

川崎重工業 正会員 坂井藤一

1. まえがき

近年構造物の大型化・薄肉化に伴って、従来の設計概念では把握できない問題が種々生じており、箱型梁においても最近諸外国で破壊事故例を幾つか経験しているようである。

このような薄肉構造物においては補剛部材が重要な役割を果たしている。特に箱型梁の場合のダイアフラムに関しては現在設計規準も明確化されておらず、検討すべき点が多いと思われる。筆者等は先にこのような観点から、直線箱型梁の場合についてその断面変形挙動と中間ダイアフラムの特性の研究結果を報告した⁽¹⁾⁽²⁾。本報告は、その一連の研究として、それと同様の解析手法を曲線箱型梁に適用して断面変形を考慮に入れた基本方程式を導き、曲線梁における断面変形挙動と中間ダイアフラムの影響を解析すること、ならびに大型試験体によってそれらを実験的に調査することを目的としている。

2. 一般座標法による基本方程式の誘導

図-1に示すような二軸対称断面を有する曲線梁を考える。曲率中心を原点として固定座標 $\alpha-r-\theta$ および断面の重心を原点として固定座標 $X-Y$ を定め、また断面頂点①を原点として輪郭線に沿う物体座標 s を定める。

(i) 変位の仮定

α , r および θ の各座標方向の変位 u , v および w を次のように仮定する。

$$\left. \begin{aligned} u(\alpha, s) &= \sum_{i=1}^4 \varphi^{(i)}(s) U_i(\alpha) \\ v(\alpha, s) &= \sum_{i=1}^4 \psi_v^{(i)}(s) V_i(\alpha) \\ w(\alpha, s) &= \sum_{i=1}^4 \psi_w^{(i)}(s) V_i(\alpha) \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで、 $\varphi^{(i)}$, $\psi_v^{(i)}$, $\psi_w^{(i)}$ は一般化された座標と呼び、 $U_i=1$ および $V_i=1$ の時の変位に相当する大きさを

持つ。それらを図示したのが図-2, -3および-4である。 U_i, V_i は一般化された変位と呼ぶ。一般座標を上のように採れば、 U_i, V_i の物理的意味はそれぞれ表-1, 表-2のようになる。

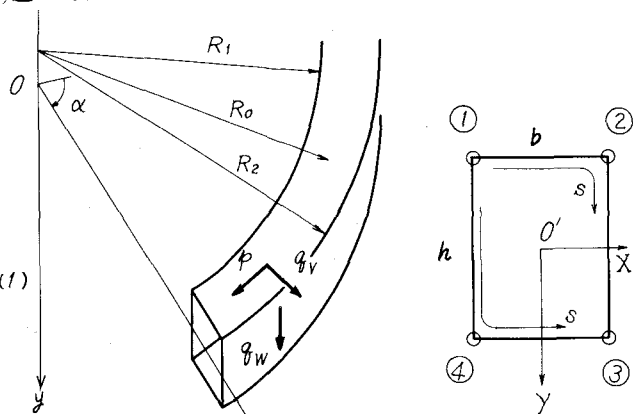


図-1.

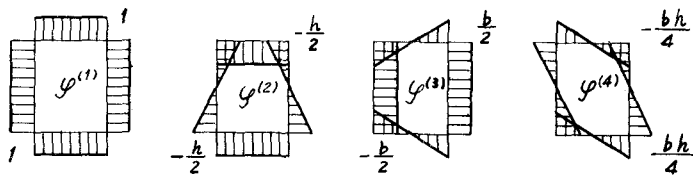


図-2

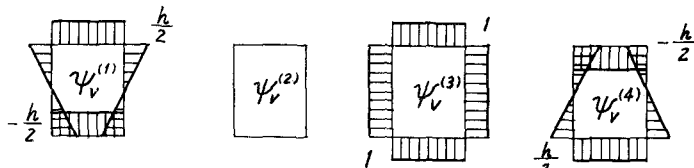


図-3

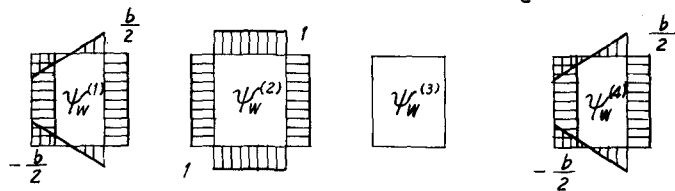


図-4

表-1 U_i の物理的意味

U_1	断面の一樣 α 軸方向変位
U_2	〃の X 軸まわりの回転角
U_3	〃の Y 軸まわりの〃
U_4	〃のゆがみ率

表-2 V_i の物理的意味

V_1	断面の重心軸まわりの捻り角
V_2	〃の Y 軸方向たわみ
V_3	〃の X 軸方向〃
V_4	〃のせん断変形率

(ii) ひずみと変位の関係および応力とひずみの関係

フランジ（扇形平板）について、

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_\alpha &= \frac{\partial u}{r \partial \alpha} + \frac{v}{r} \\ \gamma_{\alpha r} &= \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r} + \frac{\partial v}{r \partial \alpha} \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\alpha &= E \epsilon_\alpha \\ \tau_{\alpha r} &= G \gamma_{\alpha r} \end{aligned} \right\} (3)$$

