

I - 1 鋼橋原価を目的関数とする鋼トラス橋の最適設計について

室蘭工業大学 正員 杉本博之

1. まえがき 橋梁構造物の最適設計法が、国内で研究されるようになってからすでに十数年経ている。その間、桁橋関係の最適設計法^{1), 2), 3), 4)}は、かなり実用の段階に達していると思われるが、桁橋に次いで一般的な型式である鋼トラス橋の最適設計は、まだ種々の問題点を残している。それは、まず、コストを目的関数とする手法の確立していないこと、つまり、部材鋼種を設計変数に含めないこと、対象としている断面形状が、まだ実際の断面とは異なること、断面のサブ最適化に關しては、さらに、板厚の離散性を考慮した設計の結果が得られていないこと、また、荷重系の影響線理論より得られるものでないこと等あげられる。

本論文は、これらの内コストを目的関数とする最適設計法に関するものである。これに関する研究では、サブ最適化の結果を利用して、各部材毎にある軸力に対して最小コストを与える部材断面積、鋼種を決定するという方法が研究されている^{5), 6)}が、この方法は全応力設計であり、選ばれる鋼種の最適性の保証は無い。コストを目的関数にする場合、目的関数の内容や問題となるが、従来目的関数としての鋼橋原価は、ほとんど研究されていないと思われる。そこで本論文では、資料等を参考にして鋼材費、製作費、輸送費および架設費よりなる目的関数をまず誘導している。鋼種は離散型変数であるが、計算の過程でこれを連続量と仮定し、SLP法の応用⁷⁾を試みた。この方法を鋼トラス橋に応用するための若干の問題点と解決し、比較的良好な結果を得た。数値計算例として、輸送距離、架設工法の差による部材鋼種の選定の差を簡単なトラスで示した。

2. 鋼橋原価 鋼橋原価は、非常に多くの項目から構成されており、それらを正確に数式化するのは困難である。たとえ数式化できたとしても、それを用いて最適設計を行うことは不可能である。そこで本論文では、鋼橋原価を構成する主な項目として、鋼材費、工場製作費、輸送費および架設工事費を取り上げ、これらについて数式化を試みた。数式化に際しては、最適設計法の適用の容易さ、および積算関係の多くの資料のやうであるように、橋体重量の関数になるように考慮している。以下に、各項目ごとに説明する。

2-1 鋼材費 鋼材費は、ある鋼材の単位重量当りの鋼材費を $\alpha(k)$ とすると、 $\alpha(k)$ は次式で計算される。

$$\alpha(k) = \text{ベース価格} + \text{エキストラ(寸法, 規格)} \quad (1)$$

この鋼材費の中には、形鋼、鋼板および成品購入が含まれるが、成品購入は最適設計の対象外とするのでこれを無視する。そうすると、鋼板の鋼材費の大部分(9割以上)を占める⁸⁾ので、鋼材費としては鋼板のみを考える。その結果、式(1)の α は表-1のようになる。結局、歩留を11%とすると、鋼材費は次式で計算することができる。

$$C_s = 1.11 \sum_{i=1}^N \alpha(k_i) \cdot g_i \quad (2)$$

ここで、 C_s : 鋼材費(円)、 $\alpha(k_i)$: 部材 i の鋼種 k_i の単位重量当りの鋼材費(円/ton)、 g_i : 部材 i の重量(ton)、 N : 部材数、 k_i : 部材 i の鋼種で後述する。

2-2 工場製作費: 工場製作費には、溶接費、副資材費、直接労務費およびス次労務費が含まれるが、直接労務費およびス次労務費の大半(約95%)を占めるので、この二つだけを考慮することにする。

今、直接労務費を C_p 、ス次労務費を C_a とすると、 C_p と C_a の間には、次の関係がある⁹⁾。

$$C_a = 1.6 C_p \quad (3)$$

式(3)より、工場製作費 C_F は、次式で計算される。

$$C_F = C_p + C_a = 2.6 C_p \quad (4)$$

直接労務費 C_p は、各使用鋼種ごとに、その工数に単価および重量を乗じものを総和して得ることにより、次式で計算される。

鋼種	ベース価格	寸法	規格	α
SM41	71,500	1,600	3,500	76,600
SM50			12,000	85,100
SM53			17,000	90,100
SM58			37,000	110,100

