

ソフト施策による渋滞対策について ～信号現示の最適化～

高村 美菜子¹

¹ 東北地方整備局 岩手河川国道事務所 調査第二課 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田4丁目2-2)

我が国は、高度経済成長期以降飛躍的な発展を遂げ、それに伴い自動車の普及が急速に進んだ。自動車の普及で生活が便利となった一方、様々な問題を生じさせ、その1つが激しい交通渋滞である。直轄国道における2018・2019年の渋滞損失時間の合計は14.1億人・時間であり、これは年間で約85万人分の労働力に相当する¹⁾。交通渋滞が環境や企業立地の進展への影響も懸念されることから、全国に存在する渋滞箇所において、効率的かつ効果的な渋滞対策を実施していく必要がある。本稿は、岩手県の主要渋滞箇所を選定されている渋民バイパス南口交差点において実施した渋滞対策について報告するものである。

キーワード 交通渋滞、ソフト対策、信号現示

1. はじめに

渋民バイパスは、岩手県盛岡市の北部に位置する延長5.6kmの一般国道(図-1)で、2015年4月に暫定2車線で全線開通したものの、起点部の渋民バイパス南口交差点の渋滞が著しく、岩手県の主要渋滞箇所にも位置付けられている。

本来は折返しの4車化事業を進めるべきであるが、単路部の交通量は当初予測よりも少なく、早急に時間を要する4車化などのハード施策を行う状況ではない。よって、本報告は当該交差点において渋滞解消を目的としたハード施策ではなく、早期に効果が発現されるソフト施策(朝ピークを中心に)の実施内容を報告するものである。



図-1 渋民BP位置図

2. 渋滞の発生状況

当該交差点は、その南側約250mの渋民駅入口交差点と近接しており、朝ピーク時の渋滞(写真-1)の発生状況は下記のとおり。

(1) 最大渋滞長

ピーク時間は7:40～7:50で渋滞は国道4号下り①方向で南側の渋民駅入口交差点以南まで繋がり、最大渋滞長1,150mである。(図-2)



写真-1 渋民BP南口交差点 2020.6.24

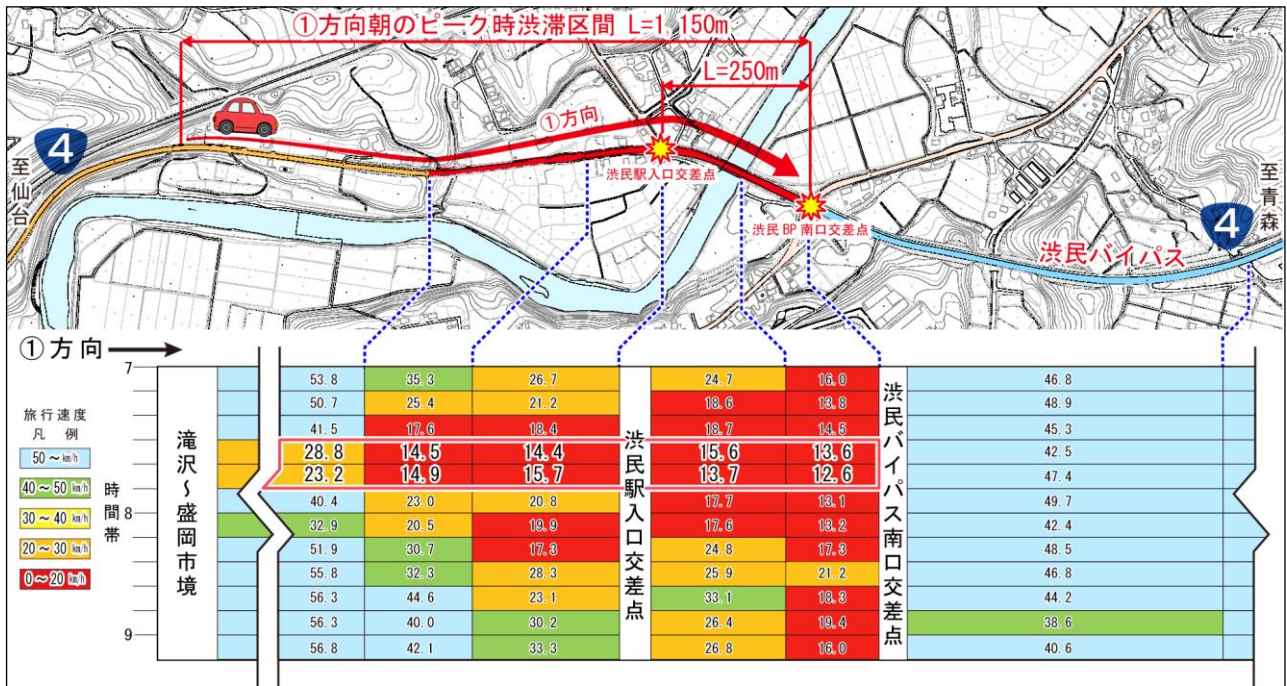


図-2 国道4号下り①方向 朝の速度分布図

(2) 渋滞時の旅行速度

速度低下が著しい時間帯は上記同様に国道4号下り①方向で7:30~7:50であり、渋滞の目安となる20km/hを下回っている。

3. 渋滞の発生要因及び課題

(1) 渋滞の発生要因

当該交差点は2004年12月に渋民バイパス起点部2.5kmが部分開通した際に現在の形状となっている。その後2015年4月に終点部3.1kmが開通したことにより全線暫定2車線開通となっている。更に周辺の交通環境は、2016年3月に6.7km南側の盛岡北道路（4車線拡幅）の開通など、状況が変化している（図-3）。

現在の交差点形状となった2004年12月から周辺の交通環境が変化した2016年3月までの交通量と現在の交通量を比較した。使用したデータは2010年10月の道路交通センサスと2019年11月13日の交通量調査結果である。渋滞が著しい①方向の昼間12時間交通量で比較すると、約10%の増加が確認された（グラフ-1）。

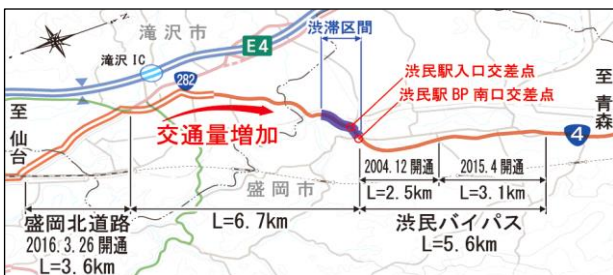
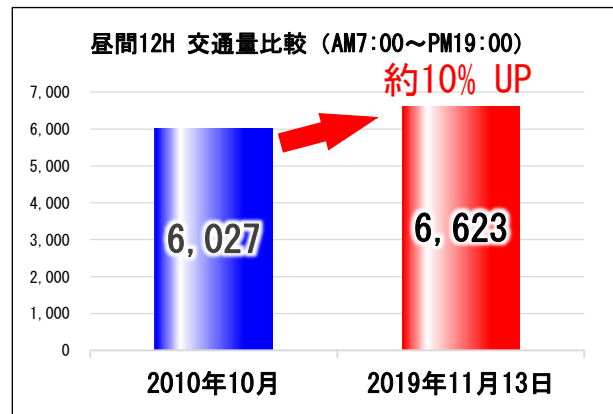


図-3 周辺環境の変化



グラフ-1 交通環境の変化による交通量推移
国道4号下り①方向

よって、交差点形状は2004年12月以降変わっていないものの、当該交差点周辺の交通環境の変化（盛岡北道路の4車線拡幅）により交通量が増加し、渋滞が拡大したものと想定される。

(2) 交通課題の把握

当該交差点の交通課題を把握するために需要率の算出を行った。

交差点の交通需要を計測する方法としては、以下の方法がある²⁾。

- 渋滞列が及ばない上流で交通量を計測し、これを交通需要とする方法
- 停止線での捌け台数と待ち行列の増減から、交通需要を算出する方法

今回 b) の計測方法で交通需要を算出し、停止線での捌け台数と渋滞していない場合本来通過したであろう台数を渋滞長より算出し、設計交通量とした。算出方法は下記のとおりである。

表-1 の実測交通量に、渋滞によって捌けなかった交通量を加味した結果が表-2 のとおりである。

表-2 で整理した交通量より、1 時間あたりの設計交通量を算出 (表-3) し、交差点需要率の算出に使用した。

	左折	直進	右折
ピーク時間交通量 (7:40~7:50)	50	69	35

表-1 ①方向 10 分間実測交通量

	左折	直進	右折
ピーク時間交通量 (7:40~7:50)	65 (+15)	90 (+21)	46 (+11)

表-2 ①方向 10 分間交通量 実測値+渋滞長

	左折	直進	右折
1 時間交通量	390	540	276

表-3 ①方向 設計交通量

交差点需要率の計算結果は、上記のとおり設計交通量に渋滞長分を加えたものの、 $0.712 < 0.9$ と解析上は設計交通量を捌けることができ、渋滞しないという結果であった (表-4)。方向別の交通容量比について、①方向の左折・直進で交通容量比 1.0 を上回るものの、滞留長は 270m となった。しかしながら、実態としては 1,150m の渋滞が発生していることから、解析結果と実態と乖離が生じる結果となった。

よって、課題の一つ目は「交通量の増加による交通容量不足」と想定される。

交差点名	渋民BP南口交差点							
	①		②		③		④	
流入部	国道4号 至 仙台		国道4号 (渋民BP) 至 青森		(県) 渋民田頭線 至 渋民市街		(県) 渋民川又線 至 盛岡工業団地	
車線の種類	左折・直進	右折	左折・直進	右折	左折・直進	右折	左折・直進	右折
車線数	1	1	1	1	1	1	1	1
飽和交通流率 SA	1.682	1.732	1.654	1.665	1.600	1.329	1.665	1.685
設計交通量 q	930	276	456	0	36	150	264	246
	(390+540)		(78+378)		(0+36)		(78+186)	
交差点流入部の需要率 ρ	0.553	0.000	0.276	-	0.023	0.000	0.159	-
必要現示率	1φ	0.553	0.276					
	2φ	0.000						
	3φ				0.023		0.159	
	4φ					0.000		-
有効青時間(秒)	1φ	56	56					
	2φ		9	9				
	3φ				24		24	
	4φ					9		9
可能交通容量 C i	856	599	842	448	349	260	363	470
交通容量比 a / C i	1.086	0.461	0.542	0.000	0.103	0.577	0.727	0.523
交通処理家のチェック	NG	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
滞留長 L s (m)	270.8	83.2	136.9	0.0	14.5	56.7	88.0	80.7

現示の需要率	交差点の需要率
0.553	0.712
0.000	
0.159	
0.000	
サイクル長(秒)	
110	

表-4 交差点の需要率の算出 (調整前)

次に交差点の解析結果と実態と乖離が生じていることから、当該交差点を朝ピーク時に現地調査することにより、乖離の原因の確認を行った。

当該交差点は右折専用現示のある信号交差点で、朝ピーク時の現況信号現示は図-4 のとおり。

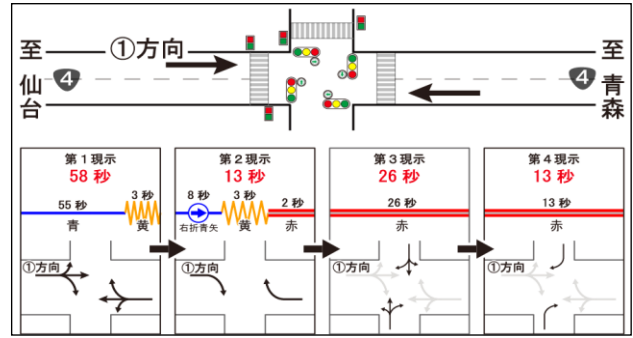


図-4 渋民 BP 南口交差点 信号現示(7 時台)

当該交差点の交通流を現地で確認したところ、①方向の右折車が第 1 現示内ではほぼ捌けており、右折車専用の第 2 現示が必要ない状況であった。そこで①方向のピーク時間右折車を第 1 現示で捌くことが可能か解析上から算出した。

ピーク時間あたりの①方向の右折台数は 276 台 (実測値)。解析上の第 1 現示(56 秒)で捌くことが可能な右折台数は 457 台であった。計算式は下記のとおりである。

$$\begin{aligned}
 CR1 &= SR \times \frac{(S \times G - q \times C)}{C \times (S - q)} \times fR \\
 &= 1732 \times \frac{(2000 \times 56 - 378 \times 110)}{110 \times (2000 - 378)} \times 0.668 \\
 &= 457 \text{ 台} > 276 \text{ 台}
 \end{aligned}$$

解析上第 1 現示で右折可能な車が実測値よりも多いことから、第 2 現示は不要であることが判明した。よって、2 つ目の課題は「交通処理方法 (信号現示) の不整合」が想定される。

4. 対策の実施内容

対策の実施内容は下記表-5 のとおり。

課題	対策	
	目的	手段
交通量の増加による交通容量不足	交通容量の増加	折返し 4 車化 → 今回未実施
		(1) 交差点内の右折捌け台数の増加
交通処理方法の不整合	交通処理方法の効率化	(2) 信号現示の見直しによる交通流の効率化
		(3) 隣接交差点の信号サイクルの見直しによる交通流の効率化

表-5 対策実施内容

(1) 交差点内の右折捌け台数の増加

現況の当該交差点は、縦断勾配や近接してカーブがあることから見通しが悪いため、交差点内で滞留する右折車が少なく、信号の変わり目での交通容量が少ない状況であった。よって、交差点内に右折車の停止位置や導流線を設けることにより、1サイクル当たりの交差点内の右折車の捌け台数を確保し、交通容量の増加を図るものである(写真-2)。

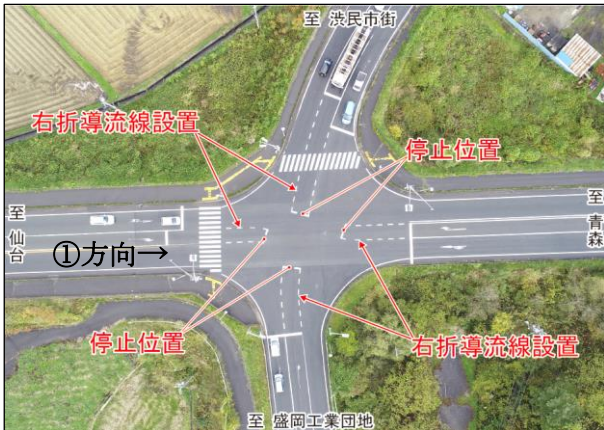


写真-2 停止位置・右折導流線設置後

(2) 信号現示の見直しによる交通流の効率化

解析の結果より、第2現示(右折矢印信号)が不要と判明した。そのため、信号現示の調整を岩手県警察に協議した。調整後の信号現示調査による結果については表-6のとおりである。

	調整前秒数	調整後秒数
第1信号現示 (国道4号青信号時間)	55秒	58秒 (+3秒)
第2信号現示 (国道4号右折矢印信号時間)	8秒	5秒 (-3秒)

表-6 渋民BP南口交差点 信号現示調整結果

(3) 隣接交差点の信号サイクルの見直しによる交通流の効率化

当該交差点と近接している渋民駅入口交差点の信号サイクルが異なることにより、渋民駅入口交差点で発信した車が渋民バイパス南口交差点で信号待ちしている滞留車に後続することで渋滞に拍車をかけていた。よって、渋民駅入口交差点の信号サイクルを調整し、両交差点の信号サイクルを同じにし、連動性を持たせるものである。調整結果は表-7のとおりである。

交差点名	信号サイクル	
	調整前秒数	調整後秒数
渋民BP南口交差点	110	110
渋民駅入口交差点	90	110

表-7 渋民駅入口交差点 信号サイクル調整結果

5. 対策の効果

(1)~(3)の対策実施による効果について、平均旅行速度で比較した。朝のピーク時において渋滞が著しい国道4号下り①方向の平均旅行速度は約15%上昇したことが判明した(表-8)。対策実施後の現地調査においても、第1現示が長くなったことにより1回のサイクルで捌ける台数が増加し、流れがスムーズとなった。また、停止線・右折導流線を設置したことにより、国道4号下り方向から県道渋民田頭線への右折が円滑となり、渋滞緩和へ繋がった。当該交差点における渋滞と共に、渋民駅入口交差点においても渋滞が緩和されたことから、当該交差点で発生した渋滞が渋民駅入口交差点の渋滞に影響していたことが判明した。

以上より、(1)~(3)の対策は渋滞緩和に効果を発揮したと言える。

上下方向	旅行速度		増減率
	調整前 km/h	調整後 km/h	
国道4号下り	15.7	18.1	約15%増

表-8 国道4号下り①方向 平均旅行速度

6. 考察

今回、岩手県主要渋滞箇所を選定されている渋民バイパス南口交差点においてソフト渋滞対策を行った。その中で重要であると実感した点について3つ挙げる。

(1) 現地調査の重要性

今回現地調査を行ったことにより信号現示の不整合に気付くことが出来た。現在、ETC2.0やカーナビ等の普及が進み、道路の混雑情報を容易に得られることから、ビッグデータを活用した分析が主流となっているが、データのみにとらわれることなく、データと現地を突き合わせた確認をすることが重要である。

(2) 解析結果と現地状況の乖離

需要率を算出する際は交通量調査等のデータを用いて解析をするが、交差点が近接している場合や歩行者交通が交通の妨げとなっている等の様々な要因が影響し、混雑度等の静的評価では渋滞が発生している交差点において需要率が0.9を下回る場合がある。今回渋民バイパス南口交差点の解析結果と実態の渋滞状況についても乖離が生じた。一方交通シミュレーション等の動的評価は複数の交差点にわたり渋滞が発生している場合の交通需要の変化等が予測できることから、現地の状況に即した解析方法や予測の検討をする必要性がある。

(3) 交通環境が変化した場合の対応の必要性

交通環境の変化に伴い交通転換が生じ、交通量が増加する可能性がある。交差点の形状は変わらずとも、交通量の増加により信号現示の不整合が生じ、渋滞が発生する。そのため、周辺の交通環境に変化が生じた際は、交通量調査による現況の把握と信号現示の最適化に努める必要がある。交通の転換に起因するのは道路状況の変化だけではなく、商業施設の立地や宅地開発による人口増加等がある。道路を整備して終了ではなく、その後の状況変化にも注意を向けて管理を行うことが重要である。

7 今後の取り組み

渋民バイパス南口交差点においてソフト渋滞対策を行い、渋滞は緩和したものの、解消には至っていない。当該交差点は主に通勤車による朝ピーク時の交通渋滞が著しいことから、交通量の平準化を目指し更なる渋滞対策に取り組む。現在全国的に推進されているソフト渋滞対策がTDMである。TDMとは、道路利用者の時間・手段・経路を変更し、道路の混雑緩和を図る手法である。渋民バイパス沿線には、当該交差点を通過して通勤する大規模企業が立ち並ぶことから、時間の変更（時差出勤）を行うことで渋滞緩和への効果期待できる。現在周辺企業にチラシを配布し、時差出勤を呼びかけている。今後、対策実施前後における速度確認、事後アンケートの実施を行い、TDMの効果について検証していく予定である。



写真-3 渋民 BP 周辺環境

謝辞：本論文の執筆にあたり、ご協力頂いた岩手県警察をはじめとする関係者の方々に深く感謝し、

御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成 31 年・令和元年 年間の渋滞シンキング
- 2) 社団法人 交通工学研究会：平面交差の計画と設計 基礎編

土砂災害時のよりよい避難行動に向けた 地区防災計画の作成支援

田中 海晴¹・菊池 瞳²

¹関東地方整備局 富士川砂防事務所 調査課 (〒400-0027 山梨県甲府市富士見2-12-16)

²関東地方整備局 河川部 河川計画課 (〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心2-1)

「地区防災計画制度」は、住民等が自ら地区の防災計画を作成し、市町村に対し地域防災計画への反映を提案できる制度である。近年の災害の経験から、土砂災害による被害軽減のためには、地区防災計画の作成が重要であると明らかになってきた。富士川砂防事務所は管内地区の地区防災計画作成支援に取り組んでおり、2019年度には山梨県南巨摩郡早川町下湯島地区を対象に支援を行った結果、地区の実情に合った柔軟な避難計画を作成することができた。また、これまで土砂災害を対象とした地区防災計画が地域防災計画に反映された例はほとんどなかったが、今回住民が提案した地区防災計画は、早川町地域防災計画に反映されることとなった。

キーワード 土砂災害、地区防災計画、地域防災計画、自助、共助

1. はじめに

阪神・淡路大震災（1995年）や東日本大震災（2011年）の経験から、災害時の地域における自助・共助による防災活動の重要性が認識された。このような状況を踏まえ、2013年6月に災害対策基本法が改正され、新たに「地区防災計画制度」が防災計画の体系に位置づけられた。これは、地区居住者等が自主的に地区の防災計画（素案）を作成し、市町村に対して地域防災計画に地区防災計画を定めることを提案できる仕組みである。これにより、住民による自助・共助と、行政による公助との連携による地域防災力の向上が期待される。

土砂災害は、破壊力が大きいと人的被害に直結しやすい一方、突発性が高く、事前予測や逃げるのが困難であるとされる。平成30年7月豪雨の検証からは、避難中の被災事例が多いことがわかり、土砂災害に対しては指定避難所への避難を唯一の選択肢とせず、個人や地域の実情に合った柔軟な避難行動（地区防災計画）を予め作成することが重要と指摘された（実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会、2019¹⁾）。

そこで、富士川砂防事務所では、2019年度より管内地区の地区防災計画作成の支援に取り組んでいる。2019年度には山梨県南巨摩郡早川町下湯島地区を対象に支援を行い、地域防災計画への反映にまで至ったので、これを報告する。

2. 対象地区概要

山梨県南巨摩郡早川町下湯島地区は、富士川右支川である早川沿いの山間部に位置する集落である（図-1）。集落は早川本川より高い場所に位置するため、早川の増水に伴う浸水の可能性は低いと見られるが、多くの住居が土砂災害警戒区域等（土石流、急傾斜地の崩壊）に指定されている（図-2）。集落付近を流下する溪流では、2018年10月に土石流が発生した。

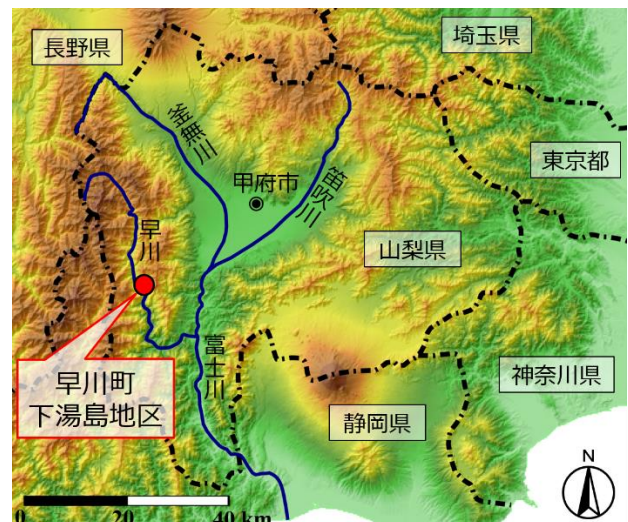


図-1 下湯島地区位置図（地理院地図を元に作成）

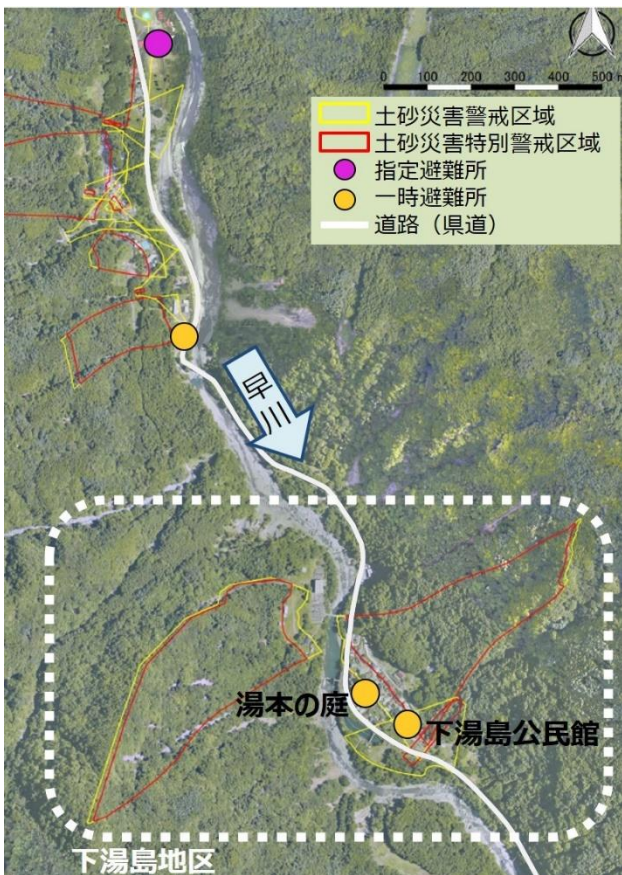


図-2 下湯島地区周辺の概況

ヘリポートや体育館を併設した指定避難所は地区外に位置し、これへ至る唯一の道路は、時間雨量20mm、総雨量70mmを超えた場合に通行止めになるため、土砂災害が想定される降雨時の地区外避難は困難となるおそれがある。また、降雨時には、道路沿いの斜面の崩壊、道路自体の崩壊が懸念される。

下湯島地区の住民16世帯29名のうち、65歳以上の高齢者は約86%（25名）を占める（図-3；2019年10月時点）。事前のインタビューによれば、日頃から地区内の交流は盛んである一方、他地区との交流はほとんどない。また、多くの住民は、風水害に対し地区内に安全な避難場所はなく、各々の自宅に留まる方がよいと考えていた。

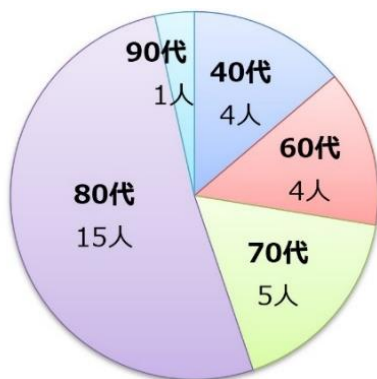


図-3 下湯島地区における年齢別人口構成

3. ワークショップの開催

地区の住民の方々に土砂災害時の避難行動について考えていただくため、ワークショップを4回にわたり実施した（表-1）。ワークショップの開催にあたっては、机上の議論のみならず現地踏査を実施し、住民が地区内に潜むリスクや問題点を直接確認できるよう工夫した。各ワークショップにおける実施内容は下記の通りである。

(1) 第1回ワークショップ

土砂災害の種類や概要、警戒レベル等について学ぶ勉強会を開催した。また、地区内にある過去の出水箇所や危険箇所について住民同士で情報交換し、これを踏まえ土砂災害時の避難場所や避難経路等を議論した。

住民からは、大雨時には道路の通行規制や崩落の恐れが高く、地区外避難の判断はかなり早い段階である必要があるため、地区内避難の方策も検討すべきとの指摘があった。また、過去の災害の経験から、出水前には地区特有の前兆現象があることがわかり、これを避難の判断基準の一つとして地区防災計画に盛り込むこととした。

(2) 第2回ワークショップ

地区内の現地踏査を実施した。過去の発災箇所や現行の一時避難所等を確認し、地区内に潜む災害リスクや避難における問題点を議論した（図-4）。地区内に2箇所ある一時避難所については、いずれも避難において下記のような課題があることが指摘された。

- ・下湯島公民館：過去に泥水を被ったことがあり、避難場所として適さない。
- ・湯本の庭：狭いプレハブ小屋であるため、長期滞在には適さない。

表-1 ワークショップ開催概要

	開催日時	出席人数	主なテーマ
第1回	2019年11月26日	6	土砂災害についての勉強会
第2回	2019年12月17日	4	現地踏査
第3回	2020年1月28日	4	地区防災計画(素案)の検討
第4回	2020年2月26日	9	地区防災計画(素案)の確認 個人の行動計画の作成



図-4 一時避難所（湯本の庭）における現地踏査の様子

以上を踏まえ住民からは、地区の中心部に位置し、土砂災害警戒区域外にある、垂直避難が可能な住民宅（湯泉氏宅）への避難が望ましいとする意見が出されたため、地区防災計画に避難先の一つとして記載することとした。

(3) 第3回ワークショップ

第2回ワークショップまでの意見を踏まえ、地区の防災計画を「下湯島地区防災計画（素案）」としてとりまとめた（図-5）。また、別添資料として、警戒レベルや地区内の状況変化に応じた避難行動についてまとめたタイムラインである「行動計画案」（図-6）や、地区内の危険箇所や避難場所、助けが必要な一人暮らし世帯の位置が一目でわかる「防災マップ」（図-7）を作成した。これについて住民からは、平時の集会場所である公民館や寺院において大判印刷した防災マップを掲示し、定期的に話題にすることが望ましいとする意見が出された。

(4) 第4回ワークショップ

第3回ワークショップまでに作成した地区防災計画（素案）に加え、地区の住民一人ひとりの自助・共助による避難行動を具体化するため、別添資料として「わたしの避難計画」（図-8）を加えた。これは、有事の際に集落内で情報を共有する仕組みが必要である、という住民の意見に基づき、各々が必要な人の名前や連絡先等を記入し、見やすい場所に保管することとしたものである。

下湯島地区 地区防災計画(案)
(作成年月：令和2年3月)

1. 基本方針
自然豊かな下湯島地区での営みのため、これまでの経験を活かしつつ、下湯島地区に応じた防災計画を策定していきます。

2. 地区の特性
(自然特性)
地区のほとんどが土砂災害警戒区域に指定されており、けけの上部には、大きな石がごろごろしています。
早川の増水による浸水のおそれほとんどありません。
地区外へ逃げる際は、降雨時、通行止めになるほか、断れるおそれがあります。

(社会特性)
普段から住民同士のつながりがあり、いざというときも協力できます。
自分で動くことのできない人はほとんどいませんが、屋敷に車で移動できる人は限られています。
(防災に向けた私たちの取組み)
想定される災害として、土砂災害を対象とします。
1) 浸水からの土砂流
2) 浸定区域へのかけ流れ

3. 防災活動の内容
(事前の準備)
土砂災害に関し、平時より定期的に地区内で話合します。
土砂災害に関し、平時より定期的に地区内で話合します。
1) 月3回の集会や組合の機会などを活用し、自衛から防災に関する認識を共有します。
2) 防災マップなどは、自宅、公民館、湯定寺など自衛から自ら目にするところを配り出します。

(強い雨が予想される場合)
1) NHKなどによる気象情報、防災行政無線や住民同士の電話連絡などによる防災情報を活用します。
2) 早川からの情報や危ないと感じたこと、濁流の状況に不安に感じるときなどは、湯定寺の住民委員さん、区長さんなど電話などで連絡を取り、区長さんを中心に共有します。
3) 家裏での避難は危険なので、早めに、湯定寺宅や土砂災害警戒区域の外へ移動する。間に合わない場合は2階やから離れた部屋などに移動するなど行動します。
4) 早川街と連携して、私たちの命を守る避難行動を目指します。

4. 防災に関する経験の継承・計画の見直し
災害の記憶や経験が薄れるなか、下湯島地区や近隣エリアの将来の世代のため、伊勢湾台風や昭和57年など、豪雨のときの経験を継承します。
以下などをきっかけに話し、計画を見直します。
・避難の際の誘導所への声掛けや、防災行政無線を使った連絡など、火災訓練等と併せて実施する防災訓練
・必要に応じ土砂災害の防災情報について助言ができる専門家を、行政機関に紹介してもらうなど、防災意識の向上の取組み

(相談先)
早川町公民館 総務課 電話：0556-45-2511(代表)
山王神社南建設事務所 電話：0556-62-9062
富山県土砂防事務所早川出張所 電話：0556-45-2319

付随資料
・下湯島地区の避難行動計画・わたしの避難行動計画
・下湯島地区の防災マップ

図-5 作成した「下湯島地区防災計画（素案）」

気象防災情報

レベル1 台風来襲の予報
レベル2 大雨注意報
レベル3 避難準備情報
レベル4 大雨警報
レベル5 土砂災害警戒情報
避難勧告
避難指示

下湯島地区での警戒避難行動

電話で連絡をとり、車で移動
→ 親せきの家など

NHKなどで情報確認
行政無線に注意
→ 湯島の湯
→ 地区外避難所

県道通行規制
時間雨量20mm
連続雨量70mm
→ 湯本の庭
→ その周辺の家
→ 地区内避難所

自宅の2階や山からなるべく離れた部屋へ移動など
(命を守る行動)

図-6 作成した「行動計画案」

下湯島地区 防災マップ

「早川町土砂災害ハザードマップ」(2016.9更新)に加筆して作成

湯島の湯(車で5分)
・緊急ヘリポートあり

湯島橋
山王神社
湯島の大スギ
蓮定寺
早川
湯沢
湯本の庭

警戒区域外の家
(地区内の避難ルール)

新たな避難先

下湯島公民館
・平常時の集会所とする
・毛布など資機材の備蓄場所

大正時代以前に
家がなかった範囲

湯沢で土石流発生

親せきの家など

県道37号 (行政無線など)
※通行規制あり
時間雨量20mm、連続雨量70mm

気象防災情報(NHKなど)
避難勧告等・通行規制(防災行政無線など)
① 早川の水位上昇、湯島橋に流木堆積
② 湯沢から流水発生
③ 激しく木が揺られる音、落石の音

凡例

- 指定避難所・避難場所
- 避難場所
- 避難のきっかけとする情報
- 土砂流警戒区域
- 急傾斜地崩壊警戒区域
- 住宅
- 1人暮らしの家
- 空き家、普段人のいない家

