

計算例の説明

長岡技術科学大学

長井 正嗣

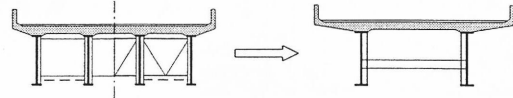
合成桁計算例の説明

— 第11回鋼構造基礎講座 —



鋼橋の競争力アップ対応

- 非合成多主桁 ⇒ (合成)少数主桁
- 薄肉多補剛 ⇒ 厚肉少補剛
↓ 薄板化(研究課題)
- 横桁, 対傾構, 横構 ⇒ 小型(形鋼)横桁



- ・塗装面積減少
- ・応力集中箇所の減少

合成桁(世界標準)

⇒ 桁橋の約5%程度(日本)

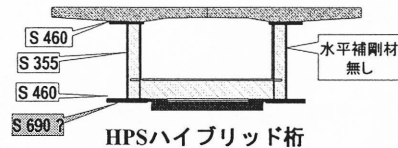
- * 過去の床版損傷が大きく影響
- * 「絶対に採用しない」?? ← 安心感を与える努力
- * PC桁はどうしてOKか??

フランス

by J.Raoul(SETRA)

次の競争力アップ戦略

2重合成桁



HPSハイブリッド桁



無補剛厚板の2箱桁

by Prof.Reis (リスボン工科大学)

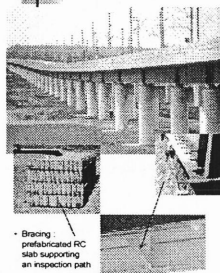
: at SDSS(リスボン)国際会議

【競争のためには!!】

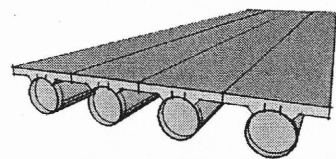
- 1) 合成2主I桁がメイン(スパン30~100m, 幅員20~25mまで)
- 2) 多主I桁は桁高制限がある場合のみ採用
- 3) 床版はスパン12mを超えるとプレストレスする
【プレストレスしない場合、横桁を入れる(or 小型の縦桁と組み合わせる)】
- 4) 鋼フランジ厚は30~150mm
- 5) ウェブ高(h_w)/板厚(t_w)は100~250
- 6) 水平補剛材はウェブ高3,000mm以上になると検討
(4,000mmでも採用しなかった実績あり)

韓国

(箱桁の国??)

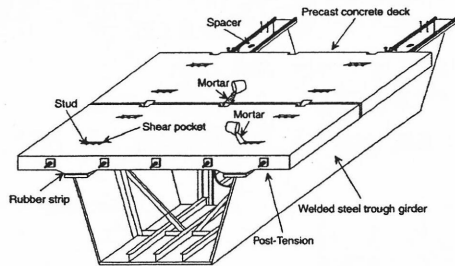


2重合成桁



CFTガーダー

韓国
(箱桁の国??)

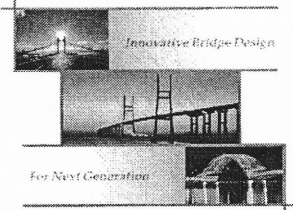


プレキャストPC床版合成開断面箱桁

韓国(KBRC:ソウルナショナル大)

コード作成(2004 から開始 : 3億円/年x5年 =15億円PJ)

本PJでは、AASHTOをフォロー



教育セミナーが始まっている!!

【反応】競争力がアップすることから歓迎

What's next ?

