

愛媛大学大学院 学生員 山縣 延樹
愛媛大学工学部 正員 大久保 稔二

1 まえがき 著者は、先に道路橋示方書にもとづき製作費を最小とする鋼 I 桁の最適設計を、部材断面の *Suboptimization* および図式解法により能率的に行なう方法を提案し¹⁾²⁾、さらに桁要素の諸元がたわみ制限により決定される最適問題に適用するための基本的な考え方を示したが³⁾、本報告はこの方法により種々のたわみ制限を有する桁の最適設計を行ない、検討した結果について述べるものである。

2 方法の概要 図式解法により曲げモーメントのみを考慮して得られた桁の最適断面がたわみ制限を満足しない場合には、この断面を初期値として最も経済的にたわみ制限を満足するように桁要素の断面二次モーメント (I) を改良しなければならない。この方法として、① 使用鋼種 (M) を許容応力度の一段階小さい鋼種に変更し、 $BM = RBM$ となるように I を増加させる方法。(図-1のA) および、② 各桁要素の鋼種は変化させないで、 I のみを増加させる方法。(図-1のB) の2通りが考えられる。なお図式解法では最適解を得る過程で各桁要素の最適な断面変化位置 (L) が自動的に決定されるので、 L を設計変数として考慮しなかつた。

解を改良するにあたり、たとえばSLP法では I, L および M の変化に対するたわみ量および曲げモーメントの影響係数を求め、LPの手法を使って改良解を決定しているが、本研究では最も経済的にたわみ制限を満足させる設計変数 X_k を次式より決定し、この改良をくり返し最適解を決定することとした。

$$Z = \frac{\delta_a - \delta_0}{\frac{\partial \delta}{\partial X}} \cdot \frac{\partial TCOST}{\partial X} \longrightarrow \min. \quad (1)$$

ここに、 δ_a : 許容たわみ量、 δ_0 : 曲げモーメントの制約条件のみを考慮して決定された桁の実たわみ量であり、設計変数 (X) が M の場合、上式の $\partial \delta / \partial M_i$, $\partial TCOST / \partial M_i$ は次式より計算される。

$$\partial \delta / \partial M_i = \delta(M_{i,j-1}) - \delta(M_{i,j}) \quad (< 0) \quad (2)$$

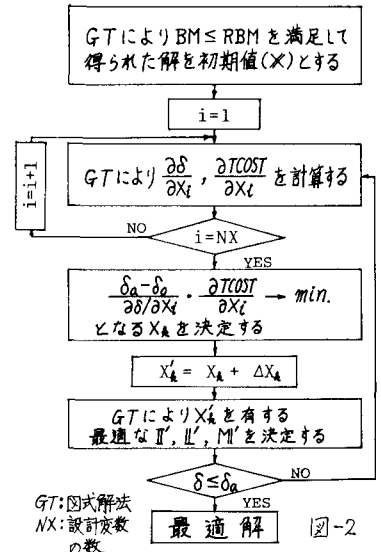
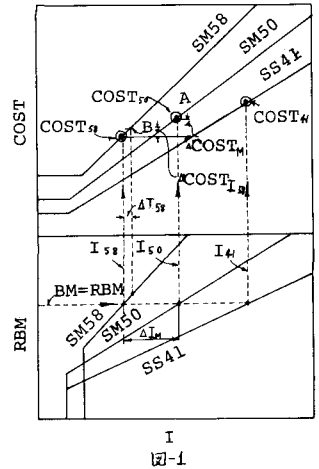
$$\partial TCOST / \partial M_i = TCOST(M_{i,j-1}) - TCOST(M_{i,j}) \quad (3)$$

