

小規模河床波を伴う洪水における ブロック工の洗掘抑制効果と挙動の分析

(国研)土木研究所	橋梁構造研究G	○梶野 優介
(国研)土木研究所	橋梁構造研究G	岡本 宗一郎
(国研)土木研究所	河道保全研究G	竹崎 奏詠
	国土政策技術総合研究所	小関 博司
(国研)土木研究所	橋梁構造研究G	飯島 翔一
(国研)土木研究所	河道保全研究G	猪股 広典
(国研)土木研究所	橋梁構造研究G	西田 秀明

橋梁の洗掘による被災事例と橋梁被災区分

令和3年7月(静岡県)



令和5年10月仮設歩道橋開通
全面復旧は令和10年を目標

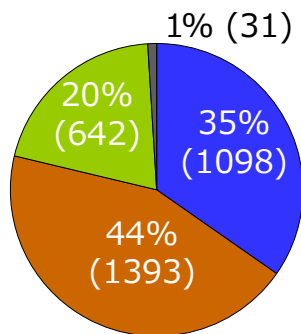
令和6年7月(大分県)



令和7年2月仮設歩道橋開通
全面復旧は2～3年後の予定

H17-R5の橋梁被災区分

橋梁被災の**8割が豪雨・台風**といった風水害によるものであり、近年は河川を跨ぐ橋梁が洗掘で多く被災している



■ 豪雨 ■ 台風 ■ 地震 ■ その他

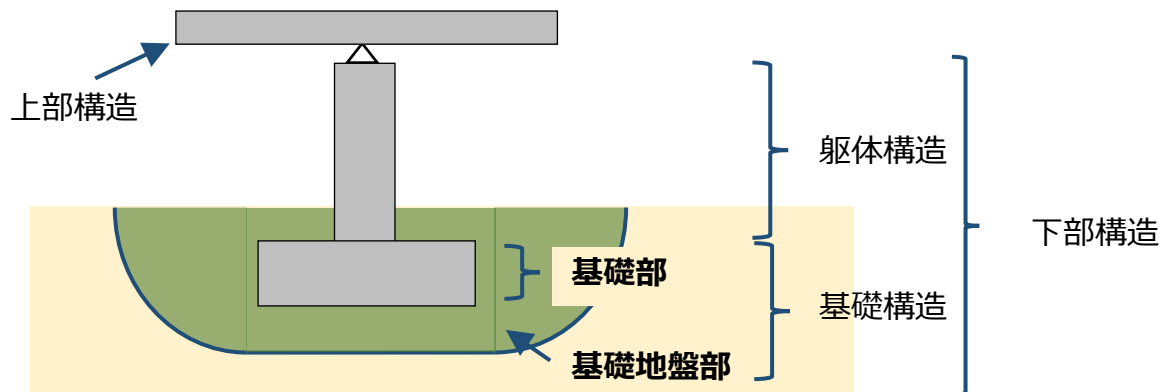
出典:e-Stat 政府統計の総合窓口 災害統計

洗掘による被災を未然に防ぐための
対策手法の確立が求められる

特に、令和3年7月豪雨の際には黄瀬川セグメント1区間で河床の砂分が移動しうることが報告されており、**小規模河床波のような河床変動に対応する必要がある**と考えられる

道路橋における洗掘の位置付け

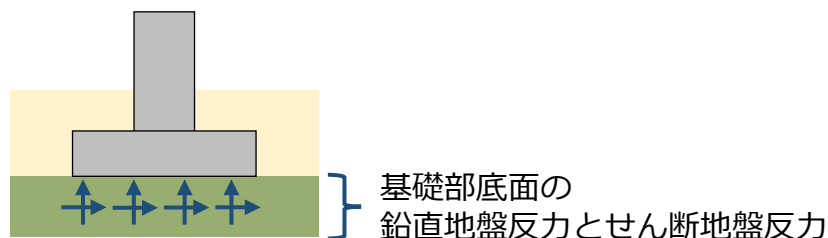
R7改定の道路橋示方書Ⅳ編においては、耐荷性能を確保するための構成要素として、橋脚・橋台の基礎構造を「**基礎部**」と「**基礎地盤部**」によって構成されるものとしている



