

鋼構造物の設計 (4)

安全性の照査

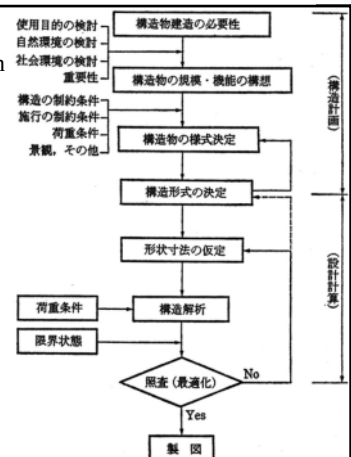


許容応力設計法
限界状態設計法

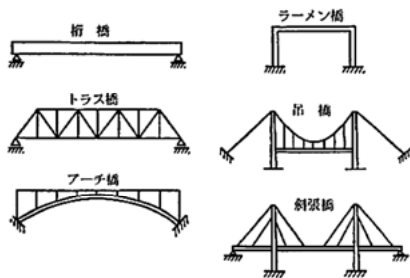


構造設計のプロセス

Process of Structure Design



構造形式の決定 (橋梁の例)



出典:「日本橋梁建設協会HP」



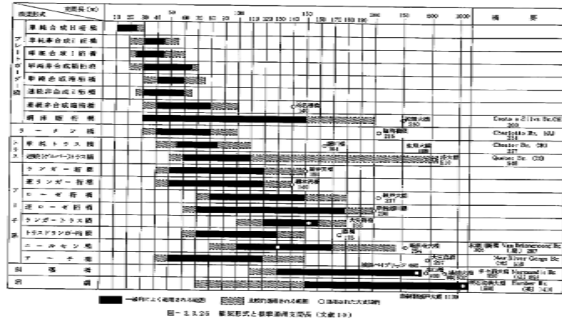
出典:「日本橋梁建設協会HP」



出典:「日本橋梁建設協会HP」

橋梁形式と標準適用支間長

出典：「鋼橋の概要 平成6年4月(社)日本橋梁建設協会」



荷重条件(道路橋の場合)

- 主荷重
 - 死荷重, 活荷重, 衝撃 等
- 従荷重
 - 風荷重, 地震の影響 等
- 主荷重に相当する特殊荷重
 - 雪荷重 等
- 従荷重に相当する特殊荷重
 - 施工時荷重



