（派遣先機関名（派遣国名））　研修報告書
（研修テーマ）地下水を考慮した斜面安定性解析モデルの平面 2 次元河床変動モデルへの導入

先進理工系科学研究科　社会基盤環境工学プログラム　氏名　笠置　豊

1. はじめに

本報告では 2025 年 8 月 18 日から 8 月 31 日までの間，ダラム大学において実施した研究について報告する．

2. 研修/共同研究課題の決定

近年，気候変動による豪雨の増加に伴い，各地で河岸侵食が発生している．河岸侵食は隣接する道路の崩壊や，堤防決壊に伴う外水氾濫などの被害を招くため，そのメカニズムを解明することは重要になっている．河岸侵食では，水流による河岸表面の侵食と，安息角や間隙水圧に支配される斜面崩落の 2 つのプロセスが同時に起こる．前者は河川工学で古くから研究されモデル化も進んでいる．一方，後者は土質力学の斜面安定性解析を援用したモデルがいくつか提案されているものの実用化には至っていない．この背景には，河岸侵食発生時の地下水面形の計測例が少なく，モデルの検証が十分に出来ていないことが挙げられる．

そこで本研究では 2 つのステップでこの課題へアプローチしていく．初めに透明な砂を用いた河岸侵食実験により，地下水位，河川水位などの水理学的条件と河岸侵食の関係についてミクロな視点で計測する．次に河川工学分野で広く用いられている平面２次元河床変動モデルに斜面安定性解析モデルを組み込み，上述の実験結果を用いて検証する．主に地下水位や下流端水位(潮位)などの外的パラメータを変動させ，リーチスケール（一つ河川区間，数百～数 km）のマクロな視点で河岸侵食が発生しやすい条件を分析する．

3. 研修/共同研究スケジュール

8 月 17 日　出国（日本）
8 月 18 日～8 月 30 日　ダラム大学（イギリス）
8 月 31 日　出国（イギリス）

4. 研修先/共同研究派遣先の概要

大学名：ダラム大学
所在地：イギリスダラム州
指導教員：Rebacca Hodge 教授

5. 研修/共同研究の内容

5.1　透明砂実験

5.1.1 方法

時空間的に変化する地下水面・河川水面・地形・土粒子間隙を同時計測する LIFITS 法(Laser Induced Fluorescence Infiltrating into Transparent Sand)を開発する（**図 1**）．上下流助走区間 30cm，河道区間 70cm の実験水路を用い，河岸侵食実験を行う．中央の河道区間は光切断計測を行うため，ガラス板を使用する．透明砂(石英 0.4～1.0㎜)を水路に敷設し，透明砂と屈折率の等しいヨウ化ナトリウム水溶液を注入することで砂が透けて見える．また，この水溶液に少量のフルオルセインを混ぜておく．次に暗室の中で水路の下からレーザーシートを照射し，光学フィルタをつけたカメラで斜め下から撮影することでフルオルセインを含む水だけが蛍光し，透明砂や大気は蛍光しないため黒く映る．この方法により河岸侵食実験における地下水面計を時空間的に計測する．さらに地下水位，河川水位，給砂量などの条件を変化させることで，それらが河岸

侵食速度および侵食形状に及ぼす影響についても明らかにしていく．

5.2.2　結果

（図 2）に光切断画像解析結果を示す．この結果から，河岸浸食実験における水面，地下水面を個々に抽出できることが明らかになった．なお地下水面より上の箇所はサクションにより不飽和状態になっており，その不飽和砂が蛍光している．この結果は，光切断法と透明砂を組み合わせた計測手法が，水と砂の境界を抽出するうえで有効であることを示している．さらに，境界の時間的変化を追うことで，河床の低下や河岸の後退といった侵食過程を定量的に評価できることが明らかになった．

