

一般高架橋における点検結果の 4D 表示および活用方法の検討

山木誠也¹・服部匡洋¹・安藤翠²

¹ (一財) 阪神高速先進技術研究所調査研究部橋梁・構造研究室

² 阪神高速技術(株)技術マネジメント部保全マネジメント課

要約

特殊橋梁は構成部材が多く部材番号が複雑であり、橋梁全体の損傷の把握に多大な時間を要する。そこで、これまで東神戸大橋を対象に既存の 3D モデル及び 3D 表示ツールを用い、点検結果に時間軸を加えた 4D 表示させることで、損傷の全体像の把握や損傷進展箇所の特定を可能にし、長大橋の維持管理の効率化に繋がる可能性を示した。一方で、阪神高速道路における特殊橋梁が占める割合はごく一部であり、一般高架橋に対してもこの 4D 可視化技術を用いることで点検・診断・補修計画立案の効率化を実現できる可能性があると考えられる。このため、本検討では一般高架橋の 1 橋梁を対象に点検結果の 4D 可視化を試み、活用方法について検討した。

キーワード: 点検結果, 3D 表示, 4D 表示, Google Earth Pro

1. はじめに

我が国では道路橋が約 73 万橋存在する。その多くが高度経済成長期以降に建設されており、2029 年には建設後 50 年を経過した橋梁の割合は全体の 52% となる。さらには事後保全から予防保全への転換など、今後ますます橋梁の維持管理が重要となることが想定される。このような背景から管理者や大学といった様々な組織により 3D モデルや AR を用いた点検結果の可視化により全体像の把握など、維持管理の効率化を図る取り組みが行われてきた^{1),2),3)}。

阪神高速道路においても、供用開始から約 60 年が経過し、構造物の老朽化が着実に進んでいる。阪神高速グループビジョン 2030⁴⁾では「3.世界水準の卓越した都市高速道路技術で発展する阪神高速」を掲げ、都市高速道路の管理の技術・経験を活かしたメンテナンスしやすい高速道路の開発に挑戦している。その取り組みのひとつとして、過年度には部材数が多くかつ複雑な特殊橋梁のひとつである東神戸大橋を対象に、既存の耐震設計用動的解析モデル（以下、動的解析モデル）および地理情報表示ソフトを利用した点検結果の 4D（3D に時間軸を追加）表示を行うことで（図-1）、損傷分布・推移を視覚的に捉え、補修計画の立案等、維持管理の効率化に繋がる可能性を示した⁵⁾。

一方で、阪神高速道路における特殊橋梁が占める割合はごく一部であり、多くの割合を占める一般高

架橋に展開できれば更なる維持管理の効率化に資すると考えられる。本検討では損傷の要因や関連性の分析に適用できるか評価することを目的に、過年度の東神戸大橋を対象とした検討で得られたノウハウを既設の一般高架橋に適用し、3D モデルに日常および定期点検結果を表示して実務での活用性を検証する。



(a) 俯瞰図



(b) 部分着目

図-1 東神戸大橋における点検結果の 4D 表示⁵⁾

2. 3D モデルの構築

点検結果の可視化には、点検結果を映し出す 3D モデルと地理情報表示ソフトが必要である。前述の通り、過年度の東神戸大橋を対象とした検討で得られたノウハウを活用し、既存の動的解析モデルや地理情報表示ソフトを使用して、3D モデルの表示を行う方針とした。

本検討は、一般高架橋を対象とした損傷表示の試行として、阪神高速道路内の 1 橋梁を対象とした。対象橋梁は下部構造が鋼製ラーメン橋脚、上部構造が 3 径間連続鋼床版箱桁で構成される橋梁のうち、老番側にある側径間の 1 径間を対象とした。

(1) 点検結果の区分方法の確認

点検結果を 3D モデルに過不足や重複なく表示させるには、どのように部材を分類して点検結果を区分しているかを把握しておく必要がある。日常および定期点検では上部構造物、下部構造物、はり上構造物、路面構造物に分類され、それぞれ点検が実施されている。