図-7 作成した「防災マップ」（一部改変）

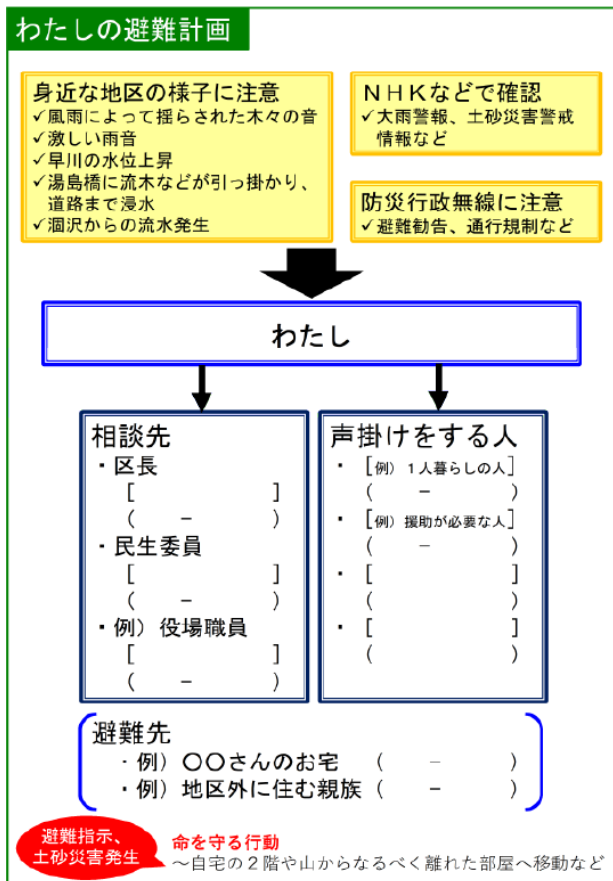


図-8 相談先や避難先を記入するための「わたしの避難計画」

4. 結果と考察

下湯島地区における地区防災計画作成支援の結果、現行の避難場所以外にも、地区内の比較的安全な住民宅を避難先の一つとすることが決定した。また、作成した下湯島地区防災計画（素案）は早川町に提案され、2020年度中に開催された早川町防災会議における検討を経て、早川町地域防災計画に反映された（図-9）。この結果、新たな一時避難所として住民が提案した住居が盛り込まれた（図-10）。これにより、避難の実効性がより高まることが期待される。

今回作成した地区防災計画（素案）では、土砂災害時の避難行動について、警戒レベルや周囲の状況に応じた避難先を体系的にまとめた。これにより、住民各々が避難のタイミングを図りやすくなり、自助による避難行動をとりやすくなったと考えられる。また、住民各々の情報伝達先を明確化したことで、元々地区内にあった地区住民同士のつながりを活かした共助による避難行動が期待できる。さらに、住民が選定した避難先が早川町地域防災計画に盛り込まれたことで、自治体による公助がより行き届きやすくなることも期待できる。

(6) 地区防災計画策定地区一覧表

地区名	計画名	策定年度
下湯島地区	下湯島地区防災計画	令和元(2019)年度

図-9 早川町地域防災計画に定められた「下湯島地区防災計画」

(4) 自主防災組織一覧表

組織の名称	区 域	世帯 (戸)	人口 (人)	組織の責任者	一時避難所
下湯島区 #	下湯島	19	29 #		湯本の座・下湯島公民館 湯泉氏宅

図-10 早川町地域防災計画に反映された新たな一時避難所

また、確実な避難行動を確保するためには、平時から住民各自が防災意識を高く保つことが肝要である。今回作成した地区防災計画は住民の提案により、集会場所に大きく掲示し、集会時に定期的に話題にすると決まった。これの実践により、防災意識の向上と継続が期待できる。

5. 今後の課題

内閣府（2017）²⁾は、地区防災計画を活用するためには継続的な取り組み体制を構築することが重要であると指摘している。住民が集会場所で計画について話題にする際には、地区内の社会的条件（居住者情報や世帯数等）や地理的条件の変化を逐次計画に反映させることが、計画の実効性を保つ一助となるだろう。また、今後は自治体と地区が協働して、地区の安全点検や防災訓練などを実施し、地区の現況把握や計画の実効性の検証、改善を行うことも有効であると考えられる。こうした取り組みの結果、より実情に合った計画へと昇華させ、もって土砂災害による被害の軽減に資することが重要である。

富士川砂防事務所としても、今後とも地域防災計画の改訂に際した防災会議や、土砂災害を想定した合同防災訓練等の機会を活かし計画の経過を見守りたい。また必要に応じ、出前講座の実施などを通じ地区や自治体に土砂災害に関する知見を提供するなど、継続的に支援を行いたい。またハード対策面についても、雨量計や砂防施設の設置を通じ引き続き地区の安全に貢献してゆきたい。

参考文献

- 1) 実効性のある避難を確保するための土砂災害対策検討委員会（2019）：実効性のある避難を確保するための土砂災害対策のあり方について 報告書
- 2) 内閣府（2017）：地区防災計画モデル事業報告—平成26～28年度の成果と課題—

高速道路盛土における浸透水排除対策の 効果検証手法の検討

中島 康介¹・平井 健太²

¹中日本高速道路株式会社 本社 環境・技術企画部 (〒460-0003 名古屋市中区錦2-18-19)

²高速道路総合技術研究所 道路研究部 土工研究室 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

高速道路盛土において盛土内浸透水排除対策が実施されていく一方で、対策効果を検証する統一的な方法がない。そこで降雨により変動する盛土内水位について、降雨量と盛土内水位の関係性を表現する既存の手法（実効雨量，先行雨量指数，移動平均降水量）を用いた分析を行い、浸透水排除対策の効果判定に適する手法として比較検証した。また季節により変動する盛土内水位について、河川流量の評価で用いられる流況の考え方を基にした「水位位況」という手法を新たに用いた。その結果、降雨との相関性が一番高かった実効雨量を用いた方法と、水位位況による方法とを併用することにより浸透水排除対策の効果を検証する手法を検討した。

キーワード 盛土内水位，浸透水排除効果，水位観測データ，整理分析，実効雨量

1. はじめに

高速道路盛土は、本来適切な排水処理や締固め管理の徹底により密実で安定したものが構築されており、それらの状態が長期的に保持されている場合、良好な耐震性能を有することが示されてきた¹⁾。しかしながら近年大規模地震や異常降雨に起因して盛土が被災しており、例えば2004年に発生した新潟県中越地震では、大きな地震力や高強度の降雨の影響により、他の構造物に比べて盛土の被害が顕著であった²⁾。2009年に静岡県駿河湾沖で発生した地震では、東名高速道路の牧之原 SA 近くの脆弱岩を盛土材料に用いた盛土が被災した³⁾（写真1）。これらの地震時における大規模崩壊が発生した要因分析の結果、盛土内水位の高さが要因の一つとして報告されている。

このような崩壊被害を軽減する対策として、東・中・西日本高速道路株式会社では、盛土内に浸透した水を速やかに排除する対策（以下「浸透水排除対策」とする）を基本とし⁴⁾、大規模な更新事業が高速道路リニューアルプロジェクト⁵⁾として2016年度から進められている。しかし浸透水排除対策が各地で実施されていく一方で、対策効果について様々な手法により検証されている^{6) 7) 8) 9)}ものの、対策前後での降雨条件の違いや季節変動を考慮した評価が難しいため観測水位の低下量を用いた評価方法がない。

そこで本研究では降雨や季節により変動する盛土内水位について、降雨量から盛土内水位を推定する手法（実

効雨量¹⁰⁾，先行雨量指数¹¹⁾，移動平均降水量¹²⁾）を用いた分析を行い、自然地盤ではなく盛土内水位への適用性、および浸透水排除対策の効果判定手法としての適用性を検証した。また本研究では、河川流量の評価で用いられる流況¹³⁾の考え方を基にした「水位位況」という手法を新たに用いることで、季節変動を考慮した浸透水排除対策の効果を検証する方法について検討した。

2. 整理・分析の方法

本研究では全国的高速道路盛土（37盛土）において実施した、地盤調査で観測した盛土内水位データ（観測孔48本）を整理分析した。

(1) 盛土内水位変動と降雨量との関係

盛土内水位変動と降雨量との関係を見るため、収集し



a) 2004年中越地震²⁾

b) 2009年駿河湾地震³⁾

写真-1 地震による盛土の崩壊例

たデータを基に、実効雨量、先行雨量指数、移動平均降水量の3つの解析手法による相関性の比較を行った。この3つの手法を選んだ理由は、これまでに実績があり、かつ実務での運用を考慮した時、高度な専門知識を必要とせず比較的容易に計算できる手法として選定している。本研究では実効雨量は既存の解析ソフトを用いており、他の2手法は既存の表計算ソフトを用いて計算した。

a) 実効雨量による整理

実効雨量は、過去の降雨の影響が現在にまで及んでいることを表現するものであり、次式で表される。

$$Q = R_0 + \alpha^1 R_{-1} + \alpha^2 R_{-2} + \dots + \alpha^n R_{-n} \quad (1)$$

Q : 当日の実効雨量

R₀ : 当日の日雨量

R_{-n} : n 日前の日雨量

α : 減少係数

実効雨量の解析は、地すべり計測図化システム GGRAPH¹⁴⁾を用いて、以下の条件に基づく解析を行った。

減少係数 α : 0.85~0.99 (0.01 刻み)

降雨影響日数 n : 5日~150日 (1日刻み)

遅延日数 d : 0日~5日 (1日刻み)

上記に基づき、3つのパラメーター(減少係数α、累積日数n、遅延日数¹⁵⁾ d)を変化させて、最も実測水位との相関性の高い組み合わせを採用した。実測水位と実効雨量との相関係数を算出するための回帰分析式は上記解析ソフトの設定である指数回帰式を適用した。

b) 先行雨量指数による整理

先行雨量指数(API)は、直近の降水量の重みを大きく、時間が経過した過日の降水量には重みを小さく乗じた加重和であり、次式で表される。

$$API(n) = R_1/1 + R_2/2 + R_3/3 + \dots + R_n/n \quad (2)$$

R_n : n 日前の日雨量

n : さかのぼり日数 (1日~150日の1日刻み)

先行雨量指数は上記の式(2)に基づき、さかのぼり日数nを変化させて、最も実測水位との相関性の高いさかのぼり日数nを採用する。回帰分析式は累乗回帰式を適用し既存の表計算ソフトによる計算を行った。

c) 移動平均降水量による整理

移動平均降水量は、任意期間中における日降水量の合計を任意期間日数で除したものであり、任意期間中の日

平均降水量である。

移動平均降水量 (n)

$$= (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) / n \quad (3)$$

R_n : n 日前の日雨量

n : さかのぼり日数 (1日~150日の1日刻み)

移動平均降水量は上記の式(3)に基づき、さかのぼり日数nを変化させて、最も実測水位との相関性の高いさかのぼり日数nを採用する。回帰分析式は累乗回帰式を適用し既存の表計算ソフトによる計算を行った。

(2) 盛土内水位の季節変動を考慮した整理

盛土内水位は降雨量だけでなく季節による変動を示す場合が多いため、本研究では河川流量の統計的整理手法である流況を参考にした水位位況という手法による整理を行った。流況は盛土内水位と同様に日々変化する河川流量の変動傾向を可視化できる簡便な手法であるため参考とした。本論文で提案する水位位況の整理例を図-1に示す。整理の方法としては、図-1の左側に示す盛土内水位の365日分の日水位データを図-1の右側グラフのように水位の高い順に並べて1年間の水位変動図を作成した。そして以下に示す5つの指標を求めた。

- ・最高水位 : 1番目の水位
- ・豊水位 : 95番目の水位
- ・平水位 : 185番目の水位
- ・低水位 : 275番目の水位
- ・最低水位 : 365番目の水位

上記の手法による整理を行うため、収集したデータのうち、観測期間が1年以上に該当する観測井として10盛土17データを対象に整理分析を行った。

3. 盛土内水位変動と降雨量の整理分析結果

2(1)にて述べた3つの手法により、盛土内水位変動と降雨量との関係性について整理分析を行い、各手法における推定水位と実測水位の相関係数を算出した。ここで、対象データは48の観測井データを用いているが、各種条件のうちいずれかが欠損している場合もあるため、それぞれの条件毎の合計データ数は48を若干下回る数となる。

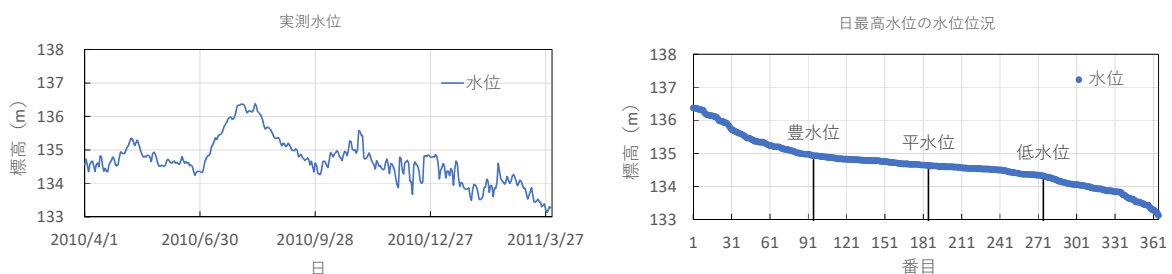


図-1 水位位況の整理例

(1)各解析手法による推定水位と実測水位との相関性

各解析手法による推定水位と実測水位との相関係数を図-2および図-3に示す。

図-2において、相関係数の平均値は、実効雨量が最も高い値を示しており、次いで先行雨量指数と移動平均雨量が同程度の値を示している。実効雨量の相関性と盛土高、各種条件とに明瞭な関係は見られないが、相関係数は2データを除くすべてのデータで0.4以上を示し、半数以上は0.7以上を示した。それに対して先行雨量指数と移動平均雨量の相関係数については、半数以上のデータが0.7未満を示した。

このように盛土によって相関係数がばらつく結果となった原因については推察の域を出ないが、降雨による地表からの浸透水が盛土内水位に大きく影響する盛土と、降雨以外の例えば基礎地盤の湧水などが大きく影響する盛土との違いが考えられる。この仮説を検証するためには、当該盛土に水が到達するまでの経路を含めて整理分析する必要があり、具体的には地形区分をより細分化することや、集水面積を考慮する方法も考えられる。ただし、区分をより細分化するためには現時点の48データより多くのデータを必要とするため、本研究では今後の検討課題とする。

また、同じ盛土で比較したとき、3つの手法による整理の中で、実効雨量による整理手法が最も高い相関性を示す盛土が約8割を占めた(図-3)。今回行った解析方法においては、各雨量指数の算出方法の違い(式1~式3)、変動パラメータの違い、回帰分析式の違い(指数回帰式、累乗回帰式)があるため、どの要因が支配的であるかは確認できていない。

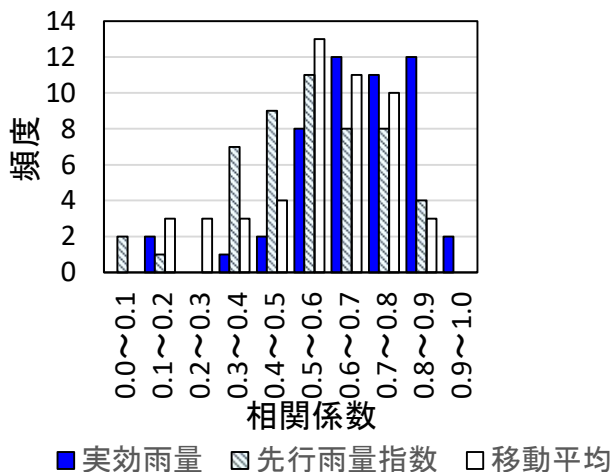


図-2 3つの手法における相関係数(全体傾向)

4. 浸透水排除対策の効果検証手法の検討

本章では浸透水排除対策(以下「対策工」とする)の効果について検証する手法を検討し提案する。3(1)の結果により、対策工を施工する前の無対策期間の実効雨量の解析結果から最も相関の高いパラメーター(α , n , d)を抽出し、同盛土の対策後の期間における降雨量と3つのパラメーターの値を用いる事で、無対策であった場合の水位を推定することが出来ると考え、これによる対策効果検証の方法を考えた。しかし対策工の効果検証において最高水位のみの評価ではなく季節変動を考慮する必要があると考えた。そこで2(2)で述べた水位位況を用いる事で盛土内水位の季節変動を考慮した整理を行う方法を考えた。そして実効雨量による推定水位を用いた手法および水位位況により整理された実測水位を用いた手法を併用した対策工の効果検証の手法を提案する。図-4~図-6では提案する手法を用いた対策工の効果についての評価例を示す。

ステップ①: 対策工施工前の降雨量と盛土内水位との関係を実効雨量による解析を行い、最も高い相関係数とその時の各パラメーターの値を決定する(図-4)

ステップ②: ステップ①の解析パラメーターをもとに対策工施工後の降雨量から、当該盛土において無対策の場合の推定水位を実効雨量解析により算出する(図-5)

ステップ③: 上記②の無対策を想定した推定水位と同期間における対策工施工後の実測水位を比較する(図-5)

ステップ④: 対策工施工前1年間および施工後1年間の実測水位を並べ替えた水位位況の比較を行う(図-6)

ステップ⑤: 上記③, ④の2通りの比較により、対策工効果を評価する。

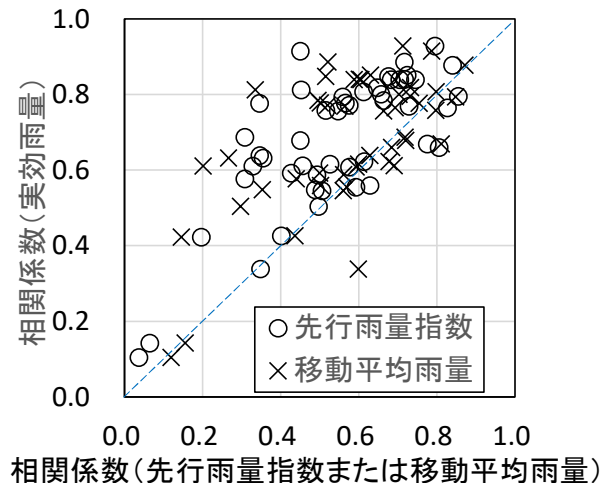


図-3 3つの手法における相関係数(箇所別比較)

例えば図-5 に示した上記③の比較結果としては、降雨に伴う短期的な水位上昇は見られるが、その他の期間では対策後実測水位は無対策推定水位よりも低い期間が多く見られることから、対策工の効果は認められる。この比較においては対策工施工前後における降雨量の違いが考慮されているものの、推定した水位は実測水位を完全には再現できていないため、相関係数に比例した誤差を含む、という課題がある。例えば図-4 では、最大となる相関係数は $R=0.75$ であり、推定水位と実測水位には $0 \sim 2\text{m}$ の幅で乖離が見られる。一方、図-6 に示す上記④の比較結果としては、最高水位は対策後の方が高いが、これは大雨時の $3 \sim 4$ 日の短期的なものであり、豊水位

から最低水位は対策後に $0.3 \sim 1.1\text{m}$ の水位低下が見られることから年間のうち大半の期間において水位低下の効果が見られる。この比較においてはいずれも実測水位を用いているため、推定による誤差は含まれない。また、水位位況を用いる事で季節による水位変動の影響も考慮しているため、対策前後の1年間の水位が同じ土俵で比べられている。しかし、年単位の降雨量の変化（例えば今年は何年と比べて雨が少なかったといった傾向）が考慮されていない、という課題がある。

それぞれの手法により特性が異なるため、現状では双方の手法を用いた結果を比較し、総合的に判断することとして提案する。

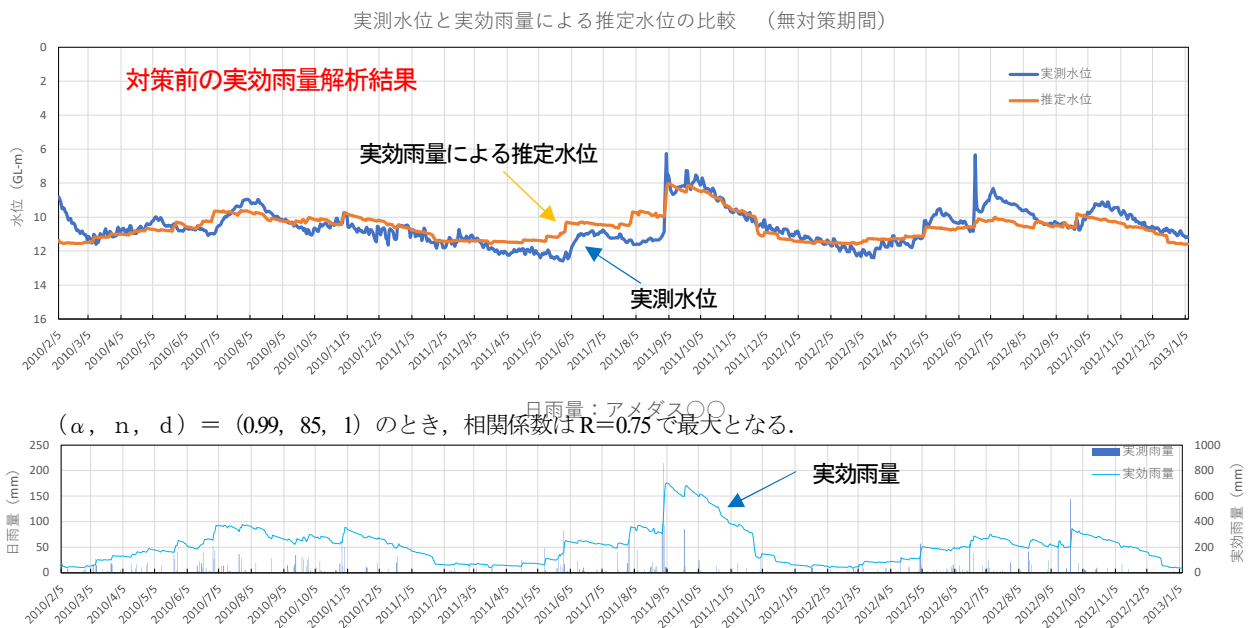


図-4 実測水位と実効雨量による推定水位の比較例（対策前）



図-5 実測水位（対策有）と実効雨量による推定水位（対策無）の比較例（対策後）

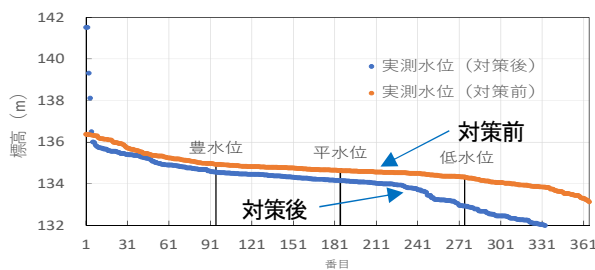


図-6 実測水位 (対策前) と実測水位 (対策後) の水位状況による対策効果の評価例

5. 特異なデータの取扱い

観測期間が1年以上に該当するデータを抽出した中には、降雨に敏感に反応して短期的に急激な水位上昇を示すデータが見られた。特異な水位上昇を示すデータについて、個別に水位変動を分析した結果、それらのデータすべてにおいて、同一盛土内の他の観測井の水位と比較して降雨時の水位上昇速度や上昇量が数倍以上を示しており、明らかに特異な水位変動をしていることが確認された¹⁶⁾。また同盛土で実施された地盤調査結果から以下のような条件に該当していることが確認された¹⁶⁾。

- ・盛土材が層状に異なり、不透水層が形成されたことによって盛土内水位が上下で分離した滞水形態となっている (宙水)
- ・盛土内の岩塊部分や排水層などの高い透水性からなる土層があり、大雨時にこの層を経由して観測井への水の流入が想定される (水みち)

また、高強度降雨に伴い水位が大幅に急上昇する盛土の一事例として、約10mの水位上昇を何度も観測しているにもかかわらず、水位上昇した降雨後にもり面の変状や湧水が一切見られない、という盛土を確認している。当該盛土の観測井は1本であったが、仮に盛土全体の水位が10m上昇していたとするならば、何らかの変状が現れていてもおかしくない。この要因については、現時点では推察の域を出ないが、一部の水位観測結果は盛土全体の代表水位とは言えない、局所的な現象をとらえている可能性がある。図-7にそのイメージを示す。

図-7(a)では、のり面表面や水みちから観測井に水が流入し、観測井周辺の水位よりも高くなっている状況を示している。これは観測井が目詰まりを起こしている際に、より顕著な現象として現れる。このような目詰まりは設置後、長期間経過した水抜きボーリングにおいても見られる現象であり、盛土内の水位観測井においても目詰まりを起こすことは、孔内洗浄および現場透水試験により確認している。

また、図-7(b)では宙水などによる複数帯水層の合成水位を表している。盛土内に層状に透水性の低い土の分布 (不透水層) があることで、その上下で不連続な滞水形態が形成されている。しかし、水位観測井では上下両方

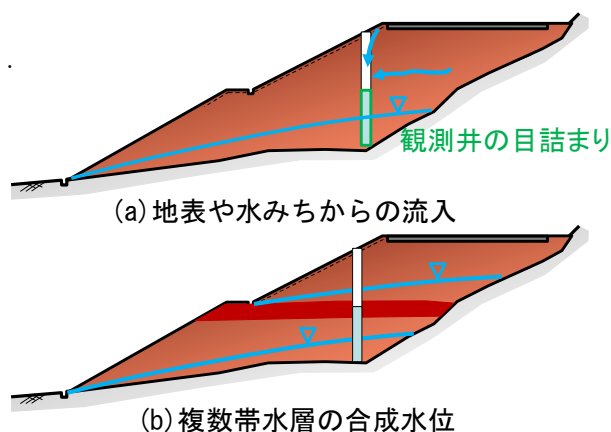


図-7 盛土内水位の急上昇の推定要因イメージ図

の水が流入することで、孔内水位は上下それぞれの水位の間の位置で平衡状態となる様子を表している。高速道路盛土の建設時には、施工基盤となる地山からの湧水処理するための地下排水や、脆弱岩またはローム材料の盛土における施工性・安定性向上のための水平排水層を設ける場合があり、その層は盛土内の水みちとなり得る。また、盛土施工中の運搬路となる部分では、建設車両の通行により締固めが進行するため、同一材料であっても局所的に透水性が異なる仕上がりとなることが考えられる。

このように盛土内の不均一性を考慮した時、浸透水排除対策の効果検証においては、最高水位のみの評価ではなく季節変動を考慮する必要があると考えられる。しかしながら、このような特異なデータについての取扱いは今後の課題である。

6. まとめ

本研究では全国的高速道路盛土における水位観測データおよび降雨量を用いた整理分析を行い、浸透水排除対策の効果を検証する方法を検討した。その結果得られた知見は以下の通りである。

- 1) 盛土内水位と降雨量との関係性について解析した結果、今回実施した条件においては3手法の中では実効雨量による解析結果の相関性が一番高い。
- 2) その際のパラメーターの取り方について、盛土条件や地盤条件による傾向が見られるかを確認したところ、明瞭な結果は得られなかった。
- 3) 実効雨量を用いて無対策時の水位を推定し、それと対策後の実測水位とを比較することで対策効果の検証が行える。
- 4) 一部の観測井において高強度の降雨に敏感に反応して水位が急上昇するケースが見られるため、その場合の対策効果の検証は最高水位に依らない方法が妥当と考

える。

5)その際の検証には季節変動を考慮した水位位況という整理手法が有効である。

上記の整理分析結果から対策工の効果判定手法として実効雨量と季節変動を考慮した水位位況を併用した方法を提案した。

しかし今回収集したデータの中には1年以上観測された水位データが少なかったため、今後更なるデータを収集し分析を行う事で、水位位況の線形についての検討や、年降水量影響を考慮した時の課題や対応についても検討を行い、提案した手法の適用性を検証していきたい。

参考文献

- 1) 大窪克己, 浜崎智洋, 北村佳則, 稲垣太浩, 濱野雅裕, 佐伯宗大, 龍岡文夫: 高速道路盛土の大規模地震時の耐震性検討(その2) ~ 変位量による耐震性能評価法の検討~, 第39回地盤工学研究発表会講演集, pp.1761-1762, 2004.
- 2) 中村洋丈, 横田聖哉, 吉村雅宏: 高速道路盛土の地震災害マネジメントにおける耐震性評価手法の構築, 土木学会論文集, Vol.69, No.2, pp.156-175, 2013.
- 3) 高木宗男, 横田聖哉, 菅浩一, 安田進, 太田秀樹: 東名牧之原地区における盛土のり面災害の実態, 第55回地盤工学シンポジウム平成22年度論文集, pp.193-196, 2010.
- 4) 東日本高速道路(株), 中日本高速道路(株), 西日本高速道路(株): 高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会(報告書), 2014.
- 5) 中日本高速道路(株): 高速道路リニューアルプロジェクト 大規模更新・修繕事業, https://www.c-nexco.co.jp/koushin/pdf/renewal_kaitet.pdf (2021/21アクセス)
- 6) 伊勢谷真樹, 生方健太, 渋谷正浩, 渡辺陽太, 永井宏: 盛土内排水と地下水位の関係, 第52回地盤工学研究発表会講演集, pp.209-210, 2017.
- 7) 澤野幸輝, 外崎靖也: 泥岩盛土における法面変状対策(地下水排除), 基礎工, Vol.45, No.10, pp.38-41, 2017.
- 8) 浜崎智洋, 笠間清伸, 田山聡, 前田良刀, 松方健治, 秋吉良平: 排水機能を有するスパイラル羽根付き鋼管を用いたのり面補強に関する原位置試験, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.74, No.1, pp.20-33, 2018.
- 9) 平井健太, 川波弘敏, 秦二郎, 村上豊和: 盛土内浸透水排除工の評価手法~実効雨量による一例~, 第52回地盤工学研究発表会講演集, 21-12-3-04, 2020.
- 10) 土木研究所: 地すべり地下水排除工効果判定マニュアル(案), 2009.
https://www.pwri.go.jp/team/landslide/kansiya/groundwater_manual/groundwater%20manual.pdf (2021/21アクセス)
- 11) 三好千春: 先行降雨指数を用いた地下水排除工事の影響判定方法について, 全地連「技術フォーラム2014」秋田, 2014.
- 12) 鎌田佳苗: 移動平均降水量を用いた地下水位への施工影響判定の事例, 全地連「技術フォーラム2017」旭川, 2017.
- 13) 真名子武, 手計太一, 平野文昭: 新しい流況曲線の提案に関する基礎的研究, 水工学論文集, Vol.51, pp.379-384, 2007.
- 14) 五大開発株式会社: 計測データ図化システム,
<https://soft.godai.co.jp/soft/product/products/GGRAPH/index.htm> (2021/21アクセス)
- 15) 谷本理恵, 藤田勝利, 高田正治, 立住光, 丹下英雄: 実効雨量を適用した水位観測解析事例, 全地連「技術e-フォーラム2002」米子, 2002.
- 16) 大賀政秀, 太田雅之, 安部哲生, 日下寛彦, 中島康介, 平井健太: ボーリング孔を利用した水位観測井の構造上の課題について, 地盤材料のボーリング・サンプリングと採取試料の品質評価法に関するシンポジウム発表論文集, pp.82-87, 2021.

アイスジャム発生予測プログラムの 現地河川への適用性評価と課題について

横山 洋¹・吉川 泰弘²・大串 弘哉¹

¹国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地河川チーム（〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34）

²北見工業大学工学部 地域未来デザイン工学科（〒090-8507北見市公園町165）.

