

扇川における植生分布が洪水流に及ぼす影響に関する研究

指導教員 富永晃宏 教授

松浦 愛

1. はじめに

近年、ヒートアイランド現象が原因と考えられている局所的な集中豪雨（ゲリラ豪雨）が相次ぎ、都市型洪水が問題となっている。都市型洪水には主に3つの要因が考えられている。①都市化の進行とともに道路が整備されて流域の保水機能が低下②地下利用による「土地利用の高度化」による被害が増大③ヒートアイランド現象や地球温暖化が原因とされる集中豪雨の発生やその激化・頻度の増加である。この豪雨によって氾濫してしまう原因の1つに河道内の植生が影響していると考えられ、植生が河道の流路断面を狭め、粗度係数を増加させているためである。河道内の植生は、樹木と草本に大別され、既往研究において樹木は抵抗係数や密生度、草本は洪水時に撓むことを考慮された粗度係数が実験によってわかっており、洪水時における植生の影響を述べた研究は多いが、その大半の研究対象が1級河川である。本研究は、緑区を流れる2級河川扇川を対象としている。扇川の流域は1965年以降大規模な宅地化が進み、ほとんどは宅地化されており、保水機能が低下している。また1988年に分流化が完了して以降、水質は急激に改善されたが、その一方で晴天時の流量が減少したこと、ここ数年大規模な出水がなかったことから河道の植生の低水路占有率は高い。そこで、現地観察から得られた情報をもとに、植生配置や粗度係数、樹木高さを変化させて計算を行い、扇川の洪水時における植生の影響を調べた。

2. 現地観察による植生の分類

まず、扇川の植生状況を調べ、その状況を分類するために、順流域である大池から下流へ約7km区間を重点的に現地観察おこなった。下に示す表-1は現地撮影によって分類した植生の様子であり、地点は天白川合流点からの距離を示している。図-1は2016年8月に撮影した代表地点の写真である。観察により、植生の状況が大きく変化するのは橋を境にしていたため、区間は橋と橋の間を基準にした。

表-1 扇川（λ：樹木密生度）

分類	地点[km]	低水路内	
A	大池～末広橋	9.6～11.5	草本のみ
B	末広橋～通曲橋	9.0～9.6	草本 樹木 混在
C	通曲橋～平手2号橋	8.26～9.0	
D	平手2号橋～大清水橋	7.7～8.26	
E	大清水橋～新鴻仏目橋	7.3～7.7	
F	新鴻仏目橋～扇川歩道橋	6.3～7.3	
G	扇川歩道橋～焼田橋	5.3～6.3	樹木のみ
H	焼田橋～河口	0～5.3	感潮域

◆植生分類A) 樹木はほとんどなく、高茎草本が密生している。草本高は護岸高と同程度。水位が10cm未満で、低水路を覆う形や、兩岸あるいは片側、右岸と左岸交互に植生帯を形成しており、落差工と護床付近、あるいは雨水吐付近でのみ滞筋が確認できない区間も存在する。この区間はほぼ一直の水路で、水衝部がない。低水路全体が草本に覆われた区間では、倒伏した草本が蛇行流路のようになっており、過去の小規模な出水に起因したものと考えられる。

◆植生分類B) 末広橋から約10m下流にいった雨水吐付近にある根固工から樹木が確認でき、樹木は下流に向かうほど天端高と同程度になる。末広橋から約200m下流は神沢池を源頭とし、要池を経て扇川と合流する神沢川の合流点である。2009年11月における水質データ¹⁾によると、大池と比較して神沢池と要池は共に水質が良好であるため、流入する神沢川による植生の影響はないと考えられる。区間Aと同様、通曲橋約100m上流まで水路はほぼ一直線であり、洪水などによる自然的攪乱、樹木伐採による人為的攪乱がなかったため、草本地帯が河道に固定化し、樹林化が進んだ。樹木と草本が混在しているが、植生配置はAの区間と同様の形態である。

◆植生分類C) Bの区間と同様、草本と樹木が混在しているが、植生高はともに護岸高の半分ほどまで低くなった。植生の配置は、片岸に植生帯が偏るものと、根固工に堆積した土砂が中洲を形成し、草本化が始まっている形態が存在する。

