

LED照明の色と点滅回数が誘虫性に 与える影響に関する基礎的検討

宮瀬 文裕¹・正井 洋一²・林 豊³・宇野 昌利⁴
橋本 純⁵・加藤 雄大⁶・狩野 巧⁷

¹正会員 清水建設（株）土木技術本部設計部（〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1）
E-mail: f.miyase@shimz.co.jp

²正会員 清水建設（株）東北支店土木部（〒020-0812 岩手県盛岡市川目12地割13-1）
E-mail: y.masai@shimz.co.jp

³非会員 清水建設（株）技術研究所環境基盤技術センター（〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17）
E-mail: hayashi_y@shimz.co.jp

⁴正会員 清水建設（株）土木技術本部開発機械部（〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1）
E-mail: uno@actec.or.jp

⁵正会員 清水建設（株）土木技術本部設計部（〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1）
E-mail: jun.hashimoto@shimz.co.jp

⁶非会員 清水建設（株）技術研究所環境基盤技術センター（〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17）
E-mail: t.kato@shimz.co.jp

⁷正会員 清水建設（株）土木技術本部設計部（〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1）
E-mail: t.karino@shimz.co.jp

大規模な土木工事では、生態系保全のため夜間工事照明にも配慮している。その理由は、照明の誘虫性により、工事現場周辺地域内の食物連鎖のバランスを破壊する懸念があるためである。筆者らは、誘虫性の低いLED照明の色と誘虫性の関係に着目した基礎的な試験により、白色が紫色よりも捕獲量が低下することを確認した。今回、7色に増加させた試験により、全体の傾向として青系が赤系よりも誘虫性が高いこと、カゲロウのみは赤色以外の色で高い誘虫性を示すことを確認した。さらに、点滅回数を変更可能な試験装置を試作して基礎的な試験を実施した。その結果、点滅周期が長いほど誘虫性が低くなること、虫の種類により点滅回数の影響の大きさに差異があることを確認した。本論文では、これらの試験結果の概要を述べる。

Key Words : LED lights, lighting color tones ,number of blinks, insect attractant

1. はじめに

近年、建設業においては、生物多様性の保全について、得意先や地域住民等からの要求水準が高まっている。その中でも、ダム工事や長大トンネルのように数年間にわたり夜間工事照明を使用する場合は、特にその傾向が強い。その理由は、照明による誘虫によって、昆虫類が照明周辺で斃死することにより、上位生物のエサ資源が減少し、工事現場周辺地域内の食物連鎖のバランスを破壊する懸念のためである。

筆者らは、夜間工事照明の影響を低減するため、誘虫

性と照明の種類の関係に着目した調査を実施してきた。

その結果、誘虫性は水銀灯、ナトリウム灯、LED灯の順で小さく、LED灯の誘虫性は水銀灯の1/10以下であることを確認した。また、LED灯に誘虫される昆虫の種類に着目すると、カゲロウ類が60%程度と最も多かった（図-1～図-2）¹⁾。ダムや長大トンネル工事は、河川や水田等の水域が現場に近接し、カゲロウ類への配慮が必要な場合が少なくない。そのため、LED灯に誘虫されるカゲロウ類等の昆虫類をさらに減少できれば、生態系保全に有効となる。そこで、LED灯のさらなる誘虫性の低下を図るため、照明の色に着目した試験を実施した。

