2016年台風10号による岩泉町乙茂における洪水・氾濫痕跡から見えること*

秋田大学　松冨英夫　今野史子　鎌滝孝信

１．はじめに

2016年8月30日の台風10号豪雨による岩手県の被害は2016年9月30日現在で死者・行方不明者23人，全壊住家379棟，半壊住家2,120棟，一部破損住家509棟，床上浸水住家147棟，床下浸水住家890棟，非住家被害1,671棟と甚大であった[1)]。人的被害が目立った岩手県の二級河川小本川における洪水・氾濫の理由として以下が考えられ，指摘されている。

①岩手県東部の岩盤は粘板岩や砂岩，花崗岩といった硬い岩石からなり，深さ1～5 mの表土層は長年の風化で無数の亀裂が走り，透水性が高い状態で，保水能力が低い[2)]。
②8月22～23日の台風9号の影響で流域の保水能力が低下していた[3)]。
③8月30日の台風10号（岩手県大船渡市付近に上陸）による記録的な大雨（先ず，河川上流域で大雨。その後，河川が増水状態のときに中流域で大雨[4)]）。
④乙茂地区中心部（道の駅。後述の**図−2**参照）から直線距離で約2 km上流に位置する河川の大蛇行による河川水位の上昇（著者）。
⑤その直下流における増水状態での洪水流の高速化とそれに起因する河畔林の流木化（著者）。
⑥洪水流の高速化に起因する河畔林の流木化と流路侵食による洪水流や氾濫流の流向変化[3)]。
⑦橋梁などでの流木滞留による河積（流積）の減少[3), 5)]。
⑧川幅が約180 mの乙茂橋地点における左岸側から河川の流心方向へ約50 m突き出た乙茂橋へのアクセス道路の盛土と橋梁での流木滞留による河積の減少（著者）。
⑨支川猿沢川との合流直下の右岸側に位置する岩崖による流向の変化[3), 6)]。
⑩乙茂地区下流部における90°近い河川の曲がり[3)]。

そこで，本研究は小本川沿いの乙茂地区とその上流約3 km区間における洪水流や氾濫流の最大痕跡水面位や地盤高，浸水深を実測し，上記④，⑤，⑧などの理由を実証することとする。

２．小本川，降水，流出の概要

2.1 小本川の概要

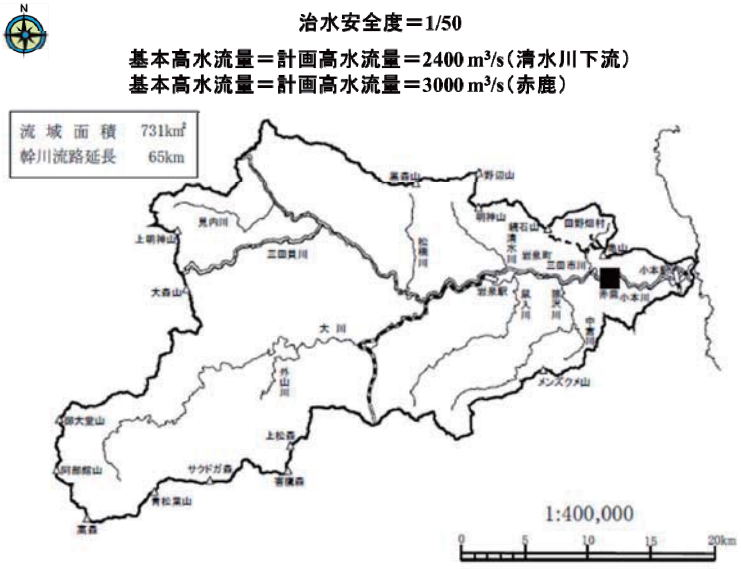
図−1に小本川の水系図を示す[7)]。小本川は流域面積が731 km^2，幹川流路延長が65 kmの二級河川である。流域の年間降水量は1,200 mm程度である。河川整備基本方針の治水安全度は1/50で，現状はこれ以下（1/5程度）の治水安全度と考えられる。本研究の現地調査対象地区である乙茂地区の上流に位置する清水川下流の計画高水流量（基本高水流量でもある）は2,400 m^3/s，乙茂地区下流の赤鹿における計画高水流量は3,000 m^3/sである。小本川は山地河川であり，洪水を調節するところがなく，川沿いの平坦部の全てを氾濫域（高水敷）と考えるべき川である。

