

鋼橋の部分係数および
安全評価に関する設計について

村上茂之（岐阜大学）

第 回鋼構造基礎講座

「鋼橋の設計法—その歴史変遷, 最新情報から未来の設計法まで—」

鋼橋の部分係数および安全評価に関する設計について

岐阜大学 村上茂之

小委員会報告書の構成(1)

目次構成

第1編 調査研究編

第2編 示方書案編

第3編 資料編(非公開)

議事録、小委員会資料など

第1編、第2編は、土木学会鋼構造委員会の当小委員会のサイトから閲覧できます。

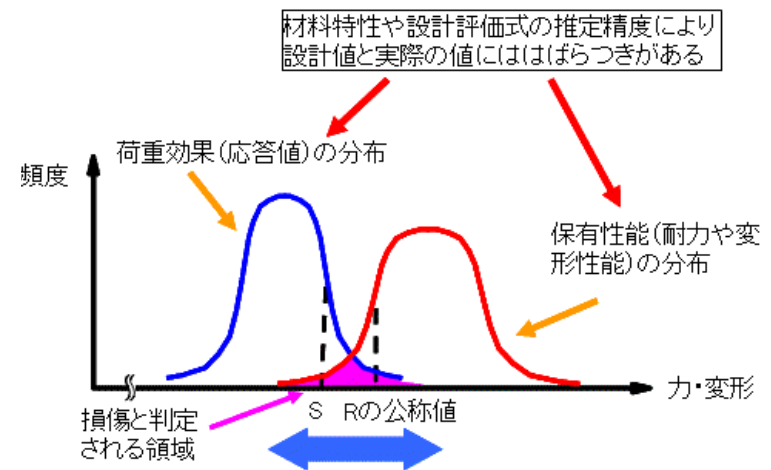
概要 小委員会について

名称: 土木学会 鋼構造委員会
部材耐力の部分係数および
安全性評価に関する検討小委員会

活動期間: 2008年12月から2011年11月

目的: 鋼・合成構造標準示方書の部材耐力に関連する耐荷力式、部分係数について設計コードとしての完成度を高める

部分係数とは？



この関係を適切に設定することで合理的な設計が可能

(独)土木研究所 耐震研究グループ耐震チームのHPより引用

限界状態設計法の分類

「この関係を適切に設定する」方法は3つ

表 確率に基礎をおいた限界状態設計法の分類

設計法	基本変数	信頼性評価	照査
レベルⅠ	決定変数	部分係数、荷重係数、抵抗係数	照査式
レベルⅡ	確率変数 平均、分散、共分散	信頼性指標 β	目標信頼性指標 β_T
レベルⅢ	確率変数 確率分布	破壊確率 P_F	期待総費用最小化規準 許容破壊確率など

文献)本城勇介:地盤構造物の設計論と設計コード,第39回地盤工学研究発表会

これまでの研究活動、出版物(2)

・福本ゆう士ら:

総合研究A「鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究」

課題番号62302040、1990.3.

基本となる部分係数＝材料係数

＋製作係数

＋設計係数

部材係数＝（製作係数＋設計係数）の関係

これまでの研究活動、出版物(1)

・東海鋼構造研究グループ:

鋼構造部材の抵抗強度評価と信頼性設計への適用(上)(下)、橋梁と基礎、1980.11.

・福本ゆう士:

座屈設計研究に関する現状と課題、土木学会論文集、第380号/I-7、1987.4.

これまでの研究活動、出版物(3)

・土木学会:

鋼構造物の終局強度と設計、1994.7.

座屈パラメータの小さい領域での係数を、分けている。

$$\Phi_{p0} = 0.92$$

Φ_p = 科研の推奨値と同じ

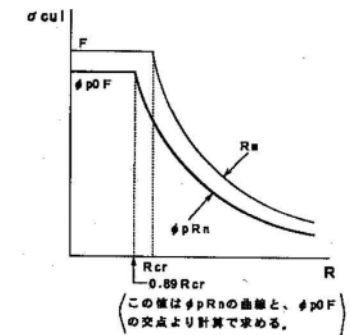


図 1.2 板要素の強度曲線

これまでの研究活動、出版物(4)