対象橋梁は箱桁を 3 つ有する橋梁であり、図-2 に示すように上部構造は橋軸直角方向には G1～G3 の箱桁とその両隣の A～D の計 7 箇所のエリアが存在し、橋軸方向には B17～B23 の横桁で区切られている。また、図-2 の丸印は鋼床版の損傷箇所を示しており、対象橋梁では B（橋軸直角方向）-17（橋軸方向）の区画に損傷があることを示している。横桁は主桁との添接部と中央部に分かれて損傷が分類される。下部構造は橋脚の梁、柱、基礎で分けられ、損傷が分類される（図-3）。はり上構造は支承（図-4）や伸縮装置、落橋防止構造で分けられ、損傷が分類される。路面構造は舗装や標識、高欄、中央分離帯に分けられる。図-5 が示すとおり対象橋梁は片側 3 車線であり、舗装の損傷はどの車線上にあったかが登録される。

(2) 3D モデル

これまでの検討により、点検結果を表示させる上では必ずしも実構造物を忠実に再現する必要はなく、また既存の動的解析モデルを活用し座標等の情報を取得することで、一からモデルを作成するよりも効率的に作成できることを確認した。阪神高速道路においては過年度に全路線を対象とした広域の地震応答シミュレーションが実施されており⁶⁾、その時に作成された動的解析モデル（以下、全路線モデル）から任意の箇所を抽出することで、モデル作成を省力化できる。既存の全路線モデルから抽出した対象箇所の 3D モデルを図-6 に示す。

全路線モデルは節点と要素で形成される骨組構造で形成されており、橋脚柱は断面形状の情報を持つファイバー要素でモデル化されている。一方で橋脚梁や上部構造は構造解析に必要な数値情報（断面積や断面二次モーメント等）は有するものの、断面形状の情報を持たず、また橋脚梁の張り出しは無視さ

