余笹川における大規模災害復旧工事後の 河道の変化

RIVER CHANNEL CHANGE
AFTER THE LARGE-SCALE RIVER IMPROVEMENT IN THE YOSASA RIVER

和田 健一1・山本 晃一2 Kenichi WADA and Kouichi YAMAMOTO

¹正会員 工修 応用地質株式会社エンジニアリング本部 (〒331-8688 埼玉県さいたま市北区土呂町2-61-5) ²フェロー会員 工博 財団法人 河川環境管理財団 河川環境総合研究所 (〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9)

In the yosasa river, that a flood occurred by a heavy rain in the August, 1998, the large-scale improvement was performed. The authors observed the changes of the topography of the river-bed to examine a response by the impact of the construction.

As a result, I confirmed the following: 1) Sands and gravels began to flow from the river-bed, then accumulated in the wide place of the river and in the inside of the bend. 2) In several places, the gravels of the river-bed disappeared, and bedrock cropped out. 3) A plant grew in the place that water did not flow through, and the landscape of the river changed. 4) The change of the topography of the river-bed is slowly, because the amount of gravels and sands flowing from the upper basin is little.

Key Words: yosasa river, river improvement works, excavation, river channel change, diameter of population break, critical tractive force

1. はじめに

1998 (平成10) 年8月末、栃木県北部は豪雨に見舞われ、那珂川支川余笹川・黒川では大災害となった。余笹川では延長16kmにわたり大規模な災害復旧工事が行われ、2000 (平成12) 年度に完成した。この災害復旧工事により余笹川の川幅は1.5~2倍に拡幅され、河岸に岩盤が露出している箇所を除き護岸が設置された。復旧工事中は河川環境変化のモニタリングとその評価¹⁾が行われたが、黒川の改良復旧事業の終了時点(2003(平成15)年1月)で終了した。工事終了時点において、大規模な災害復旧工事による人為的なインパクトに対して河道内の地形や河川環境の応答が平衡に達したとは思えず、簡易な方法ではあるが年に1~2回、目視と写真撮影によるモニタリングを継続してきた²⁾。中小河川における改修後の河道変化を記録・分析した例は少なく、今後の災害復旧計画や改修計画に資することを目的としたものである。

本報告では、モニタリングを行った余笹川、黒川、四ツ川のうち、余笹川 (那珂川合流点から16km) を対象と

した. はじめに、小セグメントごとに縦断方向の河道特性を分析し、平均年最大流量および災害復旧後の最大洪水 (2002 (平成14) 年7月洪水) 時の流量に対する粒径集団ごとの掃流力を求め、粒径集団ごとの移動の可能性を評価した. 次に、大規模河道改変後の約10年間 (2009 (平成21) 年5月まで) の特徴的な河道の変化を示した.

2. 対象河川および災害復旧工事の概要

余笹川は、朝日岳に源を発し、那須火山麓、高久丘陵を開析して流下し、那珂川に合流する流域面積343.5km²、幹川流路延長37.2kmの河川である。余笹川には那珂川合流点から3.6km地点において黒川(流域面積189.2km²)、7.9kmにおいて棒川(流域面積13.6km²)、16.1kmにおいて四ツ川(流域面積19.7km²)が合流する。

1998 (平成10) 年8月洪水前の余笹川の治水事業は, 災害復旧事業や局部的な河川整備が実施されてきたが, 一定計画に基づく一連の河川改修は実施されていなかった. 災害復旧工事は、余笹川3年、黒川5年、四ツ川4年で 実施された¹⁾.

3. 余笹川の河道特性

(1) 平面形状・縦断形状と小セグメント区分

余笹川沿いの地形と河道の平面形状について概説する。 余笹川の最上流部は、火山崩壊性の広く深い浸食域になっている。その下流の山麓部は、侵食抵抗の小さい火 山性の堆積物が分布しているため、流水により深く狭い 侵食谷が形成されている。この間を経て、河床勾配が 1/30程度となると周囲は丘陵となり、勾配1/70程度となる20km付近からは谷底平野となる。沖積谷は下刻傾向に あり、3~4段の河岸段丘が形成されている。20km付近から下流の沖積谷の幅は200~800mで、周囲の山地、丘陵 の山脚が余笹川に近接している。

次に、河川の縦断形状と平面形状の特徴を小セグメントごとに整理した。被災前の情報は少なく、1996(平成8)年撮影の空中写真と被災後の最深河床高を基にした。災害復旧区間である余笹川の0~16kmは、河床勾配、平面形状の特徴から3つの小セグメントに区分できる。

