

# 奈良県における流木発生ポテンシャルの調査検討について

寺中 希海<sup>1</sup>

<sup>1</sup>奈良県 県土マネジメント部 砂防・災害対策課 (〒630-8501 奈良県奈良市登大路町30)

近年、豪雨の頻発化により、土石流に流木を伴う災害が各地で発生しており、対策の重要性が高まっている。従来は、現地調査を通じて対策の優先順位を検討する必要があり、特に広範囲において検討する場合には、多大な労力と時間を要していた。本稿では、航空レーザー測量やAI解析を活用し、現地調査をほとんど行わずに流木発生ポテンシャルを評価し、対策の優先度を検討できることを示す。特に、その一環として実施した流出流木量の算出および設定方法を詳細に報告する。

キーワード 防災, IT, AI

## 1. はじめに

近年、豪雨の頻度・強度の増加により、人的被害・物的被害が大きい災害が増加している<sup>1)</sup>。特に、伊豆大島を中心に被害をもたらした平成25年台風第26号においては、溪流から土石流とともに流出した樹木（以下、流木）により、広範囲に被害が及んだ<sup>2)</sup>。このような背景から、全国的に流木災害への備えが検討されつつある<sup>3)</sup>。

流木対策としては、既存の砂防堰堤に流木止めを新設することや、流木捕捉効果の高い透過型鋼製砂防堰堤を新たに整備などが挙げられる。しかし、どの溪流に対してどのような対策を講じるべきか、また、どの溪流から詳細な調査を進めるべきかといった優先度を決定するためには、従来はすべての溪流について現地調査を行う必要があり、多大な労力と時間を要するものであった。

このような課題に対応するため、林野庁では航空レーザー測量を活用し、現地調査を実施せずに流木災害のリスクを特定する手法として「流木災害対策の必要な森林を抽出する手法 手引き書（案）」（平成28年3月）（以下、流木災害対策の手引き）を示されているところである。流木災害対策の手引きは、国土交通省の砂防部等でも利用を推奨しており、奈良県においても、流木災害対策の手引きを活用して、県内の全ての土砂災害警戒区域および土砂災害特別警戒区域に指定された溪流（以下、土石流危険溪流）の3,745溪流を対象として、山腹崩壊危険度および森林の土砂崩壊防止機能を評価し、流木発生の危険性がある斜面（以下、流木発生ポテンシャル）の抽出を実施した。さらに、流出流木量、土砂量、保全対象の有無等を評価因子として、流木対策の優先度評価

を行った。

都道府県全域の土石流危険溪流を対象として、このような調査を実施した事例は、全国的にも少ないと考えられる。本稿では、その一部として、流出流木量の算出および設定方法について、考察を加え報告する。

## 2. 発生流木量の算出の流れ

発生流木量の算出にあたっては、土石流発生時に想定される溪流の浸食幅内に存在する材積量（樹木の体積）を求める必要がある。材積量は一般に、現地調査で得られた「胸高直径（根元から高さ1.2 mにおける樹木の直径）」および「樹高（樹木の高さ）」を用い、各都道府県または林野庁が定めている立木幹材積表から導出される。

本稿では、前章で述べたように奈良県内全ての土石流危険溪流が、3,745溪流存在することから、従来のように現地調査を実施するのではなく、まず、全県の航空測量写真及び航空レーザー測量を実施した。その航空写真に人工知能（AI）を用いて、対象溪流の林相区分図を作成し、樹種ごとに分類を行った。次に、胸高直径および立木密度について換算式を導出し、材積算出に必要な値を推定した。さらに、樹高については航空レーザー測量の成果を活用して算出した。また、溪流の浸食幅についても、既存の基礎調査の成果を用いて机上で算出した。

以下では、これらの各手法について順に詳述する。

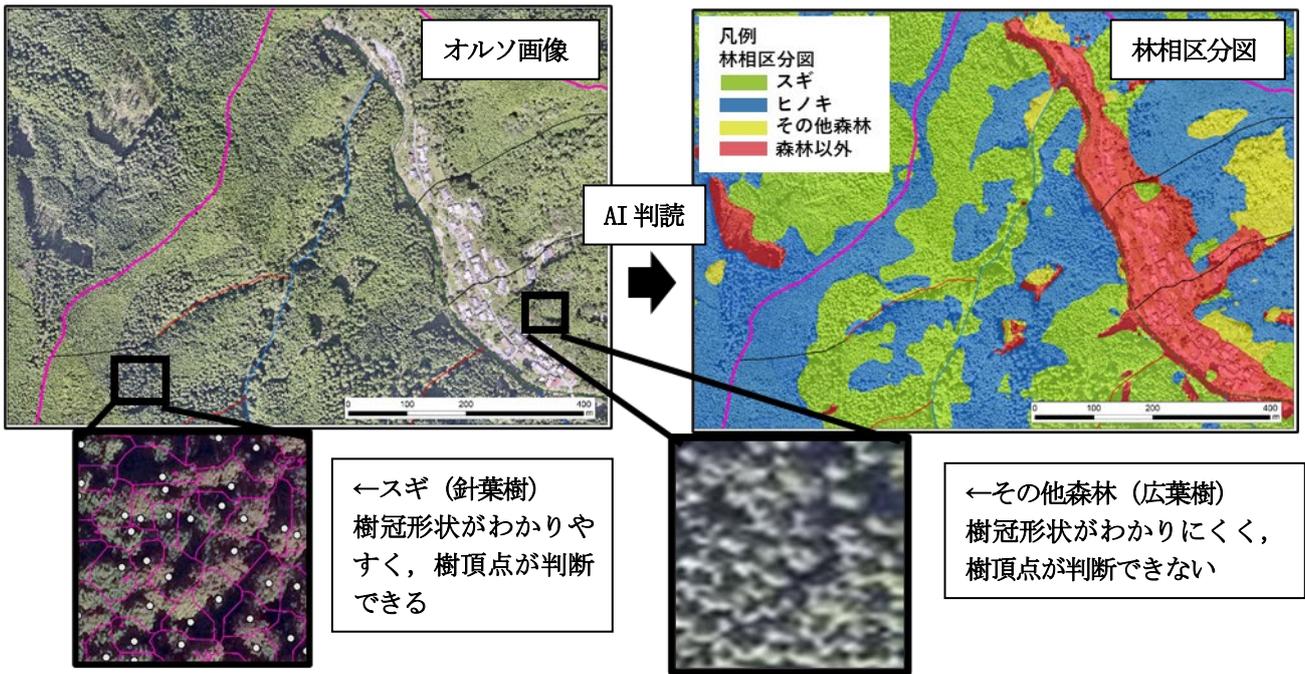


図-1 林相区分図の作成イメージ

### 3. 発生流木量算出に伴う因子の設定

#### (1) 林相区分図の作成

針葉樹と広葉樹では、発生流木量の算出に必要な樹高や胸高直径、材積などの特性が異なるため、林相区分図を作成し、針葉樹・広葉樹を分類する必要がある。

林相区分図の作成にあたっては、当初、森林計画図（地域森林計画の対象となる民有林の位置を森林基本図に林班界として示した図）および森林簿（森林の所在地、所有者、面積、森林の種類、材積、成長量などを記載した台帳）を活用できると考えていた。しかし、内容を確認したところ、森林計画図と森林簿の情報に不一致が見られるなど、樹種を特定することが困難であった。

そこで本調査では、全県で統一した基準による林相区分を漏れなく実施することを目的とし、対象溪流において、オルソ写真解析を人工知能（AI）を用いて実施した。

今回使用したAIは、日本国内で多数の樹種を把握した既存のオルソ写真を用いて深層学習（ディープラーニング）を行ったものであり、これにより「スギ」「ヒノキ」「その他森林」「森林以外」に分類した、全県統一基準による林相区分図を作成した。

さらに、作成した林相区分図の精度を検証するため、一部の溪流において現地調査を実施した。その結果、全体としては大きな誤差がないことを確認できたが、樹種が混在する箇所では判定に誤差が生じる事例が見られた。この要因としては、AIの教師データに全国的な汎用データを使用していることが挙げられる。奈良県や紀伊山地に特化した教師データを用いることで、地域ごとの植生の特性を反映することが可能となり、樹種が混在する

箇所においても、精度向上が見込まれる。

#### (2) 航空レーザー測量成果を用いた樹高の推定

樹高の算出には、航空レーザー測量成果を用いて樹頂点（樹木の最上部）を特定する必要がある。針葉樹は樹冠（樹木上部の枝葉が密集する部分）形状が明瞭であるため、樹頂点を判別しやすい。一方、広葉樹は樹冠の形状が複雑であり、樹頂点の判別が困難である。そのため、広葉樹については、流木災害対策の手引きのとおり、樹高の算出は行わず立木材積の推定を行う方法を採用した。広葉樹に関する内容は後の項で述べることとし、本項では針葉樹に関する結果のみを報告する。

針葉樹の樹高は、流木災害対策の手引きを基に、航空レーザー測量成果より求めた。

樹高は、航空レーザー測量のオリジナルデータ（ランダムポイント）であるDSM（航空レーザー測量で直接得られる標高データ（建物や樹木の高さを含む）と、そこから0.5mメッシュのDEM（建物や樹木の高さを取り除いた地表面の標高データ）の差分よりDCHM（樹冠表面の高さデータ）を作成した。そのDCHMデータを画像処理することで、DCHMのピークを求め、そのピークまでの地表面からの高さを樹高とした。

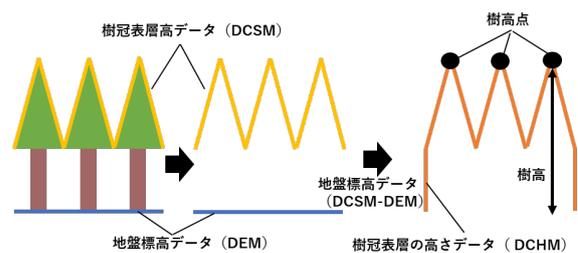


図-2 森林解析イメージ

(3) 胸高直径の推定

胸高直径は、航空レーザー測量成果からは枝葉の影響により直接計測することが困難である。そのため、流木災害対策の手引きにおいても、樹高から胸高直径を推定する換算式を導出する必要があるとされているため、本稿では、令和2年度から4年度にかけて奈良県内で実施された既往業務による現地調査347地点から得られた森林データを利用して、樹高と胸高直径の関係を整理し、換算式を導出した(図-3)。この換算式に前項で求めた樹高を代入することで、各単木の胸高直径を推定した。

今回の調査では、図中の赤色線の平均的な回帰式を全県で適用したが、プロットの分布をみると、例えば樹高20mの樹木でみると胸高直径はおおよそ20cmから最大60cmの範囲に散らばっている。胸高直径が2倍違うと材積量は4倍の違いとなるので流出流木量に大きく影響があり、今回の方法はばらつきが反映できていない。

なお、流木災害対策の手引きに示されている胸高直径の推定式についても、決定係数が0.713であり(図4)、今回算出された決定係数と比較すると高いが、同じ樹種でも胸高直径が同じで樹高のばらつきがあるのは考えられることであり、サンプル数を増やした影響と考えている。

このように判断しているものの、サンプル数を増やして検討した事例が少ないことから、今後は、圏域ごとの林相(樹種・樹高分布)や森林簿の林齢等を参考に、圏域ごと(奈良県では、大和川圏域、紀の川圏域、淀川圏域、新宮川圏域)にサンプルを分類・集計したうえで関係式を圏域ごとに作成することで精度向上できるのではないかと考えている。なお、サンプルの収集については、今後の砂防事業において実施される現地調査の成果を用いることで、効率的に圏域ごとのデータを得ることができると考える。

また、関係式の形についても、流木災害対策の手引きにおいて示されている1次関数としたものの、実測データの傾向に応じて2次関数や他の近似式と比較検討することが有効であると考えられる。

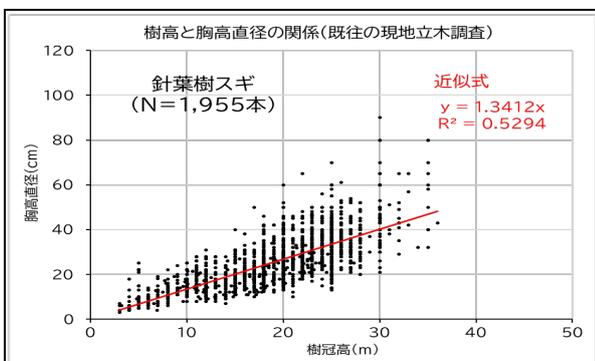


図-3 樹高と胸高直径の関係(針葉樹)

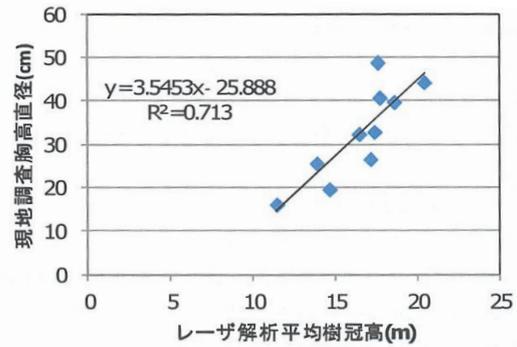


図-4 樹高と胸高直径の関係(流木災害対策の手引き)

(4) 材積量の算定

針葉樹については、前章で推定された胸高直径に基づいて、流木災害対策の手引きが示す計算式(式1)により単木ごとの立木材積を算出し、流域または溪流単位で集計を行った。

$$V_{wy2} = \pi \cdot H_w \cdot R_w^2 \cdot \frac{K_d}{4} \quad (\text{式1})$$

$V_{wy2}$ : 単木材積 ( $m^3$ )       $H_w$ : 樹高 (m)  
 $R_w$ : 胸高直径 (m)       $K_d$ : 胸高係数

一方、広葉樹については、樹冠形状が不明瞭で単木の識別が困難なため、流木災害対策の手引きに基づき、調査プロット(10mメッシュ)内のDCHMの合計(総体積)と、現地調査により得られた単位面積あたりの立木材積(100 $m^2$ あたり)との関係を求め、DCHMから樹高を用いることなく、直接立木材積を推定する換算式を作成した。この総体積法により、10mメッシュごとに立木材積を算出した。

換算式を作成にあたっては、針葉樹と同様に、奈良県内で過去に実施された既往業務の成果から得られた森林データをサンプルとして活用した。ただし、広葉樹林は天然林が多く、針葉樹と比較して樹種・樹齢・樹形が多様であるため、今後は、針葉樹と同様に広葉樹についても圏域ごとにサンプルを分類・集計した上で、圏域単位で換算式を作成することにより、各流域における林相の特性を反映した推定が望まれる。

4. 発生流木量の算出

前章で作成した林相区分図および単木ごとの位置情報、樹高、胸高直径、立木材積を用いて、針葉樹と広葉樹を区別して発生流木量を算出した。

針葉樹については、谷次数区分と林相区分、樹頂点を重ね合わせ、谷次数別に設定された侵食幅内に含まれる

樹頂点を抽出した。抽出された各単木について、前章で求めた材積を用い、流木災害対策の手引きが示す計算式(式2)により発生流木量を算出した。

$$V_{wy} = \frac{B_d \cdot L_{dy13}}{100} \cdot \Sigma V_{wy2} \quad (\text{式2})$$

$V_{wy}$  : 発生流木量 ( $m^3$ )  
 $B_d$  : 土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅 ( $m$ )  
 $L_{dy13}$  : 発生流木量を算出する地点から流域の最遠点である分水嶺までの流路に沿って測った距離 ( $m$ )

広葉樹については谷次数区分と林相区分、10m メッシュごとに算出した単木材積を重ね合わせ、土石流発生時に侵食が予想される平均溪床幅内にかかる10m メッシュ内の単位体積当りの発生流木量を算定した。

## 5. 流出流木量の算出

流出率については、流木災害対策の手引きにおいて、治山施設等が未整備の溪流における標準的な上限値として0.9が示されている

そのことから、流出流木量は、前章で算出した発生流木量に対して、流出率である0.9を乗じることにより算出した。

流出率を0.9とした場合の結果は、流出流木量が0~25, 100  $m^3/km^2$ の範囲で分布しており、特に県北東部において高い傾向が確認された。(図-5)

## 6. おわりに

本稿では、奈良県内のすべての土石流危険溪流を対象として、現地調査をほとんど行わずに流出流木量の算出を実施した。今回は事例が少ないことから現地調査を行ったものの、現地調査なしに実施できることがわかった。広域にわたる調査において、航空レーザ測量成果を活用した本手法は、従来のように溪流ごとに実施してきたサンプリング調査と比較して効率的であり、調査者による判断のばらつきが生じにくいことから、全県一律の評価が可能となり、溪流間の比較に適している。

本稿の林相区分図の作成に用いたAIについては、全国的な一般データを教師データとして使用したが、奈良県および紀伊山地の地域特性を反映したデータを用いることで、さらなる精度向上が期待される。また、胸高直径や材積の推定に用いた換算式については、ばらつきの反映が課題である。今後は、砂防全体計画策定時に実施される現地調査の結果を蓄積して、圏域ごとの特性を反映

した換算式とすることで、より現地の実態に即した推定が可能になると考えられる。

本稿で示した方法は、広範囲においての流木災害対策の優先度を検討する際の基礎資料として有効であるといえる。本県においては、今回の結果を活用して流木対策を進めて行きたいと考えている。

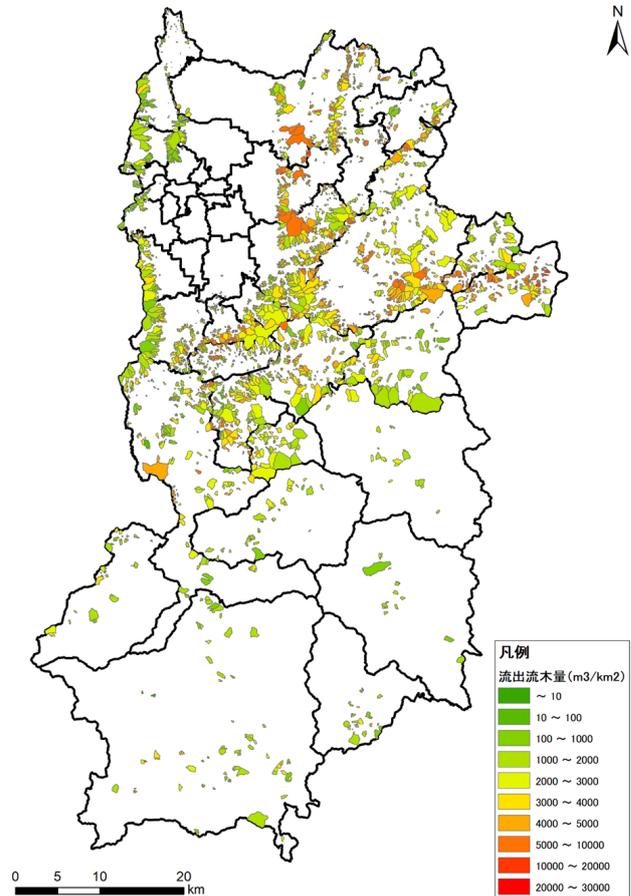


図-5 土石流溪流における単位面積当たりの流出流木量 ( $m^3/km^2$ )

## 参考文献

- 1) 気象庁：「災害をもたらした気象事例」, 気象庁ウェブサイト, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index.html>,
- 2) 砂防・地すべり技術センター：「平成25年台風26号による伊豆大島土砂災害の現地調査報告」, 『砂防学会誌』
- 3) 国土交通省砂防部：「土砂災害対策の強化に向けて 提言」, 平成26年7月, 『土砂災害対策の強化に向けた検討会』
- 4) 林野庁：「森林・林業白書 令和5年度」

# 天神川氾濫災害について ～再現計算による氾濫事象の再現～

杉原 智史<sup>1</sup>

<sup>1</sup>兵庫県 土木部 河川整備課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

2023年5月8日、(二)武庫川水系天神川(以下、「天神川」という。)の堤防強化工事中に洪水が仮締切を越水し、本堤が破堤する大規模な氾濫災害が発生した。本論では、破堤後の現場状況から氾濫原因を特定するという課題に対して、計算により氾濫事象を再現し、破堤に至ったメカニズムを解明した過程で得られた知見を報告するものである。

キーワード 氾濫事象の再現、二次元不定流計算、二次元浸透流計算

## 1. はじめに

天神川の堤防強化工事中、2023年5月6日～8日の降雨(時間最大29.4mm/hr)によりピーク流量が16.0m<sup>3</sup>/sに達し、2023年5月8日0時30分頃に本堤が破堤した。

発災直後から、マスメディアやSNS等で状況が伝えられた。また、工事中の出来事であり、被害も甚大であったことから、氾濫原因を特定した上で、当該箇所における残工事の施工方法を整理するとともに、今後の安全な河川工事のあり方を審議する目的で、2023年6月8日に「天神川氾濫災害調査委員会」(以下、「調査委員会」という。)を設置した。

本論では、破堤後の現場状況から氾濫原因を特定するという課題に対して、二次元不定流計算や二次元浸透流計算により氾濫事象を再現し、破堤に至ったメカニズムを解明した過程で得られた知見を報告する。

ると、水位が急激に上昇する河川である。また、天神川の5.2kmのうち2.8kmで河床高が堤内地盤高より高い天井川となっている(写真-1)。

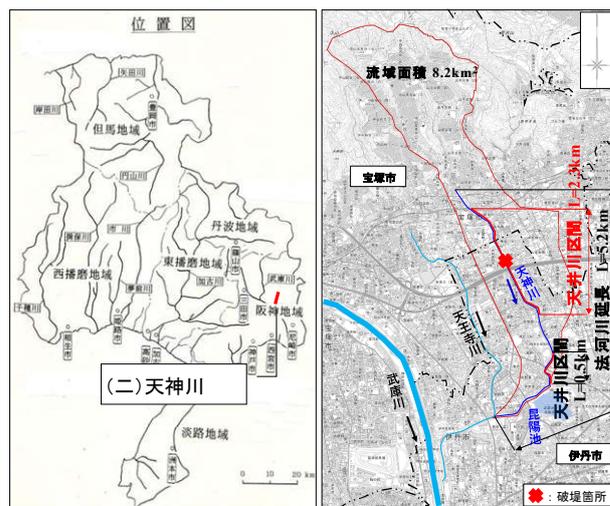


図-1 位置図

## 2. 天神川の氾濫災害について

### (1) 天神川の概要

天神川は兵庫県宝塚市中山五月台にその源を発し、途中、天王寺川と合流し武庫川に合流する、流域面積8.2km<sup>2</sup>、法河川延長5.2kmの県管理河川である(図-1)。

古くは、奈良時代の高僧である行基により、昆陽上池(現在の昆陽池)に導水するため、昆陽上池溝として整備されたと言われており、その後約1,300年の中で上流から流れてくる土砂による埋塞、浚渫を繰り返し、災害復旧や河川改修事業により現在の天神川となった。晴れた日であれば水が流れない枯れ川であるが、一旦雨が降



写真-1 天井川区間(手前は破堤箇所)

(2) 事業概要

天井川区間のうち上流側のL=2.3kmでは、河川改修から50年以上経過し、堤体からの漏水が確認されたこともあり、2009年度から老朽化した河床張りコンクリートと護岸の改修を行う堤防強化工事に着手している。今回破堤した箇所以外については堤防強化工事が完了していた。

(3) 今回工事の概要

天神川の河道下を貫く市道長尾荒牧トンネルの改築及び天神川堤防強化の本体工に先立ち本体工で必要となる仮設部分を工事発注していた。

工事内容は、①重機等の荷重によるトンネル崩落を防止するための流動化材を用いたトンネル内充填、②トンネル周辺の土砂を支えるための土留工（親杭横矢板、切梁等）の設置、③工事期間中、河川内の流水を受ける仮設鋼板水路の設置である（図-2）。

これらは、既設トンネルを撤去した後、新たにボックスカルバートを設置する本体工の準備として施工していた。

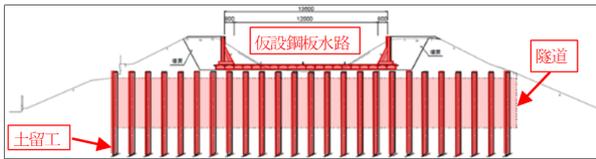


図-2 計画横断面図

(4) 氾濫被害の発生

2023年5月6日～8日の降雨により2023年5月8日の0時30分頃に洪水が仮締切を越えし、仮設鋼板水路設置に向けて部分的に開削していた本堤が決壊し、浸水被害が発生した（図-3）、（写真-2,3）。

決壊した堤防延長は約30mであり、浸水面積は約3.3haに広がった。人的被害は負傷者1名、物的被害は床上浸水2棟、床下浸水10棟であった。

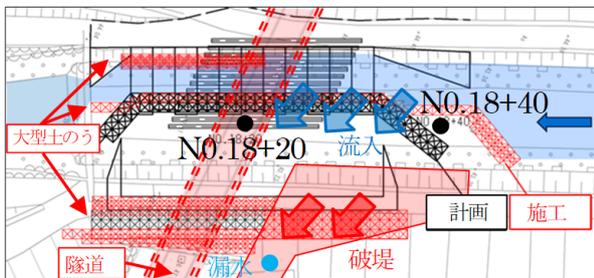


図-3 被災時平面図



写真-2 被災状況(2023年5月8日 2:30)



写真-3 被災状況

3. 被災時の状況整理

(1) 降雨状況

被災箇所周辺にある国、県、市の雨量データを収集し、ティーセン分割により流域平均雨量を算定した結果、時間最大雨量は、5月7日23時00分から24時00分の29.4mm/hr、連続雨量は5月6日20時から5月8日4時までの187.17mmであった。

(2) 目撃情報の収集

氾濫原因の究明にあたり、どのような過程を経て破堤に至ったのか客観的な情報を得る必要があるため、地元住民、工事施工業者から目撃情報を聴聞した（表-1）。

表-1 目撃情報

日時	目撃情報（図-2参照）
5月7日 23時30分頃	No.18+20付近で仮締切工の大型土のうからの越流が始まる。
5月7日 23時40分頃	No.18+20からNo.18+40区間で大型土のうからの越流が拡大。
5月8日 0時00分頃	No.18+20からNo.18+40区間で大型土のうからの越流が継続し、左岸側に流木が流れ込み、仮締切内の水位が上昇。（大型土のうの23程度、約60cm）
5月8日 0時25分頃	No.18+20、No.18+40付近で大型土のうが転倒していることを確認。左岸川裏側堤防中腹の小段部からの漏水（パイピング）を確認。
5月8日 0時30分頃	トンネルの左岸上流端部付近で堤防の決壊を確認。決壊幅は5cm程度であった。
5月8日 1時15分頃	上流側へ決壊が進み、最終的な決壊幅は約30cm程度となったことを確認。

#### 4. 被災流量の推定

##### (1) 伊丹市のライブカメラ映像による流量の推定

今回の出水による洪水痕跡を調査したが、明確な痕跡を確認することができなかった。このため、氾濫箇所約300m上流に設置されている伊丹市のライブカメラ(30分毎に静止画を撮影)から水位を確認し(図-4)、等流計算により流量を算出した(図-5)。その結果、ピーク時の流量は5月8日0時00分で16.0 m<sup>3</sup>/s(水位0.87m)と推定した。



