

2024年8月28日
第17回CAESAR講演会

洗掘による道路橋被災を 未然に防ぐための研究の動向

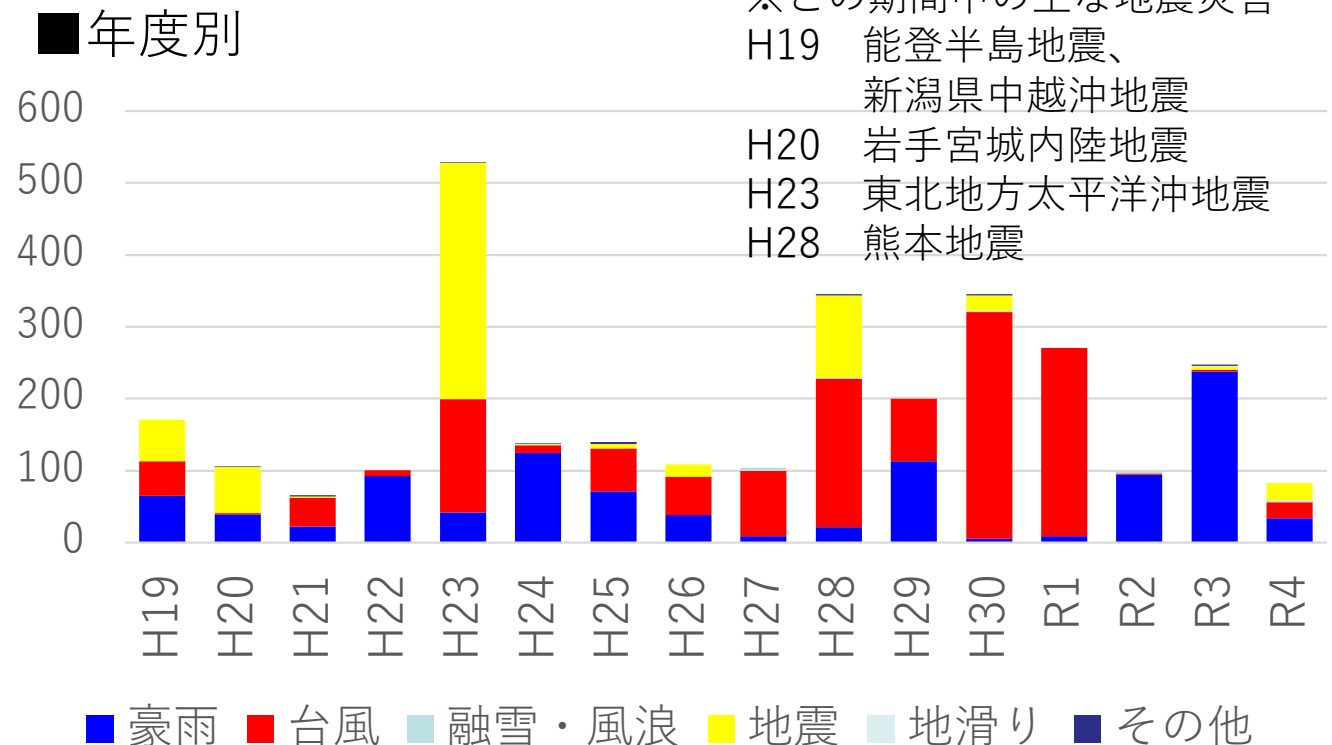
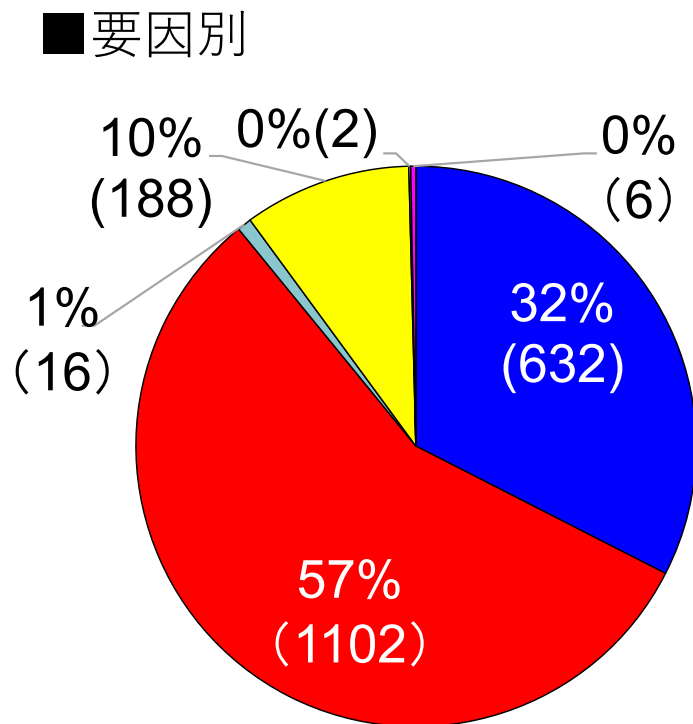
国立研究開発法人土木研究所
構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）
上席研究員 西田 秀明

1. 洗掘による橋梁被災及び洗掘対策に関わる規定の概要
2. 近年の洗掘による道路橋被災事例
3. 洗掘による道路橋被災を未然に防ぐための研究の動向
4. まとめ

橋梁の被災要因（H19-R4年度）

- 橋梁の被災原因の約9割近くが台風や豪雨による

⇒ この要因の一つとして大きいと考えられる洗掘への対応は
橋の維持管理における重要事項



橋梁の被災要因（H19-R4年度）

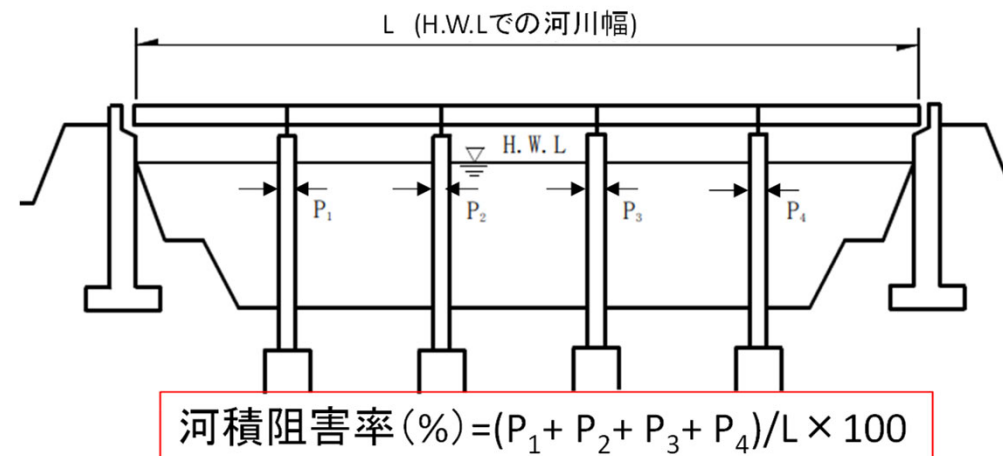
出典：災害統計 <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00600910&tstat=000001024237>

- 1966年（S41）の「道路橋下部構造設計指針 調査及び設計一般編」（日本道路協会）にて、「下部構造の支持地盤は十分な支持力を有し、気象や洗掘の影響を受けない安定した地盤でなければならない」ことが記載。

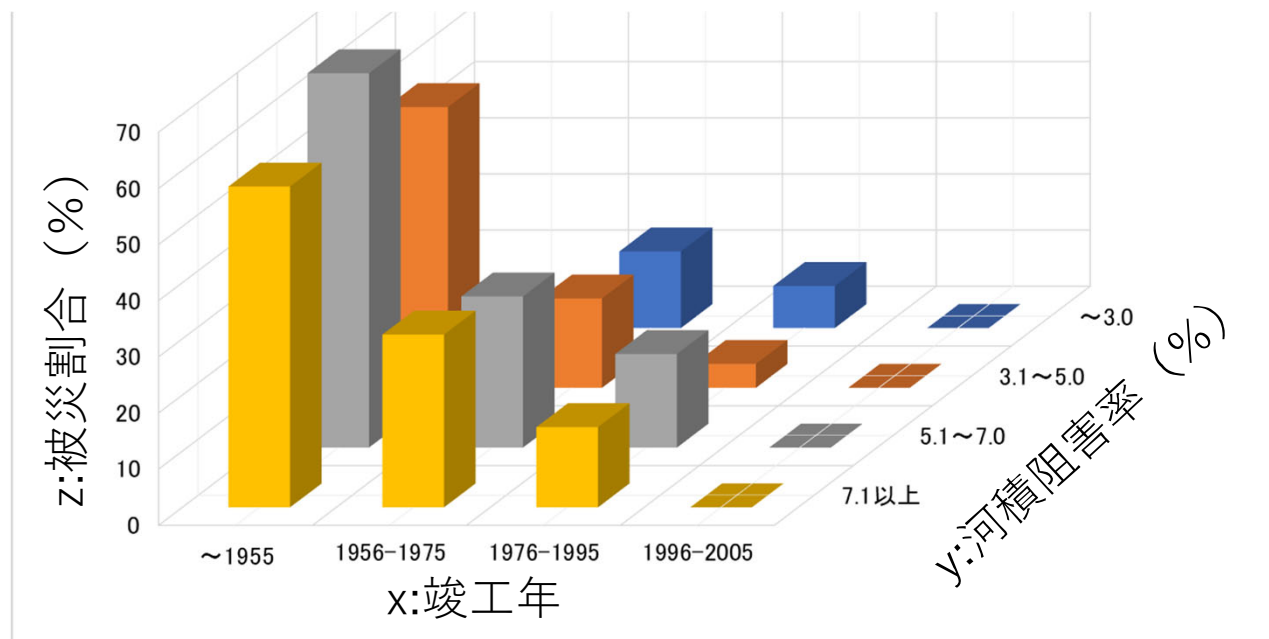
（解説の記載）

- ✓ 短期間の支持力のみを考えれば、地表面あるいは河床直接に基礎をおいても十分支持力を有する場合もあるが、（中略）、あるいは流水のため洗掘を受けて鉛直あるいは水平支持力が低下することが多いので、支持地盤の選定にあたっては、十分調査の上それらの影響がない地盤を選ばなければならない。
- ✓ したがって地盤が良質な土の場合でも気象の影響を考えると少なくとも地表面から1 m以上の深さに支持地盤を選ぶ必要がある。

- 1976年（S51）河川管理施設等構造令の制定により、洗掘対策が規定。
 - ✓ 低水路の河床の表面から深さ2m以上基礎を根入れ（高水敷表面からは1m以上根入れ）。
 - ✓ 必要に応じて護床工を設置。
 - ✓ 河道内にある橋脚の形状について、できるだけ細長い円形等とすること。
⇒パイルベント形式橋脚・基礎の禁止。
 - ✓ 河積阻害率の目安5%以内（解説）



- 1976年河川管理施設等構造令制定以前、特に1955年以前の古い橋梁で被害が多発。
- ⇒ 基準の有無のほか、基礎の施工技術、上部構造の施工技術（径間長）が影響。



