

鋼・合成標準示方書に基づく 連続合成桁の設計計算例

本プログラムの構成

1. 設計計算例の概要
2. 設計条件
3. 支間中央(正曲げ最大部)の計算例
4. 中間支点(負曲げ最大部)の計算例
5. 今後の発展のための検討項目(案)

主な適用基準

1. 2007年制定 鋼・合成構造標準示方書 Ⅲ設計編
:土木学会, 2007

以下、「標準示方書」と示す

2. JSSCテクニカルレポートNo.70 合成桁の限界状態設計法試案:(社)日本鋼構造協会, 2006

以下、「JSSC試案」と示す

3. 道路橋示方書・同解説:(社)日本道路協会, 2002

以下、「道示」と示す

1. 設計計算例の概要

設計計算例の目次

- 第 1章 設計計算例の概要
- 第 2章 設計計算方針 主桁断面の決定
- 第 3章 設計条件 ● 架設系(架設時)
- 第 4章 荷重条件 ● 完成系(終局時と使用時)
- 第 5章 断面構成図 に分けて照査を行う
- 第 6章 架設時の照査
- 第 7章 終局限界状態の照査
- 第 8章 使用限界状態の照査
- 第 9章 ずれ止めの照査 合成桁特有の照査
- 第10章 設計計算の課題と今後の展望

主桁断面の決定（架設時）

第6章 架設時の照査

架設時の安全性の照査

後述します

- (1) コンパクト、ノンコンパクト、スレンダー断面の判定
- (2) 曲げ耐力、およびせん断耐力の照査

架設時に断面が塑性化して損傷しないための照査

- (3) 腹板の曲げとせん断の相関座屈の照査
- (4) 曲げとせん断の組合せに対する照査
断面を降伏させないように2乗相関則による。

主桁断面の決定(終局時)

第7章 終局限界状態の照査

終局限界状態の安全性の照査

- (1)コンパクト、ノンコンパクト、スレンダー断面の判定
- (2)曲げ耐力の照査
- (3)腹板のせん断に対する照査
- (4)曲げとせん断の組合せによる照査
4乗相関則による。

主桁断面の決定(使用時)

第8章 使用限界状態の照査

使用限界状態の安全性の照査

- (1) 永久変形(鋼材の弾性座屈 or 降伏)の照査
- (2) 活荷重たわみの照査
- (3) ウェブブリージングの照査
- (4) ひび割れ幅の照査

以下の2つの状態を想定

- ・初期ひび割れ状態
- ・安定ひび割れ状態

初期ひび割れ状態を考慮しないと、作用負曲げモーメントが小さい場合、ひび割れ幅を過小評価することになる

合成桁特有の照査(ずれ止め)

第9章 ずれ止めの照査

終局限界状態の安全性の照査

スタッドジベルの終局せん断耐力の照査

鋼桁の塑性化を考慮した
水平せん断力を算出

疲労限界状態の安全性の照査

スタッドジベルの疲労せん断耐力の照査

断面区分の定義

低減条件あり(後述)

★コンパクト断面

全塑性状態まで座屈しない断面

$$M_r = M_{pl} \text{ (全塑性モーメント)}$$

★ノンコンパクト断面

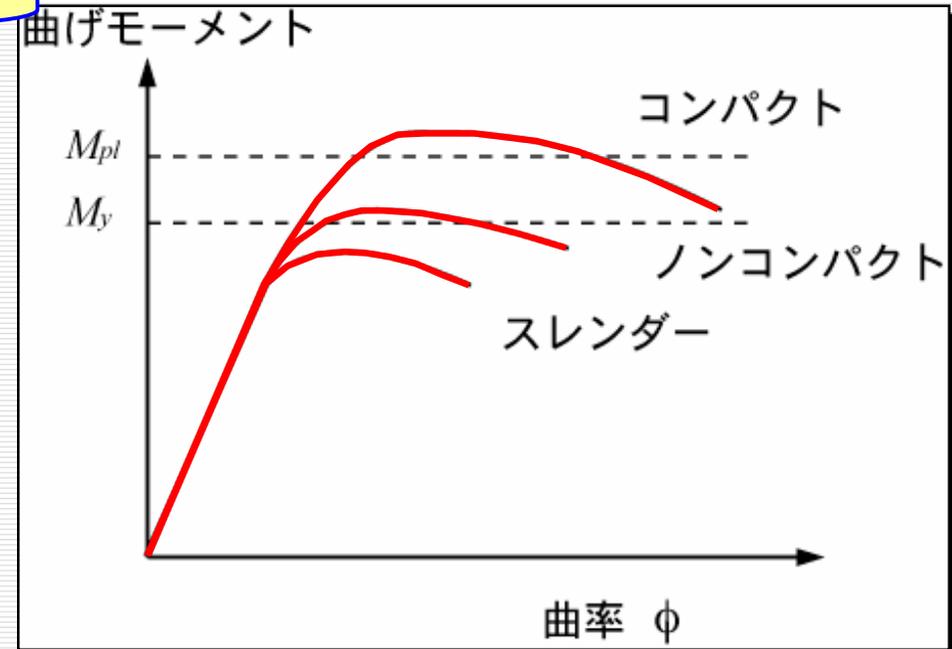
一部は降伏するが、局部座屈により全塑性まで達しない

$$M_r = M_y \text{ (降伏モーメント)}$$

★スレンダー断面

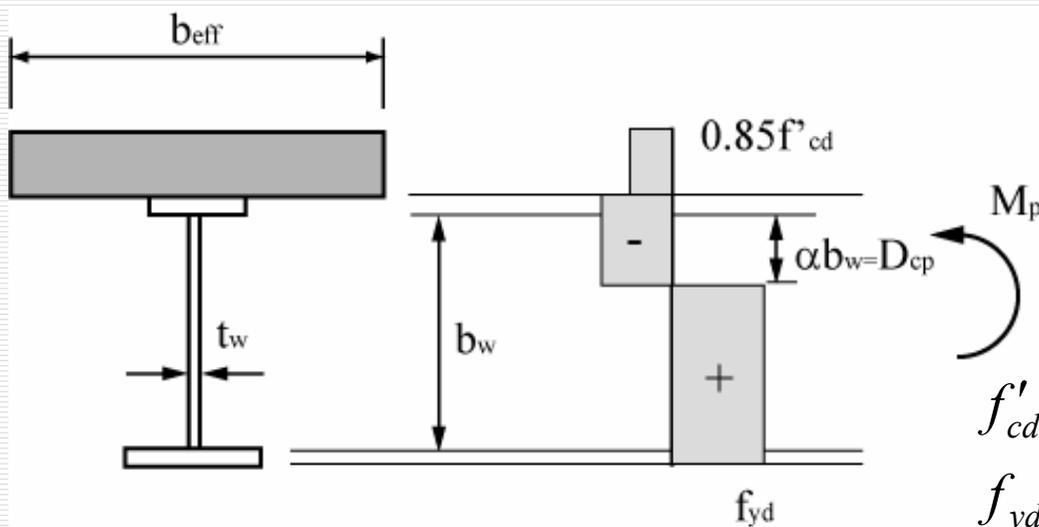
局部座屈により降伏まで達しない断面

$$M_r = M_{eff} \text{ (有効断面による降伏モーメント)}$$



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

f'_{cd} : コンクリート設計圧縮強度

f_{yd} : 鋼設計降伏強度

b_{eff} : コンクリート床版の有効幅

注) 塑性中立軸が床版内にある場合, 引張り領域は無視

応答値(設計断面力)

部分係数

$$\frac{\sum \gamma_a \cdot S(\gamma_f \cdot F_k)}{\gamma_i \cdot R(f_k / \gamma_m) / \gamma_b} \leq 1.0$$

設計作用の特性値

材料強度の特性値

限界値(設計部材耐力)

部分係数の設定

本計算例では、部分係数を以下の値に設定

構造解析係数	$\gamma_a = 1.0$	構造物係数	$\gamma_i = 1.0$
材料係数(鋼構造)	$\gamma_{ms} = 1.0$	部材係数	$\gamma_b = 1.0$
材料係数(鉄筋)	$\gamma_{mr} = 1.0$		

実構造物では、構造物の重要度や、計算における値の算出方法の不確実性、作用や実構造物・実材料などのばらつきを考慮して、各部分係数の値を定めるものとする。

(標準示方書 1.4.4より)

部分係数の設定

個々の作用に対する作用係数 γ_f の設定

照査する 限界状態	作用係数 γ_f				
	死荷重 D	活荷重 L	クリープ CR	乾燥収縮 SH	鋼桁とコンクリートの温度差 T
終局限界状態	1.7	1.7	-	-	-
	$1.7 \times D + 1.7 \times L$				

実構造物では、構造物の重要度や、計算における値の算出方法の不確実性、作用や実構造物・実材料などのばらつきを考慮して、各部分係数の値を定めるものとする。

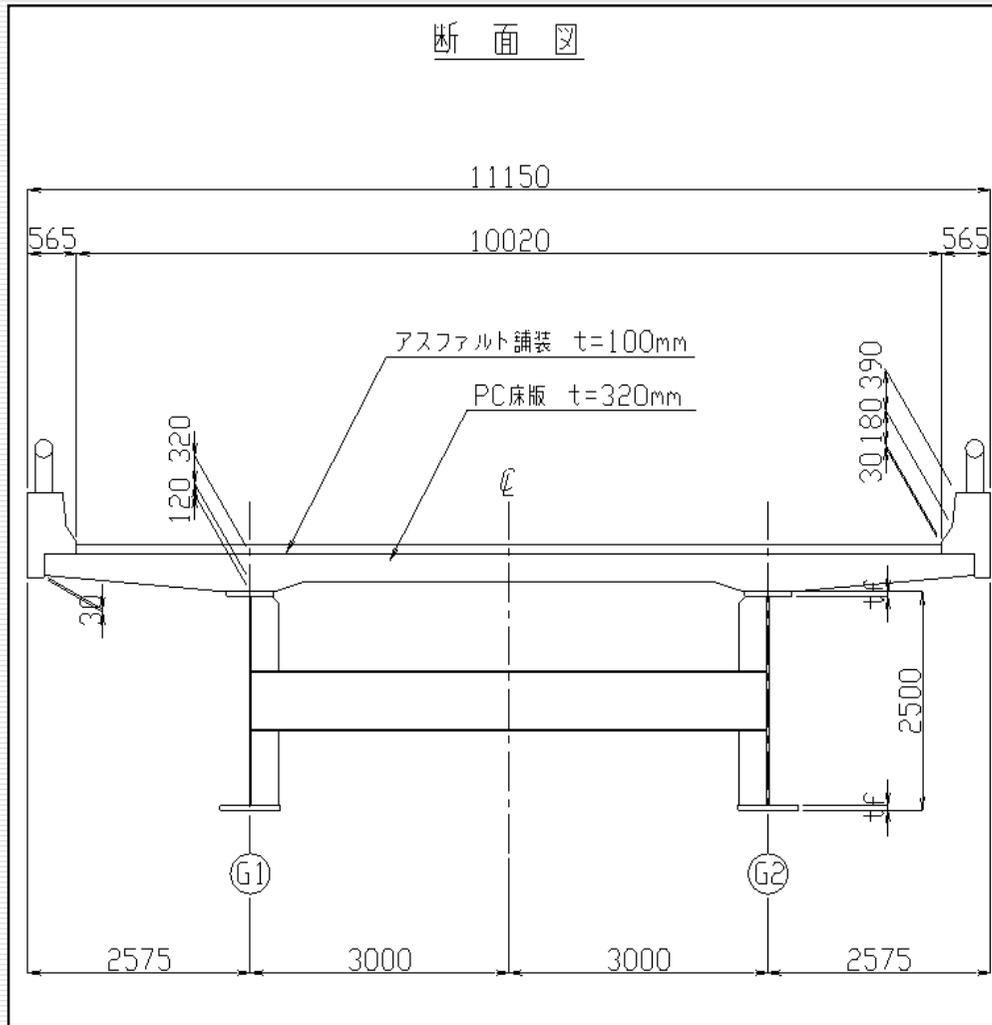
(標準示方書 1.4.4より)

2. 設計条件

橋梁諸元

報告書

pp.2-6~7



橋梁形式 3径間連続合成2主I桁橋
(活荷重合成桁)

幅員構成 総幅員 11.150m

有効幅員 10.020m

床版 場所打ちプレストレスト
コンクリート床版

設計基準強度
 $\sigma_{ck} = 40\text{N/m}^2$

厚さ 320mm

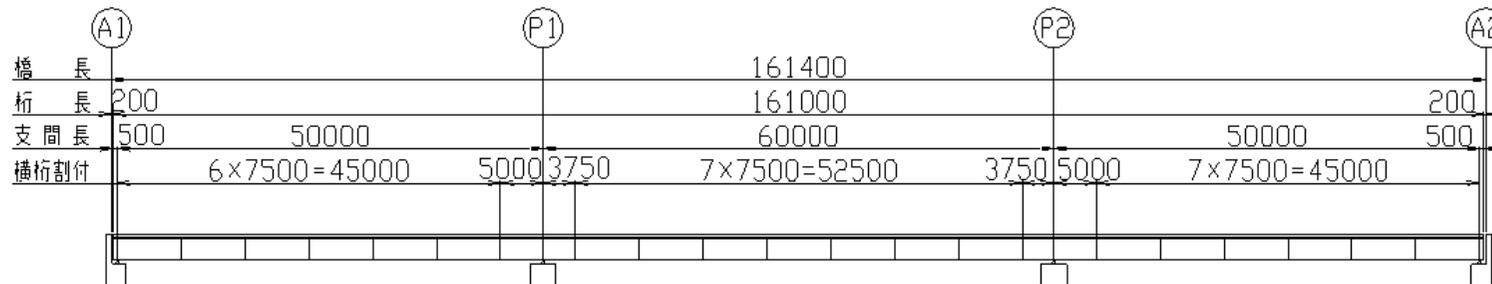
固定型枠工法

主桁作用に対してプレ
ストレス導入はせず、床版
のひび割れ幅を制御する
設計とする

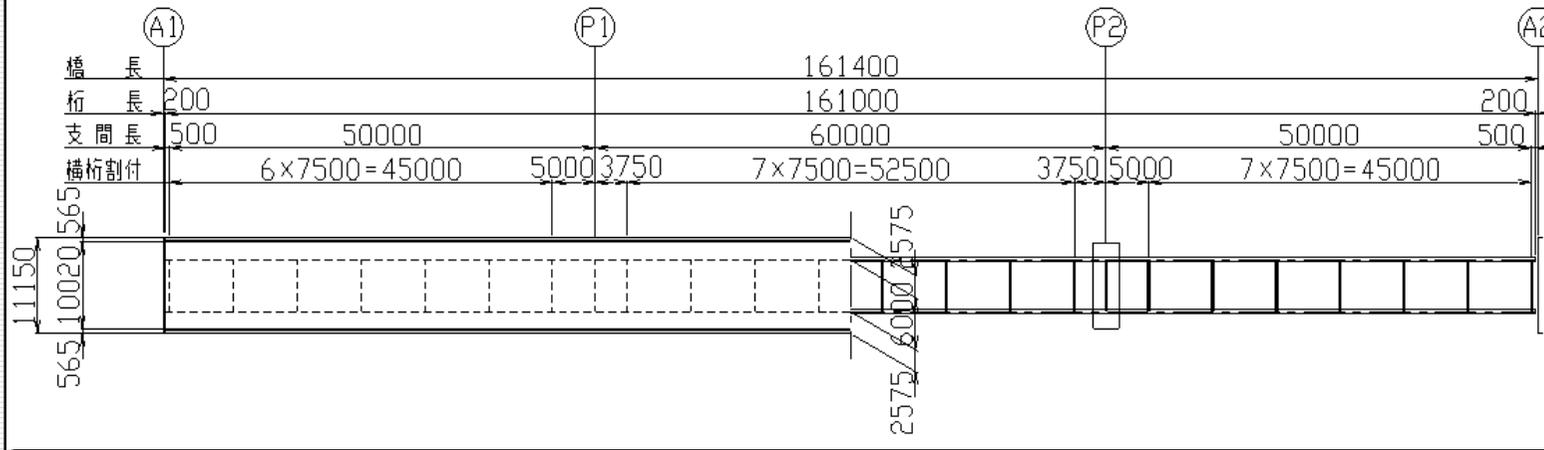
寸法図

橋 長 161.400m
支 間 50.0m + 60.0m + 50.0m
平面線形 $R = \infty$
斜角 $90^{\circ} 00' 00''$

側面図



平面図



荷重強度

①死荷重

i) 合成前

鋼重	11.00 kN/m	各主桁ライン上に載荷
固定型枠	1.50 kN/m ²	全幅員に載荷
床版	7.84 kN/m ²	24.5kN/m ³ × 0.32m
ハンチ	5.51 kN/m	各主桁ライン上に載荷

ii) 合成後

舗装	2.25 kN/m ²	22.5kN/m ³ × 0.10m
壁高欄(コンクリート)	9.74 kN/m	
壁高欄(鋼製)	0.50 kN/m	
固定型枠	-1.50 kN/m ²	全幅員から撤去

