

I-13

ラップ接着された円筒殻のFEM解析

北海道大学 工学部 学生員 李 海濱

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

釧路工業高等専門学校 正 員 芳村 仁

1・はじめに

本研究は、有限要素法による動的な軸方向荷重を受けるラップ接着円筒要素の挙動の解明を目的にするもので、その第一ステップとして、接着層の離散化のための新たな接着要素を提案し、その有効性・適用性の検討を行ったものである。

2・有限要素法による定式化

図-1に示す接着構造物で、被着体には、一般的8節点アイソパラメトリック要素を採用し、接着層には本論文で提案した6節点軸対称接着要素を用いる。

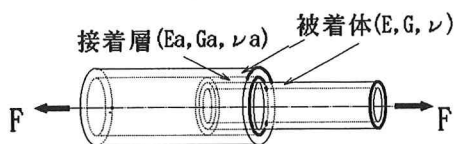


図-1 ラップ接着された円筒構造要素

図-2に示すように、円筒座標系 (r, z, θ) において、 $2a \times 2b$ の長方形回転断面を有する回転要素を考え、 (r, z, θ) に対応する要素の局部座標系 (ξ, ζ, θ) の原点を要素中央にとる。更に、軸対称荷重を受ける問題を取り扱うので、円周方向変位は零であり、 (r, z) に対する変位成分を (u, w) で表す。接着要素の辺(1,6,4)と辺(2,5,3)に沿って u, w の変位を次式で仮定する

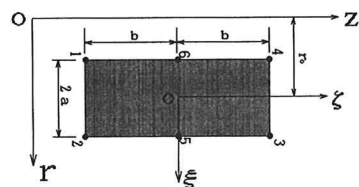


図-2 接着要素

$$\begin{aligned} u_{164}(\xi) &= N_1 u_1 + N_2 u_4 + N_3 u_6 & w_{164}(\xi) &= N_1 w_1 + N_2 w_4 + N_3 w_6 \\ u_{253}(\xi) &= N_1 u_2 + N_2 u_3 + N_3 u_5 & w_{253}(\xi) &= N_1 w_2 + N_2 w_3 + N_3 w_5 \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、形状関数 N_1, N_2 及び N_3 は次式で表される。

$$N_1(\xi) = -\xi(1-\xi)/2, \quad N_2(\xi) = \xi(1+\xi)/2, \quad N_3(\xi) = 1-\xi^2 \quad (2)$$

要素の各ひずみは、式(1)を用いて以下のように近似する。

$$\begin{aligned} \epsilon_r &= \frac{\partial u}{\partial r} \approx \frac{\Delta u}{2a} = \frac{u_{164} - u_{253}}{2a} \\ \epsilon_\theta &= \frac{u}{r} \approx \frac{u_{164} + u_{253}}{2r_0} \\ \epsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z} \approx \frac{1}{2b} \frac{\partial}{\partial \xi} [w_{146} + w_{235}] \\ \gamma_{rz} &= \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r} \approx \frac{1}{2b} \frac{\partial}{\partial \xi} [u_{164} + u_{253}] + \frac{1}{2a} [w_{164} - w_{253}] \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)をマトリックスで表示すれば、以下となる

$$\{\epsilon\} = [B(\xi)] \{\delta\} \quad (4)$$

ここで $[B(\xi)]$ は 4×12 の大きさの応力-ひずみマトリックスであり、剛性 $[K]$ は次式より得られる。

$$[K] = 4\pi a b r_0 \int_{-1}^{+1} [B(\xi)]^T [D] [B(\xi)] d\xi \quad (5)$$

3・ 数値計算例

以下の計算に用いた解析モデルと要素分割図及び解析領域（L）は図-3のとおりである。

●Reissnerの理論解と比較するために、次の数値諸元を用いて解析を行った。

$$\beta = \eta E / E_a t \quad 1/t \quad R = t/2A \quad E_a (\text{MNm}^{-2}) \quad \nu_a$$

