

# 都市内における二枚壁式橋脚を有する連続高架橋の設計報告

## — 京都第二外環状道路 —

飯沼 俊介\*1・増田 貴充\*2・三矢 寿\*3・水田 崇志\*4

本報告は大枝 IC（仮称）～久御山 IC を繋ぐ総延長 15.7 km の京都第二外環状道路を整備するために、京都府長岡京市地内に架橋され、非常駐車帯やランプ拡幅により広幅員で 35.637 ～ 19.920 m へと幅員変化を有する 4 + 3 + 3 + 4 + 4 + 5 径間連続 PC ラーメン箱桁橋の設計報告である。本高架橋は都市内に架橋されることから、騒音・振動対策としての桁伸縮移動量の抑制や耐震性向上を目的とし、端支点部（掛け違い橋脚）に二枚壁構造を適用することで端支点部を含めた上下部のラーメン化を図った。架設工法は固定式支保工架設による分割施工とし、段階施工を考慮した照査を実施した。広幅員に対する箱桁断面の構成は、多重（2～4）1室箱桁形式として計画し、非常駐車帯部の拡幅部は張出し長を一定としてウェブ変化により対応しリブ付き床版を適用している。また幅員が広い起点側の下部構造は、上部工の横桁と橋脚の梁を兼用した二方向ラーメン構造とし、コスト縮減と桁下空間確保を図るとともに、横桁に作用するねじりなどにも留意して照査を実施している。

キーワード：ラーメン構造、二枚壁橋脚、多重一室箱桁、リブ付き床版

### 1. はじめに

京都第二外環状道路は大枝 IC（仮称）～久御山 IC を繋ぐ総延長 15.7 km の片側 2 車線、上り下り合わせて 4 車線の自動車専用道路であり、京都縦貫自動車道を構成する 6 つの自動車道のなかで、名神高速道路と繋がるもともと京都市寄りの部分の道路である。

本高架橋は、図 - 1 に示すように京都第二外環状道路のうち、京都府長岡京市地内に架橋され、住居と近接する連続高架橋である。

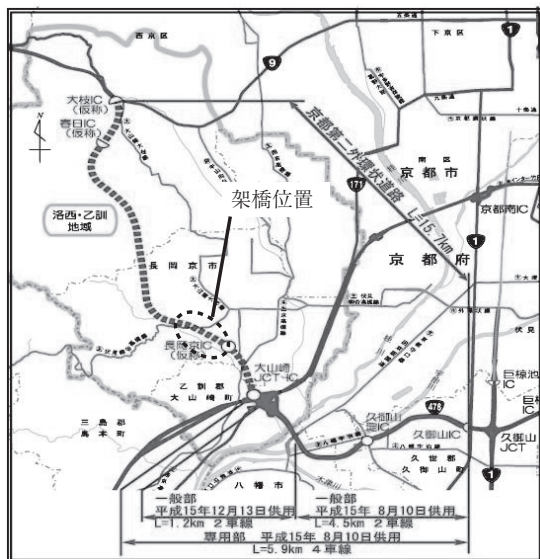


図 - 1 京都第二外環状道路

### 2. 橋梁概要

本高架橋は密集市街地、河川、市道および府道を横断する位置にあるため、橋梁予備設計段階における橋梁計画では騒音・振動対策、走行性の向上の観点から PC 23 径間連続箱桁橋として計画されていた。また、景観検討委員会、地元要望などの意見を取り入れて、箱桁形状では斜めウェブや張出し床版長を広げた形状を、橋脚の柱形式は箱桁形状との連続性を重視した銀杏型形式（RC 構造）が採用されていた。また、起点側では ON・OFF ランプによる拡幅のために標準部有効幅員 19.920 m から最大 35.637 m の拡幅を有している。詳細設計では図 - 2 に示すように形状

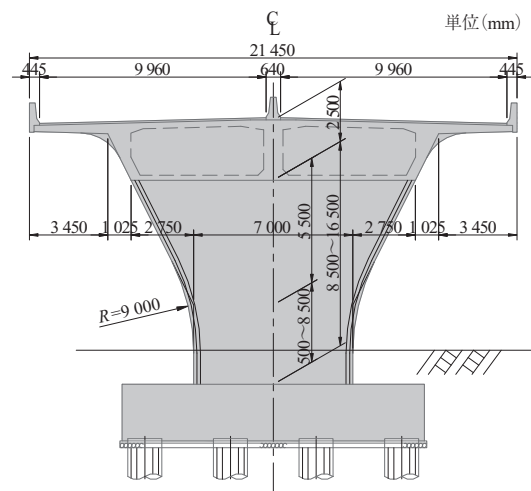


図 - 2 上下部工標準断面形状

\*1 Shunsuke IINUMA : (株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店  
 \*2 Takamitsu MASUDA : (株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店  
 \*3 Hisashi MITSUYA : (株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店  
 \*4 Takashi MIZUTA : (株) オリエンタルコンサルタンツ 関西支店