図-4 伊丹市ライブカメラ映像

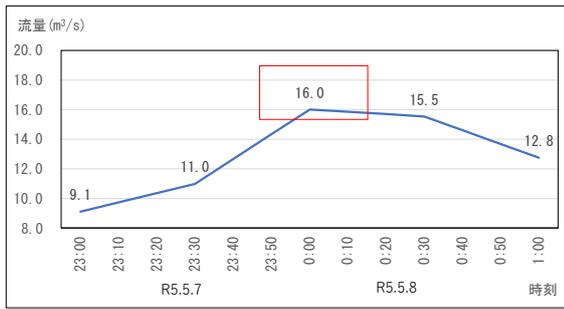


図-5 伊丹市ライブカメラ地点のハイドログラフ

##### (2) 準線形貯留関数モデルによる流量の推定

4.(1)で算出した流量はあくまで簡易な手法での推定流量であり、ライブカメラ映像が鮮明でないという課題もあることから、解析による流量算出も試みた。まず、被災流量を容易に算出可能な合理式法により算出したところ被災流量は22.18m<sup>3</sup>/s、被災水位は1.1mとなった。しかし、ライブカメラ映像(水位0.87m)と大きく乖離した結果となった。そのため、被災流量の確度を高める、別の手法での流量算出を実施した。

天神川流域の上流部には山地を開発した住宅地が広がり(図-6)、防災調整池もあることから、土地利用と貯留効果を考慮できる、「準線形貯留関数モデル」により流量の算出を実施した。ただし、天神川には水位計が設置されていないこと、また、流量観測も行っていないことから、流出解析条件の同定作業を行うことができないため、解析に用いた土地利用の定数は標準値とした。その結果、ピーク流量は5月8日0時00分の14.65 m<sup>3</sup>/s(水深

0.82mと推定)と算出した。

この結果は、ライブカメラ映像から推定したピーク時刻、流量とも概ね一致していることが確認できたため、今回の被災ピーク流量は実現象を撮影したライブカメラ映像から算出した5月8日0時00分の16.0m<sup>3</sup>/sと断定した。



図-6 土地利用区分図

#### 5. 氾濫事象の再現

##### (1) 平面二次元不定流計算モデルによる流況再現

4で算出した被災ピーク流量を用いて、被災箇所における仮締切の越水状況の再現を試みた。

一次元不等流計算では仮締切を越流した後の流況を再現することができないこと、また、4.(1)で算出した30分毎のハイドログラフの流況(不定流)を再現できないことから、平面二次元不定流計算モデルによる流況再現を実施した。解析メッシュは、土のうの大きさ(約1m)を考慮して50cm程度とした。平面二次元不定流計算による流況計算と各時刻の目撃証言が一致することを確認し、モデルの妥当性を確認した。

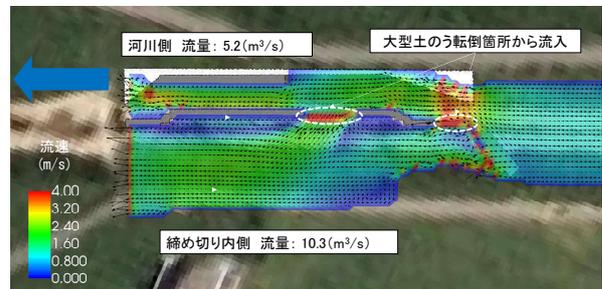


図-7 破堤時の流速コンター図(5月8日0:30二次元不定流計算)

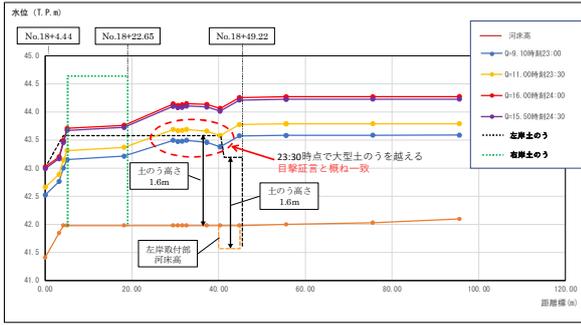


図-8 破堤時の水位縦断面

(2) 二次元浸透流計算によるパイピング破壊の再現

現場では仮締切を越水した後、堤防が破堤に至った。この現象を再現するため、二次元浸透流計算により浸透破壊について検証を行った。検討位置は、パイピングが生じた左岸堤防部(図-9)及び20m上流側の左岸堤防部(図-10)とした。堤防への外力は、5(1)の二次元不定流計算より算出した仮締切内の水位とした。浸透流計算の結果、左岸堤防部(図-9)において、5月8日0時25分に堤防裏法の小段部の局所動水勾配が限界動水勾配を上回りパイピングが生じる結果となった。

これは目撃証言とも一致しており、モデルの妥当性を確認することができた。

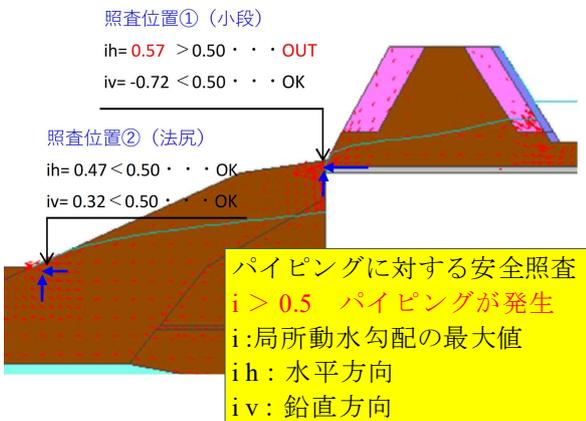


図-9 浸透解析結果 (ケース1 : No.18+20)

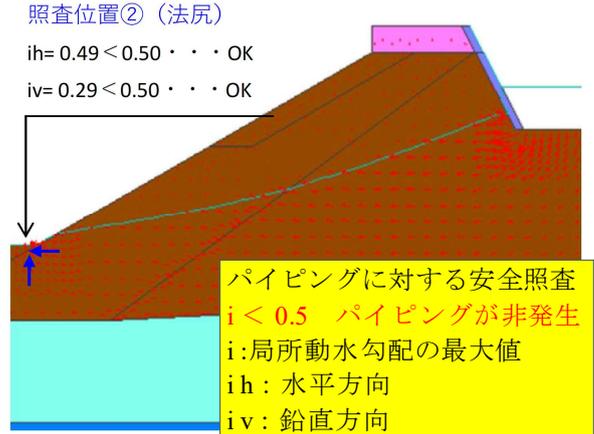


図-10 浸透解析結果 (ケース2 : No.18+40)

6. 氾濫災害の原因特定

(1) 再現モデルによるケーススタディ

前章の再現モデルを基に、計画と施工で異なる条件に着目し、今回の氾濫原因の絞り込みを行った。設計時の条件と異なる①水路幅、②土のう高さ、③土のうの積み方、④河床の遮水措置の条件を組合せた8ケースにおいてケーススタディを実施した。

結果は表-2のとおりであり、以下①～④結論を導き出した。

- ①水路幅 (現場再現とケースB, C, F, Gの比較) では、設計どおり4m確保できていれば決壊に対して安全になるため、水路幅が設計どおり4m確保できていれば破堤しない。
- ②土のう高さ (現場再現とケースAの比較) では、いずれも破堤の可能性があり、土のう高さは破堤に影響がない。
- ③土のうの積み方 (現場再現とケースDの比較) では、いずれも破堤の可能性があり、土のうの積み方は破堤に影響がない。
- ④河床の遮水措置 (現場再現とケースHの比較) では、河床へ遮水ができていれば破堤しない。

(2) 被災原因の特定

被災時の河道は、クレーンの施工ヤードを確保するため土のうを設置し、水路幅が4m確保されておらず、仮締切工の大型土のうを越水し、仮締切工内に溢水した。

仮締切工内は、既設河床張コンクリートを剥離させた状態であり、容易に仮締切工内に流入した水が河床から堤防へ浸透できる状態であった。仮締切工内に流入後、仮締切工内の水位や堤体内の水位が上昇したことから堤防裏法面中段の小段付近からパイピングが発生し、堤防決壊に至ったと特定した。

一般部門(安全・安心) :No.02  
表-2 氾濫シミュレーション

計 算 条 件			現場再現	氾濫要因の洗い出し (シミュレーション)									
				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
① 対象雨量 (流 量)	既往最大 51.0mm/hr	Q=34.3m³/s	29.4mm/hr	29.4mm/hr	29.4mm/hr	29.4mm/hr	29.4mm/hr	29.4mm/hr	29.4mm/hr	29.4mm/hr	29.4mm/hr	51.0mm/hr	51.0mm/hr
	実績 29.4mm/hr	Q=16.0m³/s	16.0m³/s	16.0m³/s	16.0m³/s	16.0m³/s	16.0m³/s	16.0m³/s	16.0m³/s	16.0m³/s	16.0m³/s	34.3m³/s	34.4m³/s
② 仮水路断面	水路幅	計画 w=4.0m	w=1.8~4.0m	W=1.8 ~4.0m	W=4.0m	W=4.0m	W=1.8 ~4.0m	W=1.8 ~4.0m	W=4.0m	W=4.0m	W=1.8 ~4.0m	W=1.8 ~4.0m	W=4.0m
		施工 w=1.8~4.0m											
	土のう高さ	計画 H=2.0m	H=1.6m	H=2.0m	H=1.6m	H=2.0m	H=1.6m	H=2.0m	H=1.6m	H=2.0m	H=1.6m	H=1.6m	H=2.0m
		施工 H=1.6m											
③ 土のうの積み方		計画 上1下2	上1 下1	上1 下1	上1 下1	上1 下1	上1 下2	上1 下2	上1 下2	上1 下2	上1 下1	上1 下1	上1 下2
④ 河床の遮水措置		有り	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	無し	有り	有り	無し
		無し											
考えられる要因	① 雨量の想定	△ 概ね想定内 (実測33mm/hr)	△	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○
	② 通水断面の確保	× 不足していた	×	×	○	×	×	×	×	○	×	×	○
	③ 土のうの安定	× 不安定だった	×	○	○	×	×	○	○	○	×	×	○
	④ 河床の遮水	× 遮水できていなかった	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	×
破堤危険度 (可能性)		× 破堤	×	○	○	×	×	○	○	○	○	○	×

### 7. 今後の課題

被災流量を推定するため、4.(1)で述べたとおり、当初は合理式法で推定していたが、実現象と大きく乖離が生じる数値となった。

合理式法は簡便に流量を算出できるメリットがある一方、天神川のような流域が小さく、洪水到達時間が1時間も満たない河川であれば、実際の流量より大きい値が算出されると考える。また、天神川上流部には貯留施設があったことで、その貯留効果も考慮すべきであった。このように、適用する流出解析モデルにより河川流量の推定精度が大きく異なるため、流出解析モデル毎の特性を把握した上で適用する必要がある。

河川に関する流出解析モデルは多数存在することから、現場の特性に応じたモデルを選択することは容易

ではなく、我々、河川技術者は常に研鑽し、知識の幅を広げていく必要がある。

### 8. おわりに

被災に関する再現計算においては、水位計や河川監視カメラがなく、破堤後の壊滅的な現場状況から氾濫原因を特定することは困難を極めた。幸い、周辺のライブカメラや目撃証言により被災流量の算定を行い、被災当時の河川状況の再現を精緻に行うことができた。

本論が、同様の災害のメカニズムを解明する際の一助となれば幸いである。

# 淀川水系の総合土砂管理について

徳野 峻治<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 和歌山河川国道事務所 工務第二課 (〒640-8227 和歌山県和歌山市西汀丁16番)

ダム貯水池における堆砂は、貯水容量を圧迫することでダムの機能を低下させることから、ダムの長寿命化の実現に向けた最大の課題である。一方で、ダム下流河川ではダムによって土砂が堰き止められることで、流下土砂量の減少により河床低下、河床の粗粒化等の問題が発生している。こうした課題への対策として天ヶ瀬ダム下流の宇治川及び淀川本川において、下流河川の流砂環境の再生の観点から想定される土砂還元の制約条件及び期待する効果を定式化し、適切な土砂還元の量及び粒径の範囲を検討した。

キーワード 総合土砂管理, 土砂還元, 流砂環境再生

## 1. 淀川水系総合土砂管理の概要

淀川は、その源を滋賀県山間部に発する大小支川を琵琶湖に集め、大津市から河谷状となって南流し、桂川と木津川を合わせて大阪平野を西南に流れ、途中神崎川及び大川（旧淀川）を分派して大阪湾に注ぐ、幹川流路延長75km、流域面積8,240 km<sup>2</sup>の一級河川である。(図-1)



図-1 淀川流域図

淀川水系には、合計で9つのダムが存在し、その内の一つである天ヶ瀬ダムは、1964(昭和39)年に淀川水系淀川(宇治川)に建設されたダムである。天ヶ瀬ダムの堆砂状況について、進行しており、2021(令和3)年度時点の全堆砂量は5,128千m<sup>3</sup>、計画堆砂量(6,000千m<sup>3</sup>)に対する堆

砂率は85.8%、比堆砂量254m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年となっており、計画比堆砂量171m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/年と比較して約1.5倍の速さで堆砂が進行している。堆砂量の増加は、洪水調節機能の低下に繋がるため、土砂の掘削等を実施している。

天ヶ瀬ダムの下流河川である宇治川及び淀川本川の状況について、天ヶ瀬ダムの建設以降上流から流れてくるはずの土砂が天ヶ瀬ダムに堆砂し、土砂が下流まで流れてこない。その影響を受けて、宇治川の一部区間において、河床低下や粗粒化が起きている。

天ヶ瀬ダムの堆砂及び下流河川の土砂供給量の減少の二つの課題を解決するために天ヶ瀬ダム直下に土砂還元を実施することを検討している。その中で、土砂還元を実施するにあたり、宇治川及び淀川の現状と抱えている問題を把握する必要がある。

## 2. 宇治川及び淀川本川の現状と問題の整理

### (1) 河床材料の粗粒化

昭和40年から令和4年の河床材料調査の結果(図-2)によると47.0k~51.0k付近において、河床材料の粗粒化が見られる。天ヶ瀬ダムができたことにより、細かい粒径の土砂が流れてこないため河床がアーモークコート化し、河床材料が粗粒化することが考えられる。

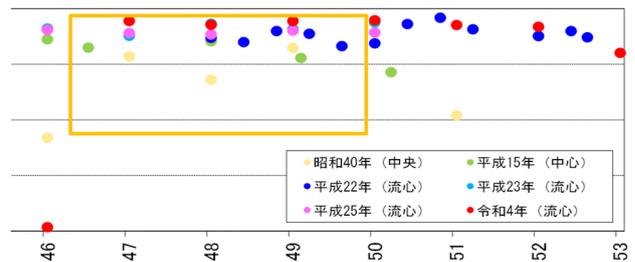


図-2 河床材料平均粒径縦断面図

河床材料が粗粒化することにより、オイカワ、アユ等の産卵床の減少等の生物環境への影響が考えられる。

(2) 河床低下

昭和50年から令和4年の横断測量の結果(図-3)によると42.6k地点から48.0k地点において、横断図を経年的に確認すると河床低下が進行している。天ヶ瀬ダムが建設されたことにより、土砂供給量が減少し、河床低下を引き起こしていると考えられる。過度な河床低下は構造物の基礎の露出等の安全性への影響が懸念される。特に観月橋では、橋梁の基礎が露出しており、構造物への影響が懸念される。

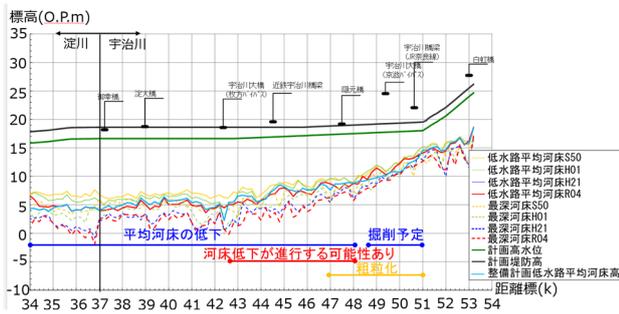


図-3 低水路平均河床縦断図

(3) 流下能力確保

昭和50年から令和4年の横断測量の結果によると48.4k地点から51.0k地点では堆積傾向にある。この区間は、川幅が他の区間と比べて広がっている。そのため、流速が落ち、土砂が堆積する傾向となっている。また、「淀川河川整備計画(変更)」に基づき淀川本川及び宇治川では、流下能力確保のため、河床の掘削等の対策を実施している。治水上必要な河積は、河床掘削箇所のみではなく、全ての区間において、確保する必要がある。

上記で整理した各問題を解決するためには、各問題箇所における管理目標を定め、目標に向けた対策を実施していく必要がある。そのため、天ヶ瀬ダム下流の宇治川及び淀川本川において、下流河川の流砂環境の再生の観点から想定される土砂還元への制約条件及び期待する効果を定式化し、適切な土砂還元の量及び粒径の範囲を検討した。

3. 各問題箇所における管理目標と評価手法

(1) 評価手法

天ヶ瀬ダム直下に置土を実施した場合の各問題箇所における評価手法を検討した。各問題に対応するため、粒径の変化及び河床変動高の2つの指標で評価を行う。

a) 粒径の変化で評価

評価する上での考え方は、置土を行わない場合よりも

行う場合の方が河床の粒径が小さくなることと土砂還元による大幅な河床環境の変化を避けるため礫床区間の砂床化は回避することである。

評価方法としては、置土を行う場合及び行わない場合の河床変動計算後の粒径の構成比率を比較する。

条件式は次の式(1a)とする。

$$D_{60a} > D_{60af}(A_i, B_j) > 2.0 \quad (1a)$$

各変数は、次の通りである。

D60a : a地点における置土を実施しない場合の河床変動計算後のD60粒径 (mm)

D60af(Ai, Bj) : 天ヶ瀬ダム直下に土砂量Ai (m³), 粒径Bj (mm) の置土をした場合の河床変動計算後のa地点のD60粒径 (mm)

Ai : 天ヶ瀬ダム直下の置土量 (m³)

Bj : 天ヶ瀬ダム直下の置土の粒径 (mm)

b) 河床変動高の変化で評価

評価する上での考え方は、長期の河床変動高が一定の範囲に収まっていることである。

評価方法としては、「河道計画検討の手引き」(平成13年)より「低水路の安定性の判断については、10年間で30cm~40cm程度以内の変化を一つの目安とすること」をできる」との記載から河床変動計算前後の河床変動高が±0.3m/10年に収まっていることとする。本稿では、河床変動計算を24年間で実施するため、±0.72m/24年とする。

条件式は次の式(1b)とする。

$$-0.72 > Zaf(A_i, B_j) > 0.72 \quad (1b)$$

各変数は、次の通りである。

Zaf(Ai, Bj) : 天ヶ瀬ダム直下に土砂量Ai (m³), 粒径Bj (mm) の置土をした場合の河床変動計算後のa地点の河床変動高 (mm)

Ai : 天ヶ瀬ダム直下の置土量 (m³)

Bj : 天ヶ瀬ダム直下の置土の粒径 (mm)

(2) 管理目標に向けた条件式

宇治川及び淀川における問題箇所から管理目標に向けた条件式を図-4のとおり示す。図-4の条件式を満たす置土の量や粒径を把握する必要がある。

河川	現状	問題		管理目標(案)	管理目標の条件式
		内容	箇所		
淀川・宇治川	土砂の再堆積	流下能力の確保	全区間	過度な堆積の防止	$Zaf(A_i, B_j) < 0.72$ a: 0.0k~53.0k
	河床低下	構造物への影響	37.2k~48.0k	河床低下の抑制	$-0.72 < Zaf(A_i, B_j)$ a: 37.2k~48.0k
宇治川	土砂の再堆積	流下能力の不足	48.4k~50.4k	河積の確保	$Zaf(A_i, B_j) < 0.72$ a: 48.4k~50.4k
	河床材料の粗粒化	生態系への影響	47.0k~51.0k	粗粒化の改善	$D_{60a} > D_{60af}(A_i, B_j) > 2.0$ a: 47.0k~51.0k

図-4 問題箇所と管理目標に対する条件式

#### 4. 受け入れ可能土砂量の検討

##### (1) 計算条件及び計算結果

###### a) 計算条件

天ヶ瀬ダム直下に置土を行った際に宇治川及び淀川本川において、受け入れ可能土砂量を検討する。土砂量の検討を行うため、河床変動解析(準二次元)を実施した。河床変動解析の条件として、河床は河川整備計画に基づき計画されている河床掘削を実施した河床とする。流量は1999年から2022年までの24年間の実績降雨とする。また、置土の条件としては、天ヶ瀬ダム直下の52.0k~53.0kに実施し、粒径はそれぞれ0.069mm, 1.3mm, 13mm, 31mm, 63mmとする。置土量は10,000m<sup>3</sup>とする。計算期間の24年間に毎年1度、同時期同条件で置土を行う。上記の条件として理由は、粒径の変化によってどの箇所に堆積するかが変わることが想定されるためである。

###### b) 計算結果(河床変動高)

淀川本川においては、どの粒径においても置土なしの場合と置土ありの場合で河床変動高が変わらない結果となった(図-5)。宇治川においては、置土なしの場合と置土ありの場合で置土の粒径ごとに河床変動高が変わる結果となった(図-6)。置土なしの場合は、35.0k付近~48.0k付近まで侵食傾向にあり、特に43.0k付近から47.0k付近まで過度な侵食傾向にある。一方で、48.4k付近から50.2k付近までは堆積傾向にある。置土ありの場合において、置土の粒径が0.069mmと1.3mmの場合、河床にはほとんど影響せず、河口まで流れる。13mmの場合、侵食傾向のある44.0k~48.0kにおいて、侵食傾向が緩和される。31mmの場合、堆積傾向のある49.0k付近と50.0k付近において、堆積傾向が助長される。63mmの場合、50.0k~51.0kにおいて、堆積傾向が助長される結果となった。

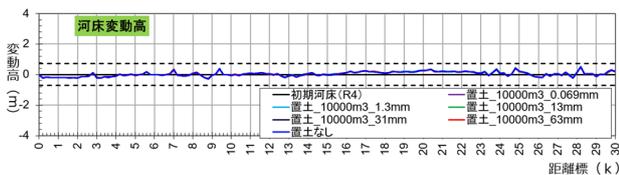


図-5 各条件における河床変動高(淀川本川)

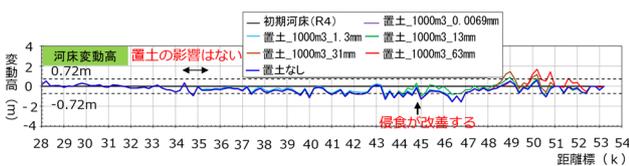


図-6 各条件における河床変動高(宇治川)

###### c) 計算結果(粒径)

淀川本川においては、どの粒径においても置土なしの場合と置土ありの場合で粒径の変化はほとんどない結果

となった(図-7)。宇治川においては、置土の粒径ごとに河床材料の粒径が変わる結果となった(図-8)。0.069mmと1.3mmの場合は、あまり変化しないが、13mmと31mmの場合は、それぞれ47.0k~51.0k, 48.0k~51.0kにおいて、平均粒径が細粒化した。

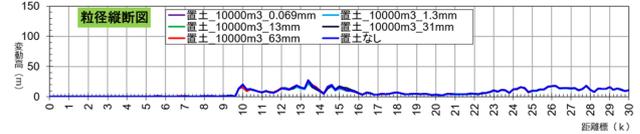


図-7 各条件における粒径縦断面(淀川本川)

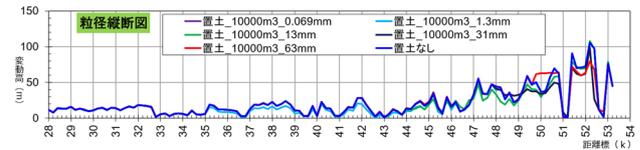


図-8 各条件における粒径縦断面(宇治川)

##### (2) 計算結果の考察

###### a) 河床材料の粗粒化

宇治川において、河床材料の粗粒化区間である47.0k~51.0kに対し、置土の粒径が13mm及び31mmの場合、細粒化する結果となった。その他の粒径では、河床材料にほとんど変化はない。置土を実施する際には、13mm~31mmの粒径を中心に構成することが考えられる。

###### b) 河床低下

宇治川において、河床低下区間である42.6k~48.0kに対し、置土の粒径が13mmの場合、44.0k~48.0kにおいて、侵食傾向が緩和される結果となった。その他の粒径で、0.069mmと1.3mmの場合は、ほとんどが河口まで流れるため、対象の区間には影響がなく、31mmと63mmの場合は、河床低下区間外に堆積する。置土を実施する際には、13mmの粒径を中心に構成することが考えられる。

###### c) 流下能力確保

宇治川において、置土の粒径が13mmと31mmと63mmの場合は、過剰な堆積が起こる結果となった。置土を実施する際には、粒径を13mm以下とする必要がある。

###### d) 計算結果の整理

前述より各問題に対する適切な置土の条件は異なり、両立することは難しいと考えられる。そのため、例として、過度な堆積箇所については、維持掘削や砂利採取等を実施するといった検討が必要となる。

また、単一粒径ごとに検討したことによって、各粒径ごとに影響する範囲が異なることが分かった。そのため、置土の粒径を選ぶことによって置土の供給が必要な区間に対して、影響を与えることが可能である。

## 5. まとめと今後の課題

本稿では、宇治川及び淀川本川における土砂還元の制約条件及び期待する効果を定式化し、適切な土砂還元の量及び粒径の範囲を検討した。

検討結果としてまとめると以下のとおりである。

置土を実施するにあたり、宇治川は、河床材料の粗粒化や河床低下といった問題や宇治川及び淀川本川において、流下能力の確保が問題としてあげられる。そういった問題と天ヶ瀬ダムの堆砂問題を解決するため、置土を実施することが考えられる。置土の実施にあたっては、置土の量や粒径を把握するため、河床変動解析を実施した。計算結果より、天ヶ瀬ダム直下流1カ所に置土を行う条件において、河床低下の抑制には粒径13mmの土砂で抑制効果が見られ、粗粒化の解消には粒径13mm及び31mmの土砂で効果が見られた。また、局所的な土砂堆積を抑制し、流下能力を確保・維持するためには粒径が13mm以下であることが効果的であるという結果となり、各問題に対する置土の粒径について、各条件式を両立し、全てを同時に満たすことは難しいとの結論に至った。

今後の課題について、計算結果より両立することが難しいと考えられることから過剰な堆積箇所については、維持掘削や砂利採取等で対応するといった置土だけでなく、その他の管理手法との組み合わせを検討する必要がある。また、今回の計算は天ヶ瀬ダムの直下に置土を行

うこととしたが、他の箇所での置土も検討する必要がある。本稿では、天ヶ瀬ダム直下の1カ所への置土という前提条件で検討し、各問題に対して条件式を同時に満たすことはできないと結論づけたが、例として、堆積箇所より下流など複数箇所での置土を想定したり、置土材料を混合粒径として調整したりすることで、より適切な土砂還元のあり方を追求することができる可能性がある。以上のような課題を残しているものの、本稿で検討した「適切な土砂還元のあり方を検討する手法（複数の条件式を同時に満たすことを目指す考え方）」は、実際の河川で土砂還元を実施する場合において、土砂還元により想定されるさまざまな影響を予め想定し、適切な土砂還元量及び粒径を検討する上で有用であると考えられる。

**謝辞：**淀川水系総合土砂管理検討委員会では、本稿の内容に関し、活発な議論と有益な指摘いただいた。記して表意を表します。

### 参考文献

- 1) 西津英治：天ヶ瀬ダムにおける堆砂対策について
- 2) 近畿地方整備局：淀川水系河川整備計画
- 3) 一般財団法人国土技術センター編：河道計画検討の手引き
- 4) 西広樹，小林草平，角哲也：流砂環境の再生を目指したダムからの土砂還元の条件の検討手法

# メンテナンスに優れた橋梁伸縮装置の研究開発について

林 泰正<sup>1</sup>

<sup>1</sup>福井県産業労働部工業技術センター 建設技術研究部 (〒910-0102福井県福井市川合鷺塚町61字北福田10)

橋梁補修の工種の一つである伸縮装置の更新において、これまで採用されてきている一般的な伸縮装置は、構造的な制約の都合上、全体的な更新が主流である。しかし、実際に漏水に発展しているケースは局所的な損傷であることが多い。そのため、全体的な更新は費用が増大するだけでなく、廃材の発生や交通規制の長期化等、社会的・環境的負荷が大きくなっている。

