

ICタグおよびICリーダーを用いた 簡易浸水センサーの開発

DEVELOPMENT OF INUNDATION SENSOR WITH IC-TAG AND IC-READER

清水敬生¹・川島幹雄²・妹尾泰史¹・齋藤健一³・小林誠⁴・水間幸大⁴

Shimizu Takao, Kawashima Mikio, Senoo Hiroshi,
Saito Kenichi, Kobayashi Makoto and Mizuma Yukihiro

¹正会員 株式会社東京建設コンサルタント (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

²正会員 工博 株式会社東京建設コンサルタント (〒170-0004 東京都豊島区北大塚1-15-6)

³正会員 株式会社トランスコア (〒115-0045 東京都北区赤羽1-59-9)

⁴正会員 株式会社富士精工 (〒356-0041 埼玉県ふじみ野市鶴ヶ舞3-4-5)

In this study, a simplified inundation sensor using IC tag and IC reader was developed. For the sensor detecting inundation, IC tag and IC reader were employed due to its lower price and easy maintenance. A 950MHz band was applied to the IC tag in consideration of reliability and communication distance.

In developing the device, tests were conducted on the assumption of actual flooding and the communication property for the IC tag and IC reader was analyzed. Through these, it was ensured that the device functions smoothly as the sensor. Since the device is inexpensive, easy to maintain, and only requires the small space to set, it is possible for some of the devices to distribute in the city and get dimensional real-time flooding information. Therefore, the device is expected to be useful to support evacuation guidance at the time of flood for the future ubiquitous information society.

Key Words : IC-tag, IC-reader, flood warning, sensor, indicator for evacuation,

1. はじめに

近年、福岡豪雨(平成11年6月, 平成15年7月), 東京都練馬区を中心とした豪雨(平成11年7月), 東海豪雨(平成12年9月)など, 都市部において河川および下水道の整備水準を超える豪雨による外水・内水被害が頻発している。また, それらを契機として, 都市型水害に関する課題が種々提起されている(都市型水害に関する緊急提言, 平成12年)。それらの中で, 河川, 下水道整備の重要性と同時に, 「水災危機管理, 被害軽減」および「水災時の情報提供等」などのソフト対策の重要性が掲げられている。

ソフト対策の中で特に重要な情報提供については, 河川の水位情報および気象情報の提供・共有化の面で整備が進んできている。一方, 水害が発生した際の流域状況に関する情報提供については現在も課題となっている。

また, 全国的に作成が進んでいるハザードマップの作成については, 事前の危険性や基本的な避難行動を周知するという観点では非常に役立つものであるが, リアル

タイムの情報ではないため, 流域自治体が, 水害時の流域状況を判断し, 予測困難な突発的な事象に対して柔軟に対応し, 流域住民の避難行動を支援する事は困難である。

内水あるいは外水によるはん濫が発生し, 避難が必要な場合, はん濫流の流下・拡散状況を追跡し, かつ浸水区域をリアルタイムで把握することができれば, 最適な避難経路や避難所を抽出するための判断材料となる。また避難誘導を行う際にも有効な情報となるため, リアルタイムで流域のはん濫状況を把握することの必要性が高まっている。

上記を踏まえ本研究では, 内水または外水はん濫による浸水が発生した場合, 「踵」, 「膝上」, 「腰高」など, 避難行動の指標となるいくつかの段階の浸水レベルを検知できるセンサーを開発することを目的とした。なお, このセンサーは避難行動に有効なものとするために, 市街地に複数基設置し, 浸水状況の時間変化を把握するものとする。そのためには, 次のような条件を満たす必要がある。