②活荷重

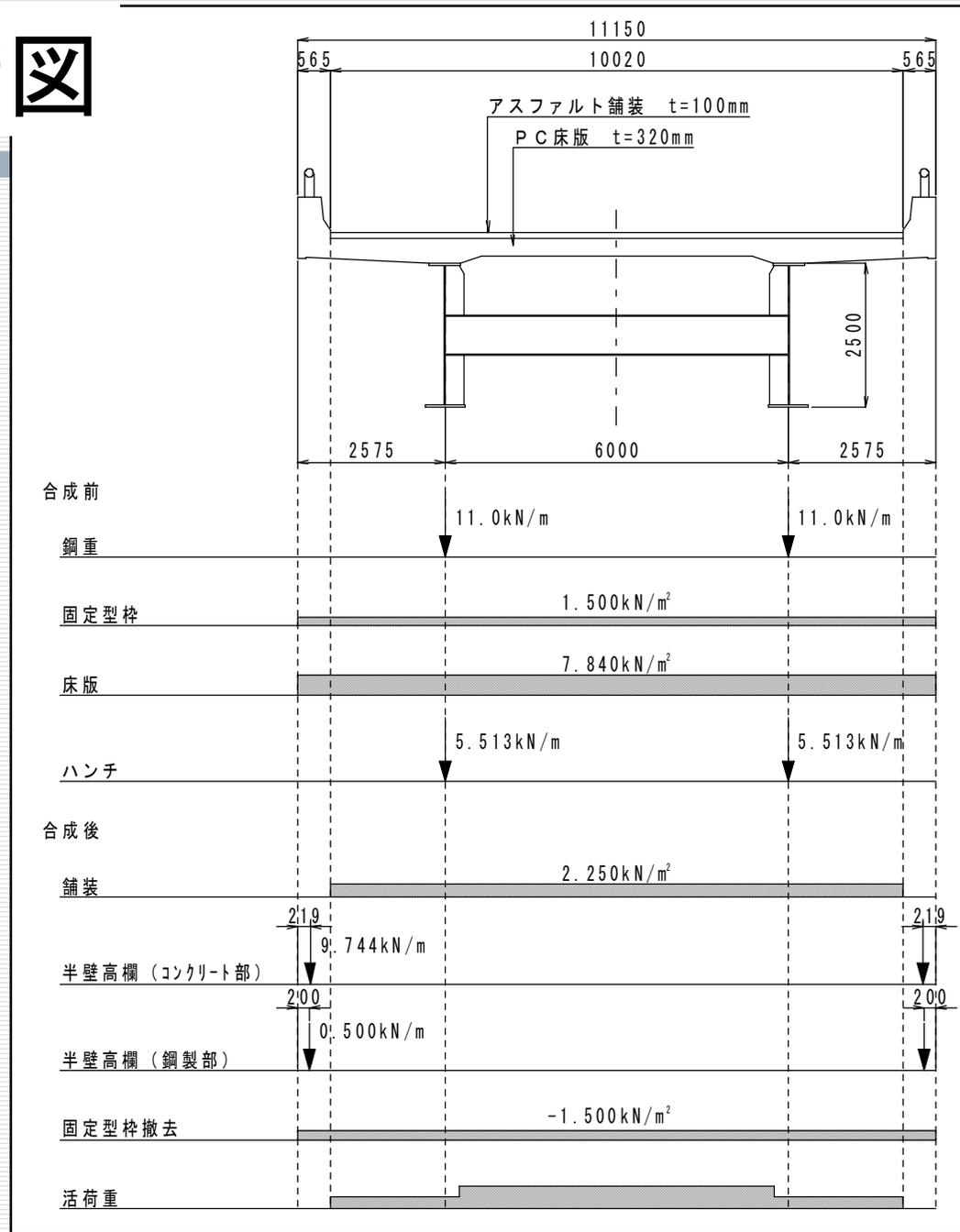
B活荷重

③衝撃荷重

考慮する

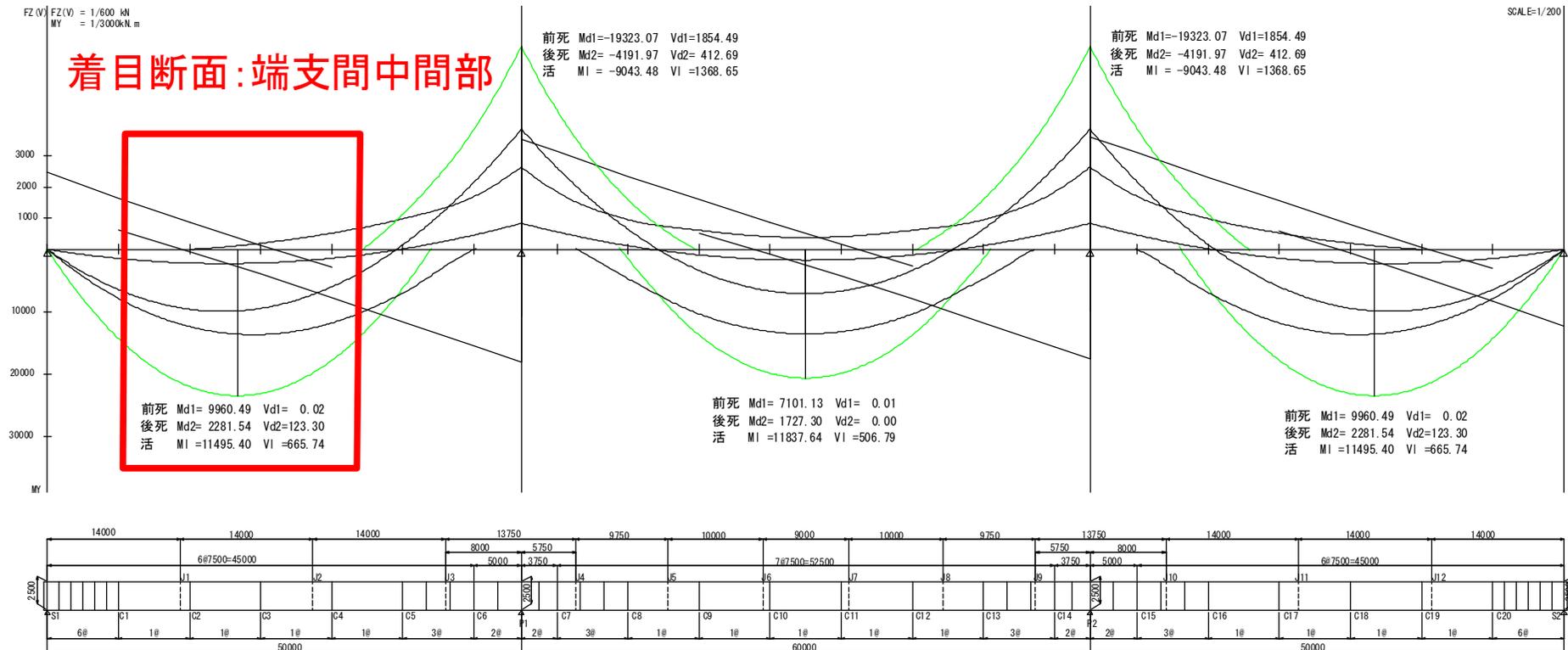
荷重載荷図

報告書
pp.2-8~9



3. 支間中央（正曲げ最大部） の設計計算例

設計断面力



断面緒元

固定点間距離 7500 mm
(横桁間隔)

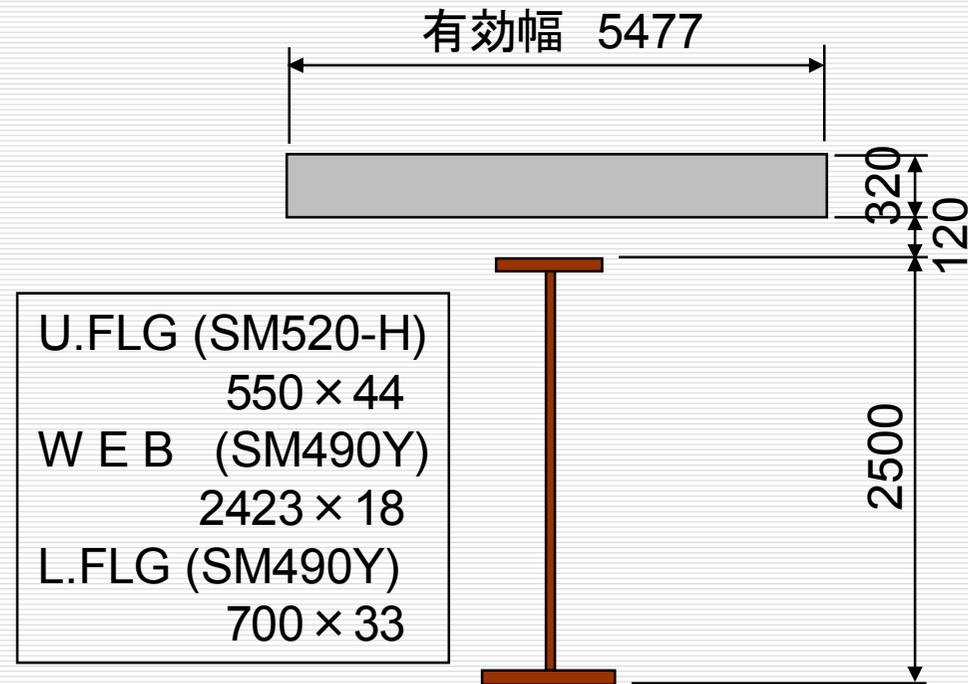
床版厚 320 mm

ハンチ高 120mm

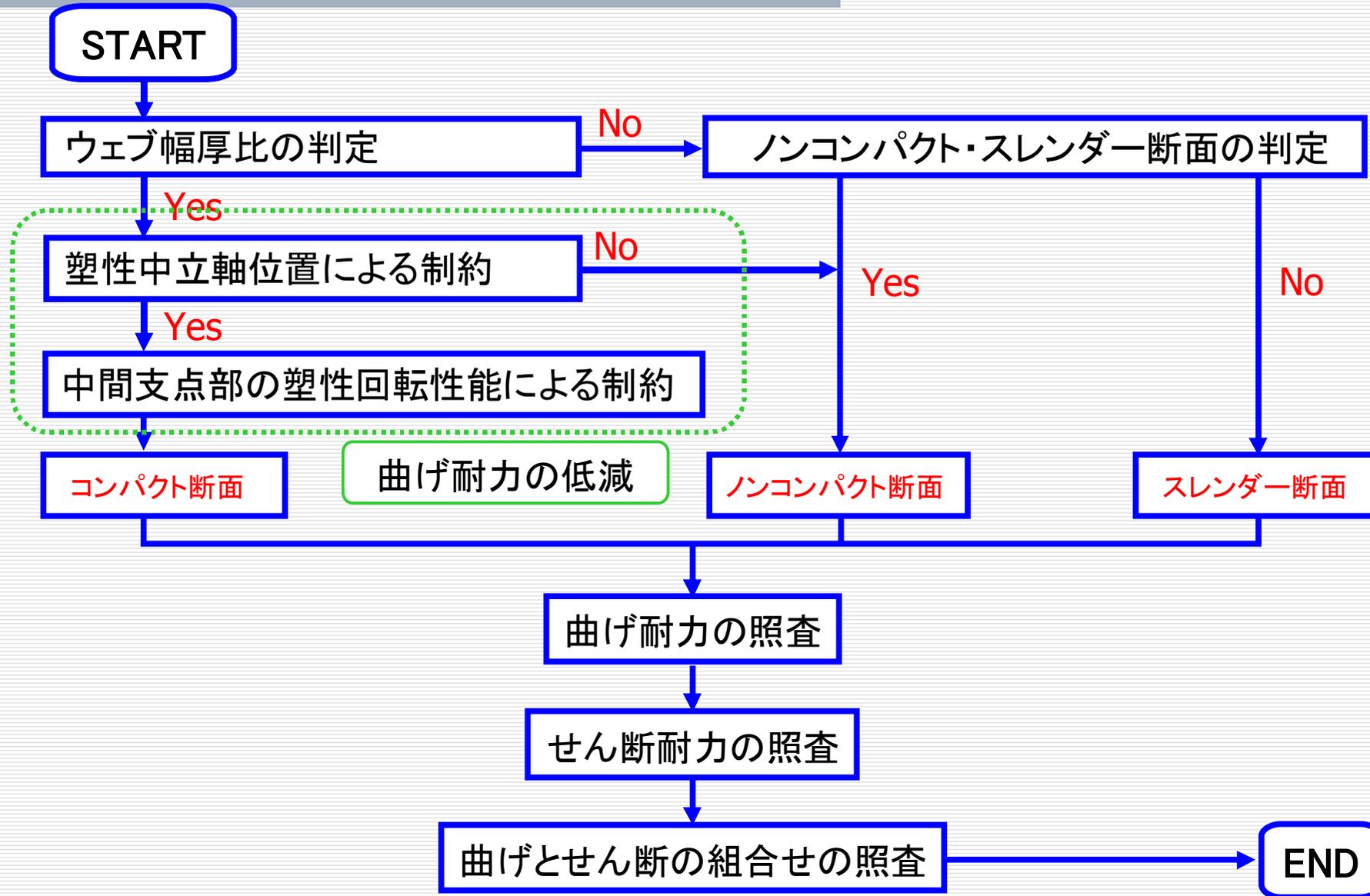
使用材料

主桁鋼材 SM520, SM490Y

設計降伏強度 $\sigma_{y,f} = \sigma_{syk} / \gamma_{ms} = 355 / 1.0 = 355 \text{ N/mm}^2$



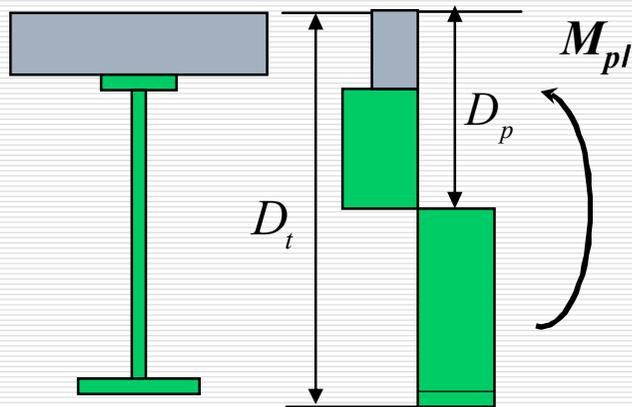
正曲げ照査フロー



コンパクト断面の曲げ耐力の低減①

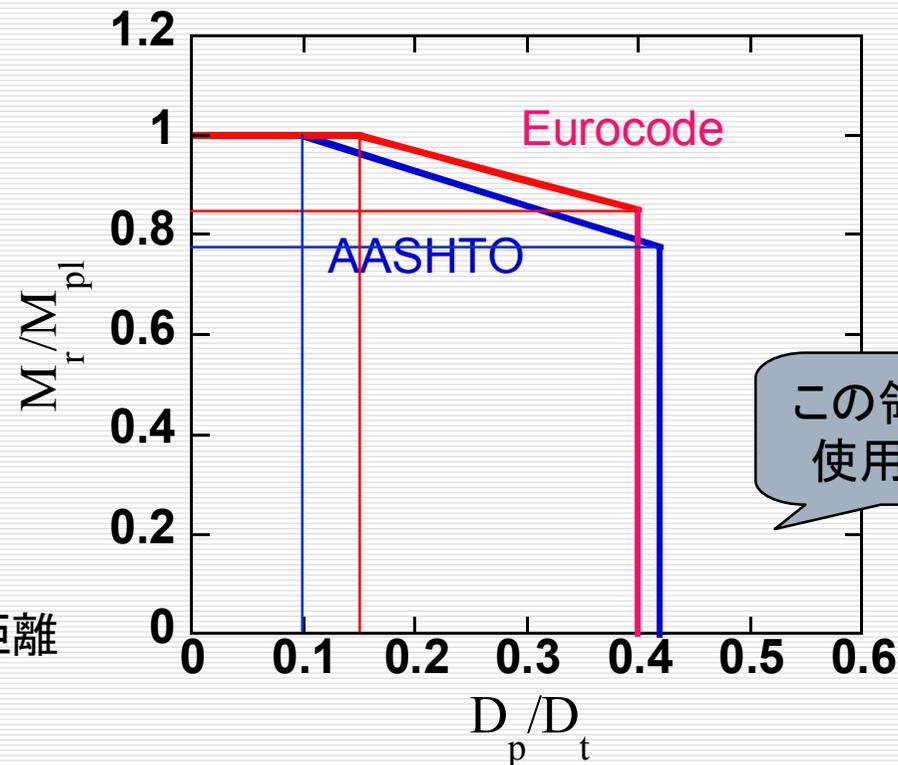
① 塑性中立軸位置による制約

コンパクト断面の条件を満たす断面でも床版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



D_p : 床版上面から塑性中立軸までの距離

D_t : 合成断面の全高

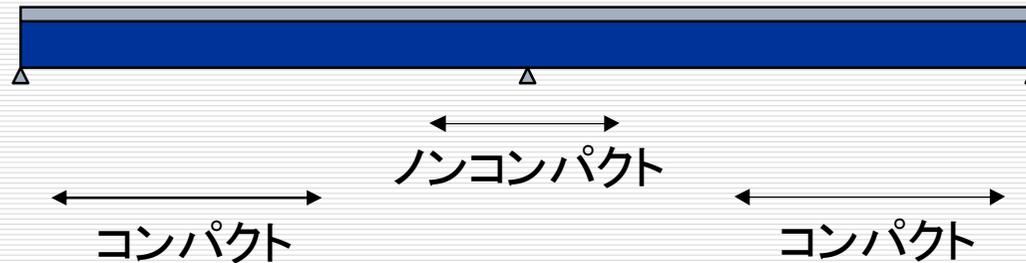


注) Eurocodeでは $f_y=420, 460 \text{ N/mm}^2$ の鋼材のみに適用

コンパクト断面の曲げ耐力の低減②

② 中間支点部の塑性回転性能による制約

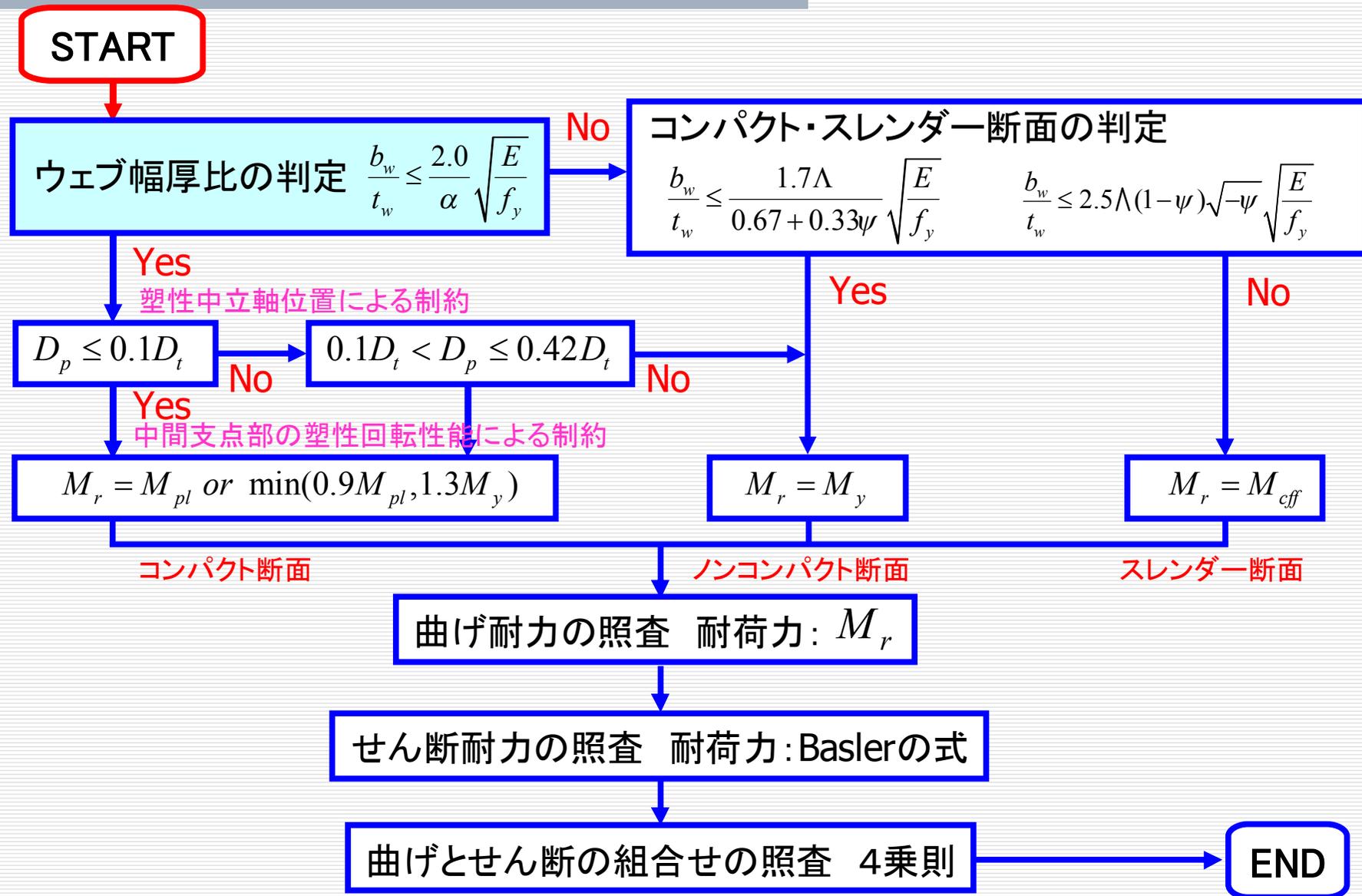
支間部=コンパクト, 支点上=ノンコンパクトの場合, 支間部で全塑性モーメントを期待するには支点上でも大きな塑性回転性能が必要だが, ノンコンパクト断面ではそれが期待できない.