表-1 各鋼種の鋼材費 α (円/ton)

$$C_p = \eta(W) \cdot C_0 \cdot \sum_{i=1}^n \beta(K_i) \cdot g_i \quad (5)$$

ここで、 $\eta(W)$ ：橋体総重量による割増係数で、次式で計算される。

$$\eta(W) = 3.35/W^{0.7018} + 0.9 \quad (6)$$

W ：橋体総重量(ton)， C_0 ：単位重量・工数当りの単価(円/ton・工数) 表-2 鋼トラス橋の製作直接工数
7300 円/ton・工数 を標準とする， $\beta(K_i)$ ：部材 i の鋼種 K_i の工数，表-2参照。

結局，工場製作費 C_F は，次式で計算される。

$$C_F = 2.6 \cdot \eta(W) \cdot C_0 \cdot \sum_{i=1}^n \beta(K_i) \cdot g_i \quad (7)$$

ス-3 輸送費；一般的に鋼橋の輸送は，貨車輸送と自動車輸送に分かれ，輸送距離が長い場合は貨車輸送，短い場合は自動車輸送とされている。輸送費の数式化もそれに沿って行くべきであるが，貨車輸送においては，駅から現場までは自動車輸送となり，また，運賃計算トン数の数式化の難しい等の理由で問題の複雑となり，さらに，多少の長距離も自動車輸送とするのが実状であるので，輸送距離に関係なく，自動車輸送の場合のみを考える。

輸送費は，トレーラー経費，トラック経費，現場取卸料および道路調査費より構成されるが，輸送率は20^tトレーラー，現場取卸は10^t級トラッククレーンとして計算し，道路調査費は無視する。

トレーラー経費 C_t は，次式で計算する。

$$C_t = b \cdot N_1 \quad (8)$$

ここで， N_1 ：トレーラー台数で， $W/p \cdot w$ で計算される， p ：積載率で，本論文では0.8としている， w ：トレーラーの標記トン数で，本論文では20^tである， b ：1台当りの輸送費(円/台)で，基本運賃に，深夜・早朝，特大品等の割増率および車輛留置料等の料金と実費を考慮して割増係数 λ を乗じて次式で計算される。 λ は，輸送距離に応じた3ないし5の値をとるものとする。 L は，輸送距離(km)である。

$$b = 160 \cdot \lambda (L + 100) \quad (9)$$

結局，トレーラー経費 C_t は，次式のようになる。

$$C_t = 10 \cdot \lambda (L + 100) \cdot W \quad (10)$$

現場取卸料 C_d は，次式で計算されるものとする。

$$C_d = (C_1 + C_2) \cdot N_2 \quad (11)$$

ここで， C_1 ：10^t級トラッククレーンの1日当りの料金(円/日)，本論文では，44000 円/日とする， C_2 ：1日当りの玉掛費(円/日)，本論文では20000 円/日とする， N_2 ：1台のトラッククレーンで作業した場合の延べ日数(日)。トラッククレーンの1日の作業時間を7時間，20^tトレーラーの取卸しに要する時間を1時間とすると，1日に処理できるトレーラー数は7台であるから， N_2 は次式で計算される。

$$N_2 = N_1/7 = W/112 \quad (12)$$

従って，式(11)は，次式のようになる。

$$C_d = 571 \cdot W \quad (13)$$

式(10)，(13)より，輸送費 C_T は次式のようになる。

$$C_T = \{10 \cdot \lambda (L + 100) + 571\} \cdot W \quad (14)$$

ス-4 架設工事費；架設工事費は，やはり多くの項目からなっており，架設地点の状況に大きく影響される等，厳密に数式化するのは困難であるが，本論文では，文献8)の資料を参考にすることにする。架設工法は，ケーブルエレクション工法(工法I)，ケーブルクレーンによるスレージング工法(工法II)，ケーブルクレーンによるカンテイレバー工法(工法III)，トラベルクレーンによるカンテイレバー工法(工法IV)，自走クレーン車によるスレージング工法(工法V)の5種類とする。文献8)の単位鋼重当りの架設工事費は，昭和46年度以前の資料であるので，その後の経済状況の変化を考慮して，2割増しして用いることにする。

結局、架設工事費 C_E は、次式で与えられる。

$$C_E = Y(W) \cdot W \quad (15)$$

ここで、 $Y(W)$ は、各工法ごとに図-1より求められる。

ス-5 鋼橋原価のまとめ；以上の結果をまとめることにより、目的関数としての鋼橋原価を得ることになる。その場合、鋼材費および工場製作費に対して14%の工場管理費、工場管理費を考慮し工場原価に10%の一般管理費、一般管理費を考慮し販売原価に5%の利益を加算することにする。

