

東京大学 正員 奥村敏恵
浦賀重工 正員 ○落合重俊

今日薄肉箱桁構造は曲げ捩り理論に基づいて解析されているが、横断面が大型化するとこの理論の“断面輪郭の変形は存在しない”という大仮定を實際上満足させることは設計上困難であり、梁理論が得る取扱から断面の広がりも考慮に入れた立体的解析へと曲げ捩り理論が用いられるようになったが薄肉断面が広がりを持つとそれ以上に断面輪郭の変形が問題となる。

この影響は曲げ捩りで反りと呼ばれる応力分布に特に大きな影響を与えるので今後隔壁等の影響を考慮に入れた解析を工れることが望まれる。この影響は当然ながら捩り荷重に起因し断面形状の性格によって大きく左右される。又一般に捩りを考慮することは板のせん断変形を考慮することであるから鉛直撓み等に関して同一の考察をする限りせん断撓みも同時に考える必要がある。断面輪郭の内外面に変位の自由度を考え、その変位系を独立変位に選び仮想仕事式を立てると既に知られるように、

$$\delta \sum W_i'' a_{ij} - \sum W_i \bar{a}_{ij} - \sum V_k' b_{kj} + \frac{P_{Wj}}{G} = 0 \quad \text{----- 面外}$$

$$\sum V_k' C_{kR} + \sum W_i' b_{Ri} - \delta \sum V_k S_{kR} + \frac{P_{V_R}}{G} = 0 \quad \text{----- 面内}$$

断面力は次のように定義される。

$$F_{W(j)} = E \cdot \sum W_i' a_{ij} \quad \text{----- 面外}$$

$$F_{V(R)} = G \left(\sum V_k' C_{kR} + \sum W_i' b_{Ri} \right) \quad \text{----- 面内}$$

単一箱桁の軸対称問題

軸対称の場合は変位系の選定においてエネルギーの直交性が維持できるように決定せらるゝ各変位の建成状態も比較的簡明となり次の4つのグループに分類される。

軸圧縮問題

$$\delta F W_1'' + \frac{P_{W1}}{G} = 0$$

2軸周りの曲げ問題

$$\begin{cases} \delta I_x W_2'' - 2 F_W (W_2 + V_2') + \frac{P_{W2}}{G} = 0 \\ 2 F_W (V_2'' + W_2') + \frac{P_{V2}}{G} = 0 \end{cases}$$

4軸周りの曲げ問題

$$\begin{cases} \delta I_y W_3'' - 2 F_F (W_3 + V_3') + \frac{P_{W3}}{G} = 0 \\ 2 F_F (V_3'' + W_3') + \frac{P_{V3}}{G} = 0 \end{cases}$$

面外断面力

$$F_{W1} = E F W_1' \quad \text{----- 軸力 (N)}$$

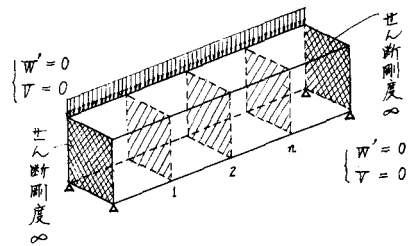
$$F_{W2} = E I_x W_2' \quad \text{----- 2軸周りの曲げモーメント (M_x)}$$

$$F_{W3} = E I_y W_3' \quad \text{----- 4軸周りの曲げモーメント (M_y)}$$

$$F_{W4} = E I_w W_4' \quad \text{----- 反りモーメント (M_w)}$$

隔壁の影響

隔壁はせん断変形に関してのみ抵抗するもので上記変位系では V_4 (断面変形) に対して抵抗し他の変位系には何らの抵抗をも示さないものとする。



捩り問題

$$\begin{cases} \delta I_w W_4'' - a_1 (W_4 + V_4') - a_2 V_1' + \frac{P_{W4}}{G} = 0 \\ a_1 V_1'' + a_2 (V_4'' + W_4') + \frac{P_{V1}}{G} = 0 \\ a_2 V_1'' + a_1 (V_4'' + W_4') - \delta S_{44} V_4 + \frac{P_{V4}}{G} = 0 \end{cases}$$

