

令和の橋を考える

大阪公立大学 正会員 ○山口隆司, (株) 横河 NS エンジニアリング 正会員 板垣定範
(株) 建設技術研究所 正会員 刑部清次, 日本ファブテック (株) 正会員 奥村学
本州四国連絡高速道路 (株) 正会員 坂本佳也, 阪神高速道路 (株) 正会員 田畑晶子, 青木康素
(株) 長大 正会員 竹田達也, 松村泰行, 日立造船 (株) 正会員 松下裕明

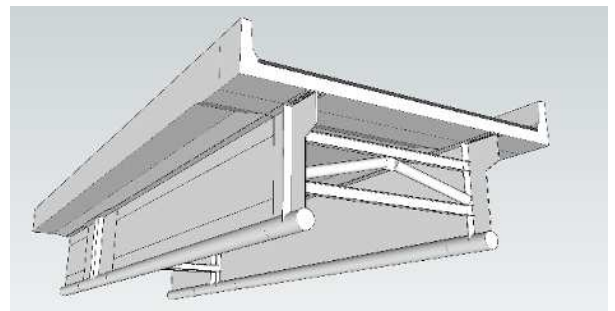
1. まえがき

昭和の時代, 高度成長期には, より早く不具合の少ない統一された橋が必要とされ, 材料ミニマムを基本とした標準設計と呼ばれる設計を実施し, 橋の建設が進められてきた. 一方, 平成の時代, 社会が成熟化すると, 材料費より作業コストが増加し, 材料ミニマムの設計から人件費削減に舵が取られ, 合理化橋梁と呼ばれる橋梁が生まれた. 昭和の時代に建設された橋梁には, 床版の損傷などに代表されるような不具合が生じ, 基準が改定されるとともに, それら不具合に対応する技術革新がなされ, 合理化橋梁が生まれる背景となったと考えられる. 平成の終わりには, 設計手法が許容応力度設計法から限界状態設計法に移行され, 大きな変化が生じている. したがって, 平成の時代に建設された合理化橋梁の検証とともに, これを超える新しい橋梁の提案が必要と考え, これを「令和の橋」と命名した.

2. 背景、現状の課題

少子高齢化に伴い生産年齢人口は年々減少し (少ない人的資源の課題)¹⁾, 社会保障に関する予算は年々増大しているため²⁾, インフラ建設に使用できる予算は限られてきている (少ない経済資源の課題)³⁾. また, 経済成長期に建設された多くの橋梁が今後急速に老朽化を迎え (50 歳を超える橋梁の割合が 2020 年に約 3 割だったのが, 2030 年ごろには約 6 割となると言われている), これらの修繕や更新により市民の生活や社会活動を支えることが求められている. 一方で, 地球温暖化による環境変動に対しては, 緩和策として排出 CO₂ 量の削減やエネルギー効率化・運転コスト削減, 適応策として持続可能な開発によって, 脱炭素への移行とともに強靱な社会の実現がうたわれている.

さらに, 21 世紀は資源の枯渇や気候変動問題などから, 持続可能な開発目標 (SDGs) に適した生産活動を行う必要があるとされている. そのため, 少ない材料資源の課題へも対応した持続可能な技術の開発が望まれる. こうした背景から, 著者らが考える令和の橋は, 「サステナブル技術による材料・労働力の減量化」を主な課題ととらえ, コンセプトを「ミニマム最適化」として議論した.



断面は最適化, 現場溶接, 無補剛,
横桁は支点部のみでユニット

図. 令和の橋のイメージ

3. 令和の技術とミニマム最適化に向けて

(1) 令和の技術

人的資源, 経済資源, 材料資源の課題を踏まえこれらの減量による「最適化」を実現するために, 昭和・平成の時代を踏まえ蓄積された技術, また令和の時代で今後開発が望まれる技術を考察した.

先人たちが残してきた設計, 製作, 施工および維持管理に関する技術を基に情報化技術 (ICT), 高度な構造解析技術 (CAE : Computer Aided Engineering, デジタルツイン, 等), DX (デジタルトランスフォーメーション), AI などを活用することで, それら課題の克服が可能であると思われる.