北海道内の河川は冬期間結氷し、気温上昇とともに形成された河水が融解・破壊されて流下する。流下する河水が集積して河道内が閉塞するアイスジャム現象は、水位の急上昇や流下河水への巻き込まれ事故等、結氷河川の防災や維持管理における懸案の1つとなっている。結氷河川での事業実務担当者からは、アイスジャムの発生危険箇所や時期の簡易予測ならびにリアルタイム監視手法開発への要望が高い。本研究は実務利用を念頭にアイスジャム予測プログラムを開発するとともに、既往のアイスジャム発生事例へ適用し、発生時期および場所の再現性を検討した。また現場での運用を想定したアイスジャム予測手法の課題を整理した。

キーワード 河水災害、河水厚変遷、アイスジャムスケール、実務への利用

1. はじめに

冬の寒さの厳しい北海道の河川は、冬の間は気温低下とともに結氷する。その期間は年間100日に及ぶといわれる。結氷した河川では、表層部は固い氷板が、その下にシャーベット状の晶氷が形成され、その下層に河川水が流れている（図-1）。降雨のほか、気温や水温の上昇、河川の流量増加が進むと、川の中の氷（河水）は融解・破壊が進み、川の流れとともに流下する。流下する氷板や晶氷が、川の中で流れの遅い箇所などで詰まって河道を塞ぐと、河川水が流れにくくなり水位も上昇する。このように河水が詰まって流れがせき止められる現象がアイスジャムである（図-2）¹⁾。

アイスジャムの発生時期は、結氷初期である12月の気温低下時²⁾、解氷期である2月後半以降の気温上昇時³⁾のほか、1～2月の厳冬期でも水道や発電等の通年取水を行っている取水施設の取水口付近で晶氷によるアイスジャムが発生する⁴⁾。そのためアイスジャムは結氷期間を通しての警戒が必要である。とりわけ、春先に気温上昇とまとまった降雨が重なると、融雪出水による河川水位の上昇に加え、大量の解氷した氷板や晶氷の流下による河道閉塞も発生するため、アイスジャムの発生範囲や規模も大きくなる。発生したアイスジャムは、河川水位の急

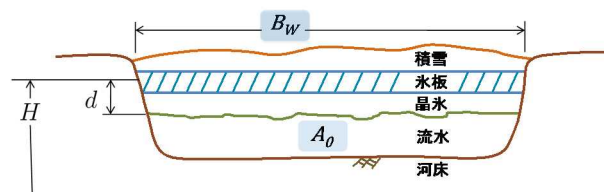


図-1 結氷河川の河水横断模式図

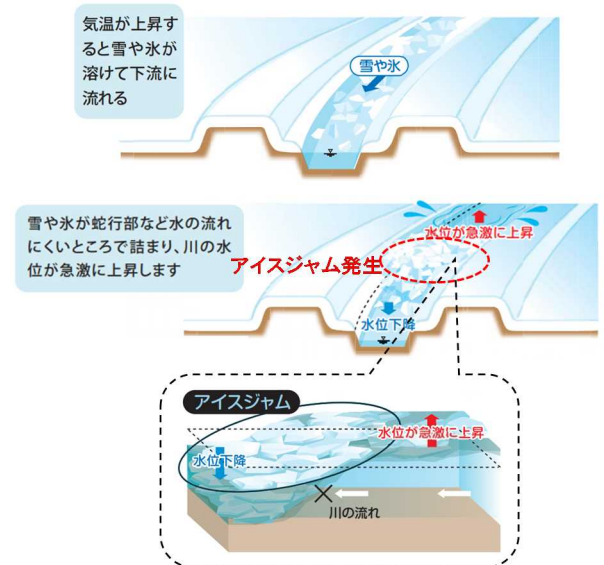


図-2 結氷河川の解氷過程とアイスジャム発生模式図¹⁾

上昇や川からの溢水による浸水²⁾、流下する河水への河道内での冬期工事従事者の巻き込まれによる事故³⁾、取

水口の閉塞による取水障害³⁾、樋門吐口の閉塞²⁾などをもたらし、結氷河川の防災や維持管理上の懸案の1つとなっている。

結氷河川に関わる実務担当者からは、簡易にアイスジャム発生危険性を事前予測するとともに、アイスジャム発生をリアルタイムで監視できる手法の開発への要望がある。寒地土木研究所は北見工業大学と連携して、アイスジャムによる被害軽減のためのソフト対策として、①河水厚予測モデルによる解氷進行の予測、②物理的指標によるアイスジャム発生危険個所の抽出に関する研究に取り組んでいる。また研究成果の社会実装として、事業現場での利用を想定したアイスジャム発生予測手法の開発にも取り組んでおり、取水事業や河川工事現場の安全管理への技術普及を目指している。

本稿では、これまで進めてきた結氷河川の実務担当者の利用を想定したアイスジャム予測技術とその現地適用性の検討結果を整理した。まず①の河水厚予測モデルを用いたアイスジャム発生時期の事前予測の適用について検討した。道内の複数結氷河川を事例として、解氷期における氷板厚変動の再現計算を行い、その計算精度を検証した。また再現計算結果をもとに、アイスジャム発生時期の事前予測への適用性について考察を行った。また、②物理的指標による発生箇所の抽出については、手法の説明および現地適用事例を述べる。最後にこれらの予測技術を踏まえ、より効果的なアイスジャム発生予測方法の提案と今後の課題についてとりまとめた。

2. 解氷期のアイスジャムによる被災事例

近年の解氷期におけるアイスジャム発生と被災例として、2018年3月上旬に北海道内の複数河川で発生した事例をとりあげる³⁾。アイスジャム発生の気象因子として、発生前日から当日にかけ、温帯低気圧が発達しながら接近・通過したことによる、急激な気温上昇と季節外れの降雨が挙げられる。以下に、アイスジャム発生状況を簡潔に述べる。

(1) 水位上昇および越水（石狩川水系布礼別川）

写真-2はアイスジャム発生1週間後に被災箇所を上空から撮影した状況である。河道内及び橋梁付近に残存河水が多く確認され、一部区間では河道外への水の乗り上げおよび越水の痕跡もみられた。

(2) 再流下河水への巻き込まれ（石狩川水系辺別川）

写真-3はアイスジャム発生1週間後の被災箇所の状況である。被災箇所では2016年8月の台風出水で被災した護岸の復旧工事を行っており、作業員が上流から流れてきたとみられる氷と雪に巻き込まれて死亡した。被災箇所上流は砂防施設が整備され、この付近は河床勾配の変化点に当たる。写真-3の赤丸で示す中州には、多数の河水残存及び水位上昇痕跡がみられた。写真-4は同日に中



写真-2 アイスジャムによる越水痕跡（布礼別川）



写真-3 アイスジャム再流下による被災（辺別川）



写真-4 中州に残存する河水（辺別川）



写真-5 アイスジャム発生状況（浦幌川）

州部に残存する河水を撮影したものである。3mを超えるサイズの氷塊がアイスジャム発生1週間後にも残存していた。一方、中州上流の溪流保全工には水の集積、水位上昇の痕跡はほとんどみられなかった。解氷した氷と

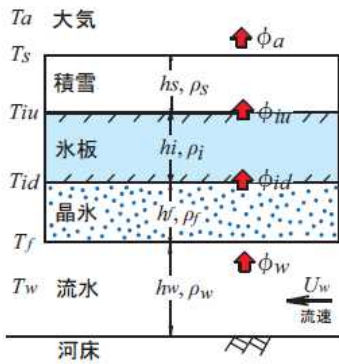


図-3 河氷厚予測の熱収支模式図⁷⁾

雪がダム状に集積したアイスダムが被災箇所の上流で形成され、それが一度に決壊・流下して氷や雪が被災箇所へ押し寄せたと推測される。なお流下河氷による同様の被災例として、1994年2月下旬の札幌市内での河川工事箇所での被災²⁾が挙げられる。

(3) 樋門付近の河氷堆積 (十勝川水系浦幌川)

写真-5に発生当日の河道状況を示す。樋門付近も含め、低水路全体が河氷に覆われ、高水敷が冠水している。浦幌川から合流する浦幌十勝川の縦断勾配はほぼ水平であり、また当時は結氷していたため、浦幌川の氷が合流点付近で滞留集積し、水位も急に上昇したと考えられる。

4. 河氷厚予測によるアイスジャム発生時期予測

(1) 河氷厚予測の基礎方程式

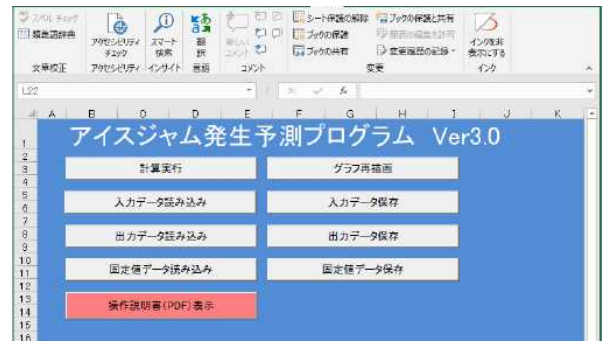
結氷河川における河氷の解氷、流下、アイスジャム発生など、解氷期の一連の現象を精緻に予測するためには、河氷厚変動予測計算を行い、河川流れ、水温、河氷の形成、融解、破壊、移動、河氷厚の変化を同時に計算することが望ましい⁹⁾。しかし実務で利用する河氷厚変動予測においては、汎用 PC 上で作動すること、データ入出力に関する操作がシンプルであること、入力データの入手および予測結果出力がリアルタイムで可能なことが条件として求められる。

そこで本研究では、前述した実務利用の必要条件を満たし、現場で求められる解氷期の河氷厚変動を十分な精度で予測可能な実績を有するモデルとして、吉川らが提案した手法を用いた⁷⁾。河氷の氷板厚の変動は、大気、積雪、氷板、晶氷、流水間での熱収支 (図-3 参照) に基づき、最終的に以下の式(1)、(2)で与えられる。

$$h_i = h'_i - \left(\frac{65.2}{10^5}\right) \alpha \frac{T_a}{h'_i} - \left(\frac{45.8}{10^2}\right) \beta^{4/5} T_w h_w^{1/3} \quad (1)$$

$$h_w = H - Z - \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} h_s + \frac{\rho_i}{\rho_w} h_i + \frac{\rho_f}{\rho_w} h_f\right) \quad (2)$$

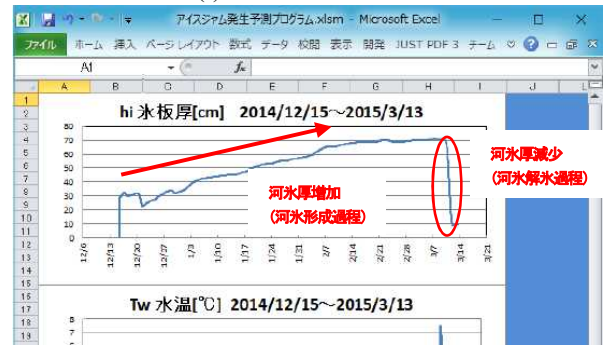
ここで、 h_i : 氷板厚(m), h'_i : Δt 前の氷板厚(m), T_a : 気



(a)メイン画面



(b)気象データ選択画面



(c)計算結果出力画面

図-4 河氷厚予測プログラムのユーザーインターフェイス

温($^{\circ}\text{C}$), T_w : 水温($^{\circ}\text{C}$), H : 水位(m), Z : 河床高(m), ρ_s : 雪の密度(kg/m^3), h_s : 積雪深(m), ρ_i : 氷板密度(kg/m^3), ρ_f : 晶氷密度(kg/m^3), h_f : 晶氷厚(m), h_i : 有効水深(m)である。計算出力は1時間間隔、最小河氷厚は0.001mである。

式(1)中の係数 α , β は、以下の式(3), (4)で設定した。

$$\alpha = 0.906 - 2.770 \frac{I_b B}{h_w} \quad (3)$$

$$\beta = \frac{u_w}{h_w^{2/3}} \quad (4)$$

ここで I_b : 河床縦断勾配, B : 水面幅, u_w : 河川流速である。

(2) 実務利用を想定したプログラム概要⁸⁾

プログラムは、河氷厚の予測対象地点において、現況の河氷厚のほか、今後の気象変化に応じた河氷厚変動を推定できるよう設計した。現場担当者の日常利用を想定し、Microsoft Excel VBAにより作成した。図-4にプログラ

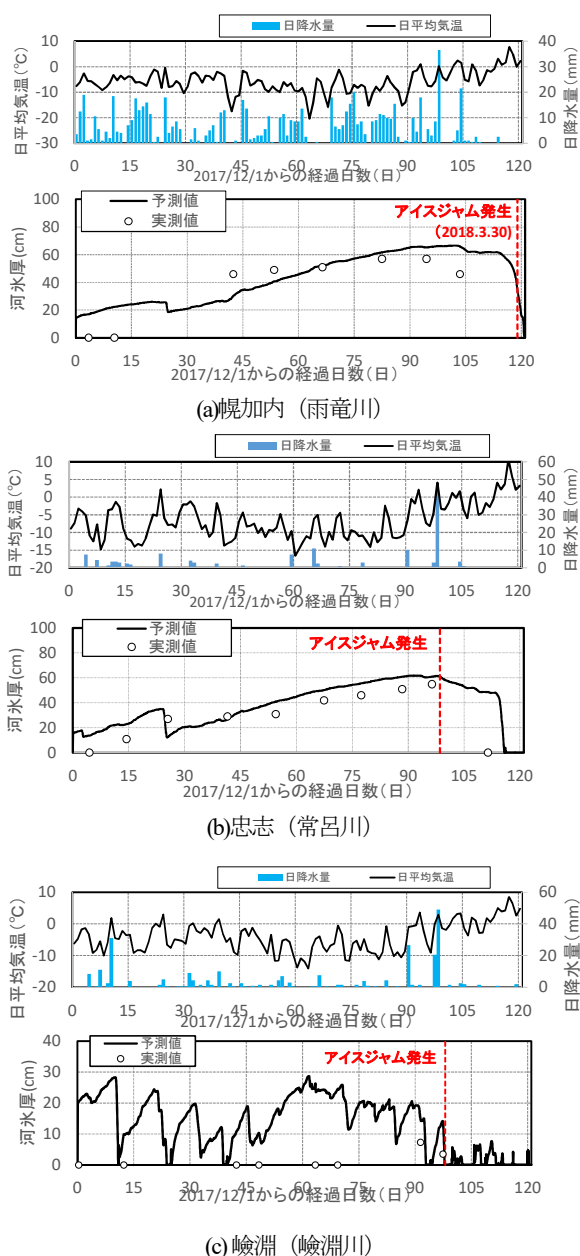


図-5 2018年3月のアイスジャム発生箇所の河氷厚予測値

ムのユーザーインターフェイスを示す。計算の一連作業は、全てMicrosoft Excel上で可能である。

ユーザーの設定が必要な初期条件は、予測計算地点の河床縦断勾配、水面幅、流入河川水温である。これらのデータは既存測量データがない地点においても、地理院地図やGoogle Earthによる平面座標、標高値、航空写真画像など、無償で公開されているデータからでも設定可能である。流入河川水温は地点に応じて試行錯誤での決定が必要である。今回の事例は $0\sim 2^{\circ}\text{C}$ で設定した。αは、式(3)で算定する値を初期設定値とした。河氷厚の実測値を十分再現できない場合はユーザー側で調整が必要である⁷⁾。その他モデル内の各係数は、開発者側で設定した標準値を用いる。

河氷厚の変遷に必要となる毎時データは、気温、風速、

日照時間、降雪量、河川水位である。気象データのうち、実測値は気象庁アメダス観測所データを用いる。将来予測は、日本気象協会による10日間天気予報を用いる。予測値は気温、天気、風速であることから、6時間ごとのデータであることから、各データの間は線形補間(降水量は6分割)して毎時データに換算している。図-4(b)に示すとおり、気象データの取得は、近傍のアメダス観測所および天気予報の市町村を選択することで容易にできる。従前は2日先までの予測値であったが、10日先までの予測が可能となることで、気象条件の変化に対する事前準備への活用の幅が広がることが期待できる。

図-4(c)の計算例に示すとおり、河氷厚予測値(図中では氷板厚)は結氷期に入り気温が低い状況では徐々に増加していく。これは図-2①で示す河氷形成過程に当たる。その後、気温の上昇とともに河氷厚予測値は減少に転じる。これは図-2②で示す河氷解氷過程に当たる。特に急な気温上昇やまとまった降雨など、解氷が急速に進む因子がある中では、河氷厚の減少はより急速になり、実際の現場でもアイスジャム発生の可能性が高くなると考えられる。

(3) 現地への適用事例

まずアイスジャムが発生した結氷河川での河氷厚変遷計算を行った結果をもとに、現地事例への適用性を考察する⁹⁾。ここでは既報での計算例を掲載する。

図-5に2017年12月1日から2018年3月31日までの幌加内(雨竜川)、忠志(常呂川)、嶮淵(嶮淵川)の3地点の河氷厚予測計算結果を示す(参考文献1)に加筆)。幌加内、忠志における河氷厚予測値は、12月の計算開始以降、3月上旬まで増加が継続している。河氷厚予測値の減少開始と現地でのアイスジャム発生時期は、幌加内と忠志では概ね重なっている。忠志ではアイスジャム発生日に気温上昇とまとまった降雨が重なっており、これら両方の因子が急速な解氷進行に寄与したと推測される。一方、幌加内では実測河氷厚が3月中旬でも0.4mと、解氷の進み具合が遅いことがわかる。アイスジャム発生数日前から気温が 0°C 以上に上昇して継続しており、まとまった降雨は見られないものの、気温上昇が急速な解氷を進めたと推測される。嶮淵では、河氷厚予測値は数日間で増減を繰り返している。アイスジャム発生時期は、気温上昇とまとまった降雨が重なっており、この点は忠志とも共通している。これらの点から、アイスジャム発生は、 0°C 以上の気温上昇が数日見られること、発生直前にまとまった降雨が見られること、あるいはこれらが重なることが誘発因子であると考えられる。

以上から、本予測モデルでの河氷厚減少時刻のみではアイスジャム発生時刻を特定できるまでの精度はないといえる。一方で、河氷厚予測値の急減は気温上昇や降水量増加といった現象を受けて発生しており、アイスジャム発生の事前警戒を行うための参考データとなりうるこ

とが示された。なお著者らは、アイスジャム発生時の気象条件等による河川水深増加の影響に着目した予測方法も提案しており、降水量増加時のアイスジャム発生危険性の増加を事前に推定できる可能性を示している。これらの手法適用については、今後検討を進める予定である。

5. アイスジャムスケールの現地事例への適用

(1) アイスジャムスケールの算出方法

河氷厚予測モデルではある地点の河氷厚急減の時期を計算することで、アイスジャム発生の可能性が高い時期を予測する。一方、アイスジャムは上流側からの河氷の流下のほか、下流側の堆積。そのため、検討対象地点の上下流の河道形状を踏まえ、上下流方向に延長してアイスジャム発生危険箇所を検証することが必要である。

アイスジャム発生危険箇所を把握には、以下の S_{ij} ：アイスジャムスケール¹⁰⁾という指標を用いた。

$$S_{ij} = \frac{1}{F_{ri} \sqrt{\frac{B_d}{B_i}} \sqrt{\frac{C_D}{2} \left(\frac{H_i}{L_i}\right)^2 + C_f \left(\frac{H_i}{L_i}\right) + \frac{C_L}{2}}} \quad (5)$$

$$F_{ri} = \frac{U_i}{\sqrt{\frac{\rho_w - \rho_i}{\rho_w} g H_i}} \quad (6)$$

S_{ij} が大きいほどアイスジャムの規模が大きくなり、アイスジャムが発生しやすいことを示す。図-6にアイスジャムスケール算出に当たっての河道模式図を示す。

ここで、 U_i (m/s)：氷塊の速度、 U_w (m/s)：流速として、 U_i / U_w の値でアイスジャムの発生・非発生を評価すると、アイスジャム発生時は $U_i = 0$ 、アイスジャム非発生時は $U_i = U_w$ となり、 U_i / U_w は、0～1の範囲となる。 S_{ij} と U_i / U_w は、以下の式の関係にある¹⁰⁾。

$$U_i / U_w = 1 / (1 + S_{ij}) \quad (7)$$

なお、この関係は、実験値結果から U_i / U_w の平均絶対誤差は0.052と誤差は小さく妥当性が確認されている¹⁰⁾。
 ρ_w (kg/m³)：水の密度で1000、 ρ_i (kg/m³)：氷の密度で917、
 g (m/s²)：重力加速度で9.8、 H_i (m)：氷塊の厚さ、 B_i (m)：氷塊の幅、 L_i (m)：氷塊の河川縦断方向の長さ、 B_d (m)：下流の川幅である。既往研究⁷⁾と同様に、 C_D ：形状抵抗係数は0.4、 C_f ：摩擦抵抗係数は1.0、 C_L ：揚力係数は0.4を与える。

(2) アイスジャムスケールの算出方法

続いてアイスジャムスケール S_{ij} を、2018年3月にアイスジャムによる被災事故が発生した辺別川に適用した事例⁹⁾を紹介する。河道形状は図-7に示すとおりである。

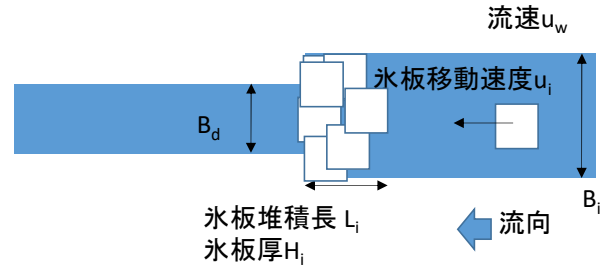


図-6 アイスジャムスケール算出の河道模式図

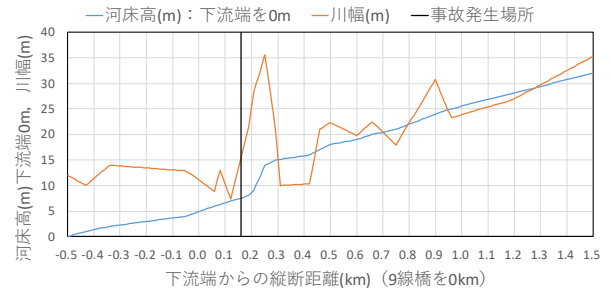


図-7 辺別川の河床高と川幅¹⁾

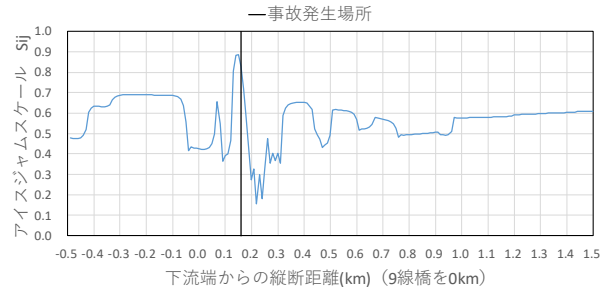


図-8 辺別川のアイスジャムスケール S_{ij} ¹⁾

式(5)、(6)により S_{ij} を算出するにあたり、未知数は U_i 、 H_i 、 B_i 、 L_i である。検討では、以下の手順で値を得た。上流側の流量は辺別川観測所（北海道管理）の2018年3月8～10日の最大流量19.76m³/s（暫定値）、下流端水深は等流水深0.59mとし、不定流計算を実施し各断面の流速 U_w と水深 H_w を算出した。氷塊の速度 U_i は最大で流速 U_w になるため $U_i = U_w$ とし、氷塊の厚さ H_i は、水深が深いほど氷塊は堆積できる可能性が高いため、算出した水深を堆積可能な氷塊の厚さと仮定して $H_i = H_w$ とした。 B_i は、最大で川幅になるため、この断面 (B_d の一つ上流の断面) の川幅を与えた。 L_i は任意に10mを与えた。これらの値を代入して算出した S_{ij} の結果を図-8に示す。

図-8 から事故発生場所で S_{ij} の値が大きいことが分かる。事故後の事故発生場所において多量の氷塊の堆積が現地で確認されており、事故当時、アイスジャムが発生したと推定される。本検討により、 S_{ij} を用いてアイスジャム発生危険箇所を事前に抽出できる可能性を示した。一方で、事故発生場所より上流において、砂州の形成により川幅が狭くなり、 S_{ij} の値が高い箇所が3箇所あり、これらの箇所でもアイスジャム発生可能性がある。

「氷と雪が一気に押し寄せてきた」との現地証言を基に

動的な現象を推察すると、これらの上流3箇所いずれかでアイスジャムが発生し、その後、アイスジャムが決壊して氷塊が下流へと流れ、下流の事故発生場所で氷塊が急激に堆積して、再度アイスジャムが発生したと推察できる。なお、このような動的な現象の解明には、今後、水理実験や数値計算を用いた検討が必要となる。

6. アイスジャム発生予測に向けた提案と課題

ここまで、河氷厚予測モデルによるアイスジャム発生時期の予測、アイスジャムスケールによるアイスジャム発生リスクの高い場所の抽出手法について述べた。著者らは、これらの手法を以下のとおり組み合わせることで、アイスジャムの予測と監視に活用できると考える。

まずは対象地点とその上下流の河道形状を把握する。その際流速が遅くなる河道因子（河道湾曲、砂州、縦断勾配変化、合流、河道内構造物など）はアイスジャム発生可能性が高くなるため、留意する必要がある。

続いてアイスジャム発生危険箇所の抽出を行う。その際には、アイスジャムスケールの活用が望ましい。なおアイスジャム発生リスク対象とする河川流量や氷の形状など、試行錯誤で決める部分も多い。これらの標準的な決め方や値は今後の課題である。

最後に抽出されたアイスジャム発生予測箇所について河氷厚予測モデルにより河氷厚変遷を予測する。同時にカメラ等により河氷挙動を監視し、解氷によるアイスジャムなどの被災回避に向けて対応をとることが望ましい。

上記について、現場での試用などを積極的に進め、よりよいものにブラッシュアップしていきたい。

7. まとめ

本稿での主要な結論を以下にまとめる。

- ・河氷厚予測値の簡易計算モデルをアイスジャム発生が確認された現地に適用した。河氷厚の減少時期は必ずしもアイスジャム発生時とは重ならない。しかし解氷

期にアイスジャム発生可能性の増加を警戒する。

- ・アイスジャムスケールにより、対象区間内でのアイスジャムの発生可能性が高い箇所を抽出できる。
- ・これらのアイスジャム発生可能性が高い時期、場所の予測技術と監視技術をいかに組み合わせるかが、今後のアイスジャム災害への対応に向けた課題である。

謝辞：本研究の実施に当たり、関係機関より調査資料を提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 寒地土木研究所寒地河川チーム：アイスジャムによる脅威 Vol.1, <https://river.ceri.go.jp/contents/ice/iccjam1.pdf> (2021年10月22日確認)
- 2) 鳥谷部寿人, 吉川泰弘, 阿部孝章, 黒田保孝, 船木淳悟, 佐藤好茂, 津村喜武：オソベツ川における吹雪による晶氷増加とアイスジャム発生危険箇所の抽出に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.72 No.4, I_601-I_606, 2016.
- 3) 横山洋, 吉川泰弘, 伊波友生, 前田俊一, 矢部浩規：2018年3月北海道アイスジャム洪水による被害の現象解明と今後の課題, 土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.74, No.5, I_1039-I_1044, 2018.
- 4) 入交泰文, 吉川泰弘, 黒田保孝：天塩川水系名寄川真敷別頭首工における晶氷の発生について, 第58回北海道開発技術研究発表会発表論文集, 安21, 2015.
- 5) 原文宏, 河合孝治, 佐伯浩, 山口甲：琴似発寒川でのアイスジャム発生による流量の急変, 北海道地区自然災害科学資料センター報告 Vol.12 pp.35-57, 1997.
- 6) 例えば一次元不定流計算ソフト CERIID, <https://i-ric.org/solvers/icerid/> (2021年1月14日確認)
- 7) 吉川泰弘, 渡邊康玄, 早川博, 平井康幸：結氷河川における解氷現象と実用的な氷板厚計算式の開発, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.68, No.1, pp.21-34, 2012.
- 8) 横山洋, 伊波友生, 吉川泰弘：実務利用を想定した結氷河川の河氷厚変動および解氷時期予測の試み, 第63回北海道開発技術研究発表会, 2020.
- 9) 横山洋, 吉川泰弘, 伊波友生, 矢部浩規：結氷河川における解氷期の河氷挙動と解氷の簡易予測手法の検討, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.75, No.2, I_931-I_936, 2019.
- 10) 吉川泰弘, 朴昊澤, 大島和裕, 横山洋：寒冷地河川における簡易的なアイスジャム計算モデルに関する検討, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.4, pp.I_351-I_356, 2018.

松山地方気象台 リノベーション事業について

友田 みのり

四国地方整備局 営繕部 整備課 (〒760-8554 香川県高松市サンポート3-33)

松山地方気象台は、国の登録有形文化財に登録されている庁舎である。現在、狭隘や機能分散など、気象観測や防災拠点としての業務に支障をきたす問題が発生している。そこで、庁舎のリノベーションを行うことで問題点を解消するとともに、「保存」と「業務のしやすさ」を両立した設計を行ったので報告する。

キーワード リノベーション、登録有形文化財、BIM、利便性向上、景観、防災拠点

1. 松山地方気象台の概要

(1) 業務概要

松山地方気象台は、1890年に愛媛県立松山一等測候所として気象観測を開始した。以降、国への移管や名称変更などを経て、現在の松山地方気象台となり、愛媛県内の気象観測、防災情報発信等の拠点として、全国でも稀な100年以上にわたる気象観測が行われている施設である。また、防災拠点施設として、24時間体制で業務が行われており、体制に沿った機能の確保が求められる。他にも、気象業務への理解向上等を目的として学生や地域住民を対象とした施設見学や出前講座も実施されている。

(2) 敷地・建物概要

敷地は、松山市の中心部に近い閑静な住宅街の中にあり、敷地西方向には松山城を望むことができる。

現庁舎（以降、第1庁舎）は、1928年に愛媛県技師である戸村秀雄の設計によって建設された。外観は、中央の層塔部分と東側の切妻屋根部分、西側の陸屋根部分で構成された左右非対称となっている。内観は、2階まで吹き抜けの玄関ホール、ホール円柱の頭部、木製階段など、装飾性に富んだ当時の建築様式を偲ばせるものとなっている。2006年には、第1庁舎の外観（南面、西面）が、「造形の規範となっているもの」として評価され、国の登録有形文化財に登録されており、松山市の歴史的景観を形成する重要な建物の一つとして地域に親しまれている。

表-1に松山地方気象台の建物概要を、図-1に第1庁舎の外観、図-2に内観を示す。

表-1 松山地方気象台の建物概要

所在地	愛媛県松山市北持田町102
庁舎	鉄筋コンクリート造2階建て
敷地面積	約 3,100㎡
建築面積	約 700㎡
延べ面積	約 1,100㎡
用途地域	第一種住居地域
防火地域	準防火地域



図-1 第1庁舎南面外観



図-2 第1庁舎内観

2. 庁舎の抱える問題点

現在、庁舎は以下の問題点を抱えており、早急な対応が求められている。

- ・業務形態や機器の変化・拡大に伴う狭隘
- ・敷地内には庁舎の他に附属棟が点在しており、機能分散による業務への支障
- ・トイレ、浴室利用のために庁舎間の移動が必要
- ・外壁の劣化や設備機器の老朽化
- ・石手川の洪水により想定されている0.5～3.0mまでの浸水への対策未対応



図-3 第1庁舎外壁劣化状況

3. リノベーション事業概要

本事業は、第1庁舎の改修、附属棟のとりこわし、第1庁舎西側に新庁舎（以降、増築庁舎）を増築し、狭隘や機能分散の問題を解消すべく一体的に整備するものである。また、登録有形文化財としての価値を維持しながら、求められる機能を確保した防災拠点への再生を目的としている。

増築庁舎は、RC造の一部2階建て、気象観測業務に関する諸室を配置する。そのため、浸水対策が必要となり、開口部は浸水深以上の高さとし、出入口には防水板を設置する。

第1庁舎は、外壁や勾配屋根など劣化部分の改修、各室の模様替えなどを行うと共に、既存の景観を活かし、保存のシンボルとして改修を行う。また、執務室を2階に配置することで浸水時にも業務が継続できるよう配慮した。

図-4に現況配置図、図-5に改修後配置図を示す。

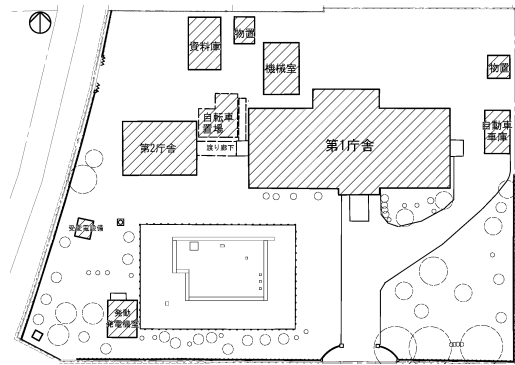


図-4 現況配置図

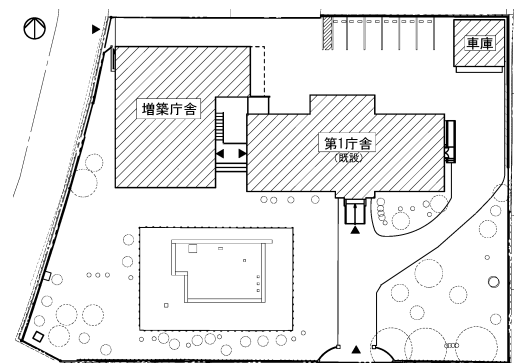


図-5 改修後配置図

4. 設計時の工夫点

今回の整備事業における、設計時の工夫した点について説明する。

(1) 執務環境への配慮

平面計画を行うにあたって、増築庁舎と第1庁舎の機能を明確にした。増築庁舎は、気象観測業務に関する機能を集約、その他、気象台業務を紹介する展示室や総務関係諸室は第1庁舎に集約した。図-6は現況平面図、図-7は改修後平面図で、ハッチング部分は気象観測業務に関する室を示す。機能が各庁舎に分散し、非効率的であった現状と比較すると、改修後は、庁舎毎に集約され、職員の庁舎間移動が少なくなり、業務を効率的に行うことができる平面計画とした。

また、気象台は見学会等で一度に多くの来庁者が訪れる官署であることから、職員動線、来庁者動線にも配慮し、庁舎内に来庁者動線が点在しないよう検討を行った。図-8のハッチング部分は来庁者利用が想定されるエリアを示す。エリアが集約されることにより、必要な見学ができるような配置となった。

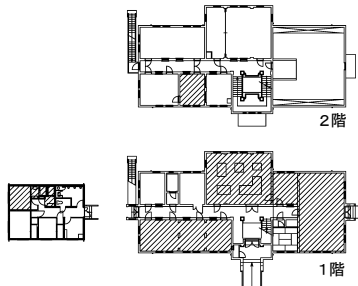


図-6 現況平面図

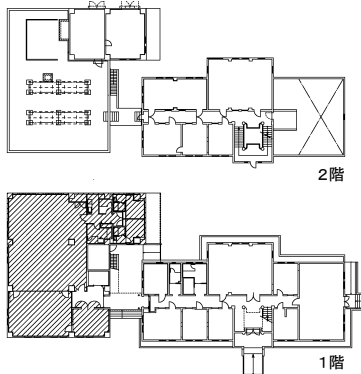


図-7 改修後平面図

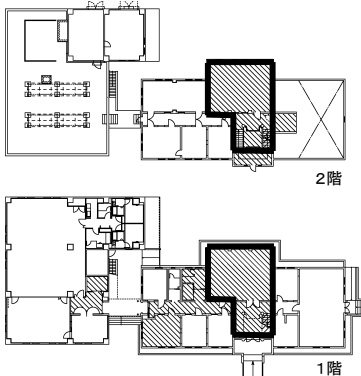


図-8 改修後平面図

機能集約や、職員、来庁者動線の明確な区別は、業務のしやすさに繋がるだけでなく、第1庁舎の保存にも大きく寄与している。気象台の観測機器の変化をはじめとして、建設当時には無かった空調設備や配管、配線等設備機器と、歴史的価値のある内装の共存が求められる。保存重視とするエリアを多くの来庁者利用が想定される部分に限定し（図-8太線枠部分）、その他のエリアは機能性重視とすることで、改修内容にメリハリを付けた。

(2) 第1庁舎への配慮

登録有形文化財に登録されている第1庁舎の南面、西面の景観への影響を最小限とし、外観を中心として、価値ある庁舎を保存するための検討を行った。第1庁舎を主とすれば、増築庁舎は従にあたる建物とし、検

討を行うにあたって、特に配慮が必要と考える部分に対して、BIMモデルを用いた検討を行った。

a) 増築庁舎の配置

増築庁舎は第1庁舎の西側に配置し、増築庁舎の南壁面線は、第1庁舎よりセットバックした配置とする。配置する位置によって、第1庁舎景観への影響範囲（特に西壁面）が変わるため、増築庁舎の南壁面を第1庁舎より前進させた配置と後退させた配置で、どの程度影響が変わるか検討を行った。結果を図-9に示す。