- ・土木学会：
鋼構造物設計指針PART A、B、1997.4

部分係数(科研の推奨値) =

試験法係数(=材料係数、0.92)×部材強度係数
として提示している。

小委員会報告書(第1編)の構成

第1編 調査研究編

- § 1 概要
- § 2 土研資料に基づく試設計
- § 3 SGSTフォーマットによる曲げ部材の
抵抗強度評価
- § 4 土研資料データを用いた
SGSTフォーマットでの整理
- § 5 まとめ

これまでの研究活動、出版物(5)

鋼・合成構造標準示方書(2007)

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

第5章の5.2部材係数の解説

「これらは基本的に鋼構造物設計指針PartAに示された抵抗係数の逆数を取ったものである」

と、部材係数 γ_b の根拠は鋼構造物設計指針であることが記されている。

第1編 §2 土研資料に基づく試設計

土木研究所資料 第4141号

「鋼道路橋の部分係数設計法に関する検討」

許容応力度設計法による試設計

⇒信頼性指標 β をFORM法を用いて解析する
(レベルⅡ)

⇒目標信頼性指標 β_T の設定

⇒ β_T を用いて部分抵抗係数 γ_R を設定

⇒部分係数設計法で設計、比較

第1編 §2 部分係数

部分係数を用いた基礎式

$$\gamma_D D_k + \gamma_L L_k \leq \frac{\gamma_R R_k}{\gamma_a}$$

上式 左辺が荷重値、右辺が抵抗値に関する確率変数

D: 死荷重

L: 活荷重

R: 抵抗値

$\gamma_D, \gamma_L, \gamma_R$: 部分係数

γ_a : 調整係数 (=1.0)

第1編 §2 部分係数

信頼性指標 β

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - (\mu_D + \mu_L)}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_D^2 + \sigma_L^2}}$$

それぞれが独立な確率変数となる抵抗値、死荷重、活荷重からなる従属変数である性能関数の平均値、分散を用いて信頼性指標が定義される

部分係数

性能関数のバラツキに対する各説明変数のバラツキの比を感度係数 α とすると

$$\gamma_R = \gamma_R(\beta) = \left(1 - \beta_T \alpha_R \frac{\sigma_R}{\mu_R}\right) \cdot \frac{\mu_R}{R_k}$$

第1編 §2 性能関数の例

非合成桁のせん断強度

$$Z_1 = \frac{\sigma_Y}{\sqrt{3}} \cdot A_w - (S_L + S_D) = \frac{x_1}{\sqrt{3}} \cdot x_2 - (x_3 + x_4)$$

非合成桁の曲げ引張り強度

$$Z_2 = \sigma_Y \cdot \left(\frac{I}{y_t}\right) - (M_L + M_D) = x_1 \cdot x_2 - (x_3 + x_4)$$

非合成桁の横倒れ座屈強度

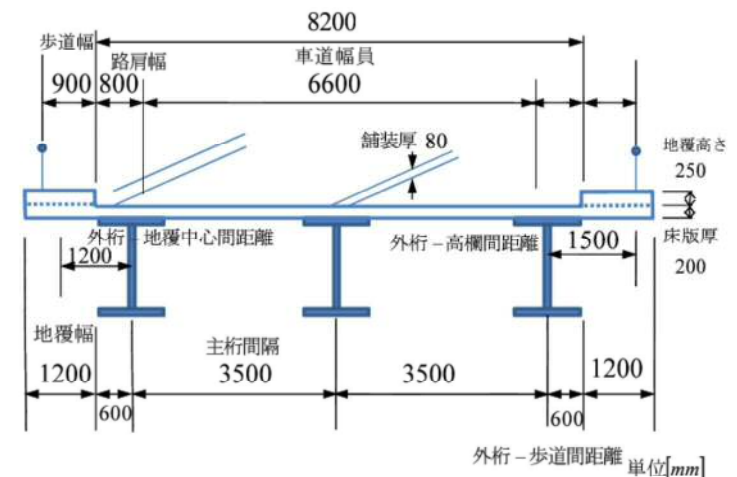
$$Z_3 = \sigma_Y \cdot \left(\frac{I}{y_t}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_Y}\right) - (M_L + M_D) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - (x_4 + x_5)$$

非合成桁の自由突出板の座屈強度

$$Z_4 = \sigma_Y \cdot \left(\frac{I}{y_t}\right) \cdot \left(\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_Y}\right) - (M_L + M_D) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 - (x_4 + x_5)$$

