

永野川皆川地区における堤内外地の植生管理が 氾濫流に与える影響に関する数値解析

飯村 耕介¹・飯塚 絵理名²・池田 裕一³

¹正会員 宇都宮大学助教 地域デザイン科学部 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail: k_jimura@cc.utsunomiya-u.ac.jp (Corresponding Author)

²株式会社富貴沢建設コンサルタンツ (〒321-0934 栃木県宇都宮市梁瀬2-13-26)
E-mail: iizuka@fukisawa.co.jp

³正会員 宇都宮大学教授 地域デザイン科学部 (〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2)
E-mail: ikeda@cc.utsunomiya-u.ac.jp

令和元年東日本台風による豪雨により、栃木県の永野川では 6 か所で決壊が生じるなど大きな被害となった。特に決壊地点のひとつであり、栃木特別支援学校が浸水被害を受けた永野川皆川地区を対象として、堤内外地の植生による氾濫流への影響を明らかにするため、氾濫解析を実施した。堤外地植生は永野川からの溢水流に大きく影響し、堤外地植生を排除し、洪水流を阻害する要因を排除することで、永野川堤防上の溢水深を 38 cm 低減することができ、永野川からの氾濫流を大きく減じることが出来ることを確認した。堤内地植生については氾濫流を浸水被害を受けた栃木特別支援学校からそらす目的で植生帯を配置したが、流速については最大で約 26% 程度の低減効果を確認できたものの、栃木特別支援学校周辺の浸水深の低減には至らなかった。

Key Words : heavy rainfall, Typhoon Hagibis, Naganogawa river, vegetation, inundation simulation

1. はじめに

令和元年東日本台風による豪雨により、栃木県では県管理河川において 13 河川 27 か所で決壊が発生するなどの多くの被害が生じた。特に利根川水系巴波川の支川である永野川では 6 か所で決壊が生じている。永野川の皆川地区は、一帯が氾濫平野であり水田が多く、支川の藤川や農業用水路が永野川と合流している。永野川からの溢水や、藤川と永野川の合流点でのバックウォーター現象による溢水、藤川や農業用水路からの内水氾濫流が永野川と農業用水路の合流部に集中し、逆越流を起こして決壊している。また、藤川と農業用水路に挟まれる位置に存在する栃木特別支援学校が浸水被害を受けた¹⁾。

皆川地区における永野川の河道内には竹林と中心とした河道内樹林が溢水地点と決壊地点の間に多く繁茂していた(図-1)。河道内樹林の洪水への影響については多くの研究がなされており、岡部ら²⁾は伝統的水防竹林が築堤後に河道内に残留している吉野川を対象に、この竹林が洪水流へ与える影響について定量的に評価した。田中ら³⁾は令和元年東日本台風による荒川の河道内植生の