①案は、増築庁舎を第1庁舎より1.8m前進させた場合、②案は0.5m後退させた場合のイメージ図である。比較すると、②案は、①案より増築庁舎の圧迫感が抑えられ、第1庁舎から控えた印象となる。また、第1庁舎西壁面への影響も軽減することができた。約2mの違いが、見え方に大きな影響を与えることが分かった。これらを踏まえ②案により、増築庁舎を配置した。

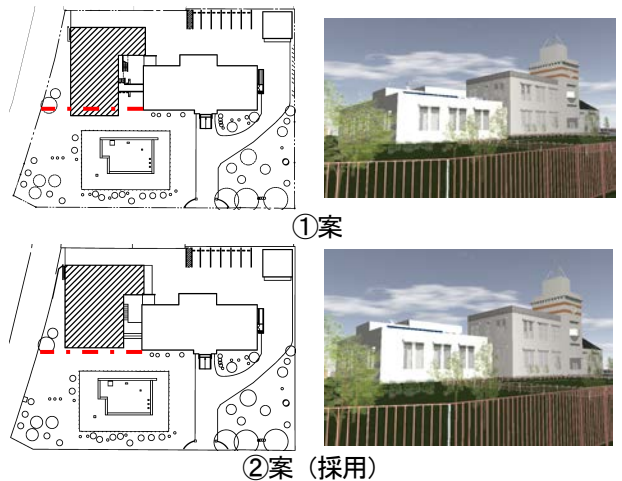


図-9 配置案検討図

b) 渡り廊下の見え方

第1庁舎と増築庁舎は渡り廊下によって接続されており、歴史的建物である第1庁舎と近代的建物である増築庁舎をつなぐ重要なものとなる。そこで、渡り廊下屋根の厚みや柱のあり方によってどのように見え方が変わるか、表-2と図-10のとおり条件を変えて検討を行った。

①～③案を比較すると、見付面積が大きいほど圧迫感があり、渡り廊下が全面に強調される印象となった。そこで、見付面積をさらに小さくするために、構造計画の再検討を行い、渡り廊下の厚さを可能な限り抑えた④案を作成した。他案と比較すると、開放的な空間となり、第1庁舎と渡り廊下が面ではなく点で接合されることで、西壁面への影響を抑えることができたため、④案を採用した。

表-2 渡り廊下検討案

	渡り廊下 屋根厚さ(mm)	柱大きさ(mm)
①案	1,200	1,000×400(両端)
②案	1,000	1,000×400(片端)
③案	1,000	400×400
④案(採用)	700	200φ

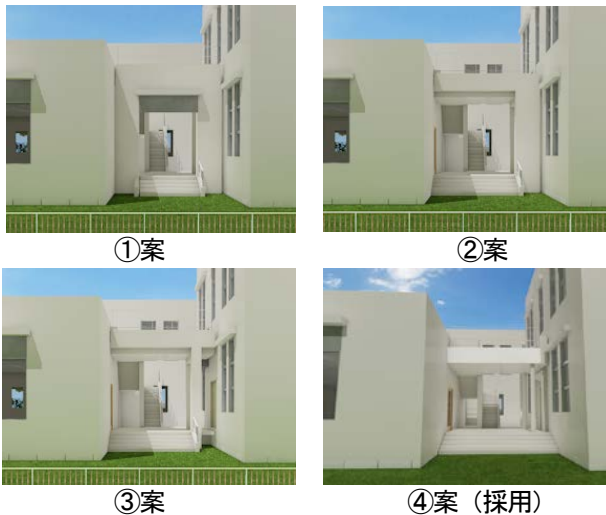


図-10 渡り廊下検討図

c) 玄関の見え方

庁舎には建物の出入口として、第1庁舎南側と西側、増築庁舎東側の3か所ある。前述の通り、外観上の主たる建物は第1庁舎であることから、施設としてのメイン玄関は第1庁舎南側、他2か所はサブ玄関と位置づける。そのため、増築庁舎を利用する際にもメイン玄関から入り、渡り廊下を通してアクセスすることを想定している。サブ玄関は、メイン玄関に控えるものとして、過度な主張は不适当であり、登録有形文化財の登録範囲である第1庁舎西壁面の景観が損なわれることは避けたい。従って、控えめでありながらも、渡り廊下の空間から見てふさわしいものとなるよう、開口枠を設ける計画とした。

第1庁舎について、図-11に示す。既存ポーチは、一部を残して撤去し、開口枠を形成することで、既存を活かしながら玄関らしきを作り出した。

増築庁舎については、第1庁舎と扉廻りのディテールを統一したデザインを心がけ、上枠の高さを変えた案を、図-12のとおり作成した。第1庁舎と上枠の高さを変えた①案か、上枠の高さを揃え第1庁舎と同じ見え方とした②案か、検討を行った。渡り廊下全体を一つのまとまりとして考えると、同じ見え方をすることが、渡り廊下に統一感が生じて最適であると考え、②案を採用した。

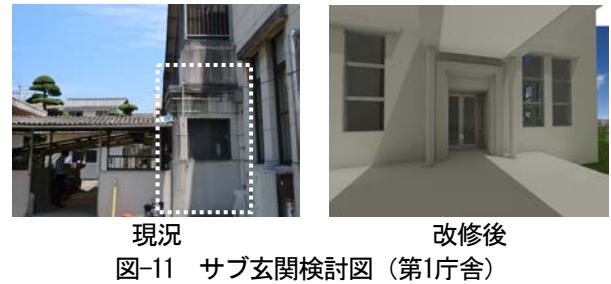


図-11 サブ玄関検討図(第1庁舎)

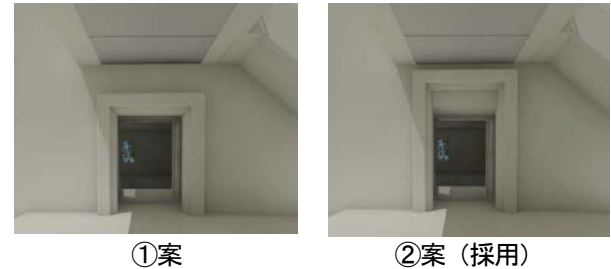


図-12 サブ玄関検討図(増築庁舎)

5. おわりに

今回は、松山地方気象台の現在の問題点を解消し、気象台特有の24時間業務体制に配慮した設計を行った。また、登録有形文化財として価値ある建物への影響を最小限にした設計となるよう、意識して検討を進めた。「保存」と「業務のしやすさ」は相容れないものであるが、各々対象範囲を明確にすることで、両立した設計を行うことが出来た。

今年度からリノベーション工事が開始する。工事が始まって、より良い形で完成させるため、検討を続けていく予定である。



図-13 完成イメージ図

参考文献

- 財団法人 建築保全センター：
平成 14 年度松山地方気象台保存活用検討基礎調査業務報告書
- 財団法人 建築保全センター：
平成 16 年度松山地方気象台保存活用検討業務

神通川下流部における 洪水時の河床土砂動態に関する考察

西村 友之¹・飯田 和也¹

¹富山河川国道事務所 調査第一課 (〒930-8537 富山県富山市奥田新町 2-1)

河道計画の基礎となる不等流計算は、既往洪水の再現計算を行いながら各種条件設定を定めることが基本となる。しかし、神通川下流部では、既往洪水に対する再現性を十分確保できない事例も確認されており、その課題は、出発水位、低水路粗度係数、洪水時の河床低下の3点にあると考えられている。これをふまえて、河口部の水位計算条件の精度向上を目的としたモニタリングを行っているところであり、現象解明に向けた検討の状況について報告する。

キーワード 水中の3次元測量、河床水温計、河床リング計、粗度係数、河床低下

1. はじめに

河道計画の基本となる不等流計算の条件設定（出発水位、低水路粗度係数等）は、「河道計画検討の手引き」¹⁾に従って行われる。この手引きは、出版された平成14年当初までの知見に基づいて作成されているが、洪水時の河床土砂動態は未解明な部分も多いことから、手引きに従って条件設定を行っても、実績洪水の再現性に課題が生じることがある。神通川も同様の課題を有していたことから課題解決に向けた現地観測を実施しており、縦断水位観測や水中の3次元測量、STIV法を前提とした流速観測のほか、従来難しいとされていた洪水時の河床土砂動態の直接観測も試みている。これまでの観測によると、近年の計測技術の向上も相まって、洪水時の河床土砂動態の一部を把握するデータを取得できたことから、そのデータの紹介を行うとともに、得られたデータに基づいて考察した洪水時の河床土砂動態を報告する。

2. 神通川河口部およびモニタリングの概要

神通川の直轄区間は河口部から23.8k区間であり、直轄区間上流部は河床勾配1/200~1/300の急流であるものの、河口から4~5kに河床勾配の変化点があり、河口付近は1/2,500程度となっている。本報告の主な調査対象区間は、河口0.6k~2kの区間であり、セグメントは2-2、河床材料は砂、低水路の水深は約4~5m、水面幅は約200mの感潮域である。洪水発生期間（6月~10月）にお

ける日々の干満差は最大でも30cm程度であり、潮位変動が小さい特徴がある。

課題解決に向けたモニタリングは、図-1、図-2に示すとおり、縦断水位観測を2014年に開始、河床変動観測を2018年より開始、流速観測（STIV法による）を2019年より開始している。

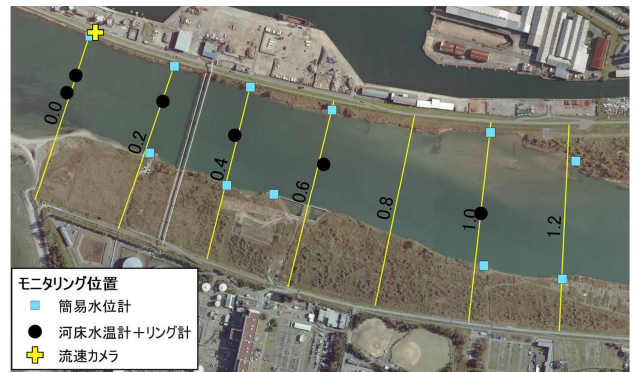


図-1 観測機器位置図（2019年）

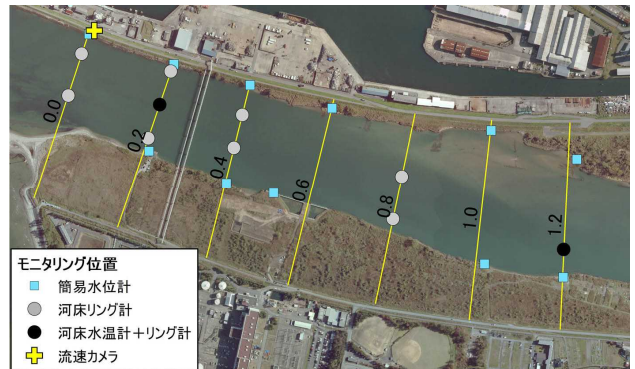


図-2 観測機器位置図（2020年 1.2kまでを拡大）

3. 出発水位に関する考察

再現計算における出発水位は洪水痕跡調査をもとに設定する。神通川の一部の既往洪水では洪水痕跡水位が著しく高い場合があり、再現計算の大きな妨げとなっていたことから、出発水位に関する検討事例を報告する。

(1) 観測概要

出発水位として洪水痕跡水位を検証する場合、①波浪による打上げの可能性、②0.0k の水位ピークと流量ピークの同時生起性が検証の焦点となる。これを検証するため、水位は0.0k 右岸に簡易水位計を設置し、流量は7km 地点の神通大橋の流量を使用して検証を行った。

(2) 波浪による打上げ影響に関する考察

洪水時の波浪の影響を確認するため、簡易水位計設置後に最も高波浪となった2017年10月洪水を対象に考察した。(図-3) この洪水の0.0kの痕跡水位はTP.2.09mであったが、0.0kの最高水位はTP.1.24mであり、大きな乖離が生じていた。また、0.0kの水位は潮位変動に連動し、波浪の影響を強く受けていることが確認できた。

(3) 流量ピークとの関係に関する考察

2017年10月洪水における、流量ピーク時の0.0kの水位はTP.0.70mであり、洪水中最高水位のTP.1.24mよりもさらに低かった。これをふまえて、近年の4洪水を対象に、洪水時のピーク流量、流量ピーク時の0.0k水位、および0.0kの洪水痕跡水位を比較整理した結果を図-4に示す。(参考に流量ピーク時の潮位も示した。) 図-4によると、流量ピーク時の0.0k水位は、0.0kの洪水痕跡水位に比べて低く、流量との関係性も見られなかった。

(4) 出発水位の設定に関するまとめ

神通川河口部の洪水痕跡水位は、瞬間的な波浪打上げの影響を受ける場合があることから、洪水痕跡水位を流量ピーク時の河口水位と捉えると、過大である可能性が把握できた。また、再現計算に活用するため、出発位置で水位観測を行うことの重要性を確認することができた。

4. 洪水前後測量に基づく粗度係数の考察

粗度係数は不等流計算で逆算粗度から設定するが、その逆算粗度の検証材料がないことが大きな課題となっていることをふまえ、神通川における検討事例を報告する。

(1) 観測概要

神通川下流部では、水中の3次元測量を実施している。

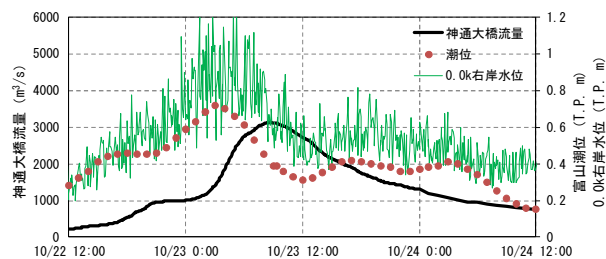


図-3 2017年10月洪水時の流量と0.0k右岸水位の関係

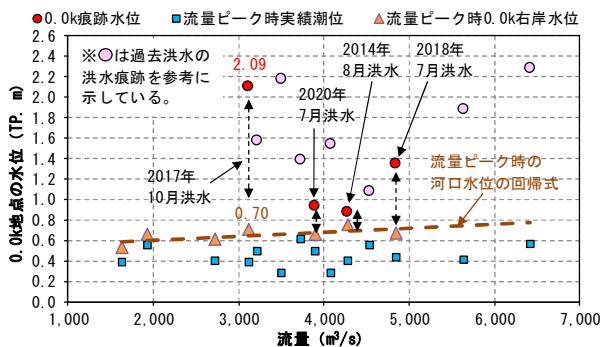


図-4 既往洪水における流量ピーク時の河口水位と河口痕跡水位の関係

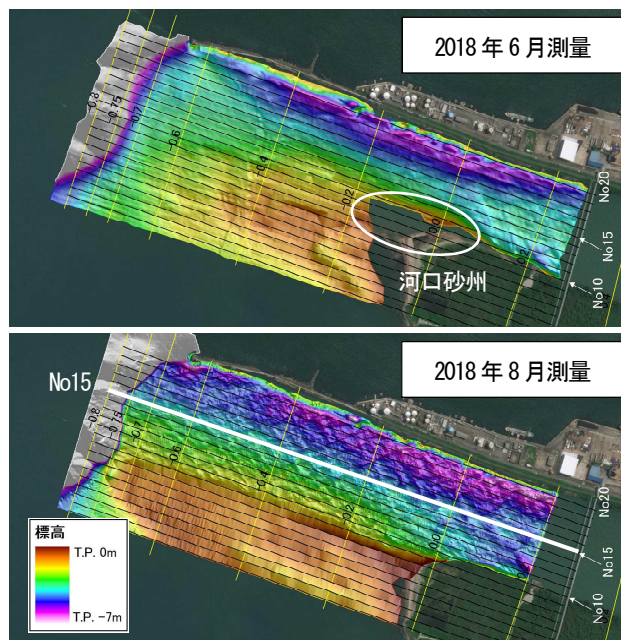


図-5 2018年7月洪水前後の水面下地形の変化

計測にはスワス式測深機(製品名 C3D-LPM)を用いている。2018年7月洪水では洪水前後に水中の3次元測量を実施した。図-5に示す洪水後の測量結果によると、低水路内に形成されたうろこ状模様を確認することができた。また、河口低水路の左岸側に形成されていた河口砂州がフラッシュされている様子も確認することができた。

(2) 洪水時の粗度係数の推定

秋田ら²⁾は水中の3次元測量を活用して、小規模河床波を把握するとともに、洪水時の粗度係数の把握に向けた報告を行っていることから、これを本検討にも適用して、2018年7月洪水時の粗度係数の推定を行った。

a) 河床波スケールの計測および河床材料調査

検討に使用する河床波スケールを計測するため、低水路内に10測線を設け、目視によって縦断波長 λ と波高 Δ を計測した。計測例を図-6に示すが、地形の凹凸が規則的に並んでいることが分かる。10測線全体の縦断波長 λ は20~70m(平均で42.5m)、波高 Δ は20~90cm(平均で49cm)となっていた。また、代表粒径は2018年7月洪水後の0.0k地点のコアサンプリング(図-7)結果より、1.37mmであった。

b) 粗度係数の推定

吉川・石川³⁾は、河床波の形状特性と水流の抵抗との関係を論理的に整理していることから、この関係式に計測した河床波スケールおよび代表粒径をあてはめ、水深 h に応じた粗度係数を推定して図化した。また、その図に準二次元不等流計算により求めた2018年7月洪水の下流部の逆算粗度の結果をプロットした。作成した図を図-8に示すが、逆算粗度は形状抵抗ありの曲線にほぼ沿った位置にプロットされた。この結果から推測すると、当該洪水では、流量ピーク時には形状抵抗なし(平坦河床)の状態に至っていなかったと判断できるとともに、そのときの粗度係数は、準二次元不等流計算で逆算した0.020程度であったと考えることができる。

従来は準二次元不等流計算で算定した逆算粗度を検証する材料が得られなかったが、測量技術の進歩によって水中の3次元測量が実用化された恩恵により、粗度係数を検証または設定するための知見が得られるようになったことは、極めて有効であると考えられる。

動観測を実施している。この事例をもとに、洪水時の時系列的な河床変化を把握することを目的として、神通川下流部の河床に河床水温計を設置した。設置例は図-9、

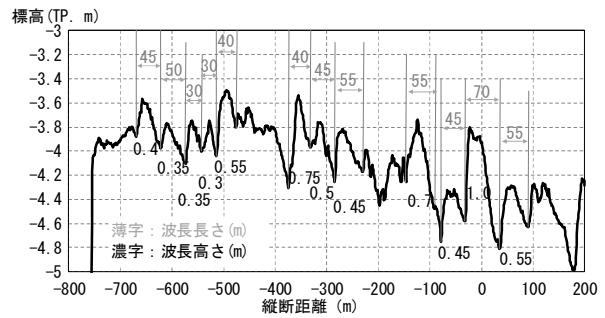


図-6 No15 測線の河床波スケールの読み取り例

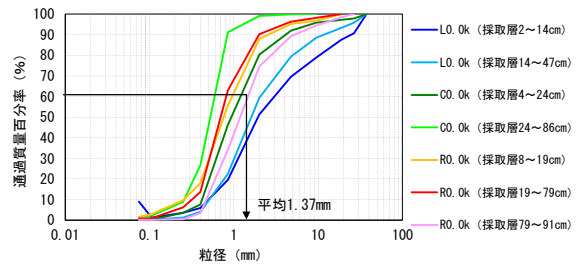
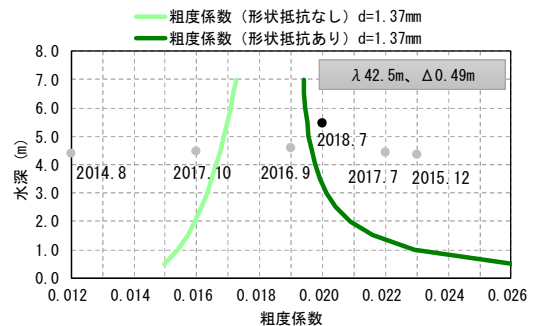


図-7 0.0kのコアサンプリング結果(2018年7月実施)



* 2018.7洪水後の砂堆波長に基づいて推定しているため、他の洪水は必ずしもこの関係に載るわけではないが、参考としてプロットしている。

図-8 砂堆波長と河床材料に基づく粗度係数の推定

5. 洪水時の河床変動観測に基づく河床低下の可能性と、洪水時の河床土砂動態に関する考察

逆算粗度係数を算定すると、著しく粗度係数が小さくなることもあり、その際、河床低下の可能性を想像する。しかし、河床低下の直接観測の事例が極めて少なく、実態も分かっていないことから、神通川における調査、検討事例を報告する。

(1) 観測概要

神通川では、洪水時の河床低下ならびに河床土砂動態を把握するため、河床水温計および河床リング計を用いた直接観測を実施している。

a) 河床水温計

横山ら⁴⁾は、筑後川において水温計を活用した河床変

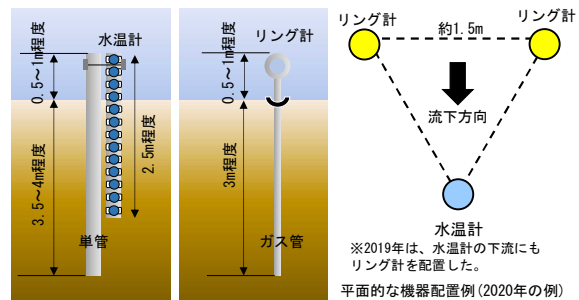


図-9 河床水温計とリング計の設置例

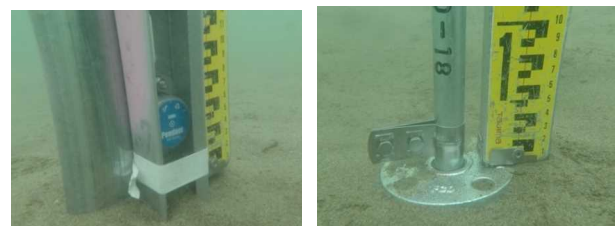


図-10 河床変動計の設置例(左:水温計 右:リング計)

図-10 に示すとおりである。水温計は Onset 社製 MX ペンダント温度 (MX2201) を使用し、ネグロス電工社製ダクターチャンネル S-DIR に 10~15cm 間隔で配置した。これを 5m の単管に抱かせて、潜水作業により河床に埋設した。このとき、河床より上の水温も把握する必要があることから、河床から最低でも 50cm 程度は露出するように設置した。

b) 河床リング計

河床リング計の設置例も図-9、図-10 に示すとおりである。河床リング計は JFE スチール社製 jfe-sgp を潜水作業により河床に埋設し、リングはシーケー金属社製 CK 鋳鉄製合フランジを使用した。なお、河床水温計を用いた観測は事例が少なく、水温から判断する河床低下量の妥当性を確認するため、水温計の上流側に河床リング計を 2 本併設した。2019 年 6 月洪水後の観測結果によると、河床リング計に流下物を多数補足していたことから、結果的に河床リング計が河床水温計に対するゴミ除け機能も発揮したと考えられる。

c) 配置計画

河床水温計と河床リング計の配置は、図-1、図-2 に示したとおりである。2019 年は、それまでの検討から、河床変動が大きいと想定される 0.0k~1.0k 区間に河床水温計を配置した。2020 年は、より広い範囲で河床低下量を捉えることを目的として、河床水温計の数量を減らし、河床リング計をメインに配置した。

d) 設置に関する関係機関との協議

設置の事前協議として、海上保安庁伏木海上保安部、富山県富山港事務所に必要な書類を提出したほか、富山県水産漁港課の助言により、とやま市漁業協同組合 (海面) 四方本所および岩瀬支所、富山漁業協同組合 (内水面) に事前説明を行った。

e) 設置作業

2019 年、2020 年で設置数量に差はあったものの、作業の慣れによる効率化もあり、設置に要した日数は表-1 に示すように、変わらなかった。

f) データ回収および撤去

データ回収や撤去に要した日数は表-2 のとおりである。2019 年は中間データ回収を 1 回実施し、機器の撤去は 11 月後半以降に実施したが、冬が近づくにつれて悪天候が続いたことで、撤去に 5 日を要した。一方、2020 年は中規模の洪水発生に伴って機器が曲がったり (図-11)、河床に埋没していたり、1m 以上低下しているリングを捜索するなど、洪水後の観測に 10 日を要した。

(2) 2019 年の観測データからの考察

2019 年の年最大流量は 6/30 に発生した 1,708m³/s であり (平均年最大流量は 2,000m³/s : 神通大橋地点)、大きな洪水のない年であった。しかし、この洪水後に中間

表-1 設置に要した日数

	水温計	リング計	設置日数
2019 年	6 箇所	3 本×6 箇所=18 本	4 日
2020 年	3 箇所	2 本×13 箇所=26 本	4 日

表-2 データ回収および機器撤去に要した日数

	中間データ回収	機器撤去
2019 年	2 日	5 日
2020 年	10 日	3 日



図-11 2020 年 7 月洪水後に引き上げた水温計の例

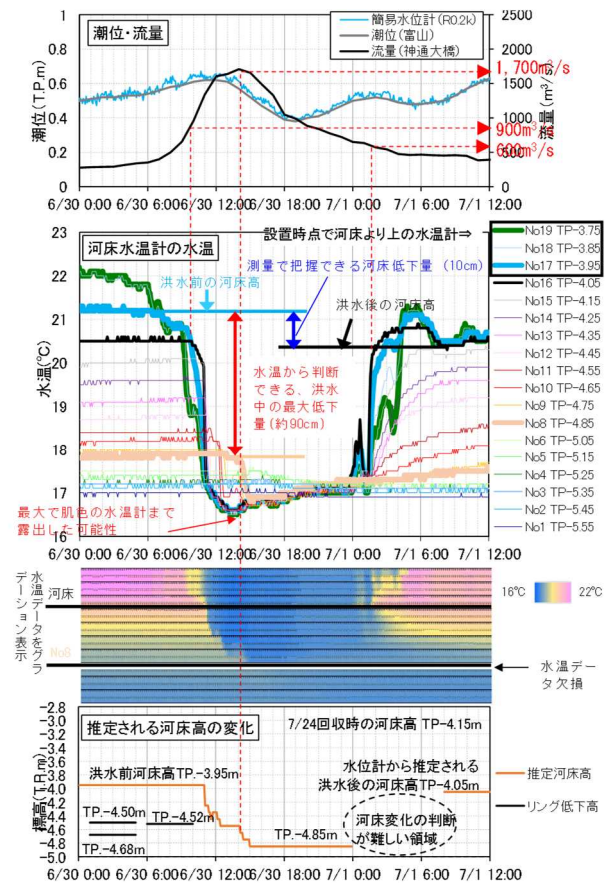


図-12 洪水中の土砂動態の分析 (2019 年 6 月洪水 0.2k 地点)

データ回収を行い、河床変動観測データの考察を行った。0.2k 地点の観測データと考察結果を図-12 に示す。

0.2k 地点の水中の水温計は No19 (洪水前河床よりも明らかに上に設置されていたもの) であったが、最初にこの水温低下が始まっている。これは塩水くさびの流出によるものと考えられ、流量が 900m³/s 程度になるまでに塩水くさびは流出したものと推測できる。その後、河床付近の水温計 No17 の水温が急激に低下し、さらに河床下

に埋まっていた No16 以下の水温も、No17 に追従して低下していることが分かる。洪水時の最大河床低下量を水温データから判読すると、最大で 90cm 程度低下したと判断できた。この妥当性を確認するため、水温計周りの 3 つのリング低下量を確認したところ、最大で約 70cm 低下していたことから、水温計による河床低下量の解釈も概ね妥当と判断している。

ここで、水温データを参考に、洪水前後測量から判断した場合の河床低下量を想定すると、洪水前河床位は No17、洪水後河床位は No16 と判断できるため、そのときの河床低下量は水温計 1 個分の河床低下で、10cm となる。これより、今回の河床水温観測は、洪水時の河床変動を捉えたばかりでなく、1,700m³/s 程度の小規模洪水であっても、大きな河床変動が生じていることを確認することができた。ただし、今回の観測方法では、平坦河床に至ったかを判断することはできないほか、特に洪水後期の水温上昇期の解釈が難しく、再堆積過程を判読することも困難であった。横山らが適用した筑後川の河床は細砂以下であったが、中砂～粗砂の多い神通川では間隙水の影響も大きく、水温による河床位の推定には限界があるものと考えられる。

これらの観測結果をもとに、現時点で想定した洪水時の河床土砂動態を模式的に示したものが図-13、図-14 である。図-5 で示した 2018 年 7 月洪水前後の河床変化もふまえると、洪水時は塩水くさびの流出後に河床変動が始まり、小規模河床波が形成されると考えられる。洪水後期は塩水くさびの侵入に合わせて河床変動が停止していることが推測されるが、詳細は分かっていない。

なお、水温計やリング計に伴う河床低下は、河床変動が生じたことを表しているものの、この低下量を「小規模河床波の波長高さ」と捉えるか、「河床低下」と捉えるかを現時点で明言することはできず、今後解明すべき実態の一つとなっている。

(3) 2020 年の観測データからの考察

2020 年は 7/8 に 3,892m³/s (暫定値) の中規模洪水が発生したことから、これをもとに河床変動観測データの考察を行った。この年は水温計が図-11 で示したように折れてしまったことから、考察にあたってはリング計の低下量を用いて考察を行った。なお、この考察は「リング低下量」＝「河床低下量」と仮定した場合の考察である。

図-15 は 0.4k 地点に設置したリング計の低下状況である。右岸側の 2 本のリング計は洪水後河床高よりそれぞれ 41cm、55cm 低下していた。左岸側の 2 本のリングのうち 1 本は流出したが、もう 1 本は洪水後河床高より 139cm 低下していた。このように各観測地点で洪水後河床高からのリング低下量を整理し、GIS にプロットして平面的に補間することで、平面的なリング低下量を求め

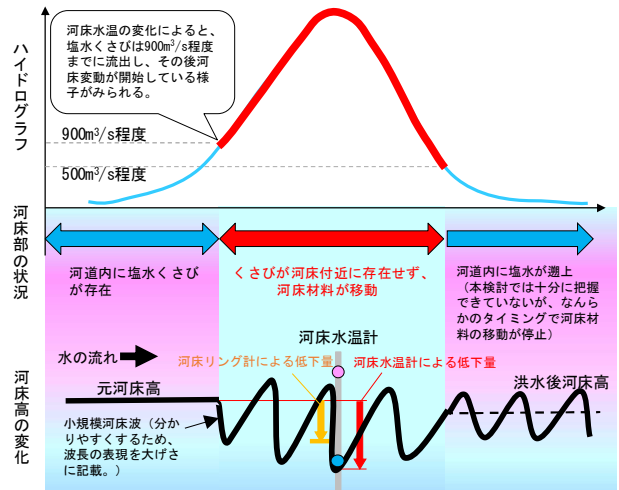


図-13 洪水時の河床土砂動態の時間変化イメージ

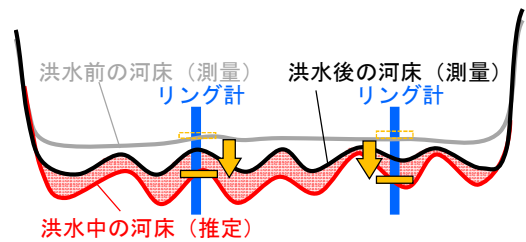


図-14 洪水時の河床土砂動態の推定 (横断イメージ)

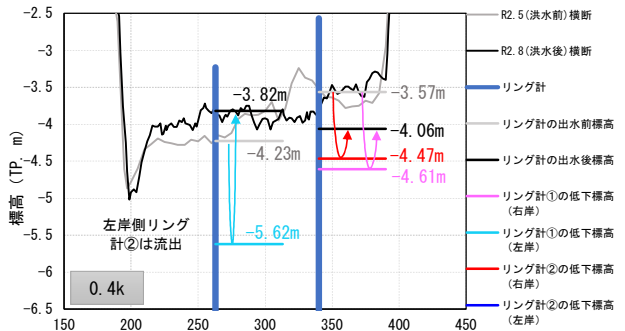


図-15 2020 年 7 月洪水後のリング計の計測結果(0.4k 地点)

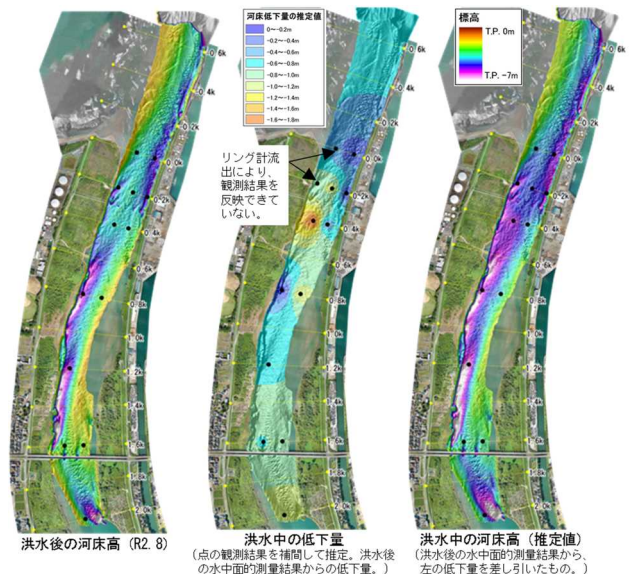


図-16 リング低下量の面的な展開と、洪水時の河床高の推定

た。この低下量を洪水後の3次元測量から差し引き、洪水中の河床高を推定した結果を図-16、図-17に示す。

次に、推定した河床低下断面の妥当性を確認するため、0.0k 右岸の簡易水位計の時刻水位および時系列の流速観測結果（STIV 法により検査線ごとに表面流速を求め、横断平均した流速）を活用して、0.0k の流量検証を行った。図-18 は 0.0k の洪水後測量断面と、本検討で推定した河床低下断面を用いた場合の流量の違いを比較したものである。図-18 によると、推定した河床低下断面を用いた流量は、神通大橋地点のハイドログラフと酷似していることが分かる。

この結果より、今回推定した河床低下断面は流量収支の側面から妥当性を確認できたことから、リング低下量を河床低下量として表現することの可能性を見出すことができた。

6. 結論

本調査は、神通川河口部を対象に、洪水時水位の再現精度向上にむけた取り組みとして、出発水位、粗度係数、河床低下の3点に着目して調査、検討を行い、以下の成果を得ることができた。

