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

DEVELOPMENT 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) 京都大学助教授 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 is 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 logger. Through laboratory tests, basic characteristics of the IC-Tag such as readability in still and flow water, and under sand bed have been confirmed. We have also 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 basic features of the measurement system and discuss results of laboratory and field experiments.

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

1. はじめに

ダム建設に伴う環境変化の回復手段として,下流河川の攪乱機会を創出する「フラッシュ放流」や減少した砂礫移動を回復させる「河川土砂還元」などが試行されている¹⁾.このような試行実験の効果を現地で計測する方法として,砂礫の移動状況を直接的に把握する方法と,流量増や流砂量増に伴う水質変化(濁度,SSなど)や礫上の付着藻類の剥離更新を把握する方法などが一般に行われている.

このうち、砂礫の移動状況を把握する方法として、ペイントした礫を河床に並べて放流前後で追跡する方法があるが、移動の有無は確認できても、その移動先や移動を開始したタイミングは不明であり、実施効果の評価が困難となっている。そのほか、河床に土砂を捕捉するトラップ箱を設置して放流後に回収してその土砂量と粒度分布から流砂量の多寡および移動した最大粒径を推定する方法があるが、これも砂礫の移動距離やタイミングは同様に明らかにはならない。

一方,単独の個体を広範囲に追跡する手法として,鳥や魚の移動行動をリアルタイムで追跡するラジオテレメトリー手法が各種開発されてきており,また,固有の識別コードや各種情報を自身に記録し観測機と無線で情報を交信するICタグ技術を用いて,多数の個体群を廉価に管理する手法も実用化されている²⁾.

そこで筆者らは、この I C タグ技術を砂礫移動の追跡 調査に応用する手法を考案し、これまでの移動観測に時間と位置の情報を加えることが可能となる調査手法の開発を行った。本論文では、水中(静水・流水)や砂礫下における読取特性に関する基礎実験および九頭竜川水系真名川ダムの下流河川を対象とする現地実験結果について検討を行う。

2. I Cタグシステム概要

(1) 装置概要

砂礫移動の追跡調査に用いるために,砂礫にマイクロ チップを埋め込み,砂礫個々に固有番号を与え,肉眼に

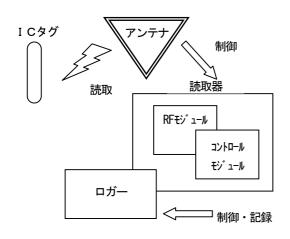


図-1 装置構成ブロック図

拠らずその位置観測が可能となるシステムを構築する.本研究で用いたICタグシステムは、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(写真-1,写真-2)である。同システムは、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る点が特徴である。ICタグが回収不能であった場合の河川環境への影響を配慮する上で、電池を内蔵しないパッシブ型は電池を内蔵し自己発信するアクティブ型に比べ有利である反面、パッシブ型は読取距離が数十cmと短く装置構成に工夫が必要である。本装置の構成(図-1)は、①ICタグ、②アンテナ、③読取器、④ロガー(ノートパソコン)により構成される。以降に各装置の役割を示す。

(2) I Cタグ

ICタグとは、固有の識別コードや各種情報を自身に記録し、読取器と無線で情報を交信する事によりその識別を行うものである。なお、ICタグには、記録情報が読込専用のものと書換可能なものがあるが、今回は固有の番号を持つ読込専用のものを使用した。また、河川に設置しその挙動を追跡する試料として、球形に加工したレンガやプラスチックカプセルの内部に取り付けた(写真-3)。今回使用したものはガラス封入型で長さ32mm直径3.2mmのものを使用している。なお、一般的な環境での使用寿命は30年程度である。

(3) アンテナ

アンテナは、河床に定置することを前提として715×270×16mmの平面形状のゲートアンテナを採用した.アンテナは大きいほど読取距離が伸びる特性を有している.

