# 鋼斜張橋主塔の耐震補強に関する設計・施工事例 －鳥飼仁和寺大橋－

株式会社大林組　　正会員　○秦　聡一朗　正会員　富永　高行
正会員　　玉田　和法　正会員　吉田　享道

## １．はじめに

鳥飼仁和寺大橋は昭和 62 年に建設された鋼 3 径間連続斜張橋で，L2 地震に対する耐震性の向上が必要となっている．一方，主塔内は狭隘であるため，補強部材の重量や寸法には施工上の制約がある．そこで，通常の構造計算に加え，FEM 解析により施工性と耐震性能の両立を図った合理的な補強構造を設計した．

## ２．対象橋梁

工事概要を**表-1** に，本橋の側面図および断面図を**図-1, 2** に示す．主桁は 3 室の鋼床版箱桁橋，主塔は 1 本柱の形式である．

**表-1　工事概要**

| | |
|---|---|
| 工　事　名 | 鳥飼仁和寺大橋有料道路　耐震補強工事 |
| 発　注　者 | 大阪府道路公社 |
| 施工場所 | 寝屋川市仁和寺本町一丁目地内 外 |
| 工　　期 | 2024年1月16日～2026年10月30日 |
| 橋　梁　名 | 鳥飼仁和寺大橋 |
| 橋梁形式 | 3径間連続鋼床版斜張橋 |

## ３．主塔の耐震補強設計

### （１）補強方法

主塔の耐震補強設計は弾塑性 FEM 解析によるプッシュオーバー解析にて実施した．L2 地震時の水平力（以下，L2 水平力）作用時に主塔全体で弾性状態となるように補強し，局部的な塑性化は許容する方針とした．補強構造は主塔内面のみで補強する案 1 と，主塔内面と外面の両面で補強する案 2 を検討した．各案の主塔断面を**図-3** に示す．なお，主塔から建築限界までが 100mm と近く，適用できる板厚に限界があるため，外面のみの補強は成立しなかった．

### （２）FEM 解析結果

案 2 における L2 水平力載荷時のミーゼス応力コンターを**図-4** に，案 1,2 の荷重-変位曲線を**図-5** に示す．補強前は，荷重倍率 0.86 で主塔根元のフランジの局部座屈により破壊が生じるため，座屈を抑え，主