図-1 永野川皆川地区の概要

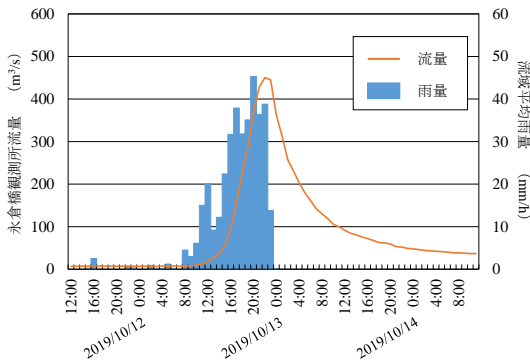


図-2 広範囲解析における境界条件

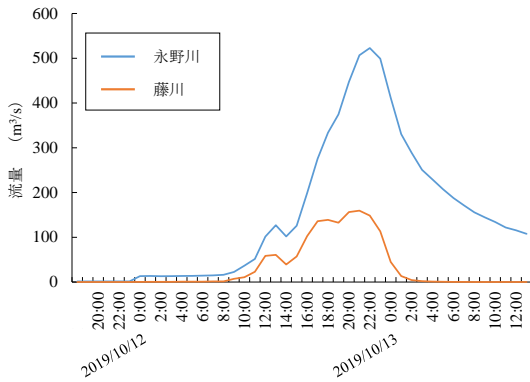


図-3 詳細解析における境界条件

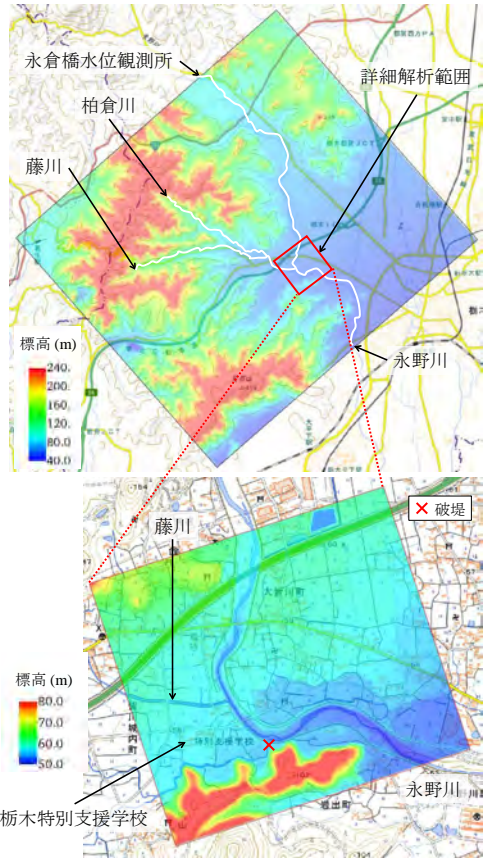


図-4 解析対象地区の標高データ

破壊・流失や、洪水流への影響について明らかにした。一方、堤内地植生の影響については、長谷見ら⁴⁾は構え堀・屋敷林・水塚をモデル化した水理模型実験により、これらの氾濫流に対する水工学的機能について検討しているが、屋敷林などの堤内地樹林が氾濫流に与える影響についてはまだ十分に明らかになってはいない。

本研究では、浸水被害を受けた栃木特別支援学校がある永野川皆川地区を対象に堤外地および堤内地の樹林帯にそれぞれ着目し、堤外地においてはその有無による越流や氾濫流況に与える影響について、堤内地においては支援学校の浸水被害に対する樹林帯を用いた軽減可能性について数値解析で評価することを目的とする。

2. 数値解析方法

(1) 数値解析の概要

永野川皆川地区を対象に河川シミュレーションソフト iRIC を用いた氾濫流解析を行った。解析は2段階に分けて実施し、広範囲解析では皆川地区に流入する永野川と藤川の流量を算出するため iRIC Nays2D Flood を用いて降

雨を含めた解析を実施した。令和元年東日本台風を対象として、永倉橋観測所における水位データから H-Q 式により求めた流量を上流側境界条件とし、降雨は流域平均雨量として梅沢・皆川・栃木・葛生の4つの雨量観測所の降雨をティーセン法を用いて算出して与えた。図-2 に広範囲解析で用いた流量と降雨を示す。一方、詳細解析においては皆川地区の栃木特別支援学校周辺を対象とし、堤内外地の植生抵抗を考慮した氾濫流況を解析するため iRIC Nays2DH を用いて実施した。広範囲解析で求めた永野川と藤川の流量を境界条件(図-3)として与え、詳細解析においては降雨は考慮しない。

(2) 解析対象地区について

図-4 に解析対象領域の標高データを示す。標高データには国土地理院の基盤地図情報数値モデルを用いた。広範囲解析においては永野川の流下方向に約9km、横断方向に約10kmを解析領域とし、計算格子幅は15m×15mとした。詳細解析においては永野川の流下方向に約1.5km、横断方向に約1.65kmを解析領域とし、計算格子幅は5m×5mとした。永野川に支川の藤川と、農業水路が合流しながら流下している。境界条件としては永野

川と藤川の流量を与え、農業用水路については被災当時、永野川との合流地点の水門が閉められ、排水機場等はないこと、農業用水路が本研究で注目している支援学校の南側にあることから流量を与えず、考慮しないこととした。氾濫原はほぼ水田として利用されており、粗度係数を0.030とし、河道内は0.025として設定した。栃木特別支援学校の校舎については障害物セルとして扱い、建物内は水が浸入しない条件とする。また、永野川の大砂橋下流右岸の破堤は考慮しない。

