

ICタグ技術を用いたトレーサ調査手法 による砂礫移動観測

EXECUTION OF TRACER INVESTIGATION TECHNIQUE ON GRAVEL MOVEMENT THAT APPLIED IC-TAG TECHNOLOGY

角 哲也¹・石田裕哉²・佐竹宣憲³
Tetsuya SUMI, Hiroya ISHIDA, Yoshinori SATAKE

¹正会員 博士(工) 京都大学准教授 京都大学工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂4)

²非会員 株式会社建設技術研究所東京本社ダム部 (〒330-0071 さいたま市浦和区上木崎1-14-6)

³正会員 有限会社佐竹設計事務所 (〒114-0023 東京都北区滝野川1-93-5-403)

In case that we evaluate the effect of sediment replenishment during a flushing flow operation, there was no sophisticated measurement method to monitor gravel movements on the river bed. We have developed a tracer investigation technique on gravel movements that applied the IC-Tag technology. This system is composed of an IC-Tag that is inserted in each gravel, an antenna, an amplifier and a data logger. We have tested this system at the flushing operation of Managawa dam in 2005 and succeeded to find out flushed out gravels with IC-Tag in the downstream river bed.

In this paper, we present results of field tests on two different river channel conditions. One is Managawa river during flushing operation in 2006 and another is Hiru valley in Zintsu river during sediment flushing from a small sediment check dam. We have tested both a fixed type antenna to measure sediment passing time real-time basis and a movable type one to measure sediment movement after the event. Through these field tests, basic characteristics of the system and future challenges are discussed.

Key Words: IC-Tag, Flushing flow, Sediment replenishment, Managawa dam, Hiru valley

1. はじめに

筆者らは、前回の報告でICタグ技術を用いた砂礫移動観測の基本的な性能を確認し、実際に観測が可能であることを示した¹⁾。今回は、河川での観測成果を踏まえ装置の実用的な観測性能を確認するため、本論文では、表-1 に示す九頭竜川水系真名川ダムの下流河川および神通川水系ヒル谷の河道状況の異なる二河川を対象に実施した現地観測結果について検討を行う。

表-1 観測対象河川の特徴

観測箇所	河幅	勾配
真名川	17m	1/150
ヒル谷	1.5m	1/5

これらの観測地点はそれぞれ河川として特性が大きく異なる。真名川は、河幅 15m 勾配 1/150 程度の中規模河川で、シルトの堆積および河床材料の粗粒化が進み真名川ダムからのフラッシュ放流による土砂還元が期待されている^{2), 3)}。一方のヒル谷は、河幅 1.5m, 勾配 1/5 程

度の渓流河川で、砂防ダムからの土砂供給が常に行われており、ステッププール(step and pool)が発達している。他に大規模河川での観測も考えられるが、今回用いている装置がパッシブ型のICタグを使用しており、機器のアンテナからICタグまでの読取距離が最大で約35cmと短い。従って、水深が深く川幅も広い大河川における観測は現段階では困難であるためここでは除外している。

2. ICタグシステム概要

(1) 装置概要

本研究では、固有の番号を持つICタグを無線通信により追跡するシステム(テキサス・インスツルメンツ社のシリーズ2000リーダシステム)を構築し使用している。同システムの特徴として、タグの読み取りに使用する周波数帯が水の影響を受けにくい(134.2kHz)点と、ICタグは電池を持たず読取器側から受ける電磁波により電力が供給されるパッシブ型であり、電池寿命が存在しないために長期間の継続観測が可能である点が挙げられる。

なお、アンテナ・試料間の読取距離は現時点で水中・気中を問わず35cm～40cm程度であり、砂礫に埋まった状態でもほぼ相違なく認識できることがこれまでの基礎実験で確認されている。実際の試験においては装置の使用目的により、以下に示す2種類の装置構成を使用した。

(2) ICタグ試料

ICタグ試料(以下試料)は、砂礫を模し球形に加工した素焼レンガもしくはコンクリートブロックに、直径4mmの貫通穴を開けICタグ(長さ32mm、直径3.8mm、重さ0.8グラム)を挿入し樹脂で封入したものである。ICタグ自体の寿命は30年程度であるため、長期間の追跡が可能である。