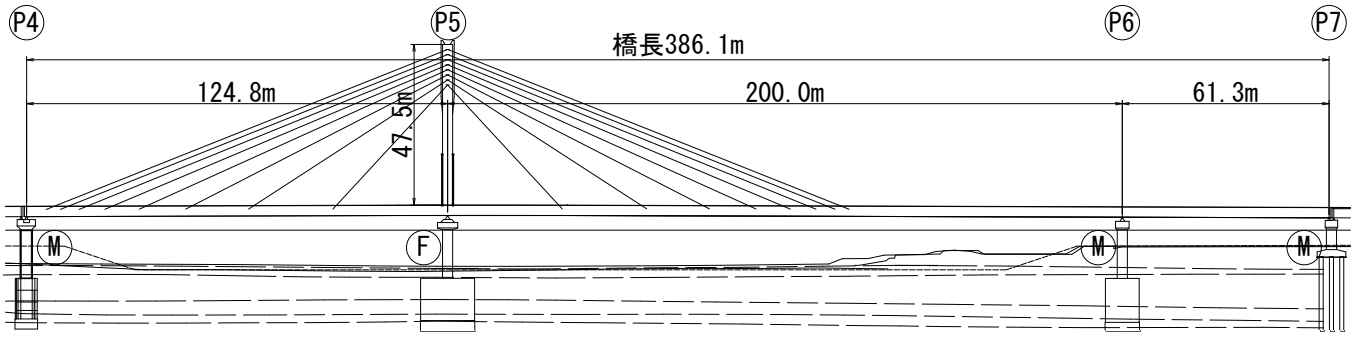



**図-1　橋梁全体　側面図**

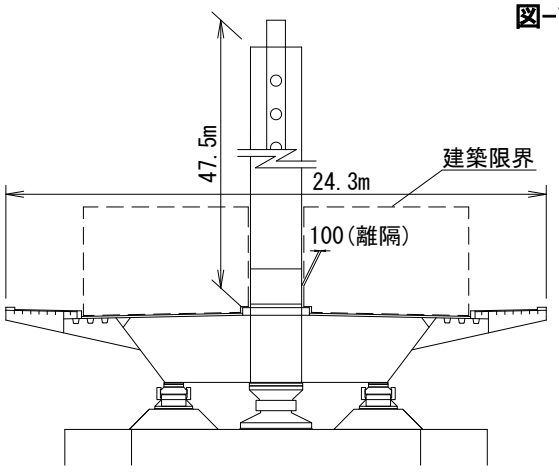
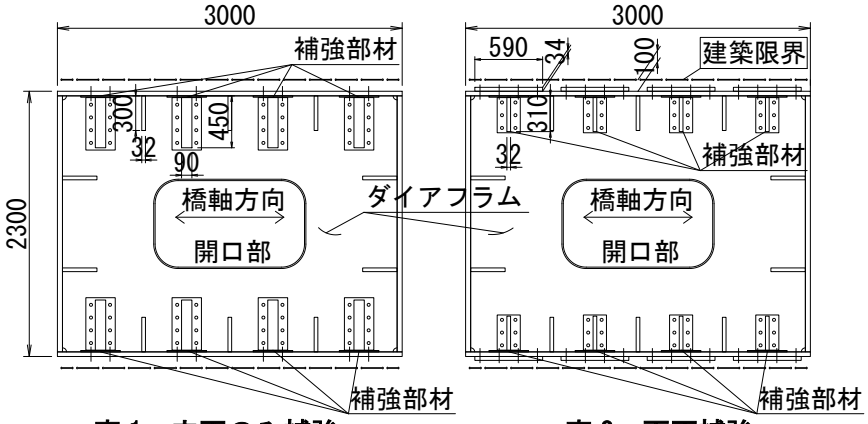



**図-2　P5 主塔部　断面図**




**案 1：内面のみ補強**　　**案 2：両面補強**

**図-3　主塔断面図**

キーワード　鋼斜張橋，耐震補強工事，主塔補強，FEM 解析
連絡先　　〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 ㈱大林組 橋梁技術部　ＴＥＬ050-3829-3099

塔剛性を上げるために補強部材を設置する．補強案1,2 ともに，L2 水平力まで弾性挙動を示し，最大耐力は L2 水平力に対して，案 1 で約 1.2 倍，案 2 で約 1.3 倍となった．したがって，案 1,2 の補強で，L2 地震時後も損傷は限定的で早期復旧が可能（耐震性能 2）である．補強部材を主塔内に搬入する時の部材の最大重量を比較すると，案 1 で 698kg，案 2 で 371kg となった．狭隘な主塔内での施工性を考慮すると，案 2 が有利であるが，案 1 と比べて，部材総重量や部材数が増加し，主塔内部以外での施工性や経済性がやや劣るため，案 2 の改良を検討した．

### （３）補強案 2 の当て板補強の省力化

外面当て板補強（以降，当て板）は，高さ方向に複数に分割して設置し，ボルト接合にて固定される．当て板の連続性を確保するには，図-6 左側に示す通り，分割された当て板同士を添接する必要がある．この場合，3 つの部材（添接板，当て板，内面補強リブ）を共締めするため施工性に劣るとともに，景観の観点でも案 1 より劣る．さらにこの添接板の分，重量が増えるため，経済性においても案 1 より劣る．

改善案として，当て板補強を連続させない図-6 右側の補強方法で照査した．図-7 にミーゼス応力のコンターを示すが，当て板の分割位置をダイアフラムのある剛性の高い位置にすることにより，分割位置での応力集中は生じないことがわかった．最大耐力および弾性域も案 2 とほぼ同じであり，必要な補強効果は得られるため，外面の当て板補強は添接しない構造とした．改善案により，施工性が向上し，添接板の重量も 5.6t 分削減できるため経済性においても案 1 より優れる構造とできた．

## ４．施工方法

### （１）施工計画上の前提条件

本工事は主塔補強のみでなく，支承の機能を補完する水平力分担構造，制震ダンパー，PC ケーブル形式落橋防止構造も設置しているが，河川内のため，それらは非出水期のみの施工となる．一方，主塔補強は橋面より上の補強のため，出水期でも施工が可能である．したがって，2025 年 6 月から 2025 年 10 月の出水期内で主塔補強を完了して，非出水期に工程が重ならないように施工する必要があった．また，主塔の補強部材を設置するための足場は車線上に設置する必要がある．したがって，片側 2 車線ずつの計 4 車

