

曲線箱桁橋の断面変形について

大阪市立大学工学部 正員 中井 博

大阪市立大学工学部 学生員 村山 泰男

1. まえがき：近年、曲線箱桁橋を架設される機会が多くなったが、この種の橋梁では、箱桁特有の断面変形による垂直応力が生じることが知られ、数多くの研究がなされている。その1つの研究に、Dabrowskiは実用的解析法を提案している。本研究は、その基礎式を伝達マトリックス法により一層汎用性のあるものとし、断面変形による垂直応力のダイヤフラム間隔や曲率半径の影響について調べ、曲線箱桁橋のダイヤフラム間隔とその所要剛度について考察するものである。また、理論式の妥当性を検討するために、模型桁による載荷実験を行なった。

2. 基礎式 a). 基礎微分方程式：箱形断面が図-1に示すような変形をするものとして、Dabrowskiによって得られた微分方程式は次式ようになる。

$$Y'''' + 4\lambda^2 Y = \frac{1}{WA^*} \left(\rho \frac{M}{R} + \frac{m_T}{2} \right), \quad \lambda^2 = k_s / 4WA^* \quad (1)$$

ここに、 Y ：ずり角(図-1), WA^* ：断面変形に関する剛性($t \cdot m^4$), k_s ：桁の剛度(t), R ：曲率半径(m), M ：曲げモーメント($t \cdot m$), m_T ：分布トルク($t \cdot m/m$), ρ ：無次元形状係数

剛な端ダイヤフラムをもつ単純ばりの場合、式(1)を境界条件、 $Y=Y'=0$ のもとに解くことにより Y の解が得られる。そして、断面変形によるずり応力 σ_{xy} は、次式により求められる。

$$\sigma_{xy} = -Y'' A^* \bar{\omega} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{\omega}$ は図-2に示すような分布をする基準ずり応力として定義されるものである。

b). 伝達マトリックス法による解法：式(1)より得られる格間行列を次式に示す。

Y	$\cosh \lambda l_k \cosh \lambda l_k$	$(\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k + \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) / 2\lambda$	$(\sinh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) / 2\lambda^2$	$(\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k - \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) / 4\lambda^2$	$\frac{1}{WA^*} \left(\rho \frac{M}{R} + \frac{m_T}{2} \right) \cdot \frac{1}{4\lambda^2} \times (1 - \cosh \lambda l_k \cosh \lambda l_k)$	Y
Y'	$(-\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k + \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) \cdot \lambda$	$\cosh \lambda l_k \cosh \lambda l_k$	$(\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k + \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) / 2\lambda$	$(\sinh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) / 2\lambda^2$	$\frac{1}{WA^*} \left(\rho \frac{M}{R} + \frac{m_T}{2} \right) \cdot \frac{1}{4\lambda^2} \times (\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k - \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k)$	Y'
Y''	$(-\sinh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) \cdot 2\lambda^2$	$(-\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k + \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) \cdot \lambda$	$\cosh \lambda l_k \cosh \lambda l_k$	$(\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k + \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) / 2\lambda$	$\frac{1}{WA^*} \left(\rho \frac{M}{R} + \frac{m_T}{2} \right) \cdot \frac{1}{2\lambda} \times (\sinh \lambda l_k \sinh \lambda l_k)$	Y''
Y'''	$(-\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k + \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) \cdot 2\lambda^2$	$(-\sinh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) \cdot 2\lambda^2$	$(-\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k + \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k) \cdot \lambda$	$\cosh \lambda l_k \cosh \lambda l_k$	$\frac{1}{WA^*} \left(\rho \frac{M}{R} + \frac{m_T}{2} \right) \cdot \frac{1}{2\lambda} \times (\sinh \lambda l_k \cosh \lambda l_k + \cosh \lambda l_k \sinh \lambda l_k)$	Y'''
I	0	0	0	0	1	I

(3)

ここに、 l_k は第 k パネルのパネル長である。

つぎに、集中トルク M_T が作用した場合で、ダイヤフラム点のずり角の拘束を含めたときの格点行列は次式で表わされる。

$$[P] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \frac{K}{WA^*} & 0 & 0 & 1 & \frac{M_0}{2WA^*} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots (4)$$

