I－13　　　　　　　　多数の横桁を有する曲線格子桁の最小重量設計について

関西大学工学部　正会員　○三　上　市　蔵
関西大学工学部　正会員　　米　沢　　博

まえがき　これまで，２本の曲線主桁が１本[1),2)]あるいは多数[3),4)]の横桁で結合されているような曲線格子桁をとりあげ，理論的に極限解析を行なうとともに，小形模型による実験を行なつて，理論的な崩壊形式と崩壊荷重の妥当性を確かめた。ここでは，これらの結果を用いて最小重量設計を行ない，横桁の断面と本数が与えられた場合に最小重量を与える内外主桁の断面比，あるいは横桁の本数と内外主桁の断面比が与えられた場合に最小重量を与える横桁の断面を検討した。

崩壊形式および崩壊荷重　図－１に示すような，両端で曲げおよびねじりに対して固定されている２本の曲線主桁が，Ｎ本の横桁で結合されているような曲線格子桁を考える。外桁のスパン中央に集中荷重が作用する場合について，せん断力および軸力の影響と横桁のねじり抵抗を無視して，降伏条件式およびつりあい条件式から，図－２に示す各崩壊形式に対する崩壊荷重[3)]を求めるとつぎのようになる。

ただし，$\mu = Pr_1/M_{1P}$，$\rho = r_1/r_2$，$i = M_{2P}/M_{1P}$，$j = \overline{M}_P/M_{1P}$，$\nu = T_{1P}/M_{1P} = T_{2P}/M_{2P}$で，$M_{1P}$, M_{2P}, $\overline{M}_P$ および T_{1P}, T_{2P}はそれぞれ外，内，横桁の全塑性曲げモーメントおよび外，内桁の全塑性ねじりモーメントである。

A_E：
$$\mu = \frac{\nu^2\Phi + \cot(\beta/2)}{\sqrt{(\nu\Phi)^2+1}} + \cot\frac{\beta}{2} + j\left[\frac{2n\rho}{\rho-1} + \frac{\rho+1}{\rho-1}\sum_{x=1}^{2n}(-1)^x\frac{\sin(x\alpha/2)}{\sin\beta}\right]$$

ただし
$$\frac{\nu^2\Phi - \tan(\beta/2)}{\sqrt{(\nu\Phi)^2+1}} + \tan\frac{\beta}{2} + j\left[\frac{2n\rho}{\rho-1} - \frac{\rho+1}{\rho-1}\sum_{x=1}^{2n}\frac{\sin(x\alpha/2)}{\sin\beta}\right] = 0$$

A_0：
$$\mu = \frac{\nu^2\Phi + \cot(\beta/2)}{\sqrt{(\nu\Phi)^2+1}} + \sqrt{1-\left(\frac{j}{2\nu}\right)^2}\cdot\cot\frac{\beta}{2} + j\left[\frac{2(n+1)\rho}{\rho-1} - \frac{1}{2}\right]$$

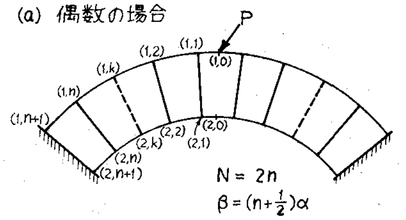
ただし
$$\frac{\nu^2\Phi - \tan(\beta/2)}{\sqrt{(\nu\Phi)^2+1}} + \sqrt{1-\left(\frac{j}{2\nu}\right)^2}\cdot\tan\frac{\beta}{2} + j\left[\frac{2n\rho}{\rho-1} + \frac{1}{2} - 2\frac{\rho+1}{\rho-1}\sum_{x=1}^{n}\frac{\sin x\alpha}{\sin\beta}\right] = 0$$

B_E, B_0：$\mu = 2(1+i)\cot(\beta/2)$

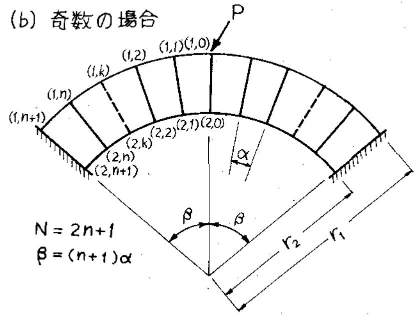
C_E：
$$\mu = \frac{\nu^2\Phi(1-A) + \cot(\beta/2) + A\tan(\beta/2)}{\sqrt{(\nu\Phi)^2+1}} + \cot\frac{\beta}{2} - A\tan\frac{\beta}{2} + j\left[\frac{2n\rho}{\rho-1}(1-A) + \frac{\rho+1}{\rho-1}\left\{\sum_{x=1}^{2n}(-1)^x\frac{\sin(x\alpha/2)}{\sin\beta} + A\sum_{x=1}^{2n}\frac{\sin(x\alpha/2)}{\sin\beta}\right\}\right]$$

図－１

(a) 偶数の場合

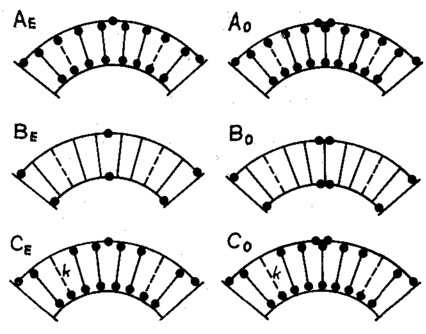


(b) 奇数の場合



図－２　崩　壊　形　式

(a) 偶数の場合　　(b) 奇数の場合



1) 米沢・三上：曲線格子桁の極限解析について，土木学会論文集，第132号，昭41.8.
2) 米沢・三上：曲線格子桁の極限解析について（線荷重載荷の場合），京大工教研究報告，3号，昭41.11.
3) 米沢・三上：曲線格子桁の極限解析（横桁多数の場合），土木学会年次学術講演会概要集，昭42.5.
4) 米沢・三上・嶋城：曲線格子桁の極限解析（横桁多数の場合），土木学会関西支部講演会概要集，昭42.11.

