地への分流の為、その末端に盛土のみのパティワラバンドが1984年に建設された。1986と94年洪水

は両ワーに集中し、その際このバンドは河道の浸食・低下を有る程度防いだが、86年洪水で一部が決壊した。この為その後機能を完全には果たせず、タルハワーでは約11km下流まで河床が2～4m低下し河巾が拡大した。その後1996年に決壊部分は補修された。

このように特定な流路へ洪水が集中して河床の低下を起こしたり、特定の流路に沿ってのみ土砂が堆積するような事を避ける為、扇頂付近での洪水分流堰が1995年に計画された。施設の位置、構造等を検討する為に移動床水理模型実験が日本の技術協力により行われた。分流比は北：南：エスケープ＝1：1：1とされたが、実験の結果分流堰上流に発生した砂州の移動により各流路への流入量が時間の経過と共に不規則に変動した。また堰上流では深さ1.5～3.8mの局所洗掘が発生し、下流河床における洗掘深は約20m、洗掘長は50mに達する事が解った。基礎地盤が厚く堆積した細砂である事から洗掘と河床変動に対する恒久施設としての適切な対策がなく、その機能を維持する為には徹底した維持管理が必要となり、分流堰の建設は妥当ではないと判断された。

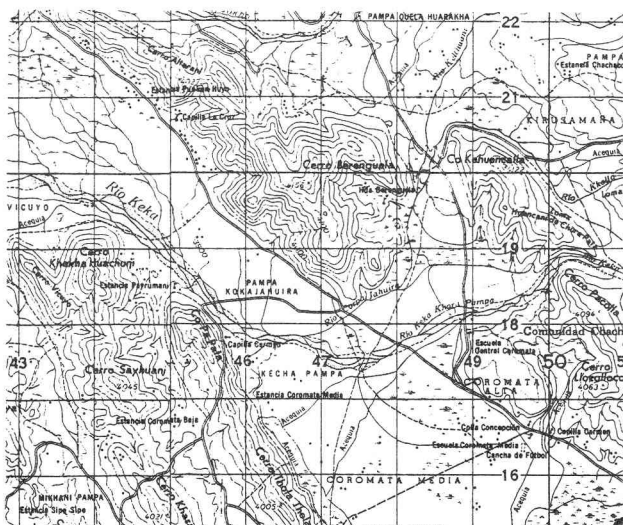
b) カハ扇状地

ミタワンの南にあり、扇状地の半径40km、扇頂付近の河床材料は礫で扇端付近は砂、ミタワンと同様伝統的灌漑が行われている。扇状地の洪水を農地に効率的に取水すると共に下流の洪水被害を防止する為に、ADB資金により扇頂部から扇端部まで13の鉄線蛇籠製分流施設の建設が1993年に開始された。しかし工事中1994年と95年の洪水により大きな被害を受けた。上流部では94年洪水で三カ所の鉄線蛇籠導流堤が壊れ、河川を横断する堰一カ所が蛇籠底面の盛り土材料が吸い出しにより不等沈下した。下流部では一カ所の堰が94年洪水で鉄線蛇籠下の材料が吸い出されて沈下し、95年洪水で完全に崩壊した。

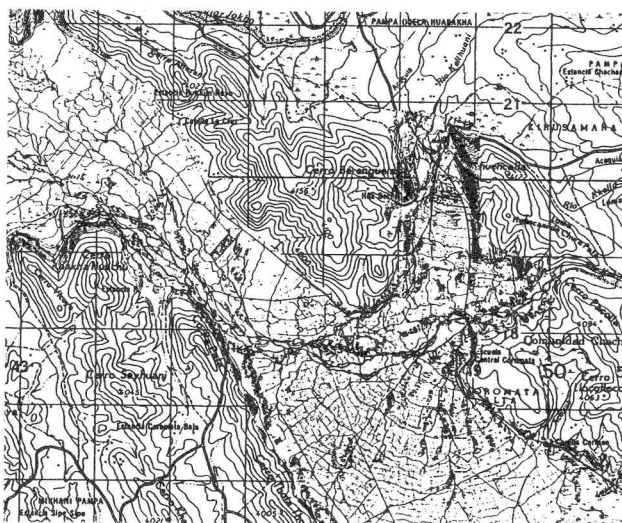
c) 考察

ミタワン扇状地で河道変動が大きいのは、降雨の条件に加え上流域に植生が無く風化岩が露出している為土砂が生産され易く、また細砂の河床材料が容易に洗掘され、流速によっては堆積して砂州や二次扇状地を形成する為である。政府によって建設されたバンドは、水路上流端に建設された場合には洪水の流れの向きを変えると同時に他の特定の水路に流れを集中させてその河床低下を引き起こしている。しかし流路の末端にバンドを建設する事によりその上流河床での堆積が促進されている。また流量の均等な配分は河床波の影響があるので不可能であり、更に局所洗掘の発生により施設維持管理が難しい事が水理模型実験から判明した。従ってこの扇状地では、地元農民や政府の維持管理能力を考慮すると、従来のバンドと地元の伝統的取水方法は持続可能な技術であると評価出来る。

