

# 水理模型実験による輪島港防波堤の改良検討について

辻 治幸・大島 寿治・成澤 琳

新潟港湾空港技術調査事務所 技術開発課 (〒951-8011 新潟市中央区入船町 4-3778)

平成 29 年台風第 21 号による高波浪により輪島港（輪島崎地区）防波堤（第 6）が被災し、その原因を推定し、防波堤としての機能を満たす構造形式に復旧させるために行った水理模型実験の結果を報告する。

キーワード 輪島港, 防波堤, 改良, 災害, 水理模型実験

## 1. はじめに

輪島港（輪島崎地区）では、近年、高波浪の出現傾向が北西方向から北東方向へと変化してきたため、北東側からの波浪を遮蔽するにあたり防波堤（第 6）の整備を平成 21 年度から行っている。整備途中の平成 29 年台風第 21 号により設計波高を超える波が来襲したことにより、天端高が沈下する等の被害が発生した。また、被災箇所以外にも、天端が波状に変形した蛇行災害が出現した。これを受け、近年の高波浪を考慮した設計波（以下、実験用設計波）を算定した上で、断面を改良すべく検討し、要求性能である安定性及び現況断面と同等以上の波高伝達率を確保した経済的な断面を得ることを目的とし、二次元水路を用いた水理模型実験により改良方法を検討した。

## 2. 設計波算定

実験用設計波の算定に当たり、輪島港沖合の波高観測地点で発生する確率波の見直しを行った。近年の高波浪を反映させるため、当初設計時以降観測された波高データを加え算定した結果、当初設計時より確率波の波高が大きくなることが確認された。（表-1）

実験用設計波は、確率波に対し屈折・浅水変形・碎波変形の他に、防波堤（第 4）による回折・反射の影響を受ける。そのため、水深 34m 地点まではエネルギー平衡方程式、防波堤前面まではブシネスク方程式モデルにより波浪変形計算を行った。検討波向は N・NNE・NE の 3 波向とし、算定結果のうち、波高が最も大きな波向とな

った NNE を採用した。当初設計波及び実験用設計波の抽出結果を表-2 に示す。



図-1 実験対象防波堤位置

表-1 確率波高の比較

再現期間 (年)	当初設計波	気象海象DB		
	1979~2007 (640データ) 波高 (m)	1979~2007 (635データ) 波高 (m)	2008~2018 (223データ) 波高 (m)	1979~2018 (880データ) 波高 (m)
10	7.48	7.45	8.65	7.57
50	8.39	8.38	10.69	8.53
最過関数	ワイブル分布 (k=1.40)	ワイブル分布 (k=1.40)	極値II型分布 (k=10.00)	ワイブル分布 (k=1.40)

## 3. 実験条件

### (1) 模型縮尺及び海底勾配

模型縮尺については、1/50（歪み無し）とした。海底勾配については、現地の平均的な海底勾配を考慮して 1/100 とした。

表-2 実験用設計波の抽出結果

区分	地形・潮位・区間			当初対象波		実験用対象波		(参考) 被災波	備考
	当初設計波	実験用設計波		当初対象波	実験用対象波				
	潮位H.W.L.	潮位H.W.L.	潮位L.W.L.	潮位H.W.L.	潮位H.W.L.				
	E区間	D区間		E区間	E区間		E区間		
再現期間	50年確率波			10年確率波					
観測地点									
沖波向(波浪観測地点)	N	NNE	NNE	N	NNE	NNE			
有義波高 $H_{1/3}$ (m)	8.28	8.02	8.02	7.36	7.14	7.1			
有義波周期 $T_{1/3}$ (s)	12.7	12.6	12.6	11.9	11.7	11.1	波高周期相関式より算定		
波向(°)	9	21	21	9	22.5	—			
設計地点									
有義波高 $H_{1/3}$ (m)	5.0	6.8	6.6	4.4	5.3	5.4	実験水深 -18m		
有義波周期 $T_{1/3}$ (s)	12.7	12.6	12.6	11.9	11.7	11.1			
入射角 $\beta$ (°)	-20	-14	-15	-21	—	—		$\pm 15^\circ$ 補正後の $\beta$	

(2) 波浪条件および潮位条件

波浪条件については、作用させる波浪は全て不規則波とし、伝達率実験では対象波を作用させ、作用波数は200波、3波群を、安定実験では設計波を作用させ、1,000波、1波群を作用させて改良断面を絞り込み、最適な断面案において潮位が危険側となるH.W.L.で3波群を作用させた。潮位条件については、伝達率実験における潮位はH.W.L.(+0.5m)とした。また、現況断面の安定実験における潮位はH.W.L.(+0.5m)とL.W.L.(±0.0m)とし、危険側の潮位条件を抽出することとした。

4. 実験断面

現況断面の構造は傾斜堤(捨石堤ブロック被覆式)である。被覆に使用する消波ブロックの質量は当初設計波に対し机上計算し20t型としていた。対して改良断面に使用する消波ブロックの質量は、実験用設計波に対して机上計算した結果、40t型を基本とした。

改良断面に対する要求性能を以下に示す。

- 設計波に対して安定性を確保(被害率1.0%未満)した経済的な断面であること。
- 対象波に対して、現況断面と同等以上の波高伝達率を確保すること。(目標伝達率0.4以下)

実験断面は、図-2から図-5に示す「現況断面」, 「港外側腹付け断面」, 「港外側・港内側腹付け断面」, 「港外側腹付け(小段化)」とした。本論文では、代表的な断面を報告する。

5. 実験方法

(1) 伝達率実験

二次元水路に設置した波高計の測定値から波高伝達率及び反射率を算定した。

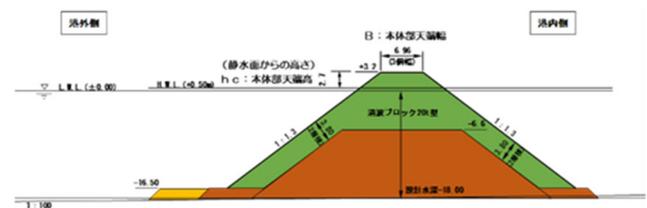


図-2 現況断面

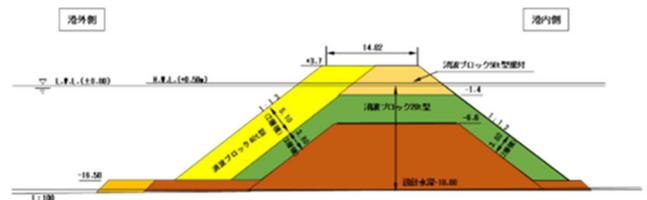


図-3 港外側腹付け断面

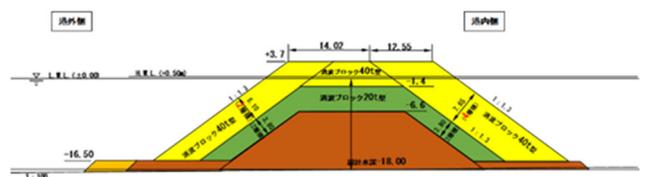


図-4 港外側・港内側腹付け断面

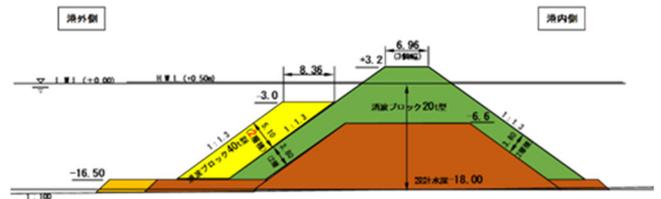


図-5 港外側腹付け(小段化-3.0m)

(2) 安定実験

安定実験では、主に消波ブロックの挙動観察を行うとともに、実験中の動画を解析し、被害率を算定した。消

波ブロックの挙動は表-3に示す定義とし、移動および動揺を確認した。挙動の検査域は、水路幅80cm内の中央40cmの範囲の消波ブロック、石材（基礎捨石、グラベルマット）を対象とした。

表-3 消波ブロックの移動と動揺の定義

評価	挙動の分類	挙動の内容
安定	安定	波作用によって動揺しないもの。
	動揺	波作用によって揺れ動くが、ほぼ元の位置にあるもの。
被害	移動	波作用によって、元の位置から1/2個以上移動するもの。 波作用によって、隣接するブロックの高さ以上にめくれあがるもの。

## 6. 実験結果

### (1) 現況断面の安定実験結果

当初設計波を作用させて安定実験を行った結果、危険側となる潮位H.W.L.(+0.5)およびL.W.L.(+0.0)ともに被害率は1.0%未満となり、安定性が確保されることが確認された。一方、実験用設計波作用時には、全区間を対象とした被害率は、潮位H.W.L.、潮位L.W.L.ともに1.58%となり、いずれも安定性を確保することが出来なかった。写真-1に示すように、波浪が直接堤体を飲み込むように越波することで、消波ブロックに浮力と波力が加わることが原因と推察される。したがって、現況断面を改良し、安定性を確保する必要がある。

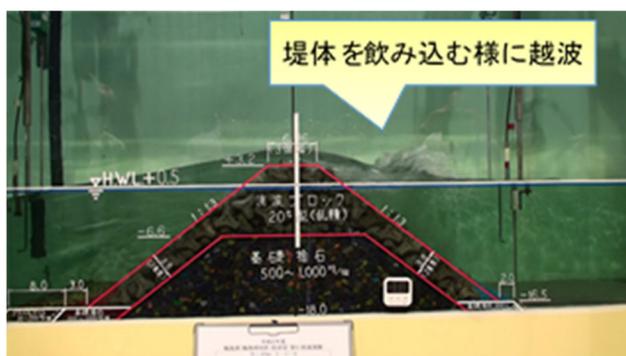


写真-1 現況断面の越波状態

### (2) 現況断面の伝達率実験結果

当初対象波作用時の波高伝達率は潮位H.W.L.で3波群とも0.4以下となり、実験用対象波の波高伝達率は0.395となった。また、当初対象波作用時の反射率は0.400～0.431、実験用対象波作用時の反射率は0.416となり、消波ブロック被覆堤の一般的な反射率の平均的な反射率とほぼ同じ値を示した。

表-4 現況断面に対する実験用設計波での実験結果

実験結果					
水理機能			安定性		
伝達率 ( $K_T$ )	反射率 ( $K_R$ )	エネルギー 損失率 ( $K_{loss}$ )	被害率 D (%)	安定評価	
0.395	0.416	0.671	1.58	不安定	×

### (3) 港外側腹付け断面の安定実験結果

机上計算により求めた消波ブロック質量で港外側を被覆することにより、安定性を得られるかを確認した。港外側に2層積の被覆を施した断面では、実験用設計波作用時には、潮位H.W.L.で被害率は13.43%となり、現況断面に比べて被害率が非常に大きく、安定性が著しく低下した。さらに、現況断面の天端を40t型、50t型、64t型に置き換えた断面では、いずれも被害率が1.0%を大きく超過し、安定性を確保することが出来なかった。安定実験結果の一覧を表-5に示す。

実験中の波作用状況の観察結果からは、写真-2に示すように、港外側腹付け部で強制碎波した波が、堤体天端面に強く打ち込む様子が観察されており、越波形態の違いが堤体断面の安定性に強く影響していると考えられる。この結果から、越波水塊の打ち込みに対して消波ブロックの質量で抵抗し、安定性を確保することは困難であることが分かった。

表-5 港外側腹付け断面の安定実験結果

ケース No.	実験断面	実験結果
①	港外側: 40t型消波ブロック2層積腹付け 	安定評価 ×
②	港外側: 40t型消波ブロック2層積で腹付け 既設天端面: 64t型消波ブロックで置換 	安定評価 ×

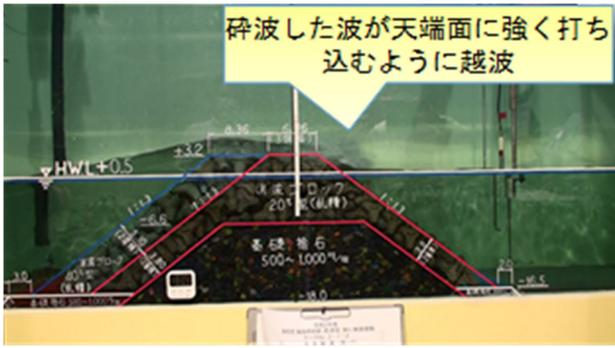


写真2 港外側腹付け-1の越波状況

#### (4) 港外側・港内側腹付け断面の安定実験結果

机堤体天端面への波の打ち込みによる消波ブロックの移動を防ぐため、港外側の被覆に加え港内側にも被覆を行うことで、堤体天端幅を広げた断面で安定性を得られるかを確認した。実験用設計波を作用させた結果、港内側の被覆厚が2層積と3層積では、被害率は1.0%を大きく超過し、安定性を確保することができなかった。ところが、被覆厚を4層積と6層積にした断面では、被害率は1.0%未満となり、安定性が確保できることが分かった。また、港外側腹付け部で強制砕波した波が堤体天端面に強く打ち込む様子が観察されており、堤体断面の天端幅が適度に広い断面（今回の実験では天端幅25m程度）では港内側の法肩部が弱点となることが確認された。港内側法肩部への越波水塊の打ち込みを防ぐように天端幅を極端に広げることによって、安定性が確保できることが分かった。安定実験結果の一覧を表-6に示す。

表-6 港外側・港内側腹付け断面の安定実験結果

ケースNo.	実験断面	実験結果
①	港外側: 40t消波ブロック2層積で腹付け 既設天端面: 40t消波ブロック2層積で置換 港内側: 40t消波ブロック2層積で腹付け	安定評価  ×
②	港外側: 40t消波ブロック2層積で腹付け 既設天端面: 40t消波ブロック2層積で置換 港内側: 40t消波ブロック4層積で腹付け	安定評価  ○

#### (5) 港外側腹付け（小段化）断面の安定実験結果

上述の実験結果から、越波水塊の天端面への打ち込み

を防ぐこと、堤体前面で波浪を減衰させることを目的とし港外側に小段を設ける腹付けを設置する断面を検討した。被覆厚を2層積とし、小段天端高を+0.5m、-1.5mとした場合の被害率はそれぞれ13.31%、1.54%となり安定性を確保することができなかった。一方、小段天端高を-3.0mにした場合の被害率は0.31%となり、安定性を確保することが出来た。実験中の波作用状況の観察結果からは、写真-3に示すように小段により顕著な戻り流れが発生し、入射波を打ち消すような効果が確認された。さらに、写真-4に示すように減衰した入射波が堤体を飲み込むように越波するため堤体の安定性確保に寄与しているものを考えられる。

この断面では、既設断面の改良は不要であるとともに、改良断面部の被覆厚は最低層厚の2層積としていることから、安定性の確保だけでなく、経済的な断面を得ることができた。

また、小段天端高を-1.5mから-3.0mに下げることによって、安定性がより向上したことから-4.5mに下げた断面でも実験を行った。実験用設計波を作用させた結果、港外側腹付け（小段化-3.0m）と同等の波作用状況であり、被害率は0.0%となって安定性が確保可能なことを確認した。

安定実験結果の一覧を表-7に示す。

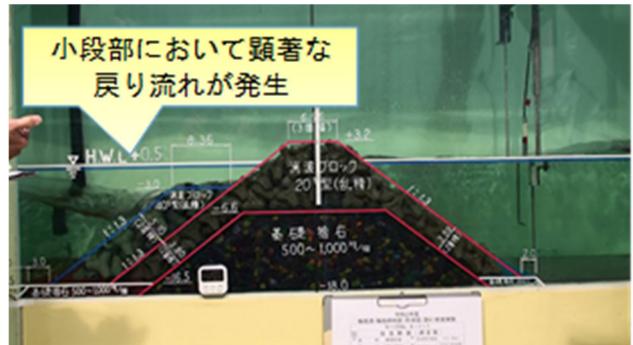


写真3 戻り流れの発生状況

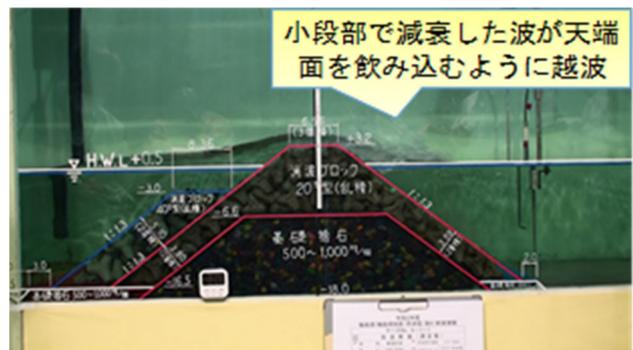


写真4 越波状況

表-7 港外側腹付け（小段化）断面の安定実験結果

ケース No.	実験断面	実験結果
①	港外側：40t消波ブロック2層積で腹付け（天端高-3.0で小段化） 	安定評価 
②	港外側：40t消波ブロック2層積で腹付け（天端高-4.5で小段化） 	安定評価 

### (6) 港外側腹付け（小段化）断面の伝達率実験結果

実験用対象波作用時の波高伝達率は-3.0mで0.364、-4.5mで0.372となり、-4.5mの方が、やや大きくなることも確認された。同様に、反射率に着目すると、特に小段天端高-3.0mにおいて反射率が最も小さくなった。

## 7. 最適断面の検討

堤体断面の安定性を確保した断面を表-6、7に示す。安定性を確保したのは、以下の3断面である。

- (a) 港外側：40t型消波ブロック2層積で腹付け  
既設天端面：40t型消波ブロックを2層積で置換  
港内側：40t型消波ブロック4層積で腹付け  
(表-6②)
- (b) 港外側：40t型消波ブロック2層積で腹付け  
(天端高-3.0mで小段化) (表-7①)
- (c) 港外側：40t型消波ブロック2層積で腹付け  
(天端高-4.5mで小段化) (表-7②)

### (1) 安定性の評価

堤体の安定性を確保した3断面の中で、(a)の断面は改良に使用する消波ブロック数量が多く、不経済となるため、最適な断面ではない。一方、(b)および(c)の断面は、既設断面の改良は不要であるとともに、改良断面部の被覆厚は最低層厚の2層厚としていることから、施工性に優れ且つ経済的な断面と言える。そこで、それら2断面について比較し、最適断面を選定する。

図-6によると、小段部断面の被覆厚を2層積とした場合、小段天端高が低くなるほど被害率が低下しており、小段天端高を-3.0m以下とすることで安定性が確保可能な結果となった。

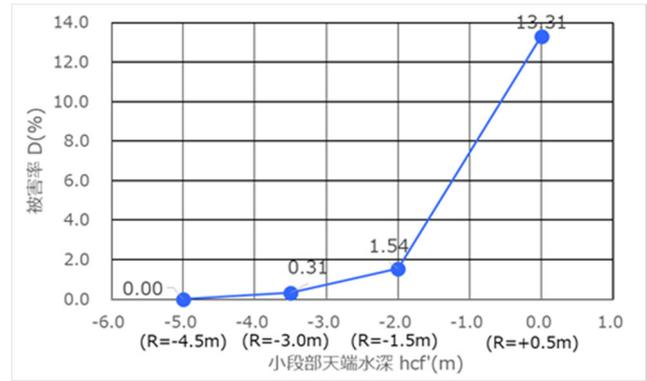


図-6 小段を設けた改良断面における被害率の関係

### (2) 水理機能の評価

小段部を設けた改良断面における波高伝達率・反射率の関係を図-7に示す。

小段部被覆厚を2層積に着目すると、小段天端高-3.0mの場合に波高伝達率および反射率が最小となり、最も水理機能が高い断面となる。

堤体断面天端の港外側法肩から港内側法肩までの範囲における打ち込み波数に着目すると、小段部天端高-3.0mでは228波、-4.5mでは381波となり、小段部天端高-3.0m(b)における打ち込み波数が最も少ない結果となった。以上より、小段部天端高-3.0mとする場合に越波による強い打ち込みを避けることが可能となり、安定確保に効果的に寄与することが期待できる。

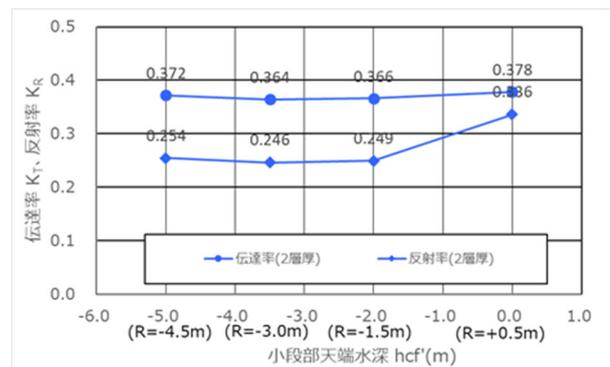


図-7 小段を設けた改良断面における波高伝達率・反射率の関係

## 8. 結論

これまでに示した安定性や水理機能を総合的に評価し、本検討では、(b)の改良断面（港外側：40t消波ブロック2層積で腹付け（天端高-3.0mで小段化）を最適断面とした。（図-8）

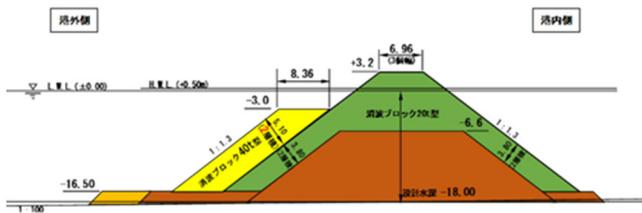


図-8 最適断面

## 9. まとめ

実験用設計波を算定した結果、近年の波高データを考慮すると、当初設計時より大きくなった。近年、高波浪が多く来襲していることが、波高データからも明らかになった。また、今回の実験では、現況断面は波浪が直接堤体を飲み込むように越波することで、被災につながる事が判明した。

これに対し、今回選定した断面は、小段を設けることで波への抵抗力強化と、反射率低減による蛇行災害防止効果が期待できる。さらに、施工性、経済性にも優れていることから、現地適用性の高い断面と評価した。

## 10. あとがき

安定実験では、設計波作用時に、基礎捨石の大きな移動や消波ブロックの隙間からの抜け出しが無いことを確認しているため、既設断面の改良工事において既設の基礎捨石等の上に新設の消波ブロックを施工しても問題ないと考えられる。

なお、今回は、当初設計以降に観測された高波浪データを踏まえ、実験用設計波を算定し改良断面を検討したところが、設計波の算定については、本実験後に新たな計算手法による見直しを行っている。これに対する最適断面の検討は、今後の課題である。

# 狩野川での河川管理施設等の維持管理について

飯嶋 有年

国土交通省 沼津河川国道事務所 河川管理課 (〒410-8567静岡県沼津市下香貫外原3244-2)

河川の維持管理では、堤防や河川構造物といった河川管理施設、河道等を対象に巡視や点検等が行われているが、対象範囲や項目が幅広く多岐にわたること、出水期前等の比較的短期間のうちに作業を終える必要があることから、更なる効率化・高度化が求められている。そこで当事務所では、狩野川における河川管理施設等の維持管理の効率化・高度化を目的に、巡視方法や点検方法の見直し等を開始した。本論文では、2019年度から2021年度にかけて検討している「巡視でのUAVの活用」、「点検時期の見直し」、「点検での新技術の活用」、「河道の点検・評価方法の立案」、「維持管理体制の再構築」の取り組み内容とその有用性について述べる。

キーワード 河川, 維持管理, 巡視, 点検, 効率化

## 1. はじめに

狩野川は、伊豆半島の天城山系を源とし、大小の支川を合わせ北流し、田方平野で狩野川放水路を分派した後、支川の来光川・柿沢川、大場川、柿田川、黄瀬川を合流し駿河湾に注ぐ幹線流路延長46kmの一級河川である。直轄管理区間は、伊豆市修善寺から河口までの36.8kmで、維持管理の対象は、堤防36.8km、陸閘10箇所、樋門樋管84箇所、排水機場7箇所、堰1箇所、河道36.8kmである。

河川の維持管理は、河川の状態把握として巡視や点検を行いつつ、結果を分析・評価し、対策を実施することが一般的である。狩野川の維持管理でも、河川の状態把握として、巡視を通年、出水期前点検を4月から5月頃、台風期点検を9月頃に行っている。分析・評価としては、出水期前点検の結果を受け、一次評価、原因分析、二次評価を6月から8月頃、総合評価を9月頃に行っている。対策としては、総合評価の結果を受け、経過観察と判断した場合はモニタリング計画の立案、詳細調査による再評価が必要と判断した場合は詳細調査計画の立案、修繕が必要と判断した場合は対策工法の立案・設計を年度末の3月までに行ない、次年度以降に修繕の予算要求、施工を行っている(図-1)。

維持管理上の課題としては、対象となる河川管理施設が多く巡視や点検に時間がかかること、出水期前点検から総合評価までに時間がかかること、一次・二次評価で応急的に修繕が必要と判断された場合でも、出水期前での対応が時間的に難しいこと等があげられ、巡視、点検、分析・評価の更なる効率化・高度化が必要な状況にある。

## 2. 維持管理の効率化・高度化の検討

検討では、維持管理の効率化・高度化を図るため、河

川の状態把握における巡視の見直し、点検の見直し、分析・評価における評価の見直しを行っている。あわせて、維持管理体制の見直しを行っている。

### (1) 巡視の見直し

巡視は、対象範囲や項目が幅広く多岐にわたり、加えて限られた時間の中で作業する必要があることから、巡視の精度向上、巡視作業時間の短縮が重要と考え、「巡視方法の見直し」について検討している。

#### a) 巡視方法の見直し(巡視でのUAVの活用)

巡視では一般的に車両又は徒歩による一般巡視、目的別巡視が行われる。狩野川でも車両による一般巡視を週2回以上、車両又は徒歩による目的別巡視を月1回程度、行っている。しかし、対象範囲や項目が幅広く多岐にわたるため、限られた時間の中で全ての範囲、項目に対し、抜け・漏れなく、見落としなく実施することが難しい。

そこで、巡視作業を補完するため、2019年度から目的別巡視でのUAVの活用について検討を開始した。

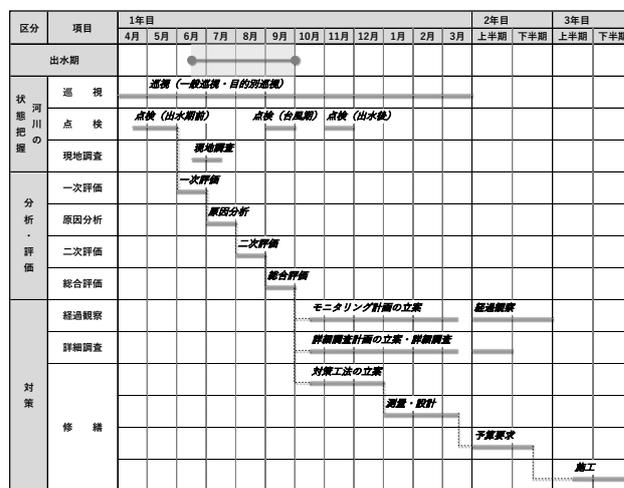


図-1. 狩野川の維持管理サイクル

具体的には、2019年度から直轄管理区間全川において、UAVにより空中動画を撮影し、空中動画から土砂の堆積状況・樹木の繁茂状況の確認、施設の状況確認、河川区域内における工作物等の不法占用・不法係留船の状況確認を行っている。更に令和元年10月に発生した東日本台風では、出水の1週間後に空中動画を撮影し、土砂の堆積状況の確認と塵芥量の把握を行った(図-2)。

空中動画には様々な情報が記録されており、映像を確認すれば河川巡視規程例1)で定められた巡視項目のほとんどを概括的に確認でき、巡視作業の補完、スクリーニングに有用である。また、空中動画は記録された媒体であり、繰り返し映像を確認できること、動画のコピーができることから、確認する巡視項目を変えながら複数の者が同時並行的に作業でき効率化が図れる。各年度の空中動画を比較すれば、経年変化の分析にも活用できる。

2021年度からは巡視計画にUAVによる目的別巡視を正式に位置づけ、年2回、空中動画の撮影を行い、河道や施設の状況把握、河川区域内の不法占用等の把握に活用することとした。出水後においても出水直後に撮影を行い、河道や施設の状況把握に活用する予定である。

## (2) 点検の見直し

点検にあたっては、施設の機能回復を早期に図るため、点検から分析・評価、対策までの早期実施と点検作業時間短縮が重要と考え、「点検時期の見直し」、「点検方法の見直し」について検討している。

### a) 点検時期の見直し

狩野川では、出水期前点検を例年、4月から5月頃に実施している。しかし、狩野川の出水期が6月15日から9月30日であることから、応急的に対応が必要となる異状を発見しても出水期前での修繕が難しい。出水期中や出水



図-2. 巡視でのUAVの活用事例(塵芥量の把握)

区分	項目	前年度			1年度															
		10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
従来	点検																			
	修繕																			
見直し後	点検																			
	修繕																			

図-3. 点検時期の見直し

期後の修繕では、施設の機能回復や効果発現が次のシーズンになることも課題である。

そこで、出水期前点検を前年度12月から1月頃に実施することとした。

点検の時期を見直すことで修繕に必要な期間を確保でき、応急対応が必要な場合でも出水期前に完了することができる(図-3)。加えて、軽微な異状や応急対応が必要な異状を迅速に修繕することで、台風期、出水後等の次の点検での確認数や報告数を削減でき、点検作業の省力化を図ることもできる。

