

ダム工事の環境技術

宮瀬 文裕・牧野 有洋・小松 裕幸

ダム工事は、大規模で工事期間が長いこと、施工箇所が自然豊かな場所であることから、生態系・希少な動植物への配慮が重要である。そのため、ダムの施工中は、保全対象の動植物にあわせた様々な対策が実施される。今回、騒音・振動、視覚的配慮、照明、教育の対策を組み合わせ実施し、4年にわたりクマタカの抱卵・孵化に成功したダム工事の事例を紹介する。さらに、照明対策について、LED灯を使用した場合の昆虫類の誘引低減効果について、現場試験と現場適用事例の概要を述べる。

キーワード：クマタカ、生態系保全、騒音・振動、視覚的配慮、照明、教育

1. はじめに

ダム工事は、大規模で工事期間が長いこと、周辺の生態系と住民の生活環境に与える影響が大きい。また、ダム工事の施工箇所は山間部の自然豊かな場所であることが多く、希少な動植物や生態系への配慮が必要なことも多い。さらに、近年は環境保全に対する意識が高く、発注者、住民などから高いレベルの環境保全対策が求められることが少なくない。そのため、ダム工事では保全対象となる希少な動植物にあわせ、様々な保全対策を実施している。今回、ダム工事現場の近傍に生息するクマタカの保全のため、複数の環境保全対策（騒音・振動、視覚的配慮、照明、教育）を組み合わせ実施し、4年にわたり抱卵・孵化に成功したダム工事の事例を紹介する。さらに照明対策について、LED灯使用による昆虫類の誘引低減効果を現場試験で確認し、実現場で適用した事例もあわせて紹介する。

2. クマタカ保全対策を実施したダム工事の事例¹⁾

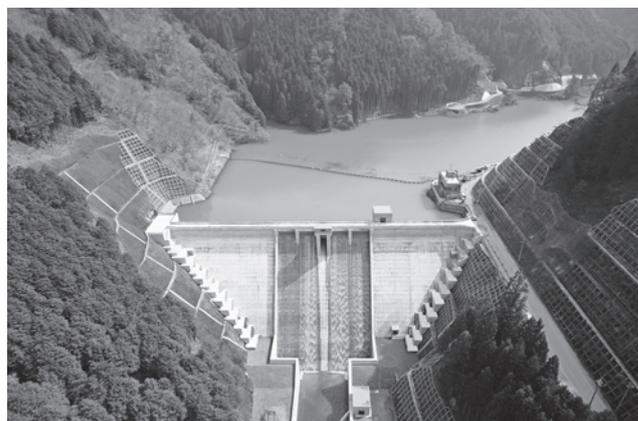
(1) ダム工事の概要

クマタカ保全対策を実施したダムは、兵庫県但馬県民局養父土木事務所発注の与布土（よふど）ダム（兵庫県朝来市山東町与布土）である。このダムは、洪水調節、生活用水の供給、河川環境の保全を目的として、一級河川円山川水系与布土川の上流に建設された重力式コンクリートダム（堤高 54.4 m、堤体積 106,000 m³、

総貯水容量 1,080 千 m³）であり、平成 26 年 5 月に試験湛水を終了し、6 月から運用を開始した（図—1、写真—1）。



図—1 与布土ダムの位置



写真—1 与布土ダム（試験湛水中）

ダム周辺では、クマタカなどの希少な動植物の生息が確認されるなど、周辺流域は豊かな自然環境を有していた。このため「自然との共生を目指した与布土ダム建設事業」を基本理念として、ダム建設による周辺環境への影響に配慮し、ダム周辺の豊かな自然環境を保全しながら、希少な動植物と共生することができるように施工を行った。特に、ダムサイト周辺に生息していたクマタカへの影響を最小限にするため、以下に述べる「与布土ダム環境保全対策ガイドライン」をもとに様々な環境保全対策（騒音・振動、視覚的配慮、照明、教育）を実施した。

(2) 与布土ダム環境保全対策ガイドライン²⁾

兵庫県が策定した「与布土ダム環境保全対策ガイドライン」（以下、ガイドラインという）は、平成12年度に設置された自然環境に関する専門家や地元代表からなる「与布土ダム環境保全検討委員会」での提言及び、環境保全のための各種対策の検討結果などをふまえ、平成21年度に事業を進めるにあたり守るべき基本理念や基本方針として定めたものである。ガイドラインの基本方針を以下に示す。

