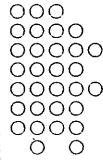


鋼・合成構造標準示方書の 説明

埼玉大学
奥井 義昭

鋼・合成構造標準示方書の説明

奥井義昭(埼玉大学)
第11回鋼構造基礎講座
「合成構造の設計と事例紹介」
13:30 - 14:20



鋼・合成構造標準示方書の構成 (その1)

- I 総則編
 - 1.4.3照査方法
部分係数フォーマットによる限界状態設計法
- II 構造計画編
- III 設計編
 - 第1章 総則
 - 第2章 作用
 - 第3章 材料
 - 第4章 構造解析
 - 第5章 部材の耐力
 - 5.3 鋼部材の耐力

後ほど説明
します

「荷重」より幅広い
概念の「作用」



鋼・合成構造標準示方書の構成 (その2)

- 第6章 安全性に対する要求性能および照査
- 第7章 使用性に対する要求性能および照査
- 第8章 耐久性に対する要求性能および照査
- 第9章 社会環境適合性に関する要求性能および照査
- 第10章 部材に関する一般事項
- 第11章 連結部
- 第12章 骨組み構造に関する一般事項
- 第13章 板構造に関する一般事項
- 第14章 床版



第15章 合成桁構造の設計

- 15.1 一般
- 15.2 合成桁の強度
- 15.3 構造解析法と断面力
- 15.4 ずれ止めの設計
- 15.5 ずれ止めの構造細目
- 15.6 合成桁のひび割れ幅照査
- 15.7 合成桁におけるコンクリート床版の有効幅



照査式(部分係数法フォーマット)

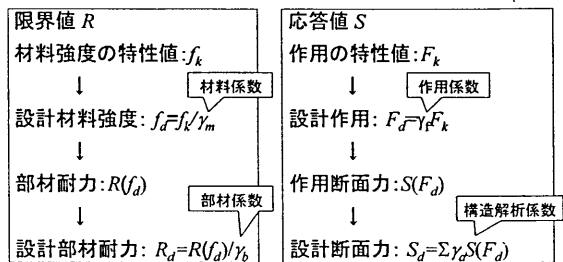
$$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0$$

S_d : 設計応答値
 R_d : 設計限界値
 γ_i : 構造物係数

構造物の重要度に応じて
1.0から1.2



耐荷力に関する安全性の照査



曲げに対する照査

「15.2 合成桁の強度」より

安全限界状態にたいする照査式

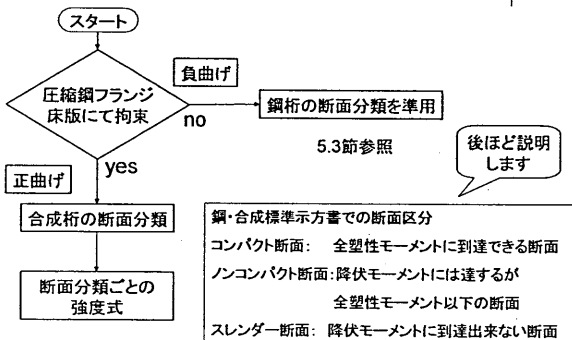
$$\gamma_i \frac{M_{sd}}{M_{rd}} \leq 1.0$$

M_{sd} : 設計曲げモーメント
 M_{rd} : 設計曲げ耐力
 γ_i : 構造物係数

注記:

- 活荷重合成桁の架設時については鋼桁単体で別途照査

設計曲げ耐力



設計曲げ耐力

$$M_{rd} = M_r / \gamma_b$$

M_r : 曲げ耐力
 γ_b : 部材係数

●コンパクト断面

$$M_r = M_{pl} \quad (\text{全塑性モーメント})$$

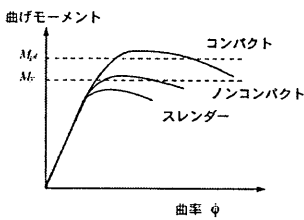
●ノンコンパクト断面

$$M_r = M_y \quad (\text{降伏モーメント})$$

●スレンダー断面

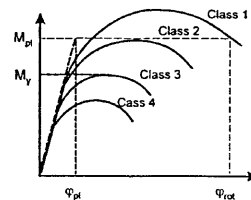
$$M_r = M_{eff} \quad (\text{有効断面法による抵抗モーメント})$$

断面のクラスとは?



