

# 土砂災害用減災情報配信システムに適用する水位センサの開発

○木村 元紀\*<sup>1</sup> 栗原 弘行\*<sup>1</sup> 大谷 幸三\*<sup>2</sup>  
渡壁 守正\*<sup>3</sup> 川上 善嗣\*<sup>4</sup> 久保川淳司\*<sup>5</sup>  
杉田 宗\*<sup>6</sup>

キーワード：土砂災害 自然災害 簡易水位センサ 減災 情報配信システム

## 1. はじめに

2011年の新潟・福島土砂災害、2014年の広島市土砂災害など、地球温暖化に伴う気候変動により集中豪雨やそれに伴う水害・土砂災害が全国各地で発生しており大きな社会問題になっている<sup>1)</sup>。図1は広島市土砂災害の状況であり、身元が判明した被害者の約半数が65歳以上の高齢者であった。広島県では大雨による土砂災害発生の危険性が高まった場合、広島県と広島地方気象台が共同発表する土砂災害警戒情報に頼っている。しかし、この情報から広域な状況は把握できたとしても局地的な警戒には及ばないため、住民には切迫感がなく逃げ遅れて被災するケースが問題点として浮上する。災害後、避難勧告発令時期の検証も行われているが<sup>2)</sup>、一人ひとりが自分で考えて避難行動を起こすに至るだけの情報が不足していたものと考えられる。自らの困難な問題に対しては、まずは自分自身が考え、行動して、問題の解決を図るよう努めることが大切である。

したがって、このような自然災害に対して、早い段階で何が起きたのか、現状はどうなっているのか、このまま建物内に留まってよいのか、などの情報を一早く正確に把握できる手段があれば、大きな減災効果が期待できる。すなわち、減災のポイントは、住民自身が避難するか否かを自分で判断できるだけのマイクロな情報をリアルタイムに配信することにあると考える。携帯電話、スマートフォン、タブレットといった軽量で持ち運びが容易な情報機器端末をうまく利用することで、利用者が手元で自然災害の危険度を確認することができれば、より有用であると考えられる。

このような背景を基に、本研究では水害・土砂災害における二次的災害を軽減する目的で、ICTとセンサ技術を活用し、居住地域の水害の状態をリアルタイムに収集し、住民に避難情報を配信するシステムの構築を目指す。構築するシステムは、簡易なパッシブ型水位センサとその出力をもとに避難情報を生成する避難判断評価手法から構成される点に新規性がある。さらに、大規模な情報配信システムに比べ設置や維持管理のコスト面で優れているという有用性を重視する。本システムを構築することで、自分の足元で何が起きているかの情報をいち早く知り、一人ひとりが自分で考え行動を起こすきっかけと

なり得ると考えている。

本論では、試作した簡易なパッシブ型水位センサの基礎的実験結果に関する考察と、その水位を避難情報に変換する避難判断評価手法について述べ、避難情報配信システムの実装可能性について報告する。

## 2. 災害情報配信システムの現状

広島県での土砂災害警戒情報は、広島県と広島地方気象台が連携して発令する防災情報である<sup>3)</sup>。図2に示すように広島県内を5km×5kmのメッシュに分割し、それぞれのメッシュごとに過去の土砂災害の記録をもとに土砂災害の発生を示す限界基準線（CL線）を決定している。さらに、各5kmメッシュの中を1kmメッシュで分割し、土砂災害警戒情報を判定している。具体的には、レーダー雨量の測定値をベースに地上で観測された雨量計のデータでキャリブレーションを行い、県内の各1kmメッシュにおける降雨量を計算で求めている<sup>4)</sup>。アメダスなどの雨量計情報は、キャリブレーションとして利用されており重要な情報だと判断している。ただし、アメダス観測網は平均17kmメッシュであり、観測記録情報としては十分とは言えない。また、アメダスのデータはNTTの電話回線に依存しているため、障害を生じた場合や豪雨時の末端無応答による障害も生じるなどの問題も指摘されている。



