

## 旧石狩川頭首工撤去工事に適用する出水予測回帰モデルの検証

大成建設(株)技術センター 正会員 ○大野剛 正会員 本田隆英 正会員 織田幸伸 フェロー会員 伊藤一教  
大成建設(株)札幌支店 正会員 遠山正恭 正会員 大橋章一

### 1. はじめに

石狩川頭首工は2014年に新頭首工が完成し、旧頭首工は2017年8月までの予定で撤去工事が進められている(図1)。撤去工事では出水に対する安全管理を目的に仮締切近傍の水位(以下、頭首工水位)を予測する出水予測警報システム(以下、本システム)を適用している<sup>1)2)</sup>。本システムは①マクロモデル、②数値モデル、③回帰モデルの3種類で構成されている。①マクロモデルは、頭首工上流(石狩川流域)の48時間累積雨量と過去の出水イベントの相関から閾値を設定し、累積雨量が閾値を超えた場合に警報を発令する。②数値モデルは、分布型流出解析により頭首工位置の水位を予測する。③回帰モデルは、頭首工位置の出水イベントごとの最大水位と、頭首工より上流にある観測所(表1下)の最大水位との関係から回帰式を求め、各観測所水位から頭首工水位を予測するものである。本システムは出水予測時間が3~21時間前であり(表1)、3種類の予測手法を併用することでリードタイムと精度を補完し、ロバスト性と信頼性を確保することが特徴である。本稿では、③回帰モデルに着目し、頭首工水位の実測値と回帰モデルの予測値の比較による誤差検証と、降雨分布が回帰モデルに及ぼす影響を考察したので報告する。

### 2. 回帰モデルの誤差検証と出水イベントを追加した回帰モデル

#### 2. 1 回帰モデルの誤差検証

2015年9月~2017年3月を対象に、回帰モデルの予測誤差を検証した(図2)。施工管理する上で設定した危険水位(頭首工水位が仮締切工天端高のE.L.+7.5mになるとき)を超える出水は2016年8月に3回発生しており、出水規模は最大で約13mであった。頭首工水位が危険水位付近となるE.L.+6.5~7.5mのときの回帰モデルによる予測値を確認したところ、誤差はおおむね1m未満であった。

#### 2. 2 10出水イベントを追加した回帰モデル

2015年8月までの出水イベントを用いた回帰式(黒線)と、2015年9月以降の10出水イベント(図2の表)を新たに加えた回帰式(赤線)を比較した(図3)。各観測所とも両回帰式で有意な差異は無く、頭首工から直線距離で30km範囲内の奈井江大橋および橋本町は、水位規模に関わらず誤差が最大で1mであった。頭首工から45km以上離れた妹背牛橋、伊納においては、危険水位(7.5m)より低い水位での予測誤差は小さかったが、危険水位を超えた場合は予測誤差にばらつきが生じた。回帰モデルは危険水位に到達するまでの予測誤



図1 石狩川頭首工

表1 予測手法の種類

| 予測手法                              | グレード* | リードタイム <sup>1)</sup> |
|-----------------------------------|-------|----------------------|
| ①マクロモデル: 流域平均の累積雨量                | △     | 21 hr                |
| ②数値モデル: 分布型流出解析                   | ◎     | 13 hr                |
| ③回帰モデル: 観測所水位(5ヶ所 <sup>2)</sup> ) | ○     | 3~11 hr              |

1) 出水の発生に対し、何時間前までに予測結果が示されるかを表す

2) 頭首工から近い順に奈井江大橋、砂川橋、橋本町、妹背牛橋、伊納

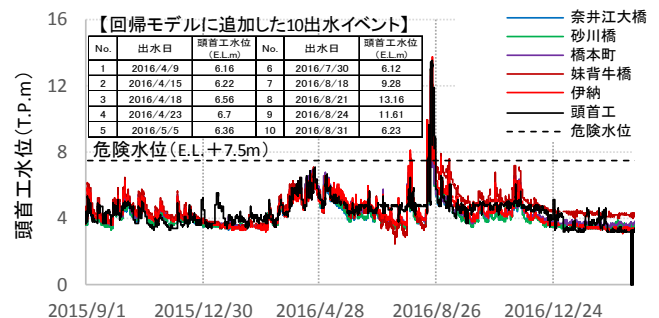


図2 頭首工水位と回帰モデル予測値の比較

キーワード 石狩川頭首工, 出水予測, 回帰モデル, 数値モデル, 降雨分布, 線状降水帯

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株)技術センター 社会基盤技術研究部 TEL045-814-7234

差は小さく、例えば、予測値が危険水位となる伊納の水位 90.1m 以下では、実測値も全て危険水位以下であった。伊納水位が 90.1m を超える場合は予測誤差にばらつきを生じ、そのときの頭首工水位は危険水位を大きく上回る。本システムでは危険水位の場合、水位によらず危険と判断して警報を発令することから、実用性を有している。しかし、7.5m 以上の水位予測が必要な場合、出水規模を正確に予測することが求められるため、危険水位を超える高出水時の予測誤差を数値モデルと共に確認した。

