第Ⅰ部門　　三条大橋に残る石柱に関する歴史と景観に配慮した耐震補強工法の検討

京都市　建設局　　正会員　○柴原　新弥
京都大学　工学研究科　　正会員　　高橋　良和
内外エンジニアリング（株）　正会員　　熊川　修二
内外エンジニアリング（株）　正会員　　宗川　剛和
京都市　建設局　　非会員　　竹市　秀雄

## １．はじめに

三条大橋は、京都市を流れる鴨川に架かる橋りょうの中でも、木製高欄や桁隠し、擬宝珠（ぎぼし）（**図-1**）、多柱式の橋脚（**図-2**）などの特徴的な意匠を持ち、歴史的背景や鴨川と調和した風景など、文化的特性をもつ橋りょうである。現在も天正時代の擬宝珠が設置されており、「洛陽三條之橋」は「日域石柱橋濫觴乎」（日本の石柱橋としては最初のものだろう）、の記述がある。多柱式橋脚の下流側の上部柱には、現橋が 1950 年に架け替えられる前に用いられていた石柱（φ700、8 橋脚のうち、1 橋脚を除いた 7 橋脚）が残されており、橋の外観だけでなく構造部材においても、橋の歴史が継承されている（橋脚の柱のうち、石柱部以外は鉄筋コンクリート柱である）。



**図-1　三条大橋の擬宝珠**

今回、三条大橋の下部工の耐震補強工事を施工するにあたり、歴史と景観に配慮した石柱の補強工法について、構造解析等により検討を行った。



**図-2　三条大橋の橋脚**

## ２．橋脚の補強設計

三条大橋の耐震設計では、非線形履歴モデルを用いた直接積分法による時刻歴応答解析を行い、鉄筋コンクリート柱の耐震補強工法として、炭素繊維シートを巻立てる工法を採用した。一方、石柱についてはホゾとアンカー筋で接続された継ぎ手部が存在しており、構造上評価するとピン構造となるため、何らかの補強が必要であった。

## ３．歴史と景観に配慮した石柱の補強工法の検討

石柱継ぎ手部の補強方法として、コの字型のアンカー筋で接続補強する工法と、鋼板を巻立てる工法を立案・比較した。アンカー筋案は石柱表面が多く残るため景観面では優位だが、削孔により石柱が破壊する恐れがあり不可となった。一方、鋼板巻立て案は、石柱への構造的な影響は無く施工面では優位であるが、鋼板幅の基準がないうえに、鋼板により石柱表面が隠れるため歴史と景観の継承という観点で課題があった。その課題を解決するため、本検討では石柱の補強に必要最小限の鋼板幅について構造解析を行い、その結果を基にフォトモンタージュ等により景観について検証した。

## ４．景観に配慮した補強鋼板幅の設定及び構造解析

継ぎ手部の鋼板巻立て範囲の基準がないことから、3 次元ＦＥＭ解析を用いて補強範囲の検討を行い、結果を元に補強範囲の妥当性を検証した。

### （１）解析モデル

石柱の解析モデルとしては、補強無しの現況モデルと鋼板幅が異なる鋼板補強モデルの４モデル（**図-3**）で検討を行った。本解析検討の目的は、石柱接続部（補強部）の耐力および力の伝達を確認することである。よって解析方法は、接続部に純曲げが作用する状態を再現するため、鋼板の上下端 2 箇所へ同方向から荷重を徐々に加えながら載荷する手法とし、荷重の増加に伴う接続部の変形挙動や構造性能の追跡を行った。ＦＥＭ解析におけるモデル条件として、次の３点に留意した。①継ぎ手部上下の柱をソリッド要素とし節点を分離構造にする。②継ぎ手部において竣工図面に記されている「ほぞ」の同形状を反映する。③石柱は上下一体構造とせずに、鋼板と石柱との接触面は接触要素を用いる。

