

3次元複合構造物の有限要素プログラムの開発

岡山大学大学院

学生員

○西側 真浩

岡山大学環境理工学部

正員

谷口 健男

1. はじめに

3次元構造物は通常1次元、2次元および3次元の構造要素より成り立ち、また、その構造要素はそれぞれ異なった材料より成り立つ場合も多い。本研究ではこのような構造物、すなわち3次元複合構造物(3次元ソリッド要素、2次元板要素、2次元シェル要素、2次元面内要素、1次元梁要素、1次元棒要素の組み合わせが可能)の力学挙動解析をパソコン上で容易に行い得るソフトウェア・システムの構築法を示すとともに、開発したソフトウェアの妥当性を実3次元複合構造の実施例で検証する。

2. 3次元複合構造数値解析法

本システムは、有限要素法を基本としていることより、そのプロセスは大きく分けてプリプロセッシング部、有限要素解析部、ポストプロセッシング部の3つから構成されている。そこで、本システムを開発する際に考慮した点について述べる。

プリプロセッシング部

複合構造系では異なる物理定数をもった物質が面・線・点を介在させて接合し、1つの物体(領域)を作り上げている。言い換えると、場合によっては異次元の部分領域(1次元、2次元、3次元)が0次元、1次元、2次元的に互いに接合して、3次元領域を形成している。よって、その有限要素モデルの生成では、個々の部分領域を有限要素に分割するだけでなく、接合部(面と線が問題となる)では同じ要素分割を持つことが要求される。

任意3次元複合系に利用できる自動要素分割は困難な問題を包含している。¹⁾ よって、ここでは下記のような簡便な要素分割法を作成して数値解析に利用する。

Step 1 全体領域を計算機に入力(8頂点の座標値入力)

Step 2 3次元部分領域間の面を考慮して、3座標軸に沿った分割数を入力

Step 3 メッシュ関数法で六面体(直方体)要素に分割(3次元要素の完成)

Step 4 必要な面の座標値を入力して、その面上に位置する2次元(四角形)要素の取り出し(2次元要素の完成)

Step 5 中間点を追加発生させてアイソパラメトリック要素への変更

なお、今回の数値解析では1次元要素を使っていないが、それが必要な場合、Step 4とStep 5の間に、

Step 4' 必要な座標軸を入力して、面の周辺の取り出し(1次元要素の完成)

を挿入すればよい。

有限要素解析部

有限要素解析部では、変位型有限要素法を採用し、また、連立一次方程式の解法には、直接法の一つであるスカイライン法を用いる。

3次元複合構造系では、2次元有限要素や3次元有限要素などが3次元的に組み合わせられて存在しているため、同じ有限要素でも1節点あたりの自由度($u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z$)は異なり、また、隣り合う互いの要素は共有する節点の自由度も共有するため同一要素内での自由度は必ずしも一定とはならない。この解決法として、まず、各要素ごとに要素剛性マトリックスを作成した後、1節点あたり 6×6 のマトリックスに広げ全体座標系で自由度を確定する。その後、下記のような方法によりスカイライン法で要求される要素剛性マトリックスを1次元配列を用いた剛性マトリックス(図1)に組み込む際のアドレス付けを行う。

Step 1 節点-自由度関係をもとに要素-自由度関係を作成

Step 2 各自由度が関係する全ての要素の中で最小の自由度を見つける(各自由度についてのスカイラインの列の高さを決定)

Step 3 主対角が1次元配列のどの位置に存在するかという情報を作成(図1中のMAXAを作成)