<p>Eurocode ($M_r = 0.9M_p$)</p>	<p>★ 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. ★ 中間支点両側のスパンの比が0.6より小さい</p>
<p>AASHTO ($M_r = 1.3M_y$)</p>	<p>★ 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. ★ 中間支点の断面が所定の塑性回転性能を有していない.</p>

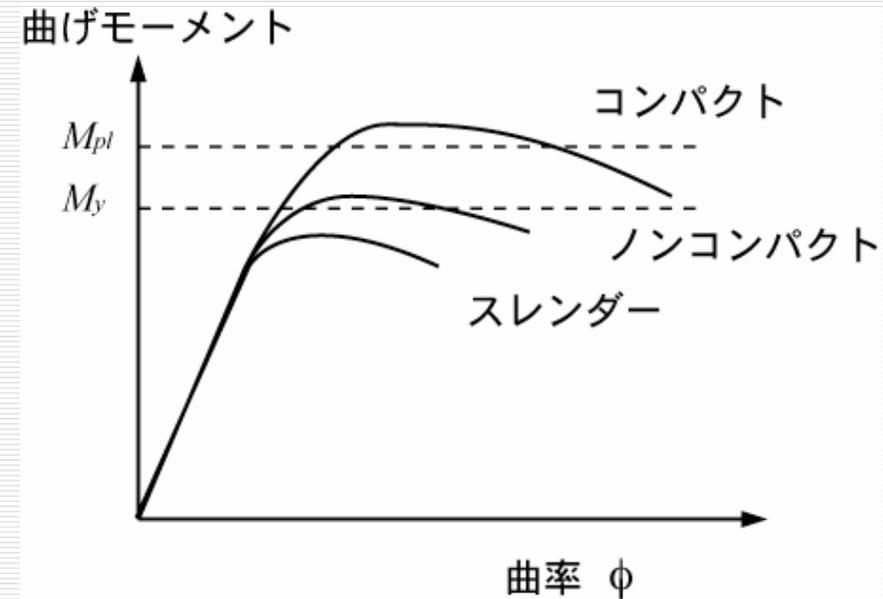
3.1 曲げ耐力の照査

正曲げ照査フロー



断面区分

ウェブ幅厚比によりコンパクト断面か、それ以外かの判定を行う



■ 断面を区分する手順

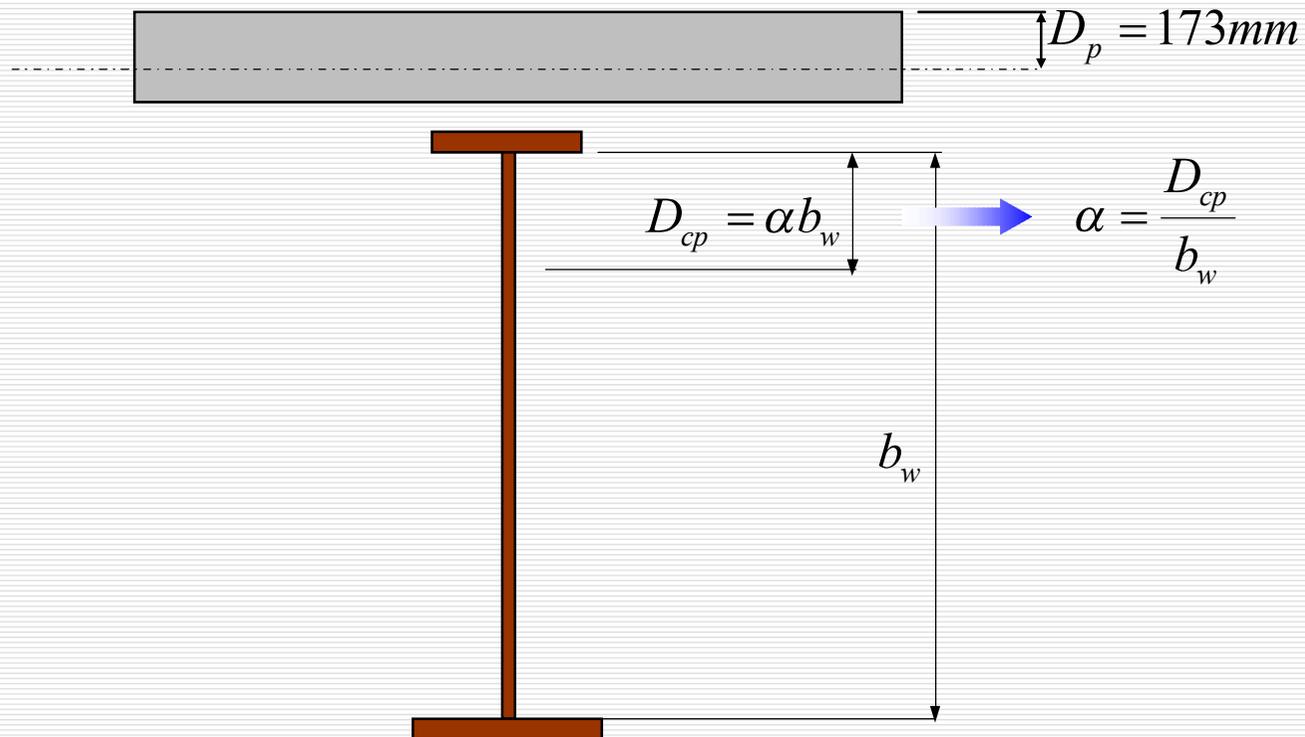
STEP1

塑性中立軸を求める

STEP2

判定式による判定を行う

STEP1 塑性中立軸を求める



塑性中立軸は床版内にある $\alpha = 0$

注) 引張床版側の塑性軸力は無視している

STEP2 判定式による判定を行う

JSSC試案による断面区分の判定式

ウェブ幅厚比の判定

$$\frac{b_w}{t_w} \leq \frac{2.0}{\alpha} \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

塑性中立軸が床版内にある



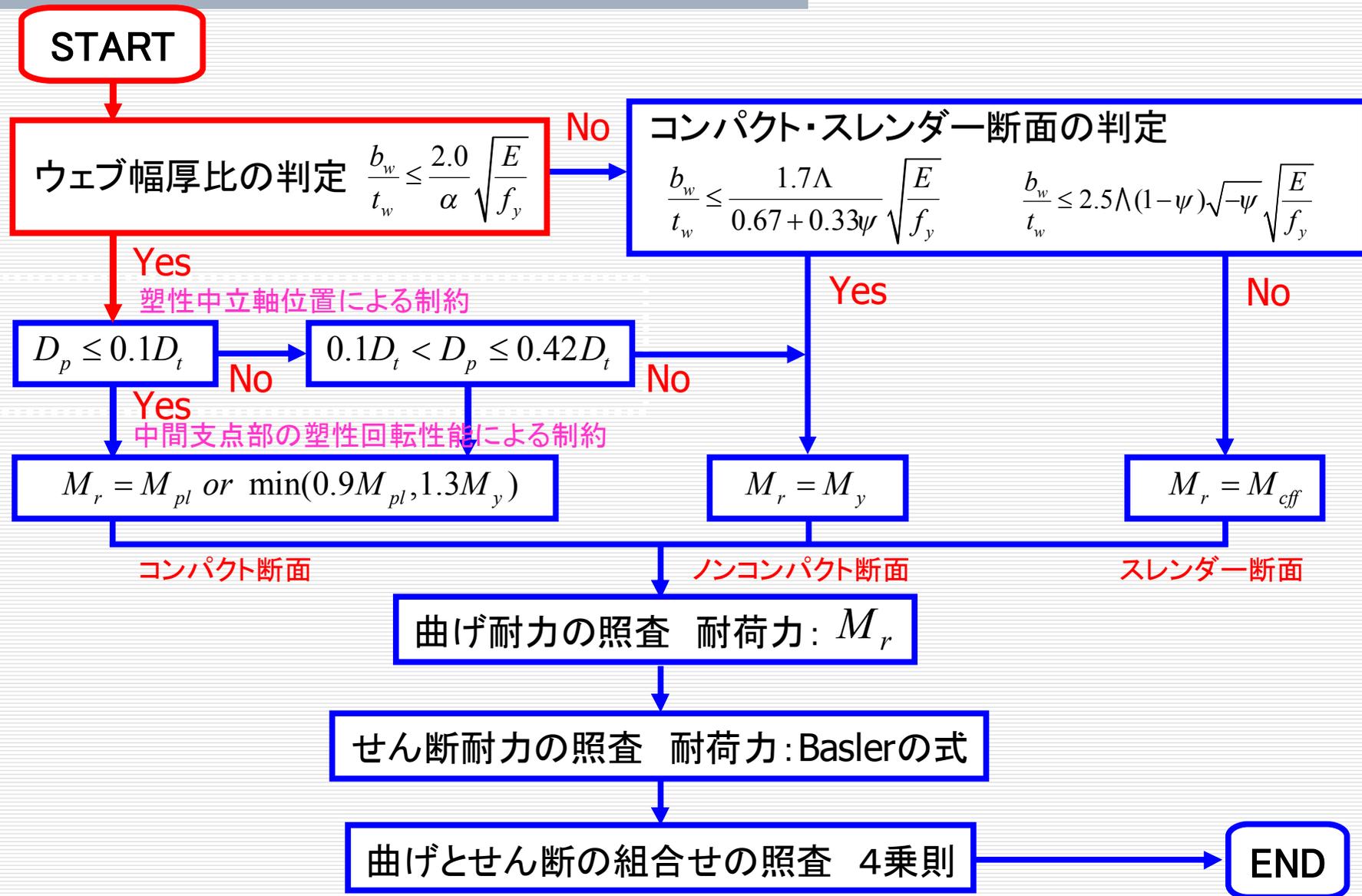
塑性中立軸を定義するパラメータ $\alpha = 0$



桁は全て引張部材となりコンパクト断面と判定

注) 報告書ではフランジの幅厚比による判定を行っているが、正曲げでは必要ない

正曲げ照査フロー



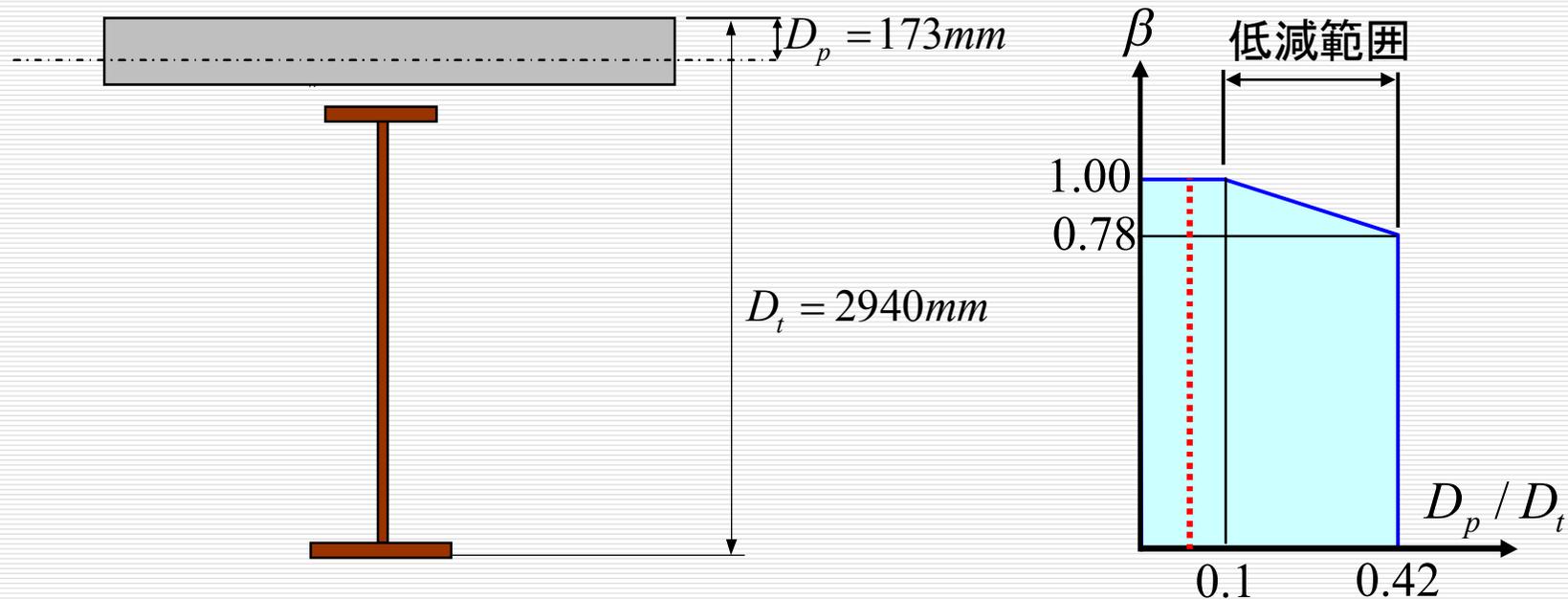
塑性中立軸位置による制約条件

$$D_p \leq 0.1 \cdot D_t$$

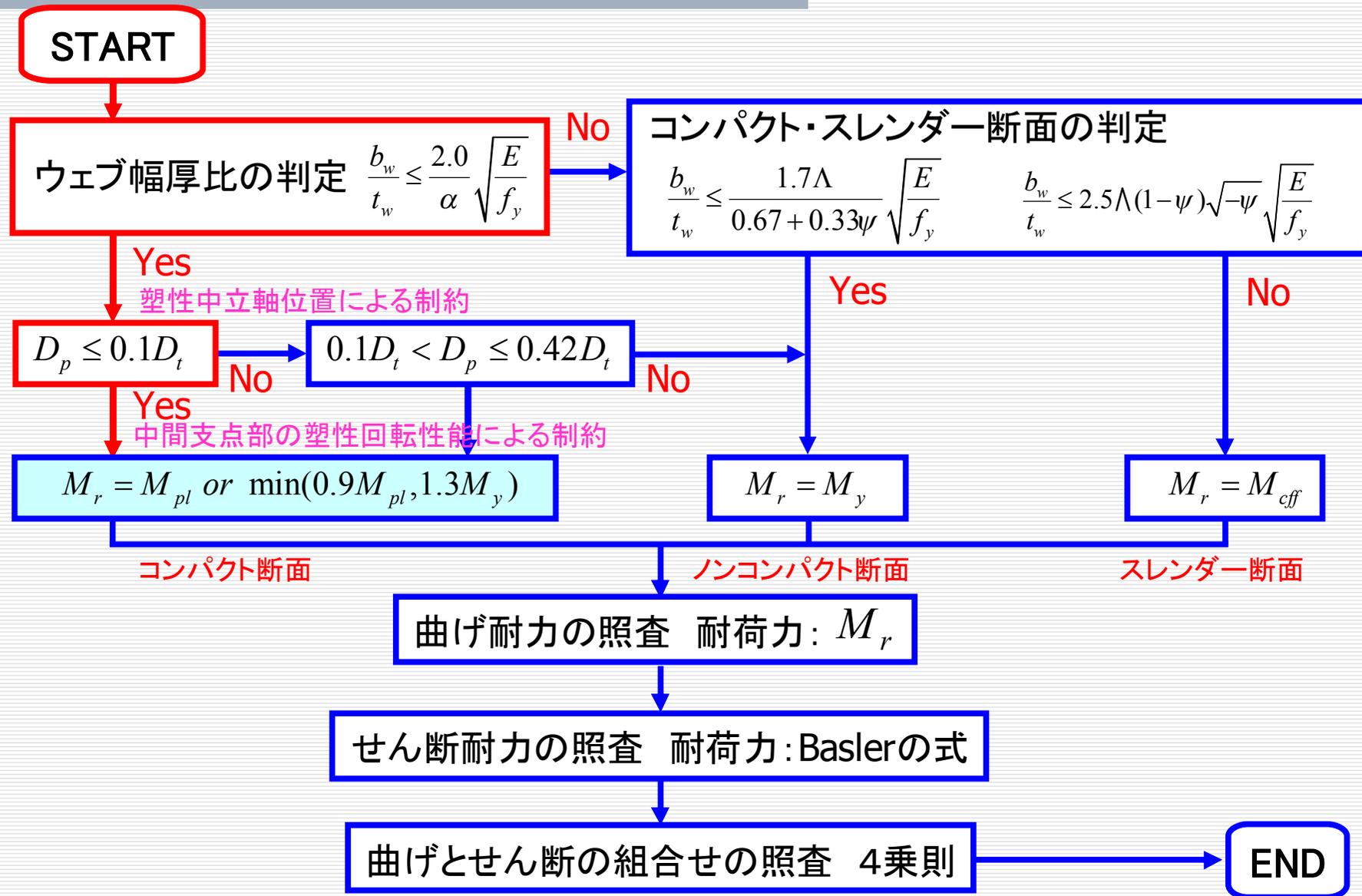
D_p : 床版上面から塑性中立軸までの距離
 D_t : 合成断面の全高

$$D_p / D_t = 173 / 2940 = 0.059 < 0.1$$

中立軸が床版内であり、条件を満足するため低減なし



正曲げ照査フロー



中間支点部の塑性回転性能による制約条件

中間支点部はコンパクト断面か？

中間支点部はノンコンパクト断面であるため条件は満たさない

$$M_r = \min(0.9M_{pl}, 1.3M_y)$$

降伏モーメント

降伏モーメントの算出①

未知数

$$\frac{M_{D1}}{W_{NC}} + \frac{M_{D2}}{W_{LT}} + \frac{M_{AD}}{W_{ST}} = F_y \quad \text{式一①}$$

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD} \quad \text{式一②}$$

M_{D1} : 合成前死荷重による曲げモーメント

M_{D2} : 合成後死荷重による曲げモーメント

M_{AD} : 降伏曲げモーメントに達するための付加モーメント

W_{NC} : 鋼桁断面の断面係数

W_{LT} : 合成断面の断面係数 = W_{ST}

F_y : 降伏応力度 = 355 N/mm^2

M_y : 降伏モーメント

注) AASHTOでは W_{LT} のヤング
係数比を "3n" としている

降伏モーメントの算出②

$$\frac{M_{D1}}{W_{NC}} + \frac{M_{D2}}{W_{LT}} + \frac{M_{AD}}{W_{ST}} = F_y \quad \text{式一①}$$

$$M_{AD} = \left(F_y - \frac{M_{D1}}{W_{NC}} - \frac{M_{D2}}{W_{LT}} \right) \times W_{ST}$$