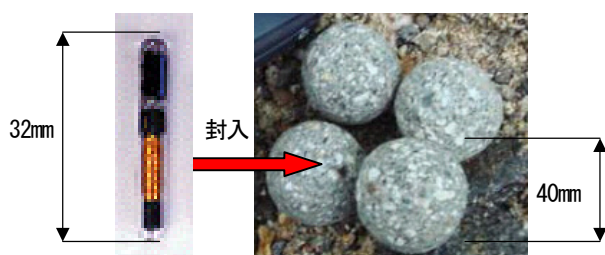


写真-1 ICタグおよび試料

(3) 追跡型装置

追跡型装置は、河道内に停留もしくは埋没している試料を探索する装置である。アンテナ以外の装置一式を観測者が背負い、砂利を満たした塩ビパイプ製ウエイトに平面形状のゲートアンテナ(715mm×270mm×16mm)を固定し、水中あるいは気中の河床にかざすことでICタグの有無を判定する。試料が発見された場合、ICタグの固有認識番号に加えて、GPSを使用して発見した位置と日時が記録される。また、装置の追跡状況は無線カードを介して基地局のパソコンへデータが送信される。

(4) 定置型装置

定置型装置は、河床に予めアンテナを設置しその上方を通過した試料の番号と通過した日時を記録する装置である。仮に2箇所に定置型装置を設置しその間を同一の試料が通過した場合、2点間の距離および通過時刻の差より試料の移動速度が概算される。

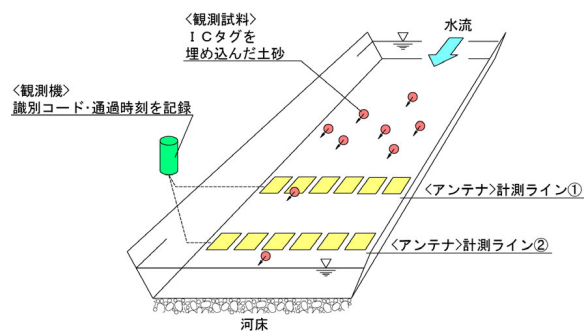


図-1 定置型装置



写真-2 追跡型装置

3. 真名川における砂礫移動観測

(1) 目的

真名川ダム(福井県大野市)のフラッシュ放流(2006.11.15)にあわせて行われた土砂還元(土砂供給)に合わせて試料を還元土砂盛土中に設置し、放流後の移動状況を観測する。

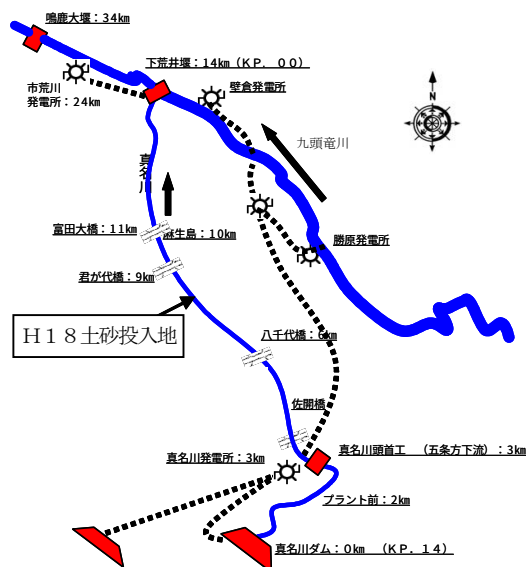


図-2 真名川位置図

(2) 試験方法

還元土砂の盛土中に試料を格子状に埋設し、フラッシュ放流にあわせて試料が流下する状況を定置型装置にて観測する。その後、追跡型装置を用いて出水後や一定期間後における試料の河道内の移動状況を把握する。試料は素焼レンガ製で直径70mm(54個)と直径40mm(81個)の計135個を盛土表面から約15cmの深さに配置した。

