

小山川橋（2主桁橋）の設計

稲村 和彦¹⁾ 本郷 智²⁾

小山川橋は、鉄筋コンクリート床版をもつ2主桁橋であり、全体を支える2本の主桁と、床版を支える床組からなる構造である。この場合、主桁と床組との剛度差が著しく、床版には不等沈下による大きな付加曲げモーメントが発生する。このため、本橋では、主桁間に配置された3本の縦桁のうち中央の縦桁を補剛し、床版の負担を軽減させている。ここでは、全体の設計概要と床組構造の検討について報告する。

まえがき

小山川橋は、上武道路が埼玉県深谷市において根川の支流小山川を横断する橋梁であり、橋梁形式には一般の道路橋では珍しい2主桁プレートガーダー形式が採用されている。

上武道路は、東京と新潟を結ぶ一般国道17号線のバイパスとして計画され、埼玉県深谷市と群馬県前橋市とを結ぶ延長41kmの道路である。上武道路は、平成4年2月に開通予定であり、埼玉県北部と群馬県前橋市との距離を飛躍的に短縮し、国道17号線の混雑緩和と沿道都市の発展と活性化が期待されている。

1. 工事概要

本工事の工事概要を下記に示す。また、図-1に一般図を示す。

工事名称	小山川橋上部工事	
工事箇所	自) 埼玉県深谷市石塚地先 至) 埼玉県深谷市高島地先	
道路規格	第3種第1級（設計速度60km/h）	
橋格	1等橋（TL-20）	
形式	4径間連続曲線2主桁プレートガーダー	
橋長	185.0m（道路中心線上）	
支間	43.0 + 43.8 + 55.0 + 42.7m（道路中心線上）	
有効幅員	車道8.0m 歩道2.6m	
舗装	アスファルト舗装	車道8.0cm 歩道3.0cm
床版	鉄筋コンクリート床版 t = 21cm $\sigma_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$	
設計震度	$K_h = 0.20$	
主要鋼材	SM53, SM50Y, SS41	
鋼重	513.0ton (0.260t/m ²)	

2. 設計概要

本橋は鉄筋コンクリート床版をもつ2主桁プレートガーダー橋であり、全体を支える2本の主桁と、その間に床版を支持するための3本の縦桁を配置した構造である。

2主桁橋は、主桁断面の全てを有効に利用することができ、また床組構造が簡易であることから、上部工鋼重を軽くすることができる。また、主桁高さが高くなるほど、下部工に有利である点など、経済的に優れている点が多い。本橋の形式選定にあたっては、5主桁並列鋼桁との鋼重比較を行っているが、約10%程度2主桁橋のほうが軽くなっている。

しかし、主桁は相当大きくなり、桁下余裕や製作・輸送・架設の制限を受ける場合も多い。また、主桁と縦桁との剛性の差は著しく大きく、床版不等沈下の影響により、床版には大きな付加曲げモーメントが生じることになる。

本橋では、3本の縦桁のうち中央の縦桁を補剛することにより、床版の負担を軽減させている。

また本橋は曲線鋼桁であるため、横構を上下に配置した。その結果、2本の主桁と上・下横構で囲まれた準箱桁を構成し、ねじり剛性も大きく向上した。

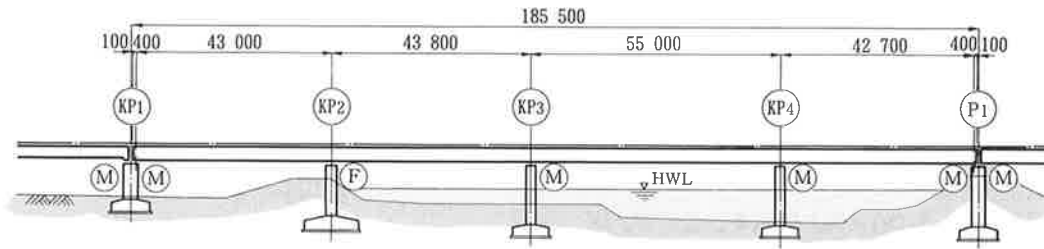
3. 床版

本橋の床版は、2本の主桁と主桁間に配置された3本の縦桁とによって支持されているが、両者の曲げ剛性は大きく異なる。道路橋示方書ではこのような場合、床版を支持する桁の剛性の相違を考慮して床版断面力を算出するよう規定している。本橋では、主桁と縦桁の断面二次モーメントの比が250:1にもなり、このような場合の断面力算出方法については、建設省通達や土木研究所資料第1338号の適用範囲外となっている。

