

生態水文学研究所赤津研究林白坂北谷・南谷小流域の地表・ 地中量水堰堤の水位－流量曲線

東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所

Water level - discharge relationships for gauging stations measuring
surface and sub-surface streamflow at North Creek and South Creek
in the Shirasaka Experimental Watershed, Akazu Research Forest,
Ecohydrology Research Institute

Ecohydrology Research Institute, The University of Tokyo Forests, Graduate School of
Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo

1. はじめに

生態水文学研究所では、赤津研究林の重点研究の一つとして、白坂流域内の北谷、南谷の2箇所の小流域において、対照流域法を用いて、森林の流量平準化作用、蒸発作用、水質形成作用、水源涵養機能、水質浄化機能を解明することを掲げている（東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所, 2012）。これらの諸作用・機能の解明のためには、両小流域での精度の高い流量データの取得は不可欠である。そのため、生態水文学研究所では、両小流域の末端にある量水堰堤について、ノッチの越流水位と流量の関係を実測し、報告してきた（東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所, 2016）。北谷・南谷の小流域では、これらの流域末端の量水堰堤に加えて、河床上を流下する渓流水（以下、地表水）、基岩から河床面までの砂礫の堆積層中を流下する地下水（以下、地中水）を分離して、それぞれの流量を計測する量水堰堤（以下、地表・地中量水堰堤）が設置されている。本報告では、これらの地表・地中量水堰堤について、2015年から2016年にかけてノッチの越流水位と流量の関係を実測したので、その結果を報告する。

2. 流域、量水堰の概要

北谷（North Creek）と南谷（South Creek）は愛知県瀬戸市北白坂町の北緯 35°13' 07"，東経 137°09' 54" に位置する。北谷と南谷の地表・地中量水堰堤は、前報（東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所, 2016）で報告対象とした流域末端の量水堰堤の上流に位置しており（図－1）、それぞれの流域面積は 0.4409 ha, 0.4825 ha である（山口, 1963）。

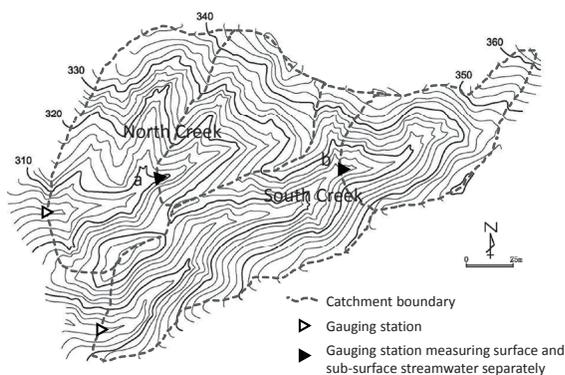


図-1 北谷・南谷の流域全体の地形図と地表・地中量水堰堤の位置
a) 北谷の地表・地中量水堰堤, b) 南谷の地表・地中量水堰堤

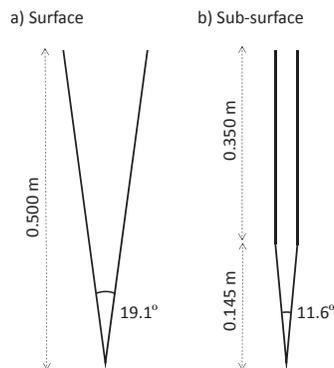


図-2 北谷・南谷の地表・地中量水堰堤のノッチ形状
a) 地表水, b) 地中水

北谷・南谷の地表・地中量水堰堤での流量観測は1957年に開始されたが(愛知演習林, 1981), 開始当初は, 渓流水から地中水成分のみが分離され, その流量が観測されていた(山口, 1963)。この時期の地中水流量データは, 愛知演習林(1981)で公表されている。1961年12月から1962年2月にかけて, 両谷の地表・地中量水堰において, 地表水と地中水を分離して, 別々のコンクリート升に導入する工事が施工され, 1963年10月に地表水観測が開始された。その後, 2001年4月に, 当初から使っていたノッチの老朽化に伴い, 北谷・南谷の地表・地中量水堰堤に取り付けられた全てのノッチが交換されている。したがって, 愛知演習林(1981), あるいは, 同データを用いた研究(山口, 1963, Yamaguchi and Nishio, 1979)において, 水位-流量曲線が記載されているが, これらは当時のノッチについて適用可能な関係式である。交換後のノッチ形状は図-2に示した。