ここに $M_{i,j}$ は桁要素 i の使用鋼種が j であることを示しており、 $M_{i,j-1}$ は $M_{i,j}$ の一段階許容応力度の小さい鋼種を示している。 $\delta(M_{i,j-1})$ および $TCOST(M_{i,j-1})$ は $M_{i,j-1}$ を固定し、図式解法により桁の製作費 $TCOST$ を最小とした桁におけるたわみ量および最小製作費を表わしている。また設計変数が I の場合には $\partial \delta / \partial I_i$ および $\partial TCOST / \partial I_i$ は

$$\partial \delta / \partial I_i = (\delta(I_i + \Delta I_i) - \delta(I_i)) / \Delta I_i \quad (< 0) \quad (4)$$

$$\partial TCOST / \partial I_i = (TCOST(I_i + \Delta I_i) - TCOST(I_i)) / \Delta I_i \quad (5)$$

より計算される。ここに、 $\delta(I_i + \Delta I_i)$, $TCOST(I_i + \Delta I_i)$ は桁要素 i の I_i を ΔI_i だけ増加させ $I_i + \Delta I_i$ および M_i を固定し、図式解法により $TCOST$ を最小とした桁におけるたわみ量および最小製作費を表わしている。この場合端支点付近の桁要素において ΔI_i を増加させることにより隣接する桁要素の I が減少し、その結果 $\partial \delta / \partial I_i$ が正となることがある。このような場合には ΔI_i を減少させることにより (4) および (5) 式の $\partial \delta / \partial I_i$, $\partial TCOST / \partial I_i$ を得ることができる。上記の最適設計法のフローチャートを図-2に示す。



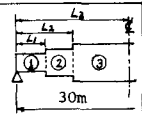
3 計算例

支間30m, 桁高170cm, 桁要素数

表-1

	No.	図式解法 (GT)			SLP法		
		M	I (cm ⁴)	L (cm)	M	I (cm ⁴)	L (cm)
初期値 $\delta_0=4.98$ cm	1	SM50	913857	310	(Impact含まず) $P_g = 14.392$ t $q_d = 1.007$ t/m $q_d = 2.353$ t/m		
	2	SM50	1762854	691			
	3	SM58	1820257	1500			
$\delta_a=4.90$ cm	1	SM50	1040344	360	SM50	966380	330
	2	SM50	1939138	794	SM50	1878390	756
	3	SM58	1817510	1500	SM58	1836690	1500
$\delta_a=4.50$ cm	1	SM50	1089249	375	SM50	1004187	342
	2	SM50	1988701	814	SM50	1860194	736
	3	SM50	2529271	1500	SM50	2530259	1500
$\delta_a=4.00$ cm	1	SM50	1012940	345	SM50	999366	340
	2	SM50	1881150	748	SM50	1855320	733
	3	SM50	2529876	1500	SM50	2530150	1500
$\delta_a=3.50$ cm	1	SS41	1178242	288	SS41	1119031	271
	2	SS41	2205705	603	SS41	2205662	602
	3	SM50	2792059	1500	SM50	2608334	1500

5の単純桁のたわみ制限を考慮しない場合の最適解を表-1の上段に示す。この桁の実たわみ量 δ_0 は4.98cmとなるが、この桁の許容たわみ量 δ_a を4.90, 4.50, 4.00, 3.50 (cm)と制限した場合、本研究の方法 (GT) および SLP法による最適解を表-1に示す。許容たわみ量 δ_a が実たわみ量4.98cmとわずかの差である $\delta_a=4.90$ cmの場合には、鋼種を変化させIを大きく増加させる必要はなく、桁要素長の短い I_2 を14.3%改良するのみで最適解を得ている。この場合たわみ量を減少させることのみを考えれば、 I_2 よりもむしろ I_3 を増加させる方が最も効果的であるが、桁要素3の部材長が長いので $\partial TCOST/\partial I_3$ が大きくなり、式(1)の値が I_2 では 7.281×10^3 となるのに対し、 I_3 では 10.96×10^3 と大きくなり、最も経済的な改良要素として I_2 を選択している。 $\delta_a=4.50$ cmの場合には、上記の例と同様、まず I_2 を改良しているが、Move Limit の上限である1.1 I_2 と改良しても δ_a を満足することができず、改良解について再度各

