

1. まえがき 最適設計法は、個々の橋梁の設計に部分的ではあるが応用できる。また、力学的研究より得られた制約条件下で、設計条件の異なる同種の橋梁の最適設計を行い、その結果を整理・単純化することにより、その橋梁に共通な特性を導くことが可能であり、その特性は設計指針にも成り得ると思われる。この指針は、安全性のみならず経済性も考慮したものであり、最適設計法を用いずに最適な設計に近い設計を、比較的容易に行うことを可能にするものである。

近年、道路橋の床版の破損が問題となり、支持桁間の不等沈下による床版への付加曲げモーメントが多く研究された^{1), 2)}。これらの多くは、付加曲げモーメントの算定を主たる研究対象としており、桁組の断面は与えられるものとしている。このように、床版の設計曲げモーメントを増加させるのも一法ではあるが、不等沈下量を桁組で許容値以内に押える設計も可能であり、あるいは、床版と桁組は相互に作用し合うのであるから、両者を含めた総合的な構造系の中で最適な設計法を検討すべきようにも思われる。また、このような問題に最適設計法は有効に応用し得る。

本報告では、不等沈下による床版への付加曲げモーメントが特に問題となる、支持桁間の剛性が著しく異なる桁橋を例にとり、それを、床版および桁組が相互に作用し合う構造系と考え、目的関数に床版鉄筋量をも含めて最適設計を試みた。

許容応力度等は、道路橋示方書（以下道示とする。）に従った。

2. 理論の概要

(1) 仮定：設計の対象とする構造は、図-1に示す支間中央に床桁を有し、主桁2本の中間に縦桁がある桁橋（一等橋）である。図中、()内の数字は部材番号を示す。支間長 L は 6m 、支持桁間隔 λ は 2m 、 2.5m 、 3m とする。アスファルト舗装厚は、 5cm 、床版厚は 16cm より 22cm まで 1cm 間隔で与えた。

縦桁および床桁は等断面とし、主桁は半支間を4等分する変断面とする。床桁および床版の分配効果を期待しているため、主桁はもとより床桁、縦桁も L 荷重で設計することにする。主桁の設計および点 a の付加曲げモーメントの計算の場合の支間長は全支間である。図-1 設計の対象とする構造が、縦桁の設計および点 b の付加曲げモーメントの計算の場合の支間長は半支間とする。縦桁の設計において、モーメントの場合は道示7.3により、たわみの場合は単純桁として計算された値を 0.8 倍する³⁾ことにより連続桁に換算する。分配効果に寄与する床版の有効幅は、支間長の4割とする。

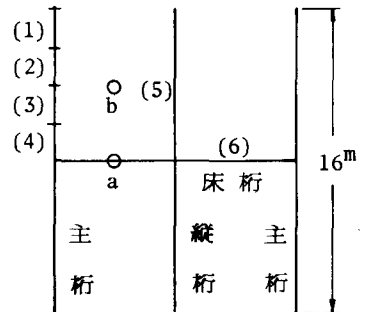
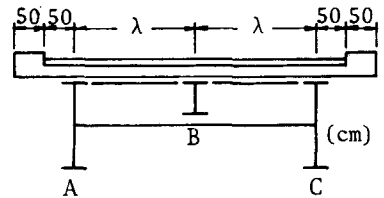
床版の設計曲げモーメントは、一般に支持桁上で大きくなるが、ハンチにより緩和されるので、道示6.1.4による支間の値を設計曲げモーメントとする。

(2) 最小重量設計：まず設計変数は、上・下フランジの幅とする。ただし、縦桁、床桁は上・下対称の等断面としているので、設計変数の総数は 10 となる。フランジ板厚はフランジ幅より決定される⁴⁾。各桁の腹板高、床版厚も重要な設計変数であるが、実設計では離散性が高いので、パラメーターとして与えて検討することにした。ただし床版の腹板高は、予備計算の結果、かなり低い値の方が最小重量設計を与えることがわかっているが、床桁の剛性が少ないと縦桁の設計の仮定が成立しなくなるので、床桁腹板高は縦桁腹板高より 20cm 高い値とした。結局パラメーターは、主桁、縦桁の腹板高 h_g 、 h_n 、床版厚 t_c となる。桁組の鋼材をSM50とした場合の制約条件式を以下に示す。

$$b_i^u \geq 21\text{ cm} ; i=1\sim6 \quad (1-1) , \quad b_i^b \geq 16\text{ cm} ; i=1\sim4 \quad (1-2)$$

$$\sigma_i \leq \sigma_a ; i=1\sim8, 10 \quad (1-3) , \quad \sigma_{6,j} \leq \sigma_{a,j} ; j=1\sim4 \quad (1-4)$$

$$\delta_a \leq L^2/20000 ; \text{主桁} \quad (1-5) , \quad \delta_b \leq (L/2)/2000 ; \text{縦桁} \quad (1-6)$$