結局、鋼橋原価は、次式で計算されることになる。

$$C = 1.05 \cdot 1.10 \cdot 1.14 (C_S + C_F) + C_T + C_E \quad (16)$$

式(16)に、式(2)、(7)、(14)および(15)を代入することにより次式を得る。

$$C = \sum_{j=1}^N P(K_j) \cdot g_j \quad (17)$$

ここで、 $P(j)$ は、橋梁を鋼種 j のみで製作・架設する場合の単位鋼重当りの原価で、次式で計算される。

$$P(j) = 1.46 \{ \alpha(j) + 2.34 \cdot \eta(W) \cdot C_0 \cdot \beta(j) \} + 10 \cdot \lambda (L+100) + Y(W) + 571 \quad (18)$$

文献⁹⁾等を参考にすると、主構1面の重量の橋体総重量に占める割合が30~40%であることを考慮して、式(18)の W は、主構1面の重量を3倍した値を用いることにする。

3. 理論の概要 式(17)、(18)により、最適設計法へ応用できる形で、鋼橋原価を目的関数とすることのできたので、次に理論の概要を説明する。設計変数は、さへばさにも述べた通り、部材断面積と部材鋼種である。部材鋼種としては、SM41、SM50、SM53およびSM58の4種類考慮しているが、本来離散型の変数を連続量として扱うので、計算の過程で多少複雑な微分演算および計算手法が必要となる。

部材の断面形状は、計算の簡率化のために正方形箱形断面としている。より実際の断面に適用する場合はその断面のサブオプティミゼーションの結果を、以下に説明する3-1の結果と差し換えればよい。

3-1 サブオプティミゼーション；鋼トラス橋の最小重量設計の場合、決定されるべき変数は各断面寸法となる。しかし、それでは設計変数の数が多くなり、計算の困難となるので、断面の最適化をまず行い、部材断面積で設計変数を代表させる必要がある。その過程をサブオプティミゼーションという。図-2の軸力を受ける正方形箱形断面の場合、サブオプティミゼーションの結果は次のようになる⁵⁾。

$$i) \quad 2.56 \leq A \leq 2.56(R_0 + 1)$$

$$x_1 = 0.3125A + 0.8, \quad x_2 = 0.3125A - 0.8 \quad (19)$$

$$r = \sqrt{\{(0.3125A)^2 + 0.64\} / 6} \quad (20)$$

$$ii) \quad 2.56(R_0 + 1) < A$$

$$x_1 = \frac{R_0 + 2}{2\sqrt{R_0 + 1}} \cdot \sqrt{A}, \quad x_2 = \frac{R_0}{2\sqrt{R_0 + 1}} \cdot \sqrt{A} \quad (21)$$

$$r = \sqrt{\frac{R_0^2 + 2R_0 + 2}{24(R_0 + 1)}} \cdot \sqrt{A} \quad (22)$$

ここで、 A ：部材断面積(cm^2)、 r ：断面2次半径(cm)、 R_0 ：各鋼種ごとに表-3で与えられる。

許容圧縮応力度と部材断面積の関係は、式(20)あるいは式(22)を鋼

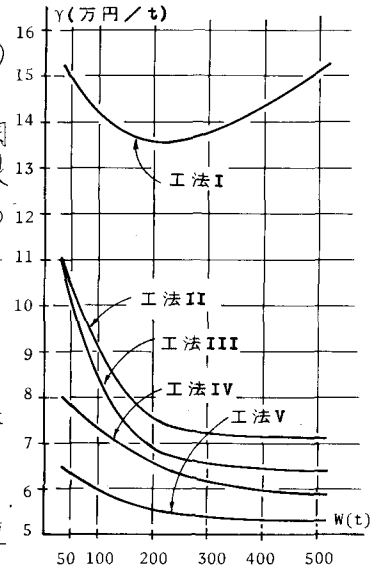


図-1 単位重量当りの架設工事費

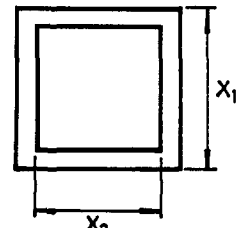


図-2 正方形箱形断面

鋼種	SM41	SM50	SM53	SM58
k_0	40	34	32	28

表-3 k_0 の値

道路橋示方書の許容圧縮応力度の式に代入することにより得ることかできる。

3-2 設計変数；部材断面積に関する設計変数 A_i ($i=1 \sim N$) は、特に説明を必要としないが、鋼種に関する設計変数は、本来離散型の変数であるので取り扱いが難しい。本論文では、設計変数としての鋼種を以下のように考えた。

