

近年の豪雨により発生した橋梁被害の要因分析

小澤 和真¹・鈴木 崇伸²

¹学生会員 東洋大学大学院 理工学部都市環境デザイン専攻（〒358-8585 埼玉県川越市鯨井2100）

²正会員 東洋大学教授 理工学部都市環境デザイン学科（〒358-8585 埼玉県川越市鯨井2100）

1. はじめに

近年我が国において、記録的豪雨による大規模な洪水・土砂災害が多発している。記録的豪雨による被害は、浸水被害だけでなく、様々な社会インフラ施設への被害も引き起こす。そのなかでも特に橋梁に対する被害は近年増加傾向にある。例えば、令和2年に発生した「令和2年7月豪雨」による熊本県での橋梁被害数は33橋¹⁾、平成30年に発生した「平成30年7月豪雨」による広島県での橋梁被害数は47橋²⁾となっており、図-1に示した通り、洪水による橋梁被害数が数年前などに比べ大幅に増加していることがわかる。

今後も発生するであろう記録的豪雨に対し、橋梁被害を抑える事前対策として、橋梁に作用する流体力を軽減させるフェアリングの設置に関する研究³⁾⁶⁾が多く行われている。だがしかし、フェアリングを河川に架かる橋梁すべてに設置するのは莫大な時間と金額が必要になる。そのため、「豪雨により被害を受ける可能性のある橋梁」を抽出し、これらを優先的に対策していくことが必要であると考えられる。

豪雨により発生した洪水による橋梁被害の既往研究として、玉井ら⁷⁾の水理条件を用いた洪水に対する橋梁の健全度評価の手法や、佐溝ら⁸⁾の鉄道橋梁を対象とした洪水時に「洗掘被害を受ける恐れのある橋脚」を抽出する手法を確立したものがある。しかし洪水による橋梁被害は橋脚洗掘によるものばかりではない。更に洪水による橋梁被害は、水理条件のみでなく橋梁の構造条件も関与していると考えられる。それらと異なり井上ら⁹⁾は平成30年の豪雨時に被害が多く発生した広島県三篠川に注目し、構造要因、環境要因の有次元・無次元指標を用いて、被害リスクの評価を提案している。しかし災害ごとに降雨量は異なるために、発生要因も異なることを考える。

そこで本研究では総合的に被害を受けやすい橋梁の傾向を探るべく、2000年～2021年までの水害により被害を受けた橋梁、さらに被害の多かった「令和2年7月豪雨」の球磨川、「平成30年7月豪雨」の三篠川に架かる橋梁を対象とした分析を行った。

2. 研究方法、条件設定

研究を進めるにあたり、被害を受けた橋梁のデータベース化を行った。内閣府が発表している各災害の被害報告書¹⁰⁾や橋梁被害の報告書¹¹⁾¹³⁾、国土交通省発表の橋梁メンテナンス年報¹⁴⁾からデータ収集を行った。足りないデータに関しては市または県の担当者にヒアリングを行った。橋梁の情報を構造条件として橋長、幅員、径間数、支間長、竣工年、環境条件として河床から上部工の高さ、川幅、最後に被害状況、被害評価の8項目でデータ整理を行った。構造条件の支間長に関しては、橋長を径間数で割った値、平均値を使用している。

環境条件の河床から上部工の高さ、川幅に関して、現地での計測が困難であったため、国土地理院が作成しているGSIMaps(標高図)を用いて橋梁の両端、前後の河川の標高から高さを調べ河床から上部工ま