2021年度出水期前点検については、一部を2020年度12月・1月に実施している。2022年度出水期前点検については、全てを2021年度12月・1月に実施し、可能なものは出水期前までに修繕を実施する予定である。

### b) 点検方法の見直し(点検での新技術の活用)

狩野川は施設数が多く、かつ大規模構造物である狩野川放水路があることから、点検に労力と時間がかかっており、点検作業時間の短縮が必要となる。また、施設の評価には経年変化の把握が重要となるため、計測精度の向上や点検結果の記録・管理が必要となる。

そこで、2020年度の狩野川放水路の総合点検で新技術を活用し、点検の効率化・高度化について検討した。

狩野川放水路の総合点検は、完成から50年以上経過し老朽化が懸念されている放水路の現状を詳細に把握するため、構成施設であるトンネル、法面、護岸・開水路、分流堰、バップルピアを対象に5年に1回程度の頻度で定期的実施している(図-4)。検討では、トンネルの点検においてエリアセンサカメラによる画像調査、法面の点検においてUAVによる画像調査、バップルピアの点検において試行的に水中音響カメラによる画像調査を行った(図-5)。



図-4. 放水路の概要

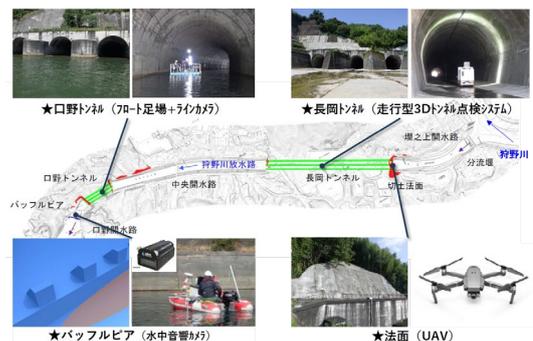


図-5. 活用した新技術

エリアセンサカメラによる画像調査においては、車両の走行が可能である長岡トンネルでは走行型3Dトンネル点検システムで画像を撮影し、常時没水している口野トンネルではフロート足場上にラインカメラを設置し画像を撮影した。撮影した画像から幅1mm以上のひび割れ、断面欠損箇所、漏水箇所の状況が十分に確認できた。一方、断面欠損の深さや浮き、漏水量は確認できないため目視調査で補完した。今回の点検では画像調査3日程度、目視調査9日程度、潜水調査1日を要した。前回、平成24年度の総合点検においては、長岡トンネルは走行型3Dトンネル点検システム等による調査、口野トンネルはフロート足場上のローリングタワーでの人力作業による調査を行っており、前回と比較し点検作業日数の短縮が図れた。加えて口野トンネルでも経年変化の把握のために点検記録として画像を記録することができた。

UAVによる画像調査では、10箇所の法面を対象に、法面に対し正対して画像を撮影した。画像からモルタル吹付の剥離状況や幅数mm程度のひび割れ、漏水の状況、植物の進入状況が十分に確認できた。今回の点検では画像調査1日、目視調査2日を要した。前回、ロープクライミングによる点検と比較し、点検作業日数の短縮、安全性の向上が図れ、画像も記録できた。また、UAVによる画像調査は労力的、作業時間的に比較的容易であるため、今後は目的別巡視で対応可能と判断し、目的別巡視で状態把握ができるようモニタリング計画を作成した。

水中音響カメラによる画像調査では、バップルピアを対象に画像を撮影した。潜水土による潜水調査では十数cmの断面欠損が発見されたが、撮影した画像では確認できなかった。しかし、潜水作業が不要となることから安全性の向上が図れるとともに、水の濁りに影響されず面的に広い範囲で撮影が可能で、画像の記録が可能なこと、構造物全体の状況把握や経年変化の把握のための画像の記録に期待できる。

2021年度からは、法面において、作成したモニタリング計画に基づいたUAVによる目的別巡視で毎年度、状態把握を行う予定である。目的別巡視で得られた画像から異状の有無、変化の進行等を都度、分析し、必要に応じて、総合点検を実施することとし、総合点検を5年に1

回の定期的な頻度ではなく施設の状態に応じた頻度で実施することで、点検の効率化を図る予定である。

### (3) 評価の見直し

河道や河川管理施設等の点検・評価に関しては、「点検・評価要領2」で定められているが、河道、陸閘、排水機場の評価基準については、具体的な記述がないため、「河道の点検・評価方法の立案」、「陸閘、排水機場の点検・評価方法の立案」について検討している。そのうち「河道の点検・評価方法の立案」の検討内容を示す。

#### a) 河道の点検・評価方法の立案

「点検・評価要領」では、河道の点検項目として、流下能力、河床低下、河岸侵食、河口閉塞の4項目があげられているが、具体的な評価基準は示されていないため、狩野川として、河道の状態を適切に評価する方法を立案する必要がある。

そこで、2020年度から河道の点検・評価方法について検討を開始した。

検討にあたっては、特に流下能力に着目し、狩野川で問題になっている土砂堆積と樹木繁茂を検討対象とした。具体的には、5年に1回の頻度で行っている定期縦横断測量を基に不等流計算を実施し、水位縦断面図を作成する。作成した水位縦断面図から、土砂堆積、樹木繁茂が流下能力の低下に大きく影響する箇所を管理断面として抽出する(図-6)。抽出した管理断面に対し、どの幅でどの高さまで土砂堆積や樹木繁茂が生じた場合にH.W.L.に達するか感度分析を行った上で、流下能力許容曲線を作成する。許容曲線は、土砂堆積幅・堆積高、樹木繁茂幅・繁茂高といった諸数値を管理項目とし、条件を超えた場合、流下能力が不足したと判断できるものである(図-7)。

実際の管理では、巡視や点検で管理断面における諸数値を取得し、許容曲線の条件を超えていないか判断し、超えている場合は、土砂掘削、樹木伐開等の対策を実施することとなる。管理断面の設定、許容曲線の作成を行うことで、定期縦横断測量を行わなくても、諸数値を取得するだけで土砂掘削、樹木伐開の必要性が判断でき、出水後等、迅速な対応が必要な状況でも効率的な河道の維持管理につながる。



図-6. 管理断面の抽出イメージ

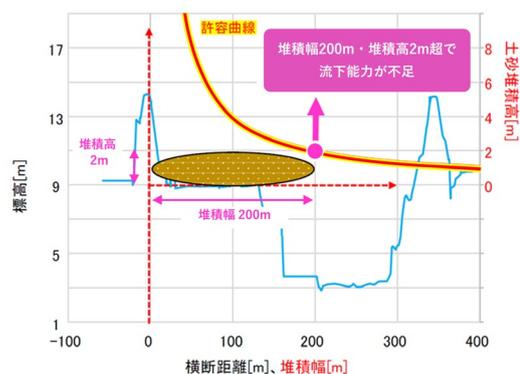


図-7. 流下能力許容曲線のイメージ

今後、2021年度に最新の定期縦横断測量を基に不等流計算を実施し、管理断面を10程度抽出し、許容曲線を設定する予定である。あわせて、空中動画や定点カメラ画像を活用したsfm解析等、諸数値の効率的な取得方法の検討を行う予定である。その後、巡視や点検で定期的に諸数値を取得し、河道の評価、管理を行うとともに、5年に1回の定期縦横断測量の実施に合わせ、不等流計算の実施、管理断面・許容曲線の見直しを行う予定である。

#### (4) 維持管理体制の見直し

維持管理を効率的に実施するためには、情報を一元化・共有化すること、巡視・点検、分析・評価、対策の各段階で情報を的確に伝達することが重要と考え、「維持管理体制の再構築」について検討している。

##### a) 維持管理体制の再構築

河川の維持管理にあたっては、巡視・点検を行う巡視支援業務、分析・評価を行う監理検討業務、設計を行う図面作成業務や設計業務、施工を行う維持修繕工事など様々な発注が行われており、様々な受注者が存在している。そのような中、狩野川での維持管理サイクルの執行では発注毎の独立した作業が行われており、前工程の作業完了をもって次工程の作業開始となる場合が多い。そのため、作業の完了待ちによる非効率な状況や作業の遅延、情報の伝達不足による二重作業や手戻り作業の発生といった課題が生じている。

そこで、関係者が情報の一元化・共有化を図れる環境の整備、関係者が連携し情報を的確に伝達できる環境の整備を目指し検討を開始した。

情報の一元化・共有化では、RiMaDIS（河川維持管理データベース）を活用することとし、分析・評価の受注者にRiMaDISの閲覧やデータの登録・修正ができるIDを付与した。巡視・点検の受注者と分析・評価の受注者がRiMaDISを介し情報を一元化・共有化することで、巡視・点検の受注者が巡視・点検結果を日々、RiMaDISに登録した時点で進捗状況や点検内容の確認ができる。点検報告を待たず次工程の分析・評価を開始することができ作業の効率化につながる（図-8）。

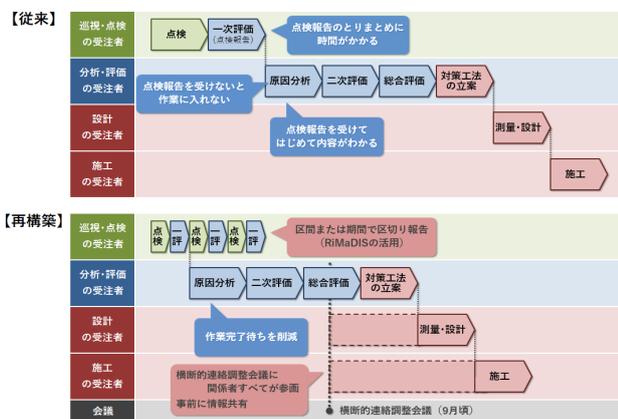


図-8. 作業完了待ちのイメージと対応策

また、情報の的確な伝達では、点検報告が完成しても分析・評価に必要な情報が不足しており、分析・評価時に再度、現地調査を行うなど、二重作業や手戻り作業が課題だった。そこで、巡視・点検作業員向けに巡視点検手引き書の作成や河川点検技術勉強会を開催し、巡視・点検時に必要な情報を確実に取得できるよう体制を整えた（図-9）。

2021年度からは、情報の一元化・共有化として、設計業務の受注者や維持修繕工事の受注者におけるRiMaDISの活用を検討する。加えて、情報の的確な伝達として、突発的な異状に対する迅速な対応が可能となるよう、ウェアラブルカメラの導入検討を実施する予定である。

### 3. おわりに

維持管理の効率化・高度化を実現するためには、要素技術の導入や発注単位の改善では限界があり、巡視、点検、分析・評価、対策に関わる全ての関係者が連携し、維持管理サイクル全体で議論を行う必要がある。その場合、河川の維持管理におけるフロントローディングやコンカレントエンジニアリングの実現を目指すなど明確な目標設定を行うこと、関係者全員が維持管理サイクル全体の流れを理解すること、関係者全員が維持管理サイクルの中でのそれぞれの役割を理解することが重要となる。加えて、巡視、点検、分析・評価、対策の各段階でどのような情報を取得するか、使用するかといった情報の流れを明確にする必要がある。その場合、情報を記録・管理する環境整備を行い、情報を一元化すること、関係者で情報を共有化することが重要となる。

当事務所では、関係者が連携して議論できる場の構築、情報の記録・管理・共有化に留意し、今後も維持管理の効率化・高度化について検討を進めていく。

#### 参考文献

- 1) 平成 23 年 11 月付国土交通省河川局水政課河川利用企画調整官・河川環境課河川保全企画室長：河川巡視規程例について
- 2) 平成 31 年 4 月付国土交通省水管理・国土保全局河川環境課：堤防等河川管理施設及び河道の点検・評価要領

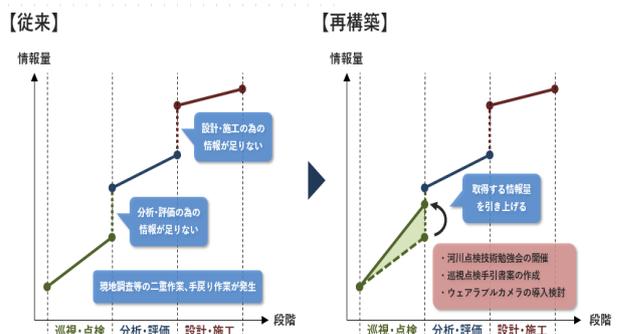


図-9. 情報の伝達不足のイメージと対応策

# 簡単！現場に根付く遠隔臨場

盛永 敏央<sup>1</sup>・濱崎 徹<sup>1</sup>・松尾健二<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州地方整備局 福岡国道事務所 防災情報課 (〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3丁目24-10)

<sup>2</sup>九州地方整備局 防災室 (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目10-7)

少子高齢化の影響により、国内の労働力人口減少が加速する中で、よりよい公共サービスを提供していくために、業務の変革を実施していくことは我が国の喫緊の課題である。そのため、非接触・リモート型の働き方へ転換し、抜本的な生産性向上を図る新技術の導入が急務となっている。

今回は、国土交通省が推進しているインフラ分野のデジタルトランスフォーメーションの一環として試行している遠隔臨場を、工事現場に定着させるための取組みについて報告する。

キーワード 業務改善、生産性向上、建設現場におけるDX、遠隔臨場

## 1. はじめに

国土交通省では、2016年より i-Construction の活用を行っている。これは、建設現場における一人ひとりの生産性の向上、安全性の確保を推進していくことを目的としたものである。昨今では i-Construction に加え、インフラ分野における業務そのものや、働き方を変革し、生産性の向上や働き方改革を通じて安全・安心で豊かな生活を実現することを目的とし、デジタル技術を活用した変革 (DX) を推進している。

その取り組みの1つが遠隔臨場である。遠隔臨場とは、動画撮影用のカメラ (ウェアラブルカメラ等) と Web 会議システムを利用し、「段階確認」、「材料検査」等を行うものである。

国土交通省は、2020年3月に公共工事の建設現場において、遠隔臨場を実施することを目的とした試行要領を発表した。<sup>1)</sup>

加えて、同年には遠隔臨場を推進するための施策が実施された。1つ目は、国土交通省が遠隔臨場にかかる費用を全額負担することである。2つ目は、遠隔臨場資機材の購入のための予算を確保し、国土交通省が準備した資機材を受注者へ貸与できる体制を整えることであった。これにより、遠隔臨場の普及について一段と加速されることが期待されていた。

しかし、遠隔臨場に関するアンケート結果によると、建設現場への遠隔臨場の導入が進んでいないことが浮かび上がってきた。また、結果を解析することにより、導入が進まない理由も明確にすることができた。

今回、アンケートで得られた情報を元に遠隔臨場の導入が進むための対策及びガイドライン (案) の作成を実施した。検討結果については、発注工事で試行し、対策の効果検証を実施している。

今回実施した対策は、他部局においても展開が可能なため、本稿により紹介する。

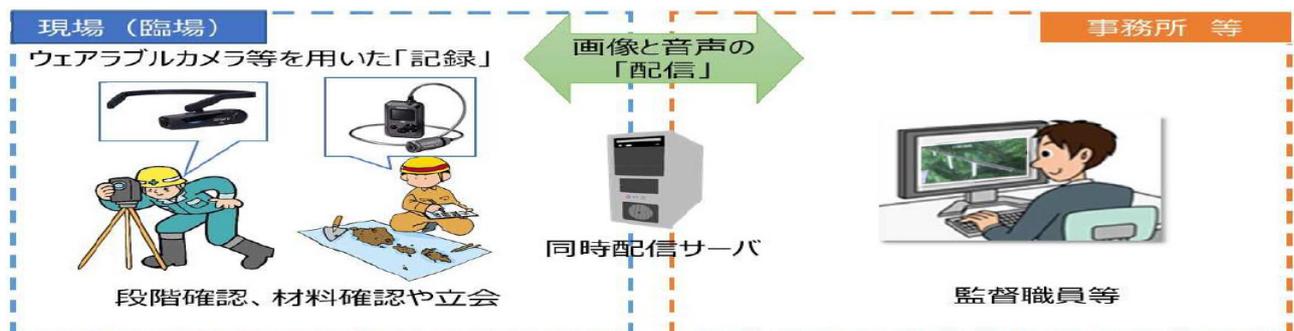


図-1 遠隔臨場概要説明図<sup>2)</sup>

## 2. 実施に向けた課題

2020 年度に工事受注者及び発注者に対して、遠隔臨場に関するアンケートを実施して、現状の課題を聞き取りすることができた。

回答を頂いた 224 件の工事のうち、遠隔臨場を試行導入した工事の割合は約 35%であった。<sup>1)</sup> 試行施策により、国土交通省が費用面を負担し、受注者側の負担がかからない状況を考慮すると、導入率が低いという印象を受ける。

導入を躊躇する要因は複数存在するが、「なにを採用したらいいかわからない」といった回答が最も多かった。

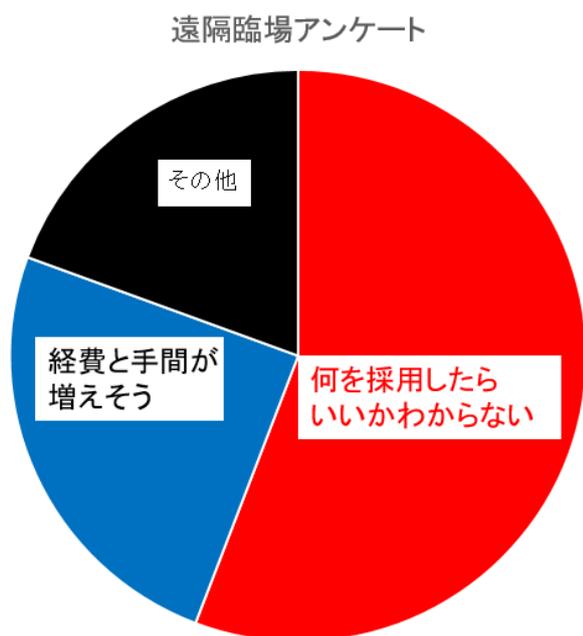


図-2 遠隔臨場を導入しなかった理由<sup>1)</sup>

加えて、遠隔臨場導入により、経費と手間が増えそうといった意見も顕著である。

実際に九州管内で導入された遠隔臨場資機材にかかる費用を解析すると、

最高額	33 万円/月
平均額	8 万円/月

となっている。さらに、携帯電話回線の電波の入りづらい現場では、必要なデータ通信ができず、映像が送信できない事例も報告されている。そのため、現場立会回数なども考慮すると、監督職員が現場に行った方が安価で確実であると判断する発注担当者も多いようである。

また、遠隔臨場機材を操作するため、新たな人員確保が必要になると懸念する受注者も多い。遠隔臨場の概要説明図をみると、ウェアラブルグラスといった普段使い

慣れない機器が示されている。年齢層の高い建設現場においては、最新の ICT 機器を扱える人材確保が難しい現状があるため、遠隔臨場の導入促進が進まない結果となっている。

## 3. 課題解決に向けて

今回、遠隔臨場の導入促進に向けて、下記 3 点を実施した。

- (1) 簡単に操作できるシステムの検討
- (2) 遠隔臨場体験会の開催
- (3) ガイドライン (案) の作成

実施した項目の詳細を次に記述する。

### (1) 簡単に操作できるシステムの検討

システム検討にあたっては、極力日常で使用している資機材から選定することを念頭に置いた。これは、遠隔臨場のみ使用する資機材では、操作の習熟に時間がかかるためである。そこで、現場側の機材としては、スマートフォンを採用することとした。スマートフォン内蔵のカメラと通信機能を使用することにより、特別な操作することなく映像を送信することが可能となる。

また、工事監督職員が映像を受信するアプリケーションとしては、「Microsoft Teams」を採用した。こちらは、コロナ禍において急速に普及したテレワークにより、当該アプリケーションを日常的に使用しているためである。

今回採用した資機材は、遠隔臨場以外の通常業務でも使用しているため、新たな資機材購入の初期費用を抑えることに寄与している。



写真-1 簡単に操作できる遠隔臨場資機材

今回、映像の変化を少なくし、遠隔臨場時の視認性を向上させるため、「スタビライザー機能付き自撮り棒」を採用することとした。この機能は空中から撮影するドローン等にも搭載されており、「回転」、「水平方向」、「垂直方向」への動きをセンサーで感知し、カメラを一定

の向きに保ち、揺れや傾きを大幅に軽減することができる。これにより、映像の変化量が少なくなり、安定した画質及び動作を確保した映像を送信することが可能となる。

大きく動かしてもカメラ向きが一定



写真-2 スタビライザー機能付き自撮り棒

## (2) 遠隔臨場体験会の実施

新しい技術は、写真や文書での説明だけでは相手に伝えることが困難である。そのため、今回検討で採用した機材を事前準備し、「段階確認」で使用する体験会を開催した。体験会に参加した方々からは、「操作が簡単で扱いやすい」「映像が鮮明で計測データもしっかり判別できる」といった意見を聞くことができた。これにより、「なにを採用したらいいかわからない」という段階から1歩前進することができた。

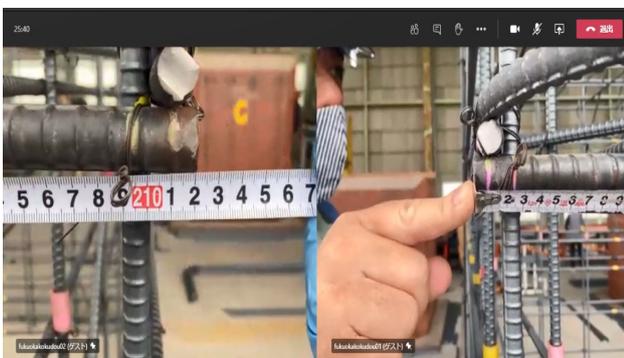
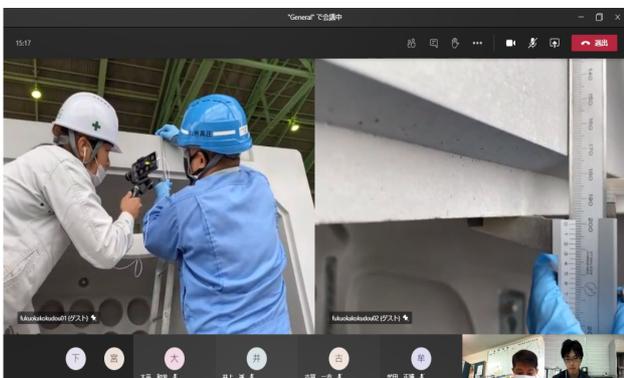


写真-3 遠隔臨場体験会の状況

## (3) ガイドライン（案）の作成

ガイドラインの策定に向けて、以下を考慮した。

- a) 臨場感を実現する規格・機能検討
- b) 現場条件にフィットした仕様の明確化
- c) テレワーク時に遠隔臨場可能なシステム

a)の「臨場感を実現する規格・機能」は、遠隔から現場の状況を的確に把握するために必要不可欠である。現状、「建設現場の遠隔臨場に関する試行要領（案）（令和3年3月）（以下、試行要領と記載）<sup>3)</sup>」では、動画の規格が「640×480以上且つ15fps以上」と定められている。「fps」は、動画のフレームレート規格の単位であり、1秒間に表示される画像の枚数のことを示している。この数値が大きくなればなるほど、動画がなめらかに再生される。その一方でデータ量が大きくなるため、ネットワークに負荷がかかりスムーズに再生されないといったリスクもある。規格採用例として、防犯カメラでは「5fps」、国内の地上デジタル放送では「30fps」、欧州の4K放送では「50fps」が採用されている。そこで、今回規格採用にあたっては、「1920×1080以上、30fps以上」の機材を選定し、監督職員側が普段見慣れているテレビ放送と同じ画質により、違和感なく現場状況を把握できるように考慮した。



【試行要領仕様】

【採用仕様】

写真-4 試行要領仕様と採用仕様の画質の差

また、1台のカメラでは、俯瞰的な現場全体像の把握や、構造物寸法の起点及び終点を同時に確認することが困難な場合がある。そのため写真-3のように、2台以上のカメラを利用し、監督職員が立会時に確認する作業が普段通り実施できる機能を具備することとした。

b)の「現場条件にフィットした仕様の明確化」も、現場の使用環境に耐えることができない機材を排除するために必要である。試行当初「ウェアラブルカメラ等」は、「ヘルメットや体に装着や着用可能（ウェアラブル；Wearable）なデジタルカメラの総称。一般的なAndroidやiPhone等のモバイル端末を使用することも可能」と定義されていた。この記載は、受注者が自由に機材を選定できるというメリットがある一方、現場にフィットしない機材が選択されるというデメリットがある。このため、防水・防塵機能や長時間の運用が可能なバッテリー

性能など、実運用上必要となる規格を明確化し、仕様化することとした。

その一方でウェアラブルグラスといった双方向で情報の共有を実施できる製品はガイドライン(案)の仕様から除外した。理由としては、現場側が図面等の情報を受け取るといった動作は、段階確認等を行う際に不要な機能であった点や、ウェアラブルグラスの視認性が屋外の明るい環境では一段と低下した点が挙げられる。加えて、眼鏡と重ねて使用する場合、安全面や汎用性に欠ける点が見受けられた。以上の点より、「段階確認」や「材料検査」を行うにあたっては、ウェアラブルグラスは適当でないと判断した。



写真-5 ウェアラブルグラス

c)の「テレワーク時に遠隔臨場可能なシステム」は、With コロナ時代における監督業務に必要不可欠な機能である。遠隔臨場の試行当初、工事毎に異なる会議システムが採用されていた。一部の会議システムは、セキュリティポリシーの関係上、職員が普段使用する業務パソコンにインストールすることが出来ず、専用のタブレットやパソコンが必要となった。そのため、監督職員は遠隔臨場のために複数の端末を保有せざるを得ず、在宅勤務などで気軽に遠隔臨場を実施する環境を整えることが出来なかった。



写真-6 工事毎に用意された専用端末

九州地方整備局では在宅勤務時のツールとして、各職員に「Microsoft Teams」のアカウントが付与されている。「Microsoft Teams」は、複数の相手とチャットやテレビ会議を実施することができるツールであり、パソコンだけでなくスマートフォンでも使用することができる。このため、遠隔臨場で使用可能な会議システムを

「Microsoft Teams」に統一することにより、在宅勤務のみならず移動中の車内から遠隔臨場を実施することが出来るようになり、利便性の向上に寄与することが出来た。



写真-7 移動中に遠隔臨場を実施する監督職員

#### 4. 導入結果

検討した機器仕様等を元に、工事受注者と遠隔臨場試行に関する協議を実施した。結果として、所属部署の担当工事の72.7%が遠隔臨場を導入することとなった。

工事後に実施したアンケートによると、すべての受注者より「遠隔臨場を実施することによる時短効果があった」、「今後、遠隔臨場資機材の利用をしたい」との意見があがった。発注者においても、現場までの移動時間を削減することができている。例として、照明灯更新工事では6回の遠隔臨場を行い、合計9時間の移動時間を削減することができた。加えて、移動時間を必要としないため、複数の工事の段階確認を同一の日に行うことが可能となった。また、納入の遅れ等で段階確認を行う日を変更する必要が発生しても、容易に調整を行うことが可能となり、受注者の方にとっても有益だった。



写真-8 材料検査の状況

さらに、アンケート結果によると、使用するシステムについては、「発注者より指定があった方がよい」との意見が83.3%を占めていた。遠隔臨場を普及させるには、「ホームページに活用例の掲載」や「運用ガイドラインの策定」、「使用する機器の説明会を実施した方がよい」といった意見があった。このことから、発注者からより具体的なガイドラインを示すことにより、導入率が上がることが期待できる。

コスト面に関しては、受発注者ともに新たに導入する機器がないため、他で行った遠隔臨場よりも安価であった。発生する費用としては、通信費のみである。これにより、九州管内で行った遠隔臨場における平均月額8万円に対して、約60%のコスト削減となった。

遠隔臨場を行った課題としては、「夜間作業には不向き」という意見が多く寄せられた。また、通信環境により画質に影響があるため、事前の調査及び安定した通信環境の確保が求められる。

## 5. 今後の発展

今後、5G回線の普及により大容量データ通信が屋外でも可能となる。これにより、高品質な映像や音声のやり取りが可能となり、現場の詳細な様子を確認出来るようになることが考えられる。そのような通信バックボーンを利用し、さらなる遠隔臨場の高度化が期待される。

その1つとして、現在360°の映像をリアルタイム送信するカメラの検証を実施している。一般に360°カメラは、送信する映像のデータ量が多いため、「遠隔臨場」における映像のやり取りには向かないが、現場の様子を把握するための手法の1つとして挙げられる。今回試行したカメラはスマートフォンに装着可能であり、複雑な操作を必要としない。監督職員側は、受信した映像を360°回転させ、映像を操作することができる。これにより、現地にいるような感覚で遠隔臨場を実施することができ、工事現場の全体像の把握が容易となる。



写真-9 360°カメラリアルタイム映像送信状況

また、一部のスマートフォンには、対象物との距離を測定できる「LiDAR」というセンサーが搭載されている。「LiDAR」を用いることにより、対象物との点群データを取得出来るため、遠隔での出来形管理への応用が期待できる。さらに、専用のアプリケーションを用いることで、容易に3Dスキャンデータを作成することが可能である。今回試行に使用したアプリケーションでは、撮影からデータの作成までを十数分で行うことが可能であった。作成した点群データは監督職員がブラウザで確認出来るため、在宅勤務先からでも寸法測定を実施することが可能となり、立会の効率化につながる。これまで点群データを取得するために使用されてきたレーザスキャナと比べても安価であるため、小規模構造物を施工する現場において、有力な選択肢の1つになると期待される。