(3) 堤内外地の植生条件について

堤外地と堤内地の双方の植生に着目し、それらが洪水氾濫流に与える影響について検討する。

被災前の堤外地の植生については、草本類と竹林を中心とした樹林帯が繁茂していた。草本類については粗度係数により評価し、既往研究²⁾から0.06と設定した。竹林についてはi-RICの植生抵抗の機能を利用し、抗力によって評価し、既往研究²⁾から抵抗係数を1.2、植生密度を 0.25 m^{-1} と設定した。

堤内地の植生については河川堤防に沿った堤内地側に竹林の樹林帯や、近隣住宅の敷地内に屋敷林とみられる竹林があったことから、竹林を対象として、堤外地と同じ条件である抵抗係数を1.2、植生密度を 0.25 m^{-1} と設定した。主として、栃木特別支援学校へ向かう氾濫流の減勢と、流れの方向を支援学校からそらす目的で支援学校の北側や西側へ配置し、永野川や藤川からの溢水流への影響について検討する。

3. 堤外地植生による影響評価

(1) 植生配置および解析条件

堤外地植生の配置範囲について図-5に示す。永野川の対嶺橋のすぐ下流に草本類が繁茂しており、繁茂している草本類の下流端から大砂橋の下流側までは竹林が繁茂している。堤内地については藤川の右岸沿いにある住宅の敷地内の屋敷林と、大砂橋下流右岸側の堤防に沿ったところに竹林が繁茂していたのでそれを考慮して配置している。表-1に堤外地植生に着目した解析における計算条件一覧を示す。Case-1は2つの河川流入（境界条件）とすべての植生を考慮したケースで、被災前の状況に最も近いケースである。Case-2は洪水流を阻害し、水位上昇や溢水の原因となる堤外地植生をすべて除いたケースで、被災後に復旧が進んでいる現在の状況に近いケースで、堤外地植生による永野川の水位や溢水への影響を評価する。Case-3は藤川の流入量を0とし、Case-2と比較することでこの地域に対する永野川と藤川の氾濫への影響を確認する。

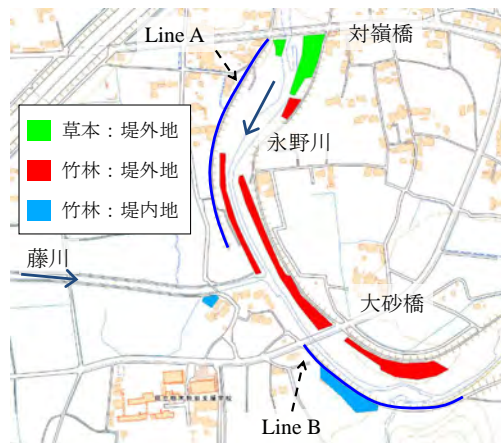


図-5 堤外地植生の配置範囲

表-1 堤外地植生に着目した数値解析条件

Case No.	永野川流入	藤川流入	草本堤外地	竹林堤外地	竹林堤内地
Case-1	あり	あり	あり	あり	あり
Case-2	あり	あり			あり
Case-3	あり				あり