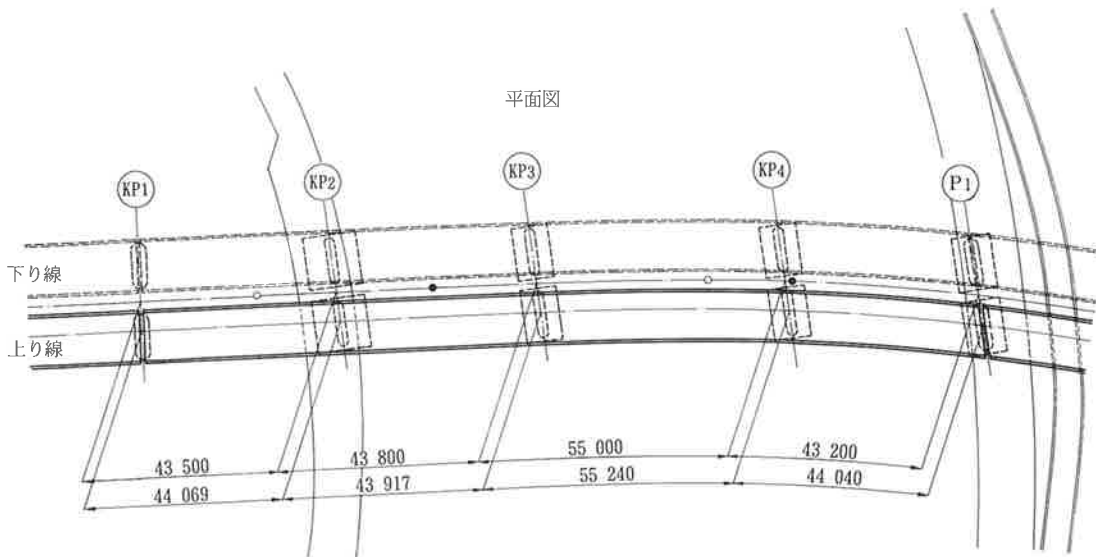
1) 東京橋梁設計部設計二課課長

2) 東京橋梁設計部設計二課係長

側面図



平面図



断面図

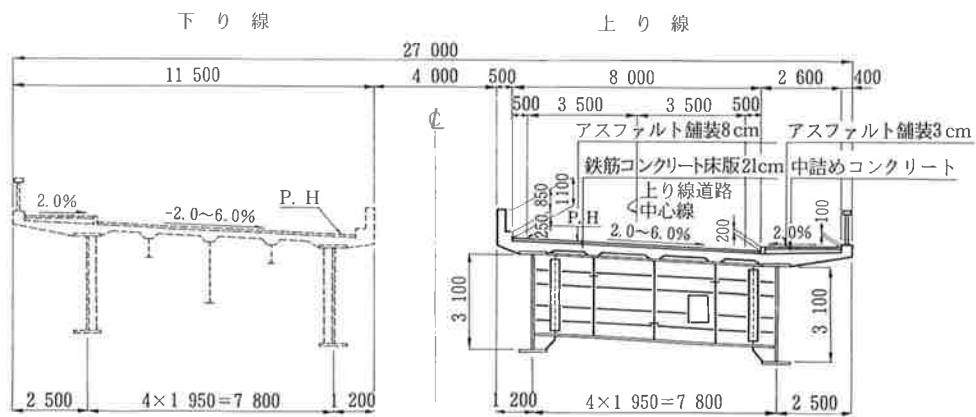


図-1 一般図

そこで本橋では、剛性の異なる主桁・縦桁・横桁に弾性支持された版として解析を行い、詳細な断面力を算出した。

この結果、縦桁に道示あるいは設計便覧などで規定される剛性を与えてもなお、床版には過大な曲げモーメントが生じるため、中央の縦桁の剛性を大きくし、床版に加わる曲げモーメントを大幅に減少させている。