道路橋の設計活荷重

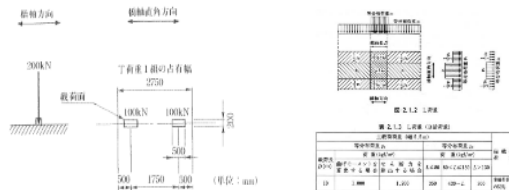


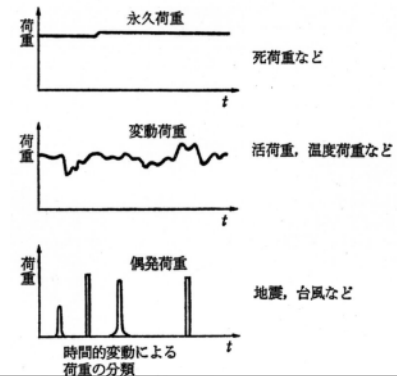
図-2.2.1 T荷重

T荷重:主に床版, 床組の設計に使用

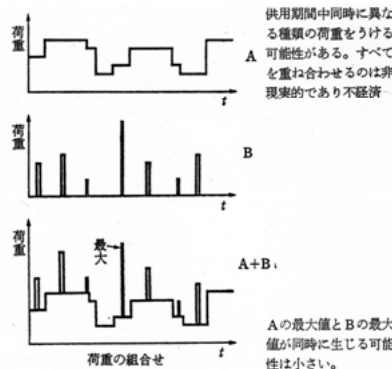
L荷重:主に主げたの設計に使用

発生確率による荷重の分類

Classification of Loads based on Probability



荷重の組み合わせ Combination of Loads



荷重の組み合わせ照査の必要性

Necessity of Verification of Effects of Loads Combination

荷重組合せ照査の必要度の目安			
	永久荷重	変動荷重	偶発荷重
永久荷重	○	○	○
変動荷重	○	○	△
偶発荷重	○	△	×

表-3.3.1 許容応力度の割増し係数

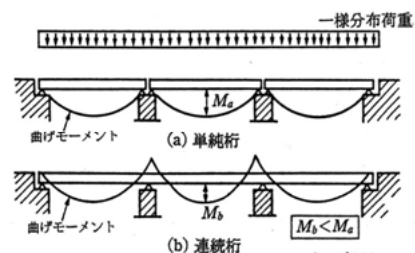
荷重の組合せ	割増し係数
(1) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP)	1.00
(2) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 風変位(δ)の影響(T)	1.15
(3) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 風荷重(W)	1.25
(4) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 温度変化の影響(T)	1.25
(5) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 地震荷重(EK)	1.25
(6) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 地震荷重(EK)	1.25
(7) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 地震荷重(EK)	1.25
(8) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 地震荷重(EK)	1.25
(9) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 地震荷重(EK)	1.25
(10) 主荷重(P) + 主荷重に相当する特殊荷重(PP) + 地震荷重(EK)	1.25

構造計算 (荷重により生じる断面力および応力)



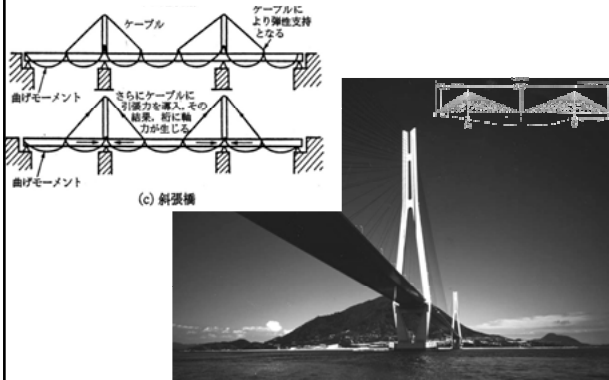
荷重により生じる断面力および応力

Sectional Forces and Stresses due to Loads



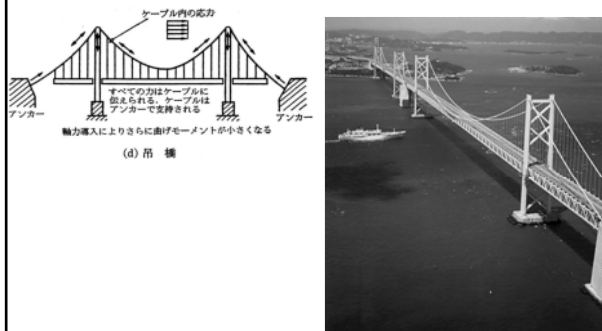
荷重により生じる断面力および応力

Sectional Forces and Stresses due to Loads



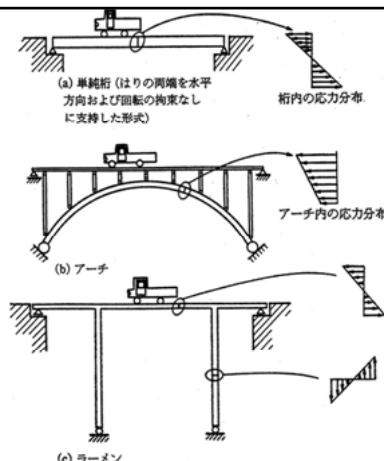
荷重により生じる断面力および応力

Sectional Forces and Stresses due to Loads

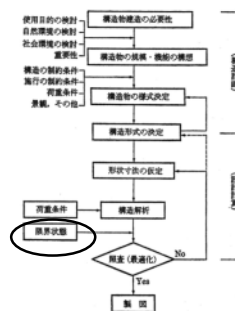


荷重により生じる断面力および応力

Sectional Forces and Stresses due to Loads



限界状態



限界状態

鋼構造物の限界状態の例

(基準等によって定義が若干異なる場合がある)

