

礫砂混合地盤における洪水継続時間が河川橋脚の局所洗掘と不安定化過程に及ぼす影響

Influence of Flood Duration on Local Scour and Destabilization Process of River Bridge Piers in Gravel and Sand Mixed Riverbed



小池 潤平

(2024年度 修士論文概要)

東京大学 工学系研究科 社会基盤学専攻 土質・地盤研究室

研究の背景・概要

近年、局所洗掘現象により橋脚基礎が不安定化し、橋脚が沈下・傾斜する現象が頻発している。

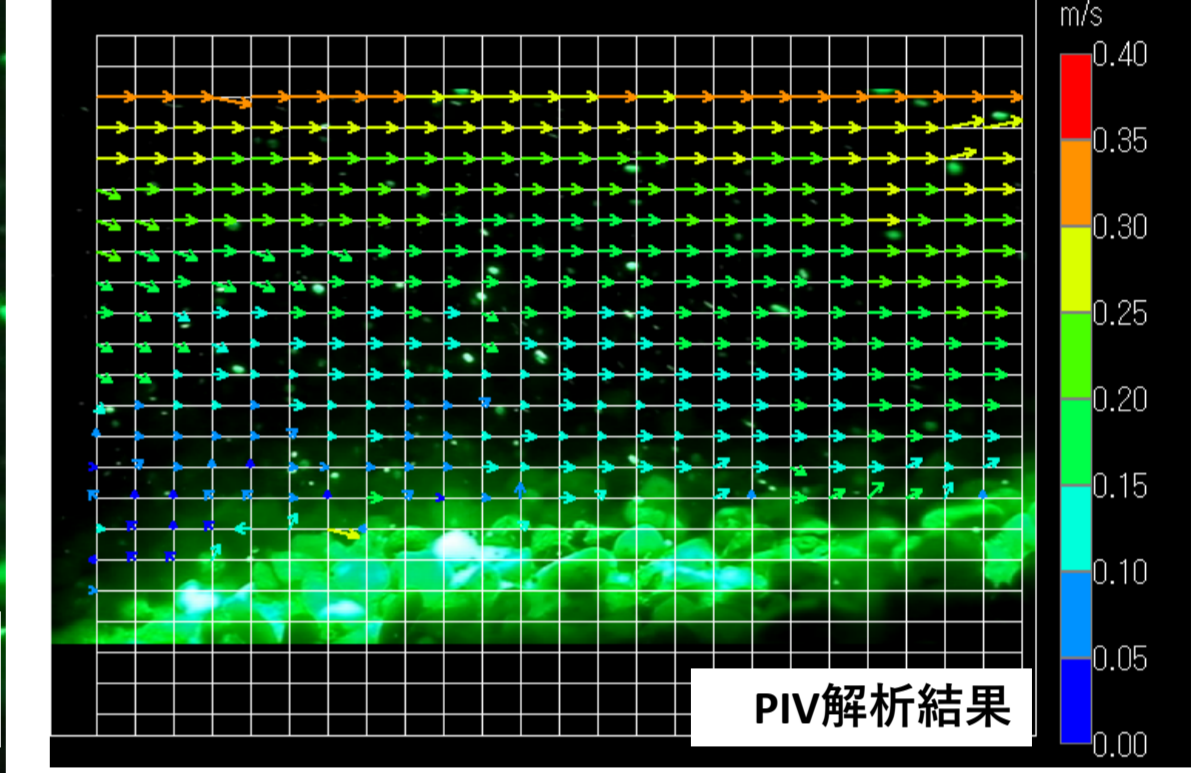
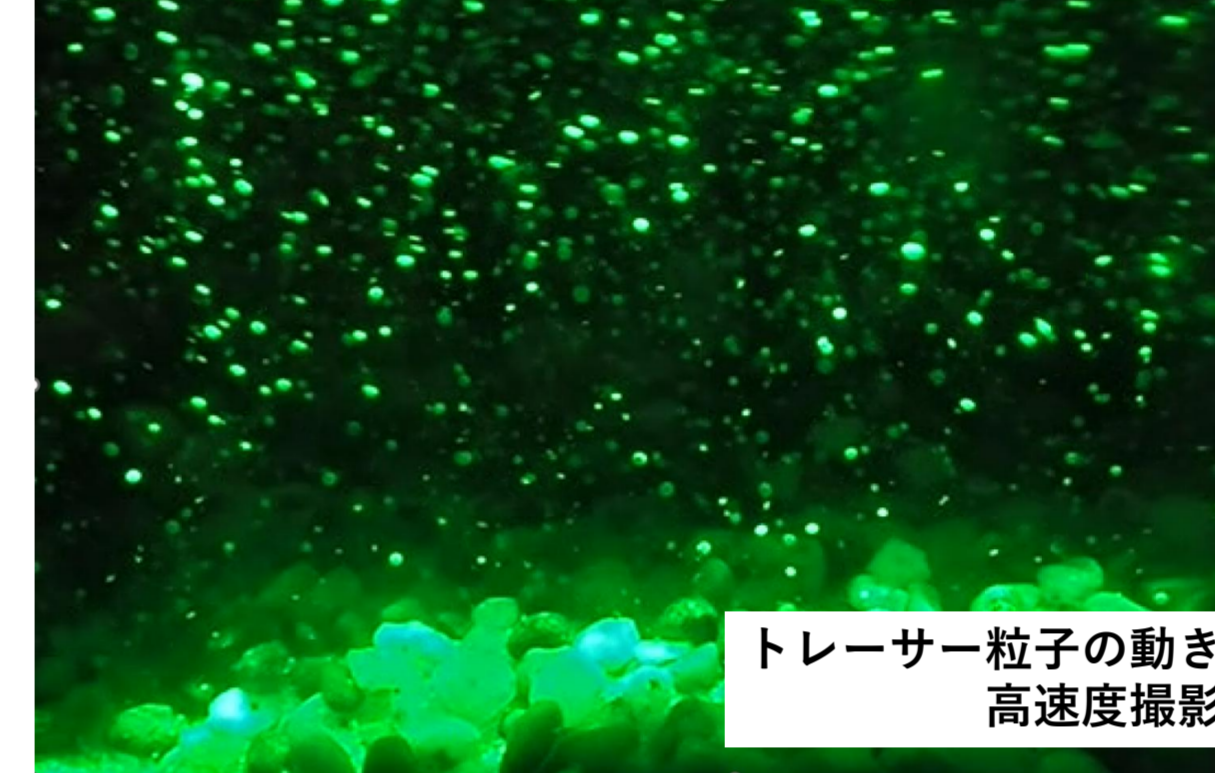
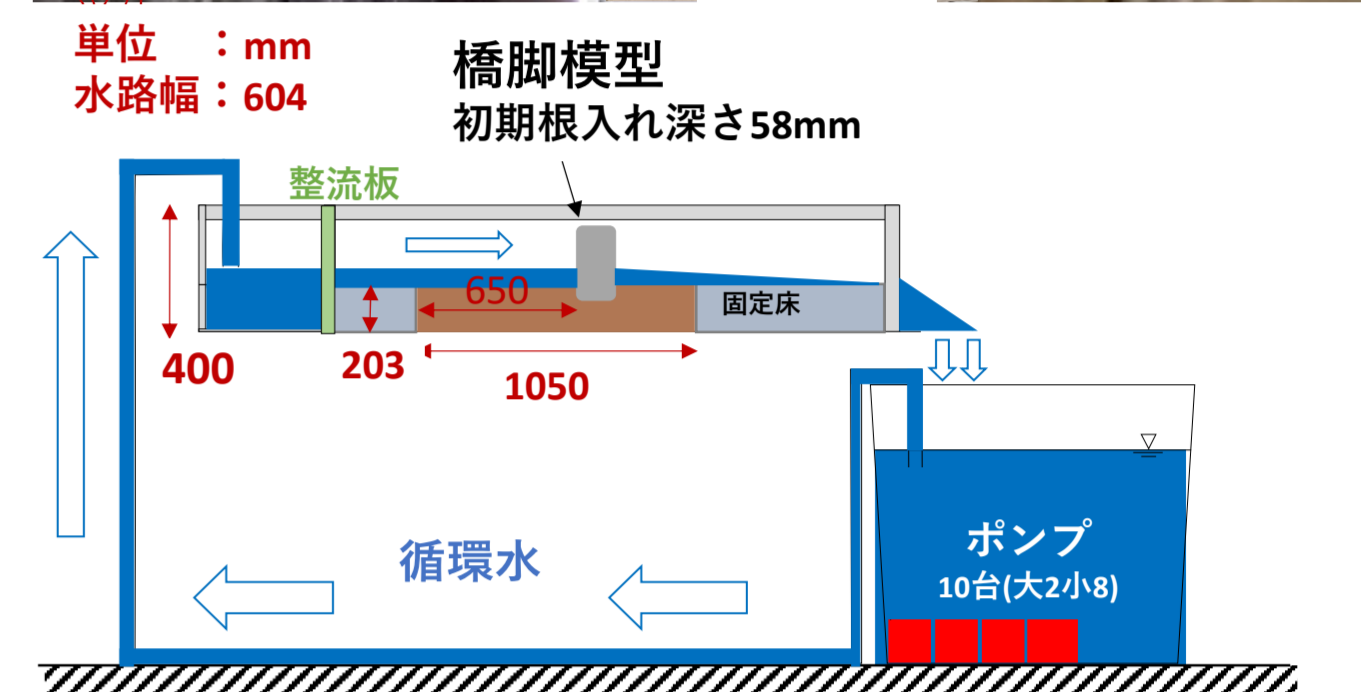