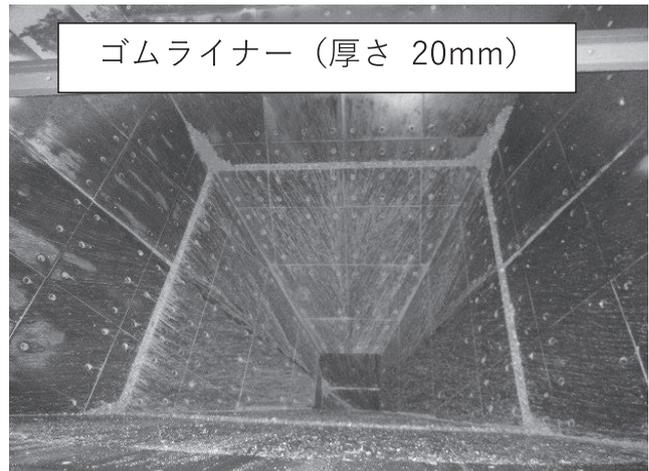
- 1) 最小化；森林をはじめとする周辺土地の改変の最小化を図る。
- 2) 修復；改変した土地は本来の植生環境に近づける修復を図る。
- 3) 軽減；環境に配慮した工法、施工方法の工夫により動植物の生息環境への影響軽減を図る。
- 4) 代償；貯水池により水没・消失する環境などは同等の新たな環境の創出を図る。
- 5) モニタリング；モニタリングにより、周辺環境への影響や対策の効果を確認する。

今回の報告では、ダムの施工中に実施した3) 軽減（騒音・振動、視覚的配慮、照明）、5) モニタリングに関する内容を中心に以下に述べる。

(3) 騒音・振動対策

(a) 骨材受入設備

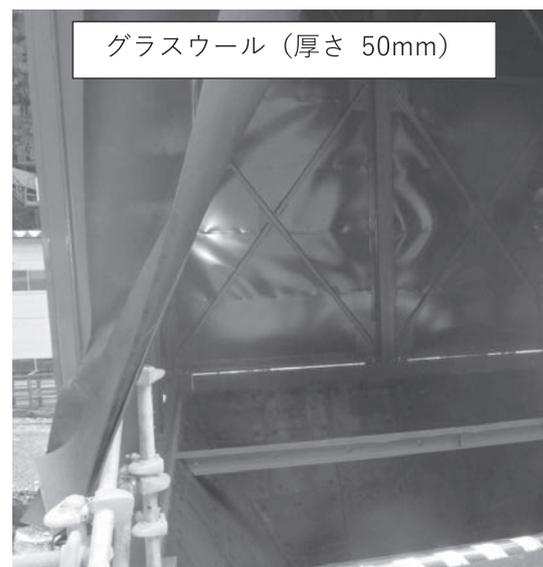
ダム堤体コンクリートに使用する骨材は、砕石工場から骨材運搬用10tダンプトラックにより場内まで搬入し、骨材受入設備に投入した。骨材投入時の騒音・振動低減対策として、骨材受入設備には、ホッパー内面にゴムライナー（厚さ20mm程度）を装着し、騒音・振動の低減を図った（写真—2）。さらに、ホッパーを上屋で覆い、その内面には吸音材（厚さ50mm程度）を設置し、騒音の拡散を低減する構造とした（写真—



写真—2 ホッパー内面のゴムライナー装着状況



写真—3 骨材受入設備の上屋



写真—4 骨材受入設備の内面の吸音材

3、4)。骨材受入設備の入口には、すだれ状のゴム製カーテンを設置し、ダンプが骨材を荷下ろしする際の騒音の漏れを低減するようにした（写真—5）。



写真一五 すだれ状のゴム製カーテンによる騒音の漏れ防止

(b) コンクリート製造設備

コンクリート製造設備は、傾動式ミキサ (2.25 m³ × 2 基) とセメントサイロ (300 t) を使用した。コンクリート製造設備は、材料投入時の騒音・振動低減対策として、ミキサ内面にゴムライナーを装着し、騒音・振動の低減を図った。さらに、上屋の壁面には防



写真一六 コンクリート製造設備全景

音パネルを採用し、騒音の拡散を低減する構造とした (写真一六)。ベルトコンベアは、シュート内面にゴムライナーを設置し、乗継部を覆い騒音の拡散を低減する構造とした。

