

センチュリ・リサーチ・センタ

正員。竹中裕行

”

” 武田 洋

”

木村 升

1. 序文

有限要素法の発展およびその背景となった電子計算機の飛躍的進歩により、今まで解析不能とされていた複雑な形状の連続体の解析が可能となり、動的解析をも含めて大規模な解析が頻繁に行なわれているのが現状である。この様ななかで、出来る限り短時間で、かつ出来る限りの精度を保って、効率よく解を得ようとする種々の試みがなされているが、本稿では、要素の高次化と縮合法について、要素分割数、精度、計算時間について行なった数値実験の一部を記する。

2. 解析対象

ここで取り扱った例題は、Clough and Chopra⁽¹⁾により解かれた Earth dam の振動解析に基礎を置いている。Earth dam の形状は、図 1 に示す様に、高さ 300 ft. (91.44 m)、底辺 900 ft. (274.32 m) の三角形断面を有し、Young 係数 81300 psi (5716.052 Kg/cm²) Poisson 比 0.45、密度 130 pcf (2.5496・10⁻³ Kg/cm³) であると仮定し、平面ひずみ問題として扱う。

3. モデル化

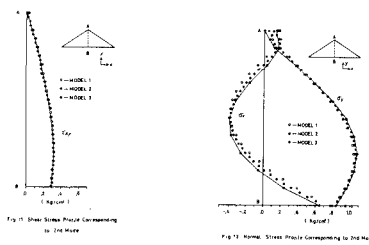
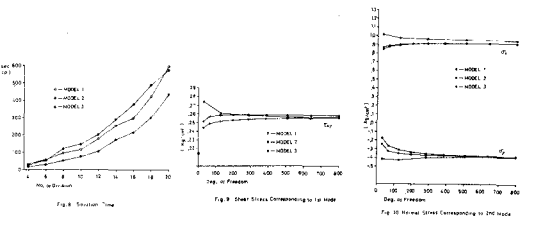
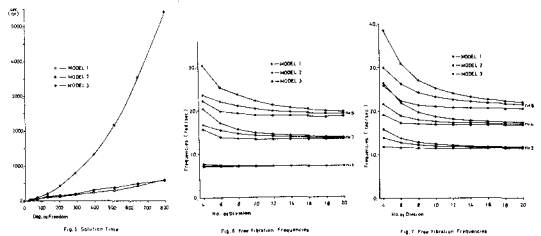
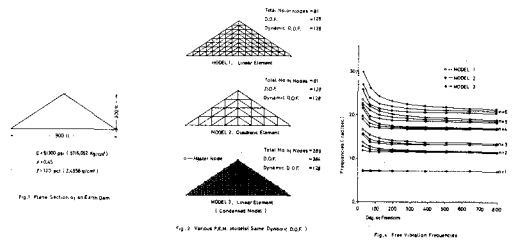
Earth dam の有限要素モデルには、次の 3 つのタイプのモデルを用いた。

Model 1: 平面 1 次要素によるモデル化 (Linear)

Model 2: 平面 2 次要素によるモデル化 (quadratic)

Model 3: 平面 1 次要素によりモデル化し、代表的な節点を master node とし、その節点に残りの節点の自由度を縮合する。ただし master node は一様に分布しているものとし、1 次要素 4 つで形成される三角形の頂点を、master node とした。この様なモデル化を行なうことにより、動的な自由度の数を、model 1 と同じものにするためには要素数にして 4 倍、全自由度にして 3 倍の自由度を持つことになる。

図 2 に同じ動的な自由度を持つ、3 つのモデル model 1, model 2, model 3 を示す。ここで用いた縮合過程は、いわゆる Guyan Irons の縮合過程である。



4. 振動モード

図3に Model 1を用いて求めた自由振動の代表的なモード(1~6次)を示す。ただし、ここで用いた固有値を求める方法は、Jenningsの方法である。

5. 動的な自由度と振動数、分割数と振動数

図4, 6, 7に動的な自由度の数と振動数、分割数と振動数との関係を示す。ただし図6, 7の横軸は model 1について高さ方向の要素分割数であり、model 2, model 3については、全自由度が同じ値をとる様にしてある。

