

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、主荷重応力を制約条件とした合成工形ばりの最適設計も行つた結果については、先に発表したが¹⁾、本研究ではさらに主荷重応力以外に、架設応力、フリーア応力、乾燥収縮応力、温度差応力を制約条件として最適設計を行つた結果について報告する。今回も目的関数には鋼材費およびすべての工場製作費を考慮した。本研究においては、単純合成桁の1本の桁の最適断面をSLP法を用いてコンピューター設計を行つた。

2. 合成工形桁の最適設計

(1) 設計条件 設計条件は次の通りである。

1) 形式 主荷重合成単純格子桁, 2) 主荷重 TL-20 3) 支間 $20^m, 25^m, 30^m, 35^m, 40^m$ の5種 4) 幅員 7^m 5) 床版 鉄筋コンクリート 20^cm 厚 6) 舗装 アスファルト 5^cm 厚 7) 適用示方書 道路橋示方書 昭和48年日本道路協会発行 また対象とした桁の断面変化の数は2より本主桁の内の側桁である。

(2) 設計変数 設計変数は鋼種 S_1, S_2 , 上フランジプレート厚 T_{w1}, T_{w2} および幅 B_{w1}, B_{w2} , 下フランジプレートの厚 T_{b1}, T_{b2} および幅 B_{b1}, B_{b2} , ウェブプレート厚 T_w および高さ B_w , 支間より断面変化点までの距離 SLF の13でサフィックス1は支間中央, サフィックス2は桁端断面を示す。

(3) 制約条件式 制約条件式は応力制限, ためみ制限, 示方書による座屈防止の板厚制限, コンクリート床版に引張が生じないための制限, 鋼桁断面の下フランジ幅と桁高の制限, すなわち $B_b/B_w = 1/2 \sim 1/6$, 断面寸法の上限值および下限値制限などを用いた。また断面寸法の上下限値は *move limit* としても利用した。応力制限については死荷重, 衝撃による応力による場合, それにフリーア, 乾燥収縮による応力を加えた場合, さらに温度差応力を加えた場合について, 上下フランジの応力が最も危険な状態の応力制限による, 1断面につき2個の制約条件式を用いて, 最適設計を行つた。そこで許容圧縮応力を σ_{ca} 許容引張応力を σ_{ta} とすると次のようになる。

いま $\sigma_a = 100S^2 - 400S + 1400$, $F_G = -0.25S^2 + 1.75S + 1.5$, $LB = L/B_w$, ここで L : フランジ間定長間距離, $\sigma_s = 6S^2 - 40S + 88$ で示す圧縮応力は

$A_w/A_c \leq 2.0$ A_w : ウェブプレート断面積, A_c : 上フランジプレート断面積 で

$LB \leq F_G$ の時は $\sigma_{ca} = \sigma_a$ ----- (1)a, $F_G < LB \leq 30$ ($S=6$ の時は ≤ 25) の時は $\sigma_{ca} = \sigma_a - \sigma_s(LB - F_G)$

----- (1)b, $A_w/A_c > 2.0$ $TK = \sqrt{3 + A_w/2A_c}$ とすると $TK \times LB \leq 2F_G$ の時は $\sigma_{ca} = \sigma_a$ ----- (1)c

$F_G < TK \times LB$, ただし $LB \leq 30$ ($S=6$ の時は 25) の時は $\sigma_{ca} = \sigma_a - \sigma_s/2 \times (TK \times LB - 2F_G)$ ----- (1)d

引張応力は $\sigma_{ta} = \sigma_a$ ----- (1)e

また δ はウェブプレートの高さと厚さの比, $BETA$ は上フランジの突出脚と板厚の比とすると, $\delta, BETA$ は共に S の関数で文献1)式(1)に示す。

(4) 目的関数 目的関数 Z は次式で示される。

$$Z = \sum_{i=1}^n \tilde{H}_{ij} \cdot SMH + \sum_{j=1}^n H_{ij} \cdot CM + \sum_{j=1}^n P_{ij} \cdot C \cdot CM = Z_1 \cdot SMH + Z_2 \cdot SMH + Z_3 \cdot CM = CM(Z_1 \cdot SMH/CM + Z_2 \cdot SMH/CM + Z_3) \text{ ----- (2)}$$

ここに P : 鋼材単価電量, C : 鋼材単価係数, CM : 鋼材の単価, SMH : 1人1時間当りの作業単価, H_{ij} : i 工程 j 部材の作業人時間設計変数の関数である。 $\tilde{H}_{ij}$: 長工程 i 部材の作業人時間一定な値である。ここで L は T (板厚), S, B (板幅) の関数と考え数式化した。 Z_1, Z_2, Z_3 は(2)式に示すように SMH, CM で割って無次元化した。ここで $SC = SMH/CM$ とすると, 最適値は SC のみに関係し経済情勢にはほとんど関係しない。また $H_{ij}, \tilde{H}_{ij}$ は文献1)式(3), (4)に示す。

