

愛媛大学工学部 正 員 大賀 水田生
不 動 建 設 正 員 山田 勝 己
愛媛大学大学院 学正員 ○中村 大 輔

1. はじめに

本研究では、サンドイッチ断面を有する円筒シェル構造（円筒サンドイッチシェル）が横荷重を受ける場合について、座屈時のひずみエネルギー及びその成分について検討するとともに、初期不整によるばらつきを考慮した座屈強度すなわち座屈下限値を理論的に推察する方法を Reduced Stiffness 法（RS法）に基づき開発する。さらに、心材の厚さがRS座屈強度に及ぼす影響についても検討する。

1. 横荷重を受ける円筒サンドイッチシェルのRS座屈強度

1) 円筒サンドイッチシェルの古典的座屈強度 横荷重 q を受ける円筒サンドイッチシェルのひずみエネルギー及び外力による仕事 W は次のように表される。

$$U = (1/2) \iiint [\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_s \varepsilon_s + \tau_{xs} \gamma_{xs} + \tau_{x\zeta} \gamma_{x\zeta} + \tau_{s\zeta} \gamma_{s\zeta}] ds dx d\zeta, \quad W = (q/2) \iint (aw_{,s}^2) ds dx = q U_E \quad (1)$$

式(1)に応力-ひずみ関係式を代入し、トータルポテンシャルエネルギーの停留条件に適用することにより次式を得る。

$$U - q_c U_E = 0, \quad U = U_M + U_B + U_S \quad (2)$$

$U_M = U_{M1} + U_{M2} + U_{M3}$: 面内エネルギー成分, $U_B = U_{B1} + U_{B2} + U_{B3}$: 曲げエネルギー成分, $U_S = U_{S1} + U_{S2}$: せん断エネルギー成分, q_c : 古典的座屈強度, 添字 1, 2, 3 はそれぞれ部材軸方向(x 方向)、円周方向(s 方向)および x - s 方向成分であることを示している。

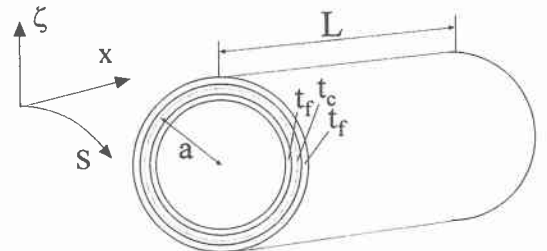


図-1 円筒サンドイッチシェル

2) 円筒サンドイッチシェルのRS座屈強度 RS法は初期不整の影響によって容易に消失するひずみエネルギー成分すなわち面内ひずみエネルギー U_M を予め削除し座屈強度を求める方法である。したがって、式(2)より次式が成立する。

$$U_B + U_S - q_c^* U_E = 0, \quad q_c^*: \text{RS座屈強度} \quad (3)$$

式(2), (3)より, RS座屈強度が古典的座屈強度 q_c により次のように求められる。

$$q_c^* = q_c (U_B + U_S) / (U_M + U_B + U_S) \quad (4)$$

3. 横荷重を受ける円筒サンドイッチシェルのひずみエネルギー

図-2 に円筒サンドイッチシェル(図-1: $a=100\text{cm}$, $L/a=2$, $t_f=0.2\text{cm}$, $t_c=0.2\text{cm}$, $t_c=1.2\text{cm}$, 心材のせん断弾性係数 $G_c=1000, 5000\text{kgf/cm}^2, \infty$)が横荷重を受ける場合の円周方向座屈モード n に対する全ひずみエネルギー U 及び8種類のエネルギー成分のスペクトルを示している。図-2(a)より明らかなように $G_c=1000\text{kgf/cm}^2$ の場合、全ひずみエネルギー U は円周方向座屈モード n の増加とともに減少し、 $n=4$ 付近で最小値をとり、その後増大している。また部材軸方向(x 方向)の面内ひずみエネルギー成分 $U_{M1,2,3}$ はいずれも n の増大とともに減少する傾向を示しており特に U_{M2} は $n=2.5$ 付近でほぼ0となっている。一方、曲げひずみエネルギー $U_{B1,2,3}$ については、いずれのエネルギー成分も n の増加とともに増大する傾向を示しているが、部材軸方向(x 方向)成分 U_{B1} はいずれの n においても非常に小さくほとんど認められないのに対し、円周方向(s 方向)成分 U_{B2} は他の2成分(U_{B1} , U_{B3})に比較して大きな値を示している。せん断ひずみエネルギーも、曲げひずみエネルギーの場合と同様、 n の増加とともに大きくなっているが、特に円周方向(s 方向)成分 U_{S2} の増加

