I－7

平均と分散を規定した荷重によるはりの設計

岐阜大学　工学部　正会員　　中川建治
岐阜大学　大学院　学生会員○村瀬安彦

1、まえがき　　従来の道路橋設計示方書の設計方法は活荷重を最も不利な応力が生ずる位置に等分布として載荷する方法を採用しているが、これでは実際の車両荷重の乱れを考慮しているとは言い難い。車両荷重の乱れを現行示方書の方式よりも多少とも考慮しながら構造物の設計を行なうにはどのようなアプローチの方法があろうか。本研究では示方書の荷重方式を採用せずに、分布荷重は「平均値と分散を１スパン上において一定という条件以外には制約されない任意の静的分布荷重である」とみなす。このような分布荷重$g(x)$が着目する断面に最も不利な断面力を生ずるように$g(x)$の形状を定め、このときの断面力を求め、この断面力に耐える断面形状を塑性設計法で求める。そして、実際の示方書方式の設計法と比較検討を試みる。

2、極大曲げモーメント　　本文で対象とするのは３径間連続ばりとする。スパン長をl_1, l_2, l_1とし、左右対称の不等断面梁とする。それぞれのスパンに載荷する設計用の分布荷重$g_1(x)$, $g_2(x)$, $g_1(x)$は式(1)に示すようにスパンにおける平均値g_0，分散σ_g^2が規定される以外は全く任意に変わり得る不規則分布荷重であると仮定する。

$$g_0 = \frac{1}{l_i}\int_0^{l_i} g_i(x_i)\,dx \quad , \quad \sigma_g^2 = \frac{1}{l_i}\int_0^{l_i}\{g_i(x_i) - g_0\}^2 dx \qquad (i = 1, 2) \tag{1}$$

このような分布荷重$g(x)$によるスパン上の任意点aの最大曲げモーメント$M(a)$を求め、$M(a)$が全塑性曲げモーメントと等しくなるように点aにおける断面を決定する。まず、中間支点上の全塑性曲げモーメントm_{PB}を設定する。つぎにa点が中央スパン内であるならば、a点がヒンジになったときは中央スパン左右支点上においてはすでに全塑性曲げモーメント$m_{PB}=m_{PC}$となり、塑性ヒンジであるとする。この崩壊機構は無理のない仮定であろう。この全塑性曲げモーメントによって点aの断面を決定すれば平均値g_0，分散σ_g^2をもつ乱れた分布荷重$g(x)$による最も経済的な最適断面が形成されよう。左右のスパンに対しては一方の支点の全塑性曲げモーメントが０であるとして上記の方法を適用すればよい。

分布荷重$g(x)$が全スパン上に分布しているときの各点の絶対最大曲げモーメントは式(2)となる。

$$\begin{aligned}
|M(x_2)| &= m_{PB} - \frac{x_2}{2}(l_2 - x_2)\left(g_0 - \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_g\right) \quad (0 \leqq x_2 \leqq \xi_2 ,\ l_2 - \xi_2 \leqq x_2 \leqq l_2) \\
|M(x_2)| &= -m_{PB} + \frac{x_2}{2}(l_2 - x_2)\left(g_0 + \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_g\right) \quad (\xi_2 \leqq x_2 \leqq l_2 - \xi_2) \qquad , \ \xi_2 = \frac{1}{2}\left(l_2 - \sqrt{l_2^2 - 8m_{PB}/g_0}\right) \\
|M(x_1)| &= -\frac{m_{PB}}{l_1}x_1 + \frac{x_1}{2}(l_1 - x_1)\left(g_0 + \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_g\right) \quad (0 \leqq x_1 \leqq \xi_1) \qquad , \ \xi_1 = \frac{1}{l_1}\left(l_1^2 - 2m_{PB}/g_0\right) \\
|M(x_1)| &= \frac{m_{PB}}{l_1}x_1 - \frac{x_1}{2}(l_1 - x_1)\left(g_0 - \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_g\right) \quad (\xi_1 \leqq x_1 \leqq l_1)
\end{aligned} \tag{2}$$

分散σ_g^2，平均値g_0の比，$\alpha = \sigma_g/g_0$（変動係数）が$1/\sqrt{3}$より大きくなると$g(x)$がある区間で負となり実際的でなくなる。そこで$g(x) < 0$の区間では$g(x) = 0$となる条件を加えて前述した方法と同様に絶対最大曲げモーメントを求めると、式(3)となる。

$$|M(x_2)| = m_{PB} - \frac{4}{9(\alpha^2 + 1)} x_2 (l_2 - x_2) g_0 \qquad (0 \leqq x_2 \leqq \xi_2 ,\ l_2 - \xi_2 \leqq x_2 \leqq l_2)$$

$$|M(x_2)| = -m_{PB} + \frac{9\alpha^2+5}{9(\alpha^2+1)} x_2(l_2-x_2) g_0 \quad (\xi_2 \leqq x_2 \leqq l_2-\xi_2)$$

$$|M(x_1)| = -\frac{x_1}{\xi_1} m_{PB} + \frac{9\alpha^2+5}{9(\alpha^2+1)} x_1(l_1-x_1) g_0 \quad (0 \leqq x_1 \leqq \xi_1) \tag{3}$$