なお,本報告では,余笹川の河道特性を分析するために,河床材料および流送材料の粒径集団³⁾を便宜的に以下のように区分した。

シルト・粘土集団

砂集団 (0.2~2mm, 平均0.6mm)

小礫集団 (0.2~2cm, 平均0.6cm)

中礫集団 (2~8cm, 平均5cm)

大礫集団 (8~30cm, 平均19cm)

巨礫集団 (30~100cm, 平均65cm)

巨大礫集団 (100~400cm)

a) セグメント 余1-① 16.0~11.5km

本区間は、上流端を四ツ川合流点とする長さ4.5kmの小セグメントである。河道の平面形状は、沖積谷平面形状に規定された不規則な蛇行形態となっている。被災前の川幅Bは20~30m程度である。河道内には砂州は存在しないか、あっても不明瞭であり、波長Ls=280m、Ls/B=11.2である。11.8~11.0kmの区間は、中島を伴う二派となって流れていた。河道の屈曲が砂州長に対応している区間もあるが、ほとんど川幅の10~15倍より長い波長を持つもので、沖積谷の平面形に規定された平面形状となっている。

河床表面には巨礫が散在し、河床勾配は1/100程度である.

b) セグメント 余1-2 11.5~3.6km

本区間は、上流端を余笹川が右岸の段丘に突き当たる地点、下流端を黒川合流点とする長さ7.9kmの小セグメントである。沖積谷幅は150~200mであり、余笹川はその中を蛇行長1,500m程度で蛇行して流れている。蛇

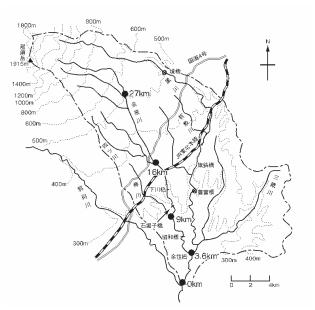


図-1 余笹川の流域図

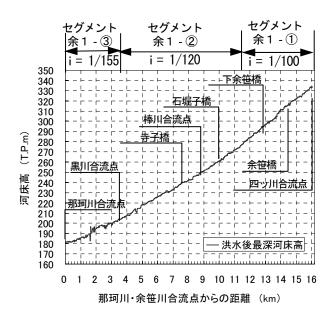


図-2 余笹川の改修前の河床高

行度Sを(流路長)/(谷中心線長)とすると、S=1.1程度で大きなものではない.流路が丘陵に寄ったところでは、更新世の岩屑なだれ堆積物が側岸に露出している.被災前の川幅は、20~30m程度である.蛇行長は川幅の30~40倍であり、この川幅が大蛇行を規定しているとは言えない.不明瞭な砂州がわずかに存在する区間がある.その波長Lsは150~200mであり、一般的な交互砂州の波長である.大波長は、1998(平成10)年の災害後の河道幅および沖積谷の平面形状と調和的である.

河床には,巨礫,巨大礫が散在し,河床勾配は1/120 程度である.

c) セグメント 余1-3 3.6~0 km

本区間は、上流端を黒川合流点とし、下流端を那珂川 との合流点とする長さ3.6kmの区間である。本区間の平 面形状は、黒川からの河川流量の増大があるにもかかわらず、上流の小セグメント(余1-②)に比べ蛇行波長が短く、蛇行度が大きい、特に、0.5~2.0kmの区間において顕著である。この区間は沖積河道とは言えず、堆積岩に貫入した花崗岩を下刻して流れる穿入河道となっている。この区間の河道幅は、30~50mである。蛇行波長は400~500mで、川幅の10~15倍である。川幅と蛇行長の関係は沖積河川とほぼ等しい。2.0~3.6km区間の蛇行波長は1,000mであり、川幅40mの10~15倍より長く、この川幅が蛇行を規定したものではない。

2.0~2.7km区間は、砂州長Ls=350m程度の交互砂州が 形成されている.Ls/B=9程度である.砂州の配置形態と 河道の蛇行は対応していない.蛇行長は1988 (平成10) 年の被災後の川幅100m程度の10倍である.

3.0~3.6kmの河床表面には、巨礫、巨大礫が散在している.

この区間の河床勾配は、1/155程度である.