コンクリート製造設備からのコンクリート運搬は、10 t ダンプトラック 2 台にて行った。コンクリート製造設備で製造されたコンクリートをクレーンなどの運搬設備まで運搬するバンカー線に対して、コンクリート運搬にともなう騒音の拡散防止のため、クマタカ営業地から視認できる区間には、防音シートによる養生を実施した (写真一七)。

(c) 堤体基礎掘削

岩石掘削は発破による施工を基本としたが、騒音・振動の低減を図るため、300 kg/cm² 程度の中硬岩 (CM 級) まではプレカよりも騒音・振動の小さなツインヘッダーによる機械掘削を行った (写真一八)。

発破掘削のための削孔には、油圧式クロードリルを使用した。削孔時の騒音対策として防音カバーを設置した (写真一九)。



写真一八 ツインヘッダーによる施工状況



写真一七 バンカー線の防音シートによる養生



写真一九 クロードリルの防音カバー

発破による振動を最小限とするため装薬量を制限し、1段あたり12kg以下とした。この装薬量により発破箇所からの距離300mの地点での振動値は、目標値55dB（ほとんどの人が振動を感じない）³⁾を満足することを、事前検討で確認した。

(d) コンディショニング

掘削開始にあたり、クマタカを工事の騒音・振動に慣れさせるため、建設機械を現場に置いておくだけの期間から徐々に作業時間を延ばしてゆくコンディショ

ニングを実施した。

コンディショニング中は、監視員（生物分類技能検定1級〔鳥類部門〕の取得者）によりクマタカに影響が生じないように、異常行動の有無などを確認した（写真—10）。さらに、監視員による定点観測や監視カメラによりクマタカの生態を常時モニタリングし（写真—11）、工事の影響を監視しながら工事を進めた。

(4) 視覚的配慮

(a) 施工設備の配置

施工設備の平面配置を図—2に示す。クマタカ営巣地に対する視覚的な配慮として、すべての大型施工設備は、クマタカ営巣地から直視できないダム堤体の下流に配置した。

(b) 施工設備のアースカラー塗装

目立ちやすい大型施工設備のタワークレーン（写真—12）、コンクリート製造設備（写真—6）、ベルトコンベア（写真—13）、濁水処理設備（写真—14）などに、周囲の環境に溶け込み目立たないように、深緑色のアースカラー塗装を施した。深緑色は、現場周辺の杉林に溶け込みやすい色として採用した。