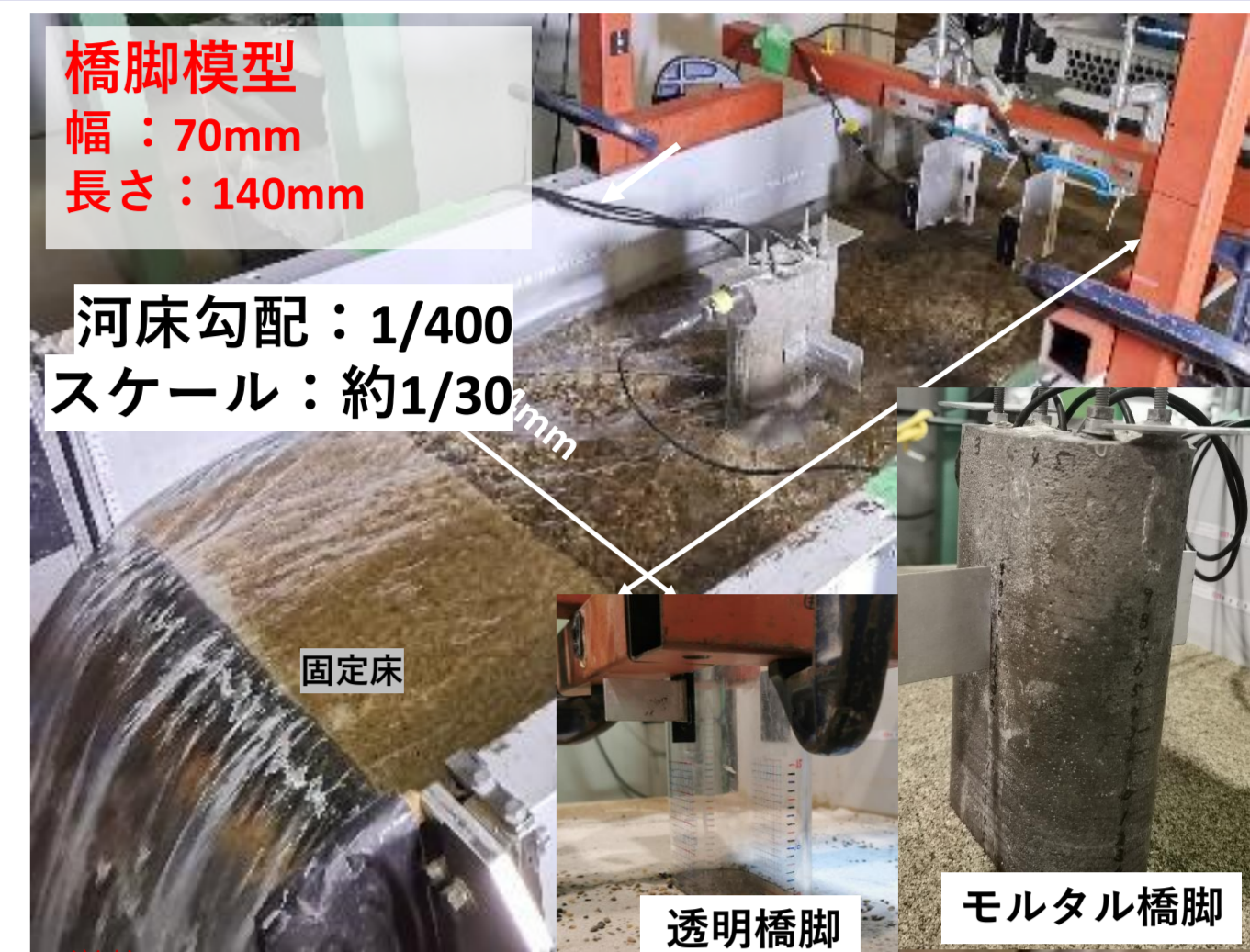
既往研究により、洪水の継続時間が洗掘の進行性に大きな影響を及ぼすことが知られているが、現実に近い礫砂混合地盤での検討は不十分である。礫砂混合地盤では、時間とともに河床表面の礫砂比が変化することで掃流に対する抵抗性が変化することや、礫砂比によって支持力特性が異なることなど、単材料に比べて複雑である。

