

鋼橋の部分係数設計法について

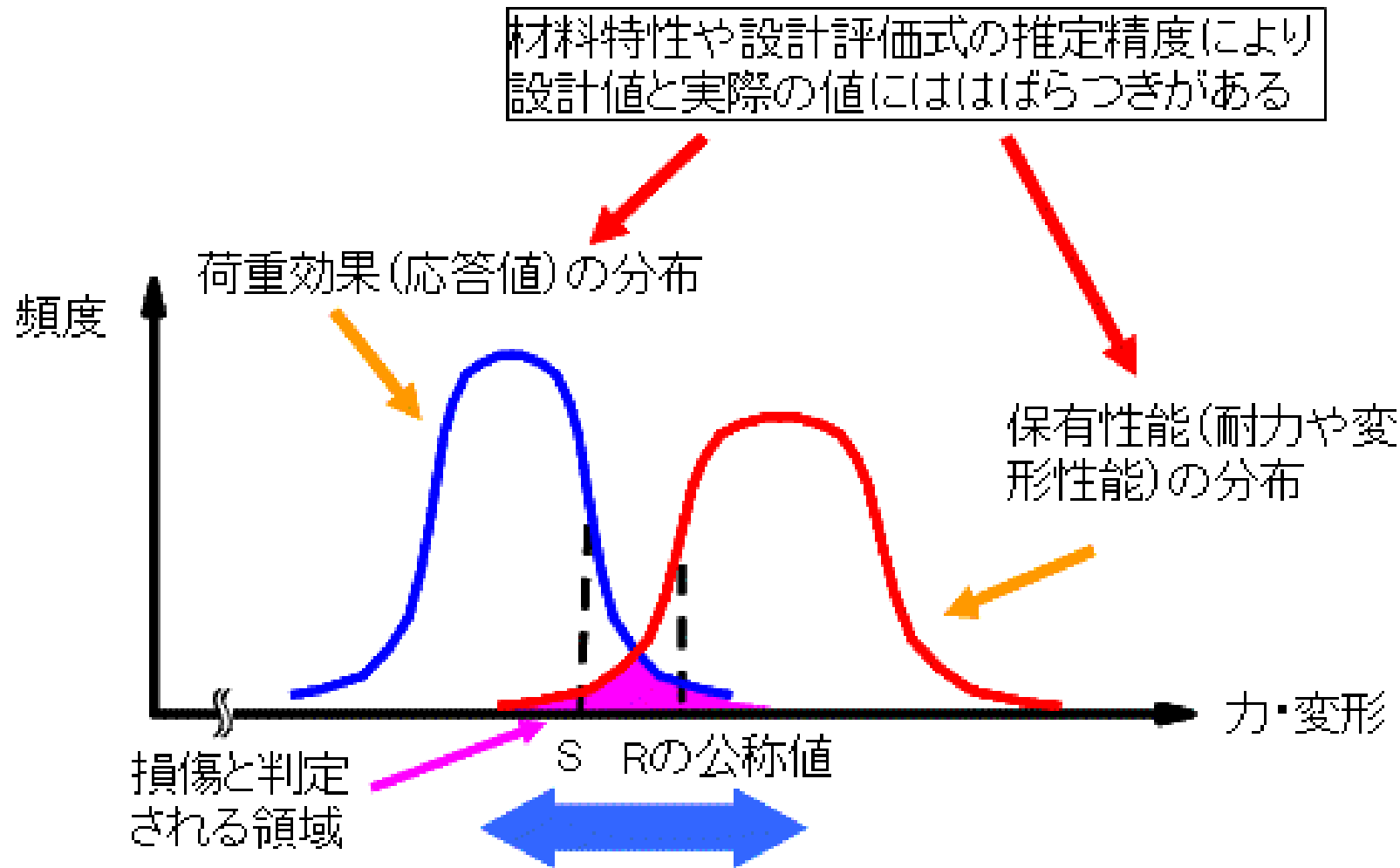
村上 茂之

岐阜大学

鋼橋の部分係数設計法について

岐阜大学 村上茂之

限界状態設計法とは？



この関係を適切に設定することで合理的な設計が可能

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

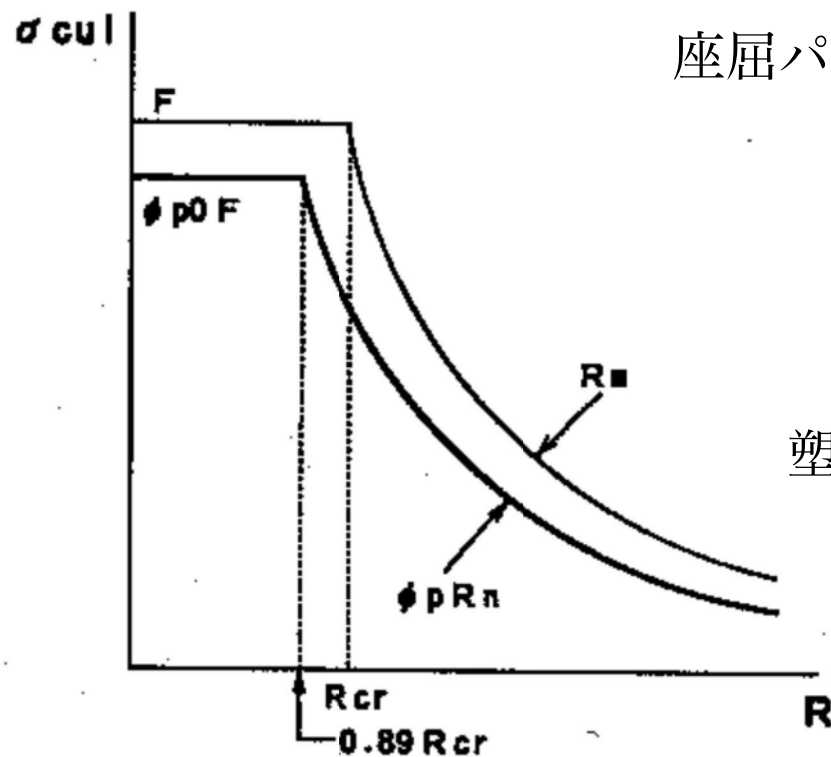
表 確率に基礎をおいた限界状態設計法の分類

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

研究事例2 レベル1

- ・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使い分け

$$\Phi_{p0} = 0.92$$

Φ_p = 科研の推奨値と同じ

塑性時の影響を考慮

研究事例 1 レベル 1

- ・ 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.

SGSTフォーマット

$$\Phi R_n = \Phi_1 (1 - k_R V_R) R_m$$

Φ : 抵抗係数

R_n : 公称抵抗強度

Φ_1 : 校正係数 (標準状態であれば 1.0)