(2) 河床材料と河岸・河床の地質

余笹川の河岸・河床の地質^{4),5}は、地形を反映して複雑に変化する. 黒川の東に分布する八溝山地の地質は、中世代に堆積した砂岩と粘板岩の互層を主体とし、所々で花崗岩の貫入が見られる. その西側に広がる高久丘陵は、那須火山を起源とする火山角礫岩、岩屑なだれ堆積物とその上に堆積する火山灰層からなる。また、これらの下位には、丘陵地のほぼ全域にわたって溶結凝灰岩が分布している.

検討対象区間における余笹川の河床材料は、上流の山 麓および河床を侵食して運搬されたものと河岸の沖積谷 壁を侵食し供給されたものである。また、一部の区間で は河床および河岸に基岩が露出している。

図-3には、2000(平成12)年1月に線格子法で求めた河床材料の粒径分布を示す。調査時点は災害復旧工事中であるが、工事による撹乱を受けていない地点で調査した。表層材料は、ほぼ粒径2cm以上の礫からなり、2~8 cmのものが10~14%、8~30cmのものが50~70%、30~100cmのものが0~20%であり、10~30cmの大礫が目立つ、洪水後の余笹川の表層材料のA′集団は大礫集団、A″集団は中礫集団、C集団は巨礫および巨大礫集団とみなせる。

巨礫および巨大礫は、角の磨耗度が小さく角張っており、河川の流水によって運ばれてきたものではない、侵食崖の岩屑なだれ堆積物に含まれる巨礫、巨大礫が川に落ちたもの、あるいは下刻中に露出したものと考えられる。余笹川の河床表層材料の巨礫、巨大礫は、沖積谷形成期に残されたchannel lag deposit と考えられる.

(3) 川幅

被災前,被災後,改修後の川幅の縦断方向変化を図-4 に示す.被災前の河道横断図が無いので,ここでは以下

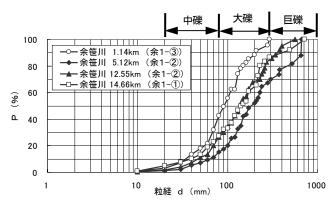


図-3 表層材料の粒度分布

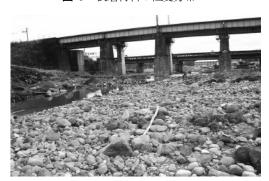


写真-1 復旧工事前の表層材料の状況 (余笹川14.66km, 2000 (平成12) 年1月)

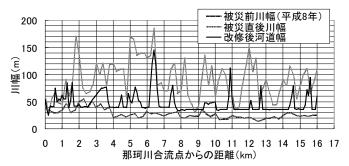


図-4 被災前・被災後・復旧工事後の川幅

の方法で、川幅を求めた.

被災前:1996(平成8)年撮影の航空写真より,両 岸に樹木が繁茂する河畔林ライン,護岸ラ インの距離

被災後:河岸が侵食された部分を含む河道幅

改修後:護岸の法尻間の距離

改修後の川幅は、被災前の川幅の1.5~2倍になった.

(4) 水深と掃流力

前述の河道特性量を用いて、余笹川の小セグメントご とに平均年最大流量時の平均的な水深と掃流力を算出し、 表-1に示した.

余笹川流域では、14.69km地点(中余笹橋観測所) および3.55km地点(稲沢睦橋観測所)で水位観測が行われ、水位流量曲線により流量が評価されるようになった.3.55km地点の7年間の平均年最大流量は225m³/sであり、

表-1 余笹川の河道特性量(復旧前河道)

セグメント	$\frac{Qm}{(m^3/s)}$	I_b	B (m)	φ	H (m)	u_*^2 (cm^2/s^2)	τ *5	T *19 #)	τ *65
余1-①	190	1/100	25	9	1.87	1829	0.1870	0.0560	0.017
余1-②	190	1/120	25	9	2.09	1706	0.1760	0.0530	0.016
余1-③	440	1/155	40	10	2.65	1695	0.1740	0.0525	0.016

#) それぞれ粒径5cm, 19cm, 65cmに対する無次元掃流力

14.69km地点の欠測を除く5年間の平均年最大流量は119m 3 /sであった 6 .

