

曲線 2 主桁橋の固有振動特性に及ぼす横桁斜め配置の効果

Effects of cross beams positioning diagonally on natural vibration characteristics of curved twin I-girder bridges

函館工業高等専門学校環境システム工学専攻 ○学生員 岩岸現 (Iwagishi Gen)
 函館工業高等専門学校環境都市工学科 正員 平沢秀之 (Hirasawa Hideyuki)
 函館工業高等専門学校環境都市工学科 島田龍市 (Shimada Ryuichi)

1. まえがき

2 主桁橋は主桁本数を 2 本とし、床版には PC 床版や合成床版が用いられ、部材数が少なくシンプルな構造となっている。したがって大幅な合理化・省力化が図れた橋梁形式である。この形式は製作及び架設時のコストの削減のみならず、将来的な維持管理の容易さや高耐久性を有している。

2 主桁橋は、基本的に横補剛システム(対傾構や横構等)、水平補剛材が省略され、主桁同士は横桁を用いて連結されている。一般にこの横桁は主桁の中段に配置される。そのため、2 主桁橋は基本的に開断面であり、曲線橋においてねじり剛性が低く固有振動数が小さくなるので、ねじり方向の振動に対して弱い構造となっている。2 主桁形式を曲線橋などのねじりが発生しやすい構造に採用するに当たり、ねじりに関する固有振動数の向上が重要であると考えられる。

既往の研究によると、曲線 2 主桁橋において横桁を下段配置し、主桁に斜めに連結して擬似箱桁断面を形成することが、曲線 2 主桁橋のねじり剛性を向上させる方法として有効である^{1),2)}。

そこで、本研究では曲線 2 主桁橋のねじり固有振動数

の向上を目的として、曲線 2 主桁橋の省力化を妨げない範囲で、横桁を下段に斜め配置し、横桁本数の影響を調べることにした。また、比較検討のため従来型である横桁を中段に直角に配置したものをモデル化し、それぞれ床版を有する完成時モデルと床版を有さない架設時モデルを作成して振動特性の把握を行った。なお、数値計算には有限要素法汎用構造解析プログラム ADINA を使用する。

2. 解析モデル

図-1 は解析対象とする橋梁モデルの平面図である。平面図は横桁形式の違いがわかるように床版を省略した架設時を表示している。図-2 は断面図である。左側は横桁を中段に直角配置したモデル、右側は横桁を下段に斜め配置したモデルの断面図である。支間長は 50[m]、中心角は 10° で、主桁と横桁の断面寸法を表-1 に示す。床版はコンクリート系床版を使用するものとし、鋼桁と剛に結合した合成桁として機能するものと仮定する。床版にはソリッド要素を用い、鋼桁にはシェル要素を用いる。また、解析に用いる材料定数を表-2 に示す。