図1 2014年8月豪雨による広島市の土砂災害<sup>1)</sup>



図 2 広島県土砂災害危険度情報<sup>3)</sup>

### 3. 無線型水位センサの構成と原理

#### 3.1 水位センサの概要

水位センサ開発のアプローチは、「住宅街の側溝等の水位の上昇をセンシングし、水位の状態を低中高の3段階で出力する。」「センサデータは無線通信を利用してサーバマシンへ転送する。」の2点に絞り込んだ。主な水位センサとして、気泡式、リードスイッチ式、水圧式、超音波式、レーザ型、フロート式、静電容量式などが挙げられる<sup>5)</sup>。これらの水位センサのうち、コストと精度のバランスが取れている、静電容量式もしくはフロート式のいずれかを採用することを検討している。

#### 3.2 構成と原理

##### (1) 静電容量式

静電容量式センサは、図3左に示すように、2本のアルミ電極（コンデンサ）で構成される。コンデンサに蓄えられる静電容量は、電極間に存在する水の誘電率に比例するため、水位の変化を静電容量に変換して検出することができる。電圧を  $V$ 、電流を  $I$ 、容量性リアクタンスを  $X_c$ 、パルス周波数を  $f$ 、コンデンサの静電容量を  $C_x$  とすると、これらの関係は(1)、(2)式で表せる。

$$I=V/X_c \quad (1)$$

$$X_c=1/(2\pi f C_x) \quad (2)$$

ここで式(2)を式(1)に代入すると、式(3)が得られる。

$$I=2\pi f C_x V \quad (3)$$

したがって、静電容量  $C_x$  の変化を電流  $I$  の変化として検出できる。その電流を電圧に変換し、読み取る。

##### (2) フロート式センサ

側面に取り付けた2つの磁気センサと、円筒内を移動する磁石付きフロートから構成される。水位の変化に伴って円筒内の磁石付きフロートが直線変位する。このフロートの位置を2つの磁気センサで検知する。フロートの位置とセンサ出力との関係を図4に示す。まず、フロートの位置が最も低い場合は、センサ1のみ出力がある。次に、フロートが2つのセンサの間に位置する場合は、センサ1、2ともに反応する。最後に、フロートの位置が最も高い場合は、センサ2のみ出力がある。このようにすれば、水位を

3段階で検出することができる。

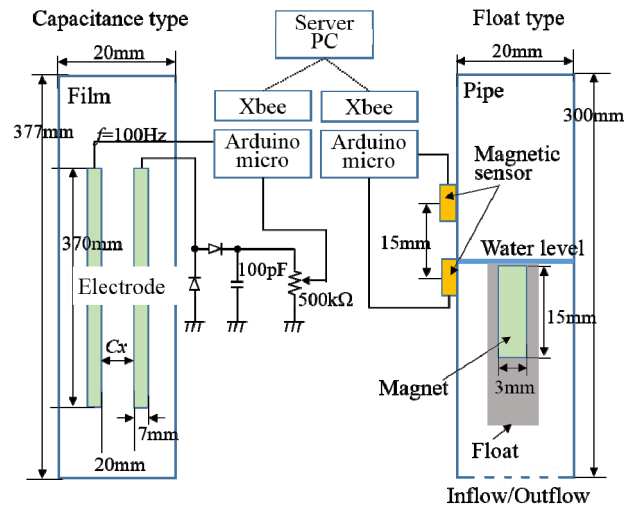


図 3 静電容量式（左）とフロート式（右）

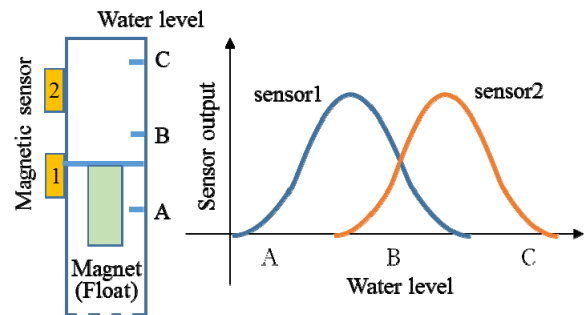


図 4 フロート式センサの出力の様子

#### 3.3 試作したセンサ

試作した静電容量式センサとフロート式センサの外観写真を図5に示す。まず、静電容量式センサは、電源電圧  $V=5.0V$ 、パルス周波数  $f=100Hz$  として駆動している。静電容量  $C_x$  に比例した電流を電圧に変換し、Arduino で取り込み、無線通信 Xbee でサーバ PC へデータを転送する。