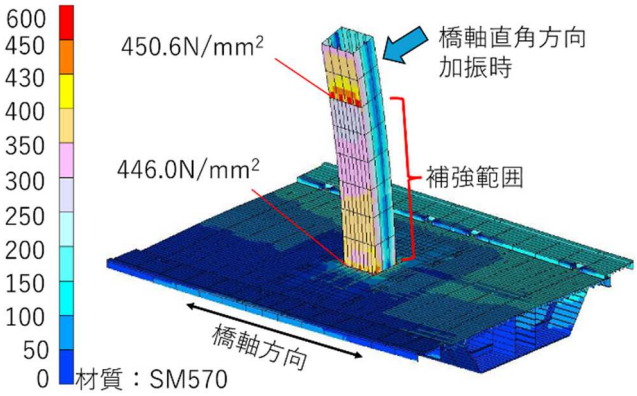



図-4　L2 水平力載荷時ミーゼス応力コンター

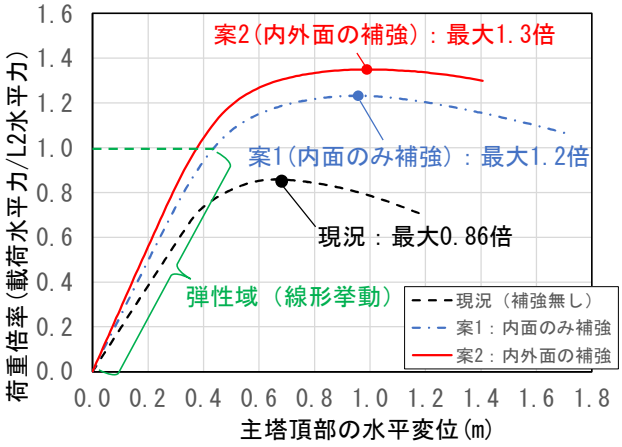



図-5　荷重-変位曲線

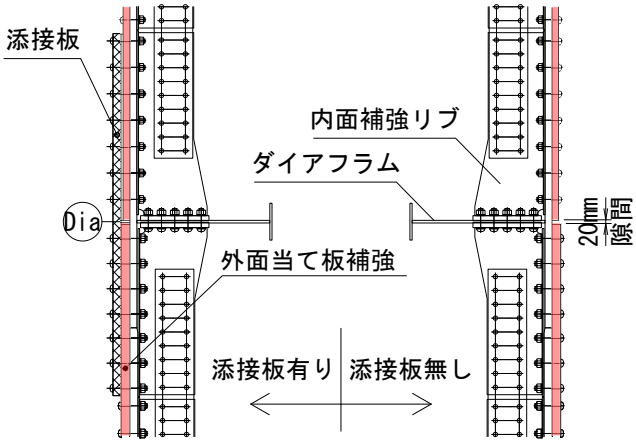



図-6　外面当て板　添接板

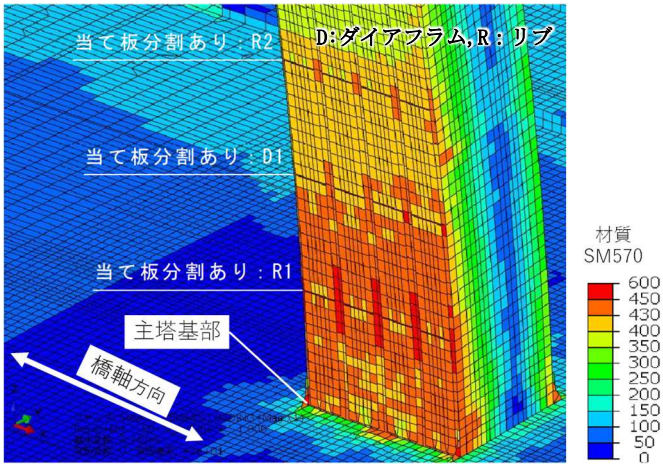



図-7　当て板補強分割時　ミーゼス応力コンター

線のうち，主塔がある側の片側 1 車線ずつの計 2 車線を上記出水期期間中，固定規制しながら施工した．

**（２）塗膜調査**

施工に先立ち，既設主塔の外面および内面塗膜の成分分析をした．その結果，既設塗膜は鉛を含有することがわかったため，クリーンルームの設置など鉛対策を実施した．ケレン作業時は防護服や保護マスクを着用し，集塵機能付きのディスクグラインダーを使用した．