観測年数が少なく、余笹川の平均年最大流量を的確に評価できないので、ここでは、東北地方の河川の比流量と流域面積の関係図 7 を用いて、クリーガーのCを7として推定した。この方法で求めた平均年最大流量は、0km 地点で440m 3 /s、3.7km地点で190m 3 /s、9km地点で170m 3 /s となる。水深は、上流のセグメントから1.87m, 2.09m, 2.65mとなる。河岸満杯時の u_* 2 は、セグメント余1-①で1,827cm 2 /s 2 、セグメント余1-②で1,706cm 2 /s 2 、セグメント余1-③で1,695cm 2 /s 2 である。

平均年最大流量程度の洪水に対して,大礫集団(A'集団、平均19cm)は移動限界に近い掃流状態(τ_{*19} = 0.055~0.053),巨礫集団(C集団、平均65cm)は動かない状態(τ_{*65} =0.017~0.016)であるが,大礫集団中に孤立・散在した形で存置すれば移動する.巨大礫集団は動かない状態である.

余笹川の河道の河積および川幅を決めている代表粒径 d_R は、大礫集団と中礫集団の混在物であり、15cm程度であろう。河岸満杯流量時の代表粒径に対する無次元掃流力 τ_{*al} は0.072程度になる。中礫集団(平均5cm)に対する河岸満杯流量時の無次元掃流力 τ_{*5} は0.22~0.145であり、中礫集団は河床の代表粒径であるといえない。

大礫および巨礫はみお筋部に存在し、アーマコートを 形成して河床低下を防いでいる.

4. 災害復旧工事後の河道の変化

(1) 災害復旧後の降雨・出水状況

2001 (平成13) 年以降,降雨あたり総雨量が最も多かったのは2002 (平成14) 年7月洪水であり,那須観測所での総雨量が223mm,1時間最大雨量が18mmであった.

工事完成後の最大流量は2002 (平成14) 年7月の出水において発生し、余笹川流域の水位観測所での記録⁷によるとピーク流量が計画流量の60%弱であった。表-2に2002 (平成14) 年7月洪水におけるピーク時の水深(計画河床高からの平均水深),川幅、河床勾配およびマニングの粗度係数0.035として評価した推定流量、河床に働いた掃流力の評価結果を示す。この洪水の最大流量は平均年最大流量の2倍弱であった。中礫集団(5cm)は活発に移動する掃流力、大礫集団(19cm)は集合しなければ移動する掃流力、巨礫集団(65cm)は孤立すれば移動

表-2 2000 (平成14) 年7月洪水のピーク時推定流量, 掃流力

距離 (km)	地点名	流量Q ^{#1)} (m ³ /s)	水深 H (m)	u_*^2 (cm^2/s^2)	τ _{*5} ^{#2)}	T *19 #2)	τ _{*65} ^{#2)}
0.3	川田橋	459	2.3	1060	0.11	0.033	0.010
1.8	牛舎跡	459	1.9	1210	0.12	0.036	0.011
2.6	大戸橋上流	459	1.8	1190	0.12	0.036	0.010
6.3	協和橋上流	377	1.1	880	0.09	0.027	0.008
7.7	寺子橋	377	1.8	1170	0.12	0.036	0.011
10.0	石堀子橋	377	1.3	1220	0.13	0.038	0.012
10.9	下川橋下流	377	1.2	1370	0.14	0.074	0.013
12.9	下余笹橋	328	1.4	1800	0.19	0.056	0.017
13.4	公園下流	328	1.4	1710	0.18	0.053	0.016

^{#1) 2000(}平成14)年7月洪水の推定ピーク流量

限界に近い掃流力であったと評価される。

(2) 河道地形および景観の変化

河道地形および景観の変化は、図-5に示す定点(橋梁地点)において、定点からの河道形状および河道景観(植生)の変化を写真撮影により記録し、災害復旧工事後の河道の応答を把握した。

一例として、余笹川12.8km(下余笹橋下流側)の河道 形状・景観の変化を写真-2に示す。余笹川12.8kmは、河 床勾配約1/80の直線河道部である。災害復旧では、川幅 が20m程度から35mに拡げられ、両岸に護岸が設置された。 護岸の基礎は寄石で防護した。この区間の災害復旧工事 は、2001年(平成13)2月に完成した。

竣工後間もない2001 (平成13) 年8月の洪水では,左 岸側に中礫が堆積し,みお筋が右岸側に寄っている.そ の後,左岸側に形成された砂州は,2002 (平成14) 年11 月には早瀬に変化し,2008 (平成20) 年には本流 (右岸側) と副流 (左岸側) が形成され,これを分ける形で中州状に砂州の一部が固定化しつつある.1998 (平成10) 年洪水後に架け替えられた下余笹橋は,低水路中央に橋脚があり,中州状の砂州は橋脚の下流側に形成されたものである.みお部分の河床は低下傾向にあり,所々,基盤が露出している.

