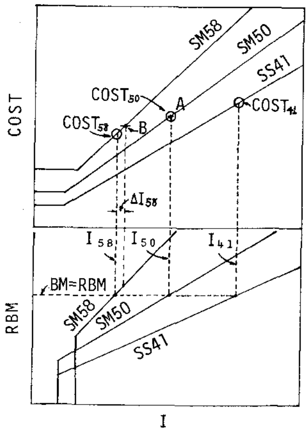
## I－8　桁高制限を有する鋼I桁橋の図式最適設計法（第1報）

愛媛大学工学部　正　員　　大久保禎二
愛媛大学大学院　学生員　○山縣 延樹

1. まえがき　　　　著者らは、これまでに桁断面の *Suboptimization* によって得られた断面二次モーメント(I)－最大抵抗曲げモーメント(RBM)関係曲線、I－最小製作費(COST)関係曲線およびRBM－鋼重(GW)関係曲線を用いて桁の最大曲げモーメント図より最小製作費図を作成し、これを断面変化位置を修正することにより図式的に最小化する図式最適設計法を提案し[1)2)]、この方法により等断面および変断面を有する鋼I桁橋の最適設計図表を発表したが[3)4)]、今回は桁高が制限され各桁要素の設計変数がたわみ制限により決定される場合の図式最適設計法について述べるものである。

2. 方法　　　　文献1)および2)で述べている図式最適設計法において、曲げモーメントのみを考慮することにより設計変数を決定できるような最適設計問題では、最大曲げモーメント図にそって桁の全製作費TCOSTすなわち最小製作費図の面積を図式的操作により最小化することによって最適な設計変数（使用鋼種(M)、断面二次モーメント(I)、断面変化位置(L)）を決定することができる。しかし、たわみ制限により断面の諸元が決定される最適設計問題においては、曲げモーメントのみを考慮して得られた最適断面のIをさらに増加させる必要がある。この場合、各桁要素のIを増加させる方法として、①　使用鋼種を許容応力度の一段階小さい鋼種に変更し、図-1のAに示すごとくBM=RBMとなるようにIを増加させる方法、および、②　図-1のBに示すように各桁要素の鋼種を変化させずIのみを増加させる方法、の2通りが考えられる。従って、たわみ制限を考慮して桁の最適設計を行なう場合、各桁要素について考慮すべき設計変数XはI，Mとなり最適解を求めるためには、曲げモーメントの制約条件を満足しつつ、これらの設計変数の変化によるTCOSTの増分$\partial TCOST/\partial X$を最小にし、かつ桁のたわみ量の減少$\partial\delta/\partial X$（<0）を最大にする設計変数、すなわち次に示す式(1)を満足する設計変数を決定しそれを改良していけばよいこととなる。

$$\frac{\delta_o-\delta_a}{\frac{\partial\delta}{\partial X}}\cdot\frac{\partial TCOST}{\partial X}\longrightarrow max. \qquad (1)$$




図－1

なお、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$\delta_o$と許容たわみ量$\delta_a$の差$\delta_o-\delta_a$が大きい場合には、各桁要素のIおよびMを改良していく過程で、同一の桁要素において上記①および②の改良が重複されることもしばしば生ずる。また各桁要素の断面変化位置Lも重要な設計変数として考えられるが、図式解法においては桁の最小製作費図を最小化し、各桁要素の最適なM，Iを決定する過程で最適なLも決定されるので、本研究ではLを独立変数として考慮しないこととした。

3. $\partial\delta/\partial X$，$\delta TCOST/\partial X$の計算　　　　2.で述べた方法により最適解を決定する過程で、各桁要素のδおよびTCOSTに対する影響係数$\partial\delta/\partial X$および$\partial TCOST/\partial X$を求めることが必要となり、これらは次のようにして求めることができる。すなわち着目している桁要素$i$の鋼種($M_{i\cdot j}$)に関する影響係数$\partial\delta/\partial M_i$および$\partial TCOST/\partial M_i$は

$$\partial\delta/\partial M_i=\delta(M_{i\cdot j-1})-\delta(M_{i\cdot j}) \qquad (2)$$

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

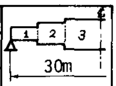
より計算される。ここに$M_{i\cdot j-1}$は使用鋼種$M_{i\cdot j}$に対して一段階許容応力度の小さい鋼種を示す。上式の$\delta(M_{i\cdot j-1})$

は、着目している桁要素$i$の鋼種を$M_{i,j-1}$に固定し、他の桁要素のMおよびIを自由に選択できるものとして、桁の最大曲げモーメント図にそって図式解法により桁の全製作費TCOSTを最小とした桁におけるたわみ量を表わすものであり、$TCOST(M_{i,j-1})$はその時の最小製作費を表わすものである。また、着目している桁要素$i$の断面二次モーメント($I_i$)に関する影響係数$\partial\delta/\partial I_i$および$\partial TCOST/\partial I_i$は次式より計算される。

