

水位データの異常値検出手法の開発

渡辺 有¹・田所 正²・栗城 稔³

¹(一財)河川情報センター 河川情報研究所 研究第2部 研究員

²(一財)河川情報センター 河川情報研究所 研究第2部長

³(一財)河川情報センター 審議役

水位計の故障や周辺状況等に起因する水位データの異常値を、リアルタイムで自動的に検出手法を開発した。国土交通省「川の防災情報」で提供されているテレメータ水位については、水位の代表的な異常値である急変化、スパイクノイズ、長時間無変化のデータを当該観測所の先行する水位や近隣観測所との比較によって抽出することとし、プロトタイプシステムを構築した。洪水時のみ観測を行う危機管理型水位計については、既存の品質管理機能（異常値検出機能）の精度を上げるパラメータの設定方法を検討した。

Key Words : 水位, 異常値, 品質管理, 水文観測, 危機管理

1. はじめに

観測された河川の水位データは、国土交通省「川の防災情報」等で住民や河川管理者にリアルタイムで提供されており、水害発生時に直接避難行動のトリガーとなりうる重要な情報である。さらに、洪水予測システムの精度向上のためのデータ同化といった手法の普及により、水位データ（観測値）の重要性が増している。したがって、水位データの異常値は可能な限り発生を抑えるとともに、発生した異常値はリアルタイムで検出し、データ利用者に通知する必要がある。

しかし、水位計は全国の河川に多数設置されていることから、発生した異常値を人の目で確実に検出するには限界がある。このような状況を背景にして、リアルタイムで自動的に水位データの異常値を検出することが求められている。

2. テレメータ水位と危機管理型水位計水位

(1) テレメータ水位

国土交通省「川の防災情報」にてリアルタイムで提供されている水位データは、テレメータ水位と呼ばれる。遠隔地からリアルタイムで観測データを伝送するテレメータシステム（図-1）を利用し、10分間隔で自動送信される水位データである。災害対応としての性格から、無線による伝送が原則である。

テレメータシステムを利用した観測は平成8年頃から始まり¹⁾、テレメータ水位は平成13年から「川の防災情報」で提供されている²⁾。それ以前の水位観測の方法は、毎日定時に観測員が水位標を目で見て行う普通観測や記録器を有した自記水位計による自記観測のみで、リアルタイムで水位データは提供されていなかった。

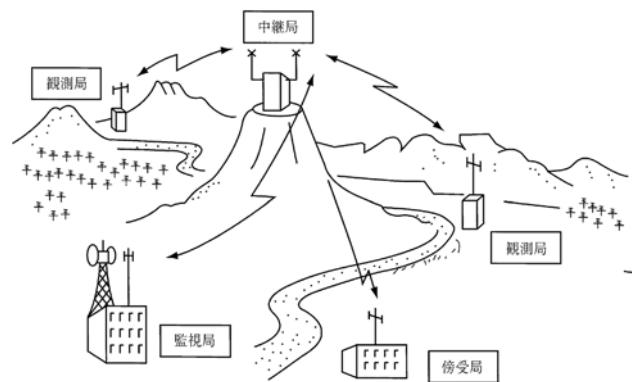


図-1 テレメータシステム概要図¹⁾

(2) 危機管理型水位計水位

テレメータ水位に加えて、平成30年から国土交通省「川の水位情報」にて危機管理型水位計の水位がリアルタイムで提供されている³⁾。危機管理型水位計は洪水時の水位情報の提供に特化した低コストな水位計で、従来のテレメータシステムを利用した水位観測施設にかかる費用が高く、中小河川を含むきめ細かい水位情報の提供が困難であったことを背景に開発された。

危機管理型水位計は、一定の水位（観測開始水位）を超過した場合のみ水位観測およびデータ伝送を行うため、観測水位により動作モード（図-2）が自動で切り換わり間欠動作する仕様となっている。観測水位が観測開始水位を超過すると「観測モード」（水位観測およびデータ伝送は10分間隔以下）、観測開始水位を下回ると「監視モード」（水位観測は10分間隔以下で行うが、データ伝送は1日間隔以下の死活報告のみ）となる。

