

1. まえがき 道路橋示方書の床版の設計曲げモーメントは、不等沈下のない主桁に支持された版として解析された理論値に、10～20%の安全をみた値である。不等沈下の影響は、一般の上路プレートガーダー橋の場合、たわみ量の制限および格子剛度が10以上となる剛な荷重分配横桁を設けることにより無視し得ると考えている。

一方、近年の道路橋床版の破損の一因として、主桁の不等沈下をあげ、その影響を付加モーメントの形で表わした設計曲げモーメント式が提案され¹⁾、不等沈下の影響を考慮できる多主桁合成橋の解析も行なわれ²⁾、横桁剛性と床版曲げモーメントの関係を考察している。このように、従来の不等沈下の影響に関する研究は、床版の設計曲げモーメントに対する考察が主のようである。しかし、不等沈下の影響を避けるためには、不等沈下量そのものを制限する方法もあると思われる。そこで本報告では、合成格子桁橋の設計において、制約条件として、応力、たわみに関する条件の他に、主桁の相対変位量に関する条件を加えた最小重量設計を試み、その結果に対して若干の考察を加えた。

主桁の相対変位量の制限値として、どの程度の値が適当であるか等は、まだ十分に研究されていない現状であると思われるが、本報告では、相対変位量の制約のない最小重量設計の結果より 0.1mm/m とした。

最適化手法としては、Powellの直接探索法によるSUMTを用いた。

本報告で計算の対象とした合成格子桁橋は、主桁3本の一等橋であり、鋼材はSM50としている。許容応力度等の設計条件は、道路橋示方書(昭和48年)に従った。

2. 仮定 本報告では、設計計算において、以下の仮定を設定した。

イ) 設計の対象とする構造は、図-1に示す活荷重合成格子桁橋とする。ロ) 構造解析においては、主桁、横桁のねじり剛性は無視し、変位法を用いる。中間対傾構の換算曲げ剛性は無視する。ハ) 死荷重による応力は、すべての死荷重を節点荷重に置換し、床版との合成作用のない鋼格子桁に対して、ロ)の変位法により計算する。ニ) 活荷重による主桁の応力、たわみの計算にはL荷重を用い、荷重分配を考慮する。ホ) 活荷重による横桁の応力の計算にはL荷重を用い、図-1のB点でのみ検討する。ヘ) ニ)、ホ)の計算においては、床版との合成作用を考慮した格子桁に対して、ロ)の変位法を用いる。ト) 主桁の相対変位は、T荷重(後輪のみ)で計算し、支間中央でのみ検討する。相対変位の計算には、ヘ)の結果が利用される。チ) 床版コンクリートの応力度は検討しない。

3. 相対変位 相対変位の計算には、上述のようにT荷重(後輪のみ)を用い、仮定ヘ)より得られる格点A、B、Cのたわみの影響線に、図-2のように、後輪の片方が主桁b上にあるように載荷して求められるとする。この載荷位置をとる理由は、不等沈下の床版曲げモーメントに与える影響が、支間中央付近で顕著になる¹⁾と考えられるからである。

以上より得られる格点A、B、Cのたわみを、それぞれ δ_A 、 δ_B 、 δ_C とすると、本報告では、相対変位 δ_r は次式で定義されている。

$$\delta_r = (2\delta_B - \delta_A - \delta_C) / \lambda \quad (1)$$

4. 最小重量設計 主桁の断面寸法を図-3に示した。横桁は上下対称である。図-3の各断面寸法の内、設計変数は上下フランジの板幅のみとしている。各主桁とも、対傾構間が一断面であり、主桁a、cは同一の断面であるので、設計変数の総数は17となる。腹板の断面寸法は、主桁、横桁ともあらかじめ与えるものとする。フランジの板厚は、鋼材がSM50であることを

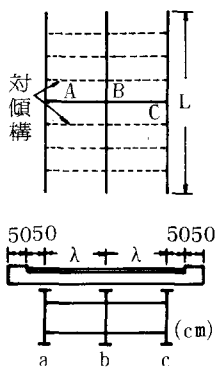


図-1 合成格子桁

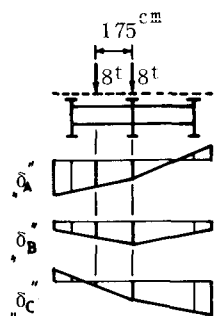


図-2 相対変位



図-3

考慮して、次式で計算されるものとする。

$$t_u = \beta_u \cdot (b_u - t_w) / 24 \quad , \quad t_l = \beta_l \cdot (b_l - t_w) / 32 \quad (2)$$

