

中小河川における複合災害を想定したリスク評価と対策

高知工科大学 建設マネジメント研究室 1170028 岡田 諒

指導教員 五艘 隆志准教授

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、豪雨や異常気象による洪水が多発しており、その被害を軽減するため、防災・減災のあり方が求められている。河川は一級河川や二級河川といった管理者ごとの区分や重要度等に応じて整備レベルが異なる。国土保全上または国民経済上、特に重要な河川の整備レベルは高く、水位観測、洪水予測、洪水対策の充実度も高い。一方、山間部における中小河川は大河川に比べ、重要視されていない。河川整備基本方針や整備計画が策定されていないのみならず、平面・横断・縦断測量も行われていないのが実態である。しかし、中小河川においても洪水被害が存在している。例えば、2011年に起きた紀伊半島大水害¹⁾では山間部の河川氾濫により家屋の全半壊、多数の死者が出た。1990年代以降、気候変動により局地的かつ頻繁に豪雨が起る傾向にあることが指摘されている²⁾。洪水被害が今後、日本全国の山間部の中小河川において起こりうる可能性がある。山間部の中小河川における洪水予測及び洪水対策が求められる。

1.2 研究目的

本研究では山間部の中小河川のケーススタディとして高知県香美市土佐山田町佐岡地区にある一級河川物部川水系の後入川を取り上げ、地震による被害を考慮した水害被害予測を行った。一般的に川幅が広く、流量が多く、縦断勾配が比較的緩い大河川において洪水シミュレーションのために活用されている不等流計算がある。まずこの計算方法が、川幅が狭く、流量が小さく、縦断勾配が急な中小河川においても活用可能であるかの検討を行った。さらに後入川流域内には土砂災害警戒区域³⁾があり、地震による土砂災害の危険性がある。そのため地震により河道断面形状が変化した時の河川の洪水水位予測に基づき、被害の予測を行った。

2. 後入川の現状と調査

2.1 後入川の既存資料の整理

後入川は高知県により管理されている二級河川である。管理状況について同県河川課等に確認したところ、河川の基礎情報となる河川台帳は存在しておらず、河川を測量した平面図、横断図、縦断図、流域を示す資料も存在しないとのことであった。そのため高水流量や河道などの基本的な検討も行われていない。なお、土佐山田町史には「大正14年9月14日の集中豪雨による洪水で、(略)佐岡地区では後入川の県道山田大板線にかけられた橋が流失」⁴⁾と記されており、既往水害履歴があったことは確認できた。



図1. 後入川周辺の観測所

2.2 後入川周辺の水門観測所位置と水位計の設置

後入川流域内に雨量観測所や水位観測所等の水門観測所は存在しない。そのため本研究では後入川近辺にある新改雨量計⁵⁾、繁藤雨量計⁵⁾、釜ヶ淵水位観測所⁶⁾の既存データを使用した。既存観測所の位置を図1に示す。また不等流計算を行うため、後入川河道内に水位計を設置し観測を行った。後入川水位計設置場所を図2に示す。

2.3 河道線形の作成と河道断面の測量

河道線形及び河道断面を実測した。河道線形はGPSロガーを用いて河道を計測し、計測結果を元に作成した。河道断面はトータルステーションを用いて測量を行った。後入川下流端から新



図2. 水位計設置箇所

佐岡橋までの 359m 地点までである。

2.4 既設構造物の確認

後入川は写真 1.写真 2 のように自然のまま手のくわえられていない部分と、過去に人間による形状改変が行われ、適切に維持管理されていたと推定される部分が混在している。後者についてはその後の人材流出等によって放置され劣化が激しく、既に崩れてしまっている石積護岸も存在する。石積護岸は「護岸の力学設計法」⁷⁾によると構造設計上耐震は考慮していない。そのため写真 3 のように石積が崩壊する危険性がある。河道線形、河道断面測量位置、石積護岸の位置⁸⁾を図 3 に示す。