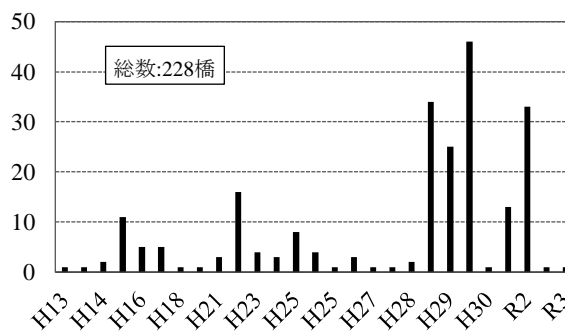


図-1 被害橋梁数

表-1 被害評価の分類

被害評価	被害内容
A	流失, 橋脚流失, 落橋
B	橋台洗掘, 橋脚沈下, 橋脚洗掘
C	橋台背面土砂流失, 高欄破損
無	被害なし

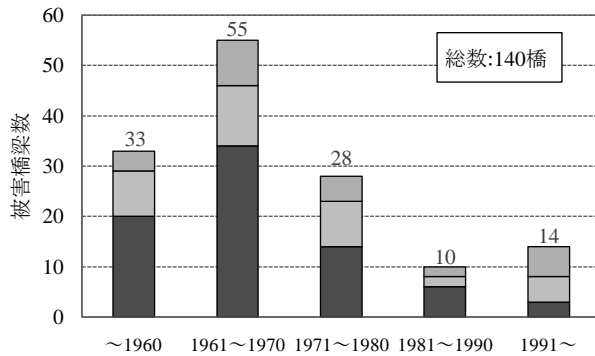


図-2(a) 竣工年と被害評価

での高さとし、堤防から堤防までの長さを川幅と定義した。実際の長さとの検討をまだ行っていないため、今後実測を行い、精度を調べていく。

被害の傾向を確認するため、道路震災対策便覧を参考とし、表-1 に示す通り、それぞれの橋梁に対する被害を A, B, C の3段階で分類を行った。橋梁流出、落橋、橋脚流出などの大規模な被害を被害 A と定義し、橋台洗掘、橋脚沈下、洗掘を被害 B、高欄被害、橋台背面土砂流出などを被害 C と分類した。

3. 被災橋梁の分析

今回調べた 2000 年～2021 年の中では 228 橋が被害を受けていた。本研究は道路橋を対象として分析を行うこととする。228 橋のうち、22 橋の鉄道橋は対象外とした。さらに橋長、支間長が 5m 未満、または幅員が 2m 未満の橋梁は基本的な道路橋と構造条件が大きく変わっていると考え、今回の分析から除外した。最終的にデータの揃っていた 155 橋を対象に分析を行った。現在もデータ収集を行っているため、対象としているデータによって集まっているデータ数が異なるため、橋梁被害数も分析ごとに異なっている。