模型実験を行い、水理学と地盤工学の観点から、礫砂混合地盤において洪水継続時間が局所洗掘による橋脚不安定化過程に与える影響を調べた。

実験方法

右の写真のような河川を模擬した水路を用い、水理模型実験を行った。水路に橋脚模型を設置して地盤を作製し、計10台のポンプを用いて流量を段階的に変えて水路に水を流した。礫砂比と最大流量をケース毎に変えた。

モルタル製と透明(アクリル製)の二種類の橋脚模型を用いた。モルタル橋脚では、橋脚底面に設置したロードセルによる地盤反力の測定や、レーザ変位計による橋脚変位の測定を行った。透明橋脚では、中にカメラを入れ、橋脚左岸側洗掘孔内の粒子の動きを撮影した。上流側から比重1.01のトレーサー粒子を流し、高速度撮影を行い、粒子の動きをPIV解析することで、流速分布を求めた。



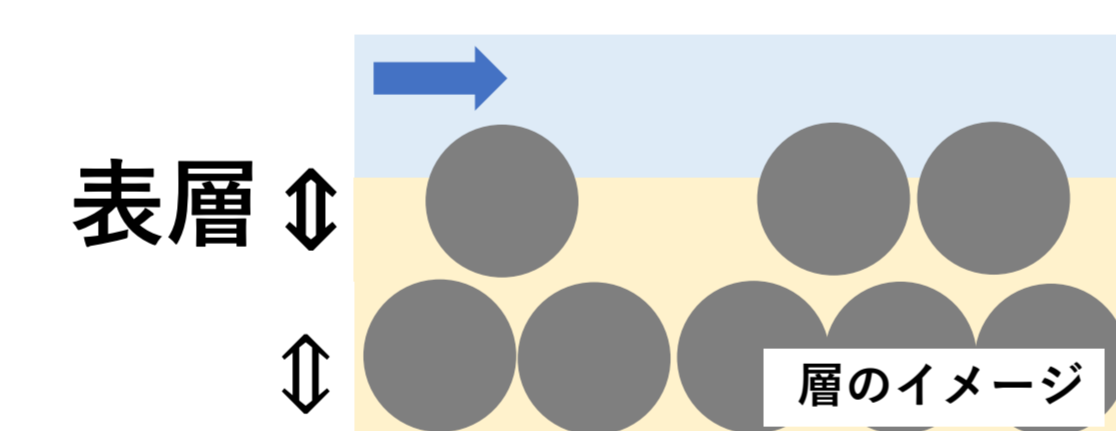
①水理学的考察

局所洗掘は、まず橋脚の上流側において急速に進行し、橋脚の上流側で収束した後も、橋脚側方において徐々に進行する現象がみられた。

