

I-53

主桁のねじり剛性を考慮した多主桁
格子桁橋の解析について

北海道大学名誉教授

正 員 渡 辺 昇

北海道大学工学部

正 員 佐 藤 浩 一

(株)北海道技術コンサルタント

正 員 池 田 真 也

1. まえがき

近年、市街地の中小河川のスパン10m～30m程度の橋梁において、非常に厳しい桁高制限を受ける場合が増えてきており、このような場合、従来の合成桁橋等では対応することはなかなか困難であり、経済性等の点でも問題が多い。このような時代の要求に応じて、各種の低桁橋の開発、研究が活発に行われており、著者らは「桁高の低い多主桁(multi-box)格子桁橋」の開発を行ってきた^{1), 2), 3)}。この種の多主桁格子桁橋になると、剛性マトリックス法を用いてコンピュータ解析を行うとすれば、文献³⁾では解析する場合に主桁のねじり剛性を無視しているが、超多元連立方程式を解かなければならず、膨大なメモリと計算時間を要し、従来大型コンピュータを使用しなければならなかった。しかし、近年では、パソコンでも工夫すれば、メモリーの節約と計算時間の大幅な短縮が可能なので^{4), 5)}、パソコンを用いて解析する。さらに、文献^{1), 2)}における桁高は45cmの多主桁格子桁を解析しているのに対して、本論文での桁高は20cmとさらに低桁高の多主桁格子桁橋で主桁のねじり剛性を考慮して解析を行うものである。本論文は次の二つを目的に行ったものであり、その概要を報告する。

- ① 耳主桁、中主桁の断面諸元、主桁間隔(1000mm)及び分配横桁(3本)の断面諸元と本数とを一定とし、中主桁の本数を1, 3, 5, 7, 9, 11本と増加させた場合スパン中央点でのたわみと曲げモーメントがどのように変化するか検討する。
- ② 耳主桁の断面二次モーメント(I_R)と中主桁の断面二次モーメント(I)の比($r = I_R/I$)によりスパン中央点でのたわみと曲げモーメントがどのように変化するかを検討する。他は①と同じである。

2. 桁高の低い multi-box 格子桁について

本論文での格子桁は、図-1(a)に示すような断面形状のbox桁を中主桁とし、図-2のように幅員に応じて1000mm間隔に必要な本数を並べ、分配横桁(図-1(b)に断面形状を示す)によって結合した格子桁橋である。札幌市豊平区内に架設された多主桁格子桁橋(仮称、平西橋は中主桁6本、耳主桁2本)はこの一種類であり、その特徴は次のとおりである。

- ① 図-1(a)における中主桁の諸元は上フランジ厚は19mm、box桁の下フランジ厚は22mm、box桁のウェブ厚は9mm、ウェブ高は197mmである。ウェブ間隔は500mm、box桁の間隔は1000mmである。
- ② 上フランジ版は通常の鋼床版橋のデッキプレート(板厚19mm)の役目を果たすと共に、主桁のbox桁の上フランジの役目をも果たす。
- ③ 全体が格子構造であり、主桁がbox断面でねじり剛性が大きいので、それだけ桁高を低くできる。本論文ではこのねじり剛性を考慮する。
- ④ 主桁のウェブ高が低いので、水平・垂直補剛材を省略でき、経済的である。
- ⑤ 床版にコンクリートを全く使用しないため、橋全体が軽量で強度が高いため、それだけ支間を長くできる。

