

簡易設置できる環境適応型の土石流警報機

数理設計研究所

玉置晴朗

矢澤正人

森林総合研究所

水谷完治

1. はじめに

土石流が予測できる溪流は防災対策ができる。しかし、多くの小溪流は1ヶ所にかかる費用（装置＋工事）が大きいので防災対策が難しい。

多数に恩恵がおよぶ防災対策と数家族のための防災にかけられるコストに違いがあるのはしかたない。だが、低価格の警報機があれば小溪流の防災対策もできるようになるだろう。

そこで、上流部の河川工事にたずさわる人々や流域住民が自力設置可能なコストと設置性を持つ警報機の提供をめざして1999年から研究開発と足尾や蒲原沢で野外実験を重ねている。

2. 警報機の形式

大掛かりな設置工事をしないという条件から「投げ込み型水位計」で水位の観察を始めた。

その実験記録から、投げ込み型の設置法では測定の実験記録から、投げ込み型の設置法では測定の安定性といたずら防止に難があるのでセンサに蛇籠をかぶせて岩を積む形式に発展している。

この警報機は環境をしばらく測定して、通常の河川状態を把握するタイプで「環境適応型の土石流警報機」と銘している。

開発目標：

- 特別な工事を要せず誰でも設置できる
- 低価格（目標5万円）

機器仕様：

- 水位計型の土石流警報機
- 電池動作（2～5年）

3. 電子回路

野外運用する電子装置は室内で使うものに比べて極端な安定性が必要である。ハードウェアに同じ物を使えばトラブル要因は半分になる。

2001年度から運用試験する警報機は今まで水位測定用に運用したデータログと同じハードでデータ記録ソフトを警報ソフトに交換して動かす。

1チップCPU超低電力で動作させ、2年以上の長期間運用を設計目標としている。A/Dコンバータは12ビット8チャンネルのGID-ADCとして市販されている電子キットである。

4. 水位センサ

差圧型水位センサはケーブル隙間を通じて大気導入するタイプである。専用の通気管を持たないので取り扱いが簡素だ。

実測した通気性試験では10mケーブル長で時定数8秒、雷雲など局地的な低気圧通過でも問題が無いと判断している。

2年間の運用実験でケース損傷は起きなかった。この水位センサは泥中に埋もれても安定動作することは実験によって確認されている。



水位センサ（運用後）

鉄製ケースに収めエポキシ樹脂で完全封入。プラスチック保護チューブ内にケーブルがある。

水位センサ特性

電源・感度	5V 3mA 4mV/（水深cm） 0.5V@0cm
運用温度	-20～+50
形式	差圧（ケーブルを通じた大気導入）
材質・重量	鋼鉄・3.3kg 76mm L155mm
耐環境性	2年間無損傷@溪流 設計荷重10t

5. 蛇籠による保護と埋もれの影響

野外実験で原因不明の水位変動が数回観察された。原因はセンサの移動らしいので、河床に放置してただけの水位センサを蛇籠で覆い周囲の岩を上積んで固定する工法にしている。その後ここ数ヶ月は安定な水位が観測されている。