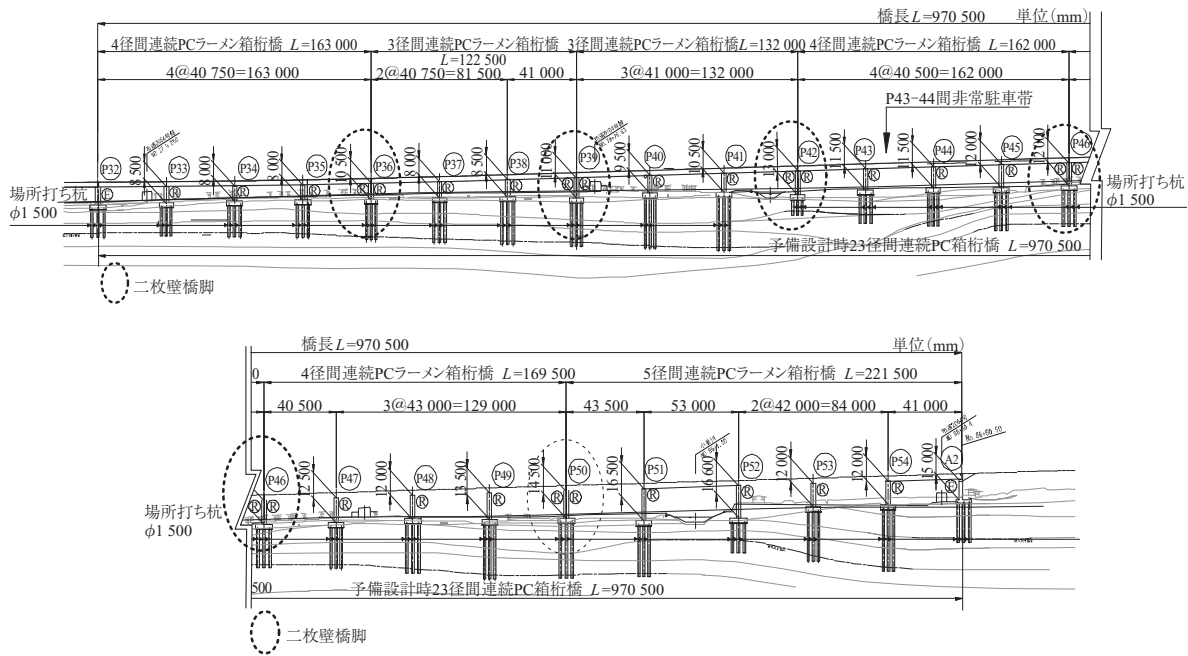


図 - 3 側面図

に関する基本的なプロポーシオンは予備設計を踏襲し，施工工期の短縮とコスト削減に着眼して，上部工形式はPC 3～5 径間連続ラーメン箱桁橋（橋長  $L = 970.5 \text{ m}$ ：6 連）に，下部工はRC 橋脚（銀杏型）（橋脚 23 基，橋台 1 基），基礎工は場所打ち杭を採用した（図 - 3）。

本稿は上下部工詳細設計業務を実施するうえで，著者らが取り組んできた上部工に関する設計内容のなかで設計上の留意事項について報告するものである。

本高架橋の橋梁諸元を表 - 1 に示す。

表 - 1 橋梁諸元

橋梁形式	PC 3 径間連続ラーメン箱桁橋 2 連
	PC 4 径間連続ラーメン箱桁橋 3 連
	PC 5 径間連続ラーメン箱桁橋 1 連
全長	970.5 m
有効幅員	35.637 ~ 19.920 m
上部構造	標準部 2 重箱桁ランプ拡幅部 4 重箱桁
	主方向 PC 構造 横方向 PC 構造
PC ケーブル	主方向 SWPR7BL 12S15.2（全内ケーブル） 横方向 SWPR19L 1S28.6
架設方法	固定式支保工架設
下部構造	RC 柱（銀杏型）（橋脚 23 基，橋台 1 基）
基礎構造	場所打ち杭 $\phi 1500$

