

支持桁の不等沈下が床版応力におよぼす影響について

北海道大学 正員 芳村 仁
 北海道大学 正員 斐沢 憲吉
 北海道大学 学生員 高井 修

1 まえがき

現行の鋼道路橋示方書のオ(6/4)条の与える床版の曲げモーメントの計算式が、支持げた沈下を考慮していないのに対し、最近、支持げたの沈下が床版の曲げモーメントに影響を及ぼすことが問題となっている。

鋼道路橋示方書が与える設計曲げモーメント式の算出方法・仮定は相対する2辺が単純支持の等方性無限単独版または片持部に対しては相対する2辺のうち1辺が固定、他方自由の無限片持版に丁荷重を載荷し床版支間 L と荷重 P の関数で計算式を与えている。連版版の場合には、単純版の場合の80%の値を用いるように規定している。

以上のように支持げた位置に支持を置く、即ち支持げたのたわみを無視した解析結果を用いたのでは実際の橋梁における曲げモーメントとはかなりの差が見られる。そこでこうした事実に着目した二、三の研究結果が発表されている。その中で、床版を支持する桁の曲げ剛度と床版の曲げ剛度との比(相関剛比)をパラメーターとして導入し階差方程式を用いることにより版の曲げモーメントを計算する方法とそれをさらに発展させ張出し部にもで応用し曲げモーメントの計算式を与えたもの¹⁾また格子げた理論を利用し支持げたのたわみを求め、それを床版を桁におさかえて不等沈下として分けて曲げモーメントを計算し、不等沈下分の付加曲げモーメントとする国広哲男氏らの研究が注目される。いずれも支持げたのたわみを考慮に入れ支持げたと床版の力学的関係を観察したものでこの研究においても現行示方の設計曲げモーメント式から計算される値が不適当なることが指摘されている。

本研究は、さうに厳密な解を得ることを目的とし、面外内変形を考慮した面要素の結合体としてとらえ(折板理論)、結合面に4力の不静定応力を挿入し、多主げた橋の床版と支持げたの力学的挙動の密接な関係を用意にしようとするものである。本報告では、国広氏らの格子理論より求めた不等沈下により生ずる付加曲げモーメントの値と折板理論より計算された値を比較検討を加える。

2. 解析方法(折板理論)

両端単純支持げたをFig. 1に示すように、床版と支持げたが各々両端単純された板とし、床版と支持げた(ウズ)は剛結されているとする。相対する2辺が単純支持、他の2辺自由の一枚の板の解析は既往の板理論で解くことができるので、それを静定基本系とし、実荷重をのせ(Fig. 2)、不静定系として床版と支持げたの結合部に式(1)で示される級数展開された形の不静定応力を挿入する。各々の系において不静定力挿入部(板端)の変位を求め適合させることにより各々の不静定力の大きさを求め、各種不定数を決定する。

$$\begin{aligned} X_{1n} &= \sum_{m=1}^{\infty} X_{1m} \sin(wy) \\ X_{2n} &= \sum_{m=1}^{\infty} X_{2m} \sin(wy) \\ X_{3n} &= \sum_{m=1}^{\infty} X_{3m} \sin(wy) \\ X_{4n} &= \sum_{m=1}^{\infty} X_{4m} \cos(wy) \end{aligned} \quad (1)$$

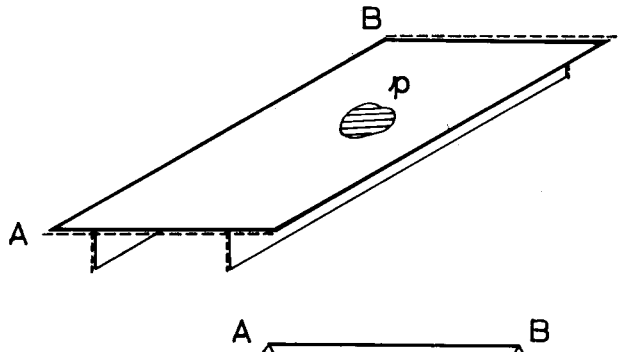


Fig. 1 折板構造としてのモデル

一枚の板の応力を求めるにあたっては面内変形と面外変形は互いに独立であるとし(面外変形に対してはPlateの偏微分方程式(式・2)、また面内変形に対してはScheibeの偏微分方程式(式・3))を用いる。

$$\Delta \Delta v_z = P_z / D \quad (2)$$

$$\Delta \Delta F = 0 \quad (3)$$

ここに、 v_z は z 方向への変位であり、 P_z は面荷重、 D は板の曲げ剛性であり F はAiryの応力関数である。

なお、計算は x 方向、すなわち横断方向の曲げモーメントに着目している。

3. 解析例

ここでは、支持げたの不等沈下の影響を考慮に入れなければならないであろう。5本の支持げたをもつRC合成げたを解析し、格子理論に基づき計算された岡田氏らの計算結果と比較検討する。但し横げたは設けていない。

