

# 合成補剛桁を有する上路アーチ橋の設計 [その2：地震時に対する設計]

新日本技研(株)・東京支社・設計部 正会員 杉山 充 ， 同・仙台支店・設計部 正会員 西川 貴志  
 同・西部支社・設計部 正会員 氏本 敦 ， 同・東京支社・設計部 正会員 宮路 健太郎

上路アーチ橋の耐震対策として、既設橋はもとより新設橋にも種々の制震装置の取付けが提案され実施されている。橋軸方向地震動に対して支柱間に座屈拘束ブレース<sup>1)</sup>の付加、橋軸直角方向地震動に対してはアーチ面の横構や支柱の対傾構への座屈拘束ブレースやせん断パネルダンパー<sup>1)</sup>などの挿入である。これにより相応に成果を挙げているが、まだ問題は残されている。すなわち、アーチ支間が或る程度長くなると、本来は圧縮であるべき起拱部に直角方向地震動によって大きな引抜力が発生し、対応に苦慮している例を見かける。これには、横構で結合された2本のアーチリブが両端固定梁のように働くこと、および床版・補剛桁部の直角方向水平変位に対しアーチ面が抵抗するため横断面の回転を伴うロッキング運動が誘発されることが関与する。

これを改良するために、アーチ面の横構とその制震装置に期待せず、コンクリート系床版が有する直角方向の大きな水平曲げ剛性と耐力に頼った耐震対策を報告する。同様のことは既設橋の補強を対象にして報告<sup>2)</sup>したが、今回はアーチ支間がより長い新設橋への適用を試みた。なお野中等<sup>3)</sup>は対傾構やアーチの横構をフィレンディール構造として剛性を弱めて耐震性の改良を図っているが、本報告はそれと類似の考えに基づき、機能分担をより明確にしたものである。ただ、野中等の計画はアーチリブの水平座屈安定に係るので、願わくばこの点にも言及していただきたかった。

