I-77　不完全合成版の有限要素解析

大成建設㈱　正員　○山口惣也
山口大学工学部　正員　浜田純夫
山口大学工学部　正員　高海克彦

１．まえがき

異なる種類の材料を合成して作製された複合構造部材は、単一材料の部材にはない優れた特性をもっており、様々な土木構造物に応用されている。合成桁や合成床版は、コンクリートと鋼材をジベル（ずれ止め）によって一体化した構造で、引張りの作用する部分に鋼材を配置することにより部材としての剛性が高まり、軽量化できるなどの利点がある。しかし、実際にはジベルの変形等によってコンクリートと鋼材との間にずれが生じており完全に一体化されているわけではないので、合成床版は完全合成板と重ね板の中間の挙動を示すことになる。したがって、このような不完全合成構造の解析にはコンクリートと鋼材間のずれを考慮する必要がある。

不完全合成桁の解析は最初Newmarkによって行われ、コンクリートスラブに作用する力に関する微分方程式が導かれた。

不完全合成板についてはClarkeらと井上らはNewmarkと同様にコンクリートスラブと鋼板の力学的つり合いからジベルの変形を考慮したたわみに関する微分方程式を求めている。

本研究は、浜田らの行った不完全合成桁の有限要素法による解析法をもとに、不完全合成板のコンクリートスラブと鋼板をそれぞれ独立の平板とみなし、ジベルはコンクリートスラブと鋼板の変位を受けるスプリングと仮定し、仮想仕事の原理に基づき板の曲げに関するつり合いとジベルのつり合い条件から有限要素法における定式化を示し、ずれを考慮した不完全合成板を解析するものである。

２．つり合い方程式

コンクリートスラブと鋼板を独立の平板として取り扱うには、これらがジベルによって連結されている合成板では両方の板の面内方向の力によっても荷重を分担するので、曲げの他に中立面の面内方向の変形も考慮する必要がある。そこで、板の任意点のひずみを

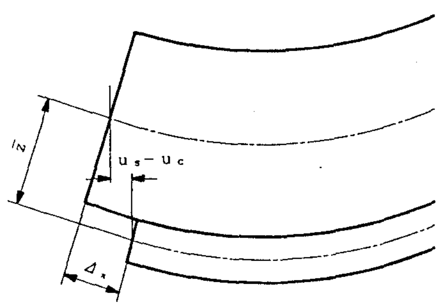
$$\varepsilon_x=\frac{\partial u}{\partial x}-z\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\ ,\quad \varepsilon_y=\frac{\partial v}{\partial y}-z\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

$$\gamma_{xy}=\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}-2z\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}$$

と仮定することにより得られるコンクリート部分および鋼部分の仮想仕事と、ずれを

$$\varDelta_x=u_S-u_C+\bar{z}w_{,x}$$

$$\varDelta_y=v_S-v_C+\bar{z}w_{,y}$$



図－１　ずれ

と仮定することにより得られるジベル部分の仮想仕事の和として不完全合成板の仮想仕事が求められ、外部仕事と共に展開するとねじりの項を含む５つのつり合い方程式が得られる。これにより、従来の解析法と比べ、拘束条件、載荷条件およびジベルの配置に関して比較的自由な選択が可能となる。

３．有限要素法の定式化

ジベル部分の変位（ずれ）はコンクリート部分と鋼部分の変位によって表わされ、コンクリート部分と鋼

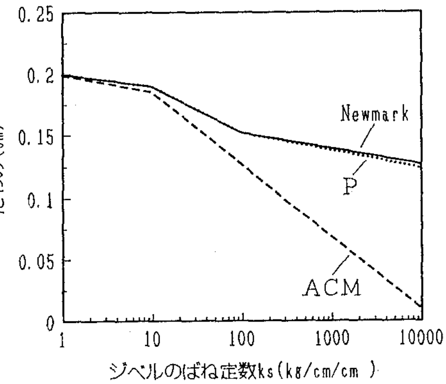
部分は各々独立の板として扱うと仮定しているので、合成板の各部分の変位はコンクリート部分および鋼部分の中立面の面内、面外方向の変位によってすべて表わされることになる。そこで、中立面での変位を表わす形状関数に面内方向変位は２次元問題で用いられる８節点の長方形要素の形状関数、面外方向変位に関しては変位の連続性とねじりの取り扱いの異なるA.Adiniらによって提案された形状関数（以下、ＡＣＭとする）とS.W.Papenfussが最初に板曲げ問題に用いた形状関数（以下、Ｐとする）の２種類の形状関数を用い比較する。

４．結果と考察

・不完全合成桁

本研究で提案した解析法をその誘導の際に基とした不完全合成桁に適用した結果を図－２に示す。

板曲げ問題においてＰより精度のよい解を与えるＡＣＭは、ジベルのばね定数ksが大きくなるにつれてNewmarkの方法による結果と差が生じ、完全合成に近くなるとその差はかなり大きくなる。それに比べＰはksを大きくした場合でもNewmarkの方法による結果に近い値になっている。コンクリート部分と鋼板部分のずれを表わすためにたわみの傾斜を用いている本研究にたわみの傾斜に関して隣接要素間での連続性が保証されていないＡＣＭを用いると、ジベルのばね定数ksを大きくし、ずれ量の中にしめるたわみの傾斜による部分の割合が大きくなったときに、誤差が大きくなると考えられる。よって、ずれを考慮した解析を行うにはたわみの傾斜の連続な形状関数を選ぶ必要がある。



図－２　合成桁のたわみ

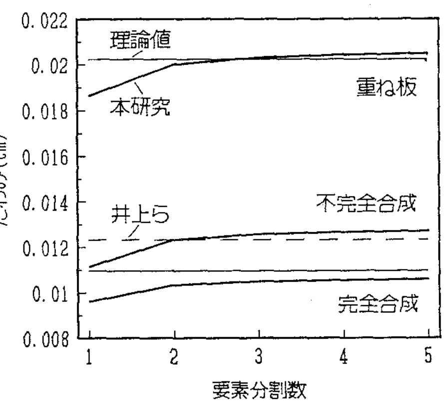
・不完全合成板

井上らの行った計算例に本研究の方法を適用し、形状関数Ｐを用いた場合の結果を図－３に示す。

対象となる合成板は四辺単純支持板で、板の中央に集中荷重を載荷した。なお、完全合成板の場合は完全合成に相当する曲げ剛性をもつ単一の板として計算した。

分割数を５×５にした場合の理論値との差は重ね板の場合で１％程度、完全合成板の場合も５％程度の差となった。不完全合成板のたわみは井上らの解析結果より５％程度大きめの値となった。

要素分割数によるたわみの変化を見ると、重ね板と完全合成板はどちらも微少たわみ曲げ理論による解と多少異なる値に収束する傾向にある。これは形状関数Ｐが一定のねじり率を表わす項ｘｙを含んでいないため、四辺単純支持のようなねじりの生じる条件下では収束しても誤差が残ることになるからである。しかし、収束の傾向からさらに分割数を多くしても誤差はさほど大きくならないと考えられる。よって、高い精度が要求される場合には形状関数に一定ねじり率の項を加え完全な適合型にしなければならないが、実用上十分であると考えられる場合は１要素当りの自由度数の比較的少ないＰを用いることで計算量を減らすことができる。以上から、コンクリート部分および鋼板部分に板曲げ要素を用いることで、一般の中実要素を用いる場合よりもかなり少ない計算量で不完全合成構造の挙動の特性を解析にとり入れられることがわかった。



図－３　合成板のたわみ