

長崎大学工学部 正員 小西保則

1. まえがき 断面変化した箇所の合成I形けたについて、目的関数には全工場製作費を考慮した場合の最適設計を行った結果については先に発表¹⁾した。構造物が長大化し構造が複雑になる場合、または断面変化の数が多くなると変数・制約条件式の数は多くなる。そこでSuboptimizationによる方法として、変数・制約条件式数を減らす必要がある。本研究では、各部位断面要素の変数をSuboptimizationによって決定し、全体にわたって共通な変数の関数として表し、その後全体にわたって共通な変数について最適設計を行って最適値を求めた。また本研究で述べる手法によれば、合成I形けただけでなくトラスなどの複雑な構造物にも適用出来る。

2. Suboptimizationによる最適設計手法 Suboptimizationの方法として、変数もある一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 にわけると。まず X について一定の Y に対してSLP法により最適な X を求め、 X を Y の関数として表した。これを $X = h(Y)$ とする。この場合制約条件式・目的関数の微分計算は数値微分を用いたがほとんど差はなかった。次に $X = h(Y)$ を用いて構造物全体の制約条件式・目的関数を Y の関数とし、SUMT法により最適設計を行い最適値を求めた。この方法の流れ図をFig.1に示す。制約条件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²⁾を用いた。流れ図に使用した記号は次の通りである。 λ = (支間) / (けた高), S = 鋼種, λ^0, S^0 は λ, S の初期値。 H = マトリックス, Z = 目的関数の値, C = 制約条件式, F = 罰金関数, $g = F$ の変数 Y による微分係数, λ = 歩み, d = 探索の方向, $g_i = g_{i+1} - g_i$ とする。

3. Suboptimizationによる合成I形けたの最適設計例

本研究の手法による最適設計例としてFig.2に示す断面要素の道路橋合成I形けたについて最適設計を行った。設計変数はFig.2に示すように鋼種 S 、上フランジ板厚 T_u および板幅 B_u 、下フランジ板厚 T_e および板幅 B_e 、ウェブプレート板厚 T_w および高さ B_w 、断面変化位置 C_{e1}, C_{e2} の19個である。サフィックスの1, 2, 3はそれぞれ断面要素の番号である。設計条件は文献¹⁾に示す。ただし支間は30mである。対象としたけは3本主けたの内側けたとし、格子けたとして荷重分配を考えた。主けたに作用する曲げモーメントは放物線分布を考慮したものとし、せん断力は考えなかった。Suboptimizationの場合、設計変数の内 X に属するものは $S, T_u, T_e, T_w, B_u, B_e$ の6個とし、制約条件式は応力制限、たわみ制限、座屈防止のための板幅に対する板厚の制限、鉄筋コンクリート床版に引張が生じないための制限、下フランジプレート幅がウェブプレート高さに対して $1/3 \sim 1/6$ におよびとされているのでその制限、変数の上・下限の制限(これはmove limit

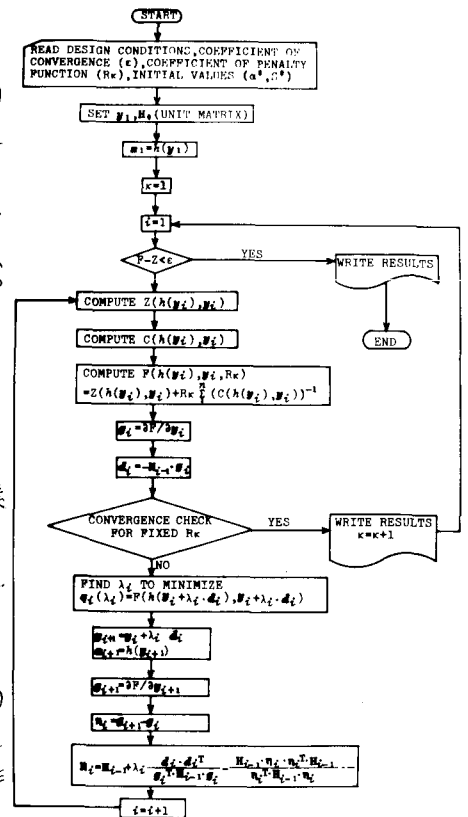


Fig.1 Flow chart of optimum design of girders.

