

城山トンネル水噴霧設備の運用と維持管理について

大谷 泰士¹

¹近畿地方整備局 企画部 技術管理課 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44)

トンネル防災については、昨年の山陽自動車道八本松トンネル火災等を受けてトンネル防災への関心が高まっている中、姫路河川国道事務所管理の城山トンネル（AA 等級）においてのトンネル非常用設備（水噴霧設備）の運用及び維持管理について検討を行った内容を報告するものです。

キーワード トンネル防災，水噴霧設備，維持管理

1. はじめに

城山トンネルは姫路河川国道事務所管内の国道2号太子竜野バイパスに位置しており、日交通量8万7千台を有する近畿地方整備局管理区間唯一のAA等級トンネルです。（図-1）

城山トンネルには道路トンネル非常用施設設置基準でAA等級トンネルに設置が義務づけられている水噴霧設備が設置されており、適切な運用と維持管理が求められています。



図-1 城山トンネル位置図

2. 城山トンネル水噴霧設備の概要

一般的な水噴霧設備は、水噴霧用水槽に溜めた水をポンプにてトンネル内に圧送し、水噴霧ノズルより噴霧させるものであるのに対し、本設備は、設備の信頼性向上と維持管理コスト削減の観点から、水噴霧用水槽をトンネル地盤より約100m高い山上に設置することにより、ポンプ及び発電機を必要としない自然水頭圧により噴霧させる方式となっています。図-2に城山トンネル水噴霧設備の概要を示す。トンネル内で車両事故等により火災が発生した際、火災検知器又はCCTVカメラ等により火災発生箇所を特定し、火点付近の水噴霧設備（100m区間）を作動させます。

水噴霧設備は、水噴霧ノズルより微細な粒子状の水を放水し、冷却作用・水蒸気による窒息作用等により、火勢を抑制し消火活動を援助にすると共に、車両等の延焼を防止する役割を担っています。



図-2 水噴霧設備の概要

本設備は、水噴霧用ポンプ・自家用発電機を削減しトンネル山上の水噴霧用水槽とトンネル内放水区画の自動弁、水噴霧ノズル等により構成されています。

水噴霧用水槽は、トンネル内の100m（2区間）に対し水噴霧を40分間放水できる容量（280m³）を確保しています。

水噴霧設備は、6L/min・m²の水量を高圧で放水する必要があるため、水噴霧主水槽は約100mの高低差を確保した位置に設置しています。(図-3、図-4)

事務所道路情報室に設置している遠方監視操作設備は、一画面で上下線トンネルを表示し火災検知区画がどの区画で、水噴霧設備が起動待機状態になっている事が一目でわかるようになっています。(図-5)

また、監視カメラの設置位置も画面に記載しており、火災発生区画はどの監視カメラで確認出来るかを迅速に判断出来るようにしています。

・管摩損損失	・水噴霧機器圧力損失	・水噴霧に必要な高さ
32.1 m	+ 65.5 m	= 97.6 m
トンネル地盤が標高51.6mであることから水槽を設置する標高は下記のとおり		
97.6 m + 51.6 m = 149.2 m		

図-3 必要水頭圧に対する水槽設置高さ



図-4 水噴霧主水槽設置状況



図-5 遠方監視操作設備画面

3. 水噴霧設備の運用について

現在の道路トンネル非常設備設置基準については1979年(昭和54年)に東名高速道路の日本坂トンネル事故火災(過去最大と言われる)を教訓にしてトンネル内での防災設備の重要性を再認識し、1981年(昭和56年)4月に作成されました。しかし、水噴霧設備の運用の要となる放水時期の判断については明確に定められてはいないのが現状です。

水噴霧設備はトンネルAA等級のみに原則設置が義務付けられており、目的機能はトンネル本体及び施設の防護となっていますが、冷却効果により火災地点の温度

を下げ、火災の延焼・拡大を抑制することにより消火活動の支援を行えることにもなっています。

水噴霧設備が設置されているトンネルでの火災事例は検討業務にて全国調査した結果では見受けられませんが、A等級トンネル火災で水噴霧設備の必要性が報道された事例は、昨年3月に起こった山陽自動車道八本松トンネル火災が記憶に新しいところです。

水噴霧設備は放水の判断が遅れることにより火災の拡大を招き大惨事につながる事が懸念されます。

しかし一方で、水噴霧の放水により煙の沈下が生じ、走行車両及び人の避難の障害となる可能性もあります。

したがって、火災検知器からの信号により自動放水を行うことは危険も伴い、煙の充満等により避難状況が明確に確認出来ない場合の放水は道路管理者にとって非常に難しい判断を迫られる事となります。

その事から、検討業務にて全国の水噴霧設備の運用状況を調査し、城山トンネルでの運用方法決定の参考としました。

まず、トンネル監視体制と換気設備等を含めた運用実態について整理しました。

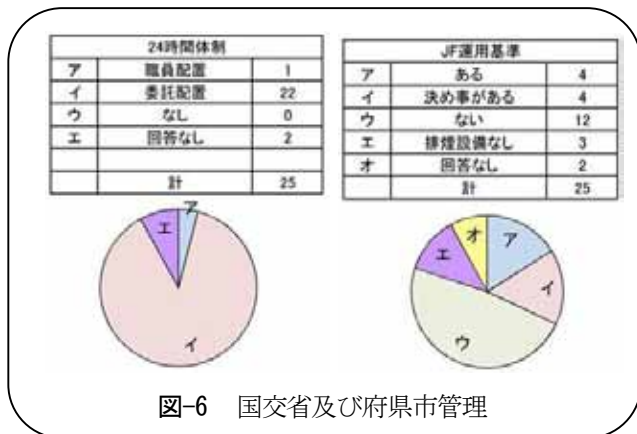


図-6 国交省及び府県市管理

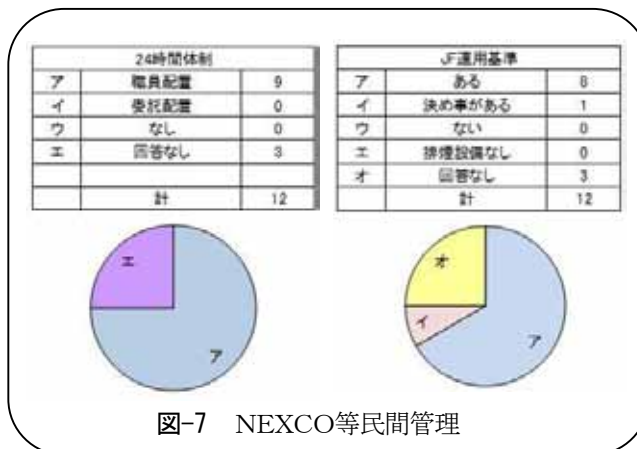


図-7 NEXCO等民間管理

NEXCO等の民間管理の監視体制は必ず職員が常駐しており、いつでも職員による設備作動の判断ができるのに対し、国交省等管理では、夜間の道路監視については道路情報管理員に委託している事が分かりました。

ジェットファン（以後JF）の運用も国交省等管理では火災時の運用が不明確であることが分かりました。

検討業務では、火災点からの避難者の坑外への脱出時間のシミュレーションも行い避難坑または坑口までの脱出時間を14分と推定しました。

以上の事を勘案し、城山トンネル水噴霧設備等の運用

を次のように決めました。

1. 火災発報があった場合は、道路情報管理員はカメラにて火災の事象を確認し、出張所長へ詳細状況を連絡し水噴霧設備等作動の指示を仰ぐ。
2. 設備作動の指示があった場合は、火災点の区画を事前確認しすぐに水噴霧の放水を開始する。
同時に進行方向へJFを正転運転させる。
(城山トンネルは一方向トンネルのため火災地点前方の車両停車は限りなく少ないとの判断に基づき決定)

なお、姫路河川国道事務所では年度当初に事務所道路情報室に設置している遠方監視操作設備の操作説明会を実施し新しく業務にたずさわる道路情報員や職員に対し操作マニュアルを使用し火災発生時の操作・火災時運用フローの確認を行う事としています。

また、防災ネットワークが遮断され事務所からの遠方設備操作が不可能となった場合でも、現地で設備操作を迅速に行えるよう道路維持工事の受注者に対して現地操作設備での操作手順の説明及び模擬操作訓練を行う事としており、あらゆる事態を想定しつつ火災が発生しても迅速な対応が行えるよう体制を整えています。

4. 水噴霧設備の維持管理について

水噴霧設備は、他の非常用設備比べて使用頻度が限りなく少ない設備ではありますが、いつ発生するか分からないトンネル火災時には確実に設備を作動させる必要性があり、設備には高い信頼性が求められています。

使用頻度が少ないとは言っても永久にメンテナンスフリーの機械設備はありません、設備数が増加するほど信頼性を確保するための維持管理費も多く必要となります。

城山トンネルの水噴霧設備は設計時からポンプ設備及び自家発電機を必要としない構造としており、ポンプ設備、自家発電機設備の維持管理費用のコスト削減も図っています。しかし一方で、山上主水槽周りに水道設備がないためトンネル坑口より山上まで水を圧送する小規模な取水ポンプ設備が設置されている事、山上主水槽からトンネル内までの配管に常に水頭圧がかかっている

る事により配管損傷時には主水槽内の水が噴出する危険性もあります。

そのため主水槽内の水位が下がった場合には、配管破損と感知しトンネル内への漏水を止める緊急遮断弁設備を設置しており維持管理の安全性を高めています。

また、トンネルの非常用設備の命となる防災受信盤や換気制御盤、50mピッチに配置している水噴霧自動弁（上下線で全48台設置）や25mピッチに設置している火災検知器（上下線で全104個設置）等についてはA等級以下のトンネルには原則設置義務とされていない設備であり通常管理のトンネル設備より年・月点検の費用も必要となります。

また、年点検で行う水噴霧の実放水試験点検では、国道2号バイパスには平行する迂回路道路がない事で県警高速隊の全面通行止許可が認められないため、1車線規制を行った上で、残りの1車線を頭抑え規制（追い上げ車と頭押さえ車の速度差を使って目的箇所所定の一次通行止め状態をつくる規制方法）にて規制し5～10分程度の通行止め状態をつくりその時間内で実放水試験を行うというコストの係る規制にて行っています。

全国の放水試験の方法を調査した結果ではほとんどのトンネルで全面通行止めにて放水試験を実施している事が確認出来ました。（図-8）

放水試験の方法		
ア	全線規制	15
イ	1車線規制	1
ウ	制限なし	4
エ	記載なし	3
オ	回答なし	2
	計	25

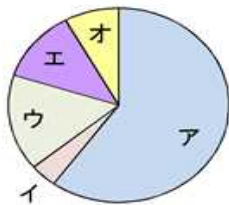


図-8 国交省及び府県市管理

しかし、城山トンネルでは先に述べた規制方法しか放水試験が出来ないため、1トンネル当り全区画の試験を行うには最低3日間の夜間規制が必要となります。

点検整備のコスト削減と設備の信頼性確認の双方を

勘案し、3年間で2トンネル全て（48区画）の実放水点検を行う事として点検整備を実施しています。

※ただし、本来は毎年全数の放水試験を行う事が望ましい事は言うまでもありません。

今後は定期点検整備で各設備の延命化を図りながら今後の維持管理及び更新費用の平準化を行っていく必要があります。

5. まとめ

今回は一事務所で運用や維持管理の方法等の全国調査を行いました。今後は維持管理コスト等も勘案した道路トンネル非常用設備設置基準の改定や、設備の運用についての全国基準などを設定していくことが望ましいと考えます。また、トンネル非常用設備（AA等級のような重要設備）の監視体制については、一事務所では24時間体制で職員を置き監視を行うことは現実不可能であり、重要設備設置路線については、本局道路管制センターでの監視等に切り替える等の検討もしていく必要があるのではないかと考えます。

維持管理費用については、現地の設置条件により大きく左右される事も多いですが、姫路河川国道事務所としては、今後の定期点検整備を通じて全線通行規制を行わない規制コスト削減に向けた点検方法も検討して行くこととしています。

起こってはならないトンネル火災ですが、有事の際には各非常用設備が有効に機能を発揮するために日頃から維持管理と設備の運用を理解し意識することが道路管理者としてとても重要だと考えます。

※本論文の内容は、著者の前所属である姫路河川国道事務所防災課における業務に基づくものである。

謝辞：これまで城山トンネル水噴霧設備設置に携わられた職員及び設計・工事関係者の皆さまに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本道路協会:道路トンネル非常用施設設置基準・同解説

「ひょうご橋守隊」による道路橋の安全で効率的な維持管理を目指して

岩戸 寿明¹

¹ (公財) 兵庫県まちづくり技術センター まちづくり推進部 市町計画課
(〒650-0023兵庫県神戸市中央区栄町通6丁目1-21神明ビル5F)

平成26年の道路法施行規則の改正を受け、兵庫県内市町(神戸市を除く)が管理する道路橋約2万橋についても順次点検を実施している。しかし、各自治体とも厳しい財政状況の中、これらの橋梁を早期に補修することは困難な状況である。これらの課題を抱えた市町を支援するため、高い技術力を有する兵庫県職員OBにより「ひょうご橋守隊」を結成した。

本論においては、安全な道路橋の維持管理を目指す「ひょうご橋守隊」の活動内容と、橋守隊の活動をより効率的に実施できるよう、隊員間のデータ共有や、効率的な写真データ管理、調査橋梁へのルート案内機能等を有した「橋守支援システム」について述べるものである。

キーワード 橋梁点検, 維持管理, 経過観察, タブレット, 管理瑕疵

1. はじめに

「ひょうご橋守隊」(以下、「橋守隊」という)は、道路橋に関する高い技術力や、豊富な経験を有する兵庫県土木技術職員OBにより構成されるボランティア団体で、2015年3月に発足し、市町橋梁の点検支援活動を行っている。

橋守隊の隊員となる要件は、公益財団法人兵庫県まちづくり技術センター(以下、「センター」という)が事務局を務める「兵庫県防災エキスパート」に登録されている者で、道路橋の維持管理等について一定の専門的知識・経験を有するとともに、道路橋の適切な維持管理への支援に誠意を持って努力し、活動でき、以下に掲げるいずれかの資格を有する者であることとしている。

- ・技術士(総合技術監理部門、建設部門(鋼構造及びコンクリート、道路))
- ・コンクリート診断士
- ・土木鋼構造診断士
- ・コンクリート構造診断士
- ・土木学会認定技術者(特別上級技術者(メンテナンス)、上級技術者(コースAメンテナンス)、1級技術者(コースAメンテナンス))
- ・道路橋点検士・橋梁点検技術研修修了者(主催:(財)海洋架橋・橋梁調査会)又は道路橋点検士技術研修修了者(主催:(一財)橋梁調査会)



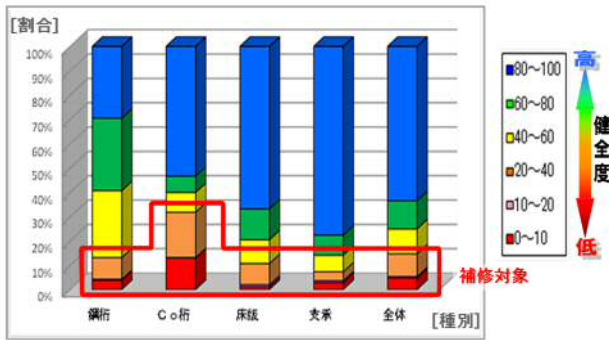
写真-1 橋守隊発足式の状況

2. 市町の状況と課題

兵庫県内の市町が管理している橋梁の維持管理の状況と課題について述べる。

(1) 補修対象橋梁の増加

兵庫県内の市町が管理する道路橋は、約2万橋あり、2014年末の時点で、約1万3千橋の点検が完了している。その内、補修対策が必要な状態と考えられる健全度40点以下の橋梁は約10%~15%ある(図-1)。また、2014年に道路法施行規則が改正され、5年ごとの近接目視による定期点検が義務化されたことで、補修対象橋梁はさらに増加すると想定される。



本グラフは、点検が完了している約1万3千橋の内、健全度の算定が行える約9千橋の健全度を部材別に示したものである。健全度は、点数が高いほど健全な状態であり、40点以下は何らかの補修が必要な状態で、10点以下は早急な対策が必要な状態である。

図-1 部材別健全度分布状況のグラフ

(2) 経過観察の必要性

橋梁の損傷がどの程度の速度で劣化するかは、構造、施工・製作方法、使用材料、環境条件、通行車両の状況等、様々な要因が複合的に影響している。これまでの事例から、鋼橋の主桁の腐食が6年で急速に進行している事例(写真-2)や、PC橋の主桁のひびわれ幅が5年で3倍以上に進行している事例(写真-3)もある。

そのため、補修するまでの間、年1回程度は継続して劣化の進行状況を観察し、橋の安全性を確保することが重要である。



写真-2 鋼橋の腐食の進行状況

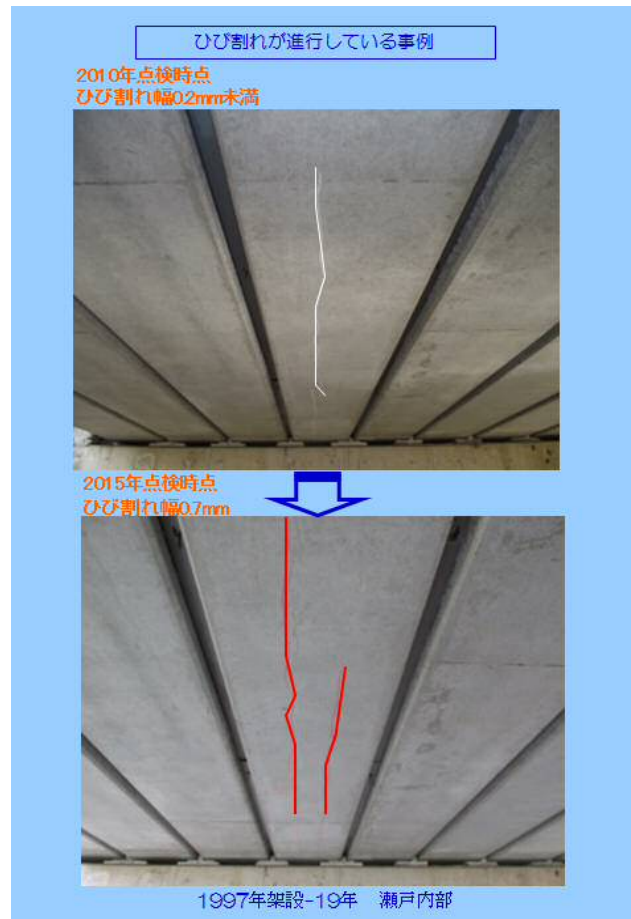


写真-3 PC桁のひび割れの進行状況

(3) 職員数と技術力の不足

兵庫県内の各市町では、早期に補修対策が必要な橋梁を多く抱えているが、厳しい財政状況のため、劣化の進行状況を観察しながら順次補修を進めて行かなければならない状況である。

しかし、橋梁の経過観察を行うためには、橋梁の構造や点検に関する知識や経験が必要となる。さらに、多くの橋梁の経過観察を行うには、人員も必要となるが、兵庫県内の各市町とも、職員数の低減や異動等により技術力の継承が難しい状況にある。そのため、多くの市町では職員数や技術力が不足しており経過観察に対応出来ていない状況である。

3. 橋守隊の活動状況

橋守隊のこれまでの活動状況や、活動内容、現状での課題について述べる。

(1) 活動状況

橋守隊は、前章に示す各市町が抱える課題を少しでも解消し、橋梁の老朽化対策を支援することを目的として

活動している。

2015年度は、16名4班体制で、10市町(106橋)、2016年度は、22名6班体制で、15市町(244橋)の経過観察を実施し、2017年度は、35名8班体制で、13市町(269橋)の経過観察の実施を予定している。(写真-4)

経過観察は、定期点検時点からの損傷の進行や新たな損傷の発生を確認するための簡易的な点検である。



写真-4 経過観察の状況

経過観察において、損傷の進行や新たな損傷が確認され構造物の機能に支障が生じる可能性がある場合には、詳細な点検や診断を実施するよう管理者に報告することとしている。

また、経過観察を行った全ての橋梁の結果について、管理者に報告を行っている。(写真-5)



写真-5 市町への報告状況

(2) 活動の内容と流れ

橋守隊が実施している経過観察の活動内容は、以下の流れにより実施している。

①市町への希望調査

各市町に経過観察を希望する橋梁を調査する。

②調査橋梁の確定

市町への希望調査の結果を受けて、実施する橋梁の班分けを行う。

③事前準備

当センターが構築し管理している「市町橋梁マネジメントシステム」から過去の点検調書を取得する。諸元内容や損傷状況等を確認し、チェックシートの作成を行う。また、当該橋梁の位置やルートについても確認する。

「市町橋梁マネジメントシステム」は、定期点検結果をはじめとする橋梁に関するデータを一元管理するシステムで、現在県内市町の約15,000橋分のデータを登録しており、インターネットを通じて管理者が閲覧できるシステムである。

④調査の実施

作成したチェックシートを基に、損傷箇所の確認を行う。また、損傷箇所の写真撮影を実施する。

⑤チェックシートの作成

撮影した写真をチェックシートに貼付け、コメント等を記入する。

⑥チェックシートの提出

調査完了後、チェックシートをセンターに提出する。



図-2 橋守隊活動フロー図

(3) 活動における課題

橋守隊は、1班で1日に5橋から10橋程度の経過観察を実施するため、事前準備において必要な情報を円滑に取得し、経過観察の結果についても効率的に整理することが必要となる。

2016年度の活動により、抽出された問題点と、その対応に向けて取り組むべき課題についてまとめた結果、以下とおりとなった。(図-3)

a) 問題点

- ①点検調書を取得し、チェックシートの作成に時間がかかる。
- ②点検橋梁の位置確認やルートの確認に時間がかかる。
- ③撮影した写真を橋梁ごとに整理することに手間がかかる。
- ④班員で、写真やチェックシートのデータが共有できない。
- ⑤疑問が生じた時に、内容を説明しにくい。
- ⑥点検結果をCD-R等で提出することが手間である。

b) 問題解決に向けて取り組むべき課題

- ①点検調書の取得やチェックシート作成作業の軽減機能の構築。
- ②点検橋梁の位置と自動ルート案内機能の構築
- ③写真データの取込み・管理機能の構築
- ④写真やチェックシートのデータ共有機能の構築。

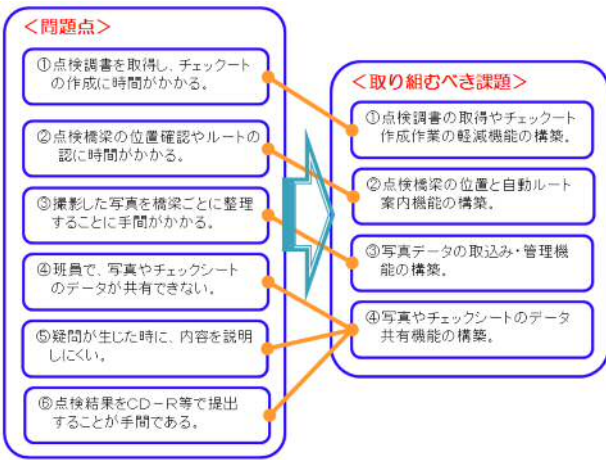


図-3 問題点と取り組むべき課題

4. 橋守支援システムの開発

2016年度の橋守隊の活動において抽出された問題点について、前章の①から④の取り組むべき課題に対応することにより、橋守隊の経過観察に係る作業の負担軽減を図り、継続的な活動を支援することを目的として「橋守支援システム」(以下、「本システム」という)を当センターで開発した。

(1) 橋守支援システムの構成

本システムは、図-4に示すとおり2つの機能で構成される。

①パソコン用システム

橋守隊が事前準備や、経過観察点検後にチェックシートの作成等で使用するシステム。

②タブレットを使用したシステム

点検の際にタブレットを携帯し、写真データの取込みや、ルート案内等、現地での使用を想定したシステム。



図-4 システムの構成

(2) 問題解決に向けた機能の構築

問題解決に向けて取り組むべき課題に対応するために構築した機能について以下に示す。

a) 課題①への対応：点検調書等の自動取得機能

課題①である点検調書の取得やチェックシートの作成作業の軽減機能として、点検調書等の自動取得機能(図-5)を構築した。

橋守隊は、自宅等のパソコンを使用して、本システムにアクセスし、経過観察を行う橋梁を登録すると、「市町橋梁マネジメントシステム」から自動的に過去の定期点検調書が添付される。

また、橋守隊が経過観察で使用するチェックシートも自動的に作成され添付される。各市町橋梁の選択操作は、プルダウン方式で簡単に選択できる。



図-5 点検調書等の自動取得機能

b) 課題②への対応：現地ルート案内機能

課題②の点検橋梁の位置と自動ルート案内機能（図-6）を構築した。

あらかじめ本システムのパソコン側の機能を用いて、経過観察対象橋梁を登録することで、タブレットに点検対象橋梁の一覧が表示される。

また、システムに登録した時点で自動的に橋梁の位置座標を取得しているため、タブレットの経過観察対象橋梁一覧から経過観察する橋梁を選択し、「ルート検索」を行うと、現在の場所から、経過観察を行う橋梁までのルート案内が開始される。



図-6 現地ルート案内機能

c) 課題③への対応：写真データの取込み・管理機能

課題③の写真データの取込み、管理機能（図-7）を構築した。

経過観察完了後は、撮影に使用したデジタルカメラの写真データを、橋梁ごとにタブレットに取り込み整理することができる。写真データの取り込みは、カメラのWiFi機能を使用する行うため、ケーブル等の接続は不要である。

タブレットに取り込まれた写真データは、一覧表示され、不要なデータの整理等が行える。



図-7 写真データ取り込み機能

d) 課題④への対応：写真及びチェックシート共有機能

課題④の写真やチェックシートのデータ共有機能（図-8）を構築した。

タブレットに取り込んだ写真データを、サーバに転送することで、他の橋守隊員やセンター職員と共有することが可能となる。

チェックシートについても、サーバにアップロードすることで、他の隊員やセンター職員と共有することが可能であるため、隊員がシステムの操作や、チェックシートの作成等で疑問が生じた場合でも、センター職員が同じ状況を確認できることから、電話等で対応が容易になった。

また、他の橋守隊が作成しているチェックシートを閲覧できるため、損傷事例等の確認も可能である。

経過観察完了後には、作成したチェックシートをシステムに登録することで、センターへD-R等によりデータを提出する必要がなくなった。



図-8 写真及びチェックシート共有機能

(3) システム構築の効果

本システムは、2016年度より橋守隊が利用を開始している。

実際にシステム利用した橋守隊からヒアリングを行った現状での効果（図-9）と、今後の課題（図-10）については以下のとおりとなった。

課題については、橋守隊と連携を図りながら、引き続き改良を進めたいと考えている。

- <効果>
- ①点検調査やチェックシートが自動添付されるため非常に便利になった。
 - ②ルート案内の機能が便利である。
 - ③電話の問い合わせで状況が伝えられるため便利になった。
 - ④現場と事務所で損傷状況を写真で共有できるようになり便利になった。

図-9 システム構築の効果

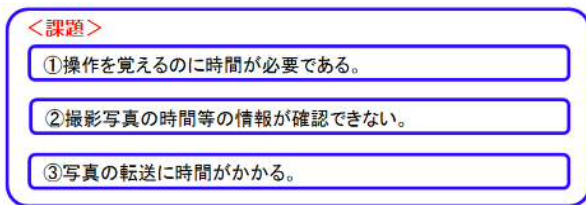


図-10 今後の課題

状況に応じ、適切に継続的なモニタリングを行うことが、道路橋の安全性を確保するためには非常に重要である。

そのため、当センターでは橋守隊の活動を継続的に支援していきたいと考えている。

今後は、本システムを発展・改良し、市町職員や地元業者等が効率的・効果的に精度の高い点検ができる「点検支援システム」を開発し、兵庫県内の道路橋の安全・安心の確保を支援していきたいと考えている。

5. おわりに

現在、各市町で橋梁の定期点検、補修を実施しているが、第2章の市町の現状と課題で述べたとおり、多くの市町は財政上の問題や人材不足といった課題を抱えていることから、全ての橋梁を補修するためには、非常に時間を要する状況である。

その間にも劣化が進行し、補修が必要な橋梁は増え続けている。そのため、定期点検をはじめ、各橋梁の損傷



図-11 点検支援システム (イメージ)

淀川水系ダム群の特別防災操作について

松岡 一成¹・中村 正樹²

¹近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 広域水管理課 (〒573-0166大阪府枚方市山田池北町10-1)

²近畿地方整備局 淀川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒573-0166大阪府枚方市山田池北町10-1)

ダムの特例操作(ただし書き操作)の一つである特別防災操作は、ダム下流の被害を軽減するために貯留量を増やして容量を有効に活用する高度な操作である。この操作は、洪水に対してダム容量に余裕があるときに限り実施するが、その余裕の目安となる数値は各ダムで異なる。今回、この目安の数値について近年の気象予報精度の高度化及び気象データの蓄積から、淀川水系ダム群の一部である木津川筋のダム群について検証を行ったので報告するものである。

キーワード 特別防災操作、淀川水系、木津川ダム群、メソ数値予測モデル (MSM)

1. 特別防災操作

ダムの特例操作(ただし書き操作)には、異常洪水時防災操作と特別防災操作がある。前者は、大きな出水によりダムの洪水調節容量を使い切る可能性が生じた時に流入量と同じ放流量に移行するための操作であり、各ダムの操作規程及び操作要領等により定められている。後者は、ダム下流の河道整備不十分な箇所(木津川筋)の被害を軽減するためにダム放流量を調節したり、複数のダムで貯水容量を融通し連携して下流の浸水被害を防止・軽減するダムの容量を有効に活用する高度な操作である。

淀川水系では図-1に示すように上流、主に3河川(桂川、宇治川、木津川)で形成され、桂川の上流では日吉ダム、宇治川の上流では天ヶ瀬ダム、木津川の上流には高山ダム、布目ダム、室生ダム、青蓮寺ダム、比奈知ダムの7つのダムがあり管理者については国土交通省近畿地方整備局管理のダム、独立行政法人 水資源機構の管理するダムがある。これらのダムにおいて特別防災操作を単独で実施するのではなく連携して実施し、ダムの貯留能力を互いに融通することにより効率的・効果的なダム操作を近畿地方整備局の指示のもと実施してきている。

特に、木津川筋のダム群において操作規程等に定められる通常時の操作(以下本則操作)では、ダム下流の無害流量(下流で被害が発生しない流量)から設定されていないため、本則操作を実施すると、下流の河道整備が不十分な箇所(木津川筋)で氾濫が頻発してしまう。これを防ぐために各ダム連携した特別防災操作を過去から実施してきており、平成21年18号台風では、特別防災操作により名張市街の洪水被害を回避し、土木学会賞や名張市長より感謝状を受けている。図-2に特別防災操作のイメージ

を、図-3に特別防災操作実施時のダムでのハイドログラフを示す。



図-1 淀川水系のダム群

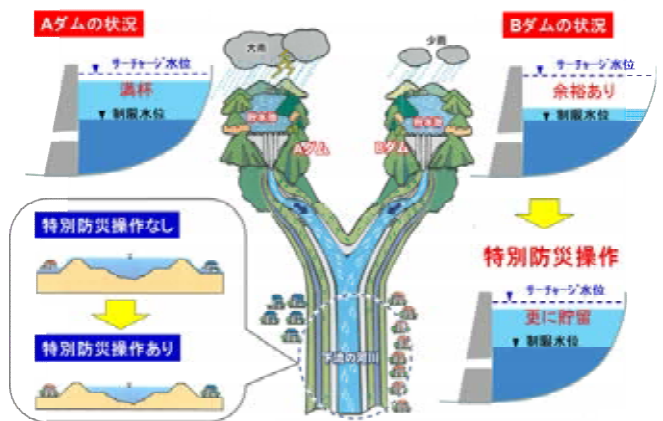


図-2 特別防災操作イメージ

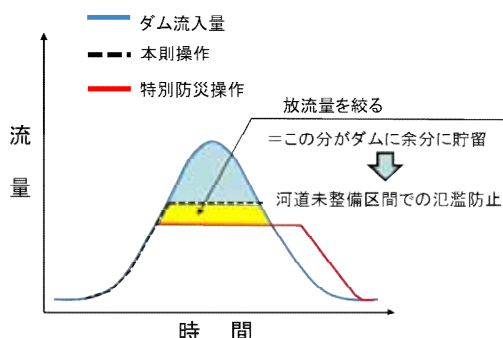


図-3 ダムのハイドログラフ

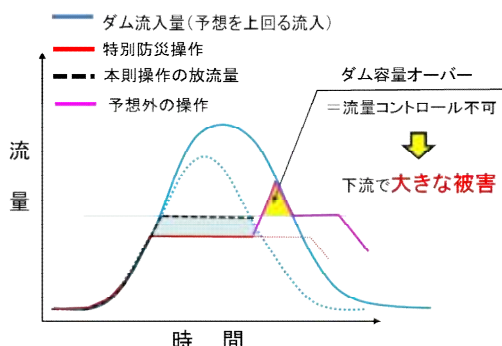


図-4 特別防災操作とリスク

2. 特別防災操作のリスク

特別防災操作を行い河道整備が不十分な箇所では氾濫を生じさせないようにダムの放流量を絞ることは、本則操作であれば河道の方で受け持つ負荷（流量）をダムの方で受け持つ行為でありダムの貯留能力を先使い（計画より早くダム容量を消費）している操作となる。このため予想を上回る整備計画規模（過去に経験した最大規模等）のような大きな洪水の時に同様の操作を実施していると、ダムの貯留能力を計画より早く使いきってしまい河道整備が完了している箇所も含めて氾濫が起きることになり、より大きな被害を発生させてしまう危険性をはらんでいる。（図-4 参照）

このようなことが生じないように、特別防災操作を実施する場合には、不確実なものを科学的な検証をおこなっていかにか確実なものにするかが重要であり、そのためには常時から過去の情報を精度良く分析して降雨予測の不確実性の度合いを見極め、その不確実性の度合いからダムの貯留量の余裕を一定量決めておいて、それを確保しうることを確認してから操作判断することが不可欠となる。

3. 本論の目的

淀川水系のダム群においては過去に判断に迷うことなく適切な特別防災操作が出来るように「淀川水系ダム群の洪水時統管指示操作の実施に向けた取り組み」¹⁾の中で操作手順書が示され、現在まで運用してきている。

近年では、メソ数値予報モデル（MSM）等の気象庁から出されるデータの精度の向上および、予測時間の延長、情報更新頻度が高くなってきており、そのデータの蓄積も進んでいる。

ダムの貯留量は、総流入量と総流出量の差分となることから総流入量を支配することとなる積算雨量に注目して、今回は淀川ダム群のうち複数のダムが密集している木津川ダム群において上記の気象予測技術の向上を踏まえ降雨予測と実際に降った雨を比較検討し、降雨予測雨量を何倍にしておけば実際の降雨量が収まるか予測誤差α値を算出し、手順書への反映を行うことを目的とする。

4. 検証手法および結果

気象庁から出されるメソ数値予報モデル（MSM）については、平成13年3月から気象庁の方で運用されているが予測時間が33時間となった平成19年以降を対象（現在の予測期間が39時間となった平成25年以降を対象としたいが、データが少ないため）に、木津川ダム群の地域で概ね100mm以上の洪水を選抜すると7洪水。また、7洪水の内その原因が台風であった洪水は6洪水、前線性であったのが1洪水であった。その中で流出量が100m³/sに満たず布目ダムのみ特別防災操作を実施した2回は除いた5洪水（全て台風性）について検証を行った。手法としては気象庁から出された予報値と予報値が出されて以降の実績降雨を比較し降雨ピークの2日前、降雨ピーク1日前、降雨立上り、降雨ピーク時、降雨終了時のそれぞれのα値を算出する。

その結果を表-1に示す。

表-1 木津川ダム群 α値

ダム名	洪水名	総雨量 (mm)	降雨ピーク 2日前	降雨ピーク 1日前	降雨立上り	降雨ピーク時	降雨終了時
高山ダム	H21T18洪水	240	0.91	0.92	0.94	0.89	1.00
	H23T12洪水	518	1.21	1.18	1.20	1.09	1.00
	H24T17洪水	147	-	1.20	1.20	0.89	1.00
	H25T18洪水	290	-	1.18	1.17	1.08	1.00
	H26T11洪水	236	-	0.99	0.98	0.92	1.00
	H21T18洪水	280	0.79	0.80	0.82	0.87	1.00
青蓮寺ダム	H23T12洪水	699	0.84	0.83	0.83	0.86	1.00
	H24T17洪水	190	-	1.06	1.06	0.89	1.00
	H25T18洪水	368	-	1.03	1.04	0.94	1.00
	H26T11洪水	323	-	0.88	0.88	0.85	1.00
	H21T18洪水	225	0.75	0.76	0.77	0.80	1.00
	H23T12洪水	424	0.95	0.92	0.93	0.99	1.00
室生ダム	H24T17洪水	84	-	0.87	0.88	0.88	1.00
	H25T18洪水	226	-	0.81	0.85	0.91	1.00
	H26T11洪水	255	-	0.88	0.89	0.87	1.00
	H21T18洪水	222	0.89	0.90	0.93	0.89	1.00
	H23T12洪水	287	0.89	0.91	1.04	0.99	1.00
	H24T17洪水	141	-	1.43	1.43	1.02	1.00
布目ダム	H25T18洪水	252	-	1.17	1.21	1.01	1.00
	H26T11洪水	251	-	1.01	1.01	0.91	1.00
	H21T18洪水	303	0.82	0.83	0.85	0.89	1.00
	H23T12洪水	844	0.89	0.86	0.91	0.90	1.00
	H24T17洪水	223	-	1.03	1.04	0.90	1.00
	H25T18洪水	440	-	1.01	1.02	0.95	1.00
比奈知ダム	H26T11洪水	409	-	0.97	0.98	0.94	1.00
	最大値		1.21	1.43	1.43	1.09	1.00
最小値		0.75	0.76	0.77	0.80	1.00	
平均値		0.85	0.85	0.86	0.89	1.00	

■ 1.0以下 ■ 1.0以上

予測誤差α値 = 実測降雨量 / 降雨予測雨量

表-2 全国洪水実績 19事例

通番	年	降雨期間						最寄アメダス				備考	
		開始時			終了時			府県	アメダス	期間降雨量(mm)	時間最大雨量(mm)		起時
		月	日	時	月	日	時						
1	2013	7	28	1	7	28	24	島根	津和野	381.0	73.0	28日5時	島根県、山口県の大雨
2	2013	9	14	1	9	16	24	三重	宮川	580.0	55.0	16日1時	台風18号
3	2014	7	8	1	7	9	24	沖縄	名護	457.5	74.5	9日7時	台風8号
4	2014	8	1	1	8	5	24	高知	繁藤	1366.0	67.0	3日6時	8月大雨
5	2014	8	8	1	8	10	24	高知	魚梁瀬	1078.5	74.5	10日1時	同上
6	2014	8	7	1	8	10	24	高知	船戸	918.5	41.5	10日1時	同上
7	2014	8	9	1	8	10	24	三重	宮川	661.0	69.0	9日13時	同上
8	2014	8	16	1	8	17	24	京都	福知山	335.5	50.0	17日4時	同上
9	2014	8	15	1	8	18	24	岐阜	高山	385.5	56.0	17日8時	同上
10	2014	8	19	1	8	20	24	広島	三入	257.0	101.0	20日4時	広島市土砂災害
11	2014	10	5	1	10	6	24	静岡	清水	428.0	61.0	6日8時	台風18号
12	2015	7	15	1	7	18	24	奈良	上北山	745.5	47.0	16日19時	台風11号
13	2015	7	15	1	7	18	24	和歌山	西川	694.0	51.0	17日1時	同上
14	2015	7	15	1	7	18	24	高知	魚梁瀬	681.0	87.0	16日23時	同上
15	2015	7	18	1	7	21	24	鹿児島	尾之間	628.0	33.5	20日8時	台風12号
16	2015	9	8	1	9	10	24	栃木	五十里	617.0	59.5	10日4時	関東東北豪雨
17	2016	7	8	1	7	14	24	宮崎	えびの	816.5	50.5	12日23時	前線
18	2016	8	28	1	8	31	24	十勝	ぬかびら 源泉峡	355.0	35.5	31日3時	台風10号等、前線複合
19	2016	8	22	1	8	23	24	静岡	天城山	434.5	86.0	22日9時	台風10号等、前線複合

表-3 2×2:流域面積≒100km² 検証結果

洪水	各到達直後					原因
	降り始め	50mm	100mm	200mm	300mm	
	実測/ 予測	実測/ 予測	実測/ 予測	実測/ 予測	実測/ 予測	
1	11.61	10.88	14.02	2.22	2.22	島根県、山口県の大雨
2	1.25	1.23	0.99	1.05	1.17	台風18号
3	3.07	2.93	2.06	1.28	1.25	台風8号
4	5.23	3.37	1.48	3.00	2.60	8月大雨
5	1.42	1.81	1.46	1.87	1.50	同上
6	1.29	1.09	1.10	1.47	1.36	同上
7	1.38	1.18	1.26	1.30	1.47	同上
8	5.97	9.58	5.56	45.40	45.40	同上
9	1.11	1.92	1.16	2.79	2.27	同上
10	4.80	4.43	4.43	0.99	-	-広島市土砂災害
11	2.32	1.41	1.83	1.50	1.06	台風18号
12	1.14	1.19	1.99	1.30	1.13	台風11号
13	1.39	1.72	1.68	1.56	1.31	同上
14	0.94	1.96	1.76	1.38	1.33	同上
15	0.42	1.24	1.35	0.78	1.08	台風12号
16	1.66	2.02	1.68	2.97	0.74	関東東北豪雨
17	0.31	0.26	0.48	1.60	1.20	前線
18	1.02	1.18	1.30	1.38	0.66	台風10号等、前線複合
19	0.66	1.09	1.09	0.36	-	-台風10号等、前線複合
平均:n	3.90	3.14	2.64	3.90	3.99	
max	11.61	10.88	14.02	45.40	45.40	
min	0.94	1.09	0.99	0.36	0.66	
台風起因のみ抽出						
平均:n	1.87	1.84	1.72	1.26	1.19	
max	3.07	2.93	2.06	1.56	1.33	
min	0.94	1.19	0.99	0.78	1.06	

■ 予測時間不足のため除外データ ■ 台風起因洪水

表より、降雨終了時に近づくに従って概ね精度が良く ($\alpha = 1.0$ に近く) になっていることが確認できる。また、高山ダム、布目ダムにおいては $\alpha > 1$ (実測が予想を上回る) の傾向、室生ダムは $\alpha < 1$ (実測が予想を下回る) の傾向があることが分かるが、いずれも $\alpha < 2$ であることが確認できた。

次に、木津川ダム群付近だけにとどまらず全国の洪水における α 値について検証を行った。対象降雨は、メソ数値予報モデル (MSM) の予報更新時間が3時間毎と

表-4 5×5:流域面積≒600km² 検証結果

洪水	各到達直後					原因
	降り始め	50mm	100mm	200mm	300mm	
	実測/ 予測	実測/ 予測	実測/ 予測	実測/ 予測	実測/ 予測	
1	11.56	10.15	10.01	1.91	0.51	島根県、山口県の大雨
2	1.10	1.25	1.00	1.32	1.17	台風18号
3	2.10	1.80	1.33	1.39	0.18	台風8号
4	3.79	1.93	1.25	2.52	2.03	8月大雨
5	0.58	1.01	1.41	1.34	1.44	同上
6	0.95	0.92	1.07	1.19	1.40	同上
7	1.35	1.25	1.29	1.24	1.29	同上
8	3.46	3.66	4.62	2.48	-	-同上
9	1.20	1.95	2.04	2.82	1.14	同上
10	4.94	3.43	1.36	-	-	-広島市土砂災害
11	1.99	1.39	1.63	1.33	0.85	台風18号
12	1.02	1.04	1.35	1.20	0.98	台風11号
13	1.28	1.71	1.67	1.54	1.38	同上
14	1.15	1.82	1.68	1.38	1.21	同上
15	0.71	2.53	1.93	1.64	0.62	台風12号
16	1.60	1.80	1.63	2.55	0.60	関東東北豪雨
17	0.34	0.26	0.44	0.67	0.59	前線
18	1.21	1.06	1.83	2.68	-	-台風10号等、前線複合
19	0.58	0.97	0.20	-	-	-台風10号等、前線複合
平均:n	3.14	2.28	2.07	1.72	1.03	
max	11.56	10.15	10.01	2.82	2.03	
min	0.58	0.97	0.20	0.67	0.18	
台風起因のみ抽出						
平均:n	1.59	1.50	1.51	1.40	0.91	
max	2.10	1.82	1.93	1.64	1.38	
min	1.10	1.04	1.00	1.20	0.18	

■ 予測時間不足のため除外データ ■ 台風起因洪水

なり同時に39時間先までの予報値が得られるようになった平成25年5月以降の洪水を対象とし、気象庁が毎年まとめている「災害をもたらした気象事例」を基に、全国各地で豪雨による河川氾濫や土砂災害となった事例19洪水を抽出した。抽出した結果を表2に示す。

手法は、流域面積が100km²程度のダム、青蓮寺ダム(100km²)、室生ダム(136km²)、比奈知ダム(75.5km²)、布目ダム(75km²)のダムのモデルとして、1メッシュが5km²であるメソ数値予報モ

デル (MSM) の2×2メッシュ (100km²相当) を抽出し、その予想降雨と実績降雨を比較し α 値を算出した。

また、流域面積が大きい高山ダム (615km²) については、メソ数値予報モデル (MSM) 5×5メッシュ (600km²相当) を抽出し、同様に予想降雨と実績降雨を比較し α 値を算出した。

比較時期は降り始め直後、50mm到達直後、100mm到達直後、200mm到達直後、300mm到達直後についてそれぞれ検証した。なお、メソ数値予報モデル (MSM) の予想時間が39時間先までなので、それ以降も降雨があるもの (予報時間が実績降雨時間に比して不足) については検証から除外した。

結果を表-3、表-4に示す。

表より、2×2のメッシュデータより5×5のメッシュデータの方が範囲の大きい分、平均化され若干予測精度 (α 値が1.0に近い値) が良くなっていることが分かる。また当然予測後期の方が予測精度は上がるはずであるが、5×5メッシュデータでは上がっているが、2×2メッシュデータについては精度が上がっていない。ただし台風起因する降雨のみ着目すると後期になる程、予測精度が向上していることが分かる。このことは前線起因の降雨の予測精度は低く予測が難しいことを表していると考えられる。

α 値についてはダムの特別防災操作を実施し始めることが多いと考えられる100mm到達直後以降に着目すると、両方のメッシュデータで $\alpha = 2.0$ を下回る洪水が多いが、最大で $\alpha = 45.40$ と大幅に上回るものもある。しかし、台風起因の洪水に着目すると概ね $\alpha = 2.0$ 以内となることが確認できた。なお、1洪水のみ $\alpha = 2.0$ を上回るが、200mm到達直後では $\alpha = 1.28$ となり2.0以下となる。

以上より、木津川ダム群で特別防災操作を行うような洪水は、近年では台風起因の洪水がほとんどであり台風起因の洪水であれば全国の洪水事例、木津川筋ダム群の洪水事例に照らしても特別防災操作を行う時期 (100mm到達直後以降) においては、実績と予報の予測誤差を $\alpha = 2.0$ としても問題ないことが確認できた。

5. 課題

第一に、予報はあくまでも予測であり今回、過去のデータに照らして安全と思われる予測誤差を算出したが、これを当てはめて特別防災操作を実施しても確実ということはない。このため特別操作開始後も予報を確認するとともに、より精度の高いレーダ予測 (3時間予測) を使って予報の更新を行いながら問題があれば直ぐに本則操作に切り替える準備をしておくことは当然である。ま

た2. で記述した特別防災操作実施に伴うリスクについては沿川住民の方には十分説明し理解をしてもらう必要がある。

第二に、今回台風起因の洪水については一定の予測誤差が求められたが、前線性の雨に対してはまだ予報の誤差が大きく予報を信頼して特別防災操作をおこなうことは難しい状況である。今回検証した木津川ダム群の範囲は台風起因の洪水が多いが、日吉ダム等の北部地域は前線性の洪水も過去に数多く経験しているので今回の内容を日吉ダムにそのままあてはめるのは危険と考える。

6. まとめ

河川改修事業には河川の水を安全に流す河道整備 (築堤、河道掘削等) と、河川の水を一定程度貯める貯留施設整備 (ダム建設、遊水地整備) がある。両方の事業が同時に完成するのが理想だが、同時に完成させることは難しくタイムラグが生じる、ダムが先に完成すると下流の河道整備が不十分な箇所では、特別防災操作等の必要性が生じる。河道整備を急ぐことはもちろん必要であるが、災害はいつ起こるか分からないこと、予想を超える大きな洪水においては、現状の施設を効率的かつ効果的に利用することが重要であり、そのために特別防災操作の役割は大きいと考える。ただしこの操作にはリスクを伴っていることを十分に周知することも同時に重要である。

今回の検証で木津川筋のダム群においては、近年の予報データと実測データを検証することにより一つの予測誤差 (α 値) を求めることができた。ただし近年、地球温暖化に伴う気候変動で洪水の状況も大きく変化しており、この予測誤差を信じ切って使用することは危険である。そのため絶えず新しいデータで検証並びに操作手順の更新をしていくことが重要と考える。

謝辞：独立行政法人 水資源機構 木津川ダム総合管理所におきましては、解析データの提供等、多岐にわたるご協力をいただいた、この場をかりて謝意を表す。

参考文献

- 1) 森田 宏, 志鹿 浩幸, 井川 智博：淀川水系ダム群の洪水時統管指示操作の実施に向けた取り組み, ダム技術, No.329, pp.57-64, 2014.2

事業中用地でのゲリラ豪雨対策について

日朝 洋明

大和川河川事務所 工務課 (〒583-0001大阪府藤井寺市川北3丁目8番33号)

大和川河川事務所では、堺市堺区において、阪神高速道路(株)と堺市と共同して、阪神高速大和川線及び高規格堤防と一体となったまちづくりを行っています。2017年1月には阪神高速道路大和川線は三宝JCTから鉄砲出入口まで供用し、現在供用した道路上部の盛土を鋭意行っており、今後堺市によるまちづくりが行われる予定です。今回は、高速道路→高規格堤防→区画整理と事業者が変わるなかで、近年多発しているゲリラ豪雨に対し、事業中用地からの雨水排水をできるだけ外部に出さない対策の一方策を紹介します。

キーワード 高規格堤防、ゲリラ豪雨、事業中

1. はじめに

近年、ゲリラ豪雨が多発しています。市街地は概ね時間雨量50～60mmで排水路が計画されており、それを上回れば水路の氾濫や住宅の浸水などが起きる可能性があります。下図1は1976年～1985年と2004年～2013年の50mm/hを超える短時間降雨の発生数を比較したのですが、約1.4倍増加しています。数字からも水路の計画規模を超える降雨が発生しており、浸水対策は水路や下水道だけでなく、できる限り様々な手段を講じないと浸水被害は軽減できないことがわかります。本報告では、高規格堤防事業中用地でのゲリラ豪雨対策について報告します。

2. 高規格堤防事業の概要

高規格堤防事業は、大河川の破堤による壊滅的な被害を回避するために、堤防高さの約30倍の幅で盛土を行います。現在、大和川河川事務所は大阪府堺市において、まちづくりと一体となって高規格堤防事業(事業延長3.1km)を実施しています。

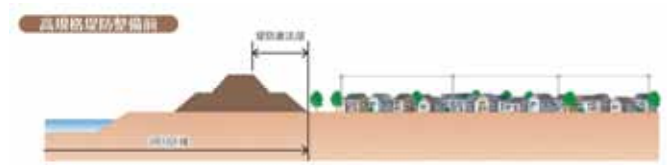


図-2 高規格堤防整備前

日本における近年の降雨の状況

○時間雨量50mmを超える短時間強雨の発生件数が増加(約30年前の約1.4倍)

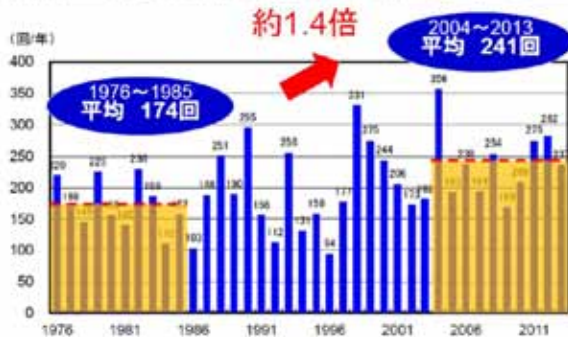


図-1 日本における近年の降雨の状況

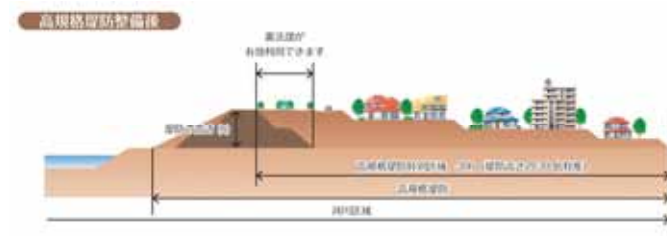


図-3 高規格堤防整備後

3. 排水対策の検討

高規格堤防事業は、既成市街地で行うことが多く、現在工事中の堺市においても既に市街地整備されたところのため堺市において計画降雨50mm/h対応の排水計画がされています。堺市においても宅地開発等に関して指導しており、「雨水の流出抑制基準」があり、高規格堤防盛土後の上面整備の際には、貯留池などの抑制対策を講じることとなります。

1) 排水計画の流れ

排水計画は以下の項目について検討し、接続する下水管への影響を照査し決定します。

- (1) 計画流量の算出
- (2) 通水量の算出（水路の形式による）
- (3) 水面形による照査
- (4) 流下能力照査

当初設計では、高規格堤防盛土の工事は、事業途中の行為であり、盛土完成後、まちづくりが行う上面整備まで期間が短いため流出抑制対策は必要とされていません。そのため、排水計画は上記の流れで設計しました。

今回は、計画規模以上の降雨時の浸水等の被害を発生させない方策を検討するため、上記（1）計画流量の算出方法について説明し、降雨規模を決定します。

2) 計画流量の算出

- (1) 表面排水の接続先の下水管に対して以下の2通りの計算手法にて算定し、安全側の設計とするため、**計画流量が大きくなる手法**を採用する。
手法①：「堺市宅地開発等に関する指導基準」
手法②：近畿地方整備局設計便覧
- (2) 汚水・その他の流量には、変化がないものとし、降雨による流出量での照査を行う。
- (3) 計画流量の算出に際しては、流出量に30%の余裕量を見込む。（手法②も同様）。

結果、

- ① 堺市基準 流末流量 $Q=0.150\text{m}^3/\text{sec}$
 - ② 整備局便覧 流末流量 $Q=0.012\text{m}^3/\text{sec}$
- となり、計画流量が大きくなる**①堺市基準**を採用し、排水設計をしています。

4. 貯留対策の検討

1) 実施可能な対策

当初設計は、下図4,5のように堤防天端に小堤（高さ30cm）を設け、堤防天端の雨水が法面から民地側へ雨水が直接流出するのを防いでいます。

今回、ゲリラ豪雨対策として手戻りが少ない方法として防災小堤を活用し、オリフィスを設け上面貯留を検討しました。

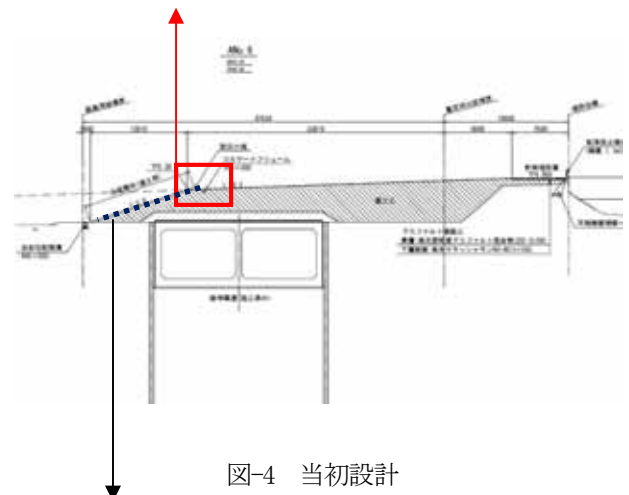
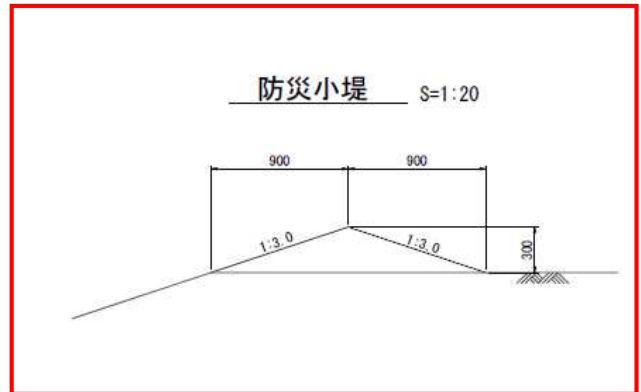


図-4 当初設計

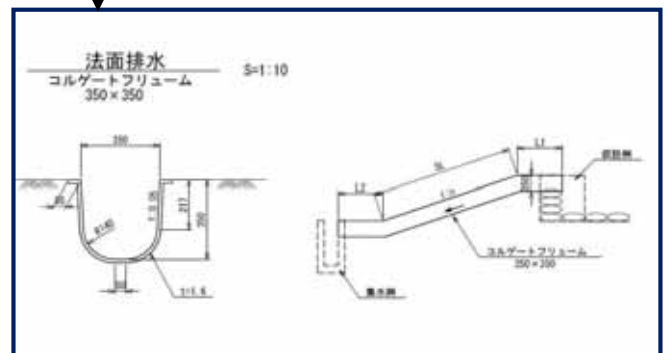


図-5 法面排水（当初設計）

2) 貯留検討

(1) 貯留検討 (オリフィスの検討)

当初設計からの手戻りを少なくするため、高規格堤防天端での貯留を考えます。当初設計からの改変をできる限り少なくするため、

- ① 高規格堤防天端をフラットにし斜面を少なくする。
- ② 既存の小堤を活かしオリフィスを設置する。

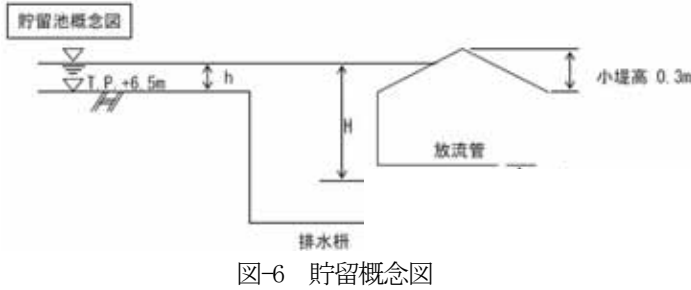


図-6 貯留概念図

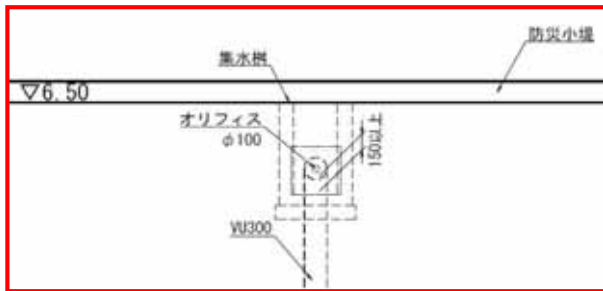


図-7 オリフィスΦ100 (対策後)

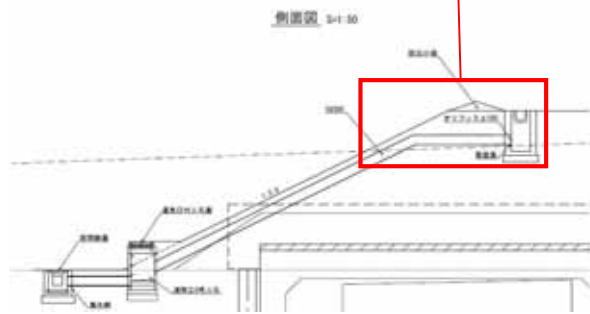


図-8 法面排水 (対策後)

3) 貯留効果

(1) 計画雨量 (50mm/h)

	t(min)	r(mm/hr)	Q(m ³ /s)
1	0.00	0.00	0.000
2	7.00	157.74	0.379
3	14.00	107.74	0.259
4	21.00	86.21	0.207
5	28.00	73.59	0.177
6	35.00	65.09	0.156
7	42.00	58.88	0.141
8	49.00	54.09	0.130
9	56.00	50.26	0.121
10	63.00	47.11	0.113
11	70.00	44.46	0.107
12	77.00	42.19	0.101
13	84.00	40.22	0.097
14	91.00	38.48	0.092
15	98.00	36.95	0.089
16	105.00	35.57	0.085
17	112.00	34.33	0.082
18	119.00	33.21	0.080
19	126.00	32.18	0.077
20	133.00	31.23	0.075

表-1 計画降雨50mm/h

堺市下水道設計指針 (10年確率) 計画降雨50mm/h (表-1) で貯留した場合、図9のとおり湛水深さ9cmとなります。

最大9cmの湛水

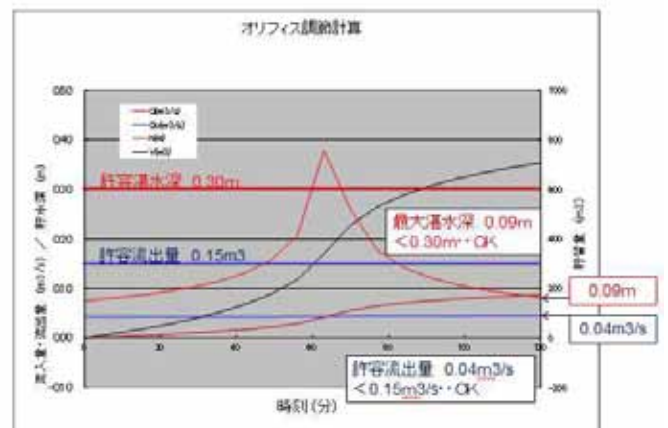


図-9 オリフィス貯留計算 (計画降雨50mm/h)

(2) 計画降雨の2倍

ゲリラ豪雨に対する効果として計画降雨の2倍の100mm/h規模の降雨は表2になります。この降雨を使い貯留効果を確認すると、図10の結果のとおり小堤高さが30cmに対し、最大湛水深さ22cmとなることから、オリフィスの設置により高規格堤防上面での貯留は100mm/h程度は効果があることが検証されました。

	t(min)	r(mm/hr)	Q(m ³ /s)
1	0.00	0.00	0.000
2	7.00	315.49	0.758
3	14.00	215.49	0.517
4	21.00	172.41	0.414
5	28.00	147.18	0.353
6	35.00	130.18	0.313
7	42.00	117.76	0.283
8	49.00	108.19	0.260
9	56.00	100.53	0.241
10	63.00	94.22	0.226
11	70.00	88.92	0.214
12	77.00	84.38	0.203
13	84.00	80.43	0.193
14	91.00	76.97	0.185
15	98.00	73.89	0.177
16	105.00	71.14	0.171
17	112.00	68.66	0.165
18	119.00	66.41	0.159
19	126.00	64.36	0.155
20	133.00	62.47	0.150

表-2 計画の2倍降雨

5. まとめ

近年多発するゲリラ豪雨は、既存市街地だけでは対応できません。現在、大規模な盛土をしたとしても計画問題なければ貯留池などの抑制対策などは求められていません。しかし、計画規模以上の降雨により浸水等の被害が発生した場合、事後対策等に対応を行ってきましたが、設計段階から排水計画を少し工夫することで流出抑制が可能となり、被害の軽減につながる可能性があることがわかりました。

