

東京大学工学部 正員 奥村敏恵
 東京大学大学院 学生員 落合重俊

1. まえがき

多室断面桁に隔壁が設けられた場合の解はその隔壁の剛度と pitch とによって解法が異なってくる。例えば無限大の剛度をもつ隔壁が充分な間隔で設けられた場合は曲げ板理論は精度の良い解を与える。又隔壁の剛度を計算に取り入れた解法としては隔壁を横桁とする格子板版として解く Guyon Massonnet 等の解がある。しかし前者においては實際上その仮定を満すことは困難であり、後者においては pitch の関係より誤差が生じる。

本論は隔壁を設けない多室断面の断面輪郭の変形を取り入れた解法を与えたものである。隔壁が設けられた場合は溶接されることによってせん断抵抗の他に曲げ抵抗を持つようになり一般の不静定力系の解法で本論から比較的簡単に導くことができる。

2. 基礎微分方程式

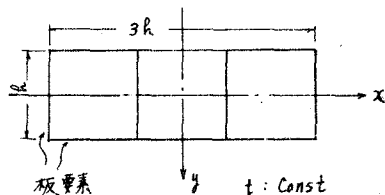
- 仮定 a) 板要素の力学的性状は Scheibe として取扱う。
 b) 格変間距離の変化は無視する。
 c) 各板要素毎に Navier の平面保持の法則が成立する。

変位 面外変位 $----- w_{zs} = \sum_{i=1}^r W_{zs(i)} \cdot W_s(i)$

面内変位 $----- U_{zs} = \sum_{k=1}^n V_{zs(k)} \cdot V_s(k)$

応力 垂直応力 $----- \sigma_z = E \cdot \sum_{i=1}^r \frac{\partial W_i}{\partial z} \cdot W_i$

せん断応力 $----- \tau_{zs} = G \cdot \left\{ \sum_{k=1}^n \frac{\partial V_k}{\partial z} \cdot V_k + \sum_{i=1}^r W_i \cdot \frac{\partial W_i}{\partial s} \right\}$



以上に基づいて Elementary Strip を取り出し板要素の定理を用いると仕事の釣合式が得られる。

面外仕事の釣合式 $\delta \sum W_i'' \cdot a_{ij} - \sum W_i \cdot \bar{a}_{ij} - \sum V_k' b_{kj} + \frac{P_{wj}}{G} = 0$

面内仕事の釣合式 $\sum V_k' \cdot C_{kR} + \sum W_i' b_{ki} - \delta \sum V_k' \cdot S_{kR} + \frac{P_{vR}}{G} = 0$

面外、面内の変位系を次のように選定する。

W_1 : 軸力に対応する変位系

W_2 : x 軸周りの曲げに対応する変位系

W_3 : y 軸周りの曲げに対応する変位系

W_4 : 基本変形反りに対応する変位系

W_5 : 第1次曲げ反りに対応する変位系

W_6 : 第1次変形反りに対応する変位系

W_7 : 第2次曲げ反りに対応する変位系

W_8 : 第2次変形反りに対応する変位系

V_1 : 回転変位系

V_2 : y 方向変位系

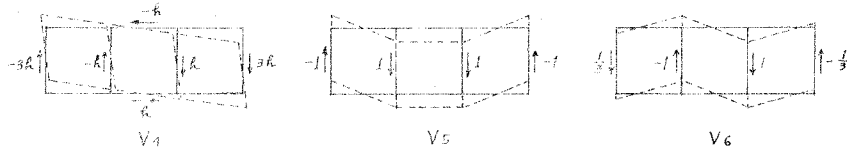
V_3 : x 方向変位系

V_4 : 基本変形

V_5 : 第1次曲げ変形

V_6 : 第2次曲げ変形

輪郭線上の分布状態を表す各変位系は Energy の直交性を保つように選定すると以後の計算は容易になる。特に輪郭変形を表す変位系 (V_4, V_5, V_6) を例にとって図示すると次のようになる。



軸対称断面3例によって基礎微分方程式をつくる。各微分方程式は軸対称政単純な連成により次の
 ように5つのgroupに連成状態が分かれ断面輪郭の変形を表す変位系は2軸周りの曲げと捩りの間
 題の中に含まれた。

軸圧縮問題

$$10 \cdot \gamma \cdot F_c \cdot W_1'' + \frac{P_{W1}}{G_T} = 0$$

1次断面曲げ反り問題

$$32.5/3 \cdot 8 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_5'' - 6.25 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_5 + \frac{P_{W5}}{G_T} = 0$$