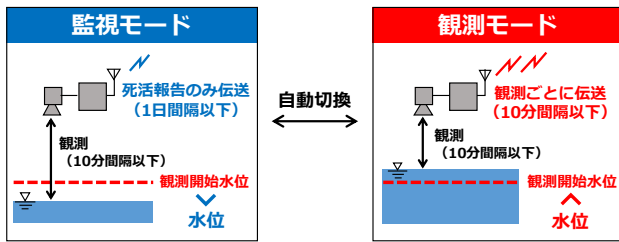


図-2 危機管理型水位計の動作モード



図-3 外的要因の事例
(左：土砂堆積，右：ゴミの付着)

危機管理型水位計は、この間欠動作により消費電力やデータ通信量が低減されることで、装置の小型化や民間の携帯電話回線網（閉域網）の利用等が可能となり、機器費や設置工事費，維持管理費等の削減につながっている。

3. 本研究の内容

水位データの異常値の発生要因は内的要因と外的要因に大別され、内的要因とは電氣的または機械的な観測機器（伝送装置を含む）の劣化や故障によるもの、外的要因とは出水による観測機器の流出、河床変動、土砂堆積（図-3），ゴミの付着（図-3），凍結・融解，落雷（誘雷）等によるものである。したがって、水位データの異常値の発生を抑えるためには、厳しい自然環境下における使用（特に災害時）を前提とした機器の開発・設計および設置・計測方法の検討，適切な維持管理による観測環境の整備が重要となる。

とはいえ、水位データの異常値をすべて無くすことは難しいことから、異常値が発生した場合にはリアルタイムで確実に検出する必要がある。本研究ではテレメータ水位，危機管理型水位計水位それぞれについて、異常値をリアルタイムで検出する手法について検討した。また、それぞれの手法を実際の出水時のデータに適用し、その有用性を検証した。

4. テレメータ水位の異常値検出手法

(1) 現状における異常値検出と対応

（一財）河川情報センターでは「河川情報の精度監視」（以降、精度監視と呼ぶ）として、「川の防災情報」で一般住民，市町村担当者などへ提供されている河川情報（テレメータ水位を含む）について、その信頼性を確保するために、人の目による24時間・365日の監視を行っている。

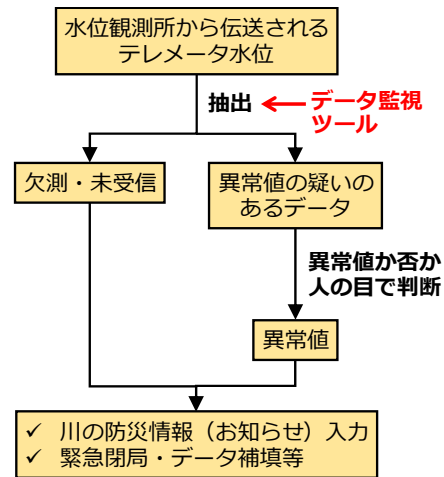


図-4 異常値検出から対応までのフロー

精度監視ではテレメータ水位に異常値や欠測・未受信が発生した場合に、管理事務所等と連携して「川の防災情報（お知らせ）」画面にて速報を掲載し、必要に応じて緊急閉局やデータ補填等の措置を取っている。テレメータ水位における異常値検出から対応までのフローは図-4のとおりである。既存のデータ監視ツールを用いて欠測・未受信と異常値の疑いのあるデータを自動で抽出し、異常値については人の目で最終判断をしている。

既存のデータ監視ツールでは「水位の上下限值超過」等の抽出をしている。「水位の上下限值超過」とは、堤防高を超える水位または水位計の観測下限高を下回る水位（極端に大きいまたは小さい水位）について、異常値の疑いがあるデータとして検出するものである。