竣工後約6ヶ月が経過した2001 (平成13) 年8月の時 点で、寄石上には草本が見られる。また、2001 (平成 13) 年8月洪水で形成された左岸側の砂州には翌年6月 には草本が芽生えている。その後、2008 (平成20) 年に は、寄石や砂州にツルヨシやヤナギ類が繁茂している。

護岸基礎の侵食防止のために寄石が設置されているが、下余笹橋の直下流50m程度の区間(左岸側)では、2001 (平成13)年8月洪水によって寄石が崩れた形跡が見られる.洪水中に寄石前面の河床が侵食されて寄石が崩れ、洪水後期に中礫が堆積したものと考えられる.護岸の変状は認められないが、橋脚などによる局所的な流れの影響を考慮した設置方法を検討する必要があることを示唆していよう.

また、竣工時に河床に置かれた巨礫は砂州の形成などにより埋没したものがあるが、ほとんど移動していない.

^{#2)} それぞれ粒径5cm, 19cm, 65cmに対する無次元掃流力

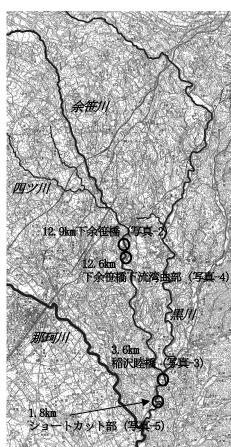


図-5 河道形状変化の調査位置



12.9km (下余笹橋) 付近の平面図



a) 平成13年(2001)8月20日(台風前)



b) 平成13年(2001)8月24日(台風後)



c) 平成20年(2008)6月11日 写真-2 余笹川12.9km (下余笹橋下流側) の河道・景観の変化



写真-3 露岩の状況 (余笹川 3.6km (稲沢睦橋下流)) (2002 (H14) 年11月28日)



写真-4 湾曲部内湾側の侵食地形 (余笹川 12.6km (下余笹橋下流) (2001 (H13) 年11月9日)

(3) 2002年7月洪水による河床の侵食と土砂の堆積状況

2002 (平成14) 年7月洪水後の現地調査によれば、改 修後のみお筋部(平水時の水面下の部分)は全般的に河 床が低下する傾向が認められる. 目視の観察では、直径 50~100 c m以上の巨礫および巨大礫は移動していない が、それ以下のものは移動している. 基盤の浅い地点で は基岩が露出している箇所が見られる. 例として稲沢睦 橋下流(3.5km地点)の状況を写真-3示す. 河床の未 固結堆積物はほとんど流出し、地山に溝状に侵食痕が形 成されている.

一方で、次のような場所では土砂の堆積や侵食が見ら れた.

- a) 川幅の急拡部
- b) 橋脚の背後
- c) 湾曲部の内湾側

これらの場所はいずれも流速が低下する場所であり、 上流で侵食移動してきた中礫および大礫が堆積した.

d) 曲がり角度の大きい蛇行部(砂州の形成と内湾側の 侵食)

改修工事により被災前の河道に比べ川幅が1.5~2倍 程度拡幅されたため、曲がり角度が大きい蛇行部では 内湾側の土砂の堆積(固定砂州の形成)が見られるが、 砂州の内湾側上流部の護岸沿いに溝状の侵食地形が見 られる場合が多かった. 12.6km (下川橋下流) の様子 を写真-4に示す.

これは、湾曲部で川幅が上下流より広く、改修後の 時間経過が数なく湾曲部の砂州の形成が未発達で河床 が平坦に近いこともあり、湾曲部流入点から湾曲前半 部は自由渦により内湾側の流速が早くなること、さら に川幅一杯に流水が流れると湾曲部の前半部では外湾 側より内湾側の水面勾配が急となることによる.

e) ショートカット部 (河床の侵食と旧流路の閉塞)

1.8km地点付近では、穿入蛇行していた河道を直線 化し, 平水時には流水が旧流路を流れ, 洪水時には



写真-5 ショートカット部における風化花崗岩の侵食状況 (余笹川 1.8km, 2002 (H14) 年7月洪水後)

ショートカット部を流れるように改修された.