竣工年、河積阻害率と被災割合

※ 2011年から2016年までの豪雨と2018年7月豪雨で洗掘により被災した橋梁（214橋）と、同水系の被災なし橋梁（445橋）のデータを集計・分析。
ただし、竣工年または河積阻害率不明の橋梁を除く。

出典：道路橋の洗掘による被災リスク要因に関する研究－被災事例の統計分析等による検討及び令和3年（2021年）の豪雨災害調査：国土技術施策総合研究所資料 第1202号、令和4年3月

国道445号 金内橋（熊本県山都町） 諸元

上部構造形式	車道：2径間単純PC桁橋 歩道：2径間単純H型鋼桁橋
下部構造（基礎）形式	直接基礎（歩道側に拡幅）
橋 長	37.00m
架設年月	車道：昭和37（1962）年 歩道：昭和48（1983）年



※点検調書より



金内橋の周辺状況

地図・空中写真閲覧サービス



国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス に加筆

金内橋の被災状況

- 洪水により橋脚が転倒して桁が落下



資料提供：熊本県



1) 左岸下流側より



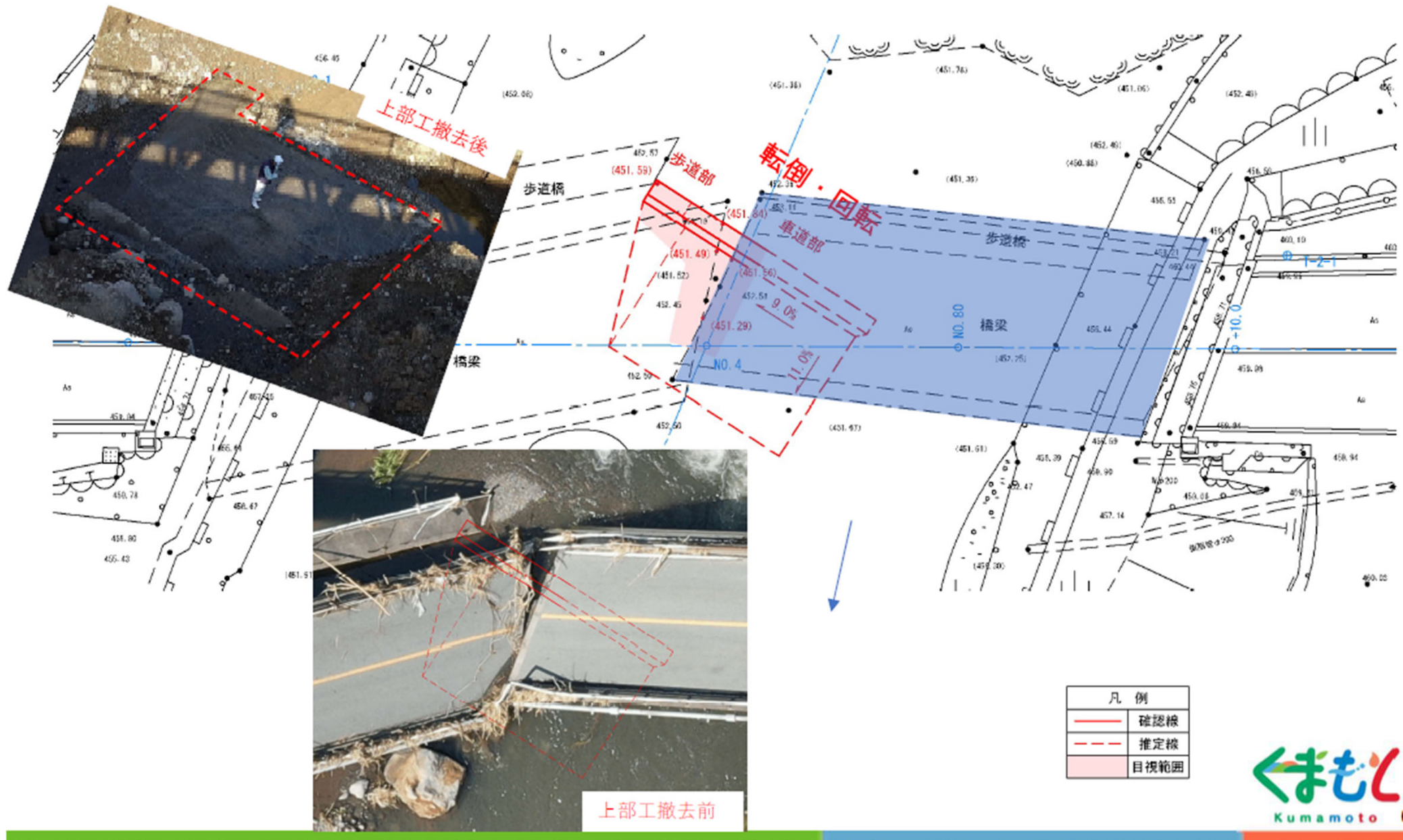
2) 左岸上流側より

桁の落下状況

金内橋の被災状況



CAESAR

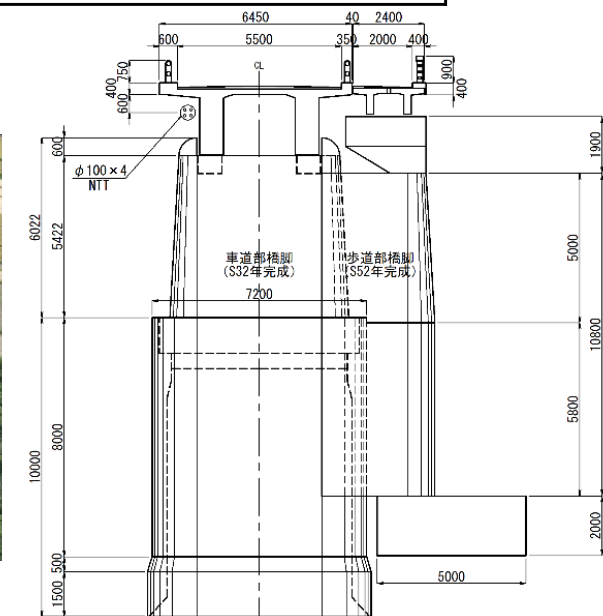


資料提供：熊本県

近年の洗掘による道路橋被災事例(2) 球磨大橋

一般県道覚井一武線 球磨大橋（熊本県錦町） 諸元

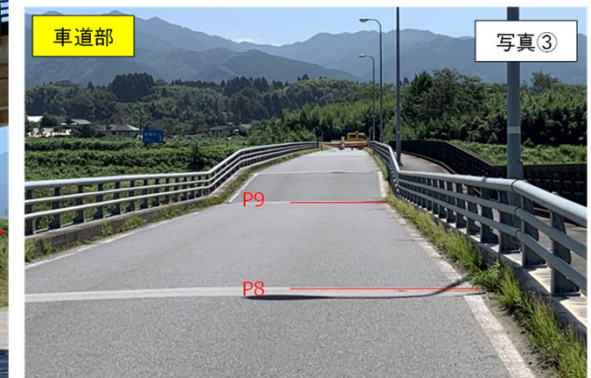
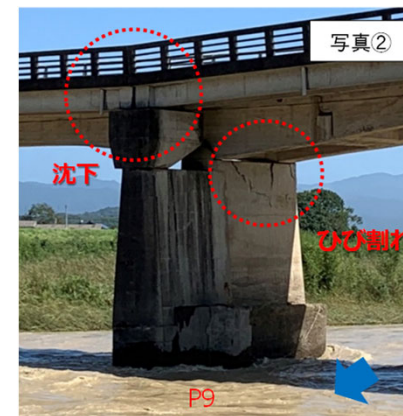
上部構造形式	車道：RCゲルバー桁 歩道：ポステンT桁（全15径間）
下部構造（基礎）形式	車道部：ケーソン基礎 歩道部：直接基礎
橋 長	340.7m
架設年月	車道：昭和32（1957）年 歩道：昭和52（1977）年



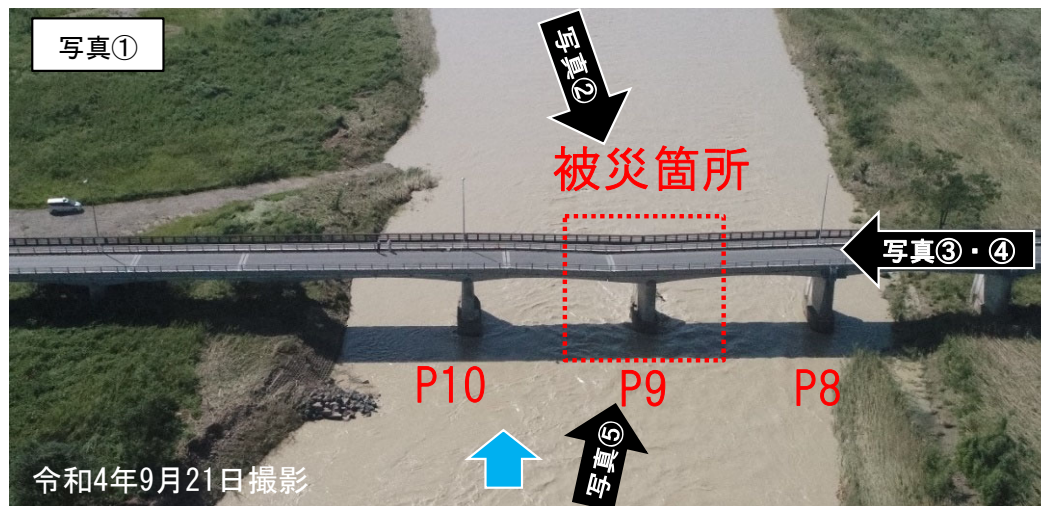
P 9 橋脚

球磨大橋の被災状況

- P9橋脚の沈下、沓隠し基部の破壊、橋脚躯体の上部上流側でのせん断ひびわれやうきなどが生じた



▲車道部の変形状況(P8→P9方面)



▲歩道部の変形状況(P8→P9方面)