写真—10 コンディショニング実施時の監視



平成25年4月3日抱卵開始

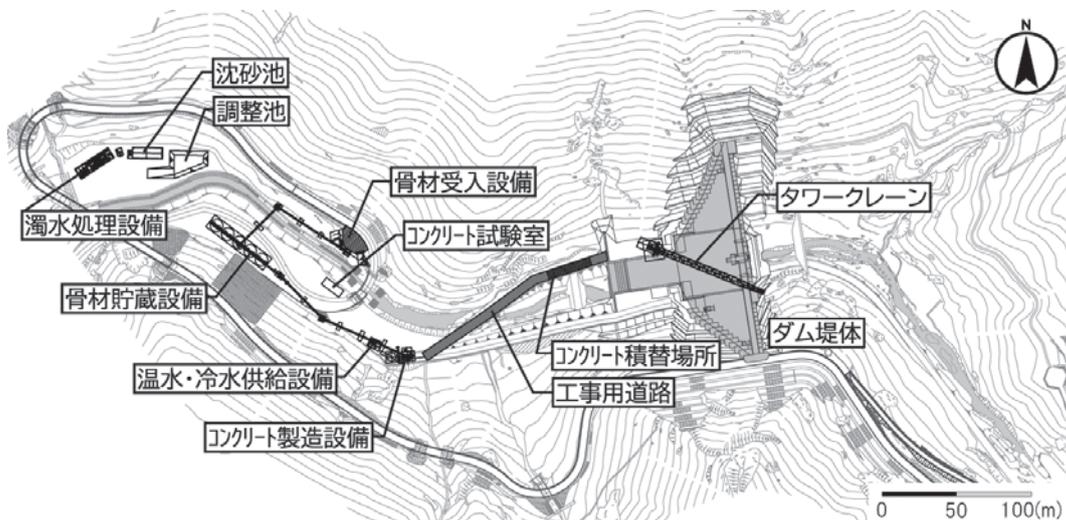


同5月21日孵化



同8月7日巣立ち間近の幼鳥

写真—11 監視カメラでクマタカの状態を常時モニタリング



図—2 施工設備平面配置図



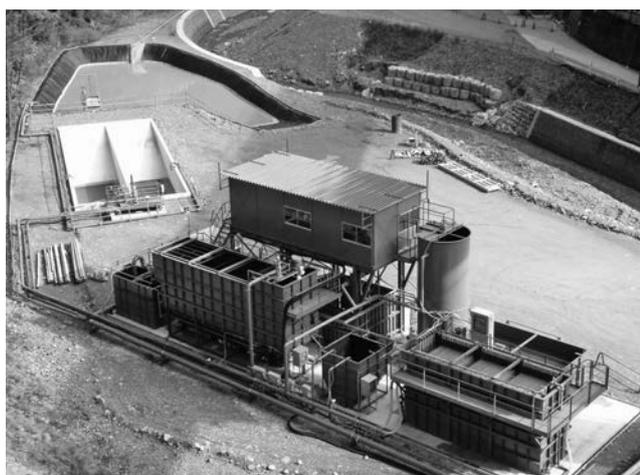
写真—12 タワークレーンのアースカラー塗装



写真—15 照明器具のフードルーバ



写真—13 ベルトコンベアのアースカラー塗装



写真—14 濁水処理設備のアースカラー塗装

(5) 照明

(a) ナトリウム灯の使用, 照明方向・照明範囲の制御
打設期間のうち平成24年6月29日より平成24年11月3日までは, 堤体コンクリートの品質確保(ひび割れ防止)のため, 昼間の高温・日射を避けて夜間

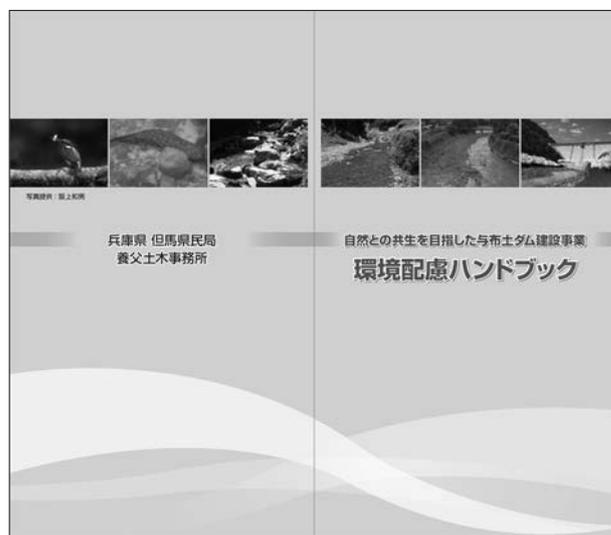
にコンクリート打設を実施した。

夜間工事においては, 水銀灯よりも誘虫性の低いナトリウム灯を照明に使用するとともに, 必要な時間帯および範囲のみを照らすようにし, 周辺の山林などに光が漏れないように配慮した。具体的には, 照明器具にフードルーバを取り付け, さらに営業地方向に照明が向かないような配置とした(写真—15)。

(6) 教育

(a) 環境配慮ハンドブック

職員と作業員の教育用に, 現場に生息するクマタカなどの希少な動植物の特徴を記載した「環境配慮ハンドブック」を作成した(写真—16, 17)。これを, 作業員の受入教育時に使用し, 生態系保全の基礎知識の習得と生態系保全意識の向上を図った。さらに, 希少な動植物への配慮が必要な作業の前に, 職員と作業員がこのハンドブックを使用して注意点を確認した(写



写真—16 環境配慮ハンドブック(表紙)



写真-17 クマタカの解説ページ（環境配慮ハンドブック）



写真-18 環境配慮ハンドブックを使用した作業前ミーティング

真-18)。

(7) 対策の効果

ガイドラインに基づき、複数の生態系保全対策（騒音・振動，視覚的配慮，照明，教育）を，発注者と施工者が一致協力して実施した。その結果，着工時に生息が確認されていたつがいのクマタカが，平成21年～24年と4年連続で抱卵・孵化に成功した。また，工事終盤には，クマタカが現場の環境に慣れ，ダムサイトの直近まで現れるようになった（写真-19）。これらのことから，複数の環境保全対策を実施した本ダムでの対応は，適切であったと考えられる。