これにより「剛性マトリックス中の何行何列が1次元配列Aの何番目にあたるか」というアドレス付けが可能となる。

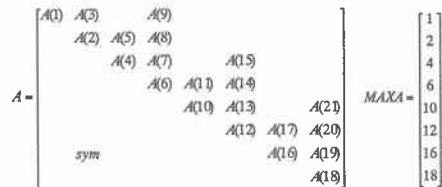


図1 1次元化された剛性配列と主体角項の位置を示す配列

ポストプロセッシング部

市販ソフト AVS Ver.5 を用いて変位や応力分布をグラフィックス表示し、システムの最終作業の軽減化に努める。

3. 数値解析

i) 解析モデル

図2に解析対象(擁壁)の概観を示す。数値解析の主たる目的は、プレキャストコンクリートと場所打ちコンクリートの材料定数(ヤング率)の違いをパラメータとして変化させて、その変化に伴うこれら両者の接合部近傍での力学的な検討を行う。よって、本解析ではコンクリート底版(鉄筋、コンクリート、PC 定着板)だけを3次元有限要素解析モデルとして扱い、ポスト、PC鋼棒への導入力、パネル、裏込め土砂、底版を支える基礎地盤等は境界条件(荷重、変位)としてモデル化する。図2に示したこの構造の幾何学的な対称性を用いると、解析対象としてポストの中央面とパネルの中央面の間を取り出して、それを構造解析する(図2斜線部)。なお、各種部分の有限要素モデルについては、鉄筋はその断面積と等価な板で置き換え、シェル要素(8節点アイソパラメトリック要素)を用いる。PC定着板はシェル要素(8節点アイソパラメトリック要素)でモデル化する。また、コンクリートはかぶりを無視し、上鉄筋と下鉄筋に挟まれる領域をソリッド要素(20 節点アイソパラメトリック要素)で有限要素モデルとする。(図3参照)

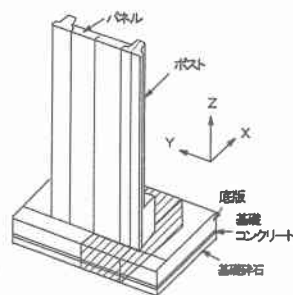


図2 解析対象

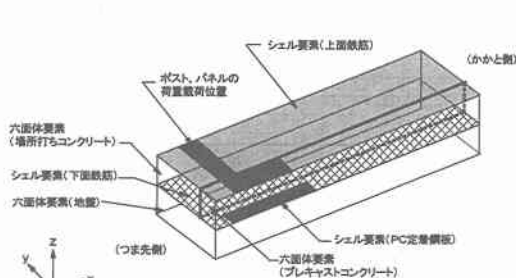


図3 要素配置図

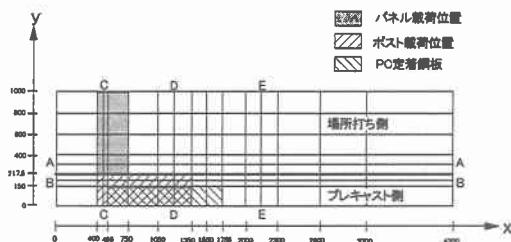


図4 応力の評価箇所

ii) 数値解析結果

断面 C-C(図4パネル先端)における主応力分布を示したのが図5である。なお、図5中の Case1~Case6は $E_c/E_p = 1, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5$ を示し、 E_c/E_p は場所打ちコンクリートとプレキャストコンクリートのヤング率の比を表す。場所打ちコンクリート材料品質を低下させるにつれて主応力はわずかながら変化するものの、大きな変化はないと言える。但し、場所打ちコンクリートのヤング率を相対的に低下させるにつれて、プレキャストと場所打ちコンクリートの接合位置で主応力は逆転する傾向が見られる。これは剛比バランスから理解できる現象である。すなわち、場所打ちコンクリートのヤング率を低下させると、プレキャスト側の剛性が相対的に高くなり、接合部近辺では上載荷重のプレキャスト側の負担率が高くなることを示している。

4. あとがき

要素分割が解析結果に与える影響は大きく、任意3次元複合系に利用できる有効な自動要素分割法の開発が望まれる。なお、本研究遂行にあたり、大和クレス(株)のご協力を得たことに対し謝意を表します。

参考文献

- 1) 谷口健男 (1996.5) “複合領域の六面体要素分割法”, 計算工学講演会論文集, Vol.1, No.2, pp.689-692

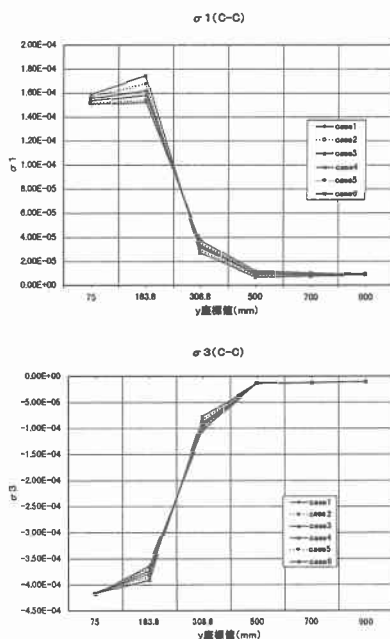


図5 断面 C-C での応力分布