ウェブ（円弧曲面版）について、

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_\alpha &= \frac{\partial u}{r \partial \alpha} + \frac{v}{r} \\ \gamma_{\alpha y} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial w}{r \partial \alpha} \end{aligned} \right\} (4)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\alpha &= E \epsilon_\alpha \\ \tau_{\alpha y} &= G \gamma_{\alpha y} \end{aligned} \right\} (5)$$

(iii) 仮想仕事の原理

$d\alpha = 1$ なる微小片に対して仮想仕事の原理を適用しよう。

α 方向の仮想変位 $u = \varphi^{(i)}$ ($i = 1, 2, 3, 4$) に対して次の式が成立する。

$$\oint \frac{\partial \sigma_\alpha}{\partial \alpha} \varphi^{(i)} t ds - \left(\int_1^2 + \int_4^3 \right) \tau_{\alpha r} \left(\dot{\varphi}^{(i)} - \frac{\varphi^{(i)}}{r} \right) r t ds - R_1 \int_1^4 \tau_{\alpha y} \varphi^{(i)} t ds$$

$$- R_2 \int_2^3 \tau_{\alpha y} \dot{\varphi}^{(i)} t ds + \oint p \varphi^{(i)} ds = 0 \quad (i = 1, 2, 3, 4) \quad (6)$$

r および y 方向の仮想変位 $v = \psi_v^{(i)}$ および $w = \psi_w^{(i)}$ ($i = 1, 2, 3, 4$) に対しては、

$$\left(\int_1^2 + \int_4^3\right) \frac{\partial \tau_{\alpha r}}{\partial \alpha} \psi_V^{(i)} t ds - \left(\int_1^4 + \int_2^3\right) \frac{\partial \tau_{\alpha y}}{\partial \alpha} \psi_W^{(i)} t ds - \oint \sigma_{\alpha} \psi_V^{(i)} t ds \\ + \left(\int_1^2 + \int_4^3\right) q_V \psi_V^{(i)} ds + \left(\int_1^4 + \int_2^3\right) q_W \psi_W^{(i)} ds = 0 \quad (i=1,2,3,4) \quad (7)$$

(6) 式および (7) 式の σ_{α} , $\tau_{\alpha r}$, $\tau_{\alpha y}$ に (2)~(5) の関係式を代入すると、

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^4 EA_{ij} \frac{U_j''}{R_0^2} - \sum_{j=1}^4 (EB_{ij}^* + GB_{ij}) \frac{V_j'}{R_0} + \sum_{j=1}^4 GC_{ij} U_j + p_i &= 0 \\ \sum_{j=1}^4 GD_{ij} \frac{V_j''}{R_0^2} + \sum_{j=1}^4 (EE_{ij}^* + GE_{ij}) \frac{U_j'}{R_0} + \sum_{j=1}^4 EF_{ij} V_j + q_i &= 0 \end{aligned} \right\} (i=1,2,3,4) \quad (8)$$

ここで、 A_{ij} , B_{ij}^* , B_{ij} , C_{ij} , D_{ij} , E_{ij}^* , E_{ij} , F_{ij} は剛性を表わし、一種の剛性マトリックスを形成する。また p_i および q_i は荷重項である。

(8) 式が表-1 および表-2 に挙げて変位に関する曲線梁の基本方程式である。これらの方程式は断面変形とともにせん断変形の影響なども含んであり、従来の断面不変を前提としたり、直線梁の断面常数を用いたものに比べて厳密である。またこの方程式においては断面の重心やせん断中心など弾性中心の概念を用いていないことに注意されたい。

記号の詳しい内容や説明は紙面の都合上省略する。

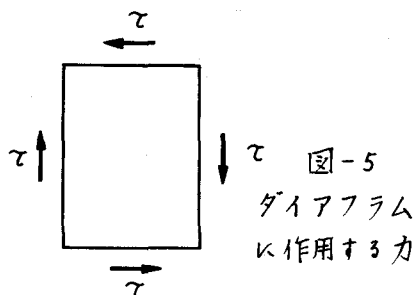
3. ダイアフラムの取扱い

ダイアフラムはそれ自身の面内の剛性の有し面外剛性はないものとすれば、ダイアフラムは断面のせん断変形 V_4 に抵抗する部材となる。ダイアフラム ($\alpha = \alpha_A$ にある) が十分に剛性の大きいものであれば次の条件が成り立つ。

$$V_4 (\alpha = \alpha_A) = 0 \quad (9)$$

ダイアフラムと梁との間の一般力 Q_4 が定まれば、ダイアフラムに作用するせん断応力 τ は次式となる。

$$\tau = \frac{Q_4}{2bht} \quad (10)$$



4. あとがき

以上本報告では、曲線箱型梁の基本方程式の誘導と中間ダイアフラムの取扱いを述べるにとどめた。数値解析の結果および実験による結果などについては当日スライドにて発表する。

- 1) 箱型梁における中間ダイアフラムの影響 — 膜理論の適用について —, 興村敏恵・坂井藤一, 才25 回土木学会年次学術講演概要, 昭和45年11月
- 2) 箱型梁の断面変形と中間ダイアフラムの影響, 興村敏恵・坂井藤一 (土木学会論文報告集に投稿中)