計算例に用いる橋の各諸元はFig. 3に示されたものと次の通りである。

支間 11.25 m、RC床版厚 16 cm

RC床版弾性係数 $3 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ 、RC床版ポアソン比 0.2、支持げた高 58.2 cm

支持げた厚 1.2 cm、支持げたの弾性係数 $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 、支持げたのポアソン比 0.3

また下フランジの影響を考慮に入れた後述のモデルCの場合には、下フランジ幅30 cm、厚1.7 cmを用いて計算を行なった。なお、衝撃係数は道示に与えられた式により、
$$i = \frac{20}{50 + L} = \frac{20}{50 + 11.25} = 0.327 \quad (4)$$
とした。

載荷重はT荷重を縦方向に1台、横方向にはFig. 5に示される三つの場合について計算した。前後輪荷重の荷重面積および載荷相対位置は、道示の(1・8・4)条に従う(Fig. 4)。荷重はT-20を用い、荷重強度は前輪・後輪荷重ともに8 kg/cmである。

Fig. 5は前輪・後輪荷重の中心線間隔を示すもので、実際には、矩形荷重に級数展開されたものを用いる。自動車一台につき4輪載荷するわけであるが、計算にあたっては一版につき一輪荷重ずつ載荷し、後に応力・変位・断面力を各々重ね合わせ全体のそれらとした。

死荷重については、床版自重を等分布荷重として0.04

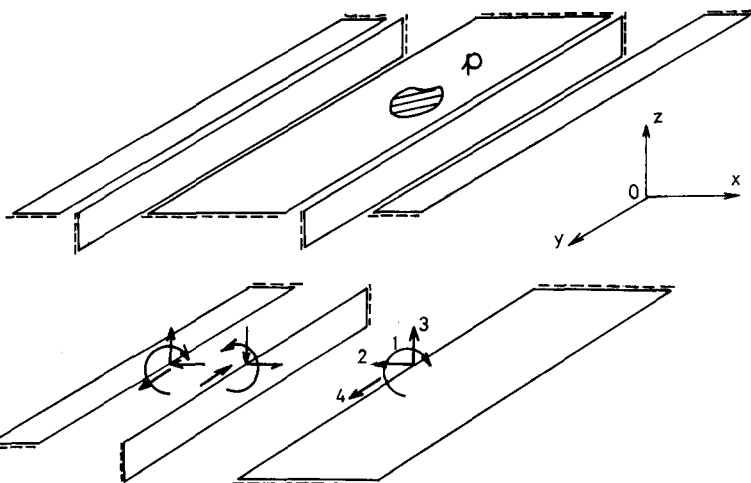


Fig.2 静定基本系および不静定系と境界位置力

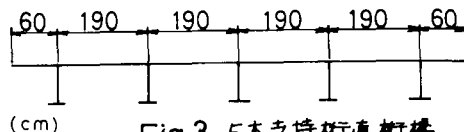


Fig.3 5本支持桁直桁橋

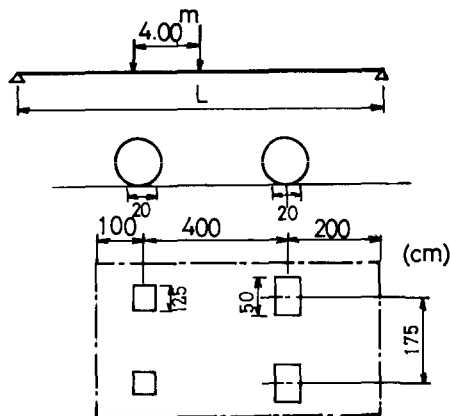


Fig.4 T荷重載荷位置と寸法

kg/cm^2 を載荷し、さらに支持げた（大型圧延H型鋼）の自重を橋軸方向の線荷重として級数展開し各支持げたに面内荷重として載荷した。その強度は支持げた一本あたり下フランジがない場合（Fig. 6のModel AとB） 0.548 kg/cm 、下フランジの付いた場合（Model C） 0.952 kg/cm である。

