

都市河川に架かる歴史的橋梁の 構造形態を考慮した夜景照明手法

The Lighting Designs of Historical Bridges Considering Structure Design Features

狩野 哲志¹・窪田 陽一²・深堀 清隆³

¹学生会員 埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程環境システム工学系専攻
(〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255, E-mail: 05KH004@post.saitama-u.ac.jp)

²正会員 工博 埼玉大学大学院理工学研究科環境科学・社会基盤部門
(〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255, E-mail: ylkubota@env.gse.saitama-u.ac.jp)

³正会員 博士(学術) 埼玉大学大学院理工学研究科環境科学・社会基盤部門
(〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255, E-mail: fukahori@post.saitama-u.ac.jp)

In recent years, there are many cases that the historical bridge is illuminated. However, in the most of the cases, the structural features and detail designs of the historical bridges are not well considered. Then, the purpose of this research is to clarify the methods to emphasize those design features of historical bridges by lighting design.

First of all, in order to know the condition of bridges that had been constructed at from the Meiji era to the beginning of Syowa era, the field observation and literature survey was conducted.

On the other hand, 28 lighting techniques are clarified to be suitable to the design features historical bridges. To confirm the lighting effects of these techniques, CG was drawn and eyeball movement against illuminated bridges was analyzed. As a result, in the most cases, the expected eyeball movement was observed. The structural part of the bridge which is the target of illumination was sufficiently gazed. Therefore, it shows that the effects of lighting techniques are partially confirmed. One of the techniques that is emphasizing a silhouette of structural part didn't tend to lead the gazing points. This means that the shadow of the elements could not be a gazing point, and it tends to concentrate on the lighted points.

Key words: Lighting design, Historical bridges, Computer Graphics, Eye Camera

1. 序論

近年、都市生活の24時間化により、昼間の景観だけではなく夜間景観も注目されている。夜間景観を演出するために建築物や土木構造物、オブジェなど様々なものがライトアップされるケースが多々見受けられる。しかし、対象が歴史的な橋梁において、その橋梁の持つ歴史的な意匠や構造デザインを無視した安易で商業的な照明方法が用いられている場合がある。

また、現在の都市空間において、明治初期から昭和初期までに架設された近代橋梁は、河川や運河の埋め立てにより撤去され、さらに老朽化や高度経済成長に伴う車社会化の波に耐え切れずに次々と姿を消している。こうした経緯で残存数が少なくなっているにも関わらず、歴史的橋梁に対して、ただ単に橋梁としての機能性だけを

求めているために、橋梁への関心度が低い場合が多い。その為、例えば、高欄などを改修する際に、他の部位とのつながりを無視していたりする事例が見受けられる。しかし、この頃に架設された橋梁は、現在の橋梁の意匠や構造デザインの基礎として学ぶべきことは多い。

そこで、都市に埋没している歴史的橋梁に新たに関心を寄せる方法の1つとして、夜間において、歴史的な構造デザインや細部意匠を照明により表現することが考えられる。そうすることにより視線を誘導し、歴史的な構造デザインや細部意匠に気付かせることができると考えられる。また、橋梁を照らすことにより、都市における新たな夜間景観の創出にもつながり、その橋梁が周辺地域のランドマークとなる可能性もある。

また、現行のライトアップに対する批判的意見もあるが、商業的で非効率的な照明を施すのではなく、目的を

しぼった照明環境を整備することで効率化を図り、省エネルギーに配慮する必要がある。本研究では以上を踏まえて歴史的橋梁の意匠や構造デザインに的をしぼった夜景照明手法を提案することを目的としている。

本論文の構成であるが、2章では歴史的橋梁の照明を考える上での基本的な条件を文献調査及び現地調査の結果から整理した。3章では得られた照明手法が、歴史的橋梁の構造デザインや細部意匠を強調する上で有効であるか、代表的な構造形式の8橋のCGモデルによる照明シミュレーションを行い、その適合性について検討する。さらに提案した夜景照明手法の効果の確認の為、4章ではアイカメラを用いた視線誘導実験を行う。また、CG提示による眼球運動計測により視線誘導効果を見る事の妥当性を確認する意味で、実空間とディスプレイでの評価の違いについても検討している。4章までは単純化されたモデルに唯一の照明手法を適用し、検討を行ってきた。5章ではより現実的な条件における有効性について検証するため、CGで再現された現実の橋梁を対象に仮想提案をする。対象橋梁は隅田川の4つのアーチ橋とし、提案した夜景照明手法の組み合わせにより、それぞれの橋梁の構造デザインの特徴を活かし、夜間においてさらに際立たせるような照明案を検討した。

2. 歴史的橋梁とその照明のあり方に関する調査

歴史的橋梁の特徴（構造デザインや細部意匠など）やその歴史的橋梁の魅力を引き出すような照明手法について、現行の橋梁のライトアップや橋梁以外のライトアップ事例に関する文献調査と現地調査を行い、橋梁にアレンジして用いる事ができるかどうかを検討した。また、現地調査により現状の夜景照明上の問題点を確認した。

(1) 文献調査

歴史的橋梁についての文献¹⁾を調べ、歴史的橋梁の構造デザインの特徴や変遷を把握した。歴史的橋梁への照明デザインの可能性としては、昼間に埋没している細部意匠の特徴を強調するというコンセプトが一つの可能性として考えられる。どの形態特性を強調すればよいかを知るために、その橋梁が有する形態特性を構造デザイン、全体のプロポーシオン、細部意匠の観点で整理した渡辺ら²⁾の研究成果を活用し、適切な照明手法との組み合わせを考える。渡辺らは当時現存していた73橋の震災復興橋梁を対象に40の細部意匠を分類整理している。

夜景照明を考える上で考慮しなければならないことは光源のタイプ、光源の配置、様々な照明テクニックである。光源については、ライトアップに活用しうるものに

ついて、光源の特性、強度、色温度、演色性などを調べて^{3), 5)}特徴を把握した。また、光源の配置の仕方によって生じるグレア・光害といった夜間景観で問題となっている点や照明設計のプロセス^{3), 6), 7)}についても調査した。

