

雨沼橋（シャイベアーチ橋）の実橋載荷実験



大間知 良晃
研究第二部
上席主任研究員

研究の背景と目的

一般国道289号は新潟市といわき市を結び本州を横断する幹線道路の一つであるが、福島県の甲子峠^{かし}区間は急峻な地形に阻まれ車両通行不能のため、現在、国土交通省東北地方整備局郡山国道事務所が整備を行っている。甲子峠周辺には多様な野生動物が生息しており、特に雨沼は日光国立公園内に位置し、希少なモリアオガエル、サンショウウオ類が生息・繁殖する。このことから雨沼付近の道路は、雨沼からできる限り離れた傾斜地を通し、さらに地形の改変を抑え、動物の行き来をできるだけ妨げないように橋梁構造とされた。

橋梁形式の決定に際しては、現地の自然環境への影響の軽減、および自然景観との調和が重視され、また前後区間で計画されていた複数のアーチ橋との統一も考慮してシャイベアーチ橋が選定された（写真-1、図-2参照）。シャイベアーチ橋の建設はおそらく国内初であり、雨沼橋では設計時にFEM解析により応力特性を検討し、完成後、実橋載荷実験により設計の安全性を確認した。本報ではこの載荷実験検討について報告を行う。

シャイベアーチ橋

雨沼橋は支間30mの3連アーチ橋で、このような小規模アーチ橋の形式は充腹アーチが一般的である。アーチリブ上に土を盛って路床を構成し、土工部と舗装を連続させたタイプの充腹アーチ橋は、床版と伸縮装置がないため維持管理が軽減できる特長をもち、甲子道路でも雨沼橋の前後の柄沢橋と観音川橋に採用されている。

一方、シャイベアーチ橋は床版をアーチ状の鉛直壁（シャイベは平板の意）で支持した π 断面、あるいは極端な変断面のコンクリートT桁橋のような構造である。同形



写真-1 雨沼橋概観

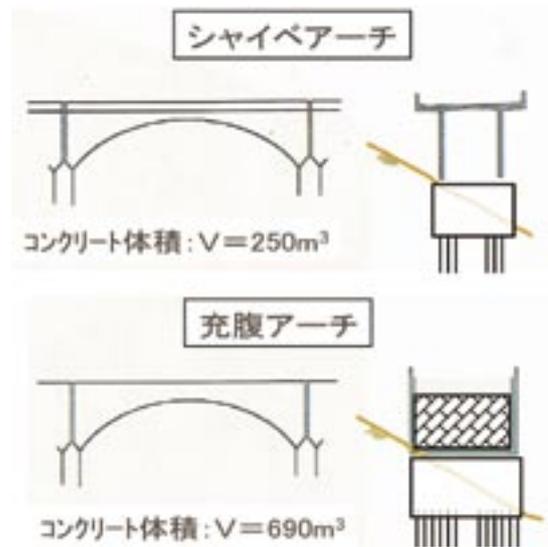


図-1 雨沼橋におけるシャイベアーチと充腹アーチの比較

式の橋梁は海外に事例がみられ、小スパンで桁橋と比べ不利なアーチ橋の経済性を向上する工法とされている¹⁾。

雨沼橋では両形式を比較したところ、以下のメリットがあったため、シャイベアーチ橋が採用された。（図-1参照）

- ◆ 床版を張出してウェブを中に寄せることによって、曲線線形への対応が容易で、また下部工まわりの斜面の切り取りを少なくできる。
- ◆ コンクリート使用量が少なく中詰め土もないので上部工が軽量にでき、傾斜地で地盤もあまりよくない現地