一方、水文観測業務規程⁴⁾では水文観測データの品質照査（以降、品質照査と呼ぶ）が義務付けられている。品質照査とは、時刻データ（10分データは対象外）について、異常値検出の方法および技術水準等の検討，正常値・異常値・推定値の判定，観測データが得られなかった場合または異常値と判定された場合のデータの補填や推定を行うものである。品質照査はリアルタイムで行うものではなく、観測器械等による異常値の補正，事務所が行う標準照査，地方整備局が行う高度照査，品質管理組織による審議によって構成される。審議されたデータは確定値として国土交通省「水文水質データベース」⁵⁾で公表される（確定値が登録されるまでは、品質照査前のデータが暫定値として公表される）。

(2) 本研究で検出する異常値の種類

本研究は、精度監視で利用している既存のデータ監視ツールと同様にリアルタイムで異常値の疑いがあるデータの抽出することを目的とする。したがって、既存のデータ監視ツールでは検出が不十分で、水位の代表的な異常値である①急変化，②スパイクノイズ，③長時間無変化（図-5）を検出対象とする。

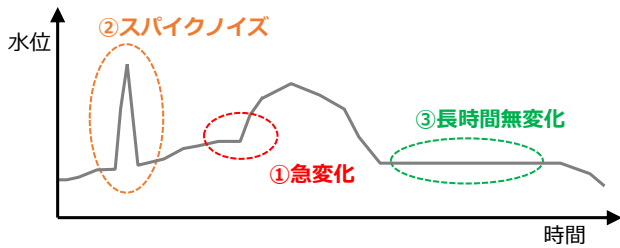


図-5 本研究で検出する異常値

①急変化：水位の変動は時間的に連続的なもので、不連続的な急変化（急増，急減）は，異常値の疑いがある．異常値の要因としては，観測機器（伝送装置を含む）の異常，土砂堆積，機器の流失等が考えられる．ただし，急激な降雨やダムや堰の操作，潮汐の影響によって急変動が起こることがあり，これは異常値ではない．

②スパイクノイズ：水位差において，プラス値とマイナス値が連続して発生した場合にはスパイクノイズ（異常値）の可能性が高い．異常値の要因としては，観測機器の異常（瞬間的な電圧変動）等が考えられる．ただし，風の影響等でプラス値とマイナス値が連続して発生する場合があります，これは異常値ではない．

③長時間無変化：水位は様々な要因で時々刻々変化するもので，長時間同一の水位となる場合は，異常値の疑いがある．異常値の要因としては，観測機器（伝送装置を含む）の異常，ゴミや土砂等の堆積で生じた死水域，河道内の工事による一定値の記録等が考えられる．ただし，ダムや堰により流れがせき止められている場合には水位が長時間無変化となることがあり，これは異常値ではない．

(3) 異常値検出手法の検討

前述した3つの異常値の疑いがあるデータが検出された場合に，自動でフラグを立てる．フラグを立てる基準について，以下のとおり検討した．

①急変化フラグ（図-6）：水位観測所において，「観測水位－平水位＝水深」と定義する．上下流にある複数の水位観測所における水深は同程度になると想定し，平均から大きく外れる値は異常値の疑いがあるデータとして検出することとした．そこで，評価対象の当該観測所に対して，相関の高い上流の近隣観測所を最大3箇所（支川合流を考慮）選定し，当該および近隣を含めた最大4観測所それぞれの過去2時間分のデータ（10分データで12個×最大4観測所＝最大48データ）の水深の標準偏差 σ を求めた．データが正規分布に従うとすると平均値 $\pm 3\sigma$ の中に全体の約99.7%がおさまることから着想を得て，「現在水深」が「直前水深 $\pm 3\sigma$ 」を超える場合に異常の疑いがあるデータとして「急変化フラグ」を立てることとした．本手法では，水深の変動が大きい時には正常値とする範囲が広がり，水深があまり変化しない（同じような水深が続く）時には正常値とする範囲が狭くなる．

