

## PC3径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋の連結化設計について

八千代エンジニアリング(株)		○大滝 渚美
中日本高速道路(株)		村岡 史朗
中日本高速道路(株)	正会員	長谷 俊彦
八千代エンジニアリング(株)	正会員	小原 淳一

キーワード：有ヒンジラーメン橋、外ケーブル補強、連結化、炭素繊維シート補強

### 1. はじめに

中日本高速道路(株)の管理する高速道路橋(A橋)において、建設から39年が経過した有ヒンジラーメン箱桁橋の中央ヒンジ部の段差発生による走行性の悪化や劣化の進行が課題となっている。そのため、走行性の改善と長寿命化を目的とし、中央ヒンジ部の連結化による補強を計画した。

本橋では、連結化により構造系がPC3径間連続ラーメン箱桁橋に変化するため、連結化後の構造系を対象に常時・L1・L2地震時の構造的確認および補強を実施し、上部工は外ケーブル工法によるプレストレス導入と炭素繊維接着工法によるせん断補強を行い、耐震補強済みの下部・基礎工については現況構造の安全性を確認した。また、本橋は通行止めができない重交通路線に位置するため、連結化施工は車線規制下で半断面ずつ段階的に打設・緊張を行う計画とし、施工ステップ毎の交通規制計画を立案した。

本報告は、PC連続有ヒンジラーメン箱桁橋の上り線について、外ケーブルによる中央ヒンジ部連結化補強の計画および基本設計の概要について報告するものである。

### 2. 橋梁概要

検討対象橋梁の諸元を表-1、全景および中央ヒンジ部のゲレンク沓の状況を写真-1、側面図および主桁断面図を図-1に示す。

表-1 橋梁諸元(上り線)

橋長(全径間)	630 <sup>M</sup> 000	桁長(設計対象区間)	339 <sup>M</sup> 900
道路規格	第1種 第3級 B 80km/s)	架設年度	昭和53年(1978年)
荷 重	当初設計	TL20, TT43	
	補強設計	B活荷重	
形 式 (設計対象区間)	当初設計	PC3径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋	
	補強設計	PC3径間連続ラーメン箱桁橋	
支 間	104 <sup>M</sup> 400 + 130 <sup>M</sup> 000 + 104 <sup>M</sup> 400		
有効幅員	11 <sup>M</sup> 500 (全幅員13 <sup>M</sup> 000)	斜角	90° 00' 00"
上部工コンクリート	設計基準強度 $\sigma_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$		
下部工コンクリート	設計基準強度 $\sigma_{ck}=24 \text{ N/mm}^2$		
適用示方書	当初設計	設計要領第二集(昭和45年) 道路橋示方書(昭和48年) 道路橋耐震設計指針 同解説(昭和47年) 道路橋下部構造設計指針(昭和43年) プレストレストコンクリート道路橋示方書(昭和43年) コンクリート標準示方書(昭和49年)	
	補強設計	道路橋示方書 同解説(平成24年3月) 設計要領第二集(平成28年8月)	



写真-1 全景および中央ヒンジ部ゲレンク沓

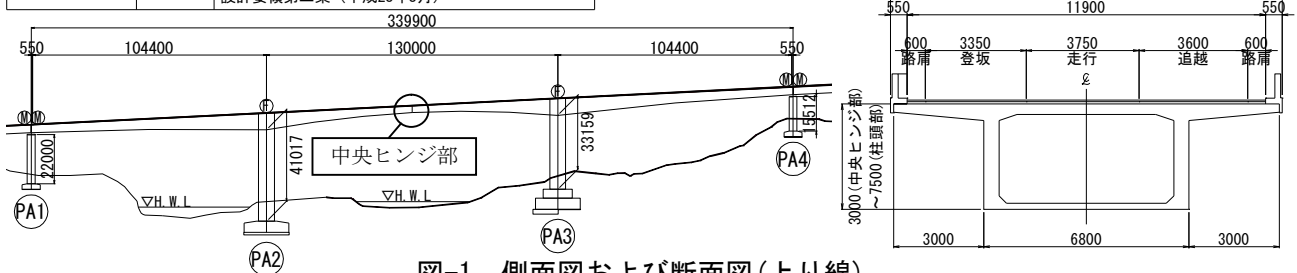


図-1 側面図および断面図(上り線)

### 3. 連結化補強設計

#### 3.1 復元設計

連結化補強設計に先立ち、中央ヒンジ連結化後の設計モデルを適切に作成するため、既存資料を参考とした復元設計を行い、以下の項目の確認により、解析モデルの妥当性を確認した。解析モデルは平面骨組みモデルで、復元設計では中央ヒンジ部を曲げ・軸力を伝達せずせん断力のみが伝達される二重節点とした。また、次節以降に示す連結化後の解析モデルでは、この二重節点の拘束条件を剛結として全断面力を伝達させるものとした。