カハでの被害の原因として上流部では洪水中の濃度の高い砂礫により蛇籠の鉄線が切断された事、下流部では鉄線蛇籠内側から土砂が吸い出された事も考えら



(1955 年)



(1996 年)

図-3 ケカ川流路の変遷

れる。蛇籠は建設費は安価であるが、礫や玉石を含む洪水流による衝撃に対しては鉄線の強度が不十分であり、また越流された場合にはかなりの吸い出しを受けるので、維持管理上かえって問題を生じさせると想定される。洪水・土砂被害を受けないような取水施設とする為には砂防対策を併せて行う必要がある。その分投資額は増大し、その維持管理は政府、農民の経済・技術的能力を超えらると思われる。この点からミタワン同様持続可能な技術として伝統工法を見直すことが必要と考えられる。

(3) ペルーとボリビアにおける事例研究

a) チャンカイ・ワラル扇状地（ペルー）

ペルーのアンデス山脈太平洋側には36の流域があり、そこに発達した扇状地ではスペイン統治時代より灌漑農業が営まれてきた。チャンカイ・ワラル扇状地はリマ市の北100kmにある。最上流域はアンデス山脈でその標高は約5000m、上流には大小約40の氷河性の湖が



写真-3 ケカ川、玉石による導流堤

あり、このうち12にダムが築かれ貯水池として利用されている。標高2000～4000mの間に灌木帯が存在する。扇状地の半径は約80km、チャンカイ川が貫流しており、扇端は海岸線そのものである。河床材料は玉石～砂利・砂である。降水量は標高2000m以上の山地部で500mm/年、海岸部で20mm/年に過ず砂漠と変わらない。チャンカイ川の1969～83年の既往最大流量は $48\text{m}^3/\text{s}$ であるが比流量では $0.26\text{m}^3/\text{s}^{(4)}$ と極めて小さい。

チャンカイ川から取水する為の灌漑施設はスペイン統治時代に大農園（アシェンダ）所有者によって建設・維持されてきた。1970年代に実施された農地改革後は自作農家の組合組織が運営・維持している。従って50～100年を経たものが多い⁵⁾。現在ある取水施設は河川の一部を締め切った固定堰と取水ゲートの組み合わせ2カ所、取水ゲートのみ2カ所、農民が玉石を積み上げた導流堤（高さ約50cm、長さ50～100m）13カ所である。河川の一部を締め切ったコンクリート固定堰は約50年前に建設されたが、砂礫上の直接基礎にもかかわらず水叩き下流の河床が深さ1m程度凹状になっているだけで、その他の浸食、堆積による被害は生じていない。農民からの聞き取りによれば河川の滞筋は変化するが河床高はほとんど変化がないので、河床材料である玉石の積み上げによる導流堤の位置は、少なくとも約50年間ほぼ同じ位置ある。

b) ケカ川（ボリビア）

扇状地の半径は 約15 kmでその下流に谷底平野が続く、その中をケカ川が貫流してチチカカ湖に注いでいる（図-3）。上流域の最高峰は5512mで5000m以上は氷河で覆われ幾つもの湖がある。扇状地周辺は標高約4000mで年間平均降水量は590mm、植生は草地または裸地で河床勾配は1/60～1/300、河床材料は直径2～30cmの砂利～玉石である。地震はない。

ケカ川からの取水による灌漑農業は16世紀のスペイン統治時代より行われて来たと言われる。灌漑施設は当初はアシェンダ所有者により建設・維持されたが、1953年に実施された農地改革以来小規模自作農の組合組織が運営・維持している。既存取水施設は堰やゲートなしの11箇所、灌漑水路は全て土水路である。農

民からの聞き取りによれば濡筋は移動するが河床高は約50年間変わっていないので取水口の位置もその間変わらず、河床材料の玉石や泥ごとの根の付いた草等を盛り上げて造った導流堤（高さ50cm以下、長さ50～100m）で十分との事であった（写真-3）。1955年作成の1/5万地形図と1996年作成の1/5千地形図との比較をコピーで同じスケールにして図-3に示した。網状濡の変化はあるが、それを包含する河道には大きな変動はない。

c) 考察

アンデス山脈西斜面の扇状地で河道が比較的安定しているのは、上流からの流出土砂が少ない事による。流出土砂が少ない理由として、降水量が少ない上台風等による集中的降水がない事、氷河や湖により洪水と土砂の流出が緩衝されている事、ペルーのチャンカイ・ワラルでは灌木帯がある事、ボリビアのケカ川では地震がない為土砂の生産がその分少ない事、等が考えられる。従ってコンクリート取水施設の維持管理はフィリピン、パキスタンの場合と比較して容易である。

