

I-117 内部節線を用いた節点帯板法による薄肉構造解析

トピー工業(株) 正会員 平 正和
長岡技術科学大学 正会員 林 正

1. まえがき

本研究では、多項式の級数を用いた節点帯板法¹⁾の変位関数、展開関数を再検討するとともに、内部節線を導入して解析精度の向上を図った。その応用例として、平板および箱桁の解析等を行なった結果について報告する。

2. 変位関数

節点帯板法では、要素中央面上の任意点 (ξ, η) における各要素座標軸方向変位 (u, v, w) は、節点および節線に関する変位の和によって、次式の形で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} u(\xi, \eta) &= f_{01}^T \cdot d_0 + f_{11}^T \cdot \sum U_m \cdot d_m \\ v(\xi, \eta) &= f_{02}^T \cdot d_0 + f_{12}^T \cdot \sum V_m \cdot d_m \\ w(\xi, \eta) &= f_{03}^T \cdot d_0 + f_{13}^T \cdot \sum W_m \cdot d_m \end{aligned} \right\} (1)$$

ここで、 d_0 は節点の一般化変位ベクトル、 d_m は節線の一般化変位ベクトル、 f_{01}, f_{02}, f_{03} は節点変位に対する形状関数ベクトル、 f_{11}, f_{12}, f_{13} は節線変位に対する形状関数ベクトルである。また、 U_m, V_m, W_m は節線変位を x 軸方向に級数展開するための第 m 項目の展開関数であり、両端固定(または両端剛結)には次の式(2)を¹⁾、一端固定他端単純支持には次の式(3)を用いる。

$$\left. \begin{aligned} U_m(\xi) &= (1-\xi^2) \cdot \xi^{m-1} \\ V_m(\xi) &= W_m(\xi) = (1-\xi^2)^2 \cdot \xi^{m-1} \end{aligned} \right\} (2)$$

$$\left. \begin{aligned} U_m(\xi) &= \{(1+\xi)^2 + 2m(1-\xi^2)\} \cdot \xi^{m-1} \\ V_m(\xi) &= W_m(\xi) = \{(1+m) + \xi - (1+2m)\xi^2 - \xi^3 + m\xi^4\} \cdot \xi^{m-1} \quad (m=1, 2, \dots) \end{aligned} \right\} (3)$$

本研究では内部節線を面内解析には2本、曲げ解析には1本用いた。それらの内部節線はパブルモードとして使い、変位関数には次式を使用した。

$$f_{vk}(\eta) = (1-\eta^2) \quad , \quad f_{vl}(\eta) = \eta(1-\eta^2) \quad (\text{面内解析}) \quad (4)$$

$$f_{wk}(\eta) = (1-\eta^2)^2 \quad , \quad f_{\theta k}(\eta) = \eta(1-\eta^2)^2 \quad (\text{曲げ解析}) \quad (5)$$

3. 薄肉構造解析

薄肉構造物の解析には節点帯板要素の他に、補剛材要素(オフセット・ビーム)、FEM要素、3次元はり要素、トラス要素を図-2の様に用いる。また、本解析法では節点帯板要素の段階で内部節線自由度を、ブロック要素では節線自由度を、スーパー要素では結合に関与しない節点自由度を縮約の手法により消去する。

4. 平板の解析

平板の曲げ解析を行なった結果を図-3, 4に示す。板の形状比は1:4で荷重は満載等分布荷重を考えた。点線は展開項数を3項、一点鎖線は5項、破線は5項で内部節線の無い場合、実線は級数による解析解である。

図-3より、内部節線を用いたことにより幅方向の応力分布が改善されていることが分かる。

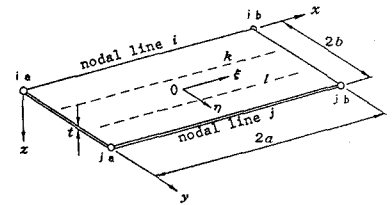


図-1 節点帯板要素

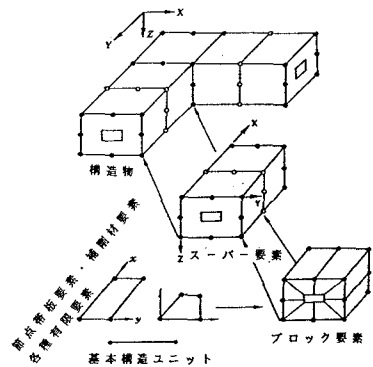


図-2 薄肉構造解析

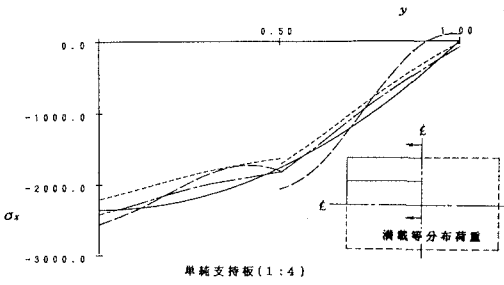


図-3 板の曲げ解析(幅方向)