- 鋼・合成標準ではAASHTOと同じ断面区分の定義を用いている
- コンパクト断面は全塑性状態まで座屈しない
- ノンコンパクト断面は弾塑性座屈
- スレンダー断面は弾性座屈により強度が決定

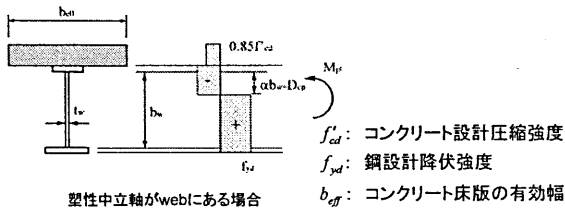
[参考]Eurocode断面区分



- 断面区分はclass1から4の4断面
- Class1では全塑性モーメント以上でかつ変形性能が必要
- 橋梁ではclass1はほとんど用いられない
- AASHTOとEurocode以下の関係がある
 - class2 = コンパクト
 - class3 = ノンコンパクト
 - class4 = スレンダー

全塑性モーメントの定義

全塑性モーメントは下図の応力状態におけるモーメント



塑性中立軸がwebにある場合

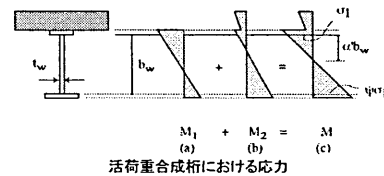
注記:

塑性中立軸が床版内にある場合、引張り領域は無視
 コンクリートの部分の等価応力ブロックが通常のRC部材の場合と異なる

降伏モーメントの定義

降伏モーメントは断面内において最初に降伏が生じた曲げモーメント

たとえば、下図の活荷重合成桁に正曲げモーメントが作用した場合は、下フランジ下縁の応力が設計降伏応力に達したときのモーメントが降伏モーメント

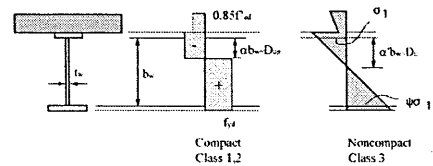


断面区分の判定式

- 合成桁で正曲げ作用時は腹板のみが座屈の可能性あり
- 腹板の幅厚比および圧縮領域の大きさで判断
- 鋼・合成標準では以下の3つを参考に併記
 - AASHTO
 - Eurocode
 - JSSC合理化委員会の成果

AASHTOの断面区分判定式

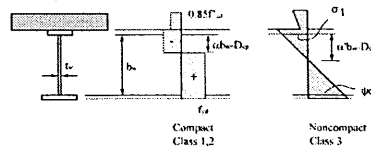
- Compact $\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$
- Noncompact $\frac{2D_c}{t_w} \leq 5.7 \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$
- Slender 上記以外



Eurocodeの断面区分

- Class 1 $b_w/t_w \leq 36\epsilon/\alpha$ for $\alpha \leq 0.5$
- Class 2 $b_w/t_w \leq 41.5\epsilon/\alpha$ for $\alpha \leq 0.5$
- Class 3 $b_w/t_w \leq 62\epsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi}$ for $\psi \leq -1.0$
- Class 4 上記以外

$$\epsilon = \sqrt{235/f_{yd}} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$



