

阪神高速湾岸線の長大橋フルカラーLED ライトアップ設計

—天保山大橋の事例—

阪神高速道路(株)保全交通部システム技術課 井藤 貴文
阪神高速道路(株)管理本部管理企画部システム保全課 井上 雅生
阪神高速道路(株)管理本部大阪保全部施設工事課 原田 克彦

要 旨

阪神高速 4 号及び 5 号湾岸線では 7 橋の長大橋に対し建設当初からライトアップ設備を導入しているものの、一部の橋において設備の劣化が著しい状況となっていたが、この度、天保山大橋にてフルカラーLED 灯具を採用したライトアップ設備への更新が決定された。

本稿では、阪神高速において初めて採用する、フルカラーLED 灯具によるライトアップ設備の設計内容について述べる。

キーワード: ライトアップ, LED 灯具

はじめに

日本人が初めて明りを手に入れたのは、旧石器時代のたき火と言われており明りの燃料も木、油脂、石油、ガスを変遷して現在は電気での明りが一般的になっている。大阪市においても明治 21 年に大阪電灯株式会社が設立され、電気供給の普及により『夜景』が誕生した。さらに明治 36 年に開催された第 5 回内国勸業博覧会で日本最初のイルミネーションが実施されており、大正 15 年の電気大博覧会では、直接光で照らすイルミネーションから間接光で構造物等を照らすライトアップでの演出へと変わっていった。

阪神高速においても、地域、社会から愛され信頼される阪神高速の実現に向けて、4 号及び 5 号湾岸線では 7 橋の長大橋に対し建設当初からライトアップ設備を導入しているものの、一部の橋に

において設備の劣化が著しい状況となっている。

しかしながらこの度、天保山大橋、港大橋、東神戸大橋において万博開催の機運醸成に資するものとして LED 灯具による更新が決定され、天保山大橋に関しては、万博その他イベントとのコラボレーションや、観光客とのコミュニケーションツールとしての活用を目的として、阪神高速において初めて、フルカラーLED 灯具を使用する計画となった。

フルカラーLED 灯具によるライトアップは、設計時点において設計基準第 5 部施設設計基準編（以下、設計基準とする）に規定されていなかったため、どの程度の明るさで照らす必要があるか等、ライトアップとして重要な要素を検討した。本稿では、主にその内容について述べる。

1. 条件の整理

最初に、天保山大橋における諸元と、設計における要件を整理して課題を明確にする必要があり整理した結果を記す。

1-1 対象構造物等諸元

名称	天保山大橋
路線名	5号湾岸線
種別	3径間連続斜長橋
長さ	640 m
主塔高さ	AP-2 (岸 P-10) OP + 157 AP-3 (岸 P-11) OP + 151.5
ケーブル	9段 72本 (安治川下流側の36本のみライトアップ)
供用年	平成3年

1-2 設計要件

要件 1 フルカラーLED 灯具を採用し、既設灯具と同じく主塔及びケーブルを照らす。

要件 2 過去設置灯具にて、構造物に対し厳密な耐風設計を実施していることより下記条件を満足すること。

- ・灯具台数や設置位置を変更しないこと。
- ・灯具の荷重は、既設灯具以下とする。
- ・灯具の受風面積は、既設灯具以下とする。
- ・既設整流器盤を灯具に置換する際は、既設の荷重並びに受圧面積以下とし複数台設置時には合計値が超えないこと。

1-3 課題の整理

諸元並びに設計要件より、何を照らし、どのようなものを設置するかは定義されているが、どのような明るさでライトアップするかの基準がないため、検討を行う必要があった。次章では、明るさの基準設定について検討した結果を述べる。

2. 明るさの基準設定

2-1 照度もしくは輝度の調査

明るさの基準となる照度もしくは輝度を過去の事例並びに国際照明委員会 (以降、CIE) のライトアップにおける明るさの基準を調査し考察した。ただし、調査対象においては白色光のみとしており、他色による等価な印象においては後述する。

(1) 阪神高速の事例

当社資料¹⁾と照明学会誌²⁾の調査結果を記す。

天保山大橋 3 cd/m²

天保山大橋においては 3 cd/m² の平均輝度を与えるために必要な照度の値を計算しており、主塔面の塗装色より反射率は約 50%で、式(1)へ当てはめると 18.8 lx となる。同様にケーブルにおいては、反射率は約 70%で、13.5 lx となる。この時、 E は照度 (lx)、 L は輝度 (cd/m²)、 ρ は反射率である。

$$E = \pi \cdot L / \rho \quad (1)$$

また、下記のとおり湾岸線橋梁のライトアップの基準についても記載されており、輝度は航行船舶や通行車両の安全性、周辺地域の環境を重視し 3 cd/m²程度、視点場は半径 3 km 以内、周辺の背景輝度は 0.1~0.3 cd/m²程度と記載されている。