れているため（図-7）、点検結果をプロットできるように 3D モデルを改良し、梁や上部構造にも断面形状の情報を与える必要がある。

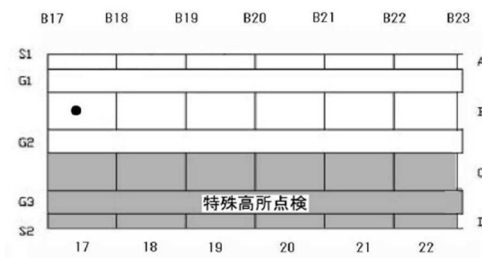


図-2 上部構造点検結果

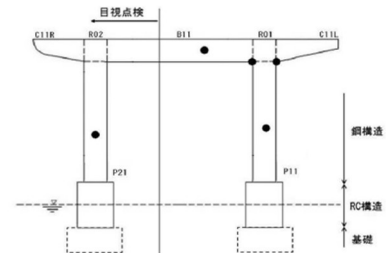


図-3 下部構造点検結果

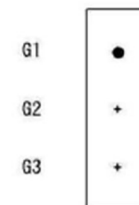


図-4 はり上構造点検結果

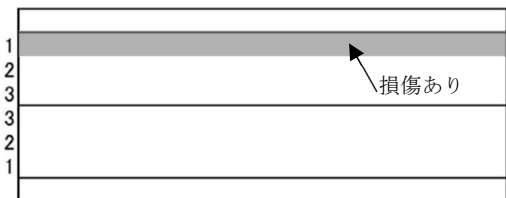


図-5 路面構造点検結果登録イメージ

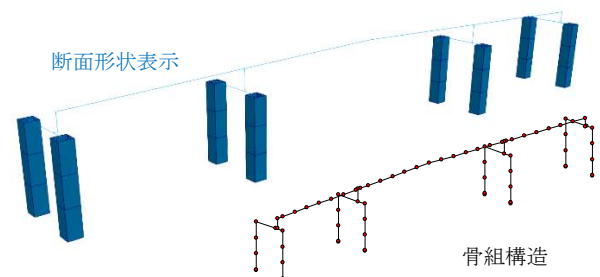


図-6 抽出した動的解析モデル

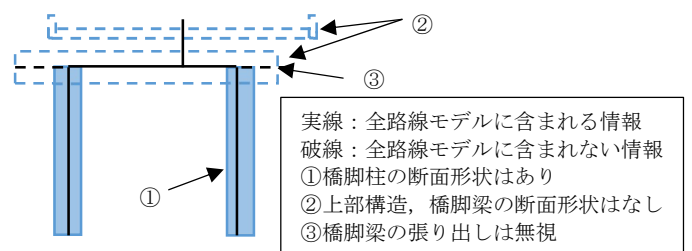


図-7 全路線モデルが持つ情報

改良した 3D モデルを図-8 に示す。点検結果を表示させるために橋軸方向、橋軸直角方向、高さ方向に分割した最小単位を本検討ではポリゴンと呼ぶこととする。改良箇所を次に示す。

a) 上部構造の断面形状の追加

上部構造は一般部、横桁部、支承部、伸縮装置部の 4 種類の代表断面を作成した (図-9)。図-10 に示すような上部構造の代表断面の配置を行うため、横桁位置や桁端部に新たに節点を追加した (図-11)。これは、断面形状が節点間の要素に割り当てられるものであり、全路線モデルにおいては上部構造の節点は支承部以外では等間隔に設定されていることから、そのままでは横桁部や伸縮装置部を配置できないためである。点検結果の区分と 3D モデルの断面が 1 対 1 対応となるように 3D モデルの断面を分割する必要がある。前述した点検結果の区分方法を踏まえ、本検討では舗装を片側 3 分割、横桁を 3 分割、鋼床版を 7 分割し、それ以外の部材は分割なしとした。

b) 橋脚梁の張り出し部の追加

橋脚梁の張り出し部を追加するために橋脚柱と橋脚梁を結ぶ節点から外側に節点を追加した (図-11)。

c) 橋脚梁の断面形状の追加

追加した張り出し部を含め、橋軸直角方向に一定の矩形断面を追加した。梁軸心までは橋脚柱の断面形状が配置されているため、梁軸心が断面下端となる断面形状にすることにより、橋脚梁と橋脚柱の断面の重複を避けた (図-12)。

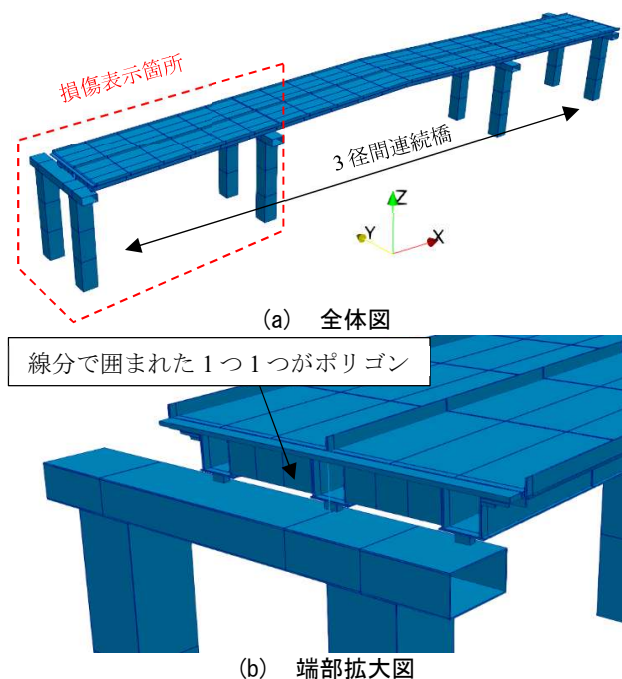


図-8 改良 3D モデル (断面形状表示)