### 3. 詳細設計内容

#### 3.1 橋梁予備設計からの変更点

橋梁予備設計の 23 径間連続高架橋の場合には，温度変化，乾燥収縮などによる桁移動量が大きいため支承構造にはプレ・ポストせん断などの対策を要し，支承工費が全体工費を増大させていた。

詳細設計時には橋脚高が低く固定支間長に対する橋脚高の比率が  $1/14 \sim 1/15$  とラーメン構造の採用限界比  $1/8^{(1)}$

を下回り，連続ラーメン構造の成立が困難な条件下にある。しかし，地盤は隣接の小泉川から堆積したと想定される  $N$  値 20 以下の比較的弱い砂礫層および粘性土層が地表から  $5 \sim 10 \text{ m}$  の範囲で分布しており，基礎による水平・回転拘束が小さいことから下部・基礎工の水平拘束に伴う温度，クリープ乾燥収縮，プレストレス二次力による拘束力が低減し，図 - 4 に示すように端橋脚（二枚壁橋脚）の上・下部工も剛結構造とした 3～5 径間連続のラーメン化が可能であることを検証した。図 - 5 に曲げモーメント図を示す。

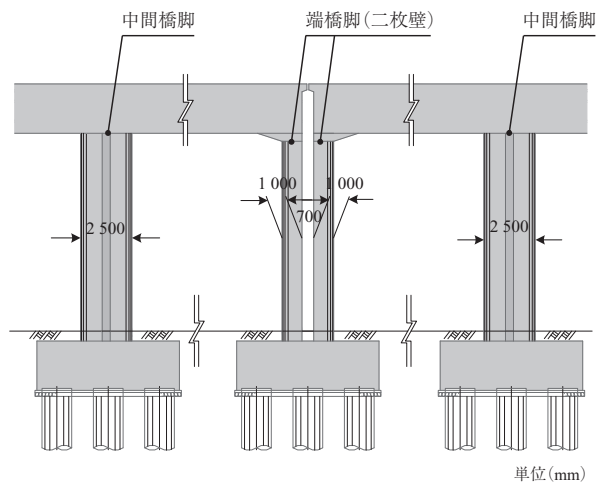


図 - 4 二枚壁橋脚構造

なお，本構造を成立させるために上部工は死荷重時はパースシャルプレストレスで，設計荷重時からひび割れ幅により制限し，併せて端橋脚の剛性（柱厚  $1 \text{ m}$ ）を下げることで水平拘束力を抑制することが必要であった。

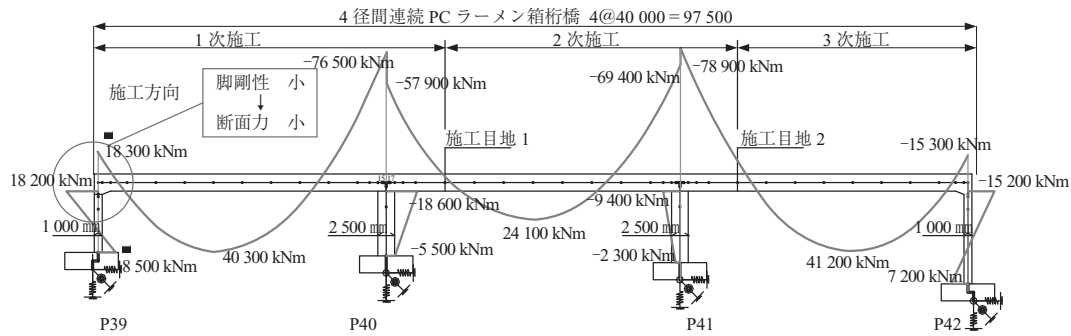


図 - 5 P 39 - P 42 径間部死荷重時曲げモーメント図

本形式の特徴を以下に整理する。

3.2 騒音・振動および走行性

掛け違い橋脚に二枚壁構造を採用したことで、常時相対移動量が予備設計時の 1 010 mm に対して最大 390 mm に抑えられるとともに地震時相対移動量 (L1 最大 110 mm) も抑制されたため伸縮装置の規模縮小が可能になり騒音・振動および走行性の改善を図った。