PIV解析で測定した河床近傍流速を用いて流砂量計算を行い、橋脚側方の洗掘の進行過程を説明した。礫砂混合地盤では、時間とともに河床表面の礫の割合が増加し、掃流に対する抵抗性が変化するため、礫砂比の時間変化を考慮する必要がある。既存の計算手法では流砂量が過大評価されるという問題があったため、以下に示す新しい計算手法を考案した。

〈計算プロセス〉礫が層状に重なっていると仮定し、河床面に一番近い層を表層とする。ある時刻での表層における流砂量を計算し、表層に残った礫砂量から引く。残った礫砂量から礫砂比を計算し、次の時刻の流砂量計算に適用する。これを繰り返し行う。なお、表層の礫砂がすべて掃流されたら、下の層へ移行する。

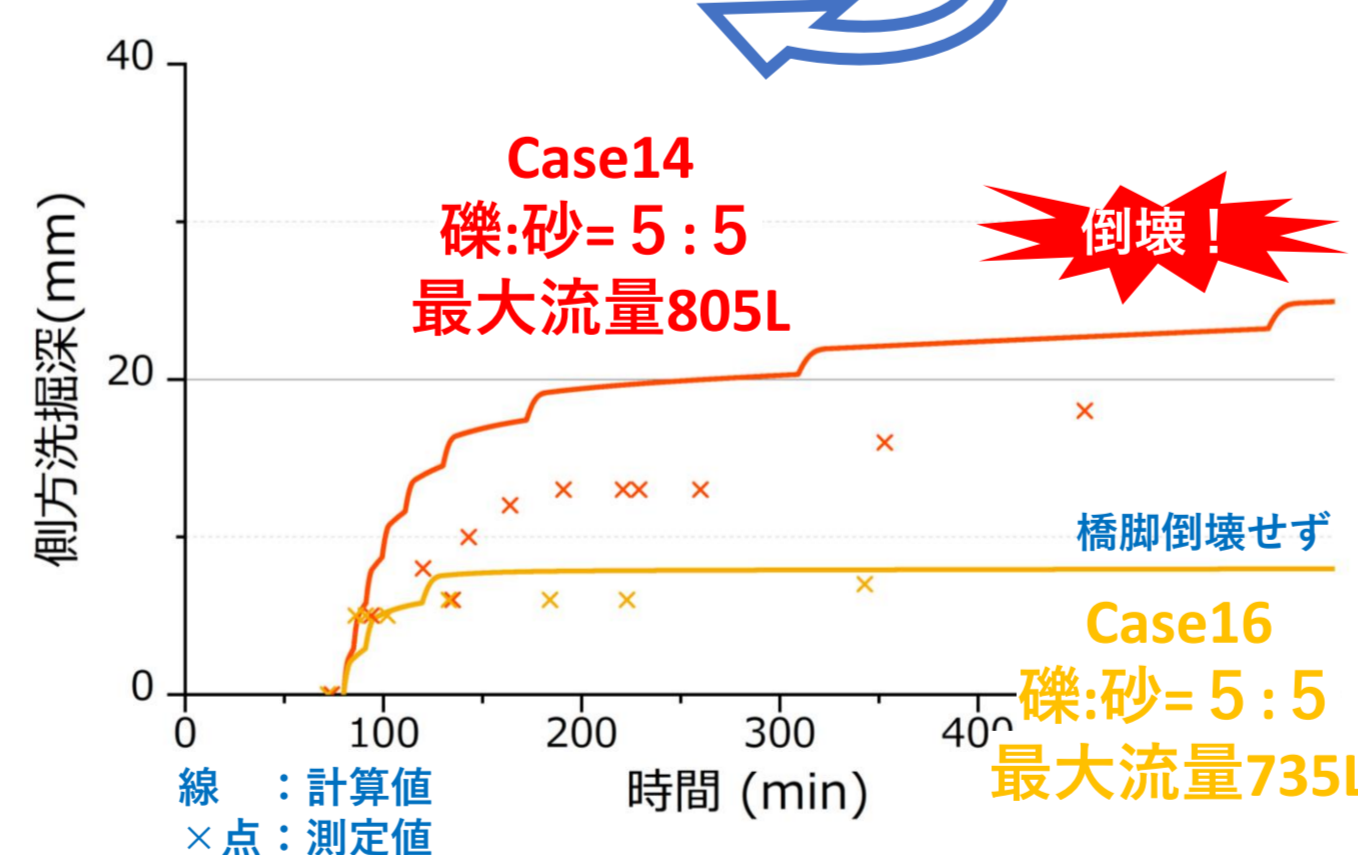
〈計算結果〉洗掘が急速に進行する段階では、初期の礫の割合が低いほど洗掘されやすい。一方、洗掘が徐々に進行する段階においては、初期礫砂比に関わらず河床面は概ね礫主体になり、表層の礫が掃流される限り徐々に洗掘は進行する(Case14)が、礫が掃流されないと洗掘の進行が停止する(Case16)ことが、計算・実験ともに確認された。