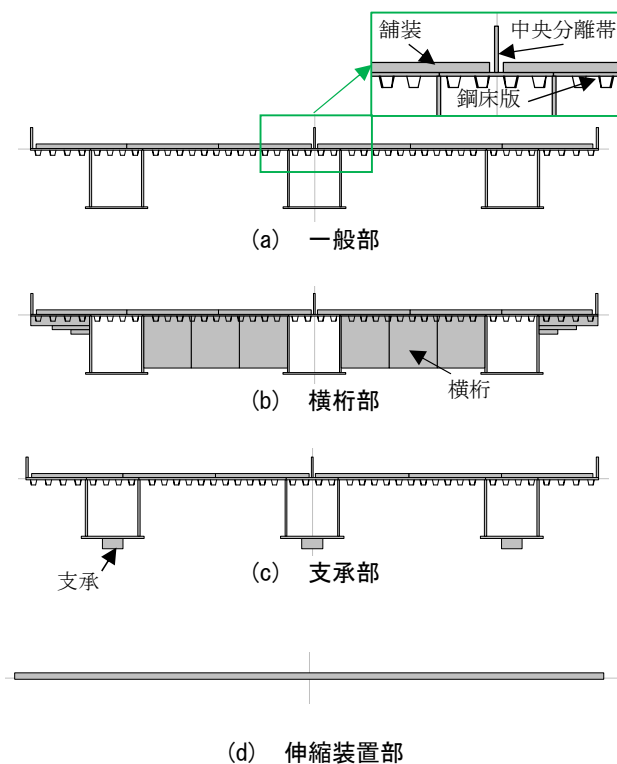


図-9 上部構造代表断面

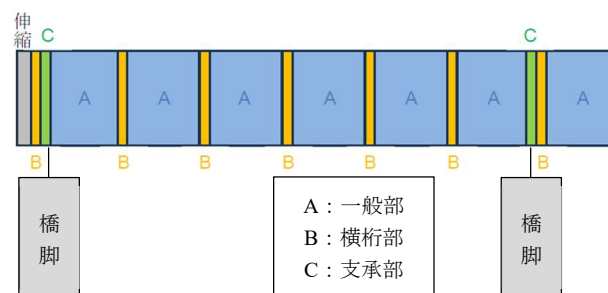


図-10 上部構造代表断面の配置

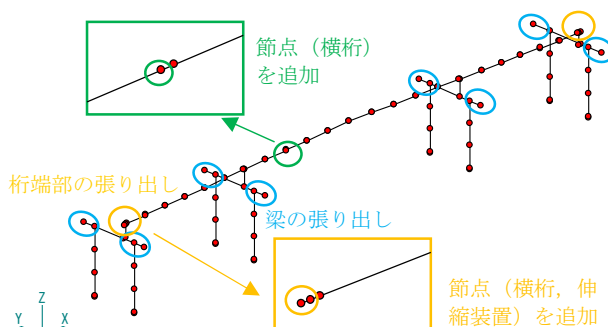


図-11 骨組構造の改良箇所

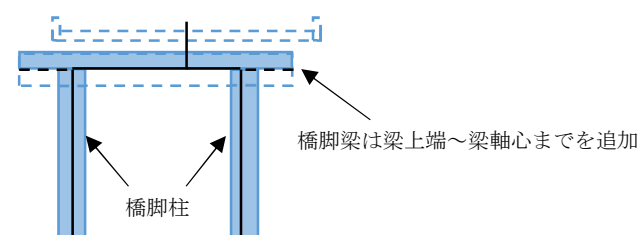


図-12 橋脚梁の断面形状

(3) 地理情報表示ソフト

地理情報表示ソフトは、ArcGIS 等多数市販されているが、Google Earth Pro⁷⁾を用いた。Google Earth Pro は衛星画像を表示する Google 社提供のフリーソフトであり、地形の立体表示も可能な 3D 地理情報表示ソフトである。Google Earth Pro を用いた理由は、多くの利用者がいつでも簡単に使える利便性を有し、時間軸を考慮した 4D 表示機能などを備えていることから、求める機能を概ね実現できると考えたためである。

Google Earth Pro に情報を表示するファイル形式には、KMLを用いた。KML(Keyhole Markup Language) は、地理データと関連コンテンツを格納するための XML ベースの形式で、OGC(Open Geospatial Consortium)の公式標準である。KML は簡単にインターネットで配信して、Google Earth Pro や ArcGIS Explorer など多くの無料アプリケーションで表示できるため、非 GIS ユーザーと地理データを共有するための一般的な形式とも言われている⁸⁾。