図−2に現地調査対象域の地形図（国土地理院）を示す。標高TP 40 m～30 m（丸破線）間の平均河床勾配は約1/290，TP 30 m～20 m間は約1/470である。ただし，図中に加筆した沿川距離は折線近似によるものであり，実際の勾配はもう少し緩いと考えられる（例えば，TP 40 m～30 m間の沿川距離はGoogle earthのパスでは2,988 m）。乙茂地区の中心部（道の駅）から直線距離で約9.1 km下流の小本川河口近くには対津波用の天端高13.3 mの河川水門があるが，この水門に起因する洪水氾濫は，水門直上流の洪水位が河川堤防の天端高より低く，認められなかった。

2.2 降水の概要

図−3に小本川流域における台風10号による降水状況を示す[8)]。最大期間降水量は岩泉（県）で260 mm，最大時間降水量（8月30日18:21まで）は同じく岩泉（気象庁）で70.5 mm/h（観測史

* Flow situations inferred from the watermarks of flooding at Otomo area and its upstream reach in Iwaizumi caused by the Typhoon No.10 in 2016　by Hideo MATSUTOMI, Fumiko KONNO and Takanobu KAMATAKI



図−1　二級河川小本川の水系図[7)]

図−2　現地調査対象域の地形図（国土地理院）

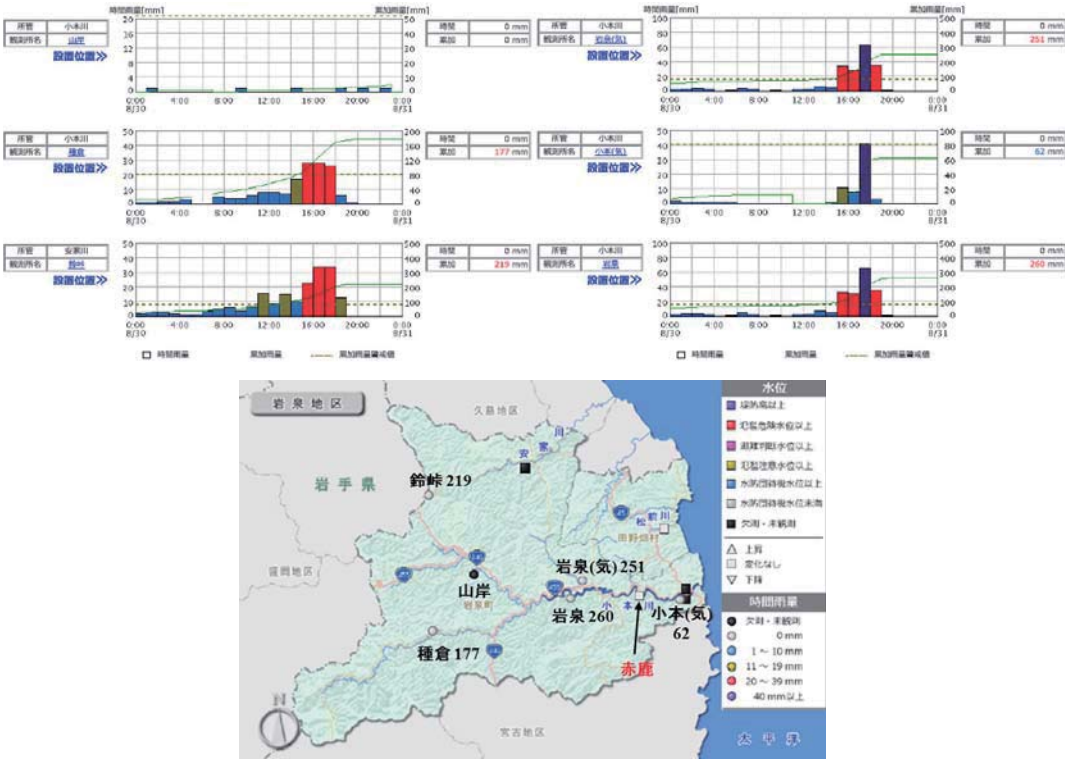
上最大）である。先ず，流域上流部で大雨が降り，河川が増水状態となっていたときに流域中流部で大雨が降ったため，流域中・下流部の河川で急激な増水が発生したと言われている[4)]。しかし，**図−3**のハイエトグラフ（観測記録）を見る限り，この状況は読み取りにくい。小本川流域では小本観測点（気象庁）を除き，どこも15時〜19時の間に強い雨が降っている。

