

東京工業大学 正会員 吉田 裕
東京工業大学 正会員の増田陳紀

§はじめに

有限要素法による非線形解析の分野は、その理論的基礎が深く検討され確立されているのに対し、計算時間を非常に必要とするため、特定の問題を除いて現実の問題への適用は困難となっている。本報告は、薄肉立体構造を対象として、限定された問題ではなくより一般的な問題を扱い得る有効な非線形解析法を模索するという前提に立って、計算法の改良、簡略化を試みた経過および結果を報告するものである。本解析法は要約すると、予測子として変形の3次式による外挿、修正子としてChord Methodによる反復修正、を用いる予測子・修正子法とすることができる。

§解析方法の概要

一般に用いられている歪一定の要素を用いた薄肉立体構造の解析は、線形解析自体においても、要素間の合理的な結合を評価することが困難であり、得られる応力の精度が劣るなどの問題が存在する。また、板曲げの弾塑性解析においては、要素内の歪を一定とした解析は剪断力を過大に評価し誤った結果を与える。このため、本解析法においては要素内の応力分布を線形に評価する立場に立つ。また、Follower Force型の問題を解析の対象として含める。したがって、通常の増分理論に基づいて薄肉立体構造の非線形解析法を定式化するとは複雑、困難となり、ここでは以下に示すような方法を用いる。

・**節点内力の評価** 基本的な要素剛性行列(線形剛性行列)としては、応力仮定のHybrid法に基づいて誘導された薄板構造解析のための三角形要素^{*}を用いる。この要素は要素内での応力およびモーメントの分布を線形に評価しており、また節点変位として面内の回転変位を含むことより、要素間の合理的な結合を可能としている。材料非線形解析の場合は、三角形要素の三つの頂点に設定した節点において、節点変位の関数として板厚方向の主歪分布を求め、与えられた非線形応力～歪関係から板厚方向の応力分布を評価し、その積分結果として節点における主曲げモーメントおよび主面内力を評価する。得られた主曲げモーメントおよび主面内力を基準座標系における対応する力量に変換し、曲げモーメント、捻りモーメントおよび面内力を要素内で線形補間する形で要素内の応力分布を評価する。

・**増分過程** 変位を制御変数として変形を3次式で外挿して次段階の変形を予測する。この方法によれば、Follower Force型の問題のように変形に伴ない外力モードの変化する場合にも、ある程度大きな増分量を与えることが可能である。

・**反復修正過程** 反復修正のための行列は、個々の要素につき初期状態における剛性行列(線形剛性行列)を用い、要素の位置の変化に基づく座標変換行列の変化のみを考慮して構成される行列を用いる。これはChord Method^{**}に属するもので、付加剛性行列を一切含まない。実際の計算においては、各増分段階につき、上の行列を前段の平衡状態位置において構成される行列に固定して、修正Newton Raphson法と同様の手法を用いている。

§解析例

非線形応力～歪関係をここでは図1に示すような形で与えている。図2に示すような浅いアーチ状曲面板に種々の荷重が作用するとその非線形解析を行なった結果が図3～6に示してある。荷重条件は、図3が集中荷重、図4が等分布圧力(Follower Force型の問題)、図5、6は鉛直方向等分布荷重である。また、図3、4、5は幾何的非線形解析、図6は幾何的および材料非線形解析の結果である。それぞれ横軸には初期ライズに対すう

イズ、縦軸には計算時間および、図3、5については圧屈荷重に対する荷重の比、図4、6については図5の圧屈荷重に対する荷重の比、をとってある。図3、5の実線は理論解を示す。また、図中Sは最大変位増分量と、Cは収束基準で平衡力のノルムに対する不平衡力のノルムを表わす。

