

長崎大学工学部 正員 小西保則
長崎大学工学部 学生員 新井伸博

1. 緒言 構造物の最適設計法に関して、ここ数年来、大規模でかつ複雑な構造物の最適設計問題と能率的に解くための研究が重要なテーマの一つとなっている。この問題において断面の Suboptimization および SLP 法により最適な材料選択をも含む鋼工形桁の最適設計が、比較的容易に行なえることが示されている。しかし、この方法において、設計変数・制約条件式共にその数が増加するにせよ、最適解を求めるために必要とする計算時間が増大する。本研究では、最適設計手法に SUMT 法 (sequence of unconstrained minimization technique, 無制約最小化反復法) と SLP 法 (sequence of linear programming method, 反復線形計画法) を用い、それとを比較、検討することによって解の収束性を確かめ、全応力設計で最適になることを示した。設計例として、断面変化する箇所 4 箇所を有する鋼工形桁 2 径間連続橋について最適設計を行なった。また、本研究で述べる手法によれば、トラスなどの複雑な構造物にも適用できる。

2. 最適設計手法の概要 本研究に用いた最適設計法の概要を簡単にまとめてみると次のとおりである。最適化手法として、SLP 法、Suboptimization による SUMT 法を用いた。SLP 法は、制約条件式および目的関数がある近傍で線形近似した L.P. 法 (linear programming method, 線形計画法) を繰返し適用することによって制約領域の端点を順次探して行き、そのときの目的関数の値を比較して最適解を定めるものである。この方法は、最適解への収束が良好であり、全応力設計で最適となるが move limit を設ける必要があり制約条件式が増加する。また、複雑な構造物であると微分演算が困難になる難点がある。SUMT 法は、制約のない場合の最適化の手法として Davidon-Fletcher-Powell の提案した手法を用いた。これは、変数の多い場合は不利とされているが、Suboptimization を行なえば変数を減らすことができる。Suboptimization の手法としては、変数のある一つの断面要素のみの変数と構造物の全体に共通な変数に分ける。主変数として、 $x=h(x)$ と表わし、これを用いて構造物全体の制約条件式および目的関数を主変数の関数として SUMT 法により最適解を求めるものである。この方法は、move limit を設ける必要がなく、微分演算は探索方向を求めるためのもので、数値微分でもあまり問題はない。しかし、SLP 法に比べて、収束までの繰返し回数および時間がかなり、不確定の場合、その解が全応力設計より少しあまることが知られている。

3. 連続工形桁の全応力設計による最適設計例 本研究では桁高が橋長すべにわたって一定である道路橋 2 径間連続工形桁について、その設計変数として桁を構成する各桁要素の断面寸法、断面変化位置を考慮している。使用鋼種は 41 キロ鋼とし、許容応力は $\sigma_a = 1400 \text{ kg/cm}^2$ であるが、上フランジプレートについては負の曲げモーメントの生じるところで座屈許容応力を考慮した。

ただし、上下フランジプレートは同一断面とした。設計変数はフランジプレート板厚・板幅とウェブプレート板厚・高さをそれぞれ T_w, B_w とし、断面変化には箇所として、桁端より断面変化点までの距離を Cl_1, Cl_2, Cl_3 の 11 個とする。変数の記号は Fig. 1 に示すとおりである。ただし、1 スパン 30 m である。対象とした桁は主本桁の内側桁とし、連続桁として荷重分配を考えた。主桁に作用する曲げモーメントは、等断面と近似して放物線分布するものとし、せん断力は影響がないので省略した。SUMT 法による Suboptimization の場合、変数の内スに属するものは $T_w, B_1, T_1, B_2, T_2, B_3, T_3$ とし、外に属するものは B_w, Cl_1, Cl_2, Cl_3

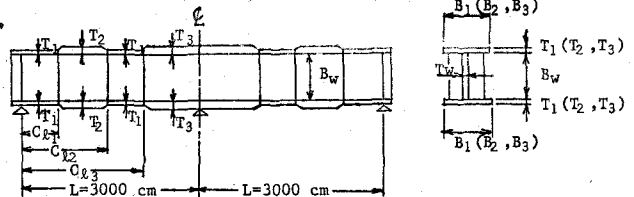


Fig. 1 Notations for girder

の距離を Cl_1, Cl_2, Cl_3 の 11 個とする。変数の記号は Fig. 1 に示すとおりである。ただし、1 スパン 30 m である。対象とした桁は主本桁の内側桁とし、連続桁として荷重分配を考えた。主桁に作用する曲げモーメントは、等断面と近似して放物線分布するものとし、せん断力は影響がないので省略した。SUMT 法による Suboptimization の場合、変数の内スに属するものは $T_w, B_1, T_1, B_2, T_2, B_3, T_3$ とし、外に属するものは B_w, Cl_1, Cl_2, Cl_3

とする。これにより、設計変数を4に属する $B_W, C_{L1}, C_{L2}, C_{L3}$ の4個とし、応力制限、たわみ制限、座屈防止のための板幅に対する板厚の制限、変数の上下限の制限などの制約条件を考慮した。目的関数は桁の体積だけを考慮した。SLP法による場合は、設計変数として、 $B_W, T_W, B_1, T_1, B_2, T_2, B_3, T_3, C_{L1}, C_{L2}, C_{L3}$ の11個を考慮、制約条件式および目的関数は Suboptimization と同様であるが、変数に関して、move limit を設け、また、各々の制約条件式および目的関数をそれぞれの変数に関して Taylor 展開し、その微係数を求め線形化し SLP 法を適用した。