◆植生分類D) 草本と樹木が混在しているが、Cの区間よりも樹木が密生しておらず、草本帯に点在している。植生帯は右岸左岸に交互に現れる形や、右岸や左岸に偏る形態が多い。草本高は護岸の1/3程度で、樹木高は護岸と同じ高さのものが多い。

◆植生分類E) 区間Dよりもさらに樹木の密生度が小さくなったものの、ツタ類が草本帯に含まれることで草本帯の密生度が高くなっている。植生帯が低水路を占める面積は下流へ向かうほどに低くなり、新鴻仏目橋から上流へ約40m上がったところから、兩岸の植生帯は無くなり、河道内に沈水植物が広がっている。

◆植生分類F) 河道内に陸地があり、それぞれが草本化している状態。樹木もあるが、すべて新鴻仏目～砂田人道橋区間に生えており、上流側に右岸2本と中流左岸に1本、下流河川中央に1本生えていた。下流に向かうほど滞筋が直線的になり、植生帯の幅も狭まっていく。

◆植生分類G) 区間Cにある植生のほとんどが樹木である。植生帯の配置は上流側で左岸右岸交互、下流に向かう両



図-1 植生の分類

表-2 計算対象区間

区間	区間 [km]	植生分布	草本による粗度係数 n^2	流量 Q [m ³ /s]	
①	9.6~9.8	A	草本	61	
②	9.3~9.5	B		0.060	111
③	8.8~9.0	B,C		0.045	86
④	8.5~8.7	C		0.035	86
⑤	7.4~7.6	E		0.060	130
⑥	7.0~7.2	F		0.045	142
⑦	5.5~5.7	G	樹木	257	

岸に沿うような形態に変化する。上流側において樹木高は天端高に達するものや、高さ 1m にも満たないものと様々だが、下流へ行くほどに天端高の半分ほどで安定している。

◆植生分類H) 焼田橋から下流に 10m ほど向かったところから樹木が無くなり、兩岸の蛇籠からの草本が生えており、下流に行くほど感潮域近づくため草本もなくなる。

3. 計算設定

まず、設計書と住宅地図、Googlemap から扇川の兩岸の緯度経度を 100m ごとに抽出した。表-2 は、現地観察によって分類した各区間において、設計書にある横断面のデータが明確な区間 200m とその区間における草本高さによるたわみ状態での粗度係数²⁾ と、計画高水位における流量 Q_H [m³/s] を等流計算 (式 3.1) から導いたものである。

$$Q_H = Av = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (3.1)$$

A: 横断面積, v: 平均流速, n: 粗度係数, R: 径深, I: 勾配とする。設定流量は Q [m³/s] の 8 割とし、シミュレーションソフト iRIC の 2 次元計算ソルバー Nays2DH を用いて水位を計算した。

◆区間①~⑥における計算設定) 現地観察の結果から、区間①~⑥では、様々な形状で土砂が堆積していたため、扇川の流下能力は高茎草本だけでなく、土砂堆積による河積縮小によるものも考えられる。調査の結果、堆積高さは区間①~⑥において約 50cm だったため、代表的な堆積形状を 3 パターンにモデル化し、堆積した土砂上に植生があるものとして計算した。(図-2 参照) 図-2 において、植生部の幅は rI で低水路の 1/4, s で低水路幅の 1/2 としている。このモデルを区間における上流側 100m のみに設定し、初めに土砂堆積による河積の縮小が下流側に与える影響をみるために、土砂堆積のみを想定した場合(河道内粗度係数一律 0.03) における流下能力をみる。さらに、計画高水位を越えなかったパターンに対して土砂堆積部分に洪水時倒伏した草本による粗度係数を設定し、水位の変化をみた。なお、河道内に確認できた樹木だが、区間 A~F において 2016 年 12 月までに全て伐採されたことから、区間①~⑥では粗度係数のみを設定した。

◆区間⑦における計算設定) 区間⑦では、土砂堆積形状が図-3.1 における rI で低水路幅の 1/5, 堆積高さは 1m, 密度度 $\lambda = 0.03$ とし、樹木高さを 2m, 3m, 4.8m, 6m の 4 パターン設定して計算した。区間①~⑥における計算設定同様、上流側 100m のみに設定し、土砂堆積による河積縮小の影響と植生の有無における水位の変化をみた。