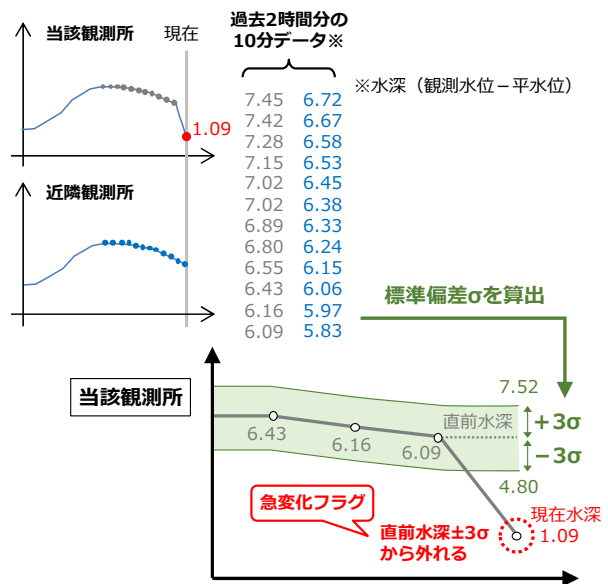


図-6 急変化フラグの概要

標準偏差は平均値との差で評価するものであるが，前述のとおり水位（水深）の変動は時間的に連続的なもので，過去2時間分のデータ（最大48個のデータ）は実際にはバラバラではなく，直前の値に大きく影響される性格を持っている．したがって，平均値との差ではなく，直前値との差で評価することとした． σ については上限・下限を設け，異常値の見逃し，空振りを少なくするようにした．複数計算を実施した結果，概ね妥当と考えられた $0.3m < 3\sigma < 1.5m$ （すなわち， $0.1m < \sigma < 0.5m$ ）とした．

また，上流に水位観測所が無い場合には，上流域にある雨量観測所の雨量データ（複数ある場合にはそれらの平均値）から，マンニング式と合理式により換算水深 $H(m)$ を後述のとおり求め，上流に水位観測所がある場合と同様に「直前水深 $\pm 3\sigma$ 」を閾値として「急変化フラグ」を立てることとした．

水位計地点の流域面積を $A(km^2)$ ，流出率を f ，時刻 t までの洪水到達時間内平均降雨強度を $R(mm/h)$ とすると，時刻 t の流量 Q は合理式から(1)式のとおり求まる．

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot R \cdot A \quad (1)$$

また，川幅を $B(m)$ ，河床勾配を I ，マンニングの粗度係数を $n(m-s$ 単位)，時刻 t の換算水深を $H(m)$ とすると，時刻 t の流量 Q はマンニング式から，(2)式のとおりにも求まる．

$$Q = \frac{1}{n} \cdot B \cdot H^{\frac{5}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

(1)(2)式より，(3)式が求まる．

$$H = \left(\frac{n \cdot A \cdot f}{3.6 \cdot B \cdot I^{1/2}} \right)^{\frac{3}{5}} \cdot R^{\frac{3}{5}} \quad (3)$$

ここに C を定数とし，(4)式のとおり定義することとした．

$$\left(\frac{n \cdot A \cdot f}{3.6 \cdot B \cdot I^{1/2}} \right)^{\frac{3}{5}} = C \quad (4)$$

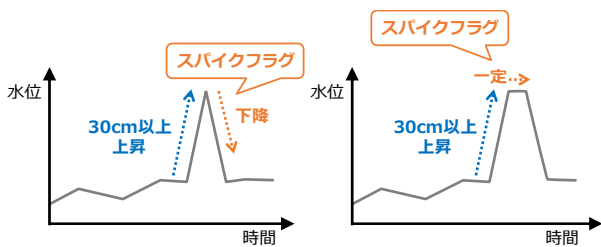


図-7 スパイクフラグの概要

— : 当該水位 (評価対象)
 - - : 近隣水位 (比較対象)

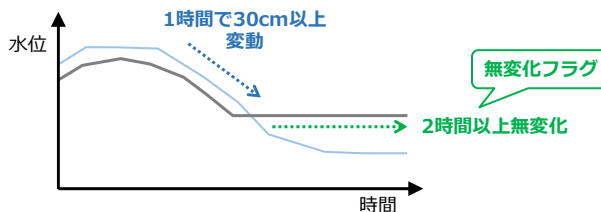


図-8 無変化フラグの概要

表-1 閾値の変更

項目	急変化フラグ	スパイクフラグ	無変化フラグ
通常の観測所	$0.1\text{m} < \sigma < 0.5\text{m}$	10分間で30cm	2時間以上無変化
ダム・堰操作の影響がある観測所	$0.2\text{m} < \sigma < 1.0\text{m}$	10分間で60cm	4時間以上無変化
潮汐の影響がある観測所	$0.2\text{m} < \sigma < 1.0\text{m}$	10分間で60cm	2時間以上無変化