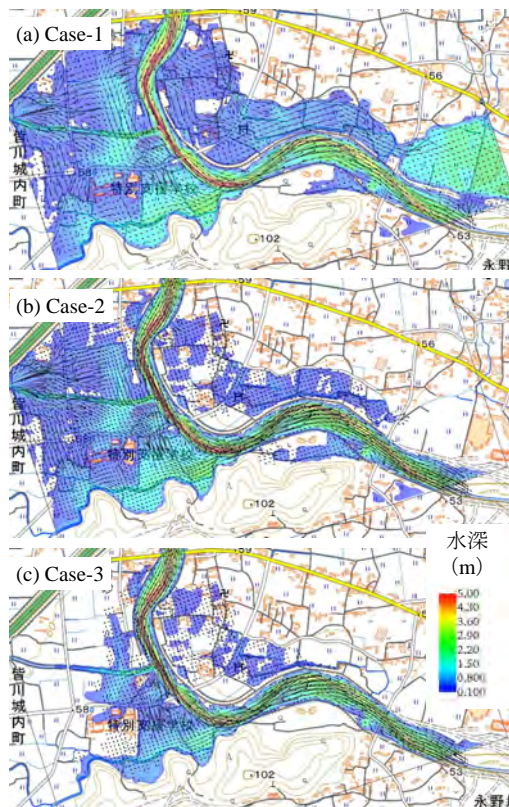


図-6 堤外地植生に着目した各ケースの解析結果

(2) 解析結果および考察

各ケースにおいて、永野川と藤川の合流部の水深が最大となる 2019 年 10 月 12 日 21:30 における水深と流速ベクトルの結果を図-6 にそれぞれ示す。堤外地植生を考慮した Case-1 では、対嶺橋下流右岸からの溢水流が、栃木特別支援学校の北部にある用水路に沿った低地を南に向かって流下し、藤川を越えた先で支援学校を避けるように永野川の方へ流れていることが確認できる。既往の現地調査結果⁹⁾から、永野川溢水地点の浸水深が約 1.55 m であるのに対して、本解析における同地点付近の浸水深は 1.73~1.39 m であり、おおむね永野川溢水の状況を再現できていると言える。また、藤川においては支援学校よりも西側で溢水した流れが、藤川に沿う流れと、南側に進む流れに分かれているのが見て取れる。支援学校の浸水にはこちらの影響が大きくあったと考えられ、他ケースと比較して確認する。堤外地植生を排除した Case-2 では、永野川と藤川の合流部より上流側での永野川からの溢水が減じているのが確認できるものの、合流部より下流の支援学校付近の浸水の状況に大きな変化が見られない。まず、永野川からの溢水流がどの程度減じているのか確認するため、図-5 に示した Line に沿った永野川右岸堤防上の浸水深を図-7 に示す。堤外地樹林を排除することで、河道内の洪水流を阻害する要因がなくなり、対嶺橋から大砂橋までの溢水深を大きく減じることができ、最大浸水深は最大で 0.38 m 減少している。一方で大砂橋から下流側の溢水深には上流側ほど大きな変化が見られないが、これは永野川の上流側の溢水と藤川からの氾濫流が農業用水路付近に集中し、永野川河道側へ逆越流をしていることによる浸水深であり、特に藤川からの氾濫流の影響が大きいことを示していると考えられる。そこで、Case-3 においては永野川のみを考慮して解析を行った。図-6 (c) に示すように Case-3 では浸水範囲が大きく減っていることが分かる。藤川との合流部より上流側で溢水した流れは他ケースと同様に、支援学校の北部にある用水路に沿った低地を南に向かって流下しているが、支援学校北端で永野川の方へ流れ、農業用水路との合流部へ向かっている。堤外地植生の排除により永野川からの氾濫流を大きく減じることが出来るものの、この地域の特に支援学校付近の浸水については藤川からの流れの影響が大きい。そのためこの藤川からの流れを堤内地の植生配置によって変えることができるか検討する。