図-2 植生配置モデル

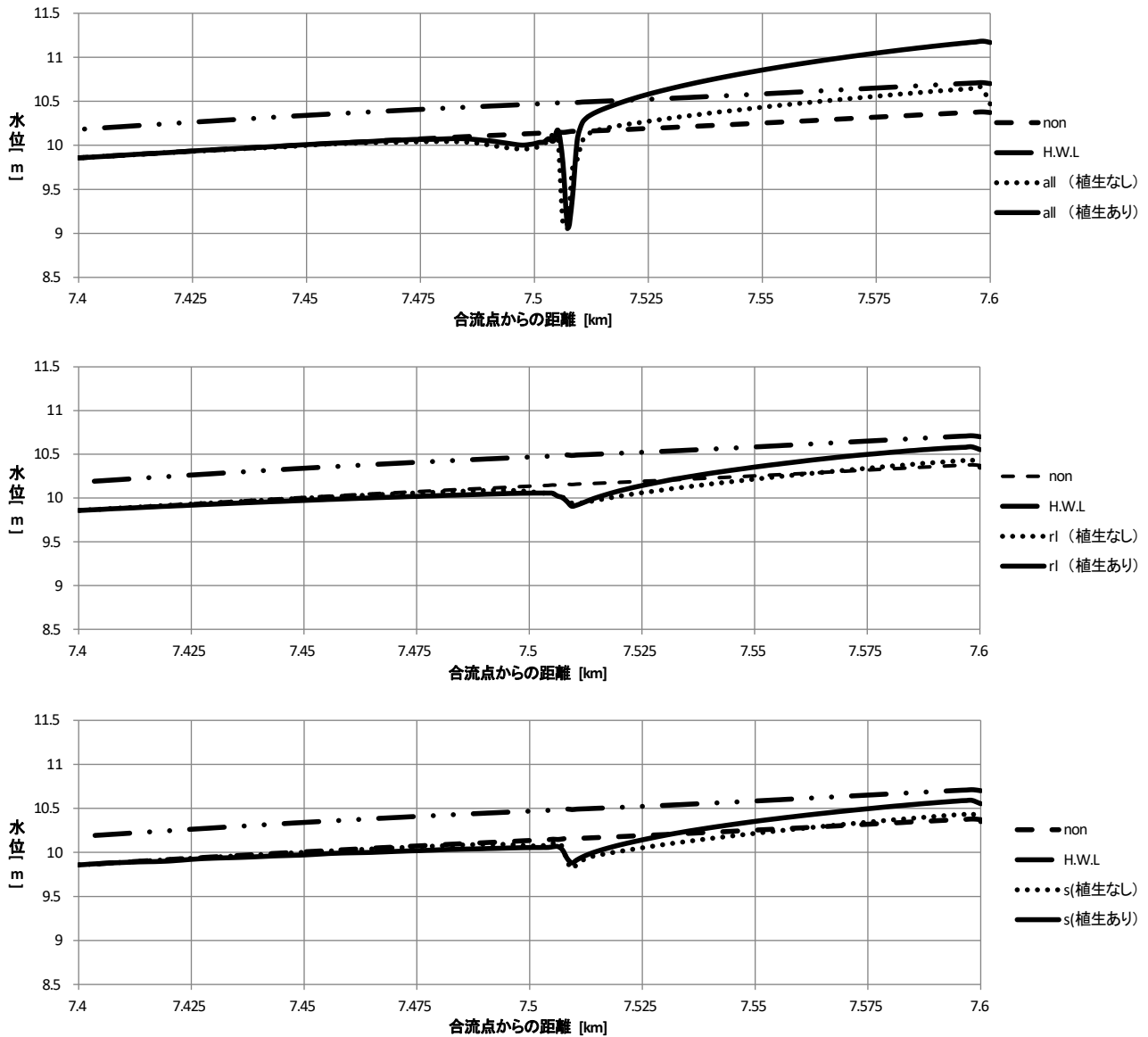


図-3 区間⑤における水位変化

4. 計算結果と考察

◆**水位変化**) 図-3 は区間⑤における水位変化を示したものである。低水路の全域において断面積が縮小している all では植生がない場合すでに H.W.L の水位を超えている。また上流側 100m から断面積が変化する前後では、低水路の両岸で断面積が縮小している ri と低水路の片側の岸から中央にかけて断面積が縮小している s で、土砂が堆積していない状態の non (初期河川) よりも水位が低くなっている区間があり、これは低下背水の影響だと考えられる。また、植生分布によって上流側における水位勾配が異なることがわかる。

