ＧＡを利用したラーメン構造橋梁の合成応力簡易算定式

（株）横河技術情報　正会員　○古田秀博
豊橋技術科学大学　正会員　草間晴幸

１．まえがき

現行の鋼道路橋示方書・同解説[1)]に規定されている曲げモーメントとせん断力の合成応力が最大となる載荷状態は、現在唯一の効率的な手法である影響線載荷計算法では厳密に求めることができない。このため、曲げモーメントあるいはせん断力最大時の載荷状態から決まる合成応力を設計値として使用している。現行、この設計値が大域的最大値と比べてそれほど大きな差は無いであろうという仮定のもとで、影響線を用いた計算法が一般に用いられている。しかし、現実に設計値より大きな値を持つ大域的最大値が、固定支持点（橋脚と桁の結合点近傍）近傍で存在することが文献２）で明らかにされている。

本研究では、都市高速道路に多数見られるラーメン構造形式橋梁の一部をモデル化した不静定梁を取り上げ、断面力の最大・最小時載荷状態における合成応力を上回る合成応力の簡易計算法を提案する。

２．ＧＡによる合成応力最大時の載荷状態の探索[2)]

解析モデルに対して実荷重（集中荷重あるいは分布荷重）を移動荷重として載荷し、影響線を求める要領で、各載荷位置における着目点の着目成分を求める。この場合、式（１）にあるように、曲げモーメントやせん断力に関する値の合計が最大になる場合が、影響線載荷計算における最大値と一致する。

$$M_j = \left| \sum_{i=1}^{m} \alpha_{ij} M_{ij} \right| \qquad S_j = \left| \sum_{i=1}^{m} \beta_{ij} S_{ij} \right| \tag{1}$$

M_{ij}：荷重が載荷点ｉに載荷された場合の着目点ｊにおける曲げモーメント
S_{ij}：荷重が載荷点ｉに載荷された場合の着目点ｊにおけるせん断力

また、i(1,2,,,,m)は荷重の全載荷位置格点番号を、j(1,2,,,,n)は着目点を示す。特に、α_{ij}とβ_{ij}は荷重が載荷されているか否かを示す係数で、最大値を求める場合にM_{ij}やS_{ij}が正であれば1.0となり、負の場合は0.0となる。逆に最小値を求める場合にM_{ij}やS_{ij}が負であれば1.0となり、正であれば0.0となる。

ところが、合成応力は２次形式で表されるため、影響線載荷のように簡単に求めることはできない。このため、ある着目点における合成応力Ｘを最大にする載荷状態は、実荷重の載荷の組み合わせから決定されるものと考える。しかし、このような荷重載荷位置の組み合わせによって合成応力の最大値を求めようとすると、組み合わせ爆発を引き起こすことになる。本研究ではこの問題を解決するため、ＧＡを用いたナップサック問題として取り扱うものとする。ここでは、合成応力式を式（２）のような合成断面力に変換して取り扱う。

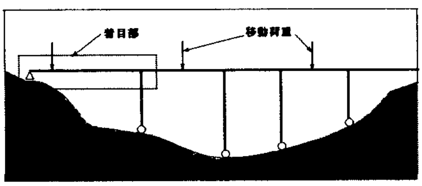
$$(Mj/Z\sigma_a)^2 + (Sj/A\tau_a)^2 = \{(Mj)^2 + (Z\sigma_a/A\tau_a)^2 (Sj)^2\} / (Z\sigma_a)^2 \tag{2}$$

Mj　：格点ｊにおける発生曲げモーメント　　τ_a：許容せん断応力
Sj　：格点ｊにおける発生せん断力　　Z　：断面係数
σ_a　：許容垂直応力　　A　：断面積

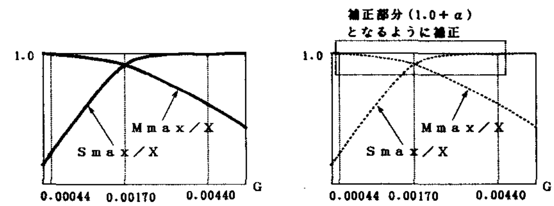
以上の探索法を図－１に示すような、都市高速道路によく見られる脚と桁が剛結されたラーメン構造橋梁の一部を切り出したモデルに対して適用する。このモデルを一端単純・他端固定支持の不静定梁にモデル化し、移動荷重として作用させる荷重は集中荷重10tfとする。また、着目位置は固定支持点近傍とする。

３．簡易計算式の提案

ここでは、以上の計算結果を基本に、設計実務に利用できる簡易な合成応力の計算法を提案する。
GAによる計算結果[2]をG（$=n^2/L^2$）について整理すると、図−2に示すような曲線を描くことができる。ここに、nは（$Z\sigma_a/A\tau_a$）、Lは梁モデルの支間長である。この曲線の特徴は以下となる。
（1）M_{max}時／X曲線はGが0.00044より小さい場合1.0となる。また、S_{max}時／X曲線はGが0.00440より大きい場合1.0となる。（2）M_{max}時／X曲線とS_{max}時／X曲線の交点の位置は0.00170である。
ただし、Xは式（2）に示す合成断面力、M_{max}、S_{max}は影響線載荷計算から得られる最大断面力である。



図−1　合成応力の検討解析のための着目部



図−2　M_{max}時／XとS_{max}時／XのG（n^2/L^2）による変化とその補正部分を示す概念図

以上の結果から、図−2にあるような2点鎖線で囲まれた部分、すなわちGが0.00044から0.00440の間でM_{max}時／XとS_{max}時／Xの両方が1.0より小さくなっている。一方、それ以外の領域では、M_{max}時／XとS_{max}時／Xのいずれかが1.0となっており、これらの内のどちらかの値を採用すればよいことが分かる。したがって、この両曲線が1.0より小さくなる領域を2次曲線で補正することとする。
なお、Gが0.00170の時のM_{max}時／XとS_{max}時／Xの値、すなわち最小値は、0.93であるので、この位置での補正値αを10%と設定する。この結果、2次曲線の通る3つの点は（0.00044,1.0），（0.00170,1.10），（0.00440,1.0）となり、この結果、以下の簡易計算式が作成できる。

$$
\begin{aligned}
X_d &= (1+\alpha)\cdot X_a & & (0 \leqq G < 0.00044)\\
X_d &= \beta\cdot X_b & & (0.00044 \leqq G < 0.00440)\\
X_d &= (1+\alpha)\cdot X_b & & (0.00440 \leqq G)
\end{aligned}
\qquad (3)
$$

ただし、

$$\beta = -14697.4\cdot G^2 + 71.135\cdot G + 1.0215$$

$$G = n^2/L^2$$

X_a：遺伝的アルゴリズムによる解X　　X_d：簡易計算式の解X
X_b：曲げモーメント最大時の解X　　L：梁の径間長

この算定式から得られた結果を、文献2）にある結果と比較すると、すべての条件に関して安全側の値を得ることができた。

4．あとがき

橋梁への移動荷重の載荷計算を、GAを用いたナップサック問題として取り扱い、現行の鋼道路橋示方書・同解説[1]にある合成応力の算出結果を上回る場合があることを文献2）で示した。そして、本研究では、設計実務にすべてGAを用いることは現実的でないことに鑑み、安全側の合成応力を精度良く算出できる簡易計算式を提案した。

参考文献

1．日本道路協会：鋼道路橋設計示方書・同解説
2．古田秀博、江場田直：遺伝的アルゴリズムを用いた合成応力に関する検証、構造工学のための数値解析シンポジウム論文集、第18巻、pp．417−422、1994．7