### （２）解析結果（図-4）

現況モデルは石柱が継手部で開くことで、石柱が接触している箇所に圧縮（M＝-8.370N/㎜$^2$）が発生した。その影響

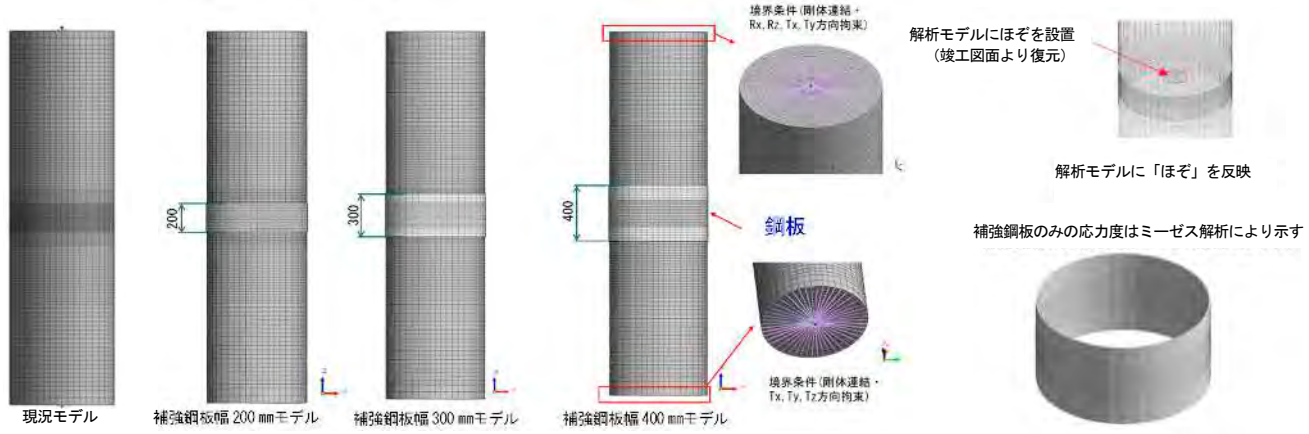



図-3　解析モデル

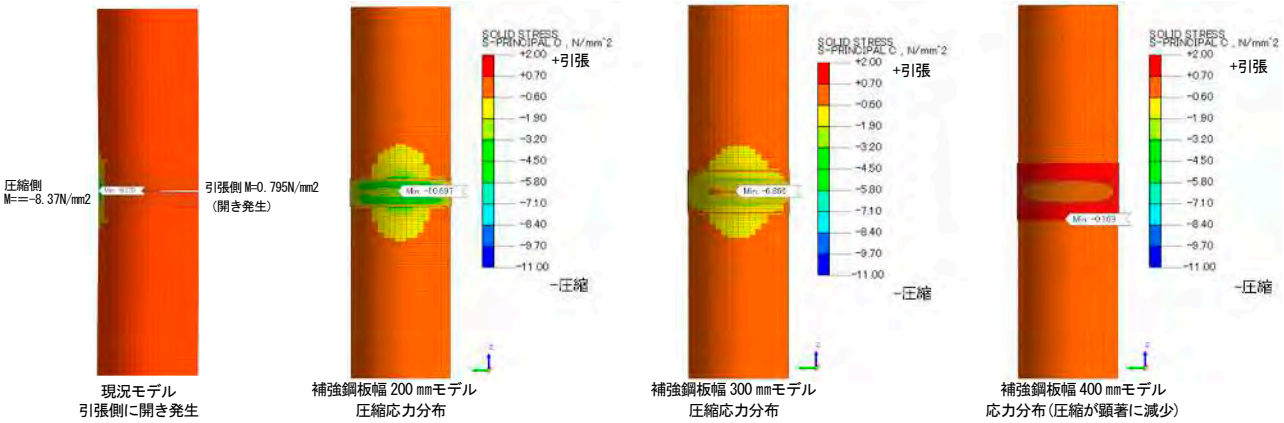



図-4　解析結果（主応力コンター）

により開口側に最大引張（M＝0.795N/mm$^2$）が発生している。一方、補強鋼板モデルについては、構造計算上はいずれも成立するが、補強幅を拡大するにつれて、対象部材に生じる圧縮応力は顕著に減少した。圧縮応力は鋼板幅 200mm 幅から 300mm 幅への変更で緩和され、さらに 400mm 幅では、最大が 1N/mm$^2$未満にまで低下した。これは、補強幅の拡大によって応力の伝達面積が増加し、構造的弱点となり得る応力集中が効果的に解消されたためと推察される。また、鋼板幅 400mm のケースにおいて「応力増加の領域が鋼板幅内に完全に収まっている」ことは、「最大応力値が低い」という定量的な評価に加え、「構造的な破壊リスクを低減できる」という定性的な優位性を示していると考えられる。

## ５．考察

解析結果、ならびに応力伝達経路の滑らかさや境界部の保護といった構造的要因を総合的に評価した結果、「補強鉄板幅 400mm モデル」が耐震補強として最も優れた力学的安全性と信頼性を有しており、継ぎ手部がない構造体として石柱を評価できる。

また構造的な検討に加え、鋼板幅 200mm、300mm、400mm のフォトモンタージュ（図-5）を作成し、人の視点高さでは鋼板の視認角度や橋全体に占める鋼板の割合の差が小さく、景観への影響に大きな差がないことを確認した。



図-5　補強後のフォトモンタージュ

## ６．おわりに

本件等では三条大橋の持続的供用と、歴史及び景観の継承のために産官学が協力し、工法比較や構造解析を行った。この結果を元に耐震補強を行うことで、石柱の歴史を先人の技術者の思いも含めて、しっかり継承していきたい。

## 参考文献

1）岩井甍堂：京都の金石文（一），三條大橋欄干擬宝珠の銘、考古学雑誌，Vol.1，No.11，1911.

Shinya SHIBAHARA , Yoshikazu TAKAHASHI , Syuji KUMAGAWA , Yoshikazu MUNEKAWA , and Hideo TAKEICHI
shqbe576@city.kyoto.lg.jp