写真 2：下流端から 100m 地点左岸



写真 3：熊本地震による護岸被害



写真 1：後入川最下流部



図 3 後入川の河道と測量、石積護岸の位置⁸⁾

3.不等流計算による水位予測

3.1 不等流計算手法

水位予測を行う際、通常の河川整備基本方針・基本計画策定において用いられている不等流計算方法を用いた。不等流計算はベルヌーイの式①とマンニングの式②を用いて下流側水位 h_n から上流側 h_{n+1} を求める手法である。

$$Z_n + h_n + \frac{V_n^2}{2g} + h_f = Z_{n+1} + h_{n+1} + \frac{V_{n+1}^2}{2g} \cdot \cdot \cdot \textcircled{1}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot \cdot \cdot \textcircled{2}$$

入力条件として出発水位 h_0 (m)、河道内の流量 Q (m^3)が必要である。出発水位は後入川下流端水位計の値を用いた。流量 Q は式③を用いて求める。

$$Q = \frac{1}{3.6} \cdot f \cdot A \cdot r \cdot \cdot \cdot \textcircled{3}$$

f ：流出係数は近隣の河川で採用されている値を参考に 0.75 を用いた

A ：流域面積は数値標高データから導出した値 $3.57(\text{km}^2)$ を用いた

r ：時間雨量(mm/h)は繁藤観測所の観測雨量を用いた

n ：粗度係数（設定方法は後述）

3.2 水位・雨量の観測記録を不等流計算で再現できる粗度係数 n の設定

一般的に河道の水が流下するのを妨げる要因として断面形状や植物、岩等の有無など多数存在する。そこで水位計の観測値と不等流計算結果が矛盾しないような粗度係数を設定した。43m 地点と 359m 地点に水位計を設置しているため、観測データと不等流計算から算出される水位を比較して河道の粗度係数を設定した。粗度係数 n の設定は土木学会水理公式集⁹⁾に示されている地形ごとの基準値の範囲内で変動させ、実測水位と合致する値を採用した。雨量は後入川

Z ：基準面から河床までの高さ(m)

h ：水深 (m)

V ：流速 (m/s)

h_f ：摩擦損失水頭

R ：径深 (m)

i ：勾配

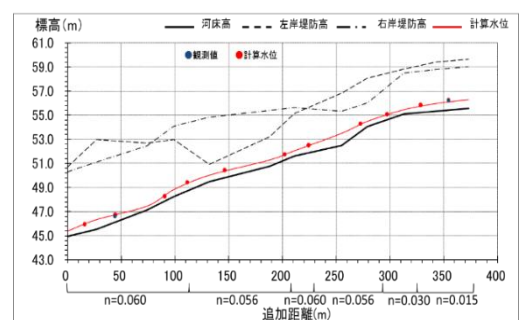


図 4.2016 年 12 月 22 日 19:00 における計算結果

から最も近い新改観測所の 2016 年 12 月 22 日 19:00 の降雨記録を使用した。採用した粗度係数と不等流計算結果を図 4 に示す。

3.3 '98 高知豪雨における水位再現

土佐山田町史の水害記録より過去の豪雨時には後入川の氾濫があった。また、現地ヒアリングにより'98 豪雨時にも越水があったことが分かった。そのため将来的にも豪雨時において後入川の氾濫が予測される。まず豪雨時の水位を再現するために観測されている範囲内の最大の雨量、'98 高知豪雨時のピーク雨量を用いて計算を行った。

後入川から一番近い雨量観測所は新改観測所であるが、当時の観測データが存在しなかった。新改観測所と繁藤観測所における日雨量の相関関係を図 5 に示す。新改観測所より繁藤観測所の方が雨量は多い傾向にあることが言える。計算には安全側を考慮し、さらに観測データが存在する繁藤観測所のデータを用いることとした。また後入川下流端から物部川上流約 800m 地点に杉田ダムがあり、放流による物部川の水位変化を観測している釜ヶ淵観測所がある。出発水位は同時刻の釜ヶ淵観測所の水位を用いた。図 6 が'98 高知豪雨の計算結果である。