また、現地調査で行けない場所で行なわれているライトアップ事例や橋梁以外のライトアップ事例についていくつかの文献^{3), 4), 5)}やインターネットを通じて調べ、様々な照明手法のバリエーションを得て、大分類としてシルエット、ライン、ウォールウォッシュ、リフレクト、その他に分類した。シルエットは光源を物体の背後に配置して、物体の陰を強調するような照明手法であり、そのバリエーションとしてシュート、つまり構造デザインや細部意匠に強い光を当て、それによってできる影を強調するような照明手法もあげられる。ラインは直線を強調し、イルミネーションのように点をつなぐ事によりラインとして見せるというテクニックである。また、ウォールウォッシュは面を強調する照明テクニックであり、同じ構造デザインの面を繰り返し連続して強調するのがリフレインである。リフレクトは照明を対象物に直接当てるのではなく、反射光を用いた間接的な照明の使い方である。

(2) 現地調査

現地調査（表-1）では、現在、東京の河川に架かっている明治初期から昭和初期頃迄に架設された橋梁を中心として、これらについて、夜間ではどのような状態にあるのか、どのような問題点があるのかを調査した。また、現行のライトアップ事例を実際に観察し、照明手法を抽出した。現地調査を行った橋梁は18河川116橋である。以下に現地調査で抽出した照明手法および発見した夜間空間における歴史的橋梁の問題点を整理した。

表-2 に現地調査で得られた参考になる照明手法及び発見した夜間空間における歴史的橋梁の問題点を示す。調査によって得られた照明手法について詳しくは3章で述べ、問題点に重点を置いて説明する。ここでは、a)～b)では参考になった照明手法を、c)～h)では問題点について説明する。

a) トラス部材の中から照射（写真-1, 写真-2）

光源をトラス部材の中に入れることにより、トラス部材をシルエットで浮かび上がらせている。

照明器具を隠すことにより、歩行者やドライバーに対してグレアとならないようにしている。また、器具の煩雑な感じを減じ、昼間の景観も考慮している。

b) 高欄の外から照射（写真-3, 写真-4）

高欄等に独特の装飾のある場合は、光源の位置を考慮することで、その影を演出することができ、その装飾を強調できる。

表—1 現地調査

現地調査した河川名
横十間川, 外濠, 亀島川, 隅田川, 月島川, 小名木川, 神田川, 仙台堀川, 大横川, 大島川, 竪川, 築地川, 築地川東支川, 日本橋川, 楓川, 楓川・築地川連絡運河, 平久川, 北十間川
東京都又は東京23区管理下でライトアップが行われている橋梁
吾妻橋, 新大橋, 清洲橋, 永代橋, 中央大橋, 勝鬨橋, 聖橋, 柳橋, 南高橋, 高橋, 西仲橋, 豊海橋

表—2 現地調査により得られた参考になる照明手法

参考になる照明手法	該当する橋梁
トラス部材の中から照射	南高橋
高覧の外から照射	西深川橋
ウォールウォッシュ照明	聖橋
構造形態の輪郭を縁取る	永代橋, 勝鬨橋, 柳橋
親柱を照射する	日本橋
橋門を照射	南高橋, 豊海橋

表—3 現地調査により明らかになった問題点

問題点	該当する橋梁
橋梁の持つ本来の色とは異なる照明	清洲橋, 勝鬨橋
昼間の景観を害するような照明器具の設置	柳橋, 豊海橋
照明器具のメンテナンス不備	江戸橋, 西仲橋, 永代橋, 清洲橋
周辺が明るい為、橋の存在感が薄れている	万世橋
グレア	吾妻橋
構造デザインを害するような照明器具の位置	勝鬨橋, 永代橋, 清洲橋, 厩橋



写真-1, 写真-2 南高橋（亀島川）



写真-3, 写真-4 西深川橋（小名木川）

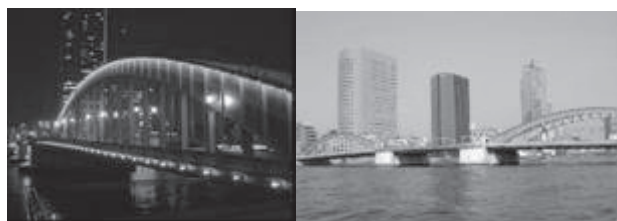


写真-5, 写真-6 勝鬨橋（隅田川）

c) 橋梁の持つ本来の色とは異なる照明（写真-5, 写真-6）

周囲との対比を考え照明を緑色にしているのだが、夜のランドマークのみ強調され歴史的特徴が継承されていない。

d) 昼間の景観を害するような照明器具の設置（写真-7, 写真-8）

夜間景観しか考えていないため、昼間において邪魔な存在になってしまっている。また、以前に現在とは異なるライトアップを行っていてその時の照明器具（下の○印）が取り付けられたまま新しい照明器具（上の○印）が取り付けられてしまっている。古い照明器具は溶接で取り付けられているため、塗装に影響なく取り外すのは困難という理由で残置されている。

e) 照明器具のメンテナンス不備（写真-9, 写真-10）

光源の寿命が切れたまま放置されている為、連続感が途切れたり、にぎわい感が薄れてしまい寂れた感じになってしまっている。



写真-7, 写真-8 柳橋（神田川）



写真-9 西仲橋（月島川） 写真-10 江戸橋（日本橋川）



写真-11 万世橋（神田川） 写真-12 吾妻橋（隅田川）



写真-13 厩橋（隅田川） 写真-14 永代橋（隅田川）

f) 周囲が明るい為、橋の存在感が薄れている（写真－11）

昼間において、周囲のビルに埋没しておりビルのライトアップにより、さらに存在感が薄れている。

g) グレア（写真－12）

光源が直接視界に入ってきてしまい、輝きとしてではなく眩しさとしてとらえられ、不快感を与えてしまっている。

h) 構造デザインを害するような照明器具の位置（写真－13、写真－14）

歴史的橋梁は、元々最小限の道路照明しか取り付けられていなく、現在の道路照明施設設置基準を満たしていないため、追加して道路照明が取り付けられるケースが多々ある。その際に、オリジナルの構造デザインを阻害するような位置に照明器具を設置してしまっている。また、景観照明用の照明器具においても同様である。