許容応力度設計法

WSD

⇒ 限界状態設計法

【照査 : 部分係数フォーマット】

LSD with PFF(Partial Factor Format)

設計法 : 部分係数法による照査

γ (部分係数) ⇒ 信頼性の高い(γ)が期待

S(作用) ⇒ 高度(精緻)な解析による応答値

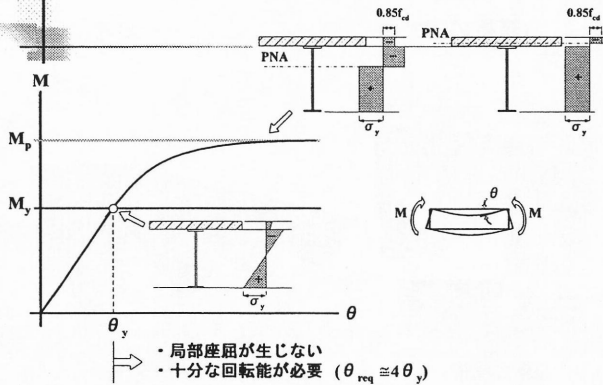
(3D-FEA-based design : 鋼構造委員会)

R(抵抗) ⇒ 1)塑性域の利用

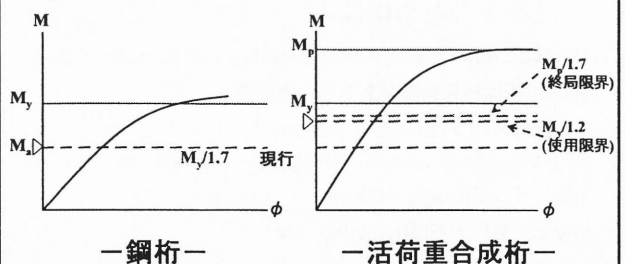
2)部材レベルの強度評価