この蛇籠設置法は蛇籠を持って行き、現場で岩を積むだけなので工具もいらず簡素に設置できる。

また、土石流発生時には全体の体積が大きいので土石流と共に流下移動することによるケーブル切断も期待でき土石流警報センサの設置法としては良いと考えられる。

6. 警報アルゴリズム

警報する自然現象は

- 上流部ダム形成
- 近傍下流ダム形成
- 土石流の通過

を予定している。このうち土石流通過は急激な水位増大またはセンサの切断で検知できる。

土石流警報機として最大の課題は大規模な災害を引き起こすダム形成型の土石流予知である。ダムアップ警報については次の観察を元にする。

- 水位と波の増加は同じ傾向を示す
- 下流ダムアップはこの相関を逆にする
- 上流ダムアップは減少が極端

上流ダムアップは土石流の直前に溪流が異常に静かになることに対応しているとも言える。

現場設置後の準備期間

水位上昇によって降雨開始を検出することができるので設置後の1降雨期間を情報収集にあてる。

最初の降雨で溪流と設置場所の特性である水位と波の相関を記録して準備期間を終える。相関性は降雨毎に更新する。この間もセンサ切断警報を発することができるようにする。

警報待機

水位増大は流量の増大と一致するので波振幅も大きくなるのが通常状態である。

警報機の内部状態は「晴天、降雨開始、降雨中、降雨終了」をめぐる状態遷移表で表現できる。通常は平常時の4状態をめぐることになる。

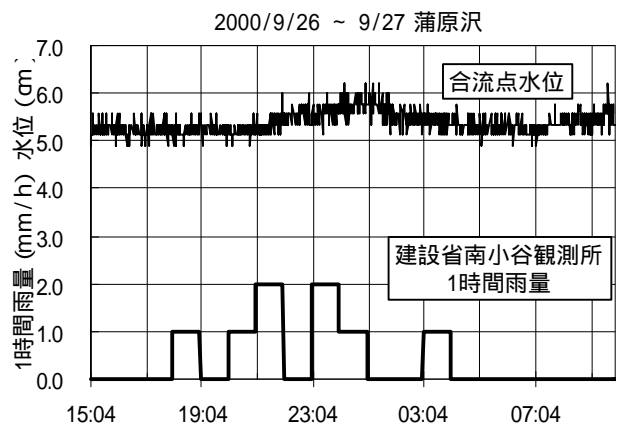
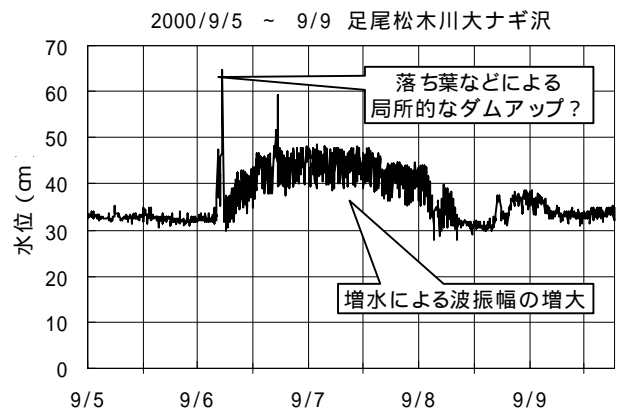
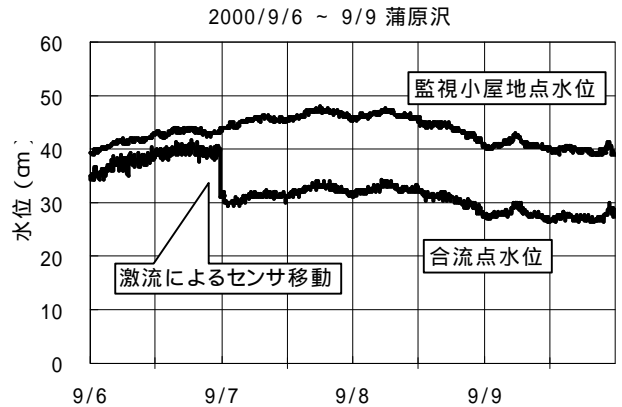
溪流環境データの蓄積と警報閾値の改善

設置初期は水位と波振幅の相関にもとづいての警報判断に大きな余裕を持ち、誤警報を出さないように大きな警報係数を持たせる。

学習取得した水位と波の相関の統計的な確実性を更新し警報閾値を小さくすることができる。

感度が高まれば、より上流部のダムアップ警報の可能性を持つようになるだろう。

状態	平常時		上流ダムアップ		下流ダムアップ		土石流通過	
	水位	波振幅	水位	波振幅	水位	波振幅	水位	波振幅
晴天	const	const	-	-	+	-	++	++
降雨開始	+	+	-	-	+	-	++	++
降雨中	const	const	-	-	+	-	++	++
降雨終了	-	-	-	-	+	-	++	++



詳細掲載WEBページ

<http://www.madlabo.com/mad/research/keihou/>

参考文献

- 1) 「土石流災害」池谷浩 岩波新書
- 2) 「気象情報と防災」京都大学防災研究所 牛山
<http://fmd.dpri.kyoto-u.ac.jp/~ushiyama/>