本研究開発では、中小企業でも製造できる簡単な構造かつ入手しやすい材料で構成し、損傷している箇所を橋面上から部分的に補修できるメンテナンスに優れた伸縮装置の開発を行ったものである。

キーワード 伸縮装置, メンテナンス, コスト縮減, 環境的・社会的負荷低減

## 1. はじめに

我が国の社会資本ストックの内訳をみると全体の約40%近くを道路が占めている<sup>1)</sup>。その道路の構造物の一つである橋梁は全国で約70万橋を超える<sup>2)</sup>と言われており、福井県でも県管理橋梁は2,300橋を超え、市町管理橋梁を加えると相当数にのぼる。

これらの多くが高度経済成長期に整備された橋梁であり、今後10年から20年の間に建設後50年以上を経過する老朽橋となり、その割合が急増することが明らかとなっている<sup>3)</sup>。また、老朽化だけでなく、通行車両の大型化や交通量の増加、経年劣化や疲労損傷等の要因により、橋梁の健全性は低下傾向にある。今後は重量規制や通行止め等、社会生活への影響が深刻化することが懸念されている。

また、橋梁は他の土木構造物と比較して特に構造が複雑で部材数も多いという特徴があり、維持管理が困難な構造物である。その橋梁の健全性低下や損傷原因の一つとして伸縮装置からの漏水が挙げられる。伸縮装置が損

傷すると図-1に示すように、橋面から雨水が侵入するだけでなく、土埃やゴミ類、冬季の凍結防止剤等が橋桁端部や支承部に滞水・堆積し、図-2に示すような橋梁に重大な損傷を与えるケースが見られる。

現在、一般的に用いられている伸縮装置は、主要構造部が鋼構造の荷重支持型が多く、止水機能部に弾性シーリング材やゴム系材料を用いている。橋梁点検<sup>4)</sup>において健全性Ⅲと判定されるケースは、図-3に示すように止水機能部のみの損傷であることが多く、現状、このような損傷形態の場合においては一般的な伸縮装置の構造的な制約により、図-4に示すように伸縮装置周囲の保護コンクリート部も含めた全体の更新が主流である。

これまで多くの伸縮装置取替工事の監督業務等に従事してきた筆者は、以前からこのような方法は健全な部材を含めた過剰な更新になっていると考えており、高コストかつ長期間の交通規制は避けたいと感じていた。

本研究開発は、伸縮装置の損傷に伴う橋梁の健全性低下に対し、伸縮装置の全体更新とは異なる補修方法として、真に損傷している必要最小限の補修ができ、橋梁の供用期間中における伸縮装置に関するメンテナンスコスト縮減と、不要な取り壊しや長期の交通規制解消といった環境的・社会的負荷の低減を可能とする新たな伸縮装置の開発を目的として実施したものである。

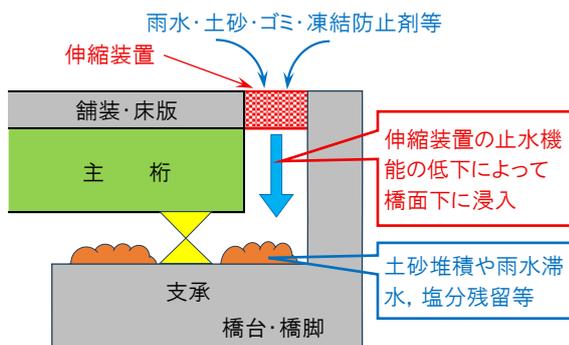


図-1 橋梁伸縮装置の損傷メカニズム



図-2 伸縮装置からの漏水による主桁端部の損傷事例



実際に損傷しているのはこの止水機能部のみが多い

図-3 撤去した旧伸縮装置の止水機能部の損傷状況



構造的な制約があり、健全な部分も含めた全体更新

図-4 現在の一般的な伸縮装置取替状況

## 2. 伸縮装置開発における課題

橋梁の伸縮装置の構造や形状には、その地域性や周辺環境に考慮した複数の種類があるが、本研究では以下の点を課題として整理し、開発に取り組んだ。

- ①福井県は降雪地域であり、橋梁部の除雪作業に対応可能な構造・形状が不可欠である。
- ②伸縮装置内の止水用弾性シーリング材やバックアップ材等の止水構造部が外的要因や経年劣化等により健全性が低下する。
- ③市場流通品は構造的に伸縮装置全体を更新する必要がある、不経済である。
- ④市場流通品は伸縮装置更新時に交通規制や場合によっては足場設置等を要し、工期が長期に渡る傾向にある。
- ⑤本研究で独自に伸縮装置を開発する場合、市場流通品と同様に、国土交通省や日本道路ジョイント協会が定める構造安全性や性能を確保のための試験に合格しなければならない。
- ⑥開発した伸縮装置の供用下道路での施工性、部分補修の作業性の評価、施工後の騒音・振動等の評価が不可欠である。
- ⑦伸縮装置に使用する各部材について、実際の橋梁での実証試験にて適用性を検証しなければならない。

## 3. 開発した試作品の伸縮装置の特徴

前述の2を踏まえ、本研究ではまず試作品を開発し、その試作品を用いて各種性能試験や実際の供用下橋梁に試験的に設置することでモニタリングデータを取得することとした。開発した試作品の伸縮装置は以下の特徴を有する。

- ①国土交通省及び一般社団法人日本道路ジョイント協会が定める基準<sup>5)</sup>に準拠した形状並びに構造設計である。
- ②福井県道路管理者が保有する各橋梁の諸元や台帳データ、2014年以降の点検義務化の法整備に伴う橋梁点検データに基づき、橋梁数が多い橋長20~50m程度の中規模橋梁(県管理橋梁数の約60%)に適用可能な

遊間・伸縮量の荷重支持型伸縮装置である。

- ③車両走行面と接するフェースプレートを脱着可能とし、止水機能部の損傷に応じた部分補修が可能となる構造である。
- ④弾性シーリング材等の止水機能部の補修を橋面上から実施可能とし、止水機能部の保護用繊維シートを設置する。
- ⑤中小企業でも製作可能でかつ簡単な構造とし、主構造の鋼構造部の接合をすみ肉溶接に限定するとともに、入手しやすい市場流通性の高い材料にて構成する。
- ⑥橋梁の供用期間を最低50年間と仮定し、初期設置1回、中間補修3回を前提とした場合、現行手法と比較して概算で約30%のトータルコスト縮減を実現する。
- ⑦止水機能部のみの補修が可能となることから、現行手法と比較して中間補修1回当たり概算で約70%のランニングコスト縮減を実現する。

## 4. 試作した伸縮装置による各種試験等

### (1) 試作品の設計及び製作・設置

福井県内での積極的な採用を考え、橋梁台帳データに基づき橋長毎に桁遊間を整理し、試作品の製作対象とする伸縮量を20mm, 30mm, 40mm, 50mmの4種類とした。その後、部材の分割や溶接形状、フェースプレート固定方法に配慮した概略形状を定め、構造計算を行うとともに、メンテナンスに重点を置いた止水機能部の形状や材料の選定を行った。

以上のことから、実際に製作する試作品の仕様及び構造計算を確定し、伸縮量4種類の試作品を製作した。

図-5に試作品の構造断面図例、図-6に試作品の外観例を示す。製作した試作品の一部について、道路管理者の協力を得て図-7のとおり福井県福井市内の県道橋に試験採用され、2021年11月に設置を完了した。

### (2) 各種性能確認試験の実施

試作した伸縮装置について、所定の性能を有していることを確認する必要がある、疲労耐久性能、伸縮追従性

能、止水性能の各確認試験<sup>9)</sup>を実施した。これらの試験は静岡県富士市にある一般社団法人日本建設機械施工協会施工技術総合研究所にて行った。

**a) 疲労耐久性確認試験**

疲労耐久性確認試験については、伸縮量 50mm の試作品を供試体として用いた。図-8 に示すとおり重交通路線の交通量及び大型車混入率を考慮した疲労照査期間 20 年相当の確認試験 (200kN で 200 万回の繰り返し载荷試験) を実施した。なお、現地で製作した供試体の鋼構造部、コンクリート構造部に各 4 箇所ずつひずみゲージを貼付け、疲労試験前及び試験後のひずみを計測した。図-9 及び図-10 に示すとおり残留ひずみは無く、ひずみの範囲も適正值であり、鋼材の変形、疲労亀裂の発生等の損傷もなかった。後打ちコンクリート部も伸縮装置本体との界面に開きもなく一体化しており、異常がないこ

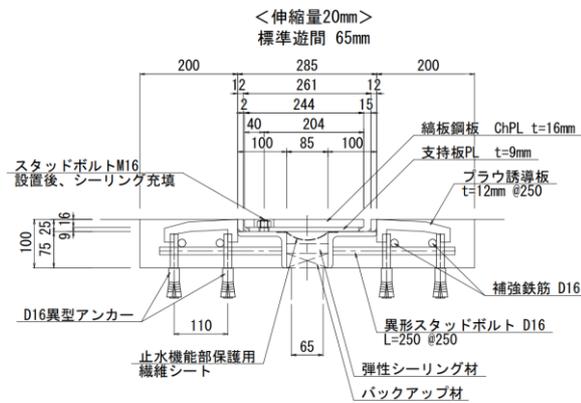


図-5 試作品の伸縮装置の構造断面図の一例

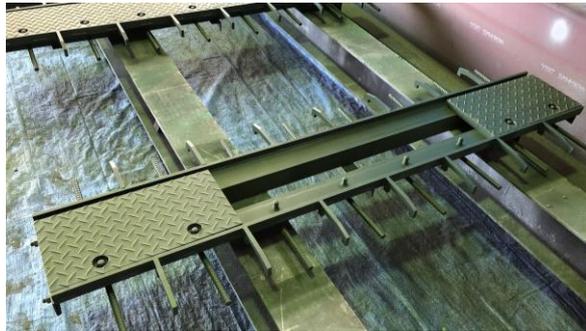


図-6 試作品の外観の一例

とを確認した。

**b) 伸縮追従性能確認試験及び止水性能確認試験**

伸縮追従性能確認試験は、伸縮装置を最大遊間時～最小遊間時～最大遊間時を 1 回とした繰り返し試験である。本研究では耐用年数 20 年に加え地震動等の影響も考慮し、30 回の繰り返し回数を設定して実施した。

止水性能確認試験では、伸縮追従性能試験後に供試体周囲をスタイロフォーム等で囲い、そのまま注水して漏水の有無を確認した。

使用した供試体は伸縮量 30mm と 40mm の 2 種類とした。供試体を 2 種類としたのは、止水機能部に使用する弾性シーリング材を工場で先行施工する場合（一般的なケース）と、曲線橋等の片勾配が大きい橋梁で弾性シーリング材のセルフレベルリングが困難な場合を想定した止水機能部の二次製品採用ケースの 2 工法の比較を行うためである。よって、伸縮量 2 種類×止水機能部 2 工法の計 4 パターンにて試験を実施することで、本研究での伸



図-7 試作した伸縮装置の設置事例



図-8 繰り返し载荷試験実施状況

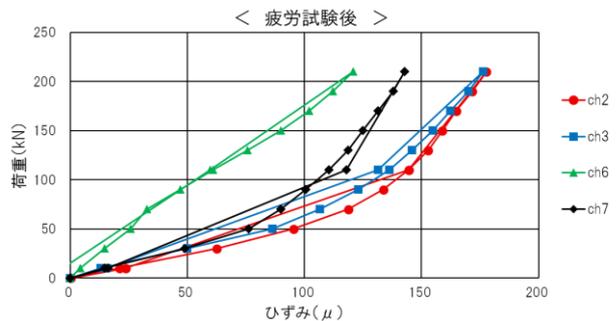
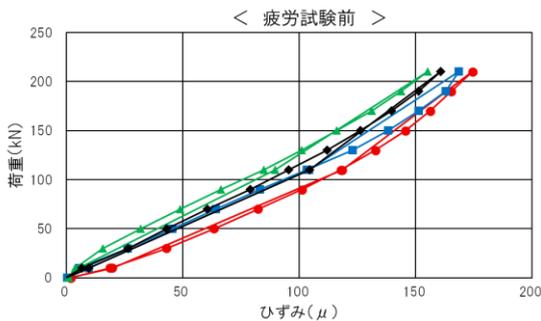


図-9 静的試験時の鋼材ひずみ (疲労試験前・疲労試験後)

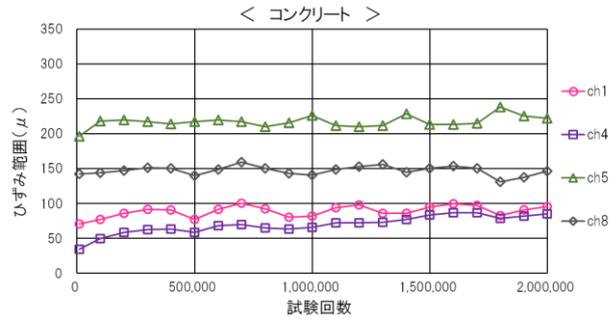
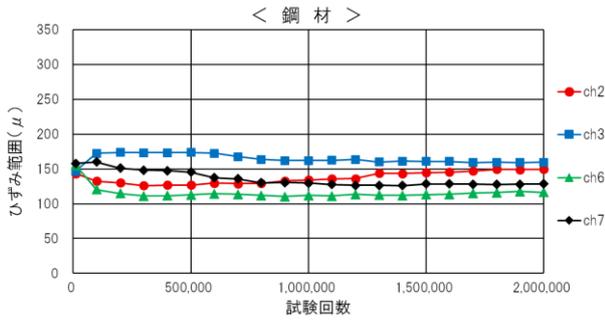


図-10 疲労試験時の鋼材・コンクリートのひずみ範囲の経時変化



図-11 伸縮追従性能確認試験（止水機能部先行形式）

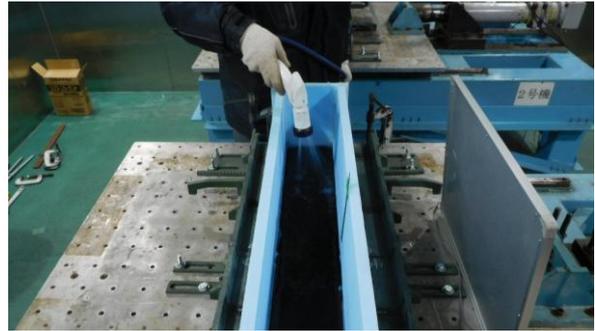


図-13 止水性能確認試験（水張り状況）



図-12 伸縮追従性能確認試験（止水機能部二次製品）

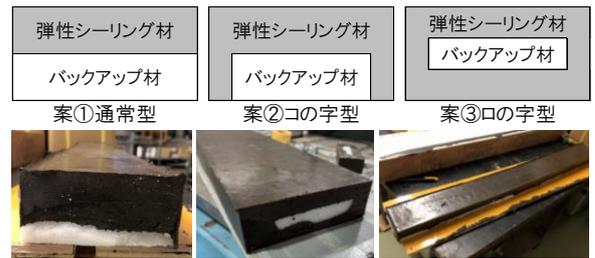


図-14 止水機能部の二次製品化検討案

縮装置の試作品に関する設計の妥当性を確認できると判断した。図-11に止水機能部先行施工形式を、図-12に止水機能部二次製品化形式の伸縮追従性能確認試験状況を示す。また、図-13に伸縮追従性能確認試験後の止水性能確認試験の水張り状況、図-14に止水機能部二次製品化検討案を示す。

試験では止水機能部と鋼材界面での剥離、弾性シーリング材の破断や漏水等も発生せず、計4パターン全てにおいて異常が無いことを確認した。

また、止水機能部を二次製品化すると、現場での補修における作業時間の短縮はコスト削減だけでなく、交通規制期間の短縮にもなり、社会的負荷の低減に大きく寄与する。そのため、伸縮追従性能確認試験及び止水性能確認試験に向け、止水機能部を二次製品化する検討も実施した。図-14に示す3タイプを試験的に製作し、特に止水性を考慮して案③タイプを本試験で用いた。試験結果は良好であったが、今後も二次製品の製作の容易性や

補修時の作業性を考慮し、他形状も含め実用化に向けた検討を行う計画である。

### 5. 試作した伸縮装置の設置橋梁のモニタリング

試作品を設置した橋梁では2ヶ月に1回の頻度でモニタリング調査を実施した。モニタリング項目は、外観全景、騒音及び振動（午前・午後に分けて無作為に1時間計測）、フェースプレートと伸縮装置本体との間隔量計測（午前1回・午後1回）、伸縮装置に注水し下面からの漏水の有無の確認、フェースプレート脱着用ボルトナットのキャッピング材の損傷状況の計6項目とし、現在も継続実施している。外観全景は目視確認とし、騒音についてはリオン(株)普通騒音計 NL-42 を使用し「騒音にかかる環境基準について」<sup>7)</sup>に基づき計測した。振動については同じくリオン(株)汎用振動計 VM-83 と加速度センサ LS-10 を組み合わせて計測した。間隔量計測にはデジタルノギスを用い、漏水確認には目視の他マイクロスコ

ープを使用して実施した。図-15にモニタリング状況、図-16に2025年3月までのモニタリング結果を示す。この結果から、伸縮装置本体の鋼構造において塗装の摩耗が確認されたが、これは現在使用されている一般的な伸縮装置も同様であることから大きな問題ではないと結論付けた。騒音・振動の計測値は波形計測の結果から、モニタリング箇所の環境基準の上限である65db前後を示した。最大値としては環境基準を超える値も確認されたが、金属製である伸縮装置本体とフェースプレートの接触による金属音のような高い周波数の計測値は無く、道路舗装の段差等による影響が大きいものと考えられる。フェースプレートと伸縮装置本体との間隔量も全て規格値内の変化量であり、異常値は計測されなかった。後述するが2024年9月に試験的な補修業務を実施したためこの時は欠測であるが、その後の計測値も補修前と大きな隔たりはなく、異常が無いものと判断した。また、モニタリング期間中における漏水の発生は一度もなく、フェースプレート固定部のナットキャッピングシール材についても、本試作品設置橋梁に加え当工業技術センター敷地内でも計5種類のシール材料の暴露試験を経て1種類を選定することができ、モニタリングによる有益なデータを多く取得することができた。



図-15 伸縮装置試作品設置橋梁のモニタリング状況

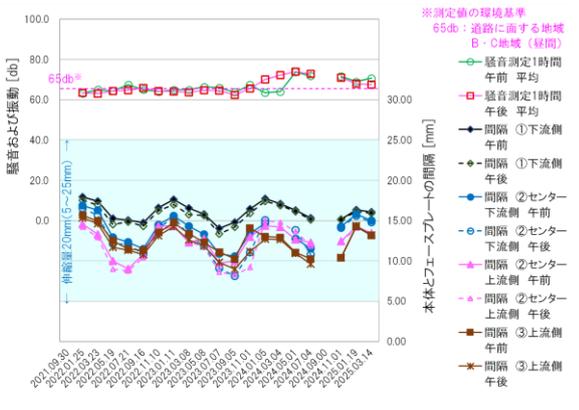


図-16 モニタリング結果

## 6. 試験的な補修作業と細部構造の修正

本研究で開発した伸縮装置は、部分的なメンテナンスを可能にすることが大きな特徴であるため、実際に試作品を設置した供用中の橋梁にて試験的な補修業務を実施した。これは、実際に部分的な補修の実施が可能かどうか、橋面上から安全に補修作業が行えるかを検証するためであり、施工業者が円滑に作業に従事できるよう、補修要領の作成のためのデータ取得を行った。図-17に示すとおり、フェースプレートの取り外しから止水機能部の打ち替え、スタッドボルト並びにフェースプレートの交換まで、考え得る最大限の補修内容とした。

実際の補修業務では、時間計測を行いながら半車線ずつの施工とし、各工程の作業時間や人工の配置、使用材料の種類、使用量を記録しながら進めた。本研究開発品における最大量の補修内容として実証したが、想定していたとおり交通規制期間も短く、短時間での作業完了を確認した。作業全体について作業従事者から意見聴取もを行い、損傷の程度に応じた細分化した補修用施工歩掛作成のための貴重なデータ取得となった。

また、これまでに実施してきた試作品設置橋梁でのモニタリング結果や試験的な補修業務を踏まえ、当初設計の細部構造の見直し、細部形状の変更、使用材料の決定を行い、修正設計の内容を整理し、図-18に示すとおり最終修正の設計図面に反映した。



図-17 試作品設置橋梁での補修業務実施状況

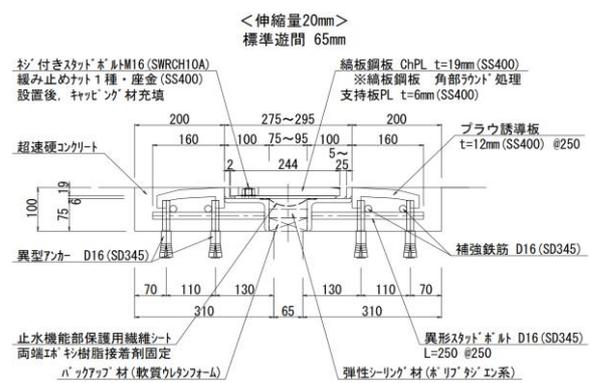


図-18 最終修正後の伸縮装置の構造断面図の一例

## 7. 最終試作品の製作及び設置、実証データ取得

これまでの研究開発の成果を踏まえ、図-18に基づき最終試作品を製作し、初期の試作品設置橋梁とは異なる福井県福井市内の橋長 110.0mの多径間橋梁にて、橋台部・橋脚部合わせて計 4 箇所の伸縮装置に試験採用され、2024 年 12 月に設置を完了した。図-19 に各伸縮装置の伸縮量並びに配置図を示す。この最終試作品を設置した橋梁は初期の試作品設置橋梁よりも交通量が多く、走行速度や重交通量も異なる環境となっているため、この橋梁において実供用下での長期的な耐久性検証や細部構造に不具合が発生しないかモニタリングを実施している。直近までのモニタリング結果は割愛するが、初期の試作品設置橋梁同様に不具合の発生は確認されており、一般的な伸縮装置と遜色なく現場に適用できていると考える。

前述してきたとおり、各種性能試験は全て合格しているが、実際の供用下での実証データ取得は本研究開発品の展開や普及において非常に重要であると位置付けており、今後も長期的にモニタリングを実施し、変更点や改良点が確認できた段階で速やかにブラッシュアップできるよう努めていく。

## 8. 結論

本研究では、部分的に補修できるメンテナンスに優れた伸縮装置の開発に向け、各種取り組みを行ってきた。本研究で得た知見を以下に示す。

- ・国土交通省及び日本道路ジョイント協会が定める基準に準拠した形状、構造設計とし、疲労耐久性、伸縮追従性能、止水性能の各種性能を満たしていることを確認した。
- ・降雪地域でも適用可能な形状とし、橋梁部における除雪作業に支障の無い形状での構造、設計とすることができ、特に全国的に数量が多いと考えられる中規模橋梁に適用可能な遊間、伸縮量の荷重支持型伸縮装置とした。
- ・初期の試作品を用いた実際の補修作業を行うことで、車両走行面と接するフェースプレートの着脱から止水機能部の損傷に応じた部分補修が可能となる構造であることを確認し、本研究開発品の伸縮装置に合致した補修要領書の作成や補修歩掛データを取得した。
- ・部分的な補修が可能な構造であるため、橋面上からの作業に限定することが可能であり、実際の補修作業に要する期間はこれまでの一般的な伸縮装置の更新よりも短時間で終わることが可能となり、不要な取り壊しを避けることも含め、社会的、環境的負荷を小さく出来た。
- ・試作品設置橋梁でのモニタリング結果や試験的な補修業務を経て、細部構造の見直しや使用材料の選定を確

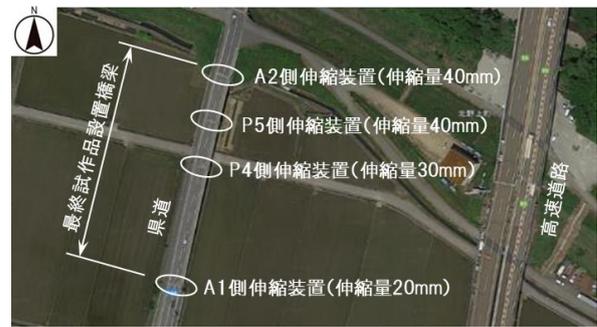


図-19 最終試作品設置橋梁の伸縮装置配置図

定し、これまでの専門的なメーカーでなくとも中小企業でも十分に製作可能な構造として整理し、また使用材料も入手しやすいもので構成した最終設計を確定した。

- ・橋梁の供用期間中におけるこれまでの伸縮装置の更新と比較して、部分的な補修や不要な取り壊しを避けることで、約 30%のトータルコスト削減と更新 1 回当たり約 70%のランニングコスト削減が可能である試算を算出した。

今後も試作品を設置した各橋梁でのモニタリング調査を継続実施し、本研究開発品へのフィードバックを行いより良い製品への改良につなげていきたい。また、本研究開発品が普及することにより、膨大な橋梁数に対してより一層の橋梁の長寿命化対策の促進とコスト削減に寄与できれば幸甚である。

**謝辞：** 本研究開発の実施にあたり、独立行政法人国立高等専門学校機構福井工業高等専門学校環境都市工学科・阿部孝弘名誉教授、日光産業株式会社・古木敬三相談役並びに箕貴憲営業部長、北陸ロード株式会社・兼上智博福井営業所長には多大なるご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 内閣府政策統括官(経済社会システム担当)：社会資本ストックの推計方法及び推計結果の概要(日本の社会資本 2023), 2025.3, p9
- 2) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報(令和 5 年度), 2024.8, p3
- 3) 国土交通省：社会資本の老朽化の現状と将来, 2025, [https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02\\_01.html](https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintenance/02research/02_01.html)
- 4) 国土交通省道路局：橋梁定期点検要領, 2024.7, p9
- 5) 一般社団法人日本道路ジョイント協会：伸縮装置の設計ガイドライン, 2021.6
- 6) 東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社：NEXCO 試験方法, 第 4 編 構造関係試験方法, 2023.10
- 7) 環境庁・環境省：騒音に関する環境基準について(環境基本法第 16 条), 1998.9

# 災害対応の迅速化・効率化の取り組み — 3輪トライクの配備 —

岩城 元之<sup>1</sup>・村田 直輝<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 滋賀国道事務所 施設管理課 (〒520-0803滋賀県大津市竜が丘4-5)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 道路部 道路管理課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前3-1-41)

大規模災害発生時においては、避難車両による渋滞や停電、通信途絶が生じるなど、平時とは異なる対応が求められる。こうした状況を踏まえ、初動及びそれに向けた備えとして、大規模な渋滞や降雪時の滞留により被災現場や交通誘導箇所に向き合えないといったリスクに対応しやすい3輪トライクを配備した。また配備にあたっては、簡易型情報通信設備を搭載できるものとし、職員が自ら搭乗、出動できるよう訓練も実施した。また昨年の雪害対策でも運用し、機動力を活かした対応も行っている。本報告は、それらにおいての利点や課題を整理し、各種の運用検討についてまとめたものである。

キーワード 3輪トライク、災害対応の迅速化・効率化

## 1. はじめに

我が国の国土は、大雨、大雪、地震等といった多種の自然災害が多発する自然条件下に位置しており、これまでも幾度となく甚大な自然災害を被ってきた。

更に、近年では、気候変動に伴う気象災害の激甚化・頻発化により、災害リスクが高まっており、近畿地方整備局管内においても「2018年7月豪雨」等による浸水被害や、「2018年福井豪雪」等による車両の大規模な立ち往生といった被害が生じている。