δ_a (cm)	4.90	4.50	4.00	3.50	
δ_0/δ_a	1.02	1.11	1.25	1.42	
改良変数	I_2	I_2-M_3	M_3	$M_3-I_1-I_2-I_3$ $-I_1-I_2-M_3-I_3$	
δ_{final}/δ_a	0.996	0.849	0.953	0.998	
* CPU (sec.)	GT 38 SLP 80	64 65	34 90	293 70	
TCOST (yen)	GT 1688295 SLP 1687559	1735074 1735455	1735087 1735462	1848726 1843168	(Impact含まず) $P_g = 14.392$ t $q_d = 1.007$ t/m $q_d = 2.353$ t/m $\delta_0 = 4.982$ cm
TCOST (GT)	1.000	1.000	1.000	1.003	
TCOST (SLP)					

* Calculated by FACOM 230-28

表-2

効率的な設計変数として M_3 を選択したたわみ制限を満足した。なおこの最適解における実たわみ量は3.82cmと δ_a に対して余裕のある断面となっている。 $\delta_a=4.00$ cmの場合には $\delta_a-\delta_0$ の絶対値が大きく、 I_2 を改良するよりも M_3 を改良した方が経済的となり、 M_3 を改良するのみで最適解を得ている。この解のTCOSTと $\delta_a=4.50$ cmのTCOSTとは全く一致している。ところで $\delta_0/\delta_a=1.42$ となる $\delta_a=3.50$ cmの場合には、上記の例のように I_2 や M_3 を改良するのみでは δ_a を満足することができず、表-2の第5列に示すごとく $M_3 \rightarrow I_1 \rightarrow I_2 \rightarrow I_1 \rightarrow M_2 \rightarrow I_1 \rightarrow I_1 \rightarrow M_1 \rightarrow I_3$ の9回の改良をくり返すことにより最適解を得ることができた。この例における I_1 の改良はすべて桁要素①の断面二次モーメントを減少させ、桁要素②の要素長を増加させることにより $\partial \delta/\partial I_1$ を負としてなされたものである。またIのMove Limitを0.1より大きくすることにより改良のくり返しを減少させることができる。この例では実たわみ量は許容たわみ量と完全に一致している。以上の4例の最適解をSLP法による解と比較するとたわみ制限を有する最適設計問題によくみられるごとく、IおよびLの値は多少異なっているが、最適鋼種および最小製作費は完全に一致し、本研究の方法によりたわみ制限を考慮した場合にも全般的な最適解が得られることが明らかとなった。

ところで各 δ_a における最適解を得るまでの計算時間は、FACOM 230-28で、 $\delta_a=4.90$ cm, 4.00cmの例のように式(1)により改良した設計変数が1個の場合には35秒程度、 $\delta_a=4.50$ cmのように2個の場合には65秒、9個の場合には293秒と、改良すべき変数の数に比例して計算時間が増加している。これに対してSLP法では1回のくり返し計算過程ですべての設計変数を改良し得るので、表-2に示すごとく δ_a の大きさにほとんど関係なく65~90秒で最適解を得ている。従って $\delta_0-\delta_a$ が小さい場合には本研究で提案している解法が能率的であるが、 $\delta_0-\delta_a$ が大きい最適設計問題ではSLP法が能率的な解法となろう。また本法は最適解を決定するにあたってLPのシンプレックス表などのような数値計画法のための大きなコア容量を必要とせず、きわめて容易に改良解を決定していることも大きな特徴の一つである。なおこの他の種々の計算例については講演当日発表致したい。

(参考文献) ① 大久保 "等断面桁の最適設計図表" 土木学会第29回年次学術講演会 49.10 ② 大久保・山縣・河村 "桁要素のSuboptimizationに基づく鋼工桁橋の図式最適設計法" 愛媛大学紀要 51.2 ③ 大久保・山縣 "桁高制限を有する鋼桁橋の図式最適設計法 (第1報)" 土木学会中四国支部第28回年次学術講演会 51.5