

東京大学 正員 奥村 敏恵  
 住友建設 正員 佐々木 貴一  
 東京大学 正員 佐藤 政勝

1. ま え が き

鋼道路橋のうち、鉄筋コンクリート床版と鋼桁をスタッドジョベルで結合し一体として外力に抵抗させる形式のいわゆる合成桁形式が、その大部分の使用比率を占めているのが現状である。

都市部や自動車専用道路では橋梁の幅員が比較的小さく、合成桁形式のなかでも3主桁以上を並列し横桁、対傾構を設けた多主桁合成桁が用いられている。最近この形式の床版に破損が見られ、その対策の検討されている<sup>1)</sup>。

合成桁橋に関する多くの研究によって、多主桁合成桁橋における鉄筋コンクリート床版および横桁の横分配作用が明らかになり、さらに横分配作用と同時に起る各主桁のたわみ差により鉄筋コンクリート床版に生じる曲げモーメントについても一応の成果を得ている。しかしながら、従来の解析方法では、外主桁上で床版は横軸直角方向には単純支持されていると仮定した格子理論あるいは版理論を前提として、多主桁合成桁橋を一つの平面構造物として取扱っており、多主桁合成桁橋におよぼす鉄筋コンクリート床版の剛度の影響および横桁、対傾構などの力学的役割についての十分な解析までに至っていない。

本研究では多主桁合成桁橋を面外曲げ作用を考慮した鉄筋コンクリート床版と並列鋼多主桁から成る構造物として、力学的挙動をより厳密に解析し、鉄筋コンクリート床版の剛度が多主桁合成桁橋におよぼす影響を明らかにし、更に横桁、対傾構、横構を考慮した応力解析により、これらの部材の構造要素間の力学的な協力作用を明確にする。一方、この理論解析の妥当性を実験により確認したものである。

2. 理論解析

(1) 単純多主桁合成桁橋の応力解析

変位関数を面内変形に対して一次式で、面外曲げ変形に対して三次式で仮定すると板要素の変位は次のようになる

$$w(z, s) = (1 - \frac{s}{b_{ij}}) w_i(z) + \frac{s}{b_{ij}} w_j(z)$$

$$u(z, s) = (1 - \frac{s}{b_{ij}}) u_i(z) + \frac{s}{b_{ij}} u_j(z)$$

$$v(z, s) = (1 - \frac{3}{b_{ij}^2} s^2 + \frac{2}{b_{ij}^4} s^4) v_i(z) + (\frac{s}{b_{ij}} - \frac{2}{b_{ij}^3} s^3 + \frac{1}{b_{ij}^5} s^5) \theta_i(z) + (\frac{3}{b_{ij}^2} s^2 - \frac{2}{b_{ij}^4} s^4) v_j(z) + (-\frac{1}{b_{ij}} s^4 + \frac{1}{b_{ij}^3} s^6) \theta_j(z)$$

ここで、 $b_{ij}$  は要素  $ij$  の板幅を示す

変位関数は変数分離されているから、Galerkin法によれば  $s$  が消去され節線変位と節線外力の関係式が連立常微分方程式の形で導き出される。要素内で等方性、等板厚を仮定した節線変位と節線外力の剛性マトリックスが文献(2)に示されている。