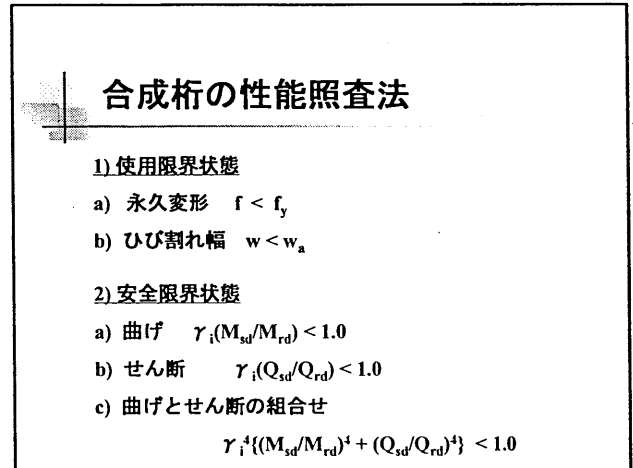
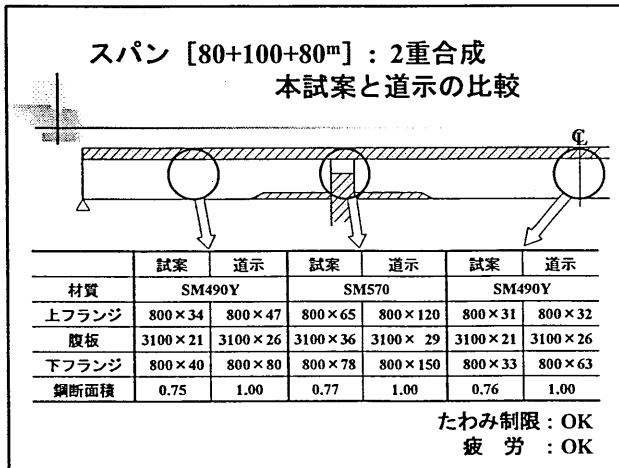
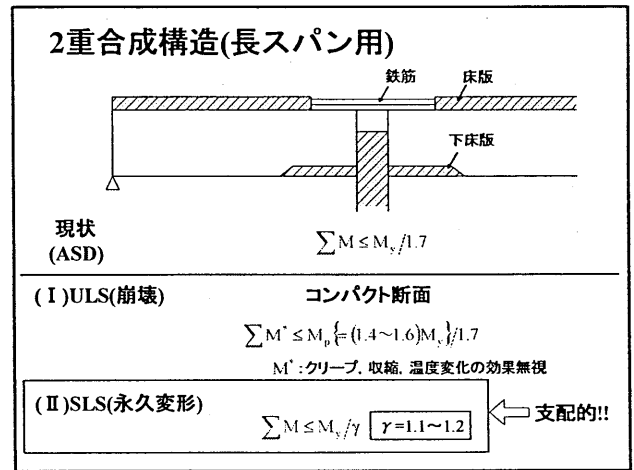
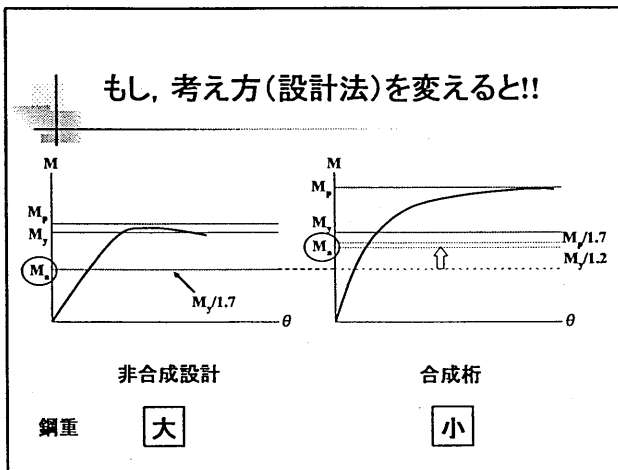
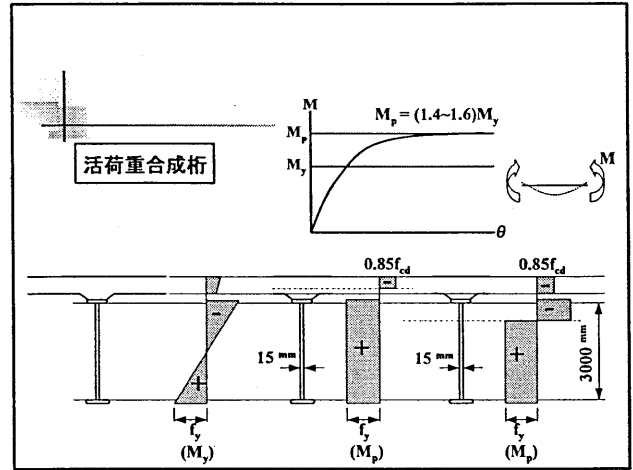
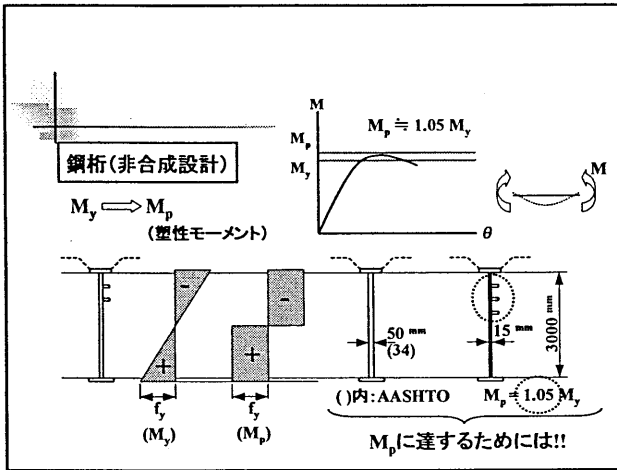
→ 橋全体システムの強度評価

合成桁のM- θ 関係



何が変わる!!