4. 最適設計結果と考察 2. で述べた手法により、支間30m、幅員7mの2径間連続桁の最適設計を行ない、その結果の比較表を Table 1, Table 2 に示した。表から明らかのように、桁高および断面変換点の初期値を変え、それぞれの最適設計を行なったものである。結果の考察として1)最小体積の値ZはSLP法で $Z = 1.3072 \times 10^6 \text{ cm}^3$ 、Suboptimization で $Z = 1.2943 \times 10^6 \text{ cm}^3$ であり、Suboptimization の方が0.6%小さくなっている。これは表中の応力の収束状況をみるとSLP法ではほぼ全応力になっているが、Suboptimization では10%程度余裕のある設計になっているためであると思われる。2)各変数の収束状況は、SLP法では初期値の1/10にほぼ一値に収束しているが、Suboptimization では離散的に収束している。これは、Table 2 から桁高はほぼ一値に収束しているのに対して、断面変換点の値が不規則に変化しているため、これにより断面が決定されてしまうからである。なお、各断面の断面積は、ほぼ等しい値になっている。

5. 結論 本手法によれば、SLP法は初期値が異なると、確実に全域的な最適解が得られれば全応力設計になっている。

Table 1 Comparison of optimum values by SLP method

Suboptimizationは	L (cm)	α^0	C_{L1}^0/L	C_{L2}^0/L	C_{L3}^0/L	B_W (cm)	C_{L1} (cm)	C_{L2} (cm)	C_{L3} (cm)	T_W (cm)	B_1 (cm)	T_1 (cm)	B_2 (cm)	T_2 (cm)
初期値が異なる場合、大局的には1つの凹変化をしてい	3000	15	0.167	0.650	0.879	180.0	522.2	1926.7	2561.6	1.184	35.26	2.034	45.89	2.668
るが、局所的には複雑な変化を示してあり、そのため全	3000	15	0.200	0.615	0.900	180.8	517.7	1931.1	2560.8	1.190	35.14	2.000	45.70	2.659
応力設計になるとは限らない。しかし、	3000	18	0.167	0.650	0.879	179.8	527.6	1920.7	2568.5	1.183	36.38	1.995	45.53	2.694
一定値に収束していることから、設計変	3000	18	0.200	0.615	0.900	179.2	523.1	1925.6	2560.8	1.179	35.78	2.028	46.87	2.634
数が異なると、その組み合わせを適当に選														
択することにより、	B_3 (cm)	T_3 (cm)	$Z \times 10^6$ (cm^3)	$\alpha = L/B_W$	C_{L1}/L	C_{L2}/L	C_{L3}/L	$\sigma_a - \sigma_1$ (kg/cm^2)	$\sigma_a - \sigma_2$ (kg/cm^2)	$\sigma_a - \sigma_3$ (kg/cm^2)				
全域的な最適解が得られることにな	52.35	3.448	1.3074	16.7	0.174	0.624	0.854	0.2	0.6	1.6				
る。また、変数が11個程度であれば	51.92	3.450	1.3076	16.6	0.173	0.644	0.854	1.3	0.9	3.5				
どちらの場合も、	51.76	3.504	1.3072	16.7	0.176	0.640	0.856	0.1	0.1	0.5				
十分実用的な最適設計法であると	53.44	3.399	1.3077	16.7	0.174	0.642	0.854	0.2	0.3	2.7				
結論することができ														

Table 2 Comparison of optimum values by Suboptimization

全域的な最適解が 得られることにな る。また、変数が 11個程度であれば どちらの場合も、 十分実用的な最適設計法であると 結論することができる。	L (cm)	α^0	C_{L1}/L	C_{L2}/L	C_{L3}/L	B_W (cm)	C_{L1} (cm)	C_{L2} (cm)	C_{L3} (cm)	T_W (cm)	B_1 (cm)	T_1 (cm)	B_2 (cm)	T_2 (cm)
	3000	15	0.167	0.650	0.879	173.9	693.9	1944.2	2587.6	1.078	46.98	1.807	61.51	2.366
	3000	15	0.200	0.615	0.900	179.4	667.9	1605.0	2616.0	1.312	40.65	1.563	51.00	1.962
	3000	18	0.167	0.650	0.879	178.2	505.9	1905.7	2364.1	1.107	33.66	1.295	60.22	2.316
	3000	18	0.200	0.615	0.900	175.2	605.9	1804.9	2473.9	1.021	42.81	1.630	64.18	2.444
参考文献	B_3 (cm)	T_3 (cm)	$F \times 10^6$ (cm^3)	$Z \times 10^6$ (cm^3)	$\alpha = L/B_W$	C_{L1}/L	C_{L2}/L	C_{L3}/L	$\sigma_a - \sigma_1$ (kg/cm^2)	$\sigma_a - \sigma_2$ (kg/cm^2)	$\sigma_a - \sigma_3$ (kg/cm^2)			
	71.70	2.758	1.2943	1.2943	17.3	0.231	0.648	0.863	0.1	13.8	4.2			
	61.96	2.383	1.2996	1.2996	16.7	0.223	0.535	0.872	2.9	11.1	7.9			
	70.31	2.704	1.2951	1.2951	16.8	0.169	0.635	0.788	3.0	13.9	4.2			
	74.57	2.868	1.2944	1.2944	17.1	0.202	0.602	0.825	12.2	14.5	12.8			

参考文献

- 1) 長尚著：構造物の最適設計，朝倉書店，PP11～PP41，PP61～PP67。
- 2) D.J. コリック，M.R. オスボーン共著，山本善之，小山健夫共訳：非線形最適化問題，培風館，PP11～PP19，PP53～PP57，1973。
- 3) 奥村敏恵，大久保慎二：Suboptimizationによる鋼連続桁の最適設計，土木学会論文報告集，第215号，PP1～PP14，1973年7月。