

河岸侵食における地中水流動の影響

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

大陸性大河川の侵食は各地で問題になっている．メコン河の侵食は，水位低下時に河岸が崩落する形で進むことが知られている．土木学会が行った調査では，地中流の影響が疑われた¹⁾．洪水減衰期に滑落が起こることは，地中流が原因する土砂崩れと同じ過程が生じていることが考えられる．こうした現象はその他の大河川でも同様な現象が報告されている．

そこで，地中流の動きを不飽和流解析によって把握し，その結果から土壌内のパイピングとすべり面の計算から河岸崩壊過程の検討をメコン河中流域のビエンチャンを対象として行った．また，土の種類や河川水位変動の条件を変えて数値実験を行い，地中流が原因で河岸侵食が発生していると考えられる地域の物理的条件を推定した．

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．流域は中国，ミャンマー，ラオス，タイ，カンボジア，ベトナム 6 カ国にまたがり，面積はおよそ 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．対象としたビエンチャンを図 - 1 に示す．現地では河岸の砂を採取して，粒度分析等を行った．それにより得られた河岸崩壊過程の検討に用いたパラメータは表 - 1 の通りである．

表 - 1 採取した土の条件

地名	ビエンチャン
粒径 (μm)	1.5×10^2
透水係数 (cm / s)	1.0×10^{-3}
粘着力 (kN / m ²)	12
摩擦角 (°)	30

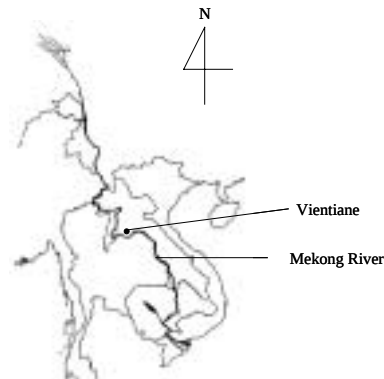


図 - 1 研究対象地域

3. 数値モデル

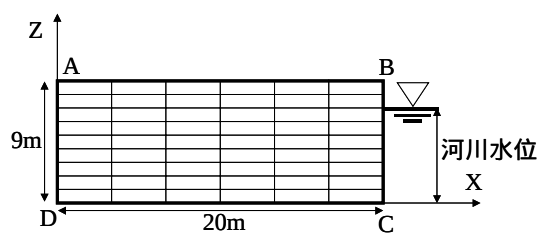


図 - 2 モデル構造

a) 支配方程式

地中流数値モデルは横尾らのモデルと同様の構造とした²⁾．モデル構造を図 - 2 に示す．

b) 境界条件

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．

c) 地中流計算条件

空間メッシュは $dx = 0.4\text{m}$ ， $dz = 0.3\text{m}$ ，時間メッシュは $dt = 1$ 時間，傾斜角は 0° とした．計算開始時の圧力水頭は静水圧分布で与え，河川水位は 9.0m とした．飽和透水係数は表 - 1 に示した値を用いた．計算は，河川水位を 1 日ごとに 30cm 下げ，最終的には DC 面まで下がるようにした．計算は 40 日間行い，10 日おきに土壌中の流速分布，圧力水頭を求めた．

キーワード 河岸崩落，パイピング，不飽和流解析，円弧すべり解析

連絡先 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 06 TEL022-217-7459

4．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，限界流速があり，本研究では，Koslova（コスロバ）の実験式を用いて限界流速 V_c (m/s)を求めた．以下に式を示す．

$$V_c = 0.0026d^2(1 + 1000d^2/D^2) \quad (2)$$

d ：パイピング対象土粒子径（mm）

D ：平均粒径（mm）

5．円弧すべりの解析

次に別の解析手法として，斜面安定計算を導入する．図 - 3 のように斜面を含む断面の中に，円弧状のすべり面を仮定する．この方法は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求め，検討するものである．計算に用いた土の条件は表 - 1 で示した値を用いた．また，安全率を求める計算式を以下に示す．

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

（ F ：安全率， c ：粘着力， ϕ ：摩擦角）

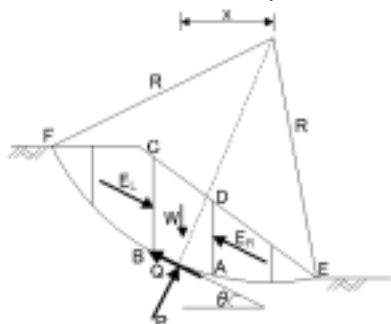


図 - 3 分割法による円形すべり面の安定計算

6．数値実験概要

実験の条件は3章と同じで，土の種類と最終的に到達する河川水位の値をそれぞれ3通りずつ変え，計9通りの数値実験を行い，土壌中に発生するパイピング限界流速の分布から地中流が原因で河岸侵食が発生していると考えられる地域の物理的条件を推定した．

表 - 2 土の種類，河川水位を変化させたときの最大流速値 (cm/s) *：限界流速に達していない流速値

水位 (m)	6	3	0
土の種類			
粘性土	* 1.10×10^{-9}	1.46×10^{-9}	2.51×10^{-9}
シルト	1.66×10^{-6}	2.46×10^{-6}	4.63×10^{-6}
砂	* 4.66×10^{-6}	6.95×10^{-6}	1.71×10^{-5}

7．結果と考察

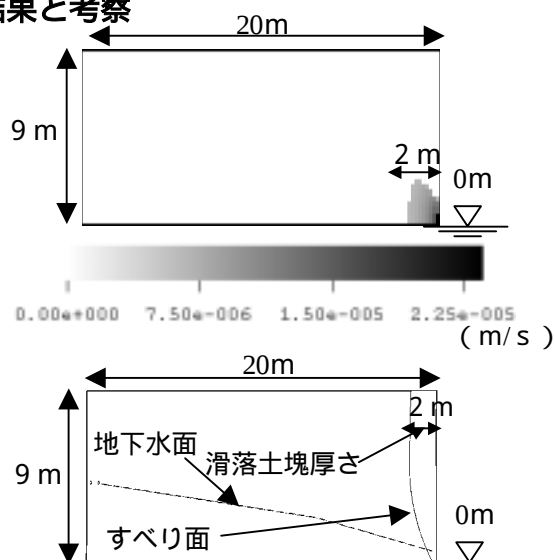


図 - 4 計算開始から30日後の限界流速分布（上図）と河岸水位低下に伴うすべり面の位置（下図）

図 - 4 は地中流モデルを使って， w_h を1日ごとに30cm 下げ，40 日間土壌中の圧力水頭と流速を計算し，計算開始から30日後の土壌中に現れた限界流速 V_c をプロットした図（上図）とすべり面の位置を示した図（下図）である．河川水位は30日で計算領域の底に達し，最も速い流速が河岸水深近傍に現れたのも，30日後だった．限界流速が現れている部分は，最大で河岸からの距離は2mであり，この幅がパイピングによって滑落しやすい土塊の厚さであると考えられる．また，下図より，30日後のすべり面上の土塊の幅は約2.0mとなり，限界流速から得られた結果とおおよそ同じものを得ることができた．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ことが考えられる．

また，数値実験結果から，シルトでは3通りの河川水位すべてのケースにおいて土壌中で限界流速が発生した．このことから，主にシルトで構成された土壌では地中流が原因で河岸崩落が起こりやすい地域と考えられる．

参考文献

- 1) 土木学会：メコン川中・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．