

メコン川の河岸侵食対策のための連続水制工

GROYNE TO PREVENT RIVERBANK EROSION ON MEKONG RIVER

松木洋忠

Hirotsada MATSUKI

正会員 国土交通省近畿地方整備局姫路河川国道事務所（〒670-0947 兵庫県姫路市北条1-250）

Riverbank erosion is one of major problems in land management in the lower Mekong River basin. In the case of Laos, a series of groynes was installed in 1998 to prevent riverbank erosion at Ban Tonpeung, Bokeo Province. The groyne project had a concept to break an erosion spiral caused by monsoon fluctuation using nature river features. The groynes, consist of rock riprap, were designed to attract deposition on the bank foot in high-water seasons, which would work as counterweight against circular slips in low-water seasons. In total, 20 structures had been built by 2004 and monitored in 2010. The groynes were working successively to make the riverbank stable, create a nature-friendly waterfront and improve water access for residents. This paper presents cause analysis of the erosion, design specification of the groynes and evaluation after construction, with recommendations for riverbank management in monsoon regions.

Key Words : Groyne, Fluctuation, Riverbank Erosion, Circular Slip, Sediment

1. はじめに

河岸侵食対策は、アジアの発展途上国の国土保全にとって、最も深刻な問題の一つである。モンスーン地域の河岸侵食は、毎年の明瞭な雨季と乾季による水位変動のため、侵食規模が大きい。また、国際協力によって侵食対策工事が援助される場合があるが、維持管理のための財源は常に不足している。

このような状況の中で、ラオス国ボケオ県では3kmにわたる河岸侵食に悩まされていた。1998年にラオス政府の依頼を受けた筆者は、日本の伝統的河川技術を参考にした持続可能な侵食対策を導入した。採用した工法は連続水制工である。これは、水制間に土砂を堆積させ、進行する河岸侵食サイクルを断ち切るものである。現地では、ラオス政府の予算によって、2004年までに水制工20基の施工が行われた。2010年の現地調査では、水制群は河岸の安定、生態系に優しい自然環境の形成、地域住民にとって利用しやすい水辺空間の創出に寄与していた。また連続水制工の効果と経済性が評価され、ラオス政府は他の河岸侵食現場でも同工法を適用し続けている。

本論は、メコン川に導入した連続水制工について報告するものである。まず、河岸侵食の原因分析、それに基づく対策の考え方を示す。次いで、現地の材料、技術力、予算の制約条件の中で実施可能な連続水制工の設計について説明し、その建設過程、および、現時点での効果を確認する。最後に、モンスーン地域での河川侵食対策としての連続水制工の