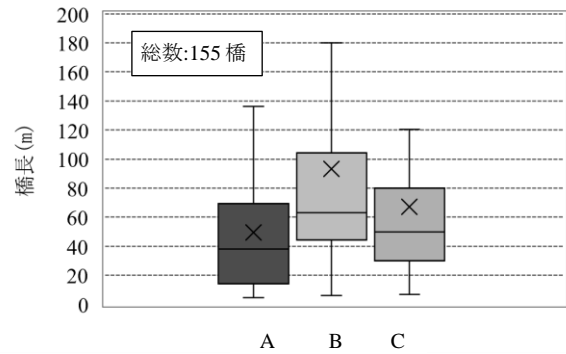


図-2(b) 橋長と被害評価

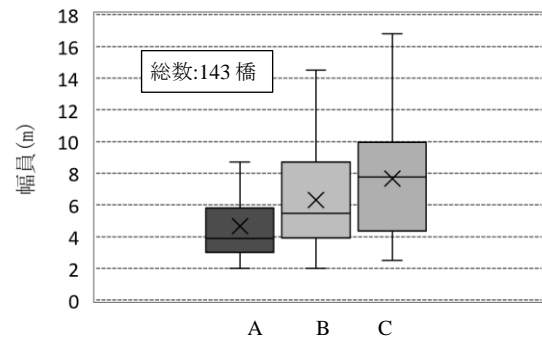


図-2(c) 幅員と被害評価

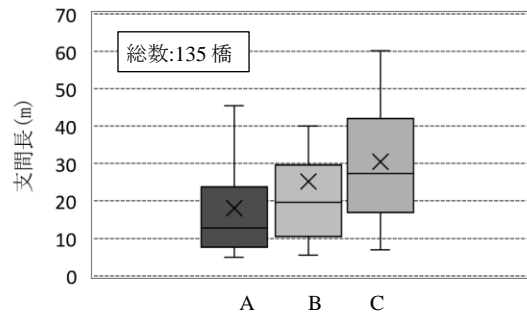


図-2(d) 支間長と被害評価

(1) 構造要因と被害

構造要因と被害の傾向を調べるため、竣工年、橋長、幅員、支間長 4 項目と被害評価の分析を行った。図-2 に結果を示す。図-2(a) の竣工年との分析結果から 1970 年以前に建設された橋梁が多く被害を受けていることがわかる。特に流出などの大規模な被害は 1980 年以前の橋梁が多く、昭和の設計では被害が発生しやすいことがわかる。図-2(b) に橋長との分析結果を示す。被害 A の大規模な被害は短い橋梁に発生しやすい傾向がみられたが、被害を予測する要素としては判断材料になりにくいと考える。図-2(c) に幅員と分析結果を示す。幅員が小さい橋梁のほうが大規模な被害が発生しやすい傾向にある。これは幅員が小さい橋梁ほど上部工の重量が小さくなり、流出が発生しやすくまた、橋脚も小さいものになり、洗掘を起こしやすくなると考えられる。こ

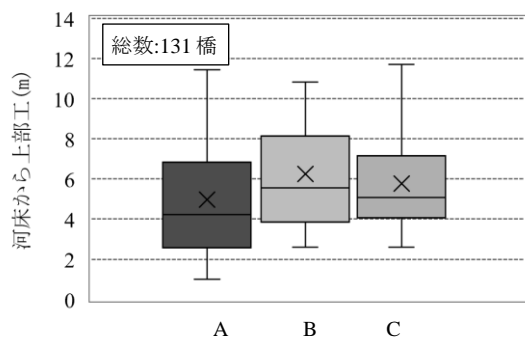


図-3(a) 河床から上部工までの高さ と被害評価

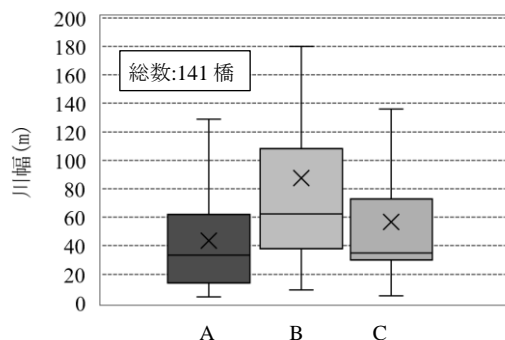


図-3(b) 川幅 と被害評価

のことから構造要因に関して、幅員は被害を予測する指標になると考える。図-2(d)の支間長との分析結果からこちらも支間長が短い橋梁のほうが被害が発生しやすい傾向にあると分かった。支間長が短いということは径間数が多く、多く橋脚が入っているため河川阻害率が高くなり、水位の上昇などに繋がり、被害が増加していると考えられる。橋脚幅も考慮した分析も必要であると考えられる。

(2) 環境要因と被害

同様に環境要因との傾向を調べるため、河床から上部工までの高さ、川幅の2項目と被害評価の分析を行った。結果を図-3に示す。2つのデータとも現地計測が行えないため、国土地理院が作成している地理院地図 (GSI Maps) を用いて測定した値であるため、正確な値でないことはご了承いただきたい。この値の精度に関しては、今後現地調査を行い精度を確かめていく。図-3(a)に河床から上部工までの高さとの分析結果を示す。高さが低ければ被害が発生しやすいのは容易に想像できるが、似たような結果が得られた。被害Bより被害Cのほうが平均値が小さいのは、被害Cには高欄被害が含まれているため、上部工にまで水位が上昇したが、上部工流出は免れ、高欄のみが被害を受けた橋梁を含んでいるためこのような結果になったと考える。明らかに高さが無い場合には「被災する可能性のある橋梁」と判