6. 今後の展望

防災は、自助・共助・公助それぞれが必要ですが、公共として事業の中で少しでもできることを広げることで、地域の防災力が向上すればと思います。今回は高規格堤防事業用地での対策を紹介しましたが他事業でも参考になればと思います。

謝辞：本論文の作成にあたり、多くの知識や示唆を頂いた方々に、感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

最大 22cm の湛水

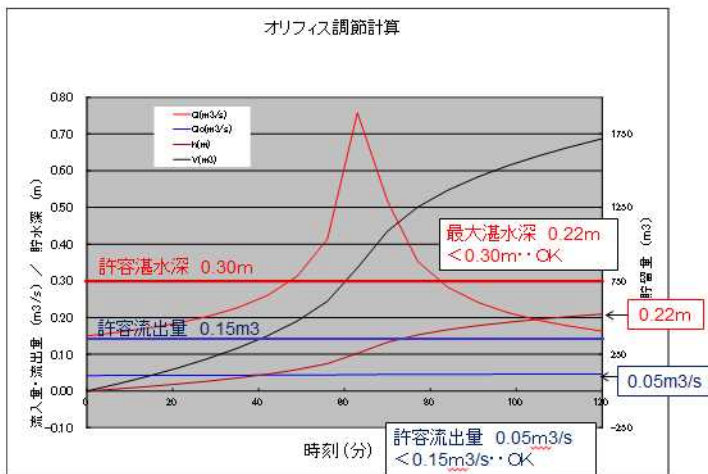


図-10 オリフィス貯留計算 (100mm/h)

高山ダム浅層曝気循環の 水温を指標とした効率的運用

丹羽 賢一¹

¹独立行政法人水資源機構 木津川ダム総合管理所 管理課 (〒518-0413) 三重県名張市下比奈知2811-2

本報告は、高山ダム貯水池においてアオコ抑制のために設置された浅層曝気循環設備について、効果等を整理分析し、その結果を踏まえた今後の運用方針等の検討を行ったものである。

検討は、水質自動観測設備や現地の水温連続観測等のモニタ結果、及び定期水質調査結果を対象に、主として表層水温を指標とした観点から循環効果、冷水放流の改善効果、低層の溶存酸素(DO)低下とこれに伴う鉄・マンガンの溶出抑制効果等について整理分析を行った。

また、整理結果を踏まえ、曝気循環設備の効率的(経済的)運転を現場で簡易に行うための、運転台数増減の目安となる水温指標の提案を行った。

キーワード 浅層曝気循環設備 表層水温 低層DO低下 循環効果 効率的運用

1. はじめに

高山ダム貯水池では、1969年の管理開始後15年が経過した1984年頃から、栄養塩の流入負荷量の増加に伴い、藍藻類のMicrocystisを優占種とするアオコの発生が確認されており、毎年夏期には低層の溶存酸素(DO)の低下も見られていた。また、選択取水設備が無いため常に低層のEL.95.0m, 99.0m(湖底標高概ねEL.90m程度)から放流をしているため、4~5月頃には流入水温に比べ低い温度の冷水を放流することがあった。

そこで、2000年~2002年に、浅層曝気循環設備4基(コンプレッサー4台)を設置しその後2012年に散気管のみを4基増設し、併せて3箇所水温の連続モニタリングも実施している(図-1)。

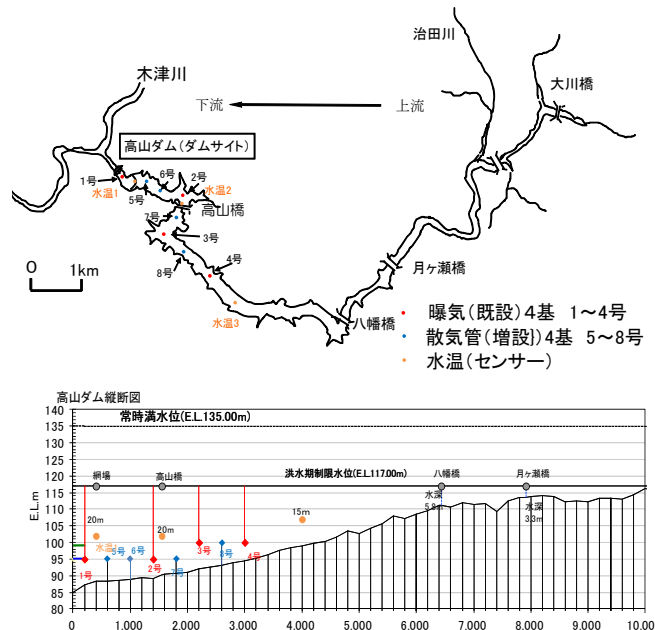
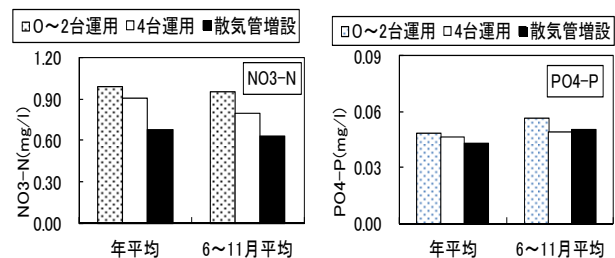


図-1 曝気循環設備の設置位置

2. 高山ダム水質の経年変化(曝気前後の変化)

(1) 流入水質と貯水池水質の経年変化

高山ダムの流入水質について、曝気設備の設置運用時期の平均で比較した(図-2)。硝酸態窒素(NO₃-N)は経年的に減少傾向が見られているが、オルトリン酸態リン(PO₄-P)は、0.05mg/l程度の高い値で横ばい傾向にあり、流入水質のみに着目した場合は、藻類の異常増殖によるアオコ発生のリスクは高い状態で継続していることが分かる。

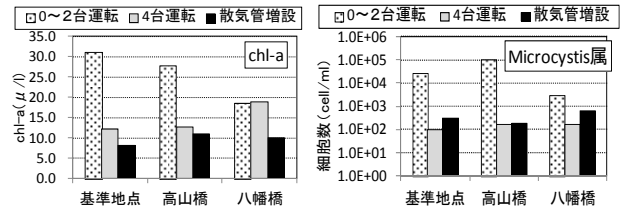


※0~2台運転;2001~2003 4台運転;2004~2011平均
散気管増設;2012~2015平均

図-2 流入水質の経年変化(大川橋地点)

(2) 曝気設備運用前後の貯水池水質の変化

貯水池の基準地点（網場）におけるクロロフィル a(Chl-a)濃度及びアオコ原因種である *Microcystis* の細胞数を曝気運転期間で比較すると（図-3），流入リン濃度は減少していないにもかかわらず，曝気循環設備運用後明らかに減少が見られており，運用の効果が確認出来る。



※0～2台運転; 2001～2003 4台運転; 2004～2011 平均
散気管増設; 2012～2015 平均

図-3 貯水池水質の経年変化

4. 曝気循環設備の効果

(1) 運転前後の水温及び溶存酸素(DO)鉛直分布の変化

曝気循環設備運用前の2000年7月と運用後の2004年7月の水温和溶存酸素(DO)の鉛直分布比較を図-4に示す。

曝気の運転により水温和DOは曝気水位付近から一様となっており，循環効果が見られる。なお，運用前においてEL.99m付近で水温躍層が形成されているのはこの水深から取水を行っていることによるものである。

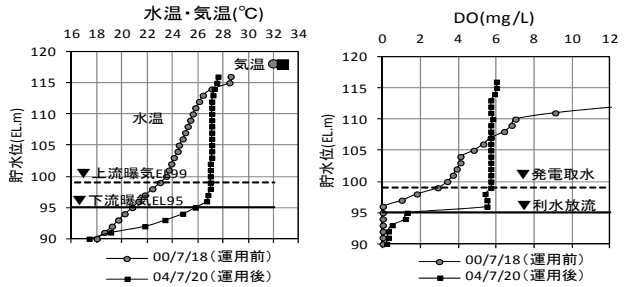


図-4 曝気前後の水温・DO鉛直比較（基準地点）

(2) 曝気循環によるアオコ抑制効果の指標

アオコの原因となる藍藻類は，細胞内の気泡によって浮上し表面付近に集積する。曝気循環設備によるアオコ抑制は，表層付近の水温勾配を小さくし，循環流で藍藻類を光の届き難い深層へ送ることにより増殖を抑制する。

そのため一般に効果の指標は水温勾配とすることが多い。しかし図-4の通り，水温勾配が小さくなると水温躍層より深い低水温の層と表層が混合されるため，表層水温も低下する。

また，一般に水温が高くなると*Microcystis*は増加傾向を示す。このため，アオコが発生する指標として表層水温が使用出来るか検討を行った。

毎月の定期調査から，図-5にアオコ発生時の*Microcystis*とChl-aの関係を，図-6に表層水温区分毎の細胞数の頻度割合を示す。

図-5から概ねアオコ発生時には*Microcystis*は10,000細胞，Chl-aは30 $\mu\text{g/l}$ を超えている。また，図-6の前後比較から，曝気の運用で表層水温の低下と30℃以上の回数の減少が見られており，水温が高いほど抑制効果が大きくなっている。30℃以上の高い水温の回数の減少が抑制効果が大きくなる目安と考えられる。

次に1日6回の自動監視の結果から，曝気の運用，表層水温と気温の比較を図-7に示す。下段の図は，日最高気温と表層水温が30℃を超過した日数と回数を年毎に示したものである。

運用前～2台試験運転の2000～2003年は夏期に気温の上昇と共に水温も35℃付近まで上昇し，表層水温が30℃を超える回数も年間100回以上であったが，4台運用後の2004年以降は，水温は30℃程度まで低下し，30℃を超過する回数も減少している。

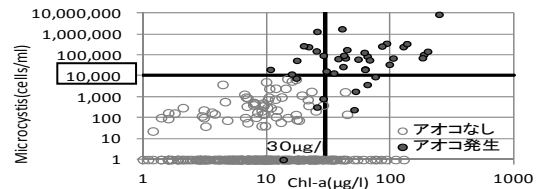


図-5 アオコ発生時の *Microcystis*細胞数と Chl-a

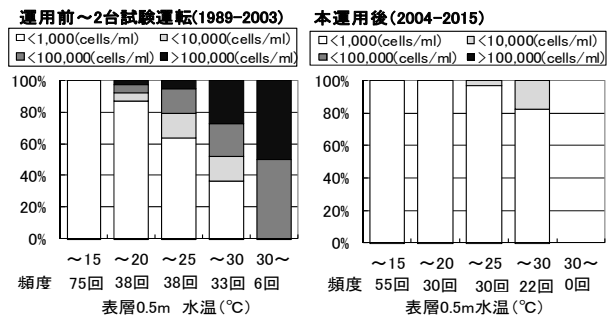


図-6 表層水温と *Microcystis*細胞数（定期調査）

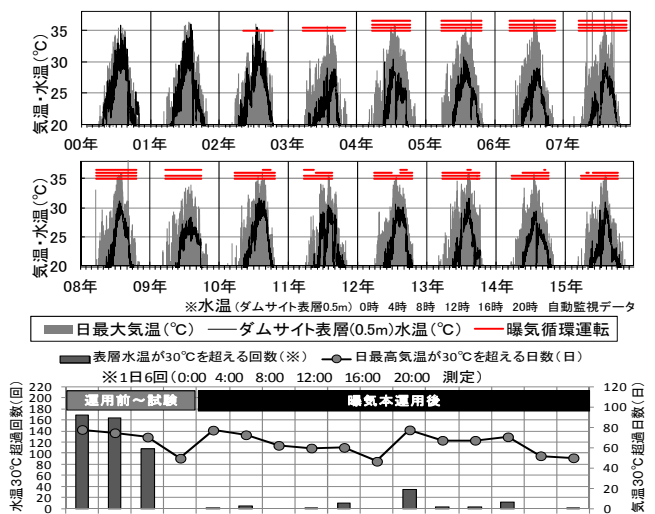


図-7 曝気の運転と気温・表層水温の関係

(3) コンプレッサー運転台数と循環効果

曝気循環設備の運用時における表層水温の地点（ダムサイト、網場（0.4km）、高山橋（1.6km）、4号曝上流1km（4km）、八幡橋（6.4km）、流入水）比較を図-8にまた、コンプレッサーの運転台数毎の各地点における水温鉛直分布を図-9に示す。

曝気の運転により、表層3m付近までの水温勾配が小さくなることで、上流から下流に行くに従い表層水温が低下していることが分かる。

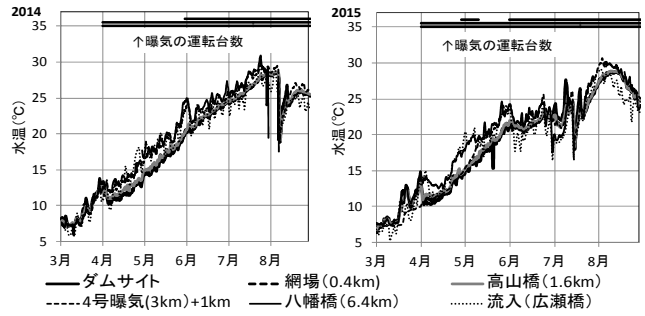


図-8 曝気運転時の表層水温の地点比較（3～8月）

(4) 曝気循環による冷水放流改善効果とDO改善効果

図-10に運用前後の放流水温を示す。運用前の放流水温は、4月頃は流入と比較し5°C程度低くなっておりアユ等への影響が懸念される状況であったが、運用後は水温差が2°C程度まで減少している。

図-12に2001年～2015年に測定した底層（底上1.0m）のDOと鉄・マンガンとの関係を示す。概ねDOが2mg/l以下となると鉄・マンガンの溶出量が増加する傾向にある。

また、図-11に示す取水深のDOを見ると、取水深付近のDOは、運用前は0mg/lまで低下していたが運用後は2mg/l以上まで上昇している。

これらのことから曝気の運用により、底層からの鉄・マンガンの溶出が抑制され、放流水への影響が緩和されていることが推察される。

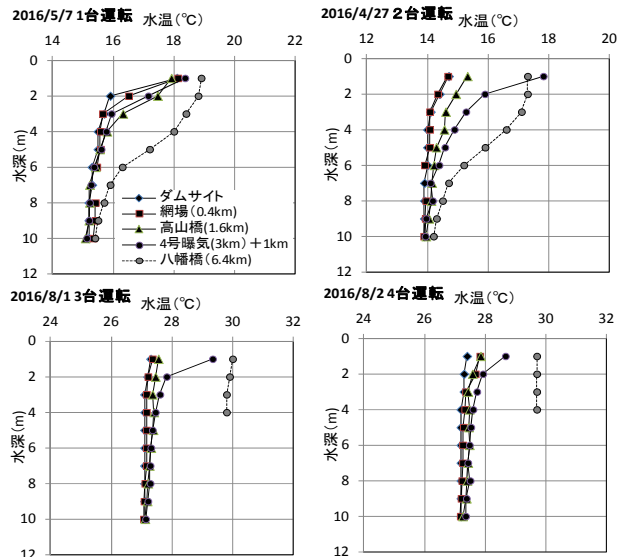


図-9 運転台数と水温分布の比較（2016年抽出）

4. 浅層曝気循環設備の運用方針

(1) 曝気循環設備の散気水深と散気方式

曝気循環設備の散気方式は、水深固定、標高固定、水深可変がある。効果の点では藻類の光制御や曝気のエネルギー効率を考慮すると、出来るだけ深い位置から曝気を行うのが良いため、安価で維持管理も簡単な標高固定型を深い位置に設置するのが良いが、一般に選択取水設備のある貯水池では、取水深変更による効果を得るため、水深固定型や可変型を採用することが多い。

高山ダムでは選択取水設備は設置していないが、水深可変と標高固定両方を設置している。運用は冷水放流や低層のDO低下を抑制するため、取水深のEL95m付近から標高を固定して散気を行う必要があり、水深可変型の曝気については、水位に応じて水深を変化させて運用している。

そのため今後の更新時においては標高固定型とすることが望ましいと考えられる。

(2) コンプレッサー運転台数の増減の指標

曝気循環設備の運転によるアオコ発生抑制の指標は一般的に水温勾配等が用いられるが、代替として表層水温30°Cの頻度の低下が指標として使用できることが3章2節で明らかとなった。

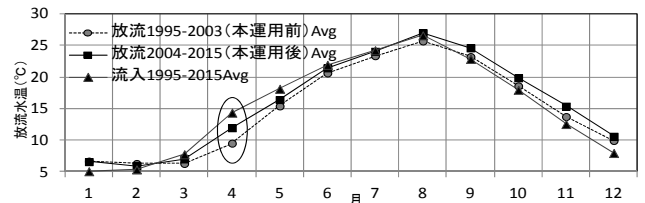


図-10 放流水温の運用前後比較

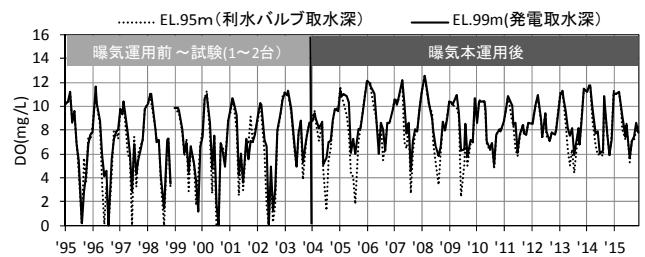


図-11 取水深(EL95m及びEL99m)DOの経年変化

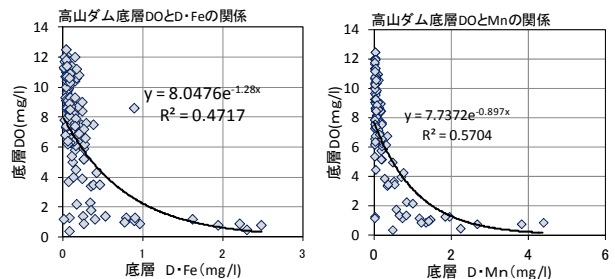


図-12 底層(底上1m)DOと鉄・マンガン（基準地点）

まず、コンプレッサー運転台数の増減の閾値を検討するため、自動監視装置の表層水温とChl-aとの関係を整理した。結果を図-13に示す。なお、水温は日変動があるためここでは日平均値とした。

曝気循環設備運用前の相関係数は、 $R^2=0.2$ と相関がみられるが、運用後の相関係数は、 $R^2=0.001$ で相関が見られなくなっている。

これはアオコが発生しないように曝気循環設備を常に運転しているためであり、全期間の統計値からは運転台数の増減の閾値は得られなかった。

そこで、曝気循環設備を運転していてもアオコが発生することがあることに着目し、このときの条件が区分できるように整理することで運転台数の増減の指標の検討を行った。

表層0.5m日平均水温と運転台数の関係をChl-a濃度 ($\leq 15, 15\sim 20, 20\sim 30, 30\leq$) 毎に図-14に示す。例えば5月は、多くのケースでコンプレッサー2台の運転でChl-aが $15\mu\text{g/l}$ 以下となっているが、日平均の表層水温が 17°C を超えるとコンプレッサー2台でもChl-a濃度が $30\mu\text{g/l}$ 以上となる場合がある。

そのため表層水温が 17°C 以下の場合には2台の運転とし、 17°C を超える場合には3台運転が必要と考えられる。

(3) コンプレッサーの効率的運転 (月毎の運転台数)

以上の結果から、4月～10月のコンプレッサー運転台数の増減の目安についてダム地点の日平均表層水温を指標とすると表-1の通りとなる。

5. まとめ

高山ダムの曝気運用時におけるコンプレッサーの運転台数と表層水温・Chl-aを分析することで、表層水温を指標として台数の増減の目安が得られた。

この結果を目安に効率的運用を行っていきたい。
その他 以下のことが分かった。

a) 高山ダムにおいては、表層水温が 30°C 以上の高い水温となる回数が減少していることが、アオコ抑制効果が大きくなる目安と考えられる。

b) 曝気循環設備の運用により、上流から順に水温勾配が小さくなり、台数による違いが確認できた。

c) 選択取水設備が無く取水深が貯水池底層付近である高山ダムであっても、曝気設備の最適な配置、運用により冷水放流抑制・DO低下の抑制ができることを確認できた。(鉄・マンガン溶出抑制のため、底層付近のDOを 2mg/l 以上に保つことが望ましい)

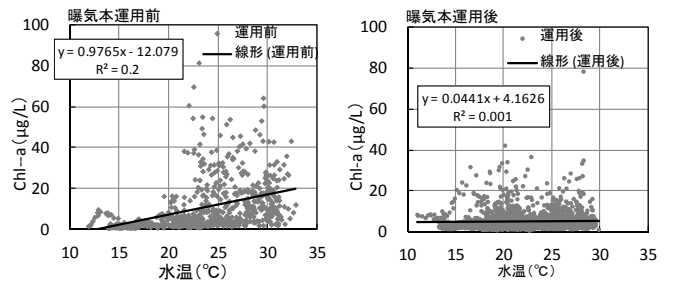


図-13 表層水温と日最大Chl-aの関係 (基準地点)

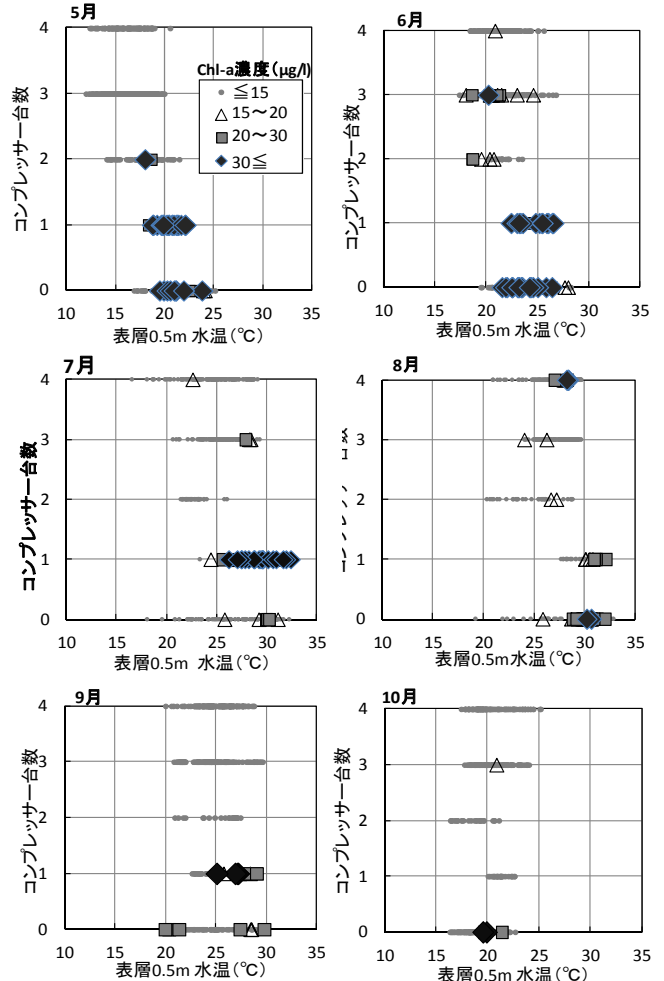


図-14 藍藻類によるChl-aと表層水温・運転台数

表-1 月毎の曝気コンプレッサー運転台数の目安

月	基本	ダムサイト自動監視表層水温等目安
4月	2台	アユ等水産資源への冷水放流への影響の観点から4月1日から2台の運用
5月	2台	日平均表層水温 $>17^\circ\text{C}$ →3台へ増加
6月	2台	日平均表層水温 $>20^\circ\text{C}$ →3台へ増加
7月	3台	日平均表層水温 $>28^\circ\text{C}$ →4台へ増加
8月	3台	日平均表層水温 $>28^\circ\text{C}$ →4台へ増加
9月	2台	日平均表層水温 $\geq 25^\circ\text{C}$: 2台 日平均表層水温 $\leq 25^\circ\text{C}$: 1台
10月	1台	日平均表層水温 $\geq 20^\circ\text{C}$ →1台 日平均表層水温 $\leq 20^\circ\text{C}$ →停止

木ノ川高架橋におけるひびわれに対する調査・解析を踏まえた補修・補強について

三宅 純¹・森 光正²

^{1,2}近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 道路管理課 (〒646-0003 和歌山県田辺市中万呂 142)

木ノ川高架橋は、国道 42 号那智勝浦新宮道路にあり、上部工形式は国内初となるウェブに鋼管を用いた「鋼・コンクリート複合トラス橋」である。供用後まもなく、上部工のコンクリートひび割れ損傷が確認され、ひび割れ注入等の補修が実施された。その後、本橋の特殊性に鑑み、長期的な耐荷力への影響の観点から、現地調査・計測、FEM 解析、既往図書等による損傷原因究明や、それを踏まえた補修・補強対策検討、モニタリング計画検討が行われ、現在も検討中である。本報告では、検討中のものも含み、これまでの検討内容の概要について紹介する。

キーワード コンクリートひび割れ、現地調査計測、3次元 FEM 解析、原因究明、補修・補強

1. はじめに

本報告は、和歌山県新宮市に位置する木ノ川高架橋のひび割れ損傷に関して、調査・計測、検討、解析等を踏まえた損傷原因究明および、それを受けた補修・補強検討、モニタリング計画検討に関して述べるものである。

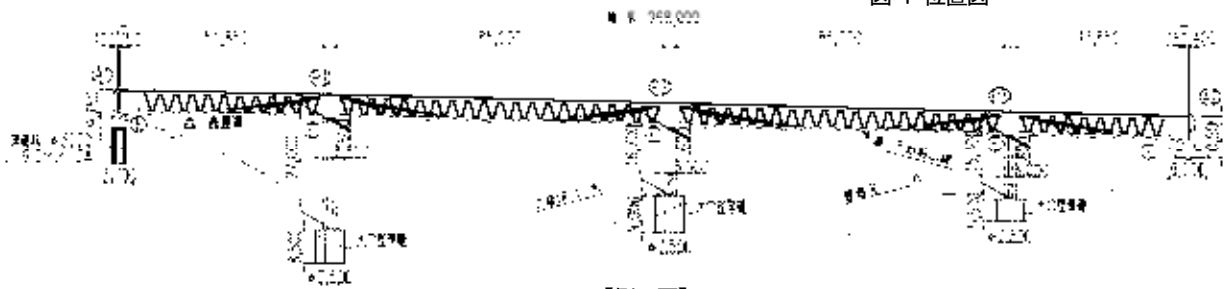
なお、本報で述べる内容は現時点でのものであり、今後の検討会での審議を踏まえて修正する予定である。

木ノ川高架橋は、平成 20 年 3 月に開通した紀伊半島の沿岸部を通過する那智勝浦新宮道路にあり、二級河川木ノ川および市道等を跨ぐ 4 径間連続の鋼・コンクリート複合トラス橋（橋長 268m）である¹⁾。

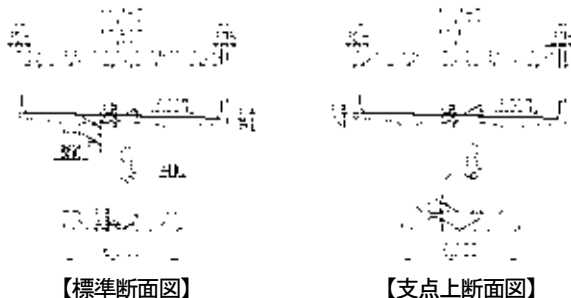
位置図を図-1に、橋梁一般図および全景写真を図-2に、橋梁諸元を表-1に示す。



図-1 位置図



【側面図】



【標準断面図】

【支点上断面図】



木ノ川高架橋全景

図-2 木ノ川高架橋 一般図および全景写真

本橋の工事は設計・施工一括発注方式により行われ、「技術検討会」および「施工管理検討会」における審議と並行しながら進められた。上部工形式は国内初となる「ウェブに鋼管トラスを用いたPC橋（鋼・コンクリート複合トラス橋）」であり、平成15年6月に完成した。

表-1 橋梁諸元

構造形式	4径間連続鋼・コンクリート複合トラス橋
橋長(支間長)	268m(51.85+2@85.0+43.85m)
幅員	11.15m(全幅員), 10.5m(有効幅員)
平面線形	R=1200m(緩和曲線区間あり)
勾配	縦断 1.7~2.6%, 横断 2.8~3.0%
下部工	橋台: 逆T式橋台, 橋脚: 柱式RC橋脚
基礎工	深礎杭(φ3.0), 直接基礎, 大口径深礎杭(φ7.5)

平成20年3月に供用が開始されたが、同年10月にひび割れ等の変状が確認されたため、全橋に渡って詳細点検が行われ、その結果をもとに平成22年10~11月にひび割れ注入工や表面含浸工等の損傷部の補修が行われた。

その後、本橋の特殊性に鑑み、長期的な耐荷力への影響について、損傷原因との関係を踏まえてさらなる検討が必要となることから、平成25年12月に「木ノ川高架橋モニタリング検討会」が設立された。平成29年6月初旬時点までに5回の検討会が実施され、近々第6回検討会が予定されている。

本報では、本橋の特徴的な損傷である上部構造のコンクリートひび割れに着目した内容を報告する。

2. ひび割れ損傷概要

(1) 木ノ川高架橋の特徴と各部名称

木ノ川高架橋は、ウェブに鋼管を使用した1箱形式のPC橋で、鋼管(φ406.4)は上床版側、下床版側ともに縦桁コンクリートに埋め込まれ、その結合部(以下、格点部と言う)には、コンクリート内部に鋼製ボックスが配置さ

れている²⁾。桁内の状況と本報で使用する各部の名称を写真-1に示す。桁には、支点上横桁から張出した5段の外ケーブルが配置され、下床版側に設けられた外ケーブル定着部(高さ650mm、橋軸方向幅1.6m)で支持されている。横桁は支点上のみに配置され、橋軸方向に880mmの張出しウェブ(図-3参照)が設けられている。架設は、中間橋脚部からワーゲンをを用いた張出し工法によりされた³⁾。

(2) ひび割れ損傷概要

本橋上部工における特徴的な損傷はコンクリートひび割れであり、代表的な発生箇所は外ケーブル定着部、格点部、支点上横桁部である。3章で原因究明のための調査・計測内容およびその結果概要を示すが、外ケーブル定着部、下床版側格点部、支点上横桁部の代表的なひび割れ損傷状況を、第1径間を代表として図-3に示す。

外ケーブル定着部では、図-3に示す定着部上面のみでなく鉛直面にもひび割れが生じており、その最大幅は0.3mmである。格点部では外ケーブル定着部との交差部で最大0.25mmが確認されたが、ほとんどは0.1mm未満のひび割れである。支点上横桁では張出しウェブ部の水平ひび割れが最大0.4mmである他、横桁一般部では最大0.3mmのひび割れが確認された。

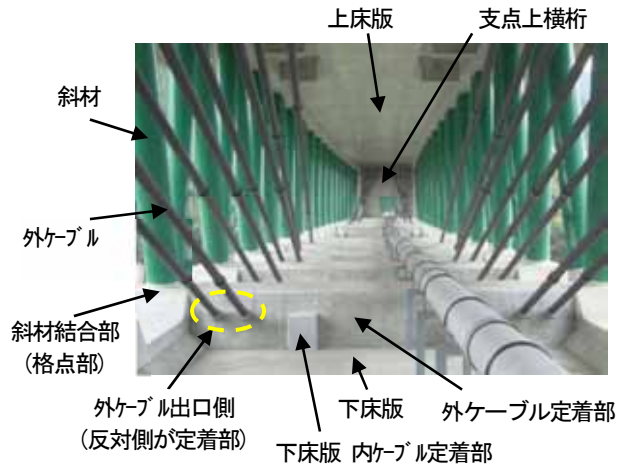
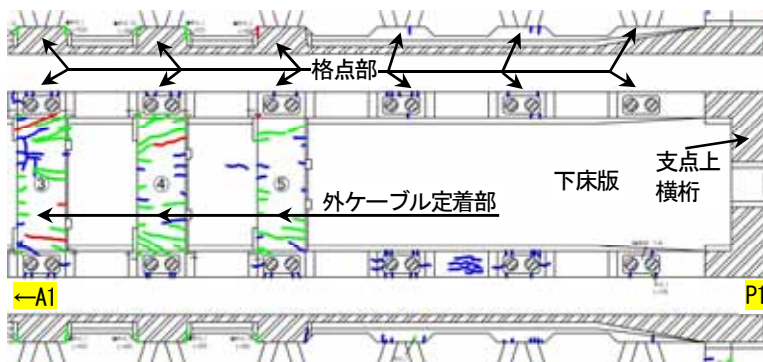
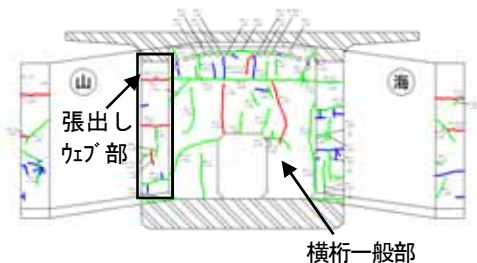


写真-1 桁内状況および部位名称



【下床版上面のひび割れ状況(A1~P1の一部を抜粋)】



【支点上横桁のひび割れ状況(P1橋脚起点側面)】

- 【凡例】コンクリートひび割れ
- 0.1mm未満
 - 0.1~0.2mm未満
 - 0.2mm以上

図-3 上部工における代表的なコンクリートひび割れ状況(第1径間を代表として示す)

3. 原因究明に向けた調査・計測・検討

(1) 現地調査・計測

a) 外観変状調査・ひび割れ深さ計測

原因究明に向けて実施した主な現地調査・計測項目を表-2に示し、その目的、内容、結果概要を以下に記す。

外観変状調査では、主に桁内面を対象に、0.05mm以上のひび割れについて複数年に渡り継続した近接目視を行った。調査結果は、ひび割れ発生箇所やパターン毎に整理し、ひび割れ密度やひび割れ深さ計測結果とともに、その進展に着目して整理した。この結果、ひび割れ発生部位やパターンの変化は小さいが、ひび割れの進展(長さ・幅)が継続していることを確認した。その結果は(2)節で詳述する。

b) 橋全体の挙動確認

橋全体としての変状確認のため、桁のキャンパー計測や外ケーブル張力計測を行い、完成直後や設計値との対比から橋全体として有意な変状がないことを確認した。また、この結果を、今後のモニタリングに向けた指標として整理した。

c) 活荷重及び温度差・温度変化の影響

本橋は、ウェブに鋼管を用いた開放的な断面で、中間横桁がなく、一般的なPC箱桁橋よりも桁のねじれ剛性が小さい特徴を有する。加えて、直射日光等により温度変化・温度差の影響も比較的受け易い。このため、試験車(60t吊りラフタークレーン:約40t)を用いた静的荷重試験や、温度変化・温度差による各部の挙動を計測した。

結果概要は以下のとおりである。ア)温度差・温度変化の影響に伴い、ひび割れは挙動している、イ)車両偏載に伴うひび割れ挙動は、温度差・温度変化に比べ小さい、ウ)車両偏載や温度差・温度変化により、桁断面は平行四辺形的な挙動を示すが、ひび割れ挙動と桁断面のねじれ変形とは強く連動していない可能性がある、エ)ひび割れの最大開閉変位量とそれに対応するコンクリート表面の温度変化は、概ね一定の相関を示している。

d) 部材温度

ウェブが開放された構造であるため、桁内(下側)の部材はコンクリート、斜材、外ケーブルともに外気温の影響に加えて、日射の影響を強く受けていることを確認した。

e) 桁内乾燥状態調査

雨後に桁内(下面)の濡れ方や乾き方を調査した結果、桁内の環境と桁外の環境に差がないことを確認した。また、複数年でのコンクリート表面ひずみを計測した結果、収縮の進行が継続していることを確認した。

(2) ひび割れパターン及びひび割れ発生箇所の整理

ひび割れ発生箇所、ひび割れパターン、時系列的な整理のうち、各部位毎のひび割れパターンを図-4~図-6に示す。なお、これらの整理は、損傷原因究明のための検討を踏まえて整理した結果である。

全体的な傾向として、ひび割れは進展しているが新たなひび割れパターンは認められないこと、格点部や外ケーブル定着部ではひび割れ延長の増加や新たなひび割れの発生によりひび割れは依然増加傾向にあるが支点上横桁ではその傾向は鈍化傾向であること、最大ひび割れ幅やひび割れ深さは極端な変化・進行は認められないこと、が確認された。

a) 格点部

下床版側の格点部に生じたひび割れのパターンを図-4に示す。ひび割れの特徴は以下のとおりである。ア)ひび割れの発生箇所は増加しているが、ひび割れパターンの進展は認められない、イ)外ケーブル定着部との交差部では、斜め及び鉛直方向のひび割れ(パターンC1,C2)が認められる、ウ)橋軸・直角方向のひび割れ(パターンT1~T3)は、ほとんどが0.1mm未満である。

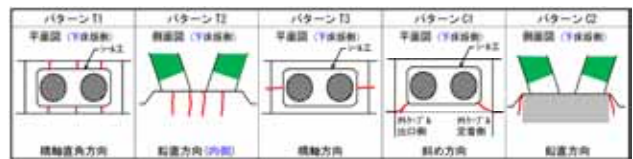


図-4 ひび割れパターン(格点部:下床版側)

表-2 原因究明に向けて実施した、主な現地調査・計測

調査・計測項目	調査・計測内容
①外観変状調査	主に桁内面を対象に、近接目視調査の実施(0.05mm以上のひび割れを対象)
②ひび割れ深さ計測	代表的なひび割れを対象に、超音波測定器によるひび割れ深さの計測
③キャンパー計測	橋全体として有意な変形が生じていないことの確認のため、キャンパーを計測し、完成直後の結果と比較
④ひび割れ挙動計測	車両の偏載や温度変化・温度差の影響によるひび割れ挙動を、代表的なひび割れでπゲージ等により計測
⑤斜材ひずみ計測	格点部周りのひび割れと斜材ひずみとの因果関係確認のため、ひずみを計測(車両偏載、温度変化・温度差)
⑥外ケーブル張力計測	設計値との対比や今後のモニタリング指標を目的に、加速度計により振動数・加速度を計測し張力を算定
⑦桁断面挙動計測	鋼管ウェブで支間部に中間横桁が設置されていないことから、一般的なPC箱桁橋よりもねじれ剛性が小さいという特徴に鑑み、トータルステーションを用いて桁断面挙動を計測(活荷重、温度差・温度変化)
⑧桁内乾燥状態調査	開放的な桁構造である特徴に鑑み、実施済みの補修材塗布の有無によるコンクリート表面の収縮量を計測
⑨部材温度計測	温度変化が与える影響把握の基礎資料として、斜材鋼管や桁内コンクリート等の部材表面温度を計測

b)外ケーブル定着部

外ケーブル定着部に生じたひび割れのパターンを図-5に示す。ひび割れの特徴は以下のとおりである。ア)ひび割れの発生箇所は増加しているが、パターンの進展は認められない、イ)上面のひび割れ(パターン C3,C4)は「ハの字」の傾向が認められる、ウ)定着部側面(鉛直面)のひび割れ(パターン C8)は全ての定着部で外ケーブル出口側に認められる。エ)中央付近では橋軸直角方向のひび割れ(パターン C7)が一部に認められる。このほか、定着部の角部に橋軸方向ひび割れ(パターン C5,C6)が認められる。

c)支点上横桁(橋脚上に着目)

支点上横桁(橋脚上)に生じたひび割れのパターンを図-6に示す。ひび割れの特徴は以下のとおりである。ア)ひび割れの発生箇所の増加は少なく、パターンの進展は認められない、イ)張出しウェブ端面に水平方向ひび割れ(パターン D1,D2)が顕著に認められる、ウ)横桁本体及び張出しウェブ端面に鉛直方向のひび割れ(パターン T4,T5)が認められる、エ)開口部左右及びその上方に斜めひび割れ

(パターン T6,T7)が認められる、エ)打継ぎ目付近で水平・鉛直方向のひび割れ(パターン J1,J2)が認められる。

(3) 工事関係資料、設計図書等に基づく損傷原因究明検討

工事関係資料、設計報告書、施工業者ヒアリング等をもとに、損傷原因を「材料起因」、「施工起因」、「環境起因」、「構造起因」の面から検討した。

a)材料起因に関する検討

コンクリートの品質(スランプ、空気量、塩化物含有量、コンクリート温度、圧縮強度に着目)のばらつきや偏りを架設ブロック毎、部材毎、施工時期毎に整理し、ひび割れ状況との関係を検討した。その結果、コンクリート品質とひび割れ状況との明確な因果関係は認められなかった。

b)施工起因に関する検討

実際の施工ステップ(コンクリート打設日)、実際の鉄筋かぶりや施工時の補修痕等と、ひび割れ状況との関係を整理した結果、施工そのものに起因すると思われる事項とひび割れとの因果関係は明らかでなかった。

c)環境起因に関する検討

飛来塩分調査結果から、現時点では塩害の可能性はないことを確認した。

d)構造起因に関する検討

部位・部材毎に設計断面力や応力度を整理し、ひび割れ状況との関係を検討した。この結果から、設計応力とひび割れ状況との因果関係は明らかでなかった。



図-5 ひび割れパターン(外ケーブル定着部)

4. 損傷原因究明に向けたFEM解析

(1) 3次元FEM解析の必要性

設計図書等に基づく部位・部材毎の設計断面力や設計応力度の整理(マクロな応力状態)では、ひび割れ状況を説明できないことが明らかとなったため、損傷原因究明のため、3次元FEM解析により細部構造に着目した応力(ミクロの応力状態)を把握することとした。

実橋において、ア)ひび割れが生じていること、イ)ひび割れの進展が確認されていること、ウ)ひび割れの開閉が確認されていること、の3点を踏まえて、どこがどのような挙動をしないと起こりえないのかという観点を持ち、感度あるいは応力の向きの変化に着目して解析を行った。

解析は、死荷重状態(完成直後の無載荷時)では精緻なモデルを目指して中間橋脚付近に着目した部分モデルを、活荷重や温度差・温度変化等の橋全体の挙動を確認する場合には若干粗くした要素を用いた全橋モデルを採用した。また、モデル要素は、着目部のコンクリート要素はソリッド要素、着目部位外のコンクリートはシェル

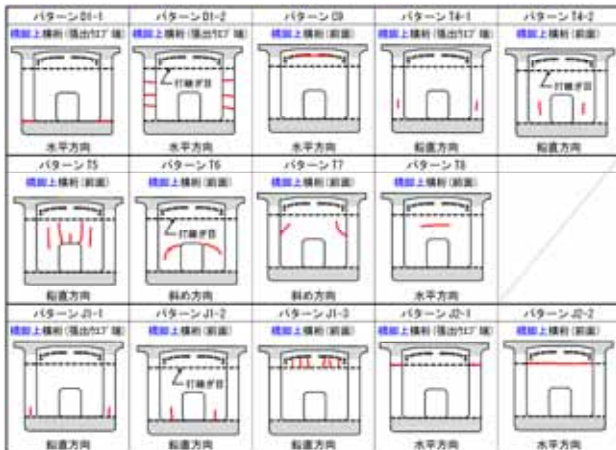


図-6 ひび割れパターン(支点上横桁:橋脚部)

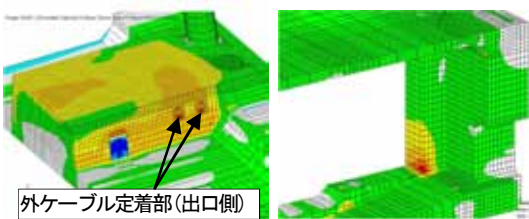
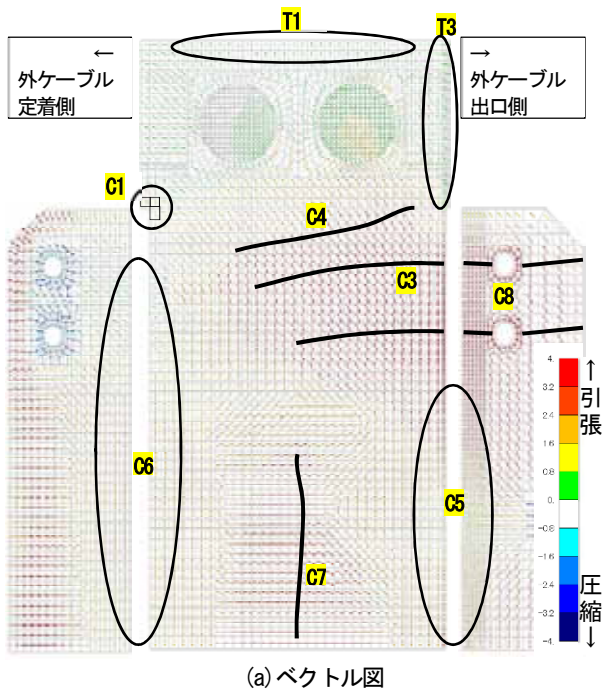
要素, 斜材や外ケーブルは棒要素でモデル化した。

(2) 死荷重時 (完成直後の無載荷時) の応力状態

3次元 FEM 解析結果の一例として, 図-7 に外ケーブル定着部及び格点部のベクトル図とコンター図を示す。ベクトル図ではひび割れパターンとの概念も合わせて示している。なお, 図中のひび割れ記号は図-4 及び図-5 の記号を表している。

図-7(a) に示すように, 解析結果のベクトル図とひび割れの方向を整理することで, 解析で得た引張方向とひび割れに直交する方向が一致するかどうかを整理した。例えば, 図-7(a) では, ひび割れパターン C1, C3~8, T3(出口側のみ) は一致しており, その他は死荷重においてひび割れ直交方向に引張応力が生じていない。これらにより, 死荷重状態で, 箇所によって比較的大きな引張応力が内在していることを確認した。

同様に, 支点上横桁についても整理した結果 (図-7(b) にコンター図のみ参考として示す), 支点上横桁の張出しウェブ端面の下側は, 解析での引張方向応力とひび割れに直交する方向が一致することを確認した。



(b) コンター図概要 (主応力)

図-7 死荷重時の応力状態

(3) 死荷重状態 (完成直後の無載荷時) での引張応力を助長させる要因

死荷重状態で, 箇所によって比較的大きな引張応力が内在していることを確認した後に, ひび割れの進展要因を検討するため, その引張応力と同方向に引張応力が生じる要因について解析的に検討した。その一例として, 外ケーブル自身の温度変化が与える影響の結果を図-8 に, 部材表面と内部との温度差が与える影響結果を図-9 に示す。これらから, 外ケーブルの温度下降時やコンクリート部材表面の温度下降時等で, 死荷重状態で生じている引張応力を助長させる可能性があることを確認した。

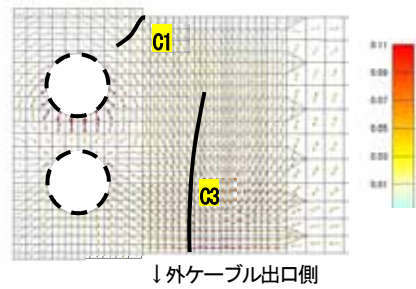


図-8 外ケーブルのみ温度下降時の影響 (外ケーブルのみ -10°C)

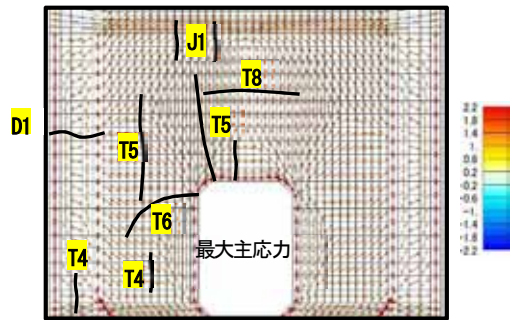


図-9 部材表面の温度差の影響: 横桁 (部材表面のみ -10°C)

5. 損傷原因究明

(1) 損傷要因

検討結果をもとに, 考えられる損傷要因を, 部位毎, ひび割れパターン毎に, ①主要因もしくは可能性が大きいと考えられる要因, ②単独で損傷を生じさせるものではないが可能性のある要因, ③損傷を助長させると考えられる要因, に区別して検討・整理した。その詳細は割愛するが, 推定した主な損傷要因は以下のとおりである。

(a) 格点部及び外ケーブル定着部

格点部及び外ケーブル定着部では, ケーブル力により生じる引張応力 (図-10 参照) や, 温度差・温度変化による影響 (コンクリート表面と内部との収縮差, 部材間の温度差), 活荷重 (外ケーブル張力の作用), 乾燥収縮, などの原因を推定した。

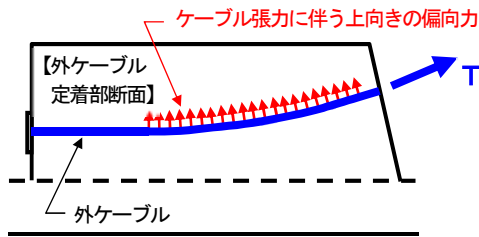


図-10 外ケーブル曲げ上げに伴う断面力の概念図

(b) 支点上横桁

支点上横桁では、死荷重+プレストレス（橋軸方向のトラス作用による引張応力（図-11 参照）、水和熱（前施工部による外部拘束）、温度差・温度変化（コンクリート表面と内部との収縮差）、活荷重（トラス作用）などの原因を推定した。

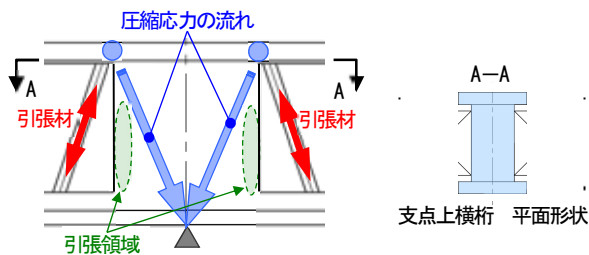


図-11 支点上横桁の橋軸方向トラス作用の概念図

(2) ひび割れ進展の要因

現時点においてもひび割れの進展や挙動が確認されており、その要因を推定した。

日々、桁に作用するものとしては、活荷重、温度差（部材・部位間、表面と内部）、温度変化（部材）、乾燥収縮（あるいは乾湿の繰り返し）が考えられ、調査・計測結果からウェブが開放された本橋では外気温や直射日光の影響を受け易く、ひび割れ挙動に与える影響は活荷重よりも温度差・温度変化によるものが大きいことが確認された。また、FEM 解析では、代表的なひび割れが生じている箇所では温度差・温度変化や活荷重により、死荷重状態で生じる引張応力を助長させる引張応力が生じる可能性があることも確認された。加えて、コンクリート表面の収縮の進行が継続していることも確認された。

これらを、部位毎、ひび割れパターン毎に整理し、補修・補強検討、モニタリング計画検討に資するものとした。

6. 補修・補強対策（案）とモニタリング計画（案）

(1) 補修補強対策（案）

補修・補強対策は、ひび割れ注入工、表面塗布工に加えて、「炭素繊維シート補強工」や「断面増し厚」等を検討している。

現時点では、死荷重状態での引張応力が比較的高いレベルにある部位・部材、橋の長期的な耐荷力確保に重要部位である部位・部材、予防保全の視点等を考慮して、補修補強対象箇所・方法を検討している。

(2) モニタリング計画（案）

将来、定期点検で対応できる通常の橋に移行するための判断が可能となるよう、モニタリングを行い客観的なデータを集積することを検討している。

モニタリングは、ア)補強対策の妥当性を検証する、イ)無補強部のひび割れに有意な進展のないことを検証する、ウ)橋全体の安全性を検証する、という視点が考えられる。

補強対策の妥当性を検証するためのモニタリングでは、例えば、炭素繊維シート補強を行う箇所を対象に、ひび割れ挙動や補強部材のひずみを計測することが考えられる。

無補強部のひび割れに有意な進展のないことを確認するためのモニタリングでは、例えば、モニタリングを行うひび割れを特定し、そのひび割れの幅、先端位置の変化、深さを調査・計測することが考えられる。

橋全体の安全性を検証するためのモニタリングでは、外ケーブル張力の変化や桁のキャンバーの変化等、比較的簡易な方法の計測を継続的に行い、橋全体の安全性が保持されていることを確認することが考えられる。

7. おわりに

本報告は、木ノ川高架橋上部工のひび割れ損傷に関して、原因究明のための調査・計測・解析、それらを受けた原因推定、推定原因を踏まえた補修・補強対策検討および今後のモニタリング計画検討に関して、現時点での概要を述べたものである。今後の検討会審議や委員の方々のご意見により、修正を加え、補修・補強対策工事や今後のモニタリングに活かして参りたいと考えている。

謝辞：本検討に際し、「木ノ川高架橋モニタリング検討会」（座長：鎌田大阪大学大学院教授）の委員の方々にご多大なるご協力とご助言を賜りました。深く感謝致します。

参考文献

- 1) 木村, 山村, 本田, 山口, 南：那智勝浦道路木ノ川高架橋の設計, 橋梁と基礎, 2002.10
- 2) 古市, 日紫喜, 吉田, 本田, 山村, 南：鋼・コンクリート複合トラス橋の新しい格点構造の開発と設計法の提案, 土木学会論文集 F, Vol.62 No.2, 2006.6
- 3) 南, 瀬戸, 小野, 尾鍋：那智勝浦道路木ノ川高架橋の施工, 橋梁と基礎, 2004.1

インフラメンテナンス国民会議における 近畿本部の取組について

石井 啓介

近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 豊岡出張所 (〒668-0026兵庫県豊岡市元町13-32)

「日本再興戦略改定2015-未来への投資・生産革命-」（平成27年6月閣議決定）において、「インフラ長寿命化計画（行動計画）」等を実行するための基盤となるインフラメンテナンス産業の育成・活性化を図るため、平成28年度より産官学が総力を挙げてこれに取り組むプラットフォームとしてインフラメンテナンス国民会議（仮称）を設立すると記載されている。国土交通省では、平成28年度に「インフラメンテナンス国民会議」を設立し、近畿地方整備局においては、インフラメンテナンス国民会議の公認フォーラムとして、「近畿本部」を全国に先駆けて発足、フォーラムを3回開催してきた。本稿では、これまでの近畿本部の取り組みについて紹介する。

キーワード インフラメンテナンス, 技術開発, フォーラム

1. インフラメンテナンスの現状

我が国のインフラは高度経済成長期に集中的に整備され、今後急速に老朽化されることが懸念される。インフラによって人々にもたらされた恩恵を次世代へ継承していくためにも適切に維持管理・更新に取り組む必要がある。政府としては、老朽化対策を一体的に推進するため、平成25年にインフラ長寿命化基本計画を策定した。また、関係省庁は平成27年度までにインフラ長寿命化計画(行動計画)を策定した。今後、関係省庁及び地方公共団体は、個別施設毎の長寿命化計画を平成32年度までに策定し、戦略的なインフラメンテナンスに取り組むこととしている。

しかし、戦略的なインフラの維持管理・更新を行っていくためには、施設管理者の予算の確保、大部分の社会資本を管理している地方公共団体における技術職員の不足のほか、インフラの維持管理・更新を支える建設業等のメンテナンス産業や地域の担い手の確保等、社会全体としてこれらの課題に取り組む必要がある。

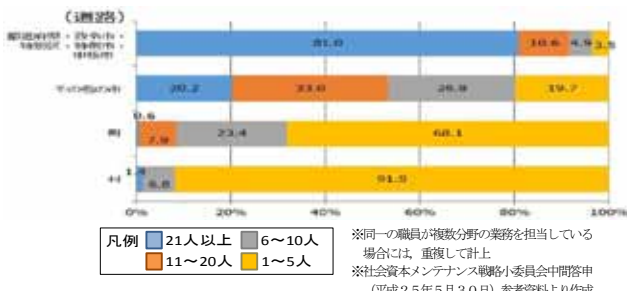


図-1.1 維持管理・更新業務を担当する職員数

表-1.1 建設後50年以上経過する社会資本の割合

	H25年3月	H35年3月	H45年3月
道路橋 【約40万橋注①（橋長2m以上の橋約70万のうち）】	約18%	約43%	約67%
トンネル 【約1万本注②】	約20%	約34%	約50%
河川管理施設(水門等) 【約1万施設注③】	約25%	約43%	約64%
下水道管きよ 【総延長:約45万km注④】	約2%	約9%	約24%
港湾岸壁 【約5千施設注⑤（水深-4.5m以深）】	約8%	約32%	約58%

注① 建設年度不明橋梁の約30万橋については、割合の算出にあたり除いている。
 注② 建設年度不明トンネルの約20万本については、割合の算出にあたり除いている。
 注③ 国管理の施設のみ、建設年度が不明な約1,000施設を含む。(30年以上経過した施設については概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約30年以上経過した施設として整理している。)
 注④ 建設年度が不明な約1万5千kmを含む。(30年以上経過した管きよについては概ね記録が存在していることから、建設年度が不明な施設は約30年以上経過した施設として整理し、記録が確認できる経過年数毎の整備延長割合により不明な施設の整備延長を按分し、経常している。)
 注⑤ 建設年度不明岸壁の約100施設については、割合の算出にあたり除いている。

2. インフラメンテナンス国民会議とは

インフラメンテナンス国民会議（以下「国民会議」）は、インフラを良好な状態で持続的に活用するために、産学官民が一丸となってメンテナンスに取り組む社会の実現に向けて、さまざまな主体が参画し、理念の普及、課題の解決及びイノベーションの推進を図るプラットフォームとして、平成28年11月28日に設立した。なお、活力ある社会の維持に寄与する組織として、下記①～⑤を目的に掲げ、以下(1)～(7)の取り組みを行うこととしている。

- ① 革新的技術の発掘と社会実装
- ② 企業等の連携の促進
- ③ 地方自治体への支援

- ④ インフラメンテナンスの理念の普及
- ⑤ インフラメンテナンスへの市民参画の推進

(1) 産学官民によるインフラメンテナンスの推進

我が国のすべてのインフラメンテナンスの円滑な実施を目標に、それを支援するために必要な産学官民のプラットフォームを運営するとともに、また、円滑な実現に向け必要な事業を行う。



図-2.1 プラットフォーム機能、インフラメンテナンスの推進に必要な調査・研究

(2) インフラメンテナンスに関するオープンイノベーションの推進

インフラメンテナンス上の課題を抱える会員が、「企業内部と外部のアイデアを有機的に結合させ、価値を創造する」オープンイノベーションの手法によって、外部の技術やノウハウ等を取り込み、解決策を見出す場として公認フォーラムを設置する。当面は「革新的技術」、「自治体支援」、「技術者育成」などをテーマとして公認フォーラムの活動を実施する。

(3) 革新的技術の開発と実装の加速

革新的技術フォーラムにおいて、具体的な施設管理者のニーズや技術の課題を明確化し、解決のシーズ技術を持つ企業の参入を促進する。施設管理者と様々な業種の企業等がオープンイノベーションの手法で議論する場を設けることにより、技術開発を促進するとともに、技術開発成果の社会実装が図られるよう取り組む。また、技術開発にあたっては、企業マッチングや技術開発の実証フィールド等をコーディネートする。



図-2.2 企業マッチングのコーディネートイメージ

(4) 民間企業等のノウハウの活用

自治体支援フォーラムにおいて、自治体が包括的民間委託等の制度を運用する上での課題を明確化し、グループ討議等の実施により、自治体や民間企業等のノウハウの情報交換等を促進する。

(5) インフラメンテナンスの技術者育成

維持管理更新等の担い手となる建設産業が持続的に発展していくため、技術者育成フォーラムを開催し、将来を

担う技術者・技能者の確保・育成に向けた取組を推進する。

(6) メンテナンス産業の海外進出の支援

我が国のGDP600兆円市場における有望分野の一つとされるメンテナンス産業の活性化に向け、我が国の最先端技術によるイノベーションによって「インフラメンテナンスの生産性革命」をおこすとともに、200兆円とも推計される海外のメンテナンス市場への進出を支援する事業を行う。

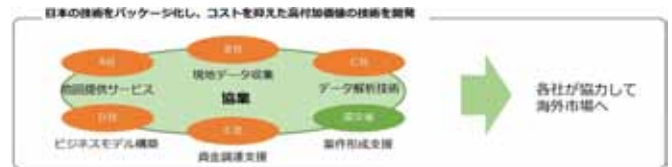


図-2.3 海外展開を目指す企業のマッチングイメージ

(7) インフラメンテナンスの理念の社会的な普及

インフラメンテナンスの理念の社会的な普及を図るため、情報発信やインフラメンテナンス大賞の広報の協力等を行う。

国民会議を運営する組織体制は、国民会議の趣旨に賛同し活動に意欲にある企業、研究機関、施設管理者、市民団体等で構成し、実行委員会、各部会事務局、フォーラム事務局を設け、会員による主体的な運営を行うこととしている。

平成29年5月16日時点で、企業会員304社、行政会員131団体、団体会員79団体が会員となっている。

なお、インフラメンテナンスの課題について、会員が知識・人材の交流を深め解決策を見いだす場として、会員の発意に対して国民会議が認定して設置される公認フォーラムを開設する。国民会議設立後一定期間は、国の施策の一部として国が事務局を担うが、その後は会員によって自立的に運営していけるよう、社団法人化も含め、運営方法について検討を行う。

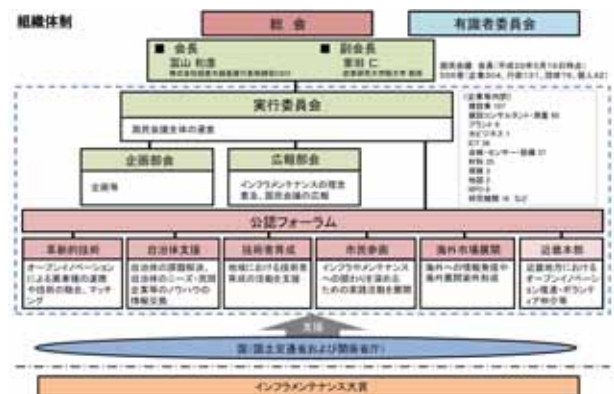


図-2.4 インフラメンテナンス国民会議の組織体制



図-2.5 国民会議によるインフラメンテナンスのイメージ



図-3.2 近畿本部発足に関する新聞記事
(日刊建設工業新聞 平成28年12月19日掲載)

3. 近畿本部の発足にあたって

近畿地方整備局においては、国民会議の公認フォーラムとして、「近畿本部」を全国に先駆けて平成28年12月15日に発足した。

社会資本のインフラ施設の老朽化問題は、大きな社会問題として注目されており、各省庁をはじめ、府県においても基礎自治体の支援について、様々な取り組みを行っている。そのため、近畿本部の発足にあたっては、近畿本部では何をを目指すのかを明確にする必要があった。

近畿本部の最大の特徴は、維持管理費の縮減を最大のテーマに掲げ、建設産業以外の業種も含め幅広い民間技術樹を活用し、施設管理者のニーズと民間企業のシーズのマッチングを行うことである。

そこで、近畿管内の自治体へ近畿本部のPRを行い、国民会議への入会活動を展開するとともに、社会インフラの維持管理費の縮減に関するニーズの聞き取りを開始した。

自治体が抱えている社会インフラの維持管理費縮減に関するニーズの多くは、点検作業の簡素化や点検箇所のスクリーニングであった。つまり、簡易な点検でよい箇所と重点的に点検しなければならない箇所の仕分けを民間技術で簡単にできないかというものであった。

また、近畿本部の事務局は、国民会議の会員であり、官民の橋渡しができる（一社）国土政策研究会 関西支部が担うことになった。



図-3.1 近畿本部発足会議の様子

4. 近畿本部の取組

(1) 近畿本部の目的

近畿本部は、「近畿地方における革新的技術の発展と社会実装」などを目的とし、自治体支援を目的としたグループ討議の開催、自治体のニーズ等の収集と情報発信・民間のシーズ等の収集と情報発信を行う。

近畿本部は、自治体のニーズ等の情報収集、実証フィールドの仲介等を行う「近畿情報WG」、ボランティアの仲介、人材育成等を行う「インフラメンテナンスボランティアセンターWG」の二つのWGより構成している。