港大橋	3 cd/m ²
東神戸大橋 (主塔)	5 cd/m ²
(ケーブル)	3 cd/m ²
西宮港大橋	3 cd/m ²

(2) 他橋梁の事例

照明学会誌の調査結果を記す。

明石海峡大橋 (主塔)³⁾ 4 cd/m² (設計時)

船舶航行への影響や周辺の明るさとの調和を考慮し運用では 1.5 cd/m²としている。また、表-1 に示す CIE 基準⁴⁾の「周辺の明るさ：暗」、「淡い色の仕上げ」を採用している。

レインボーブリッジ⁵⁾ 20~30 cd/m²

設置されている東京湾エリアは、他の港湾エリアに比べて背景輝度が高いことが特徴である。

(3) CIE 基準

表-1 の代表的な建築材料とその反射率、推奨

照度より推察する。

表-1 建物に対する照明推奨照度

照明する表面の材料	推奨照度 (lx)		
	周辺の明るさ		
	暗	中	明
明るい石, 白い大理石	20	30	60
普通の石, 明るい大理石	40	60	120
暗い石, 暗い大理石	100	150	300
建築用コンクリート	60	100	200
自然アルミニウム	200	300	600
濃い色の仕上げ	120	180	360
中程度の仕上げ	40	60	120
淡い色の仕上げ	20	30	60

前項でも述べた通り、明確に CIE 基準を採用していることを確認できているのは明石海峡大橋であるが、天保山大橋も過去の資料より CIE の推奨値である「周辺の明るさ：暗」、「淡い色の仕上げ」の 20 lx を採用していると推察される。

(4) しゅん工時の測定結果

建設時に実施した測定結果に、初期値補正として保守率を含めた値を示す。

主塔 正面	6.5~6.9 cd/m ² (40~43 lx)
側面	3.2~4.7 cd/m ² (20~30 lx)
ケーブル	3.1~4.9 cd/m ² (14~22 lx)

(5) 調査のまとめ

過去の当社、他社の資料、CIE、測定結果の 4 種類の情報を確認した結果、天保山大橋の周辺の明るさは「暗」で必要輝度は 3 cd/m² (18.8 lx) 以上と考察できる。また、橋梁設置位置より 3 km 以上離れると視野内に占める面積が小さくなり、ライトアップの効果が期待できないため視点場は 3 km 以内とした。背景輝度は建設当時に 0.1~0.3 cd/m² 程度と計測されているが、それから約 30 年経過しており、周辺環境が変化している可能性があるため、現在の環境を測定する必要がある。

2-2 背景輝度の現地調査

ライトアップは、対象の構造物と背景輝度の比が大きい程視認しやすくとされており、ライトアップの設計にあたり背景輝度は重要な要素であることより、夜間に現場調査を実施した。

(1) 測定内容

年月日	2020年10月20日(火)
時間	17:00~25:00
天候	晴
日の入り	17:17(大阪)
月の入り	20:01(大阪)
月齢	3.3歳
計測機器	CCD受光素子, 計測用PC, デジタルカメラ, 三脚(写真-1)
計測回数	22:00以前, 以後の2回



写真-1 計測機器

視点場は天保山大橋から半径 3 km にある範囲の 4 箇所を選定して測定を実施した。

- ①アークホテル大阪ベイタワー 約 2.8 km
- ②朝潮橋 PA 約 1.1 km
- ③Zepp OSAKA 約 0.4 km
- ④WTC (大阪府咲州庁舎展望台) 約 2.9 km