また、世界有数の地震国である我が国では、本年に発生から30年を迎えた「阪神・淡路大震災」の他、「東日本大震災」、「熊本地震」、「能登半島地震(写真1)」等といった大規模な地震が発生しており、今年1

月には「南海トラフ巨大地震」の30年以内の発生確率が80%程度に引き上げられたところである。2024年8月には初めて南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)が発表され、発災する可能性が相対的に高まったと評価されたこともあり、大規模地震への備えの重要性を再認識させられた。

本稿では、自然災害への備えとして、災害対応の迅速化・効率化を図ることを目的に配備した3輪トライクについて、配備前における検討内容や、配備後に発見した課題等について紹介するものである。

## 2. 3輪トライクの概要

トライクとは、3輪の車両を指す言葉で、特にバイクタイプの3輪車を指すことが多い(写真2)。

自動車が走行できない箇所などで先遣隊としての運用が可能であり、時速80km/hで走行可能なため高速道路が走行でき、スタッドレスタイヤも装着できるため雪道が走行できる。また資機材の運搬が可能な車両として関東地方整備局が先行導入した3輪トライクを、一部改良して滋賀国道事務所内でも導入した。

本車両の特徴、車両スペック、法律区分を下記にまとめた。



写真1 能登半島地震による被害状況  
国道249号(道の駅千枚田付近)

(1) 車両の特徴

a) 安定性

後輪が2輪であるため車体が安定しており、走行時に限らず停止時にも、足を地面に付かずに、乗車姿勢を維持できる。

b) 電子機器の使用

USBソケットが右ハンドル付近にあり、電子機器の充電が可能である。

c) 操作性・機能性

自動車と同様に足にてブレーキ操作が行えるリヤブレーキ、足を付かず自立した状態で後退が行えるバックギアを搭載しているため、二輪バイクより操作性が良い。

d) 視認性

自動車より視認性が良いことから、舗装面の状況等の確認が容易である。

(2) 車両スペック

表-1のとおり車両スペックを整理した。

軽自動車よりも小さい車両サイズのため、狭小・狹隘



写真 2 3輪トライク

表 1 車両スペック

車種	3輪トライク	【参考】軽自動車 (滋賀国道事務所保有)
寸法	2,240mm×910mm×1,320mm (縦×横×高さ)	3,390mm × 1,470mm × 1,530mm (縦×横×高さ)
ガソリンタンク容量	6リットル	36リットル
エンジン排気量	124.9cc	659cc
乗車定員	1人	4人 ※
最大積載量	110kg	100kg ※2人の場合 200kg

な道路での運転、小回りが効く車両である。

実燃費は23.56km/L (約400kmの走行平均)であった。

荷台には、災害時に行う通行規制用具や支援物資、簡易型情報通信設備などが積載可能である。

(3) 法律区分

表 2及び表 3のとおり、各法律により、3輪トライクが適用される区分について確認した。道路運送車両法では側車付二輪車に区分され、道路交通法では普通自動車とされる。道路交通法で普通自動車に適用されることから、多くの職員が保有している普通免許で運転ができ、ヘルメットの装着義務はない。

3. 3輪トライクの導入検討

3輪トライクの導入にあたり、以下について検討した。

表 2 道路運送車両法の区分

道路運送車両法上の車両区分	
区分	
二輪自動車	二輪の自動車 特定二輪車 (保細 (付録 1) 第2条の2) (以下の条件をすべて満たす車両) 3個の車輪を備えるもの 車輪が車両中心線に対して左右対称の位置に配置されているもの 同一線上の車軸における車両の接地中心部を通る直線の距離が460ミリメートル未満であるもの 車輪及び車体の一部又は全部を傾斜して旋回する構造を有するもの
側車付二輪車	いわゆるサイドカー付の二輪車 (保細第2条第1項第4号イ) トライク (保細第2条第1項第4号ロ) (以下の条件をすべて満たす車両) 3個の車輪を備えるもの またがり式の座席 ハンドルバー方式の舵取り装置 運転者席の側方が解放されている

表 3 道路交通法の区分

道路交通法の車両区分	
区分	免許
大型自動二輪車 又は普通自動二輪車	大型自動二輪免許 普通自動二輪免許
特定大型自動二輪車 又は特定普通自動二輪車	大型自動二輪免許 普通自動二輪免許
大型自動二輪車 又は普通自動二輪車	大型自動二輪免許 普通自動二輪免許
普通自動車	普通免許

### (1) 荷台の検討

災害対応時に必要な資機材の運搬ができることを考慮し、地震、大雨時はもとより、大雪時の交通対策も想定した。

被災箇所での通行規制に使用するパイロン、誘導灯、応急作業に使用するスコップ、土のう、情報通信ネットワークに障害等が発生した場合に使用する簡易型情報通信設備、大雪時に使用する緊急脱出用チェーンなどの多量の資機材を運搬することを想定し、荷台サイズを、車両限度まで確保し、110kg積載可能な仕様とした。

### (2) 付属品の検討

運転手となる職員の安全確保のため、道路交通法上は不要であるが、フルフェイスヘルメットを購入した。また大雪時の対応も想定していることから、雪道を走行するためにスタッドレスタイヤを整備した。

その他にも、熱中症対策のためにペルチェを用いた空調服、バッテリーカットスイッチの増設、普段の維持管理のためのバッテリー充電器、事故時の備えや災害対応時の路面等の状況を振り返ることが可能となるドライブレコーダーの整備、高速道路の乗り降りが容易になる



写真 3 3輪バイクの操作説明



写真 4 3輪バイクの操作訓練1

ETC車載器を整備していきたい。

### (3) 道路維持作業用自動車の指定

道路の維持管理を行う上で、道路の異常を発見することは重要なことである。道路状況の確認と対策が行えるよう本車両は「道路維持作業用自動車」の指定を受けている。

## 4. 3輪バイク導入後の取組み

### (1) 走行訓練の実施

導入後即時に職員が安全に運転ができるよう、操作訓練を実施した。まずは被災時や降雪時の路面を模して、ダート路面をフィールドとして訓練を実施した。納入業者に3輪バイクの運転特性や注意点などを説明(写真3)してもらい、3輪バイクの特徴を把握した上で、職員による3輪バイクの操作訓練を行った。また、3輪バイクの操作訓練に合わせて、簡易型情報通信設備の操作訓練も実施することで、被災時に3輪バイクにより先遣隊として現場に向かい、通信ネットワークの確保を行うといった一連の対応をイメージできるように工夫した(写真4及び5)。

左記の訓練で、3輪バイクによる走行が上手くできた職員については、実際に公道でも走行訓練を実施し、他



写真 5 3輪バイクの操作訓練2



写真 6 公道走行訓練

の車両走行がある状況下での3輪トライクの操作を体感させた(写真6)。公道における訓練時には、万が一の転倒に備え、職員の安全確保のため、自動車にて後備警戒を行いながら走行した。

## (2)災害対応(雪害対応)時の活用

2025年1月～2月にかけて、大雪に伴い、滋賀国道事務所管内で、合計5回の通行止めを実施した。大雪が降る前に通行止めを行う予防的通行止めの取り組みにより、3輪トライクに緊急脱出用チェーン等の資機材を載せて先遣隊として運用し、通行止めの実施を一般ドライバーが視認できるように、通行止め箇所に警告灯(黄色回転灯)を点灯して配置(写真7)することや、通行止め解除に向けた路面状況の確認のため、通行止め区間内のパトロールに使用した(写真8)。

その際、黄色パトライトがかなり目立ち、遠くからでも視認可能であった。巡視の折り返しなどで安定したUターンが行えたこと、ドアがないため速やかに乗り降りができ、手軽に複数箇所の構造物調査ができた。視認性が良かったため、パトロールカーよりも消融雪状況の把握が容易であったが各種の課題点も見つかった。

主な課題は、以下のとおりである。

### a)長時間運転

マンホールや橋梁のジョイント部などの段差で車体が上下に大きく振動するため、一般車両との車間距離の保持が難しく、また、ハンドル操作が煩雑となり、



写真7 通行止め時の活用



写真8 雪道走行(パトロール時)

併せてグリップを強く保持しなければならず、手が疲れてしまう。また背もたれが無いため、体重を預けリラックスした姿勢で運転ができないため長時間の連続運転は困難であった。

### b)右左折時の遠心力保持

バイクのように体重移動で右左折するのではなく、自動車と同様にハンドルのみで舵を切るため、想像以上の遠心力により、体が車外へ投げ出されそうになり、速度に比例して疲れが生じた。また、内輪差にも注意が必要であった。

### c)追い越し

除雪によって道路幅が狭まり、当初想定していた枠線内での追い抜きは容易ではなく自動車同様の対向車線にはみ出す場合があった。

## 5. 今後の展開(平常時利用も含む)

活用が有効だと思われることを下記にまとめた。

### (1)災害時の活用

#### a)災害対策本部車への積載を可能とする。

他地整又は遠隔地での被災支援では、対策本部車へトライクを積載して同時移動させ、TEC先遣隊等で有効活用を図る。

カプセル閉の状態トライク3台程度を積載・固縛できるよう扉構造、スロープの改造、ウインチの装着を検討し、被災地到着時より即時先遣調査を可能とする。

#### b)地方自治体での有効利用

先遣調査が完了次第、被災自治体の支援用車両として無償で貸与し、各避難場への緊急物資の輸送や、ポリタンクによる燃料、飲料水などの重量物を効率よくデリバリーするなど、被災者に寄り添う活動へ利用してもらう。\*要事務ライン調整

#### c)排水ポンプ等の引き上げへ利用

内水排除を終えたポンプ本体、ジェットホースは非常に重く(30kg以上)、接続金具類も含めた重量物を、堤防法面から車両本体(堤防上)への移動に使いオペレータの苦渋作業の軽減と安全対策を両立させる。

#### d)トライク電源の有効利用

発電容量などの一部改造が必要ではあるが、USB機器への給電やDC-ACインバータの搭載により、電源車などが無くとも、被災者の携帯充電や夜間照明へ活用する。

### (2)平時での活用

#### a)go pro, ドラレコ映像の有効利用

路面性状、クラック、ポットホール、轍掘れなどの画像データの収集を効率化し、AIによる自動判定や修繕計画など、車両搭載カメラより高精細に判断が可

能となる。

b)道路巡視，河川巡視状況の詳細化

定期巡回や緊急巡視でのスポット利用により，職員自ら路面状況やデリネータ，照明柱の錆び，基礎ボルトの状況，区画線のかすれなど，詳細な状況把握が可能となる。河川巡視においては，不法占用・耕作地・投棄物の確認や回収，不正通行車両（違法電動自転車：モペットなど）の牽制，抑止，指導などへ機動力を活かして活用するなど。

c)広報活動

ボディーが黄色（道路時作業色）のため，目立ちやすくPR効果が高いため，各種訓練や愛護月間，イベント時への利用を促進し，緊急運用から平時利用まで広くアピールが可能。車体導入からまだ1年も経過し

ていないが，ニーズ・シーズの掘り起こしと，悪路走破性のさらなる向上（LSDデフ，サス調整ほか）や，熱中症・防寒対策，電源強化，走行・ハンドリング性能の改善等を各課，各業界と連携しながら，3輪トライクをアップデートしていく所存である。

付録 1)保細・・・道路運送車両の保安基準の細目を定める告示

参考文献・出典

1) 国土交通省：令和6年能登半島地震における被害と対応について，

(001751574.pdf (mlit.go.jp) 2025年7月31日取得)

# 瀬田川における不具合対応の事例について

坂井 以知佳<sup>1</sup>・中村 大輔<sup>2</sup>

<sup>1</sup>琵琶湖河川事務所 管理課 (〒520-2279 滋賀県大津市黒津4-5-1)

<sup>2</sup>福知山河川国道事務所 河川管理課 (〒620-0875 京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

琵琶湖河川事務所管内において、瀬田川左岸の河川区域内に自生する樹木が突然倒れ、河岸道路を走行する一般車両に衝突し、車体の損傷及び被害者も頸椎を捻挫する事故が発生した。この不具合について、当事務所が行った対応と原因究明についての事例を紹介するとともに今後の樹木管理について留意事項を述べる。

キーワード 河川管理, 不具合, 倒木

## 1. 事故の概要

2024年9月22日(日)午前8時20分頃、瀬田川左岸の河川区域外の河岸道路(県道29号 瀬田大石東線)を自動車で行く下流から上流方向(南から北)に走行中、左前方の河川区域内に自生する樹木が突然倒れた。その際、被害者は急ブレーキをかけたが、間に合わず自動車に木が覆い被さるよう衝突した。この衝撃により車体は損傷し、被害者も急ブレーキをかけたことにより頸椎を捻挫した。



図-1 事故発生箇所(地理院地図を加工して作成)

事故後、道路管理者である滋賀県大津土木事務所が倒木の除去、カラーコーン設置等の現場処理を行ったが、倒木の原因が河川区域内に自生する樹木の倒木であることから、事故の発生から2日後の9月24日(火)に滋賀県大津土木事務所より瀬田川出張所へ事故の引き継ぎがなされた。引き継ぎ後、瀬田川出張所において事故発生箇所周辺の点検を行い、同日の夕方には、被害者宅を訪問し、事故状況の聞き取りを行った。警察の事故検証では「当事者が進行中に側道の木の枝が折れて接触したもの」とのことであり、事故車両にはドライブレコーダーは搭載されていなかったため、警察からの聞き取り内容と被害者の証言及び事故車両の被害状況を確認し、被害者の申し出内容に不自然な点は見受けられず、倒木と事故との因果関係を認定せざるを得ないと判断した。

事故現場の応急処置として、事故周辺樹木の目視点検を行うとともに、樹木の幹を両手で強く押し、根元の揺らぎ確認する等の点検を行い、周辺樹木の倒伏の可能性が無いことを確認した。



図-2 事故発生箇所(詳細)



写真-1 事故後の様子(被害者撮影)

## 2. 現地調査の概要

前章の事故について、2024年10月16日(水)に樹木医による現地での診断を行い倒伏の原因を検討した。

### (1) 調査地点

- ・調査対象地点：瀬田川左岸 71.2k 付近 県道 29 号瀬田大石東線沿道

### (2) 対象木

- ・種名：ネムノキ
- ・樹高：約 9m
- ・周囲長：地際 約 120cm, 目通し 約 110cm

### (3) 調査の方法

調査は、現地に残置された倒伏木の目視確認及び倒伏時の状況の聞き取りにて行った。

樹木は 2024 年 9 月 22 日(日) 8 時頃に倒伏し、その頃、対象地点では温帯低気圧による南西の風が吹いており、風速は 6.3m/s であった。

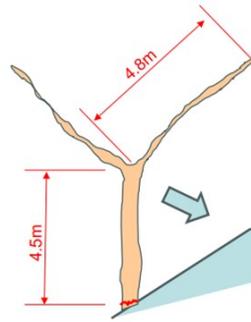


図-3 対象木



写真-2 調査の様子

## 3. 現地確認調査の結果

樹木は根付近で折れており、北北東方向に倒伏していた。倒伏した木の両側には、当該樹よりも大きな樹林が生育しており、当該樹の樹冠は太陽光を求めて道路側に枝を伸ばした結果、扁形になっていた。

地際部分(折れた部分)については、地際から地上部分が完全に折れており、樹皮部分のごく一部分のみが繋がっている状態であった。また、地際から 1m 以上までの幹は断面の約 95%が腐朽し、スポンジ状になっていた。根も地上に露出している部分は腐朽してスポンジ状になっていた。

また、地際に 2 個、地上約 1m の箇所には 1 個の子実体(サルノコシカケの一種)(以下「キノコ」という。)が生えていた。

サルノコシカケは木材を分解して栄養とする木材腐朽菌であり、キノコは大きく成長しており、最大の個体で 30cm×20cm を超えていた。



写真-3 地際部分



写真-4 子実体(サルノコシカケの一種)

## 4. 倒伏の原因と今後の樹木管理の留意事項の考察

### (1) 倒木の原因

現地で倒伏木を診断した結果、倒伏の原因として、木材腐朽菌によって幹の大部分が腐朽し、かつ、隣接する樹種との競合によってネムノキ特有の扁形が生じ力学的に不安定になっていたところ、熱帯低気圧の強風が誘引となり、風下方向に主幹折れが発生したと考えられる。

キノコは木材腐朽菌の表現形であり樹体に現れた時点で樹木内部では腐朽がかなり進行していると判断できる。

ネムノキは陽樹(生育に太陽光が必須な樹木)である。倒木現場には木が密集していたため、樹冠は太陽光を求めて道路側に枝を伸ばし続けた結果、扁形になっていたと考えられ、幹には常時、偏荷重が作用していたと推定される。こうした原因によって、倒伏の可能性が相当高い状態にあったと推定され、風による横荷重が作用したことが誘因となって風下方向に倒伏したと推定される。

幹に生えていたキノコは、最大のもので幅 30cm に成長しており、断面から生育年を推定すると、11 年~12 年と推定され、幹の腐朽が進行した段階でキノコが生じ、その後 10 年程度の間には腐朽が更に進行して倒伏に至ったことが想定される。

(2) 今後の樹木管理について

今回のネムノキの倒伏防止対策については、キノコと扁形を確認できた時点で危険予知の観点から伐採を実施すべき個体であったと考えられる。特に、該当樹が陽樹であり、密集した路傍樹であることを考慮すれば、剪定処理を行っても道路側への樹冠展張は避けることができない。ネムノキは先駆樹であり寿命も比較的短命で、自然遷移によって早晚消滅し他種に置き換わる樹木であり伐採を躊躇する要必要はないと考える。

ネムノキに限らずその他の樹種についても、大型のキノコが幹の下部や地際部に発生している場合には、樹体内部で腐朽がかなり進行していると考えられる。木材腐朽菌のキノコはほとんどの場合、樹木の根、幹、枝上に直接形成される。特に、ベッコウタケ、コフキササルノコシカケは、腐朽力の強いタイプのキノコであるため、これらを見つけた場合は、伐採することが望ましい。

しかし、根の周囲や幹にキノコが発生していても、木材腐朽力をほとんど持たない落葉や樹皮の分解菌の場合もあるため、発生しているキノコが木材腐朽菌のキノコであるか否かを注意して判断する必要がある。

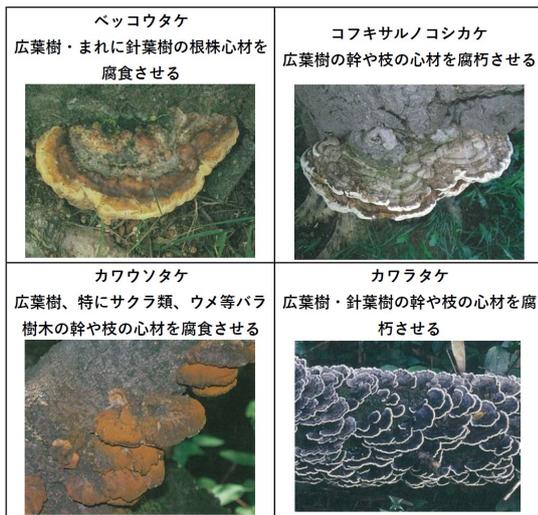
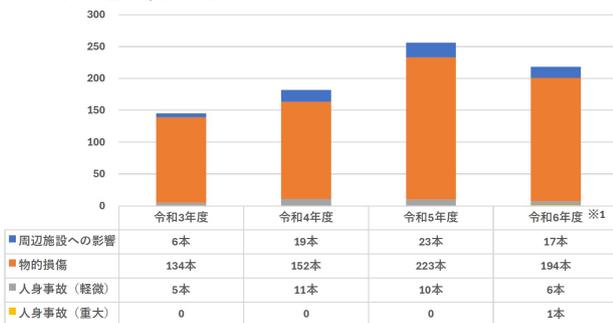


図4 木材腐朽菌のキノコの一例<sup>1)</sup>

近年、街路樹の倒木被害が報道されることが顕著になっているが、倒木事故に関する全国調査<sup>2)</sup>の結果によると、樹木倒木等による事故・障害の発生件数は増加傾向にあることが分かる。



※1 令和6年度は調査時点(11月7日時点)までの集計結果

図5 樹木倒木等による事故・障害の発生件数

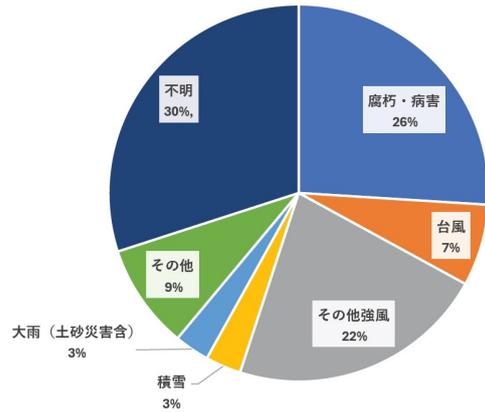


図6 樹木倒木等の発生要因

樹木倒木等の発生要因は「腐朽・病害」が26%、「台風」が7%、「その他強風」が22%とあり台風・強風、腐朽・病害によるものが過半数を占めている。今回のネムノキの倒伏は腐朽と強風が複合的に作用して発生しており、このように様々な要因が組み合わさることで倒伏等が発生しやすくなると考える。

「街路樹の倒伏対策の手引 第2版<sup>3)</sup>」によると、「街路樹の倒伏・落枝は、気象害が主要な要因であるが、腐朽や樹木生理による枝枯れなど、樹木自体に発生する要因が複合的に関与していることが多い」とのことであり、「気象害」とは強風、積雪、落雷等のことである。風や積雪の力により、樹木が揺さぶられ、枝・幹に力が集中することで、変形・破壊が発生する。変形・破壊への抵抗力は樹種により異なるが、健全に生育する樹木は、通常の雨風では倒伏することはない。

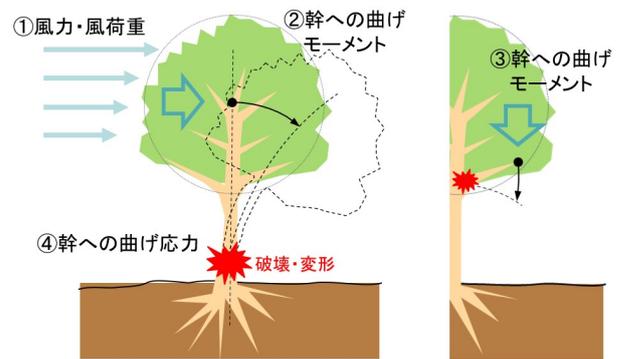


図7 倒伏・落枝のメカニズム

しかし、樹木の腐朽や衰弱等により樹木強度が低下している場合、強風や積雪等の外力がなくとも倒伏等が発生することがある。

樹木は種類により枝の強度、自然落枝の多さ、腐食菌の侵入のしやすさ等が様々であり、これらの特徴が樹木強度を低下させる要因となる。例を挙げると、ケヤキには、枯枝が落下しやすいという特徴があり、落枝被害が多く、サクラであれば、腐朽病に弱いという特徴があり、倒木被害が多い。

そのため、倒伏等を防ぐには樹木の特徴を把握したうえで巡視等を行い樹木強度を低下させる要因を事前に把握し、適切な処理を行うことが重要となる。しかし、樹木特徴の把握や、外観から樹木強度を低下させる要因を特定するためには、十分な知識と現場経験が必須となるため、樹木医等の専門技術者による点検技術の指導を受ける他、専門技術者による定期巡回等を実施することが望まれる。

## 5. 事故を踏まえた琵琶湖河川事務所の取り組み

健全と思われた樹木でも内部から腐朽し、突然倒れる可能性があることがわかった。これは、河川巡視員が通常行っている目視確認では発見が難しく、一本一本の樹木が腐朽していないか調べていく必要があると言える。

事故発生以降、路傍樹を目視点検した結果、新たにキノコに寄生された樹木を数体確認し、維持作業により伐採を行った。



図-8 目視点検範囲



写真-5 目視点検により見つかったキノコ

このほか、琵琶湖河川事務所では、令和5年の倒竹による通行車両との接触、令和4年にもサクラの張り出した枝がバスに接触する案件が発生している。いずれも、被害者から事故の申し入れが無かったが、今回の事故を踏まえ、今後このような事故を防ぐためにも、河川区域内の路傍樹（竹を含む）の伐採が必要と考える。

## 6. 最後に

最近では、東京日野市のイチョウの木の枝が落下して下敷きになった男性が死亡する事故が発生している。また、樹木以外に視野を広げると、埼玉県八潮市では下水管が破裂したことで道路が陥没し、車ごと転落した男性が死亡する事故が発生している。

私たちが整備している河川管理施設は改修事業等で効果が発揮される一過性のものではなく、恒久的に効果を発揮し続けることが重要であり、設備の健全な管理により機能の維持が出来て初めて長期にわたり地域を安全安心へと還元できるものと思われる。現状では必要な人・予算が不足しているため、河川管理体制の強化および十分な予算配分へと転換していくことが、今後の河川管理に必要と考える。

今回の事故を受け、河川空間における安全対策の重要性を再認識することが出来たため、この経験を今後の河川管理に役立てたい。

## 参考文献

- 1)一般財団法人日本緑化センター：緑化樹木腐朽病害ハンドブック
- 2)国土交通省：倒木事故に関する全国調査の結果について(令和7年4月) <https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/tyokuka/pdf/k01.pdf>
- 3)国土交通省 国土技術政策総合研究所：街路樹の倒伏対策の手引 第2版 (ISSN 1346-7328 国総研資料 1059号 平成31年2月)

# 由良川水系弘法川流域における 浸水対策（排水機場・調節池）の取組について ～由良川堤防腹付け盛土の浸透流対策～

鹿屋 遼悟<sup>1</sup>

<sup>1</sup>京都府 中丹西土木事務所 河川砂防課 (〒620-0055京都府福知山市篠尾新町1-91)

2014年8月豪雨対策では、国土交通省、京都府及び福知山市により由良川流域（福知山市域）における総合的な治水対策協議会を立ち上げ、3者連携して取組んできた。そのうち、京都府では弘法川の氾濫による被害軽減を図るための河川改修並びに由良川本川の樋門が閉鎖することにより生じる内水被害の軽減を図るため新荒河排水機場及び調節池を弘法川下流に新設した。

本稿では、京都府が実施した浸水対策の取組を紹介し、調節池における由良川堤防腹付け盛土の浸透流対策について報告する。

キーワード 防災，排水機場，浸透流解析

## 1. はじめに

由良川水系弘法川は京都府福知山市街地を流れる流路延長7.3km、流域面積15.1km<sup>2</sup>の河川である。福知山市街地は山地と由良川本川の間挟まれた低平地に位置しており、由良川本川の堤防高（TP+21～24m）に比べ、堤内地盤高（TP+15～16m）が低いといえる。（図-1）また、由良川の上流部は急勾配で流れが速く、中流部は緩勾配で流れが遅く、下流部は山間地となり川幅が狭く、河床勾配が非常に緩くなることから、中下流部では水害が発生しやすい地形である。（図-2）