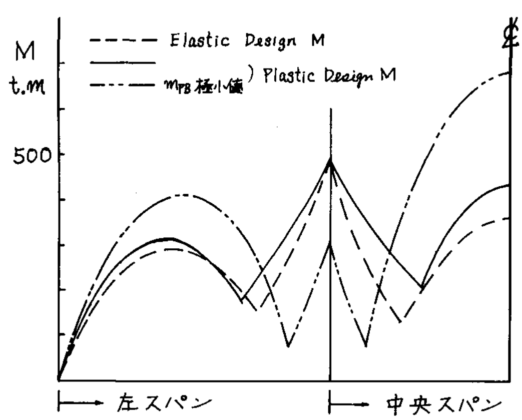
$$|M(x_1)| = \frac{x_1}{\xi_1} m_{PB} - \frac{4}{9(\alpha^2+1)} x_1(l_1-x_1) g_0 \quad (\xi_1 \leqq x_1 \leqq l_1)$$

以上に導いた絶対最大曲げモーメントは中間支点上の全塑性曲げモーメント m_{PB} の関数となっているので g_0, σ_g^2 は交通量調査より得られるとしても m_{PB} は他の適当な条件をもって決定しなければならない。

3、弾性設計　　塑性設計法の一試案と比較検討をするため、示方書方式による弾性設計法における曲げモーメントと断面を実際の橋梁から求める。対象とする橋梁は従来の計算方法で設計架設された立木橋で概略は型式・3径間連続鈑桁，支間 30 m ＋ 40 m ＋ 30 m，設計荷重 TL－14，有効幅 4.50 m，主桁 2 本で主桁間隔は 2.80 m である。考慮する死荷重は主桁 1 本当たり 1.737 t/m で、衝撃係数も考慮する。そして、曲げモーメント分布を求め、同時にこの曲げモーメントで弾性設計された断面の弾性抵抗曲げモーメントと全塑性抵抗曲げモーメントの比を求めると最小値 1.72 を示す。すなわち荷重強度が 1.72 倍に増加しても破壊に至ることはないと考えられる。このとき、許容応力度 1900 kg/cm²，降伏点応力度 2800 kg/cm² の鋼材を使用する。

4、塑性設計法の一試案　　平均値 g_0，分散 σ_g^2 を示方書方式の荷重載荷方法を利用して求める。中央スパンにおいて線荷重 P，等分布荷重 g が示方書方式と同じに載荷されるとき、g_0，σ_g^2 の値は最大となり最大曲げモーメント分布を示す。よって P，g に衝撃係数，そして弾性設計法と同じ安全度を有するように考慮して、前述した荷重係数 1.72 を乗じた値を使用し、g_0，σ_g^2 を求め、この値で塑性設計を試みる。このとき、中央スパン上で荷重が不載荷で左右両支点において塑性ヒンジであるときの曲げモーメントと比較し、絶対最大曲げモーメントを採用しなければならない。左スパンについても中央スパンと同様に行なう。そして、m_{PB} の値はつぎのように決定する。オ1は式(2)，式(3)で求められた曲げモーメントが断面の全塑性曲げモーメントになるように断面を決定すれば合理的である。断面をI型断面とし、フランジ幅 b のみをパラメーターとして、全スパンフランジ鋼材体積を極小値とする m_{PB} で設計する。オ2は弾性設計の支点曲げモーメントに等しいとおいて塑性設計を試みた。これを図－1に示した。このとき弾性設計曲げモーメント値には荷重係数 1.72 を乗じてある。ただし、座屈については考慮していない。

5、むすび　　本研究では g_0，σ_g^2 方式による塑性設計の一試案と示方書方式による弾性設計法と比較し、これを図－1に示した。図より、m_{PB} が最小断面を与える値のとき、支点近傍においては弾性設計曲げモーメント値が大きく、各スパン中央近傍になるにしたがい、塑性設計曲げモーメント値が過大となる。一方、m_{PB} を弾性設計の支点曲げモーメント値に等しいとおくと全スパンにわたって塑性設計曲げモーメント値が弾性設計のそれと比べて、少し大という結論が得られた。



図－1. 塑性．弾性曲げモーメント分布