**（３）外面当て板の設置**

外面当て板の施工では，孔あけ位置の墨出し，ボルト孔の孔あけ，既設塗膜の除去，部材取付けの順に行った．孔あけ精度が低いと，補強板取付け時にボルトが挿入できず，現地再加工が必要となるおそれがある．内面と外面の補強が共締めとなっているため，両側の部材の設置精度が必要となる．

設計計算上は補強部材用のボルト孔を全箇所同時にあけても L1 地震時の照査を満足するが，部材耐力は現況よりも低下するため，L2 地震時は部材降伏のリスクが上がる．そこで，長期間孔があいた状態を避けるために，部材高さ方向に当て板 1 枚分（高さ方向に 2m 程度）ずつ孔あけをして，補強部材を設置する方針で計画した．

当て板のボルト孔をあける際に，孔あけ片が飛び出す場合があるため，主塔の外側から内側に向かって孔あけすることで，供用車線側に被害が出ないようにした（**写真-1**）．

足場材と当て板が近接すると，部材の回転や微調整が困難となる．この課題に対し，当て板引込み治具を設置することで，当て板を吊り上げながら設置した（**写真-2**）．引込み治具に付属するチェーンブロックにより，鉛直方向および水平方向の微調整を行えるようにした．これにより，取込み時に当て板を無理に押込む作業を減らし，既設塗膜の損傷を抑制した．なお，この治具は当て板設置用のボルト孔を利用して設置したため，構造物を損傷させることなく設置できている．当該箇所は主塔上部であり，断面力が比較的小さい範囲のため，引込み治具を設置する範囲の当て板分は先行して他と同時にボルト孔を孔あけしている．

