

世界第3位の長大トラス橋, 港大橋のレトロフィット

損傷を制御する設計を導入し対震性能を向上

長沼敏彦

NAGANUMA Toshihiko

正会員 Dr. Eng. Sci

阪神高速道路公団工務部設計課 課長

金治英貞

KANAJI Hidesada

正会員 工修

阪神高速道路公団大阪建設局設計課 課長補佐

阪神高速道路湾岸線の港大橋は、1974年に完成した長大トラス橋であり、レベル2地震動に相当する想定地震を考慮した場合、数多くの主構トラス部材に座屈あるいは降伏発生危険性を有している。そこで本橋では、静定構造である長大トラス橋の特性を熟慮して、2次部材の塑性化を許容するものの、鉛直力を受け持つ部材には甚大な損傷を許容しない損傷制御設計を適用してレトロフィット（対震性能向上）を進めている。また、この設計コンセプトを実現するために、すべり免震支承システムや座屈拘束ブレースなどの新しい免震技術や制震技術を導入している。

どのような橋？

橋長 980 m を有する港大橋は、カナダの Quebec 橋、イギリスの Forth 橋に次ぐ世界第3位の長大トラス橋である（写真-1）。この橋は、図-1 に示す大阪市港区に位置し、神戸市東灘区の六甲アイランドから泉佐野市のりんくう JCT 間の阪神高速道路湾岸線の一部を成している。本橋には各4車線を有する上下2層の道路面があり、日交通量（平日平均）はそれぞれ、62 800 台、53 100 台となっている（2004年4月時点）。湾岸線の建設は第1期工事として1970年7月にこの港大橋において初めて着手され、これを含む1.9 km が1974年7月に供用開始された。建設当時、当該架橋地点は非常に軟弱な地盤のために支点間における不等沈下が懸念され、中央径間にヒンジを有するゲルバー形式を採用している。また、死荷重軽減が命題となり、日本で初めて高引張力鋼材 HT780 や HT690 を本格的に採用している。鋼重量は約 40 000 t、また総重量は約 45 000 t となっている。



写真-1 港大橋全景



図-1 港大橋と想定地震

なぜレトロフィットが必要なのか？

兵庫県南部地震以降、全国において橋梁の耐震補強が鋭意実施されてきているが、長大橋に関しては、その投資額、技術的難易度から一般橋に遅れをとっているのが現状である。長大橋の場合、1橋当たりの補強投資額は大きなものとなるが、同時に損傷時コスト（復旧コスト+復旧までの経済損失コスト）も計り知れないことから、長大橋の特性を考慮した、効果的なレトロフィットをできるだけ早急に実施する必要がある。

本橋のレトロフィットに際しては、レベル2地震動として、図-1 に示す想定地震を考慮し、震源断層モデルを用いて複数の地震動を作成した。図-2 は、その内の一つの応答加速度スペクトルを示しているが、図から明らかなように長

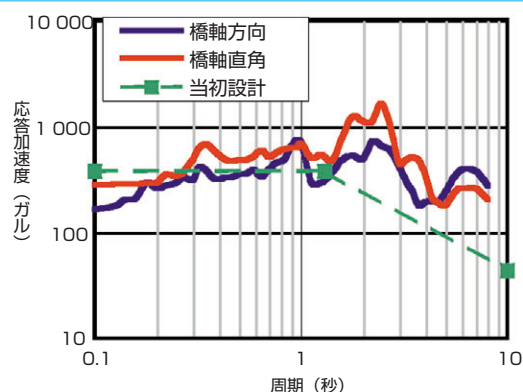


図-2 最も影響の大きい内陸型地震動の応答スペクトル

周期域で建設時当初の設計スペクトルを大きく上回っている。このため、これを用いて解析を実施した場合、主構トラス部材に座屈あるいは降伏発生の危険性があることが認められた。また、阪神高速道路の長大橋の中で最も建設年次が古く、人命確保はもちろんのこと、損傷時コストが大きいことを考慮して最も高い優先度が設定されている。

レトロフィットのポリシーは？

本橋のように多部材で構成されている橋では、部材そのものを補強することは施工性、経済性から判断して不合理で

あることから、全橋の地震時応答を低減する策を第一に考えた。また、静定構造の長大橋の場合、甚大な損傷が主要部材に発生すると復旧は橋全体に及ぶ可能性が高いことから、鉛直力を支持する主要部材については弾性に近い挙動に抑制し、水平力対応部材に履歴減衰を発揮する弾塑性挙動を許容した。この設計方法は損傷制御設計とも言われている。

本工事の具体的な応答低減策は、床組免震化と座屈拘束ブレース設置であるが、これだけではすべての主要部材を許容値内に抑制することは困難であることから、座屈長低減ストラットの設置のほか、一部の部材については補強を実施する(図-3)。また、構造要素として脆弱と想定されるヒンジ部や中間支承においては落橋防止システムを構築する。

床組免震(すべり免震支承システム)とは？

応答低減の方法として、橋軸方向には免震化が有効と判断されたことから各種の免震構造を検討した。しかしながら、主構トラスを支持する巨大な中間支承を免震化することは施工困難であるとともに、高反力条件下で安定した履歴減衰を得ることも現時点では不可能と判断された。このため、全重量の約40%を占める床組を支持する既設金属支承

