

I - 88

2 主桁曲線橋における横桁の配置について

北海道大学大学院工学研究科 正 員 平沢 秀之
 北海道大学工学部 学生員 小山 明久
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 林川 俊郎
 北海道大学大学院工学研究科 フェロー 佐藤 浩一

1. はじめに

最近、我が国では鋼橋の設計、製作、架設に関する合理化、省力化を達成できる橋システムの一つとして、ヨーロッパではすでに施工例の多い2主I桁橋が注目されてきており、その力学的特性に関する研究が活発化している。この種の橋システムの合理化の効果としては、鋼重低減による経済性の向上、横桁構造の簡素化や横構の省略などによる部材数の大幅減少や、それに伴う溶接延長の低減による製作及び架設時の省力化、更に施工の機械化、工期短縮などが挙げられる。今後将来に向かって、維持管理を必要とする橋梁の数の増大が予想される中で、耐荷力の優れた性能を持つと同時に、維持管理の容易な橋システムの開発が重要課題となってきた。2主I桁橋は、これらの製作費、施工費、維持管理費を含めたトータルコストの低減を図ることが可能である橋システムとして期待されている。実際の施工例としては、平成7年に完成した北海道縦貫自動車道ホロナイ川橋を始め、北海道横断自動車道千鳥の沢川橋や上信越自動車道儀明川橋などがあるが、これらは前述の合理化を念頭に置いたシンプルな補剛システムを有しているのが特徴である。

この種の橋システムに関した研究は主として直線橋を対象としたものが多く¹⁾²⁾、曲線橋に関してはまだ十分とは言えないのが現状である。しかしながら、現在箱桁や多主I桁が多用されている曲線橋にも、今後合理化、省力化を意図したこの橋システムが採用されていくものと予想される。これまで2主I桁曲線橋に関しては、合理化に対する検討を行なった例³⁾が見られるが、力学的特性についての検討を行った研究は殆どないものと思われる。曲線橋の場合、曲げ変形に加えてねじり変形も大きくなり、開断面特に2主I桁断面を有する場合には顕著となる。そこで本研究では主桁と横桁のみで構成される2主桁曲線橋を対象とし、横桁の配置個所や配置する間隔に着目して、それらが構造全体の挙動にどのような影響を及ぼすか、また発生する応力にどのような変化が見られるかについて検討を行うこととした。なお数値解析には有限要素法汎用構造解析プログラムNASTRANを使用した。

2. 構造モデル

2.1 平面線形及び断面諸元

構造モデルとしては、本研究では中規模程度の1径間曲線橋の約1/10の寸法をもつ図-1のような支間長 $L = 4.5[m]$ の2主桁モデルとした。一般に曲線橋はその規模や曲率半径(または中心角)に応じて、並列I桁橋、2箱桁橋、1箱桁橋等に分類でき、並列I桁橋はこれの中でも中心角が小さい範囲での使用が可能である。小松ら⁴⁾の研究ではその範囲はほぼ $0.09[rad] \leq \phi \leq 0.24[rad]$ 程度であるとされている。そこで本解析で対象とする計算モデルの中心角を $\phi = 8.5^\circ (=0.148[rad])$ とした。また横桁の配置間隔は $L/10$ (横桁9本)、 $L/8$ (横桁7本)、 $L/6$ (横桁5本)の3通りとした。

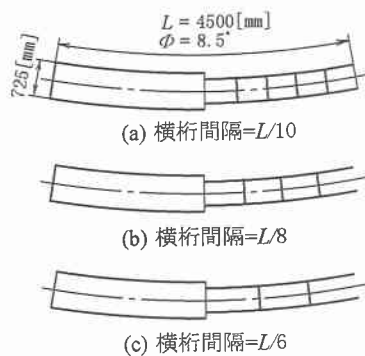


図-1 平面図

Positioning of cross beams for curved two-girder bridge
 by Hideyuki HIRASAWA, Akihisa KOYAMA, Toshiro HAYASHIKAWA and Koichi SATO

横桁取付位置の断面図及び主桁、横桁の断面寸法をそれぞれ図-2、表-1に示す。主桁は橋軸方向に一定断面とし、横桁も全て同一の断面のものを用いている。横桁取付位置は配置間隔が $L/10$ のものについては、上段、中段、下段の3通りとし、 $L/8$ 、 $L/6$ のものについては中段とした。また対傾構や横構は全て省略した。

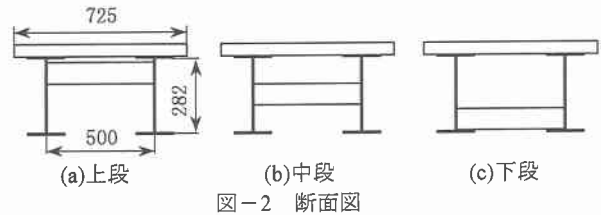


表-1 主桁、横桁断面寸法 [mm]