写真-10 LiDAR センサー



写真-11 スキャンの様子

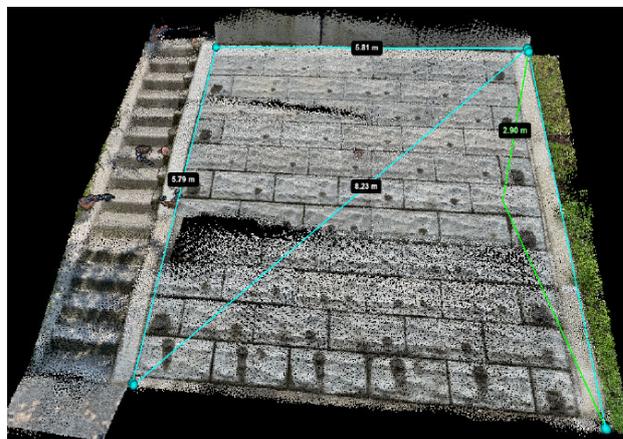


写真-12 スキャンにより作成された点群データ

## 6. まとめ

「建設現場における DX」という言葉を聞くと、難しそうなる印象を持つかもしれない。しかし、DX の目的は最新の機器を導入することではない。機器を活用することにより、業務の変革を実施し「安全・安心で豊かな生活を実現する」ことである。

国土交通省の施工現場において、現場立会を実施することは、工事の品質を確保する上で大切な過程となっている。その一方で、さらなる労働力人口減少を見据え、持続可能な業務となるよう効率化を進めていくことも重要である。その両方の目的を達成するために、遠隔臨場の導入を進めることは、今後の建設産業の発展に必要な不可欠である。

さらに、遠隔臨場といった現場のデジタル化は、建設業界のイメージの変化を促すことになる。その結果、建設業界を希望する人材が増え、人材不足解消への好循環へつながることも期待できる。

今回の取り組みを通して、現場に『新たな技術』を根付かせるには、受注者発注者双方で内容を確認し、意見しあう事が大切だと感じた。これからも、今回の取り組

みを継続し、さらなる業務の変革が進むよう尽力していきたい。

**謝辞：**工事現場への導入が促進される遠隔臨場の試行に関する具体的なガイドライン（案）の策定を行うことが出来たのは、機材やシステムにつきまして意見・改善案を提示してくださいました工事受注者の皆様をはじめとする関係者の方々のご尽力によるものであり、ここに記して、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 一般社団法人九州地方計画協会：  
遠隔臨場アンケート 報告書 2020年
- 2) 国土交通省：  
土木工事等の情報共有システム活用ガイドライン
- 3) 国土交通省：  
建設現場の遠隔臨場に関する  
試行要領（案）令和3年3月

# CyberPort（サイバーポート）による 港湾物流手続きの効率化について

伊是名 興治<sup>1</sup>・本山 凌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>沖縄総合事務局 開発建設部 港湾計画課（〒900-0006 沖縄県那覇市おもろまち2-1-1）

港湾物流分野におけるCyberPort（サイバーポート）は、紙、電話、メール等で行われている民間事業者間の港湾物流手続きを電子化することで業務を効率化し、港湾物流全体の生産性向上を図ることを目的として国土交通省港湾局が構築したプラットフォームである。Cyberport導入に向け、沖縄の港湾において業務の効率化のためにどのような取り組みが必要か考察を行った。

キーワード CyberPort(サイバーポート), 港湾物流手続き, 電子化, 効率化

## 1. はじめに

国土交通省港湾局では、港湾における生産性向上、国際競争力向上などを図るため、港湾物流手続きや港湾管理者との手続きに係る情報、港湾における施設・工事の情報など、あらゆる事業者が情報を柔軟に活用できる環境を構築することを目指し、「港湾物流分野」「港湾管理分野」「港湾インフラ分野」の3分野においてデータ連携基盤「CyberPort（サイバーポート）」を構築している。

このうちCyberPort（港湾物流分野）は、紙やFAX、メールなど非効率な状況が残る民間事業者間の港湾物流手続きを電子化することにより効率的な業務を行い、港湾物流全体の生産性向上を図ることを目的としている。平成30年度から国土交通省港湾局においてシステムの設計・構築を開始し、令和2年末に構築が完了し、令和3年4月からシステム稼働を開始している。本論文では、港湾物流分野におけるCyberPortについて、概要と沖縄の港湾における現状を整理し、導入に向けどのような取り組みが必要か考察した。

## 2. 沖縄における港湾物流の現状

2019年の那覇港総取扱貨物量は、近年の観光客増加により約1,400万トンであり増加を続けている。外貿において、輸出34万トンに対し輸入88万トンと輸入貨物量が多い。内貿において、移出504万トンに対し移入702万トンと移入が多い。

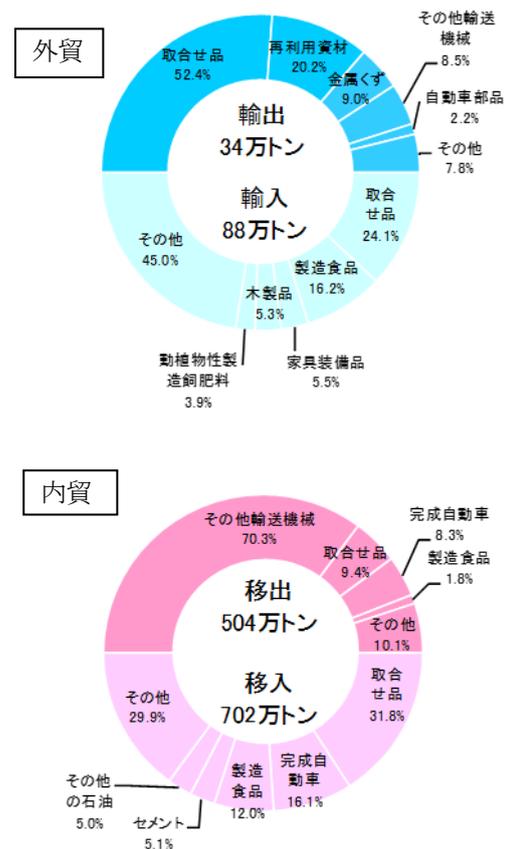


図-1 取扱貨物の品目内訳（2019年、那覇港）

以降、輸入の物流手続きについて流れをみていく。CyberPortは、①到着通知の発行から③空コンテナ返却までにおける一連の手続きに関して電子化を行い、業務の効率化を図るものである。

- ① 到着通知 (A/N) 発行  
【船社】本船が揚げ地の港に到着する数日前に船社は、到着通知 (A/N: Arrival Notice) を輸入者やフォワーダーなどに送付し、貨物の到着予定を知らせる。
- ② 積荷目録 (マニフェスト) 提出  
【船社】税関とターミナルに積荷目録 (マニフェスト) を提出。マニフェストデータは積地にて入力されNACCS※を通じて税関へ送付される。  
※入出港する船舶・航空機及び輸出入される貨物について、税関その他の関係行政機関に対する手続及び関連する民間業務をオンラインで処理するシステム
- ③ ターミナル宛、積荷目録 (マニフェスト) 送付  
【船社】積荷目録 (マニフェスト) はターミナルにも本船入港前に送付される。
- ④ B/L提出 (運賃支払)  
【荷主】船荷証券 (B/L: Bill of Lading) は荷主と船社との間で運送契約を結んだことを証明する書類で、船社へ提出し運賃を支払う。
- ⑤ 揚荷役  
【船社】ターミナルでは、船社から入手したマニフェスト他の資料をもとに、コンテナ船の荷役計画、ヤード内配置計画を作成し、効率的なオペレーションの準備を進める。
- ⑥ D/O発行  
【船社】運賃支払いを確認後、荷渡指図書 (D/O: Delivery Order: 船社が貨物の引き渡しを指示する書類) を発行する。
- ⑦ 卸コンテナリスト  
【船社】コンテナ自体も外国貨物であるため輸入の手続きを必要とする。本船から陸揚げされるすべてのコンテナは、ヤード (税関に認定された保税地域) に搬入する。同時にコンテナ番号などを詳細に記載した「卸コンテナ一覧表」を提出し、コンテナ自体の通関申告を行う。
- ⑧ 貨物搬入確認  
【船社】船積み貨物がターミナルに搬入されたことを税関に申告する必要がある。税関に対して一括搬入手続きを行う。卸コンテナリストとマニフェストを税関に提出し、税関の許可を取得後荷主に対して貨物の引き渡しが可能となる。  
【荷主】輸入貨物の輸入申告は、貨物のターミナルへの搬入確認をしてはじめて税関に対して行うことができる。
- ⑨ 輸入申告  
【荷主】NACCSを通じて申請し、税関の求めに応じ書類を提出する。
- ⑩ 輸入許可  
【荷主】問題なければ、税関は輸入を許可する。こ

れにより貨物は内国貨物となる。

- ⑪ 搬出手続  
【荷主】引き取り前日までに、ターミナルへ所定の様式により搬出オーダーを提出しておく。
- ⑫ 実入コンテナ引き渡し  
【船社】ターミナルは、荷主からD/Oや輸入許可書などの書類を提出してもらい、記載内容について保税台帳やマニフェスト等と照合した上でコンテナの引き渡しを行う。また、コンテナ自体の受け渡しについて、陸運業者との間でEIR (Equipment Interchange Receipt: コンテナの状態が記載された受渡証) を交換する。
- ⑬ 空コンテナ返却  
【荷主】空コンテナを船社指定のバンプールに返却する。  
【船社】返却を受ける際に、コンテナの状態をチェックしたうえでEIRを発行する。

図-2の点線で示した手続きはNACCSを通じて行うことができるが、実線で示した手続きは、主に電話やFAX、メールにて行う必要がある。CyberPortの導入により、実線の手続きをシステム上で行うことができ、必要な書類間で共通する項目は自動で入力され、再入力や照合作業の削減が可能となる。

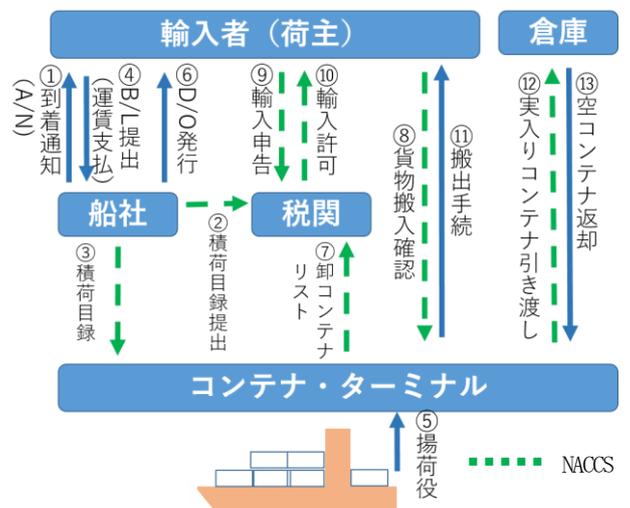


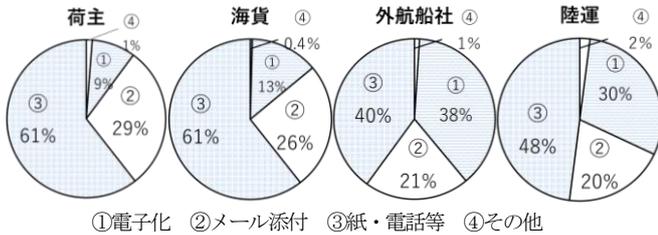
図-2 輸入に関する手続きの流れ

### 3. CyberPortの特長

#### (1) 港湾物流手続きにおける課題

港湾物流手続きは、各社のグループ内や特定の事業者間での電子化は進んでいるものの、港湾物流に関わるいずれの業種においても、約5割の手続きが依然として紙、電話、メール等で行われている現状がある。このため、紙やPDFの情報を電子化するための再入力作業や、

手続状況の電話問い合わせなど、非効率な作業が発生している。また、同様の手続きでも事業者毎に書類様式・項目や接続方法が異なるため、これらに個々に対応する必要がある。



※各業種へのアンケート調査結果より港湾局作成 (N=239社)

図-3 業種別の情報伝達方法

## (2) CyberPortのメリット

### a) 港湾物流手続きの電子化

民間事業者間において紙、電話、メール等により行われている港湾物流手続きが電子化され、書類の作成・送信、データの取得・再入力、問い合わせ等に要する時間の削減が可能となる。また、事業者間で異なる書類様式・項目や接続方法への対応が不要となることで、システムの改修費用が削減できる。

### b) 手続きのトレーサビリティ確保

民間事業者間の港湾物流手続きの進捗状況が可視化される。また、従来よりも早いタイミングでのデータの取得、関係者共有が可能となり、手続きの待ち時間短縮による業務の効率化や顧客へのサービス向上が可能となる。

### c) 各社の事情に応じた利用方法の提供

各社の事情に応じて、①各社のシステムを通してCyberPortを操作する方法（情報連携API）と、②インターネット上のCyberPortの画面（GUI）を直接操作する方法の2通りの利用方法が選択できる。これにより、各社のこれまでのシステムへの投資を無駄にせずCyberPortが利用できるとともに、在宅での物流業務が可能となり、ウィズコロナ時代に対応した業務環境が実現する。

### d) 様々なシステムやプラットフォームとの連携

CyberPortを通してNACCSの手続きを行うことが可能となれば、港湾物流手続きと税関手続きのワンストップ化が可能となる。また、様々なプラットフォームとの連携により、さらなる業務の効率化が期待できる。

### e) データの提供・活用

CyberPortの集計データを活用することにより、港湾物流業務の効率化が期待できる。また新たな港湾政策・物流政策の立案にも役立つ。

## 4. 実証事業について

CyberPortは一連の港湾物流手続きにおいて一定規模以上の事業者が利用し、一気貫通のデータ連携が行えるようになることで初めて効果が発揮される。そこで、国

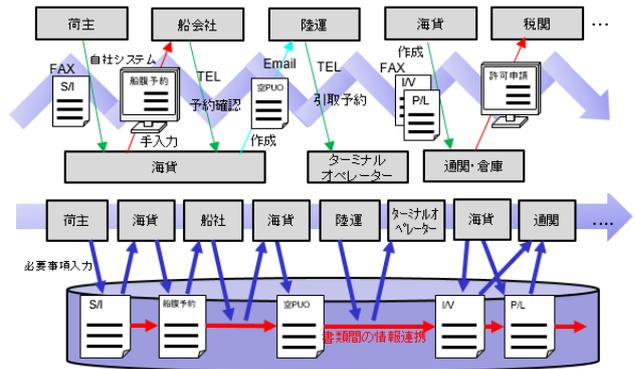


図-4 CyberPort導入前後の手続きの流れ

土交通省港湾局では、CyberPortシステムと各事業者システム間の機能確認・動作性の技術的検証を行い、CyberPortの運用可能性や効果を検証するため、「CyberPort利用促進・運用効率化実証事業」を実施している。

### (1) 目的

港湾物流手続きには様々な事業主別の民間事業者が関り、それぞれ自社の物流業務システムを有している場合もある。CyberPortとこれら物流業務システムをAPI接続させたときに、(i)手続パターンごとに関係事業者間でのデータ連携が可能か、(ii)CyberPortが実務環境において円滑に利用できるか等について確認する。

また、CyberPortのさらなる利用促進や機能改善方策の検討のため、CyberPortの利用効果についても検証を行う。さらに、CyberPortの導入を契機とし、港湾物流に係る手続効率化や商慣習改善といった先導的な取り組みにつながることも期待され、広く提案を募ることとしている。

### (2) 事業スケジュール

スケジュールは以下の通り。実証の期間は令和4年度2月までを予定している。

表-1 事業スケジュール

時期	内容
3月12日	公募開始
5月31日	応募書類提出締切り
6月上旬	有識者委員会
6月中旬	参加者の決定・公表
6月中旬～7月中旬	参加者と実施主体間の契約・調整手続
7月中旬～9月中旬	参加者のシステム改修
9月中旬～令和4年2月	実証の実施

## 5. 博多港物流ITシステム (HiTS) について

全国の港湾の一部では、港湾物流全体の効率化を図るため、独自のシステムを活用しているところがある。一例として、博多港物流ITシステム (HiTS) を挙げ、その概要や特徴について述べる。

## (1)開発の経緯

1990年ごろからコンテナ貨物が急増している博多港では、慢性的なゲート混雑と周辺道路の渋滞が問題となっていた。荷役機械の増車やゲートオープン時間の延長、ヤードの拡張など、ハード面や運用面で対策を行ったものの、解消には至らなかった。そこで、混雑要因の調査を実施した結果、下記のような情報の共有不足の要因があり、これらが全体的な混雑を引き起こしている可能性が高いことが判明した。

- ・輸入コンテナを引き取りに来たが、貨物の搬出許可が下りておらず、ゲート前で許可を待っていた。
- ・貨物の引き取り時期がわからないため、コンテナヤードでコンテナの効率的な蔵置ができなかった。
- ・翌朝一番の配送のため、夕方に引き取りが集中した。

これらは関係者間で貨物の状態や混雑状況の情報を共有することで、解消される可能性がある問題であった。そこで、関係団体により情報共有のためのインターネットを活用した輸入貨物に関するターミナル情報の開示システムづくりが行われ、2000年11月に「博多港物流ITシステム（Hakata Port Container Cargo IT System=HiTS）」が完成し、供用が開始された。

## (2)主な機能と効果

HiTSは輸出入コンテナに関する様々な情報を提供するサービスであり、以下にその主な機能を紹介する(図-5)。

### ① 輸出入コンテナ情報照会

輸出入コンテナについて、基本情報（コンテナサイズ、空返却場所）や本船情報（船社、船名、仕出港）、位置情報（着岸・搬出入時間）などの情報をインターネットを通じてリアルタイムで把握することができる。

### ② 着離岸情報照会

スケジュールの変更が多い船舶動静をリアルタイムで確認することができ、貨物を積んだ船がいつ、どこのターミナルに着岸するかを把握できる。

### ③ CY混雑状況・映像

1分毎に更新されるゲート前映像をリアルタイムで確認することができ、ターミナルの混雑状況を把握することができる。

これらの機能により、ターミナルや海貨業者、陸運業者、荷主など関係事業者が作業計画をたてやすくなった。また、複数の関係事業者が同時にコンテナの最新情報を把握することができるため、電話対応等にかかる時間が減少した。

## 6. 沖縄の港湾における現状と今後の取り組み

沖縄の港湾における電子化の現状を踏まえ、今後必要な取り組みについて考察した。

図-1の通り、沖縄の港湾物流は内貿がメインであるがCyberPortは外貿を対象としており、現時点では内貿を対象としたデータ連携システムは構築されていない。



図-5 博多港物流ITシステムのトップページ

内貿は外貿と比較して手続きが大まかで、紙や電話による手続きが多い現状がある。今後は手続きのフォーマット化や電子化した方が効率的と思われる手続きの電子化を行い、内貿を対象としたCyberPortが構築された際に連携を実現できれば、業務の効率化につながると考える。

外貿については、すでに自社のシステムを開発済みで手続きの電子化がされていたり、メール等で対応する手続きについても関係者間で方法が確立されていたりする場合、CyberPortの導入にメリットを感じられない可能性がある。一方、コンテナや船の動静などアナログ的なことをリアルタイムで把握する手段がなく、把握できれば業務に役立つとの声があった。前述した「博多港物流ITシステム（HiTS）」のように、全国の港湾では、独自のシステムで手続きの進捗状況やコンテナの位置情報の把握を可能にしているところがある。現在のCyberPortは、関係事業者間でデータ連携を行い手続きの効率化を図るものであるが、コンテナの位置情報や船の入港予定などの情報がCyberPortを通じて把握できるようになれば、より利用者のニーズに合ったシステムになると考える。今後も沖縄の港湾利用者にとっての利便性の向上を目指し、さらなる改善が期待される。

## 参考文献

- 1)コンテナ物流の基礎：臼井修一株式会社コスモ・レジェンド
- 2)CyberPort HP：<https://www.cyber-port.net/>
- 3)国土交通省HP「CyberPort利用促進・運用効率化実証事業」  
[https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan\\_kikaku\\_API\\_210312.html](https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_kikaku_API_210312.html)
- 4)NACCS HP：<https://www.naccs.jp/>
- 5)博多港物流ITシステム（HiTS）HP：<https://www.hits-h.com/>

# どきがわ 土器川河口部における高濃度ポンプ式浚渫船を用いた河道掘削及び底泥土処理について

高橋 加奈子<sup>1</sup>・吉村 匡<sup>2</sup>・山本 光昭<sup>2</sup>

<sup>1</sup>四国地方整備局 香川河川国道事務所 道路調査課 (〒760-8546 香川県高松市福岡町4-26-32)

<sup>2</sup>四国地方整備局 香川河川国道事務所 工務第一課 (〒760-8546 香川県高松市福岡町4-26-32)

一級河川土器川水系土器川では、国土強靱化対策の一環として、流下能力向上のため、感潮区間である河口部の河道掘削を実施している。河道掘削土の中には、含水量が多く河川外への搬出が困難な土(底泥土)もあった事から、試験施工として高濃度ポンプ浚渫船による掘削を実施するとともに、掘削土の処分はコスト縮減対策として、袋詰脱水工法を採用し、堤防強化のために法尻の埋戻土として有効活用を図った。

キーワード 河道整備, 河床掘削, ポンプ浚渫船, 袋詰脱水工法

## 1. はじめに

土器川の河口より1.6km付近の飯野箇所の湾曲区間は、その上流部に比べ治水安全度が低い。そのため、右岸堤防の引堤とそれに伴う蓬莱橋の改築及び河道掘削を実施し、下流部の洪水の流下断面を増大させることにより、上下流の治水安全度のバランスを図る計画である(図-1)。引堤工事や橋梁架替は今後数年の間で着手する計画であるため、当面の間は、国土強靱化対策の一環として下流部の河道掘削を優先して実施している。

本稿では、河口から0.8~0.9km付近の河道掘削工事で試験的に実施した高濃度ポンプ浚渫船による掘削と袋詰脱水工法の概要と、施工効果・本格的な活用に向けた今後の課題について報告する。

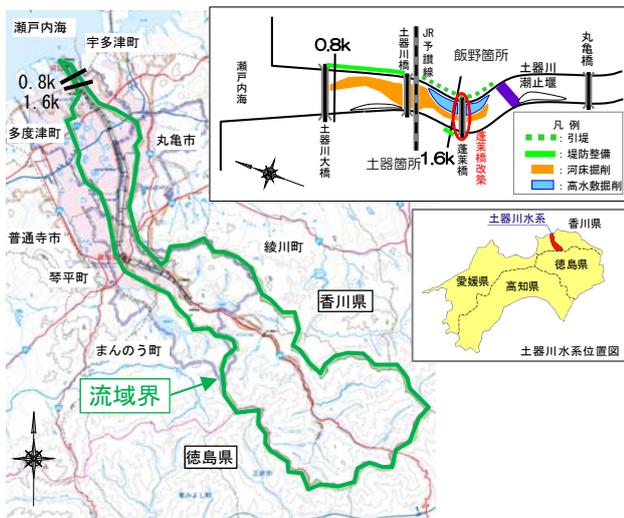


図-1 土器川流域図

## 2. 工事概要と現場状況

【工事名】令和2年度 土器川右岸堤防外工事

【掘削対象土量】1,000m<sup>3</sup>

【掘削工事期間】12月~1月

本工事箇所は河口部の感潮区域であり、満潮時に河床が水没し、干潮時に陸地化する現場である(図-2及び図-3)。また本工事箇所の左岸上流側には、幅10m程度の高水敷(1.0~1.3km付近)が存在する。

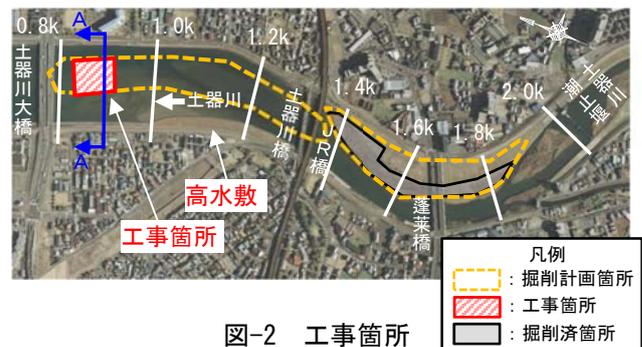


図-2 工事箇所

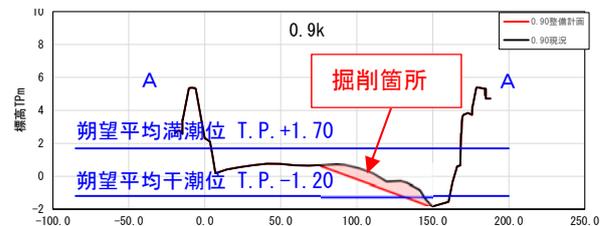


図-3 横断形状と潮間帯の関係(0.9k付近)

### 3. 制約条件

当初計画では周辺での施工実績を踏まえ、バックホウでの掘削、ダンプトラックでの掘削土搬出を予定していたが、実施に当たっては、以下(1)～(3)の制約条件の解決が必要であった。

#### (1) 潮待ちによる施工効率の低下

前述のとおり、工事箇所は感潮区間であるため、潮位の影響を受ける。施工実施時の高松検潮所の潮位予測をみると、潮位が下がり陸上機械が施工可能となる時間帯は全体の約20%である。一方、潮位が上がり水上機械が施工可能(浚渫船の吃水0.9mを想定)となる時間帯は、全体の約30%と陸上機械より約10%多い(図-4)。また、両者ともに施工不可となる時間帯は全体の約50%である。

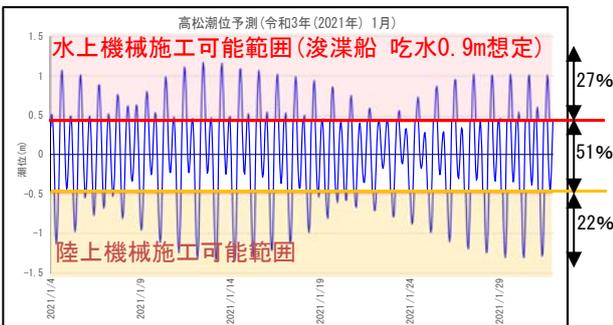


図-4 高松検潮所潮位予測(令和3年1月)

#### (2) 濁りへの配慮とコンクリート工事の制限

土器川河口では、シラス漁や海苔漁が行われていることから、濁水に対する配慮が必要である。漁への影響から濁りが発生するような工事については1月以降からの着手を基本的には求められる。また、水生生物の成育の観点から、河川内におけるコンクリート工事を実施する場合も注意が必要である。

#### (3) 含水量が多く軟弱な土

掘削箇所の土は、含水量が多く、脱水処理無しでは河道外への搬出が困難である。また、コーン貫入試験により工事箇所のトラフィカビリティを確認したところ、表層にバックホウ(コーン指数 $q_c=500\text{kN/m}^2$ 以上)が走行できないほどの軟弱層( $q_c=100\text{kN/m}^2$ 程度)が分布していることが確認された。過去には、バックホウが埋没しかけた事もあり、施工性・安全性の面から陸上掘削機以外の施工方法の検討が必要である(写真-1)。



写真-1 底泥土状況

### 4. 袋詰脱水工法及び高濃度ポンプ浚渫船

前記現場条件と制約条件に対する対策として浚渫船による掘削方法を採用した。陸上機械は、潮待ちにより施工可能時間が水上機械より短く、底泥土に施工機械が埋没する危険性があるが、浚渫船や台船を用いる事により、施工性・安全性の課題解消が期待できる。

一方、今回施工を実施する箇所の掘削土は塩分を含んでいるため、河川外での受入地が見つからなかった。仮に最終処分を行う場合、施工場所から260km程度はなれた山口県の埋立地で処分するしか無く、処分費を含め31,000円/m<sup>3</sup>の費用がかかる。また、今回の掘削土を搬出処理することが可能な最寄りのヤードは、左岸上流側(1.0k~1.3k付近)の高水敷のみであるが、この高水敷は幅が狭く、天日乾燥や機械脱水のプラントを設置するための十分な広さがなかった。河川内における漁業等へ配慮する期間を考慮すると1ヶ月程度しか掘削可能時期が無いことやコンクリート系固化材の使用も困難であった。

#### (1) 袋詰脱水工法の適用

土器川河口域での掘削工事では、今後も掘削土の処理方法が課題となることから、今回の工事で掘削土を有効利用できる方法を模索する必要があった。

四国管内では、徳島県の旧吉野川新喜来箇所において、現場内で発生した掘削土を袋体に充填し、袋体をそのまま低水護岸に利用することで、掘削土の河道内処理を実現したという有効活用の事例がある(図-5)。