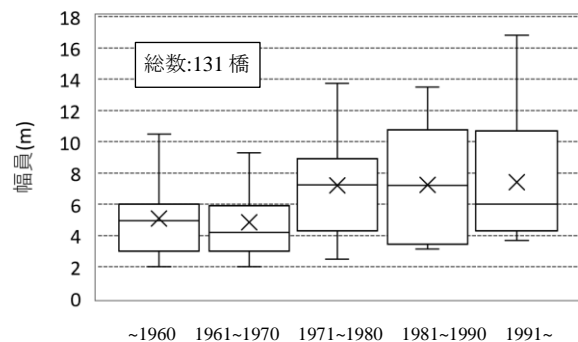


図-4(a) 竣工年ごとの幅員

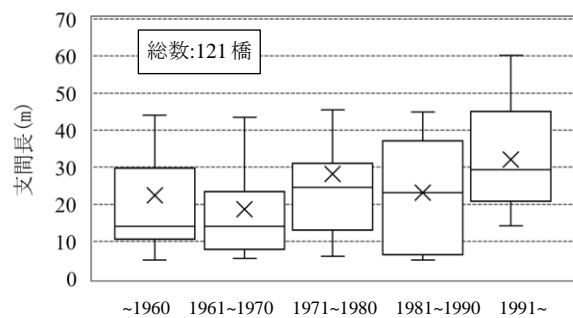


図-4(b) 竣工年ごとの支間長

断できるが、水位上昇はすべての河川一律に同じではなく川幅によって違いも出るため、2つを合わせたような判断基準が必要であると考えた。次に図-3(b)に川幅との分析結果を示す。河床から上部工までの高さとの分析と同様に、川幅が狭い河川であるほど大規模な被害につながりやすいことがわかる。川幅の定義は堤防から堤防までの長さとなっており、入手が困難な橋梁に関しては、傾向が似ている橋長のデータで補えると考えられる。今後は判断基準として、適切な基準値を設け基準値以下は被害の可能性があると判断していくのが有効であると考えられる。

(3) 二変量解析の結果と考察

一変量解析の結果から、構造要因では幅員、支間長、竣工年が被害に関係していることが分かった。そこで幅員、支間長と竣工年に関連性はないか二変量解析を用いて分析を行った。今回は被害評価での分類を無しに、被害を受けた橋梁全てを対象に分析を行った。結果を図-4に示す。被害が最も多かった竣工年が1970年以前の橋梁は幅員も小さく支間長も短いものが多いことが分かる。図-4(a)で示している通り、幅員は近年になるにつれ平均値、最小値ともに増加していることが分かる。しかし図-4(b)に示す支間長では1990年以降以外のものは平均値は大

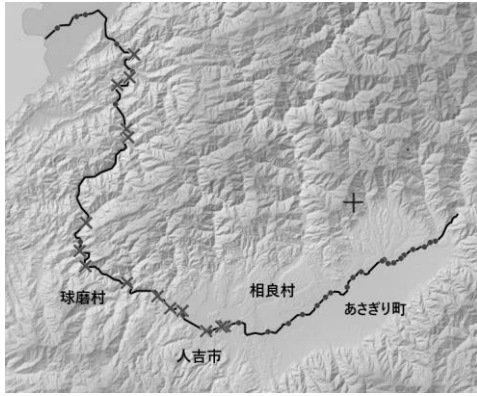


図-5 被災橋梁位置図(球磨川)

出典：参考文献¹⁵⁾の地図を追記して作成

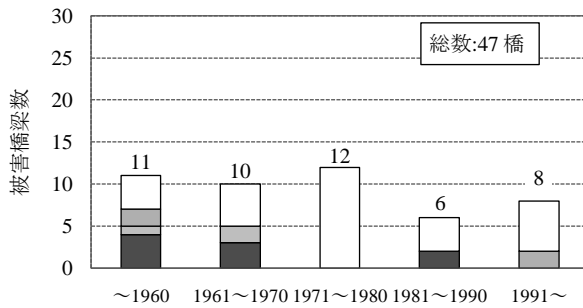


図-7(a) 竣工年と被害評価 (球磨川)



図-6 被災橋梁位置図(三篠川)

出典：参考文献¹⁵⁾の地図を追記して作成

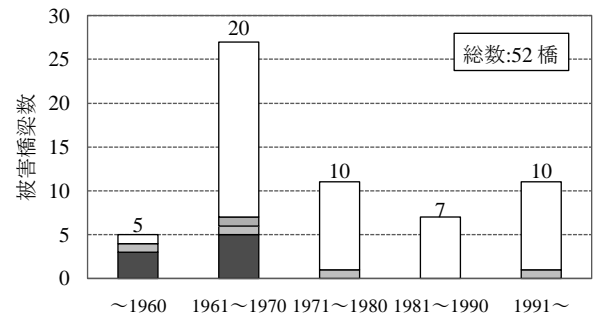


図-7(b) 竣工年と被害評価 (三篠川)

