

高速道路橋梁の更なる耐震補強設計における 桁衝突の回避対策事例等

ふじおかけんすけ なかむらけんいち かごたにむねひろ
藤岡健祐¹・仲村賢一²・籠谷統啓³

日本工営株式会社 大阪支店（〒530-0047 大阪府大阪市北区西天満1-2-5）

近年、緊急路としての機能が求められる高速道路橋梁において、大規模地震に対する落橋・倒壊の対策に加え、路面に大きな段差が生じないよう支承補強や交換等、早期復旧性の確保を目指した対策が加速化している。本業務は、こうした高速道路における橋梁の更なる耐震補強事業の一環として、連続高架橋2橋の耐震補強設計を行ったものである。対象橋梁は、兵庫県南部地震直後の復旧仕様に基づく橋脚柱の耐震補強など多数の補修・補強履歴を有しており、これらの構造的特徴を踏まえ、最適な耐震対策工法を検討した。本稿では特に技術的課題のあったコンクリート橋の「桁衝突の回避」及び「支承取替」に着目した対策事例を報告する。

Key Words : 耐震補強設計, 桁衝突回避, 支承取替

1. はじめに

高速道路の橋梁においては、過去の耐震補強対策の効果により、平成16年新潟県中越地震、平成23年東北地方太平洋沖地震、平成28年熊本地震といった大規模地震による被災を経験したものの、一部の橋梁を除き、落橋・倒壊などの致命的な被害は回避している。しかしながら、支承逸脱等（図-1）により路面に段差が生じ、緊急車両の通行が困難になるなど、緊急路としての機能が求められる高速道路の復旧完了までに時間を要しているとの課題が指摘されている。



(a) 支承逸脱による桁のずれ



(b) 支点移動による桁座屈



(c) 桁の沈下による路面段差



(d) 応急復旧状況

図-1 熊本地震による被災状況（木山川橋）

以上の背景から、現在、落橋・倒壊の対策に加え、路面に大きな段差が生じないよう支承補強や交換等、早期復旧性の確保を目指した対策が加速している。

本業務は、こうした高速道路における橋梁の更なる耐震補強事業の一環として、連続高架橋2橋の耐震性能照査及び補強設計を行ったものである。対象橋梁は、兵庫県南部地震直後の復旧仕様に基づく耐震補強や部分的な支承取替ならびに上部構造のB活荷重補強、幅員拡幅など多数の補修・補強履歴を有しており、これらの構造的特徴を踏まえた耐震対策上の課題を整理し、最適な技術的解決策を検討する必要があった。本稿では特に技術的課題のあったコンクリート橋の「桁衝突の回避」及び「支承取替」に着目した対策事例を報告する。

2. 対象橋梁

(1) A橋

橋長 : 268.000m 幅員 : 9.850m(全幅)
上部工 : PC単純I桁橋(8連)
下部工 : ラーメン式橋脚 / 基礎工 : 直接基礎
耐震補強履歴 : 支承取替, 落橋防止構造設置,
縁端拡幅, 橋脚柱鋼板巻立て等 (H8年度)

(2) B橋

橋長 : 181.000m 幅員 : 9.850m(全幅)
上部工 : RC連続中空床版橋, 鋼単合成鈹桁橋
下部工 : 多柱式橋脚, ラーメン式橋脚
耐震補強履歴 : 支承取替, 落橋防止構造設置,
橋脚柱RC巻立て/鋼板巻立て等 (H10年度)

3. 現橋補強を有効利用するための免震構造化及び桁衝突回避対策 [A橋]

(1) 現橋の耐震性能及び構造的課題

レベル2地震動に対する橋全体系の非線形動的解析の結果、以下の構造的課題が明らかとなった。

a) 耐震補強済み橋脚柱の曲げ耐力不足

当該橋梁は全橋脚において、アンカー定着を有する曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法による橋脚柱の耐震補強が為されていたが、現行基準の構造細目を満足しておらず、レベル2地震時の発生断面力が柱基部の曲げ耐力を超過する状態であった。

鋼板巻立て補強済みの橋脚柱に追加補強 [RC巻立て] を行う場合、鋼板とRC巻立ての境界面にずれが生じ所定の耐力が発揮できない可能性がある他、橋脚が現道と隣接している (図-2) ため、施工時の長期間の通行止めが必要になる等、橋脚柱の直接補強が困難な状況であった。



図-2 橋脚周辺状況

b) 桁⇄桁, 桁⇄橋台パラペット衝突の発生

当該橋梁は9連のPC単純I桁橋で構成され、隣接する桁同士及び桁と橋台パラペット間の遊間は40mmである (図-3)。それに対し、レベル2地震時における上部工の最大応答変位は200mm程度であり、橋台パラペットと桁の衝突が発生する状況であった。