3. LED 灯の現場試験および現場での適用

(1) ダム工事における照明対策の必要性

2. (5) で述べたように，与布土ダムではクマタカ



写真-19 ダムサイト直近に現れたクマタカ

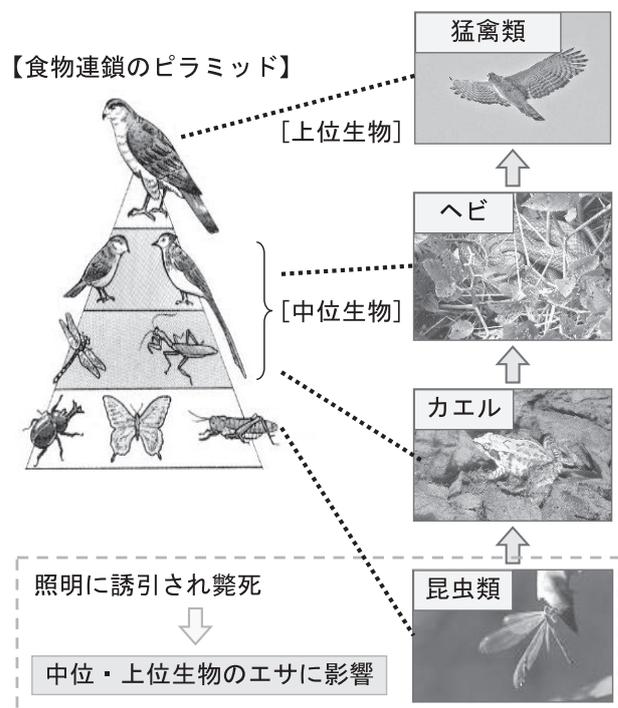


図-3 照明が食物連鎖に与える影響⁴⁾

の環境保全対策として照明の対策を実施した。しかし，本来照明は，生態系ピラミッドの下位に位置する走光性の昆虫類を誘引することが知られている。照明へ誘引された昆虫類が照明付近で攪乱・死滅することにより，そこから上位の生物の食物連鎖に影響を与えることが予想される（図-3）。

重力式コンクリートダムは，堤体コンクリートの品質確保（ひび割れ防止）の目的から，2. (5) で述べたように，夜間に堤体コンクリートを打設する。そのため，堤体コンクリートを打設する大面積の施工範囲で十分な照度を確保するため，多数の照明を設置する。コンクリートの施工数量が膨大なため，照明の実施期間は数年間にわたることもあり，昆虫類の誘引に

よる影響期間が長く、生態系への影響も大きいと考えられる。これらの施工上の特性から、照明による誘虫を低減させる工夫が重要となる。

(2) LED 灯の現場試験

与布土ダムの施工時には、ダム施工に活用できる照明の種類と誘虫性の関係に関する既往の研究が少ない状況であった。そこで、与布土ダムの施工時に、現場試験を実施して照明の種類と誘虫性の関係に関するデータを収集した。その結果、水銀灯、ナトリウム灯に比べ、LED 灯の誘虫性が低いことが確認された^{5), 6)}。さらに、東北地方と中国地方のダムで現場試験を実施し、与布土ダムと同様の結果を得た。以下に、現場試験とその結果について述べる。

(a) LED 灯の誘虫性について⁴⁾

建設現場で使用する照明は、水銀灯、ナトリウム灯、LED 灯の 3 種類がある。各照明の特徴を表 1 に示す。走光性の昆虫は波長 400 nm (ナノメートル) 以下の光に誘引されやすい。紫外線は、波長が 10 ~ 400 nm の不可視光線であり、虫の眼で見えやすい波長の光である。

写真 20 に通常のカメラで撮影した照明 (左: 水銀灯, 右: LED 灯) を、写真 21 に虫の眼カメラで撮影したものを示す。虫の眼カメラは、波長 400 nm 以上の光を遮断する特殊フィルターを取り付けたカメラであり、虫の眼で見えやすい 400 nm 以下の光のみを撮影する。二つの写真は、同じ距離 (約 30 m) と位置から同じ照明を撮影したものである。照明は、同一距離で照度が同じになるように調整したため、写真 20 に示すように人間の目では同じ明るさと大きさに見える。しかし、虫の眼カメラで見ると、水銀灯は小さな光点 (赤色) が見えるものの、LED 灯はほとんど見えない。このように、LED 灯は、水銀灯に比べて紫外線量が少ない特性があり、昆虫類の誘引防止に有効と考えられる。

(b) 試験方法⁴⁾

照明の種類と誘虫性の関係を把握するため、ダム建設地内において灯火採集調査を実施した。照明は、水銀灯、ナトリウム灯、LED 灯の 3 種類を使用した。地域性による差異の有無を確認するため、灯火採集調査は、東北地方、近畿地方 (与布土ダム)、中国地方の 3 箇所のダムで実施した。灯火採集調査の採集機材と試験状況を写真 22 に示す。

