

<解説>

二次元流況解析による四万十川里川沈下橋の 流失原因とその対策法に関する考察

田内 敬祐*, 岡田 将治**, 張 浩***

Investigation of the Failure Mechanisms of the Satokawa Low-Water Bridge in the Shimanto River
during the Flood and its Countermeasures by using two-dimensional flow analysis

Keisuke TAUCHI*, Shoji OKADA** and Hao ZHANG***

* Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Shikoku Regional Development Bureau,

** National Institute of Technology, Kochi College,

*** Kochi University,

Abstract

The Satokawa low-water bridge in the Shimanto River has been washed away four times in the past and restored each time. However, its main cause of failure has not been clarified. Therefore, we clarified the hydrological cause of the washed away of the Satokawa low-water bridge and examined more effective countermeasures. Firstly, we selected the Jogu low-water bridge where has the similar specification as Satokawa low-water bridge and has no experience of washed away in the past to compare with the Satokawa low-water bridge. Then we conducted the two-dimensional flow analysis and hydraulic experiments of Satokawa section and Jogu section to clarify the flow characteristics. From these results, we revealed that the main cause of washed away of the Satokawa low-bridge was upward flow near slab and rocky area of left bank, and showed countermeasures.

Key Words: Low-water bridge, washed away, two-dimensional flow analysis, Shimanto River

1. はじめに

潜水橋と呼ばれる橋梁は平水時に橋梁として機能するが洪水時には水没するという特徴を有しており、抜水橋に比べると施工が容易で安価に架設することができる¹⁾。四万十川にある里川沈下橋 (Fig.1) は、昭和29年に架設されてから現在まで洪水により4度流失しており、その都度橋の建て替え改修が行われている。沈下橋の流出は近隣住民の利便性を損なうだけでなく、建て替えに伴う維持管理コストが増えることから、流失のリスクを軽減させる対策が求められてきた。2011年の3度目となる流失時には、流失被害を受けた1本の橋脚を試験的に欠けた状態で床板のみを復旧し、被害の軽減を試みた。しかし、2014年に同じ箇所でも4回目の流出が起こったことから、抜本的な対策を立てるための流失要因の究明が課題として挙げられる。ここで、既往研究によると^{3) 4)}、河川の中に橋脚等の構造物が存在する場合、流水は構造物上流で局所的に堰上り、橋脚周辺において渦や乱れを生じるようになることが分かっている。しかしこれは一般的な橋梁を対象にしたもので、橋が沈んだ場合に関する知見は不足している。また、沈下橋に関する研究は少ないため本研究では、里川沈下橋の流失原因を水理学的に解明することを目的とした。

まず、里川沈下橋の上流約15kmの地点に位置する上宮沈下橋 (Fig.2) を比較対象とした。上宮沈下橋は

*国土交通省四国地方整備局大洲河川国道事務所 (〒795-8512 愛媛県大洲市中村 210)