なお、国民会議は、オープンな場として運営することを基本とし、知的財産権に関して十分な注意をもって参加することが求められる。そのため、共同開発における知的財産の取り扱い等の指針を明記した「インフラメンテナンス国民会議運営上の知的財産の取扱いに関する事前の取り決めとなるガイドライン」を理解して頂き、「インフラメンテナンス国民会議公認フォーラム 参加同意書」を提出された上で、国民会議への参加を可能としている。

(2) 近畿本部の活動内容

各WGの活動イメージは下記の通りである。

a) 近畿情報WG

主な活動は、施設管理者のニーズと技術的な課題について情報収集を行い、それを解決するシーズ技術を持つ企業をマッチングする。マッチングは必要に応じて技術開発も視野に入れ、必要な異業種技術の紹介と実証フィールドの提供等を行う。

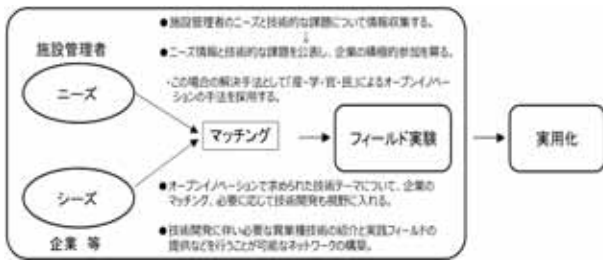


図4.1 近畿情報WGの活動イメージ

b) インフラメンテナンスボランティアセンターWG

市民・公的機関・企業等のインフラメンテナンスに関するボランティア活動等の事例収集を努め、収集した事例を基にボランティア活動の企画・提案し、各種団体との関係を構築し、ボランティア仲介や市民参画支援等を行う。



図4.2 インフラメンテナンスボランティアセンターWGの活動イメージ（調整中）



図4.3 近畿本部の活動イメージ

5. 近畿本部での討議内容

平成29年1月31日に開催した第1回フォーラムを皮切りに、平成29年3月末までにフォーラムを3回開催した。

自治体から出されたニーズをカテゴリー毎に分類し、課題を設け、課題解決できる技術を有している、もしくは、解決できそうな技術の情報を有している会員を募集し、ニーズとシーズのマッチングをするための討議を実施した。

具体的には、「橋梁・コンクリート構造物点検関係」、「下水道関係」、「道路法面関係」、「除雪機械関係」のカテゴリーで8テーマについて班別討議を行った。

「橋梁・コンクリート構造物点検関係」では、障害物等で目視点検ができない箇所、または狭すぎて目視できない箇所について、活用可能な技術について討議を進めた。しかし、現地の状況が多種多様なことや提案される

技術は既に存在する技術であり、最大の課題である「簡単に安く」という壁を打ち破ることは出来ない状況である。

「下水道関係」では、二つの課題について討議を進めた。一つ目のテーマは、人が入ることができる大口径の下水管渠であるが、照明等がなく有毒ガスの発生も危惧されるような危険な箇所であるため、点検ロボットなど既存の技術が有効である。しかし、下水を止め、管渠内の清掃など、コストがネックとなることが判明した。二つ目のテーマは、人が入れないほど狭小な口径である圧送管方式の下水管渠の点検についてである。海外の企業がその技術を有している情報はあったが、会員企業が有する技術では圧送管方式の下水管渠の点検は困難であった。

「道路法面関係」では、道路法面の危険度を簡単に把握することをテーマに討議を行った。何千、何万とある道路法面を全て一様に点検するのではなく、点検レベルに強弱を付けることができれば、維持管理費の縮減に繋がると考えられる。しかし、「簡単に危険度を評価する」ことが困難であり、解決の糸口すら見出せない状況となっている。

「除雪機械関係」では、冬季のみ使用する除雪機械を冬季以外に使用し有効活用することをテーマに討議を行った。非稼働期に除雪機械を使用することによって、除雪機械のトータルコストの縮減、また、オペレーターの確保が必要となるため担い手確保に繋がるが、会員企業から具体的な技術提案がされなかったことや自治体側の実態把握も必要なことから、仕切り直しとなった。

何れの討議テーマも、まだまだ議論を深める必要があることを認識し、もっと幅広い業種の技術とマッチングを進めるため、フォーラムの進め方等を工夫する必要があると痛感した。

しかしながら、インフラメンテナンスに関する自治体のニーズは大きいものがあり、国民会議に対する期待は大きいと感じた。

表-5.1 H28年度討議を行ったテーマ

カテゴリー	テーマ	ニーズ概要
橋梁・コンクリート構造物点検関係	橋梁点検の効率化技術	橋梁点検率が使えない幅員の狭い橋梁における効率的な点検技術(カメラ技術やドローンをはじめとする高所点検技術等)
	道路橋点検における近接目視の代替技術	人間の立入が困難等、桁下空間に制約がある橋梁における効率的な点検技術
	歩道橋・地下道・アンダーパスにおける化糞裏の近接目視について	景観等を考慮し設置された化粧板で覆われた、構造全体の近接目視が困難なコンクリート構造物の効率的な点検技術
下水道関係	共同溝下水道専用河道の近接目視について	大口径のコンクリート下水管渠における効率的な点検技術
	下水管渠の点検診断の効率化技術	圧送方式の下水管渠における効率的な点検技術
道路法面関係	雨天時浸入水対策の定量的な効果検証手法	雨天時浸入水対策後の効果を時期や場所の違いに関わらず、精度よく検証する手法
	斜面の監視・予測方法について	道路法面における安定度評価(スクリーニング)を行うための効率的な点検技術
除雪機械関係	除雪機械の有効活用	除雪機械の冬季期間以外での有効活用



図-5.1 近畿本部フォーラムにおける班別討議状況



図-5.2 班別討議で作成したワークシート

6. 今後の課題

社会資本施設の老朽化に関する最大の課題は、小規模な自治体における、管理施設の老朽化対策に必要とされる技術力や人員及び予算の確保である。

これらの課題解決とインフラメンテナンス産業を成長産業の1つにすることを目的に国民会議は発足し、更に近畿本部は国民会議の設立趣旨を踏まえ、地方版フォーラムとして発足した。

近畿本部においては、これまで3回フォーラムを開催し、前節でも述べたように、橋梁やコンクリート構造物、法面、下水など自治体のニーズは多岐に渡る。本質的には、「簡単で安く早く点検できる技術」のニーズが求められている。一方、民間企業からは、既存技術の紹介はあるが、単体企業の技術であるため、自治体が求めるニーズのレベルとはかけ離れている。そのギャップを埋める、もしくは近づけることが近畿本部の取り組む最初の大きな課題となっている。

もう一つの課題は、企業同士が連携する際の壁である。これまで3回の近畿本部のフォーラムを開催したが、同種企業の参加が多く、その多くの企業は情報収集の場として参加している傾向があり、自治体ニーズの解決というより、他企業の技術の偵察という目的が見え隠れすることがあり、技術提供側からの情報が不十分となり、次のステップに進めないケースもあった。

また、自治体のニーズを解決するためにニーズの深掘

りや技術のマッチングに向けての事務作業が増加しており、事務局側の負担が大きくなっていることも課題である。

7. 今後の予定

近畿本部が今後、取り組むべきことは、建設業界以外の企業会員を増やし、企業間のマッチングを促進させることである。そのために、企業の技術をプレゼンテーションするピッチイベントの開催や現場での実証実験を行い、広くPRをしていきたいと考えている。

現在の予定では、「高所作業車の使用、梯子・足場の設置が困難で道路の通行止めができない橋梁における、近接目視点検が可能な技術」、「触診、打音等と同等の評価が可能な技術」、「下水道の圧送管における、効率的に点検診断が可能な技術」等についてピッチイベントを開催し、技術のスクリーニングを行い、現場検証を実施する。

更に現場検証で浮き彫りになった新たな課題については、解決のために近畿本部フォーラムを開催するというPDCAサイクルを実施する予定である。

8. まとめ

インフラメンテナンス国民会議の取り組みは始まったばかりである。そのため、知名度は低く、課題も多いが、国民会議を成功させるためには、地方版フォーラムとして全国に先駆けて取り組んでいる近畿本部において、何か一つでも成果を出すことが、一番だと考えている。

そのためにも、自治体のニーズを確実に捉えるとともに、企業側の理解を得て、より多くのシーズを提供してもらい、マッチングの機会を増やすことが重要であると考ええる。

※本論文の内容は、当方の従前の所属である企画部企画課における業務に基づくものである。

参考文献

- 1)インフラメンテナンス国民会議リーフレット(平成29年1月版)

土木機械設備点検業者との意見交換会の実施について

南部 勇樹

近畿地方整備局 福井河川国道事務所 防災課 (〒918-8015 福井県福井市花堂南2-14-7)

福井河川国道事務所が管理する土木機械設備は、高度経済成長期に整備された設備が大部分を占めており、急速に老朽化が進行し、設備の老朽化に伴う、故障や不具合が近年増加している。そのため、効率的・効果的な維持管理を行うために、点検業務による設備の健全性評価が重要となっている。しかしながら、技術者不足による点検技術力不足や若手技術者への技術継承などが課題となっている。このような背景のもと、設備点検に関する技術基準の理解の促進や点検技術力の向上、点検業務における課題改善等を目的として、機械関係業団体と土木機械設備の点検業務に関する意見交換会を実施した。

キーワード 維持、管理、メンテナンス

1. はじめに

我が国の社会資本ストックは、高度経済成長期に集中的に整備され、近年は急速に老朽化が進行し、戦略的な維持管理・更新が求められている。土木機械設備についても同様に、設備の老朽化に伴う、故障や不具合が近年増加しており、効率的・効果的なインフラメンテナンス体制の確保が喫緊の課題となっている。

土木機械設備の効率的・効果的な維持管理を行っていく上では、点検業務における設備の健全性評価が重要である。これまで設備の効率的な維持管理手法の取組みを実施してきたが、受注者の技術者不足による点検技術力不足や若手技術者への技術継承、発注者の現場技術力不足が課題となっていることから、受発注者が連携して、点検整備業務における課題の改善等を目的として意見交換会を実施した。

2. 点検業務における課題

福井河川国道事務所では、水門・樋門設備23施設、鳴鹿大堰、排水ポンプ設備3施設、融雪設備73施設、道路排水設備11施設の土木機械設備の維持管理を行っており、老朽化により課題を抱える施設が増加していることで、維持管理費用も増大している。そのため、維持管理の更なる効率化が求められている。

設備の劣化が発生すると、装置・機器単位での整備や更新の必要となる。その評価には点検業務により設備の現状と課題を把握し、健全度評価により整備・更新等の方策と実施時期を決定する必要がある。

点検整備に係るマニュアルは、河川用ゲート設備を例にあげると、図-1のような構成になっている。



図-1 河川用ゲート設備点検基準の構成

表-1 健全度評価と内容

健全度の評価	状態
× (措置段階)	点検の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じており、緊急に措置(整備・取替・更新)が必要な状態
△1 (予防保全段階)	点検、精密診断、総合診断等の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じる可能性があり、予防保全の観点から早急に措置(整備・更新・取替)を行うべき状態
△2 (予防保全計画段階)	点検、精密診断、総合診断等の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じていないが、2～3年以内に措置(整備・更新・取替)を行うことが望ましい状態
△3 (要監視段階)	点検の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態
○ (健全)	点検の結果、設備・装置・機器・部品の機能に支障が生じていない状態

これらのマニュアルに基づき実施した点検結果により設備診断を実施し、○、△1、△2、△3、×の5段階により健全度評価を行っている(表-1)。

今回、この健全度評価を行っていく中で、下記の課題があげられた。

- (1) 同様な事象であっても、点検技術者により評価に違いが出る場合がある。特に、動作音や振動など点検時に五感に基づく内容は、点検技術者の熟練度や技術力により評価にバラツキが生じやすい。
- (2) 点検時に不具合を発見しても、経験の少ない点検技術者の場合、不具合内容の判定や原因特定までに時間を要する。
- (3) 点検技術者が設備特性を正確に把握できていないため、不具合内容と健全性評価に設備ごとのズレが生じている。
(不具合が設備に及ぼす影響について理解できていない)

これらの課題を解決するために、設備点検に関する技術基準の理解の促進、施設管理者(発注者)が求める点検整備の内容説明、点検技術力の向上、点検業務における問題点の共有と改善に向けての取組みを目的として、業団体との意見交換会を実施することとした。

3. 意見交換会

(1) 概要

意見交換会は、2016年12月14日に実施され、発注者及び点検業務受注者の若手技術者を中心に約40名が参加した。発注者からは、

- ・点検・整備・更新検討マニュアル(案)、点検整備標準要領(案)の要旨
 - ・平成28年度土木機械設備点検整備業務点検結果と課題
 - ・設備の維持管理を行うための資料
- についての説明を行なったのち、
- ・機械設備点検整備業務における課題
 - ・若手技術者育成の取組み

について、受注者からの事例発表と意見交換を行った。

(2) 点検整備業務に関する意見

受注者からは、点検業務を行う上での意見として

- (a) 河川用ゲート設備の緊急点検に備え、雨が多い時など、会社として体制を取っているが、福井河川国道事務所では把握している気象情報、河川水位情報、ゲート等の稼働状況の情報を提供してもらえると、より迅速でより確実な準備体制が可能となる。また、待機人員も緊張感を持って業務に臨めるため、仕事のやりがいにも繋がる。
- (b) 設備故障発生時の不具合内容を可能な限り詳細な情報を貰えると、修理の想定や取替部品の準備ができるため、早期の機能復旧が可能となる。
- (c) 融雪設備の不具合(漏水等)の対応で、不具合内容を確認した上で、材料を想定して現場に向っているが、想定より広範囲の損傷で材料が足りない場合もあるため、除雪基地に使用頻度の高い材料や部品を置くスペースを借りられると復旧時間の短縮が可能となる。
- (d) 意見交換会は、今回限りか、継続開催するのか。是非、継続開催して欲しい。

などがあげられた。

(3) 技術力向上、若手技術者育成の取組み

受注者の技術力向上、若手技術者育成の取組みとして、

- (a) 入社1年目の社員は、点検業務のサポート要員として現場に同行させ、設備の概要把握と熟練技術者からの技術の継承等の現場力の向上を図っている。
 - (b) 前年度の点検内容を基に点検前に監督職員と不具合内容や劣化状況について、打合せを行ってから点検作業を行うことにより、設備の傾向管理や劣化の進行状況などが確実に行える。
 - (c) 作業方法を動画撮影し、若手技術者が視聴可能なデータベースとする
 - (d) 若手社員に技術者としての自覚、責任、やりがいを身に付けさせるためと土木施工管理技士等の資格取得に向けて、小規模工事の実務経験を積ませる等、会社として積極的に技術サポートを行っている。
 - (e) ポンプメーカーの主催する技術教育研修に若手技術者を積極的に派遣し、普段は見られないポンプ内部の構造、仕組み、高度な修理方法について研修を受けている。
- など、独自の取組みについての事例紹介を行った。

福井河川国道事務所 河川関係体制及び水門設備稼働状況連絡票						月	日	時現在								
福井河川国道事務所河川関係風水害対策部の体制(平常・注意・第一警戒・第二警戒・非常)						左記体制発令日時(月 日 時 分)										
No	枝	河川名	名称	ゲート稼働状況 (太字は常時の状態)	前回連絡からの変更	位置	左右岸	距離標	門数(門)	径間(m)	扉高(m)	動力方式	開閉方式	ゲート構造	上屋	
1			志比埜第二樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	永平寺町松岡志比埜	左岸	28.6	1	1.13	1.05	手動	ラック	鋼製スライドゲート	—
2			志比埜樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	永平寺町松岡志比埜	左岸	27.8+150	1	0.66	0.68	手動	ラック	鋼製スライドゲート	○
3			五頭排水樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	坂井市丸岡町熊堂	右岸	24.0+100	2	2.61	2.59	電動	ラック	鋼製ローラゲート	○
4			芳野川樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	福井市福多元町	右岸	20	2	4.2	3.67	電動	ラック	鋼製ローラゲート	○
5			天池水閘	全開 (. . m)	全開	有・無	福井市天池町	右岸	18.8+113	1	0.8	1.0	手動	ラック	鋼製ローラゲート	○
6			馬渡川樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	福井市舟橋新町	左岸	17.6	2	1.87	1.95	電動	スピンドル	鋼製ローラゲート	—
7			天満石樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	福井市天誓生町	左岸	13.4+170	1	2.0	2.0	電動	ラック	鋼製ローラゲート	○
8			八ヶ川樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	坂井市高江	右岸	12.0	3	5.6	5.2	電動	ラック	鋼製ローラゲート	○
9	1	九頭電川	磯部川樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	坂井市春江町安沢	右岸	11.4+20	3	4.5	6.6	電動	屈曲ラック	鋼製ローラゲート	—
	2	全開 (. . m)		全開	有・無	1				4.5	6.6	電動	屈曲ラック	鋼製ローラゲート	○	
10	1	磯部川排水機場 (管理運転用)		全開 (. . m)	全開	有・無	坂井市春江町安沢	右岸	11.4+20	2	3.6	2.95	電動	ラック	鋼製スライドゲート	—
2	全開 (. . m)			全開	有・無	1				2.5	2.6	電動	ラック	鋼製スライドゲート	—	
3	全開 (. . m)			全開	有・無	1				1.3	1.225	手動	ラック	鋼製スライドゲート	—	
11			片川放水路樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	坂井市三国町下野	左岸	7.0+36	4	5.24	4.79	電動	屈曲ラック	鋼製ローラゲート	○
12	1		片川樋門	全開 (. . m)	全開	有・無	坂井市三国町山岸	左岸	4.0+110	2	5.625	2.9	電動	ラック	鋼製ローラゲート	○
2	全開 (. . m)			全開	有・無	1				1.36	1.36	電動	ラック	鋼製スライドゲート		
13			片川排水機場	全開 (. . m)	全開	有・無	坂井市三国町山岸	左岸	4.0+110	2	2.37	3.75	電動	ラック	鋼製スライドゲート	—

図-2 事務所体制およびゲート操作状況連絡シート

4. 福井河川国道事務所の取組み(平成28年度)

意見交換会での意見を踏まえ、福井河川国道事務所では、平成28年度の各点検整備業務において、下記の取組みを実施した。

- (1) 水門設備点検での取組み
 - (a) 受発注者間の情報共有

事務所対策本部の体制状況及びゲート操作状況の連絡シート(図-2)を作成し、体制発令時

にFAXにて点検受注者に連絡、以降は体制解除まで定時連絡にて情報提供を行うこととした。

- (b) 異常発生時報告シートの作成

樋門操作員によるゲート操作時の不具合発生に備え、点検受注者が不具合内容を把握するために必要な情報について打合せを行い、「ゲート故障時報告シート」(図-3)の作成を行った。

故障時報告シートでは、各水門・樋門ごとに設備に応じたA4用紙1枚の専用シートを作成、事務所、出張所及び点検業務受注者は全水門・樋門のシートを保有する。

設備に不具合が発生した場合には、操作員が専用シートにゲートの操作状況や開閉位置、機側操作盤のランプ点灯状況を記載し、出張所へ専用シートをFAXを送信する。また、緊急時には電話連絡でも各項目の記号や点灯している警告ランプを伝えることにより、出張所及び点検業務受注者へ迅速かつ正確な情報が伝達出来るようにした。

この「故障時報告シート」は、樋門操作員への講習会において記入方法と連絡方法の説明を行った。

故障時報告シート
(江端川排水樋門・2門)

1. 故障発生日時
月 日 時 分 発見者()

2. 機側操作盤の点灯状況(点灯箇所には○をつけて下さい)

電源	機側
漏電	過電

【1号ゲート】

ゲート	↑	全開	3E動作
手動	↓	全開	過トルク

【2号ゲート】

ゲート	↑	全開	3E動作
手動	↓	全開	過トルク

3. ゲート(扉体)は、いまどの位置にありますか
a. 全開 b. 全閉 c. 中間(開度 m)

4. どのような操作状態で発生しましたか
a. 操作前 b. 全開操作中 c. 全閉操作中
d. その他()

5. その他(気付いた点があればご記入下さい)

以上の結果を、九頭電川出張所へ至急、連絡願います。

図-3 ゲート故障時報告シート

(2) 融雪設備点検での取組み

事故による配管損傷や故障発生時に迅速に復旧作業が行えるように、除雪基地内に修理材料等が置けるスペースの確保を行った。(図-4)

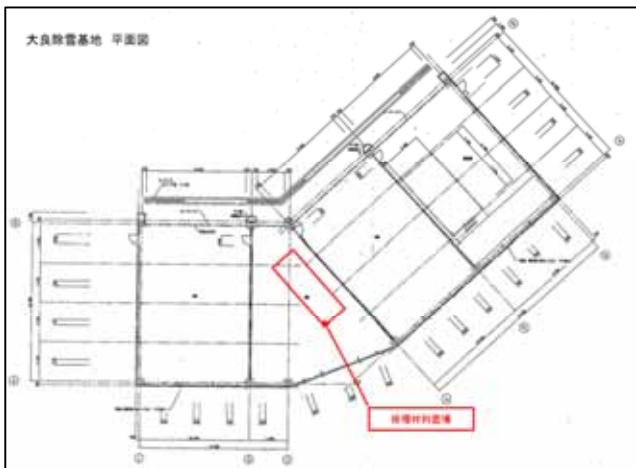


図-4 除雪基地内の修理材料置場

5. 意見交換会を踏まえた平成29年度の改善点

(1) 年点検実施時における改善点

平成29年度の点検業務においては、意見交換会での意見を踏まえ、年点検実施前に前年度の点検結果や課題について打合せを行い、受発注者が共通の認識を持って効率的に点検作業ができるように業務改善を行った。

また、年点検において劣化や不具合の状況判断の困難な内容については、現地にて受発注者の立会いにより詳細内容を確認し、健全度評価にバラツキが生じないようにするとともに、受発注者相互の現場技術力向上を図ることとした。

(2) 設備不具合発生時の改善点

これまで、設備の不具合発生時には、現地へ点検受注者が急行。原因特定後に材料を手配し、復旧作業を行っていた。

今回作成した、「ゲート故障時報告シート」を利用することにより、設備異常発生時に故障原因の推測できるため、材料を用意して現地に急行できるようになった。

また、設備異常発生時に各水門・樋門へ点検受注者が現地に到着可能な所要時間の一覧(図-5)の作成を行い、これまで以上に受発注者が連携して、早急復旧を行える体制とした。



図-5 故障発生時の所要時間一覧(九頭竜川・日野川管内)

6. おわりに

今回の意見交換会により、発注者が求める設備点検の内容や点検受注者が求める発注者からの情報提供について意見交換を行うことで、受発注者相互の理解が深まった。

参加者からは、

「受発注者で連携して設備の信頼性確保に取り組んでいると再認識できた」

「発注者の求める内容が分かり、点検に携わる技術者の士気が向上した、点検業務の重要性について若手技術者の理解が更に深まった」

「事務所長及び副所長と直接、意見交換を行うことが出来て、点検業務がどれだけ重要であるか再認識した」などの意見があり、今後の継続的な開催への要望が寄せられた。

今後は、参加者の意見や点検業務での課題を集約し、受発注者が連携することにより、効率的・効果的な維持管理及び健全性評価の精度向上を図るとともに、継続して意見交換会を開催し、受発注者相互の技術力向上、若手点検技術者の育成及び土木機械設備の更なる信頼性向上に努めていく所存である。

参考文献

- 1)国土交通省：河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル(案)
- 2)国土交通省：河川用ゲート設備点検・整備標準要領(案)

港湾業務艇による災害支援について

川口 翔大¹

¹近畿地方整備局 和歌山港湾事務所 海洋環境・防災課（〒640-8404 和歌山県和歌山市湊青岸）

平成28年4月に発生した熊本地震において、国土交通省港湾局は、被災地の道路や鉄道に大きな被害が発生していることを考慮し、各地方整備局に配備した業務艇や作業船を用い、海路からの災害支援を16日から開始した。その一環として、和歌山港湾事務所所属港湾業務艇「はやたま」についても、災害支援のため、飲料水やブルーシート等の支援物資を積み込み、19日、別府港に向け出港した。本稿は、熊本地震におけるの災害支援を通じ、作業船や港湾業務艇による海上からの災害支援の有用性及び派遣を通じての課題や反省点について報告を行うものである。

キーワード 防災・保全, 災害, 調査

1. はじめに

平成28年4月14日夜に発生した熊本地震は、深度7の揺れを同じ地域で2度も観測した史上初めての地震である。その被害は、死者数228名、地震による避難者は最大で19万人を数え、家屋の損壊や土砂災害、道路の通行止め等の交通インフラの被害のほか、電気、ガス等のライフライン関係の被害が多数発生するなど、広い範囲で甚大な被害をもたらした。地震発災直後から、10万人以上が避難する状況で、政府としても支援物資を被災地に届けるため「できることはなんでもする」という方針が示される中、国土交通省港湾局においては、全国各地の港湾事務所に配備している船舶により、支援物資の輸送を行った。

本稿は、近畿地方整備局和歌山港湾事務所の港湾業務艇「はやたま(図-1)」による別府港への災害支援について、全国各地地方整備局(港湾局関係)の災害支援の実施状況や、同船の機能等を踏まえ、災害支援の実施を通じて明らかとなった課題や改善点について報告を行うものである。



図-1 港湾業務艇「はやたま」

2. 全国各地地方整備局における港湾の広域ネットワークを活用した船舶による災害支援

全国各地地方整備局による主な船舶災害支援の実施状況を図-2に示す。

国土交通省港湾局は地震発生直後の4月16日(土)から5月2日(月)の期間において、九州地方整備局の作業船「海輝」及び「海煌」による飲料水の給水支援を断続的に実施した。また、他の各地方整備局においても4月18日(月)以降港湾局主導の下、全国各地の港湾に配備している船舶(大型浚渫兼油回収船、海面清掃兼油回収船、港湾業務艇)による、飲料水や食料などの支援物資輸送のほか、中部地方整備局の「清龍丸」をはじめとした大型船による入浴支援も随時実施した。このような中、和歌山港湾事務所の「はやたま」についても、4月19日(火)より、支援物資の輸送を開始した(図-3)。



図-2 各地方整備局による船舶派遣状況

・北陸地盤 支援船 白山 (飲料水 ペットボトル 約17,000本、食料、医薬品、衛生用品等) 新宮港 4/19 16時15分発 → 4/21 浦安港6時20分着
・中部地盤 支援船 清見丸 (飲料水 ペットボトル 約20,000本、食料 約2,000食) 名古屋港 4/19 10時00分発 → 4/20 7時20分 大分県入港
・近畿地盤 支援船 はやたま (飲料水 ペットボトル 約500本、ブルーシート、断熱アルミシート等) 名古屋港 4/19 8時00分発 → 4/20 10時20分 別府港入港
・中国地盤 支援船 おんど2000 (飲料水 ペットボトル 約1,500本) 呉港 4/18 7時50分発 → 14時15分 別府港着 支援船 りゅうせい (飲料水 ペットボトル300本、食料約2,000食) 広島港 4/18 14時00分発 → 15時40分 別府港着
・四国地盤 支援船 いしづち (飲料水 ペットボトル×1,500本) 松山港 4/18 8時05分発 → 15時00分 別府港着 支援船 くるしま (飲料 水ペットボトル1,000本) 松山港 4/18 8時10分発 → 13時00分 別府港着

※陸路にて以下の市村に搬送
【熊本地盤】 大分県由布市、熊本県高森町 (日本理立建設協会の協力)
熊本県阿蘇市、奥阿蘇村、西原村 (大分県港湾建設協会の協力)
【鹿児島地盤】 熊本県船橋町 (日本理立建設協会の協力)

図-3 各地方整備局による派遣船舶及び支援物資一覧

3. 近畿地方整備局における船舶による災害支援

近畿地方整備局和歌山港湾事務所は、九州地方整備局応援のため、平成 28 年 4 月 18 日 9 時 30 分に「支援対策部」を設置し、政府主導で進める「プッシュ型物資支援」の方針に従い、港湾業務艇「はやたま」の大分県方面への災害支援実施を決定した。

- (1) 「はやたま」の特徴
本船の特徴を以下に示す。
a) 一般事項

本船は、港湾施設等の維持管理業務及び災害時の防災業務を行うことを目的とし、運転及び各業務が省力化、自動化され、かつ高波浪地域においても航行可能な凌波性を有する港湾業務艇である。担務海域は、和歌山県内で耐震強化岸壁が整備されている港湾（和歌山下津港、日高港、文里港、新宮港）一円とし、航行区域は限定沿海である。

b) 船体概要

船体はメンテナンス製に優れたアルミニウム合金製で航行速度は 33.4 ノット（時速約 60km/時）に上る。このため、南北に縦長い海岸線を持つ和歌山県の北端から南端（和歌山下津港～新宮港間（往復約 320km））を約 6～7 時間で往復することが可能である。

c) 推進機構

船舶の推進機構にはスクリュプロペラを用いるのが一般的であるが、推進機構にウォータージェット推進機を搭載することで、津波発生後の港湾内部の点検等において、流木等の大型の漂流物による航行制限を受けにくくしている。また、同等の喫水を持つプロペラ船に比べて、航行に必要となる水深が浅く、港のより広い範囲において業務の遂行が可能である。（表-1、図-4）

表-1 ウォータージェット船とプロペラ船の諸元比較

基本仕様	単位	プロペラ船	ウォータージェット船（はやたま）	
検査機関	JG/JCI	-	JG	
主要寸法等	全長	m	18.00	20.3
	幅	m	4.40	4.20
	深さ	m	2.20	1.91
	喫水	m	0.85	0.68
	航行可能水深	m	3.0	2.2
	総トン数	t	28	19
	材質	-	鋼	アルミ合金
	定員	名	船員：2 旅客：12 その他：6	船員：2 旅客：12 その他：6
航行区域		-	沿海	沿海
主機関出力	主機関	KW	360×2	592×2
推進機	プロペラ/ウォータージェット	-	プロペラ	ウォータージェット
速度	最高速度	ノット	23.87	33.45
備考		-	-	緊急物資搬送用カゴを搭載 海底地形探査装置を搭載

d) 支援物資輸送

船尾甲板上に支援物資輸送用カゴ（内容量約 3m³）を備え付けるスペースを確保しており、熊本地震の際は、災害支援物資を甲板上に搭載し、災害支援活動を行った（図-5）。

e) 海底地形探査装置

海底地形探査装置（ナローマルチビームソナー）を船体に常時備え付けて搭載しているため、地震災害及び津波災害の発生直後における迅速な施設点検や航路啓開が可能である。

近年、太平洋沿岸地域においては南海トラフの巨大地震等の発生が予見されており、それに伴い、近畿地方を含む九州から東海地方の太平洋側の地域において津波の発生が予想されている。「はやたま」の基地港である和歌山下津港においても同様に津波被害が想定される。

大規模地震発生時において特に危惧される事項として、津波による土砂や流木、流出物等により港内が埋没することで津波発生以降、港に船舶が入港できなくなる場合がある。このような場合において、「はやたま」が搭載するマルチビームソナーでは、船舶の航行と同時にリアルタイムで海底地形を確認することが可能であり、航路や泊地内において、流出物等により埋没が生じている箇所をいち早く発見することが可能である（図-6）。これにより、当該個所の浚渫等を迅速に進めることができると期待されており、緊急物資を積載した船舶がより早く被災地近隣の港に入港する一助となることが期待されている。

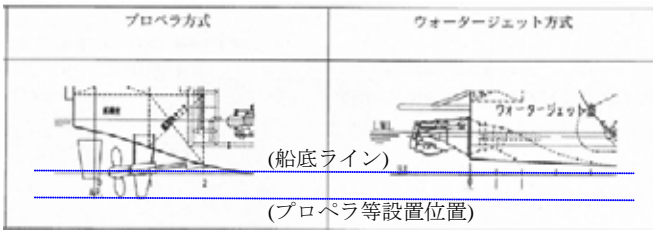


図-4 推進機構による航行可能水深の比較



図-5 支援物資輸送用カゴへの物資の積込状況

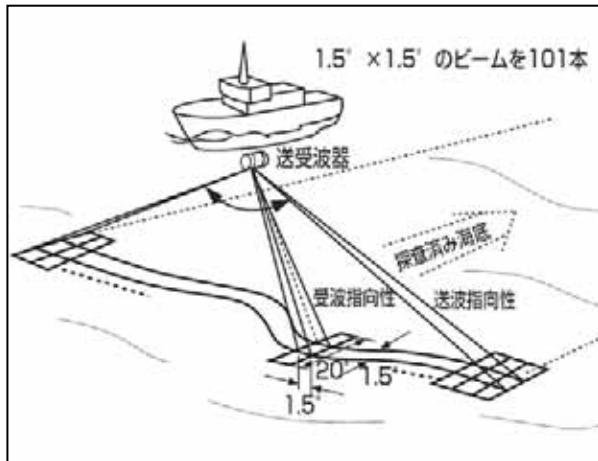


図-6 海底地形探査装置による測量イメージ

(2) 港湾業務艇「はやたま」の別府港派遣

熊本地震における「はやたま」派遣の概要を以下に示す。また海上からの災害支援について、陸上から支援物資輸送との違いや、派遣に係る課題を合わせて示す。

a) 派遣の決定

船舶による海上からの支援物資輸送を実施するにあたり、派遣船舶については、各事務所の保有する船舶の航行性能に主眼を置いて決定された。和歌山港湾事務所所属の「はやたま」は最大船速約 33 ノット（時速約 60 キロメートル）と公道における一般車両並みの速度を持つことから、迅速な支援物資輸送が可能な船舶であったため、別府港への派遣船舶の第一候補となった。



図-7 寸断された道路網の一例

b) 緊急支援物資

「はやたま」に積載する支援物資としては、近畿の各港湾事務所が備蓄している災害用のブルーシート、アルミシートに加え、飲料水約 1,000 本を追加で確保し、和歌山港湾事務所に収集係留している同船に積載した。

c) 海上からの物資輸送

海上からの物資輸送における利点として、渋滞や通行止めといった、陸上の物資輸送時に度々発生する障害に阻まれることなく物資の輸送を行うことが可能であることが挙げられる。また、大規模地震等の災害時に於いては、道路網が広範囲にわたり寸断（図-7）されることが考えられるが、海路による物資輸送では道路状況に寄らない物資輸送が可能である。このように、大規模地震やそれに伴う津波災害の発生時においては、海上ルートを利用する物資輸送は、遠距離からの輸送であっても確実に被災地の近隣まで支援物資の輸送を行うことが可能という点で、大きな利点があるといえる。

d) 物資受け入れ地点

和歌山港湾事務所からの支援物資の受け入れ地点は、派遣船舶の航行条件から別府港を設定した。別府港以外にも、熊本港などの被災地により近い港湾についても支援物資の搬入先として候補に挙げられたが、熊本港に航行するためには北九州の玄界灘、もしくは南九州の日向灘といった外海に面した海域を航行する必要があると、被災地までの本船の到達が 1 日以上遅れることが予想されたため、瀬戸内海からのアクセス性を勘案し、大分県別府港を支援物資の搬入地点として決定した。このほか、別府港においては国土交通省九州地方整備局別府港湾・空港整備事務所が港内に所在していることもあり、搬入した支援物資を必要な地域に迅速かつ適切に運搬する体制が確保されていた点も搬入地点として選定される大きな理由の一つとなった（図-8）。

e) 物資輸送中継地点

和歌山下津港から別府港までは約 450km の距離があり、航行安全の観点から日没後に海上輸送を避ける必要があったため、別府港までの中継地点兼補給基地として松山港を設定した。選定の理由としては、1 日で別府港までの往復運転が可能な距離であ



図-8 各地方整備局からの支援の流れ

り、受け入れ地点の別府港と同様、港内に国土交通省四国地方整備局松山港湾・空港整備事務所が位置していたことが中継地点としての選定理由となった。船舶による支援物資輸送を行う場合で船員等の休憩や宿泊で本船を離れる場合、特に夜間に船舶を離れる際には、本船の警備の面での安全性確保が求められる。この点について、松山港湾・空港整備事務所は事務所敷地内に所属船舶の係留施設を所有しており、「はやたま」の夜間の係留場所として理想的であった。加えて本船への燃料供給の面においても、同事務所において普段から取引のある燃料業者を容易に確保できたため、派遣船舶への円滑な燃料補給が可能であった。

f) 派遣中の緊急避難先の確保

船舶による支援物資輸送を実施する上では、荒天時等における船舶の避難先となる港を確保することが派遣を安全・確実に実施するための必須事項であるといえる。本件においても、物資輸送を終え松山港から和歌山下津港に向けて航行する道中、九州地方方面には風雨を伴う低気圧が発生していた。このため、当日の天候の変化によっては航行を一時見送り、近隣の港に避難することも検討していた。

避難先となる港の決定にあたっては、本船を運航する船員の経験はもちろんのこと、周辺の地理や気象・海象環境について十分に経験を持つ人間の意見に十分に耳を傾ける必要がある。本件の場合、中継地点の松山港湾・空港整備事務所には、長年瀬戸内海で業務を行ってきた作業船「いしづち」及び港湾業務艇「くるしま」が所属しており、各船の船員から周辺の具体的な気象・海象条件等のヒアリングを行ことができたため、帰港にあ

り、事前に避難先の港の検討を行うことが可能であった。これにより、常船員は心理的にある程度の余裕を持って派遣任務を遂行することができたといえる。

g) 港湾業務艇「はやたま」派遣の流れ

同船の派遣の決定から、支援物資輸送完了後、和歌山下津港に帰港するまでの一連の流れを以下に示す。

■「はやたま」支援物資輸送

- ・位置付け
TEC-FORCE 近畿(港湾)13 班
- ・任務概要
港湾業務艇により、支援物資を和歌山下津港から別府港まで海上輸送する。
受渡地点 別府港
物資仲介 九州地方地整局 別府港湾・空港整備事務所

■活動の流れ

- ・4月16日(土)～前日まで準備等
支援物資要請把握
支援物資収集
支援物資輸送用カゴ艀装
支援物資積み込み
船舶出航準備(燃料給油等)
- ・4月19日(火) (1日目)
7:30 支援物資積み込み
8:00 和歌山下津港出航
海上運搬
14:50 松山港着(所要6時間50分)
松山港係留・給油
支援物資積み込み
※航行距離 306km (165海里)
- ・4月20日(水) (2日目)
6:30 松山港出港
10:20 別府港着(所要3時間50分)
支援物資陸揚げ、引き渡し
11:25 別府港出港
14:20 松山港着(所要3時間20分)
松山港係留・給油
※航行距離 278km (150海里)
- ・4月21日(木) (3日目)
4:50 松山港出港
11:45 和歌山下津港着(所要6時間55分)
12:00 帰還報告 任務完了
※航行距離 333km (180海里)
- ※全行程航行距離 合計 917km (495海里)

4. 港湾業務艇の災害支援にかかる課題、反省点等

熊本地震に伴う「はやたま」の災害支援について、被災地に所属船舶を派遣する形での災害支援活動は国土交通省としてもほとんど経験のないことであり、船舶派遣前後における準備や対応については手探りの部分が多々あった。本件における問題点や課題、反省点については、今後、災害支援を踏まえた作業船等の建造時の参考となることを期待し、「はやたま」による災害支援を通じて得られた課題及び改善点について以下に示す。

(1) 船舶による物資支援にかかるハード面の課題等

「はやたま」による災害支援を通じて得られた本船の設備的、機能的な面について得られた知見を以下に示す。

a) 貨物の積載スペースの確保

国土交通省における船舶建造の近年の傾向として、「はやたま」をはじめとする各地方整備局の港湾業務艇については、JCI（小型船舶）の規格で建造されている場合が多い。緊急物資輸送の実施にあたり、「はやたま」のように支援物資の積載スペースを確保していない場合、船室に物資を積載せざるを得ない場合がほとんどであると考えられる。このような場合において、特に「はやたま」のように30ノットを越える高速航行を行う船舶においては、他船の引き波等による衝撃が通常の船舶に比べて大きいことが予想されるため、積載の状況にもよるが、物資の荷崩れ等が発生する可能性がある。これにより、支援物資を破損する可能性や、崩れた物資により乗船者が負傷する可能性、その他通信機器等の機材を破損する可能性が懸念され、また、物資の積み上げにより船体の重心が平常運航時に比べ高くなるため、船舶の航行時の体勢が変化することから、船舶の転回や他船を回避の妨げになることも懸念される。今後、国土交通省において作業船や港湾業務艇を建造する際は、災害時の物資輸送業務を行う可能性のある船舶については、輸送物資専用の積載スペースを確保しておくことが望ましいといえる。

b) 業務機器の備え付け

「はやたま」においては、支援物資輸送用カゴを除いたすべての設備が常時船体に備え付けられており、緊急あるいは通常業務時において、基本的には即時出港が可能である。

同船の装備機材に関して特筆すべき点として、海底地形探査装置を船舶にビルドインする形で機材を搭載している点である。一般的に、業務等で海底地形測量を行う場合においては、①調査用の船舶に測量機器の据え付けを行ったうえで、②機材の船体への取付角度等諸条件の初期値設定を行い、③さらに機材のキャリブレーションを実施した上で、④初めて海底地形の測量が実施可能である。「はやたま」の場合、上記①～②及び③の大部分を省くことができ、災害対策本部等からの出動命令に対し即座に本船を出港し、現地での海底地形探査を実施することが可能である。また、その際の探査データは、船内

に居ながら海底の状況をリアルタイムで観測することができ、今後、津波被害が発生した場合においても、港湾内や港湾に通じる航路の埋没物等の現地状況の確認を、被災後すぐさまに実施し、測量データをもとに航路啓開を実施することが期待される。

c) 設備の着脱検討

港湾業務艇「はやたま」は、防波堤や岸壁の点検の際、船首よりも高い位置に接岸するために、職員の乗降を容易にする設備として階段状の足場を設けている。平常時においては、操船者の視界を遮ることのないよう設置しているものではあるが、災害支援のように長距離・長時間の航行を行う場合においては、乗降用の足場が視界的な障害物となる場合がある。特に、瀬戸内海のように航行船舶が非常に多い地域や漁船が多く集まる漁場付近、津波災害発生直後の津波がれきや流木が海面に多く漂っている海域を航行する場合には、可能な限り操舵席前方の視界を広く確保することが航行安全の観点からも重要であることから、今後、同設備の設置にあたっては、着脱が可能な形式の検討が必要であるといえる。

d) 推進装置の形式

「はやたま」には、一般的な船舶が搭載しているスクリュープロペラの推進機とは異なり、ウォータージェット推進機構が搭載されている。ウォータージェット船の場合、プロペラ船のように船底より深い位置にプロペラや舵を設置する必要がないため、プロペラ船に比べて海中の大きな障害物により受ける影響が小さいと考えられる。

「はやたま」は、東日本大震災を教訓に、震災後の航路啓開作業における業務遂行を建造目的の一つとしており、津波被害直後の流木や津波がれきが漂う海域においても、十分な機能を発揮できるよう、ウォータージェット推進機構を搭載している。このように、同船は海底地形探査装置とウォータージェット推進機構により、災害発生直後の漂流物等の多く存在する港内においても、海底の状況を確認し航路啓開を円滑に実施する手助けを行うことで、災害支援物資等を運搬する大型船舶の入港をより迅速なものとするのが可能であると考えられる。

(2) 船舶による物資支援にかかるソフト面の課題等

「はやたま」が適切に災害支援業務を実施するため、本船をサポートするため事務所が実施したこと得られた知見を以下に示す。

a) 災害支援の初動対応

熊本地震の発災直後、災害対応の支援活動として、政府として「プッシュ型物資支援」を推し進める中、「はやたま」の派遣にあたっては、支援物資輸送の目的地が未調整であるのもかかわらず、災害支援の初動対応を行う必要があった。派遣にあたり調整が必要な事項として、①航行計画の作成、②補給（燃料等）の確保、③人員の確保の3点がある。①派遣航行計画については、派遣の目的地を大分方面と想定し、物資輸送中継地点としても、実際の中

継基地となった松山港を含めた数カ所の候補地を選定し「はやたま」派遣にかかる航行計画を作成した。②補給（燃料等）について、平常時の「はやたま」の運航においても緊急出動のための備えとして、船積み燃料は常時タンクの半量程度を確保していたが、大分方面への派遣にあたっては、タンクの半量程度の燃料では対応出来ないこともあり、地震発生直後の4月16日（土）に本船への給油を実施した。また、派遣道中における燃料の補給については3.(2)e)で述べたとおり、四国地方整備局の協力のもと燃料の補給を行った。③人員について、和歌山下津港から大分方面までの長距離航行にあたり、本船の操縦を平常運航時と同じ有資格者1名の体制で行うことは安全の面から困難であるため、操船の交代要員として臨時船員をもう1名確保し、有資格者2名体制で対応することとした。

b) 船舶の維持管理

国土交通省が所有する作業船及び港湾業務艇は、基本的に1年に1回ドック入りし、定期的にメンテナンスを実施しているが、定期修理間近の時期（前回の定期修理から11カ月が経過する頃）については、1年の中でも船体の不具合が頻発し、また、船体への付着物等により最大船速が落ちてきている場合が多い。このため、突発的な災害支援に備えるためにも、年間を通じて本船の状況を良好に維持することが必要不可欠である。

c) 緊急支援物資

近畿地方整備局は、管内の各港湾事務所に備蓄していた災害支援物資を和歌山港湾事務所に集約する形で緊急支援物資を確保したが、集約の際、物資の目録が添付されていなかったため、物資をとりまとめる際に、あらためて支援物資リストを作成する手間を要した。

また、海上からの物資輸送においては、船舶の積荷重制限の関係から支援物資の総重量を正確に把握する必要があったが、各事務所で物資を集約する際、事前に計量を行っておらず、物資の重量についても船舶への積み込み時点での計量作業を要した。

以上より、支援物資の搬入の際には、物資目録を作成し、必要に応じて重量や寸法を事前に計測することで、物資を搬入する際の手間を軽減し、より迅速な支援物資の運搬を行うことが可能であるといえる。

d) 連絡系統・通信手段

災害発生直後に支援のための派遣を行う場合、派遣船舶と派遣の指揮を執る対策本部との通信手段である携帯電話等の通信網が著しく不安定になる場合がある。東日本大震災の地震発生直後においては、通信回線の混雑が特に顕著であり、一般の携帯電話による通話さえままならない時期があった。熊本地震発生時直後においても、先の震災の時と同様、地震発生直後の数日間においては、回線が著しく込み合い、携帯電話による通信手段が万全で利用可能とはいえないような状況であった。

また、海上は、現在主流となっている各携帯電話会社の提供する高速通信（4G通信）のサービス圏外となることが多く、船上から写真等の情報共有を行う場合において、データの転送に非常に長い時間を要することがあった。

これらのことから、災害時における緊急出動等で船舶の派遣を行う場合は、携帯電話等の一般通信回線以外に派遣船舶と指揮本部との通信手段を確保しておく必要があるといえる。「はやたま」においては、船舶無線の国際VHF無線の他、衛星電話を船内に搭載しており、地震発生直後で一般回線が混雑している中、「はやたま」航行中の乗船員との確実な連絡手段として大いに役立った。今後発生が予測されている南海トラフの地震等においては、地震発生直後から数日の期間、東北地震や熊本地震発生直後と同様に一般回線の通信網の混雑はほぼ避けられないことが予測される中、一般回線の混雑による影響を受け辛いこれら通信機器の運用を含め、災害発生時においても利用可能な連絡系統の確立を図っていく必要があると考える。

5. おわりに

本報告では、当事務所所属港湾業務艇「はやたま」の機能面に係る事項と熊本地震の際の別府港災害支援活動について、他の地方整備局との連携等を踏まえて記述したが、港湾業務艇による災害支援や支援物資輸送については、当事務所はもとより国土交通省としても経験僅少であり、業務艇の災害支援マニュアル等の作成を含め、知見を集積していく必要があると考える。今後の港湾業務艇の建造及び業務艇による災害支援を実施・検討を行う際、本稿がそれらの一助となれば幸いである。

謝辞：熊本地震発生直後で多忙を極める中、物資の受け入れ窓口となって頂いた九州地方整備局別府港湾・空港整備事務所各位並びに派遣の中継拠点とさせて頂いた四国地方整備局松山港湾・空港整備事務所各位には、災害支援にあたり、多大なるご協力を頂きました。また、本稿の執筆にあたり、和歌山港湾事務所各位にご指導、ご協力を頂きました。昨年の災害支援活動を無事に完了できたことを含め、皆様には深く感謝申し上げます。

類似台風検索システムの精度向上による タイムラインへの活用について

東 亮佑¹

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

熊野川では、平成23年の台風12号による出水で、甚大な被害を受けた。この被災を教訓とし、紀南河川国道事務所では事前防災行動計画（タイムライン）の策定し、そのことを目的として構築した中で、類似台風検索システムを構築した。当システムは過去の台風進路・気圧等を基に、接近する台風による熊野川の水位上昇量、パターンを予測し、迅速かつ確実な事前防災行動に繋げるものである。本稿は平成28年度に当システムを活用し、自治体とのタイムライン会議を進めるうえでの課題を抽出し改良結果を示すものであり、タイムラインにおける当システムの有用性と今後の取り組み方針について考察するものである。

キーワード タイムライン、類似台風、洪水予測

1. はじめに

(1) 熊野川の概要

熊野川は、その源を奈良県吉野郡天川村の山上ヶ岳に発し、途中で北山川と合流し、熊野灘に注ぐ流域面積2,360km²、幹流流路延長183kmの一級河川である。紀南河川国道事務所では、図-2のように熊野川本川は河口から5km、支川市田川は本川合流点より2km、支川相野谷川は本川合流点より5.7kmを国により管理している。



図-1 熊野川流域図



図-2 熊野川管内図

(2) 平成23年台風12号による被害

平成23年8月25日に発生した台風12号は、熊野川上流の大台ヶ原地点にて6日間の総雨量が2,000mmを超える未曾有の豪雨をもたらした。基準地点（相賀）においては、計画規模（19,000m³/s）を大きく上回る約24,000m³/sに達し、国管理区間沿川で約3,000戸の家屋浸水が発生するなど大きな被害が発生した。

これを受け、熊野川では、平成23年12月に激甚災害対策特別緊急事業が採択され、再度災害防止を目的として、熊野川本川の河道掘削、堤防整備、堤防強化等及び、支川である相野谷川の輪中堤高上げ等を実施している。



写真-1 熊野川の越水による浸水



写真-2 鮎田水門付近の状況



写真-3 高岡輪中堤の転倒



写真-4 新宮市相筋地区の浸水

2. タイムラインの策定

(1) タイムラインとは

近年、災害に対応するツールとして、2012年の米国のハリケーン「サンディ」においてニュージャージー州の防災に活用されたタイムライン¹⁾が注目されている。

タイムラインとは、事前にある程度被害の発生が見通せるリスクについて、被害の発生を前提に時間軸に沿った防災行動を策定しておくことである。

熊野川において、浸水被害を生じさせる水害の多くは台風によるものであるという特徴がある。これまでに発生した主要洪水を表-1に示す。

タイムラインを導入することによって、以下の効果が期待され、今後の災害対応に関する手段として非常に有用なものである。

表-1 熊野川における主要洪水

発生年月日	降雨成因	被害状況		
		浸水面積(ha)	床上浸水(戸)	床下浸水(戸)
昭和57年8月	台風10号	約270	約580	約2080
平成2年9月	台風19号	約280	約210	約370
平成6年9月	台風26号	約180	約40	約80
平成9年7月	台風9号	約380	約380	約1050
平成13年8月	台風11号	約170	約70	約30
平成15年8月	台風10号	約130	約40	約10
平成16年8月	台風11号	約110	約40	約10
平成23年9月	台風12号	約430	約2160	約1160

※上記の浸水面積及び浸水戸数については新宮市・紀宝町の合計値

用なものである。

- ・ 早めの防災行動による避難行動・防災活動の余裕確保
- ・ 既往災害の「ふりかえり」を行うことにより、課題や教訓の継承が可能

(2) 熊野川タイムライン²⁾

紀南河川国道事務所では、従来、風水害対策運営計画に基づき、台風の進路を考慮しつつ、雨や水位の状況に応じて行動を実施する後追い型の防災行動を行っていた。しかし、水防警報や水位危険情報を出す際、昼夜問わず水防団待機・出動指示をする可能性があり、後追い型の防災行動では突然の待機・出動指示では対応しきれない恐れがある。沿川自治体へ操作委託している樋門や水門の操作時も同様で、河川管理施設の確実な操作ができない恐れがある。

そのため、台風の状況に応じた対応レベルを表-2のように整理した。台風の接近状況、水位状況から各レベルに分別し、いつまでに誰が何をしなければならないかについて整理している。例えばレベル2では専門調査員が流量観測施設の動作確認を行い、レベル3では電通・機械係が河川管理施設の点検業者へ待機指示を出す等具体的に整理した。

また、図-3に従来とタイムライン導入後の防災行動比較表を示す。従来では台風の進路や水位上昇等に合わせて防災行動を実施していたが、タイムラインを導入することで台風の上陸のおおむね3日前から防災行動を実施することにより、台風接近時における防災行動の余裕確保や必要な防災行動をより確実に行うことができる。

(3) 類似台風検索システム

タイムラインを進める上で重要な要素の1つとなるのが、具体的にどの程度の期間内で、どの程度の内容の事前防災行動を行う必要があるのか把握することである。熊野川の主要洪水は台風起因するものが多いことから、過去の類似台風を検索し、当時の水位や浸水状況を時系列順に把握できれば、行動及び判断を支援できると考えら

表-2 各レベルの防災行動の事前整理

状況レベル	基準	防災行動項目	実行する係
レベル1	台風が発生～台風の中心位置が北緯20度以北、東経120度～145度にある	体制要員確保	全係
		河川管理施設の点検・調査	機械係
		災害対策用資機材の確認	地域防災調整官
		CCTV、テレメータの動作確認	電気通信係
		災害対策車の動作確認	機械係
レベル2	台風の中心位置が北緯20度以上、東経120度～145度にある～台風上陸2日前	工事施工業者への注意喚起	工務係
		流量観測電子投下施設の現地動作確認	専門調査員
レベル3	台風上陸2日前～水防団待機水位に達する	洪水予測システム業者への注意喚起	調査係
		各種防災会議への出席	調査係
		流量観測業者待機指示	専門調査員
レベル4	水防団待機水位～冠氾注意水位に達する	航空写真撮影業者待機指示	専門調査員
		点検業者への待機指示	電通・機械係
レベル5	冠氾注意水位以上	災害対策車の事前移動	機械係
		水防警報(待機→準備→出動)	地域防災調整官
		洪水予測、水門・樋門の情報を自治体に提供	地域防災調整官
		水門・樋門操作員への出動指示	電通・機械係
		流量観測指示	専門調査員
		リエゾン派遣(必要時)	調査係
		臨ごう操作指示	機械係
		監視体制強化	全係
		水門・樋門操作員の選抜検討	機械係
		空操業者への出動指示	専門調査員
避難・被災情報の収集	調査係		
被害情報を本局へ情報提供	地域防災調整官		
応急復旧対策を検討	工務係		
記者発表資料の作成	調査係		

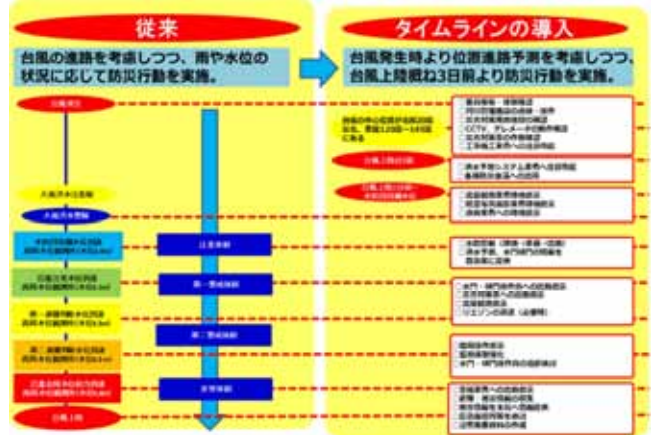


図-3 紀南河川国道事務所の防災行動の比較

れる。台風の状況に対して防災行動を行うタイミングを計るため、過去の類似台風の選定については、人の手で行っていた。そこで、類似台風の選定を効率化するためのシステムを構築したものが類似台風検索システムである。

類似台風検索システムの運用方法は、統一河川情報システムから配信される現接近台風のデータを基に類似台風を検索することで、

- ① 当時の台風の水位の上がり方や浸水の範囲がわかる
- ② 過去の水防警報や避難指示のタイミングを把握することができる

これらのデータから、現接近台風に対して、水位の上がり方から水防警報のタイミング、あるいは避難勧告・指示のタイミングを計ることができるため、タイムラインにおける防災行動実施にあたって有益な情報となる。

3. 類似台風検索システムの運用と課題

(1) 平成28年台風18号での運用状況

平成28年9月28日午前3時に台風18号の発生が気象庁より発表された。9月29日午前時点での5日進路予報



図-4 紀宝町テレビ会議の状況

より台風18号が紀伊半島を通過する恐れがあることから、紀南河川国道事務所では熊野川下流部減災対策協議会で検討された減災に係る取組方針に基づき、台風接近の5日前、平成28年9月30日17時より熊野川タイムラインを開始した。

今回発生した台風が熊野川にどれだけ影響を与えるのか把握し、タイムラインにおける防災行動を支援するため、類似台風検索システムから本台風と類似性を持つ台風の選定を試みた。

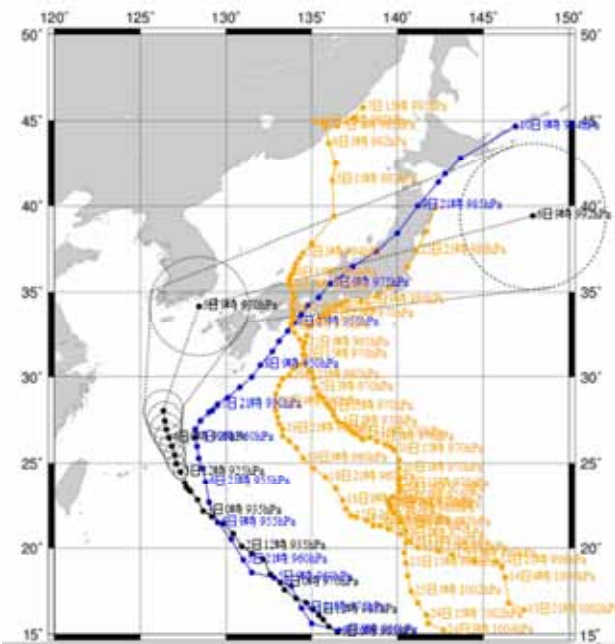


図-5 類似台風検索結果(10月3日9時時点)

類似台風検索より、コースの類似性の高い台風が5つ、中心気圧の類似性の高い台風が5つの計10台風が選定された。図-5はシステムより、コースの類似性の高い3台風を表示したものである。しかしながら、気象庁の予報では台風18号は日本海側に回り込んで上陸する進路が予想されており、類似台風検索システムで選定された10台風に日本海側を通過するコースを取るものはなかった。そのため、流域に強い降雨をもたらし、コースの類似性

が高い台風は無いと判断した。

(2) 実績台風による類似台風検索機能の検証

類似台風検索システムについて、実績台風を用いてシステムの検証を実施した。平成27年台風11号、平成28年台風10号、平成28年台風12号、平成28年台風18号の4事例を実績台風として検証に用いた。図-6に従来のシステムの類似台風検索結果を示す。

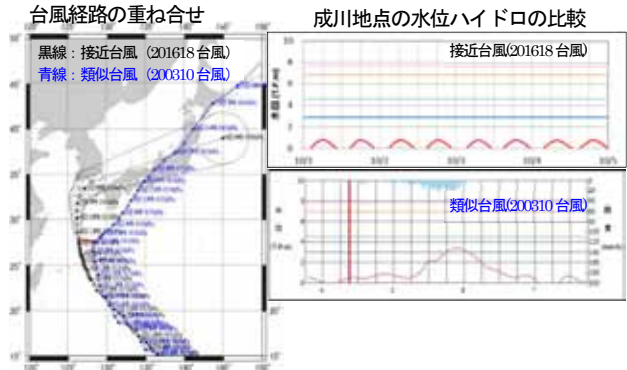


図-6 現行システムの類似台風検索結果(平成28年台風18号)

平成27年台風11号では、実績の台風経路と異なる経路の類似台風が検索されている。従来の類似台風検索での学習パターンとして、実績の台風経路と同様の経路の類似台風が無いことが原因と考えられる。

平成28年度の台風では、実績の台風経路と異なる経路の類似台風が検索されており、ハイドログラフがいずれも大きい値を示している。これは、現在の類似台風検索での学習パターンとして、実績の台風経路と同様の経路の類似台風が無いこと、検索対象が大洪水ばかりであることが原因と考えられる。

これらの検証より、大規模な台風だけでなく中小規模の台風のデータの拡充が必要であると考えられる。

4. 類似台風検索システムの改良

(1) 従来のシステムの課題

前項の実際の運用及び実績台風による類似台風検索機能の検証から、従来のシステムでは台風コースの類似検索の対象として大規模洪水を学習対象としており、検索結果も大規模な出水の予測となるため、中小規模の台風に対して実用的ではないこと、類似台風による降雨及びハイトグラフの予想を接近台風に対して適切に反映出来ないことが運用上の問題点として挙げられる。このことを踏まえて以下のような改良を試みた。

- ① 台風コースの類似検索の対象台風の追加
- ② 類似台風の降雨及びハイドロの登録
- ③ 類似台風と接近台風の時刻同期の改良

(2) データベースの拡充

従来のシステムには図-7で示されるような代表5パタ

ーンのハイドログラフやはん濫解析結果が表示されるが、最近の台風のパターンをみると必ずしも代表5パターンで分類できないことが確認されている。そこで、台風コースとそのときの被害を再度見直し、システムが適正に対応できるようにデータベースを更新した。

従来のシステムは平成26年までの台風を対象にデータベースが構築されている。システムの学習機会を増やすために平成28年度までに発生した台風も含めて、再度代表台風の見直しを行った。

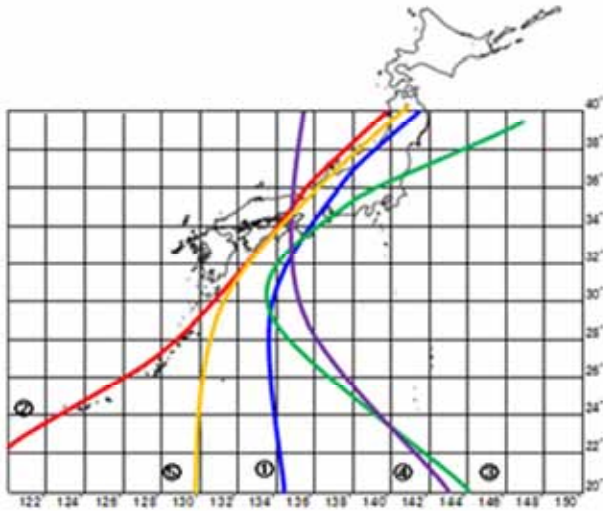


図-7 熊野川に災害をもたらした代表的な台風コース

従来システムでの類似台風検索機能では、熊野川に水害をもたらせた可能性のある台風として、1951年～2014年において熊野川流域から半径300kmの範囲を通過した計162台風のコースがデータベースに登録されている。

システム運用以降に発生した台風をデータベースに追加した。データベースに追加する台風の条件として、日本に「上陸」した台風（台風の中心が北海道・本州・四国・九州の海岸に達したもの）と、日本に「接近」（台風の中心が国内のいずれかの気象官署等から 300km 以内に入ったものとし、上陸 10 ケース、接近 9 ケースの計 19 ケースを追加した。

また、気候変動による疑似温暖化実験の伊勢湾台風 18 ケース、疑似温暖化実験の平成 23 年台風 12 号の計算結果 5 ケースを活用し、これらの台風データをシステムのデータベースに追加した。

(4) ニューラルネットワークを活用した台風コースの類似検索手法の改良³⁴⁾

従来のシステムでは台風コース類似検索の対象として、熊野川において降雨量の多い21台風を対象としていた。これは、降雨量が少ない台風が検索されると降雨量が多い台風を見逃す可能性があること、過去似たようなコースを通る台風が多く、台風コース類似検索を行った際に学習による的中率が低くなることが理由である。