実挙動再現のため、桁同士、桁とパラペットの衝突を考慮した動的解析を実施した結果、自由振動モデルでは同位相で衝突が生じていない桁同士も玉突きによる衝突発生が確認された。また、橋台部の桁衝突力は30,000kN以上の応答が確認された。衝突バネの設定値により変動するが、相応大きな衝突力が作用すると想定され、衝突回避が必要と考えた。



図-3 桁遊間 (かけ違い橋脚部)

(2) 補強対策概要

a) 免震構造化による橋脚柱曲げ耐力不足の改善

橋脚柱は追加の巻立て補強が困難であることから、橋軸・直角方向の免震構造化 [既設支承の可動化+免震バッファの設置 (桁間)] により地震時慣性力を軽減させることで、曲げ耐力不足を改善した。

一方で、免震構造化の適用により上部工の移動量が大幅に増加したため、「既設支承の移動可能量不足」と「桁とかけ違い橋脚段差部との衝突発生」という新たな課題が生じた。

この問題解決を図るため、免震バッファの設置にあわせて、既設支承の取替及び掛け違い段差部の撤去を実施した。

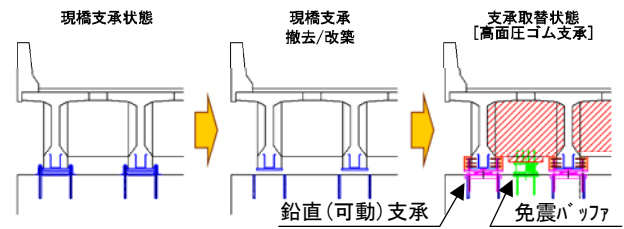


図-4 施工概要図 [免震構造化]

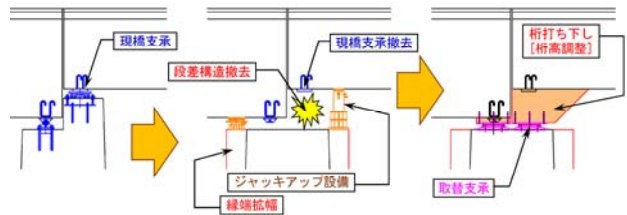


図-5 施工概要図 [掛け違い段差部撤去]

既設支承取替は以下の要領で計画した。

- ①主桁定着部の上沓は残置して下沓等を撤去
- ②主桁範囲外に新設の支承アンカーを削孔
- ③既設支承撤去エリアに高面圧ゴム支承 [可動] を設置
- ④上沓拡大 [直角方向地震時変位対応] に応じて主桁コンクリートを拡幅
- ⑤主桁拡幅コンクリートに上沓アンカー埋込み
- ⑥拡幅コンクリートアンカーにて既設主桁と拡幅コンクリートを一体化

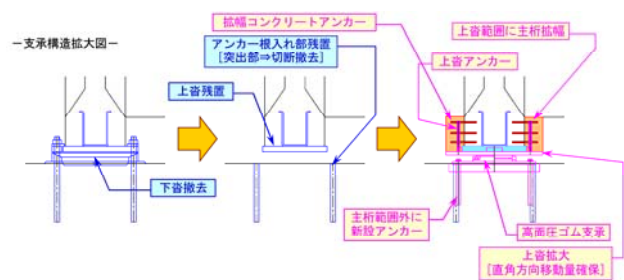


図-6 既設支承取替の施工要領

b) 桁衝突の対策

免震構造化による耐震対策を適用する場合、橋梁上部構造の自由振動を担保することが前提となる。したがって、「桁⇄桁の衝突」「桁⇄橋台パラペットの衝突」を確実に回避するために、以下の耐震対策を計画した。

◇桁⇄桁衝突；上部構造の地震時連続化

◇桁⇄橋台パラペット衝突；パラペット打替え

上部構造の地震時連続化構造は、「PCケーブル+緩衝パッドによる連結構造」を採用した。

- ・増設横桁の下端にPCケーブルを配置して隣接桁を連結することで桁の離れを拘束する。
- ・桁端横桁の隙間[遊間部]に緩衝パッドを配置し隣接桁の衝突方向の断面力を伝達する。
- ・連結ケーブルは位相差に伴う隣接桁との直角方向のずれに追従する構造とする。
- ・温度変化時の変位拘束を避けるためPCケーブル及び干渉パッドに10mmの作動遊間を設ける。