k_R : 下限の程度を示す係数。片側信頼度 95% の時 $k_R=1.65$

V_R : 強度全体の変動係数

R_m : 強度の平均値

研究事例3 レベル1

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

鋼・合成構造標準示方書（2007）

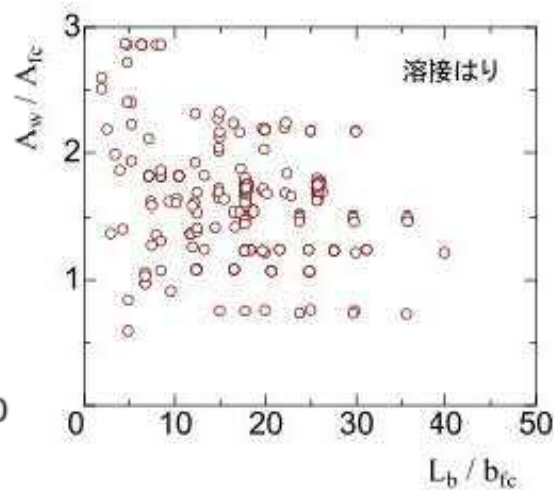
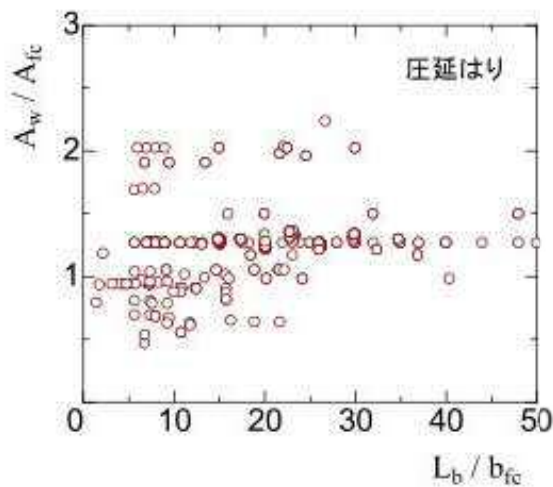
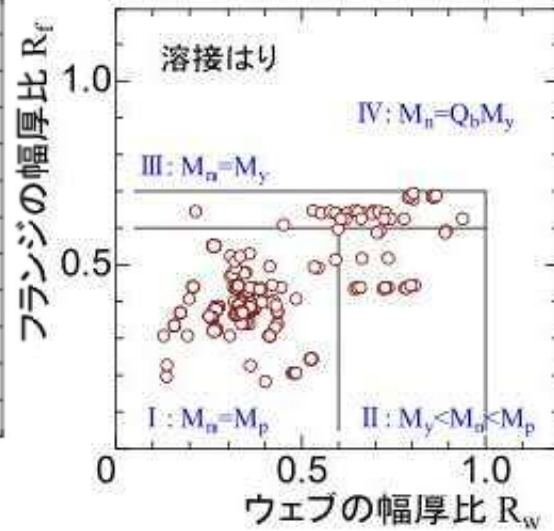
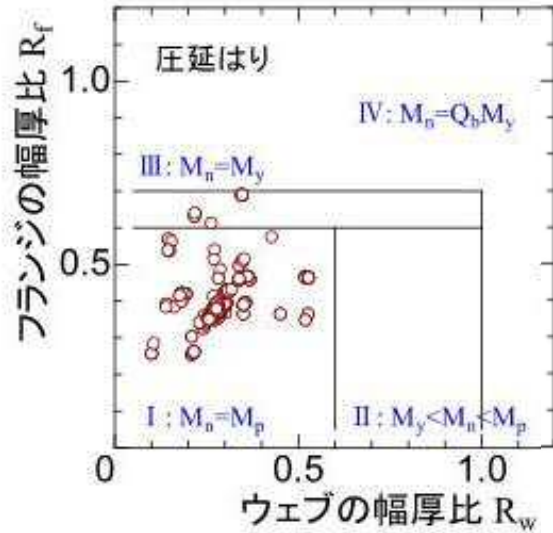
$$\gamma_i \frac{\sum \gamma_a \cdot S(\gamma_f \cdot F_k)}{R(f_k / \gamma_m) / \gamma_b} \leq 1.0$$