鋼種は、SM41, SM50, SM53 および SM58 の 4 種類とし、それらをそれぞれ 1, 2, 3 および 4 と数量化する。例えば、 i 部材の鋼種が SM50 であれば、 $K_i = 2$ とする。計算過程では K_i は連続量と考えるから、ある計算の結果、 K_i が小数点以下の値を有する実数となることもある。その場合は、その実数を四捨五入して整数化し次の過程に進むことになる。

以上の説明より、 K_i の取り得る値の範囲は次のようになる。

$$1.0 \leq K_i \leq 4.0 \quad ; \quad i = 1 \sim N \quad (23)$$

3-3 SLP 法；式 (17) の g_i は i 部材の重量であることを考慮して、本論文の最適設計問題を定義すると以下のようになる。

$$\left. \begin{aligned} F_{ik} &\leq F_{tai} \quad (F_{ik} \geq 0) \\ F_{ik} &\geq F_{cai} \quad (F_{ik} < 0) \\ X_{mk} / X_m^* &\leq 1 \end{aligned} \right\} ; \quad i = 1 \sim N \quad (24)$$

$$X_{mk} / X_m^* \leq 1 \quad (25)$$

$$A_i \geq A_i^* \quad ; \quad i = 1 \sim N \quad (26)$$

の制約条件のもとで、

$$\bar{C} = \frac{C}{g \cdot P(1)} = \sum_{i=1}^N l_i \cdot \bar{P}(K_i) \cdot A_i \quad (27)$$

を最小にする A_i, K_i ($i = 1 \sim N$) の決定。

ここで、 F_{ik} ：荷重条件 k による i 部材の軸力、 F_{tai} ： i 部材の許容軸方向引張力、 F_{cai} ： i 部材の許容軸方向圧縮力、 M ：荷重条件数、 m ：変位を制限している自由度の番号、 X_{mk} ：荷重条件 k による自由度 m の変位、 X_m^* ：自由度 m の許容変位、 A_i^* ：細長比の上限から計算される i 部材の断面積の下限値、 g ：鋼材の単位体積重量、 $\bar{P}(j)$ ：鋼種 j の価格係数 ($= P(j) / P(1)$)、 l_i ： i 部材の部材長。

この問題は、高次の非線形となるので、これを解くには非線形計画法あるいは最適規準法等の手法が必要である。非線形計画法としては、DFP による SUMT あるいは SLP 法が有効であるが、本論文では SLP 法を用いることにする。

変数 A と K の関数である一般的な関数 f を、任意の点 $A^{(1)}$ 、 $K^{(1)}$ の近傍でテイラー展開し、2 次以降の項を無視すると、 f は次式で近似される。

$$f(A, K) \approx f(A^{(1)}, K^{(1)}) + \sum_{j=1}^N (A_j \frac{\partial f}{\partial A_j})^{(1)} U_j + \sum_{j=1}^N (K_j \frac{\partial f}{\partial K_j})^{(1)} K_j - \sum_{j=1}^N (A_j \frac{\partial f}{\partial A_j} + K_j \frac{\partial f}{\partial K_j})^{(1)} \quad (28)$$

ここで、

$$U_j = (A_j^{(1)} + \Delta A_j) / A_j^{(1)} \quad ; \quad j = 1 \sim N \quad (29)$$