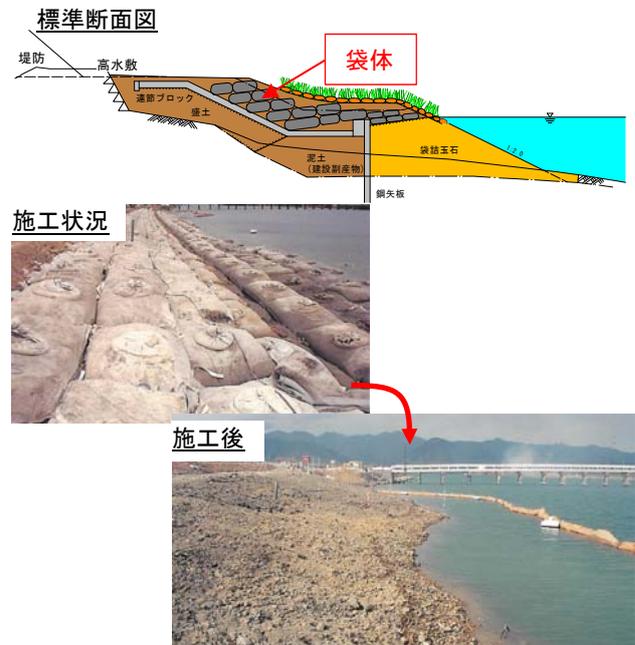


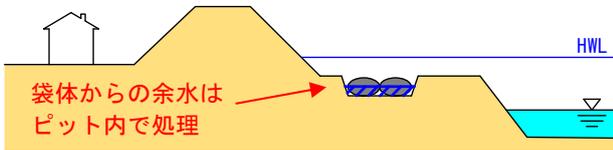
図-5 掘削土有効利用事例(旧吉野川新喜来箇所)

そこで、旧吉野川での事例を参考に、含水量が多く搬出不可だった掘削土を袋詰脱水工法(透水性を

もつジオテキスタイル製袋に高含水比の軟弱土を充填し、土粒子の流れを防止しながら脱水する工法)により脱水処理し、その袋体をそのまま堤防法尻に存置して、掘削土の有効活用と高水敷の侵食対策を両立する処理方法を検討した(図-6)。検討を行った結果、袋体はNETIS登録(番号:QS-19033-A)されている「ジオチューブDS」(幅4.4m×長さ26.0m、容量100m<sup>3</sup>)を使用する事とした。この袋体は、主に浜崖の後退抑止に利用されているものである。

袋詰脱水工法による処理と最終処分する場合を比較すると、袋詰脱水が経済性に優れることを確認した。一方で、浚渫船の施工効率次第では、最終処分を行う方が安価になる可能性も考えられたため、まずは施工範囲を限定し試験的に実施することにした。

①高水敷床掘⇒袋詰脱水処理



②袋体を高水敷に存置し埋戻

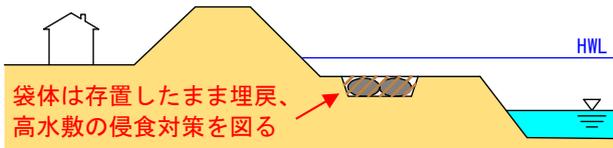


図-6 袋詰脱水の施工イメージ

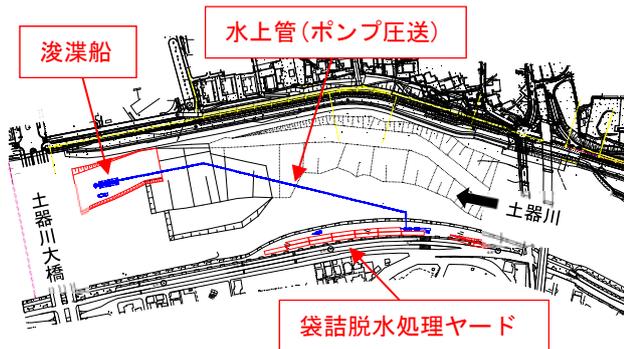
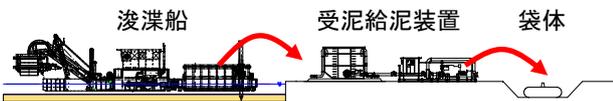


図-7 施工イメージ図

(2)掘削工法の選定

浚渫船の選定に当たっては、川漁やシラス漁の影響を最小限にするため、濁りの少ない高濃度ポンプ浚渫船による掘削方法を採用した(表-1)。

工法の選定後、高濃度ポンプ浚渫に適した掘削土であるか確認するため、粒度試験を実施した(図-8及び図-9)。その結果、砂分・礫分が多くを占めている事から、施工効率の低下が予想されたが、施工

は可能と判断し、その低下率に関しては、この試験施工で確認するものとした。なお、浚渫船は、丸亀港に組立解体ヤードを構え、土器川大橋の桁下を通過し、工事箇所まで航行した(図-10)。また、土器川大橋の桁下クリアランスは約4.5mであるため、浚渫船の航行の際には、細心の注意をはらった(図-11)。

表-1 掘削方法の比較

	グラブ浚渫船 (土運船による運搬)	高濃度ポンプ 浚渫船	バックホウ浚渫船 (土運船による運搬)
吃水の確保	1.2m以上必要 △	0.9m以上必要 ○	1.2m以上必要 △
濁りの影響	影響大 △	影響小 ○	影響大 △
掘削土の排送	潮位により土運船での掘削土運搬ができない恐れ △	空気圧送 ○	潮位により土運船での掘削土運搬ができない恐れ △
袋詰脱水工法への適応	袋体充填までの施工が煩雑(浚渫⇒土運搬⇒陸で掘削土受入⇒受泥給泥装置⇒袋体) △	空気圧送可能なため、袋体への充填が容易(ポンプ圧送⇒受泥給泥装置⇒袋体) ○	袋体充填までの施工が煩雑(浚渫⇒土運搬⇒陸で掘削土受入⇒受泥給泥装置⇒袋体) △
経済性	3,620 円/m <sup>3</sup>	10,700 円/m <sup>3</sup>	3,220 円/m <sup>3</sup>
経済性 (潮位により稼働率が20%に落ちた場合)	18,100 円/m <sup>3</sup>	53,500 円/m <sup>3</sup>	16,100 円/m <sup>3</sup>
評価	△	○(現場条件に合致)	△

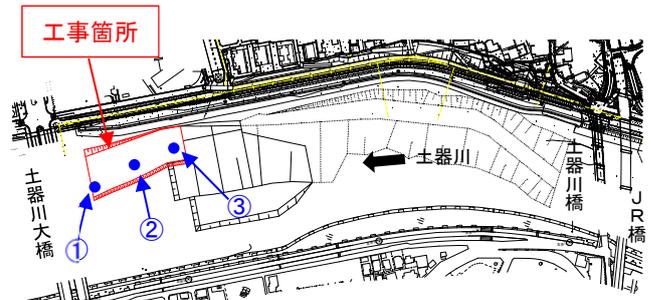


図-8 試料採取位置

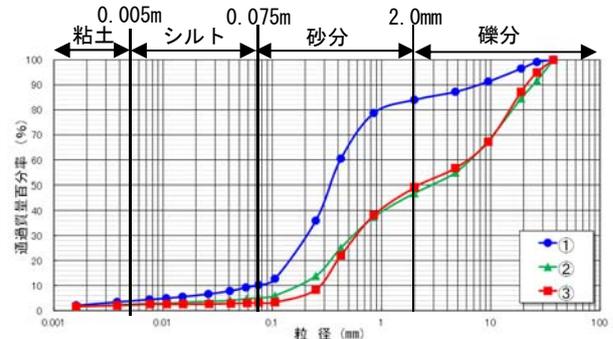


図-9 掘削土の粒径加積曲線

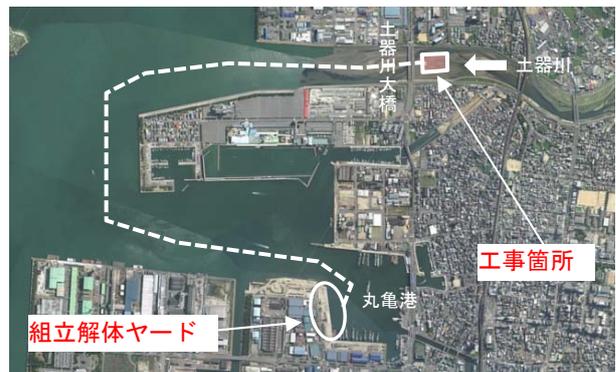


図-10 航行ルート

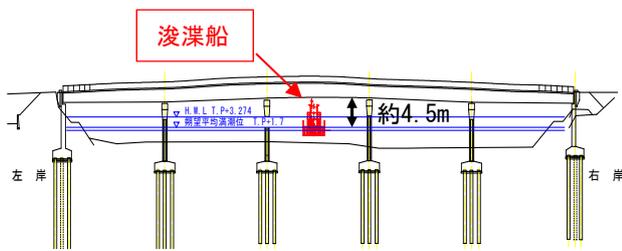


図-11 土器川大橋のクリアランス

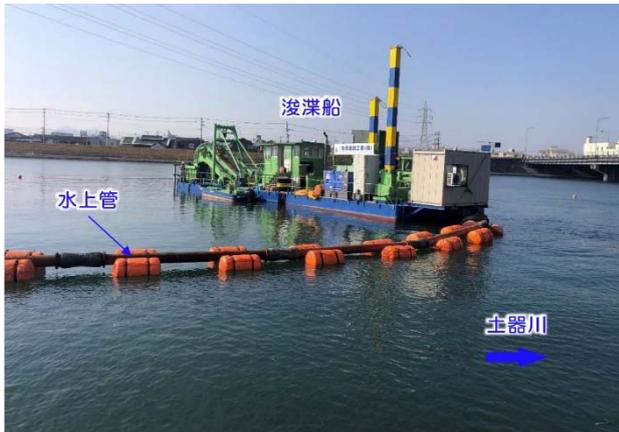


写真-2 河道掘削(浚渫)状況



写真-3 袋体への充填状況その1



写真-4 袋体への充填状況その2

## 5. 施工効果と今回の工事で見えた新たな課題

本工事では、袋詰脱水工法の適用により、掘削土の河道内処理を行うという目的が達成できた。加えて、高濃度ポンプ浚渫船を用いた事により、安全な掘削工事の実施・環境負荷の軽減(濁水発生抑制)・漁業活動への影響軽減効果が得られた。ただ、その一方で、今後の土器川河口域の河道区掘削への本格的な活用に向けて、新たな課題(1)、(2)が確認された。

### (1) 掘削工法の選定

前述のように、本工事箇所の掘削土は、砂分・礫分が多い土質であったため、元々泥土対応の高濃度ポンプ浚渫船では、施工効率が当初想定より大きく低下した。泥土主体であった場合は、作業の効率化が図れた可能性がある(表-2)。今後、どの程度の粒径・バラツキ(均等係数)の土であればポンプ浚渫に適用可能かの知見が求められる。

表-2 施工能力(日当り施工量)の比較

当初想定 of 施工量	170m <sup>3</sup> /日
実際の施工量	35m <sup>3</sup> /日

### (2) 袋体の選定

今回の工事では、袋体から抜け出した掘削土が確認されたため、掘削土の性状(粒径や均等係数等)に適した袋体であるかを確認する必要がある。また、掘削時期が短期であったため施工効率を重視し、100m<sup>3</sup>の袋体を選定したが、この袋体の場合、充填後の運搬が不可能で、二次利用し難い。場合によっては、充填後の運搬が可能かつバックホウで充填可能な袋体の選定(土嚢袋程度)も視野に入れることが必要である。

## 6. おわりに

土器川では、今後も流下能力向上のための河道掘削事業を行っていくため、今回の試験施工で得られた知見を踏まえ施工効率の向上と施工方法の確立を図り、地域の安全・安心を確保する必要がある。そのため、本格的な活用に向けては、『掘削対象箇所の地質調査の充実』、『土質に適した浚渫工法と袋体の選定』が必要である。

掘削土やコンクリート殻等の処理は、建設業における長年の課題であるため、今回の報告が、リサイクル材とした建設副産物の有効活用を検討する上で参考になれば幸いである。

**謝辞:** 本稿の作成にあたり、ご協力及びご助言をいただきました。四国建設コンサルタント(株)の皆様、に、感謝申し上げます。

# 可搬タイプの「車両の経路情報収集装置」の開発

寺口 敏生<sup>1</sup>・小原 弘志<sup>1</sup>・関谷 浩孝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国土技術政策総合研究所 道路交通研究部 高度道路交通システム研究室  
(〒304-0804 茨城県つくば市旭1番地)

国土交通省では、ITSスポット等の経路情報収集装置を用いてETC2.0プローブ情報を収集し、道路管理に活用している。経路情報収集装置は主に高速道路と直轄国道に設置されており、設置箇所から離れた地域のETC2.0プローブ情報は収集されにくい状況にある。そこで、国土技術政策総合研究所では、任意の場所に設置可能で機動的に運用できる可搬型の経路情報収集装置（可搬型路側機）の仕様や運用方法を検討してきた。

本研究では、可搬型路側機の活用促進を目的として、5種類の導入ケースに対応した現場試行を通じて、可搬型路側機の設置場所・方法の検討や設置に係る協議、運用に係る諸手続き等の整理を行った。また、これらの試行を通じて得られた知見を基に、可搬型路側機の運用方法を整理した「可搬型路側機設置マニュアル（案）」と「活用事例集（案）」を作成した。

キーワード ETC2.0, プローブ情報, 経路情報収集装置, 交通流動分析, 渋滞分析

## 1. はじめに

国土交通省（以下、「国交省」という。）では、ITS（Intelligent Transport Systems）スポット等の経路情報収集装置（以下、「路側機」という。）により、ETC（Electronic Toll Collection）2.0車載器（以下、「車載器」という。）を搭載した車両からETC2.0プローブ情報（以下、「プローブ情報」という。）を収集し、道路管理に活用している。プローブ情報には、加減速や方向転換等の車両挙動に加え移動軌跡が記録されており、それら进行分析することで、観光地の渋滞分析や災害時の通行実績把握等が可能である。

路側機は主に高速道路と直轄国道に約3,000機が常設されており、設置箇所から離れた地域のプローブ情報は収集されにくい状況にある。そこで、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）では、高速道路や直轄国道からは遠い観光地や被災地等におけるプローブ情報の収集支援を目的とし、任意の場所に設置可能で機動的に運用できる可搬型の路側機<sup>1,2)</sup>（以下、「可搬型路側機」という。）の仕様や運用方法を検討してきた。

国総研の仕様に基づき作成された可搬型路側機は、平成29年以降、全地方整備局に順次配備されている。しかし、可搬型路側機の利用目的や設置方法、及び運用における留意事項等が十分に周知されておらず、有効活用されていないのが現状である。

そこで、本研究では、可搬型路側機の活用促進を目的

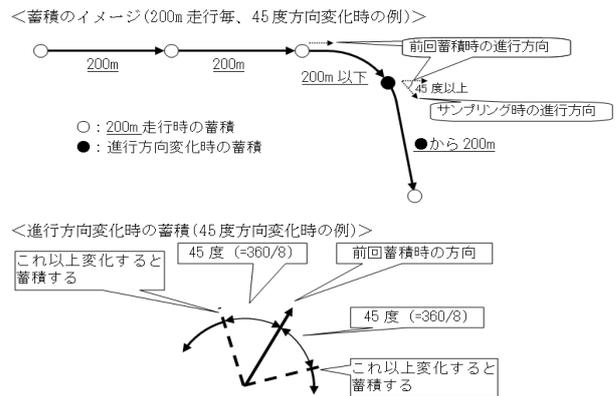


図-1 ETC2.0プローブ情報の走行履歴の蓄積条件

として、5種類の導入ケースに対応した現場試行を通じて、可搬型路側機の設置場所・方法の検討や設置に係る協議、運用に係る諸手続き等の整理を行った。また、これらの試行を通じて得られた知見を基に、可搬型路側機の運用方法を整理した「可搬型路側機設置マニュアル（案）」と「活用事例集（案）」を作成した。

## 2. 研究の概要

### (1) ETC2.0プローブ情報の収集に係る課題

プローブ情報は主に、基本情報（車載器等の固有情報）、走行履歴（時刻、緯度経度）及び挙動履歴（前後

加速度，左右加速度，ヨー角速度）の3種類の情報で構成（図-1）される。このうち，走行履歴には，前回蓄積した地点から200m走行した地点，もしくは進行方向が45度以上変化した地点の情報が蓄積（図-1）される。これらの情報は，車載機のメモリ上に記録・蓄積され，路側機にアップリンクした時点で削除される。車載機のメモリに蓄積可能な2Dプローブ情報は，機種や走行経路にもよるが一般的に約80km分であり，蓄積限界を超えた場合，古い情報から上書き保存される。このため，路側機の設置箇所から遠く離れた一般道のプローブ情報がアップリンクされないまま上書きされて収集できず，必要な分析が行えないことが課題となっていた。しかし，一般道でのプローブ情報収集に必要な数の路側機を設置することは，現実的には不可能である。

そこで，国総研では，簡便に持ち運ぶことができ，任意の箇所に設置可能な可搬型路側機の機能要件を研究した。可搬型路側機により，繁忙期の観光地における渋滞対策や災害発生現場における緊急対応等の場面で，道路交通を機動的に取得することが可能となる。

## (2) 可搬型路側機の特徴

可搬型路側機は，空中線部と無線部の2つの機器で構成（図-2）される。空中線部は，計測箇所道路上に設置され車載機と通信する装置である。無線部は，路車間通信を制御しプローブ情報を取得すると同時に，通信事業者の回線を通じてプローブデータ処理装置に送信する装置である。

可搬型路側機は，外部電源を確保することで，可搬型路側機はスタンドアロンな計測機器として運用できる。また，災害発生現場や一部地域では通信環境が悪いことが想定されるため，無線部内に収集したプローブ情報を蓄積しておき，現場作業員が直接回収する方法で運用することもできる。

以上より，可搬型路側機は，常設型の路側機と比較してより柔軟に特定地域や特定課題に絞った情報収集が可能である。しかし，設置に係る申請や協議等の手続き，現場での設置方法や運用における留意事項等が未整理であり，かつ活用場面や導入効果が不明確である点が課題として指摘されていた。

## (3) 研究内容

本研究では，可搬型路側機の活用場面を「観光地の渋滞把握」，「災害発生時を想定した交通流動把握」，「広域経路選択分析」，「生活道路における交通流動把握」及びイベントに伴う渋滞状況把握の5場面とし，各場面での可搬型路側機の設置地点，設置期間，稼働時間，設置場所，設置方法や電源供給方法等の導入手順を整理した。そして，現地実験を通じて導入方法を検証すると同時に，収集したプローブ情報を用いて導入効果を確認した。

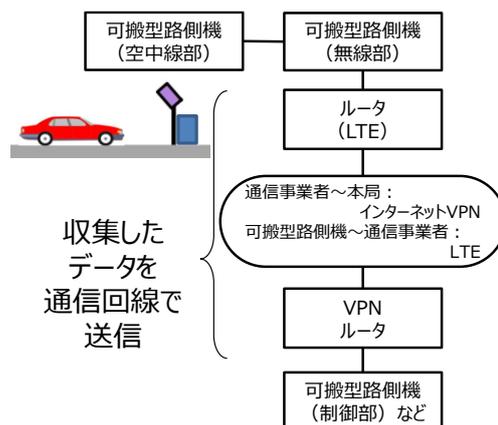


図-2 可搬型路側機の機器構成と主な運用形態

表-1 可搬型路側機の活用場面

No.	調査目的	調査地域
1	観光地の渋滞把握	倉敷美観地区周辺
2	災害発生時を想定した交通流動把握	岡山県総社市，倉敷市旧真備町周辺
3	広域経路選択分析	広島空港周辺
4	生活道路における交通流動把握	岡山県早島町（総合流通業務団地周辺） 岡山県岡山市内（児童通学路周辺）
5	イベントに伴う渋滞状況把握	広島護国神社周辺

これらの研究成果を基に，「可搬型路側機設置マニュアル（案）」と「活用事例集（案）」を作成した。

## 3. 研究成果の概要

### (1) 可搬型路側機の導入手順の整理

可搬型路側機の導入に当たっては，計画立案，設置準備，設置，管理及び撤去の5つの手順が発生する。本研究では，各手順の具体的な実施内容と必要な期間及びクリティカルパスとなる工程を確認した。また，その成果を基にスケジュールを立案し，表-1に示す調査地域に可搬型路側機を設置した。その結果，無線局免許手続き，道路使用許可申請や道路占用許可申請等の行政手続きをクリティカルパスと捉えて前後のスケジュールを調整することが有効であると分かった。

### (2) 可搬型路側機の設置基準の整理

表-1の6地域に可搬型路側機を設置し，ETC2.0プローブ情報を収集した。現場では，既設の建物，自販機，電柱や看板柱等への設置を検討し，各箇所の特徴，課題，選定理由及び非選定理由を整理した。また，適した設置箇所がない場合は，車両を用いて仮設する等の方法を試

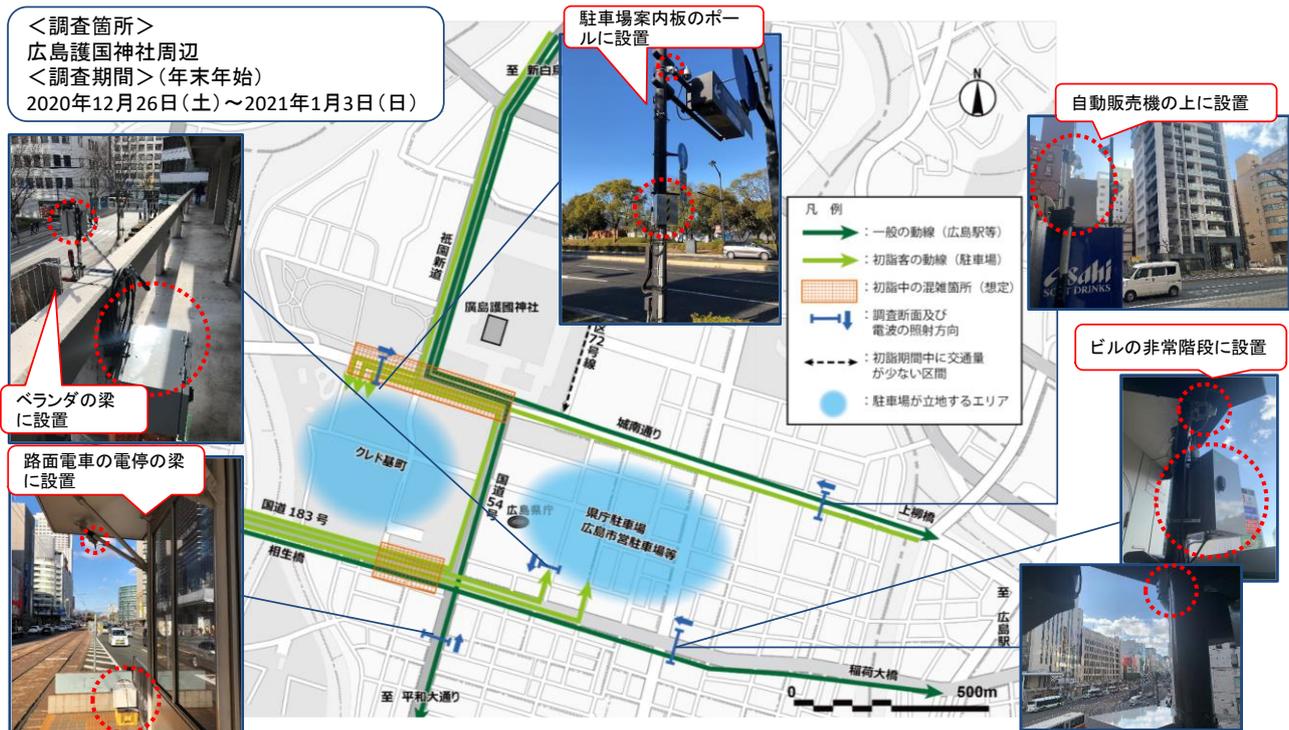


図-3 広島護国神社周辺での実験時の可搬型路側機の設置場所

行し、データの収集に影響がないことを確認した。これらの検討を通じて、可搬型路側機の設置事例を作成するとともに、設置箇所の選定条件を明らかにした。

### (3) ETC2.0プローブ情報の分析

可搬型路側機と常設の路側機で収集したETC2.0プローブ情報を用いて、表-1の各ケースにて、可搬型路側機を設置した場合と設置しなかった場合のそれぞれでETC2.0プローブ情報の取得量の比較を行った。その結果、実験地域、設置箇所や時間帯によってばらつきは大きいものの、可搬型路側機を用いることで、ETC2.0プローブ情報の取得量は一様に増加したことを確認した。これは、常設の路側機が設置された高速道路や直轄国道から離れた地域の交通流動情報の取得量を拡充できたためであると考えられる。たとえば、広島護国神社周辺における実験(表-1のNo.5)では、年末年始の初詣客の来訪により発生する市内の渋滞状況把握を目的として、駐車場への動線上の断面2箇所、広島駅等への動線上の断面3箇所の計5か所に可搬型路側機を設置(図-3)し、2020年12月26日から2021年1月3日における対象地域でのプローブ情報を収集した。そして、高速道路や直轄道路に常設された路側機により取得したプローブ情報のみを用いて分析した場合(図-4)と、可搬型路側機により取得したプローブ情報のみを用いて分析した場合(図-5)の比較を行った。その結果、常設の路側機を用いると、直轄国道沿いのプローブ情報は十分に取得可能であるが、市内中心部の流動や南北方向の流動は十分に捕捉できないことが確

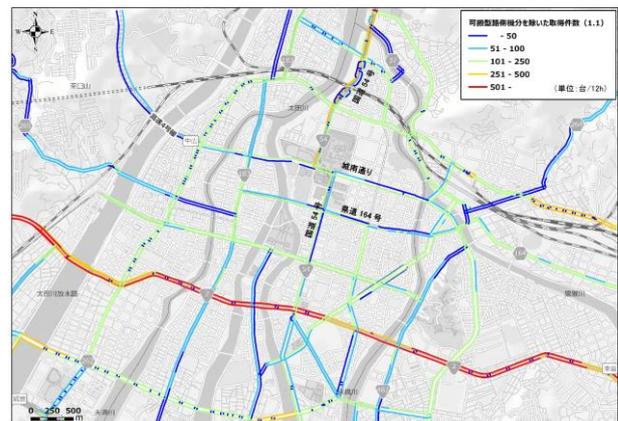


図-4 常設の路側機で取得したプローブ情報の分析結果

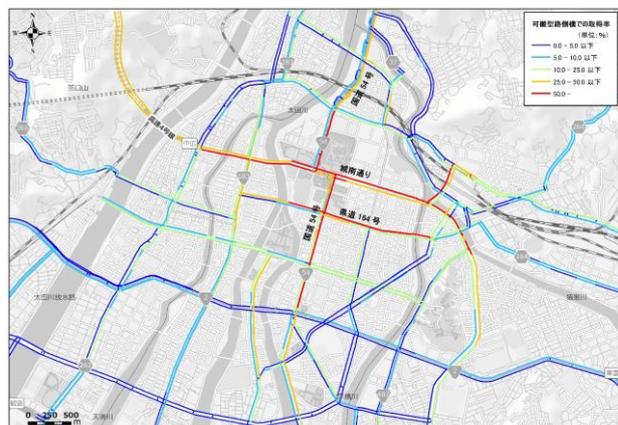


図-5 可搬型路側機で取得したプローブ情報の分析結果

認できた。一方、廣島護国神社周辺に可搬型路側機を設置したところ、市内中心部や南北方向の流動を抽出できた。この実験結果より、可搬型路側機を設置することで、日常的には高速道路や直轄国道等の常設の路側機付近を走行しない車両のプローブ情報を収集し、市街地における交通流動を調査可能であることが確認できた。

また、可搬型路側機の設置効果として、既存の路側機では把握できなかった潜在的な交通需要や訪問者の出発地の把握等、道路の利用実態の確認が可能であることが明らかになった。たとえば、広島空港での実験（表-1のNo.3）にて、付近にある4箇所の駐車場に路側機を設置したところ、各駐車場の日あたりの利用状況の違いや空港に訪問した車両の出発地の分布（図-6）が確認できた。本成果を道路管理者に提供したところ、時期ごとの駐車場需要の違いや効果的な車両誘導等の参考資料として活用できるとの回答があった。

倉敷美観地区周辺での実験（表-1のNo.1）では、観光地での渋滞発生原因として、駐車スペースを探して迷走する自動車の影響を分析するため、大規模駐車場4箇所に可搬型路側機を設置してプローブ情報を収集した。その結果、Uターン後に駐車場を利用する車両が確認出来た。また、駐車場手前から入庫までの所要時間を把握できた。これらの分析結果は、渋滞が発生しやすい地域における詳細な車両の行動を俯瞰し、適切な交通誘導方法の検討に資するものである。

#### (4) 可搬型路側機設置マニュアル（案）と活用事例集（案）の作成

本研究の成果を基に、道路管理者が可搬型路側機を利用する場合に参照する「可搬型路側機設置マニュアル（案）」を作成した。作成にあたっては、現場試行を通じて明らかになった注意事項を含め、下記の項目をとりまとめた。

- ・可搬型路側機の設置・運用に必要な情報や留意点
- ・配置計画の立案の流れ、具体の立案方法
- ・設置場所の地権者等との調整
- ・電波利用申請、道路使用許可申請等、申請手続き
- ・可搬型路側機の固定方法
- ・電源供給方法

同時に、これまでの研究を通じて実施した現地実験より、活用場面と導入効果を整理した「活用事例集（案）」を作成した。活用事例集では、具体的な現地調査の過程、スケジュールや分析方法の他、失敗事例や反省点等の項目を取りまとめた。

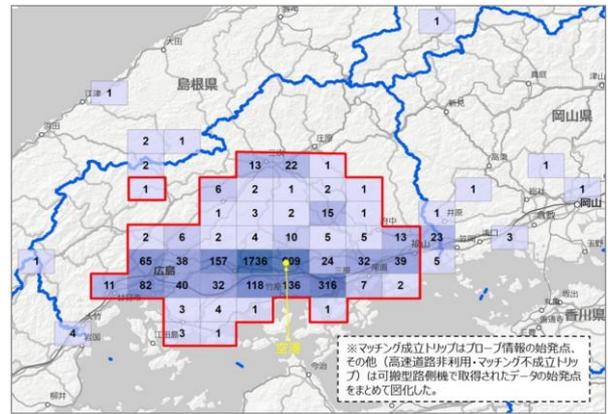


図-6 広島空港への訪問車両の出発地域分布  
(赤枠は広島県内の訪問車両)

## 4. 研究成果と今後の展開

本研究を通じて、「活用事例集（素案）」と「可搬型路側機設置マニュアル（素案）」を作成した。今後は、これらの研究成果を各地整に提供し、可搬型路側機による調査実施の促進に取り組む。また、事例集（素案）を充実させ地方自治体や道路管理者に提供することで、可搬型路側機による地域ITSの導入促進を図る。

### 参考文献

- 1) 小木曾俊夫, 大竹岳, 牧野関谷浩孝: 多様なシーンに機動的に対応できる可搬型 ETC2.0 路側機の開発, 土木技術資料, 土木研究センター, Vol.59, No.4, pp.40-43, 2017.
- 2) 今村知人, 小原弘志, 関谷浩孝: 可搬型路側機を用いた ETC2.0 プローブ情報収集に関する研究, 土木技術資料, 土木研究センター, Vol.62, No.4, pp.53-54, 2020.