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。

部材による基本強度の差異



荷重形式		圧延はり	溶接はり
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

SGSTフォーマットにおける抵抗係数

抵抗係数

$$\Phi = \Phi_1(1 - k_R V_R) \frac{R_m}{R_n} = \Phi_1(1 - k_R V_R) M_m F_m P_m$$

M_m : 材料係数の平均値

F_m : 製作係数の平均値

P_m : 設計係数の平均値

強度の変動係数

$$V_R = \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2}$$

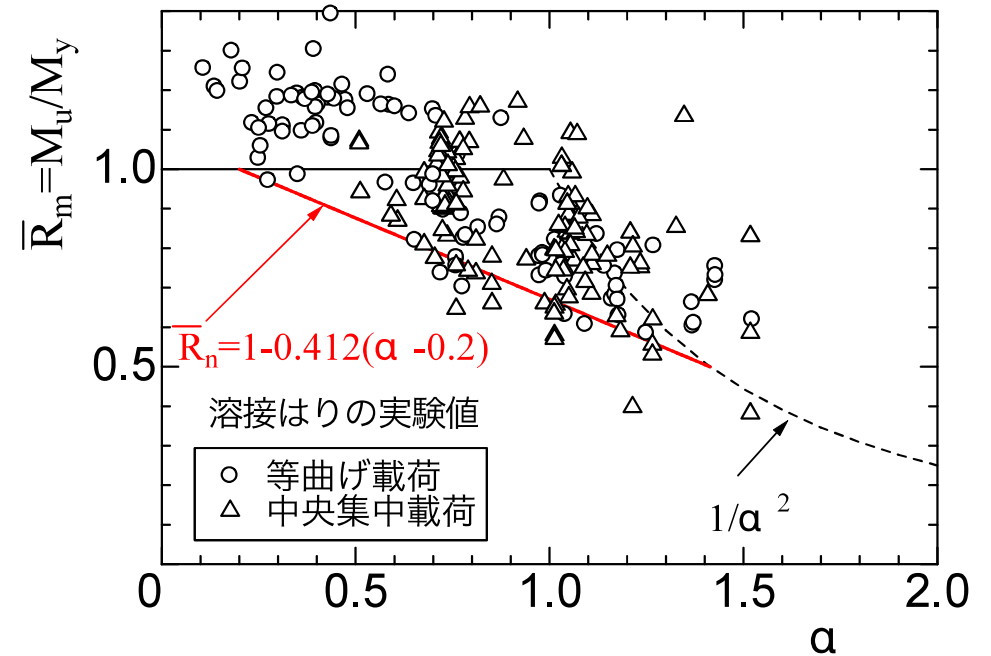
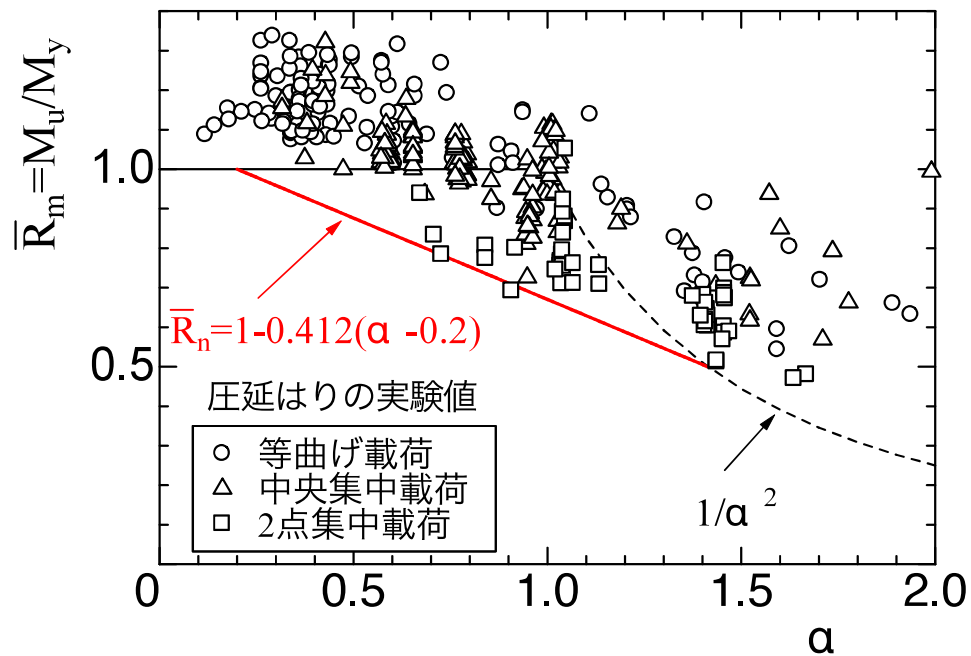
V_M : 材料係数の変動係数

V_F : 製作係数の変動係数

V_P : 設計係数の変動係数

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

研究事例4 レベルII

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)

