

令和 4 年 5 月 26 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21025

研究課題名（和文）橋梁工学と土砂水理学との境界領域における解析手法の開発に関する研究

研究課題名（英文）Development of analytical methods at the interface between bridge engineering and sediment hydraulics

研究代表者

伊津野 和行（Izuno, Kazuyuki）

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：90168328

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：近年、毎年のように橋が洪水や土石流により流出する事態が続いている。流出しないまでも桁下空間が土砂や流木で閉塞され、水が河道からあふれて被害が拡大する事例も多い。本研究の目的は、橋梁工学と土砂水理学との境界領域における解析手法として、橋梁に作用する洪水時の力を計算する手法を開発することである。

本研究により1次元土石流シミュレータを元にした解析コードの開発が完了し、令和2年7月豪雨で橋桁が流失した人吉市の西瀬橋を対象とした計算を実施した。数値解析結果より、建設当時の設計基準から求めた支承の推定水平強度を上回る抗力が作用したものと推定され、解析コードの検証を行うことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

構造工学分野における水害対策はさほど注目されてこなかった。橋の自然災害対策として地震や風に関しては多くの研究がなされ一定の成果を挙げているのに対し、橋の水害対策に関する研究例はほとんどなく、この分野の発展は遅れていた。本研究の成果は、橋梁工学と土砂水理学との境界領域における解析手法を構築したことに意義がある。

研究成果の概要（英文）：Bridges have been washed away by floods and debris flows almost every year. In many cases, the space under the girders is blocked by sediment and driftwood, causing water to overflow from the river and increasing damage. The objective of this study is to develop a method for calculating flood forces acting on bridges.

A computer code based on a one-dimensional analysis of riverbed variation was developed. The code was validated using the data of the Nishise Bridge in Hitoyoshi City, which lost a bridge girder in the July 2020 heavy rain disaster. The numerical analysis resulted in that the drag force was found to be stronger than the estimated strength of the bearings based on the design standards at the time of construction.

研究分野：構造工学・地震工学

キーワード：構造工学 土砂水理学 防災 橋梁設計 数値解析

1. 研究開始当初の背景

近年、毎年のように橋が洪水や土石流により流出する事態が続いている。流出しないまでも桁下空間が土砂や流木で閉塞され、水が河道からあふれて被害が拡大する事例も多い。2018年7月豪雨では広島や岡山を中心に土石流が多発し、100を超える橋梁が被災した。2019年台風19号でも長野や東北地方で橋梁被害が発生した。

しかし、構造工学分野における水害対策はさほど注目されてこなかった。橋の自然災害対策として地震や風に関しては多くの研究がなされ一定の成果を挙げているのに対し、橋の水害対策、なかでも土石流災害に関する研究例はほとんどなく、この分野の発展は遅れている。

水害で流出した橋梁はほとんどが小規模で、固有周期が短く地震時には問題とならないため、水平方向の大きな地震力に耐えられるような対策が取られていないものが大半である。そのため、土石流など大きな水平方向の力に対しては脆弱だと言える。落橋や橋の流出は貴重な社会資本の損失であるのみならず、災害後における救援や地域の復旧に多大な遅延をもたらす。山間部の集落が孤立する事例も多い。小規模橋梁は地域住民が使う日常的な道になっているものが多く、通れなくなると日常生活にすぐ多大な影響を及ぼす。

土石流災害では大きな石や流木など、固体を含んだ水が作用することによって、大きな作用力となる。土砂等で桁下空間が閉塞されると、作用力はさらに増大する。しかし、このような流れが橋梁に作用することを想定した設計をしようとする、問題となるのは解析手法が整えられていないことである。水だけが流れる場合には多くの解析ソフトウェアがあり、剛体としてモデル化した橋に作用する流体力を計算することも容易である。一方、土石流に関しては土石流シミュレータが開発されており、砂防ダム・堰堤による土砂流出の制御効果を検証するのに利用されているものの、躯体そのものに作用する力は計算されていない。

土石流が発生する危険性がある人家に被害を及ぼす恐れのある土石流危険渓流は全国で約9万箇所あり、整備率はいまだ20%台にとどまっている。数十年前とは比べものにならないほど雨の降り方が激しくなっている現在、土石流が発生して橋梁が被災する確率は高い。しかしながら土石流に対しては、設計にあたって構造的な検討がなされていないのが現状である。土石流のみならず洪水に対しても、桁上げや掘削による桁下空間の確保、あるいはルート変更ぐらいしか今は対応策がない。さらに、土石流被害を受ける橋梁は交通量の少ない小規模なものが多いこともあり、地域における大規模工事の優先順位は低く老朽化が進んでいる場合が多い。構造工学分野における水害対策検討は喫緊の課題だと考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、橋梁工学と土砂水理学との境界領域における解析手法として、土石流が橋梁に作用する力を計算する手法を開発することである。開発した手法の精度や有効性について検証も行う。目的を達成するため、両分野の研究者が共同で課題に取り組む。開発した手法は広く公開し、橋梁工学と土砂水理学との橋渡しを目指す。