解析モデルを図-2 (a)・(b) に示す。ここで、床版長はKP3~KP4間の等価支間長を用い単純桁とした。

解析上の条件は以下の通りである。

- a. 床版は主桁・縦桁で支持され横桁には直接支持されていない。
- b. 主桁・縦桁と床版の接点は、上下方向には一体として挙動し、橋軸方向には移動自由、橋軸直角方向にはヒンジ結合とする。

c. 床版を支持する桁は、単純支持直交格子桁とし、ねじり剛性は無視する。

d. 床版は、主桁・横桁と同じ方向に主軸を有する長方形直交異方性版とする。

また、床版・支持桁曲げ剛性は次の通りとした。

床版の曲げ剛性

$$D = \frac{E_c \cdot d^3}{12 (1 - \mu^2)} = 2143 \text{ tf} \cdot \text{m}^2 / \text{m}$$

ここに、

E_c : コンクリートのヤング係数
 $= 2.7 \times 10^6 \text{ tf} / \text{m}^2$

d : 床版厚 = 21 cm

μ : コンクリートのポアソン比
 $= 1/6$

主桁の断面2次モーメント

$$I = 0.150 \text{ m}^4$$

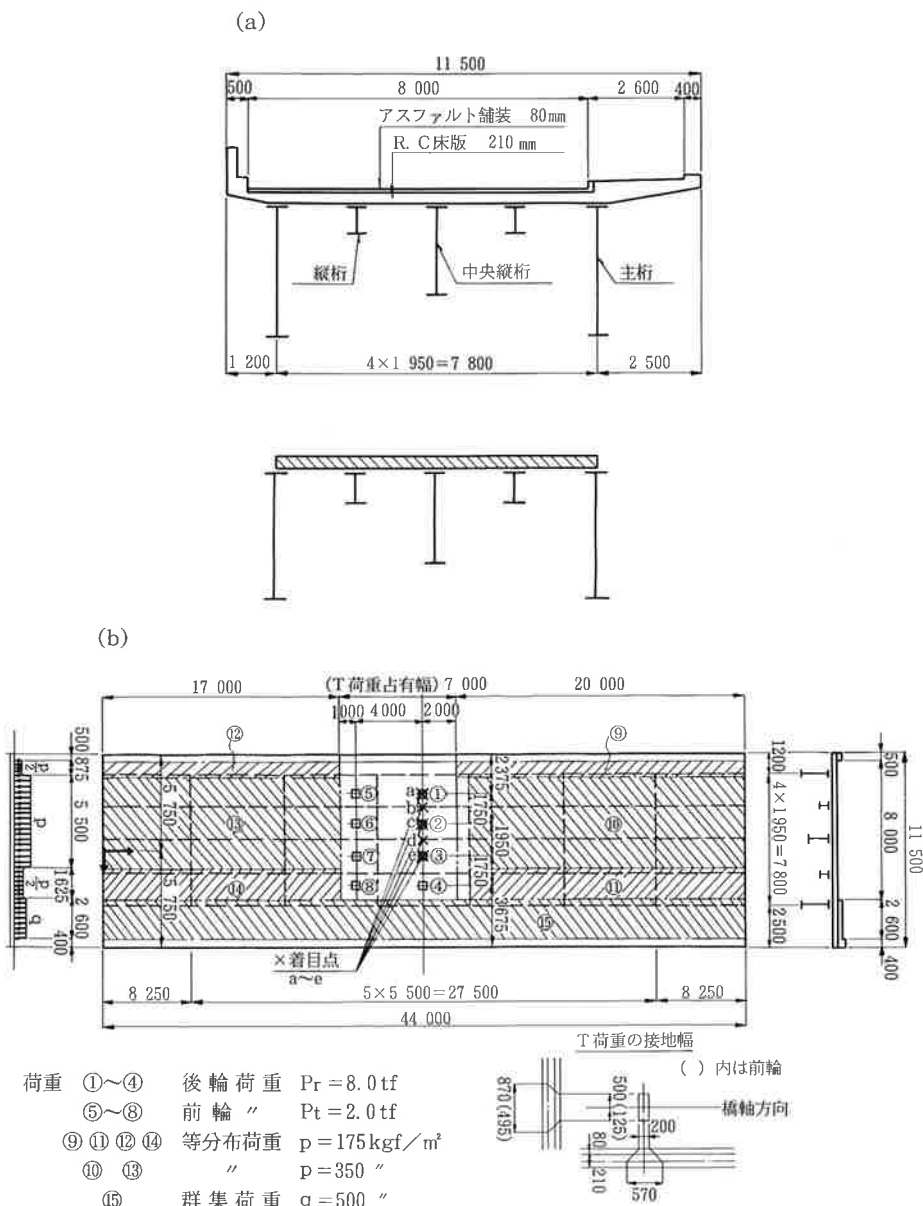


図-2 解析モデル

横桁の断面2次モーメント

$$I = 0.015 \text{ m}^4$$

縦桁の断面2次モーメント

$$I = 0.00060 \text{ m}^4$$

中央縦桁の断面2次モーメント

$$I = 0.026 \text{ m}^4$$

解析結果を表-1に示す。

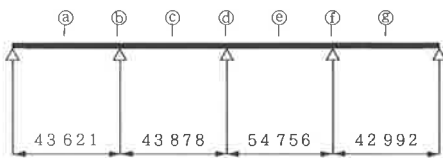
表-1 床版断面力集計表

着目点	主鉄筋方向曲げモーメント			配力筋方向曲げモーメント		
	活荷重	死荷重	合計	活荷重	死荷重	合計
a	2.901	0.193	3.094	1.763	—	1.763
b	-3.881	-0.270	-4.151	1.022	—	1.022
c	1.120	0.193	1.313	1.789	—	1.789
d	-3.948	-0.270	-4.218	-0.314	—	-0.314
e	2.641	0.193	2.834	1.859	—	1.859

4. 主 桁

本橋は2主桁橋であるが、床版のたわみや断面力を減少させる目的で、主桁間の中央に剛性の大きい縦桁を設置している。しかし、中央縦桁は主桁の1/5程度の剛性をもつため、主桁と同様の挙動を示し主桁作用の一部を負担することになる。さらに上下に横構を配置しているため、ねじり剛性を有する準箱

表-2 構造解析結果



曲げモーメント

		a	b	c	d	e	f	g