◆**最大水位と初期河川との水位差**) 図-4 は、各区間における最大水位と初期河川との水位差を示したものである。区間③は植生粗度が区間の中で 2 番目に小さい $n=0.045$ で、流路勾配が 1/300 で、勾配が高いため、植生分布による水位差に違いは現れなかった。また、植生分布に関わらず、植生粗度の一番小さい区間④では最大水位と初期

河川との水位差が相対的に値が小さくなった。また他の区間において植生粗度の大小に関わらず、ri と s の差は小さいのがわかる。図-5 は、この水位差において植生がどれくらいの影響をもつのかをみるため、植生がある場合の水位差を植生がない場合の水位差で除したものである。このことから、植生の有無は最大水位と初期河川との水位差に大きく影響しないことがわかった。

◆**1m あたりにおける水位勾配**) 図-6 と図-7 は、上流側 10m 区間における水位差から、その区間における水位勾配をみたものである。図-6 において、non と H.W.L は区間①、②で差はなく、区間③~⑥にかけて減少している。区間②、③、④は流路勾配が 1/300 で等しいが、植生分布に関係なく、区間③→②→④の順で増加する。これは、non における横断面積から、土砂堆積によって喪失した断面積を引いた面積 (有効断面積) の大きい順に並べたものと一致する。また流路勾配が 1/400 の区間⑤、⑥も同様の傾向があった。また、図-7 において、植生粗度の小

さい区間③, ④, ⑥では, r_l と s に差はなかったが, その他の区間においてはどれも $r_l < s$ であった. $n=0.06$ の区間①, ②, ⑤では下流へ行くほど r_l と s の値は増加するが, all は区間①, ⑤, ②の順で増加し, これは有効断面積を初期河川における断面積で除したものを昇順にした場合と一致する. 図-8 は, この水位勾配において植生の影響をみるため, 植生がある場合の水位勾配を植生がない場合の水位勾配で除したものである. all では植生粗度の影響が大きく反映されるため, 最大で約 2 倍となっているが, 一方で, r_l と s は全区間において s のほうが r_l に比べ植生の影響を受けている. また, 下流に行くほど r_l と s の差は徐々に小さくなっていく傾向がある. また, 全区間において all は植生によって勾配が大きくなっているが, r_l では区間⑥のみ, s では区間⑤以外の 5 区間で植生ありのほうが勾配が小さくなった.

◆上流側における横断面平均合成流速 図-9, 10 は流下方向 10m における横断面の平均合成流速を示したものである. 図-9 により, 粗度係数が統一されている場合, 横断面の縮小部位で平均合成流速に違いはあられず, 区間②においてどの植生分布においても最大値をとっているのがわかる. 図-10 において, 比較的植生粗度の小さい区間③, ④, ⑥では植生の分布による違いも小さく, 他の区間では, $all < r_l < s$ となっていた. $n=0.06$ の区間①, ②, ⑤では, どの植生分布においても区間①, ⑤, ②の順で増加し, これは水位勾配における傾向と同様である. また, $n=0.045$ である区間③, ⑥も同様の傾向がある. 図-11 はこの合成流速において植生がどれくらい影響を持つのかをみるため, 植生がある場合の横断面平均合成流速を, 植生がない場合の横断面平均合成流速で除したものである. $n=0.06$ である区間①, ②, ⑤では, 下流に行くほど all と r_l は減少傾向であるが, 一方 s は区間②で最大値となり, 区間①と⑤ではほぼ同じ値である. $n=0.045$ である区間③と⑥では, 下流に行くほどどの植生分布においても値は減少する.