灯火採集調査の採集機材は、各照明が同一距離で同一照度となるように調整した。照明器具の下には、麻醉薬 (エタノール等) を入れた捕虫ビンを設置してい

表 1 照明の種類と特徴

照明種類	特徴
水銀灯	現場で多用, 誘虫性の高い紫外線量大 「水銀に関する水俣条約」 ⁷⁾ により, 今後は使用減少が見込まれる
ナトリウム灯	生態系に配慮する現場で使用事例多数
LED 灯	誘虫性の高い紫外線量が少なく, 省エネルギーの観点から今後使用増加が見込まれる



写真 20 通常のカメラで撮影した照明 (人間の目)



写真 21 虫の眼カメラで撮影した照明 (虫の眼)

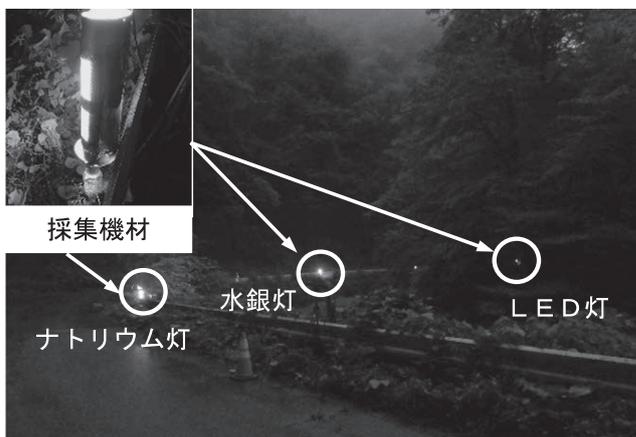


写真 22 灯火採集調査の採集機材と試験状況

る。照明に寄ってきた昆虫は、気化した麻醉薬により捕虫ビン内へ落下する仕組みである。

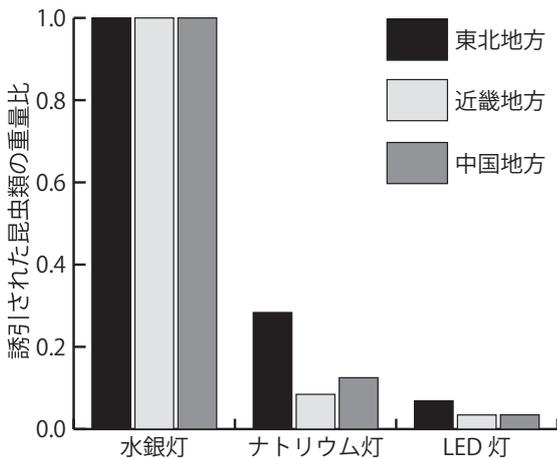
灯火採集調査は、民家や現場の照明等の人工照明の影響がない場所で実施した。灯火採集調査の採集機材の設置間隔は、互いの光の影響を受けないように約15～20m間隔とした。設置場所は、森林、水辺、草地が混在する場所を選定した。これは、生息環境が異なる様々な種類の昆虫類を捕獲するためである。照明は、日没後の18:30～翌日の6:30までの12時間、継続して点灯した。

(c) 試験結果^{4), 8)}

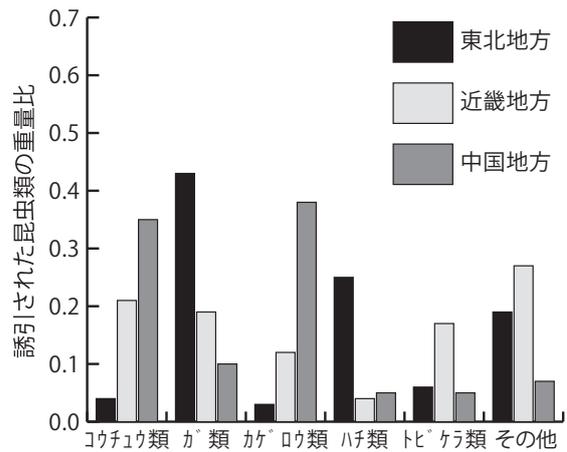
採集機材の照明により誘引され、捕獲された昆虫類の重量を「誘虫量」と定義し、3箇所のダムについて、照明の種類毎に誘虫量を整理した結果を図一4に示す。誘虫量の最も多い水銀灯を基準(1.0)とし、ナトリウム灯、LED灯の誘虫量を評価した。すべての場所で、誘虫量は水銀灯、ナトリウム灯、LED灯の順に多いことが確認された。場所によるバラツキがあ

