

令和 5 年度
国土交通省 国土技術研究会
概要論文集
～一般部門＜安全・安心Ⅰ＞～

研究会 1 日目（12 月 7 日（木））

10：15～15：15

自由課題(一般部門＜安全・安心 I＞)

12月7日(木) 10:15～15:15 ③C会場

発表 順序	発表時間	課題名	発表者所属	発表者名
1	10:15～10:30	航空レーザ測量成果から算出した流出土砂量と実際の流出土砂量との比較の試み	国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室	西脇 彩人
2	10:30～10:45	印旛沼開発施設における予備排水の効果について	独立行政法人水資源機構 千葉用水総合管理所	本間 昭宏
3	10:45～11:00	除雪グレーダのブレード自動制御システムの開発	東北技術事務所 施工調査・技術活用課	田中 孝之
4	11:00～11:15	高強度で軽量なFRPを活用した鋼橋の補修補強方法に関する研究開発	国立研究開発法人土木研究所 橋梁構造 研究グループ	小野 健太
5	11:15～11:30	複雑な海底地形に位置する護岸の越波流量及び作用波圧に関する水理模型実験	国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 寒地水圏研究グループ 寒冷沿岸域チーム	佐藤 功坪
6	11:30～11:45	転用ケーソンの健全度評価と再利用における考察	北陸地方整備局 伏木富山港湾事務所	久保 慧
7	11:45～12:00	国道2号大野地区における防災対策(越波対策)について	中国地方整備局 広島国道事務所 管理第二課	川田 貴史
～	12:00～13:00	休憩		
8	13:00～13:15	大規模災害時における道の駅の活用について	中部地方整備局 沼津河川国道事務所	安達 太陽
9	13:15～13:30	国道329号金武インター交差点の渋滞対策について	内閣府 沖縄総合事務局 北部国道事務所 管理第一課	村田 太紀
10	13:30～13:45	旧築地市場解体工事における「適正、安全、完全なアスベスト除去」に向けた取組み	東京都住宅政策本部 都営住宅経営部 再偏利活用推進課	足立 祐未
11	13:45～14:00	建築物除却工事におけるアスベスト除去方法の法的観点からの検討	長野県 建設部 施設課	塩野 靖生
～	14:00～14:15	休憩		
12	14:15～14:30	「ミズ」から学ぶ河川防災教育のこれから	北海道開発局 網走開発建設部 北見河川事務所	嵯峨井 聖貴
13	14:30～14:45	防災まちづくりへ向けた技術的支援事例	九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 流域治水課	堤 宏徳
14	14:45～15:00	大和川遊水地における内外水に対応した施設計画について	近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第三課	鈴木 真菜
15	15:00～15:15	目指せ犠牲者ゼロ！～命を守るに淀川流域治水プロジェクト対策～	いの町役場 総務課 危機管理室	渡辺 智之

航空レーザ測量成果から算出した流出土砂量と 実際の流出土砂量との比較の試み

西脇 彩人¹

¹国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部 砂防研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

近年、災害前後に測量された航空レーザ測量成果による差分解析結果から流出土砂量が算出されているが、実際発生した流出土砂量との定量的な整合性の確認が課題である。本研究では、筑後川水系佐田川流域内寺内ダム上流域を対象に、2017年7月九州北部豪雨災害時に対象流域から流出した土砂量をほぼ全量捕捉していると考えられる寺内ダムの堆砂量を実際の流出土砂量にほぼ等しいと仮定し、災害前後の差分解析結果から算出した土砂量との比較を行った。

キーワード 航空レーザ測量, 差分解析, 流出土砂量, ダム堆砂量

1. はじめに

流出土砂量はある領域から流出する土砂量のことを表し、それを高精度に把握することは、砂防計画を立案する上で重要である。

流出土砂量は、近年は災害前後の航空レーザ測量成果による差分解析結果から算出されているが、その精度がどの程度のものか、検証された事例は少ない。

本研究では、災害前後の航空レーザ測量結果による差分解析結果（以下、差分解析結果という）から算出した流出土砂量について、実際の流出土砂量との比較を行い、差分解析結果による流出土砂量の精度はどれくらいあるのかについて検討を行うこととした。

差分解析結果による流出土砂量の精度検証を行うにあたり、実際の流出土砂量の算出は不可欠となるが、研究対象とする流域によっては、流域の末端部付近にダム等がないため、全量を把握することが難しい場合がある。そのため、実際の流出土砂量の設定については、下流にダム等があり、なおかつ、その施設において定期的に流入土砂量（ダム堆砂量）が測量されていれば、対象地域から流出した実際の流出土砂量に近い値として、比較を行うことが可能と考えた。

よって、差分解析結果による流出土砂量と実際の流出土砂量の比較を行うために、ダムが流域の末端に設置されていて、かつ多くの土砂移動現象が発生した流域を選定することで、対象流域内にて発生した災害によって流出した土砂量をほぼ全量捕捉していると考えられるダム堆砂量と差分解析結果による流出土砂量を比較することとした。

2. 研究対象流域

本研究の対象流域は、筑後川水系佐田川流域内寺内ダム上流域（約50km²）となる。対象流域の下流末端にある寺内ダムは、1978年に洪水調節及び利水等の目的で設



図-1 2017年7月九州北部豪雨によって
佐田川流域にて発生した土石流被害



図-2 研究対象領域（地理院地図より引用・加筆）

置された独立行政法人水資源機構が管理するロックフィルダムとなる。堆砂容量は200万 m^3 であり、2017年7月九州北部豪雨の際は、約888 m^3/s （計画高水流量の約3倍）の最大流入量を記録した¹⁾。

また、本研究の対象災害は2017年7月九州北部豪雨となる。この災害では、特に、対象流域の南東側に隣接する赤谷川および乙石川を中心に多数の土砂・洪水氾濫、土石流および流木災害が発生した。対象流域内においても多数の土石流等が発生し、下流末端にある寺内ダムの貯水域内へ多くの流木および土砂が流出した。

3. 研究方法

差分解析結果による流出土砂量（以下、流出土砂量という）とダム堆砂量を比較するにあたり、いくつかの問題点がある。それは、流出土砂量算出上の問題点、ダム堆砂量を流出土砂量の検証材料として用いる場合の問題点、そして、2つを比較する際の問題点である。このことを踏まえると、単純に比較を行っても、流出土砂量とダム堆砂量を正味の土砂量を比較した結果とは言えない。

そこで、本研究では図-4の流れで、検討を実施することとした。

(1) 流出土砂量算出における不整合要因の検討

流出土砂量の算出における不整合要因の検討を行ったところ、以下の3点が考えられる。

- a) 河道に流出していない崩壊土砂も計上している場合があるという点で、これについては、既往研究²⁾をもとに、河道に崩壊土砂が届いているかどうかを空中写真判読から実施し、届いている場合のみ流出土砂量の算出に反映した。
- b) 災害で発生し流域内に残存した流木についても、差分解析により土砂の堆積量として計上されるという点で、これは既存の調査結果³⁾から流域内に残存している流木量を把握し控除した。

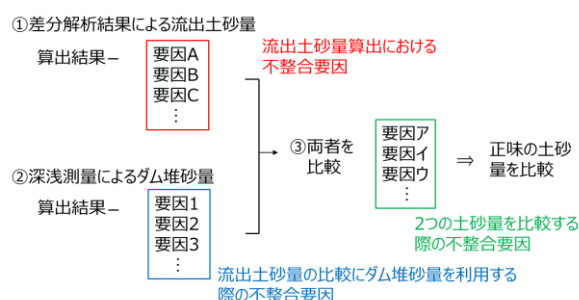


図-3 本研究における検討フロー

- c) 流域内での人為的な地形変化が土砂量に反映されるという点で、これは災害前後の空中写真から、流域内における人為的な作業による変化を把握し、控除した。

(2) 流出土砂量の比較にダム堆砂量を利用する際の不整合要因の検討

流出土砂量の比較にダム堆砂量を利用する際の不整合要因の検討については、以下の2点が考えられる。

- d) 災害前後の深浅測量期間内に撤去した土砂量がダム堆砂量には計上されないという点で、これに関しては既往の調査記録⁴⁾を確認し、撤去された土砂量を控除した。
- e) 出水中にダムに流入した土砂量について、放流中に含まれるウォッシュロード成分について考慮する必要があるという点で、これは、収集資料⁵⁾より寺内ダムの回転率を導出、導出結果に対して既往文献⁶⁾を参考に設定した。

(3) 流出土砂量とダム堆砂量の比較における不整合要因の検討

流出土砂量とダム堆砂量の比較における不整合要因の検討については、以下の2点が考えられる。

- f) 測量結果から算出した2種の土砂量にはそれぞれ測量

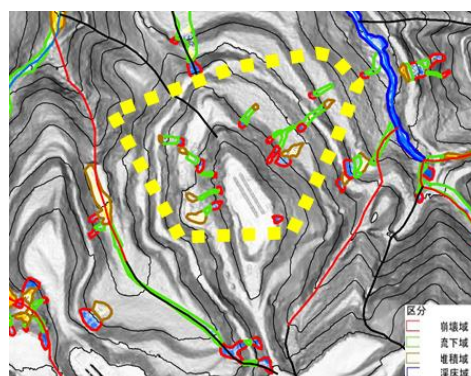


図-4 下流への流出が認められない土砂移動の例（図中の黄色破線）

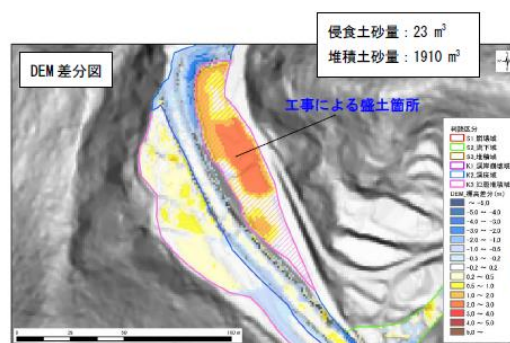


図-5 レーザ測量期間内に発生した人為的な土砂量の例

期間が違うという点で、どちらかの期間に統一する必要があるが、今回の事例では、航空レーザ測量期間のほうが、ダム堆砂量の測量期間よりも短いため、航空レーザ測量期間内のダム堆砂量で比較できるように流量と流砂量の関係式を作成して、関係式および図-6をもとにレーザ測量期間外のダム堆砂量を推定して、算出結果を元の測量結果に補正した。

g) 算出する土砂量に関する間隙率が異なるという点で、これは既往報告^{5) 6)}等から流出土砂量の算出に関わる地山、河床堆積土砂の間隙率およびダム堆砂量の算出に関わるダム堆砂の間隙率の幅を推定することで、間隙なしの正味の土砂量で比較することとした。

このような手順を踏み、様々な不整合要因を考慮しつつ検討を行い、流出土砂量とダム堆砂量の比較を行った。

なお、対象流域のレーザ撮影時期は、豪雨前が2017年1月で豪雨後が2017年7月13日～8月2日となる。

また、ダム堆砂量はマルチビーム深浅測量による、2017年に寺内ダムの利水容量内に堆積したダム堆砂量（以下、ダム堆砂量）データ⁷⁾を採用した。

4. 結果

不整合要因の考慮をしない流出土砂量およびダム堆

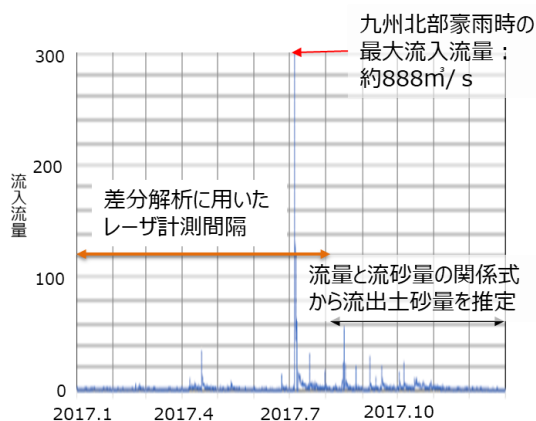


図-6 2017年の寺内ダムの流入流量（ m^3/s ）

砂量は、表-1のようになり、流出土砂量は $955,840\text{m}^3$ 、ダム堆砂量は $1,113,000\text{m}^3$ となった。

不整合要因を含めた流出土砂量とダム堆砂量の比較結果について、まず、3で検討を行った不整合要因について、表-2のように整理した。それを踏まえて、流出土砂量はa)～c)を考慮すると約 87.7万m^3 となった。また、d)およびf)を考慮すると、ダム堆砂量は、約 $115.3\text{万} \sim 124\text{万m}^3$ となった。

g)まで考慮した流出土砂量を算出したところ、表-3の

表-2 不整合要因の検討結果

不整合要因	考慮すべき土砂量（ m^3 ）
流出土砂量	a) 90,960
	b) 9,010
	c) 3,597
ダム堆砂量	d) 約 41,000
	e) 既往文献をもとに検討
土砂量を比較	f) 1,210
	g) 既往文献をもとに検討

表-3 間隙率を考慮した流出土砂量（ m^3 ）

間隙率		堆積土砂	
		35%	40%
地山	35%	576,442	599,490
	40%	512,193	533,512
	45%	448,662	469,291
	50%	385,881	405,870

表-4 間隙率および捕捉率を考慮したダム堆砂量（ m^3 ）

		捕捉率		
		93%	95%	100%
間隙率	50%	619,780	588,158	576,395
	55%	557,802	529,342	518,756
	60%	495,824	470,526	461,116
	65%	433,846	411,710	403,477

表-1 流出土砂量とダム堆砂量の測量結果（不整合要因の考慮を含まない）

項目	測量方法	測量期間	土砂量	比率
流出土砂量	航空レーザ測量	2017年1月～2017年7月	$955,840\text{m}^3$	1.00
ダム堆砂量	マルチビーム測量	2016年12月～2017年12月	$1,113,000\text{m}^3$	1.16

ように約38.6万 m^3 ～59.9万 m^3 となった。また、e)およびf)まで考慮してダム堆砂量を算出したところ、表-4のように約40.3万 m^3 ～62万 m^3 となった。

5. 考察

検討結果をもとに、不整合要因を考慮していくと、図-7のように整理できる。まず、単純に流出土砂量とダム堆砂量の比較をすると、約150,000 m^3 の差が生じたことが分かった。これは、航空レーザ測量等の測量に伴う誤差に加え、測量成果から算出した2つの土砂量それぞれに不整合要因が含まれていること、そして測量期間が異なったことから、生じたものと考えられる。

次に、間隙率および捕捉率以外の、既に検討結果から算出した考慮すべき土砂量が判明している要因を考慮した流出土砂量およびダム堆砂量を算出した結果、流出土砂量が、約78,000 m^3 減少した。このことから、少なくとも、流出土砂量をより正確に算出する際は、河道に到達していない崩壊土砂量を考慮したうえで計算を行う必要があると考えられる。

最後に、間隙率および捕捉率まで考慮した航空レーザ測量によって算出される正味の土砂量や深淺測量によって算出される正味のダム堆砂量を比較した結果、不整合要因を考慮しない土砂量の4～6割程度、取りうる値の範囲が存在することが明らかとなった。また、不整合要因を考慮しても、それぞれの土砂量を取りうる範囲の上限値と下限値は流出土砂量とダム堆砂量でほぼ一致した。

このことから、今回の検討で対象とした航空レーザ測量の差分解析結果によって算出した佐田川流域の流出土砂量は、実際に寺内ダムに流出したと考えられる流出土砂量を一定の精度で算出できていることが確認できたと考えている。

6. 結論

豪雨時に流出した土砂量について、流出土砂量算出の観点、ダム堆砂量算出の観点、両者を比較する際の観点、といった様々な不整合要因を明らかにした上で、要因を考慮する方法について検討した。

また、平成29年7月豪雨によって多数の斜面崩壊が発生した福岡県朝倉市佐田川流域からの流出土砂量および下流にある寺内ダムの堆砂量について、いくつかの不整合要因の抽出および対応検討を行った上で比較を行うと、ある一定の値の範囲内で流出土砂量とダム堆砂量が一致

することが分かった。このことから、航空レーザ差分解析結果から算出した流出土砂量は、実際の流出土砂量を一定の精度で算出できていると考えた。

今後に向けては、他の流域においても、同様の結果が得られるのかどうかの検証を行うと同時に、他にも不整合要因はないかどうか再検討を行うことで、実際の流出土砂量に近づける検討を行っていきたいと考えている。

謝辞：執筆にあたり、九州地方整備局阿蘇砂防事務所長坂井佑介氏をはじめ、多くの方にデータの解析および本研究における指導をしていただいた。また、九州地方整備局河川計画課および独立行政法人水資源機構筑後川上流総合管理所寺内ダム管理所、筑後川河川事務所が公表されているデータを用いて、検討を実施した。この場を借りて感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 独立行政法人水資源機構筑後川局 (2020): 令和元年度九州地方ダム等管理フォローアップ委員会 寺内ダム定期報告書【概要版】
- 2) 西脇彩人・坂井佑介他(2021): 豪雨時における土砂移動の実態把握のための高精度な土砂収支図作成の試み, 令和3年度砂防学会研究発表会オンライン大会概要集, p.495-496
- 3) 九州地方整備局筑後川河川事務所 (2011): 第5回筑後川土砂動態調査に関するWG資料3 筑後川流域全体の土砂収支の推定について
- 4) 吉良八郎(1978): 日本における貯水池の捕ソク率と土砂収支
- 5) 石澤友浩・檀上徹 (2017): 平成29年7月九州北部豪雨に伴う地盤災害調査～災害発生から2週間後の災害調査によるヒアリング調査や現地採取試料分析および簡易な要因分析の速報～
- 6) 櫻井寿之・柏井条介・大黒真希: ダム貯水池の堆砂形態, 土木技術資料45-3, 2003

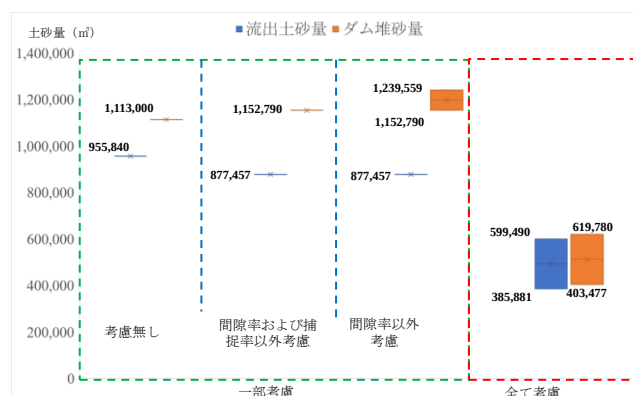


図-7 不整合要因を考慮した流出土砂量およびダム堆砂量の比較

印旛沼開発施設における予備排水の効果について

○本間 昭宏¹ ・ 海野 正哉²

¹ 独立行政法人水資源機構 千葉用水総合管理所 (〒276-0028 千葉県八千代市村上3097)

² 元 独立行政法人水資源機構 千葉用水総合管理所 (〒276-0028 千葉県八千代市村上 3097)

現 独立行政法人水資源機構 豊川用水総合事業部 (〒440-0801 愛知県豊橋市今橋町 8)

独立行政法人水資源機構千葉用水総合管理所が管理する印旛沼開発施設では、予測降雨量が一定量を超過する場合、降雨前に予備排水操作により沼水位を低下させることで水位のピークカットを行う対策（以下「予備排水」という。）を2014年6月より開始、2020年に見直しを行い、現在試行運用中である。

本稿は、今や印旛沼の降雨対応の要となった予備排水の効果を検証するとともに、8年にわたる運用で見えてきた課題について報告を行うものである。

キーワード：防災、予備排水、判断降雨量、目標水位、洪水

1. はじめに

かつて「あばれ沼」と呼ばれた印旛沼は、千葉県北部の利根川下流に位置し、印西市、佐倉市、成田市、八千代市及び栄町の4市1町に跨る県内最大の湖沼である。流域面積は541 km²と千葉県の面積の約10%に相当する。1946年に印旛沼干拓事業が現在の農林水産省により開始され1963年に当時の水資源開発公団へ印旛沼開発事業として承継、1968年3月に事業完了し現在の姿となった。これにより印旛沼は自然湖沼から調整池としての役割を得ることで、農業用水、工業用水、水道用水の利水容量を確保するとともに、印旛水門・機場からの利根川への排水及び大和田機場による東京湾への排水が可能となった。しかし、事業完了から50余年、現在では流域内の宅地化による流出率増加や異常気象により、数年に一回程度の割合で機場の排水能力を超える降雨が発生しているのが現状である。特に2013年の台風26号の被害は大きく、これを契機として「予備排水」が導入されることとなった。



図一 印旛沼開発施設模式図

2. 印旛沼水位管理の概要



図二 印旛沼の水位管理



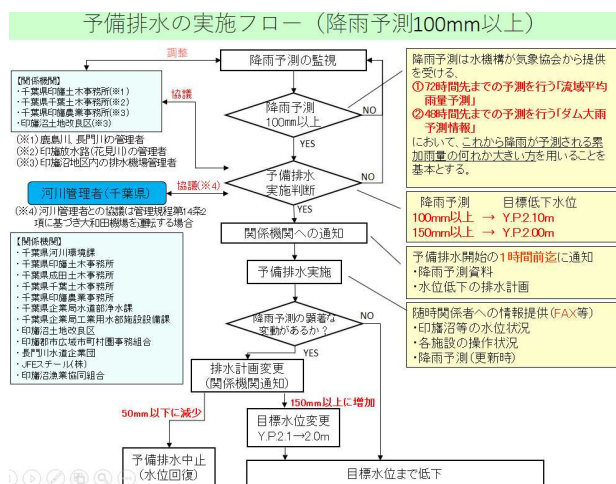
写真—1 印旛沼の利根川排水

印旛沼では、北沼に位置する①酒直機場（揚水）②酒直水門（排水）③印旛機場（排水）④印旛水門（排水・逆流防止）、西沼に位置する⑤大和田機場（排水）、⑥西沼、北沼をつなぐ捷水路（しょうすいろう）、⑦西沼、東京湾をつなぐ印旛放水路の施設があり、これら施設の運用により常時満水位 Y. P. +2.30m（灌漑期 5月～8月 は Y. P. +2.50m）を保っている。（図－1，2）

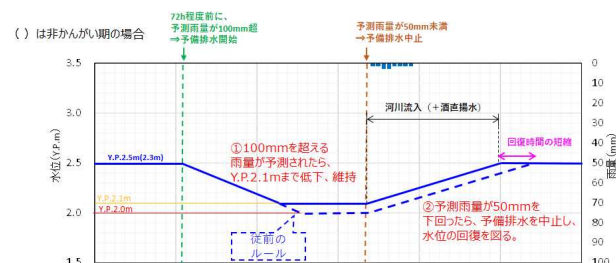
排水調節においては、まずは要の施設である酒直水門を操作することからスタートし、沼の水を北沼、長門川、印旛水門を通して利根川へ排水する。これは印旛沼と利根川の高低差を利用したものであるが、利根川上流域で多量の降雨があった場合、利根川水位の上昇により印旛沼側に逆流する場合がある。この場合、逆流を阻止するために印旛水門を閉塞し、印旛機場を運転する事で利根川へ排水を行う。（写真－1）また、沼への流入量が多く印旛水門・印旛機場での排水で排水能力が不足する場合には大和田機場を稼働し、印旛放水路を通じて東京湾へ排水を行う。（図－2）

印旛沼管理の現状について、印旛沼は1cm 当たり約115,600 m³の標準容量を持つため、約2千万 m³の洪水調節貯留容量（計画高水位 Y. P. +4.25m—常時満水位 Y. P. +2.50m）を持っている計算である。また、洪水時には計画最大流入量 450m³/s に対して、貯留容量と機場からの排水（印旛機場 92m³/s、大和田機場 120m³/s の計 212m³/s）にて流入量ピークである計画洪水水位まで水位を上昇させる計画である。しかし、近年の降雨では計画を大きく上回る流入もある。実績として例を挙げると、平均水位歴代2位 Y. P. +4.17m を記録した2013年の台風26号では、流入量ピーク時に約850m³/sの流入があったと推定されており、適切な機場運転を実施していたとしても貯留容量を早期に使い切る可能性があるため、対応方法の検討が急がれていた。

3. 予備排水の概要



図—3 予備排水実施フロー



図—4 段階的水位低下のイメージ

予備排水とは、降雨予測に基づき降雨前に酒直水門からの自然排水を行い、あらかじめ沼水位を低下させる運用である。事前にポケットを作ることによって貯留容量が増えるため、ピーク水位を抑えることが可能となり、機場運転時間の短縮にも繋がる。結果、治水安全度や経済性が大きく向上することとなっている。

予備排水は先に述べた2013年の台風26号を受けて組織された「印旛沼に係る洪水被害軽減に向けた調整会議（以下、調整会議）」により導入され、以降は72時間先までの予測降雨量が150mmを超える場合に水位をY. P. +2.00mまで低下させる運用を行っていた。しかし、2019年10月の豪雨には既存ルールでは対応仕切れなかった。線状降水帯により24時間未満という短期間で200mm以上を観測したこの豪雨では、事前の予測降雨量が予備排水開始基準である150mmに満たない101mmであったため予備排水は実施されず、機場排水能力を持ってしても沼の水位上昇を抑えられず、既往最高水位であるY. P. +4.28mを記録した。これは計画高水位を超える値であり、印旛沼からの直接の溢水はなかったものの、流入河川では背水の影響で浸水等の深刻な災害をもたらした。

この豪雨により、2020年2月の第10回調整会議において開始基準を予測降雨量 100mm へ引き下げる案が検討された。引き下げにより、水位低下頻度の上昇による漁業への影響等が懸念されたが、目標低下水位を予測 100mm 以上で Y.P.+2.1m、150mm 以上で Y.P.+2.0m という「段階的水位低下」(図-4)を導入し、水位を低下させたものの降雨が少量で水位が常時満水位まで自然回復しない「空振り」となるリスクを軽減することで関係者間での合意がなされ、続く5月の第11回調整会議にて了承、6月より試行運用を開始した。また、空振りを避けるためのルールとして予測降雨量が 50mm を下回った場合には予備排水を中止するルールを取り決めている。空振りの際、自然降雨により常時満水位まで回復しない見込みの場合には、図-2 ①の酒直機場を運転し、利根川の水を印旛沼へ汲み入れることで水位を回復させる操作を行う。

4. 運用状況について

表-1 予備排水実績一覧

年	月	気象	予測雨量 (mm)	実績雨量 (mm)	最低水位 (Y.P.+ m)	最高水位 (Y.P.+ m)	備考
2014	6月	前線	289	247	2.28	3.13	
	10月	台風19号	158	17	2.04	2.13 (2.13)	※揚水
2017	9月	台風18号	276	51	2.05	2.37	
	10月	低気圧・前線	174	54	2.11	2.35	
2018	8月	台風13号	219	26	2.16	2.31 (2.50)	※揚水
	9月	台風15号	173.1	110.4	2.26	3.06	
2019	10月	台風19号	164	111.5	2.03	2.74	
	11月	低気圧・前線	156.4	130	2.3	2.94	
2020	8月	—	(開始時)120.9 (最大)444.1	8.6	2.49	2.5	
	9月	台風12号	(開始時)101.7 (最大)222.9	46	2.02	2.37	
2021	10月	台風14号	(開始時)106.6 (最大)180.9	120	2.05	2.46	
	6月	前線	(開始時)102.0 (最大)151.1	269.7	2.25	3.35	
2021	8月	台風19号	(開始時)106.1 (最大)201.8	104.2	2.00	2.82	
	8月	前線	(開始時)106.1 (最大)106.2	164.6	2.39	3.20	
2021	8月	前線	(開始時)106.3 (最大)163.6	34.6	2.11	2.33	
	9月	台風14号	(開始時)111.5 (最大)114.7	35.4	2.09	2.47	
2021	9月	台風16号	(開始時)107.7 (最大)114.9	77.7	2.18	2.77	
	12月	前線	(開始時)101.9 (最大)144.7	58.2	2.13	2.44	
2022	5月	前線	(開始時)101.9 (最大)102.0	68.3	2.10	2.56	
	7月	前線	(開始時)101.9 (最大)102.0	0.6	2.24	2.42	※揚水

2014年の導入以降、2023年2月までに予備排水は計20回実施されている(表-1)。内訳は以下Ⅰ～Ⅳのとおりであった。なお、図-5の●は基準見直し前、■は見直し後、▲は揚水実績をそれぞれ示している。

Ⅰ. 実績 100mm 以上の降雨を観測したケースは8回

Ⅱ. 実績降雨量が 50mm 以上 100 未満のケースは5回

Ⅲ. 実績降雨量が 50mm 未満のケースは7回

Ⅳ. 50mm 未満のケースの内、空振りによる酒直機場からの揚水を行ったケースは3回(図中▲)

特筆すべきは■1で示した降雨であり、予測 108.6mm、実績 269mm の記録的なものであった。この降雨において仮に予備排水が未実施の場合、沼水位は常時満水位を 1.16m 上回る Y.P.+3.66m まで上昇し、氾濫注意水位を超えていたと推定される事からも、見直し効果が大きく現れた実績となっている。

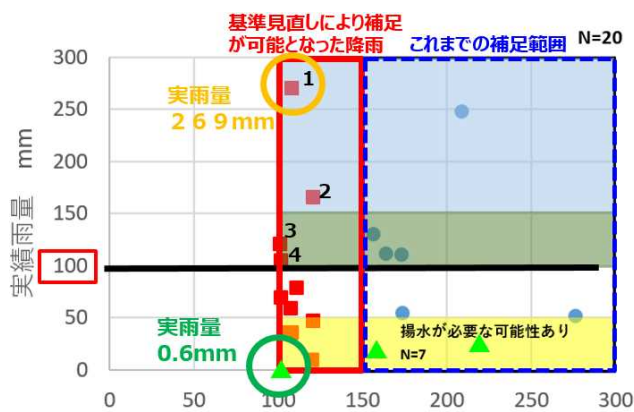


図-5 予備排水実績図

5. 予備排水の効果と課題の考察

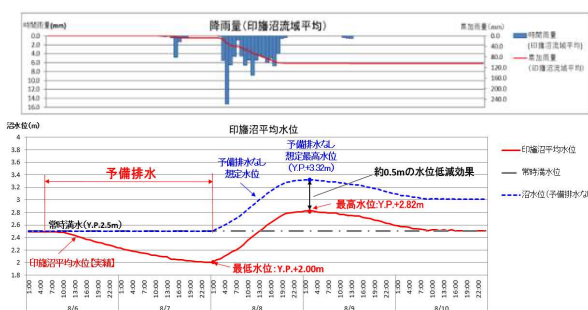


図-6 2021年8月6～10日の予備排水実績

基準が引き下げられたことで実施機会が増加しており、効果を実感する機会が多い一方で課題と感ずる部分も生じている。

予備排水の効果としては以下の2点が挙げられる。

①治水安全度の向上

予備排水が効果的に働いた事例として、2021年8月6日の実績を挙げる。グラフでは実線が実水位、破線が予備排水を実施しなかった場合の想定水位である。その水位差は約 50cm であり、仮に予備排水を実施していなかった場合には氾濫注意水位に近い Y.P.+3.32m まで到達していたと想定される。

予備排水の最も重要な効果が先に述べた貯留容量の増加である。通常 Y.P.+2.50m で約 2 千万 m^3 のところ、予備排水により 3 割増の約 2.6 千万 m^3 を確保することが出来、貯留能力を大幅に増加させられる。

②ポンプ運転費用の節減

洪水時、酒直水門からの排水で流入分を吐き出しきれない場合、機場を運転しポンプによる強制排水を行う事になる。しかし予備排水を実施する場合には、ポンプ運転と比較して極めて省動力な酒直水門操作により自然排水で水位を低下させることが出来るため、水位低下に要する動力費を削減できる。

これを 2021 年 8 月 6 日の酒直水門操作による予備

排水のみで対応できた洪水例で試算した。結果、実施しなかった場合では印旛機場を約 9 時間フル運転する必要が生じていたと想定され、ディーゼルエンジン・電動機合わせて約 100 万円弱のコスト縮減効果があったと考えられる。大和田機場も併せてフル運転する機会も加味すると、年間 1 千万円程度のコスト縮減が見込まれる。

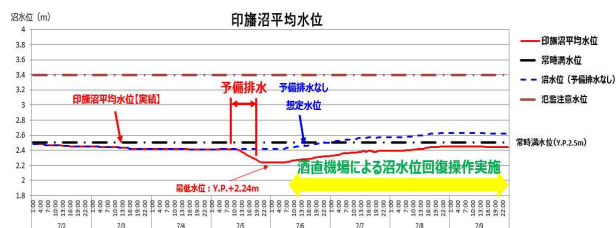
一方、課題としては以下の 3 点があげられる。

①空振りリスクの増加

予備排水最大のリスクは空振りである。非出水期等で空振りとなった場合、沼自流だけでは水位回復が期待できず、揚水運転に頼らざるを得ないため、運転経費増嵩のおそれが生じることになる。Y. P. +2.00m→Y. P. +2.50mまで回復させる場合、河川水位にもよるが概ね 500～800 千円が必要となる。また、予備排水の基準となる降雨予測は時間により大きく変動すること、前線性降雨は台風と比較して動きの予測が難しいことなどにより、予備排水は常に空振りのリスクを抱えている。図－5 を見ても、基準見直し後の実績■が 100mm 以下となっているケースが多い。基準見直しにより補足降雨が増加することで空振りの可能性が高まる傾向にあることには注意する必要がある。

実際に空振りにより揚水運転を行った事例として、2022 年 7 月 5 日の実績を挙げる。これは図－5 に示す実績雨量 0.6mm の例であり、予備排水低下分が自然降雨では回復せず、酒直機場運転による水位回復操作を行った。これは基準見直し以降初めての空振り対応であり、予備排水操作開始水位前までの回復に必要な揚水費用は約 500 千円の試算である。

印旛沼の機能確保として、農上工の利水、航路、漁業等の印旛沼に係るすべての関係者の利益を確保する必要がある。そのためには空振りした場合における水位回復操作の措置を明確にし、揚水運転の活用も含めて速やかな水位回復が大前提となることを関係者間で再確認する必要がある。さらに小雨傾向時の予備排水では、空振り時の回復操作が難しいことも鑑み、気象庁の情報や予測（今後の雨・雨雲の動き）や



図－7 2022 年 7 月 5～9 日の予備排水実績

TV による気象情報も勘案しつつ、予備排水操作を最小放流量まで減量して、数時間ほど降雨予測の動向を確認しながら弾力的な操作判断を行うことも必要である。

②舟運への影響

水位低下時に漁業関係者より、漁船等の航行に支障が出るとの苦情が寄せられることがある。予備排水ルールを確立させる調整会議においても懸念されていたが、航行への影響も懸念して目標低下水位 (Y. P. +2.1m→Y. P. +2.0m) を試行的に決定している。治水上の対応で水位低下が必要ということは理解していただいても、水位低下を行うのは降雨前であることから感覚的な面で納得しにくいいため、漁業関係者の理解を深めていただくようコミュニケーションを深めることが必要である。

③予備排水実施に関する労力の増加

ルールの見直しや降雨状況の変化により実施回数は着実に増加しており、職員の負担は決して軽いとは言えない。また予測雨量 100mm を超えた場合には自動でメール配信がなされる仕組みが整備されているが、常にメールを確認する必要があること、実施時には休日夜間を問わず関係機関、関係部署への協議・通知を行う必要があることから職員の参集が必須である。予備排水に係る実務には、省力化に向けた検討の余地がある。

6. おわりに

新基準運用開始から約 3 年が経過し、今後はさらなる柔軟な運用、例えば基準ギリギリの降雨予測への対応、職員の負担軽減など、実績を蓄積してきた中で見えた課題に対する解決策を模索する時期にあると考える。また、平行してそれらソフト対策に加え、計画最大流入量を上回る大規模な豪雨への対処の検討が必要であると感じている。現在の印旛沼開発施設は、他の同様な湖沼の施設と比較して、流域面積に対する排水能力が低いため、機場・水門等の施設の機能増強、更なる河川改修などが望まれる。近隣の手賀沼では、排水機場の能力増強 (62 m³/s ポンプ新設) 等の施設整備に係る事業が始まっている。

本稿では、ソフト対策の取り組みとして実施している予備排水について報告をしたが、関係自治体との間で構築されたホットラインの活用等を含め、より確実な防災対応に向けた取り組みを行っていききたい。

除雪グレーダのブレード自動制御システムの開発

○田中 孝之¹・佐藤 英樹¹・今野 孝親²・川上 穰久³

¹東北技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒985-0842 宮城県多賀城市桜木三丁目6番1号)

²山形河川国道事務所 防災課 (〒990-9580 山形県山形市成沢西四丁目3番55号)

³三陸国道事務所 管理課 (〒027-0029 岩手県宮古市藤の川4番1号)

除雪グレーダによる除雪では、除雪量（作業負荷）が大きくなると、作業速度が低下することから、ブレードに抱える雪を早く路側側へ排出するためにブレードを回転（角度調整）させる。この操作は、一般車両と一緒に公道を走行しつつブレードの回転とスライド操作を同時に行う必要があり、熟練した高度な技術が求められる。本開発技術である自動制御システムは、作業負荷を検知し、ブレードの回転とスライド操作を自動で行うことにより、オペレータは運転に集中することができ、経験の浅いオペレータでも熟練オペレータと同様の作業レベルを確保するものである。

キーワード 自動制御

1. はじめに

除雪グレーダは、ブレードを用いて新雪除雪及び路面整正作業を行う除雪機械であり、幹線道路における除雪作業の主力機械となるもので、安全で安心な冬期道路交通確保の重要な役割を担っている。

除雪グレーダによる除雪作業は、路面状況、道路構造及び沿道条件等にあわせた操作が必要であり、その操作は複雑で難易度が高く、オペレータの熟練した技術が必要である。近年、建設業の担い手不足が懸念されているなか、除雪機械の熟練オペレータにおいても高齢化及び減少が進んでおり、将来的に確保が困難な状況になることが予想される。

本稿では、担い手確保及び除雪レベル（品質）を維持するため、経験の浅いオペレータでも同程度の作業速度を維持できる作業装置のブレード自動制御システムについて開発した結果を報告するものである。

2. 作業装置操作系の整理および検討優先度

作業装置の自動制御を検討するにあたり、操作支援の優先度を整理して検討対象を決定した。

作業装置の各動作項目を図-1に示す。

- ①：ブレード昇降（押付力）
- ②：ブレードスライド（横送り）
- ③：サークル回転（推進角）
- ④：ブレードチップ（切削角）
- ⑤：シャッターブレード
- ⑥：前車輪リーニング

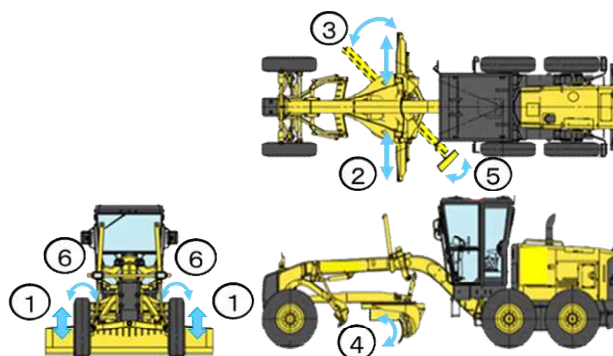


図-1 除雪グレーダの各動作

作業装置の操作のうち、交差点処理を行う⑤シャッターブレード制御、除雪路面の仕上がりに影響する①ブレード昇降（押付力）制御があるが、⑤は他地整が除雪トラックにおいて位置制御による自動制御を開発中であるため、今後それをベースとして開発する計画とし、①は既存技術のオートブレードとしてメーカーが開発済みであるため、検討の対象外とした。

自動化の優先度を把握するため、2車線と4車線の割合に偏りが無く、市街地、平野部、山間地を有した新型ワンマン除雪グレーダが配備されている岩手河川国道事務所盛岡西国道の橋場工区を選定し、操作回数の分析を行った。図-2に示すとおり③サークル回転、②ブレードスライドの操作回数が多く、オペレータからのヒアリングにおいても、特にブレード端部の位置関係に注意を払いながら操作しているとの意見が多かったことから、優先度が高いと判断した。さらに、ブレードスライドは、サークル回転と連動した操作が多数見受けられたことから

ら、自動制御の検討対象をサークル回転とブレードスライドの組み合わせ制御とした。

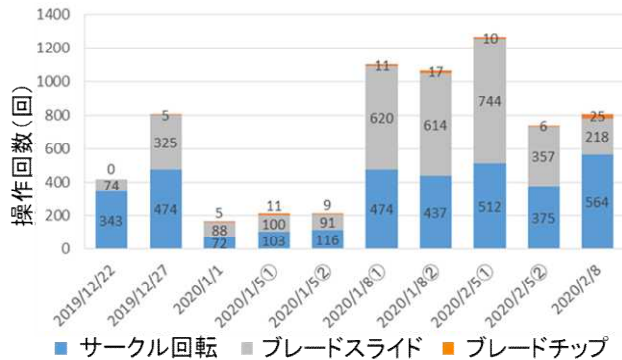


図-2 作業装置の操作回数

3. サークル回転(推進角)制御の検討

(1) サークル回転(推進角)操作の目的

サークル回転(推進角)操作の目的の一つとして、作業速度を維持するための作業負荷調整がある。ブレードで抱える雪が多くなると作業負荷が増し速度が低下する。このため速度が低下する前にサークルを回転させ、推進角を減少させることで、抱えている雪を路側側に流れ易くし負荷を減らし、速度を維持するのが目的である。

除雪グレーダの作業負荷は、オペレータの操作による押付力、切削角、推進角の要素で算出され、それらを変数に牽引力との相関を示すと図-3～図-5となる。この中で一番相関が強いのは推進角であり、推進角の操作が最もブレードにかかる負荷を低減し、作業速度を維持する効果が大きいことがわかる。

