

変断面箱桁の断面変形挙動解析

鳥取大学 正 員 神部 俊一
高松組(株) 正 員 ○中村 真利
鳥取大学 学生員 樫本 修二

1. まえがき

還元法により定式化された一般化座標法を用いれば、多様な構造形式の箱桁の解析が可能であるが、数値計算上問題がある。そこで、高精度の演算が行えるように著者の1人が、この解法を“はさみ込み法”により再定式化している。本報では、この解析法を三室の変断面を有する鋼製箱桁に適用して数値計算を行い、ラーメン型の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に示すような支持状態にある構造モデル(主径間60m, 張出部30m, 全長90m)の箱桁を(1), (2), (3)の3つの部分構造に分け、それぞれに対して Runge-Kutta法とはさみ込み法を併用して変断面箱桁の断面変形挙動解析を行う。そして、部分構造の各区間の両端から求めた状態量ベクトルが、その中央断面において一致するという条件により、部分構造の端部における初期状態量ベクトルを算出する。この初期状態量ベクトルを用いれば、通常の変断面法の解析手順に基づいて任意点の状態量ベクトルが算出できる。

3. 変断面区間の格間行列

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、それらを集成する手法を用いる。まず無次元量である一般化変位 $\bar{V}$, $\bar{U}$, 一般化断面力 $\bar{M}$, $\bar{Q}$ 及び荷重ベクトル $\bar{Q}^*$ で表された、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 $'$ で表す。

$$\bar{V}' = -\bar{R}^{-1} \bar{C}' \bar{U} + \gamma \bar{R}^{-1} \bar{Q} \quad (1)$$

$$\bar{U}' = \bar{A}^{-1} \bar{M} \quad (2)$$

$$\bar{M}' = \gamma^{-1} \alpha^{-2} \bar{H} \bar{U} + \alpha^{-2} \bar{C} \bar{R} \bar{Q} \quad (3)$$

$$\bar{Q}' = -\bar{Q}^* \quad (4)$$

ここに、 $\bar{A}$, $\bar{C}$, $\bar{R}$ 及び $\bar{H}$ は一般化された剛性係数行列である。状態量ベクトル $\bar{Y}_i = (\bar{V}_i, \bar{U}_i, \bar{M}_i, \bar{Q}_i)^T$ を用いて上式を行列表示すると、次式のようになる。

$$\frac{d}{dz} \bar{Y}_i = \bar{F}_a \bar{Y}_i + \bar{G}_b \quad (5)$$

ここに $\bar{F}_a$: 係数マトリックス

$\bar{G}_b$: 荷重項ベクトル

そこで図-2のように任意の小格間 $i \sim i+1$ において、

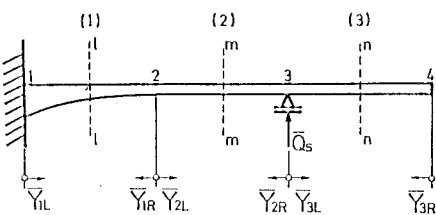


図-1 解析に用いる構造モデル

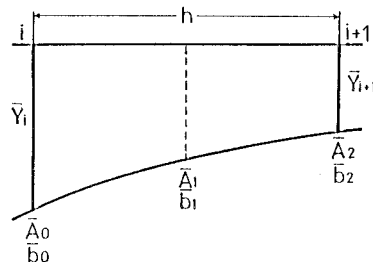


図-2 変断面の小格間

始点 i における状態量ベクトルを $\bar{Y}_i$, 端点 $i+1$ における状態量ベクトルを $\bar{Y}_{i+1}$ 、断面の形状寸法に依存するマトリックスを $\bar{F}_i$ 、荷重に依存するベクトルを $\bar{G}_i$ としたとき、Runge-Kutta法により $\bar{F}_i$, $\bar{G}_i$ は次式で求まる^{1), 2)}。

$$\bar{F}_i = \bar{E} + \frac{\bar{h}}{6} (\bar{A}_0 + 4\bar{A}_1 + \bar{A}_2) + \frac{\bar{h}^2}{6} (\bar{A}_1 \bar{A}_0 + \bar{A}_2 \bar{A}_1 + \bar{A}_1^2) + \frac{\bar{h}^3}{12} (\bar{A}_1^2 \bar{A}_0 + \bar{A}_2 \bar{A}_1^2) + \frac{\bar{h}^4}{24} (\bar{A}_2 \bar{A}_1^2 \bar{A}_0) \quad (6)$$