るものの、ナトリウム灯の誘虫量は水銀灯の8～28%程度、LED灯は3～7%程度であった。表一1に示したように、今後は水銀灯の使用が減少することが想定される。そこで、誘虫量の多いナトリウム灯を基準(1.0)とし、LED灯の誘虫量を評価したものを図一5に示す。LED灯の誘虫量はナトリウム灯の24～41%程度であった。この結果から、紫外線量が少ないLED灯は、誘虫性の低減に大きな効果を見込めることが確認された。

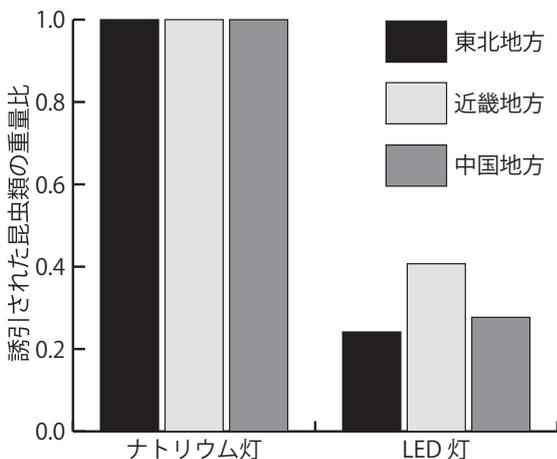
次に、3箇所のダムについて、ナトリウム灯とLED灯を対象に、代表的な昆虫の種類別の誘虫量を整理した結果を図一6, 7に示す。これらの図は、誘虫量の全量に対する各昆虫類の重量の比で評価している。このことで、照明の種類と誘引される昆虫類の特徴が把握できる。ナトリウム灯は、地域により差が見られるが、コウチュウ類、ガ類、カゲロウ類が多く見られた。LED灯は、近畿、中国地方ではカゲロウ類が60%程度と多く、ハチ類、ガ類、コウチュウ類も見られた。



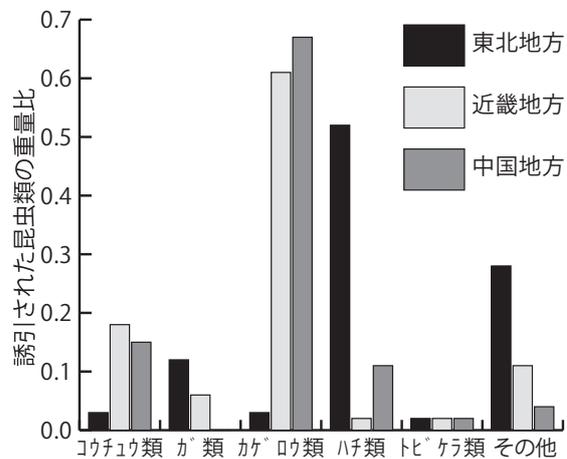
図一4 照明の種類と誘虫量 (水銀灯・ナトリウム灯・LED灯)



図一6 昆虫類の種類別の誘虫量 (ナトリウム灯)



図一5 照明の種類と誘虫量 (ナトリウム灯・LED灯)



図一7 昆虫類の種類別の誘虫量 (LED灯)

(3) 現場での適用⁴⁾

東北地方と中国地方のダムにおいて、生態系保全と省エネルギーの観点から、LED灯を全面採用した。

そこで、この2箇所のダムで得られた知見について、以下に述べる。

(a) 誘虫状況

LED灯を使用している時の誘虫状況について、ダム工事で水銀灯の使用経験のある現場担当者へのヒアリング、筆者の現地観察の二つの方法で行った。

現場担当者へのヒアリングから、以下の情報が得られた。

- ①水銀灯に比べ、LED灯の誘虫量は大幅に少ない
- ②大型のコウチュウ類（カブトムシなど）、数cm程度の大型のガ類等は非常に少ない
- ③小型のガ類、カゲロウ類は見られる

上記のヒアリング結果は、灯火採集調査の試験結果と合致している。カゲロウ類については、LED灯を使用した場合も、誘虫量は低減できるものの、他の昆虫類に比べて効果が少ないといえる。