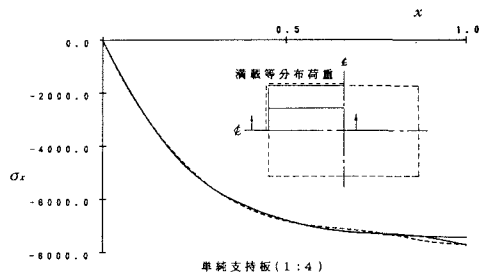


図-4 板の曲げ解析(長手方向)

5. 十字梁の解析

薄肉構造物の解析例として単純支持された1室箱桁のスパン中央にI桁が直角に結合されている十字梁を考える。縦桁(箱桁)には両端と横桁(I桁)の結合するスパン中央にダイヤフラムを有している。なお、板厚 t は全て10mm、弾性係数 E は 2.1×10^6 、ポアソン比 ν は0.3とし、荷重は箱桁上部に等分布荷重を作用させる。節点帯板法と有限要素法の要素分割を図-5に示す。有限要素法ではウェブを4分割している。

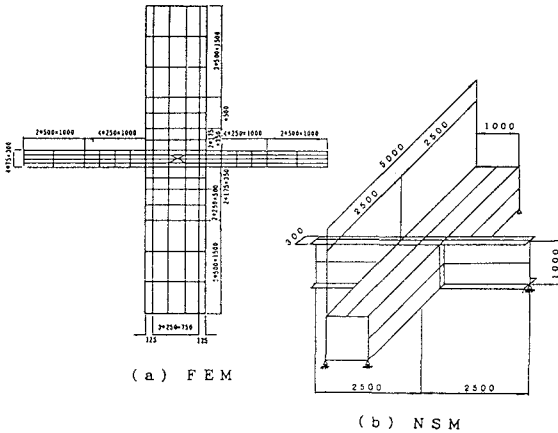


図-5 十字梁の要素分割

解析結果として箱桁のたわみと、箱桁とI桁のフランジ応力を図-6, 7, 8に示す。点線が展開項数3項、一点鎖線が5項、丸印がFEM解を表わしている。

図-7で、I桁と結合するフランジ要素の応力分布が急激に変化しているが、これは要素の幅に比べて長さ方向(級数展開した方向)の寸法が短いことによる(図-5(b)参照)。このような要素にはFEM要素用いるのがよい。なお、このモデルではFEMが4362自由度、節点帯板法では展開項数が3項で1686自由度である。

6. 結論

① 内部節線を用いたことにより節点帯板要素の精度が向上し、幅の広い長大要素を用いることができる。

② 境界条件に適合した多項式を展開関数に用いたことにより、単純支持端における応力が著しく改善された。

1) 渡辺・林・平; 節点帯板法によるプレート・ガダー橋の立体解析, 第44回年次講演会概要集, I-107, 1989

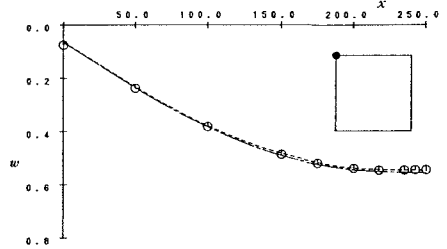


図-6 箱桁のたわみ

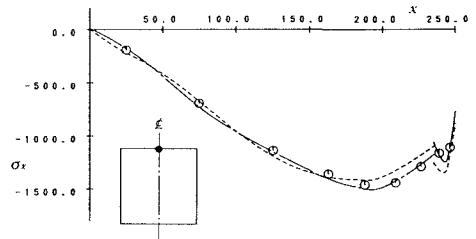


図-7 箱桁のフランジの σ_x

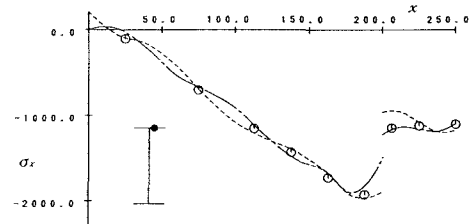


図-8 I桁のフランジの σ_x