

長崎大学工学部 正員 小西保則

1. まえがき

製作費を考慮したI型ばりの最適設計法については前回既に発表しているが、今回は更にi)材質、フランジ中、カバープレート中、ウェブプレート厚さを変数とした。ii)制約条件にウェブ高さと同フランジ中の関係及びフランジ中と厚さとの制限を加えた。iii)目的関数として板厚による材料費の変化及び溶接費の変化、材質による材料費、製作費の変化等を加えた。以上の諸点を考慮してSLP法(Sequence of Linear Programming Method)により求めたI型ばりの最適設計について報告する。

2. 単純プレートガーダーの最適設計

本研究で対象とした断面はカバープレートを上下フランジに各1枚を持つ溶接I型桁である。設計変数を X とすると X は次の8個とする。 S :材質, 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, T_W :ウェブプレートの厚さ, B_c :カバープレートの中, B_F :フランジプレートの中, B_W :ウェブプレートの高さ, C_L :カバープレートのけた ϕ からの長さである。又桁 ϕ 上における実応力度を σ_1 , 許容応力度を σ_{a1} , カバープレート端部即ちフランジプレートの中の断面箇所の実応力度を σ_2 , 許容応力度を σ_{a2} とする。尚 S , T_c , T_F , T_W , B_c , B_F , B_W , C_L の上限値及び下限値を夫々 S_u , T_{cu} , T_{Fu} , T_{Wu} , B_{cu} , B_{Fu} , B_{Wu} , C_{Lu} ; S_s , T_{cs} , T_{Fs} , T_{Ws} , B_{cs} , B_{Fs} , B_{Ws} , C_{Ls} とする。そして δ_1 :死荷重, 活荷重による実際撓み, δ_{a1} :死荷重, 活荷重による許容撓みとする。

(1) 制約条件式 以上により制約条件式を作ると次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 - \sigma_{a1} &\leq 0, & \sigma_2 - \sigma_{a2} &\leq 0, & \delta_1 - \delta_{a1} &\leq 0, & \delta_2 - \delta_{a2} &\leq 0, & B_W - T_W &\leq 0, & S_s &\leq S &\leq S_u \\ T_{cs} &\leq T_c \leq T_{cu}, & T_{Fs} &\leq T_F \leq T_{Fu}, & T_{Ws} &\leq T_W \leq T_{Wu}, & B_{cs} &\leq B_c \leq B_{cu}, & B_{Fs} &\leq B_F \leq B_{Fu}, & B_{Ws} &\leq B_W \leq B_{Wu} \\ C_{Ls} &\leq C_L \leq C_{Lu}, & -24T_c + B_c &\leq 0, & -24T_F + B_F &\leq 0, & 3B_F &\leq B_W \leq 6B_F \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに $\sigma_1 = \frac{M_1}{I_1}$, $\sigma_2 = \frac{M_2}{I_2}$ であり $\bar{Y}_1$, $\bar{Y}_2$ はウェブ重心からカバープレート又はフランジプレート縁端までの距離 M_1 , M_2 は曲げモーメント, I_1 , I_2 は断面二次モーメントでサフィックス1は支間中央, サフィックス2はカバープレート端部(フランジプレートの中の点)を示す。(1)式中第1式, 第2式(17)式の σ_1 , σ_2 は S の関数であって $\sigma_{1a} = (0.125S^2 - 0.792S + 2.168) \times 1300$, $\sigma_{2a} = 50S^2 + 50.5S + 199 - (0.2S^2 - 1.3S + 25) \times \left(\frac{B}{B_F}\right)^2$ --- (2)

ここに l : フランジ固定点間距離とする。(1)式中第5式の δ はウェブプレートの高さと厚さとの比で S の関数である。即ち $\delta = 2.5S^2 - 47.5S + 305$ --- (3) とした。(1)式中の後より2式は示方書による板厚と中との制限を示す。最後の式は一般にI型断面の場合フランジが有効に働く限度が桁高の $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{2}$ 程度がよいとされているので制約条件式に加えた。

(2) 目的関数 又目的関数又は $Z = \sum V_j P C_j + \sum H_j \mu_j$ --- (4) であり $j=1$ である。又 V_j : j 部材の体積, P : 鋼材単位重量, C_j : j 部材の鋼材の単価, μ_j : j 部材の1人1時間当りの作業単価, H_j : j 部材の作業人時間である。ここで鋼材単価は S , T (板厚), B (板中)の関数と考えた。即ち係数として

$$\left. \begin{aligned} C(S) &= 0.27S - 0.08, & C(T) &= 0.0348T^2 - 0.0845T + 1.2091, & C(B) &= 1.0 + (B - 200) \times 0.3/\mu \times 0.01 \\ B &\geq 200, & C(B) &= 1.0 & B < 200 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

又 H_j の作業人時間は S , T , W (重量), A (表面積)などの関数と考えられる。 S による作業時間の係数としては $H(S) = 0.04S^2 - 0.29S + 1.52$ --- (6) となる。溶接継手の場合溶接延長の関数となるが6mm以内の換算率で計算するものとし、板厚 T の関数と考えて次式で計算した。即ち突合溶接の場合

$$\gamma_1(T) = 1.2T^2 + 3.8T + 1.3 \quad \text{隅肉溶接の場合} \quad \gamma_2(T) = 0.0476T^2 + 0.1952T + 0.7572 \quad (7)$$