流域面積が100km²程度の数流域における近年の洪水時のRとHを対象に逆算したところ、定数Cは概ね0.5前後の値を示したため、C=0.5と設定した。

②スパイクフラグ (図-7) : 「水文観測データ品質照査の手引き」におけるスパイクノイズの上限値が0.3mであることを踏まえ、10分間で30cm以上水位が上昇 (または下降) した直前か直後に水位が上昇 (または下降) していない時に「スパイクフラグ」を立てることとした。

③無変化フラグ (図-8) : 現行のデータ監視ツールにおいて出水時に2時間以上水位変動が無い観測データを抽出している観測所が多いことを踏まえ、当該または近隣観測所の水位が1時間で30cm以上変動した後、当該水位が2時間以上無変化の場合に、無変化フラグを立てることとした。

なお、「(2)本研究で検出する異常値の種類」で前述のとおり、ダムや堰の操作や潮汐の影響によって水位が急変動することや、ダムや堰により流れがせき止められて水位が長時間無変化となることがあり、これは異常値ではない。したがって、ダム・堰操作や潮汐等の影響がある観測所に関しては、表-1のとおり閾値 (正常値とする範囲) を変更した。

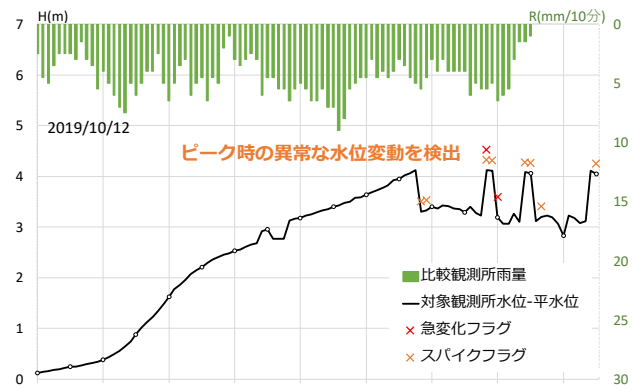


図-9 異常な水位変動の検出事例

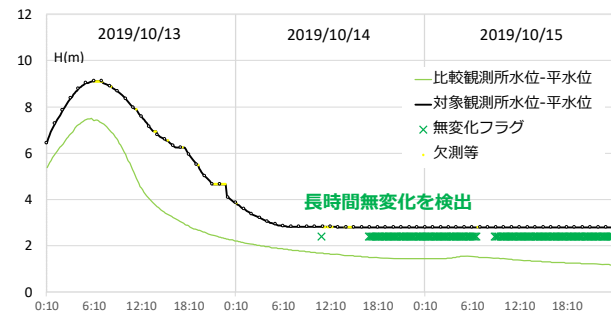


図-10 水位の長時間無変化の検出事例

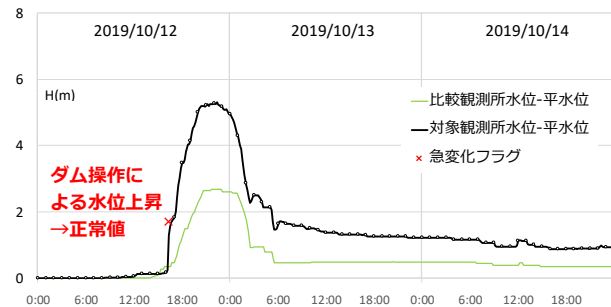


図-11 空振り (正常値の検出) 事例

(4) 有用性の検証

令和元年東日本台風による出水 (10/12~15) があつた関東地方整備局のテレメータ水位観測所 (245観測所: 精度監視および品質照査の対象) のデータを対象に本手法を適用した。