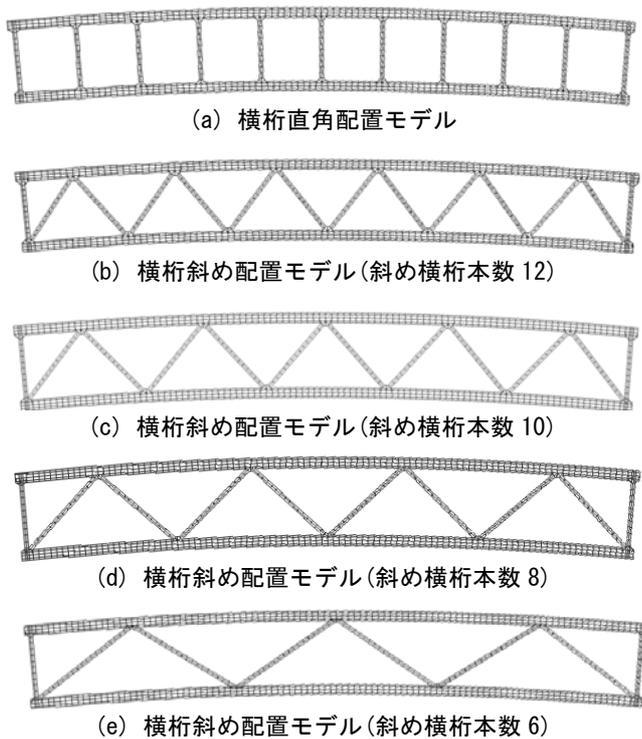


図-1 曲線 2 主桁橋平面図

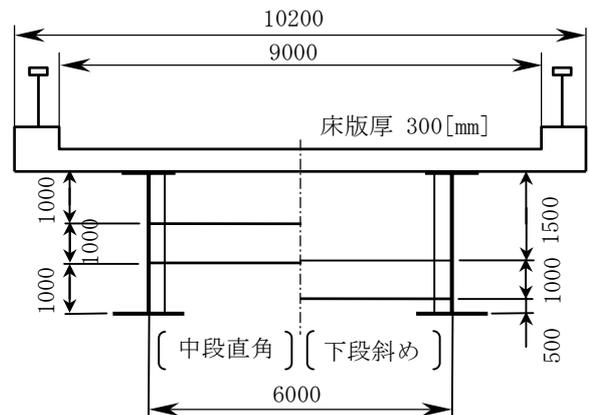


図-2 曲線2主桁橋断面図

表-1 断面寸法 [mm]

	主桁	横桁
B_u	500	300
t_u	30	25
H	3000	1000
t_w	24	16
B_l	800	300
t_l	50	25

表-2 材料定数

	ヤング係数 E[N/mm ²]	ポアソン比 ν	単位体積質量 w[kg/m ³]
PC床版	2.86×10^4	0.2	2.50×10^6
鋼部材	2.00×10^5	0.3	7.85×10^6

3. 固有振動解析結果

図-1(a)～(e)のモデルに関してそれぞれ床版の有無を考慮した合計 10 通りの橋梁モデルに対して弾性固有振動解析を行った。

3.1 架設時構造系の固有振動数

架設時の横桁直角配置モデルと横桁斜め配置モデルの結果を図-3に示す。ねじり1次モードについて内桁を中心とするねじりモードと、外桁を中心とするねじりモードが現れている。グラフ中のTiは内桁を中心に振動した時のねじり1次固有振動を表し、Toは外桁を中心に振動した時のねじり1次固有振動を表している。H1は水平1次固有振動、H2は水平2次固有振動を表している。

図-3(a)より、Ti、To共に横桁斜め配置モデルで固有振動数が上昇していることがわかる。これは、横桁を直角に配置するとねじり変形に対して横桁に軸力が殆ど働かないが、横桁を斜めに配置することで横桁が軸力を受け持ち、ねじり剛性が高まったためと考えられる。

次に、横桁斜め配置モデルで比較すると、斜め横桁を10本有するモデルで最も固有振動数が高くなる。12本では質量の増加により固有振動数が減少し、8、6本では剛性が低下したため固有振動数が減少したと考えられる。

図-3(b)より、H1、H2共に横桁斜め配置モデルで固有振動数が著しく上昇している。これは、横桁を斜めに配置することで橋軸直角方向の変形に対して、横桁が軸力を受け持つため、すなわち横桁がトラスとして機能したため橋軸直角方向の剛性が高まったと考えられる。

また、横桁斜め配置モデルにおいて、横桁本数を減らすと高次で主桁に大きな局部振動が生じることがわかった。

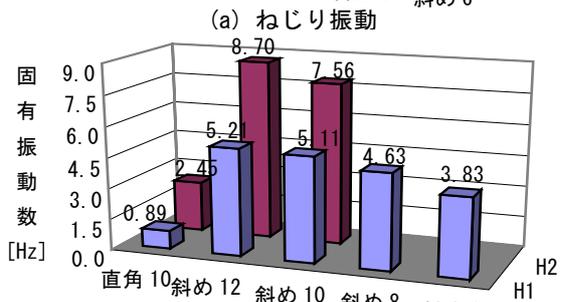
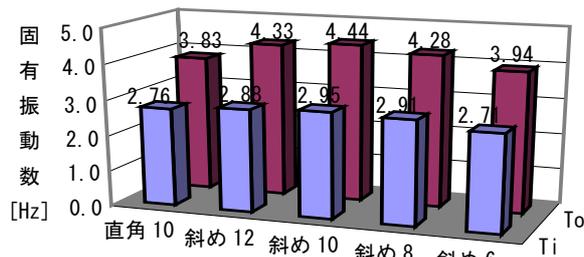