4. 堤内地植生による影響評価

(1) 植生配置および解析条件

堤内地植生の配置範囲について図-8 に示す。この地区は堤内地にも竹林を中心とした樹林帯・屋敷林が見られ

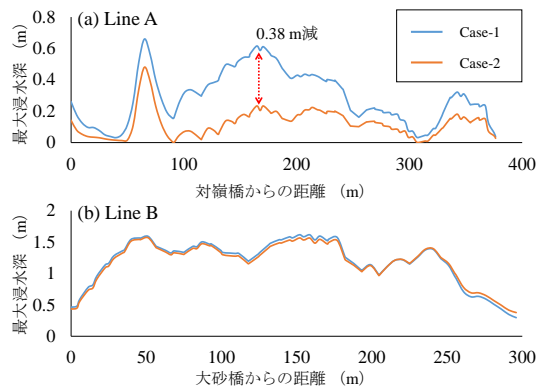


図-7 永野川右岸堤防上の最大浸水深の比較

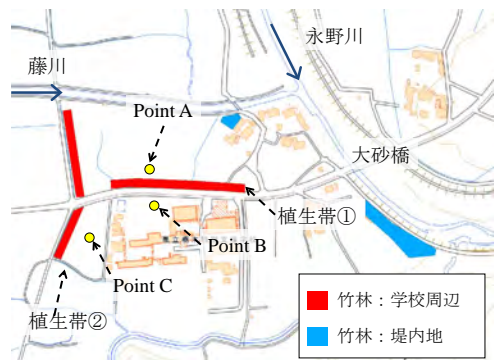


図-8 堤内地植生の配置範囲

表-2 堤内地植生に着目した数値解析条件

Case No.	竹林 堤内地	学校 植生帯①	学校 植生帯②
Case-4	あり	幅 5 m	
Case-5	あり	幅 10 m	
Case-6	あり	幅 10 m	幅 10 m

ため、竹林による植生帯を支援学校の北側および西側に配置して、藤川からの氾濫流の影響を減じることが出来るかどうか検証する。表-2 に堤内地植生に着目した解析における計算条件一覧を示す。いずれのケースも Case-2 の条件をベースとし、永野川および藤川の流量を考慮し、堤外地植生については排除する。支援学校周辺に竹林による植生帯を新たに配置して藤川からの流れを支援学校からそらすことができるか検討する。植生帯①は支援学校北側の低地に沿って流れてくる氾濫流を、植生帯②は藤川上流側の氾濫流をそれぞれ減じる目的で配置する。Case-4 および Case-5 は植生帯①のみを配置し、配置する植生帯の幅を 5 m と 10 m に変えて検討している。Case-6 は植生帯①と植生帯②のどちらも配置し、植生帯の幅を 10 m とした。

(2) 解析結果および考察

図-9に学校周囲に植生のないCase-2と、学校の北側と西側の両方に植生を配置したCase-6の2019年10月12日21:30における水深と流速ベクトルの結果と示す。この範囲の浸水深がおおよそ最大となる時間であるが、学校周辺の植生帯の有無による浸水域や浸水深の大きさに変化はあまり見られない。植生帯周囲の水深や流速の詳細な時間変化を確認するため、図-8に示した各Pointにおける水深と流速の時間変化を図-10に示す。Point Aは学校北側に配置した植生帯の藤川側の地点で、藤川からの氾濫流を植生帯で遮る形になるが、水深は微増でほとんど変わらず、流速は植生によって流れが永野川方向へそらされ、流速の大きさもCase-2に対してCase-6が約10%増加している。Point Bは学校北側に配置した植生帯の支援学校側で、こちらも水深は微増でほとんど変わらない。

一方で、流速は植生帯によって、藤川側からの流れが永野川方向へそらされる影響で、植生帯の背後である支援学校側の流速は大きく低減され、ピークにおいてはCase-2に対してCase-6では約26%の流速低減効果が確認できた。水深が大きく変わらず、流速が下がっているのので北側からの流入量が低下していると考えられるが、支援学校内の浸水深の低減にはならなかった。一方、流速は大きく低減できており、流体力が流速の2乗に比例することから、支援学校敷地内における氾濫流による流体力をおよそ半減することができている。Point Cは学校西側の植生帯背後にあたる地点である。藤川上流側の氾濫流を南側へそらし、支援学校への流入を低減する目的で配置しているが、水深および流速ともに微増する結果となった。流速はCase-2に対してCase-6で約9%増加している。学校北側に配置した植生帯により、氾濫流の一部

