

長崎大学工学部 正員 小西保則

1. まえがき

近年電子計算機の発達はめざましいものである。そこで電子計算機を利用して与えられた設計条件である応力制限、変位制限、寸法制限、安全性、耐久性、機能又は美観などに合致し、しかも材料費、加工費、組立費、架設費、保守費を含めて、その費用を最も安くなるよう設計諸量すなわち、構造型式、使用材料および断面寸法を見出す最適設計法についてまた研究の余地があると考えられる。

そこで著者は反復線形計画法を用いて、溶接I型デッキプレートガーダーについて電子計算機により、材料費、製作加工費を考慮した最適設計を行う方法について研究した結果について報告する。

2. 最適設計法の概要

最適設計問題、特に許容応力度設計法による設計の数学的モデルは、決定すべき量を $X (=X_1, X_2, \dots, X_n)$ とすると、

$$g_i(X) \leq b_i \quad (or \geq, or =) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m) \quad \text{-----} \quad (1)$$

で表わし、目的関数を

$$Z = f(X) \rightarrow \min. (or \max.) \quad \text{-----} \quad (2)$$

で表わせるが、この制約条件、および目的関数の一部またはすべてが変数 X の非線形関数となっている。この非線形計画法の最適解の求の方については種々考えられるが、その一つである反復線形計画法(SLP法)を用いた。(1),(2)式をある近似解 X_0 のまわりでテーラー展開して2項までとると、次のような線形の制約条件式、および目的関数が得られる。

$$g_i(X_0) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial g_i}{\partial X_j} \right)_0 (X_j - X_{j0}) \leq b_i \quad (or \geq, or =) \quad \text{-----} \quad (3)$$

$$Z = f(X_0) + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial X_j} \right)_0 (X_j - X_{j0}) \quad \text{-----} \quad (4)$$

上記(3),(4)で示される式は線形であるからこの問題はLPの対象となる。唯これは X_0 の近傍での近似式であるから、この奥からあまり離れることは出来ない。そこで変数に次のようなmove limitである上下限を設けて計算した。すなわち

$$X_{j0} - \Delta X_{je} \leq X_j \leq X_{j0} + \Delta X_{ju} \quad \text{-----} \quad (5)$$

この解法でも結果が正しいかどうか又関数が凸であるかどうか分らないので、別の近似値から出発した解との比較を行って照査した。又別の非線形計画法である無制約最小化反復法(SUMT法)を用いて解き、SLP法と比較検討を行った。

3. 単純I型桁(国有鉄道デッキプレートガーダー)の最適設計

図1に示す単純桁について最適設計を行う。設計変数を X とすると、 X は T_c , T_f , B_w , CL , B_c , B_f , T_w 等である。ここに

T_c : カバープレートの厚さ T_f : フランジプレートの厚さ B_w : ウエブプレートの高さ
 CL : カバープレートの長さ(2に対して対称, 全長2CL) T_w : ウエブプレートの厚さ

L: 支間である。この内今回は T_c , T_f , B_w , CL のみ変数として、他の B_c , B_f , T_w は常数として最適設計を行った。上記 X による構造物を求めるに当って

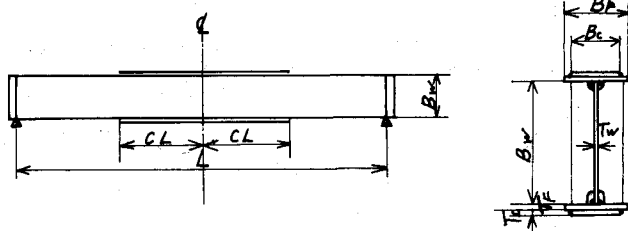


図1 デッキプレートガーダー

次のように符号を決めた。

σ_1 : 中央点における実際応力度 σ_2 : カバープレート端部、すなわちフランジプレートの時の
 の実際応力度 S_1 : 中央点における活荷重(衝撃を除く)および死荷重によるたわみ
 S_2 : 中央点における活荷重(衝撃を除く)によるたわみ である。

他に Y_1 , Y_2 , $\bar{Y}_1$, $\bar{Y}_2$; I_1 , I_2 ; W_1 , W_2 ; σ_{1a} , σ_{2a} は夫々ウエブプレート重心よりフランジプレート又はカバープレート重心までの距離、ウエブプレート重心よりフランジプレート又はカバープレート縁端までの距離、断面二次モーメント、断面係数、許容応力度とする。又サフィックス1は支間中央点、2はカバープレート端部(フランジプレートのみの時)の値とする。曲げモーメントを M_1 , M_2 とすると

$$\sigma_1 = \frac{M_1 \bar{Y}_1}{W_1} = M_1 \left(\frac{B_w}{2} + T_c + T_f \right) / \left\{ 2 \cdot B_c \cdot T_c \cdot \left(\frac{B_w}{2} + \frac{T_c}{2} + T_w \right)^2 + 2 \cdot B_f \cdot T_f \cdot \left(\frac{B_w}{2} + \frac{T_w}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} \cdot B_w^3 \cdot T_w \right\} \quad (6a)$$

$$\sigma_2 = \frac{M_2 \bar{Y}_2}{W_2} = M_2 \left(\frac{B_w}{2} + T_f \right) / \left\{ 2 \cdot B_f \cdot T_f \cdot \left(\frac{B_w}{2} + \frac{T_w}{2} \right)^2 + \frac{1}{12} \cdot B_w^3 \cdot T_w \right\} \quad (6b)$$