今回の検討では従来の熊野川の流域において降雨量の

多い 21 台風以外にその他の台風（平成 26 年以前の 162 台風と、前項に示した 42 台風）を追加し、従来の台風コースのみの検索に加えて、中心気圧、台風速度も検索の入力要素に加えるものとする。従来の台風コースのみでの学習では、多くの台風コースを学習した場合にニューラルネットワークのパターン認識の的中率は低くなるのが予想されるが、中心気圧及び速度を学習要素に加えることで的中率が向上することが期待できる。

類似台風検索機能について、多量のデータから適合度の高いデータのパターン認識が可能な「ニューラルネットワーク手法」を用いている。ニューラルネットワークとは神経細胞の仕組みを模倣した数学モデルであり、入力データに反応し、適合するデータを出力する仕組みである。類似台風検索システムではニューラルネットワークを用いて過去のメッシュ化された台風コースのパターンを学習し、台風発生時には実況と予測の台風コースを入力することで学習したパターンに適合した台風番号を出力するものである。

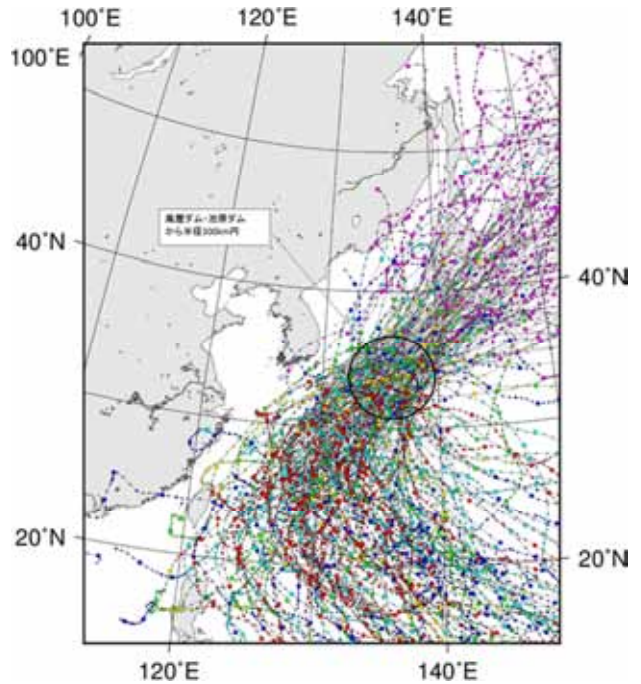


図-8 従来システムに登録されている台風

上記のように入力要素を増やす場合、従来のシステムで使用している検索手法を改良する必要がある。本検討では検索手法として図のような以下のケースを実施し、最適な検索手法を導入する。

- ① 従来のニューラルネットワークの拡張による検索
- ② 深層学習を適用した検索

従来のシステムでの類似台風検索機能では、中間層を1層とした3層の階層型ニューラルネットワークモデル(ANN)を用いている。対して、中間層を2層以上有するニューラルネットワークに学習させることを一般に深

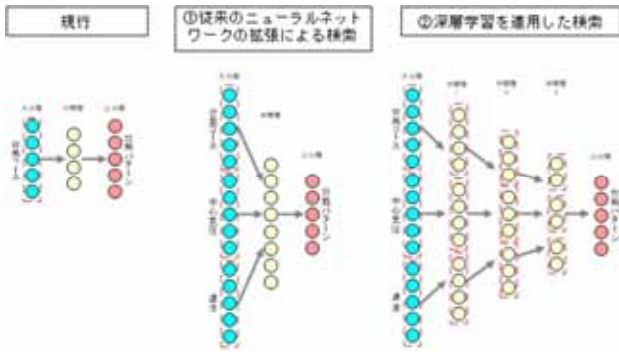


図9 台風コース検索手法の改良

層学習という。本検討での深層学習の手法としてディープニューラルネットワーク（DNN）を用いた。DNNは階層型ニューラルネットワークの中間層を2層以上としたモデルである。

(5) 台風コース検索手法の検討

DNNによる学習モデルを用いた類似台風検索の検証を行った。従来から使用していたニューラルネットワーク（ANN）とDNNを比較対象とし、入力値の条件として、

- ① コースのみ
- ② コース+気圧
- ③ コース+気圧+速度

を設定し、実績台風の計181台風の入力値を与え、検索値（出力値）を算定した。検索値は0.0～1.0の範囲で出力され、全ての検索値を合計すると1.0となる。検索値が最も大きくなるものが検索1位となる。本検討は、構築したモデルへ学習に用いた入力値をテストデータとして与えて、検索値を算定し、検索値の最も大きい最適台風が元のテストデータとして入力した台風と一致しているかどうかを確認する。各学習モデルの検証結果を表に示す。

ANNを用いた3ケースはいずれも的中率が低い結果となった。さらに、入力するパラメータが増えるとともに的中率が低下する傾向が見られた。中間層を1層としたモデルに2～3つのパラメータから最適化を実施するとパ

ターン認識に限界があると考えられる。DNNを用いたケースではいずれも的中率が100%となり、入力するパラメータが増えるとともに検索値が増加する傾向が見られた。中間層を2層あるいは複数の層にすることで、パラメータを増やすことに対して、より強く入力値に対する台風の特性を認識していると評価できる。

以上より、類似台風検索の学習モデルとしてDNNを用いてコース・気圧・速度の3つのパラメータを入力するモデルの優位性が確認できた。

(6) 類似台風と現在台風の時刻同期の改良

類似台風のハイドログラフをもとに、接近中の台風による水位上昇を予想するために時刻同期を行う。従来システムでは接近台風の現時刻の位置と類似台風の位置より判断して時刻同期を図っていた。しかしながら、この方法では台風位置とハイドログラフの時点の関係がわかりにくく、水位のピーク時刻を見誤るおそれがある。そこで、台風進路予想のうち日本列島への最接近予想位置をもとに、類似台風との時刻同期を自動で行うように機能を改良した。また、同期時刻を微調整できるように手動で時刻同期を行う機能を設けた。

熊野川下流部減災対策協議会で検討された減災に係る取組方針に基づき、台風時に開催されるタイムライン連携会議において、紀南河川国道事務所は今後の河川水位の予測、水防警報や洪水予報等の見通しを関係県市町に提示する必要がある。その際の資料として類似台風や時刻同期後のハイドログラフやハイドログラフより算定した水防警報や洪水予報の予測日時を1枚にまとめた情報提供用資料を出力する機能を開発した。

類似台風検索機能の検証として、平成27年台風11号におけるシステムを利用したシミュレーションを実施した。表に同台風の概要を、図に同台風時のハイドログラフを示す。シミュレーションにより得られた台風上陸の3～1日前の類似台風検索結果を図に示す。

シミュレーション結果によると、高岡地点の避難判断水位の到達を台風上陸2日前（7月15日）には7月17日の7時頃に避難判断水位に到達すると予想している。これは

表3 台風コース検索手法の検討ケース

No	ケース名	モデル種別	中間層	ユニット数	入力値	出力値	学習数
1	ANN_コース	ANN ニューラルネット ワーク	1層	2	コース	台風番号	181台風
2	ANN_コース+気圧		1層	2	コース、気圧	台風番号	181台風
3	ANN_コース+気圧+速度		1層	2	コース、気圧、速度	台風番号	181台風
4	DNN_コース	DNN ディープニューラル ネット	2層	1層目 150 2層目 50	コース	台風番号	181台風
5	DNN_コース+気圧		2層	1層目 200 2層目 50	コース、気圧	台風番号	181台風
6	DNN_コース+気圧+速度		2層	1層目 200 2層目 50	コース、気圧、速度	台風番号	181台風

表-4 2015年7月台風11号の概要

項目	内容
発生期間	2015/7/4~7/18
上陸日時	7/17 0:00頃
ピーク水位	成川 (7/17 7:00) 7.0m 高岡 (7/17 9:00) 8.5m

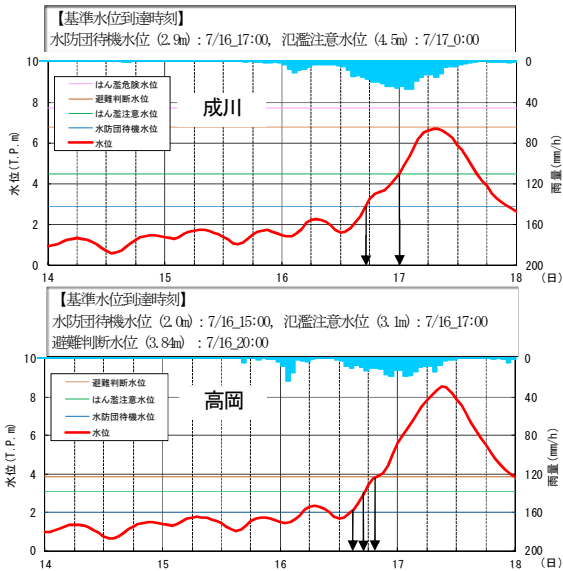


図-10 2015年7月台風11号のハイドログラフ

実際の到達時刻（7月16日20時頃）と比べて12時間程度遅い。しかしながら、上陸までに2日間程度の猶予があること、台風上陸前日からは気象庁の予測雨量を用いて6時間先までの予測水位を算出する熊野川洪水予測システムを用いて水位予測を実施することを考えると、水防体制支援を目的とした今後の河川水位の予想として実用的なものであると言える。タイムライン連携会議におい

て紀南河川国道事務所から関係市町に向けてこれらの水位予測を提示することにより、防災活動の円滑化を図ることが可能となる。

5. おわりに

類似台風検索システムを平成27年度、平成28年度に熊野川タイムラインで運用し、運用した実績から判明した精度の課題について、DNNといった深層学習を利用した手法を用いて精度向上を図った。今後、実際に台風が際の実運用を通じて、精度の検証を実証していく必要がある。また、天気図や気圧配置等を検索のパラメータとして組み込むことで、降雨要因毎の検索並びにデータベースの有効活用方法として過去の降雨・水位と深層学習を利用した事前の洪水予想の高度化を図っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省：米国ハリケーン・サンディに関する現地調査、先を見越した水害対応（事前行動計画）について、平成25年10月
(<http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/disaster/america/>)
- 2) 大橋：類似台風検索システムを活用した防災行動計画について、防災・保全部門：No.11
- 3) 由良・田中・金・吉田・武市・大橋・前田：深層学習を利用したNeural Networkによる類似台風検索システムの開発、河川技術論文集第23巻、2017年6月
- 4) 熊沢：学習とニューラル・ネットワーク、電子情報通信工学シリーズ、森北出版、1998年7月

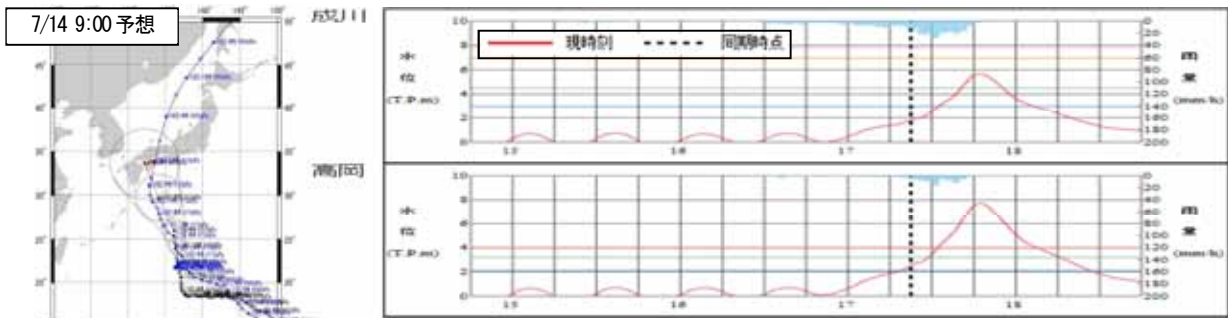


図-11 2015年7月台風11号の3日前の類似台風とその雨量・水位（同期後の結果）

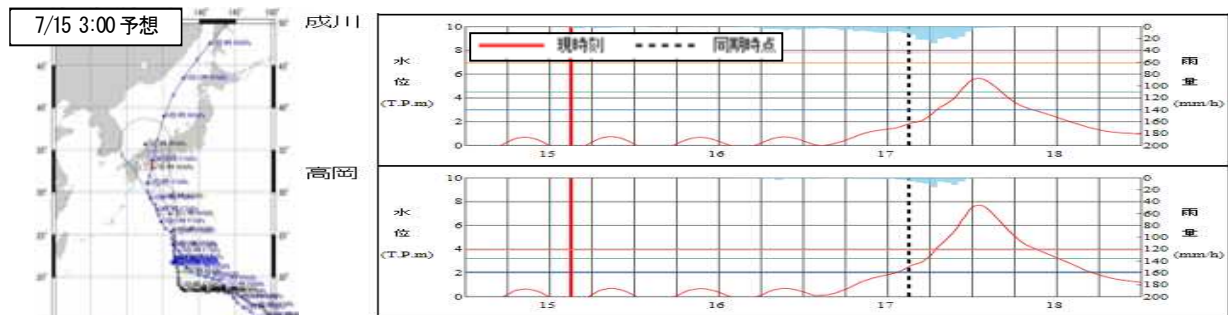


図-12 2015年7月台風11号の2日前の類似台風とその雨量・水位（同期後の結果）

研修用”不具合”堤防を活用した 点検評価技術向上について

前田 竜治¹

¹近畿地方整備局 木津川上流河川事務所 伊賀上野出張所 (〒518-0825 三重県伊賀市小田242)

河川維持管理の現場では、近年、管理施設の老朽化等が原因と思われる不具合の発生の増加がみられ、昨今の戦略的な維持管理・更新の推進も鑑み、河川構造物の不具合発見のため管理を担当する職員への堤防等点検技術向上のニーズが高まっている。そのため、経験の浅い職員でも堤防や護岸に生じた危険な変状を実際に体験し理解を深めることを目的に、近畿技術事務所内に実物大の研修用不具合堤防（延長約46m、高さ3m）を整備し、河川管理担当職員の研修等に活用しつつ、より実践的な点検評価のための技術力向上に役立つよう改善を行っている。

キーワード 河川管理, 堤防点検, 人材育成

1. はじめに

堤防等河川管理施設については、点検から状態を把握し、機能への支障を判断しながら維持管理を行う為の考え方として、「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案）」が平成27年度に策定され、点検結果の評価について試行運用が開始された。

近畿技術事務所（以下、「当事務所」という。）では、この試行運用の開始に合わせ、堤防や護岸の変状箇所を実際に見て・触れて・理解を深めることを目的に、当事務所内に研修用不具合堤防を平成27年3月に整備し、近畿地方整備局職員等の研修や講習会への活用を開始し、より実践的な点検評価のための技術力向上に役立つよう変状箇所の追加や研修内容等の改善を行っている。

ここでは、研修用不具合堤防の整備及びその後の活用について報告する。

2. 整備の背景

近畿地方整備局管内で管理する河川においては、施設の老朽化等によると思われる堤防護岸等の損傷や空洞化等の変状が発生し毎年報告されており、当事務所に原因究明のための調査依頼が寄せられている。

変状箇所は、洪水による被災の原因になり得るものであると同時に、河川利用者の安全な利用への支障となるものである。

しかしながら、昨今の行政事務の多様化を受け、技術系職員のみならず事務系職員も河川管理施設の点検等を担当する必要が求められる中、河川管理を担当する職員全てが上記の様な変状箇所の状態を把握し、機能への支障の程度を判断し、適切にその対応を行うことが困難な

状況となってきた。

そのため、平成26年度に近畿地方整備局の研修プログラムとして、河川管理施設等の実務的な点検、維持管理を主体においた「河川管理研修」を開催し、実際の河川堤防等を点検実習フィールドとして点検に関する研修を行った。（写真-1）



写真-1 現地での点検実習状況
(平成26年度 河川管理研修)

しかし、現地での点検実習では、管理上危険とされる損傷等の変状箇所については、既に発見後速やかに修繕が施されており、研修生が理解を深めるためには、多種多様な変状箇所を目の当たりにして実習出来る点検実習専用の施設の整備が必要となった。

さらに、堤防等河川管理施設については、点検により状態を把握し、機能への支障を判断しながら維持管理を行う為の考え方として、平成27年度より「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領（案）」が策定され、点検結果の評価について試行運用が開始されることとなり、点検評価実習専用施設の必要性がより高まった。

そこで、堤防等の点検評価実習を行うための専用施設

として、堤防や護岸等において想定される変状箇所を再現した実物大の研修用不具合堤防を平成26年度中に近畿技術事務所構内に整備することとなり、平成27年3月に完成した。(写真-2)



写真-2 研修用不具合堤防 (H28.10.28撮影)

3. 整備内容

(1) 整備方針

研修用不具合堤防の整備場所は、研修施設からの移動時間短縮のため、当事務所の敷地内とした。また、限られたスペースを有効活用するため敷地内の外周道路に沿って延長を確保して折り曲げて配置するとともに、空洞探査車による堤体内の空洞調査を行う事も考慮して、坂路を設けて外周通路から堤防天端を通行できるようにした。(図-1)

整備にあたっては、①「的確に点検を行う技術」と「点検から得られた情報を基に的確に分析する技術力」の両方を培うための実習フィールドとする、②近畿地方整備局管内の河川カルテから、変状事例の収集・整理を実施、③実際の現場に多く存在する変状を、実際に近い状態(使用実績の多い材料)で再現、を当初の整備方針として変状箇所の再現を行った。

その他、堤防点検を実施する職員の研修等に活用されること、再現した変状箇所を長期間維持できることにも留意して整備を行った。

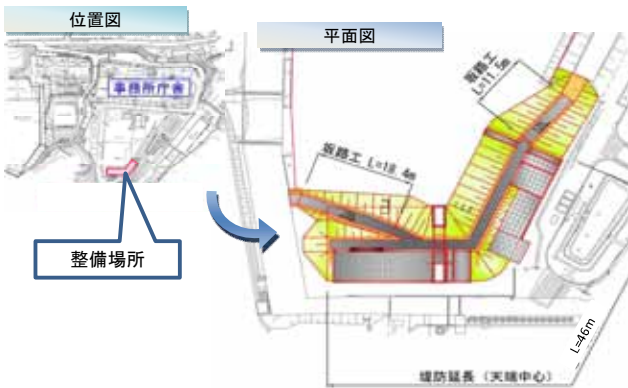


図-1 不具合堤防位置図・平面図

(2) 変状の再現と改善状況

上記整備方針に基づき、平成26年度に研修用不具合堤防の整備を行い、土堤に護岸工(張りブロック・連節ブロック等)、樋門函体、特殊堤及び階段工を配置し、14種類37箇所の変状を再現した。

また、空洞探査機の有効性を検証する実験フィールドとして、不具合堤防及びボックスカルバート内に空洞を設ける等により、各種探査機等の使用についても実習が可能とした他、河川維持管理データベース(RMDIS)に不具合堤防を登録することにより、研修にて点検結果の登録作業等の実習が出来るようにした。

その後、平成27年度、28年度の2ヶ年間、河川管理研修(堤防点検評価実習)等を通じて、講師をお務めいただいた近畿河川技術伝承会(近畿地方整備局OB)の皆様や各種講習会の受講生からのご意見・ご要望を参考に、変状箇所の再現性に改良を加えた他、近畿地方整備局管内のみならず全国の堤防等点検評価結果を参照し、確認頻度が高い変状箇所の追加及び改善を実施した結果、平成28年度末には29種類・66箇所の変状(堤防等河川管理施設の点検結果評価要領(案)による変状種別の区分では15種類)を再現している。(表-1)

なお、変状の再現にあたっては、研修等で原因究明まで考えることが出来るよう変状箇所とシナリオの関係性を留意し、研修用不具合堤防を4つのゾーンに分割の上、ゾーンごとに変状シナリオを設定し、変状箇所を再現している。(図-2,3)

再現した変状種類		点検結果評価要領(案)の種別
土堤 (堤防)	① 亀裂	[1] 亀裂
	② 陥没	[2] 陥没や不陸
	③ 法崩れ	[3] 法崩れ
	④ モグラ等の小動物の穴	[8] モグラ等の小動物の穴
	⑤ 樹木の侵入	[10] 樹木の侵入
	⑥ 侵食(ガリ)	[11] 侵食(ガリ)・植生異常
	⑦ 漏水	[12] 漏水・噴砂
	⑧ 噴砂	
護岸	⑨ 目地の開き	[13] 護岸の破損
	⑩ 段差	
	⑪ 欠損	
	⑫ 護岸背面の空洞化	
	⑬ 陥没	
	⑭ 沈下	
	⑮ はらみ出し	[14] はらみ出し
特殊堤	⑯ 基礎部の洗掘	[15] 基礎部の洗掘
	⑰ 端部の侵食	[16] 端部の侵食
樋門 函体	⑱ 特殊堤の傾倒	H29.3版より追加された項目
	⑲ 欠損	[1] 周辺堤防のクラック、 緩み、取付護岸のクラック
	⑳ 段差	
	㉑ 空洞	
	㉒ 底板下の空洞化(抜け上がり)	[2] 函体底板下等の空洞化
	㉓ ひび割れ	[3] 函体等の破損
	㉔ 浮き・剥離	
	㉕ 鉄筋の露出(腐食)	
	㉖ すり減り	
	㉗ 漏水	
㉘ 断面欠損(修復)		
門柱	㉙ ジャンカ	[5] 門柱等の変形、破損

表-1 再現した変状種類

(H26:無色、H27:橙色、H28:水色)

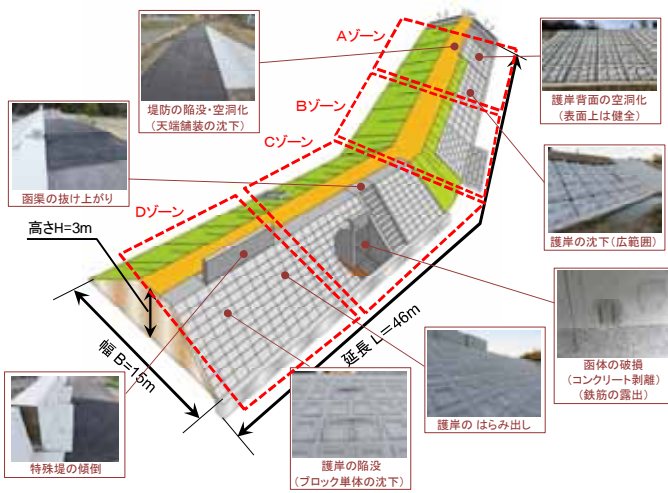


図-2 主な変状箇所

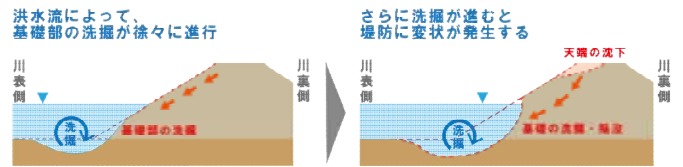


図-3 変状シナリオ (A,Bゾーン)

その他、点検技術研修等で講師が使用する講師用マニュアル及び受講者用テキストを作成した。講師用マニュアルについては、各ゾーンの説明順路と手順を記載したほか、実際の研修等で講師が説明した内容を追記するなど改良も行っている。(図-4)

再現した変状については、評価者(研修受講者)に対して点検結果評価の目安を示すことを目的に、「堤防等河川管理施設の点検結果評価要領(案)」の評価区分に基づく変状の評価も行っている。(図-5)



図-4 講師用マニュアル

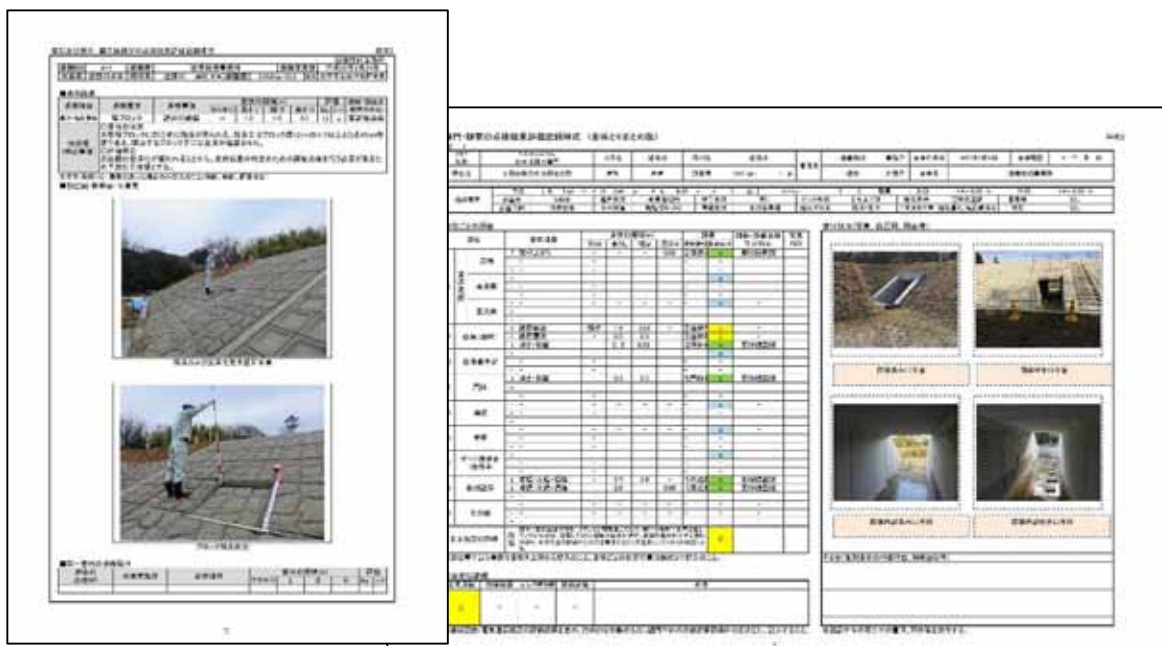


図-5 点検結果評価の目安(例)

4. 研修用不具合堤防の活用状況

研修用不具合堤防は、整備後約2年が経過した平成29年3月31日時点で累計32回(約560名)の研修等に利用されており、回数・人数共に増加している。(表-2)

表-2 研修用不具合堤防の活用状況

年度	No.	対象者	日 時		人数
26	1	国交省職員	3月25日	10時~15時	2
	2	国交省職員	4月8日	14時~17時	4
	3	国交省職員	5月20日	10時~17時	16
		自治体職員			5
	4	国交省職員	7月24日	13時~15時	3
	5	学生	8月31日	15時~16時	1
	6	国交省職員	9月4日	13時~17時	18
	7	自治体職員	9月25日	14時~16時	34
	8	国交省職員	2月4日	13時~17時	10
	9	国交省職員	2月12日	11時~12時	4
10	国交省職員	2月25日	14時~16時	3	
27	11	国交省職員	5月18日	10時~15時	15
		自治体職員			2
	12	民間	5月30日	13時30分~14時30分	5
	13	国交省職員	6月15日	15時30分~17時	4
	14	民間	6月21日	13時30分~15時30分	13
	15	自治体職員	6月30日	10時~15時30分	28
	16	国交省職員	7月14日	13時30分~17時	14
	17	国交省職員	8月19日	13時~16時	8
	18	民間	9月7日	13時~16時40分	30
	19	自治体職員	9月13日	13時~16時	24
28	20	国交省職員	10月4日	14時~16時	12
	21	国交省職員	10月14日	13時~16時	17
	22	国交省職員	11月1日	14時30分~16時30分	29
	23	その他	11月22日	9時40分~11時10分	36
	24	自治体職員	11月22日	13時30分~15時30分	21
	25	国交省職員	12月1日	13時~17時	40
	26	自治体職員	12月2日	13時30分~15時30分	15
	27	国交省職員	12月6日	14時~16時	15
	28	その他	12月12日	14時30分~16時	15
	29	国交省職員	12月20日	13時~17時	21
	30	国交省職員	1月12日	13時~17時	42
	31	国交省職員	1月19日	13時~17時	42
	32	その他	2月25日	9時40分~11時20分	10
合 計					558

研修内容は、研修対象者の技術レベル、研修時間によって異なるが、標準的な内容として約2時間の研修を紹介する。最初に、当事務所の教室で10分程度のガイダンス(点検実習に関する概要説明等)を行った後、研修用不具合堤防に移動し、各班7人程度のグループ(最大4班)に分かれて約80分(A~Dの各ゾーン20分程度)の点検実習を行い、点検実習終了後、再び教室に戻って約30分の意見交換会を実施する流れで行っている。意見交換会では、点検技術等に関する質疑応答や河川管理全般に関する意見交換も実施している。

なお、平成28年度末までは、内部・外部から研修依頼があった都度対応しており、日程調整・機器等の準備・後片付け等は当事務所職員が対応していた。(平成29年度は、職員研修として予め決めた

日程で年8回実施予定)

研修状況の一例として、平成28年5月18日に実施した河川管理研修について紹介する。(写真-3)

研修参加者からは、「堤防・護岸等の不具合事例が忠実に再現され、実務に近い形で学ぶことができ大変参考になった。」、「一つ一つの要因から被災のメカニズムを考えられる不具合堤防は大変参考になった。」等の意見を頂いている。

その他、魅せる現場等の施設見学についても当事務所職員が施設紹介等の対応を行っている。



写真-3 点検評価実習の状況(H28.5.18)

5. 今後について

現在、河川管理者が維持管理する上で求められる「的確に点検を行う技術力」と「点検から得られた情報を基に的確に分析する技術力」を培うための実習フィールドとして代表的な不具合を再現して研修を行っているが、必要となる全ての不具合を再現しているわけではない。

例えば、樋門・ゲート設備の点検技術力の向上を目的した変状のある樋門設備の整備を予定している。(平成28年度一部完成)

また、研修用不具合堤防をより多く活用できる様に「出水時における水防工法」や「災害発生時における対策工法」等の研修にも活用できる様な改善も実施・検討している。

今後も引き続き、多様な立場の人に広く活用していただき、改善要望や意見等をもとにソフト・ハード面の充実を図る事でより良い施設に改善していく予定である。

6. 最後に

本論文は、筆者が近畿技術事務所 品質調査課在職中(平成28年度)に所掌した業務成果をまとめたものである。

近畿地方整備局における 土木機械設備の点検整備について

卯路 貴史¹・阪井 千寿子²

¹近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 防災課 (〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

²近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 防災課 (〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

現在近畿地方整備局が管理している河川管理用土木機械設備は600設備ほどある。そのうち設置後30年を経過している設備は全体の4割をしめる。今後その数は増えていき10年後には6割、20年後には8割に達する状況である。そのため、計画的な維持管理を行う必要がある。また、近年の降雨は局地的な短時間集中豪雨が頻発しており、土木機械設備が果たすべき役割は増大しており、更なる信頼性を求められる。これらの状況をふまえてより適切かつ効率的な維持管理を実施できるように様々な取り組みを行った。この論文では主に河川管理用設備の点検整備について記載した。

キーワード 土木機械設備, 点検整備, 維持管理, 技術力向上, 状態監視

1. 土木機械設備について

(1)土木機械設備とは

河川管理用土木機械設備には、水門・樋門などのゲート設備、揚排水機場のポンプ設備があり、それらは出水等で操作が必要な場面では確実に動作させる必要がある施設(図-1)である。その設備が、不具合や故障等によって操作が必要な場面では動作できない状態であると近隣住民やその財産に多大な被害を与える。そのため、施設管理者はこれらの設備に問題が無く常に動作させる事ができる信頼性を確保し、不測の事態が発生した際にも必要最低限の機能(表-1)の確保が必須となる。



図-1 ゲート設備(福知山 矢津川樋門)

表-1 土木機械設備に求める機能
(河川管理施設の一例)

ゲート設備	<ul style="list-style-type: none"> ・ゲートは確実に開閉しかつ必要な水密性及び耐久性を有すること ・ゲートの開閉装置はゲートの開閉を確実に行う事ができること ・ゲートは予想される荷重に対して安全であること
排水ポンプ設備	<ul style="list-style-type: none"> ・低頻度でも確実に始動し、連続運転において安定して運転できること ・水位の変動への確実な対応が行えること ・非常用設備として外的要因を受けずに運転を継続できること

(2)土木機械設備に求められる維持管理と点検整備

現在、近畿地方整備局が管理する河川管理施設の半数近くは建設後30年以上が経過しており、老朽化による故障等の危険性を抱える施設が増加している。そのため、今後の維持管理を更に効率的で効果的に行う事が求められている。

そこで、設備の信頼性を確保しつつ、効率的、効果的な維持管理を実施させるために国土交通省は2008年3月に「河川用ゲート・ポンプ設備点検・整備・更新検討マニュアル(案)(以降「マニュアル」という)」を策定し、点検・診断・整備のPDCAサイクル(図-2)の実施を定めた。

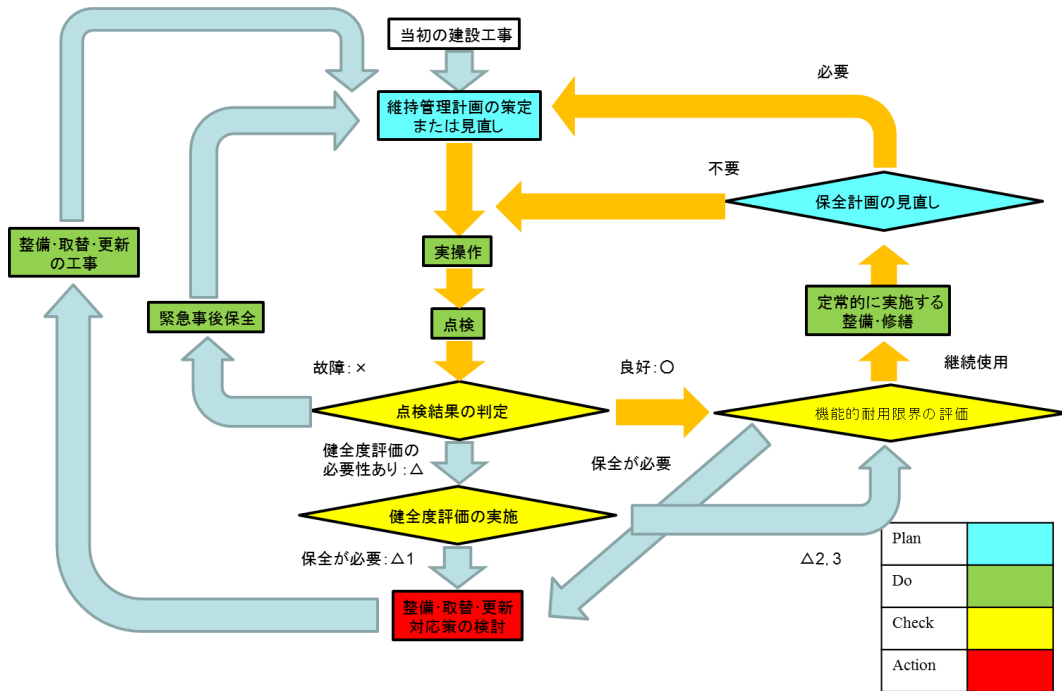


図-2 ゲート設備のPDCAサイクル

この中で効率的・効果的な維持管理とは、全ての装置・機器等を画一的に維持管理するものではなく、当該設備の設置目的、装置・機器等の特性、設置条件等を反映した最適な維持管理内容を適用することにより、設備に求められる信頼性と効率性を確保することである。多くの老朽化した設備に対する適切な整備・更新時期を判断するためにはまず、設備の状態を的確に把握する必要がある。

設備の状態を的確に把握するためには点検・整備を適切に実施しつつ、その結果により設備の健全度を評価することがもとめられており、「点検」の位置づけは非常に重要なものとなっている。

2. 点検・保全とは

(1)点検とは

点検とは「マニュアル」より、設備の異常ないし損傷の発見、機能の良否の判定のために実施する目視、作動テスト及びこれらの記録のことで定められている。点検を効率的に実施するために、その目的別に区分して設備及び機器等の保全方式や特性に合った点検の種類(図4)、方法を適用しなければならない。

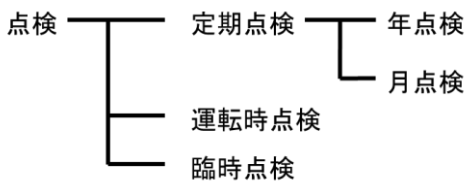


図-4 点検の種類

(2)保全とは

保全とは、設備、装置、機器、部品が必要な機能を発揮出来るようにするための点検、整備、更新をいう。保全(図-5)は管理上、設備の故障発生を未然に防止するために行う予防保全と、故障発見後に設備を正常状態に修復させるために行う事後保全に分けられる。

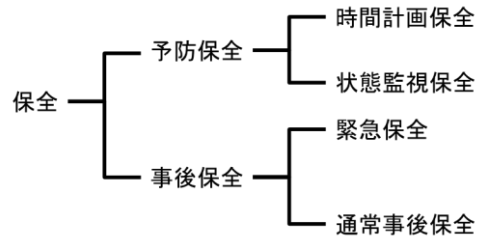


図-5 保全方式の区分

また、予防保全は時間計画保全と状態監視保全の二つに分けられる。時間計画保全「TBM(Time Based Maintenance)」は予定の時間計画(スケジュール)に基づく予防保全の総称で、予定の時間間隔で行う定期保全と、設備や機器が予定の累積稼働時間に達した時に行う経時保全に分けられる。計画的に実施する定期点検(年点検、月点検)や定期整備(定期的な整備・取替・更新等)は時間計画保全に含まれる。状態監視保全「CBM(Condition Based Maintenance)」は、設備を使用中の動作確認、劣化傾向の検出等により故障にいたる経過も記録および追跡等の目的で、動作値及び傾向を監視して予防保全を実施することをいう。

時間計画保全では設備に不具合が無くても計画的に整備を行うもので多くの設備で老朽化が進む現在では有効な手段とはいええない。そこで定期点検時に振動や音などから劣化の傾向を把握し管理する状態監視保全に移行している。

設備の維持管理を行う際には、これらの点検及び保全を機器毎に適切に組み合わせて実施していく事となる。

3.維持管理を行う上での課題

効率的、効果的な維持管理を行う上では「点検」が非常に重要であることはすでに述べた。しかし、近年の点検結果報告を見る限りでは次のような課題が見受けられた。

(1)点検実施者によるバラツキの発生

土木機械設備を維持管理していく上で、これまでは時間計画保全方式を採用していたが、現在は状態監視保全に移行している状況である。状態監視保全を行う場合、判断の材料になるのは点検結果であり、点検業者による点検報告時に参考評価を提出するようにしている。参考評価で「×」は緊急に措置(整備, 取替, 更新)が必要な状態、△1は予防保全の観点から早急に措置を行うべき状態、△2は機能に支障が生じてはいないが2~3年以内に措置を行う事が望ましい状態、△3は機能に支障が生じていないが状態の経過観察が必要な状態である。

点検結果が施設毎や点検者毎にバラツキがあると正しく状況判断を行うことができない。同じ症状であるのに片方では正常、もう片方では不具合といった様にバラツキが出てきている。したがってこれらのバラツキを無くしていく必要がある。

以下のような事例がある。

図-6と図-7はほとんど同じ発錆が見られるが図-6は健全度評価が△1で予防保全の観点から早急に措置しなければならないが、図-7ではほぼ同じ状態であるのに評価が△3の要監視段階と異なりバラツキが出ている。

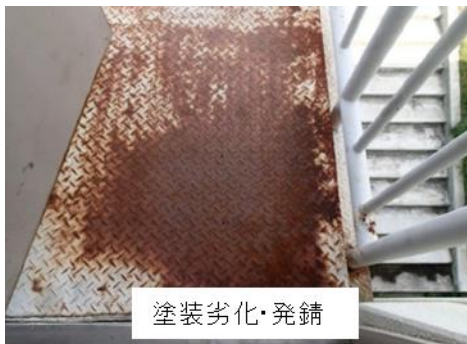


図-6 塗装劣化・発錆 健全度評価△1



図-7 塗装劣化・腐食 健全度評価△3

(2)点検実施者の機能・構造の理解不足

点検業務を行う受注者において設備の機能や構造の理解不足が見られる。受注者の社内でも若手の社員の減少等により技術力の継承等で苦慮されており、設備の構造・機構及び点検方法を正しく理解しておらず適切な点検・整備が行えていないと思われる事例が見受けられる。また、機能上の不具合が発生しているにも関わらず健全であると報告が上がってきている事例もあった。

従って土木機械設備の機能や、構造をふまえた点検を行えるよう理解を得てもらう必要がある。

(3)管理者の技術力不足

土木機械設備の管理を行う機械職員の技術力低下が課題となっている。原因としては若手職員の現場経験の不足や、「設計業務」の発注未経験による設備構造の知識不足が上げられる。そのため、報告された点検結果に基づいた適切な評価ができておらず、更なるバラツキの要因となっている。

従って効率的、効果的な維持管理を行うために必要な知識を管理者自らも習得する必要がある。

このような課題をふまえ、近畿地方整備局として次のような取り組みを行った。

4.近畿地方整備局での取り組み

(1)バラツキの解消にむけて

点検業務は「マニュアル」等に基づいて点検を行う。さらに点検の報告にある各不具合等の状況をふまえ健全度評価を行うが、その結果が施設によってバラツキが生じている。そこで、各施設間で健全度評価にバラツキが出ないように統一的な指標が必要であると考え、以下のような取り組みを行った。

まず、年点検で報告された不具合については状態を適切に把握出来るよう、以下の内容で点検受注者から報告を受けることとした。



図-14 点検整備業務説明会



図-16 水門の模型を用いて説明

a)過去の点検結果からわかる注意点

たとえば、塗装劣化、腐食が昨年度の点検結果においては多数報告されていた。しかし、その内容を確認すると報告の多くはチョーキングによるものであった。このような事例をいくつかあげ、それに対して本来報告が必要な劣化の説明を行った。

また、ローラゲートに関してはローラの回転不良の報告がまばらに上がってきているが「ローラの回転不良」なのか「ローラの回転確認ができない」のかわからない報告書が多数であった。そのため、ローラの役割と重要性を説明し、今後点検を行う際には確実なローラの回転確認の実施と、内容の判断ができる報告書の作成を御願いした。

b)点検・整備・更新マニュアル改訂

2016年度の改訂とあわせて、点検と健全度評価の位置づけ、維持管理について説明し、点検の重要性について理解を求めた。また、「点検整備標準要領」の改訂もなされた事からこれまでの評価A～Dから×～○の評価の違いについても説明し、評価の考え方について理解を求めた。

このように設備の機能、構造について理解をもらい、また、点検と評価の重要性をふまえた上で点検の質の向上が一定確保できたと考える。

(3)設備管理者(発注者)にむけて

維持管理を行う上で必要な知識を習得することを目的として、点検業務発注者に対して2015年度の点検結果と課題について説明会を行った。また、ワイヤーロープウインチ式の水門の模型を用いて水門で確認すべき点についても確認を行った。



図-15 発注者向けの説明会

この説明会では点検結果の調査表が上がってきた際に注意して確認すべき箇所を重点的に説明し、同じ状態であるのにも関わらず健全度評価が異なっている事例や、明らかに点検方法が誤っている事例を紹介した。



図-17 ワイヤロープ素線切れ

たとえば(図-17)は不具合で上がってきたワイヤロープの素線切れである。この点検の報告書では、「ワイヤロープの素線切れが2本見られます。」と不良状況が記載されており、「本ロープはJIS6号6×37のため3.7本未満が許容値です。(1ストランドの10%の素線切れまで許容)」と記載されていた。

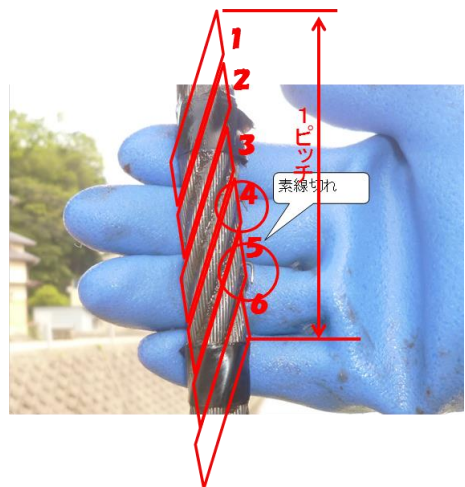


図-18 ワイヤロープの正しい計測方法

しかし、本来1ストランドの1ピッチで計測を行う必要があり(図-18)、ピッチが足りていない。また、この素線

切れは2ストランドで2本の素線切れになるので許容値3.7本未満の記載は間違っている。正しい内容は「 $6 \times 37 \times 10\% = 22$ 本まで許容される」と記載しなければならない。

これらの悪い事例をなくさない限りは、統一的な評価ができないため、次回以降の点検ではこのような事が無いように徹底を求めた。

このように基本的ではあるものの設備機能として重要な点を中心に知識を深めた。

(4)現地での説明会の実施

さらに前述の説明会を受けて、より実際の知識とするために地域毎に5つのブロックに分かれて、現地で説明会を行った。内容は説明会をふまえ、河川用ゲート設備を維持管理する上で注意する箇所、点検を行う際の注意事項等を保全対策官が中心となって実物を見ながら機械職員へ説明を行った。

現場では各事務所にある樋門や水門、排水機場で実際に報告された点検結果を元にどのような不具合があるのか確認し、その評価の良否について確認していきながら技術力の向上をはかった。

(5)その他の取り組み

近畿技術事務所と協力し前述の「点検評価基準(案)」の他、「優先度評価マニュアル(案)」、「大規模修繕・更新のスキーム(案)」の作成を行った。これらは維持管理のPDCAサイクルにおける「維持管理計画」を決定する際に非常に有用な資料の1つとなると考える。



図-19 現地で実際に機器の不具合等を確認

5.今後の課題

今回これらの取り組みを行った事により、その結果2016年度の点検結果報告では2015年度より不具合が1割ほど増加した。また、説明会でローラの回転確認の実施を求めた結果、回転不良の結果が多く出てきた。しかし、一方でローラの回転不良を確認する際に回転戸当たりを使用していない事例や、人力でのみ回転確認をしている事例などが見られた。これは点検受注者が回転戸当たりの意味や、ローラの機能を熟知していなかったためと思

われる。これらの点をふまえて点検受注者に対して、今後も説明会を行い点検の質を高める必要がある。

一方、機械職員の人数は減少している。また、若手職員の現場経験が少ないことも問題になっている状況である。今後も継続して実際に様々な現場へ行くと共に、数多くの事例を経験するために、点検等で注意すべき箇所や機械の構造についての勉強会を実施していく必要がある。

また、策定した優先度マニュアル(案)や点検評価基準(案)についても今後実際に活用し、事例を収集していきながら見直しを行っていききたい。

6.最後に

これらの取り組みを通して点検の重要性について一定の理解を得られる事ができ、またその質も向上する事ができた。今後さらに効率的、効果的な維持管理を行うために技術力の向上にむけて取り組んでいきたい。

-参考文献-

河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル(案)平成27年(2015年)3月

なお、前所属である近畿地方整備局企画部施工企画課で取り組んだ内容をもとにとりまとめたものである。

円山川タイムラインの策定について

名村 圭司¹

¹近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所 河川管理課 (〒668-0025兵庫県豊岡市幸町10-3)

円山川では、2004年（平成16年）10月台風23号により、未曾有の洪水被害を受けた。本台風で大きな被害を受けた豊岡市においては事前防災行動計画（タイムライン）の検討が必要となり、豊岡河川国道事務所及び洪水予報連絡会の参加機関と共に円山川タイムラインの策定を行った。その中で、タイムラインの高度化に向けた取り組みとして、台風経路・予測雨量の活用を踏まえたタイムラインを構築した。本報告では、水防災意識社会の再構築ビジョンを踏まえた減災対策協議会での取組方針を踏まえた円山川タイムラインの基本的な考え方について説明する。さらに、円山川タイムライン連絡会が設置され、今後のタイムラインの運用や改善を協議するためのPDC Aサイクルについて説明する。

キーワード 事前防災行動計画（タイムライン）、水防災意識社会の再構築ビジョン、浸水想定区域図

1.はじめに

(1) 円山川の概要¹⁾

円山川は、源を兵庫県朝来市生野町円山（標高640m）に発し、大屋川、八木川、稲葉川等の支川を合わせて豊岡盆地を貫流し、豊岡市において出石川、奈佐川等を合わせ日本海に注ぐ幹川流路延長68km、流域面積1,300km²の一級河川である。

流域は、兵庫県の豊岡市、養父市、朝来市の3市からなり、但馬地方における社会・経済・文化をなしている。流域の土地利用は、山地等が約83%、水田や畑地等の農地が約11%、宅地等その他が約6%となっている。

沿川にはJR山陰本線、国道9号、国道178号、国道312号、国道426号の基幹交通施設に加え、豊岡市北部までの延伸が計画されている北近畿豊岡自動車道が整備中である。

円山川は、これらの盆地から流出した後、山間部を大きく曲流し、谷底平野を形成しながら下流部の豊岡盆地を貫流している。豊岡盆地では、軟弱な沖積層が地下水の揚水により収縮することが原因の一つとなり、今もなお地盤沈下が継続している。このため、昭和30年代以前から、円山川の堤防は沈下と嵩上げが繰り返されてきた。また、豊岡盆地を含む下流の低平地帯では、河口から出石川合流部の河床勾配が非常に緩やかなため、河川からの氾濫が盆地全体に広がるだけでなく、水はけが悪く長時間浸水することから、内水被害がたびたび発生している。

2004年（平成16年）10月の台風23号では観測史上最大の豪雨を記録し、円山川、出石川の多くの区間で越水す

るとともに、円山川及び出石川では堤防が決壊し、沿川では死者5名、浸水家屋7,944戸の甚大な被害が発生⁴⁾した。これにより河川激甚災害対策特別緊急事業が採択され、河道掘削、堤防強化等を実施している。

(2) タイムラインの策定の背景

近年、全国でタイムラインに沿った事前防災行動計画の策定に向けた取組が実施されており、すでに運用が始まっている事例²⁾もある。このタイムラインを策定する背景として、アメリカのハリケーン・サンディ襲来での州政府の対応が注目され、日本型タイムラインの導入が始まった。このハリケーン・サンディは甚大な被害をもたらした一方で、米国のハリケーン対策プログラムに基づく対応が大きな減災効果を上げたと言われている。米国の災害対策は、防災に関わる組織が事前調整を図って

【表-1】 ニュージャージー州のタイムライン²⁾

判断事項	時刻
LEVEL2態勢、3、4への準備	120
避難所の計画・準備	96
避難の計画・準備	96
緊急事態宣言	72
LEVEL3態勢	72
自治体・州の避難所準備	48
通行規制の計画・準備	48
避難指示	36
避難所開設	36
交通規制開始	36
公共交通機関停止	12
LEVEL4態勢	24
その場での避難の指示	12
交通規制終了	3
対応者退避	0

※0時刻はニュージャージー州に上陸するハリケーンによる強風到達時刻
※各時刻は0時刻から遡った時刻

資料) 国土交通省・防災関連学会合同調査団「米国ハリケーン・サンディに関する現地調査報告書」

役割分担し、表-1に示す発災前から実施すべき対策を予め時系列でプログラム化した「タイムライン」と呼ばれる計画に基づき行動することが決められている。また、タイムラインにおける発災時（ゼロアワー）までには防災担当者や消防団自らも安全に避難が完了していることとなっている。このタイムラインに従い、ニューヨーク地下鉄はハリケーン・サンディ上陸1日前に、乗客に事前通知予告したうえで地下鉄の運行を停止し、浸水による被害は生じたものの、最短2日で一部区間の運行を再開させた。さらに、ニュージャージー州では上陸の36時間前に州知事から住民に対し避難を喚起した。²⁾

このような成功事例が日本に紹介され、円山川流域においても、2004年（平成16年）10月台風23号の被災経験、2016年（平成28年）6月に公表された想定最大規模外力、計画規模外力での浸水想定区域図を受け、洪水予報連絡会の参加機関を基本に、タイムラインに沿った事前防災行動計画を作成することとなった。

2.水防災意識社会の再構築ビジョンにおけるタイムラインの位置づけ

円山川流域において、2016年（平成28年）5月から7月にかけて、「水防災意識社会の再構築ビジョン」に基づく協議会³⁾が実施され、円山川流域における減災対策の取組方針をとりまとめた。

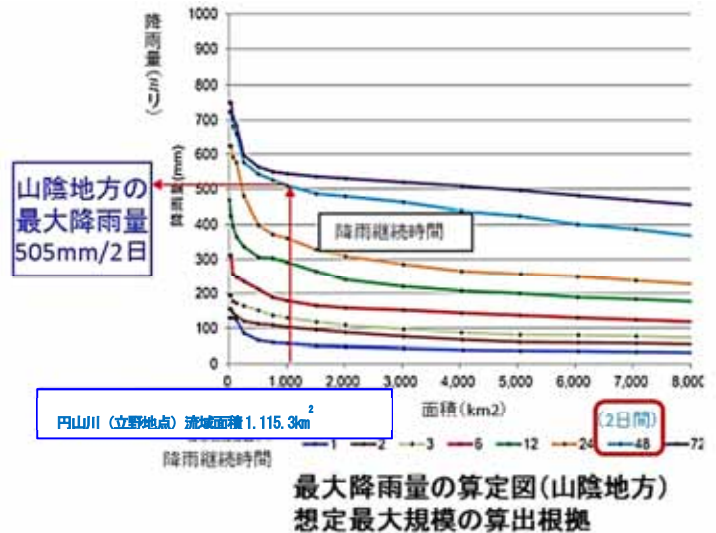
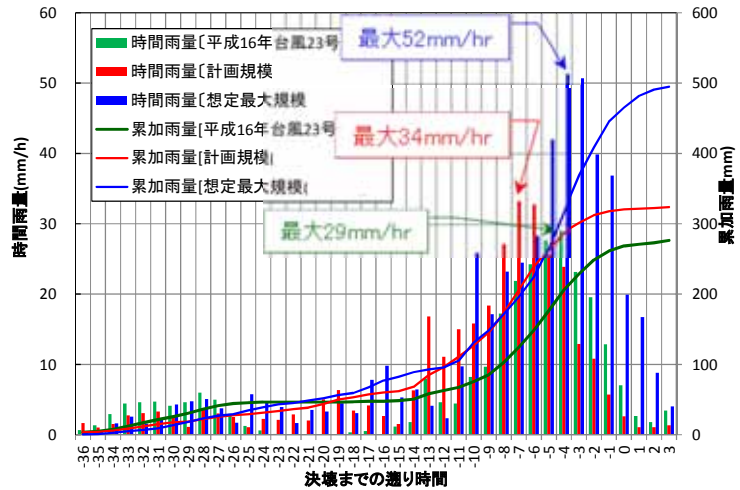
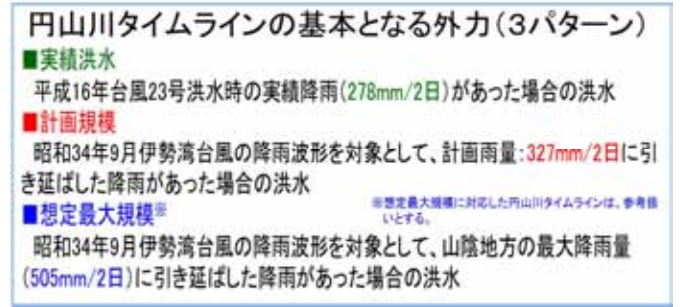
また、2004年（平成16年）10月台風23号の実績洪水規模、計画規模、および想定最大規模の浸水想定区域図が公表されたことを背景に、減災対策を推進していく上で、段階的に整備していくことが提示されている。これを受け、円山川タイムラインの作成においても、図-1に示す3パターンの想定外力に基づき作成することとなった。

3. 円山川タイムライン策定にあたっての基本的な考え方

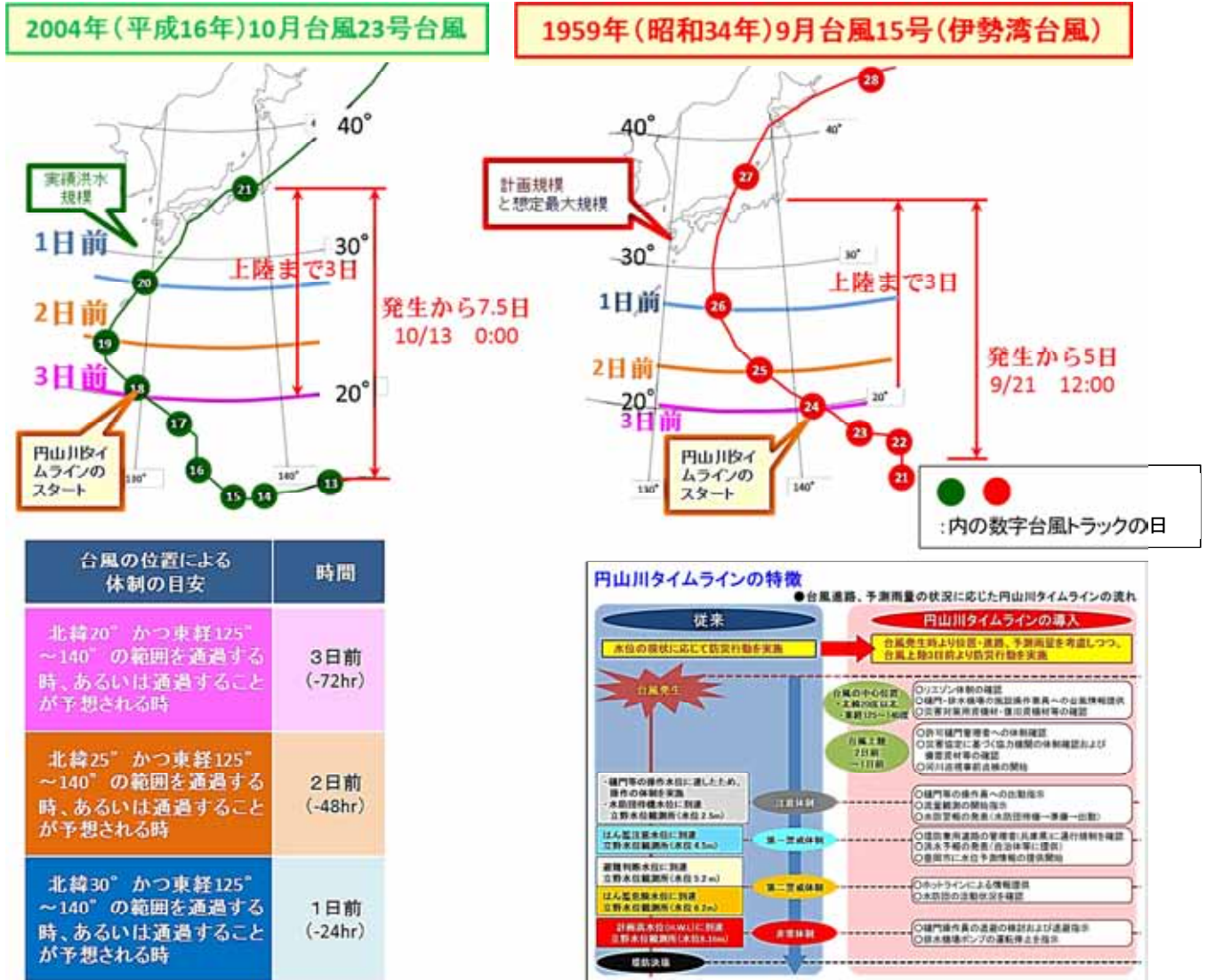
(1) 円山川タイムライン開始基準

タイムラインの開始については、台風の経路から、どの台風も北緯20度ラインを超える3日前からタイムラインの開始をすれば、進行速度の早い伊勢湾台風等に対して事前に準備・体制と移行ができることが判明した。そして、タイムラインの開始時刻の設定に用いた台風の経路としては、想定外力として設定した台風を含めた、円山川に甚大な被害をもたらした台風を対象に経路を整理した¹⁾。

図-2には、最も速度の速い1959年（昭和34年）9月台風15号（伊勢湾台風）、実績最大である2004年（平成16年）10月台風23号のトラックを示す。円山川に被害をもたらした台風の経路から、タイムラインの開始の目安を示す。



【図-1】 円山川タイムラインの想定外力(3パターン)



【図-2】 2004年(平成16年)10月台風23号及び1959年(昭和34年)9月台風15号の台風の経路

(2) 予測雨量の活用を踏まえたタイムラインの外力の選定

近年、国土交通省では統一河川情報システムの整備による気象情報、河川情報に加えて、予測情報も地方自治体が取得できるようになっていることや、円山川水系洪水予報連絡会の参加機関においては、独自に気象情報等の防災上必要な情報を取得していることから、円山川タイムラインの作成においては、外力の選定に加えて、雨量が予測できることを前提とした円山川タイムラインを考えていくことにした。

まず、外力の選定においては、浸水想定区域図との整合を図り、以下の3つを選定した。

- ①実績洪水
2004年(平成16年)台風23号洪水時の実績降雨(278mm/2日)があった場合の洪水
- ②計画規模
1959年(昭和34年)9月伊勢湾台風の降雨波形を対象として、計画雨量:327mm/2日に引き伸ばした降雨

があった場合の洪水
③想定最大規模

1959年(昭和34年)9月伊勢湾台風の降雨波形を対象として、山陰地方の最大降雨量(505mm/2日)に引き伸ばした降雨があった場合の洪水
3つの外力に対してタイムラインを作成するのであるが、運用上、3つを意識すると判断、行動の意思決定が混乱するため、河川水位とは別に、雨量を監視し、台風がもたらす降雨量(実績・予測)に応じて体制を切り替える。図-3には、立野地点上流域の流域平均雨量として、現時点の累加雨量と6時間先までの予測累加雨量の合計値を目安とし、防災体制を切り替える概念を示している。

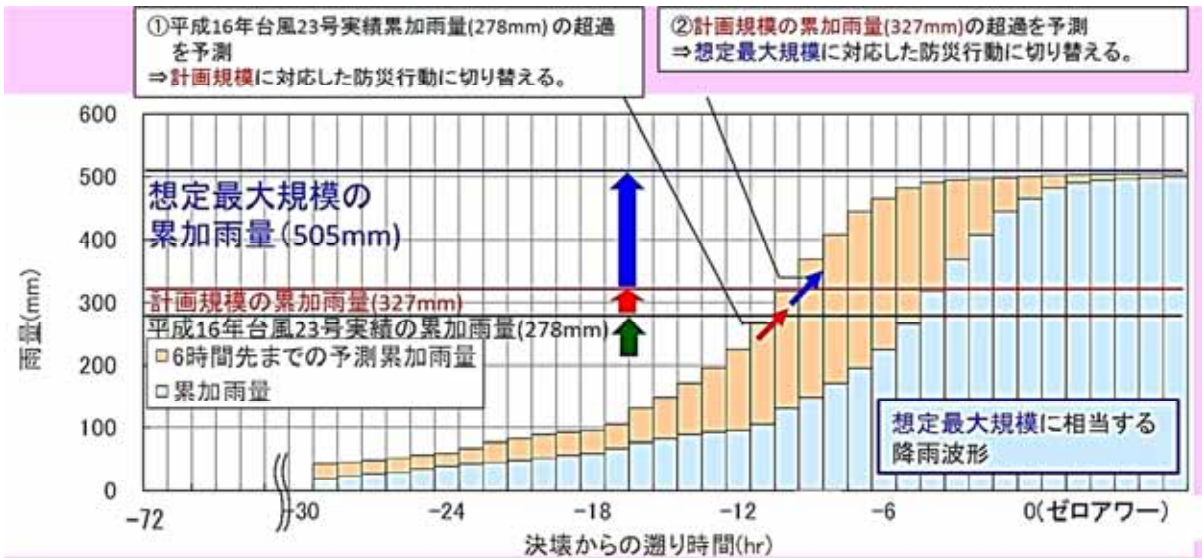
- ①現時点の累加雨量+6時間先までの予測累加雨量が、2004年(平成16年)台風23号の累加雨量を超過した段階で、計画規模に対応した防災行動に切り替える。
- ②現時点の累加雨量+6時間先までの予測累加雨量が、計画規模の累加雨量を超過した段階で、想定最大規模に対応した防災行動に切り替える。