3. 夜景照明手法の提案

歴史的橋梁の構造デザインや渡辺らが整理した細部意匠、今回現地で把握した橋梁の形態特徴を活かし、問題点を改善するために歴史的橋梁にどのような照明テクニ

表5 作成したCGシミュレーション画像

桁		トラス	
新（堅川橋）		松（堅川橋）	
RCアーチ（開腹）		RCアーチ（充腹）	
（日本橋川） 錦橋		（神田川） 万世橋	
下路鋼アーチ		上路鋼アーチ	
（平久川） 白妙橋		（神田川） 浅草橋	
ラーメン橋台		吊	
（日本橋川） 一ツ橋		（隅田川） 清洲橋	

表－4 抽出した歴史的橋梁の夜景照明手法

大分類	中分類	照明手法	照明器具	強調される構造デザインまたは細部意匠	大分類	中分類	照明手法	照明器具	強調される構造デザインまたは細部意匠
シルエット		床版下（耳桁よりはみ出した部分）に照明を施す	蛍光灯	ブラケットの側板	ウォールウォッシュ		部材を垂直方向から照射	スポットライト	垂直成分の強調
		トラス部材の内側から照射	蛍光灯 or スポットライト	トラス部材			橋門構を左右から照射	スポットライト	橋門構のデザイン
		部材の集中している部分を照射する	スポットライト	フィレット（ガセットの自由縁の曲線）			アーチの中側を照射	蛍光灯 or スポットライト	開腹タイプのRCアーチ橋の輪郭線
		構造形態をシルエットで見せる	投光器	橋梁全体			アーチの裏側を照射	蛍光灯 or スポットライト	滑らかな曲面・輪郭線をはっきりさせる
		片側から照射して反対側はシルエットで見せる	投光器	構造形態の強調			橋門を照射	スポットライト	橋名
	シュート	高欄を外側から照射	蛍光灯 or 投光器	高欄のデザイン			親柱を照射する	スポットライト	親柱のデザイン
ライン		ウェブの下フランジを支承から照射または照明器具を直接取り付ける	スポットライト	リベットの配列	リフレイン		橋門構・対傾構を左右から照射	スポットライト	橋門と対傾構のモチーフを同じにしているところ
		鉛直成分の連続性を強調	スポットライト	高欄束柱・支柱・桁の垂直補剛材などの位置の一致			垂直材と高欄束柱から照射（歩道部）	スポットライト	鉛直成分の連続性
		リベットに影をつける	スポットライト	リベットの配列			水面に照射し、反射光を桁下部分に当てる	スポットライト or 投光器	滑らかな曲面
		地覆面の下に照明器具を取り付ける	蛍光灯 or LED	地覆面を突き出す			支承から照射	スポットライト	ハンチ
		橋台の地覆面の下に照明器具を取り付ける	蛍光灯 or LED	地覆面を突き出す			デンティルに陰影をつける	白熱電球 or LED or 蛍光灯	デンティル
		構造形態の輪郭を縁取る	スポットライト or チューブライト or 蛍光灯 or 投光器	構造形態の強調			展示物のように照明を施す	投光器	橋梁全体の強調
イルミネーション		構造形態をイルミネーションで縁取る	LED	部材と部材の交点・水平の連続・鉛直の連続	その他		キーストーン（要石）を照射する	スポットライト	キーストーン（要石）のデザイン
							屋間に影となっている箇所に照明を施す	スポットライト or 蛍光灯	屋間に目立たない部分
							道路照明器具を復元する	当時の色温度を持つ照明器具	元来の照明器具のデザイン

ックが適用できるか検討した。その結果、表-4のように照明手法を整理する事が出来た。また、照明手法を提案する際に、言葉によるコンセプトだけではイメージが伝わりにくいので、イメージを共有するために、自由にライティングシミュレーションパターンを作成できるCGを用いることにした。なお、本論文に掲載された画像は光の効果をより視認しやすいように印刷用に加工してある。それぞれの構造形式別に照明手法の効果を検討するために、現存する橋をモデルに全8橋（下路鋼アーチ、上路鋼アーチ、RCアーチ（開腹）、RCアーチ（充腹）、トラス、ラーメン橋台、桁、吊）をできるだけ細部まで再現し、それぞれの形態に合うような照明手法をCGシミュレーションにより検討した。

本研究においては橋梁本体の細部意匠を強調する上で計画的に配置した光源による純粋なライトアップの効果を確認することを目的とした。したがって、背景には周囲のビルから漏れる光や街灯を排除している。空については晴れた日の夜空の写真を画質を調整の上インポーズした。橋梁の材質などは材料反射率により設定し、よりリアルに再現した。しかし、実際の現地の周辺空間も考慮したほうが、より再現性が高くなるといえる。

また、色については、演色性を高くし、基本的には橋梁本体の色と異なるものは用いないようにした。鋼橋は色温度を高くすることで鋼橋本来の色をそのまま見せる事ができ、コンクリートアーチ橋や石張りの橋は色温度を低くすることで、汚れなどを時間経過として良い印象に見せる事ができる。

対象となる橋は、近年、架け替えや河川の埋め立てにより撤去される事の多い中小河川に架かるものとした。

また、中小河川には、上空を高架高速道路に覆われ、橋上は非常に暗い空間となっていて、夜間においては、さらに暗くなっているなどといった問題点が多々存在する。以下に提案した歴史的橋梁の夜景照明手法について説明する。

(1) シルエット

a) 床板下（耳桁よりはみ出した部分）に照明を施す。（図-1）

この手法により、『床板を張り出し、耳桁にブラケットを施す』という構造デザインを強調している。また、垂直補剛材により間隔が一定に仕切られているため、陰となって垂直成分を主張している。また、昼間の景観を損なうことはない。

b) トラスの内側から照射（図-2）

現在ではほとんど使用されていない『垂直材・斜材がトラスとなっている』という近代特有の構造デザインを活かして、照明器具をトラス部材の内側に隠し、昼間の景観を考慮することができる。また、シルエットとなってトラスの形状が浮かび上がる。

c) 部材の集中している部分を照射（図-3）

部材と部材の接続部にあるガセットを内側から照射することで、ガセットの曲線がシルエットで映し出される。また、接続部は昼間においても注視点となっているので、照明によりさらに誘目性を高められる。