河川を跨ぐ橋梁においては**耐荷性能の前提**として、**洗掘による基礎地盤部の経年の状態変化**を考慮する必要がある

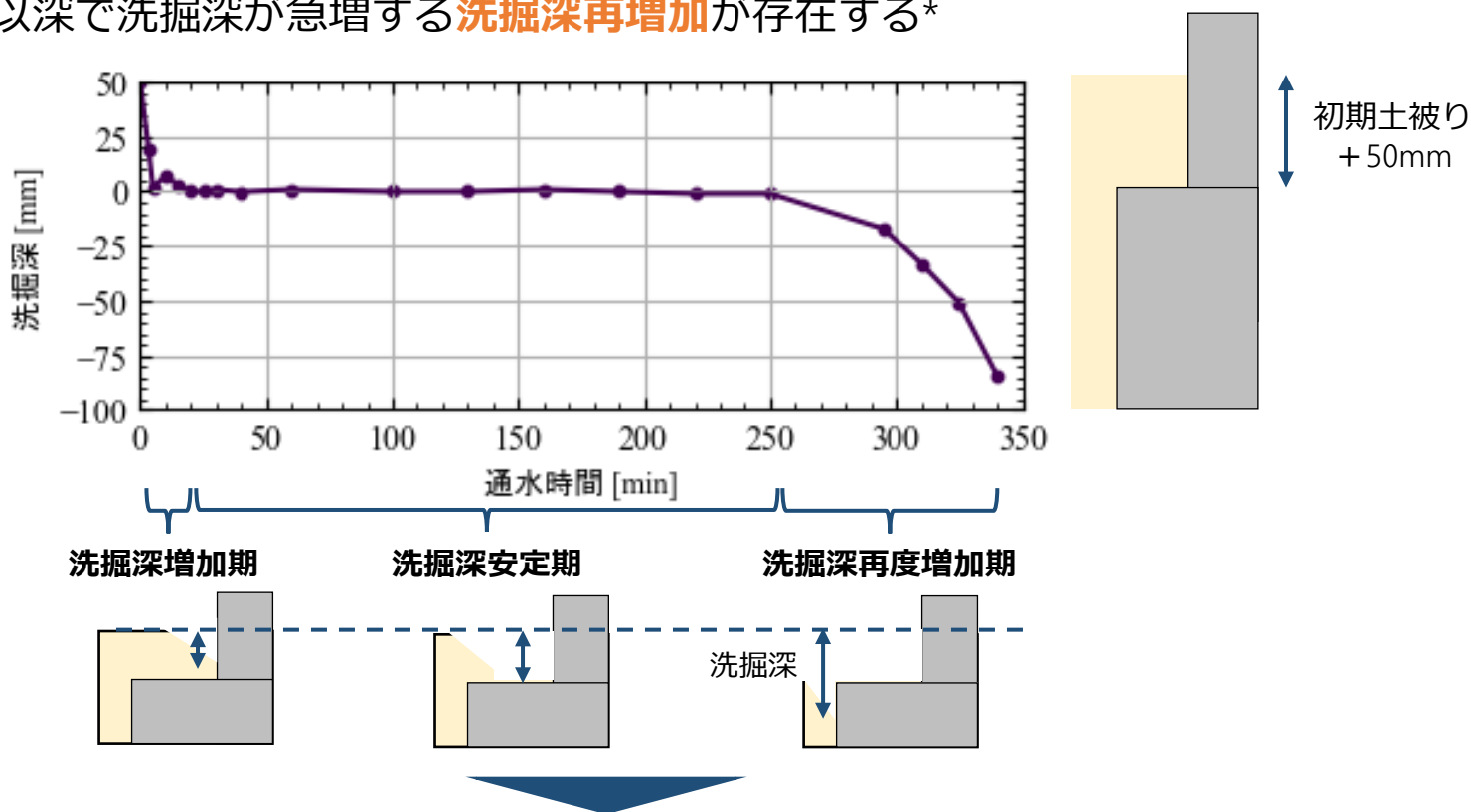
特に直接基礎や浅いケーソン基礎など、浅い基礎に洗掘の被災が多く、これらの**基礎の耐荷性能の前提が保持できることが重要**であり、**基礎部天端や基礎部側面で洗掘を抑制する必要がある**と考えられる

直接基礎における
基礎部と基礎地盤部の
荷重伝達の例



橋脚の躯体部、基礎部が非一様な断面における洗掘進行過程

対策工の多くの検討は**一様断面の橋脚**で実施されている一方で、**躯体部と基礎部の断面諸元が異なり**、基礎部天端より上に土被りがある場合、基礎部天端まで洗掘が進行する**洗掘深増加期**、基礎部天端で洗掘が抑制する**洗掘深安定期**、基礎部天端以深で洗掘深が急増する**洗掘深再度増加**が存在する*



本研究においては、**躯体と基礎部の断面諸元が異なる橋脚模型**を用いて、**小規模河床波が生じる条件**(令和3年7月豪雨の洪水)における**ブロック工の洗掘抑制効果**と**ブロック工の挙動の分析**を目的とした模型実験を行う

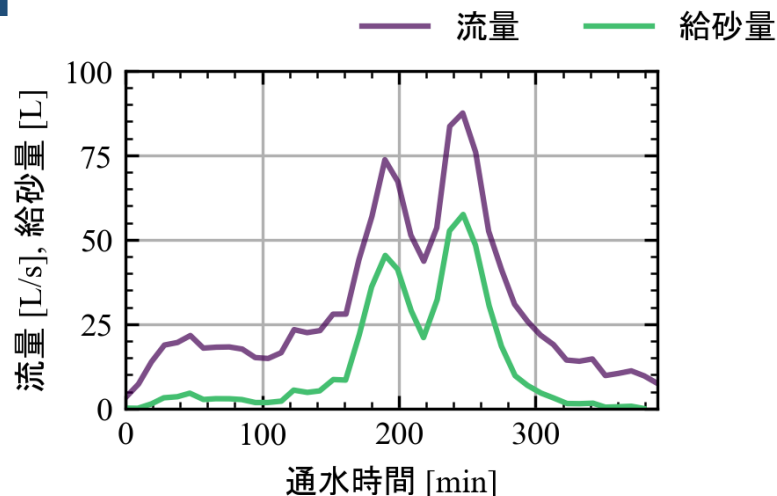
令和3年7月豪雨における黄瀬川の洪水に対する模型実験を実施

実験条件

ケース名	実験縮尺	河床勾配	河床材料の 平均粒径 [mm]	土被り厚 [mm]	対策工
ブロック工なし*	1/40	1/234	0.77	50	なし
ブロック工あり			(セグメント2-1)		ブロック工