- ・終局限界状態
- ・使用限界状態
- ・疲労限界状態
- ・(修復限界状態)

終局限界状態

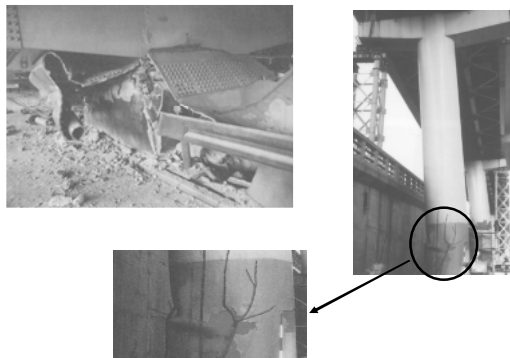
構造物、部材の最大耐力を示す状態

(例)

- ・構造物が転倒、滑動などにより安定を失う
- ・脆性破壊や延性破壊などにより破断する
- ・座屈により耐力を失う

兵庫県南部地震による被害

出典:「阪神高速道路 資料」



腐食による鋼材の破断

出典:「国土交通省HP」



使用限界状態

構造物を十分安全に使用するために必要な変形などの条件が満たされなくなる状態

(例)

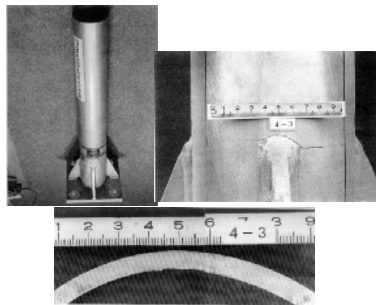
- ・正常な状態で使用するには変位が過大
- ・振動が過大で不安の念をいだかせる
(歩道の不快な振動)

疲労限界状態

交通荷重、波浪、風等の繰返し外力により疲労亀裂が進展する状態

設計段階での照査に加えて、維持で最も重要なチェック項目

疲労損傷の例



安全性の評価 (照査)



安全性の評価 (照査)

安全性の評価

$$\text{外力作用 (S)} < \text{抵抗 (R)}$$

(抵抗の不確かさ)

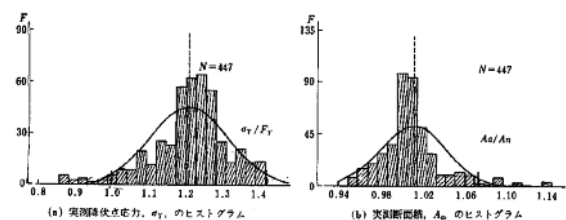
- ・材料強度のばらつき、断面寸法の誤差 等

(外力作用の不確かさ)

- ・多くの設計荷重は外力作用を単純化、モデル化したもの
- ・設計荷重以上の荷重が絶対に来ない保証はない

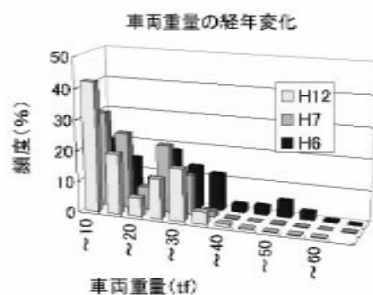
抵抗の不確かさの例

出典:「土木学会 座屈設計ガイドライン」



外力作用の不確かさの例 (車両重量)

出典:「国土交通省 資料」

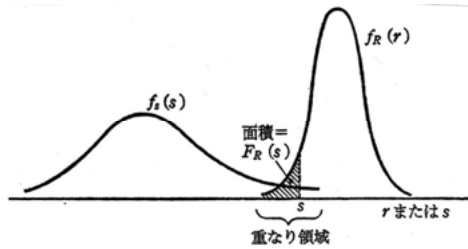


安全性評価に用いられる手法

- 許容応力度法
- 限界状態設計法
- 確立論に基づく信頼性理論

信頼性理論による破壊確率の算出 (レベルIII)