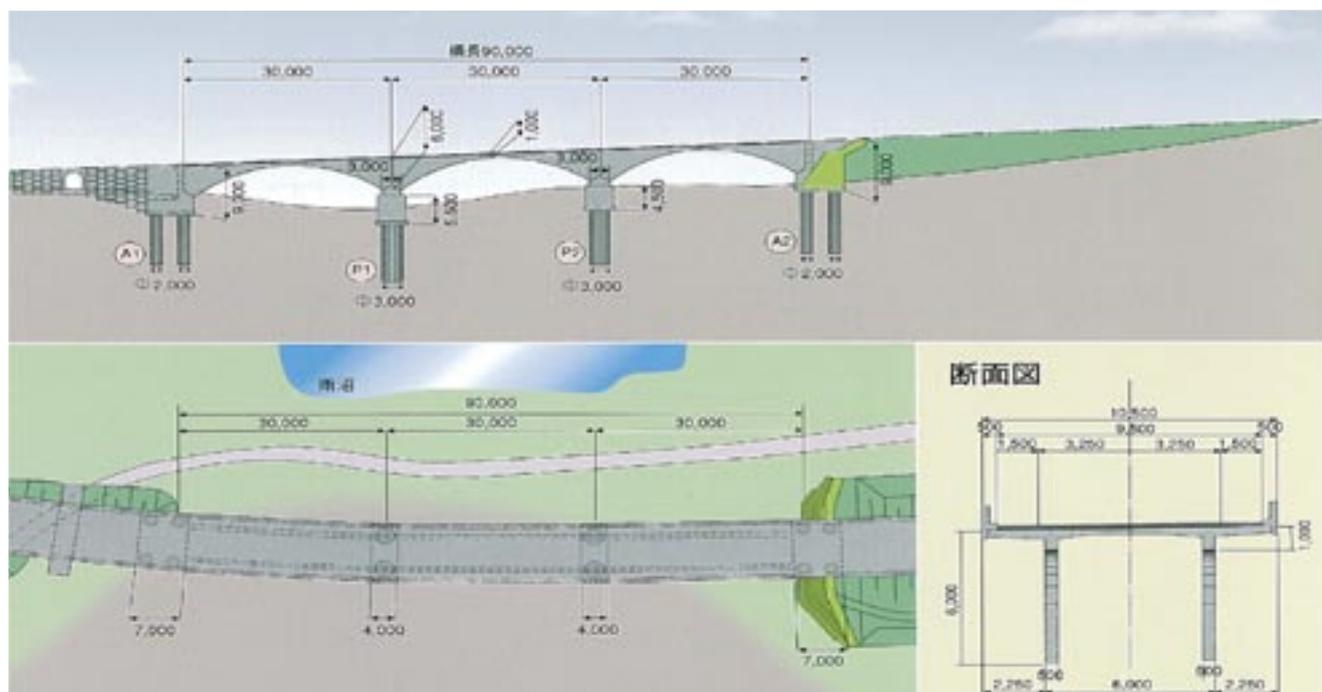


図-2 雨沼橋一般図

条件の下、基礎工を小さくできる。加えて構造もシンプルなので経済的である。

- ◆ 自然景観と調和し、路線としても統一されたアーチ橋を合理的かつ環境にも配慮して実現できる。

載荷実験

(1) 検討目的

車両の載荷実験により実橋に発生する活荷重応力を計測し、詳細設計時のFEM解析モデルによる理論値と比較して以下のことを検証することにより、雨沼橋の設計の安全性を確認した。

- ◆ 解析値の応力分布が実橋の応力分布と合うこと。
- ◆ 解析値が実橋の安全側評価を与えること。

(2) FEM 解析

実験計画にあたって、あらかじめFEMによる予備解析を行い、応力分布を予想して、載荷ケース及び計測箇所を決定した。図-3に載荷ケース、図-4に解析モデル、図-5に解析結果の主応力図を示し、以下に応力分布状況

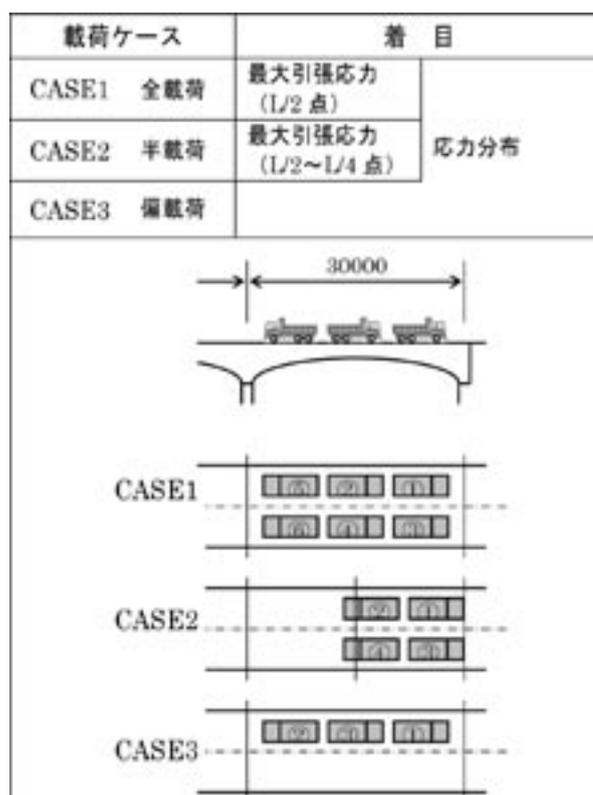


図-3 載荷ケース (解析・実験共通)