A の関数となるものにはけがき、塗装などがある。

(3) 計算結果 以上の制約条件式及び目的関数をもとにして計算した結果を示すと第1表のようになる。

L	No	S	Tc	Tf	Tw	Bc	Bf	Bw	Lc	δ_1	δ_2	Z	Weight	β	σ_{a1}	σ_1	σ_{a2}	σ_2	α
1600	①	4.0	1.43	1.48	1.1	29.0	33.0	184.8	428.0	1.04	0.90	303.3	2.35	1.32	1100	1100	1170	1170	8.7
"	②	4.46	1.30	2.98	2.0	24.0	38.1	114.0	219.3	1.84	1.60	421.0	3.15	1.13	1270	1260	1390	1390	14.0
"	③	4.47	1.30	1.89	2.0	24.0	33.6	151.6	219.3	1.35	1.17	364.1	2.81	1.46	1250	1180	1380	1380	10.6
1900	①	4.0	1.79	1.63	1.3	30.0	34.0	204.5	535.7	1.36	1.16	396.2	3.38	1.33	1110	1110	1160	1160	9.3
"	②	4.32	1.30	3.06	2.0	24.0	44.8	134.3	260.5	2.23	1.90	524.0	4.45	1.13	1250	1230	1320	1320	14.1
"	③	4.46	1.30	1.89	2.0	24.0	36.3	182.1	260.5	1.65	1.41	446.6	3.87	1.52	1260	1200	1370	1370	10.4
2230	①	4.0	2.14	1.75	1.5	31.0	35.0	227.2	635.6	1.74	1.44	517.2	4.78	1.37	1110	1100	1140	1140	9.8
"	②	4.14	1.30	3.27	2.2	24.7	51.1	153.4	305.7	2.66	2.23	671.4	6.40	1.16	1210	1180	1240	1240	14.5
"	③	4.46	1.30	2.08	2.2	24.0	42.6	193.9	305.7	2.28	1.91	570.5	5.43	1.51	1290	1250	1370	1370	11.5
2550	①	4.0	2.05	1.70	1.6	37.0	41.0	244.4	763.1	2.24	1.82	652.4	6.29	1.36	1140	1140	1150	1140	10.4
"	②	4.04	1.30	3.32	2.5	26.1	57.5	172.4	344.6	3.14	2.55	846.1	8.78	1.22	1200	1160	1190	1190	14.8
"	③	4.38	1.30	2.40	2.5	26.1	50.8	197.8	344.6	3.01	2.44	732.7	7.58	1.45	1290	1250	1340	1340	12.9
3000	①	4.0	2.44	1.95	1.8	40.0	44.0	263.2	931.6	3.04	2.36	838.6	8.85	1.32	1150	1150	1140	1140	11.4
"	②	4.00	1.51	3.26	3.0	36.3	64.7	198.3	411.3	3.75	2.91	1160.0	12.95	1.29	1200	1090	1170	1170	15.1
"	③	4.12	1.30	2.87	3.0	31.2	57.3	213.5	411.3	3.75	2.91	1039.0	11.81	1.43	1220	1160	1220	1220	14.1

第1表 最適値結果比較表

①は前回の値で変数は T_c , T_f , B_w , L_c の4変数とした。②は今回の値でスチフナーを入れた結果の値、③はスチフナーのない時の値である。

3 結果の考察

i) ヲフな考え方であるが垂直スチフナーを実橋で使用されている範囲内で入れて、その断面積及び加工費を目的関数に入れて計算した。スチフナーを入れない時に比較してスチフナーを入れた場合は桁高が低い程有利であるという結果になった。 ii) i)で示したようにスチフナーを入れて計算した場合は桁高は接合の制約条件で決定される。そしてヤング率が同じである故短支間の場合は S は高い値を示し長支間になるにつれて低くなる。 iii) カバプレートは巾 厚さ共に最小の寸法でできまっている。 iv) 実応力は中央部で少しではあるが許容応力より低いがカバプレートのない断面の所で許容応力一杯になっている。 v) 第1表の①は②③と比較して数値が可成違っているが制約条件式及び目的関数が異なるためであろう。 vi) 制約条件式、目的関数の各(2)(3)(5)(6)式は著者の考え方を示したもので式の値については多くの実例を取って確認する必要がある。 vii) 支間と桁高の比 α とモーメントとの関係については表1に示す値となった。 viii) 一般に考えられている関係 $B_w = \beta \sqrt{\frac{M}{\sigma T_w}}$ 又は $\beta = B_w / \sqrt{\frac{M}{\sigma T_w}}$ について β を計算すると①の場合は132~137であるのに対して②の場合は113~129 ③の場合は143~152 となった。 尚本研究は大阪大学工学部前田幸雄教授の御指導並に同大学林正講師、長崎大学工学部高橋和雄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FACOM 270-30、九州大学FACOM 230-60、大阪大学NEAC 2200-MODEL-N700を使用した。御援助いただいた計算機室の人々に感謝する。

4 参考文献

- 1) 長尚：構造物の最適設計 朝倉書店
- 2) 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
- 3) 小西保則：製作費を考慮したI型ばりの最適設計について 土木学会西部支部 昭和47年度学術講演会講演概要集