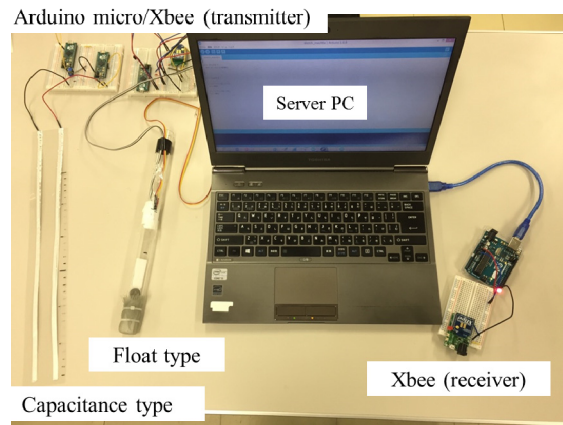


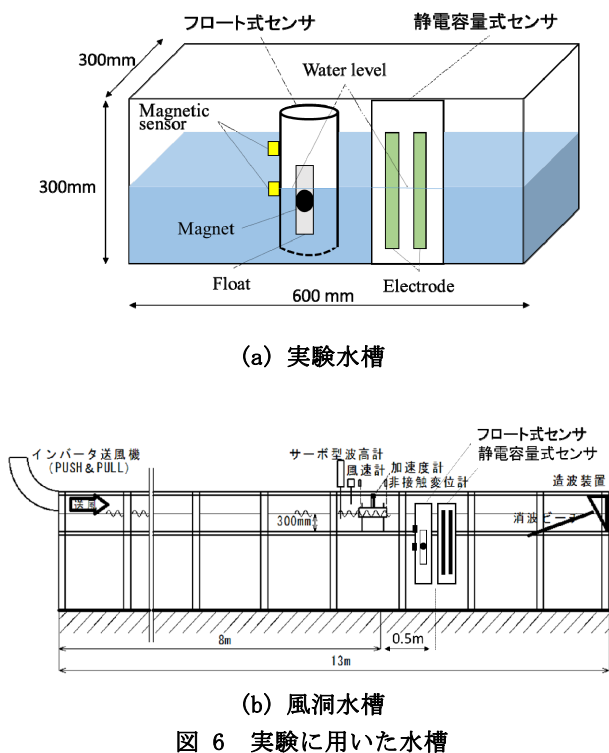
図 5 試作したセンサの外観写真

一方、フロート式センサは、磁気センサとして Allegro A1324<sup>6)</sup>を使用し、磁石にはサマコバ磁石<sup>7)</sup>を用いた。Allegro A1324 はホール効果を利用したセンサで、広い周囲温度範囲 (-25°C~70°C)に渡って動作する。安価であるが、低雑音出力という特長がある。2つの磁気センサの出力は静電容量式と同様に Arduino で取り込み、無線通信 Xbee でサーバ PC へ転送する。

### 3.4 実験水槽による検証実験

#### (1) 実験水槽の概要

本実験では2種類の水槽を使用した。一つは一辺が300mm四方の実験水槽である。もう一つは風洞水槽で、長さ13m、幅0.40m、高さ0.55mであり、その一端にインバータ式の送風機、他端に消波装置を有している。波高の測定にはサーボ型波高計、浮体の応答は加速度計ならびに非接触型変位計を使用している。送風機と浮体及び波高計までの距離は8mである。図6に各水槽の概要を示す。



#### (2) 水位測定実験

試作した2つの水位センサの動作を確認するため、実験水槽の側面に両センサを固定し、一定量で水道水を270mmまで注入し、センサ出力を観測した。水位の上昇速度は、12mm/min、36mm/min、110mm/minの3段階とし、センサデータのサンプリング時間は1.0secとした。なお、この上昇速度はアメダスが観測する「猛烈な雨(1時間に80mm以上の雨)」の数十倍に相当する。