掃流力と礫砂比をもとに表層の流砂量計算

表層の残りの礫砂比を計算

表層の残りから引く

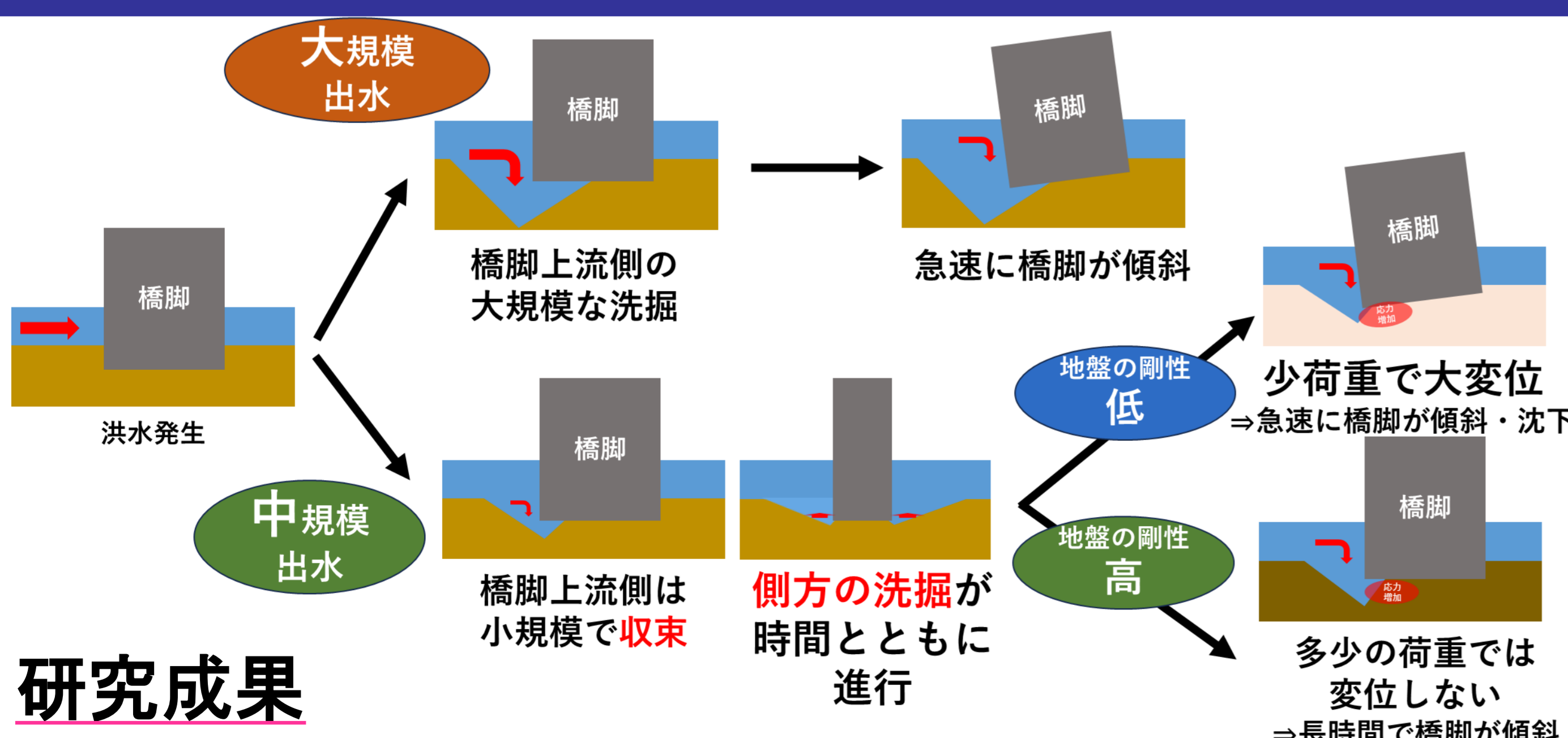