(2) 調査結果

撮影した画像の一例を写真-2 に、撮影画像を計測用 PC にて計算した調査結果を表-2 へ示す。

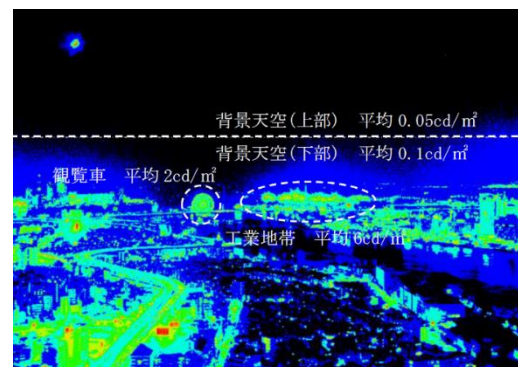


写真-2 背景輝度画像

表-2 背景輝度

場所	背景輝度 (cd/m ²)	
	22:00 以前	22:00 以後
①	0.05～0.1	0.03～0.07
②	0.05～0.08	0.03～0.06
③	0.02～0.3	0.02～0.25
④	0.05～0.4	—

背景輝度以外に港湾施設の電球色の明かりが 6～15 cd/m² あり、懸念していた天保山大観覧車は 2 cd/m² であり、測定時点では 20:00 に消灯することが判明した。また、隣接するホテルのライトアップにより、AP-3 (桜島側主塔) の一部が電球色に照らされていることが判明した。

(3) 現場調査のまとめ

現場調査の結果、背景輝度は 0.02～0.3 cd/m² の範囲であり、建設から 30 年が経過した現在も過去資料と同等であった。また、各施設の営業時間に伴う施設輝度の変化も把握でき、点灯時間を考慮したフルカラーLED の点灯は夜間の景観演出として効果があると推察される。なお、港湾施設の照明は輝度が高いが電球色であるため、白色系の点灯による色の差別化により、天保山大橋のライトアップへの影響はないものと考えられる。

2-3 保守率の設定

照度もしくは輝度の調査並びに背景輝度の現場調査により基準となる白色の明るさについては把握できたが、フルカラーLED 灯具における保守率についても設計基準に規定されていないことより、検討を行い設計計算への反映を行った。保守率とは光源の働程 (経時変化)、光源や灯具のほこり等の埋積等による汚れにより照明器具そのものの明るさ (以降、光束) が減少するため、これを補う目的であらかじめ見込んでおく係数のことをいい、式(2)で算出される。

$$M = Ml \times Md \quad (2)$$

Ml : 光源の設計光束維持率 (光源の光束維持率に残存率を加味した寿命時の光束維持率)

Md : 照明灯具の設計光束維持率 (灯具の光学

系劣化と光源・灯具の汚れを加味した光束維持率)

単色素子である道路照明の保守率は設計基準に規定されており、*Ml*は国土交通省と同様の考え方⁶⁾を踏襲し 80%、*Md*は平成 23 年度の当社電気通信技術委員会にて実施した断面交通量毎の実態調査を踏まえて 0.85～0.915 の範囲となっている。

フルカラーLED は複数色の LED 素子で色に変化できるように作られており、道路照明のような単色 LED 素子とは*Ml*が異なる可能性があるため、主要メーカーの灯具を調査した結果を表-3 へ示す。

表-3 光源の設計光束維持率値

	単色 (白色)	フルカラー
A 社	85%	70%
B 社	85%	85%
C 社	85%	75%

表-3 より単色は 85%、フルカラーは 70～85% の範囲となることが確認できた。*Ml*は最低値を取り 70%を採用した。また、*Md*は設計地点の断面交通量毎により異なるため、確認を行った。

表-4 天保山大橋を含む範囲の断面交通量

路線名	範囲	台数
岸線上り	北港南～天保西	41,686 台/日
岸線下り	天保西～北港南	42,119 台/日

表-4 は 2019 年の特殊なイベントがない平日の断面交通量であり、1 日当たり約 42,000 台が通行していることが確認できる。設計基準の 25,000～50,000 台/日の範囲に該当するため、*Md*は 89.2%を採用した。今回決定した*Ml*と*Md*の値を式(2)へ当てはめ保守率は 62%で決定とした。

本線付近へ設置する灯具について保守率を決定したが、本設計では橋脚基礎等の本線から離れた部分へ設置する灯具もあるため、道路照明と同じ*Md*を採用することに懸念があった。そこで、海上保安庁の航路標識灯のガイドライン⁷⁾を参考に保守率を検討した。ガイドラインにおいては、LED の保守率 77%の記載のみであり、その内訳

である Ml 並びに Md の値は明記されていない。航路灯メーカーの灯具を調査した結果、灯色自体は複数（赤、緑、黄、白）あるものの、色が変わりできない単色 LED 素子であることがわかった。従って、航路灯の Ml はライトアップの単色 LED 素子である白色灯具と同等であると想定されるため、主要なメーカーで共通である 85% と推定した。航路標識灯の保守率 77% に Ml を割り戻して Md を決定後、フルカラー LED の Ml である 70% に置き換えて保守率を算出すると、63% となった。

