I-116　張出し梁形式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
川鉄建材　田中　善昭
エイトコンサルタント　竹中　健二

1．まえがき

一般化座標法を還元法によって定式化すると、応力法によって定式化する場合と異なり、多様な構造形式の箱桁の解析が可能であるという利点を有するが、格間行列に含まれる双曲線関数に起因する数値計算上の難点を有するのも事実である。　そこで、この難点を回避する目的で、桁の両端に座標系を設定して両側から計算を進める方法である“はさみ込み法”によって、上述の還元法の再定式化を行った。　次に、内部にラーメン型の隔壁を取り付ける張出し梁形式箱桁の断面変形挙動をこの解析手法を用いて解析し、その力学的特性を明らかにする。

2．記号

桁軸方向にｚ－座標、横断面の輪郭線方向にｓ－座標、さらに、両者に直交する方向にｎ－座標を設定する。　解析に用いられる主要な記号を要約して以下に示す。　なお、無次元化された量であることを表わすのに、上付きの横棒記号（バー）を用いる。

$\bar{\Phi}(\bar{s}),\bar{\Psi}(\bar{s})$ ：　横断面の面外変位モードと輪郭線方向の面内変位モードを意味する一般化座標 $\bar{\Phi}_j(\bar{s})$ $(j=1,\cdots,m)$, $\bar{\Psi}_k(\bar{s})$ $(k=1,\cdots,n)$ が成分であるｍ次とｎ次の列ベクトル

$\bar{X}(\bar{s})$ ：　横断面の輪郭線に直交する方向の面内変位モードを意味する一般化座標 $\bar{X}_k(\bar{s})$ $(k=1,\cdots,n)$ が成分であるｎ次の列ベクトルで $\bar{\Psi}(\bar{s})$ に関連して一義的に定まる。

$\bar{U}(\bar{z}),\bar{V}(\bar{z})$ ：　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 $\bar{U}_j(\bar{z})$ $(j=1,\cdots,m)$, $\bar{V}_k(\bar{z})$ $(k=1,\cdots,n)$ が成分であるｍ次とｎ次の列ベクトル

$\bar{M}(\bar{z}),\bar{Q}(\bar{z})$ ：　垂直応力度 σ_z，せん断応力度 τ_{zs} と列ベクトル $\bar{\Phi}(\bar{s}),\bar{\Psi}(\bar{s})$ とを用いて定義され、それぞれ面外方向と面内方向に作用する一般化された断面力 $\bar{M}_j$ $(j=1,\cdots,m)$, $\bar{Q}_k$ $(k=1,\cdots,n)$ が成分であるｍ次とｎ次の列ベクトル

$\bar{Q}^*(\bar{z})$ ：　桁の表面に作用する分布荷重と列ベクトル $\bar{\Psi}(\bar{s}),\bar{X}(\bar{s})$ とを用いて定義される一般化された分布荷重 $\bar{Q}^*_k(\bar{z})$ $(k=1,\cdots,n)$ が成分であるｎ次の列ベクトル

$\bar{Y}_j$ ：　格間 $\bar{\ell}_j$（格点 j-1，j 間の距離）における状態量ベクトル

$\bar{P}_k$，$\bar{F}_j$ ：　格点ｋに関する格点行列と格間 $\bar{\ell}_j$ における格間行列

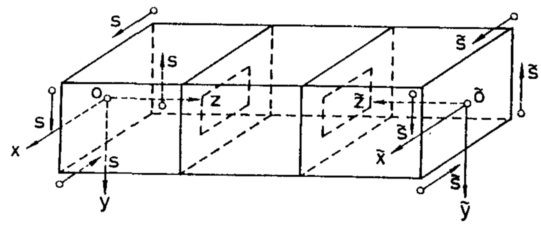
3．基礎関係式

図－１に示すように桁の両端に座標系を設定すると、両座標系に関して次の関係式を得る。

$$\bar{\Phi}=\tilde{\bar{\Phi}},\quad \bar{\Psi}=\tilde{\bar{\Psi}},\quad \bar{X}=\tilde{\bar{X}} \qquad \cdots\cdots(1)_{1\sim3}$$

$$\bar{U}=-\tilde{\bar{U}},\quad \bar{V}=\tilde{\bar{V}} \qquad \cdots\cdots(2)_{1\sim2}$$

$$\bar{M}=\tilde{\bar{M}},\quad \bar{Q}=-\tilde{\bar{Q}},\quad \bar{Q}^*=\tilde{\bar{Q}}^* \qquad \cdots(3)_{1\sim3}$$



図－１　箱桁両端の座標系

一般化された変位と断面力との間の関係式である構成方程式と一般化された断面力の間に成立する平衡方程式の表示式が両座標系に関して一致するので、格間行列と格点行列の表示式も両座標系で一致することになる。　格間行列の具体的な表示式は参考文献１）を参照されたい。

4．状態量ベクトルと格点行列

まず、格間 ℓ_j における状態量ベクトルを $\bar{Y}_j = [\bar{V}^{(j)}, \bar{U}^{(j)}, \bar{M}^{(j)}, \bar{Q}^{(j)}, \bar{1}]^T$ で定義する。次に、隔壁の取り付け位置である格点kにおいて一般化された変位の連続条件と一般化された断面力の平衡条件とに注意して格点行列 $\bar{P}_k$ の表示式を求めると表－１のようになる。