成果と河川管理における国際技術協力のあり方について考察する。

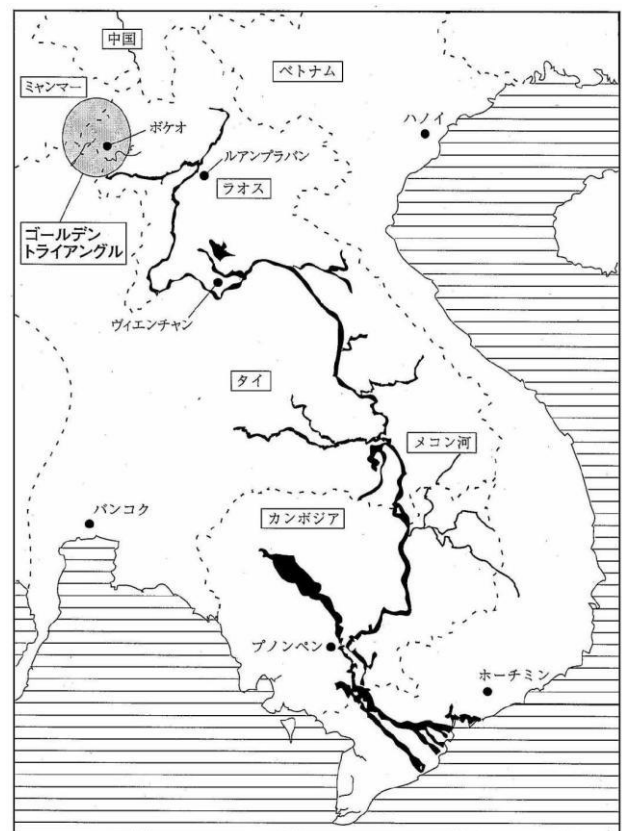


図-1 メコン川と連続水制工の位置図

2. 侵食現場の調査

メコン川は、幹線流路延長4,880km、流域面積795,000km²の東南アジアの大河川である（図-1）。その流量変化は、顕著なモンスーン気候の降水によって特徴づけられる。基底流量はチベット高原の雪解け水で確保されており、年間降雨量の80%が集中する5月から10月の雨季の降雨が流量増加をもたらす¹⁾。源流から2,200km、集水面積189,000km²のシャンセン水位観測所では、8月の最大月流量は、3月の最小月流量の約8倍である²⁾。このため水位変動が大きく、年間水位差はおよそ10mに達する。なお、既往最大流量は1966年の16,000m³/sであった³⁾。

ラオス国ボケオ県トンペウン村は、タイ国シャンセン市の対岸に位置する。この村に国際交易の拠点となる経済特区が計画され、河岸侵食対策が緊急の課題となっていた。トンペウン村では、河岸侵食が長期間進行しており、過去20年間に20mの河岸後退が起こったと報告されていた。

河岸侵食対策の検討のために、筆者が1997年11月と1998年2月に行った現地調査の概要を示す。

(1) 河岸侵食の状況

現場は、メコン川が蛇行し、左岸のラオス側を侵食する河岸である（図-2）。侵食区間は約3km、川幅はおよそ400m、平均河床勾配は1/2,500⁴⁾である。右岸側には広い砂州が形成されていた。表面流速は、高水位期の河川中央付近で最大3m/s、河岸の前側では1m/s以下と見られた。

侵食河岸は、崩落したままの崖地形をなし、水面からの高さは約10mであった。水位が上昇すると、表面の土砂が移動するため、河岸に植生は見られなかった（写真-1）。

河岸の地質は、洪積層の泥岩層や砂礫層からなり、深部までラテライト作用を受けていた。侵食区間の中ほどに露出した泥岩層は、湿潤状態では極めて軟弱で、土粒子を指ですくい取ることができた（写真-2）。上流側は礫河岸となっており、河岸材料は最大10cmほどであった（写真-3）。礫の大きさは、メコン川の掃流力を超えており、崩落に伴い洪積地層の中から供給されたものと考えられた。対岸の砂州は、川幅の半分ほどを占め、0.1mm程度の細砂で覆われていた。

(2) 河川構造物と土木材料

シャンセン市街地にはコンクリートと捨て石の護岸が施されていた。対岸のトンペウン村の船着場は木杭と土嚢による簡易的な法面保護が施されていた。また中国との交易船の航走波のため土壌の吸い出しが見られた。

トンペウン村の周辺では、鉄鋼、セメント、石材などは入手困難で、河川工事には用いられていなかった。家屋は主に木造であったが、森林保護政策の下で大量の伐採が禁止されていた。

周辺地域の材料調査を行ったところ、北方約10km地点に花崗岩からなる小丘陵を確認した（写真-4）。花崗岩の表面の風化は少なく、採集したサンプルの比重は2.8であった。ボケオ県では、道路建設工事が進められており、建設業者の機材調達によって発破作業とトラック輸送が可能であることを確認した。

(3) 住民ヒアリング

現地の住民からのヒアリングでは、河岸侵食が進んだため、村の半分の面積が流失したとしていた。また、河岸は小舟係留、釣り、洗濯、沐浴などで日常的に利用されていた。その他、以下の貴重な情報を得た。