合成桁の曲げ強度

$$\sigma_b = \frac{M}{I} y \leq \sigma_a (= \sigma_{cr} / \gamma)$$

I: 有効幅考慮

σ_{cr} : min. {降伏点, 横倒れ座屈強度, 局部座屈強度}

【ウェブの座屈設計】

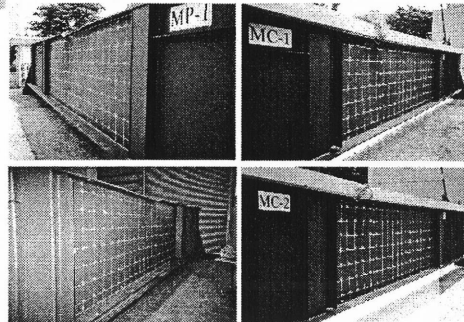
- プレートガーダーの最小腹板厚 -

鋼種	SS400	SM490	SM490Y	SM570
	SM400 SMA400W		SM520 SMA490W	SMA570W
水平補剛材のないとき	b/152	b/130	b/123	b/110
水平補剛材を1段用いるとき	b/256	b/220	b/209	b/188
水平補剛材を2段用いるとき	b/310	b/310	b/294	b/262

b: 上下両フランジの純間隔 (cm)

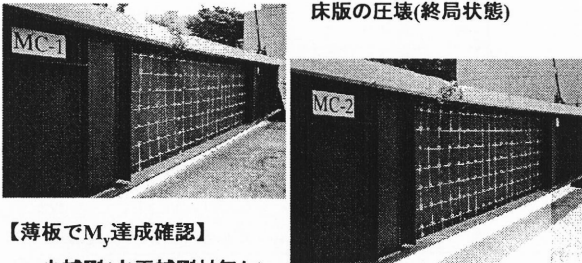
鋼桁, 合成桁の(純)曲げ試験

アスペクト比=3.0



千鳥の沢川橋(旧JH北海道)の設計

床版の圧壊(終局状態)

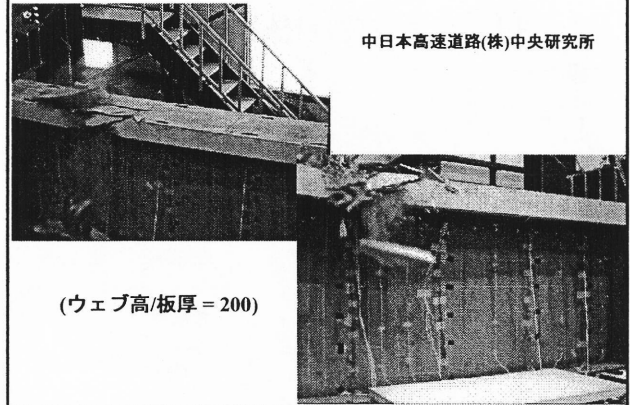


【薄板で M_y 達成確認】

- ・少補剛(水平補剛材無し)
- ・ウェブ厚23mm(道示) \Rightarrow 18mm(薄板化: M_y 達成)

合成I桁の終局曲げ強度(正曲げ)

中日本高速道路(株)中央研究所



(ウェブ高/板厚 = 200)

2重合成I桁の終局曲げ強度(負曲げ)

中日本高速道路(株)中央研究所



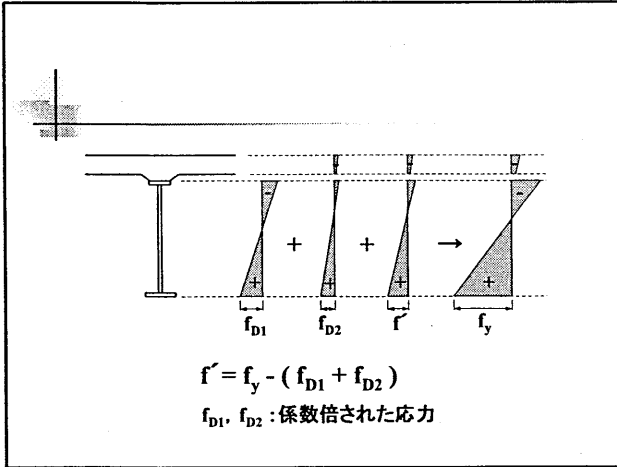
(ウェブ高/板厚 = 150)