**高知工業高等専門学校ソーシャルデザイン工学科 准教授 (〒783-8508 高知県南国市物部乙 200-1)

**高知大学理工学部地球環境防災学科 (〒780-8520 高知県高知市曙町二丁目 5-1)



Fig.1 Satokawa low-water bridge



Fig.2 Jyogu low-water bridge

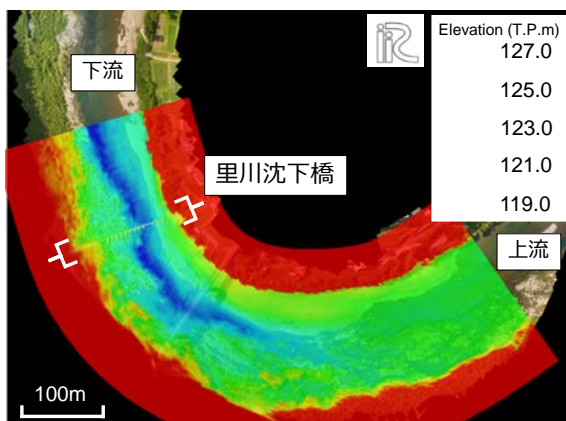


Fig.3 Ground-level contour map around Satokawa low-water bridge

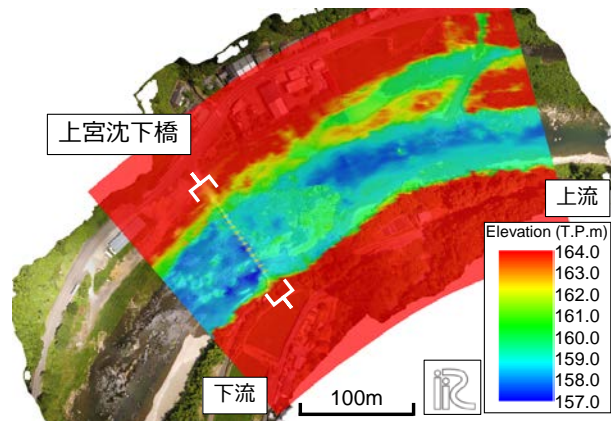


Fig.4 Ground-level contour map around Jyogu low-water bridge

架設以来1度も流失実績がなく、Table1に示す里川沈下橋と上宮沈下橋の諸元²⁾より、里川沈下橋と橋長、幅員、橋脚の形状、床版は類似しており河床面から床版までの高さは最深部で2.0m差異が見られるが平均河床面からの高さはほぼ同じのため橋梁の構造としては相違がみられない。相違点として、里川沈下橋の橋脚は1本欠けたままとしているため、上宮沈下橋よりも橋脚が少なくなっているという点がある。つぎに両沈下橋周辺の地形計測を行い、これらの結果を用いて里川・上宮における河道線形による洪水時の流況を二次元流況解析により再現した。これらによって解明した地形特性による流況の変化に加えて、沈下橋の床版付近の局所的な三次元流れを把握するために基礎的な模型実験を行った。最後に、地形特性による影響と模型実験による床版付近の流況から流失対策としての岩場掘削を検討した。

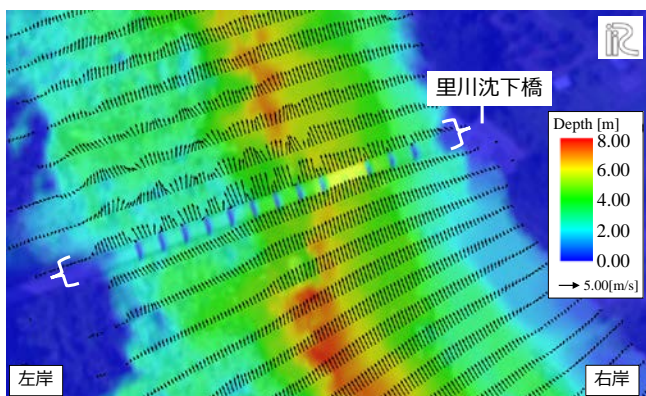
2. 里川・上宮沈下橋周辺における現地調査

2.1 河川地形の計測

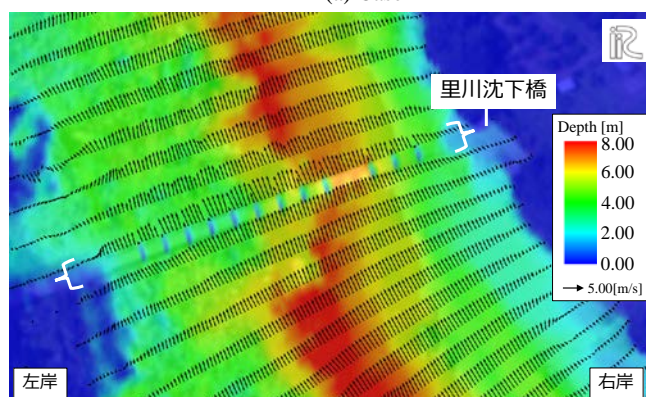
構造が類似している里川沈下橋と上宮沈下橋において、里川沈下橋のみがしばしば崩落する要因は地形特性による洪水時の流況の変化が影響していると考えられる。よって沈下橋周辺の流れ場を確認するための二

Table 1. Specifications of Satokawa and Jyogu low-water bridges

		里川沈下橋	上宮沈下橋
所在市町村		四万十町浦越	四万十町上宮
横断する河川		四万十川	四万十川
管理者名		四万十町長	四万十町長
通行		歩行者可	普通自動車可
橋長		84.0m	85.1m
幅員		3.0m	2.9m
橋脚	本数	13本(欠1本)	13本
	構造	RC	RC
	形状	直方体	直方体
床版	厚さ	0.3m	0.3m
	天端高	0.1m	0.1m
	形状	直方体	直方体
床版高さ[T.P.]		124.2m	162.4m
最深河床面から床版までの高さ		7.0m	5.0m

