

高感度地震観測網による地盤振動と河川の水量の関係

株式会社エイト日本技術開発 ○海原荘一・谷田佑太  
 和歌山県土砂災害啓発センター 筒井和男  
 国土交通省国土技術政策総合研究所 中谷洋明  
 国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター 木下篤彦  
 国土交通省近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所 北本楽・小杉恵・山本悟司

1. はじめに

河川における水位や流量は、危機管理上の最も重要な情報であるが、大規模洪水時にはその水位計に欠測が生じることも多い。一方で、砂防分野では近年、深層崩壊の発生検知に高感度新観測網が利用されているが<sup>1)</sup>、河川の流量増大にもその地盤振動の増大がみられることも知られている<sup>2)</sup>。2020年7月の球磨川の洪水においても地盤振動の速度振幅のRMS値と水位の間に高い相関が確認されており<sup>3)</sup>、洪水時の欠測の補完や第二の水位計としての役割が期待されるが、検討事例はそれほど多くない。本稿では近年の比較的規模の大きい10洪水について、筒井ら(2021)の方法を適用した結果について報告する。

2. 高感度地震観測網の地盤振動による河川流量の推定の検討方法

2.1 検討対象とした洪水イベント及び水理諸元

Hi-netの本格運用開始後の2001年以降について、国交省の水害レポートや各種学会災害報告などの報告、国土交通省のHPに示された洪水諸元、気象庁HPなどから表1に示す規模が大きい(概ね最大流量5 km<sup>3</sup>/s程度を超えるもの)洪水を検討対象として優先的に選定した。河川の水位・流量の時系列データについては、水質・水質データベースのデータを使用した。

2.2 地盤振動指標の算定方法と水位・流量との関係把握

筒井ら(2021)と同様、1分ごとの高感度地震観測網の速度振幅のRMS値について、1分毎に前後30分間の平均値を算出し、その1.5倍より大きい値については棄却した上で10分毎と1時間毎の平均値をそれぞれ求め、これを60分毎の指標値とした。例えば、10分毎の平均値の場合は0:50~0:59の平均値を1:00の値とし、1時間毎の平均値の場合は、0:00~0:59の平均値を1:00の値として記載している。

それら10分毎と1時間毎の速度RMS値の平均値と河川の水位・流量について回帰式を求めた。また、検討事例のうち河川水位・流量とRMS値のピーク時刻に差がある事例については、振動観測局の近くの支川の流量、降雨強度のデータを対象に重回帰分析でその原因を把握した。

3. 検討結果

3.1 検討対象とした10事例の水位・流量とRMS値の相関性

検討対象とした10事例のうち、約半数となる6イベントでいずれかの周波数帯について相関係数が0.7を超えるという結果となったが、その多くが水位・流量と時間差があり、しかも水位ピークよりRMSのピークの方がいずれも早めに出ており、その時間差は数時間(3時間以上のものが多い)とであった。なお、それら6イベントの本川との振動観測局の距離は7km以下である。その中で、本川に近接している振動観測局の事例として、令和元年の東日本台風の千曲川の水害における戸倉大規模土砂移動観測局のRMS値と本川の杭瀬下観測局の水位の関係を図-1に、周波数ごとのRMS値を図-2に、各周波数の相関係数を図-3に、RMSによる推定式を表-2に示す。河川と振動観測局が近接していることから、10Hz程度の周波数帯についても相関性も高く、水位とRMSのピークの時間差もないという結果となっている。

表-2 戸倉観測局のRMS値による河川水位の推定式

水位・流量観測所	データ	回帰式 <sup>*1</sup>
杭瀬下	水位(10分間平均値)	$y=9.60 \times 10^6 x + 9.12 \times 10^2$
	水位(1時間平均値)	$y=9.53 \times 10^6 x + 8.81 \times 10^2$
	流量(10分間平均値)	$y=8.24 \times 10^9 x - 1.50 \times 10^2$
	流量(1時間平均値)	$y=8.27 \times 10^9 x - 1.46 \times 10^2$