■洗掘状況

-

①歩道フーチング 沈下

歩道柱

フーチング天端
から約0.7m

車道ケーソン

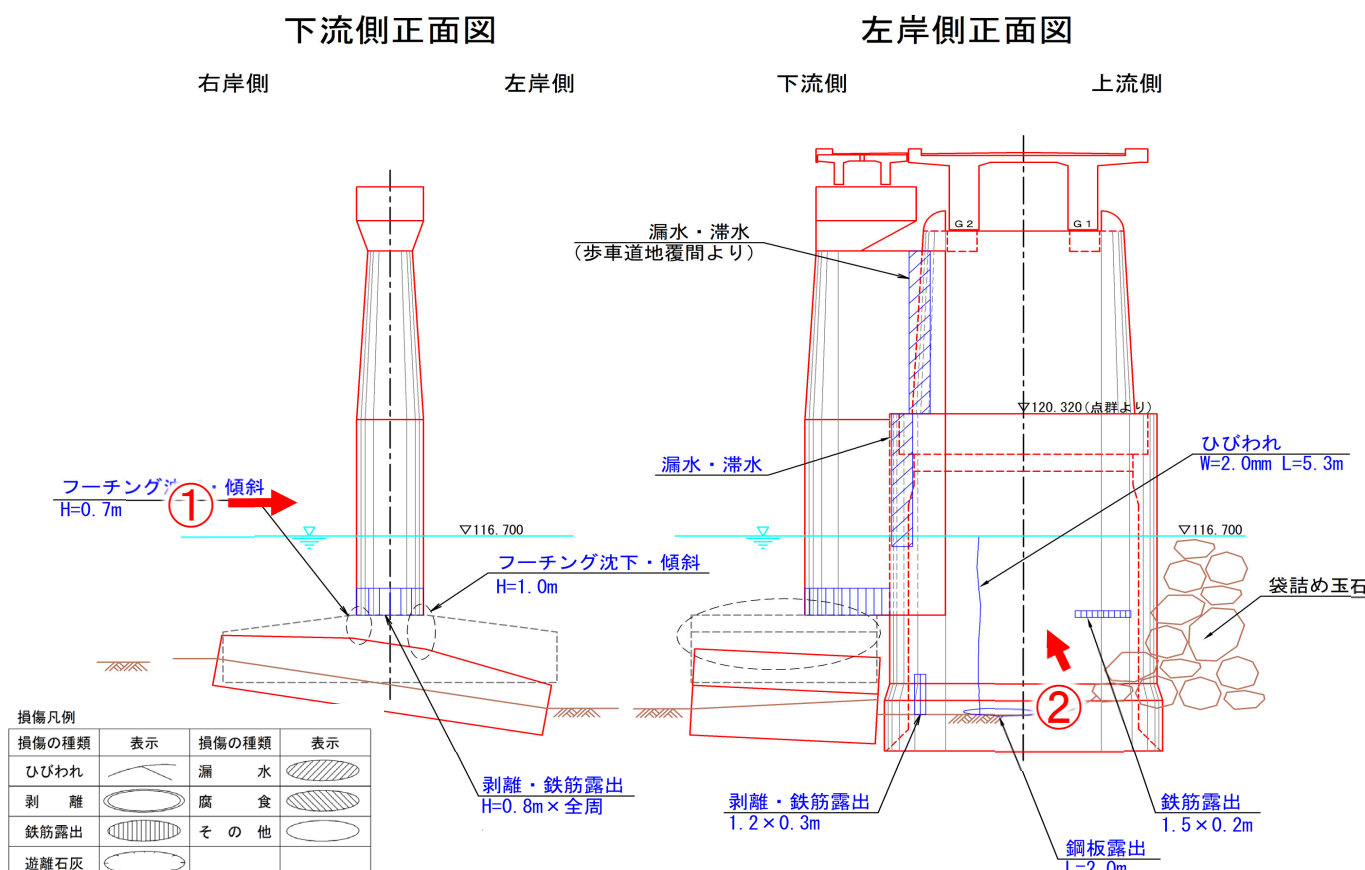
②ケーソン刃口部の鋼板露出

車道ケーソン

鋼板

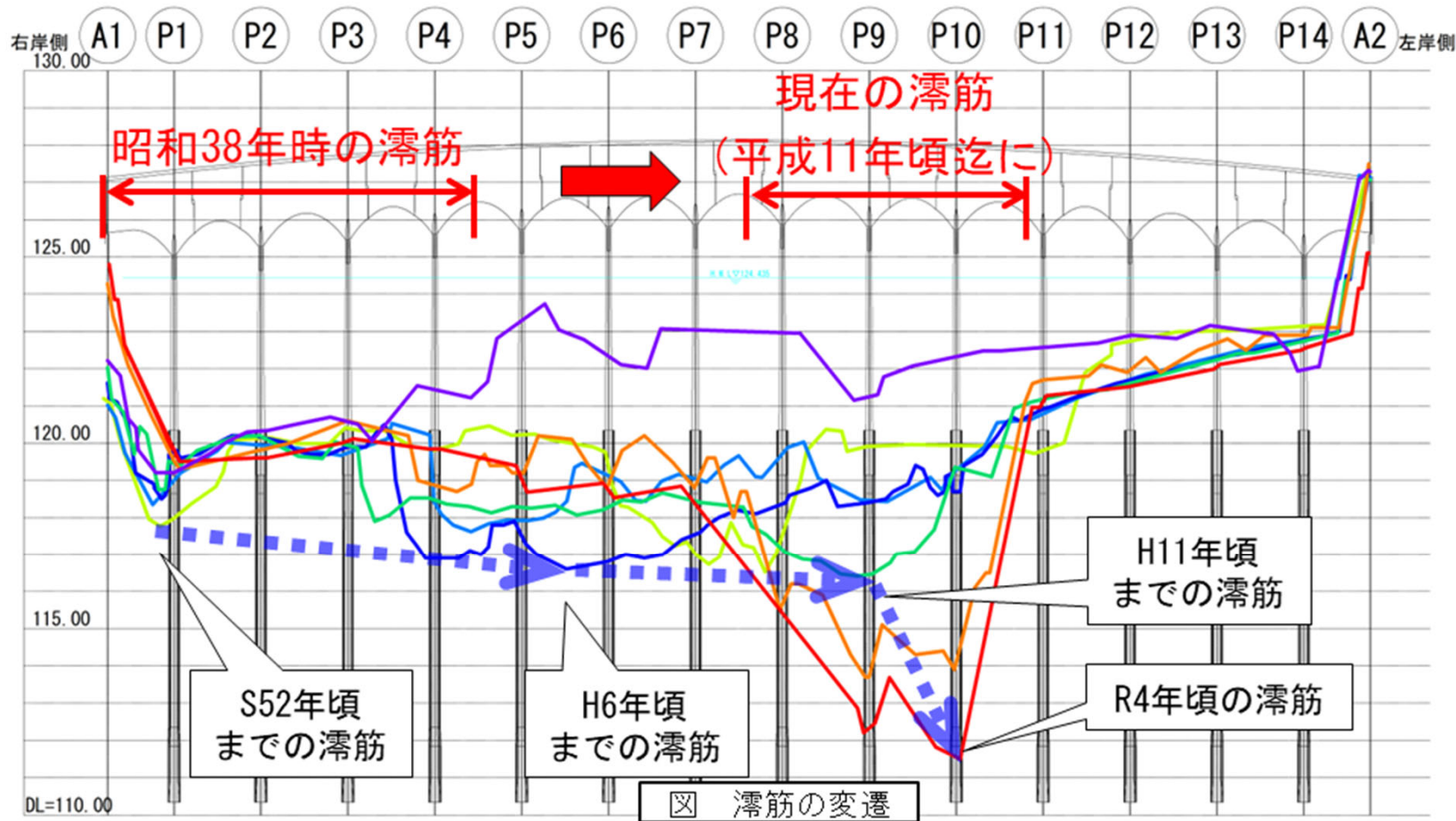
河床

潜水目視調査

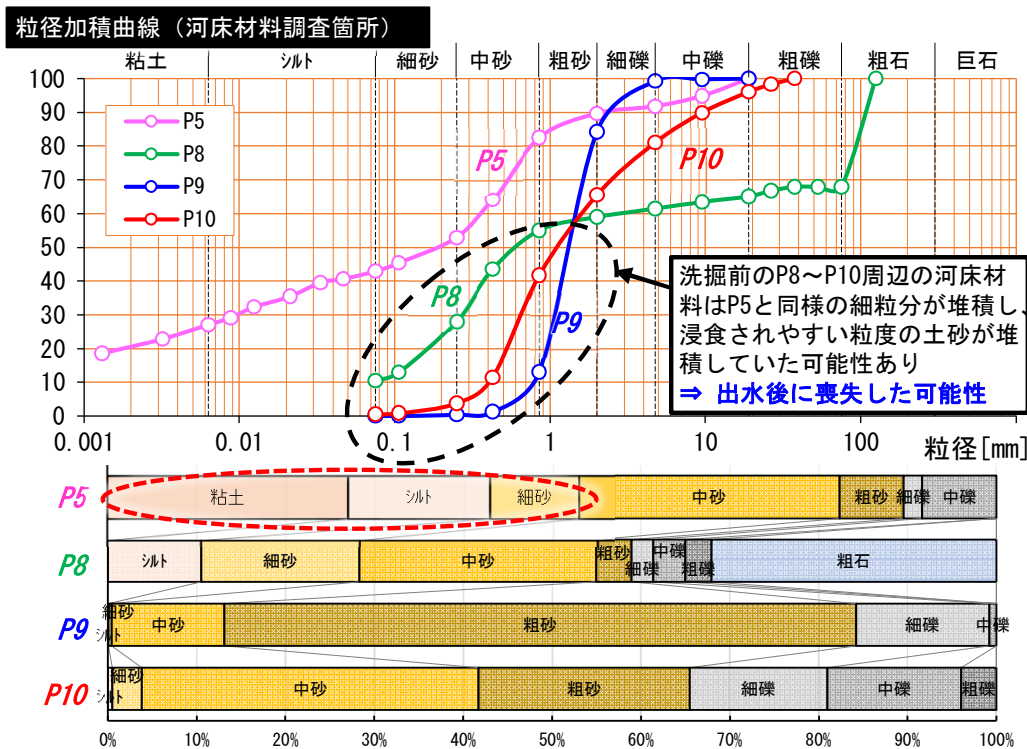


球磨大橋付近の河床の経年変化

- ・ 滞筋の変化とともに局所的な深掘れが進んでいる。



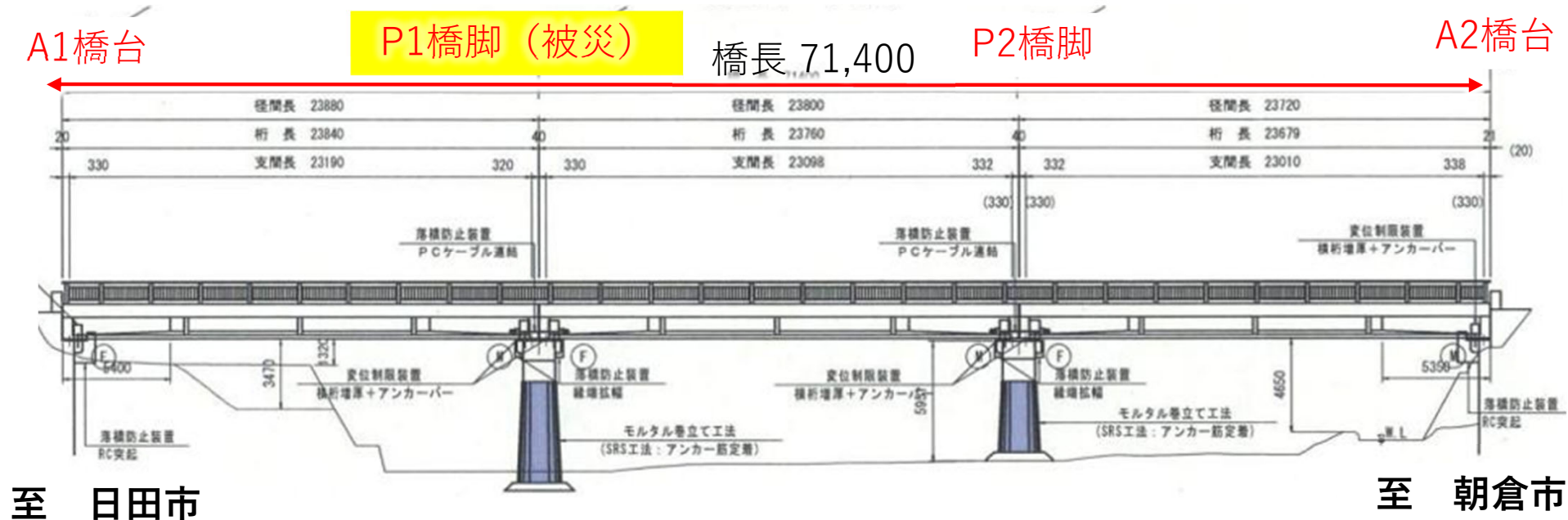
-



近年の洗掘による道路橋被災事例(3) 三郎丸橋

国道386号 三郎丸橋（大分県日田市） 諸元

上部構造形式	PC3径間単純ポステンT桁橋
下部構造形式	逆T式橋台、張出式橋脚 基礎形式不明 ※橋脚は直接基礎と推定
橋 長	71.4m
架設年	1966年(昭和41年)