3.3 コスト削減

図 - 6 に予備設計と詳細設計との全体工費の比率を示すが、3.2 の方策により予備設計段階から約 29% のコスト削減を実現した。この中でラーメン化による支承レス構造が大きな要因になっている。

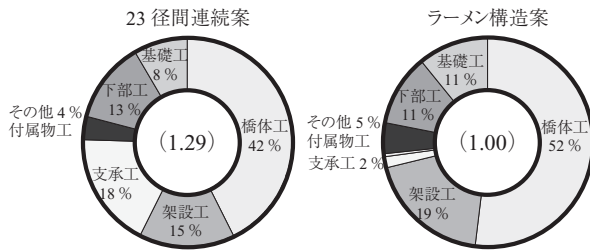


図 - 6 概算工費の構成比率

3.4 施工工期

図 - 7 に示すように掛け違い橋脚の緊張ジャッキスペースを確保することで一連ごとの同時施工を可能とし、一方方向の片押し架設の制約があった 23 径間連続案 (39 ヶ月) よりも大幅な工期短縮 (14 ヶ月短縮) を可能とした。詳細設計時の概略施工工程表を表 - 2 に示す。

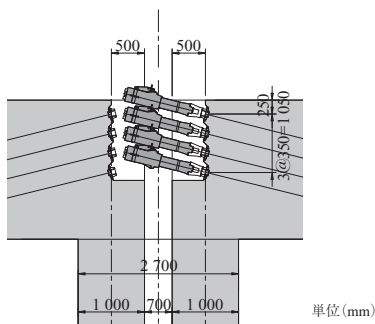


図 - 7 掛け違い橋脚の緊張ジャッキスペース

表 - 2 概略施工工程表

		単位(月)																										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
P32-P36	下部工	P33																										
		P34																										
		P35																										
		P36																										
	上部工																											
P36-P39	下部工	P37																										
		P38																										
		P39																										
		上部工																										
P39-P42	下部工	P40																										
		P41																										
		P42																										
		上部工																										
P42-P46	下部工	P43																										
		P44																										
		P45																										
		P46																										
	上部工																											
P46-P50	下部工	P47																										
		P48																										
		P49																										
		P50																										
	上部工																											
P50-A2	下部工	P51																										
		P52																										
		P53																										
		P54																										
	A2																											
	上部工																											

4. 構造の特徴および詳細設計上の留意点

本章では詳細設計のなかでとくに留意した代表的な設計内容について報告する。

4.1 端橋脚に二枚壁橋脚を有するラーメン構造

主方向の設計は骨組モデルを適用したが、隣り合う二枚壁橋脚に生じる断面力は、フーチングを介して相互に伝達されるため、モデル化は上部工、下部工および基礎工を全体モデルとして表現する必要がある。しかし、本設計では設計の合理化を図るためにモデル化は一連ごとに分割し、二枚壁橋脚相互の力の伝達は段階施工を考慮した基礎バネにより評価した。

本設計に用いた施工段階ごとの二枚壁橋脚における基礎バネは表 - 3 に示すように常時・地震時のケースごとに



○ 設計報告 ○

表 - 3 基礎バネの補正值

2枚壁基礎補正值		鉛直	水平	回転	連成
常時	上部工架設中	1/2	1.0	1.0	1.0
	上部工架設後 橋面荷重以降	1/2	固定	固定	固定
	地震時	1/2	1/2	1/2	1/2

連続モデルで妥当性を検証したうえで設定した。上部工架設後の常時バネを固定扱いとしたのは、連続する2連の構造の常時の変形は相反するためである。ただし、架設時は拘束されていないため、1.0倍の基礎バネを使用した。また、地震時バネの1/2の低減は、各連の固有周期が同等で、位相差が生じないことを精査したうえで設定した。

4.2 リブ付き床版構造 (非常駐車帯の広幅員部)

非常駐車帯の広幅員部は上部工重量の軽減、景観性の観点から、張出し床版長を一定として箱幅を変化させる構造を採用した。箱桁内の中間床版支間が道路橋示方書の床版曲げモーメント算出式<sup>2)</sup>の適用外(床版支間 $\geq 6.0$  m)となることから、図-8に示すように箱桁内に橋軸方向に3.0 m 間隔でPC リブ部材(幅300 mm × 高さ800 mm(床版厚含む))を設置し、リブ部材で床版(連続版)を支持する構造とすることで、床版支間方向を橋軸方向(車両進行方向と平行)として対処した(図-9)。