2.3 基準点赤鹿における流出

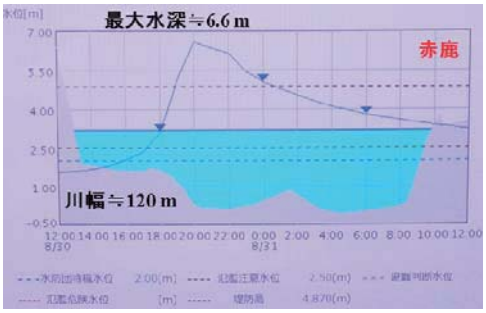
図−4に乙茂地区の中心部から直線距離で約2 km下流に位置する基準点赤鹿（**図−1**参照）における今回の洪水のハイドログラフを示す。小本川における唯一の観測記録で，他地点は欠測や未観測である（**図−3**参照）。**図−4**によると，水位上昇速度は18時〜19時で1.93 m/h，19時〜20時で1.51 m/hであり，水位が急激に上昇し，最大水深は6.6 m程度に達したことが判る。洪水が右岸堤防（堤防高4.87 m）を越流した後，水位上昇速度がやや鈍っている。右岸堤防がもっと高くて洪水が氾濫していなければ，水位上昇速度は氾濫前より大きかったかもしれない。ただし，最近は一級河川でも3.31 m/hといった水位上昇速度が観測されており（秋田県を流れる子吉川の矢島地点における2013年7月洪水。子吉川の流域面積は1,190 km^2，幹川流路延長は61 km。矢島における平均河床勾配は約1/150で，赤鹿におけるものより3倍程度大きい），今回の急激な水位上昇事例は決して例外ではない。

3．現地調査

現地調査は2016年9月12，16，18，21，22，29日と10月9日の計7日間行った。主な調査項目は洪水・氾濫の最大痕跡水面位の水準測量である。水準測量点は明瞭かつ不動な目印があるとこ



図−3　小本川流域における降水状況（岩手県河川情報システム[8]から入手したものに加筆）



図−4　赤鹿における水位の経時変化[8]（氾濫注意水位は2.5 m）

図−5　洪水・氾濫の最大痕跡水面位などの調査域とその分割（Google earthに加筆）

ろとし，水準測量点相互の位置関係や距離はGoogle earthから把握・評価することとした。水準測量には自動レベルと長さ5 mの標尺を用いた。

4．調査結果と考察

4.1 最大痕跡水面位などの空間分布と流況

現地調査域は東西に細長い。そこで**図−5**に示す4領域（R1〜R4）に分割して洪水・氾濫の最大痕跡水面位と地盤高の調査結果を示す。

図−6 (a)〜(d)に最大痕跡水面位（○地点）と地盤高（△や▲地点）の調査結果を示す。数値は水色が最大痕跡水面位（上段：建築物の前面または側面，下段：側面または背面）で，白色