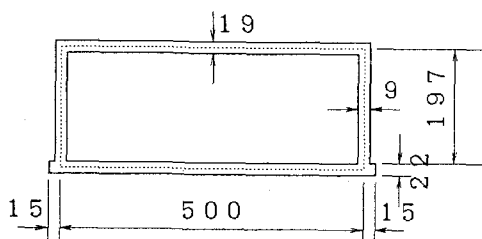


図-1(a) 中主桁の断面

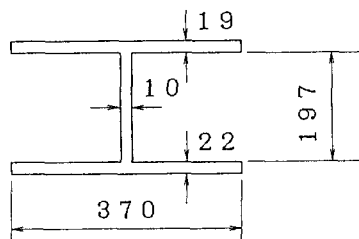


図-1(b) 分配横桁の断面

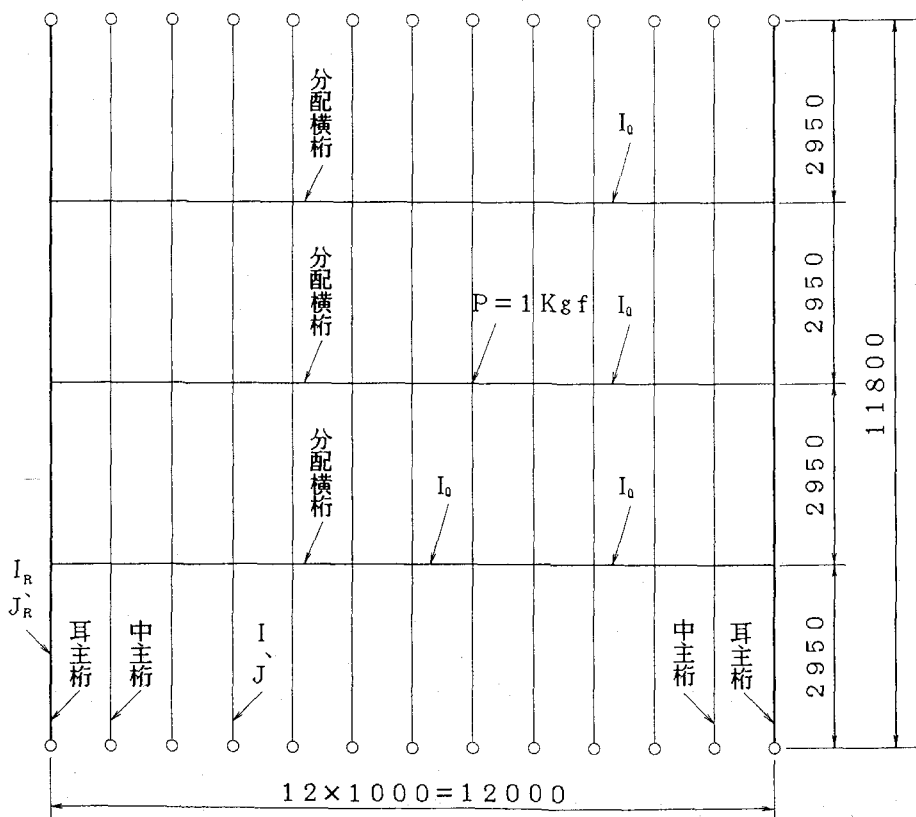


図-2 多主桁格子桁橋

3. 多主桁格子桁橋の解析法について

平西橋は低桁高のbox桁断面を主桁とする格子構造のデッキプレート19mmの鋼床版橋である。格子構造の従来からよく知られている解法としては Hombergの方法、Leonhardtの方法、Guyon-Massonnetの方法などがあるが、主桁本数や横桁本数が多くなった場合、また、耳主桁の曲げ剛性が大きくなった場合には、これらの方法には限界があると思われる^{6), 7)}。

本論文での解析には剛性マトリックス法を用い、コンピュータはパソコンを、言語は MS-FORTRAN を

用いる。なお、多元連立一次方程式の解法にはスカイライン法を用いている^{4)、5)}。
 部材要素に関する剛性マトリックスは次のとおりである。

$$\begin{Bmatrix} Q(0) \\ M(0) \\ T(0) \\ Q(L) \\ M(L) \\ T(L) \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{Bmatrix} 12 & 6L & 0 & -12 & 6L & 0 \\ 6L & 4L^2 & 0 & -6L & 2L^2 & 0 \\ 0 & 0 & GJL^2/EI & 0 & 0 & -GJL^2/EI \\ -12 & -6L & 0 & 12 & -6L & 0 \\ 6L & 2L^2 & 0 & -6L & 4L^2 & 0 \\ 0 & 0 & -GJL^2/EI & 0 & 0 & GJL^2/EI \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} V(0) \\ V'(0) \\ \theta(0) \\ V(L) \\ V'(L) \\ \theta(L) \end{Bmatrix}$$

4. 断面諸元と解析条件について

中主桁の断面二次モーメントは $I = 25049\text{cm}^4$ 、純ねじり定数は $J = 48581\text{cm}^4$ とする。分配横桁の断面二次モーメントは $I_q = 18495\text{cm}^4$ とし、本数は 3 本とする。スパンは 11800mm で一定とする。主桁に関しては中主桁と耳主桁とも曲げ剛性 (EI) とねじり剛性 (GJ_r) を考慮し、分配横桁に関しては曲げ剛性 (EI_q) のみを考慮する。図-1(a) に示すような中主桁の断面は一定とし、主桁間隔も 1000mm で一定とする。耳主桁の断面二次モーメント (I_R) を 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 倍と変化させる。

5. 多主桁格子桁橋の数値解析について

表-1 は耳主桁は 2 本とし、分配横桁は 3 本とし、中主桁の本数を 1, 3, 5, 7, 9, 11 本と増加させた場合の構造全体の剛性マトリックスに関して、節点数、要素数、二次元配列、一次元配列、計算時間を比較したものである。なお、支持条件は全主桁とも単純支持である。この表より一次元配列を用いたスカイライン法は容量の点で二次元配列より非常に有利であることがわかる。また、表示していないが計算時間の点でも有利である。なお、用いたパソコンは NEC の PC-9801 RA2 である。

表-1 二次元配列と一次元配列との比較

	節点数	要素数	二次元配列	一次元配列	計算時間(Sec)
中主桁 1 本、耳主桁 2 本	15	18	2025	414	5
中主桁 3 本、耳主桁 2 本	25	32	5625	762	7
中主桁 5 本、耳主桁 2 本	35	46	11025	1110	9
中主桁 7 本、耳主桁 2 本	45	60	18225	1458	11
中主桁 9 本、耳主桁 2 本	55	74	27225	1806	13
中主桁 11 本、耳主桁 2 本	65	88	38025	2154	15

