

長岡技術科学大学大学院 学生員 中嶋 学夫
 長岡技術科学大学工学部 正会員 笹ノ 松二
 長岡技術科学大学工学部 正会員 林 正
 日本道路公団 正会員 持田 淳一

1. まえびき

有限帯板法(FSM)は長大な薄肉構造物の解析に適した方法であるが、長手方向に板厚が変化する場合や中継点がある場合には解析が困難になり、補剛材がある場合には級数の収束性が悪くなる。そこで、長手方向にも要素分割ができる節点帯板法(NSM)を提案した¹⁾、本報告ではこの解法を発展させて、補剛材やダイヤフラム等を有する薄肉構造物の解析に適用した。節点帯板要素の定式化については説明を省略する^{1),2)}。

2. 補剛要素の定式化

(1) 節点帯板要素 : 本解析法では、構造物を長手方向にブロック要素に分割し、さらにブロック要素を節線で要素に分割する(図-1)。この帯板要素は隅角点に節点自由度を、両縁の節線上に節線自由度を有する¹⁾。

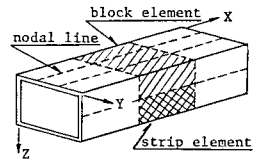


図-1 要素分割

(2) 縦補剛材 : 節線に平行して帯板要素に取り付けられた補剛材を縦補剛材とする(図-2)。定式化においては、計算時間と記憶容量を節約するために薄肉はり理論を用いて補剛材を棒要素でモデル化し、オフセット・ビームとして扱う。

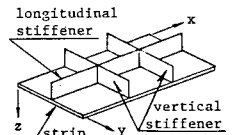


図-2 補剛材

(3) 横補剛材 : 節線と直交して配置された補剛材を横補剛材とし、その定式化は縦補剛材と同様である。これらの補剛材の自由度は、部材軸上の並進変位の3成分と断面のねじり角とし、帯板要素の変位関数を用いて定式化する。

(4) ダイヤフラム : ダイヤフラムはブロック要素内にあるものとし、節点帯板要素と節点で結合されているものとする。ダイヤフラムは平面応力状態にあり、曲げに抵抗しないものとして三角形または四角形の有限要素を用いた。

(5) 対傾構 : 対傾構は、節点に結合された立体トラス材として取り扱う。

3. 構造系全体の平衡方程式

構造物の全体解析では、補剛材を取り付けた節点帯板要素を通常の座標変換の手法によりブロック要素に組み立てて得られる平衡方程式から、節線自由度を消去する。このとき、フレスキー分解と三角方程式を解く手法を用いることにより、計算時間を大幅に短縮することになり、また記憶容量も節約できる¹⁾。次に、ブロック要素を節点で結合し、同時にダイヤフラム、対傾構等の剛性を組み込んで構造全体の平衡方程式が求められる。

4. 数値計算例

(1) 補剛板 : 図-3に示す単純支持された補剛板に全載等分布荷重が作用する場合について計算した。NSMでは全体の1/4について解析し、補剛材を厳密に薄板要素(strip)として扱った場合と、縦及び横方向の棒要素として扱った場合の3ケースを考えた。これらの要素分割を図-4に示す。FSMとFEM³⁾では薄板要素として扱い、解析範囲はそれぞれ1/2、1/4とした。

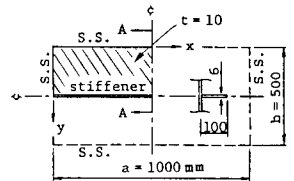


図-3 補剛板

図-5に各解法によって求めた断面A-A上のたわみ w を示す。FSMによる値は、十分な要素数と展開項数を用いたのではほぼ正確な値と考えられる。これに対して、NSMは最大値で約4%(strip)と7%(棒要素)の差があり、50要素を用いたFEMでは10%であった。

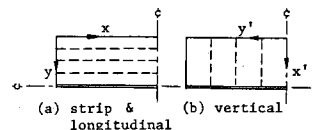


図-4 NSMの要素分割

また、NSMで要素数を半分(2要素)にしても値は1%程度しか違わないが、展開項を用いない場合には10~30%の誤差が生じ、節線変位が有効に作用している。なお、FEMに対してNSMの計算時間は1/4.5 (Strip) と1/6 (横要素) であった。

(2) 1室箱桁

図-6に示す全載等分布荷重を受ける箱桁

について計算した。解析

範囲は1/2とし、E

$$= 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\nu = 0.3 \text{ とした。}$$

図-7, 8, 9に

NSMとFEMによる

結果を示す。図中

の記号MとNは橋軸

方向と断面内の要素 図-7 上フランジの点Aのたわみ分布

分割数である。N=8ではフランジとウェブをそれぞれ2分割、

N=10では上フランジのみを4分割とした。また、Kは展開項数

を表す。本計算例においてNSMでは、FEMに比べて配列の

大きさが60~70%、計算時間は50~70%であった。

(3) 多室箱桁

図-10に示すダイヤフラ

ム、リングフレーム、縦補剛

材のある4室箱桁のモデルに

集中荷重Pが作用する場合に

ついて計算した⁴⁾。ここに、

$$E = 2.83 \times 10^3 \text{ MPa}, \nu =$$

0.35である。全体の1/4を

橋軸方向に2等分割及びスバ

ン中央側をさらに2分割(M

=3)し、フランジを6分割、

ウェブを2分割(N=18)し

た場合とフランジを12分割

(N=30)した場合のスパン

中央点のたわみwと断面C-C

の上・下フランジの応力 σ_x を表-1に示す。また、図-11に文献4)による値と比較して示した。

5. おわりに NSMは計算例のような薄肉構造物の解析に適した解法で、計算時間はFEMの1/2~2/3である。多室箱桁の場合のCPU時間は20~55秒(M-280H, 東大大型計算機センター)であった。