円山川タイムライン

台風の接近に伴う時間的な降雨量の増大を想定した3つのシナリオで事前防災行動計画を作成



※累加雨量と6時間先までの予測累加雨量が非常に大きい場合は、開始時から計画規模、想定最大規模で運用する場合があります。

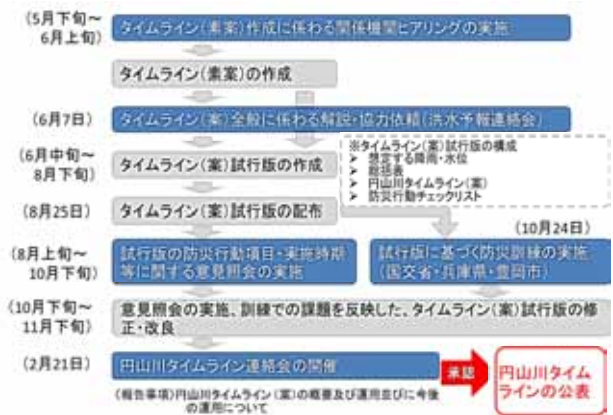


【図-3】 実績洪水から計画規模の切り替えを意識したシナリオの作成

4.円山川タイムラインの作成過程

(1)円山川タイムラインの作成経緯

円山川タイムラインは、図-4に示すように、素案作成に係わる関係機関のヒアリングを実施し、試行版作成とその配布、配布後の意見照会の流れで作成し、概ね9ヶ月ほどを要した。完成した円山川タイムラインは連絡会で承認され、2017年度（平成29年度）から運用が始まる。



【図-4】 円山川タイムラインの作成経緯

(2) 関係機関へのヒアリング

タイムラインを策定するにあたり、関係機関へヒアリングを実施した。対象とした機関は、以下の通りである。よって、円山川の直轄管理区間に直接関係する17関係機関を対象とした。

- ・豊岡市役所、豊岡市消防本部
- ・兵庫県水防本部、兵庫県企画県民局災害対策局、兵庫県但馬県民局、兵庫県豊岡土木事務所
- ・大阪管区気象台、神戸地方気象台
- ・兵庫県警察本部、豊岡南警察署、豊岡北警察署
- ・WILLER TRAINS (株)、全但バス (株)
- ・西日本電信電話 (株)、関西電力 (株)
- ・近畿地方整備局、豊岡河川国道事務所

各機関へのヒアリングから、以下のことが明らかとなった。

- ・全ての参加機関が防災体制に関する計画、マニュアルが整備されていた。さらに、参加機関職員の退避についても明確に示されていた。
- ・全ての参加機関が円山川の河川情報を必要に応じて取得している。

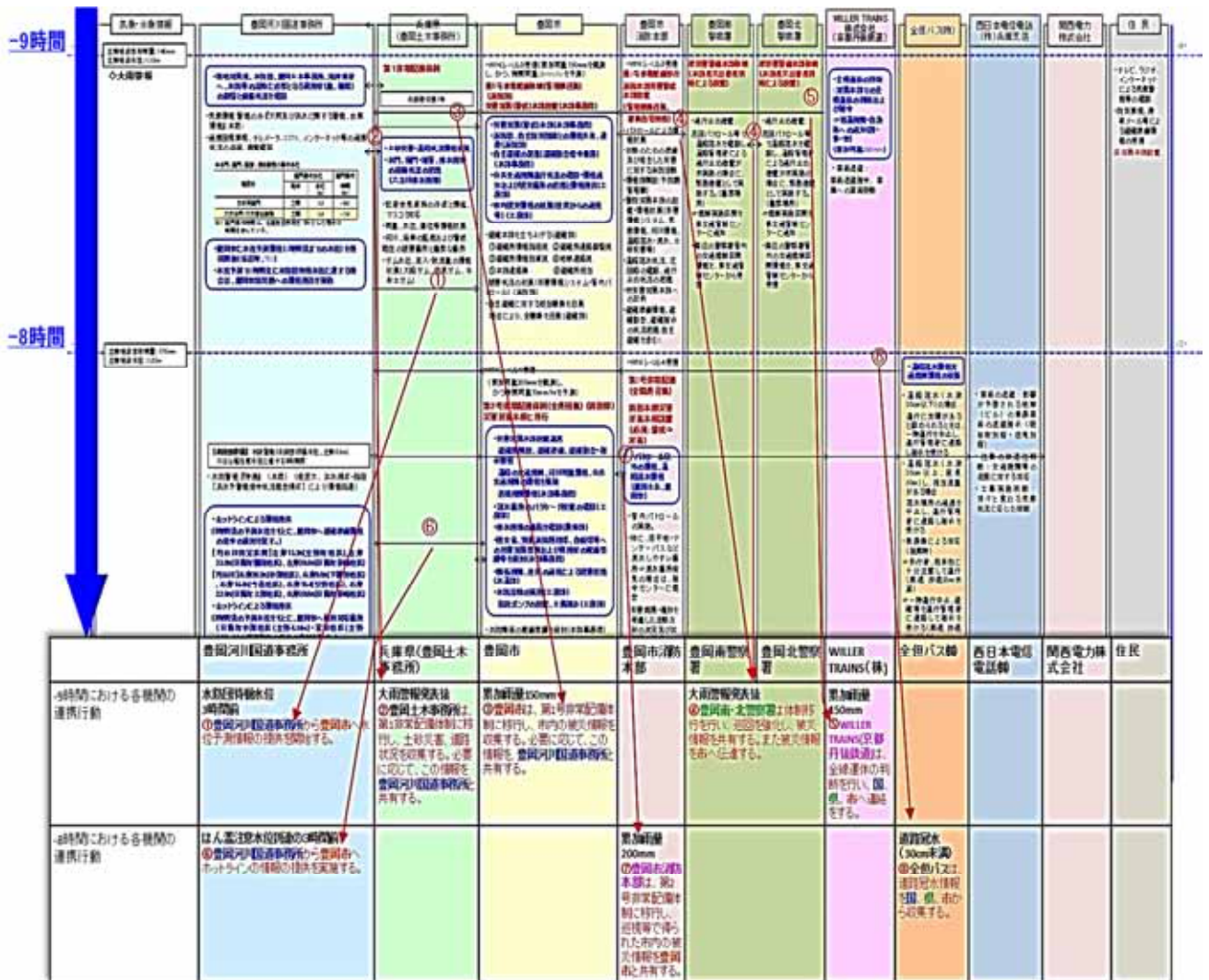
・運輸関係では、事前防災行動という自衛手段の考え方を導入する以前に、乗客に対するサービス低下という観点が優先的になっている。雨量観測も独自に実施し、その情報が駅員や乗務員に周知するシステムの整備、運行停止、開始基準が定められている。

・電力、通信関連は、被災前の対応も行うが、事後の対応、すなわち、復旧・復興がサービス低下に繋がるという発想で行動が規定されている。

したがって、これらのマニュアル、防災計画等を収集し、台風のシナリオに沿って、各機関の判断・行動を並べて整理することで、いつ、誰が、なにをするのを明確にすることができる。今回の整理では、いわばバラバラに作成していた防災計画を、台風の3つのシナリオから時間的な情報収集、判断、防災行動、周知を整理することで参加機関全体のタイムラインの作成が可能となる。

(3) 作成した円山川タイムラインとその特徴

作成した円山川タイムラインは、表-2に示すとおりである。各参加機関の行動や情報連携が並記しているものである。また、実績洪水規模、計画規模、想定最大規模(参考扱い) 毎に円山川タイムラインを作成している。



【表-2】 円山川タイムラインの資料構成

5.今後の運用と改善方法

(1) 円山川タイムライン連絡会の設置

円山川タイムライン連絡会は、円山川大規模氾濫に関する減災対策協議会の規約第2条(目的)「円山川における堤防決壊等に伴う大規模な浸水被害に備え、隣接する自治体や県、国等が連携して減災のための目標を共有し、ハード・ソフト対策を一体的かつ計画的に推進することにより、社会全体で常に洪水に備える「水防災意識社会」を再構築することを目的とする。」の取組項目の一つとして想定最大規模までの洪水氾濫を想定したタイムラインによる関係機関との情報共有を目的として設置された。

具体的には、円山川タイムライン連絡会の豊岡市域内を対象とした直轄管理区間の円山川流域における台風による風水害に備えたタイムラインの課題抽出、改善および情報共有を、2017年度(平成29年度)から行っていくことになる。

(2) タイムラインの運用方法

図-5には、円山川タイムライン連絡会を中心とした2017年度(平成29年度)以降のタイムラインの運用と改善に向けたサイクルを示している。

各機関が、平成29年度の出水でタイムラインを運用するとともに、今後の改善点を抽出できるように出水期に関係機関へ意見照会を行う。実際の出水でタイムラインを運用した上で、検証(振り返り)することで現行の改善点を把握する。この作業を踏まえて、現行タイムラインを改善する。なお、タイムラインの大幅な改善が必要な場合、関係機関の事務局会議を開催するために、円山川タイムライン準備連絡会を開催し、改善点について共有するとともに、それを反映した平成30年度のタイムラインが完成する。

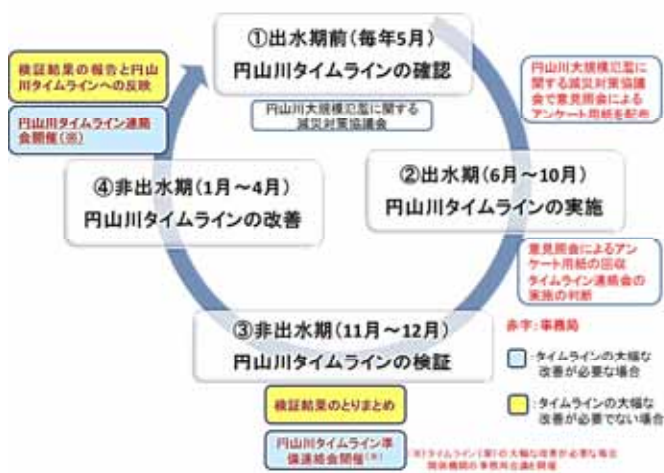


図-5 円山川タイムラインの今後の運用・改善のPDCAサイクル

このような流れを毎年繰り返し行っていくことで、より実態に近いタイムラインの完成度が向上することが期待される。

このようなPDCAサイクルの運用方法は、先に示した円山川タイムライン資料と合わせて、平成29年2月21日の連絡会で承認された。

6.おわりに

本検討では、初年度のタイムライン素案から試行版の作成の流れ、ならびに平成29年度で運用する円山川タイムラインが策定された。しかしながら、これが防災・減災対策のスタートであるとともに、今後の参加機関において顔の見える関係や、情報連携が流域内の減災に大きく貢献することが期待される。さらに、関係機関の行動が明確になったため、今後の課題を以下に示す。

- 地区防災計画の策定に繋がるように、地区毎の避難判断基準の策定とそれに対する住民によるタイムラインの作成(コミュニティ・タイムライン)支援を国・県・市の役割を認識しつつ、水防災意識社会の再構築で掲げた目標を達成するのかを戦略的に実施していくことが課題である。
- タイムラインをシステム化することで、作業の効率化とその効果を把握し、両方の改善を実施していくことが課題である。

謝辞: 本検討を行うにあたり、参加機関の関係者に多大なる協力を賜った。ここに、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 円山川水系河川整備基本方針
(https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/maruyama_index.html)
- 2) 国土交通省: 米国ハリケーン・サンディに関する現地調査、先を見越した水害対応(事前行動計画)について、平成25年10月、(<http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/disaster/america/>)
- 3) 円山川大規模氾濫に関する減災対策協議会
(http://www.kkr.mlit.go.jp/toyooka/jigyo/work/work_05.htm)
- 4) 円山川に甚大な被害をもたらした主要台風一覧表

洪水発生年月日	洪水要因	流域平均2日雨量(mm)	立野地点観測流量(m ³ /s)	被害状況	
				浸水家屋(戸)	浸水面積(ha)
昭和34年9月26日	伊勢湾台風	253	3,043	16,833	16,926
昭和36年9月16日	第2室戸台風	184	2,624	1,933	2,303
昭和47年7月12日	梅雨前線および台風6号	233	2,786	749	1,715
昭和51年9月10日	台風17号	322	2,595	2,855	2,115
昭和54年10月19日	台風20号	211	2,461	610	185
平成2年9月20日	台風19号	364	3,064	2,212	1,923
平成16年10月20日	台風23号	278	4,127	7,944	4,083

南海トラフ巨大地震を対象とした 災害対策用機械の運用

堀内 厚志

近畿地方整備局 近畿技術事務所 施工調査・技術活用課（〒573-0166大阪府枚方市山田池北町11-1）

災害対策用機械は、風水害・地震災害時の河川や道路災害の復旧に対応すべく配備されている。近年、東日本大地震や台風12号土砂災害に代表される大規模災害において、国土交通省の災害復旧活動は、自治体支援など広範な要望に対応している。一方、近い将来の発生が予想される南海トラフ巨大地震に備えて、TEC-FORCE活動計画などの既定計画に対応した効果的な運用が求められている。本報告は南海トラフ巨大地震による大規模災害時の即時からの対応において、東日本大震災での経験や課題、近畿地方管内における地震動や津波浸水による被害想定、他地整からの応援計画を考慮し、迅速に初動対応を構築するためにとりまとめた「南海トラフ巨大地震に備えた災害対策用機械の運用マニュアル（案）」を報告するものである。

キーワード：災害対策用機械，南海トラフ巨大地震，被害想定，運用計画

1. はじめに

近畿地整管内における災害対策用機械の配備計画は、平成7年の阪神淡路大震災における全国からの災害対応要員及び災害対策用機械の派遣が契機となり、「災害対策用機械の機能及び配置検討委員会」での各種検討に基づき、災害対応強化を目的として平成8年度に策定された。その後、東海豪雨（平成12年9月）や平成16年の台風23号、新潟中越地震など、災害の広域化を受けて、必要に応じて配備・運用計画を再整理してきた。

近年、緊急災害派遣隊（以下 TEC-FORCE）の設立により、災害対策用機械による災害復旧活動（写真1,2）は、自治体への支援も含め対応している。また、東日本大震災や平成23年台風12号による紀伊半島豪雨災害に代表される大規模災害では、全国から多くの災害対策用機械が被災地に集結し、臨機に対応することが求められた。

一方、内閣府で平成24年4月に設置された「南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループ」において、

南海トラフ巨大地震（発生頻度は低いものの、甚大な被害をもたらす最大クラスの地震）を対象とした各種被害想定が公表され、これを受けて、「国土交通省南海トラフ巨大地震対策計画」および「近畿地方地域対策計画」が策定された。近畿地方では、紀伊半島や大阪平野での津波被害、山間部での土砂災害などの広域で甚大な被害が予想され、発災後の効果的かつ迅速な応急活動のため、災害対策用機械の初動計画の立案が急務となっている。

以上のような経緯を踏まえ、南海トラフ巨大地震を外力条件とした被災想定に対し、紀伊半島沿岸部や大阪平野の事前排水計画などを検討し、被災箇所、侵入ルート、排水作業日数等の精度向上を図り、具体的な対策案を排水運用計画図としてとりまとめ、災害対策用機械の初動計画を立案した。また、全国の地整で統一された「南海トラフ巨大地震における TEC-FORCE 受援計画（案）」（平成28年9月暫定版）の受援計画案を反映して、災害対策用機械の運用マニュアル（案）としてとりまとめた。



写真1 東日本大震災による災害復旧活動



写真2 熊本地震による災害復旧活動

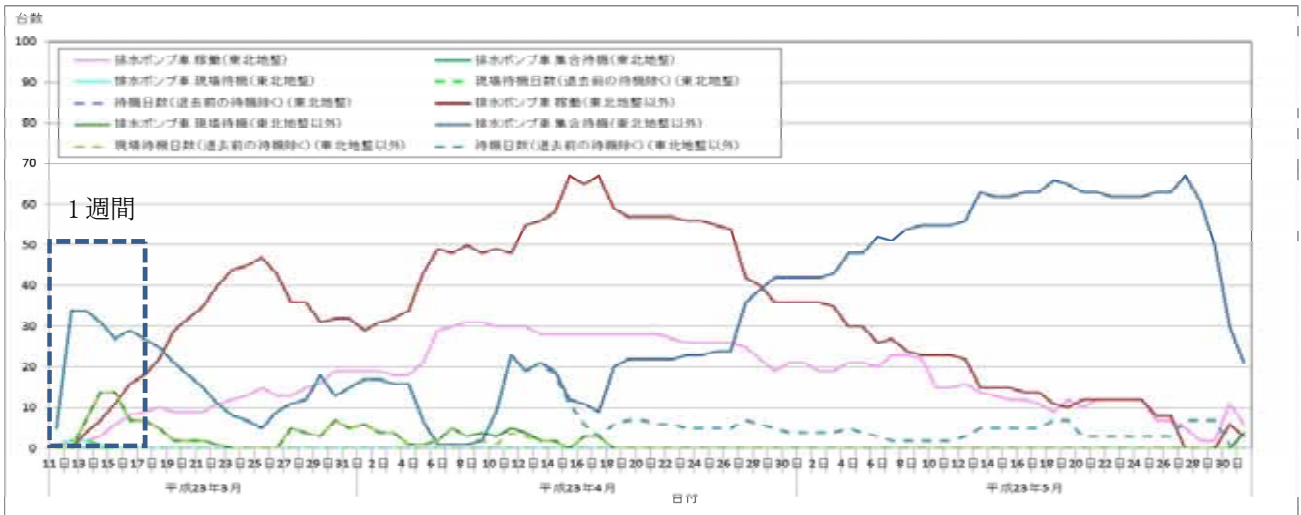


図-1 東日本大震災時の全国の排水ポンプ車の稼働状況

2. 背景・現状把握

(1) 東日本大震災における災害対策用機械の稼働状況

東日本大震災における排水作業は、沿岸域で広範囲にわたって2か月以上の長期間実施された。国土交通省でとりまとめられた排水ポンプ車の出動・撤収記録をもとに、3月11日の被災発生直後から5月末までの稼働状況を時系列で整理した(図-1)。なお、排水ポンプ車の稼働状況は、日単位で以下の3種類により分類した。

- ・稼働：被災地へ移動もしくは排水作業に従事
- ・待機：みちのく杜の湖畔公園等防災拠点で指示待ち
- ・撤収：指示により被災地から各事務所に帰還

排水ポンプ車の稼働率を以下のように定義し、東北地整所有とその他地整応援に分類して算出した。

$$\text{排水ポンプ車稼働率 (\%)} = \frac{\text{稼働台数}}{\text{配備台数}} \times 100$$

配備台数：東北地整に派遣されている全台数

- ・東北地整の各事務所が保有する排水ポンプ車は、発災後4日後以降に100%となっており、被災把握、出動、排水方法検討後の作業開始を考えると、効率的に稼働していたと判断される。
- ・他地整からの応援は、発災後3日間は10%程度、発災後7日までは50%程度となっており、初期段階(1週間)は、効率的に稼働できていないと判断される。

全国の災害対策用機械が集結し、大規模災害時に活動するためには、事前に運用計画を策定し、各機械の基本的な動きを共有しておく必要があると考える。

(2) 南海トラフ巨大地震で想定される甚大な被害

平成26年4月に策定された「南海トラフ巨大地震対策計画 近畿地方 地域対策計画」(図-2)では5つの深刻な事態が想定されており、特に「①紀伊半島沿岸部における津波」、「②大阪平野における津波」による津波被害とその後の長期浸水に対する迅速な対応が課題となっている。

その他にも、強い揺れに伴い、紀伊半島の山間地域等

では多くの斜面崩壊や地すべりが発生し、緊急輸送道路の通行止め、河道閉塞、集落の孤立化等の複合災害が発生する可能性があり、照明車、対策本部車、衛星通信車等の災害対策用機械による対応が必要となると考える。



図-2 南海トラフ巨大地震時の5つの深刻な事態

(3) 他地整からの応援への対応

南海トラフ巨大地震で特に被害の大きな中部、近畿、四国、九州の各地整では、他地整からの災害対策用機械を含めたTEC-FORCEの受援計画、その他の地整では応援計画を策定中である。近畿地整の被害最大ケースでは、応援地整のTEC-FORCE隊員及び災害対策用機械の約3割が集結する計画となっており(図-3)、これを前提に計画する必要がある。

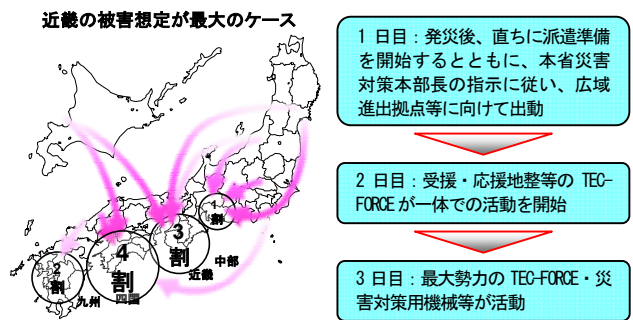


図-3 南海トラフ地震発生時の各地整の応援・受援体制

3. 災害対策用機械の運用方法の検討

(1) 災害対策用機械の基本的な運用方法

近畿地整の被災（長期浸水、土砂災害、孤立化等）特性、被災地近傍で確保できる活動拠点、他地整からの応援体制、運用する機械の台数・種類等を踏まえ、災害対策用機械の基本的な運用方法を図-4のように設定した。

活動拠点は、被害及び地域特性を考慮して、全12の事務所及び出張所を指定した。津波排水活動拠点は、長期浸水による排水作業が必要と想定されるエリアの近傍施設（全8箇所）を指定した。

また、他地整からの応援機械は、集合のしやすさや指揮命令系統の確立を念頭に、広域進出拠点（集合場所、草津PA）、進出拠点（一次集結地、近畿技術事務所）を経て、活動拠点等に出動することを想定した。

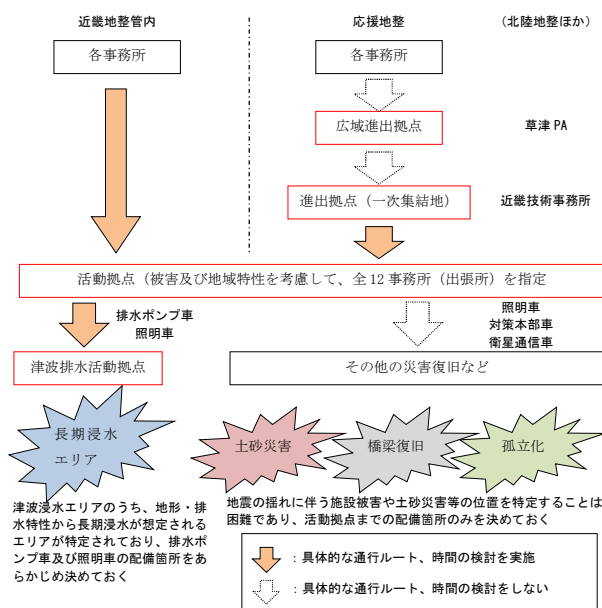


図-4 災害対策用機械の基本的な運用方法

(2) 長期浸水箇所での排水作業

最大浸水深、地殻変動後の地盤高、海岸及び河川堤防の高さ、排水路及び既設排水機場等の地形・排水特性の把握を行い、津波浸水後に自然排水が困難で、ポンプ等による強制排水が必要な箇所を抽出した。

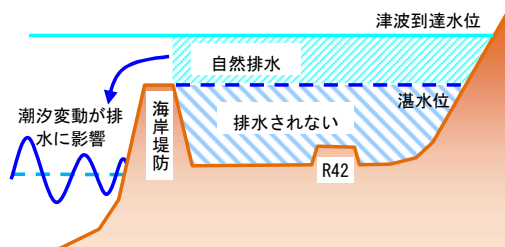


図-5 強制排水が必要となる箇所の抽出の考え方

このうち、応急復旧活動において重要な役割を担う施設（役所、警察署、消防署、災害拠点・支援病院等）、主要な幹線ルート（国道42号等）に着目して、排水作業の優先箇所を選定した。

さらに、和歌山県は津波浸水深が大きく既設排水機場の機能を確保できないことに留意し、排水ポンプ車を優先的に配備した。大阪府及び兵庫県は既設排水機場の耐震・耐水性等を考慮し、その機能が確保されたとして、排水ポンプ車の配備必要箇所を抽出した。

排水ポンプ車配備予定箇所については、緊急輸送道路を基本とした進入ルート決定、止水対策の検討、排水対策の検討を行い各箇所毎に排水作業運用図としてまとめた。その例を図-6に示す。



図-6 排水運用方策図の作成例

(3) その他の地域での災害復旧への対応

河川、砂防、道路、港湾施設の被害を対象に照明車、対策本部車、衛星通信車の配備計画を検討した。現時点で被災箇所が想定できないため、TEC-FORCE受援計画案との整合に配慮し、最大震度6以上または浸水深2m以上の浸水面積が発生する市町村を対象として、市町村面積比＝被害規模として派遣地域を設定した。（図-7）

府県	全面積 (km ²)	応援面積 (km ²)	面積比率
福井県	4,190	0	0%
滋賀県	4,017	1,670	42%
京都府	4,608	402	9%
大阪府	1,901	1,010	53%
兵庫県	8,396	2,144	26%
奈良県	3,691	3,059	83%
和歌山県	4,726	4,545	96%

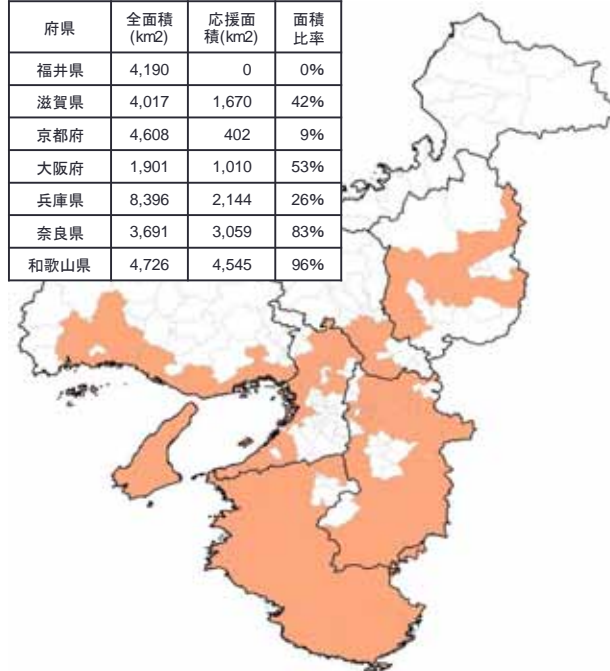


図-7 地震の揺れに対する被害を考慮した派遣地域

4. シミュレーションによる妥当性検証

災害対策用機械の運用について、最新のDRM（デジタル道路地図）を活用して道路ネットワークをモデル化し、東日本大震災の実績やその後の研究結果を踏まえた運用条件（移動速度や準備時間等）を設定して、時系列のシミュレーションを実施した。（図-8）

- ・御坊、美浜町や田辺市など、和歌山県沿岸への派遣が完了するのが一部の車両で32時間となるものの、近畿地整管内の災害対策用機械は、活動拠点に概ね24時間以内で到着できる。
- ・東日本大震災の実績は、大津波警報の解除は発災後約30時間であった。本報告でも、各災害対策用機械の活動拠点への到着が約30時間となるかを確認した。
- ・北陸地整からの応援派遣では、最長40時間で被災地に到着可能となる。これらの災害対策用機械は、被災状況に応じた派遣先とする。

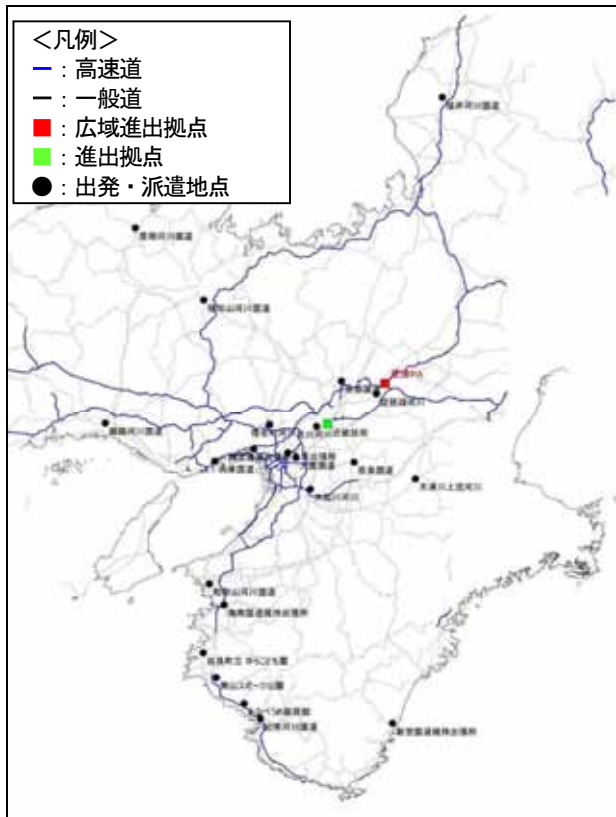


図-8 道路ネットワークを用いた運用シミュレーションモデル

5. 災害対策用機械の運用マニュアル(案)の作成

以上の検討結果を踏まえ、南海トラフ巨大地震の発生に備えて、災害対策用機械の運用をマニュアル(案)として作成した。活動が想定されるすべての災害対策用機械について、初動体制構築時の混乱の回避、想定される被害への迅速な対応、他地整からの応援を考慮した効果的な派遣を目的とし、発災直後の派遣箇所（活動拠点）（表-1）を明確化した。

(1) 適用範囲

マニュアルは、南海トラフ巨大地震発生直後から概ね7日～10日目までの間を中心に災害対策用機械による早期派遣と災害復旧活動に関連する事項を示す。

- ・中部地方、近畿地方及び四国・九州地方の3地域のいずれにおいても、震度6強以上の震度が観測された場合
- ・大津波警報が発表された場合

(2) 早期派遣

南海トラフ巨大地震発生直後、災害対策用機械は出動準備を整え、あらかじめ定められた被災地域近傍の活動拠点へ早期な派遣・待機を自動的に行い、被災情報収集と支援要請に迅速に対応した体制を確保する。ただし、災害対策用機械の保有事務所において、災害対策用機械の出動を必要とする大規模な被害が発生している場合、この限りではない。

(3) 活動拠点への到着と被災地への派遣

災害対策用機械は管内12箇所の活動拠点に向けて出動し、到着後に被災状況に応じて、派遣指示を受ける。

表-1 管内12箇所の活動拠点と対応府県

対応府県	活動拠点
福井県、滋賀県	福井河川国道事務所
京都府南部	京都国道事務所
大阪府北部	淀川河川事務所
大阪府南部	大和川河川事務所
大阪府北西部、兵庫県東部の一部、京都府北部	猪名川河川事務所 福知山河川国道事務所
兵庫県西部・北部	姫路河川国道事務所
兵庫県東部	兵庫国道事務所
和歌山県北部	和歌山河川国道事務所
奈良県	奈良国道事務所
和歌山県南西部	紀南河川国道事務所
和歌山県南東部	新宮国道維持出張所

6. まとめ

- ・南海トラフ巨大地震発生直後から、迅速に出動する（目的地を事前に設定することによる自動発進）ことで、大津波警報が解除され次第、応急復旧活動を開始することが可能である。
- ・全国地整間における整合のとれた応援-受援計画の反映及び受援機能確保・充実が今後の取組事項である。
- ・運用マニュアル(案)を踏まえ、発災後に初動体制をスムーズに構築する、あるいは課題を抽出するために、訓練等が必要と考える。
- ・近年の災害実績や災害時のニーズを考慮した、災害対策用機械の機能充実も課題と考える。

参考文献

- 1) 南海トラフ巨大地震対策計画 近畿地方地域対策計画（第1版）平成26年4月、近畿地方整備局ほか
- 2) 南海トラフ巨大地震におけるTEC-FORCE受援計画(案)平成28年9月暫定版、近畿地方整備局

関西国際空港における 南海トラフ地震津波への対策－防潮壁の築造－

山田 了平

関西エアポート株式会社 技術部 基本施設グループ（〒549-8501泉佐野市泉州空港北1番地）。

本対策は、2013年8月に大阪府が公表した南海トラフ巨大地震を想定した津波浸水想定を受け、津波浸水を防ぐ防潮壁を築造するものである。総延長約2,500mを4工区、3工事に分け、給油地区、旅客ターミナルビル等の空港施設の中でも重要度の高い施設を守る防潮壁を優先的に築造していき、2017年3月末に防潮壁築造計画が完了した。本稿では、関空島の津波浸水想定から始まり、防潮壁築造計画の概要、実施した防潮壁築造工事の施工実績について述べる。

キーワード 地震・津波対策，津波浸水想定，止水壁，防潮壁，地盤改良

1. はじめに

国土交通大臣が策定した津波防災地域づくりの基本指針に基づき、2013年8月に大阪府は南海トラフ巨大地震を想定した津波浸水想定を公表したり。その想定によると、関空島の1期島と2期島に挟まれる内部水面内の津波水位が最も高く上昇し、地盤高の低い1期島への浸水が想定された。この結果を受け、関西国際空港においては、ハード面の地震・津波対策として防潮壁の築造を計画した。

総延長約2,500mを4工区、3工事に分け、給油地区、旅客ターミナルビル等の重要度の高い施設を守る防潮壁を優先的に築造していき、2013年9月～2017年3月まで約3年7ヶ月の年月をかけ、築造工事を実施した。本計画により関西国際空港の当面の津波対策が完了した。

2. 関西国際空港の津波浸水想定

関西国際空港は1994年に1期が、2007年に2期が供用開始された。関西国際空港の主要施設配置を図-1に示す。1期島には、第1ターミナル、給油施設等があり、2期島には、LCC（ローコストキャリア：格安航空）ターミナルである第2ターミナルがある。このような施設配置の中で、2013年8月20日に大阪府は南海トラフ巨大地震を想定した津波浸水想定を公表した。関西国際空港の津波浸水想定と浸水箇所を図-2に示す。ここで、大阪府の公表した津波浸水想定の設定について以下に述べる。

2011年3月11日に発生した東日本大震災による甚大な津波被害を受け、内閣府中央防災会議専門調査会が、新たな津波対策の考え方を2011年9月28日に「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調

査会報告」²⁾で示した。その後、2011年12月14日に「津波防災地域づくりに関する法律」が制定されたことを受け、「最大クラスの津波」（L2津波）を想定し、その津波が発生した場合に想定される浸水の区域および水深が設定された。その設定を元に行われた関空島の津波シミュレーション結果が図-2に示す津波浸水想定である。

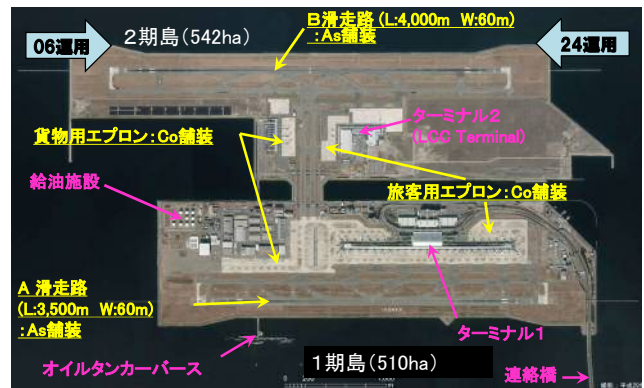


図-1 関西国際空港の主要施設配置

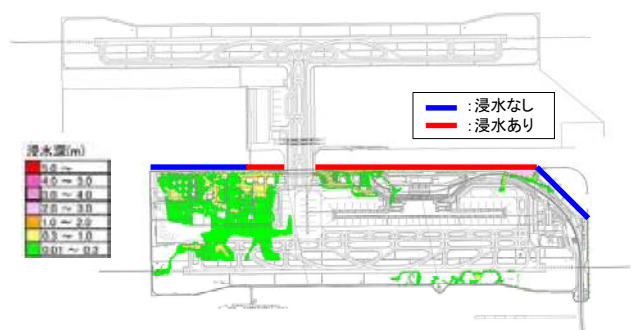


図-2 関西国際空港の津波浸水想定と浸水箇所

図-2からわかるように、関空島では、1期島と2期島に挟まれた内部水面から浸水深0.01~0.3mの浸水が想定されており、地盤高の低い1期島、特に赤線部からの浸水が想定されている。

本想定が発表されるまで、関西国際空港では、高潮への対応を前提に、波当たりの強い沖合側の空港島護岸を高くすることを優先的に行ってきた。内部水面海域は、沖合波の伝播もなく静穏度も高く、波浪の影響はほとんどないと考えられていた。したがって、図-2からわかるように、比較的沖合側のエリアは、防潮ラインを高く保ち、津波浸水を防ぐ高さを確保していた。

このような状況下で大阪府津波浸水想定は、内部水面内の津波水位が最も高く上昇し、地盤高の低い1期島側へ浸水する想定であった。1期島には、図-1の通り、給油施設や旅客ターミナルビルといった空港運営あるいは航空機運航において重要な施設があり、早急な地震津波対策が求められた。地震津波対策としてまず考えられた案は、空港島護岸の嵩上げであったが、嵩上げ高さが大きく、別途地下水対策（後述）が必要であることから、非現実的であった。そこで、防潮ラインおよびその計画高さを見直し、第2案として挙げられた対策が、図-3に示すように、護岸から島内に少し控えた位置に地下水対策（止水壁嵩上げ）を兼ねた壁を築造する、つまり、防潮壁を築造する計画であった。

3. 防潮壁築造計画の概要

関西国際空港の地震津波対策として、図-2の赤線部に総延長約2,500mの防潮壁を築造する計画が立てられた。計画の概要について以下に示す。

(1) 防潮壁築造のもう一つの目的「止水壁の嵩上げ」

防潮壁築造の主目的は、先述したように地震津波対策だが、防潮壁と止水壁を一体化することによる止水壁の嵩上げも目的の一つである。ここで、関西国際空港の止水壁について説明する。

関西国際空港は埋立造成された人工島の上に空港諸施設を整備したものである。埋立材料は岩砕土であり、外周護岸は石積護岸であることから、地盤は透水性が高く、空港用地の地下水位が周辺の潮位の影響を受けやすい特殊な地盤である。そのため、異常潮位時や台風の高潮時に地下水位が上昇し、空港島の周囲から海水が地下に流れ込み、地下室での漏水等地下構造物へ影響が及んだ。こうした問題を抜本的に解消する対策として、地下水位の上昇を抑えるために、2000年~2006年に空港島（1期島）の周囲約11kmにわたって止水壁を設置する「関西国際空港大規模地下水対策事業」が実施された。水を通しにくい沖積粘土層まで約30m掘削し、セメントと土砂を混合した柱を連続して建設することにより止水壁を設置した。本事業における止水壁設置イメージおよび設置

位置を図-4に示す。止水壁設置後は、止水壁内側の地下水位をポンプにより適切に管理・制御を行っている。したがって、図-5に示すように、空港島周辺の海面高さと地下水位が連動することがなくなり、地下水の地下構造物への影響もなくなった。本止水壁設置事業は、実質的には、長期的な温暖化による海面上昇や長期的な沈下が起きたとしても空港機能に問題は生じず、地下水問題への万全な対策となっている。

空港島の地盤沈下とともに止水壁も天端高が年々低くなっており、将来的に嵩上げ等の対策は必要になる。そこで、本防潮壁築造計画において、築造する防潮壁と止水壁を接続し一体化することにより、止水壁の嵩上げも兼ねることとした。

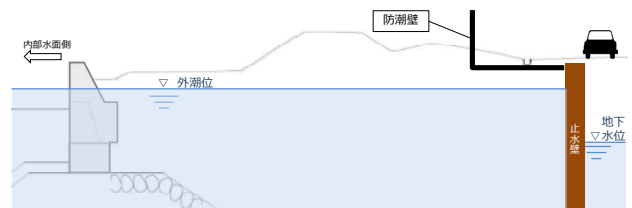


図-3 防潮壁築造と止水壁嵩上げ

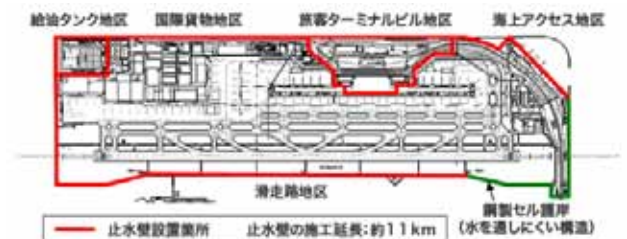
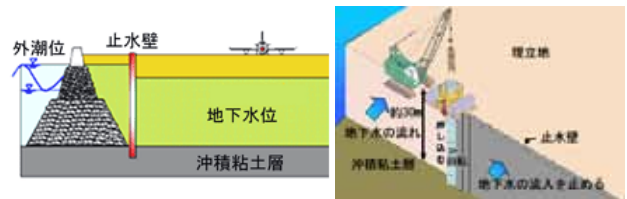


図-4 止水壁の設置イメージおよび設置位置 (関空島1期島)

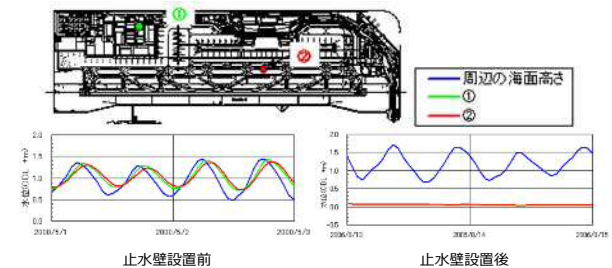


図-5 止水壁設置前後の地下水位状況

(2) 工区分け

防潮壁築造計画は総延長が約2,500mある。場所により、地盤高や地盤沈下速度、施工環境等が異なり、防潮壁を築造する優先度も異なる。ゆえに、全延長を4工区に区切り、3工事に分けて防潮壁築造工事を実施した。図-6に防潮壁築造計画の工区分けを示す。

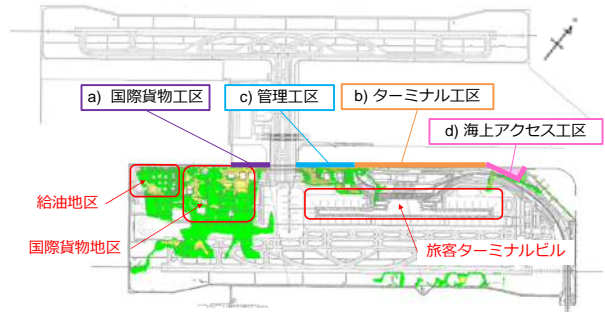


図-6 防潮壁築造計画の工区分け

a) 国際貨物工区

大阪府津波浸水想定において、最も浸水域が広がっているエリアは、図-6の通り、給油地区および国際貨物地区である。特に給油地区は、給油タンク等の給油施設があり、損傷を受けると航空機の運航に多大な影響を与える。上記のように浸水域が広いこと、および重要施設があることから給油地区は、最優先で地震津波対策を講じる必要があった。

給油地区および国際貨物地区の浸水箇所は、図-2に示す通り、1期島と2期島を結ぶ連絡誘導路の南側約150mの区間である。国際貨物工区は、この区間に防潮壁を築造し、津波浸水を防ぐ。

b) ターミナル工区

空港諸施設のうち、給油施設と同じく航空機の運航上重要となる施設が旅客ターミナルビルである。大阪府津波浸水想定(図-2)によると、旅客ターミナルビル周辺は、浸水域が小さく浸水被害は小さい。そのため、優先度は高いが、国際貨物工区の次点とした。ターミナル工区では、全長約1,200mにわたり防潮壁を築造する。

c) 管理工区

管理工区は、入りくんだ内部水面の最も奥に位置する工区である。そのため、津波水位も空港島北側より高くなり、国際貨物工区ほどではないが浸水域が広がっている。しかし、旅客ターミナルビル等の重要施設に影響を与えるような想定ではないため、先述した国際貨物工区、ターミナル工区と比較すると優先度は低くなる。管理工区では延長約550mの防潮壁を築造する。

d) 海上アクセス工区

海上アクセス工区は、他3工区に比べ、最も北に位置しており、かつ内部水面の中でも最も沖合側に位置する。したがって、4工区の中でも津波水位は低く、優先度も管理工区と同程度である。海上アクセス工区では延長約500mの防潮壁を築造する。築造工事は、管理工区、および海上アクセス工区をまとめて発注した。

表-1 各工区の計画天端高 (C.D.L.)

工区	計画高さ
国際貨物工区	C.D.L.+5.1 m
ターミナル工区	C.D.L.+5.6 m
管理工区	C.D.L.+5.6 m
海上アクセス工区	C.D.L.+4.7 m

(3) 各工区の防潮壁築造の計画天端高

防潮壁を築造するにあたり、式(1)により算出した各工区の計画天端高を表-1に示す。なお、関西国際空港では、高さ管理に潮位表基準面 (C.D.L.: Chart Datum Level) を使用している。

$$\text{計画天端高} = \text{最大津波水位} + \text{津波時の想定沈下量}$$

・・・式(1)

最大津波水位は、内閣府の「南海トラフの巨大地震モデル検討会」の津波断層モデルを用いて、国土交通省航空局の「空港における津波シミュレーションに関する協議会」で計算された関西国際空港での津波高を用いている。

津波時の想定沈下量には、地震による地殻沈降量、および地震動による鉛直変位量を考慮している。地震による地殻沈降量は、大阪府の津波シミュレーションにより算出されたものである。地震動による鉛直変位量は、関西国際空港における2013年の調査で算出されたものである。この調査は、地震動及び津波に対する護岸等の安定性を照査・評価するものであり、防潮壁築造位置における地盤の地震時挙動(鉛直変位量)を評価している。各工区の計画天端高について、以下に述べる。

a) 国際貨物工区

計画天端高 C.D.L.+5.1 m

$$= (\text{最大津波水位 C.D.L.} + 3.6 \text{ m}) + (\text{想定沈下量 } 1.5 \text{ m})$$

ここに、津波時の想定沈下量は、

$$10 \text{年沈下量 (0.9m)} + \text{地震による地殻沈降量 (0.3m)} + \text{地震動による鉛直変位量 (0.3m)} = 1.5 \text{ m}$$

関空島1期島は、1年間に島全体平均7.0cm沈下しており、島の護岸側から中心部に向かってその沈下量は大きくなる傾向にある。また、2期島の埋立事業に伴い、連

絡誘導路を埋立造成してからは、連れ込み沈下により連絡誘導路周辺の沈下量は他に比べ大きい。ゆえに、国際貨物工区は、後述するターミナル工区および海上アクセス工区と異なり、経年沈下量を10年で計算する10年対応としている。

b) ターミナル工区

計画天端高 C.D.L.+5.6m

= (最大津波水位 C.D.L.+4.0m) + (想定沈下量 1.6m)

ここに、津波時の想定沈下量は、

20年沈下量 (1.0m) + 地震による地殻沈降量 (0.3m) + 地震動による鉛直変位量 (0.3m) = 1.6m

ターミナル工区は、国際貨物工区と異なり、連絡誘導路から離れているため、経年沈下量が小さく、20年対応としている。

c) 管理工区

計画天端高 C.D.L.+5.6m

= (最大津波水位 C.D.L.+4.1m) + (想定沈下量 1.5m)

ここに、津波時の想定沈下量は、

10年沈下量 (1.0m) + 地震による地殻沈降量 (0.2m) + 地震動による鉛直変位量 (0.3m) = 1.5m

管理工区は、国際貨物工区と同様、連絡誘導路周辺に位置するので、経年沈下量が大きく、10年対応としている。

d) 海上アクセス工区

計画天端高 C.D.L.+4.7m

= (最大津波水位 C.D.L.+3.6m) + (想定沈下量 1.1m)

ここに、津波時の想定沈下量は、

20年沈下量 (0.6m) + 地震による地殻沈降量 (0.2m) + 地震動による鉛直変位量 (0.3m) = 1.1m

海上アクセス工区は、第3章(2)で述べたように、内部水面の沖合側に位置しているため、最大津波水位自体が他工区に比べ低い。また、ターミナル工区と同様、連絡誘導路から離れているため、経年沈下量が小さく、20年対応としている。

4. 防潮壁築造工事

先述したように、防潮壁築造工事は全延長約2,500mを4工区に区切り、3工事に分けて施工した。2013年9月から始まり、2017年3月までの3年7ヶ月に及ぶプロジェクトとなった。第1工事は、2013年9月～2014年2月の6ヶ月間で国際貨物工区を施工した。第2工事は、2014年3月～2015年6月の1年4ヶ月でターミナル工区を施工した。そして最後の第3工事は、2015年3月～2017年3月の2年間で管理工区および海上アクセス工区を施工した。ただし、第3工事は護岸嵩上げ工事の一部である。築造した防潮壁は最大3.8mの高さであり、主な形状は図-7に示す4

タイプである。これら3つの防潮壁築造工事の中で特記すべきは、地盤改良工法としてパワーブレンダー工法(原位置土攪拌工法)を採用した第2工事である。以下に、主にパワーブレンダー工法に着目しながら第2工事、つまりターミナル工区防潮壁築造工事について説明する。

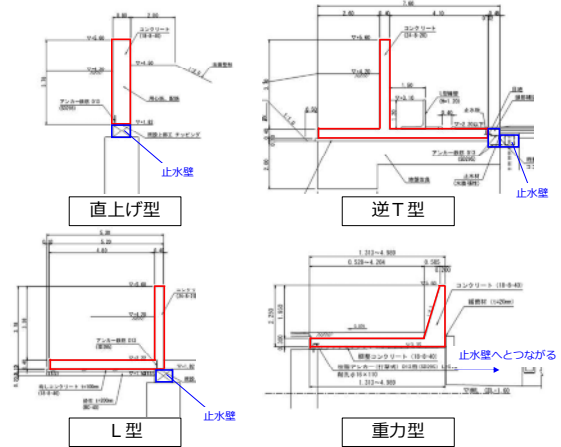


図-7 防潮壁の主な形状

(1) パワーブレンダー工法の採用

第3章(1)でも述べたように、防潮壁築造のもう一つの目的として止水壁の嵩上げがある。ここで、築造する防潮壁と止水壁のターミナル工区における位置関係を図-8に示す。図-8からわかるように、止水壁は車道部道路外側線下に位置しているため、直上に嵩上げすると、車両通行時に圧迫感を与えてしまう。ゆえに、ターミナル工区の防潮壁は止水壁と接続しながらも、路肩より外側位置に立ち上げることにした。

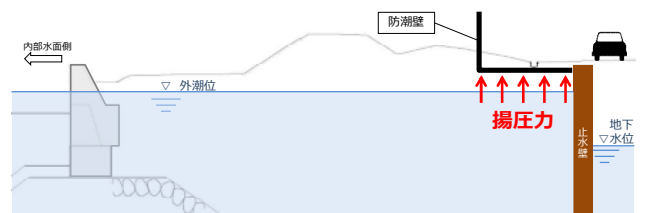


図-8 防潮壁と止水壁の位置関係(ターミナル工区)

ここで問題となるのが、図-8の通り津波水位時に防潮壁底版部にかかる揚圧力である。一般的に揚圧力に対しては、防潮壁自体の躯体重量で安定性を確保するが、躯体全体で重量を増大させると、躯体が巨大化してしまい、非現実的であると考え、立ち上げる擁壁部はそのまま躯体下部の重量を増大させることを考えた。施工方案として、躯体下部の土をコンクリート置換することなどが考えられるが、コスト縮減や残土低減の観点から、本工事では、原位置土攪拌による地盤改良工法であるパワーブレンダー工法を採用した。具体的にパワーブレンダー

一工法とは、**図-9**に示すように、現地盤中にスラリー状のセメント系、または石灰系固化材を注入しながら、土と固化材を機械的に混合攪拌し、地盤を固化することを目的とした地盤改良工法である。この工法により防潮壁躯体下部を地盤改良することで、躯体下部の重量を増大し、さらに止水性も確保できる。



図-9 パワーブレンダー工法 施工状況

(2) 攪拌混合土の品質管理

パワーブレンダー工法の品質管理においては、地中の施工状況が確認できないため、混合材の添加量（配合表）をあらかじめ決めておく必要がある。そのため、事前に現地にて試料土を採取し、室内配合試験を実施した。その試験結果をもとに、**表-2**の通り、混合材の基準添加量を決定した。配合表をもとに施工を進め、適切に施工管理を行い、施工後の事後試験によりそれぞれの品質管理の規格値を満足しているかを確認する。各規格値は、現地施工の前に実施した試験施工をもとに確認し、決定した。本工事における2つの品質管理項目を以下に示す。

a) 改良土の単位体積重量 γ

規格値は、 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ であり、改良土が揚圧力に抵抗できるだけの重量を確保できているかを確認する。確認方法は、現場で試料採取した供試体およびボーリングコアの湿潤密度から算出し確認する。

b) 改良土の透水係数 k

規格値は、 $k = 1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ であり、防潮壁の底版へ直接揚圧力がはたらかないような難透水層の形成を確認する。確認方法は、現場透水試験および試料採取した供試体の透水試験により算出し確認する。

透水係数は、改良土の流動性に依存する。通常、配合を変えない限り改良土の流動性は変化しないが、関空島では、潮位変動により地下水位が変動するため、流動性が変化する。したがって、施工中も改良土の流動性管理が重要となる。本工事では、テーブルフロー値（TF値）と呼ばれる、攪拌混合直後における改良土の流動値を管理することで、透水係数を管理することとした。TF値の計測方法は以下の通りである。TF値の測定器具と測定写真を**図-10**に示す。

1. 改良土をフローコーンに詰め、表面をならす。
2. 直ちにフローコーンを鉛直に取り去り、フローコーンのハンドルを回転させ15秒間に15回の落下運動をテーブル上の改良土に与える。
3. 改良土が最も広がっている部分の長さで、この方向に直角な方向の広がりをmm単位で測定する。

TF値の管理値は**表-3**に、TF値と透水係数との相関は**図-11**に示す。TF値と透水係数との相関は、先述した室内配合試験により得られた結果である。**図-11**からわかるように、透水係数とTF値は比例関係にあり、透水係数の目標値は $k = 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ であるため、TF値は125mm以上155mm以下で管理する。潮位変動によりTF値も変動するため、125mm以下の場合、施工水量を増加し施工し、155mm以上の場合、原則施工しないこととした。

TF値の管理は透水係数の管理につながるが、施工性の管理にもつながる。例えば、TF値が低い、つまり流動性が低い場合、攪拌機械であるトレンチャーにかかる負荷が大きくなり、安定した攪拌混合が望めない。以上のように、TF値の管理は品質管理および施工管理の両方の上で重要である。

表-2 混合材の基準添加量（混合表）

材料種類	添加量 (kg/m ³)	水セメント比 (%)
高炉セメントB種	200	70



図-10 テーブルフロー値の測定器具と測定写真

表-3 テーブルフロー値の管理値

試験項目	試験方法	管理値	試験基準
TF試験	JIS R 5201	125mm以上～155mm以下	2回/日

※1日2回は、干潮および満潮時に行う。

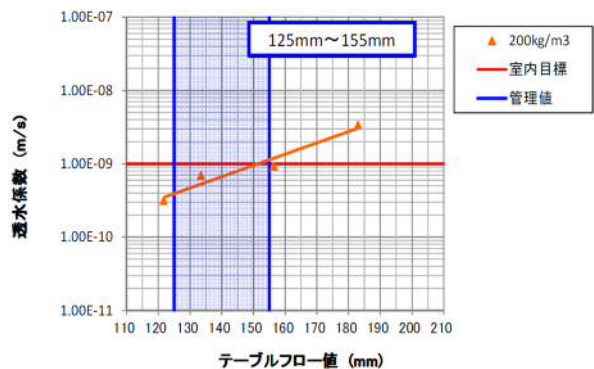


図-11 テーブルフロー値と透水係数の相関

(3) 施工について

パワーブレンダー工法の施工フローを図-12に示す。

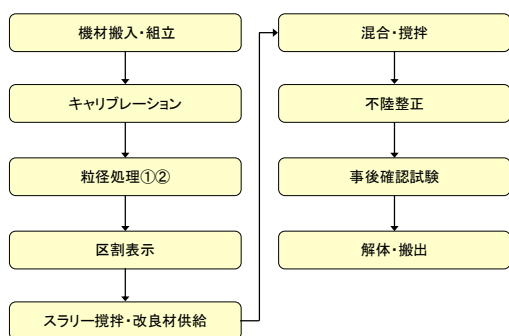


図-12 パワーブレンダー工法の施工フロー

a) 粒径処理

粒径処理は、最大粒径300mmという礫質地盤を有する閑空島特有の工程である。攪拌混合時に粒径100mm以上の岩塊があると、施工性が悪くなるため、スケルトンバケットを装着したバックホウにより除去した。この作業により現地土が減った箇所は、粒径50mm以上の岩塊を除去した流用土または仮置土で補充した。

b) 混合・攪拌 (施工管理)

混合・攪拌では、主に「改良深度」および「羽根切り回数管理」を管理した。1つ目の「改良深度」について、本工法は地中の施工状況が目視できないため、バックホウの運転席で常時モニタリングできる、図-13左図に示すような施工管理装置を導入し、オペレーターにより改良深度を管理した。また、図-13右図に示すように、トレンチャーにつけたマーキングによる改良深度の写真管理も行い、二段構えで施工管理を行った。

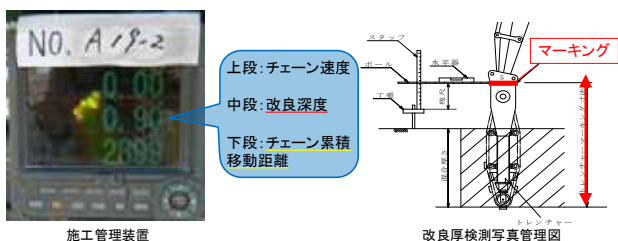


図-13 施工管理装置およびトレンチャーマーキング

2つ目の「羽根切り回数」について、羽根切り回数はトレンチャーの羽根の回転数であり、攪拌混合の度合いを示す指標である。規格値は50回/m²以上とし、式(2)で算出するチェーン累積移動距離により管理した。

チェーン累積移動距離 (m) =

羽根切り回数 (回/m²) × 1区割の総掘進延長 (m)

× 改良深度 (m) × 攪拌翼ピッチ (m) 枚 …… 式(2)

チェーン累積移動距離は、図-13左図の通り施工管理装置の下段に表示されるため、その値が基準値以上かを常時モニタリングすることにより管理することができる。

以上のような品質管理・施工管理を行いながら無事竣工し、図-14のように防潮壁を築造することができた。品質に関しては、施工後の事後試験により満足していることを確認できた。



図-14 防潮壁の築造前と築造後

5. まとめ

以上のように、関西国際空港では、地震津波対策として、2013年8月に大阪府が公表した南海トラフ巨大地震を想定した津波浸水想定に対し、防潮ライン高さが不足し津波浸水が想定されるエリアに防潮壁を築造し、防潮ラインの必要高さを確保するような計画を立てた。さらに、防潮壁を既設止水壁と接続し、止水壁の嵩上げも兼ねた防潮壁築造計画とした。防潮壁築造工事は、総延長約2,500mを4工区、3工事に分け、給油地区、旅客ターミナルビル等の重要度の高い空港施設を守る防潮壁を優先的に築造していき、2013年9月から始まり、2017年3月に無事に完了した。旅客ターミナルビル前の防潮壁築造工事においては、パワーブレンダー工法と呼ばれる地盤改良工法を採用し、コスト縮減および残土軽減につながった。本工法は、品質管理・施工管理が課題となったが、それぞれ適切に管理し、品質も出来形も満足する施工を実施することができた。そして、防潮壁築造工事の竣工により関西国際空港における当面の地震津波対策は完了した。本計画で実施したハード面の対策と、2016年4月にソフト面の対策として自社で定めた地震・津波BCP (業務継続計画) をもとに、地震・津波発生時は、人命の保護、被害の軽減、空港機能の早期復旧を目指す。

そして、本防潮壁築造計画はあくまで2013年8月に公表された津波浸水想定に対する対策であり、年々地盤沈下している関西国際空港では、今後、防潮壁の嵩上げが必要になると予想される。

参考文献

- 1)大阪府 (2013年8月20日) 「大阪府津波浸水想定の設定について」
http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/20873/00000000/01_zentaizu.pdf
- 2) 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会 (2011年9月28日) 「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告」
<http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chousakai/tohokukyokun/pdf/houkoku.pdf>
- 3)国土交通省 (2011年12月14日) 「津波防災地域づくりに関する法律」
<http://www.mlit.go.jp/common/000190963.pdf>

余部管内の河川維持管理におけるコスト縮減の取組みの紹介

平山 岳弥¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 調査課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2-2-10)

近年、河川の維持管理関係費の削減が続いており、発注段階のみならず現場レベル（施工段階）でもコスト縮減に積極的に取り組み、限られた予算の有効な執行に努める必要がある。

揖保川下流部の余部出張所管内では、先行事例や各種文献、あるいは施工業者との対話・打合せの中で見つけた、河川の維持管理に係る「コスト縮減の種」を拾い上げ、試行錯誤を繰り返しながらコスト縮減策を実行してきた。本稿では、これら取り組みの結果、成果を得られたもの・得られなかったものを含め、その一部について紹介するものである。

キーワード コスト縮減, 除草, 伐採

1. はじめに

(1) 余部出張所管内の概要

姫路河川国道事務所 余部出張所は、揖保川下流部（8.4km）、林田川（6.6km）、中川（3.7km）、元川（1.2km）の計約20kmを管理している（図1）。

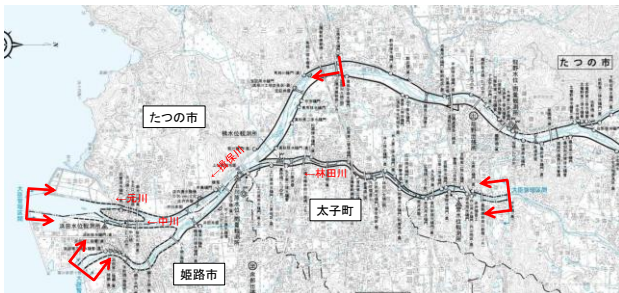


図-1 余部出張所管内図

管内は、高潮区間や上流の一部区間に置堤を含む暫定堤や無堤区間が残っていることもあり、沿川住民の防災意識が高いこと、下流域は住家連坦地であり、祭りが盛んな地域であること、林田川は皮革工場連坦地であること、近年は大きな出水が少なく、河道内の樹林化が進行しているなどの特徴があり、それゆえに除草や伐採に関する苦情や要望が比較的多いなどの特徴がある。

(2) 河川管理上の課題

河川を管理する出張所では、主に河川維持作業（以下、維持作業）にて堤防や高水敷の除草や河道内樹木の伐採、河川管理施設の軽微な維持補修等を行っている。図-2は、平成26年度の余部管内維持作業の費用内訳である。

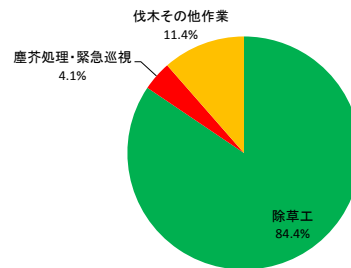


図-2 平成26年度維持作業費用内訳（直接工事費ベース）

年度によって予算状況や発注規模に差があることや、維持作業の他に伐採作業や維持掘削等の工事が発注されることもあるが、年2回の除草に8割以上の予算を費やしていることが分かる。この状況が続けば、護岸等の河川管理施設の変状や河道内の樹林化が進行し、苦情対応はおろか予防保全的な維持管理がままならない事態となる。

そのため、限られた予算を有効に執行するためには、発注された工事をそのままこなすのみでなく、より安く・施工量を多く・効果的なものとなるよう現場レベル（施工段階）においてもコスト縮減の取組みが不可欠である。