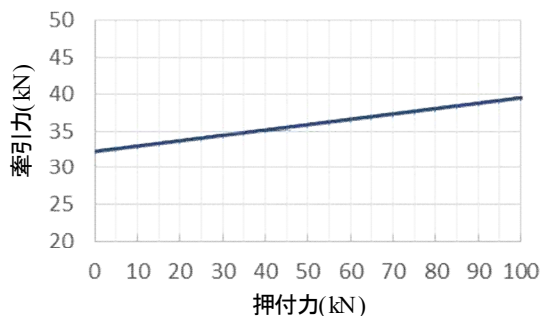


図-3 牽引力と押付力の相関

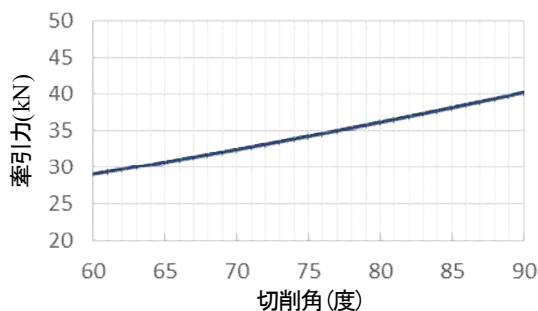


図-4 牽引力と切削角の相関

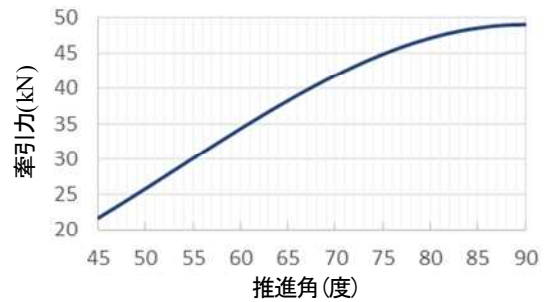


図-5 牽引力と推進角の相関

(2) 制御要素の検討

推進角を制御するにあたり、実機による運転データから制御要素の分析を行うため、推進角、ブレード負荷、エンジン回転数、作業速度データを抽出して図-6の関係性を得た。

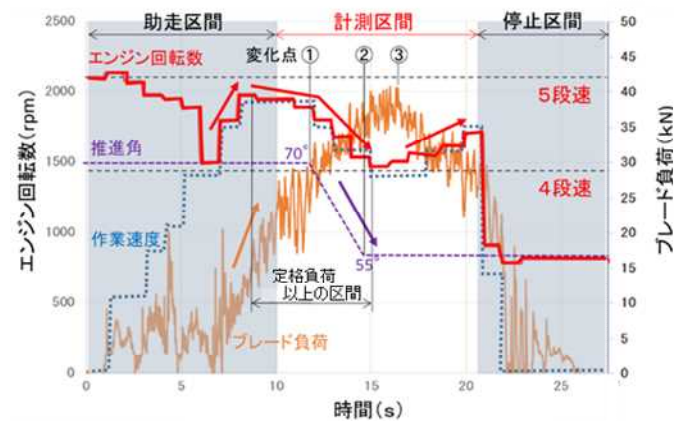


図-6 制御要素の関係性

- ・ブレード負荷による作業速度低下は、推進角の減少で回復可能(変化点②)
- ・推進角減少操作中でもブレード負荷が上昇(変化点①～②)
- ・ブレード負荷の変化と作業速度回復に時間差がある(変化点②～③)
- ・ブレード負荷に対する反応は、作業速度よりエンジン回転数の方が早い(計測区間)

各制御要素の関係性から、エンジン回転数を監視することで推進角を制御することが可能と判断した。

適切なサークル推進角は、エンジン回転数の変化から近似式により算定している。ただし、作業中のアクセル開度はほぼ100%で行っており、橋梁ジョイント等の注意箇所、対向車や後続車両を避けるための人為的なアクセルワークに伴うエンジン回転数の変化を排除するため、出力条件はアクセル開度95%(エンジン回転数1,900rpm)以上とした。

4. 自動制御システムの概要および機能

(1) 自動制御システムの概要

自動制御の動作を図-7、システムフローを図-8、主要な機器構成を図-9に示す。

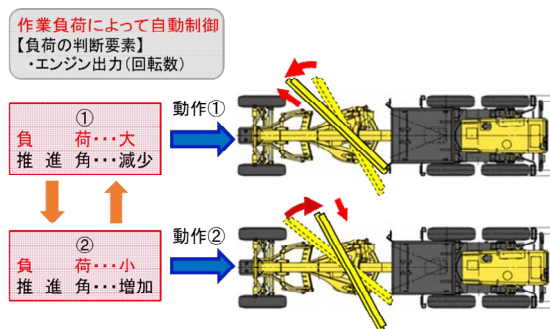


図-7 自動制御イメージ

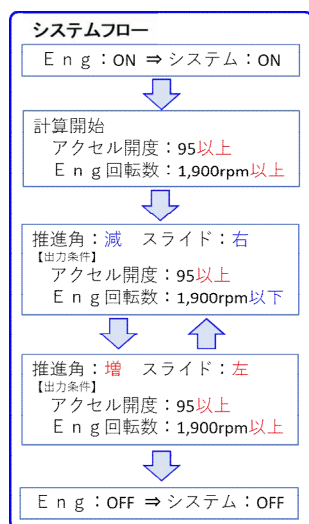


図-8 システムフロー



図-9 主要な機器構成

本装置の主要な機能は以下のとおりである。

a) 推進角の自動制御

- ・負荷増加によりエンジン回転数が設定回転数より低下時、推進角を減少
- ・推進角を減少させた場合、車体と接触する限界角で推進角の動作を停止
- ・エンジン回転数が定格回転に復帰した場合、推進角を設定角度まで増加

b) ブレードスライドの自動制御

- ・左右いずれかのはみ出し設定値に追従するようブレードをスライド

c) その他

- ・手動操作を行った際、自動運転モードを解除
- ・手動操作時のブレード左側自車接触警報、ブレード右側はみ出し警報
- ・各オペレータが任意の設定値（推進角、はみだし量等）に変更可能
- ・自動制御、手動制御の選択が可能

5. 最適制御を目指した改良

(1) ガイダンス装置

サークル回転（推進角）の自動制御を実施するにあたり、ガイダンス装置を製作し、ガイダンスとオペレータの実操作から、エンジン回転数による自動制御が適確性及び有効性を満足するか検証した。

a) ガイダンス装置概要

ガイダンス装置の表示内容を図-10に示す。

- ①除雪幅：推進角による現除雪幅員
- ②限界角：自車に接触する限界値
- ③現在角：現在の推進角
- ④推奨角：Eng回転数監視による目標角
- ⑤～⑦ブレード端部の位置関係
- ⑧推奨角に対する操作レバー入力方向

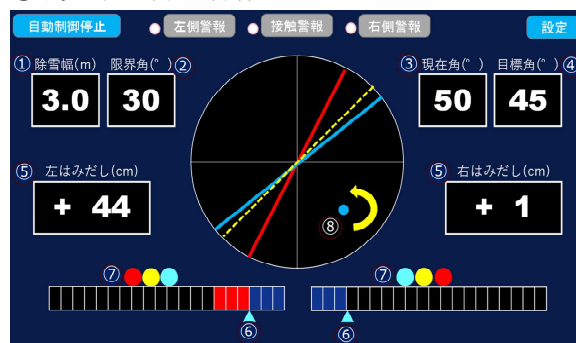


図-10 ガイダンスモニター

b) 操作タイミングの検証

ガイダンス出力に対して、オペレータ操作の時間差をみると平均8.5秒程度遅い操作となっていた。これは、ガイダンスはエンジン回転数の低下条件に達した段階で瞬時に目標推進角を出力しているのに対し、オペレータ

は、ガイダンスやタコメータ、速度計を常時監視しては
おらず、エンジン回転数の低下や速度低下がある程度継
続した段階で感覚的に認識してから操作しているものと
推察される。この結果からも、エンジン回転数の低下を
機械的に捉えて瞬時に雪を路側側へ排出する動作を行う
ことで、作業速度低下を抑えることができるといえる。

c) サークル回転（推進角）の検証

目標推進角とオペレータ操作角の差は操作毎のバラツ
キはあるものの平均 0.5° 以下となり、概ね良好な結果
が得られた。

d) モニタ表示のシンプル化

実証試験から、除雪グレーダの作業負荷に応じたブレ
ード操作支援については、他の土工用機械やロータリ除
雪車とは違い、ガイダンスではなく自動制御でなければ
効果は得られないということがわかった。

ガイダンスについてオペレータにヒアリングを行った
結果、ブレード位置は、熟練オペレータでもタイヤガー
ドに接触し損傷させることがあるため知りたいという意
見を頂いた。一方、除雪作業中は安全上の観点から、モ
ニタを注視することが困難であるため、ガイダンスをや
めて、表示は必要な情報のみとし、シンプル化した。図
-11に改良した操作状況画面への表示情報を示す。

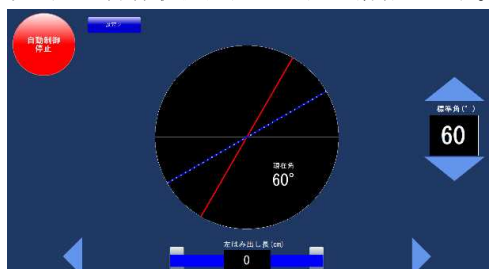


図-11 改良後の操作状況画面

(2) 作業前のブレード位置調整

ブレード自動制御では、サークル回転(推進角)とスラ
イド量を調整して、設定値どおりに作業装置を作動させ
たり、車体への接触防止を行う必要があるため、除雪作
業前にブレードを規定の位置に調整しておかなければ
ならない。これにズレが生じると、車体への接触や、設定
値以上に右側(対向車線)へはみ出し、重大な事故につ
ながる。調整方法として、サークルにマーキングを施し、
運転席から位置調整が行える方法を採用した。(写真-1)



写真-1 マーキングによる位置調整

(3) 現道除雪による試験

除雪グレーダの自動制御を実現するためには、安全性
の確保が最も重要なポイントとなる。インターロック、
手動操作介入、制御情報(方向、変位量等)のオペレー
タ認知方法なども制御プログラムに取り入れながら、改
良を重ねてきた。令和4年度冬期に現場へ配備し現場適
応性試験(図-12)を行っているが、積雪量が少なく効
果検証が不十分であるため、今後も検証を行っていく。

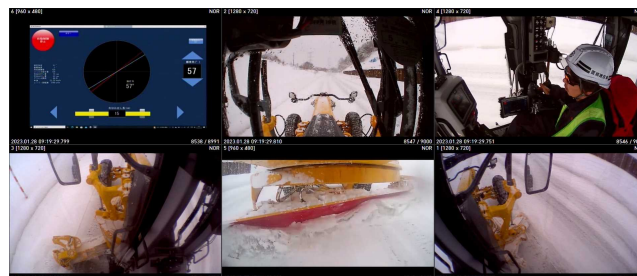


図-12 現場適応性試験状況

6. 最後に

今回開発した除雪グレーダの自動制御システムでは、
実機による運転データの分析を行い、エンジン回転数を
制御要素として採用した。製作したガイダンスと実操作
から、エンジン回転数による自動制御が適確性及び有効
性を満足することが確認できた。

今後は、位置情報に基づいたシャッターブレード開閉、
ブレードの推進角、バス停や右左折レーンの拡幅、橋梁
ジョイント等の障害物回避、トンネル入口回送姿勢等の
自動制御をさらに組み合わせる予定であり、令和5年度
はシャッターブレード動作を対象とし、現道適応性試験
を計画している。これにより、煩雑な除雪装置の操作か
ら解放され、経験の浅いオペレータであっても同程度の
作業速度で除雪が可能となる。ただし、上記制御のほか
にも沿道の障害物や一般車両の挙動から緊急回避的な操
作の必要性も残されていることから、完全自動化に向け
てはさらなる検討が必要である。また、DXの取り組み
の一環として、写真-2に示す操縦シミュレータ技術を開
発し、早期に必要な技量に達するための人材育成に加え、
除雪作業のイメージそのものを変革させ、新たな就業希
望者の増加を期待している。



写真-2 除雪グレーダ操縦シミュレータ

高強度で軽量なFRPを活用した 鋼橋の補修補強方法に関する研究

小野 健太¹・澤田 守¹・宮下 剛²

¹ (国研) 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

² 長岡技術科学大学 環境社会基盤系 (〒940-2188 新潟県長岡市富岡町1603-1)

2017年の道路橋示方書の改定で許容応力度設計法から限界状態設計法へと移行したことにより、部材の限界状態を適切に設定し評価することで新設橋の設計合理化のみならず既設橋の補修補強の合理化にも繋がることが期待されている。そのような中、既設橋の補修補強では炭素繊維シート適用事例が増えているが、終局に至るまでの挙動が十分に明らかにされておらず、限界状態の設定や評価に課題がある。本紙では鋼桁のせん断抵抗機構を踏まえて決定した炭素繊維シート補強構造を有する鋼桁に対して載荷試験を実施することで、終局に至るまでの挙動を評価し、FRPを合理的に活用した鋼橋の補修補強方法について検討した結果を報告する。

キーワード FRP, 鋼橋, せん断耐荷力, 限界状態

1. はじめに

2017年の道路橋示方書¹⁾(以下、道示)の改定で従来の許容応力度設計法から限界状態設計法へ移行したことにより、部材の限界状態を適切に設定し評価することで新設橋の設計合理化のみならず、既設橋の適切な状態評価や補修補強の合理化に繋がることが期待されている。

既設鋼橋の補修補強方法として一般的に鋼板の添接補強が行われるが、母材への穿孔が必要なボルト接合等により重量の大きい鋼材を接合することが求められる等、施工性に課題がある。近年、そのような状況を受けて炭素繊維シート(以下、CFRPシート)を鋼部材に接着接合する補修補強方法が着目されている。CFRPシートは軽量、高強度等の特性を有しており、鋼板の補強と比較して軽量の補強部材で所要の補強効果を得ることができるとともに、現場での優れた施工性を有している。

CFRPシートにより補修補強された鋼桁の検討はこれまでも多数実施されてきており、設計・施工マニュアル²⁾や補修・補強指針³⁾等の整備も進められている。例えば、腐食鋼桁の補修方法として、ウェブ面の対角線引張方向と圧縮方向にCFRPシートを交差させて接着させることでせん断座屈強度と後座屈強度を向上させる方法が提案されている²⁾。しかし、対角線の各方向に積層されたCFRPシートの強度上昇への寄与率等は明確となっておらず、どのように安全率を考慮してその補強効果を見込むのかに課題がある。今後、限界状態設計法を活用

しCFRPシートによる合理的な補修補強を行うためには、複合化された部材の終局状態に至るまでの過程を明らかにして、補強メカニズムを明確化するとともに、限界状態やその評価方法の検討を行っていくことが求められる。

本研究では、そのような背景を踏まえ鋼桁のせん断抵抗機構に基づいて決定したCFRPシート補強構造を有する鋼桁の載荷試験を行うことで、終局に至るまでの鋼桁の補強効果の評価を行うものである。

2. 実験概要

(1) 補強構造の基本思想

筆者らの既往の検討成果⁴⁾より、鋼I桁は斜張力場による対角線方向の引張抵抗および腹板隅角部の圧縮抵抗により主にせん断力に対して抵抗していると考えた。補修・補強を行う上ではこれらの抵抗機構を踏まえ適切に強度を回復・向上させることが基本となる。そのため、引張強度が期待できるCFRPシートは、対角線方向に接着して斜張力場の引張抵抗を向上させる補強に適用するのが合理的と考えられる。斜張力場の引張抵抗を確実に確保する為には、腹板隅角部が斜張力場の引張抵抗をアンカーできるように十分な変形抵抗を確保する必要があり、そのための別途補強が必要であると考えられる。上記の考えを踏まえ、図-1に示す斜張力場にCFRPシートを接着接合し、腹板隅角部に当て板を接合する補強工法を提案する。本補強工法は斜張力場にCFRPシートを接着す

ることで引張抵抗を補強するとともに、斜張力場の引張抵抗を確保するための前提となる隅角部の補強を当て板のボルト接合により行うものである。

鋼部材に接着された CFRP シートでは鋼部材に荷重が作用すると、CFRP シートの端部の接着剤に応力集中が生じ、シート端部を起点として、脆性的に剥離が生じる可能性がある。そのため、CFRP シート端部での剥離発生を避けるため、応力の小さい箇所にシート端部を設ける等の配慮⁹⁾がなされるが、鋼 I 桁のせん断補強に対して CFRP シートの適用を考える場合、シート端部を応力の小さい箇所に設けることが困難である。そのため、剥離が発生しないような構造や、剥離が生じたとしても代替する耐荷機構により直ちに荷重が低下しない構造とすること¹⁰⁾が求められる。本補強工法ではシート端部に剥離防止の定着板を接合しており、シートの剥離防止効果⁷⁾を確保するとともに、剥離が生じても端部定着効果で終局に至るまで CFRP シートが外ケーブルの様に引張抵抗する構造系となることを狙っている。

(2) 鋼桁供試体の諸元

図-2 に検討対象とする鋼桁供試体の諸元を示す。対象供試体は、道示Ⅱ編の規定を満足した上でせん断が支配的となるように断面を決定しており、腹板パネルの幅厚比は道示に規定される最大幅厚比 (=124) 程度、アスペクト比も道示に規定される最大値より 1.5 とした。使用した鋼材の材料試験値は表-1 に示す通りである。

(3) CFRP シートと樹脂材料

本研究では、中弾性型の一方向 CFRP シートを用いた。一般的には、常時荷重に対する鋼材の応力度やたわみの低減を目的として、弾性係数の高い CFRP シートが補強材料として採用されることが多い。しかし、限界状態設計法の導入を踏まえ、本検討では既設鋼材の塑性化以降の強度を最大限活用した合理的な補強設計法を目指し、応力度低減効果と耐力向上効果のバランスを取り中弾性型の CFRP シートを採用した。接着樹脂には一般的に用いられることの多いエポキシ樹脂を用いた。CFRP シートとエポキシ樹脂の材料特性は表-2 に示す通りである。

(4) 実験ケース

提案する補強工法の有効性の確認等を目的として載荷実験を行った。試験体は無補強、CFRP シート接着による補強、CFRP シート接着と端部定着板の併用による補強の計 3 ケースを設けた。図-3 に補強供試体の諸元を、表-3 に実験ケースを示す。

S-2 の供試体は CFRP シート接着のみを行った供試体であり、CFRP シートの繊維方向が対角線方向となるようにした。CFRP シートの積層幅は事前に行った予備解析の結果に基づいて斜張力場で特に応力が卓越することが確認できた範囲で設定し、250mm とした。また、積

層数は片面あたり 2 層の、両面で計 4 層とした。

S-3 の供試体は CFRP シート接着に加え端部に定着板を接合した供試体である。端部定着板は CFRP シートの積層幅に応じてその断面寸法の決定を行っている。なお、端部定着板の形状を三角形とすると、CFRP シートの幅方向縁端で十分な定着長が取れず弱点部となることが想定されたため、本供試体に示す定着板の形状を採用した。

(5) CFRP シートおよび定着板の施工

まず腹板の接着面にディスクサンダーによるケレン処理を行った。次いで、アセトンにより脱脂後、プライマーを塗布した。プライマーが乾燥後、エポキシ樹脂の下塗りを行い、CFRP シートの接着を行った後、上塗りを行った。CFRP シートの 2 層目接着についても同様の作業を繰り返し行った。

端部定着板の施工は、CFRP シートの施工後、十分な

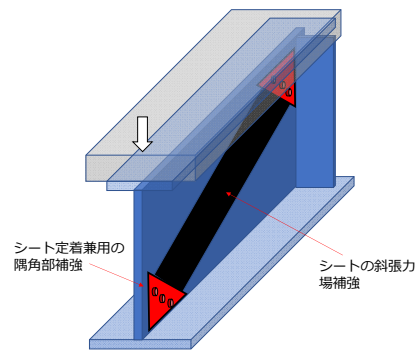


図-1 提案するFRP補強構造のイメージ

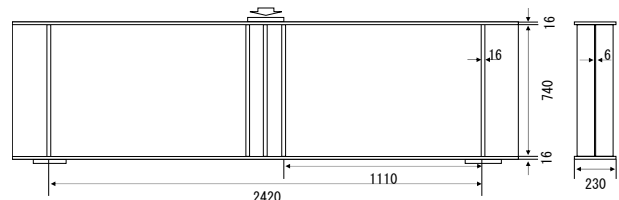


図-2 実験供試体 (単位 : mm)

表-1 鋼材材料試験値

項目	ウェブ	補剛材・フランジ
弾性係数(GPa)	207	197
降伏強度(MPa)	402	373
引張強度(MPa)	545	534

表-2 CFRP シート・エポキシ樹脂の材料特性

材料	項目	実験値
CFRP シート	目付量(g/m ²)	300
	設計厚さ (mm)	0.165
	弾性係数(GPa)	380
	引張強度 (MPa)	3365
エポキシ樹脂	弾性係数(MPa)	3523
	引張強度(MPa)	52.2
	引張せん断強度(MPa)	15.4

養生期間を経てから実施した。定着板の接合面はブラスト処理を行い、CFRP シートの接着に使用した材料と同様のエポキシ樹脂を用いて CFRP シート接合部全面に接着剤を薄塗りした後、仮ボルトを組立用スパナで締め付け、接着剤厚を極めて薄くした状態で養生した。1 週間の養生後に仮ボルトを取り外し、F10T-M22 の設計ボルト軸力 205kN の 1 割増し (226kN) の軸力を導入した。

(6) 載荷方法

土木研究所構内の 30MN 大型構造部材万能試験機を使用し、3 点載荷により供試体に荷重を与えた。図-4 に載荷試験の状況を示す。載荷方法は繰り返し載荷方式を採用した。これは複合化された部材としての限界状態の設定に向けて、各荷重または変位レベルに応じた残留変形や応力状態を把握する必要があると考えたためである。載荷制御の基本方針は、目標荷重までは荷重制御、目標荷重以降は最大荷重時変位を基準とした変位制御とした。なお、ここでの目標荷重は Basler 式⁸⁾により算出される荷重とした。実験では表-4 に示す通り、荷重制御の範囲では基準とする荷重で 3 回の繰り返し載荷、変位制御の範囲では 2 回または 1 回の繰り返し載荷を実施した。

3. 実験結果と考察

(1) 荷重－鉛直変位関係

載荷試験により得られた載荷点荷重－鉛直変位関係を図-5 に示す。図中には腹板を四辺単純支持とした場合の弾性せん断座屈強度と Basler のせん断強度⁸⁾も参考を示している。S-2、S-3 とも初期剛性の増加は小さいが、最大強度は S-2 で 14%、S-3 で 26%増加しており、一定の補強効果が得られていた。

(2) 破壊形態

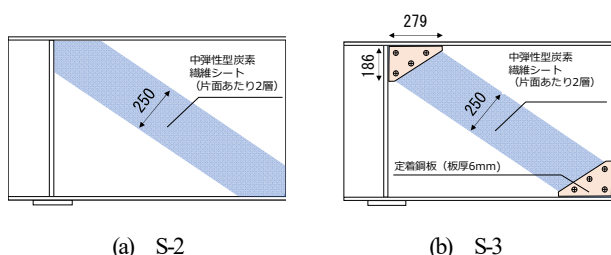


図-3 補強供試体の諸元 (単位: mm)

表-3 実験ケース

供試体	補強方法
S-1	無補強
S-2	シート対角方向 (片面あたり 2 層) 貼り
S-3	シート対角方向 (片面あたり 2 層) 貼り + 端部定着板接合

図-6 には載荷試験終了時の破壊モードを、図-7 には CFRP シートの剥離や破断、割れの進展状況をスケッチ図として示す。ここで、CFRP シートの剥離箇所の判断は繰り返し載荷の徐荷時に実施した打音検査の結果に基づいている。S-2 では Basler 式により算出される強度 ($P_y=1375\text{kN}$) までは CFRP シートに明確な剥離は見られなかったが、 $1.5\delta_y$ 到達後の徐荷時には CFRP シートの端部で部分剥離が生じていた。その後 $2.0\delta_y$ までの載荷過程において CFRP シートは剥離音を伴いながら端部より剥離を進展させ、最終的に全面剥離が生じることで急激な荷重低下が生じていた。一方、S-3 では $2.5\delta_y$ までは明確な CFRP シートの剥離は生じなかった。 $3.0\delta_y$ 到達後の徐荷時には CFRP シートの上側で縦割れを伴う剥離が生じ、その後 $4.0\delta_y$ に至る過程で CFRP シートに破断が生じ荷重低下が生じた。

以上から、CFRP シート単体の補強ではシートの剥離が生じ脆性的な破壊となる課題があったが、定着板を併用することで、シートの破断に至るまで剥離すること無

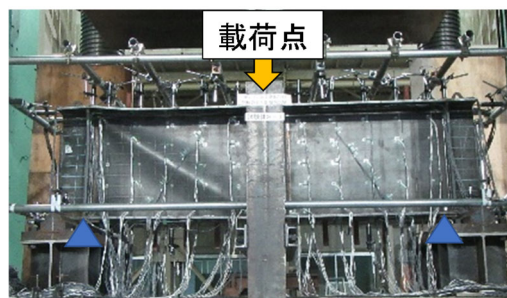


図-4 載荷試験状況

表-4 荷重または変位の上限值と繰り返し回数

荷重または変位の上限值	繰り返し回数
$0.5P_{\text{Basler}}$	3
$0.75P_{\text{Basler}}$	3
$P_{\text{Basler}} (=1375\text{kN})$	3
$1.5\delta_y$	2
$2.0\delta_y$	2
$2.5\delta_y$	2
$(3.0\delta_y) \times \text{S3 のみ}$	2
$4.0\delta_y$	1

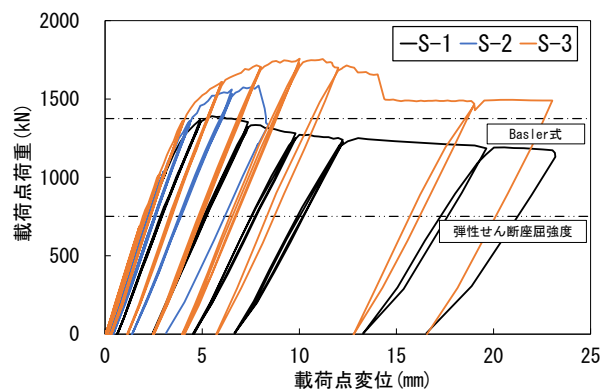


図-5 載荷点荷重－変位関係

く、有効に材料強度を活用できる可能性が確認できた。

(3) 腹板の変形

図-8には載荷終了時の腹板の残留変形の分布を示す。S-1とS-2では対角線中央付近でたわみ量が卓越する分布であるが、S-3ではたわみの山が2つ形成される分布となっている。定着板の設置箇所では大きな面外変形は生じておらず、定着板の剛性が腹板の座屈波形に影響を与えた結果と言える。次に、試験パネル中央と隅角部の面外変形と載荷荷重の関係を図-9に示す。なお、S-3については腹板中央部がたわみ波形の節となるため、腹板中央付近の面外変形を示している。いずれの供試体においても腹板中央では低い荷重段階から面外変形の非線形性が見られるのに対し、腹板隅角部の面外変形は最大荷重付近になるまで顕著な非線形性は見られない。S-3では定着板の変形拘束効果によりCFRPシートが破断するまで腹板隅角部にほとんど面外変形は生じていなかった。

(4) 腹板の応力状態と斜張力場作用

図-10には各ケースでの表裏面の斜張力場のひずみ分布をそれぞれ示す。ひずみ分布は腹板表面で降伏が生じ

た時、腹板隅角部で降伏が生じた時、最大荷重時で示している。斜張力場のひずみは荷重の増加に伴い単調増加しており、最大荷重に至るまでCFRPシートの引張抵抗による斜張力場の強度向上が確認できる。S-2では隅角部の降伏以降、斜張力場で応力が卓越する傾向にあるが、これは斜張力場のアンカー領域となる腹板隅角部が塑性化しその変形抵抗を失うと斜張力場が中央に局所化する為であると考えられる。S-2ではCFRPシートのひずみが破断ひずみに到達しておらず、剥離でその強度が決定している。S-3では最大荷重時においてCFRPシート端の応力と腹板の応力で大きな差異が生じており、部分的に剥離が生じた影響が見られる。CFRPシートの剥離は対角線方向に広がったと見られるが、定着板部で剥離が防止されたことで全面剥離には至らずCFRPシートは終局に至るまで荷重を分担できたものと考えられる。S-3の斜張力場のひずみ分布はS-2の中央に局所化するひずみ分布とは異なり、定着板降伏荷重時まではなだらかな分布形状である。しかし、最大荷重時では図-8(c)に示す腹板上側のたわみ波形が顕著化することでCFRPシート端に局所的に面外曲げ応力が生じ、破断したと考えられる。



図-6 載荷試験終了時の破壊モード

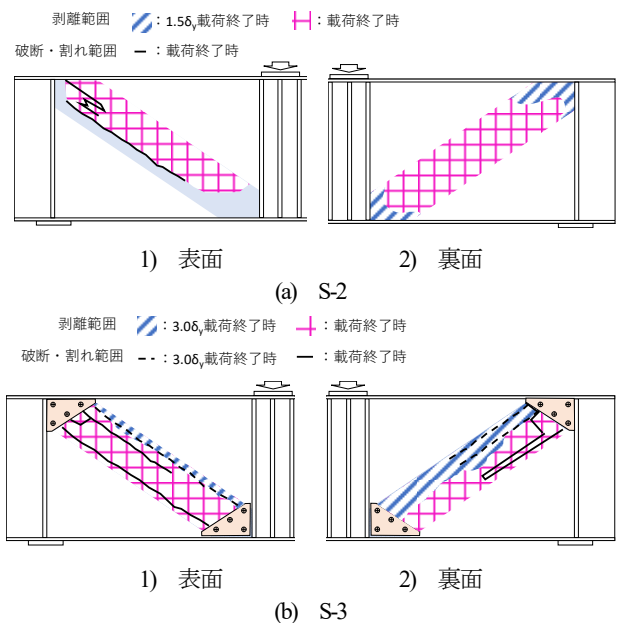


図-7 CFRPシートの剥離・破断進展状況

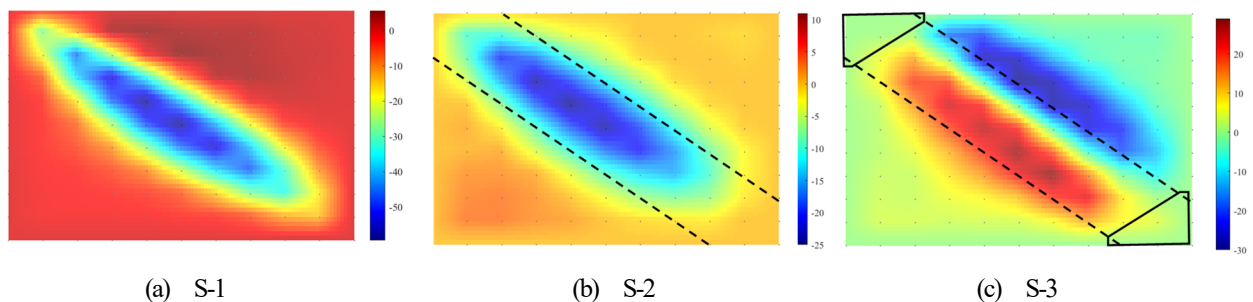


図-8 腹板の残留変形（紙面手前側の変形が負，単位はmm）

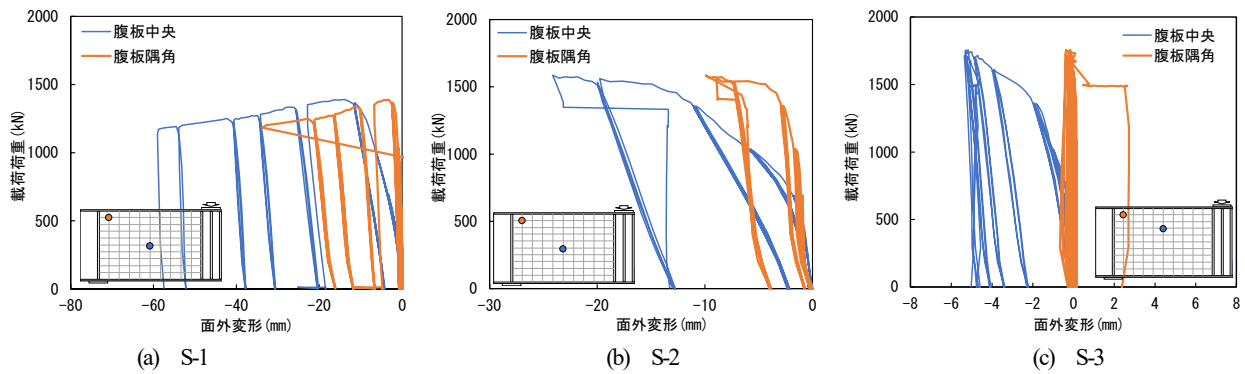


図-9 腹板の面外変形履歴

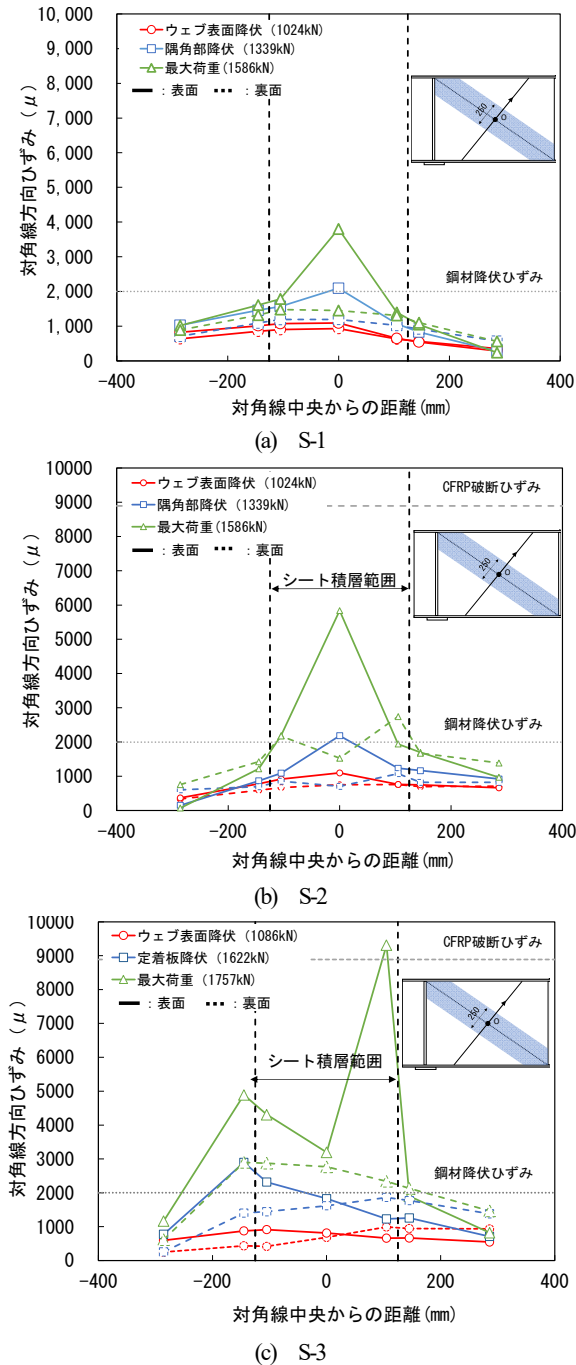


図-10 斜張力場のひずみ分布

(5) 補強効果の考察

図-11 に腹板中央部の最大主ひずみと載荷荷重の関係を示す。S-1 と S-2、S-3 を比較すると同一ひずみ時点における載荷荷重が 20%程度増加している。本実験に使用した CFRP シートの鋼換算厚さは 1.28mm であり、腹板厚に対する比は 21%である。そのため CFRP シートの剥離が生じない荷重段階では完全合成に近い補強効果を発揮したと言える。

S-2 では CFRP シート端部で部分剥離が生じ、以降全面剥離に至った。この CFRP シートの剥離挙動を確認する為、図-12 には、腹板表面の CFRP シートの最大主ひずみと載荷荷重の関係を示す。載荷荷重が 1522kN 時に隅角部の CFRP シートでひずみが急変しており剥離が生じたことが確認できる。剥離は載荷荷重 P_y の次の載荷サイクルで生じており、実験で打音検査により確認した剥離のタイミングとも整合している。その後、剥離範囲は中央部に向かって進展し最終的に 1586kN で全面剥離が生じている。別途、同様の積層構成で行った CFRP シート補強鋼板の引張試験ではシート端部のひずみが 1137 μ で部分剥離が生じたが、本実験では引張ひずみが降伏ひずみ以上になるまで剥離が生じず、単純な引張応力状態よりも高い応力レベルまで剥離せず挙動していると言える。

図-13 には CFRP シートのせん断耐荷力増加への寄与を確認するため、シートの断面平均ひずみと載荷荷重の関係を示す。ここで、シートの断面平均ひずみは図中に示すシート中央断面の表裏面合わせて 6 点のシート繊維方向のひずみの値の平均として算出した。CFRP シート単体の補強の場合は剥離の発生により平均 2700 μ 程度のひずみで終局を迎えており、CFRP シートの強度が十分に活用できていないが、定着板を併用する補強方法では CFRP シートの破断により最大荷重が決定しており、平均 5000 μ 程度のひずみまで CFRP シートの強度が活用されていた。破断ひずみ 8891 μ まで到達しないのは腹板の面外変形形状が複雑となった関係で、CFRP シートにねじりによる付加応力が生じた影響と考えられる。

S-2 と S-3 のケースでそれぞれ CFRP シートによって負担されるせん断力 Q_{cf} を断面の平均ひずみに基づいて式 (1)により算出を行った。

$$Q_{cf} = nb_{cf}t_{cf}E_{cf}\varepsilon_{ex}\sin\theta \quad (1)$$

ここで、 n :シート積層数、 b_{cf} :シート積層幅(mm)、 t_{cf} :シート設計厚(mm)、 E_{cf} :シートの弾性係数(MPa)、 ε_{ex} :シートの平均ひずみ、 θ :パネルの対角線方向角度である。式(1)で算出したせん断力の寄与 Q_{cf} を基に試験体の強度上昇を算出すると、S-2では188kN、S-3では348kNであった。これらの算出値はS-2、S-3のS-1に対する強度上昇の実験値195kN、366kNと近い値であった。このことから、CFRPシートに生じる二次的な応力の影響を考慮してCFRPシートの保証ひずみ値を設定できればその強度向上を評価可能であると示唆される。

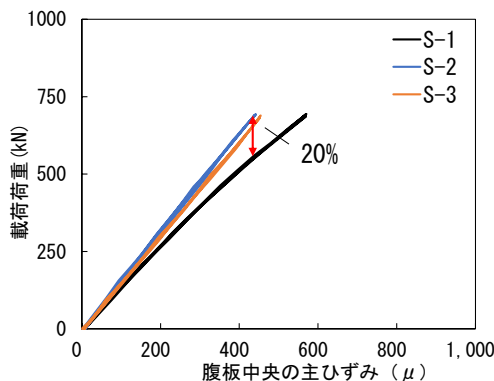


図-11 腹板中央の最大主ひずみと荷重の関係

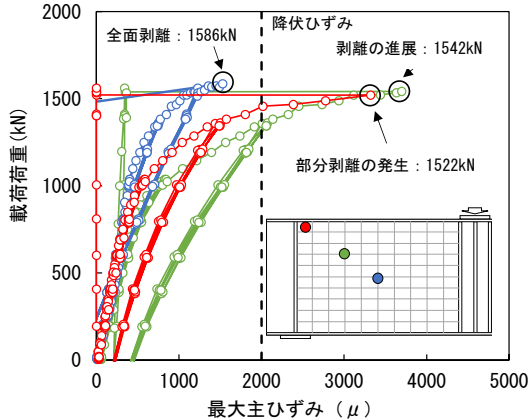


図-12 CFRPひずみ(表面)と載荷荷重の関係

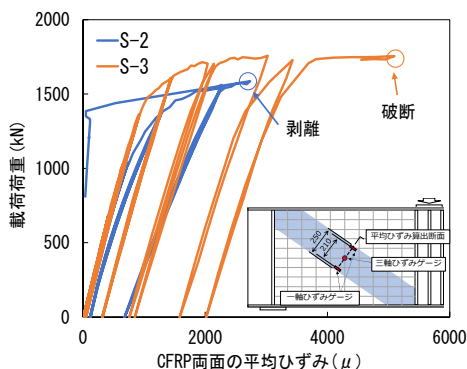


図-13 CFRPの平均ひずみと載荷荷重の関係

4. まとめ

本研究ではせん断力を受ける鋼桁に対するCFRPシート補強構造を提案し、その補強効果の検討を行った。主な結果を以下に示す。

- 1) CFRPシートを鋼桁に斜め接着した試験体では剥離が生じない荷重段階で完全合成に近い補強効果が得られた。しかし、剥離が端部から徐々に進展し最終的に全面剥離に至ることで脆性的な破壊が生じており、CFRPシート強度の有効活用には課題が見られた。
- 2) CFRPシート端部定着板構造を有する試験体では部分的な剥離が生じるものの全面的な剥離には至らず、破断に至るまでCFRPシートの引張抵抗を期待できることが確認できた。
- 3) CFRPシートの斜め接着の補強効果は実験結果より算出された平均ひずみによって算定が可能であり、CFRPシートの保証ひずみ値を適切に設定することで補強効果の算出を行うことが可能と考えられる。一方、定着板併用構造ではCFRPシートに面外曲げ応力が生じる影響で破断ひずみまでその強度が期待できないため、補正係数の設定方法の検討が課題である。

謝辞: 本研究は、(国研) 土木研究所、長岡技術科学大学、早稲田大学、東京都立大学、東北大学、京都大学、弘前大学、日本大学、長野高専) による共同研究「道路橋のFRPを用いた複合構造化による補修補強効果の評価法に関する共同研究」の一環として行っており、ここに記して関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) (公社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編, 2017.11.
- 2) (株) 高速道路総合技術研究所: 炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法設計・施工マニュアル, 2013.
- 3) (公社) 土木学会: FRP 接着による構造物の補修・補強指針(案), 複合構造シリーズ 09, 2018.7.
- 4) 小野健太, 澤田守, 上仙靖: 鋼 I 桁の腹板パネル隅角領域がせん断耐荷性能に及ぼす影響の解析的検討, 構造工学論文集, Vol.67A, pp.64-74, 2021.3
- 5) 松村政秀, 北田俊行, 久部修弘: 高弾性 CFRP 板を I 形断面鋼桁に添付する補強効果に関する研究, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.43-51, 2009.3.
- 6) (公社) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋・コンクリート部材編, 2017.11.
- 7) 越智内士, 松村政秀, 久部修弘: ボルト継手を有する鋼 I 桁下フランジの高弾性 CFRP 板による補強方法に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.55A, pp.43-51, 2009.3.
- 8) Basler, K.: Strength of Plate Girder in Shear, *Jour. of Structural Division*, ASCE, Vol. 87, No. ST 7, pp.151-180, 1961.