G1	ケース1	1 466	-1592	728	-1776	1 521	-2286	1 275
	ケース2	1 268	-1427	577	-1590	1 323	-2090	1 087
	ケース1 — ケース2	1.156	1.116	1.262	1.117	1.150	1.094	1.173
	ケース1	1 950	-2309	804	-2385	1 741	-3110	1 472
G2	ケース2	1 704	-2096	648	-2192	1 538	-2895	1 282
	ケース1 — ケース2	1.144	1.102	1.241	1.088	1.132	1.074	1.148

たわみ

		a	c	e	g	
G1	死荷重	ケース1	62.1	8.0	72.1	38.7
		ケース2	57.6	6.5	66.7	34.8
		ケース1 — ケース2	1.078	1.231	1.081	1.112
	活荷重	ケース1	41.4 ^(1/1045)	43.0 ^(1/1019)	63.5 ^(1/864)	43.4 ^(1/987)
		ケース2	32.7 ^(1/1324)	32.6 ^(1/1345)	49.5 ^(1/1109)	33.1 ^(1/1294)
		ケース1 — ケース2	1.266	1.319	1.283	1.311
G2	死荷重	ケース1	70.3	11.7	76.5	47.0
		ケース2	61.3	8.1	68.3	38.6
		ケース1 — ケース2	1.147	1.444	1.120	1.218
	活荷重	ケース1	39.9 ^(1/1102)	42.7 ^(1/1029)	57.5 ^(1/950)	39.0 ^(1/1106)
		ケース2	32.1 ^(1/1320)	32.2 ^(1/1296)	47.6 ^(1/1129)	32.1 ^(1/1312)
		ケース1 — ケース2	1.243	1.326	1.208	1.215

注) () 内の数値は $\delta L/L$ を示す。

桁としての挙動を示すことになる。

以上のことから構造解析は、次の2ケースについて行った。

ケース1 主桁と横桁にのみ曲げ剛性を持たせた構造系

ケース2 主桁と横桁と中央縦桁に曲げ剛性をもたせ、さらに準箱桁としてのねじり剛性をもたせた構造系

解析結果は表-2に示す。

主桁の設計に用いる断面力は、安全性を考慮しケース1の値を用いた。キャンバーについては、出来形の許容値の最大値が25mmであり、ケース1とケース2との差が実用上問題にならないと判断し、ケース1の値を用いた。

活荷重たわみについては、ケース1で $\delta L/L = 1/864$ (最大) であり道示の許容値を十分満たしている。ケース2では、 $\delta L/L = 1/1109$ となる。