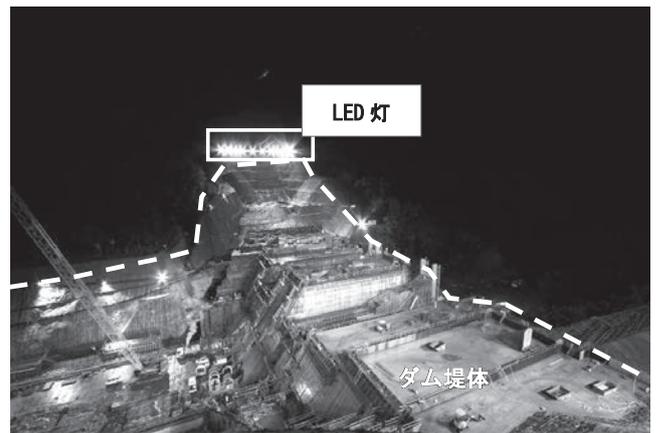
現地観察は、東北地方のダムで行った。その結果から、LED灯の周辺には小型のガ類、カゲロウ類が飛来するが、LED灯の誘虫量は水銀灯より大幅に少ない状況であった（写真—23）。

(b) 照射状況

中国地方のダムにおける夜間作業時の状況を写真—24、25に示す。これらの写真に示すように、ダム堤体の作業範囲は十分な照度を確保できている。一方、ダム堤体の外側は、暗夜の状態であり、周辺への照明の漏れが少ないことが確認できる。これらの結果から、LED灯の適正配置は、照明範囲や照射方向の制御、限定に有効であることが確認できた。



写真—23 LED灯の周辺に飛来する昆虫類



写真—24 ダム堤体と周辺の照射状況



写真—25 作業場所での明るさ

4. おわりに

今回、クマタカを保全対象としたダムでの生態系保全対策の事例を述べた。このダムでは、複数の生態系保全対策（騒音・振動、視覚的配慮、照明、教育）を、組み合わせて実施した。その結果、ダム近傍に生息するクマタカが4年連続で抱卵・孵化に成功することができた。照明対策について、LED灯の誘虫性の低減効果について、3箇所のダムで灯火採集調査により確認した。その結果、LED灯はナトリウム灯よりも50%以上誘虫量を低減できることが確認された。LED灯を全面採用したダム現場での確認結果から、LED灯は、灯火採集調査と同様に誘虫量を大幅に低減できることが確認された。また、LED灯は照明範囲、照射方向の制御にも有効であることも確認できた。本報告が、希少な動植物や生態系への配慮が重要なダム工事に活用されれば幸いである。最後になるが、本稿の執筆にあたり、兵庫県但馬県民局養父土木事務所の関係者には、多大な協力をいただいた。ここに感謝の意を表する。

《参考文献》

- 1) 堀江淳二, 牧野有洋, クマタカと共生した与布土ダムの施工, 土木学会第70回年次学術講演会 講演概要集VI部門, pp819-820, 2015.9
- 2) 兵庫県, 与布土ダム工事誌, pp2-87
- 3) 日本火薬工業会, あんな発破 こんな発破 発破事例集, pp4-6, 2002.3
- 4) 宮瀬文裕, 生態系保全のため夜間照明に LED 照明を全面採用, 建設機械施工 Vol.70 No.3, pp21-23, 2018.3
- 5) 宮瀬文裕, 小田信治, 林豊, 宇野昌利, 夜間工事照明影響評価システムの開発, 第42回環境システム研究論文発表会 講演集, pp39-42, 2014.10
- 6) 宮瀬文裕, 宇野昌利, 青山晋一, 秀嶋桂, 林豊, 小松裕幸, 土木工事現場での環境対策事例 - 照明の誘虫対策と養鶏場での騒音対策 -, 第44回環境システム研究論文発表会講演集, pp165-170, 2016.10
- 7) 経済産業省の HP 参照
https://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/int/minamata.html
- 8) 宮瀬文裕, 宇野昌利, 森日出夫, 正井洋一, 青山晋一, 林豊, 夜間工事照明の種類と誘虫性への影響に関する基礎調査, 土木学会第71回年次学術講演会 講演概要集VI部門, pp1771-1772, 2016.9

[筆者紹介]



宮瀬 文裕 (みやせ ふみひろ)
清水建設㈱
土木技術本部 プロジェクト技術部
主査



牧野 有洋 (まきの ありひろ)
清水建設㈱
北陸支店 土木部
工事長



小松 裕幸 (こまつ ひろゆき)
清水建設㈱
環境経営推進室
グリーンインフラ推進部
主席マネージャー