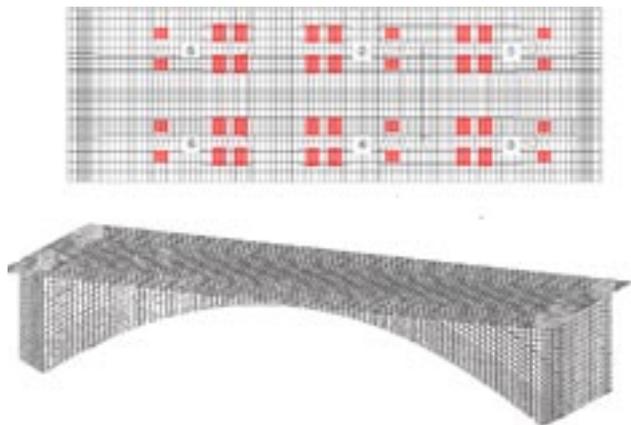


図-4 FEM解析モデル

について述べる。

- ◆ 活荷重载荷により、支間中央よりでは曲げモーメントが卓越して上側圧縮、下側引張の梁の応力分布となる。一方、支点に近づくにつれウェブ（シャイベ）下端のアーチの曲線に沿った圧縮力が卓越し、軸圧縮力により活荷重を支点に伝達するアーチ作用が明確に見られる。
- ◆ 支間全長に6台载荷したCASE1（全载荷）では、支間1/2点（L/2点、以下同様）付近が曲げモーメントによる下側引張の応力勾配となる。
- ◆ 支間の半分に4台载荷したCASE2（半载荷）では、L/2点よりやや支点側を中心に曲げモーメントによる下側引張の応力勾配を示す。最大の引張応力度はCASE1よりも大きい。
- ◆ CASE3は、CASE1の片車線側のみを载荷したケースだが（偏载荷）、荷重を载荷した側のウェブはちょうどCASE1と同様の応力分布で、一方、载荷しない側のウェブにはほとんど応力が発生しない。

FEMによる予備解析の結果から、载荷実験は上記3ケースにより、1) 全体的な応力分布、2) 支間中間のシャイベ下端の曲げモーメントによる引張応力の大きさ、に着目して行うこととした。