橋梁一般図

- P1橋脚で上流側への傾斜・沈下、フーチング上面の一部露出及びこの位置での橋軸直角方向への上部構造のずれを確認。



桁の一部が下部構造より脱落



被災状況 (下流側より撮影)



周辺河床、フーチングの露出状況
(A2橋台側より撮影)

橋の機能に影響を及ぼす洗掘被害を軽減するためには…

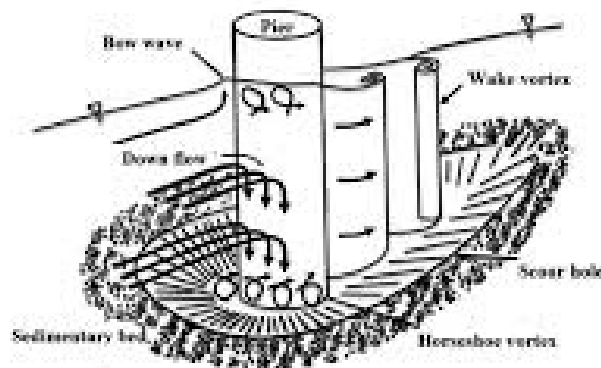
- 橋梁の洗掘被害を軽減するための知見はこれまでも蓄積され一定の対策も行われてきている。

基礎周辺の局所洗掘メカニズム、洗掘被災が生じやすい橋の条件（水衝部などの架橋条件、根入れ深さ、河積阻害率など）

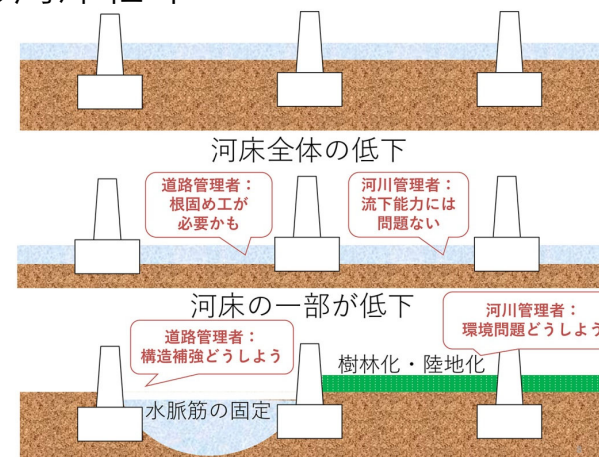
- しかし、深い基礎での被災や、橋梁周りの局所的な条件だけによらない被災も少なくないところ。

⇒これまでの知見に加えて、架橋地点を挟む上下流域での河床高、滯筋等の経年的な変化にも着目して、橋の機能に影響を及ぼす洗掘の進展状況を見極めて、予防保全段階に達しているか判断し、適切な時期に措置を講じることがより一層重要

①局所洗掘



②河床低下



土木構造物ジャーナル
西川前理事長インタ
ビュー（2021）

橋の機能に影響を及ぼす洗掘の状況把握の重要性

- 令和6年3月に改定された道路橋定期点検要領において、健全性の診断の区分にあたって考慮される予防保全の必要性の観点等から記録しておくのがよい「特定事象」の一つとして「洗掘」が挙げられている。
- 洗掘については、「洪水時など定期点検時点の確認だけでは把握が困難な状態の変化が生じる可能性がある現象であり、そのような危険性がある場合には、洪水後には必要に応じて状態の確認を行ったり、洗掘の状態によらず予防的な措置の検討が行われることもある現象」と記載。

道路橋定期点検要領
(技術的助言の解説・運用標準)

令和6年3月
国土交通省 道路局

特定事象の有無、健全性の診断に関する所見

施設ID 定期点検実施年月日 定期点検者

該当部位	特定事象の有無 (有もしくは無)						健全性の診断の区分の前提	特記事項 (第三者被害の可能性に対する 応急措置の実施の有無等)
	疲労	塩害	アルカリ 骨材反応	防食膜 の低下	洗掘	その他		
上部構造								
下部構造								
上下部接続部								
その他(フェールーフ)								
その他(伸縮装置)								

(適宜、所見を記入)

所見

橋の機能に影響を及ぼす洗掘防止のために必要な検討の観点

検討の観点	予防保全の観点から求められること	検討が必要と考えられる事項
構造物の安定性の現状評価 （基礎の安定の前提となっている地盤の状態・基礎の安定性の見立て）	適切な状態把握	①河床の状態の把握（調査）方法 -河川・構造 ②基礎の状態の把握（調査）方法-構造
	適切な性能の見立（いわゆる診断）	（基本的に橋の定期点検での考え方に同じ）
構造物の不安定要因の推定 （基礎の安定の前提となっている地盤の確保）	河床位置の将来予測	中長期的な滲筋の変化予測法（河道変化など） ・一時的な滲筋の変化予測法（1洪水の変化） -河川 ①大局的变化（全川的な河床低下など） -河川 ②局所的変化（構造周りの局所洗掘） -構造
構造物の安定性の評価	対策が必要となる時宜の予測	洗掘の程度と構造の安定性の関係性の評価方法 （安定性：支持、滑動、転倒）

橋の機能に影響を及ぼす洗掘防止のために必要な検討の観点

検討の観点	予防保全の観点から求められること	検討が必要と考えられる事項
持続的な構造物の安定性の確保	保全対策 (監視、修繕)	・ 滞筋コントロール（水制配置など?）、総合土砂管理（河床材料の供給）など -河川 ・ 設置位置（計画を含む）、構造形状、構造物間の相互影響の考慮 など -構造
アセットマネジメント リスクマネジメント	事後対応としないための時宜を得た対応	対策優先度の考え方 (構造条件や河川・架橋条件、求められる道路機能の水準を踏まえて)
その他	実効性の確保	確実性、簡便性、目的に応じた精度・水準の確保、低負担…

1. 構造物の現状の性能を見立てるための基礎資料
→性能を見立てる目的に応じた情報量・精度
2. 洗掘対策（措置）を検討するための基礎資料
→対策の内容（方法）に応じた情報量・精度
3. 経時変化を予測するための基礎資料
 - 1) 定期的あるいは高頻度での計測に基づく予測
（解析を伴わない予測）
→予測したい精度に応じた計測が可能な環境整備
別途予測手法も必要
 - 2) 解析に基づく河床変動予測を行う際の初期値
→将来的にはこちらが主流に？

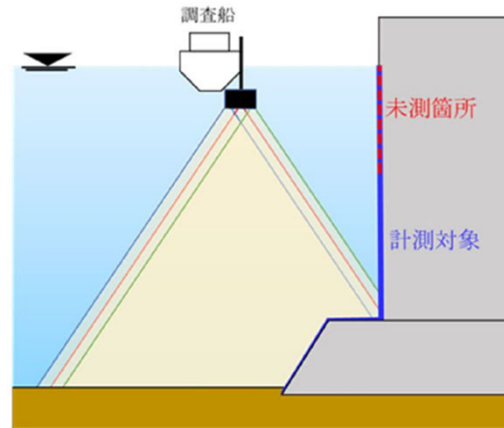
⇒調査の目的により必要な情報量や精度、取得頻度などが異なることを踏まえた調査法の選択が必要

①水中3D スキャナー



https://www.meigi.pa.cbr.mlit.go.jp/file/kouryuukai/20th/20th_03_shiryou.pdf

②ナローマルチ ビーム

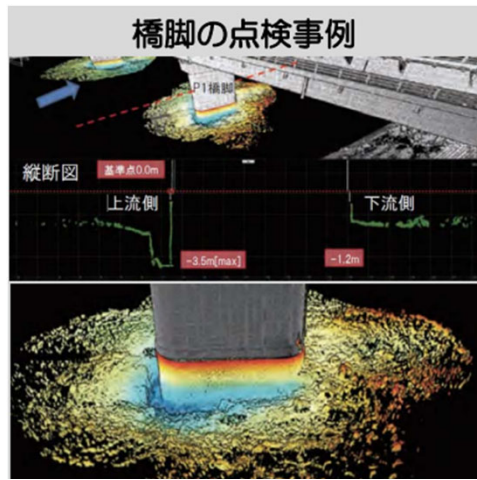


https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/attach/pdf/index-85.pdf

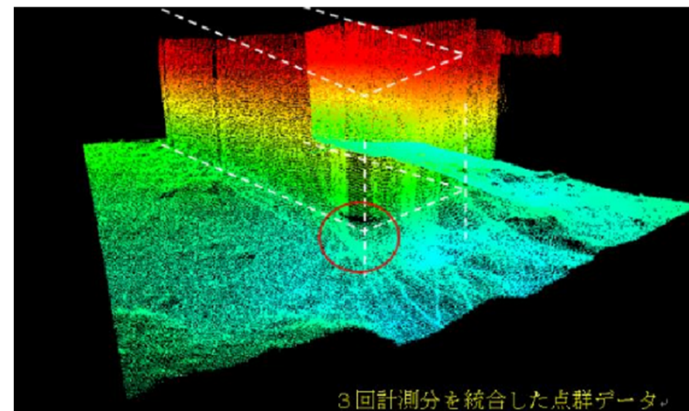
③グリーンレーザ



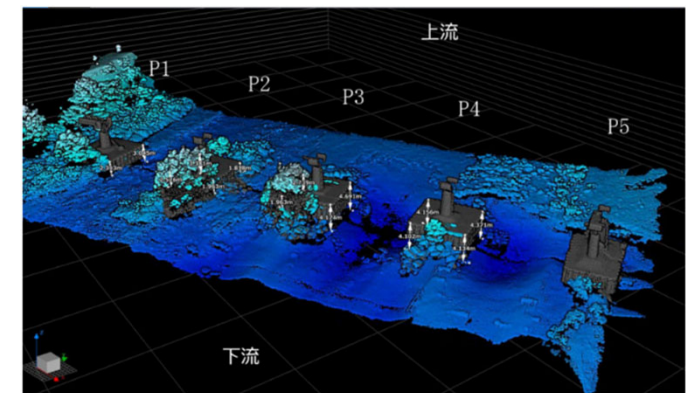
<https://www.pasco.co.jp/biz/tech/drone-greenlaser/>



https://www.meigi.pa.cbr.mlit.go.jp/file/kouryuukai/20th/20th_03_shiryou.pdf



https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/attach/pdf/index-85.pdf