きくなっているが、データ範囲は大きく変わっていないことが分かる。このことから、幅員に比べ、支間長は竣工年によらないことが分かった。そのため、危険度判断情報として、幅員、支間長、竣工年はそれぞれ必要であると考え。

4. 球磨川、三篠川に架かる橋梁の要因分析

今回データ収集を行った中で、「令和2年7月豪雨」による熊本県球磨川で全53橋のうち16橋、「平成30年7月豪雨」による広島県三篠川で全62橋のうち18橋と1つの河川内で多数の橋梁が被害を受けていた。

(1) 研究対象サイト

熊本県の南部を流れる球磨川は一級河川であり、流域面積1,880km²、流路延長115kmである。¹¹⁾主な支川には川辺川、免田川、水無川、鳩胸川がある。この球磨川での被災橋梁位置図を図-5に示す。同様に分析を行った広島県の西部を流れる三篠川は、広島県西部を流れる一級河川である太田川の一支川である。流域面積は274km²、流路延長は42kmである。三篠川の主な支川は大土川、見坂川、関川、小

河原川などがある。三篠川での被災橋梁位置図を図-6に示す。今回は流域ではなくそれぞれの河川に架かっている橋梁のみに注目した。

(2) 分析結果、考察

被害を受けた橋梁のみならず、河川内で被害を受けていない橋梁を含むすべての橋梁を対象にし、それぞれの河川での要因分析を行った。構造要因において、先ほどの被害を受けた橋梁のみの分析で、被害との関係が大きいと考えられた竣工年、幅員、支間長の3種類のデータを用いて分析を行った。分析項目は、竣工年を用いた要因分析、幅員と竣工年による二変量解析、支間長と竣工年による二変量解析、河床から上部工までの高さ、川幅による二変量解析の4項目を各河川ごとで行った。結果を図-7～10に示す。図の色は表-1に準拠し、被害A、無は○、被害Bは□、被害Cは△でプロットしている。

図-7に竣工年と被害評価の分析をそれぞれ示す。被害を受けた橋梁のみの分析と同様に、1970年以前に建設された橋梁が多く被害を受けていた。しかし1970年以前に建設された橋梁で被害を受けた割合が球磨川で55%、三篠川で34%と半分の橋梁は被害を受けていないという結果であった。次に図-8に幅員と竣工年による二変量解析の結果をそれぞれ示す。

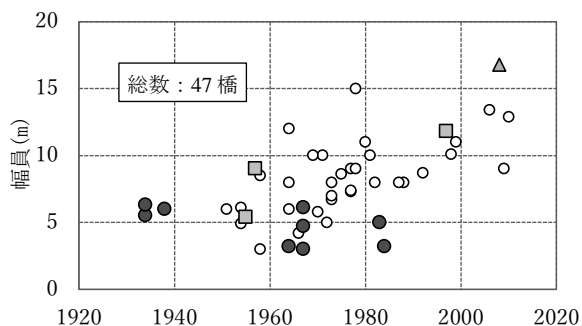


図-8(a) 幅員と竣工年による二変量解析 (球磨川)

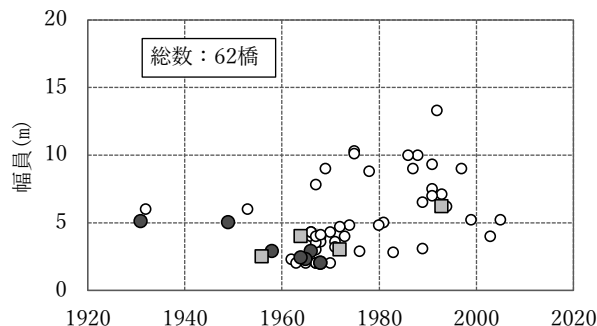


図-8(b) 幅員と竣工年による二変量解析 (三篠川)