図7(a)に静電容量式、(b)にフロート式の測定結果をそれ

ぞれ示す。横軸は時間、左縦軸はセンサ出力、右縦軸は水位である。水道水の注入を開始した時間を0sとしており、3本の直線がそれぞれの場合における実際の水位である。

静電容量式の出力は、水位100mmほどまでは線形に上昇しているが、それ以降はある値で飽和し、かつ変動が大きい。これはコンデンサの設計と電極の製作精度の問題であり、線形に変位する部分までが有効測定範囲となる。本研究で目的とする検出精度は、安全、注意、危険といった3段階で水位を識別できればよいので、測定範囲を考慮してコンデンサを設計し、さらに2つの電極のうち1つを物理的に3分割して、それぞれの電極から3段階の出力を得るなどの工夫をすれば十分に対応できると考える。

次に、フロート式の2つの磁気センサの出力は、図7(b)に示すように、いずれの場合においても水位の上昇に追従してフロートの位置を検知できている。センサが反応を開始した水位はいずれも水位が210mm程度であり、磁石付きフロートが水位の上昇速度に追従していることもわかる。したがって、図4で示した通り水位を3段階で検出可能であることがわかった。ただし、中水位の検出範囲を拡大するためには、センサ間のマージン、センサの数あるいは磁石の大きさ等を検討する必要がある。

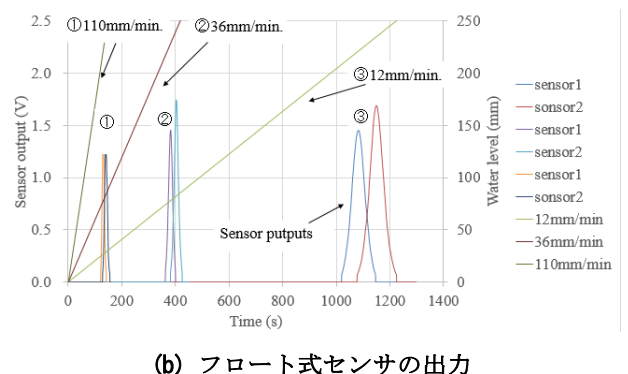
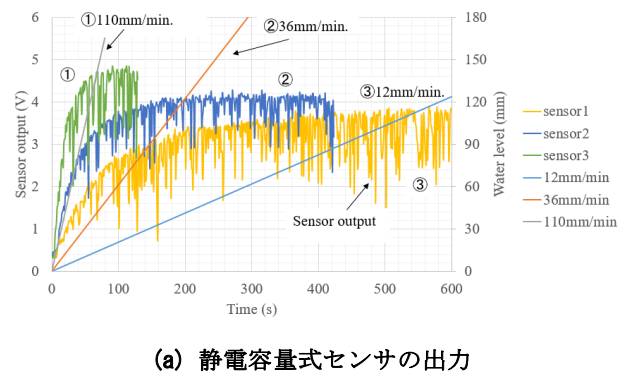


図7 水位を一定速度で上昇させたときの実験結果

#### (3) 波がセンサ出力に与える影響の調査

風洞水槽を用いて、波がセンサ出力に与える影響を観察した。図8に風洞水槽にセンサを取り付けた写真を示

す。送風機とセンサまでの距離は 8m である。図 9 に電容量式、図 10 にフロート式の測定結果をそれぞれ示す。横軸は時間、左縦軸はセンサ出力、右縦軸は波高である。風速は、2m/sec と 12m/sec である。この風速は、気象庁で公表されている強風域（平均風速 15m/s の領域）に相当する。

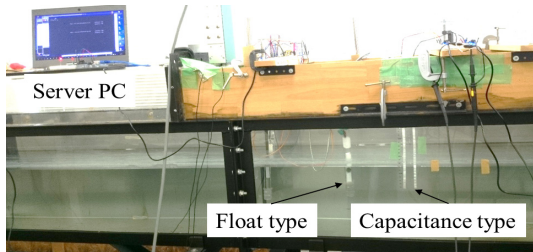
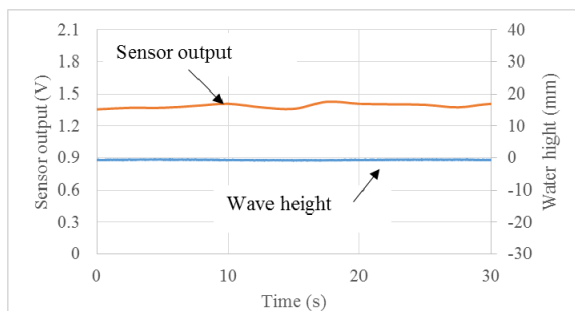
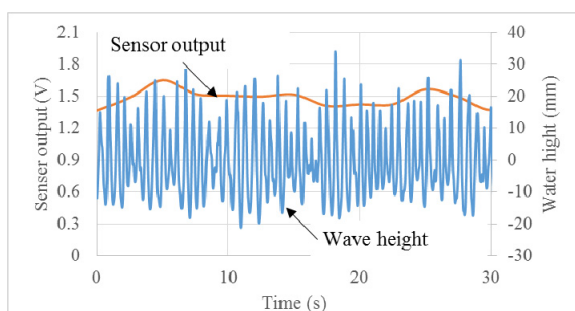