(画像3: 点群データからの洗堀深さ計測値)

<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000234.000020194.html>

実施内容

- ・ 橋梁の予防保全型メンテナンスへの転換を実現するために、既存技術では把握が困難であった橋梁基礎の洗掘の河床の横断測量や3次元計測が可能であり、橋梁定期点検等で簡便に活用可能な技術を開発する。
- ・ 開発目標：
 - ①多様な水深、濁度、流速等でも河床を効率的に計測することが可能であること。
 - ②橋脚周りの河床形状やフーチング露出状況等の可視化が可能であること。
 - ③グリーンレーザと比べて安価であり、適用可能な条件（水深、濁度、流速等）が広いこと。

社会実装による効果

- 橋梁基礎洗掘による被災（落橋、通行止め）の回避
- 予防保全型メンテナンスサイクル確立による橋梁メンテナンスコストの削減

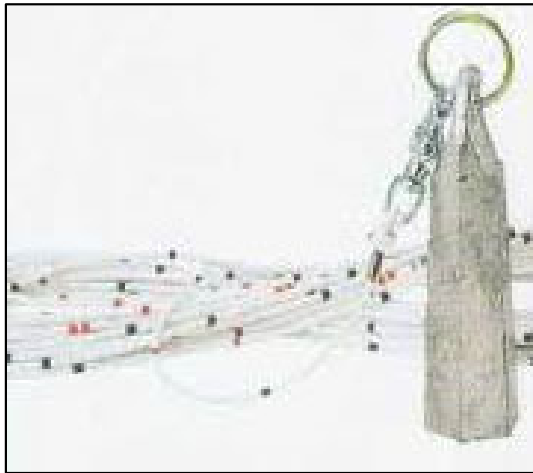
橋の上からできる簡易な河床計測法（１）

■重錘（レッドロープ）による調査

先端に重錘がついたロープで水深を計測する方法

作業手順(計測イメージ図を参考)

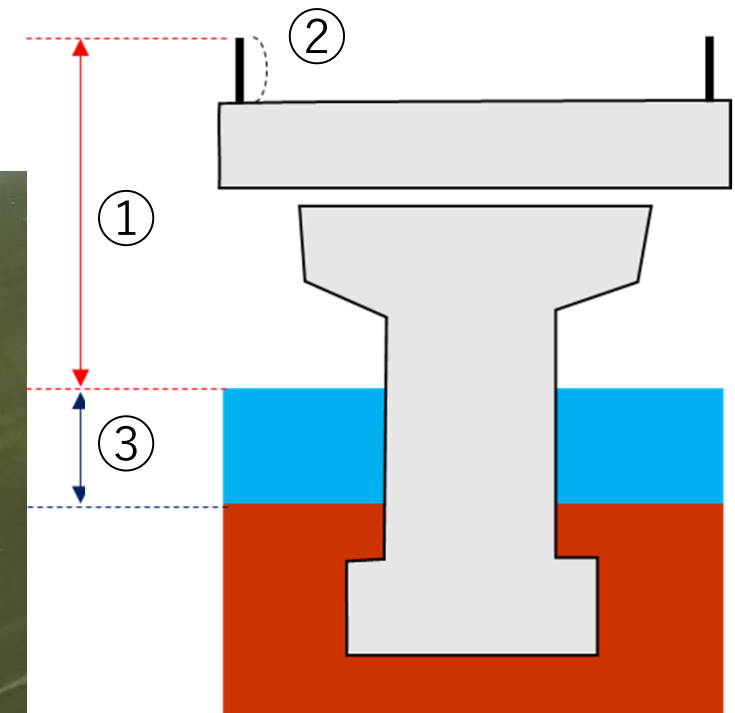
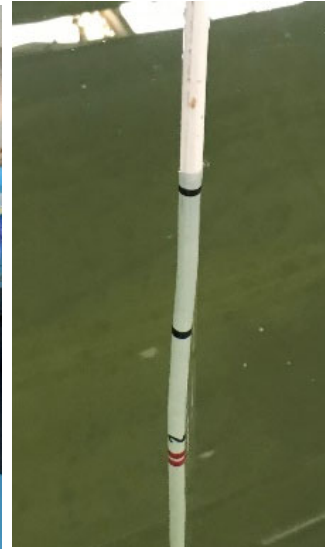
- ①水面から高欄までの距離を計測【レッドロープ】
- ②高欄の高さを計測【コンベックス等】
- ③水深を計測【レッドロープ】