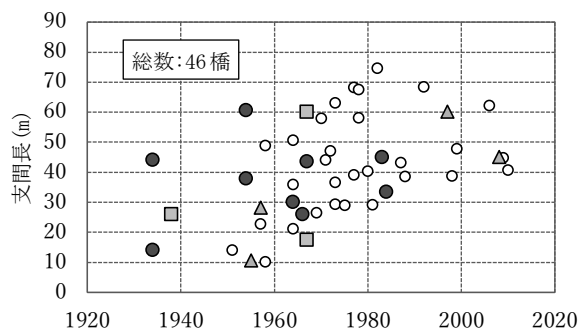


図-9(a) 支間長と竣工年による二変量解析 (球磨川)

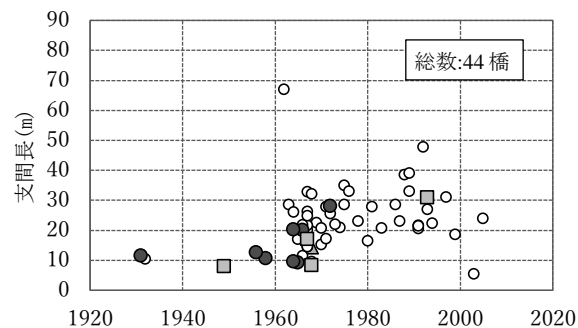


図-9(b) 支間長と竣工年による二変量解析 (三篠川)

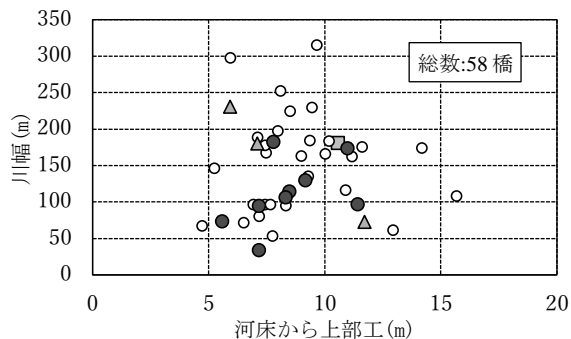


図-10(a) 河床から上部工までの高さや川幅による二変量解析 (球磨川)

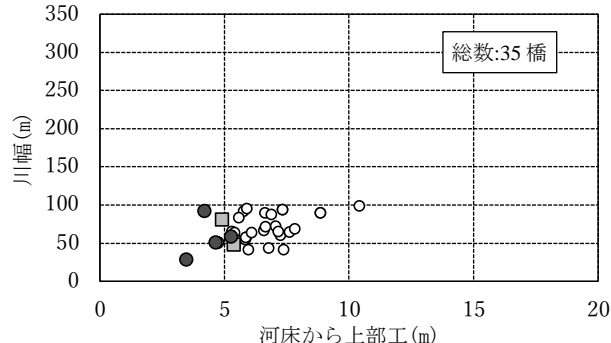


図-10(b) 河床から上部工までの高さや川幅による二変量解析 (三篠川)

球磨川では竣工年に関係なく、幅員が5m前後の橋梁が被害を受けていた。比べて三篠川では球磨川と同様に幅員5m前後の橋梁が被害を受けているが、被害を受けていない橋梁も多数あるため、三篠川での被害には大きく関係していないと考えられる。続いて図-9に支間長と竣工年による二変量解析を示す。球磨川では支間長は被害に関係があまりない結果となった。比べて三篠川では、支間長が10m前後の橋梁が多く被害を受けていた。球磨川でも10m前後の橋梁は被害が発生しているため、あまりに短い橋梁は危険であると考えられる。支間長が短ければ上部工も比例して軽くなるため、流出などの被害も増加すると考えられ、さらに支間長が短く橋長の長い橋梁であると、多く橋脚が入っていることになるため、河積阻害率が高くなり、水位が上昇し被害が多く

発生したと考える。図-10に河床から上部工までの高さや川幅による二変量解析の結果を示す。図-10(a)に示した球磨川ではこの2項目からの傾向はみることはできなかった。先ほど示した構造要因や地形的要因が関与して被害が発生すると考える。続いて図-10(b)に示した三篠川に関しては、河床から上部工までの高さが低い橋梁のみに被害が発生していた。球磨川の橋梁に比べ川幅が全て100m以下であるため、河床から上部工までの高さが被害への大きな要因であると考えられる。