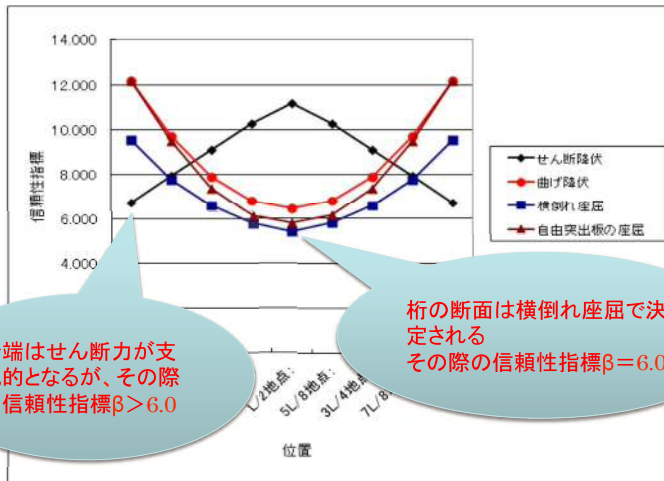
第1編 §2 試設計断面

試設計断面 支間長=30m、非合成 I 断面桁



第1編 §2 信頼性指標β

信頼性指標 β のスパン方向分布



第1編 §2 試設計断面の比較

$$\gamma_D D_k + \gamma_L L_k \leq \frac{\gamma_R R_k}{\gamma_a}$$

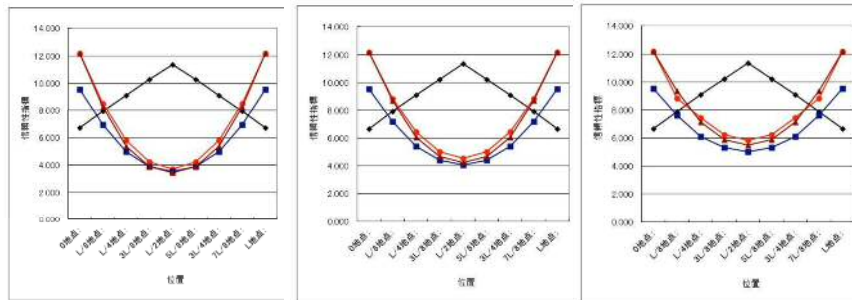
設計断面の比較

許容応力度法による断面寸法[mm]	部分係数設計法による断面寸法[mm]			
	$\gamma_L=1.0$	$\gamma_L=1.2$	$\gamma_L=1.6$	
$h w$	2100	2120	2280	2400
$t w$	16	15	16	17
$t f$	29	23	23	24
$b f$	750	610	610	630
自由突出板の座屈に対する信頼性指標 β の最小値	5.772	3.432	4.221	5.227