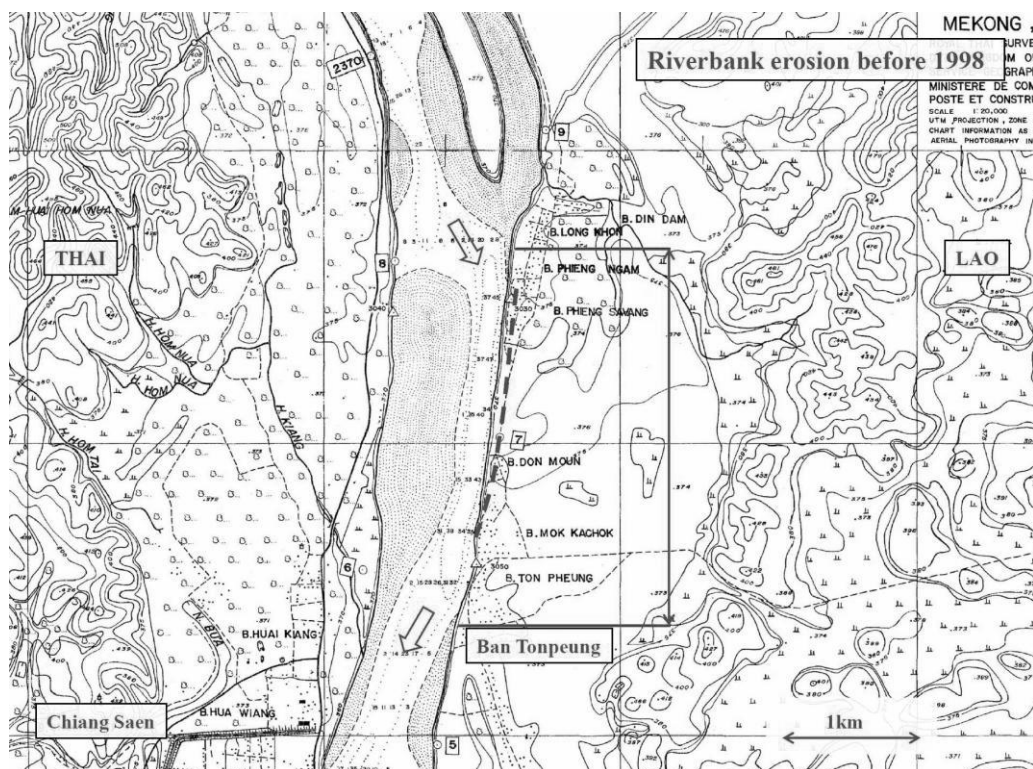


図-2 トンペウン村の河岸侵食の位置図⁴⁾

- ・1966年には左右に川の水が溢れたが、例年は崖の上部までで、村は浸水しない。
- ・侵食は毎年起こるわけではなく、河岸の崩落は数年に1度発生する。
- ・水位に関わらず、住民の生活には水が必要なので、崖に小道を付けて登り降りしている。

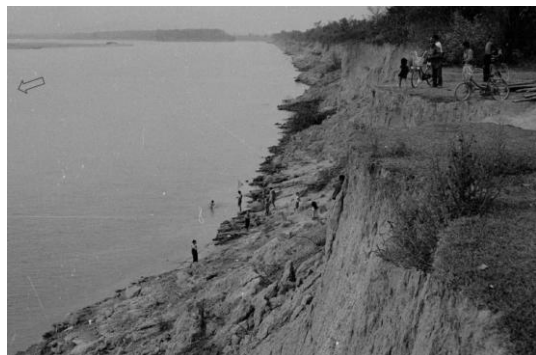


写真-1 河岸侵食の全景 (1998年2月)



写真-2 露出した泥岩層 (1998年2月)



写真-3 礫に覆われた河岸 (1998年2月)



写真-4 花崗岩の小丘陵 (1998年2月)

3. 侵食原因の分析

現地調査の結果から、河岸侵食の直接的な原因は、すべり破壊であり、5年程度の周期をおいて破壊が再発し、河岸侵食が進行しているものと判断した。これは、ラテライト化した洪積地層と大規模な水位変動を要因とする現象である。すなわち、次の①、②、③の事象を繰り返す河岸侵食サイクルが漸進しているものと分析した (図-3)。