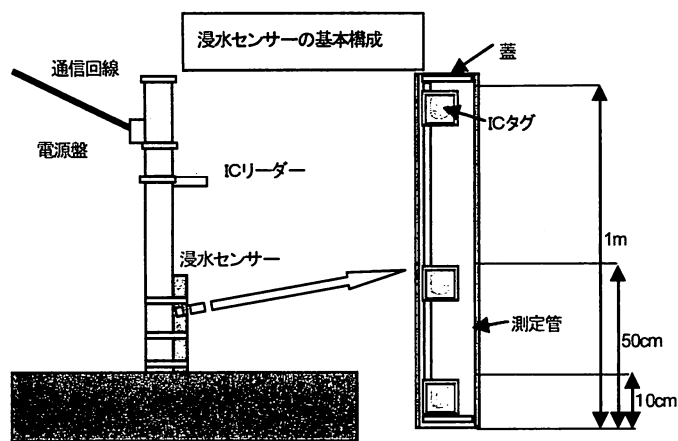


図-1 浸水センサーの基本構成

- ・メカニズムがシンプル
- ・安価
- ・メンテナンスが容易
- ・設置スペースが小さい

本研究で考える浸水センサーは、浸水深の検知にICタグとICリーダーを用いることで上記の条件を満たすことができると考えられる。

2. 浸水センサーの特長

本研究で開発する浸水センサーは、ICタグを利用することで、以下のメリットが得られると考えた。

○安価かつ省スペース

従来の浸水センサーは、水位計を利用するものが多くシステムとして高価であった。

本研究で開発する浸水センサーは、広く使われているICタグを利用するため、安価かつ省スペースであるため、浸水の恐れのある区域に複数設置することができ、氾濫流の時間的・面的な広がりをリアルタイムで捉えることができる。

価格的には水位計の半額以下、今後タグ、リーダーともに値下がりすることも予想される。

○故障にも迅速に対応・メンテナンスも容易

従来の水位計等による浸水センサーは、浸水が発生して初めて稼働する。このため点検を十分に行わない限りは平常時に機器が故障していても気付きにくく、浸水が発生してはじめて計測不能の事態が判明する。

これに対し、本研究で考える浸水センサーは、ICタグが浸水することによってICリーダーが電波を受信できなくなる特性を利用したものである。即ち、平常時から常に観測している状態であるため、故障が発生した場合にも迅速に対応できる利点がある。

メンテナンスについても、故障や電池切れなどが発生した機器について、計画的に速やかに点検・交換することが可能である。

表-1 アクティブ型とパッシブ型タグの特徴

型	特 徴
アクティブ型	電池を内蔵して数十m程度の長距離での通信が可能なタイプのICタグ。 自らの電源で駆動して電波を受発信するため、リーダー/ライタとの距離が数十mでも通信できるという長所があるが、電池の寿命が尽きると通信できなくなり、また、パッシブ型よりも高価である。
パッシブ型	電池を内蔵せず1m以下の近距離での通信が可能なタイプのICタグ。 自らは電源を持たないため、リーダー/ライタのアンテナが放つ電波で電磁誘導を起こすなどの手段で駆動し、電波の受発信を行なう。

○シンプルなメカニズム

簡易的なメカニズムであり、センサー部分のメンテナンスに関しては専門的知識を必要としないため、自治体の防災担当職員にも取扱いが容易である。

3. 浸水センサーのメカニズム

ICタグを利用した浸水センサーの主な構成は、

- ・ICタグ（踵、膝、腰＝10、50、100cmに設置）
- ・ICタグの保護管
- ・ICリーダー
- ・通信回線

以上で構成される。

図-1に基本構成を示す。

(1) ICタグの概要および特性

ICタグは、SUICAの普及などで急速に身近な存在となっている。鉄道等の乗車カードの他、ユビキタスネットワークを活用して、ICタグと携帯端末を用い、非常時に住民等を円滑に避難誘導できるシステムの整備が提言¹⁾されており、今後のユビキタス情報社会に対応した河川・災害情報の高度化への利用が期待されている。

ICタグは3×7cm程度の大きさで、電波や電磁波でICリーダーと通信する。形状はラベル型、カード型、コイン型、スティック型などがある。また、通信方式の違いとして「パッシブ型」、「アクティブ型」と2種類のICタグが存在する。これらの違いを表-1に示す。

本研究では、浸水センサー用用途には、ICタグとICリーダー間の距離が流域の最大浸水深以上（浸水想定区域図から最低5m）は必要であるという利用環境からアクティブタグを採用した。