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

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

上式の$\delta(I_i+\Delta I_i)$, $TCOST(I_i+\Delta I_i)$は、着目している桁要素$i$の断面二次モーメント$I_i$を$\Delta I_i$だけ増加させ、$I_i+\Delta I_i$および$M_i$を固定し、その他の桁要素のM, Iを自由に選ぶことができるものとして、図式操作により桁の製作費TCOSTを最小とした桁におけるたわみ量およびTCOSTを表わしている。

| | X \ Seg. No | 1 | 2 | 3 |  |
|---|---|---|---|---|---|
| 初期値 | $M_i$ | SM50 | SM50 | SM58 | |
| | $I_i$ (cm$^4$) | 913751 | 1737723 | 1820404 | $P_\ell$ =17990 kg |
| | $L_i$ (cm) | 310 | 677 | 1500 | $q_\ell$ =1259.3 kg/m |
| | $\delta_0$ = 4.989 cm | | TCOST = 1679945 yen | | $q_d$=2369.1 kg/m<br>$\delta_a$=4.500 cm |

| X | $M_1$ | $M_2$ | $M_3$ | $I_3$ |
|---|---|---|---|---|
| $\frac{\partial\delta}{\partial X}$ | -0.042 | -0.085 | -1.189 | -0.386 |
| $\frac{\partial TCOST}{\partial X}$ (×$10^4$) | 1.287 | 3.566 | 5.644 | 5.985 |
| $\frac{\delta_0-\delta_a}{\partial\delta/\partial X}\cdot\frac{\partial TCOST}{\partial X}$ (×$10^4$) | -14.984 | -20.515 | $\boxed{-2.321}$ | -7.582 |

表-1

| | Seg. No. | M | I (cm$^4$) | L(cm) | $\delta_{op}/\delta_a$ , TCOST |
|---|---|---|---|---|---|
| $M_3$の改良による最適解 | 1 | SM50 | 934787. | 315. | $\delta_{op}$=3.800 cm |
| | 2 | SM50 | 1759769. | 680. | $\delta_{op}/\delta_a$=0.844 |
| | 3 | SM50 | 2530991. | 1500. | TCOST=1736390.YEN |
| $I_3$の改良による最適解 | 1 | SM50 | 966132. | 330. | $\delta_{op}$=4.500 cm |
| | 2 | SM50 | 1803354. | 714. | $\delta_{op}/\delta_a$=1.000 |
| | 3 | SM58 | 2059159. | 1500. | TCOST=1754531.YEN |

表-2

## 4. 最適設計例

上記の方法により車道幅員8m, 支間長30m, 桁高1700mm, 桁要素数5の単純桁についての最適設計を行なった例を示す。この例ではたわみ制限$\delta_a$として4.500cmを仮定した。まず、たわみ制限を考慮しない場合の桁の最適解を求め、これを初期値とし、次に各桁要素の鋼種Mの変化によるたわみ量$\delta$および桁の全製作費TCOSTの変化量$\partial\delta/\partial M$, $\partial TCOST/\partial M$をそれぞれ式(2)および(3)より、また各桁要素の断面二次モーメントIのみを増加させることによる$\delta$およびTCOSTの変化量$\partial\delta/\partial I$, $\partial TCOST/\partial I$を式(4), (5)より求め、さらにこれらの影響係数を用いて式(1)を満足する設計変数Xを決定した。その結果を表-1に示す。これらの値より式(1)を満足する設計変数Xは、桁要素3の鋼種となり、初期値として得られた最適鋼種SM58をSM50に改良し、この桁要素の鋼種のみを変化させないで桁の最大曲げモーメント図にそって図式解法により桁要素1, 2, 3の最適なI, 桁要素1, 2の最適鋼種および断面変化位置$M_1$, $M_2$, $L_1$, $L_2$を求めた。(表-2参照) この最適解では桁要素3のIは、初期値にくらべ1.39%増加し、最適解における実たわみ量$\delta_{op}$と$\delta_a$との比$\delta_{op}/\delta_a$も0.844となっておりたわみ制限を満足している。またTCOSTは、初期値に比べ3.4%増加した。一方桁要素3の鋼種を変化させないでIのみを増加させることにより得られた最適解を表-2に示す。この最適解では$\delta_{op}/\delta_a$ = 1.000となるが、TCOSTは初期値に比べ4.4% 増加し、桁要素3のMを変化させた場合よりも大きくなっている。したがって桁要素3のIのみを増加したわみ制限を満足させるよりも、$\delta_{op}/\delta_a$ = 0.844となっても鋼種を変化させる方がより経済的となっており、式(1)によりもっとも改良すべき設計変数を選択できることが明らかとなった。なお桁要素1および2のMを変化させたことによる$\delta$の変化は表-1に示すごとくきわめて微小であり、Iの変化についても同様のことがいえるので$I_1$, $I_2$に関する影響係数は省略した。なおこの例では初期値のたわみ$\delta_0$とたわみ許容量$\delta_a$の比$\delta_0/\delta_a$が1.109となっているが$\delta_0/\delta_a$の種々の値における最適解、あるいは2・3径間連続桁の例などについては当日発表する予定である。

参考文献
1)大久保・奥村"図式解法による鋼I桁の最適設計" 土木学会論文報告集(投稿中)
2)大久保・山縣・河村"桁要素のsuboptimizationに基づく鋼I桁橋の図式最適設計法" 愛媛大学紀要, 第8巻, 第3号, 昭和51年2月
3)大久保・奥村"等断面鋼I桁道路橋の最適設計図表" 土木学会論文報告集(投稿中)
4)大久保・奥村"変断面鋼I桁道路橋の最適設計図表" 土木学会論文報告集(投稿中)