

I - 659

多層円筒殻の弾性衝撃挙動

日 本 工 営 働 正 員 上 村 大 介
北海道大学工学部 正員 三 上 隆
北海道大学工学部 正員 佐 伯 昇

1. はじめに

動的荷重を受ける円筒殻の挙動の解明は、古くから研究課題に挙げられているが、それらのほとんどは単一材料からなる場合であり、異種材料からなる複合または合成構造に対しては極めて少ないように思われる。本報告は、鉄とコンクリートからなる円筒殻の弾性衝撃応答解析を行ったものである。解析には、位置の離散化にはFinite Layer Method(以下ではF.L.M.と呼ぶ)¹⁾を、時間にはNewmark- β 法を採用した。

2. 解析手法

長さ L , 肉厚 t , 内半径 a の円筒殻は両端が単純支持され、各層は完全に接着され、接着面では相対的なすべりはないと仮定する。考察している動的問題は、減衰の影響を無視すれば次のマトリックス方程式で表される。

$$[M]\{\delta, \dot{\delta}\} + [K]\{\delta\} = \{F\} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $\{\delta\}$ は変位ベクトル、 $\{F\}$ は荷重ベクトル、 $[M]$ は質量マトリックス、 $[K]$ は剛性マトリックスであり、コンマ(,)の後の添字 t は時間に関する微分を表す。なお、F.L.M.での変位関数(u =軸方向変位、 v =円周方向変位、 w =半径方向変位)には次式を用いた。

$$u = \sum [(1-z^*)u_{1m} + z^*u_{2m}]X_m \cos(n\theta), \quad v = \sum [(1-z^*)v_{1m} + z^*v_{2m}]X_m \sin(n\theta) \\ w = \sum [(1-z^*)w_{1m} + z^*w_{2m}]X_m \cos(n\theta) \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 $X_m = \sin(m\pi x/L)$ 、 $(\cdot)$ は x に関する微分を表し、 $z^* = [(0 \sim 1)]$ は各層の厚さ方向の無次元化座標、 m は軸方向の半波数、 n は円周方向の波長数であり、 (u_{1m}, v_{1m}, w_{1m}) および (u_{2m}, v_{2m}, w_{2m}) はそれぞれ、各層の両端 $z^*=0$ および $z^*=1$ における変位を表す。

殻の歪み-変位関係式には三次元弾性理論のそれを用い、式(1)の解法はNewmark- β 法($\beta=1/4$)によった。

3. 解析結果

解析に用いた円筒殻は三通りで、コンクリート層を鉄でサンドイッチした三層のCase1、外層が鉄で内層がコンクリートの二層のCase2、およびコンクリートのみからなる単層のCase3である。材料諸元は、弾性係数比 $E_1/E_2=8.75$ 、密度比 $\rho_1/\rho_2=3.4$ 、ポアソン比 $\nu_1=0.3$ 、 $\nu_2=0.15$ であり、添字1および2はそれぞれ、鉄およびコンクリート層の諸量を表す。各Caseの構造諸元は次のようである。

$$\text{Case1: } L/a=4, \quad t/a=0.11(t_1/a=0.005, t_2/a=0.1), \quad \text{Case2: } L/a=4, \quad t/a=0.11(t_1/a=0.01, t_2/a=0.1) \\ \text{Case3: } L/a=4, \quad t/a=0.11$$

図-2は、固有振動数曲線(円周方向波数 n に対する固有振動数の変化)を軸(長手)方向波数 $m=1, 2, 3$ について示したものである。縦軸が鉄の弾性係数 E_1 と密度 ρ_1 で無次元化された固有円振動数 $\Omega = \omega a (\rho_1/E_1)^{1/2}$ である(ω =固有円振動数)。これによれば、各Caseとも Ω は、円周方向波数 $n \geq 10$ であれば軸方向波数 m によらないこと、および最小の振動数 Ω は $n=2$ でとることなどが理解できる。なお、厚さ方向の要素分割数は30である。

以下の結果は、衝撃荷重が図-2に示すように、 $L/2 - \varepsilon_2 < x < L/2 + \varepsilon_2$ 、 $-\varepsilon_1 < a\theta < \varepsilon_1$ の範囲($\varepsilon_2/\varepsilon_1=1$ 、 $\varepsilon_2/L=0.05$)に一樣な分布荷重(荷重強度 p)が、時間に関してステップ関数状に作用する場合のものである。なお波数 m, n には応力の時間応答値の収束性の検討結果より判断し、 $m=n=160$ とした。