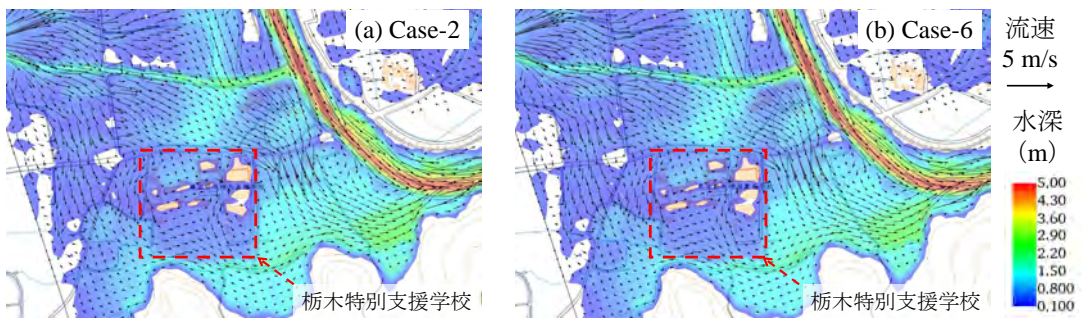


図-9 学校周囲の植生帯の有無による水深コンターと流速ベクトル

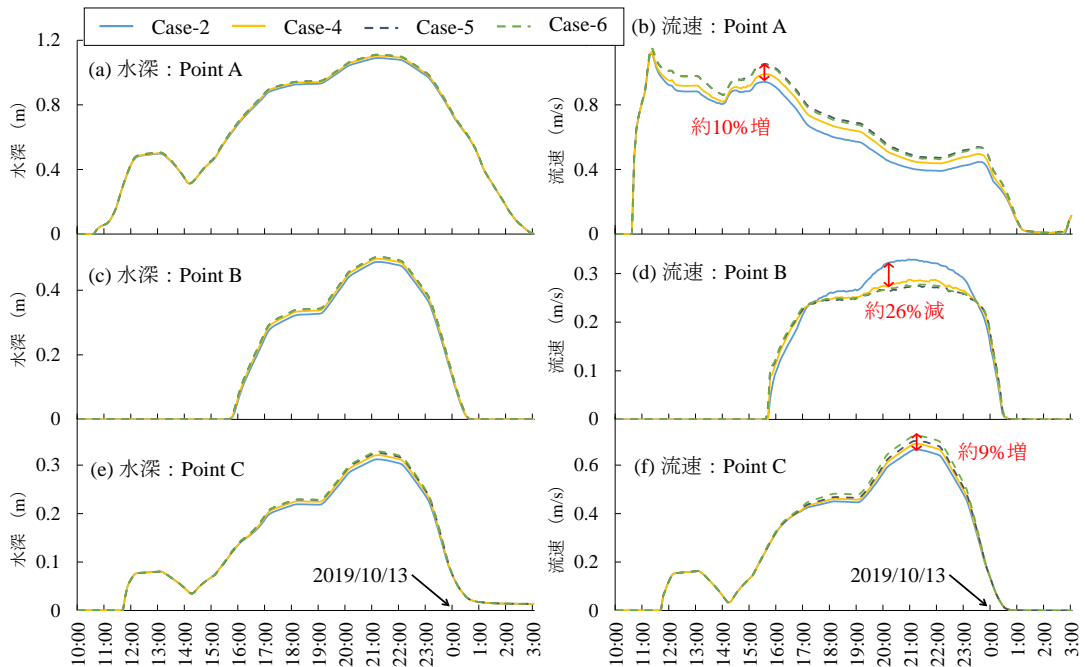


図-10 各地点における水深と流速の時間変化

が植生帯の西側に回り込み、流れが集中したと考えられる。したがって、Case-4~Case-6 のいずれのケースでも Case-2 に対して流速が増加した。

5. おわりに

令和元年東日本台風により大きな被害を受けた栃木県永野川皆川地区の栃木特別支援学校周辺について、堤内外地の植生による氾濫流への影響を明らかにするため、氾濫解析を実施した。堤外地植生は永野川からの溢水流に大きく影響し、堤外地植生を排除し、洪水流を阻害する要因を排除することで、永野川からの氾濫流を大きく減じることが出来ることを確認した。堤内地については氾濫流を浸水被害を受けた栃木特別支援学校からそらす目的で植生帯を配置したが、流速については低減効果を確認できたものの、浸水深そのものを減らすことは出来なかった。今後は支川や水路の上流側における貯水機能についても合わせて検討していく必要がある。

