

I-B 145 コンクリート中詰薄肉円筒に作用する衝撃の伝播特性

筑波大学 学生員 山崎 義浩
同 正 員 西岡 隆

1. はじめに

衝撃によって生じた応力波には幾つかの性質を異にするものが存在しており、衝撃力が作用するとこの種々の波動が構造物を伝播する。しかしその構造物の形状や材質の違いによって、同じ種類の波動であっても異なった伝播特性を示したり、またある波動についてはほとんど変わらずに伝播する。本研究はコンクリートを充填した薄肉円筒構造物の単位衝撃応答における変形を、現れる波動のモードと位相速度に着目して考察した。

2. 解析手法

図-1に示すような、全体座標系 X-Y-Z- θ に置かれた両端単純支持のコンクリート中詰薄肉円筒に有限帯板法および有限要素法を適用してモデル化を行う。円筒シェルは k 枚の薄板から構成され、 k 本の節線 1-1' ~ k - k' で結合している。モデルの断面の直径を D 、薄肉円筒の肉厚を h 、はりの長さを L とする。はりの両端にはダイヤフラムが入っており、その剛性は無限大とする。これから得られる運動方程式は

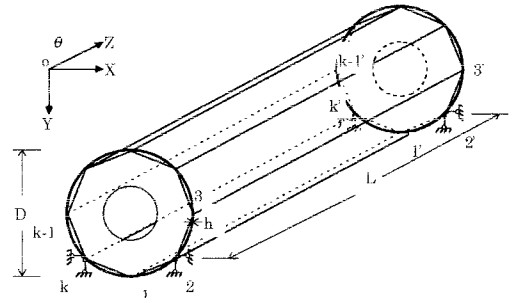


図-1 解析モデル

$$M\ddot{U}(t,z) + C\dot{U}(t,z) + \left[K_4 \left(\frac{\partial}{\partial z} \right)^4 + K_2 \left(\frac{\partial}{\partial z} \right)^2 + K_1 \left(\frac{\partial}{\partial z} \right) + K_0 \right] U(t,z) = P(t,z)$$

となる。ただし、 M : 質量マトリクス、 $K_1 \sim K_4$: 剛性マトリクス、 P : 節線外力ベクトル、 U : 節線変位の係数ベクトルであり、減衰係数マトリクス C は質量マトリクス M に比例するものとして $C = \gamma \cdot M$ (γ は比例定数) である。得られた運動方程式において節線の変位関数をフーリエ級数で展開し、級数の直交関数としての性質を利用することにより各フーリエ級数項ごとの線形連立微分方程式となる。固有値計算からは固有振動数 ω_{mi} および固有モードマトリクス Φ_m が得られる。単位インパルスは、はり端に対して Z 軸方向に与えるもの（はり端軸方向単位インパルス）および、はり中央に対して Y 軸方向に与えるもの（はり中央断面方向単位インパルス）を考える。単位衝撃応答計算から各節線の時刻歴応答が得られ、さきの固有値計算の結果と併せて各応答での固有モードに対する刺激係数から、応答におけるモードの位相速度～出現度の各波数 m に対する関係が得られる。以上の解析手順を図-2のフローチャートに示す。

3. 解析結果および考察

固有値計算より固有振動数と節線係数の固有モードが得られる。図-3はこのうち主な固有モードについて断面形状を考慮して Z 軸方向、 X - Y 断面方向の成分の変形に分けて描いた物である。与えられた外力の周