図-3は、スパン中央($x=L/2$)、 $\theta=0$ および $z=t/2$ (厚さ方向)における半径方向変位(wE_1/ap)の時間応答曲線

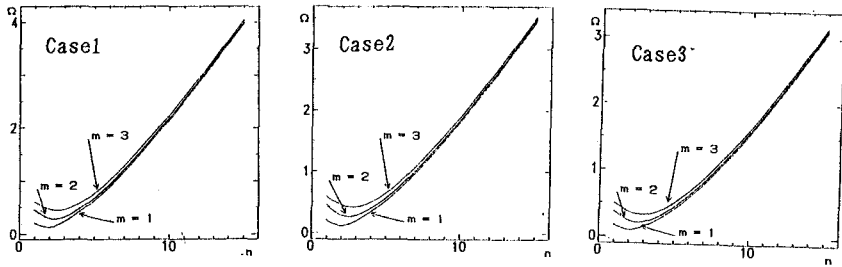


図-1 各Caseの固有振動数曲線

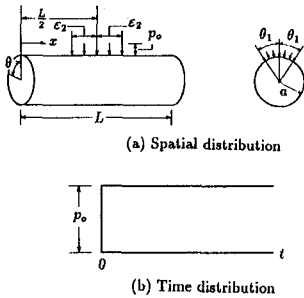


図-2 作用荷重

を示したものである。図の横軸は無次元化時間 $\tau (=t(E_1/\rho_1)^{1/2}/a)$ である。これより、応答初期では各Caseとも類似した挙動を示し、最大応答値はCase3がCase1のほぼ2倍である。

図-4および図-5はそれぞれ、Case1およびCase2のスパン中央、 $\theta = 0$ におけるコンクリート層の内側、外側、中央での軸方向応力 σ_x/p と円周方向応力 σ_θ/p の時間応答を示したものである。これらの図より、各Caseとも内側と外側の応力の応答は、中央部のそれを基準にほぼ対称な応答性状を示し、内側では円周方向応力に大きな引張応力が発生していること、また応答初期では軸方向応力に引張応力が生じていることが理解できる。

4. おわりに

本研究はF. L. M. に基づき多層円筒殻の弾性衝撃応答解析を試みたものである。今後は、接合面の条件等を考慮した解析を行う予定である。

参考文献

- 1) Y. K. Chung: Finite Strip Method in Structural Analysis

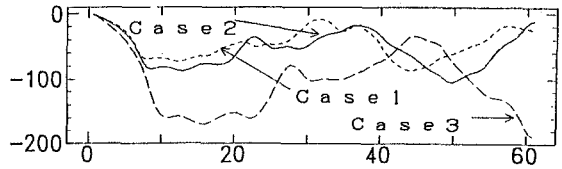
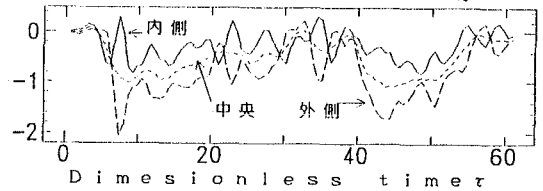


図-3 各Caseの半径方向変位 (wE_1/ap) の応答曲線

Case 1 の軸方向応力の応答曲線 (σ_x/p)



Case 1 の円周方向応力の応答曲線 (σ_θ/p)

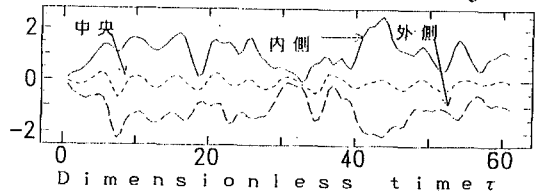
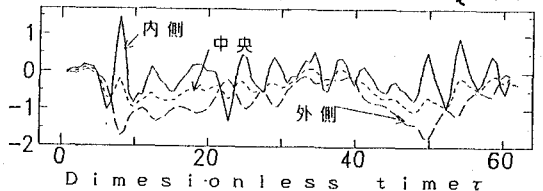


図-4 Case1の場合の軸・円周応力の時間応答

Case 2 の軸方向応力の応答曲線 (σ_x/p)



Case 2 の円周方向応力の応答曲線 (σ_θ/p)

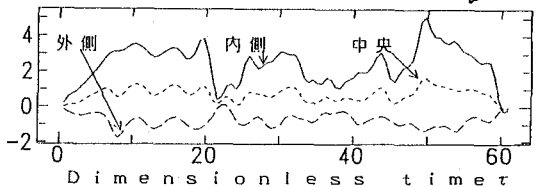


図-5 Case2の場合の軸・円周応力の時間応答