## 1. 構造の計画

対象とした上路アーチ橋の骨組を図

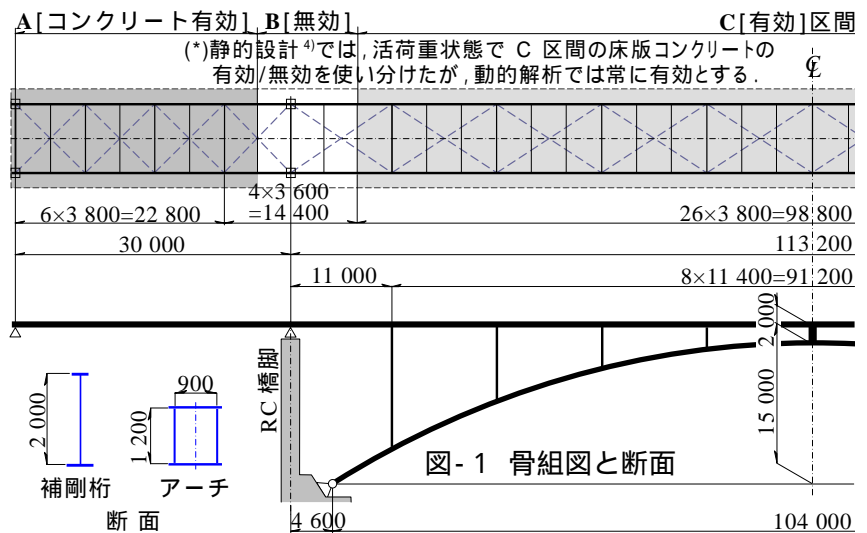


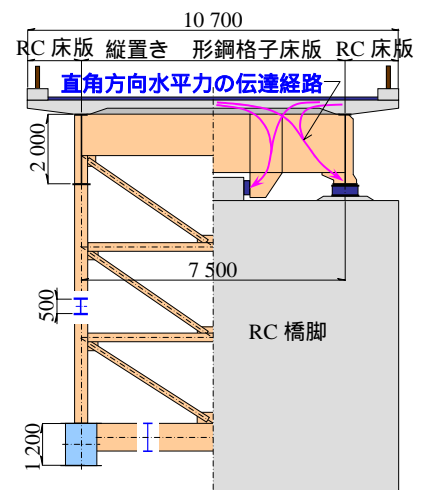
図-1 骨組図と断面

-1に、横断構成を図-2に示す。本論の前段の検討<sup>4)</sup>で記した構造と同じであるので細部の説明は省くが、橋軸方向の鉛直と水平の曲げに強い縦置き形鋼格子床版に期待してアーチ面に横構を設けない計画である。補剛桁部分は同種の床版を有する合成2主桁橋<sup>5)</sup>と同じであり、横桁は床版を支え、かつ合成する。したがって地震時の直角方向水平力は、図-2に示すように、床版 横桁 支承を経由して確実に下部工に伝えられる。この水平力を受ける端支柱は、通常は鋼製支柱が多いが、耐力の高いRC橋脚とした。これには、ゴム支承により補剛桁の橋軸方向水平変位を拘束して補剛桁やアーチリブの曲げを抑える目的<sup>6)</sup>もある。

## 2. 3次元ファイバーモデルによる地震応答解析

上記の例題に3次元ファイバーモデルの非線形動的解析(プログラムEERC/Fiber)を適用し、道示<sup>7)</sup>のレベル2・タイプ<sup>8)</sup>の標準地震波3波を入力した。床版は文献<sup>3)</sup>と同じく1本梁とし、補剛桁に外部ヒンジで結合した。

横桁と床版の合成条件は表現できていないが、解析結果に影響しないと考える。起拱点にはユニバーサルヒンジのアーチ支承を設け、補剛桁端部の支持条件は単純支持で直角方向には剛支持とした。その上で、RC橋脚



(a)中間対傾構 (b)RC橋脚部

図-2 横断面構成

キーワード 鋼上路アーチ橋, 合成桁, 縦置き 形鋼格子床版, ファイバーモデル, 非線形動的解析

連絡先 〒105-0014 東京都港区芝2-1-23 新日本技研(株)東京支社 TEL 03-3453-4321

上に関して次の2種類の支持条件を比較した。

- ・ A 支持：橋軸方向は可動，直角方向は相対水平変位を固定
- ・ B 支持：水平2方向とも弾性ゴム支承による弾性支持

(図-2の橋脚上の中央突起を設けないもの)

### 3. 解析結果

直角方向地震による変位図を図-3に示す。補剛桁に最大ひずみが発生するときの変位である(図はB支持のケースであり，A支持に関しては数値を示す)。アーチ面に横構がないことにより床版・補剛桁部の水平変位に対しアーチリブの抵抗は極めて小さい。そのため，支柱に設けた対傾構面はほぼ水平に平行移動し，ロッキング運動はほとんど起さない。これがアーチ面の横構を外したときの特徴である。これにより起拱部のアーチリブに引張軸力は発生しなかった。

表-1に各部位に発生したひずみ $\varepsilon$ とその材料の降伏ひずみ $\varepsilon_y$ との比 $\varepsilon/\varepsilon_y$ の最大・最小値を示す。直角方向地震においては床版に地震力の殆どを受け持たせたが，A支持のときに $P_1$ 上の床版縁端で鉄筋のひずみがほぼ $\varepsilon_y$ に達しただけで，全ての箇所では $\varepsilon_y$ に達することはなかった。ただし，床版・補剛桁部の水平曲げにより，補剛桁の腹板に全面圧縮と引張の応力が繰返し作用する。A支持では最大 $125\text{ N/mm}^2$ ，B支持では最大 $104\text{ N/mm}^2$ の圧縮応力度が付加された。このため中間支点上では腹板の圧縮領域が変動し，死荷重応力が小さい中央支間部では全面等圧縮に近い状態が発生するので，腹板の補剛設計に配慮を要する。

このように直角方向地震に対しては良好な結果が得られたが，橋軸方向地震に対しては補剛桁(中央支間の1/4点付近の下フランジ)と支柱(起拱点から2番目)で $\varepsilon_y$ を超えるひずみが発生した。とくに補剛桁では，引張で $\varepsilon_y$ を大きく超え，10回程度の降伏履歴を呈した。このため，断面変更が必要になると考えられる(ただし，中央支間部の断面は前段の検討<sup>4)</sup>においても疲労照査で断面の大きな修正が必要であった)。なお，通常はアーチリブも降伏に達することが多いようであるが<sup>1),3)</sup>，床版と合成した結果補剛桁の曲げ剛性が数倍も高まったことにより応力が補剛桁に集まり，アーチリブの曲げが軽減されて降伏しなかったと思われる。