結果として、本線付近は 62% で本線から離れた部分は 63% となり、差は 1% となった。差が僅かであることから、厳しい値の 62% で統一とした。

2-4 明るさの基準設定

ここまでの、調査並びに検討において明るさに関する基準を

- 光の色 白色光
- 輝度 3 cd/m² (照度 18.8 lx ≒ 20 lx)
- 背景輝度 0.02~0.3 cd/m²
- 保守率 62%
- 視点場 半径 3km 以内

で設定し、設計へ反映することとした。

3. フルカラー LED 灯具による色の印象

フルカラー LED 灯具の明るさについての基準は CIE にも規定されていないが、図-1 を参考として定量化の検討を行った。

3-1 Nakano ほか (1999) の式⁸⁾で計算した等明るさ輝度比

同じ輝度でも色によって明るさの印象は異なる。Nakano ほかは、色光で照明された対象物の明るさ (LT) の印象と同じになる白色参照光の明るさ (LR) の比 (B/L) を求めている。

$$B/L = LR/LT \quad (3)$$

これによれば、白色光の明るさ 1 に対して、緑色光 0.8、赤色光 0.5、青色光 0.6 の明るさで等価な印象となることが示唆される。ただし、研究間

で B/L 曲線は異なっており、1 つの参考として考える必要がある。

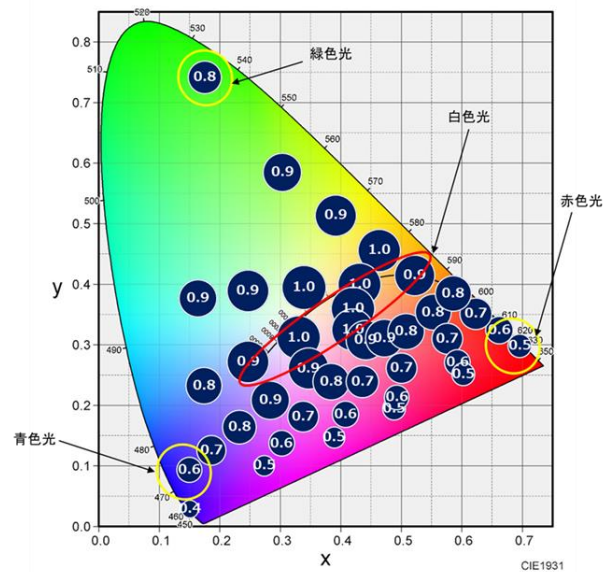


図-1 Nakano ほか (1999) の式で計算した等明るさ輝度比グラフ

3-2 印象の参考値

図-1 の値を基に白色を 3 cd/m² とした場合の三原色における等価な輝度は表-5 なる。

表-5 三原色における等価な輝度

色	明るさ輝度比	等価な輝度
赤色光	0.5	1.5 cd/m ²
緑色光	0.8	2.4 cd/m ²
青色光	0.6	1.8 cd/m ²

フルカラー LED 灯具は、基本的に三原色の LED 素子の組み合わせにより、さまざまな色を発光しているが、最も高い輝度になるのは LED 素子が全灯時であり白色光となる。表-6 へ灯具の輝度比並びに白色光で 3 cd/m² の輝度があると仮定した場合の三原色ごとの結果を示す。

表-6 灯具の輝度

色	輝度比	輝度
白色光	1	3 cd/m ²
赤色光	0.28	0.84 cd/m ²
緑色光	0.63	1.89 cd/m ²
青色光	0.08	0.24 cd/m ²

例として、最も条件の厳しい青色光においては、青色光は白色光に比べて 0.6 倍の明るさで等価に見えるが、灯具の明るさが 0.24 cd/m² しかないため、白色光に比べて約 1/8 の明るさに見えることになる。この対策としては、原色ではなく同系色のできるだけ白色光に近い色を使用することで輝度を確保することが可能と思慮される。

3-3 ライトアップの見え方イメージ

照度分布図計算に基づくパースによりライトアップの見え方イメージを作成した。パース作成条件としては、主塔、ケーブル共に白色光、赤色光、緑色光、青色光のパースを作成した。作成に関しては写真画像を用いたフォトタッチにて作成した。なお、パースは照度計算結果をもとに製作者の感覚で明るさを編集し作成されている。また、モニターの解像度、コントラスト、明度、シャープネス等の画像の編集で印象が変化するためあくまでイメージとしてとらえることを推奨する。