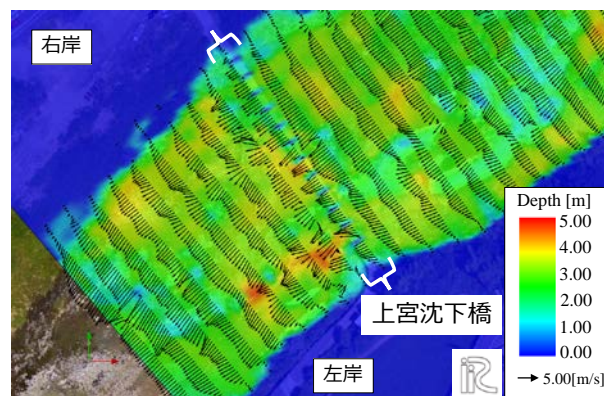


(a) Case1

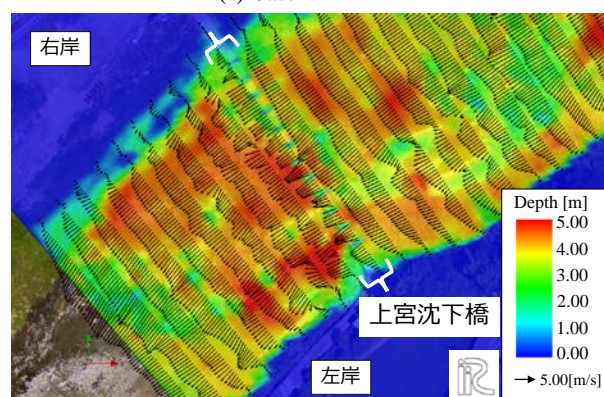


(b) Case2

Fig.7 Velocity vector and depth contour around Satokawa low-water bridge



(a) Case1



(b) Case2

Fig.8 Velocity vector and depth contour around Jyogu low-water bridge

れていることが確認された。これは左岸側に位置している岩場によるものと推察される。岩場による流れ場への影響は水位が低いほど大きく、図中の背景画像からもわかるように平水時には河道は右岸側に位置している。

3.2 上宮沈下橋周辺の解析結果

上宮沈下橋周辺における Case1 と Case2 の流速ベクトルと水深コンターを Fig.8 に示す。図より、上宮沈下橋の周辺には里川沈下橋と同じように上下流に岩場があるものの、流れは集中することなく横断方向にほぼ一様に分布している。これは前述のとおり、岩場の分布の仕方によるものと考えられ、河道の中心付近に面的に分布することで洪水時には河道全体において水は横断方向にほぼ一様な流れとなっている。さらに、上宮沈下橋周辺の水深も横断方向にほぼ一様であり、流れの偏りは見られない。

3.3 両沈下橋周辺における流況の比較

Fig.9 に里川沈下橋と上宮沈下橋の直下流における流速分布 (Case1) を示す。里川沈下橋周辺での流速は流心部が 4.5-5.0m/s 程度となっており、流出箇所においても約 4.5 m/s であった。一方で左岸側の岩場がある部分では流速が 3.0m/s 程度となっており流心部と岩場で流速の差が大きいことがわかった。上宮沈下橋

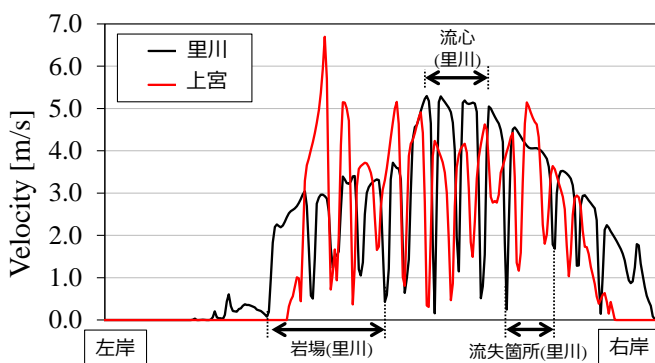


Fig.9 Cross-sectional velocity distribution at downstream of Satokawa and Jyogu low-water bridge

周辺では流速は4.0-5.0m/sの範囲で分布しており流速値としては里川沈下橋とほぼ同程度であるが、高流速部の集中は見られず、横断方向に一様な分布であることが確認された。

4. 岩場掘削による流失対策の検討

沈下橋周辺の二次元流況解析結果より、里川沈下橋周辺の流れは上宮沈下橋周辺と違い、左岸部の岩場による流心の偏りが確認された。そのため、沈下橋越流後の流況も同じ傾向にあると考えられる。これに、水路実験で得られた床版付近の流れ場を反映させると、上宮沈下橋では一様に水が流れることで局所的な流体力の発生が生じることなく、里川沈下橋では流れの集中によってより大きな流体力が作用して床版と橋脚の流失につながったと考えられる。そのため、流失を防ぐために里川の左岸部にある岩場を取り除き、洪水時の流積を大きくして局所的な高流速部を生じさせず、発生する上昇流を小さくすることが有効な対策として挙げられると推察する。そこで、Fig.10に示すように里川沈下橋周辺の岩場を掘削した場合の流況の変化を確認する。図中の点線で囲まれた部分が今回掘削を行った部分で掘削前に比べて0.5-1.0mほど標高を低くしている。