本手法によって急変化フラグ、スパイクフラグ、無変化フラグが検出されたのは37観測所あり、精度監視で報告されている13観測所の異常値についてはすべて検出できた。品質照査で異常値と判断されたが本手法で検出されなかった観測所が1件あつたが、長期的な土砂堆積による異常値で、リアルタイムで活用することを前提とした本手法では検出は困難なものであつた。したがって、リアルタイムで検出すべき異常値についてはすべて検出できたことから、本手法の有用性が確認できた。異常値検出の事例を図-9, 10に示す。

フラグが検出された37観測所のうち14観測所は精度監視および品質照査で異常値と判定されておらず、明らかな異常値とは判断できなかった (空振り)。空振りの事例を図-11に示す。

異常値一覧画面



図-12 プロトタイプシステム画面

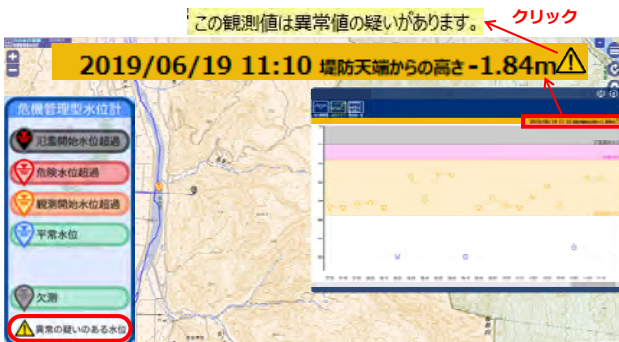


図-13 「川の水位情報」における異常値の表示

空振りが多く出ると異常値の判断に労力がかかるため、今後は閾値設定を見直すことで空振りが少なくなるよう検討したい。

(5) プロトタイプシステムの構築

本手法の有用性が確認できたため、リアルタイムで異常値を検出するプロトタイプシステム（図-12）を構築した。本システムでは異常値が検出された観測所がリアルタイムで異常値一覧画面に表示され、個別観測所画面で観測所毎の異常値の検出状況をハイドログラフで確認できる。

本システムでは出水時の緊急性を要する異常値をいち早く確認できるよう、氾濫注意水位を超過した異常値は「警戒フラグ」として別に表示し、緊急時に優先的に確認できるようにした。その他すべての水位に対する異常値は「注意フラグ」として表示し、平常時は両フラグを確認することを想定している。

5. 危機管理型水位計水位の異常値検出

(1) 現状における異常値の検出と対応

危機管理型水位計は平成30年から多数設置が進んでおり、人の目で異常値を判断するには大変な労力がかかることから、異常値を自動で検出する品質管理機能（異常値検出機能）を導入している。品質管理機能にて異常値が検出されると、「川の水位情報」にて観測水位の右側に「！」マークが表示され、「！」マークをクリックすると、「この観測値は異

常値の疑いがあります」と表示し、一般に公開している（図-13）。また、水位計管理者向けのシステムでは異常値の検出結果を観測データ及び設定値をグラフ表示している。

品質管理機能における異常値の検出方法は、以下(a)~(c)のとおりである。

(a)水位計ごとの上下限值超過：上限値（堤防高等）を超える水位、または水位計の観測下限高を下回る水位を異常値の疑いがあると判定する。

(b)レーダ雨量計との比較：流域の降水量が多いが観測モードにならない、または流域の降水量が少ない（または無降雨）が観測モードになる場合、異常値の疑いがあると判定する。判定に用いる降水量は水位計ごとに流域内のCバンドレーダの雨量データから算出し、(3)式を用いて水深に換算して比較する。

(c)近傍水位計との比較：近傍水位計の水位が高いが観測モードとならない、または近傍水位計の水位が低い観測モードとなる場合、異常値の疑いがあると判定する。

(a)は全観測所、(b)と(c)は河川の実態に合わせていずれかを有効として運用することが想定されている。近傍に水位計がある場合は(c)、河川の上流部等、近傍に水位計がない場合は(b)を有効とするとよい。特に大流域の中・下流部は(b)の精度が低下する。

(2) 設定方法の検討

(b)は水位計ごとの流域面積によって既定の雨量閾値が初期値として設定されるため、パラメータの設定にあたって新たな検討は必要はない。一方(c)は、危機管理型水位計が観測モードとなるべきか否かを判定するための近傍水位計の水位の閾値を検討する必要があるため、(c)の設定方法を検討した。