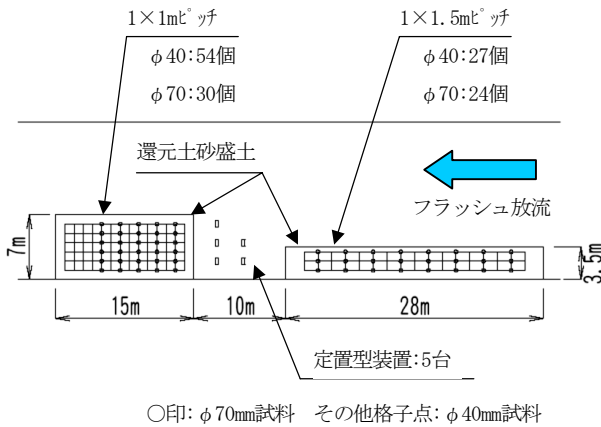


図-3 試料配置平面図

(3) 試験結果

フラッシュ放流中の還元土砂の移動が当初の想定よりも少なかったために、I Cタグを埋め込んだ試料も大きな移動は確認されず、定置型装置を用いた放流期間中の砂礫移動観測は出来なかった。

一方、追跡型装置による観測を図-4に示す時期に実施した。放流半年後の2007. 5. 19 時点で、全体の半数を超える68個の試料が確認され最大で約270mの移動が認められた。発見位置を図-5に、これを30m区切りで領域を定めて整理したものを図-6に示す。φ40, 70mmともに発見率は50%強と同等であるが、φ40mmの方がより遠くまで移動していることがわかる。

その後、2007. 8. 22時点においても追跡調査を行い、下流約300mの調査範囲で23個が確認された(図-7)。このうち、10個は前回調査では発見されなかった試料であり、前回の調査時点で淵や砂礫層深くにトラップされていたりして確認されなかった個体と推定される。これら新たに発見された試料の当初配置位置からの移動距離は60~80mである。一方、前回調査に引き続き発見された試料の2時期間の移動距離は最大19m、平均3.8mであった。また、前回確認できたものの今回は発見できなかった試料のほとんどは、今回の調査区間からさらに下流に流下したものと考えられる。

放流量は50m³/s と大きいもののフラッシュ放流当日では試料が大きくは移動せず、それより小さな流量が持続した後の5. 19の調査で試料の大幅な移動が確認された理由として、真名川における春季の融雪出水が想定される。すなわち、一定規模以上の礫の移動には、短期間の大規模な流量よりも、中規模の放流量の持続が大きく影響すると考えられる。なお、これらの追跡装置による調査で発見された試料のほとんどは目視では確認できず多くが埋没した状態であり、I Cタグを介して位置情報が得られたものであり、本調査方法の有効性が改めて認識された。

表 -2 試料の移動距離

観測日		前回からの 日数	個数	移動距離※ 最大(m)	移動距離※ 平均(m)
1回目	2007. 5. 19	185	68	276	47. 7
2回目	2007. 8. 22	95	23	19	3. 8

※ 前回調査位置からの距離

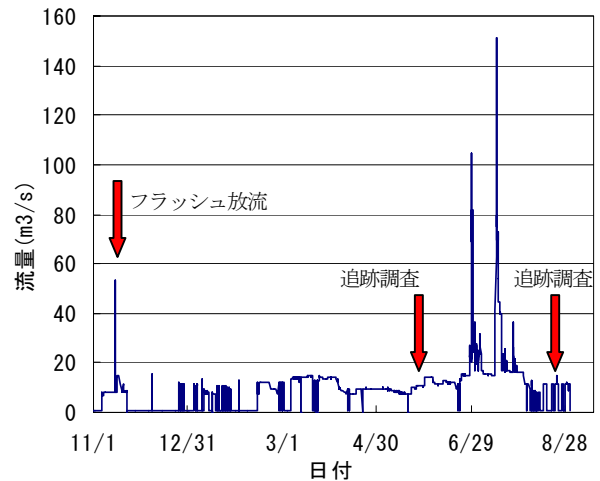


図-4 真名川の流況(2006. 11~2007. 8)

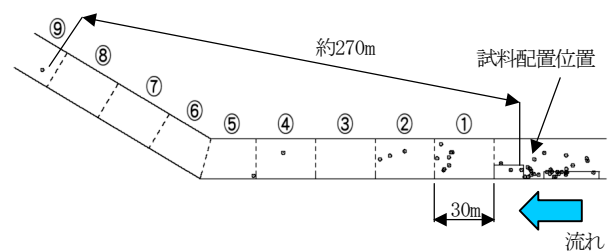


図-5 河道の区間分けと試料の分布平面図(2007. 5. 19)