複雑な海底地形に位置する護岸の越波流量及び作用波圧に関する水理模型実験

佐藤 功坪¹・酒井 和彦¹・平野 誠治¹

¹ (国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒冷沿岸域チーム

(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

港湾・漁港における護岸の天端高の決定には合田の越波流量推定図を用いる方法がある。しかし、越波流量推定図は一律な海底勾配を対象とするため、複雑な海底地形上に整備される護岸では越波流量推定図による標準的な設計方法を適用できない場合がある。本研究では模型実験より、急勾配と浅瀬が混在する複雑な海底地形にて、本体天端高及び消波工天端幅を変化させたときの越波流量と波圧を計測した。その結果、複雑な海底地形では有義波高が高くなるにすぎない、砕波により波が流れとなるため、消波工設置による越波流量の低減効果が低くなった。一方、波圧は消波工設置による減衰効果が現れ、衝撃波圧を抑制させる結果が得られた。

キーワード 複雑な海底地形、護岸、越波流量、波圧

1. はじめに

港湾や漁港の護岸は陸上部の境界あるいは埋立地の前面に設置され、高潮・津波、および波浪による海水の陸地への流入を食い止め、陸地の浸食を防止するために建設される¹⁾。護岸は越波を軽減するために、護岸前面に異形消波コンクリートブロックの消波工を設ける場合があり、このような護岸は消波護岸と呼ばれる。護岸がその要求される性能を発揮するためには、護岸の天端高 h_c が十分な高さである必要がある。

そこで、護岸の天端高 h_c の決定には波の打ち上げ高を基準にする方法又は越波流量を基準にする2つの方法がある。港湾や漁港の護岸では、越波流量を護岸背後の使用状況に応じて設定された許容値以下に抑えるように天端高 h_c を決定する方法が定着している。ここで、越波流量について合田の越波流量推定図²⁾（以下、「越波流量推定図」）が、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」³⁾に採用され、護岸の実務設計に利用されている。

しかし、越波流量推定図は一律な海底勾配を対象としているため、浅瀬と急勾配が混在するような複雑な海底地形において、越波流量推定図を適用し、護岸の天端高 h_c を決めるのは困難である。浅瀬やリーフ地形等の複雑な海底地形を対象とした越波流量の推定方法の一例として、平山らはリーフ地形を有する複雑な海底地形において、波浪変形特性を精度良く再現可能なブシネスクモデルを用いたリーフ地形上に設置する護岸の設計波の算定

方法⁴⁾を提案し、その設計波を用いて越波流量の推定方法を提案した⁵⁾。さらに、平山らは提案した越波流量推定法について、越波流量の推定精度を水理模型実験にて検証し、護岸法線上の設計波諸元が正しく得られる場合にはある程度の妥当性を有することを確認している⁶⁾。

本研究では図-1に示すように連続した3種類の異なる海底勾配と浅瀬を有する複雑な海底地形を対象に波浪変形傾向を把握するとともに、直立護岸及び消波護岸を対象に天端高 h_c 及び消波工天端幅 B を変化させたときの越波流量 q と波圧 p に関する水理模型実験を実施した。本稿ではこれら水理模型実験の結果について報告する。

2. 水理模型実験

(1) 実験水路

実験は図-1に示す吸収制御式不規則波制御装置を備えた長さ 28.0 m、幅 0.8 m、深さ 1.0 m の2次元造波水路で実施した。造波板から 9.65 m が水平床、5.4 m が $i = 1/20$ の勾配、0.5 m が $i = 1/5$ の勾配、0.15 m が $i = 1/3$ の勾配、あとは水深 7.5 cm の水平部である。このように、沖合に急勾配があり、長さ 1.0 m の浅瀬を有する複雑な海底地形を実験水路に設定した。

(2) 計測方法

複雑な海底地形における波浪変形の傾向の把握を目的に図-1に示す位置に波高計を合計 6本設置した。越波流

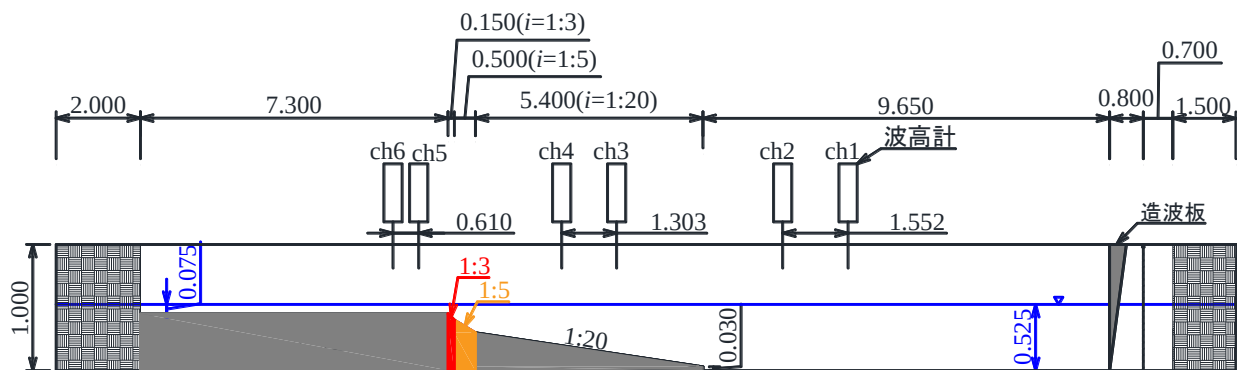


図-1 波浪変形観測時及び水位変動計測時の実験水路 (Unit : m)

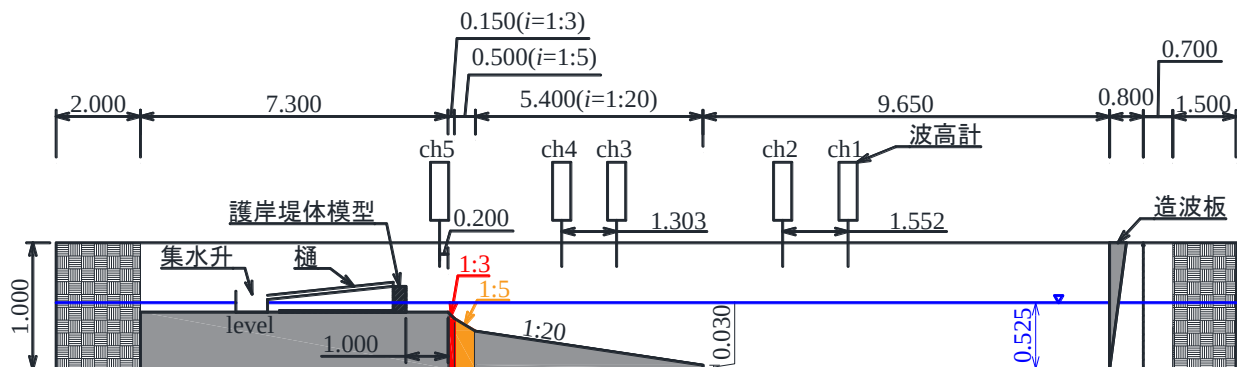


図-2 越波流量及び波圧計測時の実験水路 (Unit : m)

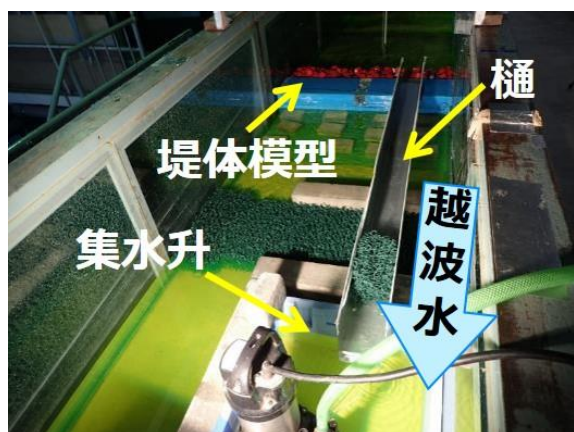


写真-1 越波流量の計測状況

量の計測時には図-2に示す位置に桶及び集水升を設置した。また、越波流量計測と同時に水路内の水位変動を計測するため、図-2の位置に波高計を5本設置した。単位幅単位時間当たりの越波流量 q ($\text{m}^3/\text{m/s}$) は桶内を通過し、集水升に流入した越波水の重量及び後述する計測時間より算出した。図-3-1、図-3-2、図-3-3に示すように、護岸直立部の静水面付近に作用する水平波圧及び直立部前面に作用する水平波圧の計測を目的に、直立部前面に波圧計を2個設置した。波圧計測時のサンプリング周波数は200 Hzである。なお、越波流量と波圧の計測を同時に実施し、計測時間は200波相当、計測の繰返し回数は3回とした。

(3) 実験条件

実験縮尺は1/20とし、本稿で示す数値は2次元造波水路の諸元を除いてフルード相似則による現地換算値とする。

a) 実験波の諸元

実験波は修正 Bretschneider・光易型のスペクトルを目標とする不規則波とした。実験波は護岸堤体模型に入射する有義波周期を $T_{1/3} = 13.70 \text{ s}$ の1種類、有義波高を $H_{1/3} = 1.30 \text{ m}$, 1.42 m , 1.58 m の3種類とした。表-1に実験の波浪諸元を示す。

表-1 実験波の波浪諸元

有義波周期 $T_{1/3}$	有義波高 $H_{1/3}$
13.70 s	1.30 m, 1.42 m, 1.58 m

b) 堤体模型の諸元

護岸堤体模型の設置位置は図-2に示すように、直立部前面壁が地形部水平床の始点から1.0 mの位置とした。

実験断面は図-3-1、図-3-2、図-3-3に示すように基礎マウンドを設けない直立護岸及び消波護岸とし、護岸天端高 h_c を+1.5 m, +2.2 m及び+2.9 mとして、0.7 m間隔で変化させ、消波工天端幅 B を消波ブロック2個並び（以下、「通常消波護岸」という）、4個並び（以下、「消波工拡幅護岸」という）を変化させた9断面とした。また、全ての断面において設置水深は $h = -1.5 \text{ m}$ 、消波工

の消波ブロックは2t型、消波工法面傾斜は1:4/3とした。
 なお、越波流量と波圧の計測を目的としているため、直立部及び消波工は実験時に動かないよう固定した。

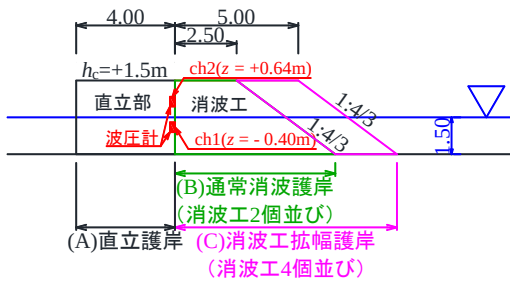


図-3-1 護岸天端高 $h_c = +1.5$ m (Unit : m)

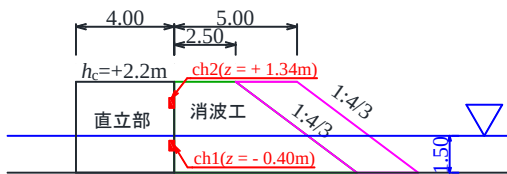


図-3-2 護岸天端高 $h_c = +2.2$ m (Unit : m)

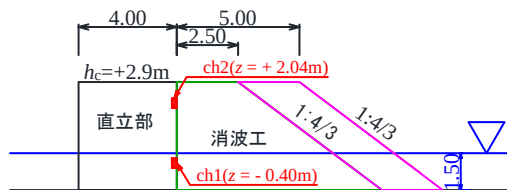


図-3-3 護岸天端高 $h_c = +2.9$ m (Unit : m)

3. 実験波に用いた不規則波の性質

図-4に、水路内における波高の各計測地点における有義波高 $H_{1/3}$ 及び最大波高 H_{max} の分布を示す。 $H_{1/3}$ 及び H_{max} はともに、沖合の水平床から地形床の勾配にさしかかると浅水変形により波高が増大し、その後、碎波により波高が急減している。この傾向は $H_{1/3}$ が大きいほど強く現れている。写真-2～写真-5は、 $H_{1/3} = 1.30$ mの波群について有義波相当の波浪変形の連続写真である。堤体模型の反射による影響を除外するため、模型を設置していない図-1の状況において波を観察した。波は、海底勾配が $i = 1/20$ から $1/5$, $1/3$ に変化する地点において、急激に波高が増大し(写真-2)、水平部に波が入った直後、巻き波状に碎波し(写真-3)、強い流れへと変化している(写真-4、写真-5)。よって、本実験において碎波直後の位置に設置する護岸堤体模型には、強い流れに変化した波が堤体模型に作用すると考えられる。

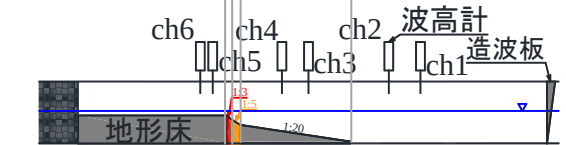
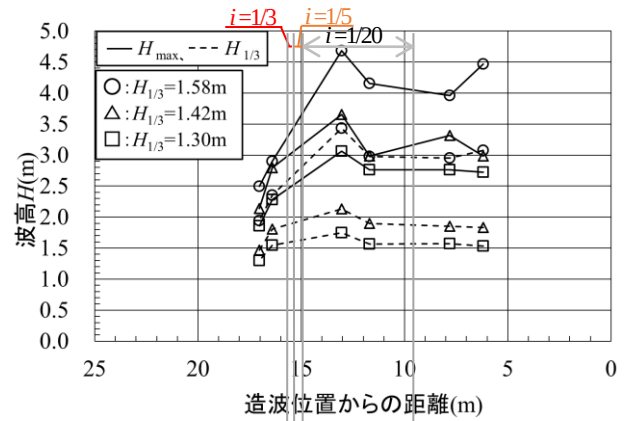


図-4 各計測地点における $H_{1/3}$ 及び H_{max} 変化

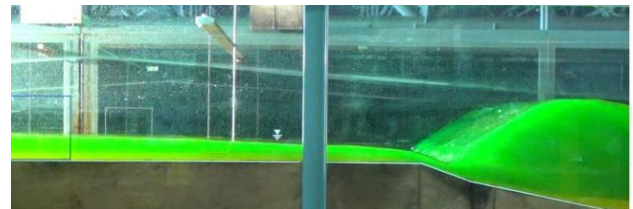


写真-2 急勾配部における波高増大

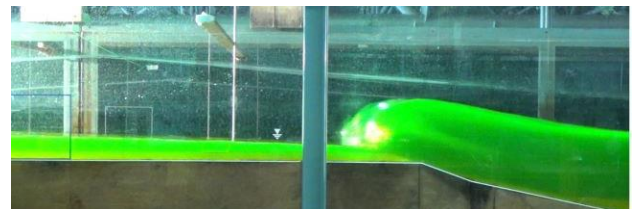


写真-3 水平部における巻波への変化

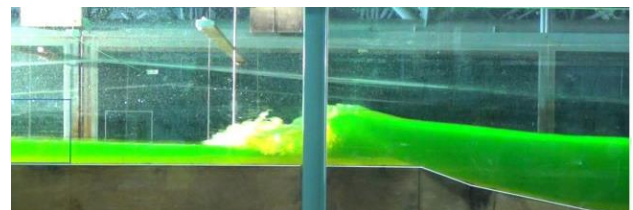


写真-4 水平床における巻波碎波直後

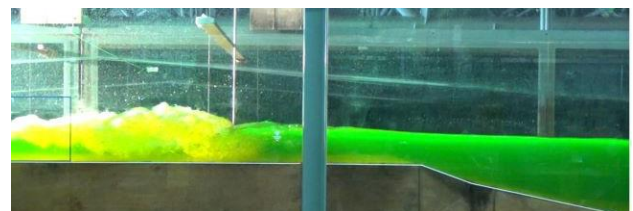


写真-5 巻波碎波後に流れへの変化状況

4. 実験結果

(1) 消波工による越波流量の低減効果

図-5-1～図-5-3 は、消波工天端幅 B と平均越波流量 q の関係を示す。横軸の $B/L_{1/3}$ は、消波工天端幅 B と護岸直立部法線における有義波の波長 $L_{1/3}$ の比である。 $B/L_{1/3} = 0.000$ は直立護岸、 $B/L_{1/3} = 0.049$ は消波工天端幅 B が消波ブロック2個並びである通常消波護岸、 $B/L_{1/3} = 0.099$ は消波工天端幅 B が消波ブロック4個並びである消波工拡幅護岸である。各有義波高において天端高 h_c が高いほど越波流量は小さいことがわかる。 $B/L_{1/3} = 0.000$ の場合と $B/L_{1/3} = 0.049$ で比較すると、 $H_{1/3} = 1.30$ m、 $h_c = +1.5$ m のとき（図-5-1）、消波工の設置により平均越波流量 q は $1/2$ 程度減少している。また、消波工を拡幅した $B/L_{1/3} = 0.099$ と $B/L_{1/3} = 0.000$ を比較すると、 $H_{1/3} = 1.30$ m のとき、 $h_c = +1.5$ m の場合（図-5-1）には $B/L_{1/3} = 0.000$ で計測された平均越波流量 q の $1/3$ 程度にまで越波流量は減少している。各波浪条件において、 $B/L_{1/3} = 0.099$ （消波工拡幅護岸）は、 $B/L_{1/3} = 0.049$ （通常消波護岸）と比較して消波工の拡幅による越波流量の減少効果が大きいことがわかる。

本稿では消波工の設置および消波工の拡幅による越波流量の低減効果を明確にするため、越波流量比 R を次式のように定義した。

$$R = \frac{q_B}{q_A} \quad (1)$$

ここで、 q_A は $B/L_{1/3} = 0.000$ の直立護岸、 q_B は $B/L_{1/3} = 0.049$ の通常消波護岸または、 $B/L_{1/3} = 0.099$ の消波工拡幅護岸の平均越波流量 q である。 $R < 1.0$ のとき、直立護岸に比べ通常消波護岸、消波工拡幅護岸の越波流量が少ないことを示し、 $R > 1.0$ のとき直立護岸に比べ通常消波護岸、消波工拡幅護岸の越波流量が多いことを示す。図-6-1～図-6-3は $h_c = +1.5$ m から $h_c = +2.9$ m の有義波高 $H_{1/3}$ と越波流量比 R の関係を示す。消波工を設置した $B/L_{1/3} = 0.049$ の通常消波護岸では、越波流量比 R の平均値は $H_{1/3} = 1.30$ m のとき 0.40 、 $H_{1/3} = 1.58$ m のとき 0.86 である。また、消波工を拡幅した $B/L_{1/3} = 0.099$ の消波工拡幅護岸では越波流量比 R の平均値は $H_{1/3} = 1.30$ m のとき 0.25 、 $H_{1/3} = 1.58$ m のとき 0.57 である。護岸に入射する有義波高が大きくなるほど越波流量比 R の値も大きくなる傾向が見られた。よって、消波工の設置・拡幅による越波流量の低減効果はあるが、波高が大きくなればその低減効果が低くなる結果が得られた。図-6-3では $B/L_{1/3} = 0.049$ の通常消波護岸の場合、 $H_{1/3} = 1.58$ m のとき越波流量比 R は 0.96 となり、消波工設置による越波減少効果が極めて小さくなったケースも見られた。

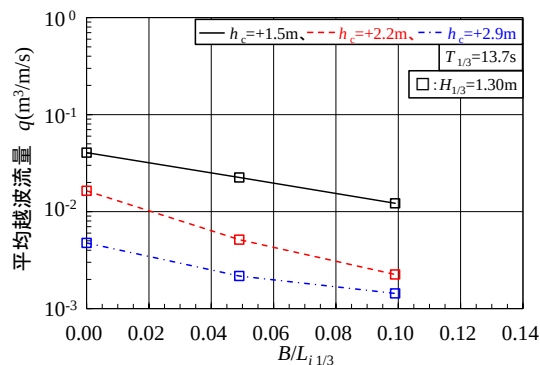


図-5-1 消波工天端幅と越波流量の関係 ($H_{1/3} = 1.30$ m)

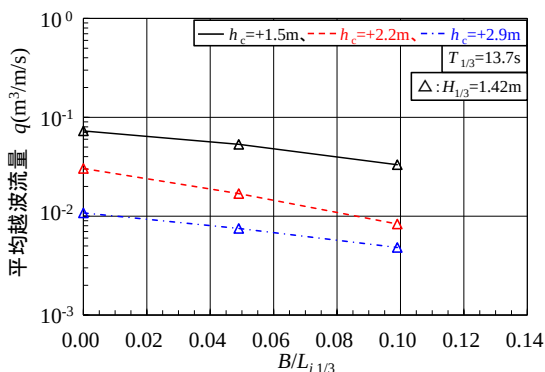


図-5-2 消波工天端幅と越波流量の関係 ($H_{1/3} = 1.42$ m)

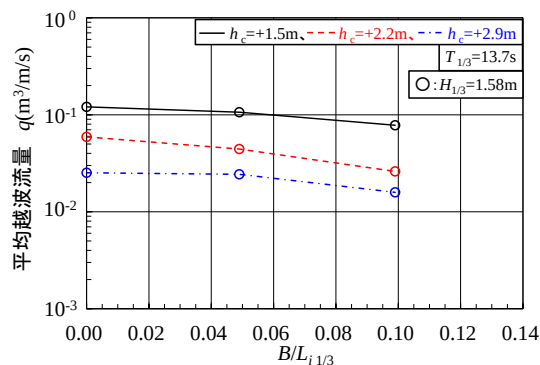


図-5-3 消波工天端幅と越波流量の関係 ($H_{1/3} = 1.58$ m)

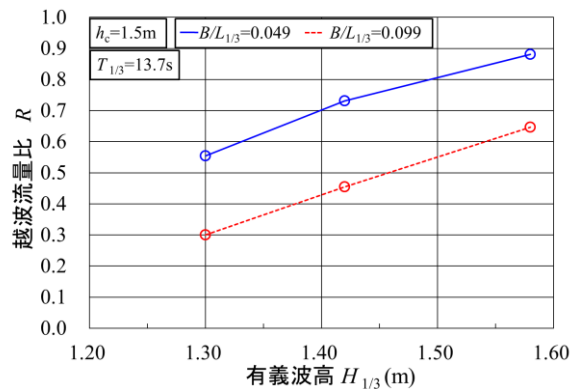


図-6-1 有義波高と越波流量比の関係 ($h_c = +1.5$ m)

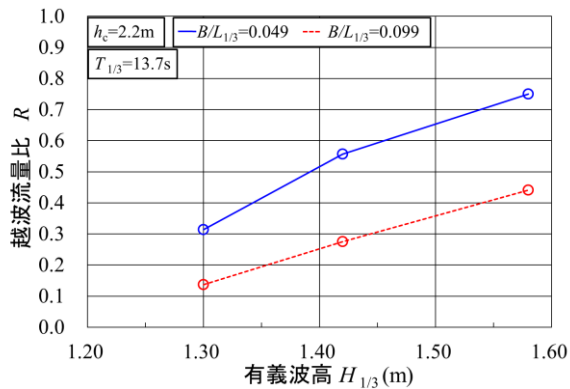


図-6-2 有義波高と越波流量比の関係 ($h_c = +2.2$ m)

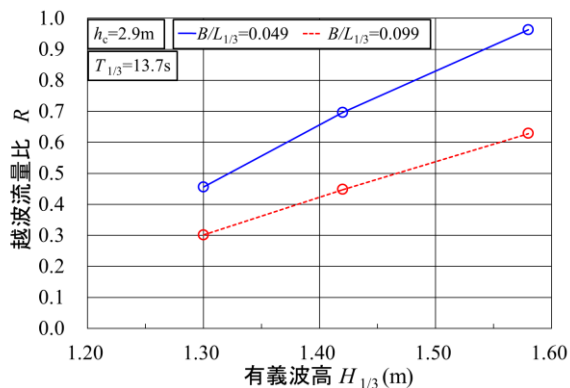


図-6-3 有義波高と越波流量比の関係 ($h_c = +2.9$ m)

(2) 消波工による波圧の減衰効果

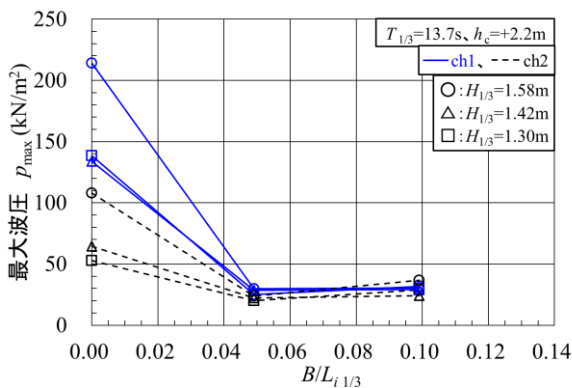


図-7 消波工天端幅と波圧の関係

図-7 は $h_c = 2.2$ m 時の消波工天端幅と波圧の関係を示す。通常消波護岸のときに作用する波圧は、直立護岸と比較して大幅に低減し、最大で波圧が 1/10 に減少した。図-8-1~図-8-3 に $h_c = 2.2$ m 時の直立護岸、通常消波護岸、消波工拡幅護岸を対象に $H_{1/3} = 1.30$ m の条件で静水面付近、天端付近における最大波圧が発生した際の波圧の時系列変化を示す。図中の青色実線が図-3-2 に示す波圧計 ch1、黒色点線が ch2 の計測値である。直立護岸の場合、作用時間が 0.1 秒程度で、およそ 190 (kN/m²) の衝撃波圧

が静水面付近で作用している。通常消波護岸では消波工設置による波圧の減衰効果により、衝撃波圧は発生せずに 30 (kN/m²) 程度の波圧が 5 秒間作用している。消波工拡幅護岸の場合、天端付近に設置した ch2 の波圧計にて最初に 20 (kN/m²) の波圧が生じ、その約 0.2~0.3 秒後に 50 (kN/m²) の小さな衝撃的な波圧が静水面付近にて約 0.1 秒間作用した。以上より、砕波により強い流れへと変化した場合において消波工は波圧の減衰効果を有する結果が得られた。

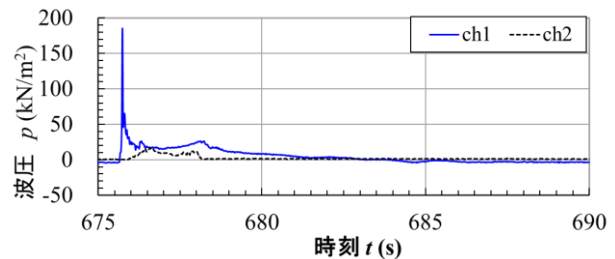


図-8-1 波圧の時系列変化
(直立護岸, $B/L_{1/3} = 0.000$, $H_{1/3} = 1.30$ m)

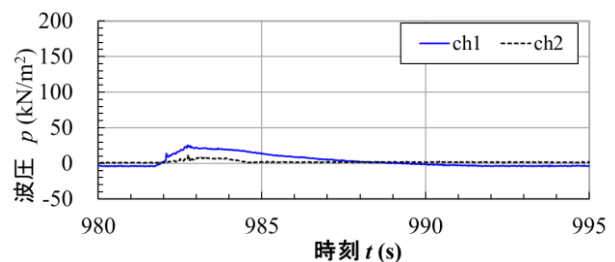


図-8-2 波圧の時系列変化
(通常護岸, $B/L_{1/3} = 0.049$, $H_{1/3} = 1.30$ m)

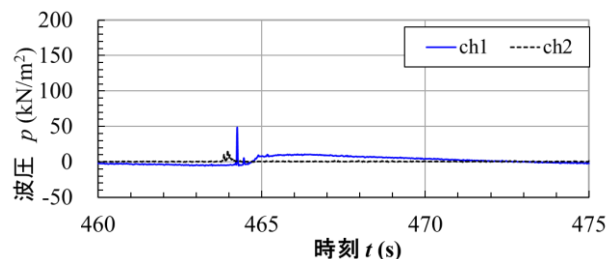


図-8-3 波圧の時系列変化
(消波工拡幅護岸, $B/L_{1/3} = 0.099$, $H_{1/3} = 1.30$ m)

5. 考察

写真-6-1、写真-6-2は消波工拡幅護岸における $H_{1/3} = 1.30$ m 及び 1.58 m の最大波圧作用時前後の越波状況を示す。直立護岸の場合は浅瀬上で砕波し、強い流れへと変化した波が堤体に衝突し、水塊が鉛直方向へ跳ねることで、護岸堤体を乗り越えている様子が観察された。一方、消波工拡幅護岸では $H_{1/3} = 1.30$ m の場合には、消波工の法面で跳ねた水塊が消波工上に落下する様子がわかる(写真-6-1)。しかし、 $H_{1/3} = 1.58$ m の場合には消波工法



写真-6-1 消波工拡幅護岸の越波状況 ($H_{1/3}=1.30$ m)

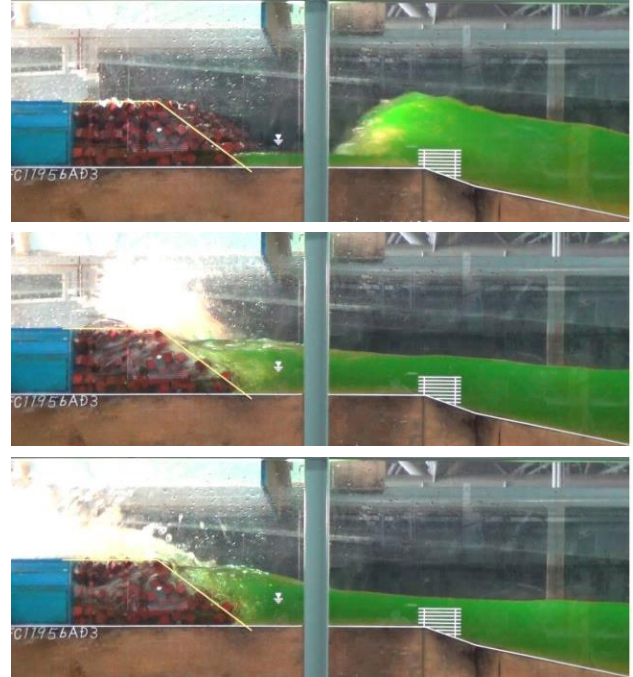


写真-6-2 消波工拡幅護岸の越波状況 ($H_{1/3}=1.58$ m)

面で跳ねた水塊が消波工を飛び越えて堤体上部まで達している（写真-6-2）。このように、急勾配による波高増大の後に浅瀬にて碎波し、波が強い流れへと変化する場合は波高が大きくなると、消波工を拡幅しても、消波工の法面で跳ねた水塊の落下する地点は消波工の設置範囲を越えてしまうため、消波工の拡幅による越波流量の減少効果が低くなると考えられる。

波圧について図-8-3の消波工拡幅護岸において直立護岸と通常消波護岸と異なり、天端付近にて最初に波圧が発生した。これは写真-6-1から、消波工法面で飛び跳ねた水塊は直立部の天端付近で落下し、その後、静水面付近で水塊が消波工内に入る様子が観察される。したがって、消波工拡幅護岸の天端付近において静水面付近よりも早く波圧が作用したのは、消波工法面で跳ねた水塊が最初に衝突するのが直立部の天端付近であるからと考えられる。

6. まとめ

本稿では $i = 1/20, 1/5, 1/3$ 程度の急な海底勾配の後に水深 $h = -1.5$ m 程度の浅瀬を2次元造波水路内に再現し、そこに設置される護岸の越波流量及び堤体に作用する波圧について水理模型実験の結果をまとめた。主な結論は以下のとおりである。

- 1) 浅瀬の沖合に急勾配の地形が存在する複雑な海底地形では波は急勾配から浅瀬域への勾配変化点において巻き波状に碎波した直後、流れの強い波に変化する。
- 2) 碎波後に強い流れへと変化した波の場合には護岸に入

射する波の波高が高くなると、消波工の法面で跳ねた水塊が消波工を超えて堤体上部まで達するため、消波工の設置または消波工の拡幅による越波流量の減少効果が小さくなる。通常消波護岸において、 $H_{1/3} = 1.58$ m 消波工設置による越波減少効果が極めて小さくなったケースも見られた。

- 3) 堤体に作用する波圧について、消波工の設置により波圧は大幅に低減し、直立護岸に比べ最大で波圧が $1/10$ まで減少する結果が得られた。

参考文献

- 1) 合田良実：わかりやすい土木講座 17 二訂版 海岸・港湾工学，彰国社，p.254
- 2) 合田良実，岸良安治，神山豊：不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究，港湾空港技術研究所報告，Vol.14，No.4，pp.3-44，1975。
- 3) 公益社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp.168-173，2018。
- 4) 平山克也，平石哲也：ブシネスクモデルによる碎波・遡上計算法とその適用性，海岸工学論文集，第51巻，pp.11-15，2004。
- 5) 平山克也，春尾和人，宮里一郎：ブシネスクモデルを用いて算定したリーフ護岸上の設計諸元に関する考察，港湾空港技術研究所報告，Vol.48，No.3，pp.23-74，2009。
- 6) 平山克也，川内清光：平面模型実験によるリーフ状護岸の越波流量推定法の精度検証—那覇空港増設滑走路護岸を対象として—，港湾空港技術研究資料，No.1286，2014。

転用ケーソンの健全度評価と再利用 における考察

草野 実¹・渡邊 健太¹・久保 慧²

¹伏木富山港湾事務所 富山分室 (〒931-8378 富山県富山市岩瀬天神町247-8)

²伏木富山港湾事務所 保全課 (〒930-0856 富山県富山市牛島新町11-3)

伏木富山港（富山地区）では、老朽化が進んだ2号岸壁の改良に現在着手しており、矢板式の岸壁をケーソン式の耐震強化岸壁へ改良する事業を行っている。岸壁改良に用いるケーソンは、新造する他、過去に防波堤として使用されていたケーソンを転用する。

本報告では、施工後約30年が経過したケーソンを岸壁に転用する際の健全度評価について報告する。また、転用による建設コストとコンクリート使用量の縮減効果についても併せて報告する。

キーワード 維持管理、コスト縮減、ケーソン転用、健全度評価、ライフサイクルコスト

1. はじめに

神通川下流に位置する伏木富山港（富山地区）では、老朽化が進行した岸壁の改良を順次進めており、1～3号岸壁(10m)のうち、1号及び3号岸壁の改良整備が完了している（図-1）。現在、矢板式である2号岸壁の腐食が進んだことから、老朽化対策にあわせ耐震強化岸壁としてケーソン式構造へ改良する事業を2014年より推進している。



図-1 富山地区 岸壁(10m)(2号)改良

また、当該事業の経済性を図るために、防波堤として供用されていたケーソンを一部転用することとしている。

加えて、昨今の公共事業においても、持続可能な社会の実現のため、廃棄物並びに二酸化炭素排出量の削減が求められている中で、再生資材の使用はこれらの取組に

資するものである。

本稿では、このケーソン転用における健全度評価について報告し、転用による建設コストおよびコンクリート使用量の縮減効果についても考察した。

2. 転用ケーソンの概要

(1) 転用するケーソンの来歴

転用するケーソンは、伏木富山港（伏木地区）の東防波堤として設置されていたスリットケーソン標準函3函である。東防波堤は1990年から施工を開始し、1994年に竣工して供用された（図-2）。



図-2 伏木地区 東防波堤ケーソン撤去前 (L=150m)

その後、伏木外港の泊地拡幅事業（2005年3月港湾計画一部変更）に伴い、泊地法線に東防波堤が抵触するた

め、先端側の一部（L=15m／函、堤頭函を除く3函分45m）が撤去された。2014年の撤去後は伏木富山港（新湊地区）の作業基地（富山県射水市堀岡神明神字西浜地先）に曳航され、現在に至るまで水中仮置きされており、転用するケーソンは2023年時点で建造から約30年が経過している（図-3）。

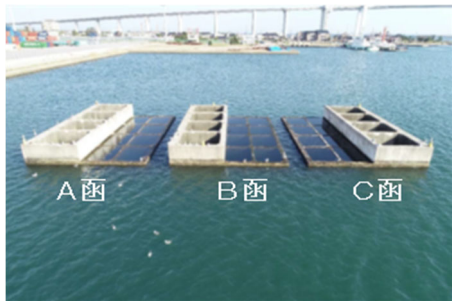


図-3 新湊地区 水中仮置き中の転用ケーソン3函

(2) 転用ケーソンの安定性照査

防波堤として用いられていたケーソンを岸壁に転用できるか設計検討を行った。富山地区の環境（水深10.1m：図-4）での永続状態及び変動状態（レベル1地震動）について安定性照査（滑動，転倒，支持力）を実施し，基準を十分に満足することを確認した（表-1）。

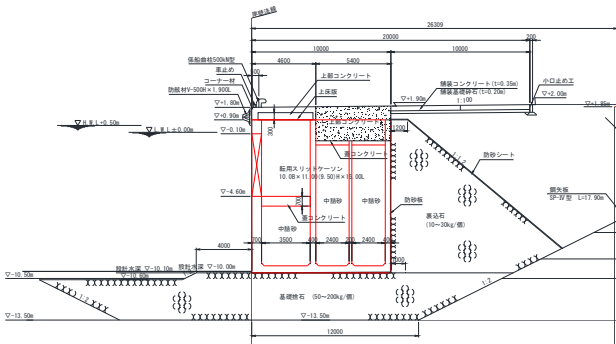


図-4 転用ケーソンの標準断面図

表-1 安定性照査結果²⁾

検討状態	永続状態		変動状態（レベル1地震動）※	
上載荷重	無	有	無	有
滑動	1.46>1.0	—	1.39>1.0	—
転倒	4.26>1.0	—	2.43>1.0	—
支持力	1.721>1.0	1.735>1.0	1.003>1.0	1.037>1.0
備考	ケーソン諸元：B10.0m×H11.0m×L15.0m 遊水室幅が狭く十分な反射率低減は見込めないことから、入射角が小さい港口側(1号岸壁側)に据付			

※照査用震度K_{hk}=0.11

3. 劣化の確認・健全度調査

(1) 調査の目的

転用ケーソンは建造後から約30年が経過しているため、劣化による強度不足などが生じていないか確かめる必要がある。富山地区への曳航並びに転用後の新たな供用期間（50年間）に耐えうる耐久性を保持しているかを確認するため、2022年度に転用函の健全度調査を実施した。

(2) 調査内容

調査は、目視調査、潜水目視調査及びコンクリートコア採取による室内3試験（圧縮強度，中性化，塩分含有量）とした。目視調査では隔室内壁も点検対象とし，一般的な変状確認のほか，富山地区への曳航・据付時に必要となる付着物除却に備えるため，潜水目視調査では壁面付着物の状況（種類，付着量）も記録した（表-2）。

表-2 調査内容

調査項目	調査数量	備考
目視調査	622.8m ²	ML.W.L.以浅
潜水目視調査	4,902.6m ²	ML.W.L.以深
コンクリートコア採取	9本(3本／函)	Φ75mm，L=150mm 油圧コアドリル使用
室内試験	9コア	圧縮強度試験 中性化試験 塩分含有量試験 JIS A 1107 JIS A 1152 JIS A 1154

コンクリートコアの採取に先立ち，対象函の既往環境から転用後における設置水深を整理したところ，既往環境での水深が最も浅く，転用後の水深が最も深いことが分かった（表-3）。このため，転用後のスリット部（底上4.6～10.1m）は常時没水状態となり，気中に露出する部分は上部から1m程度と今までよりも更に少なくなる。

表-3 対象ケーソンの設置水深

設置場所	設置水深	H.W.L.	L.W.L.
伏木地区 東防波堤 (既往利用：1990年～2013年)	8.5m	+0.50m	±0.00m
新湊地区 仮置場所 (仮置：2014年～2024年)	9.0m		
富山地区 2号岸壁 (転用：2025年～)	10.1m		

一般に，コンクリートの劣化は飛沫帯（H.W.L.より上）で最も進行しやすく，次いで干満帯（L.W.L.～H.W.L.），海中の順とされている¹⁾。このことより，コンクリートコアの採取は，今までの利用環境において劣化が進行しやすかったと想定される位置を基本とし，比較地点として常時没水環境である1地点を設定した。採取数は各函3

本としたが、各函の設置間隔が狭く、B函ではスリット面での採取が仮置き配置の関係上不可能であったため、それぞれ採取可能な位置で行った。結果、3函合わせて消波柱から4本、側壁から5本を採取した（図-5、6、表-4）。

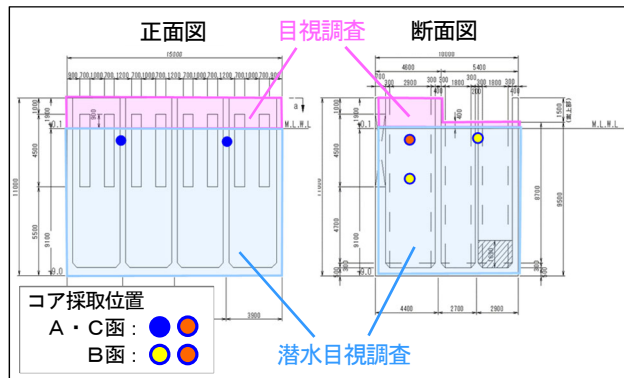


図-5 目視点検調査区分とコンクリートコア採取箇所



図-6 コア採取（左：水中鉄筋探索、右：スリット部採取）

表-4 コンクリートコア採取位置

コンクリートコア採取箇所			採取箇所の高さ
A函	A-1	短手側壁	底上8.40m(天端から-2.60m)
	A-2	スリット部	底上9.00m(天端から-2.00m)
	A-3	スリット部	底上9.30m(天端から-1.70m)
B函	B-1	短手側壁	底上8.65m(天端から-2.35m)
	B-2	短手側壁	底上5.70m(天端から-5.30m)
	B-3	短手側壁※	底上8.30m(天端から-1.20m)
C函	C-1	短手側壁	底上8.40m(天端から-2.60m)
	C-2	スリット部	底上9.05m(天端から-1.95m)
	C-3	スリット部	底上8.70m(天端から-2.30m)

※B-3地点の天端高さは9.5m（低天端部：嵩上げ未実施部）

(3) 目視点検による点検診断結果

a) 目視点検

3函とも極めて小規模な損傷、欠損及び剥離は複数あるものの、スリット部を含め鉄筋露出等の特筆すべき変状はみられなかった。ただし、C函ではスリット部で一部錆汁がみられたが、周辺コンクリートの剥離や膨張はなく、進行の予兆はうかがえなかった。

b) 潜水目視点検

水中部ではケーソン外壁で軽微な欠損がA函とB函で1箇所ずつ確認された以外は、隔室内も含め変状は認めら

れなかった（図-7）。なお、付着物未除去の状態で点検したため、付着物が顕著な範囲は調査の対象外とした。底上2～3mの範囲を除き外壁への付着量は多く、鉛直的な付着分布をみると、ML.W.L. -1m程度まではフジツボ類、-7m程度まではイワガキが群生しており、イワガキの付着厚は最大で20cm程度と厚かった。一方、遊水室を除く隔室内壁には付着物はほとんどみられなかった。