レッドロープ



レッドロープによる計測状況

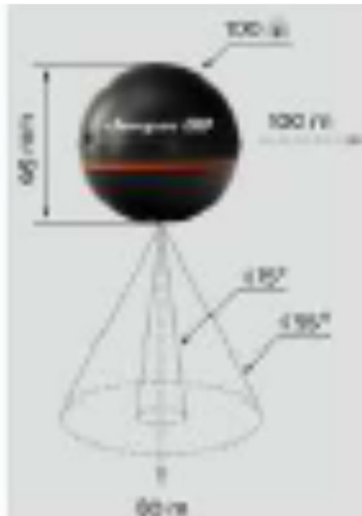


計測イメージ図

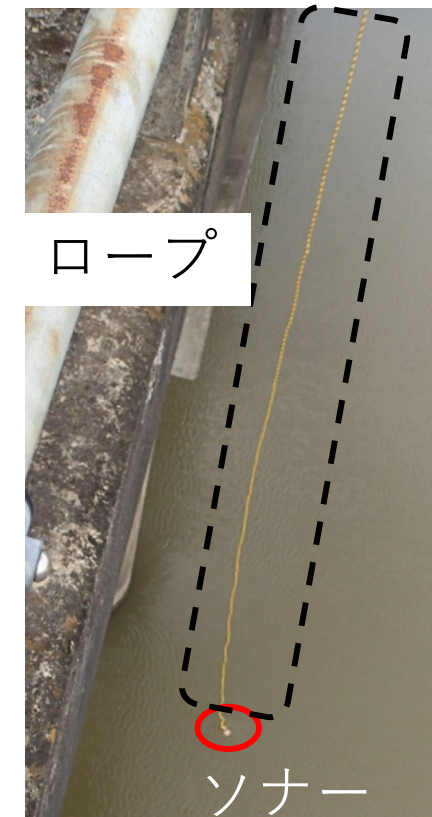
橋の上からできる簡易な河床計測法（２）

■ シングルビームソナー（音波）による調査

ソナーを水面に浮かべることで直下の水深を計測する。
ソナーをロープや釣り竿の先端に付けて用いる。

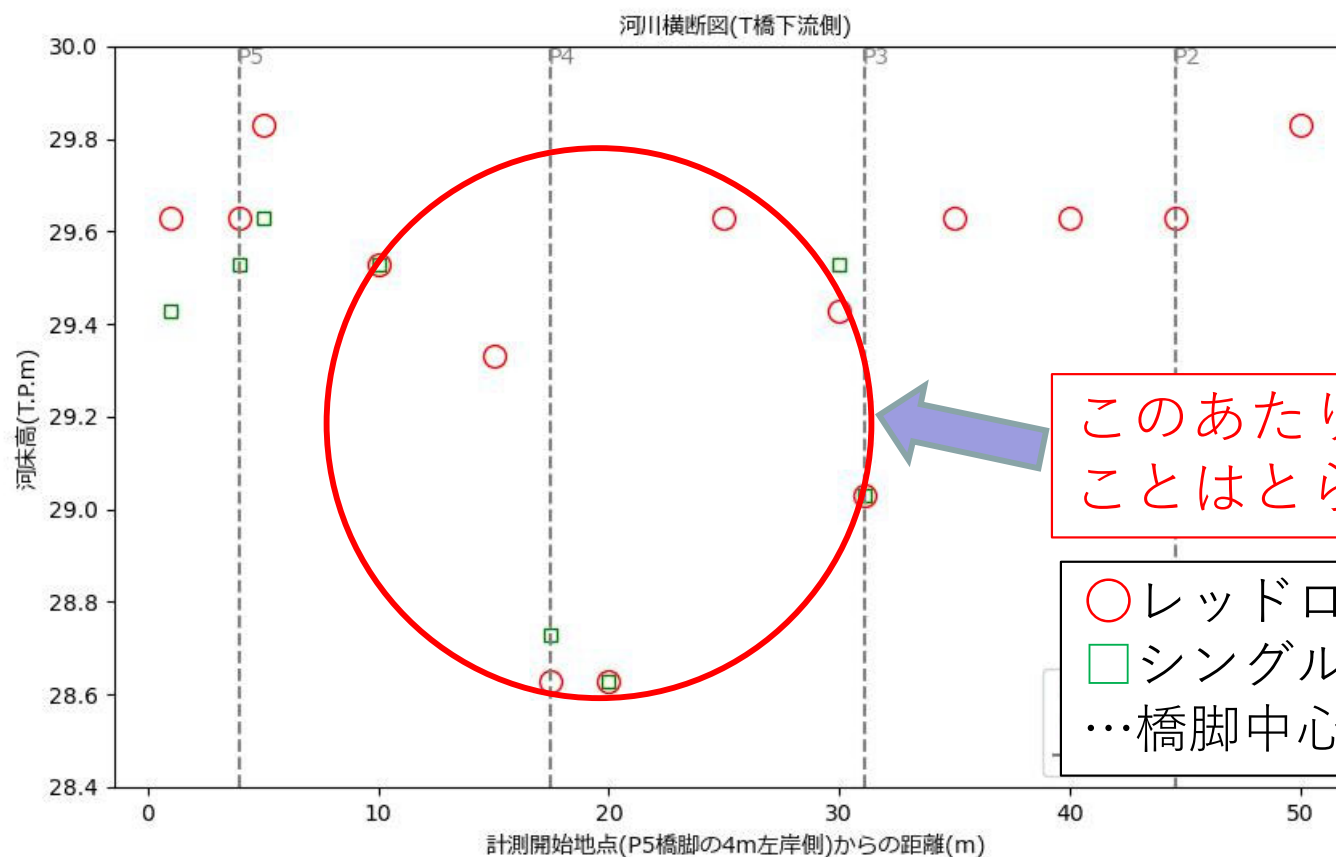


使用するソナーの例
（魚群探知機）



釣り竿やロープを用いたソナーによる
計測状況

- シングルビームソナーでもレッドロープ同様の調査は可能
- 測定時間、手間（重さ）、測定範囲（釣竿活用時）ではシングルビームソナーが上回る



この橋での計測事例
レッドロープ：
計測13点、約10分
ソナー：
計測8点、約6分

このあたりの河床高が低い
ことはとらえられている

○レッドロープ
□シングルビームソナー
…橋脚中心

検証①

簡易的な河床の2次元計測（河川横断測量）方法

検証②

目視では困難な様々な条件での洗掘状況把握

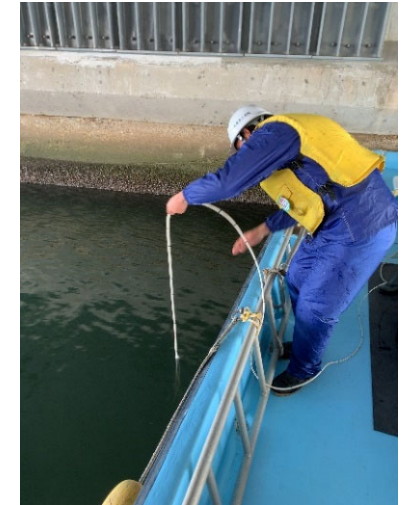
検証③

河床の3次元計測方法

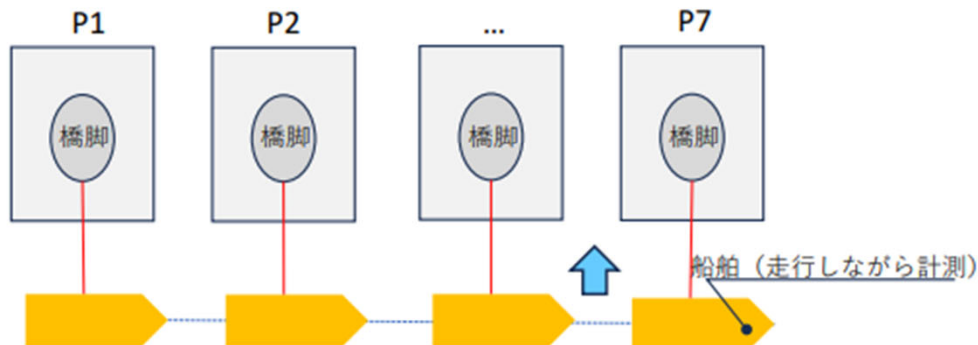
検証④

計測精度

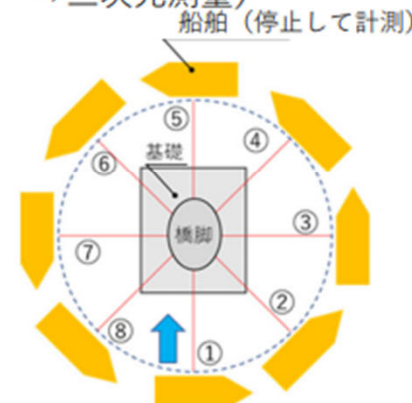
（レッドロープにより計測した水深との比較）レッドロープによる計測状況



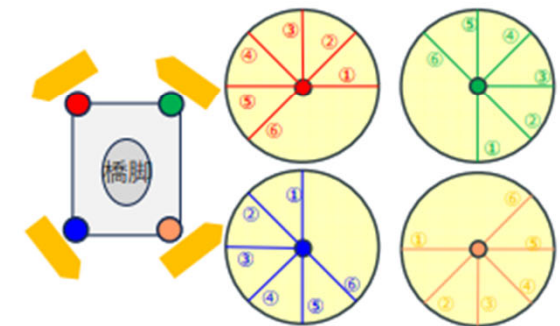
計測方法①（船上から計測⇒横断測量の合理化）



計測方法②（船上から計測⇒三次元測量）

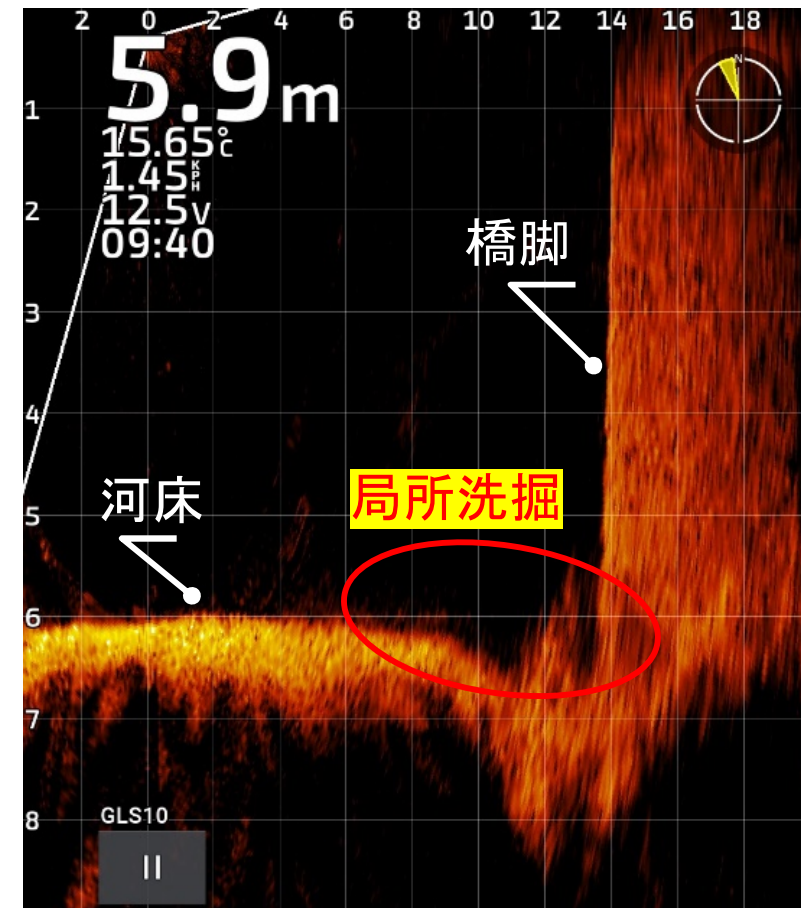


計測方法③（橋上を想定して船上から計測⇒二・三次元測量）

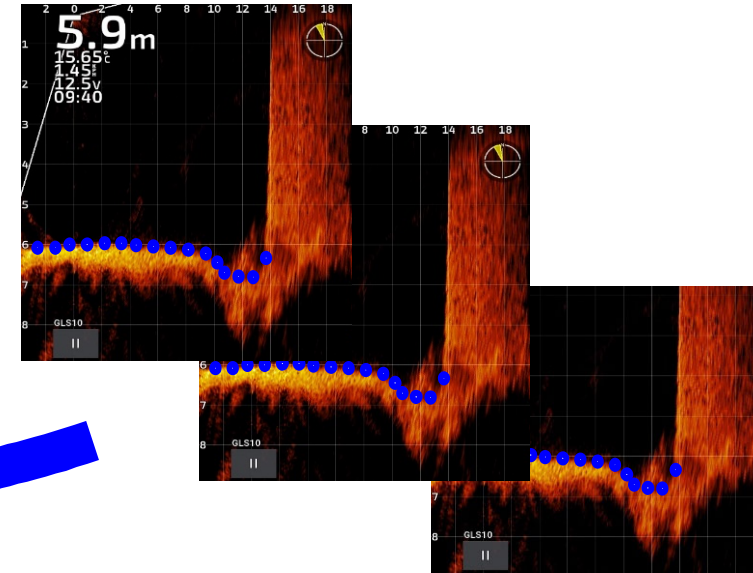
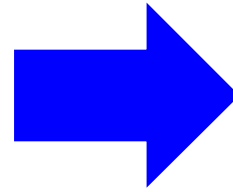
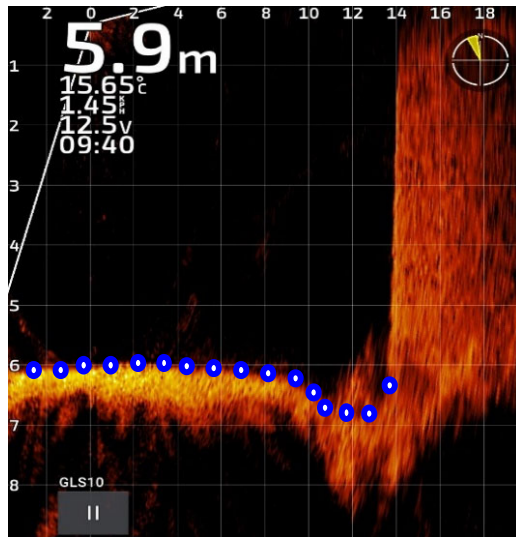


計測方法（3パターン）

- 水上からの目視では把握困難な条件で局所洗掘や河床低下の状況を検知

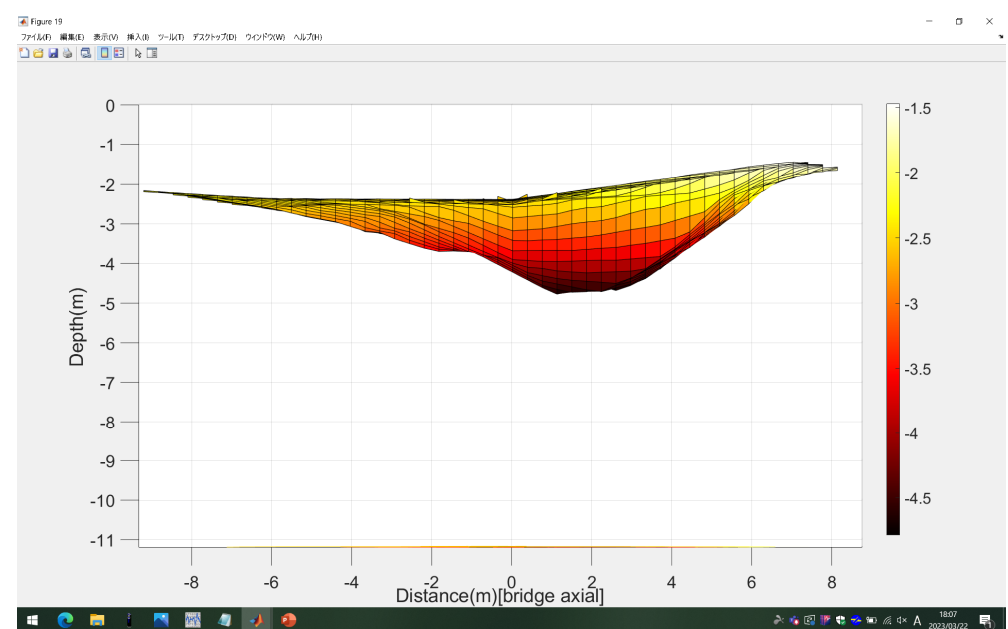
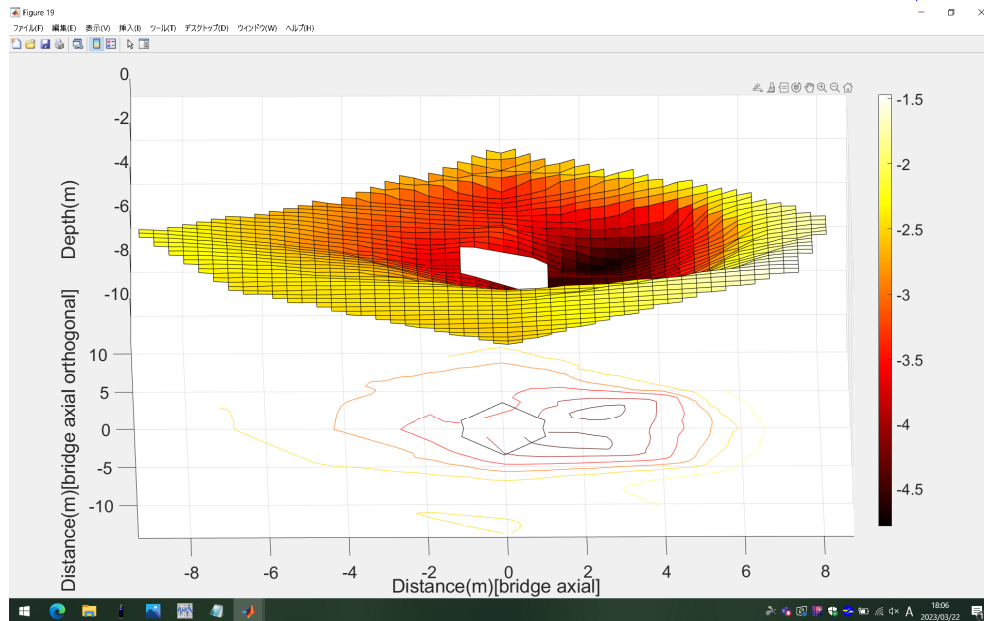
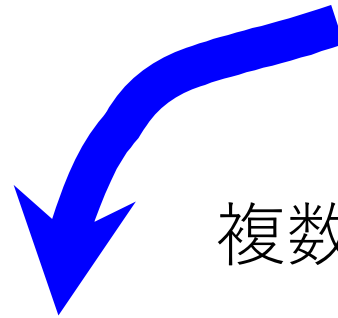