- (1) 出発水位の設定：河口の水位は波浪の影響を大きく受けることがある。このため、出発水位に“洪水期間中の河口部最高水位（洪水痕跡調査を含む）”を設定するのではなく、流量ピーク時の河口水位を把握することで、適切な出発水位を設定できる。
- (2) 粗度係数の推定：洪水後に水中の3次元測量を実施することで小規模河床波を把握できる場合がある。また、その小規模河床波のスケールと代表粒径をもとに粗度係数を推定することができ、不等流計算から求めた逆算粗度係数の検証材料に活用できる。
- (3) 洪水中の河床低下と河床土砂動態：今回の調査により、未解明であった洪水中の河床土砂動態の一部を推定することができた。また、そのときの河床変動規模は、洪水前後の測量比較から判断できる河床低下量よりも相当大きいと考えられた。さらに本検討では、「リング低下量」＝「河床低下量」と仮定して、洪水中の河床低下断面を推定したうえで0.0k地点の流量を検証したところ、河床低下断面の妥当性を確認することができた。

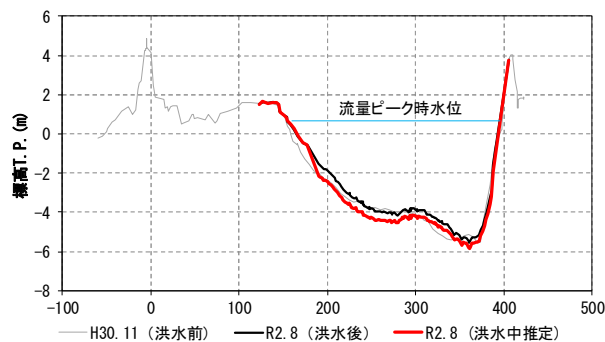


図-17 リング低下量を活用した洪水中の河床高の推定(0.0k)

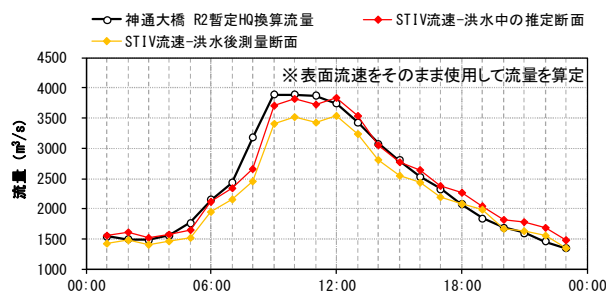


図-18 0.0k 地点の河床低下断面（推定）の妥当性確認

7. おわりに

本検討は、洪水の再現計算において適切な条件設定を行うため、これまで十分な調査・検討が行われてこなかった、洪水中の河床土砂動態の解明にむけた検討状況を報告した。検討にあたっては、現地観測と検証を行いながら、より理解を深められるように、洪水中の河床土砂動態を模式化して整理した。この結果、河床低下と小規模河床波の関係が曖昧であることなど、さらに解明すべき点も明らかになってきている。このため、今後も調査・検討を継続して現象解明を進めることで、適切な不等流計算の条件設定に結び付くものと考えている。

謝辞：河床変動調査結果の解釈や、洪水中の河床変動の考察にあたり、東京都立大学の横山勝英教授には、大変丁寧にご指導いただいた。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター：河道計画検討の手引き、2002
- 2) 秋田麗子・西口亮太・野間口芳希：水中の河床地形の面的計測とその活用方策について、河川技術論文集、第23巻、2017。
- 3) 吉川秀夫・石川忠晴：砂漣・砂堆上の流れの抵抗について、土木学会論文報告集、第281号、1979。
- 4) 横山勝英・山本浩一・金子祐：筑後川感潮河道における洪水時の底質浸食過程と有明海への土砂輸送現象、土木学会論文集、Vol.64 No.1, pp.71-82, 2008

静岡国道管内における ヒヤリハットに着目した事故危険区間の検討

國島 範行¹・中野 はつ子²・加々谷 治¹

¹中部地方整備局 静岡国道事務所 管理第二課（〒420-0054 静岡県静岡市葵区南安倍2丁目8番1号）

²中部地方整備局 静岡国道事務所（〒420-0054 静岡県静岡市葵区南安倍2丁目8番1号）

静岡県においては、事故が多発する区間及び利用者が危険に感じており事故の発生を未然に防ぐ必要があるヒヤリハットを「事故危険区間」として選定し、交通安全対策を実施する「静岡県事故ゼロプラン」に取り組んできた。この取組は2010年に発足し、これまで主に事故データに基づき事故が発生している危険な区間を抽出し対策を実施してきた。本論文においては、本取組発足から10年が経過したことを受け、これまでに実施した、ヒヤリハットとして妥当な区間を選定するための手法の見直しと、県内の道路ネットワークと交通環境の変化を踏まえた意見抽出について報告する。

キーワード 事故ゼロプラン, 事故危険区間, ヒヤリハット, 地域意見

1. はじめに

国土交通省及び静岡県警察は、県民と一体となって重点的に交通事故を減少させるための取り組みとして「静岡県事故ゼロプラン～事故危険区間重点解消作戦」（以下「事故ゼロプラン」という。）を2010年に発足させた。

この事故ゼロプランは、直轄国道を対象に、事故が発生している危険な箇所や事故の発生を未然に防ぐ箇所を「事故危険区間」として選定し、対策を検討・実施するものである。（図1）

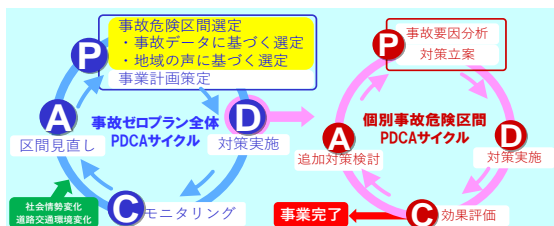


図-1 静岡県事故ゼロプランの取り組み

しかし、静岡県の交通事故の発生件数は、2020年に20,667件（全国5位）達しており、依然、「事故危険区間」を追加選定し、対策することが必要な状況である。（図1）

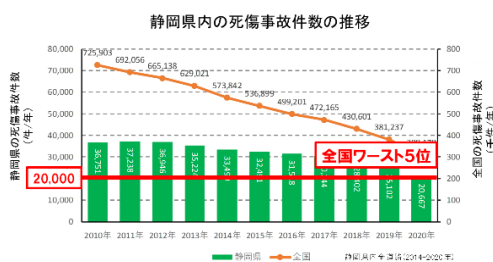


図-2 静岡県内の死傷事故件数の推移

2. 事故危険区間の追加選定における課題

「事故危険区間」の選定にあたり、事故が発生している危険な箇所は「事故ゼロプラン」発足時より、最新の事故データを使用し、定量的な基準を用いてきた。

一方で、事故の発生を未然に防ぐ箇所は、「潜在的な危険箇所（ヒヤリハット）」であり、これまでに発生した事故のデータでは十分に把握しきれないことから、地域の声を踏まえることとし、「事故ゼロプラン」発足時には県内自治体へのヒアリング、トラック・バス・タクシー協会への調査票を用いた調査及び道路利用者へのWEBアンケート調査を実施し、選定を行った。以降は、主に地元要望があった場合に個別に追加選定を判断してきたが、閾値などの評価項目がなく、その妥当性を判断するプロセスが欠けていることが課題となっていた。（図3）

	事故データに基づく選定	地域の声に基づく選定
2010年(発足時)	2005年～2008年 事故データから選定	大規模な道路利用者 意見聴取を行い選定
2011年以降～	最新の事故データから選定	地元要望に基づき選定
選定手法	○定量的な選定基準が存在する ○最新の事故データを用いて 事故が多発する区間を把握	×追加区間の適切さを判断する 基準が無い ×最新の交通状況に沿う課題を 把握できない

図-3 事故危険区間の選定手法

また、「事故ゼロプラン」発足から年数が経過し、新東名高速の供用や静岡バイパスの全区間4車線供用などにより道路ネットワークが変化し県内の交通状況も大きく変化する中で、最新の交通状況に基づく、地域の声が集約されていないことも課題となっていた。（図3, 4）



図-4 静岡県内の道路ネットワークの変化

3. 地域の声に基づくヒヤリハット区間の選定手法の検討

以上の状況を踏まえ、地域の声に基づき、「事故危険区間」として「ヒヤリハット」を選定する手法の改善を図るため、抽出された箇所を選定することの妥当性を確認する採択基準の設定と意見聴取の対象とする道路利用者の見直しを行った。

(1) 「地域の声に基づく選定」の採択基準の設定

地域の声に基づき「ヒヤリハット」を選定するに際して、その妥当性を判断するプロセスを構築するため、2016年度に「交通事故発生状況」、「潜在的な危険性」、「道路構造面での対策必要性」の3つの視点から「事故危険区間」の採択基準を設定することとした。

「ヒヤリハット」は「潜在的な危険箇所」であり、これまで発生した事故のデータでは十分には把握しきれないが、過去の当該箇所での交通事故発生状況を確認し、A) 事故の危険性が平均以上である、B) 重大事故が過去に起きている、あるいはC) 近年事故が急増している場合、将来的な事故発生の危険性が高いと判断される。

同様に、ETC2.0プローブデータを確認し、前後加速度発生率、左右加速度発生率、ヨー角速度発生率のいずれかの発生率が高い場合や当該区間が道路構造面で基準に合致しておらず、道路構造面での対策が必要な場合も将来的な事故発生の危険性が高いと判断される。(図5)

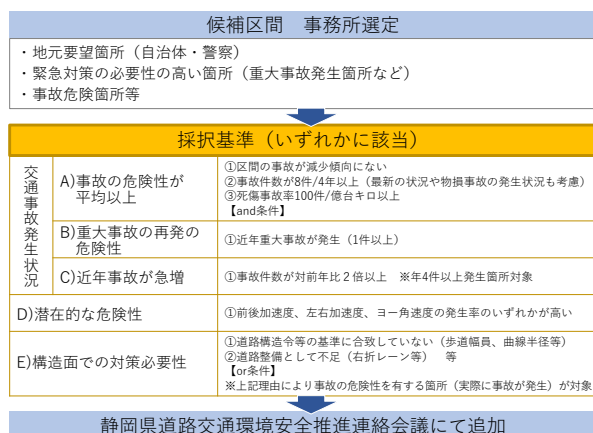


図-5 地域の声に基づく選定の採択基準

地域の声から抽出された箇所については、以上の視点から設定した選定基準への適合を確認し、該当する場合に限って「事故危険区間」への選定を妥当と判断することとした。

(2) 意見聴取の対象とする道路利用者の見直し

意見を聴取する地域の声については、2019～20年度に「事故ゼロプラン」発足時の考え方へ立ち返る見直しを実施した。

具体的には、直轄国道の沿線自治体へのヒアリング、トラック・バス・タクシー協会への調査票を用いた調査及び道路利用者へのWEBアンケートとした。発足時に行ったWEBアンケートはリサーチサイトの登録者のみを対象としたものであったが、見直しにあたり、全ての道路利用者が回答できるよう、静岡国道事務所HPから案内を設けたオープン調査も実施するなどの工夫をし、約750件に及ぶ意見を抽出した。(表1)

表-1 静岡県内 道路利用者意見聴取結果

		静岡県内道路利用者意見聴取			
		意見聴取手法	意見聴取結果		
道路利用者意見聴取対象者	地域住民	地域住民の代表として沿線自治体へのヒアリング調査	4自治体	約40意見	
	道路利用者	トラック協会代表企業	ヒアリング調査	4社	約20意見
		バス協会代表企業	ヒアリング調査	3社	約30意見
		タクシー協会代表企業	ヒアリング調査	4社	約40意見
		パブリックコメント(Webアンケート)	道路利用者へのWebアンケート調査(モニター調査)	約400名	約600意見
道路利用者へのWebアンケート調査(オープン調査)	45名		45意見		
聴取意見数			約750件		

(3) 潜在的な危険性を有する箇所の検証事例

ここで、抽出した箇所を「事故危険区間」として選定するにあたり、選定基準への適合をETC2.0プローブデータを用いた急挙動の発生状況により確認した事例を紹介する。

国道1号の静岡市駿河区丸子地区は、国道1号静岡BPと国道1号現道が合流する丸子ICに近接し、交通量は1日あたり約63,000台で大型車混入率も約2割と高いほか、下り線においては、車線数が片側3車線から2車線に車線減少する区間である。

また、2018年12月に国道1号静岡BPが4車線化されたことで、バイパスの走行速度が上がり、国道1号現道が合流する丸子IC付近において、車両の速度差が生じていた。これにより、当該地区においては、走行車両の車線減少区間での無理な割り込みや合流のほか、大型車の車線変更による事故の危険性を危惧する地域意見が寄せられていた。(図6) (図7)

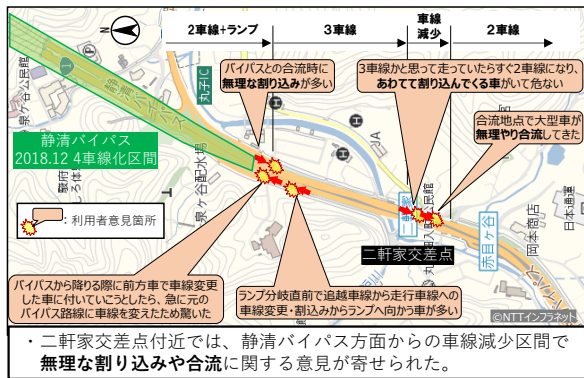


図-6 国道1号二軒家交差点での利用者意見



図-7 丸子地区における現地の交通状況

これら意見の示唆するところを確認すべく、ETC2.0プローブデータを用いて急挙動の発生状況を分析したところ、車線減少区間手前での車両の急減速が集中しており、道路利用者が感じている課題と一致した。また、現在、事業を進めている国道1号静清BPの延伸や国道1号藤枝BPの4車線化など前後区間の改築が進むことにより、今後さらなる交通量の増加が予想される。

上記を踏まえ、当該区間は「事故危険区間」としての選定を妥当とすることとした。(図8)

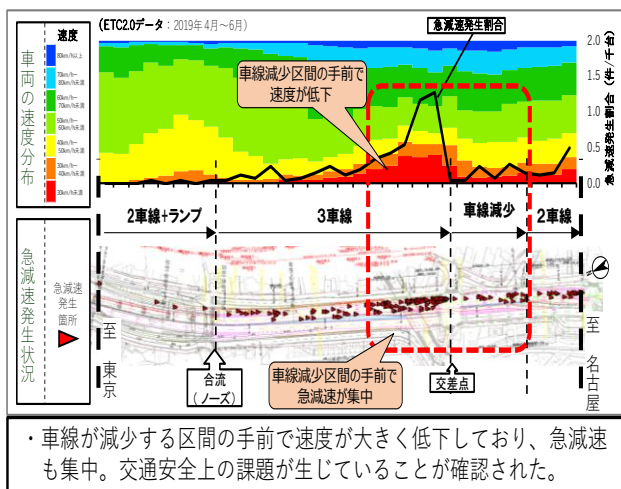


図-8 ETC2.0プローブデータを用いた利用者意見の検証

(4) 選定結果および交通安全対策事業への展開

以上の選定手法の見直しに向けた検討結果を踏まえ、2020年度に新たに17区間を「事故危険区間」として選定した。

選定手順としては、道路利用者からの約750件の意見数に対して、意見に基づく区間を抽出(334区間)し、既存の事故危険区間から離れた区間を抽出(204区間)した。この区間に対して、前述の2016年度に設定した「交通事故発生状況」、「潜在的な危険性」、「道路構造面での対策必要性」の3つの採択基準に照らし合わせ、事故危険区間候補を抽出(33区間)し、道路利用者のマナーに関する意見のみであった区間等を除き、新規事故危険区間(17区間)を選定した。(図9)

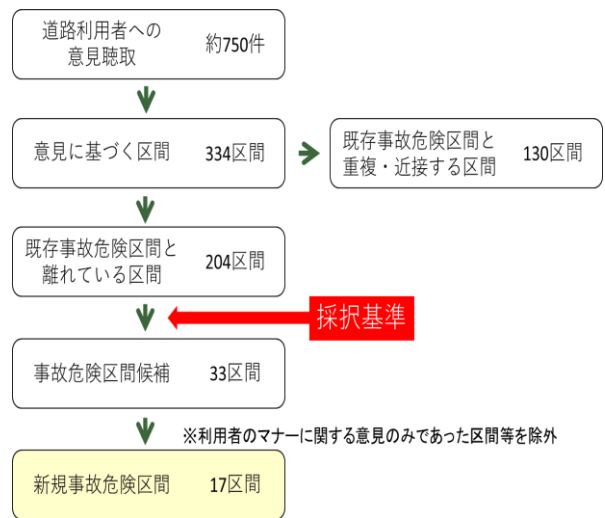


図-9 新規事故危険区間の選定手順

この内、前述した国道1号の丸子地区は、2021年度に交通安全施設等整備事業により、赤目ヶ谷交差点付近での急な車線変更を抑制するため、左折レーンの設置およびバス停の拡幅を実施する「丸子地区交差点改良事業」として事業化された。

4. 今後の課題

(1) 採択基準の見直し

地域の声に基づき「事故危険区間」を選定するにあたっては、2016年度に選定の妥当性を確保するために明確な採択基準を設けることとした。

一方で、その採択基準は、2016年度時点における交通環境等を基に設定したものであり、それ以降の道路ネットワークの変化や、それに伴う交通事故の発生状況は反映されていない。

静岡県内においては、それ以降に静清バイパスの全線4車線化など道路ネットワークの整備が進捗し、概成しつつあることから、それに伴う交通環境の変化を継続モニタリングのうえ、評価項目の閾値の見直しや新たな項目の追加に向けた検討が必要である。(図10)

2016年時点の交通環境等を基に設定

採択の視点	指標
交通事故発生状況	事故の危険性が平均以上 ①事故が減少傾向にない ②事故件数が8件/4年以上 ③死傷事故率100件/億台キロ以上 (①～③全てに該当)
	重大事故の再発の危険性 ①近年重大事故が発生(1件以上) 近年事故が急増 ①事故件数が対前年比2倍以上
潜在的な危険性(ヒヤリハット)	①前後加速度発生率が基準値(0.3G)以上 ②左右加速度発生率が基準値(0.3G)以上 ③ヨー角速度発生率が基準値(8.5deg/s)以上 (①～③のいずれかに該当)
構造面での対策必要性	①道路構造令等の基準に合致していない(歩道幅員、曲線半径等) ②道路整備として不足(右折レーン)等 (①、②のいずれかに該当)

モニタリング

2017年以降の交通環境等の変化

評価項目の閾値の見直しや新たな項目の追加に向けた検討

図-10 評価項目の見直しや新たな項目の追加に向けた検討

(2) 道路利用者への意見聴取のタイミング

今回の意見聴取は「事故ゼロプラン」発足から概ね10年経過という節目を意識し2019～20年度に実施した。この10年で県内の道路ネットワークや交通状況が変化しており、今回、道路利用者が選択するルートの移り変わりも反映された意見を聴取することができ、意見をもとに地域の声に基づく「事故危険区間」を選定した。選定された「事故危険区間」は、主に交通安全事業での対策実施を見込むこととなる。

この交通安全事業は、概ね5カ年の投資計画である社会資本整備重点計画に基づき実施することとなる。具体には、第4次計画が2015～20年、第5次計画が2021～25が計画期間となっており、この期間内に「事故危険箇所」として位置付けられた箇所を対象に交通安全事業を実施するというものである。

選定後の「事故危険区間」(毎年更新)における確実な対策実施を図るため、「事故危険箇所」及び社会資本整備重点計画(計画期間:5年)との連動を図ることを念頭に、意見聴取の実施のタイミングを設定することについて検討が必要である。

大規模な道路ネットワークの変化は頻繁に生じるものではないため、毎年行われる「事故危険区間」の選定の度に意見徴収を実施する必要はないと考えている。そのタイミングは、概ね5カ年ごとに策定される社会資本整備重点計画に先立って、意見徴収を実施することを提案する。そうすることで、地域の声に基づく選定も含めた「事故危険区間」と「事故危険箇所」を確実に連動させ、社会資本整備重点計画に反映させることが可能となる。

次期計画が策定される2年前、次回は2024～25年度に向けて、周辺の道路ネットワークの整備状況を見ながら、意見徴収の必要性の確認や準備を進めることが必要である。(図11)

	事故ゼロプラン		社会資本整備重点計画
	事故危険区間		
	事故データに基づく選定	地域の声に基づく選定	事故危険箇所
2010年	2005年～2008年事故データから選定	静岡県内意見聴取	
2011年～2015年	最新の事故データから選定	地域要望	第4次社会資本整備重点計画(2015年～2020年) 事故危険箇所
2016年	〃	地域要望 + 事故危険箇所 採択基準の導入	↑ 反映
2017年	〃	地域要望	
2018年	〃	地域要望	
2019年	〃	地域要望 (意見聴取(2019年～2020年))	
2020年	〃	地域要望 + 意見聴取結果 + 事故危険箇所	↑ 連動 → 次期 事故危険箇所 抽出
2021年	〃	地域要望	↑ 反映
2022年	〃	地域要望	第5次社会資本整備重点計画(2021年～2025年)
2023年	〃	地域要望	
2024年	〃	地域要望 (意見聴取(2024年)) 採択基準 見直しの必要性判断	
2025年	〃	地域要望 + 意見聴取結果 + 事故危険箇所 必要に応じ採択基準の見直し	↑ 連動 → 次期 事故危険箇所 抽出
2026年	〃	地域要望	↑ 反映
2027年	〃	地域要望	第6次社会資本整備重点計画(2026年～2030年)
2028年	〃	地域要望	
2029年	〃	地域要望 (意見聴取(2029年)) 採択基準 見直しの必要性判断	
2030年	〃	地域要望 + 意見聴取結果 + 事故危険箇所 必要に応じ採択基準の見直し	↑ 連動 → 次期 事故危険箇所 抽出
			↑ 第7次へ反映

図-11 「地域の声に基づく選定」の経緯と今後の展開案

5. 最後に

静岡県事故ゼロプランでは、地域の声に基づき「ヒヤリハット」を「事故危険区間」として選定するにあたり、明確な判断基準を設けることで、優先的な対策を必要とする区間を選定し確実な効果発現を図る仕組みを構築してきた。

今後、道路ネットワークの整備の進捗を受けた交通環境を踏まえるものとして運用を見直していくとともに、道路利用者からの意見聴取の時期を「事故危険箇所」の見直しとあわせて行うことで、社会資本整備重点計画と連動させ、効果的な事業実施に反映することができると考える。

最後に、静岡県事故ゼロプランにおける地域の声に基づく「事故危険区間」の選定プロセスが、他の地域における交通安全事業を推進する際の参考となれば幸いである。

長期的な転倒事故防止のための 床のすべり性能に関する研究

福田 眞太郎

国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ（〒305-0802 茨城県つくば市立原1番地）

床のすべりは、転倒事故防止の観点から重要な性能であるが、歩行などによる摩耗の影響ですべりが変化して危険となる場合がある。そこで本報は、摩耗の影響で変化するすべり性能の予測方法を確立するため、材質の異なる複数の実在建築物床への摩耗促進試験機の適用性を検討した経過、結果を述べるものである。

キーワード 床，すべり，摩耗，耐用期間，予測方法，安全性

1. はじめに

建築物の床は、建築物使用者が常に触れ続ける部位であるため、多様な性能が要求される。中でも、床のすべりは、建築物使用者の転倒事故防止の観点から、非常に重要な性能である。床のすべりに関しては、図1に示す、小野ら^{1,4)}が開発したすべり試験機(O-Y・PSM)を用いた妥当な評価方法が確立されており、日本建築学会床性能評価指針⁵⁾やJIS A 1454「高分子系張り床材試験方法」⁶⁾にも規定されている。建築物の施主や設計者は、この評価方法によって定量化されたすべり性能(すべり抵抗係数*C.S.R*)に基づいて床の設計、選択を行っている。国土交通省が施行した「高齢者、障害者等の円滑な移動等に配慮した建築設計標準」⁷⁾でも、平成29年の改正にともない、廊下、階段、傾斜路等における*C.S.R*の推奨値(案)が示されることとなっている。

しかし、設計時に参照される床のすべり性能は、未使用状態での測定結果に基づくものであり、長期間の供用に伴うすべりの変化は考慮されていないことが多い。例

えば、すべりにくい床の多くは表面が粗面であるが、粗面は、建築物使用者の歩行によって粗さが低下しやすいため、比較的短期間ですべりが変化してしまい危険となる場合がある。さらには、同一の建築物内であっても、床材施工箇所によって通行頻度や歩行者の動作、また床表面の汚れ状況などによって摩耗負荷が異なるため、視覚的には同一の床材であってもすべりにくい床とすべりやすい床が混在し、予期せぬ転倒を招く危険性がある。転倒事故防止のための床のすべり性能が長期的に確保されるためには、定期的に床材を交換、メンテナンスすることが望ましいが、前述の通り床材の種類や施工箇所によってすべりが危険となるまでの期間が異なるため、交換、メンテナンスを行う時期を定めることが難しい。その結果、実際に転倒等の事故が発生した箇所、事後対策として床材の交換、メンテナンスが行われることが多く、転倒事故を未然に防ぐための維持管理手法は十分に整備されていない現状である。

このような状況の中、工藤ら^{8,9)}は、歩行による床の摩耗が着地時に靴底踵部と床がこすれる現象(以降“こすり現象”と記す)に起因していることを明らかにした



図1 すべり試験機(O-Y・PSM)^{1,4)}

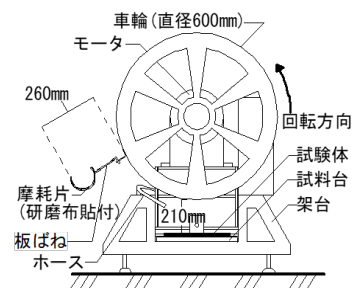


図2 摩耗促進試験機の概要^{8,9)}

うえて、図2に示す、歩行による床の摩耗を再現可能な“摩耗促進試験機”を開発している。本試験機は、車輪が回転することで研磨布が試料床表面をこするもので、20回/分×30分間=600回の摩耗負荷を与えることで、こすり現象を模擬した模擬歩行4万歩によるすべりの変化を再現できることが実験室実験によって明らかにされている。また、本試験機の実在建築物床への適用性については検討されていなかったため、筆者ら¹⁰⁾は、防滑加工が施された3種の実在建築物床を対象に検討を行っている。その結果、建築物利用者の動作によって摩耗負荷が異なることを明らかにしている。具体的には、一定の速度で歩き抜ける箇所（以降“通過箇所”と記す）と比較して、店舗のレジ前など、一度停止してその場に留まった後に方向を変えて再び歩きはじめる箇所（以降“停留・転回箇所”）では摩耗負荷が著しく大きく、利用者1万人相当の摩耗負荷を摩耗促進試験機の回転数に換算すると通過箇所は4~63回、停留・転回箇所では304~359回であることを明らかにした。

本報は、以上の成果を踏まえ、これまで未検討だった材質の実在建築物床を対象に、実在建築物床におけるすべりの変化と摩耗促進試験機によるすべりの変化を比較することにより、摩耗促進試験機の実在建築物床への適用性を検討した経過、結果を述べるものである。

2. 対象床材の概要

既往の実在建築物床での検証¹⁰⁾では、塩化ビニル樹脂製のフロアサインシート（ショアD硬度65）、およびシリコン樹脂製の凸（ショアD硬度90）もしくは防滑塗料（ショアD硬度90）が後施工された施釉セラミックタイルもしくは本磨き石材を対象としている。本報では、駅に施工されたショアD硬度60~65のゴム系タイルを対象とした。

3. 実在建築物床における表面粗さの測定およびすべり試験の実施

図3に、対象床材が施工された駅の平面図、および測定箇所の概要を示す。No.0 (●) は利用者の通過動線上にない測定箇所、No.1~3 (▲, ▼, ■) は改札機からエスカレータまでの動線上にある測定箇所である。各測

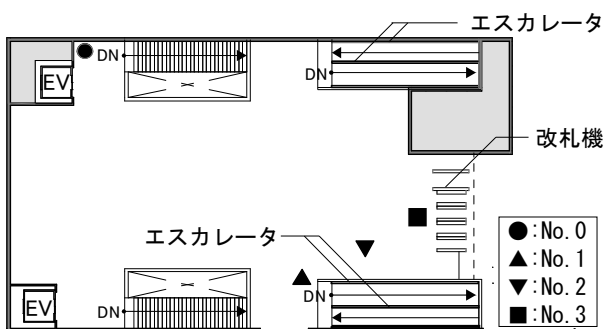


図3 対象駅の平面図と測定箇所の概要

定箇所において、すべり抵抗係数 $C.S.R'$ を測定した。ここで、すべり抵抗係数 $C.S.R'$ は、図4に示す携帯型すべり試験機¹¹⁾を用いて測定されるもので、図1に示すすべり試験機(O-Y・PSM)で測定される $C.S.R'$ とおおむね同等であることが確認されている。測定条件は、JIS A 1454に例示された以下の3条件（表面状態3種）とした。

- ・すべり片：硬さA72~80、厚さ3~6mmのゴムシート
- ・表面状態：清掃・乾燥状態（以降“清掃”と記す）
- 水散布状態（以降“水”と記す）
- 水+ダスト散布状態（以降“泥水”と記す）

測定は各箇所3回実施し、その平均を求めた。

また、すべり試験とあわせて、すべりと密接な関係があり、かつ温湿度の影響を受けない安定性が高い指標として、表面粗さを測定した。表面粗さの測定には、触針式表面粗さ計（ミットヨ製SJ-210）を用い、測定長さ4mm、触針送り速度0.5mm/s、カットオフフィルタ0.8mmの条件で二乗平均粗さ Rq を測定した。測定は各箇所9回実施し、その中央3値の平均を求めた。

表1に、 Rq と $C.S.R'$ の測定結果を示す。

4. 摩耗促進試験による表面粗さの測定およびすべり試験の実施

2. で述べたゴム系タイルの試験体を用い、図2に示す摩耗促進試験機を用いて摩耗負荷を与えながら、随時 Rq と $C.S.R'$ を測定した。具体的には、すべり試験による負荷で試験体の摩耗が促進されてしまう要因を排除するため、 Rq のみを測定しすべり試験を実施しない“試験A”と、すべり試験も実施する“試験B”の2種の試験を実施した。図5に、試験Aの結果得られた Rq と摩耗回数との関係を示す。図に示すように、 Rq は摩耗回数2000回程度で0.47 μm 程度に収束した。また、図6に、試験Bの結果

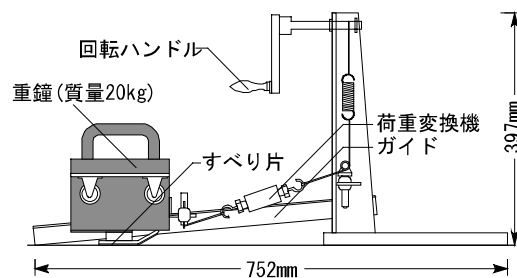


図4 携帯型すべり試験機の概要¹¹⁾

表1 Rq $C.S.R'$ の測定結果

測定箇所	Rq (μm)	$C.S.R'$		
		清掃	水	泥水
No.0	1.31	0.66	0.69	0.45
No.1	1.10	0.59	0.64	0.40
No.2	1.09	0.56	0.62	0.41
No.3	1.08	0.57	0.60	0.41

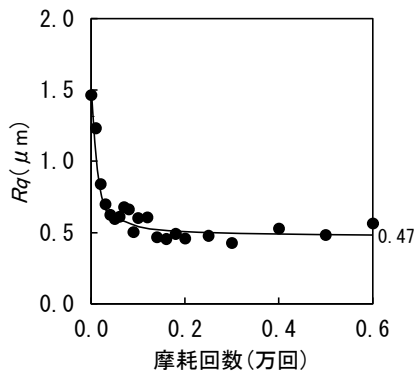


図5 Rq と摩耗回数との関係

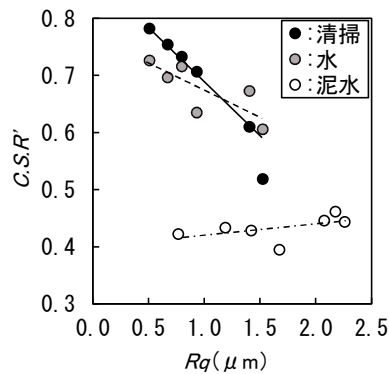


図6 $C.S.R'$ と Rq の関係

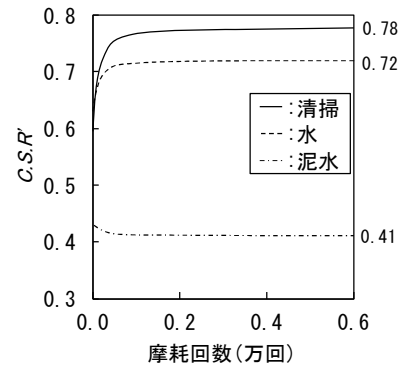


図7 $C.S.R'$ と摩耗回数との関係

得られた $C.S.R'$ と Rq の関係を示す。さらに、2つの試験結果から $C.S.R'$ と摩耗回数の関係を求め、図7に示す。

5. 摩耗促進試験結果と実在建築物床での測定結果の比較

表1に示した利用者の動線上にない測定箇所No.0の Rq を図5と照合して得られる摩耗促進試験機の摩耗回数は60回となる。この値を図7と照合すると、 $C.S.R'$ は清掃で0.64、水で0.67、泥水で0.43となり、表1に示した測定結果と近似した値となることが確認できる。

つぎに、表2に、当該床材施工日から測定実施日までの間に測定箇所No.1～3上を通過した“延べ通過人数”の推定値を示す。延べ通過人数は、当該駅の延べ乗降客数と、一定時間内のカメラ映像で把握した改札通過人数に対する当該測定箇所上通過人数の割合から算出した。ここで、1. で述べた通り、既往の実在建築物床での検証¹⁰⁾では、利用者の動作が歩き抜ける“通過箇所”の場合、1万人に相当する摩耗促進試験機の摩耗回数は4～63回であることが明らかとなっている。この値と延べ通過人数から求めた各測定箇所の相当摩耗回数を、表2に示す。また、相当摩耗回数を図5、7と照合して得られる Rq 、 $C.S.R'$ を、表2の「予測値」の欄に示す。 Rq 、 $C.S.R'$ は、いずれも収束しているとみなせる範囲の値となっている。