*ブロック工なしは前に発表したCASE_Y+5と同様

通水条件

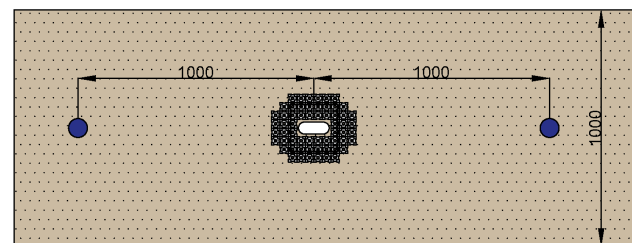


令和3年7月豪雨の際に黄瀬川大橋上流の水位流量観測所で観測された洪水ハイドロ
給砂条件は芦田・道上式を参考に設定

計測項目

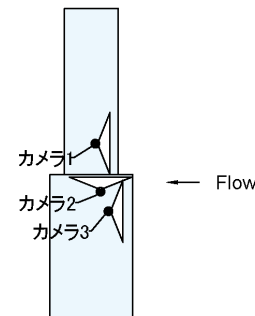
河床高

ポイントゲージで5分おきに橋脚の上下流1mで計測

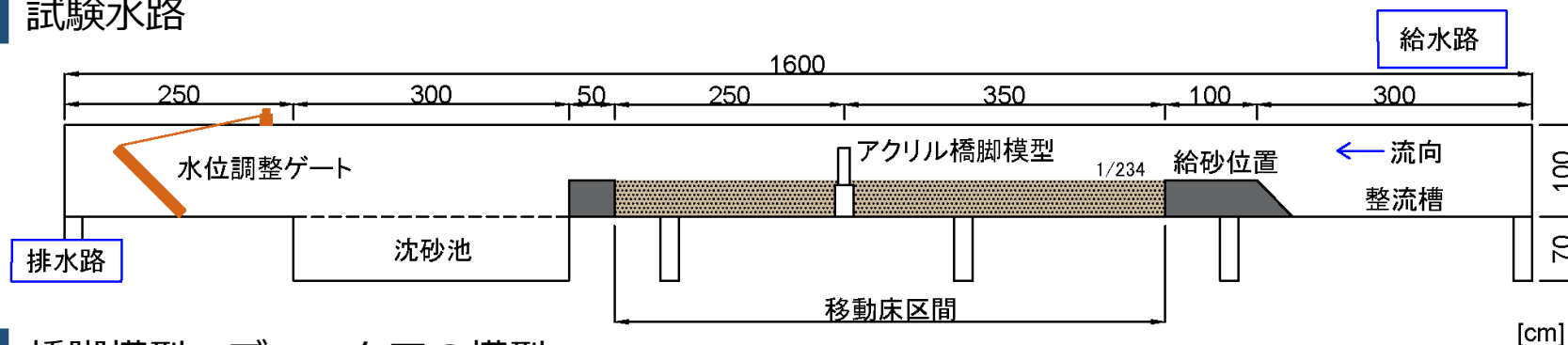


洗掘深

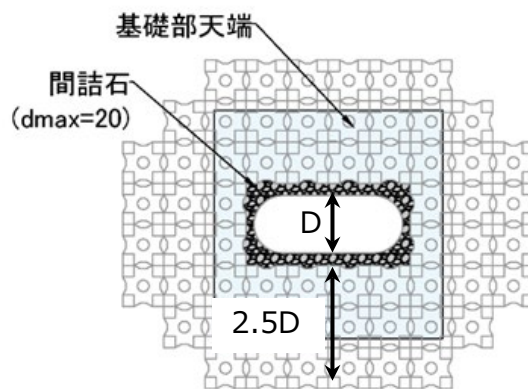
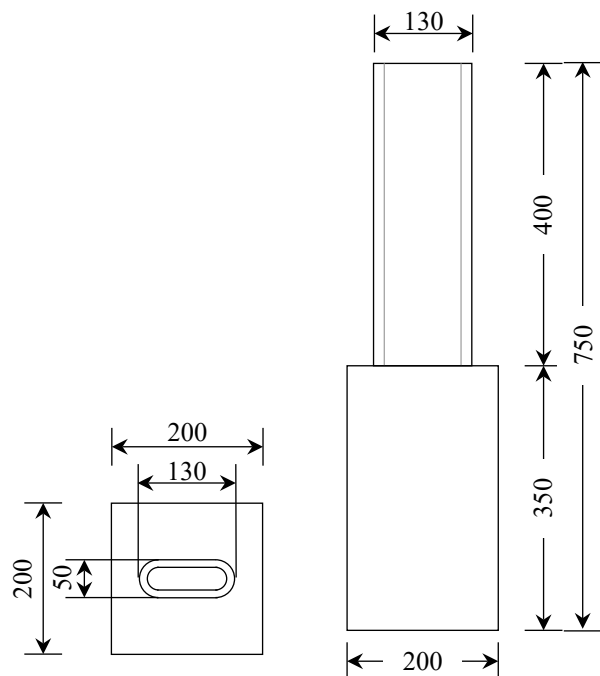
小型カメラを橋脚模型内に設置して
30秒おきに計測



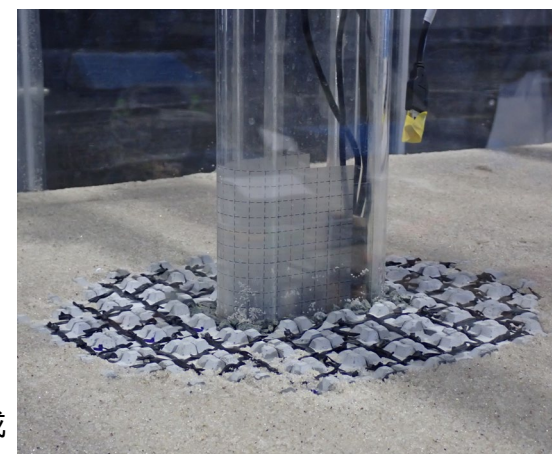
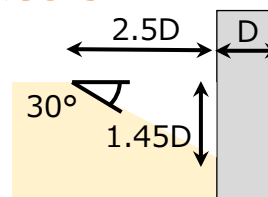
試験水路