また、横断面をFig. 6に示すように3つの場合のモデルを仮定し、各々の場合についてCase1～3の荷重載荷状態で計算し、張出し部、下フランジの有無の影響を見た。

モデルAは、張出し部・下フランジ共に有しないもの、モデルBは、下フランジがないもの、モデルCは張出し部・下フランジ共に有するものでより実橋に近いものと思われる。なお、下フランジについても、2辺単純支持、他の2辺自由の板と考へ、下フランジとウェブの結合部に前と同様に4力の不静定応力を挿入した。

4. 格子理論—三連モーメント式を応用した方法²⁾

先づ格子理論によりたわみを求めるわけであるが、その際に横方向部材として床版を縦方向部材としてはねじり剛性を無視したI断面支持げたをとる。垂直変位が求まると、スパン方向1m当りの横方向部材を不等流下のある連続げたと考へて、三連モーメント式を適用し、床版の横断面方向曲げモーメントを求める。それが、いわゆる不等流下からくる付加曲げモーメントであるとして、現行道示の連続版による値に加えることにより、合計の曲げモーメントとしている。

5. 計算結果

ケース1と2については、床版の中間支間のスパン中央の値、ケース3については、床版の端支間のスパン中央の値をTable 1で列記し、比較した。なお、活荷重には衝撃の影響を含む。

6. 考察

1) 支持げた本数が多くなるにつれて、各支持げた間のたわみ差が大きくなるので、ここで扱った多主げた橋の場合、支持げたの沈下を考慮せず解析することは、問題があろう。Table 1およびFig. 7にて明らかなように、折板理論による方法・不等流下を考慮する格子理論—三連モーメント式の方法から計算された値は、現行道示の与える設計曲げモーメントの値をはるかに越えている。それは、言うまでもなく、現行道示においては、支持げた位置に垂直変位を生じさせない支束を入れることにより、支持げた間のたわみ差の影響を無視しているからに他ならない。

2) 格子理論—三連モーメント式の方法との比較

格子理論を用いて、支持げたの不等流下を論ずる場合、垂直たわみを求めるまでの段階では、支持げたをも入れた構造であるが、曲げモーメントを求めるにあたっては、不等流下分を床版にのみ負わせている。しかし、実際には、そうしたたわみ差から生じる曲げモーメントは、床版と共に、支持げたにも分配されている。そうした

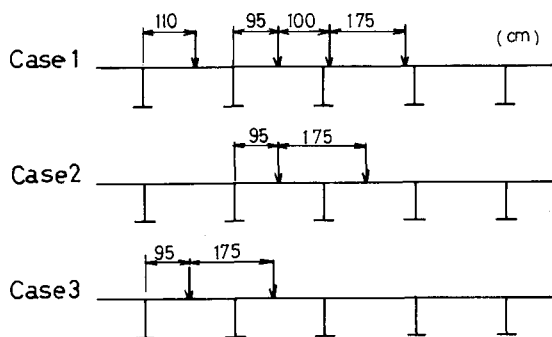


Fig.5 各ケースのT荷重位置

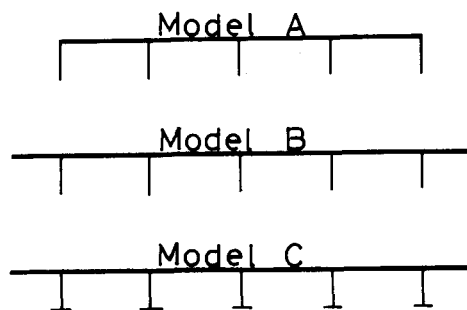


Fig.6 各モデル

理由で格子理論—三連モーメント式による方法より計算された曲げモーメントは折板理論によるものよりも、やや大きめとなっていると思われる。

3) 相関剛性比との関係

支持げたの床版に対する剛性の比、

$$H = \frac{E_b I_b}{E L h^3 / 12(1 - \nu^2)} \quad (5)$$

ここに $E_b I_b$ = 支持げた曲げ剛性

$E L h^3 / 12(1 - \nu^2)$ = 床版曲げ剛性

L = スパン長

を考えると、 H が大きくなると荷重分配が悪くなり、不等流下の様子は教しくなる。しかし、 $E_b I_b$ が大になるため床版の曲げモーメントの増加は見られず、むしろ減少する傾向にある。それは、支持げたへの曲げモーメントの分配が、増加するためであると考えられる。一方、格子理論においても、 H が大になれば、たわみは小さくなり、結局床版の不等流下分の曲げモーメントは小さくなる。この点に関しては、両法とも傾向を同じにしている。