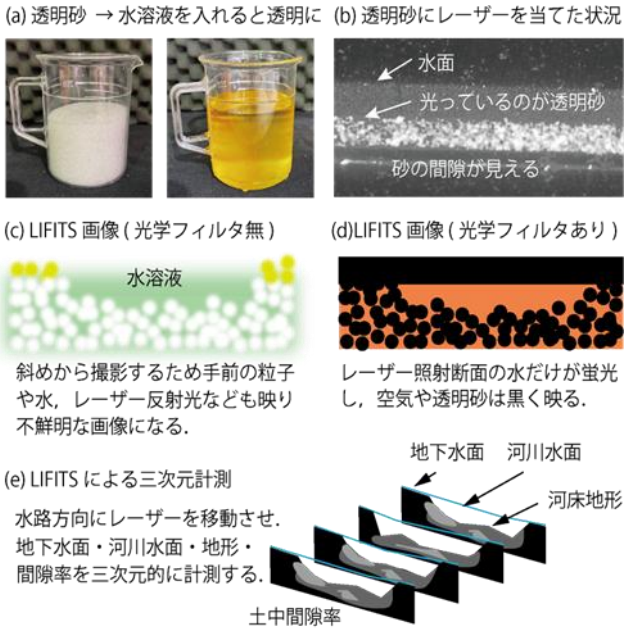


図 2　LIFITS を用いた 3 次元計測の概念図

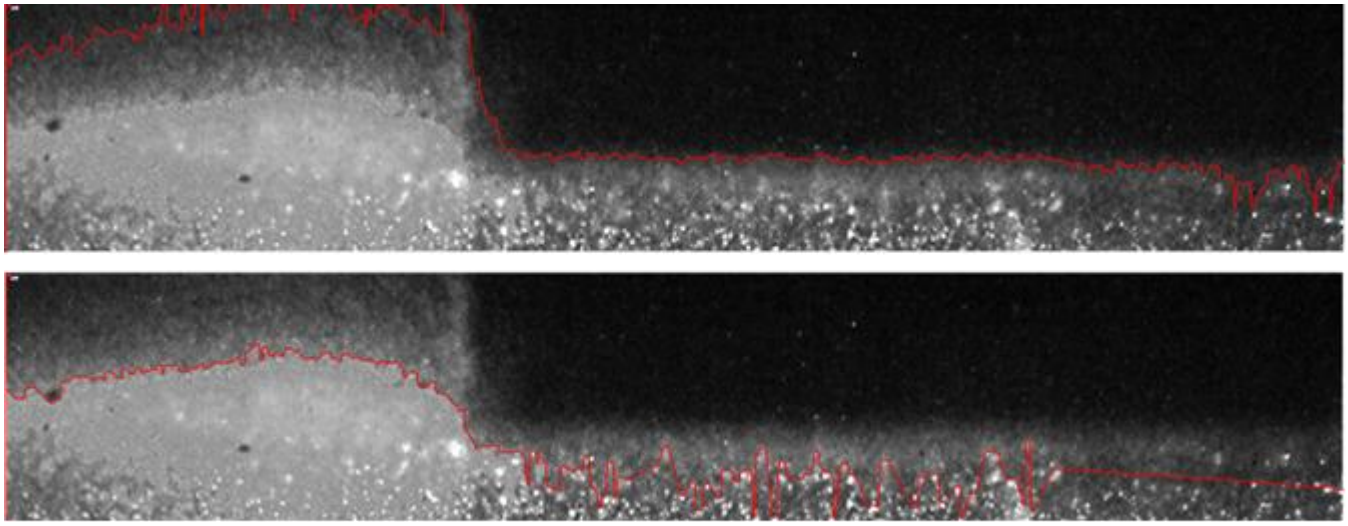


図 2　光切断画像解析結果

5.2　数値解析

5.2.1 方法

本研究では，平面 2 次元河床変動モデルである iRIC　Nays2DH に斜面安定性解析モデルを組み込む．各格子において，地下水位・河川水位・粘着性を踏まえた斜面安定性解析を行い，安全率が 1 になる崩落角を算出する．河床変動によって計算格子間の斜面角が算出された崩落角を超えたとき，斜面角が崩落角になるように河岸を崩壊させる．崩壊した土砂は隣接する格子に堆積させる．

その他の点は iRIC Nays2DH と同じであり，流況は平面 2 次元浅水流方程式で解析され，河床変動は Exner 方程式で算出される．流砂は単一粒径の掃流砂のみを考慮し，流砂量は芦田・道上の式より算出される．

本研究において，地下水位の計算は行わずに流下方向に一定勾配として与えた．

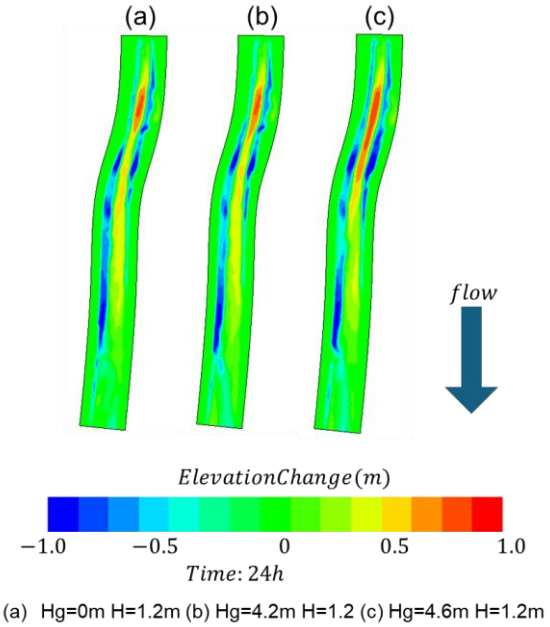
$$h_g(s) = -i_g L_u(s) + h_{gu}$$

ここで，h_gは地下水位，sは計算格子の流下方向座標，i_gは地下水位勾配，L_uは上流端からの距離，h_{gu}は上流端における地下水位である．三津大川では越水による氾濫が発生しており，洪水ピーク時以降では概ね堤内地盤は飽和状態にあったと考えられる．

5.2.2 感度分析結果

（図 3）に地下水を変化させたケースにおける感度分析結果を示す．

この結果から地下水が高くなるにつれ右岸，左岸ともに浸食量が大きくなっていることがわかる．浸食が起きた要因として緩やかな湾曲の外岸では内岸側の土砂堆積・砂州の発達に伴い，流れが外岸側へ集中し，河岸近傍流速および河床せんだん力が大きいことがあげられる．一方流水のせんだん力が小さい左岸側で浸食が起きた要因としては地下水位と河川水位の差による影響と考えられる．湾曲部内岸では遠心力の影響により河川水位が低下する．この結果，河川側の水圧が小さくなり，斜面崩壊が誘発されたと考えられる．



(a) Hg=0m H=1.2m (b) Hg=4.2m H=1.2 (c) Hg=4.6m H=1.2m

図 3　感度分析結果

6. まとめ

・本研究で開発した LIFITS 法により境界の時間的変化を追うことで，河床の低下や河岸の後退といった侵食過程を定量的に評価できることが明らかになった

・本研究で開発した河岸浸食モデルでの感度分析により，モデルの妥当性を確認することができた．

7. 謝辞

留学期間中，本研究についてご指導してくださったダラム大学の Rebecca Hodge 教授，井上先生をはじめ，同じゼミに参加させていただいた他研究室の先生方，学生のみなさんに厚くお礼申し上げます．さらに，このような貴重な経験のためにサポートいただいた海外共同研究プログラムの先生方及び国際事業担当の皆様にも心から御礼申し上げます．