橋脚模型・ブロック工の模型



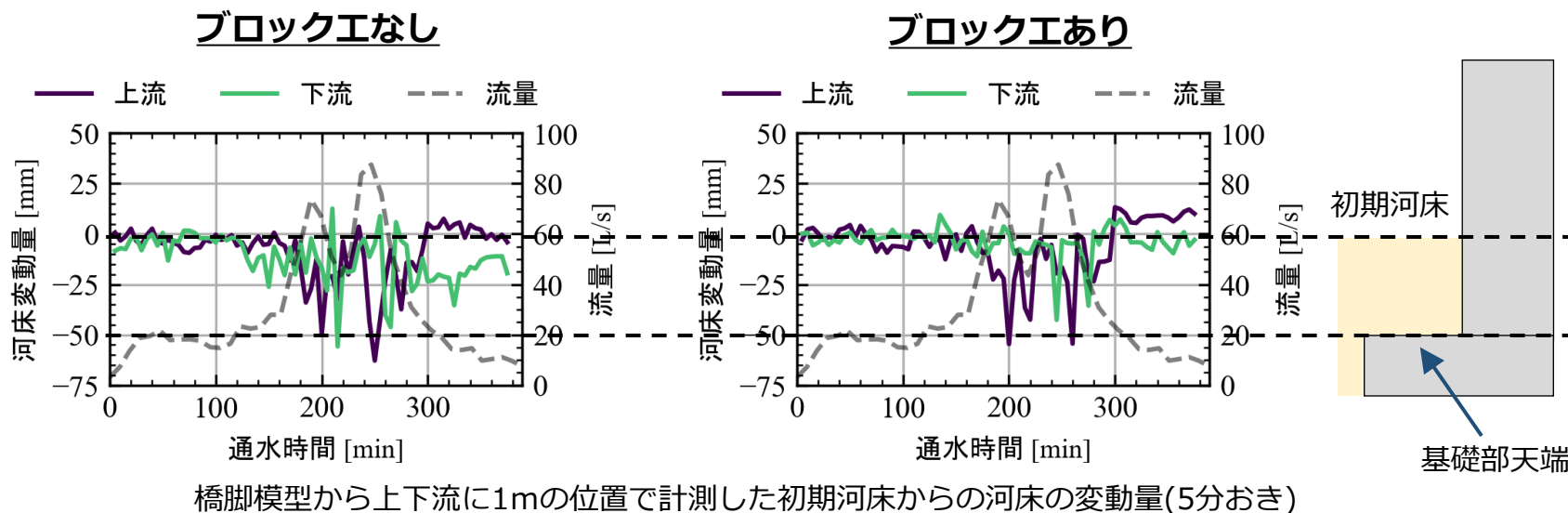
市販の1tブロックを基にモルタルで作成
橋脚との隙間は10mmの砂利で間詰
敷設範囲は橋脚幅Dに対して2.5D