d) 構造形態をシルエットで見せる（図-4）

構造の内部を照射することにより、外から見たときは構造形態のエッジラインができ、シルエットとなって構造形態を映し出す。

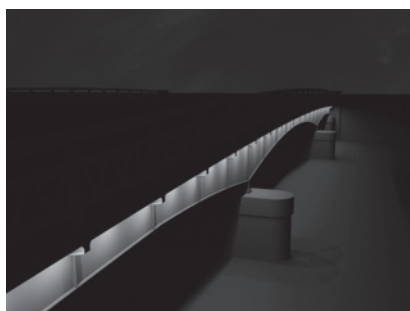


図-1 (1)-a 桁橋の例



図-2 (1)-b トラス橋の例



図-3 (1)-c トラス橋の例



図-4 (1)-d 桁橋の例

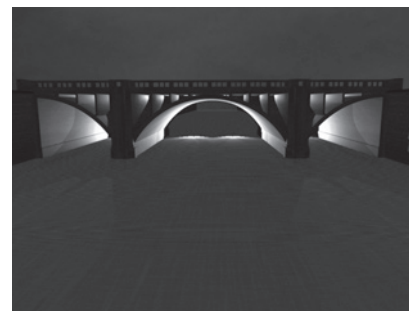


図-5 (1)-e RCアーチ橋（開腹）の例



図-6 (1)-f 桁橋の例

e) 片側から照射して反対側はシルエットで見せる (図-5)

橋梁の側面を片側だけ照らし出すことにより、片側は光って見えるため賑わい感を演出し、もう一方はシルエットで見えるため落ち着き感を演出するという二面性を持つ照明手法となる。また、照らすのは片側だけなので、省エネルギーにもつながり経済的である。

f) 高欄を外側から照射 (図-6)

高欄の外から指向性のある光を照射して、歩道にその影を落とすことで高欄のデザインを強調している。

(2) ライン

a) ウェブの下フランジを支承から照射 (図-7)

支承から照射することにより、水平方向の連続性を強調している。また、ウォールウォッシュ効果により、リベットに影ができ、その影のラインによっても水平方向を強調できる。またその規則正しい配列も表現できる。

b) 鉛直性分の連続性を強調 (図-8)

高欄束柱・支柱・桁の垂直補剛材の連続性を線で表現し、上部工一下部工の連続性を強調している。しかし、

最近では、上部工一下部工の関係を無視して高欄の改修が行われているケースが多々見受けられるため、そういった橋には適用できない。

c) リベットに影をつける

影をつけることにより立体感が生まれ、リベット及びその配置が強調される。近代橋梁特有のリベットの打ちっぱなしの技術の特徴付けられる。

d) 地覆面の下に照明器具を取り付ける (図-9)

ブラケットのないRCアーチやラーメン橋台橋において、水平成分を強調できる。照明を連続的に配置することにより一本のラインを作り、水平成分を強調している。

また、昼間では、地覆面が突き出ているので陰影効果をもたらししているが、この照明手法により陰影効果とは逆の、夜間ならではの演出ができる。

e) 橋台の地覆面の下に照明器具を取り付ける (図-10)

橋台にも地覆面が設けられている場合があるので、『地覆面の下に照明器具を取り付ける』という照明手法と同様の効果が期待できる。また、『地覆面の下に照明器具を取り付ける』という照明手法と、この照明手法とを組み合わせることで、桁と橋台の連続性を強調