(3) 载荷と計測

20トンのダンプトラックを最大6台载荷して、シャイベアーチの支間L/2～L/4点の主ひずみと鉛直変位を計測

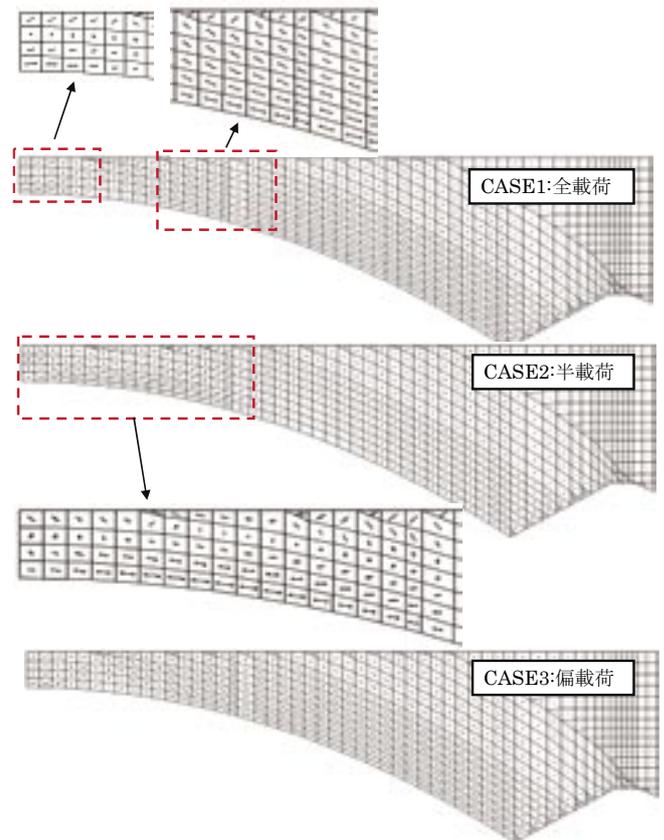


図-5 FEMによる主応力分布

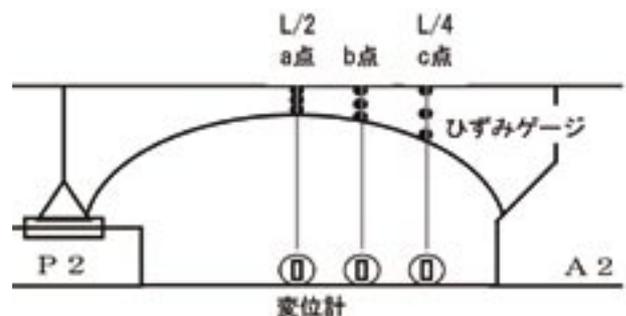


図-6 計測位置

した。計測位置を図-6、载荷実験状況を写真-2、写真-3に示す。

(4) 実験と解析の結果比較

図-7～図-9に载荷ケース3ケースそれぞれの実験と解析の応力度、鉛直変位を比較して示す。

① 荷重全載（CASE1）、半載（CASE2）

- ◆ 曲げモーメントによる引張応力は、CASE1ではL/2



写真-2 計測状況

(左：桁からピアノ線を下げ地上にて鉛直変位を計測
右：3方向のひずみゲージによりウェブ主ひずみを計測)



写真-3 載荷状況

点前後に発生し、CASE2では3L/8点前後が最も大きい。また、それぞれ支点側はアーチとしての圧縮応力が発生する。以上、実橋の応力分布の傾向が解析結果と合致することが確認できた。

- ◆ CASE1のL/2点の引張応力度は解析値が1.6倍程度大きい。CASE2の3L/8点の引張応力度は解析値が3倍程度大きい。解析が安全側の評価を与えることが確認できた。
- ◆ 鉛直変位はCASE1、CASE2ともよく合っており、解析がシャイバアーチの全体剛性を精度よく評価でき

ることが確認できた。

②荷重偏載 (CASE3)

- ◆ CASE3は、解析結果どおり、荷重を載荷した側のウェブがCASE1とほぼ同様の応力分布を示し、載荷しない側のウェブはほとんど応力が発生しない。
- ◆ 載荷側ウェブの曲げモーメントによる引張応力、アーチの圧縮応力の分布について、実橋が解析結果と合致することが確認できた。

(5) 載荷実験まとめ

- ◆ 詳細設計のFEM解析モデルは、スパン方向に一様な

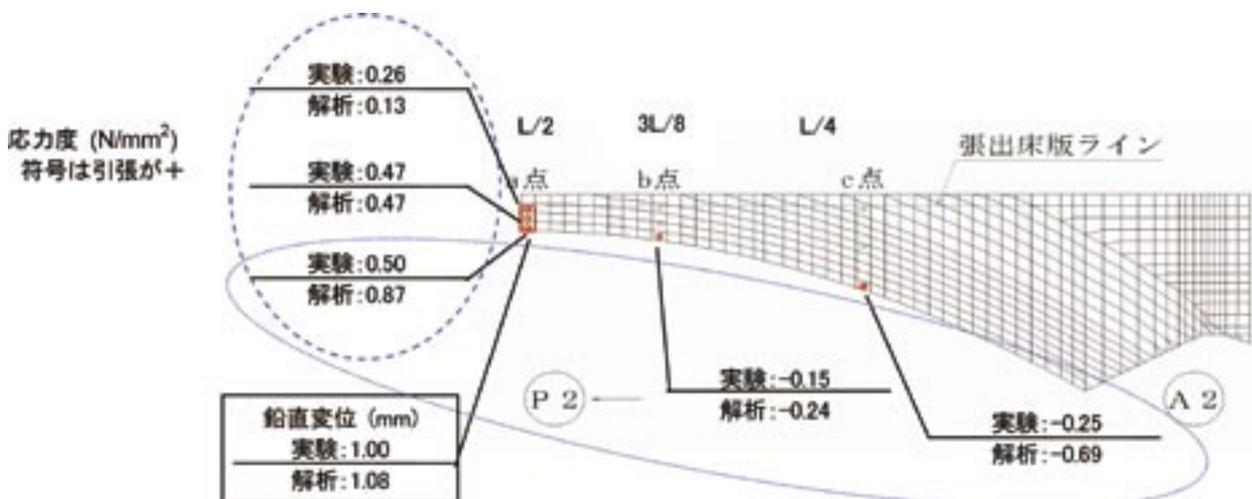


図-7 載荷実験と解析結果の比較 (Case1: 全載荷)

