

(87) PC・鋼複合5径間連続エクストラードズド橋（木曾川橋）の全体構造系の検討

JH名古屋建設局 構造技術課 正会員 長井 正

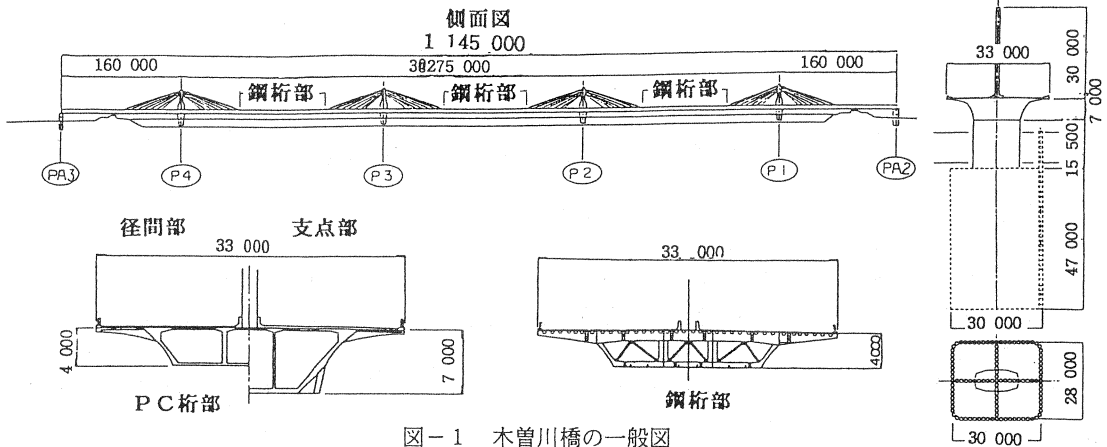


図-1 木曾川橋の一般図

1. はじめに

木曾川橋は、第二名神高速道路が一級河川木曾川の河口付近を横過する位置に架橋される橋長1,145m、支間長275mのPC・鋼複合5径間連続エクストラードズド橋である。本橋は、多径間連続化及び自重低減を図るため、側径間を除く各径間中央部に100mの鋼箱桁を配置し、他の部分をプレキャストセグメントによるPC箱桁としている。本橋は、工期（渇水期内施工）・経済性・航行安全確保・環境問題の点から長大スパン化が必要である。設計にあたり所要の安全性を確保するとともに、耐久性・耐震性・供用性（走行性・景観）の向上を図りうる構造として、①広幅員（6車線）の一面吊り、②高強度コンクリート（ $\sigma_{ck}=600\text{Kgf}/\text{cm}^2$ ）、③外ケーブル方式プレストレスング、④プレキャストセグメント工法、という最新技術を組み合わせることとした。

本報告では、部材寸法（主桁・主塔・斜ケーブル）に関する検討（以下、構造検討Ⅰという。）及び支承構造の検討（以下、構造検討Ⅱという。）を行った結果について述べるものである。

