

I-327

重錘落下衝撃を受ける有限円板の応答解析

室蘭工業大学 正員 岸徳光, 松岡健一

日大生産工学部 正員 能町純雄

電力中央研究所 正員 大沼博志, 高野博

1. はじめに

衝突衝撃荷重載荷に対するRC構造物の応答問題はひびわれの問題も含む弾塑性的な挙動を示すために、通常有限要素法あるいは有限差分法に基づいた汎用衝撃解析コードを用いて解析が行なわれている。しかしながら、衝撃荷重載荷に対する構造部材の初期波動伝播性状や工学的な応答特性の概略を把握する場合は、弾性的な衝撃応答解析を用いることが十分可能であるものと考えられる。特にパーフォレーションやスキッピングが起きないような荷重載荷の場合は、両者とも大差のない挙動解析が可能であり、計算コスト的にもメリットが大きいものと考えられる。また、応力波が支持境界まで到達していないような衝撃初期の構造物の応答性状は、理論的には軸対称的な特性を示すものであり、載荷点近傍の応力波あるいは加速度、変形挙動の詳細な性状を検討するためには、載荷点近傍を軸対称問題として取扱い解析を行なう方が、解析精度あるいは計算コストの面からもより合理的なものと考えられる。

ここでは、このような背景のもとに構造物の衝撃応答解析を軸対称構造体として解析することに限定し、鉄筋コンクリート構造のような複合成構造体でも容易に解析可能な四辺形アイソパラメトリックのリング要素を用いて、モード法による解析式の定式化を行なった。解析は全自由度に対する固有値を考慮する必要があるものと考えられるが、ここでは固有値の数に対する応答値の収斂状況を検討の後固有値の数を限定して解析を行なっている。数値解析計算は本手法の衝撃問題への適用性を検討するために、電力中央研究所で行なわれた落下衝撃実験に用いられた鉄筋コンクリート床版について解析を行ない、実験結果や他の解析手法としての有限帯板法による結果との比較検討を行なっている。

2. 解析理論

図-1に示すような任意のリング状四辺形プリズム要素において要素断面内に局所座標系として $\xi-\eta$ 座標を設定し、式(1)のようなアイソパラメータを仮定する。歪と変位および応力と歪の関係

$$\{N\} = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} (1-\xi)(1-\eta)(1+\xi)(1-\eta) \\ (1+\xi)(1+\eta)(1-\xi)(1+\eta) \end{bmatrix}^T \quad \dots (1)$$

式は軸対称三次元弾性論より求め、周方向に有限Fourier変換を施した後仮想仕事の原理を適用して動的基本式を定式化している。

解析は有限個の基準関数に関する運動方程式に分離して行なっている。ここでは任意の荷重に対応できるように有限Fourier変換を施しているが、軸対称0次荷重載荷の場合は $m=0$ のみを解析するだけでよい。

3. 数値解析

本手法の妥当性を検討するために、電力中央研究所で行なわれた重錘落下衝撃実験結果を用いる。断面形

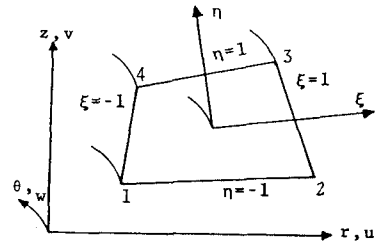


図-1 リング状任意四辺形
プリズム要素

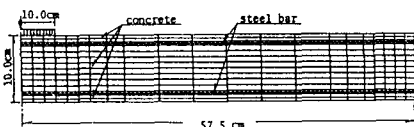


図-2 解析モデルのメッシュ図

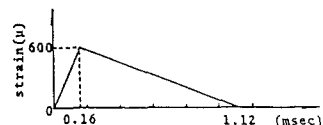


図-3 入力波の時間方向分布図

状はスラブ厚10cm、スパン115cmの正方形矩形板であるが、本解析手法は軸対称問題であるので半径57.5cmの有限円形板として解析を行なった。減衰定数は0.1としている。図-2は解析モデルのメッシュ図を示している。