表2の予測値を表1の測定結果と比較すると、 Rq と清掃、水での $C.S.R'$ が大きく乖離していることがわかる。この原因として、実在建築物床ではタイル表面に無数の大きな傷が付いていたのに対し、研磨布（ナイロン製不織布、粒度94、厚さ7mm）でこすっただけの摩耗促進

試験の試験体では、このような傷が付いていなかったことが考えられる。このため、摩耗促進試験の試験体では、清掃、水でのすべり試験の際、実在建築物床では発生しない吸着現象が発生し、 $C.S.R'$ が大きくなったと考えられる。

6. 実在建築物床の表面状態の再現方法の検討

5. で述べた、実在建築物床で見られた大きな傷を再現する方法について検討した。具体的には、以下に示す①～③の3種の方法で、再現試験を実施した。

- ・方法①：摩耗促進試験機で5000回の摩耗負荷を与え Rq を収束させた後、紙やすり40番を摩耗促進試験機に取り付け、装置で床材表面に傷をつけながら随時 Rq を測定する
- ・方法②：摩耗促進試験機で5000回の摩耗負荷を与え Rq を収束させた後、すべり試験機(O-Y・PSM)を用い、泥水散布状態ですべり試験を繰り返すことにより床材表面に傷をつけながら随時 Rq を測定する
- ・方法③：摩耗促進試験機での500回の摩耗負荷とO-Y・PSMを用いた泥水散布状態ですべり試験1回を1サイクルとし、これを繰り返しながら随時 Rq を測定する

ここで、方法②、③で散布する泥水は、実在建築物床のタイル表面の大きな傷の原因と推測される少量の砂が混じった雨水を模擬し、JIS A 1454に規定された泥水を100倍に希釈したものとした。

再現試験は、 Rq が実在建築物床の Rq に近い値となる

表2 延べ通過人数と Rq 、 $C.S.R'$ の予測値

測定箇所	延べ通過人数 (万人)	1万人相当 摩耗回数 ¹⁰⁾ (回/万人)	相当摩耗 回数 (万回)	予測値			
				Rq (μm)	$C.S.R'$		
					清掃	水	泥水
No.1	2237	4～63	0.9～14.1	0.47	0.78	0.72	0.41
No.2	1625		0.7～10.2				
No.3	1135		0.5～7.1				

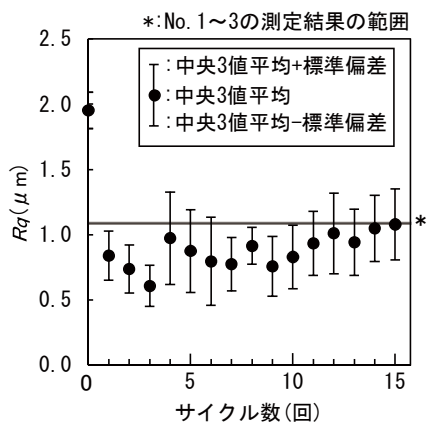


図8 再現試験による R_q の推移の例 (方法③)

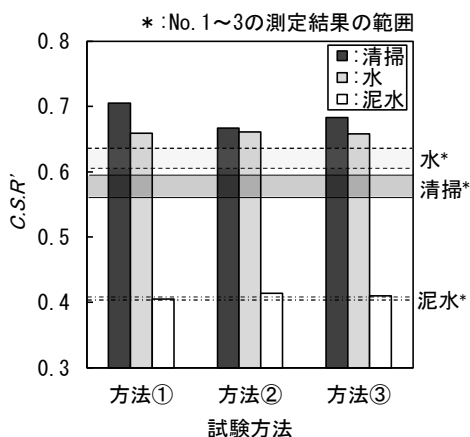


図9 再現試験の試験体と実在建築物床の $C.S.R'$ の比較

まで実施した。図8に、例として、方法③での R_q の推移を示す。試験の結果、方法①では65回で $R_q=1.09\mu\text{m}$ 、方法②では10回で $R_q=1.08\mu\text{m}$ 、方法③では15サイクルで $R_q=1.08\mu\text{m}$ となったため、試験を終了した。試験終了後に、各試験体で清掃、水、泥水での $C.S.R'$ を測定した。図9に、結果を実在建築物床での測定結果と比較して示す。いずれの方法でも、清掃、水での $C.S.R'$ を実在建築物床に近づけることはできたが、同等の値までは低下しなかった。

7. おわりに

ゴム系タイルを対象に、摩耗促進試験機の実在建築物床への適用性を検討した結果、摩耗促進試験機では実在建築物床で付いている大きな傷が付かないため、清掃、水では吸着現象が発生し、すべり抵抗係数が大きくなること明らかとなった。また、摩耗促進試験機で摩耗負荷を与えた試験体に別途大きな傷を付けることにより、

すべり抵抗係数は低下することが明らかとなったが、実在建築物床と同等の値までには至らなかった。

今後も検討を継続して行い、大きな傷が生じるメカニズムを把握するとともに、異なる材質の床にも一律に適用可能なすべりの変化の予測方法の確立することで、長期的に転倒事故を防止可能な床の設計のための知見を提示する。

謝辞

床材を御提供頂くとともに実在建築物床での検討に御協力いただいた関係各位に、謝意を表します。

参考文献

- 1)小野英哲, 宮本宗和, 河田秋澄, 吉岡 丹: 床のすべりおよびその評価方法に関する研究, その1 研究方法およびすべり感覚の尺度化, 日本建築学会論文報告集, 第 321 号, pp.1-8, 1982.11
- 2)小野英哲: 床のすべりおよびその評価方法に関する研究, その2 すべり試験機設計・試作のための基礎的資料の集積およびすべり試験機の基本構想, 日本建築学会論文報告集, 第 333 号, pp.1-7, 1983.11
- 3)小野英哲, 河田秋澄, 宮本宗和, 川村清志, 小西敏正, 三上貴正, 橋田 浩, 吉岡 丹: 床のすべりおよびその評価方法に関する研究, その3 すべり試験機の設計・試作, 日本建築学会論文報告集, 第 346 号, pp.1-8, 1984.12
- 4)小野英哲, 須藤 拓, 武田 清: 床のすべりおよびその評価方法に関する研究, その4 床のすべりおよびその評価方法に関する研究, 日本建築学会論文報告集, 第 356 号, pp.1-8, 1985.10
- 5)日本建築学会: 床性能評価指針, 2015.11
- 6)日本規格協会: JIS A 1454: 2016 高分子張り床材試験方法, 2016改訂
- 7)国土交通省: 高齢者、障害者等の円滑な移動等に配慮した建築設計標準, 2017改正
- 8)工藤瑠美, 小野英哲: 摩耗による床のすべり抵抗の変化の即時推定方法に関する研究, その1 歩行負荷を代表とする摩耗による床のすべり抵抗の変化の把握方法に関する予備的検討 日本建築学会構造系論文集, 第 618 号, pp.7-13, 2007.8
- 9)工藤瑠美, 小野英哲: 摩耗による床のすべり抵抗の変化の即時推定方法に関する研究, その2 歩行負荷を代表とする摩耗によるすべり抵抗の変化を再現するための床の摩耗試験機の設計・試作 日本建築学会構造系論文集, 第 631 号, pp.1473-1487, 2008.9
- 10)福田眞太郎, 工藤瑠美, 藤井佑太郎, 横山 裕: 摩耗促進試験機の実在建築物床への適用性の検討, 摩耗による床のすべり抵抗の変化の即時推定方法に関する研究 その3, 日本建築学会構造系論文集, 第 779 号, pp.11-20, 2020.1
- 11)小野英哲: 携帯型床のすべり試験機 (ONO-PPSM) の開発, 日本建築学会構造系論文集, 第 585 号, pp.51-56, 2004.11

令和2年7月豪雨における 道路交通マネジメント検証

山内 聡士¹・佐伯 康夫¹・柿木 文彦¹

¹九州地方整備局 道路部 道路計画第二課 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2-10-7)

本稿では、令和2年7月豪雨災害を事例として、災害時において迅速かつ確実な移動が可能となるよう効果的な災害時交通マネジメントの確立に向けた具体方策を検討した。

令和2年7月豪雨災害では、発災後の交通状況を分析し課題箇所を抽出した上で、通れるマップ公表による迂回路明示や九州自動車道無料化代替路措置等を実施した。対策が実施された人吉市を対象として、被災前・被災直後・高速道路無料化措置後・追加対策後における交通状況の分析及び比較検討を行った結果、対策の有効性が確認された。また、対策内容をフェーズごとに体系的に整理し、災害時交通マネジメントの進め方としてとりまとめた。

キーワード 豪雨災害、交通マネジメント、ETC2.0、ビッグデータ

1. はじめに

我が国では近年、激甚化・頻発化する豪雨により全国各地で甚大な被害が生じている。特に九州では平成29年九州北部豪雨、平成30年西日本豪雨など、豪雨災害により多大な交通影響が確認されている。

その様な状況の中、今後の災害時における交通影響の抑制を念頭に、令和2年7月豪雨災害を事例として、災害時に迅速かつ確実な移動が可能となるよう、効果的な災害時交通マネジメントの確立に向け、ETC2.0等の交通ビッグデータを活用し、発災前、直後、以降における情報収集・提供の高度化に関する具体方策を検討した。

2. 令和2年7月豪雨による被災状況

(1) 豪雨状況

7月3日夜から梅雨前線が九州付近に停滞し、7月3日～4日は熊本県と鹿児島県で、6日～8日には九州北部の広い範囲で記録的大雨を記録した。熊本県では、7月4日未明から朝にかけて、梅雨前線の活発な活動により九州南部に強い雨域がかかり、熊本県南部を中心に局地的に猛烈な雨が降り、1日に160mm、最大1時間45mmの雨量を観測した。特に人吉市を含む球磨川流域は、昭和40年7月洪水、昭和57年7月洪水を上回る雨量を観測し、観測史上最多を記録する事態となった。

(2) 被災箇所及び通行不能区間

今回の豪雨により、球磨川水系で氾濫等の浸水被害が

発生し、とりわけ国道219号の球磨川沿線では、西瀬橋など全10橋が流失した(図-1)。また、同路線において路体流出や土砂流出、軌道損壊等多発し、交通ネットワークに甚大な被害を及ぼし、国道3号や国道219号及び九州自動車道においては、全面通行止め区間が多数発生した(図-2)。



図-1 西瀬橋一部流失の状況



図-2 被災箇所と通行不能区間

3. 令和2年7月豪雨による交通状況分析

(1) 分析手法

災害発生時における交通状況を把握するため、ETC2.0プローブデータを活用し、被災直後～数日における交通状況分析を実施した。

(2) 旅行速度分析

a) 災害直後（7月4日）

災害直後（7月4日）に国道3号、国道219号、九州自動車道、南九州西回り自動車道で通行止めが発生した（図-3）。この影響により人吉市内、八代市内中心部において速度低下が発生し、また九州自動車道のIC周辺の道路においても速度低下が見られる。

b) 九州自動車道一時開通後（7月5日）

7月5日に九州自動車道が一時開通し、南北方向の移動路線として高速道路が機能し始めると、九州自動車道を利用して、被災地に向かう車両が増えたことで、人吉IC付近で速度低下が発生した。特に、人吉IC出口付近では高速道路利用者による著しい速度低下が見られた（図-4）。一方、八代IC付近は目立った混雑は見られず、九州自動車道一時開通の影響は小さいと考えられる。

c) 災害物資拠点周辺の速度状況

災害時の復旧においては、ガレキ処理を行うため、廃棄物処理場を確保する必要があることから、7月6日に人吉球磨SIC近くの人吉市中核工業用地に廃棄物仮置き場を指定した。すると廃棄物処理場開所後、施設沿線の国道219号、221号で速度低下が発生した（図-5）。国道219号では、災害現場から廃棄物処理場までの往来や、人吉球磨SICへの往來の交通が錯綜し速度低下が発生したと考えられる。

(3) OD交通量分析

九州全体を福岡県、佐賀県、長崎県、大分県、宮崎県、鹿児島県、熊本県（県北、熊本市、県央、県南、天草地域）に分類し、ODの増減を整理した（表-1）。九州全体で交通量は減少しているが、人吉市を含む熊本県南地域は他県からの交通流入が増加し、特に他県からの大型貨物車の流入が顕著であった（表-2）。さらにETC2.0データを用いて大型車の移動距離を分析した結果、長距離移動交通が増加していたことから、災害物資支援等による交通流入増加の影響であると考えられる（図-6）。乗用車に関しては災害後、福岡県や佐賀県から熊本県南地域に向かう移動が減少しており、災害による移動取りやめの影響であるのではないかと考えられる。

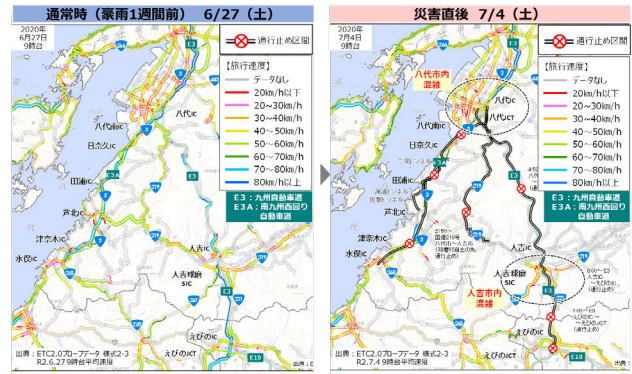


図-3 災害発生前後の速度状況

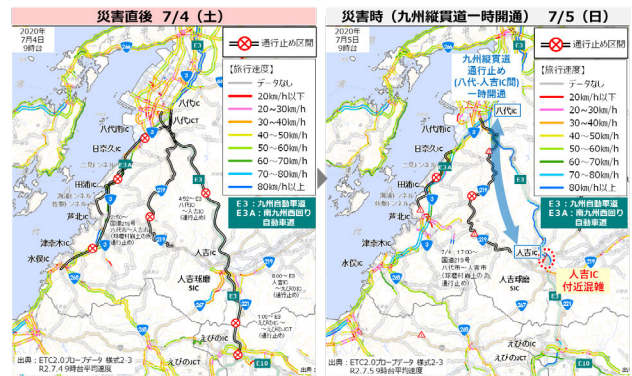


図-4 九州自動車道一時開通前後の速度状況

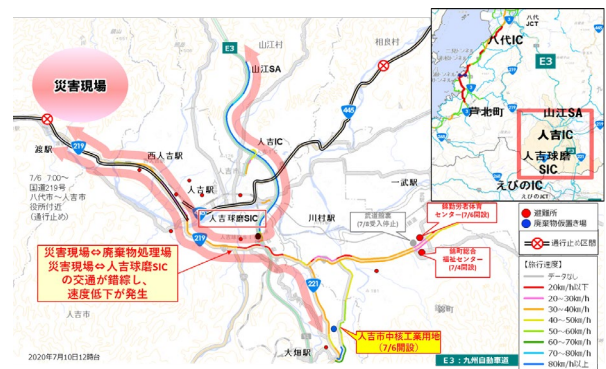


図-5 災害物資拠点周辺の速度状況

全車 2020年7月4日/2020年6月27日												
OD	福岡県	佐賀県	長崎県	熊本市	県南地域	県北地域	県央地域	天草地域	大分県	宮崎県	鹿児島県	総計
福岡県	89%	111%	99%	105%	96%	111%	127%	44%	93%	112%	94%	90%
佐賀県	117%	95%	120%	86%	114%	96%	131%	114%	104%	104%	68%	100%
長崎県	106%	100%	97%	163%	400%	50%	150%		38%	83%	67%	98%
熊本市	111%	86%	77%	91%	139%	112%	105%	84%	90%	171%	122%	96%
県南地域	72%	125%	43%	64%	79%	88%	95%	133%	111%	138%	100%	81%
県北地域	98%	98%	84%	106%	109%	90%	87%	122%	136%	80%	81%	95%
県央地域	116%	117%	100%	89%	133%	103%	92%	88%	85%	232%	225%	98%
天草地域	93%		75%	73%	50%	78%	98%	79%		200%	200%	85%
大分県	100%	97%	133%	177%	325%	95%	200%		93%	141%	232%	96%
宮崎県	103%	85%	89%	83%	346%	126%	138%		125%	98%	80%	99%
鹿児島県	84%	111%	55%	118%	206%	93%	106%		200%	123%	91%	94%
総計	90%	98%	98%	93%	112%	95%	98%	84%	94%	102%	92%	94%

表-1 OD交通量の変化（災害前後比）

大型貨物車 2020年7月4日/2020年6月27日

区	福岡県	佐賀県	長崎県	熊本県	熊本地域	県北地域	県央地域	天草地域	大分県	宮崎県	鹿児島県	統計
福岡県	96%	116%	101%	108%	96%	108%	133%	57%	95%	123%	99%	97%
佐賀県	108%	100%	130%	81%	122%	95%	123%	119%	112%	72%	103%	
長崎県	105%	111%	101%	57%	300%	75%	150%	40%	33%	100%	102%	
熊本県	116%	79%	100%	104%	152%	117%	115%	93%	113%	174%	126%	112%
熊本地域	85%	125%	43%	76%	84%	100%	91%	100%	111%	129%	111%	89%
県北地域	101%	94%	93%	123%	117%	99%	86%	150%	155%	80%	82%	104%
県央地域	114%	120%	100%	103%	140%	85%	96%	275%	113%	253%	217%	108%
天草地域	143%	100%	67%	67%	75%	113%	107%					107%
大分県	105%	113%		150%	600%	79%		104%	168%	224%		110%
宮崎県	115%	86%	100%	118%	348%	145%	147%		131%	99%	90%	104%
鹿児島県	90%	100%	45%	111%	225%	75%	94%		196%	141%	93%	102%
統計	97%	105%	103%	106%	137%	102%	104%	116%	105%	110%	95%	101%

■ 200%以上 ■ 150~200% ■ 100~150% ■ 100%未満
 6/27:交通量なしかつ7/4:交通量なし 6/27:交通量ありかつ7/4:交通量なし
 または6/27:交通量なしかつ7/4:交通量あり ■ 災害発生後、移動がなくなった地域

表- 2 大型貨物車OD交通量の変化（災害前後比）

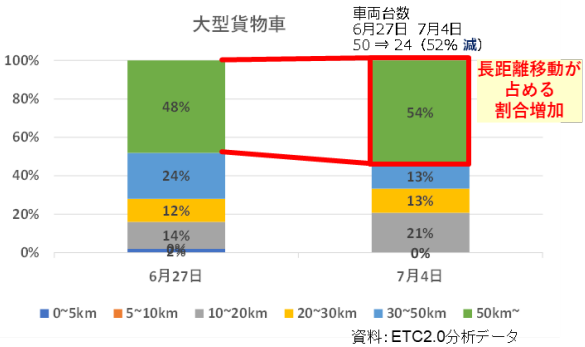


図- 6 大型車移動距離別交通量（人吉市発着）

4. 現状を踏まえた交通マネジメント対策

前章の分析結果より、特定の地域、ICに交通が集中し速度低下や渋滞が発生していることが確認できた。次に、課題箇所において実際に実施した交通マネジメント対策（情報提供、通行規制、規制解除等）の検証を行う。

(1) 通れるマップ公表による迂回路明示

九州地方整備局は、ETC2.0や民間プローブデータ（ITSジャパンと契約）や、現地踏査を基に作成される「通れるマップ」をSNSやホームページに公表し、通行可能区間、不能区間、代替路等の情報提供や、迂回区間（九州自動車道）への誘導案内を実施した（図- 7）。

(2) 九州自動車道無料化代替路措置

災害発生後、国道219号の通行規制の影響により、国道219号の迂回区間である国道267号・268号に交通が集中していた。そこでさらなる迂回路の確保として、7月7日より九州自動車道の無料化を実施した。これにより、九州自動車道八代JCT～人吉IC間の交通量が急激に増加し、交通流が九州自動車道に転換した（図- 8、図- 9）。

一方、人吉IC出口の交通量は災害発生前と比べ最大約2.3倍まで増加しており、人吉IC、人吉球磨SICでは交通集中により速度低下が発生した。特に人吉IC出口における交通集中が顕著であり、最大約1,200台/時の交通量、最大3kmに及ぶ渋滞を確認した（図- 10、図- 11）。

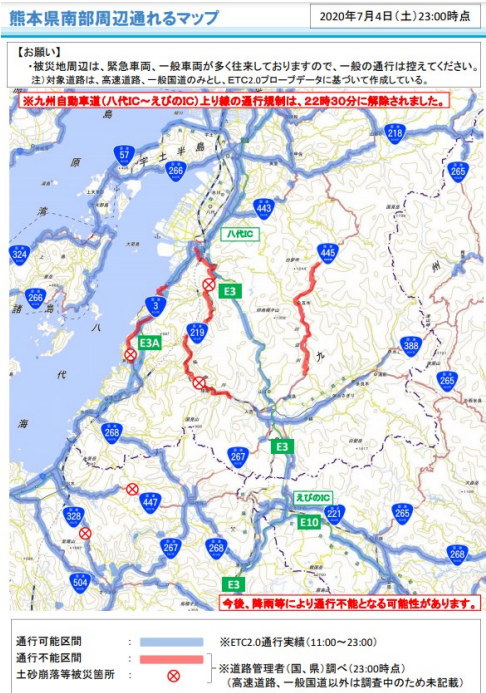


図- 7 熊本県南部周辺 通れるマップ（九州地方整備局）



図- 8 九州自動車道無料代替路措置

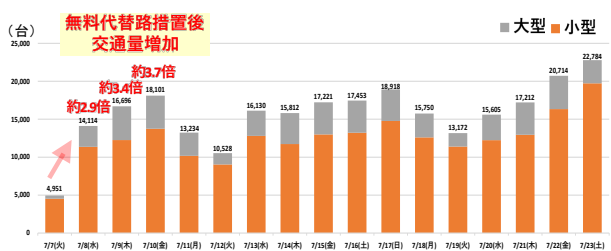


図- 9 八代 JCT～人吉 IC 交通量推移

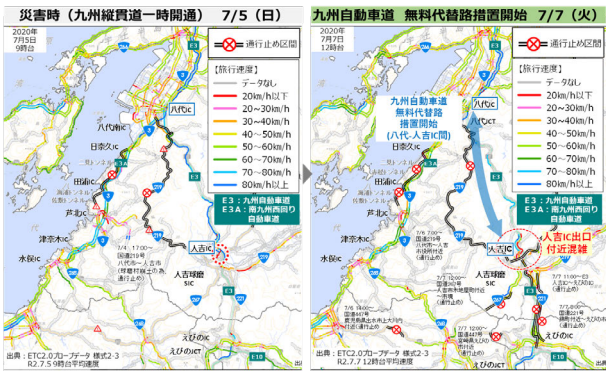


図-10 九州自動車道無料代替路措置前後の速度状況

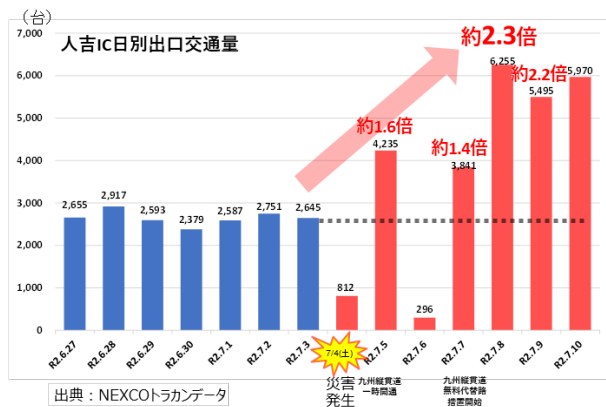


図-11 人吉IC日別出口交通量

(3) ICの交通分散対策

人吉ICをはじめとしたICの交通集中による渋滞対策として、実際に実施した分散対策メニューの効果検証を行う(図-12)。



図-12 ICに集中する交通分散対策メニュー

a) 交通レーンの使い分け

九州自動車道無料代替路措置後、人吉ICから山江SAにかけて発生した渋滞の要因として、人吉IC出口手前で人吉ICからの流出車両と、えびの・鹿児島方面へ向かう車両が錯綜していることが考えられた。そこで、7月9日9時から人吉IC出口に向かう左側車線と、えびの・鹿児島方面へ向かう右側車線の振り分け案内を実施した。その

結果交通が分散され、人吉ICから山江SAにおける渋滞が解消した(図-13)。



図-13 交通レーンの使い分け

b) 隣接ICへ交通誘導

さらに7月9日14時から、人吉球磨SICの案内強化を実施しており、その結果、人吉IC出口からの渋滞長が2km未満に減少した(図-14)。

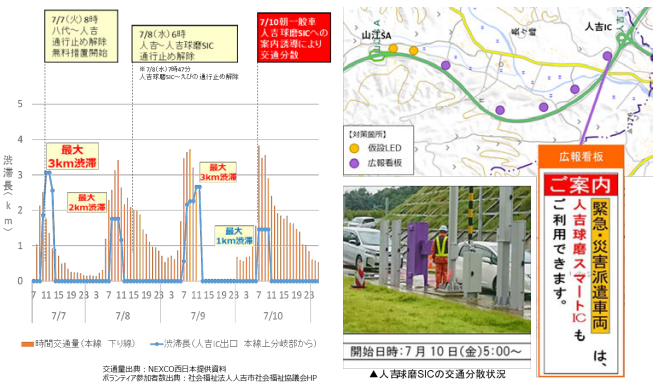


図-14 隣接ICへ交通誘導

c) 一般レーンの活用

7月16日から、出口ランプ部において、ETC搭載車も一般レーン料金所を利用できる案内看板を設置し、一般レーン料金所への誘導を実施した(図-15)。

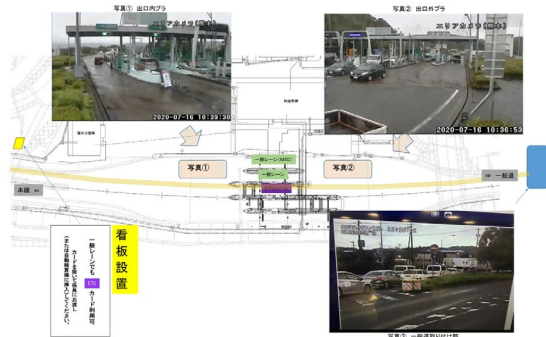


図-15 一般レーンへのETC搭載車誘導

d) 緊急開口部の活用

SA, PA, BSを緊急開口部として開設・活用した(図-16)。これにより, 上下線で1日あたりの最大通行台数は, 7月9日に上り, 7月13日に下りが利用開始された坂本PAで最大1826台(図-17), 鮎帰BSで最大134台(図-18), 山江SAで最大90台(図-19)となり, 一定の交通分散が図られた。



図-16 緊急開口部の活用による交通分散

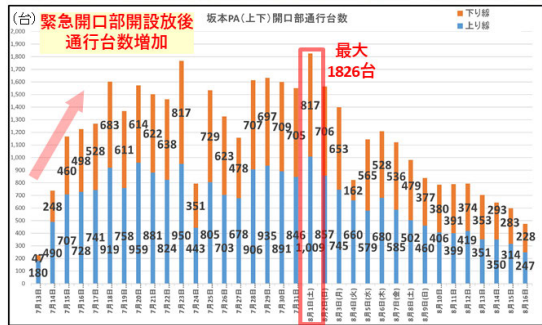


図-17 坂本PA(上下) 開口部通行台数

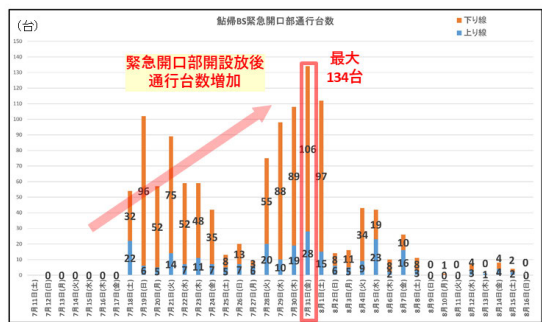


図-18 鮎帰BS(上下) 開口部通行台数

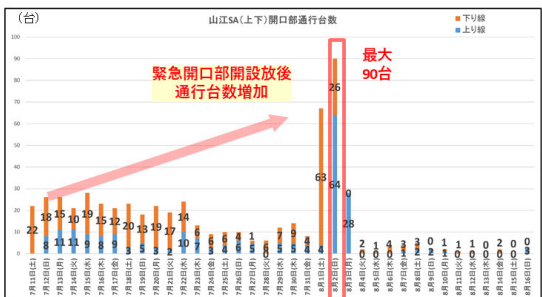


図-19 山江SA(上下) 開口部通行台数

(4) 熊本県災害時渋滞対策マネジメント検討会の開催

災害状況に多面的に対応するため各関係機関で連携・組織を確立し, 被災地へのアクセス道路の復旧, 渋滞状況等について情報共有を行い, 現状で必要な交通マネジメントを検討した。具体的には, 道路管理者・警察・自治体・交通事業者等より既に実施している渋滞対策(高速道路の車線運用や各ICの機能分担)について情報を共有し, 追加の渋滞緩和対策を検討し実施した(図-20)。



図-20 第1回熊本県渋滞対策マネジメント検討会の様子(7月10日開催)

5. 明らかになった課題

(1) ETC2.0データ活用の限界と他データの活用可能性

災害時は限られたデータで交通影響分析を実施する必要がある。今回は主にETC2.0データによる, 交通影響分析を行ったが, 大きく2つの課題が明らかになった。

1つ目の課題として, ETC2.0はリアルタイム性に乏しく, データを取得してから実際に分析が可能となるまでにタイムラグが生じる。そのため災害時など刻一刻と変化する交通状況を的確に把握できない可能性がある。

2つ目の課題として, サンプル数が少ない区間は, 通行不能区間なのか, サンプル不足なのか判断できない。また, 小型車は通行可能だが, 大型車等は幅員や重量制限のため通行不可能の場合もあり, 車種別の情報を得ることができない。

今後はETC2.0データの課題を解決するために, 関係機関保有データの活用可能性を検証していく必要があり, 活用が期待されるデータはそれぞれ利点や欠点がある中で, AI分析技術等の先進的な分析手法と上手く組み合わせ活用していくことが重要となる(図-21)。

名称	通信方式	YAMOCO/AM/FM機器	通信方式	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機
事業者	東北高速	Yahoo! JAPAN	TOYOTA	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機
ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機
ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機	ETC2.0/ETC専用機

図-21 活用が期待される関係機関保有データ

(2) 今後の災害時交通マネジメントの進め方

災害時交通マネジメントの進め方として、①発災前の予防対策検討、②関係機関との調整会議、③災害時渋滞対策協議会、④災害時交通マネジメント検討会など、災害規模や交通規制に伴う社会的影響等に応じて設定していく必要がある(図-22)。①発災前の予防対策検討では、短期、中期、長期視点で検討体制、検討内容を事前に設定しておくことが重要である。例えば、災害時における不通区間周辺道路の渋滞分析を行い、迂回路設定、迂回路案内誘導、情報提供等のあり方を検証し、災害発生時の情報収集・提供の高度化(内容、タイミング、精度等)等、交通マネジメント対応方策を具体化する必要がある。

令和2年7月豪雨による災害では、高速道路無料化に伴いIC周辺で渋滞が発生したため、ビッグデータによる分析を行った上で対策を検討した。また、災害物資拠点開設に伴い拠点周辺で発生した渋滞についても、ビッグデータを活用し分析を行った。以上より、災害時交通マネジメントにおいては、対策を実施することで、新たな交通課題が発生することがある。そのため、対策に応じてPDCAサイクルを回し、周辺の交通環境への波及効果を検証していくことが求められる。

また、ETC2.0データより、九州自動車道が通行止めになった際、九州北部や本州方面に向かう交通が東九州自動車道に経路転換していたことが分かった(図-23)。今後は、九州全体の交通流を考慮し、他路線の高速道路を活用した災害時交通マネジメントを検討する必要がある。

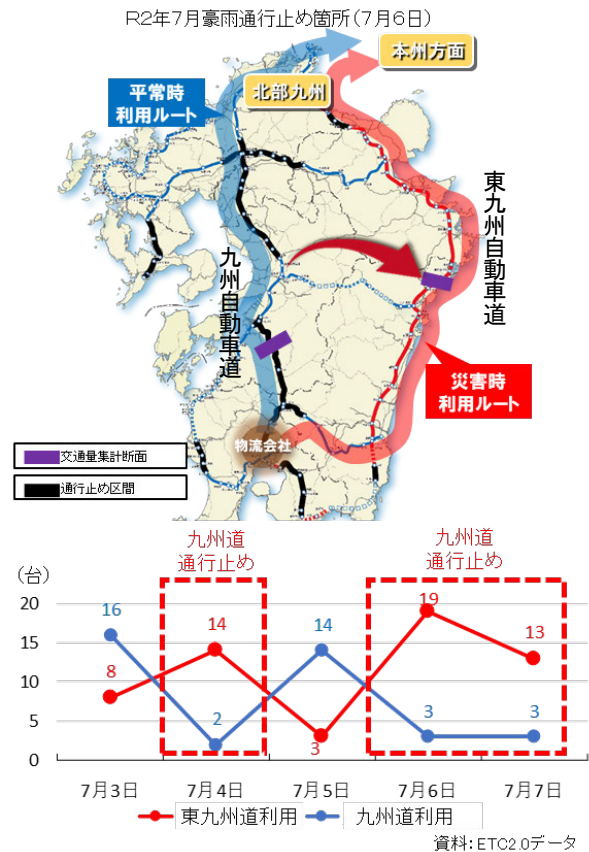


図-23 鹿児島、宮崎南部から福岡、本州方面への通行台数の変化

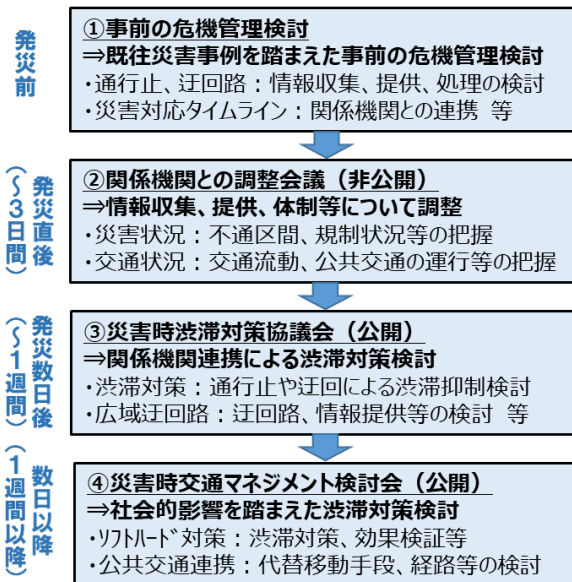


図-22 災害時交通マネジメントの進め方検討案

6. おわりに

発生する場所やタイミングが分からない災害に対しては、被災直後から速やかに交通マネジメントを行うために、平常時から交通特性を常に把握しておくことが重要である。このため、九州全域における広域流動の特徴等の基礎情報を整理するとともに、過去の被災時における交通状況の変化から効果的な対策メニューの知見等を蓄積することが求められる。