(4) 読取器 (アンプ)

読取器は、アンテナにICタグへ送信する電力を供給するとともに、ICタグより返信される信号を受信処理する回路である。





写真-1 左: I Cタグ(長さ32mm),右: I Cタグ読取器



写真-2 読取用アンテナ(715mm×270mm)





写真-3 Ι C タグ試料(左: レンガ φ 40mm, 右: カプセル φ 50mm)

(5) ロガー

ロガーは読取器を制御し、I C タグの捕捉状況を確認、記録する装置である. 屋外で使用するためノート型パソコンを使用した.

3. I Cタグの読取性能試験概要

I Cタグを読み取る事が可能なアンテナと I Cタグとの距離や指向性等の読取特性を把握するため、**表-1**に示す試験を実施した. なお、読取距離は I Cタグと通信が成功し I Cタグの番号を読み取ることが出来る距離とした. 試験で得られた結果を以下に示す.

(1) 単体試験

I Cタグの向きについて, 垂直設置の平均読取距離が 15.9cmであるのに対し水平設置では11.0cmに低下する. また, アンテナ I Cタグの位置関係については, 垂直設置時は(長辺直下16.2cm, 短辺直下15.8cm, 中心直下 15.9cm), 水平設置時は(長辺直下10.9cm, 短辺直下 11.1cm, 中心直下11.1cm) と, 誤差程度の変化であった. この点から, 今回使用した I Cタグには指向性があり, 読取距離に影響があることがわかった.