① 水面下の直立崖の形成

湾曲河道で発生する螺旋流の掃流力によって、河道外側の河岸と河床には洗掘作用が働く。とくに高水位期の掃流力によって、大粒径の礫以外は流失する。この現象が繰り返され、乱されていない洪積地層からなる10m近い崖地形が水面下に形成される。

② 直立崖の露出とすべり破壊

崖地形は低水位期には空気に晒されて乾燥する。乾季末には地層の中の間隙水も失われ、雨季の初めの強い雨によって、崖の上部に水が浸透し、重力バランスが失われてすべり破壊が発生する。この時、河岸はおおよそ5m後退し、崩落土砂によって安定する。

③ 崩落土砂の経年的な流失

水位が再び上昇した時に、崩落土砂に掃流力が働く。また水位変動期の航走波や乾季の乾燥収縮によって土塊が細粒化し、徐々に流失する。これが毎年繰り返され、②で発生した崩落土塊は徐々に減少し、5年程度経過すると、約5m後退した場所に①と同様の新たな崖地形が形成される。

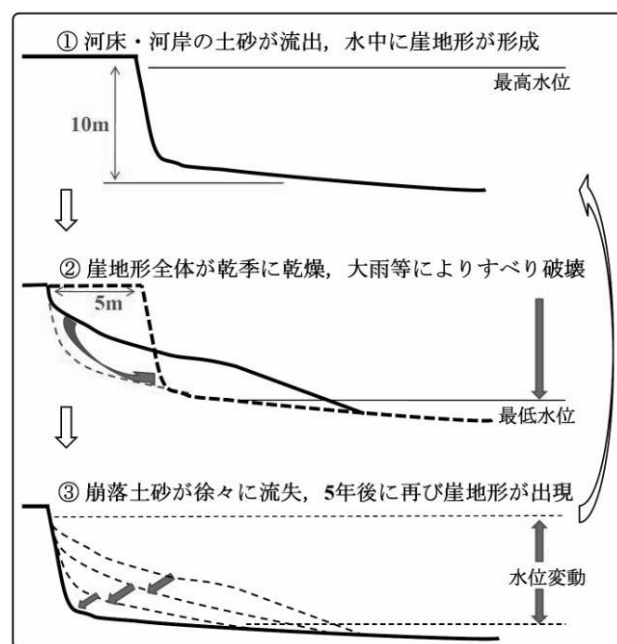


図-3 水位変動に伴う河岸侵食サイクル

4. 対策工法の設計

前述の河岸侵食サイクルの漸進に対し、工学的な対策工法として、蛇籠護岸案、押さえ盛土案、連続水制案を比較した。3案の考え方と特徴を以下に示す。

○蛇籠護岸案

崖地形を直接保護するため、法面に蛇籠を積み上げる工法。蛇籠護岸案は蛇籠鉄線と吸い出し防止材を輸入が必要であり、ビエンチャンでの実績では河岸1 mあたり1,530 USDを費やした。将来補修が必要な場合には、材料の再輸入が必要となる。

○押さえ盛土案

すべり破壊を防止するため、粒径の大きな石材で崖地形の法尻を押さえる工法。材は現地調達可能である。ただし現地の施工能力に限界があり、侵食河岸全域を保護するためには長い施工期間を必要とする。

○連続水制案

高水位期の送流土砂を堆積させ、低水位期には押さえ盛土として機能させる工法。現地調達可能な石材で基部を築き、上部に植生を繁茂させ河岸前面の流速を低減させる。施工実績がなく、コストと土砂補足効果は明らかではない。

3つの代替案のうち、材料、施工能力、予算の現場条件を考慮して、連続水制案を選択した。水制は日本の河川伝統技術の一つで、河道の滞筋を管理するために用いられ、その形状や配置により滞筋を河岸から遠ざけたり、近づけたりする⁵⁾。ここでは、対岸や下流への影響を避け、高水位期の土砂堆積を促進する透過型の連続水制工として設計した。

