

箱桁とI桁とを並列した格子構造

成 瀬 輝 男*
永 松 太 郎**

1. ま え が き

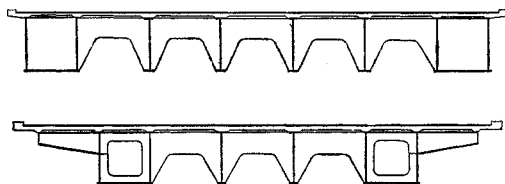
最近構造解析の進歩、特に大型の電子計算機を駆使することによって、従来解析が困難であるという理由から用いられなかった種々の新しい構造形式が可能になってきた。ここに述べる中桁にI桁、外桁に箱桁を配した格子構造もその一例であるが、幅員の広い橋梁や都市の高架橋に用いて今後利用範囲の広い構造と考えられるので、その解析法ならびに力学的性状について筆者の検討したところを要約して記述する。

2. 要 旨

I桁と箱桁との組合せにはいろいろの場合が考えられるが、ここで扱かうのは図-1のような構造である。本構造の意図するところはつぎの諸点である。

(1) 耳桁に大きなねじり剛性を与えて、荷重分配を良好にする。すなわち偏載荷により格子構造に作用するトルクは断面全体に回転変形を与えようとするが、これをねじり剛性によってねじり返す。

図-1

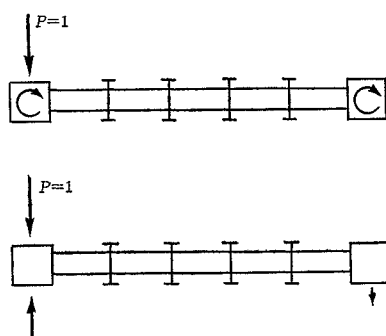


(2) 耳桁に大きな曲げ剛性を与えて荷重分配を良好にする。すなわち耳桁の曲げ剛性が大きければ、そこには中桁に比して大きな格点反力を生ずる。これらの格点反力は、偶力モーメントとして前記の偏載荷による回転変形を同じくねじり返す。

* 正会員 石川島播磨重工業 KK 橋梁設計課

**正会員 同 上

図-2



つぎに、本構造によって付随的にもたらされる構造上の利点を列記すると、つぎのとおりである。

(a) 主桁のたわみを小さくすることができる。特に格子構造のたわみは、一般に偏載荷による耳桁のたわみが最も大きくなるが、荷重分配の改善によってこうした局部的なたわみをおさえることができるので、主桁の桁高を低くすることが可能になる。

(b) I桁並列の場合に必要な横構が不要となる。小部材を少なくすることは、維持を容易にするほか、単純な近代的な外観を与える利点がある。市街地の高架橋のように下から見上げる機会の多い橋梁の場合には、この点特に重要である。

(c) 側面からみる場合、箱桁並列と同様な平滑な外観を与える。

(d) 箱断面の耳桁にブラケットの取付けが容易である。ブラケットの長さを適宜にとることにより、拉幅やエプロンなどの路面幅の変化に容易に追従することができる。また架橋地点の局地的な条件によって、橋脚躯体の幅が制約される場合、このブラケットの跳ね出しによって、躯体幅を縮少しうる。

(e) 箱桁の剛性を活用することによって架設が容易になる。ステーキングその他橋面下の使用が不可能な場合、手延べ工法などでまず箱桁を架設し、つぎにこの箱桁を利用して、内側のI桁を架設する工法がいろいろと

考えられる。

3. 理想系

荷重分配桁は、この場合も弾性支承上の連続ばりとして置換されるわけであるが、このさい図-3 (a), (b) に示すような2つの系が考えられる。この2つの系について検討を加えてみよう。

図-3 で主桁は、いずれもバネでおきかえられている。まずI桁は、垂直方向の変位にのみ抵抗するバネでおきかえられる。箱桁は垂直変位に対するバネと、回転変位に抵抗するバネとを組合せたもので置換される。箱桁は1本の棒として考えられ、その位置はせん断中心に一致する。鋼桁格子構造を想定する場合、路面上の荷重は床版のハンチを通じて主桁に導入される。この意味では図-3 (a) は実際の構造により忠実な系である。しかしながらこの系は解析に手間がかかり、電子計算機にもせにくい欠点がある。これに対し (b) の系は、計算にのせやすい。この系は、荷重が直接箱桁の中心に導入されると考えたものである。この両者がある実橋を想定して試算してみた結果を、図-3 に示した。理想系図-3 (a) は6次の不静定であるが、その解析は図-4 に示すような左右各1個の静定系、および中央の1個の2次不静定系を主系にとり、応力法によって行なったものである。この際、中央の2次不静定系の2個の未知量は既製の数表^{1), 2)}より知りえたので、実際には6-2=4個の未知量を求めたものである。理想系 (b) は同じく手計算で、これは還元法によって行なったものである。両者の結果は図-3 に示すとおりきわめて僅少である。一