表-1 読取条件と試験種類

1 (2 タ / 2) つの場合の お歌 回記 一	4.≑				☆	14·4·0火作里·共
B 「C タクが1つの場合の 投資 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日本 日	試	- <i>''</i>	R	/th	V+ H	Alle de
図 1 (9 グ %) 1 (7 9 / 7 8) 20		目 的	余	14-	桁 朱	備 考
大学・アナート 1 C タ クの 日本 1						
京	単	ICタグが1つの場合の	移動/	固定		
10.2 10.3 10.0	体	アンテナとICタグの読	固定			
たのよりからファンテナー (2012) 中心 (2012	弒	取距離を計測する. ま	ICタグ	単体	16. 2 15. 8 15. 9	
活用が使わめるかどうか 方法 のみ 会議	験	た、ICタグに指向性が	個数			
1.0.9 11.1		あるかどうか、アンテナ	取付	ICタグ		Lingua L
11		に指向性があるかどうか	方法	のみ	長辺直下 短辺直下 中心直下	垂直設置 水平設置 1:長辺直下 2:短辺直下 3:中心直下
接 1C タクボアンテナ連接 接数 国立 下流 下流 下流 下流 下流 下流 下流 下		を確認する.	運用	気中	10.9 11.1 11.1	
(1) 日				7.1		ICタグの指向性確認 アンテナの指向性確認
議議の大・大場合の学典 国定 10.1 10.2 10.2 10.1 10.2 10.2 10.1 10.2 10.2 10.1 10.2	始	ICAガがアンテナに傍		田定		
大き、今回は水中で計画 10				EI/L	垂直設置 水亚設置	
## また、今回は水中で計画 個数				が日米ケ		
全行い、水の影響を確認 取付 1Cタク 方法 の方 次元 次元 次元 次元 次元 次元 次元 次				个发发义		
する。				TO 10 18	(16個少子均, 单位的)	
選用 水中						
### (1.1 C タグを取り付 終動) 固定 固定 対けた 関立		する.				
新 石材に I C タ グを取り付 移動が 開定 気中 (10個の平均、単位で面) 重直変置 下下空屋 下下後 15.3 10.0 下下後 15.3 10.0 下下後 15.3 10.0 下下後 15.3 10.1 下下後 15.4 14.6 14.9 15.4 14.6 14.9 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0 15.4 14.6 14.9 15.5 10.0				水中		—
 報けた状態で自由落下さ 説定 田本						複数ICタグの読取
放 世、1 C タグが衝撃に対 後				固定		
で	撃	けた状態で自由落下さ	固定			
	試	せ、ICタグが衝撃に対	ICタグ	単体		
方法 取付 振田	験	して耐えられるかどうか	個数		落下後 15.3 10.0	
選用		を確認する.	取付	石材		
選用 大中 大中 大中 大中 大中 大中 大中 大			方法	取付		取り部別工 『ピタク取り 倒脂尤具
本字 本字 本字 本字 本字 本字 本字 本字			運用	気中/		石材へのICタグの取付
理 計株が河床上ではなく砂 移動/ 固定 機圏の中に潜り込んだ場 (状況	水中		
設 機層の中に潜り込んだ場 固定 単体 個数 を程度し、模擬河床 医力 下 下 下 「安中本副が験 で で 下 下 「安中本副が験 で で 下 下 「安中本副が験 で で 下 下 「 で で で 下 下 下 で で で で					洛下後 15.3 10.1	
設	埋	試料が河床上ではなく砂		固定		(断面図)
 (市販の砂料) 中に診料	設	礫層の中に潜り込んだ場	固定		埋設深度	
験 を配置し、その恋取問題 取付 石材 方法 取付	試	合を想定し,模擬河床	ICタグ	単体		アンテナ
	験	(市販の砂利)中に試料	個数			
To		を配置し、その読取距離	取付	石材		4,4
きは垂直方向に設置す 大況 土砂 土砂 土砂 土砂 土砂に埋まった状態でのICタグの読取 上砂に埋まった状態でOICタグの読取 上砂に埋まった状態でOICタグの読取 田佐能を確認する。一般 旧タグ 複数 (V=4. 0m/sec 程度) 全 セル カカ カナ カナ カナ カナ カナ カナ カ		への影響を確認する. I	方法	取付	,	=
きは垂直方向に設置す 状況 土砂 上砂に埋まった状態でのICタグの読取 上砂に埋まった状態でのICタグの読取 大変 大変 大変 大変 大変 大変 大変 大		Cタグのアンテナへの向	運用	水中	単位cm	
		きは垂直方向に設置す	状況	土砂		設画内をは垂直設置
S		る.				1.5m
中 ら移動する I C タグの読 国定 取性能を確認する. 一般						
