

# カンボジア王国カンダール州北部のメコン川段丘崖の崩壊状況の把握

水圏防災工学研究室 武石敬也

指導教員 犬飼直之

## 1. 研究背景・目的

東南アジアを流れるメコン川では、河岸浸食により河岸の斜面が崩壊する現象が多く確認されている。流域中のカンボジア王国の首都プノンペンから約 30km 北に位置する区域では特に大きな被害が発生し周辺の国道への被害等が危惧されており、対策が急務とされている。主要な斜面崩壊被害発生現場の位置とそれぞれの被害状況を図-1 に示す。以下では、3箇所現場を上流側から順に①、②、③とする。

斜面崩壊の原因を解明し、被害の拡大防止策を講じるためにはメコン川の流況を詳しく把握する必要がある。本研究では現地測量調査の結果と、iRIC ソフトウェア<sup>1)</sup>のソルバー Nays2DH を用いた流況解析の結果から、メコン川の流況および河床変動傾向を把握することで斜面崩壊の原因を考察し、それを元に河岸の浸食対策を考察することで、斜面崩壊被害の拡大防止に寄与することを目的とした。



図-1 斜面崩壊現場の位置と状況

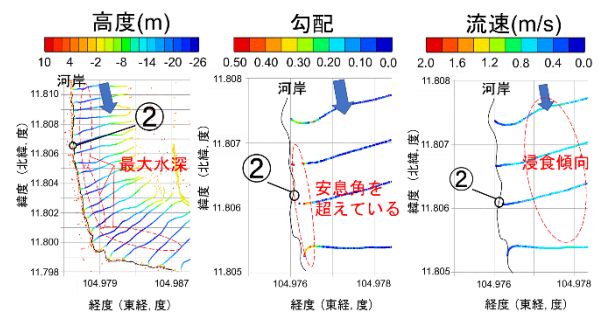


図-2 測量調査の結果(現場②付近)

## 2. 現地調査

現地調査は、河床材料調査と測量調査を行った。河床材料の情報は、2008年4月にプノンペン市内で採取されたメコン川の浚渫土砂の調査結果を用いた。調査の結果、メコン川の土砂は中央粒径が0.3mm程度の軟質の砂質土砂であった。この情報から、メコン川の河岸斜面の水中安息角は18度(1:3勾配)程度<sup>2)</sup>、流速が0.2(m/s)を超えると河床は浸食傾向になる<sup>4)</sup>と推測された。

測量調査は2019年5月に行った。ADCPを船に搭載し、現場周辺を船で平面的に移動しながら2~3秒間隔で河床に超音波を発信し、高度と流速およびGPSで緯度経度情報を測定した。現場②付近における測量調査によって得られた高度、流速および高度から算出した勾配の結果を図-2に示す。これらの結果から、最大水深となる位置が右岸側河岸の近傍にある事、現場付近の勾配が安息角を超えている事、河岸付近でも流速が大きいことで河床が浸食傾向となる事が問題点として

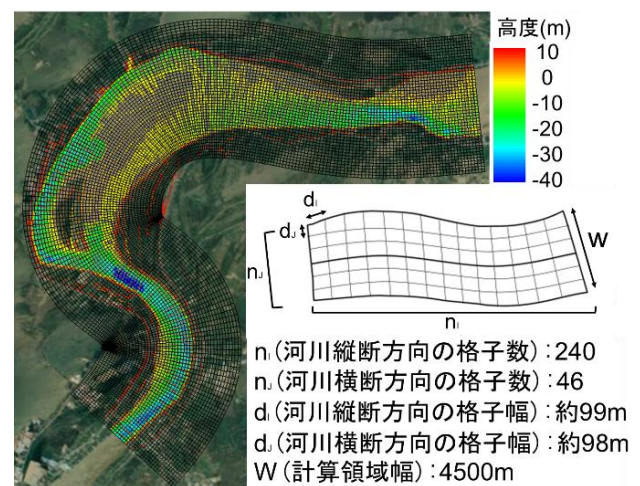


図-3 計算格子

判明した。なお、これらの問題点は他の2箇所の現場付近でも同様であった。

## 3. 再現解析

Nays2DHによる解析結果の再現性を検証するために、測定した高度をiRICに反映させ、図-3に示す計算格子を作成して測量調査時の実測流量と同程度の4000m<sup>3</sup>/sを24時

間定常的に与えた解析を行い、水位の時間変化が安定した10時間時点において各現場付近の河川横断面の流速の解析結果を実測値と比較した。なお、河床材料粒径は0.3mm、マニングの粗度係数は高水敷では0.04、低水路では0.025、計算タイムステップは0.5秒とした。その他の解析条件は基本的にiRICのデフォルト設定とした。3箇所それぞれの現場付近の河川横断面における、流速の解析値と実測値の比較図を図-4に示す。特に現場がある右岸側において流速の解析値が実測値を高精度で再現できていた。計算結果の妥当性が確認されたため、以後の解析においても特に断りがない限り再現解析と同様の条件で行う。