### 2. 3 高出水時における回帰モデルおよび数値モデルによる予測

本システムの数値モデルと伊納の回帰モデルはリードタイムが 13 時間、11 時間であり、伊納以外の回帰モデル（最大 8 時間）より長い。高出水時の予測誤差は、頭首工水位が約 11.6m のとき、伊納の回帰モデルが約 2.5m、数値モデルが約 1.2m であった（図 4）。頭首工水位が約 9.3m のときは、伊納の回帰モデルが約 1m、数値モデルが約 2m の誤差であった。数値モデルでは流域全体の土地状況を同一として各パラメータ値を設定しているため、誤差が大きくなったと考えられる。一方、他の回帰モデルでは、上記 2 出水時の誤差が約 50cm であった。本システムはリードタイムが長いモデルは予測誤差が大きく、リードタイムが短くなるに従い予測誤差が小さくなる。そのため、各モデルの設定条件や再現性の特徴や限界を考慮して複数のモデルを併用することで、ロバスト性と信頼性を確保していると考えられる。

### 3. 考察～降雨分布が回帰モデルに与える影響～

図 3 の妹背牛橋、伊納における高出水時の回帰モデルの誤差を降水状況から考察したところ、線状降水帯等の集中豪雨が原因であることが示唆された。図 5 は頭首工水位が約 13m となる前に発生した線状降水帯（最大 60mm/h）であるが、このとき妹背牛橋、伊納での回帰モデルの予測値は実測値より約 1m 低くなった。伊納の 48 時間累積降水量は、頭首工に近い妹背牛橋や橋本町の 0.5～0.6 倍であったため、回帰式に代入する観測水位が小さくなり頭首工の予測値が実測値より低くなったと考えられる。本考察から、出水予測の運用では数値モデル、回帰モデルの他、降雨分布の考慮も重要と推察された。

### 4. おわりに

旧石狩川頭首工の撤去工事に採用している出水予測警報システムの回帰モデルについて、実測値と予測値の比較による誤差検証と、降雨分布が回帰モデルに及ぼす影響を考察した。その結果、回帰モデルは危険水位の予測に有効であること、危険水位以上の水位予測では回帰モデルと数値モデルの併用が望ましいこと、出水予測では降雨分布への考慮も重要であることをそれぞれ確認した。

### 参考文献

- 1) 石野ら（2011）：河川仮締め切り工の越水管理を目的とした石狩川流域におけるリアルタイムレーダ雨量データ等を用いた出水予測警報システムの開発と現地検証，河川技術論文集，第 17 巻，pp.425-430.
- 2) 本田ら（2015）：旧石狩川頭首工撤去工事における出水予測警報システムの適用，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，pp257-258.

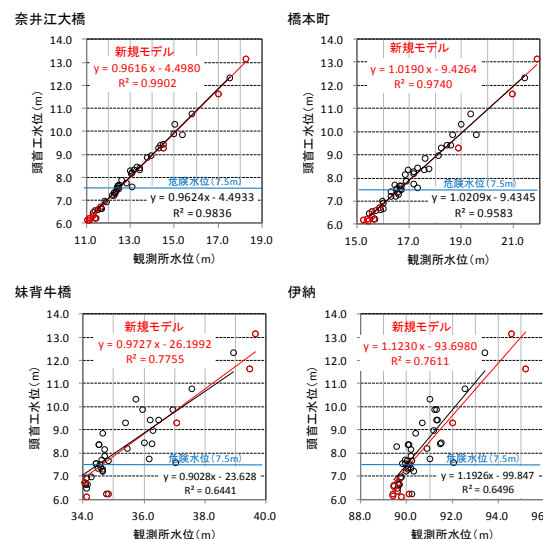


図 3 出水イベント追加前後の回帰モデル比較

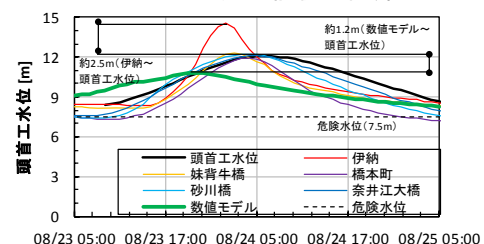


図 4 数値モデルと回帰モデルの予測誤差

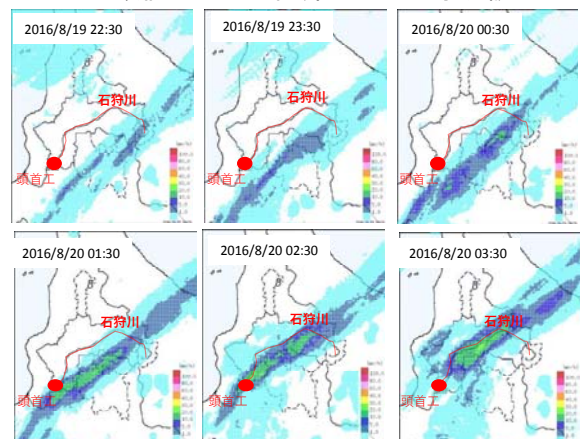


図 5 2016/8/19～2016/8/20 の雨雲