表-1 検討対象とした10洪水イベント及び水位観測局、振動観測局の諸元と水位・流量の相関性等一覧表

番号	災害名	河川	災害期間	観測データ収集対象河川	最大水位(m)	最大流量(km <sup>3</sup> /s)	観測局と河川の最大距離(km)	河川名称	水位・流量との相関性	表測水位と推定水位のピーク時間差(h)
1	令和3年8月豪雨	江の川(下流域)	2021/8/14~8/15	Hi-net N GOYH(江津)	13.98(居住部)	-	2.50	1/900~1/9000(海保ダム付近一河口)	①全域で相関性が高い。(2-5Hzはやや高い)	11
2	令和2年7月豪雨	筑後川(中流域)	2020/7/7~7/8	Hi-net N TARH(大刀洗)	10.52(計測)	8591.23(瀬の下)	1.23	-	②1-2Hzのみ相関性が高い	推定水位のピーク値が不明
	令和2年7月豪雨	筑後川(上流域) 筑後川	2020/7/7~7/8	Hi-net N URQH(厚手)	7.68(筑瀬)	8328.43(筑瀬)	6.65	-	①全域で相関性が高い。(1-4Hzはやや高い)	-3
3	令和元年東日本台風	千曲川	2019/10/12~10/13	Hi-net N NKSH(中野)	12.44	3386.62	5.80	1/1000~1/1400(杭瀬下~立ヶ花狭窄部入口)	③全域で相関性が低い。	-9
	令和元年東日本台風	千曲川	2019/10/12~10/13	Hi-net N KMDD(上山田) 戸倉大規模土砂移動観測局	6.39	-	1.24(上山田) 0.38(戸倉)	1/1000~1/1400(杭瀬下~立ヶ花狭窄部入口)	①全域で相関性が高い。	0
4	令和元年東日本台風	阿武隈川	2019/10/12~10/13	Hi-net N FRSH(福島)	8.42(福島)	8017.82(福島)	10.30	1/1020(福島水位観測所周辺約10km)	③全域で相関性が低い。	推定水位のピーク値が不明
5	平成30年7月豪雨	高梁川・小田川	2018/6/28~7/8	Hi-net N MABH(真備)	8.16(高梁)	-	4.80	高梁川1/740~1/2100(高梁川合同堰(深井堰)~河口) 小田川1/2300	③全域で相関性が低い。(1-2Hzはやや高い)	推定水位のピーク値が不明
6	平成30年7月豪雨	瀧川	2018/6/28~7/8	Hi-net N OGDH(大瀬) 大瀬大規模土砂移動観測局	10.74	4412.49	6.10(Hi-net大瀬) 1.11(国土交通大瀬)	1/600~1/1000(観瀨大瀬~観瀨川ダム)	③全域で相関性が低い。	-8
7	関東・東北豪雨	荒瀬川・千早川	2016/9/9~9/11	Hi-net N JSJG(吉野)	5.78(建部)	597.1(上郷)	2.39	東郷川1/1300~1/2500(田川合流後~観瀨下) 千早川1/3000~1/5000(大谷川合流後~谷和原村)	③全域で相関性が低い。	推定水位のピーク値が不明
8	台風14号	五ヶ瀬川水系北川	2005/3/4~3/8	Hi-net N KIGH(北川)	6.22	4913.44	0.19	-	②1-3Hz、5-10Hzで相関性が高い(3-5Hzは相関性が高い)	-4
9	台風23号	由良川	2004/10/19~10/21	Hi-net N FKCH(福知山)	7.53	5289.87	1.31	1/1000~1/1000(土師川合流点より下流-福知山盆地)	②1-2Hzのみ相関性が高い	-1
10	台風23号	吉野川	2004/10/20	Hi-net N KJWH(井川)	10.42	12481.23	4.40	中流域(井川ダム~第十観測水城 [11]~18付近)1/800~1/1000	①全域で相関性が高い。	-3
	台風23号	吉野川	2004/10/20	Hi-net N JSJF(建部)	6.62	-	6.12	下流域(第十観測水城~河口[18~0k付近])1/1000~Level	③全域で相関性が低い。	-6

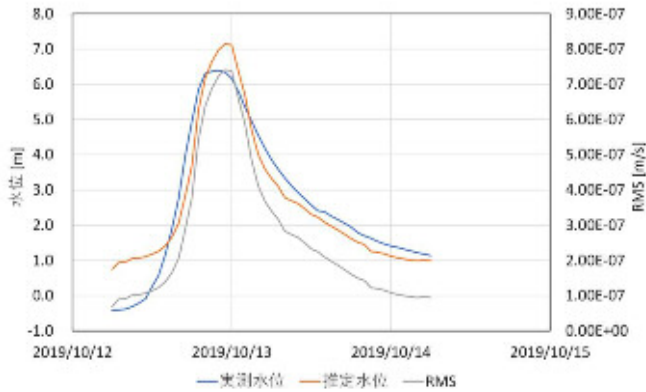


図-1 令和元年東日本台風における千曲川杭瀬下地点の水位と国交省戸倉大規模土砂移動観測局の1～2Hz周波数帯RMSの時系列変化及びそのRMSに基づく予測式による水位