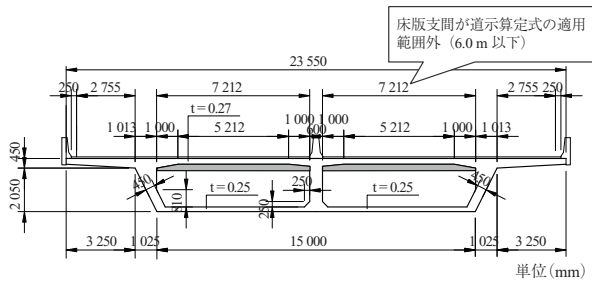


図 - 8 非常駐車帯リブ付き部の断面

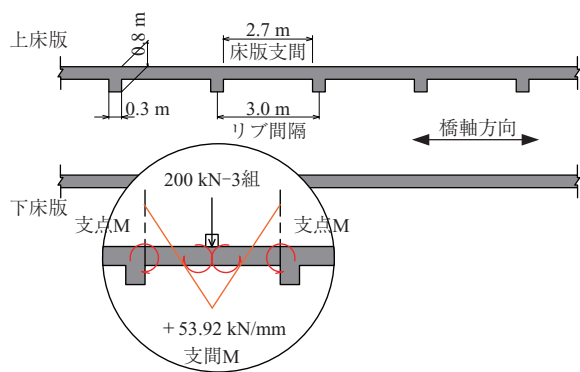


図 - 9 床版支間方向

リブ部材に発生する断面力は、図-10に示すようにT荷重を載荷させた三次元弾性有限要素法(シェル要素モデル)により算出した。なお、リブ内には1S28.6(プレグラウト鋼材)を2本配置して補強している。

また、図-11に示すように広幅員部は箱幅を変化させ

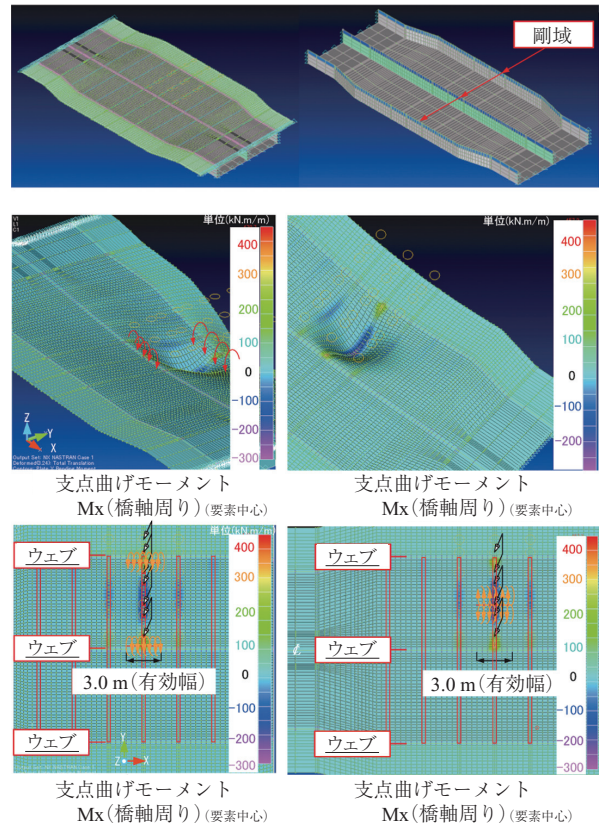


図 - 10 リブ付き床版の有限要素法解析

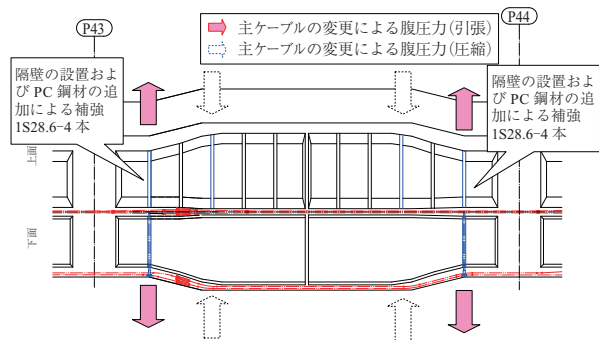


図 - 11 主ケーブルの偏向による腹圧力

る構造であり、ウェブに配置される主方向内ケーブルにより腹圧力が生じる。このため変曲部には中間隔壁を設け、1S28.6(プレグラウト鋼材)を4本配置して補強している。