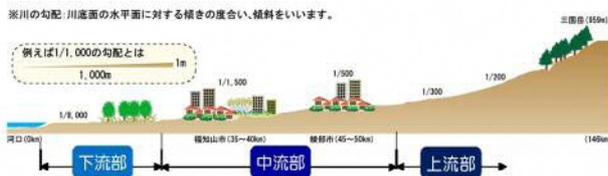


図-2 由良川の縦断面<sup>1)</sup>

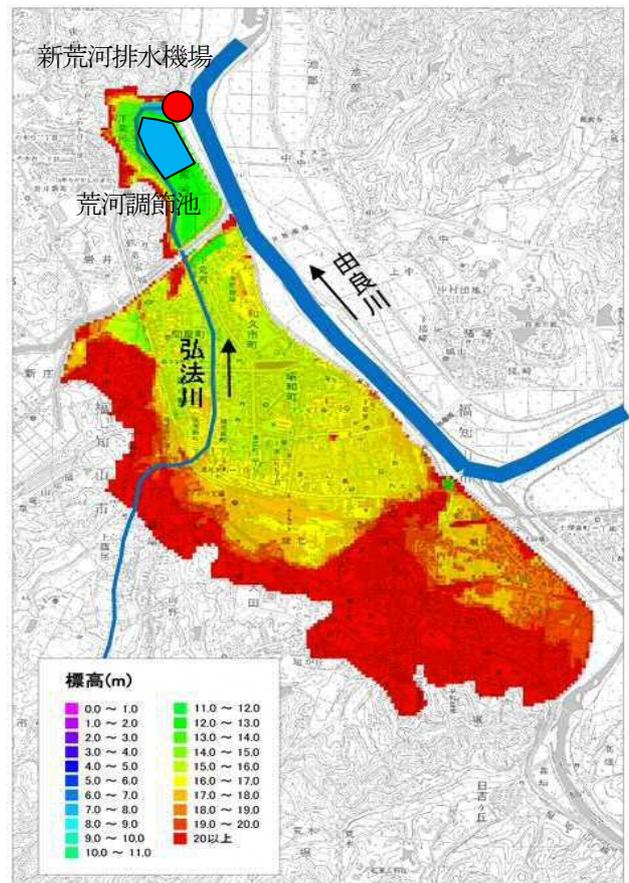


図-1 福知山市域の弘法川・由良川

その一例として、2014年8月豪雨では、福知山市街地を中心に集中的な降雨があり、福知山観測所において観測以来最大の335mm/2日を記録した。局地的、集中的で激甚な豪雨により、床上浸水2,029棟、床上浸水が2,471棟の合計4,500棟となる甚大な浸水被害が発生した。(図-3)



図-3 2014年8月豪雨被災状況

## 2. 弘法川河川整備計画について

弘法川河川整備計画は、下流の整備済み区間の流下能力及び他の府管理河川の計画規模と整合を図り、概ね10年に1回程度で発生する降雨規模の洪水を安全に流下させることを目的とし、河川改修(河道拡幅, 河床掘削, 護岸整備及び橋梁改築等)を行うものである。(図-4)

本府による河川改修と国土交通省及び福知山市による対策(以下、「総合的な治水対策」)により、2014年8月豪雨と同程度の降水に対して床上浸水を概ね解消することが可能である。

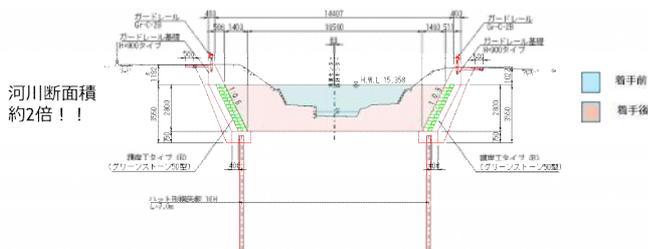


図-4 弘法川河川改修

## 3. 新荒河排水機場について

弘法川と由良川の合流点には国土交通省が管理する荒河排水機場及び総合的な治水対策で京都府が新設した新荒河排水機場がある。新荒河排水機場の役割は、洪水時、弘法川水位より由良川水位が上昇した場合、逆流防止のため弘法川の樋門を閉門し、ポンプ運転を開始することである。ポンプで吸い上げた水は吐出水槽へと流れ、吐出水槽と由良川の水位差によって由良川へと排水される。新荒河排水機場のポンプは5.5m<sup>3</sup>/sの機械が2台あり、合計11m<sup>3</sup>/sの排水能力を持つ。(図-5)



図-5 新荒河排水機場 航空写真

## 4. 荒河調節池について

新荒河排水機場に併設された荒河調節池はポンプの排水能力を上回る豪雨があった場合や由良川水位が高く、排水することができない場合に一時的に水を貯め、弘法川の氾濫を防ぐ役割がある。調節池に貯めた水は、弘法川水位が低下すればフラップゲート付の排水口から徐々に排水される。調節池の底高を越流堤に向かって低くすることで集中的に貯めることができ、排水しやすくなっている。荒河調節池は面積約12万m<sup>2</sup>、容量31万m<sup>3</sup>の調節池である。(図-6)



図-6 荒河調節池 航空写真

4. 荒河調節池腹付け盛土の浸透流対策について

(1)荒河調節池の法面崩壊について

荒河調節池の法面ではパイピング、すべり破壊が発生している。パイピングにより土砂の流出が続き、水みちが拡大すると、堤防が落ち込み、最終的に崩壊に至る。また、透水性が低い層だと降雨浸透により堤体内水位が上昇しやすくなるため、すべり破壊が発生するとされている。写真右は荒河調節池において、すべり破壊で法面が崩壊したため大型土のうで応急復旧をした写真である。(図-7)



図-7 パイピング(写真左), すべり破壊(写真右)

(2)浸透に対する安全性照査について

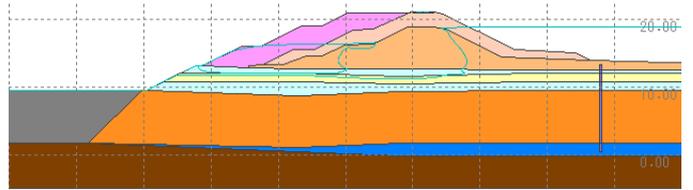
腹付け後の堤防形状において、浸透流解析及び安定計算等を実施し、腹付け盛土の浸透に対する安全性照査を行った。浸透に対する安全性を満足しない区間において、浸透対策工の検討を行い、施設配置及び施設規模を決定したうえで比較検討を実施し、最適案を選定した。現地の被害発生状況や浸透流解析に基づき現況再現解析を行った結果、L34.2kはパイピング及びすべり破壊の不安定要因が確認され、L34.4kはパイピングの不安定要因が確認された。(図-8)

L34.2kでは、堤防基部付近の粘性土層により降雨浸透が排水されず、堤体内水位が上昇しやすいため、パイピングが発生したものと推定される。また、降雨浸透により堤体内水位が上昇しやすかったことから、当該箇所付近のAs層及びAc層の強度が低下し、すべり破壊が生じたと推定される。(図-9)

L34.4kにおいても、堤防基部付近の粘性土層により、降雨浸透が排水されず、堤体内水位が上昇しやすいため、パイピングが発生したと推定される。



図-8 荒河調節池 安定照査検討断面



No.	層番号	色	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	内摩擦角 (度)	飽和単位重 (kN/m <sup>3</sup> )	液性指数	透水係数		比対数透水性	不飽和経透特性	
							飽和時 (kN/m <sup>3</sup> )	非飽和時 (kN/m <sup>3</sup> )			
1	砂層		26.000	34.000	20.000	0.000	3.00E-03	3.00E-03	1.00E-04	砂質土・砂質土	
2	砂層		1.000	38.000	21.000	22.000	3.00E-05	3.00E-05	3.00E-05	1.00E-04	砂質土・砂質土
3	砂層		1.000	35.000	19.000	25.000	2.00E-04	2.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	砂質土・砂質土
4	As		16.000	18.000	18.000	19.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
5	As		16.000	18.000	18.000	19.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
6	As		6.000	38.000	19.000	25.000	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-04	細粒分の多い砂質土
7	As		6.000	35.000	19.000	26.000	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-05	1.00E-04	細粒分の多い砂質土
8	As		16.000	18.000	18.000	19.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
9	As		16.000	18.000	18.000	19.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
10	As		6.000	38.000	20.000	21.000	3.00E-05	3.00E-05	1.00E-04	1.00E-04	砂質土・砂質土
11	As		6.000	35.000	20.000	21.000	3.00E-05	3.00E-05	1.00E-04	1.00E-04	砂質土・砂質土
12	As		6.000	35.000	20.000	21.000	3.00E-04	3.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	砂質土・砂質土
13	As		206.000	6.000	18.000	19.000	1.00E-08	1.00E-08	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
14	As		6.000	38.000	20.000	21.000	1.00E-09	1.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	砂質土・砂質土
15	As		26.000	21.000	20.000	21.000	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
16	As		1.000	25.000	19.000	25.000	3.00E-08	3.00E-08	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
17	As		16.000	18.000	18.000	19.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
18	As		25.000	18.000	19.000	25.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
19	As		16.000	18.000	18.000	19.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
20	As		6.000	38.000	20.000	21.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
21	As		206.000	6.000	18.000	19.000	3.00E-09	3.00E-09	1.00E-04	1.00E-04	粘性土
22	砂層		1.000	38.000	21.000	22.000	3.00E-05	3.00E-05	1.00E-04	1.00E-04	砂質土・砂質土

図-9 L34.2k 現況再現解析

不安定要因の対策工として、「断面拡大工法」「ドレーン工法」「全面被覆工法」の3案(図-10)を選定した。

「断面拡大工法」の適用性は裏法面の勾配を緩傾斜化することにより、局所動水勾配の低減及びすべり安全性の向上が期待される。「ドレーン工法」の適用性は裏法尻付近の浸潤線を低下させ、局所動水勾配の低減及びすべり安全性の向上が期待される。「全面被覆工法」は降雨が主要因であるため効果が期待される。

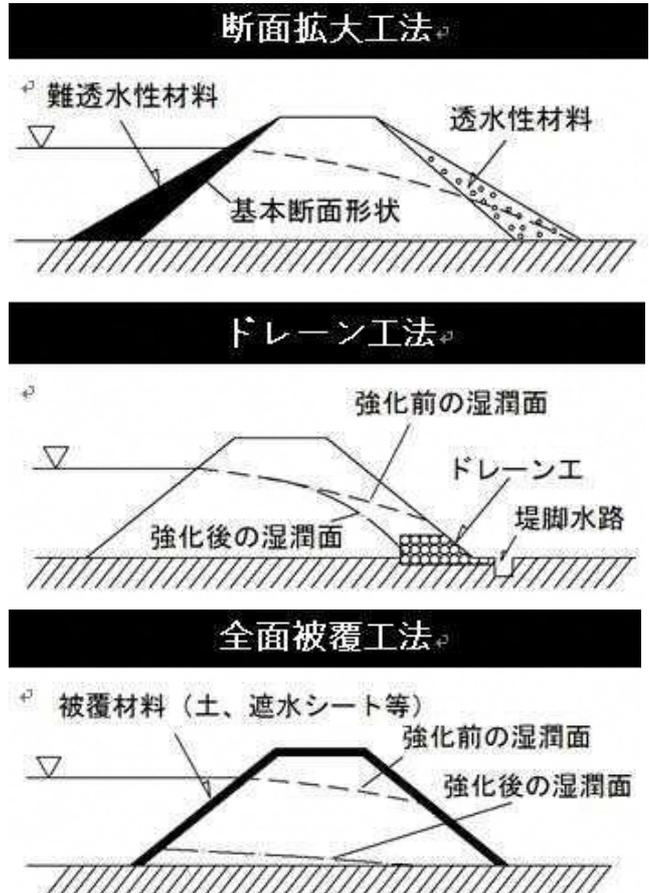


図-10 対策工の選定<sup>2)</sup>

浸透流解析より、「断面拡大工法」「ドレーン工法」は局所動水勾配及びすべり破壊安全率の照査基準を満足したが、「全面被覆工法」はL34.2kですべり破壊安全率の照査基準を満足しなかった。

(2) すべり破壊に対する安定性照査について

腹付け後の堤防のすべり破壊に対する安定性照査結果は、L34.2k 及び L34.6k について、最小安全率が基準安全率を下回る結果となり、L34.4k については、基準安全率を満足する結果となった。(表-1)

表 1 現況の安定性照査結果

ケース	最小安全率	基準安全率	判定
L34.2k	1.076	1.20	NG
L34.4k	1.224		OK
L34.6k	0.909		NG

浸透に対する安全性照査で用いた対策工の3案で検討した結果、L34.2k、L34.6kで3案全てが安全率を満足する結果となった。

(3) 対策工法の決定

「浸透に対する安全性照査」「すべり破壊に対する安全性照査」より各断面の対策工法は「断面拡大工法」「ドレーン工法」が適正である。しかし、「断面拡大工法」は断面拡大により法面勾配を緩くする必要があり、その結果として調節池の容量が減少するため、不採用とした。

以上より、堤体の川裏法尻を透水性の大きい材料で置き換え、堤体に浸透した水をすみやかに排水することが可能な「ドレーン工法」を採用することとした。

(4) 法面保護工について

ドレーン工法を用いた法面保護工法は法尻付近の土砂を単粒度碎石に置き換え、その上に省力化平張りかご工を設置するものである。単粒度碎石及び省力化平張りかご工は透水性が高い材料であるため、堤体に浸透した水を速やかに排水することが可能である。また、堤体内の浸潤線の上昇を抑制し、堤体のせん断抵抗力の低下を抑制するものである。(図-11)

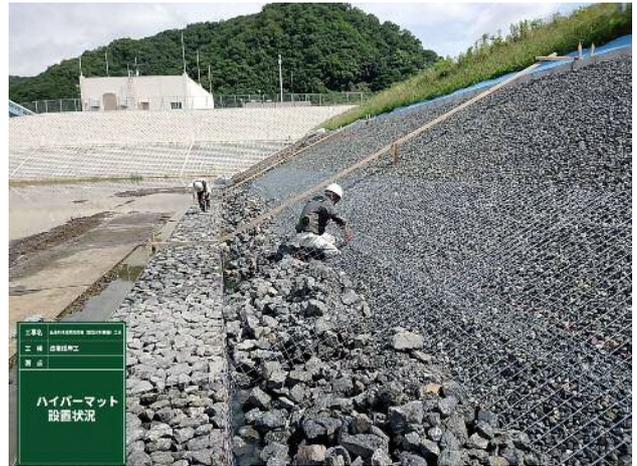
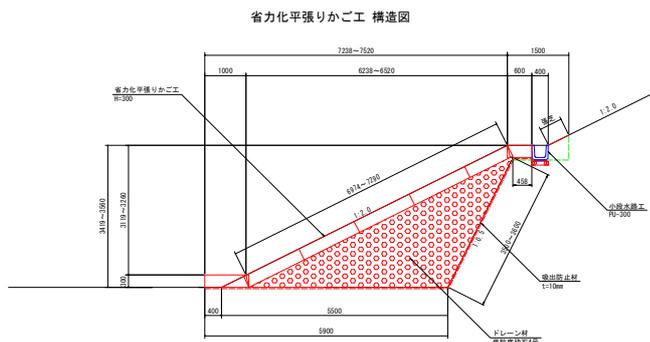


図-11

構造図及び施工状況、工事完成写真

5. 今後の取組について

福知山市は、過去に幾度となく洪水による甚大な被害を受けてきた地域である。福知山市内の学校は防災学習の一環で様々な防災施設を訪問し、洪水の恐ろしさや歴史を学んでいるところである。新荒河排水機場や荒河調節池を新設したことで、浸水被害の軽減を図れているが、周辺住民からは「これらのどういう施設なのか」「どういった役割があるのか」といった疑問の声が寄せられており、施設の重要性について十分に周知することができていない状況である。今後の取組として、新荒河排水機場及び調節池の役割をよりわかりやすく示すための資料を作成し、地元説明会や学校の授業等の機会を通じて積極的に情報を発信していき、理解を深めていきたいと考えている。

付録

- 1) 国土交通省 近畿地方整備局福知山河川国道事務所：「由良川の概要」
- 2) 財団法人 国土技術研究センター：「河川堤防の構造検討の手引き」

# 災害時の山間事務所における初期対応 — 一般国道169号（下北山村上池原地区） を事例として —

窪田 陽樹<sup>1</sup>

<sup>1</sup>奈良県 県土マネジメント部 吉野土木事務所 工務第二課（〒639-3701奈良県吉野郡上北山村河合420-1）

奈良県吉野郡下北山村上池原地内の一般国道169号において2023年12月23日に崩土が発生し、死傷者2名の被害が生じた。

一般国道169号は重要物流道路及び第一次緊急輸送道路に指定されている主要な道路であり、周辺に迂回路が少なく、通行止め発生時には地域生活に大きな影響が出る道路である。

復旧作業は、不安定な斜面下で消防・警察と連携し、作業員の安全を確保しつつ実施することが求められた。

本稿では、山間部の少人数出先機関での災害時緊急対応、特に地域の主要道路における被災者救出を含む復旧作業について、担当者レベルでの経験について報告を行い、情報共有に関する課題の抽出及び改善策を考察する。

キーワード 災害対応，危機管理，効率化

## 1. はじめに

2023年12月23日（土）21時頃に、一般国道169号奈良県吉野郡下北山村上池原地内（図-1）で発生した崩土（以下、本災害）は、L=20～30m×H=40m×W=4～5mの範囲で道路法面が崩壊し<sup>1</sup>、死傷者2名の被害が出る結果となった（写真-1）。



図-1 災害箇所位置図

被災者の救助にあたっては、吉野土木事務所、警察、消防が連携して行った。そのため土木事務所と本庁だけでなく、警察、消防、地元役場等の関係者との情報共有及び調整が必要であったが、それぞれ拠点が分散するなかで情報共有体制の構築が課題となった。

本稿では、山間部の少人数出先機関において発災から1週間程度の初期対応について、本災害の経験を報告し、それを基に抽出した今後の課題及び、改善を図った点について報告をする。



写真-1 発災翌日の様子

## 2. 吉野土木事務所 工務第二課で管理する一般国道169号の特徴と管理体制

一般国道169号は、重要物流道路及び第一次緊急輸送道路に指定されており、県南部地域において京奈和自動車道、一般国道168号と一体となって紀伊半島アンカールート(図-2)を構成している。災害時のみならず、平常時の物流上も重要な道路である。また、奈良県中部の吉野町や橿原市、三重県熊野市や和歌山県新宮市へのアクセス道路として上北山、下北山村民の生活においても重要な道路である。

しかしながら通行止めが発生した際には、迂回路が少ないため一般国道168号等への広域迂回が必要となり、物流や地域住民の生活に大きな影響が発生する。

吉野土木事務所 工務第二課(以下、工務二課)は下北山村、上北山村の一般国道169号、309号及び425号並びに県道4路線を管理しているが、管内は山間の急峻な地形であり、一部では携帯電話の電波が入らない地域も存在している。

人員面では、上北山方面係4名、下北山方面係4名及び課長1名の9名で構成されており、平日は上北山村の事務所に住みこみで勤務にあたっている。水防時及び緊急時の対応を行う水防班・緊急班は4名1班の2班体制で構成されている。

## 3. 各関係者との情報共有について

### (1) SNSの活用

本災害の初期対応にあたっては、警察からの通報により対応を開始した。発災直後より、すくなくとも1台の通行車両が巻き込まれていたことが確認されており、被災者の救助を最優先に現場対応が行われた。

発災時は休日であり、事務所に所員が集まっていない状況であったため、職員が工務二課庁舎に参集するまで

の間は、工務二課職員内での随時入ってくる情報の共有が課題となった。情報共有には普段の連絡にも使用していたSNSのLINEを用いた。

災害発生時におけるSNSの利用に関する既往の研究を見ると、井上ら<sup>2)</sup>は災害情報の収集及び共有方法についてLINE等のSNSの活用による連絡手段の多重構築の検討について述べており、災害の初動期における自治体と地元建設企業の体制確立の観点から検討をされている。

また、木下ら<sup>3)</sup>は被災箇所の記録においてLINEを活用しており、情報履歴の非効率な検索手間について指摘している。

本災害においてもテキストや写真だけでなく、動画や音声データ等を容易に複数人で共有できるため、速やかに情報共有が行われた。しかし既往研究の報告と同様に、LINEに蓄積される情報量が多くなるほど履歴の検索に手間が発生した。さらに、LINEに蓄積された情報を県の情報端末に蓄積し直す手間の発生が確認された。

### (2) Web会議等の活用

職員が工務二課庁舎に参集した後は、現場、工務二課、吉野土木事務所(本所)、本庁での情報共有も、それぞれが遠隔地であったため、情報伝達が又聞きになることによる正確性、即時性における課題が発生した。そこで、情報の共有には複数の関係者が即時的に意思疎通を行うことができるようにWeb会議(写真-2)を用いて行った。対応期間中には定時の会議を実施し、会議時以外も常に回線をつなぎ続けることで、入った情報を瞬時に報告することも可能となった。

12月25日からは本庁職員の応援派遣及び近畿地方整備局 奈良国道事務所からのリエゾンを派遣していただいた。それにより、本庁及び近畿地方整備局との情報共有において、事務所員で情報の粒度を調整することなく、リエゾンの方に情報の取捨選択をしていただくことができ、事務所の負担軽減を図ることができた。



図-2 紀伊半島アンカールート



写真-2 Web会議の様子

(3) 現場定期ミーティング

本災害における救助活動は警察及び消防と連携して実施しており、土砂の撤去を土木事務所、現場の規制、救出作業を警察及び消防が実施した。救出可能な範囲に到達するまで、土砂を撤去し、ファイバースコープで被災車両までの距離を確認した後、再度土砂の撤去という作業を繰り返した。救助活動は不安定な法面下での作業であり、刻々と状況が変化した。

そのため、関係者が集まり消防が設置した現場本部で日々の定期ミーティング(写真-3)を実施した。作業の進捗報告や作業予定を警察及び消防と共有し、その後の作業内容等を決定した。

ミーティングには斜面の確認を行うコンサルも参加し、崩壊面の状況を共有することで、二次災害の発生を防ぐこともできた。

各関係者との情報共有イメージについては、図-3の通りである。



写真-3 現場定期ミーティングの様子

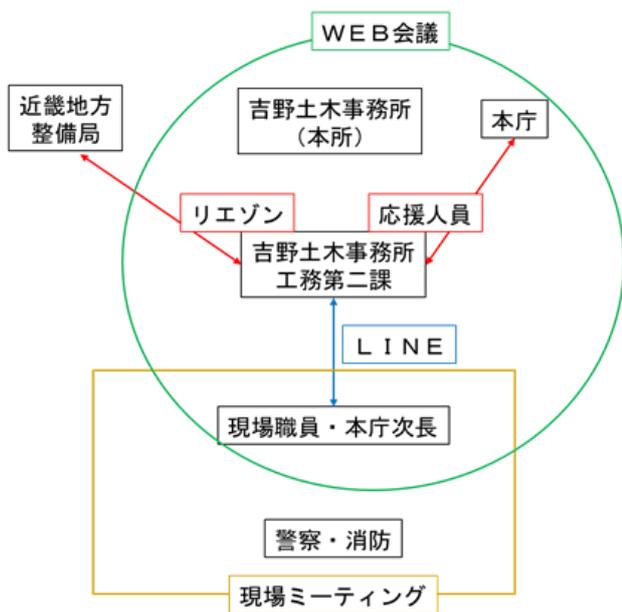


図-3 情報共有のイメージ図

4. 初期対応について

発災当初には通行止め対応、現場確認、状況報告、関係者(地方公共団体、緊急業者、電線事業者等)連絡調整及び問い合わせ対応が必要となり、加えて、救助活動開始以降には夜間の法面監視並びに近傍の地権者との折衝も必要となった。

本災害は近隣に迂回路の無い前鬼橋南～音枝トンネル(延長約3.1km)の区間(図-4)で発生した。そのため、発災当初から一般国道168号または一般国道42号へ広域迂回を案内する必要があった。広域迂回は県外の和歌山県、三重県にもまたがるため、県外の地方公共団体と調整し、県外にも広域迂回を案内する電光掲示板の表示や看板を設置した(写真-4)。

また、夜間作業や24時間体制での法面監視の実施にあたり、通常のパルーンライトでは法面上部やカーブ区間の法面を照らすことができなかつたため、法面を広範囲で照らすことができる照明設備の確保が課題となった。



写真-4 三重県での通行止め案内(熊野市小阪地内)



図-4 通行止め区間図



写真-5 照明車を用いた夜間法面監視の様子



写真-6 公用スマートフォン

そこで、本災害では前述した情報共有の結果、国土交通省 近畿地方整備局より照明車2台を派遣いただき、夜間作業や法面監視にあたることができた(写真-5)。

吉野土木事務所(本所)では通行止めや広域迂回に関する問い合わせ対応、本庁ではマスコミ等報道対応の窓口を一元化して担い、工務二課の負担軽減を図った。しかし、夜間の法面監視や問い合わせ対応には少人数出先機関の限られた人員でローテーションを組まざるをえない状況であった。

## 5. 課題点の抽出

### (1) 情報共有の課題点

情報共有の手法については、関係者がそれぞれ遠隔地にいるなかで情報共有するという課題に対し、複数の手法を組み合わせることで一定の成果が確認された。その中でそれぞれ下記の課題も確認された。

### a) SNSの活用に関する課題

SNSの使用は多様な形式で複数人が同時に情報を共有することができたが、蓄積されるデータが増えると履歴確認や整理に時間を要することが問題となった。また、今回状況をできるだけ速やかに情報共有するため、写真や動画等を撮影できる私用の携帯電話からSNSを使用した。今後は内部のサーバーへ保存する手間の軽減や情報管理に関する課題が確認された。

### b) Web会議及び定期ミーティングの実施環境に関する課題

Web会議は現場の警察、消防との定期ミーティングを受けてそのまま内容を現場から複数の関係者に共有できたこと、即時的な意思疎通が可能であったことがとても効果的であった。しかし、現場で県共通端末のPCを使用するには携帯電話の電波が入るエリアであることや、PCの電源に工事用発電機を使用すること、マイクやスピーカーは県共通端末のPCに内蔵のものを使用するため、風が強いときには聞き取りにくいことなどが問題となった。そこで、電波や電源の確保等の設備面での課題が確認された。

警察及び消防との定期ミーティングについては、不安定な法面下での救出作業をするにあたり必要な土砂の撤去の範囲等、3者の意見を出し合い、その中で互いの作業分担を行うために非常に重要であった。しかしながら、ミーティングを行う現場本部は机のみであり、本災害の救出作業時は降水がなかったため問題とならなかったが、テント等の設備面が課題となった。

## (2) 初期対応の課題点

山間事務所の人員の少ないところで災害が発生した場合には、現場や通行止めの対応等に多くの労力が必要となとなった。結果、発災直後の対応において顕著に人員不足が発生するため、迅速なプッシュ型の人員派遣が課題だと感じた。

## 6. 改善策の検討

本災害後、前項で挙げられた課題に対応すべく、検討または既に導入された改善策について、本項では述べる。

### (1) 公用スマートフォンの導入

本災害では、職員間の情報共有に私用の携帯電話からSNSを利用し、データ整理等の手間や情報管理という課題点が考えられた。そこで、公用スマートフォン(写真-6)を導入し、本庁及び出先機関の情報共有を内部チャットで行うようにした。内部チャットから内部のサーバーへ写真や動画等のデータは直接保存可能であり、写真等は撮影時の位置情報を記録することも可能となった。今後は、緊急時だけでなく、日常の管理にかかるデー

タの蓄積にも公用スマートフォンを用いることが出来るように検討を進めており、ますますの活用が期待される。

今後も県民の安心・安全な暮らしを守るために、引き続き改善に取り組みたい。

## (2) 災害時現場本部整備の検討

本災害では、現場でのミーティングや法面監視を屋外で行った。そこで、天候不良時の設備不足という課題点が考えられた。そこで、必要な資機材を保管したコンテナハウスの導入について工務二課で検討を実施している。

**謝辞**：本災害の発災時には、下北山村、上北山村役場、国土交通省 近畿地方整備局をはじめ、多くの方のご協力をいただき、対応にあたることができた。あらためて御礼申し上げます。

## 7. まとめ

本稿では、2023年に一般国道169号奈良県吉野郡下北山村上池原地内で発生した崩土災害を事例に、山間部の少人数出先機関での初期対応の経験について報告を行い、情報共有の手法について述べた。

さらに課題を抽出したところデータ蓄積、情報管理及び設備不足に関する課題が明らかとなった。

そして、抽出された課題から改善を図っている点について報告を行った。

## 参考文献

- 1) 第1回 国道 169号下北山村上池原地区 防災対策検討委員会資料  
<https://www.pref.nara.jp/65119.htm>
- 2) 井上惣介・中野晋 (2017) : 2016年熊本地震における地元建設企業の災害対応に関するインタビュー調査：土木学会論文集 F6, Vol. 73, No. 2, I\_27-I\_34, 2017.
- 3) 木下義昭・佐川康貴・玉井宏樹・松永昭吾 (2021) : 災害発生時の初動対応に既存の ICT を用いた地方公共団体の業務効率化：土木学会論文集 F5, Vol. 77, No. 1, 112-119, 2021.