ただし　$A = [\sin(k-\frac{1}{2})\alpha - \sin(n+1-k)\alpha - \rho\sin\beta] / [\sin(k-\frac{1}{2})\alpha + \sin(n+1-k)\alpha - \rho\sin\beta]$

$\phi = -\sin(n+1-k)\alpha / [\rho - \cos(n+1-k)\alpha]$

また n = 奇数のとき $k = (n+3)/2$,　n = 偶数のとき $k = (n+2)/2$.

$$C_0:\quad \mu = \frac{\nu^2\phi(1-A) + \cot(\beta/2) + A\tan(\beta/2)}{\sqrt{(\nu\phi)^2+1}} + \sqrt{1-\left(\frac{j}{2\nu}\right)^2}\cdot\left(\cot\frac{\beta}{2} - A\tan\frac{\beta}{2}\right)$$

$$+ j\left[\frac{2\rho}{\rho-1}\left\{n(1-A)+1\right\} - \frac{1+A}{2} + 2A\frac{\rho+1}{\rho-1}\sum_{x=1}^{n}\frac{\sin x\alpha}{\sin\beta}\right]$$

ただし　$A = [\sin(k\alpha) - \sin(n+1-k)\alpha - \rho\sin\beta] / [\sin(k\alpha) + \sin(n+1-k)\alpha - \rho\sin\beta]$

$\phi = -\sin(n+1-k)\alpha / [\rho - \cos(n+1-k)\alpha]$

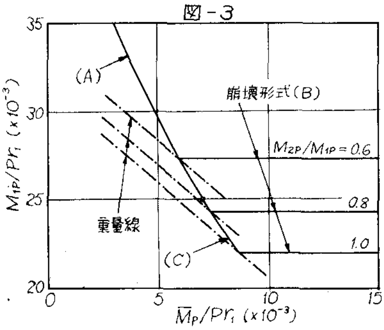
また n = 奇数のとき $k = (n+1)/2$,　n = 偶数のとき $k = (n+2)/2$.

設計平面および重量線　各桁の単位長さ当りの重量はその全塑性曲げモーメントに比例すると考えると，重量関数は

$$W = 2\beta r_1 M_{1P} + 2\beta r_2 M_{2P} + N(r_1 - r_2)\overline{M}_P$$

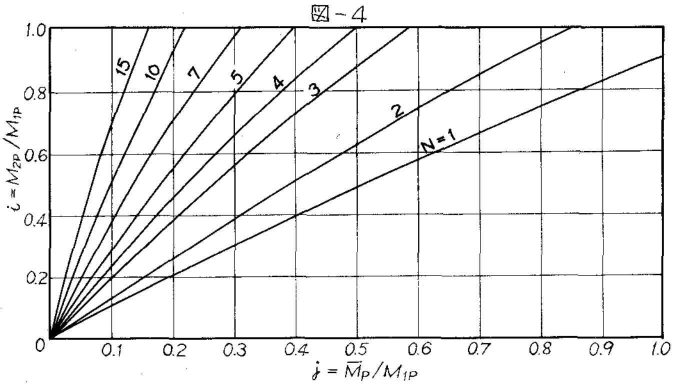
となる。いま $\nu = 1.155$, 橋軸に沿ったスパンと主桁間隔の比 $a = 4$, $\beta = 10°$, $N = 5$ の場合について設計平面および重量線を描くと図－3のようになる。この図から両主桁が崩壊する形式Bと，載荷桁と横桁が崩壊する形式AまたはCとが同時に起こるような M_{1P}, M_{2P}, $\overline{M}_P$ の比が最小重量を与えることがわかる。

図－3



最小重量を与える桁の断面比
$\nu = 1.155$, $a = 4$, $\beta = 10°$ の場合について最小重量を与えるような各桁の全塑性曲げモーメントの比を求めると図－4のようになる。この図から最小重量を与える N, $\overline{M}_P/M_{1P}$, M_{2P}/M_{1P} の値の組み合わせを求めることができる。

図－4



ところで，スパン中央の横桁に比べて，固定端に近い横桁ほど崩壊に対する抵抗が小さい。その抵抗の程度は固定端からの距離に逆比例すると考えると，k番目の横桁をスパン中央の横桁に換算した場合，その全塑性曲げモーメントは $[(n+1-k)\alpha/\beta]\overline{M}_P$ となる。したがって，N本の横桁を有する曲線格子桁は

N = 奇数のとき：$\frac{1}{2}(N+1)\overline{M}_P$,　　N = 偶数のとき：$[N(N+2)/2(N+1)]\overline{M}_P$

なる等価な断面をもつ1本の横桁を有する曲線格子桁に換算できる。この等価な断面を用いると，図－4の種々のNに対する曲線は最大5％の誤差でN＝1の場合の曲線と一致する。したがって，N＝1の場合について最小重量を与える $\overline{M}_P/M_{1P}$, M_{2P}/M_{1P} の値を求めておけば，種々のNに対するそれらの値を近似的に算出できる。