4.3 上部工横桁とRC門形橋脚のはり部材の兼用構造

ランプ拡幅部においては桁下空間確保およびコスト削減を観点に上部工横桁と下部工門形ラーメン橋脚の梁部材とを一体化した構造を採用し、橋脚の躯体工に着目した場合、13%のコスト削減することができた(図-12)。

この構造を採用することにより上部工と下部工は2方向の立体ラーメン構造となり、横桁はレベル2地震動に対する安全性も確保することが要求される。

レベル2地震動における横桁の曲げに対する照査は3次元非線形動的解析の応答値に対して、鉄筋降伏もしくはPC弾性限界で制御し、鋼材本数(12S12.7-14本)を決定

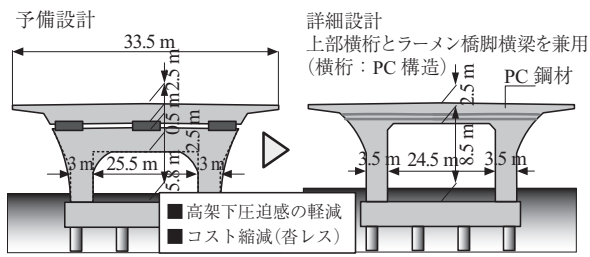


図 - 12 横桁梁兼用構造

した。また、せん断に対しては、スターラップに D51 を使用した場合でも耐力不足となるため、横桁の増厚 (4.6 m) とプレテンション方式のせん断鋼棒 (NAPP 工法  $\phi 32-6$  本-ctc250) により対処した。

また、上部工が箱桁でかつラーメン構造の場合の荷重伝達機構は、上部工の荷重がウェブを介して横桁および下部工へと伝達されるため横桁 (梁) 部材には主桁のアンバランスモーメントによるねじりモーメントが発生する (図 - 13)。このねじりモーメントに対してもスターラップの補強量が増加するため、アンバランスモーメントを改善できるスパン割りを含めた検討を実施した。

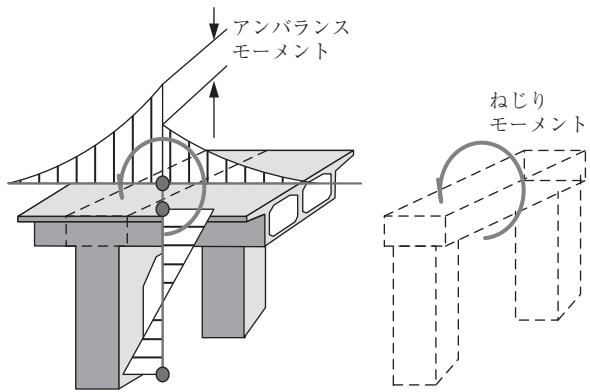


図 - 13 横桁梁兼用構造に作用するねじりモーメントの模式図

#### 4.4 多重箱桁橋の柱頭部構造

コンクリート道路橋設計便覧<sup>3)</sup>において柱頭部の照査は、ウェブに作用するせん断力による割裂合力に対して照査ならびに補強を行うように記述されている。割裂合力は一般にギヨン<sup>4)</sup>などの簡易法により算出されているが、本高架橋のような多重箱桁構造に対しては適用できないため有限要素法により割裂合力を算出した。本設計で適用した解析結果を図 - 14 に示すが、ここで応力 (ひずみ) 分布が曲線となり平面保持が成立していないことが分かる。

#### 4.5 その他留意点

二枚壁橋脚付近の上部工は、プレストレスの有効伝達長の考慮によりプレストレス力が有効に作用しない一方でプレストレス二次力の影響を大きく受ける。このような挙動に対する設計は、二枚壁橋脚部の柱厚を薄く剛性を小さくして橋脚の上部工に対する拘束を抑えること、端部の鋼材配置は図心軸付近の水平配置を基本としてプレストレス二