2. 全体構造系Ⅰの選定

2-1 基本構造形式（図-2）をもとに、部材寸法を決定するために、図-3のフローに示すように、①中間支点桁高検討、②主塔高検討、③斜ケーブル本数の検討を行う。

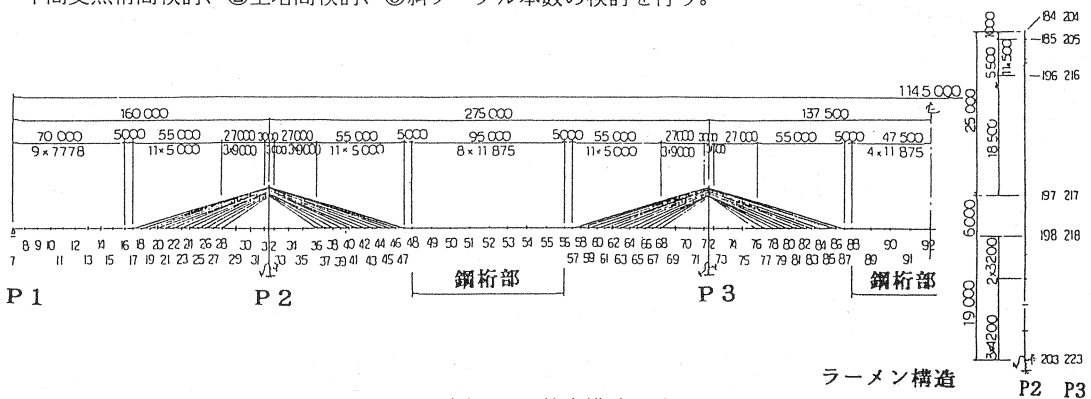
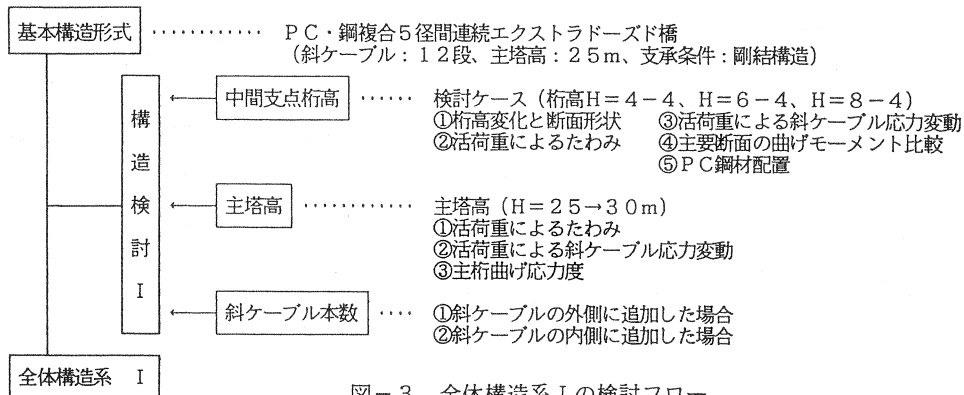


図-2 基本構造形式



2-2 中間支点桁高の検討

桁高の検討では、表-1に示す3ケース (H=4-4m、H=6-4m、H=8-4m) を設定した。桁高4mは、堤防上の管理用道路の建築限界を確保すること及び鋼材部の経済性から決定した。結果は以下のとおりである。

表-1 桁高変化における比較

桁高H=4-4m 下床版厚HH=1.2-0.2m	桁高H=6-4m 下床版厚HH=0.7-0.2m	桁高H=8-4m 下床版厚HH=0.5-0.2m
A=33.088m <sup>2</sup> (1.32) I=75.482m <sup>4</sup> (0.46)	A=24.946m <sup>2</sup> (1.00) I=165.44m <sup>4</sup> (1.00)	A=24.386m <sup>2</sup> (0.98) I=262.91m <sup>4</sup> (1.59)
①桁高変化と断面形状		
②活荷重によるたわみ		
L/400=400mm 457 461	L/400=400mm 398 400	L/400=688mm 360 362
③活荷重による斜ケーブル応力変動		
20.0 15.0 10.0 5.0 0.0 14.1Kgf/mm <sup>2</sup>	20.0 15.0 10.0 5.0 0.0 12.1Kgf/mm <sup>2</sup>	20.0 15.0 10.0 5.0 0.0 10.6Kgf/mm <sup>2</sup>
(Kgf/mm <sup>2</sup> )	(Kgf/mm <sup>2</sup> )	(Kgf/mm <sup>2</sup> )
④曲げモーメント比較 (D+E Q)		
-171654 -155507 -146961 tfm	-149442 -151773 -144366 tfm	-159899 -151801 -144003 tfm
52717 脚上端-49965 脚下端120989 54795 脚上端-11163 脚下端127156 53007	51896 脚上端-56935 脚下端107901 5276 脚上端-16629 脚下端116044 52857	52031 脚上端-61607 脚下端102459 52437 脚上端-21718 脚下端111433 51631