3. 研究の方法

(1) 実態調査

過去の水害における橋梁被害の状況について調査する。特に2018年7月豪雨や2019年台風19号など近年落橋や流出が発生した自然災害について、詳細な状況資料を収集する。

(2) 解析コードの開発

研究分担者らが開発した1次元土石流シミュレータに、橋梁に作用する力を計算するルーチンを組み込む。

(3) 開発コードの検証

当初、水理実験による検証を考えていたが、コロナ禍の影響で当初予定していた実験の実施が不可能になったため、2020年7月豪雨で被災した熊本県の橋梁を対象とした解析を実施し、被災状況と比較して、解析コードの精度を検証することとした。

(4) 研究取りまとめ

上記の研究成果をもとに、橋梁に作用する洪水時の力に関する解析手法を提案する。

4. 研究成果

(1) 過去の水害における橋梁被害状況をとりまとめ、土木学会地震工学委員会「橋梁の対津波・対洪水設計に関する研究小委員会」の報告書に掲載した。2000年以降の主な被害は表1のとおりであった。また、2020年7月豪雨の被害調査に参加し、流失した橋梁の状況を視察して、被災原因について考察した。

(2) 一次元河床変動解析によって洪水時に橋に作用した流体力を計算する解析コードを作成した。研究分担者の一人が作成した土石流解析プログラムに、橋梁を考慮するルーチンを組み込むことによって、河川の堰上げを再現するとともに、橋梁に作用する流体力を算出できるようになった。

表 1 日本で 2000 年以降に橋梁被害が報告された水害

No.	時期	災害名	主な被災地域
1	2001 年 8 月	台風第 11 号	東海・甲信・関東地方
2	2001 年 9 月	台風第 15 号	東海・関東地方
3	2002 年 7 月	台風第 6 号, 梅雨前線	中部地方から東北地方
4	2003 年 8 月	台風第 10 号	日本全国
5	2004 年 7 月	平成 16 年 7 月福井豪雨	福井県
6	2005 年 9 月	台風第 14 号, 前線	九州, 中国, 四国地方
7	2006 年 7 月	平成 18 年 7 月豪雨	南九州, 北陸, 長野県, 山陰
8	2007 年 9 月	台風第 9 号	東海・関東・東北・北海道
9	2009 年 8 月	台風第 9 号	太平洋側と東北地方
10	2011 年 7 月	平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨	新潟県, 福島県
11	2011 年 8 月	台風第 12 号	紀伊半島
12	2012 年 7 月	平成 24 年 7 月九州北部豪雨	九州北部
13	2013 年 7 月	梅雨前線および大気不安定による大雨	中国地方
14	2013 年 8 月	大雨	中国地方
15	2013 年 9 月	台風第 18 号	四国から北海道
16	2014 年 8 月	平成 26 年 8 月豪雨	北陸, 東海, 近畿, 中国, 四国
17	2015 年 9 月	平成 27 年 9 月関東・東北豪雨	関東, 東北地方
18	2016 年 8 月	平成 28 年 8 月北海道・東北豪雨	北海道, 東北
19	2017 年 7 月	平成 29 年 7 月九州北部豪雨	九州北部
20	2017 年 10 月	台風第 21 号	西日本から東北地方
21	2018 年 7 月	平成 30 年 7 月豪雨	日本全国
22	2018 年 9 月	台風第 21 号	近畿地方
23	2019 年 10 月	令和元年東日本台風	東日本
24	2020 年 7 月	令和 2 年 7 月豪雨	九州, 中部, 東北地方

(3) 2020 年 7 月豪雨では、熊本県の球磨川流域において 17 橋が流失する被害を受けた。本研究プロジェクトでは、設計図面が入手できた図 1 の西瀬橋を対象とし、開発した解析コードによって洪水時に作用した流体力を計算した。熊本県人吉市に位置する西瀬橋は 4 連の鋼製ワーレントラス橋で、豪雨による洪水でそのうちの 1 連が流失した。上流で観測された水位をもとに計算を行った結果、推定される洪水時の最高水位は図 2 のように 10.3m となり、被災状況から推定される水位と整合する値を得ることができた。また、水位が上昇した時刻も、上流で氾濫が発生した時刻とほぼ整合する結果になった。

