<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,

Kochi Universit

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。

		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

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

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



Fig.5 Bridge piers of Satokawa low-water bridge



Fig.6 Bridge piers of Jyogu low-water bridge

次元流況解析を行えるように、両沈下橋周辺の地形計測 を実施した。地形データの計測には、水面上においては UAV(Unmanned Aerial Vehicle)で撮影した大量の空撮 写真から三次元地形データを取得する SfM(Structure from Motion)を、水面下では GPS 測深機ボート(深場) と RTK-GNSS(浅場)を用いた。

Table 2. Boundary conditions used in flow analysis

	case	沈下橋 直上流水位 [T.P.m]	上流端流量 [㎡/s]
田川沖工橋	1	123.2	1000
里川几下間	2	124.3	1500
上它沙下场	1	161.5	1166
上百亿千個	2	162.5	1500

2.2 両沈下橋周辺の地形特性

里川沈下橋周辺の地形計測によって得られた地形コン

ターを Fig.3 に示す。図より,里川沈下橋の左岸側は上下流で岩場があり,その影響で岩場の分布している 箇所では標高が高くなっていることがわかる。そのため澪筋が右岸寄りになっており,横断図を見ても左岸 側の標高が高くなり左岸側これは里川沈下橋の流失箇所は一致していることがわかった。

上宮沈下橋周辺のものを Fig.4 に示す。図より、上宮沈下橋の上流側にも岩場は分布しているが、面的に 分布していることがわかる。下流部においても岩場は河道の中心付近に存在しており地形から平水時の流路 を推定することが難しい。

3. 沈下橋周辺の流況解析による洪水流の特性把握

両沈下橋において河川地形の特性による影響を求めるために,河川地形測量によって得られたデータを用 いて両沈下橋周辺を対象としたモデルを作成し,二次元流況解析を行う。里川・上宮沈下橋ともに橋脚のみ を考慮して床版は考慮しない計算とした。水位は里川・上宮沈下橋周辺において,沈下橋の直上流の水位が 床板の上端より約 1m 低い水位になるものを Case1,床版の上端と同じ程度になるものを Case2 としてそれ ぞれの流況を再現した。ここで,両沈下橋の Case1 と Case2 における解析時の水位と流量を Table2 に示す。 また,里川・上宮沈下橋ともに計算グリッドは 0.5m×1.0m で河床の粗度係数を 0.030 とし,橋脚は1本あ たり 0.5m×3.0m の範囲において地盤高を里川沈下橋で 124.2T.P.m,上宮沈下橋では 162.4T.P.m として構 造物となるように与えた。Fig.5 に里川沈下橋における橋脚の設置状況,Fig.6 に上宮沈下橋における橋脚の 設置状況を示す。さらに、計算のタイムステップを 0.01 秒として上流端流量は実測の流量を用いず,任意の ハイドログラフを与えて沈下橋直上流の水位を基準に流況の再現を行った。

3.1 里川沈下橋周辺の解析結果

里川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.7 に示す。図より, Case1 および Case2 において上流から下流にかけて右岸側の流速は左岸側に比べて大きくなっており, 床版と橋脚の流出部においては, 左岸部の岩場とほぼ同じ流速となっている。しかし左岸部と右岸部では水深が異なっており右岸部の方が 1.0-1.5m ほど大きい。つまり, 水深平均流速が同程度でも右岸部の方が多くの水が流





(a) Case1



 右岸

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 上宮沈下橋

 ●

 ●

 上宮沈下橋

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

 ●

<t

(a) Case1

(b) Case2 Fig.7 Velocity vector and depth contour around Satokawa 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

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

(b) Case2



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

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であると考えられ、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 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



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)

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.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る。

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・楳田真也・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)