# 外来樹木の駆除対策の一手法について

浦西 勝博<sup>1</sup>・川端 真治<sup>2</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 猪名川河川事務所 工務課 (〒563-0027大阪府池田市上池田2-2-39)

<sup>2</sup>近畿地方整備局 河川部 河川工事課 砂防・海岸係 (〒540-8586大阪府中央区大手前3-1-41大手前合同庁舎)

河道内に生育する外来樹種ハリエンジュについては生態系への影響のほか、河川管理上の支障も懸念されることから適切に駆除を行う必要がある。今回、猪名川にて、ハリエンジュの効果的な駆除手法としての環状剥皮について検証を行った。今回の検証から得られた知見は、環状剥皮の施工部の癒合が一部の樹木に見られ、そこから発生する萌芽の伐採等も行うことで、2年半後にはほぼ全てのハリエンジュを枯死させることができたということである。以上の結果から、環状剥皮はハリエンジュの駆除に有効な手法であることが分かった。

キーワード 外来樹木、枯死、環状剥皮、剥皮部の癒合、萌芽の発生

## 1. 背景・経緯

### (1) 侵略的外来種ハリエンジュ

外来種とは、過去あるいは現在の自然分布域外に導入（人為によって直接的・間接的に自然分布域外に移動させること）された種を指す<sup>1)</sup>。日本国内に導入された外来種については、在来種との競合や遺伝的攪乱等の自然環境への影響のほか、農林水産業への影響や人に対する傷害等の様々な影響を及ぼすことが指摘されており、外来種のうち特に影響が甚大で、その導入もしくは拡散が生物多様性を脅かすものを「侵略的外来種」という<sup>2)</sup>。北アメリカを原産とするマメ科の落葉高木であるハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia*) も侵略的外来種の1つであり、明治時代頃に緑化や街路樹としての利用を目的に国内に導入されたものが野生化したものとされる<sup>3)</sup>。ハリエンジュは、伐採しても容易に再生する繁殖力の強さから急速に分布範囲を拡大させ、現在では日本のほぼ全域に分布しており<sup>4,5)</sup>、2015年に環境省によって策定された「生態系被害防止外来種リスト」では、適切な管理が必要な産業上重要な外来種として、「産業管理外来種」に指定されている<sup>6)</sup>。

河川においては、ハリエンジュは比較的比高の高い中州や高水敷に多く生育しており、流水や土砂の移動によって種子が運搬されることで分布を拡大させていると考えられている<sup>1)</sup>。また、ハリエンジュは地中に広く水平根を発達させ、個体に損傷（伐採等）があった際には、損傷部から萌芽を発生させるとともに水平根からも大量に根萌芽を発生させることで周辺に広がるとされる<sup>6,7)</sup>。

### (2) 猪名川におけるハリエンジュ

一級河川猪名川は川辺郡猪名川町の大野山を水源地とし、大小あわせて42本の支川と合流しながら大阪・兵庫両府県を南流し、大阪湾に流入する神崎川右岸に河口から約6.5km上流で合流する。その流域には川西・池田・宝塚・箕面市など多くの都市域を擁し、流域面積383km<sup>2</sup>、幹川流路延長43.2kmの典型的な都市河川である。

猪名川においても河道内に多くのハリエンジュが生育しており、特に兵庫県伊丹市の軍行橋下流付近の高水敷において大規模なハリエンジュ群落形成されている。

河川内に生育するハリエンジュについては、在来の生態系等に対する環境面への影響以外に、根が浅く倒伏しやすいことから増水時に流倒木となって流下阻害の原因になるほか、堤防に侵入して堤体の損傷を引き起こすなどの河川管理上の懸念が報告されている<sup>1)</sup>。また、軍行橋下流付近のハリエンジュ群落については学識経験者等からなる猪名川流域自然環境委員会からも駆除することを望む意見があげられていたため、猪名川河川事務所として当該ハリエンジュ群落の駆除を実施するものとした。



図-1 ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia*)

## 2. ハリエングジュの駆除手法の検討

### (1) 駆除手法の検討

ハリエンジュの最も基本的な駆除手法は伐採することであるが、上述のとおりハリエンジュは伐採すると切株や水平根から大量に萌芽を発生させる。ハリエンジュの水平根は最大60mの範囲まで及ぶとされ<sup>9)</sup>、伐採後に発生する根萌芽の数は平均50本程度、多い個体では約100本の根萌芽が発生したとの報告もあり<sup>7)</sup>、伐採のみでハリエンジュを完全に駆除することは困難と考えられる。

伐採以外の手法としては、伐採と組み合わせて切株や根系の除去及び表層土砂の入れ替えを行う手法や<sup>4)</sup>、切株に除草剤を塗布する手法が効果が高いとされる<sup>9)</sup>。しかしながら、当該ハリエンジュ群落については群落内にヒメボタル (*Luciola parvula*) が生息しており、夏季には地域住民による観察会も開催されていることから、地域住民に配慮し、ヒメボタルの生息環境への影響が大きいとされるこれらの手法については非選定とした。

そのため、当該ハリエンジュ群落の駆除については、学識経験者の意見も聴取したうえで、他事例によってハリエンジュに対する一定の効果が報告されており<sup>14)10)</sup>、かつ周辺の自然環境への影響も小さいと考えられる「環状剥皮 (巻き枯らし)」により実施するものとした。

なお、環状剥皮とは、樹幹部分の樹皮を環状に剥ぐことにより維管束外側の師管部分を取り除き、地上部からの栄養の流れを断つことにより樹勢を減退させ、樹木の枯死を促す手法である<sup>1)</sup>。

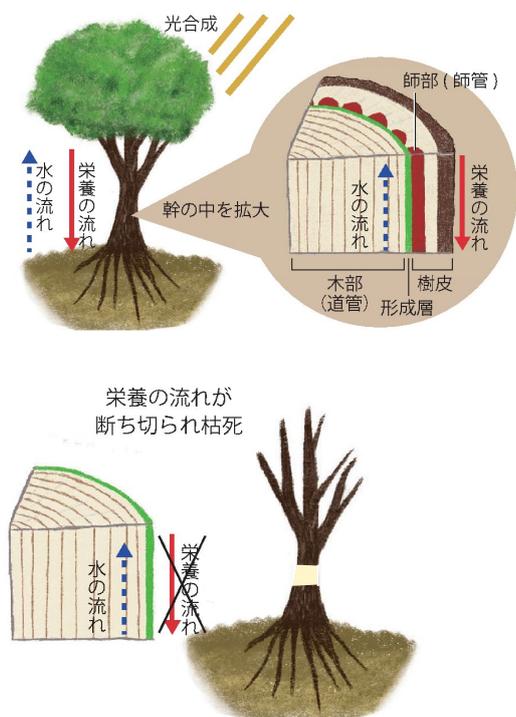


図-2 環状剥皮の模式図

### (2) 駆除の実施手順

環状剥皮によるハリエンジュの駆除については、これまでもいくつかの事例が報告されている。ただし、その多くは事業の一環として試験的に行われたものであり、環状剥皮について一定の駆除効果はあるとしつつもより詳細な検討が行われた事例は少なく<sup>14)10)</sup>、具体的な環状剥皮の実施方法等については依然知見が不足している状況であった。したがって、当該ハリエンジュ群落の駆除にあたっては、まず群落内のいくつかのハリエンジュを対象に環状剥皮の効果検証に係るモニタリング調査を実施し、環状剥皮の効果や課題及びその対応方針について検証を行い、環状剥皮による駆除手法を確立させたうえで、群落全体の駆除作業に着手するものとした。今回の取組みでは2020年1月から2022年7月にかけて環状剥皮の効果検証に係るモニタリング調査を、2022年8月から2024年9月にかけて群落全体の駆除作業を行った。

## 3. 環状剥皮の効果検証に係るモニタリング調査

### (1) 調査地と方法

#### a) 調査地

調査地は上述した猪名川中流域に位置する軍行橋下流付近の左岸側に位置するハリエンジュ群落とした。当該地点は、河道幅が200m以上あり、右岸側を流路が流下しているのに対して、左岸側には土砂が堆積するなどして高水敷にはハリエンジュ等の河畔林が形成されている。

当該ハリエンジュ群落については、面積は約0.48haであり、高さ10m以上のハリエンジュの高木が多く生育している。群落内では基本的にハリエンジュが優占しているが、一部エノキやアキニレ等の在来種も生育している。



図-3 ハリエングジュ群落の範囲(上)、外観(下)

b) 調査方法

環状剥皮の効果検証に係るモニタリング調査は、当該ハリエンジュ群落内に生育するハリエンジュからモニタリング対象木を選定して環状剥皮することで行った。

モニタリング対象木については群落内に生育するハリエンジュ 41 本を選定し、樹高及び胸高直径を計測した。対象木の平均胸高直径は 7.6cm±2.7cm、平均樹高は 5.8m±1.8m であった。

モニタリング対象木の選定後、2020 年 1 月～2 月にかけて各対象木に環状剥皮の処理を行った樹木は、出来るだけ樹幹の根元部分において縦 30cm 以上の幅を剥皮した。また、根元から株別れしている個体については全ての株において環状剥皮を実施した。剥皮の手法については、他事例ではナタやチェーンソー、ノミを用いて剥皮している事例が多いが<sup>14)10)</sup>、今回調査では学識経験者の助言にもとづき、以下に示す手順で剥皮を実施した。

- ・剥皮したい箇所の上端、下端部分にのこぎり等を用いて幹を一周するように、樹皮に切り傷をつける。この際、傷をつけるのは樹皮までとし、深く切りすぎないように留意する。
- ・木槌を用いて剥皮箇所を樹皮が浮いてくるまで叩く。
- ・樹皮が浮いてきたら手で樹皮を剥ぐ。



図-4 環状剥皮の実施状況



図-5 剥皮部の癒合 (左) , 萌芽の発生 (右)

モニタリングは、2020 年 5 月から 2022 年 7 月にかけて、ハリエンジュの展葉期に行った。2020 年と 2021 年は 5, 7, 9, 11 月の各 4 回、2022 年は 5, 6, 7 月の 3 回実施した (計 11 回)。モニタリングでは、各対象木の枯死の状況及び萌芽の状況 (萌芽数、萌芽長) について記録した。なお、「枯死」については展葉並びに萌芽の発生が確認されない状況をもって「枯死」と判断した。

モニタリング中に確認された萌芽については記録後にノコギリ等を用いて伐採した。また、モニタリング中には、剥皮部の上部から組織が再生して剥皮部の下部まで到達することで剥皮部が癒合するケースも見られたため、癒合が見られた場合には癒合部の除去又は再度環状剥皮を適宜実施した。

(2) 調査結果

a) 萌芽の発生状況

対象木のモニタリング月別の合計萌芽数、平均萌芽長を図-6、図-7に示す。合計萌芽数については、モニタリング開始当初の2020年5月は約400本あったが、時間経過とともに減少していき2021年5月には50本以下になった。その後、2021年は横ばいで推移したが、2022年5月以降は0本となった。

平均萌芽長については、成長が活発になる夏季 (7 月) に長くなり、成長速度が低下する冬頃 (11月) に短くなる傾向が見られた。2022年5月以降は0cmとなった。

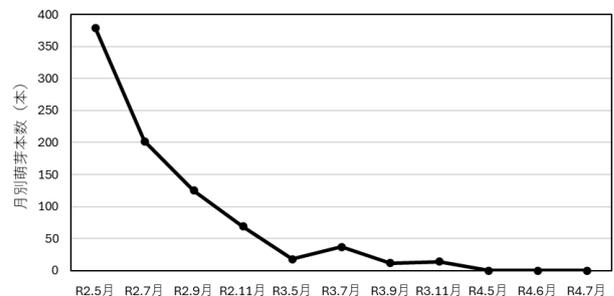


図-6 対象木のモニタリング月別の合計萌芽数の推移

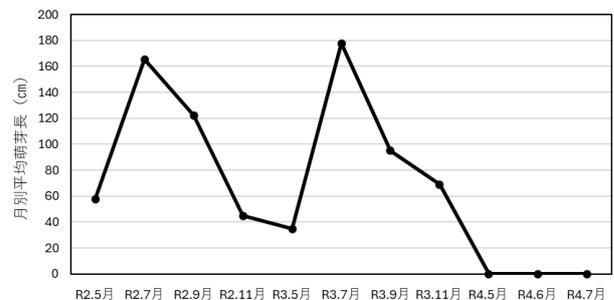


図-7 対象木のモニタリング月別の平均萌芽長の推移

b) 枯死状況の推移

対象木の枯死状況の推移を図-8に示す。モニタリング開始当初はほぼ全ての個体が未枯死の状況であったが、モニタリング月毎に萌芽の伐採、癒合部の除去又は再度環状剥皮を行うことで枯死した対象木の割合が増加していき、2022年5月以降は全ての個体で枯死が確認された。

(3) 考察

モニタリング調査では 41 本のハリエンジュを対象に環状剥皮を実施し、その後、継続的に萌芽の伐採等を行うことで約 2 年半後に全ての個体を枯死させることができた。モニタリング調査では、枯死していないハリエンジュの状態として「剥皮部の癒合」と「萌芽の発生」の 2 つのケースが見られた。

「剥皮部の癒合」については、いずれの個体も樹冠部分が正常に展葉していたため、癒合することで樹幹内の栄養の流れが正常に戻っていたと考えられる。剥皮部の癒合が見られた対象木については対策として癒合部の除去又は再環状剥皮を実施した。その結果、剥皮部が癒合が見られた対象木 17 本について、癒合部の除去又は再環状剥皮を平均 2 回実施することでその後剥皮部の癒合が見られなくなった。このことから、「剥皮部の癒合」が見られた場合の対策として、癒合部の除去又は再環状剥皮は適切であると考えられる。なお、最も期間を要した個体では剥皮部が癒合しなくなるのに計 4 回の対策を要した。

「萌芽の発生」については、いずれの個体も展葉がなくなり樹木上部は枯死しているが、根元から萌芽が発生している状況であった。萌芽の発生が見られた個体については対策として萌芽の伐採を実施した。その結果、萌芽の発生が見られた対象木 38 本について、萌芽の伐採を平均 3 回実施することでその後萌芽が発生しなくなった。このことから、「萌芽の発生」が見られた場合の対策として、萌芽の伐採は適切であると考えられる。なお、最も期間を要した個体では萌芽の発生がなくなるのに計 8 回の対策を要した。

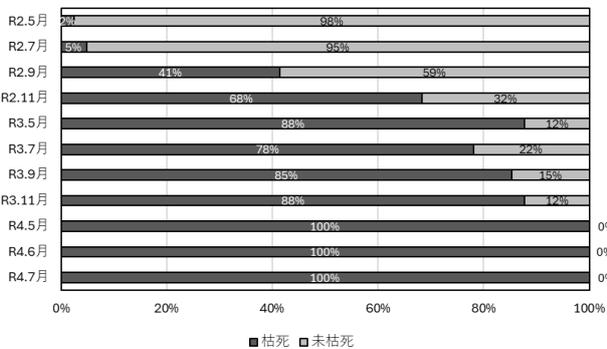


図-8 枯死状況の推移

4. 群落全体の駆除作業

環状剥皮の効果検証に係るモニタリング調査の結果を踏まえて、2022年8月から当該ハリエンジュ群落全体の駆除に着手した。

(1) 作業箇所と方法

a) 作業箇所

作業箇所はモニタリング調査と同様に軍行橋下流付近の左岸側に位置するハリエンジュ群落とした。なお、群落全体の駆除実施時点では群落内にはおよそ 350 本～400 本のハリエンジュが生育していた。(図-9)

b) 作業方法

群落全体の駆除作業については、当該ハリエンジュ群落内の全てのハリエンジュを対象に環状剥皮の処理を行い、その後継続して萌芽の伐採等の対策を実施することで行った。

環状剥皮の処理は 2022 年 8 月に実施した。その後の対策については、モニタリング調査において萌芽の発生が確認された個体に対して最大 8 回の萌芽の伐採が必要になったことから、2022 年は 8 月、9 月、11 月の 3 回、2023 年は 5 月、6 月、7 月、8 月、9 月の 5 回、2024 年は 6 月、8 月の 2 回の計 10 回実施するものとした。対策においては、モニタリング調査の結果を踏まえて、萌芽の発生が見られた場合は萌芽の伐採を、剥皮部の癒合が見られた場合は癒合部の除去又は再環状剥皮を行った。また、地面からハリエンジュの根萌芽や実生の発生が見られた場合も適宜伐採を行った。

また、群落内のハリエンジュの枯死状況を把握するためにモニタリングを行った。モニタリングは、群落全体の駆除作業開始前の 2022 年 5 月と、業開始後の 2023 年 8 月、9 月、11 月及び 2024 年 5 月、7 月、9 月の計 6 回実施した。モニタリングについては、落内のハリエンジュの個体数が膨大なため、々のハリエンジュの状況について個別に把握を行うのではなく、落内の枯死/未枯死のハリエンジュの総数の計測のみ行った。

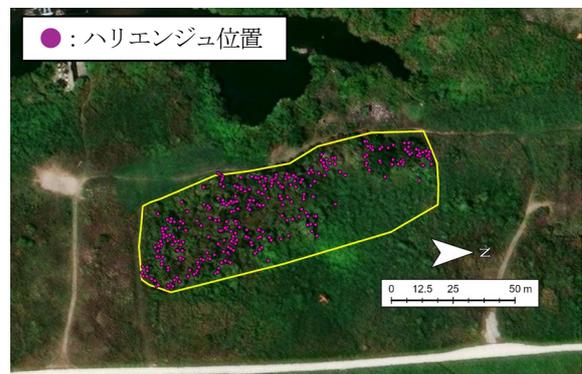


図-9 ハリエンジュ群落及びハリエンジュ位置

(2) 作業結果

群落全体の枯死状況の推移を図-10に示す。駆除作業開始当初は全体のうち約70%が未枯死であったが、除作業を継続して実施し、024年9月において群落内のハリエンジュの約99%の枯死が確認された。

5. まとめ

本取組みでは、道内に生育するハリエンジュ群落の駆除を行うにあたり、ず環状剥皮の効果の検証に係るモニタリング調査を実施して、状剥皮後の継続的な萌芽の伐採等の対策の必要性を把握したうえで、の後実際に検討した駆除手法を用いてハリエンジュ群落全体の駆除作業に着手することで最終的に群落内のほぼ全てのハリエンジュを駆除することに成功した。

これまでに報告されている環状剥皮を用いたハリエンジュの駆除に関する詳しい調査事例としては、尾ら(2015年)の事例<sup>10)</sup>があり、状剥皮によるハリエンジュの駆除について9年に渡る調査が行われている。この調査でも環状剥皮後に年2回以上萌芽の伐採を行った場合、8年後にはほぼ全ての個体が枯死したことから、環状剥皮後の継続的な萌芽の伐採が重要であると結論づけている。また、同事例においては環状剥皮の場合、伐採と比較して根萌芽の発生量を大幅に抑制できることが報告されているが、本取組みにおいても、群落全体の駆除作業時のモニタリングでは根萌芽は最も多かった月で17本程度しか確認されず、崎尾らと同様の結果が確認された。

一方、崎尾らの事例<sup>10)</sup>では全てのハリエンジュが枯死するのに約8年かかったのに対し、本取組みでは約2年と短期間で駆除を行うことができた。この要因としては、崎尾らはハリエンジュ群落内の一部のハリエンジュを対象に環状剥皮等を実施していたのに対し、本取組みでは群落内の全てのハリエンジュを対象に環状剥皮及び萌芽の伐採等を実施したことが考えられる。先述のとおりハリエンジュは水平根から発生する根萌芽によって増殖するため、環状剥皮を行った個体が水平根によって地中で環状剥皮をしていない他個体と繋がっている可能性がある。

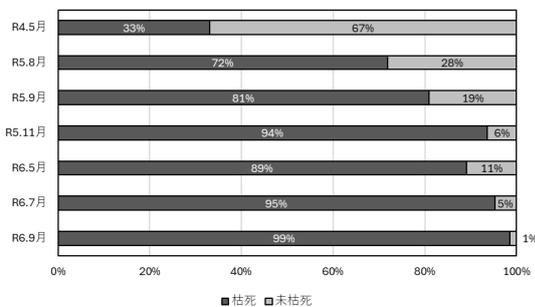


図-10 群落全体の枯死状況推移

崎尾らも、調査において最後まで枯死しなかった個体については地中深くで他個体と水平根で繋がっていた可能性があると、環状剥皮による駆除を行う際は林分の全てのハリエンジュに対して同時に環状剥皮と萌芽の除去を行うことによって、より効果的にハリエンジュの群落を駆除できる可能性があるとして指摘している<sup>10)</sup>。

したがって、本取組みにおける結果から、ハリエンジュの駆除にあたっては環状剥皮が有効な手法であることが明らかになるとともに、環状剥皮によるハリエンジュの駆除を効果的に行うには、①環状剥皮後の継続的な萌芽の伐採等の実施、及び②林分全体のハリエンジュを対象に環状剥皮や萌芽の伐採等を実施することが重要であることが分かった。

また、今回環状剥皮処理の際に用いた木槌で樹皮を叩いて剥ぐ方法については、他事例で見られるようなチェーンソーやナタによる方法よりも危険が少なく、特別な技術も要しない効果的な手法であり、地域連携の一環として地域住民を対象としたワークショップの中で環状剥皮を実際に体験してもらおう等の展開も期待される。

謝辞：本調査の実施にあたっては当初より兵庫県立大学名誉教授 服部保氏から環状剥皮の手法等についてご助言、ご指導をいただいた。ここに記して厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 国土交通省 (2013) 河川における外来植物対策の手引き, 203p.
- 環境省自然環境局 野生生物課外来生物対策室. 外来種問題を考えるホームページ「侵略的な外来種」. <https://www.env.go.jp/nature/intro/index.html> (2025年3月17日確認)
- 国立研究開発法人国立環境研究所. 侵入生物データベースホームページ「維管束植物 ハリエンジュ」. <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/index.html> (2025年3月17日確認)
- 経済産業省. 2018年度第13回環境審査顧問会 風力部会ホームページ「別添 29 ニセアカシアの駆除方法と対策事例」. [https://www.meti.go.jp/shingikai/safety\\_security/kankyو\\_shinsa/fuyoku/2018\\_013.html](https://www.meti.go.jp/shingikai/safety_security/kankyو_shinsa/fuyoku/2018_013.html) (2025年3月17日確認)
- 環境省自然環境局 野生生物課外来生物対策室. 外来種問題を考えるホームページ「生態系被害防止外来種リスト」. <https://www.env.go.jp/nature/intro/index.html> (2025年3月17日確認)
- 比嘉基紀・川西基博・米林伸・崎尾均 (2015) 侵略的外来種ハリエンジュ (*Robinia pseudoacacia* L.) 若齢林の伐採後の刈り取りによる管理, 日本緑化工学会誌, 40 (3) :451-456.
- 崎尾均 (2003) ニセアカシア (*Robinia pseudoacacia* L.) は溪畔域から除去可能か?, 日本林学会誌, 85 (4) :355-358.
- 玉泉幸一郎・飯島康夫・矢幡久 (1991) 海岸クロマツ林内に生育するニセアカシアの根萌芽の分布とその形態的特徴, 九州大学農学部演習林報告, 64 :13-28.
- 長野県林業総合センター (1999) ニセアカシアとタケの枯らし方, ミニ技術情報 No.9. <https://www.pref.nagano.lg.jp/ningyosogo/joho/faq/documents/mini09.pdf> (2025年3月17日確認)
- 崎尾均・川西基博・比嘉基紀・崎尾萌 (2015) 巻き枯らしによるハリエンジュの管理, 日本緑化工学会誌, 40 (3) :446-450



# 一般国道169号（下北山村上池原地区）の崩土による通行止め区間の通行再開の取組

臼井 伸章<sup>1</sup>

<sup>1</sup>奈良県 県土マネジメント部 吉野土木事務所 工務第二課（〒639-3701奈良県吉野郡上北山村河合420-1）

2023年12月23日に奈良県吉野郡下北山村上池原地区の一般国道169号において発生した土砂崩れは、地域住民の生活に大きな影響を与えた。本地区の仮復旧工事は早期の通行再開を最優先として進め、仮橋による仮復旧工事完了かつ深層崩壊の予兆を事前に感知できる監視体制が整ったことにより、2024年6月28日より一般車両の通行が可能となった。しかし仮橋は急峻な斜面に設置され、かつ早期の通行再開が必要となったことで安全対策の一つである交通誘導警備員のコスト増大が課題となった。本稿では復旧段階に応じた交通誘導や仮橋通行に係る安全対策及びコスト縮減への取組について報告する。

キーワード 法面崩壊、全面通行止め、早期復旧、段階的な交通開放

## 1. はじめに

奈良県南部に位置する下北山村は日本でも有数の多雨地域の一つであり、吉野土木事務所が所管する路線において、大雨、台風等の自然災害に対して脆弱な区間が多く存在する。一般国道169号は第一次緊急道路、重要物流道路に指定されていることから大型車両の通行が多く、迂回路も少ないため土砂崩れ等の災害が発生した場合、物流・観光・地域生活に大きな影響が生じる。

2023年12月23日（土）に一般国道169号下北山村上池原地区（図-1）で発生した土砂崩れの影響により、一般国道169号は全面通行止め（前鬼橋南～音枝トンネル

南：延長約3.1km）となった。仮復旧工事は通行止め区間の早期通行再開を最優先事項とし、仮復旧工事（モルタル吹付、鉄筋挿入工、高エネルギー吸収柵）や法面監視体制の整備状況に応じて段階的な交通開放を行ったが、仮復旧となる仮橋は谷側（ダム湖側）の急峻な斜面に設置したため、通行車両への安全対策が課題であった。また早期の通行再開を優先したことで、仮橋通行に係る安全対策の一つである交通誘導警備員へのコストが増大していた。

本稿では、上池原地区での通行止め解除に至るまでの、復旧段階に応じた交通誘導内容や仮橋通行に係る安全対策及びコスト縮減への取組について報告する。

## 2. 災害概要及び応急工事について

2023年12月23日（土）21時頃、吉野郡下北山村上池原地区において、土砂崩れが発生し、通行車両2台が巻き込まれ2名の死傷者が発生した。被災規模は、延長約20～30m、深さ約4～5m、高さ40m、崩壊推定土砂量約4,000m<sup>3</sup>である（図-2）。仮復旧工事は、崩壊斜面への法面对策（モルタル吹付、鉄筋挿入工、高エネルギー吸収柵）に加えて、崩壊や地すべり規模の変動状況を監視しつつ、早期の通行開放に対して最も有効である仮橋整備を実施した（図-3）。



図-1 災害発生箇所



図-2 被災状況 (2023年12月24日撮影)



図-3 仮橋工事完了 (2024年4月28日撮影)

### 3. 仮橋完成に伴う暫定交通解放について

仮橋完成に伴い、2024年4月30日より緊急車両（緊急車両とは、消防用自動車、救急用自動車、警察車両以外にも電力・ガス会社、医師・医療関係、その他生活維持に必要な緊急輸送車両（タンクローリー、生活物資輸送車両等）等を含む）のみを通行可能とする暫定的な交通開放を行った。通行車両は原則として奈良県・上北山村・下北山村が発行する通行許可書をもつ車両のみに限定した。