が地盤高である。○地点の白色数値も地盤高で，この地点では浸水深が評価できる。さらに，黄色数値は氾濫域中に堆積した漂流物（漂流ゴミを含む）の上端を最大痕跡水面位としたものである。これらの水面位や地盤高はグループホーム「楽ん楽ん」から北西側約60 mに位置する国道455号沿いの三級基準点（図中の☆地点，基455-29，TP約32.0 m）と対応付けられている。

表−1に最大痕跡水面位と地形図（基盤地図情報[9]）から評価した水面勾配や河床勾配などの調査結果を示す。水平距離はGoogle earthから評価しており，高低差に比べて精度はよくない。

表−2にManningの流速式に基づく常流と射流（網かけ）の判定例を示す。表のhは水深，gは重力加速度，Iは（河床）勾配で，Manningの粗度係数nは0.03，河川断面形は広矩形としている。

図−7に**図−6**と**表−1**に基づく川沿いの最深河床高，最大痕跡水面位と下述の推定流況を示す。

図−6，**7**と**表−1**，**2**から以下が判断される。

①A-B間の水面勾配は1/250，河床勾配は1/585で，水面勾配が河床勾配より大きい。B-C間の水面勾配は逆勾配，河床勾配は1/248で，C地点は湾曲部の始点（一般に最大水深となる地点）である。洪水の水深を5〜9 m，Manningの粗度係数を0.03，エネルギー補正係数を1.0，河川断面形を広矩形としたときの限界勾配は1/194〜1/236（**表−2**参照）であり，A-B間の河床は緩勾配，B-C間の河床は限界勾配程度と判断される。したがって，A-B間の水面形はM_2（低下背水）曲線，B-C間の水面形はC_1（場合によってはS_1）曲線と推定される。B-C間の水面形はB-F間における160°近い湾曲による流れの堰止め効果のためと考えられる。

②C-D間の水面勾配は1/164と大きく，D-E間の水面勾配は1/397と緩い。C-D間の大きな水面勾配はC-F間の河床勾配が限界勾配より大きいことやD地点で川幅が広くなることから（C-D間はS_2曲線），D-E間の緩い水面勾配はE-F間が湾曲部の始点であること，D-H間における170°近い湾曲とF地点における狭窄（川幅約75 m）による堰止め効果から（D-E間はS_1曲線），理解できることである。したがって，C-E間で跳水が形成されたと考えられる。

③E-H間の水面勾配は1/116，河床勾配は1/241で，水面勾配が河床勾配より大きい。D-F間の水面勾配を一定としたとき（E-F間の水位低下は0.19 m），F-H間の水面勾配は1/105，河床勾配は1/259で，河床はかろうじて緩勾配である。したがって，F-H間の水面形はM_2曲線と判断され，川幅の増加を考慮しなければならないが，この間で流速が大きくなったと考えられる。

④H-J間の水面勾配は1/417，河床勾配は1/599の緩勾配で，水面勾配が河床勾配より大きい。これは氾濫域幅が増加したためと考えられる。したがって，H-J間の水面形はM_1（堰上げ背水）曲線で，H-K間における80°近い湾曲による流れの堰止め効果によると考えられる。