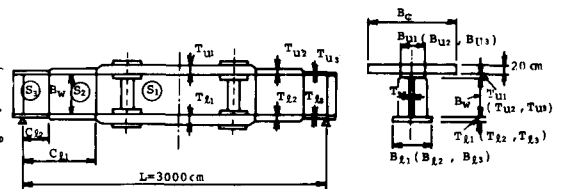


Fig.2 Notations for composite girder

としても用いた)を考えた。目的関数には材料費・工場製作費を考えた。内容は文献1)に示す。構造物全体としての最適設計の場合、設計変数の内 α に属するものは B_w , C_{e1} , C_{e2} の3個とし、制約条件式は応力制限, ねみ制限, ウェブプレートに座屈防止のための高さと板厚の制限, 鉄筋コンクリート床版に引張が生じないための制限, 変数の上・下限の制限を考えた。この場合も目的関数は材料費, 工場製作費と考慮し全断面要素の合計を考えた。

4. 最適設計結果と考察 支間30mについて本方法により最適設計を行った結果の最適値の比較表を Table 1 に示す。表中の case 1. は SLP法

により通常の方法の最適設計で断面要素数2, 変数の数13個の場合, case 2はSLP法により通常の方法の最適設計で断面要素数3, 変数の数19個の場合, case 3, case 4, case 5はSuboptimizationによる最適設計で断面要素数3, 変数の数19個とし, case 3は $\alpha^0=14.5$, case 4は $\alpha^0=16.5$, case 5は $\alpha^0=17$ の場合を示す。次に支間30m, $\alpha^0=14.5$ の場合の変数, 罰金関数, 目的関数の値の収束状況を Table 2 に示す。結果の考察として(a) Table 2による収束状況

Table 1 Comparison of optimum values

case	α^0	S_1	S_2	S_3	T_{u1} (cm)	T_{u2} (cm)	T_{u3} (cm)	T_{k1} (cm)	T_{k2} (cm)	T_{k3} (cm)	T_w (cm)	B_{u1} (cm)
1	15.0	4.0	4.0		1.42	1.00		2.44	1.39		1.21	36.9
2	14.5	4.0	4.0	4.0	1.48	1.08	1.00	2.61	1.82	1.02	1.18	38.4
3	14.5	4.0	4.0	4.0	1.24	1.01	1.00	2.04	1.70	1.27	1.29	32.3
4	16.5	4.0	4.0	4.0	1.24	1.00	1.00	2.04	1.52	1.27	1.29	32.3
5	17.0	4.6	4.0	4.0	1.23	1.07	1.00	2.26	1.77	1.00	1.24	30.7
case	α^0	B_{u2} (cm)	B_{u3} (cm)	B_{k1} (cm)	B_{k2} (cm)	B_{k3} (cm)	B_w (cm)	C_{k1} (cm)	C_{k2} (cm)	F (1000 yen)	Z (1000 yen)	Weight (ton)
1	15.0	23.7		61.3	44.4		184.1	509.8			921.8	4.83
2	14.5	28.1	20.7	59.5	58.2	29.7	179.5	745.3	331.2		926.0	4.59
3	14.5	26.3	22.2	65.2	51.6	32.6	195.5	768.1	470.4	940.3	938.9	
4	16.5	24.3	20.4	65.1	43.0	32.6	195.5	612.7	386.6	944.1	942.7	
5	17.0	27.8	20.3	57.0	56.7	28.5	171.1	644.8	291.0	930.1	930.1	