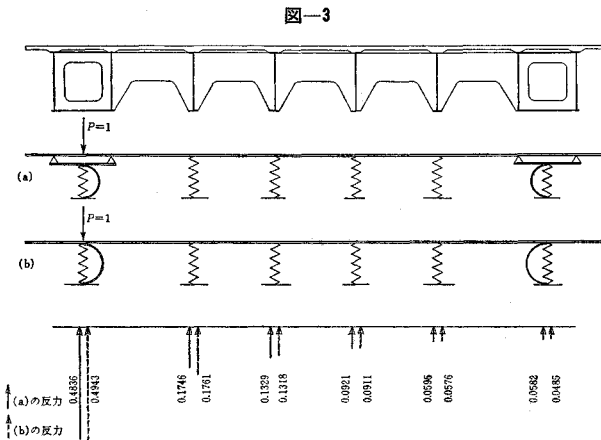


図-4

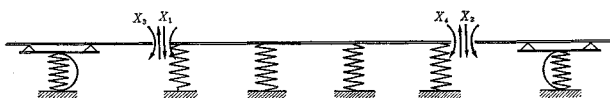
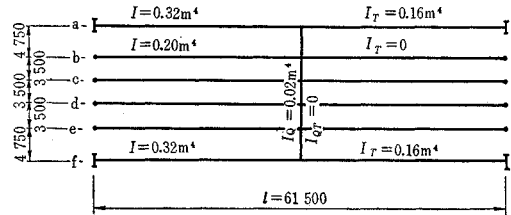


図-5



つの例からすべてを類推することはできないが、その差のきわめて僅少なことから、一般の実際設計には理想系 (b) を用いて、十分であることが推論できよう。以下本文では理想系 (b) をとり、荷重を桁の中心にかけた場合を取扱かう (図-5)。

なお追記すれば、本文で扱かうところは、すべて Homberg あるいは Leonhardt⁹⁾に準じて、床版による荷重分配は考えていない。主桁が小さいときこの影響が相当量安全側にできるものと思えるが、一般には特に問題にしないでよいと考える。また分配桁は実際には、等断面ではなく箱桁内部で I_Q の大きな変断面である。この影響も局部的なものとして無視している。

4. 解析——電子計算機による場合——

手計算用に準備された方法——たとえば Homberg, Leonhardt などの方法は、Affin 荷重を用いて連立方程式の元数を減らし、設計計算を容易にするための考慮が払われているが、この種の簡易化は電子計算機を用いて演算する場合必ずしも必要ではない。整頓されてはいるが、反面適用範囲を限定されるこうした解法よりも、変形法、あるいは還元法などのような整形・不整形の任意多様な構造物に適用しうる解法を用いる方が便利である。本稿のために行なった一連の影響面縦距計算も、変形法により現在石川島播磨重工業 KK で稼動中の電子計算機 UNIVAC 1107 を用いて行なった。プログラムの内容および計算機に関しては、本文の扱かうところとまた別の問題であるので、その記述を省略する。参考までに図-5 に計算に用いた理想系を示す。後述する影響面の数値はこの系によって求めたものである。

5. 解析——手計算による場合——

電子計算機の発達している今日、この種の問題を手計算によって解こうとすることは賢明な方法とはいえない。しかしながら、電子計算機にかけて行なった計算結果を概略照査するため

のなんらかの方法を残すことは、やはり必要なことである。その意味から、つぎに手計算による解析法について若干述べよう。

手計算による場合解析は、全面的に Dr. Homberg の方法を準用できる。ただし横分配係数 C_{ik} のみは既製の表によって求めることができないので、新しく算出しなければならない。

分配桁を弾性支承上の連続ばりとして解く場合のバネ定数のとり方であるが、分配桁が支間の中央に1本だけある場合には、垂直力に対するバネ定数は、 $w = \frac{L^3}{48EI}$

(m/t)、トルクに対するバネ定数は $w_T = \frac{L}{4GI_T}$ (1/tm)