実験前の様子

アクリル製橋脚のため、中から洗掘の様子を観察可能

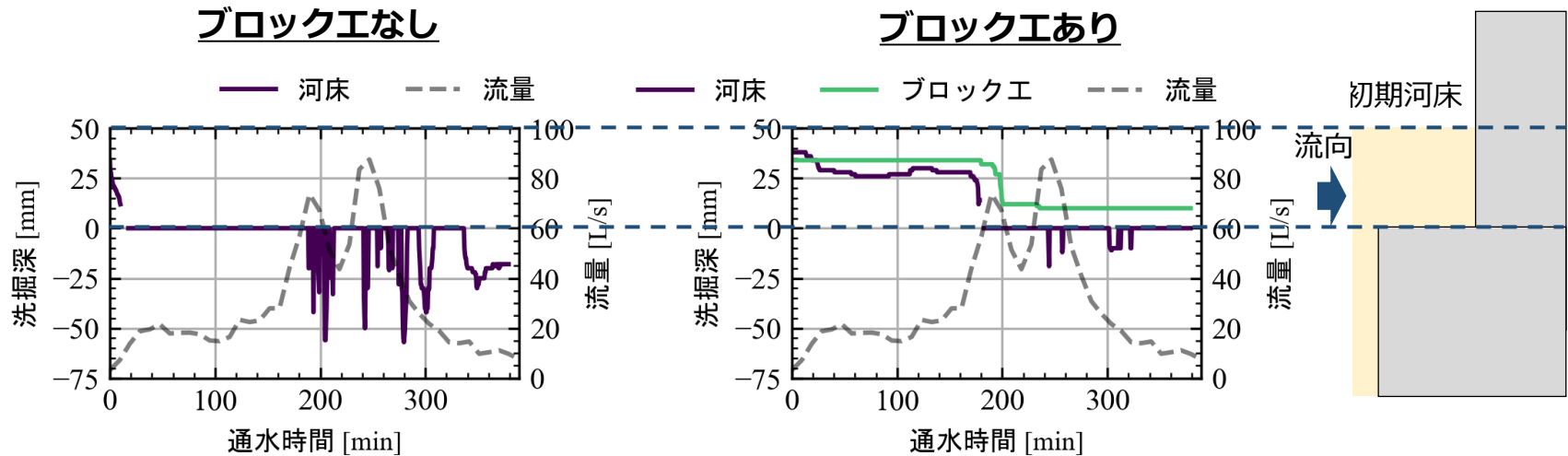
通水時間と河床変動量の関係



両ケースとも共通して、流量に増加に従い河床が大きく変動し、
洪水ピーク時には基礎部天端に到達する波高の河床波(約50mm)が発生

洪水ピークを過ぎた後には初期河床に戻ることから、
小規模河床波によって河床が大きく変動したことが分かる

通水時間と洗掘深の関係



橋脚模型内部のカメラから洗掘深を計測 (30秒おき)
基礎部天端を0として、正は洗掘深増加期、負は洗掘深再増加期を示す

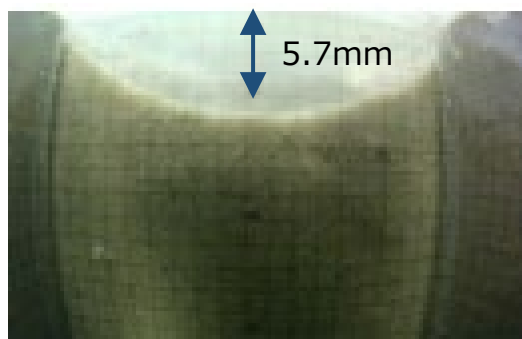
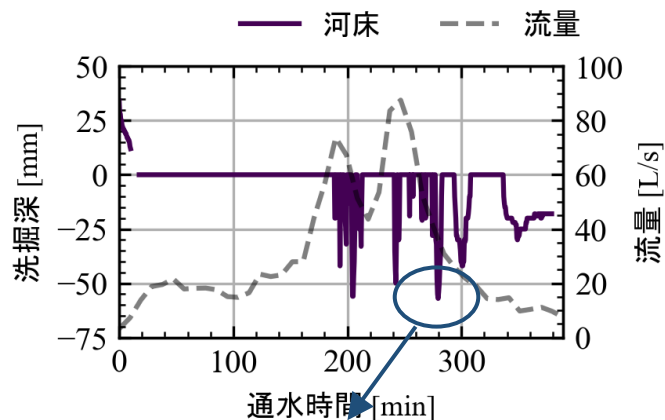
- ・ 通水開始直後に洗掘深が基礎部天端へ到達
- ・ 洪水ピーク時には基礎部天端より深へと洗掘が進行、洗掘深再増加期となる
- ・ 洪水ピーク時に洗掘が進行して基礎部天端に到達
- ・ ブロックもピーク時に急速に沈下
- ・ 基礎部天端の洗掘深安定期で洗掘の進行は留まる

ブロックによって洗掘深増加期の進行が緩やかになり、洗掘深再増加期の急速な洗掘深の進行を防ぐことができた

洗掘深安定期で洗掘深の進行が止まったことから、ブロックの洗掘抑制効果と基礎部天端の洗掘抑制効果の両者によって洗掘の進行を防ぐことができたと考えられる

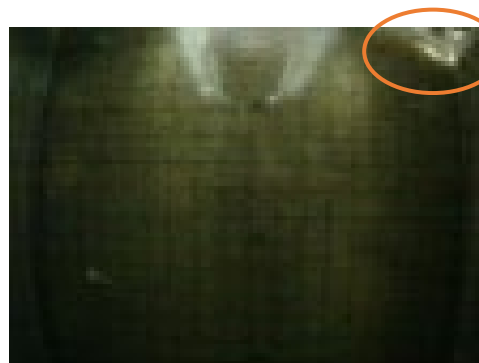
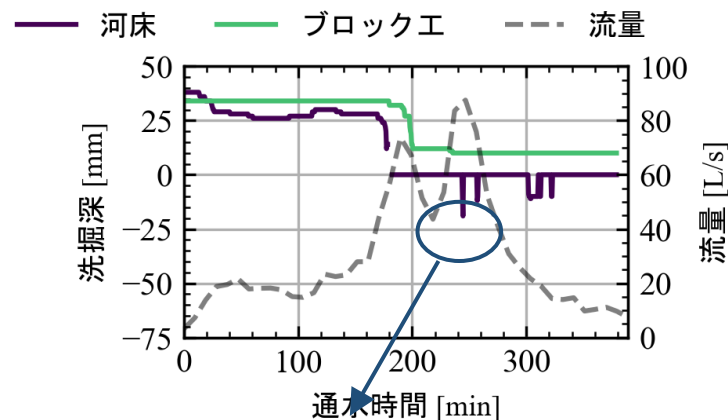
カメラから得られた画像 最大洗掘深

ブロックエなし

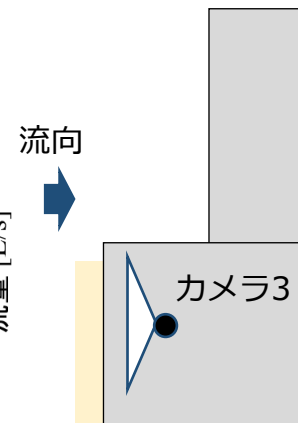
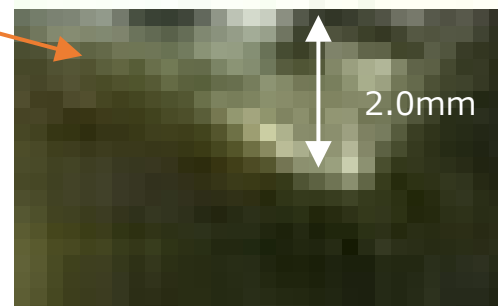