- 
- 1) 小木曾俊夫, 大竹岳, 牧野関谷浩孝: 多様なシーンに機動的に対応できる可搬型 ETC2.0 路側機の開発, 土木技術資料, 土木研究センター, Vol. 59, No. 4, pp. 40-43, 2017.
  - 2) 今村知人, 小原弘志, 関谷浩孝: 可搬型路側機を用いた ETC2.0 プローブ情報収集に関する研究, 土木技術資料, 土木研究センター, Vol. 62, No. 4, pp. 53-54, 2020.

# 水位流量曲線（高水部）の外挿に関する検討について

杉村 貴志<sup>1</sup>・宮本 竜一<sup>1</sup>・柳川 航輝<sup>1</sup>

<sup>1</sup>中国地方整備局 河川部 水災害予報センター（〒703-8530 広島県広島市中区上八丁堀6番30号）

水位流量曲線は、連続的に得られている水位観測値より流量を算定できることから長年にわたり、流量を連続的に算出する手法として幅広く用いられている。中国地方整備局においては令和元年度に、水文観測検討会を経て「水位流量曲線の外挿ルールに関する中国地方整備局としての方針」を作成し、一定の条件を満たす観測所においては、外挿領域の適用を可能とした。

キーワード 水位流量曲線、外挿、高水流量観測、水文観測検討会

## 1. はじめに

降水量や水位、水位流量曲線から求めた流量などの水文情報は、河川に関する計画の立案、工事の実施、施設の維持管理等にあたって、必要不可欠な情報である。また、近年では、地球温暖化の進行に伴う気候変化による洪水や渇水等に与える影響が懸念されており、温暖化に伴う様々な影響への対応策を講じるためにも、長期にわたる同一品質の観測データの確保が必要である<sup>1)</sup>。これらの水文データは水文観測業務規程等に基づき、観測・点検・照査を行い、一定の品質が確保されたものを確定値として外部へ公開されている。中国地方整備局での高度照査は、降水量213観測所、水位188観測所、流量125観測所（令和2年度）を実施している。

本報告では、流量データの元となる水位流量曲線について、中国地方整備局として「水位流量曲線の外挿ルールに関する中国地方整備局の方針」（以下、「外挿方針」という）を作成したため紹介する。

## 2. 現状と課題

### (1) 水位流量曲線について

水位流量曲線とは、観測された水位（H）と流量（Q）との関係を示す曲線（回帰式）のことであり、連続的に得られている水位観測値から365日24時間の連続した流量を算出できることから、長年にわたり、流量を連続的に算出する手法として幅広く用いられている<sup>2)</sup>。この曲線は2次式を用いることを標準としており、次の式（A）のとおりである。

$$Q = a(H + b)^2 \dots (A)$$

ただし、a、b：係数

水位流量曲線を用いて流量を計算する場合、当該曲線の作成に採用した流量観測資料の上限値を超え、曲線を延長して求めた流量値を外挿値といい、資料の存在範囲内で算出した流量値を内挿値と呼ぶ<sup>3)</sup>。（図-1参照）河川砂防技術基準（調査編）によると、流量観測範囲を超えた外挿領域への曲線式の適用は行わないことを標準とされている。

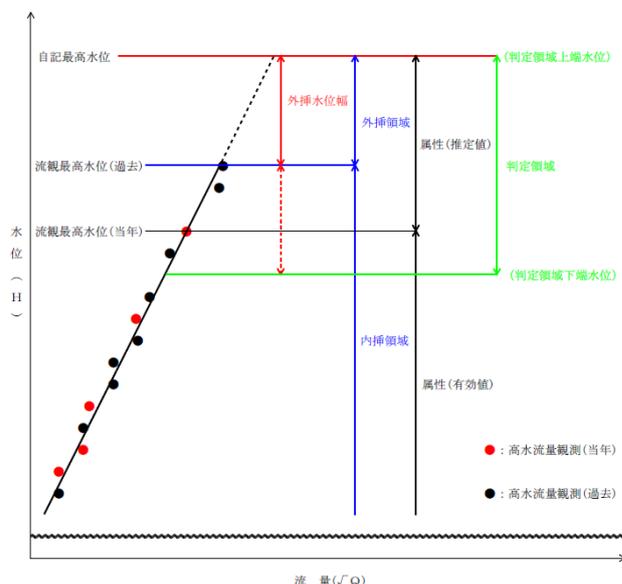


図-1 概念図

### (2) 外挿方針の検討に至った背景

高水流量観測は、主に橋上から浮子を投下し、これを一定距離の区間を通過する時間を計ることにより、流速を求める。観測断面はあらかじめ測量しているため、流速と断面積より流量を算出することができ、この流量観測結果より水位流量曲線を作成している。適切なタイミングで流量観測を実施していない場合、最高水位での流量が算出できない等貴重なデータを失う可能性がある。

また、平成14年4月に行われた「水文観測業務規程(国土交通事務次官通知)」の改定によって、水文観測データの品質確保及びデータの公開等に関する規定が新たに設けられた。これにより、水文観測データの品質照査及び品質管理組織(水文観測検討会)による審議を経ることで、一定の品質が確保された水文観測データの記録・水文水质データベースへの保存及び公開に至る品質管理のプロセスが整った。この中で流量データは、その算出に用いる水位流量曲線について、2.(1)で記述したとおりその作成に使用した流量観測データの範囲内(内挿領域)での適用が標準であり、外挿領域での適用可否についてはルールが定まっておらず、各観測所を所管する事務所がその都度判断し対応してきた。これは、品質管理のプロセスが整備された平成14年以降、平成30年7月豪雨以前に中国地方では広域的な大規模出水が無く外挿について議論する機会がなかったこと、また、適切なタイミングでの高水流量観測ができており、外挿水位幅(図-1参照)自体が小さく外挿しても流量の再現精度には大きく影響しないとされていたことが考えられる。

しかしながら、平成30年7月豪雨では、記録的な豪雨により多くの観測所において氾濫危険水位、中には計画高水位を超える観測所もあった。また、これらの観測所では大規模洪水時の流量観測データを取得するために、高水流量観測が実施されたが、鳥取・岡山・広島には大雨特別警報が発表される状況下であり、観測員の安全を確保するため流量観測の中止を余儀なくされた観測所や同時多発的な道路災害などによって、観測所へのアクセスが困難な観測所も生じるなど、多くの観測所において適切な高水流量観測が実施できなかった。これにより、平成30年における流量の高度照査においては、多くの観測所が事務所毎で判断が異なることとなり、個々の状況を精査し、適用の可否をその都度判断することは、審議に多大な労力と時間を要することや、データの品質確保の観点から課題があるため、中国地方整備局全体でのルールを策定する契機となった。

### (3) 課題

2.(2)より課題は以下の2点である。

- a) 近年の異常気象による豪雨により作業員の安全上、観測所へのアクセスが困難などの理由から浮子観測法による適切なタイミングでの高水流量観測の実施が困難となる状況が増加することで、貴重な水文データ(流量)が失われる頻度が高くなる。
- b) 各事務所(各観測所)毎に外挿に対する考え方が異なる状況が顕在化し、データの品質確保や審議の効率化が必要である。

### 3. 外挿方針の内容について

2.(3)で整理した課題に対応するため、令和元年度の水文観測検討会に諮り中国地方整備局としての外挿方針を定めた。この外挿方針に基づく検討の流れを図-2に、外挿の可否を判断するために設けた〈A〉から〈E〉の各条件については以下に説明する。



図-2 外挿の可否判断に関する検討の流れ

- 〈A〉水位流量曲線(高水部)の作成に使用されている流量観測データのばらつきを確認する。相関係数0.8については、「品質照査の手引き5-7-5」にある水位及び流量観測値のプロット位置のばらつき(低水流観)の基準を準用する。
- 〈B〉流量観測データの中に、当年の高水流量観測データが含まれているか確認する。
- 〈C〉観測所の河川横断面図及び写真などを用いて、判定領域に顕著な断面の変化や粗度特性の変化(例えば河道内の樹木が水没して透過係数から粗度に変化するなど)など、水位-流量の関係を大きく変化させるような要因がないか確認する。
- 〈D〉背水の影響が大きくなると、水位と流量の関係が使用する水位流量曲線(高水部)から外れる可能性が高くなるため、当該洪水時に背水の影響を大きく受けた可能性について確認する。なお、検討条件において検討方法1から3とあるが、検討対象となる観測所ごとに得られるデータが異なっているので、この点を考慮し、背水の影響について確認できればよいこととする。
- 〈E〉マニング式を用いた検討結果と水位流量曲線の外挿によって求めた流量との比較により確認する。また、関係河川事務所において、該当する洪水を対象にマニング式以外の技術的な方法による検討(流出解析など)を行っている観測所では、当該検討結果も用いて比較する。

また、上下流観測所等の時刻流量を用いて整合性を

確認は、〈A〉～〈E〉の条件には含まれていないが、検討対象となる観測所の立地条件により、上下流に適当な比較対象となる観測所がある場合には、それらの整合性を確認しておくものである。

これらの条件を満足する観測所においては、水位流量曲線の外挿により算出した流量を確定値として登録することとした。

#### 4. 平成30年水位流量曲線における検討結果について

3.で示した外挿方針(図-2参照)に沿って、平成30年の水位流量曲線における外挿の可否を検討した。以下に検討結果を示す。

##### (1) 外挿の可否判断が必要な観測所の選定

平成30年の水位流量曲線(原案)を照査した結果、全128観測所のうち流観最高水位が自記最高水位を下回っていた57観測所については、外挿の可否判断が必要となる。ただし、57観測所には低水管理専用の観測所は含まない。

##### (2) A～Cの条件に基づく選定について

- a) 全ての観測所(57観測所)において、相関係数は0.81～0.99とこの条件を満足していた。
- b) 平成30年の高水流量観測実績を調査した結果、16観測所では高水流量観測が1回も行われていなかった。
- c) 観測所の河川横断面図及び写真を用いて調査した結果、36観測所では判定領域に顕著な断面変化が見られた。また、8観測所では平成30年に観測所の河川横断面測量が行われていないため、断面変化の有無を確認できなかった。水位と流量の変化特性を大きく変化させる顕著な断面変化が見られる例を図-3に、見られない例を図-4に示す。

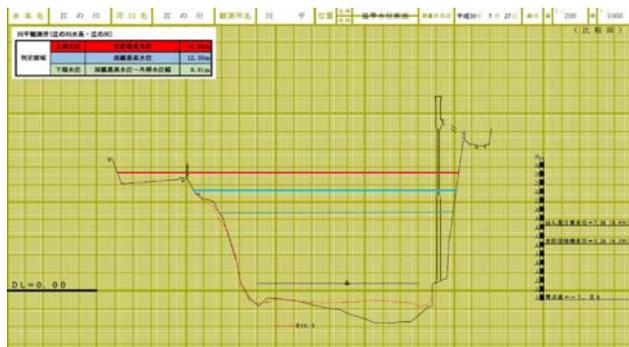


図-3 顕著な断面変化の横断面図

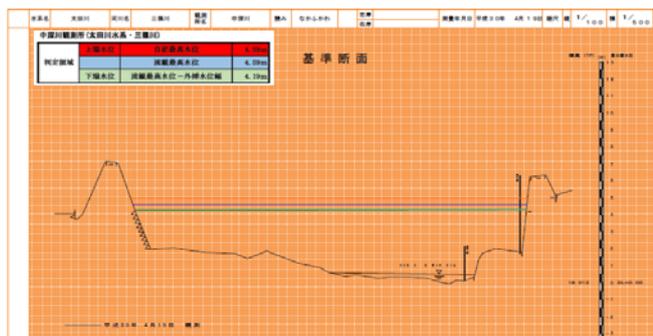


図-4 断面変化がない横断面図

##### (3) Dの条件に基づく選定について

57観測所のうちA～Cの条件を全て満たした10観測所を対象に、Dの条件を満たす観測所を選定するため、下記の3項目について検討を行う。ここでは、背水の影響を大きく受けた可能性が低いと判断した中深川観測所及び同じく可能性が高いと判断した三次観測所の検討結果を用いる。両観測所の周辺状況を図-5(1)及び図-5(2)に示す。



図-5(1) 中深川観測所における周辺状況



図-5(2) 三次観測所における周辺状況

##### a) 過去の高水流量観測結果に基づく洪水時のループによる検討

対象観測所における過去の高水流量観測成果の中から、自記最高水位に近い観測成果を抽出し、洪水時のループを用いて検討する。検討の結果、全10観測所とも過去の高水流量観測成果では、背水の影響を大きく受けている可能性は低いと判断した。中深川観測所における洪水時のループを図-6に示す。

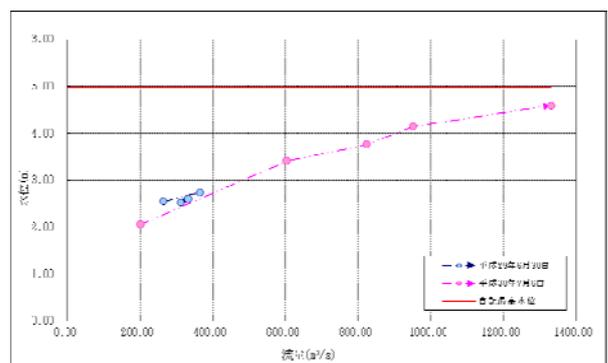


図-6 洪水ループによる検討(中深川観測所)

b) 関係する観測所等の水位波形による検討

本・支川合流及びダム貯水池の水位上昇により背水の影響が想定される6観測所について、関係する観測所等の水位波形を基に、ピーク水位の生起時刻や観測所間の水位差を用いて検討する。検討の結果、江の川水系の三次観測所については、図-7に示すとおり背水の影響を大きく受けている可能性が高いと判断した。また、背水の影響が無いと判断した中深川観測所の水位波形を図-8に示す。

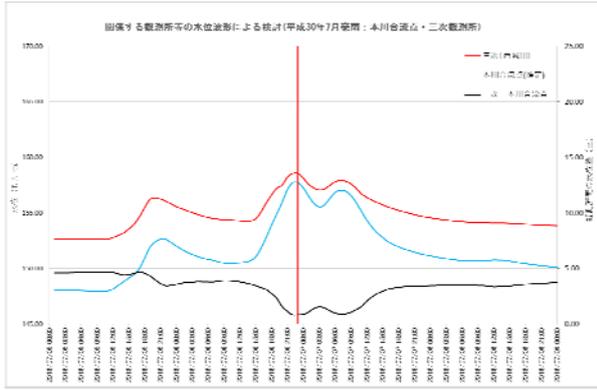


図-7 三次観測所における検討結果

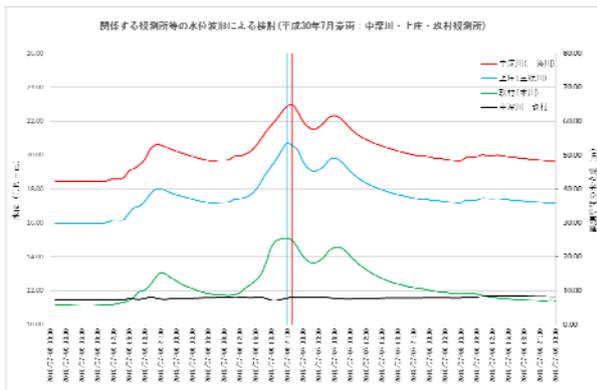


図-8 中深川観測所における検討結果

c) 水面勾配による検討

対象観測所の近傍(同一河川で5km以内)に水位観測所が設置されている4観測所について、各観測所の時刻水位データからピーク時の水面勾配を算出し、対象観測所の平均河床勾配と比較する。検討の結果、三次観測所のピーク時の水面勾配は、当該観測所の平均河床勾配よりもかなり緩くなっていることから、背水の影響を大きく受けている可能性が高いと判断した。三次観測所及び中深川観測所における水面勾配の算出結果を表-1に示す。なお、水面勾配の算出にあたっては、平成30年以降危機管理型水位計の設置が進んでいるため、今後これらのデータを活用することも考えられる。

以上のとおり10観測所を対象に3項目について検討した結果、9観測所ではDの条件を満たしていた。

表-1 水面勾配の算出結果

◆ 江の川水系・西城川 三次観測所～本川合流点

	本川合流点(※)	観測所区間	三次
対象観測所のピーク水位生起時刻	07/06 23:00	←	07/06 23:00
同上時刻の水位(T.P.+m)	157.707		158.546
水位差(m)		0.839	
水面勾配		1/2380	
河床勾配		1/500～1/900	
区間距離(m)		2000	

※：本川合流点の水位は、栗屋及び尾関山観測所の水位データを用いて推定。

◆ 太田川水系・三輪川 中深川～上庄観測所

	上庄	観測所区間	中深川
対象観測所のピーク水位生起時刻	07/06 22:00	←	07/06 22:00
同上時刻の水位(T.P.+m)	20.06		22.99
水位差(m)		2.93	
水面勾配		1/290	
河床勾配		1/370	
区間距離(m)		850	

注1) 表中の「河床勾配」については、「社会資本審議会 河川分科会 河川整備基本方針検討小委員会」で配布された資料から該当する観測所区間の数値を引用。但し、河床勾配の数値が記載されていない場合は、当該資料にある河川縦断図及び平均河床高などを参考にして算出。

注2) 表中の「観測所諸元」は、「水文・水質観測所一覧表 平成27年3月(中国地方整備局)」による。

■ : 対象観測所  
■ : 比較観測所

(4) Eの条件に基づく選定について

A～Dの条件を全て満たした9観測所については、水位流量曲線を外挿領域へ適用して時刻流量を算出し、算出した時刻流量と他の技術的な検討方法によって得られた流量との比較により、Eの条件を満たしている観測所を選定する。

なお、他の技術的な方法としてマンシング式を用いた方法で流量の比較を行うこととし、以下に中深川観測所における検討結果を示す。

1) 検討方法

洪水時の平均流速がマンシング式に従うとすると、流量(Q)は次式(B)で表すことができる。

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^2 \cdot I^{\frac{1}{2}} \cdot A \quad \dots \dots (B)$$

ただし、I：水面勾配、n：粗度係数、A：河道断面積、B：水面幅、R：径深(A/B)

上式において、高水流量観測における水位と流量の関係が概ね1対1に対応(水面勾配の影響を無視できる)し、粗度係数が大きく変化しなければ、式中の(I<sup>1/2</sup>/n)はほぼ一定値になると考えられる。このことに着目し、A～Dの条件を全て満たした観測所を対象に、当該観測所の水位流量曲線(高水部)の作成に使用されている高水流量観測データの中から、顕著な断面変化や粗度特性の変化がないと考えられる水位範囲に属するデータを抽出して、平均的な(√I/n)を逆算により求める。平均的な(√I/n)が求めれば、自記最高水位に相当する河道断面積(A)及び水面幅(B)は観測所の河川横断図から算定できるので、当該水位に相当する流量を容易に算出することができる。

2) 検討結果

(√I/n)逆算結果を図-9に示す。この検討にあたっては、外挿の可否を判断するための条件(C)との整合を考慮し、(√I/n)の逆算には一定の水位範囲に含まれる高

水流量観測データを使用した。図-9に示すとおり逆算によって求めた $\sqrt{I/n}$ は水位によらずほぼ一定値を示しており、検討の前提と一致する結果が得られた。また、逆算によって求めた( $\sqrt{I/n}$ )の平均値を用いて、マンニング式から算出した年最大時刻流量を算出した。年最大時刻流量の算出結果について、水位流量曲線の外挿によって算出した値とマンニング式から算出した値との比率を見ると、一部の観測所を除いて $1.0 \pm 0.05(0.96 \sim 1.01)$ の範囲に収まっており、同程度の算出結果が得られた。なお、中深川観測所では事務所が独自に貯留関数法による流出計算によってピーク流量を推定しており、外挿で求めた流量はこの値ともほぼ同程度であった。

以上より、外挿により算出した流量と上記で検討したマンニング式で算出した流量での検討の結果を表-2に示す。2観測所では、水位流量曲線の外挿により算出した時刻流量と他の技術的な検討により得られた流量とは顕著な差が生じている。このため、水位流量曲線を外挿領域へ適用して求めた流量には、大きな誤差が含まれている可能性が低いと判断し、内挿領域での適用に止めることとした。

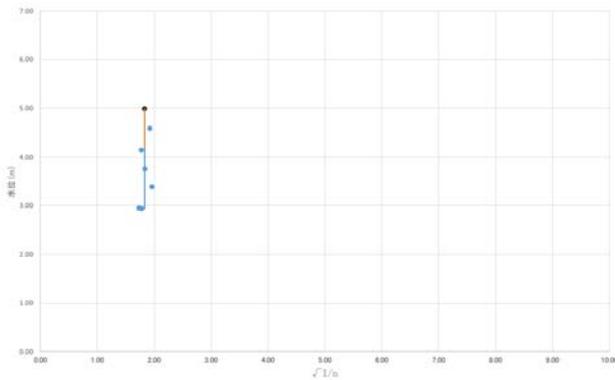


図-9 ( $\sqrt{I/n}$ )逆算結果 (中深川観測所)

表-2 外挿により算出した時刻流量と個別の水理的な検討結果の比較表

観測所名	水位流量曲線の外挿		個別の水理的な検討		流量比 (A/B)
	ピーク流量(A)	同左生起時刻	ピーク流量(B)	同左生起時刻	
福光	451.01 m³/s	09/30 18:00	456.20 m³/s	09/30 18:00	0.99
太宮	163.91	09/30 19:00	161.79	09/30 19:00	1.01
法勝寺	182.46	09/30 19:00	188.86	09/30 19:00	0.97
藤賀	8907.53	07/07 01:00	7482.00	07/07 01:00	1.19
	8907.53	07/07 01:00	8261.49	07/07 01:00	1.08
庄原	966.74	07/06 22:00	1003.34	07/06 22:00	0.96
伊尾	537.00	07/06 22:00	826.86	07/06 22:00	0.65
	537.00	07/06 22:00	496.22	07/06 22:00	1.08
中深川	81579.72	07/06 21:40	1589.00	07/06 21:40	0.99
	1557.45	07/06 22:00	1581.82	07/06 22:00	0.98
後平	547.64	07/06 18:00	545.24	07/06 18:00	1.00
西国橋	444.16	07/05 05:00	442.65	07/05 05:00	1.00

※：他の技術的な検討結果と比較するため、10分水位の最高値を用いて計算。

### (5)上下流観測所等の時刻流量による整合性の確認

5つの条件を全て満たした7観測所については、水位流量曲線を用いて、自記最高水位を記録した洪水時の時刻流量を算出する。中深川観測所の水位流量曲線を図-10に示す。算出した7観測所の時刻流量と上下

流観測所等の時刻流量との比較により、ピーク流量など波形全般の整合性を確認する。中深川観測所での結果を図-11に示す。

確認の結果、全ての観測所について特に問題はないことから、7観測所の平成30年の時刻流量は、水位流量曲線を外挿領域へ適用して算出した流量を確定値とした。

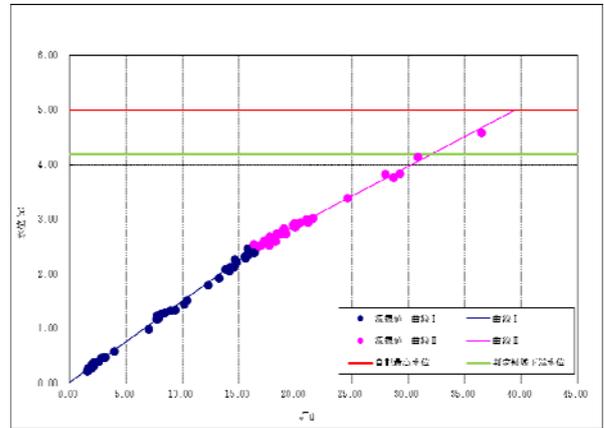


図-10 使用する水位流量曲線 (中深川観測所)

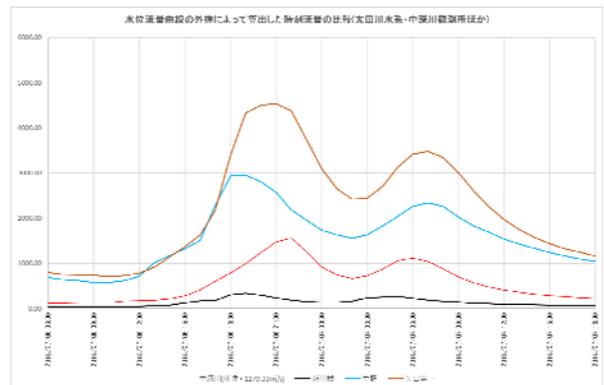


図-11 算出した時刻流量の比較 (中深川観測所)

## 5. まとめ

水位流量曲線を外挿領域で適用して求めた流量に、大きな誤差が含まれないことが技術的に確認できれば、簡便な方法(回帰式)を用いて洪水時の流量を算出・推定することができることの有用性は高いと考えられる。また、統一の基準を定めることで、水文観測検討会での照査の透明性や確実性を確保しつつ、審議の効率化を図っていくことが可能となった。

さらに、正確で信憑性の高い流量の算出範囲が拡大し、例えば基準地点の流量をより正確に把握し、予測精度向上することで、洪水時の早めの住民避難行動へ結びつけることが可能となることが期待できる。

今後、数十年に一度発生するような大規模洪水のデータを確実に観測し、内挿領域でのデータを取得するために、新技術による流速観測を開発、実装する必要があるが、当面は本方針を運用することで貴重な高水流量観測データをなるべく連続的な流量データとして

活かす技術として、引き続き運用方法を検証する必要がある。

**謝辞**：本論文の執筆に際し、（一財）河川情報センター秋山氏に資料提供等ご協力いただきました。また、広島大学大学院内田氏、国土技術政策総合研究所川崎氏、国立研究開発法人土木研究所萬矢氏におかれましては、水文観測検討会において本方針に関してご指導いただきました。御礼申し上げます。

#### **参考文献**

- 1), 2) 河川砂防技術基準（調査編）：国土交通省水管理・国土保全局
- 3) 水文観測（平成 14 年版）：社団法人 全日本建設技術協会

# 港湾分野における消波ブロックを対象とした UAV写真測量の標定点の配置方法に関する検討

小川 雅史<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬3-1-1)

国土交通省港湾局では、「ICT機器を用いた測量マニュアル（ブロック据付工編）（令和2年4月版）」を公表した。しかし、消波ブロック（陸上部）を対象としたUAV写真測量について、同マニュアル内で準用できるとされた他の技術基準類では「計測対象範囲を囲むように外側標定点を配置する」ことを標準としており、消波ブロックを計測対象とした場合、計測対象を標定点で囲むためのコストや危険が大き過ぎた。このため、昨年度において実証実験を行い、外側標定点の外側50mまで±5cmの計測精度が確保される標定点の配置方法等を明らかにした。得られた知見は、消波ブロックを計測対象とした場合における防波堤上部工上への具体的な標定点の配置方法等として同マニュアル（令和3年4月版）に反映されている。

