

長崎大学工学部 正 員 小西保則
長崎大学工学部 学生員 山崎尊義

1. まえがき 構造物が長大化し、構造が複雑になると変数・制約条件式共にその数は多くなる。そこで、Suboptimization によるなどして、変数・制約条件式を減ずる必要が生じてくる。本研究では、各部材断面については反復線形計画法 (SLP 法) によって、最適設計を行ない全体にわたって共通の変数については全体の最適設計を行なったが、それと各部材断面については Fully Stressed Design によって断面を決定した昨年の研究とを比較した。設計例として、2 断面の道路橋 I 形断面について最適設計を行なった。全体の最適設計の手法としては Davidson-Fletcher-Powell による SUMT 法を用いた。

2. 最適設計手法 構造物の最適設計には SLP 法、SUMT 法などが用いられる。SUMT 法においては Davidson-Fletcher-Powell の手法を用いたが、これは変数の多い場合は不利とされているので、Suboptimization によって変数を減ずることができ、Suboptimization の方法としては、変数がある 1 つの断面要素のみの変数 x と構造物全体に共通な変数 y に分ける。先ず一定 y の値に対しての x について、SLP 法により最適設計を行ない、全体に関係した変数 y の関数として表し、制約条件式・目的関数を y のみの関数とし、1 つの断面要素について最適設計を行なう。次に y のみの関数である目的関数と y の上限、下限値に関する制約条件式を用いて、SUMT 法により全体の最適設計を行ない最適値を求めた。

3. I 形けたの Suboptimization による最適設計例について

(1) 設計条件及び最適設計 設計条件、設計変数は昨年と全く同様な道路橋 I 形けたについて述べる。使用鋼種は 41 キロ鋼とし、上下フランジプレートは床版で支持されているので、上下フランジプレート共許容応力は 1400 kg/cm^2 とし、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および幅 T_1, T_2, B_1, B_2 , ウェブプレート板厚および高さ T_w, B_w , 断面変化は 2 とし断面変化までの距離 C_e の 7 つとした。

設計条件は次のとおりである。(a) 橋種および荷重：一等橋 (TL-20) (b) 形式：単純 I 形けた (c) 支間：2000^{cm}, 2500^{cm}, 3000^{cm}, 3500^{cm}, 4000^{cm}, の 5 種 (d) 幅員：700^{cm} (歩道なし) (e) 床版：鉄筋コンクリート 23^{cm} 厚 (f) 舗装：アスファルト 5^{cm} 厚 (g) 適用示方書：道路橋示方書³⁾

設計変数のうち x に属するものは T_w, B_1, T_1, B_2, T_2 , とする。サフィックスの 1 は桁中央断面、2 は桁端附近の断面の変数を示す。 y に属するものは B_w, C_e とする。 B_w, C_e の上限値を $PU(1), PU(2)$, 下限値を $PL(1), PL(2)$, とし、無次元化して $y_1 = B_w/PU(1)$, $y_2 = C_e/PU(2)$ とした。

x に当る変数の決定として、 B_w, C_e を仮定して SLP 法によって最適設計を行ない、 B_w, C_e の関数として表した断面要素の最適値 T_w, B_1, T_1, B_2, T_2 を求めた。曲げモーメントは支間中央の値を求め、任意の断面変化位置については放物線分布をすると仮定した。主けたは 3 本主けたとし、外けたについて単純けたとして計算した。変数 x に関して、SLP 法を用いた断面要素的最適設計においての制約条件式は、応力の制限、たわみの制限、 x に関する断面寸法の上下限制限とし、目的関数は、けたの Volume とした。

そこで変数は B_w, C_e の 2 個となり、上述の SLP 法を用いたときの制約条件式、目的関数は B_w, C_e の関数として示すこととなる。

以上により B_w, C_e を変数とし、 B_w, C_e の上下限値の制限を制約条件式として、けたの Volume を目的関数として、SUMT 法 (Davidson-Fletcher-Powell-Method) により全体の最適設計を行なって最適値を求めた。

(2) 最適設計結果の考察 μ (= 支間/けた高) を 13.0, 15.0, 17.0 と変えて計算し、同じ最適値になるかどうか調査した結果ほとんど変らなかった。その結果、求めた最適値は全体的最適値と思われる。

最適設計の結果、 $\nu=15$, $C_L/l=0.1667$ の場合の 2000^{mm} , 2500^{mm} , 3000^{mm} , 3500^{mm} , 4000^{mm} の支間について、また支間 3000^{mm} において $\nu=13, 17$ で $C_L/l=0.1667$, $\nu=15$ で $C_L/l=0.2$ と初期値を変えた場合と、昨年の Fully Stressed Design を用いた場合との最適値の比較を表-1に示す。また支間 3000^{mm} , $\nu=15$, $C_L/l=0.1667$ の場合、 R_k (罰金関数の罰金項の係数) を $1.0, 0.02$ と小さくした場合の回数 $K=2$ で、 $R_k=0.02$ の時くり返し2回の探索で収束したが、変数、罰金関数、目的関数の値の収束状況を表-2に示す。又 R_k を $50.0, 1.0, 0.02$ と小さくした場合にも5回のくり返しで同じ値に収束した。