第1編 §2 部分係数による再設計

荷重係数を用いて死荷重、活荷重を割り増して断面力を照査

信頼性指標に定性的な傾向は認められない



$\gamma_L=1.0$

$\gamma_L=1.2$

$\gamma_L=1.6$

第1編 §3 SGSTフォーマットによる曲げ部材評価

鋼はり曲げ部材の抵抗強度の算出

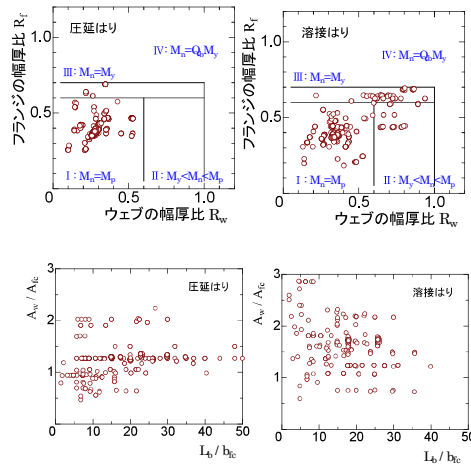
東海鋼構造グループ成果、科研研究成果

⇒実験データの追加、再検討

⇒圧延はり、溶接はり、について整理

⇒科研研究成果との比較

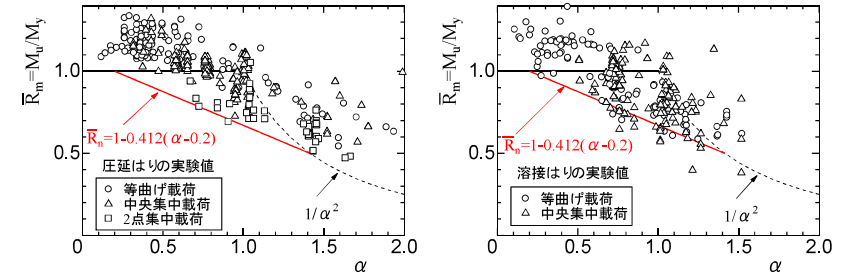
第1編 §3 実験データの諸元



荷重形式	圧延はり		溶接はり	
	等曲げ載荷	1点集中載荷	2点集中載荷	合計
等曲げ載荷		135	103	
1点集中載荷		154	127	
2点集中載荷		34	—	
		26	—	
合計		349	230	

第1編 §3 道路橋示方書との比較

実験値と道路橋示方書式の比較



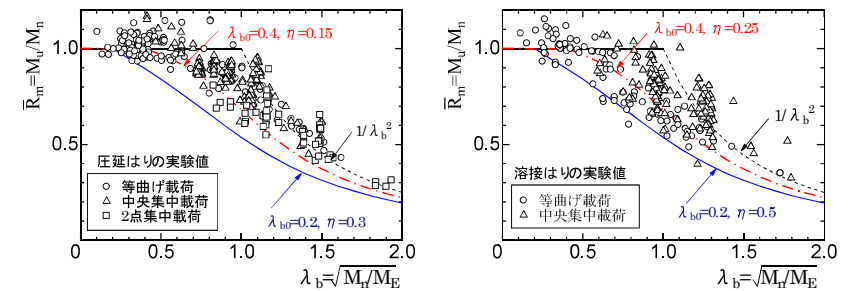
実験値の下限を包絡するように強度曲線が設定されている

第1編 §3 抵抗係数(道路橋示方書を使用)

実験部材	荷重形式	$\bar{R}_m / \bar{R}_n = (M_u / M_y) / (M_u / M_y)_n \quad \alpha \leq \sqrt{2}$				k _R =1.65に対する抵抗係数	
		公称抵抗強度: 式(3.5)					
		実験データ数 N	設計係数 P _m	標準偏差 σ _P	変動係数 V _P	全変動係数 V _R	抵抗係数 φ
圧延はり	等曲げ載荷	126	1.323	0.142	0.107	0.162	1.116
	1点集中載荷	140	1.103	0.126	0.114	0.166	0.920
	2点集中載荷	40	1.062	0.142	0.134	0.180	0.858
	全形式	306	1.318	0.139	0.105	0.160	1.115
溶接はり	等曲げ載荷	96	1.213	0.134	0.110	0.164	1.018
	1点集中載荷	124	1.246	0.204	0.164	0.203	0.952
	全形式	220	1.232	0.177	0.144	0.188	0.978
部材全体		526	1.282	0.162	0.126	0.175	1.049

第1編 §3 座屈設計ガイドラインとの比較

実験値と座屈設計ガイドライン式との比較



強度曲線が実験値の平均値を示している

第1編 §3 抵抗係数(座屈設計ガイドラインを使用)

実験部材	荷重形式	$\bar{R}_m / \bar{R}_n = (M_u / M_n) / (M_u / M_n)_n; \lambda_b \leq 2$				$k_R=1.65$ に対する抵抗係数	
		公称抵抗強度: 式(3.8)					
		実験データ数 N	設計係数 P_m	標準偏差 σ_P	変動係数 V_P	全変動係数 V_R	抵抗係数 ϕ
圧延はり	等曲げ載荷	135	1.054	0.101	0.096	0.154	0.904
	1点集中載荷	154	1.118	0.138	0.123	0.173	0.919
	2点集中載荷	60	1.128	0.179	0.159	0.199	0.870
	全形式	349	1.095	0.137	0.125	0.174	0.898
溶接はり	等曲げ載荷	103	1.018	0.121	0.119	0.169	0.843
	1点集中載荷	127	1.258	0.213	0.169	0.208	0.950
	全形式	230	1.150	0.214	0.186	0.222	0.838
部材全体		579	1.117	0.174	0.156	0.197	0.867

第1編 §3 抵抗係数(科研報告書を使用)

科研結果との比較

はり形式	科研結果抵抗係数 (実験データ数)	本報告書抵抗係数 (実験データ数)
圧延はり	0.882 (307)	0.898 (349)
溶接はり	0.852 (136)	0.838 (230)