当て板をダイアフラム位置で分割しそれらを添接しない方針としたことで，部材の取り合いが減り，部材位置の調整作業が減ることでスムーズな設置が可能となった．




**写真-1　ボルト孔あけ状況**

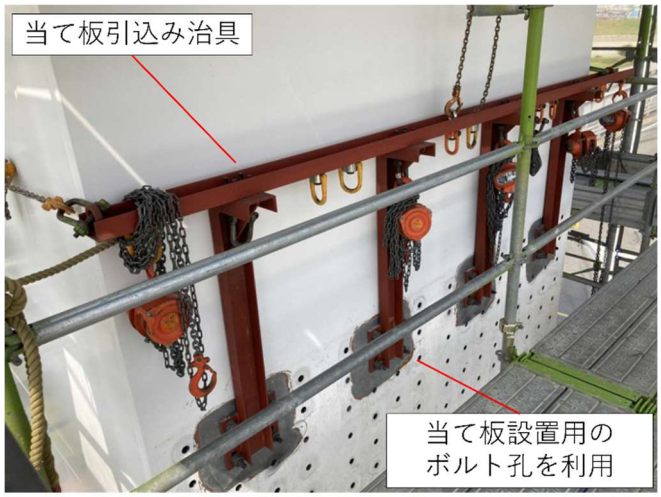



**写真-2　当て板引込み治具**




**写真-3　内面補強設置状況**

**（４）内面補強リブの搬入・建込み**

既設の開口部（高さ 600mm×幅 400mm）からローラー台を使用して主塔内部に補強リブを搬入し（**写**

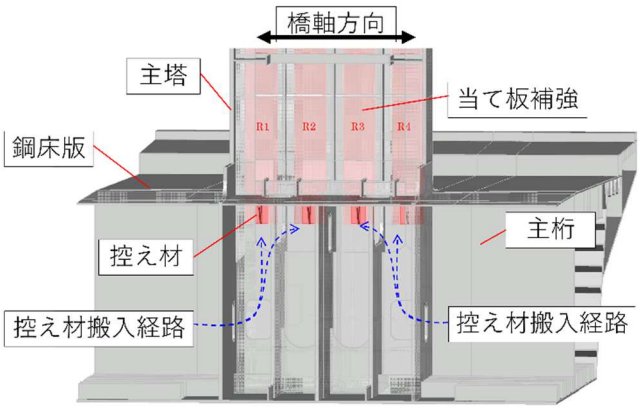



**図-8　控え材設置検討 3D 図**




**写真-4　クーラーによる熱中症対策**

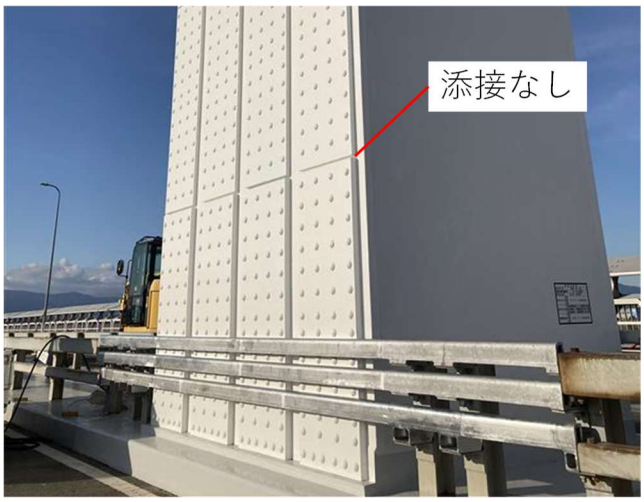



**写真-5　当て板補強施工後**

真-3)，仮設治具を用いて所定位置まで補強リブを吊り上げて移動させた．一つの部材の部材寸法が大きい場合，搬入時に既設部材へ接触しやすく，建込み時は部材吊上げ時の姿勢調整も困難となる．さらに，ダイアフラム間に挿入するので，高い現地測量精度や製作精度が必要になる．そこで，内面補強リブをダイアフラム間で高さ方向に 2 分割し，部材を軽量化することで(**図-6**)，施工性を向上させた．これにより，添接による設置位置の調整が可能となり，施工誤差の吸収も可能な構造とした．部材搬入には，主塔側面に新たに既設よりも大きな開口をあける方法も考えられたが，断面欠損を極力減らす目的からも，補強部材を小さくする方向で設計した．なお，補強範囲より上のダイアフラムから 2 本のワイヤーロープで電動ホイストを使って補強リブを吊り上げた．

既設部材との取り合いにおいて設置精度を向上させるために，事前にダイアフラム間の距離を現地実測し，その結果を反映して補強リブを製作した．さらに，M24 の高力ボルトに対し，既設部材にはφ28.5 の拡大孔を採用することで孔による調整代を大きくした．これにより，現地で部材が入らないなどの不具合は生じず，工程遅延はなかった．

一方，主塔基部の補強について，基部は最も断面力が大きく，基部から主桁に力が伝達する．したがって，主桁にも主塔補強の一環として控え材を設置することで確実な応力伝達をする構造としている．しかし，鋼床版より下側にある主桁は大反力が作用する支点上であることもあり，既設部材が多く非常に狭隘な箇所であった．そこで，3D 図を作成し搬入可能かどうかを確認したうえで部材サイズを決定した（**図-8**）．実際に現地で設置する際は計画通りに搬入することができた．

**（５）安全管理（熱中症対策）**

主塔補強は夏季施工であり，かつ鋼部材の内面であるため，非常に高温になることが予想された．そこで熱中症対策として，主塔内にスポットクーラーにより冷気を送り込み，主塔天端の換気口より排出することで空気を循環しつつ冷却した（**写真-4**）．これにより主塔内の温度は外気温よりも 10℃以上低くなり，快適な作業空間を実現した．

## ５．まとめ

鋼斜張橋の主塔耐震補強において，FEM 解析を用いることで，耐震性能だけでなく施工性を考慮した補強構造を選定した．主塔内外の狭隘な施工条件に対し，外面当て板の分割，添接板の省略，内面補強部材の小分割化を行うことで，部材重量，搬入性，孔あけ・ボルト締付け作業の課題を解決した．これにより，当初工程である出水期間中に施工を完了することができた．さらに，添接板を省略することで完成時の外観も良好である（**写真-5**）．本工事の事例が他の斜張橋の耐震補強工事の参考になれば幸いである．