

(86) 張出し架設に適した複合トラス橋の開発《構造検討》

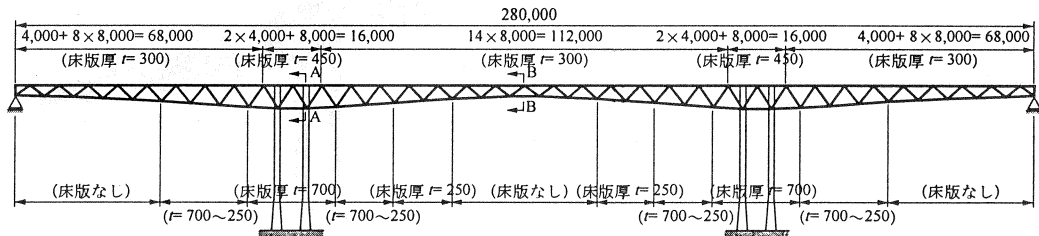
NKK 都市工学研究部 岡田 淳
 NKK 都市工学研究部 ○中西克佳
 NKK 橋梁・港湾建設部 正会員 川畑篤敬
 NKK 橋梁・港湾建設部 高尾道明

1. まえがき

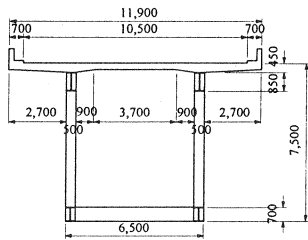
コスト削減に対する一つの打開策として、鋼・コンクリート複合橋梁への期待が高まりつつある。ここで、実績の多い複合橋梁には鋼桁とRC床版との合成桁やプレビーム橋などがあり、最近ではPC箱桁のウェブに波形鋼板を用いた橋梁が建設され始めている。また、さらに長支間になると、ウェブを鋼トラスとした複合トラスの検討も進められている¹⁾。

本研究で対象とした橋梁は、山間部での張出し架設に適した構造形式とするために、架設時に支保工の役割を果たすトラス上下弦材を用い、プレストレスを導入することを特徴とした鋼・コンクリート複合トラス橋梁である²⁾。しかしながら、このような構造形式の明確な設計手法は確立されておらず、その構造特性についての検討を行うことは極めて重要であると考えられる。とくに、本対象橋梁では、床版をトラス弦材で支持する線支持形式を採用しており、複合トラス橋梁の支持形式として知られているトラス格点部のみで支持する点支持形式と構造特性が異なることが予想される。また、張出し架設を行うために橋軸方向のプレストレス導入が不可欠となるものの、トラス弦材の断面が大きい場合には十分なプレストレスが導入されない、あるいは逆にトラス弦材に大きな応力が導入される可能性がある。同様に、橋軸直角方向にプレストレスを導入する場合にも、床版支間中央部付近には、十分なプレストレスが導入されないことが示唆されている。

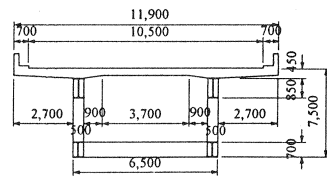
そこで、本研究では、①トラス弦材で床版を支持する線支持形式の主構造としての曲げおよび軸力に対する有効幅の考え方の整理、および②トラス弦材と合成された床版へのプレストレス導入量の把握および応力伝達機構の解明を目的として、FEM解析を行った。本文では、まず対象橋梁の構造諸元および概要について述べた。つぎに、その全体解析を行い、点支持形式と線支持形式との構造特性の差異を明らかにした。さらに、対象橋梁の一部を取り出した部分解析モデルによる解析結果から点支持形式および線支持形式のプレストレスの導入量および応力伝達機構についての検討を行った。最後に、以上の総括を述べた。



(a) 側面図



(b) 断面 A-A



(c) 断面 B-B

図-1 対象橋梁の一般図(寸法単位:mm)