式 (28)、(29) を参考にすると、式 (24) ~ (27) で定義される最適問題は、以下のように線形問題に変換される。

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^N (A_j \frac{\partial F_{ik}}{\partial A_j})^{(1)} U_j - (A_i \frac{\partial F_{tai}}{\partial A_i})^{(1)} U_i + \sum_{j=1}^N (K_j \frac{\partial F_{ik}}{\partial K_j})^{(1)} K_j - (\frac{\partial F_{tai}}{\partial K_i})^{(1)} K_i &\leq \\ F_{tai}^{(1)} - F_{ik}^{(1)} + \sum_{j=1}^N (A_j \frac{\partial F_{ik}}{\partial A_j})^{(1)} + K_j \frac{\partial F_{ik}}{\partial K_j})^{(1)} - (A_i \frac{\partial F_{tai}}{\partial A_i})^{(1)} - (K_i \frac{\partial F_{tai}}{\partial K_i})^{(1)} &\quad (F_{ik} \geq 0) \\ \sum_{j=1}^N (A_j \frac{\partial F_{ik}}{\partial A_j})^{(1)} U_j - (A_i \frac{\partial F_{cai}}{\partial A_i})^{(1)} U_i + \sum_{j=1}^N (K_j \frac{\partial F_{ik}}{\partial K_j})^{(1)} K_j - (\frac{\partial F_{cai}}{\partial K_i})^{(1)} K_i &\leq \\ F_{cai}^{(1)} - F_{ik}^{(1)} + \sum_{j=1}^N (A_j \frac{\partial F_{ik}}{\partial A_j})^{(1)} + K_j \frac{\partial F_{ik}}{\partial K_j})^{(1)} - (A_i \frac{\partial F_{cai}}{\partial A_i})^{(1)} - (K_i \frac{\partial F_{cai}}{\partial K_i})^{(1)} &\quad (F_{ik} < 0) \end{aligned} \right\} ; \quad i = 1 \sim N, k = 1 \sim M \quad (30)$$

$$\sum_{j=1}^N (-\frac{A_j}{X_m^*} \frac{\partial X_{mk}}{\partial A_j})^{(1)} U_j + \sum_{j=1}^N (\frac{1}{X_m^*} \frac{\partial X_{mk}}{\partial K_j})^{(1)} K_j \leq 1 - \frac{X_{mk}^{(1)}}{X_m^*} + \sum_{j=1}^N (\frac{A_j}{X_m^*} \frac{\partial X_{mk}}{\partial A_j} + K_j \frac{\partial X_{mk}}{\partial K_j})^{(1)} \quad (31)$$

$$U_i \geq A_i^* / A_i^{(1)} \quad ; \quad i = 1 \sim N \quad (32)$$

の制約条件のもとで、

$$M = \sum_{j=1}^N (A_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial A_j})^{(n)} \cdot U_j + \sum_{j=1}^N (\frac{\partial \bar{C}}{\partial K_j})^{(n)} \cdot K_j \quad (33)$$

を最小にする U_j, K_j ($j=1 \sim N$) の決定。

実際の計算においては、式(30)～(32)の制約条件に、さらに式(34)の加わり、 A_i, K_i に関する収束計算となる。

鋼種	K_i^*	K_i^{**}
SM41	1.0	2.0
SM50	1.0	3.0
SM53	2.0	4.0
SM58	3.0	4.0

$$1 - \xi \leq U_j \leq 1 + \xi$$

(34) 表-4 鋼種に関する

$$K_i^* \leq K_i \leq K_i^{**}$$

(35) ムーブリミット

ここで、 ξ は断面積に関するムーブリミットで、本論文では、収束状況に応じて、 $0 < \xi \leq 0.2$ の適当な値を与えている。 K_i^*, K_i^{**} は、鋼種に関するムーブリミットで、計算の初期には、 $K_i^{(n)}$ に応じて表-4のように与える。収束状況に応じて、鋼種は固定される。

次に、式(30)～(32)中の微分を説明する。

まず、次の式は、マトリクス構造解析理論より得られる。

$$\frac{\partial X}{\partial A_i} = -K^{-1} \cdot D \cdot \frac{\partial S}{\partial A_i} \cdot D^T \cdot X \quad (36)$$

$$\frac{\partial F}{\partial A_i} = S \cdot D \cdot \frac{\partial X}{\partial A_i} + \frac{\partial S}{\partial A_i} \cdot D^T \cdot X \quad (37)$$

ここで、 D : 外力と内力を結びつけるマトリクス、 X : 変位のマトリクス、 S : 内力と変形を結びつけるマトリクス、 K : 剛性マトリクス($= D S D^T$)、 F : 内力のマトリクス。

許容軸力の断面積に関する微分は、次のようになる。

$$\frac{\partial F_{tai}}{\partial A_i} = \frac{\partial}{\partial A_i} (U_{tai} \cdot A_i) = U_{tai} \quad (38)$$

$$\frac{\partial F_{cai}}{\partial A_i} = \frac{\partial}{\partial A_i} (U_{cai} \cdot A_i) = U_{cai} + A_i \frac{\partial U_{cai}}{\partial A_i} \quad (39)$$