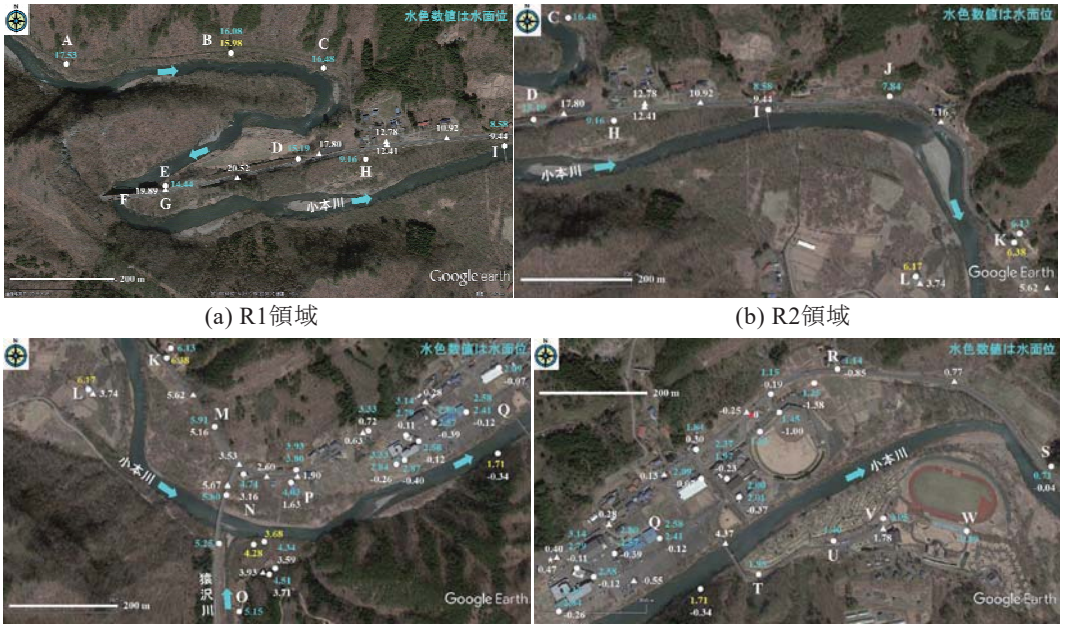
⑤J-K間の水面勾配は1/266，河床勾配は1/228で，水面勾配が河床勾配よりやや緩い。J-M間で見れば，水面勾配は1/310（備考欄），河床勾配は1/248で，この傾向は明瞭となる。河床は限界勾配よりやや緩く，水面形はM_1曲線と判断される。これには下流に位置する乙茂橋へのアクセス道路の盛土や盛土・橋梁部での流木滞留による流れの堰止め効果が関係していよう。

⑥乙茂橋路面上の最大痕跡水位（5.80 m）が周辺に比べて目立って高い。左岸側にある橋梁へのアクセス道路の盛土や盛土・橋梁部での流木滞留による流れの堰止め効果が認められる。

⑦乙茂橋左岸側における流れの堰止めや比較的急な下り勾配（0.93/75=1/81）を有する局所陸上地形の影響もあってか，M-N間とN-P間の水面勾配（各々1/113と1/166）がE-H間のものに劣らず大きい。乙茂橋左岸側の国道455号上やその左側（川から離れる方向）で支配断面（限界水深）が形成され，その下流で局所的な跳水が形成されたと考えられる。

⑧最大痕跡水面位の空間分布から乙茂橋直下流の氾濫に猿沢川の洪水が影響したと思われる。

⑨左岸側のP-R間の水面勾配は1/334で（備考欄），1/313の河床勾配（緩勾配）よりやや緩い．右岸側のT-V間はP-R間と逆の傾向である．この理由として左岸側の広い平坦な氾濫域（勾配例は後述）の存在，Q-S間における90°近い湾曲による流れの堰止め効果と氾濫域幅の増加が考えられる．実際，広い平坦な氾濫域の存在と湾曲による流れの堰止め効果でR-S間の水面勾配は1/1,088と非常に緩く，C-D間やF-H間，J-K間の水面形状況と異なる．一方，右岸側の水面形は氾濫域幅の増加に起因するだけでなく，M_2曲線の可能性がある．実際，直下流のV-W間やS-W間（河川横断方向）の水面勾配が非常に大きくなっている．