- (1) 設計断面力の一致 (構造諸元・設計荷重・支持条件など骨組みモデルの妥当性確認)
- (2) 合成応力度の一致 (PC鋼材配置・有効プレストレス・構造特性の妥当性確認)

#### 3.2 連結化による構造系変化の影響確認

中央ヒンジ部の連結化による構造系変化の影響および補強の要否を検討するために、無補強で連結した場合(補強部材死荷重および外ケーブルによるプレストレスを考慮しない状態)について構造解析を行った。主桁のモーメント分布および連結部下縁の縁応力度を図-2に示す。中央ヒンジ部主桁下縁において縁応力度が曲げひび割れ強度( $f_{bck} = -1.16 \text{ N/mm}^2$ )を大幅に超過し、ひび割れ発生に伴う耐久性上の懸念が生じるため、中央ヒンジ部に補強外ケーブルを配置する方針とした。なお、連結部は長期耐久性に配慮して、既設部と同様のPC構造とした。

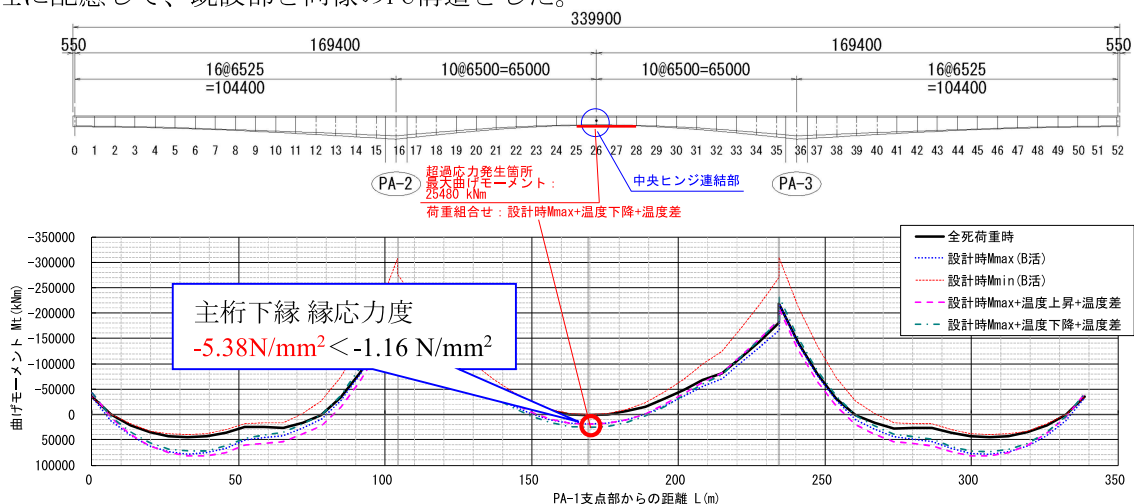


図-2 主桁のモーメント分布および連結部の縁応力度(無補強時)

#### 3.3 補強外ケーブルの配置計画

補強外ケーブル(SWP7BL 19S15.2、以降同規格)の配置方針は、既往の事例<sup>1)</sup>を参考に、プレストレス二次力(以降、二次力)や定着部の補強程度の違いに留意して、比較検討から決定した。

比較検討案の概要を図-3に示す。検討方針として、引張応力超過位置近傍に部分的に外ケーブルを配置する「検討方針1」と、中央径間全長に渡り外ケーブルを配置する「検討方針2」とを比較するものとし、それぞれ