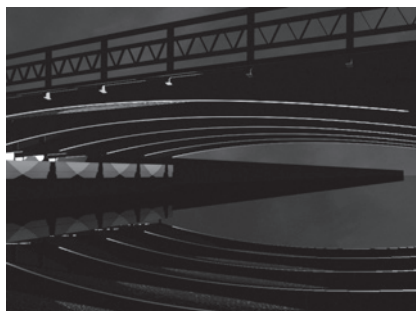


図-7 (2)-a 桁橋の例

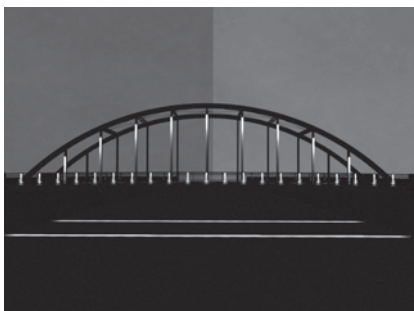


図-8 (2)-b 下路鋼アーチ橋の例

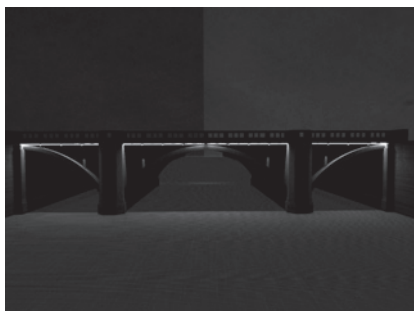


図-9 (2)-d RCアーチ橋（開腹）の例

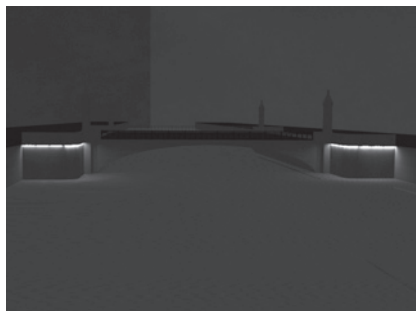


図-10 (2)-e RCアーチ橋（充腹）の例

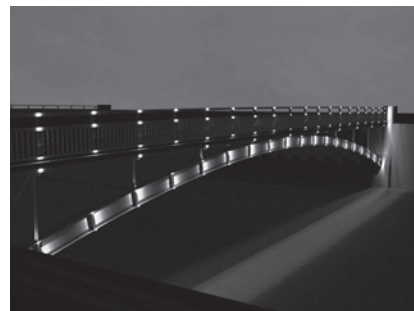


図-11 (2)-g 上路鋼アーチ橋の例



図-12 (3)-a トラス橋の例



図-13 (3)-b トラス橋の例

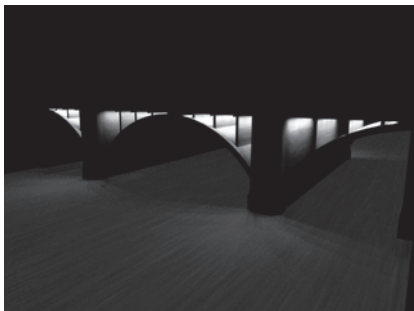


図-14 (3)-c RCアーチ橋（開腹）の例

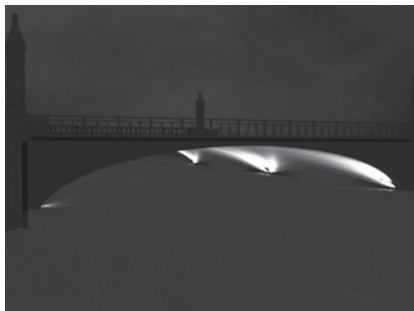


図-15 (3)-d RCアーチ橋（充腹）の例

することができる。

f) 構造形態の輪郭を縁取る

構造形態の輪郭を照射，またはエッジラインを作ることにより，構造形態を認識しやすくし，夜間においてランドマークとなる。

g) 構造形態をイルミネーションで縁取る（図-11）

現行の手法では主に水平方向だけを強調するといった一次元方向だけしか考慮していないが，部材と部材の交点に配置することにより，水平方向だけではなく，上部工一下部工の連続性も強調できる。

(3) ウォールウォッシュ

a) 部材を垂直方向から照射（図-12）

部材を舐めるように部材とほぼ平行に照射することでリベットに影をつくり，その規則正しい配列を強調することができる。

b) 橋門構を左右から照射（図-13）

橋門構を照らすことにより，夜間において橋の存在感を示すことができる。また，いくつか事例が見られる「橋門構の上下縁にRをつける」というデザインも強調

することができる。

c) アーチ中側を照射（図-14）

開腹タイプのRCアーチ橋において，アーチの中側を照らすことにより，昼間とは異なる景観照明を演出できる。照明器具を設置する際に，対象となる橋梁の視点場を考慮し，見えないような場所に設置する必要がある。

d) アーチ裏側を照射（図-15）

コンクリートアーチの滑らかな面を強調でき，昼間とは異なる景観を演出している。また，低色温度の光源を用いることにより落ち着いた雰囲気演出できる。

e) 橋門を照射（図-16）

橋名が橋門に書かれているケースが多いので，橋門を照らすことにより橋名を明らかにすることができる。また，夜間において存在感を示すことができる。

f) 親柱を照射する（図-17）

親柱を照らすことにより，上路式のものでも橋の存在感を示すことができる。しかし，周辺のビル群などから漏れる光によって周囲が明るくなっているような場所では存在感を示すことが出来ないので，色温度に変化をつけて目立たせることを考える。



図-16 (3)-e トラス橋の例



図-17 (3)-f RCアーチ橋（充腹）の例



図-18 (3)-g 下路鋼アーチ橋の例



図-19 (3)-h 下路鋼アーチ橋の例



図-20 (5)-a 桁橋の例

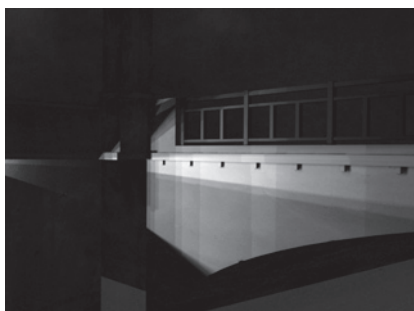


図-21 (5)-b RCアーチ橋（充腹）の例



図-22 (5)-c RCアーチ橋（開腹）の例

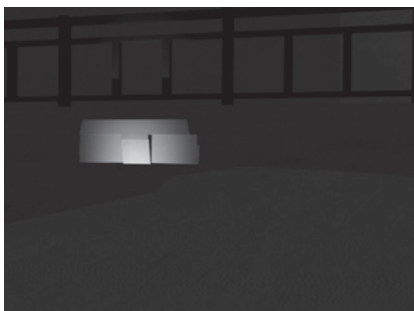


図-23 (5)-d RCアーチ橋（充腹）の例

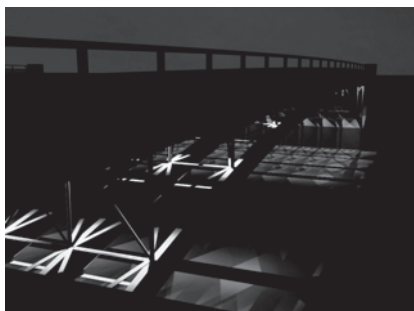


図-24 (5)-e 上路鋼アーチ橋の例

g) 橋門構を左右から照射（図-18）

同デザインの対傾構を照らすことで連続感が得られる。また、橋門構と対傾構のモチーフは同一であることが多く、その構造デザインも強調できる。

h) 垂直材と高欄束柱から照射（歩道部）（図-19）

高欄束柱と垂直補剛材をウォールウォッシュ照明により浮かび上がらせ、さらに両端から歩道部を照射することにより、高欄束柱・垂直補剛材の鉛直性分の平行性および上部工・下部工の連続性を強調している。また、連続して配置することによりリズム感も生まれる。

(4) リフレクト

a) 水面に向けて照射し、反射光を桁下部分に当てる

RCアーチのアーチ裏側に水面からの反射光をうまく当てることにより、水面の変化に伴う光の変化をみせることができる。

(5) その他

a) 支承から照射（図-20）

支承を照らすことにより、ハンチの形状を明らかにすることが出来き、支承のデザインも強調できる。また、支承は船舶航行時において障害物となるので、その危険を回避することができる。

b) デンティルに陰影をつける（図-21）

デンティルはリズム感を与えるが、夜間ではその存在に気付きにくい。そこで、デンティルに影ができるような角度から光を照射し、夜間においてわかりやすくさせる。

c) 展示物のように照明を施す（図-22）

歴史的橋梁は土木遺産でもあるので、その古さや時間経過をアピールするために、コンクリートや張石などには低色温度の光源を用いると効果的である。

d) キーストーン（要石）を照射する（図-23）

キーストーンは石橋にとって非常に重要な役割を持っている。その為、キーストーンだけが他の部分と違うデザインになっていることが多い。今ではRC橋などのキーストーンは張り石となっている場合が多いが、そのデザイン性の高さは一目するところがある。

e) 昼間に影となっている箇所を照明を施す（図-24）

夜間において、昼間に影となっている箇所を照らすことにより、昼間では見えないところを強調でき、新たな発見につながる。

f) 道路照明器具を復元する

道路照明基準などの導入から、橋梁に用いられている元来の照明器具が撤去され、新たに設置する場所も器具も違うものになっていることがある。橋梁元来の照明を現行の照明基準を満たすように復元することにより、本来の景観を取り戻す。