$$\bar{G}_i = \frac{\bar{h}}{6} ((\bar{E} + \bar{h}\bar{A}_1 + \frac{\bar{h}^2}{2}\bar{A}_1^2 + \frac{\bar{h}^3}{4}\bar{A}_2 \bar{A}_1^2) \bar{b}_0 + (4\bar{E} + \bar{h}(\bar{A}_1 + \bar{A}_2) + \frac{\bar{h}^2}{2}\bar{A}_2 \bar{A}_1) \bar{b}_1 + \bar{b}_2) \quad (7)$$

ここに $\bar{A}_0, \bar{A}_1, \bar{A}_2$ 及び $\bar{b}_0, \bar{b}_1, \bar{b}_2$ は、式(5) で $\bar{F}_a, \bar{G}_b$ として求められる、小格間の始点 i 、中間点、端点 $i+1$ における係数マトリックス及び荷重項ベクトルである。また $\bar{E}$ は係数マトリックスと同じ次数の単位行列であり、 $\bar{h}$ は小格間の長さ h を基準支間長で除したものである。以上の $\bar{F}_i, \bar{G}_i$ 及び $\bar{Y}_i$ を用いて、 $\bar{Y}_{i+1}$ は次のように表される。

$$\bar{Y}_{i+1} = \bar{F}_i \bar{Y}_i + \bar{G}_i \quad \text{ここに} \quad \bar{Y}_{i+1} = (\bar{V}_{i+1}, \bar{U}_{i+1}, \bar{M}_{i+1}, \bar{Q}_{i+1})^T$$

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あわせてゆけば、最初の変断面区間の大格間に対する格間行列が求まる。なお、等断面区間の格間行列としては、解析的に求められているもの⁴⁾ を利用する。

4. 数値計算例

本報では、この解析手法の妥当性を検証するために、数値解析の対象として図-3 に示す三室断面の形状寸法及び荷重状態の構造モデルを採用した。また、箱桁に作用する荷重を鉛直対称軸に関して、対称、逆対称の2通りに分けて解析を行った。

なお、表-1 に隔壁の剛性係数の値を示す。

5. あとがき

以上の計算結果より、Runge-Kutta 法とはさみ込み法とを併用すると、変断面鋼性箱桁の断面変形挙動解析が可能であることが分かる。変断面区間と等断面区間では格間行列の誘導方法が異なるのであるが、本報で展開した手法を用いると、比較的スムーズに両者の接続部の処理を行うことができる。今後、長大支間での多室断面を有する変断面箱桁のような、更に規模の大きい構造に対しても、この解析手法が有効であるか検討する必要があるものと思われる。

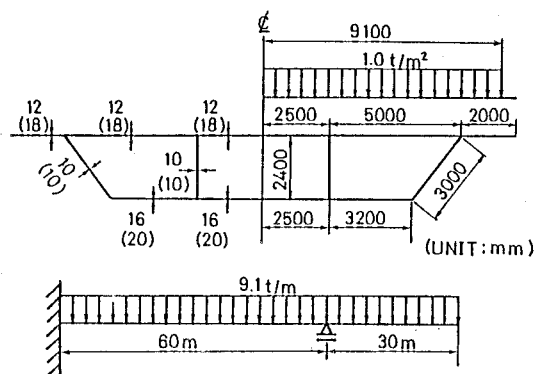


図-3 構造モデルの諸元と荷重状態

表-1 隔壁の剛性係数

変形モード	隔壁の剛性 R		
	case I	case II	case III
対称ゆがみ (a)	18.18	44.82	91.77
逆対称ゆがみ (b)	11.26	27.13	53.37
逆対称ゆがみ (c)	57.20	141.37	287.86

参考文献

- 1) 臼木恒雄：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) Schafer, H.: Die numerische Ermittlung von Übertragungsmatrizen, Der Stahlbau, Vol.39, Heft2, pp. 54-60, 1970
- 3) 神部俊一，田中善昭，甲斐龍二：はさみ込み法による多室断面鋼製箱桁の断面変形挙動解析，構造工学論文集 Vol.34A (1988)
- 4) 神部俊一，中谷義紀：一般化座標の還元法による定式化，構造工学論文集 Vol.31A, pp.163-170, 1985