図-3 架設時の比較

3.2 完成時構造系の固有振動数

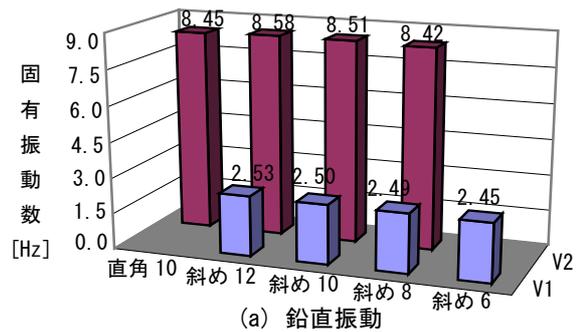
完成時の直角配置横桁モデルと斜め配置横桁モデルの結果を図-4に示す。グラフ中のV1、V2、T1、T2はそれぞれ鉛直1次固有振動、鉛直2次固有振動、ねじり1次固有振動、ねじり2次固有振動を表している。鉛直振動であっても実際の解析結果はねじりも連成しており、鉛直方向のみの振動モードは得られない。

図-4(a)より、横桁直角配置モデルよりも若干ではあるが横桁斜め配置モデルで固有振動数が上昇している。これは、曲線橋では純粋な鉛直振動にならず、僅かにねじりが加わるためと考えられる。また、斜め横桁の本数については本数が増えると剛性が高まり固有振動数も高くなる傾向にある。

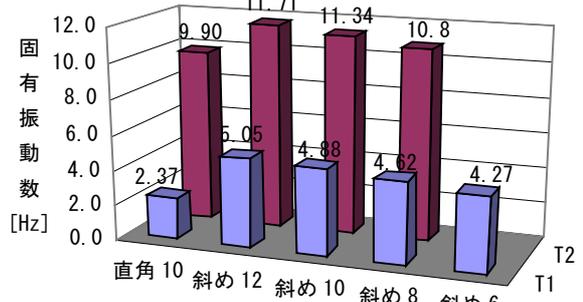
図-4(b)では、T1、T2共に横桁を斜めに配置するモデルでその効果が顕著に現れている。これは、横桁を斜めに配置することで横桁が軸力を受け持ちねじり剛性が上がる事に加え、架設時と比較して完成時の固有振動数が高いことから下段に配置することで床版と併せて擬似箱型断面を形成してねじりに対して剛性が高まったと考えられる。次に、横桁斜め配置モデルで比較をすると、横桁本数が増加するにつれて固有振動数が上昇していることがわかる。これはねじり剛性が増加し、固有振動数が上昇したと考えられる。

また、架設時において横桁本数が12本で固有振動数が減少しているのに対して、完成時では固有振動数が上昇している。これは、架設時では横桁の質量が固有振動数に影響を及ぼしていたが、完成時では床版質量が非常に大きいため横桁質量が増加しても固有振動数に影響を及ぼさなかったためと考えられる。

鉛直振動及びねじり振動において、横桁本数が減少すると高次で主桁に大きな局部振動が生じる。



(a) 鉛直振動



(b) ねじり振動
図-4 完成時の比較

3.3 固有振動モード

図-5 は固有振動モードである。(a)は横桁直角配置モデル、(b)は斜め横桁 12 本配置モデル、(c)は斜め横桁 10 本配置モデル、(d)は斜め横桁 8 本配置モデル、(e)は斜め横桁 6 本配置モデルであり、すべてねじり 1 次振動モードを示している。架設時では横桁直角配置モデルの主桁に局部振動が現れないのに対して、横桁斜め配置モデルでは、主桁の上部に大きく局部振動が現れ、横桁本数が減少するに従って局部振動が大きくなる。これは、断面上部が開いており、主桁を支持する横桁が減少し、主桁のねじりに対する拘束効果が減少したためと考えられる。完成時では横桁直角配置モデルで鉛直方向の振動が含まれていることがわかる。鉛直方向の振動がねじり