(5) 初期値の決定 今 $\alpha = (\text{支間 } L)/B_w$ とすると α を仮定して応力解析を行つて初期値を決定する。そこで電子

Table 1. Comparison of optimum values for span length of 3000^{cm}

Case	S ₁	S ₂	T _{u1} (cm)	T _{u2} (cm)	T _{l1} (cm)	T _{l2} (cm)	T _w (cm)	B _{u1} (cm)	B _{u2} (cm)	B _{l1} (cm)	B _{l2} (cm)	B _w (cm)	SLEG (cm)	CM (1000 gen)	SMH (1000 gen)
1	4.0	4.0	1.48	1.00	2.60	1.64	1.18	38.5	25.4	59.8	47.8	179.7	927.1	60.6	0.001
2	4.0	4.0	1.44	1.00	2.47	1.46	1.21	37.3	24.3	60.8	46.5	182.6	964.6	60.6	1.465
3	4.0	4.0	1.42	1.00	2.44	1.39	1.21	36.9	23.7	61.3	44.4	184.1	990.2	60.6	2.930
4	5.0	4.0	1.31	1.00	2.45	1.60	1.21	31.3	26.0	52.3	51.0	157.0	1020.5	60.6	4.395
5	4.0	4.0	1.34	1.00	2.51	1.46	1.20	34.9	20.0	60.7	46.6	182.2	962.2	45.3	1.600
6	4.0	4.0	1.45	1.00	2.50	1.53	1.20	37.6	24.6	60.7	45.9	182.4	954.0	45.3	1.600

Case	δ (cm)	σ _{u1} (kg/cm ²)	σ _{u1a} (kg/cm ²)	σ _{l1} (kg/cm ²)	σ _{l1a} (kg/cm ²)	σ _{u2} (kg/cm ²)	σ _{u2a} (kg/cm ²)	σ _{l2} (kg/cm ²)	σ _{l2a} (kg/cm ²)	Z ₂	Z ₃	Z (1000 gen)	Weight (ton)	α
1	1.34	1610	1610	1400	1400	1095	1095	1470	1470	91.5	6.26	397.9	4.81	16.7
2	1.31	1610	1610	1400	1400	1039	1039	1470	1470	91.1	6.28	651.0	4.82	16.4
3	1.30	1610	1610	1400	1400	1008	1008	1470	1470	91.1	6.28	921.8	4.83	16.3
4	1.94	1689	1689	1900	1900	1142	1142	1470	1470	85.3	6.54	1182.8	4.25	19.1
5	1.45	1400	1400	1400	1400	1179	1400	1400	1400			517.3	4.57	16.5
6	1.32	1610	1610	1400	1400	1052	1052	1470	1470	91.3	6.28	580.6	4.82	16.4

Note: δa=4.50(cm), Z₁=93.7

計算機により初期値を計算することによって自動設計が可能である。

(6) 計算結果 支間30^mの場合について計算の結果をTable 1に示す。表中Case 1はSC=0.0 Case 2はSC=0.02418, Case 3はSC=0.04835, Case 4はSC=0.07253でS₁=5とした場合, Case 5はSC=0.03532で主荷重による場合, Case 6はSCは同じです。2の応力を考慮した場合を示す。またδは実際のため, δaは許容のため, βは係数の係数である。

(7) 考察 1) Case 1~Case 3, Case 5, 6はS₁=S₂=4が最適値で, Case 4はS₁=5が最適値であり桁高は低くなった。

2) S₁=5であるCase 4を除いてZ₁, Z₂, Z₃の値はほとんど

変わらない。3) Case 5, Case 6と比較するとT_{u1}, B_{u1}, B_{u2}, SLEGが少し変化するが主荷重応力のみ考慮した場合でも経済的桁高は受らない。4) フレートガーガーの経済的桁高を算出する式は次の通りである。 $B_w = \beta_c \sqrt{\frac{M}{\sigma_a T_w}}$ (3) ただし M: モーメント, σ_a : 許容応力度, β_c : 係数 である。ここで β_c を支間などにより変化する変数βとして最適値から計算するとTable 2のようになる。β=0.98~1.15と殆んど変わらないが, 支間の大きいほどSCが大きいほど大となる。5) 桁中心線から断面継手位置までの距離をSLEGとしSLEG/0.5L (Lは支間) の値をTable 3に示す。これにより支間の長いほど小で, またSCの大きいほど大となっている。6) 実際応力はすべて全応力状態となっており, 中央附近の場合上フランジは主荷重応力+クリープおよび乾燥収縮応力(Case 6は架設応力), 下フランジは主荷重応力, 断面継手位置の場合上フランジは架設応力, 下フランジは主荷重応力+クリープおよび乾燥収縮応力となっている。7) 以上述べたデータはすべてB_f/B_w ≤ 1/2 であるが, フランジ断面は幅が広く板厚の薄い方が溶接脚長が小さくコストは安くなることが想像される。8) 本研究では5種類の支間について最適断面を求めたが, 合成前荷重と合成後荷重の比が同じ場合, 他の支間の最適断面を求めるには, B_w は σ_a , T_w を仮定してMとβを用いて(3)式より求める。また継手位置はTable 3より求め全応力で断面を計算する。

3. あとがき

本研究では, 鋼種を除いて求めた他の設計変数は非整数解である。これに対して板厚の整数解を求めめは良いと考える。本研究について大阪大学工学部前田幸雄教授の御指導をいただいたことに謝辞を申し上げます。また本計算には九州大学 FACOM 230-60/75 を用いた。御援助いただいた計算機室の人に感謝する。

参考文献

- 1) 小西保則: "製作費を考慮した合成工形桁の最適設計について", 土木学会西部支部, 50年度研究発表会講演集PP77-78, 昭51. 2月。