2001 (平成13) 年8月の出水時にはショートカット部に流水が流れ、写真-5のように河床の風化花崗岩の一部が溝状に侵食された。また、旧河道部の入口部分に多量の石礫が堆積したため、平水時においても流水の一部がショートカット部を流れるようになった。

2002年(平成14)7月洪水により、河道内の植生は多少残ったが、この洪水以前に侵入した草本類の大部分が破壊された。澪筋部からは大礫・中礫集団が抜けだし、巨礫および巨大礫が残り、抜け出した中礫・大礫は湾曲部および川幅の広い所に砂州状に堆積した。この洪水によって形成された河道地形は、その後の河川景観変化の土台となり、地形の基本形状はそのまま存置された。2009年(平成21)5月時点において、みお筋以外(平水時水面以下のところ)は植生が侵入した。風景は変化したが、河道形状は基本的に変わっていない。

5. おわりに

余笹川において、大規模な災害復旧後の河道形状の変 化を約10年間モニタリングした結果を基に、河道特性と 河道変化の応答性を分析した.

災害復旧工事により、川幅が被災前に比べて1.5~2倍程度拡大された.このため、土砂の堆積による川幅の縮小が予想された.実際、2009年(平成21)5月時点において、河床高が相対的に高い所、河岸付近および湾曲部内湾側に草本類やヤナギ類の進入が見られ、裸地の面積がほとんどなくなっている.平水時に水面下とならない所は植生に覆われ、細粒土砂が堆積している.ただし、植生生育部における細粒土砂の堆積量は多くなく、10cm以下であった.堆積が進まなかったのは、改修区間上流の流路工化、上流砂防ダムの設置、河床部の堆積土砂層が薄く基岩が露出したことにより、上流からの中礫供給量が少ないことに加え、改修区間の勾配が急であるため、砂やシルトの堆積が進まなかったことが理由である.

流路部(平水時の水面幅にほぼ等しい)はアーマ化が進み、大礫・巨礫が目立つ。河床から抜け出した中礫以下の礫は、川幅の広い湾曲部や河岸よりの河床の高い所に堆積し、河岸化の進行を助長したが、その量は少なく顕著な砂州の形成を見なかった。

今後、流路部の河床は低下傾向にあると判断されるが、 アーマ化と基岩の露出により、100年単位の時間では河 床低下は大きくないと考えられる.

河道は侵食傾向にあり、直線河道部での顕著な砂州の 形成はあまり望めない、瀬と淵が規則的に発生する可能 性は少ないが、大礫・巨礫が集中し、早瀬が形成される ことは期待できる。一方、湾曲部および河道拡幅部には 固定砂州が形成されており、淵や早瀬が形成されつつあ る

巨大礫は移動せず、巨礫の移動も少なく、周辺に淵や よどみを形成し、多様な河川環境が生じ、河川景観のポイントになると思われる。

現在,河岸沿いに植生域になっている所は,徐々に土砂の堆積が進み,河道内にテラス状の地形が形成される可能性があるが,前述のように,土砂の供給量が減少しているので,その進行速度は遅いと考えられる.河岸沿いの水制や寄石には砂が堆積し,ヤナギ類が侵入しているので,成長に伴い樹林化していくと考えられる.

謝辞:本研究に際し、余笹川の水位・流量データを栃木 県土木部河川課から提供いただいた。ここに記して謝意 を表します。

参考文献

- 1) 栃木県余笹川流域河川改修事務所:安全で緑豊かな川を目指 して~平成10年8月末豪雨 余笹川流域河川災害復旧事業の記 録~, 2003.
- 2) 山本晃一,和田健一:大規模災害復旧工事後の河道・環境特性の変化-余笹川の事例-,河川環境総合研究所資料第27号,2009
- 3) 山本晃一:構造沖積河川学, pp. 54-80, 2004.
- 4) 国土庁土地局国土調査課:土地分類図(栃木県),昭和49年 復刻版,日本地図センター,2001.
- 5) 国土庁土地局国土調査課:土地分類図(福島県),昭和49年 復刻版,日本地図センター,2001.
- 6) 山元孝広:1/20万「白河」図副 地域の第四紀火山,層序及び放射年代値に関する新知見,地質調査研究報告,第57巻,第1/2号,pp.17-28,2006.
- 7) 栃木県:水位流量表(提供資料)
- 8) 山本晃一: 気候・地形・地質が河道特性に及ぼす影響に関する研究ノート, 土木研究所資料第2795号, pp. 47-65, 1989.

(2010.4.8受付)