表-1 最適値の比較表

l [cm]	α^*	C_L^*/l	B_w [cm]	C_L [cm]	T_w [cm]	B_1 [cm]	T_1 [cm]	B_2 [cm]	T_2 [cm]	$F \times 10^6$ [cm ³]	$Z \times 10^6$ [cm ³]	$\alpha = F/B_w$	$C_F/\%$
2000	15	0.1667	150.5	333.1	0.990	49.03	1.886	32.40	1.246	0.59840	0.59840	13.3	0.1665
			151.5	329.8	0.996	48.60	1.869	31.84	1.225	0.59684	0.59684	13.2	0.1649
2500	15	0.1667	172.0	416.3	1.131	56.03	2.155	37.02	1.424	0.97669	0.97669	14.5	0.1665
			172.7	412.5	1.136	55.57	2.137	36.47	1.403	0.97269	0.97269	14.5	0.1650
3000	15	0.1667	192.0	499.6	1.263	62.56	2.406	41.34	1.590	1.46128	1.46128	15.6	0.1665
			192.6	500.9	1.267	62.05	2.387	41.05	1.579	1.45392	1.45392	15.6	0.1670
3500	15	0.1667	211.3	582.9	1.390	68.85	2.648	45.49	1.750	2.06484	2.06484	16.6	0.1665
			211.8	575.8	1.394	68.27	2.626	44.73	1.720	2.05227	2.05227	16.5	0.1645
4000	15	0.1667	230.1	666.2	1.514	74.96	2.883	49.53	1.905	2.79748	2.79748	17.4	0.1665
			230.6	673.2	1.517	74.26	2.856	49.37	1.899	2.77741	2.77741	17.3	0.1683
3000	13	0.1667	192.0	499.6	1.263	62.56	2.406	41.34	1.590	1.46128	1.46128	15.6	0.1665
			192.6	499.9	1.267	62.06	2.387	41.01	1.577	1.45391	1.45391	15.6	0.1666
3000	17	0.1667	192.0	499.6	1.263	62.56	2.406	41.33	1.590	1.46128	1.46128	15.6	0.1665
			192.7	507.9	1.268	62.04	2.386	41.40	1.592	1.45399	1.45399	15.6	0.1693
3000	15	0.2000	192.0	499.6	1.263	62.56	2.406	41.33	1.590	1.46128	1.46128	15.6	0.1665
			193.6	493.7	1.274	61.77	2.376	40.35	1.552	1.45394	1.45394	15.5	0.1646

(1) α^* , C_L^*/l , C_F は最適値を示す。

(2) 上段は本方法で下段は Fully Stressed Design を用いた場合を示す。

(3) 初期値 $\alpha_0 = 1400.0 \text{ kg/cm}^2$ とする。

結果の考察として(a)表-2によると収束状態は良好であり、且つ Fully Stressed Design を用いた場合と同様に、少ないくり返し回数で収束した。(b)また Fully Stressed Design を用いた場合には、中央の断面において許容応力と実応力の差に少し余裕があるのに対して、本方法によるとその差は0に近い。(c) Fully Stressed Design を用いた場合、 C_L/l の初期値の変化に伴って変数の最適値も多少変化し、特に C_L は理論値より数センチメートル離れ、目的関数は多少変化を行なうが、本方法によると初期値の変化にガガわらず、変数、目的関数は少ないくり返し回数でほとんど同一な値に収束した。(d)しかし、以上のような種々の有利な点がありながら本方法の場合の方が目的関数大きいのは、任意の点の曲げモーメントを Fully Stressed Design を用いた場合より多少大きくとったことによる。支間 3000^{mm} に対して昨年と同じモーメントで最適設計を行なった結果、目的関数は 1.45049×10^6 となり本研究の方が精度がよいことを示している。(e)支間と断面寸法の関係は、ほぼ一次関数で表わせることがわかる。(f)今後の問題点として、Stiffener も考慮し、鋼種も変数とし、目的関数には材料費、製作費を含んだコストとする必要がある。

表-2 支間 30m の収束状況の表

K	IS	B_w [cm]	C_L [cm]	T_w [cm]	B_1 [cm]	T_1 [cm]	B_2 [cm]	T_2 [cm]	$F \times 10^6$ [cm ³]	$Z \times 10^6$ [cm ³]	R_k
1	0	201.0	500.1	1.32	59.9	2.31	38.6	1.48	1.464	1.464	1.0
	1	192.0	499.9	1.26	62.6	2.41	41.4	1.59	1.461	1.461	1.0
2	1	192.0	499.6	1.26	62.6	2.41	41.3	1.59	1.461	1.461	0.02
	2	192.0	499.6	1.26	62.6	2.41	41.3	1.59	1.461	1.461	0.02

4. 結論 SLP法は収束性がよいが、制約条件式の交点で最適値となるため、交点以外で最適値が存在する場合には特別な手法を用いる必要があり、制約条件式が多くなる。それに対して、SUMT法では制約条件式の交点以外でも収束するという特徴がある。本研究では、この両手法の利点を生かし Suboptimization の手法を用いて最適設計を行なった結果、収束性もよく、十分実用性があり、Fully Stressed Design を用いた場合よりも目的関数は0.24%程度小さくなり、信頼性も向上した。また前述のごとく C_L/l の初期値が変化しても、最適値はほぼ一定値に収束し、全体的最適値になる。本方法は変数、制約条件式が多い複雑な設計に非常に有利であることがわかった。よって、トラス、連続げたなどの複雑な構造物に同手法を適用しても、最適設計を行なうことが可能である。

参考文献: ①小西保則: I 形桁の全応力最適化設計に関する研究, 昭和52年度土木学会西部支部研究発表会講演集, PP41~42 ②DJ. コワリック, M.R. オスボーン共著, 山本善文, 小山健夫共訳 "非線形最適化問題" 培風館, PP11~19, PP53~57, 1970. ③日本道路協会, "道路橋示方書・同解説", 九巻, 1973.