利用するICタグの周波数については、950MHzアクティブタグを採用した。これは、浸水センサーの基本的な機能は、タグが水没することで、水により電波が遮蔽される機能を利用するためである。300MHz帯のアクティブタグ等の低い周波数では、十分な遮蔽が期待できない。

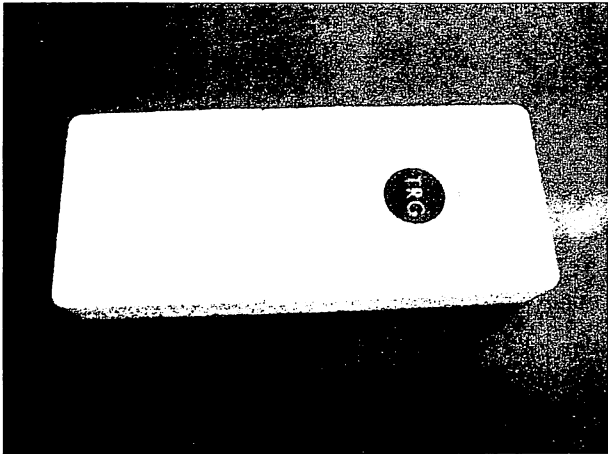


図-2 950MHz帯アクティブタグ

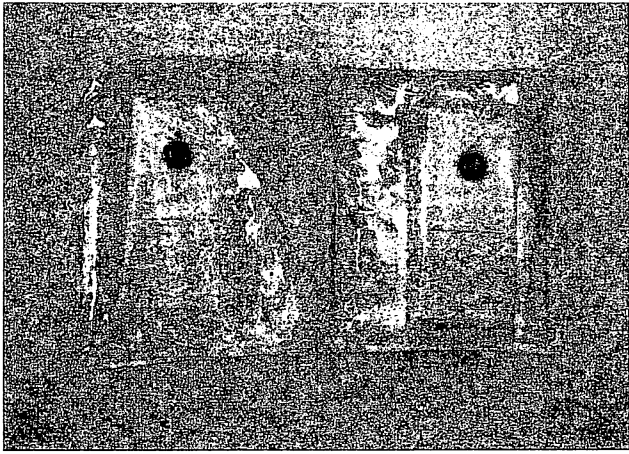


図-4 ジェルによる防水処理例

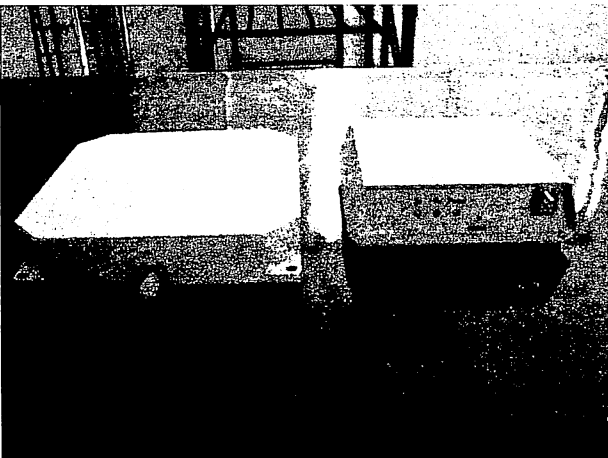


図-3 950MHz帯アクティブタグリーダー

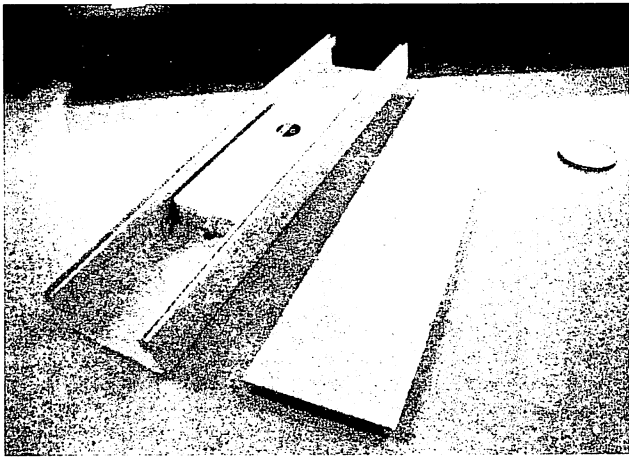


図-5 ICタグ固定方法

表-2 950MHz帯アクティブタグリーダー諸元

項目	諸元
チャンネル	951. 2MHzから600kHz間隔7波のうち1波
実効通信速度	250kbps
寸法	約 120mm (W) × 100mm (D) × 40mm (H)
重量	約180g
電源	ACアダプタ 12V, 1. 8A
アンテナ (外付け)	
インピーダンス	50Ω
寸法	140mm (幅) × 140mm (高) × 30mm (奥行)
重量	約470g