3. 結論

(1) 開発途上国の扇状地を流れる不安定な自然河川に造られた取水施設の被災に関する現地調査を行い、これら事例の実態を通して共通する問題点を指摘した。資料が十分に蓄積されていない河川の場合には、特に伝統工法の効果に関する評価の視点が重要であり、そのような視点から計画のあり方について実用性を重視した提言等を行った。

(2) 開発途上国の扇状地河川に不安定なものが少なくない大きな原因の一つは、日本と違って治水・砂防対策がほとんど実施されていない為である。このような河川では従来から農民が河床材料等を用いて造った簡素な導流堤から灌漑用水を取水している。これは容易に被災するが、同時に簡単に復旧出来るという長所があり、農民の経済力、技術力、役務提供能力に対し無理のない持続可能な工法として評価できる。このような場合は、建設や維持管理が高価となるコンクリート等による永久構造物より、むしろ不安定な河床の状況に応じてその位置や形状を工夫・変化させる事ができる等、自然条件に対して柔軟且つ安価に対応できる伝統工法が優れている事もある事が判った。

開発途上国の農民や政府の経済・技術・役務負担能力は日本のそれと比べて極めて低く、この事は建設する構造物が限りなくメンテフリーでなければならない事を意味する。従って不安定な扇状地河川に取水施設等を計画する場合は、単純に日本の技術をそのまま適用出来ない。自然状況や管理者の技術・財政能力と均衡が取れていると認められた場合には、新たに外部からの技術を導入するのではなく、むしろ伝統的工法を継続してゆく計画とする事が施設維持管理の継続性の観点から望ましい。そのような技術は、村落や部族とい

う組織で培われ継承されて来た文化・歴史という側面もあり、不安定河川という自然環境との調和という点においては、コンクリート等を使用するいわゆる近代的工法には無い優れた機能を有していると認められる。但し灌漑組織や伝統的工法が無い所ではこれに相当する工法を新たに考案する必要があり、技術的支援も同時に行う等の配慮が必要と思われる。また開発途上国の技術者には自国のこのような技術を否定する傾向も見られるので、その場合には彼らの理解を深めてもらう必要がある。

(3) 自然条件により扇状地河川の安定の程度と形態には違いがある事が解った。ルソン島のピライ川やデイパロ川は、上流域での土砂生産が活発且つ雨量が多く降雨強度も大であるので、河床の垂直変動が大きい。インダス西岸のミタワンは河床が細砂からなり、二次扇状地の形成等により平面変動がより大きい。アンデス西斜面では、降水量が少なく且つ融雪と湖により流出のピークが緩和される等の為河床の変動が穏やかである。これらの条件の違いは以下のように計画に十分反映されなければならない。

a) ルソン島の事例ではコンクリート取水堰や遮水等の被災の程度が深刻で、復旧に当たって砂防施設も必要となった。このように河床変動の大きい扇状地河川では伝統工法は必ずしも非効率ではなく、費用対効果と維持管理の点からはむしろ合理的な場合もあると考えられる。

b) ミタワンのような細砂河床での分水比は、水理模型実験の結果上流側にできる河床波の影響で時間経過と共に不規則に変化し、また構造物基礎に地元管理者では補修出来ない規模の大きな局所洗掘が出来る事が解った。しかしこれまでの実績から判断して、政府が建設したバンドと農民の伝統的工法により、扇面へある程度均等に洪水を配分する事は可能と考えられる。

c) アンデス西斜面の事例ではコンクリート取水施設は過去約50年間被災していない。管理者の維持管理能力に見合った従来の規模であれば、コンクリート構造物の建設は可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 国際協力事業団：デイパロ・プリンシパル灌漑施設復旧計画基本設計調査報告書、図面集No.4, 1994
- 2) 国際協力事業団：ミタワン堰建設計画基本設計調査報告書、pp2-14～15, 3-9, 1997
- 3) Irrigation and Power Department, Government of the Punjab: Masrer Plan for the Development of Mithawan Hill Torrent, pp15～19, 1995
- 4) 国際協力事業団：チャンカイ・ワラル谷かんがい復旧計画実施調査報告書、PP5, 10, 1985
- 5) 進藤澄雄：水資源と灌漑計画（人-水-農業）、開発学研究第10巻第1号（通巻52号）、pp1, 1999

（2000.4.17受付）