現地調達可能な材料は、石材と自然植生である。そこで、不透過な石積みの基部を低くし、その上に植生の空間を確保して、全体として高水位期に透過性の機能を発揮する複合水制工とした。石積み部分の設計諸元は以下のとおりである（図-4）。

- ・石材の径：20cm以上
3m/sの流水中で、比重2.8の石材が安定する粒径⁶⁾。同程度のコンクリート塊が河床に残留しており、最大の河床礫の径5cmの4倍に相当。
- ・水制工の長さ：40m
低水位期に人力施工が可能な水深までの延長であり、川幅の1割に相当。
- ・水制工の高さ：6m
崖地形の半分程度の高さ。高水位期には水没させ、水刳ね効果を弱める。
- ・水制工の幅：3m
上部にメコンヤナギの生育空間としての幅を確保。石材が目詰まりした後、メコンヤナギを植栽する。
- ・法勾配：先端部1:3、下流面 1:3、上流面 1:1.5
先端部と下流面にはメコン川の安定した河岸の勾配を採用し、上流面はその半分とした。
- ・水制工の間隔：100m
水制長の2.5倍。間隔を大きくとり、侵食河岸を早期に保護する。ただし、水制間に崩落が発生すれば、中間に水制工を追加することとした。
- ・施工順序：下流から
水制工の回折流による下流侵食防止のため。
- ・点検補修：毎年の低水位期に実施
先端部の石材が沈下すれば、直ちに石材で補修。

この基本設計に基づいて、ラオス政府は、連続水制工の効果を確認するための試験施工に着手した。

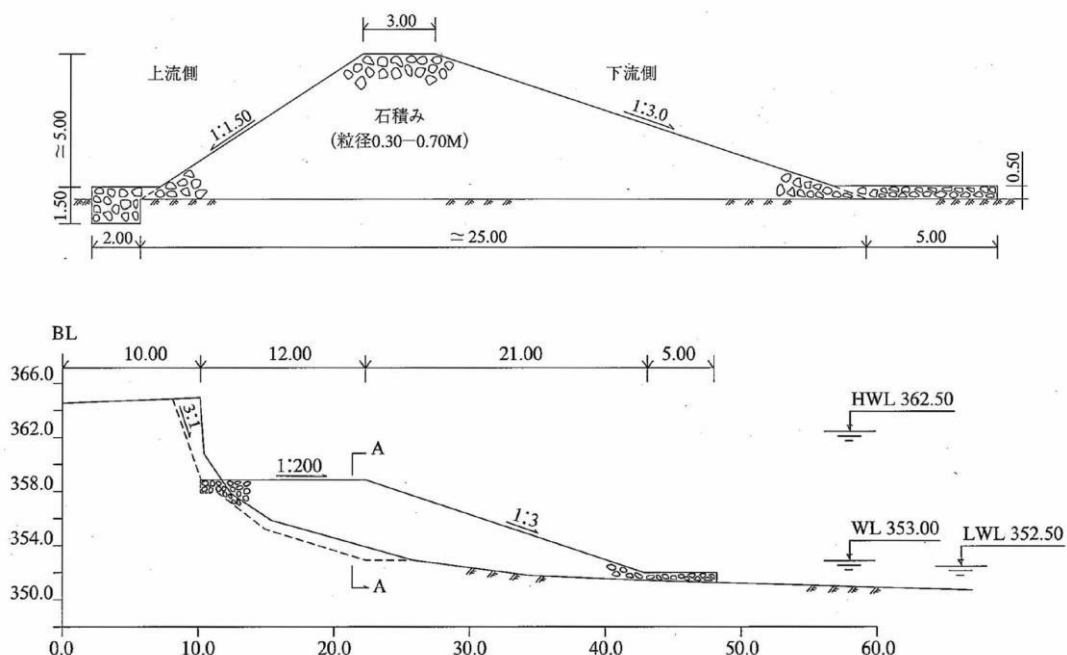


図-4 石積み部分の横断面と縦断面

5. 連続水制工の施工

連続水制工の試験施工は、1998年2月に開始された。1号機の設置場所は、河岸侵食区間の最下流にあたるトンペウン村船着き場の上流200m地点である。小丘陵から採掘された花崗岩は、径30-70cm程度に整形され、工事現場までダンプ運搬された。石材は、低水位期の水際にバックホウと人力でほぼ円形に敷き並べられた（写真-5）。法面勾配を整えつつ高さ6mにまで石材が積み上げられ、不透過の水制基部を形成した。