Calculation of Fracture Probability



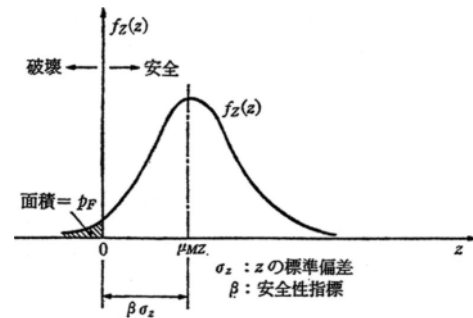
$$p_f = P(R < S) = \sum P(R < S | S = s) \cdot P(S = s)$$

もし R と S が統計的に独立ならば

$$p_f = \int_0^{\infty} F_R(s) f_S(s) ds$$

破壊確率と安全性の指標 (レベルII)

Fracture Probability and Safety Index



許容応力度設計法

道路橋の設計法

設計荷重から計算される応力度の総和 σ が材料に対して規定された許容応力度 σ_a を超えないようにすることで安全性を照査

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i = \sigma < \sigma_a = \frac{\sigma_k}{\gamma}$$

許容応力度設計法

許容応力度

$$\sigma_a = \frac{\sigma_k}{\gamma}$$

γ : 安全率

材料強度のばらつき, 部材に生じる応力変動, 構造物の安全性のレベル. 道路橋示方書の場合, $\gamma = 1.7$ が多い.

材料の基準強度 (降伏強度) の公称値.

(例: $16 < \text{板厚 } t(\text{mm}) \leq 40$)

・SM490: 315MPa

・SM570: 450MPa

限界状態設計法 (部分係数設計法)

・鉄道橋の設計法

・部分安全係数を考慮

・各限界状態において設計断面耐力と作用力とを比較

・材料強度の特性値 f_k と荷重の特性値 F_k が基本

・最終的な照査は, 構造物係数 γ_i を設定して下記により実施

$$\frac{R_d}{S_d} \geq \gamma_i$$

照査法の例 (土木学会: 鋼・合成構造標準示方書)

限界値 R_d (設計部材耐力) の算定

材料強度の特性値: f_k

γ_m ↓

設計材料強度: $f_d = f_k / \gamma_m$

↓

部材耐力: $R(f_d)$

γ_b ↓

設計部材耐力: $R_d = R(f_d) / \gamma_b$

応答値 S_d (設計断面力) の算定

作用の特性値: F_k

γ_f ↓

設計作用: $P_d = \gamma_f F_k$

↓

作用断面力: $S(F_d)$

γ_a ↓

設計断面力: $S_d = \sum \gamma_a S(F_d)$

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

図-解 1.4.2 耐力力に関する安全性の照査の概念

限界状態設計法



材料の特性値 f_k : 通常保証できる強度 (降伏強度) の下限値 (公称値)

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m}$$

$$\gamma_m = 1.05$$

：構造用鋼材の引張応力に対する材料係数 (「鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物」の場合)

限界値 f_k (高降伏比鋼材) の規定	応力値 σ (応力比) の規定
材料強度の特性値 : f_k	作用の許容値 : F_d
γ_m	γ_F
設計材料強度 : $f_d = f_k / \gamma_m$	設計作用 : $F_d = \gamma_F F_k$
許容耐力 : $R(f_d)$	作用耐力度 : $S(F_d)$
γ_R	γ_Q
設計許容耐力 : $R_d = R(f_d) / \gamma_R$	設計耐力値 : $S_d = \sum \gamma_Q S_i(F_i)$
γ_m γ_Q	
$\text{照査: } \gamma_m \frac{S_d}{R_d} < 1.0$	

図 解 1.4.2 耐荷力に対する安全性の照査の概要