- ①桁高変化と断面形状：各桁高に対して仮定した断面形状は、表-1のとおりである。支点上断面の下床版厚は、全死荷重作用時の主桁下縁応力度がコンクリートの設計基準強度の40% ( $0.4 \sigma_{ck}$ ) 以下となるように決定した。桁高を低くすると下床版が厚く重量増となり、施工性・耐震性・経済性の点で不利になる。
- ②活荷重によるたわみ：斜張橋形式としてのたわみ $L/400$ 、及び桁形式としてのたわみ $L/500$ を満足する。桁高が増し主桁剛度が高くなるほど、たわみは小さくなる。
- ③活荷重による斜ケーブル応力変動：斜ケーブルの応力変動は、桁高が増し主桁剛度が増すほど小さくなる。本橋では、応力変動発生の目安をB活荷重時 $19\text{Kgf/mm}^2$ としており、検討したケースでは、これよりも小さい応力変動しか発生していないため、疲労に対して問題はないといえる。
- ④主要断面の曲げモーメント比較：図-4にA：中間支点上、B：径間中央（鋼桁部）、C：P2橋脚上端 D：P2橋脚下端の曲げモーメントを示す。断面A及びBでは、桁高の変化を受けず、断面C及びDでは、桁高が増すほど橋脚上端の曲げモーメントは増加するが、下端では減少する傾向にある。

