

橋梁部での流木閉塞評価の試み

八千代エンジニアリング株式会社 西尾陽介 宮田直樹 ○山田創太
 国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所 光永健男*1 服部浩二 有村良一*2 山崎卓也
 *1現 富士砂防事務所、*2現 淀川河川事務所

1. はじめに

土砂・洪水氾濫対策の検討にあたり、国総研資料第1048号¹⁾に基づいて、近年土砂に関する数値解析を用いた検討が多く地域で進められている状況にあるが、流木に関しては流木収支や流木長とクリアランスの比較を用いた評価が主流である。今後は流木に関しても、土砂と同様に数値解析の活用が求められてくるものと考えられる。

兵庫県南部では、昭和13年に発生した阪神大水害（1938年7月3日～5日）により、土石流や斜面崩壊、土砂・洪水氾濫が生じ甚大な被害を受けた。当時被害を受けた芦屋市は、京と西国を結ぶ交通の要所として栄え、山麓から海岸にかけての平地に市街地が形成され、鉄道や国道等の道路が芦屋川を多く横断しており、阪神大水害により生じた土砂および流木はこれらの河道横断構造物を堰き止め、氾濫被害を生じた要因の一つであると考えられる。

そこで本検討では、芦屋川に位置する橋梁を対象に、数値解析ソフトウェアiRICに搭載されている流木計算機能を活用し、阪神大水害時の状況を基本条件として、感度分析的に流木閉塞の評価について実施した。本報告では、数値解析による評価結果の比較検証を行った結果について報告する。

2. 芦屋川流域の概要

2. 1. 流域概要

芦屋川は六甲山を源流とし、芦屋市を流下する河川である。芦屋川と支川である高座川の合流点下流に位置する開森橋に砂防計画基準点（以下、基準点）が設定されている。流域面積は約8km²であり、基準点付近の河床勾配は1/30と急勾配である一方で、基準点下流の平均勾配は約1/70と比較的緩勾配である。また、流域内の地質は主に花崗岩で構成されており、風化作用によるマサ土化の進行により、豪雨時には斜面崩壊を起こしやすい要因となっている。

基準点下流では、河床高が周辺地盤高より高い天井川を形成し、昭和13年に生じた阪神大水害時には、上流より流出した土砂が、河道内に堆積したことによる河床上昇が発生し、河床高が堤防高を上回る土砂・洪水氾濫被害が生じていた。

基準点下流では、河床高が周辺地盤高より高い天井川を形成し、昭和13年に生じた阪神大水害時には、上流より流出した土砂が、河道内に堆積したことによる河床上昇が発生し、河床高が堤防高を上回る土砂・洪水氾濫被害が生じていた。



図1 芦屋川流域図

図2 阪神大水害前後の開森橋³⁾

2. 2. 阪神大水害時の被害状況

阪神大水害時の総雨量は神戸海洋気象台で、7月3日から5日の3日間の合計は461.8mm²⁾であり、1時間あたりの最大雨量は60.8mm（7月5日）であった。芦屋川と高座川の合流点付近から土砂・洪水氾濫が発生し、基準点下流の広範囲において土砂堆積及び浸水被害が生じていた。

また、基準点付近の開森橋は、上流側に土砂および流木が堆積し、閉塞が生じた状況が記録されている³⁾（図2）。災害記録には次のように記録されている。「十時過ぎに至り…中略…開森橋及び御園橋阪急電車北側の櫻橋は順次上流より押し流され家屋、土砂、岩石、樹木に依つて堰き止められ激流は東西に溢水し…後略」⁴⁾。

以上のことから、芦屋川下流では、上流からの土砂による河床上昇に加えて流木による橋梁の閉塞が氾濫要因になっていたと考えられる。

3. 計算条件

計算には汎用的な数値計算ソフトとして、iRIC⁵⁾を用いた。iRICは、二次元または、三次元の流況解析や河床変動解析など様々なソルバーを搭載しており、本検討では三次元ソルバーであるNaysCUBEを用いた。NaysCUBEは河川流と河床変動計算の三次元ソルバーであり、構造物の形状を計算セル単位で設定できるため、様々な形状の構造物を容易に考慮できるソフトウェアである。

開森橋付近の川幅は、昭和13年当時から大きく変化していないことから、現況の航空レーザ測量結果から、平均川幅18m、平均河床勾配1/30と設定した。計算モデルは全長100mで、上流端から50m地点に橋脚を配置し、災害前の写真（図2）より橋脚数4本、橋脚幅1.0m、橋脚間距離2.8mと設定した。流木は航空レーザ測量結果から流木長6m、立木のコードラ調査結果から流木径0.2mとし、流出流木量は、一次元河床変動計算による土砂の流出率と計画流木量を用いて1500m³とした。流量については神戸海洋気象台の観測雨量から流出解析を行い、ピーク時流量100m³/sを用いて、300秒間の計算を行った。