#### 4. 現況の把握

実測流量と同程度の流量を長期間与えた解析を行い、流量の変化による流速分布の変化や河床変動傾向の変化を見ることで現況における問題点を抽出し、河岸斜面の崩壊原因およびその対策を考察した。

流量は現場から約50km上流に位置するコンポンチャム地点で観測された2013年から2017年の5年間の月別平均流量を用いた。乾季から雨季に変化する期間(4月から8月)、雨季から乾季に変化する期間(9月から1月)の2期間を抽出し、1か月を30日として各月の流量を与え、それぞれ120日間の解析を行った。2期間の流量のハイドログラフを図-5に示す。図-6に流速の解析結果を表す平面図を示す。20000m<sup>3</sup>/s程度を境目に、流量が少ないと流心は右岸側、多いと流心は左岸側であった。しかし、流心が左岸側にある時も右岸側の流速は非常に大きかった。そのため右岸側の流速は年間を通して大きく、河床は浸食傾向となると考えられる。図-7に乾季から雨季に変化する期間の流量を与えて解析した際の、現場②付近の横断面における30日ごとの河床変動量を示す。現場のある右岸側の河岸近くは浸食傾向となっており、流量の増加と共に浸食速度も大きくなっていった。また、現場により浸食速度は異なるが、他の現場でも右岸側の河岸近くは基本的に浸食傾向となっていた。

以上のことから斜面崩壊メカニズムを考察すると、右岸側河岸付近の流速が年間を通して大きい事により河床が浸食され続け、時間

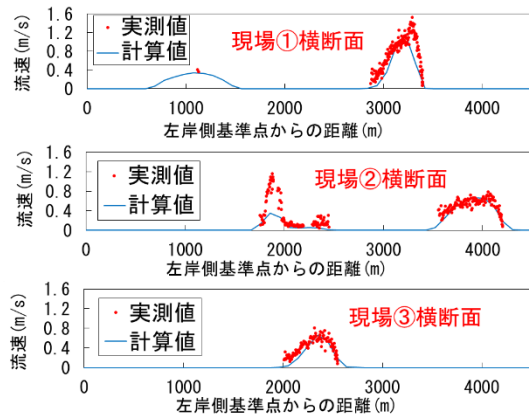


図-4 再現解析の結果

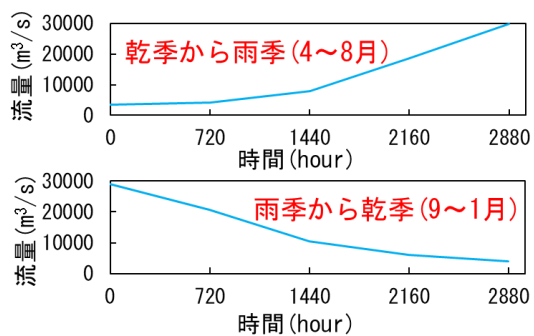


図-5 解析流量

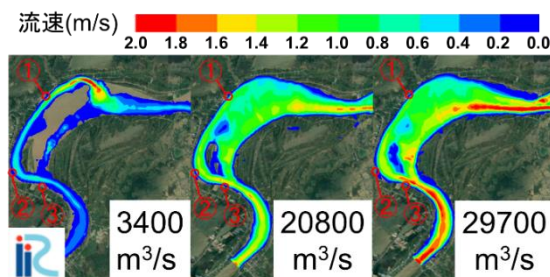


図-6 流速の解析結果

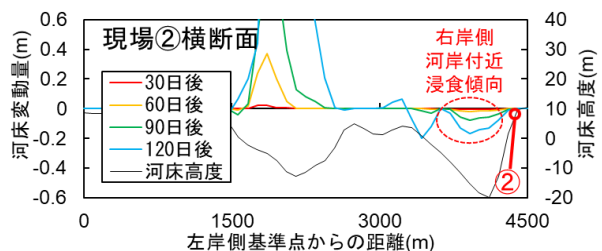


図-7 現場②断面の河床変動量

と共に河岸付近の水深が深くなることにより河岸の斜面勾配が急勾配となり、急勾配となった斜面が雨季に水没することで安息角を超えて崩壊に至ると考えられる(図-8)。

以上のことから、被害拡大防止のためには浚渫や突堤の建設等によって流心を左岸側へ移動させることで右岸側の流速を低下させ、河床の浸食を抑制させることが必要であると考えられる。