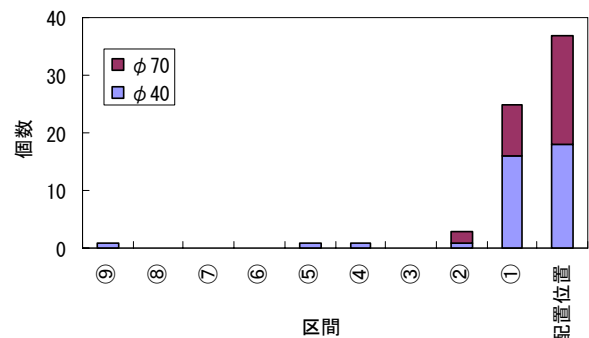


図-6 試料分布状況(2007. 5. 19)

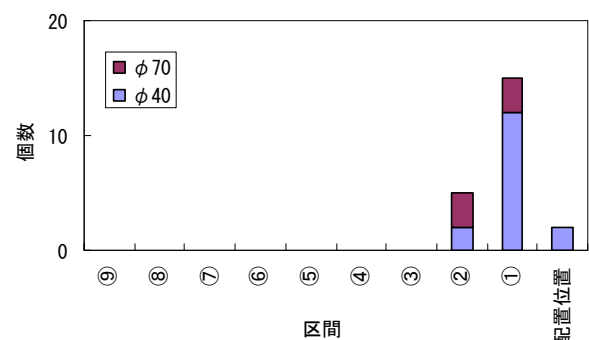


図-7 試料分布状況(2007. 8. 22)

なお、8.22 の調査結果では当初の配置位置にはほとんど試料が残っておらず、またその下流部区間③～⑨においても試料は発見できなかった。5.19 と 8.22 の間には最大流量 $100\text{m}^3/\text{s}$ を超える大きな出水が発生したため、多くが更に下流に流下したものと考えられる。

4. ヒル谷における砂礫移動観測

(1) 目的

真名川での観測は非常に広範囲に渡り、また水深が $50\text{cm}\sim 1.5\text{m}$ 程度であるため本装置での人力観測の限界に近いと考えられた。そこで比較のために、より川幅が狭く水深 20cm 程度と浅い条件での礫移動が期待される溪流での調査をヒル谷(岐阜県高山市)を対象に実施した。



図-8 神通川水系ヒル谷位置図

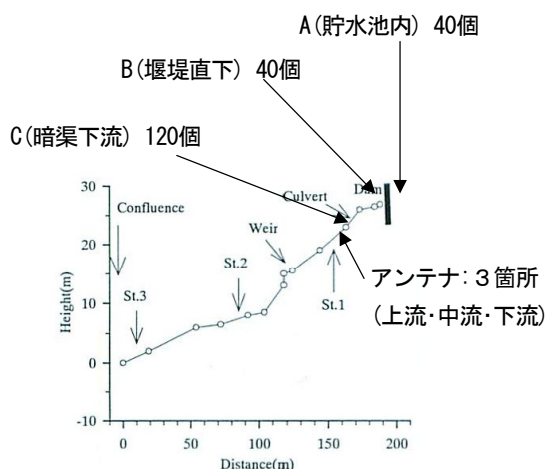


図-9 配置図(縦断面図)

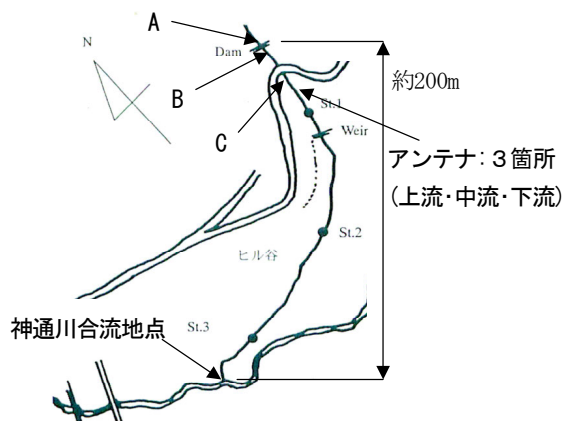


図-10 配置図(平面図)