1) 笹井・林・持田：薄肉構造解析のための節点帯板法，2次元解析法研究発表論文集，JSSC第17回大会，1983。

2) 笹井・林・持田：節点帯板法の計算効率について，本講演集。 3) 日本電気：複合構造物解析システム説明書ISAP，1982。

4) 中井・田中・林：偏平多室箱桁のアンラック解析と有効幅の一算定法，土木学会論文報告集，No. 340，1983。

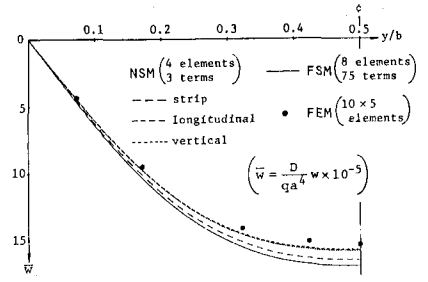


図-5 補剛板のたわみ

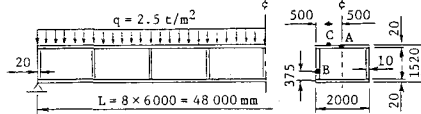


図-6 1室箱桁

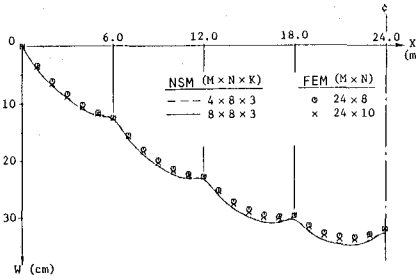


図-7 上フランジの点Aのたわみ分布

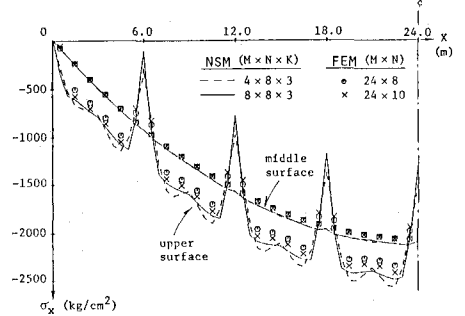


図-8 上フランジの点Cの σ_x の分布

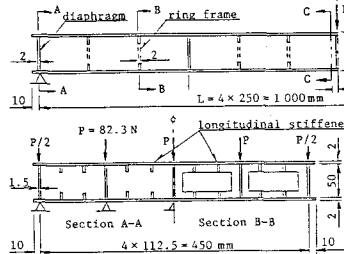


図-10 偏平多室箱桁

表-1 要素分割による比較

		unit: [cm, MPa]				
M x N x K	W; σ_x	Y/B				
		0.0	0.125	0.25	0.375	0.5
2 x 18 x 3	W	1.848	1.822	1.803	1.794	1.789
	$\sigma_{x,u}$	-1.654	-1.334	-1.539	-1.317	-1.545
	$\sigma_{x,l}$	1.679	1.332	1.560	1.323	1.565
3 x 18 x 3	W	1.850	1.824	1.804	1.794	1.790
	$\sigma_{x,u}$	-1.703	-1.329	-1.559	-1.313	-1.565
	$\sigma_{x,l}$	1.719	1.322	1.565	1.315	1.571
3 x 30 x 3	W	1.860	1.833	1.813	1.804	1.799
	$\sigma_{x,u}$	-1.680	-1.316	-1.582	-1.300	-1.589
	$\sigma_{x,l}$	1.710	1.321	1.595	1.305	1.602

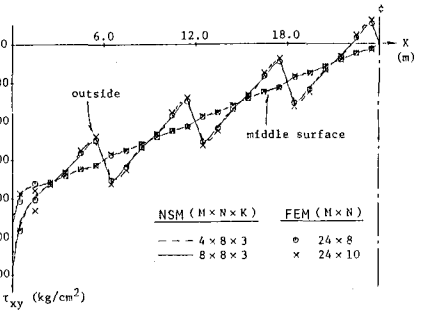


図-9 ウェブの点Bの τ_{xy} の分布

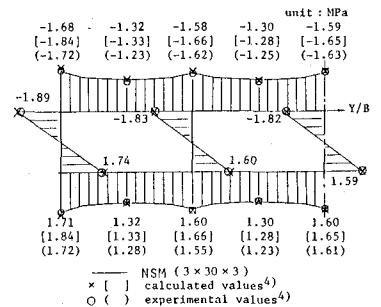


図-11 断面C-Cの σ_x 分布