

I-33

四室変断面部を有する
鋼製箱桁の断面変形挙動解析

鳥取大学院 学生員 ○武林 昌哉
鳥取大学 正員 神部 俊一
鳥取大学院 榎本 修二

1. まえがき

還元法によれば、多様な構造形式の箱桁の解析が可能であるが、格間行列に含まれる双曲線関数項の影響で数値計算に際して、桁落ちによる誤差を生じるのが問題である。この誤差を低減し、さらに解析可能な箱桁の全長を拡張するために考案された方法が新しい“はさみ込み法”である。本報では、まず横断面のゆがみに起因する面外方向のそり変位モードを組織的に構成する方法を示す。次いでこの解析方法を四室断面を有する変断面鋼製箱桁に適用して数値計算を行い、ラーメン型中間隔壁の剛性が箱桁の断面変形挙動に及ぼす影響を明らかにする。

2. 解析方法

図-1に示す全長90mの箱桁（主径間60m，側径間30m）を構造モデルとして取り挙げ、これを3つの部分構造に分割し、その部分構造の両端から内側に向けて格間行列と格点行列との乗算を繰り返して状態量ベクトルを算出する。そして、それぞれの部分構造の中間部及び各部分構造の接続部で状態量ベクトルの間に成立すべき条件式を接続行列を利用して求めれば、桁の分割点における初期状態量ベクトルが算出できる。

この初期状態量ベクトルが求まると、任意点の状態量ベクトルを容易に決定できる。また、変断面部分では Runge-Kutta法を適用して格間行列¹⁾を算出すれば、同様の方法で解析を進めることができる。

部分構造*i*に関する状態量ベクトルに対して次の関係式が成立する。

$$\mathbf{Y}_{iL} = \mathbf{N}_{iL} \mathbf{Y}_{iL}, \quad \mathbf{Y}_{iR} = \mathbf{N}_{iR} \mathbf{Y}_{iR}, \quad \mathbf{Y}_{iL} = \mathbf{C}_i \mathbf{Y}_{iR} \quad \cdots \cdots (1)_{i \sim 3}$$

ここに、 $\mathbf{Y}_{iL}$, $\mathbf{Y}_{iR}$: 部分構造*i*の両端から求められた

中間部における状態量ベクトル

$\mathbf{Y}_{iL}$, $\mathbf{Y}_{iR}$: 部分構造*i*における両端の初期
状態量ベクトル

$\mathbf{N}_{iL}$, $\mathbf{N}_{iR}$: 格間行列と格点行列との乗算に
より求まる伝達行列

$\mathbf{C}_i$: 両側から求められた状態量ベクトル
を関連付ける役割をする接続行列

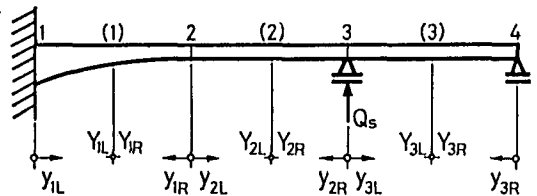


図-1 解析に用いる構造モデル

次に、変断面区間の格間行列を求めるのに着目する格間を小格間に等分割し、それぞれに Runge-Kutta法を適用して格間行列を求め、それらを集成すれば所要の格間行列が求まる。まず、一般化変位 $\mathbf{V}$, $\mathbf{U}$, 一般化断面力 $\mathbf{M}$, $\mathbf{Q}$ 及び荷重項ベクトル $\mathbf{Q}^*$ で表わされた構成方程式と平衡方程式を変形すると次式が得られる。但し、桁軸方向の座標 z に関する微分を $'$ で表わす。

$$\mathbf{V}' = \frac{1}{G} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Q} - \mathbf{R}^{-1} \mathbf{C}^T \mathbf{U}, \quad \mathbf{U}' = \frac{1}{E} \mathbf{A}^{-1} \mathbf{M} \quad (2)_{i \sim 2}$$

$$\mathbf{M}' = \mathbf{G} \mathbf{H} \mathbf{U} + \mathbf{C} \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Q}, \quad \mathbf{Q}' = -\mathbf{Q}^* \quad (3)_{i \sim 2}$$

ここに、 $\mathbf{A}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{R}$ 及び $\mathbf{H}$ は一般化された剛性係数行列であり、 E , G はそれぞれ鋼材のヤング係数及びせん断弾性係数である。

状態量ベクトル $\mathbf{Y}_i = (\mathbf{V}_i^T, \mathbf{U}_i^T, \mathbf{M}_i^T, \mathbf{Q}_i^T)^T$ を用いて上式を行列表示すると、次式のようになる。

$$\frac{d}{dz} \mathbf{Y}_i = \mathbf{F}_a \mathbf{Y}_i + \mathbf{G}_b \quad \cdots \cdots (4)$$

