

I-95

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

鳥取大学工学部 ○正員 神部 俊一
川重工事 甲斐 龍二

1. まえがき

多室断面を有する薄肉箱桁の有力な解法の一つである一般化座標法を還元法により定式化して構造解析を行なう場合に、格間行列に含まれる双曲線関数項に起因する数値計算上の難点に対処する方法が問題になる。本稿では、桁軸線の数箇所に分割点を設けて、その両側から計算を進めるいわゆる“はさみ込み法”による解法を展開する。そして、応力法では解析が困難な構造形式である張出し梁形式の三室断面を有する鋼製箱桁にこの解析手法を適用して、隔壁の剛性がその断面変形挙動に及ぼす影響を明らかにする。

2. 座標系と記号

桁の分割点において、横断面の輪郭線方向の s -座標はそのままにして両側の桁軸方向に z -座標と $\bar{z}$ -座標とを設定する。なお、分割点(格点)の右側並びに左側座標系に関する物理量には、必要に応じて分割点番号(格点記号)とそれぞれ記号 R , L を付けて区別する。次に、構造解析に用いる主要な記号を以下に要約して示す。

- U, V : 横断面の面外変位と輪郭線方向の面内変位に関連する一般化変位 $U_j (j=1, \dots, m)$, $V_k (k=1, \dots, n)$ を成分とする m 次と n 次の列ベクトル
- M, Q : 垂直応力度 σ_z , せん断応力度 τ_{zs} と横断面の面外並びに面内方向の変位モードを意味する一般化座標を成分とする m 次と n 次の列ベクトル Φ, Ψ とから構成される m 次と n 次の列ベクトルで、それらはそれぞれ面外方向と面内方向の一般化された断面力 $M_j (j=1, \dots, m)$, $Q_k (k=1, \dots, n)$ を成分とする。
- Q_s : 一般化された支承反力を成分とする n 次の列ベクトル
- Y_j : 格点 j において、一般化変位ベクトル V_j, U_j と一般化断面力ベクトル M_j, Q_j とに 1 を付け加えてこの順に構成される列ベクトルで、いわゆる状態量ベクトルである。
- Y_j : 桁の分割点 j 或いは境界 j において、未知量である自由量ベクトルに 1 を付け加えて構成される列ベクトルで、初期量ベクトルと名付ける。
- P_k, F_j : 隔壁の取り付け位置である格点 k に関する格点行列と格間 j (格点 $j-1$ と格点 j との間隔) に関する格間行列
- B_j : 桁の分割点 j 或いは境界 j における初期量ベクトル Y_j に作用して、その点の制約条件を取り込み自由量だけを成分とする初期状態量ベクトルを生成する役割をする行列で、境界行列と名付ける。
- C_0 : 両側座標系に関する二通りの状態量ベクトル Y_{jR}, Y_{jL} を格間 j において関係付ける役割をする行列で、接続行列と名付ける。
- C_s : 座標系の向きと飛躍量ベクトルである Q_s とを考慮に入れて、中間支承のすぐ両側の断面における二つの状態量ベクトルを関係付ける行列で、飛躍行列と名付ける。

3. 基礎関係式

両座標系に関して格間行列と格点行列の表示式は一致しており、一般化変位ベクトルと一般化断面力ベクトルに対し、支承を除く任意の格点 j において次の関係式が成立する¹⁾。

$$V_{jR} = V_{jL}, \quad U_{jR} = -U_{jL}, \quad M_{jR} = M_{jL}, \quad Q_{jR} = -Q_{jL} \quad \dots\dots (1)_{1 \sim 4}$$

次に、関係式 (1)_{1~4} に注意すれば、中間支承のすぐ両側の断面における一般化変位の連続条件と一般化断面力の平衡条件とから次の関係式を得る。

$$\mathbf{V}_{3R} = \mathbf{V}_{3L}, \quad \mathbf{U}_{3R} = -\mathbf{U}_{3L}, \quad \mathbf{M}_{3R} = \mathbf{M}_{3L}, \quad \mathbf{Q}_{3R} = -\mathbf{Q}_{3L} + \mathbf{Q}_S \quad \cdots \cdots (2)_{1 \sim 4}$$

そこで、接続行列 $\mathbf{C}_0$ と飛躍行列 $\mathbf{C}_S$ とを導入して関係式(1),(2)を行列表示すると、格点 m, n, p と中間支承である分割点 3 とに対して次の関係式を得る。

$$\mathbf{Y}_{jR} = \mathbf{C}_0 \mathbf{Y}_{jL} \quad (j=m, n, p), \quad \mathbf{Y}_{3R} = \mathbf{C}_S \mathbf{Y}_{3L} \quad \cdots \cdots (3)_{1 \sim 2}$$

4. 解析方法

還元法の演算方式によれば、格点 m の状態量ベクトル $\mathbf{Y}_{mR}$, $\mathbf{Y}_{mL}$ は分割点 $1, 2$ の初期量ベクトル $\mathbf{Y}_{1R}$, $\mathbf{Y}_{2L}$ を用いて次のように表わされる。

$$\mathbf{Y}_{mR} = \mathbf{P}_m \mathbf{F}_m \cdots \mathbf{P}_1 \mathbf{F}_1 \mathbf{B}_{1R} \mathbf{Y}_{1R} \equiv \mathbf{N}_{1R} \mathbf{Y}_{1R}, \quad \mathbf{Y}_{mL} \equiv \mathbf{N}_{2L} \mathbf{Y}_{2L} \quad \cdots \cdots (4)_{1 \sim 2}$$

