薄肉立体構造の境界要素法と有限要素法による混用解析について

大阪大学　正員　小松　定夫
川崎重工　〃　○長井　正嗣

1． まえがき

近年、薄肉構造物は増々大型化かつ複雑化する傾向にあり、その立体的力学特性の忠実な把握は従来にもまして重要となつてきている。　さて、この種構造物の解析手法に目をむけると、今日有限要素法が汎用性の面を考えても一般的である。　しかしながら、局部的な変形を含めての全体的挙動の把握に関しては必らずしも十分に有効な方法と言い難い面があり、サブストラクチャー法ないしズーミングと呼ばれる手法が多用されている。

さて、境界要素法は問題の次元を下げることができ、かつ重み関数として基本解を利用していることから、データ量および計算時間の低減また応力集中の評価が期待できる。[1)、2)]　そこで、本文では局部的な現象を呈する領域に境界要素法を、比較的応力性状のスムースな領域に有限要素法を適用することとして、境界要素法と有限要素法の混用解析手法を示す。　本文では主に薄肉箱桁橋への適用例を示すが、その基本的考え方は前述のサブストラクチャー法に類するものであり、応力の乱れが予想される領域には境界要素法定式化より得られる部分立体構造を利用することになる。

2． 基礎理論

境界要素法領域で得られる基礎式は以下のようになる。[3)]

$$AU = BP \qquad (1)$$

一方、有限要素剛性方程式を式（1）と同様の形に書きかえて、

$$KU = MP \qquad (2)$$

それぞれの領域を結合部および非結合部に分割し、結合線上で変位の適合条件および力のつり合い条件を考えると以下のような基礎式を得る。

$$\begin{bmatrix} A_0 & -B_i & A_i & 0 \\ 0 & M_i & K_i & K_0 \end{bmatrix} \delta = f \qquad (3)$$

ここで、　$\delta^T = \{U^B, P_i^B, U_i^B, U^F\}$，　　f は外力ベクトル、また添字 0 は非結合部、i は結合部を意味する。

次に M マトリックスは図 2（a）（b）の要素に対して以下のように定義される。

$$M = \int_{S_i} N^T \phi\, t\, ds_i = \int_{-1}^{1} N^T \phi\, t\, |J|\, d\eta \qquad (4)$$

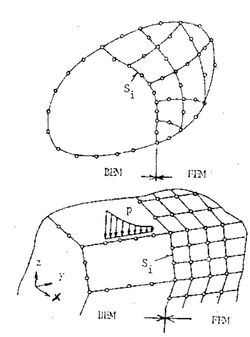

Fig.1 Combination BEM and FEM

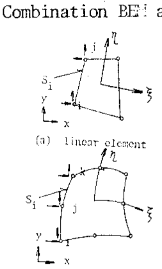

Fig.2 Surface integration of finite element

Sadao Komatsu and Masatsugu Nagai

ここで、 N，φ は変位および応力に関する内挿関数で、図２（a）に対して、

$$N^T=\left[\frac{1}{2}(1-\eta) \vdots \frac{1}{2}(1+\eta)\right] ,\quad |J|=\frac{1}{2}\sqrt{(X_j-X_i)^2+(Y_j-Y_i)^2} \tag{5}$$

図２（b）に対して、

$$N^T=\left[\frac{1}{2}\eta(\eta-1) \vdots 1-\eta^2 \vdots \frac{1}{2}\eta(\eta+1)\right] ,$$

$$|J|=\sqrt{\left\{(X_i-2X_j+X_k)\eta+\left(-\frac{1}{2}X_i+\frac{1}{2}X_k\right)\right\}^2+\left\{(Y_i-2Y_j+Y_k)\eta+\left(-\frac{1}{2}Y_i+\frac{1}{2}Y_k\right)\right\}^2} \tag{6}$$

３． 数値計算例

薄肉箱桁橋に本手法を適用した例を通して、本法の妥当性および特長について述べる。

図３に示す支間４８ｍ、幅２ｍ、高さ１．５ｍの単純桁（ダイアフラム間隔６ｍ、トラス材断面積５０ｃｍ^2）を対象にして議論を進める。 本法では、はり端より２ｍの領域までに境界要素法を適用しその他に有限要素法を適用した。 また、比較のために有限要素法（２次長方形要素）単独の解析も実施した。両手法の要素分割は紙面の都合上当日発表させていただきたい。 以下に得られた結果の一部を示す。

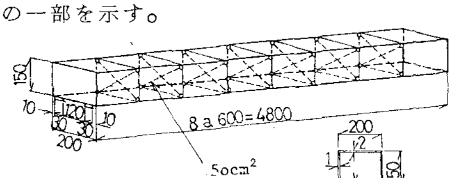

Fig.3 Model (Box girder)

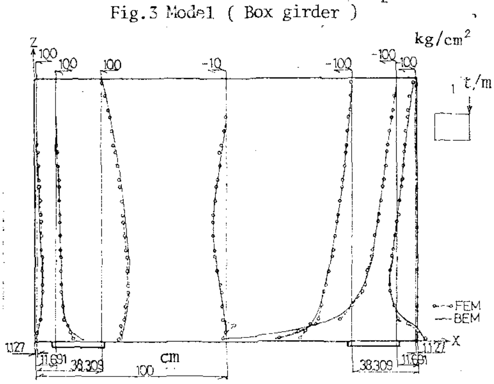

Fig.4 Normal stress σ_z of diaphragm (asymmetric uniform load)

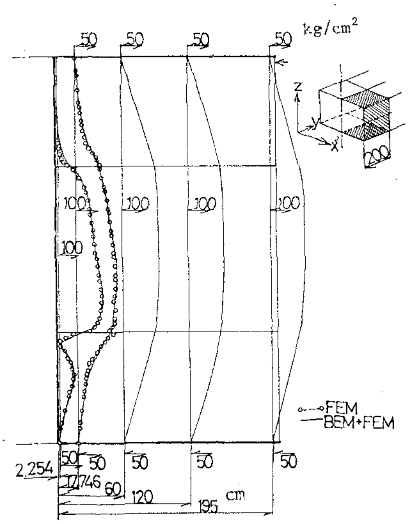

Fig.5 Shearing stress τ_{xy},

４． 結言

本手法の妥当性が有限要素法解との比較を通してであるが確認された。 応力の乱れに対して本手法がスムースに対応している情況が確認され、有限要素法では要素の一層の細分化が要求されると考える。 データ作成、計算時間の面でこの種構造物に対する本法による解析は効果的と考える。

参考文献； 1) 長井・小松・西牧：境界要素法による２次元連続体の解析手法に関する研究、第３５回年講 2) 小松・長井・坂本：高次形状関数近似境界要素法の精度について、Ｓ５６年関西年講 3) 西牧・小松・長井：境界要素法の薄肉構造物への適用に関する研究、第３５回年講