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{5.5 M_{1d+d} \times L^2}{48 E I_1} \\ S_2 &= \frac{5.5 M_{1d} \times L^2}{48 E I_1} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

但し M_{1d+d} : 活荷重および死荷重による中央点の曲げモーメント M_{1d} : 活荷重による中央点の曲げモーメント であつて δa を変形の許容応力度とすると、制約条件式は

$$\delta_i \leq \delta_{ia}, \quad \sigma_i \leq \sigma_{ai} \quad (i=1, 2) \quad (8)$$

又断面の寸法の制限は凡て鋼鉄道橋設計示方書に従うとして変数に上限値、下限値を考へ示方書内に収まるように考慮した。次に目的関数 Z は

$$Z = \sum A_j \cdot \rho \cdot C_j + \sum H_j \cdot \mu_j \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad (9)$$

ここに A_j : j 部材の断面積, ρ : 鋼材単位重量 C_j : j 部材の鋼材単価 μ_j : j 部材の / 人 / 時間当りの作業単価 H_j : 作業人時間 (Man. hour) であつていずれも X の関数である。ここでは μ_j は一定とし、又 H_j には原寸、加工、組立、溶接、仮組立、工場塗装を含んでいる。その各の値は日本橋梁建設協会発行「昭和46年度鋼道路橋原価計算表」をもとに少し H_j の値を修正して使用した。

4. 初期値の設定

初期値として与えた数値は表1の通りである。

5. 最適設計結果

以上によってSLP法およびSUMT法で計算した結果は表2の通りである。尚表2中種別でD材I：衝突防止のためダブ

支間 (cm)	N0	死荷重 (kg/cm)	活荷重モメント (kg-cm)	Tc (cm)	Tf (cm)	BW (cm)	CL (cm)	Bc (cm)	BF (cm)	Tf (cm)	a ₂₁ (kg/cm)	a ₂₂ (kg/cm)
1600.0	①	6.72	14.340.000	3.0	3.0	1400	5520	28.0	33.0	1.1	1103	1167
"	②	"	"	2.1	2.1	168.0	4920	"	"	"	"	"
1900.0	③	7.47	19.380.000	2.5	2.5	1800	5200	30.0	34.0	1.3	1109	1157
2230.0	④	8.60	25.758.000	3.0	3.0	2000	8020	31.0	35.0	1.5	1114	1144
"	⑤	"	"	3.8	3.8	1520	1000.0	"	"	"	"	"
2550.0	⑥	9.35	32.770.000	3.0	3.0	2150	8000	37.0	41.0	1.6	1141	1146
3000.0	⑦	11.20	43.910.000	3.1	3.1	2370	8500	42.0	44.0	1.8	1152	1135

表1 初期値

支間 (cm)	種別	方法	N0	Tc (cm)	Tf (cm)	BW (cm)	Δ =Bw/L	CL (cm)	X =CL/L	SSI (%)	SS2 (%)	S1 (cm)	S2 (cm)	Z(目的関 数)(4円)	重量 ton	繰返回 数(N)
1600.0	D材I	SLP	①	1.43	1.48	1848	8.7	428.0	0.535	1103	1165	1.04	0.90	303.3	2.35	9
"	S材I	SUMT		1.7	1.8	175.7	-	420.6	-	1043	1147	-	-	309.6	2.39	-
"	"	SLP	①	1.42	1.62	180.9	8.9	420.3	0.527	1102	1167	1.06	0.92	303.3	2.34	13
"	"	"	②	1.49	1.49	183.0	8.8	435.6	0.545	1103	1166	1.05	0.91	303.3	2.34	13
"	S材	"	①	2.12	1.62	163.5	9.8	502.0	0.635	1102	1167	1.16	1.01	306.7	2.30	13
"	"	"	②	2.04	1.70	163.2	9.8	490.6	0.614	1103	1167	1.16	1.01	305.7	2.30	14
1900.0	D材I	SLP	②	1.79	1.63	204.5	9.3	535.7	0.565	1109	1156	1.36	1.16	396.2	3.38	6
"	S材I	SUMT		2.0	2.4	177.9	-	532.9	-	1105	1151	-	-	401.9	3.35	-
"	"	SLP	③	1.73	1.69	204.2	9.3	524.9	0.551	1108	1157	1.36	1.16	396.5	3.38	15
"	S材	"	③	2.43	1.99	179.7	10.6	542.9	0.625	1109	1156	1.52	1.30	401.1	3.32	14
2230.0	D材I	SLP	④	2.14	1.75	227.2	9.8	635.6	0.570	1114	1143	1.74	1.44	517.2	4.78	7
"	S材I	SUMT		1.9	2.4	216.7	-	589.9	-	1113	1143	-	-	519.1	4.77	-
"	"	SLP	④	2.12	1.74	228.1	9.8	632.1	0.584	1114	1143	1.74	1.44	517.2	4.79	13
"	"	"	⑤	2.08	1.78	228.2	9.8	643.7	0.576	1114	1144	1.74	1.44	517.2	4.79	16
"	S材	"	④	3.06	2.07	198.6	11.2	736.5	0.663	1114	1143	1.96	1.62	525.3	4.69	15
"	"	"	⑤	2.90	2.09	201.6	11.1	721.6	0.647	1114	1143	1.94	1.60	523.5	4.69	14
2550.0	D材I	SLP	⑥	2.05	1.70	244.4	10.4	763.1	0.596	1141	1144	2.24	1.82	632.4	6.29	8
"	S材I	SUMT		1.9	2.0	237.6	-	738.5	-	1140	1133	-	-	634.6	6.28	-
"	"	SLP	⑥	2.14	1.73	241.1	10.6	773.6	0.606	1141	1146	2.27	1.84	632.8	6.26	15
"	S材	"	⑥	2.80	2.01	216.7	11.8	840.1	0.659	1141	1146	2.49	2.02	638.2	6.16	14
3000.0	D材I	SLP	⑦	2.44	1.95	263.2	11.4	931.6	0.620	1152	1135	3.04	2.36	838.6	8.85	7
"	S材I	"	⑦	2.44	1.80	267.3	11.3	948.0	0.628	1152	1134	3.00	2.33	838.8	8.88	12
"	S材	"	⑦	3.20	2.15	237.0	12.7	1022.2	0.685	1151	1135	3.33	2.59	847.6	8.73	13