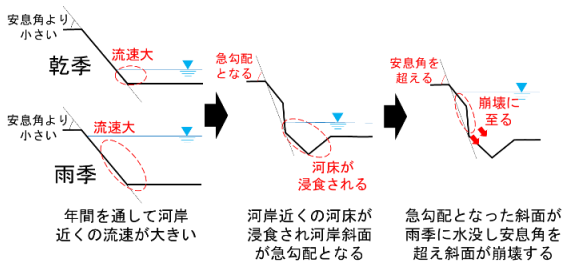


図-8 斜面崩壊メカニズム

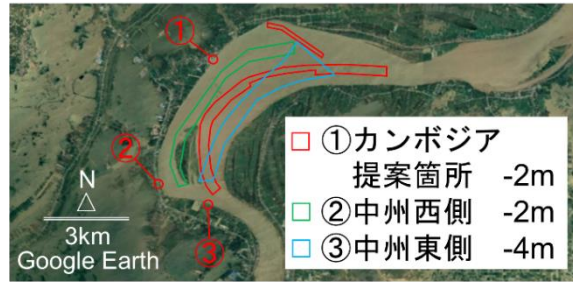


図-9 浚渫箇所と地形変化量

## 5. 地形変化による影響

被害拡大防止対策として、浚渫により地形が変化した場合の解析を行い、地形を変化させていない浚渫前の場合と比較して右岸側の流速を減少させることが可能か検証した。乾季は $4000\text{m}^3/\text{s}$ 、雨季は $30000\text{m}^3/\text{s}$ を24時間定常的に与え、計算開始10時間時点における各現場付近の横断面における流速を、浚渫前と比較することで簡易的に浚渫の効果を検証した。なお、浚渫による地形変化は浚渫箇所と定めた範囲に含まれる格子点を選択し、地形高を一様に低下させることで反映させた。図-9に解析を行った3ケースの浚渫箇所とそれぞれの地形変化量を示す。3ケースのうち、カンボジア提案箇所と中州西側の解析では、乾季雨季共に右岸側の流速を大きく低下させることは出来なかった。中州東側を浚渫した際の、現場②付近の横断面における浚渫前後の乾季の流速を図-10に、雨季の流速を図-11に示す。乾季においては右岸側の最大流速を4割以上減少させ、流心を左岸側へ移動させることが可能となった。雨季においては、これまでの2ケースより大幅に右岸側の最大流速を減少させることが可能となった。また、現場①付近においても同様に乾季の右岸側の最大流速が4割以上減少し、雨季においても他の2ケースより大幅に右岸側の最大流速を減少させることが出来ていた。

中州東側の浚渫によって右岸側の流速が減少することにより、右岸側の河床の浸食防止効果が期待出来るが、時間の経過と共に浚渫箇所に土砂が堆積し、浚渫の効果が低下する可能性がある。そこで、河川の蛇行に関する理論<sup>5)</sup>に基づいて、突堤を建設することによりこれに対処することを考える。LangbeinおよびLeopold<sup>6)</sup>によって、蛇行形状は平均流下方向の直線と流線のなす偏角 $\theta$ が河道距離 $s$ に対してサイン変化をするという、いわゆる sine generated curve に従うことが示されてい

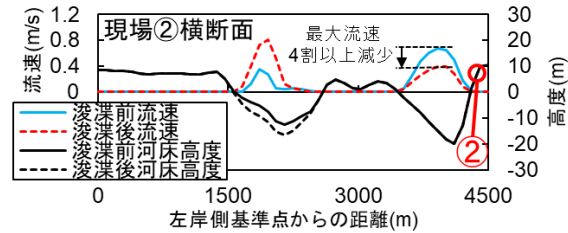


図-10 乾季における浚渫の効果 (流量  $4000\text{m}^3/\text{s}$ )

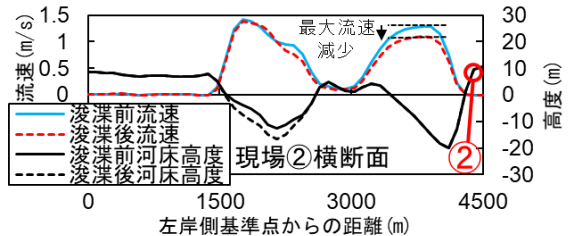


図-11 雨季における浚渫の効果 (流量  $30000\text{m}^3/\text{s}$ )

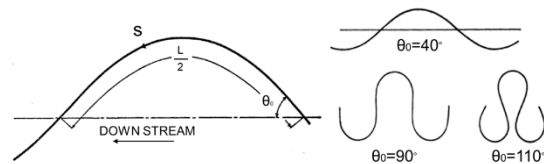


図-12 sine generated curve

$$\theta = \theta_0 \sin \frac{2\pi s}{L} \quad (1)$$

る。式(1)において、 $\theta_0$ は平均流下方向の直線となす最大偏角、 $s$ は河道距離、 $L$ は蛇行長である。また、式(1)において最大偏角 $\theta_0$ を変えた場合、蛇行形状は図-12に示すように変化するという。