M_y (降伏モーメント)

$$f_y = \frac{M_{D1}}{S_S} + \frac{M_{D2}}{S_V} + \frac{M'}{S_V} \Rightarrow M' \text{を求める}$$

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M'$$

- f_y : 鋼材の降伏応力
- M_{D1} : 係数倍された前死モーメント
- M_{D2} : 係数倍された後死モーメント
- S_S : 鋼材の断面係数
- S_V : 合成桁の断面係数



(mm)

(鋼桁)
 $A_s = 786.6 \times 10^2$
 $I_s = 10,676,755 \times 10^4$
 $S_s = I_s / 1,426$ (縁端距離)
 $= 7,487.2 \times 10^4$

(合成桁)
 $I_v = 29,175,493 \times 10^4$
 $S_v = I_v / 2,744$
 $= 10,632.5 \times 10^4$

$f_y = 355 \text{ MPa}$
 $M_{D1} = 11.75 \text{ MN}\cdot\text{m}$
 $M_{D2} = 1.42 \text{ MN}\cdot\text{m}$
 $M_{L+1} = 10.68 \text{ MN}\cdot\text{m}$

ケース1 荷重係数 死荷重:1.7, 活荷重:1.7

$$355 = \frac{1.7 \times 11.75 \times 10^9}{7,487 \times 10^4} + \frac{1.7 \times 1.42 \times 10^9}{10,633 \times 10^4} + \frac{M'}{10,633 \times 10^4}$$

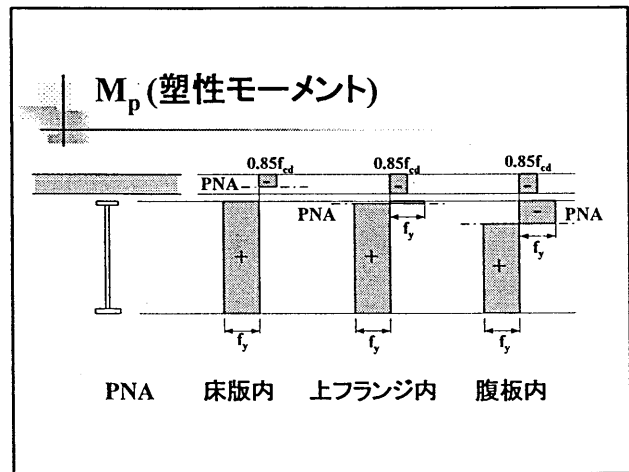
$M' \cong 6.96$
 $M_y = 1.7 \times 11.75 + 1.7 \times 1.42 + M' = 29.35 \text{ MN}\cdot\text{m}$

ケース2 荷重係数 死荷重:1.3, 活荷重:2.0

$$355 = \frac{1.3 \times 11.75 \times 10^9}{7,487 \times 10^4} + \frac{1.3 \times 1.42 \times 10^9}{10,633 \times 10^4} + \frac{M'}{10,633 \times 10^4}$$

$M' \cong 14.21$
 $M_y = 1.3 \times 11.75 + 1.3 \times 1.42 + M' = 31.33 \text{ MN}\cdot\text{m}$

仮に死・活荷重合成桁とすると
 $M_y = 355 \times S_v = 37.70 \text{ MN}\cdot\text{m}$



M_p の計算例

i) 塑性中立軸(PNA)の計算

床版上縁からの距離をxとおく。
 つり合い条件(軸力=0)からxを求める。
 $f_{cd} = 40 \text{ MPa}$ とする。

$$0.85 \times 40 \times 5,166 \times x = 355 \times 786.6 \times 10^2$$

鋼桁断面積

$x = 159 \text{ mm}$ (床版内)