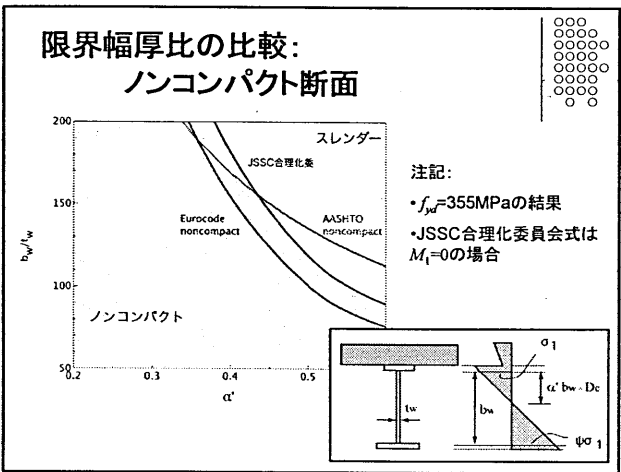
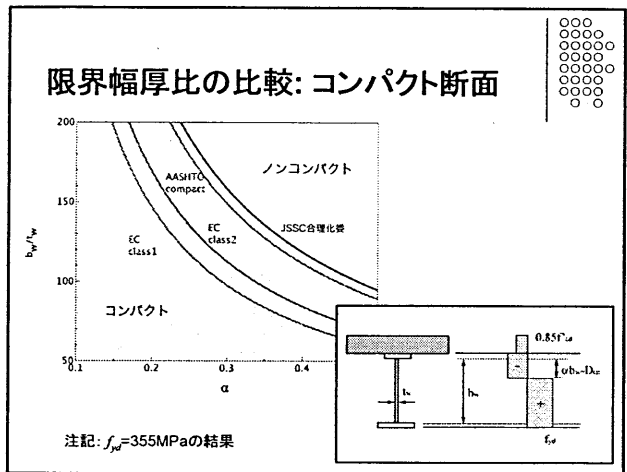
JSSC合理化委員会の断面区分

- コンパクト $\frac{b_w}{t_w} \leq \frac{2.0}{\alpha} \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$
- ノンコンパクト $\frac{b_w}{t_w} \leq 2.5\Lambda(1-\psi)\sqrt{-\psi} \sqrt{\frac{E}{f_{yd}}}$ $\psi \leq -1.0$
 $\Lambda = 1 - 0.1 \left(\frac{M_1}{M_{ys}} \right) + 2.3 \left(\frac{M_1}{M_{ys}} \right)^2$ $\frac{M_1}{M_{ys}} \leq 0.4$
 M_1 : 前死による曲げモーメント
 M_{ys} : 鋼桁単体の降伏モーメント
- スレンダー 上記以外

AASHTOとEurocodeの断面判定式の詳細

	クラス	定義	鋼板の幅厚比規定
AASHTO	Compact	$M_{max} \geq M_{pl}$	$2D_{cp}/t_w \leq 3.76\sqrt{E/f_y}$
	Noncompact	$M_{max} \geq M_y$	$2D_{cp}/t_w < 5.7\sqrt{E/f_y}$
	Slender	$M_{max} < M_y$	上記以外
Eurocode	Class 1	$M_{max} \geq M_{pl}$	$b_f/t_w \leq \begin{cases} 36\epsilon/\alpha & \text{for } \alpha \leq 0.5 \\ 396\epsilon/(13\alpha-1) & \text{for } \alpha > 0.5 \end{cases}$
	Class 2	$M_{max} \geq M_{pl}$	$b_f/t_w \leq \begin{cases} 41.5\epsilon/\alpha & \text{for } \alpha \leq 0.5 \\ 456\epsilon/(13\alpha-1) & \text{for } \alpha > 0.5 \end{cases}$
	Class 3	$M_{max} \geq M_y$	$b_f/t_w \leq \begin{cases} 42\epsilon/(0.67+0.33\psi) & \text{for } \psi > -1.0 \\ 62\epsilon(1-\psi)\sqrt{-\psi} & \text{for } \psi \leq -1.0 \end{cases}$
	Class 4	$M_{max} < M_y$	上記以外

注記: E: 鋼材のヤング率
 f_y : 鋼材の降伏応力
 $\epsilon = \sqrt{235/f_y}$ [N/mm²]



結局どの式を使うか？(私見)