謝辞：本研究は、公益財団法人河川財団の河川基金の支援により実施されました。また、栃木県河川課に決壊地点等の情報の提供を頂きました。ここに記して謝意を示します。

REFERENCES

- 1) 飯村耕介, 池田裕一, 小岩大毅: 内水・外水氾濫解析による山間地中小河川の浸水被害に対する支川の影響評価~令和元年 東日本台風の永野川皆川城内地区を例として~, 河川技術論文集, 第 27 巻, pp. 631-636, 2021. [Iimura, K., Ikeda, H. and Koiwa, D.: Influence of tributary on inundation by numerical analysis on mountainous small and medium rivers: A case study of damages by Typhoon Hagibis in Naganogawa river, *Advances in River Engineering*, Vol. 27, pp. 631-636, 2021.]
- 2) 岡部健士, 田村隆雄: 吉野川河道内に残留した水防竹林の管理計画に関する数値解析的検討, 水工学論文集, 第 53 巻, pp. 625-630, 2009. [Okabe, K. and Tamura, T.: Numerical estimation of efficiency of bamboo grove management plan in the Yoshino river, *Annual journal of hydraulic engineering*, Vol. 53, pp. 625-630, 2009.]
- 3) 田中規夫, 五十嵐善哉, 末永博: 令和元年東日本台風において荒川の熊谷砂礫州で発生した植生破壊と流木ダムの形成が最大水位と下流への流出ハイドログラフに与えた影響, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 76 巻, 第 1 号, pp. 243-252, 2020. [Tanaka, N., Igarashi, Y. and Suenaga, H.: Effects of the tree destruction and debris dam for mation at the gravel-bed bars in Kumagaya in the Arakawa river on maximum water depth and flood hydrograph at flood event due to Typhoon Hagibis, *Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol. 76, Issue 1, pp. 243-252, 2020.]
- 4) 長谷見優, 田中規夫: 洪水氾濫常襲地帯に発達した水塚に併設された『構え堀』の水除け機能についての水理実験, 土木学会論文集 B1 (水工学), 第 74 巻, 第 4 号, pp. I_1285-I_1290, 2018. [Hasemi, Y. and Tanaka, N.: Flume experiments on a flood guard moat, *Kamaebori*, around a protective mound and structure, *Mizuka*, in frequent flood occurrence area, *Journal of Japan Society of Civil Engineers Ser. B1 (Hydraulic Engineering)*, Vol. 74, Issue 4, pp. I_1285-I_1290, 2018.]
- 5) 福岡捷二, 成田一郎, 服部敦, 狩野晋一: 洪水時の高茎草本の挙動と粗度係数, 河川技術論文集, 第 11 巻, pp. 237-242, 2005. [Fukuoka, S., Narita, I., Hattori, A. and Karino, S.: *Altherbosa* behavior and roughness coefficient during flood, *Advances in River Engineering*, Vol. 11, pp. 237-242, 2005.]
- 6) 前野詩朗, 宮内洋介, 森卓也: 植生が旭川の洪水流に及ぼす影響の検討, 水工学論文集, 第 48 巻, pp. 757-762, 2004. [Maeno, S., Miyachi, Y. and Mori, T.: Effect of vegetation on flood flow in the Asahi river, *Annual journal of hydraulic engineering*, Vol. 48, pp. 757-762, 2004.]

(Received June 24, 2022)

NUMERICAL SIMULATION OF THE EFFECT OF VEGETATION MANAGEMENT ON THE RIVAERSIDE AND LANDSIDE AREA ON FLOOD FLOW IN NAGANOGAWA RIVER

Kosuke IIMURA, Erina IIZUKA and Hirokazu IKEDA

Due to the heavy rain caused by Typhoon Hagibis in 2019, the levee breach occurred in six locations along the Naganogawa River in Tochigi Prefecture. Among them, flood analysis was carried out to clarify the influence of vegetation management on the inundation flow at the Minagawa area where special support school was flooded. It was confirmed that by removing the vegetation in the riverside area, the overflow from the Naganogawa River bank was reduced, and the inundation flow from the Naganogawa River could be greatly reduced. On the other hand, the effect of reducing the flow velocity was confirmed for the vegetation in the landside area, but the reduction of the inundation depth was not confirmed.