図-7 外壁の欠損（左：A函、右：B函）

c) 施設の性能低下度の評価

目視点検の結論として、確認できた範囲については補修が必要な変状は認められず、3函とも性能低下度はD（性能が十分に保持されている状態）と評価した。

(4) コンクリートコアの分析結果

a) 圧縮強度試験

JISA 1107（コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法）に則り、図-8のように圧縮強度試験を行った。結果は表-5の通り42.1～59.0N/mm²であり、全てのコアで設計基準強度（24N/mm²）を上回り、3函ともコンクリートの強度は十分と言える。また、採取箇所による違いやケーソン毎の傾向も認められなかった。

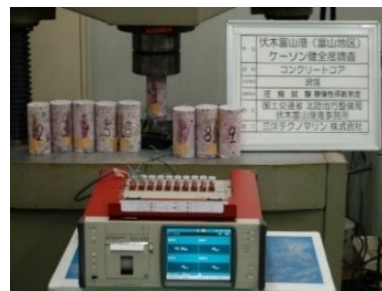


図-8 圧縮強度測定状況

表-5 圧縮強度試験結果

コンクリートコア採取箇所			圧縮強度 (N/mm ²)	
A函	A-1	短手側壁	42.1	>24 N/mm ² : OK
	A-2	スリット部	46.1	>24 N/mm ² : OK
	A-3	スリット部	49.2	>24 N/mm ² : OK
B函	B-1	短手側壁	54.8	>24 N/mm ² : OK
	B-2	短手側壁	57.7	>24 N/mm ² : OK
	B-3	短手側壁	46.9	>24 N/mm ² : OK
C函	C-1	短手側壁	59.0	>24 N/mm ² : OK
	C-2	スリット部	45.7	>24 N/mm ² : OK
	C-3	スリット部	54.9	>24 N/mm ² : OK

b) 中性化試験

JISA 1152（コンクリートの中性化深さの測定方法）に則り、図-9のように中性化試験を行った。中性化深さの結果は表-6のようになり、いずれのコアとも僅か数mmで中性化はほとんど生じておらず、採取箇所による違いやケーソン毎の傾向も認められなかった。かぶり厚さから中性化深さを除いた、中性化していない延長が30mmを下回ってくると鉄筋の腐食が懸念され²⁾、対象函のかぶり厚さ（100mm）では中性化深さが70mmを超過する場合にあたる。このことから、本結果から中性化による腐食は生じていないと考えられる。

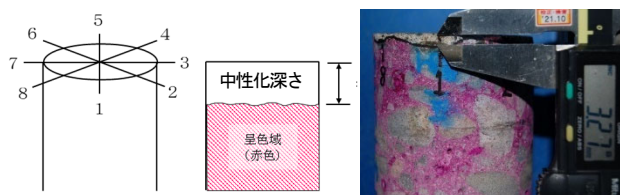


図-9 中性化測定（左：方法，右：測定状況）

表-6 中性化試験結果

コンクリートコア採取箇所			中性化深さ (mm)		
			平均*	最大	最小
A函	A-1	短手側壁	0.8	2.0	0.0
	A-2	スリット部	0.3	1.3	0.0
	A-3	スリット部	1.6	2.9	0.8
B函	B-1	短手側壁	2.2	3.3	0.6
	B-2	短手側壁	0.2	1.6	0.0
	B-3	短手側壁	0.5	1.6	0.0
C函	C-1	短手側壁	0.8	2.3	0.0
	C-2	スリット部	1.3	3.0	0.0
	C-3	スリット部	0.2	1.0	0.0

※側面8ヶ所の測定結果の平均値

c) 塩分含有量試験

JISA 1154（硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法）に則り、図-10のように試験を行った。結果は表-7のようになり、表面からの深さと塩分含有量の関係をグラフ（図-11）にまとめた。塩化物含有量は全体的に多い傾向にあり、かぶり厚さ（表面から100mm）の位置においても9コア中6コアで鉄筋の腐食発生限界塩化物量（ 2.0kg/m^3 ）³⁾を超過した。最大値は側壁表面で出現しており（B-3： 25.16kg/m^3 ），3函とも相対的にスリット部よりも側壁で塩化物含有量が多い傾向がうかがえた。

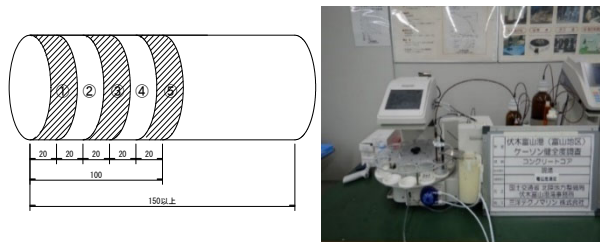


図-10 塩分含有量試験（左：切断位置図，右：測定状況）

表-7 塩分含有量試験結果 単位： kg/m^3

コンクリートコア採取箇所			表面からの距離 (mm)				
			0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
A函	A-1	短手側壁	15.07	13.67	10.18	8.59	5.90
	A-2	スリット部	10.74	6.83	5.87	4.19	2.35
	A-3	スリット部	10.01	6.35	5.19	4.09	1.36
B函	B-1	短手側壁	13.34	15.91	13.95	10.74	7.63
	B-2	短手側壁	20.17	12.82	9.50	6.06	3.07
	B-3	短手側壁	25.16	16.74	13.43	9.22	6.51
C函	C-1	短手側壁	19.35	15.91	14.46	10.20	8.42
	C-2	スリット部	12.90	9.71	6.26	4.12	1.83
	C-3	スリット部	15.71	12.32	8.26	4.85	1.95

※網掛けは、鉄筋の腐食発生限界塩化物量超過値（ $>2.0\text{kg/m}^3$ ）を示す

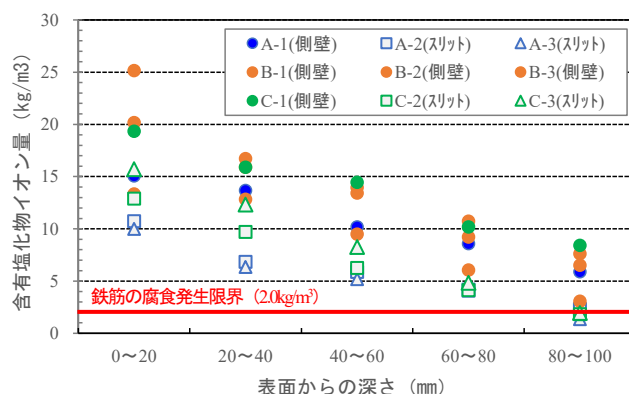


図-11 塩分含有量試験結果

d) 施設の性能低下度の評価

室内試験の結果から、3函ともコンクリートは十分な強度を保持しており、中性化による鉄筋腐食は構造上影響を及ぼしていないことが分かった。ただし、塩害による鉄筋腐食は生じてもおかしくない塩分含有量を有していた。

(5) 健全度評価

a) 塩害による鉄筋腐食について

高い塩分含有量であったコア採取位置での目視点検は周囲 1m^2 の付着物を除却して壁面を直接確認しているが、腐食の予兆や腐食に伴うひび割れ、錆汁及び剥離などの変状は確認されなかった。同様な事例が、70年以上が経

過したRCケーソンの耐久性を検討した論文⁴⁾や小名浜港の事例⁹⁾においても報告されており、塩分含有量が鉄筋の腐食発生限界を大幅に超過していても海中では酸素の供給が少ないことから腐食の進行が極めて遅くなるため、鉄筋腐食が生じていなかったと結論づけている。

転用後はさらに水深が増し、躯体の上部1m前後を除き没水環境となることから、鉄筋の不動態被膜（鉄の酸化被膜）は消滅していても鉄筋腐食の進行は極めて遅く、塩害のリスクは低いと言える。

b) 対象函の転用可否について

目視点検及び室内分析の結果から、塩分含有量は高いものの現時点でのケーソンは健全であり、転用先においても鉄筋腐食が発生・進行する恐れは低いと考えられるため、転用は可能であると判断した。

4. 転用による各種縮減効果

(1) 建設コストの縮減

ケーソン3函を新造する場合と転用函を使用する場合の建設コストを比較した（表-8）。なお、富山地区への曳航費など、双方に必要な費用は計上していない。

この結果、新造に掛かる費用は転用函の処分を含め直接工事費で17,700万円であるのに対し、転用に掛かる費用は事前調査と施工費用（据付先での水深に不足する部分の嵩上げ）の1,600万円のみであり、ケーソンの転用は16,100万円の建設コスト縮減に繋がった。費用率で見ると、転用に掛かる費用は新造時の1割未満である。

今回の転用函は補修を必要とする損傷がなく、補修費用が不要であったことも経済性に優れた一因ではあるが、ケーソン製作費用が極めて高額となるため、転用は単函であっても経済性に優れ、転用できる躯体数が多いほどコスト縮減に繋がることが分かる。

表-8 費用効果検討項目（3函分）

項目		費用（直接工事費）	
新造	①新函の製作	14,700万円	17,700万円
	②転用函の処分	3,000万円	
転用	①健全度調査の実施	1,100万円	1,600万円
	②施工水深不足部の嵩上げ※	500万円	
	③補修（損傷がある場合）	本函は不要	
縮減費用（新造時－転用時）		16,100万円	
費用率（転用／新造）		9.0%	

※転用函遊室背後の隔壁は天端高さが9.5mで施工水深（据付高さ）に不足するため、曳航前に嵩上げを行う。

(2) コンクリートの削減量

富山地区岸壁(2号)の新造函と転用函に使用されるコンクリート量を比較した（表-9）。新造時に必要な躯体

のコンクリート打設量は1,146m³であるのに対し、転用函であれば施工水深に満たない天端高の嵩上げ打設量49m³のみで済む。また、転用函の廃棄を回避できるため、1,146m³の建設廃棄物を削減することができる。

なお、低炭素型コンクリートの開発も進んでいるが、現在も港湾で使われる従来型のコンクリートは製造過程で二酸化炭素を大量排出するセメントが主成分であるため、コンクリートの使用量を削減することは、建設工事現場における二酸化炭素排出量の抑制にも貢献している。

表-9 コンクリート量（3函分）

項目		コンクリート量
新造	新函の製作	使用量：1,146m ³
転用	施工水深不足部の嵩上げ※	使用量：49m ³
新造	転用函の処分	廃棄量：1,146m ³

※転用函の遊水室背後の隔壁は天端高さが9.5mで施工水深（据付高さ）に不足するため、曳航前に嵩上げを行う。

5. 考察

(1) 長寿命化の必要性

今後、高度経済成長期に集中的に整備された港湾施設が順次更新時期を迎える。公共岸壁を例にみると、一般的な設計供用期間である50年を超過した施設は、2020年代は全体の2割であるのに対し、2040年代には7割に急増する⁹⁾。膨大な数の港湾施設が更新時期を目前に控えた現在において、限りある財源と資源の中で、出来得限りの長寿命化によるライフサイクルコストの低減と効率的な施設整備の推進は、北陸管内の港湾にとっても喫緊の課題である。

今後新設する構造物についても予めの長寿命化方策は必須であるとともに、予防保全型の維持管理によって構造物を「良い状態に保ちながら利用する」ことが肝要である。そうすることで、施設再編の必要が生じた際に、構造物の再利用を検討することができ、建設廃棄物の削減と再利用による無駄のない循環サイクルを構築することができる。

(2) 健全度調査により得られた知見

今回対象となった転用函の調査結果より、精度良く施工された高品質のコンクリート構造物は、一般的な設計供用年数の超過後も十分に利用できる可能性が高いことが分かった。特に設計供用年数に満たない段階でやむを得ず不要となるケーソンが発生した場合は、将来的な転用を見据えて仮置き保管することで、ストックの有効活用に加え、ライフサイクルコストの正常化が見込める。なお、ケーソンの保管環境については、塩害が進行しないよう酸素供給を減らすことを目的に、没水環境で仮置きすることが望まれる。

また、栈橋床版や橋梁におけるコンクリートコアの採取と室内試験は数多く実施されているが、経年スリットケーソンにおけるスリット部や側壁におけるコンクリートコアの採取と室内試験の実施は全国的にも事例が少なく、貴重な調査結果を得たと言える。特に塩分含有量の結果は他港における劣化判断や、各種検討時の有効な参考資料として活用可能と思われる。

(3) 転用における留意点

今回対象となった転用函は、一般的には常に大きな波力にさらされることで損傷が生じやすいスリット部が極めて健全であったことが転用に有利であった。また、転用後の設置水深が既往及び現在の設置水深より深くなることも、塩害の進行要因を排除する観点から好条件であった。

転用においては、構造上重要な部材の劣化状況と補修可否について、事前に詳細に確認し検討する必要がある。また、塩分含有量が多い躯体については、転用後の水深が既往水深より浅くなる場合には塩害が急激に進行する可能性があるため、特に慎重な判断を要することに留意する。

なお、転用後はこまめな日常点検と定期的な一般点検を漏れなく実施することで、変状発生時の早期発見を心掛ける必要がある。

参考文献

- 1) 山路徹,審良善和,濱田秀則,山田一夫.「海洋環境におけるコンクリートの劣化性状および劣化指標に関する検討」,土木学会論文集 E,Vol.66,No.1,21-37,2010.2
- 2) (独)土木研究所,日本構造物診断技術協会編著.「健全度診断マニュアル」,技報堂出版,2010
- 3) (公社)日本港湾協会.「港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成 30 年 5 月)」,p600,日本港湾協会,2018
- 4) 守分敦郎,伊坂健二,福手勤,羽瀨貴士.「70 年以上経過した鉄筋コンクリート構造物の干満帯および海中部における耐久性」,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.19 No.1,1997
- 5) 大友正悦,阿部寛.「既設防波堤ケーソンの転用によるコスト縮減の取り組みについて」,平成 22 年度技術発表会,小名浜港湾事務所
- 6) 国土交通省港湾局技術企画課.「国土交通省における港湾施設の維持管理の取組について」,港湾施設の維持管理実務技術者講習会資料,2022.11.25

国道2号大野地区における 防災対策(越波対策)について

川田 貴史¹・野村 栄一²

¹中国地方整備局 広島国道事務所 管理第二課 (〒734-0022 広島県広島市南区東雲2-13-28)

国道2号大野地区は、幹線道路としての経済・産業・観光面、そして地域の生活道路の役割でも重要な役割を担っている。これまでの台風による被災状況、越波による通行止めに伴う周辺地域への交通影響等を踏まえ、「防災・減災、国土強靱化」の観点より、早急に越波対策が必要であり、フレア式護岸の設計を進めている。フレア式護岸は、曲線構造により越波低減効果があり、景観性等にも優れている。

本発表では、地域の意見を聞きながら各種検討条件を整理し、検討委員会にて対策工法(気象海象条件、防護水準、構造等)の決定に向け検討した結果及びフレア式護岸導入にあたり判明した課題等を報告する。

キーワード 越波対策、フレア式護岸、BIM/CIM活用検討

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル¹⁾では、「気候システムの温暖化には疑う余地はない」とされ、今後の台風、高潮等水災害の頻発化・激甚化が懸念されている。

国土交通省では、社会経済活動及び土地利用の中長期的な動向を勘案し、ハード・ソフトの施策を最適な組み合わせで戦略的かつ順応的に進めることにより、高潮等の災害リスク増大の抑制を図っている所である。

国道2号大野地区においては、越波による通行止めに伴う周辺地域への交通影響等を踏まえ、「防災・減災、国土強靱化」の観点より、越波対策の設計を進めている。

本論文では、不確実性を有する波浪、潮位等の気象海象条件を観測結果に基づき整理し、防護、環境、景観、利用の調和を図った護岸設計について報告する。

活道路の役割も果たす重要な路線である。また、世界遺産の宮島が海を隔てて眼前に広がり、緑豊かな丘陵地を背景とした海辺の景観が展開し、海水浴、マリンスポーツ等の自然海浜の利用が盛んである。沿岸域では、牡蠣やアサリの養殖等の水産業が盛んな地域である。

当該地区は、平成11年以降に台風に伴う越波による全面通行止めが計8回発生している。特に、平成17年には約150世帯が一時孤立状態になるなど、大きな被害が生じている。通行止め時は、普通車は山側の生活道路を迂回する必要がある。混雑や安全面での課題がある。大型車は、国道186号と県道30号を用いた大幅な迂回が必要となり、通常時に比べ走行距離は約2.6倍、所要時間は約2.1倍となるなど、経済活動に大きな損失となっている。図-1は、令和4年台風11号による越波状況、図-2は、越波対策区間の被害履歴と通行止め時の迂回状況を示す。



図-1 令和4年台風11号による越波状況

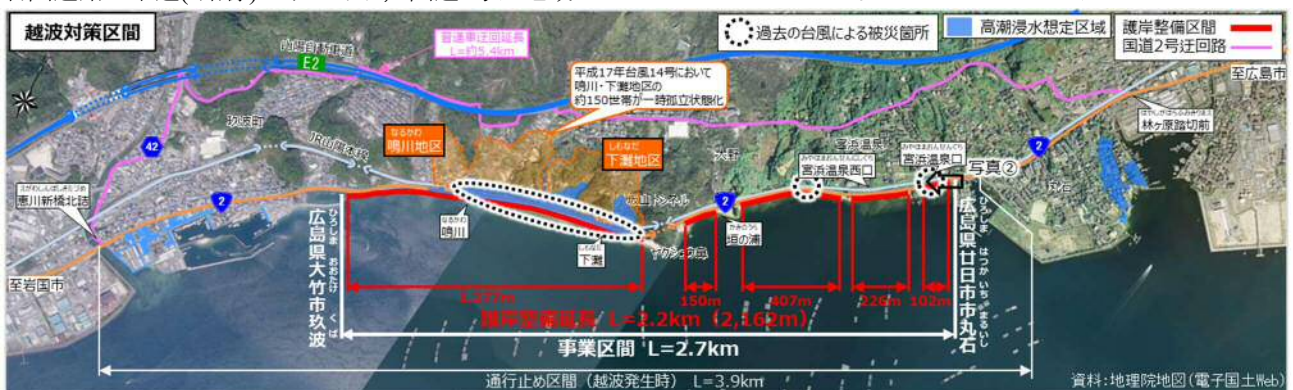


図-2 越波対策区間の被害履歴と通行止め時の迂回状況

3. 検討条件の整理

国道2号大野地区における越波対策区間の安全・安心かつ円滑な交通を目的とした護岸整備を行うに際し、適切な気象・海象条件と許容越波流量を設定する必要がある。また、当地区の景観、環境、利用と調和を図った計画の重要性を鑑み、「国道2号大野地区防災対策検討委員会」を開催し、適切な検討条件を整理した。

(1) 気象海象条件の整理

1) 設計潮位

設計潮位は、越波対策区間近隣における験潮所(大竹港)での既往最高高潮面、T.P.+2.77m(昭和30年9月30日)を用いた。また、平均海面水位の変動量を把握するため、第六管区海上保安部が整理²⁾した広島港における過去67年間(1954年から2020年)を参考(図-3)とした。図-3より、広島港における平均潮位は上昇傾向にあり、過去67年間で約40cm上昇していることが確認された。

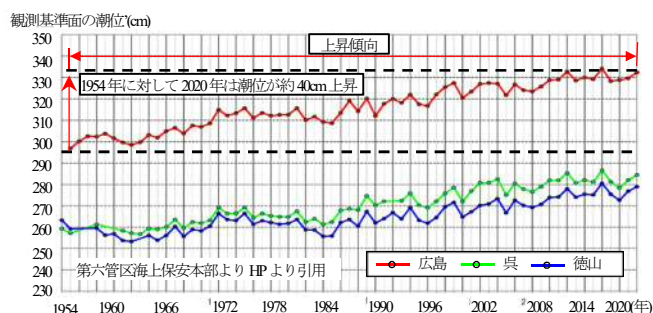


図-3 第六管区海上保安部管轄 呉・広島・徳山の年平均潮位

2) 計画波浪の諸元

表-1は、平成11年から令和3年までの期間において、越波による通行止め時における気象諸元を整理するため、気象庁アメダス広島観測所における10分間最大風速および風向データを整理したものである。

表-1 国道2号通行止め時の風速と有義波高一覧表

		平成 11年	平成 16年	平成 17年	平成 18年	令和 元年	令和 2年	令和 4年
		台風 18号	台風 18号	台風 14号	台風 13号	台風 17号	台風 10号	台風 14号
		9月 24日	9月 7日	9月 6日	9月 17日	9月 23日	9月 7日	9月 17日
広島	最大風速 (m/s)	32.1	33.3	18.2	19.4	16.6	16.4	12.9
	最大風速 風向	SSE	S	S	SSE	SSE	SSE	NNE
草津	有義波高 (m)	-	2.76	-	-	1.7	1.0	-

※ ーは未観測

表-1より、通行止め時における最大風速は、平成16年台風18号(T0418号)の風速33.3m/sであり、同日における近隣波浪観測所(草津港)においても、過去最大の有義波高 $H_{1/3}=2.76\text{m}$ が観測されている。広島アメダス気象観測所および草津港波浪観測所は、広島湾に点在する島影等に

よる地形の影響を受けているため、その諸元を直接対策区間の沖波諸元として用いることは不適切であると考えられる。そこで、S.M.B法³⁾により草津波浪観測所で観測された有義波高 $H_{1/3}=2.76\text{m}$ を再現する風速 u を逆算により求めた。この風速 u を用いて、S.M.B法により沖波諸元を算定するとともに、エネルギー平衡方程式による波浪変形計算により、設計に必要な波浪諸元を算定した。

次に、T0418号の気象条件を基に算定した波浪諸元に対する再現確率を確認するため、広島沿岸海岸保全基本計画⁴⁾に用いられる波浪諸元との対比により検討した。

表-2は、T0418号における気象諸元を用いて算定した波浪諸元と広島沿岸基本計画に用いられる50年確率波を比較したものである。これより、本対策区間で用いる波浪諸元は、50年確率波相当以上であり、通行止め時の最大風速であるT0418号の気象諸元で設定した波浪条件は、適切であるものとした。

表-2 T0418号と海岸保全基本計画に用いる波浪諸元の比較

波 浪 諸 元	T0418号	50年確率波
換算沖波波高 H_0 (m)	2.8	2.5
周期 T_0 (s)	6.0	5.8
波長 L_0 (m)	56.2	52.5

3) 許容越波流量 Q_a

護岸天端高は、越波による通行止めの回避を目的とすることから、適切な許容越波流量を基に設定する必要がある。「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」³⁾では、背後に人家、公共施設等が密集しており、特に越波・しぶき等の侵入により重大な被害が予想される場合は、許容越波流量 $Q_a=0.01\text{m}^3/\text{m/s}$ を課している。本対策区間の通行止めによる安全性・経済性の観点より、国道2号による円滑な物流の重要度を考慮し、許容越波流量 $Q_a=0.01\text{m}^3/\text{m/s}$ を設定した。

(2) 守るべき関係法令・各種計画の整理

対策区間は、環境・景観・文化財・海の管理・漁業等の法令が定められており、それらの関係法令を遵守する必要がある。そこで、対策工法の選定は、関係法令・各種計画の配慮事項に対する内容を評価項目として設定し、選定された工法が関係法令を満足するものとした。

(3) 対策区間の環境・生態系

本対策区間では、環境影響評価法に基づく環境アセスメントの対象ではないものの、関係法令等において周辺環境や漁業等への配慮が必要な区間と定められる。さらに、沖合には牡筏が並び、海岸近辺には共同漁業権が設定されており、施工中の濁水の流出や水質の変化などによる、牡蠣、アサリ等の貝類や魚類に対する影響が懸念される。また、干潟には「スナガニ」が生息していることから、施工前、中、後で環境調査(水質、底質、動物、植物調査)を計画した。

4. 越波対策工法の比較・選定

(1) 対策工法の抽出

1) 工法比較項目の設定

工法比較項目の設定は、「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」³⁾(以下、技術基準と省す)を基本とし、道路施設としての機能、性能及び地域特性を勘案し評価項目を設定した。評価項目は、①構造・防護機能(越波防止機能、耐波性能、耐震性能、構造物の安定性能)、②環境・景観(周辺の景観との調和、砂浜の保全)、③利用(海岸へのアクセス)、④維持管理(点検や補修の容易さ)、⑤施工性(交通規制等)、⑥経済性(ライフサイクルコストを含めた経済性)の6項目とした。

2) 対策工法の一次選定

越波対策工法の一次選定は、図-4に示す工法を選定した。1次選定では、①防護ライン(線的または面的)、②施工形態(現場またはプレキャスト)、③対策工法(従来工法または新技術)別に、10工法を抽出した。

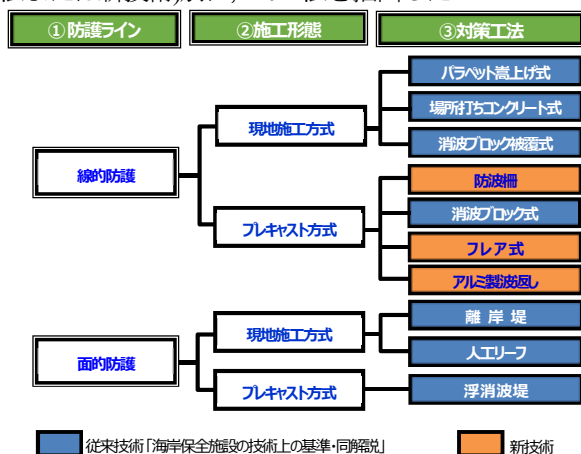


図-4 一次選定対策工法抽出リスト

3) 対策工法の二次選定

対策工法の二次選定では、これら10工法より①～⑥の評価項目を考慮し、図-5に示す対策区間に適用可能な4工法(直立式、消波ブロック式、斜積ブロック式、フレア式)を選定した。選定した4工法に対して、図-6に示すフローに従い、越波対策工法に対する機能検証を行った。

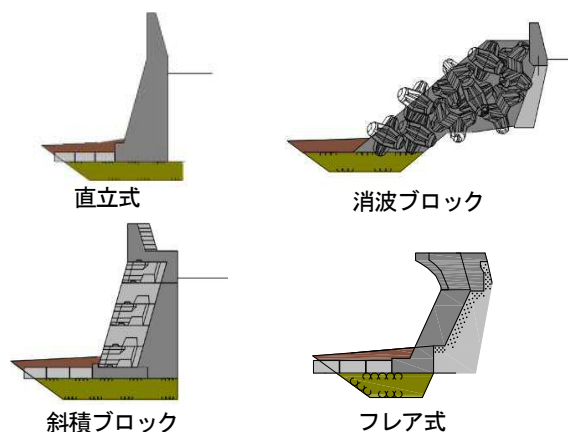


図-5 越波対策工法 二次選定工法

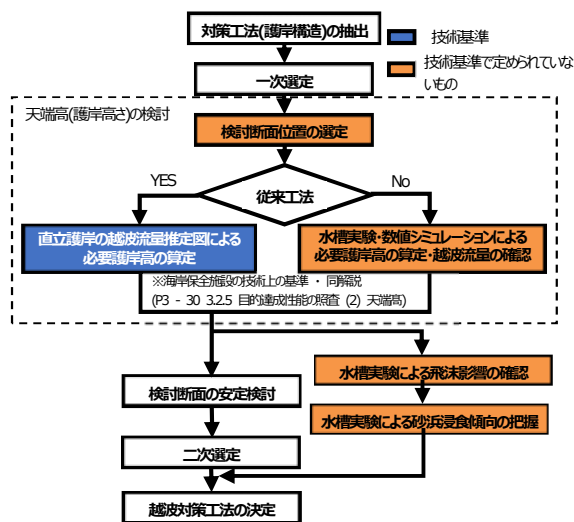


図-6 越波対策工法決定までの流れ

(3) 越波対策工法の機能検証

選定した4工法(直立式、消波ブロック式、斜積ブロック式、フレア式)については、「技術基準」及び「工法関係資料」⁹⁾により護岸構造諸元を決定し、水理模型実験により構造形式の違いによる機能評価を行い、表-3にその結果をまとめた。

表-3 機能検証結果

水理模型実験 実験項目	フレア		直立		斜積ブロック		消波ブロック	
	台風・高潮時	常時	台風・高潮時	常時	台風・高潮時	常時	台風・高潮時	常時
越波流量 (m^3/s)	0.005	—	—	—	—	—	—	—
砂浜 侵食 評価	反射率	0.471	0.392	0.535	0.382	0.459	0.327	0.391
	流速 ^{※1} (m/s)	+30.7 -45.8	+14.0 -11.9	+37.2 -47.3	+13.4 -14.7	+29.4 -46.6	+9.6 -12.8	+30.0 -43.3
	風有無の 越波流量 ^{※2} (m^3/s)	0.0014 0.0019	—	0.0050 0.0146	—	0.0068 0.0128	—	0.0067 0.0067

※1 流速の+は海から陸の流れ、流速の-は陸から海の流れ

※2 上段は風無し、下段は風有り

※3—は未実験

1) 越波流量の検証

新技術工法であるフレア式護岸については、各種の地形条件(構造水深、海底勾配等)および波浪諸元に対する施工実績が乏しいため、水理模型実験により越波流量に対する護岸必要天端高の確認を行った。実験では、計画波浪諸元を満足する不規則波を造波し、フレア式護岸天端高+5.0mに対する越波流量を計測した。その結果、計測された越波流量は $q=0.005\text{m}^3/\text{m/s}$ であり、目標許容越波流量 $Qa=0.01\text{m}^3/\text{m/s}$ 以下となることを確認した。図-7は、フレア式護岸に対する水理模型実験の状況を示す。



図-7 フレア式護岸水理模型実験状況

2) 砂浜に対する影響評価

選定した4工法について、砂浜に対する影響を評価する目的で、護岸反射率および海底面近傍での流速測定を行った。検討ケースは、台風・高潮時(短期評価)と常時(長期評価)の2ケースとした。

反射率は、台風・高潮時および常時において、消波ブロック被覆堤が最も小さくなり、現状の護岸形式である直立式が最も高くなることが確認できる。

砂浜の浸食に影響すると考えられる海底面近傍の引波流速(表-3中では一側の流速)は、異常時においては前面水深の関係より概ね大差がないものの、前面水深が浅くなる常時においては、フレアに沿って波が冲向きに返されるなどの構造特性により、フレア式が最も小さくなる傾向である。また、構造形式によるオーダー的な引波流速の違いは認められないものの、現況形式である直立式に対しては、フレア式は概ね同等程度以下である。

現況構造形式との水理特性の比較により、砂浜への影響はほとんどないものと推察している。

3) 飛沫の特性

消波機能の異なる4工法において、図-8に示すように海側から風(風速2.5m/s)を作用させ、構造物の違いによる飛沫の輸送特性を視覚的に確認した。これは、荒天時に通行する車両に対する安全かつ円滑な交通を目的として、波と風による飛沫の効果が極力低減される工法が望ましいことから、その効果を検証する。

フレア式は、来襲する波を沖側に海に返す機能が特徴的であり、消波ブロック式は、ブロック法面にて砕波によるエネルギー逸散を誘発するため、これら2工法は反射波に対する機能特性により、風により陸側に輸送される飛沫量が少なくなる。一方、直立護岸や斜積ブロックは、構造物に作用した波がちょうど真上に上がる現象が確認され、風により陸側に輸送される飛沫の影響が顕著であった。

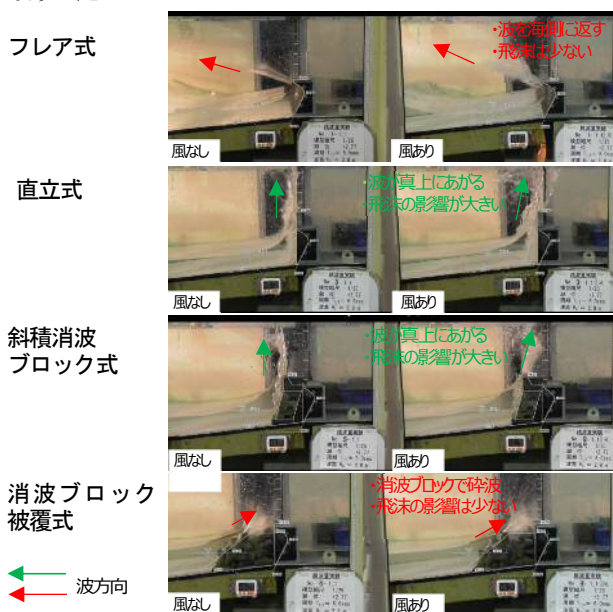


図-8 水槽実験 風の影響の検証

4) 構造断面の決定

工法比較に用いる断面は、「技術基準」より(1)式により決定し、必要天端高を表-4にまとめた。

天端高=既往最高潮位 + 許容越波流量に対して

必要な水面からの高さ+余裕高・・・(1)式

ここに、

既往最高潮位：T.P.+2.77m

許容越波流量：0.01m³/m/s

余裕高：40cm(広島港の過去66年間平均海面上昇量)

表-4 必要天端高

対策工法	フレア	直立	斜積	消波
必要天端高 T.P.(m)	+5.40	+7.40	+6.60	+5.70

(4) 越波対策工法の二次選定

機能検証による天端高の決定により、各工法の安定検討を実施し断面を決定した。その各断面を基に、6つの評価項目に対する最適な工法を選定した。

1) 構造・防護機能評価

構造・防護機能は、越波防止効果、飛沫の特性に対する視点で評価した。越波防止効果は、許容越波流量を満足する天端高を採用しているため同程度であるものの、飛沫による陸側への影響は、消波ブロック式とフレア式が最も優れる結果となった。

2) 環境・景観評価(BIM/CIM活用検討)

景観評価は、BIM/CIMモデルを作成し、車窓からの宮島の眺望(図-9)及び海からの護岸形状(図-10)を視覚的に評価するとともに、構造物諸元の定量的な評価を合わせ行った。重力式は、計画天端高が現況護岸高に対して2.7mと最も高く、斜積消波ブロック式が2.0m、消波ブロック式が1.3m、フレア式が0.6mとなり、フレア式が最も優れる。

環境評価は、砂浜に生息する生物等を視点として砂浜の占有幅を評価した。重力式が0.5m程度と最も狭く、フレア式が1.0mであり、斜積消波ブロック式、消波ブロック被覆式の順であり、消波ブロック被覆式は現況砂浜に対する占有面積が最も広く、環境への影響が懸念される。

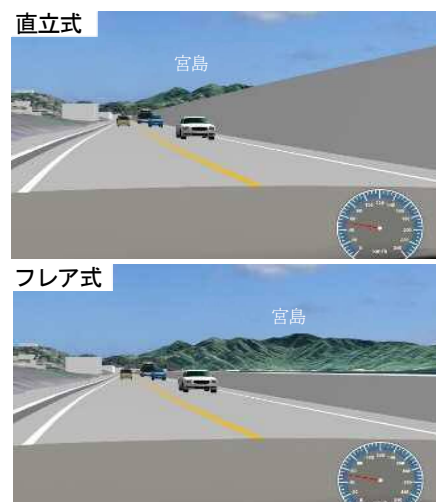


図-9 車窓から宮島を眺望した風景(直立式とフレア式)

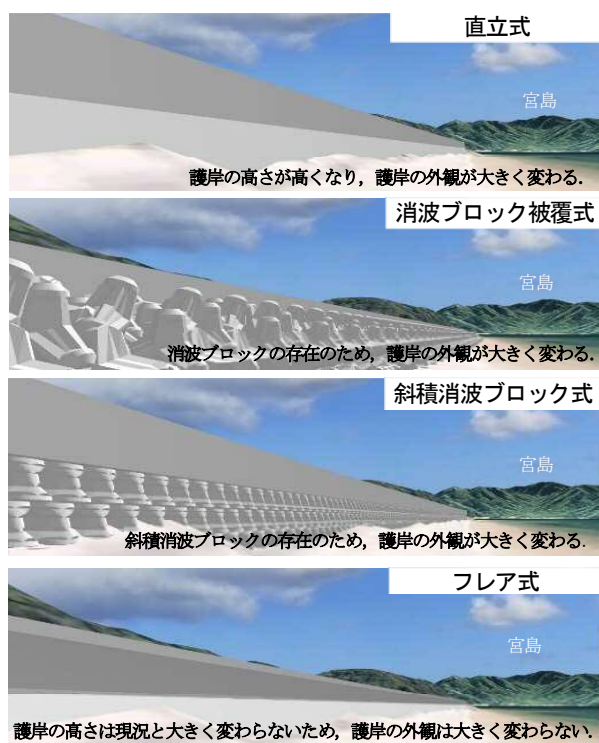


図-10 海から宮島を眺望した風景

3) 利用評価(BIM/CIM活用検討)

図-11は、BIM/CIMモデルを活用し、砂浜へのアクセスの評価を行った。重力式は、砂浜へのアクセスは可能であるが、開口部に門扉等が必要である。消波ブロック式は、階段の設置が不可能であるため、砂浜へのアクセスが困難である。斜積消波ブロック式およびフレア式は、いずれも護岸天端を介した階段等の設置が可能であり、砂浜へのアクセスが容易であるが、特にフレア式は海岸との高低差が少なく歩行者の安全性や利便性に優れる。

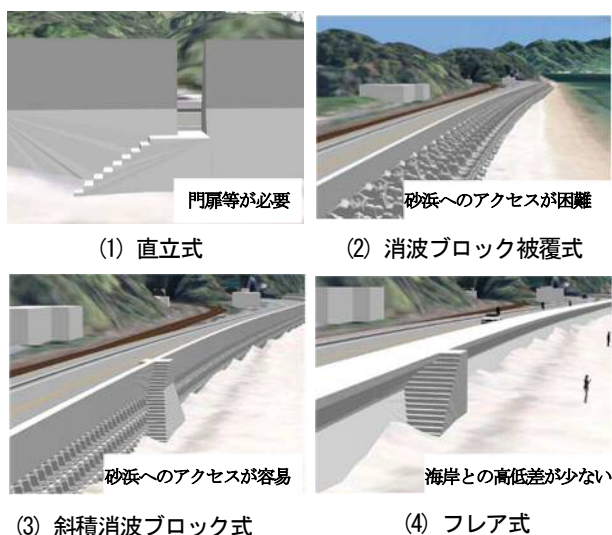


図-11 防護機能を考慮した砂浜へのアクセス

4) 維持管理

維持管理の観点より、その特性を評価した。消波ブロック被覆式は、護岸の点検において不可視部分が多くなるため、点検及び補修の作業効率が落ちることおよび護岸の補修を行う際に消波ブロックの撤去が必要なことから

海上からの起重機船が必要なことなど、維持管理に劣る。その他工法は、点検・補修が比較的容易である。

5) 施工性

国道側からの施工については、長期間の片側交互通行が必要になるため、海側(仮設盛土)からの施工が考えられる。ただし、アサリ漁業区域等は海側および陸上からの併用による施工を検討する。フレア式は、プレキャスト製品を用いることから、施工月数及び片側交互通行の日数の縮小を図ることができる。

6) 二次選定工法比較の決定

以上の評価5項目と経済性を考慮して、フレア式護岸を選定した。表-5に越波対策工法二次選定比較表を示す。

表-5 越波対策工法二次選定比較表

型式	直立式	消波ブロック被覆式	斜積消波ブロック式	フレア式
①構造・防護機能等	△ 飛沫影響大	○ 飛沫影響小	△ 飛沫影響大	○ 飛沫影響小
②環境・景観	△ 計画天端高が現況護岸高より2.7m高い	△ 計画天端高が現況護岸高より1.3m高い	△ 計画天端高が現況護岸高より2.0m高い	○ 計画天端高が現況護岸高より0.6m高い
③利用	△ 砂浜アクセス可能	×	○ 砂浜アクセス容易	○ 砂浜アクセス容易
④維持管理	○ 点検・補修が容易	△ 点検・補修が困難	○ 点検・補修が容易	○ 点検・補修が容易
⑤施工性	○ 日々交通開放が可能	○ 日々交通開放が可能	○ 日々交通開放が可能	○ 日々交通開放が可能
⑥経済性	△ 1.07(フレア式比)	×	×	○ 1.00
総合評価	△	×	×	○

5. 今後の課題

現在、詳細設計を実施中であり、砂浜の利用、アサリ漁業等の利用、スナガニへの配慮等に配慮した護岸構造(図-12)、護岸天端の活用等に配慮した階段構造(図-13)の計画を行っている所である。今後の課題として、地元住民・漁業関係者等の合意形成、環境、漁業に配慮した施工計画を行っていく必要がある。

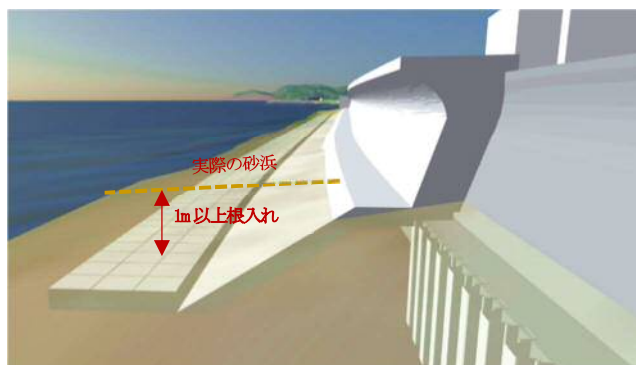


図-12 フレア式護岸整備イメージ図

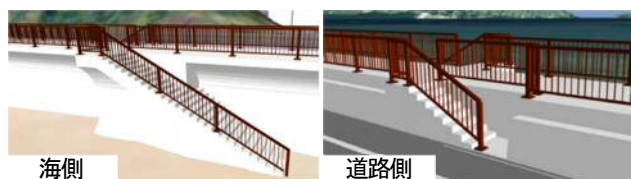


図-13 フレア式護岸天端の活用イメージ図

(1) 合意形成

越波対策に伴う護岸計画は、防護・環境・景観・利用のトレードオフの関係になることが多い。今回の事業では、通行止めの解消を目的とした防護(越波対策)であり、天端高の確保が必要となる。そのため、護岸の高さを高くすれば越波流量は減ぜられるものの、一方車窓からの景観が失われ、砂浜に消波ブロックを設置すれば砂浜面積の減少により生物の生息の環境に影響を与えるとともに、利用の制限がかかる。このようなトレードオフの関係を少なくするためにフレア式護岸を採用したが、地元住民・漁業関係者等の意見を取り入れ、十分な説明を行うことにより、円滑な合意形成を図る必要がある。

また、計画区間には民地が点在しており、民地取付部の越波および構造にも配慮する必要がある。民地との取付部における越波状況について、波浪シミュレーションにより説明するとともに、AR 技術を活用することにより、その構造(図-14)をよりリアリティのある情報として提供し、関係者との合意形成を目指す。



図-14 民地と近接する箇所(AR)