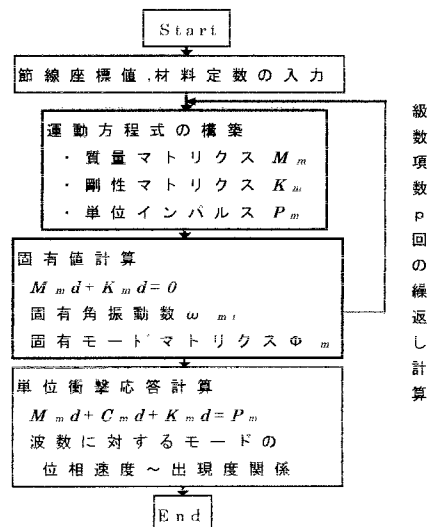


図-2 解析手順

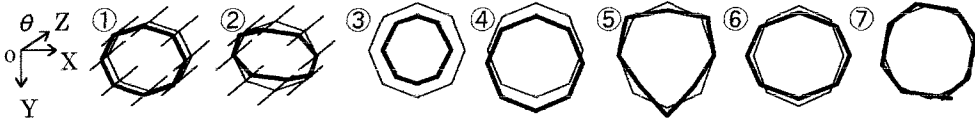


図-3 円筒断面の変形

波数成分と載荷方向，載荷場所に応じて特定のモードが刺激係数に応じて増幅され出現する。単位インパルスはすべての周波数成分を含むので、各波数に対するモードの位相速度～出現度関係は構造物の形状や材質の違いによる波動の伝播特性の相違をよく表す。図-4と図-5は $L=15\text{m}$ で $k=8, L/D=5, h/D=1/300$ の場合で、はり左端よりZ軸方向へ およびはり中央に断面Y軸方向へ単位インパルス进行して 2.0msec 後の変形図で、(a)薄肉円筒シェル、(b)コンクリート円柱はり、(c)コンクリート中詰薄肉円筒はりの場合である。

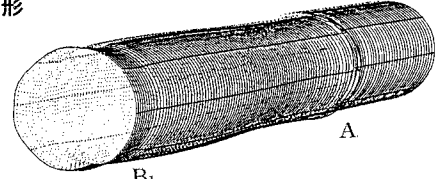
(1) はり端Z軸方向単位インパルス はり端Z軸方向単位インパルスが載荷されると、(a),(b),(c)共 変形①および③を主体とするモードによる波動が現れる。このうち A_1 および A_2 はほぼ変形①からのみ成るモードによる比較的低位の波数から高位の波数まで出現する粗密波で、 A はそれぞれの材質に応じた粗密波の速度と一致した。また複合構造である(c)においては位相速度が異なる A_1, A_2 の2つの粗密波が現れ、 A_1 は薄肉円筒部分と中詰コンクリートが剥離するようなモードによる波動であり、 A_2 はそれよりも位相速度が遅いコンクリート内部を伝播する波動である。また B_1, B_2, B_3 は比較的高位の波数で出現するほぼ変形③から成るモードによる波動で、 B_2 は材質に応じたせん断波の速度に一致した。

(2) はり中央断面Y軸方向単位インパルス はり中央断面Y軸方向単位インパルスが載荷されると、(b),(c)においては比較的高位の波数において、比較的まとまった範囲の位相速度で主に変形②④⑤⑥から成るモードによる曲げ波動が伝播しており伝播特性が似通っている。これに比べ(a)では全体で見ると低位の波数での主に変形②④⑤⑥から成るモードによる曲げ波動と一部の高位の曲げ波動の影響が大きい。薄肉シェルであるので低位の局所的な応答を生じ易いものと思われる。

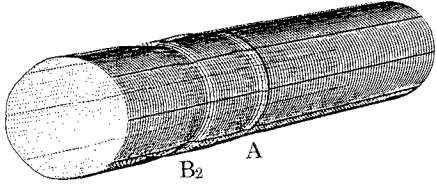
4. 結論

(1) 波数に対するモードの位相速度～出現度関係は構造物の形状や材質の違いによる波動の伝播特性の相違をよく表す。

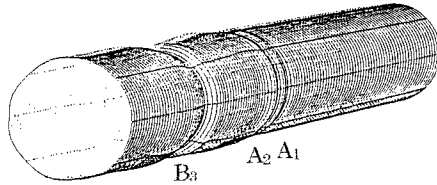
(2) コンクリート中詰薄肉構造物では、はり端Z軸方向単位衝撃応答においては2つの異なった位相速度を持つ粗密波が伝播し、はり中央断面Y軸方向単位衝撃応答においてはコンクリート円柱はりと似通った曲げ波動の伝播が起きる。



(a) 薄肉円筒シェル

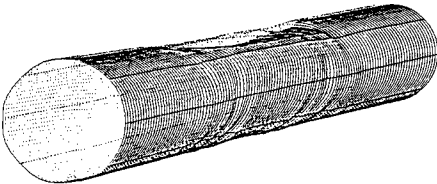


(b) コンクリート円柱はり

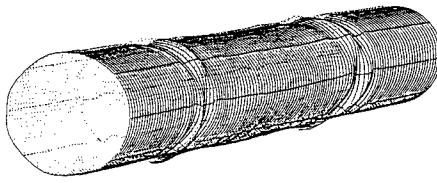


(c) コンクリート中詰薄肉円筒はり

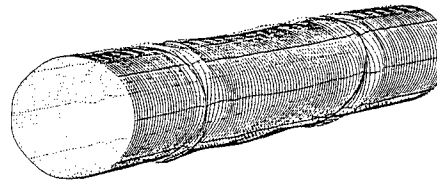
図-4 はり端Z軸方向単位衝撃応答



(a) 薄肉円筒シェル



(b) コンクリート円柱はり



(c) コンクリート中詰薄肉円筒はり

図-5 はり中央断面Y軸方向単位衝撃応答