中 ら移動する I C タ グ の読 固定 取性能を確認する. 一般的な急流河川の流速(個数を整理)を理定し、河床面より鉛直距離で H=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 取付 アラスチックカプセル 市 大次 下 「気中転動試験」で用いたプラスチックカプセル に I C タ グを封入した試料を上流から流下させ、実際の計測状況を再現した状態での動作検証を行う. 面が アラスチックカプセル に I C タ グを封入した試料を上流から流下させ、取付 アラスチックカプセル を変数を変数を変数を表する。 市 大次 下 下 「ステラスチックカプセル に I C タ グを封入した試料を上流から流下させ、実際の計測状況を再現した状態での動作検証を行う. 取付 アラスチックカプセル 取付 アラスチックカプセル を変数を変数を変数を変数を変数を変数を変数を変数を変数を変数を変数を変数を変数を	気	Halana and the same of the sam				土砂に埋まった状態でのICタグの読取
動 的な急流河川の流速 個数 複数 談 (V=4.0m/sec 程度)を 取付 ブラステックカブセル 野 想定し、河床面より鉛直 取付 アラステックカプセル 正 水路に通水させた状態で下「気中転動試験」で用い試 移動/ 移動/ を動		気中において回転しなが	移動/	移動		土砂に埋まった状態でのICタグの読取
動 的な急流河川の流速	T"			移動		土砂に埋まった状態でのICタグの読取
試 (V=4.0m/sec 程度) を 験 想定し、河床面より鉛直 距離でH=1.0m および H=1.5m の落差とする。 取付 取付 財力 ボ 水路に通水させた状態で 下 「気中転動試験」で用い 試 たプラスチックカプセル 移動/ 固定 試 (Cタグを封入した試 験 に I Cタグを封入した試 果際の計測状況を再現した状態での動作検証を行 う。 取付 アラスチックカプセル 関力 取付 方法 アンテナ埋設箇所 取付 下 がかでい 実際の計算が記を再現した状態での動作検証を行 う。 取付 取付		ら移動するICタグの読	固定			土砂に埋まった状態でのICタグの読取
験 想定し、河床面より鉛直 距離でH=1.0m および H=1.5m の落差とする. 方法 かけ も 取付 流 水路に通水させた状態で 下 「気中転動試験」で用い 試 たプラスチックカプセル 移動 固定 移動 固定 1にタグ 単体/ 個数 複数 該は1 Cタグを封入した試 料を上流から流下させ、 実際の計測状況を再現した状態での動作検証を行 う. 取付 方法 カ法 取付 方法 カ法 取付 方法 アラスチックカプセル 運用 状況 水中 状況	転	ら移動するICタグの読 取性能を確認する. 一般	固定 ICタグ	単体/		土砂に埋まった状態でのICタグの読取
	転動	ら移動するI C タグの読 取性能を確認する.一般 的な急流河川の流速	固定 ICタグ 個数	単体/ 複数		土砂に埋まった状態でのICタグの読取
H=1.5m の落差とする. 運用 気中	転動試	ら移動するICタグの読 取性能を確認する. 一般 的な急流河川の流速 (V=4.0m/sec 程度)を	固定 ICタグ 個数 取付	単体/ 複数 プ [*] ラスチッ		土砂に埋まった状態でのICタグの読取
	転動試験	ら移動するICタグの読 取性能を確認する. 一般 的な急流河川の流速 (V=4.0m/sec 程度)を 想定し,河床面より鉛直	固定 ICタグ 個数 取付 方法	単体/ 複数 プ [°] ラスチッ クカプ [°] セル		土砂に埋まった状態でのICタグの読取
流 水路に通水させた状態で 移動/ 下 「気中転動試験」で用い 固定 試 たプラスチックカプセル ICタグ 単体/ 験 に I Cタグを封入した試料を上流から流下させ、実際の計測状況を再現した状態での動作検証を行う. 取付 アンテナ埋設箇所 下 支法 取付 支票の計測状況を再現した状態での動作検証を行う. 取付	転動試験	ら移動するICタグの読 取性能を確認する. 一般 的な急流河川の流速 (V=4.0m/sec 程度)を 想定し,河床面より鉛直 距離でH=1.0m および	固定 ICタグ 個数 取付 方法	単体/ 複数 プラスチッ クカプセル 取付		土砂に埋まった状態でのICタグの読取
下 「気中転動試験」で用い 固定 試 たプラスチックカプセル ICタグ 単体/ 験 にICタグを封入した試料を上流から流下させ、実際の計測状況を再現した状態での動作検証を行う. 取付 プラスチックカプセル 複数 複数 複数 取付 カガブセル 大状態での動作検証を行った状態での動作検証を行った状態での動作検証を行った状態での動作検証を行った状態での動作検証を行った状況	転動試験	ら移動するICタグの読 取性能を確認する. 一般 的な急流河川の流速 (V=4.0m/sec 程度)を 想定し,河床面より鉛直 距離でH=1.0m および	固定 ICタグ 個数 取付 方法 運用	単体/ 複数 プラスチッ クカプセル 取付		
試 たプラスチックカプセル ICタグ 単体/ 複数 験 にICタグを封入した試 個数 複数 料を上流から流下させ、 実際の計測状況を再現した状態での動作検証を行う。 取付 アンテナ埋設箇所 事用 状況 水中	転動試験	ら移動するICタグの読取性能を確認する. 一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする.	固定 ICタグ 個数 取付 方法 運用 状況	単体/ 複数 プラスチッ クカプセル 取付 気中		