時間雨量は 1998 年 9 月 24 日 23:00 の雨量 109mm/h を用いた。これは繁藤観測所において降水規模 1/50 年確率に相当する。この時刻の出発水位は 48.90m である。越水箇所は 148m 地点と 295m 地点の 2 箇所存在し、148m 地点において 1.955m、295m 地点において 0.293m 越水する結果となった。浸水域を図 7 に示す。中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き¹⁰⁾に従い浸水域を求めた。浸水面積は 5670 m²であった。

3.4 複合災害を想定した水位予測

前述の通り後入川河道の護岸は崩壊の危険性がある。そこで断面形状が崩壊したことを想定した不等流計算を行う。

護岸崩壊シミュレーションは以下の規則に従う。

- ・崩壊護岸は石積護岸とした。崩壊場所は細川 (2016)⁸⁾に準じた。
- ・護岸の崩壊角度は 45° とする。2016 年 4 月の熊本地震による熊本城や石積護岸の崩壊状態¹²⁾に基づく。
- ・土量変化率¹³⁾はレキ質土と中硬岩との中間値 $L=1.5$ とした。
- ・護岸の延長を不等流計算に反映させるために、護岸開始位置と終了位置に仮想断面を設定した。断面崩壊後の計算結果を図 8 に示す。入力条件は河道断面情報以外、既往最大雨量 98 '高知豪雨時の不等流計算と同一である。

断面変化した地点において、全体的に断面変化前と比較して水位は上昇している。断面変化前の越水箇所を比較すると 148m 地点においては水位が堤防高より 1.955m から 2.099m に、295m 地点においては 0.293m から 1.209m へと上昇している。図 8 において 295m 地点から 329m 地点へかけて大きく水位が降下しているのは 329m 地点から上流は射流であり 295m~329m 区間は常流であるためと考えられる。浸水域は図 9 に示す。浸水面積は 8,005 m²である。護

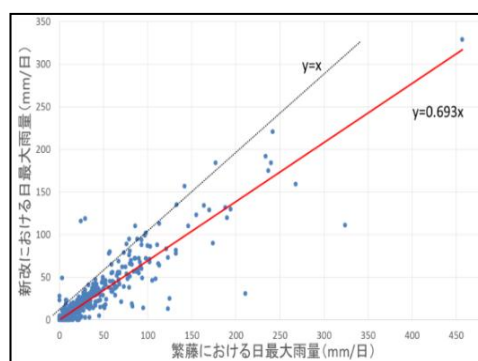


図 5 新改・繁藤観測所における相関関係

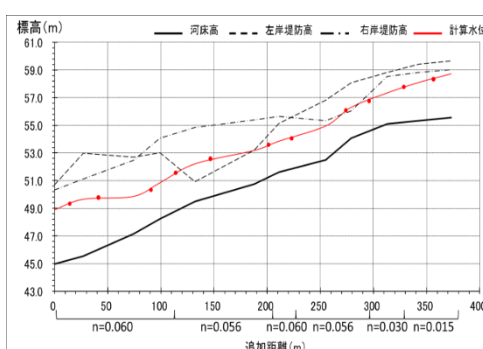


図 6 '98 高知豪雨における不等流計算結果



図 7 '98 高知豪雨における浸水域

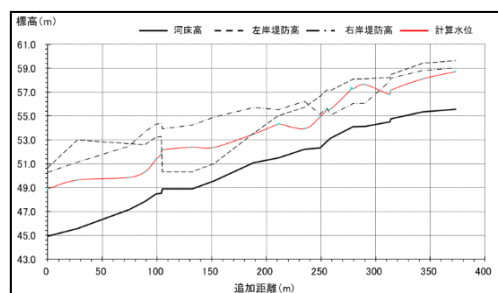


図 8 断面変化後の不等流計算結果

岸が崩壊している状態で同じ流量を流したとき崩壊前に比べて浸水範囲が広がる結果となった。断面崩壊により土量の体積が増加して河道の断面積が減少したことが一番大きな要因だと考えられる。