2000年4月までに4基の水制が完成し（写真-6）、以下のような成果が得られた。

- ・2度の高水位期を経験したものの、石材の沈下や石積みの変形は認められなかった。
- ・水制間の土砂堆積で、河岸が安定しはじめた。
- ・石積みの上にはメコンヤナギの自生が確認された。

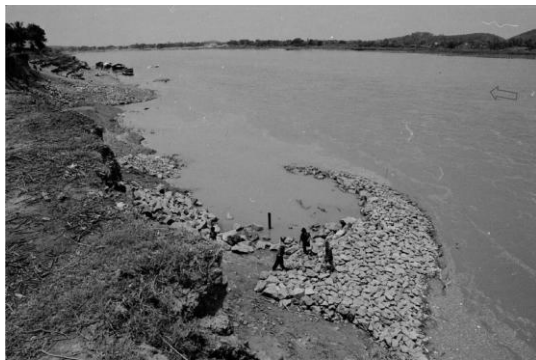


写真-5 建設中の1, 2号基（1998年5月）



写真-6 完成した1, 2, 3, 4号基（2000年4月）



写真-7 建設中の水制群と堆積土砂（2002年1月）

- ・石積み1基の実質工期は約2ヶ月、工費は河岸1mあたり309 USDであった。

連続水制工の効果を認めたラオス政府は、建設継続を決定し、2000年以降の水位低下期にも2~4基の石積みを上流に向けて設置していった（写真-7）。2004年には、最下流の船着き場付近に2基が増設され、合わせて20基の石積みが設置された。なお、石積みの上には数年で多様な植生が侵入してきたため、人為的な植栽は行っていない。

この段階で、トンペウン村の水制事業は打ち切られている。その理由は、侵食区間の下流2km区間では水制工の効果が現れたこと、上流1kmの河岸には礫が堆積し緊急性が低いこと、限られた予算を他地区の河岸侵食対策に振り向けたことによる。

6. 連続水制工の効果

水制設置後の2002年と2008年の高水位期に、メコン川の河道が満水となる水位上昇があった⁷⁾。水制工は、完全に水没し、送流土砂を補足する機会に恵まれた。2010年の土砂堆積の様子は、衛星写真から判読することができる（図-5）。

水制工の効果を確認するため、筆者は2010年6月にトンペウン村の現地調査を実施した。その結果、1号基の設置から12年の時間を経て、透過型の連続水制工として機能し、河岸の安定を確保していることを確認した。河岸侵食サイクルを断ち切って河岸侵食を防止するという所期の目的を達成するとともに、水辺利用や自然環境の面でも良好な河岸を形成したものと評価できる。

(1) 水制工および河岸の状況

20基の水制工について、石積みの変形は確認されず、上部は自然発生した植生に覆われていた。最初に設置した1号基は、完全に土砂と自然植生に覆われ石積みを確認することができなかった。石積みは、植生の根によって固定され、隠し水制として機能しているといえる（写真-8）。2号基と3号基の間には、