験 にICタグを封入した試 料を上流から流下させ、 実際の計測状況を再現し た状態での動作検証を行 う. 面付 万法 りがプセル 取付 連用 状況 水中 状況	転動試験流	ら移動するICタグの読取性能を確認する. 一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする.	固定 ICタグ 個数 取付 方法 運用 状況 移動/	単体/ 複数 プラスチッ クカプセル 取付 気中		プラスチックカプセル 転動試験装置
料を上流から流下させ, 実際の計測状況を再現し た状態での動作検証を行 う.	転動試験流下	ら移動するICタグの読取性能を確認する. 一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 水路に通水させた状態で「気中転動試験」で用い	固定 ICタグ 個数 取付 方法 運用 沢 移動/ 固定	単体/ 複数 プラスチッ クカプセル 取付 気中		プラスチックカプセル 転動試験装置
実際の計測状況を再現した状態での動作検証を行う. 方法	転動試験流下試	ら移動するICタグの読取性能を確認する. 一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 水路に通水させた状態で「気中転動試験」で用いたプラスチックカプセル	固定 ICタグ 個数 取付 方法 運用 状勢が定 ICタグ	単体/ 複数 プラスチッ /カプセル 取付 気中 移動		プラスチックカプセル 転動試験装置
た状態での動作検証を行 う.	転動試験 流下試験	ら移動するICタグの読取性能を確認する. 一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 水路に通水させた状態で「気中転動試験」で用いたプラスチックカプセルにICタグを封入した試	固定 ICタグ 個数 取付 方法 運用 状 動/ に ICタグ 個数	単体/ 複数 プラスチッ かかでい 取付 気中 移動 単体/ 複数		プラスチックカプセル 転動試験装置
う. 運用 水中 状況	転動試験流下試験	ら移動するICタグの読取性能を確認する. 一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 水路に通水させた状態で「気中転動試験」で用いたプラスチックカプセルにICタグを封入した試料を上流から流下させ、	固定 ICタグ 個取付 法 単 状 動 が 定 ICタグ 個数 取け 法 利 取 が 関 に タグ 個 取付	単体/ 複数 プラスチックカプセル 取付 気中 移動 単体/ 複数 プラスチックカプ・セル アラスチック		プラスチックカプセル 転動試験装置
状况	転動試験流下試験	ら移動するICタグの読取性能を確認する. 一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 水路に通水させた状態で「気中転動試験」で用いたプラスチックカプセルにICタグを封入した試料を上流から流下させ、実際の計測状況を再現し	国定 ICタグ 個取 方法 選択 影動/ 定 図数 取け法 移動/ 定 関 取 方法 おり に の 数 付 方法 は ない かい	単体/ 複数 プラスチックカブセル 取付 気中 移動 単体/ 複数 プラスチックカプセル		プラスチックカプセル 転動試験装置 試料 (複数)
	転動試験流下試験	ら移動するICタグの読取性能を確認する.一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 水路に通水させた状態で「気中転動試験」で用いたプラスチックカプセルにICタグを封入した試料を上流から流でを再見した状態での動作検証を行	固定 ICタ数 取方法 運状 動 定 ICタ数 移 固 取 方 返	単体/複数プラスチックカブセル取付気中移動単体/複数プラスチックカブセル取付		プラスチックカプセル 転動試験装置 試料 (複数)
流下試験状況	転動試験流下試験	ら移動するICタグの読取性能を確認する.一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 水路に通水させた状態で「気中転動試験」で用いたプラスチックカプセルにICタグを封入した試料を上流から流でを再見した状態での動作検証を行	固定 ICタ数 取方法 運状 動 定 ICタ数 移 固 取 方 返	単体/複数プラスチックカブセル取付気中移動単体/複数プラスチックカブセル取付		プラスチックカプセル 転動試験装置 試料 (複数)
DOT 1 - 200 VI	転動試験流下試験	ら移動するICタグの読取性能を確認する.一般的な急流河川の流速(V=4.0m/sec 程度)を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とする. 水路に通水させた状態で「気中転動試験」で用いたプラスチックカプセルにICタグを封入した試料を上流から流でを再見した状態での動作検証を行	固定 ICタグ 個取 方法 運 状 移 固 に タグ 関 取 方法 下 1 に タ が 対 法 重 用 に タ 数 付 法 運 用	単体/複数プラスチックカブセル取付気中移動単体/複数プラスチックカブセル取付		プラスチックカプセル 転動試験装置 試料 (複数)

