

実橋の挙動をより精確に求める構造モデルと解析法について

熊本大学 学生員 福井 学
 熊本大学 正 員 崎元 達郎
 熊本大学 正 員 山尾 敏孝

1. まえがき:

最近、橋梁構造物のコンクリート床版のひび割れや、鋼桁の疲労など様々な損傷や老朽化が報告されており、補修・架け換えなどの維持管理が必要な時期になってきている。そのような鋼とコンクリートからなる構造物の健全度つまり劣化度を正確に評価する手法は未だ確立されておらず、その適切な評価及び補修・補強方法の開発が望まれている。本研究では構造物の劣化度を診断・評価する方法を確立するアプローチとして鋼とコンクリートからなる橋梁構造物の全体挙動を、横桁や対傾構を考慮して解析できる方法を開発しようとするものである。そこで鋼桁と床版の不完全な合成作用も考慮できるように、コンクリート床版を板要素に鋼桁をはり要素にモデル化する。また非合成桁においては鋼桁と床版の間に幾分のずれが生じるので、ずれ止めを橋軸方向の力に対するばね構造に置き換え、これらを結合することにより橋梁構造物の全体挙動の解析を試みたものであり、その解析方法について述べる。

2. 解析方法:

鋼桁とコンクリート床版よりなる図1のような橋梁構造物を解析対象とする。床版部分は平面応力要素と平板曲げ要素からなる長方形板要素とする¹⁾。平面応力要素に対しては等方性板とし、平面曲げ要素に対しては直交異方性板にモデル化する。鋼桁は床版の要素と同じ長さに分割し、鋼桁の中立軸を代表させたはり要素とする¹⁾。図2は要素分割した解析モデルの一例を示す。この図において、節点 i_p に接合する床版の中立面及び鋼桁の中立軸の変形状態について考える。いま図3に示すように床版の中立面を N_p 、鋼桁の中立軸を N_b 及び節点 i_p に接合している鋼桁の節点を i_b とすると弾性変形により、節点 i_p, i_b がそれぞれ i_p', i_b' に移動したと考えると次式が成り立つ。

$$\left. \begin{aligned} U_{i_b} &= U_{i_p} + \Delta U_{i_p} + h \cdot \theta_{z i_p} \\ V_{i_b} &= V_{i_p} \\ \theta_{z i_b} &= \theta_{z i_p} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに $U_{i_b}, V_{i_b}, \theta_{z i_b}$ 及び $U_{i_p}, V_{i_p}, \theta_{z i_p}$ はそれぞれ鋼桁中立軸、床版中立面に関する節点 i_b, i_p の x, y 方向変位、 z 軸まわりのたわみ角を示す。また ΔU は節点 i_p における床版と鋼桁の間に発生するずれを、 h は N_p と N_b の距離を表す。ずれは橋軸方向の力により発生するので²⁾³⁾、この力を X_{i_p} 、これに対応するずれ止めのばね係数を k とおくと、

$$X_{i_p} = k \cdot U_{i_p} \quad (2)$$

となる。式(2)の両辺を k で割り、式(1)に代入すると次式となる。

$$U_{i_b} = U_{i_p} + X_{i_p} / k + h \cdot \theta_{z i_p}$$

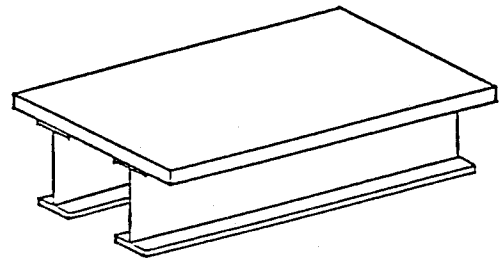


図1 構造モデル

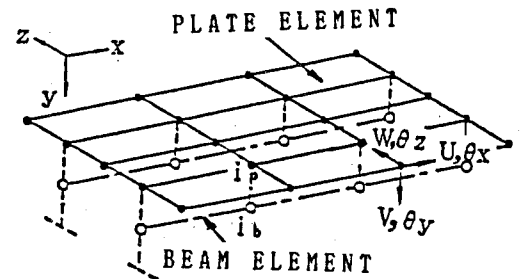


図2 解析モデル

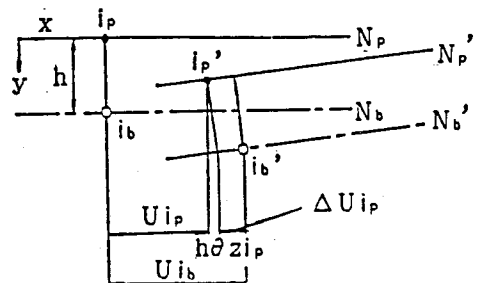


図3 床版の中立面と鋼桁の中立軸の関係

$$= U_{ip} + (\{X_{ipa}\} + \dots + \{X_{ipd}\}) / k + h \cdot \theta z_{ip}$$

$$= U_{ip} + (\langle ka \rangle \cdot \{\delta a\} + \dots + \langle kd \rangle \cdot \{\delta d\}) / k + h \cdot \theta z_{ip} \quad (3)$$