基礎部前面が大きく露出

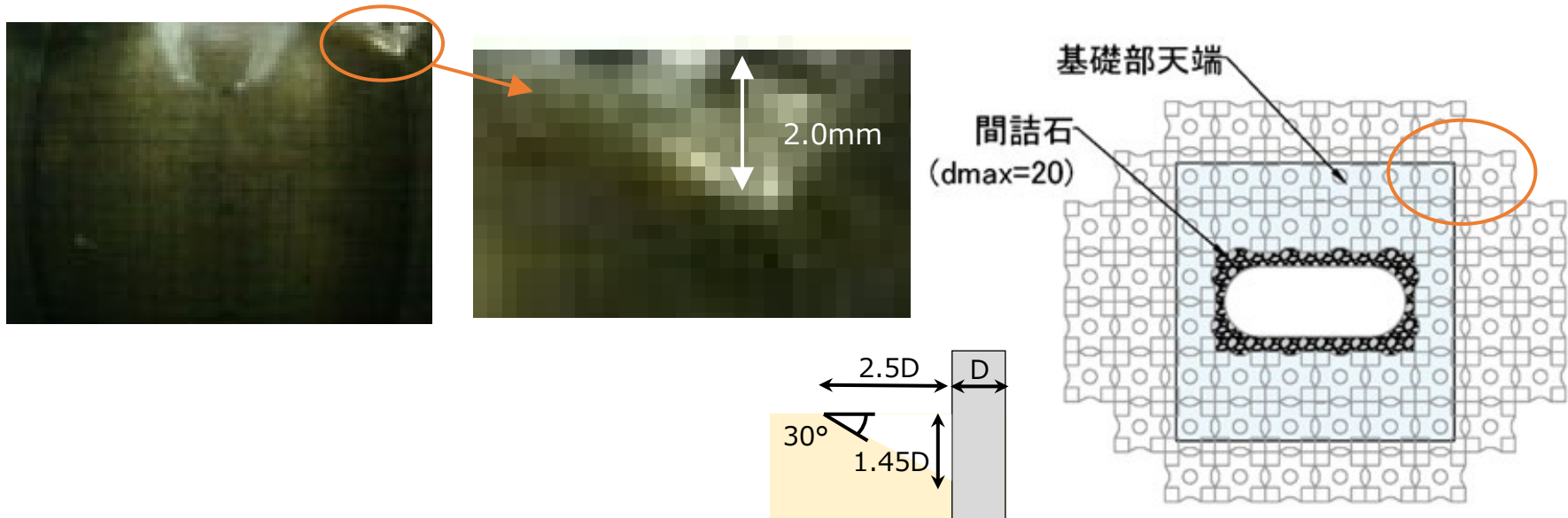
ブロックエあり



基礎部の角部のみが僅かに露出



カメラから得られた画像



露出した箇所である基礎部の角はブロック工の敷設範囲が基礎部の前面や側面に比べて小さい

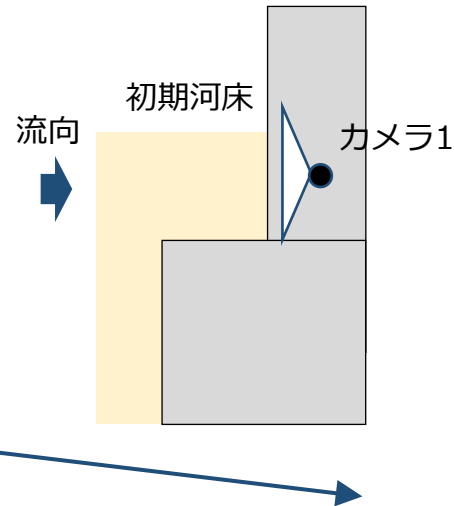
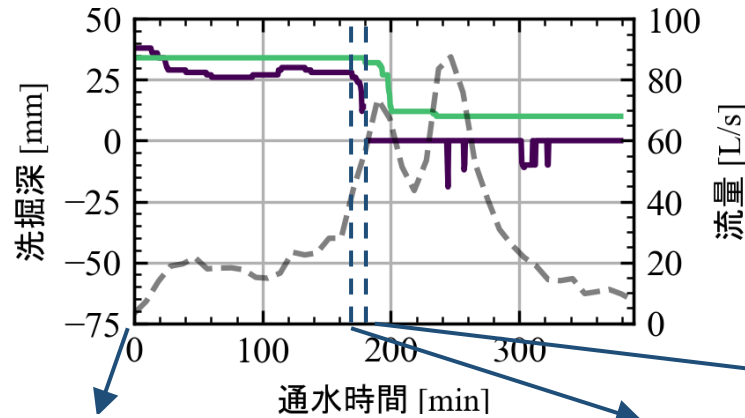