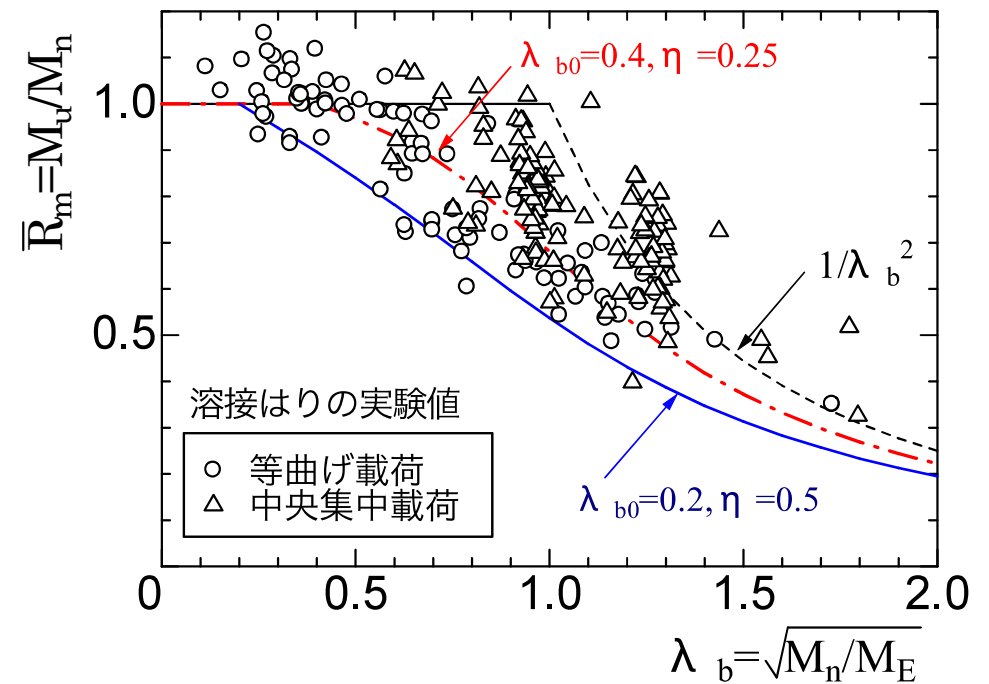
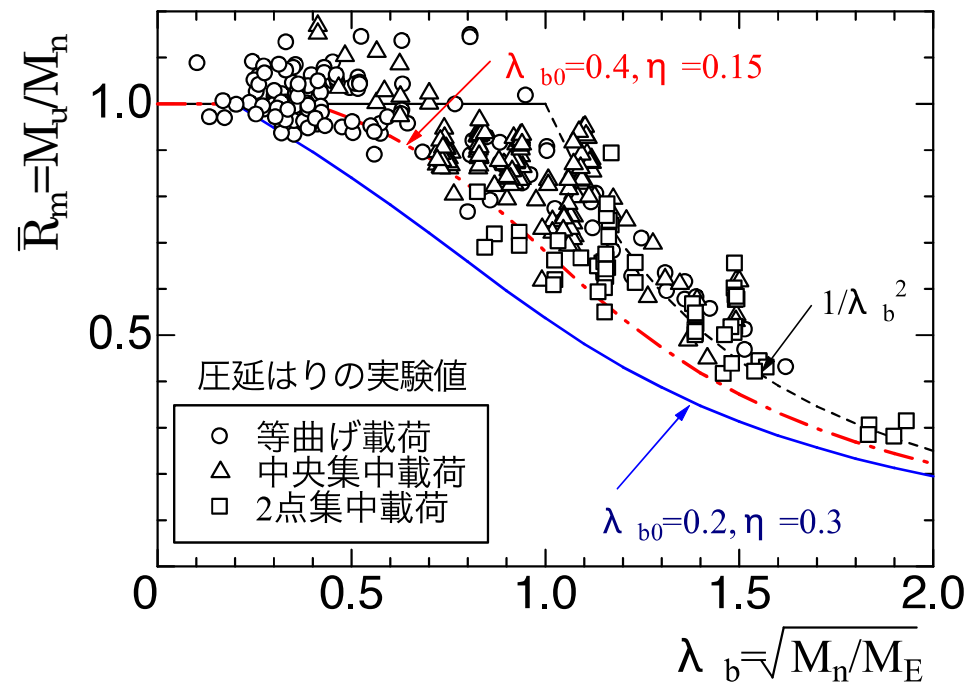
⇒目標信頼性指標 β_T の設定