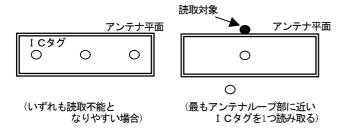


図-2 I Cタグが複数ある場合の読取

(2) 複数試験

平均読取距離は、垂直設置が16.1cm,水平設置が9.2cmであった。気中での試験結果が垂直設置15.9cm,水平設置11.0cmと比較すると、水平設置での読取距離が低下する傾向がある。これは水中・気中の差というより、複数設置の影響が有るものと考えられる。また、一度に読み取れるICタグは1つであり、最もアンテナに近いICタグを読み取る。また、図-2のようにアンテナ平面内に複数個ICタグがある場合読取不能となりやすい。

(3) 衝擊試験

垂直設置での読取距離は水中気中落下前後いずれも 15cm,水平設置での読取距離は水中気中落下前後いずれ も10cm程度であった.このことから,河川内で土砂同士 が衝突するエネルギーと同程度となる衝撃に対して,性 能には影響ないことがわかった.

(4) 埋設試験

試料が河床上ではなく砂礫層の中に潜り込んだ場合を 想定し、試料を砂利の中に埋設し読取距離を計測した. I Cタグのアンテナへの向きは垂直方向のみとした.各 埋設深度においても読取距離は概ね15cm程度であり、特 に通常の砂利は性能には影響がないことがわかった.

(5) 気中転動試験

スロープ (傾斜角=45°) を設け、上方より試料を落下させて、気中において回転しながら移動する場合の読取性能を確認した. 一般的な急流河川 (V=4.0m/sec程度)の流速を想定し、河床面より鉛直距離でH=1.0m およびH=1.5m の落差とした. また試料は、スムースにスロープを転がるように、プラスチックカプセル(直径50mm)にガラスビーズとICタグを封入したものを使用した.

a)単体落下

試料単体落下の場合, H=1.0mにおいては,全て読み取る事が出来た. H=1.5mにおいて,7割程度の確率で読み取る事が出来た.

b) 複数落下

H=1.0mでのみ試験を行った. 同時に2~5個の試料を落下させたが、アンテナの読取エリア内に複数のICタグが存在した場合、読み取れない状態となる.

c) 連続落下

毎秒2個程度の間隔で落下させたところ、アンテナの 読取エリア内に複数の I Cタグが進入する状態にならな い限りは読み取ることが可能である.

d) まとめ

I Cタグ単体での読取性能については特に問題はないが、「b) 複数落下」の結果と同様、アンテナの読取エリア内に複数の I Cタグが存在する場合、読取不能となる. 通常状態での発生確率は低いと考えられるが、留意しておく点といえる. また、H=1.5mの成績が低下するのは、I Cタグの回転速度の影響が大きいと考えられる.

(6) 流下試験

水路床にアンテナを設置し、水路流速約1.0m/sec,水深5cmの流れに上流側より試料を流下させ読取性能を確認した。また、水深30cm程度まで増加させ、試料を浮遊させた状態での読取性能も確認した。なお、この試験以降は回路構成を変更してアンテナ出力を増大し、従来の約15cmから約35cmに読取距離を向上させた。

a)単体流下試験

試料を単体で流下させた場合は支障なく読み取る事が出来た.

b) 複数流下試験

試料を複数流下させた場合,気中落下試験の場合と同様にアンテナの読取エリア内に複数のICタグが存在した場合,読取不能となる.また前後して二つの試料が読取範囲内に進入し片側のみの試料を読み取った場合,後から進入した試料が読み取られる場合が多い.

c)連続流下試験

毎秒2個程度の試料を連続して流下させたところ, 支障なく読み取る事が出来た.