上・下フランジについて付加モーメントを算出

上・下フランジに関する降伏モーメントを算出

上・下フランジで小さいものを降伏モーメントとする

曲げ耐力の算出

抵抗曲げモーメントの算出

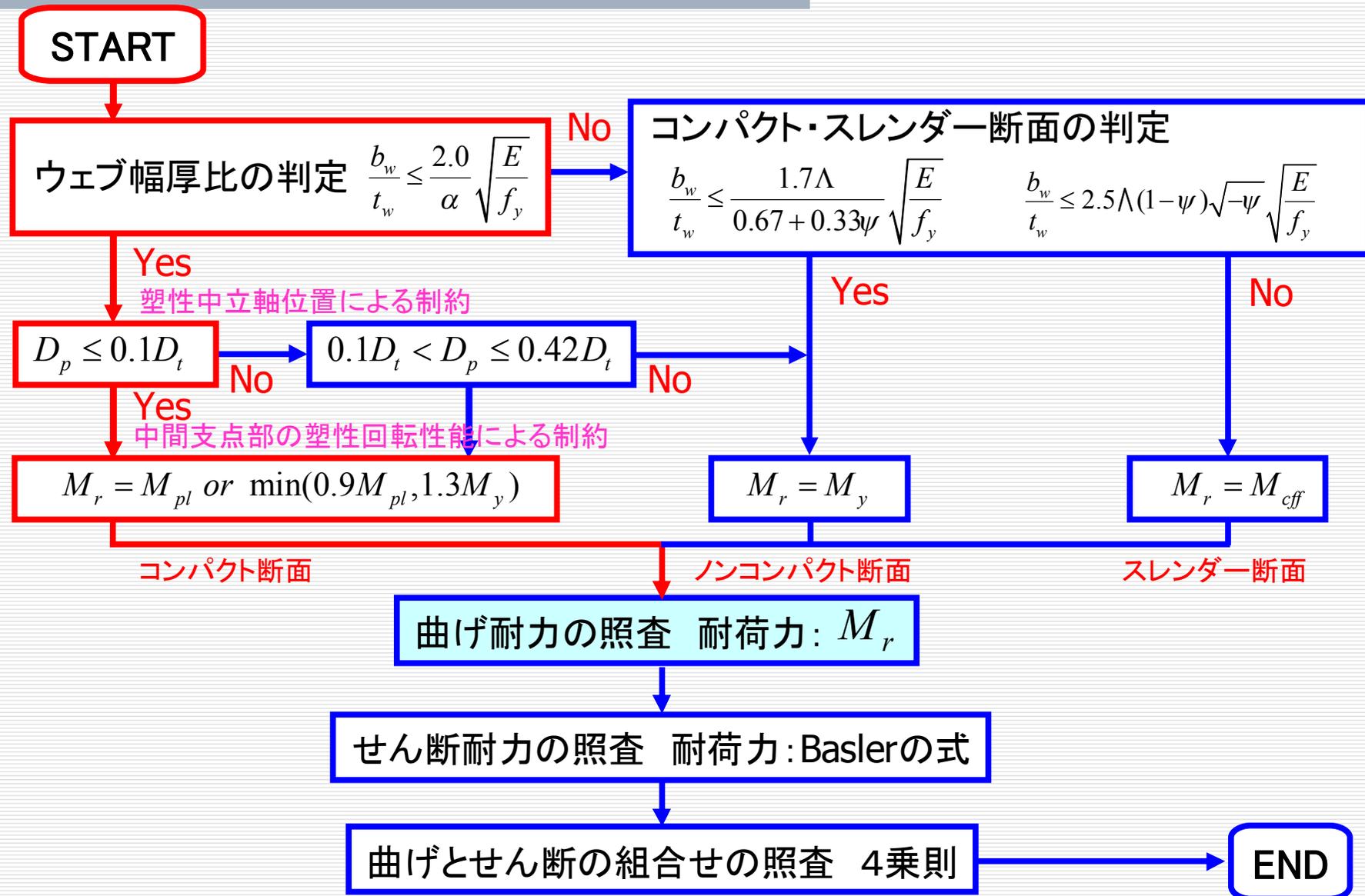
$$M_r = \min(0.9M_{pl}, 1.3M_y)$$

$$0.9M_{pl} = 46258 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$1.3M_y = 42924 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_r = 42924 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

正曲げ照査フロー



曲げ耐力の照査

応答値(設計断面力)



$$\gamma_i \times \frac{M_{sd}}{M_{rd}} = \gamma_i \times \frac{M_{\max}}{M_r / \gamma_b} = 1.0 \times \frac{40355}{42924 / 1.0} = 0.94 \leq 1.0$$

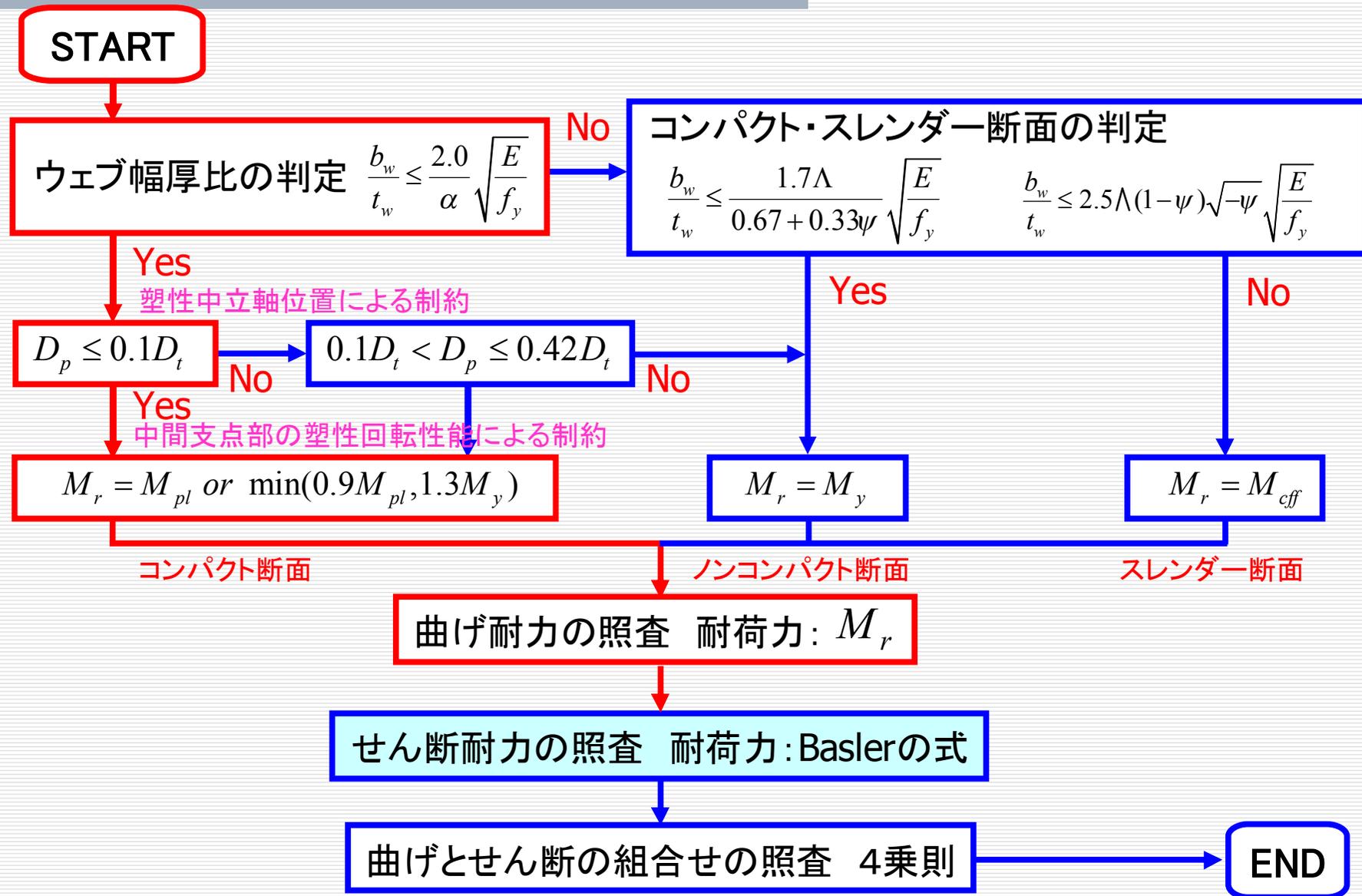


限界値(設計部材耐力)

O.K.

γ_i : 構造物係数 γ_b : 部材係数

正曲げ照査フロー



3. 2 せん断耐力の照査

せん断耐力の算出

せん断耐力 V_r は、Baslerの式を用いて算出

$$\frac{V_r}{V_y} = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1 - \tau_{cr}/\tau_y}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$$

$$\tau_{cr} = \begin{cases} \tau_e \\ \sqrt{0.8\tau_e\tau_y} \end{cases} \quad \text{せん断座屈応力度}$$

$$\tau_e = k_s \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{b_w} \right)^2 \quad \text{弾性せん断座屈応力度}$$

$$k_s = \begin{cases} 5.34 + 4.00/\alpha^2 & (\alpha \geq 1) \\ 4.00 + 5.34/\alpha^2 & (\alpha < 1) \end{cases} \quad \text{座屈係数}$$

V_y : せん断降伏強度

τ_y : せん断降伏応力度

α : ウェブのアスペクト比

せん断耐力の照査

応答値(設計断面力)



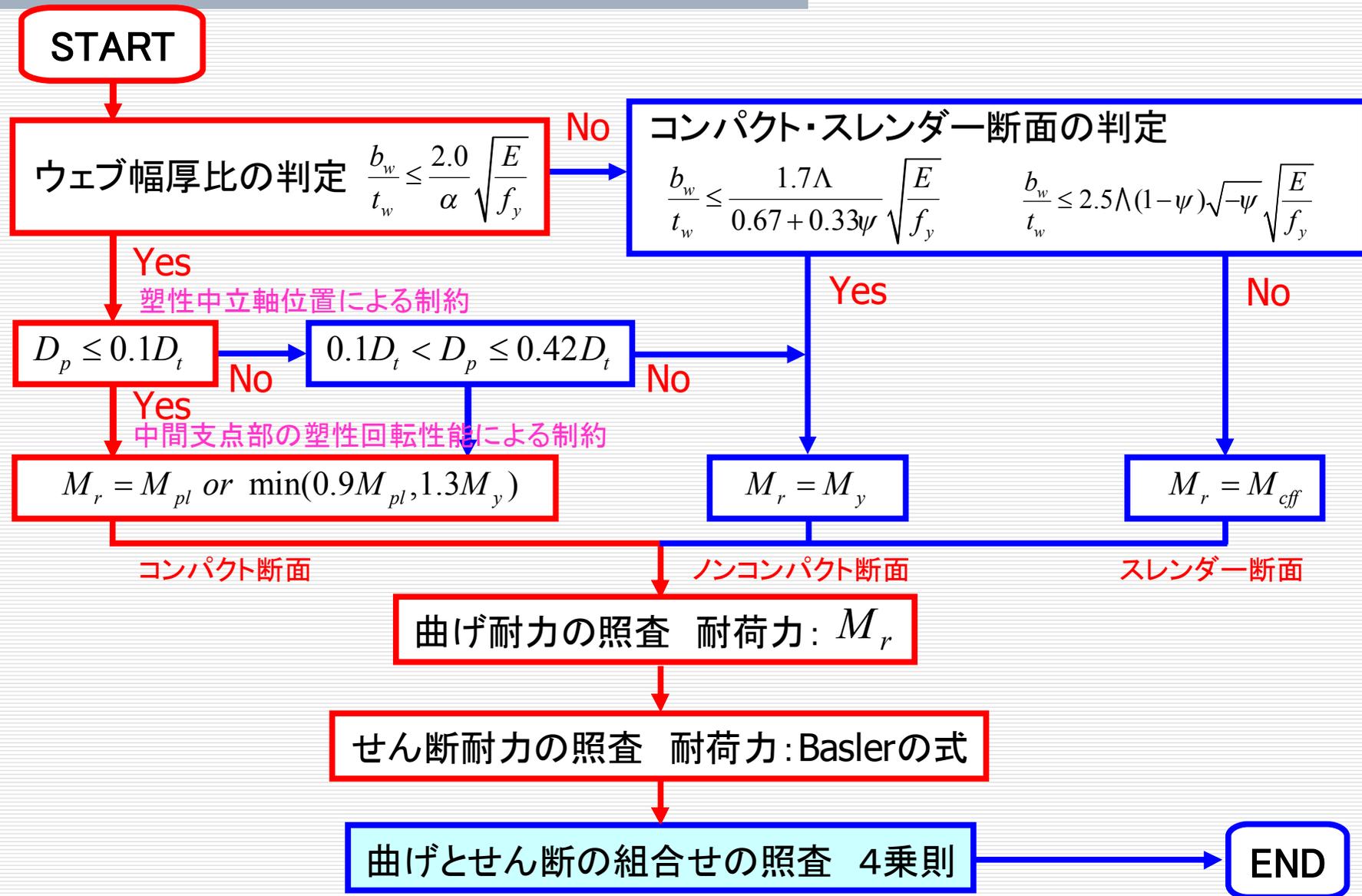
$$\gamma_i \times \frac{V_{sd}}{V_{rd}} = \gamma_i \times \frac{V_{\max}}{V_r / \gamma_b} = 1.0 \times \frac{2298}{4321/1.0} = 0.53 \leq 1.0$$



限界値(設計部材耐力)

O.K.

正曲げ照査フロー



3. 3 曲げとせん断の組合せの 照査

曲げとせん断の相関強度

曲げとせん断の相関強度の照査式

$$\gamma_i^4 \times \left\{ \left(\frac{M_{sd}}{M_{rd}} \right)^4 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{rd}} \right)^4 \right\} \leq 1$$

注)・道示では相関強度を2次式としているため、
垂直補剛材間隔について道示を適用する
場合は注意が必要である
・第3編において曲げとせん断の相関につ
いて検討している

曲げとせん断の相関強度の照査

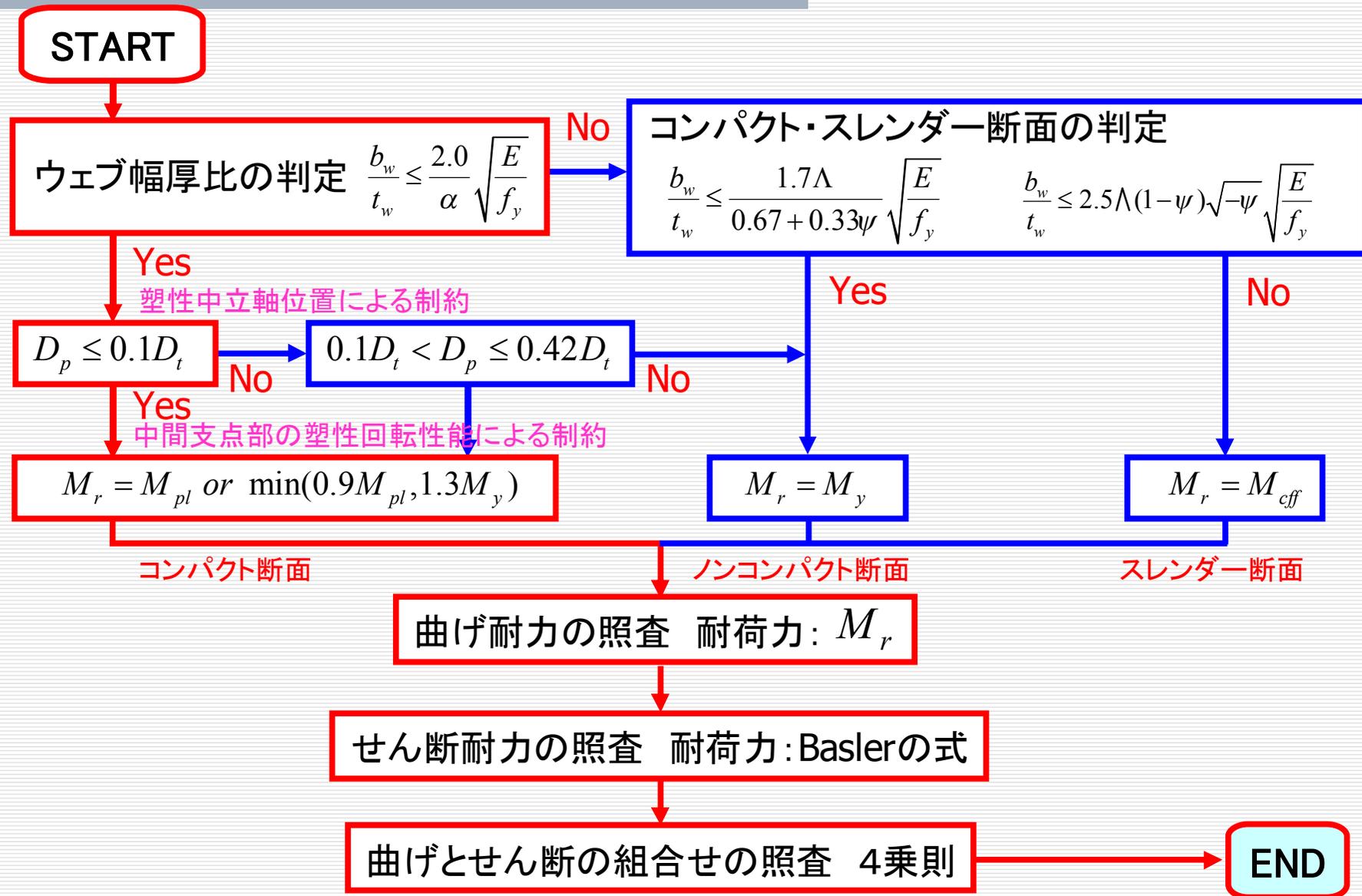
応答値(設計断面力)

$$\gamma_i^4 \times \left\{ \left(\frac{M_{sd}}{M_{rd}} \right)^4 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{rd}} \right)^4 \right\} = 1.0^4 \times \left\{ \left(\frac{40355}{42924} \right)^4 + \left(\frac{2298}{4321} \right)^4 \right\} = 0.86 \leq 1$$

限界値(設計部材耐力)

O.K.