4. アイカメラを用いた視線誘導実験

(1) 実験方法

前章で提案した照明手法の効果とその有効性について検討するために、ライトアップされた橋梁に対する視線軌跡・注視点挙動をアイカメラを用いて分析した。実験は屋外実験と室内実験を行った。まず、CGのモデルとなった橋梁について、実際に昼間に現地に行き、被験者の橋梁に対する視線軌跡及び注視挙動を記録した。全ての橋梁形式について調査すべきであるが、橋梁周辺環境を考慮した結果、下路鋼アーチ・トラス・桁の3構造形式について調査した。

次に、室内（暗室）で8構造形式について昼間及び夜間の橋梁写真とそれぞれの照明手法をシミュレーションしたCG画像をプロジェクターによりスクリーンに投影して同じく視線軌跡及び注視挙動について調べた。そして、実空間とディスプレイとでの評価の相違を検討し、その上でCGによる評価分析を行う。現地及び室内実験とも被験者が橋梁の全体及び部分的意匠を十分観察できるように記録時間を30秒とした。被験者は両実験とも6人である。

表-6 実験結果

		下路アーチ橋(白妙橋/平久川)	トラス橋(松本橋/野川)
現地実験	実空間		
	写真		
室内実験	CG		
	CG		

(2)分析方法

a)実空間とディスプレイでの視線挙動の差異

実空間とディスプレイでの違いを検討したところ、特に違いは見られなかった。結果の一部を表-6に示す。下路鋼アーチ橋ではアーチ部分・垂直材などといった上部構造に視線は誘導されていた。トラス橋でも下路鋼アーチ橋と同様に上部構造に視線が誘導されていた。また、桁橋では耳桁の下フランジに沿って視線が動いていた。これらに共通しているのは、橋と背景の境界部分、つまり輪郭線に沿って視線が動いているということである。これらから、CG照明シミュレーションで得られた注視点挙動についても、実空間において同様の動きをすると考えられる。

b)CGシミュレーション画像の視線軌跡及び注視点挙動の分析

提案した照明手法の中で視覚的効果のある手法についてアイカメラの解析ソフトを用いて分析し、どれだけ照明手法が有効であるかを誘目度として算出した。考えられる誘目度の定義として以下のような方法により算出することが挙げられる。

①効果のある箇所における停留点数を総停留点数で除した値。これを照明手法毎に平均して算出する。

②効果のある箇所における停留時間を総停留時間で除した値。これを照明手法毎に平均して算出する。

③意図された視覚的効果に則した視線挙動をしていると判断できる画像数を有効画像数で除した値。照明手法毎に算出する。

①及び②の2つの方法は、画像を縦横それぞれ16分割して、分割した各領域内について停留点と停留時間をカウントする。停留点は、0.2秒以上視線が2°以内に留まった場合にカウントする。停留時間は各領域内に留まっていた時間をいう。③の方法については、各画像を総合的に見地から判断する。また、有効画像とは10秒以上データのある画像のことをいう。これは、瞬きはエラーとして記録される事と、実験の初期設定において問題が生じたため、全ての画像について30秒間データを取ることが出来なかった事を考慮したためである。

①及び②の方法をそれぞれの定義に基づき分析したところ、次のような問題点が浮き彫りとなった。計測時の初期設定の関係から視線挙動の本来の場所とは異なる場所に視線軌跡を描いてしまっている為に、「効果のある場所」とは判定できなくなる場合もあった。つまり、本当は「効果のある場所」に視線挙動しているにもかかわらず、そのズレの為に「効果のある場所」とは判定さ

表-7 適用可能な構造形態及び照明手法別誘目度

大分類	中分類	照明手法	適用可能な構造形態								誘目度(%)
			桁	トラス	下路鋼	上路鋼	RCA(開)	RCA(充)	ラーメン	吊	
シルエット		床版下(耳桁よりはみ出した部分)に照明を施す	○	○	○	○			○	○	72.9
		トラス部材の内側から照射		○	○					○	77.8
		部材の集中している部分を照射す		○	○	○					83.3
		構造形態をシルエットで見せる	○	○	○	○	○	○	○	○	79.2
		片側から照射して反対側はシルエットで見せる	○	○	○	○	○	○	○	○	68.8
	シュート	高欄を外側から照射	○	○	○	○	○	○	○	○	14.3
ライン		ウェブの下フランジを支承から照射または照明器具を直接取り付ける	○	○	○	○			○	○	0
		鉛直成分の連続性を強調	○	○	○	○			○	○	80.6
		リベットに影をつける	○	○	○	○			○	○	—
		地覆面の下に照明器具を取り付け					○	○	○		100
		橋台の地覆面の下に照明器具を取り付ける	○	○	○	○	○	○	○	○	100
		構造形態の輪郭を縁取る	○	○	○	○	○	○	○	○	100
	イルミネーション	構造形態をイルミネーションで縁取る	○	○	○	○	○		○	○	91.1
ウォールウォッシュ		部材を垂直方向から照射		○	○					○	88.9
		橋門構を左右から照射		○	○						75
		アーチの中側を照射					○				25
		アーチの裏側を照射					○	○	○		91.7
		橋門を照射		○	○					○	79.2
		親柱を照射する	○	○	○	○	○	○	○	○	—
	リフレイン	橋門構・対傾構を左右から照射		○	○						66.7
リフレクト		垂直材と高欄束柱から照射(歩道部)		○	○					○	83.3
		水面に照射し、反射光を桁下部分に当てる	○	○	○	○	○	○	○	○	—
その他		支承から照射	○	○	○	○	○	○	○	○	87.5
		デンティルに陰影をつける					○	○	○		83.3
		展示物のように照明を施す	○	○	○	○	○	○	○	○	77.8
		キーストーン(要石)を照射する					○	○	○		—
		昼間に影となっている箇所に照明を施す				○					100
		道路照明器具を復元する	○	○	○	○	○	○	○	○	—