流木の供給タイミングは、水面が安定してから供給を開始し、流木供給後は水のみを一定時間供給し、流木集積が安定するまで計算を実施した。なお、本検討では、流木による閉塞を評価するため、水と流木のみを供給し、土砂は供給しないこととした。

表1 計算ケース

	橋脚数	橋脚間距離	河床勾配
case1 (再現ケース)	4本	2.8m	1/30
case2			1/50
case3			1/100
case4	3本	3.8m	1/30
case5			1/50
case6			1/100
case7	2本	5.3m	1/30
case8			1/50
case9			1/100
case10	1本	8.5m	1/30
case11			1/50
case12			1/100

以上の計算条件を阪神大水害時の開森橋での再現計算ケースとし計算を実施した。また、再現ケースを基本とし、感度分析的に橋脚数を4〜1本、河床勾配を土石流区間から掃流区間まで（1/30、1/50、1/100）を対象に変化させた場合の条件を設定し、全12ケース（表1）について橋梁部における流木閉塞の状況を確認した。

4. 計算結果

阪神大水害時の再現ケースを含む12ケースの計算結果を表2に示す。

阪神大水害時の再現ケースであるcase1では、流木投入前に比べ投入後には、橋脚上流面に多量の流木が集積し、流下断面が狭小化することにより、水位が約1.5m上昇し、流木供給終了後も流木は橋脚上流に残留する結果となった。

また、case1および感度分析ケースである橋脚数4〜3本のcase2〜case6では、流木集積時および計算終了時まで、橋脚上流面に流木が集積し、流木閉塞後水位が上昇する結果となり、一方で、橋脚数2本のcase7〜9では、一時的に、橋脚上流面に流木が集積し、水位上昇を生じたが、流木供給終了後の後続流により、集積していた流木が橋脚下流に流下し、計算終了時には水位上昇が解消する結果となった。橋脚数1本のcase10〜12では、橋脚上流面に流木が集積せずに流下し、流木閉塞による水位上昇は確認されなかった。

また、河床勾配により、流木閉塞による水位のせき上がり時間が変化し、河床勾配が1/30の場合、計算終了時には、水位上昇規模が概ね解消したが、河床勾配1/100の場合は、計算終了時においても流木集積時から水位上昇があまり解消せず、土石流区間に比べ、掃流区間での流木閉塞による水位上昇は長く持続する結果となった。

5. 考察

阪神大水害時の再現ケース（case1）より、流木閉塞により橋脚上流面の水位が上昇していたことから、阪神大水害時には、土砂による河床上昇の影響もあったと考えられるが、流木の集積・閉塞による水位上昇も氾濫要因の一つであったと考えられる。

石川ら⁶⁾は、狭窄部における流木捕捉率 T は、狭窄部の幅 w と流木長 l により大きく左右され、 $w/l \leq 0.3$ では、 $T \approx 1.0$ となり、 $w/l \geq 1.3$ では、 $T \approx 0$ となることを実験によって明らかにしている。この実験結果によれば、今回の計算結果は、 w/l の小さいcase1〜6（ $w/l = 0.47 \sim 0.63$ ）では、多くの流木が橋脚上流面に集積し、一方で、case10〜12（ $w/l = 1.42$ ）では、流木の集積は確認されなかったことから、石川らの実験結果と概ね整合していると考えられる。このことから、汎用計算ソフトウェアであるiRICによる解析は、流木閉塞の評価手法として活用可能であると考えられる。

また、河床勾配によって、流木閉塞時の水位上昇の持続時間が変化することが、今回の計算によって確認された。土石流区間（1/30）に比べ掃流区間（1/100）の方が流木閉塞による水位上昇の解消までの時間が長いことから、閉塞氾濫が生じた際の溢水時間は土石流区間の場合よりも長く、閉塞氾濫時の被害も大きくなりやすいと考えられる。

