

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：55401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04959

研究課題名(和文) 計画高水位を越える洪水時の橋梁被災メカニズムとフェアリングによる流体力低減効果

研究課題名(英文) Mechanism of bridge damage during floods exceeding the design high water level and effect of reducing fluid force by fairings

研究代表者

河村 進一 (Kawamura, Shin-ichi)

呉工業高等専門学校・環境都市工学分野・教授

研究者番号：70315224

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：豪雨災害における被災橋梁の被害について、構造(橋)-流体(水)の連成系として計画高水位を越える洪水すなわち洪水流が直接橋桁に当たる状態で橋桁に作用する流体力を水槽実験および数値流体解析によって求めた。水槽の水位を橋桁下端から橋桁上を越える5段階に変化させて、橋桁に作用する流体力の計測実験を行った。開床式プレートガーダー橋の模型に加えて、床版の有無および高欄の有無による流体力の変化を実験的に求めた。比較的小規模の橋梁において3Dレーザースキャナを用いて橋梁および周辺の地形の3次元計測を行い、橋脚-橋桁-河川護岸の点群モデルから橋梁の3Dモデル作成と数値流体解析用モデルの構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の大雨による災害において、計画高水位を越える洪水流が橋桁に直接作用することにより、橋が損傷を受ける被害が多くなってきている。本研究では、水槽実験と数値流体解析によって橋桁に作用する流体力に関する基礎的なデータを取得した。また、3Dレーザースキャナで橋梁および護岸等の形状を計測した結果を使って、実際の橋梁周りの洪水流の数値シミュレーションを行うための数値解析モデルの作り方を検討した。

研究成果の概要(英文)：Regarding the damage of bridges damaged by heavy rain disasters, water channel experiments and computational fluid dynamics were carried out to investigate the hydrodynamic forces acting on the bridge girders when the flood water exceeds the high water level as a coupled system of structure and fluid. Experiments were conducted to measure the hydrodynamic force acting on the bridge girder by changing the water level of the water channel in five steps from the bottom to the top of the bridge. In addition to a model of an open-floor plate girder bridge, changes in hydrodynamic forces with or without floor slabs and with or without railings were experimentally determined.

Using a 3D laser scanner, damaged bridges were used to perform 3D measurement of the bridge and its surrounding terrain, and a 3D model of the bridge and a model for computational fluid dynamics analysis were constructed from point cloud models of bridge piers, girders, and river revetments.

研究分野：橋梁工学

キーワード：洪水 流体力 水槽実験 数値流体解析 3Dレーザースキャナ

1. 研究開始当初の背景

本研究は、平成 30 年 7 月豪雨災害における広島市及び呉市内の被災橋梁の緊急調査結果と追加の調査をもとに被害の分析を行い、構造(橋) - 流体(水)の連成系として被害発生メカニズムを解明し、橋梁被害を防止・低減しようとするものである。平成 30 年 7 月豪雨災害では、これまでの常識を覆すような観測史上最大級の降水量を西日本の広範囲にわたって記録し、洪水や土砂災害による大きな被害をもたらした。近年、我が国において台風や集中豪雨による水害や土砂災害が頻発し、被害は年々激しさを増している。地球温暖化が原因との指摘もあり、日本に限らず世界中で異常気象、特に極端気象の頻発化傾向があり、集中豪雨や巨大台風による洪水・土砂災害のリスクは高まってきている。

橋梁の設計において水害に対する安全性は十分に検討しているとは言えず、橋台や橋脚に常時の静水圧や流水圧がかかるものとしている程度である。新設の橋梁においては河川の計画高水位よりも橋梁の支点(橋脚の天端)を高くすることで、ある程度安全性を確保できるが、想定を超える洪水が発生すると、橋脚や橋桁の流出・落橋につながる。このような水の作用による橋梁の落橋は、2013 年山口島根豪雨、2017 年九州北部豪雨でも起きている。

2. 研究の目的

平成 30 年 7 月豪雨災害によって、広島県内でも洪水による橋梁の損傷が報告されている。鋼橋では落橋後に主桁等に大きな変形を生じているが、RC 橋や PC 橋では橋桁自体に大きな損傷がないものも多くあった。落橋していない橋でも、洪水流による橋脚下部の土砂の洗堀による橋桁の沈下を生じたものや、橋台上流側護岸の洗堀から橋台背後の土砂流出によって橋自体に大きな損傷はなくても通行できない橋もあった。橋梁があることによって橋脚に流木などの流出物や土石流による流出土砂の堆積によって、河道が閉塞され、橋梁を迂回するような流れにより迂回氾濫流が発生し、橋梁下流側の道路を氾濫流が流れ洪水被害を増加させる事例も多くあった。自然災害における橋梁の被災は、橋そのものの被害にとどまらず、避難経路や物資の輸送経路を分断することなど、災害の復旧復興に大きな影響を及ぼす。想定を上回る洪水の場合でも、橋桁にかかる流体力を低減できる事前対策が可能であれば、災害に強いインフラ整備につながり、国土の強靱化、地域住民の安心・安全につながる。