データ数の増加、数値に大きな差は無い、圧延・溶接の差が大きくなった

第1編 §4 土研資料データを用いた整理

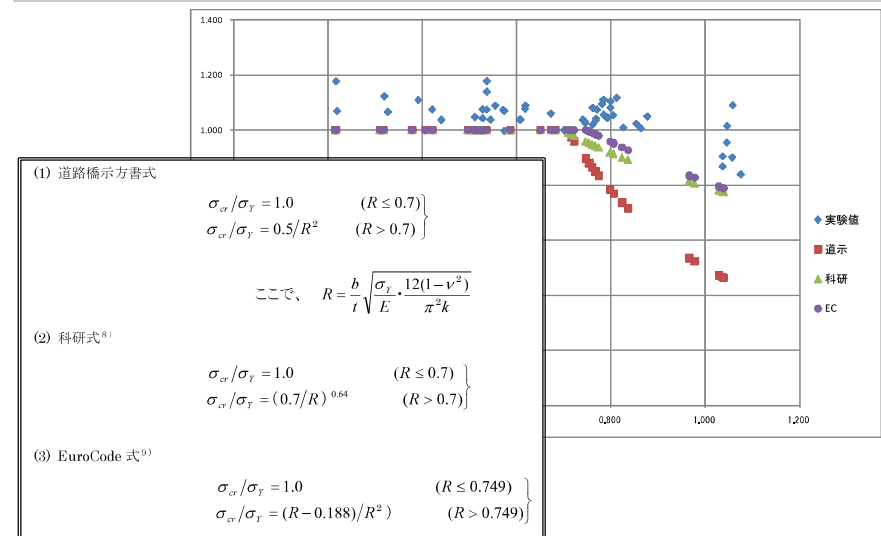
土木研究所資料第4090号

「鋼材料・鋼部材の強度等に関する統計データの調査」

自由突出板のデータ53個

⇒道路橋示方書式、科研式、EC式で比較整理

第1編 §4 実験値と強度曲線の比較



第1編 §4 抵抗係数と部材係数の比較

	抵抗係数	部材係数
道路橋示方書式	1.083	0.869
科研式	0.989	0.952
EC3式	0.978	0.963

基準耐荷力曲線の違いから、抵抗係数(部材係数)が異なってくる。

抵抗係数が > 1.0 となる

→ 基準耐荷力曲線が下限値を狙って定められている

第2編 示方書(案)の留意事項

※有効数字は3桁(小数第二位)で。

→ 部分係数を0.05単位で丸めると応力度で

→ 最大10N/mm²生じてしまうため。

※信頼性指標 $\beta=3.0$ としている。

→ 抵抗側だけを議論して算出しているため、構造物の安全性を議論するときには注意が必要。

第2編 示方書(案)の留意事項

※部分係数と特性値はペアで考える。

→ 条文の中で、同じ枠囲いの中に入れる。

→ 部分係数だけが独り歩きしてはいけない。

※平均値、下限値を明確にする。

→ 「部材の真の強度式として信頼できるのは平均値」

→ 統計处理的な解釈の違いが生じにくい。

第2編 §2案文 圧縮を受ける両縁支持板

部材係数の試算結果 : 1.11

部材係数の試算で用いた強度曲線

$$\sigma_{rd} = \begin{cases} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R \leq 0.70) \\ \left(\frac{0.7}{R}\right)^{0.86} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (0.70 < R) \end{cases}$$

基準となる耐荷力曲線は、「鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究」[福本ら、1990]に示された平均値曲線を用いる。
抵抗係数は0.847

第2編 材料係数、製作係数、部材係数

SGSTフォーマットにおける抵抗係数(=0.847)は、材料係数、製作係数、部材係数に対応したものであるが、鋼・合成構造標準示方書で扱うフォーマットでは、材料係数を分離して「製作係数+部材係数」を部材係数として取り扱っている。

鋼材の単一材料で構成される断面を対象としているという条件のもとで、抵抗側の材料強度の特性値の関数に含まれる材料係数を関数の外に出せるものと仮定して算出

$$\begin{aligned}\Phi_m &= (1 - k_R V_m) M_m = (1 - 1.65 \times 0.11) \times 1.15 = 0.9412 \\ \gamma_m &= 1 / \Phi_m = 1 / 0.9412 = 1.062 \\ \gamma_b &= 1 / 0.847 / 1.062 = 1.112 \\ &\rightarrow 1.11 (\text{採用値})\end{aligned}$$