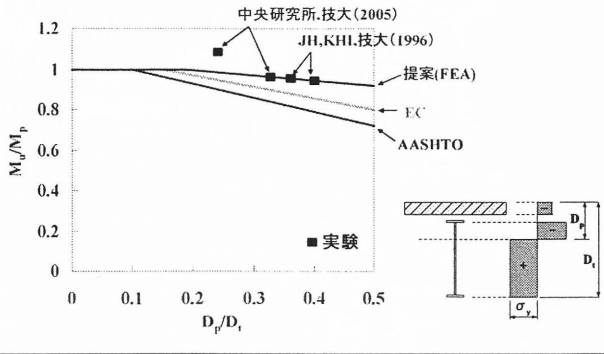
(注)床版内に無い場合は別計算

ii) M_p (PNAまわり)の計算

$$0.85 \times 40 \times 5,166 \times 159 \times 159/2 + 355 \times 600 \times 26 \times 234 + 355 \times 2,924 \times 15 \times 1,709 + 355 \times 600 \times 32 \times 3,187 = 51.86 \text{ MN}\cdot\text{m}$$

下縁はPNAから各部材(上, 下フランジと腹板)の重心までの距離

Ductility条件(床版の先行圧壊)



現状 (ASD) $\sum M \leq M_y / 1.7$

(I) ULS(崩壊) コンパクト $\sum M \leq M_{ult} / 1.7$ ノンコンパクト $\sum M \leq M_y / 1.7$ コンパクト $\sum M \leq M_{ult} / 1.7$

$M_{ult} = 1.3M_y$ (AASHTO LRFD)
 $= 0.9M_p$ (EC)

(II) SLS(永久変形) $\sum M \leq M_y / \gamma$ $\gamma = 1.1 \sim 1.2$

中間支点上は変化なし!!

$M_y = 29.5 \text{ MN} \cdot \text{m}$ $M_y = 51.9 \text{ MN} \cdot \text{m}$

750 × 26 600 × 26
2924 × 15 2924 × 15
750 × 38 600 × 38
(SM490Y) (SM490Y)
As 0.85As

(A) 現行WSD (左側断面)
下フランジ応力 208.5 MPa < 210 MPa で決定

(B) 右側断面

1) 安全限界 (1.3D + 2.0L)
 $M_{ult.} = 1.3M_y = 40.73 \text{ MN} \cdot \text{m}$ ($M_p > 1.3M_y$ より)
 $> 1.3 \times 11.75 + 1.3 \times 1.42 + 2.0 \times 10.68 = 38.48 \text{ MN} \cdot \text{m}$

【架設時】
 $\sigma = \frac{11.75 \times 10^9}{10.676,755 \times 10^4} \times 1,556 = 171.2 \text{ MPa} < 219 \text{ MPa}$
横ねじれ座屈より

2) 使用限界 (1.0D + 1.3L)
 $\sigma = 302 \text{ MPa} < \sigma_y (= 355 \text{ MPa})$

合成桁のせん断強度

(1) 降伏

$$\tau = \frac{Q}{A_w} \leq \tau_a = \frac{\tau_y}{\gamma} \quad \tau_y = (\sigma_y / \sqrt{3})$$

(2) 座屈

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_E} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_E} \right)^2 \leq 1.0$$

—合成桁—
 $Q_u = 1.29 \text{ MN}$ $Q_u = 1.50 \text{ MN}$ (16% up)
【Basler式に良い一致】

【具体的設計：千鳥の沢川橋】

- ・アスペクト比: 1.5 ⇒ 3.0
- ・照査式
 $\gamma^4 \left\{ \left(\frac{M_{ult}}{M_y} \right)^4 + \left(\frac{Q_{ult}}{Q_y} \right)^4 \right\} \leq 1.0$ ($\gamma = 1.7$)
Basler式