そこで、現場上流の川幅が狭くなっている位置の右岸側に長さ約200mの突堤を建設することにより流向を左岸側へ向けることで、蛇行の発達を抑制することが可能となるのではないかと考えた(図-13)。

iRICへの反映は、突堤を建設すると仮定した位置の格子を障害物セルと設定することで突堤による地形変化を反映させた。突堤の建設により、実際に蛇行形状の変化に効果が表

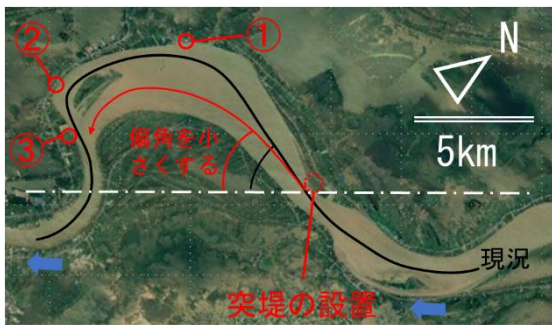


図-13 突堤による蛇行抑制のイメージ

れるのには非常に長い時間を要すると考えられ、解析によってこれを表すにも非常に長時間の解析が必要であるため、乾季と雨季それぞれ浚渫の検証時と同様な流量の与え方で解析を行い、計算開始 10 時間時点において突堤設置前後での流向の変化を見ることで突堤の効果を簡易的に検証した。乾季における突堤付近の流速のベクトル図を図-14 に、雨季における突堤付近の流速のベクトル図を図-15 に示す。突堤の設置によって流向が左岸側を向いており、長期的に見て蛇行発達の抑制効果が期待できる。中州東側の浚渫と突堤の建設の 2 つの中長期的な対策を組み合わせることで、それぞれの効果を高めることが出来ると考えられる。

## 6. 結論・今後の課題

本研究では、年間を通して右岸側の流速が大きいことによって河床が浸食され、それにより斜面が急勾配になる事が斜面崩壊の原因と結論付けた。

短期的な対策として、現在被害が発生している現場は水深の深い所までの斜面を護岸することにより今以上の浸食を抑制することが必要である。中長期的な対策として、浚渫の実施と突堤の建設を行うことで蛇行の発達を抑制させることが必要であると考えられる。

今後の課題として、浚渫および突堤の効果が確実なものであるかを長期間の解析を行うことで明らかにする事、地下水位などの流況以外の観点から斜面崩壊の原因を考察する事等が必要であると考えられる。

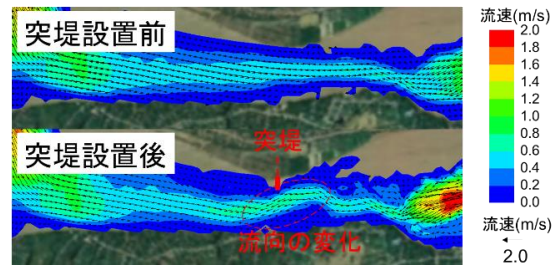


図-14 乾季における突堤の効果 (流量 4000m<sup>3</sup>/s)

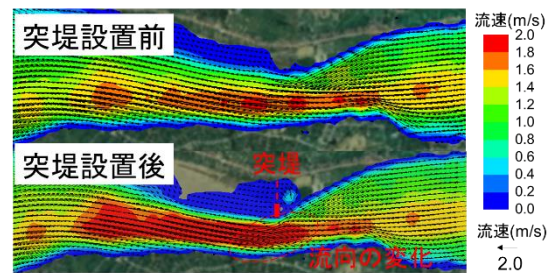


図-15 雨季における突堤の効果 (流量 30000m<sup>3</sup>/s)

## 参考文献

- 1) iRIC | 河川の流れ・河床変動解析ソフトウェア <https://i-ric.org/ja/>
- 2) 最新港湾工事施工技術, 山海堂, 1991
- 3) Allen, J., "Scale Models in Hydraulic Engineering", Longmas, Green and Co., 1947, p.212.
- 4) 廣木義久: ユルストロームダイアグラム-流水による碎屑物からなる地層の形成の理解-, 地学教育 第71巻 第3号 (通巻第362号) pp. 97-107, 2019
- 5) 池田駿介, 日野幹雄, 吉川秀夫: 河川の自由蛇行に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第255号, 1976
- 6) Langbein, W.B. and L.B. Leopold: River meanders Theory of Minimum Variance, U.S. Geological Survey Prof. Paper 422 H, 1966.