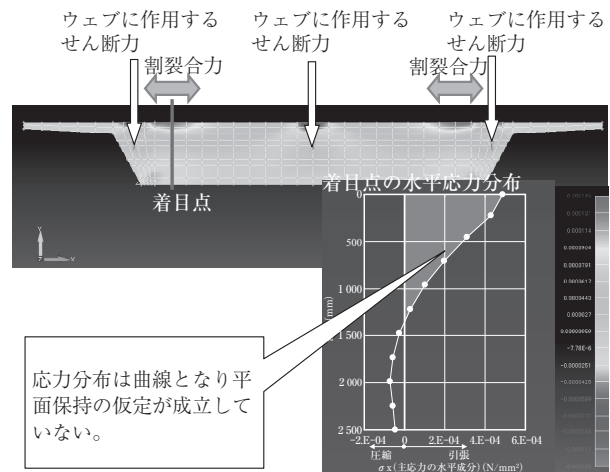


図 - 14 柱頭部上側に作用する割裂合力

次の発生を極力抑えることが有効であった。

また、設計段階では各連の施工方向が不明であったため、施工方向が設計時に想定したものから変更された場合でも対応しやすいよう、二枚壁橋脚部には施工順序に関わらず両側の端部に緊張ジャッキスペースを確保するための切欠きを設置した。

また、二枚壁橋脚の柱厚が 1.0 m に対し切欠きが 0.5 m 必要となり、柱前面位置のプレストレスによる圧縮力が図 - 15 に示すように有効に伝達されていない範囲が存在する。このため、別途、プレストレス無効範囲については乾燥収縮や温度荷重による軸引張力を考慮した RC 断面としての照査を実施し、安全性の検証を行った。

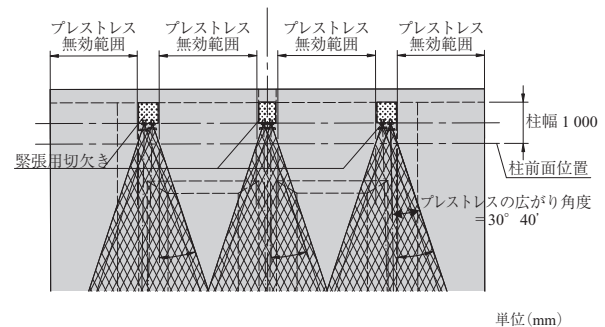


図 - 15 柱頭部上柱前面付近のプレストレス力の分布

## 5. おわりに

都市内に架設される橋梁のため、走行性向上、耐振動・耐騒音に十分配慮したうえで、本構造は脚高の低いラーメン構造、二枚壁構造の実現により、徹底的なコスト削減化を実現した (写真 - 1)。

これらの構造は、特異的な構造ではなく、従来構造の優れた特徴を組合せることにより実現した成果である。

具体的には、二枚壁橋脚は、高松自動車道 (写真 - 2)、永平寺大野道路 (写真 - 3) に架設される既設構造物を目視し、健全性が確保されていることを確認したうえで採用に至っている。

○ 設計報告 ○



写真 - 1 P 36 - P 39 径間 施工状況



写真 - 2 実績 NEXCO 高松自動車道

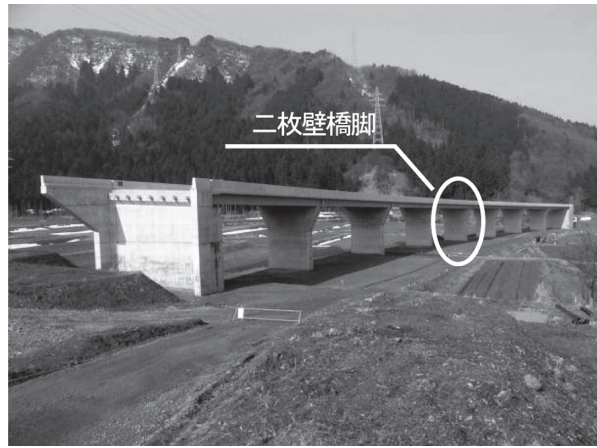


写真 - 3 実績 国土交通省 永平寺大野道路

詳細設計において、重要なことは、新技術・新工法を追究する方法論もあるが、温故知新の観点で既往の優れた構造物の良い技術を見つめ直すことも技術者にとっては非常に重要なことであり、これに、最新の知見や高度な電算技術の進歩を加味することで、さらなる良い構造物の実現が可能になると考える。

なお、隣接工区を含め、本高架橋設計に携わっていただいたすべての方々、とくに、国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所各位には適切、的確なご指導を頂戴し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日財高速道路調査会：PC多径間連続ラーメン橋に関する研究報告書
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編，pp.220-221
- 3) 日本道路協会：コンクリート道路橋設計便覧，pp.340-342
- 4) 猪俣俊司：プレストレストコンクリートの設計および施工，pp.263

【2011年11月17日受付】