表-3 950MHz帯アクティブタグ諸元

項目	諸元
チャンネル	951. 2MHzから600kHz間隔7波のうち1波
実効通信速度	250kbps
寸法	約70mm (幅) × 30mm (奥行) × 10mm (高)
重量	約20g (電池装着時)
電池	CR2450リチウムコイン電池 電圧3, 径24mm, 厚さ5mm

実際の300MHz帯のアクティブタグを使い実験を行った結果では、水中で数メートルの通信を確認した。

実験に使用した950MHz帯アクティブタグは、約70mm (幅) × 30mm (奥行) × 10mm (高) 約20g、タグリーダーは約120mm (W) × 100mm (D) × 40mm (H) 約180gとコンパクトである。外観を図-2、図-3に示す。また諸元を表-2、表-3に示す。

(2) 構成材料および構造

本研究で開発した浸水センサーは、水密保護材料としてジェル（流動性がある絶縁物質）を流し込み硬化させることによって、水分の侵入を防ぎ防水処理をおこなった。水密保護方法を図-4に示す。

実際の使用に際しては、ジェルをケースの中に充填することで、更にコンパクトに作成することができる。

ICタグ固定方法は、タグ自体を防水処理した上で、樹脂製のU型アングル材料（室内配管用ダクト）に穴を開け、結束バンドにて直接固定する方法とした。固定方法を図-5に示す。