(4) 3D モデルの表示

本検討用に改良した 3D モデルを Google Earth Pro 上にプロットしたものを図-13 に示す。図-13(a)～(c)では部材ごとに表示する色を分けている。部材が入り組んでいる箇所では内部構造の部材を確認しづらいため、図-13(d)に示すチェックボックスをクリックすることで部材ごとに表示/非表示を切り替えられるようにした。

3. 損傷の 3D 表示

(1) 損傷の表示方法

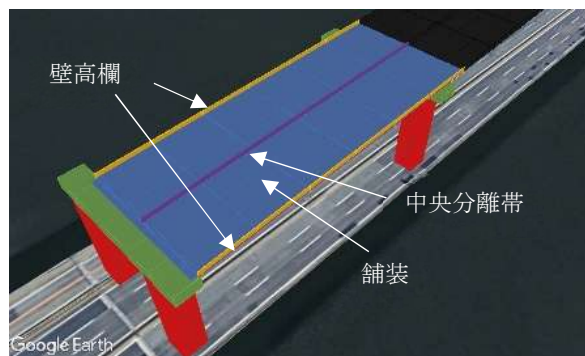
本検討では架空の損傷を表示している。その理由は、一般的に損傷の関連性があると考えられる鋼床版のき裂（以下、き裂）、舗装のポットホール（以下、PH）を架空の損傷として選定し 3D 表示することで、損傷の要因・関連性を評価し易いと考えたためである。損傷の表示方法はポリゴンを着色あるいは損傷箇所にピンを立てることとし、損傷ランクごとに色を分ける。ランクごとに対応する色を表-1 に示す。「損傷報告なし」は点検実施後、損傷報告のなかった部材、対象外は本検討で対象としなかった径間を指す。

(2) 損傷の表示パターンの比較検討

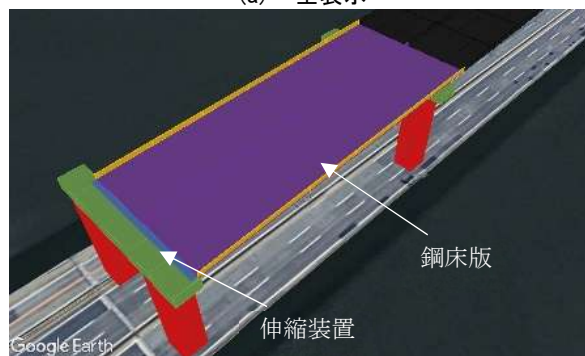
迅速な状況把握、損傷の関連性の評価をし易い表示パターンを検討するため、き裂と PH の表示方法を着色とピンで入れ替え、図-14 に示す 4 パターンでの比較を行った。ピン表示する際にき裂と PH のアイコンが一緒だと識別できないため、き裂は「◎」、PH は「△」で表示している。

いずれのパターンにおいても損傷が発生していることが俯瞰して分かる。

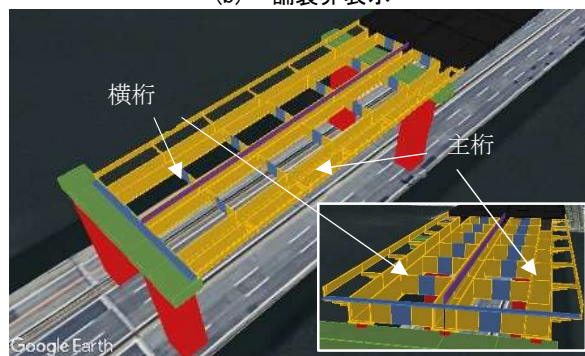
図-14(a)、(c)はき裂を確認するために舗装ポリ



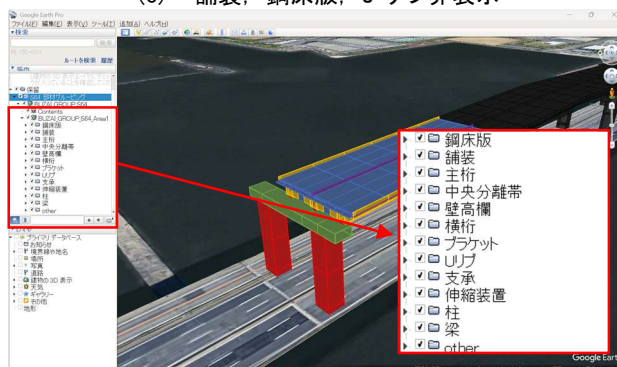
(a) 全表示



(b) 舗装非表示



(c) 舗装、鋼床版、U リブ非表示



(d) チェックボックス

図-13 部材ごとの表示/非表示切り替え
(Google Earth Pro 上に表示)