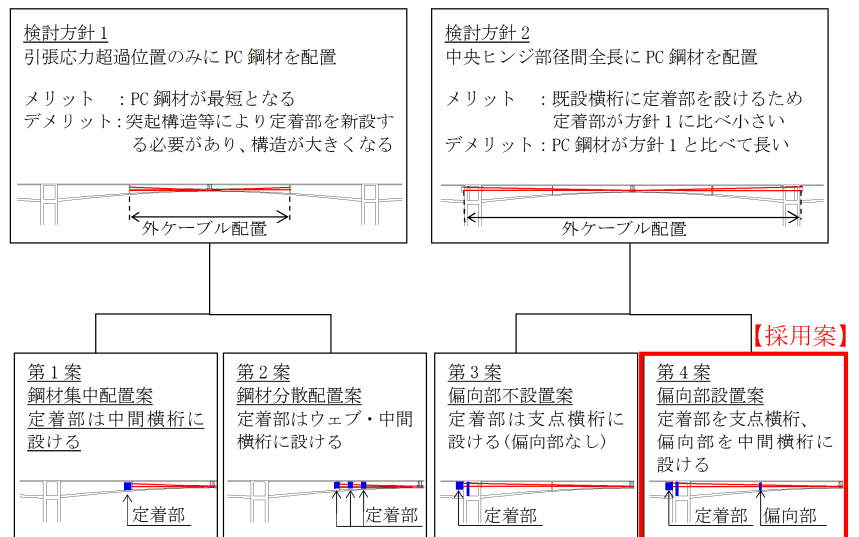


図-3 外ケーブル配置比較検討案

れの方針について、定着部や偏向部の位置を変化させて比較検討を行った。

鋼材集中配置案では、外ケーブルが10本必要となる。許容値を満足しない箇所に効率的な補強が可能であるが、径間中央付近に横桁定着部を設けるため、補強重量による主桁の応力増加や下部工耐震性能への影響が懸念されることや、横桁横締めを追加配置など施工性に劣ること、また、二次力の影響により柱頭部側径間側の主桁上縁で引張応力が発生し、側径間にも補強が別途必要となった。

鋼材分散配置案では、二次力の軽減により外ケーブルが8本配置となる。鋼材集中配置案に比べて定着部の補強量を軽減することが可能であるが、定着部を3箇所分散配置させることで、施工性に劣ることが懸念された。

支点横桁部に定着部を設けた鋼材配置案では、鋼材延長は集中配置案に比べて長くなるものの、剛な支点横桁部で定着することにより局部応力を抑え、補強構造を小さくすることができる。中間横桁を偏向部として補強活用することにより、二次力を削減して合理的にプレストレスを導入することができるため、偏向部の有無により外ケーブルの配置本数に違いが生じ、外ケーブルが、偏向部不設置案では10本、偏向部設置案では8本必要となる。面外格子解析による検討の結果、偏向部不設置案では外ケーブル定着横桁の補強鉄筋配置が困難となった。よって、偏向部設置案の鋼材配置を採用することとした。

補強外ケーブル配置後の、二次力による発生曲げモーメントの概要を図-4に示す。

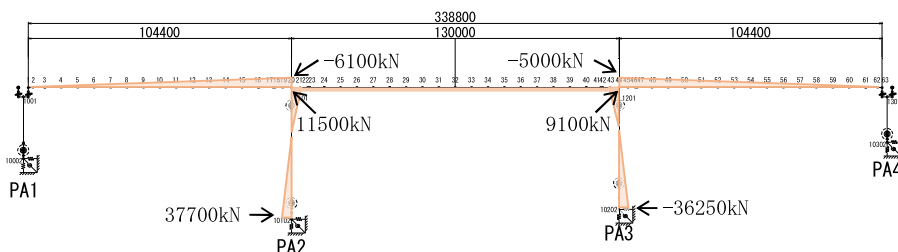


図-4 二次力による曲げモーメント (補強外ケーブル配置後)

### 3.4 定着部・偏向部の設計

定着部の補強について、面外格子解析による検討の結果、太径鉄筋が必要となり施工性に課題があることから、ソリッド要素を用いた3次元線形FEM解析により、外ケーブル定着部近傍の発生応力状況を確認し、定着部の補強構造を決定することとした。偏向部は偏向角度が比較的小さく配置本数も少なかったことから、大規模な補強には至らなかった。

定着部補強形状を図-5に示す。外ケーブル定着横桁では、横桁の上側から2.4mの範囲を部分的に増し厚補強して定着部を設け、横桁の曲げを軽減するために、定着体は極力ウェブ近傍に設ける構造とした。また、横桁に加えてウェブ自体を増し厚することで既設主桁ウェブに生じる応力を緩和し、増し厚部に配置した補強筋で対応した。

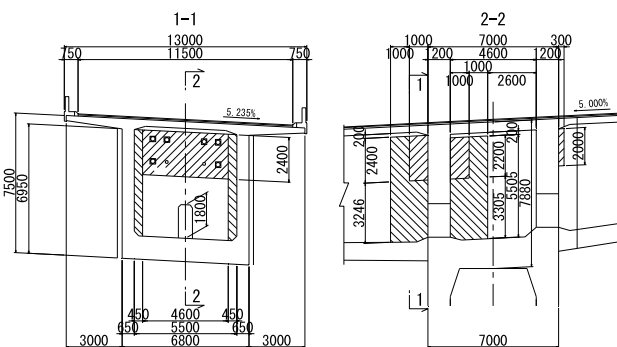


図-5 定着部の補強形状

### 4. 施工計画

中央ヒンジの連結化工事は床版コンクリート打設を要するため、交通規制を伴う工事となるが、本橋は重交通路線に位置し通行止めはできないことから、車線規制で供用しながら施工する必要がある。

供用下で中央ヒンジ部を連結化する場合、交通車両によるヒンジ部の動きによりコンクリートの強度発現前の初期ひび割れが懸念されることから、仮設のPC鋼棒とジャッキによる仮固定を行ったうえで、段階的にコンクリート打設と外ケーブルによる補強を行う計画とした。中央ヒンジ部の仮固定状況を図-6に示す。仮設PC鋼材は中央の隔壁に削孔して設置し、ジャッキは、加圧力が主桁に円滑に伝達できるよう床版およびゲレンク沓が設置された隔壁の増し厚部に配置するものとした。