Fig. 1 に示すようなフランジを有する鋼主桁に対しては

\* 土木学会論文報告集 第1部会に投稿中

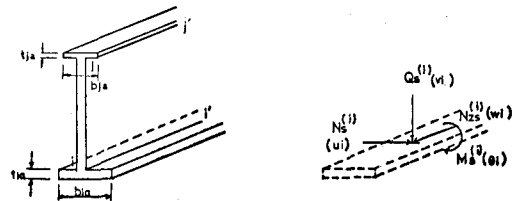


Fig. 1 A finite element of small flange plate

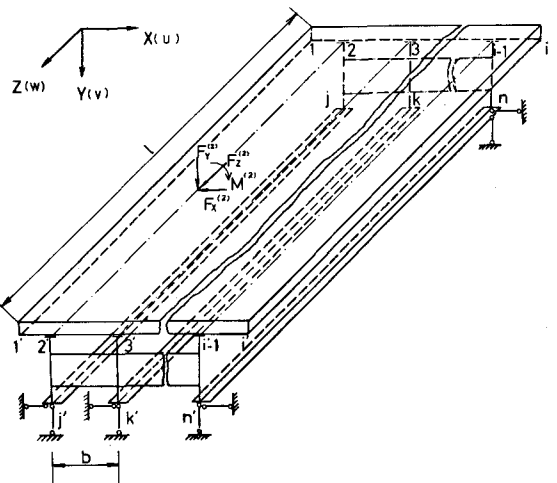


Fig. 2 Model of composite beam with multi girder

フランジを棒材として、面積座標に置き換えて、鋼主桁要素の剛性マトリックスを誘導した。鉄筋コンクリート床版に対しては、主鉄筋量と配力鉄筋量が等しいものと鉄筋量による剛性の増加を考慮した等方性版、等板厚を仮定して、要素の剛性マトリックスを誘導した。

Fig. 2 に示すような単純多主桁合成桁橋の橋端における境界条件は次のようになる。

$$\left. \begin{array}{l} z=0 \\ z=l \end{array} \right\} \text{において} \quad \begin{array}{l} U=0 \quad \text{および} \quad V=0 \\ N_x=0 \quad \text{および} \quad M_x=0 \end{array}$$

鋼主桁および鉄筋コンクリート床版を一要素と考へ、各要素の接合はすべて剛なものとする。上記の境界条件を満たすように節線上の莫の変位を橋軸方向に対しては  $\cos$  のフーリエ級数が、鉛直、横方向、回転に対しては  $\sin$  のフーリエ級数が表わす。節線荷重に対しては、同様な取扱いを行なうと、各節線上の莫の変位と荷重は全体の剛性マトリックス  $[K]$  によって結びつけられる。

$$\begin{Bmatrix} \sum F_{x,i}^{(m)} \cos\left(\frac{m\pi z}{l}\right) \\ \sum F_{x,i}^{(m)} \sin\left(\frac{m\pi z}{l}\right) \\ \sum F_{y,i}^{(m)} \sin\left(\frac{m\pi z}{l}\right) \\ \vdots \\ \sum M_n^{(m)} \sin\left(\frac{m\pi z}{l}\right) \end{Bmatrix} = [K] \begin{Bmatrix} \sum W_i^{(m)} \cos\left(\frac{m\pi z}{l}\right) \\ \sum V_i^{(m)} \sin\left(\frac{m\pi z}{l}\right) \\ \vdots \\ \sum \theta_n^{(m)} \sin\left(\frac{m\pi z}{l}\right) \end{Bmatrix}$$

(2) 横桁、対傾構、下横構の力学的取扱

Fig. 3 に示す横桁の剛性マトリックスは横桁を平面ラメンの部材要素として求めることができる。

Fig. 4 に示す対傾構の剛性マトリックスは、対傾構の面内方向の断面二次モーメントが等しくなるような等価板厚を求め、次にこの等価板厚に對する平板の二次元平面応力問題として求めた。

$[K]$  を横桁あるいは対傾構の剛性マトリックス  $[K]$  を前節の多主桁合成桁橋の剛性マトリックスとすれば、次の関係式が成立する

$$\{F\} - [K] \{\delta\} = [K] \{\delta\} \quad \text{より}$$

$$\{F\} = [ [K] + [K] ] \{\delta\}$$

上式が横桁あるいは対傾構の力学的効果を考慮した多主桁合成桁橋のマトリックス表現式となる。ここでは、単純多主桁合成桁橋の剛性マトリックス  $[K]$  は級数表示であり、横桁あるいは対傾構の剛性マトリックスも級数表示にする必要がある。