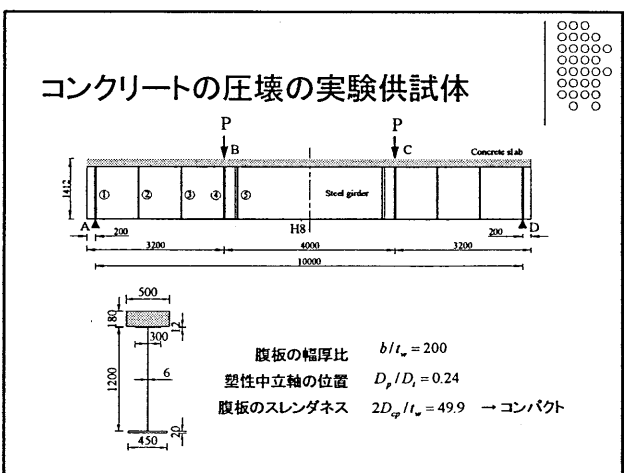
- コンパクトの判定式
 - AASHTOとJSSC合理化委の式はほとんど同じ。
 - Eurocodeは安全側すぎるようである
- ノンコンパクトの判定式
 - AASHTOの式、若干おかしい
 - JSSC合理化委の結果は最近の2主桁橋梁のプロポーシオンを前提としている。したがって、これから大きく外れるものは使用しない

コンパクト断面曲げ耐力の低減

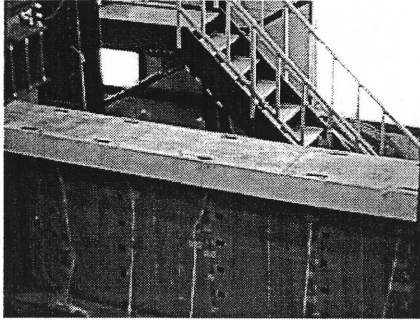
AASHTOおよびEurocodeとも、以下の2つの条件からコンパクト断面の曲げ耐力を全塑性モーメントより低減している。

- コンクリートの圧壊による制限(Ductility 条件)
 - コンパクト断面の条件を満たす断面でもコンクリートの圧壊により全塑性モーメントに到達できない場合がある。
- 連続桁としての変形性能からの制限
 - 連続合成桁で支間部において全塑性モーメントを期待するためには、支点上の断面も変形性が必要。

鋼・合成標準では、上記の2項目は解説にのみ記述がある状態。今後どちらの基準を使うか、もしくは独自に基準化するかを含め明確にする必要がある。

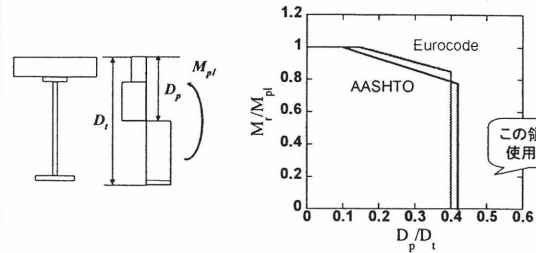


コンパクト断面のコンクリート圧壊による破壊



NEXCO中央研究所, 長岡技術科学大学共同研究

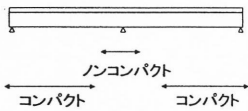
AASHTOとEurocodeにおけるコンパクト断面設計曲げ耐力の低減



注記:

Eurocodeでは $f_{yd}=420, 460 \text{ MPa}$ の鋼材にみに適用

連続桁としての変形性能からの制限



[Eurocode]

次の条件を満足する場合はコンパクト断面の曲げ耐力を $M_t=0.9M_{t0}$ に低減。

1. 連続合成桁において中間支点近傍をノンコンパクトまたはスレンダー断面とした場合。
2. 中間支点両側のスパンの比が0.6より小さい。

[AASHTO]

次の条件を満足する場合はコンパクト断面の曲げ耐力上限値を $M_t=1.3M_y$ とする。

1. 支間部および中間支点の断面が所定の断面形状を有していない。
2. 中間支点の断面が所定の塑性回転性能を有していない。

せん断に対する照査

安全限界状態にたいする照査式

$$\gamma_i \frac{V_{sd}}{V_{rd}} \leq 1.0$$

V_{sd} : 設計せん断力

V_{rd} : 設計せん断耐力

γ_i : 構造物係数

注記:

1. 合成桁のせん断耐力は鋼桁のせん断耐力と同じ(コンクリート床版の影響無視)と仮定されている。
2. せん断耐力式としてはBaslerの式を用いてよい、となっている。