(2) 試験方法

ヒル谷では毎年 1 回程度調査用の試験堰堤の排砂を行っており、下流のステッププールが発達した溪流に顕著に土砂が供給される。そこで、2007. 6. 16に実施された試験排砂に合わせて I C タグを埋め込んだ試料(コンクリートブロック製 $\phi 40\text{mm}$: 200個)を流下させた。試料は A点(試験堰堤貯水池内)に40個、B点(堰堤直下)に40個、堰堤直下より約30m下流の C点に120個に分けて配置した(図-9, 10)。なお、堰堤下流約30mには道路をくぐるための暗渠が設置されている。

一方、観測は真名川同様に定置型装置と追跡型装置を用いており、定置型装置は堰堤下流約50m地点に10mおよび25mの間隔で3ラインを設定した。写真-1にアンテナ(中流)の設置状況(排砂前)、写真-2に試験排砂の状況を示す。



写真-3 アンテナ設置状況



写真-4 試験排砂状況(左: 試験堰堤, 右: 土砂流下状況)

(3) 追跡型装置試験結果

追跡型装置による観測を、フラッシュ当日直後(2007. 6. 16), 翌日(2007. 6. 17) および約 1 ヶ月後(2007. 7. 14)の計 3 回にわたり実施した。観測期間中のヒル谷の流況を図-11に示す。

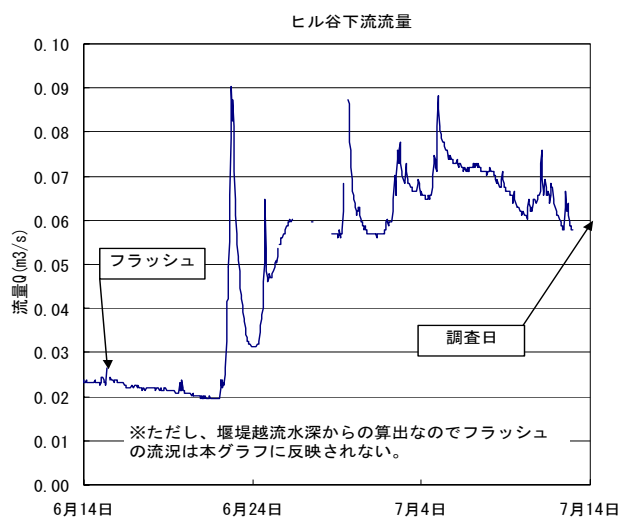


図-11 ヒル谷の流況

試料の移動状況を把握するために、堰堤直下およびC点(暗渠下流)から神通川合流地点まで約30m区切りで区間を定め、各区間の試料の分布状況を放流した全体数に対する発見した個数の比率を発見率として整理した。

図-12に示すように、排砂当日は最下流に設置したC点の試料を中心に下流に向けて分布している。なお、機器の不具合により暗渠上流部の観測が行えなかったがA点、B点に設置した試料が多く存在したと考えられる。

排砂翌日は図-13に示すようにC点に配置した試料が①区間から②区間に多く移動したことがわかる。同様にA点、B点の試料も徐々に下流側の区間に移動している。

図-14に示すように約1ヶ月後には、暗渠上流には試料があまり残っておらず多くが下流に移動し一部は神通川合流地点より流れ出たものと考えられる。また発見個数は、排砂翌日には全体の61%に相当する123個発見されたが、1ヶ月後では46%の91個であった。これは、多くの試料が神通川との合流地点より流れ出たものと考えられる。また排砂翌日の観測と、1ヶ月後の観測両方で発見された試料の移動距離は図-15に示すように概ね100m以下であった。

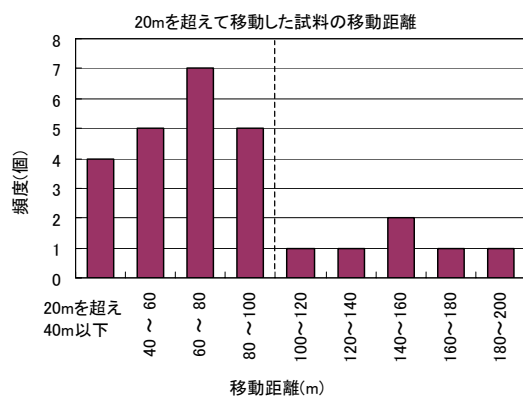


図-15 移動距離頻度(フラッシュ翌日～1ヶ月後)