図 8 実験の様子

まず、図 9(a)に示すように、静電容量式の場合、風速 2m/sec では波は観測されず、センサ出力は 1.2~1.5V 程度になっている。次に、風速 12m/sec では、図(b)に示すように波高が 40mm 程度であるが、センサ出力は風速 2m/sec のときと比較して、ほぼ同程度の値となっており、波がセンサ出力に与える影響は小さいと考えられる。



(a) 風速 2m/sec



(b) 風速 12m/sec

図 9 波がある場合における静電容量式センサの出力

次に、フロート式では、図 10 に示すように風速 12m/sec で波高が 40mm 程度であっても、2つのセンサ出力はほぼ一定である。フロート式は、円筒底面から水が流入する仕組みであるため、液面近くでの波の影響はほとんど受けない。したがって、いずれのセンサも波が水位計測に与える影響を考慮する必要はないと考える。

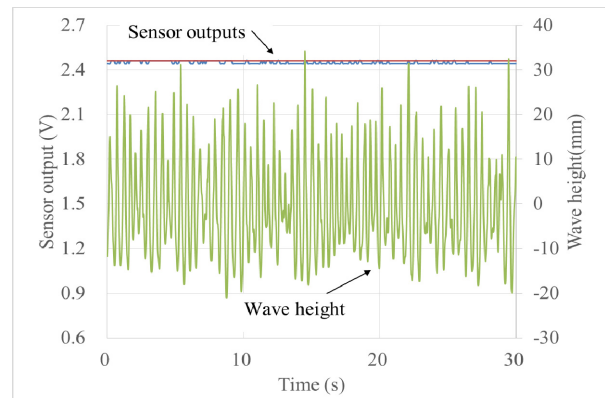


図 10 風速 12m/sec におけるフロート式センサの出力

### 3.5 センサの水位判定

図 11 は、危険度情報配信のための閾値である。横軸に経過時間を取り、縦軸に時間雨量水位閾値と累積雨量をとっている。累計雨量 150mm を累計雨量水位閾値 1 とし、累計雨量 200mm を累計雨量水位閾値 2 と定めた。広島過去の事例を参考として、過去の時間雨量観測結果を基に設定したものである<sup>8), 9)</sup>。これで降水量の定量的な評価をしている。累積雨量 250mm を超過すると、土砂災害が集中発生する危険域になる（土砂災害集中発生する危険がある）。ここで示した結果を併用して開発した水位センサ情報より雨量判定の定量的評価を行う。

たとえばフロート式の場合、図 4 で示した出力結果から、磁気センサ 1 のみが反応する低水位、センサ 1 と 2 の両方が反応する中水位、センサ 2 のみが反応する高水位の 3 分割にした避難情報を設定できる。低水位を「平常時」として緑色表示する。次に、中水位は「避難準備高齢者等避難開始・自主避難」とし、黄色表示とする。この時には「災害時要援護者」など一人で避難できない「災害弱者」は避難を始める。図 11 では 150mm 未満の状態に相当する。そして、高水位は「避難指示（緊急）」とし赤色表示する。図 11 では、150mm 以上 200mm 未満の状態に相当する。具体的な関係性については、現在計画中のフィールド実証試験を通して検証する予定である。