2. 対象橋梁

図-1 には対象とした複合トラス橋の一般図を、また表-1 には構造諸元をそれぞれ示す。本対象橋梁は3径間連続鋼・コンクリート複合トラス橋であり、その上下床版は2主構トラスウェブと一体となり、箱断面を形成している。主構高は4m~7.5mまでの範囲を有し、中間支座位は2枚壁式橋脚との剛結により支持した。さらに、下床版は、軽量化のため、中間橋脚付近の高圧縮領域のみ配置した。すなわち、側径間端部から40mおよび中央径間中央から20mの区間には、配置していない。

なお、トラス下弦材には、側径間端部から40mの区間に箱形断面、その他の区間にI形断面を採用した。また、トラス斜材には、圧縮部材および中間橋脚付近の部材に箱形断面を、引張部材にH形断面を採用した。

表-1 対象橋梁の構造諸元

		寸法(mm)	ヤング係数 E (kgf/cm ²)
支間割	76,000+128,000+76,000		
主構高	4,000~7,500		
橋脚高	40,000		$E_c=2.5 \times 10^5$
幅員	11,900 (有効幅員:10,500)		
トラス格点間距離	8,000		
上床版厚	300~450		$E_c=3.3 \times 10^5$
下床版厚	250~700		$E_c=3.3 \times 10^5$
トラス上弦材断面	I形	Flg. 500×16~28 Web 850×11~38	$E_s=2.1 \times 10^6$
	箱形	500×700×20~25	$E_s=2.1 \times 10^6$
トラス下弦材断面	I形	Flg. 500×28 Web 700×30	$E_s=2.1 \times 10^6$
	箱形	Flg.500×9,Web 300×10~Flg.600×20, Web 500×16	$E_s=2.1 \times 10^6$
トラス斜材断面	H形	Flg.500×9,Web 500×16~Flg.500×9, Web 700×26	$E_s=2.1 \times 10^6$
	箱形		

3. 対象橋梁の全体解析

全体解析は、トラス弦材で床版を支持する線支持形式の主構造としての曲げおよび軸力に対する有効幅の考え方について検討することを目的として実施した。

(1) 全体解析モデルと荷重載荷方法

解析モデルは、上床版に上弦材を合成させた線支持形式と上床版に上弦材を設けない点支持形式との2ケースとした。また、荷重としては、橋梁全体の死荷重のみを載荷した。なお、トラス下床版および下弦材は、両者とも同じ構造とした。図-2には、全体解析モデルの斜視図(線支持形式)を示す。

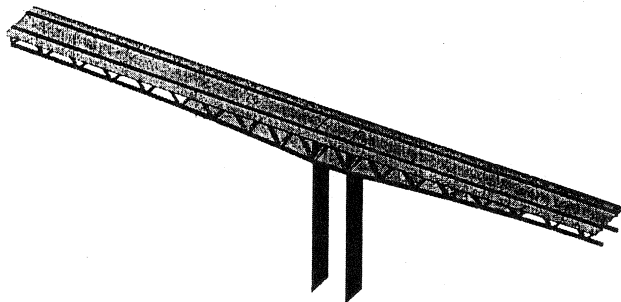


図-2 全体解析モデルの斜視図(線支持形式)

(2) 対象橋梁のモデル化について

対象橋梁のモデル化は、図-3(a)および(b)に示すように、床版をシェル要素、トラスの上弦材、下弦材、および斜材をビーム要素とした。そして、ガセット部は、床版図心軸からの距離が600mmの剛体要素でモデル化し、一端を床版、他端をトラス弦材と接合した。また、トラス弦材

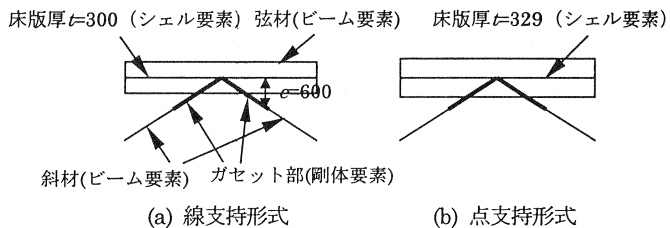


図-3 対象橋梁のモデル化(寸法単位:mm)