⇒ 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

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

信頼性指標と部分係数

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

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

照査式

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

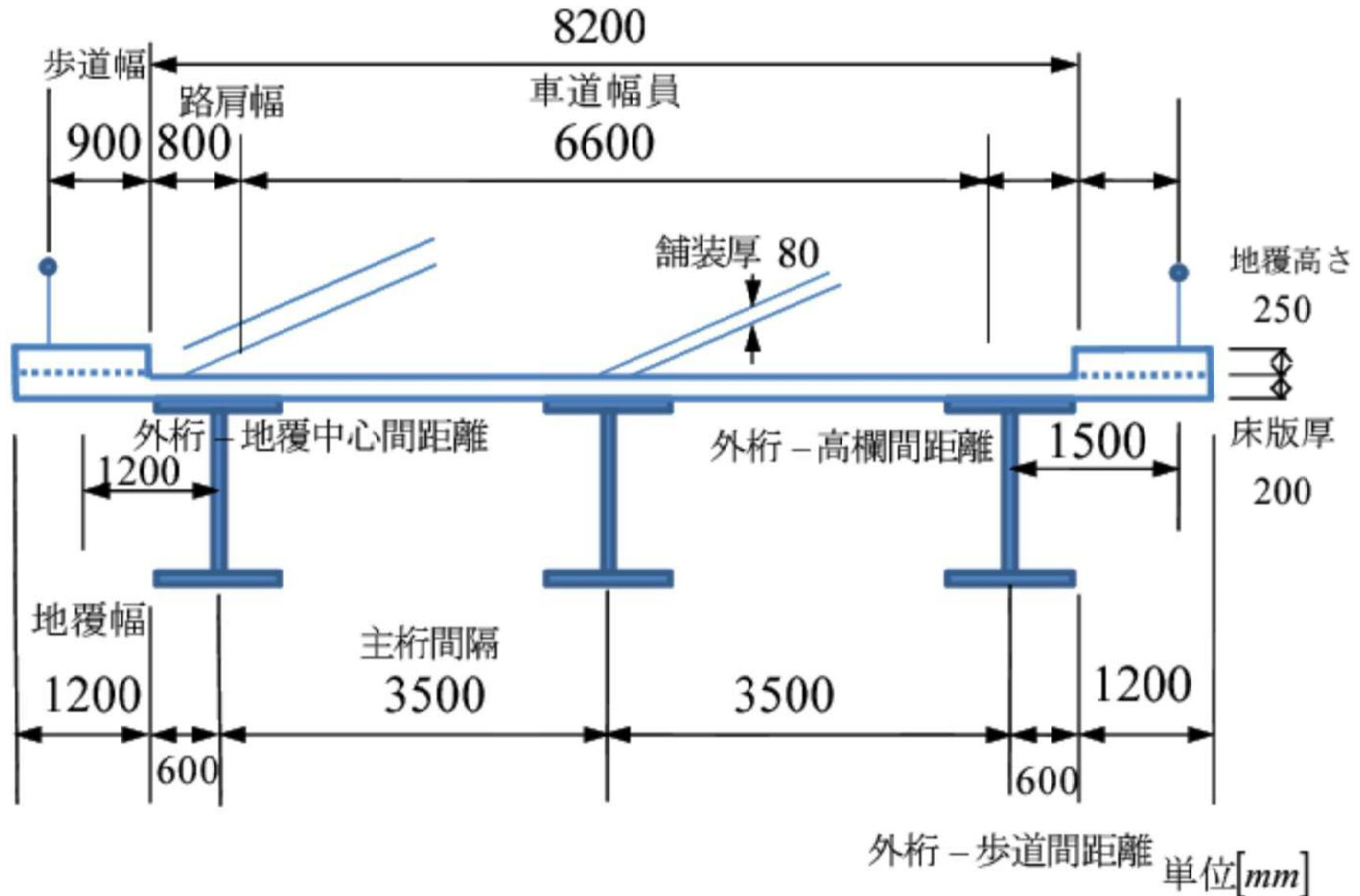
R：抵抗値

γ_D , γ_L , γ_R ：部分係数

γ_a ：調整係数 (=1.0)