キーワード i-Construction, UAV写真測量, 標定点, 港湾, 消波ブロック

## 1. 背景と目的

国土交通省港湾局では、港湾工事において、建設現場における生産性を向上させ、魅力ある建設現場の創出を目指す i-Construction を推進するための取組みを進めてきた。港湾におけるICT活用工事は、2017年よりICT浚渫工が先行する形で開始され、順次対象工種を拡大すると共に、国土交通省による要領の策定対象範囲も拡大されている。その中で、ブロック据付工（根固ブロック、被覆ブロック、消波ブロック（水中部、陸上部））の数量算出、出来形管理に係る要領については、主に以下の2点を理由に、その策定が見送られた<sup>1)</sup>。すなわち、①既存の出来形管理基準の項目が天端延長のみでありICTを活用した精緻な管理を行うこと自体の必要性や、②ブロック据付工の出来形計測が一連の工事全体の工程の最後になることが多くデータ取得及び処理に要する時間がそのまま工期に影響を与えやすい、などの理由である。一方、戦後高度成長期の量的整備を経て、我が国の消波ブロックのストックは膨大であり、老朽化の進展も止まらない。消波ブロックの移動・散逸によるケーソン本体側壁への損傷等も指摘<sup>2)</sup>されており、供用時に期待された性能を発揮し得る状態が維持されているかを把握するための効率的な計測手法への潜在的ニーズは大きい。

このような中、出来形管理ではなく完成後の維持管理のための完成形状の把握に向けたデータ取得を目的に、「ICT機器を用いた測量マニュアル（ブロック据付工編）（令和2年4月版）」（以下、同マニュアル）<sup>3)</sup>が策定された。しかし、UAV（Unmanned Aerial Vehicle）写真測量の活用を念頭にした消波ブロック（陸上部）のブロック据付形状の計測方法については、幾つかの留意

事項が記載される以外、国土交通省による『「ICTの全面的活用」を実施する上での技術基準類』（以下、他の技術基準類）を準用できる、とのみ記載された。ところが、同マニュアルにおいて準用できるとされた他の技術基準類は、陸上工事を前提としているため、港湾分野への単なる準用は現実的でない場合がある。公共測量の標準的な作業方法を示した「作業規定の準則」（以下、準則）<sup>4)</sup>では、UAV写真測量において『計測対象範囲を囲むように外側標定点を配置する』ことを標準としているが、海に囲まれた防波堤のような港湾構造物を取囲む消波ブロックを計測対象とした場合、そもそも計測対象を標定点で囲むことは難しい。仮に外側標定点で取囲もうとするならば、海上に台船を複数設置した上で外側標定点を設置する必要が生じ、明らかに過大なコストと時間を要する。また、測量技術者が消波ブロック群の四隅等に登り標定点を人手で設置する方法も考えられるが、足場が悪く大きな手間と危険を伴う。

したがって、消波ブロックを対象としたUAV写真測量においては、所要の計測精度を確保しつつ、海上や消波ブロック上への標定点の設置を省略した、港湾に特化した効率的な計測方法の検討が必要となる。海上や消波ブロック上への標定点の省略により、標定点は自ずと防波堤上部工上へのみ設置されることになるが、計測対象である消波ブロックは外側標定点の囲いの外側に配置されることになる。このような消波ブロックが標定点の外側になることによる計測精度への懸念は、港湾独自の課題として既に指摘されていた<sup>5)</sup>ものでもある。近年になり、類似の課題認識を背景とした実証研究<sup>6)</sup><sup>7)</sup>も見られたが、管見する限り、研究成果の社会実装に向けて、同マニュアルへの具体的な標定点の配置方法（設置数と設置間隔）に関する記載を目的に、標定点の配置方法の

違いと外側標定点の外側の計測対象までの距離が計測精度に与える影響に関する明示的な比較評価がされているとは言えなかった。

以上より、本研究では、昨年度、研究成果の社会実装を目的として同マニュアル改訂への反映に向けた実証実験による検証を行った。検証結果は、既に同マニュアル(令和3年4月版)に反映されており、本稿は、改訂の裏付けとなった実証実験の方法と検証結果の一部を述べるものである。

## 2. 測量会社へのヒアリング

はじめに、測量会社へのヒアリングを通じて、消波ブロックを対象としたUAV写真測量における課題等の確認を行った。ICTブロック据付工の試行工事の開始と同マニュアルの公表は、共に2020年度からであり、測量会社においても、消波ブロックを対象としたUAV写真測量の業務実績は非常に少ないことが懸念された。ヒアリング対象事業数を確保するため、海洋調査業務を営む企業等を会員とする一般社団法人海洋調査協会を通じ、同協会会員企業において特に港湾分野のICTを活用した測量業務に精通した企業の中から6社を選定し、同6社による消波ブロックを対象としたUAV写真測量の実績の全件を対象としている。ヒアリング方法は、各社に対し、事前にヒアリングシートを送付し、2020年12月4日～12月24日の間に、電話又はWeb会議により実施した。

ヒアリングの結果、様々な意見の中でも、外側標定点の外側の精度評価や標定点の配置方法の基準化に関する意見が5件と一番多く、次いで、斜め撮影の追加による効果と基準化に関する意見が4件と多かった。近年、斜め撮影を追加することによる高さ方向の計測精度の向上を実証した試験結果<sup>8)</sup>や精度向上の理論的背景に関する考察<sup>9)</sup>なども公表されるようになり、実業界において広く認知されていることが伺える。

本稿では、上記2件の課題への対応を対象とし、防波堤上部工上の標定点における設置方法(設置数と設置間隔)の違い、及び、当該標定点と計測対象である消波ブロックまでの距離が計測精度に与える影響について、それぞれ斜め写真の有無を加味したケースに関する実証実験の概要と検証結果を示す。

## 3. 消波ブロックを対象としたUAV写真測量に関する現地試験

### (1) 対象施設と計測諸元等

消波ブロックを含む防波堤を対象とした実証実験を行うため、東北地方整備局釜石港湾事務所の協力を得て、2021年1月15日に岩手県宮古市宮古港内の竜神崎地区防波堤の約150m範囲をUAV写真測量の計測対象とした。現地試験に使用した機器と計測諸元等を表-1に示す。

表-1 計測諸元等

UAV諸元	機種	Phantom4Pro
	重量	1.388kg
	寸法	350mm
	最大風圧抵抗	10m/s
カメラ諸元	計測機材	UAV備え付けカメラ
		ピクセル数: 5472×3648
		焦点距離8.8mm
撮影方法	地上画素寸法	0.8cm
	撮影方向	垂直 3コース 高度29m
		斜め 4方向 高度21m
重複率	オーバーラップ80%、サイドラップ75%	
実施日		2021/1/15

UAV機種は、Phantom4Pro (GNSS単独測位) を用いた。なお、3.(2)及び3.(3)において配置方法が検討される標定点と検証点の設置の準備として、はじめに基準点測量としてGNSSスタティック観測を行い、2級基準点を2点設置している。この2点を与点とし、標定点及び検証点の位置に対空標識を設置し、標定点や検証点自体の座標は、予め中心座標をトータルステーション(以下TS)による放射法により観測している。対空標識は、30cm四方の十字模様を用いた。

### (2) 標定点の配置方法の検討

準則では、要求する位置精度を実現するための「地上画素寸法」及び標定点の配置方法となる「隣接する外側標定点間の距離」「内側標定点と取囲む標定点との距離」について規定があり、作成する三次元点群の位置精度は、0.05m以内、0.10m以内又は0.20m以内のいずれかを標準としている。また、UAV活用が進んでいるICT土工分野では、「空中写真測量(無人航空機)を用いた出来形管理要領(土工編)」<sup>10)</sup>において、位置精度0.05m以内の三次元点群は出来形管理に、位置精度0.10m以内は起工測量又は岩線計測に、位置精度0.20m以内は部分払い出来高計測にと、その用途毎に、作成する三次元点群の位置精度を設定している。以上の関係を整理したものと表-2を示す。

また、港湾分野へのUAV写真測量の活用における留意点として、写真画像内の海面が占める割合が多い場合、SfM (Structure from Motion) ソフトによる特徴点の自動抽出を困難とし<sup>10)</sup>、三次元点群データの生成に支障をきたすことが知られている。防波堤のように四面を海に囲まれた細長い構造物が計測対象の場合、撮影される写真画像に占める海面の比率を下げるために、UAVの撮影高度は自ずと低高度となる。結果的に、地上画素寸法も

表-2 準則等における位置精度と標定点の配置方法等

	位置精度	地上画素寸法	隣接する外側標定点間の距離	任意の内側標定点とその点を囲む各標定点との距離	(参考) 空中写真測量(無人航空機)を用いた 出来形管理要領(土工編)
パターンⅠ	0.05m以内	0.01m以内	100m以内	200m以内	出来形管理
パターンⅡ	0.10m以内	0.02m以内	100m以内	400m以内	起工測量、岩線計測
パターンⅢ	0.20m以内	0.03m以内	200m以内	600m以内	部分払い出来高計測

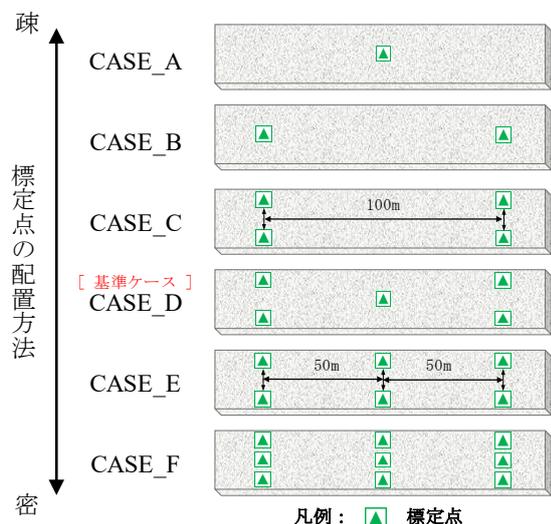


図-1 防波堤上部工上への標定点の配置方法(6ケース)

小さくなり、本実証実験では一枚の画像に占める海面の比率を低減するために地上画素寸法0.8cmと設定した。これは、最も高い位置精度±5cmを要求する際の地上画素寸法であり、準則との関係では表-2中のパターンⅠに対応する。したがって、本実証実験における位置精度の検証は、標定点の配置を変えてSfM処理の結果得られた検証点中心座標における較差が±5cm以内であることを確認することで行う。

以上を踏まえ、現地試験における防波堤上部工上の標定点の配置方法においては、CASE\_A~CASE\_Fの計6ケー

スを設定した。準則に則る表-2中のパターンⅠに基づき、標定点を5点(外側標定点4点+内側標定点1点)かつ隣接する外側標定点間の距離は100m以内に設定した配置方法を基準ケースとしてCASE\_Dを設定した。細長い防波堤上部工では、天端2列に100m間隔で計4点を外側標定点とし、その中央に1点を内側標定点として配置していることになる。

また、生産性向上に向けた標定点の設置作業削減の観点からCASE\_Dから標定点を減じ、標定点を4点、2点、1点としたケースを、それぞれCASE\_C、CASE\_B、CASE\_Aと設定した。なお、CASE\_CはCASE\_Dにおける内側標定点を除いたものである。他方、外側標定点の外側では計測精度が下がることが予想されるが、標定点を密に配置することで、計測精度の低下を防止できるかを確認するために、6点、9点と標定点を増やしたケースをそれぞれCASE\_E、CASE\_Fと設定した。以上、計6ケースの標定点の配置方法について図-1に模式図を示す。

(3) 検証点の配置方法の検討

計測対象(検証点)が、外側標定点の外側にある場合の距離の影響を検証するため、検証点の配置方法を検討した。当初、外側標定点の外側にある消波ブロック上への検証点の設置作業は、梯子に立方体の対空標識(ミラーシール付き)を置き、TSで観測する方法によって行った。この方法により、外側標定点の外側1.5m、3m、17.5mに3点の検証点を設置したが、設置作業に手間を要するなど課題があった。そこで、実際に消波ブロック

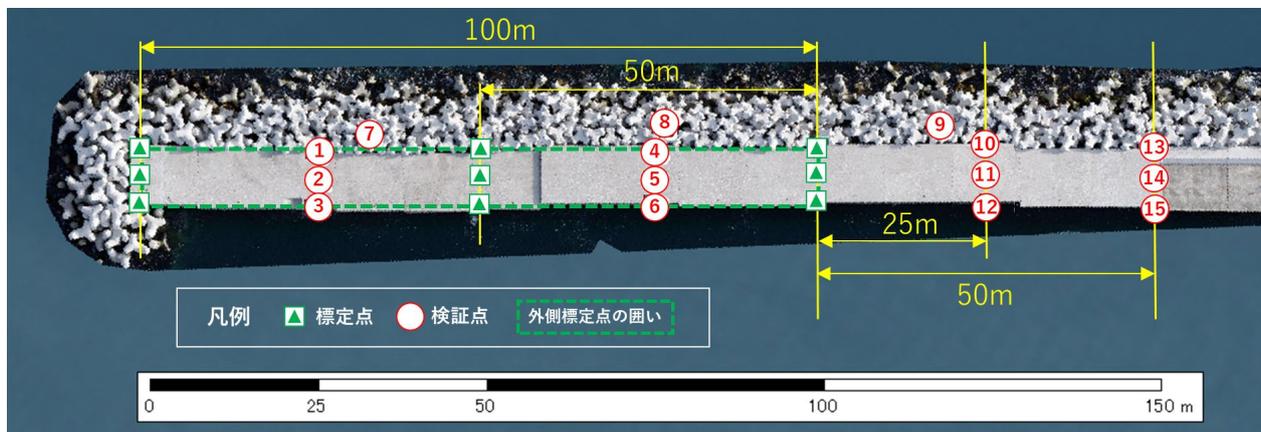


図-2 検証点等の配置状況

上へ検証点を設置せずとも、足場の良い防波堤上部工上に外側標定点の外側へ検証点を設置することで、外側標定点の外側にある検証点までの距離が計測精度へ与える影響は検証可能であるという発想に転換することにより、防波堤上部工上の延長方向に外側標定点の外側25mに3点、50mに3点の検証点をそれぞれ設置した。これらに加え、外側標定点の内側に6点の検証点を配置している。以上より、本現地試験における検証点は計15点となった。現地における検証点の配置方法を図-2に示す。図-2における検証点の番号(①~⑮)の内、①~⑥は、外側標定点の内側であり、準則の標準における計測対象範囲と考えられる。⑦~⑨は、外側標定点の外側(近距離:⑦1.5m, ⑧3m, ⑨17.5m)であり、⑩~⑫は外側標定点の外側(中距離:25m), ⑬~⑮は外側標定点の外側(遠距離:50m)となっている。これにより、外側標定点の内側から、外側は1.5mから50mまでの距離における計測精度を比較検証することができるようにした。

#### 4. 検証結果

標定点の配置方法(設置数と設置間隔)と外側標定点の外側方向への距離が計測精度に与える影響について比較検証を行う。

外側標定点の外側方向への距離が計測精度に与える影響は、検証点①~⑮における計測精度の差異として評価され、標定点の配置方法の影響は、CASE\_A~CASE\_Fによ

る差異として評価される。また、斜め方向の撮影を加えることによる計測精度への影響は、撮影方向が垂直方向のみの場合との計測精度の差異として評価される。なお、計測誤差は、高さ方向の誤差が水平方向の誤差に卓越しているため、本稿では、高さ方向の計測誤差を対象とした検証結果を述べる。

高さ方向の計測精度を、図-3及び図-4に示す。なお、図-3は撮影方向が垂直方向のみ、図-4は斜め方向の撮影を加えた場合であり、誤差の値は絶対値を用いている。

CASE\_A~CASE\_Fにおいて、標定点の数が少ない程、外側標定点の外側への距離が計測精度に与える影響が大きいことが分かる。斜め方向の撮影を加えてもCASE\_Aでは、外側25m(検証点⑩~⑫)で1m以上、外側50m(検証点⑬~⑮)では1.5m以上の誤差を生じている。CASE\_Bでは、撮影方向が垂直方向のみの場合は、外側50mで±10cm以上の誤差が生じるが、斜め方向の撮影を加えることで、全ての検証点において±10cmを達成している。また、CASE\_Cでは、撮影方向が垂直方向のみでは、外側50mで±5cm以上の誤差を生じるが、斜め方向の撮影を加えることで、全ての検証点において±5cmを達成しており、CASE\_D~CASE\_Fでは、斜め方向の撮影を加えるか否かに関わらず、全ての検証点において±5cmを達成している。なお、基準ケースであるCASE\_Dよりも標定点の配置を密にしたCASE\_EとCASE\_Fによる外側標定点の外側における精度向上の効果は微小であり、CASE\_Dより標定点を密に配置する明瞭な意義は認められなかった。

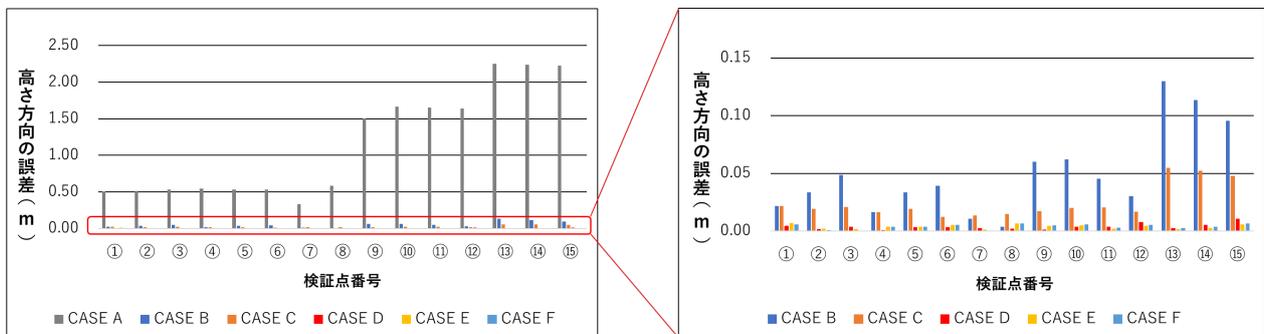


図-3 検証点における高さ方向誤差(撮影方向:垂直のみ)

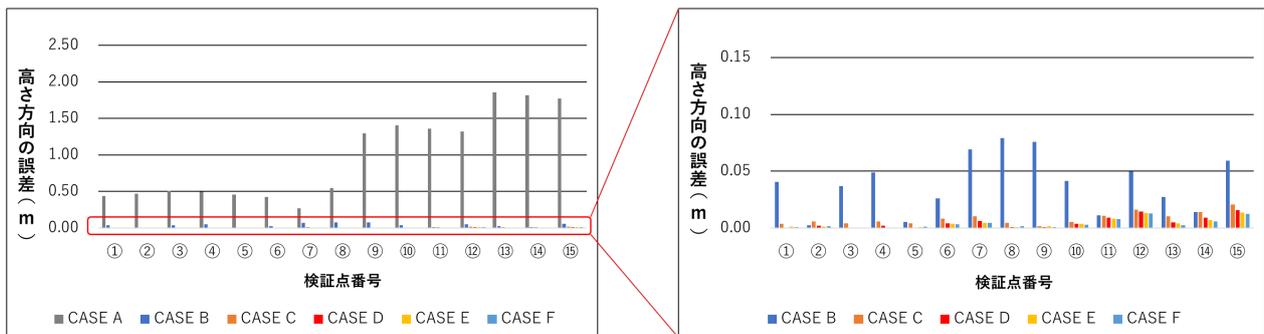


図-4 検証点における高さ方向誤差(撮影方向:垂直+斜め)

以上の結果から、外側標定点の外側50mまでを計測対象範囲と想定した場合、基準ケースであるCASE\_Dであれば、斜め方向の撮影を加えずとも外側50mまで±5cmの計測精度を達成するとともに、斜め方向の撮影を加えるのであれば、CASE\_Cであっても外側50mまで±5cm精度を達成することが確認された。

## 5. まとめ

本稿が対象とする実証実験による検証結果は、既に同マニュアル改訂の根拠として採用され、同マニュアル（令和3年4月版）<sup>12)</sup>において、p13「標定点は、100m以内毎に防波堤幅の両端2列に外側標定点とその内側に1点の内側標定点を配置することを標準とする。また、検証点は200m間隔以内で最低2点以上設けることを標準とする。なお、検証点は標定点とは別に設置する必要がある。これらの標定点及び検証点は消波ブロック上には配置しないことも可とする。」、p12「位置精度向上が期待されることから、斜め写真の撮影を加えて実施することを推奨する。」ことが明記された。

本検証が対象としたような既存の基準類とは異なる基準を示すにあたっては、根拠となる様々な条件下での検証結果を蓄積していくことが重要であり、継続的な検証及び情報収集が求められる。

謝辞：ヒアリングでは、一般社団法人海洋調査協会会員企業の皆様に、現地試験では、東北地方整備局港湾空港部港湾空港整備・補償課及び釜石港湾事務所の皆様にご協力を頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1)国土交通省港湾局：第1回 港湾における i-Construction 推進委員会配布資料，2020.11.  
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/Shiryu.pdf>, 2021.4.16閲覧
- 2)坂田憲治・井山繁・藤井敦・宮田正史：点検診断の劣化度判定結果による消波ブロック被覆堤本体工側壁の変状傾向に関する一考察，国土技術政策総合研究所資料，Vol. 918，2016.
- 3)国土交通省港湾局：ICT機器を用いた測量マニュアル（ブロック据付工編）（令和2年4月版）  
<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11520294/www1.mlit.go.jp/kowan/content/001335216.pdf>, 2021.7.30最終閲覧
- 4)国土交通省国土地理院：作業規定の準則（令和2年国土交通省告示第461号）  
[https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/r2/r2\\_junsoku.pdf](https://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/jyunsoku/pdf/r2/r2_junsoku.pdf)，2021.4.16最終閲覧
- 5)吉田英治・井山繁・鈴木啓介：港湾分野におけるi-Construction推進のための3次元データ等の活用に関する検討，国土技術政策総合研究所資料，Vol. 1024，2018.
- 6)川口真吾・鶴田修己・高阪雄一・岡崎裕・朝比翔太・酒井和也・鈴木高二朗：UAVを用いた港湾構造物の計測技術に関する検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 75, No. 2, pp.I\_121-I\_126, 2019.
- 7)西広人・琴浦毅・堺浩一・今野洋幸：UAVを用いた消波ブロックの測量手法に関する検討，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 76, No. 2, pp.I\_690-I\_695, 2020.
- 8)菅井秀翔・宮地邦英・中村孝之・南秀和・橘克巳：UAVを活用した写真測量の精度検証，国土地理院時報，No.129, pp.147-157, 2017.
- 9)神野有生・宮崎真弘・八田滉平・福元和真：UAV写真測量のSfMにおける斜め撮影の導入に関する基礎的シミュレーション，日本写真測量学会平成30年度秋季学術講演会発表スライド，2018. [http://web.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~kanno/pdf/7-1.slide\\_JSPRS\\_181108.pdf](http://web.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~kanno/pdf/7-1.slide_JSPRS_181108.pdf), 2021.8.29最終閲覧
- 10)国土交通省：空中写真測量（無人航空機）を用いた出来形管理要領（土工編）（案）（令和2年3月）  
<https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11547459/www1.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan/content/001336357.pdf>, 2021.7.30, 最終閲覧
- 11)国土交通省国土地理院：UAVを用いた公共測量マニュアル（案）（平成28年3月），pp32.  
[https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9969171/psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/doc/uav\\_manual\\_160330.pdf](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/9969171/psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/doc/uav_manual_160330.pdf), 2021.7.30最終閲覧
- 12)国土交通省港湾局：ICT機器を用いた測量マニュアル（ブロック据付工編）（令和3年4月版），  
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001397878.pdf>，2021.7.30最終閲覧

# 水門運転状態管理・診断システムによる IoTを用いた状態監視保全への取り組み

櫻庭 崇紘<sup>1</sup>・溝田 博信<sup>2</sup>・藤田 正樹<sup>3</sup>・鈴木 良彦<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (独) 水資源機構 荒川ダム総合管理所 滝沢ダム管理所 (〒369-1901 埼玉県秩父市大滝3021)

<sup>2</sup> (独) 水資源機構 長良川河口堰管理所 機械課 (〒511-1146 三重県桑名市長島町十日外面136)

<sup>3</sup> (独) 水資源機構 木津川ダム総合管理所 高山ダム管理所 (〒619-1421 京都府相楽郡南山城村田山字ツルギ43) .

機械設備の予防保全として時間計画保全と状態監視保全が行われているが、前者は機器の劣化状態が正確に反映できず、オーバーメンテナンスの恐れがある。一方、後者は過剰な機器更新を控えることができるが、機器・部品等の適切な更新時期の決定に課題がある。

長良川河口堰ではゲート設備に水門運転状態管理・診断システム（以下「システム」という。）を導入し、電動機の電流値等のデータ蓄積による開閉装置の長期的な傾向管理を実施してきた。2019年度からIoTを用いたリアルタイム運転状態監視機能を追加し、異常値検出の際の通知や、機器の振動波形分析による不具合部品の推定など新たな取り組みが進められている。

キーワード リアルタイム運転状態監視, IoT, 傾向管理, 状態監視保全

## 1. はじめに

水資源機構における機械設備管理は、その重要性から故障発生前に整備・更新を行う予防保全が主体である。

予防保全には時間計画保全と状態監視保全があり、時間計画保全は運転時間や経過時間に基づき保全する簡便な管理手法であるが、継続使用が可能な機器まで更新されるオーバーメンテナンスが危惧される。一方で動作確認や点検・計測を通じた機器等の状態や劣化傾向から保全を行う状態監視保全は、適切な機器状態を把握することにより、設備の長寿命化及び合理的な更新計画の立案が可能となる。水資源機構が機械設備を良好な状態に維持し、正常な機能を確保するために自ら定める「機械設備管理指針」<sup>1)</sup>においても、管理運転や定期点検等による傾向管理の重要性を示している。傾向管理は、管理運転のデータや機器を分解し摩耗計測する確認方法が一般的であるが、管理運転は実運転と状況が異なることや、堰ゲートのような大型の設備では分解点検に多額の費用が発生する等の問題点があることから、実用的な傾向管理手法の確立が望まれている。

長良川河口堰では2010年度から、システムによる傾向管理を試みている。システムの概要としては、ゲートの開閉に使用される電動機の電流値やワイヤロープ張力（以下「ロープ張力」という。）、ゲート開度、運転日時などの各種データを計測しメモリーカードに記録する。これらの情報は、故障発生時の不具合箇所の特定やその

原因を追及する際の足がかりとなるだけでなく、機械の経年劣化も可視化できるため適切な更新時期の決定にも役立つ<sup>2)</sup>。過去に水資源機構にて行われた技術研究発表会ではロープ張力の経年変化からシェル構造の扉体内堆積物の状態や水密ゴムの劣化が予想されること<sup>2)</sup>、ゲート開度と運転回数から曲げ回数の多いロープ位置を特定し点検時に活用できること<sup>3)</sup>、扉体重量・開閉速度・電動機電流電圧値から計算される機械効率の監視により設備異常の発見が早まること<sup>3)</sup>などを紹介してきた。

しかし、従来システムではデータを蓄積したメモリーカードの回収およびデータ処理が月1回という頻度で行われていたため、仮に異常な計測値を記録したとしてもデータが得られるまでには最長1ヶ月かかり、情報のリアルタイム性に欠けるという欠点があった。「計測データをリアルタイムで取込み、常に設備状態を把握すること」および「タブレットによる遠隔での設備状態や計測データを確認すること」をテーマとし、2019年度からIoT技術を用いたシステム改造を実施した。本報告では新たに取得したデータの解析事例等と併せて紹介する。

## 2. システム概要

### (1) 従来システム構成

図-1 の破線部分に従来システムの構成を示す。また、表-1 の網掛けではない部分に収集するデータおよび算

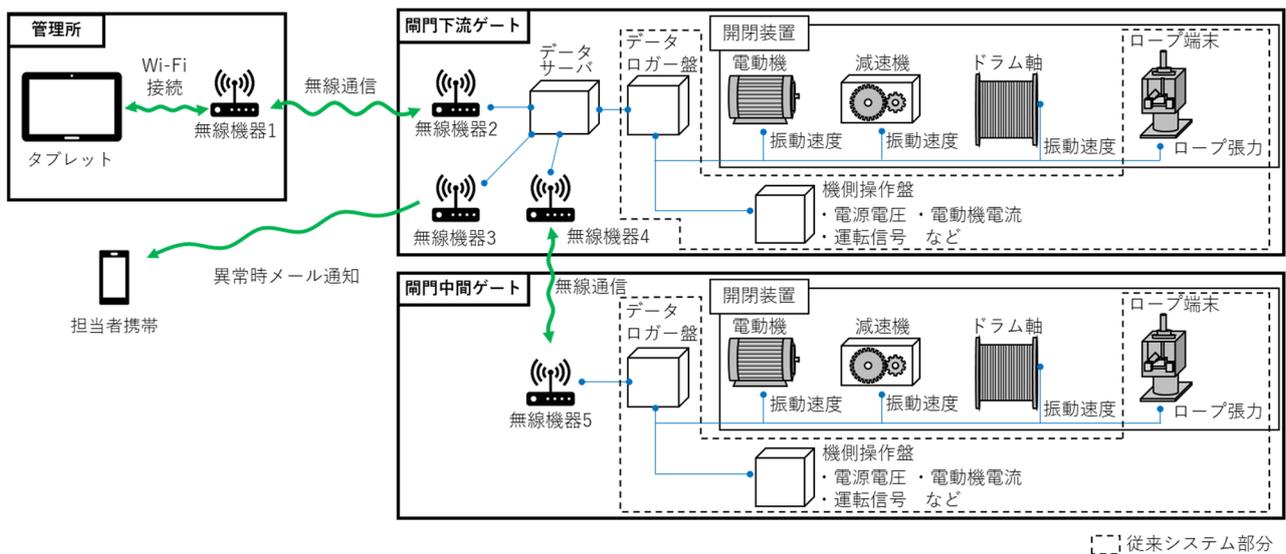


図-1 システム構成

出される指標を示す。従来システムはロードセル、電流計、データロガー盤等から構成される。ロードセルとは質量やトルクなどの荷重をひずみゲージで電氣的に検出するセンサであり、システムではロープ端末に設置され、ゲート稼働時にロープ張力を計測する。電流計は機側操作盤内に設置され、各電動機の電流値を計測する。