2. コスト縮減のターゲット

前段で述べた「予算を有効に執行する」ということは何なのか、余部管内の特色をふまえて具体的に掘り下げると、次の2点である。

- ① 除草以外にも予算の用途を増やし、予防保全的維持管理を可能とすること

② 少しでも多くの面積で伐採を行い、河道の樹林化を解消すること

これらを踏まえ、除草と伐採をコスト削減のターゲットとし、既往文献や先行事例、施行業者との対話から得られた知見を元に、その具体策を試行的に実施することとした。

各手法の内容、コスト削減効果及び成果と課題について下記に述べる。

3. 除草工のコスト削減（刈り放し）

(1) 概要

刈り放しは、除草後の刈草を集めず現地に存置することにより、集草・運搬・処分に係る費用を削減するものであり、余部管内では過年度より取り組んでいるコスト削減手法である。当該手法についてのコスト削減効果及び課題について再評価を行うこととした。

実施時期は、年2回の除草のうち、草丈の比較的短い2回目除草（8月下旬～11月上旬）の時期である。範囲については、沿川の苦情発生状況やタバコのポイ捨てによる延焼の可能性を考慮し、住家や工場連坦地・兼用道路区間を避けた川表法面と高水敷とし、管内除草面積約54万m²の1/5に相当する約11万m²を対象とした。

(2) 成果と課題

堤防除草は、堤体の保全の他、堤防法面に変状がないか点検するために行うものであるが、刈り放しした場合でも十分に堤防点検できることを確認した（図-3）。



図-3 刈り放し後の堤防法面

また、刈り放しを行わない場合（集草・運搬・処分を行う場合）と比べ、概ね260万円[※]のコスト削減効果を確認した。

一方で、刈り放しを行った一部区間において、刈草が風で飛散して民家の庭に苦情が発生したことから、刈り放し区間の更なる吟味が必要と考えられる。また、予算に余裕があれば、刈り放しが困難な区間において、植生転換（草丈が低く雑草にも強い芝への張り替え）を行い、刈草処分量や除草回数そのものを削減することも検討すべきである。

4. 除草工のコスト削減（堆肥化・無償配布）

(1) 概要

当該手法は、堤防刈草を発酵させて堆肥化し、一般の方に無償配布することで、刈草の運搬・処分に係る費用を削減するものである。姫路河川国道事務所では、揖保川上流を管理する龍野出張所と加古川を管理する小野出張所にて、過年度から堆肥化の取り組みを行っており、実績・ノウハウが蓄積されている。^{1) 2)} これに倣って、余部管内においても堆肥化を行うこととした。

堆肥製作は、揖保川の2種側帯（約900m²）を製作ヤードとし、たつの市域の1回目除草で発生した刈草のうち約13.5万m²分（管内除草面積の約1/4）を対象とした。1回目除草の終わる時期（8月）から製作をスタートし、12月頃に概ね完成した（完成体積：約50m³）。無償配布は、畑づくりの始まる3月に行うこととした。



図-4 刈草堆肥

堆肥製作の手順は下記のとおり。

- ① 刈草からできるだけゴミを取り除き、新鮮な状態で製作ヤードに搬入。
- ② 散水車にて散水、ミニバックホウ（0.13m³級）にて刈草を攪拌し、刈草の発酵に必要な水と空気を供給。攪拌後、2m程度の高さに山積み。
- ③ 堆肥用温度計で温度管理（1回/2週程度）。まんべんなく発酵させるため、内部温度がピーク（60～70℃）を超え、下がり始めたなら再度②を繰り返す。
- ④ ②③を3回程度繰り返し、黒く、土っぽくなれば完成。図-4の右側の状態になるまで約5ヶ月要した。

堆肥の無償配布は、事前申込み制とし、事務所HPの他、近隣自治体の広報誌や自治会へのビラ配布等により周知を行った。配布当日は、軽トラ等への積み込みを希望する大口の受け取り希望者に対してはミニバックホウによる積み込み補助、肥料袋等での受け取り希望者に対しては職員による袋詰め補助を行った。



図-5 堆肥の無償配布（左：軽トラ受け取り 右：肥料袋受取

り)

(2) 成果と課題

堆肥の配布量は、製作量の概ね7割程度にとどまったことから、広報手法の工夫（周知対象の拡大や媒体の選択など）が必要と感じた。上流の龍野出張所管内では、実際に堆肥を使用した「リピーター」による複数回の受け取り希望が多く、堆肥の大量配布に繋がっていることから、今後はリピーターにも期待しつつ、需要を見ながら製作量を拡大していきたい。

また、堆肥化を行わない場合と比べ、概ね30万円（約27%）^注のコスト削減ができたとともに、図-6に示すように、刈草の有料処分の割合を9割以上から8割未満に低減することができた。

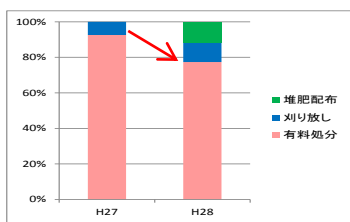


図-6 H27,28年度発生刈草処理の内訳 (重量ベース割合)

一方で、余部管内の姫路市域においては、堆肥製作が可能なヤードが無く、また、廃掃法の制限（一般廃棄物である刈草の行政界の越境禁止）により、たつの市域への刈草の持ち込みができないことから、同取り組みの展開が困難である。そのため、堆肥化以外のコスト削減に資する方法を検討するとともに、刈草を「有価物」として整理できないか、自治体と協議を継続する必要がある。

5. 伐木・伐竹工のコスト削減（破碎機による伐採）

(1) 概要

従来の伐木・伐竹は、チェーンソー等を用いた人力伐採の後、伐採木を重機で集積し、場外搬出・有料処分としていた。今回用いた手法は、バックホウ（0.45m³級）に破碎機（アタッチメント）を装着し、高水敷に繁茂した雑木や竹を現地ににて破碎するものである（図-7）。更に、破砕片についてはマルチング材として現地に存置することで、遮光による再繁茂防止効果を期待するとともに、集積・運搬・処分費の削減を図ることとした。施工場所、施工時期、施工規模は下記のとおり。

- ・施工場所：揖保川高水敷
- ・施工規模：約20,100m²
- ・施工時期：平成28年3月
- ・効果計測：平成29年3月



図-7 破碎機による伐採

(2) 成果と課題

従来の人力伐採と比較して、概ね240万円（約36%）^注のコスト削減に寄与できたとともに、日あたり施工量も1,000m²程度と人力伐採の倍程度であった。

また、適用可能な幹径が15cm以下であること、破砕片の飛散による第三者被害のおそれのない場所での使用に限定されることなど、当該工法の適用条件について把握することができた。一方で、特殊機械のため、機械調達に半年程度時間を要したこと、破砕片のマルチング材としての効果が薄く、雑木・竹ともに施工後1年で萌芽・再繁茂が確認されたことが問題点として抽出された

（図-8）。これら問題点を受け、迅速な機械調達、再繁茂防止策の検討が今後の課題である。



図-8 竹林の再繁茂 (左：施工直後 右：施工後約1年)

6. 雑木の再繁茂防止対策（根の残置・薬剤塗布）

(1) 概要

雑木（主にヤナギ）伐採後の再繁茂防止対策としては、従来、根の除去（除根）が行われてきたが、除根及び根の処分に費用がかかる。今回用いた手法は、除根を行わず、伐採後の切り株にグリホサート系の植物生長調整剤（以下、薬剤という）の原液を刷毛塗りすることにより、根の枯死・再繁茂防止を狙うものである。併せて、除根・根の処分費をかけないことによるコスト削減効果を期待した。施工場所、施工時期、施工規模については下記のとおり。

- ・施工場所：林田川高水敷
- ・施工規模：約10,100m²
- ・施工時期：平成28年8月
- ・効果計測：平成29年2月

なお、河川内での薬剤使用については、平成2年事務連絡「農薬の使用に関する河川の維持管理について」において、「除草剤については、上水道取水口より上流区域は原則として使用を取りやめ…」とされている。しかしながら、本事務連絡は主に河川敷のゴルフ場における広範囲除草剤の「散布」を対象としている一方、今回の手法は極めて局所的な「塗布」による使用であること、余部管内には上水道取水口が存在しないことから、学識経験者に相談しつつ試行的に薬剤を使用することとした。

(2) 成果と課題

除根及び根の処分を行わないことにより、概ね120万

円(約42%)^{注)}のコスト縮減を図ることができた。

施工後約半年経過した時点では、切口からの萌芽はないものの、約9割の切り株において主に側面から枝の萌芽が確認された(図-9)。そのため、萌芽抑制効果は薄いと考えられるが、これらの萌芽した枝が再繁茂に至るまで成長するか、今後も生育状況等のモニタリングを継続する必要がある。また、必要に応じて萌芽した枝の切り取りについても検討すべきと考えられる。



図-9 雑木の萌芽再生(左:施工時 右:施工後約半年)

7. 竹の再繁茂防止対策(1m刈り残し)

(1) 概要

竹の再繁茂防止対策についても雑木同様、従来は除根が行われてきたが、竹根(地下茎)は地中を縦横無尽に走っており、かなりの土が噛み込んでいる。施工業者にヒアリングを行った結果、除根した地下茎の受け入れ先(処分場)から土の除去についてかなり厳しく条件付けされることが多く、これに対応するための費用と手間が大きいことが分かった。

そこで、「河道内樹木の再繁茂抑制方法」³⁾を参考に、竹の幹を地上から約1mの高さで刈り残し、地下茎の養分を残った幹の維持に使用せ、枯死を狙うこととした。併せて、除根・根の処分費をかけないことによるコスト縮減効果を期待した。施工場所、施工時期、施工規模は下記のとおり。

- ・施工場所: 揖保川高水敷
- ・施工規模: 約320m²
- ・施工時期: 平成28年8月
- ・効果計測: 平成29年2月

(2) 成果と課題

従来と比べ、概ね4.5万円(約21%)^{注)}のコスト縮減を図ることができた。しかし、地上から1m刈り残すことで作業効率が落ち、伐竹手間のみを見れば従来より高額となった。施工から約半年後の状況を確認したところ、幹の再繁茂は無いものの、目算で概ね5割程度の範囲で枝葉の萌芽再生を確認した(図-10)。これらが元通り再繁茂するか、モニタリングを継続する必要がある。



図-10 竹の萌芽再生(左:施工直後 右:施工後約半年)

8. 竹の再繁茂防止対策(破碎機の伐竹・天地返し)

(1) 概要

5.で述べたとおり、破碎機による竹の伐採は、施工後約1年の間に竹林が再繁茂してしまうことから、再繁茂防止対策として破碎機による伐採後に「天地返し」を行うこととした。天地返しとは、図-11に示すとおり、地下茎の層と更への層を入れ替え、遮光することにより地下茎の枯死を狙うものである。地下茎の場外搬出及び処分を伴わないことから、これらに係る費用についてコスト縮減効果を期待した。



図-11 天地返し

施工場所、施工時期、施工規模は下記のとおり。

- ・施工場所: 林田川高水敷
- ・施工規模: 約3,500m²
- ・施工時期: 平成29年2月
- ※効果計測は未実施

(2) 成果と課題

根の処分を行わないことにより、概ね50万円(約22%)^{注)}のコスト縮減を図ることができた。効果計測まで至っていないことから、他手法と同様、今後もモニタリングを継続し、再繁茂防止効果を検証する必要がある。

また、破碎機によって雑木を伐採した場合についても、別途再繁茂防止策を検討していくべきである。具体的には、切り株の土砂被覆や、枝の切断等の手法が考えられる。

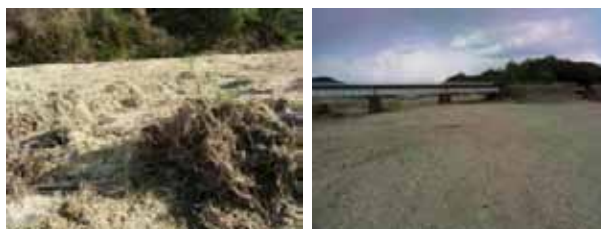


図-12 施工状況(左:掻き起こした地下茎 右:施工直後)

9. 雑木の再繁茂防止対策(巻き枯らし)

(1) 概要

当該手法は、樹木の生長を意図的に阻害する樹木管理手法で、主に防風林や山間部で用いられている。樹皮を地上から約1m程度の高さの位置で50cm程度の幅にて鉋等で環状に剥ぎ、栄養の通り道である師部を破壊することで栄養の供給を遮断し、根の枯死を狙うものである(図-13)。

本取り組みでは、上記を基本に下記3ケースを試行し、樹木の枯死効果について検証することとした。なお、③

については、樹木の生長に伴いロープが食い込み、師部の破壊・根の枯死に至るかを確認するため実施した。

- ①環状剥皮のみ 10本
- ②環状剥皮箇所に薬剤（グリホサート系）塗布 10本
- ③環状剥皮の代わりにトラロープ巻き 10本



図-13 巻き枯らし（写真右からケース①,②,③）

なお、施工には4人・日を要し、費用は概ね6万円[※]程度であった。施工場所、施工時期、施工規模は下記のとおり。

- ・施工場所：林田川中洲
- ・施工規模：30本
- ・施工時期：平成27年12月
- ・効果計測：平成29年3月

(2) 成果と課題

①については、10本中9本で剥皮箇所直下で枝の萌芽が見られた（図-14）。根に蓄えられた栄養が上部の枝まで届かず、剥皮箇所直下で遮断されていたことが窺える。萌芽した枝のうち5本は新鮮で、再繁茂に繋がる可能性がある。

②については、10本全て再萌芽を抑制できていた。剥皮箇所は黒く変色し、全体的に樹皮が剥けて朽ちている印象を受けた（図-15）。枯死に成功したと考えられる。

③については、トラロープの幹への食い込みが10本中2本見られたが、枝・幹は全て健全であった（図-16）。そのため、トラロープ巻きは栄養の遮断効果はなく、枯死には繋がらなかったものと考えられる。



図-14 ①環状剥皮のみ



図-15 ②環状剥皮箇所に薬剤塗布



図-16 ③トラロープ巻き

10. まとめ

(1) 除草工のコスト縮減について

刈り放し・堆肥化の双方で一定のコスト縮減効果を確認できた。刈り放しについては、苦情の発生を踏まえ、更に対象区間を吟味する必要がある。堆肥化については、広報手法の工夫の他、製作困難地域でのコスト縮減策の検討が課題として抽出された。

(2) 伐採工のコスト縮減について

いずれの手法についても一定のコスト縮減効果を確認できた。破碎機を用いた伐採については、適用条件を確認できた一方で、機械調達や再繁茂防止策の検討などが課題である。竹・雑木の再繁茂防止策については、いずれも引き続きモニタリングを行い、効果検証が必要である。巻き枯らしについては、薬剤塗布を組み合わせた手法において雑木の枯死効果が確認された。

なお、本稿は従前の所属である姫路河川国道事務所余部出張所の所掌業務の内容である。

謝辞：本稿をとりまとめるにあたり、ご助言・ご指導・ご協力頂いた全ての方々へ深く御礼申し上げます。

注釈

- 1) 本稿中の概算金額は、直接工事費ベースの金額を指す。また、コスト縮減効果を示すパーセンテージは、 $\text{コスト縮減額} \div \text{コスト縮減前の費用} \times 100 (\%)$ によって求めたものである。

参考文献

- 1) 山田陽・安井潤：河川維持管理における堆肥化・チップ化への取り組みについて
- 2) 衣斐 俊貴・安井潤：加古川・揖保川での河川維持管理における堆肥化の取り組みに関する報告
- 3) 土木研究所：河道内樹木の再繁茂抑制方法

国道26号堺高架橋ASR対策 ～供試体試験による健全度評価～

平野 広史¹

¹近畿地方整備局 大阪国道事務所 管理第二課 (〒536-0004大阪府大阪市城東区今福西2-12-35)

一般国道26号堺高架橋(延長2,837m)は、大阪府堺市に位置し、大阪側が阪神高速15号堺線と接続している自動車専用道路の高架橋である。1975年(S50年)に竣工したが、1980年(S55年)には原因不明のひび割れが多数発見された。当時、アルカリ骨材反応のメカニズムや被害の発生状況等は未知であり、当面の措置として防水塗装による補修が行われたが、補修後もひび割れの進行や鉄筋破断など損傷が確認された。そのため、損傷を受けた部材の耐荷力評価、補修方法検討を行うため、現地モニタリング及び供試体による短期試験、長期試験を行いその結果をもとに健全度評価を行ったので報告するものである。

キーワード アルカリ骨材反応, ASR, 維持管理, 健全度評価

1. はじめに

コンクリート中のセメントに含有されている成分は、水和反応の過程で水溶液に溶解し、強アルカリ性の水溶液を生成する。アルカリ骨材反応とはコンクリート中の骨材のある種の成分とアルカリが反応して生成物が生じ、これが吸水膨張してコンクリート(コンクリート構造物)にひび割れが発生する現象である。

アルカリ骨材反応には従来、“アルカリシリカ反応(ASR=Alkali Silica Reaction)”と“アルカリ炭酸塩岩反応”の2種類あるとされていたが、近年の研究によるといずれも骨材中のシリカ分が反応するASRであると言われている。¹⁾

シリカ分を含む鉱物は、安山岩、玄武岩、流紋岩、チャート、砂岩等多種多様なものが存在する。

ASRによるコンクリート構造物の変状は、

- i) コンクリート表面の網目状のひび割れ
- ii) 主鉄筋やPC鋼材の方向に沿ったひび割れ
- iii) 微細なひび割れにおける白色のゲル状物質の析出

のような特徴が見られる。そのためこのような外観変状が見られた場合はASRと考えてよいと言われている。²⁾

ASRは1940年頃アメリカで発見された現象で、我が国においてはきわめて希な現象であり、ほとんどないと思われていたが、1979年(S54年)阪神高速道路の橋脚で異常なひび割れが確認され、1980年(S55年)堺高架橋においても同様のひび割れが確認された。

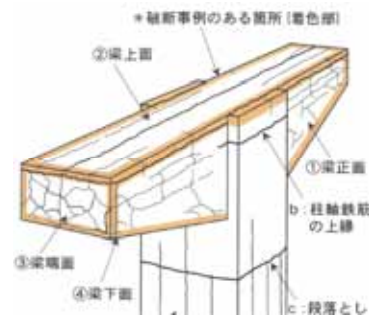


図-1 ASR損傷事例図

2. 堺高架橋のASRに対するこれまでの取り組み

1980年(S55年)に一般国道26号堺高架橋の橋脚において、原因不明のひび割れが多数確認され、それが阪神高速道路の橋脚に発生したものと酷似したものであることからASRの疑いが強くもたれた。当時、ASRのメカニズム、被害の状況や損傷程度は未知数のところが多く、当時の阪神高速道路公団及び土木研究所と協議・調整を行い、1984年(S59年)より当面の措置として樹脂塗装による防水補修を行った。

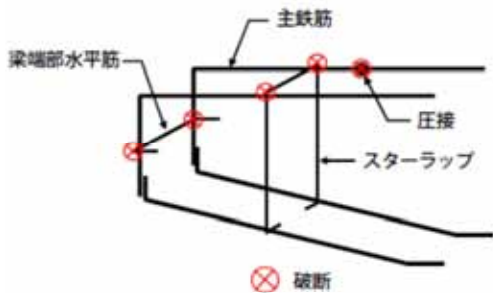
補修後の1991年(H3年)においても進行が認められることから「浜手バイパス、宿院高架橋(現：堺高架橋)におけるアルカリ骨材反応の対策に関する検討委員会(京大：藤井委員長)」を設置し詳細調査・補修方法の検討を行い、防水補修、ひび割れ注入を行った。

1999年(H11年)、橋脚梁からのコンクリート片落下を

うけ「国道26号堺高架橋補修検討委員会(京大：宮川委員長)」が設置され、委員会成果に基づき2000年に橋脚梁部のコンクリート剥落防止のため、両側面と下面の3面鋼板被覆工を行うべく工事発注を行った。工事に先立ち、委員会の指摘に基づく詳細調査を行ったところ、P2,P3橋脚梁において主鉄筋の圧接部や水平鉄筋、スターラップの折り曲げ加工部で破断が発見されたため(写真-1、図-2)、合わせて補修を行った(写真-2)。なお、ASRが見受けられる箇所については、鉄筋はつり出しを行い、異常が無いか調査を行っている。また、当委員会において、2000年より損傷の進行状況確認のため現地モニタリングを開始、2001年にはASRによる耐荷力低下や補修効果確認のため模擬供試体による試験が行われた。



写真-1 鉄筋破断の状況 (はつり出し後)



破断箇所	単位	P2	P3	補修
主鉄筋 (圧接部)	箇所	0	2	インクロ-スト
スターラップ (曲げ加工部)	箇所	1	45	7レ7
梁端部水平筋 (曲げ加工部)	箇所	0	34	7レ7
合計	箇所	1	81	

図-2 鉄筋破断箇所図



写真-2 鉄筋補修状況

2002年(H14年)には近畿地方整備局が「ASR橋脚等に関する対策検討委員会(京大：宮川委員長)」を設立し劣化進行に応じた調査、進行抑制のための補修補強方法、維持管理方針策定が行われた。維持管理方針については2003年(H15年)に「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」として公開された。本検討会は2004年より全国のASR問題に対処するため「ASRに関する対策検討委員会(京大：宮川委員長)」に移行、その成果として補修補強の検討方法が「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)」とし2008年に公開されている。これら委員会の成果をもとに、これまで随時、上部工の伸縮装置の取替や橋面防水層の設置、下部工ではひび割れ注入や防水塗装を行っている。

3. 現地モニタリング、供試体試験及び結果

コンクリート構造物にASRが生じた場合、ASRの進行に伴いコンクリートが膨張して著しいひび割れが発生するとともに、圧縮強度、引張強度、静弾性係数等のコンクリートの力学的特性が極端に低下するため、構造物としての耐荷力や変形性能が著しく低下することが懸念されてきた。実構造物では、力学的特性の低下に加え、著しいひび割れによる有効断面の低下や付着力の低下が生じて、深刻な状態になることが考えられる。2001年に検証のため、ASRを模擬して強度、弾性係数を低下させた供試体を使用した短期試験は行っていたが、反応性骨材を使用しASRの実劣化を生じさせた供試体を用いた長期試験での検証行っていないため、今回確認を行った。また、2000年より現地の橋梁の状態を把握、補修効果の確認を行うため、現地モニタリングを行っている。

(1) 現地モニタリング

高架橋全体のASR損傷状況を把握し、適切な維持管理を行っていくため、2000年より代表的な橋脚において以下の調査を行っている。(図-3)

- ①超音波伝播速度調査
 - ...コンクリート内部の劣化状況調査
- ②コンタクトゲージによる鋼板変状調査
 - ...コンクリート表面のひずみ(膨張量調査)
- ③ひずみゲージによる鋼板変状調査
 - ...補強鋼板のひずみ(応力度)調査
- ④ロードセルによる鋼板変状調査
 - ...PC鋼棒の張力増加からの補強鋼板応力度調査
- ⑤ひずみ計による鋼板応力調査
 - ...補強鋼板のひずみ調査

調査対象の12橋脚のうち、2基(P2、P3橋脚)は継続中であるが、残りの10橋脚は調査結果より学識経験者か

ら「ASR劣化の進行が終息しつつあると考えられる」との意見を頂き、今後の維持管理について「水分供給が生じないように伸縮装置等から漏水が生じないようにする」「定期点検でひび割れの状態を経過観察する」ことが確認されている。

P2、P3橋脚については応力の増加が認められるためロードセルによる変状調査が行われている。なお、鋼鉄の応力増加が大きいP3橋脚では2010年にひずみ計、2011年にはひずみゲージがそれぞれ設置されている。(図-4)

橋脚	P2		P3		P41		P55		P56		P58		P70		P75		P78		P86		P87		P89	
	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC	RC
2000	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2001	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2002	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2003	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2004	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2005	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2006	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2007	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2008	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2009	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2010	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2011	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2012	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2013	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
2014	(4)	(4)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)

凡例 (1) 超音波伝播速度計測、(2) コンタクトゲージ計測、(3) ひずみゲージ計測
 (4) ロードセル計測、(5) ひずみ計測

図-3 橋脚計測位置図



写真-3 堺高架橋の現況

P2 橋脚



P3 橋脚

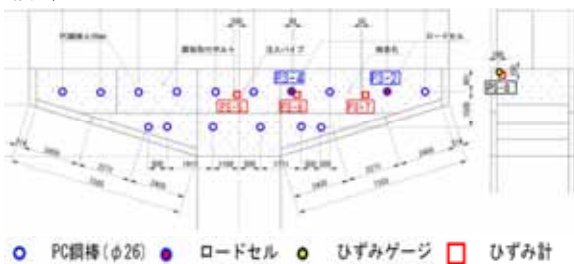


図-4 橋脚計測位置図

P2,P3 橋脚の計測の結果、PC 鋼棒の張力は全ての計測点とも増加傾向にある。コンクリートの膨張は継続し、ASR が終息状態にあるとはいえない。

PC鋼棒張力の増加率をもとに推定された補強鋼板の応力度は、P2橋脚は管理基準値に比べて十分小さいが、P3橋脚のP3-4は管理基準値(SM400 t=6mm)の許容応力度(140N/mm²)を超え、検討が必要な状態にある(図-5)。供試体試験結果をもとに対策検討を行うが、P2橋脚(中間支点)に比べP3橋脚(かけ違い)の方がASRの進行が大きい理由は、伸縮装置およびその周辺からの漏水の影響を受け、水分供給がされているためと考えられる。

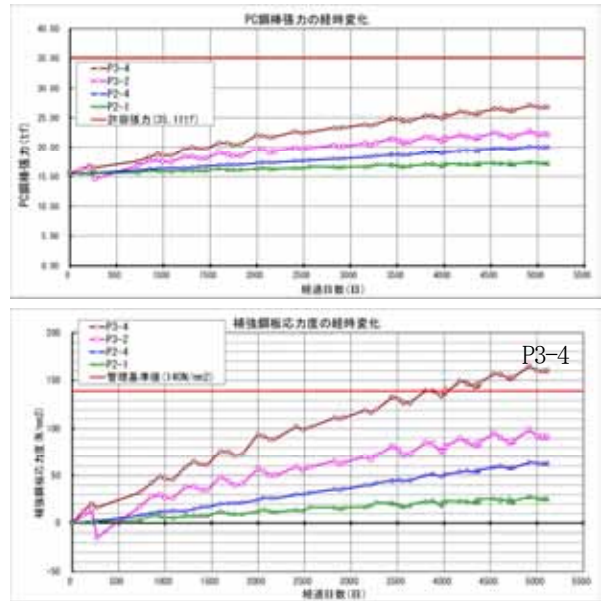


図-5 ロードセル計測調査による鋼鉄変状経時変化

(2)供試体試験

2001年、普通コンクリート使用の「標準供試体」、ASR を模擬した気泡コンクリート使用の「模擬供試体」による載荷試験(以下、「短期試験」という)が実施された。

2007年、「短期試験」で得た知見の妥当性を検証するため、反応性骨材を使用し、かつNaClでアルカリ量を調整した「ASR 供試体(主鉄筋やスターラップの鉄筋比は堺高架橋P3橋脚を想定)」が製作され、暴露養生及び供試体モニタリング調査が開始された(以下、「長期試験」という)。(図-6)

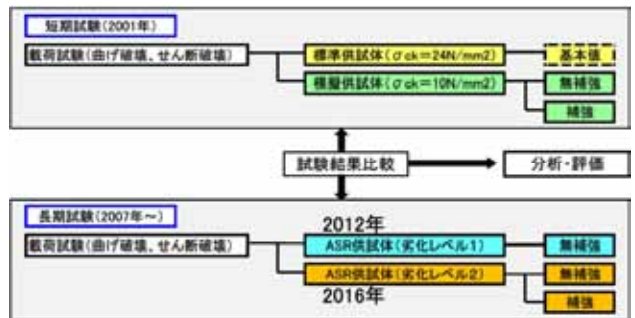


図-6 短期・長期試験概要図



写真-1.1.2 近畿技術事務所に保管されている ASR 供試体の全景



写真-4 長期試験供試体

供試体 No. (M-)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
鉄筋切断 有無	主鉄筋 4-D13	無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	S9-3φ7	無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2-D13etc240	有	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
備考	※1※11 (2012年)	載荷試験済み			無補修			補修済み				
	※1※12 (2016年)							載荷試験				

○ 劣化レベル 2 供試体試験

供試体 No.	7	8	9	10	11
補修断面 概念図					
引張主鉄筋 102×6	切断	切断	切断	切断	切断
S9-3φ7 2-D13etc240	なし	なし	なし	なし	なし
補修鋼筋 2-F10	あり	あり	あり	あり	あり
PC 鋼棒 φ11×11	初期型耐力 10kN	初期型耐力 10kN	初期型耐力 20kN	初期型耐力 10kN	初期型耐力 10kN
対応する構造	準高架構 P2(鋼筋), P3(界面)	準高架構 P2(鋼筋), P3(界面)	準高架構 P2(鋼筋), P3(界面) (橋脚めねえ構造)	準高架構 P2(鋼筋)	準高架構 P2(鋼筋), P3(界面)

図-7 長期試験 曲げ供試体の概要

供試体 No. (S S-)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
鉄筋切断 有無	主鉄筋 6-D25	無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	S9-3φ7	無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	2-D13etc240	有	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
備考	※1※11 (2012年)	載荷試験済み			無補修			補修済み				
	※1※12 (2016年)							載荷試験				

○ 劣化レベル 2 供試体試験

供試体 No.	9	10	11
補修断面 概念図			
引張主鉄筋 102×6	切断	健全	健全
S9-3φ7 2-D13etc240	なし	なし	なし
補修鋼筋 2-F10	あり	あり	あり
PC 鋼棒 φ11×11	初期型耐力 10kN	初期型耐力 10kN	初期型耐力 10kN
対応する構造	準高架構 P2(鋼筋), P3(界面)	準高架構 P2(鋼筋)	準高架構 P2(鋼筋), P3(界面)

図-8 長期試験 小型せん断供試体の概要

長期試験供試体(写真-4、図-7、図-8)は、補修を行わず ASR による劣化進行にまかせるという実橋ではあり得ない状況下で暴露養生されている。さらに、反応性骨材に加えて、アルカリ量を調整するために大量の塩分が使用されており(塩分含有量：19.5kg/m³、発錆限界値の16.3倍)、塩害との複合劣化も生じている。すなわち ASR 劣

化を受けた RC 構造としては最悪の状態にある。

2012年、長期試験における劣化レベル1での試験が実施され、残りの供試体の一部には実橋(堺高架橋 P2、P3)の梁と同じように、3面鋼板接着が施された。

2016年、鋼板接着を施した供試体を含む全供試体を対象として、長期試験における劣化レベル2での試験を実施した。

なお、劣化レベル1とは、外観上、鉄筋切断が想定されるひび割れ幅まで劣化が進行した段階、もしくはこれに相当する段階。劣化レベル2とは膨張反応が鈍化する状態に達した段階のことである。

a)短期試験結果

コンクリート構造物に ASR が生じた場合、ASR の進行に伴いコンクリートが膨張して著しいひびわれが発生するとともに、圧縮強度、引張強度、静弾性係数等のコンクリートの力学的特性が極端に低下するため、構造物としての耐荷力や変形性能が著しく低下することが懸念されてきた。

短期試験(2001年)によると、模擬供試体(力学的特性の低下を模擬した供試体)は、標準供試体(健全なコンクリートを使用した供試体)に比べて、初降伏曲げ耐力については問題となるほどの低下はないものの、曲げ変形性能の低下やせん断耐力の著しい低下が生じると報告された。(図-9、図-10)

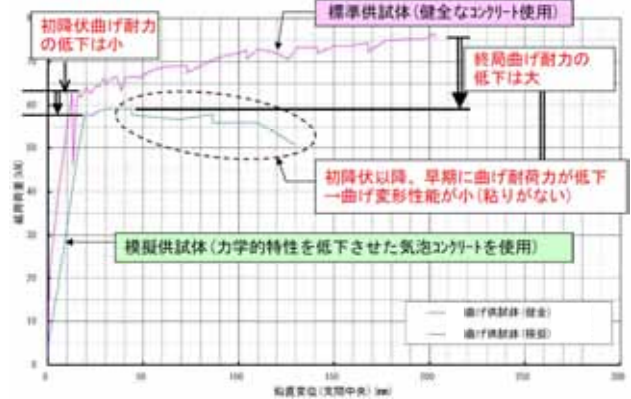


図-9 短期試験 曲げ供試体載荷試験結果

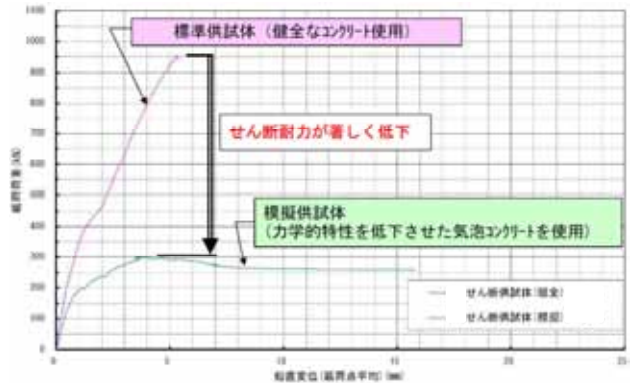


図-10 短期試験 小型せん断供試体載荷試験結果

b)長期試験結果

劣化レベル1の試験(2012年)によると、

- ①設計規格値に対して、圧縮強度が1/1.8に、引張強度が1/1.9に、静弾性係数が1/3.4にそれぞれ低下しているにもかかわらず、荷重～変位関係は、健全なコンクリートを使用した供試体による結果とよく合った。(図-11、図-12)
- ②模擬供試体による試験で見られたような曲げ変形性能の低下やせん断耐力の急激な低下は全く認められなかった。
- ③主鉄筋やスターラップの破断による過度の耐力低下は認められなかった。
- ④鉄筋の付着性能の低下は認められなかった。

劣化レベル2の試験(2016年)によると、

- ①荷重～変位関係について、曲げ供試体では、劣化レベル1試験とほぼ同一傾向で推移することが認められた。(図-13)
- ②一方、小型せん断供試体でも、同等の耐力があることが認められた。(図-14)

この結果は、ASRが進行しているRC構造物に対する過度な懸念を払拭するものとなった。

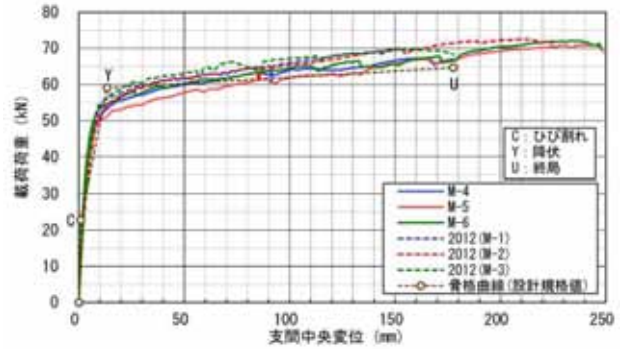


図-13 曲げ供試体載荷試験結果
(長期試験劣化レベル1と劣化レベル2の比較)

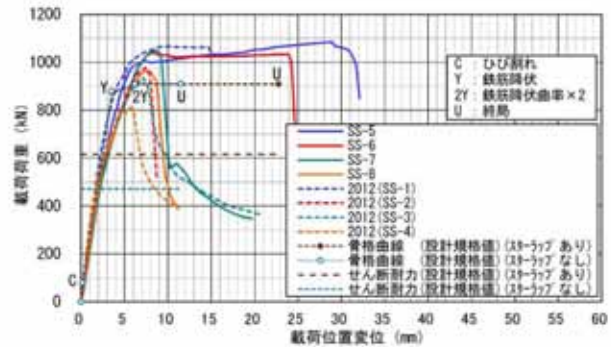


図-14 小型せん断供試体載荷試験結果
(長期試験劣化レベル1と劣化レベル2の比較)

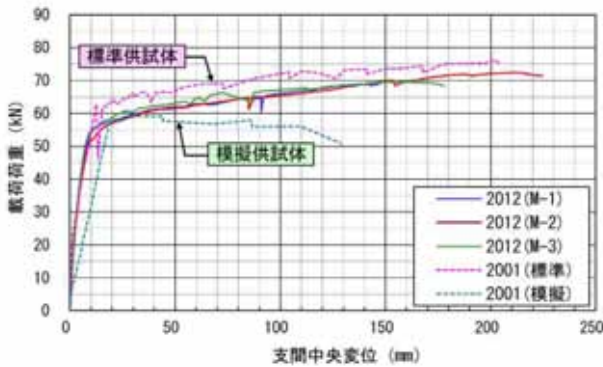


図-11 曲げ供試体載荷試験
(短期試験と長期試験劣化レベル1との比較)

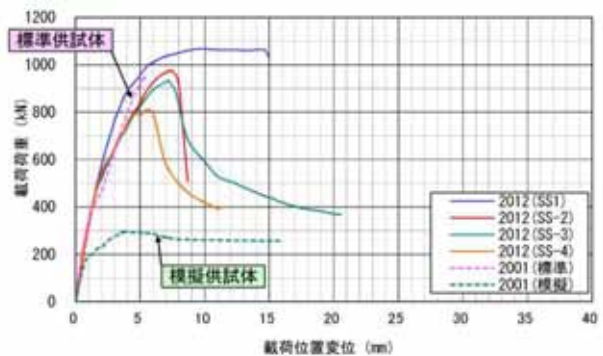


図-12 小型せん断供試体載荷試験結果
(短期試験と長期試験劣化レベル1との比較)

c)付着確認試験 (引き抜き試験、カンチレバー試験)

すべり量 $0.002 \cdot D$ 時の付着応力度は全て、コンクリート標準示方書の付着強度($\sigma_{ck} = 24 \text{ N/mm}^2$ で 2.3 N/mm^2)を満足している。

引き抜き試験、カンチレバー試験結果を比較すると、両試験ともバラツキは大きい、特異値を除く下限値に着目した付着応力度は、以下のとおりである。

- ①引抜き試験：D13が 6.0 N/mm^2 、D25が 3.1 N/mm^2 、D32が 4.3 N/mm^2 である。
- ②カンチレバー試験：D13が 6.3 N/mm^2 、D25が 2.6 N/mm^2 、D32が 2.6 N/mm^2 である。

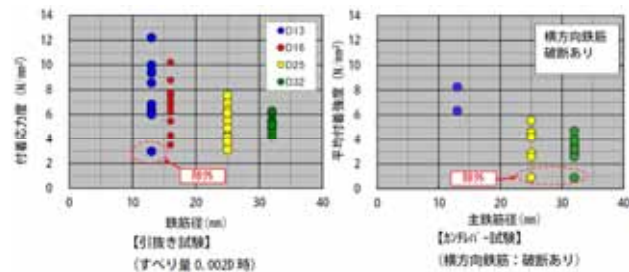
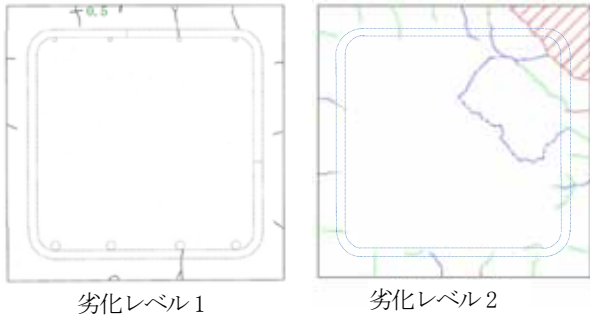


図-15 付着確認試験結果

付着強度の低下は、ケミカルプレストレス消失という致命的な結果に結びつくが、安全性が問題となるような付着強度の低下が生じていないことが分った。

d)ひび割れ進行（深さ方向）状況の確認

載荷試験が終了した曲げ供試体について、ワイヤーソーを用いて端部から1m位置で切断を行った後、切断面の状況を目視観察した。



破線は、吊り用鉄筋の影響と考えられるひび割れを示す。
斜線は、欠損部を示す。

図-16 供試体切断面ひびわれ状況図

切断位置は曲げ破壊による影響が少なく、載荷試験前の性状が比較的残存している断面であるが、吊り金具付近のため、その影響によると思われるひび割れが認められる。このようなひび割れを除外し、結果を整理した。

- ①劣化レベル1では、スターラップや主鉄筋のかぶりよりも深い位置にひび割れは認められなかった。
- ②劣化レベル2では、表面に認められるひび割れの多くはスターラップや主鉄筋のかぶり付近に止まっているが、一部で内部に進展している傾向が認められた。これは、供試体レベルとはいえ、塩害も同時に進行している状況(外観調査、はつり調査で確認)かつ、全く手当てを施さずに暴露養生していた結果である。

実橋では、このような状態で放置されることはなく、何らかの対策が講じられている。適切な対策を講じた実橋のRC構造物の場合、多くのひび割れは、かぶり付近に止まり、スターラップや主鉄筋の内側深くまで及んでいないと考えられる。

4. 供試体試験結果による健全度評価

長期試験供試体は、ASRによる劣化進行にまかせるとい実橋ではあり得ない状況下で暴露養生されていた。

反応性骨材に加えて、アルカリ量を調整するために大量の塩分が使用されており(塩分含有量：19.5kg/m³、発錆限界値の16.3倍)、塩害との複合劣化も生じ、ASR劣化を受けたRC構造としては最悪の状態にあった。

以上の事を踏まえ、堺高架橋の健全度を以下のとおり評価する。

○1975年の竣工から40年以上経過していること、また、これまでの補修効果もありASRの進行は全体として終息

に向かっていると考えられるが、一部P2,P3橋脚のようにASR劣化の漸増が認められるため注意が必要である。

○ASRにより、コンクリートの力学的特性は低下している可能性は高いが、試験結果より耐荷力や変形特性は、健全なコンクリートを使用したRC構造より若干低下する程度と考えられる。

○かぶりコンクリートの剥離・剥落が広がり、そこから新たにコンクリート内部に向かうASRの進行を生じさせない限り、すなわち、ASRに対する適切な対策を講じ維持管理を行っていく事で、ASRの進行により耐荷力性能が橋の安全性を損なうまで極端に低下することはないと考えられる。

○ASRの対策としては、①進行抑制を目的とした補修、②耐荷性能回復を目的とした補強(解体・撤去、再構築含む)がある²⁾が、本橋においては撤去再構築のような抜本的な対策をとることは困難である。また、既に橋脚柱は耐震補強の鋼板巻立を、橋脚梁(P2、P3のみ)は3面鋼板接着補強が施されている。

○そのため、今後さらに大規模な補強を必要とすることのないよう、①進行抑制を目的とした補修としてASRの進行に不可欠な水の供給を遮断し劣化進行を抑制する対策を講じることで健全性が保たれるものとする。

5. 最後に

今回の結果は、ASRが進行中のRC構造物に対する過度な懸念について、ひとまず安心するものとなった。

ただしこれは、ASRに対する適切な補修補強を行っていることが前提である。「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領(案)」、「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)」をもとに、点検を行い劣化進行を見逃さず、適切な補修を行う。このサイクルを確実に行う事で通常の維持管理が行えるものと思う。

この報告が他のASR構造物の維持管理に対する一助となれば幸いである。

謝辞：宮川豊章先生をはじめとした学識経験者の方々、試験場をお借りした大阪工業大学、供試体の保管をお願いした近畿技術事務所にこの場を借りて感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会：2013年制定コンクリート標準示方書(維持管理編)
- 2) ASRに関する対策検討委員会：アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン (案)

南海トラフ巨大地震における津波避難対策 ／津波避難シェルターの活用

富田 穰

近畿技術コンサルタンツ株式会社 技術本部 (〒540-0012 大阪市中央区谷町2丁目6-4 谷町ビル)

来る南海トラフ巨大地震に伴う津波では、最大33万人の死者、100万人近い死傷者が想定され、「逃げ切る」ことが提案されている。しかし、到達時間5分、高さ10m以上の津波では、どうしても避難困難地域が生じる。犠牲者を限りなくゼロとするためには、いわゆる公助、共助、自助となる避難対策を総合的に組み合わせる必要がある。避難困難地域では津波避難タワーを密に配置する必要があるが、林立となり、災害時要援護者、高齢者を考慮した新たな対策、提案も求められる。そこで、津波避難タワーの中間に、コンパクトで、想定外の大きな津波にも有効な津波避難シェルターを補完活用することで、避難困難地域を解消することを目指すものである。

キーワード 南海トラフ巨大地震、巨大津波、避難困難地域、津波避難対策、津波避難シェルター

1. はじめに

来る南海トラフ巨大地震に伴う津波では、内閣府報告によれば、被害想定が最大で33万人の死者、63万人の負傷者とされている。あわせると100万人近い死傷者である。津波高さは地域ごとに予測され、最大津波高さが3.4、4mとされている。到達時間5分、高さ10m以上の津波が急襲する沿岸部では、どうしても避難困難地域が生じる。そこで、ともかく「逃げ切る」ことが提案されている。一方、津波対策には、河川堤防や防潮堤の嵩上げ、高台移転、津波避難タワーや津波避難ビルの設置などがあるが、費用、完成期間、設計高さ、私有財産などの問題があり一長一短で、総合的に組み合わせる必要がある。犠牲者を限りなくゼロとするためには、できるだけ対策を講じなければならない。地域ごとに予測された津波高さをもとに対策高さ、設計高さを設定することになるが、このことで逆に、地域ごとの確率や誤差で想定外が生じやすくなっているということにも留意が必要だ。自然は常に人知を超えたとしたもので、もはや想定外だったという言い訳は聞きたくない。発想を転換して、どんなに大きな津波にも有効であれば、設計高さを設定する煩わしさから解放されるといえる。

ヒントは、嵐の中の転覆船の船底の生存者にある。最近では、ナイジェリア沖の海底30mに沈没した船から60時間後に救出されたニュース映像が記憶に新しい。図-1に、大きな津波にも有効で、鉄筋コンクリート造り、上に凸の津波避難シェルターの概観を示す。コンパクトで固定型、身近に設置でき、すぐ飛び込めるいわば防空壕のようなもの。図-2に、その断面図の中に、外部の津波高さの急な上昇と内部水位の緩やかな上昇の関係を示す。大きな津波にも、ボイルの法則で、圧縮された酸素ポンペを背負うように、生存必要空気量を保持できる。

津波対策の総合的組み合わせの中に、津波避難シェルターを点在させるなど補完活用すれば、津波避難困難地域の解消に貢献できるといえる。

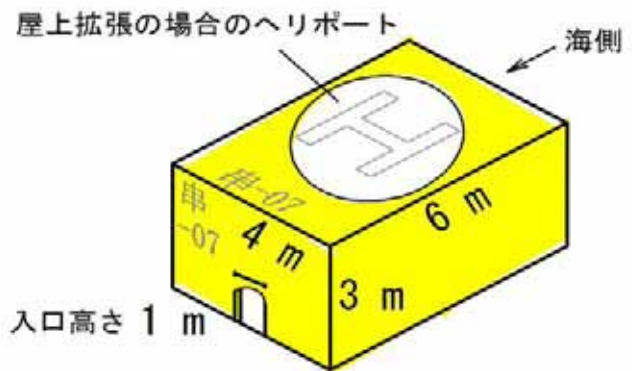


図-1 津波避難シェルターの概観（50人用の例）

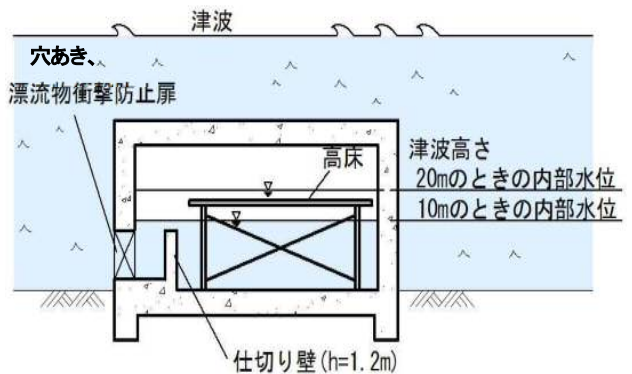


図-2 津波避難シェルターの断面図（大きな津波でも内部空気を保持、内水位は穏やかに上昇する）

2. 明日かもしれない来襲に準備はできているか

津波はいつ襲ってくるか分からない。明日かも知れない。津波高さが予測された地域の中には、それ以上の想定外の高さの津波が生じる可能性もある。逆に高さを設定することで、それぞれの地域で想定外が生じやすくなっているともいえる。想定高さ以外に、到達時間が想定より早まると致命的で、逃げる途中で溺れかねない。

台風、高波の異常気象や極寒、大雨などの悪天候が重なれば避難も容易ではない。住民の年齢、家族構成の変化、健康状態、妊娠中などの状況や津波が来なくても10年後、20年後の経年ごとでも対応が異なる。人々の日常生活の状況でも異なるし、時間帯でも異なる。通勤通学中、職場、学校では家族と離ればなれになるので安否の確認の必要性が出てくる。夜間では、晩酌中、入浴中、就寝中などの環境は厳しく、一層の迅速な避難、日頃からの避難想定、備えが求められる。家を出た移動中では、徒歩、自転車、自家用車、バス、列車乗車中で遭遇の可能性があり、身近に避難できる箇所を見つけておく必要がある。散歩中でも今だどこに逃げ込むかという想像力を日頃から養っておく必要がある。高い建物、堅固な建物を周辺に見つけておくことも「自分の身は自分で守る」ための知恵となる。できるだけ多くの選択肢と、「自助意識」を持つ必要がある。

3. 津波避難勧告の難しさ

地震発生の瞬間から避難行動を起こすとしても、必ずしも最大津波が来るわけでない。内閣府報告では、津波高さ、浸水深が2mを超えると一般の家屋が全壊となる割合が大幅に増えるとされ、浸水深が0.3mで人が流されるとされている。2m高さの、結果的に小さな津波だとしたら家を出たために逆に命を落とす事態になりかねない。もちろん、0.5mの津波に対しても家を出たことが危険になる。最大津波までに人々は疲れてしまう。結果でしか分からない避難の難しさ、避難勧告、指示をして避難誘導することが必ずしもいい結果を招かないという矛盾がここにある。一方、2016年11月22日の早朝、東日本大震災以降の余震で震度5弱があった。福島県の津波避難指示に、「3mの津波が来るから今すぐ逃げてください」という放送があわただしくあり、結果的には2時間後の仙台港で最大1.4m、ほとんどが0.3m程度の津波であった。報道によれば避難勧告・指示で避難した人の割合は、先の大被害にあった東北で信じられない低水準、2%程度にとどまった。地震発生が出勤前の時間帯で、避難するか、命にかかるこの場に及んでも会社人間で出勤準備を優先したか、勧告を甘く見たか、深刻な問題を提起している。十分に分析する必要があるといえる。数分で来る南海トラフ地震による津波の場合と、地震後30分程度で津波が来た東北の場合とでは緊迫の度合いが全く違うのかも知れない。

このことから、南海トラフ巨大地震の場合、空振りでも

もいいから避難指示を出すことという方針では、あるいは、とにかくすぐ避難するという訓練だけでは、家を出たことで、逆に、すぐ到達する小さな津波にも呑み込まれてしまう。最大に至らない結果的に中位、低位レベルの津波の緊急避難指示に、正確な予想高さを入れて放送する難しさが浮き彫りとなる。平成28年だけでも震度5弱以上の頻度は30回超、4以上は192回あった。当然、最大に至らない中小の地震の方が、発生確率、頻度の大部分を占めるので、中途半端な避難指示では途中で命を落としかねない重大責任を持っている。結果、津波が来なくてよかったと安堵している場合ではない。どう放送するのか、避難をどう伝えるか、試験放送ではない、本気度が問われるところである。いずれ最大クラスの地震、津波が生じるとして、いや、次には来るかもしれないという緊迫感、臨場感を持って、再整理、分析、シミュレーションをしなければならないといえる。

4. 躊躇ない迅速避難が大事

いずれにしても、躊躇している場合ではない。一瞬一秒たりとも無駄にしないで行動しなければならない。瞬時の判断、行動、その想像力を日頃の訓練で養っておく必要がある。津波避難タワーでは、設置間隔が比較的大きく、避難途中での津波との遭遇も予想される。地震の揺れは2~3分続くとされ、その間、机の下などで身を守るとして、服をかぶり、むずかる子供に靴を履かせ、鍵をかけて家を出るのに1分、途中を1分で走るとして津波タワーに上るのに1分で合計5分を費やしてしまう。20mの避難指示として、マンションの7階の人は階段を下りるか、屋上に上がるか判断に迷う。エレベーターは地震で停止中、下に逃げるとは不思議な感覚で、かえって命を落としかねないし、津波タワーまで行く時間も、たどり着いて上に昇る体力もないので、そのまま屋上に上がるとすれば、先の津波で4階の屋上で亡くなった記憶が生々しい。高さを要する津波避難タワーは、構造規模を小さくできず、費用もかさみ、数多く配置できず、高齢者は上がれず、避難範囲も比較的狭いといえる。結局、その中間位置に補完する小さな避難施設、コンパクトで避難に有効な安価な方法があれば、必死で走る距離も短く、大きな津波でも小さな津波でも、考えもせずともかく躊躇なく行動を起こすことができる。10年後も、老後も安心して避難できるといえる。

また、避難所を設定するには、想定される津波高さ以上の建物高さがなくてはならない。地域ごとに最大津波高さの予測計算がなされているが、自然災害はそんなことにはおかない。悪い時には悪い条件が重なるもので、天候の悪条件、満潮時が重なれば超えることもありうる。4階の屋上に避難して恐怖の中亡くなられた方も多し。津波避難タワーにしても設計高さを設定しなければならないが、結果保証はない。津波は、第1波に続く第2波の方が高くなる場合がある。地域により、第2波は第1波の20分後となり、そのあとも繰り返し襲ってきて、継続時間も6時間に及ぶこともある。地域特性を理解しておくことも迅速避難以外に重要といえる。

5. 津波避難シェルターの概要

10mの津波予想、避難勧告で、とにかく逃げるとすれば、結果0.3mの小津波に溺れるのは本意でない。近くに、身近に避難所があれば、津波予想が高かろうが低かろうがまず避難すると予め決めてすぐ飛び込める。

図一1に示す津波避難シェルターは、固定型でいわば防空壕のようなもの。大きな津波で水中となった時にも生存に必要な空気を保持するもので、アルキメデスの原理で水中で上昇する空気を上に凸の容器で外に逃がさないとするものである。構造体は、入口を開けた非密閉構造なので、大きな津波でも密閉構造のような大圧力がかからない。鉄筋コンクリート造りで3m×4m×6mの場合で50人用、1,000万円である。定員も家族用、10名～100名と設計容積で決まる。内空は1m³/人・時間、内面積1m²/2人として、内空3×4×6=72m³>50m³、内面積(4×6)×2=48、大まかに50人用である。南海トラフ巨大地震の津波の場合、第1波の継続時間が10分未満と短く、窮屈であるが譲り合ってもらおうとして、設計上の定員オーバーだからといって、遅れた人を拒む必要はない。

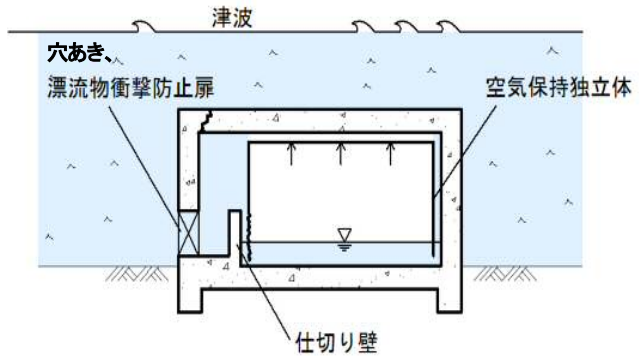
必要空気量が保持できれば、人は生存できる。ヒントは、嵐の中の転覆船の船底の生存者にある。2013年12月、ナイジェリア沖の沈没船の30mの海底で60時間後に救出されたニュース映像がある。これは、予想最大高さ34.4mの場合に匹敵する水圧に耐えた出来事といえる。素潜りの世界記録は122mである。一挙に転覆した船底が上になり、上に凸の容器となり、空気が逃げ出さない。浴槽に沈めた逆さ洗面器と同じである。鉄筋コンクリート造りで固定型、上に凸構造の津波避難シェルターは水中に沈んだまま空気が逃げ出さず、かつ津波がさらに大きくなっても圧縮された必要空気量を必ず保持できるので生存に有効である。

図二では津波避難シェルターの断面図に、漂流物衝突防止を兼ねた仕切り壁構造、および津波高さとの内部の水位の上昇の関係を示す。どんなに大きな津波が来ても、津波避難シェルターの中の空気は逃げずに、入口高さより上が凸の容器となり、空気は天井部に残る。高さ3mのうち、入口はできるだけ低くした方が中に空気が多く保存される。我慢して身をかがめて入ってもらうことになる。1mの入口高さとする、津波が1mになった時に中の自由水面の上昇で中の空気に圧縮が始まる。入口高さ2mとすると、津波高さが2mになった時に中の水位も2mとなり、残りの空気量は4×6×1=24m³しかないが、入口高さ1mの場合は、4×6×2=48m³と2倍の空気量がある。入口の幅も漂流物が入らないようできるだけ小さくすることが望ましい。入口の上には取っ手を設け滑り込みできるようにする。

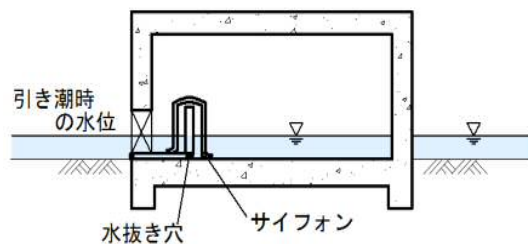
高さ1.2mの仕切り壁も有効に働き、漂流物衝突防止のほか、外の津波高さが1.2mになるまでは濡れない。その高さまで浸水しないので内空気量を大きく保つことができる。自由水面が1.2mに達すると、内空の圧縮が始まる。仕切り壁がないと、1mの津波で中まで

1mの水面で満たされ、たちまち中の空気量の1/3ほどを失ってしまう。以降は、体積×圧力(pv)一定のボイルの法則で、津波高10mで内部水位の上昇は内空高さ3mの半分、1.5mとなる。津波高20mで内部水位の上昇は内空の2/3の2mにとどまる。外部の津波の急な上昇に比べて内部の水位上昇は穏やかである。圧縮された空気は、たとえるなら、圧縮酸素ポンプを背負った状態といえるので安心である。波圧はダンブカー12台分の側面圧の設定で、壁厚を35～60cmとしている。海側の壁は下方を台形に拡大するか、先端を流線形にするか、前に消波ブロックを置くか、さらに離して置くかの工夫が有効である。転倒しないよう地中のせん断キーや底版の増圧、浮力抵抗を増す壁厚増も検討材料といえる。非密閉構造なので、海側の波圧以外は、大きな津波でも外水圧と構造内の空気の内圧は等しくバランスして、壁には極端な曲げモーメントはかからない。極論だが紙1枚の壁厚さでも良いといえる。

津波の前の地震で、構造体の上部に貫通ひび割れが入ると、水中となった時に空気が上部から外に抜け致命的である。微小のひび割れなら空気は抜けないとか、穴をふさぐことも考えられるが、対策を考えておく。事前に折りたたみ収納した上に凸のビニール大袋を開くか、図一3の予め天井周りに壁とは離隔して空気保持独立体として設置しておく方法が考えられる。いずれも地震の力を受けないようにすることが肝要である。巨大津波では、地域により第1波より第2波が大きいこともある。津波は繰り返し押し寄せることは予想されている。津波避難シェルターの内部に設置した漂流物衝突防止の仕切り壁の奥は、第1波が引いてもプールのように水が貯まった状態となる。第2波に備えてできるだけ多くの空気



図一3 2重の安全性に、壁に離隔して空気保持独立体を設けた断面図



図一4 第2波に備えて内部に貯まった水を自動的に抜くサイフォン

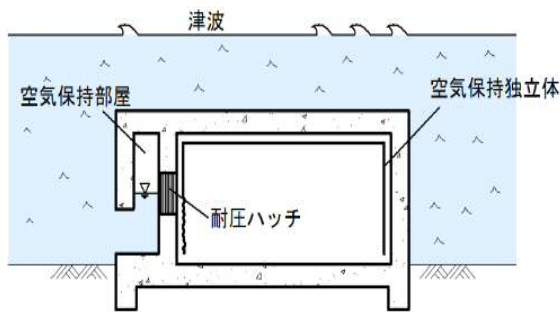


図-5 密閉構造体とした津波避難シェルター

量を確保しなければならない。それには、仕切り壁の底面部に栓つきの排水用穴あきとし逆流防止に栓を設ける方法と、図-4に示すサイフォンを設置する方法がある。サイフォン現象で引き潮と共に自動的に排水される。ただし、第2波の時にサイフォンの管の中が満水状態だと、逆に作用し、瞬く間に奥の空間が満水となる。この事態を避けるために逆流防止操作弁を仕切り壁上の位置に設けるとよい。訓練で地域住民の過半数の操作習得者を確保するのが望ましい。

図-5に津波避難シェルターを密閉構造体とした例を掲げる。入口に耐圧ハッチを設けると密閉構造となる。壁の変形が抑制されるので内部の空気圧は上がらない。かつ、濡れないというメリットがある。水圧が全体にかかるので壁厚の増加が必要となり、割りと高となる。ハッチの前面に待機空間を設けると、避難の人数、時間の余裕が生まれる。設計高さに十分な余裕が必要であり、直前の巨大地震でのひび割れ対策に空気独立保持体が必要である。津波高さが10m程度なら十分可能である。

津波は繰り返して来襲する。津波の継続時間は数分程度で引き潮となり新鮮な空気と入れ替わるが、一部地域で1m高さまでしか津波水位の低下がないので、第2波以降に備えて、その地域では基盤を1mほど嵩上げすることで対処する必要がある。もしくは地盤高が1m以上の地域であれば嵩上げせずとも特に問題はない。

津波避難シェルターに黄色のペンキを施せば、幸せハウスの象徴、目印でもあり、津波防災宣言地域として風物詩となる。旅行者も安心で、へり救助もはかどる。

6. 津波避難シェルターの効果的活用

想定外の大きな津波、逆に想定外に小さい津波、想定外に早い到達時間の津波にも有効で、安価でコンパクトな津波避難シェルターの特徴を生かして活用することが望まれる。津波避難ビル、津波避難タワーのように拠点配置として計画的に配置するのとは対照的で、適当な設置空間、空き地があれば自由にどこにでも補完的に設置できるのが特徴である。しかも、人の移動先、沿岸地域にも配置できるので効果的といえる。

以下、効果的な活用の10例について、列記する。

① 岸壁が低く、防潮堤の嵩上げが困難な地域、職場

り市場の海が近く最も逃げる時間がない絶望的地域で、海の仲間衆が集まる職場での活用が効果的である。

② 学校、工場などの大人数の場所、敷地

特に悲劇的に報じられるであろう大人数の学校、幼稚園、保育所、工場、事業所、人の集まる公共施設として病院、公民館、道の駅、鉄道の駅、日常生活上の利用が多いスーパー、コンビニや住居として人口集積の高いマンション、ホテルなど、人の生活、活動、集約するその広い敷地に活用を展開できる期待がある。しかもその敷地内で避難が完結する。

・学校の校庭設置では、裏山に必死に駆け上る必要がなく、校内で集団で助かることとなり悲劇的ニュースが全世界を駆け巡る悲慘さを回避できることが容易に想像できる。父兄も落ち着いて安否確認をする程度で平素から安心して暮らせる地域づくりに貢献できる。引率の先生方の心労、その後想定される責任追及から解放されることは大きい。そうなることは十分想定されるのに、結果責任を負わせるのではなく事態を想定して回避する、真っ先にこのことを考えなくてはならない。

・工場の敷地内設置では、通勤自家用車による避難がなく、ハチの巣をつついたような拡散、その影響の交通集中、大渋滞による混乱、地域迷惑がない。敷地内で避難が完結する。安否確認も落ち着いたもので、効率、効果共に絶大といえる。工場従業員の安全は経営者にとって第一に願うものである。津波避難シェルターの設置で従業員全員が助かるとなれば、サプライチェーンとしての企業責任も果たすことができ、予め地域協定を結び、地域への救助、救出活動への積極的協力も期待できる。