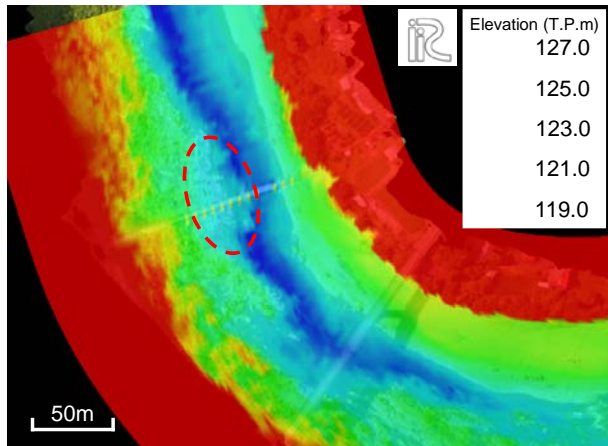


Fig.10 Ground-level contour map around the Satokawa low-water bridge after rock excavation

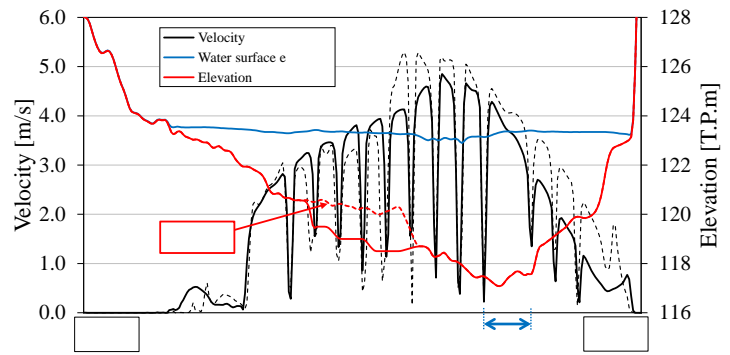


Fig.11 Cross-sectional velocity distribution at downstream of the Satokawa low-water bridge after rock excavation (case1)

Fig.11に掘削後の里川沈下橋直下流の水深平均流速を示す。掘削部の水深平均流速は3.5-4.0m/sの範囲に分布しており掘削前より0.5m/sほど大きくなっている。さらに流心部の流速は5.0m/sを下回り流れの偏りが改善されたといえる。これにより流失部にかかる流水による力は軽減され、床版に生じる上昇流も小さくなり、流失の可能性は低下することが考えられる。

5. おわりに

二次元流況解析によって、里川沈下橋では周辺の岩場の影響で河川の右岸側に流れが集中していることが明らかとなった。沈下橋の床版付近では上昇流が確認されていることから、これらの現象が重ね合わさって床版および橋脚の流失が発生していると考えられる。左岸側の岩場を掘削することにより、流失箇所近傍の流速が小さくなることが確認できたため、沈下橋の流失に対する有効な対策となり得る。

今後の課題として、二次元流況解析では得られなかった里川・上宮沈下橋周辺の三次元流を再現するために三次元流況解析を行うことにより、実現象に基づいたデータから沈下橋の流失原因を解明するとともに、岩場の掘削による効果も見直す必要がある。

謝辞：本研究は、公益財団法人 河川財団の河川基金助成事業における事業「四万十川流域における沈下橋の防災と維持管理技術の開発に関する研究」代表者・張浩によって実施した。ここに記して謝意を表す。

参考・引用文献

- 1) Lohnes, R.A., Gu, R.R., McDonald, T. and Jha, M.K., Low Water Stream Crossings: Design and Construction Recommendations: Final Report, Iowa State University, December 2001.
- 2) 四万十町 HP：日本最後の清流のまち，2017. https://www.town.shimanto.lg.jp/outer/bunka/churyu_02.php
- 3) 財団法人国土技術研究センター：河川を横過する橋梁に関する計画の手引き(案) ISBN 4-87759-030-7 JICE 資料第 109001 号， pp.81， 2009.
- 4) 玉井信行・石野和男・榎田真也・前野詩朗・渡邊康玄：豪雨による河川橋梁災害～ その原因と対策 ～ ISBN 978-4-7655-1821-5， pp178， 技報堂， 2015.

(原稿受付 2019 年 10 月 22 日)