以上のように，上路アーチ橋において，コンクリート系床版の橋軸方向鋼材を増加させることにより直角方向の大きな水平耐力が得られ，アーチ面の横構が省略でき，同時に耐震性状も改良される。

表-1 発生ひずみと降伏ひずみの比  $\varepsilon/\varepsilon_y$

		橋軸方向地震		直角方向地震	
		最大	最小	最大	最小
A支持	補剛桁	1.99	-0.87	0.90	-0.45
	アーチリブ	0.38	-0.59	0.24	-0.52
	支柱	1.09	-1.12	0.64	-0.66
	床版鉄筋	0.42	---	1.00	---
B支持	補剛桁	2.39	-0.93	0.87	-0.42
	アーチリブ	0.40	-0.62	0.58	-0.88
	支柱	1.20	-1.25	0.72	-0.55
	床版鉄筋	0.42	---	0.82	---

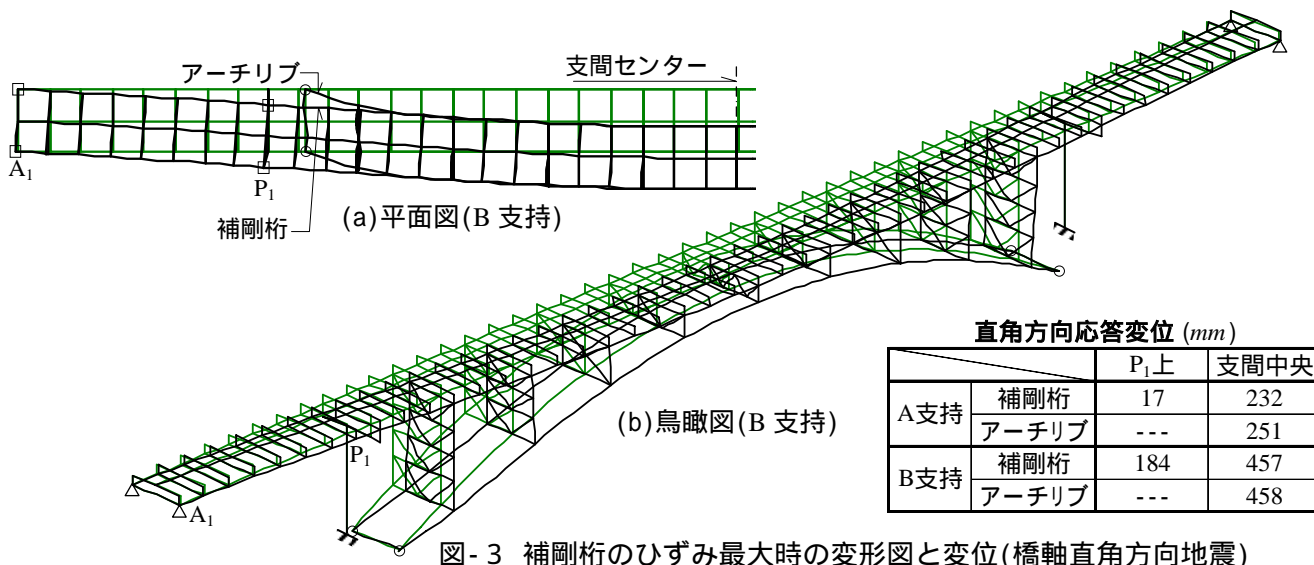


図-3 補剛桁のひずみ最大時の変形図と変位(橋軸直角方向地震)

### 参考文献

- 1) 宇佐美,他: 鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン, 日本鋼構造協会, 技報堂
- 2) 田淵,他: 鋼上路アーチ橋の橋軸直角方向の耐震性能向上策, 第28回日本道路会議, 日本道路協会
- 3) 野中,他: 耐震性に優れた新構造形式の上路式鋼アーチ橋の一考察, 鋼構造論文集, 2003.9
- 4) 西川,他: 合成補剛桁を有する上路アーチ橋の設計[その1], 第65回年次学術講演会, 土木学会
- 5) 高濱,他: 縦置き 形鋼格子床版の設計概要と施工時荷重の検討, 第6回道路橋床版シンポジウム, 土木学会
- 6) 高橋,他: 上路アーチ橋におけるゴム支承の効果, 第20回日本道路会議, 日本道路協会