正曲げ照査フロー



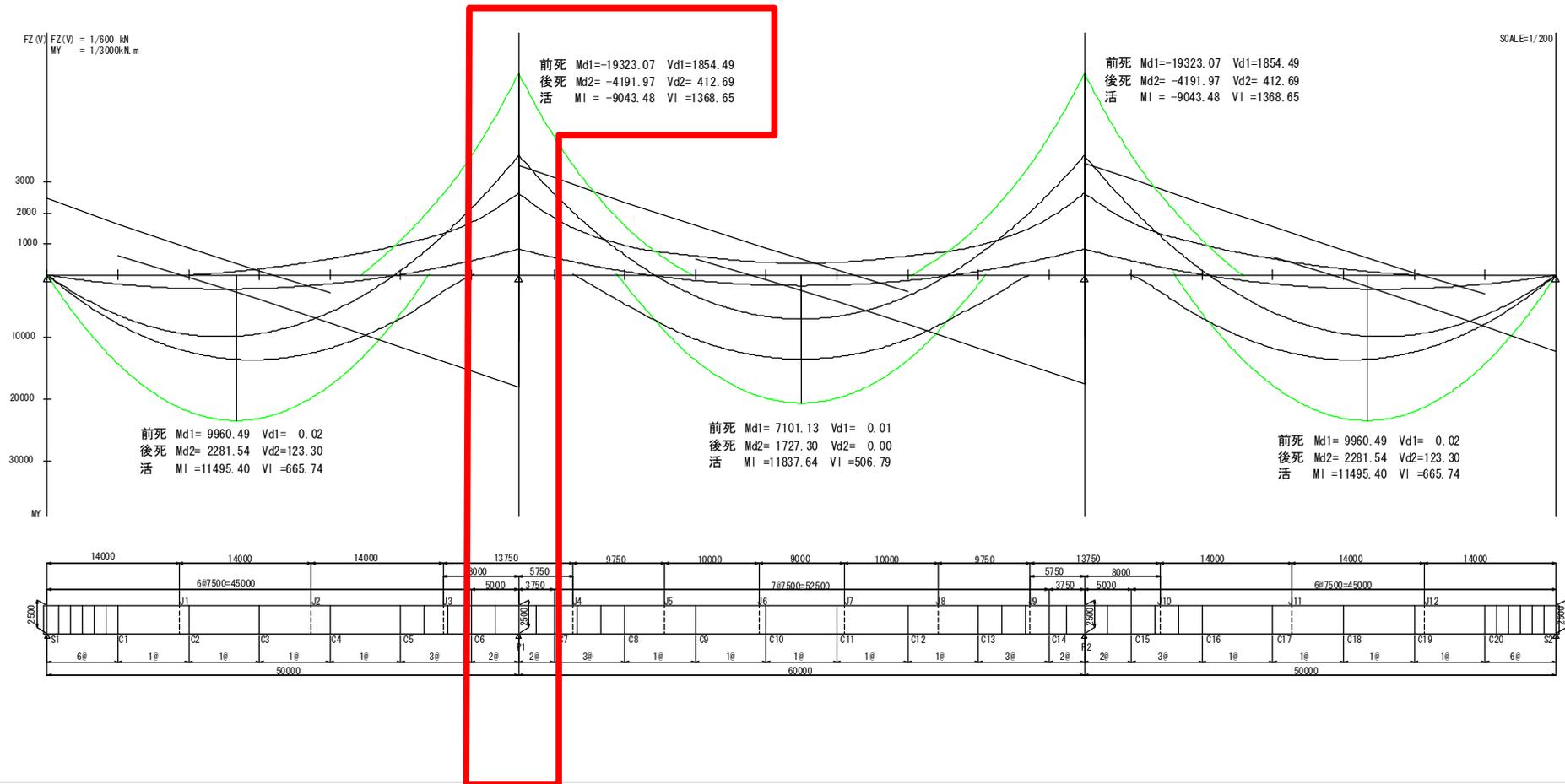
4. 中間支点（負曲げ最大部） の設計計算例

本プログラムの構成

1. 設計計算例の概要
2. 設計条件
3. 支間中央(正曲げ最大部)の計算例
4. 中間支点(負曲げ最大部)の計算例
5. 今後の発展のための検討項目(案)

設計断面力

着目断面:P1支点上



設計条件

固定点間距離 5000 mm
(横桁間隔)

床版厚 320 mm

ハンチ高 120mm

床版配力鉄筋

上段 : D22 @ 125 mm

下段 : D22 @ 125 mm

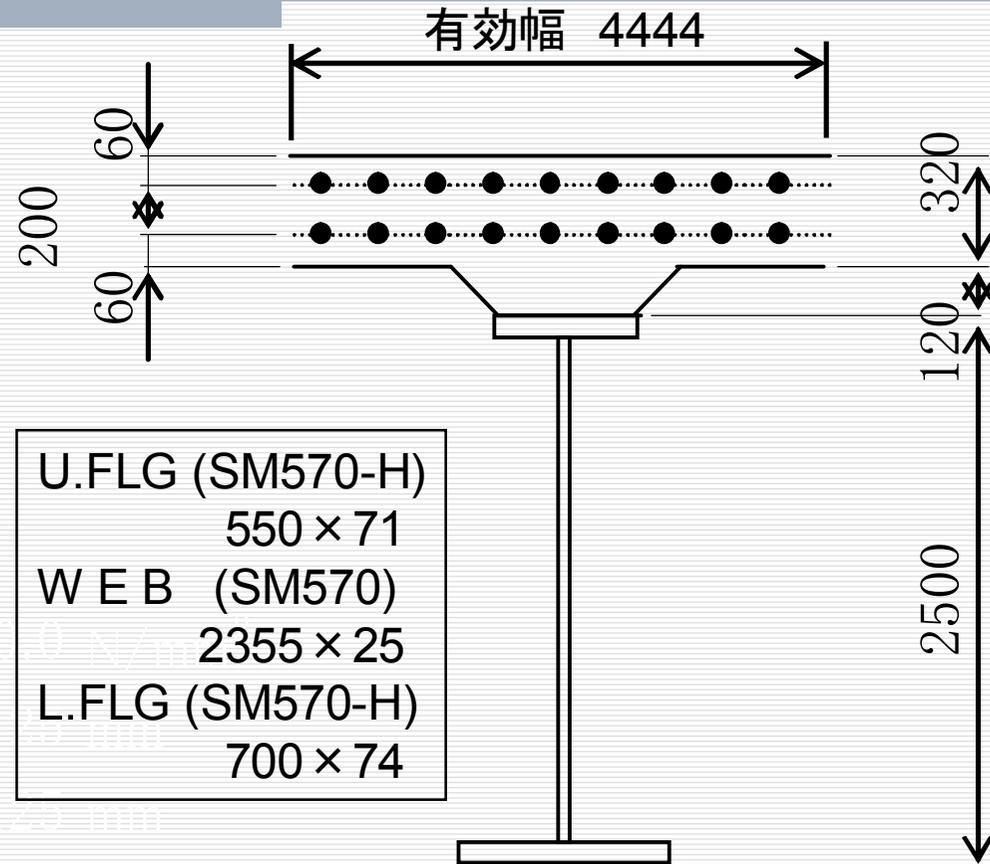
使用材料

主桁鋼材 SM570

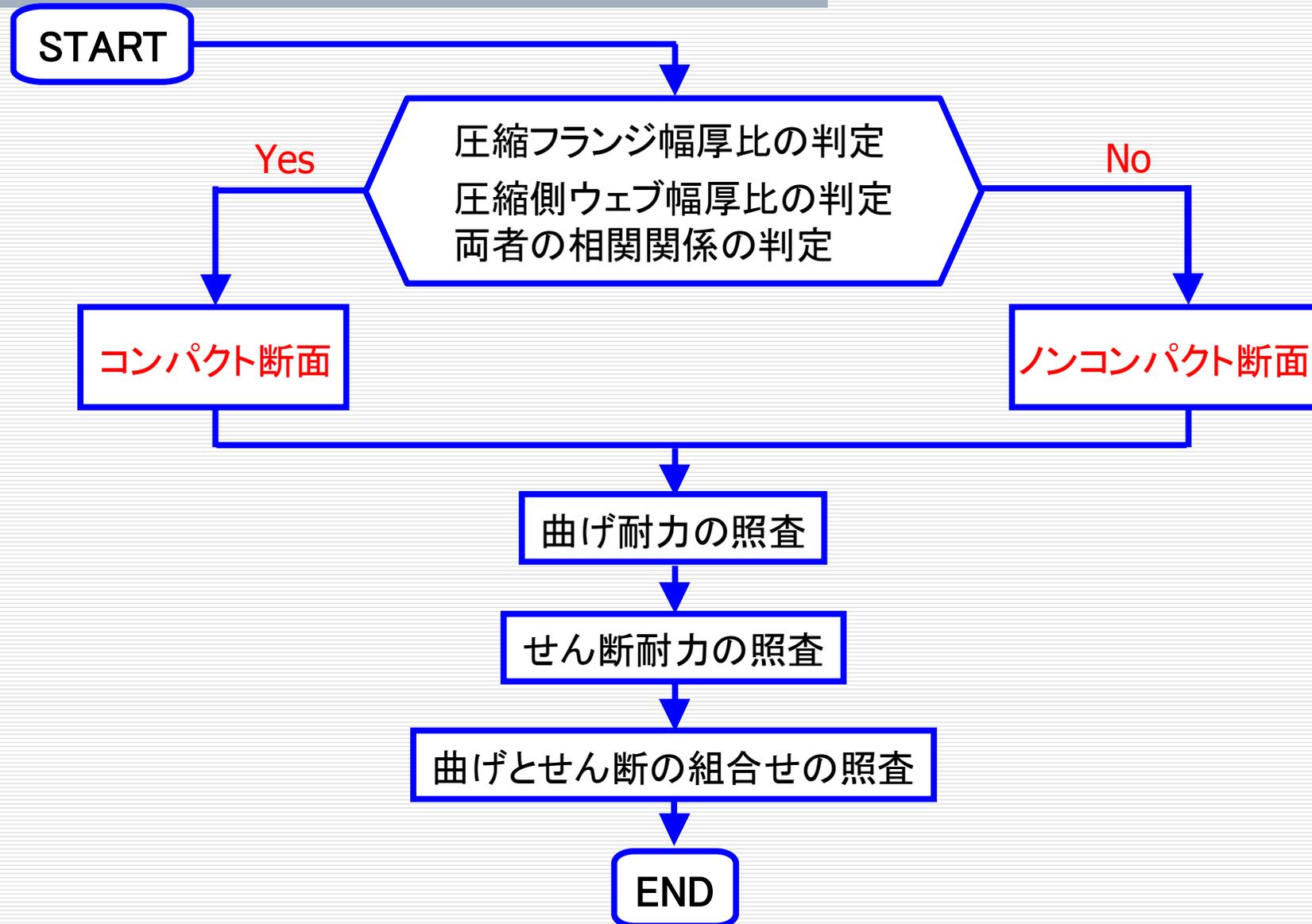
設計降伏強度 $\sigma_{y,f} = \sigma_{syk} / \gamma_{ms} = 450 / 1.0 = 450 \text{ N/mm}^2$

床版鉄筋 SD345

設計降伏強度 $\sigma_{y,r} = \sigma_{ryk} / \gamma_{mr} = 345 / 1.0 = 345 \text{ N/mm}^2$

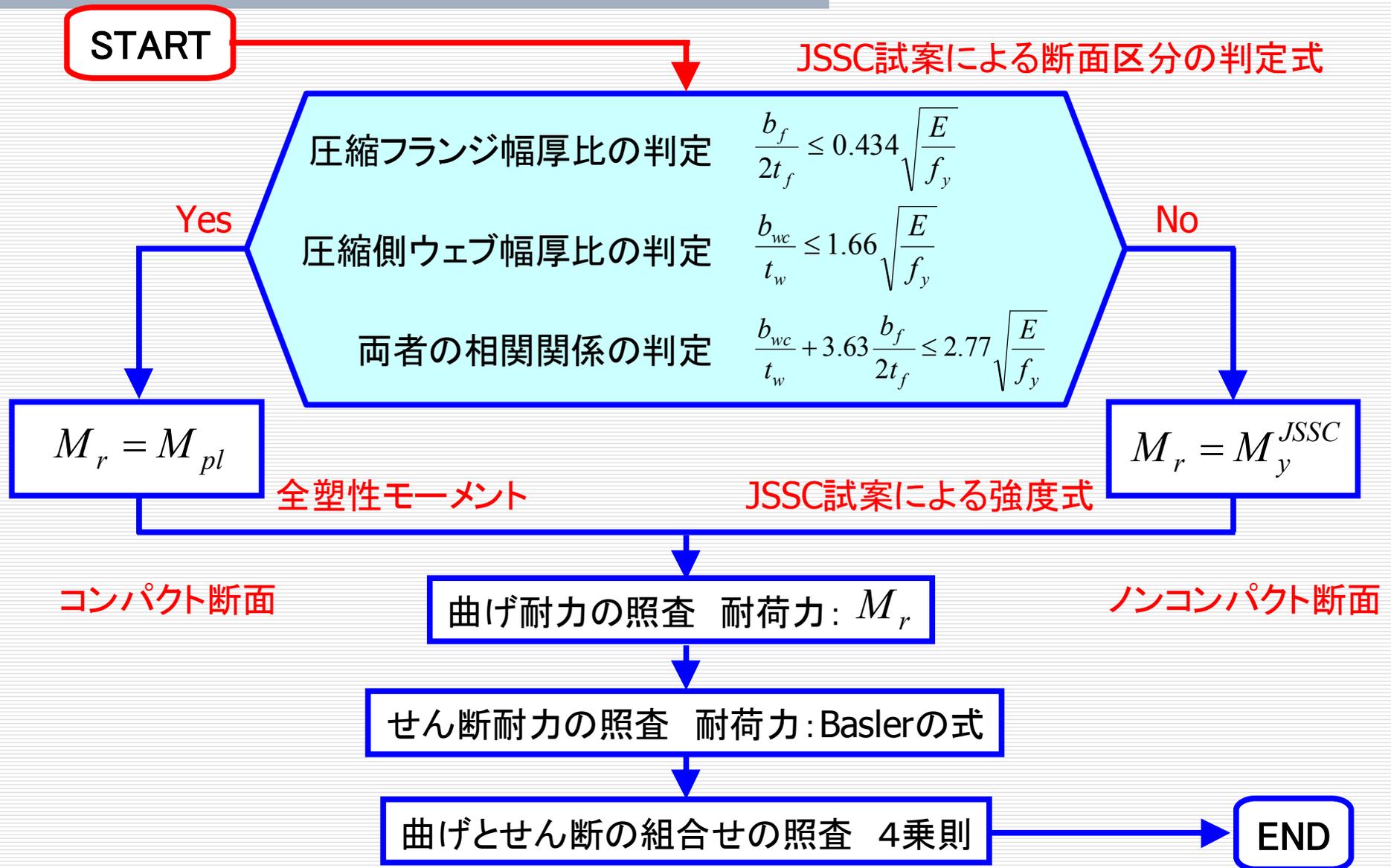


負曲げ照査フロー



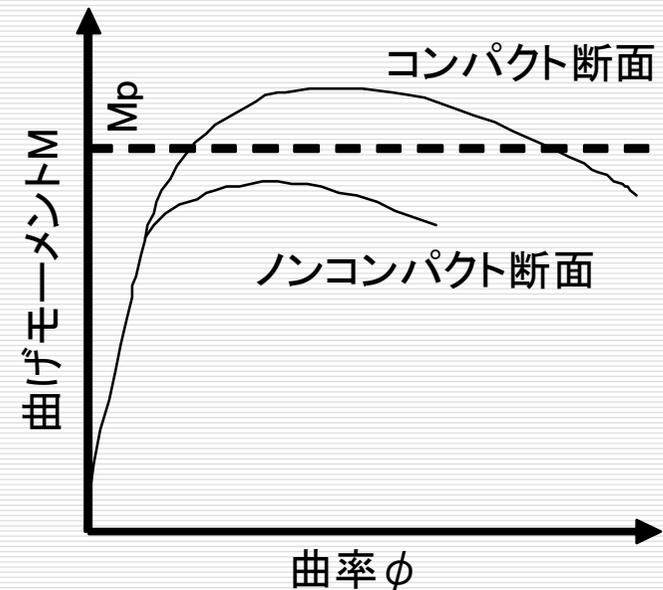
4. 1 曲げ耐力の照査

負曲げ照査フロー



断面区分

コンパクト断面か、ノンコンパクト断面の分類を行う。



■ 断面を区分する手順

STEP1

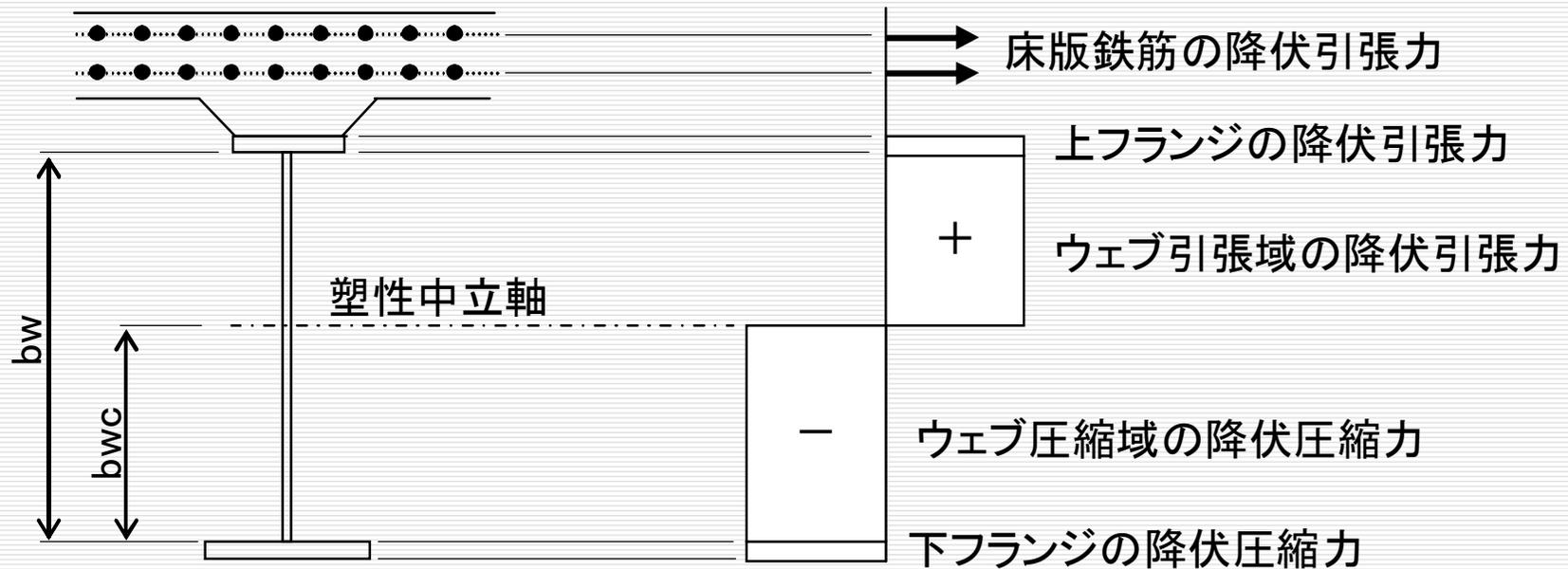
塑性中立軸を求める

STEP2

判定式による判定を行う

STEP1 塑性中立軸を求める

抵抗断面 [鋼桁 + 鉄筋]



負曲げモーメントにより全断面が降伏したときの中立軸を求める

$$bwc = 1345 \text{ mm} \quad \text{ウェブ圧縮端から塑性中立軸までの距離}$$
$$\alpha = bwc / bw = 0.57 \quad \text{ウェブ高 } bw \text{ との比}$$

STEP2 判定式による判定を行う

JSSC試案による断面区分の判定式

圧縮フランジ幅厚比の判定

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.434 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

圧縮側ウェブ幅厚比の判定

$$\frac{b_{wc}}{t_w} \leq 1.66 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

両者の相関関係の判定

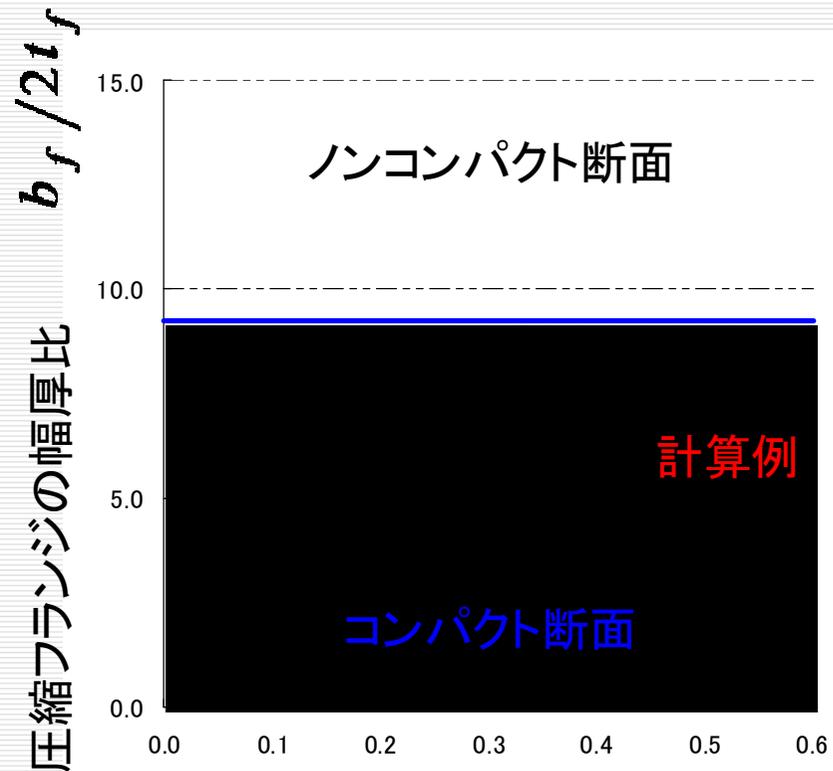
$$\frac{b_{wc}}{t_w} + 3.63 \frac{b_f}{2t_f} \leq 2.77 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

STEP2 判定式による判定を行う

圧縮フランジ幅厚比の判定

$$\frac{b_f}{2t_f} = 4.56 \leq 0.434 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 9.26$$

O.K.