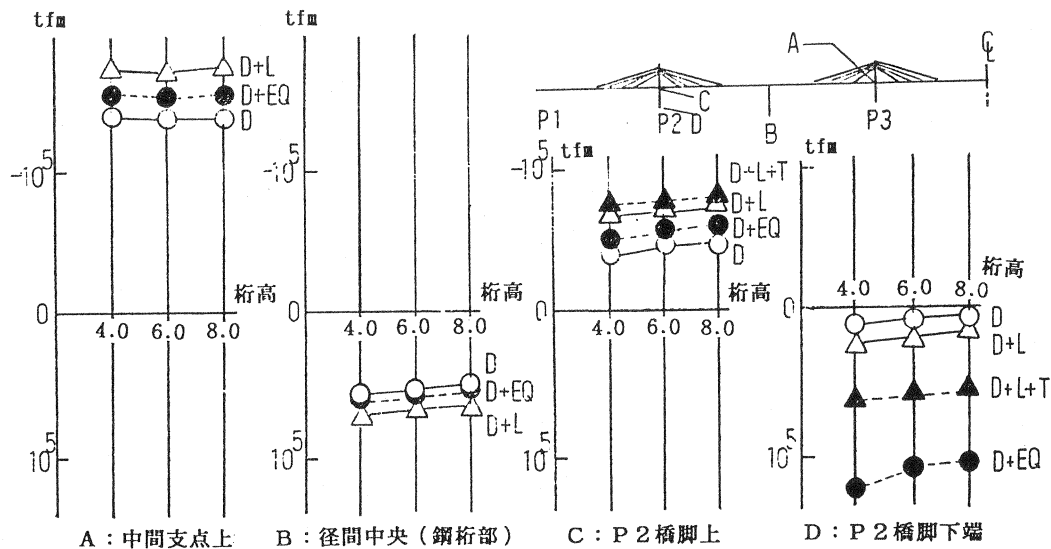


図-4 曲げモーメントの比較

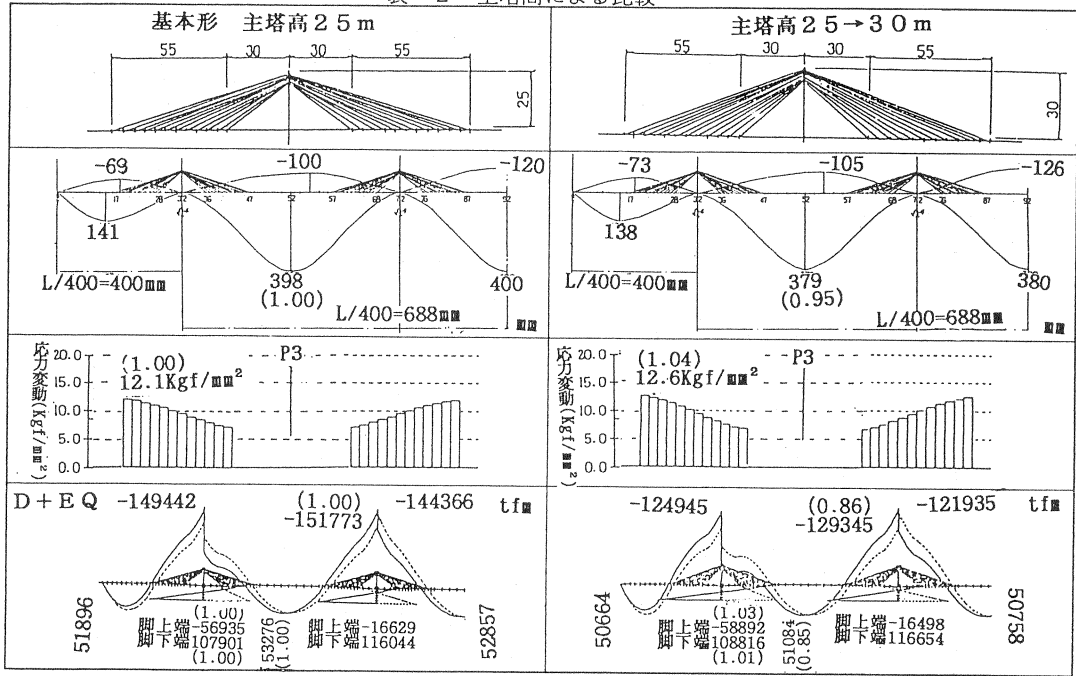
- ⑤P C鋼材配置：P C鋼材配置は、D + L + Tの組合せにおいてフルプレストレス程度になるように行った。中間支定点に着目すると、H=4mの場合の配置は断面いっぱいの配置となり、張出し架設中においても外ケーブルを順次緊張する必要がある。H=6mでは、張出し架設時の必要外ケーブル本数は内ケーブル本数にほぼ一致し、完成後必要となる分については外ケーブルで対応できる。H=8mでは、他案よりも余裕のある配置となる。なお、側径間部については、桁高及び断面力に差がない。

### 2-3 主塔高の検討

桁高H=6-4mモデルを用い、斜ケーブルと桁内ケーブルとで導入されるプレストレス量のバランスから適切な主塔高を検討する。参考文献1)では、塔高は $L/10$ 目安とされているため、H=25mとH=30mにて検討を行う。

- ①活荷重によるたわみ：主塔高を25m→30mとしても、たわみの減少量は5%程度であり、塔高による効果は少ない。
- ②活荷重による斜ケーブル応力変動：主塔高を5m高くしても、B活荷重による応力変動は、 $0.5\text{Kgf/mm}^2$  (4%) 増加する程度である。
- ③主桁曲げ応力度：主塔高を高くした場合、中間支点曲げモーメントは、15%低減され、負の曲げモーメントに対して非常に効果的であることがわかる。その他、鋼桁部正の曲げモーメント及び橋脚の曲げモーメント変化は、5%以内に納まる。