他の格点 n, p の状態量ベクトルに対しても、図-1を参照することにより同様の表示式を得る。

$$\mathbf{Y}_{nR} = \mathbf{N}_{2R} \mathbf{Y}_{2R}, \quad \mathbf{Y}_{nL} = \mathbf{N}_{3L} \mathbf{Y}_{3L} \quad \cdots \cdots (5)_{1 \sim 2}$$

$$\mathbf{Y}_{pR} = \mathbf{N}_{3R} \mathbf{Y}_{3R}, \quad \mathbf{Y}_{pL} = \mathbf{N}_{4L} \mathbf{Y}_{4L} \quad \cdots \cdots (6)_{1 \sim 2}$$

そこで、表示式(4),(5),(6)と関係式(3)とから得られる初期量ベクトル $\mathbf{Y}_{1R}$, $\mathbf{Y}_{2L}$, $\mathbf{Y}_{3L}$, $\mathbf{Y}_{4L}$ と飛躍量ベクトル $\mathbf{Q}_S$ とを未知量とする次の連立一次方程式

$$\mathbf{N}_{1R} \mathbf{Y}_{1R} = \mathbf{C}_0 \mathbf{N}_{2L} \mathbf{Y}_{2L} \quad \cdots \cdots (7)_1$$

$$\mathbf{N}_{2R} \mathbf{C}_0 \mathbf{Y}_{2L} = \mathbf{C}_0 \mathbf{N}_{3L} \mathbf{Y}_{3L} \quad \cdots \cdots (7)_2$$

$$\mathbf{N}_{3R} \mathbf{C}_S \mathbf{Y}_{3L} = \mathbf{C}_0 \mathbf{N}_{4L} \mathbf{Y}_{4L} \quad \cdots \cdots (7)_3$$

を解いて初期量ベクトルが求まれば、還元法の通常の演算方式を適用することにより桁の任意点の状態量ベクトルを定めることができる。

5. 数値計算例

数値計算に用いた構造解析用モデルを図-2に示す。支承上には剛な隔壁が取り付けられ、支間部では剛性を有するラーメン型の隔壁が10m間隔で配置されている。三種類の隔壁を想定して、その剛性が箱桁の断面変形挙動に及ぼす影響を解析した。図-3と図-4には、桁横断面の逆対称ゆがみ変位モードの一つに対応する一般化変位と一般化断面力の桁軸方向分布を無次元化して示してある。

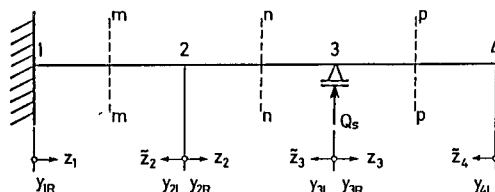


図-1 両側座標系と初期量ベクトル

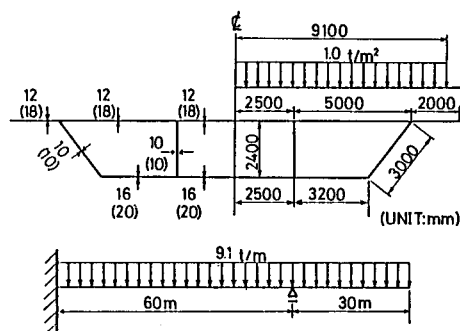


図-2 数値解析用の構造モデル

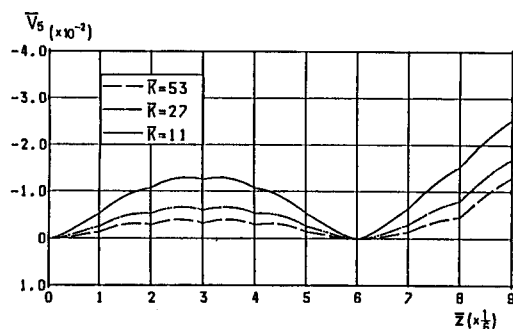


図-3 横断面の逆対称ゆがみに関連する面内方向の一般化変位

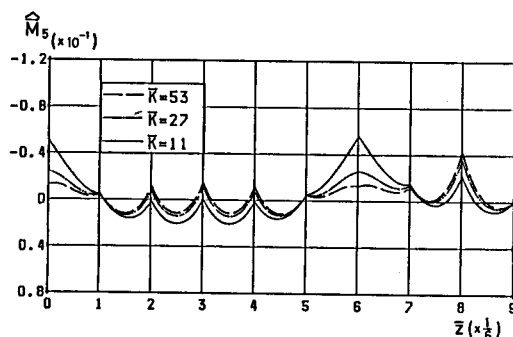


図-4 横断面の逆対称ゆがみに関連する面外方向の一般化断面力

参考文献

- 1) 神部, 田中, 竹中: 張出し梁形式鋼製箱桁の断面変形挙動解析, 第41回年講, I-116, 1986