表2 最適値結果比較表

ルで計算し且つ又材料費、加工費共に考慮した。
料費、加工費共考慮し、材は材料費のみ考慮した。

S材I, S材: シングルで計算し材工は材

6. 結果の考察

表2によるとSLP法により求めた結果はほぼ満足するものであると考える。SUMT法による方法は T_c , T_f , B_w , CL , についてはSLP法による場合と可成差が認められるが又大きな相違は見られない。之はSUMT法の罰金項の係数が0に近くないため正確には最適値に達してないためと思われる。SLP法により求めた結果について一般に考えているように h : けた高 M : モーメント
 α : 許容応力度 t : ウェブプレートの厚さ となると

$$h = \beta \sqrt{\frac{M}{\alpha t}} \quad \text{又は} \quad \beta = h / \sqrt{\frac{M}{\alpha t}} \quad \text{----- (10)}$$

として表2より β の値を計算すると材料費および加工費を考えた場合 $\beta_1 = 1.32 \sim 1.37$ (最大と最小の差4%), 材料費のみの場合は $\beta_2 = 1.10 \sim 1.13$ (最大と最小の差3%) となっている。又支間毎に β_1/β_2 を求めると1.17~1.23とばらつきがある。之は B_c , B_f の値を仮定しているが最適なゆかどうかわからないためと思われる。又カバープレートの長さについても重量のみを α に取った時支間Lに対して0.6667であるのに対し材料費のみでも全様の理由により可成のばらつきがある。尚モーメントと α との関係を図示すると図2図のようになる。

終りに本研究は大阪大学工学部前田章雄教授の御指導並に全大森林正講師、長崎大学工学部高橋和夫講師の御援助をいただいたことに謝辞を申し上げる。又本計算には長崎大学FACOM270-30、九州大学FACOM230-60、大阪大学NEAC2200-MODEL-N700を使用した。御援助いただいた計算機室の方々に感謝する。

7. 参考文献

- 1) 長尚: 構造物の最適設計 朝倉書店
- 2) 日本鋼構造協会, 技術委員会: SUMTによる構造の最適設計について JSSC VOL7 No66
- 3) 大地羊三: 電子計算機の手法とその応用 森北出版株式会社
- 4) 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年度版)

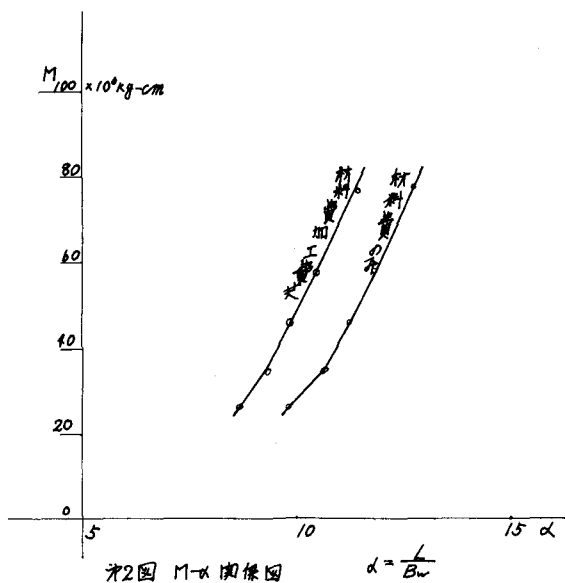


図2図 M- α 関係図

$$\alpha = \frac{1}{B_w}$$