(3) 河川ごとの分析のまとめ

今回の分析により、球磨川は幅員が大きく関係していると考えられた。さらに位置図を見ると、被害を受けていたのは山間部の谷を流れる勾配が急な箇

所に向けられていた橋梁ばかりであった。周辺の支川による水位の上昇や、急勾配による流速の増加も被害に影響していると考えられる。三篠川では支間長、河床から上部工までの高さが被害に大きく関係していると考えられる。2つの河川を比べたが、同一の要因による被害ではないため、より複数の要因を危険度判断に用いることが必要であると考えられる。

5. まとめ、今後の予定

本研究では豪雨により被害を受けた橋梁、被害の多かった球磨川、三篠川に架かる橋梁の要因分析を行った。豪雨による橋梁被害の要因として、橋梁の構造要因では竣工年、幅員、支間長が環境要因として河床から上部工までの高さ、川幅が有効であると考えられる。今後は橋梁のサイズによる流体力、揚力の違いを数値解析を用いて検討していき、危険度判断の判別式の確立を目標に進めていく予定である。

6. 参考文献

参考文献

- 1) 岩坪要, 上久保祐志, 脇中康太, 森山学: 球磨川の橋梁被害調査～「令和2年7月豪雨」対応チーム活動報告(3)～, <https://kumamoto-nct.ac.jp/file/nitk-kiyou2020/pdf/no10.pdf> (閲覧日: 令和3年11月2日)
- 2) 広島県河川調査G: 広島県における河川被害の概要: <https://committees.jsce.or.jp/report/system/files/uchida.pdf> (閲覧日: 令和3年11月10日)
- 3) 川崎肇, 井津野和行: 部分的フェアリングによる橋に作用する水の流体力軽減効果に関する研究, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.74, No.3, 431-439, 2018
- 4) 中尾尚史, 張広鋒, 炭村透, 星隈順一: フェアリングを設置した橋梁上部構造の津波の作用による挙動メカニズム, 土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.70, No.4, pp. I_110_I_120, 2014.
- 5) 山内邦博, 市東素明, 幸左賢二: 橋桁に作用する定常的な流水荷重に関する検討, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.61A, pp.365-374, 2015
- 6) 虻川高宏, 中村悠人, 長谷川明: 気仙大橋におけるフェアリング設置による津波減災効果, 鋼構造年次論文報告書, 第21巻, pp.448-455, 2013
- 7) 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～」, 技報堂出版, 2015
- 8) 左溝昌彦, 渡邊諭, 杉山友康, 岡田勝也: 統計的手法による鉄道橋梁の増水時における被災注意橋脚抽出手法, 土木学会論文集(土木計画学), Vol.69, No.3, 237-249, 2013.
- 9) 井上隆, 山村優佳, 二瓶康雄: 豪雨時の橋梁リスク評価指標の検討～H30年西日本豪雨の三篠川橋梁被害縦断分布データを用いて～, 土木工学論文集B1(水工学) Vol.75, No.2, I_1417-I_1422, 2019.
- 10) 内閣府: 災害状況一覧ホームページ: <https://www.bousai.go.jp/updates/index.html> (閲覧日: 令和3年10月27日)
- 11) 前田俊一: 平成28年8月北海道災害について～主に堤防決壊と流路変動に焦点を当てて～: <https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/event/2017/1019/pdf/kouen10.pdf> (閲覧日: 令和3年11月15日)
- 12) 国土技術政策総合研究所: 令和元年台風19号研究資料第7章: http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1111pdf/ks1111_12.pdf (閲覧日: 令和3年11月25日)
- 13) 橋梁の対津波・対洪水設計に関する研究小委員会: 報告書: https://committees.jsce.or.jp/eec216/system/files/%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8_%E5%AF%BE%E6%B4%A5%E6%B3%A2%E6%B4%AA%E6%B0%B4.pdf (閲覧日: 令和4年1月13日)
- 14) 国土交通省: 道路メンテナンス年報: https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/yobohozen_maint_index.html (閲覧日: 令和4年4月13日)
- 15) 国土地理院: 地理院地図/GSI Maps 色別標高図: <https://maps.gsi.go.jp> (閲覧日: 令和4年6月1日)