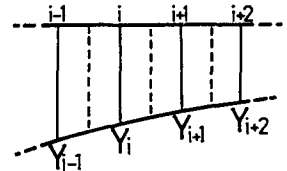


図-2 変断面の小格間

ここに、 $\mathbf{F}_i, \mathbf{G}_i$ は、係数行列及び荷重項ベクトルである。そこで図-2のように、任意の小格間 $i \sim i+1$ において始点 i における状態量ベクトルを $\mathbf{Y}_i$ 、端点 $i+1$ における状態量ベクトルを $\mathbf{Y}_{i+1}$ とすると $\mathbf{Y}_{i+1} = (\mathbf{V}_{i+1}^T, \mathbf{U}_{i+1}^T, \mathbf{M}_{i+1}^T, \mathbf{Q}_{i+1}^T)^T$ は次式で表わされる。

$$\mathbf{Y}_{i+1} = \mathbf{F}_i \mathbf{Y}_i + \mathbf{G}_i \quad \dots\dots(5)$$

ここに、 $\mathbf{F}_i, \mathbf{G}_i$ は Runge-Kutta法により求まる断面の形状寸法に依存する行列及び、荷重項に依存するベクトルである。以上のようにして求めた小格間の荷重項を含む格間行列を順次掛け合わせてゆけば変断面区間の大格間に対する格間行列が求まる。

3. 一般化座標の選択

V. Z. Vlasovによれば、面外変位に関する一般化座標 ϕ_j ($j=1, 2, \dots, m$) と面内変位に関する一般化座標 ψ_k ($k=1, 2, \dots, n$) のいわゆる面外ならびに面内変位モードの数、 m, n は次式で与えられる。

$$m = N_j, \quad n = 2N_j - N_p \quad \dots\dots(6)_{j=1 \sim 2}$$

ここに、 N_j, N_p はそれぞれ横断面の閉断面部の節点数と板要素の総数である。四室断面の場合、面外変位モード数は、3つの剛体変位モードとねじれに起因するそり変位モードとの4つの基本変位モードの他に、横断面のゆがみに起因する6つのそり変位モードを加えて合計10個になる。

基本変位モードは、次に示すとうりである。

- (a) 桁軸方向移動による面外変位
- (b) 水平軸周りの回転による面外変位 ($j=1$)
- (c) 鉛直軸周りの回転による面外変位 ($j=6$)
- (d) ねじれによるそり変位モード ($j=7$)

ゆがみに起因するそり変位モードは、断面の隅角部に大きさ1の自己平衡力群 $\mathbf{Y}$ を導入して滑節接合折板構造理論を応用すれば²⁾、図-3に示すような対称モード ($j=2, 3, 4, 5$) と逆対称モード ($j=8, 9$) が得られる。これらのモードは互いに直交化されており、次の条件式を満たしている。

$$\int_F \phi_j dF = 0 \quad (j=1, 2, \dots, 9) \quad (7)$$

すると、剛体変位モード(a)は残りのモードと連成せず、従ってこのモードに対応する断面力は独立に解けるためここでは取り扱わない。

4. 数値計算例

本報では、解析手法の妥当性を検証するために、図-4に示す四室変断面構製箱桁の構造モデルを対象に数値解析を行った。紙面の都合により計算結果については、講演当日発表する。

参考文献

- 1) 臼木雄雄：断面変形を考慮した変断面直線多室箱桁橋の一解析法，土木学会論文報告集，No. 368 (1986)
- 2) 神部俊一，神保謙，中本浩志：多室断面箱桁の断面変形挙動解析，構造工学論文集 Vol. 32A, pp. 277-290, (1986)

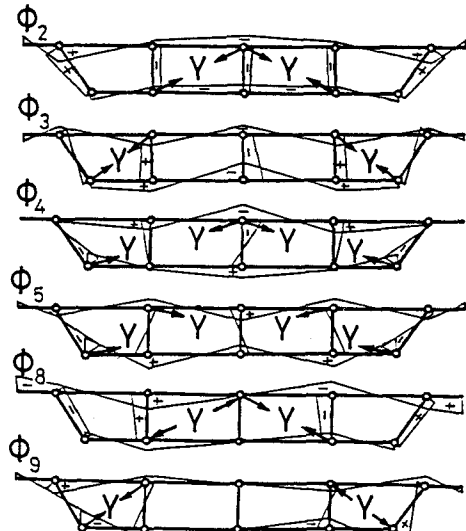


図-3 ゆがみに起因するそり変位モード

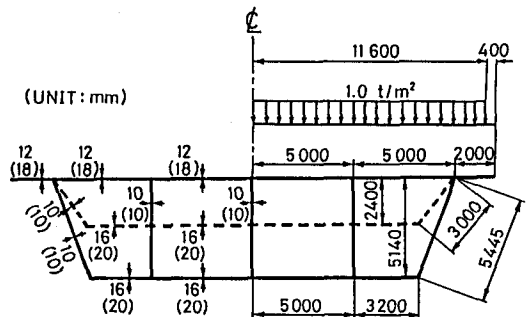


図-4 構造モデルの諸元と載荷状態