3. 測量によるポイントゲージのゼロ点補正

北谷・南谷の地表・地中量水堰堤では, それぞれのコンクリート升にポイントゲージが備わっている。少なくとも2014年11月から2016年1月までの間, 北谷・南谷の地表水・地中水の全ての地点について, ポイントゲージで読み取った水位 H_p とノッチの越流水位 H は一致しないことがわかっている。そのため, 2016年4月12日に, 全4地点について H_p と H の関係を求めるためのレバル測量を実施し, 次式を得た。

$$H_{NS} = H_{p_NS} - 0.0047 \quad (1)$$

$$H_{NSS} = H_{p_NSS} - 0.0028 \quad (2)$$

$$H_{SS} = H_{p_SS} - 0.0036 \quad (3)$$

$$H_{SSS} = H_{p_SSS} - 0.0052 \quad (4)$$

ここで、 H_{NS} は北谷地表水ノッチの越流水位 [m]、 $H_{p_{NS}}$ は北谷地表水のポイントゲージ読み [m]、 H_{NSS} は北谷地中水ノッチの越流水位 [m]、 $H_{p_{NSS}}$ は北谷地中水のポイントゲージ読み [m]、 H_{SS} は南谷地表水ノッチの越流水位 [m]、 $H_{p_{SS}}$ は南谷地表水のポイントゲージ読み [m]、 H_{SSS} は南谷地中水ノッチの越流水位 [m]、 $H_{p_{SSS}}$ は南谷地中水のポイントゲージ読み [m] である。

4. 水位と流量の観測概要

2014年11月から2016年1月までの間、北谷地表水は26回、北谷地中水は24回、南谷地表水は28回、南谷地中水は27回の水位・流量観測を実施した。流量の観測前にポイントゲージの読み $H_{p_{NS}}$ 、 $H_{p_{NSS}}$ 、 $H_{p_{SS}}$ 、 $H_{p_{SSS}}$ を読み取り、それぞれ式(1)、(2)、(3)、(4)を用いて、ノッチでの越流水位 H_{NS} 、 H_{NSS} 、 H_{SS} 、 H_{SSS} を求めた。流量 Q は、ノッチから越流する水をバケツで集め、その体積をメスシリンダーで計測し、また、その集水時間をストップウォッチで計測することにより求めた。各地点の各回の測定は3回連続しておこない、流量 Q が中央値を示す回の流量値を採用した。

5. 水位－流量曲線

地表・地中量水堰堤でおこなった水位と流量の観測結果を、北谷については表-1に、南谷については表-2に示した。また、図-3に各ノッチの水位と流量の関係を示した。一連の観測により得られた最大の越流水深は、 H_{NS} で0.117 m、 H_{NSS} で0.047 m、 H_{SS} で0.107 m、 H_{SSS} で0.052 mであった(表-1)。北谷・南谷ともに、地中水ノッチの最大越流水深は、地中水ノッチのV部分とスリット部分の変曲点高さ($H_{NSS} = 0.145$ 、 $H_{SSS} = 0.145$ 、図-2参照)よりも低かったため、以下で提示する地中水ノッチの関係式は変曲点の高さよりも越流水位が高い場合には適用できない。各ノッチについて、流量は水位の b 乗に比例すると仮定して、最小二乗法により回帰曲線の係数 a と b を決定したところ、次式が得られた。

$$Q_{NS} = 0.1771 \times (H_{NS})^{2.3267} \quad (5)$$

$$Q_{NSS} = 0.0398 \times (H_{NSS})^{1.9016} \quad (H_{NSS} \leq 0.145) \quad (6)$$

$$Q_{SS} = 0.1281 \times (H_{SS})^{2.1887} \quad (7)$$

$$Q_{SSS} = 0.0731 \times (H_{SSS})^{2.1670} \quad (H_{SSS} \leq 0.145) \quad (8)$$

ここで、 Q_{NS} は北谷地表水の流量 [m^3/sec]、 Q_{NSS} は北谷地中水の流量 [m^3/sec]、 Q_{SS} は南谷地表水の流量 [m^3/sec]、 Q_{SSS} は南谷地中水の流量 [m^3/sec] である。北谷・南谷の地表水ノッチの観測値の一部は、回帰された水位－流量曲線から外れているため(図-3aと図-3c)、野帳に立ち返って、これらの生データの再確認をしたが、これらの観測値を除外する理由は確認さ

れなかったため、全観測データを考慮して式(5)から(8)の係数を決定した。地表水ノッチ、地中水ノッチは、両谷で共通の形状を有している(図-2)にも関わらず、式(5)と式(7)、式(6)と式(8)の各係数は異なっており、交換以降、各ノッチ部の微細な傷や劣化の度合いに差が生じている可能性が示唆される。いずれにせよ、本報告で提示した式(5)~式(8)は最近の実測に基づくものであり、近年取得のデータに適用可能である。