5. まとめ

現地観察より, 扇川の植生分布はおおよそ横断面の形状とともに変化している. 現況の扇川に堆積している土砂の高さをもとに断面積を縮小し, 草本高さと計画水位の関係から当てはめた粗度係数を設定した場合, 流量が計画高水位時における流量 Q_H の 8 割でも計画高水位を超えたり, 漸近する植生分布があることがわかった. 植生は特に水位勾配に影響しており, 片岸に土砂が堆積し植生がある場合が, 両岸に土砂堆積し植生がある場合よりも水位勾配が大きくなり, かつ植生の影響も受けやすいことがわかった.

参考文献

- 1) 狩野晋一, 森吉尚: 高茎草本の洪水時の挙動
- 2) 名古屋市環境局地域環境対策課 / [編]: 市内河川・ため池・名古屋港の水質の変遷 [2016 年]

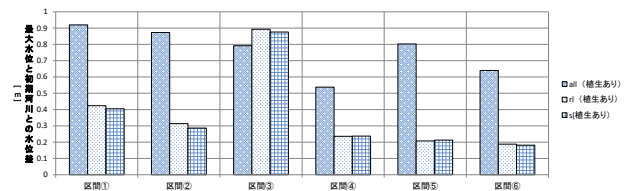


図-4 最大水位と初期河川との水位差

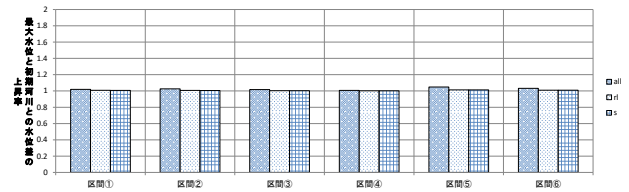


図-5 水位差の上昇率

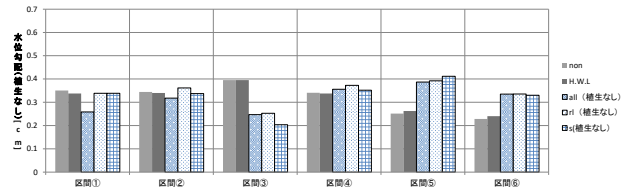


図-6 水位勾配 (植生なし)

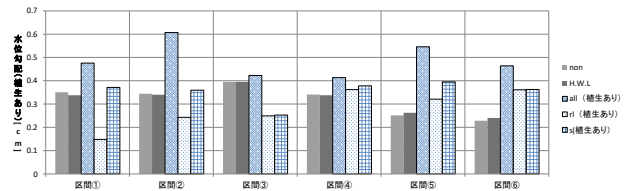


図-7 水位勾配 (植生あり)

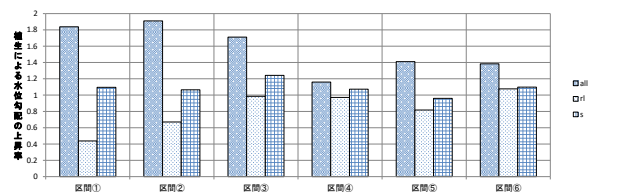


図-8 植生による水位勾配の上昇率

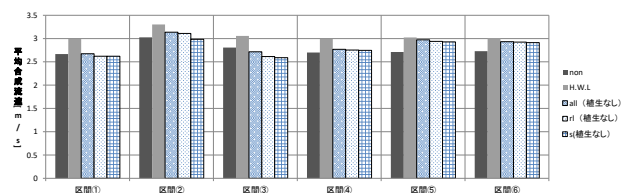


図-9 平均合成流速 (植生なし)

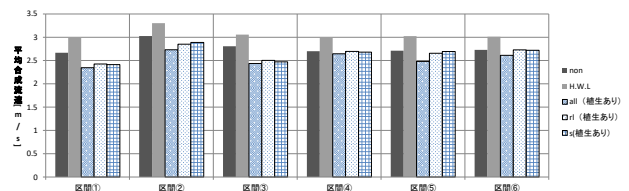


図-10 平均合成流速 (植生あり)

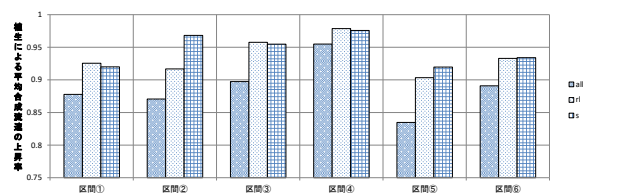


図-11 植生による平均合成流速の上昇率