と上下床版とは、シェル要素とビーム要素との接合となるため、接合される要素のそれぞれの図心軸を同一位置と仮定した断面力累加形式で接合した。ここで、点支持モデルは、線支持モデルのトラス上弦材の断面積をヤング係数比 $E=7$ を考慮して、等価なコンクリートに置換し、床版増厚を行ったものである。

(3) 解析結果とその考察

以下では、解析結果として、2つのモデルに顕著な差異が認められた位置について示す。

i) 解析モデル全体の变形モード

図-4には、線支持モデル全体の变形図を示す。なお、線支持モデル、および点支持モデルはともに、最大変位量が中央径間で発生し、変形量および変形モードの顕著な差異が認められなかった。

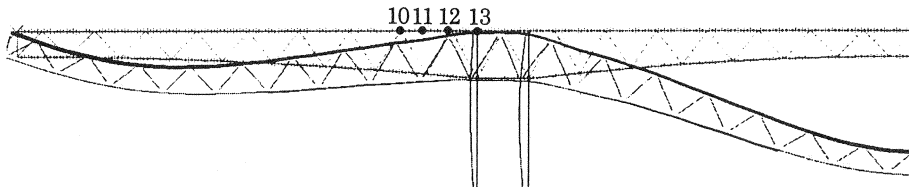


図-4 解析モデル全体の变形図

ii) 橋軸方向曲げモーメントおよび軸力の橋軸方向分布について

図-5(a)および(b)には、それぞれ図-3に示した点11~13間の上床版に発生した橋軸方向の曲げモーメントおよび軸力の橋軸方向の分布状況を、線支持モデルと点支持モデルとを比較して示す。

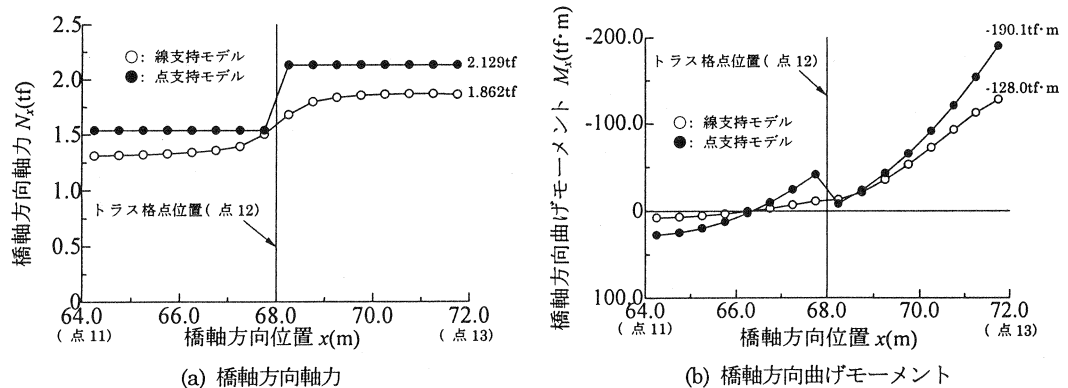


図-5 点11~点13における上床版の橋軸方向の軸力および曲げモーメントの分布状況

まず、図-5(a)によると、点支持モデルでは橋軸方向の軸力がトラス格点位置で階段状に急変しているのに対し、線支持モデルでは、連続的に徐々に変化していることがわかる。すなわち、線支持モデルでは、床版と鋼トラス桁との間に発生するせん断力に対し、トラス格点位置付近のある一定の接合区間で抵抗することができることになる。したがって、線支持モデルでは、この一定区間の接合部のスタッドが橋軸方向の軸力に抵抗できることになる。

つぎに、図-5(b)によると、点支持モデルでは曲げモーメントが軸力と同様にトラス格点位置で不連続な分布になっているのに対し、線支持モデルでは連続的に変化していることが分かる。これは、点支持モデルでは、トラス格点位置近傍で、大きな応力集中現象が発生していることを意味している。

なお、図-5(b)中における絶対最大曲げモーメント量である点13位置の断面の平均曲げモーメントは、点支持モデルで-190.1tf·m、線支持モデルで-128.0tf·mであった。ちなみに、両モデル間の死荷重の差は約0.6%であり、