上式の係数 β_u 、 β_l の値は、任意に設定できるが、本報告では、実際の設計例を参考にして、 $\beta_u = 1.2$ 、 $\beta_l = 1.7$ としている。その結果、フランジ幅の最小値は、上フランジにおいては、スタッドジベルを用いるとして2 / cm、下フランジは16 cmとなった。制約条件式は以下ようになる。

$$\begin{aligned} b_i^u &\geq 2 / \quad : \quad i = 1 \sim 9 \quad , \quad b_i^l \geq 16 \quad : \quad i = 1 \sim 8 \\ \sigma_i^s &\leq 1.25 \cdot \sigma_a^s \quad : \quad i = 1 \sim 17 \quad , \quad \sigma_i^v \leq 1900 \quad : \quad i = 1 \sim 17 \\ \delta_i &\leq L^2 / 20000 \quad : \quad i = a, b \quad (10 < L \leq 40^m) \\ \delta_r &\leq 0.1 \quad (mm/m) \end{aligned} \quad (3)$$

上式において、 σ_i^s : 死荷重による上下フランジの応力度、 σ_a^s : 床版との合成を考えない鋼桁の許容応力度、 σ_i^v : σ_i^s にL 荷重による応力度を加えた上下フランジの応力度、 δ_i : 主桁i のL 荷重によるたわみ である。以上の制約条件のもとに、最小にされる目的関数は、次式で表わされる。

$$f = L / 8 \cdot \{ 2 \cdot \sum_{i=1}^8 (b_i^u \cdot t_i^u + b_i^l \cdot t_i^l) + \sum_{i=1}^8 (b_i^u \cdot t_i^u + b_i^l \cdot t_i^l) \} + 2 \cdot b_g^u \cdot t_g^u \cdot \lambda \quad (4)$$

上式において、右辺第一項が主桁a に、第二項が主桁b に、第三項が横桁にそれぞれ対応する。

式(3)で定義された制約条件式を、 $g_j \geq 0$ ($j = 1 \sim 54$)とすると、制約条件のない問題に変換された罰金関数は、本報告では次式のように定義されている。

$$F = f + \gamma_1 \cdot \sum_{j=1}^{54} g_j^2 \quad (5)$$

応答係数 γ_1 は、1000、100、10、1、0.1、0.01と与えた。

5. 計算例及び考察

計算例として、 $L = 32$ m、 $\lambda = 3.5$ m とし、主桁 (h_w^g) と横桁 (h_w^l) の腹板高 (cm) の組み合わせが右表の場合の結果の内、総体積 (上段、 m^3)、相対変位量 (中段、mm/m)、格子剛度 (下段) を右表に示した。右表において、かっこのつかない値が、相対変位を拘束しない場合の結果、() 内が、相対変位を0.1 / mm/m に拘束した場合の結果である。

$\frac{h_w^g}{h_w^l}$	230	200	170
180		3.084 (3.113) 0.14 13.2 (17.9)	
150	3.373 (3.468) 0.23 6.9 (16.3)	3.049 (3.137) 0.24 8.4 (18.7)	3.180 (3.274) 0.24 10.2 (24.3)
100		3.024 (3.272) 0.49 3.1 (14.1)	

一例ではあるが、これらの結果より、相対変位を拘束しない場合は、横桁腹板高は低い方が、拘束する場合は高い方が総鋼重が少ないことを示しており、相対変位の影響を避けるために、剛な横桁の設置を義務づけている道路橋示方書の規程は、経済的な方針でもあるといえる。ただし、相対変位を拘束しない場合の結果のように、格子剛度と相対変位の相関性はあまりない。たわみの制約条件は、どの場合も十分余裕があった。応力的に余裕のある断面となったのは、横桁と主桁b の支間中央の断面であり、特に、相対変位の制約条件のない場合の横桁のフランジ幅は、下限値で決定された。また、相対変位の制約条件を付加することにより、大きく増加したのもこれらの断面であった。ただし、増加の割合は、主桁b の支間中央のフランジ幅で約1.1倍、横桁のフランジ幅で約1.9倍であり、相対変位の制約は、横桁で効果的に保たれていると思われる。

6. あとがき 相対変位の床版曲げモーメントに与える影響は、3本主桁では少なく、多主桁橋でより顕著になるので、多主桁橋の計算を行ない、床版鉄筋量の増加と鋼桁断面の増加の優劣を検討する必要があると思われる。その時、設計変数の数が、本報告のように17では多すぎるので、例えば設計変数を、主桁と横桁の腹板高と横桁と主桁b の支間中央断面のフランジ幅の計5変数に限定し、他の変数は全応力設計で求めるという近似的方法も一法であると思われる。本報告の相対変位の拘束量0.1 / mm/m は、結果からみると見当違いでもないようだが、載荷方法も含めて今後検討が必要であろう。

本報告の計算は、北海道大学大型計算機センターのF a c o m 230 - 75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) 芳村・福士・上田：並列多主桁橋の主桁および横桁の剛性と床版応力の相関性について、土木学会北海道支部論文報告集 第35号、1979、2。