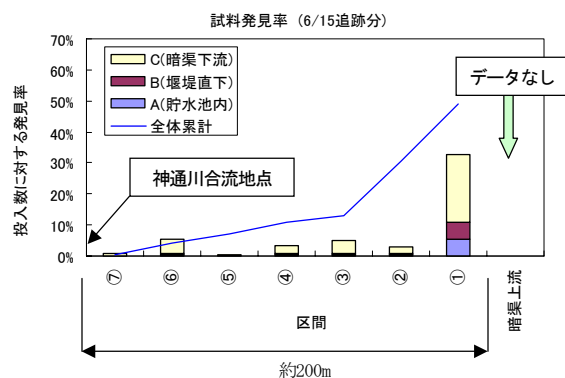


図-12 試料の分布状況と発見率(フラッシュ当日)

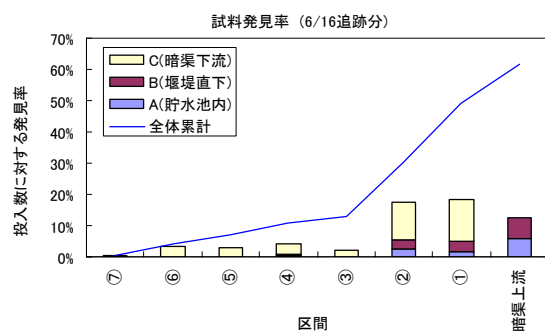


図-13 試料の分布状況と発見率(フラッシュ翌日)

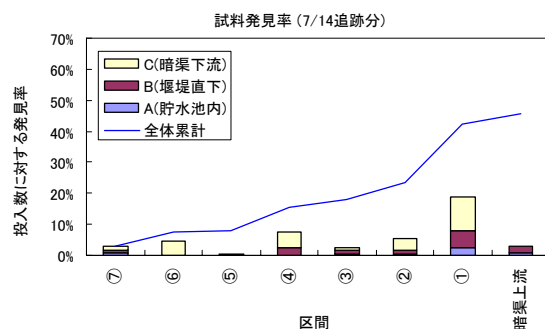


図-14 試料の分布状況と発見率(約1ヶ月後)

(4) 定置型装置試験結果

ヒル谷では、試験堰堤から土砂を排出する際に2回に分けて土砂混じりのフラッシュ放流が行われ、それに伴い流下する試料を3箇所を設置した定置型装置にて観測し、通過試料の特定と通過時刻の記録を行った。図-16、17に、試料が定置型装置の上を通過したダイアグラムを示すが、通過試料のラップタイムから実際のトレーサの移動速度が計測できる。なお、2回目のフラッシュでは下流アンテナを通過した試料は認識されなかった。

表-3に推定された試料の移動速度を示す。アンテナ(上流)→(下流)は、ある試料がアンテナ(上流)で捉えられたが(中流)で観測されずに、(下流)にて観測された場合の移動速度を示す。ここで、下流に行くほど移動速度が大きくなっているのは、河床勾配の変化と、流況が下流に行くほど広がり、短絡的な移動となっていることが考えられる。また、今回観測された試料の移動速度は、

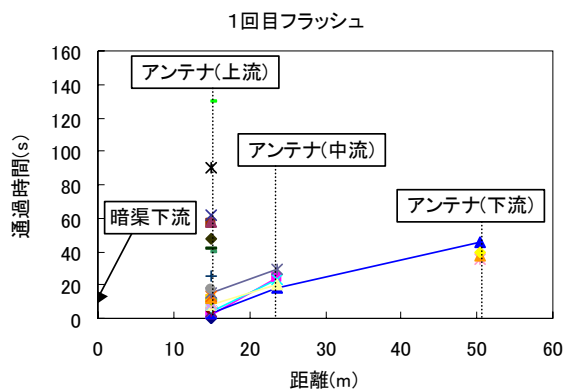


図-16 アンテナ通過ダイアグラム(1回目)