ここで、式 (/ - 1)、(/ - 2) はフランジ幅の下限値、式 (/ - 3) は主桁、床桁の応力度、式 (/ - 4) は縦桁の応力度、式 (/ - 5)、(/ - 6) は主桁および縦桁のたわみに関するそれぞれの制約条件式である。目的関数は、桁組および床版の鉄筋量を含む全鋼重で、次式で表わされる。

$$F = \frac{L}{2} \sum_{i=1}^4 (b_i^u t_i^u + h_g t_g + b_i^l t_i^l) + L(2b_s^u t_s^u + h_n t_n) + 2\lambda(2b_s^u t_s^u + h_l t_l) + 2\lambda A_s (L/100) \quad (2)$$

ここで、右辺第1項が主桁、第2項が中桁、第3項が床桁、第4項が床版鉄筋量にそれぞれ対応する。 A_s は単位幅当りの主鉄筋の断面積で、かぶり4cmの複鉄筋断面に、SD30のD19を使用する場合の作用曲げモーメントと必要鉄筋量との関係 (図-2⁵⁾) より求めるものとする。作用曲げモーメントとは、(設計曲げモーメント) + (付加曲げモーメント) である。

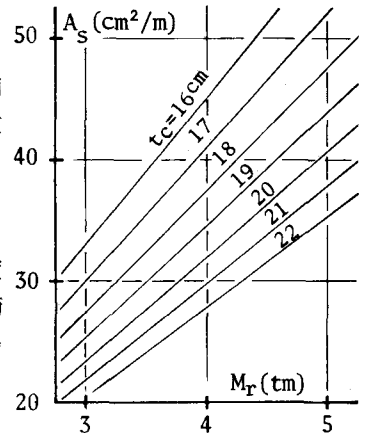


図-2 曲げモーメントと鉄筋量

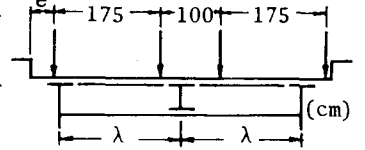
以上で定義された最小化問題を、本報告ではPowellの直接探索法によるSUMTを用いて最適解を求めた。応答係数は、1000、100、10、1、0.1、0.01、0.001と与えた。

(3) 支持桁の不等沈下による付加曲げモーメント：付加曲げモーメントは、図-1の点a、bで考える。

支持桁の相対変位量が δ_r の時、単位幅当りに生ずる主鉄筋方向の付加曲げモーメント (kg・cm/m) は次式で計算される⁴⁾。

$$\Delta m = \frac{3}{16} \cdot 10^7 \cdot t_c^3 \cdot \delta_r / \lambda \quad (3)$$

相対変位 δ_r は、各支持桁の分配率に、2組のT荷重の後輪荷重を図-3のように載荷して求めるものとする。この位置は、1後輪荷重が支間中央付近にあり、かつ δ_r が大きくなる位置を想定して定めたものである。荷重分配率の計算に用いる横桁の曲げ剛性は、点aの場合は床桁に0.4Lの床版の曲げ剛性を加えた値を、点bの場合は、0.2Lの床版の曲げ剛性としている。



λ	2 m	2.5 m	3 m
e	0 m	0.25 m	1.75 m

図-3 付加曲げモーメントの計算のためのT荷重後輪位置

3. 計算結果・あとがき 数値計算は、図-1の構造に対して、腹板高は10cm間隔、床版は1cm間隔で与えて計算した。その結果、最適解として、主桁腹板高は150~160cm、縦桁腹板高として、 λ が2mの場合は40cm、2.5mで90cm、3mで110cmを得た。これらの腹板高における、床版厚と鋼材容積との関係を示したのが図-4である。図中、実線が式(2)で定義される総鋼材容積である。点線は、16cmより厚い部分の床版の容積を、コンクリートと鋼材のコスト比により鋼材容積に換算して加えた鋼材容積を示す。コスト比が0.02 (鋼材コストは材料費のみ) の場合は、床版厚は薄い方が、0.01~0.005 (工場製作費まで含む) の場合は厚い方が経済的となっている。また、これらは支持桁間隔とは関係ないようである。

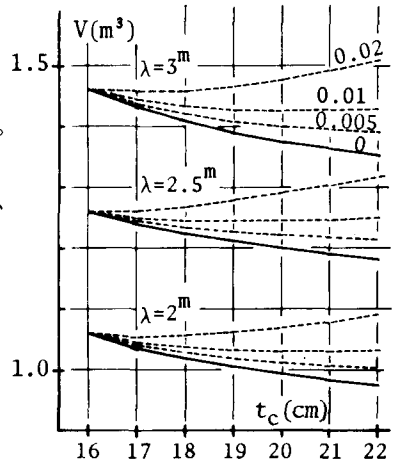


図-4 床版厚と換算鋼材容積

本報告の計算は、北海道大学大型計算機センターのHITACM-180を使用した。

参考文献 1) 前田・松井：道路橋RC床版の設計曲げモーメント式に関する一考察、土木学会論文報告集、第252号、1976、8. 2) 河井・橋本・林：鋼橋設計法についての諸検討 (下) 橋梁と基礎、第12巻、第10号、1978、10. 3) 日本道路協会：鋼道路橋設計便覧、丸善、1979. 4) 杉本博之：最適化手法による荷重分配横桁の設計について、土木学会北海道支部論文報告集、第36号、1979、2. 5) 日本橋梁建設協会：JASBC manual デザインデータブック、1977.