表-2 主塔高による比較

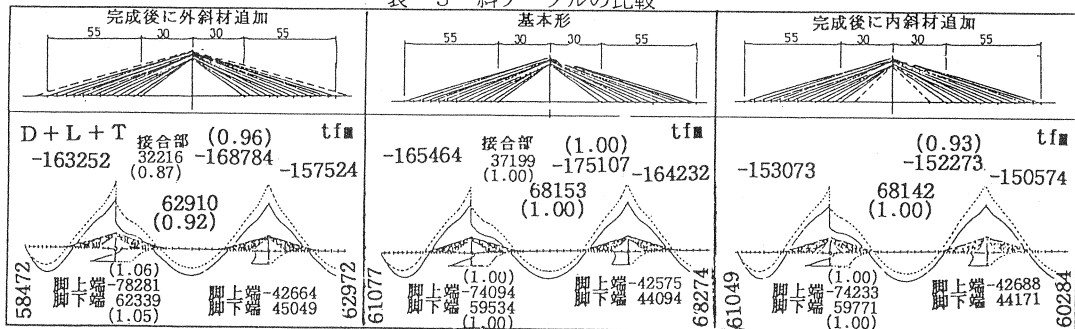


2-4 斜ケーブル追加の検討

鋼桁部及び接合部の曲げモーメント低減を目的として、構造系が完成した後外側の斜ケーブルを1本追加緊張する案について検討を行った。この措置を行うことで、鋼桁部の曲げモーメントは8%、接合部の曲げモーメントは10%以上低減でき、正の曲げモーメントを低減させるには有効となった。しかし、斜ケーブルの増加は桁内ケーブル減少の方向となり、逆に曲げ破壊耐力を低下させることになる。そこで最上段ケーブル1段を鋼桁部に定着させることで曲げモーメントの低減を行うこととした。

またコンクリート桁部の負の曲げモーメントの低減を目的として、架設中に一番内側の斜ケーブルを1本追加緊張する案について検討を行った。この場合、追加斜ケーブル位置から中間支点の範囲の曲げモーメントは低減されるが、下縁圧縮応力がピークとなる中間材材部の応力改善には役立たない結果となった。

表-3 斜ケーブルの比較



2-5 全体構造系 I の選定

以上の検討結果より、桁高は、経済性・構造 (PC鋼材の配置の余裕)・景観のバランスのとれたH=8-4mより、細部構造を照査し、中間支点部桁高H=7m、支間中央部桁高H=4mとした。主塔は、プレストレスが効率よく導入されるH=30mを選定し、斜ケーブルは、全斜ケーブルを撤去した場合でも落橋しない構造とするため12段とした。なお、変断面のすり付け勾配は、施工性及び景観より1/15とした。