6. 解析に要する時間

図5, 8に動的自由度および分割数と解析に要した時間(cp time)との関係を示す。

7. 応力の精度

振動応答解析の応力計算の基礎となる mode shape と応力との関係を調らるために、変形モードを(最大値1.0)に scaling し対応する応力を、動的自由度に対してプロットした。図9には1次のモードにおける剪断応力、図10には2次のモードに対する直応力を示す。ただし着目した点はダムを中心線上で高さ $\frac{1}{2}$ の点である。図11, 12にはそれと動的な自由度800を持つモデルで解析した結果のダムを中心線に沿う応力を示す。

8. 考察

(1) 図4, 6, 7より1次のモードにおいては、要素分割数、要素タイプ、縮合の有無によって得られた解は、ほとんど影響を受けないが、高次のモードに行くに従いモデルの差による影響が顕著となる。当然のことながら分割数を増せば、精度は上がり、漸近的に一定値に近づくている。

(2) 注目すべき事は、縮合タイプ(model 3)は、要素分割数が細かくなっても、その精度は2次の要素を用いた同じ動的自由度を持つ model 2 よりも悪いと云うことである。(全自由度で考えれば、model 2 に比べて、3倍もの自由度を持つ!!)

(3) 一方計算に要する時間についての図5より、model 1, model 2 に比べて model 3 による解析には圧倒的に時間がかかり、さらに細かい要素分割を行なえば、要する時間の増加は想像を絶するものとなる。

(4) モデル全体の自由度で考えれば、図8より、計算時間については、顕著な違いは見られないが、モデルがさらに大型化し、求める振動モード(固有値)が少ない

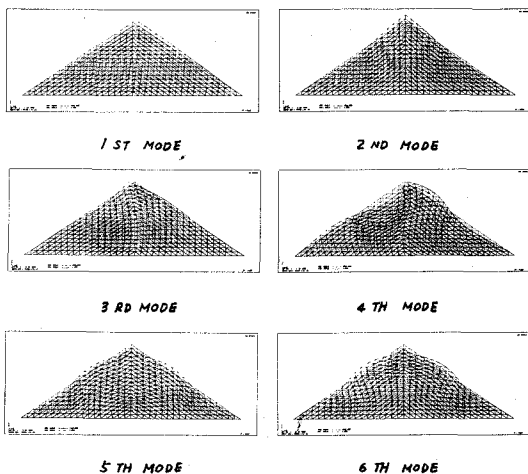


Fig. 3. Mode Shape

場合には、縮合に要する時間が、固有値を求める時間に対して重要な部分を占めることになり、やはり縮合タイプ θ のモデル化の方が時間的には不利となるであろう。ここに示した例では10次のモードまで求めるために要した時間である。いずれにしても、大きな精度はのぞめない。

(5) 応力の精度についても振動数について述べた事と同様な事が言える。

9. 結語

大型の問題を効率よく解くために開発されたと言われる縮合法による実際的な問題における効果は、経済的に見ても、精度の点から見ても、有効な手段では、思われぬ。むしろ高次の要素を用いて粗い分割でモデル化する事が推奨される。

なを、ここで用いた計算機は、CDC 6600 でありプログラムは構造解析汎用プログラム ASKA である。

10. 参考文献

- (1) W. Clough, Anil K. Chopra "Earthquake Stress Analysis in Earth Dams" ASCE, EM2, 1966
- (2) O. E. Brönlund "Die Simultane Verbesserung einer Beliebigen Anzahl Genäherter Eigenvektoren von Hermiteschen Matrizen" University of Stuttgart.
- (3) 44甲, 武田, 渡部 "有限要素法による動的解析の一考察" 土木学会第27回年次学術講演会概要集