洗掘深が基礎部天端以深まで進行する場合、橋脚幅見合いの敷設範囲の考え方でブロック工を敷設すると敷設範囲が十分でない可能性がある

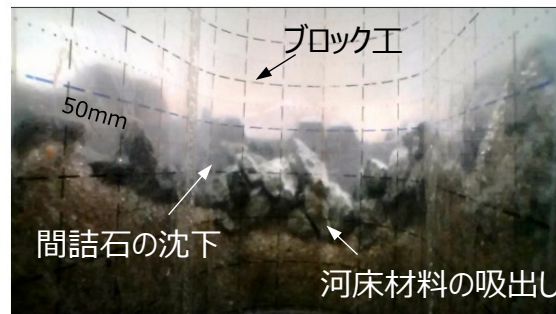
カメラから得られた画像 ブロック工ありの洗掘深増加期の様子

洗掘深増加期を観察するために設置したカメラ1の様子を示す

— 河床 — ブロック工 - - - 流量



0min
実験開始時



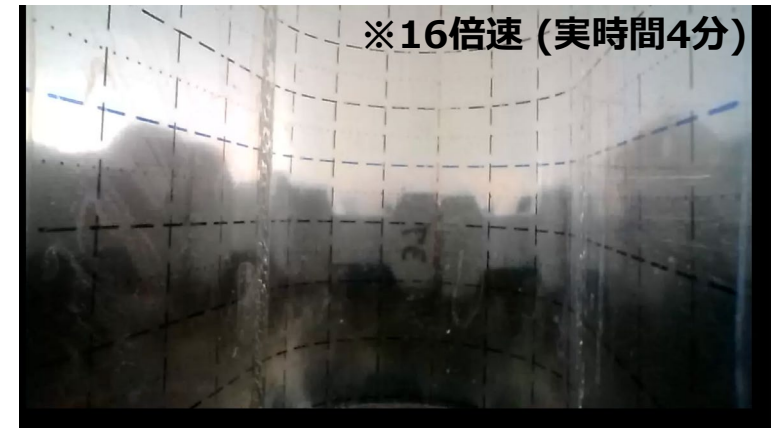
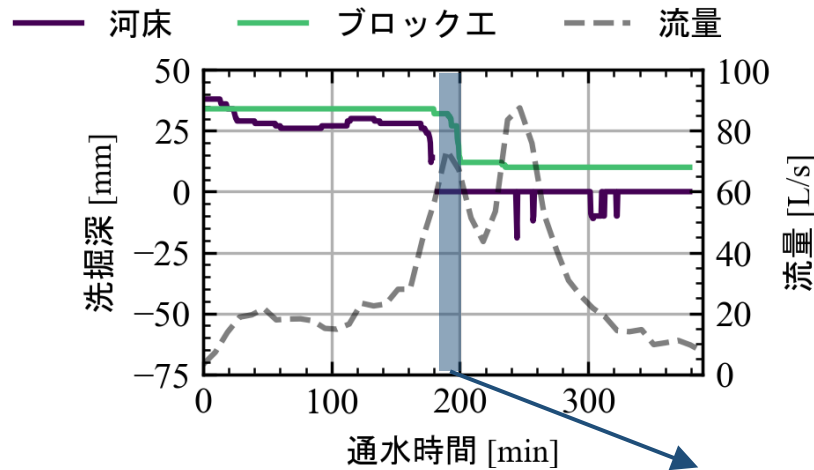
175min
河床材料の吸出しと間詰石の沈下