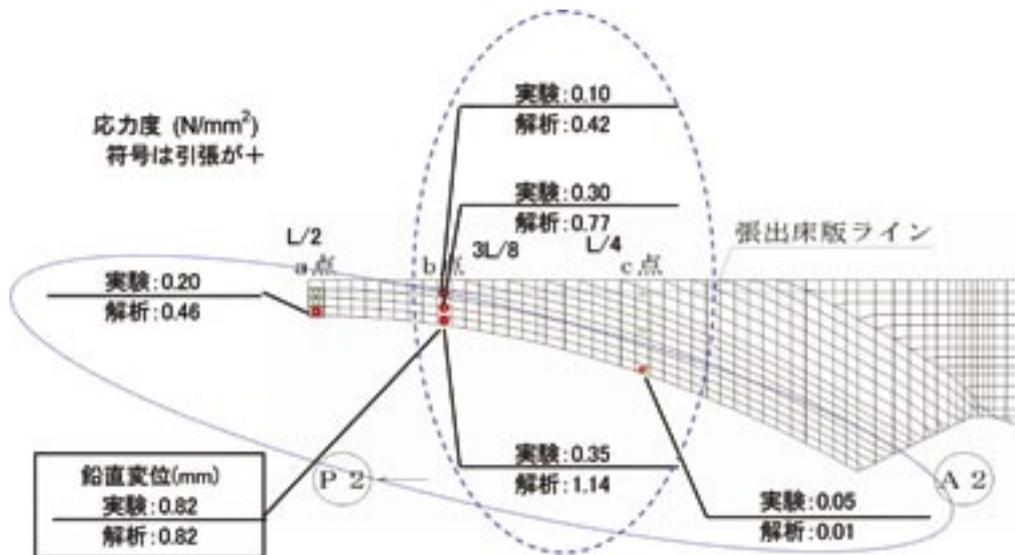


図-8 載荷実験と解析結果の比較 (Case2: 半載荷)

