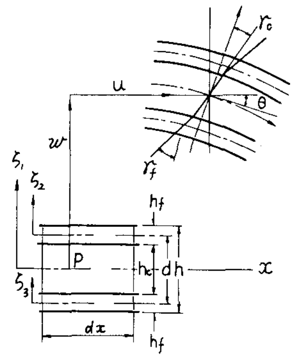
I-305　　サンドイッチ断面構造の座屈

中部電力 K.K.　正員　中山　元
名古屋工業大学　正員　松浦　聖
名古屋工業大学　学生員　高瀬陽太郎

<u>まえがき</u>　本研究はサンドイッチ断面の門型ラーメン構造を幾何学的非線形問題として解析し，各種の載荷状態，構造寸法，支承状態に対応した，荷重と変形状態の推移ならびに座屈値を検討している。解析には，修正増分法により有限要素解析を試み，またとくに非線形座屈値を求めるのに，仮想スプリング・システムを考慮している。　なおサンドイッチ構造と，その変形の解析のため，以下のような仮定を設定している。　すなわち，<u>図-1</u>のように，上下表板の厚さは等しく，材料特性も同じであり，表板および心材はそれぞれ均質で，各層間は完全に接合されている。また心材のヤング係数は零としている。



図−1

<u>歪−変位関係および応力−歪関係</u>　サンドイッチ梁の構成および変形を<u>図-1</u>に示す。変形と歪成分の関係は，線形成分と非線形成分の和で示した歪を，さらに層の中央面での歪と曲率で表わして，式(1)のように書ける。

$$\begin{Bmatrix}\varepsilon_{xx}\\2\varepsilon_{xz}\end{Bmatrix}_K=\begin{Bmatrix}e_{xx}\\2e_{xz}\end{Bmatrix}_K+\begin{Bmatrix}\eta_{xx}\\2\eta_{xz}\end{Bmatrix}_K=\begin{Bmatrix}e^{0}_{xx}\\2e_{xz}\end{Bmatrix}+\zeta_K\begin{Bmatrix}\kappa_{xx}\\0\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}\eta^{0}_{xx}\\2\eta_{xz}\end{Bmatrix}+\zeta_K\begin{Bmatrix}\kappa^{2}_{xx}\\0\end{Bmatrix}\cdots\cdots(1)$$

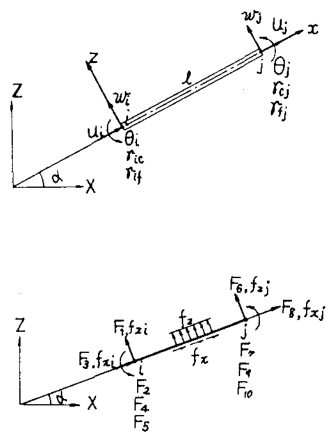
こゝに　K；各層の指標，ζ：各層の中央面から任意点までの距離，
また歪と変位関係は，心材および表材に対して，それぞれ式(2),(3)で与えられる。

$$\begin{Bmatrix}\varepsilon_{xx}\\2\varepsilon_{xz}\end{Bmatrix}_1=\begin{Bmatrix}\dfrac{du}{dx}\\\gamma_c\end{Bmatrix}+\zeta_1\begin{Bmatrix}-\dfrac{d^2w}{dx^2}+\dfrac{d\gamma_c}{dx}\\0\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{dw}{dx}\right)^2\\\left(-\dfrac{dw}{dx}+\gamma_c\right)\dfrac{du}{dx}\end{Bmatrix}+\zeta_1\begin{Bmatrix}0\\0\end{Bmatrix}\cdots\cdots(2)$$

$$\begin{Bmatrix}\varepsilon_{xx}\\2\varepsilon_{xz}\end{Bmatrix}_{2,3}=\begin{Bmatrix}\dfrac{du}{dx}\pm\dfrac{d}{2}\left(-\dfrac{d^2w}{dx^2}+\gamma_c\dfrac{d\gamma_c}{dx}+\gamma_f\dfrac{d\gamma_f}{dx}\right)\\\gamma_f\end{Bmatrix}+\begin{Bmatrix}\dfrac{1}{2}\left(\dfrac{dw}{dx}\right)^2\\\left(-\dfrac{dw}{dx}+\gamma_f\right)\dfrac{du}{dx}\end{Bmatrix}+\zeta_{2,3}\begin{Bmatrix}0\\0\end{Bmatrix}\cdots(3)$$