図-2 白色光パース

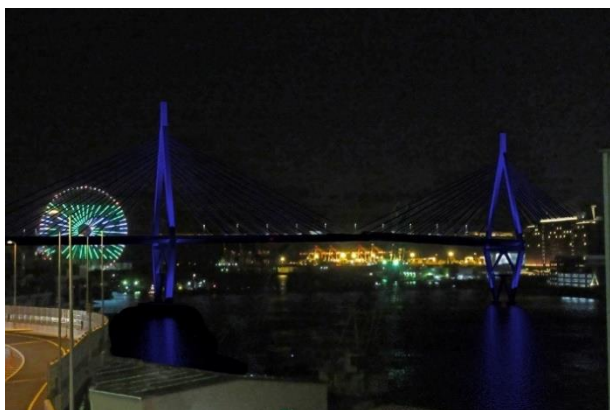


図-3 青色光パース

参考として図-2、図-3 に白色光並びに青色光のパースを示すが、青色光によるケーブルへのライトアップが夜空に溶け込んでおり目立っていないように見える。

4. 天保山大橋ライトアップの設計内容

主要な条件の確定並びに印象の把握により設計を実施できる土壌が醸成されたので、設計の内容と工夫点を示す。

4-1 性能規定と仕様規定

灯具の選定については、灯具メーカー毎の特色があることより、仕様を規定せずに性能規定として要件を満たすようにしている。

- ・輝度、保守率、反射率の指定
- ・灯具台数の指定
- ・受風面積、荷重の指定
- ・灯具の物理要件並びに電気要件の指定
- ・フルカラーLED素子の品質の指定
- ・照らす部位の指定

を要件指定している。

その他の制御機器関係は必要要件を仕様規定としている。

4-2 特殊な設置場所による仕様の規定

天保山大橋は大阪湾に面した安治川内に設置されているため、灯具並びに機器類の重耐塩仕様は必須としている。また、本線周辺と基礎部等へ設置する灯具並びに機器類は区別した防水等級で規定している。防水等級とは、日本工業規格（JIS）において、電気機械器具の外郭による保護等級（JIS C 0920）として防水や防塵の程度について規定されている。IPX4（防沫型）は飛沫に対する保護の規定であり、本線付近に設置されている灯具並びに機器類に適用している。

IPX6（耐水型）は波浪に対する保護の規定であり、河川内にある AP-2（築港側主塔）の主塔基部へ設置する灯具へ適用している。ただし、AP-2（築港側主塔）の基礎部へ設置予定であつ

た通信機器においては、放熱処理の関係で IPX6 の対応が出来ないことより、調整を行い、強風時に構造物に対する影響が極力少ない中間水平材へ設置することにし IPX4 とした。

4-3 特殊な仕様書の作成

明るさ等を明確にするため特殊な仕様書を作成した。

(1) 輝度測定工仕様書

道路照明設備の照度測定においては、阪神高速の電気通信工事仕様書に規定があるが、ライトアップの輝度測定については規定がないため、明るさの確認を行うための仕様書を作成した。

内容は、輝度測定、反射率測定、色温度測定（参考）、色度測定（参考）を測定機器にて部位毎に行う。また、机上では実際に測定できるかの判断が困難なため、輝度計を用いた現場調査を実施し参考測定点として反映している（表-7）。

表-7 参考測定点

主塔名	部位	方向	本線	①	②	③	④	⑤
AP-2	ケーブル部	港区側	○					
		此花区側	○					
	主塔上部	正面部	港区側	○				
		側面部	此花区側	○				
	主塔下部	側面部	上流側/上り					○
			下流側/下り			○		
		正面部	港区側	○				
			此花区側					○
AP-3	ケーブル部	港区側	○					
		此花区側	○					
	主塔上部	正面部	港区側	○				
		側面部	此花区側	○				
	主塔下部	側面部	上流側/上り					○
			下流側/下り			○		
		正面部	港区側				○	
			此花区側					○
側面部	上流側/上り					○		
	下流側/下り		○					

- ①港区港晴 5 丁目護岸付近
- ②天保山マーケットプレイス護岸付近
- ③天保山渡船築港乗り場付近
- ④此花区桜島 1 丁目ライブホール付近
- ⑤此花区桜島 1 丁目ホテル及び AP-3 橋脚付近