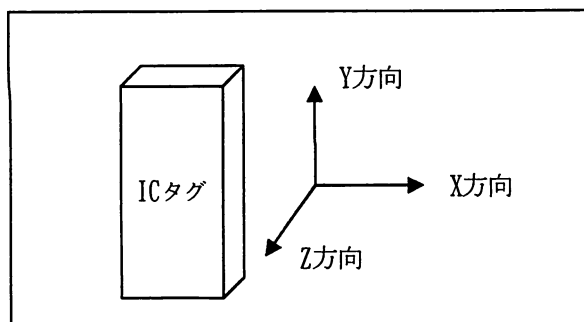


図-6 タグの方向

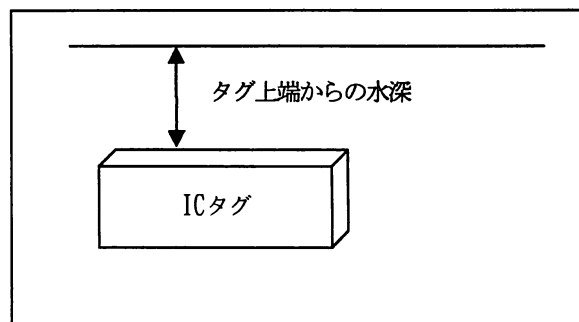


図-10 タグ上端からの水深

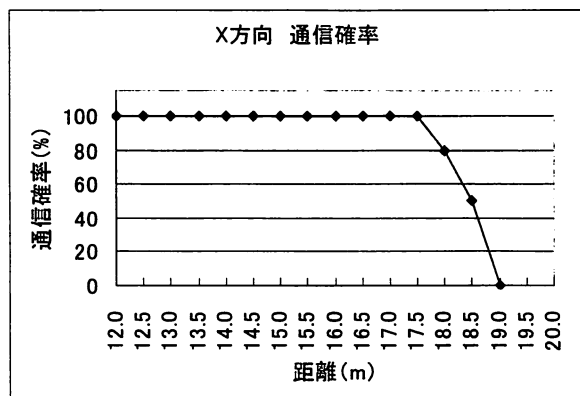


図-7 X方向の通信距離

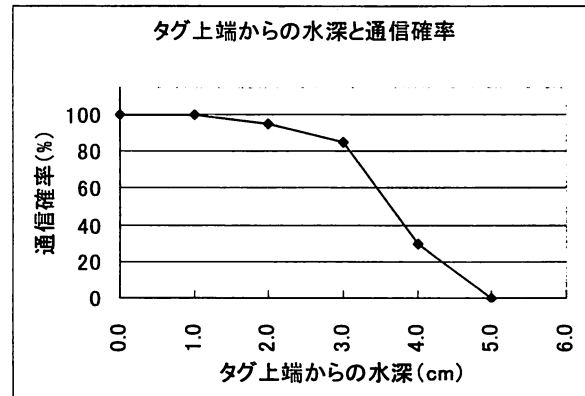


図-11 タグ上端からの水深と通信確率

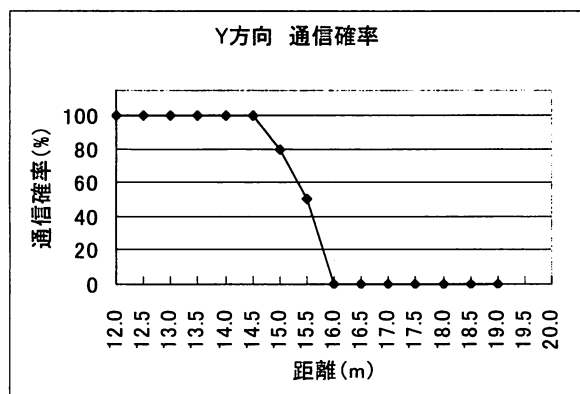


図-8 Y方向の通信距離

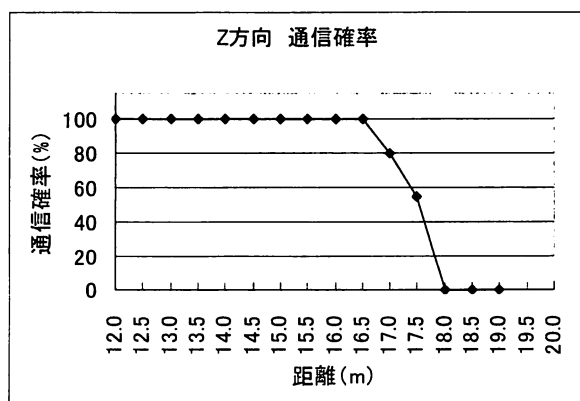


図-9 Z方向の通信距離

4. 浸水センサーの検証試験

(1) 屋内環境でのICタグの通信安定性評価

a) 指向性

本来ICタグは無指向性のアンテナを持つべきであるが、物理的および電氣的制約により内蔵のアンテナに指向性が発生する。よってタグの取り付け方向とアンテナとの相対方向により通信距離が変化し、その結果、通信の安定性に変化が現れる。

浸水センサーは自然環境中に設置する装置であり、通信距離のマージンを実測し安定的に通信可能な距離を確認した。

実際タグの取り付けは、タグが直方体であることから便宜的にZ, Y, Z方向としそれぞれの軸方向での通信安定性の確認を行った。方向の取り方を図-6に、実験結果を図-7～図-9に示す。

この結果、15m程度以内であれば、設置方向に関係なく通信が安定することが確認された。

b) 通信時間間隔の評価

指向性の実験結果から、数秒に一回の通信間隔であれば、通信エラーは発生しないことが確認できた。

c) 水中でのICタグの通信特性

水槽に防水処理を行ったタグを設置した状態で水位を上下させ、一番通信距離の長いX軸方向の読み取りを連続して行い、通信が途絶する水位について計測を行った。浸水深と通信確率の計測結果を図-11に示す。