である。分配桁が2本以上ある場合には、それぞれ群荷重に対応したバネ定数 $w(n)$ 、 $w_T(n)$ を求める必要がある。これを求めるには Homberg の定数表に与えられている格子剛性の関係式

$$Z_{(n)} = \alpha \cdot Z; Z_T(n) = \beta \cdot Z_T$$

の定数 α 、 β をそのまま利用して、

$$w_{(n)} = \alpha \cdot w, w_{T(n)} = \beta \cdot w_T$$

として算出することができる。弾性支承上の連続ばりの計算は、手計算あるいは電子計算機による計算の場合、いずれも還元法を用いるのが最も簡単である。以上は精密解の場合であるが、Leonhardt²⁾ にならって分配桁の本数に応じて I_Q を 1~6 倍あるいは 2.0 倍し、分配桁1本の場合に換算して計算してもよい。

6. 影 響 面

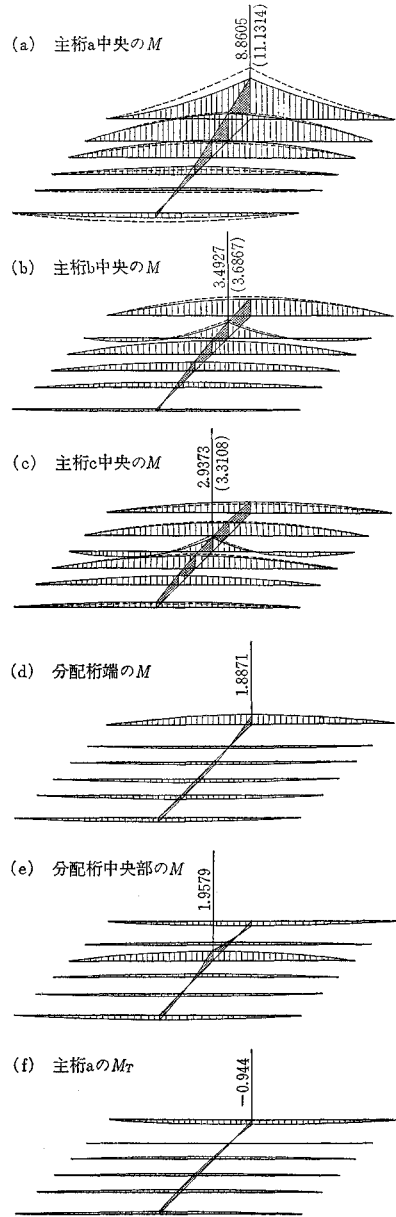
図-5 に示した格子構造の各点の影響面を計算した結果を図示すると、図-6 のようになる。分配桁が1本だけの系を選んだのは、力学的性状に関する考察を簡単にするため、もっとも単純な系を選んだものである。ねじり剛性を付加した影響をみるために、ねじり剛性を無くした場合の影響面をあわせ示した。部材の曲げ剛性は、すべてそのままにしてある。図-6 からつぎのことがよみとれる。

(1) 耳桁にねじり剛性を付加したことによって、耳桁の曲げモーメントが顕著に減少している。

(2) それに対し中桁は、それほど支配的な影響を受けていない。

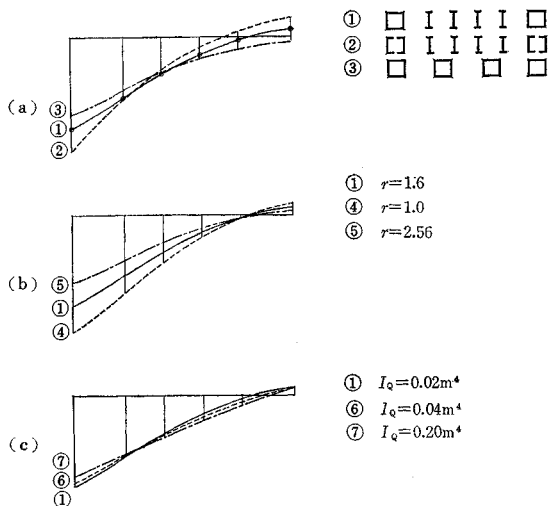
(3) 分配桁端部に相当大きな曲げモーメントを生じる。耳桁を箱断面とした影響を分析して検討するために、さらに一連の比較計算を行なった。荷重分配に与える各要素の影響を調べるために、耳桁に $P=1$ をのせたときのたわみ曲線を求めたものである。図-7(a) は、耳桁にねじり剛性のある場合(図-5)、ねじり剛性のない場合、中桁にもねじり剛性を与えた場合の3種を比較した