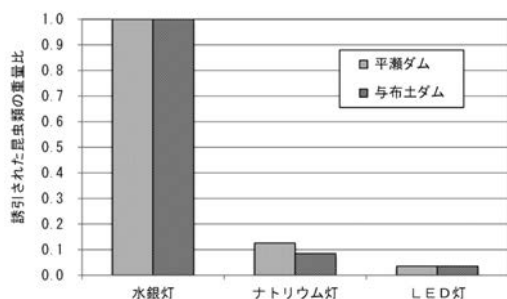


図-1 夜間工事照明の種類毎の誘虫量¹⁾

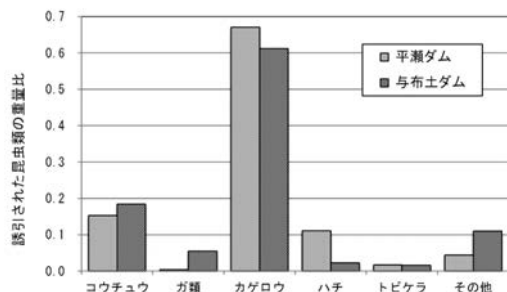


図-2 昆虫類の種類別誘虫量 (LED灯)¹⁾

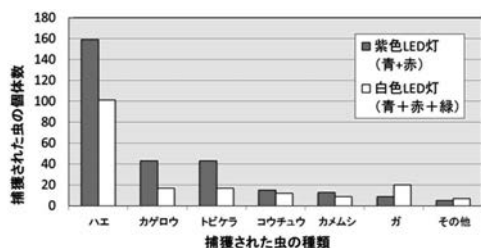


図-3 捕獲された昆虫の数と種類²⁾

その結果、白色LED灯の捕獲量は紫色LED灯よりも37%程度少ないこと、白色ではガ類が紫色ではハエ、カゲロウ類が多く捕獲されることが確認できた(図-3)²⁾。

これらの試験結果を踏まえ、LED灯の色の種類を7色(白、黄、水色、緑、紫、赤、青)に増加させてLED灯の色と誘虫性の関係について、詳細に確認した。さらに、LED灯の点滅回数と誘虫性の関係についても基礎的な試験を実施した。本論文では、その結果について概要を述べる。

2. LED灯の色と誘虫性の関係の確認

(1) 試験装置の概要

今回、緑色、赤色、青色の三色の発光比率を組み合わせ



写真-1 LED灯の色を変更可能な試験装置

て作動するLED灯を採用した。このLED灯を使用することで、段階的に照明の色が調整可能となる。例えば、白色の光の場合は、三色の発光比率を緑色：赤色：青色＝1：1：1と設定する(写真-1)。LED灯の下には、麻醉薬(エタノール等)を入れた捕虫ビンを設置している。照明に誘引された昆虫は、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。この方法は、数mmといった小型の昆虫をも傷つけずに捕獲可能で、昆虫の種類、重量、数量を正確に把握するために適している。

(2) 試験実施場所

今回の試験は、岩手県内の「築川ダム建設(堤体工)工事」で実施した。築川ダムは、治水対策及び水源確保を目的とした多目的ダムで、堤高77.2m、堤頂長249m、総貯水量1,910万 m^3 のコンクリート重力式ダムである。

当現場を選定した理由は、民家や現場の夜間照明等の人工照明の影響がなく、かつ森林、水辺(小川)、草地が現場内に混在するため、幅広い昆虫の捕獲が期待できるからである。

(3) 試験方法

試験は、平成29年7月中旬の連続する4日間とした。これまでの試験の経験から、日々の誘虫量のバラツキが大きいことが分かっている。そのため、数日間の試験を連続して実施し、それぞれの日でコントロール(ブラックライト)の誘虫量を基準とし、テストするサンプルの誘虫量との相対値をとり、平均化することとした。

試験装置は、3原色の発光比率を調整し、7色(白、黄、水色、緑、紫、赤、青)の試験装置を各1基設置した。あわせて、ブラックライト1基も設置した。設置方法は、各設置場所で試験装置が互いの照明光に干渉しないように約5～10m間隔で設置し、一定の距離で光量(光子密度)が同一になるよう調整した。日没後の18時から日の出前の翌6時まで、光源により昆虫類を誘引した。

(4) 試験結果

今回の試験では、連続4日間の試験を予定していたが、雨天のため3日間の試験となった。前述のように、虫の捕獲数は日によって変化が大きい。そこで、各日のブラックライトで捕獲した虫の個体数を基準となる1.0とし、7色の各色で捕獲した虫の個体数との比率を算出して整理した。

写真-2に7色の試験装置のLED灯を点灯した状況を、写真-3に青色の、写真-4に赤色の試験装置の誘虫状況を示す。LED前面の白い点と筋が、飛来した昆虫である。青色系（青、水色、紫）には、LED灯の周辺に常時虫が飛来している状況であった。一方、写真-4の赤色をはじめとする赤色系（赤色、黄色）には、目視で明確に確認できるほど、青色系に比べて虫の飛来が少なかった。