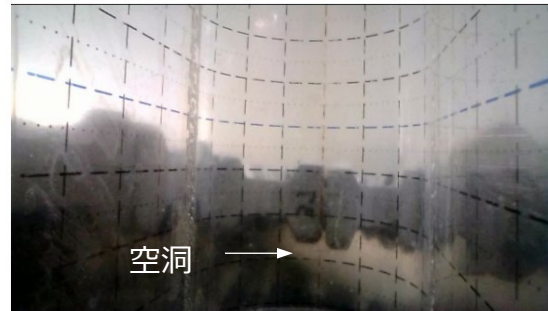
181min
間詰石の沈下・基礎部天端露出

流量の増加に従い、間詰石の隙間から河床材料が吸い出された後、間詰石が沈下・流出した

カメラから得られた画像 ブロック工ありの洗掘深増加期の様子



195min
空洞発生前



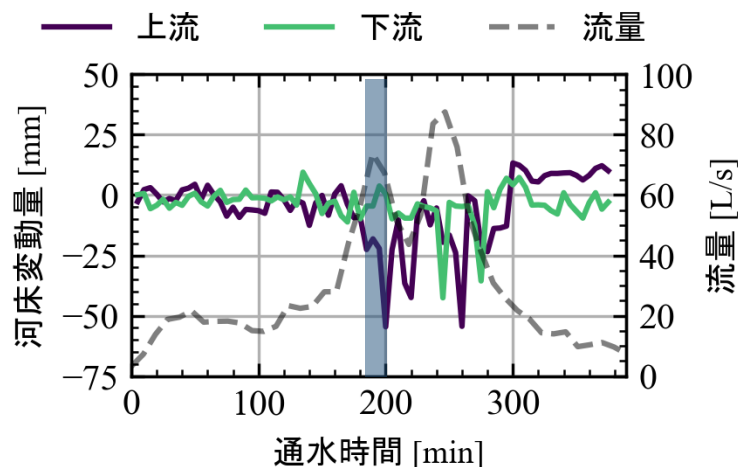
198min
ブロック工下に空洞発生



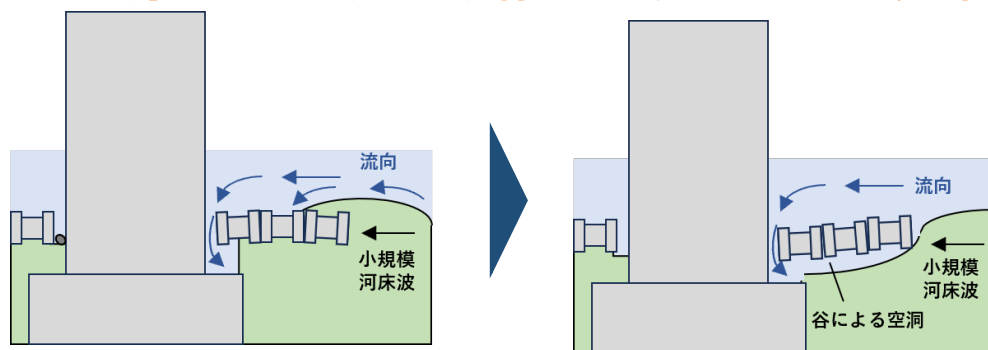
200min
ブロック工の沈下

小規模河床波の谷が通過した際にブロック工の下に空洞が発生して沈下が生じたと推察される

カメラから得られた画像 ブロック工ありの洗掘深増加期の様子



ブロック工が沈下した洪水ピーク時には
基礎部天端に到達する程度の大きさの小規模河床波が発生
小規模河床波の谷が通過した際にブロック工が大きく沈下

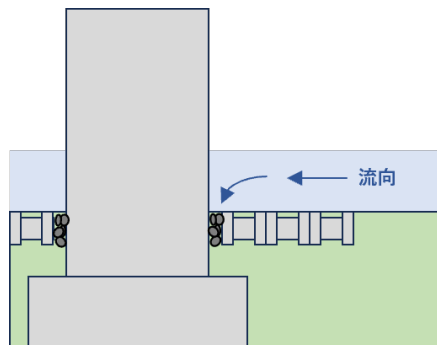


捨石工のbed-feature destabilization(河床の不安定化)による破壊*

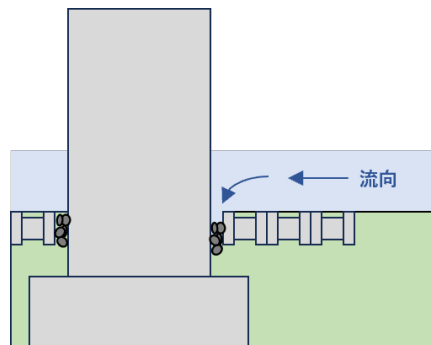
小規模河床波を伴う捨石工の既往の実験*でも同様の破壊形式が報告されており
ブロック工においても、小規模河床波のような河床変動で変状が発生する可能性がある

*Chiew, Yee-Meng, Lim, Foo-Hoat : Failure Behavior of Riprap Layer at Bridge Piers under Live-Bed Conditions, Journal of Hydraulic Engineering, Vol.126, No.1, pp. 43-55, 2000.

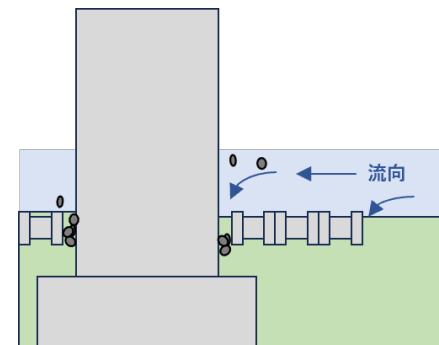
今回の条件におけるブロック工の変状過程の整理



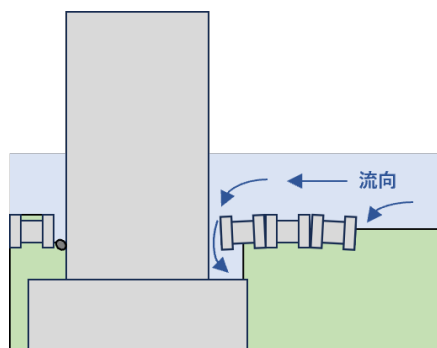
変状発生前



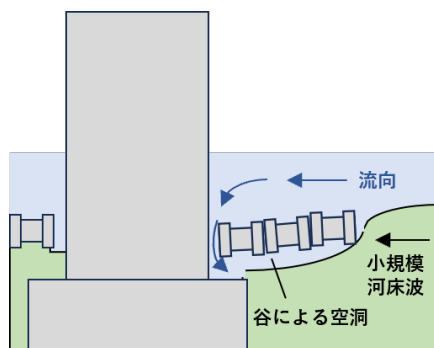
(a)吸出しによる河床材料の流出



(b)間詰石の沈下及び飛散



(c)橋脚周辺の局所洗掘



(d)小規模河床波による河床の不安定化・ブロック工の沈下

ブロック工の変状の前段階として、河床材料の吸出しや間詰石による沈下や飛散が生じる

動的洗掘下においても洪水後に間詰石の変状を確認することが、
ブロック工の変状の前段階の予兆を知る上で有効であると考えられる

■ ブロック工の有無からブロック工の洗掘抑制効果を検証した

- ・ 洗掘により橋梁の被災が発生した規模の洪水においても、ブロック工を敷設した場合、洗掘が低減されることを確認した。
- ・ ブロック工による洗掘抑制効果と基礎部天端の洗掘抑制効果の両者によって、洗掘深安定期で洗掘の進行を留めて基礎部前面の露出を防ぐことができた
- ・ 洗掘深が基礎部天端以深まで進行する場合、橋脚幅見合いの敷設範囲の考え方でブロック工を敷設すると敷設範囲が十分でない可能性がある

■ 橋脚内のカメラからブロック工の変状過程を整理した

- ・ 小規模河床波による河床の不安定化がブロック工の変状の要因となる可能性を示した
- ・ ブロック工の変状の前段階として間詰石の沈下及び飛散が維持管理上の着眼点となりえることを示した