曲げとせん断の相関

曲げとせん断の組み合わせの照査式

- 解説では以下の事例が紹介されている。
 - 鉄道橋設計標準:2次式
 - JH合理化橋梁:4次式
- 一般には以下の累乗和相関式となる。

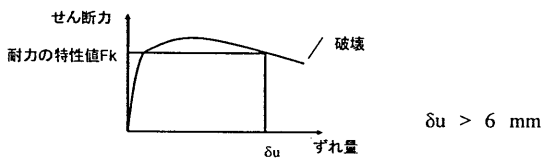
$$\left[\gamma_i^n \left(\frac{M_{sd}}{M_{rd}} \right)^n + \gamma_i^m \left(\frac{V_{sd}}{V_{rd}} \right)^m \right] \leq 1.0$$

ずれ止めの設計

「15.4 ずれ止めの設計」より

一般

- 十分な変形性能を持つこと
 - 終局状態では一部のずれ止めの塑性変形し水平せん断力の再分配を期待している
 - 十分な変形性能=ずれ変位6mm(Eurocode)
- 異なる種類のずれ止めを用いる場合はせん断力-ずれ関係の差異による影響を検討



ずれ止めの限界状態

- 安全限界状態(終局限界状態)
 - 終局時にはずれ止めの塑性変形を許容する設計法
- 疲労限界状態
 - 許容応力度設計法とほとんど同じ

安全限界状態に対する照査式

$$\frac{1}{1.1} \left(\gamma_i \frac{q_{sd}}{q_{rd}} \right) \leq 1.0 \quad (1)$$

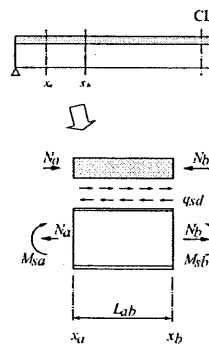
$$\gamma_i \frac{Q_{sd}}{Q_{rd}} \leq 1.0 \quad (2)$$

q_{sd}, q_{rd} : 単位長さあたりの水平せん断力

Q_{sd}, Q_{rd} : ある区間における水平せん断力の合力

注記
式(1)では作用分布水平せん断力が耐力を10%超過することを認めている。ただし、 x_a から x_b 区間の合力は耐力を超えてはならない

水平せん断力の合力の計算

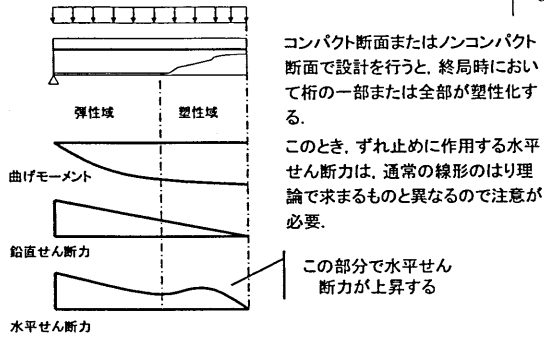


水平せん断力の合力 Q_{sd} は床版に作用する軸力の差で求められる。

$$Q_{sd} = N_b - N_a = \int_{x_a}^{x_b} q_{sd} dx$$

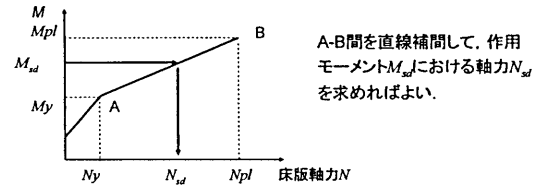
注記
照査区間 (x_a, x_b) は、ずれ止めの配置等が同じである区間を取ればよい。

鋼げたの塑性化が水平せん断力に与える影響



鋼桁が塑性化する場合の水平せん断力の算出方法

- 水平せん断力の合力は床版に作用する軸力の差から求める。
- スレンダー断面で弾性はり理論から床版に作用する軸力が計算可能(A点)。
- コンパクト断面では床版の応力は $0.85f_{cd}$ なので計算可能(B点)。
- 問題はノンコンパクト断面の場合で、鋼桁の一部のみが塑性化しているため、簡単に床版軸力を求められない。



ひび割れ幅照査

初期ひび割れを考慮したひび割れ幅算定式