試設計断面

試設計断面 支間長=30m、非合成 I 断面桁



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

部材等の耐荷性能の評価に関する基礎式

使用限界に対して

$$\sum S_i(\gamma_{S_i} P_i) \leq \xi_1 \xi_2 \Phi_{RY} R_Y(f_c)$$

終局限界に対して

$$\sum S_i(\gamma_{S_i} P_i) \leq \xi_1 \xi_2 \Phi_{RU} R_U(f_c)$$

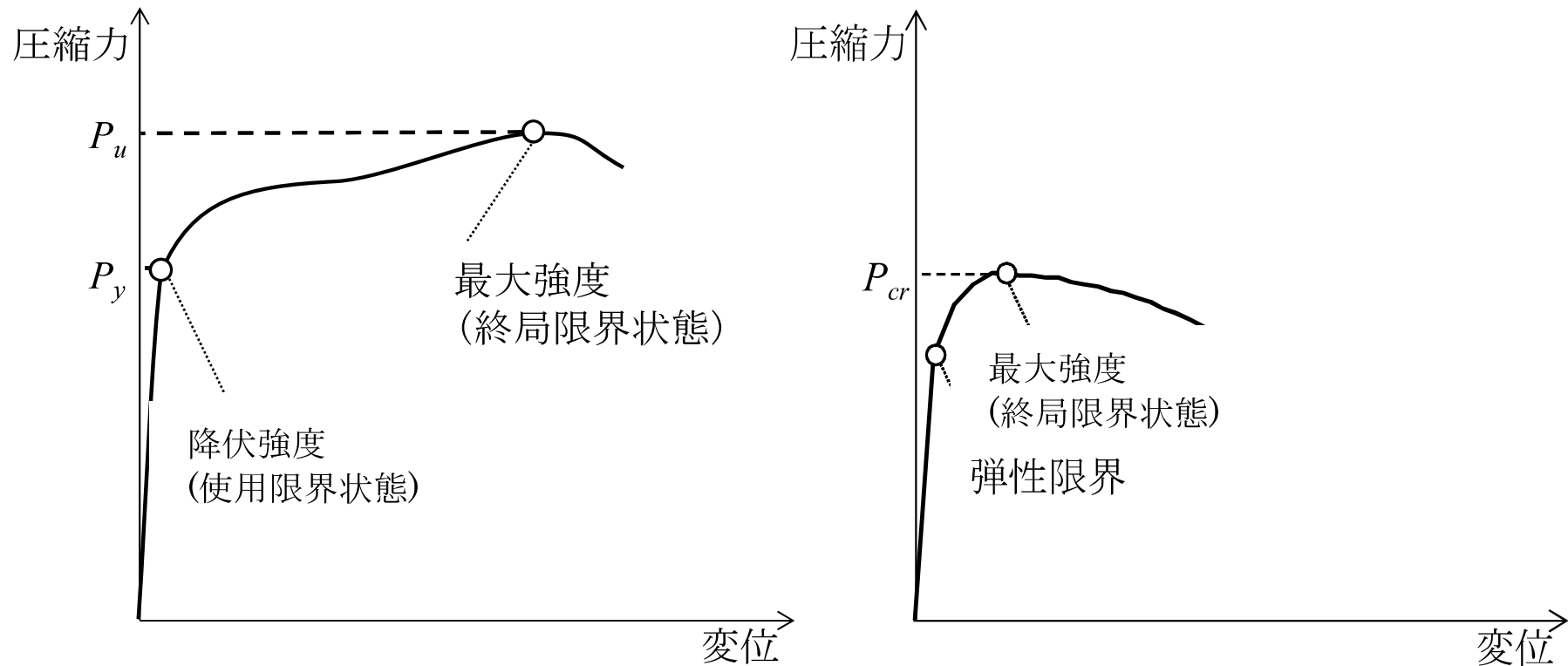
S	: 作用の特性値に対して算定される応答値
γ_S	: 荷重係数
P	: 作用の特性値
ξ_1	: 調査係数
ξ_2	: パフォーマンス係数
Φ_{RY} 、 Φ_{RU}	: 使用限界、終局限界に対する抵抗係数
R_Y 、 R_U	: 使用限界、終局限界に対する抵抗値
f_c	: 材料の特性値

留意点

- 各種ばらつきを考慮した安全的余裕
 - Φ_{RY} 、 Φ_{RU} のみで考慮
 - 材料のばらつき、高度計算式や計算モデルのモデル誤差を含む
 - 施工の影響や施工による初期不整の影響を加味
- 部材が限界状態を超えた時の全体への影響
 - ξ_2 で考慮
 - 別途構造設計される（特定の条件で決まる）場合には1.0
 - 「割増係数」の概念はない（荷重係数で考慮するため）
- 応答評価に関する不確実性
 - ξ_1 で考慮
 - 支持条件や部材結合における仮定を考慮

限界状態の設定

弾性設計が主流であったこれまでと異なり、塑性域を利用するためには、限界状態の区別が必須



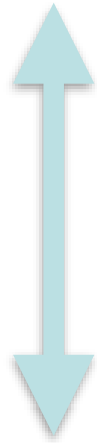
(a) 幅厚比パラメータが小さい領域

(b) 幅厚比パラメータが大きい領域

軸方向引張力を受ける場合

$$\sigma_{tud} = \xi_1 \xi_2 \Phi_{Yt} \sigma_{yk}$$

対比




σ_{tud}	: 設計軸方向引張降伏強度
ξ_1	: 調査係数
ξ_2	: パフォーマンス係数
Φ_{Yt}	: 抵抗係数
σ_{yk}	: 鋼材の降伏強度の特性値抵抗値

SGSTフォーマット

$$R_n = \frac{\Phi_1}{\Phi} (1 - k_R V_R) R_m = \frac{1}{M_m} \frac{1}{F_m} \frac{1}{P_m} R_m$$


軸方向圧縮力を受ける両縁圧縮板

$$\sigma_{crl d} = \xi_1 \xi_2 \Phi_U \rho_{crl} \sigma_{yk}$$

- 
- | | |
|------------------|----------------------|
| $\sigma_{crl d}$ | : 両縁支持板の局部座屈に対する設計強度 |
| ξ_1 | : 調査係数 |
| ξ_2 | : パフォーマンス係数 |
| Φ_U | : 終局限界に対する抵抗係数 |
| σ_{yk} | : 鋼材の降伏強度に関する特性値 |
| ρ_{crl} | : 鋼材の降伏強度に関する低減係数 |