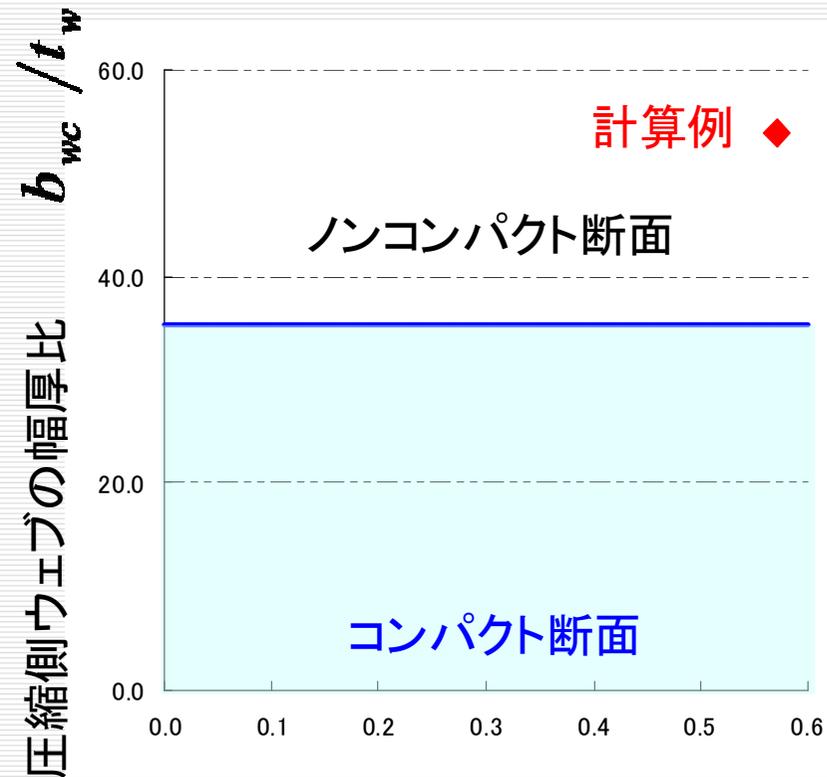
$$\alpha = \frac{b_{wc}}{b_w}$$

STEP2 判定式による判定を行う

圧縮側ウェブ幅厚比の判定

$$\frac{b_{wc}}{t_w} = 538 > 1.66 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 354$$

N.G.



$$\alpha = \frac{b_{wc}}{b_w}$$

STEP2 判定式による判定を行う

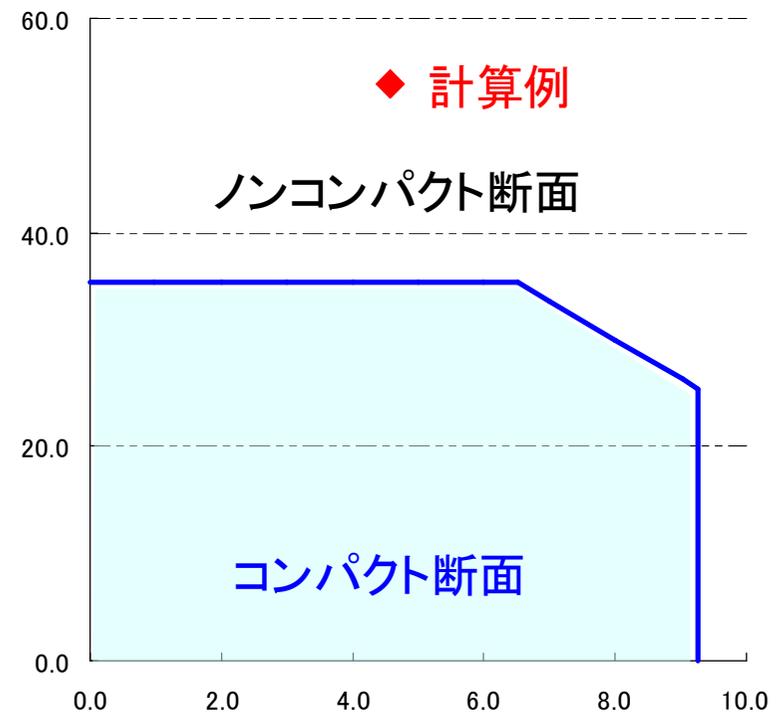
両者の相関関係の判定

$$\frac{b_{wc}}{t_w} + 3.63 \frac{b_f}{2t_f} = 710 > 2.77 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 591$$

N.G.

注) AASHTOでは両者の相関関係がないとみなされ、相関関係式は示されていない。

圧縮側ウェブの幅厚比 b_{wc}/t_w



圧縮フランジの幅厚比 $b_f/2t_f$

STEP2 判定式による判定を行う

圧縮フランジ幅厚比の判定

O.K.

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.434 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

圧縮側ウェブ幅厚比の判定

N.G.

$$\frac{b_{wc}}{t_w} \leq 1.66 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

両者の相関関係の判定

N.G.

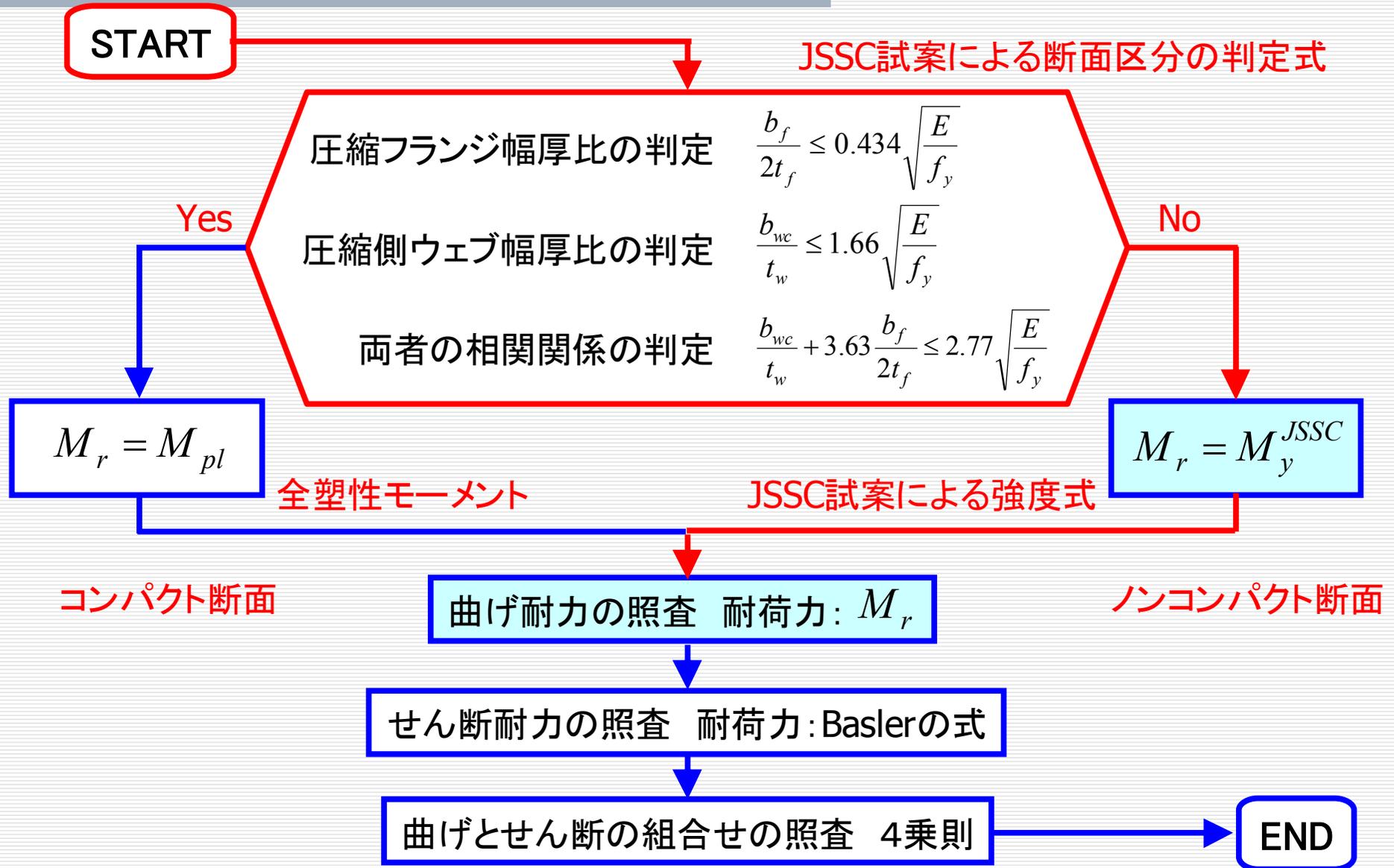
$$\frac{b_{wc}}{t_w} + 3.63 \frac{b_f}{2t_f} \leq 2.77 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

ノンコンパクト
断面と判定

※中間支点部が
ノンコンパクト断
面の場合、支間
中央の全塑性モー
メントにも制約
あり

$$M_r = \min(0.9M_{pl}, 1.3M_y)$$

負曲げ照査フロー



曲げ耐力の算出①

ノンコンパクト断面より、曲げ耐力 M_r の算出方法は以下のとおり。

① $\sigma_{ult,f} \leq \sigma_{ult,w}$ の場合

$$\frac{M_r}{M_y} = \frac{\sigma_{ult,f}}{\sigma_{y,w}}$$

M_r 曲げ耐力

M_y 降伏モーメント

$\sigma_{ult,f}$ 圧縮フランジの終局強度

$\sigma_{ult,w}$ ウェブの終局曲げ強度

$\sigma_{y,w}$ ウェブの降伏強度

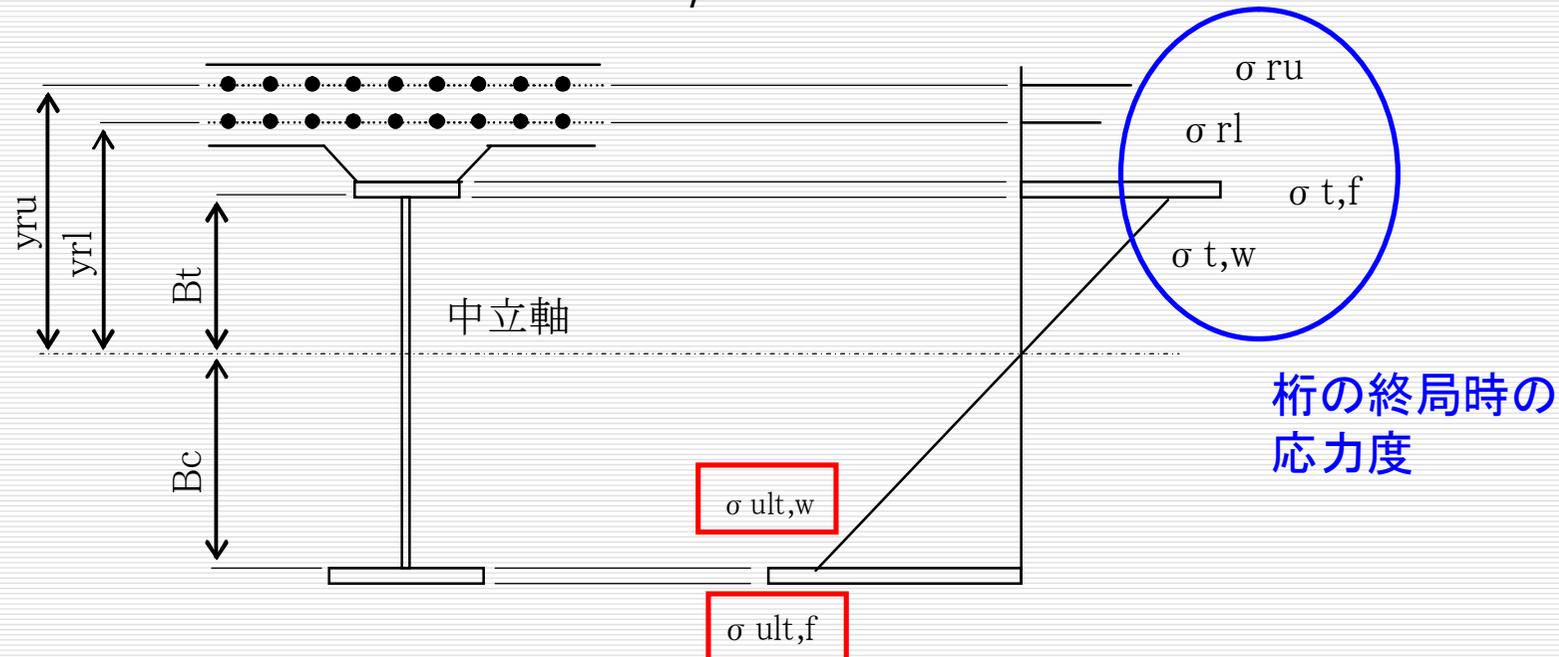
曲げ耐力の算出②

ノンコンパクト断面より、曲げ耐力 M_r の算出方法は以下のとおり。

② $\sigma_{ult,f} > \sigma_{ult,w}$ の場合

ウェブの後座屈強度を期待。
圧縮フランジ終局時が桁の終局時。
鉄筋の降伏を許容。

下図の応力分布より、 M_r を算出。



圧縮フランジの終局強度

圧縮フランジの終局強度 $\sigma_{ult,f}$ の算出

$$\sigma_{ult,f} = \min(\sigma_{ult,f1}, \sigma_{ult,f2})$$

$\sigma_{ult,f1}$ 圧縮フランジの横座屈強度

$\sigma_{ult,f2}$ 圧縮フランジの局部座屈強度

圧縮フランジの横座屈強度

圧縮フランジの横座屈強度 $\sigma_{ult,f1}$

$$\frac{\sigma_{ult,f1}}{\sigma_{y,f}} = \begin{cases} 1 & \lambda_f \leq 0.2 \\ 1 - 0.412 \times (\lambda_f - 0.2) & 0.2 < \lambda_f \leq 1.415 \end{cases}$$

$$\lambda_f = \sqrt{\sigma_{y,f} / \sigma_{e,f}}$$

$$\sigma_{e,f} = \frac{\pi^2 \times E}{12} \left(\frac{b_f}{L} \right)^2$$

$\sigma_{y,f}$ 圧縮フランジの降伏強度

E 圧縮フランジのヤング率

L 圧縮フランジの有効座屈長
(固定点間距離)

弾性座屈応力度

圧縮フランジの局部座屈強度

圧縮フランジの局部座屈強度 $\sigma_{ult,f2}$

$$\frac{\sigma_{ult,f2}}{\sigma_{y,f}} = \begin{cases} 1 & \lambda_f \leq 0.7 \\ (0.7/\lambda_f)^{0.64} & 0.7 < \lambda_f \end{cases}$$

$$\lambda_f = \sqrt{\sigma_{y,f} / \sigma_{e,f}}$$

$$\sigma_{e,f} = K_c \times \frac{\pi^2 \times E}{12 \times (1 - \mu^2)} \left(\frac{2t_f}{b_f} \right)^2$$

$K_c = 0.425$ 座屈係数

$\mu = 0.3$ 圧縮フランジのポアソン比

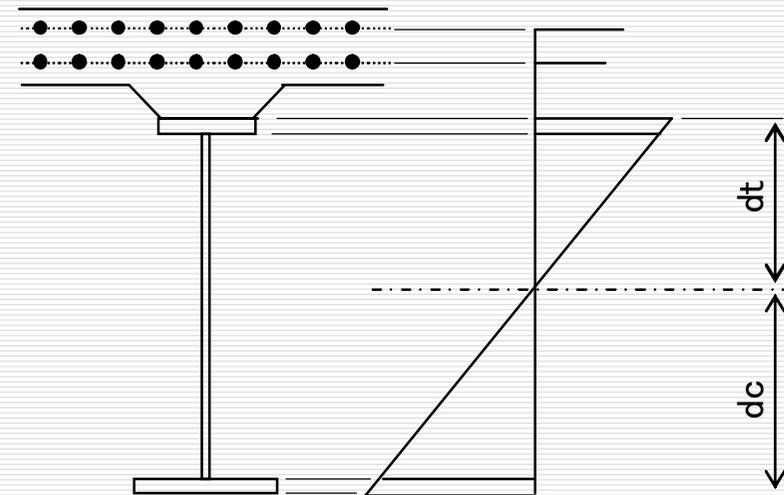
弾性座屈応力度

ウェブの終局曲げ強度

ウェブの終局曲げ強度 $\sigma_{ult,w}$ の算出

- i) 曲げ ($\psi = -1$)
- ii) 曲げ引張 ($-7 \leq \psi \leq -1$)
- iii) 圧縮 ($\psi = 1$)
- iv) 曲げ圧縮 ($-1 \leq \psi \leq 1$)