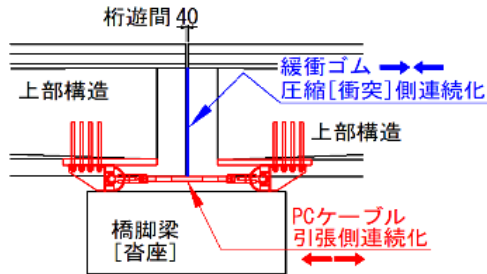
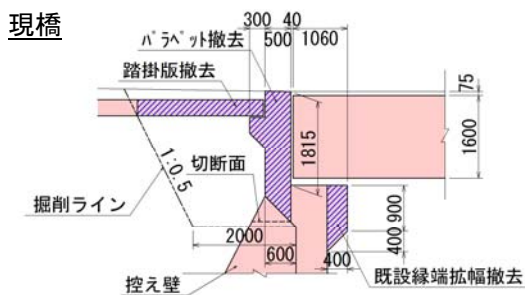


図-7 上部構造の地震時連続化概要

橋台部は、現橋桁端遊間40mm⇒300mmへ拡張する必要があるため、パラペット打替え（セットバック）及びそれに伴う伸縮装置取替、踏掛版改築、落橋防止構造設置を計画した。桁遊間300mmに相当する伸縮装置は既設PCT桁に対する設置が困難なため床版遊間を100mmとしたロックオフ構造を採用した。



改築後

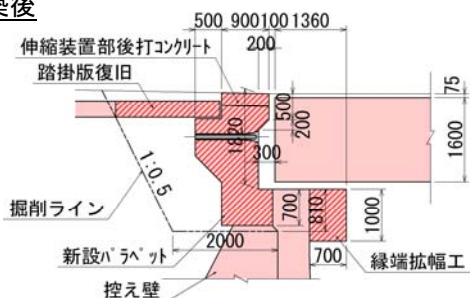


図-8 橋台パラペット改築概要

4. 橋台支承部の支承条件固定化による桁衝突回避対策 [B橋]

(1) 現橋の耐震性能及び構造的課題

当該橋梁はRC連続中空床版橋（3連）と鋼単純合成鈹桁橋（1連）で構成され、現橋の桁遊間量が極めて小さい[橋台部35mm, 掛け違い段差部70mm]。レベル2地震動に対する橋全体系の非線形動的解析の結果、上部工の最大応答変位は80mm程度であり、桁⇄橋台パラペット（RC中空床版部）、桁⇄掛け違い段差（鈹桁部）の衝突が発生することが明らかとなった。

鈹桁部においては、桁端部をガス切断することで遊間拡大が可能であるが、RC中空床版部は橋座空間が狭く、桁端切断及び切断後の端部処理等の施工スペースの確保が困難であるため、桁端切断による遊間拡大は不可能である。また、当該橋梁はICに近接しており、本線の交通規制が困難であることから、パラペット打替えによる遊間拡大も採用できない。

(2) 補強対策概要

35mmの遊間に対して、桁⇄橋台パラペットの衝突を回避するためには、橋台支承部を固定化が必要があるが、現橋可動条件である橋台を固定化することにより過大な上部工慣性力を負担することになるため、大規模な橋台補強[堅壁増厚+フーチング拡幅]が必要となる。

この問題解決を図るため、橋台部を押し込み側（衝突方向）のみ固定化し、桁⇄パラペットの衝突を防止する対策を計画した。これにより、橋台部に作用する上部工慣性力は背面土圧の逆方向にしか作用しないため、橋台補強が不要なレベルに堅壁基部の発生断面力を低減することができた（図-8）。

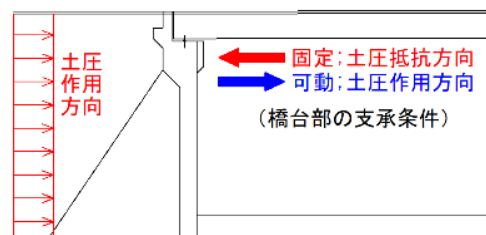


図-9 橋台部の支承条件

固定装置はせん断ストッパータイプとし、片方向の固定条件とするため、衝突方向に偏心させた状態でセットする（図-9）。

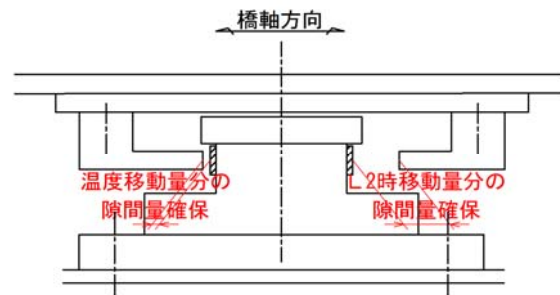


図-10 固定装置の設置方法

5. 既設支承撤去が困難なコンクリート橋における支承取替計画 [B橋]