その差以上に点支持モデルでは大きな曲げモーメントが発生していることになる。

iii) 橋軸方向応力の橋軸直角方向分布について

図-6(a)および(b)には、点10～点11の断面位置における上床版に発生した橋軸方向応力(引張正)の橋軸直角方向分布を、それぞれ線支持形式および点支持形式について示す。

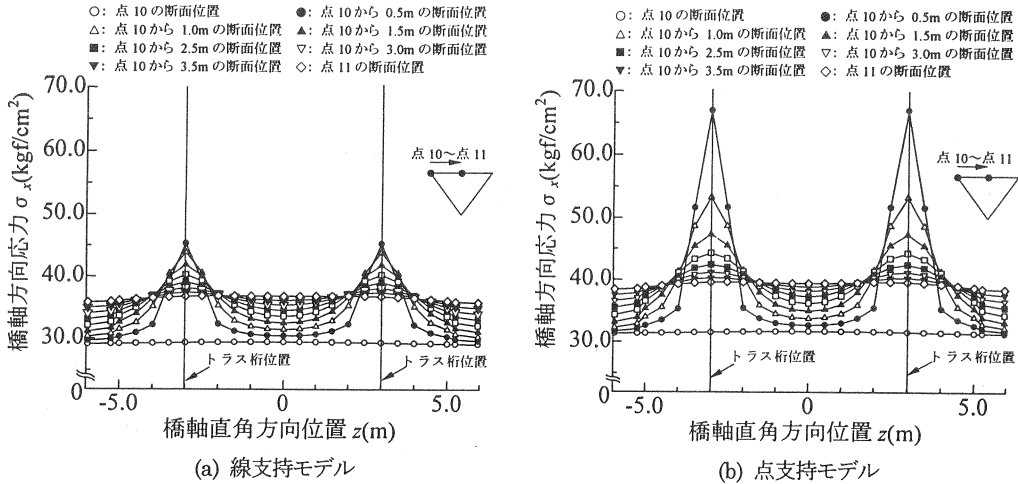


図-6 点10～点11の断面位置における上床版に発生した橋軸方向応力の橋軸直角方向分布(引張正)

図-6(a)～(b)より、線支持モデル、および点支持モデルともに、トラス桁位置において、橋軸方向応力が卓越している。また、その卓越の程度は、両モデルともに、トラス格点位置近傍において激しい。さらに、図-6中における線支持モデルの最大作用応力度は、点支持モデルの最大作用応力度の67.6%であり、応力集中の程度が点支持モデルよりも緩やかであることが分かる。

ここで、表-2には、図-6に示した断面位置の中で最も大きな応力集中現象が生じている断面位置(●点の断面位置)において算出した上床版の有効幅を、線支持モデルと点支持モデルとについて、連続桁と仮定して道路橋示方書に従って計算した有効幅と比較して示す。

表-2 上床版の有効幅

	線支持モデル	点支持モデル	連続桁と仮定して道路橋示方書に従って計算した場合
最大作用応力 σ_x (kgf/cm ²)	45.28	66.94	—
片持部の片側有効幅 λ_1 (cm)	217.3	172.5	272.5
中央支間部の片側有効幅 λ_2 (cm)	222.8	176.6	276.4

表-2より、トラス格点位置における線支持モデルの上床版の有効幅は、片持部で点支持モデルの30.0%増、中央支間部で29.6%増と、線支持モデルの方が、設計に有利となっていることが分かる。

なお、本研究で用いた対象橋梁を連続桁と仮定して道路橋示方書に従って計算した有効幅と比較すれば、線支持モデルの上床版の有効幅は、片持部で点支持モデルの25.4%減、中央支間部で24.1%減となっていることが分かる。

4. 対象橋梁の部分解析

部分解析は、プレストレスの導入時における点支持形式と線支持形式とのプレストレス導入量およびその応力伝達機構について検討することを目的として、実施した。

(1) 部分解析モデル

部分解析モデルは、最も大きな断面力が発生する図-4中の点13の断面を用いた3格点間等断面モデルとした。ここで、モデルの要素は、ビーム要素としたトラス斜材、および剛体要素を用いたトラス斜材とガセット・プレートとの接合部を除き、全てソリッド要素を用いて、可能な限り忠実にモデル化した。そして、床版は厚さ方向にハンチ部を除いて3層構造とし、また鋼材は厚さ方向に全て1層構造とした。また、床版は、橋軸断面方向においてほぼ等間隔に、また橋軸直角断面方向において応力の集中するトラス格点部位置を細かく、それぞれメッシングした。