図-6 垂直荷重に対する M^- および M_T^- 影響面



ものである。③ の場合中桁の曲げ剛性は、①、② の中桁の2本分の曲げ剛性をとっている。このたわみ曲線で見ると①の荷重分配性状は、②、③のちょうど中間に位置することがわかる。ここで注意する必要のあるのは、右端部の負の領域は②の場合には必要であるが、①と③の場合には、必ずしも必要でないことである。すなわち②の場合には、左端格点はヒンジであるから、外力モーメントの合計はゼロでなくてはならない。これに対し①、③の場合には左端格点は弾性埋込端であるから、格点反力によるモーメントの合計はゼロになる必要がな

図-7



い。したがって、③の場合はもちろん、①の場合でもねじり剛性さえ十分与えれば、分配曲線をすべて正領域内におさめることができる。

つぎに同じく図-5の格子構造を標準にとり、今度は耳桁のねじり剛性はそのままにすえおいて、耳桁の曲げ剛性を増減させてその影響を調べたのが、図-7(b)である。耳桁に生じている偶力トルクによって、格子桁の回転変形がおさえられていることがわかる。回転の中心が右側へ寄っているのは、 r が増すと同時に断面全体の I が増しているためである。

図-7(c)は、主桁の曲げおよびねじり剛性はそのままにして(図-5)、 I_Q を増減させてみたものである。 I_Q を考えられる最大値、すなわち主桁の I と同じ値にまで増しても、たわみ曲線が直線に近づくだけで分配自体にはほとんど変化がない。一般のI桁並列格子の分配桁と異なって、端部で弾性埋込みの拘束があるので、分配桁の全長にわたる大きな彎曲はない。分配桁は、その全長にわたって有効にきいているといえる。 I_Q の値を必要以上に大きくしても意味がないことは、図からも明らかである。過大な I_Q は実際面からいっても不利である。これを全強で継ぐとき継手が過大になって、運搬その他に問題を生じ易いからである。筆者は分配桁のような対変形部材を全強で継ぐ必要があるかどうか本質的な疑問を感じるのであるが、それが慣習になっている現在分配桁の大きさは、やはり必要かつ十分な大きさとどめおくべきであろう。

以上一つの基本系に対し、計6種の比較例をとって荷重分配における数値的な差異を検討した。主桁間隔の大

小の影響を検討しなかったのは、それが桁の回転変形と直接関係がなく、また一般に主桁間隔は床版との関係からある一定範囲内におさえられるからである。

この種の構造を実際に設計する場合には、死荷重(鋼桁自重を除く)の取扱いを注意する必要がある。主桁の I の分布と死荷重の分布とがいちじるしく異なるため、死荷重に対しても格子分配を考える必要が生じよう。

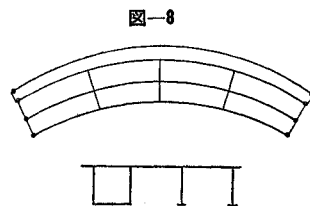
む す び

I桁並列格子構造は、平面構造をあるがままの姿で解こうとした努力の所産であり、ここに述べたところは、さらに良好な荷重分配をうることを意図した一つの構造例である。このいみから両者はその目的に応じて使われなければならないものであるが、低桁高その他なんらかの理由荷重分配の改善を望む場合、いわゆる格子剛性 Z を増しても荷重分配の根本的な改善は望めない。全域的な荷重分配を意図する場合には、十分な剛度の荷重分配桁のなかに、格子構造全断面の回転変形に抵抗できる特性を与えてやる必要がある。

結局この形式の格子構造は、いろいろな意味でI桁並列格子と箱型並列格子のちょうど中間的な存在である。荷重の横分配など力学的特性のほか、製作加工度や鋼重も大体両者の中間に位置する。両者のもつそれぞれの利点を組合わせた構造として、幅員の広い橋梁や市街地の高架橋などに、今後広範囲な利用が期待できるかと考える。

追 記

箱桁とI桁とを組み合わせた他の形式として、筆者は現在図-8に示すような曲線橋についても検討中である。その結果については追って発表の機会を得たい。



参 考 文 献

- 1) Homberg: "Drehsteife Kreuzwerke", 1962
- 2) Leonhardt u. Andr : "Die vereinfachte Tr gerrosttberechnung"
- 3) Beer: "Die Prager Straßenbrücke in Wien", Die Bauingenieur, 1963 Heft 5
- 4) 津野和男・福当悦久: 拡幅部を有する格子ゲタの設計計算, 土木技術 20 卷 9 号 (1965.12.3・受付)