

II-52

河岸侵食における地中水流動の影響について

東北大学大学院 学生会員 ○常松 直志

東北大学大学院 正会員 風間 聡

東北大学大学院 フェロー 沢本 正樹

1 はじめに

乾季と雨季のあるモンスーン地域の河川では、乾季に河川水位が大きく低下し、低水時に河岸の崩落がしばしば生じている。メコン河でも同様な現象が報告されていて、この現象には地中流が影響していると疑われている¹⁾。

この現象を理解するため、熱帯モンスーン地域のメコン河河岸プノンペンを対象として、地中流不飽和浸透解析を行った。その結果からパイピング解析と円弧すべり解析を用いて河岸崩壊過程を検討する。また、地中流が河岸侵食に影響を及ぼすと考えられる地域の地形条件(粒径、河川水位差)の検討、およびメコン河の下流から上流にかけて地中流の影響を、パイピング解析を用いて評価した。

2 データセット

研究対象地域としたメコン河はチベットに源を発し南シナ海に注ぐ国際河川である。面積はおおよそ 79 万 5,500 km²、延長は 4,620 km、面積、流長共に世界有数の大河である(図-1)。

また、カンボジアの首都プノンペン近くのバサック河分流付近で砂を採取して実験を行い、土砂データを取得した(表-1)。また、メコン河の河川水位のデータは Lower Mekong Hydrologic Year Book に記載されているデータを参照して用いた。

表-1 プノンペンで採取した土の条件

プノンペン	
平均粒径(μm)	33
透水係数(cm/s)	4.22×10^{-5}
粘着力(kN/m ²)	35
内部摩擦角($^{\circ}$)	0

3 地中流計算

3.1 支配方程式

地中流モデルは横尾らのモデルと同様の構造とした(図-2)²⁾。支配方程式は Richards 式 (1)である。

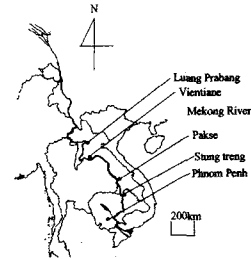


図-1 研究対象地域

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} \right) \frac{\partial \theta}{\partial \psi} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} - K_x(\psi) \sin \alpha \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} + K_z(\psi) \cos \alpha \right) \quad (1)$$

$\frac{\partial \theta}{\partial \psi} = C(\Psi)$: 比水分容量(1/cm),
 α : 斜面の傾斜, θ : 体積含水率, Ψ : 圧力水頭(cm),
 K_x, K_z : x, z 方向の透水係数(cm/s)

3.2 境界条件と計算条件

図-2 の AB は正味の降水・蒸発散を伴う地表面, BC は地中流が流出する河岸の下流端, CD および DA はそれぞれ不透水面, 分水嶺とした。

計算では初期条件として圧力水頭は静水圧分布で与え、河川水位と考える wh は地表面と同じ高さにした。wh は地表面と水位の差に設定し、プノンペンの雨季と乾季の最大水位差は 10m となるので、10m を与えた。計算では wh を一日 30cm ずつ下げて計算した。

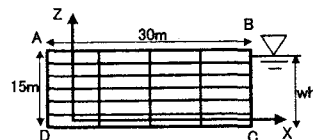


図-2 モデル構造

4 河岸崩壊過程の検討

4.1 パイピング解析

パイピング発生に関する判定基準として限界流速がある。本研究では Koslova の実験式(2)を用いて限界流

速を求めた。図-3は表-1の透水係数と粒径の値を地中流モデルに使用して計算を行い、計算開始から30日後の土壌中の流速分布図である。図-3で、黒丸で囲まれている部分が限界流速に達している部分であり、この水平幅をパイピング破壊域と呼ぶことにする。

$$V_c = 0.0026d^2(1 + 1000d^2/D^2) \text{ (m/s)} \quad (2)$$

(d : パイピング対象土粒子径(mm), D : 平均粒径(mm))

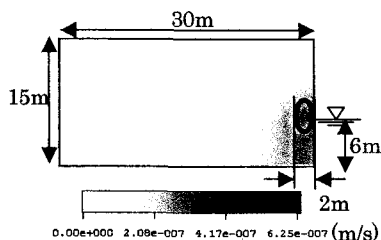


図-3 流速分布図

4.2 円弧すべり解析

円弧すべり解析では、まず斜面を含む断面の中に、円弧状のすべり面を仮定する。次にすべり面と斜面とに挟まれる部分がすべりを起こそうとする際の安全率を計算し、すべり面の位置を求める手法である。計算に用いた土の条件は表-1の通りである。計算式を以下に示す。図-4は、計算開始から30日後のすべり面の位置を示した図である。

$$F = \frac{\sum (c_l + W \cos \theta \tan \phi)}{\sum W \sin \theta} \quad (3)$$

(F : 安全率, c : 粘着力, ϕ : 摩擦角)

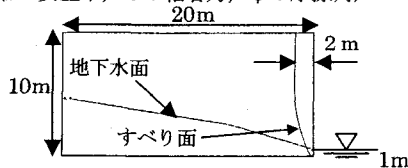


図-4 すべり面の位置

4.3 結果と考察

パイピング破壊域の幅が最大となったのは計算開始から約30日後だった。この幅がパイピングによって滑落しやすい土塊の厚さと考えられる。また図-4より、30日後のすべり面上の土塊の幅は約2mとなり、パイピング解析から得られた結果と同じ結果が得られた。両計算値は、実地調査で見られた値とほぼ一致していることからメコン河岸侵食に地中流の影響があると考えられる。

5 地中流が河岸侵食に影響を及ぼす地域について

5.1 地形条件の検討

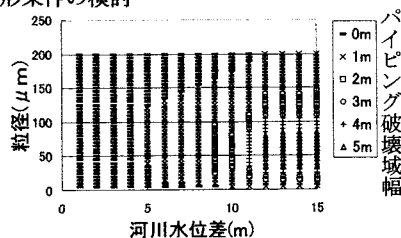


図-5 パイピング破壊域の出方の違い

地中流が影響すると考えられる地域の地形条件(粒径・河川水位差)を、パイピング解析を用いて調べた。地中流計算では wh を一日ごとに30cm下げ、粒径を1~200 μ m、河川水位を1~15mまで変化させて計算を行った(図-5)。その結果、河川水位差が10m以上で、粒径が30~90 μ mの範囲(シルト)のときパイピングが発生する可能性が高く、地中流が河岸侵食に強く影響していると考えられる。

5.2 河口からの距離に応じた地中流の影響

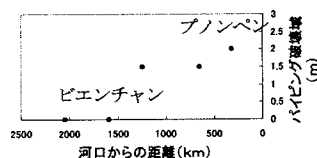


図-6 河口からの距離と侵食幅

1994年のメコン河河岸の実測値から粒径分布、河川水位差のデータを用いて地中流計算を行い、パイピング解析を用いて河口からの距離と侵食幅の関係を求めた(図-6)。その結果からメコン河に近い性質の大陸河川の場合、河口から1500mの地点まではパイピングが原因で河岸侵食が発生していると考えられる。

謝辞

すべり面の計算では株式会社ダイヤコンサルタント東北支社の高坂敏明氏に解析の助力を得た。本研究は科学研究費萌芽研究(代表者: 風間基樹)の補助を受けた。ここに併せて謝意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会: メコン河中・下流域の現地調査と研究課題の抽出, 2000年3月調査報告書, 2000.
- 2) 横尾善之, 風間聡, 沢本正樹: 流域土壌の透水性と基底流量の長期的変動特性に関する数値実験, 水工学論文集, 第45巻, pp.331-336, 2001.