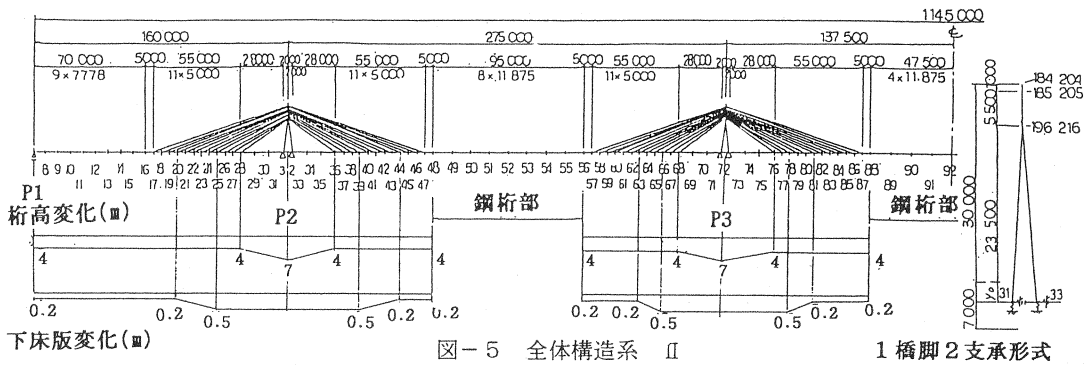


図-5 全体構造系 II

1橋脚2支承形式

### 3. 全体構造系IIの選定

3-1 全体構造系Iをもとに、主桁と橋脚との結合形式(支承形式)の検討を行った。検討内容を、図-6のフローに示す。

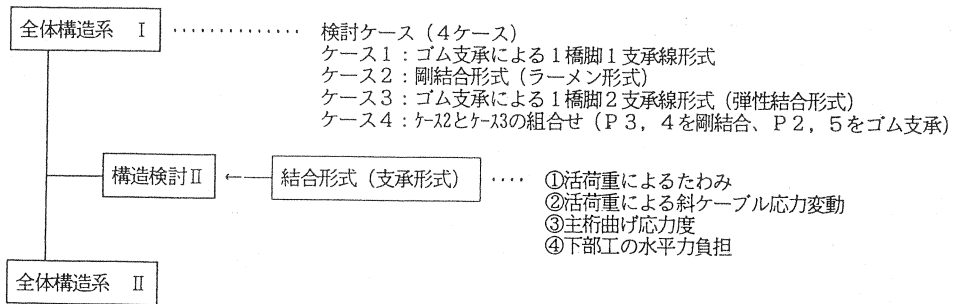
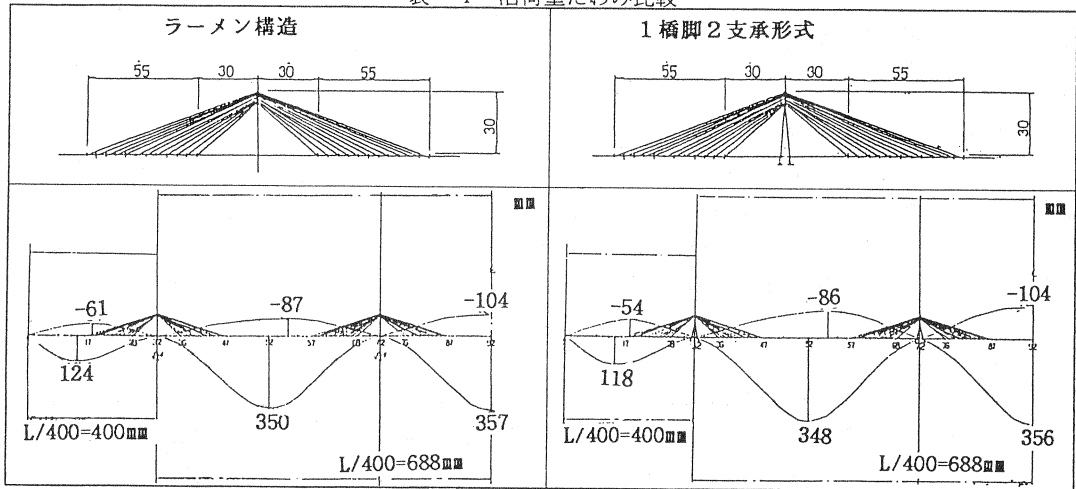


図-6 全体構造系IIの検討フロー

### 3-2 活荷重たわみ

活荷重による主桁のたわみは、ケース1、ケース4ともケース2のラーメン構造に比べ、2.5倍程度大きく、たわみの制限値を満足させることはできないが、ケース3の1橋脚2支承では制限値を満足する。