(2) 施工計画

瀬戸内海の護岸工事は、その潮位差を利用して一般的に潮待ち作業による海上工事を行うことが多い。しかし、本計画地は水深が浅く作業船が長時間にわたり岸に近づくことが困難である。また、国道2号の交通量を考慮した場合、陸上からの工事を極力少なくする必要がある。そこで、海上に仮設道路を設置し、海岸工事を行う施工計画を立案中である。図-15にそのイメージ図を示し、図-16は起重機船より石材を運搬し仮設盛土を構築し、重機よりフレア式護岸を施工する配置図である。

そのなかで、本工事区間はアサリ漁場をはじめ漁業権が設定された海域である。また、広島県準絶滅危惧種に指定されているスナガニの生息地であることから、環境と利用に配慮した施工計画を立案し、関係者との合意形成を円滑に行う必要がある。



図-15 施工イメージ図

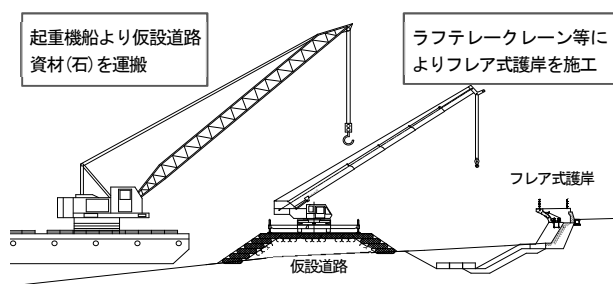


図-16 仮設横断面

6. まとめ

昨今の海面水位の上昇や台風の大規模化及び頻発化の影響から、越波による道路への影響が大きくなっている。従来の越波対策工法は、護岸前面に消波ブロックを設置することにより波高の低減を図る工法が採用された事例が多い。しかし、50年確率相当の波浪条件及び既往最高潮位の条件によっては、消波ブロックだけでは越波を防護することは困難なことも多く、環境・景観・利用のトレードオフが生じている。そのため、波浪及び潮位条件の設定にあたっては、道路の重要度、周辺道路・地域の状況、安全性、経済性等を考慮し、通行止めの基準を設定するとともに適切な気象海象条件の設定を行うことが必要であると推察される。

ここでは、越波による道路通行止めの回避の観点から気象・海象条件、許容越波流量等の検討条件を整理し、防護、環境・景観、利用のトレードオフを少なくするため、現地に即した評価項目を設定し、評価及び機能検証したうえで、フレア式護岸を越波対策工法として採用した。また、気象・海象条件として、波浪条件は50年確率相当、設計潮位は既往最高潮位に潮位上昇を見込み、許容越波流量は $Qa=0.01\text{m}^3/\text{m/s}$ とした。

現在、本防災対策(越波対策)は、詳細設計を行っており、地元説明及び関係機関との合意形成を図っている所である。円滑な合意形成を行い、防災効果の早期発現を目指して尽力していきたい。

参考文献

- 1)気象庁：IPCC 第6次評価報告書
- 2)第六管区海上保安部：呉・広島・徳山の年平均潮位
- 3)公益社団法人日本港湾協会他：海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成30年8月
- 4)広島県：『広島沿岸海岸保全基本計画』について | 広島県 (hiroshima.lg.jp)
- 5)ケイコン株式会社:フレア式護岸 - ケイコン株式会社 製品サイト
トプレキャストコンクリート製品・工法 (kcon.co.jp)

大規模災害時における道の駅の活用について

原田 麻衣・安達 太陽

中部地方整備局 沼津河川国道事務所 道路管理課（〒410-8567 静岡県沼津市下香貫外原 3244-2）

南海トラフ地震等の災害時における道の駅「伊豆月ヶ瀬」の利活用について、道路啓開の視点から求められる機能について検討を進めてきた。

本論では、2022 年 3 月に道の駅「伊豆月ヶ瀬」が防災拠点自動車駐車場に指定されたことを受け、防災拠点自動車駐車場制度を活用した具体的な運用について、関係機関（地方自治体や関係業協会、陸上自衛隊等）との訓練や協議状況、課題に対する解決策の方向性について報告する。

キーワード：道の駅、防災、防災拠点自動車駐車場、道路啓開、南海トラフ地震

1. はじめに

道の駅とは、道路利用者のための「休憩機能」、道路利用者や地域の方々のための「情報発信機能」、活力ある地域づくりのための「地域連携機能」の 3 つの機能を併せ持つ休憩施設をいう。¹⁾

近年では、これらの道の駅の 3 つの機能に加え、各地で発生する災害対応にも道の駅が利活用されており、防災機能の強化が進められている。

また、2021 年 3 月の道路法改正により、広域的な災害応急対策のため拠点として機能を確保するため、道の駅等の自動車駐車場について、防災拠点自動車駐車場として、指定する制度が創設され、道の駅「伊豆月ヶ瀬」を含む、沼津河川国道事務所（以下、「事務所」という。）が管理する道の駅 3 駅が指定された。

現在、事務所では、道の駅「伊豆月ヶ瀬」について、災害時における関係機関（地方自治体や警察、消防、自衛隊等）との情報共有および活動調整等を行う場所として「現地合同調整所」²⁾の設置を検討しており、関係機関との協議や合同訓練を進め、課題の把握や解決策の検討等を行っている。

2. 静岡県東部地域の道路啓開と課題

（1）静岡県東部地域の道路啓開について

中部地方整備局では南海トラフ地震等の広域的災害に備えた道路啓開計画として「中部版くしの歯作戦」を策定しており、事務所が位置する静岡県東部地域でも関係機関により静岡県東部地域道路啓開検討会を組織し、図-1 に示すとおり「静岡県東部地域における道路啓開計画」（以下「道路啓開計画」という。）を策定している。



図-1 伊豆半島における道路啓開計画について³⁾

- 1) STEP1 東西軸となる広域支援ルートの啓開を実施するとともに、伊豆半島沿岸部は内陸部からの道路啓開の到達に時間を要するため、広域支援ルートの啓開と平行し災害発生初期の救急搬送を目的とした地域内の啓開を実施することが特徴である。
- 2) STEP2 くしの軸となる広域支援ルートから、くしの歯となる沿岸部に向かうルートを啓開する。
- 3) STEP3 沿岸部の各地域を接続する沿岸部ルートの道路啓開が完了。すべての被災地への緊急輸送ルートを確保する計画としている。

道路啓開完了目標については、生存率が急激に低下するとされる「72時間の壁」を念頭に、人命救助の観点から72時間を目標としている。

（２）静岡県東部地域における道路啓開の課題

南海トラフ地震等の広域的災害の発生により甚大な被害が想定される静岡県東部地域では、主要幹線道路も限定的であることから、沿岸部における早期の救命・救助活動に支障をきたすおそれや集落の孤立が懸念される。

また、沿岸部での津波等による瓦礫の堆積や橋梁流出をはじめ、山間部では土砂崩落等の被害により、甚大な道路被害が生じることが想定されるため、道路啓開の実施に対して人員や資機材が不足し、道路啓開完了の目標達成が困難になることが想定される。

（３）道の駅「伊豆月ヶ瀬」への拠点開設の検討

これらの課題から、人員や資機材を効率的かつ迅速に沿岸部へ展開するための拠点を新たに設定する必要を想定し図-2に示すとおり、STEP1の広域支援ルートの終端であり、沿岸部へのルートの起点となる場所に位置する道の駅「伊豆月ヶ瀬」（静岡県伊豆市）に広域的な災害応急対策のため拠点として「現地合同調整所」の設置を検討している。

「現地合同調整所」では、道路啓開の実施にあたり、主に以下の調整機能を想定している。

1) 道路管理者間の調整の場として、道路啓開作業の進捗管理、直轄代行や災害対策基本法に基づく応

援に関する調整の実施。

2) 建設業協会や道路啓開支援に係る TEC-FORCE 等の連携に関する調整として、作業方針の調整や人員・資機材の配分、担当区間の調整の実施。

3) 道路啓開作業について、救命・救助活動を担う警察、消防、自衛隊等の機関と連携するための調整の実施。

■道の駅伊豆月ヶ瀬から4市町の役所・役場への所要時間



図-2 道の駅伊豆月ヶ瀬から各市町・役場への所要時間

3. 道の駅「伊豆月ヶ瀬」における「現地合同調整所」の設置について

（１）道路啓開における「現地合同調整所」の役割

道路啓開は限られた人員や資機材を効率的に配分することが必要であり、道路の被災状況や沿岸部の自治体等の被災情報をもとに道路啓開を行う道路管理者と防災担当部局や、救命・救助活動を担う警察、消防、自衛隊等の機関が緊密な連携を行う「現地合同調整所」の設置を検討している。

検討にあたり、道の駅「伊豆月ヶ瀬」に「現地合同調整所」を設置して利活用する手法を検討するため、昨年度「現地合同調整所」の開設・運営訓練を実施し沿岸部への道路啓開の迅速化を図るための連携の在り方について、各機関が集合する形で訓練を実施した。

（２）防災拠点自動車駐車場について

道の駅「伊豆月ヶ瀬」は、2022 年 3 月に防災拠点自動車駐車場に指定されており、道路法第 48 条の 29 の 3 にもとづき、災害時の被害の拡大防止または、速やかな復旧のために一般車両の利用を禁止または制限できる。

災害時に広域的な災害応急対策のため拠点として「現地合同調整所」を設置するため、図-3 に示す「防災拠点自動車駐車場制度」を活用し、人員や資機材、災害対策車両等の一時集結拠点としての利用や「現地合同調整所」に必要なスペースの確保を検討している。



図-3 防災拠点自動車駐車場制度の創設

4. 道の駅「伊豆月ヶ瀬」における道路啓開に関する課題とその対応策の検討について

2022 年 10 月 28 日、道の駅「伊豆月ヶ瀬」において「現地合同調整所」の開設・運営訓練（写真-1）を実施した。

訓練では、関係自治体をはじめ、救命・救助活動を担う警察、消防、自衛隊等の関係機関が集合し、南海トラフ地震の際に甚大な被害を受ける沿岸部への支援のため、道路啓開方針の決定や、人員・資機材等の配分について、関係機関との調整や迅速な意思決定方法の検証を行った。



写真-1 訓練の様子

災害時における道の駅「伊豆月ヶ瀬」の利活用を想定する上で、それぞれの機関のニーズを把握することができたことから、有意義な訓練であった一方で、以下の主な課題も確認された。

- 1) 「現地合同調整所」と伊豆市地域防災計画⁴⁾に定められる「地域の一時避難所」の両立
- 2) 広域的な災害応急対策のため拠点として必要なスペースの確保
- 3) 防災拠点自動車駐車場制度を活用した際の「道の駅」の駐車場に放置された一般車両の移動

これらの課題に対して、解決策や災害時の運用を検討するため、表-1 に示す道の駅「伊豆月ヶ瀬」における拠点開設や運営に関係する機関によりワーキンググループ（以下「WG」とする。）を設置した。

関係機関名	
●国土交通省 沼津河川国道事務所	伊豆市 危機管理課
静岡県 危機管理部 危機対策課	伊豆市 観光商工課
静岡県 交通基盤部 道路局 道路企画課	伊豆市 用地管理課
静岡県 交通基盤部 道路局 道路保全課	伊豆市 建設課
●静岡県 賀茂地域局	駿東伊豆消防本部
●静岡県 東部地域局	静岡県警察本部 大仁警察署
静岡県 下田土木事務所	陸上自衛隊第34普通科連隊
静岡県 沼津土木事務所	一般社団法人 三島建設業協会
道の駅指定管理者（御村の駅伊豆月ヶ瀬）	

●ワーキング事務局

表-1 拠点開設WGの関係機関一覧

現在、WGでの議論は2回実施しており、道路啓開計画における道の駅「伊豆月ヶ瀬」での「現地合同調整所」の位置付け（開設主体や現地合同調整所

の権限等の機能)や昨年度に実施した「現地合同調整所」の開設・運営訓練を踏まえた課題を整理し、災害時における道の駅「伊豆月ヶ瀬」の利活用について協議を行っている。(写真-2)



写真-2 拠点開設WGの様子

ここからは、前述の課題に対して、WG内で議論された解決策について考察する。

(1)「現地合同調整所」と「地域の一時避難所」の両立

道の駅「伊豆月ヶ瀬」は「現地合同調整所」としての機能を有する広域的な災害応急対策のため拠点としての活用を想定している一方で、伊豆市地域防災計画では「帰宅困難者等の一時避難所」として定められていることから、災害時における道の駅「伊豆月ヶ瀬」での複数の機能の両立について、あらかじめ関係者と調整しておくことが必要である。

災害時のタイムラインを整理すると、道路啓開計画におけるステップ1の終端に位置する道の駅「伊豆月ヶ瀬」での防災拠点自動車駐車場の開設は12時間での開設が必要となる一方で、市の地域防災計画にもとづく一時避難所としての機能も災害発生初期から72時間までを想定している。

WGでは、一時避難所との機能分担や避難してきた帰宅困難者等の動線確保を協議するとともに、自治体が近傍の避難所への移動を案内することを想定し、その案内方法や体制についても関係する自治体等と調整を進めている。

(2) 広域的な災害応急対策のため拠点として必要なスペースの確保

訓練終了後の意見交換会において、多数の機関から、道の駅「伊豆月ヶ瀬」の自動車駐車場部分に災害対策車両等が集結し、さらに「現地合同調整所」を設置するには、手狭であるとの意見があった。

道の駅「伊豆月ヶ瀬」を広域的な災害応急対策のため拠点として活用するためには、災害時に必要となる機能を定め、求められるスペースを確定し、必要な機能の空間配分を検討する必要がある。

そこで、現在までの2回のWGを通じて、昨年度の道の駅「伊豆月ヶ瀬」における訓練で自動車駐車場に設置した「現地合同調整所」を災害時には地域振興施設の建物(店舗)内に設置することを含め、適正な配置を検討している。

地域振興施設の建物(店舗)を「道路外災害応急対策施設(道路法施行令第35条の7第1項第4号に定める施設)」として、道路法第48条の29の5に規定する「災害応急対策施設管理協定」を締結する等の措置で、図-4に示す自動車駐車場部分と地域振興施設の一体的な活用が可能となり、必要な機能の空間配分も可能であると考えている。

道の駅での空間の配分については、今年度の訓練での検証を予定しているとともに、今後のWGで、「現地合同調整所」の具体的な設置場所や災害発生時の指定管理者の協力体制の強化のため道の駅「伊豆月ヶ瀬」におけるBCP策定など、関係自治体や道の駅「伊豆月ヶ瀬」の指定管理者を交え、調整を進めていく。



図-4 道の駅「伊豆月ヶ瀬」平面図

（３）防災拠点自動車駐車場制度による一般車両の移動

道の駅「伊豆月ヶ瀬」の自動車駐車場部分を広域的な災害応急対策のため拠点として活用する場合、道路法第 48 条の 29 の 3 の規定を適用し、一般車両の利用を禁止・制限する必要がある。

この制度は、自動車駐車場の利用を禁止し制限する場合のみ図-5 に示す標識を掲示する必要があることから、日常的に標識は表示しておらず、一般の利用者の認知度は低いものと考えられる。



図-5 広域災害応急対策車両専用を示す規制標識

また、防災拠点自動車駐車場として利用を禁止し制限する前から駐車をしていた車両の移動については、道路管理者の移動要請にもとづき運転者が自ら車両移動を行う必要があることから、運転者が不在の場合など、道の駅の自動車駐車場内に車両が残ることが想定され、拠点開設に際しての課題がある。

また、図-6 に示すとおり、道の駅「伊豆月ヶ瀬」の自動車駐車場利用状況は休日では 120%、休日イベント時では 190%を超え、平時より集客のある施設である。

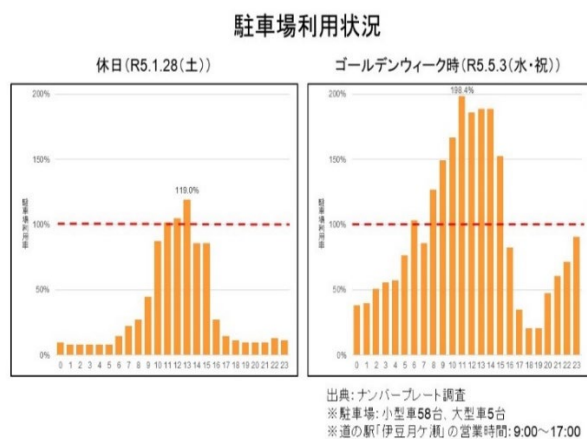


図 - 6 道の駅「伊豆月ヶ瀬」での駐車場利用状況

利用を禁止し制限する前から駐車していた車両については、以下の対応で移動させることを想定している。

ア) 事前の広報と運転者への呼びかけ

まず、車両移動に際しては、運転者に対して車両の移動協力依頼をすることが基本となる。そのためにも事前の広報による防災拠点自動車駐車場制度をはじめ、標識等の周知が重要となる。

例えば、道路情報提供施設内において、災害時に利用制限される場合があることを、チラシやデジタルサイネージ等を活用した周知や地域住民への説明等、災害時に周囲の理解を得るための措置が必要であると考えている。

イ) 運転者が自ら行う車両移動

運転者に対し車両移動を要請することを基本とすることから、道の駅の地域振興施設等においても、指定管理者の協力を得て移動要請の館内放送を行うなどの対応が必要であると考えられる。

ウ) 道路管理者による車両移動

運転者が車両の移動要請に応じない場合や運転者が不在の場合も想定されるため、事前に道路管理者による車両移動についても検討する必要がある。

災害時の道路管理者による車両移動は、緊急車両等の通行確保の目的から、災害対策基本法第 76 条の 6 の規定により行われることが想定されるが、一般的に駐車を前提とした道の駅の自動車駐車場で、駐車が緊急車両等の通行の妨げとなると結論付けることができるかが課題となる。

防災拠点自動車駐車場については、その活用方法が限定されているものではないが道路啓開計画において、道の駅「伊豆月ヶ瀬」は、伊豆半島南部への進出拠点として期待されており、災害対策車両等の一時的な集結機能も想定される。

災害対策車両等が集結をした後、道の駅「伊豆月ヶ瀬」を一時的経由地として伊豆半島南部への展開をまでを一連として考えた場合、道の駅「伊豆月ヶ瀬」における、既存の一般車両の移動は、緊急車両等の通行確保として意義のあるものであり、十分に法の理念に合致するものと考えている。

これらについては、引き続き関係機関との協議、検討を重ね、広域災害拠点としての機能を確保する方法の整理を進めていきたいと考えている。

5. おわりに

今回報告した道の駅「伊豆月ヶ瀬」における広域的な災害応急対策のため拠点の開設に伴う防災拠点自動車駐車場制度の活用については、災害時に幅広く活用が可能であり非常に有用であると考ええる。

また、道の駅「伊豆月ヶ瀬」が接続する[E70]伊豆縦貫自動車道「天城北道路」から南進する伊豆縦貫自動車道「天城峠道路（月ヶ瀬～茅野）」についても、今年度で新規事業化され、防災上の観点からの道の駅「伊豆月ヶ瀬」の利活用がさらに重要になってくるものと考えられる。

災害時における道の駅「伊豆月ヶ瀬」の利活用については、道路啓開の観点から検討を始めたばかりであり、引き続き関係機関と議論を重ね、防災機能強化に向けた取り組みを展開するとともに、道の駅「伊豆月ヶ瀬」の利活用が災害時の道路啓開に対して円滑に進める一助となることで、救命・救助活動、緊急物資の輸送等が迅速に行えるように努めていきたい。

謝辞：本論文の作成にあたり、各種助言をいただきました関係者の皆様にこの場をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 国土交通省：HP「道の駅」の概要、
(<https://www.mlit.go.jp/road/Michi-no-Eki/outline.html>)
- 2) 総務省消防庁：大規模災害時の救助・捜索活動における関係機関連携要領、2022 年
- 3) 静岡県東部地域道路啓開検討会：静岡県東部地域における道路啓開行動計画（令和 3 年度改訂版）7 ページ、2022 年
- 4) 伊豆市防災会議：伊豆市地域防災計画共通対策編、2022 年

国道329号金武^{きん}インター交差点の渋滞対策について

伊良波 憲¹・岡本 哲次²・山城 元³・村田 太紀⁴

¹ 沖縄総合事務局 北部国道事務所 管理第二課長（〒905-0019 名護市大北4丁目28-34）

² 沖縄総合事務局 北部国道事務所 道路保全官（〒905-0019 名護市大北4丁目28-34）

³ 沖縄総合事務局 北部国道事務所 管理第一課長（〒905-0019 名護市大北4丁目28-34）

⁴ 沖縄総合事務局 北部国道事務所 管理第一課 管理係長（〒905-0019 名護市大北4丁目28-34）

一般国道329号は、沖縄本島の東海岸を南北に走る主要幹線道路であり、金武町字金武～同町字屋嘉の2車線区間は、沖縄自動車道の金武IC、屋嘉ICに接続しているため交通量が多く、朝夕のピーク時には渋滞が発生し、右左折時の事故や追突事故等が発生している。

金武インター交差点では、沖縄自動車道の金武ICに直結するキャンプ・ハンセン新ゲートの完成に伴い、交通の流れが大きく変化することが予想されたため、渋滞及び事故対策として、付加車線の設置等、安全・安心な道路空間を確保する交差点改良を実施した。本稿は、上記の国道329号金武インター交差点の渋滞対策・事故対策事業について、その経緯と整備内容の報告を行うものである。

キーワード 渋滞、交通転換、事故対策

1. はじめに

(1) 一般国道329号金武地区の交通状況

一般国道329号の金武町字金武～同町字屋嘉区間（延長約11km）は2車線区間となっており、沿道には住宅地や火力発電所、米軍基地キャンプ・ハンセン等の施設が位置している。

地域内の主要な道路網である国道329号の当該区間においては、朝は上り（北）方向、夕方下り（南）方向の慢性的な交通渋滞が発生し、特に朝の交通渋滞は、屋嘉地区から金武地区へ向かう金武中学校生徒のバス通学に影響を及ぼし、6時台発のバスに乗車しても始業に間に合わない生徒が多くいる状態であった。

また、バスに定時性がないことに起因する、父母によるマイカー送迎もさらに交通渋滞に拍車をかけ、加えて、渋滞を避けたい車両による集落内道路の抜け道利用も集落内に危険を及ぼしているという課題があった。



図-1 国道329号金武地区、屋嘉地区の交通状況

(2) 金武地区渋滞対策検討委員会の設置

金武町は、平成25年4月に公表された「沖縄における在日米軍施設・区域に関する統合計画」に対して、平成26年4月、本島中南部に位置する米軍基地施設の一部をキャンプ・ハンセンへ受け入れることを表明。これに伴う基地施設移設工事が、基地内で行われていた。

こうした状況もあり、基地施設移設工事完了後、キャンプ・ハンセンからの発生集中交通量が増加し、国道329号の交通渋滞が悪化することが懸念された。

防衛省沖縄防衛局では、渋滞対策の一環として、国道329号現道に位置しているキャンプ・ハンセンゲートを移設、閉鎖し、新たなゲートを金武ICランプ部に直結させるための道路整備を計画していた。

一方、北部国道事務所では、国道329号現道（金武町字金武中川～同町字金武浜田）の幹線機能低下を改善するため、国道329号金武バイパスを事業中であった。



図-2 金武インター交差点周辺の道路整備計画

以上のことから、国道 329 号（金武町字金武～同町字屋嘉間）の 2 車線区間の渋滞対策は、単に原因となる交差点単独の改良検討だけではなく、周辺の道路改良事業の状況を含めた、総合的な改善の検討を各関係機関の協力のもとに進める必要があった。

そのため、北部国道事務所では、各関係機関と情報共有及び必要な対策案を検討する場として、「金武地区渋滞対策検討委員会」を平成 31 年 3 月に設置した。

当該委員会では、朝夕の交通渋滞の主な区間となっていた金武地区、屋嘉地区、それぞれについて対策案を検討しているが、本稿では、金武地区内にある金武インター交差点の渋滞対策について紹介する。

（金武地区渋滞対策検討委員会）

○沖縄総合事務局 ・開発建設部	道路建設課長 道路管理課長	○沖縄県警察本部 ・交通部 交通規制課 交通管制官
・北部国道事務所	(技)副所長(改築) (技)副所長(管理)	○金武町 企画課長
○沖縄防衛局 ・企画部 地方調整課 基地対策室長		○西日本高速道路株式会社 ・沖縄高速道路事務所 統括課長

図-3 金武地区渋滞対策検討委員会メンバー

2. 交通状況の整理

(1) 渋滞原因の調査

平成 30 年 9 月に実施した金武インター交差点（無信号交差点）の交通実態調査によると、交通混雑は朝 7：20～8：00 で発生、最大滞留長は 910m であった。金武インター交差点を境にして、東側断面において交通量が増加しており、また、その交通量の割合は沖縄自動車道金武 IC からの合流車両が約 4 割を占めていた。

同断面の車種別交通量を見ると 7：00～7：30 にかけて米軍関連車両（Y ナンバー及び軍用車両）の割合が、約 4 割を占めていた。



図-4 金武インター交差点の渋滞状況

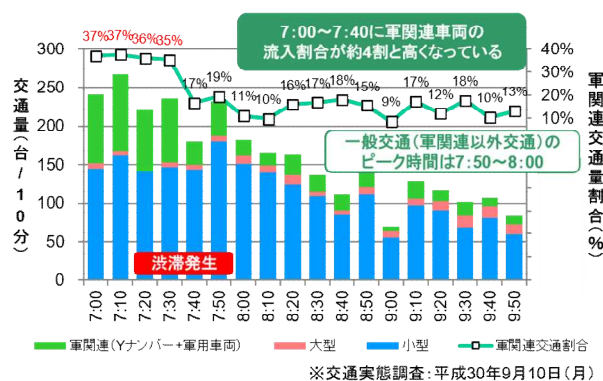


図-5 金武インター交差点東側断面の車種別交通量

加えて、金武インター交差点～金武（南）交差点にかけてカメラを設置し、交通状況を観察したところ、金武（南）交差点及び（仮称）ファミリーマート前交差点における信号や、コンビニ等の沿道施設への出入りによる速度低下が、金武インター交差点まで伝播していた。特に（仮称）ファミリーマート前交差点の信号は、歩行者横断用の押しボタン式信号であったが、車両の流れが途切れないうえに、住宅区画側の従道路から国道 329 号に流入できない車両運転手が、押しボタンを作動させる様子が確認された。



図-6 金武インター交差点付近の交通状況

(2) 金武インター交差点における渋滞発生メカニズム

本上記の交通実態調査から、金武インター交差点の渋滞発生メカニズムを分析すると、下記の通りであった。

①金武インター交差点～金武（南）交差点の単路部で交通容量の約 9 割程度の交通量が流入。

②単路部での押しボタン式信号作動や沿道施設への出入等により、交通容量が一時的に低下し、速度低下が発

生。金武インター交差点まで速度低下が伝播。

③沖縄自動車道金武ICから国道329号への合流部において、織り込み交通により、更なる速度低下が発生。後続車両に速度低下が伝播し、低速区間が延伸。

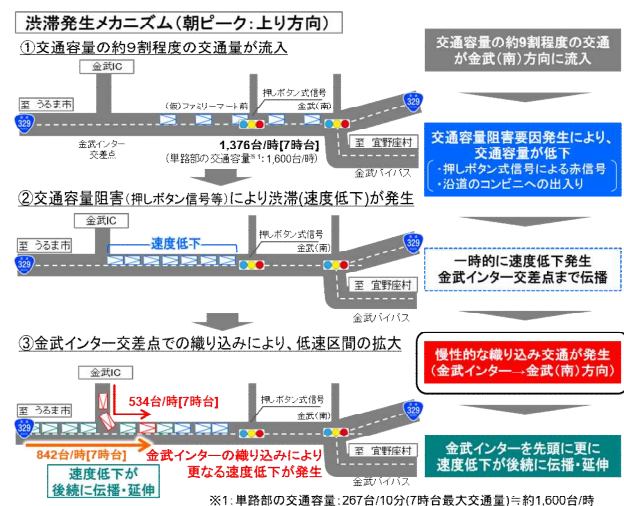


図-7 金武インター交差点の渋滞メカニズム

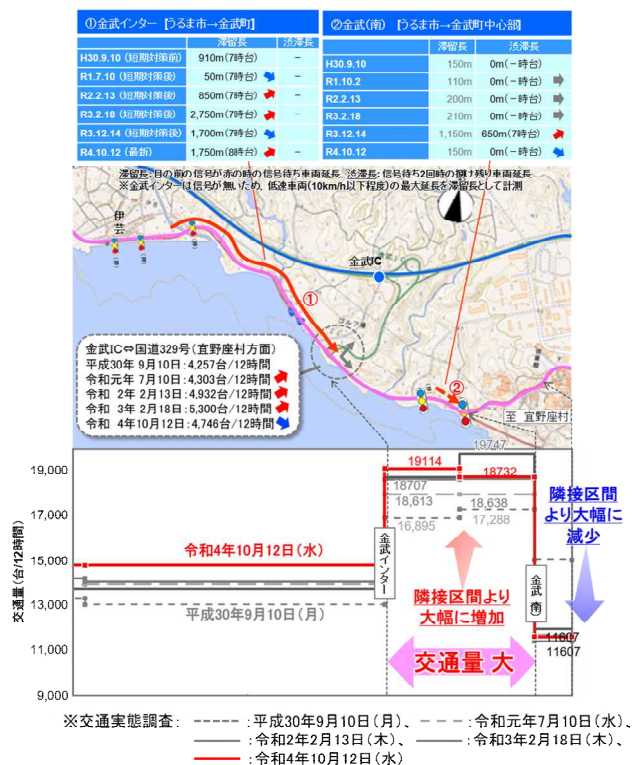


図-9 交通実態調査状況 (H30～R4年度)

3. 対策の検討

(1) 短期対策の実施

北部国道事務所では、すぐに実施できる対応策として、金武インター交差点の合流部における手前織り込みを防ぎ、スムーズな合流を促すことを目的に、合流部にポストコーンを設置した。(令和元年6月)

効果検証のため同年7月に実施した交通実態調査において、滞留長短縮、旅行速度向上、バス通学者の遅刻者なし等、一定の効果が見られた。

しかし、令和2年2月の交通実態調査において、金武インター交差点～金武(南)交差点区間の交通量が大幅に増加していることが確認され、短期対策実施前と同程度の交通渋滞も確認したため、短期対策の改善効果は一時的なものとなった。

そのため、北部国道事務所では追加の対策案を引き続き検討することとした。



図-8 短期対策:ポストコーンの設置状況(出典:Google Map)

(2) 交通シミュレーションの実施

沖縄防衛局では、国道329号の渋滞緩和を目的としてキャンプ・ハンセン新ゲートを金武ICに直結させる道路整備を進めていた。これにより国道329号現道に位置していたゲートが閉鎖され、米軍関連車両の交通の国道329号への流入が減少するなど、金武地区の交通流が大きく変化することが予測された。

このため、北部国道事務所では、沖縄防衛局から基地施設移転後の推計交通量データの提供を受け、新ゲート直結道路完成後の交通流変化を加味した交通シミュレーションを実施し、キャンプ・ハンセン新ゲート完成時+基地機能移転後の交通流を再現することで、金武インター交差点における最も効果的な渋滞対策案を検討することとした。

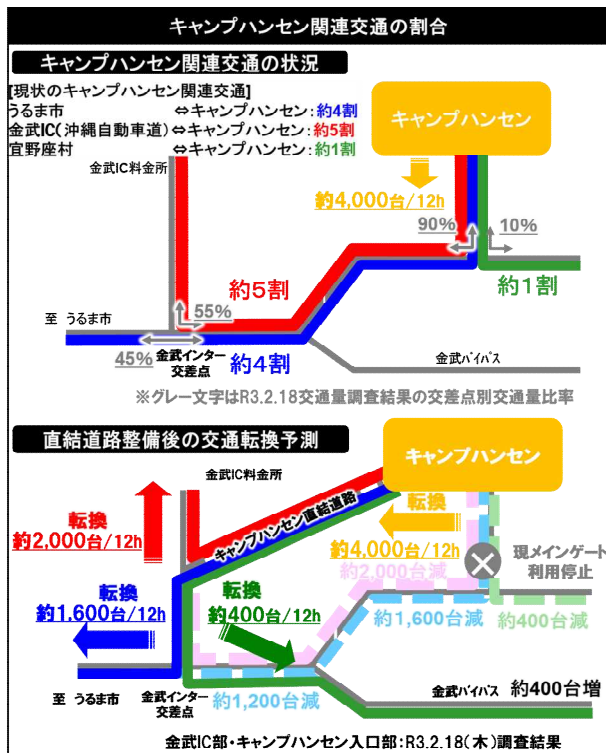


図-10 キャンプ・ハンセン米軍関連車両の交通流変化予測

a) 朝ピーク時の交通状況検証

新ゲート直結道路整備により、米軍関連車両の交通量が新ゲート直結道路へ転換することで、国道329号現道のキャンプ・ハンセン入口交差点～金武インター交差点間の走行速度が向上するため、既存形状のままの金武インター交差点でも、滞留長が大幅に低減することが分かった。

①朝ピーク時の交通状況の検証

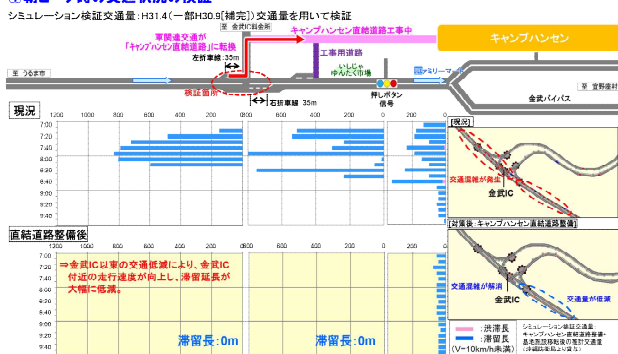


図-11 朝ピーク時の交通シミュレーション

b) タピーク時の交通状況検証

新ゲート直結道路整備により、夕方、金武 IC ランプ部～国道 329 号うるま市方面への右折需要が増加し、金武インター交差点の金武 IC ランプ部側が混雑することが確認された。

対応策として、金武 IC ランプ部の左折車線延伸や、

うるま市方面への右折可能時間を作るため、金武インター交差点の信号交差点化を検討、シミュレーション結果として、金武 IC ランプ部の混雑が大幅に減少することが確認された。ただし、信号交差点化することで、同時に国道 329 号側に渋滞が発生することが確認されたため、この対応策として、国道 329 号の上り線側（北向け）の金武 IC ランプ部への左折車線を L=35m から L=170m に延伸、下り線側（南向け）の金武 IC ランプ部への右折車線を L=35m から L=90m に延伸することが交差点改良の素案として考えられた。

②タピーク時の交通状況の検証

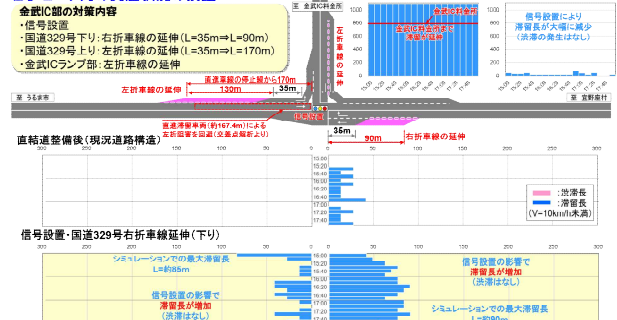


図-12 タピーク時の交通シミュレーション

4. 交差点改良の実施

(1) 改良案の追加

北部国道事務所では、3. (2) b)の交差点改良素案をもとに、金武インター交差点改良の詳細設計を進めた。その結果、より効果的な渋滞対策として、金武ICランプ部の右折2車線化と受け側である国道329号下り線側（南向け）の一部2車線化の対策を追加した。

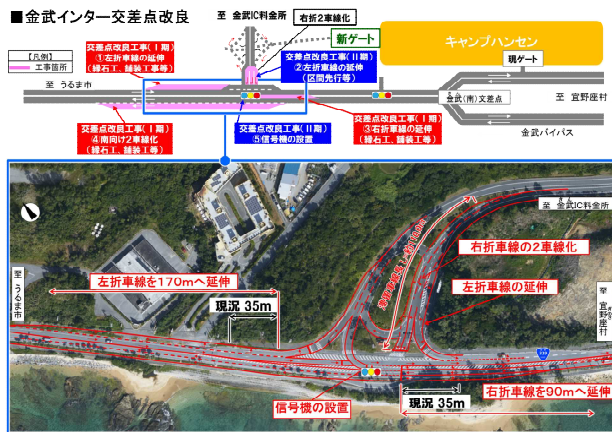


図-13 金武インター交差点改良案

(2) 交差点改良施工

上記改良案をもとに、令和3年1月から金武インター交差点の改良工事を着工。

沖縄防衛局がR5年3月末に供用を目指して、整備を進めていた新ゲート直結道路に合わせる形で、同じくR5年3月末に金武インター交差点改良を供用した。



図-14 金武インター交差点改良前後①



図-15 金武インター交差点改良前後②

5. 対策の効果

金武インター交差点改良及び新ゲート直結道路の供用後の約1か月後（令和5年5月）の交通実態調査によると、供用前の令和4年10月の調査と比較して、金武インター交差点東側断面において、断面交通量約23%の減少を確認した。また、これにより、金武インター交差点の上り線側（北向け）の通過時間短縮、及び、滞留長的大幅な減少を確認した。



図-16 金武インター交差点供用後の断面交通量の変化



図-17 金武インター交差点供用後の通過時間比較

また、供用後の約半年後（令和5年9月）にも交通実態調査を実施したところ、金武バイパス供用の効果と合わせてではあるが、生活道路（金武町道）の交通量が約4割減少していることが確認され、同町道を含めた周辺の生活道路の年あたりの事故件数が減少していることが確認された。ただし、事故件数はR2-3年のコロナ禍のイタルダデータの分析であり、コロナ禍明けのデータでも改めて比較、分析が必要と認識している。



図-18 国道 329 号周辺の事故発生箇所

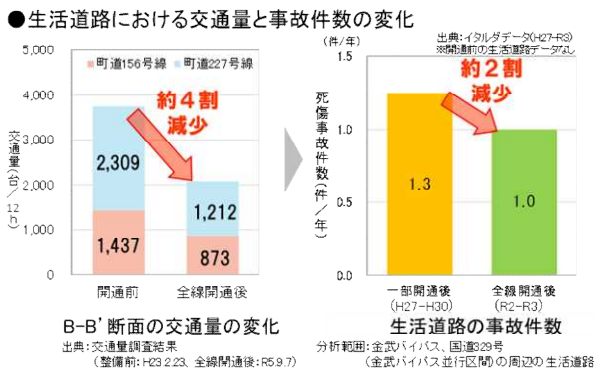


図-19 生活道路の交通量・事故件数

6. まとめ

金武インター交差点改良における一定の整備効果が確認されたが、R5 年度はコロナ禍からの回復期にあたり、今後沖縄県全体で国内旅行者やインバウンド等観光交通

も増加してくると考えている。そのため、引き続き当該交差点の交通状況の確認を行っていく必要があると考えている。

また、今回本稿では、金武インター交差点にフォーカスした渋滞対策検討について紹介したが、北部国道事務所では、屋嘉地区における渋滞対策や、今回の交通流変動を踏まえた金武地区～屋嘉地区の区間における交差点集約や、信号機の廃止・効率化について「金武地区渋滞対策検討委員会」にて引き続き検討を行い、金武地区内のさらなる交通混雑の緩和について対応していくこととしている。

7. 謝辞

金武地区渋滞対策検討委員会や金武インター交差点改良を進めるにあたり、関係省庁や自治体、警察、西日本高速道路株式会社の皆様には、情報提供等、多大なご協力を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 図 1～7 及び図 9～15：金武地区渋滞対策検討委員会資料
- 図 16～17：北部地域渋滞対策 WG 資料
- 図 18～19：金武地区渋滞対策検討委員会資料

旧築地市場解体工事における 「適正、安全、完全なアスベスト除去」に 向けた取組み

足立 祐未¹・河面 涼代²・栢沼 歩²

¹元 東京都中央卸売市場 事業部 施設課 (〒163-8001東京都新宿区西新宿2-8-1)

現 東京都住宅政策本部 都営住宅経営部 再編利活用推進課 (〒163-8001東京都新宿区西新宿2-8-1)

²東京都中央卸売市場 事業部 施設課 (〒163-8001東京都新宿区西新宿2-8-1)

近年、高度経済成長期に建設されたアスベスト建材の使用が懸念される建物の解体ラッシュが見込まれる中、築地市場でも2018年の閉場に伴い解体工事に着手した。当工事では安全にアスベスト除去を行うため、法令やマニュアル等に加え、現場で取り入れやすく汎用性のある「築地ルール（独自基準）」を監督員が定めた。築地ルールの基本理念は、「除去作業員のアスベスト吸込防止の徹底」であり、都度、専門家らを交えたPDCAサイクルによりアップデートを図り取組むことで、アスベストを適正、安全、完全に除去することが可能となる。

キーワード 複合市街地、アスベスト、PDCAサイクル、スモークマシーン、漏洩監視

1. アスベスト

—「夢の材料」は今「静かな時限爆弾」—

築地市場は、1935年に開場し、水産物や青果物などの取扱量の増加に伴い1950年代の拡張、1960～70年代の新設、増設、改修などが行われるとともに、1990年代には老朽化や狭隘化に伴う大規模な施設更新が行われた。

これらの改修時には、不燃性、耐熱性、断熱性、防音性、絶縁性などに優れ、かつ安価なことから当時「夢の材料」と呼ばれていたアスベスト建材が使われていた。アスベストは、高度経済成長期の1970年代前半をピークに輸入（約350千トン/年）され、その約9割が建材として流通し、当時は築地市場に限らず多くの建物でアスベスト建材が使用されていた。（図1）

一方、1960年制定の「じん肺法」以降、順次法規制が強化されている。特に2005年に、アスベストを使用している工場の周辺住民にアスベスト疾患が発生しているという報道がなされたことにより、アスベストが人体に有害であることが広く世間一般に知らされ、2006年以降、アスベストの輸入及び使用は原則禁止された。

アスベスト繊維は髪の毛の1/5,000程度であり肉眼で見ることができず、肺に直接、沈着、滞留するため、じん肺、肺癌、中皮腫などの呼吸器系の健康障害を引き起こす。（図2）これらのアスベスト疾患は、発症までの潜伏期間が長く（中皮腫は30～40年以上）、発症時の死亡率も高い。このため、現在ではアスベストは「静かな時限爆弾」と言われている。