なお、ここでは、点支持形式のモデルを作成する際に、全体解析で行ったような床版の増厚は行わず、線支持形式モデルから上弦材を除いたモデルとした。図-7には、部分解析モデルの斜視図(線支持形式)を示す。

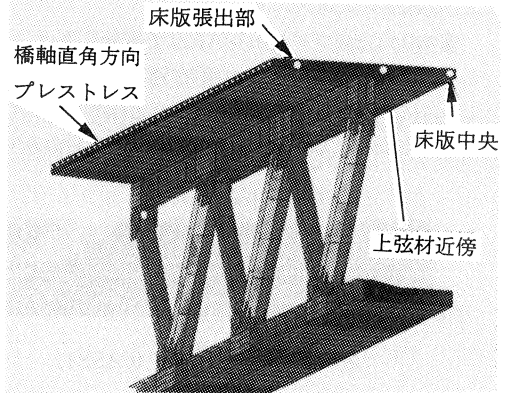


図-7 部分解析モデルの斜視図

(2) 解析ケースおよびプレストレスの導入方法

解析ケースを表-3に示す。なお、CASE5~CASE6は、図-7中に示すように、50cm間隔で橋軸直角方向に一樣にプレストレスを導入した。ここに、プレストレス量は、実設計値、すなわち橋軸方向に175.6tf/本、および橋軸直角方向に35tf/本とした。

表-3 部分解析ケース一覧

導入位置	橋軸方向プレストレス			橋軸直角方向 プレストレス
	床版中央	床版張出部	上弦材近傍	50cm ピッチ
線支持形式	CASE1	CASE2	CASE3	CASE5
点支持形式	—	—	CASE4	CASE6

(3) 解析結果とその考察

図-8(a)~(d)には、CASE1~CASE4の橋軸方向応力分布図を示す。また、表-4には、本解析で得られた解析値を、床版中央部(応力的にプレストレスによる床版応力が断面内でほぼ均等分布しているとみなせる区間)におけるプレストレスによる上床版応力度の梁理論値と比較して示す。ここに、表中の数値は引張を正とし、このうち解析値は床版応力度の上面と下面との平均値を示している。

i) 橋軸方向プレストレス

まず、図-8(a)および(b)によると、CASE1とCASE2とは、トラス上弦材を対称にほぼ同じ挙動を示している。しかしながら、床版応力の分布角度において若干の差異が見られる。すなわち、トラス上弦材を通過した後の床版応力の分布角度がCASE1が約60度であるのに対し、CASE2は約45度である。

つぎに、CASE3に関しては、点支持形式(CASE4)との比較の上、考察を行う。すなわち、図-8(d)に示すように、点支持形式は、プレストレスによる床版応力がトラス格点間を回り込むように伝達しているため、トラス格点部付近と格点間とで床版応力の変動が見られ、床版中央部のトラス格点間に伝達するまで一様に分布していない。これに対し、図-8(c)によると、線支持形式は、プレストレス導入位置から応力が均等分布するまでの橋軸方向距離が約6.5mで床版応力がほぼ均等分布となっており、応力伝達がスムーズであることが分かる。また、表-4によると、解析値はCASE3が3.6kgf/cm²、またCASE4が4.1kgf/cm²である。これに対し、梁理論値は、トラス上下床版、ガセット・プレートおよびトラス上下弦材を含んだ断面で計算したプレストレスによる床版応力が3.9kgf/cm²、そこから上弦材を除いた点支持形式に相当する断面で計算したプレストレスによる床版応力が4.2kgf/cm²である。したがって、橋軸方向プレストレスによる橋軸方向の力に対しては、複合トラス桁の断面全体で抵抗することが分かる。なお、梁理論値よりも解析値が小さい理由は、橋軸方向プレストレスが橋軸直角方向へも伝達したことにより、面外曲げの力に置換したためであると考えられる。

ii) 橋軸直角方向プレストレス

橋軸直角方向プレストレスによる床版応力は、支持形式による顕著な差異は見られず、両者ともほぼ一様圧縮となった。表-4によると、両支持形式とも 23.0kgf/cm^2 の圧縮となっており、上床版のみの断面で計算したプレストレスによる床版応力 23.3kgf/cm^2 とほぼ一致している。したがって、橋軸直角方向プレストレスによる橋軸直角方向の力に対しては、上床版(ハンチ無し)のみで抵抗することが分かる。

