

デジタルツインメンテナンスに向けた連続桁橋の熱変形挙動と GNSS モニタリング

(株)長大	正会員	○有井 賢次	山口大学	学生会員	竹下 聡一郎
山口大学	学生会員	今田 吉貴	山口大学	正会員	渡邊 学歩
国際航業(株)	正会員	佐藤 渉	国際航業(株)	非会員	江川 真史
(株)長大	正会員	田中 剛	関西大学	正会員	清水 則一

1. 目的

我が国では、インフラの老朽化や維持管理人材の不足が急速に進展しており、政府は、「インフラ長寿命化基本計画」¹⁾の中で ICT, センサー等の新技術の開発と積極的な導入を推進し、限られた予算や人材での安全性や利便性の維持向上を目指している。

本研究では斜角を有する曲線橋を対象に行った温度変化に着目した FE 解析結果と、GNSS (Global Navigation Satellite System) モニタリング結果との比較を行い、デジタルツインメンテナンスに向けた GNSS モニタリングの活用可能性について考察した。

2. 構造解析とモニタリングの概要

1) 対象橋梁と構造解析モデル

本研究では、橋長 282.5m の新八幡川橋(広島県広島市)(図-1)を対象とした。本橋は、橋台および橋脚に斜角を有する鋼 5 径間連続 2 主箱桁の曲線橋で、中間橋脚は固定支承(軸:固定, 直:固定), 橋台は可動支承(軸:可動, 直:固定)で支持する多点固定方式である。解析モデルは、鋼部材はシェル要素, RC 部材(床版, 下部工)はソリッド要素, 支承部はばね要素

とした。解析は RC 床版に材料非線形性を考慮するとともに、床版ひび割れによる剛性低下の影響を考慮できるよう、床版打設ステップを踏まえた死荷重状態を再現した上で、後述の温度解析を実施した。

2) GNSS モニタリング

GNSS 受信機の設置位置(図-1 側面図の赤丸)は、桁端部(A2), 中間支点(P4)および径間中央(A2-P4, P4-P3)の合計 4 箇所に設置し、コンクリート地覆に取付け治具を用いて設置し(図-1), 基準点は、上空視界が良好な橋梁付近の公園内に設置した。モニタリング期間は 2022 年 1 月から約 1 年 3 カ月間、受信機は古野電気製 MG-10 を用いて計測を実施し、スタティック法により取得した毎正時の 3 次元変位に対してトレンドモデルを適用して精度向上を図った。

3. 猛暑日の路面温度上昇による変形特性

温度解析では、猛暑日に路面が他部材に比べて大きく上昇することを想定し、路面の温度を 6 時間かけて 30℃, 他の部材は外気温の変動と同じように 5℃ 上昇させた。図-2 に路面温度上昇による水平方向の変形分布を示す。X 軸方向には桁が両側に伸びる方

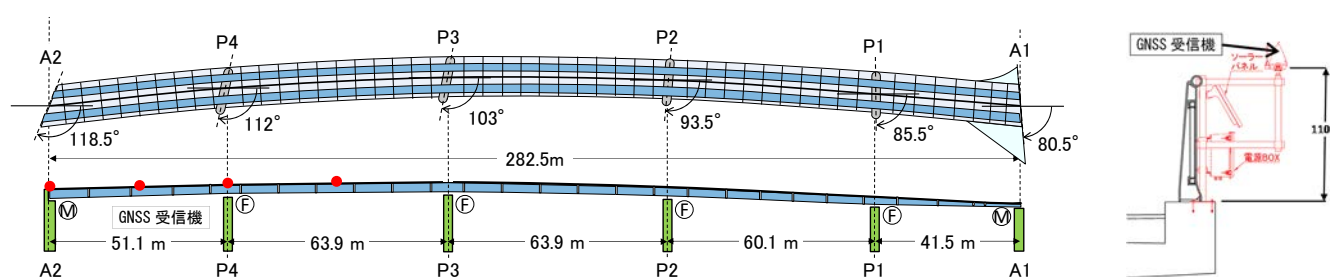
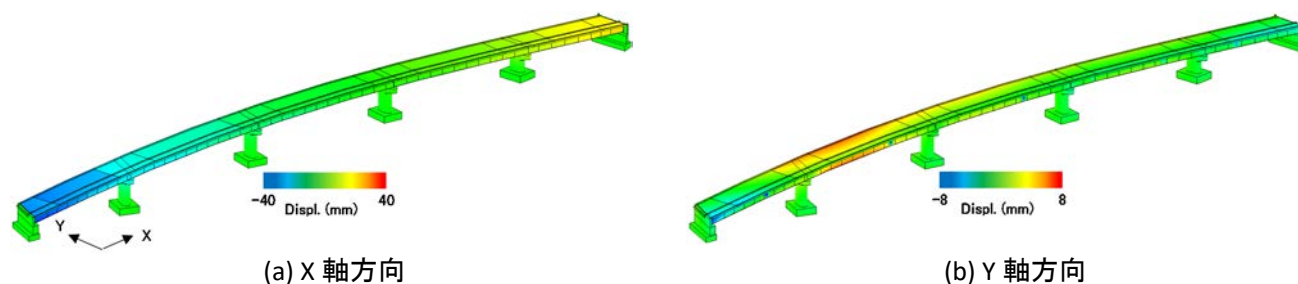


図-1 対象橋梁(平面図, 側面図, GNSS 受信機設置状況)