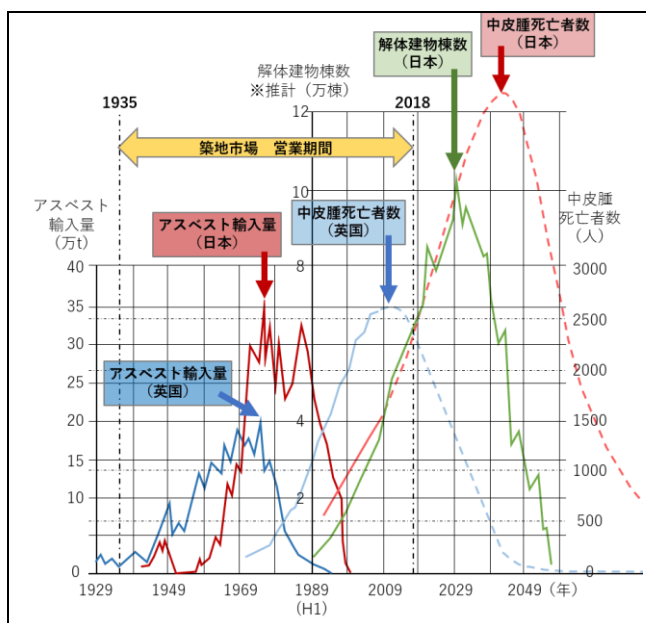


図1 アスベスト輸入量と中皮腫死亡者数
及び解体建物棟数¹⁾

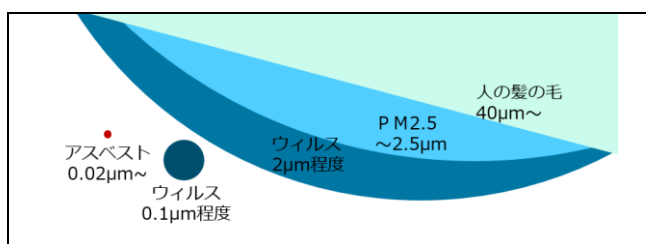


図2 アスベスト粒径比較図

事例として、英国では図1に示す通り日本よりも先に中皮腫死亡者数が増加しており、早期に輸入禁止を講じている。中皮腫の潜伏期間とアスベスト輸入量を考慮すると、英国よりも多くのアスベストを輸入していた日本の中皮腫死亡者数は、2040年頃をピークに益々増加する予想となっている。

近年、高度経済成長期に建設された建物の解体ラッシュが始まり、その解体件数は年々増加している。東京都内でも今後多くの建物解体が行われることが予想され、これら建物には、多量のアスベスト建材が使用されている可能性が高い。

2. 築地ルール の策定背景と特徴

前述の背景のもと、築地市場は、2018年の豊洲市場移転に伴い約83年に渡る営業を終了し解体工事に着手した。

旧築地市場解体工事（以下、当解体工事という。）のアスベスト除去における問題としては、第一に、複合市街地という立地により、観光客で賑わう場外市場をはじめ、住宅、オフィス、病院などに囲まれた環境下であったことが挙げられる。第二に、解体対象建物数155棟、延べ面積約26万㎡の大規模解体工事であり、なかでもアスベスト除去を要する建物が74棟、除去面積は約23万㎡におよび、アスベスト除去業者が80社以上参画していたことが挙げられる。

こうした状況から、当解体工事では、安全なアスベスト除去を行うために、多数の施工業者の品質水準を揃えていくための仕組みが必要不可欠であった。

そのため、以下に示す独自基準「築地ルール」を定めることで、安全管理や品質管理を行ってきた。

(1) 築地ルール の基本理念

築地ルール の基本理念は、「除去作業員のアスベスト吸込防止の徹底により、同じ現場で働く仲間（周辺作業員）の健康被害を防止し、近隣住民に健康被害を生じさせないこと」を最も重要視している。（図3）

そのため、「作業場内のアスベスト粉じん量の抑制により、除去作業員の吸込防止と作業場外への飛散、漏洩防止を行うこと」を徹底してきた。一方で、除去に伴うアスベスト粉塵の発生を完全に無くすことは困難であることを踏まえ、異常等の不具合を早期発見、早期対応することでアスベストの漏洩、飛散などを最小限に抑える備えも重要視してきた。

(2) 築地ルール の位置づけ

アスベスト除去の指針は、関係法令、各種マニュアル、及びこれらを基に作成された東京都建築工事標準仕様書や同特記仕様書が中核となる。当解体工事では、これら基準類に専門家らとの意見交換や2018年からの

解体工事で得た知見を加えたものを「築地ルール」として定め、基準類の実効性をより高めることで、安全にアスベスト除去できるよう取り組んでいる。（図4）

(3) 築地ルール に用いる手法

多数の施工業者が参画していること等を踏まえ、誰もが容易に取組めるよう、新工法や特殊な道具などを用いるのではなく既存の取組みの工夫により、汎用性のある手法を採用した。

3. 築地ルール の策定プロセス

築地ルール の策定にあたり、アスベスト除去などの知見を有する専門家などと意見交換しながら計画を策定（Plan）した。これを実際の除去工事で実行（Do）するが、工事の進捗とともにルール の改善、改良、修正すべき点は、その都度、専門家などと意見交換を行いながらアップデートを図り（Check）、より安全な除去工事に繋げている（Action）。

「築地ルール」の実践にあたっては、ルール が形骸化しないよう、常に本章冒頭でも記載した基本理念に立ち戻ることを心掛けている。

2021年に着手した現在施工中の解体工事においても、前回解体工事（2018年着手、2020年完了）の知見を踏まえ、加筆した独自の特記仕様書と新たな内容を追記した「築地ルール」により、アスベスト除去を行っている。次章よりその詳細について紹介する。

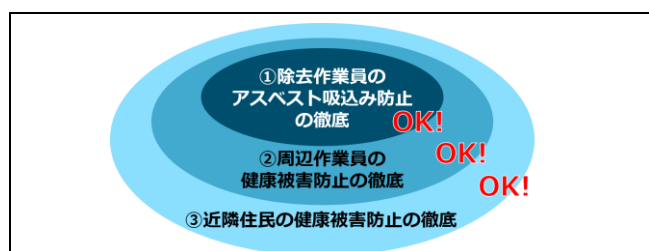


図3 「築地ルール」の基本理念 概念図

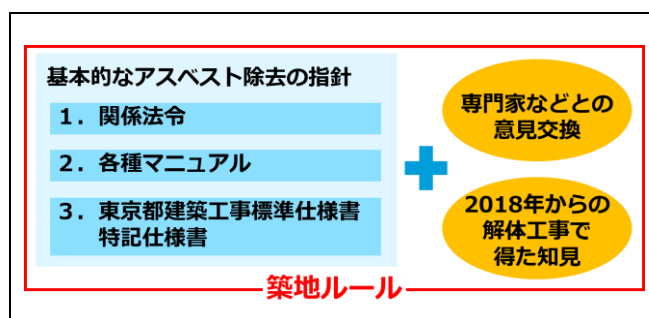


図4 「築地ルール」の位置付け

4. 築地ルール of 取組内容

(1) 重要な施工段階におけるチェックの強化

アスベスト除去の基本姿勢となる専門家の助言を以下に示す。

「事前清掃に始まり、仕上清掃に終わる。清掃を怠ることなかれ」
→養生設置前、除去作業中、養生撤去後の清掃を疎かにすると飛散、漏洩に繋がる

「負圧隔離養生8割」
→アスベスト除去の成否は負圧隔離養生の出来で8割方決まる

「検査なくして除去完了と言うことなかれ」
→取り残しのない完全な除去には検査が必須である

これらの助言は、各施工段階のチェックポイントとも捉えられ、築地ルールではこれを参考に、負圧隔離養生内での除去における施工確認を次のとおり設定している。

- ①養生設置前の「事前清掃確認」
- ②養生設置後、除去作業開始前の「養生完了確認」
- ③養生撤去前、固化剤散布前の「取残し確認」
- ④養生撤去後、仕上清掃完了時の「完了確認」

築地ルールでは、法令やマニュアルなどにある養生完了確認や、取残し確認、完了確認に加え、事前清掃確認を行っている。これは前回解体工事の際に、清掃時に養生破損の原因となる突起物の有無の確認や、アスベスト粉塵濃度測定に影響を与える堆積粉塵の有無の確認、除去対象建材の確認が重要であることがわかったためである。

また、上記4段階の施工確認は1つのアスベスト除去区画ごとに行い、それぞれ合格基準を定め誰もが同じ基準で確認できるよう取組んでいる。

このように重要な施工段階のチェックを強化することで、漏洩と吸込みのリスクを減らし、確実なアスベストの除去に繋げている。

(2) スモークマシンを用いた負圧隔離養生の確認

前述の通り、安全なアスベスト除去の成否は負圧隔離養生の出来に大きく影響される一方、「密閉、換気、負圧」の状態は目視確認することが困難である。そのため、当解体工事ではスモークマシンを用いて養生設置完了時に確認を行っている。(図5)

スモークマシンは、 $0.2\mu\text{m}$ 程度の非常に粒子の小さい無害の白色疑似煙を発生させる装置で、英国などでは気密性の確認で広く使用されている。見えないものを可視化し目視で見つけ出すことが困難な不具合を除去作業前に発見、是正できるため、非常に有効な手法である。

具体的な確認の流れとしては、まず作業場内を白煙で充満させ、養生の不具合の有無(密閉)を確認する。煙はアスベストと同程度に微細な粒子で小さな穴や隙間も通過するため、不具合箇所から外部に白煙が漏れ出した場合に即時目視で発見できる。実際にこれまでの確認において、コンクリートブロック壁の微細なクラックや配管貫通処理部の隙間などを見つけることができた。

次に、集塵排気装置により、白煙の排気時間を確認し、マニュアル等で規定される4回/h以上の換気が確保されているかを確認する。非常に微細な粒子の煙は長時間滞留しやすく、この特徴により換気状況を確認できる。またこの時、作業場内のショートサーキットや気流溜まりの有無を併せて目視で確認する。

これと同時に、微差圧計の値の確認や壁のプラスチック隔離シートの内側への撓みを触診し、負圧状態を確認する。

スモークマシンの有効性は、「見えないものを可視化することにより、経験の有無や技術の熟練度などを問わず誰もが確認できること」「複数の重要なチェックポイントの確認ができること」にある。この手法は前回解体工事で試行し、その有効性から現在施工中の解体工事においては特記仕様書に規定した。



図5 スモークマシンを用いた負圧隔離養生の確認

(3) 複数の機器を用いたモニタリングの強化

当解体工事では、アスベストの漏洩が無いことのモニタリングを、複数の機器を用いることで死角がないよう取り組んでいる。(図6)

モニタリングの軸は、アスベスト粉塵濃度測定とデジタル粉塵計の計測である。アスベスト粉塵濃度測定は、漏洩が無いことを数値で証明できる唯一の手法だが、分析会社が検体を自社に持ち帰り顕微鏡で分析するため、測定結果判明までに時間を要する。つまり、アスベスト粉塵濃度測定結果は過去の状況を示すものである。一方、デジタル粉塵計はアスベストのような繊維状粒子と非繊維状粒子を計測するものであるが、その場で即時計測が可能であり、バックグラウンドの値との比較により不具合を発見できる。この互いの特徴を補完し合う機器を用いて漏洩が無いことをモニタリングしている。

このほか、漏洩防止において重要な、換気、負圧状況もモニタリングしている。風速計では作業場内の粉塵濃度を下げるための換気状況を、微差圧計とスモークテスターでは粉塵が作業場外へ逆流しないための負圧状況を、数値と目視により確認している。

これらの機器のほとんどは、操作が簡単で、作業場外から即時測定できるため、受注者、除去業者、監理者、監督員らの誰も行える。モニタリング結果は現場に掲示した記録表に即時記録し、安全な作業環境であることの「見える化」を行うとともに、当日の除去作業中の漏洩が無いこと及び毎日の作業の妥当性を確認し、品質管理、安全衛生管理に活かしている。

(4) 漏洩リスクに備えたリスクコミュニケーション

アスベスト除去を行う際にアスベスト粉塵の発生を完全に無くすことは困難であり漏洩事故のリスクは常に存在することから、漏洩事故へ繋がる可能性のある事象に対してあらかじめ準備しておくことも重要である。築地ルールでは、モニタリングで不具合を発見した際、作業

を中止するだけでなく、その後の作業再開までのプロセスをあらかじめ特記仕様書で定め、工事の安全性を担保するとともに、円滑に進捗出来るよう取り組んでいる。作業再開までのフローの具体的な中身については、現場でわかった課題などを踏まえて、受注者、監理者、監督員で都度すり合わせを行っている。こうしたリスクコミュニケーションが図れる体制を日頃から整えておくことにより、不測の事象にも迅速かつ円滑な対応を行うことができ、アスベストの漏洩、飛散などを最小限に抑えることが可能となる。

5. まとめ

「築地ルール」は、適正かつ安全、完全なアスベスト除去を行うため「除去作業員のアスベスト吸込防止の徹底」を基本理念に、既存の取組みを工夫することで、現場で取り入れやすい容易かつ低コストの手法としてつくりあげてきた。

今後、東京都内においても大規模かつ市街地内での解体工事や居ながらの改修工事等が多く発生することが見込まれ、築地ルールは、そのような環境下においても高い安全性、品質水準を保ちながらアスベスト除去を行えると期待できる。

旧築地市場での今後の解体工事でも引続き、専門家や現場とのコミュニケーションを図りながら、より適正、安全、完全なアスベスト除去に向けて試行錯誤を続けていく。

参考文献

- 1) 一般社団法人建築物石綿含有建材調査者協会、建築物のアスベスト対策2021年,p.24、社会資本整備審議会建築分科会アスベスト対策部会（第5回）資料をもとに筆者作成

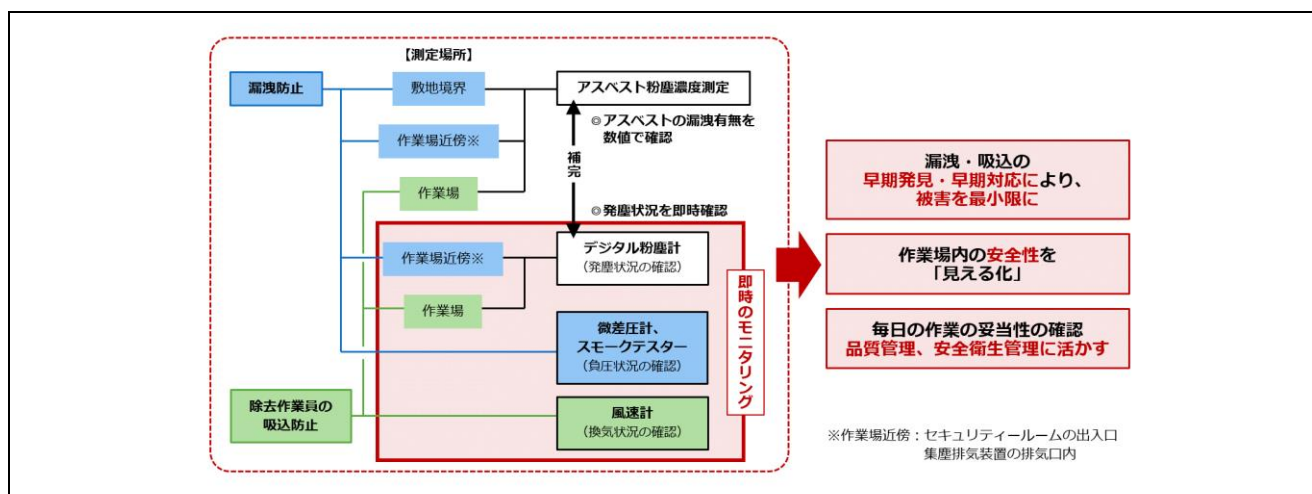


図6 複数の機器を用いたモニタリングの流れ

建築物除却工事におけるアスベスト除去方法 の法的観点からの検討

塩野 靖生

長野県建設部施設課（〒380-8570 長野県長野市大字南長野字幅下692-2）

本県の建築物解体工事に際し、コンクリートブロック造躯体の目地等のモルタルの中からアスベスト検出という稀有な事象があった。アスベスト除去には関係法令に則った作業が必要であるが、アスベスト含有モルタルの法的位置付けが明確でないこと、コンクリートブロック躯体の目地等のアスベスト除去方法が確立されていないことから対応に苦慮した。本稿では、関係法令やマニュアル・資料調査により、法的整理を行った上で関係機関と協議を重ね、解体工事団体及び設計事務所等の関係者を交えた検討により、アスベスト除去の作業方法を定めたプロセスを報告する。

キーワード C B造、アスベスト除去、モルタル、大気汚染防止法、石綿障害予防規則

1. はじめに

(1) アスベストの使用分野

アスベスト（石綿）は、天然の繊維状珪酸塩鉱物の総称で、クリソタイル、アクチノライト、アモサイト、アンソフィライト、クロシドライト及びトレモライトに分類される。¹⁾アスベストの特性として、繊維状で、耐熱性に優れていること、曲げや引張りに強い、耐薬品性に優れていること等があり、1950年代以降から工業原料として広範多岐に使用されてきた。²⁾そして、わが国のアスベスト消費量のうち、約93%を建材製品が占めており（1995年度時点）、また、使用分野では、建造物材料が約9割を占めている。³⁾アスベストは吹付け石綿として直接壁、天井、柱、梁等に吹き付けられたほか、石綿スレートや石綿セメント板として床材、壁材、天井材、軒天材、防火壁材等に用いられてきた。⁴⁾

(2) アスベストの健康影響

アスベストの繊維は極めて微細（ $0.02\mu\text{m}$ ）であり空気中に浮遊したものを人が吸引した結果、肺等に沈着し、健康被害が生じることが確認されている。アスベストにばく露して引き起こされる疾患としては、じん肺（石綿肺）、肺がん、悪性中皮腫、良性石綿胸水（胸膜炎）、びまん性胸膜肥厚等がある。⁵⁾特に中皮腫は石綿ばく露から20～50年の長い潜伏期間の後に発症するため、日本では、1990年代以降、中皮腫死亡者数が急激な増加傾向にある。⁶⁾中皮腫発生の8割程度は、アスベストに起因するといわれている。⁷⁾

(3) アスベストの法規制

アスベストに係る法規制は、石綿製造工場等における労働者の健康障害予防のため、1960年に「じん肺法」が制定された。⁸⁾その後、1995年の労働安全衛生規則の改正により、吹付け石綿除去作業の事前届出、石綿含有率1%超まで規制拡大、また、建築物の解体等に伴う労働者に石綿ばく露防止措置を強化するため、石綿障害予防規則（平成17年厚生労働省第21号。以下「石綿則」という。）が2005年に制定、2006年に石綿則が改正され、規制対象が石綿含有率0.1%超に拡大された。そして、石綿の飛散による大気汚染を防止するため、1989年に大気汚染防止法（昭和43年法律第97号。以下「大防法」という。）の改正により、石綿製品製造工場に対する規制導入、1996年の改正により、吹付け石綿が使用されている建築物の解体等の作業に対する規制が始まった。さらに1991年の廃棄物の処理及び清掃に関する法律（昭和45年法律第137号。以下「廃掃法」という。）の改正に伴い、「廃石綿等」が特別管理産業廃棄物に指定された。その後、大防法は、2006年、2013年に、石綿則は2008年、2011年、2014年、2018年に所要の改正が行われ、2020年に石綿含有仕上塗材及び石綿含有成形板等に対する規制の拡大、事前調査結果の報告の義務付け、作業記録の作成・保存の義務付け等の見直しが行われた。

2. 本件のアスベスト概要

(1) 解体建築物の概要

今回、本県で1960年代に建築された補強コンクリートブロック造平屋建て延べ面積約220㎡/棟の長屋住宅を複数棟、解体することとなった。現況は写真-1のとおりである。



写真-1 解体する建築物の状況

本建築物の構造は、鉄筋コンクリート造の布基礎の上に1つW40cm×D15cm×H20cm程度の中空状コンクリートブロック（以下「CB」という。）の空洞の縦横に配筋し、空洞及び目地にセメント等を充填しながら、CB躯体壁として高さ2m程度まで積層した後、構造補強として、壁上部を鉄筋コンクリート造の臥梁で頭つなぎをした構造である。屋根は、軽量とするため鉄骨トラス組の上に木造の垂木及び野地板を設け、鉄板葺きしている。CBの表面は粗面であるため、モルタル塗布により平滑にし、外壁側は仕上面が凹凸状のリシン吹付けで仕上っている。なお、耐火性能や工期短縮の点で優れた類似構造の長屋住宅は同年代に盛んに建設され、現在、本県に1000棟以上存置している。

(2) アスベスト検出部位

アスベストは繊維が極微細で、建材中に重量比数%程度で含有されているものが多いため、目視では有無を判別できない。よって、現地で建材試料を採取し、専門機関で分析調査を行うことが一般的である。1960年代～1980年代の同様の建築物では水回りの壁・天井や軒天の建材にけい酸カルシウム板やフレキシブルボード（繊維強化セメント板）が使われており、経験上、当該建材は大半がアスベストが含有されているため、アスベスト含有建材として見込んでいた。今回、それ以外に分析調査によりアスベスト（クリソタイル）の含有が判明した部位を以下及び図-1のCB造標準断面図に示す。

a) CB表面に塗布されたモルタル

CBの外壁側、内壁側とも塗布されており、内壁側は厚さ数cm程度であるが、外壁側は何層かに塗り重ねられ、合計厚さ10cmにもなる。躯体に開けられた煙突穴から見た断面の状況は写真-2のとおりである。

b) CBの目地等のモルタル

CBを積層する際にCBどおしの接着に使用されたモルタルである。通常、目地へのモルタル充填と空洞へのモルタル充填は一連の作業で行われるため、空洞のモル

タルにもアスベストが含有されている可能性が高い。

c) コンクリート基礎及び土間に塗布されたモルタル

鉄筋コンクリート造の布基礎の屋外面や玄関・犬走の土間コンクリート表面を化粧仕上げするために塗布された厚さ数cm程度のモルタルである。

d) 内装の石膏ボード類に塗布されたモルタル

住戸内の間仕切壁の石膏ボード類の裏表に塗布された厚さ数cm程度のモルタルである。

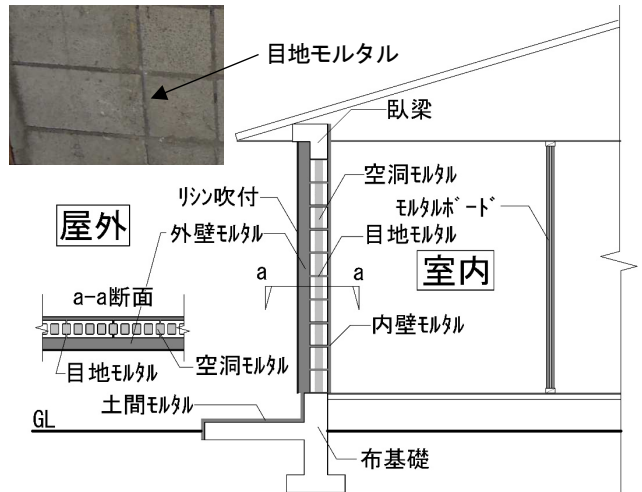


図-1 CB造標準断面図



写真-2 モルタルとCBの断面状況（煙突穴）

(3) アスベスト含有の背景

モルタルは、構造種別に関わらず、建築物のあらゆる部分に使用されているが、これまで、本県の同構造の解体工事においてモルタル中からアスベストが検出された事例は記録が無く、稀有な事象であった。2004年厚生労働省発表「左官用モルタル混和材中の石綿の含有について」において、市販のモルタル混和剤の中にアスベストが混入されているものがあることが注意喚起されているが、その他記載が見当たる資料は僅かである。なお、モルタル混和剤とは、左官塗りの作業性を高めるため、現場でモルタルを練る際に細骨材、セメント及び水以外に

加える添加剤である。作業性の観点から仕上モルタルに混和剤が加えられたことは推測できるが、強度に関わる目地等にアスベストが加えられた理由は定かでない。また、モルタルは本来、躯体の平滑性を高めるためや躯体と窓枠等の部材との隙間の充填に使用するものであり、現行の公共建築工事標準仕様書で外壁のモルタル塗厚25mm以下とされているところ、今回、外壁側に厚さ100mmものモルタルが塗布されていたことは異例である。

なお、アスベスト繊維はモルタルとともに固形化されているため、切断等しない限り飛散する恐れは低い。

3. アスベスト規制法令の整理

(1) アスベスト含有モルタルの法的位置付け

建築物からアスベストを除去する場合、大防法及び石綿則による作業基準に則らなければならない。その具体的な作業方法は建材の種類により、区分されている。

そこでまず、建材の分類を整理する必要がある。法令には詳細な建材名は記されていないため、厚生労働省（以下「厚労省」という。）と環境省が共同でアスベスト対策を網羅的にまとめた「建築物の解体等に係る石綿ばく露防止及び石綿飛散漏えい防止対策徹底マニュアル」（以下「マニュアル」という。）を参照した。

表-1 アスベスト含有建材の種類¹⁾

特定建築材料の区分	建築材料の具体例
吹付け石綿	①吹付け石綿、②石綿含有吹付けロックウール（乾式・湿式）、③石綿含有ひる石吹付け材、④石綿含有パーライト吹付け材
石綿を含有する断熱材	①屋根用折板裏断熱材、②煙突用断熱材
石綿を含有する保温材	①石綿保温材、②石綿含有けいそう土保温材、③石綿含有パーライト保温材、④石綿含有けい酸カルシウム保温材、⑤石綿含有ひる石保温材、⑥石綿含有水練り保温材
石綿を含有する耐火被覆材	①石綿含有耐火被覆材、②石綿含有けい酸カルシウム板第2種
石綿を含有する仕上塗材	石綿含有建築用仕上塗材
石綿含有成形板等	①石綿含有成形板、②石綿含有セメント管、③押出成形品

アスベスト含有建材の具体例は表-1のとおりである。大防法で規制対象となるアスベスト含有率0.1%（重量比）を超える建材を特定建築材料という。また、そのうち石綿含有成形板等の部位ごとの使用例は表-2のとおりである。

表-2 石綿含有成形板等の使用例

①外壁・軒天 スレートボード、スレート波板、窯業系サイディング、押出成形セメント板、けい酸カルシウム板第1種
②屋根 スレート波板、住宅屋根用化粧スレート
③内壁・天井 スレートボード、スラグせっこう板、パーライト板、パルプセメント板、けい酸カルシウム板第1種、せっこうボード、ロックウール吸音天井板、ソフト巾木
④床 ビニル床タイル、長尺塩ビシート、フリーアクセスフロア板
⑤煙突 セメント円筒
⑥その他 セメント管、ジョイントシート、紡織品、パッキン

いずれも吹付け石綿、断熱材といった現場で吹付け施工するもののほか、けい酸カルシウム板、押出成形セメ

ント板といった工場で製造される成形品が殆どであり、モルタルや混和剤として現場で適時注入するアスベストについての記述はなかった。しかし、法令の目的からアスベスト含有率0.1%を超える建材は規制対象であるため、法的位置付けを整理する必要があった。

a) 大防法上の位置付け

石綿含有成形品等（大防法施行規則別表第7の4）は「石綿を含有する成形板その他の建築材料（吹付け石綿、石綿含有断熱材等及び石綿を含有する仕上塗材を除く）」と定義されており、他に適当な項目がないことから「その他の建築材料」として本号に該当するものとした。

b) 石綿則上の位置付け

石綿含有成形品（石綿則第6条の2）は「成形された材料であって石綿等が使用されているもの（石綿含有保温材等を除く）」と定義され、大防法のように「その他」との記載がなく、適用されるか否かが明確でないことから、所管行政庁と協議し、その結果、石綿含有成形品の扱いとなった。アスベスト含有建材は除去の際の発塵性に応じて、いわゆるレベル1からレベル3まで区分されているが、成形品等はレベル3に該当し、アスベストの発塵性が比較的低い部類となる。

(2) 作業基準の整理

マニュアルにはモルタルの記載がないことから、自ずと、それに対応した作業方法の例示も皆無であった。そこで、関係法令による必須事項を整理した。

a) 大防法の作業基準

石綿含有成形品等は、原則、切断、破碎等することなくそのまま建築物等から取り外すこととされているが、技術上著しく困難なときは除去する材料を薬液等により湿潤化することとされている。本件は外壁一面にCBとモルタルが固着されており、モルタルを切断等せずに原形のまま取り外すことは不可能であったため、後段の基準を適用することとした。その他、大防法では除去後の作業場内の粉塵の清掃が必要となるが、石綿含有成形品等の中では比較的发塵性が高いけい酸カルシウム板第1種の切断等を行う場合を除いて、作業場の隔離養生（負圧不要）は求められていない。

b) 石綿則の作業基準

石綿則も同様に原則、石綿含有成形品を建築物から除去する作業の場合、切断等以外の方法によることとされ、石綿等を切断等する場合は、石綿等を湿潤な状態なものとしなければならないとされている。その他、労働者に呼吸用保護具及び作業衣を使用させること、石綿等を運搬するときは確実な梱包をすること、作業に使用した器具等の清掃が必要となる。なお、大防法同様に作業場の養生は求められていない。

4. アスベスト技術資料の調査

(1) 石綿含有成形品の知見

今回、整理した「石綿含有成形品」は、石綿則では2020年10月に大防法では2021年4月に規定されたものであり、それまでは除去方法が明文化されていなかった。したがって、一般的に認知度が高い吹付け石綿等に比べ、除去に係る技術的な知見も蓄積が少ない状況といえる。

(2) その他通知の調査

前述のマニュアルのほか、厚労省や環境省等の公的機関が発出した通知や技術的助言等の調査を行ったが、アスベスト含有モルタルへの対処方法が記載されたものは見当たらなかった。

(3) 既往論文の調査

官・民の研究機関等で研究された事例がないか既往論文を調査した。その中でレベル3建材解体時の気中濃度測定に関する研究、石綿含有成形板の破碎試験による飛散係数の推計、薬剤量による粉塵飛散量に関する研究等の論文があった。しかし、一般的な建材であるけい酸カルシウム板等の工場製品を対象とした調査結果しかなく、アスベスト含有モルタルについて研究または調査した論文は見当たらなかった。

5. アスベスト除去方法の検討

(1) 作業方法の検討過程

C B造の目地等のアスベスト含有モルタルの除去は、先例であることから、法令での必須事項に安全対策を付加することと、今後、解体対象となる同構造の建築物が多数あり、同様の事象も想定される為、一般化できるよう除去作業に係る標準的な仕様を定める方針とした。

a) あらかじめ除去する建材

一般に石綿含有建材は、躯体等の解体に先立って、あらかじめ除去することとされており、通常解体作業と同様にあらかじめ除去できる建材は除去することとした。具体的には、コンクリート面に塗布された厚さ数cmのモルタルや内装のボード状のモルタル、軒天のけい酸カルシウム板等で手作業（電動工具を含む）で除去または取り外せるものは、湿潤化または作業場所を隔離養生（負圧不要）の上、除去することとした。なお、大防法では、あらかじめ特定建築材料を除去することが著しく困難な作業は、その建築物に散水するか、それと同等以上の効果のある措置を講じることとされている。

b) 切断等に用いる機材

C Bに塗布されたモルタルは、厚さ10cmもあること、目地にもモルタルが塗布されており空洞のモルタルにもアスベストが含有されている可能性が高いことから、石綿含有建材をあらかじめ除去することが著しく困難な作業といえ、作業の安全性と合理性を考慮し、C Bとアスベスト含有モルタルをあえて分離はせず、梱包可能な大きさまで一体的に切断等することとした。そのため、手作業（電動工具を含む）で行うことは著しく困難である

ため、重機等を使用することとした。切断方法として、解体用重機（バックホウ）を用いる案と湿式ウォールソー（切断する建材にガイドレールを固定し、水をかけながら回転刃で切断する機材）を用いる案の2案を軸に検討した。なお、法令には石綿含有建材の切断方法や切断機材に関する規定は無い。

c) 湿潤化の方法

マニュアルでは薬液等による湿潤化が記載されており、薬液等とは水または粉塵飛散抑制剤のことをいう。粉塵飛散抑制剤は噴霧すると粉塵を吸着する性質があり、吹付け石綿除去作業中の粉塵飛散防止等に用いられることが多いが、レベル3作業での使用例は少ない為、仕様書では薬液等の種類は指定しないこととした。なお、湿潤化の代替措置として作業場内を隔離養生（負圧不要）する方法が認められているが、1棟ごとシートで取り囲む場合、側面は単管足場を組むことで対応できるが、上部は架構が最小でも10mもの大スパンになることから、仮設物として技術的に困難なため採用しなかった。

d) 場内の養生方法

作業場内の養生は法的には求められていないが、風等による粉塵飛散の影響を最小限に抑えるため、通常、建築物高さ同程度の高さの囲いとするところ、建物高さの1.5倍程度の高さの単管足場を設置し、側面を防災シートで囲むこととした。また、作業場外への粉塵飛散も一定程度抑えられ、場内隔離としての効果も期待できる。

e) 床の養生方法

一般的にアスベスト除去を行う場合、地面等にこぼれ落ちた石綿等の清掃を容易にするため、床面にビニルシートを敷設した上で作業を行うが、今回、ビニルシートのみだとC Bの塊が落下した時に破れる可能性があるため、ビニルシートの上に合板を敷き詰めることとした。

f) 余剰水の処理

一般的にC Bに散水すると空隙が多いため、大半は吸収してしまうと考えられるが、石綿等の湿潤化のために大量の水を使用した場合、吸収できなかった余剰水が発生する可能性がある。一般の解体であれば、地中に水がしみ込んで環境への影響はないが、今回、余剰水にアスベストが含まれる可能性があるため、余剰水は貯めて廃掃法に則った処分することとした。粉塵混入水は、廃掃法上、汚泥の扱いとなるが、汚泥の含水率が85%を超えると処分できないため、一旦、ノッチタンク等に貯めて、固形物を沈殿させて処理することとした。

g) 気中粉塵濃度の測定

養生や湿潤化の上、作業をしても止むを得ず粉塵が飛散する可能性があるため、作業中の空気中の粉塵濃度を測定することとした。一般に気中アスベストの測定は、吸引機器を1日4時間程度、定点固定し吸引した試料を分析機関に持ち込み分析する必要があるため、結果が出るまでタイムラグが生じることから、リアルタイムで数値が表示されるデジタル粉塵計を用いる方法と併用する

こととした。

(2) 所管行政庁との協議

素案を作成した後、マニュアル等に例示のない作業方法であったため、石綿則を所管する労働基準監督署及び労働局（厚労省）、県の大防法所管部署（環境省）及び廃掃法所管部署と個別に何度か協議を行った。アスベスト除去に重機を用いることが論点の一つであったが、結果として法令に抵触するような内容の指摘はなかった。

(3) 技術的な検討

概略の素案で法的な検討を行ったが、実際に施工するにあたり、技術的な内容を詰めた上で設計する必要があるため、技術的な検討を行った。

a) 解体工事団体の意見

実際に解体工事を行っている経験から技術的観点及び費用面について解体工事に関わる団体に意見を伺った。団体からは、建築物の上部をシートで覆う要否やウォールソーでCBを切断等する際の躯体と基礎との分離方法について等の技術的な意見があった。また、概算見積を徴取したところ費用面では同じ建築物規模で重機を用いる案とウォールソーを用いる案では、重機を用いる案の方が優位との意見であった。

b) 基本設計案の決定

切断等に重機を用いる案（以下「1案」という。）とウォールソーを用いる案（以下「2案」という。）を比較しどちらの案を採用するか検討した。費用面及び工期面では1案の方が優位であり、2案は一度に切断するCBの大きさにもよるが、ガイドレールの付け替え等に手間がかかり費用及び工期とも1案の数倍程度要する可能性があった。また、安全面で2案は切断中にCB壁が転倒しないよう固定する必要があるが、CB自体はそれ程強固ではないため、固定方法に課題があり、作業員の安全性が担保できるか懸念されたため、総合的に判断し、1案を基に実施設計を進めることとした。

c) 実施設計の委託

通常、同規模の長屋住宅の解体工事は、比較的定型的なものであるため、本県の直営で設計積算を行っている。今回、仮設計画や工事費の検討に手間を要することから、実施設計を設計事務所へ委託することとした。設計事務所からは、高層となる足場の自立方法や取り囲み範囲、余剰水の集約のための釜場の設置等の技術的な提案がなされた。

d) アスベスト含有分析調査の実施

実施設計の中でアスベスト含有分析調査を委託した。従前の調査により、モルタルの各部位から一定のアスベストの検出は判明していた。

アスベスト分析調査には定性分析法と定量分析法があり、まず定性分析法でアスベスト自体の有無を判別した上で、定量分析法で含有率を判定することとなる。定性

分析法にもJIS A 1481-1（以下「1法」という。）とJIS A 1481-2（以下「2法」という。）があり、各々、分析方法が異なる。1法は、基本的に試料の形状を崩さずに実体顕微鏡及び偏光顕微鏡で目視によりアスベスト繊維にみられる物性かどうか判別する方法であり、層状に構築されている建材のアスベスト分析に向いているが、法令の規制対象外である0.1%以下のアスベストが検出されることが許容されている。偏光顕微鏡によるアスベスト検出例を写真-3に示す。図中、丸で囲まれた繊維が偏光顕微鏡に写ったクリソタイルである。

一方、2法は試料を混合・粉碎するため、層別分析はできないが、X線回析計及び位相差顕微鏡により機械的に判別するため、分析者により結果に差異が生じにくいと言われている。X線回析法は試料の回析ピークがアスベストの種類ごとの回析ピークの波形パターンと近似しているか判別する方法である。クリソタイルが検出された回析パターン例を図-2に示す。

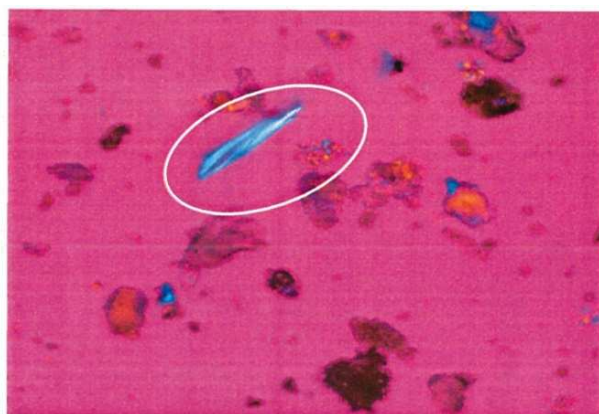


写真-3 偏光顕微鏡によるアスベストの検出例

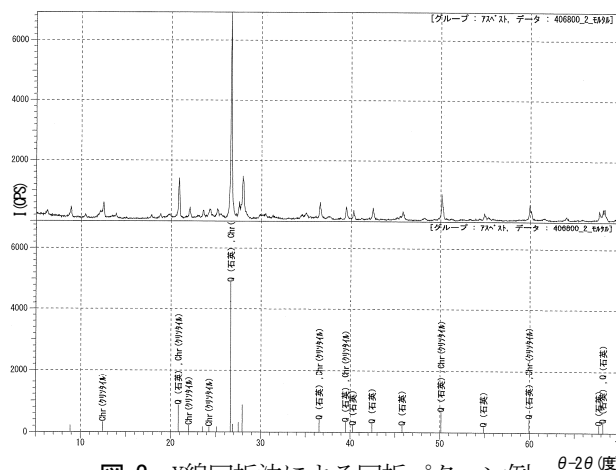


図-2 X線回析法による回析パターン例

従前の調査は、層状の建材中の含有部位を判定するため1法で実施していたが、1法のJIS規定では「無検出から5%までの範囲の結果に基づいて重大な決定をする必要がある場合は、定量的方法による試料分析を行うのが妥当である」とあり、今回、調査方法の特性を考慮し

「ミズ」から学ぶ河川防災教育のこれから — 地域で連携協働する学習支援 —

嵯峨井 聖貴

北海道開発局 網走開発建設部 北見河川事務所 (〒090-0802 北海道北見市田端町71)

令和3年11月に「流域治水関連法」が施行された。本法案附帯決議では「学校教育及び社会教育における防災教育の充実を図ること」とあり、防災教育活動の更なる拡大が求められている。

北見河川事務所では、教職員や河川防災に詳しい大学教授らと協働で内容を検討し、平成24年から毎年「川の防災学習会」を実施している。

本報告では活動状況や目的達成のための工夫点などを紹介し、今後の実施拡大に向けた課題解決への取組を報告する。

キーワード 河川防災教育、流域治水、連携協働、常呂川、タイムライン

1. はじめに

北見河川事務所では、平成24年より常呂川流域にある北見市内の小学校2校において、令和4年度からは新たに3校増え5校で、河川防災への知識や備えに関する学習支援活動を実施している（写真1）。

実施校周辺には、過去に水災害をもたらした河川が流れていることから、この学習支援活動では、児童の生活圏にある身近な河川を題材として、これまでに発生した水災害の特徴のほか、ダムや護岸等が果たす防災機能などを、模型や地図などを用いて具体的に説明している。また、身近な河川による水災害発生時に予想される危険やその回避方法などを、グループディスカッションを通して児童自身に考えさせる「アクティブラーニング」と言われる手法を取り入れた授業を実施している。授業後には実施校の教職員や児童・保護者を対象にアンケート調査を行い、それらの結果を踏まえた検討を教職員や大学教授らと積み重ねながら授業内容をブラッシュアップすることにより、児童から高い関心が得られる質の高い学習支援の継続に努めている。

ここ数年、気候変動の影響によると思われる水災害が激甚化・頻発化しており、人命のみならず社会経済活動へも大きな影響が表れ始めている。

これらを踏まえ、社会では河川流域全体のあらゆる関係者が協働で水災害を軽減させる「流域治水」への転換が求められ、令和3年11月に「流域治水関連法」が施行された。本法案が審議された国土交通委員会では「学校教育及び社会教育における防災教育の充実を図ること」が附帯決議され、防災教育活動の更なる拡大が求められている¹⁾。



写真1 川の防災学習会（マイ・ハザードマップ）

本稿では、防災教育の潮流と教育現場の現状のほか、北見河川事務所ですでに実施している学習支援実施後のアンケート調査結果から河川防災教育の効果を評価し、今後、地域全体の安全につながる流域治水への取組の方向性と方策を考察する。

2. これまでの防災教育の潮流と教育現場

学校教育のなかで「防災」は、様々な教科・行事で扱われてきた。例えば、社会科の授業では消防署や警察署の見学を通して地域安全について学び、理科の授業では台風や地震、火山噴火などの自然災害の発生メカニズムを学んできた。また、体育や避難訓練・安全指導などを通して怪我をしやすい状況やそれらを防ぐための留意点等を学ぶことが挙げられる²⁾。

しかし、1995年の阪神淡路大震災や、2011年の東日本大震災など大きな災害を契機として、文部科学省を中心に学校における防災教育に関する議論がなされるようになり、「防災教育の拡充」はもとより、「地域との連携・協働」や「地域防災力の向上」などの重要性も注目されるようになってきた。

そのような背景から、最新の小学校学習指導要領（平成29年告示）においては、自然災害全般に関して「教科等横断的な教育内容とする」ことが求められ、例えば小学校5年の社会科の授業「自然災害を防ぐ」では地形や気候と地域の実情に合った災害（地震・風水害・噴火などから選択）を学ぶこととなっており、それと関連付けて同じく小学校5年の理科の授業で「天気の変化」「台風と天気の変化」「流れる水のはたらき」を学ぶなど、災害時に役立つ実践的な防災教育となるような工夫がなされている。

令和元年12月には文部科学省から各教育委員会等に「自然災害に対する学校防災体制の強化及び実践的な防災教育の推進について（依頼）」が発出され³⁾、東日本大震災時の大川小学校の事例を踏まえて、これまでの学校における防災体制・防災教育を振り返り、地域などとの連携協働体制を見直すことが通知された。

また、「第3次学校安全の推進に関する計画」（令和4年3月閣議決定）においては、学校安全を推進する上での課題のひとつとして「今後発生が懸念される大規模災害に備えた実践的な防災教育を全国的に進める必要性」が掲げられており、課題に対する基本的な施策として「地域の災害リスクを踏まえた実践的な防災教育・訓練を実施」して、「災害時に全ての児童生徒等が、自ら適切に判断し、主体的に行動できるよう、安全に関する資質・能力を身につける」ことが目指す姿・目標として示された。更に二次的な効果として「地域と学校が連携して防災教育に取り組むことを通じて大人が心を動かされ、地域の防災力を高める効果も期待される」ことが記載されており、地域と学校が連携することによる地域防災力の向上についても期待されるようになった⁴⁾。

一方で、小学校・中学校などの教育現場では、学習指導要領改訂に伴う教科書変更への対応や、GIGAスクール構想に伴う研修会への参加・授業運営の変更、様々な事情を抱える家庭への個別対応、更にはコロナ禍による教育活動の制限などにより、教職員1人当たりの負担は増しており、充実した防災教育に欠かせない学校所在地周辺の地形の把握や防災に関する教育素材・教材の研究を十分に行うための時間が少なくなっているのが現状である。

3. 「河川防災・環境教育活動プログラム」の概要とその取組

北見河川事務所では、地域にある常呂川や無加川などの河川防災や河川環境への理解を深めるため、小学校4～6年生を対象とした「河川防災・環境教育活動プログラム」を作成し、『総合的な学習（探究）の時間』や『理科』の教科2校時（90分）扱いで、北見市内小学校において「川の環境学習会」と「川の防災学習会」を実施している（次頁 図1）。このプログラムは、北見河川事務所・北開水工コンサルタント・北見工業大学の産学官が協働で策定した内容を基本に、実施校教職員とも実施前・実施後の打合せを行い、学習支援内容の改良や指導改善等を行い実施している。

4年生で実施する「川の環境学習会」では、なかなか気軽に行くことのできない身近な川の環境を知ってもらうため、学校近くの川へ移動し、水生生物採取や魚類調査、パックテストを用いた簡易水質調査を行っているほか、調査地点周辺の流速の違いや滞筋、深掘れや水衝部等の地形状況、救命胴衣着用の重要性など川の危険箇所や危険回避対策も確認し後の防災学習等につなげている。

5年生で実施する「マイ・ハザードマップ作成」では地域の特徴や危険な箇所を地図に書き込み、学校までの通学路の危険を洗い出し、地域や水災害の特徴を把握し理解することに主眼を置いている。

一方6年生で実施している「災害図上訓練（DIG）」や「マイ・タイムライン作成」では、5年生で学んだことを振り返り、水災害発生時に自分自身がとる標準的な防災行動を時系列で整理するほか、非常持出品の準備体験を行い、日常からの備えについて理解を図っている（写真2）。また、洪水時における地域の特性を理解するため、学校周辺のハザードマップを使用し、水災害リスクや避難行動などを「我が事」としてとらえてもらうよう、様々な方策を考えてもらうことに主眼を置いている。



写真 2 非常持出品の準備体験

北見市内小学校で実施している「川の防災・環境学習会」

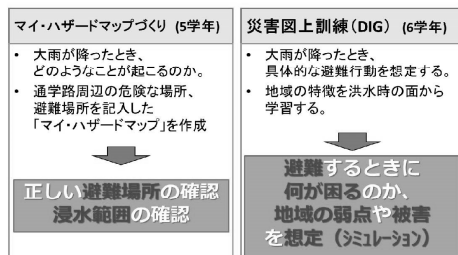
平成20年度より河川環境や地域への理解を深めるため、4～6学年の3ヵ年1サイクルとした「河川防災・環境教育活動プログラム」を作成し、川での体験活動を取り入れた「生きる力」を養う学習会を行っています



「川の防災教育プログラム」

1. 「マイ・ハザードマップづくり」と「災害図上訓練（DIG）」の概要

4年生「川の環境学習会」で確認した川の様子をふまえ、5年生と6年生の「川の防災学習会」を実施しています。



2. 学習内容

マイ・ハザードマップづくり (5学年)

1. 災害イメージの共有 (30分)
・通常時と洪水時の川の比較
・洪水の危険 (近年の水害を例に)
・積乱雲の下ではいつい...