4. 結論

山間部に存在する中小河川において信頼性のある水位予測を行い、浸水域の予測を行った。また護岸崩壊を想定した場合の浸水域は洪水のみの浸水域よりも広くなり被害が大きくなることが示された。

今回浸水域を表現する際に、予測水位の標高値以下を浸水域とする簡便な方法をとったが、実際の越水流には時間による流量の変化、流行方向等を考慮する必要がある。より精度よく浸水域を求めるためには、越水箇所からの流下方向を考慮し2次元的に洪水流を計算する必要がある。

浸水域を軽減させる対策として、余裕高を持たせた堤防の建設や上流部においてダムの建設といった対策は現実的に困難である。そのため崩壊の可能性のある護岸は撤去して、断面が塞がれない形状の護岸に整備することも考えられる。もしくは豪雨時は浸水してしまうものと割り切って浸水箇所には近づかないようにする等、浸水想定区域であるということを地域住民等に周知した上で、行動することが有効だと考える。

5. おわりに

後入川のような山間部における中小河川において水文観測や高水検討等が全く行われていない河川も存在する。後入川のような中小河川は物部川流域内にも多数存在しており水害被害が起こる可能性がある。すべての河川を行政が担当し管理することは現実的ではないが、本研究の方法であれば誰にでも勘弁に河川の洪水浸水域を求めることが可能であり水害対策を立てることができる。今後は河川管理者のみならず、関係機関、地域住民等が連携して河川の治水対策を行っていく必要があると考える。



図9 断面崩壊時における浸水域

5. 参考文献

- 1) 近畿地方整備局, 2011 年紀伊半島大水害
<http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/saitaishien/kiihantou/kiihantou-kirokushi.pdf> (2017.2.13)
- 2) 環境省 地球環境局 日本の気候変動とその影響 https://www.env.go.jp/earth/ondanka/rep130412/pamph_full.pdf (2017.2.13)
- 3) 高知県 防災マップ <http://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/kochi/top/select.asp?dtp=14&pl=3> (2017.2.13)
- 4) 土佐山田町教育委員会, 「土佐山田町史」, 第一法規出版株式会社, p830, 1979
- 5) 高知県 水防情報システム <http://suibo-kouho.suibou.bousai.pref.kochi.lg.jp/> (2017.2.13)
- 6) 高知県企業局, 釜ヶ淵観測所水位資料
- 7) 国土開発技術研究センター, 「護岸の力学設計法」, 山海堂, p26, 1999
- 8) 細川社司 「中小河川構造物の現況から見る対策シナリオと持続可能な水質原確保についての研究」 2017
- 9) 土木学会, 「水理公式集」 p89
- 10) 中小河川洪水浸水想定区域図作成の手引き
https://www.mlit.go.jp/river/bousai/main/saigai/tisiki/syozaiti/pdf/chusho_kasen_sinsou_kuiki_tebiki2.pdf (2017.2.13)
- 11) 国土交通省 国土地理院 基盤地図情報サイト <http://www.gsi.go.jp/kiban/>, (2017.2.13)
- 12) 名古屋工業大学・豊橋技術科学大学合同調査グループ平成 28 年熊本地震災害調査報告書
http://carm.tut.ac.jp/bousai_archives/wp-content/uploads/2016/07/houkoku_Vol1.pdf, (2017.2.13)
- 13) 近畿地方整備局 第 2 章 土 工 土量変化率 www.kkr.mlit.go.jp/plan/binran/etsuran/downloads_ro/sekkei03_02.pdf (2017.2.13)