図-4に、横軸に捕獲した虫の種類を、縦軸にコントロール（ブラックライト）に対する比率で整理した結果を示す。捕獲された虫の種類に着目すると、個体数が最も多かったのは、カゲロウ類で、ついでトビケラ目が多かった。LEDの色別の捕獲数に着目すると、紫色、ついで

青色に集まった個体数が最も多かった。白色、黄色に集まる虫は少なく、赤色にはほとんど集まらなかった。色と虫の種類の関係では、カゲロウ目の昆虫は、赤色を除いた全ての色で誘引されていた。トビケラ目は紫色に、他の虫は青色と紫色に誘引される傾向が確認された。

虫が紫色や青色に集まり、赤には集まらなかった理由は、虫が見える光は人間よりも波長が短いため、短波長の紫色や青色はよく見え、長波長の赤色はほとんど見え



写真-3 青色の誘虫状況



写真-2 7色の試験装置の点灯状況

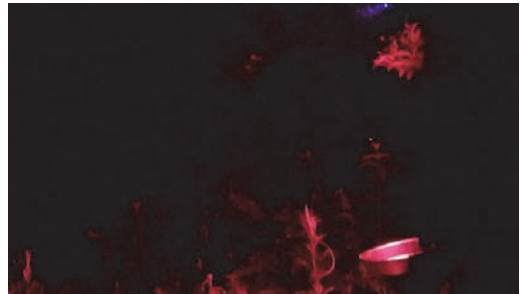


写真-4 赤色の誘虫状況

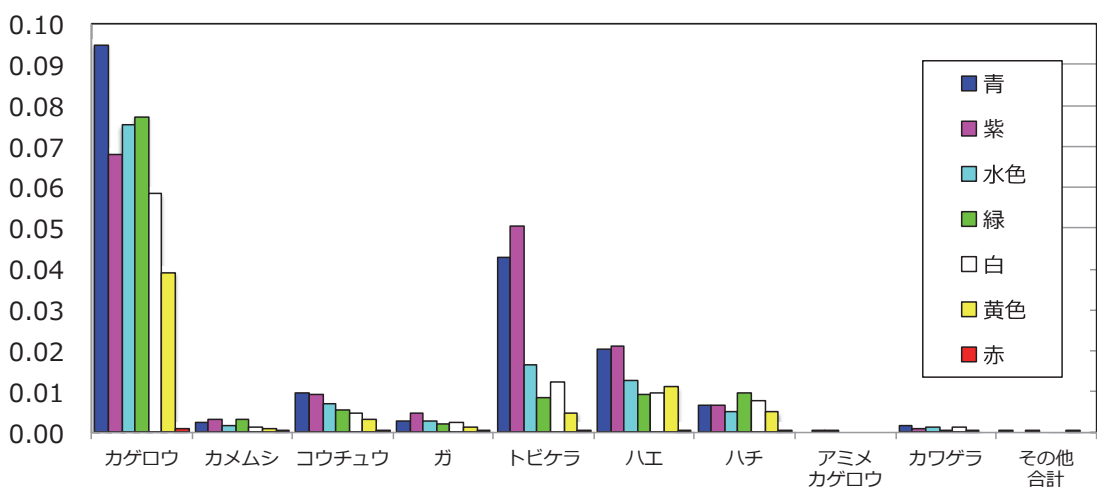


図-4 LEDの色別の捕獲個体数の比率

て無いためだと考えられる。また、カゲロウ目が赤色以外のどの色でも誘引されたのは、広い範囲の色を認識できるためと考えられる。

今回の試験結果より、虫が集まりにくい光が赤色と白色と黄色であったことから、赤色と白色と黄色を組み合わせ、オレンジ色にすると虫が集まりにくい効果があると考えられるが、検証実験により確認する必要がある。

3. LED灯の点滅回数と誘虫性の関係の確認

(1) 照明の点滅回数と誘虫性に関する考え方

照明の点滅回数と誘虫性の関係については、弘中らの研究がある。その中で、照明の点滅回数を80Hz以下とすると、誘引されるカメムシの量が四分の一程度に低減される効果があることを示している³⁾。また、平林らの報告によると、ユスリカにおいてもLED照明を1～10Hzで点滅させると、誘引・捕獲される量は連続光の四分の一程度に低減したと報告されている⁴⁾。