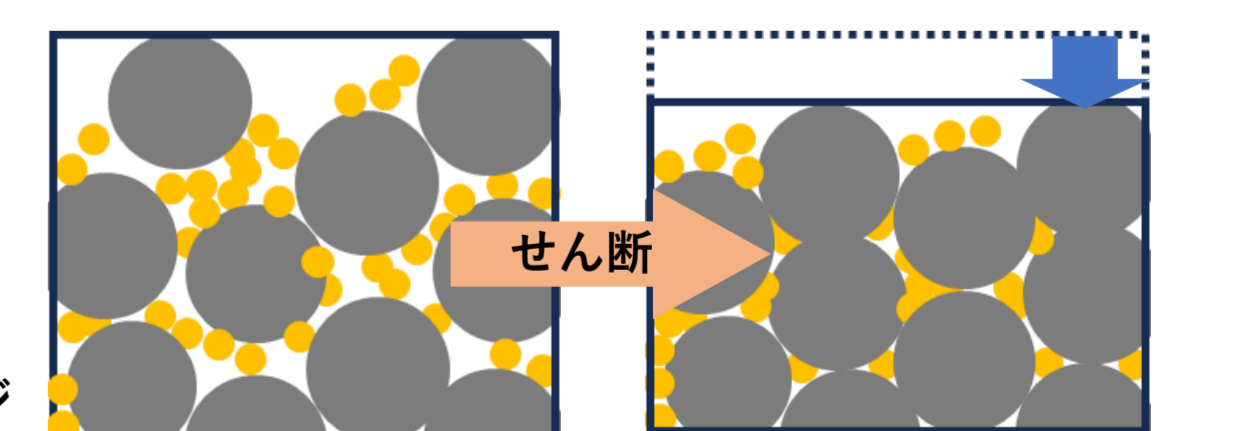
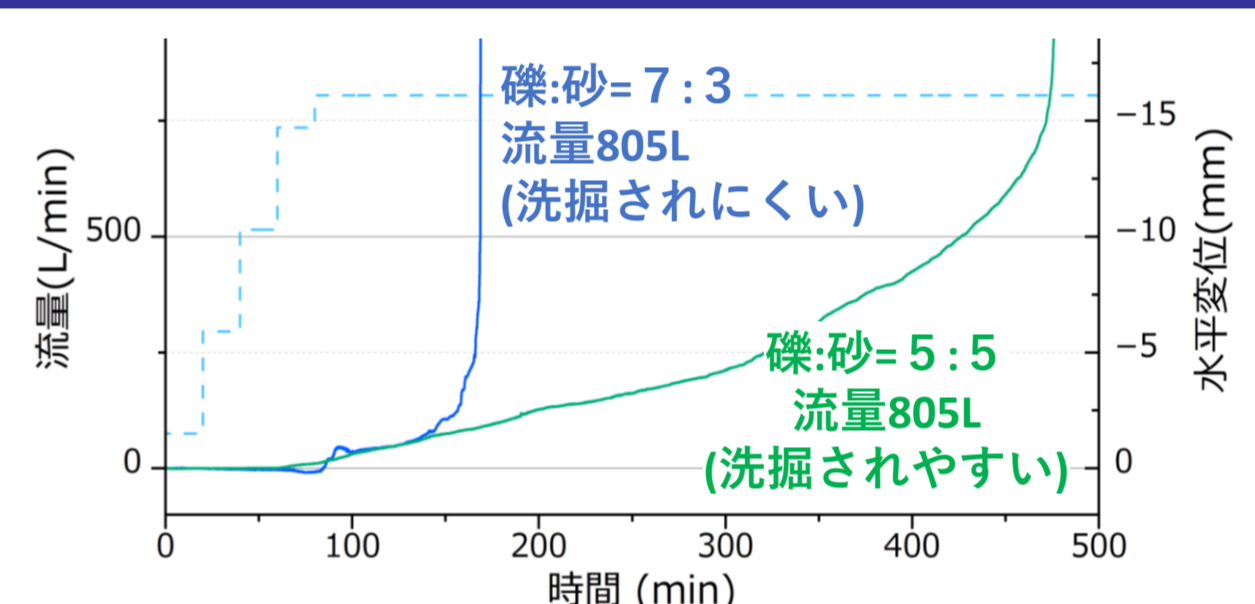