③ 低層だが堅固な建物の屋上

想定津波高さに対して十分な建物高さがいない場合、屋上に逃げると逆に危険である。そこで、津波高さに関係なく有効な津波避難シェルターを図-6のように堅固な建物の屋上に設置してあれば、躊躇なく屋上に逃げることができる。地域には、低層の建物、特に、公共施設には堅固だが低層の建物が多い。この低層建物の面的分布を有効活用すれば、身近に避難所を提供できる。避難可能範囲が飛躍的に広がり、特に昼間人口、働く職場の人に対してすぐ避難できる場所の提供となる。屋上に逃げて、先の東日本大震災の津波に吞まれて恐怖の中、追い詰められ多くの人が亡くなったことは記憶に新しい。

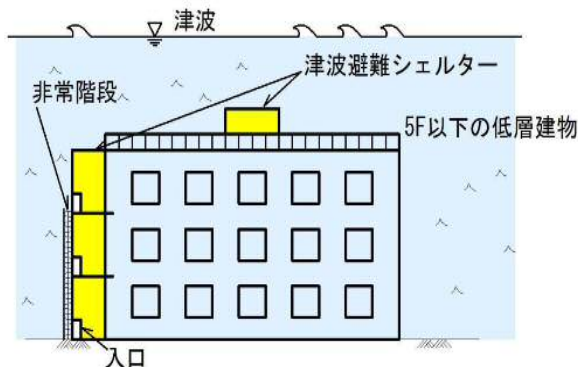


図-6 建物の屋上利用と、外側壁利用の津波避難シェルター（上方向避難か、横方向避難か選択可）

たまたま利用した建物、施設からの避難の方法も難しい。下階に降りて逃げるか、危険を承知で袋小路の上階に逃げるか瞬時の判断を要する。中、小の津波や到着時間の早い津波だと逃げる途中で溺れる危険もかなりある。低層の鉄筋コンクリート造りの危険建物には屋上設置が効果的で、下に逃げるという選択肢がなくなり、様子を見ながら余裕で上に避難できる。判断ミスがなく、一転して避難安全建物として蘇り、資産価値も上がり、地域の難所配置計画が充実し、何より地域貢献できるのが喜び、誇りとなる。たとえ、地震の液状化や不等沈下で建物が傾斜しかかっても、屋上の床がひび割れて下端が崩れても、屋上に上に凸の状態が保たれているので助かる可能性が大きい。しかも、屋上に設置することで、相対的に津波高さが低くなったのと同じで、波圧、水圧が軽減され、圧縮される内部空気圧もその高さ分、緩和される。

④ 建物の外側壁利用の立て壁空間

マンションやホテルの屋上に設置する場合、構造的検討が必要になる。また、最近のセキュリティ問題から夜間、内部に入れないところもある。外壁沿いに立て壁で空間を立ち上げると近隣住民も利用できる。立て壁のみで単独空間を設けると波圧転倒に弱い。マンションやホテルの外壁と一体化となれば、転倒の心配はなく、建物自体も耐震補強となる。建物の中からは、廊下づたいで水平、横方向にいち早く避難できるので上階に避難しようか、下まで降りて避難しようか迷わなくて済む。外からは到着順に整然と上の階に昇れば大人数でも収容可能である。各階ごとに天井壁、避難室、その入口を設ける方が浸水深は低く、保有空気量は大きい。図-6には建物外側壁を利用した立て壁空間も示す。建物の内の人や、近隣住民の外からの避難が可能で、まさしく一石二鳥の効果である。非常階段も兼用が可能である。

⑤ 建物の中間壁の2重壁化による空間

学校では、夏休み期間を利用して工事が可能である。教室間の壁を2重壁化すれば、天井が高いため必要空気量は十分に確保でき、避難時間は1分で最速といえる。特に、ぐずる低学年の全員の避難を、外に出さず、バラバラにならずまとめて避難できることは大きい。日常の訓練次第でさらに整然と避難でき、時間短縮も可能だ。また、2重壁化で学校耐震補強ともなるので、先生、父兄ともに心労から解放される。図-7に学校の教室の仕切り壁を2重壁化することで、即座に逃げ込むことができ耐震補強も兼ねることができるとした津波避難シェルターの例を示す。そのほか、マンションや、堅固な建物施設の壁でも耐震補強を兼ねた有効な手法になる。

⑥ 公園、公共用地、空地、田畑

期せずして公園では、保育園の設置が検討されている。被災した後の人の仮設テント場に利用されていることは、有効利用の一例としてよく報道されているが、津波の場合、被災した後では遅い。被災する事前に、有効利用できるようになれば命が助かり、まさしく名実ともに地域の人は大助かり。少なくともトイレの改築に合わせてその2階とか、管理事務所に兼用工作物として津波避難シェルターを設置できれば、避難基地となり職員と共に多くの近隣の人命が助かるといえる。

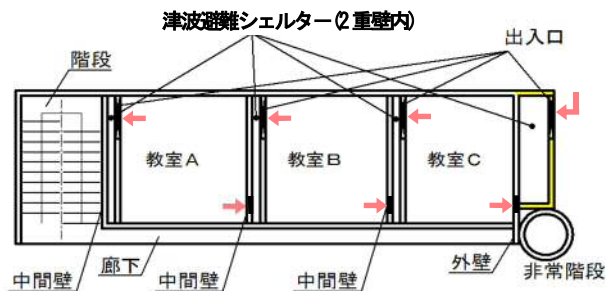


図-7 教室間を2重壁化とし、学校耐震を兼ねるとした有効利用の津波避難シェルター

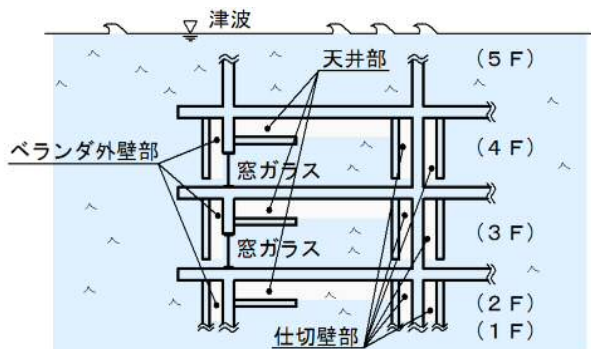


図-8 マンションやホテルの、ベランダ、天井、室内壁を有効利用する津波避難シェルター

⑦ 移動体、通勤通学の移動途上に、規則的配置

通勤通学の途上は、生身の状態で最も危険な時間帯といえる。生活の中で移動している時間は相当を占める。安心して暮らすにはこの時間帯にも避難対策が必要だ。移動中では地域の一定の範囲内であるものの、津波に遭遇する場所、地点が不特定である。移動途中の道路沿い、列車の中からの避難する沿線沿い、自動車の運転中からの避難、バスの中からの避難を想定する必要がある。この場合、逆に津波避難シェルターを固定的、規則的に配置することで、普段から、今ならどこに飛び込むかという想像力が働き、津波避難シェルターの着色を黄色に統一してあれば潜在的記憶配置となり瞬時の判断に有効となる。見知らぬ土地での旅行者、観光訪問者にも一瞬で分かる。津波安全宣言地域としてPRできる。

⑧ 災害時要援護者、高齢者、ホテル宿泊者の身近

避難も介護者任せでは、たまの外出もできず共倒れになる。できるだけ身近に近接して津波避難シェルターを設ける必要がある。最速で避難できるために、小型化、簡素化、プレキャスト化、分割化し、あるいは木造家屋の庭、棟続き、ベランダ、室内利用などの個別の工夫が必要である。図-8に、マンションやホテルの、ベランダ上床や天井空間、室内壁を利用する例を示す。

⑨ 高さ不足の津波避難タワー

津波の想定高さは、新しい知見が出るたびに直される。そのため、設置済みの津波避難タワーでは高さ不足が生じ、立ち入り禁止となる。頂上のプラットホームに、津波避難シェルターを設置すれば大人数で助かるこ

ととなり、津波避難タワーが蘇生できる。この場合、津波避難シェルターの底部はプラットホームに定着することになるが、底部を省略して、側壁から定着してもよい。タワーの高さ不足分を鋼材で継ぎ足すとすると大掛かりとなり、収容人員も激減する。超える津波高さはもはや大きくないので、上に凸の津波避難シェルターは空気量が少なくよいため小部屋で良い。それどころか、さらなる想定外の高さの津波が来ても生存に心配はないので、高さを設定する設計上の不安もない。

⑩ 重要書類の書庫

津波の来襲で、永久保存の重要書類が逸失すると困る。さらに紙の書類では水に濡れると台無しになる。そこで、重要書類をシェルター内の棚の上部に保管すれば流されないし、大きな津波にも濡れない。高台の上に保管したのと同じといえ、まさしく重要書類のための保管庫、金庫の役割を果たすものと考えられる。

以上、さらに将来改築を見込むと、活用幅が広がる。

7. 避難困難地域の解消に向けて

まずは、津波避難タワーや津波避難ビルを避難基地として想定する。そこから避難可能の円を描くが、重複する多円では、津波タワーの林立となり効率的配置とはいえない。接する2円では空白部が多く、取り残された避難困難地域が生じる。人の歩行速度は、30m/分であり、できれば、200m以内の基地配置があれば最大1000mとなるため走れば何とか飛び込める。実際は、町の住居の塀沿いをジグザグに走らざるを得ない場合もあるため√2倍の走行となることもあるが、基本的な配置構想を描くことができる。当初の配置計画としては、居住密度に応じて濃淡をつけざるを得ないが、最終的には緻密な配慮が必要となる。大人数の学校、特に小学校、工場、事業所を考慮して、さらに、既存の高層建物のリストアップ、低層でも堅固な建物の分布から、**図-6**のように屋上や外壁沿いに避難シェルターを設置する計画とすれば面的に避難可能区域が一挙に広がる。危険建物が最も早い避難建物として蘇る。最も早い避難場所として資産価値も出る。それが避難所としてカウントできるとなれば地域の避難所配置計画が一挙に充実し、避難困難地域面積が激減する。住民の意識もあきらめから希望にあふれ避難に代わる。避難訓練にも参加しようという意識が芽生え地域の絆が向上する。ホテルの宿泊者も津波安全宣言地域で安心観光できる。小学校では、校庭に配置しても良いし、屋上に配置してもよい。幼い学童の多くの尊い命が失われることを想像すると第一に取り組む課題といえる。**図-7**の教室間の壁を2重壁化、学校耐震補強となれば、最短、最速の数分以内の全員避難が可能の避難所といえる。子を預かる先生も、預けた父兄も平穏な心で日常を送れるというもので地域としても安泰といえる。最終的には、一人ひとりの個人レベルで助かることが不可欠である。災害時要援護者、高齢者は常にテーブルに挙げていなくてはならない。最も身近に設置する例として、マンションのベランダの空間保持壁などは有効利用としてあげられる。**図-8**のベランダの

上床、室内の天井、壁を利用して生み出した避難空間、これならすぐ飛び込めるといえる。壁を2重化できれば建物の耐震補強ともなる。木造家屋の家庭では、自宅の庭に設置することが、最も現実的である。2階の寝室で寝ている場合も、パジャマのまま、着の身着のまま避難するとして少なくとも降りる時間が余分にかかる。入浴も、晩酌もゆっくりしたい。

このように、避難場所の選択肢が多いほど、充実しているほど助かる確率が高くなる。個々の事情に対しても緻密な計画、配慮が不可欠といえる。これをかなえるのが小型化、簡素化、プレキャスト化、分割化、特殊化した直近の津波避難シェルターである。さらに、犠牲者の限りなきゼロに向けては、沿道、鉄道沿線にも適宜配置、そして広い田畑の孤独な農作業、地域と離れた一軒家、災害時要援護者、高齢者の家庭、木造家屋の庭に個別配慮が行き届けば実現性が見えてくるといえる。

イスラエルでは、ガザからのミサイル攻撃に備えてシェルターを各家庭に設置している。命がかかっている切迫感、緊迫感が伝わる。自分の命は自分で守る、自助の役割を組み込む必要がある。

8. おわりに

巨大地震、それに伴う津波は明日かも知れず、待ってられない。今、100m競争のスタート台に立っているかもしれない。公助、共助、自助の中から順次、避難対策を整えていかなければならない。自然は常に人知を超えるもので自然への畏敬のもと、大きな災害とならないよう、減災となるよう努めなければならない。自然原理を利用するのも一方法である。難題が知恵をもたらすといえる。選択肢を多く持つこと、できることからやっていくことが一つの解決、方向性になるといえる。ともあれ、人は「助かる希望があること」が支えとなる。着実に一歩一歩進むこと、積み重ねることが肝要である。

限りなくゼロに近づけるといっても、まずは、33万人の死者数の想定からかなりの数を減らしていく必要がある。並行して、一人一人の住民の立場に立って考えていく必要がある。幼い集団をいかに守るかは、地域の命題である。やがては彼らが育って地域を救ってくれる。

内閣府資料では、「最大クラスの地震・津波に対して被害を減らすため、津波避難に関する新たな施設・装備等の技術開発を促進する」とある。限りなくゼロを目指すためにも、想定外の大きな津波にも有効な津波避難シェルターが活用されることを望むところである。

参考文献

- 1) 富田穰：数分で来襲する巨大津波の避難対策：建コン近畿支部研究発表会2015. 9.
- 2) 富田穰：巨大津波に2分で避難可能とする2つの新対策：土木学会関西支部年次学術講演会2016. 6
- 3) 富田穰：想定外の巨大津波に危機耐性を発揮する2つの新避難対策：土木学会全国大会年次学術講演会2016. 9.

速やかな通行止め遮断機の閉鎖について

徳地 克彦

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

近畿自動車道紀勢線のうち、南紀田辺IC～南紀白浜IC間は2015年7月12日に、南紀白浜IC～すさみ南IC間は2015年8月30日に供用開始された。当該高規格幹線道路では、地震災害等では緊急に通行止めを行う必要があるが、道路管理者が通行止めを実施する各ICに到達するまでには時間を要し、迅速には対応できない状況となっている。これを解消するため、遠隔制御による通行止め装置を整備する(2017年6月末)こととしたので紹介する。

キーワード 遠隔制御通行止め装置, 安全確認, エアバルーン

1. はじめに

近畿自動車道紀勢線は、大阪府松原市を起点とし、和歌山県和歌山市及び田辺市を經由し、三重県多気郡多気町に至る延長340kmの高速自動車国道である。この路線は、京阪神と紀南を結ぶ幹線道路として、輸送時間の短縮や一般道の混雑緩和を図り、地域相互の振興と発展に寄与することを目指している。

紀勢線は、南紀田辺IC～南紀白浜IC間が2015年7月12日に、南紀白浜IC～すさみ南IC間が2015年8月30日に供用開始され、(図-1)既存の松原JCT～南紀田辺IC間と合わせの約170km(一般有料の湯浅御坊道路含む)が自動車専用道路でつながった。



南紀田辺 IC～すさみ南 IC

図-1

当該高規格幹線道路では、地震災害等では緊急に通行止めを行う必要があるが、事務所から、通行止めを実施する各ICまでは距離(表1)があり、到達するまでには一定の時間を要する。また、近い将来、南海トラフ巨大地震の発生が予想されており、広域にわたる災害の場合複数のICにおいて、速やかに通行止めを行う必要があるが、人員確保が困難になることも予想される。このため、本線交通機能に甚大な被害があった場合、迅速な通行止めを行えるよう遠隔操作による交通遮断機の導入を行ったので紹介する。

表1 ICと事務所からICまでの距離(参考)

	IC	事務所からの距離
①	南紀田辺 IC (下り)	3.8km
②	上富田 IC (上下)	4.7km
③	南紀白浜 IC (上下)	12.2km
④	日置川 IC (上下)	21.5km
⑤	すさみ IC (上下)	26.6km
⑥	すさみ南 IC (上り)	36.5km

2. 遮断機の選定

遮断機の種類は、表-2の5種類があるが、遠隔操作の近年実績では、2案:エア式遮断機, 3案:遠隔自動機械式 グラスファイバー遮断機が採用されている。

現状の手動式では、緊急対応が不可能なため、自動遠隔化が行える案を選定する。長時間の封鎖には、既設の手動式遮断機が利用可能であるため、経済性、車両衝突時の安全性に最も優れている遠隔自動エア式を採用する。

表2 交通遮断機 比較表

	案1	案2	案3	案4	案5
形式	手動式	遠隔自動エア一式		遠隔自動機械式	
材質	アルミ	ポリエステル布材 超撥水加工	グラスファイバー	アルミ	発泡ウレタン
写真					
開閉時間等	手動式	閉動作時間: 15秒 収納動作時間: 25秒	閉動作時間: 5秒 開動作時間: 5秒	閉動作時間: 30秒 開動作時間: 30秒	閉動作時間: 0.5秒 開動作時間: 0.5秒
	風の影響を受けにくい。	風の影響を受けやすい。動作にやや時間がかかる。	風の影響を受けにくい。短時間での遮断が可能。	風の影響を受けにくい。バーが重く、短時間での動作が困難。	風の影響を受けにくい。動作時間は最短。
耐候性	風・降雨・降雪の影響を受けにくい。	耐候性はおとる。	風・降雨・降雪の影響を受けにくい	風・降雨・降雪の影響を受けにくい。	風・降雨・降雪の影響を受けにくい。
安全性(車両接触時に予想される車両への損傷程度)	遠隔では対応不可	接触しても損傷無く通過可能(時速40km/h以下の場合)衝突時通行車両への損傷は最も少ない。	バーが折れるが、車両に一定損傷を与える	支柱を中心に90°回転するが、車両に一定損傷を与える	エア遮断機に次いで損傷は少ない。
概算機器費	—	150万円	250万円	500万円	高価
評価	—	耐候性に劣るため、長時間の封鎖には適さないが、車両衝突時の安全性が一番高く、今回の場合、長時間の遮断には既設の手動式遮断機も利用できる。	長期の使用にも適するが、車両衝突時の損傷、経済性において、案2に劣る	長期の使用にも適するが、遮断時間がかかること、車両衝突時の損傷及び経済性において案2に劣る。	車両衝突時の損傷は案2に次ぐが、高価となる。
	—	◎	△	△	△

3.遠隔制御の通信

遠隔制御を行う事務所と、各遮断機（安全確認施設の制御ラインは遮断機制御器に集約する）との通信は図-2のとおり既設の支線系光ファイバーネットワークを利用する。

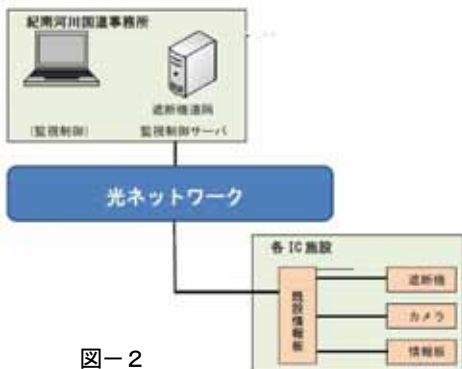


図-2

4. 安全確認及びドライバーへの注意喚起

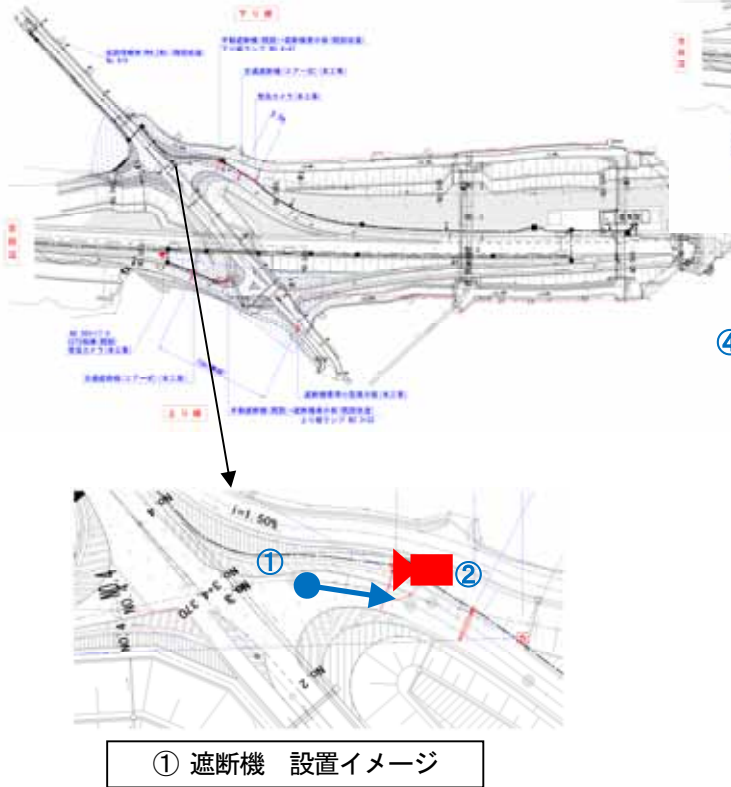
一般的に遮断機の閉鎖操作時は、車両の進入がない様、通行止め要員が、現地で遮断機の一定距離手前で車両を停止させドライバーに説明し、十分安全を確保して操作する。今回、車両への損傷の心配がきわめて少ないエア一式遮断機を採用するが、遠隔制御により遮断機の閉鎖操作を行うことを考慮に入れると、閉鎖操作時の安全確認を十分に行う必要がある。

そこで、操作時の安全確認の設備とドライバーへの注意喚起として、

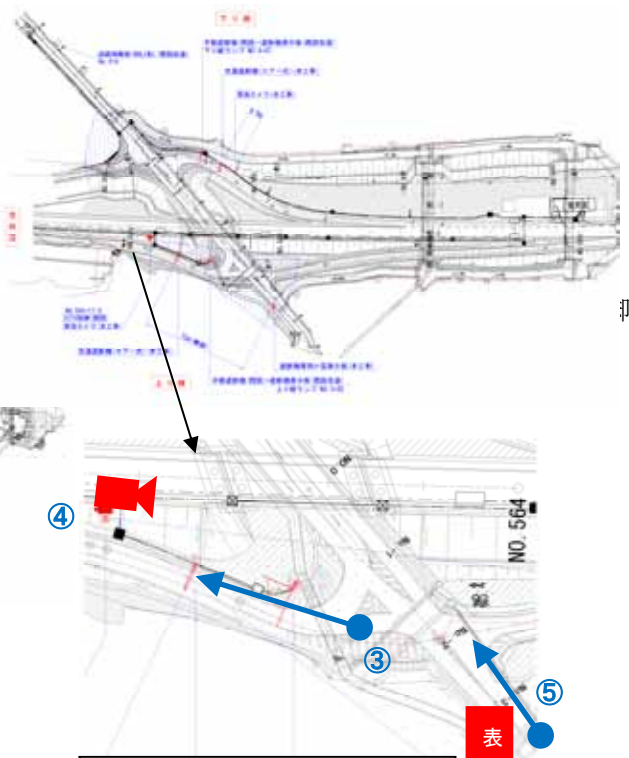
- ・ CCTV
- ・ 事前表示板
- ・ 回転灯
- ・ スピーカー（警報音）を配置することとした。

CCTV及び各注意喚起設備は、ICの線形、進入車両の経路、ドライバーからの見え方などを考慮し、効果的な監視と注意喚起ができるよう最適な配置を選定した。
 図-3に、すさみICにおける具体的な設備の配置を例として示す。

下り線



上り線



④ 簡易カメラ 視野範囲イメージ



⑤ 小型表示板設置イメージ



5. 遠隔監視制御画面

遠隔遮断操作を実施するためには、遮断機周辺の状況を確認できることはもとより、遮断機の閉鎖動作状況、ドライバーへの注意喚起を行うための表示板、回転灯等の動作状況を確認できなければならない。また、確認画面が、ばらばらに配置されていると、操作員の負担が大きく、速やかな確認ができない。そのため、今回、1つの操作画面で画像や安全設備類の動作状況が監視できるよう、遠隔監視制御画面のユーザーインターフェースを工夫した。図-4にそのイメージを示す。

6. 今後の運用について

今回事務所からの遠隔制御を目指して、施設整備を図った。実際の遠隔監視制御の運用には、適用条件、遠隔制御操作実施の命令系統、人員の配置、関係機関への連絡方法等をさらに検証・整理する必要がある。また、持続的に安定した運用ができる様、定期的な操作訓練の実施など、取り決めていく必要がある。

本論文は著者の前任地である、紀南河川国道事務所での成果を取りまとめたものである。

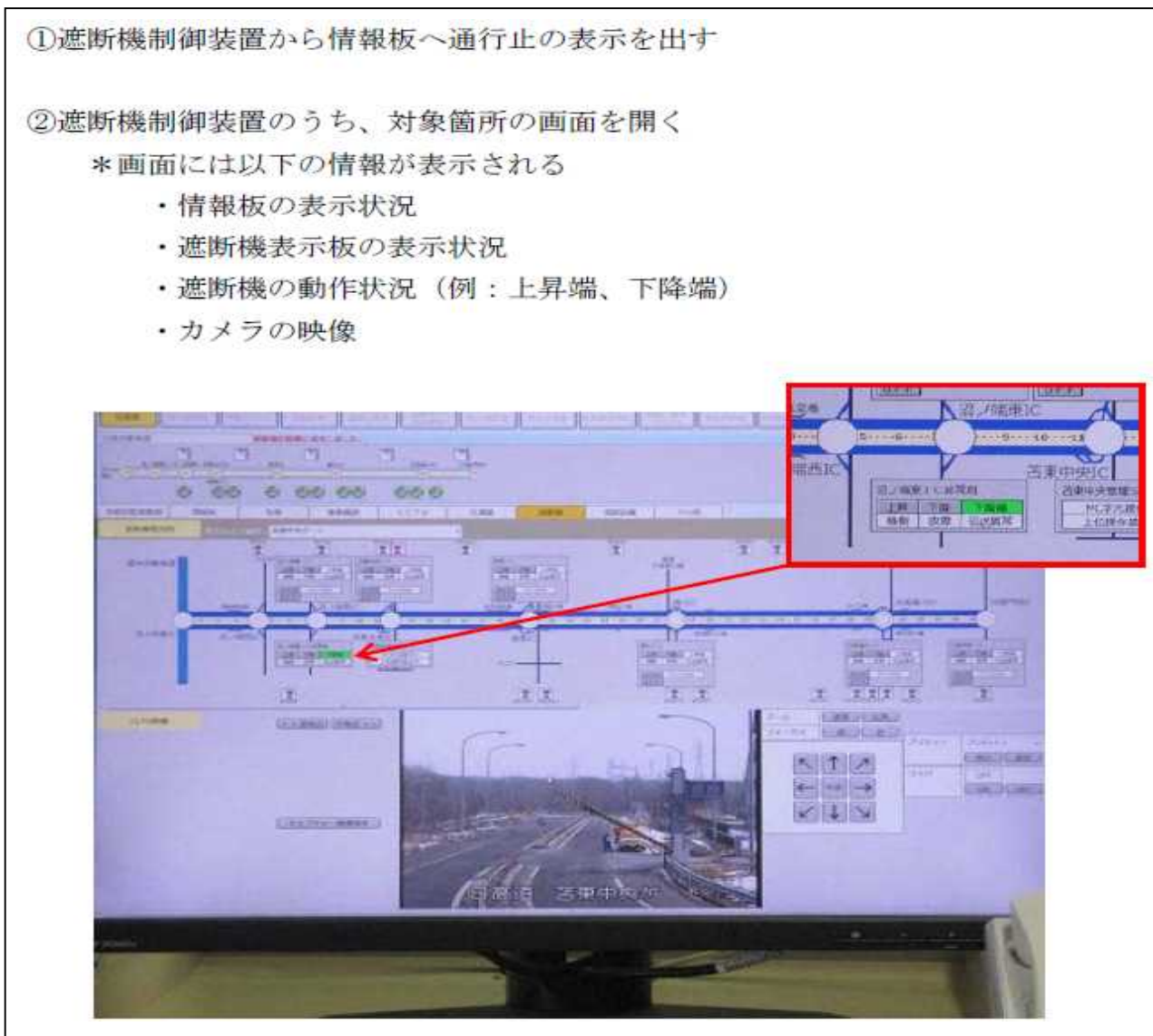


図-4

河川カメラによる画像情報の提供

堀越 康延¹・山本 彰則²

¹大阪府 都市整備部 安威川ダム建設事務所(〒567-0813 茨木市大住町8-11)

²大阪府 都市整備部 河川室 河川整備課(〒540-0008 大阪市中央区大手前3丁目2-12).

近年の局所的な集中豪雨や台風などの大雨による急激な河川水位の上昇に伴う、避難判断の重要性が高まっている中、住民の避難行動に繋がる情報発信としての一つとして河川カメラによる画像情報の提供を実施することでの効果と更なる提供方法の向上について考察する。

キーワード 防災情報、河川カメラ、避難行動、画像提供、

1. はじめに

大阪府では、「今後の治水対策の進め方」(2010年(平成22年)6月策定)に基づき、「人命を守ることを最優先とする」を基本理念に、「逃げる」・「凌ぐ」・「防ぐ」施策を効果的、効率的に組み合わせた対策に取り組んでいる。そのうち「逃げる」施策の推進(図-1)を図るため、河川カメラによる画像情報の提供について報告する。

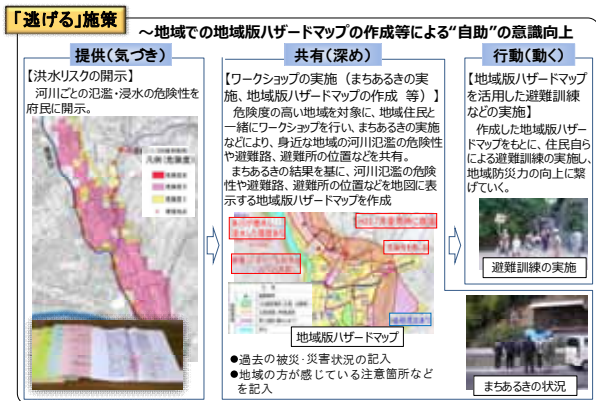


図-1 「逃げる」施策の展開

わる豪雨災害が多発している。

こうした状況も踏まえ、市町村は住民に対し、積極的に避難勧告等を発令しているが、住民の避難率は低く、本府においても図-2のとおり2014年(平成26年)8月の台風11号では、約16万人の避難勧告に対して、数百名の避難者に留まった。



図-2 台風18号での避難状況

2. 住民の避難行動、情報配信の課題

近年、局地的大雨や2015年(平成27年)8月の北関東・東北豪雨による鬼怒川氾濫、2016年(平成28年)8月台風による東北地方での豪雨による小本川氾濫、広島豪雨による土砂災害など人命の危険に係

住民の避難行動については、図-3のとおり市町村からの避難情報による避難は2割にとどまり、実際に危険が迫ってから避難行動を起こすような結果も示されている。¹⁾

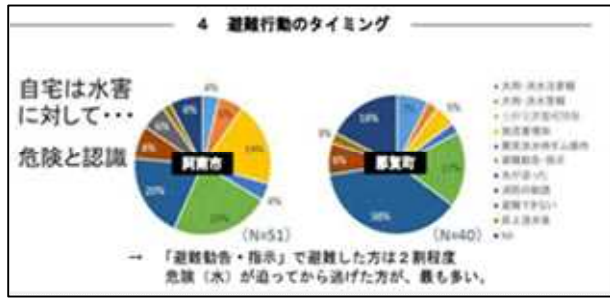


図-3 避難行動のタイミング

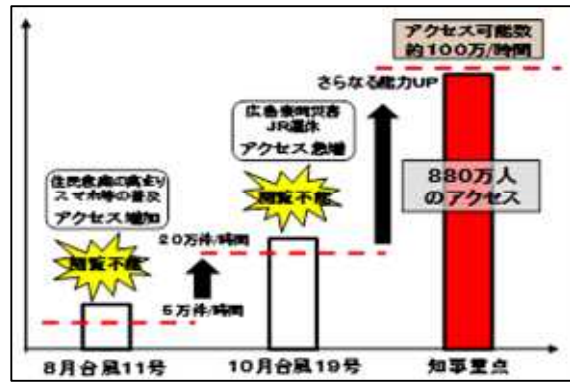


図-5 アクセス集中

また、2016年(平成28年)8月の岩手県小本川での氾濫による洪水被害で避難したグループホームへの聞き取りでは、図-4のとおり河川映像を見て危険を把握し避難行動に移した結果も聞かれている。
2)

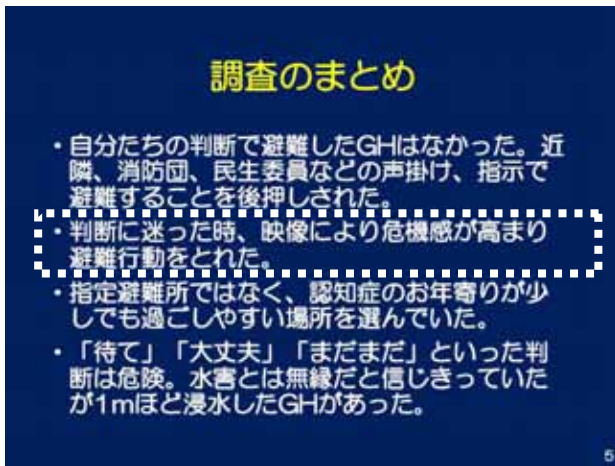


図-4 調査結果

住民の避難行動とは別に、図-5のとおり2014年(平成26年)10月の台風19号襲来の際、本府の河川防災情報ホームページへのアクセスが集中し、一時配信不能の状態となった。これは、防災に対する府民の意識の高まりや、手軽に情報収集できるスマートフォンなどの情報通信機器の普及も要因と考えられる。

これら課題を踏まえ、「迅速・確実」な避難行動に繋がる効果的な情報発信が求められる。

3. 新たな情報配信等の取り組み

2015年(平成27年)より、防災情報を府民へ迅速・確実な配信するなどの、府民自らの適切な避難行動を支援する新たな情報配信等の取り組みを報告する。

【府民の効果的な河川カメラによる情報配信】

(1) システムの構築

近年多発する集中豪雨等に対して、防災情報を確認するなど、府民の防災意識への向上は伺えるものの、避難行動にまで繋がっていない。

これは、行政の避難勧告等の発令が数値や文字の防災情報だけでは、府民が「危険な状況が実感できず」避難にまで至らないことが考えられる。

府民に、「河川の危険な状況を視覚的に実感いただく」ことを目的に、河川水位や雨量情報と併せて、河川のリアルタイムな画像を提供するため、図-6および図7に示すように、これまでの内部向けの河川カメラ30箇所他に、新たに民間が提供するWEBカメラを導入し、2015年(平成27年)に10箇所、2016年(平成28年)には25箇所にカメラ設置を行い、河川画像を公開できることになった。



図-6 河川カメラ設置箇所

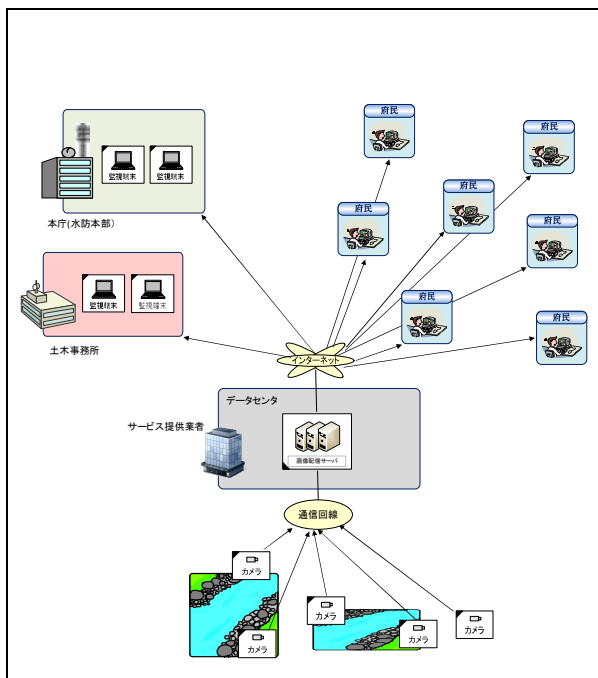


図-7 大阪府河川カメラのシステムイメージ

画像公開については、図8に示す通り「府民へ分かりやすく情報配信」に則するため、河川画像と併せて、市町村の避難行動に関する情報や、設置箇所付近の洪水リスク情報などを同時に配信するレイアウトとした「大阪府河川カメラ」ホームページを作成し、2015年(平成27年)9月よりインターネットによる配信を始め、2016年(平成28年)にはカメラ

の追加と併せてホームページの改修を実施した。



図-8 大阪府河川カメラのホームページ

(2) 情報配信の結果

これら大阪府河川カメラの利用を促進するために図9～10に示すとおり市町村との連携による洪水リスクの高い地域を中心とした説明会の開催、市町村のホームページや広報誌への掲載や公共交通機関への啓発ポスターの掲示を行った結果、図11に示すとおり台風接近時等の際のアクセス数が約100倍になり府民の関心の強さが見受けられた。



図-9 啓発活動

その結果、2017年(平成29年)当初に、多くの視聴を期待できる在阪6社のテレビ局(日本放送協会、株式会社毎日放送、朝日放送株式会社、関西テレビ放送株式会社、読売テレビ放送株式会社、テレビ大阪株式会社)へ河川カメラ画像の提供ルートを確立し、必要に応じてニュース等に画像を利用できることとした。また、同様にYAHOO! JAPANとの連携により図12のとおりYAHOO!ホームページへの河川カメラ画像の提供を開始した。

今後は、更なる連携先の強化や動画での提供などを含めた機能向上に向けて引き続き検討を続けていく予定である。



図-10 公共交通機関へポスター掲示



図-12 YAHOO! JAPAN との連携

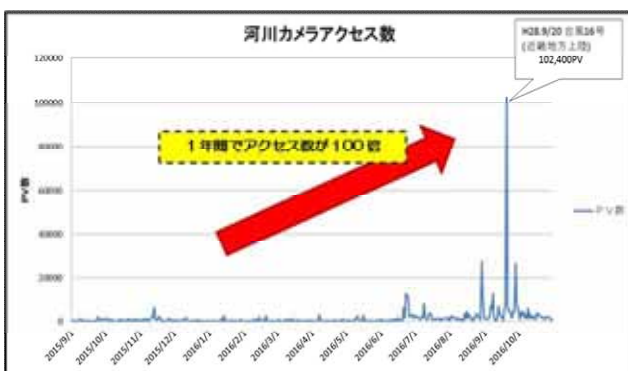


図-11 大阪府河川カメラのホームページへのアクセス数

4. あとがき

適切な避難行動を支援する府民への新たな防災情報の提供を目的とした「大阪府河川カメラ」ホームページによる配信については2017年(平成29年)も引き続き洪水リスクの危険度の高い箇所を中心に河川カメラの増設を予定しており、情報量の強化が見込まれる。これらをより有益に府民に利用していただけるよう、これまでの「逃げる」施策での市町村と連携した洪水リスクの周知に併せて、河川カメラ画像の効果的な情報の活用に繋げていけるよう配信方法の多様化等を検討していく。

参考文献

- 1) 平成26年11号台風における浸水地域住民アンケート 徳島大学
- 2) 避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドラインに関する検討会 内閣府

(3) 更なる情報配信の強化に向けて

より確実な防災情報の配信方法を検討する中で、府独自の配信だけでなく、他機関との連携による配信の強化を実施するための調整を実施した。

河川用機械設備の計画的維持管理について

大澤 健仁

近畿地方整備局 近畿技術事務所 施工調査・技術活用課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

河川管理用機械設備は、建設後30年を経過する設備の数は増加しており、老朽化による整備・更新の必要性が高まる中、より一層の効率的・効果的な維持管理が求められている。そのためには、設備の状態を適切に把握し評価すること、整備の優先順位を整理し計画的に整備を実施すること、また更新にあたっては設備の適合性を評価しより最適化した設備への検討を行うことが重要である。そのため、設備の状態評価の目安、優先度評価の手法、大規模修繕更新の計画的な枠組みについて検討した。

キーワード 河川用機械設備, 維持管理, 長寿命化

1. はじめに

河川管理用機械設備には、洪水時における洪水流量の制御や平常時における利水取水を目的として設置される河川用ゲート設備、洪水時における内水排除を目的として設置される河川用ポンプ設備がある。これらの設備は、万一その機能が失われた場合には、周辺地域に与える社会的経済的影響が大きな設備である。また、平常時はほとんど待機状態であることが多いが、一方、出水時には確実に機能しなくてはならないという、通常の産業機械設備とは異なった特性を有しており、日常から適切な維持管理が必要である。

これらの設備は高度経済成長期から昭和末期に至るまでに建設されたものが多いことから、現在では建設後30年以上となる設備が多く、老朽化に対処するために実施

する整備・更新の必要性は今後一層高まっていくことが懸念される。

厳しい財政状況の中で、この老朽化の進行に対処していけるようになるためには、より一層の効率的・効果的な維持管理が求められている。

また一方で、実際に維持管理を実施する設備管理者および点検技術者については、少子高齢化などの社会構造の変化に伴い、設備に関する知識や経験の維持、技術者の確保、技術力の継承についても課題となっている。

2. 河川管理用機械設備の維持管理における課題

一般的に機械設備の維持管理においては、「実操作」→「点検」→「定常的に実施する整備・修繕」→「実操作」のサイクルを繰り返す。このサイクルを繰り返す中で、経年や運転等による設備の劣化が発生すると、装置・機器単位での整備や更新を実施する。

効率的・効果的な維持管理のためには、全ての装置・機器等を画一的に整備するのではなく、当該設備の設置目的、装置・機器等の特性、設置条件等を考慮し、設備の信頼性を確保しながら、使用期間をできるだけ伸ばしていき、適切な時期に効果的な整備を実施することが必要である。

これらを実施していくためには、予防保全と事後保全、時間計画保全と状態監視保全を使い分けながら、計画的に整備を実施していくことが求められる。

より効率的・効果的な維持管理を行うためには、下記の点が重要となる。

- 設備の状態の適切な把握・評価
- 設備の評価結果に基づく適切な優先度作成



図-1 河川用機械設備

また、定期的に修繕・更新を行っていても、経年および運転により設備機能は低下をしていく。この機能低下により設備の信頼性、安全性が維持できなくなったと判断される場合には、全体的な更新が必要となる。

- ・設備の更新時期とその判断手法

も課題の1つである。

「河川用ゲート設備・ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル（案）」（以後、「点検・整備・更新マニュアル」という）において、実施方針は記載されているが、その具体的な手法については各現場によるものとなっている。

今回は、これらを具体的に実施していくにあたっての手法について検討を行った。

3. 健全度評価ガイドラインの作成

設備状態の適切な把握・評価に寄与するものとして、健全度評価ガイドラインを作成した（図2）。

このガイドラインは、各装置・機器の健全度を評価するにあたっての目安を整理したものである。

設備の点検においては、チェックシートにより各機器の状態を確認し、その結果を装置・機器毎に○△×で評価している。△については1～3により対応レベルを区分している。

この時、設備がどのような状態にあればどの評価を付けるか、適切に評価することは重要である。実際より健全性が低く評価される場合は過剰な整備につながり、実際より高く評価される場合は致命的な不具合や後に大が

かりな整備が発生する可能性がある。

各設備ごとに点検実施者および設備管理者により健全度評価がされているが、各設備の点検報告書を横並びで比較した時、ばらつきが見られるところもあった。健全度評価のレベルについて統一化をはかっていく必要がある。

健全度評価を行うにあたっては、単純に機器本体の劣化状態を評価するだけではなく、その機器の劣化状態が装置に及ぼす影響についても考慮する必要がある。例えば、扉体という装置において主桁と補助桁という部材があるが、同じように腐食が発生していたとしても、主桁が腐食している場合と補助桁が腐食している場合とでは、扉体が求められる“必要な水密性と耐久性”についてその影響を比較した場合、健全度は同じでない。

健全度評価を適切に実施するためには、設備に求められる機能と、設備を構成する装置、機器が果たす役割に関する知識が必要であり、設備機能が確保されているかという視点で評価をする必要がある。

このガイドラインでは、各機器の劣化状態に対応する健全度評価の目安を整理した上で、上記の観点を踏まえて、装置としての機能の状態も記載することにより、両方を確認しながら評価をつけることができるようにした。代表的な状況写真も添付し、イメージ的にも理解しやすくなるよう努めた。

この表を各装置・機器ごとに作成を行った。

このガイドラインを参考にしながら各設備において健全度評価を実施することにより、評価の統一化につながっていくものとする。

装置	機器/部品	装置としての評価	装置としての判断	状態		備考	点検時の写真等
				傾向管理が可能	傾向管理が不可能		
扉体	主桁	×: (措置段階) 機能に支障緊急に措置	水漏れが大量に発生 ゲート開閉できない	---	-激しい腐食(穴が開いている)箇所が見られる。 -変形により開閉出来ない。	設計水圧に耐えられない可能性がある	
		△1: (予防保全段階) 予防保全の観点から緊急に措置	漏水が多い 開閉可能だが、正常な状態でなく放置しておくといつ開閉不能になるかわからない状態	---	-腐食の進行が大きく進んでいる。(激しい腐食がみられるが穴は開いていない。層状に剥離が見られる) -開閉は出来るが、変形により摺動抵抗がかなり大きい。	錆びによる 腐れ発生 層状剥離	
		△2: (予防保全計画段階) 機能に支障なし 2～3年以内に措置	多少の水漏れ ゲート開閉可能	---	-腐食の進行が大きく進んでいる。(層状剥離は見られない) -開閉は出来るが、変形により摺動抵抗の増加が考えられる。	腐食が大きく 進んでいるが 層状剥離は 見られない	
		△3: (要監視段階) 機能に支障なし 経過観察	制水、ゲート開閉可能	---	-腐食が見られる。 -部分的な変形はあるが、摺動抵抗の増加は見られなく開閉可能であり、扉体への影響はないと考えられる。	部分的ではあるが 腐食が 見られる	
		○: (健全)	制水、ゲート開閉とも良好	---	-腐食、変形等もなく健全	---	---

図-2 健全度評価ガイドライン

4. 優先順位評価手法の作成

点検の結果から整備・更新の優先度を整理するための手法について検討を行った。

限られた予算の中で効率的・効果的に整備を実施するために、優先順位を付けて実施していくことが重要である。

優先順位の決定にあたっては、点検・整備・更新マニュアルにおいて、点検結果と以下の項目を合わせて総合的に勘案して評価を行うこととなっている。

- ・傾向管理の評価
- ・装置・機器特性の評価
- ・設置条件の評価

また、「整備・更新の優先順位のとりまとめにおいては、装置・機器特性を考慮したうえで健全度の評価、設置条件による重み付けを指数化し、定量的な優先度を算出することを標準とする」と記載されている。

評価項目	摘要	
点検結果		緊急性
発見のしやすさ	詳細点検の必要性	
経過年数	平均の取替・更新の標準年数	計画性
部品製造中止までの残年数	部品製造年数目安超過	
設備区分	レベルⅠ、レベルⅡ、レベルⅢ	必要性
氾濫ブロック	背後地、ブロック人口、ブロック面積	
利用状況	直近5か年の操作の実績	
点検のしやすさ		
稼動状態	待機系、常用系	
水質・接水条件	塩水、汽水、淡水	
上屋の有無		
二重化の有無		

図-3 評価項目

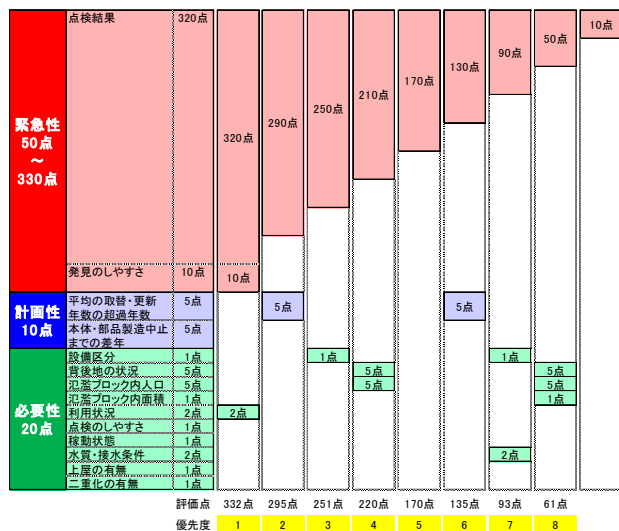


図-4 配点イメージ

上記を踏まえて、点検結果から整備・更新の優先度を定量的に評価するための評価表の作成を行った。評価項目については、図-3に整理する。

点検結果及び詳細点検の必要性については緊急性、平均取替更新年数の超過、供給部品の有無については計画性、その他の設備区分、背後地の状況、稼働状況および設置条件については必要性として項目を抽出し、それぞれ点数を加算するものとした。

配点の基本的な考え方を図-4に示す。

点検結果による健全度に対しては大きな評価点を与えて、この点数により優先順位が概ね決まるものとする。計画性、必要性の点数により優先順位が逆転することがないこととし、健全度が同評価のものについては、計画性、必要性の点数により評価点に差を付け、優先度を算出できるものとした。

当初、表-1の左表により配点を行った。

これに試行的に約50件の点検結果を元に優先度を算出し、実際の点検結果と比較を行った（表-2）。その結果、以下のような点が確認された。

表-1 配点（旧配点、新配点）

旧配点		新配点	
緊急性	点検結果 60点	緊急性	点検結果 320点
0点 ~ 70点	発見のしやすさ 10点	50点 ~ 330点	発見のしやすさ 10点
計画性	平均の取替・更新年数の超過年数 10点 本体・部品製造中止までの差年 10点	10点	平均の取替・更新年数の超過年数 5点 本体・部品製造中止までの差年 5点
必要性	設備区分 1点 背後地の状況 1点 氾濫ブロック内人口 1点 氾濫ブロック内面積 1点 利用状況 1点 点検のしやすさ 1点 稼動状態 1点 水質・接水条件 1点 上屋の有無 1点 二重化の有無 1点	20点	設備区分 1点 背後地の状況 1点 氾濫ブロック内人口 5点 氾濫ブロック内面積 1点 利用状況 2点 点検のしやすさ 1点 稼動状態 1点 水質・接水条件 2点 上屋の有無 1点 二重化の有無 1点

表-2 点検結果との比較

表-2 点検結果との比較。点検結果と評価項目の比較表。

5. 大規模修繕・更新スキーム

日常的に設備の保守管理を適切に実施している場合においても、経年および運転により、新設時と比較して設備の機能等が低下し、信頼性、安全性の維持が困難となる。簡易な機器・部品の取替で対応可能な範囲を超えて、安定した機能・性能を得ることができなくなり寿命と判断される場合には、新しいものに設置し直すことで正常な機能を確保する必要がある。

特に施設規模が大きなものについては、内容的にもコスト的にも大規模な修繕又は更新が必要となるが、このような大規模修繕・更新の実施にあたっては、対象の設備・装置・機器の重要性に応じ適切な時期に計画的かつ経済的に実施することが重要である。特に、設備のライフサイクルコストを考慮し長期的視点に立った取替・更新計画を策定し、計画的に実施しなければならない。

大規模修繕・更新は、維持管理計画において、長期的には平均・取替更新年数で計画されるが、中期的・短期的には設備の健全性を把握した上で実施を計画する必要がある。

近畿地方整備局が管理する大規模な河川管理用機械設備（ダム用ゲート設備、堰用ゲート設備、排水機場ポンプ設備等）においても、これから設置後50年を迎えようとする設備が増えてくる。

このような中で、設備管理者は具体的に大規模修繕・更新の計画を検討することが求められてくるが、大規模修繕・更新の計画を作成した経験を持つ設備管理者はほとんどなく、その検討を行うにあたっての具体的な手法について示したものはない。

今回、上記のような背景を踏まえて、大規模修繕・更新を検討するにあたっての具体的な枠組み（スキーム）について検討を行った。

大規模修繕・更新を効率的に効果的に計画するにあ

っては、以下のような点に留意する必要があると考える。

- ・当該設備の健全度の把握
- ・現行基準との適合性を確認（機能的限界評価）
- ・これまでの維持管理における課題と改善方法について検討

上記の留意点を踏まえて、大規模修繕・更新検討において実施する内容について検討した。

a) 当該設備の精密診断及び調査

まずは、当該設備の健全度を把握するために、日常的な維持管理データの分析に加えて、精密診断を実施し、評価を行うことが必要である。

精密診断及び健全度評価を行うにあたっては、当該設備の機能や特徴を十分に理解した上で行うことが重要である。

b) 延命化対策検討

精密診断の結果、継続的に使用が可能と判断されるものについては、現状の課題の改善といった延命化対策を実施した上で継続して使用することとなる。

将来的な更新に備えて、より高度な状態監視の手法および項目についても検討し、必要に応じて計測機器を設置する等の対策を行いながら、データの蓄積に努めることも重要である。

c) 新たな適応技術の抽出

精密診断の結果、更新が必要と判断された場合には、更新に向けて具体的に計画を作成することとなる。その際、現行のまま更新を行うのではなく、現行設備における課題の改善、当該設備と類似構造を持つ設備で発生している課題も調査を行い、改善対策を検討することが重要である。

上記の内容について、大規模修繕・更新検討のフローとして図-5のように整理した。

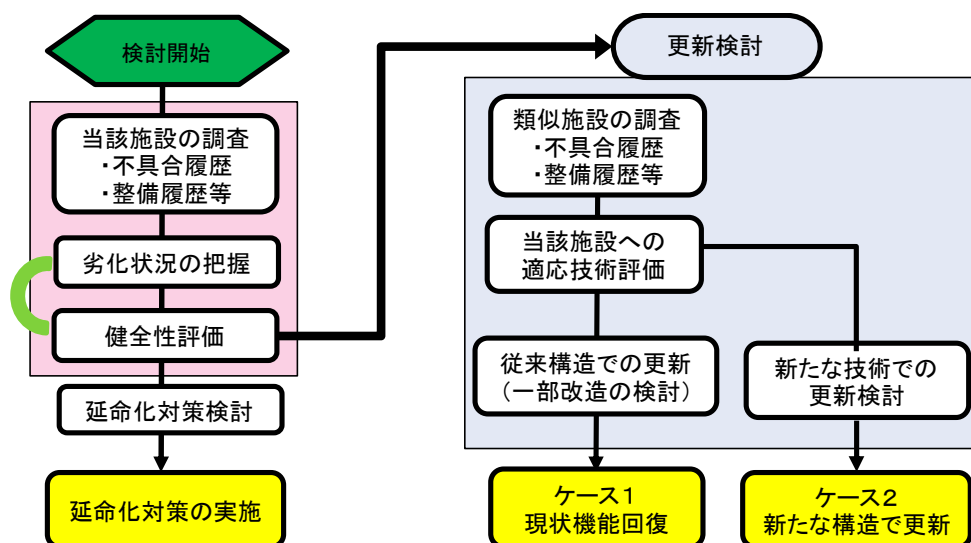


図-5 大規模修繕・更新検討フロー

機械設備担当職員数が減少していく中、大規模修繕・更新検討を進めていくにあたっては、担当の職員だけでなく有識者及び専門技術者の意見も聴きながら進めていくことも重要である。

上記について、大規模修繕・更新において検討する内容を「大規模修繕・更新検討スキーム」として手引きとしてとりまとめた。

とりまとめにあたり、近畿地方整備局で開催している土木機械設備診断委員会において検討プロセス及び内容について、有識者からご意見を伺いながらとりまとめを行った(図-6)。

土木機械設備診断委員会であった意見の一部は、以下のとおりである。

- ・ 検討の実施時期と実施者を明確にすること
- ・ 延命化すると判断しても更新についての検討も進めておくべきではないか

以上から、大規模修繕・更新の検討を開始する時期としては、以下の時期とすることを追加した。

- ・ 経年劣化による不具合発生リスクが増大
- ・ 設備の構成要素のうち、重要な機器・装置の健全性の把握が困難
- ・ 今後10年程度で装置単位で平均的な耐用年数を迎える

また補足として、建設後40年を目安に検討を開始することを追記した。一般的に土木構造物の耐用年数は100年、土木機械設備はその半分の50年と言われていることから、今後10年程度で平均的な耐用年数を迎える時点の建設後40年とした。



図-6 土木機械設備診断委員会

検討の実施者を明確にすることということについては、図-7のように大規模更新・検討スケジュールを作成するよう追記した。

更新の方向性検討、関係機関との協議・調整、予算措置、更新工事の発注等、実施に向けた具体的な項目について、実施者およびその時期を明記し更新スケジュールとして作成することとした。

今回、「大規模修繕・更新検討スキーム」として、大規模修繕・更新検討を行うにあたっての具体的な手法について作成した。今後、大規模修繕・更新に積極的な診断および改善につながっていけばと考える。

6. まとめ

河川管理用機械設備の短期的、中・長期的に効率的・効果的な維持管理を実施していくにあたって、その具体的な手法について検討を行った。

今回作成を行った資料は、効率的・効果的な維持管理だけでなく、評価の手法および目安を示すことにより、設備管理者および専門技術者の知識や技術力の向上にもつながることを期待する。

また今後は、より実態に即した内容となるよう各設備の不具合等の状況を収集しながら、引き続き記載内容の見直しを行っていくことも必要であると考えます。

参考文献

- 1)国土交通省：河川用ゲート設備点検・整備・更新マニュアル(案)
- 2)国土交通省：河川用ポンプ設備点検・整備・更新マニュアル(案)

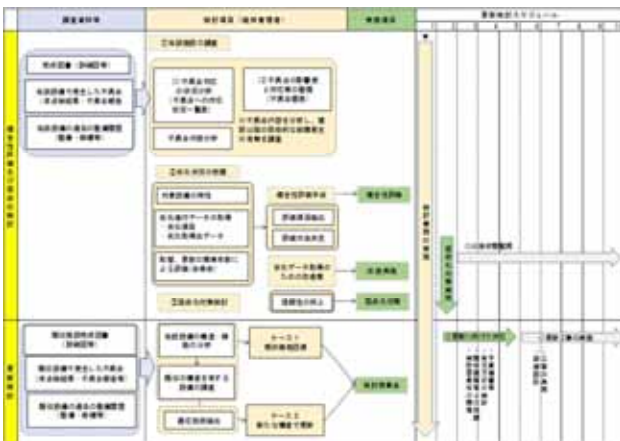


図-7 大規模修繕・更新検討スケジュール

治水対策のトータルマネジメント

山岡 豊¹・富井 浩一²

¹大阪府 政策企画部 万博誘致推進室 (〒540-8570 大阪府大阪市中央区大手前2丁目)

²大阪府 都市整備部 河川室 河川整備課 (〒540-8570 大阪府大阪市中央区大手前2丁目)

大阪府では、「今後の治水対策の進め方(平成22年6月)」に基づき、避難体制の強化などの「逃げる」施策や流出抑制などの「凌ぐ」施策、治水施設整備による「防ぐ」施策により、治水安全度の向上に取り組んでいる。本稿では、本府が取り組む治水対策に係る基本的な考え方と、そのマネジメントについて報告する。

キーワード トータルマネジメント、人命を守ることを最優先とする、相乗効果

1. はじめに

治水対策は、「府民の安全・安心の確保」の根幹であり、治水施設の整備が効果的であることは論を俟たない。しかし、いかなる洪水からも人命を守るためには、洪水を施設で抑え込む対策だけではなく、施設のみでは防ぎきれない大洪水が必ず発生するという意識を共有し、社会全体で洪水氾濫に備えなければならない。

また、治水対策は、安定した経済活動と生産性革命の“礎”であり、流域における経済発展や人口増加といった地域を支える様々な恩恵、いわゆる「ストック効果」をもたらし、「大阪・関西の成長」を促進するものであることを認識しなければならない。

このため、本府では、自助・共助・公助を総動員し、あらゆる規模の外力に対して、防災・減災できる社会の構築を目指した治水対策を進めている。

2. 治水対策に係る基本的な考え方

本府の治水対策は、「今後の治水対策の進め方(平成22年6月)」に則って進めている。(図-1)これは、従来の治水対策が抱えていた次の課題に対応することを念頭にとりまとめたものである。

- ・河川氾濫・浸水によって被るリスクを府民に分かりやすく説明することができていない。
- ・想定外の洪水が発生した場合、河川に洪水を閉じ込める従来の治水施設整備には限界があることや、同じ治水安全度であっても河川形態・土地利用等によって被害の大きさは異なる、等。

こうした課題を踏まえ、本府では「人命を守ることを最優先とする」

ことを基本理念に、府民・行政が一体となって、地域の状況に応じた総合的な減災対策を進めている。その柱となるのは、避難体制の強化などの「逃げる」施策、流出抑制や堤防決壊を遅らせる危機管理型ハード対策や耐水型都市づくりを進める「凌ぐ」施策、そして河川改修やダム建設等の治水施設整備による「防ぐ」施策である。(表-1)

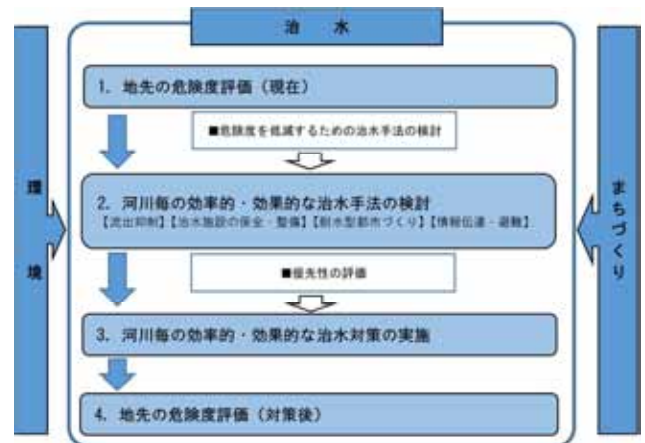


図-1 今後の治水対策の進め方フロー

表-1 逃げる、凌ぐ、防ぐ施策のメニュー (例)

逃げる	<ul style="list-style-type: none"> ・地先の浸水危険度の公表 ・河川カメラ画像の配信 ・地域とのワークショップの開催 ・地域版ハザードマップの作成・避難訓練の実施 ・水害対応タイムライン(避難勧告着目型タイムライン・多機関連携型タイムライン)
凌ぐ	<ul style="list-style-type: none"> ・粘り強い構造の堤防整備 ・暫定的な堤防嵩上げ ・ため池を活用した流出抑制 ・まちづくりと連携した土地利用の誘導・規制
防ぐ	<ul style="list-style-type: none"> ・河道改修(拡幅、河床掘削)、地下河川 ・遊水地、流域調節池、ダム

3. 治水対策のトータルマネジメント

治水対策の効果の指標となる治水安全度は、それを向上させる各施策・対策ごとの性格から、次の3つに分けて考えることができる。

ひとつは、「防ぐ」施策による“施設”安全度である。これは、法令・基準に基づく治水施設整備により、洪水を安全に流下・貯留させる「器」としての安全度を確実に向上させるものである。その効果は、基本的には計画規模の外力の範囲内に限定されている。

次に、「防ぐ」施策に「凌ぐ」施策を加味した“実態的”安全度である。その効果は、計画規模を超える外力に遭遇した場合においても、粘り強く外力に抵抗するものであり、その効果を“施設”安全度に上乗せした範囲の安全度である。国土交通省の「水防災意識社会 再構築ビジョン」に示された危機管理型ハード対策も、これに該当すると考えられる。

最後に、近年特に重要性が高まっている「逃げる」施策による“社会的”安全度である。かつて我が国は、度重なる水害に悩まされていたが、近代的な治水施設整備の進捗により、治水安全度は確実に向上した。しかし、その一方で、水害に対する意識の低下と、「自分は大丈夫」という、いわゆる正常性バイアスにより、水害発生への恐れがある際に避難行動をとることができないことが懸念される。このため、洪水氾濫によるリスクを自身の問題と捉えなおす社会風潮の改革が急務となっている。