	主桁	横桁
上下フランジ幅	150	50
上下フランジ厚	9	7
腹板高	282	86
腹板厚	6.5	5

2.2 FEMのモデル化

2.1で示した合計5ケースについてFEMで解析するためのモデル化を行った。図-3に横桁間隔= $L/10$ で中段配置の場合のFEMモデルの全体図を示す。床版は8節点ソリッド要素、主桁と横桁は4節点シェル要素を使用し、総節点数は約3500、総要素数は約2900である。荷重は内桁及び外桁上に鉛直方向の分布荷重を载荷した。桁端の境界条件については、実橋ではかなり剛な端横桁が設置されていることを考え、ウェブに対しては橋軸直角方向変位を拘束とし、下フランジに対しては曲げに対して単純となるよう一端ヒンジ、他端ローラーとなる支持条件を与えた。

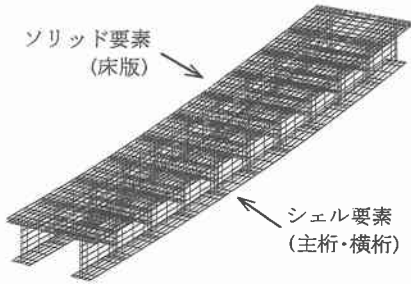


図-3 FEMモデル

3. 計算結果と考察

3.1 立体挙動の横桁配置の影響

曲線橋は鉛直方向にたわむと同時に、橋軸直角方向にもねじりを伴いながら変位が生じる。表-2は支間中央の断面における両主桁それぞれの上端、下端の変位を横桁配置のケースに応じてまとめたものであり、図-4は断面の変位の様子を表したものである。鉛直変位、水平変位をそれぞれ y, z で表し、添え字は a =内桁上端、 b =外桁上端、 c =内桁下端、 d =外桁下端を意味している。

表-2 支間中央断面における変位 [mm]

	$L/10$ 間隔			$L/8$ 間隔 中段配置	$L/6$ 間隔 中段配置
	上段配置	中段配置	下段配置		
内桁上端鉛直変位 y_a	3.069	2.885	2.982	2.913	2.959
〃 水平変位 z_a	0.196	0.224	0.047	0.030	0.186
外桁上端鉛直変位 y_b	4.037	3.977	3.713	3.992	4.022
〃 水平変位 z_b	0.185	0.211	0.033	0.020	0.173
内桁下端鉛直変位 y_c	3.065	2.881	2.980	2.910	2.955
〃 水平変位 z_c	1.803	1.330	0.959	0.141	1.521
外桁下端鉛直変位 y_d	4.032	3.973	3.701	3.989	4.019
〃 水平変位 z_d	2.102	1.445	0.968	1.542	1.682

10/L間隔の上, 中, 下段配置に着目すると, 外桁鉛直変位は上, 中, 下の順に小さくなる。水平変位は上端の変化がほとんどなく, 下端では上, 中, 下の順に小さい。特に内桁と外桁の下端水平変位の差が上段配置では大きく, 下段配置ではほとんどない。即ち, 下段配置では曲線橋が全体として一体となった挙動を示し, 上段配置では内桁と比較して外桁の方が大きくねじり変形を起こしている。横桁間隔の影響については, その間隔が広がるにつれ, y , z 方向とも変位が大きくなり, 桁全体のねじり剛性が低下していることが示されている。

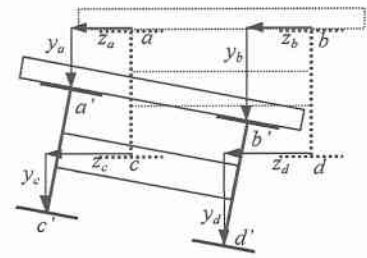


図-4 支間中央断面の変位

3.2 主桁応力度

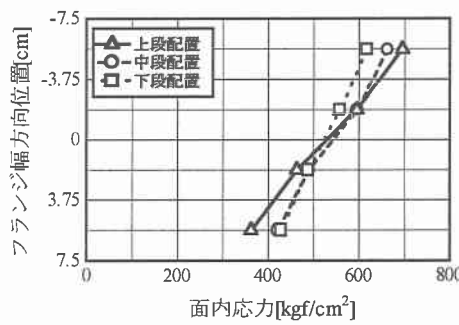
横桁の配置箇所及び間隔をパラメータとして, 主桁のウェブ, フランジに発生する橋軸方向の面内応力について調べた。表-3は曲線橋全体に生じる応力の内, 最大値となるものを示したものである。これらの最大応力度は外桁下フランジ面内で生じており, L/10間隔下段配置の場合は, スパン中央点から横桁間隔の1/2だけ離れた断面位置で, それ以外の場合は全てスパン中央で生じている。横桁間隔による差は,それほど大きくはないが横桁を密に配置すると発生する最大応力は小さくなる。一方, 配置箇所による差は上段と下段で約11%の応力差があり, 下段配置は他の配置と比べ橋軸方向の応力においては有利なことが分かった。

表-3 最大面内引張応力[kgf/cm]