(a) R1領域　　(b) R2領域

(c) R3領域　　(d) R4領域

図−6　最大痕跡水面位などの空間分布（Google earthに加筆）

表−1　現地調査結果

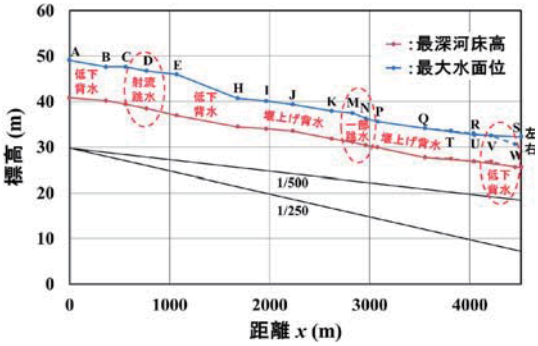
対象区間	水平距離 (m)	積算距離 (m)	水深 (m)	高低差 (m)	水面勾配	2地点の河床高 (m)	河床高差 (m)	河床勾配	平均河床勾配	備　考
A-B	363	363	A:8.24	1.45	1/250	**40.82, 40.20**	**0.62**	**1/585**		A-C 1/532
B-C	196	559	B:7.41	-0.40	-1/490	**40.20, 39.41**	**0.79**	**1/248**		
C-D	212	771	C:8.20	1.29	1/164	**39.41, 38.46**	**0.95**	**1/223**		C-E 1/250
D-E	298	1,069	D:8.26	0.75	1/397	**38.46, 36.95**	**1.51**	**1/197**		
E-F	75	1,144	E:9.02	5.28	1/116	**36.95, 36.48**	**0.47**	**1/160**	地形図 (1/283)	0.19 m
F-G	70	1,214	-			**36.48, 36.20**	**0.28**	**1/250**		1/105
G-H	466	1,680	-			**36.20, 34.41**	**1.79**	**1/260**		
H-I	287	1,967	H:6.28	0.58	1/495	**34.41, 33.99**	**0.42**	**1/683**	基盤図 **(1/283)**	1/417
I-J	264	2,231	I:6.12	0.74	1/357	**33.99, 33.49**	**0.50**	**1/528**		
J-K	388	2,619	J:5.88	1.46	1/266	**33.49, 31.79**	**1.70**	**1/228**		1/310
K-M	210	2,829	K:6.12	0.47	1/447	**31.79, 31.08**	**0.71**	**1/296**		
K-L	220	-	L:3.30	0.21	1/1,048	**31.79, 34.40**	**-2.61**	-		横断方向
M-N	132	2,961	M:6.36	1.17	1/113	**31.08, 30.36**	**0.72**	**1/183**		1/133
N-P	118	3,079	N:5.91	0.71	1/166	**30.36, 29.87**	**0.49**	**1/241**	地形図 (1/465)	
O-P	340	-	-	1.12	1/304	**33.20, 29.87**	**3.33**	-		猿沢川
P-Q	472	3,551	P:5.69	1.45	1/326	**29.87, 27.70**	**2.17**	**1/313**		1/334
Q-R	493	4,044	Q:6.41	1.44	1/342	**27.70, 26.79**	**0.91**		基盤図 **(1/388)**	
R-S	468	4,512	R:5.88	0.43	1/1,088	**26.79, 25.49**	**1.30**	**1/360**		
Q-U	328	3,879	-	1.18	1/278	**27.70, 26.84**	**0.86**	**1/381**	-	
T-U	152	3,727	T:6.07	0.58	1/262	**27.44, 26.84**	**0.60**	**1/422**	-	1/262
U-V	118	3,997	U:6.09	0.45	1/262	**26.84, 26.80**	**0.04**		-	
V-W	161	4,158	V:5.68	1.84	1/88	**26.80, 25.49**	**1.31**	**1/123**	-	W:5.15 m
S-W	216	-	S:6.75	1.60	1/135	**25.49, 25.49**	**0**	-	-	横断方向

※太字は基盤地図情報[9]から評価したもの。

表−2　常流・射流の判定例（n=0.03）

h (m)	$\sqrt{gh}$ (m/s)	I	u (m/s)
5	7.00	1/100	9.73
		1/194	7.00
		1/200	6.88
		1/300	5.62
		1/400	4.87
6	7.67	1/100	11.00
		1/200	7.85
		1/206	7.67
		1/300	6.35
		1/400	5.50
7	8.28	1/100	12.20
		1/200	8.71
		1/217	8.28
		1/300	7.04
		1/400	6.10
8	8.85	1/100	13.33
		1/200	9.43
		1/227	8.85
		1/300	7.70
		1/400	6.67
9	9.39	1/100	14.43
		1/200	10.21
		1/236	9.39
		1/300	8.33
		1/400	7.22