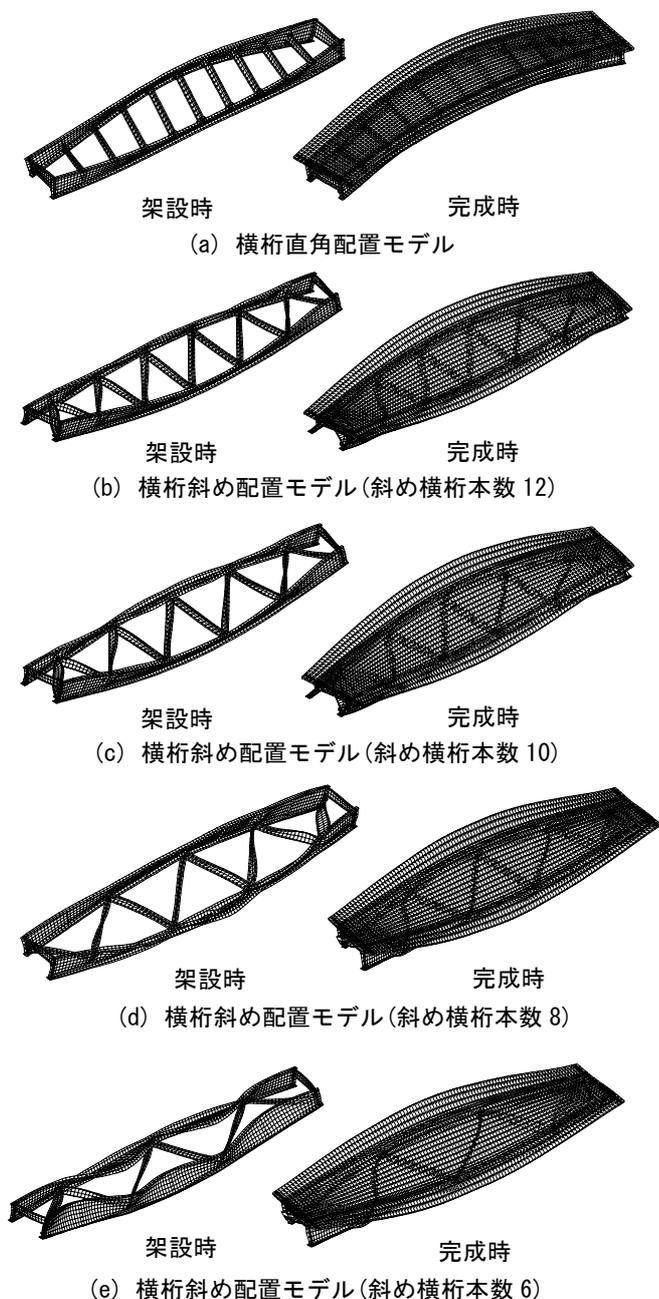


図-5 固有振動モード

剛性が弱いためにねじり振動になったと考えられる。横桁斜め配置モデルでは、ねじり振動に水平方向の振動が伴った連成振動が現れている。また、斜め横桁が減少するとスパン中央での振幅が大きく生じている。これは、横桁本数が減ると擬似箱形断面の程度が低くなりねじり剛性が減少したと考えられる。

4. あとがき

本研究では、曲線 2 主桁橋における横桁を斜めに下段配置する方法の効果を固有振動特性の面から検討することを目的として FEM 解析モデルを用いて解析を行った。解析モデルとして架設時と完成時を考慮した。

その結果、横桁斜め配置は曲線橋のねじり振動に対して、非常に有効な構造形式であることが確認できた。架設時では斜め横桁を 10 本有するモデルで最もねじり振動に対して効果が得られたが、水平方向の振動に対しては、斜め横桁を 12 本有するモデルが最も効果が得られた。また、斜め横桁の本数が少ないモデルでは主桁に大きな局部振動を生じることや、省力化を妨げない範囲で架設時の固有振動数を向上させる斜め横桁本数は 8~12 本であると判断できた。

完成時では、ねじり固有振動において、斜め横桁本数が増加するにつれて固有振動数も増加し、斜め横桁を 12 本有するモデルが最もねじり振動に効果があった。しかし、最大支間長 $L=50$ [m] の一般的な開断面を有する鋼橋の鉛直固有振動数は 2 [Hz]、ねじり固有振動数は 4 [Hz] であり、横桁斜め配置モデルでは鉛直固有振動数とねじり固有振動数がどちらも上回っていることから横桁本数が少なくても剛な構造となり、ねじり剛性が高まることが明らかになった³⁾。

架設時及び完成時の固有振動数の結果より、固有振動数の向上から斜め横桁本数は 12 本のモデルが良いと考えられるが、省力化を考慮すると斜め横桁を 10、8 本有するモデルが適していると考えられる。また、斜め横桁を 6 本有するモデルは固有振動数については向上しているが主桁上部に大きな局部振動が生じるので、局部振動を評価する必要がある。

今後は、曲線 2 主桁橋において最適な横桁本数を決定するためには、その他の性能評価を行い検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 平沢秀之、林川俊郎、佐藤浩一、田上優介：横桁を斜めに配置した曲線 2 主桁橋の静的挙動に関する一考察、構造工学論文集、Vol. 48A、2002.
- 2) 平沢秀之、市川雅也、林川俊郎：横桁を斜めに配置した曲線 2 主桁橋の固有振動解析、鋼構造年次論文集、第 12 巻、P379-384、2004.
- 3) 市川雅也：曲線 2 主桁橋の高性能化へ向けた解析的検討、北海道大学土木工学科 卒業論文、2004.