3. 研究の方法

大規模な洪水により被災した場合に橋梁の機能を早期に回復できるようにするため、落橋を防ぐことが重要な要素となる。耐震性向上を目的に落橋防止工などの機械的な対策はされているが、洪水で水位が橋桁に達する場合に作用する流体力について、詳しく検討された事例は少なく、設計にも反映されていないのが現状である。そこで、洪水時に作用する流体力の評価を数値流体解析と水槽実験で行う。

また、橋桁に作用する流体力を評価するだけでなく、桁下を流れる水の流速・流量を計測し、桁下空間に多くの流量を流すことで氾濫を抑制するフェアリング形状について検討する。

4. 研究成果

橋梁周りの流れ解析用の 3D モデル構築のために、3D レーザースキャナによる橋梁周辺の地形の 3 次元計測と橋梁の細部形状計測方法について検討を行った。できるだけ河川内にレーザースキャナを設置せず、橋梁周辺の道路の歩道等から計測することを原則とし、安全に配慮しながら所要の精度を確保する計測方法を設定した。レーザースキャナの設置位置呉市内の 4 つの橋梁において計測実験を行い、橋脚 - 橋桁 - 河川の点群モデル作成手法を確立した。また、令和 2 年 7 月豪雨で被災した球磨川の橋梁の現地調査を 7 月 23 日～25 日および 8 月 12 日～13 日に行い、主に球磨川中流域で発生した洪水による橋梁の被災状況を確認し、流失した橋梁のうち 3 か所について、3D レーザースキャナを用いて橋梁および周辺の地形の 3 次元計測を行い、橋脚 - 橋桁 - 河川護岸の点群モデルを作成した。

水槽実験による流速の評価を行うために、平成 30 年 7 月豪雨で被災した橋梁の現地調査結果を基にした FEM 構造解析モデルを使用し、3D-CAD モデルからレーザー加工用の図面作成を行った。レーザー加工機でアクリル板を切り出して積層する形で、橋桁、橋脚および河川護岸形状の模型製作を行った。洪水により橋桁に作用する流体力の評価を行うために、平成 30 年 7 月豪雨で被災した JR 芸部線第 1 三篠川橋梁の形状を基に、開床式上路プレートガーダー橋の橋桁および無筋コンクリート橋脚の模型をアクリル板を用いて作製し、支点部のモーメントに相当するひずみ計測値から橋桁に作用する流体力を計測できるようにし、水槽の水位を橋桁下端から橋桁上を越える 5 段階に変化させて、橋桁に作用する流体力の計測実験を行った。水槽の水位を橋桁下端から橋桁上を越える 5 段階に変化させて、橋桁に作用する流体力の計測実験を行った。

昨年度実施した、開床式プレートガーダー橋の模型に加えて、床版の有無および高欄の有無による流体力の変化を実験的に求めた。

数値流体解析による橋梁周辺流れを行うために、OpenFOAM による数値流体解析プログラムのカスタマイズを行った。研究代表者の所有するプログラムでは、風による橋桁周辺流れを対象としたものであったため、洪水流の水面を表現できる界面捕獲法（VOF 法）を追加して気液二相流での解析プログラムを作成し、長方形断面水路に長方形断面の橋桁を配置した単純なモデルを用いた解析を行った。水槽実験と同じ形状の流体解析モデルを作成し、洪水流による橋桁周辺流れの数値シミュレーションを行った。水槽実験と同様に水位を変化させて、橋桁に作用する流体力および橋梁周辺流れ場の評価を行った。

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 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ario Ichiro, Yamashita Tatsuya, Tsubaki Ryota, Kawamura Shin-ichi, Uchida Tatsuhiko, Watanabe Gakuho, Fujiwara Akimasa	4. 巻 27
2. 論文標題 Investigation of Bridge Collapse Phenomena due to Heavy Rain Floods: Structural, Hydraulic, and Hydrological Analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Bridge Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001905	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 該当する

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 河村進一, 石山満帆乃, 村上浩樹
2. 発表標題 計画高水位を越える洪水時の橋梁に作用する流体力測定
3. 学会等名 土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有尾一郎, 横谷祐樹, 椿涼太, 濱優太, 渡邊学, 柴田 俊, 海田辰, 河村進一
2. 発表標題 洪水による鈹桁橋梁の崩壊事象からの流体力・流量の推定
3. 学会等名 土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原拓矢, 河村進一
2. 発表標題 実橋の流体力解析のための3D レーザースキャナーによる現地計測
3. 学会等名 土木学会中国支部研究発表会
4. 発表年 2020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	有尾 一郎 (Ario Ichiro) (50249827)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・助教 (15401)	
研究 分担者	黒川 岳司 (Kurokawa Takeshi) (50325148)	呉工業高等専門学校・環境都市工学分野・教授 (55401)	

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
---------	---------