に区別して定義する



$$\psi = -dt/dc$$

参考文献

JSSCテクニカルレポート:ハイブリッド桁の限界状態設計法試案
(社)日本鋼構造協会

ウェブの終局曲げ強度 i) 曲げ

ウェブの終局曲げ強度 i) 曲げ ($\psi = -1$) $\sigma_{ult,w1}$

$$\frac{\sigma_{ult,w1}}{\sigma_{y,w}} = \begin{cases} 1 & \lambda_w \leq 1.0 \\ (1.0/\lambda_w)^{0.72} & 1.0 < \lambda_w \end{cases}$$

$$\lambda_w = \sqrt{\sigma_{y,w}/\sigma_{e,w}}$$

$$\sigma_{e,w} = K_b \times \frac{\pi^2 \times E}{12 \times (1 - \mu^2)} \left(\frac{t_w}{b_w} \right)^2$$

$\sigma_{y,w}$ ウェブの降伏強度

E ウェブのヤング率

$K_b = 23.9$ 座屈係数

$\mu = 0.3$ ウェブのポアソン比

弾性座屈応力度

ウェブの終局曲げ強度 ii) 曲げ引張

ウェブの終局曲げ強度

ii) 曲げ引張 ($-7 \leq \psi \leq -1$) $\sigma_{ult,w2}$

$$\frac{\sigma_{ult,w2}}{\sigma_{y,w}} = \begin{cases} 1 & \lambda_w \leq 1.0 \\ (1.0/\lambda_w)^{0.72} & 1.0 < \lambda_w \end{cases}$$

$$\lambda_w = \sqrt{\sigma_{y,w}/\sigma_{e,w}}$$

$$\sigma_{e,w} = K_b \times \frac{\pi^2 \times E}{12 \times (1 - \mu^2)} \left(\frac{t_w}{b_w} \right)^2$$

$$K_b = 23.9 \times \left(\frac{1 - \psi}{2} \right)^2$$

弾性座屈応力度

座屈係数

ウェブの終局曲げ強度 iii) 圧縮

ウェブの終局曲げ強度 iii) 圧縮 ($\psi = 1$) $\sigma_{ult,w3}$

$$\frac{\sigma_{ult,w3}}{\sigma_{y,w}} = \begin{cases} 1 & \lambda_w \leq 0.7 \\ (0.7/\lambda_w)^{0.86} & 0.7 < \lambda_w \end{cases}$$

$$\lambda_w = \sqrt{\sigma_{y,w} / \sigma_{e,w}}$$

$$\sigma_{e,w} = K_b \times \frac{\pi^2 \times E}{12 \times (1 - \mu^2)} \left(\frac{t_w}{b_w} \right)^2 \quad K_b = 4.0 \quad \text{座屈係数}$$

弾性座屈応力度

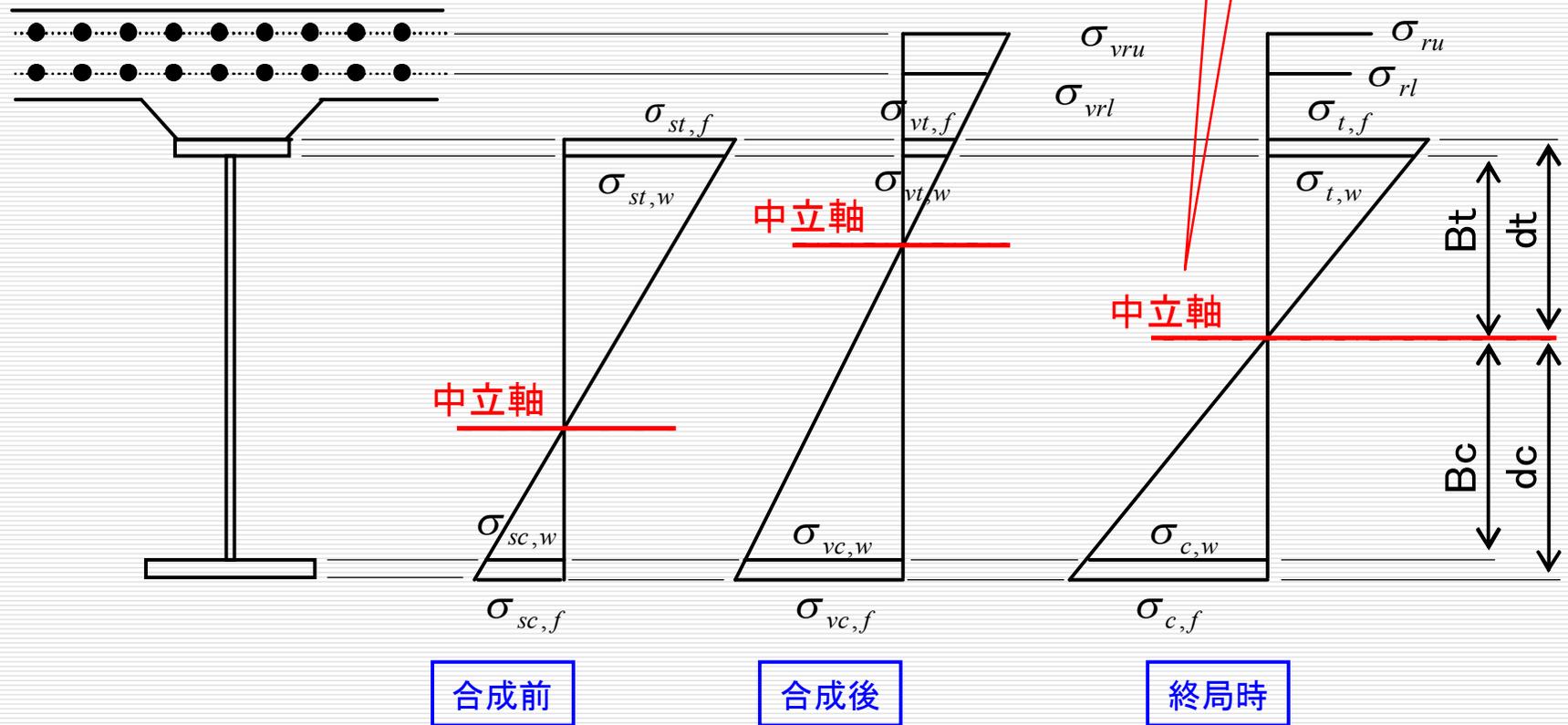
ウェブの終局曲げ強度 iv) 曲げ圧縮

ウェブの終局曲げ強度
iv) 曲げ圧縮 ($-1 \leq \psi \leq 1$) $\sigma_{ult,w4}$

$$\sigma_{ult,w4} = \frac{1}{\frac{1+\psi}{2\sigma_{ult,w3}} + \frac{1-\psi}{2\sigma_{ult,w1}}}$$

中立軸位置の算出

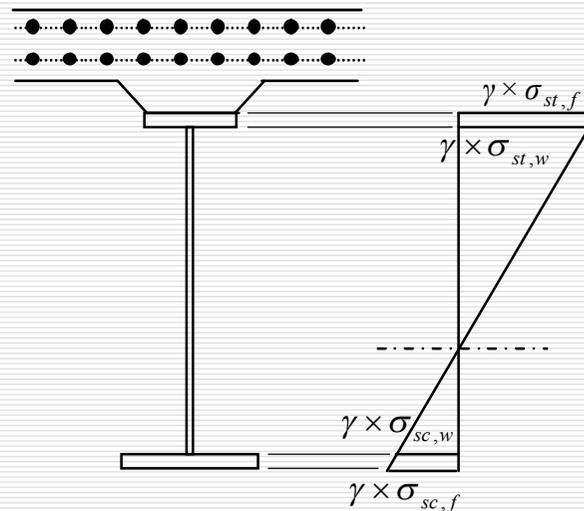
終局時の中立軸位置が不明



中立軸位置の算出

<STEP1>合成前状態(鋼桁)での応力状態の算出

- ・合成前死荷重による曲げ応力を算出。
- ・曲げ応力を荷重係数 γ 倍する。

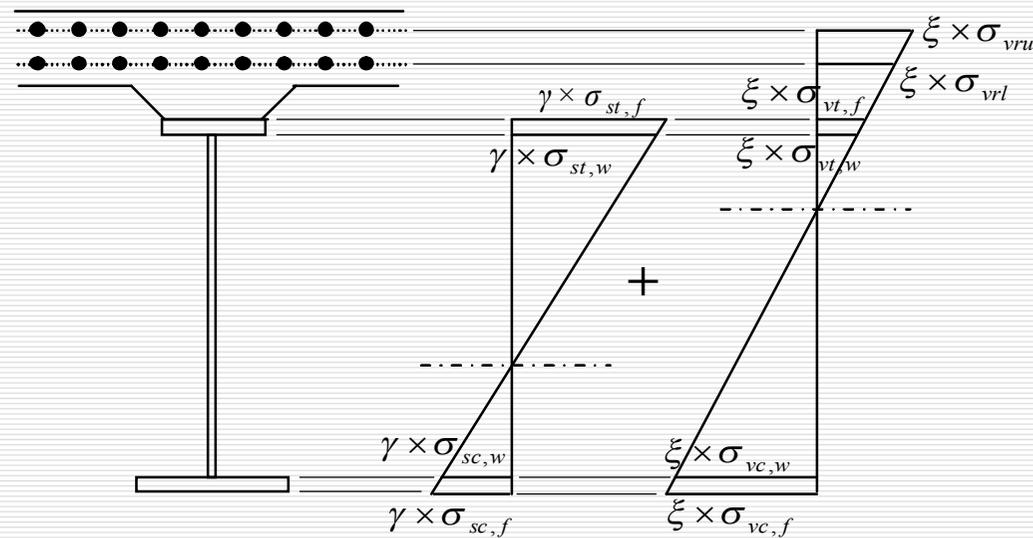


<STEP1> 合成前

中立軸位置の算出

<STEP2>合成後状態(鋼桁+鉄筋)での応力状態の算出

- ・合成後死荷重、および活荷重による曲げ応力を算出。
- ・応力勾配 ψ を仮定し、ウェブの弾性座屈応力と一致するまで、曲げ応力を ξ 倍する。



<STEP1>

合成前

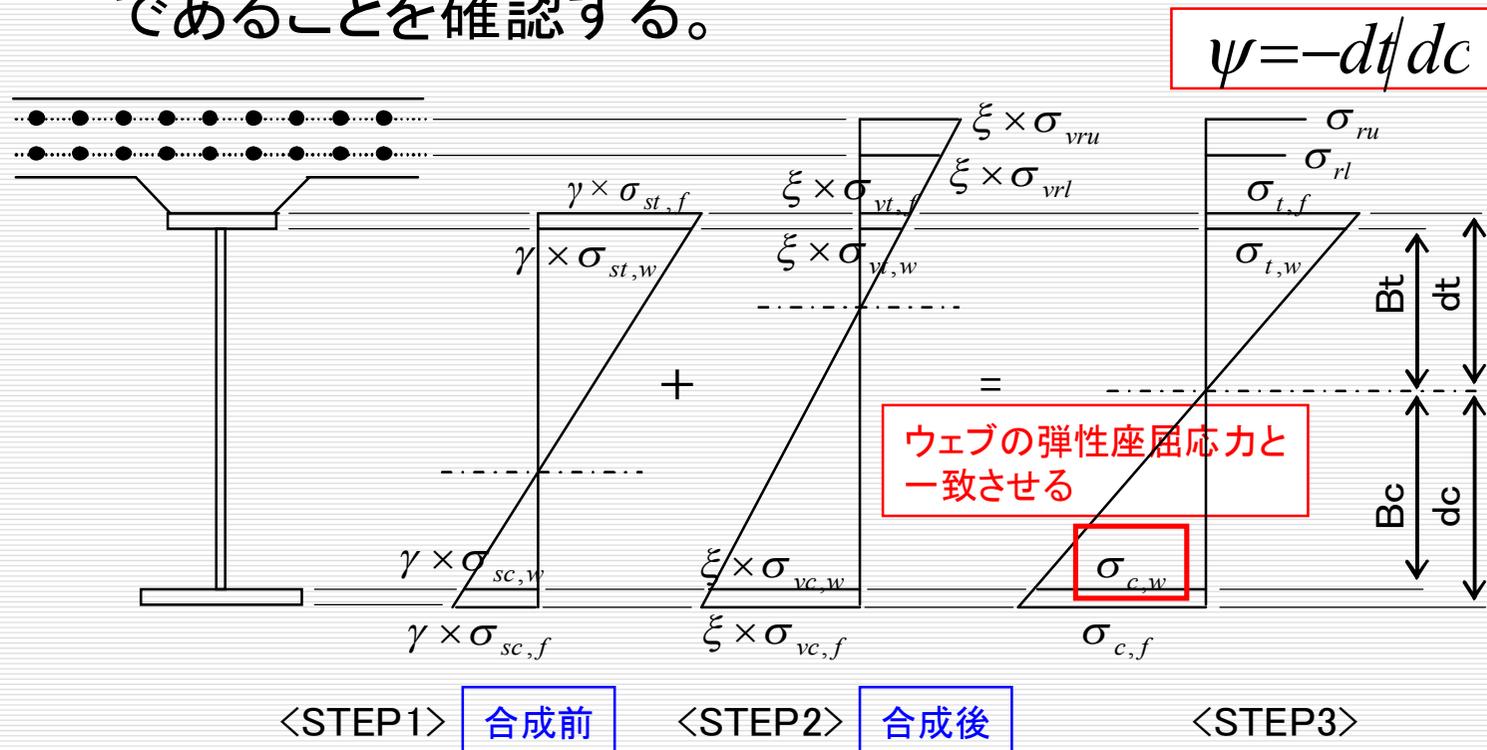
<STEP2>

合成後

中立軸位置の算出

<STEP3>STEP1とSTEP2の応力の和から
中立軸位置を求める

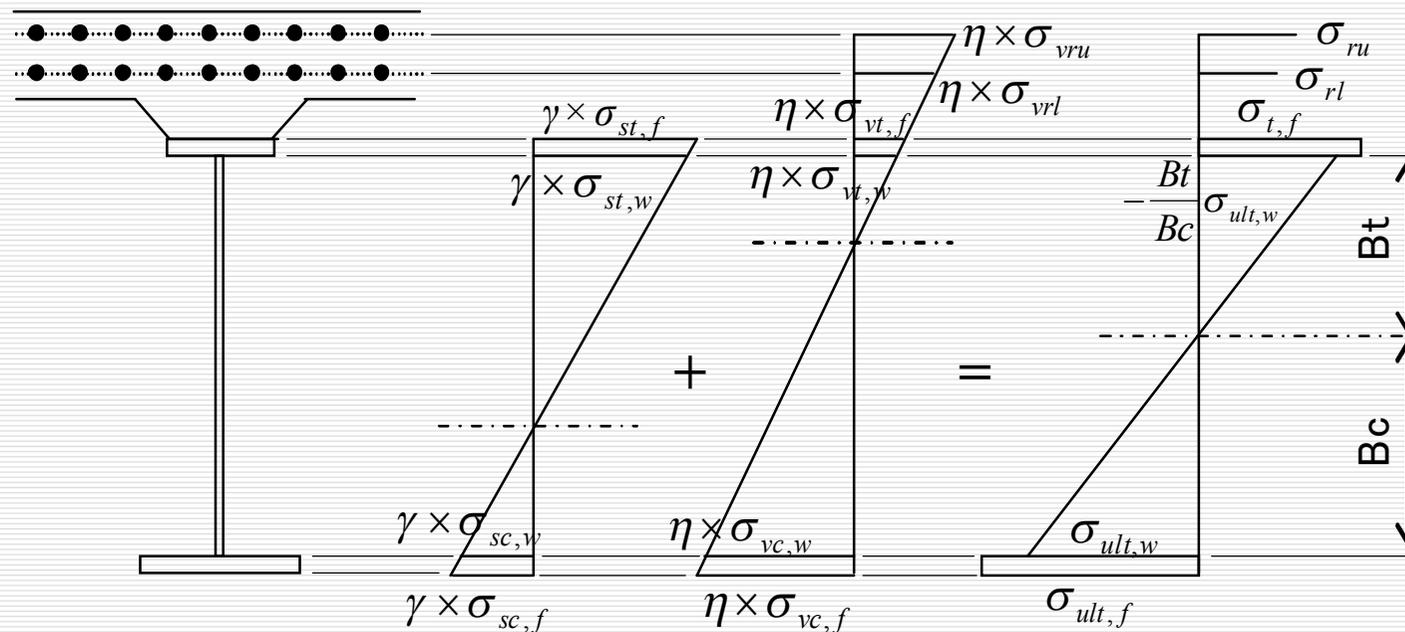
・応力勾配 ψ について、仮定した値と計算結果が同じであることを確認する。



曲げ耐力の照査

② $\sigma_{ult,f} > \sigma_{ult,w}$ の場合に該当し、
下図の応力状態から曲げ耐力 M_r を算出

$$M_r = 65662(kNm)$$



曲げ耐力の照査

応答値(設計断面力)



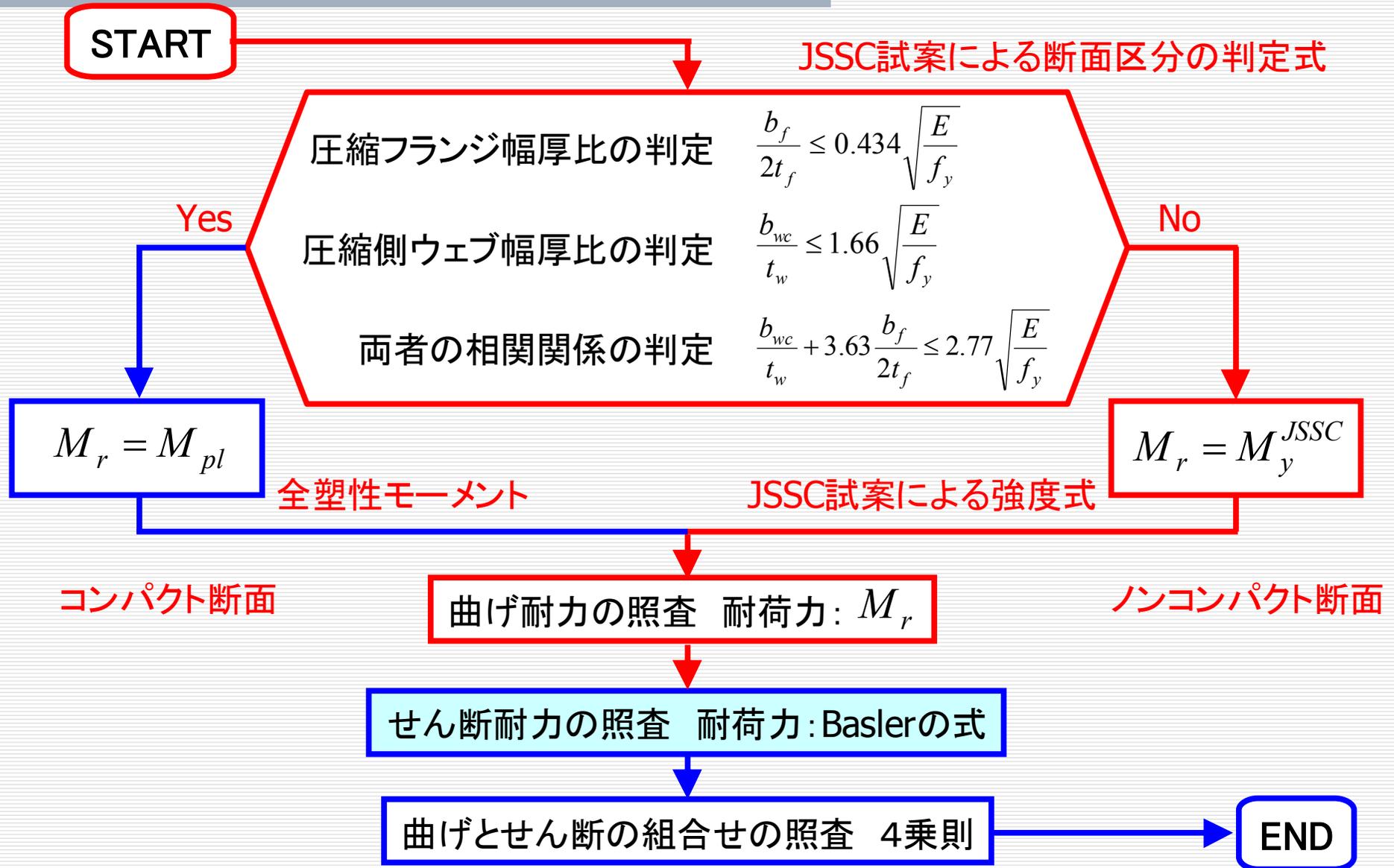
$$\gamma_i = \frac{M_{sd}}{M_{rd}} = \frac{M_{\max}}{M_r / \gamma_b} = \frac{55350}{65662 / 1.0} = 0.84 \leq 1.0$$



限界値(設計部材耐力)

O.K.