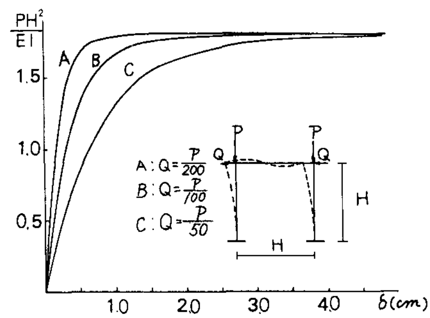
応力と歪の関係式および各層の合成力：

$$\begin{Bmatrix}\sigma_{xx}\\\tau_{xz}\end{Bmatrix}=\begin{bmatrix}E_K&0\\0&G_K\end{bmatrix}\begin{Bmatrix}\varepsilon_{xx}\\2\varepsilon_{xz}\end{Bmatrix}_K\cdots\cdots(4)\qquad\begin{Bmatrix}N\\M\\Q\end{Bmatrix}=\int_{-\frac{h_K}{2}}^{\frac{h_K}{2}}b\begin{Bmatrix}\sigma_{xx}\\\sigma_{xx}\zeta_K\\\tau_{xz}\end{Bmatrix}d\zeta_K\cdots(5)$$

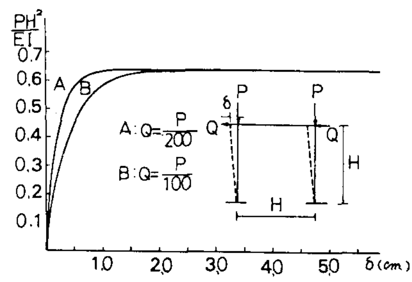


図−2

<u>数値解析手順の概略</u>　<u>図-2</u>にサンドイッチ断面梁要素および要素節点荷重を示している。各節点における自由度は，$w, u, \theta, \gamma_c, \gamma_f$ の5個ずつである。形状係数として，u, γ_c, γ_f については1次式を，w については，3次式を考慮している。w, u, γ_c, γ_f は一応次ぎのように書ける。



図−3



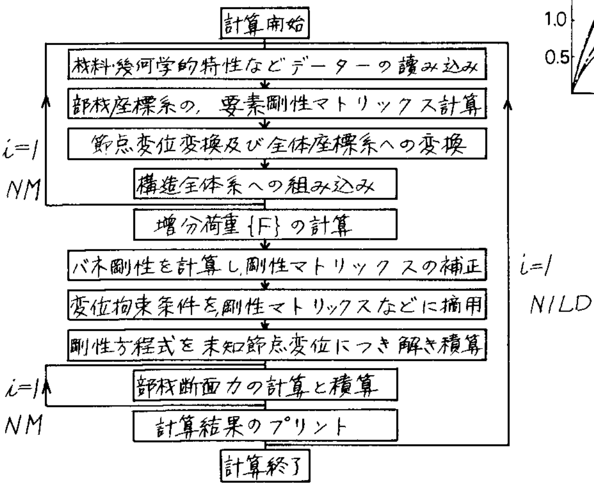
図−4

$$\{w, u, \gamma_c, \gamma_f\}^T = \{\varphi_w, \varphi_u, \varphi_{\gamma c}, \varphi_{\gamma f}\}^T \{w_i, \theta_i, u_i, \gamma_{ci}, \gamma_{fi}, w_j, \theta_j, u_j, \gamma_{cj}, \gamma_{fj}\} \quad \cdots\cdots (6)$$