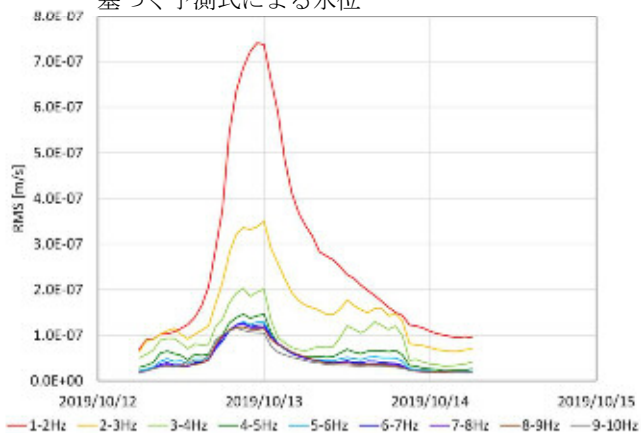


図-2 同事例における国交省戸倉大規模土砂移動観測局の1Hz毎の各周波数フィルタ処理したRMS値の時系列変化

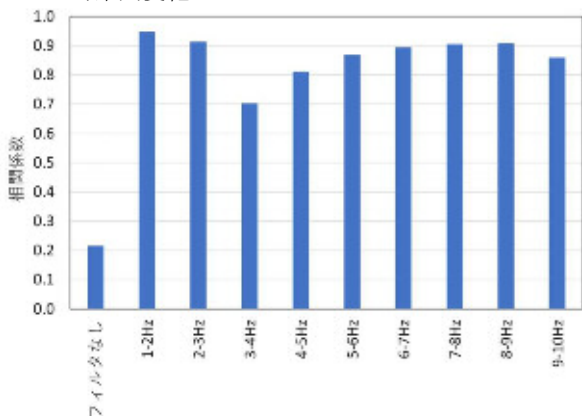


図-3 同事例における国交省戸倉大規模土砂移動観測局の1Hz毎の各周波数フィルタ処理したRMS値と河川水位との相関係数

#### 4. 河川流量と地盤振動のRMSピークの時間差のあるケースにおける振動源の推定

10事例のうち、水位・流量とRMSのピークに数時間の時間差のあるもので、アメダス観測局が近くに存在する令和2年7月豪雨の筑後川(上流域)の事例について、本川水位、振動観測局に近い支川の水位、降雨強度について重回帰分析を行い、各要因の影響度合いを把握した。図-4に示すようにRMS値の方が本川の水位よりも3時間前にピークを迎えているが、その支川(西隈ノ上)の水位と連動しているのが分かる。

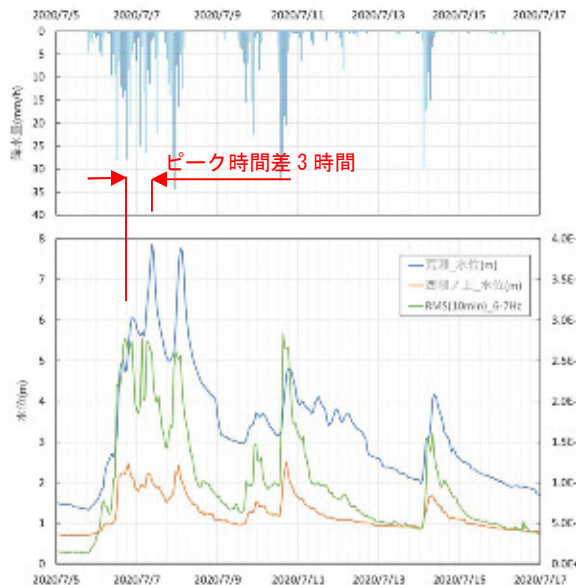


図-4 令和2年7月豪雨の筑後川(上流域)における本川水位(荒瀬地点)と支川水位(西隈ノ上地点)の水位と6～7HzのRMS値の変動

表-3 令和2年7月豪雨の筑後川(上流域)における重回帰分析の結果

項目	係数	t	P-値
荒瀬_水位(m)	7.82E-02	3.00E+00	2.95E-03
西隈ノ上_水位(m)	8.50E-01	2.93E+01	5.94E-88
アメダス日田_降水量(mm/h)	1.07E-01	7.52E+00	7.02E-13

表3に示す重回帰分析の結果を見ると、支川水位が最も係数が大きく、本川水位や降雨は1オーダー係数が小さことからRMSへの影響は少なく、振動の観測局に近い支川の流量増大がRMS増大の主要因という結果となった。

#### 5. まとめ

高感度地震観測網の整備年代以降の概ねピーク流量が5千m<sup>3</sup>/s以上の降雨イベントを対象に河川水位・流量と速度RMS値の相関について検討したが、本川から3km程度の位置でも水位ピークとRMSに数時間の時間差が生じているケースもあり、その場合は振動観測局の周辺で生じている事象を捉えている可能性がある。今後は河川に近接した振動観測局を対象に検討を進めていきたい。

謝辞：本研究にあたっては国立研究開発法人防災科学技術研究所の高感度地震観測網(Hi-net)の地震観測データを利用させていただきました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 海原荘一・浅原裕・木下篤彦・中谷洋明・田中健貴：高感度地震観測網による大規模土砂移動発生時の地盤振動特性と検知，砂防学会誌，Vol.73，No.5，p.27-37，2021.
- 2) 武澤永純・山越隆雄・石塚忠範・中谷洋明：山地河川における洪水時の地盤振動特性の評価，土木技術資料，Vol.55，No.7，pp.10-15，2013.
- 3) 筒井和男・坂口隆紀・柴田俊・海原荘一・谷田佑太・浅原裕・木下篤彦・中谷洋明：高感度地震観測網の微小振動データに着目した大規模出水時の地盤振動特性と欠測水位の推定，河川技術論文集，第27巻，pp.13-18，2021.