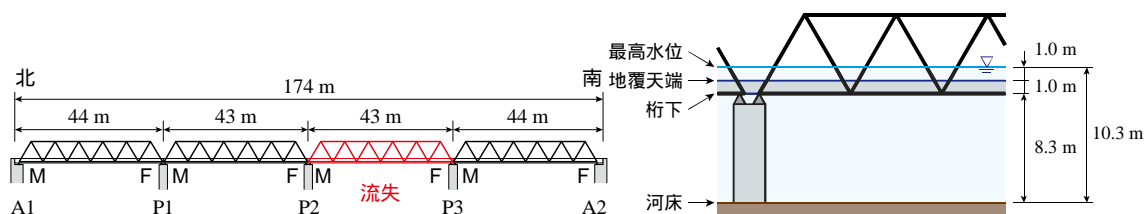


図 1 西瀬橋側面図

図 2 最高水位

西瀬橋における水位と流速の時間経過はそれぞれ図3および図4のようになり、近辺の氾濫開始時刻等と整合する結果が得られた。また、橋梁に作用する抗力は図5のようになり、建設当時の支承設計強度の約3倍になった。この結果から、当該橋梁は過大な抗力によって流失したものだと推定することができた。さらに、同じく図5に示されているとおり、現行の設計基準に基づく支承耐力を有していれば、流失を免れた可能性があることや、トラス構面が流木等で閉塞されると現行の支承耐力に近い抗力が作用しかねないことも明らかになった。現行の設計基準を満足するように補強することは、洪水に伴う橋梁被害を軽減することに有効だと言える。

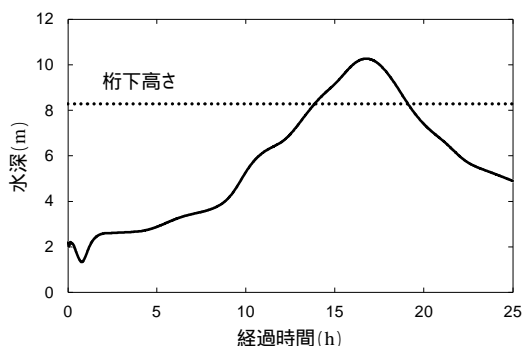


図3 西瀬橋における水深計算結果

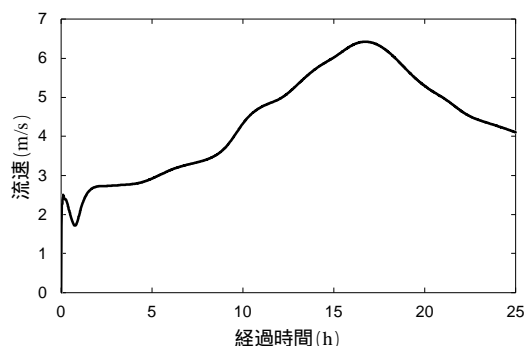


図4 西瀬橋における流速計算結果

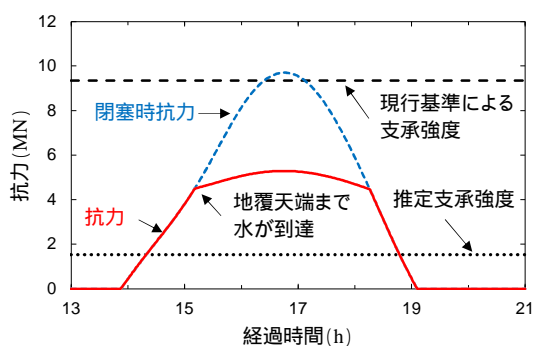


図5 西瀬橋に作用する抗力

(4) 上記(3)の成果を含む橋梁に作用する洪水時の力に関する解析手法について、土木学会論文集の査読付き論文として公表することができた。掲載されたのは水工学分野の論文集であり、そこに構造工学関連の論文が採択されたことは、両分野の研究協力成果だと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 藤澤志織・四井早紀・里深好文・伊津野和行	4. 巻 77
2. 論文標題 令和2年7月豪雨によるトラス橋の流失に関する一考察	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1（水工学）	6. 最初と最後の頁 136～142
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejhe.77.1_136	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 四井早紀・加藤花佳・伊津野和行
2. 発表標題 自然災害による被害と公共土木施設災害復旧事業費の分析
3. 学会等名 第39回日本自然災害学会学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	里深 好文 (Satofuka Yoshifumi) (20215875)	立命館大学・理工学部・教授 (34315)	
研究分担者	野阪 克義 (Nozaka Katsuyoshi) (50373105)	立命館大学・理工学部・教授 (34315)	
研究分担者	四井 早紀 (Yotsui Saki) (60875897)	立命館大学・理工学部・助教 (34315)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------