従来システムでは各計測データはメモリーカードに保存され、値の確認やデータ処理は現場にてメモリーカードを回収し、パソコンに取り込む必要があった。

## (2) 新システム

2019年度から機械機器振動データの収集、およびIoT技術の導入によるシステムのリアルタイム性の向上を図っている。新システムの全体構成は図-1 に示す通りであり、表-1 の網掛け部分に新しく収集可能となったデータ（振動速度）を示す。新設された機器は、振動計、データサーバ、無線機器等である。振動計は計20個（高速・低速電動機、減速機、ドラム軸左・右側の5箇所、2ゲート上下段扉分）設置され、振動速度を計測する。無線機器は開閉装置建屋から約700m離れた管理所にデータを送信しており、タブレットを用いて各種運転データを確認できる。また、運転データに異常値が計測された場合、インターネットを介して機械担当職員にプッシュ型のメール通知を行う。これにより不具合のいち早い察知・周知が可能となる。

## 3. 取組み事例

本システムの取組みとして、リアルタイム運転状態監視、長期計測による傾向管理、振動速度実効値を用いた

表-1 収集データ及び指標

収集データ	一次評価指標 (収集データを処理)	二次評価指標 (収集データを組合わせて処理)
データ操作日時	電動機運転時間	扉体自重
開度	ロープ曲げ回数	組滑車効率
運転回数	ロープ弛み時間	全機械効率
電動機電流・電圧値	ブレーキ劣化	開閉装置機械効率
ロープ弛み		
ワイヤロープ張力		
振動速度(2019年度新設)		

機器状態変化の見える化を紹介する。

### (1) リアルタイム運転状態監視

従来システムではリアルタイム性に欠けるという問題が存在したが、その解決のため新システムでは2.(2) に記述したとおり、遠方にデータ送信可能な無線機器を開閉装置建屋と管理所に新設した。管理所に設置された無線機器にタブレットをWi-Fi接続することで各種データを表示でき、振動計測値は直前動作までの運転状態を、その他の計測値は前日までの運転状態を遠隔で確認可能である。一方、インターネットを介した設備異常のメール通知では、全計測値の直前動作が対象であり、リアルタイムで異常データ検出を認知可能である。例として2020年6月15日17時58分から18時00分まで閘門中間ゲート上段扉高速電動機が下降運転した際、電流値のしきい値が69.00Aに設定されているところ70.66Aが計測されたため、18時03分に機械担当職員にメール通知が行われた。本事例は軽微な電流値超過であるため問題なしと判断されたが、大幅な超過が確認された際は迅速な対応に役立つ。

### (2) 長期計測による傾向管理

本システムでは全ての運転動作においてデータ計測が行われているため、年間を通じた開閉装置の傾向変化や、複数年にわたる劣化傾向を把握できる。

図-2 に2014年および2018年における開門下流ゲート上段扉高速電動機の上昇時の電流値を示す。グラフから電流値は夏に小さく、冬に大きい傾向にあることがわかる。この理由は、気温とともに減速機等の潤滑油の粘度が変化し、粘性抵抗による影響が季節変動するためであると考えられる。

新システムではタブレットにて過去の年間データを遡って確認可能であり、1ヶ月ごとの計測値の変動を比較するだけではわからない季節変動等による長期的な影響の判断や、過去数年間にわたって変化する機器状態の把握など、設備の傾向管理に役立てられている。

### (3) 振動速度実効値を用いた機器状態変化の見える化

新システムでは運転時の振動速度実効値（振動の平均的な大きさ）から、機器に異常な振動が生じていないかリアルタイムで監視している。振動評価基準は「河川用ゲート設備点検・整備標準要領（案）」<sup>4)</sup>に参考として示される国際規格ISO10816-3に基づき設定している。それとは別に、振動速度実効値を用いた開閉装置の状態変化が把握可能か検証するため、開門中間ゲートの機器更新前後で振動速度実効値を比較した。

図-3 に、各機器更新前後の振動状態の比較結果を示す。更新前の振動状態も問題のない水準であるが、更新後は全体的に開閉装置の振動が減少していることが分かる。このことから、振動速度実効値を用いた診断手法により、開閉装置の状態を定量的に把握できることが確認できた。これを応用し、計測値に大幅な変化や悪化傾向が見られる場合には該当箇所を重点的に点検することで、致命的な損傷発生防止につながる。

## 4. 今後の展望

### (1) 振動速度波形の周波数解析による不具合部品の推定

3.(3) の振動速度実効値を用いた調査結果に加え、振動速度波形の周波数解析による精密診断を組み合わせることで分解点検などを伴わずに原因部品を推定する技術があり、本システムへの導入を計画している。

3.(3) の開門中間ゲート機器更新前後の計測結果に対し周波数解析を実施した。図-4 に、機器更新前後の周波数解析結果の比較例（開門中間ゲート下段扉左岸ドラムの高速上昇運転時）を示す。更新前後で比較すると、噛み合い周波数（1秒間におけるドラムギヤの歯の衝突回数）8.66Hzと、その倍数成分である17.32Hz、25.98Hzが大きく低減したことが分かる。同様に、電動機や減速機における振動の周波数解析結果でも、ドラムギヤ噛み合い周波数成分が低減していることを確認している。こ

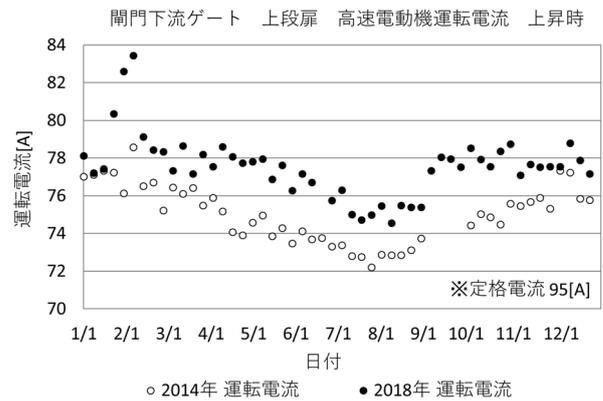


図-2 高速電動機電流値の年間データ

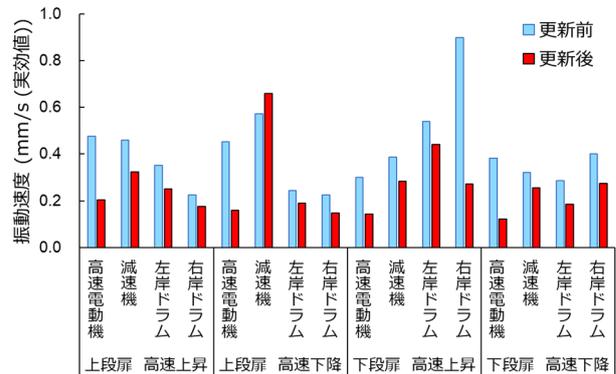


図-3 開門中間ゲートの機器更新前後の振動速度実効値

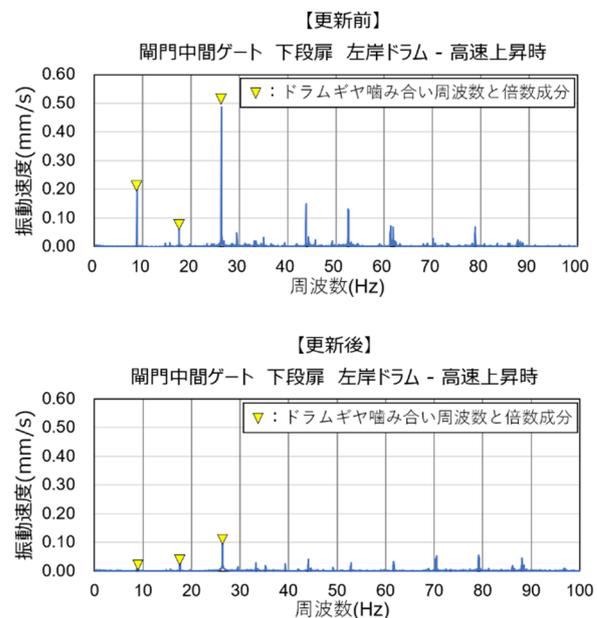


図-4 機器更新前後の周波数解析の比較例

の更新工事においてドラム部は更新対象ではないことから、更新前後の減速機出力軸とピニオンギヤ等の位置関係の調整により、開閉装置全体のドラムに起因する振動

状況が大きく改善したことが分かる。

## (2) 運転条件の影響を加味したデータ異常判定手法

管理運転ではなく実運転データを用いた傾向管理では、動作範囲や水位などの運転条件が毎回異なるため、データ変化の原因が設備異常、運転条件のどちらに起因するものか、複数のデータから技術者が判断する必要がある。省力化のため、運転条件の影響を加味したデータの異常判定を、AIを用いて行う検証が進められている。

この異常判定手法は、過去に蓄積された多数の計測データをAIが学習することで、現時点において計測されたデータの正常時予測値（運転条件から予測した計測される値）を推定する。この正常時予測値と実測値に乖離が見られる場合に、異常であると判断する。

図-5 に閘門中間ゲート低速上昇時における右岸側ロープ張力の正常時予測値の例を示す。これはロープ張力において、正常時予測値と、実測値を比較したものであり、グラフから大きな傾向変化がなく、両値が良く一致していることがわかる。水門設備は運転時の開度・水位などの運転条件の違いにより、水圧や浮力が変化しロープ張力が変動するが、この運転条件の影響を加味したロープ張力の異常検出により、開閉荷重の増大要因（扉体内の土砂堆積、ローラ回転不良、異物噛み込みなど）の早期発見につながると期待できる。データの蓄積や分析を継続することで予測精度の向上や経年劣化の把握に寄与するため、データ収集の継続が求められる。

## 5. まとめ

長良川河口堰では予てより開閉装置にロードセルや電流計などを取付け、計測データ異常を検知するシステムを構築してきたが、データの回収は1ヶ月ごとでありリアルタイム性に欠けていた。しかし、2019年度に設置した無線機器により管理所にて計測データを確認できるようになったことに加え、設備異常検知時には情報を機械担当職員に自動でメール送信が可能となった。これにより、従来システムの問題点であったリアルタイム性が改

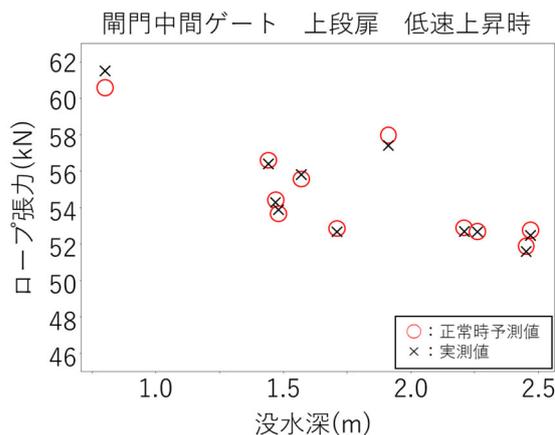


図-5 運転状況を加味したロープ張力の正常時予測値

善され、より精度の高い状態監視保全に向けた足がかりとなった。また、振動計を新設したことにより設備異常として検出できる項目が増加した。

今後の展望として、機械機器の分解を伴わずに不具合部品を推定することや、計測データの蓄積により、状態監視保全における適切な更新時期を決定する判断材料を得ることが見込まれる。この実現のため、現在は得られたデータをどう活用するかに焦点を当てており、データ蓄積と効果的な分析を続けていく必要がある。十分な知見を得ることができた場合、機械設備の故障を未然に防ぎつつ更新費用を抑えるという効率的かつ高度な維持管理・運用が可能となり、長良川河口堰については全国の機械設備管理における有効性が期待される。

## 参考文献

- 1) 水資源機構：「機械設備管理指針」，2016年3月。
- 2) 佐藤茂希，瀧内泰博：「長良川河口堰における傾向管理 ～設備劣化の予測～」，第46回水資源機構技術研究発表会，2012年。
- 3) 吉成佑太，上野英二，大西隆：「運転状態管理・診断システムによる閘門ゲート設備の現状と今後」，第50回水資源機構技術研究発表会，2016年。
- 4) 国土交通省：「河川用ゲート設備点検・整備標準要領（案）」，添付3-12，2016年3月。

# トンネル工事におけるBIM/CIMの活用について —大沼トンネル避難坑 西大沼工区の事例—

中村 夢季<sup>1</sup>・成田 勇太<sup>2</sup>・高橋 佳孝<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>北海道開発局 函館開発建設部 函館道路事務所 第3工務課（〒049-0101 北海道北斗市追分4丁目11番2号）

<sup>3</sup>大林・岩田地崎・森川特定建設共同企業体（〒041-1354 北海道亀田郡七飯町184-5）

北海道縦貫自動車道七飯～大沼は、延長10.0kmの新直轄方式による事業である。

内、約7kmが大沼トンネル（仮称）であり、現在は避難坑工事を進めている。避難坑工事では本坑施工に向け、地質情報や施工データを収集している。本論では、避難坑施工時に用いたBIM/CIMの活用事例について報告する。

キーワード：トンネル、BIM/CIM、生産性向上

## 1. まえがき

北海道縦貫自動車道 七飯～大沼は、高速ネットワーク拡充による道央圏と道南圏の連絡機能の強化を図り、地域間交流の活性化および重要港湾函館港、拠点空港函館空港等への物流効率化等の支援を目的とした、七飯IC（仮称）から大沼公園ICまでの約10kmの新直轄方式による事業である。大沼トンネル（仮称）は全長約7kmであり、国土交通省北海道開発局では初となる避難坑を有する長大トンネルである。北海道縦貫自動車道 七飯町大沼トンネル避難坑西大沼工区新設工事は、避難坑全長7,041.8mのうち、終点側（札幌側）3,427.8mを新設する工事である。現場位置図を図-1に示す。現場付近には大沼、小沼、じゅんさい沼をはじめとする大小の沼があり、坑口北東部には駒ヶ岳が存在する。現場周辺は国定公園に指定されている。

本論では、避難坑施工時に収集した地質情報等を用いたBIM/CIM（以下、CIM）の活用事例について報告する。

## 2. 工事概要

### (1) 工事概要

現工事概要を表-1に示す。本トンネル（避難坑）は、本坑とは別発注になっており、先行して避難坑の掘削を行うことで、①地質情報の把握、②水抜き効果、③本坑施工の補助（補助工法、作業坑）といった、本坑掘削のためのパイロットトンネルとしての役割を担っている。

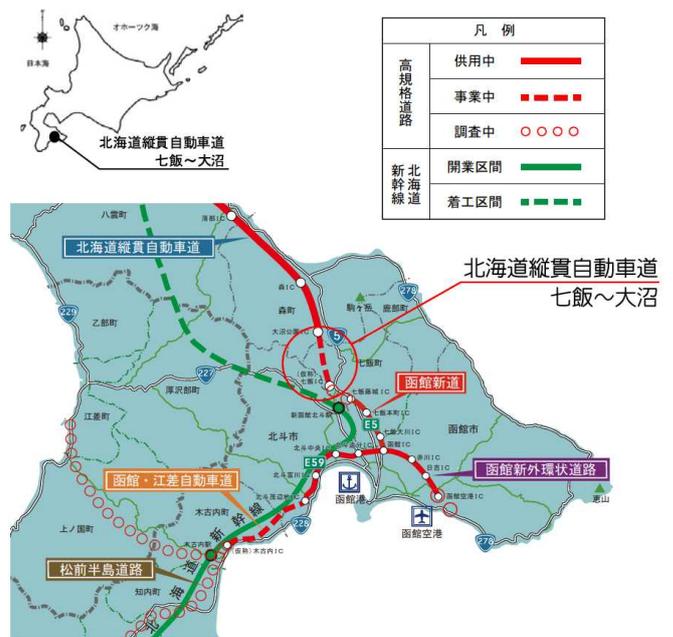


図-1 現場位置図

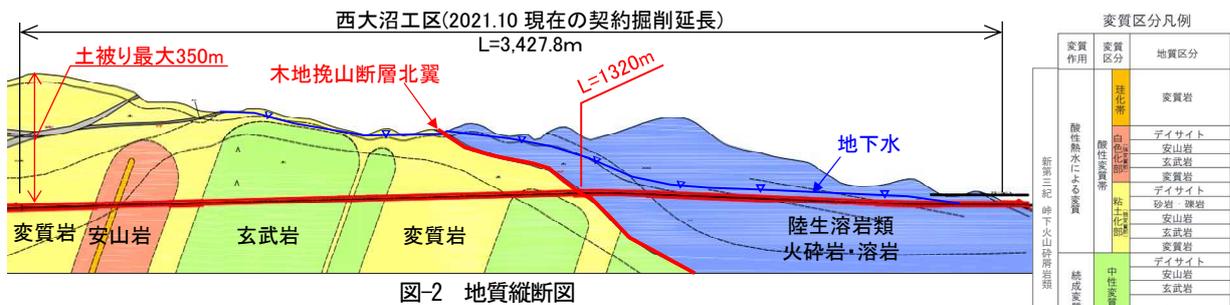


図-2 地質縦断面図

表-1 工事概要

工事名称	北海道縦貫自動車道 七飯町
発注者	大沼トンネル避難坑 西大沼工区新設工事
国土交通省 北海道開発局 函館開発建設部	
施工者	大林・岩田地崎・森川JV
施工場所	北海道亀田郡七飯町
工期	1期：2018年1月24日～2021年4月30日 2期：2021年4月29日～2025年3月19日
工事内容	道路トンネル（避難坑）
主要工種	トンネル工（小断面NATM）
数量	掘削延長 L=3,427.8m(2021.10現在の契約延長) 掘削断面積 標準部：20m <sup>2</sup> 連絡坑取合部：40m <sup>2</sup>

## (2) 地形・地質概要

地質縦断面図を図-2に示す。本トンネルが通過する地山は、新第三紀の峠下火山砕屑岩類が分布している。峠下火山砕屑岩類は、広く熱水変質作用を受けており、粘土化や珪化を被った脆弱な地質であることが予想されている。土被りは最大で350mと大きく、トンネルルート付近では、下位に酸性変質を伴う変質岩が、上位に非変質岩が分布し、これらの境界（TD=1,320m）に木地挽山断層北翼が位置している。

これまで西大沼工区では約2,300mの避難坑掘削を進めてきたが、突発湧水（最大3,000L/分）や、被圧湧水と粘土化脆弱層による地山の塑性流動などが発生し、多くの対策を実施しながら施工を進めてきた。

## 3. 山岳トンネルCIM（西大沼工区）の概要

西大沼工区では先進ボーリング等の地質調査結果をCIMに取り込むことで、切羽前方を含めたトンネル周辺の地質構造を一元的に管理し、3次元モデルで情報を確認できるようにしている。本技術は、パイロットトンネルとしての情報整理の他、施工予定区間の安全性向上や、経済的な支保パターン選定等への利用を目的としている。

本章では当現場での活用状況について紹介する。

### (1) 山岳トンネルCIMの基本

「CIM導入ガイドライン（案）第6編 トンネル編」（令和2年3月 国土交通省）<sup>1)</sup>では、山岳トンネルのCIMモデルの作成・利用・更新の流れが図-3のように示されている。

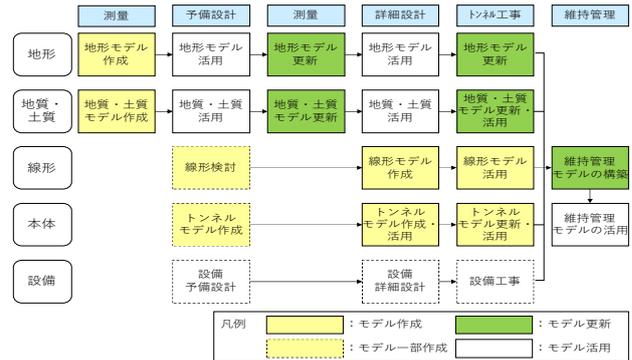


図-3 モデル作成、更新及び活用の流れ

主なモデルとしては、地形、地質・土質、線形、本体、設備となっており、項目ごとに作成指針が示されている。地質・土質モデルはテクスチャモデル（準3次元図面）が基本となっており、調査内容に応じて3次元解析モデルを作成する場合がある。施工段階で付与・更新する属性情報例として示されている項目を表-2に示す。

表-2 ガイドライン属性情報例

種別	属性情報
地山に関する情報	切羽観察記録
	切羽画像・スケッチ
	切羽前方探査・追加ボーリング結果
	亀裂分布
	岩石・岩盤試験結果
	地下水観測結果
計測情報	A計測結果
	B計測結果
品質管理記録等	支保パターン
	吹付けコンクリート
	鋼製支保工
	ロックボルト
	覆工コンクリート
	防水工
	初期クラック調査
	追加補助工法

属性情報の付与方法は、「3次元モデルへの直接付与」および「3次元モデルから外部参照」があり、属性情報の内容や取得方法については受発注者間で協議により決定している。

(2) 当現場での活用事例

当現場における作成・利用・更新の流れの例を図4に示す。

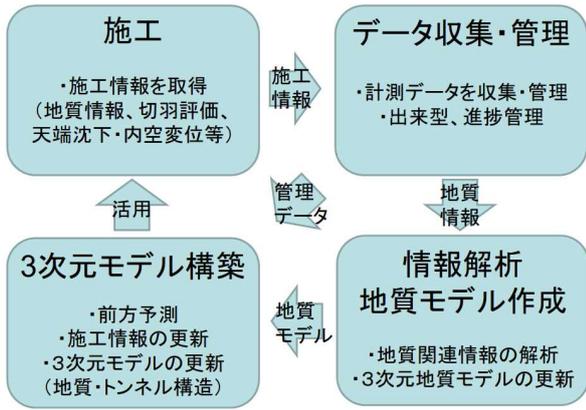


図4 作成・利用・更新の流れ

着手前に避難坑3次元モデル (トンネル基本モデル・地質モデル) を作成し、施工中に地質情報を反映させることで3次元モデルを更新し、施工を進める上で支保パターンや補助工法の協議などに活用している。

(3) 山岳トンネルCIMのシステム構成

山岳トンネルCIMの主なシステム構成、および付与・更新する属性情報 (ガイドライン例に準拠した情報およびガイドライン例以外の情報) を以下に示す。

a) トンネル施工情報一元管理システム (CyberNATM, 演算工房社製)

トンネル工事の測量・計測データの収集・管理を一元的に行うシステムで、線形、出来形、計測、進捗管理等を包括的に行える (図-5)。本システムでは表-3に示す属性情報を収集・管理している。

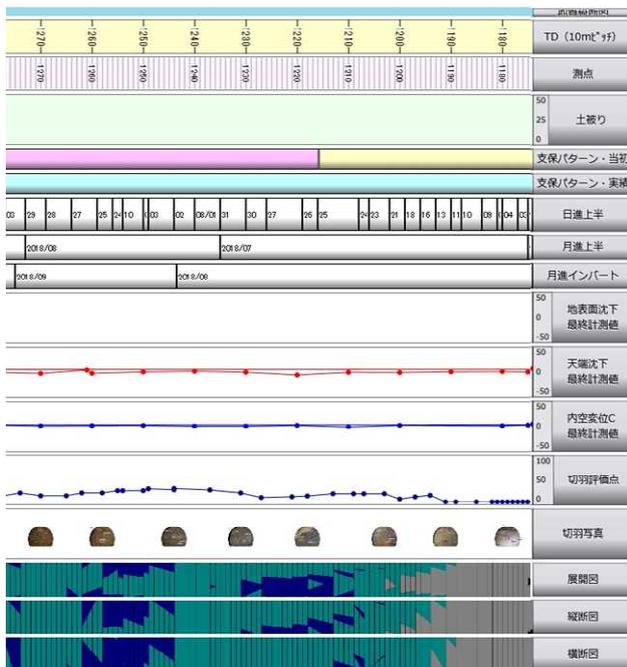


図5 CyberNATMによる包括的管理

表-3 収集・管理する属性情報

種別	属性情報
地山に関する情報	切羽観察記録
	切羽画像・スケッチ
計測情報	A計測結果
品質管理記録等	支保パターン
	吹付けコンクリート
	鋼製支保工
	ロックボルト
	追加補助工法

b) 3次元地質解析システム (GEO-CRE, 応用地質社製)

地表踏査、各種ボーリング、物理探査、地形等のデータをもとに、3次元地質モデルを作成するシステムである。構築した地質モデルを用い、構造物への影響分析や各種シミュレーションへの利用、CAD図面の作成、CGアニメーション作成等が可能となっている (図-6)。



図6 GEO-CRE概要

c) 3次元描画システム (E-G Modeling, 演算工房社製)

従来の3次元CADソフトを用いずに、トンネル構造モデルを作成できるシステムである。CyberNATMで入力した線形、断面、支保パターン情報から自動的にトンネル構造の3次元モデルが構築できる。CyberNATMにより収集した属性情報はE-G Modeling内に自動反映されるとともに、GEO-CREで各種地質調査結果をもとに解析した3次元地質モデルや、CyberNATM以外の属性情報 (地質調査、火薬量、排水材設置箇所等の施工実績) を取り込むことも可能となっている。また、CGアニメーション機能を有しており、トンネル施工情報を管理用PCで3次的にリアルタイムで確認できる (図-7)。

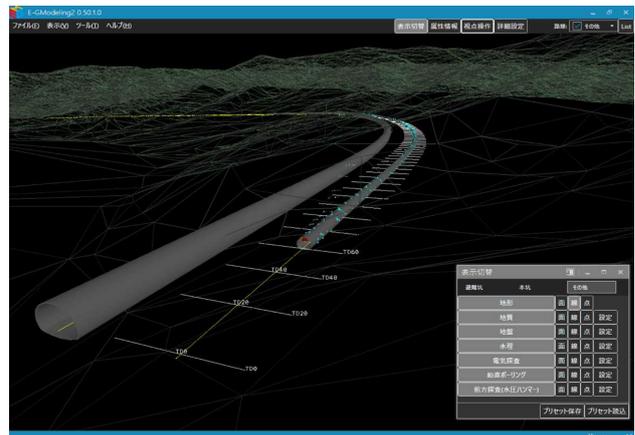


図7 E-GModeling トンネル構造モデル

#### (4) 山岳トンネルCIMへの付与情報

山岳トンネルCIMに付与する情報は以下の通りである。

##### a) 施工前の情報

- ・露頭調査結果
- ・鉛直ボーリング結果
- ・地表情報（地形，地質，国土地理院地図）
- ・3次元地質モデル
- ・3次元比抵抗モデル
- ・トンネル構造モデル（設計支保パターン）

##### b) 施工中の情報

- ・CyberNATM情報（切羽観察記録，切羽画像・スケッチ，A計測結果，支保パターン・吹付コンクリート・鋼製支保工・ロックボルト・追加補助工法などの設計および実施情報）
- ・B計測結果
- ・坑内および地表鉛直コアボーリング結果（実施箇所，コアの地質区分および地山等級，コア写真，湧水状況写真）
- ・地表電気探査結果
- ・ノンコア削孔切羽前方探査結果（実施箇所，地山等級，湧水状況写真）
- ・坑内弾性波探査結果
- ・掘削時の火薬使用量
- ・吹付表面堅排水材設置箇所

掘削時の火薬使用量と吹付表面堅排水材設置箇所は従来の山岳トンネルCIMでは情報を取り入れていないが，当現場では情報をCIMへ組み込んでいる。火薬使用量は掘削1m<sup>3</sup>当りに使用した火薬量（kg）の情報であり，使用量を色で判別できるようにした（図-8）。この情報により地山の硬軟を示す指標となる。吹付表面堅排水材設置箇所は出来形展開図を埋め込んでおり，湧水の有無を示す指標となる（図-9）。