近傍水位計は危機管理型水位計も選択できるが、危機管理型水位計は低い水位データが観測されないことから、テレメータ水位と比較することとした。図-14、15のとおり、近傍のテレメータ水位が高いと判定する閾値を水位閾値①、テレメータ水位が低いと判定する閾値を水位閾値②とする。

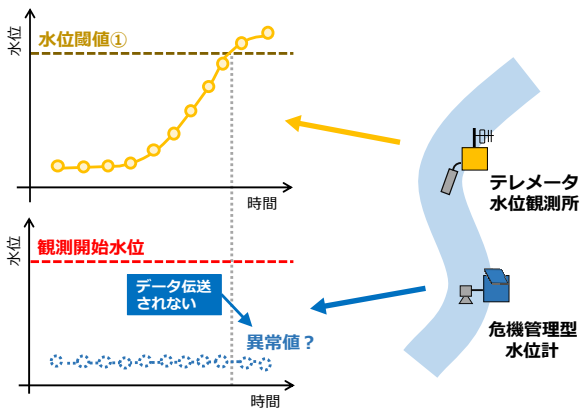


図-14 近傍のテレメータ水位との比較（不達）

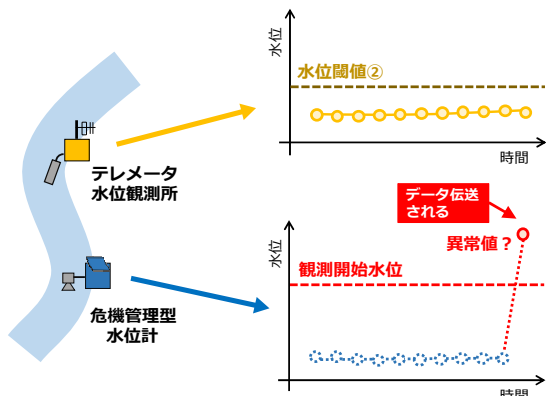


図-15 近傍のテレメータ水位との比較（超過）

観測開始水位は洪水時の減災行動を支援するための水位として設定されるべきであるため、水位閾値①はテレメータ水位の氾濫危険水位相当の水深（平均河床高と堤防高を100%とした際の80%水深）とした。また、危機管理型水位計は月1,000件のデータ受信までを標準としており、これは観測モードのデータ伝送間隔を10分とすると観測モードは月の1/3以下になることを示す。テレメータ水位において平水位（10%水深程度と仮定）は1年のうち185日は下回らない水位（年の1/2）であることから、水位閾値②は平水位より高い、平均河床高と堤防高を100%とした際の20%水深とした。（図-16参照）

(3) 有用性の検証

令和2年7月豪雨による出水（7/13～14）があった中国地方整備局の江の川下流に設置されている危機管理型水位計（43箇所）のデータを対象に本設定方法を適用した。

近傍水位計の水位が高いが観測モードとならない（不達フラグ）、近傍水位計の水位が低いが観測モードとなる（超過フラグ）について検出を行ったところ、不達フラグが検出されたのは、25観測所であった（出水時なので超過フラグはなし）。25観測所のうち、異常値として検出しなくてもよい（空振り）と考えられるものが4観測所あったが、異常値を見逃した観測所はなかった。21観測所の異常の種類は大別して次の(ア)～(ウ)のとおりである。