表-1 各判定区分に対応する色名と RGB

判定区分	色名	RGB
S	赤紫	153, 0, 153
A	赤	255, 75, 0
B	黄赤	246, 170, 0
C	黄	242, 231, 0
損傷報告なし	緑	0, 176, 107
対象外	黒	0, 0, 0

ゴンを非表示にする必要があり、き裂と PH を同時に確認することができない。また使用者によっては部材を全て表示した際に一見してき裂がないと判断する可能性もあり、状況把握や共通認識を図る上では、表示方法として適切ではないと考える。図-14(b)、(d)はき裂と PH を確認するためにポリゴンを非表示にする必要はなく、迅速な状況把握、技術者間の共通認識が可能であると考え。

図-14(b)～(d)はき裂と PH の発生位置が近接していることが分かるため、損傷同士の関連性を把握できる。しかし図-14(c)、(d)は PH をピンで表示することにより損傷の関連性を確認しやすいが、現在の日常点検では PH はどの車線上にあるかの情報しか登録しないため、ピンで表示するには新たに位置情報の取得が必要になる。また、図-14(d)はき裂、PH とともにピン表示であるため、損傷が多数ある場合は煩雑になり、俯瞰すると状況を理解しづらくなることが難点である。

したがって、3D 表示する有用性と実務への活用性のバランスを勘案し、図-14(b)が最も適していると考え。

4. おわりに

本検討では既存の動的解析モデルを活用し、Google Earth Pro を用いて架空の損傷の 3D 表示を試みた。本検討で明らかになったことは次の 4 点である。

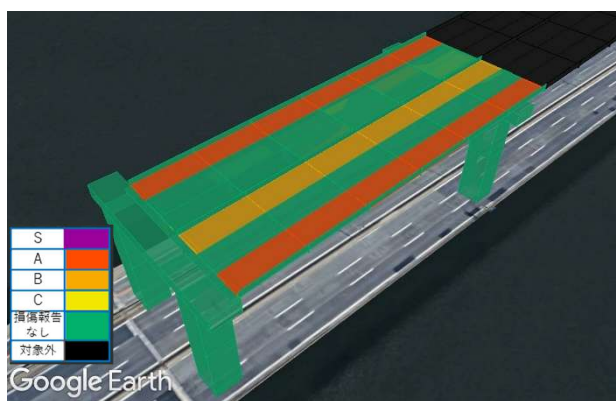
- ① 東神戸大橋などの特殊橋梁だけでなく、一般高架橋においても既存の動的解析モデルに対し、断面形状等の不足する情報を追加して改良を行い、Google Earth Pro といった既存のツールを用いることで点検結果の 3D 表示を実現できる。
- ② 損傷を 3D 表示することで、迅速な損傷状況の把握および技術者間の共通認識を図ることができ、効率化に貢献できることを確認した。
- ③ 損傷同士の位置関係が分かる等、損傷の要因・関連性を評価し易くなり、維持管理計画の高度化が期待できる。
- ④ 損傷をピン表示するには位置情報が必要となる。点検における損傷箇所の緯度経度等の取得方法を考える必要がある。