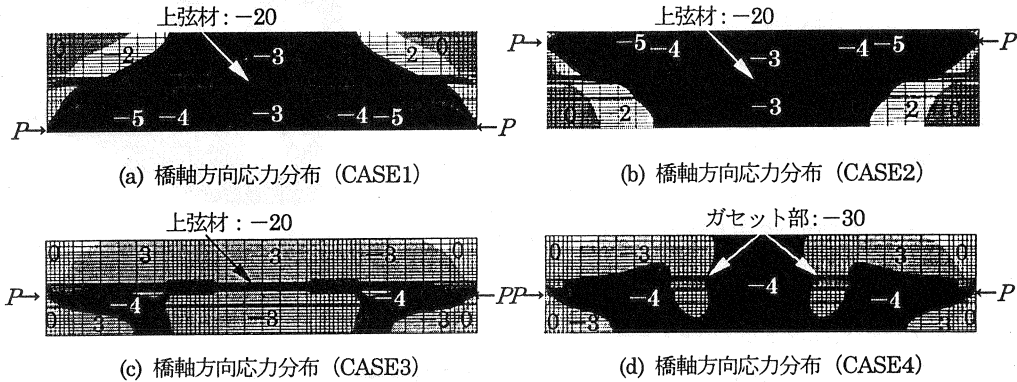


図-8 CASE1~CASE4の橋軸方向応力分布図(単位: kgf/cm^2) (引張正)

表-4 プレストレスによる上床版応力度の梁理論値と解析値(引張正) (単位: kgf/cm^2)

考慮部材	梁理論値		解析値			
	CAL-A	CAL-B	橋軸方向応力度		橋軸直角方向応力度	
			CASE3	CASE4	CASE5	CASE6
上床版(ハンチ無し)	-9.8	-23.3	-3.6	-4.1	-23.0	-23.0
上床版	-8.2	-				
上床版+上弦材+ガセットプレート	-6.8	-				
上床版+下弦材+ガセットプレート	-4.2	-				
上下床版+上下弦材+上下ガセットプレート	-3.9	-				

注 CAL-A: 橋軸方向にCASE3, あるいは4と同量のプレストレスを導入した場合の橋軸方向応力度

CAL-B: 橋軸直角方向にCASE5, あるいは6と同量のプレストレスを導入した場合の橋軸直角方向応力度

5. まとめ

本研究により得られた主な成果を、以下にまとめる。

- (1) 線支持モデルの最大作用応力度は、トラス格点位置近傍において、点支持モデルの最大作用応力度の67.6%であり、点支持モデルよりも応力集中の程度が緩やかであった。
- (2) トラス格点位置における線支持モデルの上床版の有効幅は、片持部で点支持モデルの30.0%増、および中央支間部で29.6%増であった。
- (3) 橋軸方向プレストレスによる橋軸方向の床版応力は、複合トラス桁断面全体で抵抗すると考えた場合の梁理論値に近いことが分かった。
- (4) 橋軸直角方向プレストレスによる橋軸直角方向の床版応力は、上床版のみで抵抗すると考えた場合の梁理論値に近いことが分かった。

参考文献

- 1) 高尾道明・川畑篤敬, 万名克実・渡辺英夫・猪爪一良: 張出し架設に適したPC床版複合トラス橋の開発, 第53回土木学会年次学術講演会講演概要集, 1998.10.
- 2) 猪爪一良・万名克実・渡辺英夫・安同祥: 張出し架設に適した複合トラス橋の開発《設計検討》, 第8回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム, 1998.10.