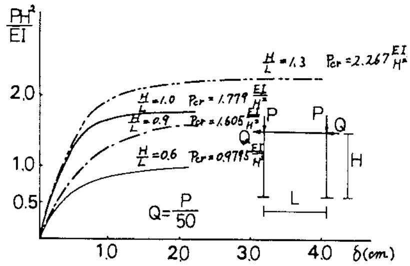
式(6)と式(2)および(3)から要素の剛性マトリックス$[\tilde{K}]$は，線形剛性マトリックス$[\tilde{K}_0]$と幾何学的非線形剛性マトリックス$[\tilde{K}_g]$の和として次式の形で求められる。

$$[\tilde{K}] = [\tilde{K}_0] + [\tilde{K}_g] \quad \cdots\cdots (7)$$

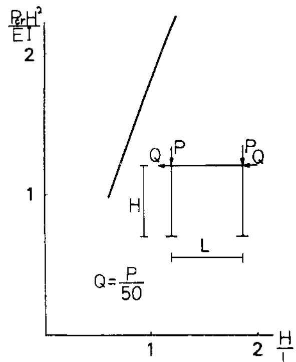
要素の増分ベクトルは，増分分布荷重に対して線形変化を仮定し，修正荷重ベクトルを考慮して求められる。こうして得られた要素の剛性マトリックスと増分荷重ベクトルを構造全体について組み立てる。最終的には剛性方程式を仮想スプリングシステムを考慮して[1]解いて行けばよいが，右に解析手順を概略的なフローチャートで示している。



NILD：増分荷重数，　NM：要素数



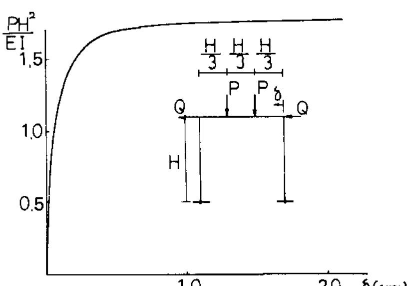
図－5



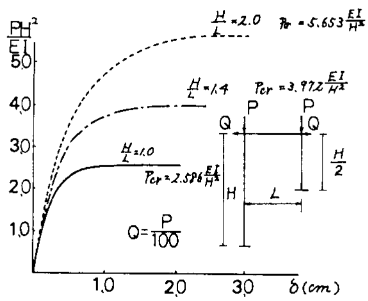
図－6

数値計算によるサンドイッチ断面のラーメン構造の座屈値

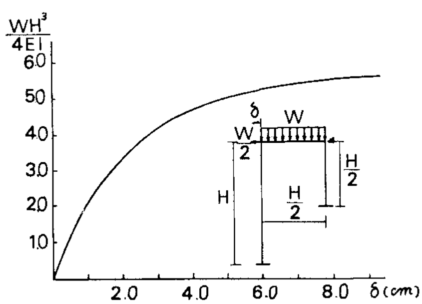
図-3，図-4は表板の厚さは心材の1/8である，スパンと高さの等しいラーメンの座屈値は，横荷重による影響は小さく，固定支承の場合はヒンジ支承のときにくらべて，2.8倍程度である。図-5図-6は表板の厚さは心材の1/8の固定支承ラーメンの高さとスパンの比が座屈変形状態に及ぼす影響を検討している。図よりLを一定にしてHを大きく取って行けば座屈値の減小して行く状態がよく推察できる。図-7は全断面ヤング係数Eのラーメンである。図-8図-9は不等脚ラーメン構造のH/Lの座屈変形や座屈値に及ぼす影響を検討している。同断面形の図-6と図-9を比較すれば，等脚ラーメント，不等脚ラーメンとの比較もできる。図-10は梁部分に載荷される等分布荷重による座屈値と座屈変形の推移状況とを示している。



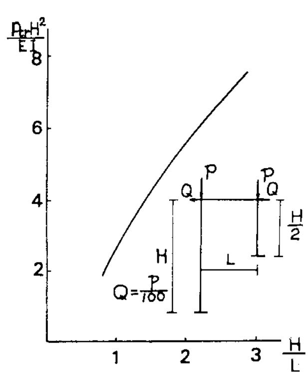
図－7



図－8



図－10



図－9

1)：参考文献　Sharifi & Popov; Nonlinear Buckling Analysis of Sandwich Arches, Pro. A.S.C.E.: 10. 1971