②地盤工学的考察

礫砂比7:3のケースは5:5のケースより礫が多く、掃流されにくいにも関わらず、橋脚が早く倒壊した。これは礫砂比により支持地盤の強度・変形特性が異なるからだと考えられる。

礫砂比7:3のとき、他の礫砂比に比べて圧縮性が高く地盤の剛性が低いことが既往の研究で示されている。局所洗掘により橋脚上流側の支持地盤が流出したとき、橋脚の死荷重は支持地盤に対して偏心荷重になり、残った支持地盤への応力は増加する。このとき剛性が低い地盤では、小さい荷重で大きな変位が出ると考えられる。すなわち、同じように局所洗掘されても、地盤の強度・変形特性により橋脚の不安定化過程が異なることが確認された。

また、地盤の剛性の高さは、掃流に対する抵抗性の高さとは物理的に異なり、必ずしも”洗掘されにくい河床材料”が”剛性が高い河床材料”ではないと言える。



上記の考察から、局所洗掘による橋脚不安定化の進行過程を左図のように表した。洪水が大規模なときは、橋脚上流側が大規模に洗掘され、急速に橋脚が傾斜する。一方、洪水が比較的小さいときは、橋脚上流側の洗掘は橋脚が傾斜する前に収束し、橋脚側方の洗掘が徐々に進行する段階に移行する。洗掘の進行性は、確立した流速測定・流砂量計算手法により説明される。さらに、支持地盤の剛性が低いと、急速に橋脚変位が生じるが、地盤の剛性が高ければ、橋脚は長時間かけて傾斜する。河床材料の掃流に対する抵抗性はもちろん、地盤の剛性も考慮する必要性が示唆された。