6. 多主桁格子桁橋の構造特性とその考察

図-3 は支間中央点に集中荷重 $P = 1\text{kgf}$ を載荷した時のたわみを示したものである。縦軸は中主桁の本数を 1, 3, 5, 7, 9, 11 本と増加させた場合の支間中央点でのたわみを対数で表示したものであり、横軸は耳主桁の断面二次モーメント (I_R) と中主桁の断面二次モーメント (I) の比 ($r = I_R/I$) をとったものである。

図-4 は支間中央点に集中荷重 $P = 1\text{kgf}$ を載荷した時の曲げモーメントを示したものである。縦軸は中主桁の本数を 1, 3, 5, 7, 9, 11 本と増加させた場合の支間中央点での曲げモーメントを対数で表示したものであり、横軸は耳主桁の断面二次モーメント (I_R) と中主桁の断面二次モーメント (I) の比 ($r = I_R/I$) をとったものである。

図-3, 4 よりたわみおよび曲げモーメントに関して次のようなことが判明した。

- 1). 中主桁 1 本で、 $r = 0$ の場合は単純桁に相当する。これに関しては手計算で確認してある。
- 2). 主桁本数が多くなれば、たわみおよび曲げモーメントの値は小さくなることがわかる。
- 3). 主桁本数が同じでも、 r が大きくなれば、たわみおよび曲げモーメントの値は小さくなることがわかる。しかしながら、中主桁 9 本程度以上になると r の影響度合は小さくなることもわかる。
- 4). $r = 0$ の場合は耳主桁がない場合であり、 $r = 1$ の場合は耳主桁の断面二次モーメントと中主桁の断面二次モーメントとが同一の場合である。従って、中主桁 n 本、耳主桁 2 本で、 $r = 1$ の場合のたわみと曲げモーメントの値は中主桁 $(n + 2)$ 本、 $r = 0$ の場合のそれらの値と同一である。

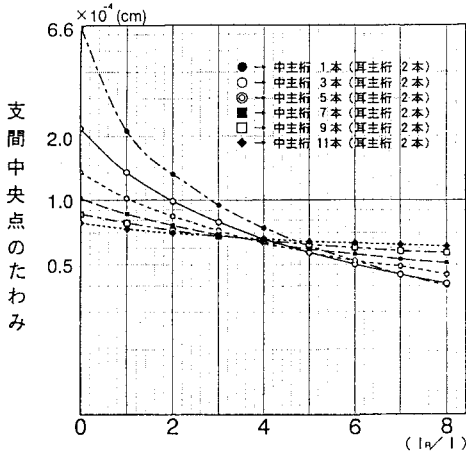


図-3 支間中央点のたわみ

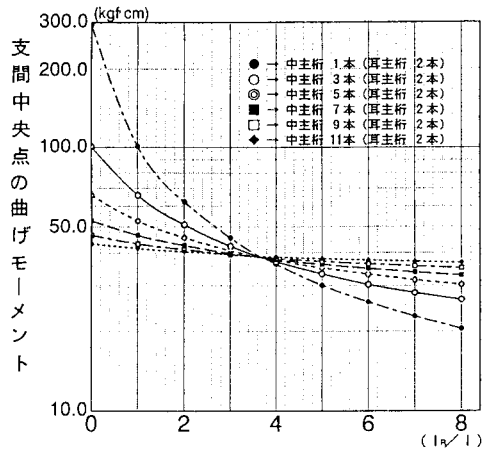


図-4 支間中央点の曲げモーメント

7. あとがき

格子構造の従来から知られている解法として Hombergの方法、Leonhardtの方法、Guyon-Massonnetの方法などがあるが、主桁本数や横桁本数が多くなった場合、また、耳主桁の曲げ剛性が大きくなった場合には、これらの方法には限界がある。このような場合、本論文での解析を用いれば、パソコンでも十分であり、Balkenplatten の解析にも適用できるものである。

参考文献

- 1) 村田勝弘、藤本義輝、渡辺昇、小幡卓司：桁高の低い multi-box 格子桁橋の構造特性について、土木学会北海道支部論文報告集、第47号、pp. 1-4、1991.
- 2) 藤本義輝、渡辺昇、林川俊郎、小幡卓司、池田真也：桁高の低い multi-box 格子桁橋の振動解析と実験、土木学会北海道支部論文報告集、第47号、pp. 5-8、1991.
- 3) 渡辺昇、佐藤浩一、小幡卓司、小笠原数夫：多主桁格子桁橋の荷重分配影響線の解析法について、木学会北海道支部論文報告集、第47号、pp. 9-14、1991.
- 4) 佐藤浩一、渡辺昇、小幡卓司、井上稔康：一次元配列の I C C G 法とスカイライン法のパソコンへの適用について、木学会北海道支部論文報告集、第46号、pp. 13-18、1990.
- 5) 佐藤浩一、小幡卓司、平沢秀之、杉江豊：パソコンによる格子桁の解析手法について、土木学会北海道支部論文報告集、第48号、pp. 11-14、1992.
- 6) 渡辺昇：格子げたの理論と計算、技報堂、1965.
- 7) 渡辺昇：橋梁工学(改訂版)、朝倉書店、1981.