実証実験の結果（3次元立体図化：A橋）



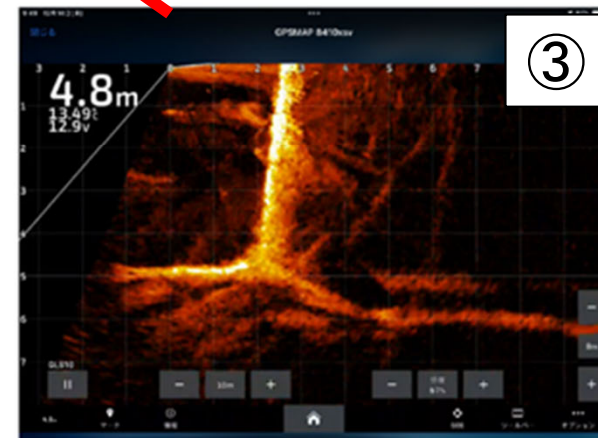
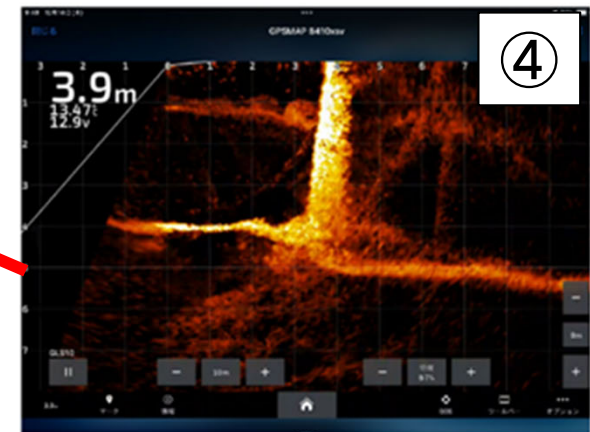
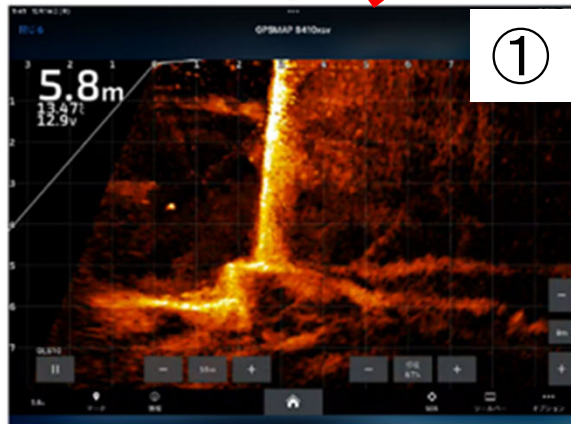
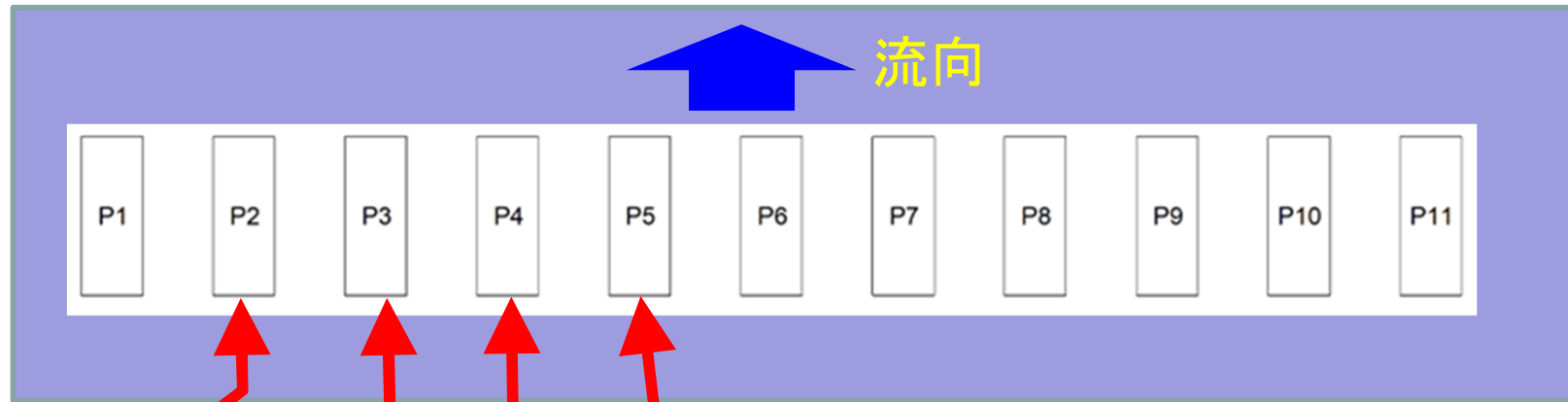
画像データをデジタイズ