3次元モデルを用い一元的に情報を整理する事で，所内及び受発注者間での情報共有が容易となった。

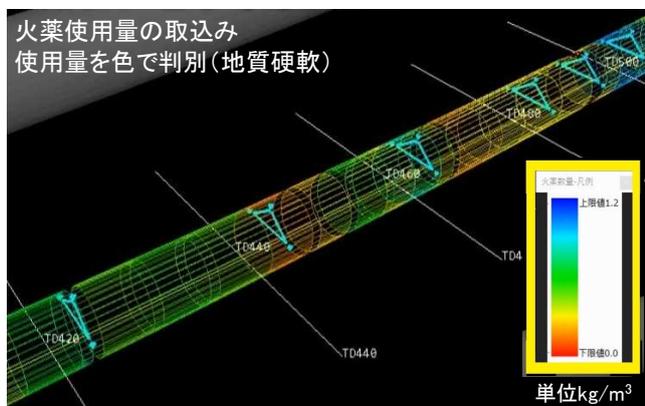


図-8 火薬使用量モデル

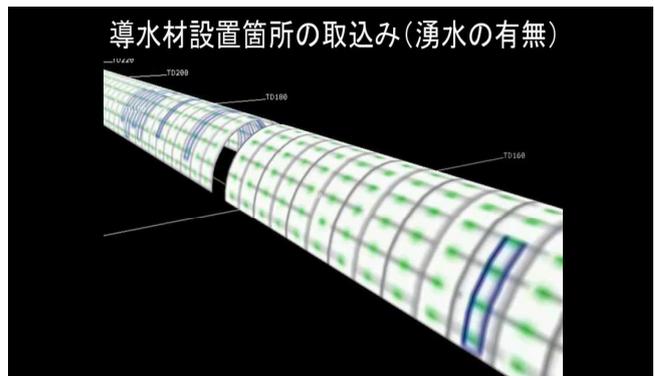


図-9 吹付表面堅排水材設置箇所（青枠：設置箇所）

#### (5) 3次元モデルの活用

##### a) 坑内ウォークスルー視点（E-G Modeling）

坑内の情報をウォークスルー視点で確認できる機能である。施工済み区間では，切羽観察記録，地層境界，A計測結果を確認でき，施工予定区間では，地質情報を元に予測した地層の走向傾斜など，切羽前方の地質状況を確認することが出来る。（図-10）。

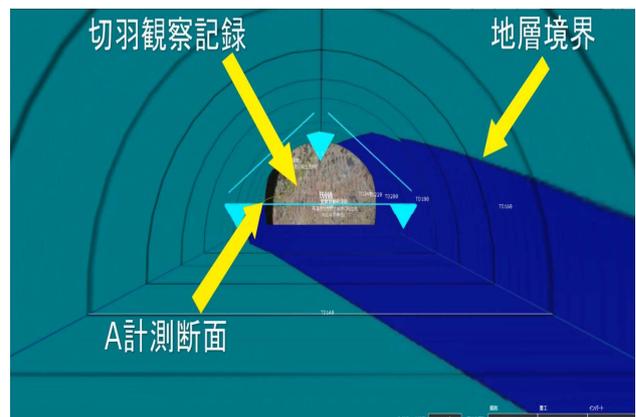


図-10 坑内ウォークスルー視点

##### b) 切羽連続写真（E-G Modeling）

施工中に撮影した切羽画像を連続的に確認できる機能である。本機能により施工済み区間の地層の走向傾斜が明確となる事で，切羽前方の地質状況の予測が容易となる（図-11）。

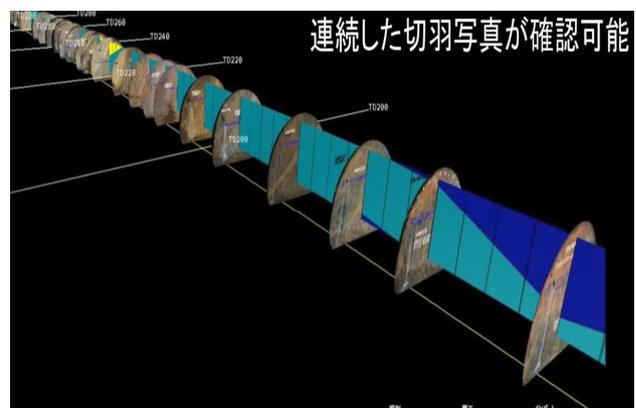


図-11 切羽連続写真

## 4. 山岳トンネルCIMの活用成果

### (1) 断層破碎帯での適用

計画当初からTD=1,320m地点に断層破碎帯が位置することが予想されていたが、その傾斜や厚さに関しては明確ではなかった。このため、地表からの鉛直ボーリングおよび比抵抗2次元探査（電気探査）を実施した。この調査結果をもとに3次元地質解析システムで3次元地質解析を実施し3次元描画システムのトンネル構造モデルに反映させたところ、断層破碎帯は当初想定よりも約220m工事終点側となるTD=1,540m付近に位置していることが判明した。厚さについては既往調査で想定された10m程度で分布するのではなく、50m程度の範囲で小断層や割れ目の多い幅広い破碎ゾーンを形成していると推定された（図-12）。<sup>2)</sup>

掘削を進めたところ、切羽に出現した断層破碎帯は、解析により推定した位置から約10m坑口側の位置に厚さ55mの範囲で出現した。解析結果が概ね現地と整合していたこととなる。

### (2) 避難坑周辺地質モデルの更新

坑内地質調査や施工情報をもとにモデルを更新すると、断層破碎帯を含む3次元地質モデルは図-13の通りとなった。更新した地質情報は本坑設計で活用が可能である。

## 5. まとめ

BIM/CIMを活用することで、施工済区間の地質情報を一元的に管理でき、3次元化モデルで地質情報等を本坑設計へフィードバックすることが可能である。

先進ボーリングや切羽観察記録など、既知情報をもとに地質情報を更新することにより、切羽前方の脆弱部や硬岩の位置の推定が可能になることから、安全性向上のほか、適切な支保パターンや補助工法の選定に利用することができる。

また、今後納品されたデータを用いた維持管理や補修設計など、将来的に活用の幅を広げていくことができると考えられる。

BIM/CIMによりトンネルを一元的に管理するためには、引き続き工事完了まで本システムを活用する必要があるため、システム改良等により利便性を向上させつつ今後も活用していきたい。

### 参考文献

- 1) CIM導入ガイドライン（案）第6編 トンネル編，国土交通省，令和2年3月
- 2) 鹿嶋辰紀，古市圭典，岡崎雄一：大沼トンネル避難坑の施工状況報告について，第63回（2019年度）北海道開発技術研究発表会論文

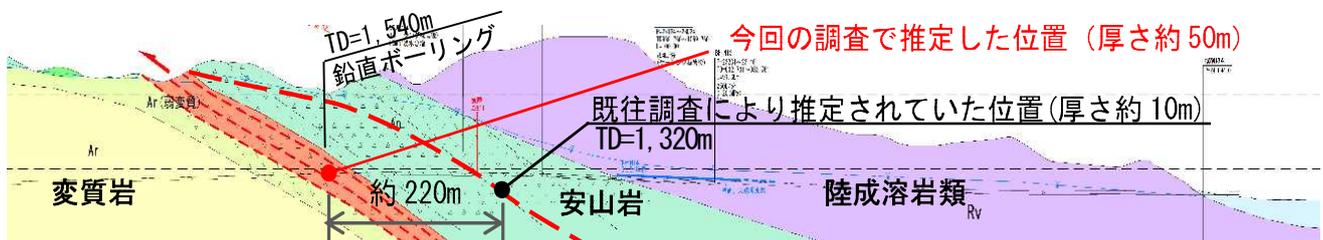


図-12 断層破碎帯解析結果（上：比抵抗断面 下：地質縦断）

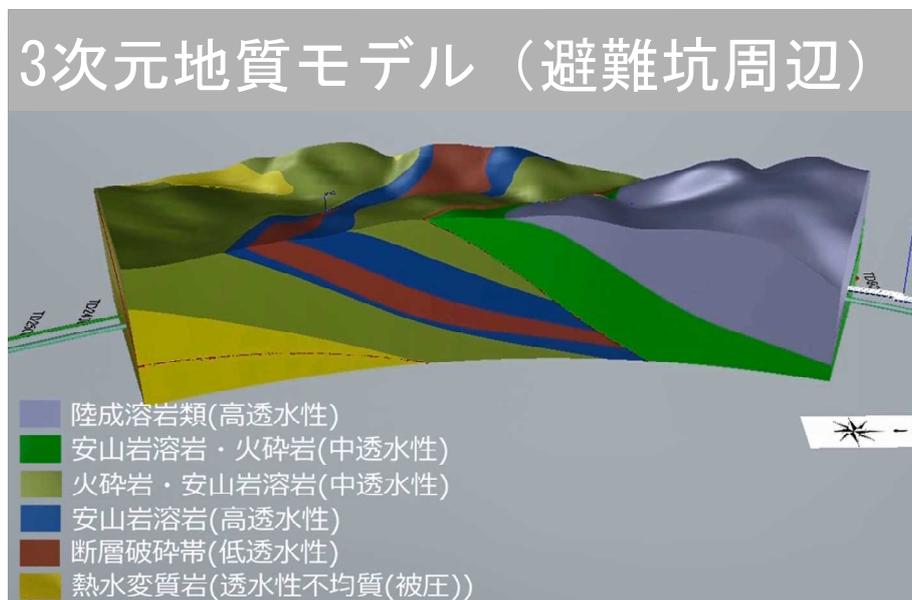


図-13 3次元地質モデル（避難坑周辺）

# 国立国会図書館関西館の書庫棟における 空調設備設計について

大西 功一

近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

国立国会図書館は、法律により納本された出版物を、国民共有の文化的資産として永く保存する施設である。国立国会図書館関西館の増築工事においては、今後も増え続ける出版物に対し、書庫の収蔵能力確保のために新たに500万冊規模の書籍が収蔵可能な書庫棟を建設した。書庫棟内の収蔵スペースは書籍の保存のために年間を通して一定の温湿度に保つ必要があるため、設計においては建物・空調設備について多角的に検討する必要があった。書庫棟の整備にあたり検討した設計手法について報告する。

キーワード 図書館、書庫、空調設計

## 1. はじめに

国立国会図書館関西館は、東京都千代田区にある東京本館の収蔵能力の補完のために京都府相楽郡精華町に建設された施設である。関西館の施設は、書庫の収蔵能力等を勘案しながら段階的に整備していく計画となっており、2002年に第1期施設として「関西館本館」が竣工、開館した。その後2014年には、今後も増え続ける出版物を収蔵するためには既存書庫スペースでは不足するなどの理由により、第2期施設として「書庫棟」の計画が国会に勧告され、今回、保存を目的とした書庫棟を増築する運びとなった。

書庫内は書籍の保存のために年間を通して一定の温湿度に保つ必要があるため、今回の書庫棟の計画においては建築技術はもとより、設備システムにおいても工夫が求められ、温湿度を一定に保つために設計段階での検証が不可欠であると考えた。

今回、書庫棟を整備するにあたり執った設計手法について報告する。

## 2. 施設概要

関西館本館は、文化と豊かな自然に恵まれた関西文化学術研究都市の、雑木林が茂る一面に位置する。建物全体の規模に対しボリュームを感じさせないように設計されたものとなっており、景観上の調和を見据えることを設計の基本思想としたものである。今回の書庫棟は関西館本館の南側に位置するが、このような景観への配慮を

踏襲し、関西館本館よりも高さを低くしてボリューム感を抑え、また横幅を揃えることで関西館本館に付随する形で配置している。(写真-1参照)

### 書庫棟 建物概要

所在：京都府相楽郡精華町

敷地面積：約 82,665 m<sup>2</sup>

用途：図書館（保存書庫）

構造規模：鉄骨造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）

地上7階、地下1階

延床面積 約 24,998 m<sup>2</sup>

竣工：2020年2月

書庫内温湿度条件：通年 22℃±2℃、55%±5%  
(急激な変動が無いこと)

書籍収蔵規模：約500万冊



写真-1 国立国会図書館関西館全景

### 3. 空調設備概要

主な空調設備は、以下の構成となっている。

吸収冷温水機	二重効用	冷凍能力	422 kW×1台
チリングユニット		冷凍能力	166 kW×1台
簡易貫流ボイラー		定格出力	313 kW×2台
コンパクト形空気調和機			61台

年間を通して常に一定の温湿度を保つために冷水・温水を同時に作り出し、どのような気候条件であっても冷暖房や加湿・除湿に対応できるシステムとして設計している。



写真-2 地下1階熱源機械室

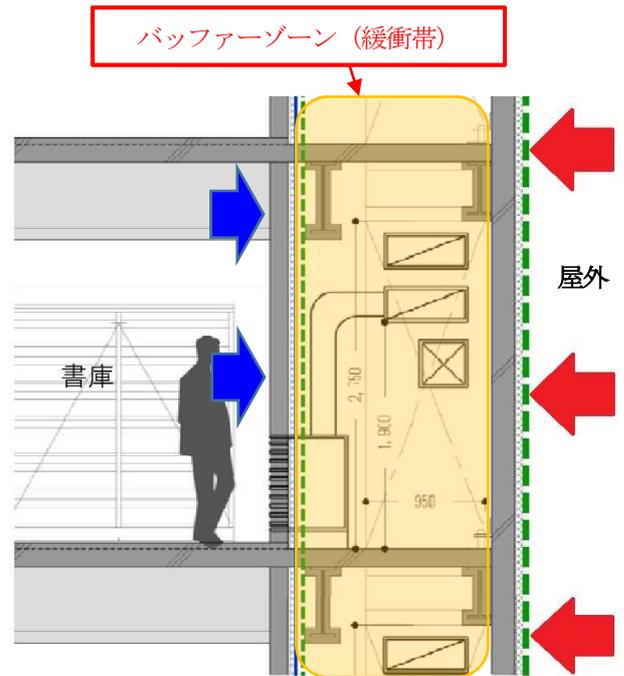


図-1 バッファークーゾーンのイメージ

今回は、バッファークーゾーンにかかる空調負荷そのものの軽減を図ることを目的に、外断熱工法の採用とクールピットの導入も行っている。(クールピットのイメージを図-2に示す。)

### 4. 保存書庫としての設計上の課題

今回の書庫棟において体積の大きな書庫全体を一定の温湿度に保つためには、建物外部からの熱の影響を極力抑えるとともに、書庫全体に空調空気を行き渡らせるように空気の流れを作ることが重要であると考えた。そのため、本設計では、主に建物外部からの熱の影響を抑えるための建築計画と、書庫全体に気流をつくるための空調設備計画の2点について検討を行った。

### 5. 建築計画の検討

#### (1) 書庫の配置について

今回の計画では、書庫外壁が直接外部環境と接するため、書庫内部の温湿度を変動させる要因となる外乱(外気温湿度や日射など、建物外部から影響を受ける熱変動)が書庫の体積全体に対して影響することとなる。そのため、建物外部と書庫の間に緩衝帯となる空間(以下、「バッファークーゾーン」)を設け、直接外部環境に接しないことで書庫内部への外乱の影響を最小限に抑えるとともに、書庫内部からの熱の流出も防ぐことが出来るように考えた。(バッファークーゾーンのイメージを図-1に示す。)

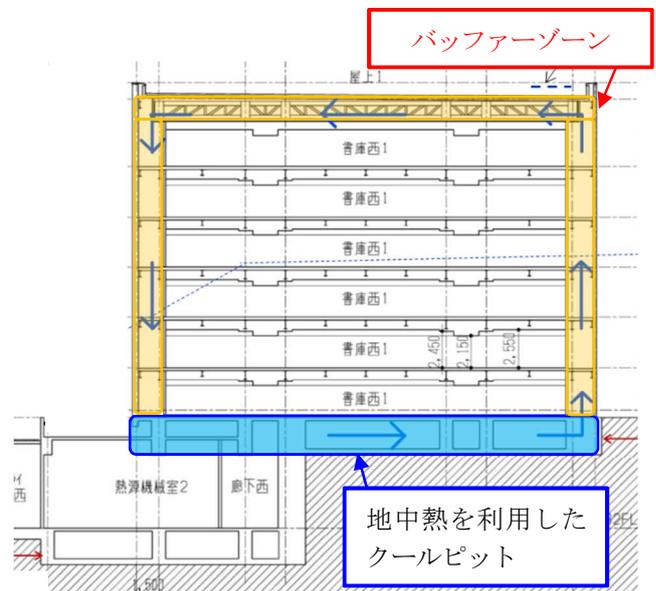


図-2 クールピットのイメージ

### 6. 空調設備計画の検討

#### (1) 書庫環境に配慮した空調設備計画について

一般的に、人を対象とした空調設備を設計する場合の温湿度は、建築物等の衛生的環境の確保に関する法律に

に基づき建築物環境衛生管理基準に定められた数値の範囲内となる様に設計される。(表-1参照)

表-1 建築物環境衛生管理基準より抜粋

温度	(1) 17℃以上 28℃以下 (2) 居室における温度を外気の温度より低くする場合は、その差を著しくしないこと。
相対湿度	40%以上 70%以下
気流	0.5 m/秒以下

この範囲内において、更に省エネ化を図るために、近年では夏は28℃、冬は19℃を調整目標値として設計している。

これに対し今回の書庫棟設計では、施設管理者との打合せにより、書庫内は書籍の保存環境として温度22℃±2℃、相対湿度55%±5%を調整目標値とし、年間を通して一定の温湿度を維持することが要求され、また書籍の劣化防止対策として気流を作りだし空気を動かすことも求められた。

### (2) CFD解析による気流シミュレーションについて

書庫内の温湿度を調整目標値の範囲内で安定させるためには、温湿度を変動させる要因となる外乱や、照明などによる内部発熱が小さければ、一定の温湿度に調整した空調空気を書庫内に気流分布させることで制御可能であると考えた。

今回は保存書庫であることから、基本的に内部発熱が発生する要因が少なく、外乱についてはバッファゾーンにより影響を最小限に抑えているため、一度書庫内の温湿度が安定すれば、その後は変動しにくい状態を維持出来る。そのため、空調設備設計に際しては、場所により温湿度のムラが出ないように、書架や書籍の配置に影響を受けない適切な位置に空調の吹出口と吸込口を配置し、空調機により一定の温湿度に調整した空調空気を書庫内に気流分布させることが重要である。

今回の設計では、書庫内の気流分布の状況を確認するために、CFD解析を用いた気流シミュレーションを行った。

CFD解析とは、数値流体力学（英：computational fluid dynamics）の略称で、流体力学の方程式とコンピュータシステムを駆使することによって流体の流れを観察する数値解析・シミュレーション手法のことで、モックアップなどの試作品を作ること無く様々な状況をシミュレーションできるのが特徴である。

このCFD解析を利用し書架の周囲の気流をシミュレーションにより検証した。シミュレーションは柱間の1モジュールをモデル化し、実運用での収蔵率をもとに70%程度書籍が配置されている状態を条件とした。(CFD解

析モデルを図-3に示す。)

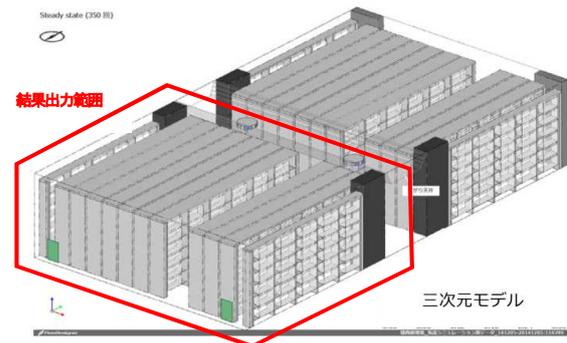


図-3 CFD解析モデル

また書架内にも空調空気が循環する様に、通路の上部に吹出口を、下部に吸込口を配置したモジュールとした。(書庫内気流イメージを図-4に示す。)



図-4 書庫内気流イメージ図

### (3) CFD解析結果について

図中、波のように広がっている箇所が空気の動きを表しており、気流の方向や速さを確認することが出来る。(各図中の矢印はCFD解析結果の気流の流れが分かりやすいように追記したもの。)

図-5は高さ2,450mmでの水平断面を表しており、書庫の上部付近の状態となっている。吹出口がある通路部分から吸込口に向かって、全体的に気流が生じていることが確認できる。

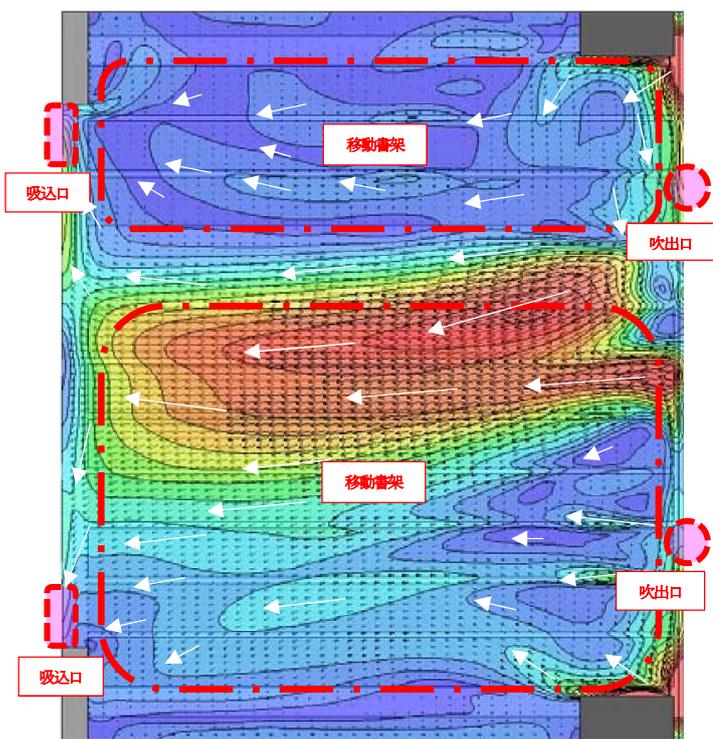


図-5 CFD解析結果 (高さ=2,450mm)

図-6は高さ1,175mmでの水平断面を表しており、書庫の中間付近の状態となっている。吹出口と吸込口がある付近については書架内まで気流が確認できるが、中央付近については気流が生じにくい状態となっていることが確認できた。

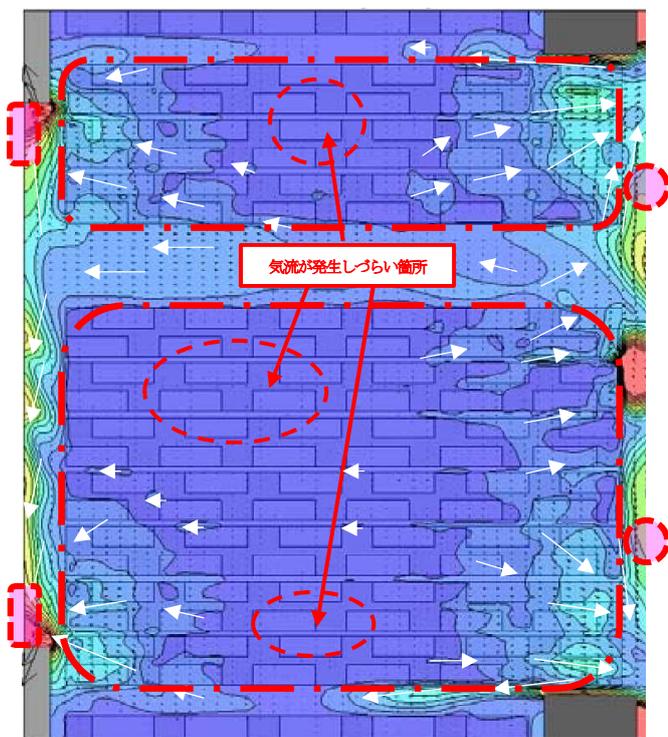


図-6 CFD解析結果 (高さ=1,175mm)

図-7は高さ100mmでの水平断面を表しており、書庫の床面付近の状態となっている。吹出口がある通路部分から吸込口に向かって、全体的に気流が生じていることが確認できる。

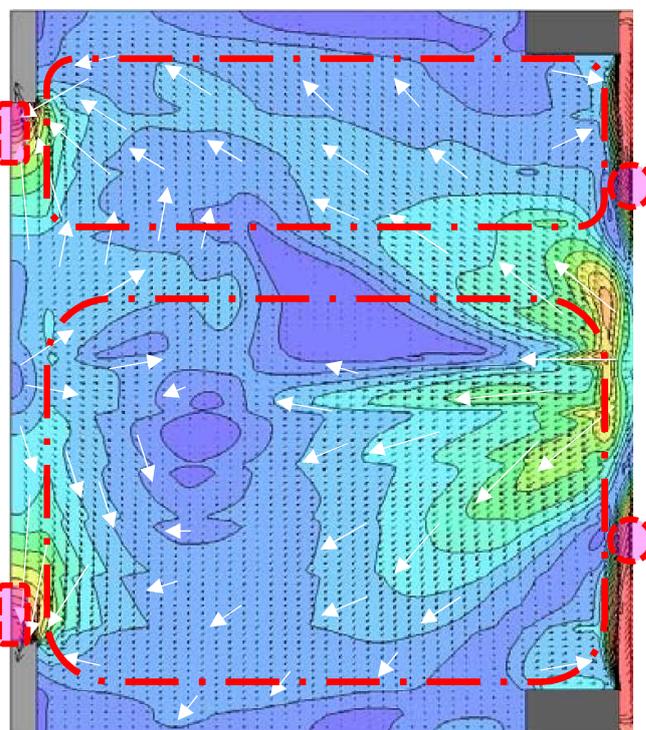


図-7 CFD解析結果 (高さ=100mm)

CFD解析結果より、空調の吹出口と吸込口を、天井と対角の下部にそれぞれ配置することで、書籍が70%程度配置されている状態であっても書架の周りには気流が廻り込んでいることが確認できたが、書架の内部付近については気流が入り込みにくい状態となっていた。このため、書架の内部にまで空調空気を循環させるように、写真-3の様な風が通り抜けやすい構造の書架を採用した。



写真-3 書架

## 7. 施工から運用管理へ

### (1) 工事施工段階での確認について

設計段階でシミュレーションを行い確認した気流分布について、工事施工段階においても試運転調整を通じて確認・調整し、書籍搬入前の状態ではあるが設計の目的であった一定の温湿度となっていることを確認した。

### (2) 施設運用段階での測定結果について

工事完成引渡し後、施設管理者と協力し施設運用段階における書庫内の温湿度測定を実施した。

測定は、書籍が保管されている書庫内の書架部分にデータロガー付き温湿度センサーを設置し、2020年8月下旬から24時間連続して測定している。温湿度センサーの設置位置は、高さや吹出口・吸入口からの距離によりムラが出来ていない事を確認するために、床面からの高さはそれぞれ約600mm、約1,550mm、約2,150mmの3段階にし、センサー相互の間隔を約1,000mm空けて各高さごとに5個ずつ、計15個を設置した。

図8～10は床面からの高さごとの温湿度測定データをグラフ化したものである。15個全ての測定結果で、調整目標値である温度 $22^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $55\%\pm 5\%$ の範囲内で運用出来ていることを確認しており、設計段階のCFD解析シミュレーションで懸念があった書架の中央付近についても一定の温湿度となっていることが確認できた。

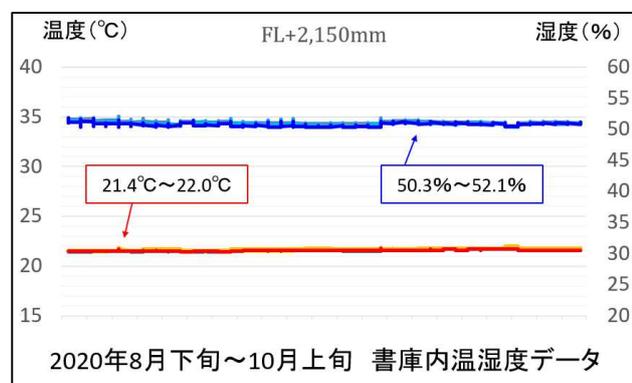


図8 書庫内温湿度測定データ (高さ=2,150mm)

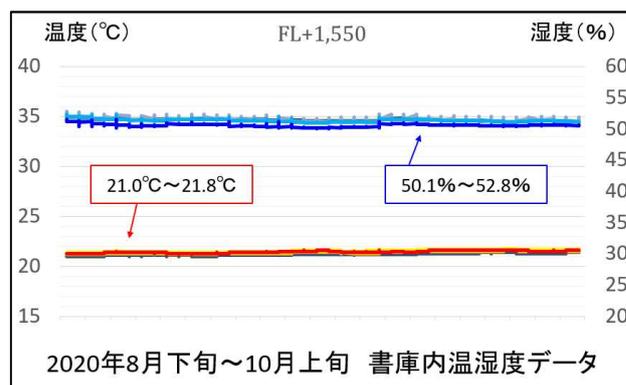


図9 書庫内温湿度測定データ (高さ=1,550mm)

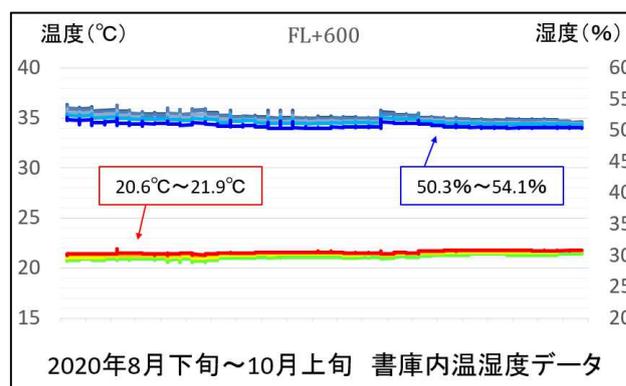


図10 書庫内温湿度測定データ (高さ=600mm)

## 8. まとめ

年間を通して書庫内を一定の温湿度に保つために行った設計段階での各種工夫について、CFD解析シミュレーションにより事前にその効果や懸念となるポイントについて把握することができ、そのシミュレーション結果を実施設計に活かすことで当初の目的を達成することができた。

今後も特殊条件による空調システムを要求される案件についてはCFD解析などの技術を取り入れ、事前検証を行いながら検討を進めたいと考える。