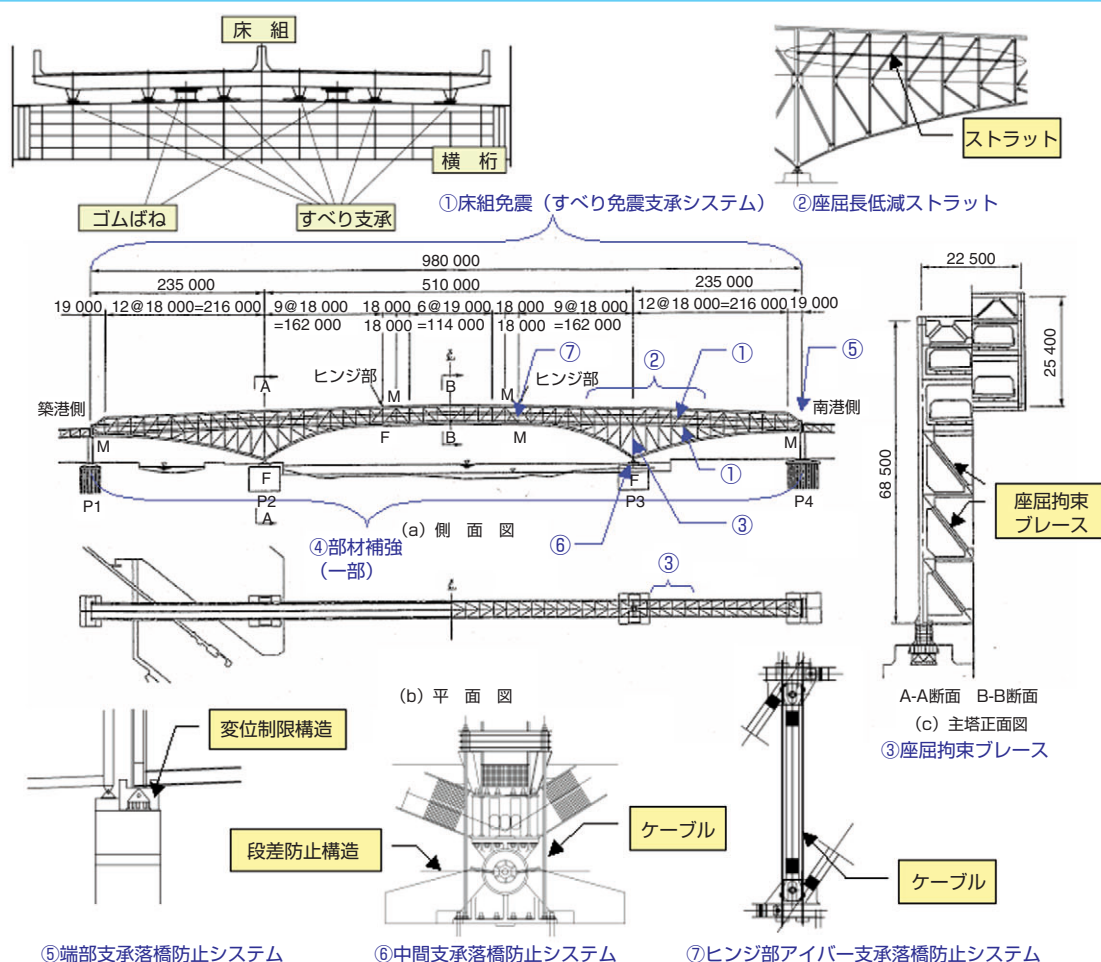


図-3 港大橋の主たるレトロフィット(対策は全橋において左右対称)

未着手対策含む

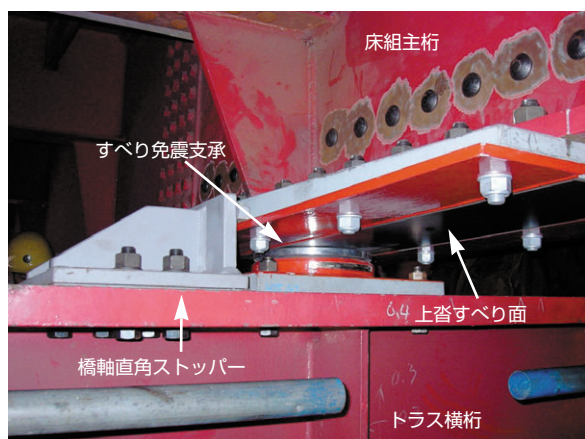


写真-2 すべり免震支承(橋軸方向のみ可動)