(1) 現橋の耐震性能及び構造的課題

当該橋梁の可動橋脚は支承形式が一本ローラー支承であり、支承の逸脱により被災が大きくなる可能性がある。また、多柱式橋脚の1柱に2基の支承が設置されているため、既設支承の支承間距離（直角）が小さく、負反力が生じる箇所がある。

コンクリート橋の支承は上沓がアンカーにより上部構造に埋め込まれているため、既設支承の完全撤去は不可能である。さらに、当該橋梁はRC中空床版橋であるため、橋座面～桁下面の離隔が小さく、新設アンカーの設置は不可となる。



図-11 現橋支承部



図-12 既設支承（一本ローラー支承）

(2) 補強対策概要

新設アンカーの設置が不要な案として、機能分離型支承（鉛直支承+水平力分担構造[直角方向]）に取り替える対策を採用した。また負反力の発生を防止するため、1柱2支承⇒1柱1支承に変更した。

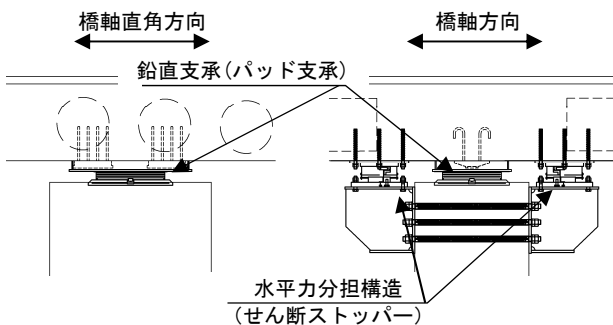


図-13 機能分離型支承(鉛直支承+水平力分担構造)

鉛直支承の概要は図-13に示す通りである。橋軸方向は上沓下面（SUS板）とゴム支承上面（PTFE）の境界面で滑らせることで変位に追随する。なお、境界面の摩擦に伴う水平力に対しては、以下の機構で抵抗する。

＜取付け部の滑動防止；摩擦に対する抵抗＞

- ・上部工側
[既設上部工側アンカー]⇔[既設上沓]⇔
[無収縮モルタル]⇔[スタッド]⇔[新設上沓]
- ・下部工側
[沓座モルタル]⇔[せん断キー]⇔[ゴム支承]

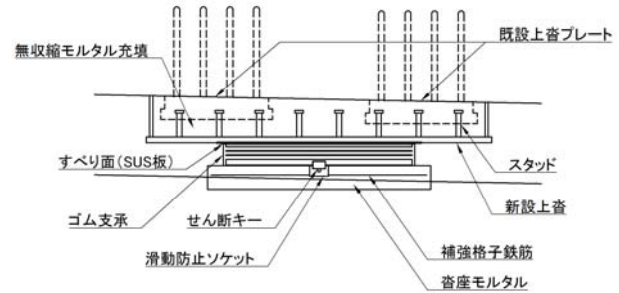


図-14 新設鉛直支承

図-14に鉛直支承取替の施工フローを示す。

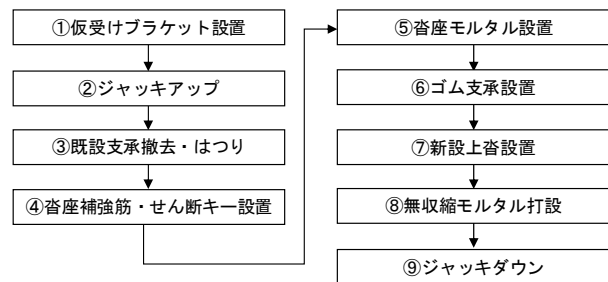


図-15 支承取替施工フロー

6. 本業務の成果及び今後の課題

本業務の技術的成果として、既往の補強履歴を踏まえた現橋の構造特性を詳細に把握することで、現橋補強を有効活用し、効果的かつ最適な耐震対策を実現した。

一方で今後の課題として、「桁衝突現象の適切な評価手法の確立」や「衝突緩和のデバイス開発」等、衝突発生を許容する考えも取り入れる、より合理的な対策方針の必要性を明らかにした。また、多数橋梁の早期の耐震補強完了のために、個々の橋梁に対する設計をいかに効率化するのが重要である。

参考文献

- 1) (財)海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集，2005
- 2) NEXCO西日本 ホームページ
<https://corp.w-nexco.co.jp/>
- 3) 国土交通省 ホームページ <https://www.mlit.go.jp/>
- 4) (社)日本橋梁建設協会：熊本地震橋梁被害調査報告書，2016