CASE 1	20	10	0.025	700	0.3
CASE 2	4	10	0.025	3500	0.3
CASE 3	4	10	0.100	3500	0.3

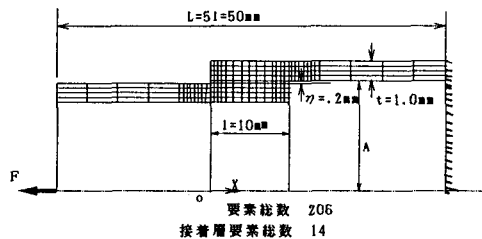


図-3 解析モデルと分割図

被着体: $E=70000\text{MNm}^{-2}$; $\nu=0.3333$ 。接着層のせん断応力 (τ) と垂直応力 (σ) を図-4、5、6に示す。

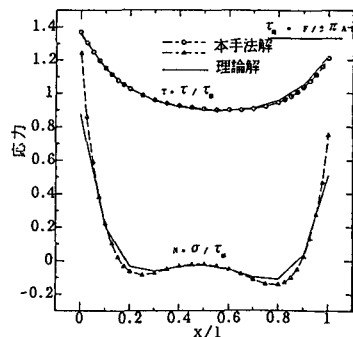


図-4 接着要素の応力 (CASE1)

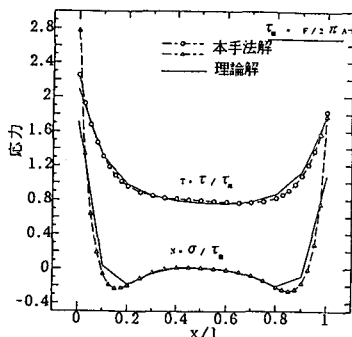


図-5 接着要素の応力 (CASE2)

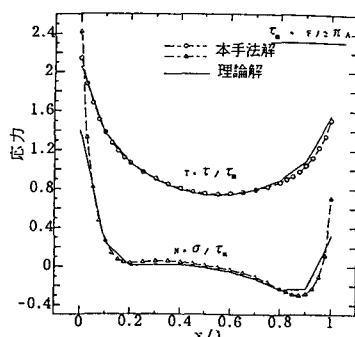


図-6 接着要素の応力 (CASE3)

3つのケースより、本計算値は、接着層の両端を除けば理論解によく一致していることが分かる。両端で理論解と差が生じているのは、Lubin and Reissner は薄肉シェル理論 (σ_r を無視) に基づいていること、及び本手法による場合は要素分割に問題があると思われる。

●材料の性質及び円筒殻の厚さによる接着層の応力分布の影響を調べる目的で、以下の解析を行った。解析に用いたパラメータ、及び結果を図-7、8に示す。

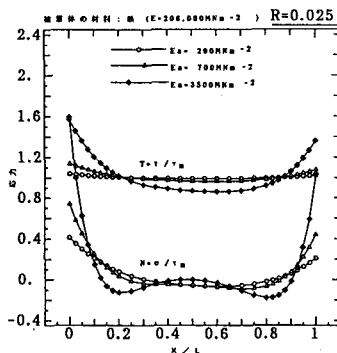


図-7 無次元化された接着要素の応力

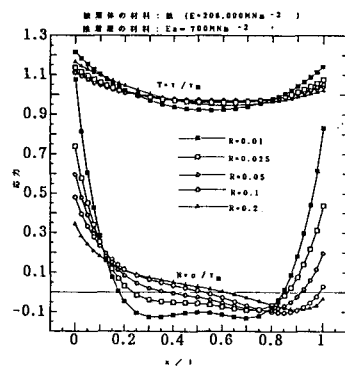


図-8 無次元化された接着要素の応力

4・ あとがき

本論文で、接着要素を新たに提案し、その有効性は確認された。同時にパラメータを変化させて、着目された接着層の応力分布を解析した。今後は、動的応答問題の解析を行う予定である。

<参考文献>

- 1) Lubin, J. L., and Reissner, E. (1956). "Stress distribution and design data for adhesive lap joints between circular tubes." J. Appl. Mech., Trans. ASME, 78, 1213-1221
- 2) Adams, R. D., and Peppiatt, N. A. (1977). "Stress analysis of adhesive bonded tubular lap joints." J. Adhes., 9, 1-18.
- 3) Y. P. Shi and S. Cheng (1993). "Analysis of adhesive-bonded cylindrical lap joints subjected to axial load." vol. 119 no. 3 MAR. 1993 ASCE 584-602