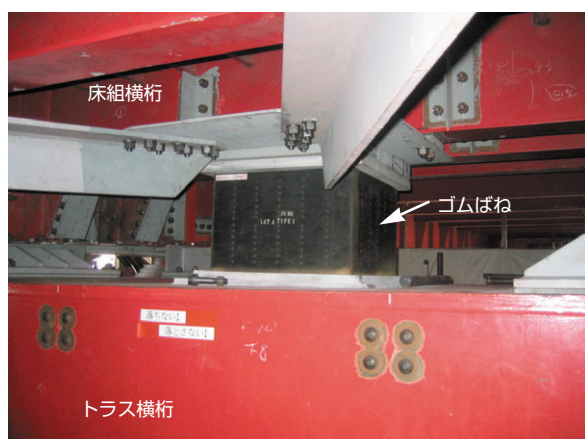


写真-3 ゴムばね(水平力のみ負担)

をすべり免震支承に取り替える方法を採用した。

フラットなすべり支承は摩擦減衰を期待できるが復元力を発揮しないことから、ゴムばねを併設するすべり免震支承システムを採用している(写真-2, 3)。設計においては、摩擦係数とゴムばねの周期を種々組み合わせた解析を実施し、最適な組み合わせを設定した。本橋では、通常よりも低摩擦のすべり材が要求され、新たに支承メーカーを中心に検討が行われた。その結果、高速度にも耐えうる繊維強化熱硬化樹脂系のすべり材が開発された。

座屈拘束ブレースとは？

橋軸直角方向についても種々の方策が考えられたが、解析上座屈が想定される横構や対傾構を、座屈拘束ブレース(座屈しない軸力部材)に取り替えることにより、その履歴減衰を期待する技術を最適案として選択している。既存の建築用座屈拘束ブレースには種々のものがあるが、低降伏点鋼等を用いた芯材に、芯材座屈を抑制する拘束材が隙間をもって外部に配置されたものが多い^{12), 3)}。

著者らの知る限り、長大橋への適用、特に既設橋への適用は世界ではじめてとなることから、施工性、コストを熟慮した構造開発を行っており、既設斜材に改良を加えたものも含めて種々のタイプを検討している。図-4 はそのうちの十字

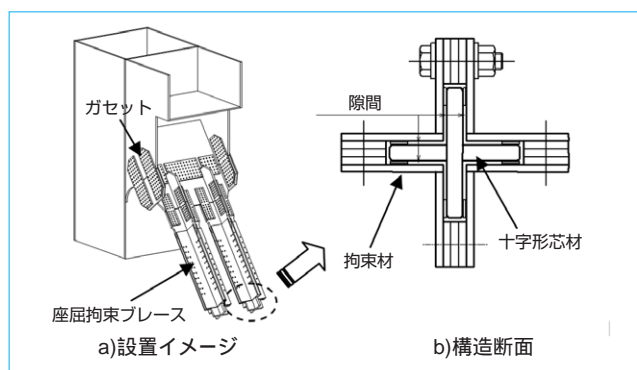


図-4 座屈拘束ブレースの設置イメージと構造

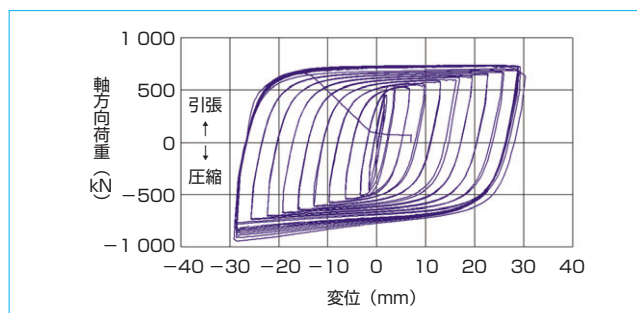


図-5 座屈拘束ブレース(実験供試体)の履歴曲線

形芯材・並列タイプの取り付けイメージと構造断面を示したものであり、中央の十字形芯材が引張、圧縮降伏することで安定した履歴減衰を確保することができる特性を有する(図-5)。

効果と今後の課題は？

本稿では、港大橋のレトロフィットの概要、特に新たな技術として床組免震システムおよび座屈拘束ブレースを紹介した。長大橋の場合、これらの免震、制震技術は一般橋よりも有効な手段であり、結果として補強部材数を大幅に減らし、コスト縮減効果も大きなものとなっている⁴⁾。

港大橋は日本の長大橋の幕開け的存在であり、レトロフィットにおいてもその役割が期待されている。工事は最終段階に入るが実大規模座屈拘束ブレースの性能確認など少なからず課題が残されている。また、性能型設計として説明責任の果たせる対策であることを定量的に示す必要があると考えている。今後、残されている橋梁のレトロフィットに際して、本橋での新技術が少しでも役に立てば関係者一同の望外の喜びである。

参考文献

- 1 - 阪神高速道路公団：すべり免震支承システム設計の手引き，2003.5
 - 2 - 建築研究所，日本鉄鋼連盟市場センター：履歴型ダンパー付鋼構造骨組の設計法，2002.2
 - 3 - 日本鋼構造協会：土木構造物の動的耐震性能照査法と耐震性向上策，2003.10
 - 4 - 金治英貞ほか：長大ゲルバートラス橋の損傷制御耐震補強策と応答低減効果，土木学会地震工学論文集，2003.12
- レトロフィット：一般に耐震補強と訳されることが多いが、本稿では免震や制震技術を用いた地震に対する性能(対震性能)の向上化という意味で用いている。