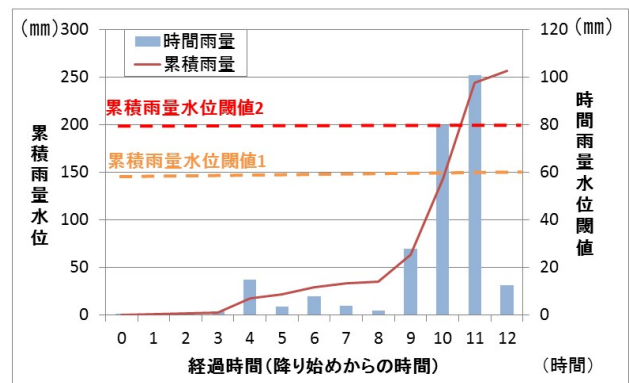


図 11 危険度情報配信のための雨量水位閾値

#### 4. 減災情報配信システムのフレームワーク構築概要

現在、広島県の土砂災害危険度マップより選定した地区を対象にフィールド実証試験を計画している。図12はフィールド試験で考案中の情報配信システムの機能構成（イメージ）である。本システムでは、前述した水位センサの出力が、マイコンボードである Arduino に読み込まれ、クラウドサーバー（DBサーバー、APサーバー、Webサーバー）に転送される。転送されたセンサ出力に対し、データ処理機能ブロックが、水位判定指標値を計算、データベース上にある判定閾値と測定値を比較して、避難情報を発信する。

本システムは災害の危険度が見える化し分かりやすい情報を川下の住民への確かな情報として配信するシステムとして考えており、特徴は以下に示すとおりである。

- ① 個人の意志行動の補助をすることである。具体的には、災害情報を即時に入手し、自らの意志で行動することを支援する。
- ② リアルタイム災害情報の共有化である。本システムでは、自然災害時において、個人・企業・地域が協働して仕組みを活用できる。

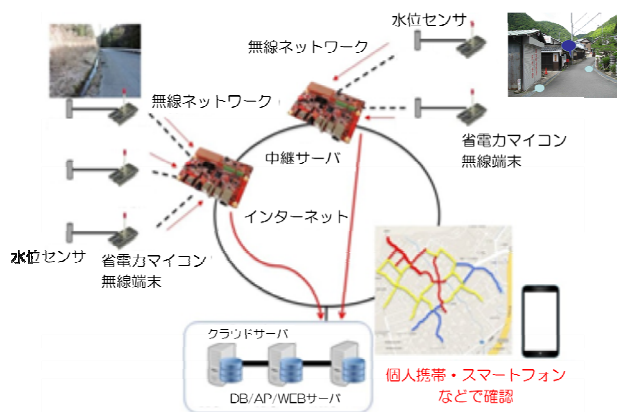


図12 減災情報配信システムの機能構成（イメージ）

本システムは、自助、共助、公助の助けになり得る。自助としては、メールアドレスを登録することで携帯などにオンサイトに近い情報を受信できる。本情報はオンサイト情報なので信頼性が高く、行政の避難勧告を待つことなく、住民一人ひとりが自己判断で避難行動をとることが可能である。また、家族や隣近所でお互いに近くにいる隣人同士が助け合う共助として、いつでもどこでも配信情報を受け取ることが可能となるため、向こう三軒両隣が助け合うことで災害弱者と呼ばれる一人暮らしの高齢者、障害者などにも情報を伝達でき、早期の避難を促すことができる。さらに、公助としては、本システムを行政の防災システムとリンクすることで、行政から信頼性の高い情報をいち早く確認できるため、災害対策や救助派遣など早期に対応でき、2次災害を減災する方

策として役立てることが可能となる。

#### 5. 結論

本研究では、住民が自主防災するため、ローコスト化を追求して機能を絞った簡易水位センサを開発し、室内実験において様々な検討を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ① コストと精度のバランスのとれた簡易なパッシブ型の水位センサを開発し、定量的な評価軸を設定できることが確認できた。
- ② 水位をデジタル化して避難情報に変換し配信する評価手法を定量的に確認した。
- ③ 多点での水位情報をネットワーク化することで、川下の住民へ視覚的に捉えやすい情報として伝達することが可能な情報配信システムへ応用できる。

今後は、広島県の土砂災害危険度マップより選定した地区を対象にシステム構築を図りフィールド実証試験を実施する予定である。早期のシステム展開ができるよう、ハード・ソフトの問題点を洗い出し行政や地域住民の協力のもと地域連携を図りながら進めていきたいと考えている。