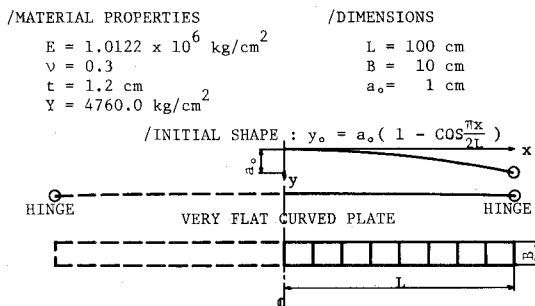
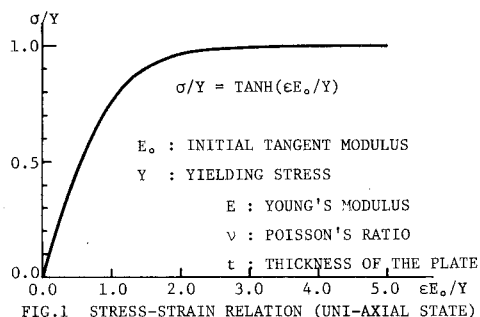
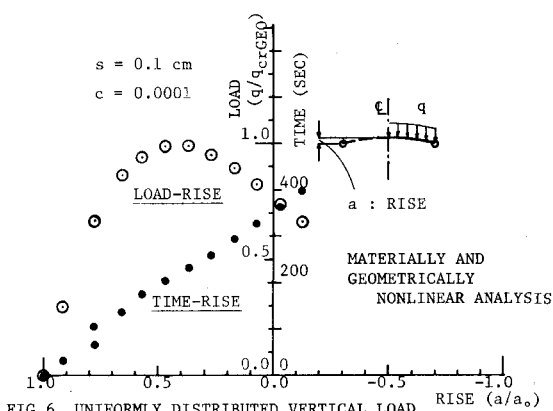
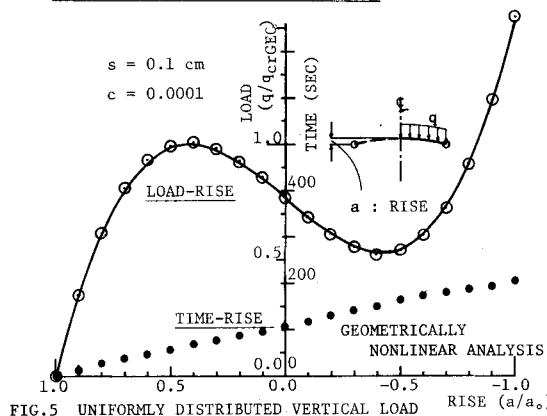
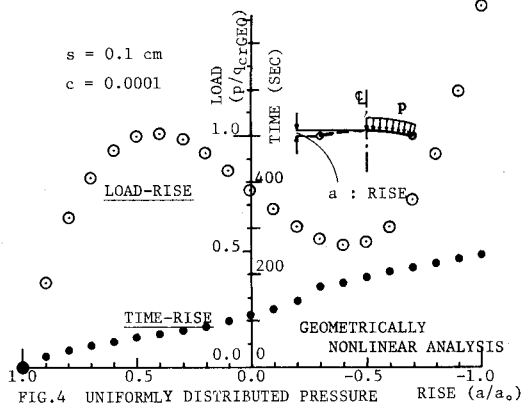
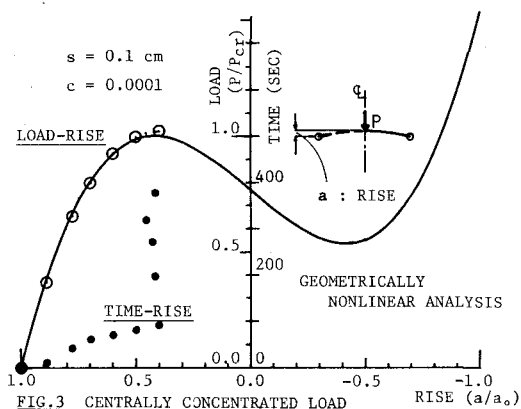


FIG.2 CONDITIONS OF THE ANALYSIS



§おわりに

薄肉立体構造を対象として、Follower Force型の問題を含む一般的問題を解析するための非線形解析法を、要素内の応力分布を線形に評価する形で展開し、解析例として、浅いアーチ状曲面板に種々の荷重が作用する場合を示した。本解析法は変形の3次式による外推を予測子とし、Chord Methodによる反復修正を修正子とする予測子-修正子法といえる。計算には東京工業大学情報処理センター HITAC 8700を使用した。

§参考文献

- * 吉田、雨宮、増田：立体構造解析のための薄板有限要素，土木学会論文報告集，才211号，1973年3月。
- ** Oden：Finite Element Of Nonlinear Continua, McGraw-Hill, 1972.