

- *1 東洋大学 学生員 佐藤 宏紀
 東洋大学 学生員 山田 裕尚
 東洋大学 正会員 新延 泰生
 *2 リテック 非会員 水越 哲也

1. はじめに

道路橋設計において主桁断面の決定における荷重強度の算出には格子理論による荷重分配作用を考慮する。その際、曲げモーメントに対する荷重強度の計算には、ねじり剛性が無視できる格子桁に対してはLeonhardtの公式を使用することが多い。しかし、以後の応力度の照査に至り、主桁・横桁の剛度の仮定値の設定によっては計算のやり直しを多数行うこともある。現在はこれらの計算はパソコンレベルで行われるのでコスト面では通常それほど問題にならずに多数の格子計算を行うことも多いと考えられるが、設計過程の合理化の観点からはなるべく無駄な計算をすることは望ましくない。

そこで、本研究では、面外荷重を受ける格子構造の感度解析を行い、格子剛度と荷重分配係数との関係を検討することにより格子剛度決定の指標を示し、また、格子形状による荷重分配影響線の変動を検討した。

2. 感度解析法

$$[K]\{v\} = \{F\} \quad (1)$$

$$\left\{ \frac{\partial v}{\partial X_i} \right\} = [K]^{-1} \left\{ \frac{\partial K}{\partial X_i} \right\} \{v\} \quad (2)$$

$[K]$: 剛性マトリックス $\{v\}$: 変位ベクトル

$\{F\}$: 節点外力

変位法による状態方程式は式(1)で与えられ、これを任意設計変数 X_i (断面積, 断面二次モーメント)で偏微分することにより式(2)が導かれ、 $\left\{ \frac{\partial v}{\partial X_i} \right\}$ は部材 i の設計変数に対する各変位の感度係数を示し、応答値を推定することができる。

また、桁断面においては、断面形状、断面寸法により確立した値を求めるのは困難であるため、断面積 A_i のみを前提とした。よって、断面二次モーメント I_i 、ねじりモーメント J_i の値は式(3)、式(4)に示すように断面積 A_i 及び部材長 l_i による関係を仮定した。

$$I_i = \alpha_i A_i l_i^2 \quad (3)$$

$$J_i = \beta_i A_i l_i^2 \quad (4)$$

また、ここで設計変数 $X_i = A_i$ (断面積)が δA_i だけ微小変動したときの j 桁の荷重分配係数 f_j の推定式は式(5)となる。

$$f_j = f_{j0} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f_j}{\partial A_i} \right] \delta A_i \quad (5)$$

ここで行う感度解析法の誘導には、有限要素法(FEM)の使用を前提に展開を進めた。

3. 解析モデル

任意の桁断面形状を対象とするために桁断面二次モーメント I 及びねじりモーメント J と桁断面積 A との間の式(3)、(4)のような関係式を仮定し、図-Iのような解析モデルを設定した。

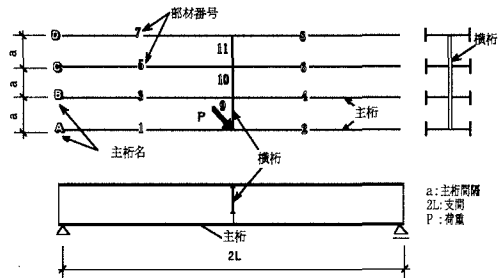


図-1

モデルの諸元及び部材剛性に関する数値を以下に示す。

$$2L = 34m, a = 2.4m$$

$$\text{桁形状が閉断面の場合 } \alpha = 0.5, \beta = 0.2$$

$$\text{開断面の場合 } \alpha = 0.5, \beta = 0.0$$

$$E = 2.058 \times 10^{11} N/m^2, G = 7.938 \times 10^{10} N/m^2$$

$$\sigma_a = 1.372 \times 10^5 N/m^2, P = 980000 N, A_i = 1m^2$$

4. 桁のねじり剛性有無による比較

図-1のモデルで考えた場合、桁の形状、つまりI形であるか、箱形であるかによりねじりの有無を生じる。そこで、以下の桁条件を考えた場合の荷重分配係数について検討する。