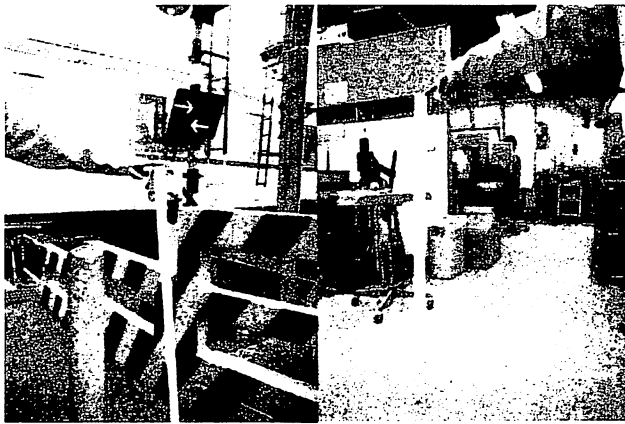


図-12 電磁的なノイズ環境での通信実験
(左：電車等のノイズ 右：溶接のノイズ)

この結果からタグの上端から5cmの水深があれば電波が遮断され通信が途絶し、浸水センサーとして使用できることを確認した。

(2) 屋外環境でのICタグの通信安定性評価

屋外環境での通信安定性を検証するため、以下の試験条件を設定し屋外での実用性があることの検証を行った。

a) ICタグの設置条件と通信安定性評価

○電磁的なノイズ環境での通信安定性：電車線、溶接、他用途ICタグによる影響

電磁的なノイズ環境として日常生活で身近な、電車線（架線、パンタグラフ等）、溶接現場、他用途のICタグ（鉄道の乗車カード13.56MHz帯）が本機に及ぼす影響を確認した。実験の様子を図-12に示す

（試験結果）いずれのノイズ影響下においても通信は正常に行われた。

b) 自然環境での通信安定性評価

○高温高湿：ICタグを水温80℃の水中に長期間放置

一般的な気象観測機器の動作温度範囲が-30～70℃であることから+10℃高い温度にて実験を行った。

（試験結果）試験後に通信距離等の変化は無かった。

Z軸（約20m） X軸（約18m） Y軸（約16m）

○塩水付着：ICタグに海水濃度の塩水を噴霧（35.5g/kg）

一般的な塩水噴霧試験では海水濃度で48Hであるが、より厳しい試験として3日間とした。

（試験結果）試験後に通信距離等の変化は無かった。

Z軸（約20m） X軸（約18m） Y軸（約16m）

○凍結：ICタグ外周を5mm程度の薄氷で凍結

一般的に凍結に関する試験基準はないが、今回は日本電気株式会社社内基準である3mmを超える5mmを採用した。雨と気温低下により氷に覆われるとした場合、保護管によってそう多くの水分は付着せず氷が大きく成長しないと思われる。