相関剛性比 H は、Model A で 9.673、B で 9.734、C で 28.091 であった。

Fig. 7 から上述のことが確かめられる。

7. あとがき

以上のように、折板理論を用いると、支持げた、床版が一体となった構造物を直接解くことができ、支持げたの流下について他の方法の如き工夫を要せず、解くことができる。また、相関剛性比 H と曲げモーメントの相関関係は、同スパン長同支持げた本数の場合、明確であるが、 H と曲げモーメントを一義的に関係づけることは、問題があると思われる。

参考文献

1. 佐藤進・成岡昌夫 「支持げたのたわみを考慮した鋼道路橋の鉄筋コンクリートの床版の曲げモーメントについて」 土木学会論文集 175号 1970・3月
2. 国広晋男・井川治久 「床版支持げたの不等流下によって生ずる床版の曲げモーメント」 土木技術資料 13-1
3. R.N.Wright and W.H.Walker 「Vibration and Deflection of Steel Bridges」 AISC Engineering Journal 1972
4. 前田幸雄・松井繁之 「鉄筋コンクリート床版に関する二、三の考察(その三)」 第28回學術講演会報告集 1973

Table 1 計算値の比較

中間支間スパン中央横断方向曲げモーメント(10⁵kg/cm)および連流率(%)

Case 1

	A	B	C	A	B	C
活荷重	3.355	3.231	2.689	2.190	2.133	0.859
死荷重	0.408	0.254	0.175	0.934	0.989	0.413
合計	3.763	3.485	2.864	3.124	3.122	1.372

	現行値示	不等流下	合計
活荷重/死荷重	1.940	1.967	3.907

(計算値)

中間支間のスパン中央横断方向曲げモーメント(10⁵kg/cm)および連流率(%)

Case 2

	A	B	C	A	B	C
活荷重	3.966	2.898	2.519	1.172	1.143	0.560
死荷重	0.408	0.254	0.175	0.934	0.989	0.413
合計	4.374	3.152	2.694	2.106	2.132	0.973

	現行値示	不等流下	合計
活荷重/死荷重	1.940	1.388	3.328

端支間のスパン中央横断方向曲げモーメント(10⁵kg/cm)および連流率(%)

Case 3

	A	B	C	A	B	C
活荷重	2.653	2.524	2.342	1.510	1.437	0.626
死荷重	0.279	0.172	0.136	0.864	0.975	0.395
合計	2.932	2.696	2.478	2.374	2.412	1.021

	現行値示	不等流下	合計
活荷重/死荷重	1.993	0.886	2.879

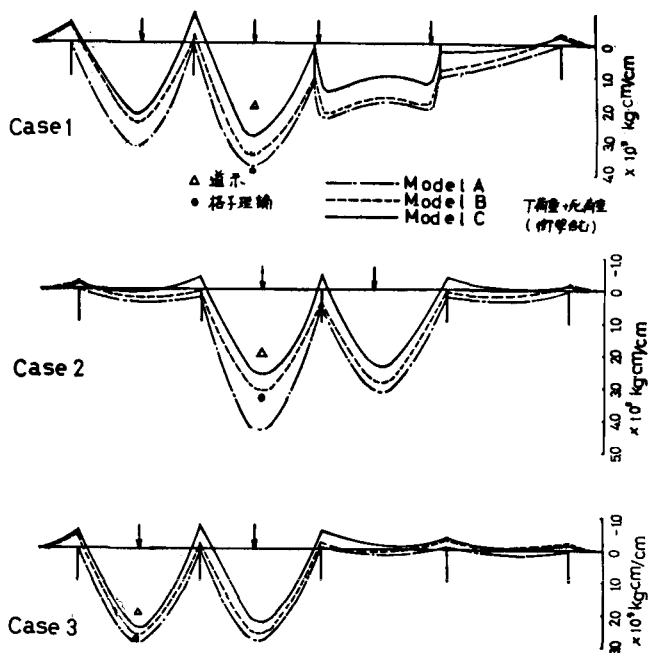


Fig. 7 各荷重状態でのスパン中央曲げモーメントの比較