コンクリート打設は、下床版・ウェブを早強コンクリートで打設した後に、上床版を半断面ずつ超速硬コンクリートで打設する計画とし、各打設段階において、施工時(硬化前：仮設資材による仮固定のみを考慮)と硬化後(仮設資材とコンクリート断面を考慮)の断面照査を実施するものとした。また、施工時の照査に用いる活荷重は、交通規制に応じた車両荷重を図-6のとおり設定した。

なお、ゲレンク沓については中央ヒンジ部の連結後には構造上不要の部材となるが、施工時の鉛直方向の挙動を固定するために撤去せず、防錆処理を施したうえで連結部の部材内部に埋設する計画とした。

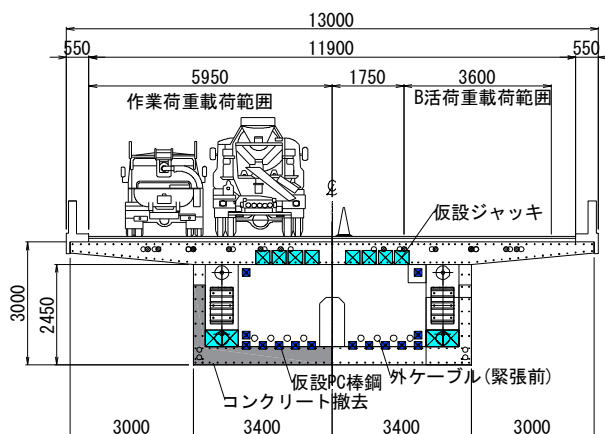


図-6 中央ヒンジ部の仮固定

### 5. 連結化後の耐震性確認

本橋では過年度に耐震補強工事が施工されているが、連続化により構造系が変化することから、連結化後の構造系を対象にL1・L2地震時に対する耐震性を確認した。

連結化に伴いわずかに地震時の応答が上昇する傾向であったが、耐震補強済みの下部・基礎工については現況構造において所定の耐震性を確保していることを確認した。

過年度耐震補強工事の際に補強対象外であった上部工は、せん断耐力が不足したため、炭素繊維接着工法によるせん断補強を行うものとした(図-7)。炭素繊維補強は、定着アンカー削孔時に主桁の縦締め鋼材との干渉のリスクが比較的少ないことから、主桁外面を基本として、施工が困難な補強量となった範囲については内面の補強を合わせて行う方針とした。定着方法は炭素繊維材のみで定着可能なCFアンカー工法を用いる。また、表面仕上げは、外面は耐紫外線塗装を実施するが、内面については、既往の箱桁内面の炭素繊維補強事例<sup>2)</sup>を踏まえ、紫外線による劣化の恐れがないことから、実施しないこととした。

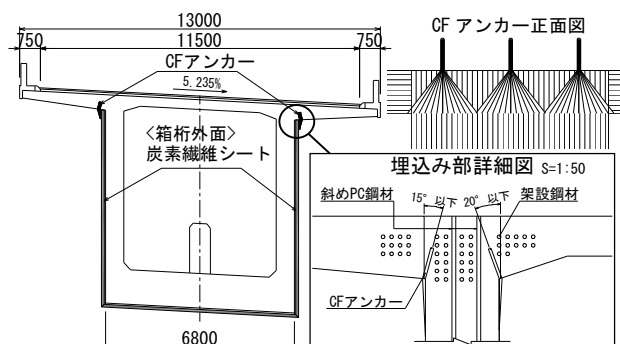


図-7 主桁外面の炭素繊維補強

### 6. おわりに

本報告は、有ヒンジ構造を有するラーメン橋の連結化補強の計画および基本設計について記したものである。有ヒンジラーメン橋は、1960年から80年代にかけて多く建設された構造形式であるが、全国各地において、中央ヒンジ部の伸縮装置からの漏水による劣化、クリープ変形やゲレンク沓の摩擦損傷による走行性の悪化が、維持管理上の課題となっている。本報告が今後の同種橋梁の補強設計検討の一助となれば幸いである。

最後に、本橋の補強設計を実施するにあたり、ご指導いただいた関係者の方に深く感謝の意を表します。

#### <参考文献>

- 1) 竹村・渡辺・阿部・上杉 有ヒンジラーメン箱桁橋の連続化補強設計-東北自動車道 八幡平橋- ;プレストレストコンクリート技術協会第16回シンポジウム論文集[報告], 2007
- 2) 加藤・辻 ~平成の大改修~「浜名大橋」橋梁補強について ;平成23年度 国土交通省 国土技術研究会 発表論文, 2011