d) 浮遊状態試験

単体で浮遊させた状態では支障無く読み取る事が出来たが、読取範囲内の河床上に1つの試料を設置した状態で2個目の試料を浮遊流下させて読み取ることは出来なかった.逆に、1つの試料が浮遊状態で読取範囲内に留まった状態で河床上を2個目の試料が通過する場合も同様である.つまり、浮遊・掃流状態にかかわらず、**図-2**に示した状況となる.

e) まとめ

読取条件としては、気中転動試験にて設定した試料速度V=4.0m/sec 程度では支障なく読み取ることができる. ただし、試料が読取範囲に複数存在した場合読み取れない. つまり、読取範囲内に何らかの原因で試料がとどまってしまった場合、そのアンテナは読取不能になってしまう. ただし、アンテナの読取範囲付近に試料がとどまらない工夫と、アンテナを複数設置する事で、読取不能な事態の発生に対してシステムの耐性を向上させることが可能である.

4. 現地試験

(1) 目的

I Cタグの読取性能試験を踏まえ、本調査手法を実用に供するために、アンテナを河床に定置する定置型装置と、アンテナを河床上にかざして河床にある試料を捕捉する追跡型装置を考案した。これらを試作し、実際に真名川ダム(福井県大野市)のフラッシュ放流にあわせて設置し現地試験を実施した(図-3).

(2) 定置型装置試験

a) フラッシュ放流試験 (2005.8.2, 2005.12.8)

定置型装置は、試料(ICタグ)が河床を流下し、河 床に埋設したアンテナ上方を通過することで通過タグの 特定と通過時刻の観測が行われるものである(図-4). 計測ラインを2ライン設ける事で、試料の移動速度を得 る事も可能である. ただし, 第1回, 第2回のフラッシュ 放流試験とも試行と位置づけ1ラインで行っている. 特 に第2回フラッシュ放流試験では、図-6に示すように、 放流に合わせて河川土砂還元が計画された。そこで、直 径70mm (150個) と40mm (150個) の球形に加工した素焼 きレンガにICタグを取り付けたものを、この盛土の中に 一定間隔(約50cm)で、深さ約10cmにて埋設(設置位置 を記録) するとともに、図に示すように下流河床に装置 を5基設置し、フラッシュ放流時の水流によって試料が 流下して来るのを待ち受けた. ちなみに, 第1回フラッ シュ放流は,直径40mmの試料30個を放流前に河床に設置 し、装置1基にて流下して来るのを待ち受けた. 埋設し たICタグは固有番号下3桁で管理している.

なお,第2回フラッシュ放流波形は,**図-5**に示すとおりである.

b) 試験結果

第1回試験および第2回試験ともに、放流前の試料の設置位置とアンテナの設置位置が離れすぎており(200~250m程度)、残念ながらフラッシュ放流実施中(約6時間)には実際に流下してくる試料を計測できなかった。

また、アンテナは周囲の洗掘を防ぐように傾斜を持った水たたき状のアンテナベース(ドブ板)に固定したが、アンテナとロガーはケーブルで接続していたため、ケーブルに水流の力が作用し、アンテナがアンテナベースからはずれるケースが確認された。そこで、その改良版としてデータを無線によりロガーに送信するシステムが必要であることが明らかとなった。

(3) 追跡型装置試験

a) 追跡型装置

追跡型装置は、河床中の土砂にアンテナをかざし、掃流された試料の存在を確認するものである。GPSを搭載する事で、容易に位置を特定する事が出来る.

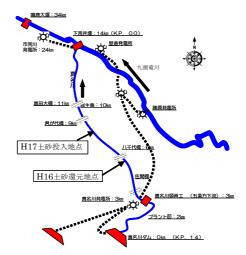


図-3 真名川ダム下流河川模式図(概念図)

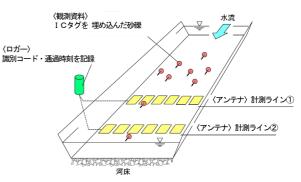


図-4 装置構成ブロック図

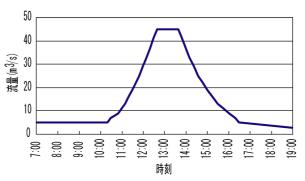


図-5 第2回フラッシュ放流波形 (八千代橋地点)