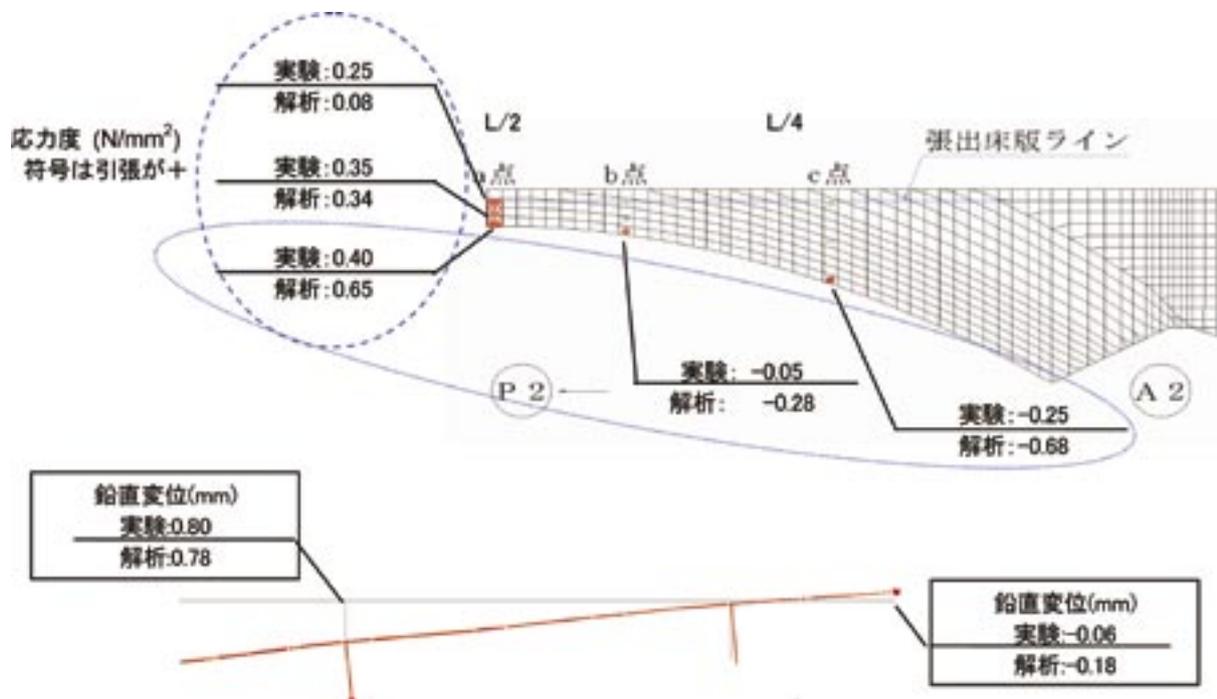


図-9 載荷実験と解析結果の比較 (Case3: 偏載荷)

荷重に対する応力分布は実橋をほぼ再現していることが確認できた。

- ◆ スパン方向に偏りのある荷重に対する引張応力は解

析と実験の差が大きかった。理由は特定できなかったが、解析が安全側の評価であることが確認できた。

- ◆ 以上により、雨沼橋の設計の安全性が確認できた。

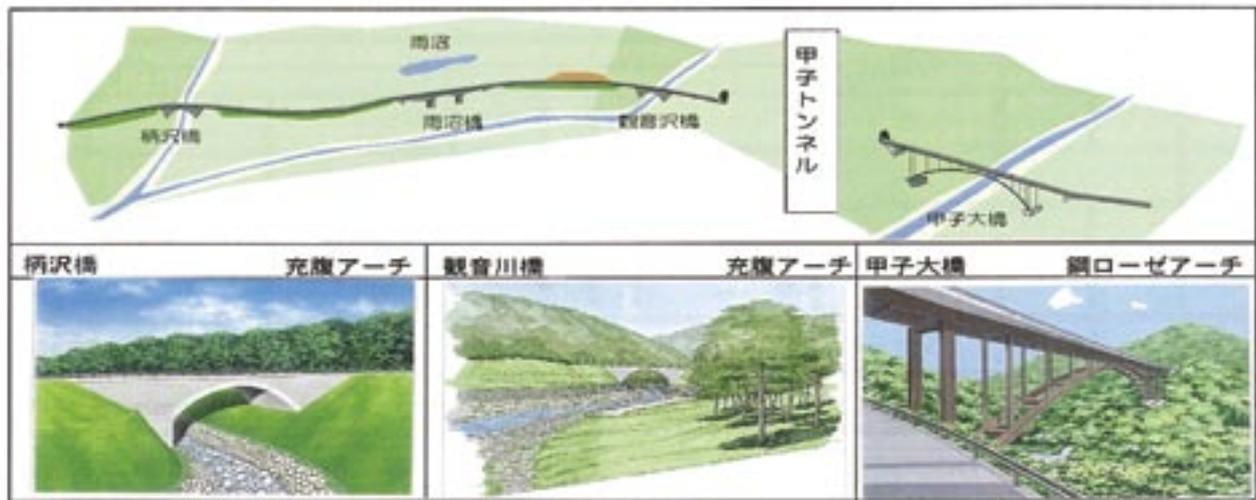


図-10 甲子道路のアーチ橋

おわりに

エコロードとして事業が進められている甲子道路では、豊かな自然景観と調和した4橋のアーチ橋が建設され、そのなかで雨沼橋は、小規模アーチ橋の合理的、軽量の構造形式が検討され、海外の古い事例を参考にシャイベアーチ橋が建設された²⁾。今日、小規模アーチ橋が建設されることは少なく、シャイベアーチ橋は国内に事例がなかったと思われる。このため、雨沼橋では郡山国道事務所が設計、施工、および今回の载荷実験の各段階で技術委員会（委員長：三浦尚東北大名誉教授）を設置して検討を行って

り、今後の同種の橋梁の建設の際に参考になるものと思われる。

最後になるが、本研究の実施にあたりご指導、ご協力いただいた委員及び郡山国道事務所の皆様、関係各位に感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Fritz Leonhardt, 「Brücken, Ästhetik und Gestaltung」、Deutsch Verlags-Anstalt, pp.38
- 2) 土木学会構造計画小委員会、平成17年11月、構造工学技術シリーズ No.45 「橋の構造計画 —構造デザイナーに学ぶ—」、pp.56-79