わが国では、河川法と水防法を両輪に、種々のハード対策、ソフト対策を展開することで治水安全度を高めてきた。中でも大きな効果を発揮してきたのは、ハード対策であり、近代的な治水施設

を整備することにより向上させてきたのは、基本的には“施設”安全度である。改修された河道やダムなどの施設は、その機能を発揮することで確実に治水安全度を向上させてきた。

しかし、近年の降雨による水害の状況からも明らかのように、施設能力を超える洪水は、必ず起こる。したがって、いかなる洪水からも人命を守るためには、“施設”安全度の向上だけでは不十分であり、“実態的”安全度と“社会的”安全度を総合的に向上させなければ、真に治水安全度を向上させることはできない。(図-2)

こうしたことから、従来の「防ぐ」施策の着実な推進はもとより、「凌ぐ」施策の積極的な導入と、「逃げる」施策の着実な強化を念頭に、これらの施策を総動員し、効率的・効果的に組み合わせることで相乗効果を生み出す、治水対策のトータルマネジメントが必要であると考えている。

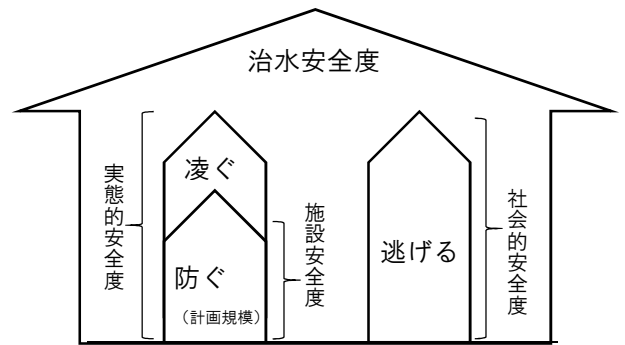


図-2 治水安全度概念図

4. “社会的”安全度の向上

「逃げる」施策については、洪水リスクがある地域の全ての河川において、市町村・地域と連携し、「提供(気づき)」「共有(深め)」「行動(動く)」の3つのステップにより、段階的に地域力を高める取り組みを進めている。

「提供(気づき)」については、全ての府管理河川について、現状の河川氾濫・浸水被害によるリスクを公表し、特に洪水リスクが高い157地域を中心に周知活動を行い、住民の「気づき」を促進している。

また、住民の適切な自主避難につながる防災情報を分かりやすく伝えるため、これまで提供してきた河川の水位や雨量情報に加えて、河川カメラの設置により、インターネットやスマートフォンから河川の増水状況をリアルタイムに確認・把握するための映像の提供を進めている。(写真-1)

「共有(深め)」については、地域住民の方々に、防災に対する認識を深めていただくことを念

頭に取り組んでいる。有事において、自発的に避難行動を起こすためには、自ら考え、動くことを事前に体験しておくことが効果的であると考えている。このため、地域でのワークショップ等を通じて、身近な洪水氾濫の危険性や避難路・避難所の位置などを共有し、地域住民自らが地域版ハザードマップや時間軸を織り込んだ水害対応タイムラインの作成等に取り組めるよう、支援を行っている。(写真—2)

「行動(動く)」については、避難訓練等の実施により、地域の警戒避難体制の確立を支援することとしている。有事には、日ごろの取り組みの範囲を超える行動は困難であるため、訓練等を日常化することで、防災意識を定着させ、最終的には、住民自らの適切な判断による自主避難を可能ならしめることを到達目標としている。

特に、多機関連携型タイムラインについては、国、府、市町村、民間企業、住民などの様々な行動主体と連携し、各行動主体が作成している(あるいはこれから作成する)災害時の行動計画(“縦軸”)を大阪府が主体的に統合し、各行動計画の時間軸(“横軸”)を整理・統合することで防災行動をより効率化することができる。こうした取り組みをタイムライン防災プロジェクトとして、平成28年度より寝屋川流域にて検討に着手した。

また、平成29年度の出水期から府事務所長と市町村長とのホットラインを構築・運用するため、洪水・土砂災害を対象に避難勧告着目型タイムラインの作成にも取り組んでいる。

大阪府都市整備部では、府下7ブロックの各土木事務所に、地域支援・防災グループを配置しており、これまでから同グループが中心となって市町村と連携し、洪水や土砂災害を対象とした地域住民とのコミュニティタイムライン作成の取り組みを進めている。



写真—1 河川カメラ画像(左:晴天時、右:降雨時)



写真—2 地域ワークショップ

5. “施設・実態的”安全度の向上

「防ぐ」施策としては、河川改修やダム建設などの治水施設整備を推進している。

治水施設の整備水準は、「当面の治水目標(今後20~30年程度で府域で目指すべき地先の危険度)」を定め、そのために必要な治水対策を、河川毎の事業効率を考慮して時間雨量50mm(10年確率)、65mm(30年確率)または80mm(100年確率)と設定し、河川整備計画に位置付けている。事業効率は、想定される被害を解消したことによる効果と、被害を解消するために必要な施設整備費用を用いて評価している。(図—3、表—2)なお、時間雨量50mmへの安全性は、家屋への被害が想定される全ての河川で、治水施設により最低限確保(シビルミニマム)することとしている。

また、治水施設整備の実施計画を立案するにあたっては、10年確率降雨(時間雨量50mm)での床上浸水発生が想定される箇所と、近年における家屋浸水の発生実績を考慮し重点化している。

こうした検討を経て、寝屋川北部地下河川事業、安威川ダム建設事業をはじめ、府内約30河川で河道改修等を進めている。

現在、寝屋川北部地下河川事業は、大深度地下利用のための都市計画変更手続きを進めている。また、安威川ダム建設事業は、平成32年度のダム本体完成を目指し、堤体盛立て工事が本格化する。

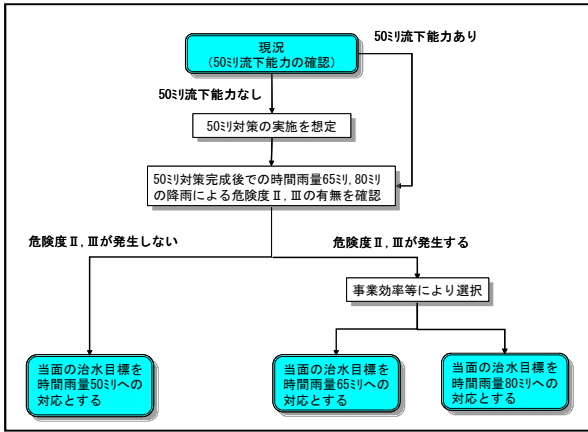


図-3 当面の治水目標の設定フロー

危険度

表-2 地先の危険度区分

大 ↑	危険度Ⅲ	想定浸水深が建物の1階相当が水没するとされる3.0m以上、または木造家屋が流出するとされる家屋流出指数が2.5以上と想定される箇所。
	危険度Ⅱ	想定浸水深が床上浸水程度である0.5m以上～3.0m未満の箇所。
↓ 小	危険度Ⅰ	想定浸水深が床下浸水程度である0.5m未満の箇所。



写真-3 北部地下河川施工状況



写真-4 安威川ダム施工状況

「凌ぐ」施策としては、雨水を河道の外で貯める流出抑制策と、河道内での堤防補強などの対策等がある。

流出抑制策については、小中学校や高校など公共施設での雨水貯留（写真-5）をはじめ、農業用ため池の治水活用（写真-6）、開発に伴って設置される調節池の恒久的な利用など、「既存のストック」を最大限活用することを念頭に取り組んでいる。

一方、河道内での対策は、国土交通省から危機管理型ハード対策の考え方が公表されたことも踏まえ、計画以上の降雨時にも堤防決壊を遅らせることで、避難時間を稼ぐための堤防補強や暫定的なパラペットの設置などを進めることとしている。



写真-5 校庭貯留（左：晴天時、右：降雨時）



写真-6 治水活用する農業用ため池

6. 自然災害に強いまちづくりに向けて

自然災害に強いまちづくりのため、災害リスクを考慮した土地利用の規制・誘導策の検討にも取り組んでいる。

自然災害から人命・資産を守るためには、そもそも災害発生の危険性が高い地域に、人口や資産が集まらないようにするのが望ましい。しかしながら、これまで本府においては、必ずしも治水計

画と都市計画の連携が十分ではなかった。自然災害に強いまちを目指すためには、災害リスクの高い地域には極力住まない、また、住む場合には、防災機能を織り込むなどの工夫が必要である。そのためには、土地利用の規制・誘導策を導入することが有効と考えている。

土地利用に関しては、土砂災害対策では、土砂災害警戒区域や土砂災害特別警戒区域の指定により、新規開発の抑制を図るとともに、土砂災害特別警戒区域内の住宅の移転・補強に対する助成が既に制度化されているが、治水対策では今後、制度設計が必要な分野である。したがって、現在、大阪府都市計画審議会委員等からなる合同会議を設置し、災害リスクを考慮した土地利用の規制・誘導策について、まず浸水リスクに的を絞って検討を進めている。

このようなまちづくりの方向性は、治水対策に限らず、自然災害全般に共通するものであることから、今後、特に力を入れることとしている。

7. おわりに

近年特に、逃げる施策、凌ぐ施策の重要性が高まっている。

「逃げる」施策の主役はあくまで住民の方々である。このため、行政が発表する情報が確実に住民に伝達され、万一の際には住民自らの命を守る行動につながらなければならない。そのためには、行政と地域住民が“傾聴と対話”により、ともに防災・減災に取り組む協働の精神の再構築が急務である。

また、外力には際限がないという認識に立ち、「凌ぐ」施策は、河川や地域の特性に応じた対策が必要であり、既存ストックがもつ価値を最大化させるための知恵と創意工夫に富んだ幅広い技術力が求められる。

本年4月、日本は2025年、大阪での万国博覧会開催を目指して立候補を表明した。現在、同博覧会開催に立候補しているのは、日本、フランス、ロシア、アゼルバイジャンで、来年11月の博覧会国際事務局（BIE）総会で開催国が決定する。開催国決定に先立ち BIE が実施する立候補国の現地調査において、開催地の安全性は重要な評価項目の1つとなっている。世界の中での大阪・関西のプレゼンスを高めるためにも、治水対策の重要性が高まっている。

南海トラフ巨大地震を想定した 防災ヘリコプターとDiMAPSの活用

西 弘幸¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 沿川整備課 (〒573-1191大阪府枚方市新町2丁目2番10号)。

南海トラフを震源とする地震は、今後30年以内に50～70%程度の確率での発生が危惧されている。大規模災害時に被災状況をいち早く把握することは、人命救助や復旧復興に向けた対策を立てる上で極めて重要である。近畿地方整備局では、発災直後、被害状況把握のために防災ヘリコプターを発進し、早期の被害状況の把握を行うこととしている。また、被害情報を地図に重ね合わせて表示できるシステム(DiMAPS)の運用を開始したところである。

本稿では、南海トラフ巨大地震発生時の防災ヘリコプターの運航計画及びDiMAPS(統合災害情報システム)の概要、今後の課題について報告するものである。

キーワード 南海トラフ巨大地震 防災ヘリコプター DiMAPS

1. はじめに

南海トラフは、地殻変動により日々歪みを蓄積させており、100年から150年に一度の周期で近畿管内に激しい地震動と巨大津波により、大きな被害を与えている。内閣府¹⁾は、南海トラフ巨大地震の発生により、近畿地方に震度6弱から震度7の強い揺れが広範囲で発生。(図-1)また、地震発生から短時間(串本町で約2分、和歌山市で約45分、大阪市で約120分)で巨大な津波が来襲(図-2)し深刻な被害が発生すると予測している。

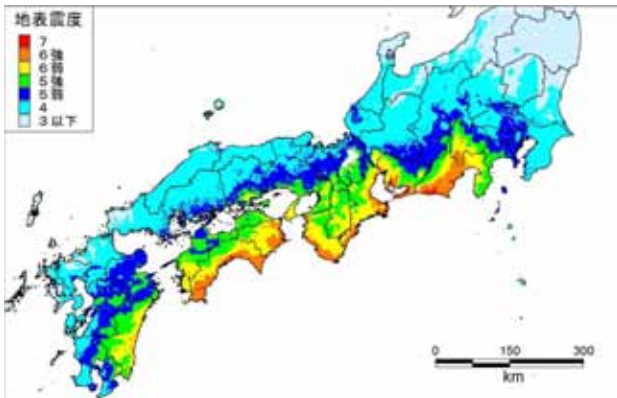


図-1 震度分布図(基本ケース)

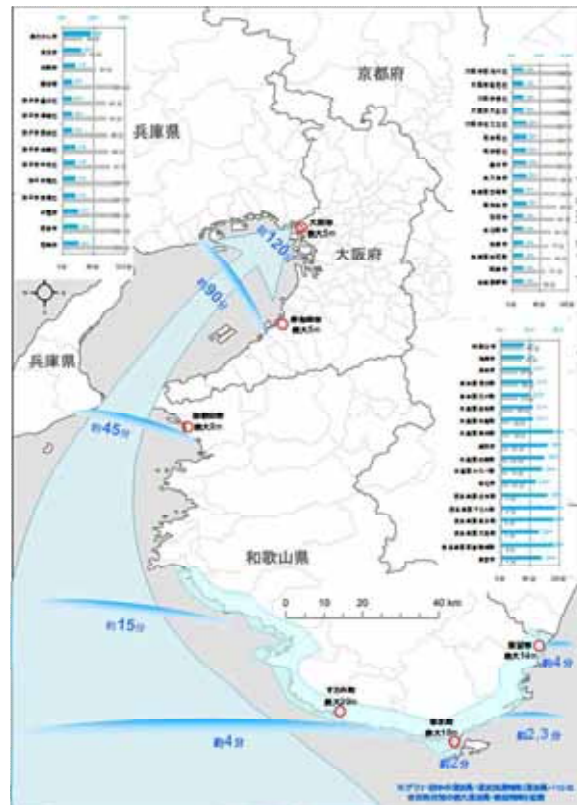


図-2 津波高と津波到達時間

2. 災害初期情報収集のための防災ヘリコプターの 運用

大規模災害発生時には、初期情報の発信が出来ない場合が多いためヘリコプター等を利用した上空からの情報が重要となる。

近畿地方整備局では、2014年4月に「国土交通省南海トラフ巨大地震対策計画近畿地方地域対策計画（第1版）」を策定。防災ヘリコプターは、想定される被害に基づき、4つのルート（図-3）をあらかじめ決定しており、南海トラフ巨大地震発生時には、1時間を目処に設定されたルートでの飛行を開始し、被災状況の確認を行うこととしている。

防災ヘリコプターが撮影した被害状況については、衛星を経由して近畿地方整備局整備局へ伝送される。近畿地方整備局に伝送された被害状況は、光ファイバーネットワークを経由して、地方自治体等へ伝送されており、被害状況の共有を行うことが可能となっている。



図-3 ヘリルート図

また、災害発生時に速やかに発進がえるよう、下記の取り組みを平時より実施している。

- ① 格納庫からすぐに機体を出し発進が出来るように、常に入り口近くに機体を保管
- ② 災害の発生を想定した訓練の実施
- ③ 衛星携帯電話を常設し、常に連絡がとれるような体制の構築

3. 災害情報の共有化に対する取組

災害発生時に防災ヘリコプターをはじめとして、刻一刻と集まる情報を一元的かつその情報を必要とする担当者に共有することは極めて重要である。このため国土交通省では、2015年9月からDiMAPS（災害統合情報システム）の運用を開始している。

DiMAPSとは、災害発生時に提供される膨大な情報を集約し、Web地図上に統合表示することで、被害情

報をより分かりやすく把握・共有でき、震源・震度情報、防災ヘリ撮影画像、TEC-FORCEからの被害情報等を地図上に表示し、災害情報を迅速に把握するとともに、被害の全体像を把握することが可能なシステム（図-4）である。

DiMAPSは、本省及び各地方整備局と内部ネットワークで繋がっており、登録された情報は本省及び各地方整備局において閲覧が可能となっている。



図-4 DiMAPSの概要

4. DiMAPSの主な機能

(1) 基礎データの表示機能（図-5）

DiMAPSに事前登録されている、土砂災害危険箇所、土砂災害危険区域、浸水想定区域、ダム、道路、港湾、空港、官公庁施設等の基礎的な情報の表示が可能。

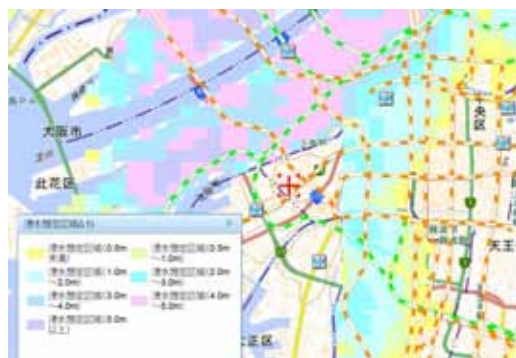


図-5 事前登録データの表示機能

(2) 被害情報の登録機能（図-6）

被害情報を、地図上で作図をし登録、被害状況の共有が可能。



図-6 被害情報の登録機能

(3) リアルタイム情報の表示機能 (図-7)

震源、震度、CCTV画像、Xバンドレーダー雨量等リアルタイムな情報について表示が可能。



図-7 リアルタイム情報の表示機能

(4) 防災ヘリが撮影した映像の表示機能 (図-8)

ヘリサットを搭載した防災ヘリが直下を撮影した動画から、静止画を切り出し、リアルタイムに簡易オルソ画像化し地図に重ねて表示することが可能



図-8 防災ヘリが撮影した映像の表示機能

(5) メールによる被害情報登録機能 (図-8)

位置情報付きの写真データをシステムへ送信することで、現場から被害情報を登録することが可能。



図-8 メールによる被害情報登録機能

5. 災害時等におけるDiMAPSの活用事例

(1) 平成27年9月関東・東北豪雨

2015年9月9日から10日にかけて関東地方において台風18号通過後、積乱雲により、鬼怒川流域に線状降水帯が南北に延び、長時間の降雨を観測。9月10日12時50分常総市三坂町(鬼怒川左岸21.0km付近)で堤防が決壊し氾濫が発生、氾濫した水は下流域に広がり約40km²が浸水した。(図-10)



図-10 浸水状況

災害対応では、北陸、中部、近畿、中国、四国、九州地方整備局から排水ポンプ車48台、照明車38台が出動、24時間体制で排水作業を実施し、10日間で浸水被害を概ね解消した。

本災害において、防災ヘリが撮影した浸水状況を簡易オルソ画像化、DiMAPSにて、本省及び各地方整備局の災害対策本部へ共有、浸水範囲の把握(図-11)を行った。現場画像と地図上の位置の対応が行えることで、被災箇所の特定が容易にかつ正確に行え、排水ポンプ車等の排水計画に活用した。

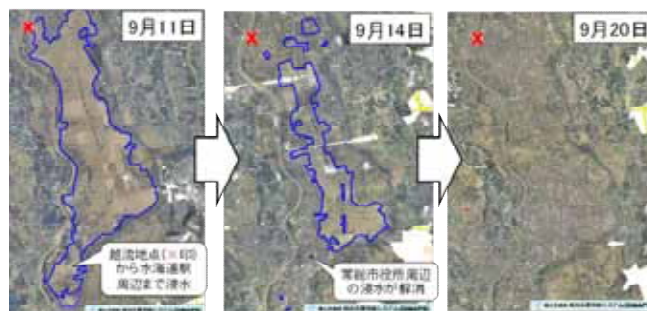


図-11 浸水状況の把握

(2) 平成28年熊本地震

2016年4月14日、21時26分熊本県熊本地方で最大震度7を観測する地震が発生、4月16日にも熊本県益城町、西原村で最大震度7を観測する地震が発生し、熊本地方で大きな被害が発生した。

災害対応では、全国の地方整備局から延べ10,912人・日(4月14日から8月31日)、日最大440人のTEC-FORCEが現地で被災調査などの活動を

行った。

本災害において、被害情報の収集にあたりDiMAPSを活用、被害の全体像の把握、被害情報の共有を実施した。(図-12) また、各地方整備局のTEC-FORCE活動場所及び活動内容、予定についてDiMAPSにおいて共有、TEC-FORCEの活動計画に活用した。



図-12 被害情報の共有



図-13 各地方整備局のTEC-FORCE活動場所

(3) 地震時初動対応訓練

近畿地方整備局では、大規模災害時の初期被害情報収集にDiMAPSを活用するための検討を行うため、地震時初動対応訓練において、DiMAPSのメールによる被害状況登録機能を使用した訓練を実施した。

訓練は、通勤前又は通勤中に大規模地震が発生したとの想定で、職員が携帯電話のカメラで被災状況を撮影、携帯から位置情報付き被害状況写真とメール本文に被害の有無や被害状況を入力し、DiMAPSにメールで被害情報登録を実施した。

また、整備局災害対策本部では、DiMAPSに登録された被害情報の確認・共有訓練を実施した。

訓練では、約500件の被害情報登録を確認。メール本文の入力に時間を要する、DiMAPSに検索やソートの機能が無いため大量に登録される情報の確認把握に時間を要する等の反省点があったが、災害初期において大きな被害がどの地域で発生しているかを把握することが出来る事が確認出来た。(図-14)



図-14 地震時初動対応訓練結果

7. おわりに

DiMAPSは2015年9月から運用を開始され、関東東北豪雨災害、熊本地震等様々な災害において活用されているところである。

今後は、地方自治体や他の防災機関と相互に情報共有が行える様な環境整備を実施することが必要となる。

災害発生時に整備局、地方自治体及び他の防災機関において収集した被害や復旧の情報を、DiMAPSを活用し、共有することが出来れば、整備局においては、道路啓開計画や排水計画、防災ヘリの運行計画及びリエゾン、TEC-FORCE派遣等の災害支援活動、地方自治体及び他の防災機関においては、救助活動や災害復旧活動に役立てることが期待できる。

また、防災ヘリコプターが撮影した映像の表示機能を活用し、道路啓開の作業計画や救助活動に活用する等、災害時におけるDiMAPSを活用した防災ヘリコプターの運用方法について検討を行う必要がある。

※本論文は、著者の従前の所属である企画部防災課における業務に基づくものである。

参考文献

- 1) 内閣府：南海トラフの巨大地震による津波高・浸水域等（第二次報告及び被害想定（第一次報告）について

掃流力を利用した堆積土砂対策について

石川 貴士¹・久保 毅¹

¹大阪府 都市整備部 河川環境課 (〒540-8570 大阪市中央区大手前2-1-22)

大阪府では、現在「大阪府都市基盤施設長寿命化計画」に則り都市基盤の維持管理を実施している。限られた予算の中で、さらに効率的できめ細やかな維持管理を行う手法の一つとして、掃流力を利用した堆積土砂対策を試験的に実施した。固定化した河道から下流への自然に近い形での土砂供給により、堆積部の対策と洗掘部の対策を同時に行うことを目指す。

キーワード 河道管理, 堆積土砂, 濡筋掘削, 河床整正

1. 河道管理業務の現状と課題

(1) 大阪府での河道管理業務の取組

大阪府では「大阪府都市基盤施設長寿命化計画（平成27年3月）（以下、長寿命化計画）」を基本とした都市基盤施設の維持管理を行っており、河川施設においてもこの長寿命化計画による維持管理を進めている。

河川管理施設が有する治水機能の洪水流下能力は、河川の河積阻害率に大きく左右されるため、長寿命化計画の中でも河積阻害率や社会的影響度を考慮し、定量的な評価を行い、それに従い対策を順次進めている。

また、河道状況の把握のため、5年ごとに実施する定期点検（詳細調査）、日常点検（巡視）、緊急点検などを実施し、洗掘や堆積状況の変化を確認を行い、出水などの状況の変化も踏まえ河道管理を行っているところである。

(2) 河道管理業務の課題

しかしながら、今後は限られた予算や人員の中で、より効率的な河道管理を実施していくことが必要になると考えられる。

そのため、本報告では上流部で堆積、下流部で洗掘が確認できる河川において、河川を持つ掃流力を利用し、固定化されてしまった河道から自然に近い形で河床材料を移動させることで、堆積部と洗掘部の改善を試みた。

2. 掃流力を利用した堆積土砂対策

(1) 対策箇所の概要

一級河川安威川は大阪府の北摂地域に位置し、その源を京都府亀岡市の竜ヶ尾山に発し、高槻市、茨木市、摂津市、吹田市、大阪市を流下し、神崎川に合流する河川である。

本対策では、河道が固定化され、土砂の堆積が確認される桑原橋下流(図-1)において実施することとした。

当該箇所は河道が曲線となっており、内側では河道が固定化されてしまい大規模な堆積が見られる。また堆積箇所には草木が繁茂しており、河道の固定化をより進行させていると考えられる。



図-1 対策箇所図

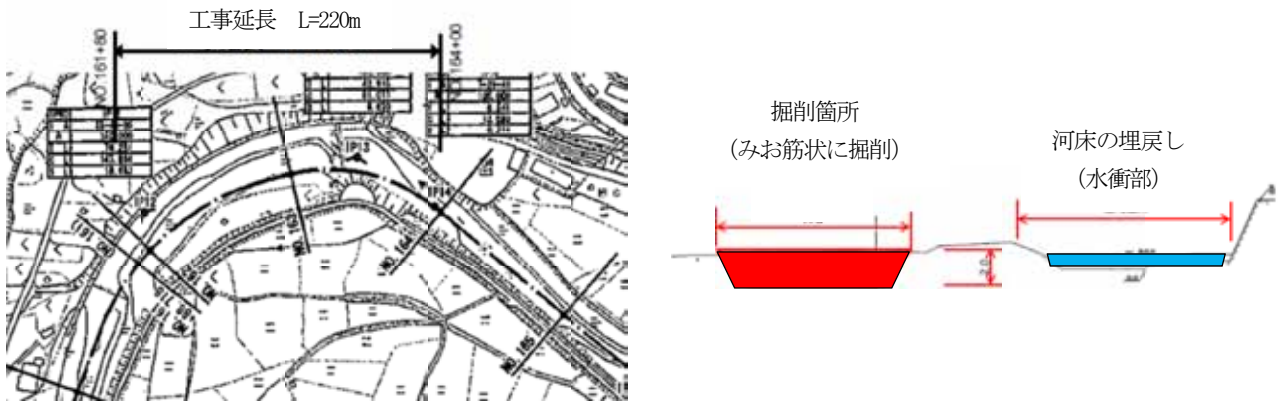


図-2 施工箇所の平面および断面のイメージ図



写真-1 施工前の状況



写真-2 施工後の状況



写真-3 施工から1年後の状況



写真-4 施工から2年後の状況

(2) 対策の内容

本対策では固定化された土砂の自然流下を促すことを目的とし、曲線内側へと人工的なみお筋を施工した。

施工手順は、まず曲線内側の土砂が固定化された河道部分にみお筋を施工し、その後、掘削した土砂の一部を

水衝部側へと運搬し、みお筋を移すとともに固定化された河道をほぐしている。

施工箇所の平面および断面のイメージ図を図-2、施工前後の状況を写真-1、2に示す。

(3) 対策の結果

本対策を実施後、1年が経過した河道の状況を写真-3に示す。

曲線内側で固定化され堆積していた土砂が出水により流出し、堆積が解消されているほか、対策前は洗掘が見られていた曲線外側についても洗掘は進んでおらず、良好な河道状況が保たれていることが確認できる。

また本工事で掘削した土量は約4,300m³であるが、その後、出水の掃流力により約8,600 m³の土砂移動が確認でき、従来よりも効率的に堆積土砂の対策が行うことができた。

その後、さらに1年後の状況を写真-4に示す。これを見ても、2年が経過した段階でも良好な河道状態が保たれていることが確認できる。



写真-5 余野川での滞筋施工後の状況

(4) その他の事例について

また平成28年度には余野川において、安威川同様の滞筋掘削による対策を実施した。(写真-5参照)。

今後は、大阪府内河川において同様の対策が有効だと考えられる河川について同様の取組を進めていく予定である。

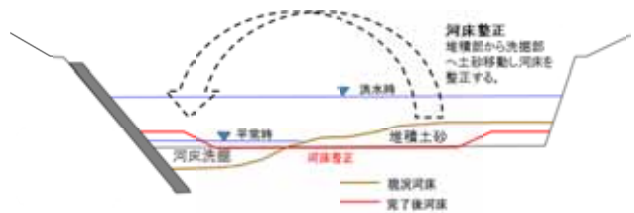


図-3 河床整正の施工イメージ図

3. その他府内河川で実施した効率的な河道管理

の取組について

(1) 堆積土砂を利用した局所的な洗掘の解消

大阪府下では水衝部などで局所的な洗掘が進行、また対岸側では堆積が進行する2極化が発生している河川が見られる。

このような河川においては、堆積部から洗掘部への埋戻しを行い、堆積土砂の処分費の節減と局所的な河床洗掘の解消を行っていったところである。

二級河川佐野川において実施した河床整正のイメージ図を図-3に示す。写真-6のように河川の左岸側(水衝部側)で洗掘、右岸側で堆積が進行し、河道が固定化されていたが、右岸の堆積土砂を左岸の洗掘部への埋戻し材として利用することで処分費を節減することが出来た。

今後は、1箇所のみならず、左岸、右岸というだけでなく上下流での堆積や洗掘傾向の把握なども含めた河道管理を行えるかどうかについても検討している。



写真-6 河床整正 施工前の状況 (佐野川)

(2) 堆積区間が明確な箇所での対応

(1)で述べたような河川内での流用や掃流力の活用が不可能な河川下流など堆積傾向が大きい箇所については、従来どおり堆積土砂の撤去工事などを行うこととなる。

このような箇所では、今後も撤去工事を定期的実施する必要がある場合が多いため、常設の工事用進入路の



写真-7 河床整正 施工後の状況 (佐野川)

設置や作業ヤードの確保などを含め、検討を進めている。

写真-8に梅川での施工した常設の工事用進入路の設置状況について示す。



写真-8 常設の工事用進入路設置の取組（梅川）

4. 今後の河道管理について

(1) 河川での傾向把握

上述のように、効率的な河道管理を行っているところではあるが、これらの取組を実施するためには河川の傾向把握が不可欠である。

そのため、大阪府では定期点検や日常点検などの結果をふまえ河道の傾向把握を行い、今後の河道管理へと活かしていく予定である。

(2) 今後の課題

効率的な河道管理を行うための河川ごとの傾向把握を進めているところではあるが、河川は出水の状況やその他河道の状況により、堆積や洗掘の傾向は変化することが予想される。

そのため、本報告での施工箇所やその他箇所の状況の変化など、今後の定期点検や日常点検で観察していくことが必要であると考えられる。

5. まとめ

(1) 掃流力を利用した堆積土砂対策の実施

固定化した河道部分にみお筋を施工することで、従来よりも処分費などが節減できたほか、自然に近い形で下流への土砂供給を促すことが出来た。

(2) 河床整正による局所的な洗掘箇所と堆積土砂の解消

局所的な洗掘と堆積の両方が進行し2極化が見られる河川においては、埋戻し材に堆積土砂を流用することで対策費用の節減を図ることが出来た。

(3) 今後の河道管理について

上記のような効率的な河道管理のため、府内河川における堆積や洗掘の傾向を把握することが不可欠である。またこれらの河道の傾向は、出水やその他の状況により変動があることが予想されるため、今後も引き続き点検等により精度を上げていくことが重要である。

湖国雪道QUICK作戦について

中川 裕嗣¹・竹沢 幸英¹

¹近畿地方整備局 滋賀国道事務所 管理第二課 (〒520-0803滋賀県大津市竜が丘4番5号)

滋賀国道事務所管内において、2014年度と2015年度に災害対策基本法に基づく区間指定を実施するほどの雪害被害にあった。そのときの課題を踏まえ、2017年度にスタック車両への早期の対応を目的として、「湖国雪道QUICK作戦」を計画するとともに、雪寒期間において実施した。

キーワード 除雪作業, スタック車両

1. はじめに

滋賀県の冬季気象は、北部地域と南部地域で大きく天候が異なる特徴があり、北部地域は、日本海側気候の特色をもち、豪雪地帯にも指定されるほど積雪量、降雪日が多い地域となっている。一方で南部地域は積雪量、降雪日が少ないため、ノーマルタイヤ車が多く、年に数回のゲリラ的な降雪に対して道路交通の混乱を引き起こしている。

北部地域と南部地域で大きく異なる気象のもと、また、道路利用者の冬用タイヤ装着率が低い状況において、2016年度に「湖国雪道QUICK作戦」を計画し、実際に取り組んだ事例を紹介する。

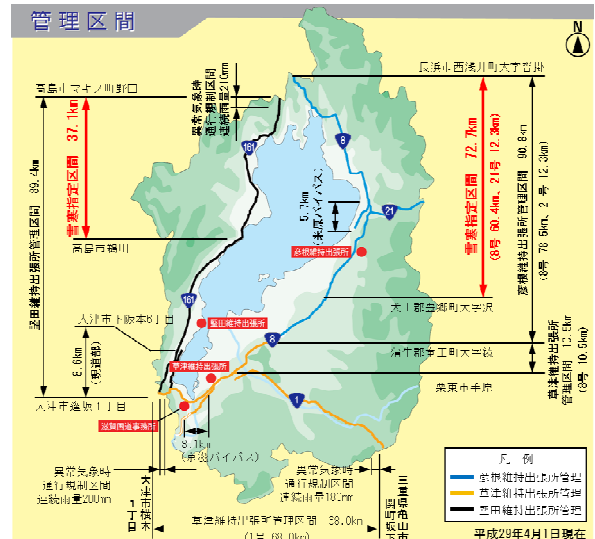


図-1 滋賀国道事務所管理延長

2. 滋賀国道事務所管内の概要

滋賀国道事務所が管理する路線は、国道1号、8号、21号、161号の4路線で、近畿圏、中部圏を結ぶ東西の国土軸として、また北陸圏への玄関口として経済活動及び地域交流を支える重要な路線であり、冬季は積雪地域への入り口となっている。

事務所管理延長は251.4km、うち雪寒指定区域の延長は北部地域の109.9kmである(図-1)。除雪体制は、各出張所の管理区間を2工区に分け、全6工区での体制を取っている(図-2)。国道8号、国道161号の北部地域及び国道21号は、積雪寒冷地域にも指定されており、国道161号の県境付近では5ヶ年平均の累加降雪量が615cm(国境基地)となることから、新設除雪及び拡幅除雪に対応できる機械配備(除雪トラック、除雪グレーダ、ロータリー車、薬剤散布車)としている。



図-2 除雪体制図

また、南部地域に位置する国道1号では、積雪が少ないことから、凍結防止を中心とした作業で凍結防止剤散布車（プラウ装着含む）により対応している。

3. 過去の雪害対応

滋賀国道事務所においては、2014年度と2015年度の2年間で災害対策基本法に基づく区間指定を3回行い、通行止め及び車両移動を実施した(表-1)。

これらの相次ぐ雪害は、積雪時にも関わらずノーマルタイヤで通行する車両が多いことから、スタックが多発し、それによる交通停滞が起こった事が原因の一つと考えられる。また、除雪機械も渋滞に巻き込まれたため、スタック車両の救出や除雪作業も滞り、事態の悪化に繋がった(写真-1, 2)。

期間	場所	延長
平成27年1月1日 19時50分 ~ 平成27年1月2日 7時00分	大津市逢坂峠	3.6km
平成28年1月20日 19時50分 ~ 平成28年1月20日 7時00分	大津市逢坂峠	3.6km
平成28年1月20日 19時50分 ~ 平成28年1月21日 7時00分	甲賀市土山町	13.8km

表-1 災害対策基本法の基づく区間指定



写真-1 2015年1月1日逢坂峠スタック状況



写真-2 2016年1月20日土山スタック状況

2016年度の雪寒期間を迎えるに当たって、過去の経験を踏まえ「早め早めの対策」を行う事を目的とした「湖国雪道QUICK作戦」を計画するとともに、雪寒期間において実践した。

4. 湖国雪道QUICK作戦の概要

過年度の雪害の課題に対して、いかに円滑な交通を確保するかの検討を行い、雪の状況（気象予測業務による降雪量及び凍結予測）及びCCTVでの状況把握により、素早くスタック車両を見つけ、その対策を講じるとともに素早く集中除雪を行う取り組みについて計画をした(図-3)。

その中で、現地対策班の任務を作戦の要とし、現地対応について、過去から実施した任務も含めて、以下のように整理を行った。

a) 現地状況の早期情報収集

巡回パトロール等を通じての路面・積雪・交通状況の情報を収集・共有

b) スタック車両の早期対応

立ち往生している車への待避場所への誘導、チェーン装着要請、スタック車両の排除対応、交通誘導等

c) 通行止除雪への早期移行

通行止要員として増員配置、通行止除雪の現地対応

d) 除雪車誘導による早期交通解放

通行止解除時の一般車への誘導等

滋賀国道事務所における現地対策班は、これまで警戒体制が発令されたのちに、現地へ派遣、情報収集・各種任務を遂行してきたが、2016年度からは、注意強化体制の段階で警戒体制に移行する可能性が高い場合は、前もって現地対策班を招集し、現地へ派遣する「早めの対応」へ切り替える方針とした。

また、雪寒期間を迎える前に、事前準備対策として、①冬期予測体制確保（業務契約）②除雪機械へのGPSの

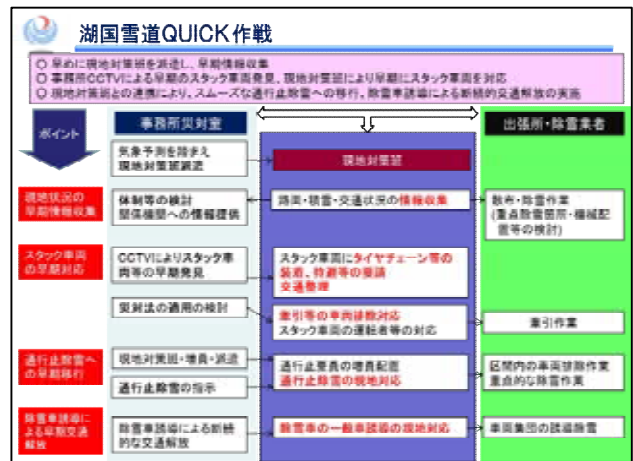


図-3 湖国雪道QUICK作戦概要



図-4 除雪機械稼働状況把握システム



図-5 タブレットから閲覧できるCCTV画像

設置及び稼働状況把握システムの事務所、出張所、除雪基地における閲覧機能の確保③スタック車両の牽引訓練④タイヤチェック訓練（警察と合同）⑤道路利用者への啓発活動（新聞広告、ラジオ放送、トラック協会等への要請）⑥他機関との連携（冬期情報連絡室、府県間会議）⑦道路利用者への情報提供（雪道情報）を過年度より取り組んでいる。2016年度においては現地対策班の任務の充実を図るため、過年度の反省の中で「現地対策班への情報共有が少ない」といった意見を踏まえ、新たにタブレットを配備し、稼働状況把握システム（図-4）や、CCTV（静止画像）（図-5）を現地でも閲覧できる体制を構築した。

5. 2016年度の取り組みについて

2016年度においては、3度に渡る大規模な寒波があり、警戒体制の発令を行った（表-2）。

警戒体制発令時及び警戒体制移行前の注意強化体制時に現地対策班を現地へ派遣した。原則として、4人1班の3班体制とした。

2016年度においては、事務所による通行止め等の実

警戒体制発令日時	警戒体制解除日時	備考
平成29年1月13日	平成29年1月17日	
平成29年1月23日	平成29年1月25日	注意強化から移行
平成29年2月10日	平成29年2月12日	注意強化から移行

表-2 2016年度警戒体制発令状況



写真-3 現地対策班によるスタック車両の早期発見

施がなかったため、現地状況の早期情報把握からスタック車両の早期対応までを取り組んだ。

(1)現地状況の早期情報収集

現地対策班は、あらかじめスタック車両の多発が予測される箇所へ派遣した。2016年度は、国道161号の津山市・高島市境において多くの降雪が予測されたため、3班のうち2班を配置し、残り1班は、他の降雪の予測がされる国道8号や国道1号などに配置した。

現地の道の駐車場、除雪基地等を起点とし、事象が発生していない間は、巡回パトロールを行いながら、除雪業者と連携して、路面の圧雪状況等の把握・情報共有を行った。

その後、CCTVによりスタック車両を発見した場合、もしくは渋滞の発生を確認したが、その原因が確認できない場合は、本部からの指示により現場へ赴き、その原因について確認し、詳細を本部へ伝達した。これにより本部において判断を行う情報を早期に共有することができた。特にCCTVによって原因を確認できない箇所については、渋滞を避けるため、徒歩による移動で調査をし、早期に原因を把握することができた。

渋滞の原因は、スタック車両や事故車によるものであったが、スタック車両の場合は、牽引車が必要かどうか、タイヤチェーンがあるかどうか等の情報を収集することにより応援班を向かわせるかどうかの判断をすることができた。事故車においては、本部から各担当警察署へ連絡し、情報共有を図った。

(2)スタック車両への早期対応

現地対策班を現地へ派遣する際は、除雪用スコップ、凍結防止材（塩化カルシウムを小袋に分けて持参）をあらかじめ装備していたため、スタック車両発見後、すぐに救出作業を行い（写真-4）、牽引車が到着する前に、解消できた事例もあった。

また、現地対策班だけでは対応できない場合においては、スタック車両により後続の車両が渋滞している状況となっているため、牽引車が到着するまでの間、片側交互規制を実施し（写真-5）、渋滞が少しでも解消するように努めた。片側交互規制を実施することで、交通渋滞により到着が遅れていた牽引車の到着も早まり、スタック車両の救出を早めることができた。これは、現地対策班による任務の中で、効果があったものの一つとして考えられる。

なお、スタック車両を救出し、渋滞箇所周辺の除雪作業が完了するまでは、交通規制を実施することで、除雪作業の迅速化に努めており、一時的に通行止め除雪を実施した箇所もあった。規制に関しては、警察と密に連携をとっており、本部において、スタック発生箇所や対応状況（規制も含む）を管制センターと情報共有した。

また、スタック車両を救出したあと、後続車両において、深夜のため仮眠をとるドライバーも多数存在したため、現地対策班によるドライバーへの声かけも実施し、交通停滞解消に努めた（写真-6）。



写真6 仮眠中のドライバーへの声かけ

(3)タブレットの活用状況

2016年度初めての試みとして、現地対策班へタブレットを導入し、現地においても除雪機械稼働状況把握システムとCCTV（静止画）を閲覧できる体制を構築した。

実施後の意見として、「CCTVが見れることで、これから向かう現場の様子を伺うことが可能となり、状況把握の役に立った」、「除雪機械の現在位置を把握することができ、到着までどのぐらいかかるのか大まかに把握することができた」と評価を頂いた。反対に、「外は吹雪であり、防寒手袋を装着しているため、屋内及び車の中でしか閲覧することができない」などの意見もあったため、反省点として、今後の活用方策を検討する必要がある。



写真4 現地対策班による除雪作業の状況



写真5 片側交互規制の状況

6. 2016年度を終えて問題点と課題

(1)班編成と要員確保

現地対策班については、1班4人体制を基本として、班編成を行ったが、派遣必要箇所の増加や要員確保の状況により、3人体制で派遣を実施した箇所もあった。

作業の中で、片側交互規制の交通誘導を行う場合、規制の両側で誘導を行う者と、規制の間で両側の誘導員へ情報を伝達する者で3人が必要となる。さらに、本部との情報連絡要員も必要不可欠であり、最低でも4人は必要と考えられた。実際に3人体制で対応した現地対策班は、規制の両側へ情報伝達する者が、本部への情報共有（電話）をする役割も兼務したため、規制対応に集中することができず危険を感じることもあったという意見があった。また4人体制の状態でも規制が長時間に及ぶ場合、交代要員がいないと体力的に厳しいという意見もあった。

今後の体制については、1班4人以上の体制を基本とし、除雪業者到着後に作業の交代等の調整を行う必要があると考えられる。

(2)現地対策班の装備

現地対策班が携行する装備として、各自にリュックサック、安全チョッキ、ヘッドライト（ヘルメット装着式）、充電器、連絡用トランシーバー、誘導灯を配備した（写真-7）。また防寒対策として、防寒着（上下）、防寒用長靴、防寒手袋を配備した（写真-8）。その他、除雪用スコップ、凍結防止材（塩化カルシウム）、現地記録用カメラ、情報伝達用の携帯電話、情報共有用のタブレットを各班に配備した（写真-9）。

2016年度のスタック車両対応として、スタックした車両周辺の除雪等を現地対策班で実施したが、あらかじめ準備しておいたスコップが、持ち運びを重視した軽量のアルミ製スコップであったため、圧雪・凍結した雪を排除した際に、スコップが変形を起こして損傷するなど作業に支障が生じたとの意見があった（写真-10）。また、凍結した雪を割るには、スコップでは対応しきれないという意見もあった。これらの意見を踏まえ、現地対策班の活動を補助する事を目的に、スチール製スコップ及びつるはしを準備した（写真-11）。今後も工夫を図っていき、2017年度以降も現地対策班の活動を充実させていく。



写真-9 現地対策班要員装備品（各班）



写真-7 現地対策班要員装備品（各自）



写真-10 除雪作業後のスコップ損傷状況



写真-8 現地対策班要員装備品（防寒対策）



写真-11 新たに配備したスチール製スコップ

(3)情報共有

a) 現地対策班と除雪業者間の情報共有

除雪対応を行う体制としては、本部・出張所・現地対策班・除雪業者の4グループに分類される。2016年度の実態として、情報の伝達は、「本部と出張所」、「本部と現地対策班」、「出張所と除雪業者」の3系統がメインとなり、情報共有・指示をしていた。しかし、現地対策班と除雪業者の間で互いの作業状況を詳細に共有することができず、近くで作業をしているにもかかわらず細かな調整を行うことができなかつたという意見があつた。また、現地対策班と除雪業者への作業指示が重複することがあり、現場において混乱が生じたという意見もあつた。

これは、現地対策班の任務が広がつたことで除雪業者と作業内容が重複する部分が発生し、その箇所の調整が4者間でできないまま指示等を行つたことが原因と考えられる。今後の課題とし、4者間で現地における作業分担方法や情報共有方法について調整を進める。

b) 本部と現地対策班の情報共有

本部と現地対策班の情報共有の中で、本部の電話担当者が複数いる関係で、情報の繋がりが寸断され、現地対策班が同じ事を何度も伝えなければならない事象があつたとの意見もあつた。

また現地対策班とは、スタック車両の対応に対する情報共有は行つていたが、周辺の道路状況等の伝達ができなかつたため、一般ドライバーからの迂回路等の質問に答える事ができなかつたといった意見もあつた。

現地で得られた情報は、迅速かつ正確に伝える必要があるため、雪寒後に集約した意見を踏まえ、本部の連絡体制等の見直しを進める。また、現地対策班への情報共有の強化の対策として、2016年度から導入したタブレ

ットについて、CCTVと稼働状況把握システムの閲覧のみに特化して使用をしていたため、写真の共有等、情報共有ツールとして使用できないか検討を進めていく。

7. おわりに

事務所管内の国道には、計129カ所のCCTVが設置され、本部・出張所においても現地の状況を把握できる範囲が増加しているが、2016年度の経験を通して、状況確認ができない箇所でも事故・スタック車両が発生していることが認識できた。本部において把握できない箇所の被害状況をいかに的確に早く把握するかで、その後の対応に大きく影響が出てくる。2016年度から実施した「湖国雪道QUICK作戦」では、要となる現地対策班の活躍により、早期の情報収集ができ、除雪業者への指示も的確にできたと考えられる。

また、現地対策班による車両の救出が不可能であつても、早期に片側交互規制を行うことで、渋滞の解消・除雪機械の早期到着を望めることもわかつた。

2016年度は滋賀国道事務所管内では記録的な大雪となり、本局も含めて、関係者の協力を頂きながら、乗り越えることができた。

現地対策班の負担が非常に大きなものであつたため、職員だけで進めるのではなく、外部の協力も得ながら雪寒対応を進めていく必要があると考えられる。

今後は、2016年度の経験を通して、新たに抽出した課題・反省点を踏まえ、「湖国雪道QUICK作戦」による雪害対応の向上に務め、滋賀国道管内の雪道を安全に通ることができるよう取り組んでいくこととしたい。

土砂災害防止法に基づく区域指定について

屋種 良一¹・山口 紗弓²

¹大阪府 都市整備部 河川室 河川環境課(〒540-0008 大阪府中央区大手前3丁目2-12)

²大阪府 都市整備部 河川室 河川環境課(〒540-0008 大阪府中央区大手前3丁目2-12).

大阪府では、土砂災害防止法に基づく基礎調査を完了し、2016年9月、土砂災害特別警戒区域が8,345箇所、土砂災害警戒区域が7,758箇所の区域指定を完了した。今後は、法第4条に基づき、2巡目調査を進めていく必要がある。指定完了までの業務と2巡目調査手法について紹介する。

キーワード 土砂災害防止法、区域指定、2巡目調査

1. はじめに

大阪府では、2001年4月に施行された「土砂災害防止法」に基づき、2005年より区域指定を開始し、2016年9月に区域指定が完了した。その結果、土砂災害警戒区域が8,345箇所、土砂災害特別警戒区域が7,758箇所の指定がなされた。

この法律は、土砂災害から国民の生命を守るため、土砂災害のおそれのある区域についての危険の周知、警戒避難体制の整備、住宅等の新規立地の抑制、既存住宅の移転促進等のソフト対策を推進しようとするものである。

土砂災害防止法では、都道府県がまず土地の形状などを調べることで土砂災害のおそれがある土地の区域を明らかにし、法手続きを踏まえたうえで「区域指定」し、官報などにより広くその区域を公表することとなる。

2. 土砂災害防止法に基づく区域指定（一巡目調査）について

大阪府では、基礎調査を次のような箇所を対象とし、調査を進めてきた。

- ① すべての土砂災害危険箇所
- ② 土砂災害危険箇所以外で地形図等により傾斜度30°以上、高さ5m以上の地形の箇所
- ③ 保全人家がない箇所でも一定規模以上の開発可能な平坦地を有している箇所

基礎調査の実施にあたっては、基礎調査委託の業務を発注し、現地調査、区域設定を行う。その結果をまとめ、市町村へ結果を通知し、市町村長へ意見照会を行った後、区域指定となる。

大阪府では、区域指定を行うにあたり、調査前に土砂災害防止法の趣旨を説明し理解を求めた上で、現地調査に入り区域指定を進めてきた。住民からの反対意見がある箇所もあったが、反対者の理解が得られるよう説明会などで丁寧な説明を行い、理解を求めてきた。

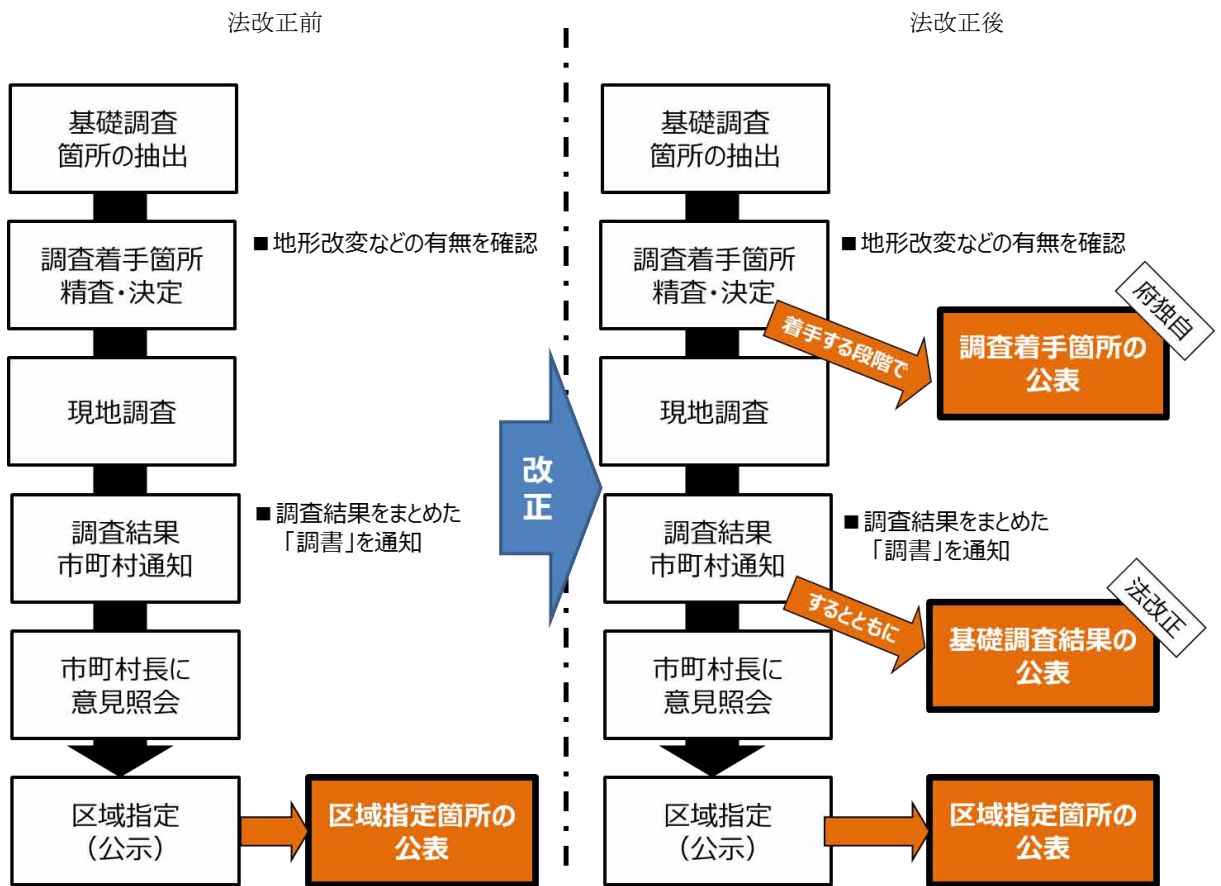
3. 土砂災害防止法の改正（2014年）以降の取り組み

2014年8月20日、広島県広島市では豪雨により166件の土砂災害が発生し、74名の方が犠牲となっている。これらの被害の多くが、土砂災害防止法に基づき基礎調査を行っていたにも関わらず、

区域指定まで至っていなかった区域で土砂災害が発生した。このことがきっかけとなり、法改正につながっている。この改正に伴う変更点は、基礎調査結果の公表が義務付けられたこと、土砂災害警戒情報の市町村への通知及び一般への周知が義務付けられたこと、市町村地域防災計画へ避難場所、避難経路等を明示することなどである。この法改正を受けて、大阪府では、できるだけ早く土砂災害リスクを周知し、「いざ」という時に自主的に避難行動を取れるようにすることを目指し、基礎調査の着手時点において調査予定箇所をホームページ等で公表することを独自の取り組みとして、基礎調査を進めることとした（図－1）。

また、大阪府では、2017年3月までに府内のすべての箇所を指定完了予定だったが、2014年の知事記者会見の際に、残箇所を2016年9月までに調査、指定するとの発言を受け、基礎調査の完了を半年前倒しをすることとなった。大阪府内のそれまでの区域指定は、2005年が第1回目の指定であり、約10年間で約4,000箇所の区域指定を行っているが、これとほぼ同箇所数が残箇所として残っていた。これを約2年間で調査・指定するにあたっては、さまざまな課題があった。

- ① 調書チェックなど職員の作業量が増大すること。
- ② 地元・市町村調整など、行政担当者としての作業が増大すること。



図－1 法改正前と改正後の調査方法

③残箇所の基礎調査の業務委託を1年間で発注し基礎調査を実施する必要があること。

などが課題となった。それらの対応としては、

- ① 外注することで職員の作業量を軽減
- ② 職員増員、非常勤職員等を確保することで担当者の負担を軽減
- ③ 建設コンサルタントの確保、受注体制の確認を行った上で、発注業務を行うとともに、2014年度の補正予算を要求した。

その結果、2016年9月、警戒区域8,345箇所、特別警戒区域7,758箇所の区域指定が完了した。(図-2、図-3)

	危険箇所 (平成14年度公表)	区域指定	
		土砂災害警戒区域	土砂災害特別警戒区域
土石流	1,859	1,815	1,314
急傾斜地の崩壊	2,357	6,514	6,444
地すべり	145	16	0
合計	4,361	8,345	7,758

図-2 区域指定箇所数

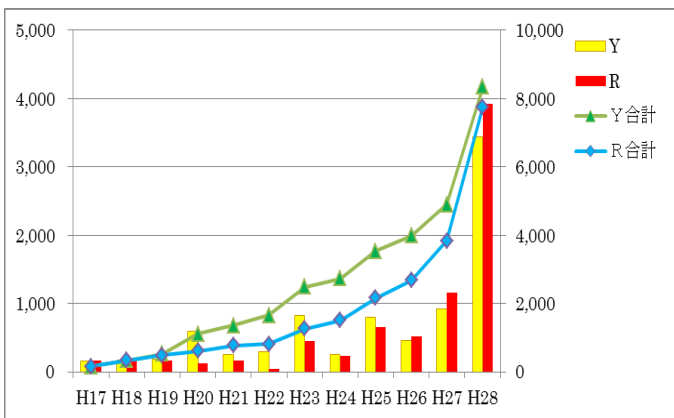


図-3 区域指定数の遷移

4. 2 巡目区域指定方針について

今後は、法第4条に基づき、区域指定済の箇所及び新たな区域指定が必要な箇所について基礎調査のフォローアップを実施する必要があるため、平成28年度に調査手法等について検討を行った。調査については、区域指定済みの箇所はすべての箇所について、地形改変状況を確認し、また、その他に新た

に危険箇所が発生している可能性がないか確認する。調査手順については、次のように実施する予定である。(図-4)

(1) 資料収集

区域指定時からの経年変化状況を把握するにあたり、関連資料を収集する。

(2) 地形改変状況の把握

① 区域指定箇所の地形改変状況把握

区域指定箇所の地形改変状況把握は、区域指定時からの経年変化状況を把握するとともに、地形改変等に伴う基礎調査実施(再調査)の必要性を判断する。具体的には、全ての区域指定箇所について、区域調書に記載されている空中写真と直近の空中写真を見比べ、区域指定箇所及びその周辺における開発による宅地造成や道路建設等による地形改変の有無を目視で確認し、改変のある箇所を抽出する。その箇所の現地確認を行い、地形改変箇所のおよその高さ・範囲の確認、指定済み区域調書との整合の確認、対策工施工の有無、土砂災害発生の有無について目視確認および写真撮影を実施し、基礎調査実施の必要性を判断する。

② 新たな危険箇所発生状況の確認

新たな危険箇所発生状況の確認は、開発等による宅地造成や道路建設等の地形改変によって新たな危険箇所が発生していないかを把握・確認するとともに、新規箇所発生に伴う基礎調査実施(新規調査)の必要性を判断する。具体的には、大阪府砂防基盤図の地形図と直近の空中写真を重ね合わせ、目視確認によって新たな住宅地の造成や道路建設による新たな開発可能地の出現箇所を拾い出し、斜面の有無、保全対象との位置関係などから、新たな危険箇所となる可能性を有する箇所を候補地として抽出する。抽出した箇所については、現地確認で、対策施設の有無、斜面形状の確認、斜面と保全対象の位置関係(2H以内か)等について目視確認および写真撮影を実施し、基礎調査実施の必要性の判断する。

(3) 区域指定箇所の社会状況の把握

区域指定箇所のうち、基礎調査の実施が必要で

はないと判断された箇所では、社会状況の経年変化状況を把握する。土地利用状況や世帯数及び人家戸数、公共施設等の状況、関係法令の指定状況、宅地開発の状況及び建築の動向などの調査を行う。

(4) 区域調書の更新

基礎調査の実施が必要ない箇所については、「(3) 区域指定箇所の社会状況の把握」において把握された地形改変及び社会状況の経年変化確認結果をもとに、区域調書を更新する。

(5) 基礎調査の実施

基礎調査の実施が必要な箇所では、大阪府土砂災害防止法基礎調査マニュアル（急傾斜地の崩壊編）に準拠して、区域設定のための基礎調査を実施する。調査結果は区域調書等に取りまとめる。

(1)～(5)の作業の結果、区域に変更があった箇所や新たに区域指定する箇所については、1巡目の基礎調査時と同様、市町村へ結果を通知し、市町村長へ意見照会を行った後、区域指定となる。

5. あとがき

土砂災害防止法に基づく区域指定は、今後の砂防事業の基軸となるものと考えられる。8, 345箇所の区域指定を迅速に終えることができたのは、本庁、事務所が連携し、関係部局、その他市町村にもご協力いただいた結果である。

大阪府では、1982年の土砂災害以降、土砂災害による死者は出ていない。「大阪府内での土砂災害による犠牲者ゼロ継続～人命を守ることを最優先～」を基本理念とし、区域指定結果をもとに、今後も、関係部局等と連携し、土砂災害対策の検討を進めていく。

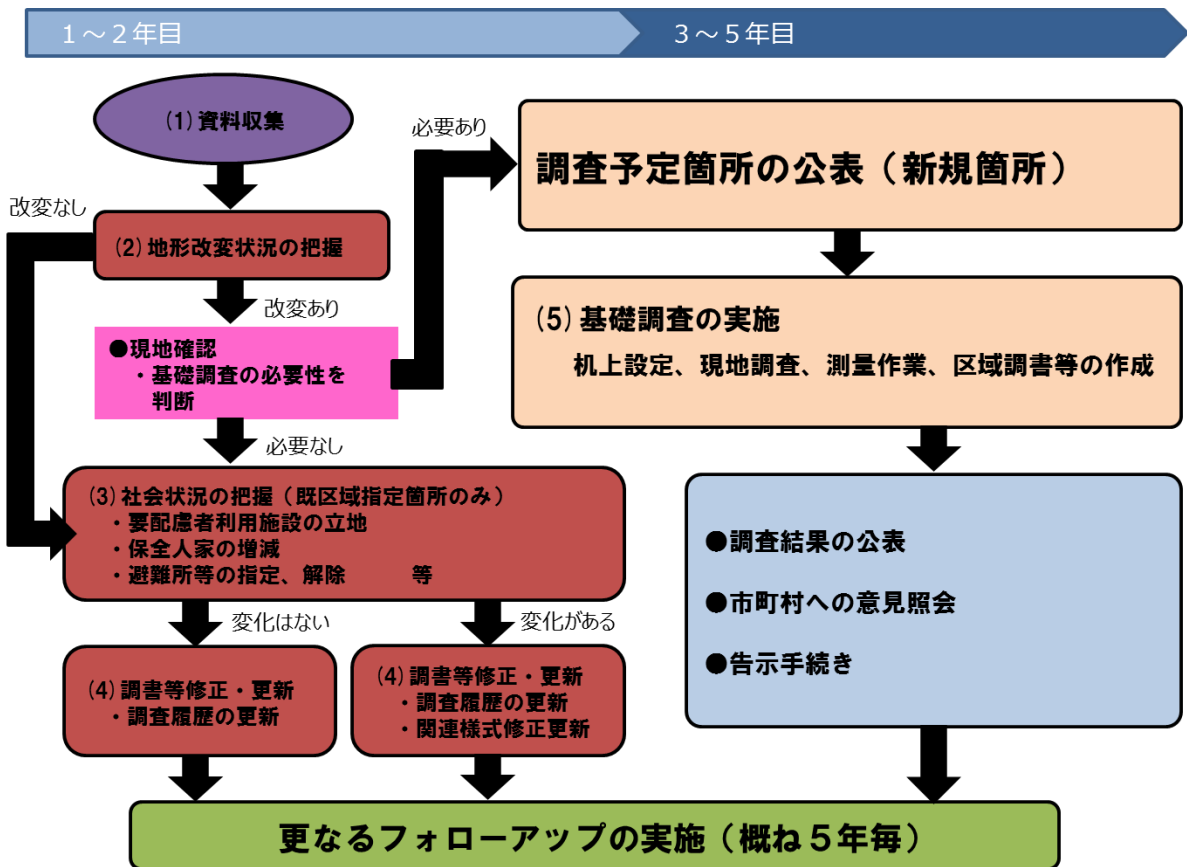


図-4 2巡目調査手法