今後の展望について次に示す。

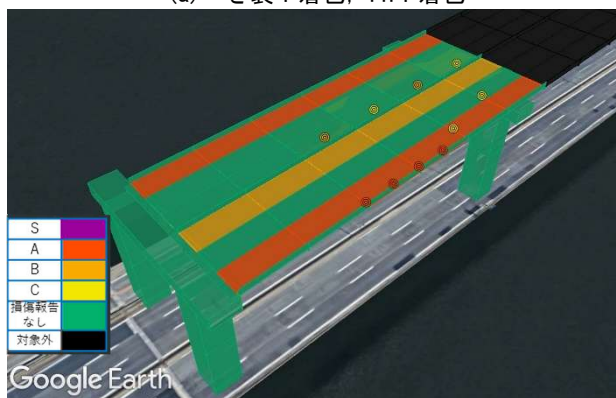
- ① 本検討では架空の損傷としてき裂と PH のみを表示させたが、実損傷を入れ、複数種類の損傷が含まれる場合の表示方法について検討する必要がある。
- ② 複数の日常点検や定期点検結果、補修情報をそれぞれ入力し、損傷の発生や補修記録を時系列で表示（4D 表示）させることにより劣化進捗度や補修効果検証を行う。

謝辞：本検討を進めるにあたり、株式会社地震工学研究開発センター馬越一也氏、中村真貴氏、株式会社アクテム村田学氏には多大な協力と助言を頂いた。

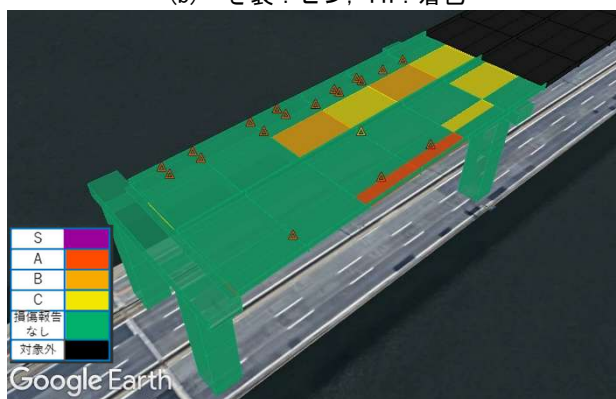
ここに記して謝意を表する。



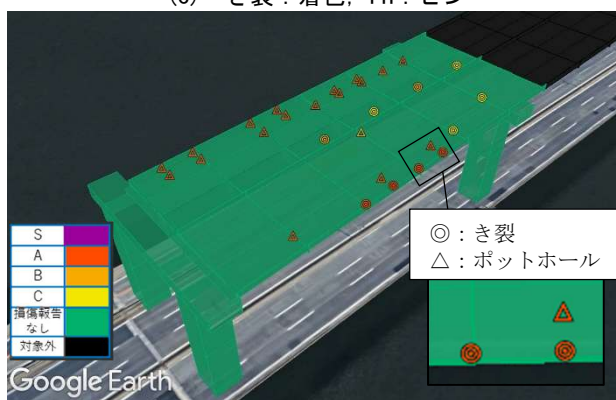
(a) き裂：着色，PH：着色



(b) き裂：ピン，PH：着色



(c) き裂：着色，PH：ピン



(d) き裂：ピン，PH：ピン

図-14 架空の損傷表示
(Google Earth Pro 上に表示)

参考文献

- 1) 関和彦ほか：3次元点群データを用いた道路橋の損傷抽出とヒートマップ表示，土木学会論文集，Vol.79，No.10，22-00071，2023.
- 2) 青山憲明ほか：橋梁の維持管理における CIM の利用と3次元モデルの作成，土木技術資料，58-4，2016.
- 3) 杉山剛史ほか：BIM/CIM とタブレット端末の連携による長大橋維持管理の効率化・高度化検討，令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会，CS11-17，2024.
- 4) 阪神高速グループ：阪神高速グループビジョン 2030，<https://www.hanshin-exp.co.jp/company/philosophy/vision/>，2016.
- 5) 安藤翠ほか：点検結果の4D表示を用いた維持管理効率化の可能性，令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会，CS11-78，2024.
- 6) 服部匡洋ほか：広域ネットワークの地震被害シミュレーションによる地震発生後の走行性評価に関する検討，阪神高速道路株式会社「技報」第29号，2018.
- 7) Google Earth：<https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/about/>
- 8) ESRI：<https://desktop.arcgis.com/ja/arcmap/latest/manage-data/kml/what-is-kml-.htm>，2025/3/28 参照