Note: $L=30m$, $SMR=2.93(1000yen)$, $CM=60.6(1000yen)$

Table 2. Convergence of result for $L=30m$

K	IS	S_1	S_2	S_3	T_{u1} (cm)	T_{u2} (cm)	T_{u3} (cm)	T_{k1} (cm)	T_{k2} (cm)	T_{k3} (cm)	T_w (cm)	B_{u1} (cm)	B_{u2} (cm)	B_{u3} (cm)	B_{k1} (cm)	B_{k2} (cm)	B_{k3} (cm)	B_w (cm)	C_{k1} (cm)	C_{k2} (cm)	F (1000 yen)	Z (1000 yen)	R_k
1	0	4.0	4.0	4.0	1.10	1.00	1.00	1.92	1.44	1.08	1.36	28.5	24.5	20.0	61.3	46.0	34.5	207.0	717.9	326.1	1026.9	958.0	1.0
1	1	4.0	4.0	4.0	1.19	1.00	1.00	2.01	1.55	1.04	1.31	30.9	25.4	20.0	64.2	49.6	33.1	198.4	717.1	329.3	1015.6	943.7	1.0
1	2	4.0	4.0	4.0	1.21	1.00	1.00	2.02	1.59	1.17	1.30	31.5	25.5	21.1	64.6	49.0	32.9	197.2	711.8	422.1	1015.5	941.1	1.0
1	3	4.0	4.0	4.0	1.22	1.01	1.00	2.03	1.64	1.27	1.29	31.8	26.1	22.2	64.9	51.4	32.8	196.4	752.6	475.0	1012.4	939.8	1.0
1	4	4.0	4.0	4.0	1.22	1.01	1.00	2.03	1.64	1.27	1.29	31.8	26.1	22.2	64.9	51.4	32.8	196.4	752.6	475.1	1012.4	939.8	1.0
1	5	4.0	4.0	4.0	1.24	1.01	1.00	2.04	1.65	1.27	1.29	32.2	26.3	22.0	65.1	52.8	32.6	195.6	766.0	462.3	1010.4	930.2	0.02
2	0	4.0	4.0	4.0	1.24	1.01	1.00	2.04	1.65	1.27	1.29	32.2	26.3	22.0	65.1	52.8	32.6	195.6	766.0	462.3	1010.4	930.2	0.02
2	1	4.0	4.0	4.0	1.24	1.01	1.00	2.04	1.65	1.27	1.29	32.3	26.3	22.0	65.2	52.9	32.6	195.5	766.0	462.4	940.5	939.1	0.02
2	2	4.0	4.0	4.0	1.24	1.01	1.00	2.04	1.65	1.27	1.29	32.3	26.3	22.0	65.2	52.9	32.6	195.5	766.1	462.6	940.5	939.1	0.02
2	3	4.0	4.0	4.0	1.24	1.01	1.00	2.04	1.65	1.27	1.29	32.3	26.3	22.2	65.2	51.6	32.6	195.5	768.1	470.2	940.3	938.9	0.02
2	4	4.0	4.0	4.0	1.24	1.01	1.00	2.04	1.70	1.27	1.29	32.3	26.3	22.2	65.2	51.6	32.6	195.5	768.1	470.2	940.3	938.9	0.02
2	5	4.0	4.0	4.0	1.24	1.01	1.00	2.04	1.70	1.27	1.29	32.3	26.3	22.2	65.2	51.6	32.6	195.5	768.1	470.4	940.3	938.9	0.02

Note: $\alpha^0=14.5$

は良好である。(b) case 1, case 2を比較するとZの値は case 1が小さく断面要素数2が経済的であるが重量は重い。(c) α^0 をかえた場合変数の最適値はやや変動があるが目的関数はほとんど変化しない。

5. 結論 構造物の断面要素が多くなり, また構造物が複雑になると, 変数・制約条件式の数が多くなり, 費用も目的関数とすると変数を省略出来なくなるゆえ, 本研究に示すようにSuboptimizationを用いることによつて変数・制約条件式の数を減らすことが出来, 収束が容易となり, 十分実用性がある。

参考文献

1)小西保則:製作費を考慮した合成工材ばりの最適設計について(第2報),土木学会,第32回年次学術講演会講演概要集,第1部,PP261-PP262,1977-10.
2) J.D. エワリツク, 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, PP53-57, 1970.