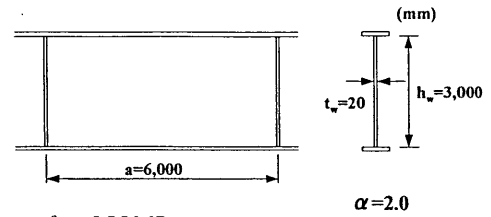
Basler式

$$\frac{\tau_{ult}}{\tau_y} = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1 - (\tau_{cr}/\tau_y)}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$$

座屈強度 後座屈強度(斜め張力場)

$$\left(\begin{array}{l} \tau_{cr} = \tau_E \\ = \sqrt{0.8\tau_y\tau_E} \end{array} \quad \begin{array}{l} \tau_E < 0.8\tau_y \\ 0.8\tau_y < \tau_E \end{array} \right)$$

せん断耐力の計算 (Basler式)



$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$\tau_y = f_y / \sqrt{3} = 205 \text{ MPa}$$

$$\tau_E = k_t \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{h_w} \right)^2$$

$$E = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.3$$

$$\alpha = a/h_w = 2.0 > 1.0$$

$$k_t = 5.34 + \frac{4.00}{\alpha^2} = 6.34$$

$$= 6.34 \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{20}{3,000} \right)^2$$

$$= 50.9 \text{ MPa} < 0.8\tau_y$$

$$\tau_{cr} = \tau_E$$

$$\frac{\tau_{ult}}{\tau_y} = \frac{\tau_{cr}}{\tau_y} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1 - (\tau_{cr}/\tau_y)}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$$

$$= \frac{50.9}{205} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{1 - (50.9/205)}{\sqrt{1 + 4}}$$

$$= 0.248 + 0.387 \times (1 - 0.248)$$

$$= 0.248 + 0.291$$

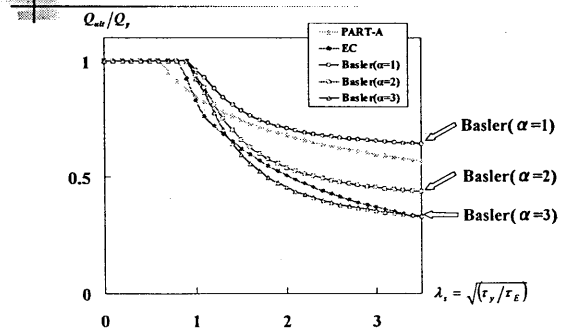
$$= 0.539$$

$$\tau_{ult} = 0.539\tau_y = 110.5 \text{ (MPa)}$$

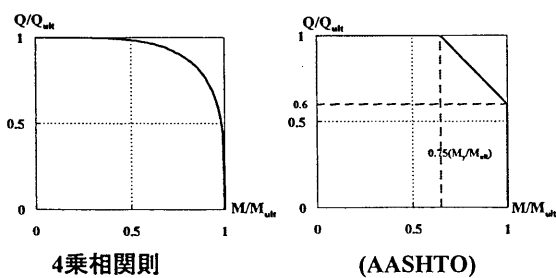
$$Q_{ult} = 3,000 \times 20 \times 110.5$$

$$= 6,630 \text{ kN}$$

せん断強度の比較



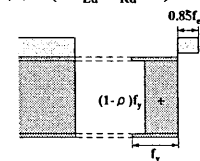
合成桁の曲げ, せん断相関強度



曲げとせん断の組合せ(EC)

クラス1 & 2

$$\text{if } V_{Ed}/V_{Rd} > 0.5, \rho = (2V_{Ed}/V_{Rd} - 1)^2$$



クラス3 & 4

$$\text{if } \eta_3 = (V_{Ed}/V_{Rd}) > 0.5$$

$$\eta_1 + (1 - M_{f,Rd}/M_{pl,Rd})(2\eta_3 - 1)^2 < 1.0$$

断面計算及びスタッドの計算例は、
当日配布予定の資料で説明します。