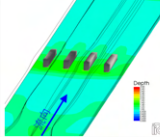
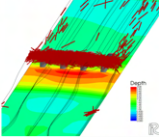
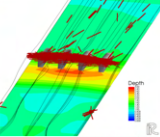
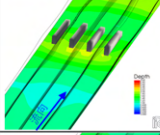
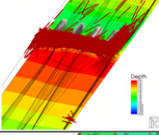
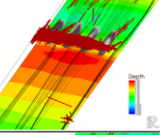
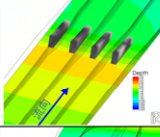
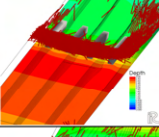
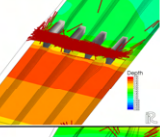
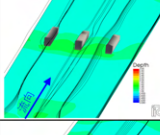
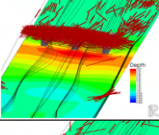
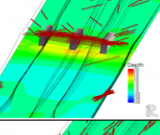
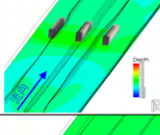
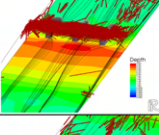
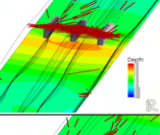
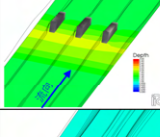
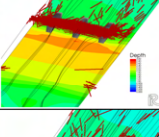
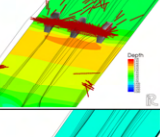
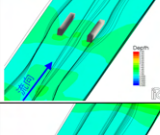
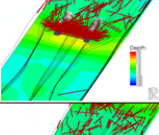
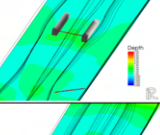
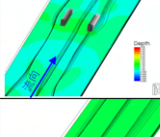
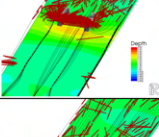
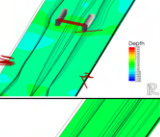
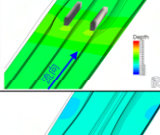
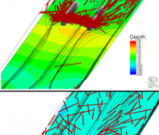
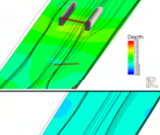
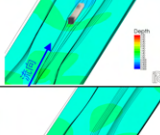
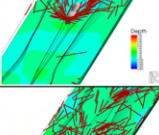
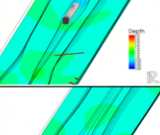
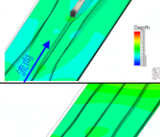
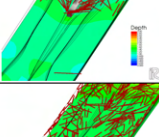
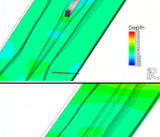
6. おわりに

iRICの三次元ソルバーであるNaysCUBEを用いることで、簡易的ではあるが、手軽に流木閉塞の評価を行うことは可能であると考えられる。しかし、実河川をモデルとして三次元解析を行うには要求される計算処理能力が高く、計算に係る時間も大きいことが課題としてあげられる。

今回は、芦屋川流域を対象として、橋脚間距離と河床勾配を変化させた感度分析を実施したが、今後は他の橋や条件を変えたケースについても解析を進めて妥当性を検証していくことが重要である。

【参考文献】1) 国総研資料 第1048号 河床変動計算を用いた土砂・洪水氾濫対策に関する砂防施設配置検討の手引き（案） 2) 近畿地方建設局六甲砂防工事事務所、六甲三十年史、1974 3) 阪神大水害デジタルアーカイブ、<https://www.kkr.mlit.go.jp/rokko/S13-2/index.php> 4) 昭和十三年七月五日の阪神大水害記念帳、甲南高等学校、1938 5) iRICソフトウェア：<http://i-ric.org/ja/> 6) 石川芳治・水山高久・福澤誠：土石流に伴う流木の発生及び流下機構，新砂防Vol. 42 No3(164) Sept. 1989

表2 計算結果（左下から右上に向かって流下）

Case	計算条件	流木投入前	流木集積時 (流木供給終了直後)	計算終了時
1	橋脚数4本 橋脚間距離2.8m 河床勾配1/30 橋脚間距離 W と流木長 l の比 $W/L = 0.47$			
2	橋脚数4本 橋脚間距離2.8m 河床勾配1/50 $W/L = 0.47$			
3	橋脚数4本 橋脚間距離2.8m 河床勾配1/100 $W/L = 0.47$			
4	橋脚数3本 橋脚間距離3.8m 河床勾配1/30 $W/L = 0.63$			
5	橋脚数3本 橋脚間距離3.8m 河床勾配1/50 $W/L = 0.63$			
6	橋脚数3本 橋脚間距離3.8m 河床勾配1/100 $W/L = 0.63$			
7	橋脚数2本 橋脚間距離5.3m 河床勾配1/30 $W/L = 0.88$			
8	橋脚数2本 橋脚間距離5.3m 河床勾配1/50 $W/L = 0.88$			
9	橋脚数2本 橋脚間距離5.3m 河床勾配1/100 $W/L = 0.88$			
10	橋脚数1本 橋脚間距離8.5m 河床勾配1/30 $W/L = 1.42$			
11	橋脚数1本 橋脚間距離8.5m 河床勾配1/50 $W/L = 1.42$			
12	橋脚数1本 橋脚間距離8.5m 河床勾配1/100 $W/L = 1.42$	