（試験結果）通信距離に若干低下したが最低でも15m以上あった。

Z軸（20m→18m） X軸（18m→17m） Y軸（16m→15m）



図-13 濁水の影響下での通信実験

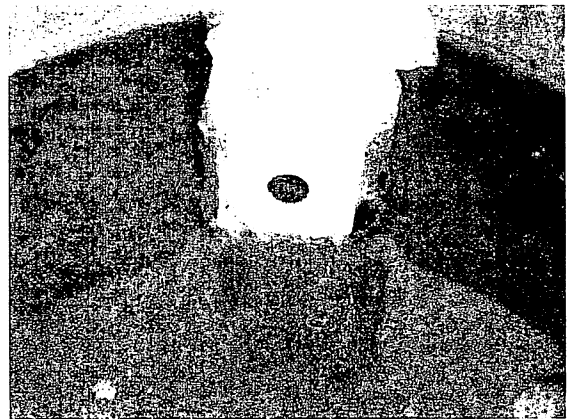


図-14 堆積土の影響下での通信実験

(3) はん濫水中でのICタグの通信安定性評価

はん濫を考慮して濁流水と堆積土の通信に対する影響の確認を行った。

a) 濁流水による通信安定性評価

濁水では水深1cm以上で通信が遮断した。また濁水を抜き、泥等が付着した状態では通信に影響はなかった。実験の写真を図-13に示す。

b) 堆積土による通信安定性評価

泥に沈めた場合、約1cmの埋没で通信が遮断された。実験の写真を図-14に示す。

以上のことから、清水ではタグが完全水没した状態から水深5cm以上、濁水では完全水没の状態、電波が遮断されることがわかった。

よって、この水位センサーの精度は完全水没の状態から+5cm以内であることが確認できた。

5. 運用方法

(1) 通信回線について

浸水情報は通信回線によって、上位システムに集約されることになる。通信回線についての要件としては、

- 数十から数百のデータを一斉に処理できること
- はん濫時に確実にデータを送れること

○ 安価であること

表-4 通信回線の特徴

通信回線	長所	短所	評価
NGN回線網を使用	帯域が恒に保証されている NTT光回線が設置されていれば利用可能	災害時にNTT回線が停止すると通信不能になる	◎
専用通信線を設置	専用線であるので、確実なデータ転送が可能	装置価格の上昇 ランニング費用の増大	△
無線WAN (PHSやFOMAカードなどを含む)	配線数の削減 太陽電池式と組み合わせれば独立動作も可能	盗聴や偶然の妨害 (ノイズ源の発生) など、不確定要素が多い	△

表-5 電源供給方法

電源供給方法	長所	短所	評価
商業電力	電力用電柱であればすぐ工事が可能	電柱上設置に限定 停電時に利用不可	△
太陽電池等	配線が無用	バッテリーのメンテナンスと、装置価格の上昇	○
イーサネット線への電力供給	配線数の削減 一括配電のメリット有り	絶縁の問題が発生する可能性あり	△

などが考えられる。通信回線の特徴を表-4に示す。

(2) 電源供給方法について

電源供給方法としては商業電力、太陽電池、イーサネット線への電力供給等が考えられる。それぞれの方法を表-5に示す。設置位置毎に個別に調整が必要であるが、浸水時の停電が生じる恐れがあり太陽電池の利用が有利と考えられる。

(3) 運用方法

アクティブ型のタグとリーダーでは、双方向の通信が可能であり、普段はリーダーからの起動電波を1回/日あるいは1回/週とし、電池の消耗を抑えつつ故障検出を行うことができる。浸水が予想される場合、1回/1分あるいはそれ以下の短時間での通信に切替えて運用する。

(4) メンテナンスについて

本浸水センサーは、稼動部がまったくなく、またジェル（プラスチック）などで完全に密閉されるため、ICタグに内蔵された電池の定期交換以外はメンテナンスフリーとすることができる。ただし、測定後は、浸水したと思われる浸水センサーのメンテナンス（主として清掃）を行う。

タグの電池寿命は単純にリーダーからの起動電波の回数と設置時間によって算出できるので、管理者に電池寿命の警告を出すことも可能であり、適切な管理運用ができる。



図-15 電柱への設置イメージ

6. まとめ

本研究において、ICタグおよびICリーダーを用いた簡易かつ安価な浸水センサーが開発された。安価であるため、市街地に分散して配置することで、面的にリアルタイムで浸水状況を把握することが可能となる。また、今後のユビキタス情報社会に対応した河川・災害情報の高度化に伴って、避難誘導の支援と有機的に結合する事が期待される。

謝辞：この研究は、平成19年度（財）河川情報センター研究助成の援助のもとに行われた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) ユビキタス情報社会における次世代の河川管理のあり方（提言），社会資本整備審議分科会ユビキタス情報社会に向けた次世代の河川管理のあり方検討小委員会，2008
- 2) 水文観測業務規定関係集，国土交通省河川局河川環境課監修，2005. 10.
- 3) 1. 950MHz帯RFIDアクティブタグ，リーダ取扱説明書，パナソニックシステムソリューションズ，2008
- 4) 屋外用エムケーダクト仕様書，マサル工業㈱
- 5) アクティブ型RFID NIRE 取扱説明書，NTT-AT㈱
- 6) 電波法令集，電気通信振興会
- 7) Rfid Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification，Klaus Finkenzeller（著）。

（2009. 4 9受付）