キーワード: 荷重分配, 感度解析, 最小重量設計

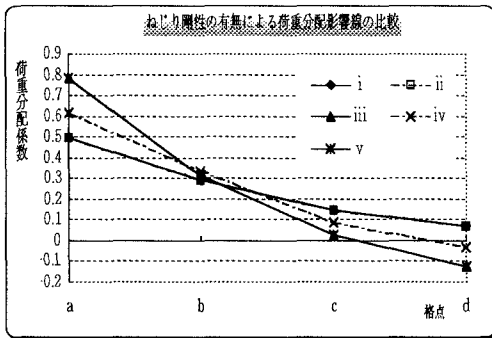
連絡先: 1: 〒350-0815 埼玉県川越市鯨 2100 TEL0492-39-1402 FAX0492-31-4482

2: 〒162-0065 東京都新宿区住吉町 1-20 TEL03-5379-6331

- i) すべての桁がねじり剛性を持つとき
- ii) 横桁のみがねじり剛性を持たないとき
- iii) 横桁のみがねじり剛性を持つとき
- iv) 外桁のみがねじり剛性を持つとき
- v) すべての桁がねじり剛性を持たないとき

全桁がねじり剛性を持つとき、および横桁のみがねじり剛性を持たないときではほぼ分配係数は一致し、これは他の条件に比較し、均等化していると言える。また、全桁がねじり剛性を持たないとき、および横桁のみがねじり剛性を持つときではほぼ分配係数が一致し、主桁がねじり剛性を持つときに比較し均等化は行われていないと言える。これを荷重分配影響線として表すと、以下の図・2となる。

主桁にねじり剛性を考慮した場合の方が分配係数は均等化しており、横桁における影響はあまりない。また、他の異なるモデル形状に対してもほぼ同じ荷重分配係数の結果が得られた。

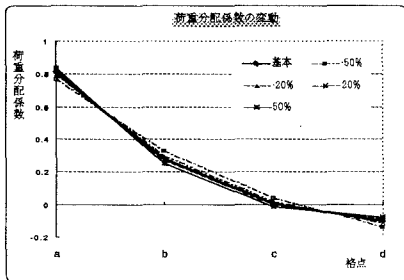


図・2

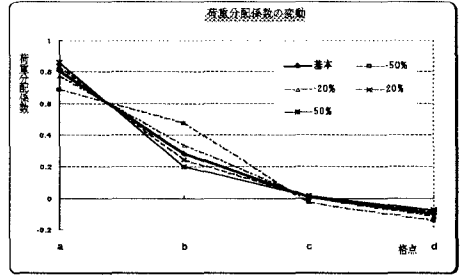
5. 桁断面積変更による比較

図・1の荷重状態に対して、主桁の初期断面積を1 m²とし、±50%、±20%と断面積を変更させた。

図・3には、全主桁断面積4本を変更した場合の荷重分配影響線を示し、図・4には外桁断面積2本を変更した場合の荷重分配影響線を示す。



図・3



図・4

全主桁を変更した場合の荷重分配係数の変動は全体的に微少であり、外桁のみの変更の方が変動がみられる。断面を増加させた場合より減少させた場合の方が分配係数に変動がみられる。

6. 最小重量設計の定式化

モーメントの制約のもとで以下の最小重量設計を行うことにより、最適な荷重分配係数を求める。

目的関数

$$W = \sum_{i=1}^n A_i \rho_i \rightarrow \min. \quad (6)$$

制約条件

$$M_j^L \leq M_j + \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial M_j}{\partial A_i} \right] \delta A_i \leq M_j^U \quad (j=1, \dots, m) \quad (7)$$

$$v_s^L \leq v_s + \sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial v_s}{\partial A_i} \right] \delta A_i \leq v_s^U \quad (s=1, \dots, n) \quad (8)$$

ここでは許容応力 σ_a を用いて許容モーメント

$$M_j^U, M_j^L = \pm \eta \cdot \sigma_a \cdot A_j \cdot l_j \text{ とした。}$$

7. おわりに

主桁にねじり剛性を考慮することにより荷重分配係数は均等化する傾向があり、主桁断面の変更に関しては、荷重が直接載荷されている主桁断面の影響が最も大きく、その桁断面増加に対してはその桁のみで荷重を分配し、桁断面減少に対しては他の桁での荷重分配係数を増加させる傾向がある。

最小重量設計により最適化を行うと荷重分配係数が均等化する方向へ向かうことが分かった。

(参考文献)

- (1) 水越哲也・新延泰生・榎本覚雄：「感度解析法による格子理論の荷重分配作用に関する研究」第25回関東支部技術研究発表会講演概要集1998.3
- (2) 新延泰生・松井邦夫・菊田征勇：「骨組構造物の応答感度係数特性」土木学会論文集NO.450/I-20, pp.75-83, 1992.7