今回の検証では、大型車のETC2.0データ分析により、災害物資支援等による長距離移動の交通流入増加が確認された。災害による通行止めや特定の箇所への交通集中による渋滞の発生を考慮すると、九州全体の道路ネットワークにおけるリダンダンシー確保が求められる。

また、ETC2.0等のICT技術を活用した交通マネジメントを推進していく上では、高規格道路と鉄道駅・港湾等の物流拠点とのアクセス性を確保し、平常時のみならず災害時にも機能する重要物流道路の整備促進も重要な視点と考える。

排水ポンプ車の排水作業を停止することなく 車両を通過させる検討について

田村 秀之¹・山川 史¹

¹中国地方整備局 中国技術事務所 施工調査・技術活用課（〒736-0082 広島県広島市安芸区船越南2-8-1）

排水ポンプ車による排水活動中は、複数の排水ホースが堤防上を横断しており、緊急車両等が通行する際に既存のホースブリッジがない場合は、その都度、車両が通行可能な程度まで排水量を減らし、排水ホースの膨らみを抑えることで設置した状態のまま排水ホース上を通行させている。この度、所定の排水量を確保したまま排水ホース上を緊急車両等が走行しても排水活動が継続可能であり、ホースブリッジと比較して、軽量・コンパクトな試作ホースを製作し、実証試験を行った結果、車両の通行と耐久性に問題ないことが確認できたので報告するものである。

キーワード 排水ポンプ車、排水ホース、車両横断、排水作業の継続

1. はじめに

近年、災害が激甚化し、大規模な災害が毎年発生しており、排水ポンプ車による排水活動が増加している。

一般的な排水活動では、河川堤防などの天端道路を利用して排水ポンプ車と排水ホースを配置するため、作業中は緊急車両等の通行が遮断される。

そのため、緊急車両等が通行する際に既存のホースブリッジがない場合は、その都度、車両が通行可能な程度まで排水量を減らし、排水ホースの膨らみを抑えることで排水ホース上を通行させている。

排水活動を止めることなく車両を通行可能とする対策として導入が行われているホースブリッジは、運搬や設置に係る労力が大きく、中長期間の設置には向いている一方、短期間で排水活動を終えて、別の場所へ移動するケースもあるため、運搬や設置が簡易にできる排水ホースの開発が必要であった。

2. 既存の資機材

ホースブリッジは横断走行可能な車両総重量により、25 t までの敷板タイプと5 t までの梯子タイプがあり、対応可能な排水ホースの本数、寸法形状や分割数、重量などが異なっている。ホースブリッジ2種類の外観を写真-1及び写真-2に、外形図を図-1及び図-2に、主な仕様を図-2 ホースブリッジ5 t 敷板タイプの外形図

表-1に示す。

どちらも人力作業により運搬・組立が可能となっているが、1部品当たりが約40kgあり取扱いが重労働で設置

に時間を要すること、さらに別途運搬車両が必要であり設置ヤードが必要となることなどが課題となっている。

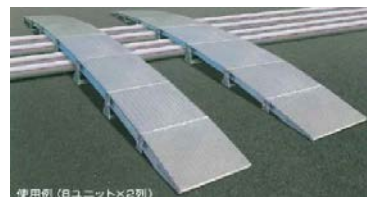


写真-1 ホースブリッジ25 t 敷板タイプの外観

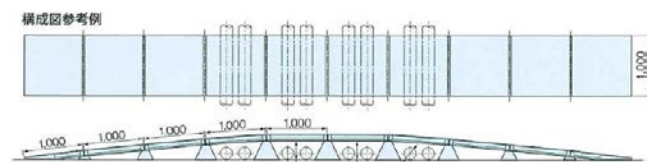


図-1 ホースブリッジ25 t 敷板タイプの外形図



写真-2 ホースブリッジ5 t 梯子タイプの外観

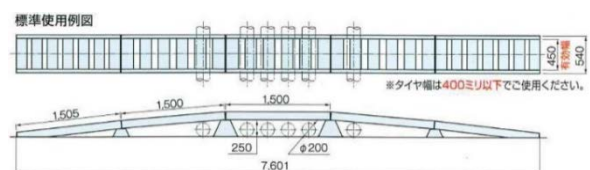


図-2 ホースブリッジ5 t 敷板タイプの外形図

表-1 ホースブリッジの主な仕様

	敷板タイプ	梯子タイプ
耐荷重	25 t	5 t
対応ホース	φ 200mm×8本	φ 200mm×6本
分割数	38 (板20、台18)	18 (板10、台8)
部品重量	板36kg、台6~29kg	板23kg、台6~10kg
合計重量	1030kg	294kg
走行幅	1000mm×2列	540mm×2列
全体寸法	幅3.0m×長さ10m	幅2.0m×長さ7.6m
メーカー定価	990万円	180万円

3. 新たな資機材の比較

(1) 過年度の試作ホース

過年度に車両が横断走行可能な排水ホースとして、車両通行箇所のホース高さを抑えるためにホース上面と下面を繋ぎ断面形状を複数の水路状にした試作ホースを製作し排水試験等を実施している。

過去に製作した排水ホースの試験状況を写真-3~写真-5に示す。



写真-3 過年度の試作ホース（10水路）の外観



写真-4 過年度の試作ホース（20水路）の外観



写真-5 過年度の試作ホース内部の水路

過年度に試作したホースは、排水ポンプ車に搭載されている直径φ200mmの標準ホースから横幅2,000mmまで拡大した拡幅型の排水ホースとして、内部に仕切り材を追加配置したものである。

使用した材料は全てナイロンシートで、上下及び内部の仕切り材とも溶着加工で製作されている。

拡幅型の排水ホースの寸法は、高さ50mm、幅2,000mm、長さ5,000mm、シート材料厚さは0.85mmで、重量は排水ホース内の水路数により約30kg~50kgであった。

しかし、過年度に試作した排水ホースには次の課題がみられた。

- ① 標準ホースからの水圧と水量及び上り勾配でホースを設置しているため、水が溜まりやすくなる接続部付近の内部仕切り材が徐々に剥がれがていく。
- ② 標準ホースと接続する円筒形状と拡幅部を繋ぐ隔部に変形する応力集中によるシワの発生と漏水が生じる。

(2) 既存の小径ホース活用案

標準ホースのφ200mmから車両が横断走行可能となるφ100mmの小径ホースに分配することで、本数は増加するが設置高さを抑制できるため、排水作業を中断せずに車両を通過させるものである。

ただし、小径ホースに分配するための接続部が必要となり、鋼製配管として製作する場合、重量は約75kgになる。

また、直径φ200mmの標準ホースをφ100mmの小径ホースに分配する場合、断面積と流量及び流速、タイヤによる遮蔽面積を考慮すると、14本（断面積比4.6倍）必要となり、長さ5000mmで重量49kgとなることがわかった。

全体の重量は接続金具等を含めると130kg程度となり、概算費用は標準ホース1本当たり約50万円と試算された。

φ100mmの小径ホース14本に分配するイメージを図-3に示す。

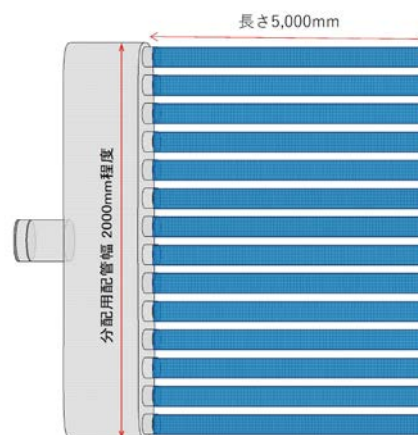


図-3 小径ホース（φ100×14本）に分配するイメージ

(3) 消防用ホースブリッジを利用する案

既製品の消防用ホースには車両が横断するための簡易

的なホースブリッジ（φ65mm、φ150mm）がある。そこで直径φ65mm及びφ150mmの消防用ホースに分配後、簡易的なホースブリッジを利用する案を検討した。

φ65mm用ホースブリッジの例を写真-6に、φ150mm用ホースブリッジの例を写真-7に示す。



写真-6 φ65mm用ホースブリッジの例



写真-7 φ150mm用ホースブリッジの例

φ65mmに分配する場合、断面積等から15本必要となり、左右のタイヤ位置に合わせてホースブリッジの数量は30台配置する。ホースブリッジ幅が300mm/組程度であり、標準のホースφ200mm1本に対してφ65mmの消防用ホースへの分配した場合の設置幅は4,500mmとなる。

一方、φ150mmに分配する場合、高さ100mmの枠内に変形させるため、断面積等から5本以上必要となる。ホースブリッジ幅が1,000mm/組程度であり、設置幅は5,000mmの範囲となる。

表-2 新たな資機材の比較

資機材の案	拡幅型排水ホース	既存の小径ホース	消防用のホースブリッジ
特徴	ナイロンシートで自由に調整可能	市販ホースの活用で安価に交換可能	φ65mmやφ150mmの既製品を活用
問題点	耐久性や耐摩耗性がやや低い	分配用配管の製作が必要。	必要資機材の数量が多い
資機材規模	幅1.5m程度、重量30kg以下×4本、L=5.0m	幅2.0m以上、重量120kg以上×4組、L=5.0m	φ65mm×15本(φ150mm×5本)×4組、600kg以上、L=5.0m
概算費用	100万円(4本)	160万円(4組)	600万円(4組)
運搬方法	標準ホースとの積替えにより積載可能	別途運搬車両が必要	別途運搬車両が必要
判定	○	△	△

φ65mmとφ150mmのどちらも横断車両通行の影響を受けずに排水活動は可能となるが、必要な資機材の規模が多く、合計重量計は600kg以上、概算費用は600万円以上と試算された。

標準の排水ホースφ200mmと既存の資機材（ホースブ

リッジ）に代わる新たな資機材として3案を比較した結果、ナイロンシートで製作する拡幅型排水ホース案が有効と判断された。

新たな資機材を排水ポンプ車（30m³/min、水中ポンプ4台）1台分での比較を表-2に示す。

4. 試作ホースの仕様検討

新たな拡幅型の排水ホース仕様検討にあたり、車両が通行可能であること等を考慮し、排水時のホース高さ90mm（車両の保安基準）、ホース幅1,900以下（車両のホイールベース）、ホース重量30kg以下（人力運搬）を条件とし、拡幅水路の断面及び長さ、使用材料等を検討した。

(1) 要素試験

① 耐圧試験

新たな拡幅型排水ホース（以下、「試作ホース」という）に使用する材料（ナイロンシート）は、車両の横断走行を考慮し、布継ぎ溶着加工が可能であり、耐候性、引裂強度等からターポリンを選定した。

ターポリンは屋外テント等に使用されるポリ塩化ビニルとナイロン樹脂による防水シートであるが、利用用途から耐水試験や引張試験等の評価はあるが、排水ホースとしての使用を想定した耐圧試験は実施されていない。そのため、材料の簡易的な耐圧試験を実施した。

試験は、排水ホース（φ200mm、L=1,000mm）に追加予定の内部仕切り材を溶着し、両端に金具と閉止板を組合せて水を充填し、エア抜きをしながら加圧し、試作ホースの材料との溶着状況を確認した。試作ホース材料の耐圧試験状況を図-4及び写真-8に示す。

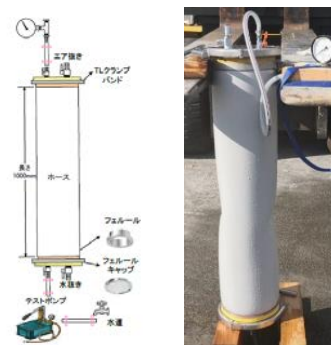


図-4、写真-8 試作ホース材料の耐圧試験

車両が横断走行する試作ホースは、標準ホースの排水側（出口側）に接続するため、水圧は0.01～0.02MPa程度に低下すると想定している。試験の結果は、0.02MPa以上確保され、使用材料として問題ないと判断した。

② 標準ホースの排水状況

試作ホースの形状を検討するため、排水ポンプ車（30m³/min、出力100%）を稼働させた状態で標準ホース

吐出口からの排水状況の確認を行った。このとき、標準ホース1本当りからの排水量は約125L/sである。排水状況を写真-9に示す。

標準ホース排水側（出口側）からの排水状況は、約500mm程度の直進性があるが、その先は扇状に流れ、排水高さは、吐出口から徐々に低下した。標準ホースからの排水形状を図-5に示す。



写真-9 標準ホースの排水状況

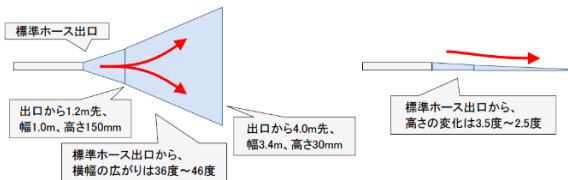


図-5 標準ホース排出側（出口側）からの広がり形状

5. 現地試験の実施

(1) 使用車両

試作ホースの排水状態及び車両の横断走行状況を確認するため、排水ポンプ車を利用した現地試験を実施した。

現地試験に使用した排水ポンプ車及び横断走行車両を表-3及び表-4に、車両の横断走行状況の試験配置を図-6に示す。

表-3 排水ポンプ車と排水ホースの基本仕様

排水能力	30m ³ /min（揚程10m） 参考：ホース1本当りの吐出量 125L/s（0.125m ³ /s）
排水ポンプ	7.5m ³ /min（出力18kw）×4台
標準ホース	口径φ200mm×長さ20m×8本 口径φ200mm×長さ10m×4本

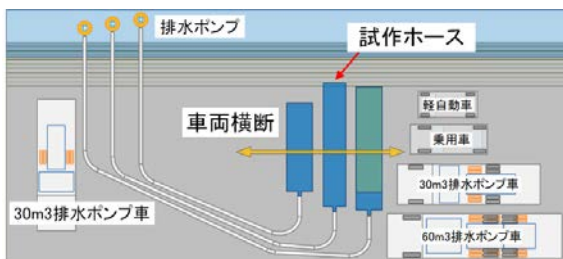


図-6 車両の横断走行状況の試験配置

表-4 横断走行車両の基本仕様

車種	仕様
軽自動車	車両重量890kg（前540kg+後350kg） 全長3390mm×全幅1470mm タイヤ：前2輪+後2輪
乗用車	車両重量1200kg（前700kg+後500kg） 全長4410mm×全幅1690mm タイヤ：前2輪+後2輪
中型貨物車	車両重量9570kg（前3520kg+後6050kg） 全長8430mm×全幅2370mm タイヤ：前2輪+後1軸4輪
大型貨物車	車両重量17890kg （前5040kg+後前6480kg+後後6370kg） 全長10270mm×全幅2490mm タイヤ：前2輪+後2軸8輪

(2) 過年度試作ホースによる排水状況の確認

4. (1) 要素試験の結果、試作ホースに取付ける内部仕切り材の取付位置等の確認を行うため、過年度試作ホースの内部仕切り材を取除いた筒状の形状での排水状況、横断走行状況の確認を行った。確認状況を写真-10に示す。

排水状況は、幅2,000mmで水流の広がり安定しており、高さは60mm～100mmで車両の横断走行に影響しないことが確認できた。



写真-10 過年度の試作ホースの改良確認

(3) 試作ホースによる排水試験

要素試験等から、試作ホースの基本形状は内部仕切り材を不要とし、標準ホースと接続する高さ調整区間と車両の横断区間に分けることとした。試作ホースの基本形状を図-7に示す。

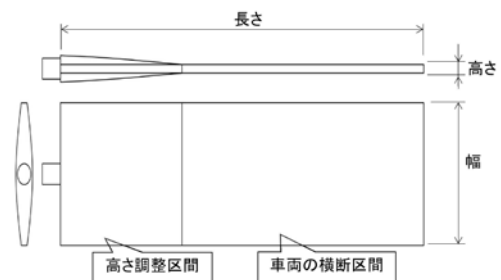


図-7 試作ホースの基本形状

なお、標準ホースの排水状況から、試作ホースの基本形状は図-5 に示す形状を想定していた。しかし、(2)における排水試験の結果、角部がポケットの役割を果たしていたため標準ホース接続部は扇状ではなく角部を残した長方形とした。

次に、試作ホースの最適形状を決定するため、基本形状をもとに、試作ホースの高さ、幅、長さ、材料厚さ等の異なる組合せについて試作を重ねて走行状態、試作ホースの変状等について確認を行った。

試験の結果、3回実施した試験により走行状態に影響なく排水できる試作ホース高さ、幅、材料厚さがわかった。また、試作ホース長さは、長い場合には、流速の低下によりホース中央付近に滞水し、断面形状が大きく盛り上がることから走行状態に影響なく排水できる長さを決定した。

各車両の横断時における確認状況の一例を写真-11に示す。



写真-11 試作ホースの車両横断状況

(4) 連続往復走行による耐久性能の確認

試作ホースの排水試験により決定した最適形状について、試作ホースの損傷や耐久性を確認するため、大型貨物車の連続往復走行による耐久試験を実施した。

試験は、表-3に示す排水ポンプ車を使用し、試作ホースによる排水作業を行いながら大型貨物自動車試作ホースの上を走行した。

走行速度10km/h程度で連続往復走行を行ったところ、走行回数500回以上の走行が可能であることが確認できた。

なお、試験中に、試作ホースの敷設面にある小石の影響からφ3.0mm程度の小穴が発生したが、試験実施後においても小穴の広がりはみられず排水作業への影響はなかった。

また、走行速度による影響については、5.0km/h程度では変状はみられなかった。10.0km/h程度では後輪の2軸ダブルタイヤにホース表面が引き寄せられ車両下面の突起部などの接触により、100mm程度の切り裂きが発生した。

したがって、試作ホース上を5.0km/h程度で走行することで排水作業への影響が少なく利用できることが確認できた。

耐久試験による試作ホースの状況を写真-12に、走行速度の違いによる試作ホースの状況を写真-13に示す。

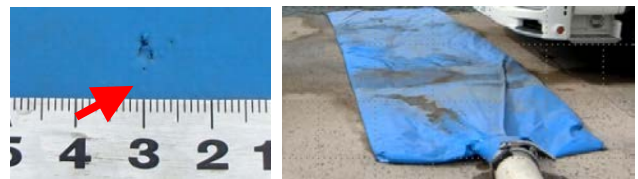


写真-12 耐久試験による試作ホースの状況
(左：小穴 右：試験終了時における試作ホース状況)



写真-13 走行速度の違いによる試作ホース状況
(左：5.0km/h程度、右：10.0km/h程度)

6. 運用方針

現地試験の結果、最終仕様（案）を決定した。そこで、ホースブリッジとの使い分けを含む運用について整理した。

(1) 運用方針

試作ホースは、小型軽量であるため既設の排水ポンプ車に搭載可能で機動性に優れており、河川の堤防道路から排水が可能な現場条件においては十分活用可能となる。また、既存の資機材等と比較し安価であるため消耗品として運用が可能と考えている。

一方、ホースブリッジは、運搬方法や設置ヤードなどの課題はあるが、耐荷重や耐久性、大規模災害時などの長期利用が可能等の優位性がある。

したがって、試作ホースが利用可能な現場の地形条件で、排水作業が比較的短期間の場合には、準備から片付けまでの時間短縮も可能であり、活用効果が期待できる。

なお、使用中の注意事項としては、横断車両の走行速度5.0km/h程度で制限することである。

7. まとめ

災害時の排水作業現場における課題として挙げられた排水ホースの車両横断方法について、新たな資機材として拡幅型の試作ホースを排水側に接続することで、直接横断走行を可能する検討を行った。

試作ホースは、既存の資機材（ホースブリッジ）に比べて小型軽量で、設置時間などの作業性も改善され、短期間の場合には、排水作業に対する耐久性も確認できたことから、十分活用が可能と考えている。

今後は、中国地方整備局管内において試作ホースの配備を進め実際に活用し実績を重ねるとともに、必要に応じて改善に努めたい。

一庫ダムにおける洪水調節機能の強化に向けた取り組み

川上 貴宏¹

¹独立行政法人水資源機構 一庫ダム管理所 (〒666-0153 兵庫県川西市一庫字唐松4-1)

一庫ダムでは、平成30年7月豪雨にて、管理開始以降初となる異常洪水時防災操作を実施した。これをきっかけに、洪水調節計画を最大放流量150 m³/sの暫定操作から、下流河川整備による流下能力の向上に応じた200 m³/sに見直すとともに、利水リスクに配慮した独自の事前放流ルールを新たに設定するなど、一庫ダムの洪水調節機能を最大限活用するための調整を短期間で精力的に進めてきた。本稿は、近年の異常降雨を受け国土交通省より発出された提言や方針に先立ち進めてきた、一庫ダムの洪水調節機能強化の取り組みについて報告するものである。

キーワード 異常降雨の頻発化、洪水調節計画変更、事前放流、特別防災操作

1. はじめに

一庫ダムの洪水調節計画は、当初は100年に1回発生する規模の洪水に対応できるように、最大放流量650 m³/sまで増量させるものであった。しかし、管理開始直後の1983年9月の出水で、洪水調節計画に基づく操作を実施したものの、下流の銀橋上流左岸側を中心に多数の浸水被害が出た。その後も浸水被害が発生したことを受け、現状の河川整備の状況を踏まえ、2000年に中小規模洪水等に洪水調節効果が発揮できるよう、ダムからの放流量を最大150 m³/sとする暫定操作を導入した。

その後、ダム下流河川の整備が進み流下能力が向上したこと及び平成30年7月豪雨時には管理開始以降初めて異常洪水時防災操作を実施したことなどを受けて、洪水調節方法の変更の検討及び調整等を行い、2019年度の洪水期より最大放流量を200 m³/sに変更した。

また、事前放流の要領化も並行して検討・調整し、2019年9月より運用を開始、2021年には治水協定・新ガイドラインを反映させた要領に改定を行う等、より効果的なダム操作や有効活用への取り組みを継続している。本稿は、これらの洪水調節機能の強化の取り組みについて報告する。

2. 洪水調節計画変更の経緯

(1) 従前の洪水調節計画

一庫ダムの洪水調節方法は、2000年に200 m³/s洪水調

節開始、最大放流量650 m³/sの一定率一定量放流方式から150 m³/s一定量放流方式へ変更されている(図-1)。これは、ダム下流河川の流下能力に応じた中小規模洪水に効果を発揮する暫定的な操作(治水安全度1/19)であった。これにより、ダム下流の洪水被害を軽減してきたが、その一方でダムの貯水容量が早く満杯になる危険性も併せ持っていた。

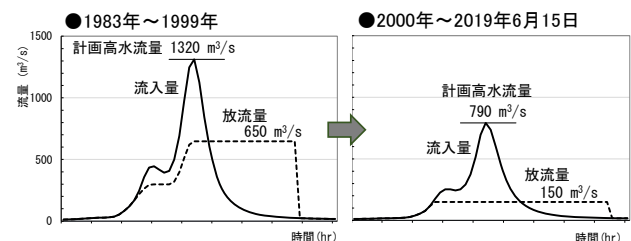


図-1 従前の洪水調節計画図

(2) 経緯

a) 河川改修の進捗

2000年変更の洪水調節方法は暫定的な操作であり、2009年3月に策定された淀川水系河川整備計画においては、猪名川下流の治水安全度を低下させない範囲で狭窄部の開削を実施し、あわせて一庫ダムの操作方法を見直すことされ、一庫ダムとしては暫定操作解消に向け、河川改修工事の進捗を待っている状態が続いていた。

川西市の多田大橋～銀橋直下にかけて(図-2)は治水安全度が特に低く、河川管理者である兵庫県宝塚土木事務所により河川改修、築堤工事が順次行われている。2016年度には、猪名川の狭窄部である銀橋地点の一部開削工事が実施され、銀橋地点の流下能力が向上した。

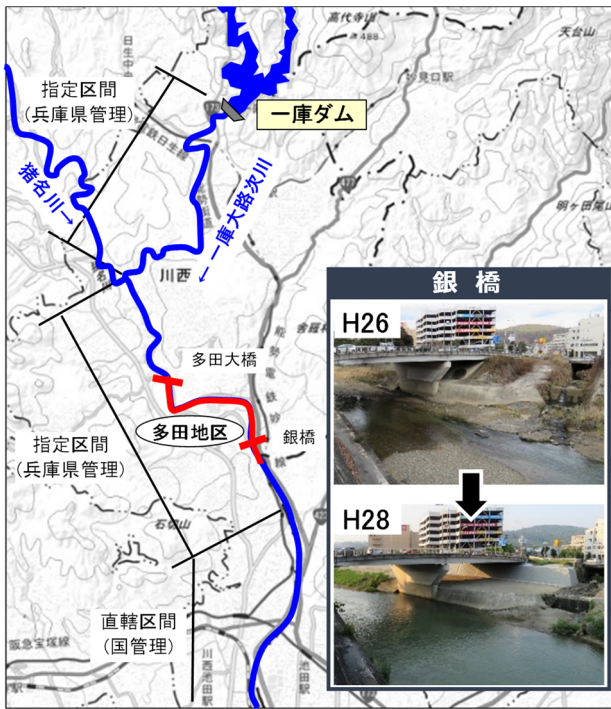


図2 ダム下流位置図及び銀橋の開削状況

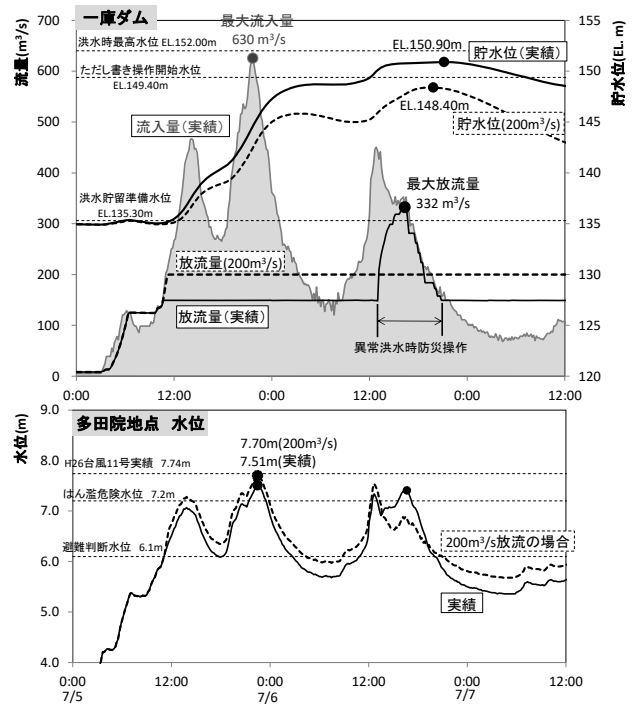


図3 平成30年7月豪雨 シミュレーション結果
(実績及び放流量200 m³/sの場合)

b) 最適なダム最大放流量の検討

河川改修の進捗を受け、国土交通省近畿地方整備局猪名川河川事務所（以下「猪名川河川事務所」という。）において猪名川全体の治水安全度の検討及び最適なダム最大放流量の検討が行われた（詳細は「3.」に記述）。検討の結果、ダム放流量を現行の150 m³/sより200 m³/sに変更したケースで猪名川全体として年平均被害額が最小となることから、猪名川河川事務所、一庫ダムにおいて、ダム放流量変更の下協議を2017年夏より開始した。

c) 一庫ダム初の異常洪水時防災操作の実施

そのような状況において、管理開始以降最大の流入量（630 m³/s）を記録する「平成30年7月豪雨」が発生した。一庫ダムは、4山の長時間降雨により洪水調節容量を使い切り、管理開始以降初の異常洪水時防災操作を実施した。異常洪水時防災操作中におけるダムからの放流量は、最大332 m³/sとなったが、幸いにして浸水被害等は発生しなかったものの、異常洪水時防災操作の危険性を再認識することとなった。

また、出水後に実施した7月豪雨の検証において、200 m³/s放流で洪水調節した場合（図-3）、異常洪水時防災操作に移行せず、多田院地点の水位も過去実績ではん濫が発生しない水位（2014年台風11号で記録した7.74m）以下に抑えられることがわかり、放流量変更に向けた動きが一気に加速することとなった。

(3) 関係機関協議

前述の経緯を踏まえ、速やかに洪水調節機能の強化を図るため、2018年11月5日の猪名川河川事務所、兵庫県及び一庫ダムの三者会議にて、放流量変更に向け協力し

て進めていくことで合意した。その後、2019年1月にかけて関係府県、沿江市町、関係利水者へ下協議を実施し、2019年2月14日の国土交通本省への説明を終えすべての下協議を終了した。2019年2月25日に水資源機構理事長より関係府県、利水者へ一庫ダム施設管理規程の変更について正式に協議を行い、2019年3月27日までにすべての者より同意が得られた。

2019年5月14日に水資源機構理事長より国土交通大臣へ施設管理規程の認可申請を行った。申請後、自治会長、地元住民を対象に計3回説明会を行ったが、特に反対意見等はなかった。2019年6月12日、国土交通大臣から施設管理規程が認可され、同日に施設管理規程細則が、翌日にただし書き操作要領がそれぞれ変更・制定された。

以上のとおり、関係機関の協力もあり短期間で洪水調節計画を変更することができた。

3. 最適なダム放流の検討

河川整備計画で検討された主要6洪水を対象に、確率規模別に4ケース（現行操作150m³/s・200m³/s・250m³/s・345m³/s）の放流量で流出計算及びはん濫解析を行い、最適放流量を検討した。検討に当たっては、前回の洪水調節計画変更時¹⁾と同様の方法を適用した。

○ 基本方針

下流洪水被害量を最も低減できる効率的で効果的な洪水調節方式を採用。

○ 制約条件

- ①下流の猪名川などの治水安全度を低下させない。
- ②実績洪水に対し浸水面積等の被害量を増加させない。
- ③ダム洪水調節前に下流の住戸が浸水しない。

(1) 放流量別の被害状況比較 (基本方針)

前回改定時の検討方法を踏襲し、猪名川工事実施基本計画の対象3洪水(1953年9月台風13号, 1960年8月台風16号, 1967年7月前線)において、確率規模毎の被害量(浸水家屋数, 浸水面積, 被害額)を用いて年平均被害量を算定した。図-4より放流量200m³/sのケースで年平均被害量が最小となった。

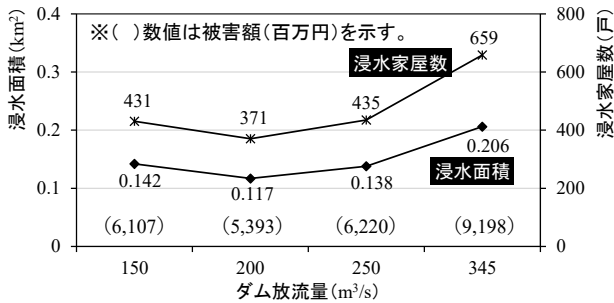


図-4 年平均被害量 (工実3洪水平均)

(2) 下流河川の治水安全度の評価 (制約条件①)

1953年洪水において、現況流下能力算定結果とダム操作別の流出計算結果から、ダム放流量変更時の下流河道の治水安全度を評価した。算定した治水安全度一覧を表-1に示す。治水上ネックとなる猪名川指定区間において、200m³/s放流時に治水安全度が最も向上する一方、250m³/s・345m³/s放流時は現行より低下した。

表-1 下流河川の治水安全度 (1/年)

区間	ダム放流量				
	150m ³ /s	200m ³ /s	250m ³ /s	345m ³ /s	
猪名川直轄区間	0.0~7.4k	75-149	98-185	87-200	67-192
	7.6~11.4k	94	136	185	165
	9.6~12.8k	76	103	128	121
	11.6~12.2k	79	109	136	137
猪名川指定区間	12.4k~No.140	35	50	46	28
	No.144~182	28	32	25	15
	No.186~	24	28	20	11
一庫大路次川	No.8~67	85	127	171	200以上
	No.68~130	21	34	50	75

※灰色着色部は、現行より治水安全度が低下

(3) 実績洪水に対するはん濫被害 (制約条件②)

主要6洪水の実績規模において、4ケースの放流量別に総合的な評価指標である治水経済調査により、被害額・床上床下浸水世帯数・浸水面積を算出した。表-2に浸水家屋数を示す。

1960年洪水は、いずれの放流量においても異常洪水時防災操作に移行し、直轄区間・指定区間ともに浸水家屋

表-2 実績規模洪水における浸水世帯数・浸水面積

実績洪水		ダム放流量			
		150m ³ /s	200m ³ /s	250m ³ /s	345m ³ /s
1953.9	床上	0	0	0	0
	床下	0	0	0	0
	浸水面積	0	0	0	0.009
1960.8	床上	9,744	2,582	3,281	19,787
	床下	15,286	3,753	3,339	15,478
	浸水面積	8,753	2,604	2,555	11.081
1967.7	床上	0	0	0	6
	床下	0	0	0	1,627
	浸水面積	0	0	0.001	0.524
1972.9	床上	0	0	0	0
	床下	0	0	0	0
	浸水面積	0	0	0	0.005
1983.9	床上	0	0	35	76
	床下	2	51	61	157
	浸水面積	0.025	0.065	0.088	0.174
2004.10	床上	0	0	0	0
	床下	0	0	0	5
	浸水面積	0	0	0	0.033
浸水世帯合計		25,032	6,386	6,716	37,136
浸水面積合計		8,778	2,669	2,644	11.826