本報告で得られた最大越流水位よりも高い越流水位時の流量については、上式を外挿して推定せざるを得ない。参考までに、最近の多雨年であった2011年の1年間において、南谷の地表水ノッチの越流水位が0.15 mを超えた出水回数は8回であり、地中水ノッチの越流水位が0.07 mを超えた出水回数は9回であった。また、同じ年の南谷の地中水ノッチの最大越流水位は0.10 m以下であり、式(8)の適用範囲外($H_{SSS} > 0.145$)の事例は生じなかった。

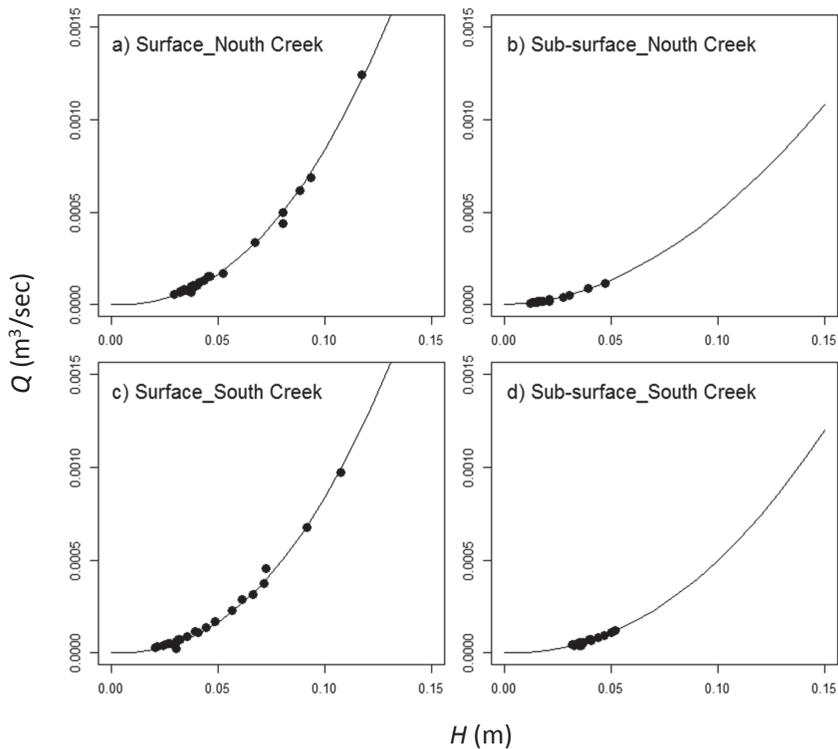


図-3 北谷・南谷の地表・地中量水堰の水位 H と流量 Q の関係
a) 北谷地表水, b) 北谷地中水, c) 南谷地表水, d) 南谷地中水

謝辞

2015年6月から7月にかけて実施した流量観測では、当時、生態水文学研究所でインターンシップ生として滞在していた Nolwenn Le Toquin 氏の協力を得た。また、地表水ノッチの越流水位の最高値を記録した2015年9月9日の流量観測では、東京大学大学院農学生命科学研究科博士課程大学院生 Thilak Chandrathilake 氏の協力を得た。記して謝意を表す。

引用文献

- 愛知演習林 (1981) 愛知演習林量水観測結果報告 (Ⅲ). 演習林 (東大) 22 : 84-191.
- 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所 (2012) 生態水文学研究所第5期教育研究計画 (2011 (平成23) 年度~2020 (平成32) 年度). 演習林 (東大) 51 : 305-396.
- 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所 (2016) 生態水文学研究所赤津研究林白坂北谷・南谷小流域量水堰堤の水位・流量曲線. 演習林 (東大) 58 : 207-212.
- 山口伊佐夫 (1963) 水源帯における地下水流出現象の基礎的研究. 東京大学農学部演習林報告. 58 : 133-285.
- Yamaguchi I and Nishio K (1979) Studies on forest hydrology in the Tokyo University Forest in Aichi. J. Jap. For. Soc. 61(4): 135-141.