キーワード SDGs, 情報化技術 (ICT), 高度な構造解析技術 (デジタルツイン), モニタリング技術 (SHM)

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪公立大学 TEL 06-6605-2188

例えば、設計段階で、高度なシミュレーションを行い、物理現象を把握しつつ寸法や形状の最適化をはかることができる。また、近年注目される「トポロジー最適化」により、必要最小限の材料を使用した形状で計算させることが可能になれば、設計の検証のみならず、コスト削減や製造時間の短縮、資源の節約や環境配慮に繋げることができる。また、CAE を応用したデジタルツインでは、現実世界の情報を仮想空間に反映させるので、構造物の利用状況をデジタルツインの技術を使って仮想空間にリアルタイムで収集・分析すれば、より具体的な利用状況に基づいた設計や製作の改善が可能となり、最適化が進められる。製作段階では、3D プリンターの活用により、材料使用量を削減あるいは軽量化できる可能性がある。さらに、施工段階では、仮想空間の高度化による施工計画、3D 計測技術（レーザースキャナ）や、施工効率化技術（ICT）なども今後一層発展すると予測される。維持管理では、モニタリング技術（SHM）、AI を用いた検査（不良検知）技術など、既に実用化されている技術も存在する。

(2)「ミニマム最適化」に向けて

「ミニマム最適化」に向けて材料や労働力を減量化するための技術を、設計、製作、架設、維持管理の視点で整理した。なお整理に際しては実現度◎、将来性○に分類し、優先順位ごとに記載した。

表. 令和の橋のコンセプト「ミニマム最適化」に向けて

	材料や労働力を減量化するための技術
設計	◎BIM/CIM, 3次元点群モデルからの設計・数量計算 ◎高度な構造解析による部材寸法や形状、構造体の最適化 ◎製品橋梁（共通部材によるユニット橋梁／付属物含む） ○設計者の思想が実現可能な仮想空間（高度なインターフェース）の利用
製作	◎BIM/CIM 活用による製造プロセス最適化 ◎オートメーション（ロボット）製作、部材ユニット化 ○複雑な構造を実現するための製作技術（3D プリンターの活用等）
架設	◎現場自動溶接（ロボット）または現場 3D プリンター材料での連結 ○再生可能エネルギー、クリーンエネルギーを利用した重機（太陽光発電、風力発電） ○仮想空間による現実空間で再現（VR,AR,MR 技術の活用、スマートグラス等の活用）
維持管理	◎予防保全技術の活用による省（少）コスト化 ◎橋梁の一元管理、各種構成部材の寿命の明確化 ○モニタリング・センシング技術、XR 技術の向上、(IT 分野との連携) ○GPS を用いた変位定時計測、自動評価（アラート発信等）
その他	○付加価値付与（振動発電、遮音壁や路面の太陽光発電⇒電気防食） ○自律走行を想定した高欄形式、路肩等の縮小化、走行車線縮小化、歩道や自転車道などの幅員構成変化、建築限界の変更への対応

4. おわりに

本稿では、地球温暖化や生産人口減少といった現状および克服すべき課題を踏まえ、令和の時代に相応しい「令和の橋」について、将来性も踏まえ、コンセプト、適用技術をメンバー間で討議した。令和の橋は、「ミニマム最適化」をコンセプトにレス橋梁、スマート橋梁、セーブ橋梁、ヴァリアブル橋（モジュール交換、拡張、減幅対応など）などが考えられた。ともすると短期の課題に注力しがちな現代において、将来を見据え、技術を発展させながら、時代に即した橋を実現していく必要がある。このような検討を進めていくことが、将来の人材に魅力ある活動の場を提供することになると信じてやまない。皆さんも一緒に令和の橋を考えてみませんか。

参考文献

1) 総務省 HP, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r04/html/nd121110.html>, 2023.3
2) 厚生労働省 HP, <https://www.mhlw.go.jp/content/000973207.pdf>, 2023.3
3) 建設コンサルタンツ協会 HP, https://www.jcca.or.jp/files/achievement/annual_report/pdf/2020/wp2020_02_2-2.pdf, 2023.3