式(39)の右辺第2項は、前述のサフオフテュミゼーションの結果を利用して計算される。

目的関数 $\bar{C}$ の断面積に関する微分は、次のようになる。

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial A_j} = U_j \cdot A_j \cdot \frac{\partial \bar{P}(K_j)}{\partial A_j} + U_j \cdot \bar{P}(K_j) \quad (40)$$

ここで、 $\bar{P}(j)$ は橋体重量 W の関数であるが、本論文では、繰返し計算の過程で、前回の結果の橋体総重量 $W^{(n)}$ を代入し、 $\bar{P}(j)$ を定数として扱っているため、式(40)の右辺第1項は無視され、次のように簡単になる。

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial A_j} = U_j \cdot \bar{P}(K_j) \quad (40')$$

最後に、鋼種に関する微分は、次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial F_{tai}}{\partial K_j} &= \frac{\partial F_{tai}}{\partial A_j} \cdot \frac{\partial A_j}{\partial K_j} \\ \frac{\partial F_{tai}}{\partial K_i} &= \frac{\partial F_{tai}}{\partial K_i} \cdot A_i + U_{tai} \cdot \frac{\partial A_i}{\partial K_i} \\ \frac{\partial F_{cai}}{\partial K_i} &= \frac{\partial F_{cai}}{\partial K_i} \cdot A_i + U_{cai} \cdot \frac{\partial A_i}{\partial K_i} \\ \frac{\partial X_{ma}}{\partial K_j} &= \frac{\partial X_{ma}}{\partial A_j} \cdot \frac{\partial A_j}{\partial K_j} \\ \frac{\partial \bar{C}}{\partial K_j} &= U_j \cdot \frac{\partial \bar{P}(K_j)}{\partial K_j} \cdot A_j + U_j \cdot \bar{P}(K_j) \cdot \frac{\partial A_j}{\partial K_j} \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

結局、求めるべき値は、 $\frac{\partial A_i}{\partial K_i}$, $\frac{\partial U_{tai}}{\partial K_i}$, $\frac{\partial U_{cai}}{\partial K_i}$ および $\frac{\partial \bar{P}(K_i)}{\partial K_i}$ の4つである。本来離散型変数下にある鋼種を数量化したものか K_i であることを考慮すると、これらの微分は、一般的に次式で計算される。

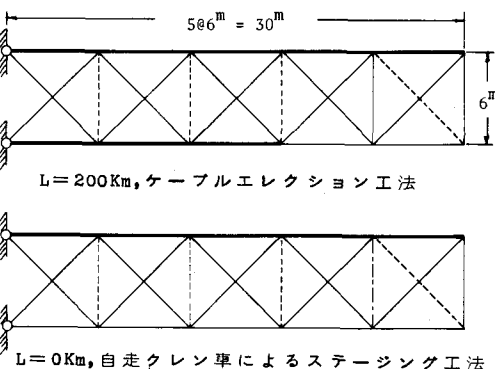
$$\left. \begin{aligned} \text{鋼種が SM41 である時;} \quad \frac{\partial g_i}{\partial K_i} &= \frac{\Delta g_i}{\Delta K_i} = g_i^+ - g_i^{(n)} \\ \text{鋼種が SM50 あるいは SM53 である時;} \quad \frac{\partial g_i}{\partial K_i} &= \frac{\Delta g_i}{\Delta K_i} = \frac{1}{2} (g_i^+ - g_i^-) \\ \text{鋼種が SM58 である時;} \quad \frac{\partial g_i}{\partial K_i} &= \frac{\Delta g_i}{\Delta K_i} = g_i^{(n)} - g_i^- \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

ここで、 g_i は求めるべき値に応じて、 A_i, U_{tai}, U_{cai} あるいは $\bar{P}(K_i)$ を意味する。また、 $g_i^{(n)}$ は、 $A^{(n)}, K^{(n)}$ に対応する g_i の値、 g_i^+ は i 部材の鋼種を $K_i + 1$ にした場合の g_i の値、 g_i^- は i 部材の鋼種を $K_i - 1$ にした場合の g_i の値である。

最後に、鋼種に関する座標の逆転について説明する。式(33)において、 U_j ($j=1 \sim N$) の係数は、式(40)