2軸周りの曲げ問題

$$\begin{cases} 8 \cdot I_x \cdot W_3'' - 6 \cdot F_c \cdot W_3 + h \cdot F_c \cdot W_7 - 6 \cdot F_c \cdot V_3' + \frac{P_{W3}}{G_T} = 0 \\ 12.5/3 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_7'' + h \cdot F_c \cdot W_3 - 4 \cdot 25 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_7 + h \cdot F_c \cdot V_3 + \frac{P_{W7}}{G_T} = 0 \\ 6 \cdot F_c \cdot V_3'' + 6 \cdot F_c \cdot W_3' - h \cdot F_c \cdot W_7' + \frac{P_{V3}}{G_T} = 0 \end{cases}$$

2軸周りの捩り問題

$$\begin{cases} 8 \cdot I_x \cdot W_2'' - 4 \cdot F_c \cdot W_2 + 4 \cdot h \cdot F_c \cdot W_6 - 4 \cdot F_c \cdot W_2' + \frac{P_{W2}}{G_T} = 0 \\ 6.5 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_6'' + 4 \cdot h \cdot F_c \cdot W_2 - 26.25 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_6 + 4 \cdot h \cdot F_c \cdot V_2' - 8 \cdot h \cdot F_c \cdot V_5' + \frac{P_{W6}}{G_T} = 0 \\ 4 \cdot F_c \cdot V_2'' + 4 \cdot F_c \cdot W_2' - 4 \cdot h \cdot F_c \cdot W_6' + \frac{P_{V2}}{G_T} = 0 \\ 4 \cdot F_c \cdot V_5'' + 8 \cdot h \cdot F_c \cdot W_6' - 8 \cdot S_{55} \cdot V_5 + \frac{P_{V5}}{G_T} = 0 \end{cases}$$

捩り問題

$$\begin{cases} 8 \cdot I_w \cdot W_4'' - 26 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_4 + 4 \cdot h \cdot F_c \cdot W_8 + 14 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot V_1' - 26 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot V_4' + \frac{P_{W4}}{G_T} = 0 \\ 2.5 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_8'' + 4 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_4 - 10.75 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_8 + 2 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot V_1' + h^2 \cdot F_c \cdot V_4' - 7/3 \cdot h \cdot F_c \cdot V_6' + \frac{P_{W8}}{G_T} = 0 \\ 26 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot V_1'' - 14 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot V_4'' - 14 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_4' - 2 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_8' + \frac{P_{V1}}{G_T} = 0 \\ -14 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot V_1' + 26 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot V_4' + 26 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_4' - 4 \cdot h^2 \cdot F_c \cdot W_8' - 8 \cdot S_{44} \cdot V_1 + \frac{P_{V4}}{G_T} = 0 \\ 20/9 \cdot F_c \cdot V_6'' + 7/3 \cdot h \cdot F_c \cdot W_8' - 8 \cdot S_{66} \cdot V_6 + \frac{P_{V6}}{G_T} = 0 \end{cases}$$

数値計算例：偏心鉛直荷重を作用した場合の2軸周りの曲げと捩り問題の計算結果を表す。

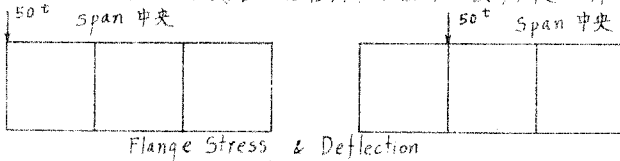
ex. $h = 200$ cm (1)

$t = 1$ cm

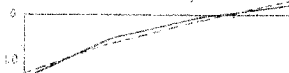
Span = 50 m

(Fourier 解)

(1) Span 中央
50 t 集中荷重

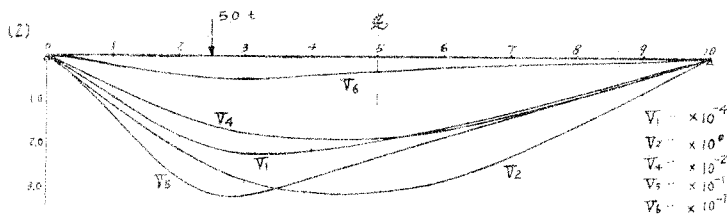


Flange Stress & Deflection



—— 曲げ応力 $\times 10^3$ kg/cm²
 --- 鉛直変位 $\times 10^1$ cm

(2) 1/4 変位側腹板
50 t 集中荷重



$V_1 \times 10^{-4}$
 $V_2 \times 10^0$
 $V_4 \times 10^{-2}$
 $V_5 \times 10^{-1}$
 $V_6 \times 10^{-1}$