成分 U_{S2} の増加率が非常に大きく、 $n>6$ においては最も大きなエネルギー成分となっている。

4. 横荷重を受ける円筒サンドイッチシェルのRS座屈強度

図-2 に示す 8 個のひずみエネルギー成分、面内 ($\sum U_{Mi}$)、曲げ ($\sum U_{Bi}$) 及びせん断ひずみエネルギー ($\sum U_{Si}$) としてまとめたものを図-3 に示している。図-3(a) に示す $G_c=1000\text{kgf/cm}^2$ の場合、面内ひずみエネルギー U_M は円周方向座屈モード n の増加にともない減少しているのに対し、曲げ及びせん断ひずみエネルギー U_B 、 U_S は n の増加とともに大きくなる傾向を示している。この場合、古典的座屈強度 q_c (一点鎖線) は円周方向座屈モード $n=6.0$ で得られている ($q_c=8.17\text{kgf/cm}^2$)。この場合の各エネルギー成分の全ひずみエネルギー U に占める割合は $U_M=0.108$ 、 $U_B=0.410$ 、 $U_S=0.482$ となっており、したがって、RS 座屈強度は式 (4) より次のように決定される。

$$q_c^* = (U_B + U_S) / (U_M + U_B + U_S) \cdot q_c = 0.892 q_c = 7.29 (\text{kgf/cm}^2)$$

なお、図-3 にはそれぞれの座屈モード n に対して求められた RS 座屈強度 (二点鎖線) も同時に示しているが、RS 座屈強度は n の増大とともに大きくなり、線形座屈強度に漸近する傾向を示している。

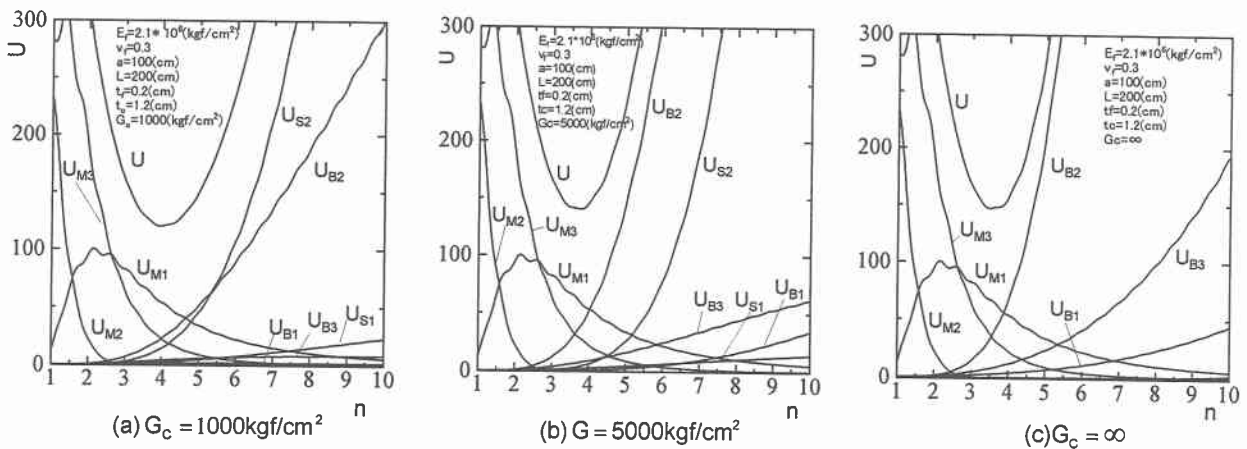


図-2 横荷重を受ける円筒サンドイッチシェルのひずみエネルギー成分

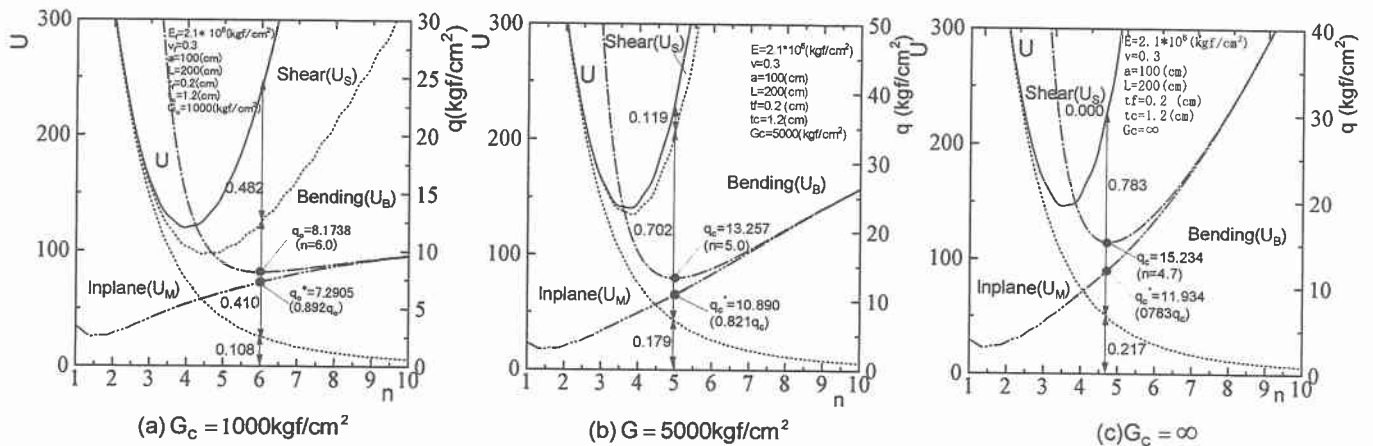


図-3 横荷重を受ける円筒サンドイッチシェルの RS 座屈強度