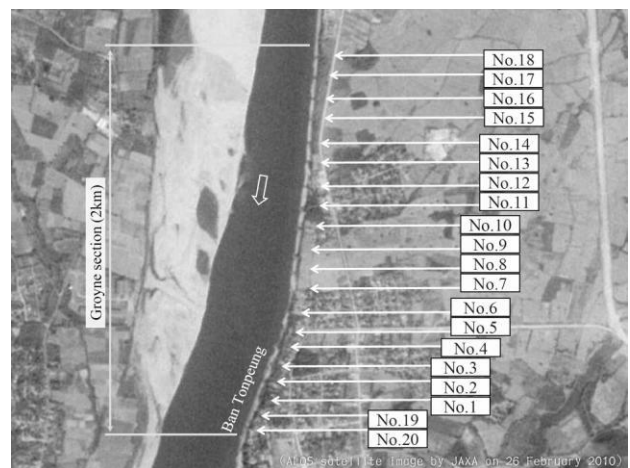


図-5 20基の水制群と施工順序（2010年2月5日 ALOS）

元の崖地形の半分程度の高さまで土砂が堆積し、緩やかな水際線を形成していた。安定的な水際にも草本類が侵入し、崖地形の被覆工として機能していた（写真-9）。11号基では、メコンヤナギの幼木を確認した。成長するにつれて土砂堆積を促進し、他の樹種も活着すると期待される（写真-10）。

(2) 建設コスト

ラオス政府によれば、1998年から2004年の7回の低水位期に20基の石積みを設置し、全体の平均コストは河岸1mあたり237 USD相当に低減した。水制工の長さや石材の径などの設計諸元に見直しを加えた創意工夫の結果である。この実績により、ラオス政府は、他の河岸侵食現場にも連続水制工を採用した。

(3) 住民の評価

調査時に実施した住民アンケート調査では、連続水制工による侵食防止効果について、地域住民の理解と評価が確認された。また、安定した河岸は、魚釣り、耕作、沐浴などに利用されていた。



写真-8 植生に覆われた1号基（2010年6月）



写真-9 2号基と3号基の間の静水域（2010年6月）



写真-10 11号基のヤナギと上流河岸（2010年6月）

7. まとめ

前述したメコン川の連続水制工の成果から、日本の伝統的な河川技術を国際的に活用していくための要点を考察して、本論のまとめとする。

(1) 現場合わせの対策

最も重要な留意点は、現場の実態に合わせた対策をとることである。とくに情報が十分でない河川においては、発生している事象を現場で分析することが重要である。その上で、現地での調達可能な材料、施工能力、予算制約を勘案した設計および施工がなされなくてはならない。また現実的な維持管理方法までを、設計段階で提案しておく必要がある。

(2) 自然の力の利用

河川のもつ自然の力を積極的に利用すべきである。今回の連続水制工は、当初から土砂堆積を目的とし、自然植生に助けられて効果が早期に発現した。このような経年変化を予測、確認しながら、工事を段階的に行うことが重要である。事業効果が、人為的な工事直後ではなく、時間の経過とともに発現する計画となるよう留意しなければならない。

(3) 河川技術者の育成

河川管理の実務にあたる技術者の育成が重要である。今回の成功要因は、ラオスの技術者が連続水制工を理解し、現地の自然条件や社会条件に即して設計を改良しながら工事を継続したことにある。河川技術者の技術力によって、定量的な情報を得にくい現場でも、定性的な判断に基づく対策が可能になる。

以上の3点は、国内の河川管理においても重要である。とくに水制という点在型の構造物を用いた河道管理は、護岸などの面的な構造よりも経済的であるとともに、河川環境の保全や改善が可能である。水制技術の一層の研究と適応が必要と考えている。

参考文献

- 1) CREST Asian River Basin Water Policy Study Team : Mekong River Basin, pp. II20, II37, Japan Science and Technology Agency, 2009.
- 2) Overview of the Hydrology of Mekong Basin, pp. 32, Mekong River Commission, 2005.
- 3) <http://www.mrcmekong.org/programmes/wup/Monitor-stations/Chiang-saen.htm>.
- 4) Hydrographic Atlas Mekong River Volume I (km 2373-km 2286), pp. 2-002, Lao PDR and Thailand, 1996.
- 5) 小林丹右衛門：日本農書全集65（川除仕様帳），pp.5-44，日本農山漁村文化協会，1997.
- 6) Technical Transfer Report on Riverbank Protection Technique, pp. 24-25, Infrastructure Development Institute-Japan, 2005.
- 7) Annul Mekong Flood Report 2008, pp. 44, Mekong River Commission, 2009.

（2013. 4. 4受付）