なお暫定開放時は、通行車両の速度抑制対策を目的として先導車、および法面に異常が発生したときに即座に緊急車両に周知するための法面監視者（県職員1名）を配置し、法面状況が監視（目視）可能な時間帯（5時30分～18時30分または19時00分）について通行可とした。また一般国道169号（下北山村内13.8km）は雨量規制実施路線（時間雨量25mm/hr、連続雨量110mm）であるが、本地区においては通常より厳しい基準値（時間雨量12.5mm/hr、連続雨量55mm）を設定した。法面の計測機器の異常または雨量規制基準を超過した場合は、現場を含めた全長約3.1km（前鬼橋南～音枝トンネル南）をバリケードにより通行止めとした。

通行許可書や通常より厳しい雨量規制基準を設定したことにより、片側交互通行の交通誘導業務に加えて、通行許可書の確認、先導車の運転、通行止め時に通行止めを周知する要員等として、最大16名の交通誘導警備員を同時に配置する必要があった（図-4）。



図-4 暫定交通開放時の交通誘導体制 (2024年4月30日～6月20日)

### 4. 一般車両の通行再開について

地盤伸縮計、パイプひずみ計等の計測機器や警報装置等の設置完了に伴い、深層崩壊の予兆を事前に感知するための法面監視体制が整ったことから、2024年6月28日より一般車両の片側交互通行を開始し、通行許可書については廃止した。仮橋区間（延長L=約150m）は急峻な斜面に張り出すように設置され、有効幅員4mを確保しているものの、勾配があり（最大約7.8%）があるため、所管警察署と協議を行い仮橋上は道路交通法上の速度制限30kmを設けたが、通行車両の安全対策については継続的な課題を有していた。

#### (1) 注意喚起型の速度抑制対策

運転手への注意喚起を目的とした減速路面標示（破線）や段差舗装（樹脂系すべり止め舗装）による減速対策を実施した（図-5）。注意喚起型の路面標示対策である減速区画線は、全国的に数多く採用されている手法であり、速度抑制効果の持続性も期待できる。また段差舗装は、音と振動を運転手に与えることで、通行車両の速度抑制を図ることを目的として設置した。



図-5 速度抑制対策（減速区画線，段差舗装）

## (2) 先導車による速度抑制対策

仮橋を含めた片側交互通行区間については、6月28日以降も先導車をつけた速度抑制対策を行った。しかし通行許可書廃止に伴い交通誘導警備員を16名→9名に削減できたが、先導車を配置した場合（図-6），受注者側が交通誘導警備員及び先導車の運転手と多くの人員を確保する状態が続き、昨今の警備業界の負担解消とは逆行する形となる。また先導車が片側交互通行の起終点で旋回できるスペースが必要であるため、片側交互通行の規制区間が約400m（交通誘導警備員のみで片側交互通行を行う場合は、約280m程度となる）と長くなり、通行車両の停止位置での待機時間増加に繋がる問題が発生していた。



図-6 仮橋上での先導車による交通誘導體制（イメージ図）

## 5. 仮橋通行に係るコスト削減対策

先導車および路面標示対策等による仮橋走行に係る速度抑制対策を進めていたが、先導車による仮橋運用は交通誘導警備員の人員確保や一般通行者の停止位置での待機時間が増加する等の問題が発生するため、次の簡易的な実験を行い、先導車を廃止する方法について検討した。

仮橋区間のうち、30km速度制限区間（約130m）において、誘導形式を変更しながら、車両が通過する時間の計測を行った。30km速度制限区間を速度30km/hで走行した場合の計算上の通行時間は16秒である。

実験結果（表-1）のとおり、先導車を廃止し、追加の対策行わず片側交互通行を行ったCASE②では、仮橋の速度規制区間での走行速度は30.4km/h、仮橋入口で徐行案内を行うCASE③（図-7）では平均速度が28.3km/hとなり、交通誘導警備員による徐行案内を行うことで平均速度が30km/hを下回る結果となった。CASE③において、検証期間中に計測した全200台中で走行速度35km/h～40km/h未満が計8台計測されたものの、概ね速度制限内である30km/h以下で走行していた。仮橋入口での徐行案内を行うことで速度抑制への一定の効果が確認できたため、8月1日より先導車を廃止し交通誘導警備員のみでの片側交互通行に切替えを行った。通行者の安全を確保しつつ、交通誘導警備員を削減(9名→5名)することができたが、今後も走行状況を確認し速度抑制効果について再評価する必要がある。

表-1 先導車廃止による通行時間比較

誘導形式	通行時間(s)			平均速度 (km/h)
	最大	最小	平均	
CASE ① 先導車あり*	-	-	-	20~30
CASE ② 先導車なし	22.0	11.1	15.4	30.4
CASE ③ 先導車なし、徐行案内	28.4	12.2	16.6	28.3

\*先導車の走行速度を20～30km/hに設定しているため、通行時間は未測定



図-7 CASE③ 仮橋入口の交通誘導警備員配置

## 6. 交通信号機による片側交互通行へ

交通誘導警備員による速度抑制対策は通行車両に対して効果的であったものの、交通誘導警備員配置に係る費用が継続的に必要となった。そのため所管警察署との協議を行い、2025年4月24日より交通誘導警備員から交通信号機による片側交互通行に切替えを実施した(図-8)。本地区周辺は山間部特有の急カーブの多い地域であり、信号機設置の影響により停止位置での渋滞が発生した場合、停止車両への追突等の事故発生が懸念されたため、「信号機有り」「停止車両有り」等の注意喚起看板を追加で設置し注意喚起を行うこととした。交通信号機による片側交互通行の運用開始以降で、事故は発生していないものの、片側交互通行の運用方法及び通行車両への安全対策については今後も継続的に見直していく必要がある。

また交通信号機による片側交互通行への切替え以降も、法面の異常が発生した場合に備えて、交通誘導警備員2名の配置を継続している。今後も通行車両に対する安全が大前提ではあるが、安全対策へのコスト、警備業界の慢性的な人員不足を考慮し、交通誘導警備員に代わる代替案を検討し、仮橋通行に係る管理体制の見直しを進めていく必要があるを考える。



図-8 交通信号機による片側交互通行へ切替

## 7. おわりに

2023年12月23日に一般国道169号奈良県吉野郡下北山村上池原地内で発生した土砂崩れの影響で、約6ヶ月間通行止めとなった。本工区周辺は迂回路が少ないこともあり、早期通行再開を最優先事項として仮復旧となる仮橋を採用したが、山間部特有の急峻な地形に設置したこと、また早期の通行再開を優先したことによる交通誘導警備員のコスト増大が課題となった。

本地区の早期通行再開ができたのは災害復旧事業者をはじめ、国土交通省近畿地方整備局、電源開発株式会社、下北山村・上北山村・川上村役場、吉野警察署などの多くの方々のご協力があった結果であり、感謝申し上げます。

現在も交通信号機による片側交互通行、法面監視機器による監視が続いている。本格復旧は高度な技術力を要することから、国の権限代行による災害復旧工事(別線のトンネル2.8km)として実施することとなったが、災害復旧工事が完成するまでの期間は、仮橋区間の片側交互通行は継続することになる。本事例は、迂回路が少なく速度抑制が必要となるような現場であり、山間地で見られる特有の事例であるかもしれないが、土砂崩れ等の災害発生に係る交通誘導やその他の安全対策について参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 路面標示による交通安全対策の速度抑制効果の持続性の検証 木下康之・萩野弘・仙石忠広・浜口雅昭・辻光弘・林祐志, 土木計画学研究・講演集(CD-ROM)45, 2012

# 東山トンネル 点検から補修計画まで

内藤 信吾<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 大阪国道事務所 高槻維持出張所 (〒569-0072大阪府高槻市京口町12-22)

東山トンネルは開通以来、交通量の増加や経年劣化によって構造的な疲労や損傷が進行しており、近年では劣化現象が顕在化している。また、2012年の笹子トンネル事故を契機に全国的に安全性の再点検が進み、東山トンネルも予防保全的な補修対象となり対策が必要となっている。

本文では、供用から60年が経過した現在に至るまでの変遷を振り返り、過去に実施された点検データの分析を通じて劣化度の分類や進行傾向について考察を行うとともに、今後の補修計画においての課題解決に関する取り組みについて述べる。

キーワード トンネル, 定期点検, 予防保全, 鋼板補強

## 1. はじめに

東山トンネルは、京都市東山区と山科区の境界に位置し、国道1号五条バイパスの一部として建設された道路トンネルであり、市街地の交通環境を改善し幹線道路としての機能強化を図るために整備されたものである。概要、現在の状況(写真-1)を以下に示す。

トンネル概要

- (1) 場所：京都府京都市山科区上山旭山町
- (2) 竣工年：1965年3月
- (3) 施工法：矢板工法
- (4) 延長：259m
- (5) 幅員：7.0m (上下線分離型)  
上り2車線、下り2車線
- (6) 交通量：56305台/日



写真-1 東側抗口

## 2. 供用からの変遷

### (1) 社会的役割

1965年の供用から60年を経過する現在においても京都市中心部と山科・滋賀県方面を結ぶ重要な広域幹線として、観光・物流・通勤通学など多様な需要を支えている。さらに、災害時には緊急輸送路や避難路としての役割も果たすことから地域の経済活動や住民の安心・安全の基盤として重要な都市インフラであり続けている。

### (2) 点検制度と適用

#### a) 初期の維持管理

高度経済成長期から1990年代にかけて全国で多くの道路トンネルが建設されましたが、供用開始後の維持管理水準は、管理者によってまちまちで定期的な点検が実施されていないケースも少なくありませんでした。また、この時代の道路トンネルの維持管理においては、設備や構造物に明確な損傷や不具合が確認してから修理や更新を行う事後保全が主流でした。東山トンネルでは1984年と1988年に内空の調査が実施されており、1990年には滋賀県側の東側抗口法面において法枠工およびグランドアンカーの法面对策が実施されています。

#### b) 笹子トンネル事故と制度改革

2012年に山梨県で発生した中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故を契機に、全国的にトンネルの安全対策と点検制度が見直され、2014年には「道路トンネル定期点検要領」が策定された。これにより全ての道路トンネルに対して原則5年に1回の近接目視点検が義務化され、

損傷の種類と程度に応じてⅠ～Ⅳの4段階評価により健全性が評価されることとなった。(表-1)

判定区分は補修・更新計画に反映し、予防保全型の維持管理へ移行することが求められている。

東山トンネルにおいてもこの制度に基づく定期点検が実施されており、平成26年に実施した1巡目点検では判定区分「Ⅱa」としており、その後、平成31年に「道路トンネル定期点検要領」が改定されており、同年に2巡目点検を実施し、前回同様、判定区分「Ⅱa」となるも要領の改訂に伴い、「定期点検から2年程度以内を目安に近接目視を行うこと」との追記がなされた事により、令和3年に近接目視点検を行うとともに、別途、自走車両による「画像撮影」及び「レーザー断面測量」を実施し、直近では2023年に3巡目の定期点検が実施されている。

物の腐食」、「鋼板補強のアンカー及び接着剤の劣化に伴う鋼板の接着不足」、「コンクリート舗装の損傷等」について指摘があった。

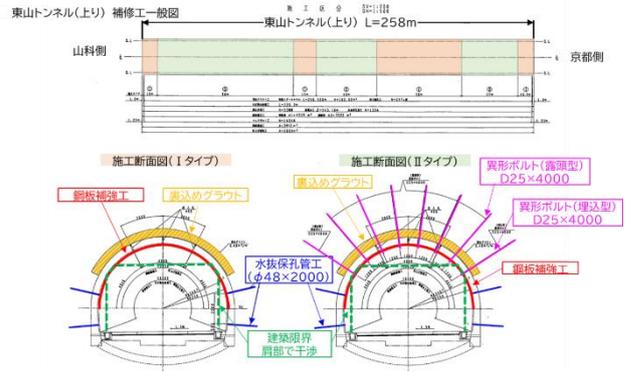


図-1 1998年対策工

表-1 判定区分

区分	定義
Ⅰ	利用者に対して影響が及ぶ可能性がないため、措置を必要としない状態。
Ⅱ	Ⅱb 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、監視を必要とする状態。
	Ⅱa 将来的に、利用者に対して影響が及ぶ可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態。
Ⅲ	早晚、利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、早期に措置を講じる必要がある状態。
Ⅳ	利用者に対して影響が及ぶ可能性が高いため、緊急に対策を講じる必要がある状態。

(3) 損傷の分析から補修対応

トンネル本体については供用後30年を経過する1995年頃に、トンネル全体での漏水の他に覆工コンクリートにおいてもクラックや遊離石灰が確認された為、同年にドクター診断を要請している。この結果、「覆工コンクリートの損傷状況について調査すること」や「漏水箇所については線導水工もしくは鋼板補強工を検討すること」等の助言があり、翌年には背面空洞調査としてレーダー探査、ボーリング調査が行われ、「背面空洞による偏土圧の作用」、「巻厚不足」、「排水不良に伴う水圧の作用」が変状の要因として考察され、補修・補強対策方針として、「①内面補強工としては鋼板接着工法を採用」、「②外力作用に対しては裏込め注入工を全区間実施」、「③土圧及び水圧の作用にたいしては、上半120° 範囲にロックボルトを打設」が示された。

1998年から約2カ年にかけては対策工として、「①覆工に鋼板を貼り付けた鋼板補強」、「②覆工背面へのグラウト注入」、「③ロックボルト打設」、「④水抜き工の設置」が上下線ともに行われ、大規模な補修としてはこの一度きりとなっている。(図-1参照)

2021年には、トンネルの天井に設置していた吸音板の一部が垂れ下がり落下の危険性があった為、上り線で一時通行止めが行われた。(写真-2) この事象もふまえ、同年に2回目となる防災ドクター診断を要請し、「附属

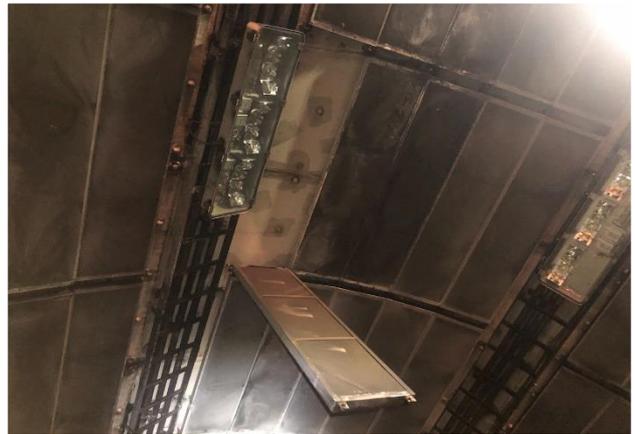


写真-2 吸音板垂れ下がり状況

3. 点検と技術の高度化

(1) 点検と調査

2023年に実施された直近の定期点検においては、通常の点検を行うとともに、2021年の防災ドクターの指摘を考慮し、この点検のタイミングに合わせて別途、「①自走式測定車による調査」、「②ファイバースコープを用いた鋼板内部の調査」、「コアを用いたコンクリート強度試験」を実施することとした。

(2) 自走式測定車による調査

衛星電波を受信して位置情報を検出し、車両に搭載した複数台のCCDカメラでトンネル壁面を撮影し、クラックや漏水の状況を確認するとともに、電磁波レーダーで覆工の不可視部分(覆工巻厚、背面空洞)を探查し、高精度レーザーで覆工コンクリート表面の凹凸を3次元座標としてデータ取得し、変形を解析する。(写真-3) この調査は2021年にも実施しており結果についても比較が可能である。

(3) ファイバースコープによる調査

鋼板の浮きが確認されている箇所と浮きがない箇所、合計4箇所鋼板補強の上からφ1cm程度の削孔を行い、ファイバースコープで孔内を調査したところ、浮きが確認されている箇所では漏水が確認された。(写真-4) 浮きの有無については削孔を行う前にトンネル前線において打音検査を実施し浮きの有無を判別している。

(4) コアを用いたコンクリート強度試験

コアは1箇所、鋼板の上から延長60cm程度を採取したが、途中でひび割れる事もなく小さなクラックもない非常に綺麗な状態のコアであった。

試験の結果、トンネルの供用から60年程経過しているが、圧縮強度は設計24に対して60.4と十分な圧縮強度を有しており、中性化も3cm以下で顕著な進行は確認できず、覆工コンクリート自体は想定より健全な状態であることが確認された。



写真-5 採取したコア

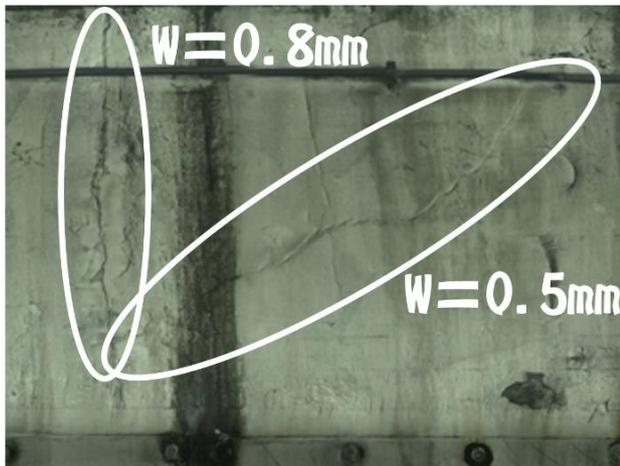


写真-3 CCDカメラ画像 (クラック)



写真-4 削孔内の漏水

4. 点検結果と補修計画

(1) 損傷状況

鋼板の浮きについては2021年点検と比較を行った結果として特に上り線において、箇所の増加と範囲の拡大が顕著に見受けられる結果となった。

鋼板を留めているアンカーについては正常なアンカーは錆汁も確認されずボルトキャップを叩いても落下しない状態である一方で、錆汁が染み出ている状態であったり、ボルトキャップが脱落しアンカーがむき出しになったり、頭ごと無い状態のアンカーが確認されるなど、固定されていない箇所は樹脂のみ接着している状況になりつつあり、鋼板の接着不足が顕在化している。(図-2) また、劣化に伴うキャップの脱落により第三者被害が想定されるため、今回の点検では約700個を叩き落としている。

その他の点検結果として、附属物のケーブルラックの腐食やコンクリート舗装の損傷、漏水が常時確認される等により3巡目定期点検においては、トンネル全体として判定区分「Ⅲ」となったところである。

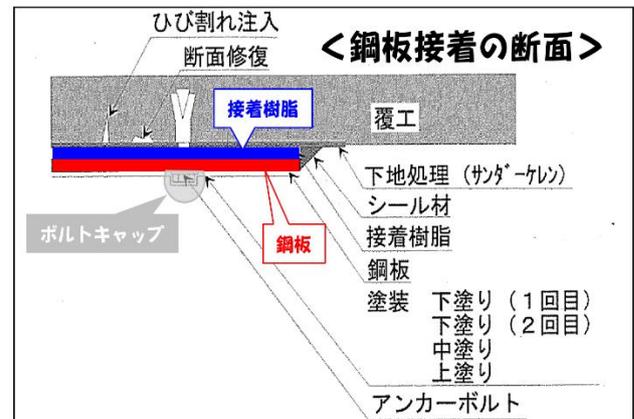


図-2 鋼板接着の断面

(2) その他の課題

道路構造について現況の交通量から道路構造令に照らし合わせると3種2級となる一方で、東山トンネルの幅員構成から照合すると、3種3級の左側路肩特例値に該当している。(表-2)

表-2 道路構造

項目	現況	計画	
		3種2級 山地部	3種3級 山地部
道路区分	-		
計画交通量 (台/日)	H27センサス 56,305 (大型車5,424)	20,000以上	4,000以上 20,000未満
1車線当たりの 設計基準交通量 (台/日)	-	7,000	6,000
設計速度 (km/h)	50 規制速度	60	60、50又は40
車線幅員 (m)	3.0	3.25	3.0
左側路肩幅員 (m)	0.5	0.75	0.75
特例値	-	0.5	0.5
右側路肩幅員 (m)	0.5	0.5	0.5

(3) 補修計画

今後の対策については現時点では計画検討中であるが、覆工コンクリートについては健全性が確認できているため、鋼板補強は撤去し炭素繊維シートに置き換える事で鋼板の浮きやアンカーの脱落といった懸念が払拭される。同時に附属物についても更新を検討している。

5. おわりに

本論文では、供用から現在に至るまでの変遷をふまえ、点検の体系化や補修方針と今後の課題について述べた。全国的にトンネルの高齢化が進む中で、人的資源の確保や点検等による通行規制の問題など、制度の運用面での課題も顕在化している。今後はA I 画像解析による劣化検出やドローンを活用した点検支援技術を導入し、高精度かつ効率的な維持管理への転換が重要であると考えます。

謝辞：本論文の執筆にあたり、参考資料の提供および助言等いただきました関係者の皆様に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1)国土交通省：「道路トンネル定期点検要領（平成31年3月）」  
[https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3\\_1\\_9.pdf](https://www.mlit.go.jp/road/sisaku/yobohozen/tenken/yobo3_1_9.pdf)
- 2)国土交通省：「道路構造令の各規定の解説」  
[https://www.mlit.go.jp/road/sign/kouzourei\\_kaisetsu.html](https://www.mlit.go.jp/road/sign/kouzourei_kaisetsu.html)

# 伊丹空港におけるプレキャストコンクリート版のIPH工法を用いた延命化

山根 成陽<sup>1</sup>

<sup>1</sup>関西エアポート株式会社 基盤技術部 伊丹基本施設グループ  
(〒560-0036大阪府豊中市蛍池西町3丁目555番地)

大阪国際空港のエプロン誘導路に存在するプレキャスト版は、長年の供用により舗装の劣化が見られ、舗装の延命化が課題となっている。そこで、内圧充填接合補強（IPH工法）を用いることで舗装延命化の検討を行った。施工にあたり、2023年度に試験施工を実施し、施工性や補修前後の強度について確認を行い、一定の効果が見られることから、2024年度に本工事を実施した。施工後は、点検において変状数が少ないことを確認している。本論文では、これら一連の取り組みについて報告する。

キーワード 延命化, プレキャスト版, IPH工法

## 1. はじめに

大阪国際空港（以下、伊丹空港）は、1939年の開港から2025年時点で86年を迎えた。航空機が駐機するエプロン及び、エプロンへ向かう航空機が通過するエプロン誘導路においては供用年数が50年以上経過している箇所もあり、点検結果を踏まえた上で、優先度を決めて改修を行っているところである。空港におけるコンクリート版の改修には、主に無筋コンクリート（以下、NC版）を用いているが、エプロン誘導路など日々復旧が求められるエリアについては、プレキャストプレストレストコンクリート舗装版（以下、PPC版）やプレキャスト鉄筋コンクリート版（PRC版）が用いられる。プレキャストコンクリート版はNC版に比べて改修費用が高く、舗装を延命化させることが課題となっていた。そこで、内圧充填接合補強 Inside Pressure Hardening（以下、IPH工法）という延命化工法を採用し、費用の低減を図りつつ安全・安心を確保できる方法を模索した。この工法は、空港のエプロンにおいては過去に県営名古屋空港<sup>2)</sup>において採用された実績がある。伊丹空港においては、2023年度に試験施工を実施し、施工直後及び1年後の経過観察において効果が認められたことから、2024年度に範囲を拡大して本工事を施工した（図-1、2）。本論文では、IPH工法を用いた舗装の延命化にむけた一連の取り組みについて報告する。

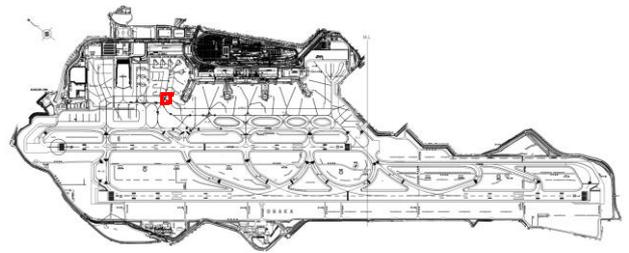


図-1 工事範囲

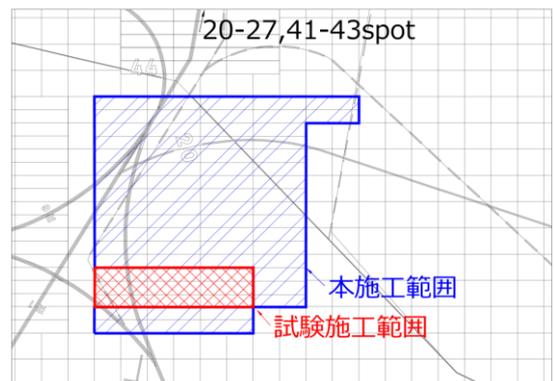


図-2 工事範囲（拡大図）

## 2. IPH工法の概要

本工法は、注入器具取付位置を穿孔し、コンクリート内部から流動性の高い樹脂を低圧で注入することで、微細なひび割れまで高密度・高深度・高拡散の充填が可能

な工法であり、土木学会技術評価委員会で評価<sup>2)</sup>を受けた実績を有する。注入用の樹脂は流動性が高く、硬化後は無収縮で高強度・高接合性によりコンクリートと一体化し、強度の回復が期待できる上に、耐久性の向上によりライフサイクルコストの低減を図ることができる。一般的な樹脂注入工法においてはコンクリート表面のひび割れ位置から樹脂を注入するため、微細ひび割れまで充填することができなかったが、IPH工法においては0.01mm幅の微細なひび割れまで流動性の高い樹脂を充填させることができるため、ひび割れや豆板（ジャンカ）、漏水に対して効果があり、今回補修の対象としたPPC版以外にも橋梁（梁・床版）やトンネルなどへの適用事例がある。また、空港土木施設等維持管理マニュアル<sup>3)</sup>においてコンクリートのひび割れに対する維持工法として記載され、本工法は2020年4月より空港における標準的な工法として位置づけられている。



図5 HJ 部の変状状況 a)と従来の補修状況 b)

### 3. 補修対象範囲の構造と破損状況

今回補修の対象としたのは図-2に示すPPC版72枚（A=1,800 m<sup>2</sup>）である。このエリアは航空機が駐機する20番スポット後方のエプロン誘導路上にあたり、20～27番スポット及び41～44番スポットへ向かう飛行機が行き来するため、重要な動線となっている。当該エリアは、2000年度にPPC版に改修され、供用から25年以上が経過している施設である。図-3、4にPPC版の平面図と断面図を示す。PPC版には版同士を接続する接手構造であるホーンジョイント（以下、HJ）があり、経年劣化によ



図6 巡回点検における変状位置図

りHJ部の穴埋めモルタルの破損や飛散が発生している。（図-5）。また、HJ部以外にPPC版本体についても異常が見られており、浮きや表層剥離が生じている箇所がある。2018～2022年度までの5年間の巡回点検で見つかった変状数は試験施工範囲で計71箇所、本施工範囲で145箇所（図-6）と非常に多く、そのほとんどを樹脂モルタル等で補修していた。

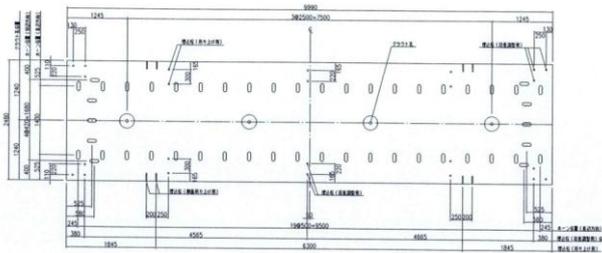


図-3 PPC 版平面図

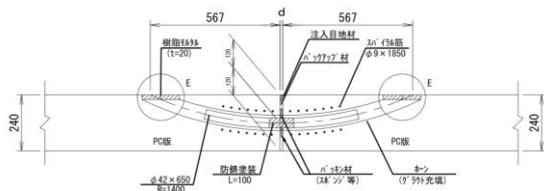


図4 PPC 版断面図

### 4. 試験施工の実施と1年経過後の状況

#### (1) 試験施工の目的と概要

IPH工法による舗装の延命化の有効性及び施工性について確認するため、2023年にPPC版9枚（A=225 m<sup>2</sup>）及び1年経過後のモニタリングを実施した。本工事は、空港制限区域内での施工であり、航空機の運航に支障をきたさないように作業時間帯に厳しい制限が設けられており、具体的には運航終了後から始発便までの深夜帯（22時半から翌朝6時）のみ作業可能で、実質的な施工時間は1日7時間程度に限られていた。そのため、夜間に樹脂注入が完了し、硬化した上で翌朝施工区域を開放できるかについても確認を行った。