面内断面力

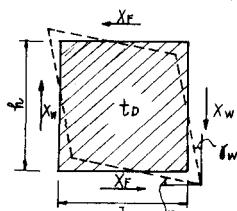
$$F_{V1} = G \{ a_1 V_1' + a_2 (V_4' + W_4') \} \quad \text{----- 捩りモーメント (T_0)}$$

$$F_{V2} = 2 F_W G (V_2' + W_2') \quad \text{----- y方向せん断力 (Q_y)}$$

$$F_{V3} = 2 F_F G (V_3' + W_3') \quad \text{----- x方向せん断力 (Q_x)}$$

$$F_{V4} = G \{ a_2 V_1' + a_1 (V_4' + W_4') \} \quad \text{----- 曲げ捩りモーメント (T_w)}$$

板型式



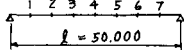
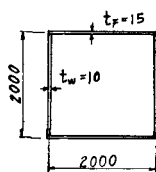
$$\delta_D = \delta_F + \delta_W = \frac{2X_W}{G \cdot t_D \cdot h}$$

δ_{m0} : 隔壁なしの基本系に外力が作用した場合の断面変形量 (mm)
 δ_{me} : 単位不静定力 $X_e=1$ を基本系に作用した場合の断面変形量 (mm)
 δ_{mm} : 単位不静定力 $X_m=1$ による隔壁自体のせん断変形量
 変形の釣合式

$$\delta_{m0} + \sum_{e=1}^n X_e \cdot \delta_{me} - X_m \cdot \delta_{mm} = 0$$

中間隔壁数 n 個の連立方程式が得られこの解より X_e が求まる。
 外力、不静定力の作用する基本系の各変位より各断面力が求まる。

数値計算例

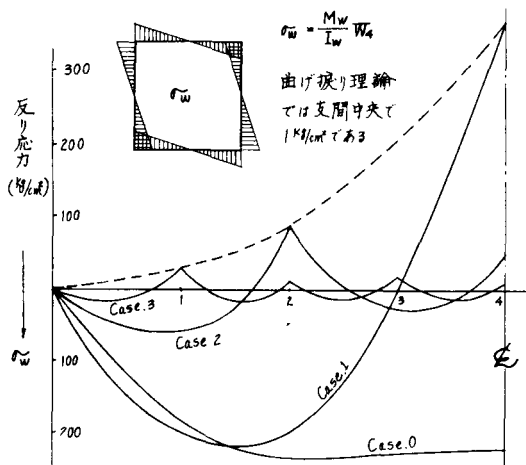


Case 0 ... Dia. なし
 Case 1 ... Dia. 4
 Case 2 ... Dia. 24.6
 Case 3 ... Dia. 1234567

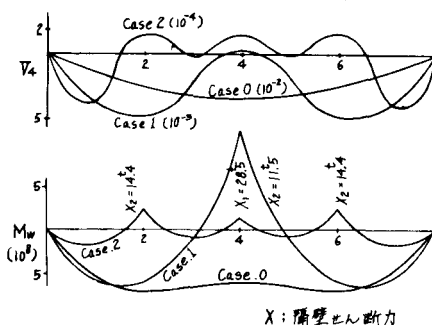
断面変形量 (V_4)



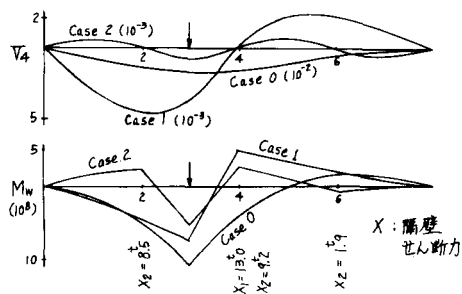
偏心等分布荷重 $2t/m$ による反り応力



偏心等分布荷重載荷の場合



3変集中荷重載荷の場合



結論

- 1) 隔壁を設けると断面変形は急減しその間隔を 0 に近づけると曲げ捩り理論での反り応力に接近するが通常の隔壁間隔でも曲げ捩り理論での値より相当大きい反り応力が見られた。
 - 2) 集中荷重の作用点に隔壁が設けられると当然の結果として非常に高い効果が証明できた。
 - 3) St. Venant の原理が薄肉の断面変形する形状に対しては成立し難いことが証明できた。
 - 4) 断面変形による反りモーメントと隔壁との関係は弾性支承上の梁の挙動との相似性が通確につかれた。
 - 5) 変形剛性に相当する S と隔壁間隔 λ との関係より設計基準を見出すことができた。
- 以上より今後大型横断面の設計に関しては断面の変形に関する影響と隔壁の応力検討を有する必要があることが解った。