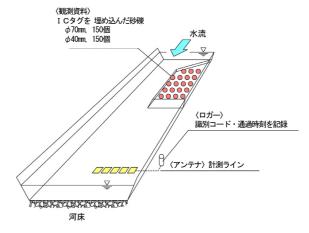
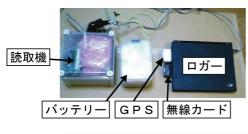


図-6 第2回試験における試料およびアンテナの配置





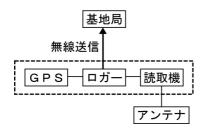


図-7 追跡型装置ブロック図

河川内で作業者が追跡型装置を持ち歩くため、**図-7**のようにロガーでICタグの読み取り情報とGPSの位置情報を把握し、その結果を地上の基地局に都度無線送信する方法としている.

b) 試験結果

① 第2回フラッシュ放流直後

第2回放流試験を実施した翌日に調査した結果,埋設地点から下流200mの範囲内に点在してICタグの反応が得られ,しかも,その大部分は目視で試料を確認することはできず,埋没していることが明らかとなった。このことより,実際の河床条件においてもICタグの追跡が可能であり,短時間の出水での礫の移動距離は小さく,また,表面を転動しながら流下するのではなく,河床材料と混合しながら,一部河床に潜りながら流下しているものと考えられる.

② 第2回フラッシュ放流3ヶ月後

第2回放流試験を実施した約3ヶ月後に、試料埋設位置近傍での調査を再度実施した(**表-2**). これより確認できた試料は、埋設位置からそれぞれ移動していることがわかる. また、確認できた試料は、フラッシュ放流直後に実施した時と同様、全て埋没しており目視では確認することはできなかった. なお、I C タグの位置は、G P S を用い個々に移動位置を把握した.

③ その後の追跡調査

融雪出水などにより当初の予想以上に礫が移動していることが明らかとなったため、その後、数回に渡ってさらに下流地点の追跡調査を行った。その結果、第1回

表-2 試料移動状況

計測年月日	タグ番号	移動距離	直径	備考
2005年12月 8日				フラッシュ放流の実施
2006年 2月 8日	541	5m	70mm	
IJ	383	15m	70mm	
"	377	15m	70mm	
"	301	25m	70mm	
"	283	25m	70mm	
"	512	10m	40mm	
IJ	409	15m	40mm	
IJ	408	15m	40mm	
IJ	367	15m	40mm	
2006年 6月11日	679	3.0km	40mm	05/8/2 放流分
2006年 7月 7日	322	0.9km	70mm	
IJ	319	0.9km	70mm	
2006年 9月 2日	268	1.1km	40mm	
2006年 9月28日	275	1.3km	70mm	

試験において八千代橋上流で流下させた試料が約3km下流の君が代橋下流地点で確認され、長期間かつ長距離にわたって試料の追跡が可能であることが確認された(表-2).

5. おわりに

I Cタグ技術を用いて、河床の砂礫移動を目視によらず計測可能である事を示した。ただし、アンテナのサイズや使い勝手が既製品のためやや悪く、また読取可能距離も現状では約30cmと短い点など、デザインと性能の向上を図る必要がある。

一方,今回用いたパッシブ型の場合には,電源がIC タグ内に不要であり,砂礫に取り付けさえできれば電池寿命に左右されない追跡が可能であるため,砂礫の長期観測が可能である。今後は、システムとしては読取距離の向上,また、砂礫の挙動としては、試料の形状や材質による移動の相違、また、河床における埋没深さなどについて検討を進める必要がある。

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の協力を得た.ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) 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,第12巻,pp. 271-276, 2006.
- Klaus Finkenzeller: RFIDハンドブックー非接触 I Cカードの 原理と応用,ソフト工学研究所 訳 日刊工業新聞社;第2 版,2004.05

(2006.9.30受付)