より必ず正となるが、 K_j ($j=1 \sim N$) の係数は負となる場合がある。式(30)～(33)で定義されるLP問題は、シンプレックス表および計算時間を短縮するために、双対問題を解くことになるが、最小値問題の目的関数に負の係数を含むと、その双対問題である最大値問題では、制約条件式の右辺に負の値をもつことになる。そのような問題の解法は、技巧変数の導入と初期の解の設定が困難である等の問題を含み複雑となる。そこで本論文では、目的関数の係数を負には、各部材の鋼種の座標を逆転し、この問題を解決した。つまり、式(33)において、 $(-\frac{8}{3}E)$ の負と16の場合、 j 部材の鋼種の設計変数 K_j は、SM41が4、SM50が3、SM53が2およびSM58が1となる。それに応じて、式(41)に定義される微分の符号も逆転する。

4. 計算例 計算例として、右図のカンティレバートラスの最適設計を、本論文の方法で行った。荷重条件は、上弦材の格点上で移動する100tの集中荷重と死荷重を考慮した。設計の条件としては、輸送距離、架設工法の着しく異なる次の2例を与えた。(a)輸送距離200kmでケーブルエレクション工法、(b)輸送距離0kmで自走クレン車によるステージング工法である。前述の数式あるいは図より、(a)の結果は、(b)の結果より重量の軽い構造を選択することと予想される。入は3.5とした。



計算の結果、主構1面の総重量および総価格は、(a)11.44t, 750万円、(b)11.820t, 636万円であった。また、各部材の鋼種を選択状況を図-3に、最終的な価格係数を表-5に示した。許容応力度の高い鋼種の価格係数が、(b)よりも(a)の方が低く、(a)の方が許容応力度の高い鋼種を選択しやすいとなっている。その結果鋼種を選択状況とみると、(a)の方が、4本の部材(下弦材3本、垂直材1本)で、(b)よりも許容応力度の1段階高い鋼種を選択している。輸送費および架設工事費の鋼種に依存しなく、重量のみの関数であることを考慮すると、これらの結果は、設計の条件と良く反映していると思われる。

図-3 輸送距離および工法による鋼種を選択
——; SM58, ———; SM53, - - -; SM50, ----; SM41

	SM41	SM50	SM53	SM58
(a)	1.000	1.041	1.054	1.215
(b)	1.000	1.049	1.064	1.256

表-5 価格係数

5. あとがき 鋼橋原価を目的関数とし、鋼種を設計変数を含む鋼トラス橋の最適設計理論および計算例について説明した。目的関数は、鋼材費、工場製作費のみでなく、輸送費、架設費まで含んでいるが、鋼種に依存しないこの2つの項目は、鋼種選択に影響を与えることと計算例で示された。本論文の問題にSLP法を応用するに当り、鋼種に関する微分および目的関数内の負符号等の問題を解決し、比較的良好な結果を得た。今後、まえで触れた諸問題を解決し、本論文の方法に組み入れることにより、より実際的な鋼トラス橋の最適設計法ができるとと思われる。本論文の研究に当り、室蘭工大51年卒業生高橋寿和君、高橋深君、52年卒業生木村運彦君の協力を得たことを付記し謝意を表する。本論文の計算は、北大大型計算機センターのFacom 230-75を使用した。

6. 参考文献 1) 奥村敏恵, 大久保植二: Suboptimizationによる鋼橋設計の最適設計, 土木学会論文報告集, No215, 1973, 7. 2) 大久保植二, 奥村敏恵: 四式解法による鋼工橋の最適設計, 土木学会論文報告集, No252, 1976, 8. 3) 大久保植二, 箱木道: 最適規準法の一拡張, 土木学会第33回全国大会概要集, 1978, 9. 4) 小西保則: Suboptimizationによる合成工型ばりの最適設計について, 土木学会第33回全国大会概要集, 1978, 9. 5) 初本博之: トラス構造の实用的最適設計に関する研究, 土木学会論文報告集, No208, 1972, 12. 6) 古田均, 白石成人, 入江新吾: 形状を考慮した橋トラスの最適設計, 土木学会第33回全国大会概要集, 1978, 9. 7) 日本橋梁建設協会: 鋼道路橋積算参考資料 昭和57年度. 8) 日本橋梁建設協会, 鉄骨橋梁協会共編: 鋼道路橋原価計算表 昭和46年度. 9) 日本橋梁建設協会: JASBC manual 7 サインダータブ77, 1977.