れないということである。また、逆の事についても同様のことが言える。さらに、効果といっても、「線のな動きをする」、「注視する時間が長くなる」、「昼間の視線挙動とは違うものになる」など様々であるので、①及び②の方法ではこれらの一部を評価しているに過ぎないという問題点もあった。③の方法は、視線軌跡画像と停留点軌跡画像の両方から検討して、分析の経験的見地から初期設定における誤差も考慮に入れて、総合的に視線誘導成功画像を判断している。ここで言う視線成功画像とは、例を表-6に示す。昼間の写真や現地実験の結果ではアーチや垂直材などの上部構造に視線が挙動しているのがわかる。しかし、照明手法例1の画像を見ると、下部構造に視線が誘導されているという結果を得た。このように、目的とするところ、つまり、演出対象の細部意匠やアウトライン、光の効果自体に視線を誘導できていたらその画像を視線誘導成功画像とする。構造形式毎に効果の現れ方が異なるという問題点はあるが、この3つの分析方法の中では、比較的率直に視線誘導効果を判定できると考えられるので、③の方法の誘目度のデータを考察に用いる事にする。

(3)分析結果及び考察

各照明手法の誘目度は表-7の通りである。

また、照明手法全体実験での誘目度、つまり平均誘目度は75.06%であった。基本的には視線の誘導に成功しているのだが、誘導できていない画像にはある共通点が

表-8 異なる視線軌跡

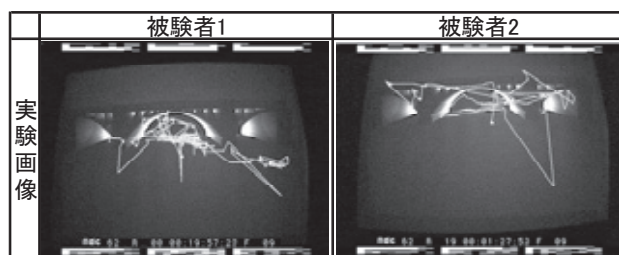
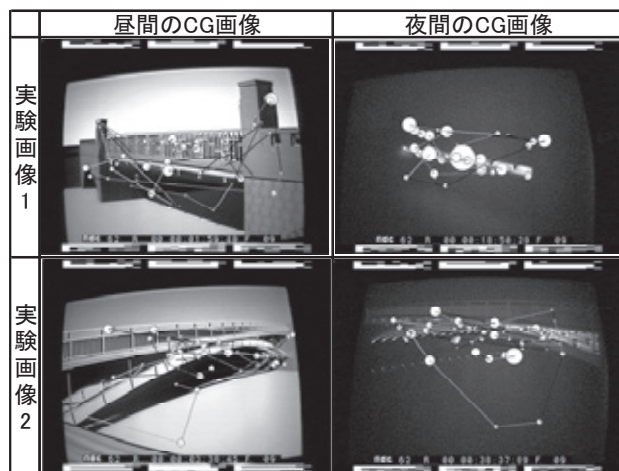


表-9 昼間のCG画像と夜間のCG



見られた。それは影を強調するような照明手法である。高欄を外側から照射して歩道部にその影を落とし、影でデザインを強調できると考えたが、実験の結果から影ではなく周りの明るい部分に視線は動いていた。このような結果になった要因は2つ考えられる。1つ目は、高欄のデザインがあまりにも単調だったため、それほど気にもとめなかったと考えられる。高欄のデザインが複雑または装飾的なものであれば、視線を誘導できるのではないかと思われる。2つ目は、影となっている部分よりも光っている部分を見るのは、明るい部分のほうが誘目要因が多いためと思われる。人は、明るい方へと視線が誘導される。

しかし、ある条件がそろえば、影も視線を誘導できると考えられる。例えば、陰 (silhouette) でデザインを強調するような照明手法では特異な結果が出ている。

「片側から照射して反対側はシルエットで見せる」という手法では、光が照射された部分に視線が誘導されている被験者もいれば、陰の部分に視線が誘導されている被験者もいた。両方とも視線が誘導されていないと言い難い2種類の結果となった(表-8)。これは図と地の反転が起こったためだと思われる。普通は照らされている部分が図となるが周囲との輝度差が激しい場合、または、陰となっている部分の輪郭線がはっきりとしている場合、その陰が形と認識され図となるのである。しかし、この手法で気を付けなければならないのは光量である。光量が多すぎると不快グレアとなってしまうし、少なすぎるとシルエットが目立たなくなってしまう。よって、影を強調する照明手法も周囲との輝度差をつけて影の輪郭線をはっきりさせれば、改善できると考えられる。

また、昼間のCG画像と夜間のCG画像では注視点挙動の違いが見られた。昼間のCG画像の方が、夜間よりも誘目要因が多いため、基本的にはばらついていて(表-9)。

また、昼間のCG画像よりも、夜間のCG画像の方が停留円の大きさが大きく(注視している時間が長ければ長いほど円は大きくなる)になっていた。このことにより、夜間において、歴史的橋梁を光によって橋梁の構造デザインを強調できているといえる。

5. 歴史的橋梁の照明デザインの仮想提案～隅田川に架かるアーチ橋群の構造デザインに着目した夜景照明計画～

本提案は、3章で提案した28通りの夜景照明手法の有効性や、複数の照明手法の組み合わせによる効果を具体的な橋梁の条件を含めて検討するものである。

(1) 提案概要








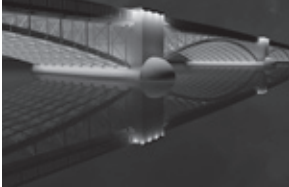
隅田川には幾つものユニークな橋が架けられている。似通ったものは一つもない。その為、隅田川は「橋の博物館」と呼ばれている。桁橋、アーチ橋、斜張橋など様々な構造形態があるが、隅田川に架かる橋のほとんどが関東大震災後の震災復興事業により架設され、それから現在に至るまでの約80年もの間供用されている。

架設当時、東京は「帝都」と呼ばれ、その帝都の威信をかけて復興に臨むために、帝都を流れる隅田川の架橋には莫大な予算が組まれ、細部に至るまでデザインに凝った橋が出来上がった。