#### (2) 施工フロー

施工は、図-7に示すフローで実施した。大まかな流れとしては事前調査（打音調査等）により注入が必要と思われる箇所を抽出し、注入箇所を決定した後、樹脂注入のための事前準備である位置出し・清掃・穿孔・防漏処



図-7 施工のフロー

置・台座取付を行った後、樹脂注入と硬化のための養生を行い、最後に器具の撤去・清掃を行う。施工後は、施工結果について確認するため、事後調査（打音調査等）及び採取したコアに対し圧縮強度試験を実施し、設計基準強度を満足しているか確認を行った。なお、使用した樹脂は通常用いられるエポキシ樹脂ではなく、短時間でも硬化するアクリル樹脂を使用し、硬化に要する養生時間の短縮を図った。

(3) 補修範囲の決定と課題

事前調査においては目視・打音調査及びコンクリートの強度を叩くことで調べることのできるコンクリートテスト<sup>4)</sup>（以下、CTS）調査を実施し、樹脂の注入箇所を決定した。CTSには加速度計が内蔵されており、打撃力波形を測定でき、コンクリート表面部（深さ50 mm程度）の健全度が測定できる装置である。

なお、CTS調査はデータのばらつきを考慮し、HJ部は左右2点を各点3回ずつ測定、PPC版の浮き・剥離に対しては打音調査により40 cm四方を1箇所として不良箇所を選定した後、1箇所40 cm四方を4分割して、各点で3回ずつの測定を実施した。CTS調査で得られた表面劣化度指数（以下、INDEX値）の0.9～1.5を正常範囲とし、各点3回の平均値が正常範囲以外の場合、または3回のうち2回以上が正常範囲以外にある場合は不健全と判断し、補修

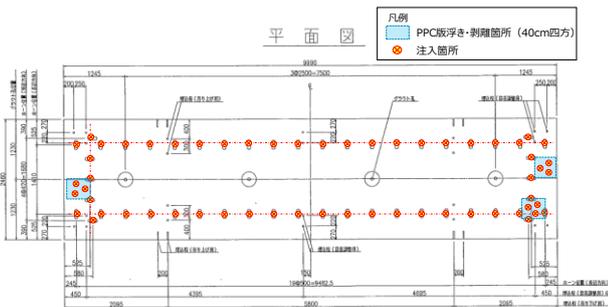


図-8 樹脂注入箇所

箇所とした。

注入は、図-8のように、HJ部については各HJで1箇所削孔して1本（50 cc以内）、PPC版の浮き・剥離箇所に対しては1箇所40 cm四方を想定し、各場所につき3本（合計150 cc以内）を想定していた。しかしながら、事前の打音調査等により1か所からの注入ではHJ部全面に樹脂が浸透しない懸念がある箇所は2か所からの注入に変更した。そのため、当初の想定と事前調査後の数量は表-1となり、当初よりも注入本数が1.4倍（155本の注入本数増）と大幅な数量増になった。本工法においては、調査による数量変更を想定した上で、施工をすることが望ましい。

表-1 事前調査による補修対象

	全数	要補修箇所 (注入本数)	要補修率 (%)
HJ部	448	244 (399)	54.5
PPC版 浮き・剥離	93	50	53.8

(4) 補修前後の強度変化

表-2に施工後に採取したコアに対して実施した圧縮強度試験の結果を示す。未補修の健全部の平均強度が7683 N/mm<sup>2</sup>に対して、補修前ではコア採取が困難な不健全部でのIPH補修後のコアは8694 N/mm<sup>2</sup>と約1.1倍の強度の増強が確認できた。また、PPC版の設計基準強度は40 N/mm<sup>2</sup>であるため、約22倍の強度となり、十分な強度回復が得られたことが分かった。また、施工性については施工を実施した4月において樹脂の硬化時間は約1.5時間で、翌朝の解放までに硬化することが確認できた。

表-2 圧縮強度試験結果（試験施工）

	箇所	本/箇所	試験体数	平均圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
健全部 (IPH未補修)	3	3	9	76.83
不健全部 (IPH補修後)	6	3	18	86.94

(5) 1年経過後のモニタリング結果

施工から1年経過後（2024年）に、現場の状況についてモニタリングするため、目視及びCTS調査によるINDEX値の計測を実施した。表-3に調査結果を示す。

HJ部については樹脂注入を実施した1箇所と、補修実施時は健全であり補修を実施しなかった1箇所不健全と判定された。全補修数（371箇所）に対して異常が見られたのはわずか0.2%であり、経過は良好であった。なお、HJ部につい

ては目視点検により、新たな変状が12箇所発見されたが、樹脂注入を実施しなかった箇所の新規ひび割れや、樹脂注入箇所の欠損(図-9)であり、強度には影響を与えない軽微なものであった。これらの結果を踏まえ、経年劣化により1年前は健全であっても状況が変化する場合があるため、本施工では事前のCTS調査にかかわらずHJ部の全数を補修の対象とすることとした。

また、PPC版の浮き・剥離箇所については、補修を実施した全箇所で良好で、目視点検でも変状は見られなかった。これらの結果より、IPH工法がPPC版の健全化に有効であると認められたため、範囲を広げて本施工を実施した。

表-3 モニタリング調査結果

	全補修数	1年経過後 良好	1年経過後 不良
HJ部	371	370	1
PPC版 浮き・剥離	50	50	0



図-9 1年経過後のHJ部の欠損状況

## 5. 本施工の実施

### (1) 本施工の実施内容

本施工は2024年度に、試験施工範囲を除くPPC版63枚(A=1,575 m<sup>2</sup>)で実施した。試験施工を踏まえて、HJ部については事前のCTS調査を省略し、全数を補修の対象とした。HJ部については試験施工時と同様、目視と打音調査の結果、1箇所につき2本注入の必要となる箇所が多かったため、当初の想定としていた2,923箇所に対して、4,211箇所(1,288箇所増)となった。また、PPC版の浮き・剥離箇所についてはCTS調査によって得られた結果から、試験施工時と同じ基準で不健全と判定された箇所に加えて、正常範囲を外れた箇所を抽出し、補修の優先度を定めるためのランクを表-4に示すLevel1~6まで設定し、施工者と協議の上補修対象範囲を決定した。なお、INDEX値のランク付けは、Level1は軽微な不健全箇所、

Level6に向かうほど表面劣化している可能性が高い指標となる。今回は軽微な不健全箇所も含めて全て補修するために、Level1~6に該当する全ての範囲を補修箇所とした。

表-4 CTS調査のINDEX値によるレベル分け

	INDEX 下限値	INDEX 上限値
Level1 (軽微)	0.72~0.90	1.50~1.68
Level2	0.54~0.72	1.68~1.86
Level3	0.36~0.54	1.86~2.04
Level4	0.18~0.36	2.04~2.22
Level5	0~0.18	2.22~2.40
Level6 (重度)	0以下	2.40以上

### (2) 樹脂注入と1日の作業面積

本施工においては、試験施工と比べて注入箇所数が多いため、作業可能時間と硬化時間に注意しながら作業を進める必要があった。樹脂は調査後から硬化が開始するため、手早く注入作業を行う必要がある他、クラックの大きさによって注入速度が異なるため、注入が完了した場合は適宜注入器を取り外し、新たな注入器を取り付ける必要もあり、全体の作業エリアを見渡した上で、作業を進めていく必要があった。注入は硬化養生時間や最後の注入器取り外し等の清掃作業も考慮し、PPC版10枚/日(HJ部約660箇所注入)のペースで作業を実施し(図-10)、運用開始時刻よりも早めの朝4時ごろには施工を終えることができた。

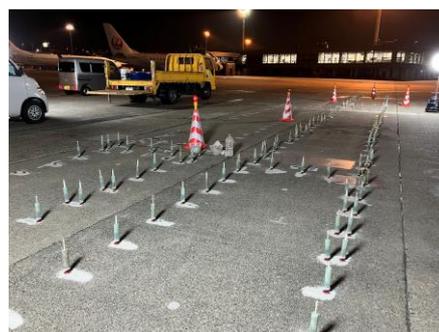


図-10 樹脂注入中の状況

### (3) 施工結果と評価

樹脂注入後は、試験施工時と同じくCTS調査及び採取したコアの圧縮強度試験により確認を行った。表-5に事前調査と事後調査のCTS調査の結果を、表-6に施工後に採取したコアの圧縮強度試験の結果を示す。

HJ部のCTS調査結果においては、337箇所において不健全の判定が出てしまったが、その多くがLevel1で、一

部がLevel2の判定であった。本施工において、HJ部は事前調査を省略したため、補修前後での比較はできないが、不健全部は全体の5.8%であった。

また、PPC版の浮き・剥離箇所においては、補修対象としたLevel1～6の459箇所のうち、補修後でも77箇所がLevel1～3に該当していたが、いずれの箇所も補修前後でLevelは低下しており、軽微な不健全箇所の判定へと改善した。補修後で不健全箇所の判定が出た理由として、CTS調査においてはハンマーの打撃の角度等でデータのばらつきがあることや、剥離は線状に発生していることが多く、不連続の線状剥離が入り組んだ形となっている場合は、樹脂が注入されない剥離も残ることなどが考えられる。今回の施工においては、施工者の判断により注入後にも再度打音調査を実施し、注入が足りないと思われる箇所については再注入を実施している。また、工事完了時においても発注者側で不健全箇所を打音により確認したが、施工前後で打音した際の跳ね返りと音が変わっており、補修した効果が現れているものとする。

また、採取したコアの平均圧縮強度については、未補修の健全部については68.63 N/mm<sup>2</sup>、IPH補修後は68.99 N/mm<sup>2</sup>となり、いずれもPPC版の設計基準強度40 N/mm<sup>2</sup>を上回った。しかしながら、本施工における補修後の平均圧縮強度は、試験施工時よりも低く、健全部と比較して大幅な強度回復は得られなかった。この理由としては、ひび割れの状態や部材内部に入る樹脂の注入量によってばらつきがあることが考えられる他、今回補修を実施したエリアの

補修前強度が低かったことが考えられる。補修後の調査においてLevel1～3に該当した箇所については今後も注視して経過観察・点検を実施し、必要に応じて再注入も検討していきたい。

## 6. まとめ

本工事は、プレキャスト版を対象に、IPH工法を用いた延命化について検討を行った。試験施工エリアについては補修後の巡回点検において、2023年度と2024年度の2年間の変状数はゼロであり、経過は順調である。本施工エリアも含めて、今後も状況を経過観察していきたい。

また、伊丹空港にはプレキャスト版による舗装が約7,500 m<sup>2</sup>あり、今後は他のエリアへの適用も検討しており、安全・安心を第一に、ライフサイクルコストの低減につなげていきたい。



図-11 工事完了後の状況

表-5 補修前後でのCTS調査の結果 (PPC版浮き・剥離)

	補修前	補修後
該当なし	2	384
Level1 (軽微)	10	60
Level2	32	12
Level3	123	5
Level4	117	0
Level5	83	0
Level6 (重度)	94	0
合計 (調査全数)	461	461

表-6 圧縮強度試験結果 (本施工)

	箇所	本/箇所	試験体数	平均圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
健全部 (IPH未補修)	6	3	18	68.63
不健全部 (IPH補修後)	6	3	18	68.99

**謝辞：**本論文の作成にあたり、試験施工及び本施工を実施いただいた協和道路株式会社及び技術提案をいただいた株式会社ガイアートには多大なるご協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 若山 裕泰, 波岡 雅昭: 名古屋空港におけるプレキャスト舗装版の補修対策と追跡調査結果について, 第20回空港技術報告会, 国土交通省航空局
- 2) 土木学会: 「コンクリート構造物におけるIPH工法(内圧充填接合補強)の設計施工法」に関する技術評価報告書, 土木学会技術推進ライブラリーNo.20(2017), 資料 1pp. 1-3, 2022
- 3) 国土交通省航空局: 空港土木施設等維持管理マニュアル(案), pp. 120-130, 2025
- 4) (一社)日本非破壊検査協会規格 NDIS 3434-3 「機械インピーダンス試験

# 多様な環境に配慮した港湾工事の施工計画 ～福良港湾口防波堤の事例～

池藤 八起

兵庫県 淡路県民局 洲本土木事務所 港湾第2課 (〒656-0021 兵庫県洲本市塩屋2-4-5)

兵庫県の福良港は県内でも多様な利用がなされている地方港湾であり、湾口防波堤を中心に、防潮堤などが一体となって津波被害を軽減する整備方針を策定している。

海上施工が基本となる湾口防波堤整備は港利用や海洋生物など多方面への配慮が強く求められ、各工事の施工計画には様々な工夫を取り入れながら進めており、本論では事業関係者との合意形成を図る上での参考となる様、福良港の湾口防波堤事業を進めるにあたり、工事監理において配慮した事例を紹介する。

キーワード 港湾工事, 湾口防波堤, 合意形成, 海洋生物

## 1. はじめに

太平洋に面している兵庫県の淡路島南部は南海トラフ地震により発生が懸念されている巨大津波によって甚大な浸水被害が予想されている。特に南あわじ市の福良港地区では県下最大の津波(TP.+8.1m)襲来が予想されており、本県が策定した「津波防災インフラ整備計画」の中でも重点整備地区に位置付け、湾口防波堤を中心に防潮堤や陸開が一体となって津波被害を軽減する整備方針としている。

福良港は図-1に示すとおり兵庫県の淡路島南西端に位置し、鳴門海峡に近く入り組んだ地形を有するため、古くから天然の良港と言われている。また、過去には四

国との定期航路も開かれていた多様な利用形態を持つ地方港湾の一つである。中でも漁業はいさり漁のほか、名産品である3年とらふぐやサクラマスなどの養殖業が盛んに行われており、防波堤の内外に関わらず湾内には多数の養殖筏が配置されている。加えて、福良港周辺は瀬戸内海国立公園に指定されており、本事業の整備箇所は第二種特別地域(海域は普通地域)であるため、展望や眺望の妨げとならず風致景観に配慮した工作物とする必要があることから、港内利用状況とともに円滑な事業推進のためには一定の配慮が必要であった。

## 2. 湾口防波堤事業の概要

### (1) 整備方針

福良港の津波対策として湾口防波堤の整備方針を決定するにあたり、2013年～2014年にかけて全5回の「福良港湾口防波堤整備検討委員会」を開催し、学識者をはじめ、地元自治会や観光、漁業、造船など関係者が多様な視点から議論を行っている。この会では複数の整備ケースによる浸水や湾内環境のシミュレーションを提示し、利用形態や費用対効果とともに地域として最適な整備位置を選定している。

その後、実施設計や細部設計に合わせて漁協や造船、海運をはじめとした港湾利用者や地元自治会との協議を経て、最終的には図-2～3に示すとおり、全長約1.1km、天端高さTP.+5.9mの防波堤を湾内に整備することとした。整備内容は大きく3パターンで構成され、①



図-1 位置図(福良港)



図-2 湾口防波堤全体イメージ

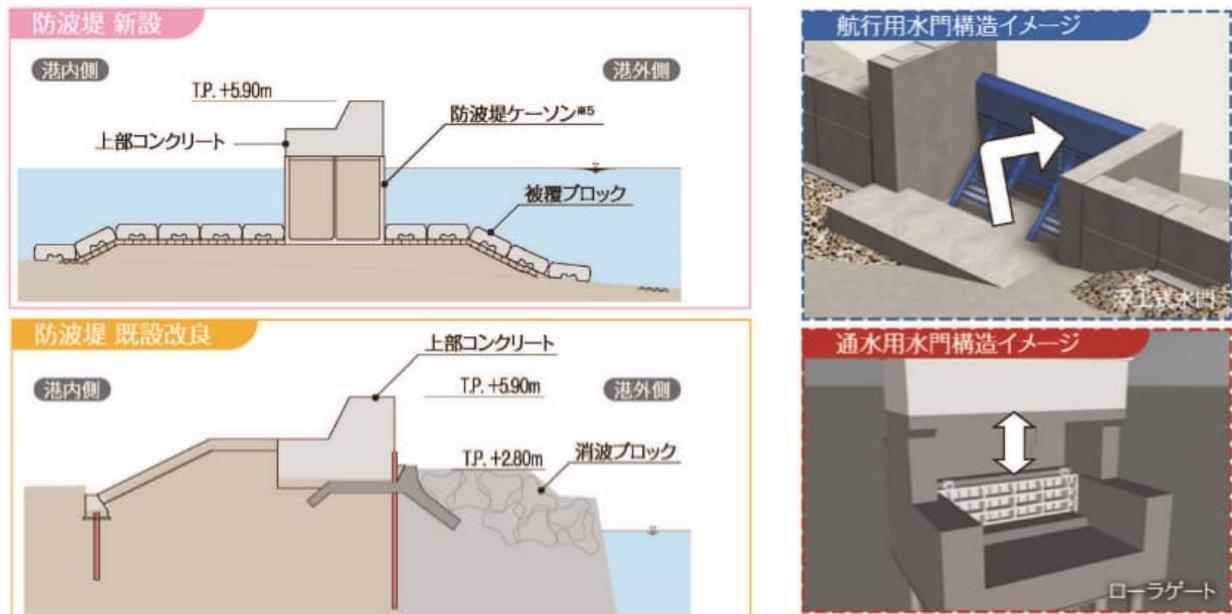


図-3 湾口防波堤の主な構造

既設防波堤の嵩上げ区間（約0.7 km）や②新設防波堤区間（約0.4km）に加え、③西日本初の海底設置型フラップゲート水門（開口幅25m）と海水交換を目的としたローラゲート式水門（開口幅10m）を2基整備する水門区間で構成している。

## (2) 計画・設計段階における配慮事例

先述の計画決定に至る段階において湾口防波堤整備に対する課題とその対応例を表-1に示す。

一つ目は湾内水質への配慮であり、湾口防波堤が新設されることで、防波堤内外の海水交換がされにくくなり、湾内水質が悪化することによる匂いの悪化や海洋生物への悪影響が懸念された。そもそも福良港は河川流入が極めて少なく、湾内水質の維持は潮流による外洋との循環に頼っている。これに対し、海水交換用の水門を2基設置し、開口を分散させることで湾内全体の海水交換を確保する構造としている。また、通水用水門は既存の防波堤がなく、イワシなどの回遊が想定されるルートに位置

しており、海洋生物の生息環境維持にも寄与すると考えられる。

二つ目は眺望の確保および風致景観への配慮である。これは地元住民の要望や国立公園を所管する環境省近畿地方環境事務所の助言に基づき、化粧型枠を採用した。当初はより景観に溶け込んだ自然石積みによる施工を提示されたが、対津波という目的には石積構造では安全性を確保することは困難である。そのため可能な限り周囲の地形・景観と調和した巨石積型の化粧型枠を提案し、周辺からの眺望をイメージパースとして提示するなどし

表-1 計画・設計段階における課題と対応

課題・懸案	対応
湾内水質	通水用水門(開口の分散)
眺望の確保	化粧型枠(巨石積型) 海底設置型フラップゲート式水門
反射波	消波工
航路切替	港湾利用者協議会

て協議を重ね、理解を得た。さらに、水門形式に海底設置型フラップゲートを採用したことで、海上部分の構造物が最小限で抑えられ、眺望も確保できている(図-4)。

その他にも防波堤外側に位置する休暇村などの観光宿泊施設に対し、防波堤からの反射波による被害拡大が懸念されることから、防波堤の一部区間に消波工を設置している。また、航路周辺の施工では航路の切替が必要となることから、港湾利用者との協議会を立ち上げ、利用実態や安全対策への意見交換を踏まえ、事業着手に先立ち施工順序を計画するとともに早期に利用者への共有を図っている。



図-4 煙島水門

### 3. 施工時の課題と対応事例

本章では湾口防波堤の各工事において、施工時に生じた新たな課題とその対応事例を紹介する。福良港の利用は漁業、造船、海運、観光など多岐にわたり、定期的に船舶が航行している。そのため、作業船による海上作業が大半を占める本事業において船舶航行の切替や安全確保が重要であるが、本稿ではこの点については省略し、環境面で留意した対応を3点紹介する。

#### (1) 水質への対応

##### a) 海底掘削における対策

第1に福良港は先述のとおり、湾内での漁業活動が盛んに行われており、防波堤整備ライン周辺も漁場となっている(図-5)。中でも養殖は3年トラフグやサクラマスなどのブランド化に成功し、市をあげて推進しているため、防波堤工事による湾内水質への影響の有無を強く懸念していた。湾口防波堤は既設防波堤を活用した位置に計画しており、整備ライン上の水深は比較的浅いことから、直接基礎(捨石マウンド)による重力式防波堤を採用している。そのため、一部区間では基礎厚の確保を目的とした海底掘削が避けられず、円滑な事業推進の

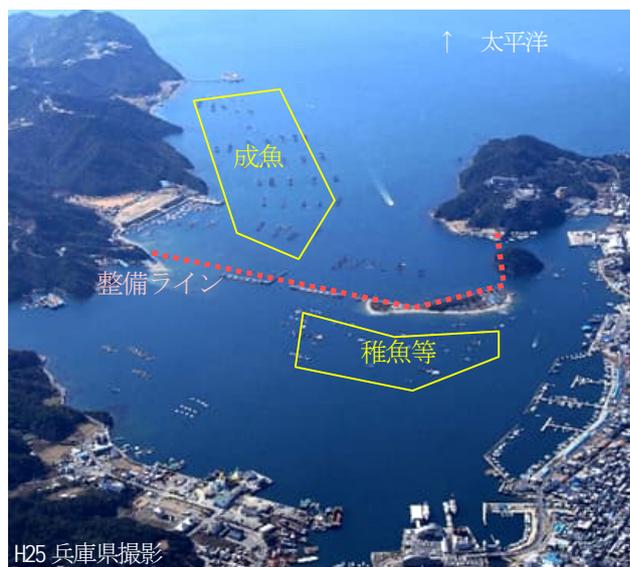


図-5 養殖の分布(航空写真)

ためには海底掘削による濁りを抑制もしくは拡大を防止する対策が必須であった。

一般的に港湾・海岸工事において掘削の際に海底の砂泥を巻き上げたことによる濁りの発生に対し、汚濁防止フェンスを設置するなどして周辺への拡散防止に努めている。本事業でも掘削等の作業時には汚濁防止フェンスを設置しているが、濁りの拡散を完全に防止することは困難であり、因果関係は不明なものの施工中に養殖筏単位で衰弱、へい死が確認されたとの情報があった。

これに対し更なる対応を検討するため、養殖事業者から情報収集を行った。養殖事業者によれば掘削によって貧酸素水が拡散することのほか、濁りそのものや海底砂泥に存在する寄生虫が浮遊シエラへ付着することで養殖魚のへい死に繋がっているとの知見が得られた。また、この現象は稚魚であるほど影響が出やすく、寄生虫自体は海水温が高くなる5月以降であれば発生しなくなることから、寄生虫自体が生息しにくいとのことであった。

以上のことから掘削を実施する工事では汚濁防止フェンスの設置に加え、事業計画として施工時期(5月~10月を基本)の調整を行った。また、工事監理する上では万が一、濁りが発生した場合でも潮位が低下傾向にかかる時間帯に掘削作業を行い、防波堤の外側へ流出するよう受注者と協議を行った。これは防波堤内で耐性の低い稚魚が養殖されているため、リスクを抑えるための安全策としても実施した。

##### b) コンクリート打設における対策

前述の海底掘削と同様にコンクリート打設においても漏出対策の徹底を図った。過去にコンクリートが湾内に漏出した際には漁獲量への影響が甚大であった経験から漁業事業者から強く対策を求められた。重力式防波堤を整備する本事業では全工事において工事監理上の留意点として漏出対策を徹底した。

コンクリートによる海洋生物への影響が生じる原因は

①pHの変動（アルカリ化）、②細粒分の漏えいによる懸濁であることから、濁りと同様に漏出防止、拡散防止を基本的な対策と考えた。これについては打設計画の確認を徹底し、残コンクリートの処分や洗い水のpH処理などを実施する指導を徹底した。また、養生時の留意点として、一般的な湿潤養生やシート養生を行う場合は資機材の飛散防止の徹底、被膜養生剤を活用する場合は製品仕様に基づいた施工条件を満たす管理の徹底を行い、品質確保との両立に努めた。さらに海中での打設が予定されている区間では、水中コンクリートや水中不分離コンクリートを採用するなど材料の選定や打設時のホース先端をシャッター構造とし、規定量打設後にホース内に残ったコンクリートが必要以上に流出しないような取組みを実施した。

## (2) 騒音への対応

最後に特殊な事例としてイルカへの対応を紹介する。本事業の施工場所は海上であり、工事騒音は人家へ影響しないと考えられるため、あまり着目していなかった。

しかしながら、福良港では観光業としてイルカを多頭飼育している事業者がおり、事業に着手し、本格的に工事を推進しはじめた矢先に飼育中イルカの衰弱、へい死が頻発した。これにより飼育事業者から対応を求められ、音圧測定などによる原因究明を行った。この測定結果を元に学識者へ意見聴取をしたところ、「工事がイルカに対して聴覚障害を起こすレベルではなく短期的影響はないが、工事による船舶の増加など背景雑音レベルの上昇が長期的ストレスを生み出した可能性は否定できない」との回答を得た。またイルカの騒音に対する長期的ストレスは世界的にも研究が進んでおらず判断が困難であるものの、工事を進める上では海中騒音を減らす策を講じるべきとの意見も得られたことから、以降の近接施工では留意することとした。

具体的な対応を検討するため、事業者の飼育担当者との意見交換を行い、飼育記録（表-2に例を示す）と施工状況の共有を図った。その結果、影響の大きい作業種別は特定できないものの、比較的大きい音や長時間連続する音に過敏な反応を示し、連続すると食事を拒否するなどを経て衰弱する傾向が見られた。またイルカは1日5食で飼育管理されており、特に1食目はエネルギー確

表-2 飼育記録と施工状況の例

日時	イルカの様子	施工状況
11/8 AM	落ち着きがない 食欲の低下	基礎捨石工 (がれき音)
11/9 終日	食欲の低下 トレーニング拒否	基礎捨石工 (がれき音)
11/10	特に異常なし	現場休工
11/11	音に挙動不審 施工場所を注視	仮設足場移設 (動力の音)
11/12	挙動不審	鋼管切断 (高音)

保に重要であるとの飼育担当者からの意見もあり、①1食目完了後に施工開始とする、②2食連続で拒否した場合は大きな音の作業を中断する、③近接区間では作業船の移動を最小限とし可能な限り停泊する、の3点を施工時の要点とした。これに加え、汚濁防止フェンスの2重化など音・振動の伝播抑制を実施し、問題は発生しなかった。

## 4. おわりに

大規模な海上工事である湾口防波堤では計画～施工の全ての段階において関係者から多くの懸念が示され、円滑な事業推進には適切な対応が求められた。

本事業の実施にあたっては関係者の持つ経験や感覚をといった暗黙知を明確化することに注力し、客観的にも理解しやすい対応策を見出すことができた。関係者との地道な意見交換は容易なものではないが、信頼関係の構築には必要不可欠であり結果的に事業に対する合意形成に繋がり、円滑な事業推進が図られたと考えられる。

**謝辞：**本事業の推進にあたり、国土交通省をはじめ地域の方々や港湾利用者など多くの関係者のご協力とご理解に感謝します。