また主桁高さが3.1mと高く、曲線を有するため、架設時の吊上げ状態・仮置き状態についても横倒れ座屈に対する安全性の照査を行った。

5. 横 桁

本橋は2主桁橋ではあるが、主桁間中央に設けられた縦桁が無視できない剛性を有し、3主桁ともみなすことができる。さらに曲線桁であり、上下に横構を配置しているため、準箱桁としての作用もある。

主構造としての横桁は、荷重分配作用、主桁の曲率による付加荷重やねじり・ずり荷重に対する抵抗などのため、十分な剛性をもつことが求められる。

また床組としては、応力やたわみを満足するだけでなく、床版設計時に決定した所要剛度を下回らないことも必要である。

横桁の断面形状については、トラス構造と充腹構造の2案が考えられ、検討結果を表-3に示す。

表中のトラスの換算剛度は、図-3 (a) に示すトラスの先端に荷重Pを作用させたときに、この位置に生じる鉛直たわみが、図-3 (b) に示す梁の鉛直たわみと等しくなるような梁の断面2次モーメントとして算出した。

また、格子剛度は鋼道路橋設計便覧より求めた。

$$Z = i \frac{Ia}{I} \left(\frac{L}{2a} \right)^3$$

- ここに Z : 換算格子剛度
- i : 換算係数
(分配横桁多数のとき 2.6)
- Ia : 横桁の断面 2 次モーメント
- I : 主桁の断面 2 次モーメント
- L : 等価支間長
- a : 主桁間隔

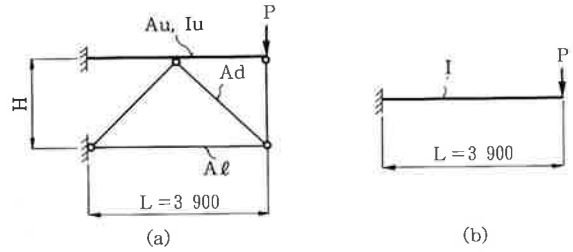
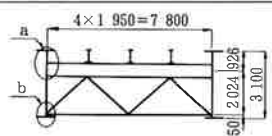
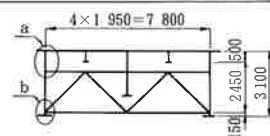
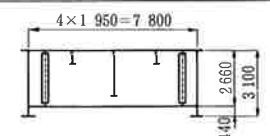


図-3 トラスの換算剛度

検討の結果、剛性が十分にあり、疲労にも強く、また施工性もよい充腹横桁形式を採用した。

表-3 横桁形式の比較

	トラス案 1	トラス案 2	充腹横桁案
断面	 上弦材 1-U.Flg 尺 180×10 1-Web 尺 600×10 1-L.Flg 尺 180×10 斜材 2-L 90×90×10 下弦材 1-U.Flg 尺 180×9 1-Web 尺 170×9 1-L.Flg 尺 160×9	 上弦材 1-U.Flg 尺 260×22 1-Web 尺 1000×9 1-L.Flg 尺 260×22 斜材 2-L 90×90×10 下弦材 1-U.Flg 尺 180×9 1-Web 尺 170×9 1-L.Flg 尺 160×9	 1-U.Flg 尺 210×10 1-Web 尺 2660×10 1-L.Flg 尺 210×10
鋼重	52ton	73ton	80ton
剛性	換算剛度	0.00478m ⁴ < 0.015m ⁴ (床版解析用剛度)	0.00914m ⁴ < 0.015m ⁴
	格子剛度	14.9	28.4
疲労	a, b 部に疲労クラックが発生する可能性がある	同左	疲労に対しては強い
施工性	工場	問題なし	縦桁との取合い部が複雑となる
	現場	問題なし	問題なし
評価	<ul style="list-style-type: none"> •床版支持桁としての剛性確保のため、さらに大きな断面を必要とする。 •疲労に対する補強が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> •同左 •同左 •縦桁との取合い部が複雑となる。 	<ul style="list-style-type: none"> •全体的に剛性も高く、疲労にも強い。 •施工上も特に問題はない。 •やや鋼重が重い。