Fig. 5 に示すように、開断面薄肉構造物が下横構によって閉じられ箱型を形成するとして、

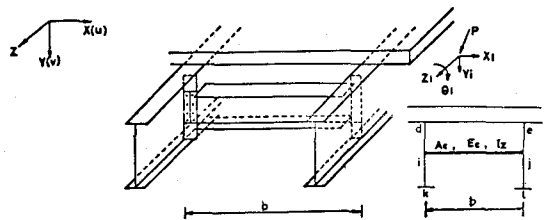


Fig. 3 Element of cross beam

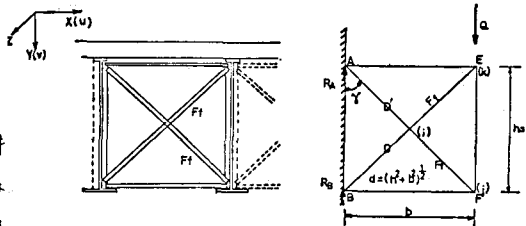


Fig. 4 Element of cross of frame

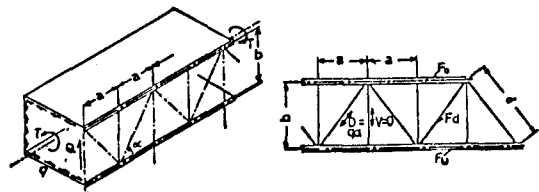


Fig. 5 Lower lateral bracing

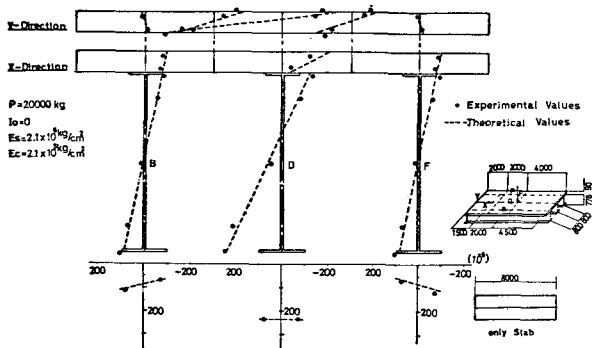


Fig. 6 Strain Distribution of Beam and Slab

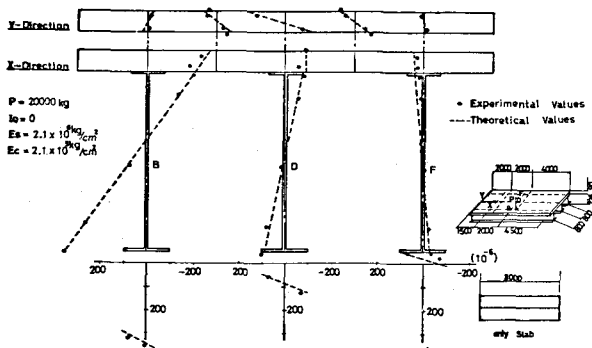


Fig. 7 Strain Distribution of Beam and Slab

下横構に対して等価な板厚を求め<sup>5)</sup>、準断面構造物として、下横構の力学的効果を考慮した解析を行った。

### 3. 実験による確認

試験桁は径間8m 幅員2.4m の3主桁合成桁とし、鉄筋コンクリート床版には4週設計基準圧縮強度300%の普通生コンクリートを用いた。

Fig.6に床版のみの場合の径間中央中桁に20<sup>t</sup>を集中載荷したときの載荷位置より50cm離れた断面のひずみ分布を、Fig.7に載荷位置を径間中央外桁上に移したときの同じ断面のひずみ分布を、Fig.8に径間中央に横桁を取り付けた場合の径間中央中桁上に20<sup>t</sup>載荷したときの載荷位置より50cm離れた断面のひずみ分布を、Fig.9は対傾構、下横構を取り付けた場合、Fig.7と同じ載荷条件の同じ断面のひずみ分布を示す。