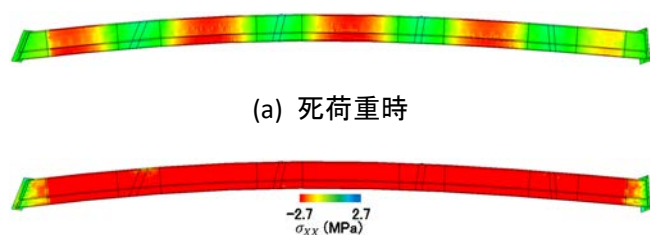


(a) X 軸方向

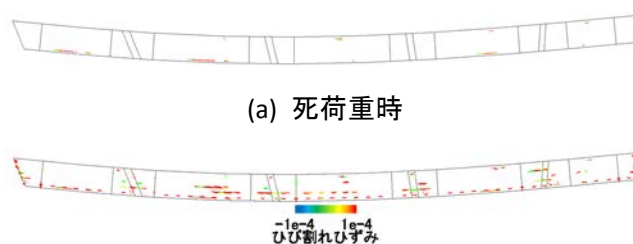
(b) Y 軸方向

図-2 温度上昇時(路面温度 30℃, 他部材 5℃)の水平方向の変形

キーワード デジタルツイン, 斜角を有する曲線橋, 全橋モデル, FEM, 温度解析, ひび割れ, GNSS
連絡先 〒730-0017 広島県広島市中区鉄砲町 7 番 18 号 TEL 082-511-8401



(b) 温度上昇時(路面温度 30℃上昇後)
図-3 床版の曲げ応力分布 (床版上面)



(b) 温度上昇時(路面温度 30℃上昇後)
図-4 床版のひずみ分布 (床版下面)

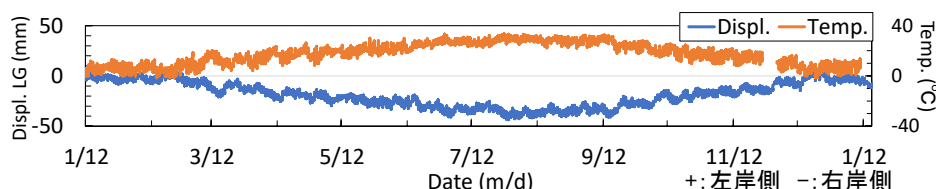
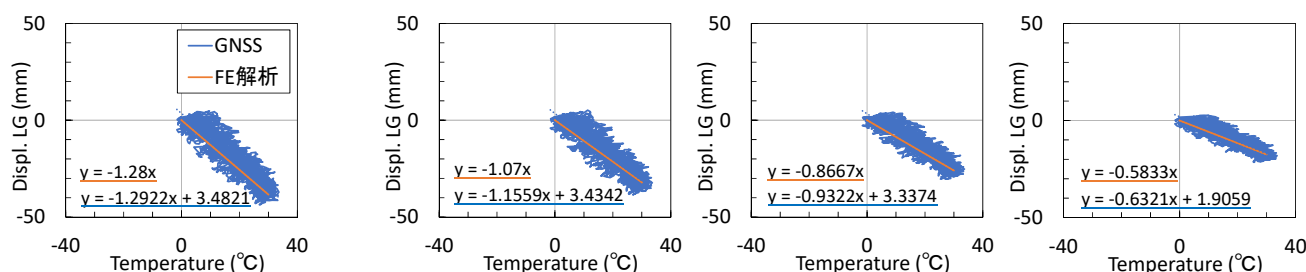


図-5 A2 位置で計測された 1 年間の水平方向変形挙動及び温度推移 (橋軸方向)



(a) A2 位置

(b) P4-A2 位置

(c) P3 位置

(d) P3-P4 位置

図-6 各位置での温度依存性

向に最大約 40mm, Y 軸方向には P3-P4 径間で約 8mm の変形が見られた. 図-3 に温度上昇時の床版上面の曲げ応力分布を, 図-4 に床版下面のひずみ分布を示す. これらを見ると, 死荷重時では圧縮応力は支間中央付近のみで, RC 床版にひび割れはほとんど発生しておらず, 一般的に認識されている床版コンクリートの分割打設による RC 床版の初期ひび割れ抑制対策が適切に施工に反映されていることが理解できる. 一方, 温度上昇時には, 多点固定条件に起因した桁伸縮の拘束により RC 床版に圧縮が生じるとともに, 鋼桁との伸縮量の違いにより, 主桁ウェブと床版下面の接合部付近でひび割れが多く発生している.

4. FE 解析結果と GNSS モニタリングの比較

1 年間の GNSS モニタリングで得られた A2 における温度と橋軸方向の推移を図-5, FE 解析および GNSS モニタリングで得られた橋軸方向の温度-変位関係の比較を図-6 に示す. FE 解析結果と GNSS 変位の回帰式の傾きは近似しており, FE 解析が現地橋梁の変形挙動をうまく再現できていることを示して

いる. このような手法により, 長期にわたる GNSS 変位モニタリング結果と FE 解析にもとづく橋梁各部の変位挙動の関連付けることで, デジタルツインモデルの精度向上を図り, 現地状況の見える化, 異常検知, 将来予測の精度の向上が可能と考える.

5. 結論

- 1) 橋梁部材とその施工過程を精緻にモデル化した FE 解析を用いることで, 温度変化による橋梁の変形挙動, 応力, RC 床版のひび割れ発生可能性や損傷位置を詳細に予測することが可能である.
- 2) FE 解析結果と GNSS 長期モニタリング結果を比較し, その結果を再び解析モデルにフィードバックする手法が, デジタルツインメンテナンスの 1 手法として有効になりうることを示された.

謝辞 計測のご許可や資料のご提供をいただいた広島県港湾振興事務所の方々に, 深く謝意を表します.

参考文献 インフラ長寿命化基本計画, インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議, 平成 25 年 11 月.