注）網かけは射流



図−7　洪水・氾濫痕跡に基づく推定流況

4.2 乙茂中心部左岸側における氾濫流速

乙茂中心部左岸側（R3，R4領域）の最大痕跡水面位時における建築物の前面と側面での水位差は上流から順に「ふれんどりー岩泉」で0.49 m（= 3.33-2.84），「楽ん楽ん」で0.35 m（=3.14-2.79），「岩泉乳業」で0.23 m（=2.80-2.57），「道の駅」で0.40 m（=2.37-1.97）である。ただし，側面水位は最大痕跡水面位生起時でない可能性がある。最大痕跡水面位時の前面浸水深h_fを用いる式(1)[10]から評価される氾濫流速u（建築物などが無いときのもの）は順に3.8，3.7，3.5，3.1 m/sである。風間ら[6]は乙茂中心部左岸側の氾濫水深が2 m以上のところでの氾濫流速は3 m/s以上であることを数値解析により示しており，著者らの評価結果と整合している。式(1)は水平床上の津波氾濫流を対象として導かれたものである。国道455号沿いの路面勾配は約1/710の下り勾配であるが，この程度の勾配であれば式(1)は洪水氾濫流にも適用できることが判った。

$$u = 0.66\sqrt{gh_f} \tag{1}$$

5．おわりに

現地調査から乙茂地区とその上流約3 km区間の洪水・氾濫の状況に関して次の結果を得た。

①乙茂地区中心部（道の駅）から直線距離で約2 km上流に位置する河川の大蛇行部で水位が上昇し，最大水深は深いところで9 m以上に達した。残りの対象区間における最大水深は6 m前後で，乙茂地区の下流に位置する基準点赤鹿における最大水深約6.6 mよりやや小さい。

②この結果，大蛇行部の直下流で洪水流が高速化し，河畔林が流木化した。

③乙茂橋左岸側から河川流心方向（川幅は約180 m）へ約50 m突き出たアクセス道路の盛土と盛土・橋梁部における流木滞留により，乙茂橋左岸側橋台付近で水位が局所的に上昇した。

④今回の洪水・氾濫災害は小本川のような山地河川で，洪水を調節するところもない川沿いの平坦地は全てが氾濫域（複断面河川の高水敷に相当）であることを改めて示した。

参考文献

1）内閣府：平成28 年台風10 号による被害状況等について，平成28年9月30日，p.57, 2016.
2）河北新報：岩泉　土石流1000カ所超で発生か，http://www.kahoku.co.io/tohokunews/, 2016.10. 02参照.
3）小笠原敏記：岩泉　小本川からの氾濫・水理状況，土木学会東北支部台風10号水害調査団緊急報告会資料，2016.09.08参照.
4）NHKニュース：2016.09.30放送.
5）今村文彦，佐藤翔輔：岩泉　向地区・乙茂地区での被害状況，土木学会東北支部台風10号水害調査団緊急報告会資料，2016.09.08参照.
6）風間　聡，峠　嘉哉，高橋範仁：平成28年台風10号による二級河川小本川での洪水発生状況の考察，土木学会論文集B1（水工学），Vol.73, No.4, 2017.（印刷中）
7）岩手県：小本川水系河川整備基本方針，https://www.pref.iwate.jp/dbps_data/_material_/_files/, 2016.09.15参照.
8）岩手県：岩手県河川情報システム，http://kasen.pref.iwate.jp/iwate/servlet/Gamen30Servlet, 2016.09.02参照.
9）国土地理院：基盤地図情報サイト，http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html, 2016.12.16参照.
10）Matsutomi, H. and Okamoto, K.: Inundation flow velocity of tsunami on land, Island Arc, Vol.19, Issue-3, pp.443-457, 2010.