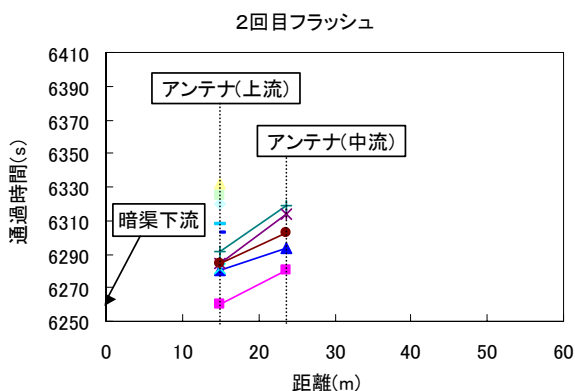


図-17 アンテナ通過ダイアグラム(2回目)

表-3 試料の移動速度

範囲	移動速度 (m/s) (平均)	
	フラッシュ1回目	フラッシュ2回目
アンテナ(上流)→(中流)	0.564	0.424
アンテナ(中流)→(下流)	0.957	(なし)
アンテナ(上流)→(下流)	1.202	(なし)

表-4 定置型装置の捕捉率(認識率)

	アンテナ (上流)	アンテナ (中流)	アンテナ (下流)
(1) アンテナによる 試料観測数	47	6	6
(2) アンテナより下流で 発見された試料個数	59	44	38
捕捉率 = (1)/(2)	80%	14%	16%

アンテナで捕捉できなかったタグを含めた全ての移動速度を代表するものではない。

ここで、排砂当日および翌日の追跡型装置による試験結果を用いて、定置型装置を通過したはずの試料の数と、実際に同装置で捉えられた試料の数より、定置型装置の捕捉率(認識率)を整理することが可能であり、これを表-4に示す。

下流のアンテナほど捕捉率が下がるのは、先にも述べたように、今回の試験では下流に行くほど流れが広がりアンテナ上を通過しなかった試料が出てきたためと考えられる。一方、比較的アンテナ上の流れが安定していたアンテナ(上流)での捕捉率は80%と極めて良好であった。これでも100%とならないのは、例えば、I Cタグの基本性能として、アンテナ上に複数の試料が同時に進入した場合に観測不能となることなどが考えられる。

5. おわりに

I Cタグ技術を用いて真名川およびヒル谷において砂礫の移動観測を行った結果、以下が明らかとなった。

- ・ 砂礫の移動は、一定以上の洪水規模と継続時間が重要なファクターとなる。
- ・ 目視では認識できない礫の移動を洪水イベントごとに個別に追跡することが可能である(砂礫にある程度埋もれていても認識可能)。
- ・ 実際に移動する試料をアンテナで待受け、その通過時刻を計測することにより、砂礫の移動速度を測定することが可能である。
- ・ 適切なアンテナ設置箇所(確実な通過、流れの安定など)を選定すれば、高い捕捉率(認識率)で試料の通過が確認できる。
- ・ ヒル谷規模の河川では、パッシブタグの弱点であるアンテナ捕捉距離の短さが大きな不利とはならない。
- ・ 試料を河川に流下させ、その位置と移動速度の観測が可能となったことから、実際の石材や素材・形状を変化させた人工試料の流下特性を比較検討する素地が出来上がった。

謝辞：本研究を行うにあたり、国土交通省九頭竜川ダム統合管理事務所および京都大学防災研究所徳高砂防観測所の協力を得た。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 角 哲也, 石田裕哉, 佐竹宣憲: I Cタグ技術を応用した砂礫移動に関するトレーサ調査手法の開発, 水工学論文集, 第51巻, pp. 631-636, 2007.
- 2) 坂本博文, 谷崎 保, 角 哲也: 河川土砂還元を組み合わせた真名川ダム弾力的管理試験「フラッシュ放流」, 河川技術論文集, Vol.11, pp.273-278, 2005.
- 3) 坂本博文, 中村甚一, 角 哲也, 浅見和弘: 真名川ダム弾力的管理試験における「フラッシュ放流」の計画と効果の評価手法について, 河川技術論文集, Vol.12, pp.271-276, 2006.

(2007. 9. 30受付)