複数のデータを組み合わせる

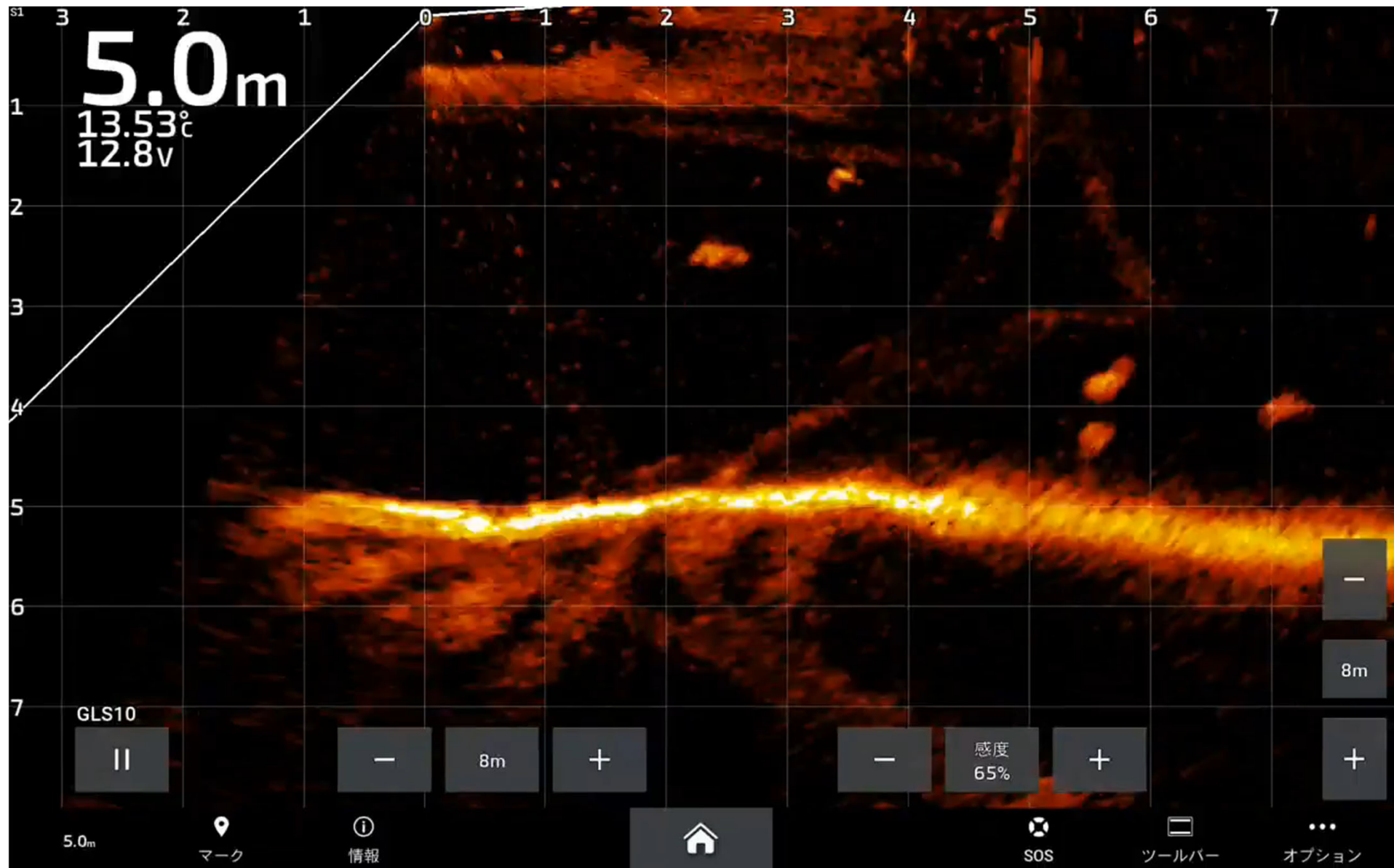


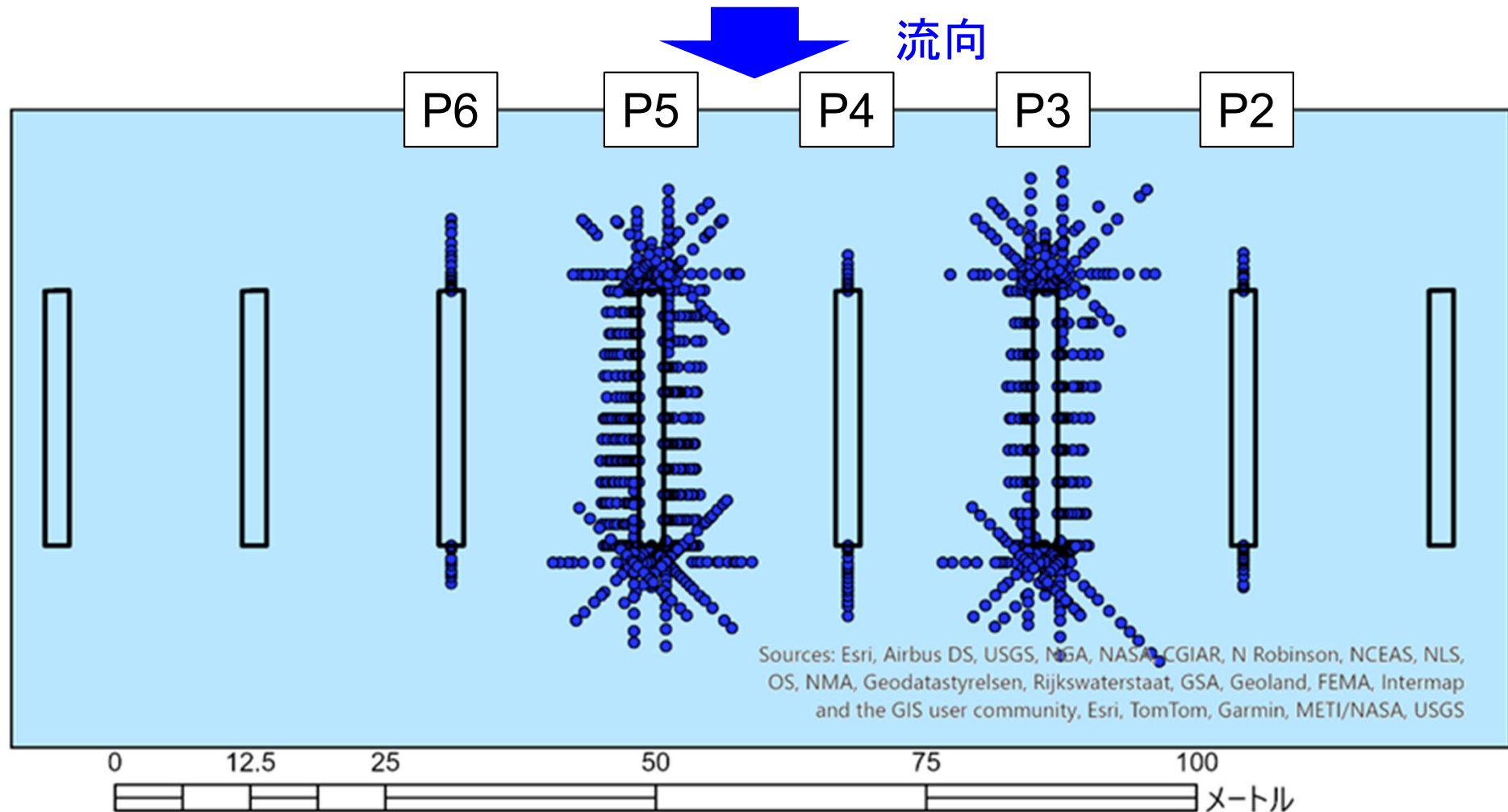
3次元立体図化

実証実験の結果（2次元画像撮影：B橋）

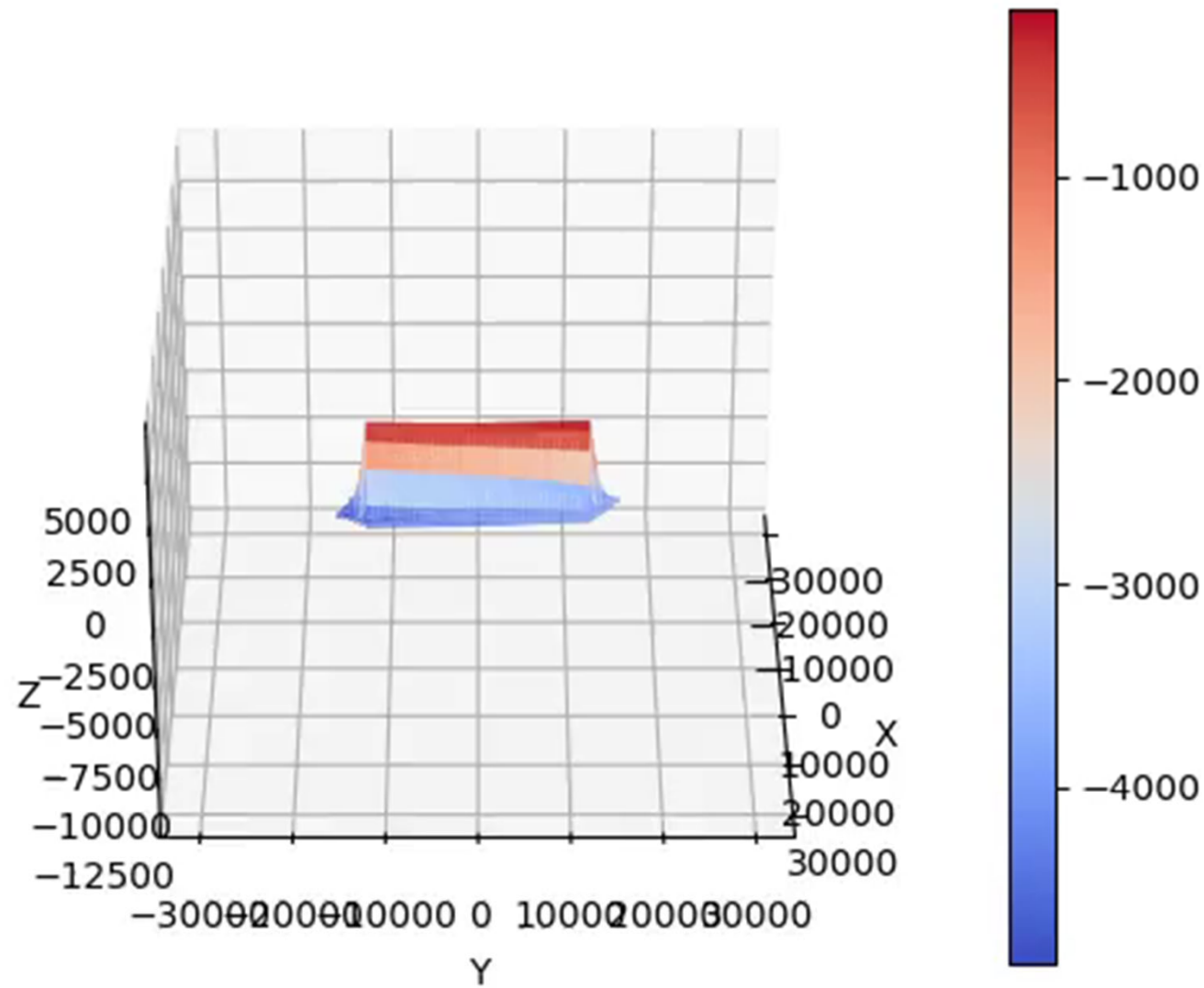


実証実験の結果（動画による洗掘状況の把握：B橋）

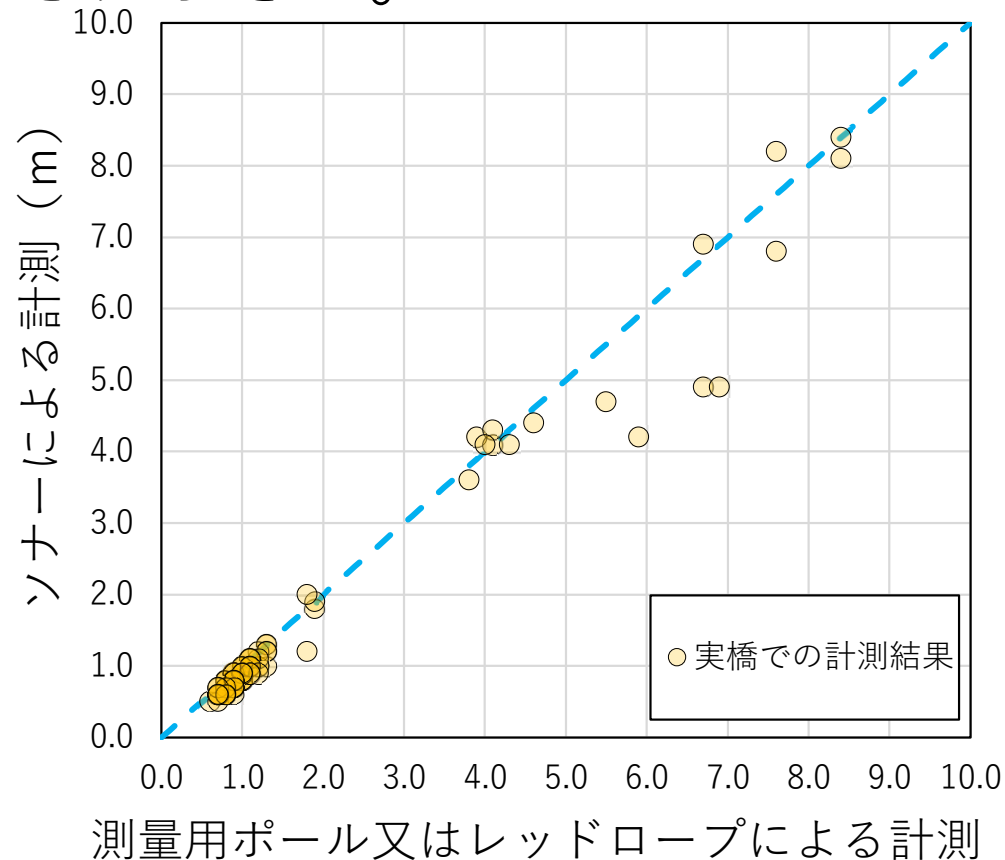




B橋の測点分布と橋脚配置



- ソナー（魚群探知機）の計測精度の検証を目的に、測量用ポール又はレッドロープの計測結果との比較を3橋梁で実施。
- 測量用ポール等の計測結果に対するソナー（魚群探知機）の計測結果の比率は、平均は1割程度小さいが、変動係数は11%とばらつきは小さい。



平均値 : 0.89
標準偏差 : 0.10
変動係数 : 11%
データ数 : 114

測量用ポール等の計測結果とソナーの計測結果の関係

- 洗掘による道路橋被災を未然に防ぐためには、橋の機能に影響を及ぼす洗掘の進展状況を見極めて、予防保全段階に達しているか判断し、適切な時期に措置を講じることが重要
- そのためには、下記のような対応が必要
 - ① 橋梁基礎の不安定化につながる洗掘の状態を把握するための点検支援技術の開発と、状態把握の目的に応じた技術の活用方法の提示
 - ② 橋の機能に影響を及ぼす洗掘の予兆の解明
 - ③ 橋の機能に影響を及ぼす河床の状態の将来予測手法の提示
 - ④ 橋梁基礎の洗掘の予防保全対策技術の開発



これらの解決には、
橋梁と河川をはじめとした分野を超えた知見の融合に加え、官学民の枠を超えた幅広い知見の融合が不可欠

ご静聴ありがとうございました。



本研究の一部は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期「スマートインフラマネジメントシステムの構築」JPJ012187（研究推進法人:土木研究所）によって実施されました。