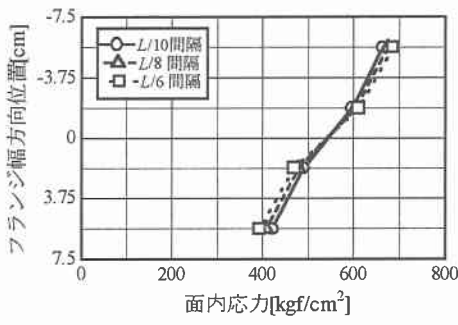
		最大面内応力
L/10 間隔	上段配置	695
	中段配置	662
	下段配置	617
中段配置	L/10 間隔	662
	L/8 間隔	674
	L/6 間隔	685

図-5は, 最大応力が発生している点での下フランジ幅方向の応力分布状態をそれぞれ示したものである。図-5(a)よりフランジ幅方向の応力分布の勾配が上, 中, 下段配置の順に小さくなることが分かる。これは, ねじり変形が下段配置ほど小さくなることにより, そり応力も小さくなるためであると考えられる。横桁の間隔による影響については, 図-5(b)よりほとんど違いは見られなかった。

図-6は, L/10間隔で中段配置におけるスパン中央点と, 横桁間隔の中間点(9L/20点)での主桁ウェブの面内応力分布状態を示したものである。これによると, 横桁連結部から離れた断面におけるウェブに生じる橋軸方向の面内応力は, 直線的な分布を示しているが, 支間中央断面ではウェブに横桁が連結されているため, 応力の流れが変化し多少乱れた分布を示している。



(a) 横桁の配置による影響



(b) 横桁の間隔による影響

図-5 下フランジの面内応力

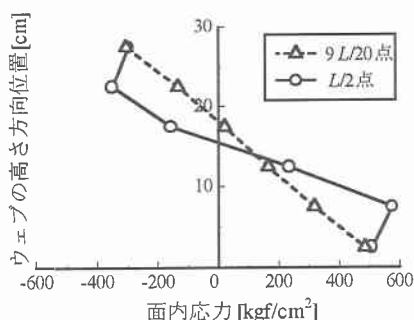


図-6 主桁ウェブの面内応力
($L/10$ 間隔中段配置)

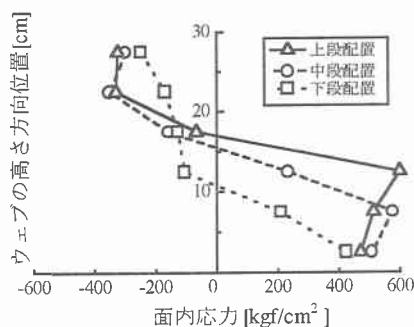


図-7 主桁ウェブの面内応力
($L/10$ 間隔)

図-7 は、横桁配置箇所を変化させたときの主桁ウェブにおける面内の応力分布を示したものである。配置箇所による影響は特に引張り側で顕著に現れ、上、中、下段の順で応力の最大値が小さくなっている。これより、ウェブに生じる応力においても下段配置が有利であることが示されている。

4. おわりに

主桁と横桁で構成される2主桁曲線橋について、横桁の配置箇所や配置する間隔が、構造全体の挙動や発生する応力にどのような影響を及ぼすかを有限要素解析を行うことにより検討した。その結果、横桁の配置間隔についてはその間隔が広がるにつれ、ねじり変形や発生する応力が大きくなり構造物としては不利な状態になっていくことが分かった。また配置箇所の影響については、上、中、下段と変化するにつれねじり変形や応力が小さくなっていくことが分かった。これは、下段配置にすると桁断面が、床版と併せて疑似箱形断面と見なすことができ、結果として構造全体のねじり剛性が増大するためと考えられる。2主桁曲線橋の横桁の配置に関しては、直線橋の場合は従来施工の有利性から中段配置とする例⁹⁾が多いが、本研究により曲線橋の場合は下段配置が力学的に有利であることが示された。

今後は、2主桁曲線橋の全体横倒れ座屈に関する解析を行い、横桁間隔や配置箇所の横倒れ座屈荷重に及ぼす影響を調べ、耐荷力的な見地から検討を加える予定である。

<参考文献>

- 1) 高橋昭一，志村勉，橘吉宏，水野浩：PC床版2主1桁橋による合理化検討，土木学会第49回年次学術講演会講演概要集Ⅰ，pp.268-269，1994。
- 2) 重田光則，吉田康治，長井正嗣：シンプルな横補剛材をもつ多主1桁橋の立体挙動，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集Ⅰ，pp.548-549，1996。
- 3) 平沢秀之，林川俊郎，佐藤浩一：合理化を目指した曲線橋に関する考察，鋼構造年次論文報告集，第5巻，pp. 261-266，1997。
- 4) 小松定夫，中井博，田井戸米好：ねじり定数比とねじり曲げ剛性比から考察した曲線橋設計計算法への一提言，土木学会論文報告集，第224号，pp.55-66，1974。
- 5) 高橋昭一，鈴木隆，志村勉，田中一夫，伊藤博章，橘吉宏：PC床版2主桁橋(ホロナイ川橋)の設計，土木学会第50回年次学術講演会，pp.614-615，1995。