負曲げ照査フロー



4. 2 せん断耐力の照査

せん断耐力の算出

せん断耐力 V_r は、Baslerの式を用いて算出

$$\frac{V_r}{V_y} = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1 - \tau_{cr}/\tau_y}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$$

$$\tau_{cr} = \begin{cases} \tau_e \\ \sqrt{0.8\tau_e\tau_y} \end{cases} \quad \text{せん断座屈応力度}$$

$$\tau_e = k_s \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{b_w} \right)^2 \quad \text{弾性せん断座屈応力度}$$

$$k_s = \begin{cases} 5.34 + 4.00/\alpha^2 & (\alpha \geq 1) \\ 4.00 + 5.34/\alpha^2 & (\alpha < 1) \end{cases} \quad \text{座屈係数}$$

V_y せん断降伏強度

τ_y せん断降伏応力度

α ウェブのアスペクト比

せん断耐力の照査

応答値(設計断面力)



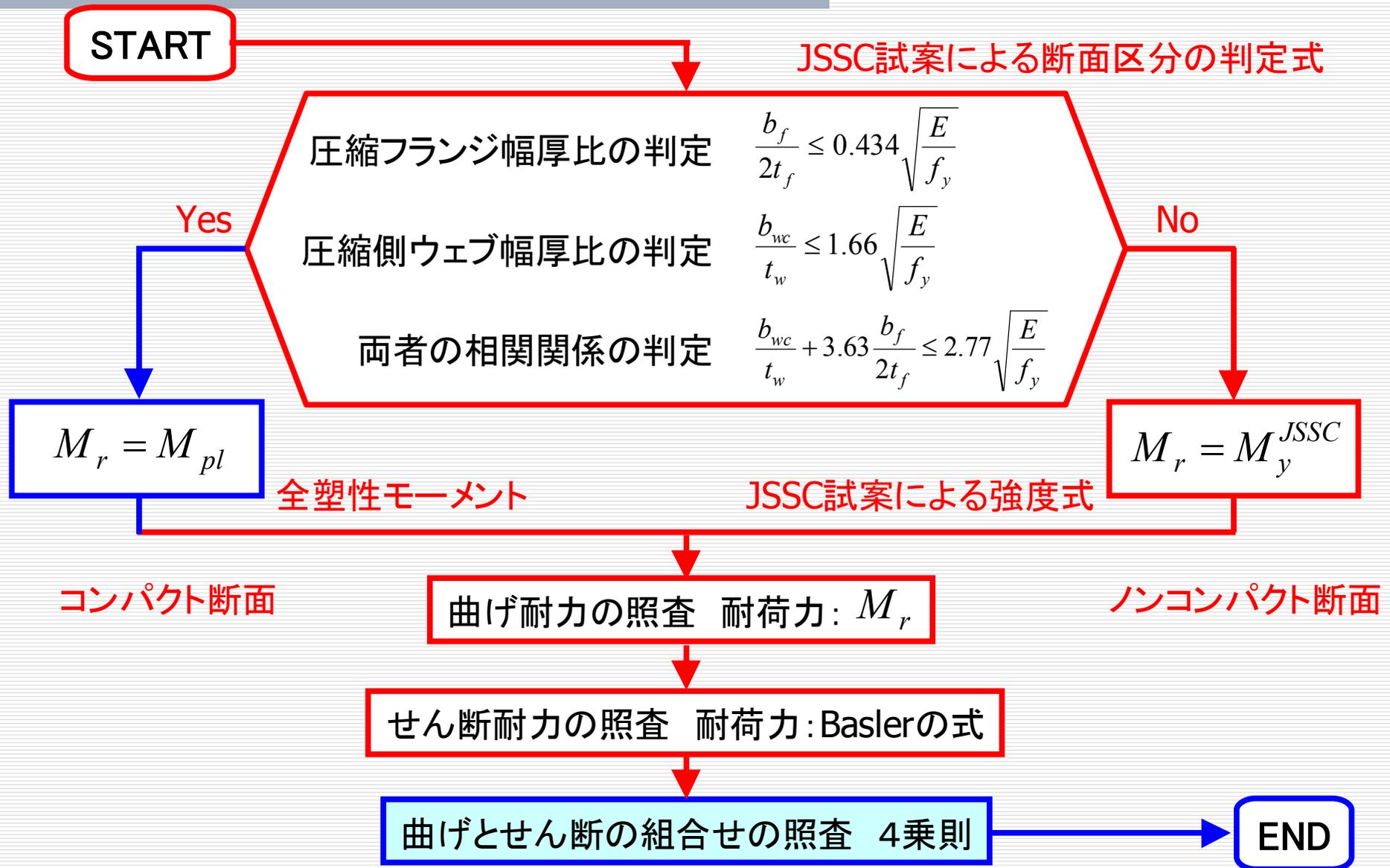
$$\gamma_i = \frac{V_{sd}}{V_{rd}} = \frac{V_{\max}}{V_r / \gamma_b} = \frac{6181}{10479 / 1.0} = 0.59 \leq 1.0$$



限界値(設計部材耐力)

O.K.

負曲げ照査フロー



4. 3 曲げとせん断の組合せの 照査

曲げとせん断の相関強度

曲げとせん断の相関強度の照査式

$$\gamma_i^4 \times \left\{ \left(\frac{M_{sd}}{M_{rd}} \right)^4 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{rd}} \right)^4 \right\} \leq 1$$

注) 道示では相関強度を2次式としているため、
垂直補剛材間隔について道示を適用する
場合は注意が必要である

曲げとせん断の相関強度の照査

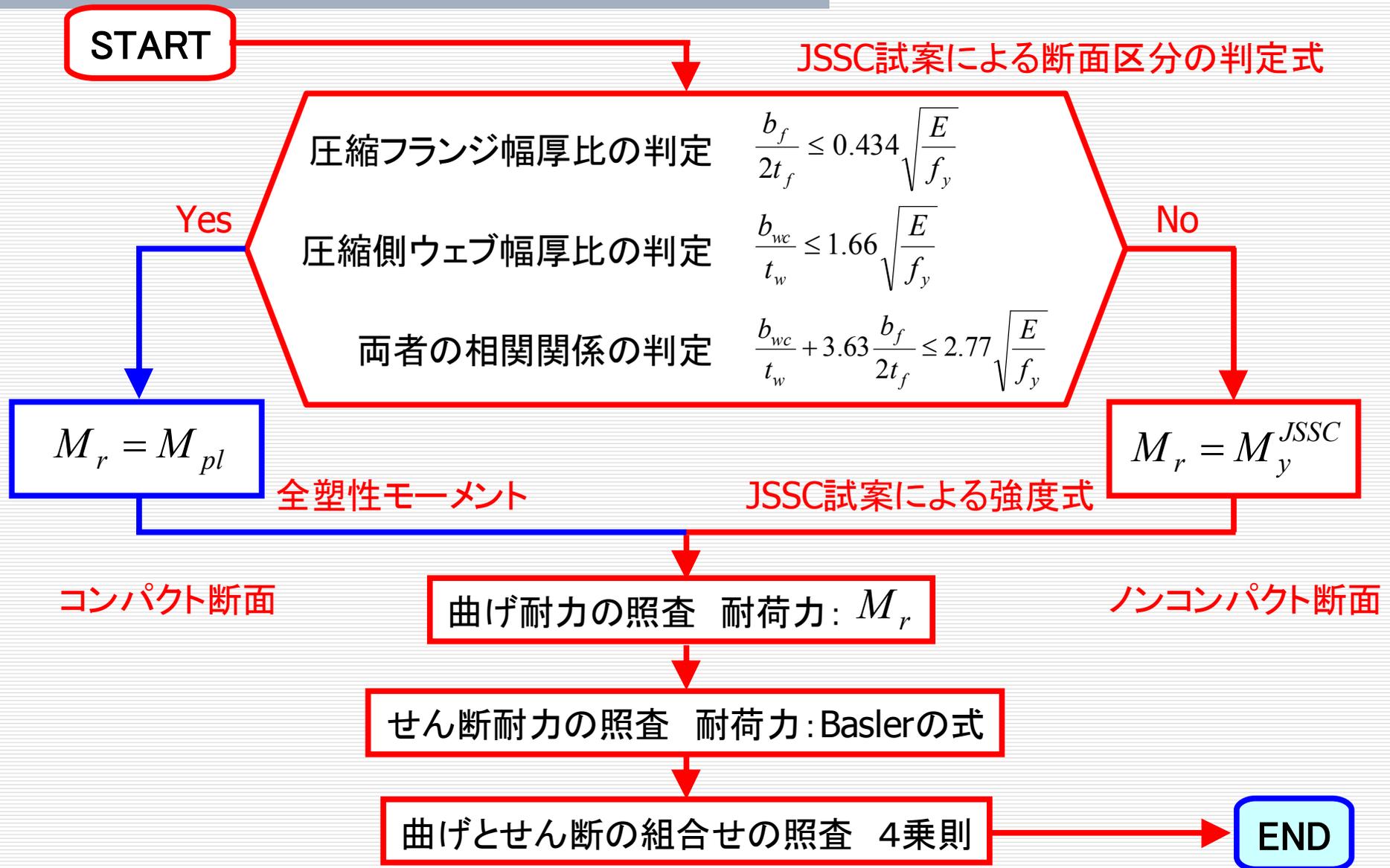
応答値(設計断面力)

$$\gamma_i^4 \times \left\{ \left(\frac{M_{sd}}{M_{rd}} \right)^4 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{rd}} \right)^4 \right\} = 1.0^4 \times \left\{ \left(\frac{55350}{65662} \right)^4 + \left(\frac{6181}{10479} \right)^4 \right\} = 0.63 \leq 1$$

限界値(設計部材耐力)

O.K.

負曲げ照査フロー



5. 今後の発展のための検討項目 (案)

今後の検討項目(案)①

■断面区分について

i) 架設時(鋼桁断面)に対する断面区分

今後の検討項目(案) ②

■強度式について

- i) 塑性中立軸位置と中間支点部の塑性回転性能による曲げ耐力の低減の組合せに関する考え方
- ii) 中間支点部の圧縮フランジの横座屈強度式
- iii) 架設時(鋼桁断面)に対するウェブの曲げとせん断相関弾性座屈の照査に用いるべき相関式
- iv) 架設時(鋼桁断面)に対する弾性横ねじれ座屈モーメントの算定に用いる係数と荷重作用位置の考え方

今後の検討項目(案) ③

■照査方法について

- i) 終局限界状態において鉄筋の塑性化を許容するか否か
- ii) 終局限界状態における床版について、桁作用と床版作用の重ね合わせの取り扱い
- iii) 使用限界状態におけるウェブブリージングの照査方法

今後の検討項目(案) ④

■その他

i) スタッドジベルの構造細目

今後の検討項目(案) ①— i)

架設時(鋼桁断面)に対する断面区分

- ・標準示方書には、ISO(1997)の断面区分が表-解5.3.4に示されている

今後の検討項目(案) ②— i)

塑性中立軸位置と中間支点部の塑性
回転性能による、曲げ耐力の低減の
組合せに関する考え方

- ・本設計計算例では、「全塑性モーメントの0.9倍」と「降伏モーメントの1.3倍」の小さい方を用いた

$$M_r = \min(0.9M_{pl}, 1.3M_y)$$

今後の検討項目(案) ②一 ii)

中間支点部の圧縮フランジの横座屈強度式

- ・本設計計算例では、JSSC試案に基づいた局部座屈強度と横座屈強度を用いて、両者の小さい方から圧縮フランジの終局強度を算出した

$$\sigma_{ult,f} = \min(\sigma_{ult,f1}, \sigma_{ult,f2})$$

$\sigma_{ult,f1}$ 圧縮フランジの横座屈強度

$\sigma_{ult,f2}$ 圧縮フランジの局部座屈強度

今後の検討項目(案) ②一iii)

架設時(鋼桁断面)に対するウェブの 曲げとせん断相関弾性座屈の照査 に用いるべき相関式

- ・道示では、Chwallaの相関式が示されているが、せん断座屈に対しては後座屈強度を考慮して、安全率を1.7から1.25に低減している
- ・架設時には損傷を発生させないため、後座屈強度は考慮しない方が良い

今後の検討項目(案) ②—iv)

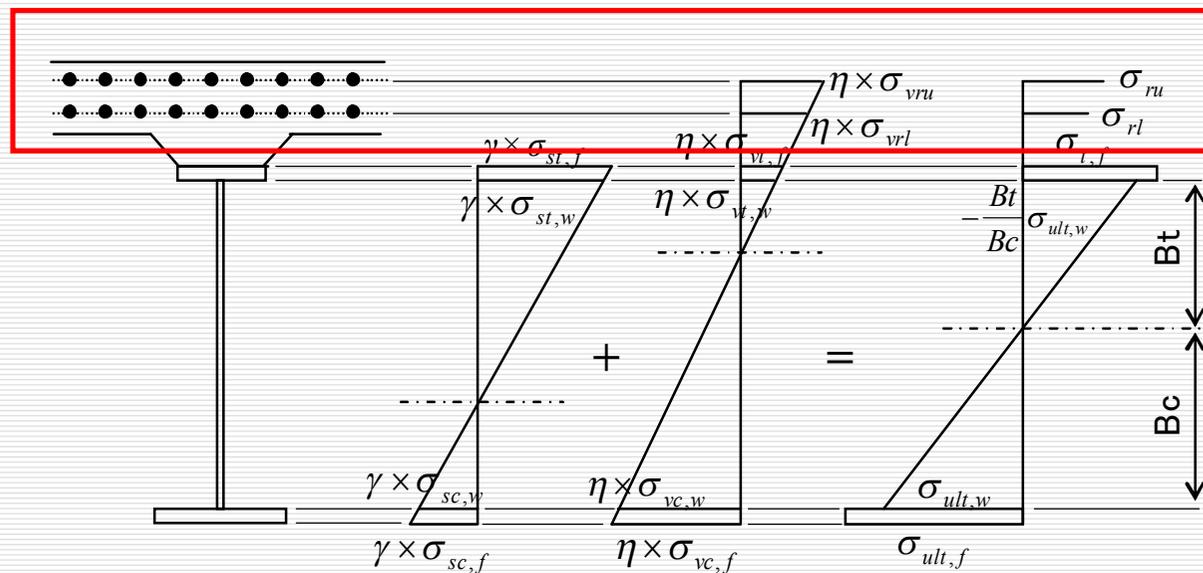
架設時(鋼桁断面)に対する弾性横ねじれ座屈モーメント M_E の算定に用いる係数と荷重作用位置の考え方

- ・標準示方書に示されているI断面はりの弾性横ねじれ座屈モーメントの式(解5.3.12)には単純な支持条件、および荷重条件しか示されていない

今後の検討項目(案) ③—i)

終局限界状態において鉄筋の 塑性化を許容するか否か

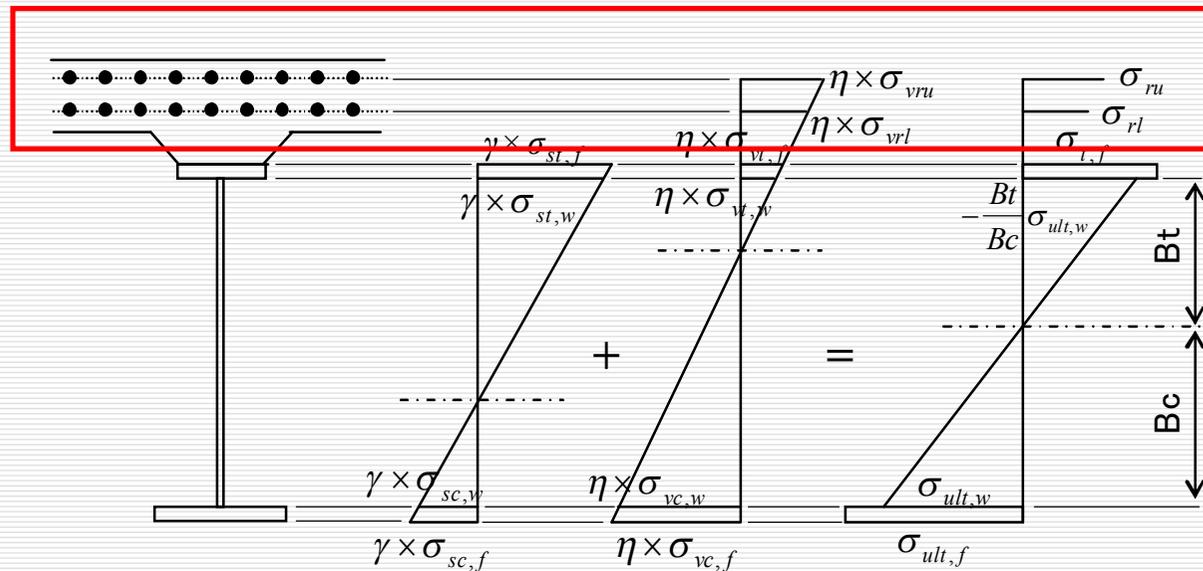
- ・本設計計算例では、鉄筋の塑性化を許容した



今後の検討項目(案) ③—ii)

終局限界状態における床版について、
桁作用と床版作用の重ね合わせの取り扱い

- ・本設計計算例では、重ね合わせを考慮していない



今後の検討項目(案) ③—iii)

使用限界状態におけるウェブ ブリージングの照査方法

- ・本設計計算例では、JSSC試案に基づき
EC(EuroCode)の照査式を用いた

今後の検討項目(案) ④—i)

スタッドジベルの構造細目

- ・本設計計算例では、道示の構造細目を考慮した
- ・各限界状態の適用範囲と、構造細目の整合が課題