第2編 §2案文 面内圧縮を受ける片縁支持板

部材係数の試算結果 : 1.11

部材係数の試算で用いた強度曲線

$$\sigma_{rd} = \begin{cases} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R \leq 0.7) \\ \left(\frac{0.7}{R}\right)^{0.64} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (0.7 < R) \end{cases}$$

基準となる耐荷力曲線は、「鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究」[福本ら、1990]に示された平均値曲線を用いる。
抵抗係数は0.847

第2編 §2案文 面内曲げを受ける両縁支持板

部材係数の試算結果 : 1.03

部材係数の試算で用いた強度曲線

$$\sigma_{rd} = \begin{cases} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (R \leq 1.00) \\ \left(\frac{1}{R}\right)^{0.72} \frac{f_{yd}}{\gamma_b} & (1.00 < R) \end{cases}$$

基準となる耐荷力曲線は、「鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究」[福本ら、1990]に示された平均値曲線を用いる。
抵抗係数は0.915

第2編 §2案文 せん断力を受ける両縁支持板

部材係数の試算結果 : 1.06

部材係数の試算で用いた強度曲線

$$\tau_{rd} = \begin{cases} \frac{f_{vyd}}{\gamma_b} & (R_r \leq 0.7) \\ \left(\frac{0.6}{R_r}\right)^{0.32} \frac{f_{vyd}}{\gamma_b} & (0.7 < R_r) \end{cases}$$

基準となる耐荷力曲線は、「鋼骨組構造物の極限強度の統一評価に関する総合的研究」[福本ら、1990]に示された平均値曲線を用いる。
抵抗係数は0.892

第2編 §2案文 柱部材

部材係数の試算結果 :	グループ1	1.08
	グループ2	1.11
	グループ3	1.11

部材係数の試算で用いた強度曲線

$$N_{rd} = \begin{cases} \frac{A_g Q_c f_{yd}}{\gamma_b} & (\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0) \\ \frac{A_g Q_c f_{yd}}{2\bar{\lambda}^2} \frac{\left(\beta - \sqrt{\beta^2 - 4\bar{\lambda}^2}\right)}{\gamma_b} & (\bar{\lambda} > \bar{\lambda}_0) \end{cases}$$

ただし、 $\beta = 1 + \alpha(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2$

第2編 課題

- 従来の基準耐荷力曲線
 - 塑性化を考慮しない弾性設計を基本としている
 - (式の簡略化・弾性設計ということを明確に示すため)座屈パラメータの小さい領域では=1で頭打ちにしている。
- 「鋼構造物の終局強度と設計」
 - 部材強度の低減を受ける範囲と材料強度のばらつきだけを考慮する範囲に分けて、部分係数を
- 設定既刊の鋼・合成構造標準示方書
 - すべての領域で材料係数・部材係数を乗じて抵抗強度を算出

第2編 §2案文 はり部材

部材係数の試算結果 :	圧延断面	1.05
	箱型断面	1.05
	π型断面	1.05
	溶接断面	1.12

部材係数の試算で用いた強度曲線


$$M_{rd} = \begin{cases} \frac{M_n}{\gamma_b} & (\bar{\lambda}_b \leq \bar{\lambda}_{b0}) \\ \frac{M_n}{2\bar{\lambda}_b^2} \frac{\left(\beta_b - \sqrt{\beta_b^2 - 4\bar{\lambda}_b^2}\right)}{\gamma_b} & (\bar{\lambda}_b > \bar{\lambda}_{b0}) \end{cases}$$

ただし、 $\beta_b = 1 + \alpha_b(\bar{\lambda}_b - \bar{\lambda}_{b0}) + \bar{\lambda}_b^2$

第2編 課題2

- 「材料係数だけ」「材料係数×部材係数」の範囲を区分して、従来の耐荷力曲線式を利用する。
- 塑性領域を考慮した基準耐荷力曲線の設定、それに対応した部分係数を設定する。

の両者を比較して、基準耐荷力曲線の持つ意味合い、部分係数の役割を、理解しやすい形態とすることが望ましい



ご清聴ありがとうございました