実験結果と理論計算はほぼ一致しており、前章で誘導した理論解析の妥当性が実験的に確認することが出来る。

### 4. まとめ

- (1) 実験結果との比較により、面内変形作用と面外曲げ作用を受ける薄肉平板から成る構造物としての有限帯要素法に基づく解析は多主桁合成桁橋におおむね鉄筋コンクリート床版の剛度の影響を明らかにすることができ、部材の力学的挙動も証明できる応力解析であることが確認できた。
- (2) 床版のみでは荷重の横分配作用に不十分で、各主桁間にたわみ差が生じ、鉄筋コンクリート床版に慣用設計では考慮されていない付加曲げモーメントが生じ、載荷条件では、鉄筋コンクリート床版に両振りモーメントが作用することが認められた。
- (3) 載荷位置付近の横桁、対傾構は床版の付加曲げモーメントに効果的であり、載荷位置より離れた横桁、対傾構は載荷位置付近に生じる付加曲げモーメントに効果が少ないことが確認された。この事から、床版の付加曲げモーメントに関しては、横桁、対傾構の剛度のみならずその間隔も重要な要因であることが判明した。
- (4) 対傾構と下横構を取り付けた場合は振り剛性が増し、橋梁全体の剛性が高まり、横分配作用が良好になる。特に偏心載荷に対しては下横構は有機的な部材要素であることが認められた。

### 5. 文献

- 1) 奥村敬恵、佐々木貴一、佐藤政勝：スタッドジベルを用いた合成桁に関する実験的研究、第27回年次学術講演会講演集(土木学会) I-250
- 2) 奥村敬恵、坂井藤一：薄肉平板より成る立体的構造物の静力学的解析に関する一方法とその応用、土木学会論文報告集 176号(1970)
- 3) たとえば、三本木茂夫、吉村信敏：有限要素法による構造解析プログラム、日本鋼構造協会編、塔風館
- 4) 田原保三、首掛哲男：米臼橋(合成桁)に関する実験的研究、土木研究所報告、昭和29年11月
- 5) C. F. Kollbrunner, K. Basler: Torsion in Structures, Springer-Verlag, 1969

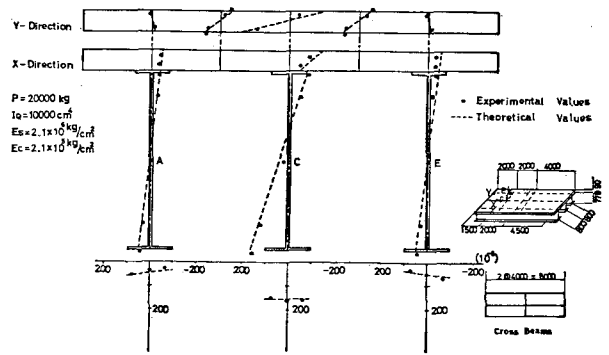


Fig. 6 Strain Distribution of Beam and Slab

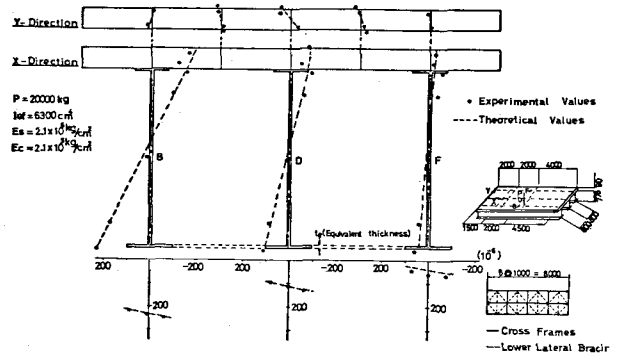


Fig. 9 Strain Distribution of Beam and Slab