2. マイ・ハザードマップ作成 (40分)
・ハザードマップを利用した被害想定
・地域の高低差、避難場所、建物の役割 等

3. 情報の収集 (10分)
・NHKデータ放送による情報収集

4. まとめ (5分)

災害図上訓練 (DIG) (6学年)

1. 水害の危険 (15分)
・近年の水害を例に討議する
・なぜ今DIGなのか

2. 地域特性の把握 (10分)
・地域を知るための基本地図作成

3. 災害時避難行動の確認 (30分)
・災害イメージトレーニング
・条件の提示
・災害時の情報収集
・避難経路と行動
・避難準備と地図書き込み作業

4. 班ごとの発表 (25分)
・学級内で情報共有
・専門職からの講評

5. まとめ (5分)

5学年) 積乱雲の下で起こる気象現象 (電巻: (事例: 佐呂間町若佐)) や災害 (市街地の内水氾濫) について概要を用いて説明し、自分たちでハザードマップを作成する意義を考えます。



流水実験装置



電巻実験装置



内水氾濫模型

6学年) この学習会で行う図上訓練について簡単に触れ、通常時からの備えについて理解してもらいます。



地図への書き込み



・非常持出品の準備体験

教材や授業の一般化に向けた改良

学習会後に実施しているアンケート、また、新学習指導要領においても、各教科において断続的な防災の取り組みが記載され、防災教育に関心が高まっております。

但し、アンケートからは教員だけで実施することに対して、「もの」「人 (知識)」が不十分で難しいとの回答もありました。このことから、今年度も継続して以下の点を視野に入れ、教育活動を実施したいと考えます。

「もの」の部分	教諭の教材研究に対する負担軽減の1つとして、理科や社会科等の授業で活用できる教材の支援 (例: 動画や写真、実験装置・非常持出品の貸出等) を行いたいと考えます。 ～必要とする資料の聞き取りや、提供した資料の使い勝手などをお伺いします。
「人 (知識)」の部分	人員 (マンパワー) の負担削減に向けて、実施方法を検討したいと考えます。

これらについて、お力添えいただく場面もあるかと思いますが、どうぞよろしくお願いいたします。

【「マイ・タイムライン」の紹介】

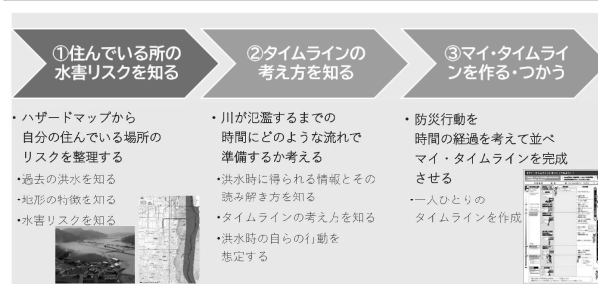
6学年を対象に実施している川の防災学習会へ「マイ・タイムライン」を取り入れました。

「マイ・タイムライン」とは？

洪水のような進行型災害が発生した際に「いつ」「何をするか」を整理した個人の防災計画です。

台風の接近などにより河川の水位が上昇した場合等、私たちがとるべき防災行動を時系列で整理し、あらかじめ取りまておくことで、急な判断が迫られる災害時に行動のチェックリスト・判断のサポートツールとして役立ちます。

内容は？



①住んでいる所の水害リスクを知る

～5年生「マイ・ハザードマップづくり」で内容を重複しておりますので、「導入」部分の振り返りで確認します。

②タイムラインの考え方を考える・③マイ・タイムラインを作る・つかう

～展開前半の「3. 「逃げキッド」から実際の場面を想定して考える。」において、

～1人ひとりのタイムラインを作成できるようにワークシートを用意。

自宅に帰ってから保護者の方と作成するように促します。

※「逃げキッド」とは～子どもから大人まで、誰でも「マイ・タイムライン」を簡単に作れるようにするために考えられたツールです。
国土交通省関東地方整備局のホームページ (<https://www.ktr.mlit.go.jp/shimodate/shimodate02085.html>) からダウンロードできます。

授業内容 (学習指導案 (略案))

「3.逃げキッド」は班活動として想定しておりますが、個々人の活動も対応可能です。

段階	配時	学 習 活 動
導入 (つちか)	5～10分 (10)	1. 5年生での学習の振り返り ・小泉小の地域はどのような場所なのか ・川が増水するとどんなことが起こるのか
展開 前半 (つちか)	3～5分 (15)	2. 災害が起きてしまった時 (起きそうな時) 自分たちができることを考える。 ・避難から水があふれてしまった時どうするか考える。 水害が発生すると被害が大きいことを確認するも、地震や津波などと違い、水害だけはいつ起こるか予測できることを認識。 ・ニュース、気象情報～3日前付から情報がわかる ・ハザードマップ～地域の被害がわかる ・水位情報～川の水かさかわかる ⇒防災用品や早目の避難など事前に準備できる!
	25分 (40)	3. 「逃げキッド」で実際の場面を想定して考える。 ・班毎に逃げキッドを使い、水害から身を守る上必要な備え6つを順番に並べ、なぜそう思うか話し合う。理由を考える。・意見を発表。 ・考え方の人枠を説明。上流の雨を確認する必要性を確認
	5分 (45)	4. 避難準備について考える (前半) ・各自配布されたリストを使い、避難に必要なものを考える。
展開 後半	20分 (20)	4. 避難準備について考える (後半) ・必要と思う準備品を選び、子どもたち自身がカバンに詰めて重さを体感する。
	10～15分 (30～35)	5. 自分たちの地域についてハザードマップをもとにしながら安全な場所について考える。 ・地域の地形 (高低差) を確認 ・避難所や避難ルートの設定と危険の回避について理解する。 ・水害が発生した際、避難所の危険な点について教え気づかせる。
整理 (まとめ)	10～15分 (45)	6. 本時のまとめをする。 ・ワークシートへ今日の学習会で分かったことを記入、数名発表してもらい ・今時の振り返り

図1 「河川防災・環境教育活動プログラム」 (マイ・ハザードマップ, 災害図上訓練, マイ・タイムライン) 説明

4. アンケートから見る効果

教育内容をより効果的なものとする目的で、全ての実施校の児童・教職員に実施後アンケート調査を行い、回答を得ている。その中で、川の防災学習会を継続して行ってきた北見市内小学校1校のアンケート回答を整理し、学習支援の効果を以下に考察する。

(1) 「川の防災学習会」の理解度（5年生）

「川の防災学習会」の理解度を問う質問では、どの年度においてもおよそ9割の児童が「とてもよくわかった」「よくわかった」と回答しており、学習効果の高いプログラムとなっていることが分かる（図2）。しかし、令和元年・2年度は、その割合が少なくなり、令和2年度は75%に留まった。そこで、「ふつう」「わからなかった」と回答した理由についてアンケート結果から推察し、学習会で用いる河川用語を児童の習熟度に合わせて、より平易な言葉を使用することや（例：「常呂川流域」を「降った雨が常呂川に集まってくる範囲」）、「法面」を「斜めになっていて、そり滑りしたくなる場所」など、資料には必要に応じてルビを振ると共に、写真やイラストを多用することで視覚的に理解できるように工夫した。更に出水時の状況などは写真だけではなく、動画を利用してより臨場感をもって伝えるなど様々な工夫を試みた。その結果、令和3年・4年度は理解度に改善が見られた。また、理解度をより明確に把握するため、アンケートの回答項目のうち「ふつう」「よく分かった」を、「少しわからないところがあった」「わかった」に変更する工夫も行った。

(2) ハザードマップの保有（5・6年生）

ハザードマップの保有率は図3及び図4に示す通りであり、5年生の結果に着目すると、ハザードマップの配布年（平成27年・令和元年）は5割ほどが「ある」と回答しているが、以降は下がっている、もしくは横ばいの傾向を示す。5年生時に「川の防災学習会」の授業を受け、翌年6年生になって2回目の学習会を受けた際は、実際にハザードマップを持

参して参加する児童も多く、全体的に保有率は増加している。

これは、5年生時の学習会で各家庭のハザードマップを再確認するよう呼びかけ、学習会内でも校区のハザードマップをプリント配布している成果ととらえることができ、2か年続けて実施する教育効果が表れているものと思われる。

(3) 家族との会話（6年生）

河川防災教育の実施内容を家族と共有することは、住民の確実な避難行動に繋げる方策の一つと期待されるため、「家に帰ったら家族に、今日の「川の防災学習会」について何か話しますか」とのアンケートを行った結果、「話す」「たぶん話す」との回答はそれぞれ各年3～4割程度で変動していた（次項図5）。

学習会後に実施する教職員との意見交換によると、高学年になると第二次成長期に差し掛かることが原因で、児童と保護者の関り（会話・コミュニケーション）が希薄になる傾向があるとのことであり、保護者や親同士の繋がりによる話題の拡がりを期待した仕掛けを施す必要があると考えられた。

(4) 保護者の認識（5年生・6年生の保護者）

(3)において、参加児童とその保護者との話題共有を促す必要があると考えられたことから、北見河川事務所・北開水工コンサルタント・北見工業大学の3者で行った実施後打合せにより、話題に取り上げ

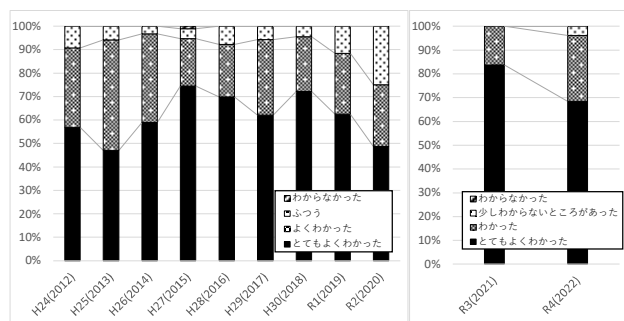


図2 学習会の理解度

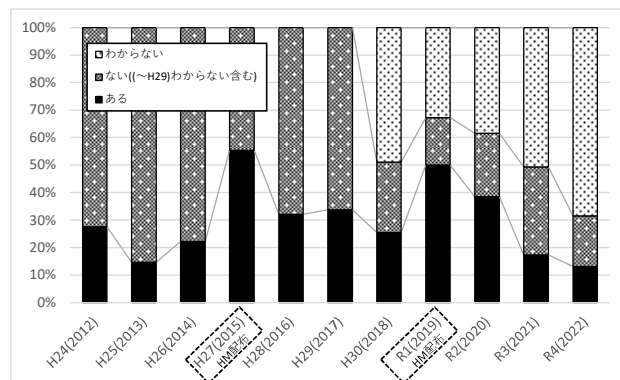


図3 ハザードマップの保有（5年生）

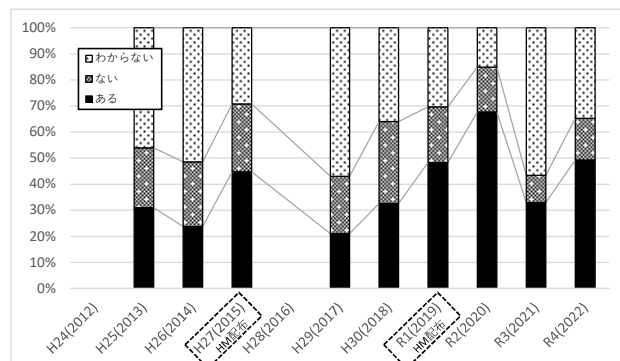


図4 ハザードマップの保有（6年生）

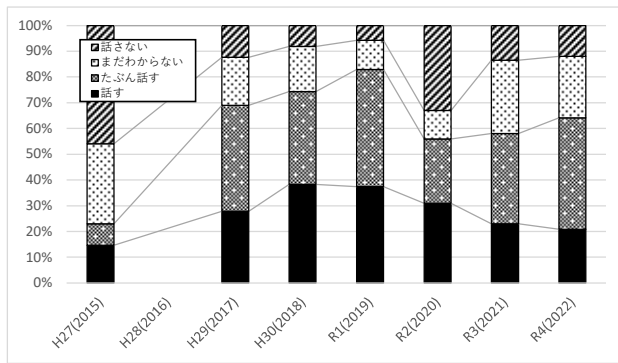


図 5 家族との会話（児童から保護者）

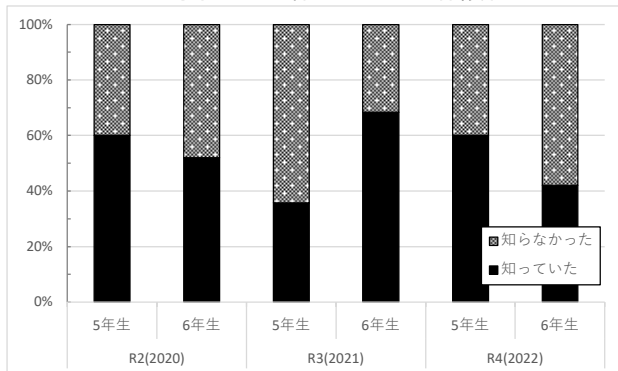


図 6 保護者の学習会実施の認知

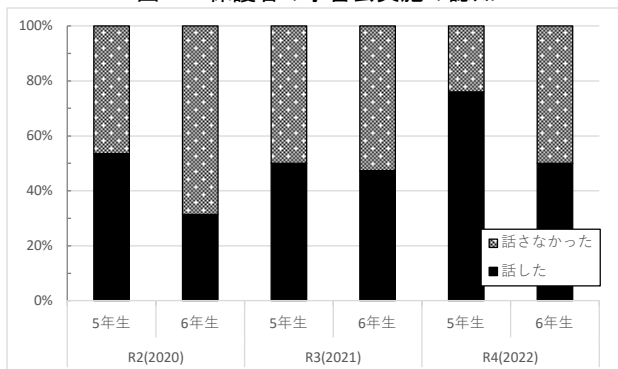


図 7 学習会後の会話

てもらうための仕掛けとして保護者アンケートの実施を企画し、早速実施校と協議を行い、令和2年より継続実施している。

保護者アンケートの結果によると、「川の防災学習会」の実施を知っている割合は各学年6割程度であり、5年生と6年生を比較すると、前年度より1割程度増加していることが分かる（図6）。

また、実施後の会話については、5割程度の家庭で話題に挙げられていることが分かった（図7）。しかし、5年生と6年生を比較すると、前年度より1割程度減少しており、(3)で示すように児童と保護者の関わりが希薄となっている影響が表れているものと考えられる。

その他、自宅と避難場所のどちらが安全と思うかとの問いには、3～4割程度が『「自宅」の方が安全』との回答があった（図8）。その理由（複数回答可）としては「自宅が2階以上またはマンションなので垂直避難ができるから」「自宅が北見市洪水

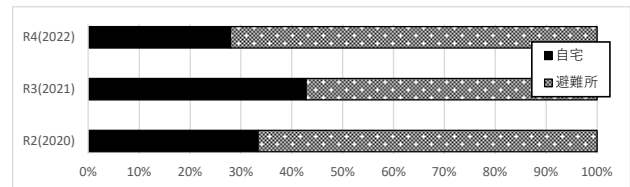


図 8 安全と思える場所（5年保護者）

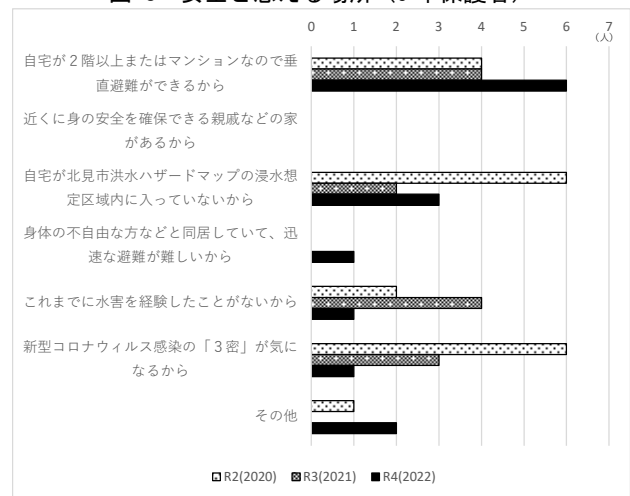


図 9 自宅に留まる理由（5年保護者）※複数回答

ハザードマップの浸水想定区域内に入っていないから」との回答が多く寄せられた（図9）。

上記結果より、6年生の学習会では、自宅での避難（垂直避難）することになった際の留意点を追加し、非常持出品の準備や心構えについて補足している。

5. 拡大に向けた課題解決への取組

「川の防災学習会」実施後に行った保護者アンケートのご意見や教職員との意見交換では、本学習会の継続実施を期待する要望が多く寄せられている。しかし、一方で実施校は流域内の数校に留まっており拡がりに乏しい。このことに関し昨年度実施校において本学習会以外での防災の取組を伺ったところ、教職員による特段の活動は行われず、また、同校に赴任して初めてこの活動を知ったという内容であった。

その理由として、教科へ防災に関する事項が盛り込まれ、知識や教材面を支援する副読本や動画等が様々な機関から提供されている⁹⁾ことは認識されているが、2. で述べたように教職員の負担が増えている現状や、教職員自身に災害体験が無く、児童に対して防災を正しい情報として伝えることができないということ。また、災害発生時に伝えたことを実行して命を落とすことがあれば、前述の大川小学校の事例のようになるのではないかと懸念から、率先して「防災」を扱うことに抵抗があるとのことであった。

以上から、専門知識を有する機関の支援として、本プログラムのような教育活動は今後も継続して実施するほか、教育委員会や教職員研修機関と連携し、防災に関する情報提供やプログラムの体験などによる知識習得、支援活動の広報が新たに必要と考える。また、これまで環境学習会のみを行っている小学校への広報活動に加え、校長・教頭会、校外研修等での周知を実施校教職員に依頼している。

6. 流域治水への取組の方向性と方策

従来の河川防災教育は、川の近くに住む住民の暮らしを中心に、水の恩恵を受けたり、水害に遭ったりといった1対1の関係での対策に目を向けてきたが、今後は川から遠い地域の方にも、「流域治水」への取組に対し協力を求める必要がある⁶⁾。その中では、治水や水源保全など上流域が担う役割によって住民の安全な暮らしが守られているという重要な事実を、流域全体で共有できるようそれぞれの地域に根差した「防災教育」を仕掛ける必要がある。

地域防災力を十分に発揮するには地域コミュニティ（町内会や自治会等）との関係が重要であるが、加入世帯の減少や、それによる地域住民間の連帯感などの地縁的つながりが薄くなってきており、「共助」としての役割が難しい現状となってきた。

現在、文部科学省では、地方教育行政の組織及び運営に関する法律に基づくコミュニティ・スクール（学校運営協議会制度）を進めている⁷⁾。これは、学校運営に地域の声を積極的に生かし、地域と一体となって学校づくりを進める「地域とともにある学校」への転換を図るための仕組みである。この制度により、学校教育のみならず社会教育や生涯学習などから「地域への橋渡し役」としてアプローチすることができると考える。

7. 河川防災教育のこれから

昨年度、「川の防災学習会」を実施した中で、とても印象に残っているエピソードがある。それは、ある実施校教職員が、幼い頃より母親から「川の近くに住むのは危ない」と伝えられ、大人になった現在も、勤務地の近く（川がそばにある所）ではなく、遠い高台の方に住まわれていたという内容である。

河川整備が未だ進んでいなかった当時は、「命を守る」知恵として当たり前のように行われ、その思いが今でも一部に伝承され残っている。これこそが「流域治水」の一端と考えさせられた瞬間であった。

このような意識は、河川整備が進み、水災害が減少するにつれ徐々に薄まってきているように感じる。

地球温暖化等の影響により、これまでは考えられないような規模の災害が頻発し、いつ身近で同様な災害が発生してもおかしくはない時代だからこそ、流域治水が当たり前に行われていた頃のように、親から子へ河川防災を伝承し、地域全体が河川を自身の生活の一部と捉え、関心を持ち、学び、共存する社会を目指すことが必要である。

これからもより良い河川防災教育を提供するため、児童が理解しやすいよう、これまで実施したDIGやマイ・ハザードマップ作成、マイ・タイムライン作成、動画や模型を使った説明それぞれを改善し続け、『地域とともにある専門家集団』として積極的に支援し続ける。

謝辞：本河川防災教育プログラムの作成から実施・改善にあたり、国立大学法人北海道国立大学機構北見工業大学社会環境系高橋清教授並びに吉川泰弘准教授、株式会社北開水工コンサルタント河川管理部松川優一氏におかれましては、長年にわたり多大なご助言、ご協力を頂いた。また、これまで本河川防災教育に携わられたすべての方々には、多くの知識や示唆を頂いた。ここに記して深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 衆議院国土交通委員会：特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律案に対する附帯決議。
https://www.shugiin.go.jp/Internet/itdb_rchome.nsf/html/rchome/Futai/kokudoB82B6401ACD9B759492586B0001DCB58.htm (参照2022年12月23日)。
- 2) 文部科学省:学校における防災教育の取組 教職課程・教員研修における防災教育.内閣府 防災教育・周知啓発ワーキンググループ（防災教育チーム）第1回会議 資料3 .2020年12月18日。
- 3) 文部科学省:自然災害に対する学校防災体制の強化及び実践的な防災教育の推進について（依頼）.元教参学第31号.2019年12月5日。
- 4) 文部科学省：第 3 次学校安全の推進に関する計画.2022 年 3 月 25 日。
- 5) 例えば,国土交通省：防災教育ポータル.
<https://www.mlit.go.jp/river/bousai/education/index.html> (参照2022年12月23日)。
- 6) 国土交通省：まち全体で、みんなで水災害に備える流域治水の推進.カワナビ Vol11.
<https://www.mlit.go.jp/river/kawanavi/prepare/vol11.html> (参照2022年12月23日)。
- 7) 文部科学省:コミュニティ・スクール(学校運営協議会制度).
<https://manabi-mirai.mext.go.jp/torikumi/chiiki-gakko/cs.html> (参照2022年12月23日)。

防災まちづくりへ向けた技術的支援事例

堤 宏徳¹

¹九州地方整備局 宮崎河川国道事務所 総括地域防災調整官 (〒880-8523 宮崎市大工2丁目39番地)

本業務は、流域治水の考え方に基づき地方自治体が防災まちづくりに取り組む上で必要な基礎的知識について、地方自治体職員を対象に複数回の勉強会を開催し自治体への技術的支援を行った業務である。具体的には、各自治体を個別に訪問し危機管理部局職員へ聞き取り調査を行い流域治水に関する認識の現状分析と課題点整理を行い、把握した課題を解決するための勉強会を開催した。勉強会では、本省より発出された通知文に基づき流域治水の考え方や取り組む必要性を伝えるとともに、同じく本省で取りまとめられた流域治水推進行動計画や全国の先行事例を紹介し自治体が流域治水の考え方に基づき防災まちづくりを行うための技術的支援を行った。

キーワード 流域治水, 防災まちづくり, 勉強会, 行動計画, 関係部局連携

1. はじめに

平成29年7月九州北部豪雨や令和2年7月豪雨など近年水災害が激甚化・頻発化しており、今後は気候変動の影響も懸念されている。この様な状況の中、令和2年7月に出された社会資本整備審議会答申「気候変動を踏まえた水害対策のあり方について～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～」¹⁾により全水系で流域治水に関する取り組みが開始された。

一方、築堤や河道掘削、ダムによる洪水調整容量の確保など従来からの治水事業も行われており、流域治水という新しい考え方が導入されたにもかかわらず直轄職員をはじめ地方自治体職員も含めて流域治水について正しい理解が得られているとは言いがたい状況であった。

2. 現状分析と課題点把握

宮崎河川国道事務所管内では宮崎市をはじめ6市9町1村と2011年度に大規模災害時に関する応援協定を九州地方整備局と締結しており、締結から長年経過していること、人事異動で締結そのものが言い伝えになっている可能性があるなど協定の認識を改めて再確認する必要がある。そこで、各自治体を直接訪問し、協定内容の確認と合わせて流域治水に関する自治体の現状を聞き取ることにした。

(1) 2022年度当初訪問

地方自治体は主に6月、9月、12月、3月が議会对応で

多忙であるため、各自治体の議会開催日を把握した上でなるべく多忙期と重ならないよう2022年5月中旬から6月上旬にかけて各自治体を訪問した。訪問先は、災害協定の窓口である各自治体の危機管理部局であるが、危機管理部局は流域治水協議会の窓口にもなっておりヒアリング対象者としては問題ないと判断した。なお、宮崎市は規模の大きな自治体で情報収集能力が高くある程度の知識はあると推察されたこと、西米良村は国道219号の災害対応のため訪問することが出来なかった。

(2) 問題点把握

各自治体の危機管理部局とヒアリングの結果把握した流域治水に関する認識は以下のとおりであった。

- ・流域治水は大河川でやるものであり自分たちには関係ない。
- ・流域治水は国がやるものであり、引き続き、掘削や築堤を実施して欲しい。
- ・直轄河川では流域治水プロジェクトを既に策定しており計画に従って実行すればよいと考えている。
- ・一級河川は国が治水対策を行うので安心している。
- ・そもそも流域治水で自治体は何をしたら良いかわからない。etc.

喜ばしいことではあるが直轄事業に対する地域からの信頼や期待が非常に大きく、残念ながら「流域のあらゆる関係者が流域全体で取り組む」という流域治水の考え方が浸透していないことを把握できた。

(3) 課題解決策検討

「流域治水の正しい考え方を広める」言葉では優しい

が実現するとなると具体的な手法や事例はどこにもなく、手探りの状態で解決策を検討することとなった。そこで、役に立ったのが筆者が整備局建政部下水道係長時代に開催した勉強会方式である。当時は、下水道長寿命化計画や業務継続計画（BCP）を各下水道管理者で策定する必要があった。整備局は各計画の提出を受けるだけであり、各下水道事業者の指導監督は各県が行うことになっているが、全国で流域下水道を行っていない県5つのうち4県（佐賀、大分、宮崎、鹿児島）が九州にあった。流域下水道がないため下水道を専門とする県職員も不在であったため、整備局職員が各県で勉強会を開催し各計画の策定マニュアルを説明する勉強会を開催した。

そこで、過去の成功事例である勉強会という同じ手法で流域治水の正しい理解を広めることにより自治体の防災まちづくりに関する技術的支援をすることとした。

3. 技術的支援の組織体制

宮崎河川国道事務所管内には6市9町1村あるが、その内、直轄管理の1級河川の大淀川・小丸川流域が3市7町であり、その他の3市2町1村は2級河川の流域である。流域治水は1級河川だけではなく2級河川でも取り組む必要があること、総括地域防災調整官は管内の市町村を支援することが役職であること、かつ、地域づくり相談窓口であること考慮し、直轄流域だけではなく管内全ての市町村を対象に勉強会を開催することとした。

また、宮崎河川国道事務所総括地域防災調整官というポストはスタッフポストであり明確なラインを持っていない。流域治水プロジェクトを所管する調査第一課（当時）は、直轄河川の流域治水プロジェクトを進めるために日々業務を実施しており、直轄以外の自治体支援という枠組みには違和感がある。この様な理由から、勉強会講師は調整官自らが行うこと、出席者取りまとめやアンケート結果整理は非常勤職員に集計をお願いすることにした。（図1参照）

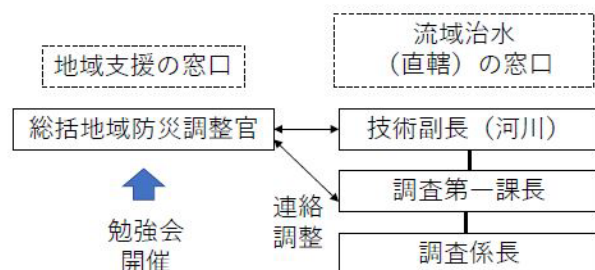


図1 勉強会実施体制

4. 第1弾勉強会【流域治水とは】

勉強会という手法を用いて流域治水に関する正しい理

解を広めるためには、講師自らが流域治水を正しく理解していないと誤った知識を広めてしまうことになる。そこで、まずは流域治水が始まってからの通知文の整理から開始し、施策が取り組まれる理由や必要性、関係省庁との連携、流域治水プロジェクト策定後のフォローアップなど流れを整理した。その過程で、地方の出先機関でも本省での流域治水に関する会議をTeamsで視聴することが出来たため、本省の考え方や取組姿勢が明確に伝わり自分で整理した流れと合致することが確認できたので非常に有益であった。

(1) 事務所職員向け勉強会

講師が正しく理解したと考えていても、誤った解釈や誤った理解をしているリスクが完全にゼロではない。勉強会という手法も過去の成功事例はあるもののデジタル化が推進している今の時代に通用する手法なのか、コロナ禍での手法として適切なのかという疑問があった。そこで、まずは流域治水に取り組んでいる宮崎河川国道事務所職員を対象とした流域治水の勉強会を2022.9.2に開催することとした。

通常、勉強会是对面での開催が今までの慣例であるが、2022.9当時はいつ終わるか分からないコロナ禍での勉強会開催を考慮し、会議室での対面での開催とwebによる参加を併用したハイブリッド方式を採用した。最初の勉強会は、講師の知識が正しいかどうか確認する意味合いと勉強会という手法やwebを利用した手法が実施可能かどうかのフィージビリティ的な要素が強かった。

コロナの感染拡大時期とも重なり参加者が少ないことを懸念したが、対面14名web26名の合計40名の参加を得ることが出来た。終了後のアンケート結果を表1に示す。

表1 事務所職員勉強会主な意見

・流域治水がどんなもので、何が必要か、それがいかに難しいことなのかがよく分かった。
・国、自治体や河川、農水、下水道、都市計画など各方面からのアプローチが必要であることを知り、大変勉強になった。
・これまで以上に、関係機関との関わり的重要性を再認識することが出来た。

表1のアンケート結果や参加者の講義中の表情により勉強会という手法が有効であり、新しい知識を習得する喜びが参加者の中で広がりを見せていることがわかり、時代は変わっても勉強会という手法が有効であることを再確認することが出来た。以後、勉強会方式による開催とアンケートによる参加者の反応把握を原則に「流域治水に関する正しい理解を広める」ことに取り組むことにした。

(2) 県庁職員向け勉強会

次の段階として宮崎県河川課を通じて宮崎県庁の職員

を対象に流域治水の勉強会を開催することとした。宮崎河川国道事務所職員は河川行政に携わる方がほとんどで流域治水は1丁目1番地に位置づけられており普段から流域治水への関心が高い。しかし、宮崎県河川課はまだしも、下水道部局、まちづくり部局、住まいづくり部局、農業水利部局、林務部局、公園部局、福祉部局等は流域治水への関心が低く勉強会への参加や流域治水の理解が得られないことが懸念された。

そこで、宮崎県河川課の御協力を得て各部局に声をかけていただくとともに、県庁内の会議室を準備していただき少しでも参加しやすい開催形式とし2022.10.21に参加者17名で開催した。2022.9中旬の台風14号の災害復旧により災害担当者出先機関が参加できなかったことや新型コロナウイルスの濃厚接触者となったことによる当日の欠席により少人数での開催となった。終了後のアンケート結果を表2に示す。

表2 県庁職員勉強会主な意見

・流域治水にはさまざまな部局が関係していて、協力が必要なことが分かった。
・近年よく耳にする「流域治水」について聞くことができ、有意義なものとなった。住民に理解してもらうため、まずは行政が学ぶ必要があると強く感じた。
・これから実効性のある取り組みができるように、まずは我々行政が姿勢を示さないと行けないと改めて感じました。

また、アンケートの中には「本日の内容を市町村職員にも聞いて欲しいですか？」との設問を設けて必要性を確認した。結果は90%近い参加者が「ぜひ聞いて欲しい」との回答であった。このことから、市町村職員向け勉強会の開催に向けて自信と確信を持って取り組んでいくこととなる。

(3) 市町村職員向け勉強会

いよいよ本命である市町村職員向け勉強会である。12月議会前の2022.11.25を開催日と決定し、宮崎河川国道事務所と延岡河川国道事務所から県内各市町村の危機管理部局に開催案内を行った。宮崎河川国道事務所の1番大きい会議室を準備したがコロナ禍でもあり会場の都合上、最大50名が受け入れ限界であった。しかし、職員向け勉強会で取得したweb会議のノウハウを活用し、勉強会会場からwebで結ぶサテライト会場を準備してでも勉強する意欲がある方の機会損失は避けるつもりであったが、何とか1会場で受け入れ可能な45名の申込みであった。過去の経験上、事前申込み制では1割程度の欠席が通常であり、当日は41名の参加であった。終了後のアンケート結果を表3に示す。

表3 市町村職員向け勉強会主な意見

・とても勉強になった。雨水対策に今後、興味を持って取り組んでいきたい。
・水害リスクは他人事ではないと改めて感じるきっかけとなった。
・大まかな知識は持ち合わせていると考えていたが、実際の取り組み方までは想定できていなく大変良かった。
・流域治水は、国、県、市町村が一体となり取り組まないといけないと改めて認識した。
・他部局の関わりがあることを初めて知った。
・市役所各部局が、一体になって進めなければいけないことがよくわかった。

また、アンケートの中には「今後、何について最新情報（他自治体の先行事例など）を聞きたいですか？」との設問を設け、参加者の希望を調査した。結果は、表4に示す。

表4 参加者が今後聞きたい事項

Q 何について最新情報を聞きたいですか？	
浸水被害防止区域	20
雨水貯留浸透施設	17
貯留機能保全区域	8
災害危険区域指定	8
特定都市河川指定	6
DX(デジタルトランスフォーメーション)	5
グリーンインフラ	3
防災集団移転	2
カーボンニュートラル	2
その他(農地農業施設の活用・内水)	2
空き家対策	1
セーフティーネット	1
老朽化マンション	0

(4) 都城市向け勉強会

都城市では2022.9の台風第14号による記録的な降雨により、大淀川上流沿川において多くの内水被害が発生した。浸水面積1,018ha、床上浸水170棟、床下浸水18棟の浸水被害が発生し、特に下川東地区では、床上浸水106棟、床下浸水3棟の大規模な浸水被害となった。

宮崎河川国道事務所、宮崎県、都城市は2022年11月に「令和4年9月台風14号大淀川上流内水対策検討会」を設置し、計3回の検討会を通して浸水状況や要因等について共有し、専門的な知識を有する学識者から指導・助言を得ながら、家屋の浸水被害軽減に向けた今後の対応について取りまとめている。

取りまとめにあたっては、流域治水の考え方を取り入れた家屋の浸水被害軽減に向けた今後の対応を検討しており流域治水に関する正しい知識が必要不可欠であった。

そこで、12月議会が終了した直後の2022.12.27に都城市職員のみを対象とした流域治水の勉強会を18名の参加により開催した。市役所職員が参加しやすいように都城市役所内の会議室で行い、参加募集は内水対策の中心となっている都城市上下水道局から行っていただいた。

終了後のアンケート結果を表5に示す。

表5 都城市職員向け勉強会主な意見

・地域を守るため、地形や特徴に応じた最適な方法を選定することは、とても難しいし、十分勉強を重ねる必要があると感じた。
・流域治水とは、身近なところから、知恵を出して、拡大していくものだと感じました。今後を活用します。
・治水対策の実例等見てみたいと思いました。

また、アンケートの中には「今後、何について最新情報（他自治体の先行事例など）を聞きたいですか？」との設問を設けており、次の段階のニーズ把握を行った。その結果、雨水貯留浸透施設や浸水被害防止区域、貯留機能保全区域、特定都市河川指定、防災集団移転、災害危険区域指定の順であった。

(5) 異動者向けリマインド勉強会

公務員には定期的な人事異動が必然であり、担当者が変わると基礎知識から学び直す必要がある。特に流域治水は近年始まった施策であり、過去の知識や経験に基づくノウハウでは間違った理解をするリスクがあるため、正しく流域治水を理解する機会が必要である。

そこで、2023 年度から初めて流域治水にかかわる方を対象に第1弾勉強会と後述する第2弾勉強会の内容で2回のリマインド勉強会を合計42名の参加で2023.5.18と2023.5.30に開催した。これにより、人が変わったことによる知識低下を最小限に抑え各自治体の流域治水に関する関心を低下させないことを期待している。

5. 第2弾勉強会【先行事例紹介】

2022 年中に開催した第1弾勉強会合計4回は、流域治水に取り組む必要性や根拠となる通知文を整理しただけであり、具体的な事例を紹介することは出来なかった。過去4回のアンケート結果では具体的な事例を聞きたいとの声が多く、それに答えることが継続的に流域治水に関する正しい知識を広めることに繋がる。そこで、2022年12月に発行された流域治水施策集 Ver1.0 を中心に防災まちづくりや流域治水に関する具体的な事例や最新の動きを紹介する勉強会を実施した。

(1) 流域治水施策集勉強会

流域治水は「あらゆる関係者」が協働して取り組む必要がある。しかしながら、行政は責任を明確化し効率的に業務を執行するために、いわゆる縦割り行政になっている部分も見受けられることは否定できない。そこで、関係16省庁が垣根を越えて連携していることを示すために、流域治水推進行動計画（令和3年7月30日）²⁾や

流域治水対策等の主な支援事業（令和4年4月）³⁾を説明する完全 web 版による勉強会を2023.2.2に参加者76名で開催した。また、その勉強会では国土交通省と農林水産省が発行した流域治水施策集～目的とそれぞれの役割～ver1.0 水害対策編³⁾も紹介し、参加者のリクエストが多い具体的事例を紹介した。終了後のアンケート結果を表6に示す。