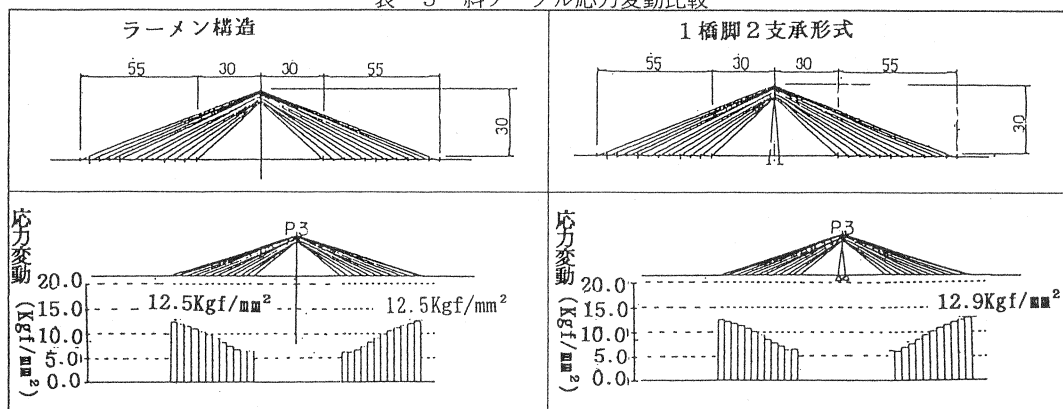
表-4 活荷重たわみ比較



### 3-3 活荷重による斜ケーブル応力変動

活荷重による斜ケーブル応力変動の最大値は、ケース1の場合36.5Kgf/mm<sup>2</sup>で、ラーメン構造の約1.9倍に達するが、1橋脚2支承線形式の場合12.9Kgf/mm<sup>2</sup>で制限値を満足する。

表-5 斜ケーブル応力変動比較



3-4 全体構造系Ⅱの選定

支承形式としては、斜ケーブルの応力変動及び主桁のたわみがラーメン構造に類似し、かつクリープ・乾燥収縮及び温度による不静定せん断力が低減され、橋脚に対して負担の小さいケース3：ゴム支承による1橋脚2支承線形式を採用する(表-6)。ただし、活荷重載荷(D+L)時に最大-4.630tf(支承応力度-22Kgf/cm²)程度の負反力が発生する。そのため、負反力を生じさせないように支承間隔を6.5m確保することが必要となる。

表-6 支承形式の比較

ケース	結合形式(支承形式)	検討結果
1	ゴム支承による1橋脚2支承線形式	<ul style="list-style-type: none"> <li>活荷重によるたわみが、制限値を大幅に超える。</li> <li>斜ケーブルの応力変動が大きい。</li> </ul>
2	剛結合形式(ラーメン構造)	<ul style="list-style-type: none"> <li>クリープ・乾燥収縮及び温度による伸縮拘束が、大きくなるために不経済となる。</li> </ul>
③採用	ゴム支承による1橋脚2支承線形式(弾性結合形式)	<ul style="list-style-type: none"> <li>鉛直荷重に対してはラーメン構造と類似の挙動を示すため、たわみは制限値内に納まる。水平荷重に対しては、分散支承を有する連続桁として挙動する。</li> <li>支承数が通常の2倍、支承線間隔も6.5m程度必要である。</li> </ul>
4	ケース2とケース3の組合せ(P3, 4を剛結合、P2, 5をゴム支承)	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震による水平力が、剛結合部(ラーメン構造)に集中するため下部工設計上好ましくない。</li> </ul>

4. おわりに

全体構造系の検討により選定された形式は、図-1のとおりである。結果的に、主桁を変高断面とし免震支承を採用することで、桁重量の増加があるものの、橋脚下端の曲げモーメントを低減できた。これにより基礎工をコンパクトにし、木曾川橋の全体工費を低減することが可能となった。

なお、上部工の架設は、PC箱桁部が台船にて運搬したプレキャストセグメントを、エレクションノーズによりカンチレバー架設する方法、鋼箱桁部が台船による一括架設とする計画である。

参考文献

- 1) 小宮：'エクストラ'-ズ'D PC道路橋の設計に関する一考察，土木学会論文集，N0516/VI，P27~39，95年6月
- 2) 山崎ら：斜材により補強されたコンクリート橋の構造特性，橋梁と基礎，P33~38，95年12月
- 3) 長井：PC・鋼複合5径間連続'エクストラ'-ズ'D橋(木曾川橋)の計画，平成8年度土木学会年次講演論文集
- 4) 前田ら：PC・鋼複合5径間連続'エクストラ'-ズ'D橋(木曾川橋)の主桁に関する検討，平成8年度土木学会年次講演論文集