

錦帯橋の鞍木・助木の構造特性に関する基礎的考察

早稲田大学大学院 学生会員 森本 博行
 早稲田大学 赤木 領太
 早稲田大学 フェロー会員 依田 照彦

1. はじめに

現在行われている土木構造物の数値解析的研究は鋼またはコンクリートを使用材料としたものが多く、木材を主な材料とした構造物の数値解析的研究は少ない。木組構造物の一つに木橋があり、特に歴史的な木橋の維持管理・補修・改築を考える上で構造解析的なアプローチは欠かせない要素の一つである。そこで、本研究では、岩国錦帯橋を対象に、実際に使用されていた木材の強度試験、現地での実橋計測の結果をもとに、有限要素法を用いた数値解析シミュレーションを実施し、木橋の木組構造における鞍木・助木の効果について構造力学的な見地から検討をすることを目的とする。

2. 検討対象

解析対象は前述の五連の岩国錦帯橋である。このうちの中央の第二橋を検討の対象とした。この第二橋は、反り高 5.184m、支間長 35.10m のアーチ橋であると考えられ、5本のアーチリブより構成されている。

各アーチリブは、片側 11本の桁を基本とし順次せり出されており、刎ね木のすき間には、三角形の楔を入れ要所を巻金で結束し、アーチを形成している。さらに桁同士はダボやかすがいで一体化されている。これらに鞍木・助木を釘で打ち付けて桁全体を補強する形をとっている。棟木は本橋唯一の左右で連続した部材となっている。

3. 現地計測

実験は大きく分けて、鞍木・助木除去実験、60tf分布荷重実験、解体実験の3つである。ひずみは十番桁、九番桁に12箇所、端部に六箇所ひずみゲージを貼付して測定した。解体実験の時のみ、六番桁から三番桁に六箇所ずつ、端部に六箇所ひずみゲージを貼り、ひずみを測定した。実験中は昼夜を問わずインターバルをとりひずみデータを採り続けた。ひずみを測定した桁を図2に色つけて示す。

図3に一番桁と二番桁に関する鞍木・助木除去によるひずみの変化を示す。この図より助木が軸力を一部負担していたことが分かる。

4. 予備解析

解析対象を以下のようにモデル化した。桁などの木部および巻金は、はり要素、部材の接合に利用されている釘はジョイント要素を用いてバネに置き換えた。このように力を伝えている箇所はすべてはり要素あるいは非線形のパネ要素でモデル化した。モデルの節点数は鞍木・助木ありが20803個、なしが14778個、要素数はありが16579個、なしが11139個である。今回の現地計測により、端部での腐食や桁間の隙間などが多く見られたため予備解析として、境界条件およびヤング率を変化させた4モデルを用いて解析をおこなった。

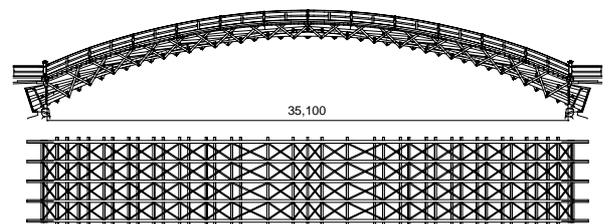


図 1 錦帯橋断面図

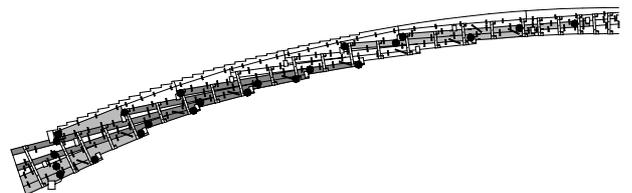


図 2 ひずみ測定位置

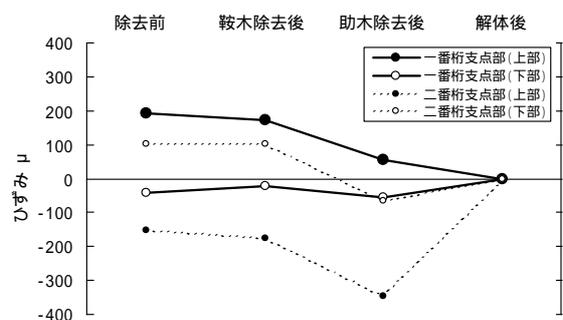


図 3 鞍木・助木除去後ひずみ比較図

キーワード 木橋, 歴史的構造物, 現地計測

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 TEL.FAX:03-5286-3399

表 1 固有振動数 (Hz)

	非対称モード	対称モード
model-1	4.672	6.437
model-2	4.661	6.421
model-3	4.022	5.517
model-4	4.015	5.505

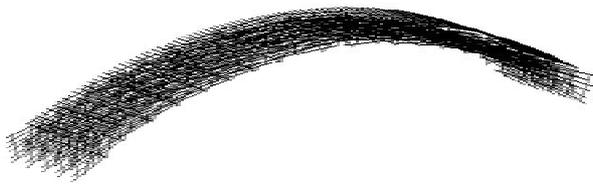


図 4 解析モデル図

固有値解析の結果により、ヤング率を低下させ腐食の見られた岩国側のバネ拘束を減らし、2001 年度の実験で得られた値に最も近い model-4 を本解析で用いることにした。解析コードには汎用有限要素法コード ABAQUS を用いた。解析は第 1 ステップで自重解析を行い、その後橋面上部に等分布荷重 $30tf$ 、 $60tf$ を載荷した。