土木工事現場での使用を考えた場合、対象となる昆虫はカメムシやユスリカなど特定の種ではなく、カゲロウ類を含む周辺に生息している昆虫全般となるため、さらなる調査研究が必要と考えられる。また、照明の点滅回数が60Hz以下の場合、多くの人がチラツキを認知して不快感を持ちやすい。そのため、現場で働く作業員の集中力が低下し、作業の効率や安全性の低下が懸念される。以上のことから、土木工事現場での使用では、幅広い虫の誘虫性を低下させ、作業員に不快感を感じさせない点滅回数が求められる。

今回の研究では、LED灯の点滅回数と誘虫性の関係について、上記の点滅回数を把握するための基礎的なデータを収集することを目的とし、現場試験を実施した。

(2) 試験装置の概要

今回の試験では、LED灯の点滅回数を任意に変更し、数時間にわたり継続し、安定した点滅可能なことが必要になる。あわせて、屋外で使用するための耐候性も必要である。そこで、前述の機能を満足する試験装置を作製して試験を実施した（写真-5）。試験装置は、100Vの交流電源で稼働し、専用のコントローラにより1Hz単位で点滅回数を設定可能である。試験装置の作動状況、連続して使用した状況での安定性は、弊社研究所内で事前に確認した。

(3) 試験実施場所

今回の試験も岩手県内の「築川ダム建設（堤体工）工事」で実施した。当現場を選定した理由は、民家や現場

の夜間照明等の人工照明の影響がなく、かつ森林、水辺（小川）、草地在現場内に混在し、試験に適していることと、LED灯の色に関する試験結果と比較するために同じ場所であることが有利と考えたからである。

(4) 試験方法

試験は、平成30年8月下旬の連続する4日間とした。その理由は、2(3)で述べたことと同様の理由である。点滅回数は、既存の研究成果と不快感のない点滅回数を参考に、5Hz、15Hz、50Hz、150Hz、∞（点滅なし）の5種類とした。設置方法は、各設置場所で試験装置が互いの照明光に干渉しないように約5～10m間隔で設置し、一定の距離で照度（ルクス）が同一になるよう調整した。日没後の18時から日の出前の翌6時まで光源により昆虫類を誘引した（写真-6）。



写真-5 点滅回数用の試験装置



写真-6 点滅回数用の試験状況

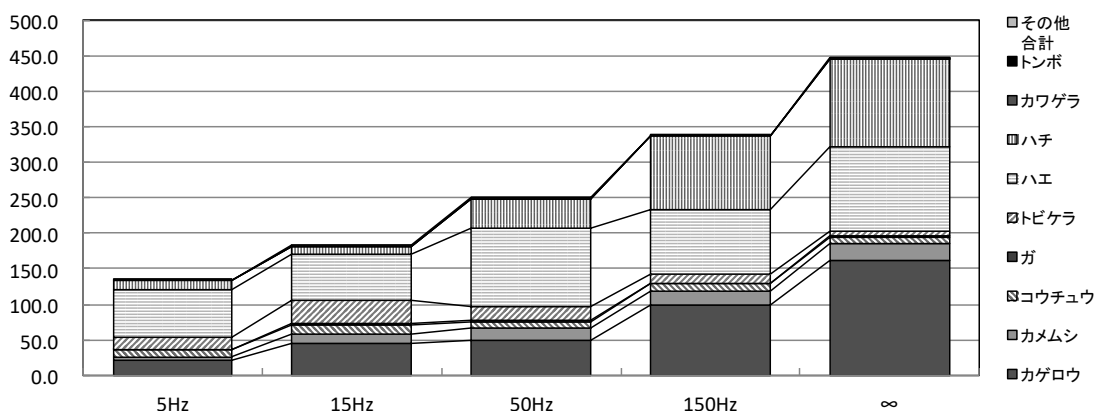


図-5 LEDの点滅回数と捕獲個体数

(5) 試験結果

今回の試験では、連続4日間の試験を予定通りに実施できた。前述したように、虫の捕獲数は日によって変化が大きい。そこで、4日間の捕獲数を合計し、点滅回数ごとに整理した。図-5に、横軸に点滅回数を、縦軸に捕獲した虫の合計数で整理した結果を示す。なお、合計数は虫の種類ごとに細分化した。