基本強度曲線に相当

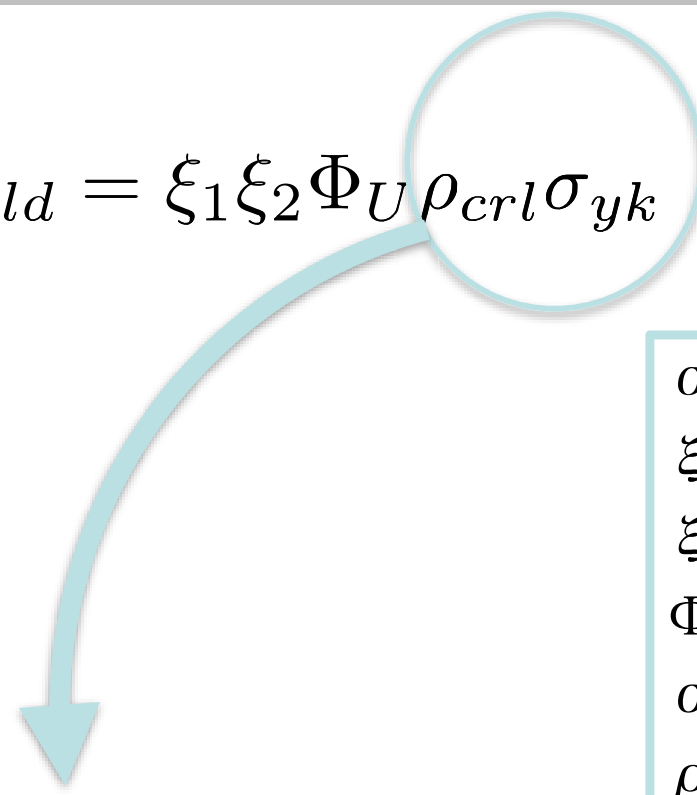
軸方向圧縮力を受ける自由突出板

$$\sigma_{crl d} = \xi_1 \xi_2 \Phi_U \rho_{crl} \sigma_{yk}$$


$\sigma_{crl d}$: 自由突出板の局部座屈に対する設計強度
ξ_1	: 調査係数
ξ_2	: パフォーマンス係数
Φ_U	: 終局限界に対する抵抗係数
σ_{yk}	: 鋼材の降伏強度に関する特性値
ρ_{crl}	: 鋼材の降伏強度に関する低減係数

基本強度曲線に相当

軸圧縮力を受ける補剛板

$$\sigma_{crl d} = \xi_1 \xi_2 \Phi_U \rho_{crl} \sigma_{yk}$$


$\sigma_{crl d}$: 補剛板の局部座屈に対する設計強度
ξ_1	: 調査係数
ξ_2	: パフォーマンス係数
Φ_U	: 終局限界に対する抵抗係数
σ_{yk}	: 鋼材の降伏強度に関する特性値
ρ_{crl}	: 鋼材の降伏強度に関する低減係数

基本強度曲線に相当

軸圧縮力を受ける部材

$$\sigma_{cud} = \xi_1 \xi_2 \Phi_U \sigma_{yk} \rho_{crg} \rho_{crl}$$


σ_{cud}	: 設計軸方向圧縮強度
ξ_1	: 調査係数
ξ_2	: パフォーマンス係数
Φ_U	: 抵抗係数
σ_{yk}	: 鋼材の降伏強度の特性値
ρ_{crg}	: 全体座屈の影響を考慮した低減係数
ρ_{crl}	: 局部座屈の影響を考慮した低減係数

連成座屈を考慮した基本強度曲線に相当

最後に

- 📍 基本的には現行設計手法からの大きな変更点はない
- 📍 基本強度曲線は「下限値ベース」→「平均値ベース」に変更
- 📍 部分係数により、下限値相当を考慮
- 📍 信頼性指標 β は橋梁部位、作用断面力、供用期間で変化する。（理想的には3～4程度とも言われている）
- 📍 部分係数を変更することで設計の自由度が増すと思われるが、部分係数の影響は大きいため、慎重な対応が必要

ご清聴ありがとうございました