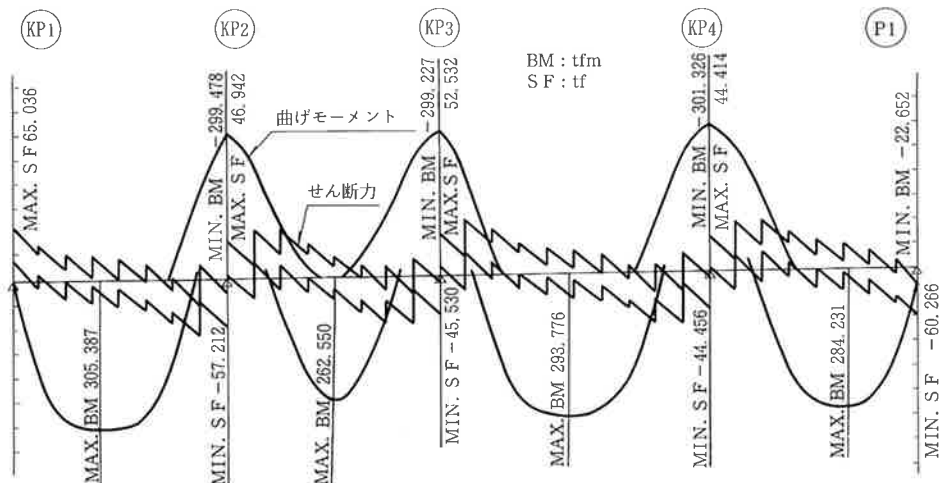


図-4 中央縦桁の断面力図

6. 中央縦桁

中央縦桁は、もともとは床組として設けたものであるが、剛性が大きい主桁としての挙動も示す。したがって断面決定は、主桁の構造解析のケース2により求める断面力を用いた。中央縦桁の断面力図を図-4に示す。

中央縦桁は、床版を支持する桁としてのみ剛性を増す必要がある。したがって他の2本の縦桁と同じ断面を用い、剛性確保のため補剛トラスを設ける案と、所要剛度をもつ充腹I断面とする案との2案が考えられる。補剛トラス案は、鋼重の面では圧倒的に有利であるが、部材数が多く製作・架設における施工性では充腹縦桁案に劣る。

ここでは、施工性を重視し、充腹縦桁案を採用した。

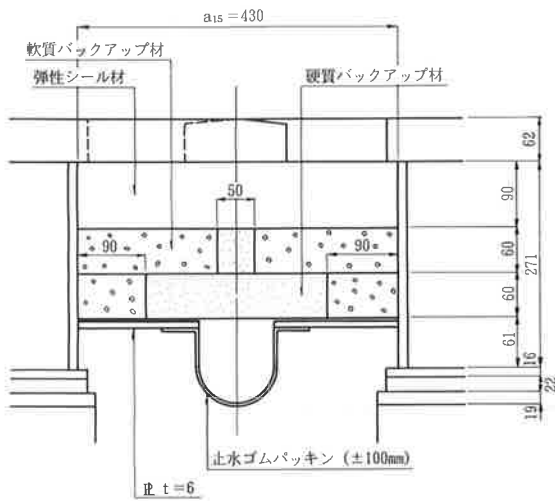


図-5 伸縮装置非排水構造

7. 伸縮装置

2主桁橋には直接関係はないが、本橋で留意した点を記す。

伸縮装置は計画当初、伸縮量が大きいためにフェースプレート厚さを軽減するよう“支持式”を採用していたが、維持管理面を考慮して“片持式”に変更した。この場合、フェースプレートは厚くなるが、フェースプレート幅が小さくなること、リブが小さくなることなどにより、重量にはほとんど差がなかった。

また、伸縮量の大きな場合の非排水構造として、図-5のようなバックアップ材形式とし、シール材の体積変化を吸収し、シール材の支持機能をもたせた。

あ と が き

鉄筋コンクリート床版をもつ2主桁橋は、最近ではほとんど用いられない形式であるが、床版に対する配慮を十分に行えば合理的な構造である。本橋は曲線桁であるためやや複雑となったが、2主桁橋を設計する上で着目すべき点について報告した。今後同様の橋梁形式を検討する上で参考になれば幸いである。

本橋は、平成3年5月に製作・架設を完了し、上武道路の一環として平成4年2月より供用予定である。

最後に、本工事・設計にあたり多くのご指導・ご助言をいただいた、建設省関東地方建設局大宮国道工事事務所の皆様、隣接工区の三菱重工業(株)の皆様をはじめ、工事関係各位に対し心より感謝いたします。