図-5に示すように、点滅回数が小さいほど捕獲される虫全体の個体数が小さくなる。すなわち誘虫性が低下することが確認された。捕獲された虫全体の個体数は、5Hzの場合、∞（点滅なし）の約30%に減少した。また、虫の種類別で同様の比較をすると、ハチ類では10%、カゲロウ類では12%に減少と点滅周期の影響が大きい、ハエ類では57%と影響が小さいことも確認した。

4. まとめ

(1) LED灯の色と誘虫性の関係

LED灯の照明の色を調整可能な試験装置により、7色（白、黄、水色、緑、紫、赤、青）で誘虫性を確認した。その結果、紫色、次いで青色に集まった個体数が最も多く、白色、黄色に集まる虫は少なく、赤色にはほとんど集まらなかった。色と虫の種類の関係では、カゲロウ目の昆虫は、赤色を除いた全ての色で誘引されていた。トビケラ目は紫色に、他の虫は青色と紫色に誘引される傾向であった。

今回の試験結果より、虫が集まりにくい光が赤色、白色、黄色であったことから、赤色、白色、黄色を組み合わせ、オレンジ色にすると虫が集まりにくい可能性が考えられるが、検証実験により確認する必要がある。

(2) LED灯の点滅回数と誘虫性の関係

LED灯の点滅回数を調整可能な試験装置により、5種類の点滅回数（5Hz、15Hz、50Hz、150Hz、∞（点滅なし））で誘虫性の確認を行った。その結果、点滅回数が小さいほど、誘虫性が低下することが確認された。捕獲された虫全体の個体数は、5Hzの場合、∞（点滅なし）の約30%に減少した。虫の種類に着目すると、ハチ類では10%、カゲロウ類では12%に減少と点滅周期の影響が大きい、ハエ類では57%と影響が小さいことも確認した。

(3) 今後の展開

今回の試験により、LED灯の照明の色と点滅回数を変化させることにより、誘引される昆虫の量と種類が変わることが確認された。今後は、色についてはオレンジ色の試験を、点滅回数については人の不快感を感じない点滅回数付近での追加試験を実施したいと考えている。これらの結果を活用し、誘虫量が少なく、人間の作業環境に大きな影響を与えないLED灯の開発をしていきたい。

謝辞：本論文の執筆にあたり、多くの方々に協力いただいた。築川ダム建設（堤体工）工事の関係者には、事前の現場確認、試験時の支援等で協力いただいた。ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 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。
- 2) 宮瀬文裕、垣見康介、宇野昌利、橋本純、林豊、山邊恵太：LED照明の色が誘虫性に与える影響に関する基礎的検討、第46回環境システム研究論文発表会

講演集, pp13-18, 2018.10.

- 3) 弘中満太郎：光源を点滅させることで虫を集めにくくする：フリッカー光を用いた新規低誘虫技術，イノベーション・ジャパン 2017, JST ショートプレゼン 東 1-A, 2017.8
- 4) 平林公男, 永井義成, 東野真, 谷口彬雄：LED 点滅

光源がアカムシユスリカ成虫の走行性に与える影響，第 32 回日本ペストロロジー学会抄録集, p.35, 2016.11.

(Received June 19, 2019)

A BASIC STUDY ON INFLUENCES OF COLORS AND NUMBER OF BLINKS WITH LED LIGHTS FOR INSECT ATTRACTANT

Fumihiro MIYASE, Yoichi MASAI, Yutaka HAYASHI, Masatoshi UNO,
Jun HASHIMOTO, Takahiro KATO, Takumi KARINO

In large-scale civil engineering works, considerations are given to night-time construction lights to loswer impact on ecosystem, because lights attracts insects unnecessarily and a balance of food chain around the construction site may be effected. The authors confirmed that the amount of insects captured with white light was lower than those with purple one based on a basic test focused on the relationship between the colors of LED light and the insect attractivity. In this study, some trends were observed that the blue light caught more insects than the red, and that only the ephemera showed a higher susceptibility in colors other than the red. In addition, another type of basit test was conducted using a prototype of test device that can change the number of blinks. As a result, it was confirmed that less insects were captured with longer blinking period and the number of blinks influenced the type of insect captured. This paper explains the results of these tests.