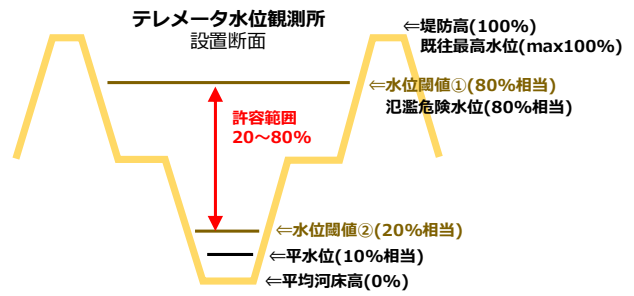


図-16 水位閾値の設定

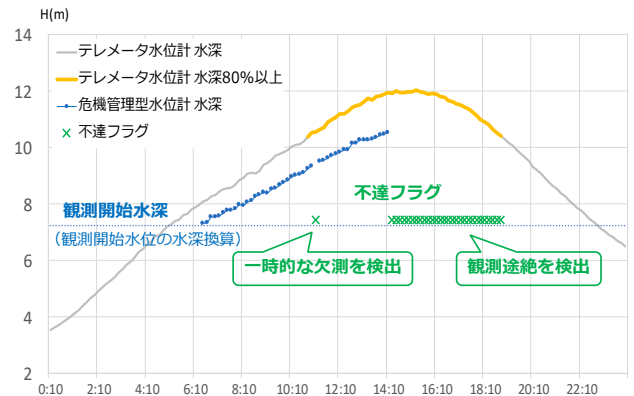


図-17 一時的な欠測、観測途絶の検出例

- (ア) 観測されない：2観測所
- (イ) 観測途絶：6観測所
- (ウ) 一時的な欠測：16観測所（イウで重複あり）

(ア)は観測開始水位が高く設定されていること、(イ)(ウ)は観測機器（伝送装置を含む）の異常が要因と考えられる。異常値検出の事例を図-17に示す。

以上より、既存の品質管理機能(c)のみでも異常値を見逃した観測所はなく、本設定方法の有用性が確認できた。今回は一律の閾値を設定したが、今後は空振りを少なくするために観測所毎に閾値を見直す必要がある。また、今回は直轄の河川で適用したため近傍にテレメータ水位観測所があったが、近傍にテレメータ水位観測所がない場合もある。その場合は(c)は有効にせず、(b)レーダ雨量との比較によって補うものとする。

6. まとめ

【テレメータ水位】

令和元年東日本台風で出水があった関東地方整備局のテレメータ水位観測所を対象に、急変化フラグ、スパイクフラグ、無変化フラグを用いた異常値検出手法を検証したところ、出水時の異常値検出については、長期的な水位変動を除いて見逃しはなかった。また、本手法の有用性よりプロトタイプシステムを構築し、リアルタイムで異常値の疑いがある観測所を表示できるようにした。今後は実際に精度監視で活用するため、より空振りが少なくなるような閾値の設定方法や、使い勝手の良いシステムの構築について検討を進めたい。

【危機管理型水位計】

令和2年7月豪雨で出水のあった中国地方整備局の江の川に設置されている危機管理型水位計を対象に、既存の品質管理機能のうち近傍水位計との比較でテレメータ水位観測所と比較する設定方法を検証したところ、出水時について大きな見逃しはなかった。ただし今回は観測モードか否かの簡易な判定で、観測開始水位を超過した観測データについては異常値か否かを判定できていない。今後は、観測モードではテレメータ水位同様の細やかな異常値検出を行えるよう、検討を進めたい。

謝辞：本稿を取りまとめるにあたり、貴重なデータをご提供いただいた関東地方整備局および中国地方整備局の皆様感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国立研究開発法人 土木研究所「平成14年度版 水文観測」2002.9
- 2) 国土交通省HP「川の防災情報」
<https://www.river.go.jp/portal/#80>
- 3) 国土交通省HP「川の水位情報」
<https://k.river.go.jp/>
- 4) 国土交通省「水文観測業務規程・同細則」2017.3
- 5) 国土交通省「水文水質データベース」
<http://www1.river.go.jp/>

Development of the anomaly detection method of water level data

Yu WATANABE, Tadashi TADOKORO, Minoru KURIKI

We developed the method of automatically detecting, in real time, the anomalies of water level data caused by malfunctions of a water level gauge, river conditions, and others. About the telemetered water level gauges operated by MLIT, we adopted the method of detecting the typical anomalies, such as sudden changes, spike noise, and fixed value for a long time, based on the preceding water level values of the station and neighboring stations: A prototype system was developed. About "the risk management type water level gauge" that observes at the flood time only, we studied a method of setting parameters of the existing quality control function (anomaly detection function) to improve its performance.