本計画は、隅田川橋梁群の中でも他の場所では見られない、三連アーチが四橋連続して架設されている吾妻橋～蔵前橋の区間に焦点を当てた。隅田川の中でアーチ橋が連続している所は他になく、「景観に調和する」との理由から、地盤などの厳しい架設条件にも関わらず、アーチ形式で架設された。それほど景観を考慮した場所であると推測できる。

また、現在、近年の都市生活の24時間化に伴い、人々の夜間景観への関心の高まりから、橋梁のライトアップが全国各地で行われているように、隅田川でも幾つかの橋に対して行われている。しかし、今回対象とした区間では吾妻橋しか行われていない。

表－10 現状と照明シミュレーション

	現状	照明シミュレーション
吾妻橋		
駒形橋		
厩橋		
蔵前橋		

そこで、夜間においてその橋梁の持つ美しさをアピールする為の方法の一つであるライトアップにより、個性ある歴史的な構造デザインを強調することで夜間の都市の魅力をアップさせるとその橋梁の持つ美しさをアピールする為の方法の一つであるライトアップにより、個性ある歴史的な構造デザインを強調することで夜間の都市の魅力をアップさせると共に、周辺視点場の整備をして、人々の集まる空間を創造する事を本提案の目的とする。

表現方法として、思い描いたイメージを共有できるようにCG照明シミュレーションを行った。設定については3章と同様である。

(2) 現状

本計画を進めるにあたり、まず現地調査を行った。対象区間内では吾妻橋でしかライトアップはされていない。吾妻橋のライトアップ方法では特徴である水平成分を強調できていない。しかもグレアとなっている。駒形橋においては道路照明の数が多すぎるように感じる。厩橋は道路照明の取付け位置により橋の構造デザインを煩雑にしている。蔵前橋は道路照明器具が他の橋と比べてみても少ないので、夜間では完全に埋没してしまっている。

(3) 照明デザインの提案

それぞれの橋の現状及び提案した照明シミュレーション画像を表－10に示す。

a) 吾妻橋

吾妻橋は、地覆面を突き出し、橋脚を桁下に置くことにより桁の水平成分を強調している。また、水平成分が強調されている分、三連のアーチにリズム感が得られる。

これらの構造デザインの特長を活かし、次のような照明手法を用いることにより、吾妻橋の持つ構造デザインを引き立たせている。

- ・歩道部の桁下に照明器具を取り付けることにより水平成分を強調し、橋脚部にも連続して配置することで橋脚の位置を明確にしている。また、拱頂部にも光を当てることでアーチを強調している。
- ・アーチリブの下フランジ面を支承から照射することで三連のアーチにリズム感を与える。また、アーチリブを支承から照射することで側面においても、リズム感を創出している。

b) 駒形橋

高欄まで突き出たどっしりとした橋脚により中央径間のアーチリブをしっかり受け止めている。また、上路アーチ（側径間）と中路アーチ（中央径間）の複合形式である。

これらの構造デザインの特長を活かし、次のような照

明手法を用いることにより、駒形橋の持つ構造デザインを引き立たせている。

- ・水平成分を照らし出すことにより橋に安定感を出している。
- ・中央径間のアーチリブ内に照明器具を配置し、下方に照射することで照明器具を隠すことができる。また、リブを照らさなくても照射位置によりアーチ構造であることがわかる。
- ・橋脚を下方から照射することで、橋脚の存在感をアップしている。また、支承から照射することで中央径間と側径間の流れを創出している。

c) 厩橋

厩橋はアーチの連結部分を逆反りにすることにより、三連のアーチに連続感を出している。また、水平成分が強調されている分、三連のアーチにリズム感が得られる。これらの構造デザインの特長を活かし、次のような照明手法を用いることにより、厩橋の持つ構造デザインを引き立たせている。

- ・アーチの連結部分をスムーズに繋ぐために、チューブライトをリブの上下縁に配置し、輪郭を縁取った。
- ・歩道照明の位置を架設当時に戻すことにより歴史を感じさせる。また、この位置に配置することにより上部構造全体を明るく見せることができる。
- ・桁にもチューブライトを配置し、水平成分を強調することで安定感を創出する。

d) 蔵前橋

蔵前橋は、高欄まで突き出たどっしりとした橋脚を持っている。そのため安定感が感じられる。そのような橋脚で径間が区切られているため、吾妻橋ほど水平成分の強調は感じられない。

これらの構造デザインの特長を活かし、次のような照明手法を用いることにより、蔵前橋の持つ構造デザインを引き立たせている。

- ・アーチリブの上横構に蛍光灯を取り付けて桁下内部を照らし出し、外側の輪郭をシルエットで見せている。現在の吾妻橋と同じ部分を照らしているが、橋脚の違いにより蔵前橋の方が合っている。また、照明の配置を変えてグレアも考慮している。
- ・橋脚上部から橋脚を照射することにより、橋脚を強調して、特徴である半球状の水切りを浮かび上がらせることができる。

6. まとめ

道路照明については、道路照明を高欄照明にすることによりCGシミュレーション画像と同じ様な効果が得られ

ると考えられる。また、道路照明無しでも提案した照明手法を用いることによって代替できるように工夫することが重要である。このことから、景観演出のための照明と道路照明の機能を合わせ持つことにより、省エネルギー化にも貢献できる。

本研究で照明手法を28手法提案したが、これは歴史的橋梁の照明手法の基本となるものである。仮想提案のように組み合わせを考慮する事により効果を高めることができる。しかし、それぞれの照明手法の持つ効果を打ち消し合わないようになければならない。これら提案した照明手法を基本として、歴史的橋梁の照明計画において参考になればと考えている。

謝辞：本研究は財団法人前田記念工学振興財団の平成16年度研究助成金の交付を受けた研究成果である。ここに記して感謝の意を表わします。

参考文献

- 1) 東京都建設局，東京の橋と景観，1987
- 2) 渡辺明子，窪田陽一：震災復興橋梁における細部構造デザイン手法の比較研究，土木史研究，No. 17，pp. 197-206，1997
- 3) 産業調査会辞典出版センター，照明辞典 Lighting Design，1998
- 4) 鹿島出版会，Space Design 9808，1998
- 5) 小糸工業株式会社，美観照明，1994
- 6) 都市の夜間景観研究会，都市の夜間景観の演出 光とかげのハーモニー，1990
- 7) 中島龍興，近田玲子，面出薫，照明デザイン入門，1995

(2006.4.17 受付)