(2) 照明制御ケーブル仕様書

既存の光源であるメタルハライドランプ等からフルカラーLED へ更新することにより、輝度の変更並びに発光色の変更が制御できるようになった。演出照明やライトアップの制御は、世界的に DMX512 の通信プロトコルが主に利用されており、首都高速のレインボーブリッジも同様の仕様である。

DMX512 は、制御装置から灯具へ信号を送るだけの単純なものであるが、信号の品質を担保するために専用ケーブルの仕様が必須とのメーカー見解であったため仕様書を作成した。

(3) バーチャルリアリティ作成工仕様書

フルカラーLED 灯具によるライトアップの実施にあたっては、多くの正解があるなかでの色の指定や演出内容の意思決定が困難になる恐れがあるため、一助として必要に応じて工事内で実施できるようにバーチャルリアリティ（以降 VR）作成工仕様書を作成した。

表-8 CG, VR 比較表

内容	CG	VR
精細度	精密	CGに劣る
臨場感	肉眼に近い	臨場感が高い
照度計算値の反映	可能	リアルタイムのため処理能力に依存
視点	固定	任意に選択
色の変化	固定	任意に選択
利用シーン（想定）	・デザイナー等 識者への説明 ・技術者への説明	・社内での説明 ・お客さまや関係者 の方への共有
利用目的（測定）	デザインの決定者が少ない時に有効	複数の決定者の確認時に有効

表-8 は CG と VR の簡易な比較をしたものであり想定している利用シーン、利用目的より VR での作成とした。主な内容としてはハードウェアとソフトウェアに大別し仕様を記載している。また、VR での確認内容としては、シミュレーションに基づく計算値で点灯条件ごとに作成範囲内の指定部位・方向の輝度値、照度値及び色彩分布について確認できることにしている。

おわりに

フルカラーLED 灯具の設計基準がなく構造物に対して厳密な耐風設計がされている天保山大橋において過去の事例、国際的な指標及び現場調査結果を基に、天保山大橋における明るさの基準を設定し設計へ反映したが、色や明るさのデザインを反映させる設備という、社会における明確な基準がないなかで試行錯誤しながらの設計になった。今後、この設計内容をもとに現地での施工が行われるが、施工後の見え方を評価するなどして、今回の設計手法を評価する必要がある。

参考文献

- 1) 林秀侃ほか：湾岸線橋梁のライトアップ，阪神高速道路公団技報第14号，1995.
- 2) 乾福美ほか：139 阪神高速道路湾岸線東神戸大橋の照明，照明学会全国大会，1995.
- 3) 新井正人ほか：明石海峡大橋の景観照明設備，J. Illum. Inst. Jpa., Vol.83, No.1, 1999.
- 4) CIE Pub.94：Guide for Floodlighting, 1993.
- 5) 塩野清彦ほか：レインボーブリッジ景観照明の計画と実施，J. Illum. Inst. Jpa., Vol.78, No.4, 1994.
- 6) 国土交通省：LED 道路・トンネル照明導入ガイドライン（案），2015.
- 7) 海上保安庁：航路標識の設置及び管理に関するガイドライン，2018.
- 8) A simple formula to calculate brightness equivalent luminance, Proceedings of the CIE24th Session, 1, pp. 33-37, 1999.

FULL-COLOR LED LIGHTING DESIGN FOR LONG BRIDGES ON THE HANSHIN EXPRESSWAY WANGAN ROUTE —LIGHTING THE TEMPOZAN BRIDGE—

Takafumi ITO, Masao INOUE and Katsuhiko HARADA

There are seven long bridges on the Hanshin Expressway Wangan Route that have been equipped with a setup for bridge lighting since their initial construction. The lighting systems had deteriorated over time, especially significantly on some of the bridges, and it was decided to replace the one on the Tempozan Bridge with a new lighting system using full-color LED light fixtures.

This paper describes the design details of the lighting system with full-color LED light fixtures, which is the first of such systems to be adopted on the Hanshin Expressway.

井藤 貴文



阪神高速道路株式会社
保全交通部 システム技術課

Takafumi ITO

井上 雅生



阪神高速道路株式会社
管理本部 管理企画部
システム保全課

Masao INOUE

原田 克彦



阪神高速道路株式会社
管理本部 大阪保全部
施設工事課

Katsuhiko HARADA