なお、鉄筋部は断面積が等価な鉄板要素に置換えている。図-3は実験結果を基にして仮定した入力衝撃波の時間方向分布図である。

3.1 精度の検討 数値解析上の精度検討の一つとして、固有値の数に対する応答値の収斂状況を調べた。検討結果、荷重載荷時の載荷点から離れた点や荷重載荷終了後の各点の応答値に関しては10項程度では収斂しているが、荷重載荷時載荷点近傍の応答値は40項を考慮した段階でも振動状態を示し収斂性が悪いことが明らかになった。本解析ではある程度精度的に合理的な値が得られることを確認するという観点から、固有値の項数を30項に設定して解析を行なうこととした。

3.2 実験結果、他解析理論との比較 図-4は本解析手法による解析結果と有限帯板法による解析結果、電力中央研究所で行なわれた重錘落下衝撃実験結果との比較を示している。図-4-(1)は板中央部引張り鉄筋部の要素(要素番号274)、図-4-(2)は板中心から1/2半径離れた点の同様の要素(要素番号284)の σ_r 分布である。図より、実験結果に対してはひびわれ等の塑性論的な問題もあり伝播性状そのものは必ずしも解析結果と一致しないが他解析理論としての有限帯板法との比較については波動周期に違いが見られるものの応答値そのものはかなり近い分布性状を示している。

3.3 衝撃波動の伝播性状 数値解析プログラムでは任意節点における変位や速度、加速度の時間的な変動状態や、任意時間における断面内の変形状態や主応力分布を求めることが可能になっている。ここでは出力結果の一例として、図-5に衝撃初期において変形が徐々に載荷点の板中心部から支点方向に向かって推移していく状態を示している。図より1.0msec前後から板全体としての挙動を示すことがわかる。

4. おわりに

重錘落下衝撃荷重が作用する矩形板の衝撃初期の動的応答特性を把握することを主な目的として、これを軸対称構造体に仮定し衝撃応答解析を試みた。ここでは鉄筋コンクリート構造のような複合合成構造体でも解析可能にする為に四辺形アイソパラメトリックのリング要素を用いて行なった。今後板厚や周辺境界条件を変化させた場合についても種々検討を行なう予定である。

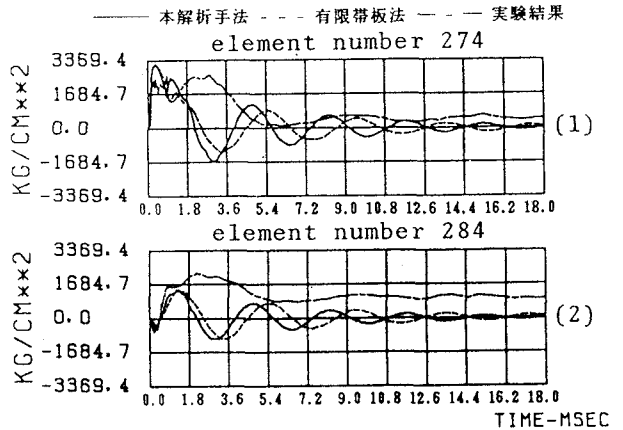


図-4 他解析手法及び実験結果との比較図(σ_r)

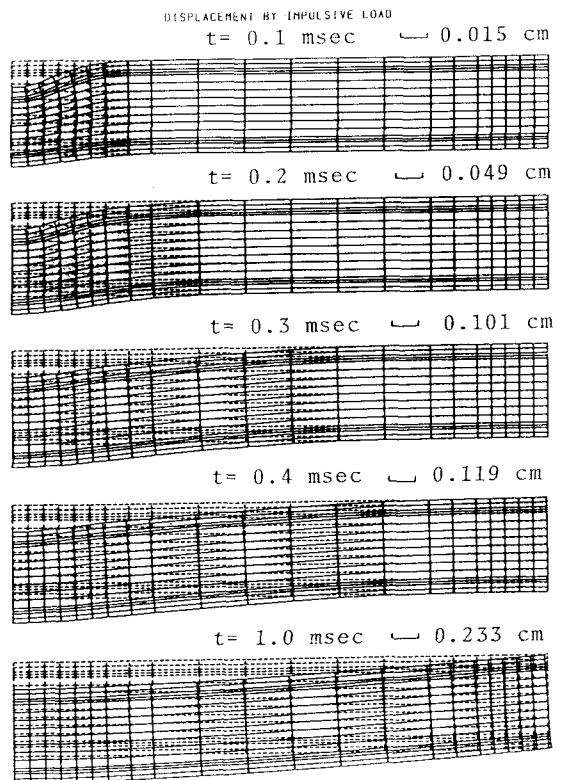


図-5. 衝撃初期の変形状態