ここに、 $\{X_{ipa}\}, \dots, \{X_{ipd}\}$ は図4の平面応力要素 a, b, c, d における節点 i_p に関する x 方向節点力を、 $\langle ka \rangle, \dots, \langle kd \rangle$ は各要素の剛性マトリックスの節点 i_p に関する行ベクトルを、 $\{\delta a\}, \dots, \{\delta d\}$ は各要素の節点変位列ベクトルを表す。式(3)を式(1)に代入して平面曲げ要素の項も考慮すると、はり要素の節点変位が結合マトリックス $[Gm]_{ip}$ と板要素の節点変位を用いて次式のように表される。

$$\{\delta\}_{ib} = [Gm]_{ip} \cdot \{\delta\}_{ip} \quad (4)$$

ここに、 $\{\delta\}_{ib}$ は節点 i_b の節点変位ベクトル、 $\{\delta\}_{ip}$ は図4の平面応力要素 a, b, c, d の節点変位行ベクトルと節点 i_p の平面曲げ要素の節点変位からなる節点変位ベクトルである。 $[Gm]_{ip}$ は結合マトリックスであり、端断面では 6×21 、他の断面は 6×30 のマトリックスとなる。

次に全体の剛性方程式は剛性マトリックスを $[K]$ 、外力ベクトルを $\{F\}$ 、変位ベクトルを $\{\delta p\}$ とすると式(5)が成り立つ。この場合 $[K]$ は、節点の付け方により床版の剛性マトリックスを $[Knn]$ 、鋼桁の剛性マトリックスを $[Kmm]$ とすると、式(6)のように表すことができる。同様に、変位ベクトル $\{\delta\}$ 及び外力ベクトル $\{F\}$ も式(7)、(8)のように分けることができる。

$$\{F\} = [K] \cdot \{\delta\} \quad (5)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} [Knn] & [O] \\ [O] & [Kmm] \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\{\delta\} = \langle \delta n, \delta m \rangle^T \quad (7)$$

$$\{F\} = \langle F_n, F_m \rangle^T \quad (8)$$

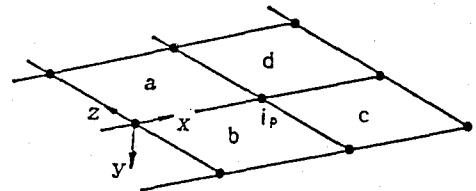


図4 平面応力要素

いま板要素の全節点変位を独立変位、はり要素の全節点変

位を従属変位とすると、式(5)より式(9)が、また式(4)の関係より式(10)が得られる。ここに「」は縮小により置き換えられることを意味する。また、式(10)の $[Gm]$ は式(4)の $[Gm]_{ip}$ をモデル全体について集めた結合マトリックスであり、鋼桁の節点変位はずれ止めのばね定数を介して床版の節点変位に置き換えられたことになる。式(9)と式(10)より $\{\delta m\}$ を消去すれば式(11)になる¹⁾。

$$\{F_n\} = [Knn] \cdot \{\delta n\} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \{F_n\} \\ \{F_m\} \end{cases} = \begin{bmatrix} [Knn] & [O] \\ [O] & [Kmm] \end{bmatrix} \cdot \begin{cases} \{\delta n\} \\ \{\delta m\} \end{cases} \quad (9) \quad \text{ここに、} \quad \begin{cases} [Knn] = [\bar{K}nn] + [Gm]^T \cdot [Kmm] \cdot [Gm] \\ \{F_n\} = \{F_n\} + [Gm]^T \cdot \{F_m\} \end{cases} \quad (12)$$

式(10)、(12)の計算により、鋼桁の剛性マトリックスを床版の剛性マトリックスに結合マトリックスを用いて組み込むことができ、同じ剛性を持つ板要素のみからなる剛性方程式が得られる。また、ずれの発生がない合成桁については、ずれ止めのばね係数を無限大にすればよいことになる。よってこの解析方法により、非合成・合成桁の床版と鋼桁の変位及びたわみ角を求めることができ、床版と鋼桁の間に発生するずれ及びずれを起こさせる橋軸方向の力を明確にすることができる。

横桁・対傾構を有するより一般橋梁物に近いモデルについては、主桁をここでは中立軸を代表させたはり要素にモデル化しているため、横桁のみの場合についてはその剛性をはり要素に組み込むことができるが、横桁と対傾構を有する場合には共有節点を持たないので鋼桁部分の主桁・横桁・対傾構をそれぞれ同じ剛性から成るトラス部材に置き換え、この解析方法を適用することにより全体挙動についての解析が可能となる。なお、計算結果については紙面の都合により当日発表する予定である。

3. 参考文献：

- 1) 山尾他：板要素とはり要素の結合による薄肉鋼構造物の・・・，構造工学論文集，Vol.32A，1986.3
- 2) 小松他：不完全合成格子桁橋の理論と近似計算法について，土木学会論文報告集，第329号，1983.1
- 3) 大阪市土木局，関西道路研究会：旧神崎橋の耐荷力に関する研究報告書，昭和58年3月