※床上・床下は世帯数、浸水面積はkm²

数が多いが、洪水波形が二山であり放流量増量やピーク流量発生タイミングにより放流量150m³/sと345m³/sのケースで被害が増大する。

一方、1983年洪水は猪名川指定区間のみで被害が発生し、現行操作よりも浸水面積・戸数が増加する。本洪水は前回の放流量改定に至った洪水であることから、湛水深を詳細に確認したところ、放流量200m³/sのケースでは最大0.215mに対し、250m³/sのケースは0.5m以上となり、床上浸水の評価基準高0.45mを超過した。また、浸水面積は、前回検討時(150m³/s放流時に0.369km²)より改善される。なお、現在工事中の銀橋上流右岸地区の河川改修が完了した後は、1983年実績洪水において、放流量200m³/s時に浸水は発生しない見込みである。

(4) ダム調節前の下流の浸水状況 (制約条件③)

下流の最小流下能力を超え浸水開始する時のダム流入量が386m³/sと河川整備基本方針における一庫ダムの計画放流量345m³/sを上回っているため、150~250m³/sの放流では下流の浸水に悪影響を及ぼさない。

以上の検討より、200m³/s一定量放流が基本方針、制約条件を最も満たす洪水調節方式となった。これにより、ダムの治水安全度は1/29に向上することになる。変更後の洪水調節計画を図-5に示す。

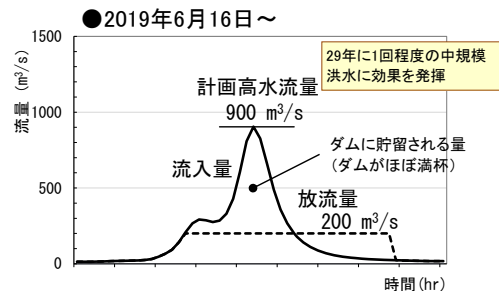


図-5 変更後の洪水調節計画図

4. 洪水調節機能強化の取り組み

(1) 事前放流

平成30年7月豪雨を受け、同年12月14日に国土交通本省より発出された「異常豪雨の頻発化に備えたダム洪水調節機能と情報の充実に向けて（提言）」において、直ちに対応すべきメニューとして示された「事前放流」について、兵庫県の意向も踏まえ放流量変更と並行して検討を行った。

事前放流とは、大規模出水が予測された場合に、ダム容量の一部を洪水の発生前に放流し、洪水調節容量を一時的に増やす操作である。これにより、異常洪水時防災操作を回避もしくは移行の遅延を図り、ダム下流の浸水被害の軽減及び避難時間をかせぐことができる。一庫ダムは、洪水調節計画変更後も引き続き暫定操作となることから、更なる安全度の向上策として効果が期待される。

一庫ダムでは、事前放流実施要領を2019年8月30日に策定し、9月1日より運用を開始している。事前放流はダム流域の実績雨量と気象庁MSMモデルの33時間先までの予測雨量の合計が195mm以上となる場合に実施し、最大放流量は100m³/sである。事前放流するダム貯水量は、堆砂容量内で利用可能な最大約150万m³（洪水貯留準備水位以下2.0mに相当）に設定し、利水への影響に配慮している。これにより、ダムの治水安全度が1/36相当に向上する。

その後、令和元年東日本台風により全国的に大きな被害を受けたことから、既存ダムの洪水調節機能強化に向けた検討会議（2019年12月）において示された基本方針に基づき、第2回既存ダムの洪水調節機能強化に向けた協議の場において、2020年5月29日に「治水協定」が締結された。協定では事前放流ガイドライン（2020年4月）に基づき、洪水調節容量の不足が生じる場合は、最大3日前からその不足分を事前放流する（図-6）こととしており、当初策定した実施要領に治水協定に基づく新たな事前放流ルールを追加し、2021年3月15日に要領を改定した。

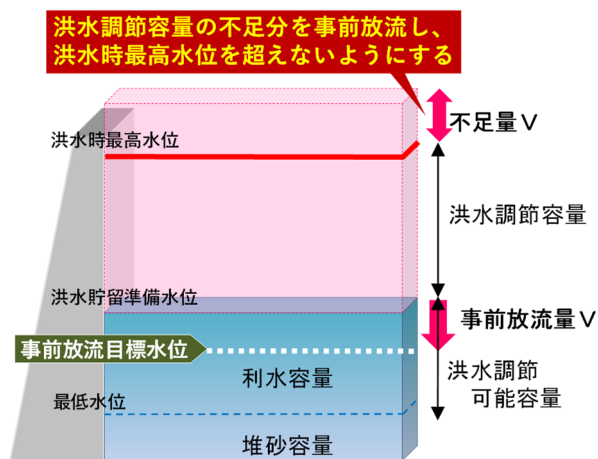


図-6 治水協定に基づく事前放流の概念図

(2) 特別防災操作

一庫ダムでは、従前より下流河川の生命・財産に重大な被害が想定される場合に、河川水位低減を目的として、洪水調節中であってもダムの治水上の安全性が確保できる状況であることを前提として、ダムの放流量を減じる「特別防災操作」を実施している（図-7）。これまでに、流入量のピーク前にダム放流量を減じる操作を3回、流入量のピーク確認後の減量操作を3回実施している。

下流河川整備が進捗途上であること、また猪名川本川には洪水調節施設がないことから、雨の降り方によってはダム放流量200 m³/sでも浸水被害が発生する可能性があり、特別防災操作は被害軽減に有効な操作である一方、ダムにとっては治水上のリスクを負う操作でもある。本操作は河川管理者から指示を受け実施しているが、地整内の局長承認の手続き規定及び実施基準が未整備であったため、関係機関と調整を重ね、2021年9月に河川管理者により指示要領が策定され、本格運用を開始した。

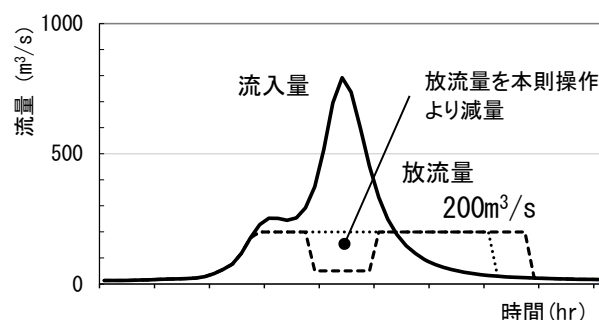


図-7 特別防災操作の概念図

5. まとめ

今回の洪水調節計画の変更は、下流河川整備が進捗し、下流能力が向上したこと、及び異常洪水時防災操作を経験したことも踏まえ、関係機関の理解と協力もあり早急に実現することができた。指定区間の河川改修は今後も継続して実施される予定であり、下流河川の治水安全度の向上に合わせて段階的に洪水調節計画を変更していく予定である。

近年の異常降雨の頻発化に伴い、ダムの計画規模を超える事例が全国で発生しており、ダムの洪水調節機能強化の流れが一層強まっている。一庫ダムにおいても洪水調節機能強化の取り組みを続けるとともに、関係機関との情報共有、住民のダム操作への理解の向上を図ってきたい。

参考文献

- 1) 小林孝通・中島宏幸・森昌樹. 2003. 一庫ダム操作規則の変更. ダム技術 No. 202. p. 53-62

青森河国ドローンTEC隊 ～地整初の職員派遣を経験して～

中林 匠¹・金 真一郎²

¹東北地方整備局 青森河川国道事務所 経理課（〒030-0822 青森県青森市中央三丁目20-38）。

²東北地方整備局 青森河川国道事務所（〒030-0822 青森県青森市中央三丁目20-38）。

当事務所では、「青森河川国道事務所 ドローン活用検討会」を平成30年10月19日に設立し、i-consustruction、ドローンの活用を推進しており、災害現場（TEC-FORCE活動含む）及び河川・道路等の現場における撮影を目的として講習会等を各月程度実施している。育成ポイントは、事務官・技官を問わずに、ドローン飛行のプロフェッショナルである請川博一氏を外部講師として迎え、多種多様な飛行経験を生かした操縦・撮影・訓練方法の指導等々を学んでいる。その技量習得により、令和2年7月豪雨山形水害では、東北地整初となるTEC-FORCEによる被災状況把握班としてドローン班が出動したものであり、その経験談及び青森式操縦士育成方法を含めた今後の取り組み等について発表する。

キーワード ドローンTEC隊、迅速な状況把握、訓練方法

1. はじめに

当事務所では、災害時において迅速な状況把握（TEC派遣へも活用）が可能となるように「ドローン活用検討会」をH30.10.19に設立した。育成ポイントは、ドローン飛行のプロフェッショナルである請川博一氏*を外部講師アドバイザーとして迎え、事務官・技官を問わず、多種多様な飛行経験を生かした操縦・撮影、訓練方法の指導等々を学んでいる。

※日本ドローン空撮の第一人者
（NHK連続テレビ小説「なつぞら」、自動車CM多数撮影外）



写真-1 堤防撮影状況

2. 東北地整初のTEC-FORCE活動

これまで東北地整内では測量会社、コンサル、広告会社及びUAV災害協定に基づく団体によるドローン活用の実績はあったが、東北地整職員が直接現地に行きドローンの活用実績はなかった。

しかし、令和2年7月豪雨山形水害が発生し迅速な状況把握を行うため、青森河川国道事務所から東北地整初のTEC-FORCEによる被災状況把握班としてドローン班が出動したものである。



写真-2 ドローン調査：肘折砂防堰堤周辺

3. 被災状況把握班の活動紹介（R2.7.31）

- 8:30 新庄河川事務所 調査箇所打合わせ
- 10:05～ ドローンによる調査開始
 - ①肘折温泉街の河道状況
 - ②肘折砂防堰堤および上流の施設調査
 - ③肘折砂防堰堤下流の詳細調査
 - ④苦水川沿川の施設調査
- 11:30～ ⑤日陰倉第2砂防堰堤周辺調査
- 15:00 新庄河川事務所長へ活動報告
～15:30



写真-3 調査結果報告：新庄河川事務所

4. 被災状況把握にあたっての留意点等

調査依頼箇所は7箇所。うち2箇所は電波障害及び降雨により調査中止となり、5箇所について空撮にて状況把握を行った。事務所と映像を共有することで現地状況が一目で確認でき、体制解除（異常なし）の判断資料として提供することができた。

留意点として、人力調査には危険とされる箇所を低空撮影ができるというメリットを生かすことであった。ただし、被災箇所は山岳部であり尾根等で電波障害が生じることも想定されるため、慎重かつ迅速に飛行ルートを判断する必要があった。当日は、補助者として新庄河川事務所等の職員方々が飛行ポイントを指示してくれたお陰で時間ロスなく最短コースで飛行することができた。



写真-4 モニター画面（テレメトリデータ）

今後は、以下写真-5のように、補助者が「外部モニター」で映像を共有することで、飛行位置や高度、バッテリー残量等を伝えることによって、更なる効率化に繋がると思われる。



写真-5 外部モニター

基本事項として、離発着場所は、トラブル時の自動帰還も想定しできるだけ安全な場所にする事、及び高压線、電線、簡易索道ケーブル、飛行時の支障物等の位置高さ等、現地の事前情報把握を行うことも重要である。

また、忘れていけないのは、ドローン機器の充電環境の整備は必須であり、当事務所では車内充電環境を整え対応している。



写真-6 現地状況



図-1 被災状況把握箇所

5. 最近のドローンTEC-FORCE活動 (R3. 8)

令和3年8月9日大雨で災害が発生した「むつ市、小赤川橋落橋」周辺の空撮調査を行った。

宮下むつ市長へ流木による河道閉塞状況をドローン映像で報告し、現地状況を把握することができた。

現場状況は、道悪で重機や作業員等らが混在するなか、降雨予想もあったため、速やかに安全第一に離陸場所を選定し、周囲周知のうえ飛行開始、1年前の経験を生かし最短コースをイメージして飛行させ、現地を的確に撮影し無事に帰還することができた。



写真-7 小赤川橋落橋現場 (8.12撮影)



▲使用する機体の説明



▲コーンを使用した練習



▲受講生によるドローン操作

写真-8 操縦講習会の模様

(3) 河川敷等での目視外飛行による撮影訓練

航空局長許可承認者を対象に、実際にアドバイザーと、河川敷等で目視外飛行による動画撮影の訓練を実施し、被災箇所をどのような捉え方をすることで的確に撮影できるか指導して頂く訓練も実施している。



写真-9 航空局長許可承認者向け動画撮影訓練

6. TECに備えた青森河川国道事務所の取組

平成30年10月19日設立の「青森河川国道事務所 ドローン活用検討会」運営要領に基づき、専門知識を有する方を外部構成員（アドバイザー）として参画して頂き進めている。

(1) プロフェッショナルな講師からの指導

講習会において、(有)RaveProject代表 一般社団法人 日本ドローンPROパイロット協会 代表理事の請川氏と、青森ドローン利活用推進会議 理事の中村氏を講師に迎え、マンツーマンによる指導をして頂いている。

講習会では、約15分程度で講習生がローテーションを行い、各講習生のレベルにあった丁寧な指導となっている。

(2) 安全装置解除による飛行訓練

安全に操縦できるパイロットの育成を目的に、外部講師と共にデュアルパイロットモード（二人で操縦）にて、安全装置を解除（GPS、各種センサー）し、安定しない機体の操縦訓練を行い操縦技術の向上を図っている。



▲講師の請川さん



▲講師の中村さん

(4) UAV飛行技術向上講習会（競技会）の開催

R2年度からUAV飛行技術向上を目的とした講習会を、(社)東北測量設計協会主催で事務所と連携し実施し、情報交換や競技会に向けての訓練等を行い、官民一体となり青森県内の技術の研鑽を図っている。



写真-10 UAV飛行技術向上講習会

7. 通常業務（災害時以外）での活用

(1) R2.10.7防災通信訓練でのドローン映像配信など被災想定地からリアルタイム配信を実施。



ドローン映像確認中（黒石市長）



公衆回線の「ライブ中継システム」
【Zao-S（ソリトンシステムズ）】



写真-11 防災通信訓練

(2) 河川協議資料等としての活用

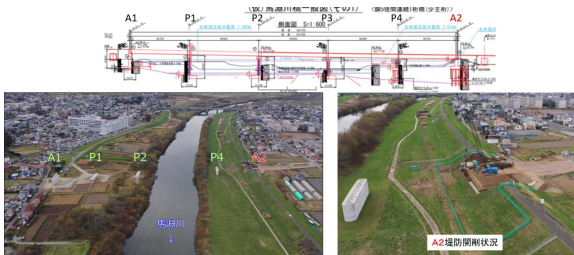


写真-12 新橋架設現地状況

(3) 情報発信ツールとして活用

○保安橋開通 (R2.12.15UP)



○洋野階上道路開通



○岩木川堤防徒歩点検 (R2.10.16)



○堤防法面草刈状況 (R2.8.4)



○岩木川空撮 (R2.6.9)



写真- 13 情報発信 (Twitter)

○国道279号 小赤川橋仮橋設置状況（むつ市大畑町）



出典：
地理院地図に道路被災箇所等
を追記して掲載

・落橋直後 (R3. 8. 12撮影)



・仮橋架設状況 (R3. 8. 19撮影)



写真- 14 情報発信 (HP)

8. おわりに（個人的所感も含め）

青森河川国道事務所では、「現場で使えるパイロット育成」が重要と考える。

現場では、想定外の事象が多々発生するため、飛行中のトラブル発生時に冷静に対応できるように、様々な環境での操縦に対応できるパイロットの育成が必要である。

また、「災害時の迅速な状況把握」という目的を職員全員で共有し、現場飛行の場数を踏むこと、安全対策の徹底及び利用しやすいルール作り等を策定していくことがドローンのさらなる活用及び浸透に繋がっていくものと感じている。

今後も引き続き事務所をあげて、訓練目的を共有し、関係法令及び安全飛行の知識向上を目的とした座学の充実、及び日頃から被災状況を想定したリアルタイム配信による撮影訓練等、更なる技術向上を図るものである。

最後に、今回の災害時調査は事務官である自分自身にとって貴重な経験となった。

UAVを用いたレベル3飛行（目視外補助者無し飛行）による河道閉塞および砂防施設の点検・調査活用について

北本 楽¹・柴田 俊²

¹近畿地方整備局 大規模土砂災害対策技術センター（〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6）

²長野県 姫川砂防事務所 砂防課（〒399-9422 小谷村大字千国乙10307-3）

2011年紀伊半島大水害で発生した複数の深層崩壊および河道閉塞は急峻な山奥にあり、出水直後は危険なため、人の立ち入りが困難である。これらの箇所での点検・調査はUAVの使用が有効であるが、現地は山奥で見通しも悪く制御電波も届かないため、UAVを安全に飛行させることが不可能であった。この課題を解決すべくレベル3飛行（目視外補助者無し飛行）下でのUAV自律飛行の現地検証を行った。本検証の特徴は撮影機と電波中継機の2機のUAVを併用して制御電波範囲を拡大することで、UAVの長距離飛行を可能としたことである。本稿はUAVを用いたレベル3飛行の現地検証および河道閉塞や砂防施設の点検・調査時の活用について報告するものである。

キーワード UAV, レベル3飛行（目視外補助者なし飛行）, 河道閉塞, 砂防施設, 点検・調査

1. はじめに

2011年に発生した紀伊半島大水害は、紀伊半島全体に記録的な豪雨をもたらし、3,000箇所以上の斜面崩壊および17箇所の河道閉塞を引き起こした。これを契機とし、紀伊山系砂防事務所では崩壊斜面や河道の残存土砂の流出を防ぐために直轄砂防事業を行っている。しかしながら災害後も、降雨・出水に伴う斜面の再崩壊および河道閉塞部の越流による土砂流出が観測されており、継続した点検・調査が必要である。このような崩壊地や砂防施設は急峻な山奥にあり、現場までのアクセスも悪く、点検・調査中の土砂移動による危険性も高いため、点検・調査を迅速かつ安全に行う際には、UAVの活用が有効であると考えられる。特に、レベル3飛行と呼ばれる無人地帯における目視外補助者なし飛行（図-1）は、監視員等の補助者なしでUAVの長距離飛行を可能とする。これまでもUAVを活用した点検・調査の事例は数多く存在するが、防災やインフラ管理を目的としたレベル3飛行によるUAVの活用は全国初の試みであった。本稿では、UAVによるレベル3飛行の現地検証を行い、安全にレベル3飛行が可能なUAV機体の選定段階や航空法などの法令申請手続きの上での留意点および、UAVによるレベル3飛行下での深層崩壊斜面、河道閉塞、砂防施設の点検・調査の有効性と今後の利活用について報告する。

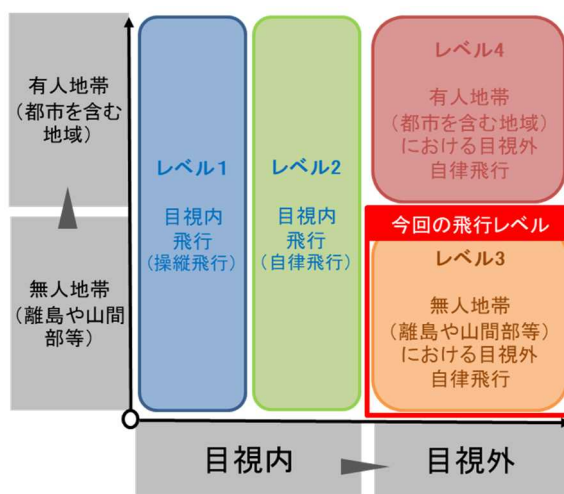


図-1 UAVのレベル飛行形態

2. 対象地区

現地検証は、紀伊半島大水害によって発生した複数の深層崩壊および河道閉塞箇所のうち奈良県十津川村栗平地区を対象とした。栗平地区では発災当時、幅600m、高さ450m、長さ650mの深層崩壊が発生し、約2,385万m³の崩壊土砂が河道を閉塞し、河道閉塞を形成した（令和3年3月湛水池埋め立てにより解消済み）。現在でも降雨による出水に伴い土砂流出が確認されており、崩壊斜面および河道に残った不安定土砂が下流域へ流出するのを防ぐために、砂防施設整備を行っているところである。

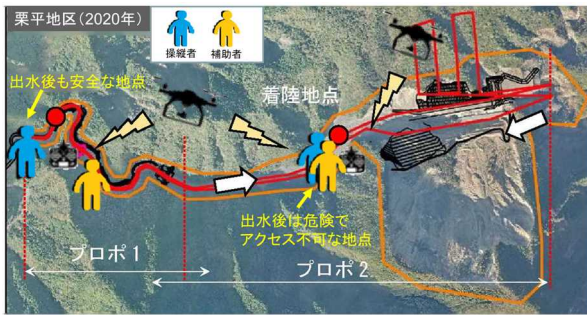


図-2 栗平地区におけるUAV目視内飛行時の調査員配置

3. これまでの取り組み

栗平地区では過年度より、目視内・自律飛行でのUAVによる崩壊斜面、河道の調査および砂防施設の点検を行っている。自律飛行とはあらかじめ設定した飛行ルートに従いUAVを自動で飛行させることで、手動操縦よりも正確かつ迅速に同一ルート・画角で撮影を可能とする手法である。栗平地区は、急峻な地形に囲まれて河道も湾曲しており見通しが悪く、携帯電話の電波も圏外である。こうした環境下では、UAV飛行中に地上の操縦リモコン（以下、プロポ）と空中の機体との通信電波強度が弱くなる場合があり、異常時に操縦者による飛行中の強制介入が難しいため、航空法に基づくレベル3飛行の許可を取得することができなかった。これを受けて目視内飛行による点検・調査を検討したが、対象地区でUAVを飛行させるためには、崩壊斜面下流の河道部に複数の操縦者およびUAVを直接目視する補助者を配置（図-2）する必要があり、この方法では出水時などの緊急的な調査の際に調査員の安全を確保することが困難であった。携帯電話の電波が圏外という条件下で通信電波強度の不安定化を解決し、二次災害の心配がない安全な地点から、目視外によるUAVの長距離飛行を用いた点検・調査を可能にすることが必要であった。

4. 現地検証

(1) 機体の選定

UAVによるレベル3飛行の現地検証を行うにあたり、UAV機体の選定を行った。選定ははじめに、対象地区の前提条件として、①対象地区の過去の被災状況や砂防施設状態を確認して、点検・調査項目を整理し、②対象地区の広さ、操縦者と機体の直線見通し条件、人工衛星や携帯電話の電波通信環境等を確認した。次に、UAVの性能・仕様条件として、③対象地区全体を網羅する長距離飛行が可能であり、地形や砂防施設の出水前後の変状を検知可能なカメラの解像度を有すること、④離着陸まで全自動飛行が可能かつ、レベル3飛行の承認実績がある産業用機体であり飛行の法令申請が可能な機体であることを確認した。これらに基づき、①～④の条件を満たす機体を選定した。なお、UAVには固定翼機、回転翼機があ



図-3 現地検証に際して選定されたUAV4機体



図-4 UAV飛行における主な関連法令

（黄色：UAVによるレベル3飛行下の自律飛行に関する法令）

るが、本検証では回転翼機（マルチローター）を対象とした。選定の結果、MATRICE300RTK（DJI社）、skydio2（skydio社）、ALTA X（FreeFly社）、ACSL-PF2（自律制御システム研究所）の4機体（図-3）を選定した。

(2) レベル3飛行における事前申請手続き

UAV飛行に関する法令は図4に示すように様々なものがあり、飛行前にレベル3飛行の使用機体や飛行ルート、高度150 m以上での飛行、離発着箇所の土地占用申請等の申請を行う必要があった。特に、航空法の申請では、レベル3飛行下で使用するUAV機体の安全性の確保について、根拠を添えて、航空局への申請が必要であった。申請先とのやりとりの中で得た、申請手続き上の重要な知見は、①レベル3飛行の申請は、ホビー用機体を想定しておらず、産業用機体を用いること、②自律飛行中に強制的に操作介入ができるように機体とプロポの通信が飛行中に途切れないことを確認すること、③想定される運用に対して十分な飛行実績があり、実績は機体の初期故障期間を超えたものであること、であった。飛行計画の申請には立入管理区域の設定や初期故障期間についてメーカーからの情報提供を受ける必要があった。航空局へのレベル3飛行の申請状況及び要した日数は初回に申請したACSL-PF2は57日であったが、申請手順の整理により、その後のskydio2では23日まで短縮することができた。

(3) 検証概要

現地検証は、対象地区において2021年3月22日～23日に行った。UAVの離発着地点は、過去の出水実績より河道閉塞部から土砂流出した場合でも車でアクセス可能な安全な地点（河道閉塞部から下流約2 km）とした。離発着地点には地上局として、UAVの操縦者とUAVから伝送される機体制御情報や映像を監視する補助者を配置した。前述のとおり、栗平地区では、UAV飛行中にプロポと機体との通信電波強度が弱まることからレベル3飛行が困難であった。そこで、プロポと現地点検・調査用のUAV（以下、撮影機）との通信電波を中継するためのUAV



図-5 上； UAVの飛行ルート、下； 離発着地点と地上局

(以下、中継機)を飛行させることで通信強度を安定させ、レベル3飛行下での自律飛行の実施を試みた。

撮影機と中継機は、レベル3飛行の法令申請状況や現地での試運転結果を踏まえ、図-3で選定した機体のうちACSL-PF2を使用することとした。撮影機の自律飛行ルートを図-5に示す。飛行ルートは過年度までに実施した目視内飛行のルートを用いた。撮影機は栗平地区の崩壊斜面や斜面直下の河道の危険箇所および1号砂防堰堤等の砂防施設の撮影を行うために、対地高度149 m以下とし、対地高度150 m以上の飛行に必要な航空法の申請を省略した。なお、堰堤等の施設付近は出水前後の変状の判別を想定し、対地高度100mまで近接した。飛行は動画撮影1回と静止画撮影(インターバル2秒/枚)1回とし、計2回、往復約6kmの区間を自律飛行させた。中継機は離着陸地点では携帯電話の電波が圏外であり、操縦者と撮影機の直線見通しが悪いため、中継機を介して通信電波の伝送が可能な対地高度300 mまで離着陸地点からほぼ垂直に上昇させた。これにより撮影機から中継機を介して地上局に対して機体制御情報や撮影映像の伝送を試みた。なお、離発着地点は、左右岸が急峻な狭窄地形となっており、GNSS捕捉数が自動離着陸を行うために十分な数を下回ったため、撮影機は離着陸時のみ手動で操作し、離陸後に上空でGNSS捕捉数が十分になった地点から自律飛行に切り替えた。

(4) 検証結果

撮影機と中継機を2機同時に併用することで、飛行中にプロポと撮影機の通信強度が弱くなることなくレベル3飛行下での自律飛行を行うことができた。1回の飛行は約15分であった。撮影した映像や機体制御情報は中継機を経由してリアルタイムに地上に伝送され、離発着地点に設置したモニター画面で確認することができた(図-5)。撮影した動画から崩壊斜面、斜面直下の河道、1号砂防堰堤の状況や堆砂域の土砂堆積状況を迅速に確認することができた。また、撮影した静止画は2,000万画素と高解像度であり、出水前後の砂防施設の変状等を識別できる解像度を有することが確認された。以上より、急峻

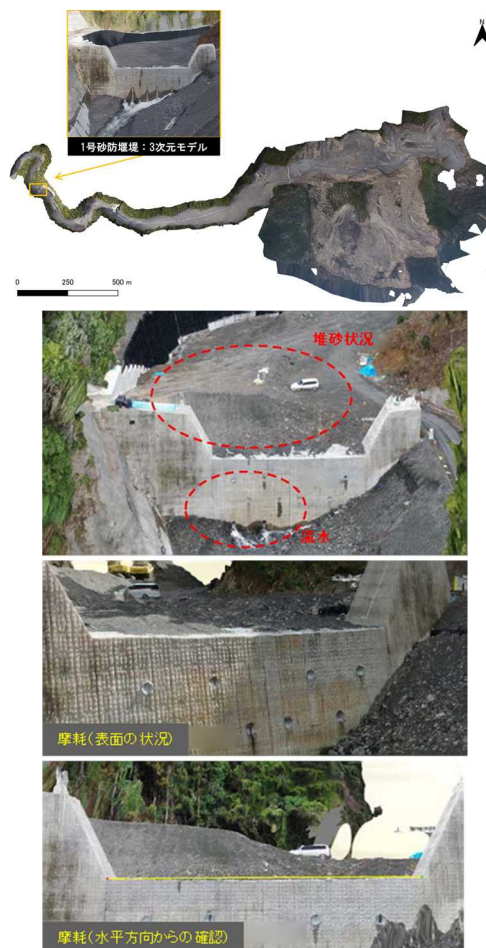


図-6 上) SfM解析で作成したオルソ画像
中・下) 3次元モデルによる堰堤の変状推定

な地形に囲まれてアクセスも悪く、携帯電話の電波が圏外かつ、危険で人の立ち入りが困難な箇所において、安全な地点から2機のUAVを同時に自律飛行させることで中継機による電波経路を利用し、崩壊斜面や河道、砂防施設の状況を迅速に把握することが可能であり、出水時における緊急的な点検・調査においてUAVによるレベル3飛行が有効であることが示された。

(5) 撮影データの解析

インターバル撮影した静止画はオーバーラップ85%以上になるよう設定しており、計208枚の連続した静止画とSfM (Structure from Motion) 解析により、栗平地区全体のオルソ画像と3次元モデルの作成を行った。使用したSfM解析ソフトはMetashape (Agisoft社)であり、解析時間は約2時間であった。オルソ画像(図-6)からは対象地区全体の土砂堆積侵食を迅速に確認することができた。また、砂防施設の3次元モデルから、堰堤の洗掘による破損や摩耗について確認できた。3次元モデルは静止画に比べてテクスチャが粗くなるため、ひび割れ等の細かい変状を把握するのは困難であったが、地区の全容を視覚的にわかりやすく俯瞰できることから、点検・調査において地区全体の変状や土砂流出・堆積状況を判断する際に活用できることが示された。

5. UAVレベル3飛行の利活用

(1) UAV2機の併用によるレベル3飛行の課題

現地検証では、中継機との電波強度を安定させるために、撮影機の高度を最低でも対地高度100mとした。しかし、砂防施設のひび割れといった数mmの変状まで識別するためには、より対地高度を下げ、砂防施設に近接する必要がある。今後は中継機と撮影機の位置関係を試行錯誤的に試験し、相互位置の自動補正機能などを検討するとともに、撮影機への中継機追尾技術や複数台のUAVの使用による電波強度の安定化を目指す。

(2) UAVレベル3飛行の活用

レベル3飛行は目視外においてUAVを飛行させることによって、目視内では制限される長距離の飛行を可能とするものである。本検証は電波状況の改善のために中継機を併用したが、携帯電話の電波等が届く環境であれば電波中継はUAVでなくても可能であり、たとえば事務所と現場といった遠隔地から、地上の電波局を經由してUAVのレベル3飛行の運用が可能になると考えられる。また、本検証では離着陸地点に設置したモニター画面にてUAVの撮影画像を確認していたが、これらの映像も同様に遠隔地に伝送して、UAVの映像をリアルタイムで共有可能であり、出水直後の緊急調査着手の判断の際にも活用が期待される。近年では、伝送される動画や静止画から同時並行でSiM解析を行うことで、リアルタイムにオルソ画像や3次元モデルの作成し、より詳細な情報を取得することができる(図-7)。

本検証では、点検・調査を想定して事前に飛行ルート・画角を設定して自動飛行を行ったが、出水後などの別時期においても飛行ルート等を同一に設定して運用すれば、同一アングルで繰り返し撮影が可能であるため、出水前後の変状をより効率的に抽出することができる。これに、AI等を活用した画像解析技術を用いることで、二時期の画像から変状を自動検知することも可能であると考えられる。また出水前後の3次元モデル同士の差分解析などにより土砂流出状況の定量的な解析も可能になり、堰堤の堆砂状況の把握や除石管理の計画検討にも利用できる。今後は、同一アングルで撮影される定点画像を用いて自動で変状抽出から施設点検台帳作成まで行うような定期点検へのあり方が考えられる。

(3) 離発着を含む完全自律飛行の活用

レベル3飛行による施設点検のさらなる有効性を確認するために、スイッチ1つのみで現場に設置した格納庫からUAVが離陸し、砂防施設点検ルートを飛行したのち格納庫に収納されるまでを自動で行う完全自律飛行について、追加で検証した(図-8)。この検証ではVisual SLAM技術を搭載したUAVを用いることでUAVに搭載されたカメラ画像を用いて周辺環境と機体位置を推定し、



図-7 UAVと遠隔地間での映像共有



図-8 格納庫を用いた完全自律飛行の検証

機体自らが障害物を回避して飛行するようにした。この検証により、あらかじめ現地に格納庫を設置してUAVをスタンバイしておけば、将来的には、作業員が現場に行かずとも、安全かつ効率的な施設点検の実施に活用できることが示唆された。今後は、UAV格納庫の設置箇所の検討やVisual SLAM技術の活用を前提とした施設点検計画などの運用条件の整理を行う必要がある。

6. おわりに

今回の現地検証では、2機のUAVを併用したレベル3飛行下における自律飛行によって崩壊斜面や砂防施設等の点検・調査に関する検証および有効性や利活用について報告した。砂防堰堤の定期点検は、これまで作業員が両岸の尾根を超えて現場まで徒歩で移動し直接目視によって砂防施設の変状の有無や土砂堆積状況を確認する必要があったが、UAVによるレベル3飛行の活用により、これまでの作業を飛躍的に効率化し、作業の安全性確保にも繋がると考える。レベル3飛行の実用化に向けては、使用可能機体に制約があること、飛行ルートを事前に作成した上で許可申請が必要であること、申請が複雑で実績も少ないことから導入へのハードルが高いといった課題が残っている。今後は許可申請の体系化・簡略化について関係機関と協議して、とりまとめを進める。また、国産UAVを含むUAV市場の動向にも注目し、新技術の利活用を積極的に検証しながら、レベル3飛行を用いた点検・調査の実用化に向けて課題解決に取り組んでいく。

参考文献

- 1) UAVの自律飛行による天然ダムの緊急調査及び被災状況把握に関する手引き, 令和2年3月, 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