すなわち、第4行1列目のバネ定数Kは、ダイヤフラム剛度により決まり、たとえば板厚 t_b 、幅 a 、高さ b 、せん断弾性係数 G_D をもつ充腹隔壁の場合、Kは次式となる。

$$K = G_D a b \dots (5)$$

3. 数値計算例：図-3に示す死荷重 $W=35t/m$ 、集中荷重 $P=80t$ の荷重を受けるRC曲線箱桁橋について、伝達マトリックス法の精度を検討するために、文献1)の閉じた解、および文献2)の差分法による解との比較を行なった。YとY'についての結果を図-4に示す。ただし、この場合、ダイヤフラムは剛なものとした。

$$\begin{aligned} E &= 2.6 \times 10^4 t/m^2 \\ b &= 0.15 \\ WA^* &= 4.505 \times 10^8 t/m \\ \lambda &= 0.0586 m^{-1} \\ \rho &= 0.508 \end{aligned}$$

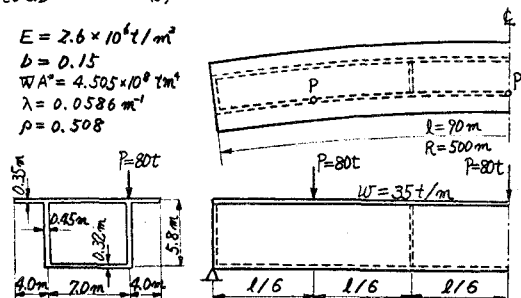


図-3 RC曲線橋の寸法
-----: 伝達マトリックス法
(): Dabrowskiによる解
[]: 差分法

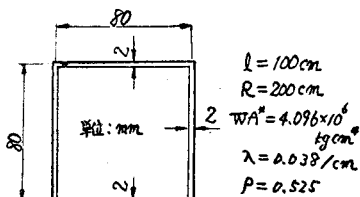
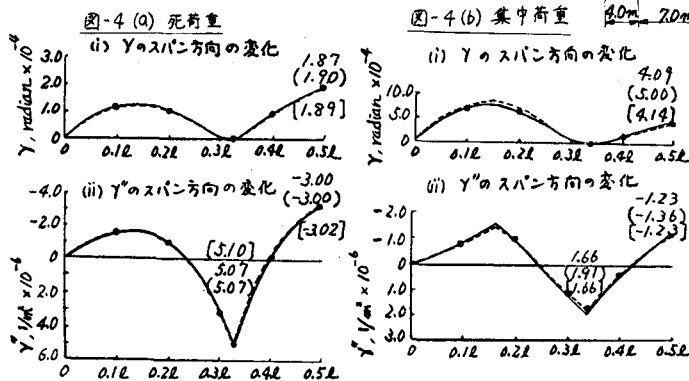


図-5 模型桁断面

4. 模型実験：理論解析の結果の妥当性を検討するため、模型桁による実験を行なった。模型はアクリル製 ($E=3.4 \times 10^4 kg/cm^2$, $\nu=0.35$) の図-5に示す断面のもので、ダイヤフラム数 ($t_b=1mm$) が1, 3, 5, 7の4体の単純曲線箱桁橋模型について実験を行なった。支点部は、回転拘束、単純支持となるように軸方向に動くローラーで支持した。荷重は、ウェッジ上に集中荷重として載荷した。一例として、中間にダイヤフラムを1個有する桁のボトムプレート (図-5中○印) の応力の実験結果を図-6に示す。

5. あとがき：数値計算例、および模型実験より、本文の理論解析結果の妥当性は十分確かめられたものと思う。他の模型桁に関する実験結果、およびダイヤフラム間隔の決定に関する考察は、講演会当日に発表の予定である。

— 参考文献 —

- 1) Dabrowski, R: Gekrümmte dünnwandige Träger, Springer-Verlag (1968)
- 2) Oleinik, J.C and Heins, C.P: Diaphragms for Curved Box Bridges, Proc. of ASCE, Vol. 101, No. ST10 (Oct. 1975)

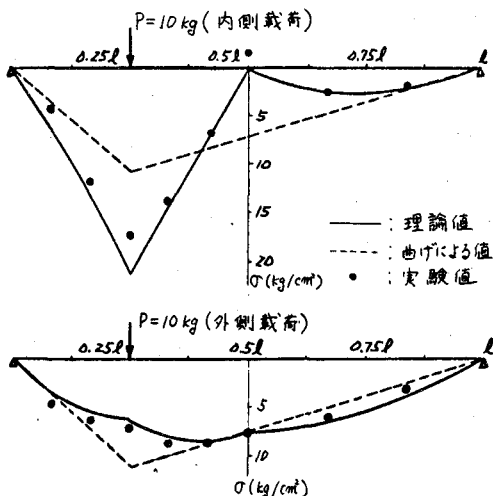


図-6 断面変形による垂直応力 (ダイヤフラム数1)