表－１　隔壁取り付け位置に関する格点行列

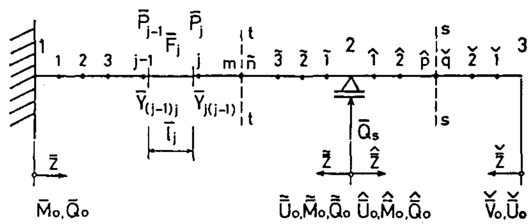
	$\bar{V}^{(k)}(\ell_k)$	$\bar{U}^{(k)}(\ell_k)$	$\bar{M}^{(k)}(\ell_k)$	$\bar{Q}^{(k)}(\ell_k)$	$\bar{1}$
$\bar{V}^{(k+1)}(0)$	$\bar{E}_n$	$\bar{O}_{nm}$	$\bar{O}_{nm}$	$\bar{O}_n$	$\bar{O}_{n1}$
$\bar{U}^{(k+1)}(0)$	$\bar{O}_{mn}$	$\bar{E}_m$	$\bar{O}_m$	$\bar{O}_{mn}$	$\bar{O}_{m1}$
$\bar{M}^{(k+1)}(0)$	$\bar{O}_{mn}$	$\bar{O}_m$	$\bar{E}_m$	$\bar{O}_{mn}$	$\bar{O}_{m1}$
$\bar{Q}^{(k+1)}(0)$	$\bar{S}_n^{(k)}$	$\bar{O}_{nm}$	$\bar{O}_{nm}$	$\bar{E}_n$	$\bar{O}_{n1}$
$\bar{1}$	$\bar{O}_{1n}$	$\bar{O}_{1m}$	$\bar{O}_{1m}$	$\bar{O}_{1n}$	$\bar{1}$

$$\bar{S}_n^{(k)} = \mu^{(k)} \left[\begin{array}{c|ccc} \bar{O}_{rr} & & \bar{O}_{rs} & \\ \hline & \bar{K}_1^{(k)} & & \bar{O} \\ \bar{O}_{sr} & & \ddots & \\ & \bar{O} & & \bar{K}_s^{(k)} \end{array}\right]$$

ここに、自由度nの面内方向の変位モードのうち、r個が剛体変位モードでs個がゆがみ変位モードとしているので、n = r + s である。また、$\bar{K}_1^{(k)}, \cdots, \bar{K}_s^{(k)}$ はそれぞれのゆがみ変位モードに対応する隔壁の剛性係数であり、$\mu^{(k)}$ はこの剛性係数を無次元化するために導入された係数である[2)]。

5．解析方法

解析の対象として図－２に示す構造モデルを取り上げるが、これはバランシング工法によって架設する途中に現れる構造形式の一つである。まず、径間１２について考える。桁の左端と右端における境界行列を $\bar{B}_L$，$\tilde{B}_R$ とし、自由量ベクトルと１とから構成される初期状態量ベクトルを $\bar{Y}_L$，$\tilde{Y}_R$ とする。さらに、$\bar{L}_j = \bar{P}_j \bar{F}_j$ で定義される伝達行列 $\bar{L}_j$ を導入すると、断面 t-t における状態量ベクトルが次式で求まる。



図－２　座標系と自由量ベクトル

$$\bar{Y}_m = \bar{L}_m \bar{L}_{m-1} \cdots \bar{L}_1 \bar{B}_L \bar{Y}_L \equiv \bar{N}_m \bar{Y}_L \quad \cdots\cdots\cdots (4)$$

$$\tilde{Y}_n = \tilde{F}_n \tilde{L}_{n-1} \cdots \tilde{L}_1 \tilde{B}_R \tilde{Y}_R \equiv \tilde{N}_n \tilde{Y}_R \quad \cdots\cdots\cdots (5)$$

そこで、式 $(2)_{1\sim2}$，$(3)_{1\sim2}$ の関係式を行列表示することにより得られる接続行列 $\bar{C}_0$ を用いると、状態量ベクトルの接続条件によって、径間１２の断面 t－t については式 (4),(5)より、径間２３の断面 s－s についても同様の考え方により、桁の左端と右端の初期状態量ベクトルに対して次の関係式が導かれる。

$$\bar{N}_m \bar{Y}_L = \bar{C}_0 \tilde{N}_n \tilde{Y}_R \,, \qquad \hat{N}_r \hat{Y}_L = \bar{C}_0 \check{N}_s \check{Y}_R \quad \cdots\cdots (6)_{1\sim2}$$

次に、中間支点における一般化された支承反力を成分とするベクトル $\bar{Q}_S$ を飛躍量に選び、支点のすぐ両側の断面における一般化された変位の連続条件と断面力に関する平衡条件とを行列表示すれば次式を得る。

$$\hat{Y}_L = \bar{C}_S \tilde{Y}_R \quad \cdots\cdots\cdots (7)$$

最後に、式 $(6)_{1\sim2}$ と式 (7)とを連立して解けば初期状態量ベクトルが求まるので、これを用いると任意断面の状態量ベクトルが定まることになる。

数値計算例については紙面の都合で省略するが、講演会当日に発表する。

参考文献

1）　神部俊一，中谷義紀　：一般化座標法の還元法による定式化，構造工学論文集　Vol.31A，1985-3

2）　神部俊一，神保稔，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，1985-3