表6 流域治水施策集勉強会主な意見

・行動計画に沿ってしっかり取り組みが進められていることに対する驚きと、本省でしっかりハンドリングされていることに感心した。
・流域治水対策の重要性を感じている。将来を見据え、異常気象の頻発化、激甚化に対応すべく各地域に合った形の方策に取り組む必要があると強く感じた。
・ポンプ等の機械に頼らない治水対策の必要性を改めて感じた。調整池等で効果を上げた、同じ規模の市町村の先進地事例を参考に治水対策を検討したい。
・各担当部署の横の繋がりが欠かせないので、全庁的な協議の場が必要だと感じた。
・たくさんの方の支援事業があり参考となった。所属部署で積極的に検討していただきたい。

勉強会によって各自治体の流域治水への主体的な取り組みを取り組むことが出来た。

また、アンケートの中には「今回と同じ話を4月期人事異動後に流域治水を担当する職員にも聞いて欲しいですか？」との設問を設けており、80%の方がぜひ聞いて欲しいとの結果であった。

(2) 空き家空き地に関する勉強会

2022 年度に実施した個別の市町村訪問では、人口減少による空き家対策等が喫緊の課題となっており、全国の最新事例などを知りたいとの声が多かった。

そこで、九州地方整備局建政部及び用地部の協力により、2023.6.14に参加者58名により空き家・空き地対策を中心とした住宅施策に関する勉強会をwebにより開催した。終了後のアンケート結果を表7に示す。

表7 空き家空き地に関する勉強会主な意見

・九州地方整備局や宮崎河川国道事務所が連携したWeb勉強会に参加できて、大変有意義でした。今後もWeb勉強会を通じて国、県、市町村で様々な事業の情報共有ができれば、大変助かります。
・国から直接最新の情報を聞けるので、また開催して欲しいです。
・あらためて勉強になりました。勉強会の中では読みこめなかった、配布資料のすみずみまで読みこんでいきたいと思います。ありがとうございました。

6. 勉強会での工夫

2022年9月から2023年6月までに合計8回の勉強会を開催したが、勉強会の効果をより高めるために運営の効率化や参加者の理解を進めるための工夫を行った。

(1) 第1弾勉強会【流域治水とは】での工夫

a) 関連通知文を整理

行政が施策を進めるためには各種通知に基づき所内調整や具体的行動を行う必要がある。各種通知文は中央省庁より地方出先機関や各県を経由して地方自治体へ通知されることが多い。しかし、関係部局からの通知や依頼が大量にあるため、実際に業務を担当する各担当者の手元まで迅速に届いていない場合や届いていても大量のメールに埋もれてしまっている場合がある。

そこで、2020年6月10日付け「流域治水プロジェクトの推進について」⁵⁾をはじめ、流域治水に関係する通知文を時系列で整理し、「水災害対策とまちづくりの連携のあり方」検討会の検討経緯も含め勉強会で情報を共有した。特に、国土交通省の複数課が連名で発出した通知文や他省庁と調整の結果発出された通知文などを重点的に説明し、「流域のあらゆる関係者が協働」していく必要があることを強調するように意識した。

また、流域治水は新しい施策であり、全てが新規事業に取り組む必要があるとの誤解があったため、ステップ1【相互理解】→ステップ2【流域治水メニューへの取り組み】→ステップ3【取り組みの高度化】→ステップ4【実施・改善】というステップアップ図（図2参照）を作成し、既存の取り組みが流域治水として位置づけられることを視覚的に示した。

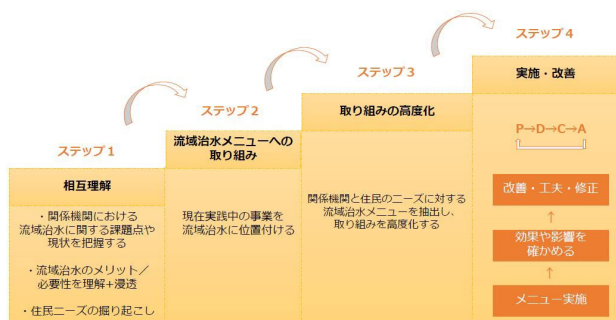


図2 流域治水のステップアップ図

b) 概念図を作成

流域治水は「流域のあらゆる関係者が協働」するので、従来の縦割り行政では取組に限界があり横の繋がりを意識した取組が必要である。

そこで、図3の概念図を作成し今まで治水事業への関わりが薄かった部局でも流域治水では一翼を担う必要があることを視覚的に分かるようにした。

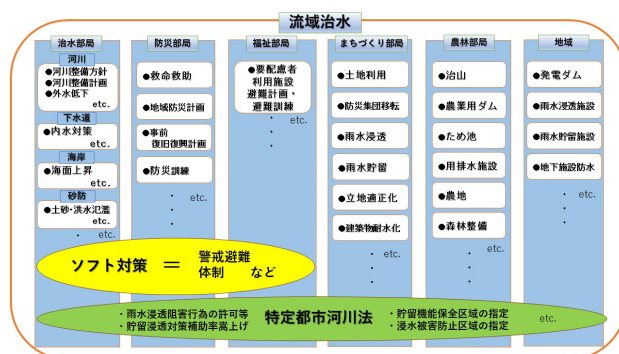


図3 あらゆる関係者の概念図

(2) 第2弾勉強会【先行事例紹介】での工夫

a) 説明資料の簡素化

第1弾勉強会は講師が流域治水を正しく理解するために最初から独自に説明資料（パワーポイント）を作成したが、第2弾勉強会では負担軽減のために原則として新たな説明資料は作らず通知文をPDFのまま利用することとした。説明時にはポイントが分かるようにアンダーラインを引くことで単調な説明にならないように工夫した（図4参照）。資料作成を省略することで勉強会開催時の準備を軽減することが出来た。

流域治水の推進に向けた取組

近年の水災害による甚大な被害を受けて、施設能力を超過する洪水が発生することを前提に、社会全体で洪水に備える水防災意識社会の両輪を一步進め、気候変動の影響や社会状況の変化などを踏まえ、あらゆる関係者が協働して流域全体で行う、流域治水への転換を推進し、防災・減災が主流となる社会を目指す必要がある。

図4 既存資料を利用した説明資料の例

b) Web形式による効率化

第1弾勉強会は原則対面で実施したが、第2弾勉強会ではTeamsを利用したweb方式で実施した。参加者の移動負担の軽減と開催会場準備の軽減を図るためであったが、初開催ということもありセキュリティの関係でwebで参加できない方のために別途会場も準備した。（写真1参照）

開催後のアンケートでは、「今後の勉強会開催方法はどちらがいいですか？」との設問を設けており、約50%の方がTeamsによるweb、約40%の方がどちらでもよい、集合しての対面はわずか6%であり、web会議による勉強会も受け入れられていると考えられた。



写真1 web勉強会開催状況

7. 勉強会の効果

この勉強会の取り組みは「地方自治体職員が流域治水について正しく理解する」ことが1つの目的であるが、その先には各自治体や住民が「自分事」として流域治水を理解し、施策に主体的に取り組むことで防災・減災が主流となる社会を目指すことである。

そのためには、勉強会が有意義であり、参加者に説明内容を理解されないと最終目標には到達しない。2022年度に実施した勉強会のアンケート結果を図5と図6に示すが概ね達成している。

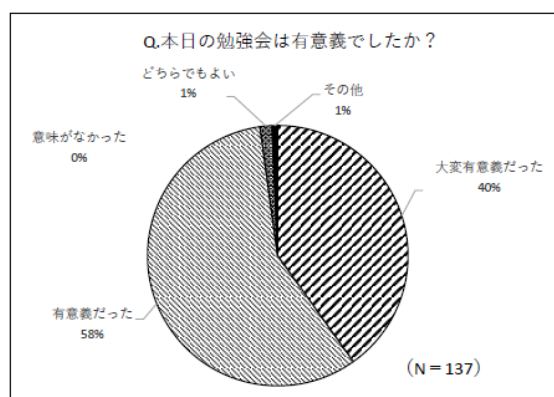


図5 有効性

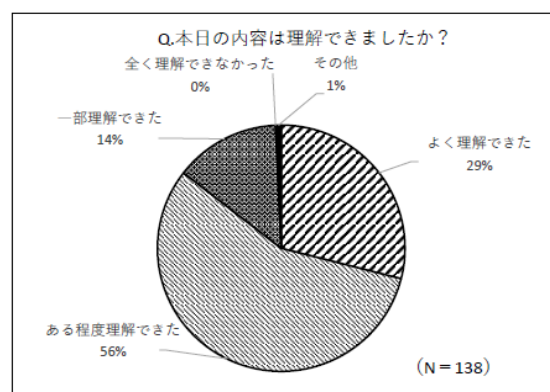


図6 理解度

8. 今後の課題

合計8回の勉強会を開催したが、流域治水に関係があるあらゆる関係部局が参加している自治体もあれば、危機管理部局のみ参加している場合もある。また、1級河川流域の自治体は参加率も高いし参加人数が多いが、2級河川流域の参加率が低かった。そこで、R5. 11. 2に日南市・串間市職員を対象に勉強会を開催し、R5. 11. 17に西都市、R6. 1. 10に小林市において開催する予定である。

また、勉強会で基本的な考え方や最新の情報を紹介したとしても、各自治体が主体的に流域治水に取り組むに

は具体的な施策の開始が必要である。自治体にとっては初めての取り組みである場合が多いので構想・計画・実施の各段階で自治体に寄り添って伴走する支援が必要である。

加えて、住民団体や自治会等と協働し、内水被害や継続的な植栽活動、防災教育など地元が悩んでいる課題を流域治水に位置づけることで、自分ごと化や継続的な活動の維持など地域に根付いた流域治水とすることが必要である。

9. おわりに

準備期間も含め約1年間にわたり試行錯誤しながら取り組んだ合計8回の勉強会について報告した。流域治水は「あらゆる関係者」が行うため、誰が主体なのか、誰がやらなければならないのか、実際に取り組むべき人が誰なのかが見えにくくなる傾向がある。

現在、直轄河川流域の自治体を個別に訪問し、流域治水に関して意見交換するとともに、内水頻発地区や道路冠水箇所など地域の課題を把握する取り組みを実施している。地域課題解決の過程で流域治水の取組を進め、施設能力を超過する洪水が発生することを前提に防災・減災が主流となる社会になることを期待する。

防災で大事なことは「他人ごとではなく自分ごととして考える。」ことだと言われている。治水対策は河川部局や下水道部局が実施するとの認識を改め、「あらゆる関係者」が自分ごととして認識し、流域治水に取り組むことで、施設能力を超過する洪水が発生しても人命が守られ被害が最小化する社会が訪れることを願っている。

謝辞：国土交通省宮崎河川国道事務所調査第一課野崎氏（当時）、亀井氏（当時）、流域治水課倉富氏には参加者取りまとめ、資料準備、会場準備、web会議室準備、アンケート取りまとめなど多大な業務を迅速化かつ適切に対応いただいた。ここに記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 社会資本整備審議会答申「気候変動を踏まえた水害対策のあり方について～あらゆる関係者が流域全体で行う持続可能な「流域治水」への転換～」(令和2年7月)
- 2) 流域治水の推進に向けた関係省庁実務者会議：流域治水推進行動計画(令和3年7月30日)
- 3) 流域治水の推進に向けた関係省庁実務者会議：流域治水対策等の主な支援事業(令和4年4月)
- 4) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：流域治水施策集～目的とそれぞれの役割～ver1.0水害対策編(令和4年12月)
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課長ほか：流域治水プロジェクトの推進について(令和2年6月10日)

大和川遊水地における 内外水に対応した施設計画について

鈴木 真菜¹・二階堂 敏博²

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 工務第三課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂142)

²近畿地方整備局 大和川河川事務所 流域治水課 (〒540-8586大阪府柏原市大正2-10-8)

大和川では、亀の瀬狭窄部によりその上流で洪水が流れにくいいため、奈良盆地内に洪水を一時的に貯留する遊水地を整備し、大和川本川への流出負担軽減を図っている。また、特定都市河川法に基づく流域水害対策計画に基づき、奈良県域では流域治水を推進するなか、遊水地機能を最大限活用し、整備計画規模の洪水を遊水するだけでなく、中小規模の洪水に対しては外水だけでなく内水も取り込む計画としている。本発表は、今後の流域治水をより推進するため、区域指定を含め、内水浸水被害の軽減にも寄与する遊水地の施設計画について報告するものである。

キーワード 流域水害対策計画、内外水対応遊水地、内水取込樋門、内水対策

1. はじめに

大和川は、奈良県と大阪府の境にある亀の瀬狭窄部、河内平野を経て大阪湾に注ぐ、幹線延長68km、流域面積1,070km²の一級河川である。

大和川中上流域では、亀の瀬狭窄部に向けて156本の川が放射状に1本に集まる。これにより、亀の瀬上流付近は、勾配の緩い地形特性と狭窄部の堰上げが生じ、洪水氾濫や内水浸水等の水害が発生しやすい特性を有している。

一方の下流部の大阪府域は、1704年に付け替えられた人工河川で、大阪平野の標高が高い位置を流れているため、大和川が氾濫すると人口・資産が高密度に集積する都心部で浸水被害が発生する可能性がある。

また、亀の瀬狭窄部では、過去に大規模な地すべり被害

が発生しており、昭和37年より現在まで国直轄施工による地すべり対策事業を実施している。

そのため、河川整備計画では、新たな地すべり対策が必要となる亀の瀬狭窄部の開削を行わないことを前提に、上下流、本支川の治水安全度のバランスを確保しながら河川整備を推進している。

2. 過去の浸水被害

大和川流域は過去に度々浸水被害を伴う災害が発生しており、特に1982年（昭和57年）8月洪水では奈良県域で甚大な浸水被害を受け、浸水家屋数が1万戸を超える戦後最大の洪水被害となった。また、近年においても100戸を超える浸水被害が発生しており、特に亀の瀬狭窄部上流域や奈良盆地の地盤が低い地域での浸水を繰り返している。



図-1 大和川流域図



写真-1 昭和57年8月洪水浸水状況（王寺町付近）

3. 大和川流域における流域対策¹⁾

(1) これまでの流域対策

1982年に大和川流域の北部の河川が総合治水特定河川の指定を受け、また1983年に流域内の25市町村（当時）を中心とする大和川流域総合治水対策協議会を発足し、同協議会は1985年7月に総合治水対策の基本方針を定めた「大和川流域整備計画」を策定した。

この流域整備計画では、宅地開発等の市街化によって流域の保水機能の低下に伴う河川への流出量増加に対処し、開発地の下流の治水安全度を低下させないために、雨水流出抑制施設の設置等を積極的に図っていくものとしており、河川のハード対策と流域対策の二本柱となっている。

また、奈良県は平成29年10月の台風21号により奈良県域で内水被害が発生したことを受け、「奈良県平成緊急内水対策事業」に着手し、内水被害の解消に向けて総合治水対策の一層の加速化に取り組んできた。

(2) 流域水害対策計画の策定

近年の気候変動等の影響に伴う水災害が激甚化・頻発化対策によるハード整備の加速化・ソフト対策の充実や治水計画の見直しに加え、国や流域自治体、企業・住民等が協働して取り組む「流域治水」の実効性を高め、推進するため、「特定都市河川浸水被害対策法等の一部を改正する法律」（令和3年法律第31号、通称「流域治水関連法」）が2021年5月10日に公布され、同年11月1日に特定都市河川浸水被害対策法（以下、法）が施行された。

大和川流域（奈良県域）では、亀の瀬狭窄部によって水位の低下が難しく、近年においても内水氾濫等による浸水被害が頻発している状況にあることから、流域対策をより一層加速させるための法的枠組みである特定都市河川浸水被害対策法等の一部改正により、大和川においては、同年12月末に法改正後、全国初となる「特定都市河川」の指定がなされた。これを受け国と奈良県、流域自治体25市町村などで組織する「大和川流域水害対策協議会」を2022年1月に設立し、5月末に、流域のあらゆる関係者が協働して治水対策を推進するため、ハード・ソフト一体の総合的かつ多層的な水災害対策を位置づけた「大和川流域水害対策計画」を新たに策定した。

計画内においては河川整備を加速するとともに、流域対策についても雨水貯留浸透施設の整備やため池の治水利用などの対策を継続的に進めつつ、貯留機能保全区域や浸水被害防止区域の指定も活用し、流域対策の実効性を向上させるなど、本流域水害対策計画に基づき、流域のあらゆる関係者が協働し、流域一体で総合的かつ多層的な浸水被害対策を講じることとしている。

4. 内外水対応型遊水地について

(1) 大和川遊水地の概要

大和川における遊水地は、昭和57年洪水を安全に流下させるため、遊水地を大和川本川沿い（30k～36k）に整備し、大和川の洪水を取り込む計画である。現時点では、安堵町窪田地区、川西町保田地区・唐院地区、斑鳩町三代川地区・目安地区の合計5箇所において、遊水地を整備する予定としている。（図-2）

(2) 当初計画

当初の大和川の遊水地計画では、大和川からの洪水（以降、外水と呼ぶ）のみを遊水地に入れることとし、堤内地を流れる小河川及び水路等から溢れた水（以降、内水と呼ぶ）については、整備計画河道が完成した後にポンプで大和川本川へ排出する計画としていた。

しかしながら、大和川への排水ポンプは、整備計画河道が完成後とするため、当面ポンプが設置できず、また大和川は亀の瀬狭窄部でバックウォーター現象が発生するため、そこへポンプ排水することは非常に危険であった。よって、遊水地のみ整備が完了した場合、遊水地整備に伴い、本来内水が氾濫していた範囲が削減されるため、地先が危険側になることも想定されることから、ポンプと併せた遊水地整備としては、河道改修のタイミングを踏まえた事業展開が必要であった。

(3) 計画の見直し

近年の内水被害の頻発化を踏まえ、国も含めた流域全体で流出抑制・被害軽減対策を進めていくこととなったことから、大和川遊水地においても、流域水害対策計画では、内水取り込みを行う遊水地として、計画を見直し、遊水地容量を最大限活用し、必要な外水取込容量は確保したうえで、中小規模洪水（整備計画規模洪水も含む）に対してはできる限り遊水地内に内水も取り込むこととした。

計画の見直しにより、遊水地の施設計画についても内水を取り込める樋門（以下、内水取込樋門と呼ぶ）や排水ポンプを周囲堤に設置する計画に変更を行った。内水

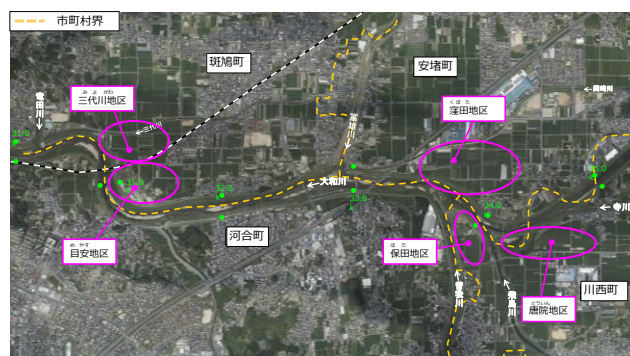


図-2 大和川遊水地整備予定箇所

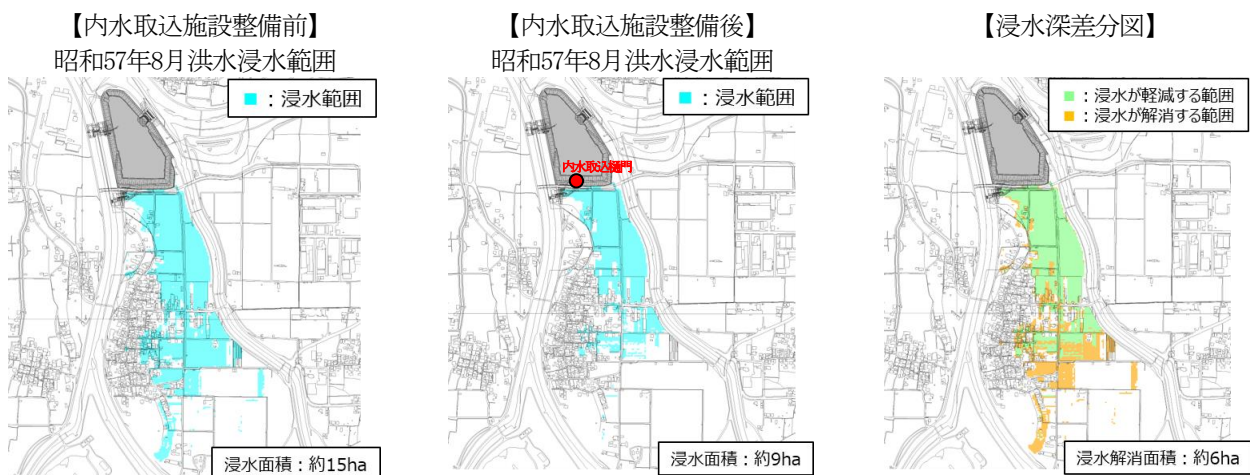


図-4 計画対象降雨時（昭和57年8月洪水）の内水取込樋門整備前後による浸水範囲図および浸水差分図

を遊水地内に取り込む方法として、大和川より洪水が越流するまで内水取込樋門にて内水を遊水地内に取り込み、内水取込樋門閉鎖後は排水ポンプによって引き続き内水を取り込む計画とした。（図-3）

上記の計画変更により、外水だけでなく内水被害の軽減にも資する遊水地を整備し、大和川流域において国による浸水被害抑制対策を積極的に進めていくこととした。

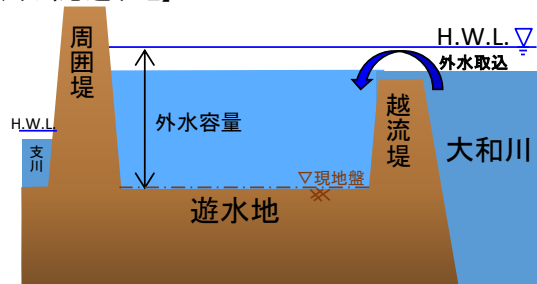
図-4は一事例として整備計画対象降雨時（昭和57年8月洪水）の保田遊水地における内水取込樋門整備前後による浸水範囲図および浸水差分図を示したものである。内水取込施設の整備により、大きく浸水範囲が軽減していることが分かる。また、図-4では計画対象降雨という比較的大きな洪水を対象として効果を確認したが、中高頻度で起こりうる中小規模洪水に対しても内水取込による浸水被害の軽減効果が期待できる。

(3) 遊水地内の維持管理の工夫

内外水対応型遊水地は越流堤だけでなく、内水取込樋門からも水を取り入れることから、外水対応遊水地に比べ、河川内の流木及び土砂等が遊水地に流入する可能性が高い。流木や土砂は洪水貯留後も遊水地外に流れ出ることなく遊水地内に留まることから遊水地内の維持管理を行うにあたりこれらの問題に関する考慮は必要不可欠である。

図-5は保田遊水地の遊水地完成予想図と横断図イメージを示したものである。保田遊水地では図-5の通り、大和川からの洪水を越流堤から取り込み、内水は内水取込樋門から取り込み、取り込んだ水を排水樋門より排水する計画としており、排水樋門周辺に流木や土砂等がたまりやすい状況となっている。そこで、図-5下図の横断図イメージのように遊水地底面を一律の地盤高にするのではなく、必要な治水容量を確保したうえで、段差をつけることにより、遊水地内における浸水頻度の差別化を図り、効率的な遊水地内の維持管理を行うことができる。

【外水対応遊水地】



【内外水対応型遊水地】

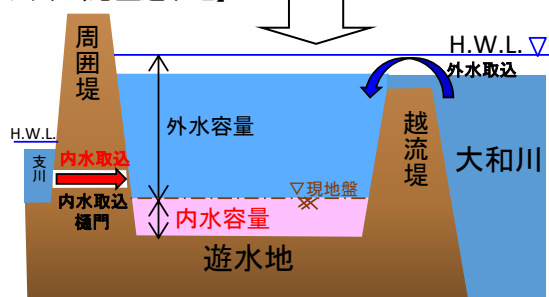


図-3 外水対応遊水地（上図）及び内外水対応型遊水地（下図）のイメージ図

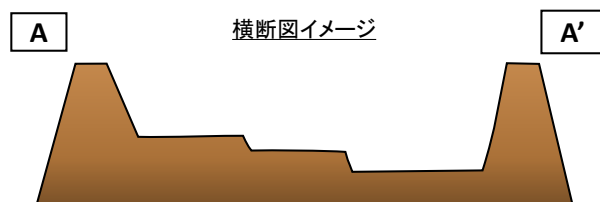
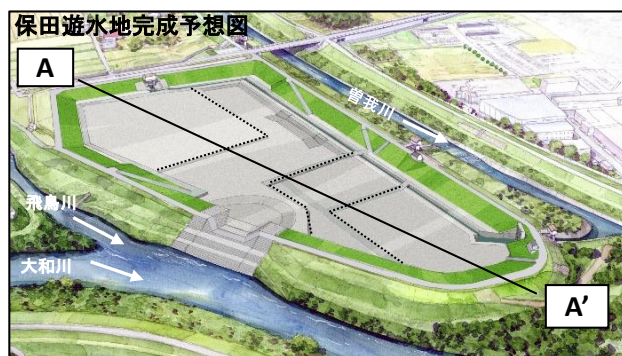


図-5 保田遊水地完成予想図と横断図イメージ

5. おわりに

現在、保田地区及び窪田地区の遊水地では既に内外水対応型遊水地の整備に向けて工事着手をしている。今後、他の3地区においても順次、整備を進めていく予定であるが、遊水地整備は、下流の流量低減のための施設であることや、現状で内水を貯留していた箇所を外水として活用するため、地域住民においては、遊水地整備に伴い、地域の安全度が低下すると認識されており、事業に反対される方も多いところがあったが、計画の見直しにより、遊水地整備する地先の内水排除も対応することを可能としたため、遊水地を整備することで、地域の安全度も向上するとともに、近年洪水でも浸水被害が発生していた内水被害も軽減できることから、地域から遊水地整備の賛同が大きくなった。

なお、内外水対応型遊水地を整備するにあたり考えられる今後の課題を以下に示す。

1点目は、遊水地整備における内水取り込みの頻度と外水容量の確保について、遊水地に外水が入る規模の洪水発生となった場合、どこまで内水を取り込めるか、外水が越流し、遊水地内に貯留する際に、必要容量が確保されるかをあらゆるシミュレーションで設定しておく必

要があり、さらに雨量や水位の予測精度を上げ、適宜内水と外水の容量を踏まえた対応が必要である。

2点目は、遊水地整備後の管理である。遊水地として平時はグリーンインフラとしてビオトープのような取り扱いも考えられるが、地域として活用できる利用を考えていく必要がある。河川のオープン化や民間委託など、今後の管理コストも考慮しつつ、地域住民が親しみをもって遊水地を利用できる平時利用を考えていく必要がある。

以上のような技術的課題については今後検討を行い、内外水対応型遊水地の整備に活かしていきたい。

巻末：本論文は、従前の配属先（大和川河川事務所）における所掌内容を課題として報告したものである。

参考文献

- 1) 国土交通省近畿地方整備局・奈良県及び大和川特定都市河川流域25市町村：大和川流域水害対策計画

目指せ犠牲者ゼロ！ ～命を守る仁淀川流域治水プロジェクト対策～

渡辺 智之¹

¹高知県吾川郡いの町役場 総務課 危機管理室 (〒781-2192 高知県吾川郡いの町1700-1)

高知県吾川郡いの町中心部を流れる、一級河川仁淀川の堤防が想定最大規模洪水によって破堤した場合、いの町中心市街地においては、「命の危険がある人」が大量に存在することが試算されている。このため、想定最大規模洪水が発生したとしても、犠牲者を出さない犠牲者ゼロの町を目指し、流域住民と協働して行っている緊急避難場所の確保や住民の危機意識の向上を目指した研修会の開催など仁淀川流域治水3方策の1つ「安全に逃げる」取組を報告する。

キーワード 流域治水，自主防災，住民研修会，避難訓練，ハザードマップ

1. はじめに

いの町は、高知県の中央部に位置し、2004年10月に旧吾川郡伊野町、旧吾川郡吾北村、旧土佐郡本川村の3町村が合併して誕生した。伊野地区中心部には国土交通省が発表する「水質が最も良好な河川」に2012年から2016年の5年連続をはじめ過去10年で8回選ばれた一級河川の清流仁淀川が流れ、仁淀川の良質な地下水を利用した土佐和紙などの製紙業とともに発展してきた。

中心市街地には、東西に幹線道路（国道33号）や鉄道（JR土讃線・とさでん交通）が走り、県庁所在地である高知市に隣接しているなど自然・歴史・利便性・経済性を備えた町である。

いの町中心市街地は仁淀川の恩恵を受ける一方で、三方を山に囲まれ平地が狭小であるため、仁淀川本川の水位による影響を受けやすく、さらに本川と支川（宇治川）の合流部よりも支川中・上流部の地盤が低い「低奥型」の地形を有していることから、これまでも支川からの氾濫により浸水被害が頻発している地域である。



図-1 いの町中心市街地

2. いの町における水害の歴史と治水対策

いの町における過去の水害の中で最も被害が大きかったのは1975年8月の台風第5号で2日間雨量450mmの豪雨を記録し、支川の宇治川流域において浸水面積260％、床上浸水1,324戸、床下浸水1,400戸等平地部の大部分が水没する甚大な被害となった。この被害を受け仁淀川流域の日下川、波介川及び宇治川で全国初となる直轄河川激甚災害対策事業が採択され、宇治川排水機場の増設等が行われた。しかし、以降も宇治川を中心に浸水被害が頻発し、1993年には5度の浸水被害を受け、床上浸水対策特別緊急事業が採択され2007年2月に新宇治川放水路（55m³/s）が完成し宇治川流域の浸水被害は激減した。

2014年8月の台風第12号で宇治川流域で観測史上最大となる2日間で751mmの猛烈な豪雨となり浸水面積30％、床上浸水142戸、床下浸水114戸の被害となった。

1975年8月豪雨と比較すると2日間雨量は約1.7倍増加したが浸水面積は約88％減少、浸水家屋戸数は約91％の減少となり、これまでの排水施設等を中心とするハード事業の着実な整備が生んだ効果といえる。



図-2 新宇治川放水路

3. 仁淀川流域治水プロジェクト

こうした中、近年、全国各地において気候変動に伴う水害の激甚化・頻発化を踏まえ、今後、洪水の量が約20年間で20%増加すると言われている。一方で、仁淀川の河川整備率は1989年から2020年までの約30年間で10%の向上となり、気候変動による流量増加に対して河川整備が追いつかないことから、従来のダムや堤防整備などのハード対策が主体の治水対策から流域のあらゆる関係者で協働し、どんな洪水が発生しても犠牲者ゼロを2040年頃までに目指す「流域治水」へと転換された。

国からの試算データによると宇治川流域では、想定最大規模洪水が発生し仁淀川堤防が破堤した際、「氾濫流により家屋ごと流出する、若しくは最上階の居室が浸水する家屋に住む人」の合計を設定値とした「命の危険がある人」が9,830人とされている。

仁淀川水系の「流域治水」では、「氾濫を減らす」「備えて住む」「安全に逃げる」の3方策を柱に取組を進めている。宇治川流域では、当面の河川整備を位置づけている、仁淀川水系河川整備計画による河道掘削などにより浸水深の軽減に繋がる「氾濫を減らす」対策と、住宅の複数階化等で屋内に留まった場合でも被害リスクを下げられる可能性がある「備えて住む」対策を行ってもなお、命の危険がある住民が8,860人残存することが公表され町に衝撃が走った。

宇治川流域は先に述べたように、三方を山に囲まれ平地が狭小で「低典型」の地形を呈しており水が溜まりやすく、河床勾配も緩く水はけが悪いため内水を自然排水しにくい特徴がある。このため、「氾濫を減らす」対策や「備えて住む」対策を行っても「命の危険がある人」は約10%程度の減少にとどまっている。

これは、同じ仁淀川の支川である波介川流域（約55%）、日下川流域（約31%）、新川川流域（約39%）に比べて小さく、いの町においては、流域治水3方策の避難場所の容量確保や早期避難の情報提供といった「安全に逃げる」対策が重要である。

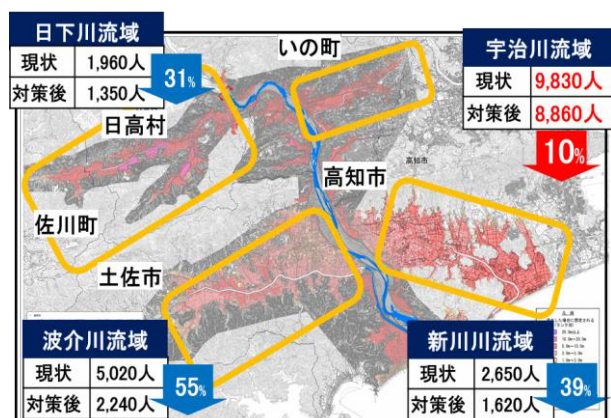


図-3 想定最大規模洪水に対する各小流域における「命の危険がある人」の軽減効果の試算¹⁾

4. 自主防災会連合会の取組

水害における犠牲者ゼロを目指すためには、住民自らが災害リスクを認識し自らで考え命を守る行動を行うことが重要である。そのためには、住民の危機意識の向上を図る必要があり、地域防災の要である自主防災組織の協力は不可欠であることから伊野地区自主防災会連合会（以下：「連合会」）の会長である樋口義博氏に協力を要請した。

伊野地区自主防災会連合会は、宇治川流域に位置する各自主防災会代表者、民生委員・児童委員の代表者、地元消防団の代表者で構成される会員数37名の組織である。会長の樋口氏自身も近年の水害の激甚化・頻発化には危機感を持っていたことから、この「流域治水」への転換には強く賛同し、いの町と連合会と協働で犠牲者ゼロを目標に住民の危機意識向上を図る「安全に逃げる」対策を取り組むこととした。

宇治川流域は想定最大規模洪水が発生した場合、5m以上の浸水深となる地区が多い。このため、住民が避難を行っても避難場所が浸水してしまう恐れがあることや、命の危険がある9,830人に対し収容できる避難場所が足りていないのではないかと考えた。

また、多くの住民が堤防決壊による浸水深の高さを知らないため、浸水リスクを正しく伝えることが重要と考え、以下の手順で取組を行っていくこととした。

- ① 緊急避難場所の確保のための収容能力調査
- ② 連合会内での勉強会の開催
- ③ 各地区ごとの浸水深調査
- ④ 住民研修会の開催
- ⑤ 避難訓練の実施

(1) 緊急避難場所の確保のための収容能力調査

宇治川流域において洪水に対応した町指定の緊急避難場所は14箇所あり、これに加え、連合会が自ら地域を回り選定した避難場所の候補地となる場所21箇所を合わせた計35箇所の現地調査を行った。

また、現地調査に加え、企業や施設管理者を訪問し、想定最大規模洪水に対する浸水リスクの意識調査を行なった。多くの企業や施設は浸水リスクを知らず、訪問の主旨や今後の取組を丁寧に説明し理解いただくことで、その後の緊急避難場所への指定に向けた協定締結を円滑に進めることができた。

結果、候補地の21箇所から新たに宇治川流域内で公共施設1箇所、民間企業2箇所、民間施設1箇所と洪水発生時における緊急避難場所としての協定を締結し、約200人の収容人数を確保することに繋がった。今回の調査や協定締結により町が指定している緊急避難場所では18箇所約4,300人の収容が可能であることが分かった。

なお、収容可能人数を把握する上での確保面積について

ては、想定最大規模洪水による氾濫となれば一時的な避難ではなく長時間の避難が想定されるため、「洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難に関する定量的な算出方法と江東5区における具体的な検討」²⁾を参考とした。1人あたりの占用面積は1.65㎡とし、さらに荷物を置くことや、通路等を確保しなければいけないことも考慮し、1人あたりの合計占用面積は3.3㎡で計算している。

この他、手すりや屋根等が無いなどの安全面の課題はあるが、緊急避難場所の候補地となる施設や高台も16箇所、約3,500人の収容能力があると思われる、今後、詳細な調査や協議を行い課題を整理し協定締結を進めていく必要がある。



図4 緊急避難場所の調査

(2) 連合会内での勉強会の開催

連合会内で流域治水に対する「安全に逃げる」取組が始まったものの、仁淀川堤防決壊に対する浸水リスクをどのように住民へ周知を行なっていくか課題が残っている。防災意識の高い連合会のメンバーでさえ想定最大規模洪水による自身の地区内の浸水リスクを知らないものも多い。

犠牲者ゼロを目指す上で、早期の避難行動の重要性は明らかであり、地区によって地形的要因等で内水氾濫によるリスクも違い避難するタイミングも変わってくる。住民の危機意識を向上させるためには、はじめに連合会の中で危機意識を高めることが重要であると考え、37名全ての会員を対象に「仁淀川流域治水プロジェクトの3方策の概要」や「緊急避難場所の現状」を兼ねた勉強会を会長の樋口氏を中心に行なった。

また、宇治川流域にある伊野地区、枝川地区の自主防災会連合会と、区長会連合会、町合同で「仁淀川流域治水プロジェクト研修会」を開催し、気象庁高知地方気象台や国土交通省四国地方整備局高知河川国道事務所を講師に研修を行い自主防災会会長や区長58名が参加した。

研修会後にアンケートを実施し、「仁淀川流域治水プロジェクト」への取組について「十分理解できた」(36.8%)、「ある程度理解できた」(63.2%)の回答結果となり、研修会を通じて地域の行政活動と防災活動のリーダーである区長や自主防災会会長に対し「仁淀川流

域治水プロジェクト」の意義を周知することができ、危機意識の向上にも繋がった。こうした行政と住民が参加し一体となった取組は、まさに近年の気候変動による水害リスクの増大に対して流域全体のあらゆる関係者で協働し備える取組といえる。



図5 仁淀川流域治水プロジェクト研修会

(3) 各地区ごとの浸水深調査

こうした取組から連合会内で徐々に危機意識が芽生え、自分たちの暮らしている地域の浸水リスクを研修会を通じて地域住民にも知らせるべきであるという意見が増え始めた。

研修会を開催する上で、浸水リスクを周知する資料が必要となる。自分たちが暮らしている地域の浸水リスクを認識するための有効な資料としてハザードマップがある。いの町では洪水予報河川である仁淀川と水位周知河川である宇治川でハザードマップを作成し全戸配布を行っている。

しかし、ハザードマップは所持している住民が少ないことや若年層や居住歴が短い住民は作成されていることも知らないという意見や、平面の図であるため実際に建物がどの位置まで浸水するのか視覚的に分かりづらいといった面もある。こうした課題に対応するため、各地区の浸水深を調査し、独自で浸水マップを作成し住民研修会で活用することとした。

マップを作成する手順は、まず、各地区で住んでいる住民が一目で分かるような象徴的な建物や避難場所を住民同士が話し合い数箇所選定する。次に選定した箇所の想定浸水深を町職員がデータで確認を行い、その浸水深データを基に連合会と町職員でメジャーポールを使用し現地の浸水深調査を実施した。そうして作成したマップは地域住民が見れば一目で自分たちの地域の浸水リスクを把握することができるオリジナルマップとなり連合会で各家庭に全戸配布を行なった。

このように行政主導で行うのではなく、お互いが役割分担を持ち相互協力することで、地域と協働で浸水リスクに立ち向かう協力体制を築くことができた。今後は避難訓練などを通じて連携を深めさらなる協力体制を確立していく。



図-6 浸水深オリジナルマップ

(4) 住民研修会の開催

作成したオリジナルマップを基に、想定最大規模洪水に対する危機意識を向上させる目的で2022年11月から連合会による住民研修会がスタートした。

研修会では、会長の樋口氏から「仁淀川流域治水プロジェクト」の概要説明やオリジナルマップを用いて地域の浸水深の調査結果などを報告した。

研修会後は参加者を対象にアンケートを実施し「自分たちの地域の浸水について理解できた」(98.2%)「危機意識を持つことができた」(98.9%)となり自主防災会の主体的な取組が流域住民の防災意識の向上に繋がる結果となった。



図-7 住民研修会の様子

(5) 避難訓練の実施

連合会では2024年度から避難訓練を実施することとしている。宇治川流域では、過去の水害から内水氾濫や支川の先行氾濫が発生し、外水氾濫の危険性が高まった段階では一部の避難路が使えなくなり避難が困難になることが分かっている。そのため、一人一人が現実的な避難のタイミングを理解することが重要であり、今後は専門家を招いた住民同士のグループワークの開催などを通じて避難経路の選定を行なうことも検討していく。

また、避難の際に支援が必要な要配慮者についても、地域内で日常的なコミュニケーションを図り協力体制を構築するなど、積極的に訓練に参加しやすい環境づくりや、個々の実情に応じたマイタイムラインの作成も含めて、実効性のある避難訓練を繰り返し実施していく。

5. 浸水リスクの「見える化」

こうした取組に加え、いの町では洪水に対する危機意識を向上する目的で仁淀川及び宇治川が氾濫した場合に想定される浸水深の表示板を町内の指定避難所でもある教育施設を中心に公共施設5カ所に設置をした。

浸水深の表示板は、仁淀川氾濫時を赤色、宇治川氾濫時を青色で表示し、日頃から水害に対する防災意識を高めるとともに避難所等の知識の普及を図り、発災時には地域住民の主体的な避難行動に繋げることができる。

また、教育施設を中心に設置することで、子どもたちにとっても視認性の高い浸水深情報を伝えることができ、今後は防災教育などでも活用することで子どもたちの防災意識や知識の向上に繋がり、子どもたちから家庭、さらには地域へと浸透していくものと考えている。



図-8 想定浸水深表示看板（伊野中学校）

6. おわりに

本稿では、想定最大規模洪水による河川氾濫から住民の命を守る「犠牲者ゼロ」を目指す取組報告を行った。

流域治水の基本的な考えである「あらゆる関係者との協働」を推進するためには住民の協力は欠かすことができない。いの町において、「安全に逃げる」対策がここまで進んだ要因は決して行政主導とならず自主防災会を中心とした地域住民との連携があったからだ実感している。

連合会における住民研修会は始まったばかりであるが、こうした取組をモデルに町内の他の地域へと広げ、町内全体での危機意識の向上を図る必要がある。

洪水は地震と異なり、ある程度は予測可能な災害である。日頃から浸水リスクを正しく理解し、適切に判断することが重要であり、今後も多くの住民が参加できる仕組みづくりや意識づくりを進め、「犠牲者ゼロ」を目指した流域治水の取組に挑戦していく。

参考文献

- 1) 仁淀川水系流域治水協議会：仁淀川水系における流域治水の推進方針【第2版】
- 2) 内閣府：洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難に関する定量的な算出方法と江東5区における具体的な検討