表-1 北谷の地表・地中量水堰の水位と流量測定結果

地表水				地中水			
観測日時		H_{NS} [m]	Q_{NS} [m^3/sec]	観測日時		H_{NSS} [m]	Q_{NSS} [m^3/sec]
2014/11/12	13:14	0.038	0.000093	2014/11/12	13:09	0.015	0.000014
2014/11/19	11:29	0.033	0.000072	2014/11/19	11:31	0.015	0.000016
2014/11/27	11:26	0.040	0.000113	2014/11/27	11:24	0.016	0.000017
2014/12/3	16:04	0.052	0.000170	2014/12/3	16:07	0.021	0.000021
2014/12/10	10:57	0.038	0.000102	2014/12/10	11:00	0.014	0.000014
2014/12/17	11:06	0.041	0.000119	2014/12/17	11:11	0.016	0.000016
2014/12/24	11:08	0.038	0.000105	2014/12/24	11:03	0.015	0.000015
2015/1/7	15:09	0.037	0.000068	2015/1/7	15:14	0.015	0.000014
2015/1/14	10:57	0.032	0.000072	2015/1/14	11:01	0.014	0.000013
2015/1/21	10:56	0.034	0.000084	2015/1/21	11:02	0.014	0.000013
2015/1/28	10:58	0.043	0.000134	2015/1/28	11:02	0.017	0.000017
2015/2/4	11:37	0.037	0.000097	2015/2/4	11:41	0.015	0.000014
2015/2/12	14:38	0.033	0.000077	2015/2/12	14:42	0.018	0.000019
2015/2/18	10:53	0.034	0.000082	2015/2/18	10:51	0.014	0.000012
2015/2/25	10:57	0.035	0.000079	2015/2/25	10:59	0.014	0.000011
2015/3/3	11:55	0.040	0.000107	2015/3/3	11:58	0.015	0.000014
2015/4/8	15:43	0.045	0.000154	2015/4/13	10:02	0.015	0.000014
2015/4/13	9:56	0.046	0.000150	2015/4/22	11:52	0.021	0.000027
2015/4/15	11:15	0.080	0.000440	2015/7/9	9:36	0.047	0.000118
2015/7/9	9:32	0.093	0.000687	2015/7/23	16:51	0.030	0.000051
2015/7/23	16:35	0.080	0.000497	2015/9/9	11:05	0.039	0.000088
2015/7/24	11:46	0.067	0.000337	2015/9/10	11:00	0.027	0.000038
2015/9/9	10:55	0.117	0.001241	2015/12/28	10:32	0.013	0.000012
2015/9/10	11:00	0.088	0.000618	2016/1/6	10:18	0.012	0.000010
2015/12/28	10:39	0.032	0.000070				
2016/1/6	10:22	0.029	0.000054				

表-2 南谷の地表・地中量水堰の水位と流量測定結

地表水				地中水			
観測日時		H_{ss} [m]	Q_{ss} [m ³ /sec]	観測日時		H_{sss} [m]	Q_{sss} [m ³ /sec]
2014/11/12	13:44	0.031	0.000074	2014/11/12	13:47	0.037	0.000057
2014/11/19	11:00	0.027	0.000053	2014/11/19	11:02	0.035	0.000052
2014/11/27	11:46	0.030	0.000063	2014/11/27	11:49	0.035	0.000052
2014/12/3	14:49	0.040	0.000111	2014/12/3	14:51	0.037	0.000056
2014/12/10	11:13	0.031	0.000071	2014/12/10	11:15	0.036	0.000056
2014/12/17	10:28	0.032	0.000073	2014/12/17	10:33	0.035	0.000050
2014/12/24	11:33	0.032	0.000070	2014/12/24	11:38	0.035	0.000051
2015/1/7	14:01	0.030	0.000026	2015/1/7	14:04	0.036	0.000040
2015/1/14	10:19	0.027	0.000052	2015/1/14	10:22	0.033	0.000040
2015/1/21	10:22	0.030	0.000059	2015/1/21	10:25	0.035	0.000041
2015/1/28	10:24	0.035	0.000088	2015/1/28	10:28	0.035	0.000053
2015/2/4	10:30	0.031	0.000067	2015/2/4	10:33	0.036	0.000057
2015/2/12	14:06	0.026	0.000052	2015/2/12	14:11	0.035	0.000054
2015/2/18	10:17	0.025	0.000045	2015/2/18	10:23	0.036	0.000054
2015/2/25	10:22	0.024	0.000041	2015/2/25	10:28	0.036	0.000055
2015/3/3	10:50	0.030	0.000064	2015/3/3	10:52	0.037	0.000056
2015/4/13	9:23	0.039	0.000114	2015/3/11	10:30	0.041	0.000070
2015/4/15	10:29	0.048	0.000169	2015/3/25	10:38	0.041	0.000066
2015/4/15	11:35	0.056	0.000228	2015/4/8	15:05	0.041	0.000074
2015/4/22	11:03	0.061	0.000290	2015/4/13	9:32	0.040	0.000073
2015/5/13	9:55	0.044	0.000139	2015/4/15	10:33	0.041	0.000075
2015/7/9	9:13	0.072	0.000456	2015/7/9	9:18	0.050	0.000111
2015/7/23	16:20	0.071	0.000372	2015/7/23	16:23	0.047	0.000093
2015/7/24	11:11	0.066	0.000316	2015/7/24	11:17	0.044	0.000085
2015/9/9	10:24	0.107	0.000971	2015/9/9	10:35	0.052	0.000119
2015/9/10	9:54	0.091	0.000677	2015/12/28	11:51	0.033	0.000048
2015/12/28	11:48	0.021	0.000033	2016/1/6	11:05	0.032	0.000046
2016/1/6	11:08	0.020	0.000028				