5. 本解析

鞍木・助木のあるモデルと鞍木・助木のないモデルに $30tf$ を載荷したときの変形図を図 5 に示す。鞍木・助木を除去することにより実験では 1.6 倍変位量が増加した。解析では 1.89 倍増加する結果となった。このことより、鞍木・助木が適切にモデル化できていることが分かる。また、鞍木・助木はたわみを減少させる補強材として大きな役割を担っていることが分かる。図 5 の応力図を見ると中央の大棟木に大きな圧縮応力がみられ、大棟木がアーチ構造のキーストンの役割をしていることが分かる。図 6 に $60tf$ 等分布荷重載荷時の実験値と解析値の比較の図を示す。この図より、鼻梁や後梁が桁の軸力を一部負担していることが分かる。

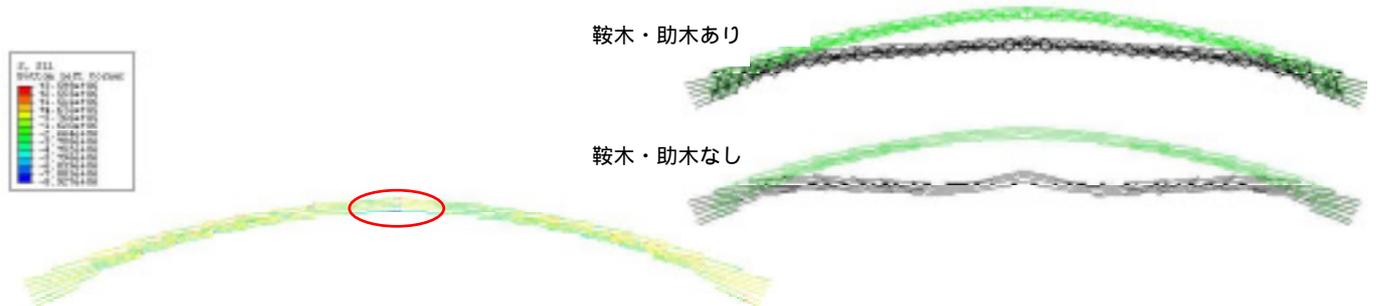


図 5 解析結果 (30tf 等分布載荷時の変位及び応力分布図)

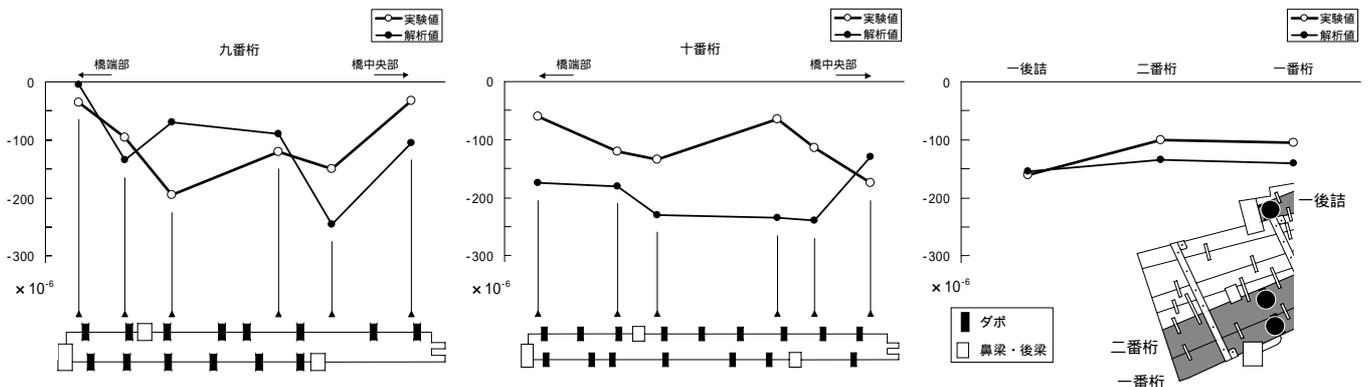


図 6 実験値と解析値の比較 (60tf 等分布載荷時の軸方向ひずみ分布図)

6. 結論

- 1) 建設から 9 年が経過して初めて付けられた鞍木・助木は単なる飾りではなく、変位やゆれ、桁にかかる応力を低減する構造上重要な部材であることが、現地での実橋計測および解析によって示された。
- 2) 錦帯橋は複雑な木構造であるが、汎用コードを用いた FEM 解析でも、ある程度の構造解析が可能であることが分かった。

参考文献

- 1) 東京大学大学院坂本功研究室：錦帯橋強度実験報告書，2003 年 3 月
- 2) 田中宏明：岩国錦帯橋のアーチリブの補強方法の歴史的変遷に関する力学的考察，土木学会第 57 回年次学術講演会，2002 年 9 月