#### [参考文献]

- 1) 中国新聞社:2014 8・20 広島土砂災害一緊急出版・報道写真集, 中国新聞社, 2014年12月
- 2) 平成26年8月20日の豪雨災害避難対策等に係る検証結果, 8.20 豪雨災害における避難対策等検証部会, 2015年1月
- 3) 広島県土砂災害危険度情報, 広島県土木建築局砂防課, 2017年, <<http://www.d-keikai.pref.hiroshima.lg.jp>>
- 4) 土田孝, 新井場公徳:平成26年8月20日の豪雨災害における土砂災害危険度評価の実際と今後の課題, 消防科学と情報 pp. 33-38, No. 120 2015(春季), 2015年
- 5) K. Loizou, et. al: Water level sensing: State of the art review and performance evaluation, Measurement, vol. 89, 204-214, 2016
- 6) Allegro A1324, A1325, and A1326 Datasheet, Allegro, 2017, <<http://www.allegromicro.com>>
- 7) 谷腰欣司:磁石とその使い方, 日刊工業新聞社, 2000年
- 8) 土志田正二, 新井場公徳:2014年8月20日の豪雨による広島市の土石流災害の被害状況とその特徴, 消防科学と情報, pp. 39-45, No. 119 2015(冬季), 2015年
- 9) 堀 俊和, 中里裕臣, 正田大輔:災害対策支援要請に基づく広島市内土砂・ため池災害現地調査報告, 農村工学研究所メールマガジン第54号, 2014年9月号

- 
- \*1 広島工業大学大学院工学系研究科 院生
  - \*2 広島工業大学情報学部 教授 博士(工学)
  - \*3 広島工業大学環境学部 教授 工博
  - \*4 広島工業大学工学部 准教授 博士(工学)
  - \*5 広島工業大学工学部 教授 博士(工学)
  - \*6 広島工業大学環境学部 助教

# Development of Water Level Sensor Utilized for Landslide Hazards Disaster Information Distribution System

○Motoki KIMURA<sup>\*1</sup> Hiroyuki KURIHARA<sup>\*1</sup> Kozo OHTANI<sup>\*2</sup> Morimasa WATAKABE<sup>\*3</sup>  
Yoshitsugu KAWAKAMI<sup>\*4</sup> Junji KUBOKAWA<sup>\*5</sup> and So SUGITA<sup>\*6</sup>

Keywords : Landslide Hazards, Natural Hazards, Low Cost Computers and Water Sensor, Disaster Mitigation, Local Information System

This research aims to construct an information distribution system that allows residents to make evacuation action on their own by distribution the state of floods in the residential area in real time utilizing ICT and sensor technology, in order to reduce secondary disasters in flood and landslide disasters. The information distribution system is assumed to consist of simple passive type water level sensor and evacuation evaluation method digitizing its water level and converting it into signal. In this paper, a simple low-cost water level sensor system is developed, and various investigations in laboratory experiments are conducted.

Following is the knowledge gained from this study.

1. It was confirmed that a simple passive type water level sensor with a good balance between cost and accuracy is developed and the quantitative evaluation axis can be set.
2. The evaluation method that digitize the water level and convert it to signal and distribute it is quantitatively confirmed
3. By utilizing the developed water level sensor and networking the water level information at multiple points, accurate information can be distributed to downstream residents with visible and easy to understand information. The water level sensor is conformed to be used as the sensor part of the information distribution system.

In the future, further research is planned to construct the system for the districts selected from the landslide hazard map of Hiroshima and carry out the field verification test. In order to enable early system development, we are trying to identify the problems of hardware and software and coordinate with area community with cooperation of the administration and local residents.

---

\*1 Student, Graduate school of Hiroshima Institute of Technology

\*2 Professor, Hiroshima Institute of Technology, Dr. Eng.

\*3 Professor, Hiroshima Institute of Technology, Dr. Eng.

\*4 Associate professor, Hiroshima Institute of Technology, Dr. Eng.

\*5 Professor, Hiroshima Institute of Technology, Dr. Eng.

\*6 Assistant professor, Hiroshima Institute of Technology.